

내 옆의 선생님

완자

BOOK 2

정답친해

완자 화학 II

1. 물질의 상태

01 분자 사이에 작용하는 힘

개념 확인 문제

16쪽

1 극성 2 쌍극자 모멘트 3 편극 4 분산력 5 표면적
6 F, O, N

A/B 1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × 2 ①
C 3 (1) ○ (2) × (3) ○ 4 ② 5 ㄱ, ㄴ

- (1) 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 물질이 기화되기 어려워므로 물질의 끓는점이 높아진다.
- (2) 무극성 분자 사이에 작용하는 힘은 분산력으로, 쌍극자-쌍극자 힘은 비슷한 분자량을 가진 무극성 분자 사이에 작용하는 분산력보다 크다.
- (3) 무극성 분자인 경우 분자량이나 분자의 표면적이 클수록 편극이 쉽게 일어나 분산력이 증가한다.
- (4) 분자량이 비슷한 무극성 분자의 경우 표면적이 작을수록 분산력이 감소하므로 물질의 끓는점이 낮다.

2 CH_4 , SiH_4 , GeH_4 , SnH_4 은 모두 14족 원소의 수소 화합물로 무극성 물질이다. 무극성 물질의 끓는점은 분산력의 크기에 따라 달라진다.

3 수소 결합은 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자에 직접 H 원자가 결합된 분자에서 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 형성되는 분자 사이에 작용하는 힘이다.

- (1) 분자량이 비슷할 때 분자 사이에 작용하는 힘의 크기는 분산력 < 쌍극자-쌍극자 힘 < 수소 결합 순이다.
- (2) 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 끓는점이 높으므로, 분자량이 비슷할 때 끓는점은 무극성 물질 < 극성 물질 < 수소 결합 물질 순이다.
- (3) 수소 결합 물질은 이합체나 다합체를 형성한다. 예를 들어 아세트산(CH_3COOH)은 2개의 분자가 수소 결합을 이루어 이합체로 존재하고, 플루오린화 수소(HF)는 이합체로도 존재하지만 여러 개의 분자가 수소 결합을 이루어 다합체로도 존재한다.

4 **바로알기** ② PH_3 은 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자를 포함하지 않으므로, 수소 결합을 하지 않는다.

5

문제 분석하기

분자	분자량	분자 사이에 작용하는 힘
HCl	36.5	분산력, 쌍극자-쌍극자 힘
O ₂	32	분산력
H ₂ O	18	분산력, 쌍극자-쌍극자 힘, 수소 결합
H ₂ S	34	분산력, 쌍극자-쌍극자 힘
Cl ₂	71	분산력
Br ₂	160	분산력

ㄱ. HCl과 O₂: 분자량이 비슷하여 분산력의 크기가 비슷하지만 HCl은 극성 분자이므로 쌍극자-쌍극자 힘이 존재하여 분자 사이에 작용하는 힘이 더 크다. $\Rightarrow \text{HCl} > \text{O}_2$

ㄴ. H₂O과 H₂S: H₂O은 H₂S에 비해 분자량이 작지만 수소 결합을 하기 때문에 분자 사이에 작용하는 힘이 더 크다.

$\Rightarrow \text{H}_2\text{O} > \text{H}_2\text{S}$

바로알기 ㄷ. Cl₂와 Br₂: 둘 다 무극성 분자이므로 분자량이 큰 Br₂의 분산력이 더 크다. $\Rightarrow \text{Cl}_2 < \text{Br}_2$

대표 자료 분석

17쪽

대표 자료 ① 1 ② 2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 3 A < C < B

대표 자료 ② 1 (가) 17족 원소의 수소 화합물 (나) 14족 원소의 수소 화합물 (다) 18족 원소 2 (1) ○ (2) × (3) ○
3 ㄴ, ㄷ

①-1

문제 분석하기

- 무극성 분자 사이에는 순간 쌍극자에 의한 분산력이 작용하므로 무극성 물질인 A와 C의 끓는점을 비교하면 분산력이 끓는점에 미치는 영향을 알 수 있다. C는 A보다 분자량이 커서 분산력이 크므로 끓는점이 더 높다.

물질	분자량	성질	끓는점(°C)
A	16	무극성	-161
B	20	극성	19
C	32	무극성	-112
D	36.5	극성	-85

극성 분자 사이에는 쌍극자-쌍극자 힘과 분산력이 모두 작용한다.

- ①-2 (1) 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 물질의 끓는점이 높다. 따라서 분자 사이에 작용하는 힘은 $A < C < D < B$ 순이다.
 (2) A와 C는 무극성 물질이므로 두 물질의 끓는점 차이는 순간 쌍극자에 의해 형성된 힘, 즉 분산력으로 설명할 수 있다.
 (3) B와 D는 극성 물질이므로 쌍극자-쌍극자 힘과 분산력이 모두 작용한다.
 (4) A~D 모두 끓는점이 25°C 보다 낮으므로 25°C 에서 기체로 존재한다.

①-3

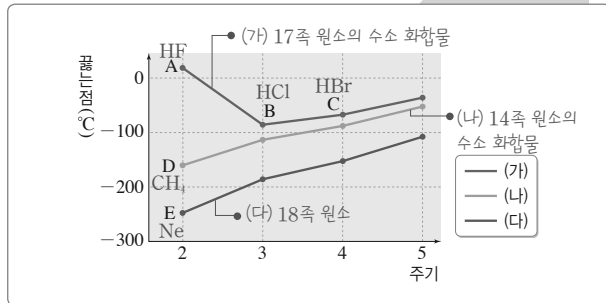
문제 분석하기

분자량이 같을 경우 극성 물질이 무극성 물질보다 끓는점이 높다.			
물질	A	B	C
분자량	2	28	28
성질	무극성	극성	무극성

• 분자량이 가장 작고 무극성이므로 끓는점이 가장 낮다.

②-1

문제 분석하기



- (가) 17족 원소의 수소 화합물 : 극성 물질이므로 쌍극자-쌍극자 힘과 분산력이 작용하여 같은 주기의 14족 원소의 수소 화합물이나 18족 원소보다 끓는점이 높다. 2주기 수소 화합물인 HF는 수소 결합을 하므로 끓는점이 가장 높다.
 (나) 14족 원소의 수소 화합물 : 무극성 물질이므로 분산력만 작용하여 17족 원소의 수소 화합물보다 끓는점이 낮다.
 (다) 18족 원소 : 무극성 물질이므로 분산력만 작용하는데, 같은 주기 14족 원소의 수소 화합물보다 크기가 작아 표면적이 작으므로 끓는점이 가장 낮다.

- ②-2 (1) HF(A)의 끓는점이 HCl(B)보다 높은 것은 HF가 수소 결합을 하기 때문이다.
 (2) HBr(C)의 끓는점이 HCl(B)보다 높은 것은 HBr가 쌍극자-쌍극자 힘은 더 작지만, 분자량이 더 커서 분산력이 크기 때문이다.

- (3) D는 CH_4 이고, E는 Ne으로 모두 무극성 물질이므로 분산력만 작용한다.

- ②-3 ㄱ. $\text{Cl}_2 > \text{F}_2$: Cl_2 와 F_2 은 모두 무극성 물질로 분자량이 클수록 분산력이 크므로 Cl_2 의 끓는점이 더 높다.

- ㄴ. $\text{HF} > \text{HCl}$: HF는 HCl보다 분자량이 작지만 수소 결합을 하므로 끓는점이 높다.

- ㄷ. $\text{NH}_3 > \text{PH}_3$: NH_3 는 PH_3 보다 분자량이 작지만 수소 결합을 하므로 끓는점이 높다.

- ㄹ. $\text{PH}_3 > \text{SiH}_4$: PH_3 과 SiH_4 은 분자량이 비슷하여 분산력의 크기가 비슷한데, PH_3 은 극성 물질이므로 쌍극자-쌍극자 힘이 작용하여 무극성 물질인 SiH_4 보다 끓는점이 높다.

내신 만점 문제

18~19쪽

- 01 ② 02 ④ 03 ⑤ 04 ④ 05 ㄴ, ㄷ 06 ④
 07 ② 08 해설 참조

- 01 분자량이 비슷한 경우 분자 사이에 작용하는 힘의 크기는 분산력 < 쌍극자-쌍극자 힘 < 수소 결합 순이고, 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 물질의 끓는점이 높다.

- 바로알기 ② 분산력은 무극성 분자뿐만 아니라 극성 분자 사이에서도 작용한다.

02

문제 분석하기

물질	분자량	끓는점($^{\circ}\text{C}$)
(가) CH_4	16	-161
(나) C_2H_6	30	-89
(다) C_3H_8	44	-42
(라) C_4H_{10}	58	-0.5
(마) C_5H_{12}	72 분자량 증가	36 끓는점 상승

• 분자량이 커질수록 끓는점이 높아진다.

- ㄴ. 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 끓는점이 높다. 따라서 분자 사이에 작용하는 힘은 (가) < (나) < (다) < (라) < (마) 순이다.

- ㄷ. 25°C 보다 끓는점이 낮은 물질은 25°C 에서 기체로 존재하므로, (가), (나), (다), (라)는 25°C 에서 기체이다.

- 바로알기 ㄱ. (가)가 (다)보다 끓는점이 낮으므로 분산력은 (가)가 (다)보다 작다.

03 ㄱ. 비활성 기체와 할로젠 원소는 모두 무극성 물질이므로, 분자량이 커질수록 분산력이 증가하여 끓는점이 높아진다.

ㄴ. 무극성 물질은 분산력만 작용하므로, 끓는점에 영향을 미치는 요인은 분산력이다.

ㄷ. 순간 쌍극자 사이의 인력인 분산력이 클수록 끓는점이 높게 나타난다.

04

문제 분석하기

• 산소는 질소보다 분자량이 더 크므로 분산력이 커서 끓는점이 더 높다.

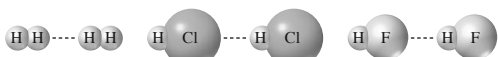
물질	구조식	분자량	끓는점(°C)
질소	$N \equiv N$ 무극성($\mu=0$)	28	-196
산소	$O = O$ 무극성($\mu=0$)	32	-183
사이안화 수소	$H - C \equiv N$ 극성($\mu \neq 0$)	27	25.6
프로페인	$H_3C - CH_2 - CH_3$ 무극성($\mu=0$)	44	-42

• 사이안화 수소는 질소와 분자량이 비슷하지만, 극성 물질이므로 쌍극자-쌍극자 힘이 작용하여 끓는점이 더 높다.

바로알기 ④ 사이안화 수소와 프로페인은 수소 결합을 하는 물질이 아니다.

05

문제 분석하기



(가)
무극성 분자 사이에 작용하는 힘 \Rightarrow 분산력

(나)
극성 분자 사이에 작용하는 힘 \Rightarrow 쌍극자-쌍극자 힘

(다)
F, O, N 원자와 H 원자가 결합한 극성 분자 사이에 작용하는 힘 \Rightarrow 수소 결합

ㄴ. 분자량이 비슷한 경우 분자 사이에 작용하는 힘은 대체로 분산력 < 쌍극자-쌍극자 힘 < 수소 결합 순이고, 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 물질의 끓는점이 높다. 따라서 극성 물질인 H_2S 는 무극성 물질인 O_2 보다 끓는점이 높다.

ㄷ. H_2O 와 HCl 는 극성 물질이지만, H_2O 는 분자 사이에 수소 결합을 형성할 수 있으므로 HCl 보다 끓는점이 높다.

바로알기 ㄱ. NH_3 와 PH_3 는 모두 극성 물질이지만, NH_3 는 분자 사이에 수소 결합을 형성할 수 있으므로 PH_3 보다 끓는점이 높다.

06

바로알기 ① 15~17족 원소의 수소 화합물 중 수소 결합을 하는 물질(NH_3 , H_2O , HF)은 분자량이 큰 다른 물질에 비해 끓는점이 높다.

② 14족 원소의 수소 화합물은 무극성 물질이므로 분자량이 커질수록 분산력이 증가하여 끓는점이 높아진다. 따라서 분산력은 $CH_4 < SiH_4 < GeH_4 < SnH_4$ 순이다.

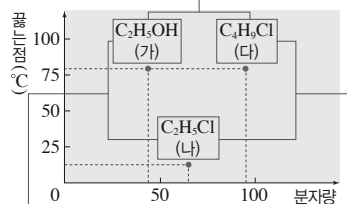
③ SiH_4 이 CH_4 보다 끓는점이 높은 것은 분산력이 더 크기 때문이다.

⑤ 비공유 전자쌍 수는 H_2O 이 2개, HF 가 3개, NH_3 가 1개로, 끓는점과 비공유 전자쌍 수는 관련이 없다. 이 물질들의 끓는점은 분자가 가지는 수소 결합의 수와 세기에 따라 다르게 나타난다.

07

문제 분석하기

ㄷ. (가)의 분자량이 (다)보다 작지만, (가)와 (다)의 끓는점이 비슷한 것은 (가)가 수소 결합을 하기 때문이다.

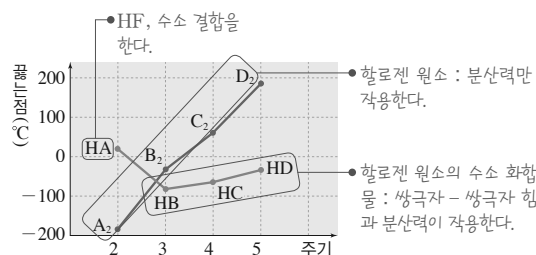


ㄱ. (가)의 분자량이 (나)보다 작지만 (가)의 끓는점이 (나)보다 더 높은 것은 (가)가 수소 결합을 하기 때문이다.

ㄴ. (나)와 (다)는 모두 극성 물질이므로 쌍극자-쌍극자 힘이 작용하지만 그 차이는 크지 않다. 그러나 (다)는 (나)보다 분자량이 크므로 분산력이 커서 끓는점이 더 높다.

08

문제 분석하기



극성 물질인 HA 의 분자량이 무극성 물질인 A_2 보다 작으므로 분산력은 HA 가 A_2 보다 더 작다. HA 는 분산력이 작지만 끓는점이 높으므로 분자 사이에 수소 결합이 존재한다는 것을 알 수 있다.

● 모범 답안 ● (1) 할로젠 원소는 무극성 물질로, 분자량이 클수록 분산력이 증가하기 때문에 끓는점이 높아진다.
(2) HA 는 분자 사이에 수소 결합을 형성하기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) 분자량과 분산력으로 옳게 서술한 경우	50 %
분산력만으로 옳게 서술한 경우	20 %
수소 결합으로 옳게 서술한 경우	50 %
(2) 분자 사이에 작용하는 힘이 더 크기 때문이라고만 서술한 경우	20 %

02 기체

개념 확인 문제

24쪽

- 1 압력 2 온도, 압력 3 절대 온도 4 압력, 절대 온도
5 압력, 절대 온도 6 몰수

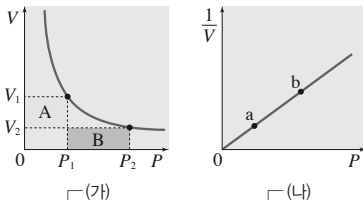
- A/B** 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 2.5기압 3 (가) A=B
(나) a=b
C/D 4 (1) ○ (2) × (3) × 5 45 mL 6 (가) $P_1 < P_2 < P_3$
(나) $T_1 < T_2$

- 1** (1) 수은 기둥의 높이가 760 mm, 즉 76 cm일 때의 압력을 1기압이라고 한다.
(2) 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피(V)와 압력(P)은 서로 반비례한다. $\Rightarrow PV=k(k\text{는 상수})$
(3) 온도가 일정할 때 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱은 항상 일정한 값을 나타낸다. 그러나 온도가 높아지면 기체의 압력과 부피의 곱은 증가하고, 온도가 낮아지면 기체의 압력과 부피의 곱은 감소한다.

- 2** 보일 법칙에 의하면 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피(V)는 압력(P)에 반비례하므로, $P_1V_1=P_2V_2$ 이다.
 $1\text{기압} \times 50\text{ mL} = P_2 \times 20\text{ mL}$, $P_2=2.5\text{기압}$

3

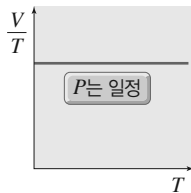
문제 분석하기



(가) 일정한 온도에서 $P_1V_1=P_2V_2$ 이다. 따라서 P_1V_1 에서 P_1V_2 를 뺀 A와 P_2V_2 에서 P_1V_2 를 뺀 B의 면적은 같다. $\Rightarrow A=B$

(나) P 와 $\frac{1}{V}$ 이 비례하므로 P 와 V 는 반비례한다. 따라서 a와 b의 온도는 같아야 한다. $\Rightarrow a=b$

- 4** (1) 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례하므로 기체의 부피(V)를 절대 온도(T)로 나눈 값인 $\frac{V}{T}$ 는 오른쪽 그림과 같이 온도에 관계 없이 일정하다.



- (2) 일정량의 기체의 부피(V)는 압력(P)에 반비례하고, 절대 온도(T)에 비례한다. $\Rightarrow \frac{PV}{T}=k(k\text{는 상수})$

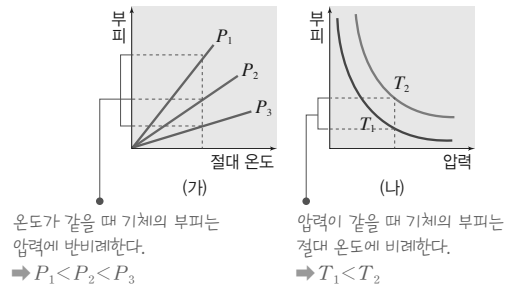
- (3) 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피(V)는 몰수(n)에 비례한다. $\Rightarrow V=kn(k\text{는 상수})$

- 5** 샤를 법칙에 의하면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피(V)는 절대 온도(T)에 비례하므로 $V=kT(k\text{는 상수})$ 이다. 즉, $\frac{V}{T}=k$, $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$ 이다.

$$\frac{50\text{ mL}}{(273+27)\text{ K}}=\frac{V_2}{(273-3)\text{ K}}, V_2=45\text{ mL}$$

6

문제 분석하기



개념 확인 문제

30쪽

- 1 이상 기체 2 이상 기체 방정식, PV 3 부분 압력
4 부분 압력 5 몰 분율 6 비례

- B** 1 ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ 2 ㉓

- F** 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × 4 (1) 0.5 (2) 2기압 (3) 4기압

- 1** ㄱ. $PV=nRT$ 에서 n 과 T 가 일정할 때 $PV=k$ 이다.
ㄴ. $PV=nRT$ 에서 n 과 P 가 일정할 때 $V=kT$ 이다.
ㄷ. $PV=nRT$ 에서 n 이 일정할 때 $\frac{PV}{T}=k$ 이다.
ㄹ. $PV=nRT$ 에서 P 와 T 가 일정할 때 $V=kn$ 이다.

- 2** 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 $PV=\frac{w}{M}RT$ 이므로 $M=\frac{wRT}{PV}$ 이다. 이 식에 주어진 값을 대입하여 기체의 분자량을 구하면 $M=\frac{0.03 \times 0.08 \times 280}{0.1 \times 0.24}=28$ 이므로 이 기체는 분자량이 28인 N_2 이다.

3 (1) 일정한 온도에서 기체의 압력은 기체의 종류에 관계없이 기체 분자의 몰수에 비례한다.

(2) 성분 기체의 부분 압력은 성분 기체의 몰 분율에 비례하므로 전체 압력에 성분 기체의 몰 분율을 곱하여 구할 수 있다.

(3) 성분 기체의 부분 압력은 기체의 분자량과는 관계가 없고, 몰 분율에 비례한다.

(4) 성분 기체의 질량은 몰 분율과 관계가 없다.

4 (1) 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례한다($PV \propto n$). 몰 분율은 성분 기체의 몰수를 전체 기체의 몰수로 나누어서 구할 수 있으므로 질소 기체의 몰 분율은

$$\frac{n_{N_2}}{n_{N_2}+n_{O_2}} = \frac{6\text{기압} \times 1\text{ L}}{6\text{기압} \times 1\text{ L} + 3\text{기압} \times 2\text{ L}} = \frac{6}{12} = 0.5\text{이다.}$$

(2) 콧을 열면 혼합 기체 전체의 부피는 3 L가 된다. 보일 법칙을 이용하여 각 성분 기체의 부분 압력을 구하면 다음과 같다.

• 질소 기체의 부분 압력 : $6\text{기압} \times 1\text{ L} = P_{N_2} \times 3\text{ L}$, $P_{N_2} = 2\text{기압}$

• 산소 기체의 부분 압력 : $3\text{기압} \times 2\text{ L} = P_{O_2} \times 3\text{ L}$, $P_{O_2} = 2\text{기압}$

(3) 전체 압력은 부분 압력의 합과 같으므로, $P_T = P_{N_2} + P_{O_2} = 4\text{기압}$ 이다.

[다른 풀이] (3) $6\text{기압} \times 1\text{ L} + 3\text{기압} \times 2\text{ L} = P_T \times 3\text{ L}$, $P_T = 4\text{기압}$

개념 확인 문제

34쪽

1 기체 분자 운동론 2 빨라 3 확산 4 분출 5 분자량

G 1 (1) ○ (2) × (3) × 2 (1) $T_1 < T_2 < T_3$ (2) $T_1 < T_2 < T_3$

3 (가) ㄱ, ㄷ (나) ㄴ, ㄹ

H 4 (1) ○ (2) ○ (3) × 5 32

1 (1) 기체 분자의 부피는 기체 분자 사이의 거리에 비해서 매우 작기 때문에 무시할 수 있다고 가정한다.

(2) 기체 분자 사이에는 인력이나 반발력이 작용하지 않는다고 가정한다.

(3) 기체 분자는 불규칙한 직선 운동을 하며, 완성 탄성 충돌을 하여 충돌에 의한 에너지의 손실이 없기 때문에 충돌 전후에 운동 에너지는 변하지 않는다고 가정한다.

2 온도가 높아지면 기체 분자의 평균 운동 에너지가 커져 평균 운동 속력이 빨라진다.

3 (가) 온도가 일정하므로 기체 분자의 평균 운동 에너지가 일정하여 평균 운동 속력은 일정하다. 기체에 가해지는 압력이 증가하므로 기체 분자가 단위 면적당 작용하는 힘인 기체의 압력이 증가하고, 기체의 부피가 감소하므로 기체의 밀도는 증가한다.

(나) 일정한 압력에서 온도가 높아지므로 기체 분자의 평균 운동 에너지가 증가하여 평균 운동 속력은 증가하고, 기체의 압력이 외부 압력과 같아질 때까지 부피가 증가하므로 기체의 밀도는 감소한다.

4 (1) 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례($PV \propto n$)하므로 콧을 열기 전 두 기체의 분자 수는 서로 같다.

(2) 흰 연기가 기체 B 쪽에 가깝게 생성되므로 같은 시간 동안에 기체 A가 더 멀리 이동한 것이다. 따라서 확산 속도는 기체 A가 B보다 빠르다.

(3) 같은 시간 동안 기체 A는 45 cm, 기체 B는 15 cm 이동하였으므로 확산 속도비는 $A : B = \frac{45}{t} : \frac{15}{t}$ 로, 확산 속도는 기체 A가 B의 3배이다. 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 $\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{\frac{M_A}{M_B}} = \frac{1}{3}$ 이다. 따라서 $M_A : M_B = 1 : 9$ 이므로 기체 B의 분자량은 A의 9배이다.

5 같은 양의 기체가 확산되는 데 걸리는 시간이 기체 X가 H_2 의 4배이다. 즉, H_2 의 확산 속도는 기체 X의 4배이므로, 기체 X의 분자량은 H_2 의 분자량인 2의 $16(=4^2)$ 배인 32이다.

$$\frac{v_X}{v_{H_2}} = \frac{1}{4}, \sqrt{\frac{M_{H_2}}{M_X}} = \sqrt{\frac{2}{M_X}} = \frac{1}{4}, M_X = 32$$

대표 자료 분석

35~36쪽

대표 자료 ① 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 42 3 ㄱ, ㄷ

대표 자료 ② 1 Ne : 0.5기압, Ar : 1.5기압 2 Ne : Ar = 1 : 3
3 (1) ○ (2) ○ (3) ×

대표 자료 ③ 1 $T_1 < T_2 < T_3$ 2 $A > B > C$ 3 (1) × (2) ○
(3) × (4) ○

대표 자료 ④ 1 A : B = 3 : 2 2 A : C = 2 : 1 3 (1) × (2) ○
(3) ○ 4 45 cm

①-1 (1) (다)에서 측정된 물의 부피(V)는 드라이아이스가 승화하여 생긴 이산화 탄소의 부피와 같다.

(2) 이산화 탄소의 질량은 {이산화 탄소가 들어 있는 페트병의 질량 - (공기가 들어 있는 페트병의 질량 - 공기의 질량)}이므로 $w_2 - (w_1 - w_3)$, 즉 $w_2 - w_1 + w_3$ 이다.

(3) 아보가드로 법칙에 의하면 일정한 온도와 압력에서 같은 부피에는 기체의 종류에 관계없이 같은 개수의 기체 분자가 들어 있다. 따라서 같은 페트병에 들어 있는

공기의 몰수 $\left(= \frac{\text{공기의 질량}}{\text{공기의 평균 분자량}} \right)$ 와

이산화 탄소의 몰수 $\left(= \frac{\text{이산화 탄소의 질량}}{\text{이산화 탄소의 분자량}} \right)$ 가 같으므로 페트병에 들어 있는 공기의 몰수를 알면 실험에서 구한 이산화 탄소의 질량을 이용하여 이산화 탄소의 분자량을 계산할 수 있다.

①-2 이산화 탄소의 분자량은 이상 기체 방정식을 이용하여 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} M &= \frac{wRT}{PV} = \frac{\text{이산화 탄소의 질량} \times \text{기체 상수}(R) \times \text{실험실 온도}}{\text{실험실 기압} \times \text{물의 부피}} \\ &= \frac{(w_2 - w_1 + w_3) \times R \times (273 + 27) \text{ K}}{1 \text{ atm} \times V} \\ &= \frac{1.75 \text{ g} \times 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}}{1 \text{ atm} \times 1.00 \text{ L}} \\ &= 42 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

①-3 ㄱ. 공기의 질량이 크게 계산되면 이산화 탄소의 질량도 크게 계산되므로 이산화 탄소의 분자량이 크게 측정된다.

ㄷ. (다)에서 페트병에 물이 조금 남아 있으면 물의 부피(V)가 작게 측정되므로 이산화 탄소의 분자량이 크게 측정된다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 페트병 밖으로 이산화 탄소가 새어 나가면 페트병 속 이산화 탄소의 질량이 작게 측정되므로 이산화 탄소의 분자량이 작게 측정된다.

②-1 콧을 열기 전 Ne의 압력은 대기압에 비해 0.5기압(=38 cmHg)만큼 작으므로 Ne의 압력은 0.5기압이다. 또한 Ar의 압력은 대기압에 비해 0.5기압(=38 cmHg)만큼 크므로 Ar의 압력은 1.5기압이다.

②-2 기체의 분자 수(몰수)는 압력과 부피의 곱에 비례하므로 Ne과 Ar의 분자 수비는 Ne : Ar = 0.5기압 × 1 L : 1.5기압 × 1 L = 0.5 : 1.5 = 1 : 3이다. 즉, 분자 수는 Ar이 Ne의 3배이다.

②-3 (1) Ne과 Ar의 분자 수비가 1 : 3이므로 몰수비도 1 : 3이다. 따라서 Ne의 몰 분율은 $\frac{1}{4} = 0.25$ 이고, Ar의 몰 분율은 $\frac{3}{4} = 0.75$ 이다.

(2) 콧을 열고 충분한 시간이 지난 후 혼합 기체의 전체 압력은 대기압과 같아지므로 1기압이다.

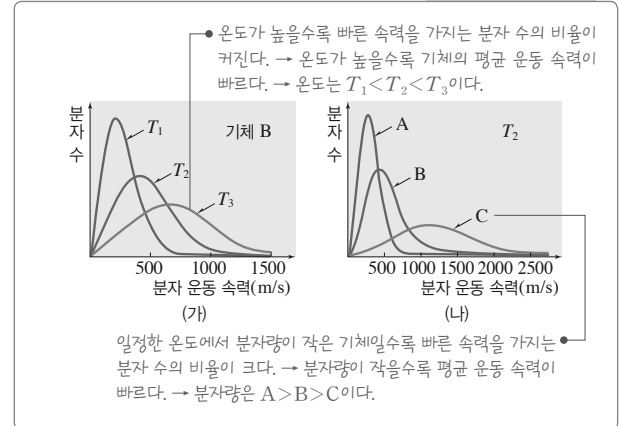
(3) 각 기체의 부분 압력은 몰 분율과 전체 압력의 곱이므로 Ne의 부분 압력은 $0.25 \times 1 \text{ 기압} = 0.25 \text{ 기압}$, Ar의 부분 압력은 $0.75 \times 1 \text{ 기압} = 0.75 \text{ 기압}$ 이다.

[다른 풀이] (2), (3) 일정한 온도에서 콧을 열기 전후에 Ne의 압력과 부피의 곱은 일정하므로 $0.5 \text{ 기압} \times 1 \text{ L} = P_{\text{Ne}} \times 2 \text{ L}$, $P_{\text{Ne}} = 0.25 \text{ 기압}$ 이 된다. 콧을 열기 전후에 Ar의 압력과 부피의 곱도 일정하므로 $1.5 \text{ 기압} \times 1 \text{ L} = P_{\text{Ar}} \times 2 \text{ L}$, $P_{\text{Ar}} = 0.75 \text{ 기압}$ 이 된다.

혼합 기체의 전체 압력은 성분 기체의 부분 압력의 합과 같으므로 $P_{\text{T}} = P_{\text{Ne}} + P_{\text{Ar}} = 0.25 \text{ 기압} + 0.75 \text{ 기압} = 1 \text{ 기압}$ 이다.

③-1

문제 분석하기



온도가 높아지면 기체 분자의 평균 운동 에너지가 증가하여 평균 운동 속력이 빨라진다.

③-2 일정한 온도에서 기체의 분자량이 작을수록 기체 분자의 평균 운동 속력이 빨라진다.

③-3 (1) (가)에서 T_1 일 때 기체 분자의 평균 운동 속력이 가장 느리므로 평균 운동 에너지는 가장 작다.

(2) $\frac{\text{질량}}{\text{분자량}} = \text{몰수}$, 분자 수 = 몰수 × 6.02×10^{23} 개/몰이므로 같은 질량일 경우 분자량이 작을수록 분자 수가 많다. 분자량이 $A > B > C$ 순이므로 기체 1 g의 분자 수가 가장 많은 것은 분자량이 가장 작은 C이다.

(3) T_2 에서 B의 평균 운동 속력이 A보다 빠르므로, T_1 에서도 B의 평균 운동 속력이 A보다 빠르다.

(4) T_2 에서 C의 평균 운동 속력이 B보다 빠르므로, T_3 에서도 C의 평균 운동 속력이 B보다 빠르다.

④-1, 2 기체의 확산 속도비는 일정한 시간 동안 움직인 거리의 비로 구할 수 있으므로, (가)에서 A와 B의 확산 속도비는 $A : B = \frac{36}{t} : \frac{24}{t} = 3 : 2$ 이고, (나)에서 A와 C의 확산 속도비는 $A : C = \frac{40}{t} : \frac{20}{t} = 2 : 1$ 이다.

④-3 (1) A와 B의 확산 속도비는 3 : 2이고, 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 $\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} = \frac{3}{2}$ 에 의해 분자량의 비는 $M_A : M_B = 4 : 9$ 이다.

(2) A와 C의 확산 속도비는 2 : 1이고, 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 $\frac{v_A}{v_C} = \sqrt{\frac{M_C}{M_A}} = \frac{2}{1}$ 에 의해 분자량의 비는 $M_A : M_C = 1 : 4$ 이다. 한편, (나)에서 콕을 열기 전 기체의 밀도는 분자량에 비례하므로 밀도는 C가 A의 4배이다.

(3) (가)에서 A 대신 C로 실험할 경우 확산 속도는 C가 B보다 느리므로 흰 연기는 현재보다 왼쪽에서 최초로 생성된다.

④-4 (나)에서 C 대신 분자량이 A의 9배인 D로 실험할 경우 $\frac{v_A}{v_D} = \sqrt{\frac{M_D}{M_A}} = \sqrt{\frac{9}{1}} = 3$ 이므로 확산 속도는 A가 D의 3배이다. 따라서 흰 연기는 A로부터 $45 \text{ cm} \left(= 60 \text{ cm} \times \frac{3}{4} \right)$ 떨어진 위치에 서 최초로 생성된다.

내신 만점 문제

37~43쪽

01 ④	02 ㄱ, ㄴ, ㄷ	03 ③	04 ②	05 ③
06 ㄴ, ㄷ	07 ③	08 ③	09 ④	10 ③
11 ⑤	12 600 mmHg	13 ②	14 ⑤	15 ㄱ, ㄴ
16 ⑤	17 ⑤	18 ①	19 ⑤	20 ⑤
21 ①	22 ④	23 ㄷ	24 ④	25 ③
26 ㄴ	27 해설 참조	28 해설 참조		

01

문제 분석하기

J자관에서 양쪽 수은 기둥의 높이가 같을 때($h=0$) 기체의 압력은 대기압과 같다.

일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력과 부피를 곱한 값은 일정하다.

실험	수은 기둥의 높이 차 $h(\text{mm})$	기체 X의 부피(mL)	기체의 압력	$P_1V_1 = P_2V_2$
1	0	24	대기압 $= 760 \text{ mmHg}$	$760 \text{ mmHg} \times 24 \text{ mL} = \text{일정}$
2	380	(가) $V_2 = 16 \text{ mL}$ (ㄷ)	대기압 $+ 380 \text{ mmHg}$ $= 1140 \text{ mmHg}$	$760 \text{ mmHg} \times 24 \text{ mL} = 1140 \text{ mmHg} \times V_2$
3	(나) $P_2 = 1520 \text{ mmHg}(\text{ㄷ})$	8	대기압 $+ P_2$	$760 \text{ mmHg} \times 24 \text{ mL} = (760 \text{ mmHg} + P_2) \times 8 \text{ mL}$

수은을 더 넣으면 수은 기둥의 높이 차가 커지며 기체의 부피는 감소한다. 이때 기체의 압력 = 대기압 + 수은 기둥의 높이 차에 의한 압력이다.

ㄴ. 기체의 몰수는 일정하고 부피는 실험 1 > 실험 2 > 실험 3 순이므로, 기체의 밀도는 실험 1 < 실험 2 < 실험 3 순이다.

바로알기 ㄱ. 기체의 부피는 압력에 반비례하는데, J자관 속에 들어 있는 기체에는 대기압도 작용하므로 기체의 부피는 '대기압 + 수은 기둥의 높이 차(h)에 해당하는 압력'에 반비례한다.

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

ㄴ. 압력이 같은 (가)와 (다)를 비교하면 샤를 법칙에 의해

$$\frac{V_1}{273 \text{ K}} = \frac{V_3}{546 \text{ K}} \text{이므로, } V_3 = 2V_1 \text{이다.}$$

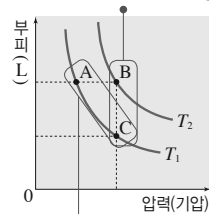
$V_1 = 2V_2$ 이므로 부피는 $V_3 > V_1 > V_2$ 순이다.

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

03

문제 분석하기

압력이 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 온도가 높을수록 증가하므로 서로 다른 온도에서 기체의 압력과 부피 관계 그래프를 그리면, 온도가 높아 부피가 큰 그래프가 위쪽에 위치한다. ㄱ. B와 C는 압력이 같지만 부피가 다르므로 온도가 다른 조건이며, B의 부피가 더 크므로 온도는 $T_1 < T_2$ 이다.



온도가 일정할 때 일정량의 기체의 압력과 부피는 서로 반비례하므로 압력의 변화에 따른 부피 변화를 나타낸 그래프는 반비례 곡선으로 나타난다. ㄱ. A에서 C로 압력이 증가하는 동안 기체의 부피는 감소하고, A와 C에서 압력과 부피의 곱은 같다.

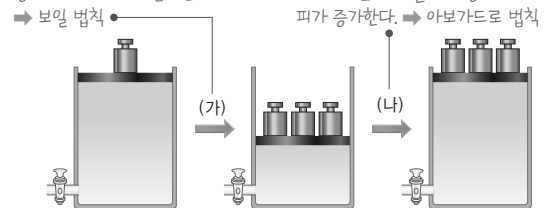
ㄴ. A와 C는 온도가 같으며, 같은 종류의 기체이므로 기체 분자의 평균 속력이 같다.

바로알기 ㄷ. B가 C보다 부피가 크므로 기체 분자 사이의 평균 거리는 B가 C보다 멀다.

04

문제 분석하기

온도가 일정한 조건에서 외부 압력이 증가하므로 부피가 감소한다. ㄱ. 온도와 외부 압력이 일정한 조건에서 기체 분자의 몰수가 증가하므로 부피가 증가한다. ㄱ. 아보가드로 법칙



바로알기 ㄱ, ㄴ. (가)와 (나)는 모두 온도가 일정한 조건에서 일어나는 변화이므로 기체 분자의 평균 운동 에너지와 평균 운동 속력이 일정하다.

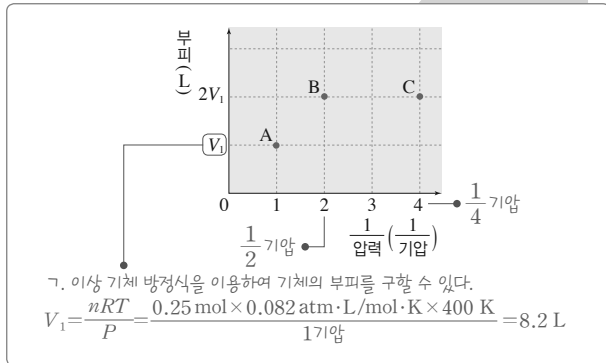
05 ㄱ. 온도가 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례하므로, (가)에서 기체의 압력은 P_1 이 P_2 보다 작다.

ㄴ. 압력과 온도가 일정할 때, 기체의 부피는 몰수에 비례한다. (나)에서 기체 A와 B의 질량은 같고, 같은 온도에서 기체의 부피, 즉 몰수는 A가 B보다 크므로 기체의 분자량($=\frac{\text{기체의 질량}}{\text{기체의 몰수}}$)은 A가 B보다 작다.

바로알기 ㄷ. 기체의 압력은 P_2 가 P_1 보다 크다. (나)에서 압력이 P_1 에서 P_2 가 되면 기체의 부피가 감소하므로 A와 B의 기울기는 모두 작아진다.

06

문제 분석하기



ㄴ. 보일-샤를 법칙에 의해 $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ 의 식이 성립한다.

A와 B에 해당하는 값을 식에 대입하여 B에서의 온도(T_B)를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{1 \text{ 기압} \times 8.2 \text{ L}}{400 \text{ K}} = \frac{\frac{1}{2} \text{ 기압} \times 16.4 \text{ L}}{T_B}, T_B = 400 \text{ K}$$

A와 B에서의 온도가 같으므로 A와 B에서 기체 분자의 평균 운동 속력도 같다.

ㄷ. A와 C에 해당하는 각각의 값을 보일-샤를 법칙의 식에 대입하여 C에서의 온도(T_C)를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{1 \text{ 기압} \times 8.2 \text{ L}}{400 \text{ K}} = \frac{\frac{1}{4} \text{ 기압} \times 16.4 \text{ L}}{T_C}, T_C = 200 \text{ K}$$

기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하는데, A에서의 절대 온도가 C에서의 2배이므로 A에서 기체 분자의 평균 운동 에너지는 C에서의 2배이다.

07 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 에서 $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 기체의

몰수는 압력과 부피의 곱에 비례하고, 절대 온도에 반비례한다.

ㄱ. 기체의 질량은 몰수에 분자량을 곱한 값과 같다. 이때 각 기체의 몰수비는 $A : B : C = \frac{2 \times 2}{R \times 273} : \frac{2 \times 1}{R \times 546} : \frac{3 \times 3}{R \times 273} = 4 : 1 : 9$ 이므로, 각 기체의 몰수비에 분자량을 곱한 질량비는 $A : B : C = 4 \times 20 : 1 \times 44 : 9 \times 4 = 80 : 44 : 36$ 이다. 따라서 기체의 질량은 $A > B > C$ 순이다.

ㄴ. 각 기체의 몰수비는 $A : B : C = 4 : 1 : 9$ 이므로 기체의 몰수는 C가 B의 9배이다.

바로알기 ㄷ. 기체 분자의 평균 운동 에너지가 가장 큰 것은 절대 온도가 가장 높은 B이다.

08 보일-샤를 법칙($\frac{PV}{T} = k$)과 아보가드로 법칙($V = kn$)에

의해 $\frac{PV}{nT} = k, \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$ 의 식이 성립한다.

고정 장치를 풀기 전 부피를 V 라고 하면, (가)의 절대 온도는 $273 \text{ K}(0^\circ \text{C})$ 이고, (나)의 절대 온도는 $546 \text{ K}(273^\circ \text{C})$ 이므로

$$\frac{1 \text{ 기압} \times V}{1 \text{ 몰} \times 273 \text{ K}} = \frac{1 \text{ 기압} \times V}{n_{(나)} \times 546 \text{ K}}, n_{(나)} = 0.5 \text{ 몰이다.}$$

한편, (다)는 몰수와 압력이 모두 (가)의 2배이므로

$$\frac{1 \text{ 기압} \times V}{1 \text{ 몰} \times 273 \text{ K}} = \frac{2 \text{ 기압} \times V}{2 \text{ 몰} \times T_{(다)}}, T_{(다)} = 273 \text{ K}(0^\circ \text{C}) \text{이다.}$$

ㄱ. 고정 장치를 풀면 실린더 속 기체의 압력이 외부 압력과 같아질 때까지 부피가 변하므로 (다)의 기체의 압력은 1기압이 된다.

고정 장치를 풀었을 때 (가)의 부피를 $V_{(가)}$ 라고 하면

$$\frac{1 \text{ 기압} \times V_{(가)}}{1 \text{ 몰} \times 273 \text{ K}} = \frac{1 \text{ 기압} \times V_{(다)}}{2 \text{ 몰} \times 273 \text{ K}}, V_{(다)} = 2V_{(가)} \text{이다.}$$

ㄴ. 기체의 몰수는 (가) 1몰, (나) 0.5몰, (다) 2몰이다.

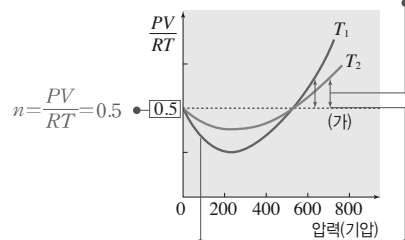
바로알기 ㄷ. 온도가 $273 \text{ K}(0^\circ \text{C})$ 으로 모두 같아지므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 모두 같다.

09

문제 분석하기

실제 기체는 온도가 높을수록 이상 기체에 가까워 행동한다.

→ T_1 일 때보다 T_2 일 때 이상 기체에 가까우므로 온도는 $T_1 < T_2$ 이다.



이 조건에서 실제 기체는 분자 사이에 인력이 작용하여 부피(V)가 작아지므로 이상 기체보다 $\frac{PV}{RT}$ 값이 작아진다.

이상 기체는 이상 기체 방정식에 잘 맞으므로, 압력에 관계없이 $\frac{PV}{RT} = n$ 인 직선 그래프로 나타난다.

ㄴ. 실제 기체는 온도가 높을수록 이상 기체에 가까우므로 온도는 $T_1 < T_2$ 이다. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하므로 평균 운동 에너지도 T_1 일 때보다 T_2 일 때 더 크다.
 ㄷ. (가) 부분처럼 압력이 커지면 기체 분자 사이의 거리가 가까워지는데, 기체 분자 자체의 부피로 인하여 이상 기체처럼 압축되지 않아 $\frac{PV}{RT}$ 값이 커진다.

바로알기 ㄱ. 기체 X 8 g이 0.5 mol이므로,

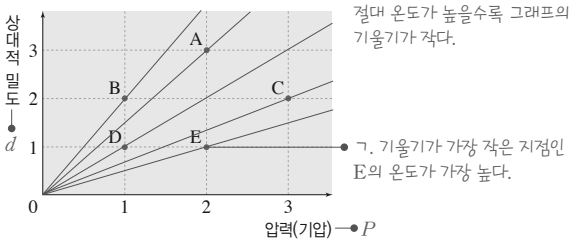
$$\text{기체 X의 분자량} = \frac{\text{기체 X의 질량}}{\text{기체 X의 몰수}} = \frac{8 \text{ g}}{0.5 \text{ mol}} = 16 \text{ g/mol이다.}$$

10

문제 분석하기

이상 기체 방정식과 $d = \frac{w}{V}$ 을 이용하여 그래프의 기울기를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PV = nRT = \frac{w}{M} RT \Rightarrow \frac{d}{P} = \frac{M}{RT}, M \text{과 } R \text{이 일정하므로 } \frac{d}{P} \propto \left(\frac{1}{T}\right)$$

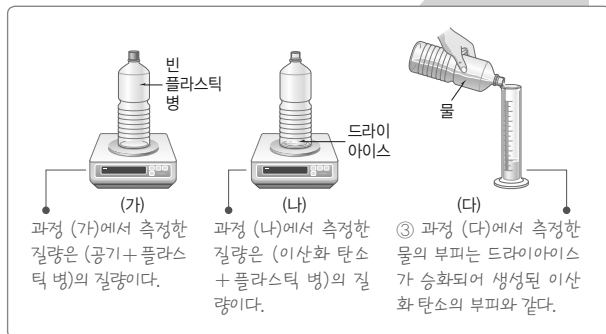


ㄷ. 온도가 높을수록 기체 분자의 평균 운동 에너지가 커져 평균 운동 속력이 빨라진다. 따라서 기체 분자의 평균 운동 속력은 $B < A < D < C < E$ 순이다.

바로알기 ㄴ. 절대 온도는 그래프 기울기의 역수에 해당한다 ($T \propto \frac{P}{d}$). 따라서 B와 D에서 절대 온도의 비는 $B : D = \frac{1}{2} : 1$ 이고, 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하므로, B에서 기체 분자의 평균 운동 에너지는 D에서의 $\frac{1}{2}$ 이다.

11

문제 분석하기



① 실험실의 온도와 대기압에서 플라스틱 병의 부피에 해당하는 공기의 질량은 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 로부터 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$w = \frac{MPV}{RT} = \frac{\text{공기의 평균 분자량} \times \text{대기압} \times \text{물의 부피}}{\text{기체 상수}(R) \times \text{실험실 온도}}$$

② 이산화 탄소의 질량은 {과정 (나)에서 측정한 질량 - {과정 (가)에서 측정한 질량 - 공기의 질량}}이다. 따라서 이산화 탄소의 분자량은 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$M = \frac{wRT}{PV} = \frac{\text{이산화 탄소의 질량} \times \text{기체 상수}(R) \times (273 + 25) \text{ K}}{1 \text{ 기압} \times \text{물의 부피}} = \frac{(w_2 - w_1 + w_3)298R}{V}$$

④ 플라스틱 병에 물이 조금 남아 있으면 눈금실린더 속 물의 부피(V)가 작게 측정되므로 이산화 탄소의 분자량은 크게 측정된다.

바로알기 ⑤ 공기의 질량이 크게 계산되면 이산화 탄소의 질량이 크게 계산되므로, 이산화 탄소의 분자량은 크게 측정된다.

$$12 \text{ 분자량이 44인 이산화 탄소 } 4.4 \text{ g의 몰수는 } \frac{4.4 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} =$$

$$0.1 \text{ mol이고, 분자량이 28인 질소 } 5.6 \text{ g의 몰수는 } \frac{5.6 \text{ g}}{28 \text{ g/mol}} =$$

$0.2 \text{ mol이다. 기체의 부분 압력은 기체의 몰 분율에 비례하므로 이산화 탄소의 부분 압력이 } 200 \text{ mmHg이면 질소의 부분 압력은 } 400 \text{ mmHg이고, 혼합 기체의 전체 압력은 } 200 \text{ mmHg} + 400 \text{ mmHg} = 600 \text{ mmHg이다.}$

13 ㄴ. 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 에서 온도가 일정할 때 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례($PV \propto n$)하므로, 기체 X와 Y의 몰수비는 $X : Y = (1 \text{ 기압} \times 1 \text{ L}) : (1 \text{ 기압} \times 2 \text{ L}) = 1 : 2$ 이다. 따라서 X의 몰 분율은 $\frac{1}{1+2} = \frac{1}{3}$ 이고, Y의 몰 분율은

$$\frac{2}{1+2} = \frac{2}{3} \text{ 이므로, 몰 분율은 Y가 X의 2배이다.}$$

바로알기 ㄱ. 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}} = \frac{\text{몰수} \times \text{분자량}}{\text{부피}}$ 이다. X와 Y의 몰수비는 $1 : 2$ 이고, X와 Y의 부피는 3 L 로 같으므로, 밀도비는 $X : Y = \frac{1 \times 2}{3} : \frac{2 \times 28}{3} = 1 : 28$ 이다.

ㄷ. 기체의 부분 압력은 전체 압력에 성분 기체의 몰 분율을 곱하여 구한다. 보일 법칙에 따르면 혼합 전후에 기체의 압력과 부피의 곱은 일정하므로 혼합 후 전체 압력을 P_T 로 두면, $(1 \text{ 기압} \times 1 \text{ L}) + (1 \text{ 기압} \times 2 \text{ L}) = P_T \times 3 \text{ L}$, $P_T = 1 \text{ 기압}$ 이다. 따라서 X의 부분 압력은 $1 \text{ 기압} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{3} \text{ 기압}$ 이고, Y의 부분 압력은 $1 \text{ 기압} \times \frac{2}{3} = \frac{2}{3} \text{ 기압}$ 이다.

14 ㄱ. 콕 b를 열기 전 전체 부피는 5 L이므로, He과 Ne의 부분 압력은 다음과 같다.

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

$$\bullet \text{Ne} : 1\text{기압} \times 2\text{L} = P_{\text{Ne}} \times 5\text{L}, P_{\text{Ne}} = \frac{2}{5} \text{기압}$$

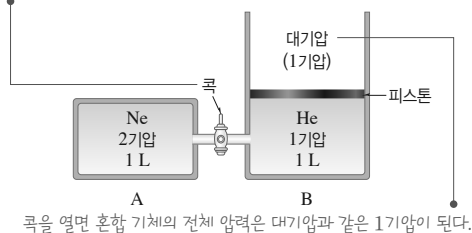
ㄴ. 콕 b를 열기 전 혼합 기체의 전체 압력은 $\frac{6}{5}\text{기압} + \frac{2}{5}\text{기압} = \frac{8}{5}\text{기압}$ 이고, 콕 b를 열고 난 후 혼합 기체의 전체 압력은 $\frac{8}{5}\text{기압} \times 2\text{L} = P_T \times 4\text{L}$, $P_T = \frac{4}{5}\text{기압}$ 이다.

ㄷ. He과 Ne의 분자 수는 변하지 않으므로 콕 b를 열기 전과 후의 He과 Ne의 몰 분율은 같다.

15

문제 분석하기

$PV = nRT$ 에서 온도가 일정할 때 기체의 몰수(분자 수)는 콕을 열기 전 압력과 부피의 곱에 비례한다($PV \propto n$). 따라서 두 기체의 분자 수비는 Ne : He = (2기압 \times 1 L) : (1기압 \times 1 L) = 2 : 1이다. \Rightarrow ㄱ. 분자 수는 Ne이 He의 2배이다.

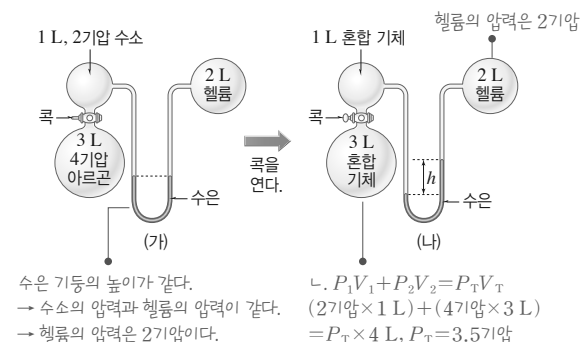


ㄴ. 보일 법칙에 따르면 혼합 전후에 기체의 압력과 부피의 곱은 일정하므로 혼합 후 전체 부피를 V 로 두면, (2기압 \times 1 L) + (1기압 \times 1 L) = 1기압 $\times V$ L, $V = 3\text{L}$ 이다. 이때 용기 A의 부피가 1 L이므로, 용기 B의 부피는 2 L가 된다.

바로알기 ㄷ. 용기 B의 피스톤 위에 1.5기압의 추를 올려놓으면 기체에 가해지는 압력이 2.5기압(=대기압 + 1.5기압)이 되므로 혼합 기체의 전체 압력은 2.5기압이다. 따라서 Ne의 부분 압력은 $2.5\text{기압} \times \frac{2}{3} = \frac{5}{3}\text{기압}$ 이다.

16

문제 분석하기

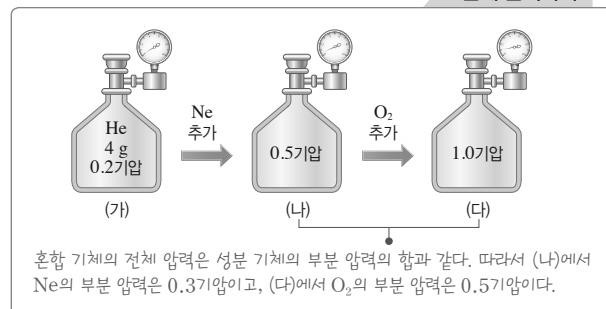


ㄷ. 1기압은 수은 기둥 76 cm가 누르는 힘에 해당한다. (나)에서 혼합 기체와 헬륨의 압력 차이가 3.5기압 - 2기압 = 1.5기압이므로 수은 기둥의 높이 차 $h = 76\text{cm} \times 1.5 = 114\text{cm}$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 수은 기둥의 높이가 같으므로 수소와 헬륨의 압력이 서로 같으며, $PV = nRT$ 에서 온도가 일정할 때 기체 분자의 몰수(분자 수)는 압력과 부피의 곱에 비례한다($PV \propto n$). 따라서 수소와 헬륨의 분자 수비는 (2기압 \times 1 L) : (2기압 \times 2 L) = 1 : 2이므로, 분자 수는 헬륨이 수소의 2배이다.

17

문제 분석하기



ㄱ. (다)에서 혼합 기체의 전체 압력이 1.0기압이고, He의 부분 압력은 (가)에서 He의 압력인 0.2기압과 같다. $P_{\text{He}} = P_T \times X_{\text{He}}$ 이므로, $0.2\text{기압} = 1\text{기압} \times X_{\text{He}}$, $X_{\text{He}} = 0.2$ 이다.

ㄴ. He의 원자량은 4이므로, He 4 g은 1 mol이다. 몰 분율은 성분 기체의 몰수를 전체 기체의 몰수로 나눈 값이므로,

$$X_{\text{He}} = \frac{n_{\text{He}}}{\text{전체 몰수}} = \frac{1\text{ mol}}{\text{전체 몰수}} = 0.2, \text{전체 몰수는 } 5\text{ mol이다.}$$

Ne의 부분 압력은 0.3기압이므로, 몰 분율은 0.3이다. 따라서

$$X_{\text{Ne}} = \frac{n_{\text{Ne}}}{\text{전체 몰수}} = \frac{n_{\text{Ne}}}{5\text{ mol}} = 0.3, n_{\text{Ne}} = 1.5\text{ mol이다.}$$

질량 = 분자량 \times 몰수이므로, Ne의 질량은 $20\text{ g/mol} \times 1.5\text{ mol} = 30\text{ g}$ 이다.

ㄷ. O₂의 부분 압력은 0.5기압이고, He의 부분 압력은 0.2기압이다. 따라서 부분 압력은 O₂가 He의 2.5배이다.

