

과학탐구영역

# 화학 II



## 답은 끝 문제로 유형 익히기

본문 007쪽

## 정답 ④

실린더 속 He(g)의 양을 5n mol이라고 할 때 A(g)의 양은 4n mol이다. A(g)의 분해 반응이 진행될 때 실린더 속 He(g)의 밀도(상댓값)로부터 He(g)의 부피, 혼합 기체의 부피와 양(mol)을 구하면 다음과 같다.

B(g)의 질량(g)	w	4w
He(g)의 밀도(상댓값)	20	25
He(g)의 부피(L)	4.5V	3.6V
혼합 기체의 부피(L)	4.5V	5.4V
혼합 기체의 양(mol)	5n	8n

초기 A(g)의 양을 4n mol, 생성된 B(g) w g의 양을 x mol이라고 할 때, 생성된 B(g)의 질량이 각각 w g, 3w g, 4w g일 때 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

[B(g)의 질량이 w g일 때]



반응 전(mol)	4n		
반응(mol)	-2x	+x	+3x
반응 후(mol)	4n-2x	x	3x

4n+2x=5n이므로 x=0.5n이다. 또한 B(g)의 질량이 w g일 때 He(g)의 압력이 P atm이라면 C의 몰 분율은  $\frac{3}{10}$ 이므로 C(g)의 부분 압력은  $\frac{3}{10}P$  atm이고  $P_1 = \frac{3}{10}P$ 이다.

[B(g)의 질량이 3w g일 때]



반응 전(mol)	4n		
반응(mol)	-3n	+1.5n	+4.5n
반응 후(mol)	n	1.5n	4.5n

혼합 기체의 양은 7n이므로 He(g)의 부피(L)는

$\frac{5}{12} \times 9V = \frac{15}{4}V$ 이다. 따라서 일정한 온도에서 He(g)의 질량이 같을 때, He(g)의 밀도는 He(g)의 부피에 반비례하므로 He(g)의 밀도비는  $\frac{1}{5V} : \frac{4}{15V} = 18 : d$ , d=24이다.

[B(g)의 질량이 4w g일 때]



반응 전(mol)	4n		
반응(mol)	-4n	+2n	+6n
반응 후(mol)	0	2n	6n

생성된 B(g)의 질량이 4w g일 때 He(g)의 압력은  $\frac{5}{4}P$  atm이고, C의 몰 분율은  $\frac{3}{4}$ 이므로 C(g)의 부분 압력은  $\frac{15}{16}P$ 이다. 따라서  $P_2 = \frac{15}{16}P$ 이다.

$P_1 = \frac{3}{10}P$ ,  $P_2 = \frac{15}{16}P$ , d=24이므로  $\frac{P_2}{P_1} \times d = 75$ 이다.

## 수능 2점 테스트

본문 008~009쪽

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

## 01 샤를 법칙

㉠ 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. 절대 온도는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

✕ X(g)와 Y(g)의 질량은 같고 (가)에서 X(g)의 부피는 2a L, (나)에서 Y(g)의 부피는 a L이므로 기체의 밀도는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. (나)의 온도를 b K로 낮추면 Y(g)의 부피는  $\frac{1}{2}a$  L가 되고, Y(g)의 밀도는 (가)의 4배가 된다. 온도와 압력이 같을 때 기체의 분자량비는 밀도비와 같으므로 분자량비는 X : Y = 1 : 4이다.

✕ (가)에서 X(g)의 밀도를 d g/L라고 하면 (나)에서 Y(g)의 밀도는 2d g/L이다. (가)의 온도를 2b K로 높이면 부피는 다시 4a L가 되므로, 이때 X(g)의 밀도는  $\frac{1}{2}d$  g/L이다. (나)의 압력이 2 atm이 되면 Y(g)의 부피는  $\frac{1}{2}a$  L가 되고 온도를 b K로 낮추면 부피는  $\frac{1}{4}a$  L가 되므로, 이때 Y(g)의 밀도는 8d g/L이다.

$\frac{2b \text{ K, } 1 \text{ atm에서 X(g)의 밀도(g/L)}}{b \text{ K, } 2 \text{ atm에서 Y(g)의 밀도(g/L)}} = \frac{1}{16}$ 이다.

## 02 보일 법칙

온도가 일정할 때 일정량의 기체 부피는 기체의 압력에 반비례한다.

㉠ P=340 mmHg일 때 A(g)의 부피는 P=760 mmHg일 때의 2배이므로 A(g)의 압력은 380 mmHg이다. 따라서 340+x=380이므로 x=40이다.

✕ A(g)의 압력은 외부 압력과 수은의 높이 차에 해당하는 압력을 더한 것과 같으므로 P=100 mmHg일 때 A(g)의 압력은 190 mmHg이다.

㉡ P=100 mmHg일 때 A(g)의 압력은 190 mmHg이므로 A(g)의 부피는 A(g)의 압력이 760 mmHg일 때의 4배이다. 따라서 A(g)의 양(mol)은 일정하므로 기체의 밀도는 P=760 mmHg일 때가 P=100 mmHg일 때의 4배이다.

## 03 아보가드로 법칙과 부분 압력

온도와 압력이 같을 때 같은 부피의 기체에는 같은 수의 분자가 존재한다.

㉠ X(g)와 Y(g)의 온도와 압력이 같으므로 분자량비는  $X : Y = \frac{w}{5V} : \frac{w}{4V} = 4 : 5$ 이다.

✕ X와 Y의 분자량을 각각 4M, 5M이라고 할 때, (가)에 들어 있는 X(g)의 양은  $\frac{w}{4M}$  mol이고, 넣어 준 Y(g)  $\frac{1}{4}w$  g의 양은  $\frac{w}{20M}$  mol이다. (가)에 들어 있는 분자 수비는 X : Y = 5 : 1이므로 X(g)의 부분 압력은  $\frac{5}{6}$  atm이 된다.

㉔. (나)에 들어 있는 Y(g)의 양은  $\frac{w}{5M}$  mol이고, 넣어 준 X(g)  $\frac{1}{5}w$  g의 양은  $\frac{w}{20M}$  mol이다. 따라서 혼합 기체의 양은 X(g)를 넣기 전의  $\frac{5}{4}$ 배이므로 혼합 기체의 부피는 5V L가 된다.

#### 04 기체의 부분 압력

㉕. A(g)의 부분 압력( $P_A$ )은 A(g)의 몰 분율( $X_A$ )과 혼합 기체의 전체 압력의 곱과 같으므로  $P_A=2X_A$  atm이다. 실린더 속에 들어 있는 A(g)의 양을  $m$  mol이라고 하면, B(g)  $2n$  mol을 넣었을 때  $P_A=\frac{4}{3}$  atm이므로 A(g)의 몰 분율은  $\frac{2}{3}$ 이고  $m=4n$ 이다. 또한 B(g)  $n$  mol을 넣었을 때 A(g)의 몰 분율은  $\frac{4}{5}$ 이므로  $P_A=\frac{8}{5}$  atm이다. 따라서  $x=\frac{8}{5}$ 이다.

㉖. B(g)  $y$  mol을 넣었을 때  $P_A=\frac{1}{2}$ 이므로 A(g)의 몰 분율은  $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 넣어 준 B(g)의 양(mol)은 A(g)의 3배이므로  $y=12n$ 이다.

㉗. 분자량은 B가 A의 2배이므로 A  $4n$  mol의 질량을  $4w$  g이라고 하면, B(g)  $n$  mol과  $2n$  mol의 질량은 각각  $2w$  g,  $4w$  g이다. 또한 온도와 압력이 일정할 때 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하므로 B(g)  $n$  mol과  $2n$  mol을 넣었을 때 혼합 기체의 부피는 각각 5V L, 6V L라고 가정할 수 있다. 따라서  $d_1:d_2=\frac{6w}{5V}:\frac{8w}{6V}$  이므로  $\frac{d_2}{d_1}=\frac{10}{9}$ 이다.

#### 05 보일·샤를 법칙

평형 상태 I에서 평형 상태 II로 온도를  $T_1$  K에서  $T_2$  K로 변화시켰을 때 혼합 기체의 부피가 2배가 되었으므로 온도는  $T_2=2T_1$ 이다. 대기압을  $P$  atm이라고 할 때 초기 상태에서 기체의 몰비는 He : Ne = 1 : 2이므로 He(g)의 부분 압력  $P_1=\frac{1}{3}P$  atm이다. 또한 초기 상태에서 압력을 변화시켜 상태 I이 되었을 때 혼합 기체의 부피가 2 L에서 1 L로 감소하였으므로 혼합 기체의 압력은 I에서 초기 상태에서의 2배이다. I과 II에서 혼합 기체의 압력은 같으므로 II에서 혼합 기체의 압력은  $2P$  atm이고, Ne(g)의 몰 분율은  $\frac{2}{3}$ 이므로  $P_2=\frac{2}{3}\times 2P=\frac{4}{3}P$  atm이다. 따라서  $\frac{T_1}{T_2}\times\frac{P_2}{P_1}=\frac{1}{2}\times 4=2$ 이다.

#### 06 이상 기체 방정식

$PV=nRT$ 에서  $d=\frac{PM}{RT}$ 이다. A와 B의 분자량을 각각  $a$ ,  $b$ 라고 할 때 (가)와 (나)에 들어 있는 기체의 밀도비는  
(가) : (나) =  $\frac{2a}{400R} : \frac{4b}{300R} = 3 : 2$ 이므로  $a : b = 4 : 1$ 이다.

기체의 양(mol)은  $n=\frac{PV}{RT}$ 이므로 부피가 일정할 때 기체의 양(mol)은  $\frac{P}{T}$ 에 비례한다. (나)와 (다)의 부피는 같으므로 기체의 몰비는 (나) : (다) =  $\frac{4}{300} : \frac{1}{200} = 8 : 3$ 이다. (나)에 들어 있는 B(g)의 양은  $\frac{16}{b}$  mol, (다)에 들어 있는 A(g)의 양은  $\frac{12}{a}=\frac{12}{4b}$  mol이다. (다)에 들어 있는 C(g)의 양이  $x$  mol일 때  $\frac{16}{b} : \left(\frac{3}{b}+x\right) = 8 : 3$ ,  $x=\frac{3}{b}$ 이다. 따라서 A(g)와 C(g)의 양은 모두  $\frac{3}{b}$  mol이므로 A(g)의 몰 분율은  $\frac{1}{2}$ 이고 부분 압력은  $\frac{1}{2}$  atm이다.

#### 07 기체의 성질

강철 용기 속에서 일어나는 반응의 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

$$A(g) + 4B(g) \longrightarrow 3C(g) + 2D(l)$$

반응 전(mol)	$n$	$7n$		
반응(mol)	$-n$	$-4n$	$+3n$	$+2n$
반응 후(mol)	0	$3n$	$3n$	$2n$

반응 후 강철 용기에는 B(g)  $3n$  mol이 남고 C(g)  $3n$  mol, D(l)  $2n$  mol이 생성된다. 반응 전 용기에 들어 있는 혼합 기체  $8n$  mol의 압력과 부피가  $P$  atm, 4 L이고, 반응 후 꼭지를 열었을 때 혼합 기체  $6n$  mol의 부피가 6 L이므로 혼합 기체의 압력은  $\frac{1}{2}P$  atm이다. 이때 혼합 기체에서 C(g)의 몰 분율은  $\frac{1}{2}$ , 부분 압력은  $\frac{3}{2}$  atm이므로  $\frac{3}{2}=\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}P$ 이고,  $P=6$ 이다.

#### 08 분자 사이의 힘

㉕.  $O_2$ 와  $CH_3OH$ 은 분자량은 같지만  $O_2$ 는 무극성 분자,  $CH_3OH$ 은 극성 분자이므로 기준 끓는점은  $CH_3OH$ 이  $O_2$ 보다 높다. 따라서  $x < 64$ 이다.

㉖. 분산력은 모든 분자에서 작용하는 힘으므로  $O_2(l)$  분자 사이에는 분산력이 작용한다.

㉗. 분산력은 주로 분자량이 클수록 크다. 분자량은  $CH_3OH$ 이  $H_2O$ 보다 크므로 분산력은  $CH_3OH$ 이  $H_2O$ 보다 크다. 따라서 기준 끓는점이  $H_2O$ 이  $CH_3OH$ 보다 높은 주된 이유는 분산력 때문이 아니며, 분자당 수소 결합 수, 쌍극자·쌍극자 힘의 크기 때문에 기준 끓는점은  $H_2O$ 이  $CH_3OH$ 보다 높다.

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

**01 샤를 법칙**

$PV=nRT$ 에서  $\frac{V}{T}=\frac{nR}{P}$ 이므로 압력이 일정할 때 기체의 양(mol)은  $\frac{V}{T}$ 에 비례한다.

✕ X(g)의 부피는  $\frac{1}{\text{절대 온도}}=4a$ 일 때 3b L이고, Y(g)의 부피는  $\frac{1}{\text{절대 온도}}=a$ 일 때 4b L이므로 분자 수비는 X : Y = 12ab : 4ab = 3 : 1이다. 따라서 기체의 질량이 같을 때 기체의 분자량은 기체의 양(mol)에 반비례하므로 분자량비는 X : Y = 1 : 3이다.

㉠ Y(g)의 부피는  $\frac{1}{a}$  K, P atm일 때 4b L이므로  $\frac{1}{4a}$  K, P atm일 때 Y(g)의 부피는 b L이다.

✕ X(g)의 부피는  $\frac{1}{4a}$  K, P atm일 때 3b L이므로  $\frac{1}{2a}$  K, 2P atm일 때 X(g)의 부피는 3b L이다. Y(g)의 부피는  $\frac{1}{a}$  K, P atm일 때 4b L이므로  $\frac{1}{2a}$  K, P atm일 때 Y(g)의 부피는 2b L이다. 따라서 X(g)와 Y(g)의 질량은 같으므로 온도가  $\frac{1}{2a}$  K일 때,  $\frac{2P \text{ atm에서 } X(g) \text{의 밀도(g/L)}}{P \text{ atm에서 } Y(g) \text{의 밀도(g/L)}} = \frac{\frac{3b}{1}}{\frac{1}{2b}} = \frac{2}{3}$ 이다.

**02 기체의 부분 압력**

㉠ 온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 기체의 압력과 부피의 곱에 비례하므로 (가)에 들어 있는 혼합 기체의 양을 15n mol이라고 가정할 수 있다. (가)에 들어 있는 A(g)와 B(g)의 양을 각각 (15n-x) mol, x mol이라고 하면 반응이 완결된 후 A(g)가 남았으므로 다음과 같이 양적 관계를 나타낼 수 있다.

	$2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$		
반응 전(mol)	15n-x	x	
반응(mol)	-2x	-x	+2x
반응 후(mol)	15n-3x	0	2x

(나)에서 C(g)의 몰 분율은  $\frac{2x}{15n-x} = \frac{1}{2}$ 이므로  $x=3n$ 이다. 따라서 (나)에서 혼합 기체의 양은 12n mol이므로 혼합 기체의 압력은 4P atm이다.

㉡ (다)에서 C(g)의 부분 압력은 2P atm이므로 C(g)의 양은 8n mol이다. 만일 A(g)가 모두 반응하면 추가로 생성된 C(g)의 양은 6n mol이므로 (다)에서 C(g)의 양은 12n mol이 되어 모순이다. 따라서 (나)에 넣어 준 B(g)는 모두 반응하고 반응 후 A(g)가 남으므로 X는 A(g)이다.

㉢ 추가한 B(g)의 양을 y mol이라고 할 때 양적 관계는 다음과 같다.

	$2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$		
반응 전(mol)	6n	y	6n
반응(mol)	-2y	-y	+2y
반응 후(mol)	6n-2y	0	6n+2y

반응 후 전체 기체의 양은 12n mol이고, C의 양은 8n mol이므로 A의 양(mol)은  $4n=6n-2y$ 이고,  $y=n$ 이다. 따라서 (다)에서 혼합 기체의 압력은 3P atm이고, 대기압은 P atm이므로 추 2개의 압력은 2P atm에 해당하고 추 1개를 제거하면 혼합 기체의 압력은 2P atm이다. 따라서 혼합 기체의 부피는 6V L이다.

**03 보일·샤를 법칙**

✕ (나)에서 혼합 기체의 온도를  $T_2$  K로 유지하면 부피는 절대 온도에 비례하여 변화되므로 혼합 기체의 압력은 1 atm으로 일정하게 유지되고, A(g)의 부분 압력도  $\frac{2}{3}$  atm으로 일정하다. (가)에서 온도를  $T_2$  K로 유지하면 A(g)의 부분 압력은 (가)에서가 (나)에서의  $\frac{3}{2}$ 배가 되므로 A(g)의 부분 압력은 1 atm이고 혼합 기체의 압력을  $P_t$ 라고 할 때  $1 = \frac{2}{3} \times P_t$ ,  $P_t = \frac{3}{2}$  atm이다. 따라서 (가)에서 온도를  $T_2$  K로 유지할 때 혼합 기체의 압력은  $\frac{3}{4}$ 배가 되었으므로  $T_2 = \frac{3}{4}T_1$ 이다.

㉠ A(g)와 He(g)의 양(mol)은 모두 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 혼합 기체의 질량은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다. (가)에서 혼합 기체의 부피는 1 L이고, (나)의  $T_2$  K에서 혼합 기체의 부피는  $\frac{3}{4}$  L이므로  $T_2$  K에서 혼합 기체의 밀도는 (가)에서가 (나)에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

✕ (나)에서 온도와 부피가  $T_2$  K,  $\frac{3}{4}$  L일 때 혼합 기체의 양을  $\frac{3}{4}n$  mol이라고 하면 He(g)의 몰 분율은  $\frac{1}{3}$ 이므로  $\frac{1}{4}n$  mol이다. 또한 He(g)를 추가하여 부피가 2L가 되었으므로 추가로 넣어 준 He(g)의 부피는  $\frac{5}{4}$  L에 해당하고,  $\frac{5}{4}$  L에 들어 있는 He(g)의 양은  $\frac{5}{4}n$  mol이므로 He(g)의 양은  $\frac{3}{2}n$  mol이다. 따라서 혼합 기체

의 압력은 1 atm이고, He(g)의 몰 분율은  $\frac{\frac{3}{2}}{\frac{1}{2} + \frac{3}{2}} = \frac{3}{4}$ 이므로 He(g)의 부분 압력은  $\frac{3}{4}$  atm이다.

**04 기체의 부분 압력**

㉠ (가)에서 B(g)의 압력은 1 atm이므로 A(g)의 압력은 0.5 atm이다.

㉡ 피스톤을 고정시킨 후 실린더의 온도를 2T K로 높이면 (나)에서 B(g)의 압력은 2 atm이고 (나)에서 용기에 들어 있는 혼합 기체의 압력은 2.5 atm이다. 따라서 C(g)의 부분 압력은 2 atm이므로 C(g)의 몰 분율은  $\frac{4}{5}$ 이다.

✕ A와 C의 분자량을 각각  $5M$ ,  $M$ 이라고 하고, (가)에 들어 있는 A(g)의 양을  $n$  mol, (나)에 들어 있는 A(g)와 C(g)의 양을 각각  $n$  mol,  $4n$  mol이라고 하면 기체의 부피는 같으므로 기체의 밀도는 기체의 질량에 비례한다. 따라서 기체의 질량은 (가) : (나) =  $5M \times n$  :  $(5M \times n + M \times 4n) = 5 : 9$ 이므로 기체의 밀도는 (나)에서가 (가)에서의  $\frac{9}{5}$ 배이다.

## 05 이상 기체 방정식

강철 용기 I, II에 들어 있는 He(g), Ne(g), Ar(g)의 양은 각각  $\frac{w}{4}$  mol,  $\frac{5w}{20} = \frac{w}{4}$  mol,  $\frac{5w}{40} = \frac{w}{8}$  mol이다. 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하므로 꼭지를 열고 충분한 시간이 흘렀을 때, I과 II 왼쪽 부분의 부피가 같으므로 꼭지를 다시 닫으면 I과 II의 왼쪽에는 각각 He(g)  $\frac{w}{8}$  mol과 Ne(g)  $\frac{w}{8}$  mol이 들어 있다. 분리막을 제거하면 He(g)  $\frac{w}{8}$  mol, Ne(g)  $\frac{w}{8}$  mol, Ar(g)  $\frac{w}{8}$  mol이 II에 들어 있으며 II에 들어 있는 기체의 질량은 He(g)  $\frac{1}{2}w$  g, Ne(g)  $\frac{5}{2}w$  g, Ar(g)  $5w$  g이므로 혼합 기체의 질량은  $8w$  g이다. 꼭지를 열기 전 I에 들어 있는 He(g)의 압력을  $P$  atm이라고 할 때  $PV = nRT$ 로부터  $w = \frac{PVM}{RT}$ 이므로  $w = \frac{4PV}{400a}$ 이다. 따라서 II에 들어 있는 혼합 기체의 밀도는  $\frac{8w}{3V} = \frac{8}{3V} \times \frac{4PV}{400a} = \frac{2P}{75a}$ 이므로  $\frac{2P}{75a} = \frac{3}{25a}$ ,  $P = \frac{9}{2}$ 이다. 꼭지를 열고 다시 닫은 후 I에 들어 있는 혼합 기체의 압력은  $\frac{9}{2}$  atm이고, He(g)의 몰 분율이  $\frac{1}{2}$ 이므로 He(g)의 부분 압력은  $\frac{9}{4}$  atm이다.

## 06 기체의 성질

(나) 과정 후 강철 용기와 실린더에 들어 있는 혼합 기체의 압력과 부피는 1 atm, 8 L( $V=6$ 이므로)이고, (다) 과정 후 혼합 기체의 압력은 2 atm이므로 실린더의 부피는 2 L이다.

기체의 양(mol)은  $\frac{PV}{T}$ 에 비례하므로 (가)에서 용기에 들어 있는 A(g)의 양을  $\frac{4}{T}$  mol이라고 하면 (나)에서 혼합 기체의 양은  $\frac{1 \times (2+6)}{\frac{4}{3}T} = \frac{6}{T}$  mol이다. 따라서 B(g)의 양은  $\frac{2}{T}$  mol이므로  $X_B = \frac{1}{3}$ 이다.

(다)에서 혼합 기체의 압력은 2 atm이므로 강철 용기와 실린더에 들어 있는 기체의 부피는 4 L이다. A와 B의 분자량을 각각  $a$ ,  $b$ 라고 할 때 (가)에서 A(g)의 질량은  $\frac{4a}{T}$  g이고 B(g)의 질량은  $\frac{2b}{T}$  g이다.

$d_1 : d_2 = \frac{\frac{4a}{T}}{\frac{4a}{T} + \frac{2b}{T}} = 2 : 3$ 이므로  $4a = b$ 이다. 따라서  $\frac{B의 분자량}{A의 분자량} \times X_B = \frac{4}{3}$ 이다.

## 07 기체의 성질

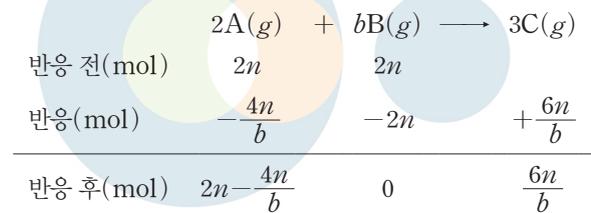
일정한 온도에서 기체의 양(mol)은 기체의 압력과 부피의 곱에 비례하므로 (가)에서 실린더 I에 들어 있는 He(g)과 A(g)의 양은 각각  $n$  mol,  $2n$  mol, 실린더 II에 들어 있는 B(g)의 양은  $2n$  mol이라고 가정할 수 있다.

(나)에서 꼭지 a를 열어 반응을 완결시킨 후 온도를  $\frac{2}{3}T$  K로 유지시킬 때 He(g)의 압력은 1 atm이고 He(g)의 부피를  $V_1$  L라고 할 때  $\frac{2 \times 0.5}{T} = \frac{1 \times V_1}{\frac{2}{3}T}$ ,  $V_1 = \frac{2}{3}$ 이므로 He(g)의 부피는  $\frac{2}{3}$  L이고,

실린더 I의 피스톤 오른쪽에 있는 혼합 기체의 부피는  $\frac{5}{6}$  L이다. 따라서 실린더 II의 부피는  $\frac{5}{6}$  L이므로 실린더 I과 II에 들어 있는 혼합 기체의 압력과 부피는 1 atm,  $\frac{10}{6}$  L이다. 압력이 일정할 때 기체

의 양(mol)은  $\frac{\text{기체의 부피}}{\text{절대 온도}}$ 에 비례하므로 (나) 과정 후 혼합 기체의 양을  $x$  mol이라고 할 때  $\frac{2}{T} : \frac{\frac{10}{6}}{\frac{2}{3}T} = 2n : x$ 므로  $x = \frac{5}{2}n$ 이다.

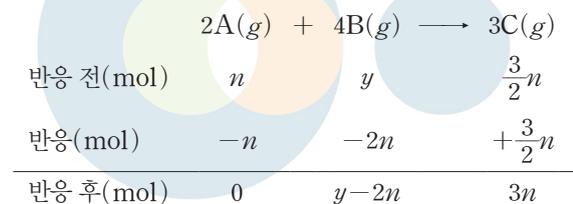
만일 (나)에서 A(g)  $2n$  mol이 모두 반응하면 생성된 C(g)의 양은  $3n$  mol로 혼합 기체의 양  $\frac{5}{2}n$  mol보다 크므로 맞지 않다. 따라서 B(g)가 모두 반응했고, 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.



$2n - \frac{4n}{b} + \frac{6n}{b} = \frac{5n}{2}$ 이므로  $b = 4$ 이다.

(나) 과정 후 A(g)가 남으므로 X(g)는 B(g)이다. 만일 (다)에서 B(g)가 모두 반응한다면 반응 후 C(g)의 몰 분율은

반응 전  $\frac{C의 양(mol)}{A의 양(mol) + C의 양(mol)}$ 인  $\frac{3}{5}$ 보다 크므로 제시된 자료에 맞지 않는다. 따라서 (다)에서 A(g)가 모두 반응하고 B(g)의 양을  $y$  mol이라고 할 때, 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.



C의 몰 분율은  $\frac{3n}{y+n} = \frac{3}{5}$ ,  $y = 4n$ 이다.

(다)에서 반응을 완결시킨 후 온도를  $\frac{3}{4}T$  K로 높이면 He(g)  $n$  mol의 부피는  $\frac{3}{4}$  L이므로, 혼합 기체  $5n$  mol의 부피는  $\frac{15}{4}$  L이다. 실린더 I에 들어 있는 혼합 기체의 부피는  $\frac{3}{4}$  L, 강철 용기에 들어 있는 혼합 기체의 부피는 2 L이므로 실린더 II의 부피는 1 L이다.

따라서  $V=1$ 이다. 또한 (가)에서 강철 용기에 들어 있는  $X(g)$ 의 양은  $4n$  mol이므로  $1 \times 2 : P \times 2 = 2n : 4n$ ,  $P=2$ 이다. 따라서  $b \times \frac{V}{P} = 4 \times \frac{1}{2} = 2$ 이다.

### 08 분자 사이의 힘

- ㉠. 분자 사이의 힘은 기준 끓는점이 높을수록 크므로 기준 끓는점이 가장 큰 (다)가 분자 사이의 힘이 가장 크다.
- ㉡. (나)의 기준 끓는점은  $0^\circ\text{C}$ 보다 낮으므로  $0^\circ\text{C}$ , 1 atm에서 (나)의 안정한 상은 기체이다.
- ㉢. (다)는 (가)~(다) 중 분자량이 가장 작으므로  $\text{H}_2\text{O}$ 이다. 따라서 분자량은 (다)가 (가)보다 작는데, 기준 끓는점은 (다)가 (가)보다 높은 주된 이유는 (다) 분자 사이에 수소 결합이 존재하기 때문이다.

THEME

02

## 액체와 고체

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 016쪽

### 정답 ⑤

$X(g)$ 와  $Y(g)$ 는 각각  $T_1 \text{ K}$ ,  $T_2 \text{ K}$ 에서 액화되어 평형에 도달 하였으므로  $T_1 \text{ K}$ 에서  $Y(g)$ 의 안정한 상은 기체이다. 부피가 일정할 때 기체의 절대 온도는 압력에 비례하므로  $T_1 = 320$ 이다.

㉠.  $T_1 > T_2$ 이고  $T_2 \text{ K}$ 일 때  $Y(l)$ 의 증기 압력은 0.6 atm이므로 320 K일 때  $Y(l)$ 의 증기 압력은 0.6 atm보다 높다.

㉡.  $T_1 \text{ K}$ 에서 증기 압력은  $Y$ 가  $X$ 보다 크므로 기준 끓는점은  $X$ 가  $Y$ 보다 높다.

㉢. 부피가 같을 때 기체의 양(mol)은  $\frac{P}{T}$ 에 비례하므로

$X(g)$ 의 몰비는  $\frac{1}{400} : \frac{0.6}{320} = 4 : 3$ 이다. 따라서  $T_1 \text{ K}$ 에서

$X(g)$ 와  $X(l)$ 의 몰비는 3 : 1이므로  $\frac{X(g) \text{의 질량(g)}}{X(l) \text{의 질량(g)}} = 3$ 이

다.  $T_2 \text{ K}$ 에서  $Y(g)$ 의 압력은 0.6 atm이지만  $T_1 > T_2$ 이므로  $Y(g)$ 의 양(mol)은  $T_1 \text{ K}$ 에서  $X(g)$ 의 양(mol)보다 크다.

따라서  $T_2$ 에서  $\frac{Y(g) \text{의 질량(g)}}{Y(l) \text{의 질량(g)}} > 3$ 이다.

### 수능 2점 테스트

본문 017~018쪽

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

### 01 수소 결합과 물의 성질

(가)에서 물 분자 사이의 결합인 결합 A는 수소 결합이다.

✗. 1 g당 수소 결합 수는 분자당 수소 결합 수에 비례한다.  $\text{H}_2\text{O}(s)$ 에서 분자당 수소 결합 수는 4이고,  $\text{H}_2\text{O}(s)$ 이  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 될 때 수소 결합 일부가 끊어지므로  $0^\circ\text{C}$   $\text{H}_2\text{O}(l)$ 에서 분자당 수소 결합 수는 4보다 작다. 따라서 (나)에서 1 g당 결합 A의 수는  $\text{H}_2\text{O}(s)$ 이  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 보다 크다.

㉠.  $\text{H}_2\text{O}(l)$  1 mL당 분자 수는 밀도에 비례하며  $4^\circ\text{C}$   $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 밀도가 가장 크다. 따라서  $\text{H}_2\text{O}(l)$  1 mL당 분자 수는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

✗.  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 표면 장력은 온도가 높을수록 작아지므로 (나)에서가 (다)에서보다 크다.

### 02 물의 표면 장력

액체가 표면적을 최소화하려는 힘을 표면 장력이라고 한다. 물이 가득 들어 있는 유리컵에 클립을 넣으면 물의 표면에 있는 분자들이 표면적을 최소화하려는 힘이 작용하기 때문에 물이 넘쳐 흐르지 않고 표면이 둥글게 형성이 된다. 물이 다른 물질보다 표면 장력이 큰 이유

는 물 분자 사이의 수소 결합 때문에 물 분자 사이의 힘이 크기 때문이다. 따라서 ㉠은 표면 장력, ㉡은 수소 결합이다.

### 03 물의 성질

A는 0°C 얼음, B는 0°C 물이다. B → A로 상태가 변할 때 1g의 부피가 증가하므로 물이 얼음이 될 때 부피가 증가하고, 밀도가 감소한다.

- ㉠. 추운 겨울에 수도 계량기를 단열 처리하지 않으면 물이 얼게 되고 물이 얼 때 부피가 증가하므로 수도 계량기가 동파된다.  
 ㉡. 0°C 얼음의 밀도가 0°C 물의 밀도보다 작으므로 호수에서 물이 표면부터 얼게 된다.  
 X. 무더운 여름 마당에 물을 뿌리면 물이 수증기로 상태가 변하면서 주위의 열을 흡수하므로 시원해진다. 이 현상은 물의 기화열과 관련이 있다.

### 04 증기 압력

- ㉠. X(l)와 Y(l)를 각각 단위 시간당 동일한 열원으로 가열했을 때 78°C에서 Y(l)는 끓었지만, X(l)는 끓지 않았으므로 액체 상태에서 분자 사이의 힘은 X(l)가 Y(l)보다 크다. 따라서 20°C에서 액체의 증기 압력은 Y(l)가 X(l)보다 크다.  
 ㉡. 액체의 증기 압력과 대기압이 같을 때 액체는 끓게 되고, 이때의 온도를 끓는점이라고 한다. 78°C에서 X(l)는 끓지 않으므로 X(l)의 증기 압력이 1 atm보다 작다.  
 ㉢. 기준 끓는점은 X(l) > Y(l)이므로 분자 사이의 힘은 X(l) > Y(l)이다.

### 05 증기 압력

- ㉠. 기준 끓는점은 액체의 증기 압력이 1 atm일 때의 온도이므로 C > B이다.  
 X. t°C에서 A(l)의 증기 압력은 0.8 atm보다 크고, B(l)의 증기 압력은 0.8 atm보다 작으므로 t°C에서 증기 압력은 A가 B보다 크다.  
 ㉡. t°C, 0.8 atm에서 B(l)와 C(l)의 증기 압력은 0.8 atm보다 모두 작아지므로 B(l)와 C(l)는 모두 끓기 전이다. 따라서 t°C, 0.8 atm에서 B와 C의 안정한 상은 모두 액체이다.

### 06 증기 압력

- 온도가 높을수록 액체의 증기 압력은 증가하고 증기 압력과 대기압이 같을 때 액체는 끓게 되며, 이때의 온도를 끓는점이라고 한다.  
 ㉠. t°C에서 X(l)의 증기 압력은 300 mmHg이므로 대기압이 760 mmHg일 때, h = 460 mm이다.  
 ㉡. 액체의 증기 압력은 대기압에서 수은의 높이 차 h를 뺀 값과 같다. 따라서 온도를 2t°C로 높이면 X(l)의 증기 압력은 증가하므로 h는 작아진다.  
 ㉢. t°C에서 X(l)의 증기 압력은 300 mmHg이므로 외부 압력이 300 mmHg일 때 X(l)의 증기 압력과 외부 압력이 같아져 X(l)

는 끓게 된다. 따라서 외부 압력이 300 mmHg일 때 X(l)의 끓는 점은 t°C이다.

### 07 결정의 종류와 성질

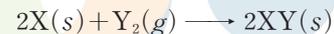
액체 상태에서 전기 전도성이 있는 물질은 Cu(s)와 NaCl(s)이고, 화합물은 NaCl(s)이므로 X는 Cu(s), Y는 C(s, 다이아몬드), Z는 NaCl(s)이다.

- ㉠. X의 결정 구조 모형에서 Cu 입자는 면의 중심과 꼭짓점에 존재하므로 Cu(s)는 면심 입방 구조를 갖는다.  
 ㉡. Y는 C(s, 다이아몬드)이므로 공유 결정이다.  
 ㉢. Z는 NaCl(s)으로 양이온과 음이온으로 이루어져 있는 이온 결정이다.

### 08 결정의 종류

이온 결정에서 양이온의 총 전하량의 크기와 음이온의 총 전하량의 크기는 같다.

- ㉠. X(s)의 결정 구조에서 X는 정육면체의 중심과 꼭짓점에 존재하므로 X(s)는 체심 입방 구조를 갖는다.  
 ㉡. (나)에서 X 이온은 면 중심과 꼭짓점에 존재하므로 X 이온 수는  $\frac{1}{2} \times 6 + \frac{1}{8} \times 8 = 4$ 이고, Y 이온은 정육면체의 중심과 모서리에 존재하므로 Y 이온 수는  $1 + \frac{1}{4} \times 12 = 4$ 이다. 따라서 X 이온과 Y 이온은 1 : 1로 결합하므로 ㉠은 XY(s)이고, 제시된 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



- X. Y<sub>2</sub>는 분자이므로 Y<sub>2</sub>(s)는 분자 결정이다.

### 수능 3점 테스트

본문 019~021쪽

01 ㉠      02 ㉤      03 ㉡      04 ㉣      05 ㉢  
 06 ㉤

### 01 물의 성질

분자당 수소 결합 수는 ㉠이 가장 크므로 ㉠은 A에 해당된다. 1g의 부피는 밀도에 반비례하므로 밀도가 작을수록 크다. 1g의 부피는 ㉠ > ㉡이므로 만일 ㉠이 B라면 ㉡은 D이고 ㉢은 C인데, 표면 장력은 ㉡ > ㉠이므로 자료에 맞지 않는다. 만일 ㉠이 D라면 ㉡은 B 또는 C인데 표면 장력은 ㉡ > ㉠이므로 ㉡은 B, ㉢은 C에 해당한다. 따라서 ㉠은 A, ㉡은 D, ㉢은 B, ㉣은 C이다.

- ㉠. ㉡은 D이다.  
 X. 액체의 증기 압력은 온도가 높을수록 크다. H<sub>2</sub>O(l)의 온도는 ㉠이 ㉡보다 높으므로 증기 압력은 ㉠이 ㉡보다 크다.  
 X. 1 mL당 분자 수는 밀도에 비례한다. 밀도는 ㉡이 ㉠보다 크므로 1 mL당 분자 수는 ㉡이 ㉠보다 크다.

## 02 표면 장력

동일한 부피의 액체 방울이 둥근 모양일수록 표면 장력이 크다. 실험 I의 결과에서 액체 방울의 모양을 통해 표면 장력은 25°C 물이 가장 크다는 것을 알 수 있다. 또한 표면 장력이 클수록 액체의 표면에 있는 분자들이 표면적을 최소화하려는 힘이 크게 작용하기 때문에 액체가 흐르지 않고 둥글게 형성이 된다. 따라서 동일한 컵에 가득 채운 같은 부피의 액체에 동전을 넣었을 때 액체가 넘치기 시작할 때까지 넣어 준 동전의 수가 많을수록 표면 장력이 크다.

- ㉠ 실험 I로부터 25°C에서 표면 장력은 물이 에탄올보다 크다는 것을 알 수 있다.
- ㉡ 실험 I에서 액체 방울의 둥근 모양으로부터 표면 장력은 25°C 물이 50°C 물보다 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 온도가 높을수록 물의 표면 장력은 작아지므로, II에서 25°C 물이 넘치기 시작할 때까지 넣은 동전의 수는 25°C 물에서가 50°C 물에서보다 크므로  $a > c$ 이다.
- ㉢ 표면 장력은 50°C의 물이 25°C 에탄올보다 크므로 표면적을 최소화하려는 힘이 크게 작용한다. 따라서 동일한 유리컵에 최대 채울 수 있는 액체의 부피는 50°C의 물이 25°C의 에탄올보다 크다.

## 03 액체의 증기 압력

$t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 A(l)가 B(l)보다 크므로 ㉠은 A(l), ㉡은 B(l)이다.

- ✗  $t^\circ\text{C}$ 에서 A(l), B(l)의 증기 압력(mmHg)은 각각  $a$ ,  $b$ 이므로 물의 증기 압력(mmHg)을  $P_1$ 이라고 할 때  $P_1 - a = h$ 이고,  $P_1 - b = 2h$ 이므로  $a - b = h$ 이다.
- ㉣  $t^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력은 물이 A(l)와 B(l)보다 크므로 분자 사이의 힘은 물이 A(l)와 B(l)보다 작다. 따라서  $t^\circ\text{C}$ ,  $b$  mmHg에서 B의 안정한 상은 액체와 기체이며, H<sub>2</sub>O의 안정한 상은 기체이다.
- ✗ 외부 압력이  $a$  mmHg일 때 A(l)의 끓는점은  $t^\circ\text{C}$ 이고, 증기 압력은 A(l)가 B(l)보다 크므로 외부 압력이  $a$  mmHg일 때 B(l)의 끓는점은  $t^\circ\text{C}$ 보다 높다.

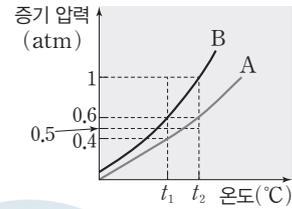
## 04 액체의 증기 압력

- ✗ 시간에 따른 A(l)와 B(l)의 부피(상댓값)로부터 25°C에서 액체의 증기 압력은 B(l)가 A(l)보다 크다는 것을 알 수 있다. 따라서  $P_2 > P_1$ 이다.
- ㉣ 외부 압력이  $P_2$  atm일 때 B(l)의 끓는점은 25°C이고, 분자 사이의 힘은 A(l)가 B(l)보다 크므로 A(l)의 끓는점은 25°C보다 높다.
- ㉤ 3t에서 B(l)의 온도를 50°C로 높이면 B(l)의 증기 압력은 증가한다. 또한  $PV = nRT$ 에서 기체의 부피가 일정할 때 기체의 압력은 단위 부피당 기체의 양(mol)에 비례( $P \propto \frac{n}{V}$ )하므로 3t에서 B(l)의 온도를 50°C로 높이면 용기 속 단위 부피당 B(g)의 양(mol)은 증가한다.

## 05 외부 압력과 끓는점

외부 압력과 증기 압력이 같을 때 액체는 끓게 되고, 이때의 온도를

끓는점이라고 한다. 외부 압력에 따른 A(l)와 B(l)의 끓는점으로부터 온도에 따른 A(l)와 B(l)의 증기 압력을 나타내면 그림과 같다.



- ㉠ 외부 압력이 0.6 atm일 때 끓는점은 A(l)가 B(l)보다 크므로 분자 사이의 힘은 A가 B보다 크다.
- ✗ 외부 압력이 1 atm일 때 B(l)의 끓는점은  $t_2^\circ\text{C}$ 이므로  $t_2^\circ\text{C}$ 에서 B(l)의 증기 압력은 1 atm이다.
- ㉢ 외부 압력이 0.5 atm일 때 A(l)와 B(l)의 끓는점은 모두  $t_2^\circ\text{C}$ 보다 낮으므로  $t_2^\circ\text{C}$ , 0.5 atm에서 A와 B의 안정한 상은 모두 기체이다. 따라서  $t_2^\circ\text{C}$ , 0.5 atm에서 A와 B의 안정한 상의 수는 모두 1이다.

## 06 결정의 구조와 성질

A는 화합물이므로 CsCl(s)이고, 서로 다른 두 입자가 존재하므로 A의 결정 구조 모형은 ㉠이다. A의 단위 세포에는 꼭짓점과 정육면체의 중심에 입자가 존재하므로 단위 세포에 포함된 입자 수는  $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ 이다. 또한 B와 C의 결정 구조 모형은 각각 ㉡과 ㉢ 중 하나인데 ㉠은 체심 입방 구조로 꼭짓점과 정육면체의 중심에 입자가 존재하므로 단위 세포에 포함된 입자 수는  $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ 이고, ㉡은 면심 입방 구조로 꼭짓점과 면 중심에 입자가 존재하므로 단위 세포에 포함된 입자 수는  $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ 이다. 따라서 단위 세포에 들어 있는 입자 수는 B가 A의 2배이므로 B의 결정 구조 모형은 ㉢이고 C의 결정 구조 모형은 ㉠이다.

- ㉠ A는 이온 결정이므로 A의 결정 구조 모형은 ㉠이다.
- ㉡ B의 결정 구조는 ㉢인 면심 입방 구조이므로 단위 세포에 포함된 입자 수는 4이다.
- ㉢ C의 결정 구조는 ㉠인 체심 입방 구조이며 단위 세포에서 한 입자에 가장 가까운 입자는 정육면체의 중심과 꼭짓점에 존재하는 입자이므로 한 입자에 가장 인접한 입자의 수는 8이다.

THEME

03

## 용액의 농도

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 024쪽

정답 ②

$x\%$  A(aq) 120 g 중 용질(A)의 질량은  $120 \times \frac{x}{100} = \frac{6}{5}x$  g, 용매인 물의 질량은  $(120 - \frac{6}{5}x)$  g이다. 또 A의 화학식량이 100이므로 0.5 M A(aq)에서 물과 용질 A의 질량비는  $1000 : 50 = 20 : 1$ 이다. 따라서 0.5 M A(aq)  $y$  g 중 A의 질량은  $\frac{1}{21}y$  g, 물의 질량은  $\frac{20}{21}y$  g이며, 0.5 M A(aq)  $2y$  g 중 A의 질량은  $\frac{2}{21}y$  g, 물의 질량은  $\frac{40}{21}y$  g이다. (가)의 몰랄 농도

$$(m) = \frac{\frac{\frac{6}{5}x + \frac{1}{21}y}{100}}{120 - \frac{6}{5}x + \frac{20}{21}y} = 1, \text{ (나)의 몰랄 농도}(m) \text{는}$$

$$\frac{\frac{\frac{6}{5}x + \frac{2}{21}y}{100}}{120 - \frac{6}{5}x + \frac{40}{21}y} = 0.8 \text{이다. 두 식을 연립하며 풀면}$$

$$x = \frac{50}{3}, y = 210 \text{이므로 } x \times y = 3500 \text{이다.}$$

수능 2점 테스트

본문 025~026쪽

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

## 01 ppm 농도와 몰 농도

(가)는 용액  $10^6$  g에 용질 400 g이 녹아 있으므로 수용액 1000 g에는 용질 0.4 g이 녹아 있으며, 밀도가 1 g/mL이므로 용액 1 L에 용질 0.4 g이 녹아 있다.

㉠ (가)의 몰 농도가 0.01 M이므로 0.4 g의 A는 0.01 mol이다. 따라서 A의 화학식량은 40이다.

✕ (나)는 용액 1000 g에 용질 4 g(=0.1 mol)이 녹은 수용액이며, 용액 1000 g의 부피는  $\frac{1000}{1.05}$  mL이다. 따라서 (나)의 몰 농도(M)는  $0.1 \times 1.05 = 0.105$ 이므로 ㉡은 0.105이다.

㉢ ppm 농도와 퍼센트 농도는 모두 용액 질량에 대한 용질 질량의 비율로 구한다. 따라서 ppm 농도가 (나)가 (가)의 10배이므로 퍼센트 농도(%)도 (나)가 (가)의 10배이다.

## 02 용액의 농도

용액의 부피는  $\frac{\text{용액의 질량}}{\text{용액의 밀도}}$ 으로 구한다. 따라서 용액 505 g의 밀도 가 1.01 g/mL이므로 용액의 부피는 500 mL이다.

✕ 용액에 녹아 있는 용질의 양(mol)은 몰 농도(M) × 용액의 부피(L)이므로  $0.5 \times 0.5 = 0.25$  (mol)이다.

㉠ 용질의 화학식량이 60이므로 용질 0.25 mol의 질량은 15 g이고, 용매인 물의 질량은 490 g이다. 따라서 용액의 몰랄 농도(m)는

$$\frac{0.25}{\frac{490}{1000}} = \frac{25}{49} \text{이므로 } 0.5 \text{보다 크다.}$$

✕ 퍼센트 농도(%)는  $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}} \times 100$ 이다. 따라서 용액의

퍼센트 농도는  $\frac{15}{505} \times 100 = \frac{300}{101}$  (%)이므로 3%보다 작다.

## 03 몰 농도와 몰랄 농도

0.5 M A(aq)은 물 1000 g에 A 20 g이 녹아 있는 수용액이며, 이 용액의 몰 농도가 0.5 M이므로 1020 g의 부피가 1000 mL가 된다. 따라서 수용액의 밀도는 1.02 g/mL이고,  $d = 0.02$ 이다.

$x$  M B(aq)의 밀도는  $1 + 3 \times 0.02 = 1.06$  g/mL이므로 B  $x$  mol(=180x g)이 녹아 있는 수용액 1000 mL의 질량은 1060 g이다. 이 용액의 몰랄 농도가  $x$  m이므로  $1060 - 180x : x = 1000 : x$ 이고,  $x = \frac{1}{3}$ 이다. 따라서  $d + x = \frac{1}{50} + \frac{1}{3} = \frac{53}{150}$ 이다.

## 04 온도가 다른 수용액

몰 농도는 온도에 따라 달라지지만 몰랄 농도와 퍼센트 농도는 온도가 달라져도 변하지 않는다.

㉠ (가)의 밀도가 1 g/mL이므로 용액의 질량은 100 g이다. 0.1 M A(aq)은 물 1000 g에 용질 0.1 mol(=4 g)이 녹아 있는 용액이므로 (가)에 녹아 있는 용질의 양(mol)은  $0.1 \times \frac{100}{1004} \approx 0.00996$ 이고, 몰 농도는 약 0.0996 M이므로 0.1 M보다 작다.

㉡ (나)를  $t^\circ\text{C}$ 로 냉각시켜도 용액의 몰랄 농도는 변하지 않는다. (나)의 밀도가 1 g/mL이므로 (나) 100 g에는 용질 0.01 mol(=0.4 g)이 녹아 있고, 용매의 질량은 99.6 g이다. 따라서 (나)의 몰랄 농도(m)는  $\frac{0.01}{\frac{99.6}{1000}} \approx 0.1004$ 이므로 0.1보다 크다.

㉢ (가)와 (나)를 혼합한 용액의 전체 질량은 200 g이고 용질의 질량은  $40 \times 0.1 \times \frac{100}{1004} + 0.4 = 0.7984$  g이므로 퍼센트 농도(%)는  $\frac{0.7984}{200} \times 100 = 0.3992$  (%)가 되어 0.4%보다 작다.

## 05 퍼센트 농도와 몰랄 농도

(가)의 퍼센트 농도(%)는  $\frac{100w}{50+w}\%$ , (나)의 퍼센트 농도(%)는  $\frac{100w}{80+w}\%$ 이다.

㉠ 퍼센트 농도(%)의 비는  $\frac{100w}{50+w} : \frac{100w}{80+w} = 3 : 2$ 이므로  $w = 10$ 이며,  $b = \frac{50}{3}$ 이다.

㉡ X의 화학식량을 M이라고 할 때, (가)의 몰랄 농도(m)는

$$\frac{\frac{10}{M}}{\frac{50}{1000}}=2 \text{이다. 따라서 } M=100 \text{이다.}$$

㉔. 용매의 질량(g)은 (나)가 (가)의  $\frac{8}{5}$ 배이므로 몰랄 농도( $m$ )는 (나)가 (가)의  $\frac{5}{8}$ 배이다. 따라서  $x=\frac{5}{4}$ 이다.

## 06 몰 분율과 몰랄 농도

수용액의 몰랄 농도가  $a m$ 이므로 물 1000 g에 포도당  $a \text{ mol}$ 이 녹아 있다. 물 1000 g은  $\frac{1000}{18} \text{ mol}$ 이므로 용질의 몰 분율은  $x=\frac{a}{\frac{1000}{18}+a}$ 이고,  $a=\frac{500x}{9-9x}$ 이다.

## 07 용액의 희석과 ppm 농도

퍼센트 농도(%)는  $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}} \times 100$ 이며, ppm 농도(ppm)는  $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}} \times 10^6$ 이다.

0.02%는 용액 100 g에 용질 0.02 g이 녹아 있는 비율의 용액이므로 ppm 농도로는 200 ppm이다. 200 ppm을  $y \text{ ppm}$ 으로 희석하려면 용액의 질량은  $\frac{200}{y}$ 배가 되어야 한다. 따라서  $x : x+10 =$

$$1 : \frac{200}{y} \text{이므로 } x=\frac{10y}{200-y} \text{이다.}$$

## 08 용액의 희석

실험 I에서 몰 농도가  $\frac{1}{3}$ 배로 감소하였으므로 용액의 부피는 희석 후가 희석 전의 3배인 600 mL이다. 희석 전과 후 용액의 밀도가 모두 1.2 g/mL이므로 X(aq) 200 mL의 질량은 240 g이고, 희석 후 X(aq)의 질량은 720 g이다. 따라서  $w=480$ 이다.

실험 II에서 5 m X(aq) 228 g은 물 120 g에 X 108 g(0.6 mol)이 녹아 있는 용액이다. 여기에 물 480 g을 가하면 용매의 양이 5배가 되므로 몰랄 농도는  $\frac{1}{5}$ 배가 된다. 따라서  $x=1$ 이다.

실험 III에서 30% X(aq) 240 g에 물 480 g을 가하면 용액의 질량이 3배가 되므로 퍼센트 농도(%)는 희석 전의  $\frac{1}{3}$ 배인 10%가 된다.

$$\text{따라서 } y=10 \text{이고 } \frac{w}{x \times y}=\frac{480}{1 \times 10}=48 \text{이다.}$$

### 수능 3점 테스트

본문 027~029쪽

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

## 01 일정한 몰 농도의 용액 만들기

0.1 M의 수용액은 용액 1 L에 용질 0.1 mol이 녹아 있는 비율의 용액이다.

㉑. 0.1 M 용액 250 mL에는 용질 0.025 mol이 녹아 있고, NaOH의 화학식량은 40이므로  $x=40 \times 0.025=1$ 이다.

㉒. ㉑은 부피 플라스크이다. 부피 플라스크는 정확한 농도의 용액을 만들기에 적합하다.

✕. (마)에서 표시선보다 높게 물을 넣었을 경우, 용액의 농도는 0.1 M보다 작아졌으므로 초과된 용액을 덜어내어도 용액의 농도는 0.1 M보다 작다.

## 02 용액의 부피와 농도

A(aq)과 B(aq)의 몰 농도가 같으므로 같은 부피의 용액 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)이 같다.

㉑. 용액의 부피는 A(aq)이 B(aq)보다 크므로 녹아 있는 용질의 양(mol)도 A(aq)이 B(aq)보다 크다.

㉒. 녹아 있는 용질의 질량(g)은 [몰 농도  $\times$  용액의 부피  $\times$  용질의 화학식량]에 비례한다. 용질의 화학식량은 B가 A의 3배이지만, 용액의 부피는 A(aq)이 B(aq)의 3배보다는 작으므로 녹아 있는 용질의 질량은 B(aq)이 A(aq)보다 크다.