18

문제 분석하기



반응식의 계수비는 A : B : C = 1 : 2 : 2이므로 A 1몰과 B 2몰이 반응하면 C 2몰이 생성된다. 반응 전 A의 몰수를 0.2몰이라고 하면 반응 전과 후 각 기체의 몰수는 다음과 같다.

	A(g)	+	2B(g)	\longrightarrow	2C(g)
반응 전	0.2		0.8		0
반응 시	-0.2		-0.4		+0.4
반응 후	0		0.4		0.4



ㄴ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례한다($PV \propto n$). 반응 전과 후 기체의 전체 몰수비는 $1.0 : 0.8 = 5 : 4$ 이므로 기체의 부피비는 $5 : 4$ 이고, 이때 기체의 질량은 일정하므로 밀도비는 $4 : 5$ 이다.

바로알기 ㄱ. 반응 전과 후 기체의 온도와 압력은 일정하므로 반응 전 기체의 전체 몰수가 1.0몰이면, 반응 후 기체의 전체 몰수는 0.8몰이다. 따라서 혼합 기체의 총 몰수는 반응 전이 반응 후보다 크다.

ㄷ. 반응 후 실린더 속 전체 압력은 외부 압력인 1기압과 같고, 기체 B와 C가 같은 몰수씩 남아 있으므로 기체 B의 부분 압력은 0.5기압이다.

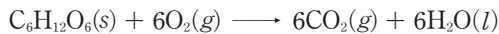
19 $C_6H_{12}O_6$ 의 연소 반응에 대한 화학 반응식은 다음과 같다.



또한, O_2 의 몰수는 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{30 \text{ 기압} \times 0.82 \text{ L}}{0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}} = 1 \text{ mol이다.}$$

ㄱ, ㄴ. 0.1몰의 $C_6H_{12}O_6$ 과 반응하는 O_2 의 몰수는 0.6몰이므로 반응 전과 후 각 물질의 몰수는 다음과 같다.



반응 전	0.1	1.0	0	0
반응 시	-0.1	-0.6	+0.6	+0.6
반응 후	0	0.4	0.6	0.6

반응 후 O_2 는 0.4몰이 남고, CO_2 와 H_2O 는 각각 0.6몰이 생성된다. 기체는 반응 전에 O_2 1몰이 있었고, 반응 후에 CO_2 0.6몰과 O_2 0.4몰이 있으므로, 반응 전후에 용기 속 기체의 몰수는 같다.

ㄷ. 반응 전 O_2 1몰의 압력이 30기압이므로 발생한 CO_2 0.6몰이 나타내는 부분 압력은 18기압

$$\left(P = \frac{nRT}{V} = \frac{0.6 \text{ mol} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}}{0.82 \text{ L}} = 18 \text{ atm} \right) \text{이다.}$$

20 **바로알기** ⑤ 기체 분자 운동론의 가정에 의하면 기체 분자 사이에는 인력과 반발력이 작용하지 않는다.

21 ㄱ. 같은 온도에서 기체의 평균 운동 속력이 $C > B > A$ 이므로 기체의 분자량은 $A > B > C$ 이다. 따라서 질량이 같을 때 분자 수가 가장 많은 기체는 분자량이 가장 작은 C이다.

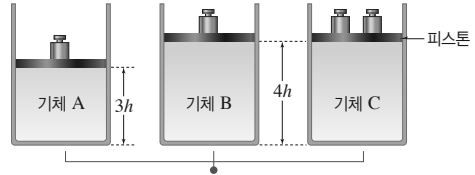
바로알기 ㄴ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하는데, 온도가 모두 같으므로 기체 A, B, C의 평균 운동 에너지는 모두 같다.

ㄷ. 기체 분자의 평균 운동 속력은 C가 A보다 크지만, 기체 분자의 운동 속력 분포에서 C가 A보다 작은 값을 나타내기도 한다.

22

문제 분석하기

실린더의 단면적이 모두 같으므로 기체의 부피는 실린더 바닥에서 피스톤까지의 길이(피스톤의 높이)에 비례한다.



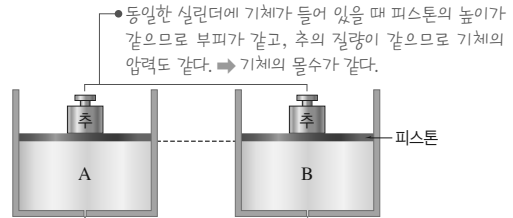
ㄷ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례하므로, 몰수비는 $A : B : C = 2 \text{ 기압} \times 3h : 2 \text{ 기압} \times 4h : 3 \text{ 기압} \times 4h = 3 : 4 : 6$ 이다. 따라서 기체 분자의 몰수가 가장 많은 것은 C이다.

ㄱ. A와 C의 몰수비는 $1 : 2$ 이고, A와 C의 질량이 같으므로 분자량 $\left(= \frac{\text{질량}}{\text{몰수}} \right)$ 은 A가 C의 2배이다.

바로알기 ㄴ. B와 C는 온도와 부피가 같지만 기체에 가해지는 압력은 C가 더 크므로, 단위 면적당 기체 분자의 충돌 횟수는 C가 B보다 많다.

23

문제 분석하기



같은 몰수의 기체가 분출되는 속도는 피스톤이 바닥에 닿을 때까지 걸린 시간에 반비례한다. \Rightarrow 분출 속도비는 $A : B = 2 : 1$ 이다.

ㄷ. $PV=nRT$ 에서 단위 부피당 분자 수, 즉 $\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$ 이다. 기체가 분출되는 동안 온도와 압력이 일정하게 유지되므로 A와 B의 단위 부피당 기체 분자 수는 서로 같다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. 같은 몰수로 들어 있는 두 기체가 분출되는 속도는 $A : B = 2 : 1$ 이다. 즉, 기체 분자의 평균 운동 속력은 A가 B보다 빠르다. 또, 기체의 분출 속도는 기체 분자량의 제곱근에 반비례한다. 즉, $\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} = 2$, $M_B = 4M_A$ 이므로, 분자량은 B가 A의 4배이다.

24 ④ 같은 시간 동안 이동한 거리가 길수록 확산 속도가 빠르므로, 확산 속도는 암모니아 기체가 염화 수소 기체보다 빠르다. 기체의 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 분자량이 작은 기체일수록 확산 속도가 빠르다. 따라서 분자량은 암모니아 기체가 염화 수소 기체보다 작다.

바로알기 ① 플라스크의 코를 열기 전 충분한 시간 동안 방치하므로 염화 수소 기체와 암모니아 기체의 압력이 같아져 용액의 농도가 달라도 관계 없다.

② 같은 시간 동안 염화 수소 기체는 20 cm를 이동했고, 암모니아 기체는 30 cm를 이동했으므로 확산 속도비는 염화 수소 : 암모니아 = 20 : 30 = 2 : 3이다.

③ 온도가 같으므로 암모니아 기체와 염화 수소 기체의 평균 분자 운동 에너지는 같다.

⑤ 온도가 높아지면 기체 분자의 평균 운동 에너지가 커져 확산 속도가 빨라지므로 흰 연기가 최초로 생성되는 시간이 짧아진다. 그러나 암모니아 기체와 염화 수소 기체의 평균 운동 속력이 같은 비율로 빨라지므로 흰 연기가 최초로 생성되는 위치는 변하지 않는다.

25 ㄱ. 양쪽 코를 동시에 열었다가 닫았을 때 피스톤이 오른쪽으로 이동하였으므로, 확산 속도는 N_2 가 A보다 빠르다. 기체의 확산 속도는 분자량이나 밀도의 제곱근에 반비례하므로 기체의 밀도는 A가 N_2 보다 크다.

ㄴ. He은 N_2 보다 분자량이 작아 확산 속도가 더 빠르므로, A 대신 He을 사용하면 피스톤은 왼쪽으로 이동한다.

바로알기 ㄷ. 코를 열면 A와 N_2 의 압력이 같아질 때까지 피스톤이 움직이게 된다. 따라서 기체의 압력은 A와 N_2 가 같다.

26

문제 분석하기

고정 장치를 풀면 피스톤은 H_2 와 X의 압력이 같아질 때까지 움직인다. 온도와 압력이 일정할 때 기체가 차지하는 부피는 몰수에 비례하므로 고정 장치를 풀 후 각 기체의 몰수비는 $H_2 : X = 4 : 1$ 이다.

ㄴ. 기체의 확산 속도는 분자량이나 밀도의 제곱근에 반비례한다.

H_2 의 확산 속도가 X의 4배이므로

$\frac{v_X}{v_{H_2}} = \sqrt{\frac{d_{H_2}}{d_X}} = \frac{1}{4}$, $d_{H_2} : d_X = 1 : 16$ 이다. 따라서 X의 밀도는 H_2 의 16배이다.

바로알기 ㄱ. $\frac{v_X}{v_{H_2}} = \sqrt{\frac{M_{H_2}}{M_X}} = \sqrt{\frac{2}{M_X}} = \frac{1}{4}$ 이므로, $M_X = 32$ 이다.

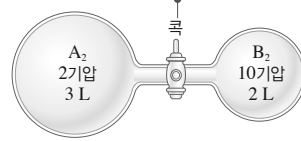
ㄷ. 실린더의 온도를 높이면 두 기체 모두 분자의 운동 속력이 빨라지므로 피스톤은 이동하지 않는다.

27

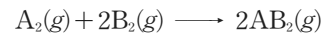
문제 분석하기

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

- $A_2 : 2\text{기압} \times 3\text{ L} = P_{A_2} \times 5\text{ L}$, $P_{A_2} = 1.2\text{기압}$
- $B_2 : 10\text{기압} \times 2\text{ L} = P_{B_2} \times 5\text{ L}$, $P_{B_2} = 4\text{기압}$



온도가 일정한 조건에서 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례하는데, 코를 열면 A_2 와 B_2 의 부피는 같다. 따라서 기체의 몰수는 각 기체의 부분 압력에 비례하므로, A_2 를 모두 반응시켰을 때 부분 압력의 변화는 다음과 같다.



반응 전 1.2 4 0

반응 시 -1.2 -2.4 +2.4

반응 후 0 1.6 2.4

A_2 가 모두 반응하면 B_2 가 남고, 남은 B_2 의 부분 압력은 1.6기압이다. 이때 생성된 기체 AB_2 의 부분 압력은 2.4기압이다.

●모범 답안● (1) 온도가 일정할 때 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례한다. 따라서 코를 열기 전 기체 A의 몰수 : 기체 B의 몰수 = 2기압 \times 3 L : 10기압 \times 2 L = 3 : 10이다.

(2) $B_2 : 1.6\text{기압}$, $AB_2 : 2.4\text{기압}$

채점 기준	배점
(1) 몰수비를 원리를 포함하여 옳게 서술한 경우	50 %
(2) 남아 있는 기체의 부분 압력을 옳게 구한 경우	50 %

28

문제 분석하기

기체 분자의 평균 운동 속력 : $A < B \rightarrow$ 기체의 분자량 : $A > B$

코를 열면 기체 분자의 평균 운동 속력이 빠른 B가 A보다 더 빠르게 분출되므로 코를 닫았을 때 실린더에 남아 있는 기체 분자 수는 A가 B보다 많기 때문이다.

●모범 답안● 피스톤은 오른쪽으로 이동한다. 코를 열면 기체 분자의 평균 운동 속력이 빠른 B가 A보다 더 빠르게 분출되므로 코를 닫았을 때 실린더에 남아 있는 기체 분자 수는 A가 B보다 많기 때문이다.

채점 기준	배점
피스톤의 이동 방향과 그 이유를 옳게 서술한 경우	100 %
피스톤의 이동 방향만 옳게 쓴 경우	50 %

03 액체와 고체

개념 확인 문제

47쪽

1 끓음, 수소 2 비열 3 높 4 크 5 <, > 6 표면
장력 7 모세관

A 1 (1) \times (2) \bigcirc (3) \times (4) \bigcirc 2 (1) 결합 A : 수소 결합, 결합
B : 공유 결합 (2) 결합 A (3) 결합 B 3 (1) \times (2) \times (3) \bigcirc
4 (1) \sqsubset (2) \supset (3) \sqsubset (4) \supset

1 (1) 물은 얼음보다 밀도가 크다. 따라서 부피가 같은 경우 물은 얼음보다 질량이 크다.

(2) 물은 수소 결합을 하여 분자 사이의 인력이 크기 때문에 다른 물질보다 비열이 크다. 따라서 같은 양의 열에너지가 가할 때 다른 물질에 비해 온도가 쉽게 높아지지 않는다.

(3) 물은 수소 결합을 하여 분자 사이의 인력이 크기 때문에 분자량이 비슷한 메테인보다 녹는점과 끓는점이 높다.

(4) 물은 수소 결합을 하여 분자 사이의 인력이 크기 때문에 표면장력이 크다. 또, 물은 수소 결합으로 인해 응집력과 부착력이 크므로 다른 액체에 비해 모세관 현상이 잘 나타난다.

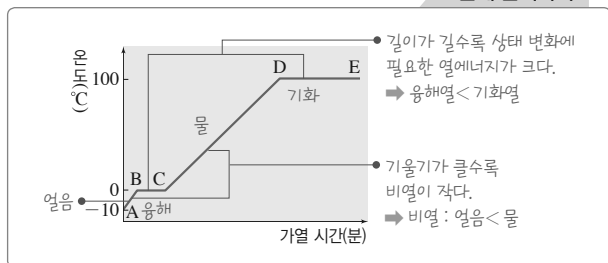
2 (1) 결합 A는 물 분자 사이의 수소 결합이고, 결합 B는 물 분자를 이루는 수소 원자와 산소 원자 사이의 공유 결합이다. 분자 사이의 수소 결합은 원자 사이의 공유 결합보다 결합의 세기가 약하므로, 결합 A는 결합 B보다 끊어지기 쉽다.

(2) 물의 상태가 변할 때 끊어지는 부분은 물 분자 사이의 결합인 결합 A이다.

(3) 물이 수소와 산소로 분해될 때 끊어지는 부분은 원자 사이의 결합인 결합 B이다.

3

문제 분석하기



(1) BC 구간에서 수소 결합의 일부가 끊어지면서 얼음이 물로 상태가 변하므로 수소 결합의 수가 감소한다.

(2) CD 구간의 기울기가 AB 구간의 기울기보다 작으므로, 물은 얼음보다 비열이 크다.

(3) DE 구간의 길이가 BC 구간의 길이보다 길므로, 물의 기화열은 얼음의 용해열보다 크다.

4 (1) 물은 표면 장력이 크기 때문에 소금쟁이와 같은 가벼운 곤충들이 물 위에 뜰 수 있다.

(2) 낮에는 해풍이 불고, 밤에는 육풍이 부는 것은 바닷물의 비열이 육지의 비열보다 크기 때문에 나타나는 현상이다.

(3) 겨울철에 호수나 강의 물이 표면부터 어는 현상은 얼음의 밀도가 물의 밀도보다 작기 때문이다.

(4) 식물의 뿌리에서 흡수된 물이 물관을 따라 잎까지 올라가는 현상은 모세관 현상으로 설명할 수 있다.

개념 확인 문제

51쪽

1 결정성 2 비결정성 3 이온 4 분자 5 원자
6 금속

B 1 (1) \times (2) \bigcirc (3) \bigcirc (4) \bigcirc 2 (1) (가) 이온 결정 (나) 원자
결정 (2) (가) 3 (1) 8개 (2) Cs^+ : 1개, Cl^- : 1개

1 (1) 이온 결정은 양이온과 음이온이 정전기적 인력에 의해 규칙적으로 배열된 결정으로, 반대 전하를 띠는 이온들이 인접해 있다. 따라서 외부 충격에 의해 이온들이 밀리면 같은 전하를 띠는 이온끼리 반발하여 쉽게 부스러진다.

(2) 분자 결정은 공유 결합으로 이루어진 분자들이 분자 사이의 인력에 의해 규칙적으로 배열된 결정으로, 다른 결정에 비해 구성 입자 간 결합력이 상대적으로 약하다. 따라서 녹는점과 끓는점이 매우 낮다.

(3) 원자 결정은 원자들이 연속적으로 공유 결합을 하여 규칙적으로 배열된 결정으로 매우 단단하다. 대부분의 원자 결정은 고체 상태와 액체 상태에서 모두 전기를 통하지 않지만, 흑연은 예외적으로 고체 상태에서 전기를 통한다.

(4) 금속 결정은 금속 양이온과 자유 전자 사이의 정전기적 인력에 의한 금속 결합으로 이루어진 결정이다. 금속 결정은 자유 전자를 가지고 있어 금속 광택이 나타나고, 열전도성과 전기 전도성 및 전성(피짐성)과 연성(뺨힘성)이 모두 크다.

2 (1) (가)는 염화 나트륨(NaCl)으로, 양이온인 Na^+ 과 음이온인 Cl^- 사이의 정전기적 인력에 의해 형성된 이온 결정이다.

(나)는 다이아몬드(C)로, 탄소 원자 사이의 공유 결합에 의해 형성된 원자 결정이다.

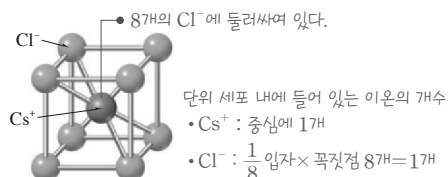
(2) 이온 결정인 염화 나트륨은 액체 상태와 수용액 상태에서 이온들의 이동이 자유롭기 때문에 전기 전도성이 있지만, 원자 결

정인 다이아몬드는 모든 원자가 전자가 공유 결합에 참여하므로 전기 전도성이 없다.

3

문제 분석하기

염화 세슘은 염화 이온(Cl^-)과 세슘 이온(Cs^+)이 정육면체의 꼭짓점과 중심에 자리 잡은 구조로 단순 입방 격자 2개가 겹쳐 있는 구조이다.



개념 확인 문제

53쪽

1 고체, 액체, 기체 2 온도, 압력

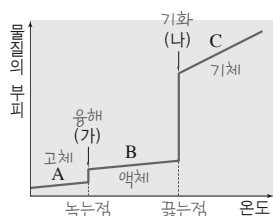
1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 (1) $A < B < C$ (2) (가) < (나)

1 (1), (2) 물질의 상태는 온도와 압력에 따라 변할 수 있다. 물질의 상태 변화 중 융해는 고체가 열에너지를 흡수하여 액체로 상태가 변하는 현상이고, 기화는 액체가 열에너지를 흡수하여 기체로 상태가 변하는 현상이다.

(3) 물질에 압력을 가하면 부피가 줄어들어 분자 사이의 거리가 가까워지면서 인력이 커지므로 기체는 액체로, 액체는 고체로 상태가 변한다. 단, 물은 예외적으로 얼음에 압력을 가하면 물이 된다.

2

문제 분석하기



(1) 온도가 높을수록 분자의 평균 운동 에너지가 커지므로, 분자의 평균 운동 에너지는 $A < B < C$ 이다.

(2) 기화가 일어날 때는 분자 사이의 결합을 완전히 끊고 분자들이 자유롭게 운동할 수 있게 되어야 하므로 융해가 일어날 때보다 더 많은 열에너지가 필요하다.

대표 자료 분석

54쪽

대표 자료 1 1 결합 A : 수소 결합, 결합 B : 공유 결합, 결합력의

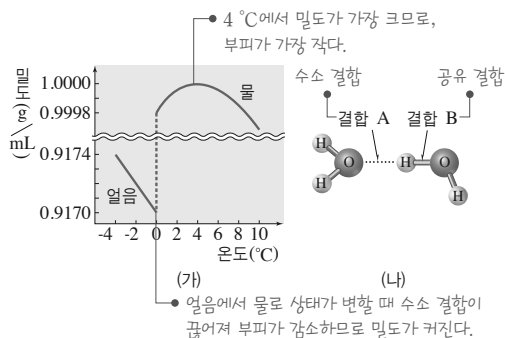
크기 : 결합 $A <$ 결합 B 2 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

대표 자료 2 1 2개 2 4개 3 Na^+ : 4개, Cl^- : 4개 4 (1) ○

(2) ○ (3) × (4) ○

1-1

문제 분석하기



결합 A는 물 분자 사이의 수소 결합이고, 결합 B는 물 분자를 이루는 수소 원자와 산소 원자 사이의 공유 결합이다. 원자 사이의 결합은 분자 사이의 결합보다 강하므로, 결합 A는 결합 B보다 결합력이 작다.

1-2 (1) 얼음은 물보다 밀도가 작다. 따라서 질량이 같을 때 얼음이 물보다 부피가 크다.

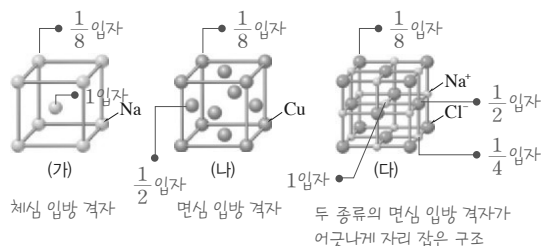
(2) 물은 0 °C에서 온도가 높아질 때 4 °C까지는 밀도가 커지지만, 4 °C 이후에는 밀도가 작아진다. 이는 4 °C에서 물 분자 사이의 평균 거리가 가장 가까워 물의 부피가 가장 작기 때문이다.

(3) 얼음이 물로 변할 때 수소 결합이 끊어지므로, 결합 A의 수가 감소한다.

(4) 0 ~ 4 °C 사이에서 물의 밀도가 증가하는 것은 수소 결합이 끊어져 부피가 감소하기 때문이다. 즉, 결합 A가 끊어지기 때문이다.

2-1

문제 분석하기



(가)에서 꼭짓점에 위치하는 8개의 입자는 $\frac{1}{8}$ 에 해당하고, 중심에 1개의 입자가 위치하므로 단위 세포 안에 있는 Na 원자의 수는 $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ 개이다.

②-2 (나)에서 꼭짓점에 위치하는 8개의 입자는 $\frac{1}{8}$ 에 해당하고, 면에 위치하는 6개의 입자는 $\frac{1}{2}$ 에 해당하므로 단위 세포 안에 있는 Cu 원자의 수는 $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ 개이다.

②-3 (다)의 Na^+ 에서 모서리에 위치하는 12개의 입자는 $\frac{1}{4}$ 에 해당하고, 중심에 1개의 입자가 위치하므로 단위 세포 안에 있는 Na^+ 은 4개이다. 또, Cl^- 에서 꼭짓점에 위치하는 8개의 입자는 $\frac{1}{8}$ 에 해당하고, 면에 위치하는 6개의 입자는 $\frac{1}{2}$ 에 해당하므로 단위 세포 안에 있는 Cl^- 은 4개이다.

②-4 (1), (4) (가)와 (나)는 금속 결정으로 고체 상태와 액체 상태에서 모두 전기 전도성이 있고, (다)는 이온 결정으로 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만 액체 상태나 수용액 상태에서는 전기 전도성이 있다.

(2) (가)의 단위 세포에 포함된 입자 수는 2개이고, (나)의 단위 세포에 포함된 입자 수는 4개이므로 입자 수는 (나)가 (가)의 2배이다.

(3) (가)의 Na 원자의 결정 구조는 체심 입방 격자이고, (다)의 Na^+ 의 결정 구조는 면심 입방 격자이다.

내신 만점 문제

55~59쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ② 04 ② 05 ③ 06 ④ 07 ①
08 ② 09 ⑤ 10 ② 11 ③ 12 ④ 13 ⑤ 14 ③
15 ㄱ, ㄴ 16 ③ 17 ③ 18 ④ 19 ① 20 해설 참조
21 해설 참조 22 해설 참조

01 결합 A는 물 분자 사이의 수소 결합이고, 결합 B는 물 분자를 이루는 수소 원자와 산소 원자 사이의 공유 결합이다.

ㄱ. 원자 사이의 공유 결합은 분자 사이의 수소 결합보다 결합 세기가 강하므로, 결합 A는 결합 B보다 결합력이 작아 끊어지기 쉽다.

ㄴ. 얼음에서 물로 상태가 변하면 수소 결합이 끊어져 부피가 감소한다. 따라서 물 분자 1개당 결합 A의 평균 개수가 감소한다.

ㄷ. 얼음은 물에 비해 부피가 크므로, 분자 사이의 평균 거리가 더 멀다.

02 ① 밀도, ② 표면 장력, ④ 비열, ⑤ 모세관 현상으로, 모두 수소 결합으로 인해 나타나는 현상이다.

바로알기 ③ 물은 극성 물질이고 기름은 무극성 물질로, 극성 물질과 무극성 물질은 잘 섞이지 않는다. 물이 극성을 띠는 것은 분자 내의 전하 분포에 의한 것으로, 수소 결합으로 인해 나타나는 현상이 아니다.

03 바닷가에서 낮에는 해풍이 불고 밤에는 육풍이 부는 것은 물의 비열이 크기 때문에 나타나는 현상이다. 바닷물의 비열이 육지보다 크므로 낮에는 바닷물의 온도가 육지보다 서서히 높아진다. 따라서 육지 쪽 공기가 상승하므로 그 자리를 메우기 위해 바다에서 육지 쪽으로 공기가 이동하여 해풍이 분다. 밤에는 반대로 바닷물의 온도가 육지보다 서서히 낮아지므로 바다 쪽 공기가 상승하여 육지에서 바다 쪽으로 공기가 이동하여 육풍이 분다.

04 ㄱ. 전자쌍을 끌어당기는 힘이 큰 F, O, N 원자와 공유 결합을 하는 H 원자와, 이웃한 다른 분자의 F, O, N 원자 사이에는 분자 사이의 강한 힘인 수소 결합이 형성된다. 따라서 수소 결합을 하는 물질은 암모니아(NH_3)와 물(H_2O)이다.

ㄴ. 분자 사이의 인력이 클수록 녹는점과 끓는점이 높다. 따라서 녹는점과 끓는점이 가장 높은 물이 분자 사이의 인력이 가장 크다.

바로알기 ㄷ. 녹는점 < 상온(25°C) < 끓는점인 물질은 상온에서 액체 상태로 존재한다. 따라서 상온에서 액체 상태로 존재하는 물질은 물이다. 메테인과 암모니아는 모두 끓는점 < 상온(25°C) 이므로 상온에서 기체 상태로 존재한다.

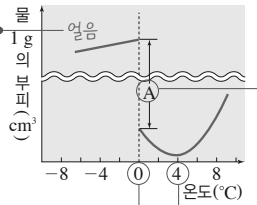
05 ㄱ. 분자 사이의 인력이 큰 물질일수록 녹는점과 끓는점이 높다. A와 B의 가열 곡선으로 보아 A의 녹는점과 끓는점이 B보다 높으므로, 분자 사이의 인력은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 열용량($\text{J}/^\circ\text{C}$)은 어떤 물질의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량으로 비열에 질량을 곱한 값이다. 따라서 B의 질량을 20 g으로 하면 열용량이 2배가 되므로 액체 구간의 기울기가 감소한다.

바로알기 ㄴ. 가열 곡선에서 그래프의 기울기가 클수록 온도 변화가 크므로 비열이 작다. 따라서 A는 고체 상태의 비열이 액체 상태보다 작다.

③ 물이 얼음으로 응고될 때 수소 결합에 의해 빈 공간이 많은 육각형 구조를 형성하므로 부피가 커진다. 또한 얼음이 물로 용해될 때 수소 결합의 일부가 끊어져서 물 분자가 빈 공간을 채우므로 부피가 감소한다.

⑤ 얼음의 온도가 높아질수록 부피가 증가하므로 분자 사이의 빈 공간이 커진다.



① 0 °C에서 물이 얼음으로 응고되고, ② 4 °C에서 물의 부피가 얼음이 물로 용해되는 상태 변화가 일어나므로 부피가 급격하게 변한다.

가장 작으므로 물의 밀도는 가장 크다.

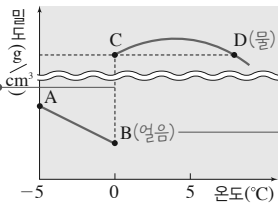
바로알기 ④ 4 °C에서 물의 부피가 가장 작으므로 물 분자 사이의 평균 거리는 가장 가깝다.

07 (가)에서 얼음이 물 위에 떠 있으므로 얼음의 밀도가 물보다 작음을 알 수 있다. 또한 (나)에서 고체 벤젠이 액체 벤젠 속에 가라앉아 있으므로 고체 벤젠의 밀도가 액체 벤젠보다 큼을 알 수 있다.

ㄱ. 얼음의 밀도가 물보다 작으므로 같은 질량일 때 얼음의 부피가 물보다 크다.

바로알기 ㄴ. 고체 벤젠이 가라앉는 것은 액체 벤젠보다 밀도가 크기 때문이다. 벤젠 분자 사이에는 수소 결합이 존재하지 않는다. ㄷ. 액체 벤젠이 고체가 되면 분자 사이의 거리가 가까워지므로 빈 공간이 감소한다. 따라서 부피가 더 작아져 밀도가 커진다.

얼음이 녹아 물로 상태가 변할 때 물 분자 사이의 빈 공간이 감소하므로 부피가 작아져 밀도가 커진다.



ㄷ. 분자 사이의 평균 거리는 B (얼음)가 D (물)보다 멀다.

바로알기 ㄱ. -5 °C의 얼음 20 g이 0 °C 얼음으로 될 때 분자당 평균 수소 결합 수는 일정하지만, 열팽창에 의해 부피가 증가하므로 밀도는 감소한다.

ㄴ. 밀도는 단위 부피당 질량으로 물질의 특성이다. 따라서 얼음의 질량을 10 g으로 하여 가열하여도 물과 얼음의 밀도는 변하지 않으므로 BC의 길이는 변하지 않는다.

09 결합 A는 수소 결합, 결합 B는 공유 결합이다.

ㄱ. 물방울 모양이 둥근 것은 물의 표면 장력으로 인해 나타나는

현상이며, 물의 표면 장력이 큰 이유는 물 분자 사이의 수소 결합인 결합 A 때문이다.

ㄴ. 표면 장력이 클수록 물방울의 모양이 더 둥글다. 50 °C 물방울은 20 °C 물방울보다 표면 장력이 작으므로, 1몰당 수소 결합의 평균 개수가 더 적다.

ㄷ. 표면 장력이 클수록 바늘을 띄우는 것이 더 쉬우므로, 50 °C 물보다 20 °C 물 위에 바늘을 띄우는 것이 더 쉽다.

10 ㄷ. 모세관 현상은 액체의 응집력과 액체와 모세관 사이의 부착력이 클수록 잘 일어난다.

바로알기 ㄱ. 더 가는 유리관을 사용하면 부착력이 커져 물이 더 높이 올라가므로 h 가 증가한다.

ㄴ. 수은은 부착력에 비해 응집력이 훨씬 크기 때문에 모세관 현상이 잘 나타나지 않는다. 따라서 물 대신 수은을 사용하면 h 가 감소한다.

11 (가)의 석영과 (나)의 유리는 모두 산소와 규소로 이루어진 물질이다. 석영은 구성 원자들이 규칙적인 배열을 이루고 있는 결정성 고체로 녹는점이 일정한 반면, 유리는 구성 입자들이 불규칙적인 배열을 이루고 있는 비결정성 고체로 열에 의해 결합이 약한 부분부터 끊어지므로 녹는점이 일정하지 않다.

(다)의 얼음은 공유 결합으로 이루어진 분자들이 분자 사이의 인력에 의해 규칙적으로 배열된 분자 결정이다. 따라서 (가)의 석영과 (다)의 얼음은 결정성 고체이며, 결정성 고체에는 이온 결정, 분자 결정, 원자 결정, 금속 결정이 있다.

12 모형은 금속 결합을 나타낸 것으로 A는 금속 양이온이고, B는 자유 전자이다.

ㄱ. 금속 결합은 금속 양이온과 자유 전자 사이의 정전기적 인력에 의해 형성된다.

ㄷ. 금속은 자유 전자로 인해 광택이 나타나고, 열전도성, 전기전도성, 전성, 연성이 크다.

바로알기 ㄴ. 전압을 걸어 주면 자유 전자는 (+)극 쪽으로 이동하지만, 금속 양이온은 어느 방향으로도 이동하지 않는다.

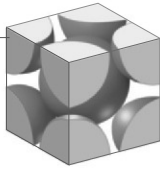
13 A는 녹는점이 높고 은백색을 띠며, 고체 상태와 액체 상태에서 전기 전도성이 있으므로 금속 결정이다. B는 녹는점이 높고, 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만 액체 상태에서는 전기 전도성이 있으므로 이온 결정이다. C는 녹는점이 낮고, 고체 상태와 액체 상태에서 전기 전도성이 없으므로 분자 결정이다.

ㄱ. A는 금속 양이온과 자유 전자로 이루어져 있다.

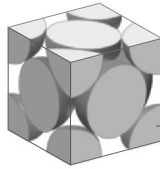
ㄴ. B는 양이온과 음이온의 정전기적 인력인 이온 결합에 의해 형성된다.

ㄷ. C는 분자 사이의 약한 인력에 의해 이루어진 물질이다.

ㄱ. 단순 입방 격자의 단위 세포 중심에 또 하나의 입자가 자리 잡은 구조로 체심 입방 격자이다. (가)의 단위 세포 안에 들어 있는 입자 수는 $\frac{1}{8}$ 입자 \times 꼭짓점 8 + 중심 1 = 2(가)이다.



(가)



(나)

ㄴ. 단순 입방 격자의 단위 세포에 있는 6개의 면에 $\frac{1}{2}$ 입자가 자리 잡은 구조로 면심 입방 격자이다. (나)의 단위 세포 안에 들어 있는 입자 수는 $\frac{1}{8}$ 입자 \times 꼭짓점 8 + $\frac{1}{2}$ 입자 \times 면 6 = 4(나)이다.

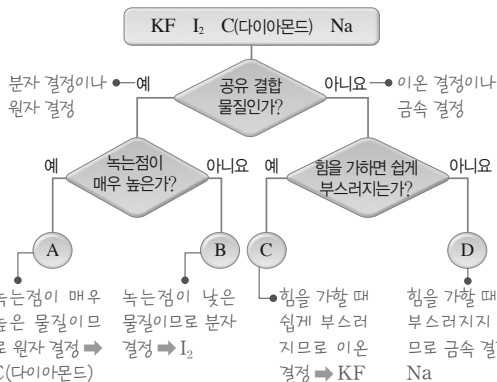
바로알기 ㄷ. 단위 세포 안에 들어 있는 입자 수는 (가)가 2개, (나)가 4개이므로 (가)가 (나)의 $\frac{1}{2}$ 이다.

15 (가) 염화 나트륨의 결정 구조는 두 종류의 면심 입방 격자가 어긋나게 자리 잡은 구조이고, (나) 염화 세슘의 결정 구조는 두 종류의 단순 입방 격자가 겹쳐 있는 구조이다.

ㄱ. Na^+ 1개는 6개의 Cl^- 에 의해 둘러싸여 있고, Cl^- 1개는 6개의 Na^+ 에 의해 둘러싸여 있다.

ㄴ. Cs^+ 은 중심에 1개의 입자가 위치하고, Cl^- 은 꼭짓점에 8개의 $\frac{1}{8}$ 입자가 위치하므로 Cs^+ 과 Cl^- 의 개수비는 1 : 1이다.

바로알기 ㄷ. 염화 나트륨의 결정 구조에서 Cl^- 은 꼭짓점에 8개의 $\frac{1}{8}$ 입자가 위치하며, 면에 6개의 $\frac{1}{2}$ 입자가 위치하므로, 단위 세포 안에 있는 Cl^- 은 4개이다. 염화 세슘의 결정 구조에서 Cl^- 은 꼭짓점에 8개의 $\frac{1}{8}$ 입자가 위치하므로 단위 세포 안에 있는 Cl^- 은 1개이다.



ㄱ. C(다이아몬드)는 입체적인 그물 구조를 갖는 원자 결정이다.
ㄴ. 분자 결정인 I₂(아이오딘)은 분산력으로 결합하고 있다.

바로알기 ㄷ. 금속 결정인 Na(나트륨)은 고체 상태에서 전기 전도성이 있지만, 이온 결정인 KF(플루오린화 칼륨)은 고체 상태에서 전기 전도성이 없다.

17 ③ t_1 보다 t_2 에서 부피 변화가 더 크게 일어나므로 밀도는 t_1 보다 t_2 에서 크게 감소한다.

바로알기 ① t_1 은 고체에서 액체로 상태가 변하면서 부피가 약간 증가하는 구간이다. 따라서 승화가 아니라 용해가 일어나는 구간이다.

② 고체 혼합물은 녹는점이 일정하지 않으므로 온도가 일정한 구간이 나타나지 않는다. 이 고체 물질은 녹는점이 일정하므로 순 물질이다.

④ B 구간은 액체가 가열되어 온도가 높아지는 구간이므로 액체 상태만 존재한다. 두 가지 상태가 존재하는 구간은 상태 변화가 일어나는 구간으로, 온도가 t_1 과 t_2 인 구간이다.

⑤ C 구간에서 기체의 온도가 계속 높아지고 있으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 증가한다.

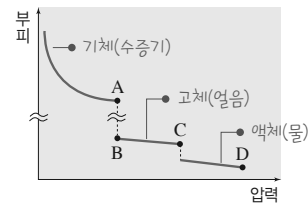
18 일반적인 물질의 세 가지 상태를 나타내는 모형이므로 (가)는 고체, (나)는 액체, (다)는 기체 상태를 나타낸다.

ㄱ. 드라이아이스는 1기압, 상온에서 고체에서 기체로 상태가 변한다.

ㄷ. 물을 제외한 대부분의 물질은 기체에 압력을 가하면 액체로 상태가 변하고, 액체에 압력을 가하면 고체로 상태가 변한다.

바로알기 ㄴ. 물질은 액체에서 기체로 상태가 변할 때 열에너지(기화열)를 흡수한다.

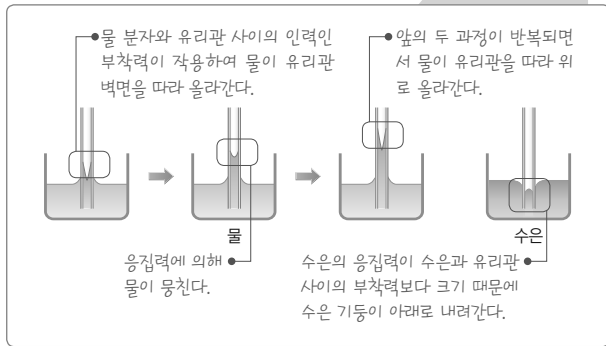
일정한 온도에서 기체 상태의 수증기에 압력을 가하면 부피가 감소하여 고체 상태의 얼음을 거쳐 액체 상태의 물로 변한다.



ㄱ. A에서 B로의 변화는 수증기에서 얼음으로의 변화이므로 승화이다.

바로알기 ㄴ. C는 얼음, D는 물이므로 같은 온도에서 단위 부피당 질량인 밀도는 C가 D보다 작다.

ㄷ. BC 구간에서는 고체 상태의 얼음으로 존재한다.



●모범 답안● 물은 응집력보다 유리와의 부착력이 더 크기 때문에 아래로 볼록한 모양을 나타내며 위로 올라가고, 수은은 응집력이 유리와의 부착력보다 더 크기 때문에 위로 볼록한 모양을 나타내며 아래로 내려간다.

채점 기준	배점
물과 수은 각각에서 응집력과 부착력의 크기를 비교하여 모두 옳게 서술한 경우	100 %
물과 수은 중 한 가지에서만 응집력과 부착력의 크기를 비교하여 옳게 서술한 경우	50 %

21 금속 원자에서 떨어져 나온 자유 전자는 금속 양이온에 결합되어 있지 않고, 규칙적으로 배열되어 있는 양이온들 사이를 자유롭게 이동하여 전하를 운반할 수 있다. 따라서 금속 결정은 고체 상태에서도 전기 전도성이 있다.

●모범 답안● 금속 결정이 고체 상태에서 전기 전도성을 나타내는 이유는 고체 상태에서도 자유 전자가 자유롭게 이동할 수 있기 때문이다.

채점 기준	배점
자유 전자를 언급하여 옳게 서술한 경우	100 %
자유 전자로 서술하지 못한 경우	0 %

22 기체에 압력을 가하면 액체로 상태가 변하고, 액체에 가해진 압력을 제거하면 기체로 상태가 변한다. (나)에서 플라스크 위에 얼음주머니를 올려놓으면 플라스크 안의 수증기가 냉각되어 액화되므로 플라스크 안 기체의 압력이 낮아진다. 1기압 상태에서 물이 기화되는 온도, 즉 끓는점은 100 °C이지만 플라스크 안의 압력이 낮아지면 물의 끓는점도 낮아지므로 100 °C보다 낮은 온도에서 끓는다.

●모범 답안● 플라스크 바닥에 얼음주머니를 올려놓으면 수증기가 액화되므로 플라스크 안의 압력이 낮아져 물이 액체에서 기체로 상태가 변하기 때문이다.

채점 기준	배점
압력과 상변화의 관계로 옳게 서술한 경우	100 %
압력이 낮아져 물의 끓는점이 낮아지기 때문이라고 서술한 경우	80 %

① 높 ② 높 ③ 높 ④ H(수소) ⑤ 높 ⑥ 수소 결합 ⑦ 분산력
 ⑧ 분산력 ⑨ 반비례 ⑩ 비례 ⑪ 반비례 ⑫ 비례 ⑬ 비례
 ⑭ nRT ⑮ 부분 압력 ⑯ 전체 압력 ⑰ 절대 온도 ⑱ 확산
 ⑲ 분출 ⑳ 분자량 ㉑ 밀도 ㉒ 굵은 ㉓ 수소 ㉔ 이온
 ㉕ 분자 ㉖ 원자 ㉗ 금속 ㉘ 단순 ㉙ 체심 ㉚ 면심

중단원 마무리 문제

62~66쪽

01 ③	02 ①	03 ①	04 ②	05 ⑤
06 ⑤	07 ②	08 ㄱ, ㄴ, ㄷ	09 ④	10 ③
11 ④	12 ④	13 ③	14 ⑤	15 ④
16 ⑤	17 ①	18 ④	19 ②	20 ②

01 ㄱ. 제시된 탄소 화합물은 모두 무극성 물질로, 분산력이 클수록 끓는점이 높다. 따라서 끓는점이 가장 높은 노말펜테인의 분산력이 가장 크다.

ㄷ. 노말펜테인과 네오펜테인은 분자량이 같지만, 노말펜테인의 표면적이 더 커서 분산력이 크므로 네오펜테인보다 끓는점이 높다.

바로알기 ㄴ. 분산력은 분자량이 클수록, 분자량이 비슷하면 분자의 표면적이 클수록 증가한다.

02

문제 분석하기

ㄱ. 무극성 물질인 C의 끓는점이 가장 높으므로 분자량이 가장 큰 물질이 C임을 알 수 있다.

물질	A	B	C	D
녹는점(°C)	-220	-115	-7	-210
끓는점(°C)	-188	-85	59	-196
성질	무극성	극성	무극성	무극성

바로알기 ㄴ. A와 D는 무극성 물질이므로 수소 결합이 존재하지 않는다.

ㄷ. 분자량이 큰 무극성 물질은 분자 사이에 작용하는 분산력이 크므로 쌍극자-쌍극자 힘을 가지는 극성 물질보다 끓는점이 높게 나타난다.

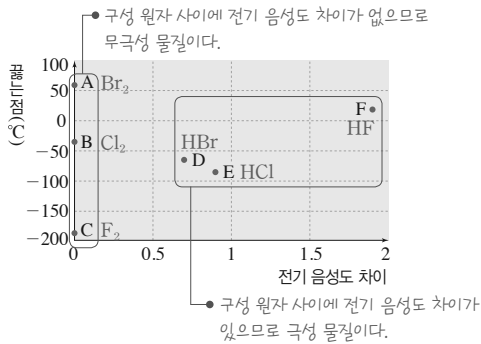
03 ㄱ. 물질은 녹는점이 상온보다 낮고, 끓는점이 상온보다 높을 때 상온에서 액체 상태로 존재한다. 따라서 상온에서 액체인 물질은 CCl_4 이다. CH_4 과 NH_3 는 끓는점이 상온보다 낮으므로 상온에서 기체 상태로 존재한다.

바로알기 ㄴ. 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자에 직접 H 원자가 결합된 분자가 수소 결합을 한다. 따라서 수소 결합을 하는 물질은 NH_3 이다.

ㄷ. CH_4 과 CCl_4 는 모두 무극성 물질이지만, CH_4 보다 CCl_4 의 분자량이 더 크므로 분산력도 더 크다.

04

문제 분석하기



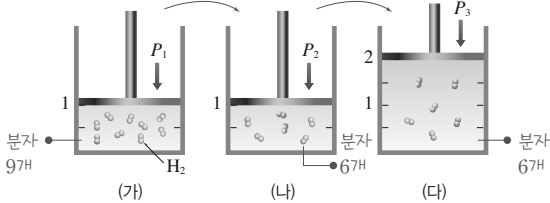
- ① 극성 물질은 구성 원자 사이에 전기 음성도 차이가 있는 D~F이다.
- ③ A와 B는 무극성 물질이므로, A가 B보다 끓는점이 높은 것은 분자량이 더 커서 분산력이 크기 때문이다.
- ④ D가 E보다 전기 음성도 차이가 작으므로 쌍극자-쌍극자 힘은 D가 E보다 작다. D가 E보다 끓는점이 높은 것은 분자량이 더 커서 분산력이 크기 때문이다.
- ⑤ F는 전기 음성도 차이가 가장 크고, 끓는점이 높은 것으로 보아 수소 결합 물질이다.

바로알기 ② F는 HF로, 분자량이 가장 작지만 수소 결합 물질이므로 끓는점이 높다.

05

문제 분석하기

절대 온도와 부피는 같고, 분자 수 비는 (가) : (나) = 9 : 6이다. 절대 온도와 부피는 (나) : (다) = 1 : 2이고, 분자 수는 같다.



밀폐된 실린더에 들어 있는 기체의 압력은 온도와 부피가 같을 때 기체의 분자 수에 비례한다. (가)와 (나)에서 온도와 부피는 같고, 기체의 분자 수비가 9 : 6이므로 기체의 압력비는 $P_1 : P_2 = 3 : 2$ 이다. 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 에서 $P = \frac{nRT}{V}$ 이므로 일정량의 기체의 압력은 부피에 반비례하고, 절대 온도에 비례한다. 따라서 (나)와 (다)의 기체의 압력은 같다. 즉, 기체의 압력비는 $P_1 : P_2 = 3 : 2$ 이고, $P_2 : P_3 = 1 : 1$ 이므로 $P_1 : P_2 : P_3 = 3 : 2 : 2$ 이다.

06 0°C , 1기압에서 기체 1 mol의 부피는 22.4 L이다. 따라서 4.48 L의 A_2 는 $\frac{4.48 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.2 \text{ mol}$, 1.12 L의 BA_4 는 $\frac{1.12 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.05 \text{ mol}$, 2.24 L의 C는 $\frac{2.24 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이다.

ㄱ. A_2 0.2 mol의 질량이 0.4 g이므로 A_2 1 mol의 질량은 2.0 g이다. 1 mol의 질량은 “분자량 + g”이므로 A_2 의 분자량은 2이고, A의 원자량은 1이다. C 0.1 mol의 질량은 0.4 g이므로 C 1 mol의 질량은 4 g이고, C의 원자량은 4이다. 따라서 원자량은 C가 A의 4배이다.

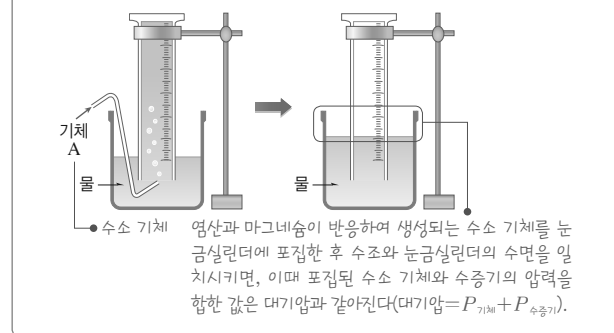
ㄴ. BA_4 0.05 mol의 질량은 0.8 g이므로 BA_4 1 mol의 질량은 16 g이고, BA_4 의 분자량은 16이다. A_2 의 분자량은 2이므로 BA_4 의 분자량은 A_2 의 8배이다.

ㄷ. 분자 수는 몰수에 비례하므로, 질량이 같을 때 분자량이 가장 큰 기체인 BA_4 의 분자 수가 가장 적다.

[다른 풀이] ㄱ, ㄴ. 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 에서 $M = \frac{wRT}{PV}$ 이므로 이 식에 0°C , 1기압과 각 기체의 부피, 질량을 대입하면 A_2 , BA_4 , C의 분자량을 구할 수 있다.

07

문제 분석하기



ㄱ. 포집된 기체의 압력은 대기압에서 수증기압을 빼서 구한다. 즉, $760 \text{ mmHg} - 24 \text{ mmHg} = 736 \text{ mmHg}$ 이다.

ㄴ. 용기에 들어 있는 기체는 용기 내의 전체 공간을 차지하므로 눈금실린더에 포집된 기체의 부피와 눈금실린더 내부의 수증기의 부피는 같다.

바로알기 ㄷ. 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 에서 $M = \frac{wRT}{PV}$ 이므로, 이 식을 이용하여 기체의 분자량을 계산한다. 기체의 분자량은 절대 온도에 비례하므로 물의 온도가 낮게 측정되면 분자량이 작게 계산된다. 또한 물의 온도가 낮을수록 보정해야 하는 수증기압이 작아지므로 기체의 압력이 실제보다 크게 측정되어 분자량이 작게 계산된다.

08 ㄱ. A와 B는 절대 온도가 같으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지가 같다.

ㄴ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 $n=\frac{PV}{RT}$ 이므로 기체의 몰수는 $\frac{PV}{T}$ 에 비례한다. 따라서 몰수비는 A : B : C = 4 : 2 : 1 이므로 몰수는 B가 C의 2배이다.

ㄷ. 단위 부피당 기체 분자 수 $\frac{n}{V}=\frac{P}{RT}$ 이므로 A와 C가 같다.

09 ㄱ. 온도가 일정할 때 일정량의 기체의 압력과 부피의 곱은 항상 일정하다. 따라서 일정한 온도에서 콕 a만 열었을 때 He과 CH₄의 부분 압력은 다음과 같이 구할 수 있다.

• He : 1기압 \times 2 L = $P_{\text{He}} \times$ 3 L, $P_{\text{He}} = \frac{2}{3}$ 기압

• CH₄ : 2기압 \times 1 L = $P_{\text{CH}_4} \times$ 3 L, $P_{\text{CH}_4} = \frac{2}{3}$ 기압

ㄷ. 콕 a와 b를 동시에 열면 왼쪽 용기의 He의 부분 압력은 $\frac{1}{2}$ 기압(1기압 \times 2 L = $P_{\text{He}} \times$ 4 L), CH₄의 부분 압력은 $\frac{1}{2}$ 기압(2기압 \times 1 L = $P_{\text{CH}_4} \times$ 4 L), 오른쪽 용기의 He의 부분 압력은 $\frac{1}{4}$ 기압(1기압 \times 1 L = $P_{\text{He}} \times$ 4 L)이 되므로 전체 압력은 1.25 기압이다.

바로알기 ㄴ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 압력과 부피의 곱은 몰수에 비례한다. 따라서 일정한 온도에서 콕 b만 열었을 때 CH₄와 He의 몰 분율은 압력과 부피의 곱을 이용하여 구할 수 있다.

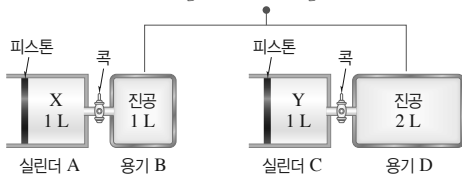
CH₄의 몰 분율은 $\frac{2\text{기압} \times 1\text{ L}}{(2\text{기압} \times 1\text{ L}) + (1\text{기압} \times 1\text{ L})} = \frac{2}{3}$ 이고,

He의 몰 분율은 $\frac{1\text{기압} \times 1\text{ L}}{(2\text{기압} \times 1\text{ L}) + (1\text{기압} \times 1\text{ L})} = \frac{1}{3}$ 이다.

10

문제 분석하기

ㄷ. $PV=nRT$ 에서 온도가 일정할 때 압력과 부피의 곱은 몰수에 비례하므로, 콕을 동시에 열었다가 닫았을 때 용기 B와 D에 들어 있는 기체의 몰수비, 즉 분자 수비는 X : Y = 0.2기압 \times 1 L : 0.2기압 \times 2 L = 1 : 2이다.



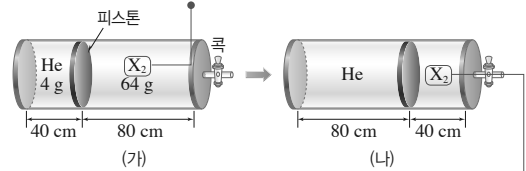
ㄱ. 용기 B와 D에 들어 있는 기체 X와 Y의 몰수비가 X : Y = 1 : 2인 것으로 보아 기체의 분출 속도는 Y가 X보다 빠르고, 기체의 분자량은 X가 Y보다 큼을 알 수 있다. 콕을 열기 전 기체의 부피는 1 L로 같으므로 밀도는 X가 Y보다 크다.

ㄴ. 실린더 A와 C에 각각 남아 있는 기체의 압력은 외부 압력(대기압)과 같다.

11

문제 분석하기

ㄱ. 온도와 압력이 일정할 때 기체의 부피는 기체의 종류에 관계없이 몰수에 비례한다. 따라서 두 기체의 부피비가 He : X₂ = 1 : 2인 것으로 보아 두 기체의 몰수비도 He : X₂ = 1 : 2임을 알 수 있다. He 4 g은 1몰이므로, X₂는 2몰이고, 질량이 64 g이므로 X₂의 분자량은 32, X의 원자량은 16이다.



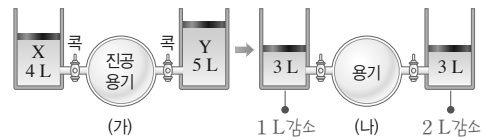
(나)에서 두 기체의 부피비가 He : X₂ = 2 : 1이므로 몰수비도 He : X₂ = 2 : 1이다. 이때 He의 몰수는 1몰로 일정하므로, X₂의 몰수는 0.5몰이다.

ㄴ. (가)에서 X₂의 몰수는 2몰이고, (나)에서 X₂의 몰수는 0.5몰이다. 따라서 (나)에서 빠져나간 X₂의 몰수는 1.5몰이다.

ㄷ. X₂의 분자량은 32이므로 (나)에서 실린더에 남아 있는 X₂ 0.5몰의 질량은 16 g이다.

12

문제 분석하기



ㄱ. (가)에서 (나)로 실린더의 부피가 감소한 정도로 보아 기체의 분출 속도는 Y가 X보다 빠르고, 기체의 분자량은 X가 Y보다 크다.

ㄴ. 이상 기체 방정식은 기체의 밀도를 구하는 식 $d=\frac{w}{V}$ 을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PV=nRT=\frac{w}{M}RT \Rightarrow d=\frac{PM}{RT}$$

따라서 온도와 압력이 같을 때 기체의 밀도는 분자량에 비례하므로, (가)에서 밀도는 X가 Y보다 크다.

ㄷ. 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 몰수에 비례하므로, (나)에서 용기 속 기체 분자 수는 (가)에서 (나)로 변할 때 감소한 실린더의 부피 변화로 알 수 있다. 따라서 (나)에서 용기 속 분자 수는 Y가 X의 2배이다.

13

ㄱ. (가)에서 부피는 A가 B보다 작으므로, 단위 부피당 질량인 밀도는 A가 B보다 크다.

ㄴ. (가)에서 얼음인 B가 물인 C로 상태가 변하면서 부피가 감소하는 이유는 (나)의 결합 E인 수소 결합이 끊어지기 때문이다.