㉓. 같은 부피의 A(aq)과 B(aq)에는 같은 양(mol)의 용질이 녹아 있고, 용질의 화학식량은 B가 A의 3배이므로 같은 부피의 A(aq)과 B(aq)에 들어 있는 용질의 질량은 B(aq)이 A(aq)의 3배이다.

## 03 용액의 혼합

A의 화학식량이 100이므로 몰랄 농도가 2 m인 수용액 120 g은 물 100 g에 A 20 g(=0.2 mol)에 녹아 있는 용액이며,  $x\%$  A(aq) 100 g은 물 (100-x) g에 A  $x \text{ g}$ 이 녹아 있는 용액이다. 따라서 2 m A(aq) 120 g에  $x\%$  A(aq) 100 g을 가한 혼합 용액은 물 (200-x) g에 A (20+x) g이 녹아 있는 용액이므로 혼합 용액의

$$\text{몰랄 농도}(m) \text{는 } \frac{\frac{20+x}{1000}}{\frac{200-x}{1000}}=\frac{20}{9} \text{이다. 이를 풀면 } x=20 \text{이고,}$$

20% A(aq) 200 g은 물 160 g에 A 40 g이 녹아 있으므로

$$y=\frac{\frac{60}{1000}}{\frac{260}{1000}}=\frac{30}{13} \text{이고 } \frac{x}{y}=\frac{20}{\frac{30}{13}}=\frac{26}{3} \text{이다.}$$

## 04 용액의 농도와 몰 분율

용질의 양(mol)은 (가)와 (나)에서 같은데 몰랄 농도는 (가)가 (나)의  $\frac{5}{2}$ 배이므로 용매의 질량은 (가)가 (나)의  $\frac{2}{5}$ 배이다. 따라서  $x=360$ 이다.

$$\text{㉑. (가)의 퍼센트 농도가 } \frac{100}{7}\% \text{이므로 } \frac{w}{360+w} \times 100=\frac{100}{7},$$

$w=60$ 이고, (나)에서 용매의 양이 50 mol인데 용질의 몰 분율이  $\frac{1}{51}$ 이므로 (나)에서 용질의 양은 1 mol이다. 따라서 A의 화학식량은 60이다.

✕.  $w=60$ 이며, (다)는 용질 10 mol이 물 900 g(=50 mol)에 녹은 수용액이므로 (다)에서 용질의 몰 분율은  $\frac{1}{6}$ 이다. 따라서  $a=5$ 이다.

㉔. (나)는 물 900 g에 용질 1 mol이 녹아 있는 수용액이므로 몰랄 농도( $y$ )는  $\frac{10}{9} m$ 이다. (다)의 퍼센트 농도( $z$ )는  $\frac{600}{900+600} \times 100 = 40(\%)$ 이다. 따라서  $x=360, y=\frac{10}{9}, z=40$  이므로  $x \times y = 10z$ 이다.

### 05 퍼센트 농도와 몰 농도

물질의 밀도와 부피로부터 물질의 질량을 구할 수 있다.

㉑. A(l)의 밀도가 0.8 g/mL이고, 부피가 30 mL이므로 질량( $x$ )은  $0.8 \times 30 = 24 g$ 이다.

㉒. (나) 과정 후 수용액의 질량은 99 g이고, 용질인 A의 질량은 24 g이므로 퍼센트 농도는  $\frac{24}{99} \times 100 = \frac{800}{33}(\%)$ 이다.

✕. A의 분자량이 32이므로 A 24 g은 0.75 mol이다. 따라서 (나) 과정 후 A 0.75 mol이 100 mL의 수용액에 녹아 있으므로 몰 농도는 7.5 M이다.

### 06 농도가 다른 용액의 혼합

(가)는 물 100 g에 용질 10 g(=0.1 mol)이 녹아 있는 용액이며, (나)는 밀도가 1 g/mL이므로 부피는 110 mL이고, 몰 농도가 1 M이므로 용액 1000 mL에 용질 100 g(=1 mol)이 녹아 있어 110 mL에는 용질 11 g이 녹아 있다. 따라서 (나)는 물 99 g에 용질 11 g이 녹아 있는 용액이다. (다)는 물 90 g에 용질 10 g이 녹아 있는 용액이다.

✕. 녹아 있는 X의 양(mol)은 (가)와 (다)가 같다.

✕. 물의 질량(g)은 (가)에서 100 g, (나)에서 99 g이므로 (가)에서 (나)에서보다 크다.

㉔. 퍼센트 농도는 (가)와 (나)를 합한 용액이  $\frac{21}{220} \times 100 = \frac{210}{22}(\%)$ ,

(가)와 (다)를 합한 용액이  $\frac{20}{210} \times 100 = \frac{200}{21}(\%)$ 이므로 (가)와 (나)를 합한 용액이 (가)와 (다)를 합한 용액보다 크다.

THEME  
**04**

## 묽은 용액의 성질

얇은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 032쪽

### 정답 ④

용액의 끓는점 오름은 일정량의 용매에 녹아 있는 용질의 양(mol)에 비례한다. A, B의 화학식량을 각각  $M_A, M_B$ 라고 하고, (가)~(라)에서 물 100 g에 녹은 용질의 양(mol)을 구하면 다음과 같다.

수용액	(가)	(나)	(다)	(라)
A의 양(mol)	$\frac{2a}{M_A}$	$\frac{2a}{M_A}$	$\frac{xa}{2M_A}$	$\frac{3a}{2M_A}$
B의 양(mol)	$\frac{4b}{M_B}$	$\frac{b}{M_B}$	$\frac{b}{M_B}$	$\frac{3b}{4M_B}$
$\Delta T_b(^{\circ}C)$	8k	5k	3k	yk

끓는점 오름( $\Delta T_b$ )의 비는 (가) : (나) = 8 : 5이므로

$$\frac{2a}{M_A} + \frac{4b}{M_B} : \frac{2a}{M_A} + \frac{b}{M_B} = 8 : 5 \text{이고, 이를 풀면}$$

$$\frac{a}{M_A} = 2 \times \frac{b}{M_B} \text{이다.}$$

또 끓는점 오름의 비가 (가) : (다) = 8 : 3이므로  $\frac{8b}{M_B} : \frac{(x+1)b}{M_B}$

$$= 8 : 3 \text{이고, (가) : (라) = 8 : y \text{이므로 } \frac{8b}{M_B} : \frac{15b}{4M_B} = 8 : y \text{이}$$

다. 이를 풀면  $x=2, y=\frac{15}{4}$ 이므로  $x \times y = \frac{15}{2}$ 이다.

### 수능 2점 테스트

본문 033~034쪽

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

### 01 어는점 내림

몰랄 농도는 (가) 1 m, (나) 0.5 m, (다) 0.2 m이다.

㉑. X(l)의 기준 어는점을  $T_f^{\circ}C$ , X(l)의 몰랄 내림 상수( $K_f$ )를  $a^{\circ}C/m$ 라고 하면, (가)에서  $T_f - a = -14.1$ , (나)에서  $T_f - \frac{1}{2}a = -3.7$ 이다. 두 식을 연립하여 풀면  $T_f = 6.7, a = 20.8$ 이다.

✕. (다)의 몰랄 농도는 0.2 m이므로  $x = 6.7 - 0.2 \times 20.8 = 2.54$ 이다.

㉒. (가)와 (나)를 혼합한 용액은 용매 400 g에 용질 0.3 mol이 녹아 있는 용액이므로 몰랄 농도( $m$ )는  $\frac{0.3}{\frac{400}{1000}} = \frac{3}{4}$ 이다. 따라서 기준

어는점( $^{\circ}C$ )은  $6.7 - \frac{3}{4} \times 20.8 = -8.9$ 이다.

### 02 용액의 증기 압력

용액의 증기 압력은 용매의 몰 분율에 비례한다.

㉑. 물의 화학식량이 18이므로 900 g은 50 mol이고, A w g을

$n$  mol이라고 하면 용매의 몰 분율은 (가)에서  $\frac{50}{50+n}$ , (나)에서  $\frac{50}{50+3n}$ 이므로  $\frac{50}{50+n} : \frac{50}{50+3n} = 503 : 501$ 이다. 이를 풀면  $n=0.1$ 이므로 A의 화학식량은  $10w$ 이다.

㉠ (가)에서 용매의 몰 분율은  $\frac{500}{501}$ 이므로  $P = \frac{500}{501}P'$ 이다. 따라서  $P = \frac{501}{500}P'$ 이다.

㉡ (나)는 물 900 g에 용질 0.3 mol이 녹아 있는 수용액이다. 따라서 (나)의 몰랄 농도( $m$ )는  $\frac{0.3}{900} = \frac{1}{3}$ 이다.

### 03 끓는점 오름과 어는점 내림

끓는점 오름의 비가 (가) : (나) = 4 : 1이므로 몰랄 농도의 비도 (가) : (나) = 4 : 1이다.

㉠ X, Y의 화학식량을 각각  $M_X, M_Y$ 라고 하면 몰랄 농도비는 (가) : (나) =  $\frac{4}{\frac{M_X}{1000}} : \frac{6}{\frac{M_Y}{1000}} = 4 : 1$ 이다. 따라서  $M_X : M_Y = 1 : 3$

이므로 화학식량은 Y가 X의 3배이다.

✗ 끓는점 오름의 비가 (가) : (나) = 4 : 1이므로 기준 어는점 내림의 비도 (가) : (나) = 4 : 1이다. 어는점 내림이 클수록 기준 어는점이 낮아지므로 기준 어는점은 (나)가 (가)보다 높다.

㉡ (가)와 (나)를 혼합한 용액은 물 300 g에 X 4 g과 Y 6 g이 녹아 있다. X 4 g이 물 300 g에 녹으면  $\frac{4}{3}$ 만큼, Y 6 g이 물 300 g에 녹으면  $\frac{2}{3}$ 만큼 끓는점 오름이 일어나므로 (가)와 (나)를 혼합한 용액의 기준 끓는점은  $(100 + \frac{4}{3}k + \frac{2}{3}k)^\circ\text{C} = (100 + 2k)^\circ\text{C}$ 이다.

### 04 용액의 증기 압력 내림

용액의 증기 압력 내림은 용질의 몰 분율에 비례한다.

✗ (가)의 부피가 1 L, 밀도가 1.08 g/mL이므로 (가)의 질량은 1080 g이다. 이 중 X의 질량이 180 g이므로 용매인 물의 질량은 900 g (= 50 mol)이다. 용액의 증기 압력 내림이  $\frac{1}{51}P$ 이므로 X의 양(mol)을  $n$ 이라고 하면  $\frac{n}{50+n} = \frac{1}{51}$ 이며,  $n=1$ 이다. 따라서 X의 화학식량은 180이다. (나)의 부피가 0.1 L이고, 밀도가 1.03 g/mL이므로 (나)의 질량은 103 g이고, Y의 질량이 4 g이므로 용매인 물의 질량은 99 g (= 5.5 mol)이다. (나)의 증기 압력 내림이  $\frac{2}{167}P$ 이므로 Y의 양(mol)을  $k$ 라고 하면  $\frac{k}{5.5+k} = \frac{2}{167}$ 이며,  $k = \frac{1}{15}$ 이다. 따라서 Y의 화학식량은 60이고, 화학식량은 X가 Y의 3배이다.

㉠ 녹아 있는 용질의 양(mol)은 (가)에서 1, (나)에서  $\frac{1}{15}$ 이므로 (가)가 (나)의 15배이다.

✗ (가)는 물 900 g에 용질 1 mol이 녹아 있고, (나)는 물 99 g에 용질  $\frac{1}{15}$  mol이 녹아 있다. 따라서 몰랄 농도는 (가)가  $\frac{10}{9}m$ , (나)

가  $\frac{1}{\frac{15}{99}} = \frac{200}{297}m$ 이다. 몰랄 농도가 (가)가 (나)보다 크므로 어는점 내림도 (가)가 (나)보다 크다. 따라서 기준 어는점( $^\circ\text{C}$ )은 (나)가 (가)보다 높다.

점 내림도 (가)가 (나)보다 크다. 따라서 기준 어는점( $^\circ\text{C}$ )은 (나)가 (가)보다 높다.

### 05 용액의 농도와 증기 압력

$t^\circ\text{C}$ 에서 순수한 물의 증기 압력이 24 cmHg이고, 10% A(aq)의 증기 압력이 22.5 cmHg이다. 용액의 증기 압력은 용매의 몰 분율에 비례하므로 (나)에서 용매인 물의 몰 분율은  $\frac{15}{16}$ 이다. 10% A(aq)은 물 90 g에 A 10 g이 녹아 있는 비율이고, 물 90 g은 5 mol이다. A 10 g의 양을  $n$  mol이라고 하면  $\frac{5}{5+n} = \frac{15}{16}$ 가 되어  $n = \frac{1}{3}$ 이다. 따라서 A의 화학식량은 30이다.

또 (나)의 몰랄 농도는  $\frac{\frac{1}{3}}{90} = \frac{100}{27}$ 이므로

$\frac{\text{A의 화학식량}}{10\% \text{ A(aq)의 몰랄 농도}(m)} = \frac{30}{\frac{100}{27}} = \frac{81}{10}$ 이다.

### 06 삼투압

분자량비가 X : Y = 3 : 1이므로 X  $a$  g을  $n$  mol이라고 하면, Y  $2a$  g은  $6n$  mol이다.

$P = \frac{n}{0.1}RT_1$ 이고,  $4P = \frac{6n}{0.1}RT_2$ 이므로

$4 \times \frac{n}{0.1}RT_1 = \frac{6n}{0.1}RT_2$ 이고,  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{2}$ 이다.

### 07 묽은 용액의 총괄성

묽은 용액의 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 삼투압 등은 용질의 종류에 관계없이 용질의 입자 수에만 영향을 받는다.

✗ (가)의 몰랄 농도는 0.4  $m$ , (나)의 몰랄 농도는 0.1  $m$ 이다. 몰랄 농도는 (가)가 (나)보다 크므로 끓는점 오름도 (가)가 (나)보다 크다.

㉠ (다)에서 물의 양(mol)은  $\frac{1500}{18} = \frac{500}{6}$ , 용질의 양(mol)은  $\frac{500}{6}$ 이므로 물의 몰 분율은  $\frac{\frac{500}{6}}{\frac{500}{6} + 0.3} = \frac{2500}{2509}$ 이다. 따라서 (다)의

증기 압력은  $\frac{2500}{2509}P$ 이다.

✗ 몰랄 농도( $m$ )는 (가)가 (다)의 2배이므로 어는점 내림도 (가)가 (다)의 2배이다. 따라서 기준 어는점( $^\circ\text{C}$ )은 (다)가 (가)보다 높다.

### 08 증기 압력 내림과 용질의 몰 분율

수용액의 증기 압력은 물의 몰 분율에 비례하며, 물의 몰 분율 =  $(1 - \text{용질의 몰 분율})$ 이다.

✗ 물  $w$  g을  $n$  mol이라고 하면, (가)~(다)에서 물의 양(mol)은

각각  $n, 2n, 4n$ 이며, 용질의 양(mol)은  $\frac{1}{19}n, \frac{4}{23}n, \frac{4}{9}n$ 이다. 따라서 녹아 있는 용질의 몰비는 (가) : (나) = 23 : 76이다.

㉠ (나)에서 물의 몰 분율은 0.92이므로 순수한 물의 증기 압력을  $P^\circ$ 라고 하면  $P=0.92P^\circ$ 이다. (가)에서 물의 몰 분율은 0.95이므로  $xP=0.95P^\circ$ 가 되므로  $x=\frac{95}{92}$ 이고, (다)에서 물의 몰 분율은 0.9이

므로  $yP=0.9P^\circ$ 가 되어  $y=\frac{45}{46}$ 이다. 따라서  $\frac{y}{x}=\frac{\frac{45}{46}}{\frac{95}{92}}=\frac{18}{19}$ 이다.

✕ 용액의 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 녹아 있는 용질의 양(mol)은 (나)  $\frac{4}{23}n$ , (다)  $\frac{4}{9}n$ 이고, 물의 양은 각각  $2w$  g,

$4w$  g이므로 몰랄 농도의 비는 (나) : (다) =  $\frac{\frac{4}{23}n}{2w} : \frac{\frac{4}{9}n}{4w} = 18 : 23$

이다. 따라서 끓는점 오름( $^\circ\text{C}$ )은 (다)가 (나)보다 크다.

### 수능 3점 테스트

본문 035~037쪽

01 ㉠

02 ㉢

03 ㉣

04 ㉣

05 ㉣

06 ㉠

## 01 용액의 증기 압력 내림

4% 포도당 수용액은 물 96 g ( $=\frac{16}{3}$  mol)에 포도당 4 g ( $=\frac{1}{45}$  mol)이 녹은 비율이므로 용매인 물의 몰 분율은  $\frac{240}{241}$ , 용질인 포도당의 몰 분율은  $\frac{1}{241}$ 이다.

㉠ 100 $^\circ\text{C}$ 에서 포도당 수용액의 증기 압력은 물의 증기 압력(1 atm)에 용매의 몰 분율을 곱한 값과 같다. 따라서  $P_1=\frac{240}{241}$ 이다. 또  $t^\circ\text{C}$

에서  $P_2 \times \frac{240}{241} = 1$ 이므로  $P_2=\frac{241}{240}$ 이고,  $P_1 \times P_2 = \frac{240}{241} \times \frac{241}{240} = 1$ 이다.

㉡ 1 atm에서 포도당 수용액의 끓는점 오름( $\Delta T_b$ )은 몰랄 오름상수( $K_b$ )와 몰랄 농도( $m$ )의 곱과 같다. 4% 포도당 수용액의 몰

랄 농도( $m$ )는  $\frac{1}{\frac{45}{96}} = \frac{25}{108}$ 이므로  $t = 100 + \frac{25}{108}k$ 이다.

㉢ 6% 포도당 수용액은 물 94 g ( $=\frac{47}{9}$  mol)에 포도당 6 g

( $=\frac{1}{30}$  mol)이 녹은 수용액과 같다. 이 용액에서 용매인 물의 몰 분

율은  $\frac{\frac{47}{9}}{\frac{47}{9} + \frac{1}{30}} = \frac{470}{473}$ 이므로 용액의 증기 압력은  $\frac{470}{473}$  atm이다.

## 02 끓는점 오름

(가)의 끓는점 오름이  $k$ 이므로 몰랄 농도는 1  $m$ 이고, X의 화학식량은 10 $w$ 이다.

㉠ (나)에서 용질의 양의 합은  $\frac{1}{18}$  mol이고, 이 중 X는  $\frac{1}{3}w$  g ( $=\frac{1}{30}$  mol)이므로 Y  $\frac{2}{3}w$  g은  $\frac{1}{45}$  mol이다. 따라서 Y의 화학식량은 30 $w$ 이다.

㉡ (다)에서 X의 질량을  $x$  g, Y의 질량을  $(w-x)$  g이라고 하면, X와 Y의 양의 합은  $\frac{2}{45}$  mol이다. 따라서  $\frac{x}{10w} + \frac{w-x}{30w} = \frac{2}{45}$ 가

되고, 이를 풀면  $x=\frac{1}{6}w$ 이므로 X, Y의 양은 각각  $\frac{1}{60}$  mol,  $\frac{1}{36}$  mol이다. (가)에서 X의 양은  $\frac{1}{10}$  mol이므로

$\frac{\text{(가)에 녹아 있는 X의 양(mol)}}{\text{(다)에 녹아 있는 Y의 양(mol)}} = \frac{\frac{1}{10}}{\frac{1}{36}} = \frac{36}{10} = \frac{18}{5}$ 이다.

✕ (가)~(다)를 모두 합한 용액에서 물의 질량은 300 g, 용질의 양(mol)은  $0.1 + \frac{1}{18} + \frac{2}{45} = 0.2$ 이므로 몰랄 농도는  $\frac{2}{3}m$ 이다. 따라서 끓는점 오름은  $\frac{2}{3}k^\circ\text{C}$ 이다.

## 03 농도가 다른 용액의 삼투압 차이

같은 질량을 녹였으므로 화학식량이 작은 B가 녹아 있는 B(aq)이 고농도, A(aq)이 저농도이다.

㉠ 용매인 물이 저농도에서 고농도 쪽으로 이동하므로 ㉠은 저농도인 A(aq)이다.

㉡ (나)에서 ㉡ 쪽에 가한 압력은 A(aq)과 B(aq)의 농도 차이에 비례한 삼투압이다.  $\pi = \Delta CRT$ 에서  $0.6R = \Delta CR \times 300$ 이므로

$\Delta C = 0.002(\text{M})$ 이다. 따라서  $\frac{w}{0.1} - \frac{w}{0.1} = 0.002$ 이므로  $w = 0.018$ 이다.

✕ 저농도에서 고농도로 용매가 이동해도 반투막을 사이에 둔 양쪽 용액의 농도는 같아지지 않는다. 따라서 (가)에서 몰 농도는 ㉡이 ㉠보다 크다.

## 04 끓는점 오름과 어는점 내림

순수한 용매일 때 끓는점과 어는점의 차( $T_b - T_f$ )는 물이 100 $^\circ\text{C}$ , X가 101.3 $^\circ\text{C}$ 이며, 몰랄 농도가 1  $m$ 일 때  $T_b - T_f$ ( $^\circ\text{C}$ )는 물이  $100 + 0.51 - (0 - 1.86) = 102.37$ 이 되고, X가  $101.3 + 3.22 + 3.63 = 108.15$ 가 된다.

㉠ 물 100 g에 A  $a$  g을 녹인 용액이  $\frac{2}{3}m$ 이므로 A의 화학식량을

$M_A$ 라고 하면  $\frac{a}{\frac{100}{1000}} = \frac{2}{3}$ 이다. 따라서  $M_A = 15a$ 이다.

✕ 용질 A  $a$  g을 녹였을 때, 용매가 물인 용액의  $T_b - T_f$ 는 101.58 $^\circ\text{C}$ 가 되었다. 1.58은 2.37의  $\frac{2}{3}$ 배이므로 용액의 몰랄 농도는

$\frac{2}{3}m$ 가 되었음을 알 수 있다. 용매가 X인 용액의  $T_b - T_f$  ( $^{\circ}\text{C}$ )는  $101.3 + \frac{2}{3} \times (3.22 + 3.63) \approx 105.966$ 이다. 따라서  $x < 106$ 이다.

㉔ 물 100 g에 용질 A  $b$  g을 녹인 용액의  $T_b - T_f$  값이  $x$ 이며,  $x$ 는 용매 X 100 g에 용질 A를 녹인  $\frac{2}{3}m$  용액의  $T_b - T_f$  값이다. 따라서  $101.3 + \frac{2}{3} \times (3.22 + 3.63) = 100 + 2.37 \times \frac{2}{3} \times \frac{b}{a}$ 이므로  $10b > 15a$ 가 되어  $b > \frac{3}{2}a$ 이다.

## 05 증기 압력 내림과 몰 분율

용액의 증기 압력은 용매의 증기 압력과 용매의 몰 분율을 곱한 값이다.

X(l)에 용질을 녹인 1 m 용액의 증기 압력이  $\frac{500}{523}P_X$ 이므로 1 m

용액에서 용매의 몰 분율이  $\frac{500}{523}$ 이다. 1 m는 용매 1000 g에 용질

1 mol을 녹인 용액이므로 X의 화학식량을  $M_X$ 라고 하면

$\frac{1000}{M_X} = \frac{500}{523}$ 이고, 이를 풀면  $M_X = 46$ 이다. 같은 방법으로 Y의  $\frac{1000}{M_Y} + 1$

화학식량을 구하면  $M_Y = 32$ 이다. 또 용질의 몰 분율이  $\frac{1}{x}$ 이 되도록

X(l)에 용질을 녹인 용액의 몰랄 농도가  $\frac{25}{23}m$ 이며, 이 용액은 용

매 1000 g에 용질  $\frac{25}{23}$  mol이 녹아 있는 용액이다. X의 화학식량이

46이므로 용매 1000 g은  $\frac{1000}{46} = \frac{500}{23}$  (mol)이며, 용질이  $\frac{25}{23}$  mol

이므로 용질의 몰 분율은  $\frac{\frac{25}{23}}{\frac{500}{23} + \frac{25}{23}} = \frac{1}{21}$ 이다. 따라서  $x = 21$ 이다.

Y(l) 20 mol의 질량은 640 g이고, 용질의 몰 분율이  $\frac{1}{21}$ 이 되도록

Y(l) 20 mol에 용질 1 mol을 녹인 용액의 몰랄 농도( $m$ )는

$\frac{1}{\frac{640}{1000}} = \frac{25}{16}$ 이다. 따라서  $x \times y = 21 \times \frac{25}{16} = \frac{525}{16}$ 이다.

## 06 혼합 용액의 끓는점 오름

물의 몰랄 오름 상수( $K_b$ )는  $k^{\circ}\text{C}/m$ 이므로 (가)의 몰랄 농도는

1 m이고, A 12 g은  $\frac{1}{5}$  mol이다. 따라서 A의 화학식량은 60이다.

(가) 수용액에 (나) 수용액 115 g을 가한 용액의 몰랄 농도는  $\frac{7}{3}m$ 이

며 물의 양은 300 g이므로 용질의 양은  $\frac{7}{10}$  mol이어야 한다. 따라

서 B 15 g은  $\frac{1}{2}$  mol이므로 B의 화학식량은 30이다.

(나) 수용액 57.5 g은 물 50 g, 용질 7.5 g ( $= \frac{1}{4}$  mol)으로 이루어

졌으므로 (가) 수용액에 (나) 수용액 57.5 g을 가한 혼합 용액은 물

250 g에 용질  $\frac{9}{20}$  mol이 녹아 있는 수용액이다.

따라서 몰랄 농도( $m$ )는  $\frac{\frac{9}{20}}{\frac{250}{1000}} = \frac{9}{5}$ 이므로  $x = \frac{9}{5}$ 이다.

(가) 수용액에 (나) 수용액  $w$  g을 녹인 혼합 용액의 몰랄 농도는  $\frac{15}{11}m$

이다. (나) 수용액  $w$  g은 물  $\frac{20}{23}w$  g과 용질  $\frac{3}{23}w$  g ( $= \frac{1}{230}w$  mol)

로 이루어졌으므로 (가) 수용액에 (나) 수용액  $w$  g을 녹인 혼합 용액

은 물  $(200 + \frac{20}{23}w)$  g에 용질  $(\frac{1}{5} + \frac{1}{230}w)$  mol이 녹아 있는 수

용액이므로  $200 + \frac{20}{23}w : \frac{1}{5} + \frac{1}{230}w = 1000 : \frac{15}{11}$ 이며, 이를 풀

면  $w = 23$ 이다. 따라서  $x \times w = \frac{9}{5} \times 23 = \frac{207}{5}$ 이다.

THEME

05

## 엔탈피와 열화학 반응식

짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 039쪽

정답 ⑤

- ㉠. (가)와 (나)는 모두  $\Delta H < 0$ 이므로 발열 반응이다.  
 ㉡. 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $0 > a > b$ 이므로 1 mol의 엔탈피는 C(s, 다이아몬드)가 C(s, 흑연)보다 크다.  
 ㉢. (가)-(나)의 반응은 C(s, 흑연)  $\rightarrow$  C(s, 다이아몬드) 반응과 같으므로 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $(a-b)$  kJ이다.

수능 2점 테스트

본문 040~041쪽

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

01 흡열 반응과 엔탈피( $H$ )

드라이아이스의 승화는  $\text{CO}_2(s) \rightarrow \text{CO}_2(g)$  반응으로 흡열 반응이다. 흡열 반응이 일어날 때 물질의 엔탈피는 증가한다.

## 02 발열 반응과 1 mol의 엔탈피

- ㉠.  $\text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$  반응은 발열 반응이므로 열을 방출한다.  
 ㉡.  $\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$  반응이 일어날 때 열을 흡수하므로 흡열 반응이다.  
 ㉢.  $\text{H}_2\text{O}$  1 mol의 엔탈피는 기체 상태가 액체 상태보다 크다.

## 03 연소 반응의 반응 엔탈피

- ㉠.  $2\text{CH}_3\text{OH}(l) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$  반응은 연소 반응이므로  $\Delta H < 0$ 이다. 따라서 발열 반응이다.  
 ㉡. 2 mol의  $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 이 모두 반응할 때 반응 엔탈피  $\Delta H = -1452.8$  kJ이므로 1 mol의  $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 이 모두 반응할 때 반응 엔탈피  $\Delta H = -726.4$  kJ이다.  
 ㉢.  $2\text{CH}_3\text{OH}(l) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(g)$  반응은  $2\text{CH}_3\text{OH}(l) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$  반응에서  $4\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow 4\text{H}_2\text{O}(g)$  반응이 일어난 것이다.  $\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$  반응은 흡열 반응이므로  $2\text{CH}_3\text{OH}(l) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-1452.8$  kJ보다 크다.

## 04 생성 엔탈피

- ㉠. (가)에서 반응물의 엔탈피의 합은 생성물의 엔탈피보다 크다. 따라서 (가)의 반응은 발열 반응이다.  
 ㉡. (나)에서  $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )이다. (나)에서 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-393.5$  kJ이므로  $\text{CO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-393.5$  kJ/mol이다.

㉢. (가)와 (나) 반응의 반응 엔탈피를 각각  $\Delta H_1, \Delta H_2$ 라고 하면,  $2\text{CO}(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{CO}_2(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $2 \times \Delta H_2 - 2 \times \Delta H_1$ 이므로  $2 \times [-393.5 - (-110.5)]$  kJ =  $-566$  kJ이다.

## 05 열화학 반응식

- ㉠.  $\text{HCl}(aq) + \text{NaOH}(s) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l) + \text{NaCl}(aq)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\text{HCl}(aq) + \text{NaOH}(aq) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l) + \text{NaCl}(aq)$  반응에서  $\text{NaOH}(s) \rightarrow \text{NaOH}(aq)$  반응이 일어난 것이므로  $a < -97.68$ 이다.  
 ㉡. (가)에서  $\text{NaOH}(s)$ 의 용해 반응의 반응 엔탈피  $\Delta H < 0$ 이고, (나)에서 중화 반응의 반응 엔탈피  $\Delta H < 0$ 이므로  $\text{H}_2\text{SO}_4(aq) + 2\text{NaOH}(s) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) + \text{Na}_2\text{SO}_4(aq)$  반응의 반응 엔탈피  $\Delta H < 0$ 이다. 따라서  $b < 0$ 이다.  
 ㉢. (라)에서 (다)에서보다 생성된  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 양(mol)이 2배이므로 반응 엔탈피( $\Delta H$ )도 2배이다. 따라서  $b = 2a$ 이다.

## 06 연소 반응의 반응 엔탈피

- ㉠.  $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 의 연소 반응의 반응 엔탈피  $\Delta H < 0$ 이므로 발열 반응이다.  
 ㉡. 23 g의  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 은  $\frac{1}{2} \left( = \frac{23 \text{ g}}{46 \text{ g/mol}} \right)$  mol이고,  $\frac{1}{2}$  mol의  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 이 완전 연소될 때 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-\frac{1365}{2}$  kJ =  $-682.5$  kJ이다.  
 ㉢.  $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 과  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 이 각각 1 mol씩 완전 연소되면 열의 출입량은 각각  $\left| -\frac{1452.8}{2} \right|$  kJ,  $| -1365 |$  kJ이므로  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 에서  $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 에서보다 많다.

## 07 생성 엔탈피

7 g의  $\text{N}_2(g)$ 와 8 g의  $\text{O}_2(g)$ 는 각각  $\frac{1}{4}$  mol이고,  $\text{N}_2(g)$ 와  $\text{O}_2(g)$ 가 각각  $\frac{1}{4}$  mol씩 반응할 때 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 45 kJ이므로  $\text{N}_2(g)$ 와  $\text{O}_2(g)$ 가 각각 1 mol씩 반응 반응할 때 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 180 kJ이다.  $\frac{1}{2}\text{N}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{NO}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\text{NO}(g)$ 의 생성 반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )이므로  $\text{NO}(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는 90 kJ/mol이다.

## 08 반응 엔탈피

- ㉠.  $2\text{NO}_2(g) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-a$  kJ이므로 발열 반응이다.  
 ㉡.  $\frac{1}{2}\text{N}_2\text{O}_4(g) \rightarrow \text{NO}_2(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{1}{2}a$  kJ이다.  
 ㉢.  $\text{NO}_2(g)$ 의 생성 반응은  $\frac{1}{2}\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{NO}_2(g)$ 이고,  $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는 0보다 크므로  $\text{NO}_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{1}{2}a$  kJ/mol보다 크다.

- 01 ③    02 ⑤    03 ③    04 ⑤    05 ④  
06 ④

**01 용해 엔탈피**

×.  $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$   $w$  g이 용해될 때 온도는  $25^\circ\text{C}$ 에서  $15^\circ\text{C}$ 로 내려간다. 따라서 흡열 반응이므로  $x > 0$ 이다.

×. 수용액이 흡수한 에너지( $Q$ ) =  $c_{\text{수용액}} \times m_{\text{수용액}} \times \Delta t$  ( $c$ : 비열,  $m$ : 질량,  $\Delta t$ : 수용액의 온도 변화)이므로  $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 이  $w$  g에서  $2w$  g으로 2배가 되어도 수용액의 질량은 2배보다 작다. 따라서 온도 변화도 2배가 아니다.

㉠.  $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 의 용해 엔탈피( $\Delta H$ ) = 
$$\frac{c_{\text{수용액}} \times m_{\text{수용액}} \times \text{수용액의 온도 변화}}{\text{용해된 } \text{NH}_4\text{NO}_3(s) \text{의 양}(\text{mol})} = \frac{c_{\text{수용액}} \times m_{\text{수용액}} \times \text{수용액의 온도 변화} \times \text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ 1 mol의 질량}}{\text{용해된 } \text{NH}_4\text{NO}_3(s) \text{의 질량}(\text{g})}$$

이다. 따라서 이 실험을 통해 구한  $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 의 용해 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{a \times b \times (100 + w) \times 10}{w}$  kJ/mol이다.

**02 용해 엔탈피**

㉠.  $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 의 용해 엔탈피( $\Delta H$ )는  $25.7$  kJ/mol이므로 흡열 반응이다.

㉡.  $\text{CaCl}_2(s)$ 의 용해 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-81.3$  kJ/mol이므로 발열 반응이다.  $\Delta H_1$ 과  $\Delta H_2$ 는 모두 0보다 크므로  $\Delta H_3 < 0$ 이고,  $|\Delta H_3| > |\Delta H_1 + \Delta H_2|$ 이다.

㉢.  $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 과  $\text{CaCl}_2(s)$ 이 각각 1 mol씩 용해될 때, 열의 출입량은 각각  $25.7$  kJ,  $81.3$  kJ이므로  $\text{CaCl}_2(s)$ 에서가  $\text{NH}_4\text{NO}_3(s)$ 에서보다 많다.

**03 열화학 반응식**

㉠.  $\text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-44$  kJ이고,  $9$  g의  $\text{H}_2\text{O}$ 의 양은  $\frac{1}{2}$  mol이다. 따라서  $9$  g의  $\text{H}_2\text{O}(g)$ 가 액화될 때 방출되는 열은  $22$  kJ이다.

×.  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 생성되는 반응의 열화학 반응식은  $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 이므로  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-286$  kJ/mol이다.

㉢.  $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-846$  kJ이고,  $2\text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-88$  kJ이므로  $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-934$  kJ이다.

**04 열화학 반응식**

㉠. (가)~(다) 반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 0보다 작으므로 모두 발열 반응이다.

㉡.  $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 생성 반응의 열화학 반응식은  $2\text{C}(s, \text{흑연}) + 3\text{H}_2(g) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(g)$ 이므로  $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-84.7$  kJ/mol이다.

㉢. (나)와 (다)에서 각각 1 mol의  $\text{O}_2(g)$ 가 모두 반응할 때 방출되는 열은 각각  $\frac{846}{2}$  kJ =  $423$  kJ,  $\frac{2846}{7}$  kJ  $\approx 407$  kJ이므로 (나) > (다)이다.

**05 열화학 반응식**

$96$  g의  $\text{O}_2(g)$ 의 양은  $3$  mol이고,  $3$  mol의  $\text{O}_2(g)$ 가 반응할 때 방출된 열량이  $1372$  kJ이다.  $a\text{C}_x\text{H}_6(g) + b\text{O}_2(g) \rightarrow 6\text{CO}_2(g) + c\text{H}_2\text{O}(l)$ 에서  $b$  mol의  $\text{O}_2(g)$ 가 반응할 때  $4116$  kJ의 열이 방출되므로  $3 : 1372 = b : 4116$ 에서  $b = 9$ 이다.

반응 전과 후 원자 수는 같으므로 O 원자 수에서  $9 \times 2 = 6 \times 2 + c$ 에서  $c = 6$ 이고, H 원자 수에서  $a \times 6 = c \times 2 = 12$ 에서  $a = 2$ 이고, C 원자 수에서  $a \times x = 2 \times x = 6$ 에서  $x = 3$ 이다.

×.  $\frac{b}{a} = \frac{9}{2}$ 이다.

㉠.  $x = 3$ 이다.

㉢. 반응한  $\text{O}_2(g)$ 의 질량이  $w$  g일 때 방출된 열량이  $2058$  kJ이므로 반응한  $\text{O}_2(g)$ 의 양은  $\frac{9}{2}$  mol이다. 반응 몰비는  $\text{O}_2(g) : \text{H}_2\text{O}(l) = 9 : 6$ 이므로  $w$  g의  $\text{O}_2(g)$ 가 모두 반응할 때 생성된  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 양은  $3$  mol이다.

**06 열화학 반응식**

×. 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\text{CH}_4(g) > \text{C}_2\text{H}_6(g)$ 이므로 1 mol의 엔탈피( $H$ )는  $\text{CH}_4(g) > \text{C}_2\text{H}_6(g)$ 이다.

㉡.  $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $[-393.5 + 2 \times (-241.8) - a]$  kJ =  $x$  kJ에서  $x < 0$ 이므로  $a > -877.1$ 이다.

㉢. (가) -  $\frac{1}{2}$  × (나) 반응은



응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $x - \frac{y}{2} = [b - a - (-393.5) - (-241.8)]$  kJ =  $[b - a + 635.5]$  kJ이다.

$a > b$ 이므로  $b - a < 0$ 이다. 따라서  $x - \frac{y}{2} < 635.3$ 이다.

THEME

06

## 결합 에너지와 헤스 법칙

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 047쪽

## 정답 ②

 $C_3H_6O(g)$ 의 생성 엔탈피가  $x$  kJ/mol이므로 $3C(s, \text{흑연}) + 3H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow C_3H_6O(g) \cdots \textcircled{1}$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $x$  kJ이다. $3C(s, \text{흑연}) \longrightarrow 3C(g) \cdots \textcircled{2}$  반응의 반응 엔탈피는  $\Delta H = 3 \times 2 \text{ kJ} = 6 \text{ kJ}$ , $3H_2(g) \longrightarrow 6H(g) \cdots \textcircled{3}$  반응의 반응 엔탈피는  $\Delta H = 3 \times 436 \text{ kJ} = 1308 \text{ kJ}$ , $\frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow O(g) \cdots \textcircled{4}$  반응의 반응 엔탈피는  $\Delta H = \frac{1}{2} \times 498 \text{ kJ} = 249 \text{ kJ}$ , $C_3H_6O(g) \longrightarrow 3C(g) + 6H(g) + O(g) \cdots \textcircled{5}$  반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H = (6 \times 410 + 2 \times 350 + 732) \text{ kJ} = 3892 \text{ kJ}$ 이다. $\textcircled{1} = \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} - \textcircled{5}$ 이므로 $x = 6 + 1308 + 249 - 3892 = -2329$ 이다.

## 수능 2점 테스트

본문 048~050쪽

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

## 01 생성 엔탈피와 결합 에너지

$\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow NO(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $NO(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )이다.  $N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )가 180.6 kJ이므로  $NO(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는 90.3 kJ/mol이다.

✗.  $NO(g)$ 의 생성 반응은 흡열 반응이므로 반응물의 엔탈피 합은 생성물의 엔탈피 합보다 작다.

㉠.  $NO(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는 90.3 kJ/mol이다.

㉡.  $NO(g)$ 의 생성 반응은 흡열 반응이므로 반응물의 결합 에너지의 총합은 생성물의 결합 에너지의 총합보다 크다.

## 02 결합 에너지

$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 [반응물의 결합 에너지의 총합] - [생성물의 결합 에너지의 총합]으로 구할 수 있다.  $CH_4(g)$ 에는 4개의 C-H 결합이,  $O_2(g)$ 에는 1개의 O=O 결합이,  $CO_2(g)$ 에는 2개의 C=O 결합이,  $H_2O(g)$ 에는 2개의 O-H 결합이 있다.

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

엔탈피  $\Delta H = (4 \times 410 + 2 \times 498) \text{ kJ} - (2 \times 799 + 2 \times 2 \times 460) \text{ kJ} = -802 \text{ kJ}$ 이다.

## 03 헤스 법칙

$N_2(g) + H_2(g) \longrightarrow N_2H_2(g)$  반응을 (가),  $N_2H_2(g) + 2H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$  반응을 (나)라고 하면,  $\frac{1}{2} \times [(가) + (나)]$ 는  $\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2}H_2(g) \longrightarrow NH_3(g)$ 이므로 이 반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $NH_3(g)$  생성 반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )이다. 따라서  $NH_3(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{1}{2} \times (a+b)$  kJ/mol이다.

## 04 헤스 법칙

㉠. 1 mol의 엔탈피( $H$ )는  $C(s, \text{다이아몬드})$ 가  $C(s, \text{흑연})$ 보다 크므로 1 mol을 완전 연소시킬 때 발생하는 열은  $C(s, \text{다이아몬드})$ 가  $C(s, \text{흑연})$ 보다 크다.

㉡.  $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $CO_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )이다. 따라서  $CO_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $(\Delta H_2 + \Delta H_3)$  kJ/mol이다.

✗.  $2C(s, \text{다이아몬드}) + O_2(g) \longrightarrow 2CO(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $(-2 \times \Delta H_1 + 2 \times \Delta H_2)$  kJ이다.

## 05 결합 에너지와 반응 엔탈피

✗.  $\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2}H_2(g) \longrightarrow NH_3(g)$  반응은  $NH_3(g)$  생성 반응이므로  $NH_3(g)$  생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{1}{2} \times \Delta H_3$ 이다. 따라서  $NH_3(g)$  생성 엔탈피( $\Delta H$ )는 -46 kJ/mol이다.

✗. H-H의 결합 에너지는  $\frac{1}{3} \times (-\Delta H_2)$ 이므로 436 kJ/mol이다.

㉠.  $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 [반응물의 결합 에너지의 총합] - [생성물의 결합 에너지의 총합]으로 구할 수 있다.  $N \equiv N$ 의 결합 에너지는  $-\Delta H_1 = a$ 이므로  $[(N \equiv N \text{의 결합 에너지}) + 3 \times (H-H \text{의 결합 에너지})] - [2 \times 3 \times (N-H \text{의 결합 에너지})] = (945 \text{ kJ} + 3 \times 436 \text{ kJ}) - 6c \text{ kJ} = -92 \text{ kJ}$ 에서  $c = \frac{2345}{6}$ 이다.

## 06 헤스 법칙

반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

㉠.  $\Delta H_1$ 은  $N_2(g) + 2H_2(g) \longrightarrow N_2H_4(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )이고,  $N_2H_4(g)$ 의 생성 반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )이다. 따라서  $N_2H_4(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $a$  kJ/mol이다.

㉡.  $\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2}H_2(g) \longrightarrow NH_3(g)$  반응은  $NH_3(g)$  생성 반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )이므로  $\frac{1}{2} \times \Delta H_3$ 이다.  $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ 이므로  $NH_3(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{1}{2} \times (a+b)$  kJ/mol이다.

✗.  $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ 에서  $\Delta H_1 = -\Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다.

## 07 생성 엔탈피와 헤스 법칙

반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

㉠.  $2C(s, \text{흑연}) + 2H_2(g) \longrightarrow C_2H_4(g)$  반응의 반응 엔탈피 ( $\Delta H$ )는  $C_2H_4(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )이다. 따라서  $C_2H_4(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-a$  kJ/mol이다.

㉡.  $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $CO_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )이다. 따라서  $CO_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{b}{2}$  kJ/mol이다.

㉢. 헤스 법칙에 따라  $C_2H_4(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(l)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다.

## 08 헤스 법칙

반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

㉠.  $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $CO_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )이다. 따라서  $CO_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $x$  kJ/mol이다.

㉡.  $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$  반응을 (가),  $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$  반응을 (나)라고 하면,  $C(s, \text{흑연}) + 2H_2O(l) \longrightarrow 2H_2(g) + CO_2(g)$  반응은 (가) - (나)이므로 이 반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $(x - y)$  kJ이다.

㉢.  $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$  반응을 (다)라고 하면,  $CH_4(g)$ 의 생성 반응은  $C(s, \text{흑연}) + 2H_2(g) \longrightarrow CH_4(g)$ 이므로 (가) + (나) - (다)이다. 따라서  $CH_4(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $(x + y - z)$  kJ/mol이다.

## 09 헤스 법칙

반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2N(g) + 6H(g)$  반응의 반응 엔탈피를  $\Delta H_3$ ,  $N \equiv N$ 의 결합 에너지를  $k$  kJ/mol이라고 하면,  $H - H$ 의 결합 에너지는  $x$  kJ/mol이므로  $\Delta H_3 = k + 3x$ 이다. 헤스 법칙에서  $\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 = \Delta H_1 - (k + 3x)$ 이므로  $k = a - b - 3x$ 이다.

## 10 헤스 법칙

반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

$2B(s) + 3H_2(g) \longrightarrow B_2H_6(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $(\frac{1}{2}a - b + \frac{3}{2}c)$  kJ이므로  $x = \frac{1}{2}a - b + \frac{3}{2}c$ 이다.

## 11 결합 에너지와 헤스 법칙

반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

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

( $\Delta H$ )는 [반응물의 결합 에너지의 총합] - [생성물의 결합 에너지의 총합]으로 구할 수 있으므로  $[4 \times (C - H \text{의 결합 에너지}) + 2 \times (O = O \text{의 결합 에너지})] - [2 \times (C = O \text{의 결합 에너지}) + 2 \times 2 \times (O - H \text{의 결합 에너지})] = (4 \times 410 + 2 \times 498) \text{ kJ} - (2 \times 799 + 2 \times 2 \times 460) \text{ kJ} = -802 \text{ kJ}$ 이다.

$H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 44 kJ이므로  $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-572 \text{ kJ} + (2 \times 44) \text{ kJ} = -484 \text{ kJ}$ 이다.

$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$  반응을 (가),  $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$  반응을 (나),  $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$  반응을 (다)라고 하면  $CH_4(g)$ 의 생성 반응은  $C(s, \text{흑연}) + 2H_2(g) \longrightarrow CH_4(g)$ 이므로 (나) + (다) - (가)이다. 따라서  $CH_4(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $[-484 - 393.5 - (-802)] \text{ kJ/mol} = -75.5 \text{ kJ/mol}$ 이다.

## 12 결합 에너지와 헤스 법칙

반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

✕.  $F_2(g)$  9.5 g은  $\frac{1}{4}$  mol이므로  $F_2(g)$  9.5 g이  $H_2O(g)$ 와 모두 반응할 때 방출하는 열은  $\frac{1}{8} \times 620 \text{ kJ} = 77.5 \text{ kJ}$ 이다.

㉠.  $2H_2O(g) + 2F_2(g) \longrightarrow 4HF(g) + O_2(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 [반응물의 결합 에너지의 총합] - [생성물의 결합 에너지의 총합]으로 구할 수 있으므로  $[2 \times 2 \times (O - H \text{의 결합 에너지}) + 2 \times (F - F \text{의 결합 에너지})] - [4 \times (H - F \text{의 결합 에너지}) + (O = O \text{의 결합 에너지})] = (4 \times 460 + 2 \times 159) \text{ kJ} - (4 \times x - 498) \text{ kJ} = -620 \text{ kJ}$ 에서  $x = 570$ 이다.

㉡.  $2H_2O(g) + 2F_2(g) \longrightarrow 4HF(g) + O_2(g)$  반응을 (가),  $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$  반응을 (나)라고 하면,  $\frac{1}{4} \times [(가) + (나)]$ 는  $\frac{1}{2}H_2(g) + \frac{1}{2}F_2(g) \longrightarrow HF(g)$ 이고, 이 반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $HF(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )이다. 따라서  $HF(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{1}{4} \times [(-620) + (-484)] \text{ kJ/mol} = -276 \text{ kJ/mol}$ 이다.

### 수능 3점 테스트

본문 051~053쪽

01 ④

02 ⑤

03 ④

04 ②

05 ②

06 ⑤

## 01 헤스 법칙

반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

$2CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CH_3OH(l)$  반응을 (가),

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

$2CH_3OH(l) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 4H_2O(g)$  반응을 (다)라

고 하면, (가)+(나)+(다)=3×(나)이므로  
 $-302+(-802)+x=3\times(-802)$ 이다. 따라서  $x=-1302$ 이다.

## 02 반응 엔탈피와 결합 에너지

㉠  $2\text{H}_2(g)+\text{O}_2(g)\longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  
 $\text{H}_2(g)+\frac{1}{2}\text{O}_2(g)\longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )의 2배  
 이므로  $-2a$  kJ이다.

㉡  $\text{O}_2(g)\longrightarrow 2\text{O}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 O=O의 결합  
 에너지이다. 따라서 O=O의 결합 에너지는  $2c$  kJ/mol이다.

㉢ 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 [반응물의 결합 에너지의 총합]-[생성물  
 의 결합 에너지의 총합]으로 구할 수 있다. O-H의 결합 에너지를  
 $x$  kJ/mol이라고 하면, H-H의 결합 에너지는  $b$  kJ/mol이므로  
 $\text{H}_2(g)+\frac{1}{2}\text{O}_2(g)\longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  
 $(b+c-2x)$  kJ= $-d$  kJ이므로  $x=\frac{b+c+d}{2}$ 이다.

## 03 열화학 반응식과 생성 엔탈피

반응 전과 후 원자 수는 같아야 하므로 H 원자 수에서  $am=2b$   
 (... ①)이고, O 원자 수에서  $a+6=2a+b$ 이므로  $a=6-b$ (... ②)  
 이다.

$a\text{CH}_m\text{O}(l)+3\text{O}_2(g)\longrightarrow a\text{CO}_2(g)+b\text{H}_2\text{O}(l)$  반응의 반응 엔  
 탈피( $\Delta H$ )는  $[a\times(-394)+b\times(-286)-a\times(-239)]$  kJ=  
 $-1454$  kJ에서  $155a+286b=1454$ (... ③)이다. ②와 ③에서  
 $b=4$ ,  $a=2$ 이므로 ①에서  $m=4$ 이다. 따라서  $\frac{a+b}{m}=\frac{2+4}{4}=\frac{3}{2}$   
 이다.

## 04 반응 엔탈피와 생성 엔탈피

1 mol의 C(s, 흑연)을 완전 연소시켰을 때, 물을 포함한 통열량계  
 의 열용량은 10.0 kJ/°C이므로 통열량계 속 물의 온도 변화와 발생  
 한 열량은 다음과 같다.

물질	물의 온도 변화(°C)	발생한 열량(kJ)
C(s, 흑연)	39.4	394

$\text{C}_3\text{H}_8(g)+5\text{O}_2(g)\longrightarrow 3\text{CO}_2(g)+4\text{H}_2\text{O}(l)$  반응을 (가), C(s,  
 흑연)+ $\text{O}_2(g)\longrightarrow \text{CO}_2(g)$  반응을 (나),  $2\text{H}_2(g)+\text{O}_2(g)\longrightarrow$   
 $2\text{H}_2\text{O}(l)$  반응을 (다)라고 하면 (가)~(다) 반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )  
 는 각각  $-2220$  kJ,  $-394$  kJ,  $-572$  kJ이다.

$\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 의 생성 반응은  $3\text{C}(s, \text{흑연})+4\text{H}_2(g)\longrightarrow \text{C}_3\text{H}_8(g)$ 이므  
 로  $3\times(\text{나})+2\times(\text{다})-(\text{가})$ 와 같고, 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  
 $3\times(-394\text{ kJ})+2\times(-572\text{ kJ})-(-2220\text{ kJ})=-106\text{ kJ}$ 이다.  
 따라서  $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-106$  kJ/mol이다.

## 05 결합 에너지와 헤스 법칙

반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응  
 엔탈피의 총합은 일정하다.

$4\text{NH}_3(g)+3\text{O}_2(g)\longrightarrow 2\text{N}_2(g)+6\text{H}_2\text{O}(g)$  반응의 반응 엔탈  
 피( $\Delta H$ )는 [반응물의 결합 에너지의 총합]-[생성물의 결합 에너지

의 총합]으로 구할 수 있다. O=O의 결합 에너지와 O-H의 결합  
 에너지를 각각  $a$  kJ/mol,  $b$  kJ/mol이라고 하면,  $[4\times 3\times(\text{N-H}$   
 의 결합 에너지)+ $3\times(\text{O=O의 결합 에너지})]-[2\times(\text{N}\equiv\text{N의 결합}$   
 에너지)+ $6\times 2\times(\text{O-H의 결합 에너지})]=(12\times x+3\times a)$  kJ  
 $-(2\times 945+12\times b)$  kJ= $-1266$  kJ에서  $4x+a-4b=208$   
 (... ①)이다.

$2\text{H}_2(g)+\text{O}_2(g)\longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  
 $[2\times(\text{H-H의 결합 에너지})+(\text{O=O의 결합 에너지})]-[2\times 2\times$   
 $(\text{O-H의 결합 에너지})]=(2\times 436+a)$  kJ= $4b$  kJ= $-484$  kJ  
 에서  $a-4b=-1356$ (... ②)이다. ①과 ②에서  $x=391$ 이다.