바로알기 ㄷ. (가)에서 A는 얼음이고, D는 물이다. A와 D의 부피로 보아 분자 1개당 수소 결합의 평균 개수는 얼음이 물보다 많다.

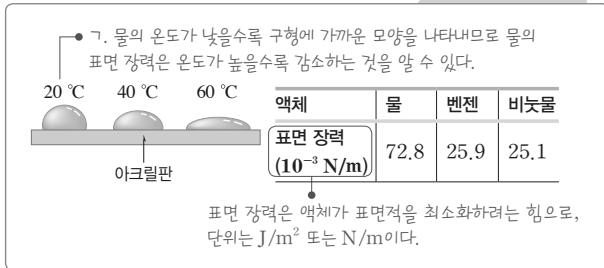
14 ㄱ. 분자 사이의 인력은 물질의 끓는점에 비례하므로 끓는 점이 가장 높은 C의 분자 사이의 인력이 가장 크다.

ㄴ. C는 B보다 끓는점이 높고, 비열과 기화열이 모두 크므로 25℃ 액체 10 g을 가열하여 모두 기화시킬 때 필요한 에너지는 C가 B보다 크다.

ㄷ. 일정한 질량의 액체를 일정한 열량으로 가열할 때 비열이 작을수록 온도 변화가 크게 나타난다. 따라서 액체 10 g을 일정한 열량으로 가열할 때 끓는점 아래에서 온도 변화는 비열이 가장 작은 A가 가장 크다.

15

문제 분석하기



ㄴ. 물에 비누를 녹인 비눗물의 표면 장력이 물보다 작으므로 비누가 물의 표면 장력을 감소시킨다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 액체의 표면 장력이 클수록 액체 방울의 모양이 둥글므로, 상온에서 세 가지 액체를 각각 한 방울씩 아크릴판 위에 떨어뜨리면 물방울의 모양이 가장 둥그랗다.

바로알기 ㄷ. 액체의 표면 장력이 클수록 표면적을 늘리기 어려우므로 같은 온도일 때 물은 벤젠보다 표면적을 늘리기 어렵다.

16 ㄱ. 유리관이 가늘수록 물기둥은 점점 더 올라가고, 수는 기둥은 점점 더 내려간다.

ㄴ. 주어진 자료는 모세관 현상을 나타내는 것으로, 휴지의 한쪽 끝을 물에 대었을 때 물이 휴지에 스며들어 올라가는 현상을 설명할 수 있다.

ㄷ. 물 분자와 유리관 사이의 인력인 부착력이 물 분자 사이의 인력인 응집력보다 크기 때문에 물이 유리관 벽면을 타고 올라간다.

17 (가)는 분자 결정, (나)는 이온 결정, (다)는 원자 결정에 해당한다.

ㄱ. 분자 결정과 원자 결정을 이루는 원자 사이의 결합은 공유 결합이다.

바로알기 ㄴ. 이온 결정과 원자 결정은 고체 상태에서 전기 전도성이 없지만, 원자 결정 중 흑연은 예외적으로 고체 상태에서 전기 전도성이 있다.

ㄷ. 드라이아이스는 분산력에 의해 결정을 이루므로 결정을 이루는 입자, 즉 분자 사이의 인력이 작다.

18

문제 분석하기

ㄱ, ㄴ, A는 원자 사이의 공유 결합으로 생성된 원자 결정이고, B는 분자 사이의 인력에 의해 생성된 분자 결정이다.

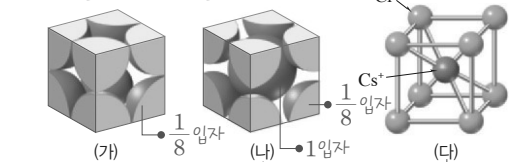
고체	녹는점(°C)	끓는점(°C)	전기 전도성	
			고체	액체
A	1440	2355	없음	없음
B	114	183	없음	없음
C	680	1120	있음	있음
D	800	1413	없음	있음

ㄷ. C는 금속 양이온과 자유 전자의 정전기적 인력에 의해 생성된 금속 결정이고, D는 양이온과 음이온의 정전기적 인력에 의해 생성된 이온 결정이다.

19

문제 분석하기

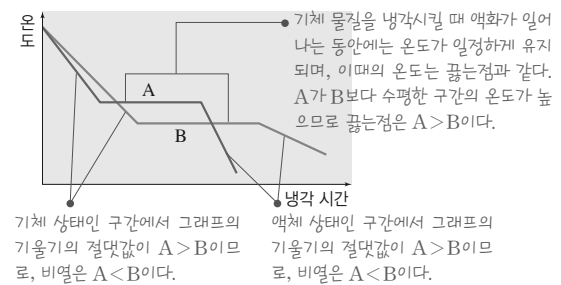
ㄱ. (가)는 단순 입방 격자, (나)는 체심 입방 격자, (다)는 면화 세삼의 결정 구조로 단순 입방 격자 2개가 겹쳐 있는 구조이다.



ㄴ. (나)의 단위 세포는 2개의 입자로 이루어져 있다.
 $\Rightarrow \frac{1}{8} \text{ 입자} \times \text{꼭짓점 수 } 8 + \text{중심의 } 1 \text{ 입자} = 2(7\text{H})$
 ㄷ. Cs^+ 의 수 : 1(7H)
 Cl^- 의 수 : $\frac{1}{8} \text{ 입자} \times \text{꼭짓점 수 } 8 = 1(7\text{H})$

20

문제 분석하기



바로알기 ㄱ. 분자 사이의 인력이 큰 물질은 분자 사이의 인력을 끊고 액체에서 기체로 상태가 변하기 어렵기 때문에 끓는점이 높다. 그래프에서 수평한 구간의 온도가 $A > B$ 이므로 A가 B보다 끓는점이 높고, 분자 사이의 인력이 크다.

ㄷ. 비열이 큰 물질은 가열되거나 냉각될 때 온도 변화가 크지 않으므로 가열 시간이나 냉각 시간에 따른 온도 변화를 나타내는 그래프의 기울기가 작다. 기체 상태와 액체 상태에서의 기울기로 보았을 때 B가 A보다 기울기의 절댓값이 모두 작으므로 기체 상태와 액체 상태의 비열은 모두 B가 A보다 크다.

1 ② 2 ③ 3 ⑤ 4 ④ 5 ④ 6 ③ 7 ⑤ 8 ⑤ 9 ②
10 ③ 11 ⑤ 12 ② 13 ② 14 ① 15 ②

1 H_2O , HF는 수소 결합을 하는 물질이고, CH_3Cl 은 극성 물질이며, I_2 은 무극성 물질이다.

ㄴ. HF는 CH_3Cl 보다 분자량이 작지만 수소 결합을 하므로 끓는점이 높다.

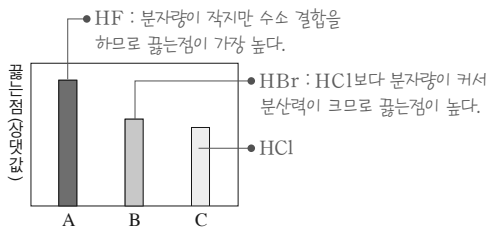
바로알기 ㄱ. H_2O 의 끓는점이 CH_3Cl 보다 높은 것은 H_2O 이 수소 결합을 하기 때문이다.

ㄷ. I_2 의 끓는점이 수소 결합을 하는 H_2O 보다 높은 것은 I_2 의 분자량이 커서 분산력이 크게 작용하기 때문이다.

2

문제 분석하기

2~4주기 할로젠 원소의 수소 화합물 A, B, C는 HF, HCl, HBr 중의 하나이다.



ㄱ. 분자량은 A인 HF가 가장 작다.

ㄷ. C는 HCl로, 할로젠 원소의 수소 화합물은 극성 물질이므로 모두 쌍극자-쌍극자 힘이 존재한다.

바로알기 ㄴ. 수소 결합이 존재하는 물질은 A인 HF이다.

3 ㄱ. 분자량이 큰 (가)에 비해 (나)의 끓는점이 높은 것은 (나)의 분자 내에 존재하는 $-\text{OH}$ 로 인한 수소 결합 때문이다.

ㄴ. (다)의 분자는 무극성 분자로, 분자 사이에 분산력이 작용한다.

ㄷ. 분자 사이의 인력이 클수록 끓는점이 높으므로 분자 사이의 인력은 (가) < (나) < (다) 순이다.

4 분자량이 클수록 끓는점이 높아지므로, CX_4 는 CF_4 , CY_4 는 CCl_4 , CZ_4 는 CBr_4 이다.

ㄴ. HY는 HCl, HZ는 HBr로, Cl가 Br보다 전기 음성도가 크므로 극성의 크기, 즉 쌍극자-쌍극자 힘은 HY가 HZ보다 크다.

ㄷ. HX는 HF로, 분자 사이에 수소 결합이 존재한다.

바로알기 ㄱ. 분산력은 분자량이 큰 CZ_4 가 CY_4 보다 크다.

5 ㄴ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 일정량의 기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례한다. (가)에서 A는 $2PV$, B는 $4PV$, C는 $2PV$ 이므로 A와 C의 온도가 같다. 또한 기체의 부피는 A가 V 이고, B와 C가 $2V$ 이므로 (나)에서 p는 C, q는 B, r은 A에 해당한다.

ㄷ. (나)에서 $r \rightarrow p \rightarrow q$ 로의 변화는 (가)에서 $A \rightarrow C \rightarrow B$ 로의 변화에 해당하므로 압력은 $2P$ 에서 P 로 감소하다가 다시 $2P$ 로 증가하게 된다.

바로알기 ㄱ. 일정량의 기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례하므로 A의 경우 $2PV$ 이고, B의 경우 $4PV$ 이다. 따라서 온도는 B가 A의 2배이다.

6 이상 기체 방정식 $PV=nRT$ 에서 일정량의 기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례하므로 A~C의 물리량은 다음과 같다.

구분	PV	P	V	T
A	1	1	1	1
B	1	2	$\frac{1}{2}$	1
C	2	3	$\frac{2}{3}$	2

ㄱ. 부피가 A는 1, B는 $\frac{1}{2}$ 이므로, A의 부피는 B의 2배이다.

ㄷ. 온도는 C가 A의 2배이고, 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하므로 C의 기체 분자의 평균 운동 에너지는 A의 2배이다.

바로알기 ㄴ. 일정량의 기체에 대해 밀도는 부피에 반비례한다. 부피비는 $B:C = \frac{1}{2} : \frac{2}{3} = 3:4$ 이므로 밀도비는 $B:C = 4:3$ 이다. 즉, B의 밀도는 C의 $\frac{4}{3}$ 이다.

7 기체 X와 Y의 물리량은 다음과 같다.

구분	$\frac{P}{T}$	T	P
(가) X	x	T_1	xT_1
(나) Y	y	$2T_1$	$2yT_1$

(가)에서 X의 압력은 $\frac{xT_1}{2yT_1}$ 에 해당하므로 $\frac{x}{2y}$ 이다.

8 ㄱ. (가)에서 온도가 일정할 때 압력과 부피의 곱은 일정하므로 $P_1 \times V = P_2 \times 2V$ 의 식에 의해 $P_1 = 2P_2$ 이다.

ㄴ. (가)에서 A는 질량이 a g, 273 K(0°C), P_1 에서의 부피가 V 이고, (나)에서 A는 질량이 b g, 273 K(0°C), P_1 에서의 부피가 $2V$ 이다. 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 몰수에 비례하므로 A의 몰수는 (나)가 (가)의 2배임을 알 수 있다. 또한, 같은 물질인 경우 질량은 몰수에 비례하므로 $b=2a$ 이다.

ㄷ. 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 몰수에 비례하고, 분자량은 몰수에 반비례한다. (나)에서 273 K(0 °C), P_1 에서 A의 부피가 B의 2배이며, A와 B의 질량이 같으므로 기체의 분자량은 B가 A의 2배이다.

9 ㄴ. C_3H_8 의 압력은 대기압에서 수증기압을 빼야 하므로 $P = P_1 - P_2$ 이고, $M = \frac{wRT}{PV}$ 에 대입하여 분자량을 구하면

$$M = \frac{0.09 \text{ g} \times 0.08 \text{ 기압} \cdot \text{L} / \text{몰} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}}{0.96 \text{ 기압} \times 0.05 \text{ L}} = 45 \text{ g/몰이다.}$$

바로알기 ㄱ. II에서 C_3H_8 의 부분 압력=대기압-수증기압-물기둥의 압력이고, III에서 C_3H_8 의 부분 압력=대기압-수증기압이므로 눈금실린더 속 C_3H_8 의 부분 압력은 II보다 III에서 더 크다.

ㄷ. (다)에서 측정된 T 가 330 K이면 300 K일 때보다 수증기압이 증가하여 눈금실린더 속 수증기의 분자 수가 증가하므로 C_3H_8 의 몰 분율이 작아진다.

10 두 기체의 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 $\frac{v_Y}{v_X} = \frac{l}{2l} = \frac{1}{2} = \sqrt{\frac{M_X}{M_Y}}$ 가 성립한다. 따라서 X와 Y의 분자량비는 $M_X : M_Y = 1 : 4$ 이다. 한편, 온도가 일정할 때 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례하므로 X와 Y의 몰수비는 1기압×1 L : 1기압×2 L = 1 : 2이고, 질량은 분자량과 몰수의 곱에 해당하므로 X와 Y의 질량비는 $a : b = 1 \times 1 : 4 \times 2 = 1 : 8$ 이다.

11 ㄱ. 온도가 일정할 때 기체의 몰수는 압력과 부피의 곱에 비례한다. 따라서 콕을 열기 전인 (가)에서 용기 A와 B에 들어 있는 기체 X와 Y의 몰수비, 즉 분자 수비는 $X : Y = 2 \text{ 기압} \times 4 \text{ L} : 2 \text{ 기압} \times 6 \text{ L} = 8 : 12 = 2 : 3$ 이다.

ㄴ. (나)에서 기체가 분출된 후 Y가 실린더에서 차지하는 부피를 V 라고 하면, Y는 실린더에 0.6기압× V 만큼 존재하게 된다. 따라서 분출 전후 Y의 분자 수는 $2 \text{ 기압} \times 6 \text{ L} = \frac{5}{3} \text{ 기압} \times 6 \text{ L} + 0.6 \text{ 기압} \times V$ 이므로, $V = \frac{10}{3} \text{ L}$ 이다.

Y가 실린더에서 차지하는 부피가 $\frac{10}{3} \text{ L}$ 이므로, X가 실린더에서 차지하는 부피는 $(10 - \frac{10}{3}) \text{ L} = \frac{20}{3} \text{ L}$ 이다. 용기 A에 남아 있는 X의 압력을 P 라고 하면 분출 전후 X는 $2 \text{ 기압} \times 4 \text{ L} = P \times 4 \text{ L} + 0.6 \text{ 기압} \times \frac{20}{3} \text{ L}$ 이므로, $P = 1 \text{ 기압}$ 이다.

ㄷ. 같은 시간 동안 분출된 몰수비, 즉 분자 수비는 $X : Y = 0.6 \text{ 기압} \times \frac{20}{3} \text{ L} : 0.6 \text{ 기압} \times \frac{10}{3} \text{ L} = 2 : 1$ 이고, 분출된 분자 수는 확산 속도에 비례하므로 확산 속도는 X가 Y의 2배이다.

12 ㄷ. 용해(AB)와 기화(CD)가 일어나는 구간의 길이가 용해열과 기화열의 크기에 해당된다. 물이 기화할 때 모든 수소 결합을 끊어야 하므로 기화열은 용해열보다 약 6.7배만큼 크다.

바로알기 ㄱ. AB 구간에서 얼음이 녹아 물이 되므로 수소 결합 수는 감소한다.

ㄴ. 얼음의 질량을 2배로 하면 열용량이 증가하므로 BC의 기울기는 감소한다.

13 ㄷ. 결합 A는 물 분자 내의 공유 결합이고, 결합 B는 물 분자 사이의 수소 결합이다. 물의 끓는점이 벤젠보다 높은 이유는 수소 결합 때문이다.

바로알기 ㄱ. 액체 1몰의 열용량은 액체의 비열과 1몰의 질량을 곱한 값이므로 물은 $4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 18 \text{ g/mol}$ 이고, 벤젠은 $1.73 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 78 \text{ g/mol}$ 이다.

ㄴ. 기화열(kJ/g)은 기화열(kJ/몰)을 1몰의 질량으로 나눈 값에 해당하므로 물은 $\frac{40.7 \text{ kJ/mol}}{18 \text{ g/mol}}$ 이고, 벤젠은 $\frac{30.8 \text{ kJ/mol}}{78 \text{ g/mol}}$ 이다.

14 (가)는 금속 양이온과 자유 전자가 정전기적 인력으로 결합되어 있는 금속 결정이고, (나)는 양이온과 음이온이 정전기적 인력으로 결합되어 있는 이온 결정이다.

ㄱ. 고체 상태에서 전기 전도성은 금속 결정인 (가)에서만 나타나며, 이온 결정인 (나)에서는 나타나지 않는다.

바로알기 ㄴ. (가)에서 (-)전하를 띠는 입자는 자유 전자이고, (나)에서 (-)전하를 띠는 입자는 음이온이다.

ㄷ. (가)를 전원 장치에 연결하면 자유 전자는 (+)극 쪽으로 이동하지만, 금속 양이온인 A는 어느 방향으로도 이동하지 않는다.

15 ㄷ. (가)의 Na 원자의 결정 구조는 체심 입방 격자, (나)의 Cu 원자의 결정 구조는 면심 입방 격자, (다)의 Na^+ 과 Cl^- 의 결정 구조는 각각 면심 입방 격자이다.

바로알기 ㄱ. (가)와 (나)는 고체 상태에서 전기 전도성이 있지만, (다)는 액체 상태나 수용액 상태에서 전기 전도성이 있다.

ㄴ. 단위 세포에 포함된 입자 수는 (가)의 경우 $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 개이고, (나)의 경우 $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 개이다.

(다)의 경우 Na^+ 의 수는 모서리에 해당하는 12개가 $\frac{1}{4}$ 이고, 중심에 1개가 놓여 있으므로 $\frac{1}{4} \times 12 + 1 = 4$ 개이다. 한편, Cl^- 의 수는 각 꼭짓점에 해당하는 8개가 $\frac{1}{8}$ 이고, 면에 위치한 6개가 $\frac{1}{2}$ 이므로 $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 개이다. 따라서 (가)의 Na 원자와 (다)의 Na^+ 의 개수비는 1 : 2이다.

2. 용액

01 용액의 농도

개념 확인 문제

75쪽

1 용해 2 용액 3 용매화 4 수화

A 1 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × 2 ㄱ, ㄴ

- 1 (1) 균일 혼합물은 성분 물질들이 전 영역에 걸쳐 고르게 혼합되어 시간이 지나도 분리되지 않지만, 불균일 혼합물은 그대로 방치해 두면 밀도가 큰 성분이 가라앉으면서 분리된다.
 (2) 액체로만 이루어진 용액의 경우 양이 많은 액체가 용매, 양이 적은 액체가 용질에 해당한다.
 (3) 용해는 용매-용질 사이의 인력이 용질-용질 사이의 인력과 용매-용매 사이의 인력보다 크거나 같을 때 잘 일어난다.
 (4) 극성 물질이나 양금을 형성하지 않는 이온성 물질은 극성 용매에 잘 용해된다.
 (5) 물에 염화 나트륨을 넣으면 나트륨 이온(Na^+)은 물 분자에서 부분적인 (-)전하를 띠는 산소 원자 쪽으로 둘러싸이고, 염화 이온(Cl^-)은 물 분자에서 부분적인 (+)전하를 띠는 수소 원자 쪽으로 둘러싸이는 수화가 일어난다.

2 암모니아(NH_3)는 극성 물질이고, 황산 구리(II)(CuSO_4)는 이온성 물질이며, 나프탈렌(C_{10}H_8)은 무극성 물질이다. 물은 극성 용매로, 물에 용해되는 물질은 극성 물질이거나 양금을 형성하지 않는 이온성 물질이다.

완자샘 강의

79쪽

유제 1 1.1 m, 1 M

유제 2 7.4 %, 2.0 m, 2.2 M

유제 1 • 용질의 몰수 = $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{화학식량(g/mol)}} = \frac{100 \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} = 1 \text{ mol}$

∴ 몰랄 농도 = $\frac{\text{용질의 몰수(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}} = \frac{1 \text{ mol}}{0.9 \text{ kg}} \approx 1.1 \text{ m}$

• 용액의 부피 = $\frac{\text{용액의 질량(g)}}{\text{용액의 밀도(g/mL)}} = \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ g/mL}} = 1000 \text{ mL} = 1 \text{ L}$

∴ 몰 농도 = $\frac{\text{용질의 몰수(mol)}}{\text{용액의 부피(L)}} = \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 1 \text{ M}$

유제 2 • 퍼센트 농도 = $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}} \times 100 = \frac{8 \text{ g}}{(100+8) \text{ g}} \times 100 \approx 7.4 \%$

• 용질의 몰수 = $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{화학식량(g/mol)}} = \frac{8 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.2 \text{ mol}$

∴ 몰랄 농도 = $\frac{\text{용질의 몰수(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}} = \frac{0.2 \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = 2.0 \text{ m}$

• 용액의 부피 = $\frac{\text{용액의 질량(g)}}{\text{용액의 밀도(g/mL)}} = \frac{108 \text{ g}}{1.2 \text{ g/mL}} = 90 \text{ mL} = 0.09 \text{ L}$

∴ 몰 농도 = $\frac{\text{용질의 몰수(mol)}}{\text{용액의 부피(L)}} = \frac{0.2 \text{ mol}}{0.09 \text{ L}} \approx 2.2 \text{ M}$

개념 확인 문제

80쪽

1 100 g 2 10^6 3 용액, 몰, M, mol/L 4 표준 용액
5 용매, 몰, m, mol/kg

B-E 1 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ 2 (1) 철 : $5.0 \times 10^{-4} \text{ g}$, 크로뮴 : $2.0 \times 10^{-4} \text{ g}$ (2) 철 : $5.0 \times 10^{-4} \%$, 크로뮴 : $2.0 \times 10^{-4} \%$
3 0.5 L 4 (1) 10 % (2) 0.2 M (3) 0.5 m 5 ㄱ, ㄴ, ㄹ

1 (1) NaCl 10 g이 녹아 있는 용액 50 g의 퍼센트 농도는 20 %이다.

퍼센트 농도 = $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}} \times 100 = \frac{10 \text{ g}}{50 \text{ g}} \times 100 = 20 \%$

(2) 용액 10^6 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 나타낸 농도를 ppm 농도라고 하며, ppm 농도는 용액의 양에 비해 용질의 양이 매우 적은 경우에 사용한다.

(3) 몰 농도는 용액 1 L에 녹아 있는 용질의 몰수이고, 몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹아 있는 용질의 몰수이다. 온도가 변할 때 질량은 변하지 않지만, 부피는 변하므로 온도가 변하면 몰랄 농도는 변하지 않고, 몰 농도는 변한다.

(4), (5) 주어진 농도를 다른 단위의 농도로 변환할 때 용액의 질량을 부피로 바꾸려면 용액의 밀도를 알아야 하고, 용질의 질량을 몰수로 바꾸려면 용질의 화학식량을 알아야 한다.

밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}} \Rightarrow \text{부피} = \frac{\text{질량}}{\text{밀도}}$

화학식량 = $\frac{\text{질량}}{\text{몰수}} \Rightarrow \text{몰수} = \frac{\text{질량}}{\text{화학식량}}$

2 (1) ppm 농도는 용액 10^6 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)이다. 하천에 포함된 철 5.0 ppm은 물 10^6 g 속에 철 5.0 g이

들어 있는 것이므로, 물 100 g 속에 들어 있는 철의 질량은 5.0×10^{-4} g이다. 크로뮴 2.0 ppm은 물 10^6 g 속에 크로뮴 2.0 g이 들어 있는 것이므로, 물 100 g 속에 들어 있는 크로뮴의 질량은 2.0×10^{-4} g이다.

(2) 퍼센트 농도 = $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}} \times 100$ 이다. 물 100 g에 철은 5.0×10^{-4} g 들어 있으므로 철의 퍼센트 농도는 $\frac{5.0 \times 10^{-4} \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = 5.0 \times 10^{-4} \%$ 이고, 물 100 g에 크로뮴은 2.0×10^{-4} g 들어 있으므로 크로뮴의 퍼센트 농도는 $\frac{2.0 \times 10^{-4} \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100 = 2.0 \times 10^{-4} \%$ 이다.

3 물 농도 = $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 부피(L)}} = \frac{\text{용질의 화학식량(g/mol)}}{\text{용액의 부피(L)}}$ 에서 황산(H_2SO_4)의 화학식량이 98이므로 구하려는 황산 수용액의 부피를 V 로 두면 $\frac{4.9 \text{ g}}{\frac{98 \text{ g/mol}}{V}} = 0.1 \text{ M}$ 이므로 $V = 0.5 \text{ L}$ 이다.

4 (1) 용액의 질량 = 용액의 밀도(g/mL) \times 용액의 부피(mL)
 $= 1.84 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL} = 1840 \text{ g}$
 \therefore 퍼센트 농도 = $\frac{\text{용질의 질량(g)}}{\text{용액의 질량(g)}} \times 100 = \frac{184 \text{ g}}{1840 \text{ g}} \times 100 = 10 \%$

(2) 물 농도 = $\frac{\text{용질의 몰수(mol)}}{\text{용액의 부피(L)}} = \frac{4 \text{ g}}{0.5 \text{ L}} = 0.2 \text{ M}$

(3) 몰랄 농도 = $\frac{\text{용질의 몰수(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}} = \frac{9.0 \text{ g}}{0.1 \text{ kg}} = 0.5 \text{ m}$

5 온도가 변할 때 용매나 용질의 질량은 변하지 않지만 용액의 부피는 변한다. 따라서 퍼센트 농도, ppm 농도, 몰랄 농도는 온도 변화의 영향을 받지 않지만, 몰 농도는 온도에 따라 변한다.

대표 자료 분석

81~82쪽

대표 자료 ① 1 수화 2 (1) ○ (2) ○ (3) \times (4) ○ (5) \times (6) ○

대표 자료 ② 1 0.1 mol 2 4.0 g 3 (1) \times (2) ○ (3) \times 4 10 mL

대표 자료 ③ 1 1 g, 0.0056 mol 2 9 g, 0.05 mol 3 \perp , κ

대표 자료 ④ 1 A : $\frac{1}{M}$ (mol), B : $\frac{10d}{M}$ (M), C : $\frac{1000}{99M}$ (m)

2 (1) ○ (2) \times (3) ○ 3 0.47 m

①-1

문제 분석하기

물 분자에서 부분적인 (-)전하를 띠는 산소 원자 쪽으로 둘러싸이므로 (+)전하를 띠는 입자이다. $\rightarrow \text{Na}^+$



물 분자에서 부분적인 (+)전하를 띠는 수소 원자 쪽으로 둘러싸이므로 (-)전하를 띠는 입자이다. $\rightarrow \text{Cl}^-$

Na^+ 과 Cl^- 처럼 용질 입자가 물에 둘러싸여 안정화되는 현상을 수화라고 한다.

①-2 (1), (2) (가)의 중심에 있는 입자는 물 분자에서 부분적인 (-)전하를 띠는 산소 원자 쪽으로 둘러싸이므로 Na^+ 이고, (나)의 중심에 있는 입자는 물 분자에서 부분적인 (+)전하를 띠는 수소 원자 쪽으로 둘러싸이므로 Cl^- 이다.

(3), (4) 염화 나트륨 수용액에서 Na^+ 과 물 분자의 산소 원자 사이에 인력이 작용하고, Cl^- 과 물 분자의 수소 원자 사이에 인력이 작용한다. 따라서 Na^+ 과 Cl^- 은 물 분자에 의해 안정화된다.

(5), (6) 염화 나트륨(NaCl)과 황산 구리(II)(CuSO_4)는 이온성 물질로 극성 용매인 물에 잘 녹고, 사염화 탄소(CCl_4)와 같은 무극성 용매에는 잘 녹지 않는다.

②-1 NaOH(aq) 의 몰 농도는 용액 1 L에 녹아 있는 NaOH(s) 의 몰수를 의미하므로 0.1 M NaOH(aq) 1 L에 녹아 있는 NaOH(s) 의 몰수는 0.1 mol($=0.1 \text{ M} \times 1 \text{ L}$)이다.

②-2 0.1 M NaOH(aq) 1 L에 녹아 있는 NaOH(s) 의 몰수는 0.1 mol이므로 질량 x 는 4.0 g($=0.1 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol}$)이다.

②-3 (1) 0.1 M NaOH(aq) 500 mL 속에 녹아 있는 용질의 몰수는 0.05몰($=0.1 \text{ M} \times 0.5 \text{ L}$)이다.

(2) 온도가 변하여도 용질의 몰수는 변하지 않지만, 용액의 부피가 변하기 때문에 온도에 따라 몰 농도가 달라진다. 0.1 M NaOH(aq) 의 온도를 높이면 용액의 부피가 증가하므로 몰 농도는 0.1 M보다 감소한다.

(3) 증류수 1 L에 NaOH(s) 0.2몰을 녹여 만든 용액은 부피가 1 L보다 크다. 용액의 몰 농도는 용액의 부피(L)에 대한 용질의 몰수를 의미하므로 이 용액의 몰 농도는 0.2 M보다 작다.

②-4 용액의 농도를 묻혀도 용액에 녹아 있는 용질의 몰수는 변하지 않으므로 $0.1 \text{ M} \times y \text{ mL} = 0.005 \text{ M} \times 200 \text{ mL}$ 가 된다. 따라서 $y = 10(\text{mL})$ 이다.

③-1 (가)에서 수용액의 질량은 $1000 \text{ mL} \times 1.0 \text{ g/mL} = 1000 \text{ g}$ 이고, 0.1 % 포도당 수용액이므로 이 용액에 녹아 있는 포도당의 질량은 1 g이다. 포도당 1 g의 몰수는 $\frac{1 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.0056 \text{ mol}$ 이다.

③-2 (나)에 녹아 있는 포도당의 몰수는 $0.1 \text{ M} \times 0.5 \text{ L} = 0.05 \text{ mol}$ 이고, 포도당의 질량은 $0.05 \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol} = 9 \text{ g}$ 이다.

③-3 나. (가)에 녹아 있는 포도당은 0.0056 mol이므로 분자 수는 $0.0056 N_A$ (N_A : 아보가드로수)이고, (나)에 녹아 있는 포도당은 0.05 mol이므로 분자 수는 $0.05 N_A$ 이다.

르. (나)는 0.1 M 포도당 수용액이므로 100 mL에는 0.01 mol의 포도당이 녹아 있다. 따라서 0.01 mol의 포도당을 1 L 부피 플라스크에 넣고 눈금선까지 증류수를 채워 만든 수용액의 몰 농도는 $\frac{\text{용질의 몰수(mol)}}{\text{용액의 부피(L)}} = \frac{0.01 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.01 \text{ M}$ 이다.

바로알기 가. (가)의 몰 농도는 0.0056 M ($= \frac{0.0056 \text{ mol}}{1 \text{ L}}$)이고, (나)의 몰 농도는 0.1 M이다.

다. 온도가 높아지면 퍼센트 농도는 변하지 않지만, 몰 농도는 용액의 부피가 증가하므로 감소한다.

④-1 A : 1 % 요소 수용액 100 g에 녹아 있는 요소의 질량은 1 g이므로, 요소의 몰수는 질량을 분자량으로 나눈 값인 $\frac{1}{M} \text{ (mol)}$ 에 해당한다.

B : 요소 수용액 100 g의 부피는 용액의 질량을 밀도로 나눈 값이므로 $\frac{100}{d} \text{ (mL)} = \frac{1}{10d} \text{ (L)}$ 이다. 따라서 1 % 요소 수용액의 몰

$$\text{농도는 } \frac{\frac{1}{M} \text{ (mol)}}{\frac{1}{10d} \text{ (L)}} = \frac{10d}{M} \text{ (M)이다.}$$

C : 요소 수용액의 질량은 100 g, 요소의 질량은 1 g이므로 용매인 물의 질량은 $99 \text{ g} (= \frac{99}{1000} \text{ kg})$ 이다. 따라서 몰랄 농도는

$$\frac{\frac{1}{M} \text{ (mol)}}{\frac{99}{1000} \text{ (kg)}} = \frac{1000}{99M} \text{ (m)이다.}$$

④-2 (1) (가)와 (나)는 A를 이용하여 농도를 구한 값이므로 두 용액에 들어 있는 용질의 몰수는 A이다.

(2) 용질과 용매의 질량은 온도에 영향을 받지 않지만, 용액의 부

피는 온도에 영향을 받는다. 따라서 온도에 따라 변하지 않는 농도는 C이다.

(3) 퍼센트 농도를 몰 농도로 변환할 때는 용액의 밀도와 용질의 화학식량이 필요하다.

④-3 요소 수용액 1 L의 질량은 $1000 \text{ mL} \times 1.1 \text{ g/mL} = 1100 \text{ g}$ 이고, 요소 0.5 mol의 질량은 $0.5 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol} = 30 \text{ g}$ 이므로, 용매인 물의 질량은 $1070 \text{ g} (= 1.07 \text{ kg})$ 이다.

따라서 몰랄 농도는 $\frac{0.5 \text{ mol}}{1.07 \text{ kg}} \approx 0.47 \text{ m}$ 이다.

내신 만점 문제

83~85쪽

01 ⑤	02 ③	03 ④	04 40 mL	05 ①	06 ②
07 ④	08 가, 다	09 ②	10 가, 다	11 해설 참조	
12 해설 참조	13 해설 참조				

01 나. 극성 물질은 극성 용매에 잘 녹고, 무극성 물질은 무극성 용매에 잘 녹는다.

다. 용매-용질 사이의 인력이 용질-용질, 용매-용매 사이의 인력보다 크거나 같으면 용해가 잘 일어난다.

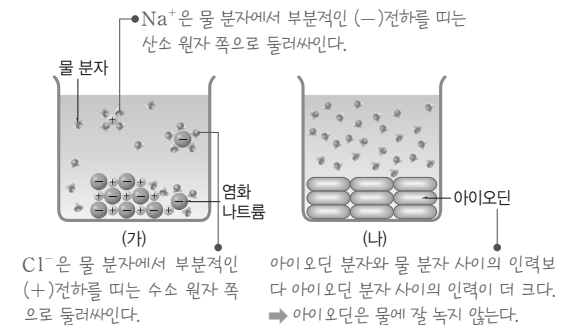
르. 이온이 용매화에 의해 안정될수록 용해가 잘 일어나므로 이온성 물질이 용매에서 이온화하는 정도가 커진다.

바로알기 가. 용액은 균일 혼합물이다.

02

문제 분석하기

가. 염화 나트륨은 이온성 물질이므로 물에 잘 녹지만, 아이오딘은 무극성 물질이므로 물에 잘 녹지 않는다.



03 나. 1.0 M KOH(aq) 20 mL에는 0.02몰($= 1.0 \text{ mol/L} \times 0.02 \text{ L}$)의 KOH이 녹아 있고, 2.0 M KOH(aq) 30 mL에는 0.06몰($= 2.0 \text{ mol/L} \times 0.03 \text{ L}$)의 KOH이 녹아 있으므로 (가)의 용액에는 0.02몰 + 0.06몰 = 0.08몰의 KOH이 녹아 있다.

ㄷ. 100 mL에 녹아 있는 KOH이 0.08몰이므로 $\text{KOH}(aq)$ 의 몰 농도는 $0.8 \text{ M} \left(= \frac{0.08 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} \right)$ 이다.

바로알기 ㄱ. 2.0 M $\text{KOH}(aq)$ 30 mL에 녹아 있는 KOH의 질량은 몰수에 화학식량을 곱한 값이므로 $0.06 \text{ 몰} \times M$ 이다.

04 수산화 나트륨(NaOH) 2 g을 물에 녹인 100 mL 수산화 나트륨 수용액의 몰 농도는 $\frac{2 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.05 \text{ M}$ 이므로, 이 용액 20 mL 속에는 $0.01 \text{ mol} (=0.05 \text{ mol/L} \times 0.02 \text{ L})$ 의 수산화 나트륨이 녹아 있다. 따라서 $\frac{0.01 \text{ mol}}{V \text{ L}} = 0.25 \text{ M}$, $V = 0.04 \text{ (L)}$ 이므로 0.25 M 수산화 나트륨 수용액의 부피는 40 mL이다.

05

문제 분석하기

구분	제조 방법
수용액 A	물 300 g에 요소 5 g을 녹인다.
수용액 B	요소 20 g을 물에 녹여 200 mL로 만든다.

$200 \text{ mL} \times 1.1 \text{ g/mL} = 220 \text{ g}$ ●
 \Rightarrow 물 200 g에 요소 20 g을 녹인 용액
 ● 혼합 용액에서 용매의 질량 = $300 \text{ g} + 200 \text{ g} = 500 \text{ g}$
 $\frac{(5 + 20 + x) \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}$
 몰랄 농도 = $\frac{60 \text{ g/mol}}{0.5 \text{ kg}} = 1 \text{ m} \therefore x = 5 \text{ (g)}$

06 ㄷ. C는 NaCl 수용액 1000 g 속에 녹아 있는 NaCl 의 몰수이다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. A는 NaCl 수용액 1000 g 속에 녹아 있는 NaCl 의 질량이고, B는 NaCl 수용액 1000 g 속 물의 질량이다.

07 ㄴ. 용액의 질량은 용액의 밀도와 부피를 곱한 값이므로 HCl 수용액 $x \text{ mL}$ 의 질량은 $1.25x \text{ g}$ 이다.

ㄷ. 0.4 M HCl 수용액 500 mL에는 $0.2 \text{ mol} (=0.4 \text{ mol/L} \times 0.5 \text{ L})$ 의 HCl 이 녹아 있다. HCl 수용액 $x \text{ mL}$ 의 질량은 $1.25x \text{ g}$ 이고, 36.5 %의 HCl 수용액 100 g에는 HCl 36.5 g이 녹아 있으므로 HCl 수용액 $1.25x \text{ g}$ 에 녹아 있는 HCl 의 질량은 $\frac{1.25x \times 36.5}{100} \text{ g}$ 이다. 용질의 몰수는 용질의 질량을 분자량으로

나눈 값이므로 HCl 의 몰수는 $\frac{1.25x \times 36.5}{36.5 \text{ g/mol}} = 0.2 \text{ mol}$ 이다. 따라서 x 는 16이다.

바로알기 ㄱ. 일정량의 용액을 취할 때 사용하는 기구인 A는 ㉠의 피펫이다. B는 ㉢ 비커, C는 ㉡ 부피 플라스크이다.

08 ㄱ. 포도당의 몰수는 $\frac{90 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.5 \text{ mol}$ 이고, 물의 질량은 $500 \text{ g} (=0.5 \text{ kg})$ 이므로 몰랄 농도는 $\frac{0.5 \text{ mol}}{0.5 \text{ kg}} = 1 \text{ m}$ 이다.

ㄷ. 18 % 포도당 수용액 100 g에는 포도당 18 g이 들어 있으므로 물의 질량은 82 g이다. 이 용액에 물 18 g을 추가하면 물 $100 \text{ g} (=0.1 \text{ kg})$ 이 되고, 포도당의 몰수는 $\frac{18 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이므로 몰랄 농도는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = 1 \text{ m}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 포도당 18 g의 몰수는 $\frac{18 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이고, 물의 질량은 $82 \text{ g} (=100 \text{ g} - 18 \text{ g})$ 이므로 몰랄 농도는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{0.082 \text{ kg}} \approx 1.22 \text{ m}$ 이다.

09 ㄷ. C는 1 M NaOH 수용액이므로 1 mol의 NaOH 이 녹아 있는 용액 1 L에 해당한다. 이 용액 1 L의 질량은 $1020 \text{ g} (=1000 \text{ mL} \times 1.02 \text{ g/mL})$ 이고, 용액에 녹아 있는 NaOH 의 질량은 $40 \text{ g} (=1 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol})$ 이므로 물의 질량은 $980 \text{ g} (=1020 \text{ g} - 40 \text{ g})$ 이다. 따라서 C의 몰랄 농도는 $\frac{1 \text{ mol}}{0.98 \text{ kg}} \approx 1.02 \text{ m}$ 이다. B는 1 m NaOH 수용액이므로 몰랄 농도는 C가 B보다 크다.

바로알기 ㄱ. A는 4 % NaOH 수용액이므로 수용액 100 g에는 NaOH 4 g이 녹아 있고, 수용액 50 g에는 NaOH 2 g이 녹아 있다.

ㄴ. 몰랄 농도는 온도 변화에 영향을 받지 않으므로 40°C 가 되어도 B의 몰랄 농도는 1 m이다.

10 ㄱ. 물에 녹아 있는 NaH_2PO_4 의 질량은 다음과 같이 구할 수 있다.

(가) 30 % 수용액 100 g에 녹아 있는 NaH_2PO_4 의 질량은 30 g이므로, 수용액 120 g에 녹아 있는 NaH_2PO_4 의 질량은 36 g이다.

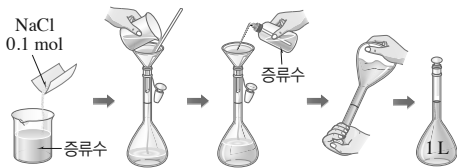
(나) 2.5 M 수용액의 밀도가 1.2 g/mL 이므로 수용액 120 g의 부피는 $\frac{120 \text{ g}}{1.2 \text{ g/mL}} = 100 \text{ mL}$ 이다. 따라서 NaH_2PO_4 의 질량

을 w 라 하면 $\frac{w \text{ g}}{120 \text{ g/mol}} = 2.5 \text{ M}$, w 는 30 g이다.

ㄷ. 두 수용액을 혼합하면 NaH_2PO_4 의 질량은 $66 \text{ g} (=36 \text{ g} + 30 \text{ g})$ 이 되고, 물의 질량은 $174 \text{ g} (=120 \text{ g} + 120 \text{ g} - 66 \text{ g})$ 이 된다. 이 혼합 용액에 NaH_2PO_4 14 g을 더 넣으면 몰랄 농도는 $\frac{80 \text{ g}}{120 \text{ g/mol}} \approx 3.8 \text{ m}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 온도가 낮아져도 용매와 용질의 질량이 변하지 않으므로 퍼센트 농도는 변하지 않는다. 그러나 몰 농도는 부피와 관계된 농도로, 온도에 따라 용액의 부피가 달라지므로 온도가 변하면 몰 농도가 달라진다. 온도가 낮아지면 용액의 부피가 감소하므로 몰 농도는 증가한다.

11 0.1 M NaCl 수용액은 NaCl 0.1 mol이 녹아 있는 용액 1 L에 해당한다. NaCl의 화학식량이 58.5이므로, NaCl 0.1 mol의 질량은 5.85 g($=0.1 \text{ mol} \times 58.5 \text{ g/mol}$)이다. 따라서 NaCl 5.85 g을 증류수에 녹여 1 L 부피 플라스크에 넣고 눈금 선까지 증류수를 채우면 0.1 M NaCl 수용액을 얻을 수 있다.



●모범 답안● NaCl 5.85 g을 증류수에 녹인 후 1 L 부피 플라스크에 넣어 눈금선까지 증류수를 채운다.

채점 기준	배점
NaCl의 질량을 포함하여 방법을 옳게 서술한 경우	100 %
방법은 옳게 서술했지만, NaCl의 질량을 포함하여 서술하지 못한 경우	40 %

12 (1) 0.1 M HCl 수용액 200 mL에 녹아 있는 HCl의 몰수는 $0.02 \text{ mol} (=0.1 \text{ mol/L} \times 0.2 \text{ L})$ 이고, HCl 0.73 g의 몰수는 $0.02 \text{ mol} (= \frac{0.73 \text{ g}}{36.5 \text{ g/mol}})$ 이므로 혼합 용액에 들어 있는 HCl의 전체 몰수는 $0.04 \text{ mol} (=0.02 \text{ mol} + 0.02 \text{ mol})$ 이다. 혼합 용액의 부피는 1 L이므로 몰 농도는 $0.04 \text{ M} (= \frac{0.04 \text{ mol}}{1 \text{ L}})$ 이다.

(2) 몰 농도는 부피와 관계된 농도로, 온도에 따라 용액의 부피가 달라지므로 온도가 변하면 몰 농도도 변한다.

●모범 답안● (1) 0.04 M

(2) 용액의 부피가 증가하므로 몰 농도가 감소한다.

채점 기준	배점
(1) 몰 농도를 옳게 구한 경우	50 %
(2) 몰 농도의 변화를 용액의 부피 변화로 옳게 서술한 경우	50 %
몰 농도의 변화만 서술한 경우	20 %

13 35 % HA는 용액 100 g에 HA 35 g이 녹아 있다. 용액 100 g의 부피는 $\frac{100 \text{ g}}{1.2 \text{ g/mL}}$ 이고, 용액 100 g에 녹아 있는 HA

의 몰수는 $1 \text{ mol} (= \frac{35 \text{ g}}{35 \text{ g/mol}})$ 이다. 따라서 35 % HA의 몰 농도는 $12 \text{ M} (= \frac{1 \text{ mol}}{\frac{100 \text{ g}}{1.2 \text{ g/mL}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}})$ 이다.

0.1 M HA 수용액 300 mL 속에 들어 있는 HA의 몰수는 $0.03 \text{ mol} (=0.1 \text{ M} \times 0.3 \text{ L})$ 이고, 35 % HA의 몰 농도는 12 M 이므로 $0.03 \text{ mol} = 12 \text{ M} \times V$, $V = 0.0025 \text{ L}$ 이다.

●모범 답안● 35 % HA 2.5 mL를 증류수에 녹인 후 수용액의 부피가 300 mL가 될 때까지 증류수를 채운다.

채점 기준	배점
HA의 부피를 구하여 방법을 옳게 서술한 경우	100 %
방법은 옳게 서술했지만, HA의 부피를 포함하여 서술하지 못한 경우	40 %

02 묽은 용액의 성질

개념 확인 문제

90쪽

1 증기 압력 내림 2 용매, 용매 3 높, 낮 4 용매, 용질
5 몰랄 농도

A 1 (1) \times (2) \bigcirc (3) \bigcirc (4) \times 2 (1) $>$ (2) $<$ (3) $>$

B 3 (1) \times (2) \times (3) \bigcirc (4) \bigcirc 4 (1) 0.5 m (2) 180 (3) 100.26 $^{\circ}\text{C}$

1 (1) 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 용질 입자가 용액 표면의 일부를 차지하므로 순수한 용매에 비해 용액 표면에서 용매 입자가 증발할 수 있는 표면적이 작다.

(2) 용액은 용매 입자와 용질 입자 사이에 인력이 작용하여 순수한 용매에 비해 용매 입자가 증발하기 어렵고, 용질 입자가 용액 표면의 일부를 차지하여 증발할 수 있는 용매 입자 수가 감소하므로 증기 압력이 더 작다.

(3) 묽은 용액의 증기 압력 내림은 용매의 증기 압력에 비례하므로 용매의 종류에 따라 다르고, 용매가 같으면 용질의 종류에 관계없이 용질의 몰 분율에 비례한다.

(4) 이상 용액은 모든 농도에서 라울 법칙을 만족시키는 용액으로, 실제 용액은 농도가 묽을수록 이상 용액에 가까게 행동한다.

- 2 (1) 충분한 시간이 지난 후 수은 방울이 오른쪽으로 이동하였으므로 증기 압력은 A가 B보다 크다.
 (2) 용액의 농도가 진할수록 증기 압력이 작다. A가 B보다 증기 압력이 크므로 농도는 B가 A보다 크다.
 (3) A가 B보다 증기 압력이 크므로 증발 속도도 A가 B보다 크다.

- 3 (1) 용액의 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례한다.
 (2) 용액의 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 용액의 몰랄 농도가 클수록 어는점이 낮다. 포도당 수용액의 어는점 내림은 0.2 m 수용액이 0.1 m 수용액보다 크므로, 어는점은 0.2 m 수용액이 0.1 m 수용액보다 낮다.
 (3) 용매의 질량(W), 용질의 질량(w), 끓는점 오름(ΔT_b)이나 어는점 내림(ΔT_f), 몰랄 오름 상수(K_b)나 몰랄 내림 상수(K_f)를 이용하여 용액에 녹아 있는 용질의 분자량(M)을 구할 수 있다.

$$M = \frac{1000 \times w \times K_b}{\Delta T_b \times W} = \frac{1000 \times w \times K_f}{\Delta T_f \times W}$$

 (4) 자동차의 냉각수에 부동액을 넣으면 냉각수의 어는점이 낮아지므로 추운 겨울철에도 냉각수가 잘 얼지 않는다.

- 4 (1) 어는점 내림 $\Delta T_f = K_f \times m$ 에서 $\Delta T_f = 0.93^\circ\text{C}$, $K_f = 1.86^\circ\text{C/m}$ 이므로 $0.93^\circ\text{C} = 1.86^\circ\text{C/m} \times m$ 이다. 따라서 몰랄 농도 $m = 0.5$ m이다.
 (2) X의 분자량을 M 이라고 하고 어는점 내림을 이용하여 분자량을 구하면 다음과 같다.

$$M = \frac{1000 \times w \times K_f}{\Delta T_f \times W} = \frac{1000 \times 9.0 \text{ g} \times 1.86^\circ\text{C/m}}{0.93^\circ\text{C} \times 100 \text{ g}} = 180$$

 (3) 끓는점 오름 $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서 $K_b = 0.52^\circ\text{C/m}$, $m = 0.5$ m이므로 $\Delta T_b = 0.52^\circ\text{C/m} \times 0.5 \text{ m} = 0.26^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 $T_b' = 100^\circ\text{C} + 0.26^\circ\text{C} = 100.26^\circ\text{C}$ 이다.

개념 확인 문제

92쪽

1 삼투 2 삼투압 3 물, 절대 4 입자 수

C/D 1 (1) × (2) ○ 2 0.246 atm 3 50000

- 1 (1) 반투막은 크기가 작은 물 분자는 통과하지만 크기가 큰 용질 입자는 통과하지 못하므로 반투막을 사이에 두고 물과 설탕 물을 넣으면 설탕물의 물 분자도 반투막을 통해 물 쪽으로 이동한다. 그러나 물에서 설탕물 쪽으로 물 분자가 더 많이 이동하므로 물보다 설탕물의 수면이 더 높아진다.

- (2) $\pi = CRT$ 에서 용액의 삼투압은 용액의 몰 농도와 절대 온도에 비례하므로, 0.1 M 포도당 수용액보다 0.2 M 포도당 수용액의 삼투압이 더 크다.

- 2 $\pi = CRT$ 에서 몰 농도 $C = \frac{n}{V}$ 이므로 $\pi = \frac{n}{V}RT$ 이고, 몰수 $n = \frac{w}{M}$ 이다. 따라서 용액의 부피 $V = 0.1$ L, 용질의 질량 $w = 20$ g, 분자량 $M = 20000$, 절대 온도 $T = 300$ K, 기체 상수 $R = 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$ 을 대입하면 다음과 같다.

$$\pi = \frac{20}{\frac{20000}{0.1}} \times 0.082 \times 300 = 0.246(\text{atm})$$

- 3 $\pi = CRT$ 에서 몰 농도 $C = \frac{n}{V}$ 이므로 $\pi = \frac{n}{V}RT$ 이고, 몰수 $n = \frac{w}{M}$ 이므로 $\pi V = nRT = \frac{w}{M}RT$, $M = \frac{wRT}{\pi V}$ 이다. 따라서 삼투압 $\pi = 4.92 \times 10^{-4} \text{ atm}$, 용액의 부피 $V = 1$ L, 용질의 질량 $w = 1$ g, 기체 상수 $R = 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$, 절대 온도 $T = 300$ K을 대입하면 다음과 같다.

$$M = \frac{1 \times 0.082 \times 300}{4.92 \times 10^{-4} \times 1} = 50000$$

대표 자료 분석

93~94쪽

대표 자료 ① 1 설탕물 A < 설탕물 B < 물 2 (1) × (2) ○ (3) ○ 3 ㄱ

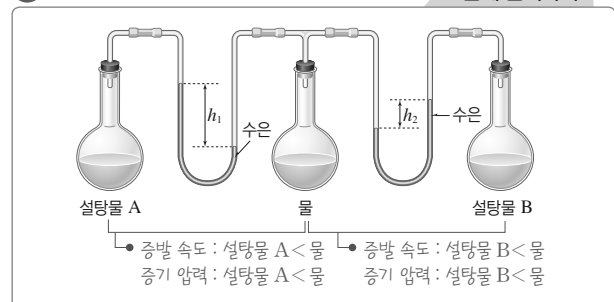
대표 자료 ② 1 (가) 100.26(°C) (나) -1.86(°C) 2 A : 180, B : 60 3 (1) ○ (2) × (3) × 4 ②

대표 자료 ③ 1 (1) ○ (2) × (3) × 2 (1) ○ (2) × 3 20a

대표 자료 ④ 1 (가) < (나) < (다) 2 (가) < (나) < (다) 3 (1) ○ (2) × (3) ○

①-1

문제 분석하기



물의 증기 압력을 h mmHg라고 하면, 설탕물 A의 증기 압력은 $(h-h_1)$ mmHg이고, 설탕물 B의 증기 압력은 $(h-h_2)$ mmHg이다. 따라서 물의 증기 압력이 가장 크고, $h_1 > h_2$ 이므로 설탕물 A의 증기 압력은 설탕물 B의 증기 압력보다 작음을 알 수 있다.

- ①-2 (1) 증기 압력은 설탕물 A가 설탕물 B보다 작으므로, 용매의 증발 속도는 설탕물 A가 설탕물 B보다 느리다.
 (2) 용액의 농도가 진할수록 용액의 증기 압력 내림이 커지므로 증기 압력이 작다. 설탕물 B는 설탕물 A보다 증기 압력이 크므로 몰랄 농도는 0.1 m보다 작다.
 (3) 용액의 증기 압력이 작을수록 끓는점이 높으므로, 설탕물 A의 끓는점이 설탕물 B의 끓는점보다 높다.

①-3 ㄱ. 농도가 진할수록 설탕물의 증기 압력이 작아지므로 수은 기둥의 높이 차인 h_2 가 커진다.

바로알기 ㄴ. 같은 액체인 경우 증기 압력은 액체의 양과 관계 없이 일정한 값을 나타낸다. 따라서 h_2 가 변하지 않는다.
 ㄷ. 두 용액의 농도가 같아지면 증기 압력이 같아지므로 수은 기둥의 높이가 같아져 $h_2=0$ 이 된다.

②-1 (가) A 수용액의 어는점 내림 $\Delta T_f = K_f \times m$ 에서 $0.93^\circ\text{C} = 1.86^\circ\text{C/m} \times m$ 이므로 몰랄 농도는 0.5 m이다. 따라서 끓는점 오름 $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서 $\Delta T_b = 0.52^\circ\text{C/m} \times 0.5 \text{ m} = 0.26^\circ\text{C}$ 이므로, A 수용액의 끓는점은 100.26°C 이다.
 (나) B 수용액의 끓는점 오름 $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서 $0.52^\circ\text{C} = 0.52^\circ\text{C/m} \times m$ 이므로 몰랄 농도는 1 m이다. 따라서 어는점 내림은 $\Delta T_f = K_f \times m = 1.86^\circ\text{C/m} \times 1 \text{ m} = 1.86^\circ\text{C}$ 이므로 B 수용액의 어는점은 -1.86°C 이다.

②-2 A의 분자량을 M_A 라고 두고 A 수용액의 어는점 내림 $\Delta T_f = K_f \times m$ 을 이용하면

$$M_A = \frac{1000 \times w \times K_f}{\Delta T_f \times W} = \frac{1000 \times 9.0 \times 1.86}{0.93 \times 100} = 180 \text{이다.}$$

B의 분자량을 M_B 라고 두고 B 수용액의 끓는점 오름 $\Delta T_b = K_b \times m$ 을 이용하면

$$M_B = \frac{1000 \times w \times K_b}{\Delta T_b \times W} = \frac{1000 \times 6.0 \times 0.52}{0.52 \times 100} = 60 \text{이다.}$$

②-3 (1) A 수용액의 어는점 내림 $\Delta T_f = K_f \times m$ 에서 $0.93^\circ\text{C} = 1.86^\circ\text{C/m} \times m$ 이므로 몰랄 농도는 0.5 m이다.

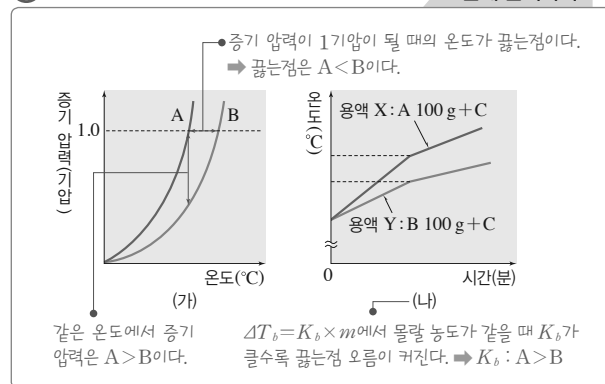
(2) B 수용액의 끓는점 오름 $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서 $0.52^\circ\text{C} = 0.52^\circ\text{C/m} \times m$ 이므로 몰랄 농도는 1 m이다. B 수용액에서 물의 질량은 100 g이므로 용액에 포함된 B의 몰수는 0.1몰이다.

(3) 몰랄 농도는 A 수용액이 B 수용액보다 작으므로 같은 온도에서 증기 압력은 A 수용액이 B 수용액보다 크다.

②-4 A 수용액과 B 수용액을 혼합하면 A의 몰수는 0.05 mol ($= \frac{9.0 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}}$), B의 몰수는 0.1 mol ($= \frac{6.0 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}}$)이고, 물의 질량은 200 g이므로 혼합 용액의 몰랄 농도는 $\frac{(0.05+0.1) \text{ mol}}{0.2 \text{ kg}} = 0.75 \text{ m}$ 이다. 혼합 용액의 끓는점 오름 $\Delta T_b = 0.52^\circ\text{C/m} \times 0.75 \text{ m} = 0.39^\circ\text{C}$ 이므로 혼합 용액의 끓는점은 100.39°C 이다.

③-1

문제 분석하기



(1) 액체의 끓는점은 외부 압력과 증기 압력이 같은 온도로, 액체의 증기 압력이 1기압인 온도를 의미한다. 따라서 A의 끓는점은 B보다 낮다.

(2) 분자 사이의 인력이 클수록 끓는점이 높다. A는 B보다 끓는점이 낮으므로 분자 사이의 인력이 더 작다.

(3) 용액의 끓는점 오름은 $\Delta T_b = K_b \times m$ 이고, 용액 X와 Y의 몰랄 농도는 같으므로 용액 X와 Y의 끓는점은 A와 B의 몰랄 농도 상승에 비례함을 알 수 있다. 용매의 끓는점은 A가 B보다 낮지만 A에 C 1g을 녹인 용액 X의 끓는점이 B에 C를 1g 녹인 용액 Y보다 높으므로 몰랄 오름 상수(K_b)는 A가 B보다 크다.

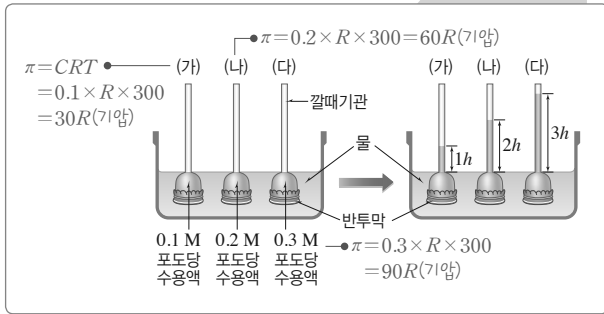
③-2 (1) 용액의 몰랄 농도는 용매 1 kg에 들어 있는 용질의 몰수를 의미하므로 X와 Y의 경우 용매의 양이 같고, 용질의 종류와 질량이 같으므로 가열하기 전 X와 Y의 몰랄 농도는 같다.

(2) 끓는점에서 증기 압력은 외부 압력과 같으므로 X와 Y의 증기 압력은 같다.

③-3 C의 분자량을 M 으로 두면 $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서 $0.26^\circ\text{C} = 0.52^\circ\text{C/m} \times \frac{a}{M}$ 이다. 따라서 $M = 20a$ 이다.

4-1

문제 분석하기



4-2 물에서 포도당 수용액 쪽으로 물 분자가 더 많이 이동하므로 충분한 시간이 지나면 깔때기관 속 수면이 높아지는데, 이때 삼투압이 클수록 수면이 더 높아진다.

- 4-3 (1) 0.1 M 포도당 수용액의 삼투압 $\pi = 0.1 \times R \times 300 = 30R$ (기압)이다.
 (2) 0.2 M 포도당 수용액의 삼투압 $\pi = 0.2 \times R \times 300 = 60R$ (기압)이고, 0.3 M 포도당 수용액의 삼투압 $\pi = 0.3 \times R \times 300 = 90R$ (기압)이므로 삼투압은 (나)가 (다)의 $\frac{2}{3}$ 이다.
 (3) 삼투압은 절대 온도에 비례하므로 온도를 높이면 수면이 더 높아진다.

내신 만점 문제

95~99쪽

- 01 ③ 02 ④ 03 ㄱ, ㄴ, ㄷ 04 ② 05 ③ 06 ㄴ
 07 ④ 08 ③ 09 ㄱ, ㄴ, ㄷ 10 ③ 11 ④ 12 ①
 13 ㄱ, ㄴ 14 ③ 15 분자량 : 500, 삼투압 : 0.49 atm
 16 ② 17 ④ 18 ④ 19 해설 참조 20 해설 참조

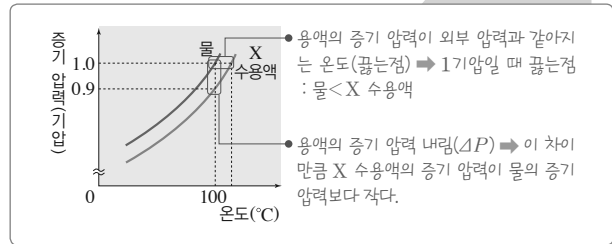
01 ㄱ. (가)에서 A와 B의 부피는 같은데, A가 B보다 질량이 크므로 밀도는 $A > B$ 이다.

ㄴ. (나)에서 B가 A보다 질량이 크므로 증발 속도는 $A > B$ 이다. 따라서 증기 압력은 $A > B$ 이다.

바로알기 ㄷ. 증기 압력이 클수록 끓는점이 낮으므로 기준 끓는 점은 $A < B$ 이다.

02

문제 분석하기



ㄱ. 100 °C에서 물의 증기 압력은 1기압이고, X 수용액의 증기 압력은 0.9기압이므로 $P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}}^{\circ} X_{\text{용매}}$ 에서 0.9기압 = 1.0기압 $\times X_{\text{용매}}$, $X_{\text{용매}} = 0.9$ 이므로 용매인 물의 몰 분율은 0.9이다.

ㄷ. 끓는점은 증기 압력이 외부 압력과 같아질 때의 온도이므로, 외부 압력이 1기압일 때 X 수용액의 끓는점은 100 °C보다 높다.

바로알기 ㄴ. 100 °C에서 X 수용액의 증기 압력 내림은 물과 X 수용액의 증기 압력 차이에 해당하므로 0.1기압이다.

03 ㄱ. 밀폐 용기 속에 두 수용액을 넣었을 때의 증발 속도를 비교하면 A 수용액이 B 수용액보다 크므로 A 수용액의 몰랄 농도가 B 수용액보다 작음을 알 수 있다. 따라서 용액에 녹아 있는 용질의 몰수는 B가 A보다 크다.

ㄴ. t_1 에서 수용액의 증발 속도는 A 수용액이 B 수용액보다 빠르므로 용액의 몰랄 농도는 B 수용액이 더 큼을 알 수 있다. 용액의 몰랄 농도가 클수록 끓는점 오름이 더 크게 나타나므로 용액의 끓는점은 B 수용액이 A 수용액보다 높다.

ㄷ. t_2 에서 A 수용액과 B 수용액의 증발 속도가 같은 것은 두 수용액의 몰랄 농도가 같아졌기 때문이다.

04 (가)는 1 M이므로 수용액 1 L에 녹아 있는 포도당의 몰수는 1 mol이다. 수용액 1 L의 질량은 1000 mL \times 1 g/mL = 1000 g이고, 포도당 1 mol의 질량은 1 mol \times 180 g/mol = 180 g이므로, 용매인 물의 질량은 1000 g - 180 g = 820 g이다. 따라서 (가)의 몰랄 농도는 $\frac{1 \text{ mol}}{0.82 \text{ kg}} \approx 1.22 \text{ m}$ 이다.

ㄴ. 몰랄 농도가 클수록 끓는점이 높으므로 끓는점은 (가) > (나)이다.

바로알기 ㄱ. 끓는점에서 증기 압력은 외부 압력과 같으므로 (가)와 (나)의 증기 압력은 같다.

ㄷ. (가)의 몰랄 농도는 약 1.22 m이고, (나)의 몰랄 농도는 1 m이므로 몰랄 농도는 (가)가 (나)보다 크다.

05 ㄱ. B 수용액의 증기 압력은 $(760 - h_2)$ mmHg이고, A 수용액의 증기 압력은 $(760 - h_1 - h_2)$ mmHg이다.

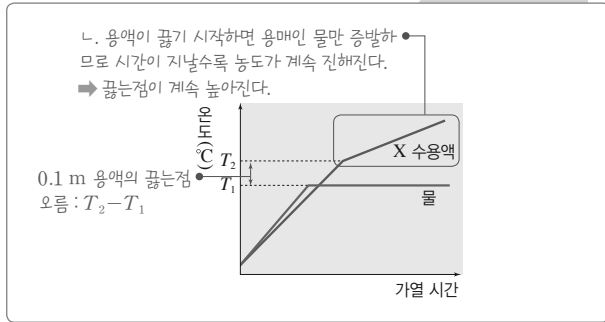
ㄴ. A 수용액의 증기 압력이 B 수용액보다 작고, 증기 압력이 작을수록 용액의 끓는점이 높으므로 끓는점은 A 수용액이 B 수용

액보다 높다.

바로알기 ㄷ. A 수용액이 B 수용액보다 증기 압력이 더 작으므로 A 수용액이 B 수용액보다 몰랄 농도가 크다. 따라서 용질의 몰수는 A가 B보다 크며, 두 수용액의 퍼센트 농도가 같으므로 A와 B의 질량은 같다. 분자량은 $\frac{\text{질량}}{\text{몰수}}$ 이므로 몰수가 작은 B의 분자량이 A보다 크다.

06

문제 분석하기



바로알기 ㄱ. 용액의 끓는점 오름은 $T_2 - T_1$ 이므로 $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서 $(T_2 - T_1) = K_b \times 0.1$, $K_b = 10(T_2 - T_1)$ 이다.
ㄷ. 끓는점에서 액체의 증기 압력은 외부 압력과 같다. 따라서 T_1 에서 물의 증기 압력과 T_2 에서 X 수용액의 증기 압력은 1기압으로 같다.

07

문제 분석하기

ㄱ. 어느점 내림 = $1.86 \times 0.5 = 0.93(^{\circ}\text{C})$
→ 어느점: -0.93°C

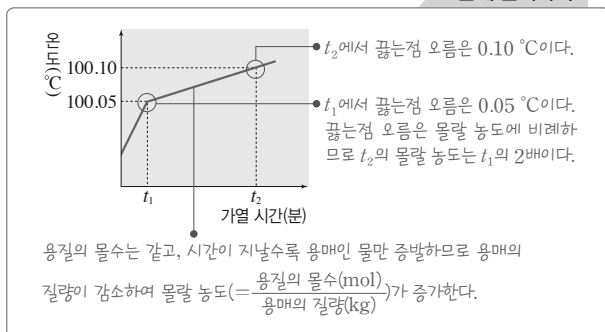
$\Delta T_b(\text{끓는점 오름}) = K_b \times m$

용액	용질	끓는점($^{\circ}\text{C}$)	끓는점 오름	몰랄 농도
(가)	A 100 g	100.26	0.26°C	$0.26 = 0.52 \times m, m = 0.5(\text{m})$
(나)	B 100 g	101.04	1.04°C	$1.04 = 0.52 \times m, m = 2(\text{m})$
(다)	C 100 g	100.052	0.052°C	$0.1(\text{m})$

ㄴ. $\frac{x}{0.5} = 2(\text{m}), x = 1(\text{mol})$
ㄷ. $\frac{100}{M} = 0.1, M = 2000$

08

문제 분석하기



ㄱ. t_1 에서 X 수용액의 끓는점 오름은 0.05°C 이고, X의 분자량을 M 으로 두면 $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서 $0.05^{\circ}\text{C} = 0.5^{\circ}\text{C/m} \times \frac{0.6 \text{ g}}{0.1 \text{ kg} \times \frac{M}{1000}}$, $M = 60$ 이다.

[다른 풀이] X의 분자량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M = \frac{1000 \times w \times K_b}{\Delta T_b \times W} = \frac{1000 \times 0.6 \text{ g} \times 0.5^{\circ}\text{C/m}}{0.05^{\circ}\text{C} \times 100 \text{ g}} = 60$$

ㄷ. 용액의 끓는점 오름은 몰랄 농도에 비례하고, t_2 에서 끓는점 오름은 0.10°C 이므로 농도는 0.2 m 이다. t_2 에서 용질의 몰수는 0.01 mol 이므로 용매의 질량은 $\frac{0.01 \text{ mol}}{x \text{ kg}} = 0.2 \text{ m}, x = 0.05 \text{ kg}$ (=50 g)이다. 따라서 t_2 까지 증발된 물의 질량은 50 g이다.

바로알기 ㄴ. 시간이 지날수록 물만 증발하므로 수용액의 몰랄 농도는 t_1 보다 t_2 에서 크다.

09 ㄱ. (나)의 끓는점 오름(ΔT_b)은 1.32°C ($=81.41^{\circ}\text{C} - 80.09^{\circ}\text{C}$)이고, B의 몰랄 오름 상수(K_b)가 2.64°C/m 이므로 $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서 $1.32^{\circ}\text{C} = 2.64^{\circ}\text{C/m} \times m$, 즉 용액의 몰랄 농도(m)는 0.5 m 이다. X의 분자량을 M_x 라고 하면 $\frac{32 \text{ g}}{0.5 \text{ kg}} = 0.5 \text{ m}$ 이므로, M_x 는 128이다.

[다른 풀이] (나)에서 X의 분자량은 다음과 같이 구할 수 있다.

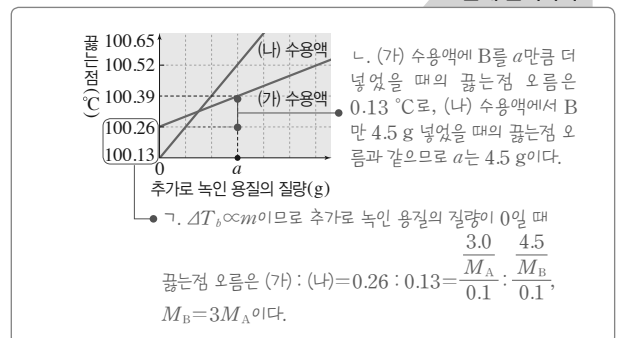
$$M = \frac{1000 \times w \times K_b}{\Delta T_b \times W} = \frac{1000 \times 32 \text{ g} \times 2.64^{\circ}\text{C/m}}{(81.41 - 80.09)^{\circ}\text{C} \times 500 \text{ g}} = 128$$

ㄴ. (가)에서 $\Delta T_b = K_b \times m = 5.26^{\circ}\text{C/m} \times \frac{128 \text{ g/mol}}{1 \text{ kg}} = 2.63^{\circ}\text{C}$ ($=79.38^{\circ}\text{C} - 76.75^{\circ}\text{C}$)이다. 따라서 ㉠은 64 g 이다.

ㄷ. (가)의 몰랄 농도는 $\frac{64 \text{ g}}{128 \text{ g/mol}} = 0.5 \text{ m}$ 이고, (나)의 몰랄 농도는 $\frac{32 \text{ g}}{128 \text{ g/mol}} = 0.5 \text{ m}$ 이다.

10

문제 분석하기



바로알기 ㄷ. 추가로 녹인 용질의 질량이 1.5 g일 때 수용액 속 용질의 몰수는 (가)는 $\frac{3.0}{M_A} + \frac{1.5}{M_B}$, (나)는 $\frac{4.5}{M_B} + \frac{1.5}{M_A}$ 로, $M_B = 3M_A$ 를 대입하면 수용액 속 용질의 몰수는 (가) > (나)이다. $\Delta T_f \propto m$ 이므로, 어는점은 (가) < (나)이다.

11 ㄴ. 같은 질량의 용질을 녹였을 때 어는점 내림은 Y 수용액이 X 수용액의 3배이므로 용액의 몰랄 농도는 Y 수용액이 X 수용액의 3배임을 알 수 있다.

ㄷ. 용액의 몰랄 농도는 Y 수용액이 X 수용액의 3배이므로 용질의 몰수는 Y가 X의 3배이다.

따라서 $X : Y = \frac{6 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} : \frac{6 \text{ g}}{M_Y \text{ g/mol}} = 1 : 3$ 에 의해 $M_Y = 60$ 이다.

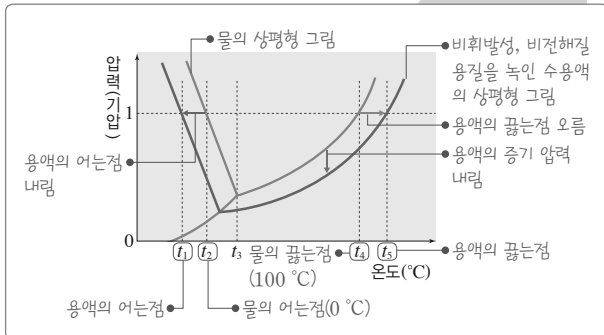
[다른 풀이] Y의 분자량을 K_f 를 먼저 구한 후, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M = \frac{1000 \times w \times K_f}{\Delta T_f \times W} = \frac{1000 \times 6 \text{ g} \times 3a \text{ }^\circ\text{C/m}}{3a \times 100 \text{ g}} = 60$$

바로알기 ㄱ. 용액의 어는점 내림은 $\Delta T_f = K_f \times m$ 이므로 X 수용액의 경우 $a \text{ }^\circ\text{C} = K_f \times \frac{6 \text{ g}}{0.1 \text{ kg}}$ 이다. 따라서 $K_f = 3a \text{ }^\circ\text{C/m}$ 이다.

12

문제 분석하기



- ② t_2 는 물의 어는점으로 압력이 커지면 낮아진다.
 ③ t_3 는 삼중점의 온도로 물의 어는점인 $0 \text{ }^\circ\text{C}(t_2)$ 보다 높다. 실제로 물의 삼중점의 온도는 $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ 이다.
 ④ t_4 는 물의 끓는점으로 압력이 커지면 높아진다. 액체의 끓는점은 압력의 영향을 받으며, 압력이 커지면 끓는점은 높아진다.
 ⑤ $t_5 - t_4$ 는 용액의 끓는점과 물의 끓는점의 차이이므로 용액의 끓는점 오름에 해당한다. 용액의 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로 $t_5 - t_4$ 는 용액의 몰랄 농도에 비례한다.

바로알기 ① t_1 은 용액의 어는점이다. 용액의 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례하므로, 용액의 몰랄 농도가 클수록 용액의 어는점이 낮다.

13 ㄱ. (나)와 (다)에서 용질 D의 몰랄 농도가 같을 때 어는점 내림은 (나)가 (다)보다 크므로, 몰랄 내림 상수는 A가 B보다 작다.

ㄴ. (가)와 (다)에서 용매의 종류가 같고 용매와 용질의 질량이 같을 때 용액의 어는점 내림은 (다)가 (가)보다 크다. 따라서 몰랄 농도는 (다)가 (가)보다 크므로 용질의 화학식량은 C가 D보다 크다.

바로알기 ㄷ. P에서 용매와 용질의 질량이 같지만 용질의 종류가 달라 화학식량이 다르므로 (가)와 (나)의 몰랄 농도는 같지 않다.

14 ㄱ. 묽은 용액의 삼투압은 용액의 몰 농도와 절대 온도에 비례한다. (가)에서 온도를 높이면 삼투압이 더 커지므로 h 는 증가한다.

ㄴ. (나)에서 삼투압의 크기는 $\pi = CRT = 0.5 \times R \times (273 + 27) = 150R$ 이다.

바로알기 ㄷ. (가)와 (나)에서 순수한 물과 포도당 수용액 속 물 분자는 반투막을 통해 자유롭게 이동한다. 다만, (가)에서는 물에서 포도당 수용액 쪽으로 이동하는 물 분자가 더 많으므로 포도당 수용액 쪽의 수면이 높아진다.

15 0.01 M 설탕물의 삼투압은 P이고, X 수용액의 삼투압은 2P이다. 용액의 삼투압 $\pi = CRT$ 이므로 온도가 같을 때 용액의 삼투압은 용액의 몰 농도에 비례한다. 따라서 X 수용액의 삼투압은 0.01 M 설탕물의 삼투압의 2배이므로 X 수용액의 몰 농도는 0.02 M이다.

X 10 g을 물에 녹여 1 L의 수용액을 만들었으므로, X의 분자량을 M 으로 두면 몰 농도는 $\frac{10 \text{ g}}{1 \text{ L}} = 0.02 \text{ M}$ 이므로 $M = 500$ 이다.

$\pi = CRT$ 에서 R 는 기체 상수로 $0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$ 이고, T 는 절대 온도로 300 K 이다. 따라서 X 수용액의 삼투압 $\pi = CRT = 0.02 \text{ M} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K} \approx 0.49 \text{ atm}$ 이다.

16 ㄷ. (나)에서 두 설탕물의 몰 농도가 같으므로 어는점이 같다.

바로알기 ㄱ. 농도가 묽은 쪽에서 진한 쪽으로 물이 더 많이 이동하므로 A보다 B의 농도가 진하다. (나)에서 두 설탕물의 몰 농도가 같으므로 설탕의 몰수는 B가 A의 2배이다. 따라서 (가)에서 설탕의 몰 농도는 B가 A의 2배이다.

ㄴ. B는 (가)에 비해 (나)에서 물의 양이 더 많으므로 농도는 (가) > (나)이다.

17 ㄱ. 삼투압은 용액의 몰 농도에 비례하므로 B 수용액의 몰

농도는 A 수용액의 2배이다. 두 수용액의 부피가 같기 때문에 용질의 몰수는 B가 A의 2배가 되고 각 물질의 분자량을 M_A , M_B 로 두면 $1:2 = \frac{0.01}{M_A} : \frac{0.04}{M_B}$ 의 식이 성립한다. 따라서 분자량은 B가 A의 2배이다.

ㄷ. 물이 반투막을 통과하여 갈때기관 안으로 들어가므로 A 수용액과 B 수용액의 몰 농도는 모두 처음보다 감소하였다.

바로알기 ㄴ. 삼투압은 용액의 몰 농도에 비례하므로 초기 몰 농도는 B 수용액이 A 수용액의 2배이다.

18 묽은 용액의 증기 압력, 끓는점, 어는점, 삼투압은 용질의 입자 수에 따라 변한다. 순수한 물에 비해 용액의 증기 압력은 작아지고, 끓는점은 높아지며, 어는점은 낮아진다. 또한 삼투압은 크게 나타나므로, 용매에 비해 용액이 더 큰 값을 갖는 것은 끓는점(ㄴ)과 삼투압(ㄹ)이다.

19 ●모범 답안● (1) 설탕물의 증기 압력이 물의 증기 압력보다 작기 때문이다.

(2) h 는 증가한다. 설탕물의 농도가 진할수록 증기 압력이 작아져 물과 설탕물의 증기 압력 차이가 커지기 때문이다.

채점 기준		배점
(1)	증기 압력으로 옳게 서술한 경우	50 %
	설탕물의 증발 속도가 물의 증발 속도보다 느리기 때문이라고 서술한 경우	30 %
(2)	h 의 변화를 옳게 쓰고, 그 이유를 증기 압력 차이로 옳게 서술한 경우	50 %
	h 의 변화만 옳게 쓴 경우	20 %

20

문제 분석하기

- 같은 질량을 같은 부피의 물에 녹인 경우 화학식량이 작을수록 용질의 몰수가 크므로 용액의 몰 농도는 포도당 수용액 > 설탕물 > 녹말 수용액 순이다.
- 갈때기관을 사이에 둔 두 용액의 농도 차이가 클수록 삼투압이 커진다.

● 포도당 수용액보다 설탕물의 농도가 더 작다. → 갈때기관에서 물이 빠져나간다. → 갈때기관 속 수면이 낮아진다.

(가) 녹말 수용액보다 포도당 수용액의 농도가 더 크다. → 갈때기관 속으로 물이 들어간다. → 갈때기관 속 수면이 높아진다.

(나) 녹말 수용액보다 설탕물의 농도가 더 크다. → 갈때기관 속으로 물이 들어간다. → 갈때기관 속 수면이 높아진다.

(다) 녹말 수용액보다 설탕물의 농도가 더 작다. → 갈때기관에서 물이 빠져나간다. → 갈때기관 속 수면이 낮아진다.

용액의 농도 차가 (나) > (다)이므로 높이는 차는 (나) > (다)이다.

●모범 답안● (나) > (다) > (가), 갈때기관 속과 수조 안의 용액의 농도 차이가 클수록 삼투압이 크게 나타나 수면의 높이 차이가 커진다.

채점 기준	배점
순서와 이유를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
순서만 옳게 쓴 경우	40 %

중단원 핵심 정리

100쪽

- ① \geq ② $<$ ③ 극성 ④ 무극성 ⑤ 용액 ⑥ 용매 ⑦ $\frac{10ad}{M_w}$
 ⑧ $\frac{1000a}{1000d - aM_w}$ ⑨ 몰 분율 ⑩ 몰랄 농도 ⑪ 몰랄 농도
 ⑫ 삼투압(π) ⑬ CRT ⑭ 입자 수

중단원 마무리 문제

101~104쪽

- 01 ③ 02 ㄴ, ㄷ 03 ② 04 ② 05 ⑤ 06 ③
 07 ④ 08 ② 09 ㄱ 10 ③ 11 ④ 12 ② 13 ⑤
 14 ⑤ 15 ③ 16 ㄱ, ㄷ

01

문제 분석하기

물 분자와 설탕 분자 사이에 강한 인력이 작용하여 물 분자가 설탕 분자를 둘러싼다. → 설탕은 물에 잘 녹는다.

(가) 설탕은 분자 사이의 인력이 비교적 약하고, 물과 인력이 강하게 작용하는 -OH(하이드록시기)가 있는 극성 분자이다.

(나) 물 분자는 물 분자끼리, 아이오딘 분자는 아이오딘 분자끼리 따로 존재한다. → 아이오딘은 물에 잘 녹지 않는다.

ㄱ. 설탕은 극성 용매인 물에 잘 용해되는 극성 분자이고, 아이오딘은 물에 잘 용해되지 않는 무극성 분자이다.

ㄴ. (가)는 설탕 분자가 물 분자에 둘러싸여 안정화되어 녹는 현상, 즉 수화되는 모습이다.

바로알기 ㄷ. (나)에서 아이오딘 분자와 물 분자 사이의 인력이 아이오딘 분자 사이의 인력보다 작아 용해가 일어나지 않는다.

02 ㄴ. (나)에 녹아 있는 포도당의 몰수는 $0.1 \text{ mol/L} \times 0.5 \text{ L} = 0.05 \text{ mol}$ 이므로, 포도당의 질량은 $0.05 \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol} = 9 \text{ g}$ 이다.

㉔. (나)에서 취한 100 mL에 들어 있는 포도당의 몰수는 $0.1 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 0.01 \text{ mol}$ 이고, 용액의 부피는 1 L이므로 용액의 몰 농도는 0.01 M이다.

바로알기 ㉓. (가)에 녹아 있는 포도당의 질량은 $\frac{0.1 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 1000 \text{ mL} \times 1.0 \text{ g/mL} = 1.0 \text{ g}$ 이므로 포도당의 몰수는 $\frac{1}{180} \text{ mol}$ 이고, (나)에 녹아 있는 포도당의 몰수는 0.05 mol이다. 따라서 수용액에 녹아 있는 포도당의 몰수, 즉 분자 수는 (나)가 (가)보다 많다.

03

문제 분석하기

(가) KOH 5.6 g을 소량의 증류수에 녹인 후 1 L 부피 플라스크에 넣고 눈금선까지 증류수를 가한다.

• KOH의 화학식량은 56이므로 KOH 5.6 g은 $0.1 \text{ mol} (= \frac{5.6 \text{ g}}{56 \text{ g/mol}})$ 이다. 따라서 이 용액의 몰 농도는 $0.1 \text{ M} (= \frac{0.1 \text{ mol}}{1 \text{ L}})$ 이다.

(나) 과정 (가)의 용액 10 mL를 취하여 1 L 부피 플라스크에 넣고 눈금선까지 증류수를 가한다.

• 과정 (가) 용액의 몰 농도는 0.1 M이고, 이 용액을 $\frac{1}{100}$ 로 묽혔으므로 (나) 용액의 몰 농도는 $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다.

㉓. (가)의 용액 10 mL에 증류수만 더 가해서 (나) 용액을 만들었으므로, (가) 용액 10 mL와 (나) 용액 1 L에 들어 있는 KOH의 몰수는 같다.

㉔. 농도가 0.1 M인 (가) 용액에 증류수를 넣어 $\frac{1}{100}$ 로 묽혔으므로, (나) 용액의 몰 농도는 $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다.

바로알기 ㉔. (가) 용액의 몰 농도는 0.1 M이고, (나) 용액의 몰 농도는 $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다. 따라서 (나) 용액의 몰 농도는 (가) 용액의 몰 농도의 $\frac{1}{100}$ 이다.

04 ㉔. (나)에 증류수를 가하여 부피를 200 mL로 만들면 용질의 몰수는 변하지 않고, 용액의 부피만 (가)의 2배가 되므로 몰 농도는 (가)의 $\frac{1}{2}$ 이 된다.

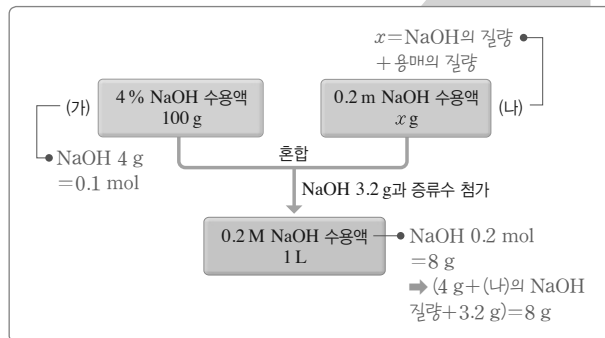
바로알기 ㉓. (나)에서 용질의 몰수는 변하지 않고, 용액의 부피만 $\frac{1}{2}$ 이 되었으므로 몰 농도는 (나)가 (가)의 2배이다. 그러나 몰랄 농도는 용매 1 kg 속에 녹아 있는 용질의 몰수인데, 용질의 몰수는 변하지 않지만 몰랄 50 mL가 증발되므로 물의 질량은 (가)가 (나)의 2배보다 크다. 따라서 몰랄 농도는 (나)가 (가)의 2배보다 크다.

㉔. (가)에 NaOH 4 g을 더 녹인 수용액의 부피는 100 mL가 아니므로 (가)와 (나)의 몰 농도는 같지 않다.

05 1.5 M A 수용액에 녹아 있는 A의 질량은 $60a \text{ g} (= 1.5 \text{ mol/L} \times a \text{ L} \times 40 \text{ g/mol})$ 이다. 한편, 밀도가 1.06 g/mL인 1.5 m A 수용액 0.1 L에서 용액의 질량은 $106 \text{ g} (= 1.06 \text{ g/mL} \times 100 \text{ mL})$ 이다. 1.5 m 수용액은 용매 1000 g에 용질 1.5 mol, 즉 A 60 g $(= 40 \text{ g/mol} \times 1.5 \text{ mol})$ 이 녹아 있는 것이므로 용액 1060 g 속 A의 질량은 60 g이고, 용액 106 g 속 A의 질량은 6 g이다. 따라서 혼합 수용액에 녹아 있는 A의 질량은 $(60a + 6) \text{ g}$ 이고, 퍼센트 농도는 $\frac{60a + 6}{600} \times 100 = 10a + 1(\%)$ 이다.

06

문제 분석하기



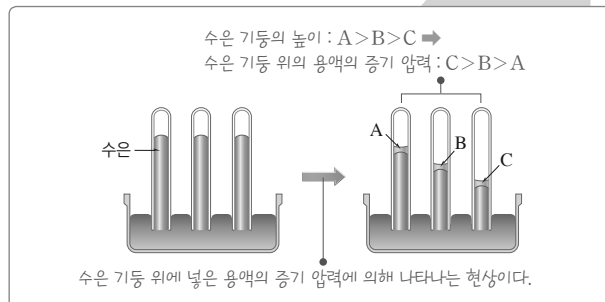
㉓. (가)에서 NaOH의 질량을 y 로 두면 $\frac{y}{100 \text{ g}} \times 100 = 4\%$, $y = 4 \text{ g}$ 이므로 몰수는 $\frac{4 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이다.

㉔. 혼합 용액 속에 포함된 NaOH의 몰수는 0.2 mol로, 질량은 $0.2 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} = 8 \text{ g}$ 이므로 (나)에서 NaOH의 질량은 $0.8 \text{ g} (= 8 \text{ g} - 4 \text{ g} - 3.2 \text{ g})$ 이다.

바로알기 ㉔. (나)에서 0.2 m NaOH 수용액에 녹아 있는 NaOH의 질량은 0.8 g이어야 하므로 $\frac{0.8 \text{ g}}{\frac{40 \text{ g/mol}}{\text{용매의 질량}}} = 0.2 \text{ m}$, 용매의 질량은 $100 \text{ g} (= 0.1 \text{ kg})$ 이다. 따라서 x 는 $100 \text{ g} + 0.8 \text{ g} = 100.8 \text{ g}$ 이다.

07

문제 분석하기



농도가 서로 다른 A~C 수용액의 증기 압력은 $C > B > A$ 순이

다. 용액의 농도가 진할수록 증기 압력 내림이 커지므로 각 수용액의 농도는 $A > B > C$ 순이다.

ㄱ, ㄷ. 용액의 농도가 진할수록 끓는점 오름과 어는점 내림이 커지므로 끓는점은 $A > B > C$ 순이고, 어는점은 $C > B > A$ 순이다.

바로알기 ㄴ. 증기 압력은 B 수용액이 C 수용액보다 작다.

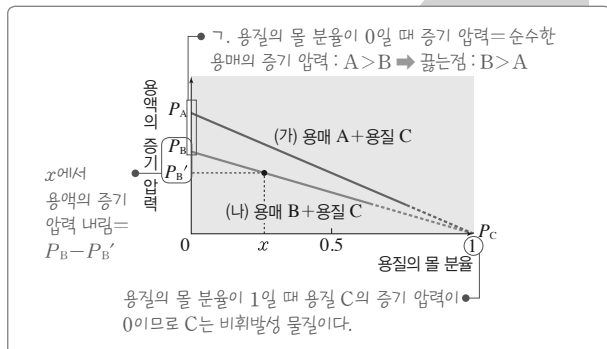
08 ㄷ. 끓는점은 액체의 증기 압력과 대기압이 같아질 때의 온도로, 기준 끓는점에서 각 수용액의 증기 압력은 모두 같다.

바로알기 ㄱ. 수용액의 농도가 묽을수록 증발이 잘 일어나므로 남아 있는 수용액의 양이 적을수록 초기에 수용액의 증발이 잘 일어나며 농도가 묽다는 것을 알 수 있다. 따라서 수용액의 농도는 $B > A > C$ 순이다.

ㄴ. 용액의 농도가 진할수록 증기 압력 내림이 커지므로 증기 압력은 B 수용액이 C 수용액보다 작다.

09

문제 분석하기

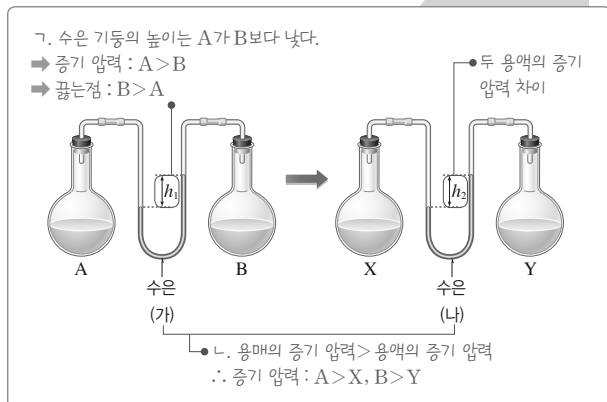


바로알기 ㄴ. 몰 분율 x 에서 (나)의 증기 압력은 P_B' 로 순수한 용매의 증기 압력 P_B 와의 차이가 증기 압력 내림이다. 따라서 (나)의 증기 압력 내림은 $P_B - P_B'$ 이다.

ㄷ. 기준 끓는점에서 외부 압력은 1기압이므로 용액의 증기 압력은 (가)와 (나)에서 모두 1기압이다.

10

문제 분석하기



바로알기 ㄷ. A와 B에 용질 C가 같은 질량만큼 첨가되므로 X와 Y에서 용질의 몰 분율은 같다. 증기 압력 내림은 순수한 용매의 증기 압력에 비례하므로 증기 압력이 큰 X의 증기 압력 내림이 Y보다 크다. 따라서 순수한 용매 A와 B의 증기 압력 차이보다 용액인 X와 Y의 증기 압력 차이가 더 작으므로 h_2 는 h_1 보다 작다.

11 요소 18 g은 $\frac{18 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0.3 \text{ mol}$ 이므로 요소 18 g이 물 100 g에 녹아 있는 용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.3 \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = 3 \text{ m}$ 이고, 이 용액의 끓는점 오름은 1.56°C 이므로 물의 몰랄 오름 상수(K_b)는 다음과 같다.

$$\Delta T_b = K_b \times m \Rightarrow 1.56^\circ\text{C} = K_b \times 3 \text{ m}$$

$$\therefore K_b = 0.52^\circ\text{C/m}$$

포도당 18 g이 물 100 g에 녹아 있는 용액의 끓는점 오름은 0.52°C 이므로 포도당의 분자량을 M 으로 두면 $\Delta T_b = K_b \times m$

$$\text{에서 } 0.52^\circ\text{C} = 0.52^\circ\text{C/m} \times \frac{\frac{18 \text{ g}}{M}}{0.1 \text{ kg}}, M = 180 \text{이다.}$$

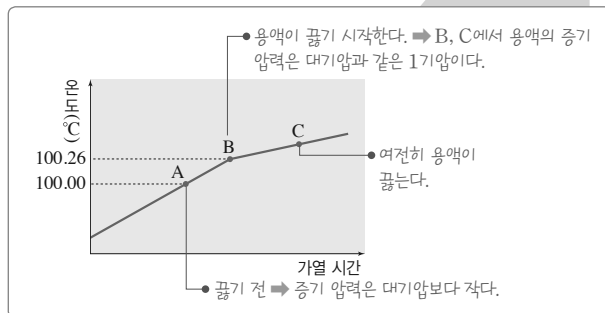
요소 6 g은 $\frac{6 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이고, 포도당 9 g은 $\frac{9 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.05 \text{ mol}$ 이다. 따라서 요소 6 g과 포도당 9 g을 물 100 g에 녹인 용액의 몰랄 농도는 $\frac{0.15 \text{ mol}}{0.1 \text{ kg}} = 1.5 \text{ m}$ 이고, $\Delta T_b = 0.52^\circ\text{C/m} \times 1.5 \text{ m} = 0.78^\circ\text{C}$ 이므로 이 용액의 끓는점은 100.78°C 이다.

[다른 풀이] 포도당의 분자량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M = \frac{1000 \times w \times K_b}{\Delta T_b \times W} = \frac{1000 \times 18 \text{ g} \times 0.52^\circ\text{C/m}}{0.52^\circ\text{C} \times 100 \text{ g}} = 180$$

12

문제 분석하기



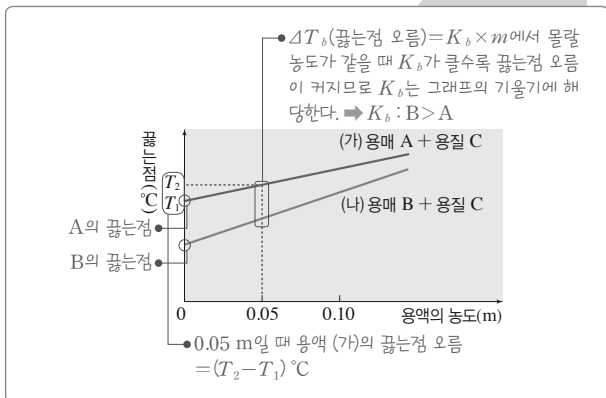
ㄴ. 용액의 끓는점 오름이 0.26°C 이므로 $0.26^\circ\text{C} = 0.52^\circ\text{C/m} \times m$, $m = 0.5 \text{ m}$ 이다. 물 100 g에 용질 3.0 g을 녹인 수용액의 몰랄 농도가 0.5 m이므로 용질의 분자량을 M 으로 두면 $\frac{3.0 \text{ g}}{0.1 \text{ kg}} \times \frac{M}{1000} = 0.5 \text{ m}$, $M = 60$ 이다.

바로알기 ㄱ. A에서는 용액이 끓기 전이므로 증기 압력이 대기압보다 작고, B는 끓는점이므로 B와 C에서는 증기 압력이 대기압과 같다. \Rightarrow 증기 압력 : $A < B = C$

ㄷ. 용액이 끓는 동안 물이 증발하여 용액의 농도가 진해지기 때문에 온도가 계속 높아진다. \Rightarrow 몰랄 농도 : $B < C$

13

문제 분석하기



ㄱ. 용액의 농도가 0 m일 때 용액의 끓는점은 순수한 용매 A와 B의 끓는점과 같다. 따라서 용매의 끓는점은 A가 B보다 높으므로 분자 사이의 인력은 A가 B보다 크다.

ㄴ. $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서 용액의 몰랄 농도가 같을 때 K_b 가 클수록 끓는점 오름이 커지므로 K_b 는 그래프의 기울기에 해당한다. 그래프의 기울기는 (나) > (가)이므로 K_b 는 B가 A보다 크다.

ㄷ. A의 끓는점은 T_1 이고, 0.05 m일 때 (가)의 끓는점은 T_2 이므로 0.05 m에서 (가)의 끓는점 오름은 $(T_2 - T_1) ^\circ\text{C}$ 이다.

14 ㄱ. 용액의 어는점 내림은 용액의 몰랄 농도에 비례한다. 용질의 질량이 같을 때 용액의 어는점 내림은 (나)가 (가)보다 크므로 몰랄 농도는 (나)가 (가)보다 크다. 따라서 용질의 질량은 같고, 용질의 몰수는 (나)가 (가)보다 크므로 분자량은 A가 B보다 크다.

ㄴ. w_1 일 때 용액의 어는점 내림은 (나)가 (가)보다 크므로 몰랄 농도는 (나)가 (가)보다 크다. 따라서 증기 압력은 (가)가 (나)보다 크다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 용매는 물로 서로 같고, (가)는 w_2 , (나)는 w_1 일 때 두 용액의 어는점이 같으므로 몰랄 농도도 같다. 따라서 (가)는 w_2 , (나)는 w_1 일 때 두 용액의 끓는점은 같다.

15 ㄱ. 용액의 양에 관계없이 A가 B보다 농도가 크므로 삼투에 의해 저농도인 B에서 고농도인 A로 용매가 더 많이 이동하게 된다. 따라서 A의 수면은 높아지고, B의 수면은 낮아진다.

ㄴ. A에 0.10 M 포도당 수용액 200 mL를 사용하면 A와 B의 농도 차이가 더 커지므로 삼투압도 더 커진다. 따라서 A와 B의 수면의 높이 차는 더 커진다.

바로알기 ㄷ. 삼투압은 용액의 몰 농도와 절대 온도에 비례하므로 두 용액을 같은 온도로 가열하면 A와 B의 수면의 높이 차는 증가한다.

16 ㄱ. 반투막을 사이에 두고 농도가 다른 두 수용액을 가득 채우면 농도가 낮은 용액 쪽에서 농도가 높은 용액 쪽으로 용매 분자가 더 많이 이동하게 된다. 따라서 용액의 농도는 A 수용액이 B 수용액보다 크다.

ㄷ. 삼투압은 용액의 몰 농도와 절대 온도에 비례하므로 온도를 높여 주면 삼투압이 증가하여 l 이 더 커진다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 두 수용액의 몰 농도는 같으나 A 수용액이 B 수용액보다 부피가 크므로 용액 속 용질 입자 수는 A가 B보다 많다.

수능 실전 문제

106~107쪽

1 ㉓ 2 ㄱ, ㄷ 3 ㉓ 4 ㉓ 5 ㉓ 6 ㄱ 7 ㉓ 8 ㉓

1 ㄱ. (가)의 질량은 $100 \text{ mL} \times 0.96 \text{ g/mL} = 96 \text{ g}$ 이고, A의 질량은 24 g이므로 퍼센트 농도는 $\frac{24 \text{ g}}{96 \text{ g}} \times 100 = 25 \%$ 이다.

ㄴ. (나) 110 g에서 B의 질량이 20 g이므로 용매인 물의 질량은 $\frac{20 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = \frac{1}{3} \text{ mol}$ 90 g이다. 따라서 (나)의 몰랄 농도는 $\frac{1}{0.09 \text{ kg}} = \frac{1}{0.09 \text{ kg}} = \frac{100}{27} \text{ m}$ 이다.

바로알기 ㄷ. (가)의 몰 농도는 $\frac{24 \text{ g}}{0.1 \text{ L}} = 5.22 \text{ M}$ 이고, (나)

의 몰 농도는 $\frac{20 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 3.33 \text{ M}$ 이다. 따라서 몰 농도는 (가)가 (나)보다 크다.

2 $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ 의 NaOH 수용액을 만들기 위해서 0.10 M의 수용액을 먼저 제조한 후 이를 $\frac{1}{100}$ 로 희석시키는 과정이다.

ㄱ. 0.10 M NaOH 수용액 250 mL에는 $0.10 \text{ M} \times 0.25 \text{ L} = 0.025 \text{ mol} = \frac{1}{40} \text{ mol}$ 의 NaOH이 녹아 있다. NaOH의 화학식량은 40이고, 순도는 99 %이므로 $\frac{1}{40} \text{ mol} = \frac{x \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} \times \frac{99}{100}$, $x = \frac{100}{99} \text{ (g)}$ 이다.

ㄴ. 0.10 M NaOH 수용액 1 L에 들어 있는 NaOH은 0.1 mol, 즉 4 g이고, 용액의 밀도가 1 g/mL이므로 용액 1 L는 1000 g이다. 따라서 0.10 M NaOH 수용액의 퍼센트 농도는 $\frac{4 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100 = 0.40 \%$ 이다.

바로알기 ㄴ. 0.10 M NaOH 수용액을 $\frac{1}{100}$ 로 희석하여 0.001 M($1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$) NaOH 수용액으로 만드는 과정이다. 따라서 $0.10 \text{ M} \times y \text{ mL} = 0.001 \text{ M} \times 250 \text{ mL}$, $y = 2.5 \text{ (mL)}$ 이다.

3 ㄱ. (가)의 수용액에 녹아 있는 KHCO_3 의 몰수는 $1 \text{ M} \times 0.2 \text{ L} = 0.2 \text{ mol}$ 이고, 질량은 $0.2 \text{ mol} \times 100 \text{ g/mol} = 20 \text{ g}$ 이다. ㄴ. (나)는 용액의 몰랄 농도가 제시되어 있으므로 밀도를 이용하여 용액의 부피를 질량으로 변환한 후, 녹아 있는 용질의 질량과 몰수를 계산하여 용액의 몰 농도를 구할 수 있다.

ㄴ. 1 m KHCO_3 수용액은 물 1 kg에 KHCO_3 1 mol, 즉 100 g이 녹아 있는 것이므로 수용액의 부피는 1 L보다 크다. 따라서 같은 부피의 용액 속에 녹아 있는 KHCO_3 의 몰수는 (가)가 (나)보다 크다.

4 ㄴ. (가)에서 수은 기둥의 높이 차로 보아 증기 압력은 $\text{물} > \text{A} > \text{B}$ 순이다. 증기 압력이 작을수록 끓는점이 높으므로 기준 끓는점은 B가 A보다 높다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 A가 B보다 증기 압력이 크므로 (나)의 $t^\circ\text{C}$ 에서 A의 증기 압력은 a 기압, B의 증기 압력은 b 기압이다. ㄴ. $\Delta P = P^\circ_{\text{용매}} - P_{\text{용액}}$ 이므로 이를 각 수용액에 대입하면, $P^\circ_{\text{용매}} - a = P^\circ_{\text{용매}} - X_A$ 와 $P^\circ_{\text{용매}} - b = P^\circ_{\text{용매}} - X_B$ 의 관계가 성립한다. 또한 $P^\circ_{\text{용매}} - a$ 는 수은 기둥의 높이 차 h 에 비례하고, $P^\circ_{\text{용매}} - b$ 는 $2h$ 에 비례하므로 $\frac{B\text{에서 설탕의 몰 분율}}{A\text{에서 설탕의 몰 분율}} = \frac{P^\circ_{\text{용매}} - b}{P^\circ_{\text{용매}} - a} = \frac{2h}{h} = 2$ 이다.

5 ㄱ. 수은 기둥의 양쪽 높이가 같으므로 두 수용액의 증기 압력과 몰랄 농도는 같다.

ㄴ. 3 % 요소 수용액 100 g에 녹아 있는 요소의 질량은 3 g이고 물의 질량은 97 g이므로, 요소 수용액의 몰랄 농도는 $\frac{3 \text{ g}}{0.097 \text{ kg}} \approx 0.52 \text{ m}$ 이다. 요소 수용액과 포도당 수용액은 몰랄 농도가 같으므로 x 는 0.5보다 크다.

ㄴ. 요소 수용액보다 포도당 수용액의 전체 질량이 작으므로 두 수용액에 각각 50 g의 물을 더 넣으면 상대적으로 포도당 수용액에 들어 있는 물 분자의 몰 분율이 더 증가한다.

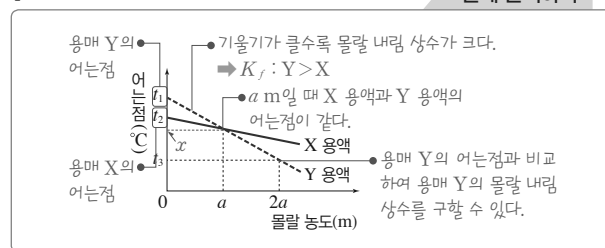
6 ㄱ. $\Delta T_b = K_b \times m$ 이므로 그래프의 기울기가 클수록 용매의 몰랄 오름 상수 K_b 가 크다. 즉, K_b 는 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄴ. (가)와 (나)는 P에서 ΔT_b 는 같지만, A가 B보다 K_b 가 크므로 몰랄 농도는 (나)가 (가)보다 크다.

ㄴ. (가)의 ΔT_b 는 P에서 a , Q에서 $3a$ 이므로 Q에서 몰랄 농도는 P의 3배이고, 녹아 있는 질량 또한 3배이다. 추가로 녹인 C의 질량이 $w \text{ g}$ 이고, 이때 처음 녹아 있던 C의 질량의 3배이므로 Q에서 (가)에 녹아 있는 C의 질량은 $1.5w \text{ g}$ 이다.

7

문제 분석하기



ㄱ. Y의 몰랄 내림 상수는 몰랄 농도가 $2a$ 일 때의 어는점 내림 (ΔT_f)을 통해서 구할 수 있다.

$\Delta T_f = t_1 - t_3 = K_f \times m = K_f \times 2a$ 이므로, Y의 몰랄 내림 상수 $K_f = \frac{t_1 - t_3}{2a} (^\circ\text{C/m})$ 이다.

ㄴ. 몰랄 농도가 $a \text{ m}$ 일 때 X 용액의 어는점은 Y 용액의 어는점과 같다. 따라서 $a \text{ m}$ 일 때 X 용액과 Y 용액의 어는점을 x 라고 두면, $\Delta T_f = t_1 - x = \frac{t_1 - t_3}{2a} \times a$, $x = \frac{t_1 + t_3}{2} (^\circ\text{C})$ 이다.

ㄴ. 몰랄 농도가 $a \text{ m}$ 일 때 X 용액의 어는점이 $\frac{t_1 + t_3}{2} (^\circ\text{C})$ 이므로 어는점 내림으로 X의 몰랄 내림 상수를 구하면 $\Delta T_f = t_2 - \frac{t_1 + t_3}{2} = K_f \times a$, $K_f = \frac{2t_2 - t_1 - t_3}{2a} (^\circ\text{C/m})$ 이다. 따라서 Y와 X의 몰랄 내림 상수의 차이를 구하면 $\frac{t_1 - t_3}{2a} - \frac{2t_2 - t_1 - t_3}{2a} = \frac{t_1 - t_2}{a} (^\circ\text{C/m})$ 이다.

8 삼투압 $\pi = CRT = \frac{nRT}{V}$ 이고, $n = \frac{w}{M}$ 이므로 분자량 $M = \frac{wRT}{\pi V} = \frac{25 \text{ g} \times 0.08 \text{ 기압} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}}{0.015 \text{ 기압} \times 0.5 \text{ L}} = 80000$ 이다.

1. 반응열

01 화학 반응과 에너지

개념 확인 문제

116쪽

- 1 발열 2 흡열 3 엔탈피 4 생성물, 반응물 5 <
6 > 7 열화학 반응식

A 1 (1) 흡 (2) 발 (3) 발

B 2 (1) ○ (2) × (3) × 3 ㉠ >, ㉡ <, ㉢ <, ㉣ >, ㉤ >, ㉥ <

C 4 ㄱ, ㄴ, ㄷ 5 $\frac{1}{2}\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}(l) + 683.4 \text{ kJ}$ 또는 $\frac{1}{2}\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}(l) \Delta H = -683.4 \text{ kJ}$

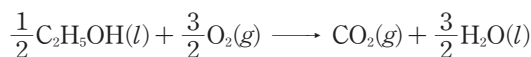
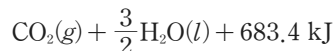
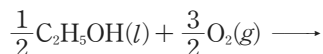
1 발열 반응과 흡열 반응을 비교하면 다음과 같다.

구분	발열 반응	흡열 반응
열의 출입	열 방출	열 흡수
에너지 총합	반응물 > 생성물	반응물 < 생성물
주위의 온도	올라감	내려감

2 (1) 생성물의 엔탈피 합이 반응물의 엔탈피 합보다 작으면 반응이 일어날 때 열을 방출한다. ➡ 발열 반응

(2) 흡열 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 크다.(3) 반응열(Q)과 반응 엔탈피(ΔH)는 크기가 같고 부호가 반대이다.3 발열 반응이 일어날 때는 열을 방출하므로 $Q > 0$ 이지만 물질이 가진 화학 에너지가 열에너지로 방출되기 때문에 $\Delta H < 0$ 이다. 반대로 흡열 반응이 일어날 때는 열을 흡수하므로 $Q < 0$ 이지만 흡수한 열에너지가 화학 에너지로 저장되므로 $\Delta H > 0$ 이다.4 ㄱ, ㄴ, ㄷ. 열화학 반응식으로부터 반응물과 생성물의 종류 및 상태, 반응열(Q)과 반응 엔탈피(ΔH) 등을 알 수 있다.**바로알기** 르. 열화학 반응식으로부터 반응열(Q)이나 반응 엔탈피(ΔH)는 알 수 있지만 반응물이나 생성물이 가진 에너지는 알 수 없다.5 에탄올($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 1몰이 연소되는 반응은 다음과 같다.