## 06 반응 엔탈피와 결합 에너지

㉠ [반응물의 결합 에너지의 총합]-[생성물의 결합 에너지의 총합]  
 으로 반응 엔탈피( $\Delta H$ )를 구할 수 있으므로  $[2\times(\text{C-H의 결합 에}$   
 너지)+ $(\text{C}\equiv\text{C의 결합 에너지})+(\text{H-H의 결합 에너지})]-[4\times$   
 $(\text{C-H의 결합 에너지})+(\text{C=C의 결합 에너지})]=$   
 $(2\times 410+835+436)$  kJ= $(4\times 410+644)$  kJ= $-193$  kJ이다.  
 따라서  $y=-193$ (... ①)이다.

㉡  $2\text{C}(s, \text{흑연})+\text{H}_2(g)\longrightarrow \text{C}_2\text{H}_2(g)$  반응의 반응 엔탈피  
 ( $\Delta H$ )는  $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )이다. 반응 엔탈피( $\Delta H$ )  
 는 생성물의 생성 엔탈피 합에서 반응물의 생성 엔탈피 합을 뺀 값이  
 므로  $\text{C}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )를  $a$  kJ/mol이라고 하면,  
 $\text{C}_2\text{H}_2(g)+\text{H}_2(g)\longrightarrow \text{C}_2\text{H}_4(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  
 $(a-227)$  kJ/mol(... ②)이다.

①=②에서  $a-227=-193$ 이므로  $a=34$ 이다. 따라서  $\text{C}_2\text{H}_4(g)$   
 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는 34 kJ/mol이다.

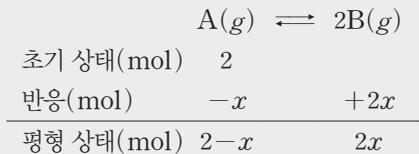
㉢  $2\text{C}_2\text{H}_4(g)+\text{O}_2(g)\longrightarrow 2\text{CH}_3\text{CHO}(g)$  반응의 반응 엔탈피  
 ( $\Delta H$ )는  $2\times(-166)$  kJ= $2\times 34$  kJ= $-400$  kJ이다. 따라서  
 $x=-400$ 이다.

답은 풀 문제로 유형 익히기

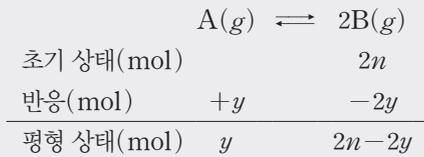
본문 055쪽

## 정답 ②

온도는  $T$ 로 일정하므로 평형 상수는 일정하다. (가)와 (나)에서 화학식량은 A가 B의 2배, 압력은 (나)가 (가)의 2배이고, (가)와 (나)의 부피는 일정하므로 반응이 진행되어 도달한 평형 상태에서 (가)와 (나)에 들어 있는  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 몰 농도(M)는 같다. (가)에서 반응이 진행되어 평형 상태에 도달할 때까지의 화학 반응은 다음과 같다.



(나)에서  $B(g)$   $w$  g의 양을  $2n$  mol이라고 하면 반응이 진행되어 평형 상태에 도달할 때까지의 화학 반응은 다음과 같다.



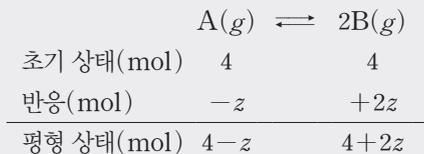
(가)와 (나)에서 평형에 도달했을 때 부피는 10 L로 같고, 들어 있는  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양(mol)은 같으므로  $2-x=y(\dots ①)$ ,  $2x=2n-2y(\dots ②)$ 이다. 따라서 ①과 ②에서  $n=2$ 이다.

(가)에서 평형 상수  $K = \frac{\left(\frac{2x}{10}\right)^2}{\frac{2-x}{10}} = \frac{2}{5}$ 에서  $x=1$  또는  $-2$ 이므로

로  $x=1$ ,  $y=1$ 이다.

화학식량은 A가 B의 2배이고,  $B(g)$   $w$  g의 양이  $4(=2n)$  mol 이므로  $A(g)$   $w$  g의 양은 2 mol이다.

모든 꼭지를 열고 고정 장치를 풀었을 때  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양은 모두 4 mol이고, 새로운 평형 상태에 도달하였을 때 전체 기체의 부피는 30 L이므로 화학 반응은 정반응이 우세하게 진행된다. 이때 화학 반응은 다음과 같다.



평형 상수  $K = \frac{\left(\frac{4+2z}{30}\right)^2}{\frac{4-z}{30}} = \frac{2}{5}$ 에서  $z=1$  또는  $-8$ 이므로

$z=1$ 이다. 온도는 일정하므로 전체 기체의 압력은 전체 기체의 부피에 반비례하고, 전체 기체의 양(mol)에 비례한다.

따라서  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{9}{30}}{\frac{4}{10}} = \frac{3}{4}$ 이다.

## 수능 2점 테스트

본문 056~057쪽

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

## 01 평형 상수

- Ⓐ.  $A(g)$ 와  $B(g)$ 가 평형 상태에 있으므로  $A(g)$ 의 몰 농도는 일정하다.  
 Ⓑ. 평형 상태이므로 용기 속 전체 기체의 압력은 일정하다.  
 ✕. 평형 상수  $K = \frac{[B]}{[A]^2} = 4$ 에서  $[B] : [A]^2 = 4 : 1$ 이므로  $[A] : [B] \neq 4 : 1$ 이다.

## 02 평형 상태

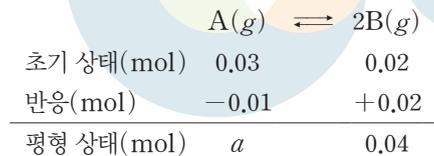
- Ⓒ.  $A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$  반응의  $K = \frac{[C]_{\text{평형}}}{[A]_{\text{평형}}[B]_{\text{평형}}}$ 이다.  
 Ⓓ. 평형 상태이므로 정반응 속도와 역반응 속도는 같다.  
 Ⓔ. 초기 상태에서 1 L의 강철 용기에  $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 모두 0.1 mol이므로 반응 지수  $Q = \frac{0.1}{0.1 \times 0.1} = 10$ 에서  $Q > K$ 이다. 따라서 평형에 도달할 때까지 반응은 역반응이 우세하게 일어나므로 평형 상태에서 기체의 부분 압력은  $A(g) > C(g)$ 이다.

## 03 평형 상태

- $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + 2C(g)$  반응의 평형 상수식은  $K = \frac{[B][C]^2}{[A]^2}$ 이다.  
 Ⓒ. 평형 상태이므로 정반응 속도와 역반응 속도는 같다.  
 ✕. 평형 상수  $K = \frac{2 \times 1^2}{1^2} = 2$ 이다.  
 ✕.  $B(g) + 2C(g) \rightleftharpoons 2A(g)$  반응의 평형 상수는  $K = \frac{[A]^2}{[B][C]^2} = \frac{1^2}{2 \times 1^2} = \frac{1}{2}$ 이다.

## 04 반응 지수와 평형 상수

$A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$  반응의 평형 상수식은  $K = \frac{[B]^2}{[A]}$ 이고, 초기 상태에서 평형 상태에 도달할 때까지 화학 반응은 다음과 같다.



따라서  $a=0.02$ 이다. 반응 지수  $Q = \frac{0.02 \times 0.02}{0.03} = \frac{4}{300}$ 이며,

평형 상수  $K = \frac{0.04 \times 0.04}{0.02} = \frac{8}{100}$ 이므로

$a \times \frac{Q}{K} = 0.02 \times \frac{\frac{4}{300}}{\frac{8}{100}} = \frac{1}{300}$ 이다.

### 05 화학 평형

$aA(g) + B(g) \rightleftharpoons cC(g)$ 의 정반응이 우세하게 일어날 때  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 몰 농도(M)는 감소하고,  $C(g)$ 의 몰 농도(M)는 증가한다. 강철 용기에서 이 반응이 진행될 때, 2가지 물질의 몰 농도(M)는 감소하고, 1가지 물질의 몰 농도(M)는 증가하므로 정반응이 우세하게 일어나고,  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 초기 농도는 각각 3 M, 3 M이다.

✕. 반응 몰 농도비는  $A(g) : B(g) : C(g) = a : 1 : c = 2 : 1 : 2$ 이므로  $a=c=2$ 이다. 따라서  $a-c=0$ 이다.

㉠.  $t_2$  이후로  $A(g) \sim C(g)$ 의 몰 농도(M)는 일정하게 유지되므로 평형 상태이다. 평형 상태( $Q=K$ )에 도달할 때까지 정반응이 우세하게 일어나므로 반응 지수( $Q$ )는  $t_2$ 일 때가  $t_1$ 일 때보다 크다.

㉡. 평형 상수식은  $K = \frac{[C]^2}{[A]^2[B]}$ 이고, 평형 상태에서  $A(g) \sim C(g)$ 의 몰 농도는 각각 1 M, 2 M, 2 M이므로  $K = \frac{2^2}{1^2 \times 2} = 2$ 이다.

### 06 평형 상태

I에서 화학 반응은 다음과 같다.

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

초기 상태(M)	6n		
반응(M)	-2kn	+kn	+kn
평형 상태(M)	xn	xn	xn

$k=x$ 이므로  $6n-2xn=xn$ 에서  $x=2$ 이고, 평형 상수  $K = \frac{2n \times 2n}{(2n)^2} = 1$ 이다.

II에서 화학 반응은 다음과 같다.

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

초기 상태(M)		3n	3n
반응(M)	+2k'n	-k'n	-k'n
평형 상태(M)	2k'n	yn	yn

반응물의 계수와 생성물의 계수 합이 같으므로 반응 전과 후 전체 기체의 양(mol)은 같다. I과 II에서 전체 기체의 몰 농도의 합은 6n M로 같고, 온도가 동일하므로 평형 상수(K)도 같다. 따라서 평형 상태에서  $A(g) \sim C(g)$ 의 몰 농도(M)는 같으므로  $y=2$ 이다.

㉠.  $K=1$ 이다.

✕.  $\frac{y}{x} = \frac{2}{2} = 1$ 이다.

㉡. II에서 평형 상태에 도달했을 때,  $A(g) \sim C(g)$ 의 몰 농도는 모두 2n M이므로  $\frac{[C]}{[A]} = 1$ 이다.

### 07 반응 지수와 평형 상수

(가)에서  $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 2n mol, 5n mol, 2n mol이고, (나)에서  $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각 n mol, 3n mol, 4n mol이므로 반응 몰비는  $A(g) : B(g) : C(g) = 1 : 2 : 2$ 이다.

✕. 반응 몰비는  $B(g) : C(g) = b : 2 = 2 : 2$ 에서  $b=2$ 이다.

㉠. 강철 용기의 부피가 1 L이므로 평형 상수  $K = \frac{(4n)^2}{n \times (3n)^2} = \frac{16}{9n}$   $= \frac{160}{9}$ 에서  $n=0.1$ 이다.

㉡. (가)에서 반응 지수  $Q = \frac{(0.2)^2}{0.2 \times (0.5)^2} = \frac{4}{5}$ 이다.

### 08 화학 평형

초기 상태에서 평형 상태에 도달할 때까지 화학 반응은 다음과 같다.

$$2A(g) \rightleftharpoons bB(g)$$

초기 상태(mol)	0.6	
반응(mol)	-2k	+bk
평형 상태(mol)	0.6-2k	bk

온도와 부피가 일정할 때 전체 기체의 몰비는 강철 용기 속 전체 기체의 압력비와 같다. 따라서  $0.6 : 0.6 - 2k + bk = P : \frac{2}{3}P$ 에서

$(2-b)k=0.2$ 이고,  $b$ 는 반응 계수이므로  $b=1, k=0.2$ 이다.

㉠.  $b=1$ 이다.

㉡. 평형 상태에서  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양은 모두 0.2 mol이므로  $A(g)$ 의 몰 분율은  $\frac{1}{2}$ 이다.

㉢.  $2A(g) \rightleftharpoons B(g)$  반응의 평형 상수  $K = \frac{[B]}{[A]^2} = \frac{0.2}{(0.2)^2} = 5$ 이다.

### 수능 3점 테스트

본문 058~060쪽

- 01 ⑤    02 ⑤    03 ④    04 ⑤    05 ③  
06 ④

### 01 화학 평형

$C(g)$ 의 몰 분율은 초기 상태에서  $\frac{1}{3} (= \frac{0.4}{0.7+0.1+0.4})$ , 평형에 도달했을 때  $\frac{1}{6}$ 이므로 반응이 진행될 때 역반응이 우세하게 일어난다. 실린더에서 반응이 진행되어 평형에 도달할 때까지 화학 반응은 다음과 같다.

$$A(g) + B(g) \rightleftharpoons cC(g)$$

초기 상태(mol)	0.7	0.1	0.4
반응(mol)	+k	+k	-ck
평형 상태(mol)	0.7+k	0.1+k	0.4-ck

$C(g)$ 의 몰 분율은  $\frac{0.4-ck}{0.7+k+0.1+k+0.4-ck} = \frac{1}{6}$ 에서

$5ck+2k=1.2$ (... ①)이고,  $\frac{C(g)의\ 부분\ 압력}{A(g)의\ 부분\ 압력} = \frac{0.4-ck}{0.7+k} = \frac{1}{4}$ 에서

$4ck+k=0.9$ (... ②)이므로 ①과 ②에서  $k=0.1, c=2$ 이다.

㉠. 반응이 진행될 때 역반응이 우세하게 일어나므로  $A(g)$ 의 몰 분율은 증가한다. 따라서  $A(g)$ 의 부분 압력은 증가한다.

㉡.  $c=2$ 이다.

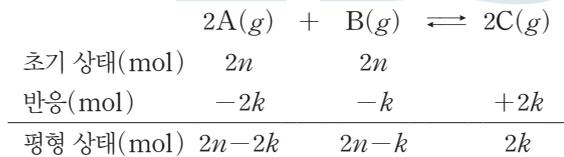
㉔. 반응이 진행되어 도달한 평형 상태에서 A(g)~C(g)의 양은 각각 0.8 mol, 0.2 mol, 0.2 mol이고, 반응 전과 후 전체 기체의 양은

$$\text{같다. 따라서 평형 상수 } K = \frac{\left(\frac{0.2}{V}\right)^2}{\frac{0.8}{V} \times \frac{0.2}{V}} = \frac{1}{4} \text{이다.}$$

## 02 화학 평형

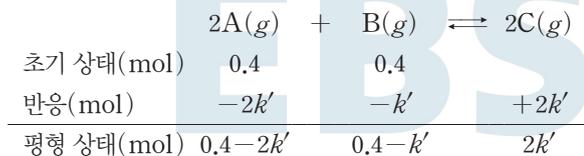
B(g)의 몰 분율은 평형에 도달할 때까지 감소하므로 정반응이 우세하게 일어난다.

초기 상태에서 B(g)의 몰 분율은  $\frac{1}{2}$ 이므로 A(g), B(g)의 양을 각각 2n mol, 2n mol이라고 하면, 반응이 진행되어 평형에 도달할 때까지 화학 반응은 다음과 같다.



$t_2$  min에서 B(g)의 몰 분율이 일정하므로 평형에 도달하였고, B(g)의 몰 분율은  $\frac{2n-k}{2n-2k+2n-k+2k} = \frac{3}{7}$ 에서  $n=2k$ 이고, 평형 상수  $K = \frac{(2k)^2}{(2k)^2 \times 3k} = \frac{10}{3}$ 에서  $k=0.1$ 이다.

㉕.  $t_1$  min에서 화학 반응은 다음과 같다.



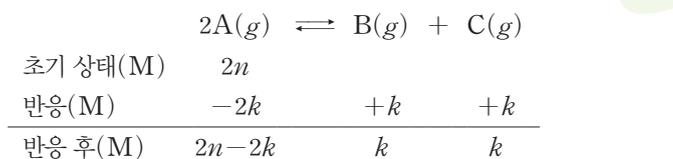
B(g)의 몰 분율은  $\frac{0.4-k'}{0.4-2k'+0.4-k'+2k'} = \frac{7}{15}$ 에서  $k'=0.05$ 이므로 C(g)의 양은 0.1 mol이다.

㉖.  $t_2$  min에서 평형 상태이므로 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)는 같다. 따라서 반응 지수(Q)는  $\frac{10}{3}$ 이다.

㉗.  $t_1$  min,  $t_2$  min에서 전체 기체의 양은 각각 0.75 mol, 0.7 mol이므로  $\frac{t_2 \text{ min에서 전체 기체의 압력}}{t_1 \text{ min에서 전체 기체의 압력}} = \frac{0.7}{0.75} = \frac{14}{15}$ 이다.

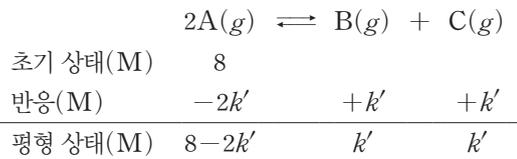
## 03 반응 지수와 평형 상수

초기 상태에서 강철 용기에 들어 있는 A(g)의 몰 농도를 2n M라고 하면,  $t_2$ 에서 화학 반응은 다음과 같다.



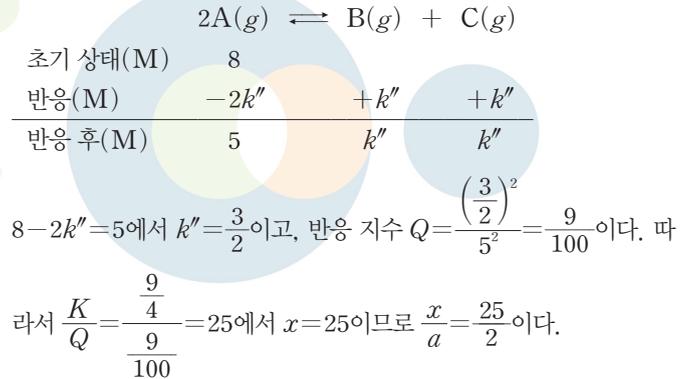
$\frac{K}{Q} = \frac{9}{4} = 9$ 에서  $Q = \frac{1}{4}$ 이므로  $Q = \frac{k^2}{(2n-2k)^2} = \frac{1}{4}$ 에서  $n=2k$ 이므로 초기 상태에서 [A]=8 M이다.

$t_3$ 에서  $\frac{K}{Q} = 1$ 이므로 평형 상태이고, 화학 반응은 다음과 같다.



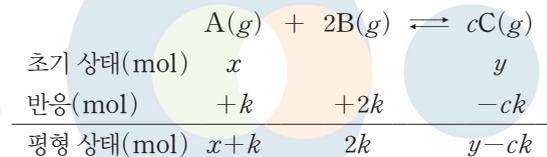
평형 상수  $K = \frac{(k')^2}{(8-2k')^2} = \frac{9}{4}$ 에서  $k'=3$ 이므로  $a=2$ 이다.

$t_1$ 에서 [A]=5 M이고, 화학 반응은 다음과 같다.



## 04 화학 평형

I에서 A(g) 7w g의 양을 x mol, C(g) 32w g의 양을 y mol이라고 하면, B(g)가 생성되므로 반응은 역반응이 우세하게 일어난다. I에서 화학 반응은 다음과 같다.



(나) 과정 후 A(g)의 몰 분율은  $\frac{x+k}{x+k+2k+y-ck} = \frac{2}{7}$ 에서  $5x-2y=-k-2ck$ (... ①)이다.

온도와 부피가 일정할 때 전체 기체의 몰비는 강철 용기 속 전체 기체의 압력비와 같으므로 I에서 반응 전 : 반응 후 =  $x+y : x+y+3k-ck = P : \frac{7}{5}P$ 에서  $2x+2y=15k-5ck$ (... ②)이다. ①과 ②에서  $x=(2-c)k$ 에서 c는 반응 계수이므로  $c=1$ 이고,  $x=k$ ,  $y=4k$ 이다.

(나)에서 평형 상수  $K = \frac{3k}{2k \times (2k)^2} = \frac{3}{8k^2}$ 이다.

II에서 A(g) 42w g의 양은 6k mol이고, 꼭지를 열었을 때 부피는 1 L에서 2 L로 2배가 되고, 몰 농도(M)는  $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 반응 지

수  $Q = \frac{\frac{3}{2}k}{4k \times k^2} = \frac{3}{8k^2}$ 이다. 따라서  $Q=K$ 이므로 평형 상태이다.

㉔. c=1이다.

㉕. (다) 과정 후 C(g)의 몰 분율은  $\frac{3}{13}$ 이고, 전체 기체의 압력을  $P'$  atm이라고 하면, 온도는 일정하므로

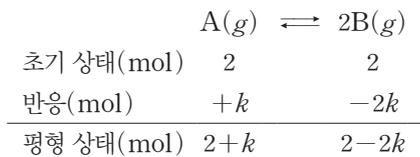
$\frac{P \text{ atm} \times 1 \text{ L}}{5k \text{ mol}} = \frac{P' \text{ atm} \times 2 \text{ L}}{13k \text{ mol}}$ 에서  $P' = \frac{13}{10}P$ 이다. 따라서 (다) 과정 후 C(g)의 부분 압력(atm)은 C(g)의 몰 분율  $\times$  전체 기체의 압력 =  $\frac{3}{13} \times \frac{13}{10}P = \frac{3}{10}P$ 이므로  $x = \frac{3}{10}$ 이다.

㉔.  $A(g)$   $7w$  g의 양은  $k$  mol,  $C(g)$   $32w$  g의 양은  $4k$  mol에서 A와 C의 분자량비는  $\frac{7w}{k} : \frac{32w}{4k} = 7 : 8$ 이므로 A와 C의 분자량을 각각  $7M$ ,  $8M$ 이라고 하면 B의 분자량 =  $\frac{C의 분자량 - A의 분자량}{2}$

$$= \frac{M}{2}$$
이다. 따라서  $\frac{B의 분자량}{A의 분자량} = \frac{\frac{M}{2}}{7M} = \frac{1}{14}$ 이다.

## 05 화학 평형

실린더와 강철 용기 속 들어 있는  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 온도와 압력, 부피가 같으므로 강철 용기 속  $B(g)$ 의 양은 2 mol이다. 꼭지를 열었을 때  $A(g)$ 의 몰 분율은  $\frac{1}{2}$ 이고, 반응이 진행되어 평형에 도달했을 때  $A(g)$ 의 몰 분율은  $\frac{5}{7}$ 로 증가하므로 역반응이 우세하게 일어난다. 초기 상태에서 평형 상태에 도달할 때까지 화학 반응은 다음과 같다.



$A(g)$ 의 몰 분율은  $\frac{2+k}{2+k+2-2k} = \frac{5}{7}$ 에서  $k = \frac{1}{2}$ 이다. 온도와 압력은 일정하므로 평형 상태에서 전체 기체의 부피를  $V$  L라고 하면,

$$\frac{1 \text{ L}}{2 \text{ mol}} = \frac{V \text{ L}}{\frac{7}{2} \text{ mol}} \text{ 에서 } V = \frac{7}{4} \text{ 이다.}$$

㉕. 평형 상태에서 전체 기체의 부피는  $\frac{7}{4}$  L이다.

㉖. 평형 상태에서  $B(g)$ 의 양은 1 mol이므로  $B(g)$ 의 몰 농도는  $\frac{1 \text{ mol}}{\frac{7}{4} \text{ L}} = \frac{4}{7} \text{ M}$ 이다.

✕. 평형 상수  $K = \frac{\left(\frac{1}{\frac{7}{4}}\right)^2}{\frac{2.5}{\frac{7}{4}}} = \frac{8}{35}$ 이다.

## 06 화학 평형

(가)와 (나)에서 전체 기체의 양을 각각  $n$  mol,  $m$  mol이라고 하면,

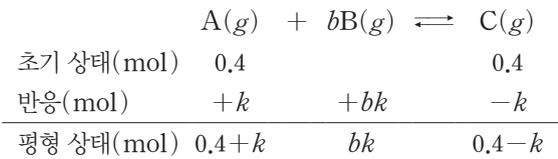
온도는 일정하므로  $\frac{\frac{10}{7} \text{ atm} \times 1 \text{ L}}{n \text{ mol}} = \frac{1 \text{ atm} \times \frac{5}{2} \text{ L}}{m \text{ mol}}$ 에서  $\frac{m}{n} = \frac{7}{4}$

이다.

(나)에서  $C(g)$ 의 부분 압력 =  $\frac{1 \text{ atm} \times \frac{0.1}{m}}{10}$ 에서  $m = 1.4$ 이  
 (가)에서  $C(g)$ 의 부분 압력 =  $\frac{\frac{10}{7} \text{ atm} \times \frac{1}{2}}{10}$

므로 (나)에서  $B(g)$ 의 양은 1 mol이고,  $n = 0.8$ 이므로 (가)에서  $A(g)$ 와  $C(g)$ 의 양은 각각 0.4 mol, 0.4 mol이다.

(가)에서  $B(g)$ 가 생성되는 방향으로 반응은 우세하게 일어나므로 역반응이 우세하게 일어나고, (나)에서 화학 반응은 다음과 같다.



(나)에서  $A(g)$ 의 몰 분율은  $\frac{1}{2}$ 이므로  $b = 2$ 이다.

(가)와 (나)에서 온도와 부피는 일정하므로

$$\frac{\frac{10}{7} \text{ atm}}{0.8 \text{ mol}} = \frac{\frac{15}{7} \text{ atm}}{(0.8+2k) \text{ mol}} \text{ 에서 } k = 0.2 \text{ 이다.}$$

✕. (나)에서  $B(g)$ 의 양은 1 mol이다.

㉕. (나)에서 평형 상수  $K = \frac{0.2}{0.6 \times (0.4)^2} = \frac{25}{12}$ 이다.

㉖. (나)에서  $C(g)$ 의 부분 압력은  $\frac{0.2}{1.2} \times \frac{15}{7} \text{ atm} = \frac{5}{14} \text{ atm}$ 이다.

## 많은 풀 문제로 유형 익히기

본문 063쪽

## 정답 ③

$2A(g) \rightleftharpoons B(g)$  반응의 평형 상수  $K = \frac{[B]}{[A]^2}$ 이다.

㉠ 실린더 속에서 반응 전  $A(g)$ 가 1 mol이므로 다음과 같이 화학 변화의 양적 관계를 쓸 수 있다.

$2A(g) \rightleftharpoons B(g)$
처음(mol)      1
반응(mol) $-2x$ $+x$
반응 후(mol) $1-2x$ $x$

평형 상태에서  $A(g)$ 의 몰 분율이  $\frac{1}{2}$ 이므로  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양(mol)이 같고  $1-2x=x$ ,  $x=\frac{1}{3}$ 이다. 평형 상태에서  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양은 각각  $\frac{1}{3}$  mol이고, 혼합 기체의 양(mol)이  $\frac{2}{3}$  mol이므로 기체의 부피는  $\frac{2}{3}$  L이다. 그러므로 T K에서 평

형 상태에서  $[A]=[B]=\frac{1}{2}$  M이고,  $K = \frac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = 2$ 이다.

✕ 강철 용기 속 반응 전  $B(g)$ 만 들어 있으므로 다음과 같이 화학 변화의 양적 관계를 쓸 수 있다.

$2A(g) \rightleftharpoons B(g)$
처음(mol)      ( )
반응(mol) $+y$ $-\frac{1}{2}y$
반응 후(mol) $y$ $y$

평형 상태에서  $A(g)$ 의 몰 분율이  $\frac{1}{2}$ 이므로  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양(mol)이 같고 반응 전  $B(g)$ 의 양은  $\frac{3}{2}y$  mol이다. 평형 상태에서  $[A]=[B]=y$  M이고,  $K = \frac{y}{y^2} = 2$ 이므로  $y = \frac{1}{2}$ 이다. 그러므로 반응 전  $B(g)$ 의 양은  $\frac{3}{2}y \text{ mol} = \frac{3}{4} \text{ mol}$ 이고, 평형 상태에서  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양은 각각  $\frac{1}{2}$  mol이다.

일정한 온도와 부피에서 '기체의 압력  $\propto$  기체의 양(mol)'이므로 반응 전 실린더 속 기체의 압력( $P_1$ ) : 강철 용기 속 기체의 압력( $P_2$ )의 비  $P_1 : P_2 = 4 : 3$ 이다.

㉡ 꼭지를 열기 전  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양은 각각  $\frac{5}{6}$  mol로 같다. 꼭지를 열어 혼합 후 기체의 부피(실린더와 강철 용기의 부피의 합)가  $\frac{5}{3}$  L이고 반응이 진행되지 않았다고 가정하면

$[A]=[B]=\frac{\frac{5}{6} \text{ mol}}{\frac{5}{3} \text{ L}} = \frac{1}{2}$  M이다. 반응 지수  $Q = \frac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = 2 = K$

이므로 평형 상태이고 꼭지를 연 후 새로운 평형에 도달하면 실린더 속 기체의 부피는  $\frac{2}{3}$  L이다.

## 수능 2점 테스트

본문 064~066쪽

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

## 01 조건 변화와 평형 이동

㉠ 정반응이 흡열 반응(정반응의  $\Delta H > 0$ )이므로 가열하면 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

㉡ 0.1 M  $\text{CoCl}_2(aq)$ 인 (가)에 2 M  $\text{HCl}(aq)$ 을 넣으면  $\text{Cl}^-$ 이 증가하여  $\text{Cl}^-$ 을 소비하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

✕  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 을 추가하면  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 을 소비하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

## 02 농도 변화와 평형 이동

㉠ 0.1 M  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7(aq)$ 의  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(aq)$ 은 0.1 M이고  $\text{KOH}(s)$ 을 넣었을 때 반응한  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(aq)$ 을  $x$  M라고 하면 평형의 양적 관계는 다음과 같다.

$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
처음(M)      0.1
반응(M) $-x$ $+2x$
평형(M) $0.1-x$ $2x$

평형에서  $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]$ 와  $[\text{CrO}_4^{2-}]$ 는 각각  $(0.1-x)$  M,  $2x$  M이므로  $2[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] + [\text{CrO}_4^{2-}] = 0.2$  M이다.

✕  $\text{KCl}(s)$ 을 넣으면 용액에  $\text{K}^+$ 과  $\text{Cl}^-$ 이 증가하지만 반응물이나 생성물의 농도에 영향을 주지 않으므로 평형을 이동시키지 않는다.

✕ 1 M  $\text{HCl}(aq)$ 을 소량 넣어 주면  $\text{H}^+$ 에 의해 용액의  $\text{OH}^-$  농도가 감소하므로 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 주황색이 진해진다.

## 03 조건 변화와 평형 이동

㉠ 이 반응에서 압력은 일정하다. (가)에  $\text{H}_2(g)$ 와  $\text{N}_2(g)$ 를 각각  $n$  mol씩 추가로 넣어 주어 도달한 평형 상태는 처음부터  $\text{H}_2(g)$ 와  $\text{N}_2(g)$ 를 각각  $2n$  mol씩 넣고 도달한 평형 상태와 같다. 그러므로  $\text{H}_2(g)$ 와  $\text{N}_2(g)$ 를 각각  $n$  mol씩 추가로 넣어 주어 도달한 새로운 평형 상태에서  $\text{H}_2(g)$ ,  $\text{N}_2(g)$ ,  $\text{NH}_3(g)$ 의 농도는  $\text{H}_2(g)$ 와  $\text{N}_2(g)$ 를 각각  $2n$  mol씩 넣어 반응을 진행시켜 도달한 평형 상태에서와 같고 각 기체의 양(mol)은 2배가 되므로  $\text{NH}_3(g)$ 의 양은  $2c$  mol이다.

✕ 정촉매는 반응 속도를 빠르게 하는 물질이다. 촉매는 평형을 이동시키지 않으므로 정촉매를 넣어 주어도  $\text{NH}_3(g)$ 의 양은  $c$  mol이다.

㉔. 추를 제거하면 기체의 압력이 감소하여 기체의 양(mol)이 증가하는 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로  $\text{NH}_3(g)$ 의 양이  $c$  mol보다 작아진다.

#### 04 조건 변화와 평형 이동

$\text{A}(g) + \text{B}(g) \rightleftharpoons 2\text{C}(g)$  반응의 평형 상수  $K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]}$ 이다. 이

반응은 반응 전후 기체의 양(mol) 변화가 없다.

㉕. 반응 전후 기체의 양(mol) 변화가 없고, 혼합 기체의 전체 압력은 1 atm으로 일정하므로 혼합 기체의 부피 변화는 온도 변화에 의한 것이다. 그러므로  $T_1 : T_2 = V : \frac{4}{3}V = 3 : 4$ 이다.

㉖.  $T_1 < T_2$ 이고,  $\text{A}(g) + \text{B}(g) \rightleftharpoons 2\text{C}(g)$ 의 정반응의 반응 엔탈피  $\Delta H > 0$ 이므로 온도가 높아지면 흡열 반응인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 혼합 기체에서 어떤 기체의 부분 압력은 '전체 압력  $\times$  기체의 몰 분율'이다. 혼합 기체의 전체 압력은 (가)와 (나) 모두 1 atm이고,  $\text{A}(g)$ 의 양(mol)은 (가) > (나)이므로  $\text{A}(g)$ 의 몰 분율은 (가) > (나)이다. 그러므로  $\text{A}(g)$ 의 부분 압력은 (가) > (나)이다.

㉗. (가)에서 (나)로 온도가 높아지면서 흡열 반응인 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 C의 양(mol)은 (나) > (가)이다. (나)를  $T_2$  K로 유지하면서 피스톤 위에 추를 올려 전체 기체의 압력을 증가시키더라도 반응 전후 기체의 양(mol) 변화가 없기 때문에 평형이 이동하지 않는다. 그러므로 C의 양(mol)은 (가)에서보다 크고 (나)에서와 같다.

#### 05 압력 변화와 평형 이동

㉘. 평형을 이루고 있는 혼합 기체에 압력을 가하여 부피를 감소시키면 기체의 양(mol)이 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로  $\text{NO}_2$ 의 양(mol)은 감소하고  $\text{N}_2\text{O}_4$ 의 양(mol)은 증가한다. 그러므로  $\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]}$ 는 (가) < (다)이다.

㉙. 평형을 이루고 있는 혼합 기체에 압력을 가하여 부피를 감소시키면 기체의 양(mol)이 감소하는 쪽으로 평형이 이동한다. (나)는 실린더 (가)의 부피를 감소시킨 직후로 평형 상태가 아니므로 기체의 양(mol)은 (나) > (다)이다.

㉚. 혼합 기체의 색은 적갈색을 띠는  $\text{NO}_2(g)$ 의 농도에 비례한다. 압력을 가하면 혼합 기체의 양(mol)을 줄이는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. (가)에서  $\text{NO}_2(g)$ 와  $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 몰 농도를 각각  $[\text{NO}_2]_{(가)}$ ,  $[\text{N}_2\text{O}_4]_{(가)}$ 라고 하고, (다)에서  $\text{NO}_2(g)$ 와  $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 몰 농도를 각각  $[\text{NO}_2]_{(다)}$ ,  $[\text{N}_2\text{O}_4]_{(다)}$ 라고 하면 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]_{(가)}}{([\text{NO}_2]_{(가)})^2} = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]_{(다)}}{([\text{NO}_2]_{(다)})^2}$$

$[\text{N}_2\text{O}_4]_{(가)} < [\text{N}_2\text{O}_4]_{(다)}$ 이므로  $[\text{NO}_2]_{(가)} < [\text{NO}_2]_{(다)}$ 이다. 그러므로 혼합 기체의 색은 (다)에서가 (가)에서보다 진하다.

#### 06 농도 변화와 평형 이동

$2\text{A}(g) \rightleftharpoons \text{B}(g)$  반응의 평형 상수  $K = \frac{[\text{B}]}{[\text{A}]^2}$ 이다. 이 반응은 부피가 일정한 용기에서 일어나고 있다.

㉛.  $\text{A}(g)$ 만을 넣고 반응이 진행되어 평형에 도달하였고,  $\text{A}(g)$ 와  $\text{B}(g)$ 의 반응 계수비가 2 : 1이므로 반응한  $\text{A}(g)$ 의 양은 0.4 mol이다. 그러므로 처음 넣어 준  $\text{A}(g)$ 의 양은 0.5 mol이다.

㉜.  $T$  K에서  $\text{A}(g)$ 와  $\text{B}(g)$ 의 평형 농도가 각각 0.1 M, 0.2 M이므로 평형 상수  $K = \frac{[\text{B}]}{[\text{A}]^2} = \frac{0.2}{0.1^2} = 20$ 이다.

㉝.  $T$  K에서  $\text{A}(g)$ 를 추가로 0.5 mol 넣어 평형에 도달한 것은 처음부터  $\text{A}(g)$ 를 1 mol 넣어 평형에 도달한 것과 같다. 만약 평형 상태에서 농도비가  $\frac{[\text{B}]}{[\text{A}]} = 2$ 라고 하면  $[\text{A}] = 0.2$  M,  $[\text{B}] = 0.4$  M이다. 이 농도로 반응 지수를 구해 보면  $Q = \frac{[\text{B}]}{[\text{A}]^2} = \frac{0.4}{0.2^2} = 10$ 으로  $K$ 보다 작다. 그러므로  $T$  K에서  $\text{A}(g)$ 를 추가로 0.5 mol 넣어 평형에 도달할 때  $\frac{[\text{B}]}{[\text{A}]}$ 는 2가 아니다.

#### 07 온도 변화와 평형 이동

(가)는  $T_1$  K에서 실린더에  $3x$  mol의  $\text{A}(g)$ 를 넣어 반응이 진행되어 도달한 평형 상태이고  $\text{A}(g)$ 의 양이  $2x$  mol이므로  $\text{B}(g)$ 와  $\text{C}(g)$ 의 양은 각각  $0.5x$  mol,  $x$  mol이다. (가)에서 기체의 양은  $3.5x$  mol이다. (나)는 온도를  $T_2$  K로 변화시켜 도달한 새로운 평형 상태이고  $\text{A}(g)$ 의 양이  $x$  mol이므로  $\text{B}(g)$ 와  $\text{C}(g)$ 는 각각  $x$  mol,  $2x$  mol이다. (나)에서 기체의 양은  $4x$  mol이다.

㉞. (나)에서  $\text{A}(g)$ ,  $\text{B}(g)$ ,  $\text{C}(g)$ 는 각각  $x$  mol,  $x$  mol,  $2x$  mol이므로  $[\text{A}] = [\text{B}]$ 이다.

㉟. 기체의 압력이 일정할 때 기체의 부피는 '기체의 양(mol)  $\times$  온도'에 비례한다. (가)와 (나)에서 기체의 압력은 1 atm으로 일정하고, 기체의 양(mol)은 각각  $3.5x$  mol,  $4x$  mol이고, 기체의 부피는 각각  $V$  L,  $2V$  L이다. 그러므로  $V : 2V = 3.5x \times T_1 : 4x \times T_2$ 이므로  $T_2 = \frac{7}{4}T_1$ 이다. 따라서  $T_2 > 1.6T_1$ 이다.

㊱. 온도가  $T_1$  K에서  $T_2$  K로 증가할 때 정반응 쪽으로 평형이 이동하였으므로 정반응은 흡열 반응( $\Delta H > 0$ )이다.

#### 08 온도 변화와 평형 이동

$T_1$  K의 평형 상태에서  $\text{A}(g)$ ,  $\text{B}(g)$ ,  $\text{C}(g)$ 의 양은 각각  $2x$  mol,  $0.5x$  mol,  $x$  mol이고, 기체의 부피는  $V$  L이므로 평형 상수  $K_1$ 은 다음과 같다.

$$K_1 = \frac{[\text{B}][\text{C}]^2}{[\text{A}]^2} = \frac{0.5x \times x^2}{(2x)^2} \times \frac{1}{V} = \frac{x}{8V}$$

$T_2$  K의 평형 상태에서  $\text{A}(g)$ ,  $\text{B}(g)$ ,  $\text{C}(g)$ 의 양은 각각  $x$  mol,  $x$  mol,  $2x$  mol이고, 기체의 부피는  $2V$  L이므로 평형 상수  $K_2$ 는 다음과 같다.

$$K_2 = \frac{[\text{B}][\text{C}]^2}{[\text{A}]^2} = \frac{x \times (2x)^2}{x^2} \times \frac{1}{2V} = \frac{2x}{V}$$

혼합 기체에서 어떤 기체의 부분 압력은 '전체 압력  $\times$  기체의 몰 분율'이다. (가)와 (나)에서 전체 압력은 모두 1 atm으로 같고, (가)와 (나)에서  $\text{A}(g)$ 의 몰 분율은 각각  $\frac{4}{7}$ ,  $\frac{1}{4}$ 이므로 (가)에서  $\text{A}(g)$  부분 압력( $P_1$ )과 (나)에서  $\text{A}(g)$  부분 압력( $P_2$ )은 각각  $\frac{4}{7}$  atm,  $\frac{1}{4}$  atm이다.

$$\text{그러므로 } \frac{K_2}{K_1} \times \frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{2x}{V}}{\frac{x}{8V}} \times \frac{\frac{1}{4} \text{ atm}}{\frac{4}{7} \text{ atm}} = 7 \text{이다.}$$

### 09 조건 변화와 평형 이동

×. (가)에서 (나)로 될 때 압력이 증가하고 온도가 변하였는데, A(g)의 몰 분율이 감소하므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한 것이다. 만약 압력만 증가하였다면 기체의 양(mol)을 줄이는 역반응 쪽으로 평형이 이동하고 A(g)의 몰 분율이 증가하게 된다. 그러므로 (가)에서 (나)로 될 때 평형이 정반응 쪽으로 이동한 것은 온도 변화에 의한 것이다. 정반응이 흡열 반응이므로 (나)에서의 온도가 (가)에서의 온도보다 높다( $T_2 > T_1$ ).

×. (가)에서 A(g)의 양을  $n$  mol이라고 하면 B(g)의 양은  $2n$  mol이다. (나)에서 기체의 양(mol)은 다음 관계로 구한다.

	$A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$	
(가)(mol)	$n$	$2n$
반응(mol)	$-x$	$+2x$
(나)(mol)	$n-x$	$2(n+x)$

(나)에서 A(g)와 B(g)의 몰 분율비가 1 : 6이므로  $(n-x) : 2(n+x) = 1 : 6$ 이고,  $x = 0.5n$ 이다. 그러므로 (나)에서 A(g)와 B(g)의 양은 각각  $0.5n$  mol,  $3n$  mol이다. (가)와 (나)에서 기체의 부피는 같으므로 몰 농도의 비가 물질의 양(mol)에 비례한다. 그러므로

$$\frac{\text{(나)의 } [B]}{\text{(가)의 } [A]} = \frac{3n}{n} = 3 \text{이다.}$$

$$\textcircled{C}. \text{ (가)와 (나)의 평형 상수비 } K_1 : K_2 = \frac{\left(\frac{2n}{V}\right)^2}{\left(\frac{n}{V}\right)} : \frac{\left(\frac{3n}{V}\right)^2}{\left(\frac{0.5n}{V}\right)}$$

$$= \frac{4n}{V} : \frac{18n}{V} = 2 : 9 \text{이다.}$$

### 10 온도 변화와 평형 이동

$PV = nRT$ 에서  $RT_1 = 20 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}$ 이므로 (가)에서 기체의 양  $n = \frac{PV}{RT_1} = \frac{1 \text{ atm} \times 1 \text{ L}}{20 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}} = 0.05 \text{ mol}$ 이다.

×. (가)에서 A(g)의 양은 0.02 mol이므로 처음 넣어 준 A(g)의 양은 0.04 mol이다. 온도를  $T_2$  K로 변화시켜 도달한 평형 (나)에서 A(g)는 0.016 mol이므로 (가)와 (나)에서 물질의 양은 다음과 같다.

	$2A(g) \rightleftharpoons B(g) + 2C(g)$		
처음(mol)	0.04		
반응(mol)	$-0.02$	$+0.01$	$+0.02$
(가)(mol)	0.02	0.01	0.02
반응(mol)	$-0.004$	$+0.002$	$+0.004$
(나)(mol)	0.016	0.012	0.024

그러므로 기체의 양은 (가)에서 0.05 mol, (나)에서 0.052 mol이므로 (나)에서가 (가)에서보다 0.002 mol 더 많다.

ⓐ.  $2A(g) \rightleftharpoons B(g) + 2C(g)$  반응의  $K = \frac{[B][C]^2}{[A]^2}$ 이다. (가)에서 [A], [B], [C]는 각각 0.02 M, 0.01 M, 0.02 M이므로  $K = \frac{0.01 \times 0.02^2}{0.02^2} = 0.01$ 이다.

×. 기체의 양은 (가)에서 0.05 mol, (나)에서 0.052 mol이고, 기체의 압력은 (가)와 (나)에서 모두 1 atm이다.  $PV = nRT$ 에서  $T \propto \frac{V}{n}$ 이다.  $T_1 : T_2 = \frac{1}{0.05} : \frac{1.2}{0.052}$ 이므로  $T_1 < T_2$ 이다.

$2A(g) \rightleftharpoons B(g) + 2C(g)$  반응의  $K = \frac{[B][C]^2}{[A]^2}$ 이다. (나)에서

[A], [B], [C]는 각각  $\frac{0.016}{1.2}$  M,  $\frac{0.012}{1.2}$  M,  $\frac{0.024}{1.2}$  M이므로

$$K = \frac{0.01 \times \left(\frac{0.024}{1.2}\right)^2}{\left(\frac{0.016}{1.2}\right)^2} = \frac{9}{4} \times 0.01 \text{이다. 평형 상수는 (가) < (나)이다.}$$

다. 온도가  $T_1$  K에서  $T_2$  K로 높아질 때 평형 상수가 증가하므로 정반응은 흡열 반응이고  $\Delta H > 0$ 이다.

### 11 조건 변화와 평형 이동

ⓐ. (가)에 압력을 가하여 기체의 부피가 2 L에서 1 L로 감소함에 따라 평형에서 [A]가  $x$  M에서  $2x$  M로 증가하였으므로 평형의 이동이 일어나지 않았다. 반응 전후 기체의 양(mol) 변화가 없으므로  $2 = 1 + c$ ,  $c = 1$ 이다.

ⓑ. (가)는  $T_1$  K에서 실린더에 A(g)를 넣어 반응이 진행되어 도달한 평형 상태이다.  $[A] = x$  M이고  $[B] = [C] = y$  M라고 하면 평형 상수  $K = 4$ 이므로  $\frac{[B][C]}{[A]^2} = \frac{y^2}{x^2} = 4$ ,  $y = 2x$ 이다. (가)와 (나)에서 물질의 양은 다음과 같다.

	$2A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$		
(가)(mol)	$2x$	$4x$	$4x$
반응(mol)	$+4x$	$-2x$	$-2x$
(나)(mol)	$6x$	$2x$	$2x$

B(g)의 양은 (가)와 (나)에서  $4x$  mol로 같고 (나)에서는  $2x$  mol이므로 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

×. (나)에서 A(g)의 양은  $6x$  mol, B(g)의 양은  $2x$  mol이므로  $\frac{[B]}{[A]} = \frac{1}{3}$ 이다.

### 12 조건 변화와 평형 이동

(나)에서  $[A] = 2x$  M,  $[B] = [C] = \frac{2x}{3}$  M이므로  $T_2$  K에서 평형

$$\text{상수}(K) \text{는 } \frac{[B][C]}{[A]^2} = \frac{\left(\frac{2x}{3}\right)^2}{(2x)^2} = \frac{1}{9} \text{이다.}$$

기체의 양(mol)은 (가)와 (나)가 같고 기체의 부피는 (가)가 (나)의 2배이므로 (나)에서 전체 기체의 압력은 2 atm이다. (나)에서 C의 몰 분율은  $\frac{4}{10}$ 이므로 C의 부분 압력은  $\frac{4}{5}$  atm이다.

(다)에서 전체 기체의 압력은 1 atm이고 C의 몰 분율은  $\frac{2}{10}$ 이므로 C의 부분 압력은  $\frac{1}{5}$  atm이다. 그러므로

$$(T_2 \text{ K에서의 } K) \times \frac{(\text{나})에서 C의 부분 압력}{(\text{다})에서 C의 부분 압력} = \frac{1}{9} \times \frac{\frac{4}{5}}{\frac{1}{5}} = \frac{4}{9} \text{이다.}$$

### 수능 3점 테스트

본문 067~069쪽

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

## 01 조건 변화와 화학 평형 이동

$A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$  반응이 평형 상태에 있을 때  $A(g)$ ,  $B(g)$ 의 농도를 각각  $[A]$ ,  $[B]$ 라고 하면, 평형 상수  $K = \frac{[B]^2}{[A]}$ 이다.

✕. 평형 상태에서 반응물  $A(g)$ 를 추가하여 넣는 순간 반응 지수(Q)가  $K$ 보다 작아져 반응물  $A(g)$ 를 소모하고 생성물  $B(g)$ 를 생성하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 반응이 진행함에 따라 기체의 양(mol)이 증가하고 혼합 기체의 부피가 기체의 양(mol) 증가에 비례하여 증가하지만, 온도가 일정하므로 평형 상수  $K$ 도 일정하다. 그러므로 새로운 평형 상태에서  $[B]$ 는 처음 평형 상태에서와 같다.

✕. 평형에서의  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 몰 농도를 각각  $[A]$ ,  $[B]$ 라고 하면 평형 상수  $K = \frac{[B]^2}{[A]}$ 이다.

He(g)을 첨가하면 기체의 부피가 증가하므로 기체의 양(mol)이 증가하는 방향, 즉 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형 상태에 도달한다. 새로운 평형 상태에서  $A(g)$ 의 양(mol)은 처음 평형 상태에서보다 작고 혼합 기체의 부피는 증가하므로, 새로운 평형 상태에서  $A(g)$ 의 몰 농도를  $[A']$ 이라고 하면  $[A'] < [A]$ 이다. 새로운 평형 상태에서  $B(g)$ 의 몰 농도를  $[B']$ 이라고 할 때, 처음 평형 상태와 새로운 평형 상태에서 온도는  $T$  K로 일정하므로 평형 상수는 같고 다음 관계가 성립한다.

$$K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{([B'])^2}{[A']}$$

$[A'] < [A]$ 이므로  $[B'] < [B]$ 이다. 그러므로  $T$  K에서 He(g)을 넣어 새로운 평형에 도달할 때  $[B]$ 는 증가하지 않는다.

㉠. 온도는 일정하므로 평형 상수  $K$ 도 일정하다. 압력을 가하면 혼합 기체의 부피를 줄이는 방향인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 처음 평형 상태에서  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 농도를 각각  $[A]$ ,  $[B]$ 라고 하고, 새로운 평형 상태에서의  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 농도를 각각  $[A']$ ,  $[B']$ 라고 하면 다음과 같다.

$$K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{([B'])^2}{[A']}$$

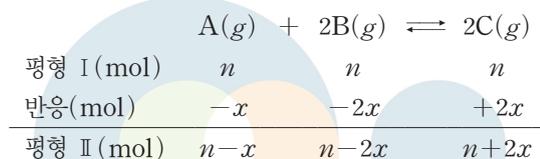
가 새로운 평형 상태에서보다 크므로  $[A'] > [A]$ 이고  $[B'] > [B]$ 이다. 그러므로 새로운 평형 상태에 도달할 때  $[B]$ 는 증가한다.

## 02 온도 변화와 화학 평형 이동

$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$  반응의 평형 상수  $K = \frac{[C]^2}{[A][B]^2}$ 이다.

$$T_1 \text{ K에서 평형 상수 } K_1 = \frac{\left(\frac{n}{V}\right)^2}{\frac{n}{V} \times \left(\frac{n}{V}\right)^2} = \frac{V}{n} \text{이다.}$$

평형 이동에 의한 화학 변화의 양적 관계를 다음과 같이 쓸 수 있다.



$T_2$  K에서 A의 몰 분율이 0.3이므로  $\frac{n-x}{3n-x} = \frac{3}{10}$ 이고  $x = \frac{n}{7}$ 이다. 그러므로 평형 상태 II에서  $A(g)$ ,  $B(g)$ ,  $C(g)$ 의 양은 각각  $\frac{6n}{7}$  mol,  $\frac{5n}{7}$  mol,  $\frac{9n}{7}$  mol이다.  $T_2$  K에서 평형 상수

$$K_2 = \frac{\left(\frac{9n}{7V}\right)^2}{\left(\frac{6n}{7V}\right) \times \left(\frac{5n}{7V}\right)^2} = \frac{3^3 \times 7}{50} \times \frac{V}{n} \text{이다. 평형 상태 I과 II에}$$

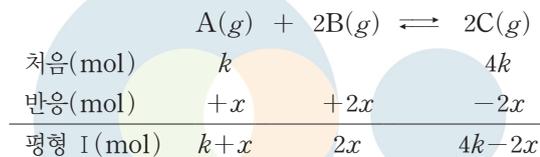
서 전체 기체의 양은 각각  $3n$  mol,  $\frac{20n}{7}$  mol이고 전체 압력과 부피가 같으므로  $T_1 : T_2 = 20 : 21$ 이다.

$$\text{그러므로 } \frac{T_1}{T_2} \times \frac{K_2}{K_1} = \frac{20}{21} \times \frac{\frac{3^3 \times 7}{50} \times \frac{V}{n}}{\frac{V}{n}} = \frac{18}{5} \text{이다.}$$

## 03 조건의 변화와 화학 평형 이동

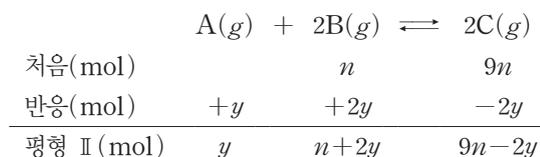
화학 반응식이  $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 이고, 화학식량은 B가 A의 2배이므로 화학식량의 비는  $A : B : C = 2 : 4 : 5$ 이다.

(가)에서  $A(g)$   $w$  g과  $C(g)$   $10w$  g을 넣어 주었는데,  $A(g)$   $w$  g에 해당하는 양을  $k$  mol이라고 하면  $C(g)$   $10w$  g은  $4k$  mol이다. 다음과 같이 화학 변화의 양적 관계를 쓸 수 있다.