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 의 분자량이 46이므로 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 23 g은 0.5몰($=\frac{23}{46}$)이다. 따라서 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 0.5몰이 연소될 때 683.4 kJ의 열이 방출된다.



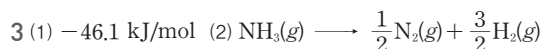
$$\Delta H = -683.4 \text{ kJ}$$

개념 확인 문제

122쪽

- 1 연소열 2 분해열 3 중화열 4 용해열 5 비열
6 열용량 7 비열, 온도 8 통열량계

D 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 (1) ㄴ (2) ㄱ, ㄴ (3) ㄷ



$$\Delta H = 46.1 \text{ kJ}$$

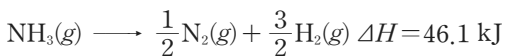
E 4 -65 kJ/mol

1 (1) 연소 반응에서는 항상 열이 방출되므로 연소 반응은 발열 반응이다. 따라서 연소 엔탈피는 항상 0보다 작다.

(2) 생성 엔탈피는 물질 1몰이 가장 안정한 홑원소 물질로부터 생성될 때 방출되거나 흡수되는 에너지이다.

(3) 25 °C, 1기압에서 산소의 홑원소 물질 중 $\text{O}_2(g)$ 는 $\text{O}_3(g)$ 보다 안정하다. $\text{O}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH_f°)는 0이고, $\text{O}_3(g)$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH_f°)는 0보다 크다.2 (1) $\text{H}_2(g)$ 와 $\text{Cl}_2(g)$ 가 반응하여 $\text{HCl}(g)$ 1몰이 생성되므로 ΔH 는 $\text{HCl}(g)$ 의 생성열이다.(2) $\text{C}(s)$ 1몰이 완전 연소되면서 $\text{CO}_2(g)$ 1몰이 생성되므로 ΔH 는 연소열이면서 동시에 생성열이다. 즉 주어진 반응식에서 $\text{C}(s)$ 의 연소열과 $\text{CO}_2(g)$ 의 생성열은 같다.(3) 산과 염기가 중화 반응하여 물 1몰이 생성되는 반응이므로 ΔH 는 중화열이다.3 (1) $\text{NH}_3(g)$ 2몰이 생성될 때의 반응 엔탈피가 -92.2 kJ이므로 1몰이 생성될 때의 반응 엔탈피는 -46.1 kJ이다. 따라서 $\text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피는 -46.1 kJ/mol이다.

(2) 분해 반응은 생성 반응의 역반응이다. 따라서 $\text{NH}_3(g)$ 1몰이 생성될 때의 반응 엔탈피가 -46.1 kJ 이므로 $\text{NH}_3(g)$ 1몰이 분해될 때의 반응 엔탈피는 46.1 kJ 이다. $\text{NH}_3(g)$ 1몰이 분해되는 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



4 용액이 흡수한 열량 = 용액의 비열 \times 용액의 질량 \times 온도 변화
 $= 4.2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 111.1 \text{ g} \times (39 - 25) ^\circ\text{C} = 6532.68 \text{ J} \approx 6.5 \text{ kJ}$

용해된 물질 A의 몰수 $= \frac{11.1}{111} = 0.1(\text{몰})$

물질 A의 용해는 발열 반응이므로

물질 A의 용해열(ΔH) $= -\frac{6.5}{0.1} = -65(\text{kJ/mol})$ 이다.

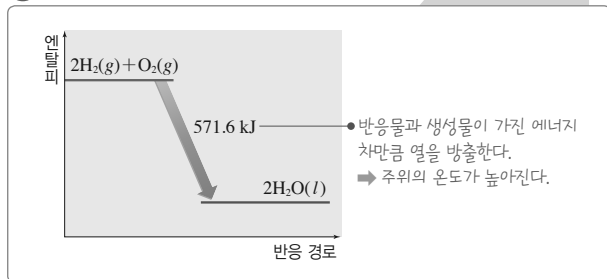
대표 자료 분석

123쪽

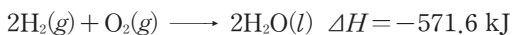
대표 자료 ① 1 높아진다. 2 (가) -285.8 kJ/mol
 (나) -285.8 kJ/mol 3 1143.2 kJ 4 나
 대표 자료 ② 1 8.4 kJ 2 (1) \bigcirc (2) \times (3) \times

①-1

문제 분석하기



①-2 수소($\text{H}_2(g)$) 2몰과 산소($\text{O}_2(g)$) 1몰이 반응하여 물($\text{H}_2\text{O}(l)$) 2몰이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



(가) 2몰의 $\text{H}_2(g)$ 가 연소하여 571.6 kJ 의 열이 방출되므로 1몰의 $\text{H}_2(g)$ 가 연소하여 방출되는 열은 $\frac{571.6}{2} = 285.8(\text{kJ})$ 이다. 따라서 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 -285.8 kJ/mol 이다.

(나) 2몰의 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 생성될 때 571.6 kJ 의 열이 방출되므로 1몰의 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 생성될 때 $\frac{571.6}{2} = 285.8(\text{kJ})$ 의 열이 방출된다. 따라서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피는 -285.8 kJ/mol 이다.

①-3 4몰의 $\text{H}_2(g)$ 가 모두 연소하면 $571.6 \text{ kJ} \times 2 = 1143.2 \text{ kJ}$ 의 열이 방출된다.

①-4 나. 반응물의 에너지 합이 생성물의 에너지 합보다 크다.

바로알기 ㄱ. 반응하면서 열을 방출하므로 발열 반응이다.

ㄴ. 반응 엔탈피는 생성물과 반응물이 가지고 있는 엔탈피 합 차이므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 2몰의 엔탈피는 $\text{H}_2(g)$ 2몰과 $\text{O}_2(g)$ 1몰이 가진 엔탈피 합보다 571.6 kJ 만큼 더 작을 뿐 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 2몰이 가지고 있는 엔탈피의 총합은 알 수 없다.

②-1 메탄올 0.4 g 이 연소할 때 발생한 열량은 물 200 g 이 흡수한 열량으로 계산한다.

물이 흡수한 열량 = 비열(c) \times 질량(m) \times 온도 변화($^\circ\text{C}$)
 $= 4.2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 200 \text{ g} \times 10 ^\circ\text{C} = 8400 \text{ J} = 8.4 \text{ kJ}$

②-2 (1) 메탄올이 연소하면서 발생한 열은 실험 기구의 온도를 높이는 데 사용되거나 공기 중으로 빠져나가므로 실제 값보다 작게 측정된다.

(2) 메탄올이 불완전 연소하면 완전 연소할 때보다 열이 적게 발생하므로 나중 물의 온도는 $35 ^\circ\text{C}$ 보다 낮게 측정된다.

(3) 간이 열량계는 단열 처리가 잘 되지 않아 발생하는 열의 일부가 손실되는 반면 통열량계는 단열이 잘 되어 있어 열 손실이 거의 없다. 간이 열량계로 실험을 할 경우 통열량계로 실험할 때보다 열 손실이 크다.

대신 만점 문제

124~129쪽

01 ③ 02 ② 03 ③ 04 ③ 05 -568 kJ 06 ④
 07 ② 08 ⑤ 09 ② 10 1781.6 kJ 11 ⑤ 12 ⑤
 13 ② 14 ① 15 ④ 16 ③ 17 ④ 18 ④ 19 ④
 20 ④ 21 ⑤ 22 ① 23 해설 참조 24 해설 참조

01 (가)는 발열 반응, (나)는 흡열 반응을 나타낸다.

① (가)의 반응은 주위로 열을 방출하는 발열 반응이다.

②, ④ (가)에서는 생성물이 반응물보다 에너지가 더 작고, (나)에서는 반응물이 생성물보다 에너지가 더 작다.

⑤ 물의 기화와 탄산수소 나트륨의 열 분해 반응은 모두 흡열 반응으로 (나)의 반응에 해당한다.

바로알기 ③ 흡열 반응(나)이 일어날 때 주위에서 열을 흡수하므로 주위의 온도가 낮아진다.

02 [발열 과정]

7. 연료를 태우면 연료가 가지고 있던 화학 에너지가 열에너지로 전환되어 열이 방출된다.

ㄷ. 산과 염기가 중화 반응할 때 열(중화열)이 방출된다.

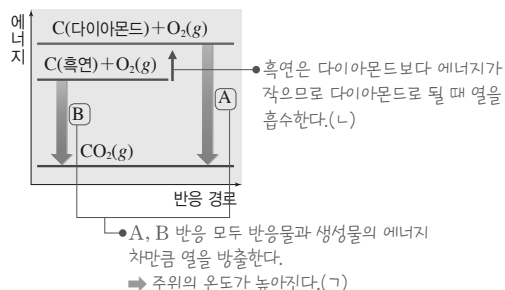
[흡열 과정]

ㄴ. 여름철 마당에 물을 뿌리면 물이 수증기로 증발하면서 열(기화열)을 흡수하므로 주위의 온도가 낮아진다.

ㄷ. 질산 암모늄이 물에 용해될 때 주위에서 열을 흡수하므로 주위의 온도가 낮아진다.

03

문제 분석하기



바로알기 ㉔. 흑연이 다이아몬드보다 에너지가 작으므로 에너지 면에서 흑연이 더 안정하다.

04 ㄱ. 반응물이 가진 에너지가 생성물이 가진 에너지보다 크므로 엔탈피의 총합은 반응물이 생성물보다 크다.

ㄷ. 반응 엔탈피는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 빼 값이므로 $\Delta H = (E_1 - E_2)$ kJ이다.

바로알기 ㄴ. 반응이 일어날 때 반응물의 화학 에너지가 열에너지로 전환되어 주위로 방출되므로 주위의 온도가 높아진다.

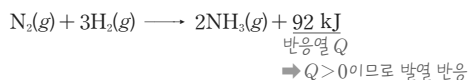
05 일산화 탄소($\text{CO}(g)$) 14 g($=\frac{14}{28}=0.5(\text{몰})$)이 연소하여 이산화 탄소($\text{CO}_2(g)$)로 될 때 142 kJ의 열이 방출된다. 따라서 $\text{CO}(g)$ 2몰이 연소하면 568 kJ($=142 \text{ kJ} \times 4$)의 열이 방출된다. 발열 반응에서 반응 엔탈피의 부호는 (-)이므로 $\Delta H = -568 \text{ kJ}$ 이다.

06 나, D. 나무판에 떨어뜨린 물이 반응이 진행된 이후 언 것으로 보아 주위의 온도가 낮아졌음을 알 수 있다. 따라서 이 반응은 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 작은 흡열 반응이다. 흡열 반응에서 반응 엔탈피는 0보다 크다.

바로알기 ㄱ. 이 반응은 흡열 반응이다.

07

문제 분석하기



1몰의 $\text{N}_2(\text{g})$ 와 3몰의 $\text{H}_2(\text{g})$ 가 반응하여 2몰의 $\text{NH}_3(\text{g})$ 가 생성될 때 92 kJ의 열이 방출된다.

7. 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.

리. 주어진 반응은 발열 반응이고 방출한 반응열은 92 kJ이다.
즉, 생성물의 총 엔탈피는 반응물의 엔탈피 합보다 92 kJ 만큼 더 작다.

바로알기 ㄴ. 반응 엔탈피(ΔH)는 반응열(Q)과 크기가 같고 부호가 반대이므로 -92 kJ 이다.

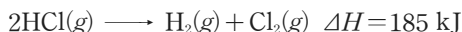
ㄷ. 발열 반응에서 에너지 총합은 반응물이 생성물보다 크다.

08 (가)의 반응은 $\Delta H < 0$ 이므로 발열 반응이고, (나)의 반응은 $\Delta H > 0$ 이므로 흡열 반응이다.

7. (가)의 반응은 발열 반응이므로 반응이 일어날 때 주위의 온도가 높아진다.

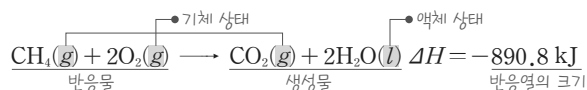
나. 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합($\sum H_{\text{생성물}}$)에서 반응물의 엔탈피 합($\sum H_{\text{반응물}}$)을 뺀 값이다. 따라서 (나)의 반응은 흡열 반응으로 $\Delta H > 0$ 이고, 생성물의 엔탈피 합이 반응물의 엔탈피 합보다 크다. ($\sum H_{\text{생성물}} > \sum H_{\text{반응물}}$)

ㄷ. 화학 반응이 역으로 진행되면 반응열과 반응 엔탈피는 원래 반응과 비교하여 크기가 같고 부호가 반대가 된다. 따라서 (가) 반응의 역반응을 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



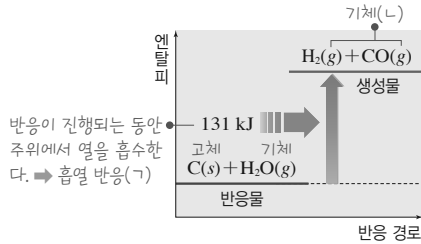
09

문제 분석하기

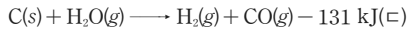


바로알기 ㄹ. 열화학 반응식에 나타난 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물과 반응물의 엔탈피 차이일 뿐이며, 반응물이나 생성물이 가진 엔탈피의 양은 알 수 없다.

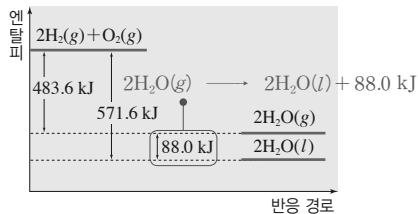
10 1몰의 $\text{CH}_4(g)$ 이 완전 연소할 때 890.8 kJ의 열이 방출된다. 따라서 $\text{CH}_4(g)$ 32 g($=\frac{32}{16}=2(\text{몰})$)이 연소하면 1781.6 kJ($=890.8 \text{ kJ} \times 2$)의 열이 방출된다.



열화학 반응식(반응열 Q 표현):



열화학 반응식	$2\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O(l)} + 571.6 \text{ kJ}$	$2\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O(g)} + 483.6 \text{ kJ}$
해석	$\text{H}_2\text{(g)}$ 2몰이 연소하여 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 2몰로 될 때 571.6 kJ의 열 방출	$\text{H}_2\text{(g)}$ 2몰이 연소하여 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 2몰로 될 때 483.6 kJ의 열 방출
두 반응의 공통점	<ul style="list-style-type: none"> 발열 반응이다. ① 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 더 크다. ③ 	



⑤ $\text{H}_2\text{O(g)}$ 2몰은 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 2몰보다 $88.0 \text{ kJ}(=571.6 \text{ kJ} - 483.6 \text{ kJ})$ 만큼 에너지가 더 크므로 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 1몰은 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 1몰보다 $44.0 \text{ kJ}(=\frac{88.0}{2} \text{ kJ})$ 만큼 에너지가 더 크다.

바로알기 ② $\text{H}_2\text{(g)}$ 와 $\text{O}_2\text{(g)}$ 가 반응하여 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 1몰이 생성될 때의 생성 엔탈피는 $-285.8(=\frac{-571.6}{2}) \text{ kJ/mol}$ 이다.

④ $\text{H}_2\text{(g)}$ 2몰이 연소하여 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 로 될 때 483.6 kJ의 열이 방출되므로 $\text{H}_2\text{(g)}$ 2 g(=1몰)이 연소할 때는 $241.8(=\frac{483.6}{2}) \text{ kJ}$ 의 열이 방출된다.

13 ㄷ. $\text{CH}_4\text{(g)}$ 1몰이 완전 연소하여 $\text{CO}_2\text{(g)}$ 1몰을 생성할 때 890 kJ의 열이 방출된다. $\text{CH}_3\text{OH(l)}$ 2몰이 완전 연소하여 $\text{CO}_2\text{(g)}$ 2몰을 생성할 때 1452 kJ의 열이 방출되므로 $\text{CO}_2\text{(g)}$ 1몰을 생성할 때는 $726 \text{ kJ}(=\frac{1452}{2} \text{ kJ})$ 의 열이 방출된다.

바로알기 ㄱ. $\text{CH}_4\text{(g)}$ 의 연소 반응은 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이고 생성물의 엔탈피 합이 반응물의 엔탈피 합보다 작다.

ㄴ. $\text{CH}_4\text{(g)}$ 1몰이 완전 연소할 때 890 kJ의 열이 방출되므로 $\text{CH}_4\text{(g)}$ 1 g($=\frac{1}{16}$ 몰)이 완전 연소할 때 약 $55.6 \text{ kJ}(=\frac{890}{16} \text{ kJ})$ 의 열이 방출된다. $\text{CH}_3\text{OH(l)}$ 2몰이 완전 연소할 때 1452 kJ의 열이 방출되므로 $\text{CH}_3\text{OH(l)}$ 1 g($=\frac{1}{32}$ 몰)이 완전 연소할 때 약 $22.7 \text{ kJ}(=\frac{1452}{64} \text{ kJ})$ 의 열이 방출된다.

14 ㄱ. 어떤 물질 1몰이 충분한 양의 용매에 용해될 때 출입하는 열량을 용해열이라고 한다. HCl(g) 의 용해열(ΔH)은 0보다 작으므로 HCl(g) 의 용해 과정은 발열 반응이다.

바로알기 ㄴ. KCl(s) 의 용해열(ΔH)이 0보다 크므로 KCl(s) 의 용해 과정은 흡열 반응이다. 따라서 KCl(s) 이 물에 녹을 때 주위에서 열을 흡수하므로 주위의 온도는 낮아진다.

ㄷ. 각 물질이 1몰씩 용해될 때 출입하는 열량을 각 물질의 화학식량으로 나누면 각 물질 1 g이 용해될 때 출입하는 열량과 같다. 이때 출입하는 열량이 클수록 용해 전과 후의 온도 변화가 크다. 따라서 각 물질 1 g이 같은 질량의 충분한 양의 물에 용해될 때 온도 변화가 가장 큰 물질은 용해열의 크기가 가장 크고, 화학식량이 가장 작은 HCl(g) 이다.

15 ㄱ. 프로페인($\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$) 1.0 g($=\frac{1}{44}$ 몰)이 완전 연소할 때 50 kJ의 열이 방출되므로 $\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$ 1몰이 완전 연소할 때는 $2200 \text{ kJ}(=50 \text{ kJ} \times 44)$ 의 열이 방출된다.

$$\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)} + 5\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 3\text{CO}_2\text{(g)} + 4\text{H}_2\text{O(l)}$$

$$\Delta H = -2200 \text{ kJ}$$

ㄷ. $\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$ 1몰이 완전 연소할 때 2200 kJ의 열이 방출되므로 0.5몰이 완전 연소하면 $1100 \text{ kJ}(=\frac{2200}{2} \text{ kJ})$ 의 열이 방출된다.

바로알기 ㄴ. $\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$ 의 연소 반응에서 $\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$ 1몰이 완전 연소할 때 $\text{CO}_2\text{(g)}$ 3몰이 생성된다. 따라서 0 °C, 1기압에서 11.2 L의 $\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$, 즉 0.5몰의 $\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$ 을 완전 연소시키면 1.5몰의 $\text{CO}_2\text{(g)}$ 가 생성되고, 1.5몰의 $\text{CO}_2\text{(g)}$ 는 0 °C, 1기압에서 33.6 L가 된다.

16 ㄱ. (가)에서 $\text{C}_2\text{H}_4\text{(g)}$ 의 연소 반응은 열을 방출하는 발열 반응이므로 $\Delta H_1 < 0$ 이다.

ㄷ. (나)에서 $\text{CO}_2\text{(g)}$ 8몰이 생성될 때의 반응 엔탈피는 $\text{CO}_2\text{(g)}$ 4몰이 생성될 때 반응 엔탈피의 2배인 $2\Delta H_2$ 이다.

바로알기 ㄴ. (가)에서 1몰의 $\text{C}_2\text{H}_4\text{(g)}$ 이 반응할 때의 반응 엔탈피는 ΔH_1 이다.

17 ① 생성 반응과 분해 반응은 서로 역반응 관계이므로 분해열과 생성열은 부호가 반대이고 크기가 같다.

②, ③ 연소열, 중화열 등과 같은 반응열은 물질 1몰을 기준으로 한다. 연소열은 어떤 물질 1몰이 완전 연소할 때 발생하는 열량이고, 중화열은 산과 염기가 중화 반응하여 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1몰이 생성될 때 방출되는 열량이다.

⑤ 어떤 물질 1몰이 성분 원소의 가장 안정한 홑원소 물질로 분해될 때의 반응열을 분해열이라고 한다. 같은 원소로 이루어진 동소체는 가지고 있는 에너지가 서로 다르므로 분해되어 생성되는 홑원소 물질은 에너지가 가장 낮은 안정한 상태의 홑원소 물질이어야 한다.

바로알기 ④ 홑원소 물질에 동소체가 있는 경우 표준 상태에서 가장 안정한 원소의 표준 생성 엔탈피가 0이다.

18 ▽. ΔH_1 은 $\text{H}_2\text{SO}_4(l)$ 1몰이 물에 용해될 때의 반응열(ΔH)이므로 $\text{H}_2\text{SO}_4(l)$ 의 용해열(ΔH)이다.

ㄴ. ΔH_2 는 $\text{NO}(g)$ 1몰이 성분 원소인 $\text{N}_2(g)$ 와 $\text{O}_2(g)$ 로 분해될 때의 반응열(ΔH)이므로 $\text{NO}(g)$ 의 분해열(ΔH)이다.

ㄷ. ΔH_3 는 성분 원소인 $\text{N}_2(g)$ 와 $\text{H}_2(g)$ 가 반응하여 $\text{NH}_3(g)$ 1몰을 생성할 때의 반응열(ΔH)이므로 $\text{NH}_3(g)$ 의 생성열(ΔH)이다.

ㄹ. ΔH_4 는 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 1몰이 연소하여 $\text{CO}_2(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 로 될 때의 반응열(ΔH)이므로 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 의 연소열(ΔH)이다.

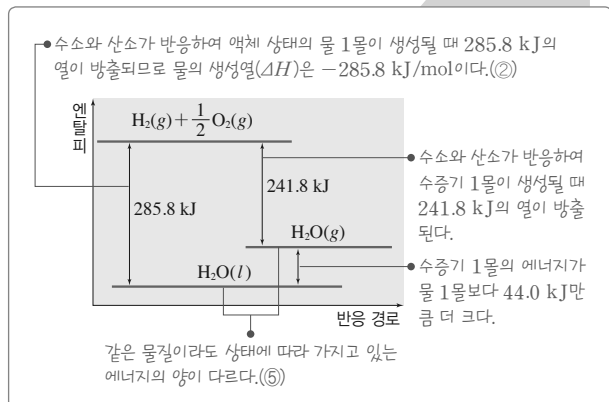
19 ▽. (가)에서 $\text{C}(s)$ 1몰이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피가 ΔH_1 이므로 $\text{C}(s)$ 의 연소 엔탈피는 ΔH_1 이다.

ㄴ. (나)에서 $\text{CO}(g)$ 2몰이 생성될 때의 반응 엔탈피가 ΔH_2 이므로 $\text{CO}(g)$ 1몰이 생성될 때의 생성 엔탈피는 $\frac{\Delta H_2}{2}$ 이다.

바로알기 ㄷ. $\text{CO}(g)$ 2몰이 연소하여 $\text{CO}_2(g)$ 로 될 때의 반응 엔탈피가 ΔH_3 이므로 $\text{CO}(g)$ 1몰이 연소하여 $\text{CO}_2(g)$ 로 될 때의 연소 엔탈피는 $\frac{\Delta H_3}{2}$ 이다.

20

문제 분석하기



① $\text{H}_2\text{O}(g)$ 1몰이 성분 원소의 가장 안정한 홑원소 물질로 분해될 때 흡수되는 에너지는 241.8 kJ이므로 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 분해열(ΔH)은 241.8 kJ/mol이다.

③ $\text{H}_2\text{O}(g)$ 1몰의 에너지는 $\text{H}_2(g)$ 1몰과 $\text{O}_2(g)$ $\frac{1}{2}$ 몰의 에너지 합보다 241.8 kJ 만큼 더 작다.

바로알기 ④ $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1몰이 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 1몰보다 44.0 kJ 만큼 에너지가 작다. 즉, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1몰을 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 1몰로 만들기 위해서는 44.0 kJ의 에너지가 필요하므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1 g ($= \frac{1}{18}$ 몰)을 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 로 만드는 데 필요한 에너지는 약 2.4 kJ ($\approx \frac{44}{18} \text{ kJ}$)이다.

21 통열량계로 연소열을 구하려고 할 때 통열량계에서 물질의 연소로 발생한 열은 물과 열량계에 흡수된다. 따라서 나프탈렌이 완전 연소할 때 발생하는 열은 물과 열량계가 흡수한 열량과 같다. 이때 물이 흡수한 열량(Q) = 물의 질량 \times 물의 비열 \times 온도 변화이므로 실험에서 측정한 값 이외에도 물의 비열과 물의 처음 온도를 알아야 한다. 또 열량계가 얻은 열량을 구하기 위해서는 열량계의 열용량을 조사해야 하며, 나프탈렌의 분자량을 조사해야 나프탈렌 2 g의 몰수를 구해, 1몰이 완전 연소할 때 발생하는 열량을 구할 수 있다. 이때 나프탈렌의 비열은 필요한 자료가 아니다.

22 ▽. 질산 암모늄이 용해될 때 용액의 온도가 낮아지는 것으로 보아 질산 암모늄의 용해 과정은 흡열 반응이다. 따라서 계의 엔탈피는 증가한다.

바로알기 ㄴ. 질산 암모늄의 용해 과정은 흡열 과정이므로 넣어 준 질산 암모늄이 모두 녹지 않은 경우 흡수한 열량이 작아지므로 측정된 수용액의 최저 온도(t_2)는 높아진다.

ㄷ. 질산 암모늄 8 g이 물에 용해될 때 흡수한 열량은 다음과 같다.
 $Q = \text{용액의 비열}(c) \times \text{용액의 질량}(m) \times \text{온도 변화}(\Delta t)$
 $= 4 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 100 \text{ g} \times (23.8 - 17.3) ^\circ\text{C} = 2600 \text{ J} = 2.6 \text{ kJ}$

질산 암모늄 8 g은 0.1몰 ($= \frac{8}{80} \text{ (몰)}$)이므로 1몰의 질산 암모늄이 물에 용해될 때 흡수하는 열량은 26 kJ이다.

23 1몰의 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 가 분해되어 $\text{NO}_2(g)$ 로 될 때 57.2 kJ의 열이 흡수되므로 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 분해 반응을 열화학 반응식으로 나타낼 때 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 앞의 계수는 1, ΔH 의 부호는 (+)값이 되게 한다.

● 모범 답안 ● $\text{N}_2\text{O}_4(g) \longrightarrow 2\text{NO}_2(g) \quad \Delta H = 57.2 \text{ kJ}$

채점 기준	배점
물질의 상태를 포함하여 열화학 반응식을 옳게 나타낸 경우	100 %
열화학 반응식에서 물질의 상태만 틀린 경우	50 %
열화학 반응식에서 반응 엔탈피의 부호만 틀린 경우	

24 ●모범 답안● 메탄올의 연소 반응에서 발생한 열량은 물이 흡수한 열량과 같다. 따라서 0.4 g의 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 이 모두 완전 연소하였을 때 발생한 열량은 다음과 같다.

열량=(물의 비열)×(물의 질량)×(물의 온도 변화)

$$=4.2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 200 \text{ g} \times (35-25) ^\circ\text{C}=8400 \text{ J}=8.4 \text{ kJ}$$

CH_3OH 의 분자량은 32이므로 0.4 g의 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 은 $\frac{0.4}{32}=0.0125(\text{몰})$ 이다.

따라서 0.0125몰의 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 이 완전 연소할 때 발생하는 열량이 8.4 kJ 이고, 1몰의 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 이 완전 연소할 때 발생하는 열량은 $8.4 \text{ kJ} \times 80 = 672 \text{ kJ}$ 이다. 즉, $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 1몰이 완전 연소할 때 672 kJ의 열이 방출된다.

채점 기준	배점
1몰의 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 이 완전 연소할 때 발생한 열량을 풀이 과정과 함께 옮겨 설명한 경우	100 %
풀이 과정 없이 1몰의 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 이 완전 연소할 때 발생한 열량만 옮겨 구한 경우	70 %
0.4 g의 $\text{CH}_3\text{OH}(l)$ 이 완전 연소할 때 발생한 열량을 풀이 과정과 함께 옮겨 설명한 경우	50 %

02 헤스 법칙과 결합 에너지

완자샘 강의

135 쪽

유제 -1368 kJ

유제 1 (가)의 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 은 반응물, ㉠의 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 은 생성물이므로 (-)부호를 붙이며, (가)와 ㉠에서 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 의 계수가 1로 같으므로 $\Delta H = -\Delta H_1$ 이 된다.

2 (가)와 ㉡의 $\text{CO}_2(g)$ 는 모두 생성물이므로 (+)부호를 붙이며, (가)와 ㉡의 $\text{CO}_2(g)$ 에서 계수가 서로 다르므로 (가)의 $\text{CO}_2(g)$ 에 맞추어 2를 곱하면 $\Delta H = -\Delta H_1 + 2\Delta H_2$ 가 된다.

3 (가)와 ㉢의 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 은 모두 생성물이므로 (+)부호를 붙이며, (가)와 ㉢에서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 계수가 서로 다르므로 (가)의 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 에 맞추어 3을 곱하면 $\Delta H = -\Delta H_1 + 2\Delta H_2 + 3\Delta H_3$ 가 된다. 따라서 (가)의 반응열(ΔH)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\Delta H &= -\Delta H_1 + 2\Delta H_2 + 3\Delta H_3 \\ &= -(-278 \text{ kJ}) + 2 \times (-394 \text{ kJ}) + 3 \times (-286 \text{ kJ}) \\ &= -1368 \text{ kJ}\end{aligned}$$

개념 확인 문제

136 쪽

1 헤스 2 생성물, 반응물 3 반응, 생성 4 흡수, 방출
5 결합 에너지 6 반응, 생성 7 보존

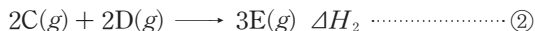
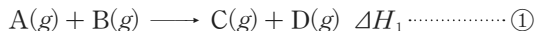
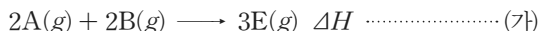
A/B 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 $2\Delta H_1 + \Delta H_2$ 3 -811.0 kJ
C 4 (1) ○ (2) ○

1 (1) 헤스 법칙에 따르면 화학 반응에서 반응물의 종류와 상태 및 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 출입하는 열량의 총합은 일정하다.

(2) 원자 사이의 결합을 끊기 위해서는 항상 에너지가 필요하므로 결합을 끊는 과정에서 엔탈피 변화(ΔH)는 항상 0보다 크다.

(3) 반응 엔탈피(ΔH)=(반응물의 결합 에너지 합)-(생성물의 결합 에너지 합)이므로 반응물의 결합 에너지 합이 생성물의 결합 에너지 합보다 크면 $\Delta H > 0$ 이 되므로 이 반응은 흡열 반응이다.

2 구하고자 하는 열화학 반응식을 (가), 주어진 열화학 반응식을 각각 ①과 ②식으로 다음과 같이 나타낸다.



1 (가)와 ①식의 $\text{A}(g)$ 는 모두 반응물이므로 (+)부호이며, 계수가 다르므로 구하려는 반응식에 맞춰 2를 곱하면 $\Delta H = 2\Delta H_1$ 이 된다.

2 (가)와 ①식의 $\text{E}(g)$ 는 모두 생성물이므로 (+)부호이며, 계수가 3으로 같으므로 $\Delta H = 2\Delta H_1 + \Delta H_2$ 가 된다.

$$\begin{aligned}\mathbf{3} \quad \Delta H &= \text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합} \\ &= (4 \times \text{C-H 결합 에너지} + 2 \times \text{O=O 결합 에너지}) \\ &\quad - (2 \times \text{C=O 결합 에너지} + 2 \times 2 \times \text{O-H 결합 에너지}) \\ &= (4 \times 413.6 \text{ kJ} + 2 \times 498.6 \text{ kJ}) \\ &\quad - (2 \times 804.5 \text{ kJ} + 2 \times 2 \times 463.4 \text{ kJ}) \\ &= -811.0 \text{ kJ}\end{aligned}$$

4 (1) 반응 전후 에너지의 총량은 변하지 않으므로 계가 얻은 에너지는 주위가 잃은 에너지와 같고, 계가 잃은 에너지는 주위가 얻은 에너지와 같다.

(2) 에너지는 다른 형태로 전환될 뿐 새로 생성되거나 소멸되지 않고 에너지의 총합은 일정하게 유지된다. 따라서 어떤 변화가 일어날 때 에너지의 형태가 전환되더라도 전체 에너지는 항상 일정하다.

대표 자료 ① 1 -297 kJ 2 -196 kJ 3 (1) ○ (2) ○

(3) ×

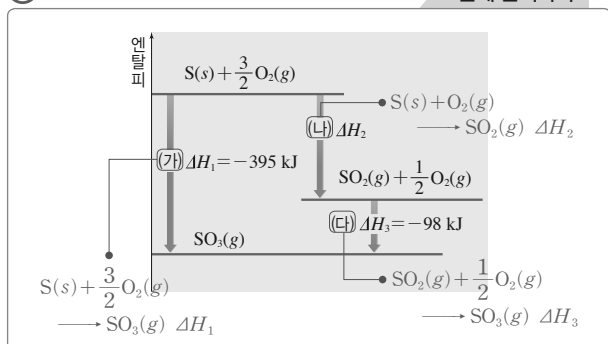
대표 자료 ② 1 N≡N 2 (1) 946.9 kJ/mol

(2) 435.8 kJ/mol (3) 1175.4 kJ/mol

3 -96.5 kJ 4 463.45 kJ/mol

①-1

문제 분석하기



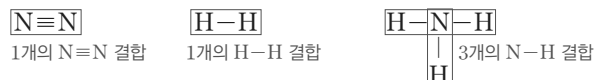
(가)식은 (나)식과 (다)식의 합이다. 따라서 반응 엔탈피는 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이고, ΔH_2 로 정리하면 $\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3$ 이다. 즉 $\Delta H_2 = (-395 \text{ kJ}) - (-98 \text{ kJ}) = -297 \text{ kJ}$ 이다.

①-2 (다)식이 $\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H_3$ 이므로 $2 \times (\text{다})$ 식은 $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad 2\Delta H_3$ 이다. 따라서 $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{SO}_3(\text{g})$ 반응의 반응 엔탈피는 $2 \times (-98 \text{ kJ}) = -196 \text{ kJ}$ 이다.

①-3 (1) (가)는 홑원소 물질인 $\text{S}(\text{s})$ 과 $\text{O}_2(\text{g})$ 로부터 $\text{SO}_3(\text{g})$ 1몰이 생성될 때의 변화이므로 ΔH_1 은 $\text{SO}_3(\text{g})$ 의 생성열(ΔH)이다. 따라서 $\text{SO}_3(\text{g})$ 의 생성열(ΔH)은 -395 kJ/mol 이다.
(2) 분해열(ΔH)은 생성열과 크기가 같고 부호가 반대이므로 $\text{SO}_3(\text{g})$ 의 분해열(ΔH)은 395 kJ/mol 이다.
(3) (나)는 $\text{S}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{SO}_2(\text{g})$ 반응이며, 이 반응의 반응 엔탈피는 ΔH_2 와 같다. ΔH_2 는 -297 kJ 이다.

②-1 결합 에너지가 클수록 결합을 끊는 데 필요한 에너지가 더 크다.

②-2 $\text{N}_2(\text{g})$, $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{NH}_3(\text{g})$ 의 결합은 다음과 같다.



(1) $\text{N}_2(\text{g})$ 의 결합 에너지는 946.9 kJ/mol 이다.

(2) $\text{H}_2(\text{g})$ 의 결합 에너지는 435.8 kJ/mol 이다.

(3) $\text{NH}_3(\text{g})$ 의 결합 에너지는 $3 \times \text{N-H}$ 의 결합 에너지와 같다. 즉 $\text{NH}_3(\text{g})$ 의 결합 에너지는 $3 \times 391.8 = 1175.4 (\text{kJ/mol})$ 이다.

②-3 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ 반응의 반응 엔탈피는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= \text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합} \\ &= [\text{N} \equiv \text{N} \text{ 결합 에너지} + 3 \times \text{H-H 결합 에너지}] \\ &\quad - [2 \times (3 \times \text{N-H 결합 에너지})] \\ &= (946.9 + 3 \times 435.8) - (2 \times 1175.4) = -96.5 (\text{kJ}) \end{aligned}$$

②-4 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 반응의 반응 엔탈피는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= \{2 \times \text{H-H 결합 에너지}\} + \{\text{O=O 결합 에너지}\} \\ &\quad - \{2 \times (2 \times \text{O-H 결합 에너지})\} \\ &= (2 \times 435.8 + 498.6) - (4 \times \text{O-H 결합 에너지}) \\ &= 1370.2 - (4 \times \text{O-H 결합 에너지}) = -483.6 (\text{kJ}) \end{aligned}$$

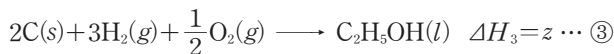
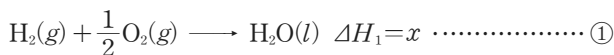
따라서 O-H의 결합 에너지는 463.45 mol/kJ 이다.

내신 만점 문제

138~140쪽

- | | | | | |
|---|------|-----------------|------|------|
| 01 $3x + 2y - z$ | 02 ④ | 03 ② | 04 ② | 05 |
| $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1412 \text{ kJ}$ | | | | |
| 06 141.2 kJ | 07 ③ | 08 151.3 kJ/mol | 09 ③ | 10 ② |
| 11 ② | 12 ⑤ | 13 해설 참조 | | |

01 구하고자 하는 열화학 반응식을 (가), 주어진 열화학 반응식을 각각 ①~③식으로 나타낸다.



① (가)의 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 은 반응물, ③식의 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 은 생성물이므로 (-)부호이며, 계수가 1로 같다.

$$\Rightarrow \Delta H = -\Delta H_3$$

② (가)와 ②식의 $\text{CO}_2(\text{g})$ 는 모두 생성물이므로 (+)부호이며, 계수가 다르므로 구하려는 반응식에 맞춰 2를 곱한다.

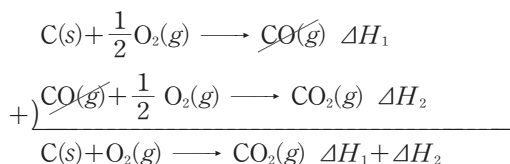
$$\Rightarrow \Delta H = -\Delta H_3 + 2\Delta H_2$$

③ (가)와 ①식의 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 은 모두 생성물이므로 (+)부호이며, 계수가 다르므로 구하려는 반응식에 맞춰 3을 곱한다.

$$\Rightarrow \Delta H = -\Delta H_3 + 2\Delta H_2 + 3\Delta H_1 = 3\Delta H_1 + 2\Delta H_2 - \Delta H_3$$

따라서 x, y, z 로 나타내면 $3x + 2y - z$ 이다.

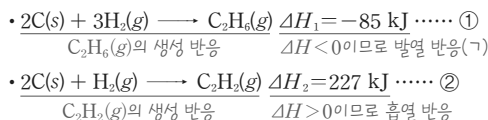
02 C(s)가 연소하여 CO₂(g)로 되는 반응은 C(s)가 CO(g)로 된 다음, CO(g)가 CO₂(g)로 되는 두 반응의 합과 같다.



C(s)의 연소 반응은 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$, $Q > 0$ 이다. 따라서 C(s) 1몰이 완전 연소할 때 방출하는 열(Q)은 $-(\Delta H_1 + \Delta H_2)$ 이고, C(s) 1몰은 12 g이므로 C(s) 1 g($=\frac{1}{12}$ 몰)이 완전 연소할 때 방출하는 열(Q)은 $-\frac{(\Delta H_1 + \Delta H_2)}{12}$ 이다.

03

문제 분석하기



ㄷ. C₂H₂(g) + 2H₂(g) → C₂H₆(g) ΔH를 (가)라 하면,

① (가)와 ①식의 C₂H₆(g)은 모두 생성물이므로 (+)부호이며, 계수가 1로 같다.

→ ΔH = ΔH₁

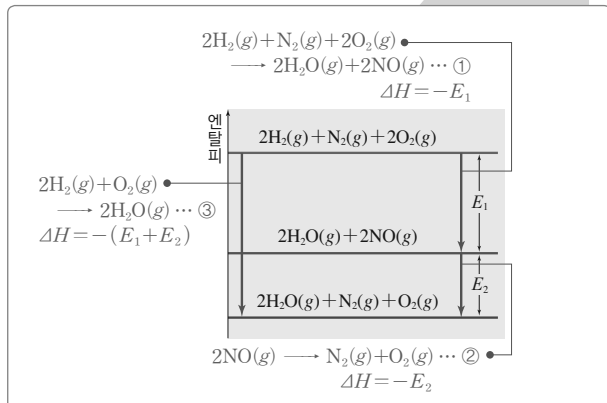
② (가)의 C₂H₂(g)은 반응물이고, ②식의 C₂H₂(g)은 생성물이므로 (-)부호이며, 계수가 1로 같다.

→ ΔH = ΔH₁ - ΔH₂

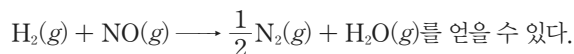
바로알기 ㄴ. C₂H₂(g)의 생성 반응은 흡열 반응이므로 반응이 일어나면서 주위에서 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아진다.

04

문제 분석하기



ㄷ. ①식의 반응물 H₂(g)의 계수를 1로 맞추기 위해 (①식 × $\frac{1}{2}$)을 하고 ②식을 더해 주면,



따라서 이 반응의 반응 엔탈피는 $-\frac{1}{2}E_1 + (-E_2)$

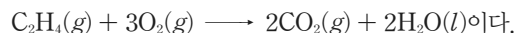
$= -\left(\frac{1}{2}E_1 + E_2\right)$ 이다.

바로알기 ㄱ. H₂O(g) 1몰의 생성 반응은

H₂(g) + $\frac{1}{2}$ O₂(g) → H₂O(g)이므로 (③식 × $\frac{1}{2}$)로 구할 수 있다. ③식의 반응 엔탈피는 $-(E_1 + E_2)$ 이므로 H₂O(g)의 생성 엔탈피는 $-\frac{1}{2}(E_1 + E_2)$ 이다.

ㄴ. NO(g) 1몰의 생성 반응은 $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}(\text{g})$ 이므로 (②식의 역반응 × $\frac{1}{2}$)로 구할 수 있다. ②식의 반응 엔탈피가 $-E_2$ 이므로 NO(g)의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}E_2$ 이다.

05 C₂H₄(g)이 연소하는 반응의 화학 반응식은

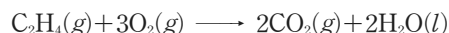


반응 엔탈피는 생성물과 반응물의 표준 생성 엔탈피 차로 구할 수 있다. 또한 가장 안정한 홑원소 물질의 표준 생성 엔탈피는 0이므로 이 반응의 반응 엔탈피는 다음과 같다.

$$\Delta H = \{2\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) + 2\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O})\} - \{\Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_4)\}$$

$$= 2 \times (-394 \text{ kJ}) + 2 \times (-286 \text{ kJ}) - (52 \text{ kJ}) = -1412 \text{ kJ}$$

따라서 완성된 열화학 반응식은

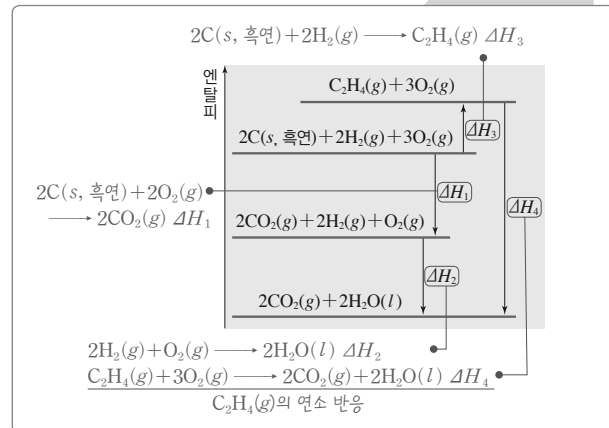


ΔH = -1412 kJ이다.

06 C₂H₄(g) 1몰이 완전 연소할 때 1412 kJ의 열이 방출되므로 C₂H₄(g) 2.8 g($=\frac{2.8}{28} = 0.1$ (몰))이 완전 연소할 때 141.2 kJ의 열이 방출된다.

07

문제 분석하기



ㄱ. 생성 엔탈피는 어떤 물질 1몰이 그 성분 홉원소 물질로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. 따라서 $C_2H_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 $C(s, \text{흑연})$ 와 $H_2(g)$ 가 반응하여 $C_2H_4(g)$ 이 생성될 때의 반응 엔탈피이므로 이 반응의 반응 엔탈피는 ΔH_3 이다.

ㄴ. $C_2H_4(g)$ 1몰이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피가 ΔH_4 이므로 $C_2H_4(g)$ 7 g($=\frac{1}{4}$ 몰)이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피는 $\frac{1}{4}\Delta H_4$ 이다.

바로알기 ㄷ. $C(s, \text{흑연})$ 의 연소 엔탈피는 흑연 1몰이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피이므로 $C(s, \text{흑연}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 $\frac{\Delta H_1}{2}$ 이다.

주어진 그림에서 $\Delta H_4 = -\Delta H_3 + \Delta H_1 + \Delta H_2$ 이므로 ΔH_1 에 대해 정리하면 $\Delta H_1 = -\Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4$ 이다. 따라서 $C(s, \text{흑연})$ 의 연소 엔탈피는 $\frac{\Delta H_1}{2} = \frac{-\Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4}{2}$ 이다.

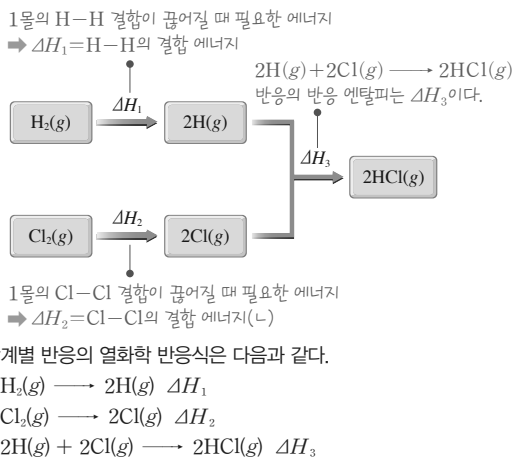
08 $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$ 반응에서 $\Delta H = -12.1 \text{ kJ}$ 이다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= (\text{반응물의 결합 에너지 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 합}) \\ &= \{(\text{H-H 결합 에너지}) + (\text{I-I 결합 에너지})\} \\ &\quad - (2 \times \text{H-I 결합 에너지}) \\ &= 435.8 + (\text{I-I 결합 에너지}) - (2 \times 299.6) \\ &= -12.1(\text{kJ}) \end{aligned}$$

$\therefore \text{I-I 결합 에너지} = 151.3 \text{ kJ/mol}$

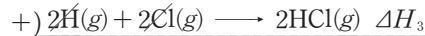
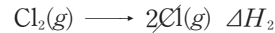
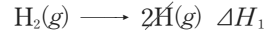
09

문제 분석하기



ㄱ. 1몰의 H-H 결합을 끊는 과정은 에너지를 흡수하는 흡열 과정이다. 따라서 ΔH_1 은 0보다 크다.

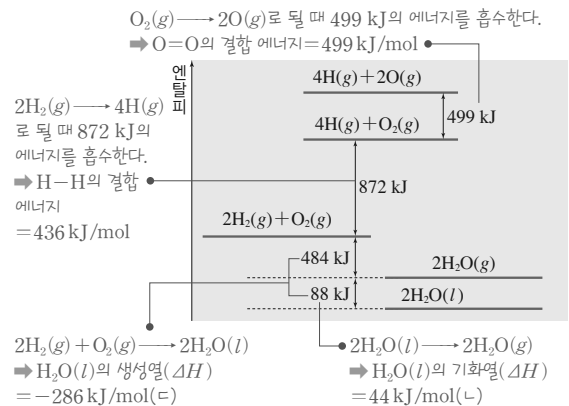
바로알기 ㄴ. $HCl(g)$ 2몰이 $H_2(g)$ 1몰과 $Cl_2(g)$ 1몰로부터 생성될 때의 반응은 $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$ 이다.



$H_2(g)$ 1몰과 $Cl_2(g)$ 1몰로부터 $HCl(g)$ 2몰이 생성될 때의 반응 엔탈피는 $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이므로 $HCl(g)$ 1몰이 생성될 때의 반응 엔탈피, 즉 $HCl(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{1}{2}(\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3)$ 이다.

10

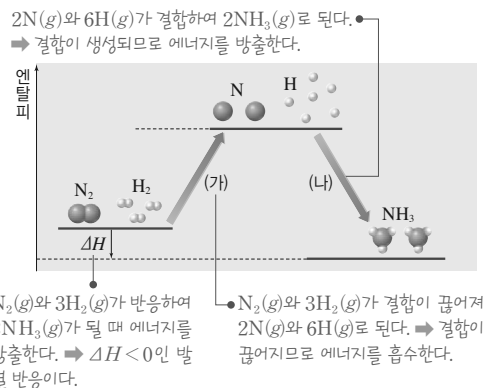
문제 분석하기



바로알기 ㄱ. $H_2(g)$ 2몰이 $4H(g)$ 로 될 때 872 kJ의 에너지를 필요로 하므로 $H_2(g)$ 1몰이 $2H(g)$ 로 되는 데 필요한 에너지는 $\frac{872 \text{ kJ}}{2} = 436 \text{ kJ}$ 이다. 즉, H-H 결합 에너지는 436 kJ/mol이다. $O_2(g)$ 1몰이 $2O(g)$ 로 될 때 499 kJ의 에너지를 필요로 한다. 즉, O=O 결합 에너지는 499 kJ/mol이다. 따라서 결합 에너지는 H-H가 O=O보다 작다.

11

문제 분석하기



ㄱ. 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.
 ㄴ. 반응 엔탈피=(반응물의 결합 에너지 합-생성물의 결합 에너지 합)이므로 $\Delta H = (D_{N=N} + 3 \times D_{H-H}) - (6 \times D_{N-H})$ 이다.

바로알기 ㄷ. 반응 엔탈피=(반응물의 결합 에너지 합-생성물의 결합 에너지 합)이며, $\Delta H < 0$ 이므로 반응물의 결합 에너지 합은 생성물의 결합 에너지 합보다 작다.

12 ㄱ. 메테인($CH_4(g)$)의 연소 반응은 발열 반응이므로 반응물인 $CH_4(g) + 2O_2(g)$ 의 에너지는 생성물인 $CO_2(g) + 2H_2O(l)$ 의 에너지보다 E 만큼 더 크다.

ㄴ. 화학 반응에서 에너지 총합은 항상 일정하므로 주위는 $CH_4(g)$ 이 연소할 때 방출한 E 만큼의 에너지를 얻는다.

ㄷ. 반응이 일어날 때 주위로 방출한 열에너지는 물질이 가지고 있던 화학 에너지가 열에너지로 전환된 것이다.

13 반응물은 4개의 C-H 결합과 2개의 O=O 결합을 포함하며, 생성물은 2개의 C=O 결합과 4개의 O-H 결합을 포함한다.

●모범 답안● 반응 엔탈피는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값이다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= (4 \times \text{C-H 결합 에너지} + 2 \times \text{O=O 결합 에너지}) \\ &\quad - (2 \times \text{C=O 결합 에너지} + 4 \times \text{O-H 결합 에너지}) \\ &= (4 \times 414 \text{ kJ} + 2 \times 499 \text{ kJ}) - (2 \times 805 \text{ kJ} + 4 \times 463 \text{ kJ}) \\ &= -808 \text{ kJ} \end{aligned}$$

채점 기준	배점
풀이 과정을 옳게 쓰고, 답을 옳게 구한 경우	100 %
풀이 과정 없이 답만 옳게 구한 경우	70 %

중단원 핵심 정리

141쪽

- ① > ② < ③ 반응열 ④ 엔탈피 ⑤ 반대
 ⑥ 연소열 ⑦ 생성열 ⑧ 분해열 ⑨ 중화열 ⑩ 용해열
 ⑪ 비열 ⑫ 일정 ⑬ $\Delta H_2 + \Delta H_3$ ⑭ 반응물 ⑮ 생성물
 ⑯ 일정

중단원 마무리 문제

142~146쪽

- 01 ③ 02 ② 03 650 kJ 04 ⑤ 05 ② 06 ⑤
 07 ③ 08 ① 09 ④ 10 95.4 kJ 11 ② 12 ②
 13 $3(a-b+c-d)$ 14 ⑤ 15 ③ 16 ④ 17 ③
 18 ③ 19 ⑤ 20 ④

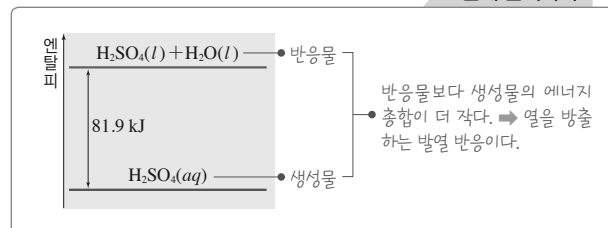
01 ③ 반응 엔탈피(ΔH)=(생성물의 엔탈피 합)-(반응물의 엔탈피 합)이고 생성물인 C가 반응물인 A+B보다 엔탈피 합이 작으므로 $\Delta H < 0$ 이다.

바로알기 ①, ②, ⑤ 반응물이 생성물보다 에너지의 총 합량이 크므로 반응이 일어날 때 Q 만큼 주위로 열을 방출하여 주위의 온도가 높아진다.

④ 생성물이 반응물보다 에너지 면에서 더 안정하다.

02

문제 분석하기



ㄱ. 철이 산화되어 산화 철이 될 때 열을 방출한다. → 발열 반응

ㄴ. 얼음집 내부에 물을 뿌리면 물이 얼어 얼음이 되면서 열(응고열)을 방출하므로 따뜻해진다. → 발열 반응

바로알기 ㄴ. 염화 암모늄이 물에 용해될 때 열을 흡수하므로 용액의 온도가 내려가 용액이 차가워진다. → 흡열 반응

ㄷ. 알코올이 증발할 때 열을 흡수하므로 손등이 시원하게 느껴진다. → 흡열 반응

03 $C_2H_2(g)$ 의 분자량은 26이므로 $C_2H_2(g)$ 26 g(=1몰)이 완전 연소할 때 1300 kJ의 열이 방출된다. 따라서 $C_2H_2(g)$ 13 g(=0.5몰)이 완전 연소하면 $650 \text{ kJ} \left(= \frac{1300 \text{ kJ}}{2} \right)$ 의 열이 방출된다.

04 숯 0.5 g이 연소할 때 발생한 열은 물과 열량계가 모두 흡수하므로 발생한 열량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{발생한 열량} &= (\text{물의 비열} \times \text{물의 질량} \times \text{온도 변화}) \\ &\quad + (\text{열량계의 열용량} \times \text{온도 변화}) \\ &= (4.2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 800 \text{ g} \times 3.9 ^\circ\text{C}) \\ &\quad + (840 \text{ J/}^\circ\text{C} \times 3.9 ^\circ\text{C}) \\ &= 16380 \text{ J} \end{aligned}$$

숯(C) 1몰은 12 g이므로, 숯 1몰이 연소할 때 발생하는 열량은 $16380 \text{ J} \times 24 = 393120 \text{ J} \approx 393 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 숯이 연소될 때의 열화학 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



숯이 완전 연소되면 생성물은 일산화 탄소(CO)가 아니라 이산화 탄소(CO_2)가 생성된다.