평형 상태 I에서 A의 몰 분율이  $\frac{1}{3}$ 이므로  $\frac{k+x}{5k+x} = \frac{1}{3}$ 이고,  $x = k$ 이다. 용기의 부피가 1 L이므로 평형 상태 I에서  $A(g)$ ,  $B(g)$ ,  $C(g)$ 의 몰 농도는  $2k$  M로 같다.

(나)에서 반응 전  $B(g)$   $n$  mol과  $C(g)$   $9n$  mol을 넣어 주었으므로 다음과 같이 화학 변화의 양적 관계를 쓸 수 있다.



평형 상태 I에서 A의 몰 분율이  $\frac{1}{6}$ 이므로  $\frac{y}{10n+y} = \frac{1}{6}$ 이고,  $y=2n$ 이다. 평형 상태 II에서 A(g), B(g), C(g)의 몰 농도는 각각 2n M, 5n M, 5n M이다.

평형 상태 I의 평형 상수는  $K = \frac{(2k)^2}{2k \times (2k)^2} = \frac{1}{2k}$ 이고, II의 평형 상수는  $K = \frac{(5n)^2}{2n \times (5n)^2} = \frac{1}{2n}$ 이다. 온도가 T K로 일정하므로  $\frac{1}{2k} = \frac{1}{2n}$ 이므로  $k=n$ 이다.

㉠ A(g)의 양(mol)은 평형 상태 I과 II에서 모두 2n mol로 같다.  
 ✕ 온도는 모두 T K로 같고, 전체 기체의 양은 (가)의 반응 전은 5n mol, 평형 상태 I에서는 6n mol, (나)의 반응 전은 10n mol, 평형 상태 II에서는 12n mol이다. 혼합 기체의 부피는 모두 1 L로 같고 (가)의 반응 전 전체 기체의 압력은 1 atm이므로, 전체 기체의 압력은 평형 상태 I에서는 1.2 atm, (나)의 반응 전은 2 atm, 평형 상태 II에서는 2.4 atm이다. 그러므로 추 a~c가 가하는 압력은 각각 0.2 atm, 1 atm, 1.4 atm이다. 그러므로 추 a와 b가 가하는 압력의 합은 추 c가 가하는 압력보다 작다.  
 ✕ 평형 상태 II에서는 2.4 atm이다. 평형 상태 II에서 추 c를 제거하면 외부 압력이 1 atm이므로 기체의 부피가 증가한다. 평형 이동이 없다고 가정하면 전체 기체의 부피가 2.4 L가 될 것이다. 그러나 평형 상태 II에서 추 c를 제거하면 기체의 양(mol)이 증가하는 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 새로운 평형 상태에서 기체의 부피는 2.4 L보다 크다.

#### 04 조건의 변화와 화학 평형 이동

평형 상수는  $K = \frac{1}{2k} = \frac{1}{2n}$ 이고,  $k=n$ 이다. A(g) w g의 양은 n mol이므로 A의 화학식량은  $\frac{w}{n}$ 이고, B의 화학식량은  $\frac{2w}{n}$ 이다.

그러므로  $\frac{\text{B의 화학식량}}{K} = \frac{\frac{2w}{n}}{\frac{1}{2n}} = 4w$ 이다.

#### 05 온도의 변화와 화학 평형 이동

$2A(g) \rightleftharpoons B(g)$  반응의 평형 상수  $K = \frac{[B]}{[A]^2}$ 이다. 화학식량은 B가 A의 2배이다. 처음 넣어 준 A(g) w g의 양을 n mol이라고 하면 다음과 같이 화학 변화의 양적 관계를 쓸 수 있다.

$2A(g) \rightleftharpoons B(g)$		
처음(mol)	n	
반응(mol)	-2x	+x
(가)(mol)	n-2x	x

평형 상태 (가)에서 A(g)의 몰 분율이  $\frac{1}{2}$ 이므로  $x = \frac{n}{3}$ 이고, A(g), B(g)의 양은  $\frac{n}{3}$  mol로 같다. 평형 상태 (나)에서 A(g)의 몰 분율이  $\frac{4}{5}$ 이므로  $x = \frac{n}{6}$ 이고, A(g), B(g)의 양은 각각  $\frac{2n}{3}$  mol,  $\frac{n}{6}$  mol이다.

㉠ (가)에서 B(g)의 양은  $\frac{n}{3}$  mol이고, (나)에서 A(g)의 양은  $\frac{2n}{3}$  mol이다. 화학식량은 B가 A의 2배이므로 (가)에서 B(g)의 질량은 (나)에서 A(g)의 질량과 같다.

㉡ 기체의 온도  $T \propto \frac{PV}{n}$ 이다. (가)에서 기체의 양은  $\frac{2n}{3}$  mol이고, (나)에서 기체의 양은  $\frac{5n}{6}$  mol이다. 기체의 부피는 같다. 기체의 부분 압력은 '전체 압력 × 기체의 몰 분율'이다. (가)와 (나)에서 A(g)의 몰 분율이 각각  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{4}{5}$ 이고, A(g)의 부분 압력이 각각 1 atm,  $\frac{3}{2}$  atm이므로 (가)와 (나)의 전체 압력은 각각 2 atm,  $\frac{15}{8}$  atm이다. 그러므로  $T_1 : T_2 = \frac{2}{\frac{2n}{3}} : \frac{\frac{15}{8}}{\frac{5n}{6}} = 4 : 3$ 이다.

㉢  $K = \frac{[B]}{[A]^2}$ 이고 기체의 부피를 V라고 하면

$$K_1 : K_2 = \frac{\frac{n}{3V}}{\left(\frac{n}{3V}\right)^2} : \frac{\frac{n}{6V}}{\left(\frac{2n}{3V}\right)^2} = 8 : 1 \text{이다.}$$

#### 06 조건의 변화와 화학 평형 이동

$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$  반응의 평형 상수  $K = \frac{[C]^2}{[A][B]}$ 이다.

T K에서 평형 상수  $K = \frac{\left(\frac{1}{V}\right)^2}{\frac{1}{V} \times \frac{1}{V}} = 1$ 이다.

온도 변화에 의한 평형 이동에서 화학 변화의 양적 관계를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$			
평형 I (mol)	1	1	1
반응(mol)	+x	+x	-2x
평형 II (mol)	1+x	1+x	1-2x

평형 상수는 T K에서  $\frac{5}{4}T$  K에서의 49배이므로  $\frac{5}{4}T$  K에서 평

형 상수  $K = \frac{\left(\frac{1-2x}{2V}\right)^2}{\left(\frac{1+x}{2V}\right) \times \left(\frac{1+x}{2V}\right)} = \frac{1}{49}$ 이다.  $\left(\frac{1-2x}{1+x}\right)^2 = \frac{1}{49}$ 이

고  $x = \frac{2}{5}$ 이다. 그러므로 평형 상태 II에서 A(g)~C(g)의 양은 각각  $\frac{7}{5}$  mol,  $\frac{7}{5}$  mol,  $\frac{1}{5}$  mol이다.

㉠ B(g)의 양은 평형 상태 I과 II에서 각각 1 mol,  $\frac{7}{5}$  mol이고 혼합 기체의 부피는 각각 V L, 2V L이므로 [B]의 비는 I : II = 10 : 7이다.

✕ 기체의 양(mol)  $n \propto \frac{PV}{T}$ 이다. T K에서 V L의 기체에 들어 있는 기체의 양은 3 mol이므로  $\frac{5}{4}T$  K에서 2V L에 들어 있는 기체의 양은  $\frac{24}{5}$  mol이다.  $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$  반응은 반응 전후

기체의 양(mol)에 변화가 없는 반응이므로  $(\frac{24}{5}-3) \text{ mol} = \frac{9}{5} \text{ mol}$ 은 He(g)이다. 그러므로 (가)에서 He(g)의 양은  $\frac{9}{5} \text{ mol}$ 이다.

✗. 평형 상태 II에서 C(g)의 몰 분율은  $\frac{\frac{1}{5}}{\frac{24}{5}} = \frac{1}{24}$ 이므로 C(g)의

부분 압력은  $\frac{1}{24} \text{ atm}$ 이다.

THEME

09

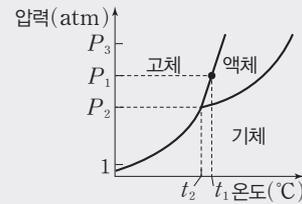
상평형

짧은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 071쪽

정답 ②

(가)의 온도( $t_1^\circ\text{C}$ )가 삼중점의 온도( $t_2^\circ\text{C}$ )보다 높고 (가)에서 고체(X(s))와 X(a)가 상평형을 이루고 있으므로 X(a)의 상은 액체이다. (가)의 상평형은 그림과 같이 용해 곡선 상에 존재한다.



- ✗. (가)의 압력( $P_1 \text{ atm}$ )은 삼중점의 압력( $P_2 \text{ atm}$ )보다 높다.
- Ⓒ.  $P_1 \text{ atm}$ 에서 X의 녹는점은  $t_1^\circ\text{C}$ 이므로,  $P_1 \text{ atm}$ 에서  $t_1^\circ\text{C}$ 보다 낮은  $t_2^\circ\text{C}$ 에서 X의 안정한 상은 고체이다.
- ✗.  $t_1^\circ\text{C}$ ,  $P_1 \text{ atm}$ 에서 X의 안정한 상은 고체와 액체이지만,  $t_1^\circ\text{C}$ ,  $P_1 \text{ atm}$ 보다 높은 압력에서 X의 안정한 상은 고체이므로 온도를  $t_1^\circ\text{C}$ 로 유지하며 외부 압력을 높여 충분한 시간이 흐르면 X(s)의 질량은 증가하고 X(a)의 질량은 감소한다.

수능 2점 테스트

본문 072~073쪽

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

01 증기 압력 곡선과 상평형 그림

- Ⓐ. (가)는 A의 온도에 따른 액체의 증기 압력 곡선으로  $t_1^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력이  $P \text{ atm}$ 이다.
- Ⓒ. 상평형 그림에서 삼중점에서 우측 상향 곡선은 액체의 증기 압력 곡선이다.  $t_2^\circ\text{C}$ 에서 증기 압력이  $1 \text{ atm}$ 이고  $P < 1$ 이므로 온도는  $t_2 > t_1$ 이다.
- ✗.  $t_1^\circ\text{C}$ 에서 액체 A의 증기 압력이  $P \text{ atm}$ 이고  $P \text{ atm} < 1 \text{ atm}$ 이므로 외부 압력이  $1 \text{ atm}$ 일 때 A의 안정한 상은 액체이다.

02 상평형 그림

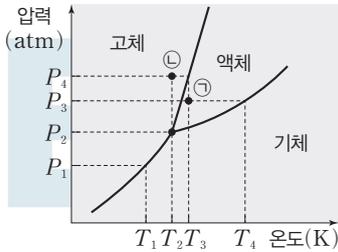
- Ⓐ. 상평형 그림의 실선에서(삼중점 제외) 2가지 상이 평형을 이룬다. 삼중점에서 우측 상향 곡선은 액체의 증기 압력 곡선이므로 액체와 기체의 2가지 상이 평형을 이루고, 삼중점에서 수직에 가깝게 위로 향하는 곡선은 용해 곡선으로 고체와 액체의 2가지 상이 평형을 이루고, 삼중점에서 좌측 하향 곡선은 고체의 증기 압력 곡선(승화 곡선)이므로 고체와 기체의 2가지 상이 평형을 이룬다. 그러므로 ㉠에서 X의 안정한 상은 고체와 액체의 2가지 상이고, ㉡에서 X의 안정한 상은 액체와 기체의 2가지 상이다.

✗.  $t_1^\circ\text{C}$ 에서 X의 증기 압력은  $t_1^\circ\text{C}$ 에서 고체와 기체가 평형을 이룰 때의 증기 압력이므로 0보다 크다.

㉠. 1 atm에서 X의 어는점은  $t_1^\circ\text{C}$ , 끓는점은  $t_2^\circ\text{C}$ 보다 높으므로  $t_2^\circ\text{C}$ 에서 X의 안정한 상은 액체이다.

### 03 상평형 그림

주어진 자료를 상평형 그림으로 나타내면 다음과 같다.



$P_3$  atm,  $T_3$  K에서 X의 안정한 상(㉠)은 액체이고,  $P_4$  atm,  $T_2$  K에서 X의 안정한 상(㉡)은 고체이다.

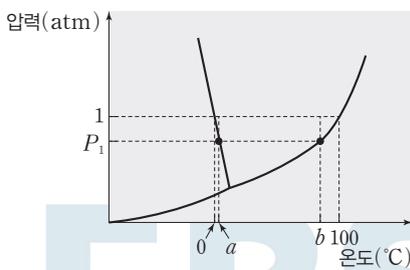
### 04 가열 곡선과 상평형 그림

고체의 가열 곡선에서 온도가 일정한 구간은 상태 변화가 일어나는 구간이다. 외부 압력이  $P_1$  atm일 때  $\text{H}_2\text{O}$ 의 녹는점은  $a^\circ\text{C}$ , 끓는점은  $b^\circ\text{C}$ 이다.

✗.  $P_1$  atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 녹는점은  $a^\circ\text{C}$ 이고  $a > 0$ 이므로  $P_1$  atm < 1 atm이다.  $P_1$  atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 끓는점은  $100^\circ\text{C}$ 보다 낮으므로  $b < 100$ 이다.

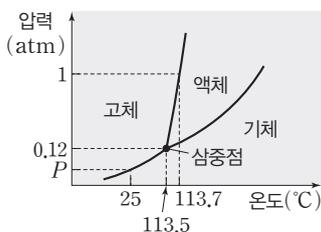
㉠. 물질의 끓는점은 액체의 증기 압력이 외부 압력과 같은 온도이다. 그러므로 외부 압력이  $P_1$  atm일 때 끓는점인  $b^\circ\text{C}$ 에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 증기 압력은  $P_1$  atm이다.

✗.  $P_1$  atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 녹는점은  $a^\circ\text{C}$ 이고,  $a^\circ\text{C}$ ,  $P_2$  atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 안정한 상은 액체이므로  $P_2 > P_1$ 이다.



### 05 상평형

기준 녹는점은 외부 압력이 1 atm일 때 녹는점이다. 기준 녹는점과 삼중점에 대한 정보를 이용하여 다음과 같이 X의 상평형 그림을 나타낼 수 있다.



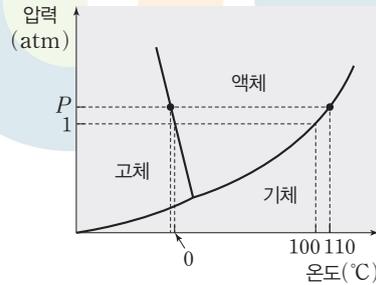
㉠. X의 기준 녹는점이  $100^\circ\text{C}$ 보다 높으므로  $100^\circ\text{C}$ , 1 atm에서 X의 안정한 상은 고체이다.

㉡.  $25^\circ\text{C}$ 에서 강철 용기에 X(s)를 넣어 충분한 시간이 지난 후 X(s)와 X(g)가 공존하고 X(g)의 압력이  $P$  atm이므로  $25^\circ\text{C}$ 에서 X의 증기 압력은 삼중점의 압력보다 작다. 그러므로  $P < 0.12$ 이다.

㉢. (가)의 온도를 서서히 높이면 승화 곡선을 따라 우상향으로 평형이 이동하여 삼중점에 도달하여 3가지 상이 평형을 이루게 된다.

### 06 상평형과 상평형 그림

㉠.  $110^\circ\text{C}$ 에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 증기 압력은 1 atm보다 크므로  $P > 1$ 이다.



㉡.  $\text{H}_2\text{O}$ 의 상평형 그림에서 용해 곡선(고체와 액체가 평형을 이루는 곡선)의 기울기가 음(-)이므로 외부 압력이 1 atm보다 클 때  $\text{H}_2\text{O}$ 의 어는점은 기준 어는점보다 낮다. 그러므로  $P$  atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 어는점은 기준 어는점( $0^\circ\text{C}$ )보다 낮다.

㉢. (가)의 온도를  $110^\circ\text{C}$ 로 유지하면서 피스톤의 고정 장치를 제거하면  $\text{H}_2\text{O}$ 의 증기 압력이 외부 압력인 1 atm보다 크므로  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 모두  $\text{H}_2\text{O}(g)$ 로 기화한다.

### 07 압력에 따른 액체의 가열 곡선

가열 곡선 II에서 녹는점과 끓는점은 각각  $0^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ 이므로 외부 압력이 1 atm일 때  $\text{H}_2\text{O}$ 의 가열 곡선이므로 (가)에 해당하고, I은 (나)에 해당한다.

㉠. 가열 곡선 I에서 액체인 구간은  $t_2^\circ\text{C}$ 에서 가열 곡선의 끓는점(가열 곡선에서 온도 변화가 없는  $100^\circ\text{C}$ 보다 높은 온도)까지이고, II에서 액체인 구간은  $0^\circ\text{C}$ 에서  $100^\circ\text{C}$ 까지이다. 액체인 구간에서 가한 열량에 따른 온도 변화는  $\text{H}_2\text{O}$ 의 질량이 클수록 작으므로 액체 구간의 가열 곡선의 기울기가 작은 II, 즉 (가)에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 질량이 더 크다.

✗. 가열 곡선 I에서 끓는점은  $100^\circ\text{C}$ 보다 높다. 그러므로 외부 압력  $P > 1$ 이다.

✗.  $P > 1$ 이므로  $P$  atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 녹는점은  $0^\circ\text{C}$ 보다 낮다. 그러므로  $0^\circ\text{C}$ ,  $P$  atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 안정한 상은 액체이다.

### 08 상평형과 상평형 그림

㉠. (가)는 1 atm,  $0^\circ\text{C}$ 에서  $\text{H}_2\text{O}(\alpha)$ 와  $\text{H}_2\text{O}(\beta)$ 가 평형을 이루고 있는 상태이므로 (다)로부터  $\text{H}_2\text{O}(\alpha)$ 와  $\text{H}_2\text{O}(\beta)$ 는 각각  $\text{H}_2\text{O}(s)$ 와  $\text{H}_2\text{O}(l)$  중 하나이다. 그러므로  $\text{H}_2\text{O}(\gamma)$ 는  $\text{H}_2\text{O}(g)$ 이다. (나)에서  $\text{H}_2\text{O}(\beta)$ 와  $\text{H}_2\text{O}(\gamma)$ (즉  $\text{H}_2\text{O}(g)$ )가 평형을 이루고 있으며  $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 압력이 1 atm보다 크므로  $\text{H}_2\text{O}(\beta)$ 는  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이고,  $\text{H}_2\text{O}(\alpha)$ 는  $\text{H}_2\text{O}(s)$ 이다.

✗.  $H_2O(\gamma)$ 는 기체이다. (나)에서 외부 압력은 추에 의해 1 atm보다 크다.  $t^\circ C$ , 1 atm보다 큰 압력에서  $H_2O(\beta)$ (액체)와  $H_2O(\gamma)$ (기체)가 평형을 이루고 있으므로  $t^\circ C$ 는  $100^\circ C$ 보다 높다( $t > 100$ ).

㉔. (나)에서  $H_2O(\gamma)$ (기체)의 압력은 추에 의해 1 atm보다 크다. 온도를  $t^\circ C$ 로 유지하며 추 1개를 추가로 올려놓으면 외부 압력이  $H_2O(\gamma)$ (기체)의 압력보다 커지게 되어 기체의 부피가 감소하고 충분한 시간이 지나면 실린더에는  $H_2O(\beta)$ (액체)만 남는다.

# EBSi

## 수능 3점 테스트

본문 074~075쪽

01 ④

02 ①

03 ③

04 ④

### 01 증기 압력

✗. 강철 용기의 부피는 일정하다.  $T_1 K$ 에서 넣어 준  $A(l)$ 의 질량이  $a g$ 일 때 존재하는 상의 수가 1이므로 상평형 상태가 아니다.  $T_1 K$ 에서 넣어 준  $A(l)$ 의 질량이  $5a g$ 일 때 존재하는 상의 수가 2이므로 상평형 상태이다. 그러므로  $P_1 < P_2$ 이다.

㉔.  $T_1 K$ 에서 넣어 준  $A(l)$ 의 질량이  $5a g$ 일 때 존재하는 상의 수가 2이므로 상평형 상태이고, 이때  $A(g)$ 의 압력이  $P_2 atm$ 이므로  $T_1 K$ 에서  $A$ 의 증기 압력은  $P_2 atm$ 이다.

㉕.  $T_2 K$ 에서 넣어 준  $A(l)$ 의 질량이  $5a g$ 일 때 존재하는 상의 수가 1이므로 넣어 준  $A$ 가 모두 기체 상태( $A(g)$ )로만 존재한다.  $T_1 K$ 에서 넣어 준  $A(l)$ 의 질량이  $5a g$ 일 때에는 존재하는 상의 수가 2이므로 넣어 준  $A$  중 일부만 기체 상태( $A(g)$ )로 존재한다. 그러므로  $T_2 > T_1$ 이다.

### 02 $CO_2$ 의 상평형

(가)와 (나)에서  $CO_2(s)$ 와  $CO_2(g)$ 가 각각 상평형을 이루고 있다.  $t^\circ C$ 에서  $CO_2(s)$ 의 증기 압력은  $P_1 atm$ 이다.

㉔. (다)에서 꼭지를 열면  $CO_2(g)$ 가 진공이었던 오른쪽 용기에 확산되고  $CO_2(s)$ 로 승화가 일어난다.  $CO_2(s)$ 의 양(mol)이  $CO_2(g)$ 의 양(mol)보다 충분히 크기 때문에 꼭지를 열어 충분한 시간이 지나면 연결된 2개의 용기에서 모두  $CO_2(s)$ 와  $CO_2(g)$ 가 상평형을 이룬다.

✗.  $t^\circ C$ 에서  $CO_2$ 의 증기 압력은  $P_1 atm$ 이다. (가)와 (가)의 꼭지를 열고 충분한 시간이 흐른 후와 (나)의 꼭지를 열고 충분한 시간이 흐른 후의 온도는 모두  $t^\circ C$ 로 일정하고 상평형을 이루고 있으므로  $CO_2$ 의 증기 압력도  $P_1 atm$ 으로 일정하다. 그러므로  $P_1 = P_2 = P_3$ 이다.

✗. 꼭지를 열었을 때 용기 전체의 부피는 (라)(4 L)가 (다)(3 L)보다 크고  $CO_2$ 의 증기 압력은  $P_1 atm$ 으로 일정하므로  $CO_2(g)$ 의 양(mol)은 (라) 이후가 (다) 이후보다 크다. 그러므로  $CO_2(s)$ 의 양(mol)은 (다) 이후가 (라) 이후보다 크다.

### 03 상평형과 상평형 그림

상평형 상태 I과 II에서  $X(a)$ 가 모두 밀도가 작으므로  $X(a)$ 의 상은 기체이다. II는 외부 압력이 6 atm이므로 상평형 그림의 ㉔에 해당하고  $X(\gamma)$ 의 상은 액체이다. 그러므로  $X(\beta)$ 의 상은 고체이다.

㉔. I에서  $X(a)$ (기체)와  $X(\beta)$ (고체)가 평형을 이루므로 외부 압력은 삼중점의 압력보다 작다. 그러므로  $P < 5.1$ 이다.

✗. II는 ㉔에 해당하므로 온도는  $t_3^\circ C$ 이다.

㉕.  $X(\beta)$ (고체)와  $X(\gamma)$ (액체)의 평형에서 밀도를 비교하기 위해서는 상평형 그림의 용해 곡선의 기울기를 확인해야 한다. 용해 곡선의 기울기가 양(+)이므로 액체와 고체가 상평형을 이루고 있을 때 압력을 증가시키면 고체 쪽으로 평형이 이동하므로 밀도는  $X(\beta)$ (고체)  $>$   $X(\gamma)$ (액체)이다.

### 04 증기 압력과 상평형

$t_1^\circ C$ 에서  $X(l)$ 의 증기 압력은 0.8 atm이다. (가)는  $t_1^\circ C$ 에서 고정 장치로 피스톤이 고정된 실린더 속에 물질 X를 넣고 충분한 시간이 지난 후이고, (나)는 (가)에  $He(g)$ 을 첨가하고 고정 장치를 풀어  $t_1^\circ C$ 에서 충분한 시간이 지난 후이고, 기체의 부피가 (가)와 (나)에서 같으므로 넣어 준  $He(g)$ 의 부분 압력은 0.2 atm이다. 그러므로 (나)에서 기체의 몰비는  $X(g) : He(g) = 4 : 1$ 이다.

✗. (가)에서 고정 장치를 풀면 외부 압력(1 atm)이  $X(g)$ 의 압력(0.8 atm)보다 크므로  $X(g)$ 의 부피가 감소하고 마침내  $X(g)$ 는 모두  $X(l)$ 로 변한다. 그러므로  $t_1^\circ C$ 에서 충분한 시간이 흐른 후  $X(g)$ 의 부피는 0이다.

㉔.  $t_1^\circ C$ 에서  $X(l)$ 의 증기 압력은 0.8 atm이다. 그러므로  $X(g)$ 의 압력은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

㉕. 액체의 끓는점은 증기 압력이 외부 압력과 같을 때의 온도이다. (나)에서 외부 압력이 1 atm으로 일정하므로  $X(l)$ 의 증기 압력이 1 atm이 되는 온도인  $t_2^\circ C$ 가  $X(l)$ 의 끓는점이다.

많은 풀 문제로 유형 익히기

본문 078쪽

정답 ④

HA의 이온화 상수  $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$ 이다.

㉠ (가)의 pH가 5.0이므로  $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-5} M$ 이다. 그러므로  $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = \frac{[A^-]}{[HA]} \times 10^{-5} = 2 \times 10^{-5}$ 이다.

✕ (가)와 (나)의 pH가 모두 5.0이므로  $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-5} M$ 로 같다. (가)와 (나)의 부피가 각각 100 mL, 200 mL이므로,  $H_3O^+$ 의 양(mol)은 (나)가 (가)의 2배이다.

㉡ (가)와 (나)에서 HA의 이온화 상수( $K_a$ )와 pH가 같으므로 (가)와 (나)의  $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 도 같다. 그러므로 (나)에서  $\frac{[A^-]}{[HA]} = 2$ 이므로  $0.2 = 2x$ 이다. (나)에 NaOH(s)을 소량 첨가하면 HA가  $OH^-$ 과 반응하여  $A^-$ 으로 되기 때문에  $[A^-]$ 는 증가하고  $[HA]$ 는 감소한다. 그러므로  $[A^-] > 2x$ 이다.

수능 2점 테스트

본문 079~081쪽

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

### 01 완충 용액

완충 용액은 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액 또는 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액으로 소량의 산이나 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는 용액이다. 약산 HA와 약산의 짝염기  $A^-$ 으로 이루어진 완충 용액에 소량의 NaOH(s)을 넣어 주면  $OH^-$ 이 HA와 반응하여  $A^-$ 이 되기 때문에, ㉠ 넣은 준 NaOH(s)의 양(mol)이 ㉡ 용액에서 증가한  $OH^-$ 의 양(mol)보다 크다(㉠ > ㉡).

### 02 완충 용액

완충 용액은 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액 또는 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액이다.

✕ 1 M HA(aq) 100 mL에 녹은 약산 HA의 양은 0.1 mol이다. 여기에 0.1 mol의 NaOH(s)을 넣어 주면 중화 반응이 완결되므로 혼합 용액은 1 M NaA(aq)이다. NaA(aq)은 완충 용액이 아니다.

㉠ 1 M HA(aq) 100 mL에 녹은 약산 HA의 양은 0.1 mol이다. 1 M NaOH(aq) 50 mL에 녹은 염기 NaOH(s)의 양은 0.05 mol이다. 그러므로 1 M HA(aq) 100 mL에 1 M NaOH(aq) 50 mL을 넣어 주면 HA의 반이 중화 반응하여  $A^-$ 으로 되므로, 혼합 용액은 약산 HA와 약산의 짝염기  $A^-$ 이 섞여 있는 완충 용액이다.

㉡ 1 M HA(aq) 100 mL에 녹은 약산 HA의 양은 0.1 mol이다. 1 M NaA(aq) 100 mL에 녹은 염기  $A^-$ (약산 HA의 짝염기)의 양은 0.1 mol이다. 그러므로 1 M HA(aq) 100 mL에 1 M NaA(aq) 100 mL을 넣은 혼합 용액은 약산 HA와 약산의 짝염기  $A^-$ 이 섞여 있는 완충 용액이다.

### 03 산 염기의 이온화 평형

완충 용액은 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액 또는 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액이다.

㉠ 0.5 M HA(aq)의 평형에서의 몰 농도는 다음과 같다.

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

처음(M)	0.5		
반응(M)	-x	+x	+x
평형(M)	0.5-x	x	x

0.5 M HA(aq)의 pH=4.0이므로  $x = 1 \times 10^{-4}$ 이다.

HA의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{x^2}{0.5-x} \approx \frac{x^2}{0.5} = \frac{1 \times 10^{-8}}{0.5} = 2 \times 10^{-8}$$

0.1 M HB(aq)의 평형에서의 몰 농도는 다음과 같다.

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

처음(M)	0.1		
반응(M)	-x	+x	+x
평형(M)	0.1-x	x	x

0.1 M HB(aq)의 pH=3.0이므로  $x = 1 \times 10^{-3}$ 이다.

HB의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[B^-][H_3O^+]}{[HB]} = \frac{x^2}{0.1-x} \approx \frac{x^2}{0.1} = \frac{1 \times 10^{-6}}{0.1} = 1 \times 10^{-5}$$

산의 이온화 상수가  $HB > HA$ 이므로 산의 세기는  $HB > HA$ 이다.

✕ (가)의 HA의 양은 0.05 mol이고, (다)의 NaOH의 양은 0.01 mol이므로 (가)와 (다)를 혼합하면 0.01 mol의 HA는  $A^-$ 이 된다. 따라서 (가)와 (다)를 혼합한 수용액에서  $\frac{[A^-]}{[HA]} \neq \frac{1}{5}$ 이다.

✕ (나)의 HB와 (다)의 NaOH이 각각 0.01 mol이므로 (나)와 (다)를 혼합하면 중화 반응이 완결되어 HB는 모두  $B^-$ 이 된다. 즉 (나)와 (다)의 혼합 용액은 NaB(aq)이므로 완충 용액이 아니다.

### 04 완충 용액

✕ HCl(aq)과 NaOH(aq)은 각각 강산과 강염기 수용액이다. 그러므로 두 용액의 혼합 용액은 완충 용액이 아니다.

㉠ 0.1 M  $CH_3COOH(aq)$  200 mL에는  $CH_3COOH$ 이 0.02 mol 녹아 있다. 0.01 mol의 NaOH(s)을 넣어 주면 0.02 mol의  $CH_3COOH$  중 0.01 mol이 NaOH에 의해 중화되어  $CH_3COO^-$ 이 된다. 그러므로 혼합 용액에는 약산( $CH_3COOH$ ) 0.01 mol과 약산의 짝염기( $CH_3COO^-$ ) 0.01 mol이 섞여 있으므로 혼합 용액은 완충 용액이다.

㉡ 0.1 M  $CH_3COONa(aq)$  100 mL에는  $CH_3COO^-$ 이 0.01 mol 있다. 0.1 M  $CH_3COOH(aq)$  100 mL에는  $CH_3COOH$ 이

0.01 mol 녹아 있다. 그러므로 혼합 용액에는 약산(CH<sub>3</sub>COOH) 0.01 mol과 약산의 짝염기(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) 0.01 mol이 섞여 있으므로 혼합 용액은 완충 용액이다.

✗ 0.1 M CH<sub>3</sub>COONa(aq) 100 mL에는 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>이 0.01 mol, 0.1 M HCl(aq) 100 mL에는 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>이 0.01 mol 있다. 두 용액을 혼합하면 CH<sub>3</sub>COOH과 H<sub>2</sub>O이 생성되므로 혼합 용액은 완충 용액이 아니다.

## 05 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

(가)에서 0.1 M HA(aq)의 평형에서의 몰 농도는 다음과 같다.

$$\text{HA}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{A}^-(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$$

처음(M)	0.1		
반응(M)	-k	+k	+k
평형(M)	0.1-k	k	k

0.1 M HA(aq)의 pH=4.0이므로  $k=1 \times 10^{-4}$ 이다.

HA의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{k^2}{0.1-k} \approx \frac{k^2}{0.1} = \frac{1 \times 10^{-8}}{0.1} = 1 \times 10^{-7}$$

✗ (나)에서  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}=1$ 이므로 (가)에서 HA의  $\frac{1}{2}$ 이 넣어 준 NaOH에 의해 중화 반응하여 A<sup>-</sup>이 생성되므로 첨가한 NaOH(s)의 양은  $\frac{1}{2} \times 0.1 \text{ M} \times 0.1 \text{ L} = 0.005 \text{ mol}$ 이다.

Ⓒ HA의 이온화 상수  $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = 1 \times 10^{-7}$ 이고, (나)에서  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}=1$ 이므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a = 1 \times 10^{-7}$ 이다. 그러므로 (나)의 pH=x=7.0이다.

Ⓓ (나)에서 [HA]=[A<sup>-</sup>]인데, (나)에 NaOH(s)을 소량 추가할 때 HA의 일부가 NaOH에 의해 중화 반응하여 A<sup>-</sup>이 되므로 [A<sup>-</sup>] > [HA]이다.

## 06 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

HA의 이온화 반응식은 다음과 같다.



✗ (나)에서  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{1}{2}$ 이고 pH=5.0이므로 HA의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{1 \times 10^{-5}}{2} = 5 \times 10^{-6}$$

Ⓒ (가)는 약산 HA의 수용액으로 완충 용액이 아니고, (나)는 약산 HA와 HA의 짝염기 A<sup>-</sup>이 섞여 있으므로 완충 용액이다. 그러므로 (가)와 (나)에 각각 1 M HCl(aq) 1 mL를 넣을 때 pH 변화는 (가)에서 (나)에서보다 크다.

✗ (가)에서 x M HA(aq)의 평형에서의 농도는 다음과 같다.

$$\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{A}^- + \text{H}_3\text{O}^+$$

처음(M)	x		
반응(M)	-k	+k	+k
평형(M)	x-k	k	k

x M HA(aq)의 pH=3.0이므로  $k=1 \times 10^{-3}$ 이다.

HA의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{(10^{-3})^2}{x-10^{-3}} \approx \frac{1 \times 10^{-6}}{x} = 5 \times 10^{-6}$$

그러므로  $x = \frac{1}{5}$ 이다.

(나)에서  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{1}{2}$ 이므로 (가)에서 HA의  $\frac{1}{3}$ 이 넣어 준 NaOH에

의해 중화 반응하여 A<sup>-</sup>으로 되므로 첨가한 NaOH(s)은

$$\frac{1}{3} \times 0.2 \text{ M} \times 0.1 \text{ L} = \frac{1}{150} \text{ mol}$$

이다. 그러므로  $y = \frac{1}{150}$ 이고,  $x = 30y$ 이다.

## 07 염의 이온화 평형

Ⓒ NaCl은 강산(HCl)과 강염기(NaOH)의 중화 반응에 의해 생성된 염이므로 NaCl(aq)의 액성은 중성이고 pH=x=7.0이다.

NaF이 이온화하면 Na<sup>+</sup>은 H<sub>2</sub>O과 반응하지 않지만, F<sup>-</sup>은 약산 HF의 짝염기로서 약염기이므로 다음과 같이 H<sub>2</sub>O과 반응한다.



NaF(aq)은 염기성이므로 pH=y > 7이다. 그러므로 y > x이다.

✗ 1 M NH<sub>4</sub>Cl(aq)에 NaOH(s)을 넣어 주면 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>이 NaOH과 반응하여 NH<sub>3</sub>가 생성되므로 [NH<sub>4</sub><sup>+</sup>]가 감소한다. 그러므로  $\frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{Cl}^-]}$ 은 감소한다.

Ⓓ NaF(aq)에서 약염기인 F<sup>-</sup>의 이온화 반응식은 다음과 같다.

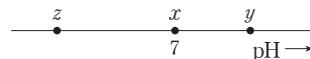


NH<sub>4</sub>Cl(aq)에서 약산인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 이온화 반응식은 다음과 같다.



HF의 이온화 상수( $K_a$ )는  $2 \times 10^{-4}$ 이고, NH<sub>3</sub>의 이온화 상수( $K_b$ )는  $2 \times 10^{-5}$ 이므로 F<sup>-</sup>의 이온화 상수( $K_b$ )는  $5 \times 10^{-11}$ 이고, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 이온화 상수( $K_a$ )는  $5 \times 10^{-10}$ 이다.

1 M NaF(aq)에서 [OH<sup>-</sup>]는 1 M NH<sub>4</sub>Cl(aq)에서 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]보다 작다.



1 M NaF(aq)의 pOH가 1 M NH<sub>4</sub>Cl(aq)의 pH보다 크고 x=7.0이므로 pH의 차 |x-y|는 |x-z|보다 작다(|x-y| < |x-z|).

## 08 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

✗ H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 6 \times 10^{-8}$$

(가)에서  $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 3$ 이므로 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] =  $2 \times 10^{-8}$ 이다. 그러므로

pH=x < 8이다.

Ⓒ (가)에 0.1 M HCl(aq)을 첨가하면 HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>과 반응하여 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>이 생성되므로  $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$ 가 감소한다. 그러므로 (나)에

서  $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} < 3$ 이다.

✕.  $\text{HPO}_4^{2-}$ 은  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 의 짝염기이다.  $\text{HPO}_4^{2-}$ 의 이온화 상수( $K_b$ )는  $\frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \times 10^{-14}}{6 \times 10^{-8}}$ 이므로  $1 \times 10^{-7} < K_b < 1 \times 10^{-6}$ 이다.

### 09 염의 이온화 평형

(가)~(다)에서  $\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{OH}^-]}$ 가 각각  $1 \times 10^{-4}$ , 1,  $1 \times 10^8$ 이고,

$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-14}$ 이므로 (가)~(다)의  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 각각  $1 \times 10^{-9} \text{ M}$ ,  $1 \times 10^{-7} \text{ M}$ ,  $1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다.

㉠.  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이다. (가)~(다)의 pH는 각각 9.0, 7.0, 3.0이므로 (나)가 (다)보다 4 크다.

✕. (나)에서 염 XCl은 강산 HCl과 염기 XOH의 염이고, XCl(aq)의  $\text{pH} = 7.0$ 이므로 XOH는 강염기이며,  $\text{X}^+$ 은  $\text{H}_2\text{O}$ 과 반응하지 않음을 알 수 있다. 그러므로 (나)에서  $[\text{X}^+] = [\text{Cl}^-]$ 이다.

✕. (가)에서 염 XY의  $\text{X}^+$ 은  $\text{H}_2\text{O}$ 과 반응하지 않지만,  $\text{Y}^-$ 은  $\text{H}_2\text{O}$ 과 반응하여  $\text{OH}^-$ 을 생성한다.

(가)에서 1 M  $\text{Y}^-(\text{aq})$ 의 이온화 반응식과 평형에서의 몰 농도는 다음과 같다.

$$\text{Y}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HY}(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$$

처음(M)	1		
반응(M)	-x	+x	+x
평형(M)	1-x	x	x

$\text{Y}^-$ 의 이온화 상수( $K_b$ )는

$$K_b = \frac{[\text{HY}][\text{OH}^-]}{[\text{Y}^-]} = \frac{x^2}{1-x} \approx x^2 = (1 \times 10^{-5})^2 = 1 \times 10^{-10} \text{이다.}$$

HY는  $\text{Y}^-$ 의 짝산이므로 HY의 이온화 상수( $K_a$ )

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = 1 \times 10^{-4} \text{이다.}$$

### 10 염의 이온화 평형

㉠. HCN과  $\text{CN}^-$ 은 짝산 짝염기 관계이다. 그러므로 25°C에서 HCN의 이온화 상수( $K_a$ )와  $\text{CN}^-$ 의 이온화 상수( $K_b$ )의 관계는  $K_a \times K_b = K_w$ 가 성립한다. 그러므로  $\text{CN}^-$ 의 이온화 상수( $K_b$ )는

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \times 10^{-14}}{5 \times 10^{-10}} = 2 \times 10^{-5} \text{이다.}$$

㉡. 1 M HCN(aq)과 1 M NaCN(aq)을 혼합하여 만든 수용액 (가)에서 HCN과  $\text{CN}^-$ 은 평형을 이룬다. HCN의 이온화 반응식과 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



$$K_a = \frac{[\text{CN}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCN}]} = 5 \times 10^{-10}$$

(가)의  $\text{pH} = 9.0$ 이므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-9} \text{ M}$ 이다. 그러므로  $\frac{[\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]}$

$= \frac{1}{2}$ 이다. (가)는 1 M HCN(aq)과 1 M NaCN(aq)의 혼합 용액이므로 (가)에서 다음 관계가 성립한다.

$$[\text{HCN}] + [\text{CN}^-] = 1 \text{ M}$$

그러므로 (가)에서  $[\text{CN}^-] = \frac{1}{3} \text{ M}$ 이다.

㉢. (가)에 NaOH(s)을 혼합하여 만든 수용액 (나)의  $\text{pH} = 10.0$ 이므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-10} \text{ M}$ 이다.

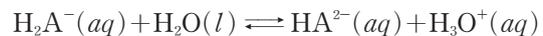
$$K_a = \frac{[\text{CN}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCN}]} = 5 \times 10^{-10} \text{이므로 } \frac{[\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = 5 \text{이다.}$$

그러므로  $\frac{[\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]}$ 의 비는 (가) : (나) = 1 : 10이다.

### 11 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

㉠. 0.1 M  $\text{NaH}_2\text{A}(\text{aq})$ 과 0.1 M  $\text{Na}_2\text{HA}(\text{aq})$ 을 혼합하여 만든 수용액 (가)에 NaOH(s)을 소량 넣으면  $\text{OH}^-$ 이  $\text{H}_2\text{A}^-$ 과 반응하여  $\text{HA}^{2-}$ 으로 되므로  $\frac{[\text{HA}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{A}^-]}$ 가 증가한다. 그러므로 I은 (가)에 해당하고, II는 (나)에 해당한다.

㉡.  $\text{H}_2\text{A}^-$ 과  $\text{HA}^{2-}$ 의 산 염기 평형과 관련된 이온화 반응식과 25°C에서의  $\text{H}_2\text{A}^-$ 의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



$$K_a = \frac{[\text{HA}^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{A}^-]} = \frac{1 \times [\text{H}_3\text{O}^+]}{2} = 6 \times 10^{-8}$$

그러므로 (가)의  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 12 \times 10^{-8} \text{ M} = 1.2 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이므로  $\text{pH} < 7$ 이다.

㉢.  $K_a = \frac{[\text{HA}^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{A}^-]}$ 이고,  $\frac{[\text{HA}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{A}^-]}$ 의 비가

$I : II = \frac{1}{2} : 3 = 1 : 6$ 이므로  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 의 비는  $I : II = 6 : 1$ 이다.

### 12 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

✕.  $\text{NH}_4^+$ 은  $\text{NH}_3$ 의 짝산이고  $\text{NH}_4^+$ 의 이온화 상수( $K_a$ )는  $\frac{K_w}{K_b}$ 이므로  $K_a = 5 \times 10^{-10}$ 이다.

0.1 M  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$ 의 이온화 반응식과 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.

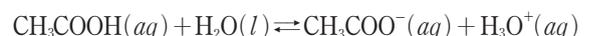


처음(M)	0.1		
반응(M)	-k	+k	+k
평형(M)	0.1-k	k	k

$$K_a = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{k^2}{0.1-k} \approx \frac{k^2}{0.1} = 5 \times 10^{-10}$$

그러므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = k = \sqrt{5 \times 10^{-11}} \text{ M} = \sqrt{50} \times 10^{-6} \text{ M}$ 이므로  $5 < \text{pH} < 6$ 이다.

㉡. 0.5 M  $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 의 이온화 반응식과 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



처음(M)	0.5		
반응(M)	-k	+k	+k
평형(M)	0.5-k	k	k

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{k^2}{0.5-k} \approx \frac{k^2}{0.5} = 2 \times 10^{-5}$$

$[H_3O^+] = k = \sqrt{10} \times 10^{-3} M$ 이므로  $pH = x < 3$ 이다.

그러므로  $y - x > 2$ 이다.

㉠ 완충 용액은 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액 또는 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액으로 소량의 산이나 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는 용액이다.

(가)에는 NaOH이 0.02 mol 녹아 있고, (나)에는  $CH_3COOH$ 이 0.05 mol 녹아 있다. (가)와 (나)를 혼합하면 0.02 mol의 NaOH에 의해  $CH_3COOH$  0.05 mol 중 0.02 mol이 중화 반응하여  $CH_3COO^-$ 으로 된다. 그러므로 혼합 용액에는 약산  $CH_3COOH$ 과  $CH_3COO^-$ 의 짝염기인  $CH_3COO^-$ 이 섞여 있으므로 혼합 용액은 완충 용액이다.

### 수능 3점 테스트

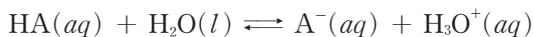
본문 082~084쪽

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

## 01 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

✕ 0.1 M  $HA(aq)$  100 mL에 녹아 있는 HA의 양은 0.01 mol 이고, 0.1 M  $NaOH(aq)$  50 mL에 녹아 있는 NaOH의 양은 0.005 mol이다. 두 용액을 혼합하면 NaOH에 의해 HA 0.01 mol 중 0.005 mol이 중화 반응하여  $A^-$ 으로 되고, 혼합 용액의 부피는 150 mL이다.

그러므로 HA의 이온화 반응식과 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



처음(M)	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{30}$	
반응(M)	$-x$	$+x$	$+x$
평형(M)	$\frac{1}{30} - x$	$\frac{1}{30} + x$	$x$

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{\left(\frac{1}{30} + x\right)x}{\frac{1}{30} - x} \approx x$$

혼합 용액의  $pH = 5.0$ 이므로  $[H_3O^+] = x = 1 \times 10^{-5}$ 이다. 그러므로  $K_a = 1 \times 10^{-5}$ 이다.

✕ 0.1 M  $HB(aq)$  75 mL와 0.1 M  $NaOH(aq)$  75 mL의 혼합 용액의  $pH = 7.0$ 이므로  $B^-$ 은  $H_2O$ 과 반응하지 않고 HB는 강산임을 알 수 있다. (가)와 (나)를 혼합할 때  $A^-$ 에 의해  $[H_3O^+]$ 가 결정된다. (가)와 (나)의 혼합 용액의 부피는 300 mL이고, HA의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



처음(M)	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{60}$	
반응(M)	$-x$	$+x$	$+x$
평형(M)	$\frac{1}{60} - x$	$\frac{1}{60} + x$	$x$

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{\left(\frac{1}{60} + x\right)x}{\frac{1}{60} - x} \approx x = 1 \times 10^{-5}$$

그러므로 (가)와 (나)의 혼합 용액의  $pH \approx 6.0$ 이다.

㉡ 완충 용액은 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액 또는 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액이다.

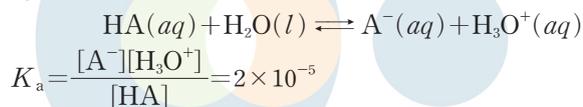
(나)는 강산과 강염기의 중화 반응이 완결된 용액으로 염 NaB의 수용액으로 완충 용액이 아니다.

(다)는 0.1 M  $HB(aq)$  50 mL에 녹아 있는 HB의 양은 0.005 mol 이고, 0.1 M  $NaA(aq)$  100 mL에 녹아 있는 NaA의 양은 0.01 mol이다. 두 용액을 혼합하면 HB에 의해  $A^-$  0.01 mol 중 0.005 mol이 반응하여 HA가 생성되어 약염기  $A^-$ 과 약염기의 짝산 HA가 섞여 있으므로 혼합 용액은 완충 용액이다. 그러므로 0.1 M  $HB(aq)$  1 mL를 넣어 줄 때 pH는 (나)에서가 (다)에서보다 더 많이 감소한다.

## 02 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

㉢ (가)는 1 M  $NaCl(aq)$  100 mL이다. (가)에 0.01 mol의  $NaOH(s)$ 을 넣으면  $[OH^-] = 0.1 M$ 이므로  $pH = x = 13.0$ 이다.

㉣ HA의 이온화 반응식과 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



(나)에서  $pH = 5.0$ 이므로  $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-5}$ 이다. 그러므로  $\frac{[A^-]}{[HA]} = 2$ 이고,  $[A^-] = 2[HA]$ 이다.

✕ (나)는 1 M  $HA(aq)$ 과 1 M  $NaA(aq)$ 의 혼합 용액이고,  $[A^-] = 2[HA]$ 이므로  $[A^-] = \frac{2}{3} M$ ,  $[HA] = \frac{1}{3} M$ 이다. 0.01 mol의  $NaOH(s)$ 을 넣으면 0.01 mol의 HA가  $OH^-$ 과 중화 반응하여  $A^-$ 으로 되므로 0.01 mol의  $NaOH(s)$ 을 넣었을 때  $[A^-]$ 와  $[HA]$ 는 각각 다음과 같다.

$[HA] = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{10}\right) M = \frac{7}{30} M$ ,  $[A^-] = \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{10}\right) M = \frac{23}{30} M$   
그러므로 평형에서의 몰 농도는 다음과 같다.

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

처음(M)	$\frac{7}{30}$	$\frac{23}{30}$	
반응(M)	$-k$	$+k$	$+k$
평형(M)	$\frac{7}{30} - k$	$\frac{23}{30} + k$	$k$

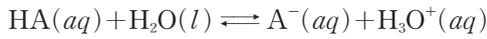
$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{\left(\frac{23}{30} + k\right)k}{\frac{7}{30} - k} \approx \frac{\frac{23}{30}k}{\frac{7}{30}} = \frac{23}{7}k = 2 \times 10^{-5}$$

$k = [H_3O^+] = \frac{14}{23} \times 10^{-5} = \frac{140}{23} \times 10^{-6}$ 이므로

pH는 5.0보다 크고 6.0보다 작다.

### 03 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

HA의 이온화 반응식과 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$$

(다)는 (가)(0.2 M HA(aq) 100 mL)에 2x mol의 NaOH(s)을 녹인 용액에 해당하고, (다)에서  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 2$ 이므로  $[\text{HA}] = \frac{1}{15}$  M,  $[\text{A}^-] = \frac{2}{15}$  M이다. 즉 처음 녹인 HA의 양(mol) 중  $\frac{2}{3}$ 가 NaOH에 의해 중화되어  $\text{A}^-$ 으로 된 것이다.

(나)는 (가)(0.2 M HA(aq) 100 mL)에 x mol의 NaOH(s)을 녹인 용액이므로 HA의 양(mol) 중  $\frac{1}{3}$ 이 NaOH에 의해 중화되어  $\text{A}^-$ 으로 되고  $[\text{HA}] = \frac{2}{15}$  M,  $[\text{A}^-] = \frac{1}{15}$  M이므로  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{1}{2}$ 이다. (나)의 pH=6.0이므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-6}$ 이다. 그러므로 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{1 \times 1 \times 10^{-6}}{2} = 5 \times 10^{-7}$$

(가)에서 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



처음(M)	0.2		
반응(M)	-k	+k	+k
평형(M)	0.2-k	k	k

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{k^2}{0.2-k} \approx \frac{k^2}{0.2} = 5 \times 10^{-7}, k = \sqrt{10} \times 10^{-4}$$

(가)에서  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와  $[\text{OH}^-]$ 는 다음과 같다.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{10} \times 10^{-4} \text{ M}, [\text{OH}^-] = \sqrt{10} \times 10^{-11} \text{ M}$$

따라서  $a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{OH}^-]} = 1 \times 10^7$ 이다.

x mol의 NaOH(s)은 (가) 속 0.02 mol의 HA 중  $\frac{1}{3}$ 을 중화 반응시켰으므로  $x = \frac{1}{3} \times 0.02 = \frac{2}{3} \times 10^{-2}$ 이다. 그러므로  $a \times x \times K_a = (1 \times 10^7) \times (\frac{2}{3} \times 10^{-2}) \times (5 \times 10^{-7}) = \frac{1}{30}$ 이다.

### 04 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

㉠ NaCl은 강산(HCl)과 강염기(NaOH)의 중화 반응에 의해 생성된 염이므로 수용액의 pH에 영향을 주지 않는다. NaOH(s) 1g은 0.025 mol이다. 그러므로 용액 I의  $[\text{OH}^-] = \frac{0.025 \text{ mol}}{0.05 \text{ L}}$

= 0.5 M이고, II의  $[\text{OH}^-] = \frac{0.05 \text{ mol}}{0.05 \text{ L}} = 1 \text{ M}$ 이다.

용액 I의  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2 \times 10^{-14} \text{ M}$ 이고  $13 < \text{pH}(=b) < 14$ 이며, 용액 II의  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-14} \text{ M}$ 이고  $\text{pH}(=c) = 14.0$ 이다.

그러므로  $b+c > 27$ 이다.

㉡ (나)에서 1 M HA(aq)의 이온화 반응식과 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



처음(M)	1		
반응(M)	-k	+k	+k
평형(M)	1-k	k	k

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{k^2}{1-k} \approx k^2 = 1 \times 10^{-6}$$

그러므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이고  $\text{pH}(=x) = 3.0$ 이다.

1 M HA(aq) 50 mL에 녹아 있는 HA의 양은 0.05 mol이다. NaOH(s) 1g은 0.025 mol이다. 그러므로 용액 III에서 0.05 mol의 HA 중  $\frac{1}{2}$ 이 NaOH에 의해 중화되어  $\text{A}^-$ 이 되므로  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 1$ 이다.

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-6}$$

그러므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-6} \text{ M}$ 이고  $\text{pH}(=y) = 6.0$ 이다.