05 ㄷ. 생성열은 어떤 물질 1몰이 그 성분 원소의 가장 안정한
 홑원소 물질로부터 생성될 때 흡수 또는 방출되는 열량으로,
 $\text{NO}_2(g)$ 의 생성열(ΔH)은 $\frac{1}{2}\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 반
 응의 반응열(ΔH)이다.

$\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}(g) \quad \Delta H_1$
 $+) 2\text{NO}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}_2(g) \quad \Delta H_2$
 $\text{N}_2(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}_2(g) \quad \Delta H_1 + \Delta H_2$
 2몰의 $\text{NO}_2(g)$ 가 생성될 때 $180.6 \text{ kJ} + (-114.2 \text{ kJ}) = 66.4 \text{ kJ}$
 kJ의 열을 흡수하므로 1몰의 $\text{NO}_2(g)$ 가 생성될 때 33.2 kJ
 $(= \frac{66.4 \text{ kJ}}{2})$ 의 열이 흡수된다. 따라서 $\text{NO}_2(g)$ 의 생성열(ΔH)
 은 33.2 kJ/mol 이다.

바로알기 ㄱ. 첫 번째 반응은 2몰의 $\text{NO}(g)$ 가 $\text{NO}(g)$ 를 구성하
 는 가장 안정한 홑원소 물질인 $\text{N}_2(g)$ 와 $\text{O}_2(g)$ 로부터 생성되는
 반응으로, 2몰의 $\text{NO}(g)$ 가 생성될 때 180.6 kJ 의 열을 흡수하
 다. 따라서 1몰의 $\text{NO}(g)$ 가 생성될 때는 90.3 kJ 의 열을 흡수하
 므로 $\text{NO}(g)$ 의 생성열(ΔH)은 90.3 kJ/mol 이다. 따라서
 $\text{NO}(g)$ 1몰의 엔탈피는 $\text{N}_2(g)$ 1몰과 $\text{O}_2(g)$ 1몰의 엔탈피 합보
 다 90.3 kJ 만큼 더 크다. 즉 이 반응에서 생성물의 엔탈피가 반
 응물의 엔탈피 합보다 90.3 kJ 만큼 더 크다는 것을 의미할 뿐
 $\text{NO}(g)$ 가 가진 엔탈피는 알 수 없다.

ㄴ. 분해열(ΔH)은 생성열과 크기가 같고 부호가 반대이다.
 $\text{NO}(g)$ 의 생성열(ΔH)이 90.3 kJ 이므로 $\text{NO}(g)$ 의 분해열(ΔH)
 은 -90.3 kJ 이다.

06 ㄱ. 나프탈렌($\text{C}_{10}\text{H}_8(s)$)의 연소 반응은 반응 엔탈피가 0보
 다 작으므로 발열 반응이다. 발열 반응에서 반응물의 엔탈피 합
 은 생성물의 엔탈피 합보다 5157 kJ 만큼 더 크다.

ㄴ. $\text{C}_{10}\text{H}_8(s)$ 1몰이 완전 연소할 때 5157 kJ 의 열이 방출되므로
 $\text{C}_{10}\text{H}_8(s)$ 의 연소 엔탈피는 -5157 kJ/mol 이다.

ㄷ. $\text{C}_{10}\text{H}_8(s)$ 의 연소 반응에서 반응 엔탈피는 -5157 kJ 이다.
 ΔH 를 표준 생성 엔탈피와 관련된 식으로 나타내면 다음 관계식
 이 성립한다.

$$\Delta H = (\text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합})$$

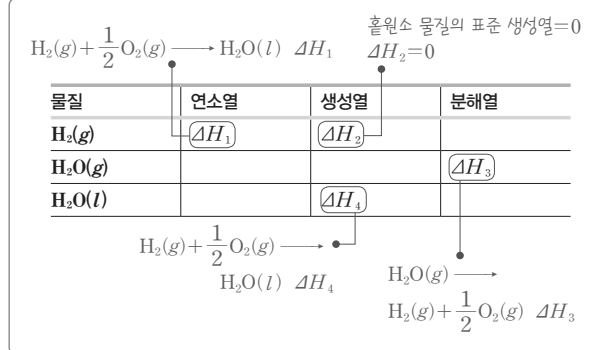
$$= \{(10 \times \text{CO}_2(g) \text{의 표준 생성 엔탈피}) + (4 \times \text{H}_2\text{O}(l) \text{의 표준 생성 엔탈피})\} - \{(\text{C}_{10}\text{H}_8(s) \text{의 표준 생성 엔탈피}) + (12 \times \text{O}_2(g) \text{의 표준 생성 엔탈피})\}$$

$$= \{10 \times (-394) + 4 \times (-286)\} - [\text{C}_{10}\text{H}_8(s) \text{의 표준 생성 엔탈피} + 12 \times \text{O}_2(g) \text{의 표준 생성 엔탈피}] = -5157(\text{kJ})$$

이때 $\text{O}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 0이므로 $\text{C}_{10}\text{H}_8(s)$ 의 표준 생성
 엔탈피는 73 kJ/mol 이다.

07

문제 분석하기



ㄱ. 연소열(ΔH)은 항상 0보다 작다. 따라서 ΔH_1 은 0보다 작
 다. 25°C , 1기압에서 성분 원소로부터 물질 1몰이 생성될 때의
 엔탈피 변화를 표준 생성열(표준 생성 엔탈피)이라고 하며,
 $\text{H}_2(g)$ 의 표준 생성열(ΔH)은 0이므로 ΔH_2 는 0이다. 따라서
 $\Delta H_1 < \Delta H_2$ 이다.

ㄴ. 25°C , 1기압에서 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 반응은 $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g)$
 $\longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 이다. 이 반응은 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 반응이면서 동시에
 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 반응이다. 따라서 이때의 반응열(ΔH)은 $\text{H}_2(g)$
 의 연소열(ΔH_1)이자 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성열(ΔH_4)이다.

바로알기 ㄷ. $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 분해 반응은 $\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow \text{H}_2(g) +$
 $\frac{1}{2}\text{O}_2(g)$ 이고, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 반응은 $\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow$
 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이다. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 기화는 $\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ 이므로
 이 반응을 (가)라 하고 이때의 반응열을 ΔH 라 하면

① (가)의 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 은 반응물이고, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 반응의 $\text{H}_2\text{O}(l)$
 은 생성물이므로 (-)부호이며, 계수는 1로 같다. $\Rightarrow \Delta H = -\Delta H_4$

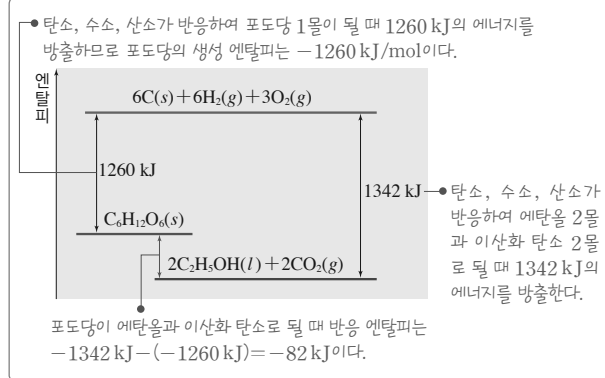
② (가)의 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 는 생성물이고, $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 분해 반응의
 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 는 반응물이므로 (-)부호이며, 계수는 1로 같다.

$$\Rightarrow \Delta H = -\Delta H_4 - \Delta H_3$$

따라서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 몰당 기화열은 $-\Delta H_3 - \Delta H_4$ 이다.

08

문제 분석하기



ㄱ. 포도당($C_6H_{12}O_6(s)$)의 생성 반응은
 $6C(s) + 6H_2(g) + 3O_2(g) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(s)$ 으로 성분 원소인 탄소, 수소, 산소가 반응하여 $C_6H_{12}O_6(s)$ 1몰을 생성할 때 1260 kJ의 에너지를 방출하므로 $C_6H_{12}O_6(s)$ 의 생성열(ΔH)은 -1260 kJ/mol 이다.

바로알기 ㄴ. 에탄올($C_2H_5OH(l)$)의 생성 반응식은
 $2C(s) + 3H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow C_2H_5OH(l)$ 이다.

주어진 자료로부터 알 수 있는 반응은
 $6C(s) + 6H_2(g) + 3O_2(g) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(s)$, $6C(s) + 6H_2(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2C_2H_5OH(l) + 2CO_2(g)$ 등이다. 따라서 주어진 자료로는 $C_2H_5OH(l)$ 의 생성 반응식을 얻을 수 없으며 $C_2H_5OH(l)$ 의 생성 엔탈피도 구할 수 없다.
 ㄷ. $C_6H_{12}O_6(s)$ 이 발효되어 $C_2H_5OH(l)$ 과 $CO_2(g)$ 로 되는 반응은 에너지가 작아지는 발열 반응이며, 이때 82 kJ의 에너지가 방출된다. 따라서 이때의 반응 엔탈피는 -82 kJ 이다.

09 ㄴ. $H_2(g)$ 1몰은 2 g이므로 $H_2(g)$ 1 g이 완전 연소할 때
 $\frac{286 \text{ kJ}}{2 \text{ g}} = 143 \text{ kJ/g}$ 의 열이 방출된다.

$CH_4(g)$ 1몰은 16 g이므로 $CH_4(g)$ 1 g이 완전 연소할 때
 $\frac{891 \text{ kJ}}{16 \text{ g}} \approx 55.7 \text{ kJ/g}$ 의 열이 방출된다.

$C_2H_5OH(l)$ 1몰은 46 g이므로 $C_2H_5OH(l)$ 1 g이 완전 연소할 때
 $\frac{1368 \text{ kJ}}{46 \text{ g}} \approx 29.7 \text{ kJ/g}$ 의 열이 방출된다.

따라서 1 g이 완전 연소할 때 $H_2(g)$ 가 가장 많은 열을 방출한다.
 ㄷ. $CH_4(g)$ 이 연소하여 1 kJ의 열이 방출될 때 발생하는 $CO_2(g)$ 의 몰수는 $\frac{1}{891}$ 몰이고, $C_2H_5OH(l)$ 이 연소하여 1 kJ의 열이 방출될 때 발생하는 $CO_2(g)$ 의 몰수는 $\frac{1}{684}$ 몰이다. 따라서 1 kJ의 열이 방출될 때 발생한 $CO_2(g)$ 의 양은 $C_2H_5OH(l)$ 이 연소할 때가 $CH_4(g)$ 이 연소할 때보다 많다.

바로알기 ㄱ. $H_2(g)$ 1몰이 완전 연소할 때 286 kJ의 열이 방출되고, $CH_4(g)$ 1몰이 완전 연소할 때 891 kJ의 열이 방출되고, $C_2H_5OH(l)$ 1몰이 완전 연소할 때 1368 kJ의 열이 방출된다. 1몰이 완전 연소할 때 많은 열이 방출될수록 주위의 온도가 크게 증가하므로 $C_2H_5OH(l)$ 1몰이 완전 연소할 때 주위의 온도 변화가 가장 크다.

10 $N_2(g) + 2H_2(g) \longrightarrow N_2H_4(g)$ ΔH 를 (가)라 하고, 주어진 반응식을 각각 ①과 ②식으로 나타내면,
 $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$ $\Delta H_1 = -92.2 \text{ kJ}$ ①
 $N_2H_4(g) + H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$
 $\Delta H_2 = -187.6 \text{ kJ}$ ②

① (가)와 ①식의 $N_2(g)$ 가 모두 반응물이므로 (+)부호이며, 계수가 1로 같다. $\Rightarrow \Delta H = \Delta H_1$

② (가)의 $N_2H_4(g)$ 은 생성물이고, ②식의 $N_2H_4(g)$ 은 반응물이므로 (-)부호이며, 계수가 1로 같다. $\Rightarrow \Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2$
 따라서 반응 엔탈피 $= \Delta H_1 - \Delta H_2 = -92.2 \text{ kJ} - (-187.6 \text{ kJ}) = 95.4 \text{ kJ}$ 이다.

11 ㄱ. $Cl_2(g)$ 가 $2Cl(g)$ 로 될 때 243 kJ의 에너지를 흡수한다. 따라서 $Cl_2(g) \longrightarrow 2Cl(g) - 243 \text{ kJ}$ 이다.

ㄴ. $H_2(g) + Cl_2(g)$ 와 $2HCl(g)$ 의 에너지 차는 $(864 - 243 - 436) \text{ kJ} = 185 \text{ kJ}$ 이므로 $H_2(g) + Cl_2(g)$ 가 $2HCl(g)$ 로 될 때 185 kJ의 에너지를 방출한다.
 따라서 $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$ $\Delta H = -185 \text{ kJ}$ 이다.

바로알기 ㄴ. $H_2(g) \longrightarrow 2H(g)$ 로 될 때 436 kJ의 에너지를 흡수한다. 따라서 $H_2(g) \longrightarrow 2H(g)$ $\Delta H = 436 \text{ kJ}$ 이다.

ㄷ. $2H(g)$ 와 $2Cl(g)$ 가 반응하여 $HCl(g)$ 2몰이 생성될 때 864 kJ의 에너지를 방출하므로 $HCl(g)$ 1몰이 생성될 때는 432 kJ의 에너지를 방출한다.
 따라서 $H(g) + Cl(g) \longrightarrow HCl(g)$ $\Delta H = -432 \text{ kJ}$ 이다.

12 하이드라진($N_2H_4(g)$)의 연소 반응에서 반응물은 H_2N-NH_2 , $O=O$ 이고, 생성물은 $N \equiv N$, $H-O-H$ 이다.
 $\Delta H = (N-N \text{ 결합 에너지} + 4 \times N-H \text{ 결합 에너지} + O=O \text{ 결합 에너지}) - (N \equiv N \text{ 결합 에너지} + 4 \times O-H \text{ 결합 에너지})$
 따라서 $N-N$ 결합 에너지, $N \equiv N$ 결합 에너지, $O=O$ 결합 에너지를 추가로 조사해야 한다.

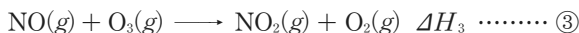
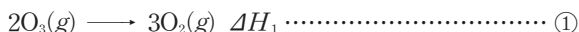
13 반응 엔탈피 = (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)이므로
 $\Delta H = (4 \times C-H \text{ 결합 에너지} + 3 \times Cl-Cl \text{ 결합 에너지}) - (3 \times C-Cl \text{ 결합 에너지} + C-H \text{ 결합 에너지} + 3 \times H-Cl \text{ 결합 에너지})$ 이다.
 따라서 반응 엔탈피 $= 3a - 3b + 3c - 3d = 3(a - b + c - d)$ 이다.

14 ㄱ. 반응물 $H_2O(l)$ 이 생성물 $2H(g) + O(g)$ 로 되는 반응에서 반응 경로가 다르더라도 출입하는 열량의 총합은 같으므로 $\Delta H_1 + \Delta H_4 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다.

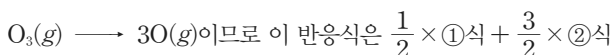
ㄴ. 25°C , 1기압에서 $H_2(g)$ 의 연소 반응은
 $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$ 이므로 $H_2(g)$ 의 연소 엔탈피는 주어진 자료에서 $-\Delta H_1$ 이다. 이때 $\Delta H_1 + \Delta H_4 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이므로 $-\Delta H_1 = -\Delta H_2 - \Delta H_3 + \Delta H_4$ 이다.
 ㄷ. $H_2O(g) \longrightarrow 2H(g) + O(g)$ 반응에서 2몰의 $O-H$ 결합

이 끊어지면서 출입하는 열량은 ΔH_3 이다. 따라서 O—H의 결합 에너지는 $\frac{\Delta H_3}{2}$ 이다.

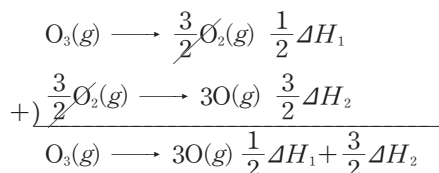
15 주어진 반응식을 각각 ①~③식으로 나타낸다.



ㄷ. $\text{O}_3(g)$ 의 결합이 모두 끊어지는 반응식은



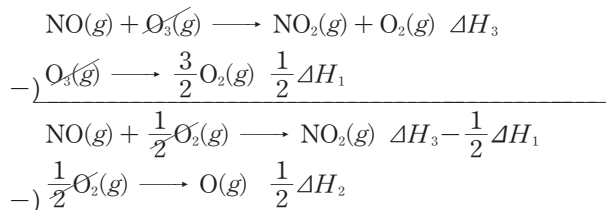
으로 구할 수 있다.



따라서 $\text{O}_3(g)$ 1몰의 결합을 모두 끊는 데 필요한 에너지는 $\frac{\Delta H_1 + 3\Delta H_2}{2}$ 이다.

바로알기 ㄱ. $\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{O}(g)$ 반응은 $\text{O}=\text{O}$ 결합이 끊어지는 반응이고, 이 반응에서 흡수하는 에너지, 즉 $\text{O}=\text{O}$ 결합 에너지가 ΔH_2 이다.

ㄴ. $\text{NO}(g) + \text{O}(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 반응의 반응식은 ③식 $-\frac{1}{2} \times$ ①식 $-\frac{1}{2} \times$ ②식으로 구할 수 있다.



따라서 주어진 반응의 반응 엔탈피는 $\frac{-\Delta H_1 - \Delta H_2 + 2\Delta H_3}{2}$ 이다.

16

문제 분석하기

$$\Delta H = (\text{H-H 결합 에너지} + \text{Cl-Cl 결합 에너지}) - (2 \times \text{H-Cl 결합 에너지})$$

전체 반응	$\text{H}_2(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow 2\text{HCl}(g) \quad \Delta H = ?$
반응 1	$\text{H}_2(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}(g) + 2\text{Cl}(g) \quad \Delta H_1 = ?$
반응 2	$2\text{H}(g) + 2\text{Cl}(g) \longrightarrow 2\text{HCl}(g) \quad \Delta H_2 = ?$

2개의 H—Cl 결합이 형성되는 반응이므로 •

$$\Delta H_2 = -(2 \times \text{H-Cl 결합 에너지}) = -864 \text{ kJ}$$

($\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{H}$) + ($\text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{Cl}$) •

$$\Delta H_1 = \text{H-H 결합 에너지} + \text{Cl-Cl 결합 에너지} = 679 \text{ kJ} (\text{ㄱ})$$

ㄴ. ΔH_1 은 H—H 결합과 Cl—Cl 결합을 끊는 데 필요한 에너지이므로 $(436 + 243) \text{ kJ} = 679 \text{ kJ}$ 이다. ΔH_2 는 2몰의 H—Cl 결합이 형성될 때 방출한 에너지이므로

$$\Delta H_2 = -(2 \times \text{H-Cl 결합 에너지}) = -864 \text{ kJ} \text{이다.}$$

따라서 $\Delta H_1 < -\Delta H_2$ 이다.

ㄷ. 전체 반응의 반응 엔탈피를 구하면,

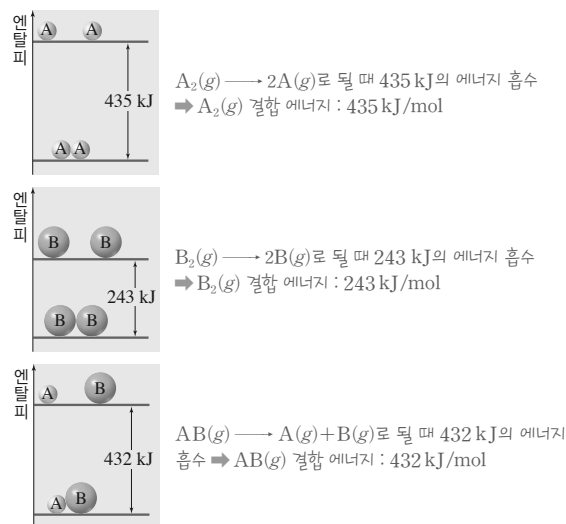
$$\begin{aligned} \Delta H &= (\text{반응물의 결합 에너지 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 합}) \\ &= (\text{H-H 결합 에너지} + \text{Cl-Cl 결합 에너지}) \\ &\quad - (2 \times \text{H-Cl 결합 에너지}) \\ &= 436 \text{ kJ} + 243 \text{ kJ} - 2 \times 432 \text{ kJ} = -185 \text{ kJ} \end{aligned}$$

전체 반응은 발열 반응이므로 생성물이 반응물보다 안정하다.

바로알기 ㄱ. ΔH_1 은 $\text{H}_2(g)$ 와 $\text{Cl}_2(g)$ 의 결합이 끊어질 때의 반응 엔탈피이며, 결합이 끊어질 때는 에너지가 흡수된다. 따라서 $\Delta H_1 = 679 \text{ kJ}$ 이다.

17

문제 분석하기



ㄱ. 결합의 세기가 셀수록 결합 에너지가 크다. 즉, 결합 에너지가 큰 $\text{A}_2(g)$ 가 $\text{B}_2(g)$ 보다 결합의 세기가 세다.

ㄴ. $\text{AB}(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\text{AB}(g)$ 를 구성하는 $\text{A}_2(g)$ 와 $\text{B}_2(g)$ 로부터 1몰의 $\text{AB}(g)$ 가 생성되는



$$\begin{aligned} \Delta H &= (\text{반응물의 결합 에너지 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 합}) \\ &= \frac{1}{2}(\text{A}_2(g) \text{ 결합 에너지} + \text{B}_2(g) \text{ 결합 에너지}) \\ &\quad - (\text{AB}(g) \text{ 결합 에너지}) \\ &= \frac{1}{2}(435 \text{ kJ} + 243 \text{ kJ}) - 432 \text{ kJ} = -93 \text{ kJ} \end{aligned}$$

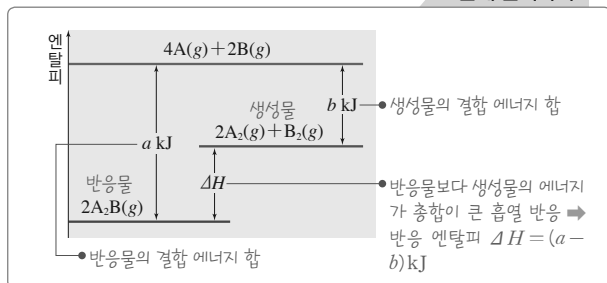
따라서 $\text{AB}(g)$ 의 생성 엔탈피 $\Delta H = -93 \text{ kJ/mol}$ 이다.

바로알기 ㄷ. $\text{AB}(g)$ 의 생성 엔탈피는 -93 kJ/mol 이므로

$A_2(g) + B_2(g) \longrightarrow 2AB(g)$ $\Delta H = -186 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 이 반응은 발열 반응이며, 반응이 일어날 때 주위의 온도는 높아진다.

18

문제 분석하기



ㄱ. $2A_2B(g) \longrightarrow 2A_2(g) + B_2(g)$ 반응은 흡열 반응이므로 반응이 일어날 때 주위의 온도가 낮아진다.

ㄴ. 이 반응은 흡열 반응이므로 반응 엔탈피는 $\Delta H > 0$ 이다. 즉, $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 합}) > 0$ 이므로 반응물의 결합 에너지 합이 생성물의 결합 에너지 합보다 크다.

바로알기 ㄷ. 반응 엔탈피 = (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)이므로 $(a - b) \text{ kJ}$ 이다.

19 ㄱ. 결합 에너지는 기체 상태의 두 원자 사이의 공유 결합 1몰을 끊는 데 필요한 에너지로 결합 에너지가 클수록 결합의 세기가 세다. 따라서 결합 에너지가 큰 $O_2(g)$ 가 $F_2(g)$ 보다 결합의 세기가 세다.

ㄴ. 같은 원자 간 결합에서 결합의 수가 많을수록 결합의 세기가 세다. 탄소 간 결합에서 결합의 세기는 2중 결합이 단일 결합보다 세고, 3중 결합보다 약하다. 따라서 $C=C$ 의 결합 에너지는 $C-C$ 의 결합 에너지보다 크고, $C\equiv C$ 의 결합 에너지보다 작다.

ㄷ. 반응물과 생성물이 모두 기체 상태의 물질일 때 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지의 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지의 합})$ 과 같다. 따라서

$$\begin{aligned} \Delta H &= \{(F-F \text{의 결합 에너지}) + (\frac{1}{2} \times O=O \text{의 결합 에너지})\} \\ &\quad - \{(2 \times O-F \text{의 결합 에너지})\} \\ &= (159 + \frac{1}{2} \times 498) - (2 \times 180) = 48 \text{ (kJ)} \text{이다.} \end{aligned}$$

20 ㄴ. 표준 생성 엔탈피는 25°C , 1기압에서 가장 안정한 성분 원소로부터 물질 1몰이 생성될 때의 엔탈피 변화로, 표준 생성 엔탈피를 이용하여 반응 엔탈피를 구할 수 있다.

반응 엔탈피 = (생성물의 표준 생성 엔탈피 합) - (반응물의 표준 생성 엔탈피 합)

(나) 반응에서 반응 엔탈피 ΔH_2 는 다음과 같다.

$$\Delta H_2 = (\text{생성물의 표준 생성 엔탈피 합})$$

$$- (\text{반응물의 표준 생성 엔탈피 합})$$

⇒ ΔH_2 는 생성물과 반응물의 표준 생성 엔탈피 차와 같고 (나)에서 $\Delta H_2 < 0$ 이므로 생성물의 표준 생성 엔탈피 합은 반응물의 표준 생성 엔탈피 합보다 $|\Delta H_2|$ 만큼 더 작다.

ㄷ. 반응물과 생성물이 모두 기체 상태일 때 결합 에너지를 이용하여 반응 엔탈피를 구할 수 있다.

반응 엔탈피 = (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)이므로 (다) 반응에서 반응 엔탈피는 다음과 같다.

$$\Delta H_3 = (\text{반응물의 결합 에너지 합})$$

$$- (\text{생성물의 결합 에너지 합})$$

따라서 생성물의 결합 에너지 합과 반응물의 결합 에너지 합의 차는 $|\Delta H_3|$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가) 반응은 반응 엔탈피가 0보다 크므로 흡열 반응이며, 흡열 반응에서의 에너지 총합은 생성물이 반응물보다 더 크다.

수능 실전 문제

149~151쪽

1 ① 2 ④ 3 ② 4 ③ 5 ⑤ 6 ③ 7 ④ 8 ④
9 ③ 10 ⑤ 11 ④ 12 ③

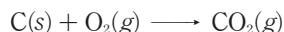
1 ㄱ. 0.6 g의 탄소 가루가 완전 연소될 때 발생한 열량은 열량계가 흡수한 열량과 같다.

$$\begin{aligned} \text{열량(kJ)} &= \text{열량계의 열용량(kJ/}^\circ\text{C)} \times \text{온도 변화}(^\circ\text{C)} \\ &= 40 \text{ kJ/}^\circ\text{C} \times (23.7 - 23.2)^\circ\text{C} = 20 \text{ kJ} \end{aligned}$$

0.6 g의 탄소 가루가 완전 연소될 때 20 kJ의 열이 방출된다.

바로알기 ㄴ. 과정 (다)에서 탄소 가루가 불완전 연소되면 발생하는 열량이 작아지므로 열량계의 최종 온도는 완전 연소되었을 때보다 낮게 측정된다. 따라서 탄소 가루가 불완전 연소되면 T_2 는 23.7°C 보다 낮게 측정된다.

ㄷ. 탄소(C)의 연소 반응은 다음과 같다.

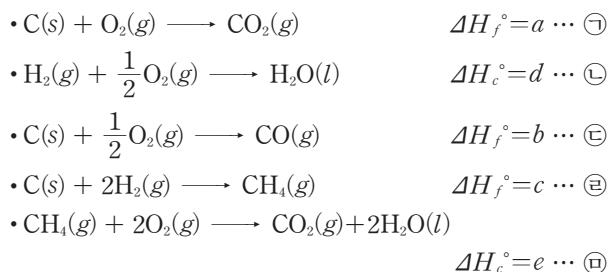


반응 전 기체의 몰수가 $O_2(g)$ 1몰일 때 반응 후 기체의 몰수도 $CO_2(g)$ 1몰이므로 탄소가 연소할 때 기체의 전체 몰수는 반응 전과 반응 후가 같다.

2 NaOH(s)의 용해열(ΔH)은 -45 kJ/mol 이므로 1몰이 용해될 때 45 kJ 의 열이 방출된다. NaOH(s) 8 g은 0.2몰이므로 NaOH(s) 8 g이 용해될 때 9 kJ 의 열이 방출된다.

또, $\text{HCl(aq)} + \text{NaOH(aq)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O(l)} + \text{NaCl(aq)}$ 반응에서 0.2 M HCl 500 mL에는 HCl 0.1몰($=0.2 \text{ M} \times 0.5 \text{ L}$)이 존재하므로 NaOH 0.2몰과 중화 반응하면 H_2O 0.1몰이 생성된다. 중화열(ΔH)이 -56 kJ/mol 이므로 중화 반응으로 H_2O 0.1몰이 생성될 때 방출되는 열은 5.6 kJ 이다. 따라서 발생하는 총 열량은 $9 \text{ kJ} + 5.6 \text{ kJ} = 14.6 \text{ kJ}$ 이다.

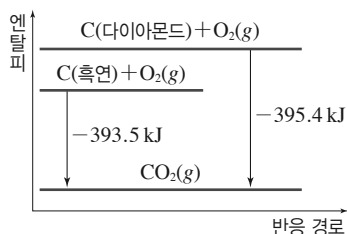
3 표에 주어진 자료에 대한 열화학 반응식을 ㉠~㉤으로 나타내면 다음과 같다.



위 식들을 이용해서 ㉡+㉢-㉣을 하면

$\text{CO(g)} + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O(l)}$ $\Delta H = d + c - b$ 이다. 따라서 b, c, d 만 알면 이 반응의 반응 엔탈피를 구할 수 있다.

4 C(s, 흑연)과 C(s, 다이아몬드)의 연소 반응의 엔탈피 변화는 다음과 같다.



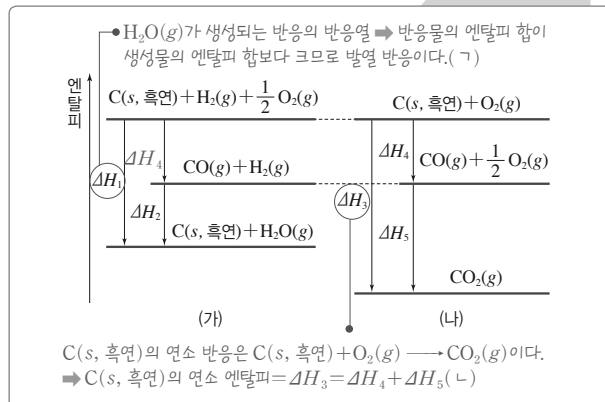
ㄷ. 고체 상태의 물질이 승화되어 기체 상태로 될 때의 반응은 흡열 반응이다. C(s, 다이아몬드)의 엔탈피가 C(s, 흑연)보다 크므로 고체 상태의 두 물질이 각각 승화되어 C(g)로 될 때 엔탈피 변화(ΔH)는 C(s, 다이아몬드)가 C(s, 흑연)보다 작다.

바로알기 ㄱ. (가)와 (나)는 모두 탄소 원자(C)가 공유 결합으로 결정을 이룬 것으로, 모두 공유(원자) 결정이다.

ㄴ. C(s, 흑연)과 C(s, 다이아몬드)의 연소 반응에서 생성물은 모두 $\text{CO}_2(\text{g})$ 로 같다. 또한 발열 반응인 연소 반응에서 방출되는 열의 크기가 C(s, 다이아몬드)가 C(s, 흑연)보다 큰 것으로 보아 물질의 엔탈피(H)는 C(s, 흑연)이 C(s, 다이아몬드)보다 작다.

5

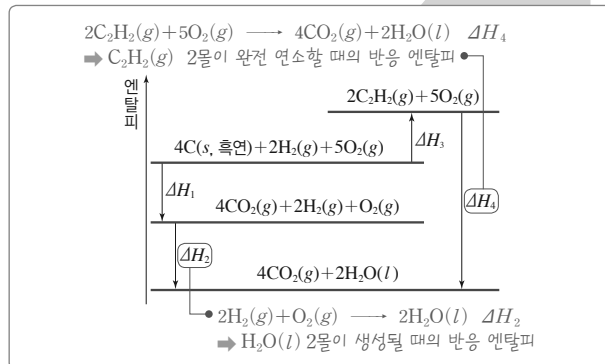
문제 분석하기



ㄷ. (가)에서 $\Delta H_1 - \Delta H_2 = \Delta H_4$ 이고, (나)에서 $\Delta H_4 = \Delta H_3 - \Delta H_5$ 이다. 따라서 $\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 + \Delta H_5$ 이다.

6

문제 분석하기

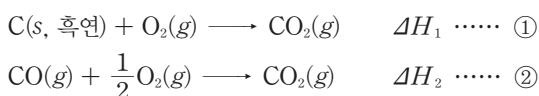


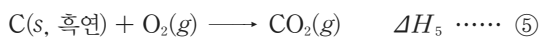
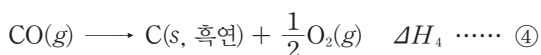
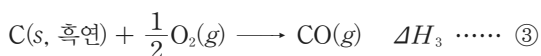
ㄱ. 헤스 법칙에 따르면 반응물의 종류 및 상태와 생성물의 종류 및 상태가 같으면 반응 경로와 관계없이 출입하는 열량의 총합은 일정하다. 따라서 $\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3 = \Delta H_4$ 이므로 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_4$ 이다.

ㄷ. $2\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 4\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O(l)}$ ΔH_4 이므로 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 2몰($=26 \text{ g} \times 2 = 52 \text{ g}$)이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피는 ΔH_4 이다. 따라서 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 13 g($=0.5 \text{ 몰}$)이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피는 $\frac{\Delta H_4}{4}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 주어진 그림에 나타난 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 의 생성 반응의 열화학 반응식은 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O(l)}$ ΔH_2 이다. $\text{H}_2\text{O(l)}$ 2몰이 생성될 때의 반응 엔탈피가 ΔH_2 이므로 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 1몰이 생성될 때의 생성 엔탈피는 $\frac{\Delta H_2}{2}$ 이다.

7 각각의 반응열($\Delta H_1 \sim \Delta H_5$)에 해당하는 반응은 다음과 같다.

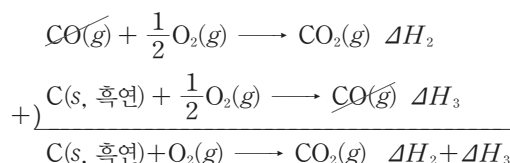




ㄱ. C(s, 흑연)의 연소열은 C(s, 흑연) 1몰이 완전 연소하였을 때의 반응열이므로 ① 반응의 반응열(ΔH)인 ΔH_1 이다.

$\text{CO}_2(\text{g})$ 의 생성열은 가장 안정한 성분 원소의 홑원소 물질로부터 물질 1몰이 생성될 때의 반응열이므로 ⑤ 반응의 반응열(ΔH)인 ΔH_5 이다. ① 반응과 ⑤ 반응은 같으므로 $\Delta H_1 = \Delta H_5$ 이다.

ㄴ. CO(g) 1몰이 연소되는 반응(②)과 CO(g) 1몰이 홑원소 물질로부터 생성되는 반응(③)의 열화학 반응식을 더하면,



이 반응은 $\text{CO}_2(\text{g})$ 1몰이 홑원소 물질로부터 생성되는 반응(⑤)과 같으므로 $\Delta H_5 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ 이다. 이때 CO(g) 의 생성열(ΔH)은 ΔH_3 이고, CO(g) 의 분해열(ΔH)은 ΔH_4 이다. 분해열은 생성열과 크기가 같고 부호가 반대이므로 $\Delta H_3 = -\Delta H_4$ 이다. 따라서 $\Delta H_5 = \Delta H_2 - \Delta H_4$ 가 된다.

바로알기 ㄴ. 1몰의 CO(g) 가 연소되는 반응(②)과 1몰의 CO(g) 가 C(s, 흑연)와 $\text{O}_2(\text{g})$ 로부터 생성되는 반응(③)은 서로 다른 반응으로 ΔH_2 와 ΔH_3 는 다르다.

8 주어진 자료에 따라 각 물질의 엔탈피 변화를 나타내면 다음과 같다.

엔탈피 ↑			2C(s, 흑연) + 3H ₂ (g) + 5O ₂ (g)	
C ₂ H ₅ OH(g) 생성 엔탈피	● -235 kJ		CH ₃ OCH ₃ (g) + $\frac{9}{2}$ O ₂ (g)	CH ₃ OCH ₃ (g) 생성 엔탈피
C ₂ H ₅ OH(g) + $\frac{9}{2}$ O ₂ (g)		↓ a	C ₂ H ₅ OH(l) 생성 엔탈피	
C ₂ H ₅ OH(l) + $\frac{9}{2}$ O ₂ (g)		↓		
			C ₂ H ₅ OH(l) 연소 엔탈피	-1409 kJ
			2CO ₂ (g) + 3H ₂ O(l)	CH ₃ OCH ₃ (g) 연소 엔탈피

ㄴ. $\text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g})$ 와 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 은 분자식이 같으므로 완전 연소 생성물의 종류와 개수가 모두 같다. 연소 엔탈피의 크기가 $\text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g})$ 가 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 보다 큰 것으로 보아 물질의 엔탈피는 $\text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g})$ 가 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 보다 크다. 따라서 $\text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g}) \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 반응은 발열 반응이다.

ㄴ. 생성 엔탈피의 크기는 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 이 $\text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g})$ 보다 크므로 안정한 성분 원소로 분해될 때 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 과 $\text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g})$ 1몰이 흡수하는 열량은 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 이 더 크다.

바로알기 ㄱ. 같은 종류의 물질은 액체 상태일 때가 기체 상태일 때보다 엔탈피가 작다. 따라서 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피가 -235 kJ/mol 일 때 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 의 생성 엔탈피 a 는 -235 kJ/mol 보다 더 작다.

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 과 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 의 완전 연소 생성물의 종류와 개수는 모두 같으므로 연소할 때 방출되는 열은 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 이 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 보다 많다. 따라서 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 의 연소 엔탈피 b 는 -1409 kJ/mol 보다 크다.

9 ㄱ. 결합 에너지는 기체 상태의 두 원자 사이의 공유 결합 1몰을 끊는 데 필요한 에너지이다. 즉, $\text{Cl}_2(\text{g})$ 의 공유 결합이 끊어져서 $2\text{Cl}(\text{g})$ 로 될 때 흡수하는 에너지가 결합 에너지이므로 $\text{Cl}_2(\text{g})$ 의 결합 에너지는 243 kJ/mol 이다.

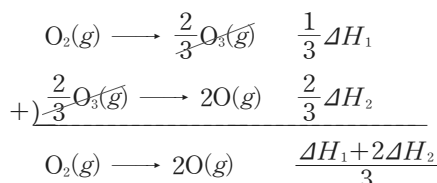
ㄴ. 생성열(ΔH)은 어떤 물질 1몰이 성분 원소의 가장 안정한 홑원소 물질로부터 생성될 때 방출되거나 흡수되는 열량이다. $\text{HCl}(\text{g})$ 2몰이 생성될 때의 반응열(ΔH)이 -185 kJ 이므로 $\text{HCl}(\text{g})$ 의 생성열(ΔH)은 $\frac{-185}{2} \text{ kJ/mol}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 용해열(ΔH)은 어떤 물질 1몰을 충분한 양의 용매에 용해시킬 때 방출되거나 흡수되는 열량이다. 즉, $\text{HCl}(\text{g})$ 의 용해열(ΔH)은 $\text{HCl}(\text{g}) \longrightarrow \text{HCl}(\text{aq})$ 반응에서 출입하는 에너지이다. 따라서 주어진 반응식을 각각 ①, ②식으로 나타낼 때 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{HCl}(\text{g}) \quad \Delta H = -185 \text{ kJ} \quad \cdots \cdots \text{①}$
 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{HCl}(\text{aq}) \quad \Delta H = -335 \text{ kJ} \quad \cdots \cdots \text{②}$
 $\text{HCl}(\text{g}) \longrightarrow \text{HCl}(\text{aq})$ 반응은 $\frac{1}{2}(\text{②식} - \text{①식})$ 이므로

$\text{HCl}(\text{g})$ 의 용해열(ΔH)은 $\frac{(-335 + 185)}{2} \text{ kJ/mol} = -75 \text{ kJ/mol}$ 이다.

10 ㄱ. 생성열은 어떤 물질 1몰이 그 성분 원소의 가장 안정한 홑원소 물질로부터 생성될 때 방출되거나 흡수되는 열량이다. 따라서 $\text{O}_3(\text{g})$ 의 생성열(ΔH)은 $\frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{O}_3(\text{g})$ 반응의 반응열이므로 $\frac{\Delta H_1}{2}$ 이다.

ㄴ. 결합 에너지는 기체 상태에서 두 원자 사이의 공유 결합 1몰을 끊는 데 필요한 에너지이다. 따라서 $\text{O}_2(\text{g})$ 의 결합 에너지는 $\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{O}(\text{g})$ 반응에서 출입하는 에너지이다.



즉, $\text{O}_2(\text{g})$ 의 결합 에너지는 $\frac{\Delta H_1 + 2\Delta H_2}{3}$ 이다.

ㄷ. 주어진 반응식을 각각 ①~③식으로 나타내면 다음과 같다.

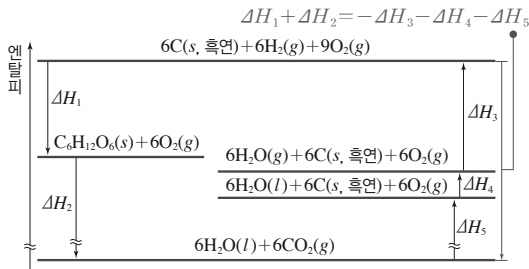


$\text{NO}(g) + \text{O}(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g)$ 반응은 $\frac{1}{2} \times \text{③}$ 식 - $\left(\frac{1}{6} \times \text{①}$ 식 + $\frac{1}{3} \times \text{②}$ 식)으로 구할 수 있다. 따라서 주어진 반응의 반응 엔탈피는 다음과 같다.

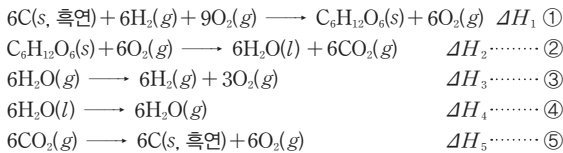
$$\begin{aligned} \Delta H &= \frac{1}{2} \Delta H_3 - \left(\frac{1}{6} \Delta H_1 + \frac{1}{3} \Delta H_2 \right) \\ &= \frac{-\Delta H_1 - 2\Delta H_2 + 3\Delta H_3}{6} \end{aligned}$$

11

문제 분석하기



$\Delta H_1 \sim \Delta H_5$ 에 해당하는 반응은 다음과 같다.



ㄴ. 6몰의 $\text{CO}_2(g)$ 가 흡원소 물질로 분해되는 반응은 ⑤식이다. 따라서 1몰의 $\text{CO}_2(g)$ 가 흡원소 물질로부터 생성되는 반응의 반응 엔탈피, 즉 생성 엔탈피는 $-\frac{\Delta H_5}{6}$ 이다.

ㄷ. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(s) + 6\text{O}_2(g) \longrightarrow 6\text{C}(s, \text{흑연}) + 6\text{H}_2(g) + 9\text{O}_2(g)$ 반응의 반응 엔탈피는 ①식의 역반응이므로 $-\Delta H_1$ 이다.

헤스 법칙에 따르면 $\Delta H_1 + \Delta H_2 = -\Delta H_3 - \Delta H_4 - \Delta H_5$ 이므로 $\Delta H_1 = -(\Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5)$ 이다. 따라서 $-\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$ 이다.

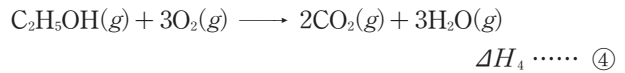
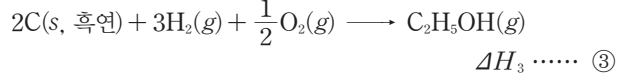
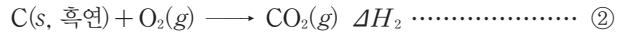
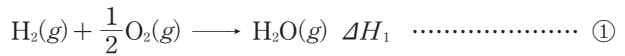
바로알기 ㄱ. ③식에서는 반응물과 생성물이 모두 기체 상태이므로 반응물과 생성물의 결합 에너지와 반응 엔탈피 ΔH_3 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} \Delta H_3 &= \text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합} \\ &= [6 \times (2 \times \text{O}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) \\ &\quad - \{(6 \times \text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + 3 \times (\text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지})\}] \end{aligned}$$

따라서 $\text{O}-\text{H}$ 의 결합 에너지는 다음과 같다.

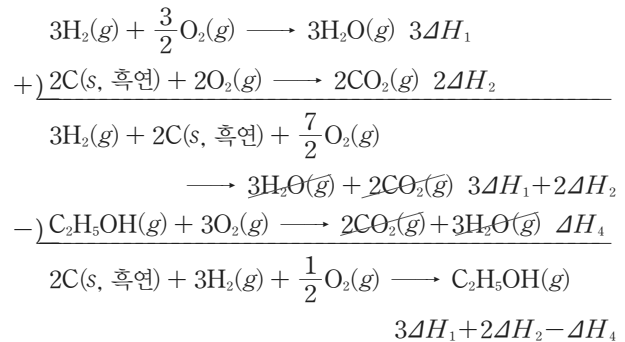
$$\frac{1}{12} \{ \Delta H_3 + (6 \times \text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지} + 3 \times \text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지}) \}$$

12 $T^\circ\text{C}$, P 기압에서 물질은 모두 기체 상태이므로 각각의 반응 엔탈피($\Delta H_1 \sim \Delta H_4$)에 해당하는 반응은 다음과 같다.



ㄱ. ①식과 $\text{H}_2(g)$ 1몰이 연소하는 반응은 서로 같으므로 ΔH_1 은 $\text{H}_2(g)$ 의 연소 엔탈피(kJ/mol)와 같다.

ㄴ. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(g)$ 의 생성 반응은 ③식과 같다. ①~④식을 이용하여 $3 \times \text{①}$ 식 + $2 \times \text{②}$ 식 - ④식을 하면 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(g)$ 의 생성 반응식이 얻어진다.



$2\text{C}(s, \text{흑연}) + 3\text{H}_2(g) + \frac{1}{2} \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(g)$ 반응이 ③식과 같으므로 $\Delta H_3 = 3\Delta H_1 + 2\Delta H_2 - \Delta H_4$ 이다.

바로알기 ㄷ. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(g) + 3\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}_2(g) + 3\text{H}_2\text{O}(g)$ 반응은 연소 반응으로 발열 반응이므로 반응 엔탈피가 0보다 작다. 반응물과 생성물이 모두 기체인 경우 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 합}) < 0$$

$\therefore (\text{반응물의 결합 에너지 합}) < (\text{생성물의 결합 에너지 합})$

즉, $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(g) + 3\text{O}_2(g)]$ 의 결합 에너지 합이 $[2\text{CO}_2(g) + 3\text{H}_2\text{O}(g)]$ 의 결합 에너지 합보다 작다.

2. 반응의 자발성

01 엔트로피와 자유 에너지

개념 확인 문제

157쪽

- 1 자발적 2 엔트로피 3 <, < 4 열린계 5 고립계
6 계, 주위 7 증가

- A 1 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 2 L, D
B 3 (가) 고립계 (나) 닫힌계 (다) 열린계 4 (1) ○ (2) ○

- 1 (1), (2) 엔트로피는 무질서도의 척도이며, 무질서도가 클수록 엔트로피가 크다. 또한 엔트로피는 기호 S로 나타낸다.
(3) 고체 상태의 얼음이 녹아 액체 상태의 물로 되면 분자 배열이 불규칙해지므로 엔트로피가 증가한다.
(4) 염화 나트륨이 물에 녹아 Na^+ 와 Cl^- 이 물속에서 퍼지는 과정에서는 입자의 무질서도가 증가하므로 엔트로피가 증가한다. 이때 Na^+ 와 Cl^- 이 물속에 퍼질 때의 엔트로피 증가량은 Na^+ 와 Cl^- 이 물에 수화되는 과정의 엔트로피 감소량보다 크므로 염화 나트륨의 용해 과정 전체에서 엔트로피는 증가한다.

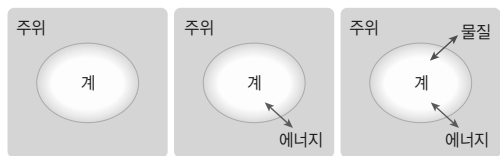
- 2 L. 드라이아이스가 승화하여 고체 상태에서 기체 상태로 되면 분자들이 매우 활발하고 자유롭게 움직이므로 계의 엔트로피가 증가한다.

D. 물이 분해되어 수소 기체와 산소 기체가 생성되는 반응은 액체가 반응하여 기체가 생성되므로 계의 엔트로피가 증가한다.

바로알기 G. 액체 상태의 물이 얼어 고체 상태의 얼음이 되면 분자들이 매우 규칙적으로 배열하므로 계의 엔트로피가 감소한다.

3

문제 분석하기



(가) 주위와 물질 및 에너지를 주위와 에너지만 교환 모두 교환하지 않으므로 하므로 닫힌계이다.
(나) 주위와 물질 및 에너지를 모두 교환하므로 열린계이다.

- 4 (1) (가) 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가한다.
(2) (나) 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다.

개념 확인 문제

161쪽

- 1 <, >, >, < 2 자유 에너지 3 ΔH , ΔS 4 반대
5 < 6 <, >

- C/D 1 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 2 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○
3 (1) (다) (2) (가) (3) (나) 4 (1) ○ (2) ○ (3) ×

- 1 (1) 발열 반응이 일어나면 주위로 열을 방출하므로 주위의 온도가 높아진다. 따라서 주위의 엔트로피가 증가한다.
(2) 자유 에너지는 계의 성질만으로 반응의 자발성 여부를 알기 위해 계의 엔탈피와 계의 엔트로피를 이용하여 나타낸 것이다.
(3), (4) 자발적 반응에서 전체 엔트로피($\Delta S_{\text{전체}} > 0$)는 증가하고, 자유 에너지는 감소($\Delta G < 0$)하므로 전체 엔트로피와 자유 에너지 변화의 부호는 서로 반대이다.

- 2 (1) 발열 반응($\Delta H < 0$)이더라도 엔트로피가 감소($\Delta S < 0$)하는 경우에는 높은 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S > 0$ 이 될 수 있다.
(2) 흡열 반응($\Delta H > 0$)이더라도 엔트로피가 증가($\Delta S > 0$)하는 경우에는 높은 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 될 수 있다.
(3) $\Delta G < 0$ 이면 반응이 자발적이고, $\Delta G > 0$ 이면 반응이 비자발적이다.
(4) $\Delta H < 0$, $\Delta S > 0$ 이면 온도에 관계없이 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이므로 반응이 항상 자발적이다. $\Delta H > 0$, $\Delta S < 0$ 이면 온도에 관계없이 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S > 0$ 이므로 반응이 항상 비자발적이다. 따라서 ΔH 와 ΔS 가 다른 부호일 때 반응의 자발성은 온도에 의존하지 않는다.

- 3 (1) 온도에 관계없이 항상 자발적으로 일어나는 반응은 항상 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 되어야 하므로 $\Delta H < 0$, $\Delta S > 0$ 인 반응 (다)가 이에 해당한다.
(2) 온도에 관계없이 항상 비자발적인 반응은 항상 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S > 0$ 이므로 $\Delta H > 0$, $\Delta S < 0$ 인 반응 (가)가 이에 해당한다.
(3) $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 인 반응 (나)는 특정 온도보다 높은 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 될 수 있다.

- 4 (1) 고체 상태의 얼음이 액체 상태의 물로 될 때는 주위에서 열을 흡수한다. 따라서 이때 $\Delta H > 0$ 이다.
(2) 고체 상태의 얼음에서 액체 상태의 물로 되면 분자 운동이 활발해지고 분자 배열이 불규칙해지므로 분자가 공간에서 배열할 수 있는 경우의 수가 커진다. 따라서 엔트로피가 증가한다.
(3) $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 이면 특정 온도보다 높은 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 되므로 반응이 자발적으로 일어난다. 1기압에서 얼음은 0°C 보다 높은 온도에서 자발적으로 녹는다.

대표 자료 ① 1 (1) (가) (2) (다) (3) (나) 2 (가) 열린계 (나) 닫힌계 (다) 고립계 3 ㄱ



대표 자료 ② 1 + 2 - 3 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 4 ㄴ, ㄷ

대표 자료 ③ 1 (1) > (2) > (3) < 2 - 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) ×

대표 자료 ④ 1 + 2 + 3 ㄱ 4 (1) × (2) × (3) ○

①-1, 2

문제 분석하기

	(가)	(나)	(다)
구분			
계	열린계	닫힌계	고립계
물질 교환	○	×	×
에너지 교환	○	○	×

- (가)는 뚜껑이 열려 있고, 단열재로 싸여 있지 않으므로 주위로 수증기가 빠져나가고 주위와 에너지를 교환할 수 있다. \Rightarrow 열린계
- (나)는 뚜껑이 닫혀 있으므로 수증기는 출입할 수 없지만, 단열재로 싸여 있지 않으므로 주위와 에너지를 교환할 수 있다. \Rightarrow 닫힌계
- (다)는 단열재로 싸여 있으므로 주위와 물질 및 에너지를 모두 교환할 수 없다. \Rightarrow 고립계

①-3 ㄱ. (가)는 계와 주위 사이에 물질 및 에너지 교환이 가능한 열린계이므로 수증기가 주위로 이동할 수 있고, 주위의 수증기 또한 계로 이동할 수 있다.

바로알기 ㄴ. 물이 기화할 때 주위에서 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아지므로 주위의 엔트로피는 감소한다.

ㄷ. (다)에서 물이 자발적으로 증발하여 액체에서 기체로 되므로 전체 엔트로피가 증가한다.

②-1 질소(N_2) 기체와 수소(H_2) 기체가 반응하여 암모니아(NH_3) 기체를 생성하는 반응은 자발적으로 일어나므로 전체 엔트로피는 증가한다. 즉, $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다.

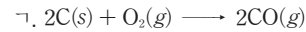
②-2 반응 전보다 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다. 즉, $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다.

②-3 자발적 반응이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다. 주어진 반응 모형에서 반응이 일어날 때 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다. 즉, $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다. 이때 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}}$ 이므로 $\Delta S_{\text{주위}}$ 는 0보다 크고, 그 크기는 $\Delta S_{\text{계}}$ 보다 커야 한다. 따라서 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이다.

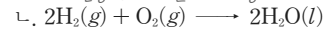
②-4

문제 분석하기

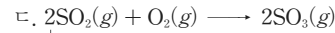
$\Delta S_{\text{계}}$ 의 부호가 (-)인 것은 계의 엔트로피가 감소하는 반응이다.



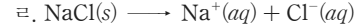
↳ 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 엔트로피가 증가한다. $\Rightarrow \Delta S_{\text{계}} > 0$



↳ 기체 물질이 반응하여 액체 물질이 생성되므로 엔트로피가 감소한다. $\Rightarrow \Delta S_{\text{계}} < 0$



↳ 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 엔트로피가 감소한다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$



↳ 염화 나트륨이 물에 용해되면 입자의 무질서도가 증가하므로 엔트로피가 증가한다. $\Rightarrow \Delta S_{\text{계}} > 0$

③-1 물이 수증기로 되는 과정(다)은 흡열 반응이다.

(1) 흡열 반응이므로 $\Delta H_{\text{계}} > 0$ 이다.

(2) 물이 수증기로 될 때 분자 배열이 불규칙해지므로 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ 이다.

(3) 반응이 일어날 때 주위에서 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아지므로 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다.