용액 IV에는 HA가 모두 NaOH에 의해 중화되어  $\text{A}^-$ 이 되고,  $\text{A}^-$ 이 약염기로서  $\text{H}_2\text{O}$ 과 반응하므로 다음과 같이 이온화 반응식을 쓰고 이온화 상수( $K_b$ )를 나타낼 수 있다.



처음(M)	1		
반응(M)	-k	+k	+k
평형(M)	1-k	k	k

$$K_b = \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} = \frac{k^2}{1-k} \approx k^2$$

$\text{A}^-$ 은 HA의 짝염기이므로  $\text{A}^-$ 의 이온화 상수( $K_b$ )

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = 1 \times 10^{-8} \text{ 이고, } [\text{OH}^-] = k = 1 \times 10^{-4} \text{ M 이고}$$

$\text{pH}(=z) = 10.0$ 이다.  $x=3.0, y=6.0, z=10.0$ 이므로  $x+z \neq 2y$ 이다.

㉢ 완충 용액은 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 수용액 또는 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 수용액이다. III은 완충 용액이고, IV는 완충 용액이 아니므로 1 M HCl(aq) 1 mL를 넣었을 때 pH 변화는 III에서가 IV에서보다 작다.

### 05 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

㉠  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 은  $\text{HPO}_4^{2-}$ 의 짝산이고,  $\text{HPO}_4^{2-}$ 은  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 의 짝염기이다.

㉡  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 6 \times 10^{-8}$$

(가)에서  $\text{pH} = 8.0$ 이므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-8} \text{ M}$ 이고  $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 6$ 이다.

㉢  $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 1$ 이므로  $[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a = 6 \times 10^{-8}$ 이다. 그러므로  $\text{pH} > 7$ 이다( $y > 7$ ).

## 06 산 염기의 이온화 평형과 완충 용액

㉠ 약산 HA의 이온화 반응식과 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$$

약산 HA와 짝염기  $\text{A}^-$ 의 농도비는 다음과 같다.

$$\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{K_a}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{K_a}{K_w} \times [\text{OH}^-]$$

그림에서 기울기는  $\frac{K_a}{K_w}$ 이므로 이온화 상수( $K_a$ )는 HA가 HB보다 크다.

㉡ HA의 이온화 상수( $K_a$ )는  $K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ 이다. 그림에서

$$[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-5} \text{ M (즉 } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-9} \text{ M) 일 때 } \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 5 \text{ 이}$$

$$\text{므로 } K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = 5 \times 10^{-9} \text{ 이다.}$$

HA의 이온화 상수( $K_a$ )와 짝염기인  $\text{A}^-$ 의 이온화 상수( $K_b$ )는  $K_a \times K_b = K_w$  관계가 성립하므로  $\text{A}^-$ 의 이온화 상수( $K_b$ )는 다음과 같다.

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \times 10^{-14}}{5 \times 10^{-9}} = 2 \times 10^{-6}$$

㉢ 1 M HA(aq)에 NaOH(s)을 첨가할 때 P에서  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 3$ 이

므로  $[\text{HA}] = \frac{1}{4} \text{ M}$ 이다. 0.2 M HB(aq)에 NaOH(s)을 가할 때

Q에서  $\frac{[\text{B}^-]}{[\text{HB}]} = 2$ 이므로  $[\text{HB}] = \frac{1}{3} \times 0.2 \text{ M} = \frac{1}{15} \text{ M}$ 이다. 그러므

로  $\frac{\text{P에서 } [\text{HA}]}{\text{Q에서 } [\text{HB}]} = \frac{15}{4} > 3$ 이다.

## THEME

# 11

## 반응 속도

### 짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 088쪽

#### 정답 ②

화학 반응식에서 계수비가 A : B = 1 : 2이므로 분자량비는 A : B = 2 : 1이다. 반응 전 B(g)의 질량 백분율이 20%이므로 질량비는 A : B = 4 : 1이다.

✗. 반응 전 질량 백분율로부터 질량비는 A : B = 4 : 1이므로 몰비는 A : B = 2 : 1이다. 따라서  $x = 2y$ 이다.

㉠ 2t min일 때 질량비는 A : B = 1 : 19이므로 몰비는 A : B = 1 : 38이다. 따라서 2t min일 때는 반감기가 4번 지난 후의 몰비이므로 t min일 때는 반감기가 2번 지난 후이다. 따라서 t min일 때 몰비는 A : B = 1 : 8이고, 질량비는 A : B = 1 : 4이므로  $a = 80$ 이다.

✗.  $x : y = 2 : 1$ 이므로 반응 초기 A(g), B(g)의 양을 각각 4 mol, 2 mol이라고 하면 t min일 때 A(g)의 양은 1 mol이고, 2t min일 때 B(g)의 양은 9.5 mol이다.

따라서  $\frac{2t \text{ min일 때 B(g)의 양(mol)}}{t \text{ min일 때 A(g)의 양(mol)}} = \frac{19}{2}$ 이다.

### 수능 2점 테스트

본문 089~091쪽

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

## 01 반응의 빠르기

실험 장치는 Mg과 염산이 반응하여 수소 기체가 발생하는 과정에서 발생하는  $\text{H}_2$ (g)의 부피를 측정할 수 있는 장치이다. 따라서 이 실험 장치로부터 구한 반응의 빠르기는 반응 시간에 따라 발생하는  $\text{H}_2$ (g)의 부피로 나타낼 수 있으므로  $\frac{\text{발생한 } \text{H}_2 \text{의 부피(mL)}}{\text{반응 시간(s)}}$ 이다.

## 02 농도와 반응 속도

초기 반응 속도는 반응 초기에서 접선의 기울기로 파악하면 되므로 I > II > III이다.

㉠ 화학 반응식의 계수비는 A : B = 1 : 1이므로 반응 후 생성된 [B]가 반응 전 넣어 준 [A]와 같다. 따라서 넣어 준 [A]는 I에서가 2n M, III에서가 n M이므로 I에서가 III에서의 2배이다.

㉡ 초기 반응 속도는 반응 초기의 접선의 기울기를 비교하면 되므로 I에서가 II에서보다 크다.

㉢ I ~ III에서는 모두 시간이 증가할수록 접선의 기울기가 감소하므로 반응 속도가 감소한다.

## 03 반응 속도식

실험 I과 III을 비교하면 A(g)에 대한 2차 반응임을 알 수 있고, 실

험 I과 IV를 비교하면 B(g)에 대한 1차 반응임을 알 수 있다.

✗. 반응 속도식은  $v=k[A]^2[B]$ 이다.

㉠. 실험으로부터 A(g)에 대한 2차, B(g)에 대한 1차 반응임을 알 수 있다. II에서는 I에 비하여 A의 몰 농도는 2배, B의 몰 농도는 0.5배이므로 ㉠은  $2v$ 이다.

✗. 온도가 일정하므로 반응 속도 상수( $k$ )는 I~IV에서 모두 같다.

### 04 1차 반응

반응 (가)의 반응 속도식은  $v=k_1[A]$ , (나)의 반응 속도식은  $v=k_2[B]$ 이므로 두 반응은 모두 1차 반응이다.

㉠. 반응 (가)와 (나)는 모두 1차 반응이다.

✗. 두 반응은 모두 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. 반응물의 몰 농도(M)로부터 (가)의 반감기는 20 s이고, (나)의 반감기는 10 s임을 알 수 있다.

㉡. 두 반응은 모두 1차 반응이고, 반응 속도  $v$ 의 단위는 M/s로 나타낼 수 있다. 따라서 반응 속도 상수( $k$ )의 단위는 (가)와 (나)에서 모두  $s^{-1}$ 이다.

### 05 1차 반응

1 s 때마다 [A]는 반으로 감소하므로 A에 대한 1차 반응이다.

㉠. 이 반응은 반감기가 1s로 일정한 A에 대한 1차 반응이므로  $x=0.2$ 이다.

㉡. 반감기가 일정하므로 A에 대한 1차 반응이다.

㉢. 반응 계수비는 A : B : C = 2 : 3 : 1이므로 2 s일 때 감소한 A의 몰 농도는 0.3 M이고, 증가한 B, C의 몰 농도는 각각 0.45 M, 0.15 M이다. 따라서 2 s일 때 C의 몰 분율은  $\frac{3}{14}$ 이다.

### 06 1차 반응

A의 농도는 1 min일 때마다 반으로 감소하므로 반감기가 일정한 반응이다. 따라서 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다.

㉠. A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도식은  $v=k[A]$ 이다.

㉡. 반감기가 1 min으로 일정하므로 3 min일 때  $[A]=0.5 M$ 이다. 3 min일 때 감소한  $[A]=3.5 M$ 이고, 화학 반응식의 계수비는 A : B = 1 : 2이므로 3 min일 때  $[B]=7 M$ 이다.

✗. 0~1 min일 때 감소한  $[A]=2 M$ 이고, 1~2 min일 때 감소한  $[A]=1 M$ 이므로 평균 반응 속도는 0~1 min일 때가 1~2 min일 때의 2배이다.

### 07 1차 반응

$t=0$ 일 때 A(g)의 입자 수는 8이고,  $t=10$  s일 때 A(g)의 입자 수는 4이고, B(g)의 입자 수는 4이며,  $t=20$  s일 때 A(g)의 입자 수는 2이고, B(g)의 입자 수는 6이므로 반감기가 10 s인 A에 대한 1차 반응임을 알 수 있다.

㉠. 반응한 A의 입자 수와 생성된 B의 입자 수가 같으므로 반응 계수비는 A : B = 1 : 1이다. 따라서  $b=1$ 이다.

✗. A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도식은  $v=k[A]$ 이다.

㉢. 그림으로부터 A(g)의 농도가 반으로 감소하는 반감기가 10 s인 것을 알 수 있다.

### 08 1차 반응

반응 전 X(g)의 압력은 4 atm이고,  $t$  s에서 전체 압력이 감소하였으므로  $x>1$ 임을 알 수 있다.  $t$  s가 반감기이므로 4 atm의 X(g)의 양을 4 mol이라고 하면  $t$  s에서 X(g)의 양은 2 mol이므로 Y(g)의 양은 1 mol이다.

㉠. 반감기가  $t$  s로 일정한 반응이므로 X(g)에 대한 1차 반응이다.

✗. 0~ $t$  s 동안 감소한 X(g)의 양(mol)은 증가한 Y(g)의 양(mol)의 2배이므로  $x=2$ 이다.

✗.  $3t$  s에서 X(g), Y(g)의 부분 압력은 각각 0.5 atm, 1.75 atm이므로  $p=2.25$ 이다.

### 09 1차 반응과 반응물의 농도

$H_2O_2(aq)$ 의 분해 반응은  $H_2O_2(aq)$ 에 대한 1차 반응이므로  $H_2O_2(aq)$ 의 초기 농도에 관계없이 반감기가 일정하다. 따라서  $H_2O_2(aq)$ 의 농도가 1.6 M와 0.4 M일 때 모두 반감기가 10 s인 ㉠이 가장 적절한 그래프가 된다.

### 10 1차 반응

증가하는  $[A]+[B]$ 는 0~ $t$  min과  $t\sim 2t$  min에서 각각 2, 1이므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응임을 알 수 있다.

㉠. 반감기가  $t$  min인 A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도식은  $v=k[A]$ 이다.

✗.  $t$  min일 때마다  $[A]+[B]$ 는 반으로 감소하므로  $x=7.5$ 이다.

✗. 반응 초기에 넣어 준  $[A]=4 M$ 이므로  $3t$  min일 때  $[A]=0.5 M$ ,  $[B]=7 M$ 이다. 이때 1.5 M A(g)를 넣어 주면  $[A]=2 M$ 가 되고, 반감기인  $t$  min이 추가로 지나면  $[A]=1 M$ ,  $[B]=9 M$ 가 되어 B(g)의 몰 분율은  $\frac{9}{10}$ 이다.

### 11 1차 반응

A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. 실험 I에서 넣어 준  $[A]=2a M$ 라고 하면, 첫 번째 반감기에서  $[A]=a M$ ,  $[B]=a M$ ,  $[C]=0.5a M$ 이므로 C(g)의 몰 분율이 0.2이다. 따라서  $t=10$  s는 반감기이고  $a=0.2$ 임을 알 수 있다.

㉠.  $t=10$  s가 반감기이고, 이때 [B]는 실험 II에서가 실험 I에서의 2배이므로 초기에 넣어 준 A(g)의 몰 농도가 2배임을 알 수 있다. 따라서 ㉠은  $4v$ 이다.

㉡. 실험 I에서  $[A]=0.2 M$ ,  $[B]=0.2 M$ ,  $[C]=0.1 M$ 이므로 B(g)의 몰 분율은  $\frac{2}{5}=0.4$ 이다.

㉢.  $t=20$  s는 반감기가 2번 지난 시간이고, 실험 II에서 A(g)의 초기 농도가 0.8 M이므로  $t=20$  s일 때  $[C]=0.3 M$ 이다.

### 12 1차 반응

A의 반감기가 2 min으로 일정하므로 A(g)에 대한 1차 반응이다.

2 min일 때 감소한  $[A]=0.4\text{ M}$ 이고, 증가한  $[B]=0.2\text{ M}$ 이므로 반응 몰비는  $A : B=2 : 1$ 이다.

㉠  $A(g)$ 에 대한 1차 반응이므로 반응 속도식은  $v=k[A]$ 이다.

㉡ 반응 몰비는  $A : B=2 : 1$ 이므로  $b=1$ 이다.

✕ 4 min일 때는 반감기를 2번 거친 시간이므로  $[C]=0.6\text{ M}$ 이고,

6 min일 때  $[B]=0.35\text{ M}$ 이다. 따라서  $\frac{4\text{ min일 때 } [C]}{6\text{ min일 때 } [B]} = \frac{0.6}{0.35}$

$=\frac{12}{7}$ 이다.

수능 3점 테스트

본문 092~094쪽

- 01 ㉠    02 ㉢    03 ㉡    04 ㉣    05 ㉠  
06 ㉡

01 1차 반응

A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. 만약 반감기가  $t$ 라면  $4t$ 일 때  $[A]=\frac{1}{16}a\text{ M}$ 이고,  $[B]=\frac{15}{16}ab\text{ M}$ 이므로  $\frac{[B]}{[A]}=15b=6$

이므로 주어진 조건에 맞지 않다. 반감기가  $2t$ 라면  $4t$ 일 때는 두 번째 반감기이고  $\frac{[B]}{[A]}=\frac{\frac{3}{4}ab}{\frac{1}{4}a}=3b=6$ 에서  $b=2$ 이므로 조건에 맞게 된다.

✕  $4t$ 일 때는 두 번째 반감기가 지난 후이므로  $b=2$ 이다.

㉡  $6t$ 일 때는 3번의 반감기가 지난 후이므로  $\frac{[B]}{[A]}=\frac{7}{4}a=\frac{1}{8}a$

따라서  $x=14$ 이다.

✕  $0\sim 4t$  동안 감소한 A의 농도는  $\frac{3}{4}a\text{ M}$ 이고,  $4t\sim 6t$  동안 감소한 A의 농도는  $\frac{1}{8}a\text{ M}$ 이므로 평균 반응 속도는  $0\sim 4t$  동안이  $4t\sim 6t$  동안의 3배이다.

02 1차 반응

$A(g)$ 에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다.  $t=0$ 에서  $C(g)$ 의 몰 분율이  $\frac{b}{a+2b}=\frac{1}{6}$ 이므로  $a : b=4 : 1$ 이다.  $A(g)\sim C(g)$ 의 반응 초기 농도를 각각 4 M, 1 M, 1 M라고 하면 3번의 반감기 동안  $A(g)\sim C(g)$ 의 몰 농도(M)는 다음과 같다.

반감기 횟수	몰 농도(M)			C의 몰 분율
	A(g)	B(g)	C(g)	
1	2	2	3	$\frac{3}{7}$
2	1	2.5	4	$\frac{8}{15}$
3	0.5	2.75	4.5	$\frac{18}{31}$

따라서  $2t\text{ min}$ ,  $3t\text{ min}$ 일 때가 각각 2번, 3번의 반감기를 거친 시간이 된다.

㉠  $2t\text{ min}$ 일 때가 반감기를 2번 거친 시간이므로 반감기는  $t\text{ min}$ 이다.

㉡ B의 몰 분율은  $t\text{ min}$ 에서  $\frac{2}{7}$ 이고,  $2t\text{ min}$ 에서  $\frac{1}{3}$ 이므로  $2t\text{ min}$ 에서  $t\text{ min}$ 에서의  $\frac{7}{6}$ 배이다.

✕ 전체 기체의 양(mol)은  $3t\text{ min}$ 에서  $t\text{ min}$ 에서의  $\frac{31}{28}$ 배이다.

03 1차 반응

12 min일 때 부분 압력비는  $A : C=2 : 7$ 이고, 반응 몰비는  $A : C=2 : 1$ 이므로 A는 1.4 atm이 감소하고, C는 0.7 atm이 생성되는 반응이 일어난 것임을 알 수 있다. A에 대한 1차 반응이므로 A의 부분 압력이 0.2 atm이 되려면 3번의 반감기가 지난 시간이다. 따라서 12 min일 때 기체의 부분 압력의 합은 2.3 atm이므로 A~C의 부분 압력은 각각 0.2 atm, 1.4 atm, 0.7 atm이다.

✕ 12 min은 반감기가 3번 지난 후이므로 반감기는 4 min이다.

㉡ 12 min일 때 B의 부분 압력은 1.4 atm이므로  $b=2$ 이다.

✕ 8 min일 때 A의 부분 압력은 0.4 atm이고, 12 min일 때 C의 부분 압력은 0.7 atm이다. 화학 반응식은  $2A \rightarrow 2B+C$ 이고, 분자량비는  $B : C=9 : 16$ 이므로  $A : C=17 : 16$ 이다. 기체의 부분 압력은 몰 분율에 비례하고, 기체의 질량비는 기체의 부분 압력과 분자량을 곱하여 구할 수 있다. 따라서  $\frac{8\text{ min일 때 } A(g)\text{의 질량}(g)}{12\text{ min일 때 } C(g)\text{의 질량}(g)} = \frac{0.4 \times 17}{0.7 \times 16} = \frac{17}{28}$ 이다.

04 1차 반응

A의 농도는 1 min일 때마다 반으로 감소하므로 이 반응은  $A(g)$ 에 대한 1차 반응이다. 시간에 따른  $A(g)\sim C(g)$ 의 몰 농도를 나타내면 다음과 같다.

시간 (min)	몰 농도(M)		
	A(g)	B(g)	C(g)
0	0.4	0	0
1	0.2	$0.2 \times \frac{b}{a}$	$0.2 \times \frac{c}{a}$
2	0.1	$0.2 \times \frac{b}{a} + 0.1 \times \frac{b}{a} = 0.3 \times \frac{b}{a}$	$0.2 \times \frac{c}{a} + 0.1 \times \frac{c}{a} = 0.3 \times \frac{c}{a}$

2 min일 때 C의 몰 분율은  $\frac{0.3 \times \frac{c}{a}}{0.1 + 0.3 \times \frac{b}{a} + 0.3 \times \frac{c}{a}} = \frac{3}{11}$ 이다. 또한

A가 0.2 M 감소하는 동안 증가한 B와 C의 농도 합인 0.3 M이므로  $a : b + c = 2 : 3$ 이다. 이를 풀면  $a : b : c = 2 : 2 : 1$ 이다. 이로부터 시간에 따른  $A(g)\sim C(g)$ 의 몰 농도를 나타내면 다음과 같다.

시간(min)	몰 농도(M)		
	A(g)	B(g)	C(g)
0	0.4	0	0
1	0.2	0.2	0.1
2	0.1	0.3	0.15
3	0.05	0.35	0.175

따라서  $\frac{3 \text{ min에서 [C]}}{2 \text{ min에서 [B]}} = \frac{0.175}{0.3} = \frac{7}{12}$ 이다.

### 05 1차 반응

전체 기체의 압력은 0~ $t$ 일 때 6 atm이 증가하고,  $t \sim 2t$ 일 때 3 atm이 증가하며,  $2t \sim 3t$ 일 때 1.5 atm이 증가한다. 증가하는 전체 기체의 압력이  $t$ 일 때마다  $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 A에 대한 1차 반응이고, 반감기는  $t$ 이다.  $t$ 일 때 A~C의 부분 압력은 각각 4 atm,  $2b$  atm,  $2c$  atm이다.  $t$ 일 때  $\frac{P_C}{P_A} = \frac{2c}{4} = 0.5$ 이므로  $c=1$ 이다. 전체 기체의 압력은  $4+2b+2=14$ 이므로  $b=4$ 이다. 따라서  $t$ 일 때 A의 압력은 4 atm, B의 압력은 8 atm, C의 압력은 2 atm이다.

㉠ 반응 몰비는 A : B : C = 2 : 4 : 1이므로  $b+c=5$ 이다.

✗ 3 $t$ 일 때 A의 부분 압력은 1 atm, C의 부분 압력은 3.5 atm이므로  $x=3.5$ 이다.

✗  $\frac{3t \text{일 때 C의 부분 압력}}{2t \text{일 때 B의 부분 압력}} = \frac{3.5}{12} = \frac{7}{24}$ 이다.

### 06 1차 반응

A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정한 반응이다. A( $g$ )의 초기 압력이  $a$  atm이므로 반감기가 1회 지난 후 A~C의 부분 압력은 각각  $\frac{1}{2}a$  atm,  $a$  atm,  $\frac{1}{4}a$  atm이다. 따라서 A~C의 부분 압력의 합은  $\frac{7}{4}a$  atm이다. 만약 반감기가 3 $t$ 라면 B의 몰 분율은  $\frac{a}{\frac{7}{4}a+p} = \frac{4}{11}$ 이고,  $p=a$ 이다. 6 $t$ 일 때 A~C의 부분 압력은 각각  $\frac{1}{4}a$  atm,  $\frac{3}{2}a$  atm,  $\frac{3}{8}a$  atm이므로 A~C의 부분 압력의 합은  $\frac{17}{8}a$  atm이고, He의 압력은  $a$  atm이므로 전체 기체의 압력이  $\frac{25}{8}a$  atm이 되어 주어진 조건에 맞게 된다. 따라서 반감기를 2회 지난 6 $t$ 에서 B( $g$ )의 몰 분율은  $\frac{12}{25}$ 이다. 따라서  $p \times x = \frac{12}{25}a$ 이다.

THEME

12

## 반응 속도에 영향을 미치는 요인

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 097쪽

### 정답 ④

(가)에서 초기 상태의 A( $g$ ), B( $g$ )의 양을 각각  $a$  mol,  $b$  mol,  $t$ 일 때를 반감기라고 하면, 반응 시간이  $t$ 일 때

$$\frac{P_A}{P_B+P_C} = \frac{\frac{1}{2}a}{\frac{3}{4}a+b} = \frac{1}{2} \text{이므로 } \frac{a}{b} = 4 \text{이고, } x=4 \text{이다.}$$

따라서 초기 상태 A( $g$ ), B( $g$ )의 양을 각각 4 mol, 1 mol이라고 하면 반응 시간이 3 $t$ 일 때는 3번의 반감기가 지난 후이고

$$\frac{P_A}{P_B+P_C} = \frac{2}{25} \text{이므로 조건에 맞게 된다.}$$

(나)에서 초기 상태의 A( $g$ ), C( $g$ )의 양을 각각 8 mol, 1 mol이라고 하고 반응 시간이 2 $t$ 일 때가 반감기라고 하면, 반응 시간이 2 $t$ 일 때

$$\frac{P_A}{P_B+P_C} = \frac{4}{7} \text{이므로 주어진 자료와 일치한다.}$$

따라서 반응 시간이 4 $t$ 일 때는 2번의 반감기가 지난 후이므로  $\frac{P_A}{P_B+P_C}$

$$= y = \frac{1}{5} \text{이다. 따라서 } x \times y = 4 \times \frac{1}{5} = \frac{4}{5} \text{이다.}$$

### 수능 2점 테스트

본문 098~100쪽

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

### 01 촉매의 역할

촉매는 화학 반응이 일어날 때 반응 경로를 변화시켜 반응 속도를 조절한다. 화학 반응에서 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아지면 반응 속도가 빨라진다.

### 02 온도와 반응 속도

A( $g$ )로부터 B( $g$ )가 생성되는 반응은 초기 반응 속도가 A의 농도에 비례하므로 A에 대한 1차 반응이다. 같은 농도일 때 초기 반응 속도는  $T_1$ 에서  $T_2$ 에서보다 크므로 온도는  $T_1 > T_2$ 이다.

㉠ A에 대한 1차 반응이므로 반응 속도식은  $v = k[A]$ 이다.

✗ 반응 속도는 온도가 높을수록 크므로 온도는  $T_1 > T_2$ 이다.

✗ 촉매를 사용하지 않는 반응으로 활성화 에너지는  $T_1$ 과  $T_2$ 에서 같다.

### 03 촉매와 반응 속도

A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정한 반응이다. 실험 I에서 2 $t$  s일 때 B의 농도가  $\frac{3}{2}a$  M이므로 반감기가 2번 지난 후이다.

㉠ A에 대한 1차 반응이고, 실험 III에서는 I에서보다 A의 초기 농

도가 2배이므로 반감기가 2회 지난  $2t$  s일 때 B의 농도는  $3a$  M이다.

- ㉠ 실험 II에서 X를 첨가하였을 때 생성된 B의 농도가 I에서보다 크므로 X는 반응 속도를 빠르게 해주는 정촉매이다.  
 ✕ 실험 I에서  $2t$  s일 때 B의 농도는 반감기가 2회 지났을 때의 농도이므로  $t$  s가 반감기이다.

#### 04 반응 속도에 영향을 미치는 요인

$E_a$ 보다 큰 분자 운동 에너지를 갖는 분자 수는  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 크므로 온도는  $T_2 > T_1$ 이다. 따라서 반응 속도는  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 크다.

- ㉠ 반응 속도는  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 크다. 따라서 반감기는  $T_1$ 에서  $T_2$ 에서보다 길다.  
 ✕ 온도는  $T_2 > T_1$ 이므로 반응 속도 상수는  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 크다.  
 ✕  $E_1$ 로 활성화 에너지를 높이면 활성화 에너지보다 큰 분자 운동 에너지를 갖는 분자 수가 감소하므로 반응 속도가 감소한다.

#### 05 반응 속도에 영향을 미치는 요인

$T_1$ 에서 반응 시간에 따라 A의 농도가 2 min마다 반으로 감소하므로 A에 대한 1차 반응이다.

- ㉠  $T_1$ 에서 A의 농도가 2 min마다 반으로 감소하므로 이 반응은 반감기가 일정한 A에 대한 1차 반응이다.  
 ✕  $T_1$ 과  $T_3$ 에서 반감기가 2 min으로 같고,  $T_2$ 에서  $t=2$  min일 때는 반감기가 2번 지난 후이므로 온도는  $T_2 > T_1 = T_3$ 이다.  
 ✕ ㉠은  $t=4$  min일 때보다 반감기가 2번 더 지난 후의 농도이므로 ㉠ =  $0.05 \times \frac{1}{4} = \frac{1}{80}$ 이다.

#### 06 온도와 반응 속도

0~6 min 동안 반감기가 3 min으로 일정한 반응이므로 A에 대한 1차 반응이다. 6 min에서 촉매 X를 넣어 주었더니 반감기가 1 min으로 짧아졌으므로 반응 속도가 빨라진 것이다.

- ✕ 6 min일 때 촉매 X를 넣었지만 반감기가 1 min으로 일정하므로 촉매를 넣기 전과 후에 반응 차수는 모두 1로 변화 없다.  
 ㉠ X를 넣은 후 반감기가 짧아졌으므로 반응 속도가 증가한 것이다. 따라서 촉매 X는 정촉매이다.  
 ㉡ 6 min 이후 반감기는 1 min이므로 9 min일 때  $[A] = \frac{1}{40}$  M이고, 감소한  $[A]$ 의 2배가  $[B]$ 와 같으므로  $[B] = 2 \times \frac{31}{40} = 1.55$  M이다. 따라서  $\frac{[B]}{[A]} = 62$ 이다.

#### 07 효소의 작용

A는 효소, B는 기질, C는 효소·기질 복합체이다.

- ✕ A는 반응 후에도 남으므로 효소이다.  
 ㉠ 효소는 반응의 활성화 에너지를 감소시켜 반응 속도를 증가시킨다.  
 ✕ 효소는 단백질로 이루어진 생체 촉매이므로 기질 특이성을 갖고, 표면 촉매는 다양한 물질의 반응에서 촉매로 작용할 수 있다.

#### 08 1차 반응과 온도

X의 농도가 줄어드는 반감기가 일정하므로 1차 반응이다. 반감기는  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 짧다.

- ✕ 반감기로부터  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 반응 속도가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 온도는  $T_2 > T_1$ 이다.  
 ㉠ 초기 농도가 같고, 반응 속도는  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 크므로 반응 속도 상수는  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 크다.  
 ✕ 40 s에서 X, Y의 몰 농도는  $T_1$ 에서 각각 1 M, 1.5 M이고,  $T_2$ 에서 각각  $\frac{1}{4}$  M,  $\frac{15}{8}$  M이다. 따라서 40 s에서 X의 몰 분율은  $T_1$ 에서  $T_2$ 에서의  $\frac{17}{5}$  배이다.

#### 09 표면 촉매

$A_2$ 와  $B_2$ 가 반응하여  $AB_3$ 가 생성되는 반응에서 촉매 X는  $A_2$ 와  $B_2$ 의 결합을 끊고  $AB_3$ 가 생성되는 속도를 빠르게 하는 표면 촉매이다.

- ㉠ 모형에서와 같이 촉매 X의 표면에 붙은  $A_2$ 에서 A 원자 사이의 결합은 더 쉽게 끊어진다.  
 ✕ 촉매 X를 사용하면 반응 속도를 빨라지게 하지만 반응이 완결되었을 때의 생성량을 증가시키지는 못한다.  
 ✕ 촉매 X는 반응의 엔탈피를 변화시키지 않고 활성화 에너지를 감소시킨다.

#### 10 활성화 에너지와 반응 엔탈피

촉매는 활성화 에너지를 변화시켜 반응 속도를 변화시킨다.

- ㉠ 부촉매를 사용하면 활성화 에너지( $E_a$ )가 증가하여 반응 속도가 느려진다.  
 ✕ 발열 반응이므로 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 0보다 작다.  
 ✕ A(s)의 표면적을 증가시키면 충돌 수가 증가하여 활성화 에너지( $E_a$ )보다 큰 분자 운동 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 증가한다. 하지만  $E_a$ 에는 변화가 없다.

#### 11 반응 속도에 영향을 미치는 요인

- ㉠ 실험 I과 II를 비교하면 A(g)의 농도가 2배가 되었을 때 초기 반응 속도가 2배가 됨을 알 수 있으므로 A에 대한 1차 반응이다.  
 ㉡ III과 II에서의 초기 반응 속도를 비교하면 X(s)를 넣었을 때 초기 반응 속도가 커지므로 X(s)는 정촉매이고, 활성화 에너지는 III에서 II에서보다 작다.  
 ㉢ II와 IV를 비교하면  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 초기 반응 속도가 크므로 온도는  $T_2 > T_1$ 이다.

#### 12 온도와 반응 속도

화학 반응식이  $A(g) \rightarrow 2B(g)$ 이므로 만약 반감기가 일정한 1차 반응이라고 하면  $T_1$ 에서 첫 번째 반감기에서 몰비는 A : B = 1 : 2

- 이므로 A의 몰 분율은  $\frac{1}{3}$ 이고, 두 번째 반감기에서 몰비는 A : B = 1 : 6이므로 A의 몰 분율은  $\frac{1}{7}$ 이다. 따라서 이 반응은 A에 대한 1차 반응을 알 수 있다.

- ㉠. 반감기가 일정하므로 A에 대한 1차 반응이다.
- ㉡.  $T_2$ 에서  $t$ 는 두 번째 반감기가 지난 후의 A의 몰 분율이므로 반감기가 더 빠른 온도이다. 따라서 온도는  $T_2 > T_1$ 이다.
- ✗.  $T_1$ 에서  $4t$ 일 때 몰비는 A : B = 1 : 30이므로 A의 몰 분율은  $\frac{1}{31}$ 이다.  $T_2$ 에서는 반감기가  $T_1$ 에서보다 0.5배이므로  $T_2$ 에서  $2t$ 일 때 A의 몰 분율은  $T_1$ 에서  $4t$ 일 때 몰 분율과 같으므로 B의 몰 분율은  $\frac{30}{31}$ 이다.

**수능 3점 테스트**

본문 101~104쪽

- 01 ㉠    02 ㉢    03 ㉥    04 ㉥    05 ㉠  
 06 ㉢    07 ㉡    08 ㉢

**01 온도와 반응 속도**

활성화 에너지는 정촉매 X(s)를 넣은 I이 II보다 작다. 활성화 에너지가 I에서 II에서보다 작으므로  $E_a, E_a'$ 은 각각 I과 II에 해당한다.

- ㉠. X(s)를 넣었을 때의 활성화 에너지가 감소하므로 I은 X(s)를 넣었을 때의 경로이다.
- ✗. (가)에서 엔탈피는 A(g)가 2B(g)보다 크므로 반응  $A(g) \rightarrow 2B(g)$ 는 발열 반응이다. 따라서  $\Delta H = -(c-d)$  kJ이다.
- ✗.  $a-b$ 는 II와 I의 활성화 에너지 차이므로  $E_a' - E_a$ 이다.

**02 1차 반응과 온도**

같은 농도에 도달하는 데 걸리는 시간이  $T_1$ 에서  $T_2$ 에서보다 짧으므로 온도는  $T_1 > T_2$ 이다. A에 대한 1차 반응이므로 세 번째 반감기까지의 A~C의 몰 농도는 다음과 같다.

반감기 횟수	몰 농도(M)		
	A(g)	B(g)	C(g)
1	0.8	0.4	0.8
2	0.4	0.6	1.2
3	0.2	0.7	1.4
4	0.1	0.75	1.5

- ㉠. 반응 속도는  $T_1$ 에서  $T_2$ 에서보다 크고, 반응 초기에 넣어 준 A(g)의 몰 농도는 같으므로 반응 속도 상수는  $T_1$ 에서  $T_2$ 에서보다 크다.
- ✗.  $T_1$ 에서 4 min일 때는 4번의 반감기가 지난 후이므로 C의 몰 농도는 1.5 M이다.
- ㉡. 0~3 min 동안 감소한 A의 몰 농도는  $T_1$ 에서 1.4 M이고,  $T_2$ 에서 1.2 M이다. 따라서 0~3 min 동안 평균 반응 속도는  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때의  $\frac{7}{6}$ 배이다.

**03 온도와 반응 속도**

A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정한 반응이다.  $T_1$ 에서 2 min이 반감기라고 하면 A~C의 몰 농도는 각각 0.4 M, 0.4 M, 0.2c M이므로  $\frac{[B]+[C]}{[A]} = \frac{0.4+0.2c}{0.4} = \frac{3}{2}$ 이고,  $c=1$ 이다. 4 min에서 A~C의 몰 농도는 각각 0.2 M, 0.6 M, 0.3 M이므로  $\frac{[B]+[C]}{[A]} = \frac{0.9}{0.2} = \frac{9}{2}$ 가 되어 주어진 조건을 만족한다.  $T_1$ 에서 반응 시간이 8 min일 때  $\frac{[B]+[C]}{[A]} = \frac{45}{2}$ 이므로  $T_2$ 에서 4 min은 반감기를 4번 거친 후의 시간이 된다.

- ✗.  $c=1$ 이다.
- ㉠. 반응 속도는  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 빠르므로 온도는  $T_2 > T_1$ 이다.
- ㉡.  $T_2$ 에서 2 min은 반감기가 2번 지난 후이므로 ㉠은  $\frac{9}{2}$ 이다.

**04 1차 반응과 온도**

초기 반응 속도비는 I : II = 3 : 4이고, 1차 반응이므로 반응 속도 상수(k)는 I : II = 3 : 4이다. 반응 속도 상수가 큰 II의 온도가 I의 온도보다 높은 것이므로 온도는  $T_2 > T_1$ 이다. II에서 반응 속도가 반이 되는 시간 1s가 반감기이다.

- ㉠. 1차 반응이므로 반감기가 일정한 반응이다. I에서 반응 속도가 반으로 되는 시간이 2s이므로 반감기는 2s이다.
- ㉡. 반응 속도 상수는 II에서 I에서보다 크므로 온도는  $T_2 > T_1$ 이다.
- ㉢. II에서의 반감기는 1s이므로 4s는 반감기가 4번 지난 후이므로 초기 A의 몰 농도를 a M라고 하면 4s일 때  $[A] = \frac{1}{16}a$  M이고,  $[C] = \frac{15}{32}a$  M이다. 따라서 II에서 4s일 때  $\frac{[C]}{[A]} = \frac{15}{2}$ 이다.

**05 온도와 반응 속도**

A(g)에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정하다. (가)에서 반응 전 몰비는 A : B = 4 : 3이고 2t s일 때  $\frac{[B]}{[A]} = 9$ 로 몰비는 A : B = 1 : 9이므로 2t s는 반감기가 2번 지난 후이다. (나)에서 반응 전 몰비는 A : B = 8 : 3이고 t s일 때  $\frac{[B]}{[A]} = \frac{15}{2}$ 로 몰비는 A : B = 2 : 15이므로 t s는 반감기가 2번 지난 후이다.

- ㉠. (가)에서 반감기는 t s이므로  $\frac{[B]}{[A]} = \frac{7}{2}$ 이다.
- ✗. 반감기는 (가)와 (나)에서 각각 t s,  $\frac{t}{2}$  s이므로 온도는  $T_2 > T_1$ 이다.
- ✗. 2t s에서 A의 몰 농도비는 (가) : (나) = 2 : 1이고, 반응 속도 상수는 (나) > (가)이므로 2t s에서 순간 반응 속도는 (가)에서 (나)에서의 2배보다 작다.

**06 촉매와 반응 속도**

화학 반응식이  $A(g) \rightarrow 2B(g)$ 이고, A(g)에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정한 반응이 일어난다.

㉠ B의 몰 농도가 6 M가 될 때까지 감소한 A의 몰 농도는 3 M로 I과 II에서 같다. 걸린 시간은 I에서가 3 min, II에서가 4 min이므로 평균 반응 속도는 I에서가 II에서보다 크다.

㉡ B의 몰 농도가 6 M가 되는 데 I에서는 반감기가 2번 지난 후이고, II에서는 반감기가 1번 지난 후이다. 따라서 X(s)는 반응 속도를 빠르게 해주는 정촉매이다.

㉢ II에서 8 min일 때는 반감기가 2번 지난 후이므로  $[A]=1.5 M$ ,  $[B]=9 M$ 이다. 화학 반응식으로부터 분자량비는 A : B = 2 : 1이므로  $\frac{B의 질량(g)}{A의 질량(g)}=3$ 이다.

## 07 온도와 반응 속도

$T_2$ 에서  $t$ 일 때마다 증가하는 전체 기체의 압력은 각각  $3P atm$ ,  $1.5P atm$ 이다. 따라서  $t$ 일 때마다 증가하는 전체 기체의 압력이 일정하게 감소하므로 A에 대한 1차 반응이다.  $T_1$ 에서는  $t$ 일 때마다 증가하는 전체 기체의 압력은 각각  $9P atm$ ,  $2.25P atm$ 이므로  $0.5t$ 가 반감기임을 알 수 있다.

㉣ A에 대한 1차 반응이므로  $m=1$ 이고,  $T_2$ 에서 반감기가  $t$ 이므로  $2P atm$ 의 A가 반응하는 동안  $5P atm$ 의 기체가 증가함을 알 수 있다. 화학 반응식에서 A의 계수가 2이므로  $b+c=5$ 이고,  $m+b+c=6$ 이다.

㉤ 반감기가 일정한 1차 반응인데  $T_2$ 에서는  $t$ 가 반감기이고,  $T_1$ 에서는  $0.5t$ 가 반감기이므로 온도는  $T_1 > T_2$ 이다.

㉥  $2t$ 일 때  $T_1$ 에서는 반감기가 4번 지난 후이므로 A의 부분 압력은  $8P \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{2}P atm$ 이고, 전체 압력은  $19.25P atm$ 이다.  $T_2$ 에서는 반감기가 2번 지난 후이므로 A의 부분 압력은  $4P \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = P atm$ 이고, 전체 압력은  $8.5P atm$ 이다. 따라서 A의 몰 분율은  $T_2$ 일 때가  $\frac{2}{17}$ 이고,  $T_1$ 일 때가  $\frac{2}{77}$ 이므로  $T_2$ 일 때가  $T_1$ 일 때의  $\frac{77}{17}$ 배이다.

## 08 온도와 반응 속도

화학 반응식이  $A(g) \rightarrow 2B(g)$ 이므로 분자량비는 A : B = 2 : 1이다. (가)에서 반응 전  $\frac{B의 질량(g)}{A의 질량(g)}=0.5$ 이므로 몰비는 A : B =

1 : 1이고,  $t$ 에서 반응 전  $\frac{B의 질량(g)}{A의 질량(g)}=5$ 이므로 몰비는 A : B = 1 : 10

이다. 반감기가 일정한 1차 반응이므로 (가)에서  $t$ 는 반감기가 2번 지난 후가 된다. (나)에서 반응 전  $\frac{B의 질량(g)}{A의 질량(g)}=1.5$ 이므로 몰비는

A : B = 1 : 3이고,  $t$ 에서 몰비는 A : B = 1 : 8이다. 따라서 (나)에서  $t$ 는 반감기이다.

㉣  $t$ 에서 A의 몰 분율은 (가)에서  $\frac{1}{11}$ , (나)에서  $\frac{1}{9}$ 이다. 따라서 (나)에서가 (가)에서의  $\frac{11}{9}$ 배이다.

㉤ (가)에서  $t$ 는 반감기가 2번 지난 후이므로  $\frac{t}{2}$ 가 반감기이다.

㉥ (가)에서의 반감기는  $\frac{t}{2}$ 이고, (나)에서의 반감기는  $t$ 이므로 온도는  $T_1 > T_2$ 이다.

## THEME 13

## 화학 전지와 전기 분해

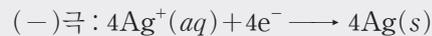
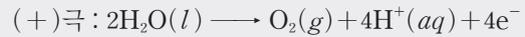
### 많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 107쪽

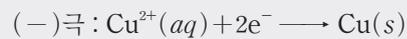
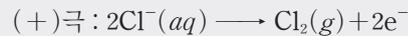
#### 정답 ④

$AgNO_3(aq)$ ,  $CuCl_2(aq)$ ,  $Cu(NO_3)_2(aq)$ 을 전기 분해할 때 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

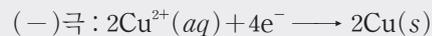
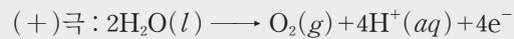
○  $AgNO_3(aq)$ 의 전기 분해



○  $CuCl_2(aq)$ 의 전기 분해



○  $Cu(NO_3)_2(aq)$ 의 전기 분해



$AgNO_3(aq)$ ,  $CuCl_2(aq)$ ,  $Cu(NO_3)_2(aq)$ 을 일정 시간 동안 전기 분해했을 때  $\frac{(-)극에서 생성된 금속의 양(mol)}{(+ )극에서 생성된 기체의 양(mol)}$ 은

각각 4, 1, 2이다. 따라서 (가)~(다)는 각각  $Cu(NO_3)_2(aq)$ ,  $CuCl_2(aq)$ ,  $AgNO_3(aq)$ 이다.

㉠ (가)와 (나)의 (-)극에서  $Cu^{2+}(aq)$ 과  $H_2O(l)$  중에서 환원되기 쉬운 물질이 먼저 환원된다. ㉡은  $Cu(s)$ 이고,  $Cu^{2+}(aq)$ 이 환원되었으므로  $Cu^{2+}(aq)$ 이  $H_2O(l)$ 보다 환원되기 쉽다.

㉢ (다)는  $AgNO_3(aq)$ 이므로 (다)를 전기 분해할 때 일어나는 반응의 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 ㉣과 ㉤은 각각  $O_2(g)$ ,  $Ag(s)$ 이고,

$\frac{(-)극에서 생성된 금속의 양(mol)}{(+ )극에서 생성된 기체의 양(mol)}=x=4$ 이다.

㉥ (나)와 (다)의 (+)극에서 생성된 물질은 각각  $Cl_2(g)$ ,  $O_2(g)$ 이다. 따라서 이동한 전자의 양(mol)이 같을 때 생성된 물질의 몰비는 ㉠ : ㉡ = 2 : 1이다.

### 수능 2점 테스트

본문 108~109쪽

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

## 01 금속의 이온화 경향

금속 A를  $BSO_4(aq)$ 에 넣었더니 B(s)가 석출되므로 A는 A 이온이 되고,  $B^{2+}$ 은 B가 된다.

㉠ A는 전자를 잃어 A 이온이 되므로 산화된다.

㉡ A는 산화되고,  $B^{2+}$ 이 환원되므로 금속의 이온화 경향은  $A > B$ 이다.

㉔. 반응이 진행될 때,  $B^{2+}$ 이 전자를 얻어 B가 되므로 수용액에 들어 있는  $B^{2+}$ 의 양(mol)은 감소한다.

## 02 화학 전지

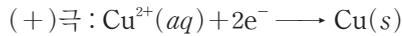
✗. A는 전자를 잃어 A 이온이 되므로 A 전극의 질량은 감소한다.

㉒. B 전극에서  $H^+$ 이 환원되어  $H_2(g)$ 가 생성된다.

㉔. 반응이 진행될 때,  $H^+$ 의 양(mol)이 감소하므로 수용액의 pH는 증가한다.

## 03 다니엘 전지

다니엘 전지의 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



✗. Cu 전극에서  $Cu^{2+}$ 이 환원되어 Cu가 되므로 Cu 전극은 (+)극이다.

㉒. Zn이 전자를 잃고  $Zn^{2+}$ 이 되므로 수용액 속  $Zn^{2+}$ 의 양(mol)은 증가한다.

㉔. Zn이 잃은 전자는 도선을 따라 Cu 전극으로 이동한다.

## 04 금속의 이온화 경향과 화학 전지

(가)에서 B는 산화되어  $B^{2+}$ 이 되고,  $H^+$ 은 환원되어  $H_2$ 가 된다. (나)에서  $A^{2+}$ 은 환원되어 A가 되고, B는 산화되어  $B^{2+}$ 이 된다.

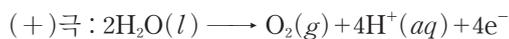
㉒. (가)의 B에서  $H^+$ 이 전자를 얻어  $H_2$ 가 되므로 (가)의 B에서  $H^+$ 이 환원된다.

✗. H보다 이온화 경향이 큰 금속을 산 수용액에 넣으면  $H_2$  기체가 발생한다. (가)의 A에서는 반응이 일어나지 않고, B에서는 기체가 발생하므로 금속의 이온화 경향은  $B > A$ 이다.

㉔. (나)에서  $A^{2+}$ 은 환원되어 A가 되므로  $A^{2+}$ 의 양(mol)은 감소한다.

## 05 전기 분해

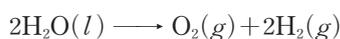
$Na_2SO_4(aq)$ 을 전기 분해할 때 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



✗. (가)는 전자를 잃는 산화 반응이므로 (+)극에서 일어나는 반응이다.

㉒. (-)극에서  $Na^+$ 과  $H_2O$  중에서 환원되기 쉬운 물질이 먼저 환원된다. (나)에서  $H_2O$ 이 환원되었으므로 환원되기 쉬운 경향은  $H_2O(l) > Na^+(aq)$ 이다.

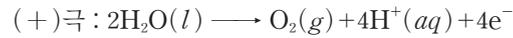
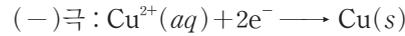
✗. 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 전기 분해할 때 생성되는 기체의 몰비는  $O_2 : H_2 = 1 : 2$ 이다.

## 06 전기 분해

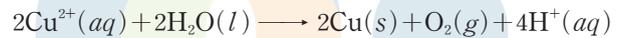
$CuSO_4(aq)$ 을 전기 분해할 때 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



㉒. 전극 ㉑에서  $Cu^{2+}$ 이 전자를 얻어 Cu가 되는 환원 반응이 일어난다.

㉒. 전극 ㉑에서  $H_2O$ 이 전자를 잃고 산화되므로 전극 ㉑은 (+)극이다.

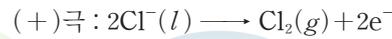
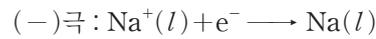
✗. 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



반응이 진행될 때  $H^+$ 의 양(mol)이 증가하므로 수용액의 pH는 감소한다.

## 07 전기 분해

$NaCl(l)$ 을 전기 분해할 때 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



㉒. 전극 ㉑은 (-)극이고,  $Na^+(l)$ 이 전자를 얻어  $Na(l)$ 이 생성된다.

㉒. 전극 ㉑에서  $Cl^-(l)$ 이 전자를 잃고 산화되며  $Cl_2(g)$ 가 발생한다.

㉔. 전극 ㉑에서  $Na(l)$ 이 생성되고, 전극 ㉒에서  $Cl_2(g)$ 가 발생한다.

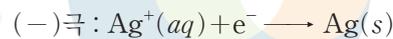
## 08 전기 도금

$Ag^+$ 이 들어 있는 수용액에 Ag 판을 전원 장치의 (+)극에 연결하고 Fe 숟가락을 전원 장치의 (-)극에 연결한 후, 전류를 흘려주면 (+)극에서는 Ag의 산화 반응이 일어나고, (-)극에서는  $Ag^+$ 의 환원 반응이 일어나며 Fe 숟가락에 Ag이 도금된다.

㉒. 산화되기 쉬운 경향은  $Ag > H_2O$ 이므로 Ag 판에서 Ag은 전자를 잃고 산화되어  $Ag^+$ 이 된다.

㉒. Fe 숟가락은 전원 장치의 (-)극에 연결한다. (-)극에서는  $Ag^+$ 이 전자를 얻고 환원 반응이 일어난다.

✗. Ag 도금 장치의 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 반응이 일어나는 동안 수용액에 들어 있는  $Ag^+$ 의 양(mol)은 일정하다.

## 수능 3점 테스트

본문 110~113쪽

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

## 01 금속의 이온화 경향과 화학 전지

(가)에서 A는 산화되어 A 이온이 되고, H<sup>+</sup>은 환원되어 H<sub>2</sub>가 된다. A에서 H<sub>2</sub>가 발생하고, B에서 H<sub>2</sub>가 발생하지 않으므로 이온화 경향은 A>H>B이다. (나)에서 A는 산화되어 A 이온이 되고, B에서 H<sup>+</sup>은 환원되어 H<sub>2</sub>가 된다.

- ㉠. (가)에서 A는 전자를 잃고 산화되어 A 이온이 된다.  
 ✕. (나)에서 A가 잃은 전자는 도선을 따라 B 전극으로 이동하므로 전자의 이동 방향은 ㉠이다.  
 ✕. (나)의 B 전극에서 H<sup>+</sup>이 환원되어 H<sub>2</sub>가 발생한다. B 전극에서 환원 반응이 일어나므로 B 전극은 (+)극이다.

## 02 화학 전지

전극 ㉠에서 B<sup>2+</sup>이 전자를 얻고 환원되어 B(s)가 석출된다. 전극 ㉡에서 환원 반응이 일어나므로 A 전극에서 환원 반응이 일어나고, 전극 ㉠과 C 전극에서 산화 반응이 일어난다.

- ㉠. A 전극에서 A<sup>2+</sup>이 환원되어 A(s)가 석출된다.  
 ✕. 전극 ㉠에서 B가 전자를 잃고 산화되어 B<sup>2+</sup>이 된다.  
 ㉡. 전극 ㉠에서 B는 산화되고 A 전극에서 A<sup>2+</sup>은 환원되므로 금속의 이온화 경향은 B>A이고, 전극 ㉡에서 B<sup>2+</sup>은 환원되고, C 전극에서 C는 산화되므로 금속의 이온화 경향은 C>B이다. 따라서 금속의 이온화 경향은 C>B>A이다.

## 03 화학 전지

(가)에서 A<sup>m+</sup>이 전자를 얻고 환원되어 A(s)가 석출되고, B가 전자를 잃고 산화되어 B<sup>n+</sup>이 된다. (나)의 B 전극에서 B<sup>n+</sup>이 전자를 얻고 환원되어 B(s)가 석출되고, C가 전자를 잃고 산화되어 C<sup>2+</sup>이 된다.

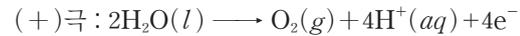
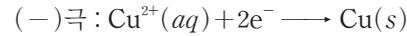
- ㉠. 석출되는 A와 생성되는 B<sup>n+</sup>의 몰비는 2 : 1이다. A<sup>m+</sup>이 환원될 때 얻는 전자의 양(mol)과 B가 산화되어 B<sup>n+</sup>이 생성될 때 잃는 전자의 양(mol)이 같아야 하므로 2×m=1×n이다. 따라서 m : n = 1 : 2이다.  
 ㉡. C 전극에서 C가 전자를 잃고 산화되어 C<sup>2+</sup>이 된다.  
 ㉢. (가)에서 B가 산화되고 A<sup>m+</sup>이 환원되므로 금속의 이온화 경향은 B>A이고, (나)에서 C가 산화되고 B<sup>n+</sup>이 환원되므로 금속의 이온화 경향은 C>B이다. 따라서 금속의 이온화 경향은 C>A이다.

## 04 화학 전지와 전기 분해

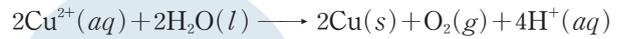
(가)에서 Y 전극의 질량이 증가하므로 Y 전극에서 Y(s)가 석출된다. Y 전극에서 Y<sup>2+</sup>이 전자를 얻어 환원되므로 Y 전극은 (+)극이고, X 전극은 (-)극이다. 따라서 (다)의 Y 전극은 산화 반응이 일어나는 (-)극이고, Z 전극은 환원 반응이 일어나는 (+)극이다.