③-2 25 °C에서 수증기가 물로 되는 과정(라)은 자발적이므로 $\Delta G < 0$ 이다.

③-3 (1) 입자 배열이 불규칙해질수록 엔트로피가 증가하고, 규칙적일수록 엔트로피가 감소한다. 따라서 고체 \rightarrow 액체 \rightarrow 기체 순으로 입자 배열이 불규칙해지므로 무질서도가 증가하여 엔트로피가 증가한다. 따라서 엔트로피의 크기는 고체 < 액체 < 기체 순이다.

(2), (3) -10 °C에서 얼음이 물로 되는 과정(가)은 비자발적이므로 $\Delta G > 0$ 이고, 10 °C에서 물이 얼음으로 되는 과정(나)도 비자발적이므로 $\Delta G > 0$ 이다.

(4) 수증기가 물이 되는 과정(라)은 온도에 따라 반응의 자발성이 결정된다.

④-1 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피는 증가($\Delta S_{\text{계}} > 0$)한다.

④-2 반응이 일어날 때 계의 엔탈피 변화(ΔH)가 0보다 작으므로 발열 반응이다. 발열 반응이 일어날 때 주위로 열을 방출하여 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피가 증가($\Delta S_{\text{주위}} > 0$)한다.

④-3 $\Delta H < 0$, $\Delta S > 0$ 이고, 절대 온도(T)는 항상 (+)값이므로 온도에 관계없이 항상 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이다.

④-4 (1) 계의 엔탈피 변화(ΔH)가 0보다 작으므로 발열 반응이다.

(2) 이 반응은 온도에 관계없이 항상 $\Delta G < 0$ 이므로 모든 온도에서 자발적이다.

(3) 모든 온도에서 반응이 자발적이므로 전체 엔트로피는 증가($\Delta S_{\text{전체}} > 0$)한다.

[다른 풀이] 계의 엔트로피와 주위의 엔트로피가 모두 증가하므로 계와 주위의 엔트로피를 합한 전체 엔트로피도 증가한다.

내신 만점 문제

164~168쪽

01 ④	02 ③	03 ③	04 ①	05 ④	06 ④
07 ③	08 ③	09 ⑤	10 ④	11 ④	12 ⑤
13 ④	14 ②	15 ④	16 ⑤	17 ③	18 ①
19 ③	20 ①	21 ⑤	22 해설 참조		

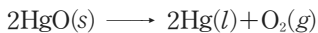
01 ①, ② 엔트로피는 무질서도를 나타내는 척도로, 기호 S로 나타내며 무질서도가 클수록 엔트로피가 크다.

③ 온도가 높을수록 분자 운동이 활발하므로 엔트로피가 크다.

⑤ 반응 후 기체 분자 수가 많아지면 무질서도가 증가하므로 엔트로피가 증가한다.

바로알기 ④ 물질의 종류가 같더라도 물질의 상태에 따라 엔트로피가 다르다. 엔트로피의 크기는 고체 < 액체 < 기체 순이다.

02 ㄷ. 산화 수은이 수은과 산소로 분해되는 반응은 다음과 같다.

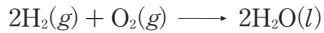


고체 물질이 반응하여 기체 물질이 생성되므로 계의 엔트로피가 증가한다.

ㄹ. 잉크가 물속에 퍼져 있을 때가 한 곳에 모여 있을 때보다 분자를 배열할 수 있는 경우의 수가 크다. 따라서 잉크가 물속에 퍼져 나가는 것은 계의 엔트로피가 증가하는 것이다.

바로알기 ㄱ. 물이 얼어 얼음이 되면 분자 운동이 둔해지고 분자들이 매우 규칙적으로 배열하므로 계의 엔트로피가 감소한다.

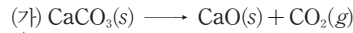
ㄴ. 수소의 연소 반응은 다음과 같다.



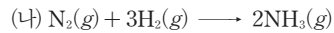
기체 물질이 반응하여 액체 물질이 생성되므로 계의 엔트로피가 감소한다.

03

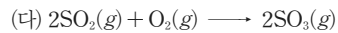
문제 분석하기



↳ 고체 물질이 반응하여 기체 물질이 생성된다. ➡ 계의 엔트로피 증가($\Delta S > 0$)



↳ 반응 후 기체 분자 수가 감소한다. ➡ 계의 엔트로피 감소($\Delta S < 0$)



↳ 반응 후 기체 분자 수가 감소한다. ➡ 계의 엔트로피 감소($\Delta S < 0$)

04 ㄱ. 액체가 고체로 상태가 변할 때 응고열을 주위로 방출한다.

바로알기 ㄴ. 같은 물질일 때 기체가 액체보다 분자 배열이 불규칙하므로 물질의 무질서도는 기체가 액체보다 크다. 따라서 과정 (라)에서 계의 엔트로피는 감소한다.

ㄷ. 분자 배열이 불규칙한 정도는 기체가 가장 크고, 그 다음은 액체, 고체 순이다. (가) 과정과 (나) 과정은 모두 엔트로피가 증가하며, 이때 엔트로피 변화(ΔS)의 크기는 고체가 액체로 될 때보다 액체가 기체로 될 때가 더 크다.

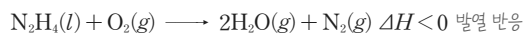
05 ㄱ. (가)는 열린계이므로 주위와 물질 및 에너지를 모두 교환할 수 있다.

ㄷ. (가)~(다)에서 모두 물이 증발하여 수증기로 되므로 계의 엔트로피는 증가한다.

바로알기 ㄴ. (나)는 닫힌계이므로 물질은 교환할 수 없지만 에너지는 교환할 수 있다.

06

문제 분석하기



↳ 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가한다.

➡ $\Delta S_{\text{계}} > 0$

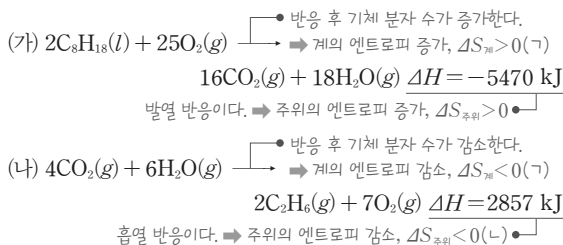
↳ 주위로 열을 방출하여 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피는 증가한다. ➡ $\Delta S_{\text{주위}} > 0$

• 계의 엔트로피와 주위의 엔트로피가 모두 증가하므로 전체 엔트로피도 증가한다. ➡ $\Delta S_{\text{전체}} > 0$

• 전체 엔트로피가 증가하는 반응은 자발적이다.

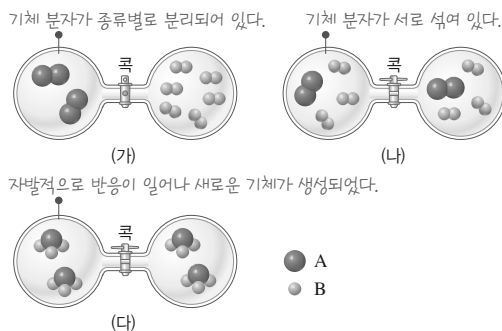
- 우주의 엔트로피 변화는 계와 주위의 엔트로피 변화의 합과 같다.
- 자발적 과정에서 우주의 엔트로피는 항상 증가한다. $\Rightarrow \Delta S_{\text{우주}} > 0$

구분	(가) 주위 계 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ $\Delta S_{\text{주위}} > 0$	(나) 주위 계 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ $\Delta S_{\text{주위}} < 0$	(다) 주위 계 $\Delta S_{\text{계}} > 0$ $\Delta S_{\text{주위}} < 0$
$\Delta S_{\text{우주}}$	계와 주위의 엔트로피가 모두 증가한다. $\Delta S_{\text{우주}} > 0$	계와 주위의 엔트로피가 모두 감소한다. $\Delta S_{\text{우주}} < 0$	$ \Delta S_{\text{계}} > \Delta S_{\text{주위}} $ 일 때 : $\Delta S_{\text{우주}} > 0$ $ \Delta S_{\text{계}} < \Delta S_{\text{주위}} $ 일 때 : $\Delta S_{\text{우주}} < 0$
자발성	자발적(가)	비자발적(나)	$ \Delta S_{\text{계}} > \Delta S_{\text{주위}} $ 일 때 : 자발적 $ \Delta S_{\text{계}} < \Delta S_{\text{주위}} $ 일 때 : 비자발적(다)



다. (가)에서는 $\Delta S_{\text{계}} > 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 따라서 (가)는 자발적이다.

(나)에서는 $\Delta S_{\text{계}} < 0$, $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. 따라서 (나)는 비자발적이다.

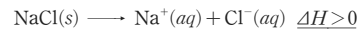
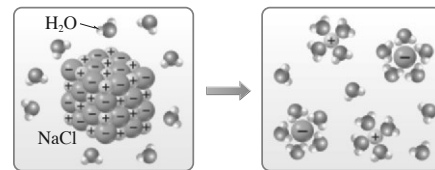


ㄱ. 같은 몰수의 기체 분자가 공간에서 위치할 수 있는 경우의 수는 (나)가 (가)보다 크다. 따라서 계의 엔트로피는 (나)가 (가)보다 크다.

ㄴ. (나)에서 (다)로 될 때 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다.

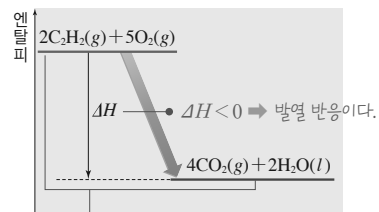
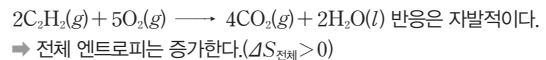
ㄷ. (나)에서 (다)로 되는 과정이 자발적이므로 전체 엔트로피는 증가한다. 이때 계의 엔트로피가 감소하므로 주위의 엔트로피는 계의 엔트로피가 감소하는 양보다 더 크게 증가한다.

- Na^+ 과 Cl^- 이 물속에 퍼지는 과정에서는 엔트로피가 증가한다.
- 물 분자가 이온을 둘러싸서 수화하는 과정에서는 엔트로피가 감소한다.
- Na^+ 과 Cl^- 이 물속에 퍼질 때의 엔트로피 증가량이 수화 과정의 엔트로피 감소량보다 크므로 용해 과정에서 계의 엔트로피가 증가한다.
 $\Rightarrow \Delta S_{\text{계}} > 0$ (ㄴ)



흡열 반응으로, 반응이 일어날 때 주위에서 열을 흡수한다.(ㄱ)

다. $\text{NaCl}(s)$ 의 용해 반응은 자발적이므로 전체 엔트로피 변화는 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다.



$\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 2몰과 $\text{O}_2(g)$ 5몰이 반응하면 $\text{CO}_2(g)$ 4몰과 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 2몰이 생성되므로 계의 엔트로피는 감소한다.

ㄴ. 발열 반응이 일어나면 주위로 열을 방출하여 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피가 증가한다.

ㄷ. 반응이 자발적이므로 전체 엔트로피는 증가한다. 이때 계의 엔트로피는 감소하므로 주위의 엔트로피는 계의 엔트로피가 감소하는 양보다 더 크게 증가한다. 따라서 $|\Delta S_{\text{계}}|$ 는 $|\Delta S_{\text{주위}}|$ 보다 작다.

바로알기 ㄱ. 반응이 일어나면 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소($\Delta S_{\text{계}} < 0$)한다. 즉 계의 무질서도가 감소한다.

ΔG 의 부호에 대한 ΔH , ΔS , T 의 영향은 다음과 같다.

구분	ΔH	ΔS	낮은 온도	높은 온도
발열 반응	(-)	(+)	항상 $\Delta G < 0$	
		(-)	$\Delta G < 0$	$\Delta G > 0$
흡열 반응	(+))	(-)	항상 $\Delta G > 0$	
		(+)	$\Delta G > 0$	$\Delta G < 0$

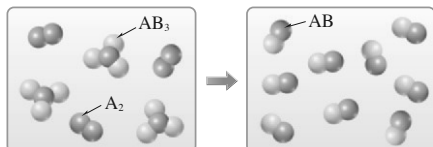
⑤ 발열 반응은 $\Delta H < 0$ 이고, 계의 엔트로피가 증가하는 반응에서 $\Delta S > 0$ 이므로 온도에 관계없이 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이다. 즉, 자유 에너지는 온도에 관계없이 항상 감소한다.

바로알기 ①, ② $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 이므로 $\Delta H < 0$ 인 발열 반응 또는 $\Delta H > 0$ 인 흡열 반응에서 계의 엔트로피에 따라 $\Delta G > 0$ 일 수도 있고 $\Delta G < 0$ 일 수도 있다. 따라서 발열 반응이더라도 자유 에너지가 증가할 수 있고, 흡열 반응이더라도 자유 에너지가 감소할 수 있다.

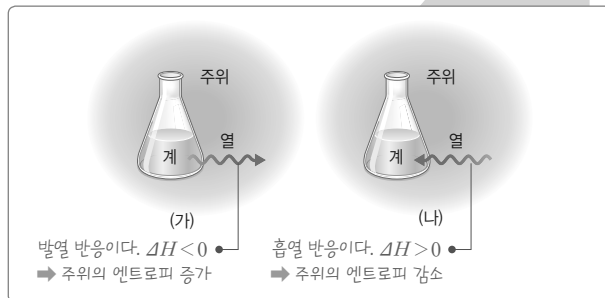
③ 발열 반응은 $\Delta H < 0$ 이고, 계의 엔트로피가 감소하는 반응에서 $\Delta S < 0$ 이다. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 이므로 T 에 따라 $\Delta G > 0$ 일 수도 있고 $\Delta G < 0$ 일 수도 있다. 따라서 발열 반응에서 T 의 조건에 따라 자유 에너지는 증가할 수도 있고, 감소할 수도 있다.

④ 흡열 반응은 $\Delta H > 0$ 이고, 계의 엔트로피가 증가하는 반응에서 $\Delta S > 0$ 이다. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 이므로 T 에 따라 $\Delta G > 0$ 일 수도 있고 $\Delta G < 0$ 일 수도 있다. 따라서 흡열 반응에서 T 의 조건에 따라 자유 에너지는 증가할 수도 있고, 감소할 수도 있다.

13 드라이아이스가 승화할 때는 주위에서 열을 흡수하므로 $\Delta H > 0$ 이고, 고체에서 기체로 변할 때는 분자 배열이 불규칙적으로 되므로 엔트로피가 증가하여 $\Delta S > 0$ 이다. 따라서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 T 의 조건에 따라 $\Delta G > 0$ 일 수도 있고 $\Delta G < 0$ 일 수도 있다. 이 반응에서는 특정 온도보다 낮은 온도에서 $\Delta G > 0$ 이고, 특정 온도보다 높은 온도에서 $\Delta G < 0$ 이다.



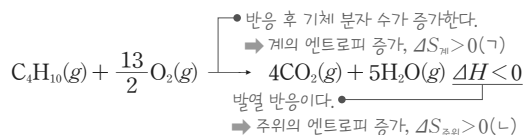
- 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다.
- 반응 후 기체 분자 수가 6개에서 9개로 증가한다. \Rightarrow 계의 엔트로피가 증가($\Delta S > 0$)한다.
- $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 이고, 절대 온도(T)는 항상 (+)값이므로 온도에 관계없이 $\Delta G < 0$ 이다.



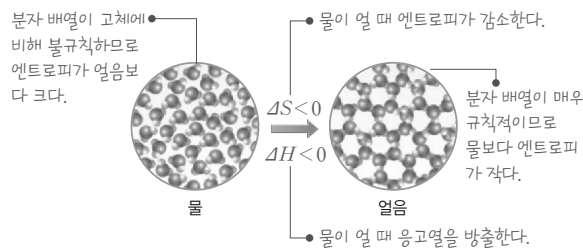
ㄱ. (가)는 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다. 화학 반응에서 기체 분자 수가 증가하면 엔트로피가 증가하므로 $\Delta S > 0$ 이다. 따라서 온도에 관계없이 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이므로 반응은 항상 자발적이다.

ㄴ. 발열 반응인 (가)에서는 주위로 열을 방출하므로 주위의 온도가 높아지고, 흡열 반응인 (나)에서는 주위에서 열을 흡수하므로 주위의 온도가 낮아진다. 따라서 (가)에서는 주위의 엔트로피가 증가하고, (나)에서는 주위의 엔트로피가 감소한다.

바로알기 ㄷ. (나)는 흡열 반응이므로 $\Delta H > 0$ 이다. 반응의 자발성은 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에 의해 결정되는데, (나)의 반응에서 계의 엔트로피 변화(ΔS)에 대한 조건이 없으므로 ΔG 의 부호를 판단할 수 없다.



ㄷ. $\Delta H < 0$, $\Delta S > 0$ 이고, 절대 온도(T)는 항상 (+)값이므로 온도에 관계없이 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이다. 따라서 이 반응은 자발적이고, $\Delta H < T\Delta S$ 이다.



ㄱ. 액체가 고체로 될 때 응고열을 방출하므로 엔탈피는 감소한다. 또 분자 배열이 규칙적으로 되므로 엔트로피도 감소한다. 즉 계의 엔탈피와 계의 엔트로피는 모두 감소한다.

ㄴ. 0°C보다 낮은 온도에서 물이 어는 과정은 자발적이므로 $\Delta G < 0$ 이다.

바로알기 ㄷ. 0°C보다 높은 온도에서 물이 어는 과정은 비자발적이므로 $\Delta G > 0$ 이다. $\Delta H < 0$, $\Delta S < 0$ 이므로 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S > 0$ 이 되려면 $|\Delta H| < |T\Delta S|$ 이어야 한다.

18 ㄱ. 질산 암모늄(NH_4NO_3)이 물에 용해되면 공간에서 입자가 배열하는 경우의 수가 커진다. 즉, 입자의 무질서도가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가($\Delta S > 0$)한다.

바로알기 ㄴ. 질산 암모늄(NH_4NO_3)의 용해 반응이 냉각 팩에 이용되는 것으로 보아 질산 암모늄의 용해 과정은 주위에서 열을 흡수하는 흡열 반응이다. 따라서 계의 엔탈피는 증가($\Delta H > 0$)한다.

ㄷ. $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 이므로 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 는 온도(T)에 따라 그 부호가 결정된다. 즉, 특정 온도보다 높은 온도에서 $\Delta G < 0$ 이 될 수 있으므로 특정 온도보다 높은 온도에서만 반응이 자발적이다.

19 $\text{A(s)} \rightarrow \text{A(l)}$ $\Delta H = 6.03 \text{ kJ}$, $\Delta S = 22.1 \text{ J/K}$ 이므로 물질이 고체 상태에서 액체 상태로 될 때 엔탈피와 엔트로피가 모두 증가한다.

ㄱ. 고체 상태에서 액체 상태로 될 때 엔트로피가 증가하는 것으로 보아 A(l) 는 A(s) 보다 엔트로피가 크다.

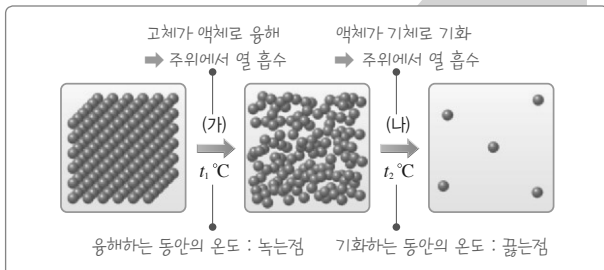
ㄴ. 물질이 고체 상태에서 액체 상태로 될 때 엔탈피가 증가하는 것으로 보아 A(l) 는 A(s) 보다 엔탈피가 크다.

바로알기 ㄷ. $\Delta H = 6.03 \text{ kJ}$, $\Delta S = 22.1 \text{ J/K}$ 이므로 -10°C , 즉 263 K 에서 $\Delta G > 0$ 이다. 따라서 -10°C 에서 이 반응은 비자발적이다.

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta H - T\Delta S \\ &= 6.03 \text{ kJ} - 263 \text{ K} \times 0.0221 \text{ kJ/K} \approx 0.22 \text{ kJ} > 0\end{aligned}$$

20

문제 분석하기



ㄱ. (가) 과정에서 물질의 상태가 고체에서 액체로 되므로 계의 엔트로피는 증가한다.

바로알기 ㄴ. (가) 과정에서는 열을 흡수하므로 $\Delta H > 0$ 이고, 물질을 이루는 분자 배열이 불규칙하게 되므로 $\Delta S > 0$ 이다. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta H > 0$, $T\Delta S > 0$ 이므로 T 에 따라 ΔG 의 부호가 결정된다. (가) 과정은 녹는점($t_1^\circ\text{C}$)보다 높은 온도에서 자발적이고, 녹는점($t_1^\circ\text{C}$)보다 낮은 온도에서 비자발적이다. 따라서 $t_1^\circ\text{C}$ 보다 낮은 온도에서 ΔG 는 0보다 크다.

ㄷ. (나) 과정에서는 열을 흡수하므로 $\Delta H > 0$ 이고, 물질을 이루는 분자 배열이 불규칙적으로 되므로 $\Delta S > 0$ 이다. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta H > 0$, $T\Delta S > 0$ 이므로 T 에 따라 ΔG 의 부호가 결정된다. (나) 과정은 끓는점($t_2^\circ\text{C}$)보다 높은 온도에서 자발적이고, 끓는점($t_2^\circ\text{C}$)보다 낮은 온도에서 비자발적이다. 따라서 $t_2^\circ\text{C}$ 보다 높은 온도에서 ΔG 는 0보다 작다.

21 ㄱ. (가)와 (나) 모두 $\Delta H > 0$ 이고, $\Delta S > 0$ 이므로 ΔG 는 ΔH 가 클수록, ΔS 가 작을수록 큰 값을 가진다. 따라서 (나)가 (가)보다 ΔH 가 크고, ΔS 가 더 작으므로 ΔG 는 (나)가 (가)보다 더 큰 값을 가진다.

ㄴ. (가)는 $\Delta H > 0$ 이므로 열을 흡수하는 흡열 반응이다. 이때 주위에서 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아지므로 주위의 엔트로피가 감소한다. 주위의 엔트로피가 감소하므로 $\Delta S_{\text{주위}} < 0$ 이다. (다)는 $\Delta H < 0$ 이므로 열을 방출하는 발열 반응이다. 이때 주위로 열을 방출하여 주위의 온도가 높아지므로 주위의 엔트로피가 증가하며, 주위의 엔트로피가 증가하므로 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. 즉, 주위의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{주위}}$)의 값은 (다)가 (가)보다 크다.

ㄷ. (다)에서는 $\Delta H < 0$, $\Delta S > 0$ 이므로 온도에 관계없이 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이다. 따라서 모든 온도에서 반응이 자발적이다. (라)에서는 $\Delta H > 0$, $\Delta S < 0$ 이므로 온도에 관계없이 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S > 0$ 이다. 따라서 모든 온도에서 반응이 비자발적이다. ΔG 의 값은 (라)가 (다)보다 항상 크다.

22 ●모범 답안● 이 반응의 엔탈피 변화는 $\Delta H < 0$ 이고, 반응 후 기체 분자 수가 증가하여 엔트로피가 증가하므로 엔트로피 변화는 $\Delta S > 0$ 이다. 따라서 온도에 관계없이 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 되므로 이 반응은 항상 자발적이다. 즉, 이 반응은 50°C , 1기압에서도 자발적이다.

채점 기준	배점
계의 엔탈피 변화, 계의 엔트로피 변화, 자유 에너지 변화를 모두 옳게 언급하여 반응의 자발성을 옳게 서술한 경우	100 %
계의 엔탈피 변화, 계의 엔트로피 변화, 자유 에너지 변화에 대해 서만 옳게 서술한 경우	70 %
자유 에너지의 변화만 옳게 서술한 경우	30 %

- ① 증가 ② 증가 ③ 증가 ④ 열린계 ⑤ 닫힌계 ⑥ 고립계
⑦ 증가 ⑧ 자유 에너지 ⑨ 반대 ⑩ 자발 ⑪ 비자발 ⑫ 자발적
⑬ 비자발적 ⑭ 낮은 ⑮ 높은

중단원 마무리 문제

170~172쪽

- 01 ② 02 ㄱ, ㄴ 03 ⑤ 04 ① 05 ⑤ 06 ③
07 ⑤ 08 ① 09 ⑤ 10 ③ 11 ③ 12 ③
13 ①

01 ㄱ. 온도가 높을수록 입자 운동이 활발해지므로 무질서도가 증가하여 엔트로피가 증가한다.

ㄷ. 입자 운동이 활발할수록 무질서도가 증가하므로 엔트로피가 크다.

바로알기 ㄴ. 고체 상태에서는 입자가 규칙적으로 배열되어 있지만, 기체 상태에서는 분자가 자유롭게 움직여 매우 무질서해진다. 따라서 엔트로피의 크기는 고체 < 액체 < 기체 순이다.

ㄹ. 물질을 구성하는 입자의 배열이 규칙적일수록 입자가 배열할 수 있는 경우의 수가 감소하므로 엔트로피가 작다.

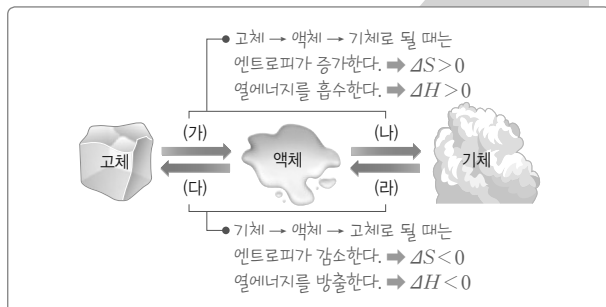
02 ㄱ. 고체 상태의 설탕이 물에 녹을 때 입자의 배열이 무질서해지므로 계의 엔트로피가 증가한다.

ㄴ. 양초가 연소되면 수증기와 이산화 탄소가 생성되어 기체 분자 수가 증가하므로 계의 엔트로피가 증가한다.

바로알기 ㄷ. 용액 속에서 자유롭게 움직이던 Ag^+ 과 Cl^- 이 반응하여 AgCl(s) 이 생성되면 입자의 무질서도가 감소하므로 계의 엔트로피가 감소한다.

03

문제 분석하기



ㄱ. 고체는 액체보다 분자 배열이 규칙적이므로 엔트로피가 액체보다 작다. 따라서 엔트로피는 (가)에서 증가하고, (다)에서 감소한다.

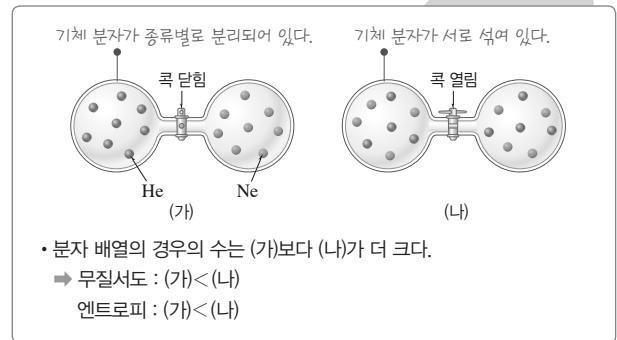
ㄴ. 액체는 기체보다 엔탈피가 낮으므로 엔탈피는 (나)에서 증가하고 (라)에서 감소한다.

ㄷ. 얼음이 물로 될 때 흡수하는 열보다 물이 수증기로 될 때 흡수하는 열이 더 많다. 따라서 엔탈피 변화의 크기는 (나)가 (가)보다 크다.

04 (가)는 계와 주위 사이에서 물질과 에너지의 교환이 모두 일어나므로 열린계이고, (나)는 계와 주위 사이에서 물질의 교환이 일어나지 않고 에너지의 교환만 일어나므로 닫힌계이다. (다)는 계와 주위 사이에서 물질과 에너지의 교환이 모두 일어나지 않으므로 고립계이다.

05

문제 분석하기

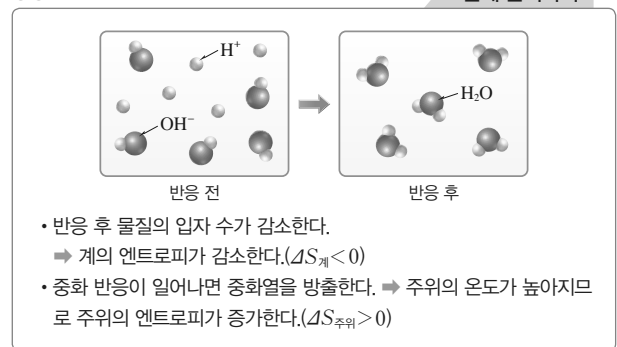


ㄱ, ㄴ. 기체 분자가 종류별로 분리되어 있는 (가)보다 기체 분자가 골고루 섞여 있는 (나)가 기체 분자가 용기 내에서 위치할 수 있는 경우의 수가 더 크므로 (나)가 (가)보다 무질서도가 더 크다.

ㄷ. 고립계이므로 자발적 과정은 계의 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행된다. 계의 엔트로피는 (가) < (나)이므로 꼭지를 열었을 때 (가)에서 (나)로 되는 과정은 자발적이다.

06

문제 분석하기



ㄱ. 반응 후 용액 속의 입자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다.

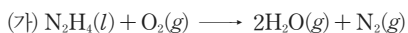
ㄴ. 자발적 반응이므로 전체 엔트로피는 증가한다. 이때 계의 엔트로피는 감소하므로 주위의 엔트로피는 계의 엔트로피가 감소하는 양보다 더 크게 증가한다.

ㄷ. 자발적 반응이므로 $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$, $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이 되기 위해서는 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이어야 한다. 즉, 계의 엔트로피가 감소하는 양이 주위의 엔트로피가 증가하는 양보다 작다.

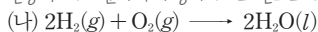
07 증기가 응축되어 액체로 될 때는 액화열을 방출하므로 $\Delta H < 0$ 이고, 엔트로피가 감소하므로 $\Delta S < 0$ 이다. 또 주어진 조건에서 증기의 응축 과정이 자발적으로 일어나므로 $\Delta G < 0$ 이다.

08

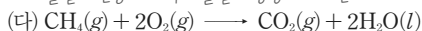
문제 분석하기



반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 엔트로피가 증가한다. $\Rightarrow \Delta S > 0$



기체 물질이 반응하여 액체 물질이 생성되므로 엔트로피가 감소한다. $\Rightarrow \Delta S < 0$



반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 엔트로피가 감소한다. $\Rightarrow \Delta S < 0$

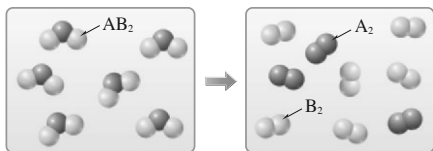
ㄱ. (가)~(다) 모두 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다. 따라서 엔트로피가 증가($\Delta S > 0$)하는 반응의 경우 모든 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이므로 자발적이다. (가)는 엔트로피가 증가하므로 모든 온도에서 자발적이다.

바로알기 ㄴ. (나)는 엔트로피가 감소하므로 $\Delta S < 0$ 이고, $\Delta H < 0$ 이다. 따라서 특정 온도보다 낮은 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 되므로 이 반응은 특정 온도보다 낮은 온도에서 자발적이다.

ㄷ. (가)에서는 엔트로피가 증가하고, (나)와 (다)에서는 엔트로피가 감소한다.

09

문제 분석하기



• 반응 후 기체 분자 수가 증가한다.

\Rightarrow 계의 엔트로피 증가, $\Delta S > 0$ (ㄱ)

• $\Delta H > 0 \Rightarrow$ 흡열 반응으로 주위에서 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아지므로 주위의 엔트로피가 감소한다.

ㄴ. $\Delta H > 0$ 인 흡열 반응이므로 반응이 일어나면 주위에서 열을 흡수하여 주위의 온도가 낮아진다. 따라서 주위의 엔트로피가 감소한다.

ㄷ. $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 이므로 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 의 부호는 온도에 따라 결정되는데, 특정 온도보다 높은 온도에서 $\Delta G < 0$ 이 되므로 이 반응은 특정 온도보다 높은 온도에서 자발적이다.

10 ㄱ. 엔트로피는 액체가 기체보다 작다. 따라서 액체이면서 온도가 가장 낮은 지점이 A이므로 A~C 중 엔트로피는 A에서 가장 작다.

ㄷ. C에서 안정한 상태는 기체이므로 $\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ 반응은 자발적이다. 자발적 반응에서 $\Delta G < 0$ 이다.

바로알기 ㄴ. A \rightarrow B가 될 때 온도가 높아지다가 물(액체)이 수증기(기체)로 기화되므로 계의 엔트로피는 증가한다.

11 ㄱ. $\Delta H = -2777.7 \text{ kJ}$, $\Delta S = -128.4 \text{ J/K}$ 이므로 25°C , 즉 298 K 에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이다. 따라서 25°C 에서 이 반응은 자발적이다.

$$\Delta G = -2777.7 \text{ kJ} - \{298 \text{ K} \times (-0.1284 \text{ kJ/K})\} \\ \approx -2739.4 \text{ kJ} \quad \therefore \Delta G < 0$$

ㄴ. 자발적 과정에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이므로 엔탈피가 감소($\Delta H < 0$)하고, 엔트로피가 증가($\Delta S > 0$)할수록 유리하다. 이 반응이 상온에서 자발적인 것은 엔탈피의 감소 효과가 매우 커서 엔트로피 감소 효과를 상쇄하기 때문이다.

바로알기 ㄷ. $\Delta H < 0$, $\Delta S < 0$ 이므로 특정 온도보다 낮은 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 된다.

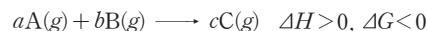
12 ㄱ. 액체가 기체로 기화되는 반응은 주위에서 열(기화열)을 흡수하므로 계의 엔탈피가 증가한다. 따라서 $\Delta H > 0$ 이다.

ㄴ. 액체가 기체로 될 때 분자 배열이 불규칙적으로 되므로 엔트로피가 증가한다. 따라서 $\Delta S > 0$ 이다.

바로알기 ㄷ. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 이므로 T 에 따라 ΔG 의 부호가 달라진다. 이때 1기압에서 벤젠의 끓는 점이 80°C 이므로 $T = 80^\circ\text{C}$ 를 기준으로 ΔG 의 부호가 결정된다. 즉, 80°C 보다 높은 온도에서는 $\Delta G < 0$ 이 되고, 80°C 보다 낮은 온도에서는 $\Delta G > 0$ 이 된다. 따라서 벤젠의 끓는점보다 낮은 온도인 50°C 에서 $\text{C}_6\text{H}_6(l) \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_6(g)$ 반응의 ΔG 는 0보다 크다.

13

문제 분석하기



계수비 = 몰수비

흡열 반응(ㄱ)

반응물의 몰수비 : 생성물의 몰수비 = $a + b : c$

바로알기 ㄴ. 25°C , 1기압에서 $\Delta H > 0$, $\Delta G < 0$ 이다. 이때 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 이 되기 위해서는 $\Delta S > 0$ 이어야 한다. 또한 반응물과 생성물이 모두 기체이므로 기체 분자 수가 증가하는 반응일 때 계의 엔트로피가 증가($\Delta S > 0$)하므로 $a + b < c$ 이다.

ㄷ. $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 이므로 특정 온도보다 높은 온도에서 반응이 자발적이다. 주어진 반응이 25°C 에서 자발적이므로 25°C 보다 높은 온도인 50°C 에서도 이 반응은 자발적이다.

1 ③ 2 ③ 3 ② 4 ① 5 ③ 6 ④ 7 ③ 8 ③
9 ③ 10 ② 11 ③ 12 ③

1. 고립계에서 자발적으로 일어나는 반응의 경우 엔탈피 변화가 없으므로 엔트로피는 증가한다.

나. 열린계에서는 계와 주위 사이에 물질과 에너지를 모두 교환할 수 있다.

바로알기 다. 열린계와 고립계에서 모두 물이 자발적으로 증발하므로 $\Delta G < 0$ 이다.

2. 실험 결과 용해 과정에서 온도가 낮아졌으므로 질산 암모늄($\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$)의 용해는 흡열 반응이다.

다. $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 의 용해는 자발적으로 일어나는 반응이므로 $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 이 용해될 때 전체 엔트로피는 증가한다.

바로알기 나. $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 이 물에 자발적으로 용해되므로 $\Delta G < 0$ 이다. 또 $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ 의 용해는 흡열 반응이므로 $\Delta H > 0$ 이다. 따라서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이므로 용해 과정에서 계의 엔트로피(ΔS)는 증가한다.

3. 반응 (가)~(다)의 엔탈피 변화(ΔH)와 엔트로피 변화(ΔS)는 다음과 같다.

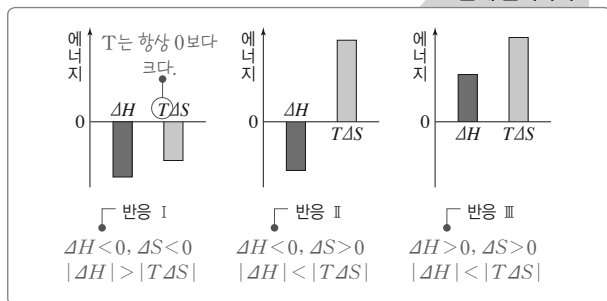
(가) 2개의 $\text{Cl}(\text{g})$ 가 결합하여 1개의 $\text{Cl}_2(\text{g})$ 가 생성될 때 결합 에너지 만큼의 에너지를 방출하므로 $\Delta H < 0$ 이고, 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S < 0$ 이다. $\Rightarrow \text{A}$

(나) 고체가 기체로 될 때 승화열을 흡수하므로 $\Delta H > 0$ 이고, 기체가 고체보다 분자 배열이 불규칙적이므로 $\Delta S > 0$ 이다. $\Rightarrow \text{C}$

(다) 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S < 0$ 이고, 열을 방출하는 연소 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다. $\Rightarrow \text{A}$

4

문제 분석하기



가. 반응 I에서 $\Delta H < 0, T\Delta S < 0$ 이고, $|\Delta H| > |T\Delta S|$ 이므로 $\Delta H - T\Delta S = \Delta G < 0$ 이다. 따라서 반응 I은 자발적이다.

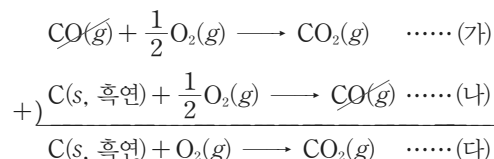
바로알기 나. $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 반응은 물(액체)이 수증기(기체)로 기화하는 반응이다. 기화는 주위에서 열을 흡수하는 흡

열 반응으로 $\Delta H > 0$ 이고, 액체가 기체로 될 때 분자 배열이 더 불규칙적으로 되므로 $\Delta S > 0$ 이다. 25 °C에서 물이 수증기로 되는 반응은 비자발적이므로 $\Delta G > 0$ 이다. 따라서 $\Delta H - T\Delta S = \Delta G > 0$ 이기 위해서는 $|\Delta H| > |T\Delta S|$ 이어야 하므로 반응 I ~ III 중 이에 해당하는 반응은 존재하지 않는다.

다. $2\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) + 7\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 반응은 연소 반응이다. 연소 반응은 주위로 열을 방출하는 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이고, 반응 후 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S > 0$ 이다. 그런데 반응 III는 $\Delta H > 0$ 이고, $\Delta S > 0$ 이므로 $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ 의 연소 반응은 반응 III에 해당하지 않는다.

5. 가. 반응 (가)에서 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S < 0$ 이다. 이때 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이므로 $\Delta H < 0$ 이어야 한다. 따라서 반응 (가)는 발열 반응으로 반응이 일어날 때 주위로 열을 방출한다.

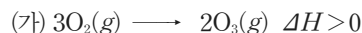
다. 반응 (다)는 반응 (가)+반응 (나)와 같다.



따라서 (가)와 (나)의 ΔH 는 모두 0보다 작으므로 (다)의 ΔH 도 0보다 작다. ΔS 는 거의 변화가 없으므로 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이다. 따라서 반응 (다)는 자발적이다.

바로알기 나. (나)의 반응이 일어날 때 기체 분자 수가 증가하므로 $\Delta S > 0$ 이다. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta S > 0$ 이고, $\Delta H < 0$ 이므로 온도에 관계없이 $\Delta G < 0$ 이다. 따라서 0 °C로 온도를 낮추어도 $\Delta G < 0$ 이다.

6. 반응 (가)~(라)의 자유 에너지 변화(ΔG)는 다음과 같다.



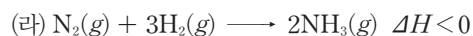
기체 반응에서 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S < 0$ 이다. 따라서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta H > 0, \Delta S < 0$ 이므로 ΔG 는 온도에 관계없이 항상 0보다 크다.



고체가 분해되어 기체를 생성하므로 $\Delta S > 0$ 이다. 따라서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta H > 0, \Delta S > 0$ 이므로 온도(T)에 따라 ΔG 의 부호가 달라진다.



액체가 분해되어 기체를 생성하므로 $\Delta S > 0$ 이다. 따라서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta H < 0, \Delta S > 0$ 이므로 ΔG 는 온도에 관계없이 항상 0보다 작다.



기체 반응에서 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 $\Delta S < 0$ 이다.

따라서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta H < 0$, $\Delta S < 0$ 이므로 온도 (T)에 따라 ΔG 의 부호가 달라진다.

- 7** ΔG 는 $\text{H}_2\text{O}(s) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 반응의 자유 에너지 변화이다.
 ㄱ. 얼음이 물로 되면서 주위에서 열을 흡수하므로 주위의 엔트로피가 감소한다.
 ㄷ. -10°C , 1기압에서 얼음이 물로 되는 반응은 비자발적이므로 $\Delta G > 0$ 이다.

바로알기 ㄴ. 물이 얼음으로 되면서 주위로 열을 방출하므로 과정 (나)에서 계의 엔탈피는 감소한다.

- 8** ③ $\text{NaCl}(s)$ 이 물에 용해되는 반응이 자발적이므로 전체 엔트로피는 증가한다.

바로알기 ① $\text{NaCl}(s)$ 의 용해 과정에서 $\Delta H > 0$ 이므로 $\text{NaCl}(s)$ 의 용해는 열을 흡수하는 흡열 반응이다.

② 이온 결정이 물에 녹을 때 물 분자는 이온 주위에 규칙적으로 배열하여 수화가 일어나므로 물의 무질서도가 감소하게 되어 물의 엔트로피는 감소한다. 그러나 이온들은 결정 상태보다 용해되면 엔트로피가 증가하게 되어 용해 과정에서 전체 엔트로피는 증가한다.

④ 정반응이 자발적이므로 정반응의 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 작다. 따라서 역반응은 비자발적이고 역반응의 자유 에너지 변화(ΔG)는 0보다 크다.

⑤ $\text{NaCl}(s)$ 의 용해 반응에서 $\Delta H > 0$ 이고, 반응이 자발적이므로 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이다. 따라서 $\Delta S > 0$ 이 된다. 이때 ΔG 의 부호는 온도(T)에 따라 달라지며, 특정 온도보다 높은 온도에서 반응이 자발적이다. 25°C 에서 반응이 자발적이므로 25°C 보다 높은 온도인 50°C 에서도 반응이 자발적이다.

- 9** ㄱ. 기체 반응에서 반응 후 기체 분자 수가 감소하므로 계의 엔트로피는 감소한다. 즉 $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다.

ㄴ. 주어진 반응은 자발적이므로 반응의 자유 에너지 변화 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이다. $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이므로 $\Delta H < 0$ 이다. 즉, 주어진 반응은 발열 반응이다.

바로알기 ㄷ. 반응이 자발적이므로 $\Delta G < 0$ 이고, $\Delta S_{\text{전체}} > 0$ 이다. $\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이고, $\Delta S_{\text{계}} < 0$ 이므로 $\Delta S_{\text{전체}}$ 가 0보다 크기 위해서는 $\Delta S_{\text{주위}} > 0$ 이면서 $|\Delta S_{\text{계}}| < |\Delta S_{\text{주위}}|$ 이어야 한다.

- 10** ㄴ. (나)는 $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 이고, 절대 온도 T 는 항상 (+) 값이므로 높은 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 될 수 있다.

바로알기 ㄱ. (가)는 $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 이므로 높은 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 될 수 있다. 모든 온도에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 되려면 $\Delta H < 0$, $\Delta S > 0$ 이어야 한다.

ㄷ. 800 K 에서 (가)는 $\Delta G < 0$ 이고, (나)는 $\Delta G > 0$ 이다. 따라서 800 K 에서 (가)는 자발적이고, (나)는 비자발적이다.

$$\begin{aligned} \text{(가)} \quad \Delta G &= \Delta H - T\Delta S \\ &= 98.7\text{ kJ} - \{800\text{ K} \times (0.1416\text{ kJ/K})\} \\ &= -14.58\text{ kJ} < 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(나)} \quad \Delta G &= \Delta H - T\Delta S \\ &= 463.9\text{ kJ} - \{800\text{ K} \times (0.5517\text{ kJ/K})\} \\ &= 22.54\text{ kJ} > 0 \end{aligned}$$

- 11** ㄱ. $\Delta H = -92.2\text{ kJ}$, $\Delta S = -198.7\text{ J/K}$ 이므로 25°C , 즉 298 K 에서 $\Delta G < 0$ 이다. 따라서 25°C 에서 이 반응은 자발적이다.

$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta H - T\Delta S \\ &= -92.2\text{ kJ} - \{298\text{ K} \times (-0.1987\text{ kJ/K})\} \\ &\approx -32.99\text{ kJ} < 0 \end{aligned}$$

ㄷ. 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값이다. 주어진 반응에서 $\Delta H < 0$ 이므로 생성물의 엔탈피 합은 반응물의 엔탈피 합보다 작다.

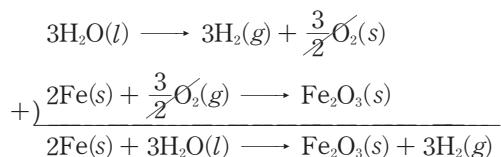
바로알기 ㄴ. 600 K 에서 $\Delta G > 0$ 이므로 600 K 에서 이 반응은 비자발적이다.

$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta H - T\Delta S \\ &= -92.2\text{ kJ} - \{600\text{ K} \times (-0.1987\text{ kJ/K})\} \\ &= 27.02\text{ kJ} > 0 \end{aligned}$$

- 12** ㄱ. 반응 (가)에서 액체가 반응하여 기체를 생성하므로 $\Delta S > 0$ 이다. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta G = 286\text{ kJ} - T\Delta S$ 이므로 $\Delta G < 286\text{ kJ}$ 이다.

ㄴ. (나) 반응은 발열 반응으로 반응하면서 주위로 열을 방출하므로 주위의 엔트로피가 증가한다.

바로알기 ㄷ. 반응 (다)는 '3×반응 (가)+반응 (나)'와 같다.



반응 (다)에서 $\Delta H = 3 \times 286\text{ kJ} + (-824\text{ kJ}) = 34\text{ kJ}$ 이다. 반응 (다)는 $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 이므로 ΔG 의 부호는 온도(T)에 따라 달라진다. $\Delta H - T\Delta S$ 에서 T 의 값이 클수록 $T\Delta S$ 의 값이 커지므로 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 이 된다. 따라서 반응 (다)는 특정 온도보다 높은 온도에서 반응이 자발적이고, 특정 온도보다 낮은 온도에서 반응이 비자발적이다.

1. 평형의 원리

01 화학 평형과 평형 이동

개념 확인 문제

185쪽

1 가역 2 비가역 3 평형, 같 4 최소, =

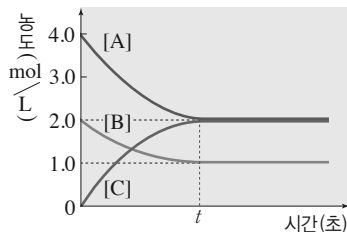
1 (1) \times (2) \circ (3) \circ (4) \circ (5) \times (6) \times (7) \circ 2 $\text{N}_2, \text{H}_2, \text{NH}_3$ 3 (1) 해설 참조 (2) $2\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ 4 (1) 자발적으로 일어난다. (2) 해설 참조 (3) 반응물

- 1 (1), (2) 화학 평형 상태는 닫힌계에서만 일어나며, 반응물과 생성물이 공존하는 동적 평형 상태이다.
 (3), (4) 화학 평형 상태에서는 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나므로 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지된다.
 (5) 순수한 생성물에서 자발적으로 반응이 일어나 평형에 도달한다.
 (6) 화학 반응식의 계수비는 평형에 도달할 때까지 반응한 물질의 농도비와 같으며, 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도비와는 관계가 없다.
 (7) 화학 평형 상태에서 계의 자유 에너지는 최소가 되며, 자유 에너지 변화 $\Delta G=0$ 이다.

2 주어진 반응은 가역 반응으로, 평형 상태에 도달하면 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지된다. 따라서 평형에 도달하였을 때 반응물과 생성물이 모두 존재한다.

3 (1) 반응물의 농도와 생성물의 농도가 일정해지는 구간은 화학 평형 상태이다.

●모범 답안●



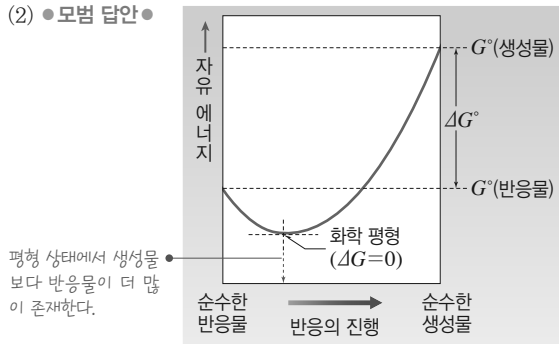
(2) 그림에서 A, B, C의 농도 변화는 다음과 같다.

물질	A	B	C
처음 농도(M)	4.0	2.0	0
평형 농도(M)	2.0	1.0	2.0
반응 농도(M)	-2.0	-1.0	+2.0

화학 반응식의 계수비는 반응한 물질의 몰수비(A : B : C = 2 : 1 : 2)와 같으므로 이 반응의 화학 반응식은 $2\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ 이다.

4 (1) 화학 평형은 반응계의 자유 에너지가 최소가 되는 상태이다. 그림에서 반응물은 자유 에너지가 최소가 아니므로 반응물에서 시작하면 자발적으로 화학 평형 상태에 도달한다.

(2) ●모범 답안●



(3) 평형의 위치가 반응물 쪽으로 치우쳐 있으므로 평형 상태에서 반응물이 더 우세하다.

개념 확인 문제

189쪽

1 일정 2 평형 상수 3 작, 크 4 반응 지수 5 정, 역

B 1 (1) \circ (2) \circ (3) \times (4) \circ (5) \times 2 (1) $K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}$

(2) $K = \frac{1}{[\text{NH}_3][\text{HCl}]}$ (3) $K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 3 2

4 (1) $\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ (2) 4.0 (3) 정반응

- 1 (2), (3) 평형 상수는 온도에 의해서만 변하며, 반응물과 생성물의 농도가 달라져도 농도비인 평형 상수는 달라지지 않는다.
 (4) 역반응의 평형 상수(K')는 정반응의 평형 상수(K)의 역수($\frac{1}{K}$)이다.
 (5) 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 큰 경우($Q > K$)는 평형 상태와 비교할 때 생성물의 농도가 반응물의 농도보다 상대적으로 크다. 따라서 생성물이 소모되는 역반응 쪽으로 반응이 진행된다.

$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ 반응이 평형 상태에 있을 때 평형 상수(K)는 다음과 같다.

• 평형 상수식은 반응물과 생성물의 농도 곱의 비로 나타낸다.

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

단, 순수한 고체(s)나 용매로 사용된 액체(l)는 평형 상수식에 나타내지 않는다.

(2) NH_4Cl 은 고체이므로 평형 상수식에 나타내지 않는다.

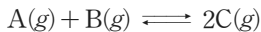
(3) H_2O 은 용매로 사용된 액체이므로 평형 상수식에 나타내지 않는다.

3 $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g)$ 반응이 평형 상태에 있을 때 평형 상수식은 $K = \frac{[AB]^2}{[A_2][B_2]}$ 이다. 이때 평형 상태에서의 몰수는 A_2 , B_2 , AB 가 각각 1몰, 2몰, 2몰이므로 2 L 용기 속 각각의 몰 농도는 $\frac{1}{2}$ M, 1 M, 1 M이다.

평형 상태의 몰 농도를 평형 상수식에 대입하여 구한 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{1^2}{\frac{1}{2} \times 1} = 2$$

4 (1) 반응 농도비는 $A : B : C = (2.0 - 1.0) : (2.0 - 1.0) : 2.0 = 1 : 1 : 2$ 이다. 반응 농도비는 화학 반응식의 계수비와 같으므로 화학 반응식은 다음과 같다.



(2) 평형 상태에서 각 물질의 몰 농도는 A 가 1.0 mol/L, B 가 1.0 mol/L, C 가 2.0 mol/L이다. 평형 상수식에 이 평형 농도를 대입하면 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{2.0^2}{1.0 \times 1.0} = 4.0$$

(3) 반응의 진행 방향은 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)를 비교하여 예측할 수 있다. 반응 지수는 물질의 현재 농도를 평형 상수식에 대입하여 얻은 값이다. A , B , C 의 현재 몰 농도가 각각 2 mol/L, 2 mol/L, 3 mol/L이므로 반응 지수(Q)는 다음과 같다.

$$Q = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{3^2}{2 \times 2} = \frac{9}{4}$$

따라서 반응 지수($=\frac{9}{4}$)가 평형 상수($=4$)보다 작으므로 반응 지수가 평형 상수와 같아지려면 분모(반응물의 농도 곱)는 작아지고 분자(생성물의 농도 곱)는 커지는 방향으로 반응이 진행되어야 한다. 따라서 반응은 정반응 쪽으로 진행된다.

1 감소 2 역반응 3 감소 4 흡열 5 흡열, 발열
6 정반응

Q 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 (1) 정반응 (2) 평형이 이동하지 않는다. (3) 정반응 (4) 역반응 3 작아진다.

D 4 (1) N_2 , H_2 (2) 압력을 높인다. (3) 온도를 낮춘다.

1 르샤틀리에 원리에 따르면 가역 반응이 평형 상태에 있을 때 농도, 압력, 온도의 조건을 변화시키면 그 변화를 감소시키는 방향으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다.

(1) 평형 상태에서 반응물을 첨가하면 반응물의 농도가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(2) 평형 상태에서 온도를 높이면 온도가 낮아지는 방향인 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(3) 평형 상태에서 압력을 높이면 기체의 몰수가 감소하여 압력이 낮아지는 쪽으로 평형이 이동한다.

2 주어진 반응의 정반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응이고, 발열 반응이다.

(1) 생성물인 N_2O_4 를 제거하면 생성물의 농도가 증가하는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(2) 아르곤은 비활성 기체로 반응에 참여하지 않으므로 첨가해도 다른 기체의 부분 압력은 변하지 않아 평형 이동에 영향을 미치지 않는다.

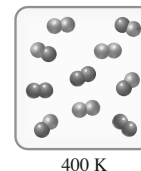
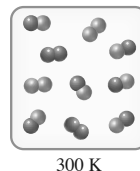
(3) 반응 용기의 부피를 줄여 압력을 높이면 기체의 몰수가 감소하는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(4) 온도를 높이면 온도가 낮아지는 방향인 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동한다. 즉, 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

3

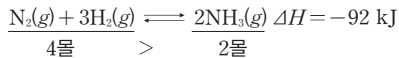
문제 분석하기

반응식은 $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g)$ 이므로 빨간 공과 파란 공이 결합한 것은 AB 이고, 한 종류의 공으로 이루어진 것은 A_2 또는 B_2 이다.



• 온도가 높아졌을 때 AB 의 수가 감소하고 A_2 와 B_2 의 수가 증가했다.
⇒ 역반응이 일어났다.
⇒ 역반응은 흡열 반응이다.