✕. (가)에서 X가 산화되고 Y<sup>2+</sup>이 환원되므로 금속의 이온화 경향은 X>Y이고, (다)에서 Y는 산화되고 Z<sup>2+</sup>이 환원되므로 금속의 이온화 경향은 Y>Z이다. 따라서 금속의 이온화 경향은 X>Y>Z이다.

㉠. Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(aq) 전기 분해 장치의 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



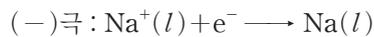
따라서 전체 반응이 진행될 때 H<sup>+</sup>의 양(mol)이 증가하므로 (나)에서 수용액의 pH는 감소한다.

✕. Z 전극에서 Z<sup>2+</sup>이 전자를 얻어 환원되어 Z(s)가 석출되는 환원 반응이 일어난다.

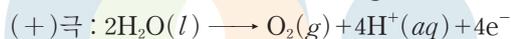
## 05 전기 분해

NaCl(l), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq)을 전기 분해할 때, (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

○ NaCl(l)의 전기 분해



○ Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq)의 전기 분해

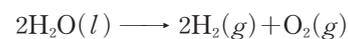


따라서 (가)와 (나)는 각각 NaCl(l), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq)이다.

㉠. (-)극에서 Na(l)이 생성되었으므로 (가)는 NaCl(l)이다.

㉡. (가)는 NaCl(l)이므로 (+)극에서 Cl<sub>2</sub>(g)가 발생한다.

㉢. (나)는 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq)이므로 ㉠과 ㉡은 각각 H<sub>2</sub>(g), O<sub>2</sub>(g)이고, (나)를 전기 분해할 때 일어나는 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 (나)를 전기 분해할 때 생성된 물질의 몰비는 ㉠ : ㉡ = 2 : 1이다.

## 06 금속의 반응성과 전기 분해

(가)에서 ■ 4개가 반응하여 ○ 2개가 생성되었으므로 ○은 X<sup>2+</sup>이고, ■은 Y<sup>+</sup>이며 X는 Y보다 산화되기 쉽다. (나)에서 석출되는 금속의 양(mol)이 같을 때 이동하는 전자의 몰비는 2 : 1이다. 따라서 이동한 전자의 양이 0.3 mol일 때 X<sup>2+</sup>과 Y<sup>+</sup>이 얻은 전자의 양은 각각 0.2 mol, 0.1 mol이다.

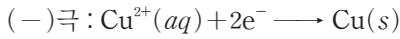
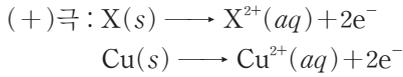
✕. m : n = 2 : 1이다.

㉠. m : n = 2 : 1이고, 0.3 mol의 전자가 이동했을 때 석출된 금속의 몰비가 1 : 1이므로 X(s)와 Y(s)의 양은 각각 0.1 mol이다.

㉡. 처음에 존재한 Y<sup>+</sup>의 양이 0.1 mol이므로 Y<sup>+</sup>은 전자 0.1 mol을 얻어 Y(s) 0.1 mol이 먼저 석출되고, X(s) 0.05 mol이 석출되기 위해서는 0.1 mol의 전자가 필요하므로 이동한 총 전자의 양은 0.2 mol이다.

## 07 금속의 제련

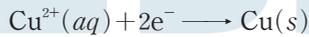
금속 X, Y가 포함된 Cu에서 순수한 Cu를 얻을 때 (+)극과 (-)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



×. (나) 전극에서  $X^{2+}$ 은 X로 환원되지 않는다. 따라서 금속 이온이 금속으로 환원되기 쉬운 경향은  $Cu^{2+} > X^{2+}$ 이다.

○. X가  $X^{2+}$ 으로 산화될 때 잃은 전자를  $Cu^{2+}$ 이 얻어 Cu로 석출되므로 반응이 일어나는 동안 수용액에 들어 있는  $Cu^{2+}$ 의 양(mol)은 감소한다.

×. (나) 전극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

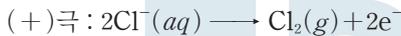
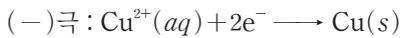


따라서 도선을 따라 이동한 전자의 양이 0.08 mol일 때 (나)에서 석출된 Cu(s)의 양은 0.04 mol이고, 질량은 2.56 g이다.

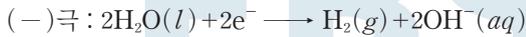
## 08 전기 분해

$CuCl_2(aq)$ 과  $Na_2SO_4(aq)$ 을 전기 분해할 때, (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

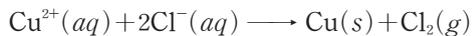
○  $CuCl_2(aq)$ 의 전기 분해



○  $Na_2SO_4(aq)$ 의 전기 분해



×. (가)에서 일어나는 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 전극 ㉠에서 생성된  $Cl_2(g)$ 의 양이 0.02 mol이므로 전극 ㉡에서 석출된 Cu(s)의 양은 0.02 mol이고, 질량은 1.28 g이다.

○.  $Cl_2(g)$ 가 발생하며 산화 반응이 일어난 전극 ㉡이 (+)극이기 때문에 전극 ㉠과 전극 ㉡이 (-)극이다.

×. (나)에서 일어나는 반응의 전체 반응식은  $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g) + 2H_2(g)$ 이다. 따라서 수용액의 pH는 변하지 않는다.

THEME

14

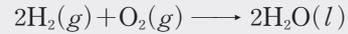
## 수소 연료 전지의 활용

많은 낱 문제로 유형 익히기

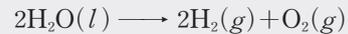
본문 115쪽

정답 ④

수소 연료 전지에서 일어나는 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



위와 같이 수소 연료 전지는 연료인 수소가 공기 중의 산소와 반응할 때 발생하는 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 장치이다. 물의 광분해 장치에서 일어나는 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



위와 같이 물의 광분해는 태양 에너지를 이용하여 물을 분해함으로써 수소를 얻는 방법이다.

수능 2점 테스트

본문 116쪽

01 ②

02 ④

03 ⑤

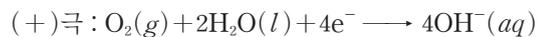
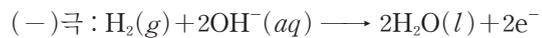
04 ①

### 01 수소 연료 전지

수소 연료 전지는 연료인 수소가 공기 중의 산소와 반응할 때 발생하는 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다. 생성물이 물이므로 환경 오염을 일으키지 않는다.

### 02 수소 연료 전지

전해질이 KOH인 수소 연료 전지에서 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



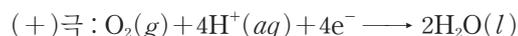
○.  $H_2$ 가 공급되는 전극 ㉠에서 일어나는 반응은 (가)이다.

×. 전극 ㉡에서 일어나는 반응은 (나)이다. (나)는 전자를 얻는 환원 반응이다.

○. 전지 반응에서 생성물은  $H_2O$ 이다.  $H_2O$ 은 환경 오염을 일으키지 않는다.

### 03 수소 연료 전지

수소 연료 전지의 (-)극에서  $H_2$ 의 산화 반응이 일어나고, (+)극에서  $O_2$ 의 환원 반응이 일어난다. (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



○. (가)는  $H^{+}(aq)$ 이다.

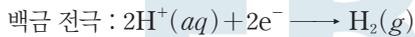
○.  $H_2$ 가 공급되는 전극에서 내놓은 전자가 도선을 따라  $O_2$ 가 공급

되는 전극으로 이동하므로 전지 반응이 일어날 때 전자의 이동 방향은 ㉠이다.

㉡ 수소 연료 전지의 전체 반응의 화학 반응식은  $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 이므로  $\text{H}_2(g)$  1 mol이 반응하면  $\text{H}_2\text{O}(l)$  1 mol이 생성된다.

#### 04 물의 광분해 장치

물의 광분해 장치의 두 전극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



㉠ ㉠은  $\text{O}_2(g)$ 이다.

✕ 광촉매 전극에서 전자를 잃는 산화 반응이 일어난다.

✕ 물의 광분해 장치의 전체 반응의 화학 반응식은  $2\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow 2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g)$ 이므로 반응이 진행될 때,  $\text{H}^+(aq)$ 의 양(mol)은 변하지 않는다.

#### 수능 3점 테스트

본문 117~118쪽

01 ⑤

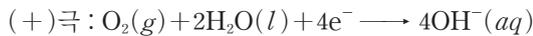
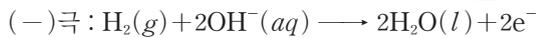
02 ③

03 ④

04 ①

#### 01 수소 연료 전지

전해질이 KOH인 수소 연료 전지의 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



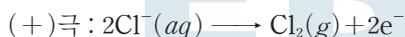
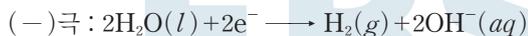
㉠ 전극 ㉠은 전자를 내놓는 산화 반응이 일어나는 (-)극이다. A는  $\text{H}_2$ 이다.

✕  $x=2, y=4$ 이므로  $x+y=6$ 이다.

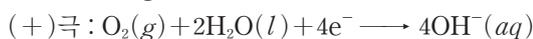
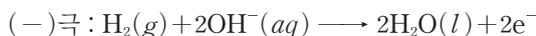
㉡ B는  $\text{O}_2$ 이다. 전극 ㉡에서  $\text{O}_2$ 는 전자를 얻어 환원된다.

#### 02 전기 분해와 수소 연료 전지

$\text{NaCl}(aq)$ 을 전기 분해할 때, (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



수소 연료 전지의 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



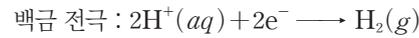
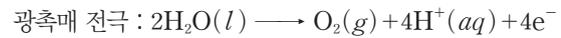
㉠ 전극 ㉡에서  $\text{Cl}_2(g)$ 가 발생하므로 전극 ㉠에서는  $\text{H}_2(g)$ 가 발생한다. 수소 연료 전지에서 연료로 사용되는 X는  $\text{H}_2$ 이다. 따라서 전극 ㉠에서 X(g)가 발생한다.

㉡ 전극 ㉠과 전극 ㉡은 모두 (-)극이다.

✕ 전극 ㉡은 (+)극이고  $\text{Cl}^-$ 이 전자를 잃는 산화 반응이 일어나며, 전극 ㉠은 (+)극이며  $\text{O}_2$ 가 전자를 얻는 환원 반응이 일어난다.

#### 03 물의 광분해 장치와 전기 분해

물의 광분해 장치의 두 전극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



물을 전기 분해할 때 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



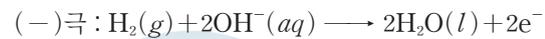
㉠ X는  $\text{H}_2(g)$ 이다.

✕ A, B는 각각 광촉매 전극, 백금 전극에서 일어나는 반응이다.

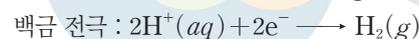
㉡ (나)에서 전체 반응의 화학 반응식은  $2\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow 2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g)$ 이므로  $\text{H}_2\text{O}$  2 mol이 분해될 때 이동한 전자의 양은 4 mol이다. 따라서 (나)에서  $\text{H}_2\text{O}$  1 mol이 분해될 때 이동한 전자의 양은 2 mol이다.

#### 04 수소 연료 전지와 물의 광분해 장치

전해질이 KOH인 수소 연료 전지의 (-)극과 (+)극에서 일어나는 반응과 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



물의 광분해 장치의 두 전극에서 일어나는 반응과 전체 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



㉠ 전극 A는 (-)극이고,  $\text{H}_2$ 가 전자를 잃는 산화 반응이 일어난다.

✕ (가)에서 전체 반응의 생성물은  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이고, (나)에서 전체 반응의 생성물은  $\text{H}_2(g)$ 와  $\text{O}_2(g)$ 이다.

✕ (나)의 광촉매 전극에서  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 산화되어 내놓은 전자가 백금 전극 쪽으로 이동하므로 전자의 이동 방향은 ㉠이다.

01 ⑤	02 ④	03 ①	04 ④	05 ②
06 ③	07 ②	08 ④	09 ③	10 ③
11 ②	12 ①	13 ③	14 ①	15 ⑤
16 ⑤	17 ②	18 ①	19 ⑤	20 ⑤

### 01 결정의 종류와 성질

C(s, 흑연)은 공유 결정, Na(s)은 금속 결정, CsCl(s)은 이온 결정이다. (가)와 (다)는 원소이고, (나)는 화합물이므로 (가)는 Na(s), (나)는 CsCl(s), (다)는 C(s, 흑연)이다.

- ㉠. (가)의 결정 구조 모형에서 정육면체의 꼭짓점과 중심에 각각 원자가 존재하므로 (가)의 결정 구조는 체심 입방 구조이다.
- ㉡. (다)는 자유 전자가 있어 전기 전도성이 있다.
- ㉢. (가)의 결정 구조 모형에서 정육면체의 꼭짓점과 중심에 각각 원자가 존재하므로 단위 세포에 포함된 입자 수는  $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ 이고, (나)의 결정 구조 모형에서도 정육면체의 꼭짓점과 중심에 각각 이온이 존재하므로 단위 세포에 포함된 입자 수는  $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ 이다.

### 02 분자 사이의 힘

$t^\circ\text{C}$ , 1 atm에서 (나)의 안정한 상은 액체와 기체이므로 (나)의 기준 끓는점은  $t^\circ\text{C}$ 이다.

- ✗.  $t^\circ\text{C}$ , 1 atm에서 (가)의 안정한 상은 기체이므로 1 atm에서 (가)는  $t^\circ\text{C}$  이전 온도에서 끓어 액체가 기체로 상태가 변화했다. 따라서 (가)의 기준 끓는점은  $t^\circ\text{C}$ 보다 낮다.
- ㉠. CH<sub>3</sub>CHO는 극성 분자이므로 액체 상태에서 분자 사이에 쌍극자-쌍극자 힘이 작용한다.
- ㉡. 액체 상태에서 분자 사이의 힘은 끓는점이 높을수록 크다.  $t^\circ\text{C}$ , 1 atm에서 (다)의 안정한 상은 액체이므로 (다)의 기준 끓는점은  $t^\circ\text{C}$ 보다 높다. 따라서 기준 끓는점은 (다) > (나)이므로 액체 상태에서 분자 사이의 힘은 (다) > (나)이다.

### 03 촉매와 반응 속도

정촉매는 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 빠르게 하는 물질이다.

- ㉠. A(g)와 X(s)를 넣고 반응시킬 때 활성화 에너지가 X(s)를 넣지 않았을 때보다 낮아졌으므로 X는 정촉매이다.
- ✗. 정반응의 활성화 에너지는 I에서가 II에서보다 크므로 초기 반응 속도는 II에서가 I에서보다 크다. 따라서  $v_2 > v_1$ 이다.
- ✗. 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 정반응의 활성화 에너지에서 역반응의 활성화 에너지를 뺀 값과 같다. 또한 촉매를 사용하여 반응을 진행시켜도 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 변하지 않는다. 따라서 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 I에서와 II에서가 같으므로 II에서 정반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $80 - 30 = 50$ (kJ)이다.

### 04 결합 에너지와 반응 엔탈피

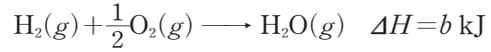
반응 엔탈피( $\Delta H$ ) = 생성물의 생성 엔탈피( $\Delta H$ ) - 반응물의 생성

엔탈피( $\Delta H$ )이다. 또한  $25^\circ\text{C}$ , 1 atm에서 O<sub>2</sub>(g)와 N<sub>2</sub>(g)의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는 모두 0이다. 따라서  $a$ 를 구하면 다음과 같다.

$a = 6 \times \text{H}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )

$-4 \times \text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )

또한 H<sub>2</sub>O(g)의 생성 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



기체 반응에서 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지의 합을 뺀 값과 같으므로  $b$ 를 구하면 다음과 같다.

$b = (\text{H}-\text{H}$ 의 결합 에너지) +  $\frac{1}{2} \times (\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지)

$-2 \times (\text{H}-\text{O}$ 의 결합 에너지) =  $x + \frac{1}{2}y - 2z$

따라서 H<sub>2</sub>O(g)의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{2x+y-4z}{2}$  kJ/mol이므로

로  $a = 6 \times \frac{2x+y-4z}{2} - 4 \times \text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )이고,

NH<sub>3</sub>(g)의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{6x+3y-12z-a}{4}$  kJ/mol이다.

### 05 용액의 농도

A 4 g의 양은  $\frac{4 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이므로 (가)의 부피는  $V = \frac{0.1}{0.5}$

= 0.2(L)이고, 용액의 밀도는 1.02 g/mL이므로 용액의 질량은

$1.02 \times 200 = 204$ (g)이다. 또한 A 6 g의 양은  $\frac{6 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.15 \text{ mol}$

이고 (나)의 몰랄 농도는 0.06 m이므로 용매의 질량은 2500 g이다.

(가)와 (나)를 혼합한 후 물  $w$  g을 추가하여 만든 혼합 용액에 들어

있는 A의 질량은 10 g이고 농도가 2500 ppm이므로 용액의 질량은

$\frac{10 \times 10^6}{2500} = 4000$ (g)이므로 추가한 물의 질량(g)은

$w = 4000 - (2500 + 204 + 6) = 1290$ 이다.

### 06 완충 용액

㉠. 혼합 용액 II에서  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 1$ 이고 이 혼합 용액에 NaOH(s)

$1 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 을 넣어도 pH 변화가 가장 작았으므로 '용액의 pH 변화가 가장 작다.'는 ㉠으로 적절하다.

㉡. 혼합 용액 II에서  $K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 이고  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 1$ 이므로

$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a$ 이다.

✗. 혼합 용액 III에 NaOH(s)  $1 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 을 넣으면 HA의 양

(mol)은 감소하고 A<sup>-</sup>의 양(mol)은 증가하므로  $\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$ 은 감소한다.

### 07 전기 분해

AlCl(aq)과 BSO<sub>4</sub>(aq)을 전기 분해할 때 (-)극에서 일어나는 반응은 각각 다음과 같다.

○ AlCl(aq) :  $2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$

○ BSO<sub>4</sub>(aq) :  $\text{B}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{B}(s)$

✗. 전자 0.02 mol이 이동하였을 때 생성되는  $H_2(g)$ 의 양은 0.01 mol이다. 따라서  $n=0.01$ 이다.

㉠. 전자 0.02 mol이 이동하였을 때 생성되는 B(s)의 양은 0.01 mol이다. 따라서 B의 원자량은 64이다.

✗.  $AlCl_3(aq)$ 에서  $Al^{3+}$ 은 환원되지 않았고,  $BSO_4(aq)$ 에서  $B^{2+}$ 은 환원되었으므로 이온화 경향은  $A > B$ 이다.

## 08 산과 염기의 평형

0.4 M  $HA(aq)$  50 mL에 0.2 M  $NaOH(aq)$   $V$  mL를 첨가한 수용액에서  $\frac{[A^-]}{[HA]}=1$ 이므로 혼합 전 0.4 M  $HA(aq)$ 과 0.2 M  $NaOH(aq)$ 의 부피는 같다. 따라서  $V=50$ 이고, (나)에서  $[Na^+]=0.1$  M이다. (나)에  $NaOH(s)$ 을 첨가한 수용액에서  $[Na^+]=0.2$  M이므로 (다)는 중화점에 해당하는 혼합 수용액에 해당된다. 따라서 (다)는 0.2 M  $NaA(aq)$ 이고, (다)에서  $A^-$ 의 가수 분해가 일어난다.



(다)의  $pH=9.0$ 이므로  $[OH^-]=1 \times 10^{-5}$  M이고  $K_b = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]}$   
 $= \frac{(1 \times 10^{-5})^2}{0.2} = 5 \times 10^{-10}$ 이다.

✗.  $K_w = K_a \times K_b$ 이므로  $K_a = 2 \times 10^{-5}$ 이다.

㉠. (가)에서 생성된  $[A^-]=a$  M일 때  $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{a^2}{0.4}$   
 $= 2 \times 10^{-5}$ 이므로  $[H_3O^+] = 2\sqrt{2} \times 10^{-3}$  M이다. 따라서 (가)에서  $[H_3O^+] > 1 \times 10^{-3}$  M이므로 (가)의  $pH$ 는 3.0보다 작다.

㉡. (나)에 0.05 M  $HCl(aq)$  1 mL를 가하면  $[HA]$ 는 증가하고  $[A^-]$ 는 감소하므로  $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 는 감소한다.

## 09 완전 연소 반응의 반응 엔탈피

반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 생성물의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )에서 반응물의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )를 뺀 값과 같다.

㉠.  $A(g) \rightarrow B(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 다음과 같다.

$\Delta H = B(g)$ 의 생성 엔탈피 -  $A(g)$ 의 생성 엔탈피  
 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $A(g)$ 가  $B(g)$ 보다 크므로  $A(g) \rightarrow B(g)$  반응은  $\Delta H < 0$ 인 발열 반응이다.

✗. A 1 g의 양은  $\frac{1}{42}$  mol이다. A(g) 2 mol이 완전 연소될 때의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 -4200 kJ이므로 1 g의 A(g)가 완전 연소될 때의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-(4200 \times \frac{1}{42} \times \frac{1}{2})$  kJ = -50 kJ이다.

㉡. 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는 A(g)가 B(g)보다 크므로 물질 1 mol이 완전 연소될 때 방출하는 열량은 A(g)에서 B(g)에서보다 크다.

## 10 반응 지수와 평형 상수

I에 도달할 때까지 반응한 A의 양을  $2x$  mol이라고 할 때 반응의 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

	$2A(g)$	$\rightleftharpoons$	$B(g)$	+	$C(g)$
반응 전(mol)	1.5		0		0
반응(mol)	$-2x$		$+x$		$+x$
반응 후(mol)	$1.5-2x$		$x$		$x$

A의 몰 분율은  $\frac{1.5-2x}{1.5} = \frac{3}{5}$ ,  $x=0.3$ 이다. 상태 I에서 A~C의

몰 농도는 0.9 M, 0.3 M, 0.3 M이므로 반응 지수(Q)는  $\frac{0.3 \times 0.3}{0.9^2}$

$= \frac{1}{9}$ 이므로  $a=1$ 이다. 따라서 온도 T에서 평형 상수(K)는 1이다.

㉠. I에서  $[B]=0.3$  M이다.

㉡. 상태 II까지 반응한 A의 양을  $y$  mol이라고 할 때 II에서  $n = \frac{1}{3}$ 일 때  $\frac{y}{1.5} = \frac{1}{3}$ 이므로  $y=0.5$ 이다. 이때 A~C의 몰 농도는 모두 0.5 M이고  $Q=1$ 이므로 평형 상태에 도달한다. 따라서 II에서  $n = \frac{1}{3}$ 일 때 평형 상태에 도달하였으므로 정반응 속도와 역반응 속도는 같다.

✗.  $[C]=0.4$  M일 때 평형 상태에서의  $[C]$ 보다 몰 농도가 작으므로 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작다. 따라서  $K=1$ 이므로 II에서  $[C]=0.4$  M일 때 반응 지수(Q)는 1보다 작다.

## 11 상평형

$t_1^\circ C$ ,  $P_1$  atm에서  $H_2O$ 의 안정한 상은 ㉠, ㉡이므로 ㉠, ㉡은 각각 액체와 기체 중 하나이고,  $P_1$ 은  $H_2O$ 의 삼중점의 압력보다 크다.  $t_3^\circ C$ ,  $P_1$  atm에서  $H_2O$ 의 안정한 상은 ㉠, ㉢이므로 ㉠은 액체, ㉢은 기체, ㉡은 고체이다.

✗.  $H_2O$ 의 상평형 그림에서  $t_2^\circ C$ , 1 atm에서  $H_2O$ 는 액체와 기체가 상평형을 이루고 있고  $t_1 < t_2$ 이므로  $P_1 < 1$ 이다.

㉠.  $t_2^\circ C$ ,  $P_2$  atm에서  $H_2O$ 의 안정한 상은 액체이므로  $P_2 > 1$ 이다.

✗.  $t_3^\circ C$ ,  $P_1$  atm에서  $H_2O$ 의 안정한 상은 고체와 액체이고  $P_2 > P_1$ 이므로  $H_2O$ 의 안정한 상은 액체이다.

## 12 액체의 증기 압력

(나)에서  $C(l)$ 가 상평형에 도달했을 때  $C(g)$ 의 압력이  $P_2$  atm이므로  $25^\circ C$ 에서  $C(l)$ 의 증기 압력은  $P_2$  atm이다.

㉠.  $P_1 > P_2$ 이고  $25^\circ C$ 에서 A(l)의 증기 압력은  $P_1$  atm보다 크므로  $25^\circ C$ 에서 증기 압력은  $A(l) > C(l)$ 이다.

✗. B(l)의 기준 끓는점은  $t^\circ C$ 이므로  $t^\circ C$ , 1 atm에서 B의 안정한 상은 액체와 기체이다. 기준 끓는점은  $B(l) > A(l)$ 이므로  $t^\circ C$ , 1 atm에서 A의 안정한 상은 기체이다.  $t^\circ C$ , 1 atm에서 안정한 상의 수는  $B > A$ 이다.

✗. 외부 압력이  $P_1$  atm일 때 B(l)의 끓는점은  $25^\circ C$ 이고 C(l)의 끓는점은  $25^\circ C$ 보다 높다. 따라서 외부 압력이  $P_1$  atm일 때 끓는점은  $C(l) > B(l)$ 이다.

## 13 1차 반응

제시된 반응은 A에 대한 1차 반응이므로 초기 반응 속도는 초기 [A]에 비례한다. 초기 반응 속도비는 I : II : III = 8 : 4 : 1이므로 초

기 [A]의 비는 I : II : III = 8 : 4 : 1이다. 따라서 실험 I에서 초기 [A]를  $2a$  M라고 할 때, 실험 I ~ III에서 A와 B의 초기 몰 농도는 표와 같다.

실험	초기 A의 몰 분율	초기 몰 농도(M)		초기 반응 속도
		A	B	
I	0.5	$2a$	$2a$	$2v$
II	0.25	$a$	$3a$	$v$
III	0.2	$\frac{1}{4}a$	$a$	$\frac{v}{4}$

- ㉠ 초기 [B]는 I에서가 III에서의 2배이다.  
 ✕ 이 반응의 반감기는  $t$  min이므로 실험 II와 III에서  $t$  min일 때 A~C의 몰 농도는 표와 같다.

실험	몰 농도(M)		
	A	B	C
II	$\frac{1}{2}a$	$\frac{5}{2}a$	$a$
III	$\frac{1}{8}a$	$\frac{7}{8}a$	$\frac{1}{4}a$

II에서 C의 몰 분율은  $\frac{1}{4}$ 이고, III에서 C의 몰 분율은  $\frac{1}{5}$ 이다. 따라서  $t$  min일 때 C의 몰 분율은 II에서가 III에서의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

- ㉡ 순간 반응 속도는 [A]에 비례한다.  $2t$  min일 때 I에서  $[A] = \frac{1}{2}a$  M이고, II에서  $[A] = \frac{1}{4}a$  M이다. 따라서  $2t$  min에서 순간 반응 속도는 I에서가 II에서의 2배이다.

## 14 용액의 어는점 내림

어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. B(l) 200 g에 Y(s)  $w$  g을 녹인 용액의  $\Delta T_f$ 는  $1.5k^\circ\text{C}$ 이고 이 용액에 X(s)  $3w$  g을 추가로 녹인 용액의  $\Delta T_f$ 는  $3k^\circ\text{C}$ 이므로 용액 II에 X(s)  $3w$  g을 추가로 녹이면 용액의 몰랄 농도는 X(s)를 넣기 전의 2배가 된다. 따라서 X(s)  $3w$ 의 양(mol)과 Y(s)  $w$  g의 양(mol)이 같으므로 화학식량은 X가 Y의 3배이다.

- ㉠ 용액 II에 X(s)  $x$  g을 넣었을 때 용액의 몰랄 농도는  $\frac{4}{3}$ 배가 되었다. 따라서 넣어 준 X(s)  $x$  g의 양(mol)은 Y(s)  $w$  g의 양(mol)의  $\frac{1}{3}$ 배이므로  $x = w$ 이다.

✕ 화학식량은 X가 Y의 3배이고 용액 I과 II에 들어 있는 용질의 질량은 같으므로 용액 I과 II에서 용질의 양(mol)은 II에서가 I에서의 3배이고, 용매의 질량은 II에서가 I에서의 2배이므로 몰랄 농도는 II에서가 I에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다.  $\Delta T_f = K_f \times m$ ,  $K_f = \frac{\Delta T_f}{m}$ 이므로 몰랄 내림 상수의 비는  $A : B = 1.5k : \frac{1.5k}{1.5} = 3 : 2$ 이다. 따라서 몰랄 내림 상수는 A가 B의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

✕ 용액의 증기 압력 내림은 용질의 몰 분율에 비례한다. 용액 I에 X(s)  $w$  g을 추가로 녹이면 용질의 양(mol)은 2배가 되지만 용매의 양(mol)은 변하지 않으므로 용질의 몰 분율은 추가로 녹이기 전의 2배보다 작다. 따라서  $t^\circ\text{C}$ 에서 용액 I에 X(s)  $w$  g을 추가로 녹이면 용액의 증기 압력 내림은 추가로 녹이기 전의 2배보다 작다.

## 15 화학 전지

화학 전지에서 이온화 경향이 큰 금속은 산화되고 이온화 경향이 작은 금속의 이온은 환원된다.

- ㉠ X가 Ag일 때 전자의 이동 방향은 ㉠이므로 금속의 이온화 경향은  $\text{Cu} > \text{Ag}$ 이고, X가 Zn일 때 전자의 이동 방향은 ㉡이므로 금속의 이온화 경향은  $\text{Zn} > \text{Cu}$ 이다. 따라서 금속의 이온화 경향은  $\text{Zn} > \text{Ag}$ 이다.  
 ㉢ X가 Zn일 때 Zn은 산화되고,  $\text{Cu}^{2+}$ 은 환원되므로  $\text{Cu}(s)$  전극에서 환원 반응이 일어난다.  
 ㉣ X가 Ag일 때 Cu는  $\text{Cu}^{2+}$ 으로 산화되므로  $[\text{Cu}^{2+}]$ 는 증가하고,  $\text{Ag}^+$ 은 Ag으로 환원되므로  $[\text{Ag}^+]$ 는 감소한다. 따라서 반응이 진행됨에 따라  $\frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]}$ 는 증가한다.

## 16 반응 속도

1차 반응에서 순간 반응 속도는 반응물의 몰 농도에 비례한다.

- ㉠ 반응 계수의 비는  $A : B = 1 : 2$ 인데  $0 \sim t$  min 동안 반응한 반응물의 몰 농도는  $T_1$ 에서  $[\text{A}] = 0.5$  M이고  $T_2$ 에서  $[\text{B}] = 1.5$  M이다. 같은 시간 동안 반응물의 농도 감소량이  $T_2$ 일 때가  $T_1$ 일 때보다 크므로 반응 속도는  $T_2$ 일 때가  $T_1$ 일 때보다 크다. 따라서 반응 속도 상수는  $T_2$ 일 때가  $T_1$ 일 때보다 크다.  
 ㉢  $T_1$ 에서 A와 B의 몰 농도는  $t$ 일 때가  $2t$ 일 때보다 크므로 순간 반응 속도는 반응 시간이  $t$  min일 때가  $2t$  min일 때보다 크다.  
 ㉣  $T_1$ 에서 A와 C의 반응 농도비는  $1 : 2$ 이므로  $c = 2$ 이다.  $T_2$ 에서 B의 농도 감소량과 C의 농도 증가량은 같으므로  $T_2$ 에서  $0 \sim t$  min 동안 C의 평균 생성 속도는  $\frac{1.5}{t}$  M/min이다.

## 17 반응 속도

일정한 온도와 부피에서 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례한다. 시간  $t$ 까지 반응한 A의 양을  $m$  mol이라고 할 때 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

	A(g)	→	2B(g)
반응 전(mol)	1.6		0
반응(mol)	-m		+2m
반응 후(mol)	1.6-m		2m

반응 전 He의 양을  $k$  mol이라고 하면 He의 몰 분율은  $\frac{k}{1.6+m+k} = \frac{1}{7}$ 이고,  $1.6+k : 1.6+m+k = 1 : \frac{7}{5}$ 이므로  $k = 0.4$ 이고  $m = 0.8$ 이다.

시간  $2t$ 까지 반응한 A의 양을  $n$  mol이라고 할 때 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

	A(g)	→	2B(g)
반응 전(mol)	1.6		0
반응(mol)	-n		+2n
반응 후(mol)	1.6-n		2n

He의 몰 분율은  $\frac{0.4}{1.6+n+0.4}=\frac{1}{8}$ 이므로  $n=1.2$ 이다. 따라서 전체 기체의 압력은  $\frac{8}{5}$  atm이고, He의 부분 압력은  $\frac{1}{5}$  atm이므로  $P_A+P_B=\frac{7}{5}$  atm이다.

또한 A의 양은 초기 상태에서 1.6 mol, 시간  $t$ 일 때 0.8 mol, 시간  $2t$ 일 때 0.4 mol로 시간  $t$ 가 지날 때마다  $\frac{1}{2}$ 배로 감소하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이고 반감기는  $t$ 이다.  $3t$ 일 때 반감기를 3번 지난 시점이므로 A의 양(mol)은  $1.6 \times \frac{1}{2^3}=0.2$ 이고,  $3t$ 까지 반응한 A의 양은 1.4 mol이므로 생성된 B의 양은 2.8 mol이다. 전체 기체의 양은 3.4 mol이므로  $2:1=3.4:x$ ,  $x=\frac{17}{10}$ 이다.

따라서  $\frac{P_A+P_B}{x}=\frac{\frac{7}{5}}{\frac{17}{10}}=\frac{14}{17}$ 이다.

## 18 화학 평형

평형 상태 I에서 He(g)의 양과 부피는  $n$  mol,  $V$  L이므로 실린더에 들어 있는 혼합 기체의 부피는  $3V$  L이다. 또한 화학 반응식에서 반응물과 생성물의 계수의 합이 같으므로 평형 상태 I에서 실린더에 들어 있는 혼합 기체의 양은  $(3+n)$  mol이고  $n:3+n=1:3$ ,  $n=\frac{3}{2}$ 이다.

실린더에서 피스톤의 고정 장치를 제거하여 평형 상태 I에 도달했을 때까지 반응한 A의 양을  $x$  mol이라고 할 때 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

[실린더]	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
반응 전(mol)	3	$\frac{3}{2}$	
반응(mol)	$-x$	$-x$	$+2x$
반응 후(mol)	$3-x$	$\frac{3}{2}-x$	$2x$

평형 상수( $K$ )는  $\frac{(2x)^2}{(3-x) \times (\frac{3}{2}-x)}$ 이다.

또한 평형 I에 도달하기 전 강철 용기에서 반응한 C의 양을  $2y$  mol이라고 할 때 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

[강철 용기]	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
반응 전(mol)			$\frac{8}{3}n$
반응(mol)	$+y$	$+y$	$-2y$
반응 후(mol)	$y$	$y$	$\frac{8}{3}n-2y$

A의 몰 분율은  $\frac{1}{4}$ 이므로  $\frac{y}{\frac{8}{3}n}=\frac{1}{4}$ ,  $y=\frac{2}{3}n=1$ 이다.

강철 용기에 들어 있는 A~C의 양은 각각 1 mol, 1 mol, 2 mol이므로 평형 상수( $K$ )는  $\frac{2^2}{1 \times 1}=4$ 이다. 온도는  $T$  K로 일정하므로 평형 상태 I에서 평형 상수( $K$ )는  $\frac{(2x)^2}{(3-x) \times (\frac{3}{2}-x)}=4$ ,  $x=1$ 이다.

평형 상태 I에서 실린더에 들어 있는 A~C의 양은 각각 2 mol,  $\frac{1}{2}$  mol, 2 mol이다. 따라서 A의 몰 분율은  $\frac{4}{9}$ 이므로  $a=\frac{4}{9}$ 이다.

평형 상태 I에 도달하기 전 강철 용기에 들어 있는 C(g) 4 mol의 압력과 부피는 각각 2 atm,  $V$  L이고, 평형 상태 II에서 실린더와 강철 용기에 들어 있는 모든 기체의 양은 10 mol이고 부피는  $5V$  L이므로 He(g)와 혼합 기체의 압력은 모두 1 atm이다. 평형 상태 I에서 꼭지를 열고 온도를  $\frac{5}{7}T$  K로 유지하면 평형 상태 II에서 전체 기체의 압력은  $1 \times \frac{5}{7}=\frac{5}{7}$  atm이고 A(g)의 부분 압력은  $\frac{2}{7}$  atm이므로 A의 몰 분율은  $\frac{2}{5}$ 이다. 그런데 평형 상태 I에서 꼭지를 연 직후 A의 몰 분율은  $\frac{6}{17}$ 이므로 평형 상태 I에서 꼭지를 열고 온도를 낮추었을 때 역반응이 일어난다. 온도를 낮추었을 때 반응한 C의 양을  $2z$  mol이라고 할 때 양적 관계는 다음과 같다.

[평형 상태 II]	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
반응 전(mol)	3	$\frac{3}{2}$	4
반응(mol)	$+z$	$+z$	$-2z$
반응 후(mol)	$3+z$	$\frac{3}{2}+z$	$4-2z$

A의 몰 분율은  $\frac{3+z}{\frac{17}{2}}=\frac{2}{5}$ ,  $z=\frac{2}{5}$ 이다. 따라서 평형 상태 II에서

A~C의 양은 각각  $\frac{17}{5}$  mol,  $\frac{19}{10}$  mol,  $\frac{16}{5}$  mol이므로  $k=\frac{16}{5}$ 이다. 따라서  $a=\frac{4}{9}$ ,  $k=\frac{16}{5}$ 이므로  $\frac{k}{a}=\frac{36}{5}$ 이다.

## 19 이상 기체 방정식

(가)와 (다)에 들어 있는 기체의 양을 각각  $x$  mol,  $y$  mol이라고 하면  $P=\frac{nRT}{V}$ 이므로  $\frac{xRT}{3}:\frac{8yRT}{9V}=1:2$ 이고  $V=\frac{4y}{3x}$ 이다. A의 분자량이  $M$ 이므로 (가)에 들어 있는 Ne(g)과 A(g)의 양(mol)은 각각  $\frac{a}{4}$  mol,  $\frac{4a}{M}$  mol이고, (가)에 첨가한 He(g)의 양은  $\frac{3a}{4}$  mol이다. (나)에서 Ne(g)의 몰 분율은  $\frac{2}{9}$ 이므로

$\frac{\frac{a}{4}}{\frac{a}{4}+\frac{4a}{M}+\frac{3a}{4}}=\frac{2}{9}$ 이고  $M=32$ 이다. 따라서  $x=\frac{a}{4}+\frac{a}{8}=\frac{3a}{8}$  mol,  $y=\frac{3a}{8}+\frac{3a}{4}=\frac{9a}{8}$ 이므로  $V=\frac{4y}{3x}$ 에서  $V=4$ 이고,

$\frac{A의 분자량}{V}=\frac{32}{4}=8$ 이다.

## 20 기체의 성질

(가)에서 He(g)의 압력과 부피는 2 atm, 1 L이므로 He의 양을  $2n$  mol이라고 가정할 수 있다. (라)에서 He(g)의 압력은 2 atm이므로 He(g)의 부피는 1 L이고, 강철 용기와 실린더에 들어 있는 혼합 기체의 부피는 5 L이므로 혼합 기체의 양은  $10n$  mol이다.

(라) 과정 후 C(g)의 몰 분율이  $\frac{2}{5}$ 이므로 (가)에서 강철 용기와 실린더에 들어 있는 A(g)와 B(g)는 모두 반응하였고, (라) 과정 후 강철 용기와 실린더에 들어 있는 C(g)와 D(g)의 양은 각각  $4n$  mol,  $6n$  mol이다. 따라서 (가)에서 A(g)의 양은  $5n$  mol이고,  $P=5$ 이다.

또한 (다) 과정 후 He(g)의 압력은  $\frac{7}{4}$  atm이므로 부피는  $\frac{8}{7}$  L이고 강철 용기와 실린더에 들어 있는 A(g)~D(g)의 부피는  $\frac{34}{7}$  L이므로 강철 용기와 실린더에 들어 있는 A(g)~D(g)의 양은  $\frac{17}{2}n$  mol이다. (나)에서 반응한 B(g)의 양을  $xm$  mol이라고 할 때 양적 관계를 나타내면 다음과 같다.

[실린더]	$5A(g) + xB(g) \longrightarrow 4C(g) + 6D(g)$			
반응 전(mol)	$5n$	$xm$		
반응(mol)	$-5m$	$-xm$	$+4m$	$+6m$
반응 후(mol)	$5n-5m$	$0$	$4m$	$6m$

실린더 오른쪽에 있는 B(g)의 양은  $n$  mol이므로  $5n+5m+n=\frac{17}{2}n$ 이므로  $m=\frac{1}{2}n$ 이다.

(라)에서 A(g)와 B(g)는 모두 반응하였으므로 반응 몰비는  $A(g) : B(g) = 2.5n : n = 5 : 2$ 이므로  $x=2$ 이다. 따라서  $P=5$ ,  $x=2$ 이므로  $P \times x=10$ 이다.

실전 모의고사 2회

본문 125~129쪽

01 ⑤	02 ④	03 ①	04 ③	05 ②
06 ④	07 ③	08 ②	09 ⑤	10 ①
11 ②	12 ④	13 ⑤	14 ②	15 ①
16 ③	17 ⑤	18 ①	19 ②	20 ④

01 구리 제련

(가)에서 Cu는 전자를 잃고  $Cu^{2+}$ 으로 산화되고, (나)에서  $Cu^{2+}$ 은 전자를 얻고 Cu로 환원된다.

- ㉠ 전자가 (가)에서 도선을 따라 (나)로 이동하므로 ㉠은 (+)극, ㉡은 (-)극이다.
- ㉢ (나)에서  $Cu^{2+}$ 이 전자를 얻는 환원 반응이 일어난다.
- ㉣ (가)에서 Cu가  $Cu^{2+}$ 으로 산화되고 Ag은 산화되지 않으므로 금속의 이온화 경향은  $Cu > Ag$ 이다.

02 용액의 농도

(가)는 용질 20 g이 물 180 g에 녹아 있는 용액이며, (가)에 물을 가해 (나)를 만들었으므로 (나)에도 용질은 20 g이 녹아 있다.

- ㉠ (나)에 녹아 있는 용질은 0.5 mol이므로 A의 화학식량은 40이다.
- ㉡ (나)의 밀도가 1 g/mL이므로 (나)의 질량은 500 g이며, 이 중 용질이 20 g이다. 따라서 (나)에 포함된 용매의 질량은 480 g이므로  $w_1=300$ 이다. 또 (다)는 물 480 g에 용질  $(20+w_2)$  g이 녹은 용액

이며 몰랄 농도가 2 m이므로  $\frac{0.5 + \frac{w_2}{40}}{\frac{480}{1000}} = 2$ 이다.

따라서  $w_2=18.4$ 이며,  $\frac{w_1}{w_2} = \frac{300}{18.4} > 15$ 이다.

- ㉣ (가)는 물 180 g에 용질 0.5 mol이 녹아 있는 용액이므로 몰랄 농도(m)는  $\frac{0.5}{\frac{180}{1000}} = \frac{25}{9}$ 이다.

03 분자 간 힘

분자의 쌍극자 모멘트가 0인 것은  $Cl_2$ 와  $F_2$ 이다. 따라서 (나)와 (다)는 각각  $Cl_2$ ,  $F_2$  중 하나이고, (가)와 (라)는 각각 HF, HCl 중 하나인데, 분자량은  $Cl_2 > F_2 > HCl > HF$ 이므로 (가)는 HF, (나)는  $Cl_2$ , (다)는  $F_2$ , (라)는 HCl이다.

- ㉠ (가)는 HF이므로 액체 상태에서 분자 사이에 수소 결합을 한다.
- ㉡ (다)는  $F_2$ , (라)는 HCl이므로 같은 원소를 포함하지 않는다.
- ㉢ (나)는  $Cl_2$ , (다)는  $F_2$ 이므로 두 물질 모두 액체 상태에서 분자 사이에 분산력만 작용한다.

04 표면 장력

액체의 표면 장력은 표면적을 최소로 하려는 경향을 의미하며, 나무 판이 액체에서 떨어지는 순간 액체의 표면적이 크게 증가하므로 액체는 나무판과 떨어지지 않으려는 경향을 나타낸다. 따라서 액체의 표면 장력이 클수록 용수철의 최대 길이가 증가한다.

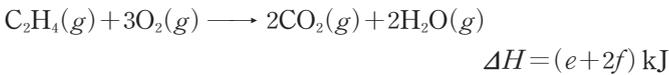
- ㉠ 물이 에탄올보다 표면 장력이 크므로  $a > b$ 이다.
- ㉡ 나무판의 질량이 같아도 넓이가 넓으면 액체의 표면 장력이 크게 작용하여 실험 II의 (나)에서 측정된 용수철의 최대 길이는 길어진다.
- ✗ 표면 장력은 물의 양과는 상관없다.

### 05 고체의 결정 구조

- ✗ (가)는 단위 세포의 중심에 입자가 존재하므로 (가)의 결정 구조는 체심 입방 구조이고, (나)의 결정 구조는 면심 입방 구조이다.
- ㉠ I은 면의 중심에 입자가 존재하는 모습이므로 면심 입방 구조인 (나)의 ㉠면의 모습이다.
- ✗ 단위 세포 안에 들어 있는 입자 수는 체심 입방 구조가 2, 면심 입방 구조가 4이므로 (나)가 (가)보다 크다.

### 06 결합 에너지

$C_2H_4(g)$ 이 연소하여  $CO_2(g)$ 와  $H_2O(g)$ 가 생성되는 반응의 반응 엔탈피는  $e + 2f$  (kJ/mol)이다.



반응 엔탈피 ( $\Delta H$ )는 반응물 결합 에너지의 총합에서 생성물의 결합 에너지의 총합을 뺀 값과 같으므로 다음과 같은 식이 성립한다.

$$e + 2f = 4a + b + 3 \times [\text{O}=\text{O} \text{의 결합 에너지}] - 4c - 4d$$

따라서  $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지 (kJ/mol)는  $\frac{1}{3}(-4a - b + 4c + 4d + e + 2f)$ 이다.

### 07 상평형 그림

- ㉠  $CO_2$ 는 삼중점의 압력이 1 atm보다 높고,  $H_2O$ 은 삼중점의 압력이 1 atm보다 낮다. 따라서 (가)는  $CO_2$ 의 삼중점이며, (나)는  $H_2O$ 의 삼중점이다.
- ✗  $H_2O$ 은 액체 밀도가 고체 밀도보다 크므로 융해 곡선의 기울기가 (-)값이다. 따라서 영역 I에서  $H_2O$ 의 가장 안정한 상은 고체 또는 액체이다.
- ㉡ 영역 II에서  $CO_2$ 와  $H_2O$ 의 안정한 상은 모두 기체이다.

### 08 평형 이동과 평형 상수

(가)와 (나)에서 온도가 같으므로 평형 상수도 같다. (가)에서 평형 상

수는  $K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{\left(\frac{n}{V}\right)^2}{\frac{n}{V}} = \frac{n}{V}$ 이다. (나)는 (가)보다 부피가 커서 기

체의 압력이 감소한다. 따라서 (나)는 (가) 상태에서 기체 분자 수가 증가하는 정반응 쪽으로 평형 이동이 일어나 도달한 새로운 평형 상태이다. 반응한  $A(g)$ 의 양(mol)을  $kn$ 이라고 하면 화학 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g)$	$\rightleftharpoons$	$2B(g)$
(가)(mol)	$n$		$n$
반응(mol)	$-kn$		$+2kn$
(나)(mol)	$(1-k)n$		$(1+2k)n$

(나)에서의 평형 상수는  $\frac{\left(\frac{1+2k}{3V}\right)^2 n^2}{\frac{(1-k)n}{3V}} = \frac{n}{V}$ 이다. 이를 풀면  $k = \frac{1}{4}$

이다.

(나)에서  $A(g)$ 의 양(mol)은  $\frac{3}{4}n$ ,  $B(g)$ 의 양(mol)은  $\frac{3}{2}n$ 이며,

(나)에 들어 있는 전체 기체의 양(mol)은  $\frac{9}{4}n$ 이다. 기체의 압력은

기체의 양(mol)에 비례하므로 (가)에서  $P$ 를  $\frac{2n}{V}$ 이라고 하면, (나) 기체의 부피

에서 압력은  $\frac{\frac{9}{4}n}{3V} = \frac{3}{8}P$ 이다. 따라서  $x = \frac{3}{8}$ 이고, (나)에서  $B(g)$ 의 몰 분율( $y$ )은  $\frac{2}{3}$ 이므로  $x \times y = \frac{3}{8} \times \frac{2}{3} = \frac{1}{4}$ 이다.

### 09 화학 전지

이산화 경향이  $B > H > A$ 이므로 (가)에서 B는 산화되어 B 이온이 되고 A는 반응하지 않는다. (나)에서 B는 산화되어 B 이온이 되고 A 표면에서 수소 기체가 발생한다.

✗ (가)와 (나)에서 모두 A는 반응하지 않으므로 질량은 변하지 않는다.

㉠ (가)와 (나)에서 모두 B는 산화되어 B 이온이 되므로 질량이 감소한다.

㉡ (가)와 (나)에서 모두 수용액의  $H^+$ 이 환원되어  $H_2(g)$ 가 되므로 수용액의 pH는 증가한다.

### 10 용액의 증기 압력 내림

용액의 끓는점 오름은 몰랄 농도에 비례하므로 (가)의 몰랄 농도는 1 m, (나)의 몰랄 농도는 2 m이다. 따라서 (가)는 물 100 g에 A 0.1 mol 이 녹아 있는 수용액이며, (나)는 물 50 g에 A 0.05 mol과 B 0.05 mol 이 녹아 있는 수용액이다.

㉠ 용액의 증기 압력 내림은 용매의 몰 분율에 비례한다. 용매의 몰

분율은 (가)에서  $\frac{100}{100 + 0.1} = \frac{500}{509}$ 이고, (나)에서  $\frac{50}{50 + 0.1} = \frac{500}{518}$

이다. 따라서  $P_1 = \frac{500}{509} \text{ atm}$ ,  $P_2 = \frac{500}{518} \text{ atm}$ 이므로

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{518}{509}$$

✗ (가)에서 A 4 g은 0.1 mol이므로 A의 화학식량은 40이며, (나)에서 B 3 g은 0.05 mol이므로 B의 화학식량은 60이다. 따라서

$$\frac{A \text{의 화학식량}}{B \text{의 화학식량}} = \frac{2}{3}$$

✗ (나)의 몰랄 농도가 (가)의 몰랄 농도보다 크므로 어는점 내림도 (나)가 (가)보다 크다. 따라서 기준 어는점은 (나)가 (가)보다 낮다.

### 11 1차 반응과 반감기

반감기가 t min이므로 (가)에서 반응 후  $A(g)$ 는  $\frac{1}{2}a \text{ mol}$ ,  $B(g)$ 는

$a$  mol,  $\text{He}(g)$ 은  $b$  mol 존재한다. 따라서  $x = \frac{1}{2}a$ ,  $y = a$ 이다.

(나)에서  $2t$  min 후 A는  $\frac{1}{8}a$  mol,  $\text{B}(g)$ 는  $\frac{7}{4}a$  mol,  $\text{He}(g)$ 은

$b$  mol 존재하는데,  $[\text{A}] = \frac{a}{10V}$  M이므로  $\frac{a}{10V} = \frac{1}{8} \frac{a}{cV}$ 이므로  $c = \frac{5}{4}$ 이다. 온도와 압력이 일정할 때 기체의 부피는 기체의 양(mol)에 비례하므로 (가)에서  $(a+b)$  mol이 1 atm에서  $V$  L, (나)에서

$(\frac{3}{2}a+b)$  mol이 1 atm에서  $\frac{5}{4}V$  L이고,  $a+b : 1 = \frac{3}{2}a+b : \frac{5}{4}$

가 되어  $a=b$ 이다. 또 온도가 일정할 때 기체의 압력은  $\frac{\text{기체의 양(mol)}}{\text{기체의 부피(L)}}$

에 비례하므로 (가)에서 1 atm은  $V$  L에 기체  $2a$  mol이 들어 있는 압력이고, (나)에서  $2t$  min 후 전체 기체의 양은  $\frac{23}{8}a$  mol이며 부피는

$\frac{5}{4}V$  L이므로 기체의 압력(atm)은  $P = \frac{\frac{23}{8}a}{\frac{5}{4}V} \times \frac{V}{2a} = \frac{23}{20}$ 이 된

다. 따라서  $\frac{c}{b} \times P = \frac{5}{4} \times \frac{23}{20} = \frac{23}{16a}$ 이다.

## 12 반응 속도

반감기가 I이 II보다 길고, 반응 속도는 II가 I보다 빠르다. 따라서  $T_2 > T_1$ 이다.

㉠ 온도가 높으면 반응 속도 상수가 크다. 따라서  $k_1 < k_2$ 이다.

㉡ 활성화 에너지는 온도와 상관없이 일정하다. 따라서  $a=b$ 이다.

㉢ 압력과 부피가 같을 때 기체의 양(mol)은 온도에 반비례한다. 따라서  $w_1 > w_2$ 이다.

## 13 산 염기 평형

0.1 M  $\text{HA}(aq)$ 의 pH가 3.0이므로  $K_a = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{0.1} = 1 \times 10^{-5}$

이다. III에서  $[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a$ 이므로 수용액 III은  $[\text{A}^-] = [\text{HA}]$ 인 완충 용액이다. 따라서  $\text{NaOH}(s)$  5w g은 0.005 mol이다.

㉠  $\text{NaOH}$ 의 화학식량이 40이므로 0.005 mol(=5w g)은 0.2 g이다. 따라서  $w = 0.04$ 이다.

㉡ II는  $\text{HA}$  0.01 mol과  $\text{NaOH}$  0.002 mol이 반응한 용액이다. 따라서  $\text{A}^-$ 의 양(mol)은 0.002,  $\text{HA}$ 의 양(mol)은 0.008이므로

$\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{1}{4}$ 이다.  $K_a = 1 \times 10^{-5} = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$ 이므로 II에서  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 4 \times 10^{-5}$  M이고, II의 pH는 5.0보다 작다. 또 IV는 중화점이므로

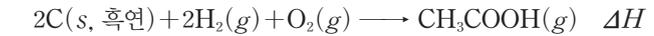
$[\text{A}^-] = 0.1$  (M)이며,  $\text{A}^-$ 의  $K_b = 1 \times 10^{-9} = \frac{[\text{OH}^-]}{0.1}$ 이다. 따라서

IV에서  $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-5}$  M이고, pH=9.0이다. IV의 pH(y)에서 II의 pH(x)를 뺀 값은 4보다 크다.

㉢ III은  $[\text{A}^-] = [\text{HA}]$ 이며, II는  $4 \times [\text{A}^-] = [\text{HA}]$ 이므로 완충 효과는 III이 II보다 크다. 따라서 소량의  $\text{NaOH}(s)$ 을 추가로 넣었을 때의 pH 변화는 II가 III보다 크다.

## 14 생성 엔탈피와 헤스 법칙

$\text{CH}_3\text{COOH}(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는 다음 반응의 반응 엔탈피이다.



이 반응은 (가)  $\times (-2)$  + (나)  $\times 2$  + (다)  $\times 2$  + (라)의 식으로 구할 수 있다. 따라서  $\text{CH}_3\text{COOH}(g)$ 의 생성 엔탈피(kJ/mol)는

$-2a + 2b + 2c + d$ 이다.

## 15 촉매와 반응 속도

$\text{A}(g)$ 의 반감기는  $t$  min이고,  $\text{C}(g)$ 의 반감기는 촉매를 첨가하기 전에  $2t$  min이었고, 촉매를 첨가한  $2t$  min 이후에  $t$  min이 되었으므로 첨가한 촉매는 정촉매이다.

㉡ 초기 반응 속도가 (가) > (나)이므로  $k_1 > k_2$ 이다.

㉢ 정촉매를 가하면 활성화 에너지가 감소하므로 (나)에서 활성화 에너지는  $t$  min일 때가  $3t$  min일 때보다 크다.

㉣  $5t$  min까지 변화된  $\text{A}(g)$ 의 몰 농도는 7.75 M이므로  $5t$  min에서  $\text{B}(g)$ 의 몰 농도는 15.5 M이고,  $5t$  min까지 변화된  $\text{C}(g)$ 의 몰 농도는 7.5 M이므로  $5t$  min에서  $\text{D}(g)$ 의 몰 농도는 7.5 M이다.

따라서  $5t$  min에서  $\frac{[\text{B}]}{[\text{D}]} > 2$ 이다.

## 16 이상 기체 방정식

$PV = nRT$ 에서 기체의 양(mol)인  $n$ 은  $\frac{\text{질량}(w)}{\text{분자량}(M)}$ 이므로

$PM = \frac{w}{V}RT$ 이고  $M = dR \frac{T}{P}$ 이다. 따라서 밀도( $d$ )와 온도( $T$ ) 압력( $P$ )

은 반비례하며,  $d$ 와  $\frac{T}{P}$ 의 곱은 분자량에 비례한다. 분자량비는

(가) : (나) =  $ab : 3ax = b : 3x$ 이며,  $S_1 = a(b-x)$ ,  $S_2 = 2ax$ 이므로  $a(b-x) : 2ax = 2 : 5$ 이다. 이를 풀면  $x = \frac{5}{9}b$ 이며, 분자량비

는 (가) : (나) = 3 : 5가 된다. 따라서  $\frac{\text{(가)의 분자량}}{\text{(나)의 분자량}} = \frac{3}{5}$ 이다.

## 17 평형 상수

정반응이 발열 반응( $\Delta H < 0$ )이므로 온도가 높을수록 평형 상수( $K$ )가 감소한다.

㉠ 평형 I에서 평형 III이 될 때  $\text{C}(g)$ 의 양(mol)이 0.1 감소하였으므로  $\text{B}(g)$ 의 양(mol)은 0.05 증가한 0.25 mol이 된다.

㉡  $K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}]^2[\text{B}]}$ 이므로  $K_1 = \frac{0.2^2}{0.2^2 \times 0.2} = 5$ 이다. 평형 I에서 평

형 II가 될 때  $\text{A}(g)$ 의 양(mol)이 0.1 감소하였으므로  $\text{B}(g)$ 의 양(mol)은 0.05 감소한 0.15가 되고,  $\text{C}$ 의 양(mol)은 0.1 증가한 0.3

이 된다. 따라서  $K_2 = \frac{0.3^2}{0.1^2 \times 0.15} = 60$ 이고,  $\frac{K_2}{K_1} = \frac{60}{5} = 12$ 이다.

㉢ 평형 III에서 기체의 양은  $\text{A}(g)$  0.3 mol,  $\text{B}(g)$  0.25 mol,  $\text{C}(g)$  0.1 mol이고,  $K_3 = \frac{0.1^2}{0.3^2 \times 0.25} = \frac{4}{9}$ 이다.  $K_2 > K_1 > K_3$ 이므로 온도는  $T_3 > T_1 > T_2$ 이다.

## 18 평형 이동과 평형 상수

평형 I에서의 부피가 1 L이므로 기체의 양(mol)과 몰 농도(M)가 같다. 따라서  $K_1 = \frac{0.2}{0.1 \times 0.1^2} = 200$ 이다. 압력이 일정할 때 기체의 양(mol)은  $\frac{\text{부피}}{\text{온도}}$ 에 비례하는데, 평형 I에서 온도가  $T$  K일 때 0.4 mol의 기체 부피가 1 L이고, 평형 II에서 온도가  $\frac{4}{3}T$  K일 때 부피가 2 L이므로 평형 II에서 전체 기체의 양은 0.6 mol이라는 것을 알 수 있다. 평형 I에서 평형 II가 될 때 기체의 양은 0.2 mol이 증가했으므로 평형 I  $\rightarrow$  평형 II에서의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons C(g)$		
평형 I (mol)	0.1	0.1	0.2
반응(mol)	+0.1	+0.2	-0.1
평형 II (mol)	0.2	0.3	0.1

→ A(g)~C(g)의 몰 농도(M)는 각각 0.1, 0.15, 0.05이므로

$$K_2 = \frac{0.05}{0.1 \times 0.15^2} = \frac{200}{9}$$

평형 III에서 A(g)의 양이  $\frac{1}{15}$  mol이므로 평형 I에서 평형 III이 될 때, 화학 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons C(g)$		
평형 I (mol)	0.1	0.1	0.2
반응(mol)	$-\frac{1}{30}$	$-\frac{2}{30}$	$+\frac{1}{30}$
평형 III (mol)	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{7}{30}$

→ 전체 기체의 양이  $\frac{1}{3}$  mol이며, 온도가  $\frac{12}{5}T$  K이므로 기체의 부피는 2 L이고, A(g)~C(g)의 몰 농도(M)는 각각  $\frac{1}{30}$ ,  $\frac{1}{60}$ ,  $\frac{7}{60}$

이다. 따라서  $K_3 = \frac{7}{\frac{1}{30} \times \left(\frac{1}{60}\right)^2} = 12600$ 이다.

㉠ 평형 I  $\rightarrow$  평형 II에서 온도가 높아졌을 때 평형 상수가 감소했으므로 정반응은 발열 반응이다. 따라서  $\Delta H < 0$ 이다.

✗  $x=0.3, y=2$ 이므로  $x \times y = 0.6$ 이다.

✗  $\frac{K_2 \times K_3}{K_1} = \frac{200}{9} \times 12600 = 1400$ 이다.

## 19 온도와 반응 속도

강철 용기 안에 들어 있는 A(g)의 양(mol)은 (가)가 (나)의 2배이고, 강철 용기의 부피도 (가)가 (나)의 2배이므로 기체의 몰 농도(M)는 (가)와 (나)가 같다.

✗ 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 입자 수는 (가)와 (나)가 서로 같지만, 전체 기체 분자의 양(mol)에 대한 비율은 (나)가 (가)보다 크다. 따라서 온도는  $T_2 > T_1$ 이다.

✗ A(g)의 몰 농도(M)는 (가)와 (나)가 같지만, 온도는 (나)가 (가)보다 높으므로 초기 반응 속도는 (나)가 (가)보다 빠르다.

㉠ 반응 속도 상수는 온도가 높은 (나)에서 (가)에서보다 크다.

## 20 기체의 성질과 부분 압력

온도가 일정할 때 기체의 양(mol)은 기체의 압력과 부피의 곱에 비례한다. (가)에서 강철 용기 I에 들어 있는 A(g)의 양(mol)을  $6Pn$ , 실린더에 들어 있는 B(g)의 양(mol)을  $4n$ 이라고 하면, (나)에서 화학 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

i) B가 모두 반응하는 경우

	$2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$		
반응 전(mol)	$6Pn$	$4n$	
반응(mol)	$-8n$	$-4n$	$+8n$
반응 후(mol)	$6Pn-8n$	0	$8n$

→ 이 경우, 반응 후 전체 기체의 양(mol)은  $6Pn$ 이며, 강철 용기 I의 부피가 2 L, 실린더의 부피가 5 L이므로 전체 기체의 부피는 7 L, 압력은 1 atm이 되어 전체 기체의 양(mol)은  $6Pn = 7n$ 이다. 반응 전 A(g)의 양(mol)이  $6Pn$ 이었으며,  $8n$ 보다 커야 하므로 이 결과는 부적절하다.

ii) A가 모두 반응하는 경우

	$2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$		
반응 전(mol)	$6Pn$	$4n$	
반응(mol)	$-6Pn$	$-3Pn$	$+6Pn$
반응 후(mol)	0	$4n-3Pn$	$6Pn$

→ 이 경우, 반응 후 전체 기체의 양(mol)은  $(4+3P)n = 7n$ 이 되어야 하므로  $P=1$ 이다.

(나) 과정 후 B(g)가 남았으므로 (다)에서 반응이 일어나려면 강철 용기 II에 들어 있는 X(g)는 A(g)가 되어야 한다. 강철 용기 II에 들어 있는 전체 기체의 양(mol)은  $6Pn (=6n)$ 이며, 이 중 A(g)의 양(mol)을  $kn$ 이라고 하면 He(g)의 양(mol)은  $(6-k)n$ 이 된다. (다)에서 꼭지 b를 열고 반응을 완결시켰을 때, He의 부분 압력( $P_{He}$ )이  $\frac{1}{6}$  atm이 되었으므로 강철 용기 I, 강철 용기 II, 실린더의 부피를 모두 합한 값은  $6(6-k)$  L가 되어야 하고, 대기압이 1 atm이므로 전체 기체의 양(mol)은  $6(6-k)n$ 이 되어야 한다. (다)에서의 양적 관계는 다음과 같다.

i) A가 모두 반응하는 경우

	$2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$		
반응 전(mol)	$kn$	$n$	$6n$
반응(mol)	$-kn$	$-\frac{1}{2}kn$	$+kn$
반응 후(mol)	0	$\left(1-\frac{1}{2}k\right)n$	$(6+k)n$

→ 이 경우, He(g)을 포함한 전체 기체의 양(mol)은  $\left(13-\frac{1}{2}k\right)n = 6(6-k)n$ 이며, 이를 풀면  $k = \frac{46}{11}$ 이 되는데, 반응 전 A(g)의 양(mol)이  $2n$ 보다 작아야 하므로 이는 부적절하다.

ii) B가 모두 반응하는 경우

	$2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$		
반응 전(mol)	$kn$	$n$	$6n$
반응(mol)	$-2n$	$-n$	$+2n$
반응 후(mol)	$(k-2)n$	0	$8n$

→ 이 경우,  $\text{He}(g)$ 을 포함한 전체 기체의 양(mol)은  $12n = 6(6-k)n$ 이며, 이를 풀면  $k=4$ 가 되어 조건을 만족한다.  
 (다)에서 반응 후 전체 기체의 부피는 12 L이므로 실린더의 부피는 7 L가 되어  $V_2=7$ 이다. 따라서  $V_2 \times P = 7 \times 1 = 7$ 이다.

**실전 모의고사 3회**

본문 130~134쪽

01 ⑤	02 ②	03 ③	04 ②	05 ①
06 ⑤	07 ⑤	08 ②	09 ②	10 ③
11 ②	12 ④	13 ①	14 ③	15 ③
16 ⑤	17 ②	18 ④	19 ⑤	20 ②

**01 수소 연료 전지**

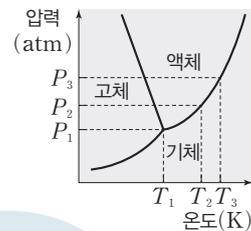
- ㉠  $\text{H}_2$ 가 전자를 잃어서 생성되는 ㉠은  $\text{H}^+$ 이다.
- ㉡  $\text{O}_2$ 가 공급되는 전극에서  $\text{H}^+$ 과  $\text{O}_2$ , 전자가 반응하여  $\text{H}_2\text{O}$ 이 생성된다. 따라서  $\text{O}_2$ 를 공급하는 전극은 (+)극이다.
- ㉢ 수소 연료 전지에서는  $\text{H}_2$ 와  $\text{O}_2$ 가 반응하여  $\text{H}_2\text{O}$ 이 생성되므로 전체 화학 반응식은  $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 이다.

**02 고체 결정**

- (가)~(다)는 각각  $\text{CO}_2(s)$ ,  $\text{K}(s)$ ,  $\text{MgO}(s)$ 의 결정 구조이다.
- ✗ (가)는  $\text{CO}_2(s)$ 의 결정 구조이므로 분자 결정이다.
- ㉠ (다)는  $\text{MgO}(s)$ 의 결정 구조로  $\text{Mg}^{2+}$ 은 (다)에서 면심 입방 구조를 이룬다.
- ✗ (나)는  $\text{K}(s)$ 의 결정 구조로 체심 입방 구조이다. 따라서 단위 세포에 포함된 입자 수가 2이다.

**03 상평형**

온도가  $T_1$  K, 압력이  $P_1$  atm일 때 삼중점이고,  $T_3 > T_2 > T_1$ 이며,  $P_2$ 와  $P_3$ 에서 안정한 상의 수는 2이므로 액체와 기체가 안정한 상이 되고,  $P_3 > P_2$ 이다.



- ㉠  $P_3 > P_2$ 이므로  $P_3 > P_1$ 이다.
- ✗  $P_2$  atm,  $T_3$  K에서 X의 안정한 상은 기체이다.
- ㉢  $P_3$  atm에서 X의 안정한 상이 고체와 액체인 온도는 삼중점의 온도인  $T_1$ 보다 낮다.

**04 증기 압력**

- 기준 끓는점은 A가 B보다 높으므로 분자 사이의 인력은  $A(l) > B(l)$ 이다. 기준 끓는점은 1 atm에서 끓는 온도이다.
- ✗ 기준 끓는점에서 증기 압력은  $A(l)$ 와  $B(l)$ 가 같다.
- ㉠ 1 atm,  $t_1^\circ\text{C}$ 는 B의 끓는점보다 높은 온도이므로 B의 안정한 상은 기체이다.
- ✗  $t_3^\circ\text{C}$ 에서  $B(l)$ 의 증기 압력은 76 cmHg보다 작으므로 76 cmHg 일 때의 온도인  $t_2^\circ\text{C}$ 보다 낮은 온도이다. 따라서  $t_2 > t_3$ 이다.

## 05 헤스 법칙

(가)의 반응의 반응 엔탈피를 구하기 위해서는 (나)의 역반응의 반응 엔탈피와 (다)의 정반응의 반응 엔탈피를 더하면 구할 수 있다. 따라서  $x = -98 + (-104) = -202$ 이다.

## 06 화학 전지

(가)의 전극 A에서 A가 석출되었고, (나)의 전극 C에서 C가 석출되었으므로 (가)의 전극 A에서는 환원 반응이 일어나고, 전극 B에서는 산화 반응이 일어난다. 또한 (나)의 전극 C에서는 환원 반응이 일어나고, 전극 B에서는 산화 반응이 일어난다.

✗. (나)의 전극 B에서 산화 반응이 일어나므로 전자의 이동 방향은 ⓐ이다.

㉠. (나)의 전극 B에서는 산화 반응, 전극 C에서는 환원 반응이 일어나므로 금속의 이온화 경향은  $B > C$ 이다.

㉡. A와 C의 양이온은 모두 +2의 전하량을 갖고 석출된 금속의 질량이  $A > C$ 이므로 원자량은  $A > C$ 이다.

## 07 기체의 성질

$PM = dRT$ 이므로  $M \propto \frac{d}{P}$ 이다. 따라서 분자량비는  $A : B : C$

$$= \frac{5}{2P} : \frac{6}{3P} : \frac{4}{4P} = 5 : 4 : 2 \text{이다.}$$

㉠. 분자량비는  $A : B = 5 : 4$ 이다.

㉡. 질량은 같고 분자량비가  $B : C = 2 : 1$ 이므로 몰비는  $B : C = 1 : 2$ 이다.

㉢. 몰비는  $A : C = 2 : 5$ 이다. 이상 기체 방정식을 적용하면 A는  $2PV = 2nRT$ , C는  $4PV = 5nRT$ 이므로 1 L당 분자 수비는  $A : C = 2P : 4P = 1 : 2$ 이다.

[다른 풀이] 질량이  $m$  g이라면  $d = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V}$ 이므로  $\frac{n}{V} = \frac{d}{M}$ 이

다. 따라서  $\frac{5}{5} : \frac{4}{2} = 1 : 2$ 이다.

## 08 분자 사이의 힘

3~5주기 원자를 중심 원자로 하는 수소 화합물 중 중심 원자가 같은 족 원자인 분자들의 기준 끓는점은 중심 원자의 원자 번호가 커질수록 높아진다.

✗. 중심 원자가 같은 족 원자인 분자들의 기준 끓는점은 중심 원자의 원자 번호가 커질수록 높아지므로 분자량이 주된 원인임을 알 수 있다. 따라서 ㉠으로 가장 적절한 것은 '분산력' 또는 '분자량'이다.

㉡. HF는 수소 결합을 할 수 있는 분자이므로 HCl보다 끓는점이 높다.

✗. 조사한 분자는 모두 분산력이 작용하는 분자이다.

## 09 용액의 농도

20% X(aq) 100 g에는 X 20 g과 물 80 g이 들어 있으므로 물 1000 g에는 250 g의 X가 들어 있다. X(aq)의 몰랄 농도가 6.25 m이므로 X의 화학식량을  $x$ 라고 하면  $\frac{250}{x} = 6.25$ 에서  $x = 40$ 이다.

✗. X의 화학식량이 40이므로 Y의 화학식량은 200이다. 50% Y(aq) 100 g에는 Y 50 g과 물 50 g이 들어 있으므로 물 1000 g에는 Y 1000 g이 들어 있다. 따라서 몰랄 농도( $m$ )  $a = \frac{1000}{200} = 5$ 이다.

㉠. 20% Y(aq)에는 Y 20 g과 물 80 g이 들어 있으므로 이는 물 1000 g에 Y 250 g에 들어 있는 것과 같다. Y의 화학식량이 200이므로 몰랄 농도는 1.25 m이다.

✗. 두 용액의 질량을 100 g이라고 하면 몰 농도비는

$$X(aq) : Y(aq) = \frac{\frac{20}{40}}{\frac{100}{1000d_1}} : \frac{\frac{50}{200}}{\frac{100}{1000d_2}} = 2d_1 : d_2 \text{이다.}$$

## 10 산 염기 평형

HA는 약산이므로 (가)에서  $[H_3O^+] = [A^-] = 1 \times 10^{-3}$  M이고,

$K_a = \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{x} = 3 \times 10^{-4}$ 이다. 따라서  $x = \frac{1}{300}$ 이다. (가)에서

HA의 양은  $\frac{1}{300}$  mol이고, (다)에서  $[Na^+] = \frac{1}{300}$  M이므로 넣은 NaOH(s)의 총 양은  $\frac{1}{300}$  mol임을 알 수 있다.

㉠. (나)와 (다)에서 첨가한 NaOH(s)의 질량은  $2w$  g이므로  $2w = \frac{1}{300} \times 40$ 이다. 따라서  $w = \frac{1}{15}$ 이다.

㉡. (다)에서가 중화점이므로 (나)에서는  $[HA] = [A^-]$ 이다. 따라서  $K_a = [H_3O^+] = 3 \times 10^{-4}$  M이다.

✗. (다)에서는  $A^-(aq) + H_2O(aq) \rightleftharpoons HA(aq) + OH^-(aq)$ 의 반응이 일어난다.  $[A^-] = \frac{1}{300}$  M이고,  $A^-$ 의  $K_b = \frac{1 \times 10^{-14}}{3 \times 10^{-4}} = \frac{1}{3} \times 10^{-10}$ 이므로  $[OH^-] = y$  M라고 하면  $300y^2 = \frac{1}{3} \times 10^{-10}$ 에서  $y = \frac{1}{3} \times 10^{-6}$ 이다. 따라서  $[H_3O^+] = 3 \times 10^{-8}$ 이므로  $pH < 8.0$ 이다.

## 11 반응 엔탈피와 결합 에너지

엔탈피 변화로부터 반응  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ 의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-92$  kJ임을 알 수 있고, 반응  $N_2(g) + 2H_2(g) \rightarrow N_2H_4(g)$ 의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $95$  kJ임을 알 수 있다. 따라서 2가지 반응으로부터 반응  $N_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ 의  $\Delta H = -187$  kJ임을 알 수 있고, 이 반응을 결합 에너지로 나타내면 (N-N의 결합 에너지) +  $4 \times$  (N-H의 결합 에너지) + (H-H의 결합 에너지) -  $2 \times 3 \times$  (N-H의 결합 에너지) =  $-187$ 이므로 (N-N의 결합 에너지)를  $x$ 라고 하면  $x + 435 - (2 \times 390) = -187$ 에서  $x = 158$ 이다.

## 12 평형 이동

(나)에서 A의 몰 분율이  $\frac{1}{3}$ 이므로 (가)에서 C가 4 mol 감소하고, A와 B가 각각 2 mol 증가하는 반응이 일어난다. 따라서 (나)에서 A~C의 몰 농도는 모두 0.2 M로 같고  $K = \frac{(0.2)^2}{0.2 \times 0.2} = 1$ 이다.

(다)에서 C의 몰 농도가 0.3 M이므로 A와 B의 몰 농도도 0.3 M이어야 한다. 따라서 A와 B의 증가한 양이 각각 1 mol씩이므로 감소

한 C의 양은 2 mol이고, (나)에서보다 (다)에서의 C의 양이 1 mol 더 많으므로 넣어 준 C의 양은 3 mol임을 알 수 있다. 따라서  $x=3$ 이고,  $K \times x=3$ 이다.

### 13 촉매와 반응 속도

A에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정한 반응이다. 실험 I에서  $t$ 일 때  $[A]+[B](M)$ 가 A의 초기 농도보다 증가하였으므로  $b > 1$ 이다.

I에서  $t$ 일 때  $[A]+[B]$ 가  $\frac{7}{4}a$  M이므로 반감기가 1번 지난 후라면  $[B]=\frac{1}{2}ab$  M가 되고  $b=\frac{5}{2}$ 이므로 조건에 맞지 않고, 반감기가 2번 지난 후라면  $[A]=\frac{1}{4}a$  M,  $[B]=\left(\frac{1}{2}ab+\frac{1}{4}ab\right)M=\frac{3}{4}ab$  M이고,  $[A]+[B]=\left(\frac{1}{4}a+\frac{3}{4}ab\right)M=\frac{7}{4}a$  M이므로  $b=2$ 이다.

- ㉠ 실험 I에서  $t$ 일 때는 반감기가 2번 지난 후이므로  $b=2$ 이다.
- ✕  $b=2$ 이므로 실험 II에서  $t$ 일 때는  $[A]=a$  M,  $[B]=2a$  M이다. 따라서  $t$ 일 때는 반감기가 1번 지난 후이므로 반감기는  $II > I$ 이며, 온도는  $T_1 > T_2$ 이다.
- ✕ 실험 III에서는 온도가 실험 I에서와 같은데 X(s)가 첨가되면서  $t$ 일 때  $[A]=0.5a$  M,  $[B]=7a$  M가 된 것이므로 반감기를 3번 지난 후의 농도가 된다. 따라서 X(s)는 반응 속도를 빠르게 한 촉매이므로 정촉매이다.

### 14 증기 압력 내림

용매 A의 질량은  $27w$  g이고, (나)에서 Y  $10w$  g이 녹았을 때 수용액의 증기 압력이  $9P$  atm이므로 Y의 몰 분율은  $\frac{1}{10}$ 이다.

- ㉠ A, Y의 분자량을 각각  $M_A, M_Y$ 라고 하면  $\frac{10w}{M_Y} / \left(\frac{27w}{M_A} + \frac{10w}{M_Y}\right) = \frac{1}{10}$ 이므로  $M_A : M_Y = 3 : 10$ 이다.

✕ 증기 압력이  $xP$  atm일 때 (나)에 녹아 있는 Y  $30w$  g의 양을  $3n$  mol, 용매 A의 양을  $9n$  mol이라고 하면 Y의 몰 분율은  $\frac{3}{9+3} = \frac{1}{4}$ 이므로  $x=10 \times \frac{3}{4} = 7.5$ 이다.

㉡ (가)는  $30w$  g의 X가 녹았을 때 증기 압력이  $9P$  atm이므로 분자량비는  $X : Y = 3 : 1$ 임을 알 수 있다. 분자량비는  $A : Y = 3 : 10$ 이므로  $A : X = 1 : 10$ 이다. 따라서 10% (가)에서 X의 몰 분율은

$$\frac{\frac{10}{10k}}{\frac{90}{k} + \frac{10}{10k}} = \frac{1}{91} \text{이고, 증기 압력(atm)은 } \frac{90}{91} \times 10P = \frac{900}{91} P \text{이다.}$$

### 15 산 염기 평형

(나)에서  $\frac{[A^-]}{[HA]} = 1$ 이므로 (가)에 들어 있는 HA의 양(mol)과 넣

어 준  $A^-$ 의 양(mol)이 같음을 알 수 있다.

- ㉠ (가)에 들어 있는 HA의 양(mol)은  $0.1 \times 0.5 = 0.05$ 이고 첨가한 NaA의 양(mol)은 이와 같으므로  $x \times 0.25 = 0.05$ 에서  $x=0.2$ 이다.

㉡  $A^-$ 의  $K_b = 1 \times 10^{-9}$ 이므로 HA의  $K_a = 1 \times 10^{-5}$ 이다. (가)에서  $[H_3O^+] = y$  M라고 하면  $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = \frac{y^2}{0.1} = 1 \times 10^{-5}$ 이므로  $y = 1 \times 10^{-3}$ 이다. 따라서 (가)의 pH=3.0이다. (나)에서 온도는 일정하므로  $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-5}$ 이다. 따라서 (나)의 pH=5.0이다.

- ✕ 0.1 M NaA(aq)에서  $[OH^-] = z$  M라고 하면  $K_b = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} = \frac{z^2}{0.1} = 1 \times 10^{-9}$ 에서  $z = 1 \times 10^{-5}$ 이다. 따라서 pH=9.0이다.

### 16 온도와 반응 속도

같은 시간이 지났을 때 B의 농도가 클수록 온도가 높다. 따라서  $T_1 > T_2$ 이다.

- ✕ 정반응의 활성화 에너지는 반응물과 생성물이 같으므로 온도에 관계없이 같다.
- ㉠ 온도가  $T_1 > T_2$ 이므로 분자의 평균 운동 에너지는  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 크다.
- ㉡ 초기 농도가 같은데 반응 속도는  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 크므로 반응 속도 상수는  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 크다.

### 17 1차 반응

B에 대한 1차 반응이므로 반감기가 일정한 반응이다. 반응 초기의 몰비는  $A : B = 2 : 1$ 이므로 A, B의 양을 각각 2 mol, 1 mol이라고 하면 첫 번째 반감기에서 양적 관계는 다음과 같다.

(첫 반감기)	$2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C(g)$		
반응 전(mol)	2	1	
반응(mol)	$-\frac{1}{b}$	-0.5	$+\frac{1}{b}$
반응 후(mol)	$2 - \frac{1}{b}$	0.5	$\frac{1}{b}$

만약  $t$  min이 반감기라면 A의 몰 분율은  $\frac{2 - \frac{1}{b}}{2.5} = \frac{2}{5}$ 이므로  $b=1$ 이고,  $2t$  min일 때 전체 기체의 양은 2.25 mol, B의 양은 0.25 mol이므로 B의 몰 분율은  $\frac{1}{9}$ 이므로 조건에 맞게 된다.

- ✕  $b=1$ 이다.
- ㉠  $2t$  min일 때 전체 기체의 양은 2.25 mol이고 C의 양은 1.5 mol이므로 C의 몰 분율은  $\frac{1.5}{2.25} = \frac{2}{3}$ 이다.
- ✕ 전체 기체의 양(mol)은  $t$  min일 때 2.5 mol,  $2t$  min일 때 2.25 mol이므로  $t$  min일 때가  $2t$  min일 때의  $\frac{10}{9}$ 배이다.

### 18 기체의 반응

온도가 일정하므로 기체의 양(mol)은 압력과 부피의 곱에 비례한다. 따라서 실린더 속 A(g)의 양은  $2n$  mol, 용기 속 B(g)의 양은  $Pn$  mol, C(g)의 양은  $n$  mol이라고 할 수 있다. 만약 A(g)가 모두 반응한다면  $P > 4$ 이어야 하고, 양적 관계는 다음과 같다.

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

따라서 반응 후 전체 기체의 양은  $Pn$  mol이고,  $C(g)$ 의 양은  $4n$  mol이다. (다)에서 꼭지 b를 열었을 때 실린더 속 기체의 부피가 2 L가 되어야 하므로 전체 기체의 부피는 4 L, 압력은 1 atm인 상태이므로 전체 기체의 양은  $4n$  mol인 상태이다. 따라서  $Pn+n=4n$ 이므로  $P=3$ 이 되어 주어진 조건에 맞지 않다. 따라서  $B(g)$ 가 모두 반응한 것이고 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g)$	$+ 2B(g)$	$\longrightarrow$	$2C(g)$
반응 전(mol)	$2n$	$Pn$		
반응(mol)	$-0.5Pn$	$-Pn$		$+Pn$
반응 후(mol)	$(2-0.5P)n$	$0$		$Pn$

따라서 전체 기체의 양은  $(2+0.5P)n$  mol이고, 이는  $3n$  mol이어야 하므로  $P=2$ 이다. (나)에서 전체 기체의 양은  $3n$  mol이고,  $C(g)$ 의 양은  $2n$  mol이므로  $C(g)$ 의 몰 분율은  $\frac{2}{3}$ 이고, (다) 과정 후 전체 기체의 양은  $4n$  mol이고,  $C(g)$ 의 양은  $3n$  mol이므로  $C(g)$ 의 몰 분율은  $\frac{3}{4}$ 이다. 따라서  $x : y = \frac{2}{3} : \frac{3}{4} = 8 : 9$ 이다.

## 19 1차 반응

화학 반응식이  $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ 이므로 분자량비는  $A : B = 2 : 1$ 이다.  $B(g)$ 의 분자량이  $w$ 라면  $A(g)$ ,  $B(g)$ 의 양은 각각 2 mol,  $x$  mol이고,  $A(g)$ 에 대한 1차 반응이고 6 min일 때  $\frac{[B]}{[A]} = 12$ , 9 min일 때  $\frac{[B]}{[A]} = 26$ 이므로 반감기는 3 min이다. 따라서 6 min일 때  $\frac{[B]}{[A]} = \frac{x+3}{0.5} = 12$ , 9 min일 때  $\frac{[B]}{[A]} = \frac{x+3.5}{0.25} = 26$ 이 되고  $x=3$ 이다.

㉠  $x=3$ 이므로 반응 전  $\frac{[B]}{[A]} = y = \frac{3}{2}$ 이다. 따라서  $x \times y = 4.5$ 이다.

㉡ 6 min일 때 몰비는  $A : B = 1 : 12$ 이고, 분자량비는  $A : B = 2 : 1$ 이므로  $\frac{B \text{의 질량(g)}}{A \text{의 질량(g)}} = 6$ 이다.

㉢ 12 min일 때 몰비는  $A : B = 1 : 54$ 이므로  $\frac{[B]}{[A]} = 54$ 이다.

## 20 평형 이동

(가)의 강철 용기에서 반응한 A의 양을  $x$  mol이라고 하면 반응 후 A, B의 양은 각각  $(3-x)$  mol,  $2x$  mol이다. (가) 과정 후 A의 몰 분율이 0.6이므로  $3-x : 2x = 3 : 2$ 이고  $x = \frac{3}{4}$ 이다. 따라서 (가) 과정 후 A, B의 양은 각각  $\frac{9}{4}$  mol,  $\frac{3}{2}$  mol이다. (가) 과정 후  $[A] = \frac{9}{4}$  M,  $[B] = \frac{3}{2}$  M이므로  $K=1$ 이다.

✕ 화학 반응식에서 분자량비는  $A : B = 2 : 1$ 이므로 반응 전 실린

더에 넣어 준 B의 양은 6 mol임을 알 수 있다. 반응한 B의 양을  $2y$  mol이라고 하면 반응 후 A, B의 양은 각각  $y$  mol,  $(6-2y)$  mol이고, 실린더의 부피는 2 L이므로  $K = \frac{(3-y)^2}{\frac{y}{2}} = 1$ 이고,  $y=2$ 이

다. 따라서 (가) 과정 후 B의 양은 강철 용기에서  $\frac{3}{2}$  mol, 실린더에서 2 mol이므로 실린더에서 강철 용기에서의  $\frac{4}{3}$ 배이다.

㉠ (나)에서 꼭지를 연 직후 기체의 양(mol)은 A가  $\frac{9}{4} + 2 = \frac{17}{4}$ , B가  $\frac{3}{2} + 2 = \frac{7}{2}$ 이고, 용기의 부피는 3 L라고 할 수 있으므로 반응

지수  $Q = \frac{(\frac{7}{6})^2}{\frac{17}{12}} = \frac{49}{51}$ 이므로  $K$ 보다 작다. 따라서 꼭지를 열면 정

반응 쪽으로 평형이 이동하게 된다.

✕ (다) 과정 후  $[A]$ 와  $[B]$ 는 초기 반응 전에서 평형 이동한 것으로 나타낼 수 있으므로 반응한 A의 양을  $z$  mol, (다) 과정 후 기체의 부피를  $V'$  L라고 하면,  $[A] = [B] = \frac{3-z}{V'} = \frac{6+2z}{V'}$ 이고  $z = -1$ 이므로 A와 B의 양은 각각 4 mol, 4 mol이다.  $K=1$ 이어야 하므로

$K = \frac{(\frac{4}{V'})^2}{\frac{4}{V'}} = 1$ 에서  $V'=4$ 이다. 따라서 강철 용기를 제외한 실린

더 속 기체의 부피  $V=3$ 이다.

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 01 ④ | 02 ④ | 03 ② | 04 ⑤ | 05 ① |
| 06 ③ | 07 ① | 08 ① | 09 ④ | 10 ⑤ |
| 11 ⑤ | 12 ① | 13 ③ | 14 ④ | 15 ④ |
| 16 ① | 17 ③ | 18 ⑤ | 19 ① | 20 ④ |

### 01 분자 사이의 힘

분산력은 모든 분자 사이에, 쌍극자·쌍극자 힘은 극성 분자 사이에, 수소 결합은 분자 내 F, O, N와 결합한 H가 있는 분자 사이에 작용하는 힘이다.

㉠.  $\text{CH}_4$ 과  $\text{SiH}_4$ 는 모두 무극성 분자이고, 분자량은  $\text{SiH}_4$ 이  $\text{CH}_4$ 보다 크므로 분산력은  $\text{SiH}_4$ 이  $\text{CH}_4$ 보다 크고, 기준 끓는점은  $\text{SiH}_4$ 이  $\text{CH}_4$ 보다 높다. 따라서  $x < -112$ 이다.

㉡.  $\text{CH}_4$ 는 무극성 분자이기 때문에  $\text{CH}_4(l)$  분자 사이에 쌍극자·쌍극자 힘은 작용하지 않는다.

㉢. HF가 기준 끓는점이 높은 이유는 분자 사이에 수소 결합이 존재하기 때문이다.

### 02 $\text{H}_2\text{O}$ 의 구조와 온도에 따른 밀도

결합 a는 수소 결합이고, 결합 b는 공유 결합이다.

㉣. 밀도는  $A > B$ 이므로  $\text{H}_2\text{O}$  1g의 부피는  $B > A$ 이다.

㉤. B는 고체 상태, C는 액체 상태이다. B → C에서는 얼음의 결정 구조를 이루는 수소 결합(결합 a)의 일부가 끊어지면서 부피는 감소하고 밀도는 증가한다. 공유 결합(결합 b)의 수는 변하지 않는다. 따라서  $\text{H}_2\text{O}$  1g에 포함된  $\frac{\text{결합 a의 수}}{\text{결합 b의 수}}$ 는  $B > C$ 이다.

㉥. C는 0°C 물, D는 4°C 물이다. 밀도는  $D > C$ 이므로 단위 질량당 부피는  $C > D$ 이고, 분자 사이의 평균 거리도  $C > D$ 이다.

### 03 $\text{H}_2\text{O}$ 의 상평형 그림과 가열 곡선

(가)에서  $\text{H}_2\text{O}$ 는 외부 압력이 1 atm일 때 어는점과 끓는점이 각각 0°C, 100°C이다. (나)에서 첫 번째로 온도가 변하지 않고 일정한 구간은 고체에서 액체로 상태 변화가 일어나는 구간이고, 두 번째로 온도가 변하지 않고 일정한 구간은 액체에서 기체로 상태 변화가 일어나는 구간이다. 외부 압력이 P atm일 때 어는점과 끓는점은 각각  $a^\circ\text{C}$ ,  $b^\circ\text{C}$ 이다.

㉦. 1 atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 끓는점과 어는점은 각각 100°C, 0°C이다. P atm에서  $b - a < 100$ 이므로  $P < 1$ 이다.

㉧.  $a > 0$ 이다. 따라서  $a^\circ\text{C}$ , 1 atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 안정한 상은 액체로 1가지이다.

㉨. 증기 압력이 외부 압력과 같을 때의 온도가 끓는점이다. P atm에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 끓는점은  $b^\circ\text{C}$ 이기 때문에  $b^\circ\text{C}$ 에서  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 증기 압력은 P atm이다.

### 04 고체의 결정 구조

X는 단위 세포의 단면을 보면 단위 세포의 꼭짓점 위치에만 입자가

배열되어 있으며, Y는 단위 세포의 꼭짓점과 면 중심 위치에 입자가 배열되어 있다.

㉠. X의 결정 구조는 단순 입방 구조이고, Y는 면심 입방 구조이다.

㉡. X는 원자량이  $8a$ 이고, 단위 세포에 포함된 원자 수가  $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ 이며, Y는 원자량이  $a$ 이고 단위 세포에 포함된 원자 수가  $\frac{1}{2} \times 6 + \frac{1}{8} \times 8 = 4$ 이다. 따라서 단위 세포의 질량은 X가 Y의 2배이다.

㉢. 단위 세포의 질량은  $X : Y = 2 : 1$ 이고, 부피비는  $X : Y = 125b^3 : 216b^3$ 이다. 따라서 단위 세포의 밀도비는  $X : Y = \frac{2}{125b^3} : \frac{1}{216b^3}$ 이므로 X가 Y의 2배보다 크다.

### 05 결합 에너지와 반응 엔탈피

반응물과 생성물이 모두 기체 상태일 경우 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 (반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합)으로부터 구할 수 있다.

$\text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H_1$ )는  $a$  kJ이므로  $2\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-2a$  kJ이고,  $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H_2$ )는  $b$  kJ이다. 위 두 반응의 화학 반응식을 더하면  $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(g)$ 이고 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $(-2a + b)$  kJ이다.

$2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $(2 \times \text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지} + \text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지}) - (4 \times \text{H}-\text{O} \text{ 결합 에너지})$ 로부터 구할 수 있고  $(-2a + b)$  kJ과 같다. 따라서  $-2a + b = 2c + x - 4d$ 이고,  $x = -2a + b - 2c + 4d$ 이다.

### 06 용액의 농도

(가)~(라)에서 만든  $\text{NaOH}(aq)$ 에 대한 자료는 다음과 같다.

과정	(가)	(나)	(다)	(라)
용질의 질량(g)	$2x$	6	$4x + 6$	30
용액의 질량(g)	200	56	$2x + 256$	530

㉠. (가)에서  $x\%$   $\text{NaOH}(aq)$  200g에 녹아 있는 용질의 질량은  $2x$ g이다. (나)에서 3m  $\text{NaOH}(aq)$ 은 용매가 1kg이면 용질 3mol ( $3 \times 40 = 120$ g)이 녹아 있는 용액 1120g이 되는 농도인데, 용액 56g에 녹아 있는 용질의 질량을 Ag이라고 하면  $1120 : 120 = 56 : A$ 이고  $A = 6$ 이다. (다)에서 용질을  $2x$ g 추가로 녹였고 (라)에서 1.5M  $\text{NaOH}(aq)$  0.5L는 용액의 질량이 530g( $=1.06\text{g/mL} \times 500\text{mL}$ )이고, 용질의 질량은 30g( $=0.75\text{mol} \times 40\text{g/mol}$ )이다. 따라서 (다)와 (라)의  $\text{NaOH}(aq)$ 에 녹아 있는 용질의 질량은 같으므로  $4x + 6 = 30$ 이고,  $x = 6$ 이다. (다)와 (라)에서 용액의 질량은 각각 268g, 530g이므로 추가한 물의 질량은  $y = 530 - 268 = 262$ 이다. 따라서  $x + y = 268$ 이다.

㉡. (가)의  $\text{NaOH}(aq)$ 에 들어 있는 용질의 질량은 12g이고, 용매의 질량은 188g이다. 따라서 몰랄 농도는  $\frac{12}{40} \text{ mol} / 188 \text{ kg}$ 이고, 1.5m보다 크다.

✕. (가)와 (나)의  $\text{NaOH}(aq)$ 에 녹아 있는 용질의 질량은 각각 12 g, 6 g이므로  $\text{NaOH}$ 의 양은 각각 0.3 mol, 0.15 mol이다.

### 07 반응 엔탈피

열화학 반응식 (가)~(다)를 이용하여 서로 다른 반응의 반응 엔탈피를 알 수 있다.

㉠. (가)의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 2 mol의  $\text{NO}(g)$ 가 생성될 때의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )이므로  $\text{NO}(g)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{180}{2} = 90 \text{ kJ/mol}$ 이다.

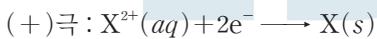
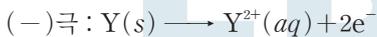
✕.  $\text{NO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{NO}_2(g)$  반응의 화학 반응식은 (가)의 역반응의 반응식의 계수를  $\frac{1}{2}$ 배 하고, (나)의 반응식의 계수를  $\frac{1}{2}$ 배 하여 더하면 구할 수 있다. 따라서  $\text{NO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{NO}_2(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는  $\frac{1}{2} \times (-180) + \frac{1}{2} \times 66 = -57 \text{ (kJ)}$ 이다.

✕. (다)에서 2 mol의  $\text{NH}_3(g)$ 가 생성될 때 방출하는 열량이 92 kJ이므로  $\text{NH}_3(g)$  1 mol이 생성될 때 방출하는 열량은 46 kJ이다.

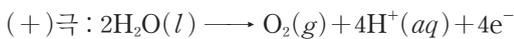
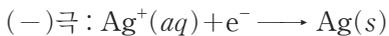
### 08 화학 전지와 전기 분해

화학 전지와  $\text{AgNO}_3(aq)$ 의 전기 분해에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

○ 화학 전지



○  $\text{AgNO}_3(aq)$ 의 전기 분해



✕. (가)에서  $\text{X}^{2+}$ 은 전자를 얻어 환원되어 X가 된다.

㉠. 전극 ㉠에서  $\text{O}_2(g)$ 가 발생하므로 전극 ㉠에서는  $\text{Ag}^{+}$ 이 전자를 얻어 환원되며 Ag이 석출된다. 따라서 전극 ㉠의 질량은 증가한다.

✕. 전극 ㉠에서 산화 반응이 일어나므로 (+)극이다.

### 09 증기 압력

㉠. 액체의 온도가 높아지면 분자의 평균 운동 에너지가 증가하면서 액체 표면에 위치한 분자들의 증발 속도가 증가하게 되고 증기의 양(mol)이 많아지므로 증기 압력이 커진다.  $t_1 < t_2$ 이므로  $t_1^\circ\text{C}$ 에서 B(l)의 증기 압력  $(760 - x) \text{ mmHg}$ 가  $t_2^\circ\text{C}$ 에서 B(l)의 증기 압력  $670 (= 760 - 90) \text{ mmHg}$ 보다 작다. 따라서  $760 - x < 670$ 이고  $x > 90$ 이다.

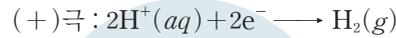
✕. 증기 압력이 작은 물질일수록 더 높은 온도에서 외부 압력과 증기 압력이 같아지므로 기준 끓는점이 더 높다. 따라서 기준 끓는점은  $B > A$ 이다.

㉠. 외부 압력(760 mmHg)과 증기 압력이 같을 때 온도가 끓는점이다.  $t_2^\circ\text{C}$ 에서 B(l)의 증기 압력은 670 mmHg으로 외부 압력보다 작기 때문에  $t_2^\circ\text{C}$ , 760 mmHg에서 B의 안정한 상은 액체이다.

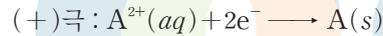
### 10 화학 전지

(-)극은 이온화 경향이 큰 금속으로 (-)극에서 산화 반응이 일어나고, (+)극은 이온화 경향이 작은 금속으로 (+)극에서 환원 반응이 일어난다. 화학 전지 (가)와 (나)에서 일어나는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

○ 화학 전지 (가)



○ 화학 전지 (나)



㉠. (가)에서 A 전극이 (-)극이고 B 전극이 (+)극이므로 금속의 이온화 경향은  $A > B$ 이다. (나)에서 C 전극이 (-)극이고 A 전극이 (+)극이므로 금속의 이온화 경향은  $C > A$ 이다. 따라서 금속의 이온화 경향은  $C > A > B$ 이다.

㉠. 반응이 진행될 때 (가)에서  $\text{H}^{+}$ 의 양(mol)이 감소하므로 수용액 속 pH는 증가한다.

㉠. (나)의 A 전극에서  $\text{A}^{2+}$ 이 전자를 얻어 환원되며 A(s)가 석출된다.

### 11 약산의 이온화 반응과 이온화 상수

약산 HA는 물에 녹아 다음과 같이 이온화 평형을 이루고 HA의 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같다.



$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^{+}][\text{A}^{-}]}{[\text{HA}]}$$

㉠. (나)에서  $[\text{HA}] = [\text{A}^{-}]$ 이므로 처음에 넣어 준  $\text{NaOH}(s)$ 의 양(mol)이 초기 HA의 양(mol)의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 초기 HA의 양은 0.12 mol( $= 0.6 \text{ M} \times 0.2 \text{ L}$ )이므로 처음에 넣어 준  $\text{NaOH}(s)$ 의 양은 0.06 mol이고, 질량은 2.4 g( $= 0.06 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol}$ )이다.

㉠. (나)에서  $[\text{HA}] = [\text{A}^{-}]$ 이므로  $K_a = [\text{H}_3\text{O}^{+}]$ 이다.  $[\text{H}_3\text{O}^{+}] = 6 \times 10^{-5} \text{ M}$ 이므로  $\text{pH} = 5.0 - \log 6$ 이고,  $\text{pOH} = 14.0 - (5.0 - \log 6) = 9.0 + \log 6$ 이므로  $\text{pOH} > 9.0$ 이다.

㉠. (나)에  $\text{NaOH}(s)$  2.4 g을 넣으면 중화점에 도달하고, 중화점에서  $\text{A}^{-}$ 이 다음과 같이 가수 분해한다.



가수 분해가 진행되기 전  $[\text{A}^{-}] = 0.6 \text{ M}$ 이다.

$[\text{OH}^{-}] = [\text{HA}] = y \text{ M}$ 라고 하면  $\text{A}^{-}$ 이 약염기이므로, 평형에서  $[\text{A}^{-}] = 0.6 \text{ M} - y \approx 0.6 \text{ M}$ 이다.  $\text{A}^{-}$ 의 이온화 상수  $K_b = \frac{y^2}{0.6} = \frac{1 \times 10^{-14}}{6 \times 10^{-5}}$ 이므로  $y = [\text{OH}^{-}] = 1 \times 10^{-5} \text{ M}$ 이다.  $K_w = [\text{H}_3\text{O}^{+}] \times 10^{-5} = 1 \times 10^{-14}$ 이므로  $[\text{H}_3\text{O}^{+}] = 1 \times 10^{-9} \text{ M}$ 이다. 따라서 (다)에서  $\frac{[\text{OH}^{-}]}{[\text{H}_3\text{O}^{+}]} = 10^4$ 이다.

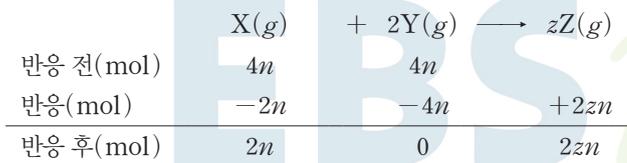
### 12 기체의 성질

온도가 같을 때 기체의 양( $n$ )은 (기체의 압력  $\times$  부피)에 비례

( $n \propto PV$ )한다. (가)에서 강철 용기와 실린더에 들어 있는 기체의 양을  $X(g)$ 가  $4n$  mol,  $Y(g)$ 가  $4n$  mol이라고 하면 실험 과정 (가)~(다)에서 실린더와 강철 용기 A와 B에 존재하는 혼합 기체에 대한 자료는 다음과 같다.

		실린더		A	B
(가)	기체의 양 (mol)	X	$4n$	0	0
		Y	0	$4n$	0
	부피(L)		2	2	2
	압력(atm)		2	2	0
(나)	기체의 양 (mol)	X	$\frac{4}{3}n$	$\frac{2}{3}n$	0
		Z	$\frac{8}{3}n$	$\frac{4}{3}n$	0
	부피(L)		4	2	2
	압력(atm)		1	1	0
(다)	기체의 양 (mol)	X	$\frac{2}{3}n$	$\frac{2}{3}n$	$\frac{2}{3}n$
		Z	$\frac{4}{3}n$	$\frac{4}{3}n$	$\frac{4}{3}n$
	부피(L)		2	2	2
	압력(atm)		1	1	1

✕. (가)에서 강철 용기와 실린더에 들어 있는 기체의 양을  $X(g)$ 가  $4n$  mol,  $Y(g)$ 가  $4n$  mol이라고 하면  $Y(g)$ 가 모두 반응하게 되며, (나)에서 일어나는 반응의 양적 관계는 다음과 같다.



반응 후 꼭지 a를 닫기 전 전체 기체의 압력은 1 atm이며, 부피는 6 L(강철 용기 A 2 L, 실린더 4 L)이므로 강철 용기 A와 실린더에 들어 있는 전체 기체의 양은  $6n$  mol이다.  $2n + 2zn = 6n$ 이므로  $z = 2$ 이다. (나)에서 꼭지 a를 닫으면 강철 용기 A에는  $X(g)$ 와  $Z(g)$ 가 각각  $\frac{2}{3}n$  mol,  $\frac{4}{3}n$  mol, 실린더에는  $X(g)$ 와  $Z(g)$ 가 각각  $\frac{4}{3}n$  mol,  $\frac{8}{3}n$  mol이 들어 있게 된다.

㉠. (다)에서 꼭지 b를 열면 1 atm일 때 혼합 기체  $4n$  mol의 부피는 4 L이다. 강철 용기 B의 부피가 2 L이므로 실린더의 부피는 2 L가 된다. (다)에서 꼭지 b를 닫으면 강철 용기 B에는  $X(g)$ 와  $Z(g)$ 가 각각  $\frac{2}{3}n$  mol,  $\frac{4}{3}n$  mol, 실린더에는  $X(g)$ 와  $Z(g)$ 가 각각  $\frac{2}{3}n$  mol,  $\frac{4}{3}n$  mol이 들어 있게 된다.

✕. (다) 과정 후 강철 용기 A와 B에는  $Z(g)$ 가 각각  $\frac{4}{3}n$  mol,  $\frac{4}{3}n$  mol이 존재한다. 따라서 강철 용기 속  $Z(g)$ 의 몰비는 A : B = 1 : 1이다.

### 13 용액의 끓는점 오름

용매의 종류가 같을 때 용액의 끓는점 오름은 용질의 종류에 관계없이 용질의 양(mol)에 비례하고, 서로 다른 용액의 끓는점 오름이 같으면 몰랄 농도도 같다.

㉠. 끓는점 오름은 용질의 양(mol)에 비례한다. 용질 A의 화학식량을  $M_A$ 라고 하면, (가)와 (나)에서  $\frac{x}{M_A} : 0.1a = \frac{x+y}{M_A} : 0.15a$ 이고  $x = 2y$ 이다.

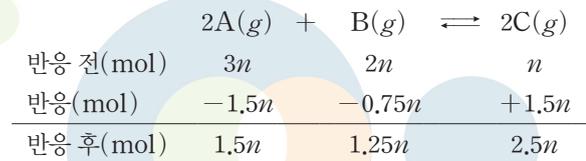
㉡. 물 500 g에 용질 A  $3y$  g(= $x+y$ )을 녹였을 때 끓는점 오름( $^{\circ}C$ )은  $0.15a$ 이다. 물 500 g에 용질 B  $\frac{1}{2}y$  g을 녹였을 때 끓는점 오름( $^{\circ}C$ )은  $0.075a(=0.225a - 0.15a)$ 이다. 용질 B의 화학식량을  $M_B$ 라고 하면,  $\frac{3y}{M_A} : 0.15a = \frac{0.5y}{M_B} : 0.075a$ 이고  $M_A : M_B = 3 : 1$ 이다.

✕. 물 500 g에 용질 A  $y$  g을 녹이면 끓는점 오름( $^{\circ}C$ )은  $0.05a$ 이고, 용질 B  $2y$  g을 녹이면 끓는점 오름( $^{\circ}C$ )은  $0.3a$ 이다. 따라서 (라)에서 용액의 끓는점 오름( $^{\circ}C$ )은  $0.05a + 0.3a = 0.35a$ 이다.

### 14 화학 평형 이동

A와 B의 화학식량을 각각  $4M$ ,  $2M$ 이라고 하면 C의 화학식량은  $5M$ 이다. I에서 A(g)의 양(mol)을  $1.5n$ 이라고 하면 B(g)와 C(g)의 양(mol)은 각각  $1.25n$ ,  $2.5n$ 이다.

㉠. I에서 C(g)의 양(mol)은  $n$ 이므로 온도 변화에 의해 일어나는 반응의 양적 관계는 다음과 같다.



A(g) 6 g이  $1.5n$ 이므로  $x = 12$ 이고, B(g) 2.5 g이  $1.25n$ 이므로  $y = 4$ 이다. 따라서  $\frac{y}{x} = \frac{1}{3}$ 이다.

✕. 강철 용기의 부피가  $V$ 이면 I에서의 평형 상수( $K$ )는

$$\frac{\left(\frac{n}{V}\right)^2}{\left(\frac{3n}{V}\right)^2 \times \frac{2n}{V}}$$

이고, II에서의 평형 상수( $K$ )는  $\frac{\left(\frac{2.5n}{V}\right)^2}{\left(\frac{1.5n}{V}\right)^2 \times \frac{1.25n}{V}}$ 이다. 따라서  $\frac{\text{II에서의 평형 상수}(K)}{\text{I에서의 평형 상수}(K)} = 40$ 이다.

㉡. 이상 기체 방정식  $PV = nRT$ 에서 부피가 일정할 때 기체의 양( $n$ )은  $\frac{\text{압력}(P)}{\text{온도}(T)}$ 에 비례한다. I과 II에서 기체의 양( $n$ )은 각각  $6n$ ,  $5.25n$ 이므로  $\frac{P_1}{T_1}$ 은  $\frac{P_2}{T_2}$ 의  $\frac{8}{7}$ 배이다.

### 15 반응 속도에 영향을 미치는 요인

I에서 B(g)의 농도 증가량(M)은 0~3 min에서  $7a$ , 3~6 min에서  $\frac{63}{8}a - 7a = \frac{7}{8}a = 7a \times \left(\frac{1}{2}\right)^3$ 이므로 반감기는 1 min이다.

II에서 B(g)의 농도 증가량(M)은 0~3 min에서  $12a$ , 3~6 min에서  $15a - 12a = 3a = 12a \times \left(\frac{1}{2}\right)^2$ 이므로 반감기는 1.5 min이다.

III에서 B(g)의 농도 증가량(M)은 0~3 min에서  $30a$ , 3~6 min에서  $\frac{255}{8}a - 30a = \frac{15}{8}a = 30a \times \left(\frac{1}{2}\right)^4$ 이므로 반감기는 0.75 min이다.

따라서 반감기는  $\text{II} > \text{I} > \text{III}$ 이므로  $T_1 > T_2$ 이고  $X(s)$ 는 정촉매이다.  $\text{I} \sim \text{III}$ 에서  $A(g)$ 의 초기 농도를 각각  $x \text{ M} \sim z \text{ M}$ 라고 하면,  $\text{I} \sim \text{III}$ 에서 반응 시간에 따른  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 농도는 다음과 같다.

실험	$t=0 \text{ min}$		$t=3 \text{ min}$	
	$[A](\text{M})$	$[B](\text{M})$	$[A](\text{M})$	$[B](\text{M})$
I	$x$	0	$x \times \left(\frac{1}{2}\right)^3$	$7a$
II	$y$	0	$y \times \left(\frac{1}{2}\right)^2$	$12a$
III	$z$	0	$z \times \left(\frac{1}{2}\right)^4$	$30a$

화학 반응식이  $A(g) \rightarrow 2B(g)$ 이므로 I에서  $\left(x - \frac{x}{8}\right) \times 2 = 7a$ , 즉  $x = 4a$ 이며, II에서  $\left(y - \frac{y}{4}\right) \times 2 = 12a$ , 즉  $y = 8a$ 이고, III에서  $\left(z - \frac{z}{16}\right) \times 2 = 30a$ , 즉  $z = 16a$ 이다.

- ㉠ II와 III에서의 반감기는 각각 1.5 min, 0.75 min이다. 따라서 반감기는 II에서가 III에서의 2배이다.
- ㉡ 반감기는  $\text{II} > \text{I} > \text{III}$ 이므로 반응 속도 상수( $k$ )는  $\text{II} < \text{I} < \text{III}$ 이다.
- ㉢  $A(g)$ 의 초기 농도는 I과 II에서 각각  $4a \text{ M}$ ,  $8a \text{ M}$ 이다. 따라서 II에서가 I에서의 2배이다.

### 16 1차 반응

주어진 반응은 1차 반응이고,  $t$  s마다  $\frac{[B]}{[A]}$ 의 증가량이 2배가 되므로 반감기는  $t$  s이다. 반응 시간에 따른  $[A](\text{M})$ ,  $[B](\text{M})$ ,  $\frac{[B]}{[A]}$ 는 다음과 같다.

반응 시간(s)	0	$t$	$2t$	$3t$	$4t$
$[A](\text{M})$	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$[B](\text{M})$	0	$b$	$\frac{3}{2}b$	$\frac{7}{4}b$	$\frac{15}{8}b$
$\frac{[B]}{[A]}$	0	$b$	$3b$	$7b$	$15b$

따라서  $b=2$ 이며 화학 반응식은  $A(g) \rightarrow 2B(g)$ 이다.

- ㉡ 반감기는  $t$  s이다.
- ㉢  $A(g)$ 의 몰 분율은  $t$  s일 때  $\frac{1}{1+2} = \frac{1}{3}$ 이고,  $3t$  s일 때  $\frac{1}{4} = \frac{1}{15}$ 이다. 따라서  $A(g)$ 의 몰 분율은  $t$  s일 때가  $3t$  s일 때의 5배이다.
- ㉣  $x = 15b = 30$ 이다.

### 17 반응 속도에 영향을 미치는 요인

강철 용기에 넣어 준  $A(g)$ 의 양이  $16x \text{ mol}$ 이고 반감기가  $t_m \text{ s}$ 일 때 반응 시간에 따른 기체의 양(mol)은 다음과 같다.

반응 시간(s)	0	$t_m$	$2t_m$	$3t_m$	$4t_m$
$A(g)$ 의 양 (mol)	$16x$	$8x$	$4x$	$2x$	$x$
$B(g)$ 의 양 (mol)	0	$4bx$	$6bx$	$7bx$	$7.5bx$
$C(g)$ 의 양 (mol)	0	$4x$	$6x$	$7x$	$7.5x$
$\frac{n_B+n_C}{n_A}$	0	$\frac{b+1}{2}$	$\frac{3(b+1)}{2}$	$\frac{7(b+1)}{2}$	$\frac{15(b+1)}{2}$

I에서  $\frac{n_B+n_C}{n_A}$ 는 4 s에서가 2 s에서의 5배이고, 표에서  $\frac{n_B+n_C}{n_A}$ 는  $4t_m \text{ s}$ 에서가  $2t_m \text{ s}$ 에서의 5배이며 반감기가  $t_m \text{ s}$ 이다. 따라서 I에서 반감기는 1 s임을 알 수 있다. II에서  $\frac{n_B+n_C}{n_A}$ 는 4 s에서가 2 s에서의 3배이고, 표에서  $\frac{n_B+n_C}{n_A}$ 는  $2t_m \text{ s}$ 에서가  $t_m \text{ s}$ 에서의 3배이며 반감기가  $t_m \text{ s}$ 이다. 따라서 II에서 반감기는 2 s임을 알 수 있다.

㉠ I에서 반감기는 1 s이다.  $A(g)$ 의 초기 양(mol)이  $4n$ 이므로 반응 시간이 1 s일 때  $A(g) \sim C(g)$ 의 양(mol)은 각각  $2n, bn, n$ 이고, 반응 시간이 2 s일 때  $A(g) \sim C(g)$ 의 양(mol)은 각각  $n, 1.5bn, 1.5n$ 이다. 반응 시간이 2 s일 때  $\frac{n_B+n_C}{n_A} = \frac{1.5bn+1.5n}{n} = 4.5$ 이므로  $b=2$ 이다.

㉢ II에서 반감기는 2 s이며  $A(g)$ 의 초기 양(mol)이  $n$ 이므로 2 s에서  $A(g) \sim C(g)$ 의 양(mol)은 각각  $0.5n, 0.5n, 0.25n$ 이고, 4 s에서  $A(g) \sim C(g)$ 의 양(mol)은 각각  $0.25n, 0.75n, 0.375n$ 이다. 2 s와 4 s에서  $C(g)$ 의 양(mol)은 각각  $0.25n, 0.375n$ 이고, 전체 기체의 질량은 일정하므로  $\frac{C(g) \text{의 질량}(g)}{\text{전체 기체의 질량}(g)}$ 은 4 s에서가 2 s에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

㉣ I과 II에서  $A(g)$ 의 초기 양(mol)이 각각  $4n, n$ 이므로 I에서 3 s일 때  $A(g) \sim C(g)$ 의 양(mol)은 각각  $0.5n (= 4n \times \left(\frac{1}{2}\right)^3), 3.5n (= 4n - 4n \times \left(\frac{1}{2}\right)^3), 1.75n (= \frac{1}{2} \times (4n - 4n \times \left(\frac{1}{2}\right)^3))$ 이고, 실험 II에서 4 s일 때  $A(g) \sim C(g)$ 의 양(mol)은 각각  $0.25n (= n \times \left(\frac{1}{2}\right)^2), 0.75n (= n - n \times \left(\frac{1}{2}\right)^2), 0.375n (= \frac{1}{2} \times (n - n \times \left(\frac{1}{2}\right)^2))$ 이다. I과 II의 강철 용기의 부피는 동일하므로  $\frac{\text{I에서 3 s일 때 } ([A]+[B]+[C])(\text{M})}{\text{II에서 4 s일 때 } ([A]+[B]+[C])(\text{M})} = \frac{0.5n+3.5n+1.75n}{0.25n+0.75n+0.375n} = \frac{46}{11}$ 이다.

### 18 반응 속도

1차 반응이고 2~4 min에서  $A(g)$ 의 농도가  $\frac{1}{4}$ 배로 감소하므로 반감기는 1 min이다. 반응 시간에 따른  $A(g)$ 의 농도와 양(mol)은 다음과 같다.

반응 시간(min)	0	1	2	3	4
$[A](\text{M})$	$8x$	$4x$	$2x$	$x$	$\frac{1}{2}x$
$A(g)$ 의 양(mol)	$16x$	$8x$	$4x$	$2x$	$x$

㉠. 2 min일 때 A(g)의 양은  $4x$  mol이고 B(g)의 양은  $\frac{12bx}{4x + \frac{12bx}{a}} = \frac{3}{5}$  mol이다. 이때 B(g)의 몰 분율은  $\frac{12bx}{4x + \frac{12bx}{a}} = \frac{3}{5}$

이므로  $a=2b$ 이고, 화학 반응식은  $2A(g) \rightarrow B(g)$ 이다.

㉡. 4 min일 때 A(g)의 양은  $x$  mol이고 B(g)의 양은  $\frac{15}{2}x$  mol

이다. B(g)의 몰 분율  $y = \frac{\frac{15x}{2}}{x + \frac{15x}{2}} = \frac{15}{17}$ 이다.

㉢. 4 min일 때 A(g)의 양은  $x$  mol이고, 2 min일 때 B(g)의 양은  $6x$  mol이므로  $\frac{2 \text{ min일 때 B(g)의 양(mol)}}{4 \text{ min일 때 A(g)의 양(mol)}} = 6$ 이다.

### 19 약산의 이온화 반응과 이온화 상수

약산 HA(aq)과 NaOH(aq)을 혼합할 때 중화 반응이 완결되기 전 까지 넣어 준 NaOH의 양(mol)과 생성된 A<sup>-</sup>의 양(mol)은 같다.

㉠. (가)에서 HA의 이온화 상수( $K_a$ )는  $2 \times 10^{-5}$ 이고,  $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{2}{5}$ 이다.  $K_a = \frac{2}{5} \times [H_3O^+] = 2 \times 10^{-5}$ 이므로  $[OH^-] = 2 \times 10^{-10}$  M이다. 따라서  $[H_3O^+] : [OH^-] = 1 : x$ 이고  $x = 4 \times 10^{-6}$ 이다.

㉡. (가)에서  $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{2}{5}$ 이므로 넣어 준 NaOH의 양은 초기 HA의 양(mol)의  $\frac{2}{7}$ 배이다. 초기 HA의 양(mol)은  $0.1 \times 70 \text{ mL} = 7 \text{ mmol}$ , NaOH의 양은  $2 \text{ mmol} (= 0.05 \text{ M} \times V_1 \text{ mL})$ 이므로  $V_1 = 40$ 이다.

(나)에서 BH<sup>+</sup>의 양(mol)은 넣어 준 HCl의 양(mol)과 같다. 초기 B의 양은  $0.2 \text{ M} \times 200 \text{ mL} = 40 \text{ mmol}$ 이고 HCl의 양은  $0.1 \text{ M} \times 100 \text{ mL} = 10 \text{ mmol}$ 이므로 반응 후 남은 B의 양은  $30 \text{ mmol}$ 이다.

따라서  $y = \frac{[B]}{[BH^+]} = 3$ 이다.  $V_1 \times y = 40 \times 3 = 120$ 이다.

㉢. (나)에  $0.3 \text{ M HCl(aq)} 100 \text{ mL}$ 를 추가하면 중화점에 도달하고, 중화점에서 BH<sup>+</sup>이 가수 분해한다.



가수 분해가 진행되기 전  $[BH^+] = 0.2 \text{ M} \times \frac{200 \text{ mL}}{400 \text{ mL}} = 0.1 \text{ M}$ 이다.

$[H_3O^+] = [B] = z \text{ M}$ 라고 하면, BH<sup>+</sup>이 약산이므로 평형에서  $[BH^+] = 0.1 \text{ M} - z \approx 0.1 \text{ M}$ 이다. BH<sup>+</sup>의 이온화 상수  $K_a = \frac{z^2}{0.1} =$

$\frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-5}}$ 이므로  $z = 1 \times 10^{-5}$ 이다. 따라서  $K_w = 1 \times 10^{-14} = [OH^-] \times 1 \times 10^{-5}$ 이므로  $[OH^-] = 1 \times 10^{-9} \text{ M}$ 이며  $pOH = 9.0$ 이다.

### 20 화학 평형 이동

고체는 평형 상수식에 나타내지 않는다. 따라서 평형 상수( $K$ )는

$\frac{[C]^2}{[B]}$ 이다. 강철 용기에 A(s)와 B(g)를 넣고 반응이 진행되었으므로

정반응이 우세하게 진행된다. (나) 과정에서 강철 용기의 반응 전과 후의 양적 관계는 다음과 같다.

	$2A(s) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
반응 전(mol)	4	2	
반응(mol)	$-2m$	$-m$	$+2m$
반응 후(mol)	$4-2m$	$2-m$	$2m$

강철 용기의 부피는 4 L이므로 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = \frac{\left(\frac{2m}{4}\right)^2}{\frac{2-m}{4}} = 1 \text{ 이고 } m = 1 \text{ 이다. 따라서 강철 용기 속 B(g)와}$$

C(g)의 양은 각각 1 mol, 2 mol이고 혼합 기체의 양은 3 mol이다. 실린더에 A(s), B(g), C(g)를 넣고 충분한 시간이 지난 후 실린더 속 혼합 기체의 부피가 9 L가 되므로 정반응이 우세하게 진행된다. (나) 과정에서 실린더의 반응 전과 후의 양적 관계는 다음과 같다.

	$2A(s) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
반응 전(mol)	5	6	2
반응(mol)	$-2n$	$-n$	$+2n$
반응 후(mol)	$5-2n$	$6-n$	$2+2n$

실린더의 부피는 9 L이므로 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = \frac{\left(\frac{2+2n}{9}\right)^2}{\frac{6-n}{9}} = 1 \text{ 이고 } n = 2 \text{ 이다. 따라서 실린더 속 B(g)와 C(g)}$$

의 양은 각각 4 mol, 6 mol이고 혼합 기체의 양은 10 mol이다.

㉠. 이상 기체 방정식  $PV = nRT$ 에서 온도가 일정할 때 압력  $\times$  부피  $\left(\frac{P \times V}{n}\right)$ 는 일정하다. (나) 과정 후  $T, K, 1 \text{ atm}$ 일 때

실린더와 강철 용기 혼합 기체의  $\frac{\text{압력} \times \text{부피}}{\text{기체의 양}}$ 는 같다.

$$\text{따라서 } \frac{1 \text{ atm} \times 9 \text{ L}}{10 \text{ mol}} = \frac{x \text{ atm} \times 4 \text{ L}}{3 \text{ mol}} \text{ 이고 } x = \frac{27}{40} \text{ 이다.}$$

㉡. (나) 과정 후 실린더 속 혼합 기체의 압력은 1 atm이고 B(g)의 몰 분율은 0.4이므로 B(g)의 부분 압력은  $\frac{2}{5} \text{ atm}$ 이다.

㉢. (다)에서 꼭지를 연 직후 반응 지수  $Q = \frac{\left(\frac{8}{13}\right)^2}{\frac{64}{65}} = \frac{64}{65}$ 이고,

$Q < K$ 이다. 따라서 정반응이 우세하게 진행될 것이다. (다)에서 꼭

지를 연 직후  $\frac{[B]}{[C]} = \frac{5}{8}$ 이므로 정반응이 우세하게 진행되어 [B]는 감

소하고 [C]는 증가하므로 (다) 과정 후  $\frac{[B]}{[C]} < \frac{5}{8}$ 이다.

실전 모의고사 5회

본문 140~144쪽

01 ②	02 ③	03 ①	04 ③	05 ③
06 ④	07 ②	08 ⑤	09 ⑤	10 ①
11 ⑤	12 ①	13 ③	14 ②	15 ①
16 ④	17 ④	18 ②	19 ①	20 ④

01 수소 연료 전지

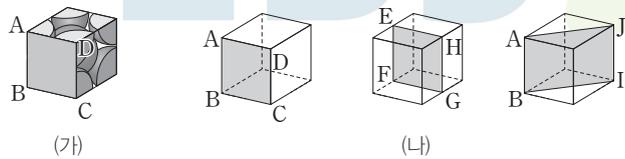
물의 광분해 반응을 통해 얻을 수 있는 물질은 수소와 산소이고, 공기 중의 산소와 반응하여 물과 전기 에너지를 생성하는 전지는 수소 연료 전지이다. 따라서 (가)는 수소이다.

02 물과 수소 결합

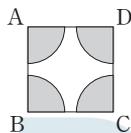
물은 수소 원자 2개와 산소 원자 1개가 공유 결합한 분자이다. 물 분자 사이에는 수소 결합이 있으므로 분자 사이의 인력이 매우 크므로 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 표면 장력이 크다. 물 분자당 수소 결합의 수는  $H_2O(s)$ 에서  $H_2O(l)$ 에서보다 크다.

03 결정의 구조

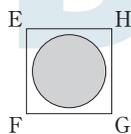
체심 입방 구조는 정육면체의 8개의 꼭짓점과 단위 세포 중심에 1개의 입자가 배열된 구조이다. 체심 입방 구조에서 하나의 입자는 8개의 입자와 접한다.



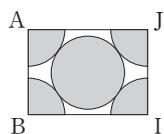
㉠. (나)에서 면 ABCD로 다음 그림이 적절하다. 4개의 각 4분의 1 원은 서로 접하지 않고 있다.



㉡. (나)에서 단면 EFGH로 다음 그림이 적절하다. 1개의 원이 중심에 있지만 각 변과 접하지 않아야 한다.



㉢. (나)에서 단면 ABIJ로 다음 그림이 적절하다. 4개의 각 4분의 1 원은 서로 접하지 않고, 중심의 원은 각 4분의 1 원과 서로 접해야 한다.



04 기체의 성질

$X(g)$ 와  $Y(g)$ 가 반응하여  $Z(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이  $X(g) + 2Y(g) \rightarrow 2Z(g)$ 이고, 분자량이  $Y$ 가  $X$ 의 2배이므로 분자량의 비는  $X : Y : Z = 2 : 4 : 5$ 이다.

$X(g) \sim Z(g)$ 의 질량이 같을 때(각각  $w$ 로 두면)  $X(g) \sim Z(g)$  몰비는  $X : Y : Z = \frac{w}{2} : \frac{w}{4} : \frac{w}{5} = 10 : 5 : 4$ 이다. 이상 기체 방정식

$PV = nRT$ 에서  $P = \frac{nRT}{V}$ 이므로  $X(g) \sim Z(g)$ 의 압력  $P_1, P_2, P_3$ 의 비는 다음과 같다.

$$P_1 : P_2 : P_3 = \frac{10 \times R \times 2T}{2V} : \frac{5 \times R \times 3T}{V} : \frac{4 \times R \times 4T}{3V} = 30 : 45 : 16$$

그러므로  $\frac{P_3}{P_2 - P_1} = \frac{16}{45 - 30} = \frac{16}{15}$ 이다.

05 화학 전지

㉠. (가)에서  $Y$  전극의 질량은 감소하므로  $Y$ 는 산화되었다. 따라서 (가)에서 전지 반응이 진행될 때, 전자의 이동 방향은  $Y$  전극에서  $X$  전극으로 이동하므로 (가)에서  $X^{2+}(aq)$ 은 전자를 받아 환원된다.

㉡. (나)에서 전지 반응이 진행될 때, 전자는  $X$  전극에서  $Z$  전극으로 이동한다. 이때  $Z$  전극에서의 반응은 수용액 속  $H^+(aq)$ 이 전자를 얻어 환원되므로 수소 기체가 발생한다. 따라서 (나)에서  $Z$  전극의 질량은 일정하다.

㉢. 금속의 이온화 경향은 산화가 잘되는 금속일수록 크다. 따라서 금속의 이온화 경향은 (가)에서  $Y > X$ 이고, (나)에서  $X > Z$ 이므로  $Y > X > Z$ 이다.

06 용액의 농도

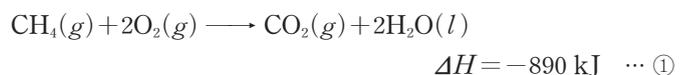
몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹아 있는 용질의 양(mol)이다. (나)는 (가)에 비해 용질  $A(s)$ 가  $2g (= \frac{2g}{80g/mol} = \frac{1}{40} mol)$ 이 더 녹은 것이고, 몰랄 농도는 (나)가 (가)보다  $0.5m$  크므로 용매  $H_2O(l)$ 의 질량( $wg$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$0.5m = \frac{0.5mol}{1kg} = \frac{\frac{1}{40}mol}{\frac{wg}{1000g/kg}} = \frac{1000mol}{40wg}, w = 50$$

(가)의 몰랄 농도가  $1m$ 이고 용매의 질량은  $50g$ 이므로  $1m = \frac{0.05mol}{0.05kg}$ 이다.  $A(s)$   $xg$ 은  $0.05mol$ 에 해당하므로  $x = 0.05 \times 80 = 4$ 이다. 그러므로 (가)와 (나)를 혼합한 용액은  $H_2O(l)$   $100g$ 에  $A(s)$   $10g$ 이 녹은 수용액이므로 퍼센트 농도  $= \frac{10}{100+10} \times 100\% = \frac{100}{11}\%$ 이다.

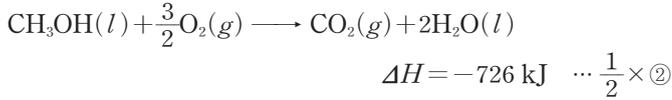
07 생성 엔탈피

$CH_4(g)$ 과  $CH_3OH(l)$ 의 연소 반응의 열화학 반응식을 각각 ①, ②라고 하면 다음과 같다.





②식을  $\text{CH}_3\text{OH}(l)$  1 mol에 대한 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



①과  $\frac{1}{2} \times \textcircled{2}$ 의 우변이 동일하므로  $\textcircled{1} - \frac{1}{2} \times \textcircled{2}$ 을 하면 다음과 같은 열화학 반응식을 얻는다.



'반응 엔탈피( $\Delta H$ ) = 생성물의 생성 엔탈피의 총합 - 반응물의 생성 엔탈피의 총합'이므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\Delta H = -164 \text{ kJ} = (\textcircled{1} - (-75)) \text{ kJ}$$

그러므로  $\textcircled{1} = -164 - 75 = -239$ 이다.

## 08 분자 사이의 힘

16족 원소 X~Z의 3가지 수소 화합물  $\text{H}_2\text{X}$ ,  $\text{H}_2\text{Y}$ ,  $\text{H}_2\text{Z}$ 는 모두 극성 분자이다.

㉠.  $\text{H}_2\text{X}$ 는 극성 분자이므로  $\text{H}_2\text{X}(l)$  분자 사이에는 쌍극자-쌍극자 힘이 존재한다.

㉡.  $\text{H}_2\text{Z}$ 는  $\text{H}_2\text{X}$ 나  $\text{H}_2\text{Y}$ 에 비해 분자량은 작지만 기준 끓는점은  $\text{H}_2\text{X}$ 보다  $162^\circ\text{C}$  높고,  $\text{H}_2\text{Y}$ 보다  $142^\circ\text{C}$  높다. 이로부터  $\text{H}_2\text{Z}(l)$  분자 사이에 수소 결합이 있음을 알 수 있다.

㉢. 분자량이  $\text{H}_2\text{Y}$ 가  $\text{H}_2\text{Z}$ 보다 크므로 분산력은  $\text{H}_2\text{Y}(l) > \text{H}_2\text{Z}(l)$ 이다.

## 09 완충 용액

완충 용액은 소량의 산이나 염기를 첨가하여도 pH 변화가 크지 않은 용액이다. 약산(또는 약염기)과 그 약산(또는 약염기)의 짝염기(또는 짝산)를 1 : 1의 몰비로 혼합하였을 때 완충 효과가 가장 큰 완충 용액이 된다.

㉠.  $\text{A}^-$ 이 양성자( $\text{H}^+$ )를 얻어 HA가 되므로 HA의 짝염기는  $\text{A}^-$ 이다.

㉡. (다)는 HA와  $\text{A}^-$ 이 1 : 1의 몰비로 혼합되어 있으므로 완충 용액이다.

㉢.  $25^\circ\text{C}$ 에서 HA의 이온화 상수는 일정하고, (가)와 (나)를 모두 혼합한 수용액과 (다)의  $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ 는 모두 1이므로 수용액의 pH는 같다.

## 10 전기 분해

㉠.  $\text{X}^{2+}(aq)$ 과  $\text{Y}^{2+}(aq)$ 의 혼합 수용액에서 X(s)가 먼저 석출된 후, Y(s)가 석출되었으므로 금속의 이온화 경향은  $\text{Y} > \text{X}$ 이다.

㉡. 전기 분해에서 환원 반응이 일어나는 전극은 (-)극이다. 전극 ㉠에서 환원 반응이 일어났으므로 전극 ㉠은 (-)극이고, 전극 ㉡은 (+)극이다.

㉢. 전극 ㉠에서 환원 반응이 일어난다.

## 11 용액의 증기 압력

일정한 온도에서 비휘발성, 비전해질 용질이 녹은 용액의 증기 압력

은 순수한 용매의 증기 압력보다 작다. '용액의 증기 압력 = 순수한 용매의 증기 압력  $\times$  용매의 몰 분율'이다.

㉠.  $t_1^\circ\text{C}$ 에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 증기 압력을  $P_1^\circ$  atm이라고 하면,  $X_A = 0.15$ 일 때 A(aq)의 증기 압력은  $0.85 \times P_1^\circ$ 이다.

$0.85 \times P_1^\circ = 0.9$ 이므로  $P_1^\circ = \frac{0.9}{0.85} > 1$ 이다.  $t_1^\circ\text{C}$ 에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 증기 압력이 1 atm보다 크므로  $t_1^\circ\text{C}$ 는  $\text{H}_2\text{O}$ 의 기준 끓는점인  $100^\circ\text{C}$ 보다 높다( $t_1 > 100$ ).

㉡.  $t_2^\circ\text{C}$ 에서  $X_A = 0.05$ 인 A(aq)의 증기 압력( $P_2$  atm)과  $X_A = 0.1$ 인 A(aq)의 증기 압력(0.9 atm)의 관계는 다음과 같다.

$$P_2 : 0.9 = 0.95 : 0.9, P_2 = 0.95$$

그러므로  $t_2^\circ\text{C}$ 에서  $X_A = 0.05$ 인 A(aq)의 증기 압력  $P_2$  atm < 1 atm이므로  $X_A = 0.05$ 인 A(aq)의 기준 끓는점은  $t_2^\circ\text{C}$ 보다 높다.

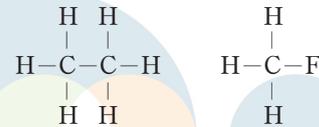
㉢.  $t_1^\circ\text{C}$ 에서  $X_A = 0.1$ 인 A(aq)의 증기 압력( $P_1$  atm)과  $X_A = 0.15$ 인 A(aq)의 증기 압력(0.9 atm)의 관계는 다음과 같다.

$$P_1 : 0.9 = 0.9 : 0.85, P_1 = \frac{0.9 \times 0.9}{0.85} = \frac{81}{85}$$

이므로  $P_1 > P_2$ 이다.

## 12 결합 에너지와 헤스 법칙

$\text{C}_2\text{H}_6$ 과  $\text{CH}_3\text{F}$ 의 구조식은 각각 다음과 같다.



$\text{C}_2\text{H}_6(g) + \text{F}_2(g) \longrightarrow 2\text{CH}_3\text{F}(g)$  반응의 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 결합 에너지를 이용한 헤스 법칙으로 얻을 수 있으므로 다음과 같다.

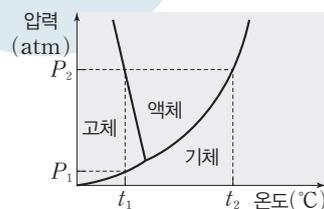
$\Delta H =$  반응물의 결합 에너지의 총합 - 생성물의 결합 에너지의 총합 이므로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= (6 \times (\text{C}-\text{H}) + (\text{C}-\text{C}) + (\text{F}-\text{F})) \\ &\quad - (6 \times (\text{C}-\text{H}) + 2 \times (\text{C}-\text{F})) \\ &= (\text{C}-\text{C}) + (\text{F}-\text{F}) - 2 \times (\text{C}-\text{F}) \end{aligned}$$

그러므로  $-388 = 350 + x - 2 \times 450$ 이고,  $x = 162$ 이다.

## 13 상평형

상평형 그림의  $t_1^\circ\text{C}$ ,  $P_1$  atm에서 X(s)와 X(g)의 상평형이므로 승화 곡선의 한 점이고,  $t_1^\circ\text{C}$ ,  $P_2$  atm에서 X(s)와 X(l)의 상평형이므로 용해 곡선의 한 점이며,  $t_2^\circ\text{C}$ ,  $P_2$  atm에서 X(l)와 X(g)의 상평형이므로 증기 압력(기화) 곡선의 한 점이다. 따라서 조건에 맞는 상평형 그림은 다음과 같다.



㉠.  $t_2 > t_1$ 이다.

㉡. 증기 압력이 외부 압력과 같을 때의 온도를 끓는점이라고 한다. 따라서  $P_2$  atm에서 X의 끓는점은  $t_2^\circ\text{C}$ 이다.

✕.  $t_2^\circ\text{C}$ ,  $P_1$  atm에서 X의 가장 안정한 상은 기체이다.

## 14 평형 상수

$A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$  반응의 평형 상수  $K = \frac{[B]^2}{[A]}$ 이다.

평형 상태에서 실린더 속  $A(g)$ 의 부분 압력은 0.6 atm이고 전체 기체의 압력은 1 atm이므로  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 몰 분율은 각각 0.6, 0.4이다. 그러므로 실린더 속 기체 반응의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$	
반응 전(mol)	1	
반응(mol)	-x	+2x
반응 후(mol)	1-x	2x

$A(g)$ 와  $B(g)$ 의 몰 분율의 비가 3 : 2이므로  $1-x : 2x = 3 : 2$ 이고,  $x = \frac{1}{4}$ 이다. 그러므로 평형 상태에서  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양은 각각  $\frac{3}{4}$  mol,  $\frac{1}{2}$  mol이고 전체 기체의 양은  $\frac{5}{4}$  mol이다. 온도가 일정하고 반응 전후 외부 압력은 모두 1 atm이므로 반응의 진행에 따라 기체의 양(mol)이 증가함에 따라 실린더 속 기체의 부피도 비례하여 증가하므로 평형 상태에서  $\frac{5V_1}{4}$  L가 된다. 평형 상수( $K$ )는

$$K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{\left(\frac{\frac{1}{2}}{\frac{5V_1}{4}}\right)^2}{\frac{\frac{3}{4}}{\frac{5V_1}{4}}} = \frac{4}{15V_1}$$

꼭지를 열어 도달한 새로운 평형 상태는 처음부터  $A(g)$  3 mol을 넣어 도달한 평형 상태와 동일하므로  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 평형 농도는 꼭지를 열기 전 실린더에서의 평형 농도와 각각 동일하고,  $A(g)$ 와  $B(g)$ 의 양(mol)은 꼭지를 열기 전 실린더에서의 각각의 양(mol)의 3배에 해당한다. 꼭지를 열어 도달한 새로운 평형 상태는 다음과 같은 양적 관계로 나타낼 수 있다.

	$A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$	
반응 전(mol)	3	
반응(mol)	$-\frac{3}{4}$	$+\frac{3}{2}$
반응 후(mol)	$\frac{9}{4}$	$\frac{3}{2}$

온도가 일정하고 반응 전후 외부 압력은 모두 1 atm이다. 반응의 진행에 따라 기체의 양(mol)이 증가하고 전체 기체의 부피도 비례하여 증가하므로 새로운 평형 상태에서  $\frac{15V_1}{4}$  L가 된다. 실린더 속 기체의 부피( $V_2$  L)는 강철 용기의 부피  $V_1$  L를 뺀 값이므로  $V_2 = \frac{11V_1}{4}$ 이다. 그러므로  $K \times V_2 = \frac{4}{15V_1} \times \frac{11V_1}{4} = \frac{11}{15}$ 이다.

## 15 순간 반응 속도와 평균 반응 속도

$A(g)$   $w$  g의 양을  $2n$  mol이라고 하면,  $n$  mol의  $B(g)$ 의 질량은

$w$  g이므로  $\frac{3}{4}w$  g의  $B(g)$ 의 양은  $\frac{3}{4}n$  mol이다.

$t$  min일 때 화학 반응은 다음과 같다.

	$2A(g) \longrightarrow B(g)$	
반응 전(mol)	2n	
반응(mol)	$-\frac{3}{2}n$	$+\frac{3}{4}n$
반응 후(mol)	$\frac{1}{2}n$	$\frac{3}{4}n$

$2A(g) \longrightarrow B(g)$  반응은  $A(g)$ 에 대한 1차 반응이고,  $t$  min일 때  $A(g)$ 의 양(mol)은 반응 전의  $\frac{1}{4}$ 배이므로  $t$  min은 이 반응의 반감기가 두 번 지난 시점이다.

㉠.  $2t$  min은 이 반응의 반감기가 네 번 지난 시점이므로  $A(g)$ 의 양은  $\frac{1}{8}n$  mol이다. 따라서  $B(g)$ 의 양은  $\frac{15}{16}n$  mol이므로  $x = \frac{15}{16}w$ 이다.

✕.  $A(g)$ 에 대한 1차 반응이므로 순간 반응 속도는  $A(g)$ 의 농도에 비례한다.  $t$  min일 때  $A(g)$ 의 양은  $\frac{1}{2}n$  mol,  $2t$  min일 때  $A(g)$ 의 양은  $\frac{1}{8}n$  mol이므로 순간 반응 속도는  $t$  min일 때가  $2t$  min일 때의 4배이다.

✕. 평균 반응 속도비는

$0 \sim 2t$  min :  $t \sim 2t$  min =  $\frac{\frac{15}{8}n \text{ mol}}{(2t-0) \text{ min}} : \frac{\frac{3}{8}n \text{ mol}}{(2t-t) \text{ min}} = 5 : 2$ 이다. 따라서 평균 반응 속도는  $0 \sim 2t$  min 동안이  $t \sim 2t$  min 동안의  $\frac{5}{2}$ 배이다.

## 16 수용액의 pH

✕. (가)에 들어 있는 몰비는  $H_2A^- : HA^{2-} = 4 : 1$ 이고, 혼합 전 몰 농도(M)비는  $[H_2A^-] : [HA^{2-}] = 1 : 1$ 이므로 부피비는

$V_1 : V_2 = 4 : 1$ 이다. 따라서  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{4}$ 이다.

㉠.  $w$  g의  $NaOH(s)$ 을  $n$  mol이라고 하면, 첨가한  $n$  mol의  $NaOH$ 의 양(mol)만큼  $H_2A^-$ 의 양(mol)은 감소하고  $HA^{2-}$ 의 양(mol)은 증가한다. (가)에 들어 있는  $H_2A^-$ 과  $HA^{2-}$ 의 양은 각각  $8 \times 10^{-2} \text{ mol} (= 1 \text{ M} \times 80 \times 10^{-3} \text{ L})$ ,  $2 \times 10^{-2} \text{ mol} (= 1 \text{ M} \times 20 \times 10^{-3} \text{ L})$ 이고, (나)에서  $\frac{[H_2A^-]}{[HA^{2-}]} = 1$ 이므로  $\frac{8 \times 10^{-2} - n}{2 \times 10^{-2} + n} = 1$ 이다. 따라서  $n = 3 \times 10^{-2}$ 이고,  $NaOH$ 의 화학식량은 40이므로  $w = 1.2$ 이다.

㉡. 온도는 일정하므로  $H_2A^-$ 의 이온화 상수( $K_a$ )는 일정하다.

따라서  $H_2A^-$ 의 이온화 상수  $K_a = \frac{[HA^{2-}][H_3O^+]}{[H_2A^-]} = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-8}$ 이므로  $pH = 8.0$ 이다.

## 17 온도에 따른 반응 속도

✕. (가)와 (나)에서 반응 전  $A(g)$ 와  $C(g)$ 의 양은 각각  $n$  mol로 같고, 강철 용기 속 기체의 부분 압력은 각 기체의 양(mol)에 비례한다.

(가)에서  $t=2$  min일 때 화학 반응은 다음과 같다.

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

반응 전(mol)	$n$		$n$
반응(mol)	$-2x$	$+bx$	$+x$
반응 후(mol)	$n-2x$	$bx$	$n+x$

$\frac{B(g) \text{의 부분 압력}}{C(g) \text{의 부분 압력}} = \frac{bx}{n+x} = \frac{12}{11}$ 에서  $11bx=12x+12n(\dots \text{①})$

이고, (가)에서  $\frac{t=2 \text{ min일 때 전체 기체의 압력}}{t=0 \text{ 일 때 전체 기체의 압력}} = \frac{2n+bx-x}{2n} = \frac{25}{16}$ 에서  $16bx=16x+18n(\dots \text{②})$ 이므로 ①과 ②에서  $x = \frac{3}{8}n$ 이고,  $b=4$ 이다.

㉠. (가)에서  $t=2$  min일 때  $A(g)$ 의 양은  $\frac{1}{4}n$  mol이고,  $2A(g) \longrightarrow 4B(g)+C(g)$  반응은  $A(g)$ 에 대한 1차 반응이므로  $t=2$  min은 반감기가 2번 지난 시간이다.

(나)에서  $t=3$  min일 때  $\frac{B(g) \text{의 부분 압력}}{C(g) \text{의 부분 압력}} = \frac{12}{11}$ 이므로 (나)에서 반감기는  $t = \frac{3}{2}$  min이다. 온도가 높을수록 반감기는 짧아지므로  $T_1 > T_2$ 이다.

㉡.  $t=3$  min일 때 (가)에서  $A(g)$ 의 양은  $\frac{1}{8}n$  mol이고, (나)에서  $A(g)$ 의 양은  $\frac{1}{4}n$  mol이므로  $B(g)$ 의 양은  $\frac{3}{2}n$  mol이다. (가)와 (나)에서 전체 기체의 부피는 일정하고, 기체의 부분 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로  $\frac{(나)에서 B(g) \text{의 부분 압력}}{(가)에서 A(g) \text{의 부분 압력}} = \frac{\frac{3}{2}n \times T_2}{\frac{1}{8}n \times T_1} = \frac{12T_2}{T_1}$ 이다. 따라서  $T_1 > T_2$ 이므로  $\frac{(나)에서 B(g) \text{의 부분 압력}}{(가)에서 A(g) \text{의 부분 압력}} < 12$ 이다.

### 18 온도에 따른 평형 이동

(가)에서  $C(g)$ 의 양을  $y$  mol이라고 하면, (나)에서  $A(g)$ 의 양(mol)은 감소하므로 반응은 정반응이 우세하게 진행된다. (가)에서 화학 반응은 다음과 같다.

$$aA(g) \rightleftharpoons B(g) + 2C(g)$$

초기 상태(mol)	$6x$	$3x$	$y$
반응(mol)	$-ak$	$+k$	$+2k$
평형 상태(mol)	$6x-ak$	$3x+k$	$y+2k$

(나)에서  $6x-ak=4x(\dots \text{①})$ 이고,  $y+2k=4x(\dots \text{②})$ 이다.

(가)와 (나)에서 기체의 부분 압력비는 기체의 몰비와 같다.

(나)에서  $B(g)$ 의 부분 압력  $= \frac{3x+k}{y} = 2$ 에서  $2y-k=3x(\dots \text{③})$   
(가)에서  $C(g)$ 의 부분 압력

이다. ①~③에서  $x=k$ 이고,  $y=2x$ ,  $a=2$ 이다.

✕.  $a=2$ 이다.

✕. I에서  $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 모두  $4x$  mol이므로 평형 상수

$$K = \frac{\frac{4x}{2} \times \left(\frac{4x}{2}\right)^2}{\left(\frac{4x}{2}\right)^2} = 2x \text{이다.}$$

(다)에서  $B(g)$ 의 양(mol)은 증가하므로 반응은 정반응이 우세하게 진행된다. (나)에서 화학 반응은 다음과 같다.

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

초기 상태(mol)	$4x$	$4x$	$4x$
반응(mol)	$-2x$	$+x$	$+2x$
평형 상태(mol)	$2x$	$5x$	$6x$

II에서  $A(g) \sim C(g)$ 의 양은 각각  $2x$  mol,  $5x$  mol,  $6x$  mol이므로

$$\text{로 평형 상수 } K = \frac{\frac{5x}{2} \times \left(\frac{6x}{2}\right)^2}{\left(\frac{2x}{2}\right)^2} = \frac{45}{2}x \text{이다.}$$

따라서  $\frac{\text{II에서 평형 상수}(K)}{\text{I에서 평형 상수}(K)} = \frac{\frac{45}{2}x}{2x} = \frac{45}{4}$ 이다.

㉠. (나)와 (다)에서 전체 기체의 부피는 일정하므로  $\frac{nRT}{P}$ 에서

$$\frac{12x \times T_1}{P} = \frac{13x \times T_2}{\frac{13}{6}P} \text{이고 } \frac{T_2}{T_1} = 2 \text{이다.}$$

### 19 반응 속도

반응이 진행될 때 강철 용기 속 전체 기체의 압력은 증가하므로 생성물의 계수 합 > 반응물의 계수이다. 따라서  $a=1$ 이다.

반응 전  $A(g)$ 와  $C(g)$ 의 양을 각각  $m$  mol,  $n$  mol이라 하면, 강철 용기 속 전체 기체의 압력(상대값)이 18일 때 반응은 완결되었고, 이 때 화학 반응은 다음과 같다.

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

반응 전(mol)	$m$		$n$
반응(mol)	$-m$	$+m$	$+m$
반응 후(mol)	$0$	$m$	$n+m$

강철 용기 속 전체 기체의 압력비는  $m+n : 2m+n = 10 : 18$ 에서  $m=4n(\dots \text{①})$ 이다.

$2t$  min에서 화학 반응은 다음과 같다.

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

반응 전(mol)	$4n$		$n$
반응(mol)	$-k$	$+k$	$+k$
반응 후(mol)	$4n-k$	$k$	$n+k$

$2t$  min에서  $\frac{C(g) \text{의 부분 압력}}{A(g) \text{의 부분 압력}} = \frac{n+k}{4n-k} = 9$ 에서  $k = \frac{7}{2}n$ 이므로

$2t$  min에서  $A(g)$ 의 양(mol)은  $4n-k = 4n - \frac{7}{2}n = \frac{1}{2}n$ 이다.

$A(g) \longrightarrow B(g)+C(g)$  반응은  $A(g)$ 에 대한 1차 반응이고,

$2t$  min일 때  $A(g)$ 의 양(mol)은  $\frac{1}{2}n \left( = 4n \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 \right)$ 에서 반감기가 3번 지난 시간이므로 이 반응의 반감기는  $\frac{2}{3}t$  min이다.

㉠.  $a=1$ 이다.

✕.  $\frac{4}{3}t$  min일 때 A(g)의 양(mol)은  $n(=4n \times (\frac{1}{2})^2)$ 이므로 B(g)와 C(g)의 양(mol)은 각각  $3n$ ,  $4n$ 이다.  $\frac{4}{3}t$  min일 때, 전체 기체의 압력(상대값)을  $P$ 라고 하면, 0 min일 때와  $\frac{4}{3}t$  min일 때의 전체 기체의 압력비는  $5n : 8n = 10 : P$ 에서  $P=16$ 이다. 반응이 진행될 때 전체 기체의 압력은 증가하고,  $t$  min일 때는 반감기가 2번 지나기 전이므로  $x < 16$ 이다.

✕.  $4t$  min일 때 반감기가 6번 지난 시간이므로 A(g)의 양(mol)은  $\frac{1}{16}n(=4n \times (\frac{1}{2})^6)$ 이다.

$4t$  min일 때 화학 반응은 다음과 같다.

	A(g)	→	B(g)	+	C(g)
반응 전(mol)	4n		n		n
반응(mol)	$-\frac{63}{16}n$		$+\frac{63}{16}n$		$+\frac{63}{16}n$
반응 후(mol)	$\frac{1}{16}n$		$\frac{63}{16}n$		$\frac{79}{16}n$

따라서  $4t$  min일 때  $\frac{C(g)의\ 부분\ 압력}{B(g)의\ 부분\ 압력} = \frac{79}{63}$ 이다.

## 20 기체 반응과 기체의 성질

(가) 이후 C(g)의 부분 압력이 2 atm이고, 전체 압력이 3 atm이므로 A(g)의 부분 압력은 1 atm이다. 기체의 부분 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로 (가)에서 실린더에 넣어 준 A(g)의 양을  $n$  mol이라고 하면 C(g)의 양은  $2n$  mol이다.

(나)에서 꼭지 a를 열어 반응을 완결시키고 충분한 시간이 흐른 후 꼭지 a를 닫았을 때 실린더 속 기체의 부피가 (가)에서와 같이 1 L이므로 (나) 이후 실린더 속 기체의 양은  $3n$  mol이다. 그러므로 부피가 1 L인 왼쪽 용기 속 기체의 양도  $3n$  mol이다. (나) 반응 이후 전체 기체의 양이  $6n$  mol이 되어야 하므로 (나)에서 A(g)가 모두 반응하고 B(g)가 남아야 한다. (가)에서 왼쪽 용기 속 B(g)의 양(mol)은 다음과 같이 양적 관계를 이용하여 구할 수 있다.

	A(g)	+	3B(g)	→	2C(g)
반응 전(mol)	n		(⊖)		2n
반응(mol)	-n		-3n		+2n
반응 후(mol)	0		(⊖)		4n

반응 후 전체 기체의 양이  $6n$  mol이므로 ⊖은  $2n$ , ⊕은  $5n$ 이다.

(나) 이후 실린더 속 기체의 전체 압력은 3 atm이고, C(g)의 몰 분율이  $\frac{2}{3}$ 이므로 실린더 속 C(g)의 부분 압력은 2 atm이므로  $P_1=2$ 이다.

(나)에서 충분한 시간이 흐른 후 꼭지 a를 닫으므로 (나) 이후 실린더 속에는 B(g)가  $n$  mol, C(g)가  $2n$  mol 들어 있다.

(다) 이후 온도는  $\frac{3}{4}T$  K이고, 실린더와 오른쪽 용기의 기체의 전체 압력은 외부 압력과 같은 1 atm이고, 실린더와 오른쪽 용기의 부피의 합은  $\frac{5}{2}$  L이다. 이상 기체 방정식에서 기체의 양  $n \propto \frac{PV}{T}$ 이므로

실린더와 오른쪽 용기의 기체의 양은  $\frac{10}{3}n$  mol이다. (다)에서의 양적 관계는 다음과 같다.

	A(g)	+	3B(g)	→	2C(g)
반응 전(mol)	(⊖)		n		2n
반응(mol)	$-\frac{1}{3}n$		-n		$+\frac{2}{3}n$
반응 후(mol)	(⊖)		0		$\frac{8}{3}n$

반응 후 전체 기체의 양이  $\frac{10}{3}n$  mol이므로 ⊖은  $\frac{2}{3}n$ , ⊕은  $n$ 이다.

(다) 이후 실린더 속 기체의 전체 압력은 1 atm이고, C(g)의 몰 분율이  $\frac{4}{5}$ 이므로 실린더 속 C(g)의 부분 압력은  $\frac{4}{5}$  atm이고,  $P_2 = \frac{4}{5}$

이다. 그러므로  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{2}{\frac{4}{5}} = \frac{5}{2}$ 이다.

# 한눈에 보는 정답

## 01 기체

본문 007~013쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ④

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

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

## 04 묶은 용액의 성질

본문 032~037쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ④

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

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

## 02 액체와 고체

본문 016~021쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ⑤

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

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

## 05 엔탈피와 열화학 반응식

본문 039~044쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ⑤

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

01 ③      02 ⑤      03 ③      04 ⑤  
05 ④      06 ④

## 03 용액의 농도

본문 024~029쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ②

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

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

## 06 결합 에너지와 에스 법칙

본문 047~053쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ②

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

01 ④      02 ⑤      03 ④      04 ②  
05 ②      06 ⑤

**07** 화학 평형과 평형 상수

본문 055~060쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ②

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

01 ⑤	02 ⑤	03 ④	04 ⑤
05 ③	06 ④		

**10** 산 염기 평형

본문 078~084쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ④

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

01 ②	02 ③	03 ①	04 ④
05 ⑤	06 ⑤		

**08** 화학 평형 이동

본문 063~069쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ③

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

01 ②	02 ④	03 ①	04 ③
05 ⑤	06 ①		

**11** 반응 속도

본문 088~094쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ②

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

01 ②	02 ③	03 ②	04 ④
05 ①	06 ②		

**09** 상 평형

본문 071~075쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ②

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

01 ④	02 ①	03 ③	04 ④
------	------	------	------

**12** 반응 속도에 영향을 미치는 요인

본문 097~104쪽

답은 꼴 문제로 유형 익히기 ④

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

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

**13** 화학 전지와 전기분해

본문 107~113쪽

답은 풀 문제로 유형 익히기 ④

수능 2점 테스트

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

수능 3점 테스트

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

실전 모의고사 ①회

본문 120~124쪽

01 ⑤      02 ④      03 ①      04 ④      05 ②  
06 ③      07 ②      08 ④      09 ③      10 ③  
11 ②      12 ①      13 ③      14 ①      15 ⑤  
16 ⑤      17 ②      18 ①      19 ⑤      20 ⑤

실전 모의고사 ②회

본문 125~129쪽

01 ⑤      02 ④      03 ①      04 ③      05 ②  
06 ④      07 ③      08 ②      09 ⑤      10 ①  
11 ②      12 ④      13 ⑤      14 ②      15 ①  
16 ③      17 ⑤      18 ①      19 ②      20 ④

**14** 수소 연료 전지의 활용

본문 115~118쪽

답은 풀 문제로 유형 익히기 ④

수능 2점 테스트

01 ②      02 ④      03 ⑤      04 ①

수능 3점 테스트

01 ⑤      02 ③      03 ④      04 ①

실전 모의고사 ③회

본문 130~134쪽

01 ⑤      02 ②      03 ③      04 ②      05 ①  
06 ⑤      07 ⑤      08 ②      09 ②      10 ③  
11 ②      12 ④      13 ①      14 ③      15 ③  
16 ⑤      17 ②      18 ④      19 ⑤      20 ②

실전 모의고사 ④회

본문 135~139쪽

01 ④      02 ④      03 ②      04 ⑤      05 ①  
06 ③      07 ①      08 ①      09 ④      10 ⑤  
11 ⑤      12 ①      13 ③      14 ④      15 ④  
16 ①      17 ③      18 ⑤      19 ①      20 ④

실전 모의고사 ⑤회

본문 140~144쪽

01 ②      02 ③      03 ①      04 ③      05 ③  
06 ④      07 ②      08 ⑤      09 ⑤      10 ①  
11 ⑤      12 ①      13 ③      14 ②      15 ①  
16 ④      17 ④      18 ②      19 ①      20 ④