온도가 높아졌을 때 역반응 쪽으로 평형이 이동하였으므로 역반응은 흡열 반응이고, 정반응은 발열 반응이다. 발열 반응은 온도가 높아지면 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 생성물의 농도가 감소하므로 평형 상수가 작아진다.



- $\Delta H < 0$ 이므로 정반응은 발열 반응이다. \Rightarrow 온도를 높이면 흡열 반응 방향인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.
- 정반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응이다. \Rightarrow 압력을 높이면 기체의 몰수가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

- (1) NH_3 의 수득률을 높이기 위해서는 정반응 쪽으로 평형을 이동시켜야 한다. 따라서 첨가할 수 있는 물질은 반응물이다. N_2 나 H_2 를 첨가하면 N_2 나 H_2 의 농도가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.
- (2) 정반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응이다. 따라서 압력을 높이면 기체의 몰수가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 NH_3 의 수득률이 높아진다.
- (3) 평형 상수를 크게 하기 위해서는 평형 상태에서 온도를 변화시켜 정반응이 일어나야 한다. 정반응이 발열 반응이므로 온도를 낮추면 온도가 높아지는 발열 반응 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 생성물의 농도가 증가하므로 평형 상수가 커진다.

대표 자료 분석

196~197쪽

대표 자료 ① 1 A : 정반응, C : 역반응 2 ② 3 (1) ○ (2) ○
(3) ×

대표 자료 ② 1 $[\text{A}] = 3.0 \text{ mol/L}$, $[\text{B}] = 1.0 \text{ mol/L}$, $[\text{C}] = 2.0 \text{ mol/L}$ 2 $\text{A}(\text{g}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$
3 $K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]^3} = \frac{4}{3}$

대표 자료 ③ 1 $a < b$ 2 발열 반응 3 ㄴ, ㄷ

대표 자료 ④ 1 온도는 낮추고, 압력은 높인다. 2 (1) > (2) <
3 (1) × (2) ○ (3) ×

①-1, 2 자유 에너지 변화 $\Delta G < 0$ 일 때 반응이 자발적으로 일어난다. A는 $\Delta G < 0$ 이므로 정반응이 자발적으로 일어나고, B는 $\Delta G = 0$ 이므로 화학 평형 상태이며, C는 $\Delta G > 0$ 이므로 역반응이 자발적으로 일어난다.

①-3 (1) B는 자유 에너지가 최소로 되는 지점으로, $\Delta G = 0$ 이므로 화학 평형 상태이다.

(2) 순수한 반응물에서 출발하면 화학 평형 상태인 B 이후로는 더 이상 정반응이 자발적으로 일어나지 않으므로 실제로는 C에 도달하지 못한다.

(3) 평형 상태인 B의 위치가 생성물 쪽에 가까우므로 평형 상태에서 반응물보다 생성물의 양이 더 많다.

②-1 반응이 진행되면 시간에 따라 농도가 변하다가 평형 상태에 도달하면 농도가 일정해진다. 따라서 그래프에서 수평 구간이 시작되는 시간 t 초에서 평형 상태에 도달하였고, 이 수평 구간의 농도가 평형 상태에서의 농도이다.

②-2 그래프에서 A, B, C의 농도 변화는 다음과 같다.

물질	A	B	C
처음 농도(mol/L)	4.0	4.0	0
평형 농도(mol/L)	3.0	1.0	2.0
반응 농도(mol/L)	-1.0	-3.0	+2.0

화학 반응식의 계수비는 반응한 물질의 농도비(A : B : C = 1.0 : 3.0 : 2.0 = 1 : 3 : 2)와 같으므로 이 반응의 화학 반응식은 $\text{A}(\text{g}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ 이다.

②-3 화학 반응식의 계수를 이용하여 평형 상수식을 나타내면 $K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]^3}$ 이다. 이 평형 상수식에 각 물질의 평형 농도를 대입하여 평형 상수(K)를 구하면 다음과 같다.

$$K = \frac{2.0^2}{3.0 \times 1.0^3} = \frac{4}{3}$$

③-1 기체 B를 첨가하면 생성물인 B의 농도를 감소시키는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 이때 전체 압력이 감소하므로 역반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응임을 알 수 있다. 따라서 화학 반응식의 계수는 $a < b$ 이다.

③-2 온도를 낮추면 전체 압력이 증가하므로 정반응 쪽으로 평형이 이동하였음을 알 수 있다. 온도를 낮추면 평형은 발열 반응 쪽으로 이동하므로 정반응이 발열 반응이다.

③-3 ㄴ. 기체 A를 첨가하면 반응물인 A의 농도를 감소시키는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄷ. 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 크다.

바로알기 ㄱ. t_4 이후 구간은 $t_2 \sim t_3$ 구간보다 온도가 낮다. 발열 반응에서 온도를 낮추면 생성물의 농도가 증가하여 평형 상수가 커진다. 따라서 $t_2 \sim t_3$ 구간의 평형 상수보다 t_4 이후 구간의 평형 상수가 더 크다.

④-1 주어진 그림에서 온도가 낮을수록, 압력이 높을수록 생성물 C의 수득률이 커지는 것을 알 수 있다.

④-2 (1) 압력이 높을수록 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 수득률이 커진다. 압력을 높이면 기체의 몰수가 감소하는 방향으로 평형이 이동하므로 정반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응이다. 즉, 화학 반응식의 계수는 $a+b > c$ 이다.

(2) 온도가 낮을수록 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 수득률이 커진다. 온도를 낮추면 온도가 높아지는 발열 반응 쪽으로 평형이 이동하므로 정반응은 발열 반응이다. 즉, $\Delta H < 0$ 이다.

④-3 (1) 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 반응물의 엔탈피 합보다 생성물의 엔탈피 합이 더 작다. 즉, 반응물보다 생성물이 더 안정하다.

(2) 발열 반응은 온도가 높을수록 생성물의 농도가 감소하여 평형 상수가 작아진다.

(3) 촉매는 수득률과 관계가 없으며, 반응 속도를 변화시키는 물질이다.

나선 만점 문제

198~203쪽

01 ㄷ, ㄹ 02 ④ 03 ⑤ 04 ③ 05 ③ 06 ③ 07 4
08 ④ 09 ④ 10 ⑤ 11 ④ 12 ④ 13 ① 14 ① 15
③ 16 ② 17 ① 18 ④ 19 ② 20 ⑤ 21 ④ 22 ③
23 ㄱ, ㄴ 24 해설 참조 25 해설 참조 26 해설 참조

01 ㄷ. 물질의 연소 반응과 같이 방출되는 열에너지가 매우 큰 발열 반응은 역반응이 일어나기 어렵다.

ㄹ. 마그네슘과 염산의 반응은 발열 반응이고 기체가 발생한다. 기체가 발생하는 반응에서는 엔트로피가 크게 증가하므로 역반응이 일어나기 어렵다.

02 ① 평형 상태에서는 반응물과 생성물이 함께 존재한다.

②, ③ 평형 상태에서는 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지되므로 용기 속 기체의 압력과 색깔이 일정하게 유지된다.

⑤ 평형 상태는 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나는 동적 평형 상태이다.

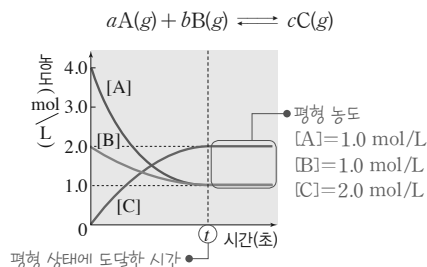
바로알기 ④ 화학 반응식의 계수비는 평형 상태에서 물질의 농도비와는 관계가 없으며, 평형에 도달할 때까지 반응한 물질의 농도비와 같다. 주어진 조건으로는 평형 상태에서 NO_2 와 N_2O_4 의 농도비를 알 수 없다.

03 가역 반응이므로 반응물만 넣거나, 생성물만 넣거나, 또는 반응물과 생성물을 함께 넣어도 정반응이나 역반응이 일어나 평형 상태에 도달한다.

바로알기 ㄱ. 반응물 중 하나인 H_2 만 넣었으므로 I_2 이 없어서 정반응이 일어나지 않으며 평형 상태에 도달할 수 없다.

04

문제 분석하기



물질	A	B	C
처음 농도(mol/L)	4.0	2.0	0
평형 농도(mol/L)	1.0	1.0	2.0
반응 농도(mol/L)	-3.0	-1.0	+2.0

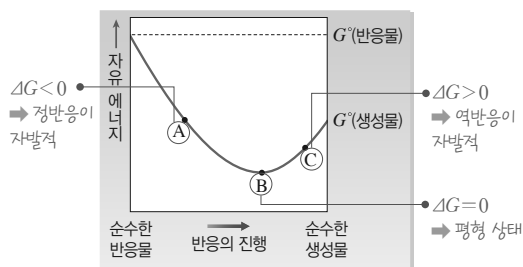
ㄱ. 평형 상태에 도달한 시간은 수평 구간이 시작되는 t 초로, 평형 상태에서는 반응물과 생성물의 농도가 일정하다.

ㄴ. 반응한 물질의 농도비는 화학 반응식의 계수비와 같다. 각 물질이 반응한 농도비가 $A : B : C = 3 : 1 : 2$ 이므로 화학 반응식은 $3A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 이다. 따라서 계수의 합은 $a+b+c=6$ 이다.

바로알기 ㄷ. 용기의 부피가 1 L이므로 기체의 몰수는 몰 농도와 같다. 평형 상태에서 기체의 총 몰수는 1몰(A)+1몰(B)+2몰(C)=4몰이고 C는 2몰이므로 C의 몰 분율은 $\frac{2\text{몰}}{4\text{몰}}=0.5$ 이다.

05

문제 분석하기



ㄱ. B에서 자유 에너지가 최소이며, 자유 에너지 변화 $\Delta G=0$ 이다. 따라서 B는 화학 평형 상태이다.

ㄷ. 평형 상태인 B가 생성물 쪽에 치우쳐 있으므로 반응물보다 생성물의 양이 더 많다.

바로알기 ㄴ. A에서는 $\Delta G < 0$ 이므로 정반응이 자발적으로 일어나고, C에서는 $\Delta G > 0$ 이므로 역반응이 자발적으로 일어난다.

06 자발적인 변화는 계의 자유 에너지가 최소가 되는 방향으로 일어난다. 평형 상태에서는 계의 자유 에너지가 최소이므로 자유 에너지 변화 $\Delta G=0$ 이다.

①, ② 순수한 반응물이나 순수한 생성물의 자유 에너지는 평형 상태보다 크다.

④ 자발적으로 정반응이 진행될 때 자유 에너지는 감소하므로 $\Delta G < 0$ 이다.

⑤ 평형 상태에 도달하면 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지되므로 기체 A와 B의 부분 압력은 일정하게 유지된다.

바로알기 ③ 평형 상태에서는 계의 자유 에너지가 최소이다.

07 용기의 부피가 2 L이므로 기체 A의 처음 농도는 $[A]=0.5 \text{ M}$ 이고, 기체 B의 평형 농도는 $[B]=0.4 \text{ M}$ 이다. 평형에 도달할 때까지 반응물과 생성물의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) \rightleftharpoons B(g)$	
처음 농도(M)	0.5	0
반응 농도(M)	-0.4	+0.4
평형 농도(M)	0.1	0.4

따라서 평형 상수식에 평형 농도를 대입하여 평형 상수(K)를 구하면 다음과 같다.

$$K = \frac{[B]}{[A]} = \frac{0.4}{0.1} = 4$$

08 $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ 의 반응에서 평형 상수식은

$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$ 이다. 실험 1, 2의 평형 농도를 대입하여 평형 상수를 구하면 다음과 같다.

$$\text{실험 1 : } K = \frac{8.0^2}{2.0 \times 4.0} = 8.0$$

$$\text{실험 2 : } K = \frac{8.0^2}{4.0 \times 2.0} = 8.0$$

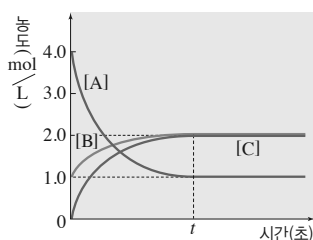
따라서 실험 3의 평형 상수도 8.0이므로 HI의 평형 농도 (가)를 x 라 하면 $\frac{x^2}{2.0 \times 1.0} = 8.0$, $x = 4.0$ 이다.

09

문제 분석하기

용기에 넣은 두 기체 중 A의 농도는 감소하고, B의 농도는 증가하였다.

→ A가 반응물이므로, B와 C는 생성물이다.



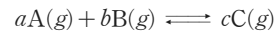
- 반응한 물질의 농도 = 처음 농도 - 평형 농도
 $[A] = 4.0 - 1.0 = 3.0 (\text{mol/L})$
- 생성된 물질의 농도 = 평형 농도 - 처음 농도
 $[B] = 2.0 - 1.0 = 1.0 (\text{mol/L})$
 $[C] = 2.0 - 0 = 2.0 (\text{mol/L})$

평형에 도달할 때까지 반응한 농도비는 $A : B : C = 3 : 1 : 2$ 이므로 화학 반응식은 $3A(g) \rightleftharpoons B(g) + 2C(g)$ 이다. 각 물질의 평형 농도는 $[A]=1.0 \text{ mol/L}$, $[B]=[C]=2.0 \text{ mol/L}$ 이므로 평형 상수식에 평형 농도를 대입하여 평형 상수(K)를 구하면 다음과 같다.

$$K = \frac{[B][C]^2}{[A]^3} = \frac{2.0 \times 2.0^2}{1.0^3} = 8.0$$

10

문제 분석하기



평형 농도와 처음 농도의 차를 이용하여 반응한 농도를 구하면 다음과 같다.

물질	A	B	C
처음 농도(mol/L)	0.4	0.4	0
평형 농도(mol/L)	0.3	0.3	0.2
반응 농도(mol/L)	-0.1	-0.1	+0.2

평형 상태에 도달할 때까지 반응한 각 물질의 농도비는
 $A : B : C = 1 : 1 : 2$ 이다.
 → 화학 반응식 : $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$

(가) 평형 상수식에 평형 농도를 대입하여 평형 상수(K)를 구하면 다음과 같다.

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{0.2^2}{0.3 \times 0.3} = \frac{4}{9}$$

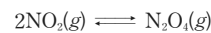
(나) 1 L 용기에 A, B, C를 각각 1몰씩 넣으면 각 물질의 농도는 $[A]=[B]=[C]=1 \text{ mol/L}$ 이며, 반응 지수(Q)를 구하면 다음과 같다.

$$Q = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{1^2}{1 \times 1} = 1$$

따라서 $Q > K$ 이므로 역반응 쪽으로 반응이 진행되다가 평형 상태에 도달한다.

11

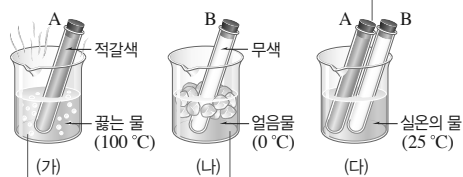
문제 분석하기



적갈색

무색

(가)와 (나)의 시험관 A, B를 25°C 의 물속에 넣으면 같은 평형 상태에 도달한다.



- 온도를 높이면 적갈색이 진해진다. → 평형이 역반응 쪽으로 이동하였다.
- 역반응은 흡열 반응이다.
- 온도를 낮추면 거의 무색이 된다. → 평형이 정반응 쪽으로 이동하였다.
- 정반응은 발열 반응이다.

ㄴ. 처음에 시험관 A와 B에 넣은 NO₂의 양이 같으므로 같은 온도에서 평형 농도가 같다. 따라서 (다)에서 평형 상태가 되면 시험관 A와 B의 색깔이 거의 같아진다.

ㄷ. (나)에서 온도를 낮추면 거의 무색을 나타내므로 정반응은 발열 반응이다. 따라서 이 반응은 온도가 낮을수록 평형이 정반응 쪽으로 이동하여 평형 상수가 커지므로 평형 상수는 (가)보다 (나)에서 더 크다.

바로알기 ㄱ. 평형 상태에서는 항상 반응물과 생성물이 함께 존재한다. (가)에서 시험관 A에는 다량의 NO₂와 소량의 N₂O₄가 함께 존재한다.

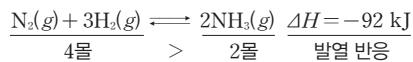
12 ㄱ. 그림에서 $A(g) + B(g) \rightleftharpoons AB(g)$ 의 반응이 평형 상태에 있을 때 각 물질의 몰수비는 A : B : AB = 3 : 3 : 1이다. 따라서 평형 상태에서 AB의 몰 분율은 $\frac{1}{3+3+1} = \frac{1}{7}$ 이다.

ㄴ. 평형 상태에서 압력을 가하면 압력을 감소시키는 방향, 즉 기체의 몰수가 감소하는 방향으로 평형이 이동한다. 따라서 기체의 몰수가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

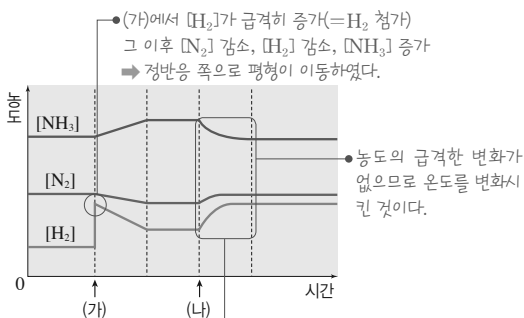
바로알기 ㄷ. 같은 온도를 유지하며 이 용기에 생성물인 AB를 첨가하면 역반응 쪽으로 평형 이동이 일어나지만 온도가 일정하므로 평형 상수는 변하지 않는다.

13

문제 분석하기



- 정반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응이다.
- $\Delta H < 0$ 이므로 정반응은 발열 반응(역반응은 흡열 반응)이다.
- ➔ 온도를 높이면 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.



- (가) 이후 [N₂] 증가, [H₂] 증가, [NH₃] 감소
➔ 역반응 쪽으로 평형이 이동하였다.
- ➔ 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동하였다.
- ➔ 온도를 높였다.

(가) H₂의 농도가 급격히 증가하였으므로 H₂를 첨가한 것이다. H₂ 첨가에 의해 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 H₂, N₂의 농도는 감소하고 NH₃의 농도는 증가하여 새로운 평형에 도달하였다.

(나) 농도의 급격한 변화 없이 생성물인 NH₃의 농도는 감소하고 반응물인 H₂와 N₂의 농도가 증가하였으므로 온도가 높아져 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동한 것이다.

14 ① 주어진 반응에서 반응물과 생성물이 모두 기체이고, 양쪽 계수의 합이 2로 같으므로 압력을 변화시켜도 평형이 이동하지 않는다. 따라서 외부 압력이 2배로 되면 용기 내 전체 압력도 2배로 되고 더 이상 변화가 없다.

이를 반응 지수를 이용하여 확인해 볼 수 있다. 압력이 2배로 되어 부피가 반으로 줄어들면 모든 기체의 몰 농도가 2배로 된다. 따라서 반응 지수(Q)는 다음과 같이 평형 상수(K)와 같으므로 평형은 이동하지 않는다.

$$\bullet K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} \quad \bullet Q = \frac{(2[HI])^2}{2[H_2] \times 2[I_2]} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = K$$

15 ㄱ. 정반응이 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 실린더 속의 온도를 낮추면 온도가 높아지는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄷ. 일산화 탄소(CO)를 첨가하면 CO의 농도가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

바로알기 ㄴ. 반응물과 생성물이 모두 기체 상태이고 양쪽 계수의 합이 2로 같으므로 정반응이나 역반응에 의해 기체의 몰수 변화는 없다. 따라서 용기의 부피가 변해 압력이 변해도 평형은 이동하지 않는다.

16 이 반응에서 평형 상수가 커지기 위해서는 온도가 변하여 정반응이 일어나야 한다.

ㄴ. 정반응이 발열 반응($\Delta H < 0$)이므로 용기의 온도를 낮추면 온도를 높이는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 평형 상수가 커진다.

바로알기 ㄱ. 온도가 변하지 않으므로 압력이 변해도 평형 상수는 달라지지 않는다. 또한, 이 반응은 반응물과 생성물의 기체 계수 합이 같아 압력에 의해 평형이 이동하지 않는다.

ㄷ. 브로민화 수소(HBr)를 제거하면 정반응이 일어나지만 온도가 변하지 않았으므로 평형 상수는 달라지지 않는다.

17

문제 분석하기

압력이 일정할 때 온도가 높을수록 평형 상수가 커진다. ●

실험	온도(°C)	압력(기압)	평형 상수
1	15	100	1.5×10^{-2}
2	28	100	2.1×10^{-1}
3	28	200	2.1×10^{-1}

온도가 일정할 때 압력이 커져도 평형 상수는 일정하다. ●

주어진 표에서 실험 1과 실험 2를 비교하면 압력이 일정할 때 온도가 높을수록 평형 상수가 커진다. 따라서 온도가 높을수록 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 정반응이 흡열 반응임을 알 수 있다.

ㄱ. 온도가 높아지면 온도를 낮추는 흡열 반응 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

바로알기 ㄴ. 실험 2와 실험 3을 비교하면 온도가 일정할 때 압력이 2배로 되어도 평형 상수는 일정하다. 평형 상수는 온도가 일정하면 변하지 않으므로 이 자료만으로는 $a=b$ 인지 알 수 없다. ㄷ. 주어진 반응은 흡열 반응이며, 반응열(Q)과 반응 엔탈피(ΔH)는 부호가 반대이므로 $Q < 0$, $\Delta H > 0$ 이다.

18 주어진 농도를 표로 정리하면 다음과 같다.

평형 상태	평형 농도(mol/L)		
	A	B	C
(가)	1.0	1.0	1.0
(나)	0.8	1.5	1.2
(다)	0.6	1.3	$x=1.4$

강철 용기이므로 부피의 변화에 의한 압력 변화는 고려할 필요가 없다. 따라서 농도의 변화와 온도의 변화만 고려하면 된다.

조건 I : (가)에서 (나)로 평형이 이동할 때 반응물 A는 0.2 mol/L만큼 감소하고 생성물 C는 0.2 mol/L만큼 증가했는데, 반응물 B는 0.2 mol/L만큼 감소하지 않고 오히려 0.5 mol/L이 증가하였다. 이것은 조건 I에서 반응물 B가 첨가되었으며, 첨가 후 정반응 쪽으로 평형이 이동한 것을 뜻한다.

조건 II : (나)에서 (다)로 평형이 이동할 때 반응물 A와 B의 농도가 각각 0.2 mol/L만큼 감소하므로 C는 0.2 mol/L만큼 증가하여 1.4 mol/L가 된다.

평형 상수식에 평형 농도를 대입하여 (가)~(다)의 평형 상수(K)를 구하면 다음과 같다.

$$(가) K = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{1.0}{1.0 \times 1.0} = 1.0$$

$$(나) K = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{1.2}{0.8 \times 1.5} = 1.0$$

$$(다) K = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{1.4}{0.6 \times 1.3} \approx 1.8$$

① (가)에서 (나)로 평형이 이동하면서 평형 상수는 일정하므로 온도는 일정하다.

② 조건 I은 B를 0.7몰만큼 첨가한 것이다.

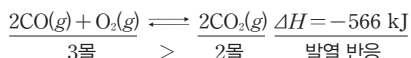
③ (다)에서 C의 몰수(x)는 1.2몰+0.2몰=1.4몰이다.

⑤ (다)의 평형 상수는 약 1.8로 (가)보다 크다.

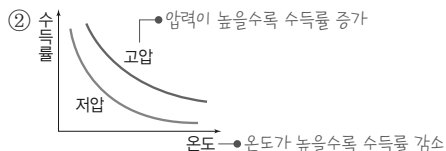
바로알기 ④ (나)에서 (다)로 평형이 이동할 때 평형 상수가 커졌으므로 정반응이 일어난 것인데, 정반응은 발열 반응이므로 조건 II는 온도를 낮춘 것이다.

19

문제 분석하기

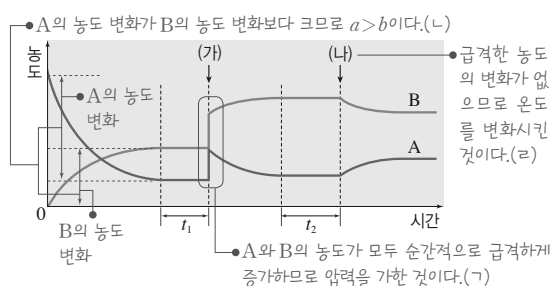


- 정반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응이다. \Rightarrow 압력을 높이면 기체의 몰수가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. \Rightarrow 압력이 높을수록 수득률이 증가한다.
- $\Delta H < 0$ 이므로 정반응은 발열 반응(역반응은 흡열 반응)이다. \Rightarrow 온도를 높이면 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. \Rightarrow 온도가 높을수록 수득률이 감소한다.



20

문제 분석하기



ㄷ. t_1 구간과 t_2 구간에서 온도가 일정하므로 평형 상수는 같다.

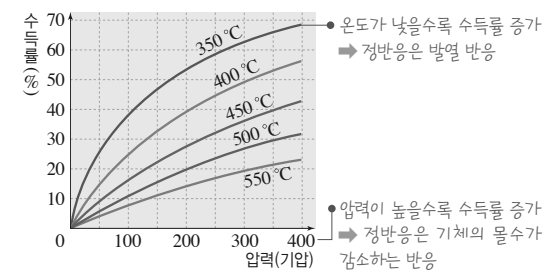
21 ㄱ. 평형이 정반응 쪽으로 이동하면 수득률이 증가하고, 역반응 쪽으로 이동하면 수득률이 감소한다. 이 반응은 온도를 높였을 때 수득률이 증가하였으므로 평형이 정반응 쪽으로 이동하였다. 따라서 정반응은 흡열 반응이므로 $\Delta H > 0$ 이다.

ㄷ. 이 반응은 가역 반응이므로 용기에 기체 C만 들어 있을 때조차 자발적으로 반응이 일어나 평형에 도달한다.

바로알기 ㄴ. 이 반응은 반응 전과 후 기체의 총 몰수가 같으므로 압력을 높여도 평형이 이동하지 않는다.

22

문제 분석하기



ㄷ. 정반응이 발열 반응이므로 온도가 높을수록 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 생성물의 농도가 감소하므로 평형 상수가 작아진다.

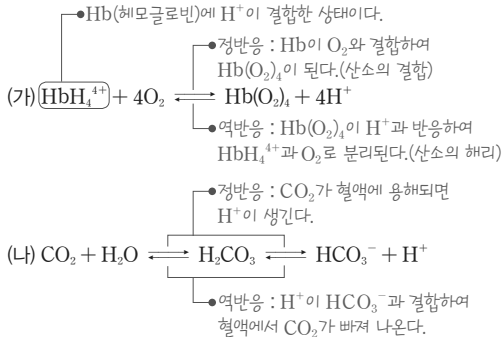
바로알기 ㄱ. 압력이 높을수록 정반응이 일어나므로 $a+b > c$ 이다.

ㄴ. 촉매를 사용하면 반응 속도만 달라지며 C의 수득률은 달라지지 않는다.

23

문제 분석하기

• 혈액 속의 산소 운반 반응식



ㄱ. O_2 의 농도가 큰 폐에서는 (가) 반응의 평형이 O_2 의 농도를 감소시키는 방향인 정반응 쪽으로 이동한다. 따라서 혈액 내 O_2 가 Hb과 결합한 상태인 $Hb(O_2)_4$ 의 형태로 조직 세포까지 운반된다.

ㄴ. 혈액 내 HCO_3^- 의 농도가 증가하면 (나) 반응에서 HCO_3^- 의 농도를 감소시키는 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 혈액 내 H^+ 의 농도가 감소한다. 따라서 (가) 반응의 평형은 정반응 쪽으로 이동하므로 Hb와 O_2 의 결합이 촉진된다.

바로알기 ㄷ. 운동을 하면 근육 세포에서 CO_2 의 농도가 증가하므로 (나) 반응의 평형은 정반응 쪽으로 이동하여 H^+ 의 농도가 증가한다. H^+ 의 농도가 증가함에 따라 (가) 반응의 평형은 역반응 쪽으로 이동한다.

24

문제 분석하기

반응의 진행 방향은 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)의 크기를 비교하면 알 수 있다.

반응 지수(Q) : 물질의 현재 농도를 평형 상수식에 대입하여 얻은 값

- $Q < K$: 반응이 정반응 쪽으로 진행
- $Q = K$: 평형 상태 유지
- $Q > K$: 반응이 역반응 쪽으로 진행

주어진 반응식 $A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$ 에서 평형 상수식은

$$K = \frac{[C]}{[A][B]}$$

이때 A, B, C의 현재 몰 농도가 모두 0.5 mol/L이므로 반응 지수(Q)를 구하면 다음과 같다.

$$Q = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{0.5}{0.5 \times 0.5} = 2$$

• 온도가 400 K일 때 $Q(=2) < K(=3)$ 이다. 따라서 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)와 같아지려면 평형 상수식의 분자(생성물의 농도)가 커져야 하므로 반응은 정반응 쪽으로 진행된다.

• 온도가 450 K일 때 $Q(=2) > K(=0.2)$ 이다. 따라서 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)와 같아지려면 평형 상수식의 분자(생성물의 농도)가 작아져야 하므로 반응은 역반응 쪽으로 진행된다.

● 모범 답안 ● 400 K에서는 $Q < K$ 이므로 정반응이 진행되고, 450 K에서는 $Q > K$ 이므로 역반응이 진행된다.

채점 기준	배점
400 K과 450 K에서 반응의 진행 방향을 모두 옳게 예측하여 서술한 경우	100 %
400 K과 450 K에서 반응의 진행 방향 중 한 가지만 옳게 예측하여 서술한 경우	50 %

25 $2A(g) \rightleftharpoons B(g) \quad \Delta H < 0$

적갈색 무색 발열 반응

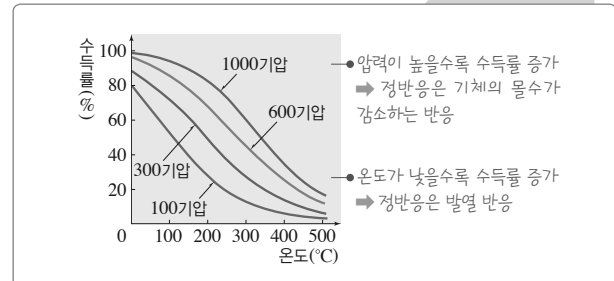
정반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응이고, 발열 반응이다. 온도를 높이면 온도가 낮아지는 흡열 반응 방향인 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 적갈색이 진해진다. 압력을 높이면 기체의 몰수가 감소하는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 적갈색이 연해진다.

● 모범 답안 ● 온도를 높이면 적갈색이 진해지고, 압력을 높이면 적갈색이 연해진다.

채점 기준	배점
온도를 높일 때와 압력을 높일 때 색 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
온도를 높일 때와 압력을 높일 때 색 변화 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

26

문제 분석하기



● 모범 답안 ● $a+b > c$ 이고, $\Delta H < 0$ 이다.

채점 기준	배점
$a+b, c$ 의 크기를 옳게 비교하고, ΔH 의 부호를 옳게 쓴 경우	100 %
$a+b, c$ 의 크기만 옳게 비교하거나, ΔH 의 부호만 옳게 쓴 경우	50 %

02 상평형과 용해 평형

개념 확인 문제

207쪽

- 1 증기 압력 2 높 3 끓는점 4 상평형 그림 5 삼중점
6 용해, 음(-), 양(+)

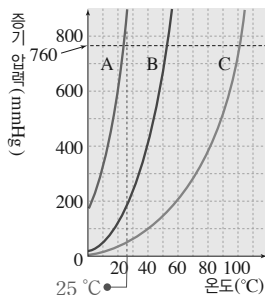
- A 1 (1) ○ (2) × (3) × 2 (1) A (2) $A < B < C$ (3) $A < B < C$
B 3 (1) × (2) ○ (3) ○ 4 (1) X : 고체, Y : 액체, Z : 기체
(2) 온도를 높인다, 압력을 낮춘다. (3) AT (4) CT

- 1 (1) 증기 압력은 일정한 온도에서 액체와 그 증기가 동적 평형 상태에 있을 때 증기가 나타내는 압력이다.
(2) 같은 온도에서 분자 간 인력이 작을수록 분자 간 인력을 극복하고 떨어져 나가 기체로 되기 쉬우므로 증발이 잘 일어나 증기 압력이 크다.
(3) 증기 압력은 액체와 그 증기가 동적 평형에 있을 때 증기의 압력을 말한다. 따라서 증기 압력을 측정할 때는 증기가 반드시 액체와 함께 존재하여 평형 상태임을 확인해야 한다.

2

문제 분석하기

- 가로축의 특정 온도에서 세로로 직선을 그렸을 때 증기 압력 곡선과 만나는 점의 압력이 각 물질의 증기 압력이다.
→ 25 °C에서 증기 압력 : $A > B > C$ ((1))



- 세로축의 1기압(760 mmHg)에서 가로로 직선을 그렸을 때 증기 압력 곡선과 만나는 점의 온도가 각 물질의 기준 끓는점이다.
→ 기준 끓는점 : $A < B < C$ ((2))

- (2) 끓는점은 액체의 증기 압력이 외부 압력과 같아지는 온도이며, 기준 끓는점은 외부 압력이 1기압일 때의 끓는점을 말한다.
(3) 분자 간 인력이 작은 물질일수록 같은 온도에서 증기 압력이 크다. 증기 압력은 $A > B > C$ 순이므로 분자 간 인력은 $A < B < C$ 순이다.

- 3 (1) 물은 압력이 높아지면 녹는점은 낮아지고, 끓는점은 높아진다.

- (2) 이산화 탄소는 삼중점의 압력이 5.1기압이므로 1기압(대기압) 상태에서 승화가 일어나는 승화성 물질이다.
(3) 온도가 높아질수록 승화 곡선과 증기 압력 곡선의 압력은 커진다. 또한, 온도가 높아질수록 대부분 물질의 용해 곡선의 압력은 커지지만, 물(얼음)의 경우는 용해 곡선의 압력이 작아진다.

- 4 상평형 그림에서 AT는 승화 곡선, BT는 용해 곡선, CT는 증기 압력 곡선이다.

- (1) 점 X는 고체, 점 Y는 액체, 점 Z는 기체 상태이다.
(2) 점 Y는 액체 상태를 나타내며, 점 Y의 상태를 기체 상태로 변화시키려면 점 Y를 오른쪽으로 이동시키거나 아래로 이동시키면 되므로 온도를 높이거나 압력을 낮추면 된다.
(3) 식품의 동결 건조는 얼음(고체)의 승화에 의해 일어나므로 승화 곡선 AT로 설명할 수 있다.
(4) 압력솥을 이용하면 압력이 높아 물의 끓는점이 높아지므로 음식이 높은 온도에서 빨리 익는다. 외부 압력에 따른 끓는점 변화는 증기 압력 곡선 CT로 설명할 수 있다.

개념 확인 문제

212쪽

- 1 용해 2 용해 평형 3 포화 4 용해도 5 증가, 감소
6 헨리 법칙

- C/D 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 (1) 22 g (2) 24.3 g (3) 질산 칼륨, 6.84 g 3 ④ 4 0.072 g 5 ㉠ 2a, ㉡ 3a, ㉢ V, ㉣ V

- 1 (1) 자발적으로 용해가 일어나려면 용해 과정의 자유 에너지 변화 $\Delta G_{\text{용해}} < 0$ 이어야 한다.
(2) 불포화 용액은 포화 용액보다 용질이 적게 녹아 있어서 용질을 더 녹일 수 있는 용액으로, 용해 속도가 석출 속도보다 크다.
(3) 물질의 용해도는 독립적으로 작용하므로 공기로 포화된 물에도 헬륨은 약간 녹는다.

- 2 (1) 60 °C에서 질산 칼륨의 용해도는 110.0이므로 물 100 g에 질산 칼륨 110.0 g이 최대 녹을 수 있다. 따라서 물 20 g에 최대 녹을 수 있는 질산 칼륨의 질량(x)은 다음과 같이 용해도를 이용하여 비례식으로 구한다.

$$100 \text{ g} : 110.0 \text{ g} = 20 \text{ g} : x, x = 22 \text{ g}$$

- (2) 80 °C에서 질산 나트륨의 용해도는 148.2이므로 물 100 g에 질산 나트륨 148.2 g이 녹아 포화 수용액 248.2 g(=100 g + 148.2 g)이 된다.

이 용액을 20 °C로 냉각하면 20 °C에서 질산 나트륨의 용해도가 88.0이므로 60.2 g(=148.2 g-88.0 g)이 결정으로 석출된다. 따라서 80 °C 질산 나트륨 포화 수용액 100 g을 20 °C로 냉각할 때 석출되는 질산 나트륨의 질량(x)은 다음과 같이 비례식으로 구한다.

$$248.2 \text{ g} : 60.2 \text{ g} = 100 \text{ g} : x, x \approx 24.3 \text{ g}$$

(3) 질산 칼륨 10 g과 염화 나트륨 1 g이 혼합된 고체는 80 °C 물 10 g에 모두 녹는다. 20 °C에서 질산 칼륨의 용해도는 31.6, 염화 나트륨의 용해도는 36.0이므로 물 10 g에 질산 칼륨은 최대 3.16 g 녹을 수 있고, 염화 나트륨은 최대 3.60 g 녹을 수 있다. 따라서 용액을 20 °C로 냉각하면 질산 칼륨은 6.84 g(=10 g-3.16 g) 석출되고, 염화 나트륨은 석출되지 않는다.

3 헨리 법칙은 일정한 온도에서 일정량의 용매에 용해되는 기체의 질량은 그 기체의 부분 압력에 비례한다는 것으로, 수소(H₂), 산소(O₂), 질소(N₂), 헬륨(He) 등 물에 대한 용해도가 크지 않은 기체에 대해 잘 적용된다.

염화 수소(HCl), 이산화 황(SO₂), 암모니아(NH₃)와 같이 물에 대한 용해도가 큰 기체는 압력에 관계없이 잘 녹기 때문에 헨리 법칙이 잘 적용되지 않는다.

4 헨리 법칙에 따르면 일정한 온도에서 일정량의 용매에 용해되는 기체의 질량은 그 기체의 부분 압력에 비례한다. 질소 기체는 물에 대한 용해도가 크지 않으므로 헨리 법칙이 잘 적용된다. 20 °C, 1기압에서 물 1 L에 질소 기체 0.018 g이 녹으므로 20 °C, 4기압에서 물 1 L에는 0.072 g(=0.018 g×4)이 녹는다.

5 헨리 법칙에 의해 압력이 2배, 3배가 되면 용해되는 기체의 질량은 2배(㉠), 3배(㉡)가 되어 기체의 부피도 2배, 3배가 되어야 하지만 보일 법칙에 의해 기체의 부피가 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ 로 되므로 용해되는 기체의 부피는 변함없다(㉢, ㉣).

①-1 주어진 그림에서 액체 A 쪽 수은 기둥의 높이가 더 높은 것은 액체 B의 증기 압력이 액체 A보다 커서 수은 기둥을 더 많이 밀어내기 때문이다.

①-2 (1) 증기 압력이 크면 증발이 잘 일어난다. 즉, 휘발성은 크므로 휘발성은 A<B이다.

(2) 분자 간 인력이 크면 액체가 증발하기 어려우므로 증기 압력이 작다. 따라서 분자 간 인력은 A>B이다.

(3) 물 증발열은 액체 1몰을 같은 온도의 증기로 만드는 데 필요한 열량이므로 물 증발열이 큰 액체는 증기 압력이 작다. 따라서 물 증발열은 A>B이다.

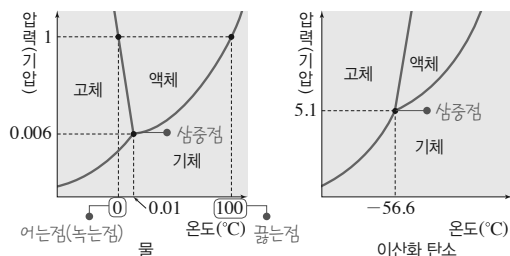
①-3 액체 A의 증기 압력을 높여야 양쪽 액체의 증기 압력이 같아지므로 액체 A의 온도를 높여야 한다.

①-4 두 액체의 증기 압력의 차에 의해 수은 기둥의 높이가 나타나는데, 증기 압력은 액체의 양과 관계가 없다. 즉, 액체 A를 더 넣어 주어도 수은 기둥의 높이는 변하지 않는다.

②-1

문제 분석하기

• 어는점(녹는점)은 대기압(1기압)에서 가로로 직선을 그렸을 때 용해 곡선과 만나는 온도이고, 끓는점은 대기압(1기압)에서 가로로 직선을 그렸을 때 증기 압력 곡선과 만나는 온도이다.



②-2 상평형 그림에서 고체와 액체의 경계는 용해 곡선이다. 물은 용해 곡선이 음(-)의 기울기를 가지므로 압력이 높을수록 녹는점(어는점)이 낮아지지만, 이산화 탄소는 용해 곡선이 양(+)의 기울기를 가지므로 압력이 높을수록 녹는점(어는점)이 높아진다.

②-3 (1) 이산화 탄소는 5.1기압, -56.6 °C에서 고체, 액체, 기체의 세 가지 상이 평형을 이루므로 이 점은 삼중점이다.

(2) 물은 1기압에서 온도에 따라 고체, 액체, 기체 상태를 모두 관찰할 수 있다. 하지만 이산화 탄소는 삼중점이 1기압보다 높으므로 1기압에서 승화된다. 즉, 1기압에서 이산화 탄소의 액체 상태를 관찰할 수 없다.

대표 자료 분석

213~214쪽

대표 자료 ① 1 B 2 (1) A<B (2) A>B (3) A>B 3 높인다.

4 변화 없다.

대표 자료 ② 1 (1) 0 °C (2) 100 °C 2 (1)-㉡-㉢ (2)-㉠-㉣
3 (1) ○ (2) × (3) ○

대표 자료 ③ 1 X : 110 g, Y : 45 g 2 3 m 3 31.03 % 4 ②

대표 자료 ④ 1 ㄱ, ㄴ 2 (가) 740 mmHg (나) 1480 mmHg
3 (1) ○ (2) ×

(3) 상평형 그림에서 액체와 기체의 경계는 증기 압력 곡선이다. 따라서 물과 이산화 탄소 모두 온도가 높을수록 증기 압력이 커짐을 알 수 있다.

③-1 용해도는 물 100 g에 최대 녹을 수 있는 용질의 g수를 의미하므로 60 °C의 물 100 g에 X는 110 g, Y는 45 g이 최대 녹을 수 있다.

③-2 몰랄 농도는 물 1 kg(=1000 g)에 녹아 있는 용질의 몰수이다. 용해도는 물 100 g에 녹아 있는 용질의 g수이므로 몰랄 농도는 용해도에 10을 곱한 후 화학식량으로 나눈 값이다.

따라서 20 °C에서 X의 포화 수용액의 몰랄 농도 = $\frac{30 \times 10}{100} = 3(m)$ 이다.

③-3 60 °C에서 Y의 포화 수용액은 물 100 g에 Y가 45 g 녹아 있으므로 퍼센트 농도 = $\frac{45}{100+45} \times 100 \approx 31.03(\%)$ 이다.

③-4 60 °C에서 X와 Y의 용해도가 각각 110과 45이므로 물 50 g에 X 55 g과 Y 15 g은 모두 녹아 있다. 혼합 용액을 20 °C로 냉각하면 X와 Y는 모두 최대 15 g까지만 녹을 수 있으므로 Y는 모두 녹지만, X는 40 g(=55 g-15 g)이 결정으로 석출된다.

④-1 물과 반응하지 않고 물에 잘 녹지 않는 기체인 수소(H₂)와 헬륨(He)은 헨리 법칙이 잘 적용된다. 이산화 황(SO₂)은 물에 잘 녹는 기체이므로 헨리 법칙이 적용되지 않는다.

④-2 이 온도에서 수증기압은 20 mmHg, 대기압은 760 mmHg, 추에 의한 압력은 740 mmHg이다. 또, 피스톤을 경계로 외부 압력과 내부 압력이 같아 균형을 이루고 있다. 따라서 외부 압력은 (가)는 대기압과 같고 (나)는 (대기압+추에 의한 압력)이며, 내부 압력은 (가)와 (나)가 모두 (수증기압+질소의 부분 압력)이다.

(가)에서 질소의 부분 압력(x)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$760 \text{ mmHg} = 20 \text{ mmHg} + x, x = 740 \text{ mmHg}$$

(나)에서 질소의 부분 압력(y)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$760 \text{ mmHg} + 740 \text{ mmHg} = 20 \text{ mmHg} + y,$$

$$y = 1480 \text{ mmHg}$$

④-3 (1) 질소의 부분 압력이 (나)가 (가)의 2배이고 물의 양도 2배이므로 물에 녹은 질소의 양은 (나)가 (가)의 4배이다.

(2) (나)에서 추를 제거하면 질소 기체의 부분 압력이 감소하므로 헨리 법칙에 의해 용해되는 질소의 질량은 감소한다.

내신 만점 문제

215~219쪽

01 ① 02 ③ 03 ㄱ, ㄷ 04 ⑤ 05 ③ 06 ㄱ, ㄴ 07 ④
08 ⑤ 09 ㄴ, ㄷ 10 ④ 11 ③ 12 ① 13 ③ 14 ⑤
15 ③ 16 ⑤ 17 ② 18 ④ 19 해설 참조 20 해설 참조
21 해설 참조

01 ㄱ. 액체의 증기 압력은 액체의 종류와 온도에 따라 달라진다. 증기 압력은 온도가 높을수록 커지므로 온도를 높이면 액체의 증기 압력이 커진다.

바로알기 ㄴ. 같은 액체인 경우 증기 압력은 액체의 양에 관계없이 일정한 값을 나타낸다.

ㄷ. 같은 온도에서 액체의 증기 압력은 용기의 모양이나 크기에 관계없이 일정하다. $PV=nRT$ 에 의하면 일정한 온도에서 기체의 압력은 $\frac{\text{분자 수}}{\text{부피}}$ 에 비례한다. 밀폐 용기의 크기가 커지면 기체 분자 수가 많아지지만 부피도 증가하였으므로 증기 압력은 변하지 않는다.

02 ㄱ. 같은 시간 동안 액체의 부피가 많이 줄어들수록 증발이 많이 일어난 것이다. 액체 A는 액체 B보다 증발이 잘 되므로 증기 압력은 $A > B$ 이다.

ㄴ. 증발열은 액체가 증발하여 기체가 될 때 흡수하는 에너지이므로 물 증발열이 클수록 증기 압력은 작다. 따라서 물 증발열은 $A < B$ 이다.

ㄷ. 같은 온도에서 증기 압력이 작은 액체일수록 분자 간 인력이 크므로 분자 간 인력은 $A < B$ 이다.

바로알기 ㄷ. 기준 끓는점은 증기 압력이 대기압(1기압)과 같아지는 온도이다. 증기 압력이 작은 액체일수록 끓는점이 높으므로 기준 끓는점은 $A < B$ 이다.

03 수은 기둥의 높이 차는 각 액체의 증기 압력에 해당한다. 따라서 25 °C에서 물의 증기 압력은 24 mmHg이고, 에탄올의 증기 압력은 72 mmHg이다.

ㄱ. 증기 압력이 클수록 끓는점이 낮으므로 물의 끓는점이 에탄올의 끓는점보다 높다.

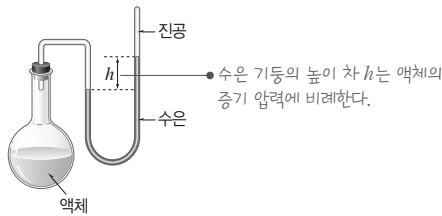
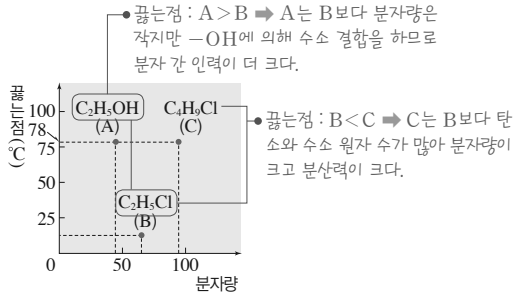
ㄷ. 증기 압력이 클수록 액체 분자 간 인력이 작다. 따라서 물의 분자 간 인력이 에탄올의 분자 간 인력보다 크다.

바로알기 ㄴ. 증기 압력이 클수록 액체 분자 간 인력이 작아 쉽게 증발하므로 물 증발열이 작다. 따라서 에탄올의 물 증발열이 물의 물 증발열보다 작다.

04

문제 분석하기

• 분자 간 인력이 클수록 증기 압력이 작고, 끓는점이 높다.



ㄴ. h_B 와 h_C 의 차이는 액체 B와 C의 증기 압력 차이로, 두 물질은 분산력의 크기가 다르기 때문에 증기 압력이 다르다.

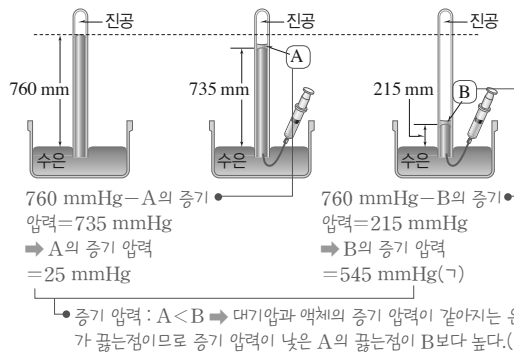
ㄷ. A가 B보다 분자량이 작은데도 끓는점이 B보다 높은 것은 수소 결합이 주요 원인이다.

바로알기 ㄱ. 78°C에서 A와 C는 끓는점이므로 압력이 대기압과 같아 수은 기둥의 높이 차는 h_A 와 h_C 가 거의 같으며, B는 끓는점보다 높으므로 압력이 대기압보다 높아 h_B 가 가장 크다.

05

문제 분석하기

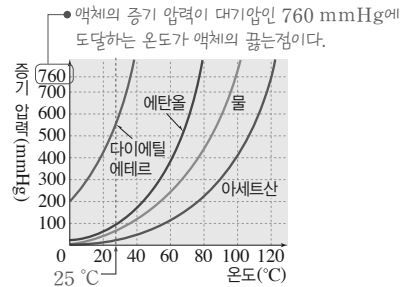
• 액체의 증기 압력이 커지면 증기가 수은 기둥을 아래로 밀어내리기 때문에 수은 기둥의 높이가 감소한다. 따라서 수은 기둥의 높이(mm) = 외부 압력(760 mmHg) - 액체의 증기 압력이다.



바로알기 ㄷ. 기체 분자의 평균 운동 속력은 분자량이 작을수록, 온도가 높을수록 크다. 온도는 같지만 두 기체 A와 B의 분자량을 알 수 없으므로 평균 운동 속력은 비교할 수 없다.

06

문제 분석하기



- 증기 압력: 다이에틸 에테르 > 에탄올 > 물 > 아세트산
- 분자 간 인력: 다이에틸 에테르 < 에탄올 < 물 < 아세트산
- 끓는점: 다이에틸 에테르 < 에탄올 < 물 < 아세트산

ㄱ. 25°C에서 세로로 직선을 그려 각 액체의 증기 압력 곡선과 만나는 증기 압력을 비교해 보면 다이에틸 에테르 > 에탄올 > 물 > 아세트산 순이다.

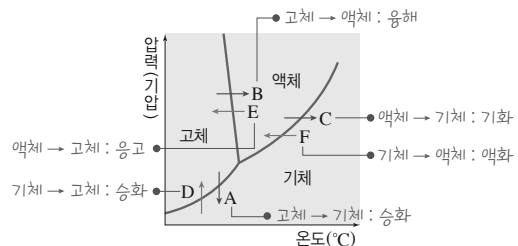
ㄴ. 에탄올의 증기 압력이 760 mmHg에 도달하는 온도는 약 78°C이므로 에탄올은 80°C보다 낮은 온도에서 끓는다.

바로알기 ㄷ. 아세트산의 증기 압력 곡선은 물보다 아래에 있으므로 어느 온도에서나 아세트산의 증기 압력이 물의 증기 압력보다 작다. 분자 간 인력이 큰 액체일수록 증발이 어려워 증기 압력이 작으므로 아세트산은 물보다 분자 간 인력이 크다.

07

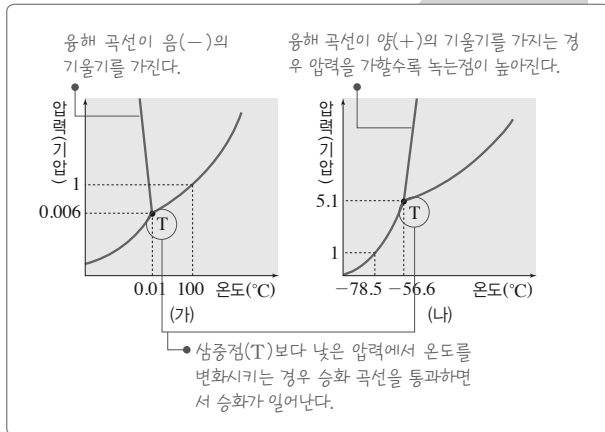
문제 분석하기

- 상평형 그림에 제시된 수평 방향의 화살표는 일정한 압력에서 온도 변화에 따른 상태 변화를 나타낸다.
- 상평형 그림에 제시된 수직 방향의 화살표는 일정한 온도에서 압력 변화에 따른 상태 변화를 나타낸다.



(가) 식품을 영하로 얼리는 것은 응고이므로 E에 해당한다.

(다) 얼린 식품을 밀폐된 용기에 넣고 진공 펌프로 공기를 빼내어 압력을 낮추면 얼음이 수증기로 승화한다. 진공 펌프로 수증기를 계속 제거하면 계속적으로 승화하여 식품이 건조된다. 이 과정은 승화(고체 → 기체)이므로 A에 해당한다.



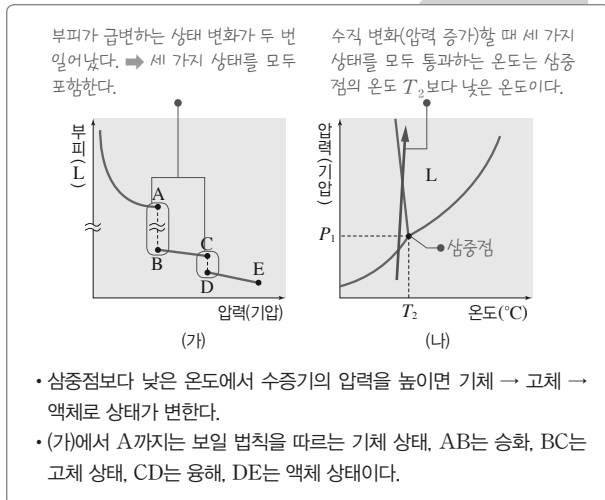
⑤ (가)와 (나)의 상평형 그림에서 세로축의 압력을 나타내는 점에서 가로로 선을 그렸을 때 그 선과 용해 곡선, 증기 압력 곡선이 만나는 지점의 온도가 각각 그 압력에서의 녹는점과 끓는점이며, 압력이 커지면 녹는점과 끓는점의 차이가 커진다.

바로알기 ① 물질 (가)는 용해 곡선이 음(-)의 기울기를 가지므로 고체보다 액체의 밀도가 크다. 따라서 액체 > 고체 > 기체 순으로 밀도가 크다.

② 물질은 삼중점(T)보다 낮은 압력에서 온도를 변화시킬 때 승화될 수 있다. 따라서 일반적으로 승화성 물질은 삼중점의 압력이 대기압(1기압)보다 높은 물질이므로 (나)만 승화성이 있다.

③ 용해 곡선이 음(-)의 기울기를 가진 (가)는 압력이 높아지면 녹는점이 낮아지고, 용해 곡선이 양(+)의 기울기를 가진 (나)는 압력이 높아지면 녹는점이 높아진다.

④ 1기압, 25 °C에서 (가)는 액체 상태, (나)는 기체 상태로 존재한다.



나. A에서 B로의 변화는 승화이므로 삼중점의 압력인 P_1 보다 낮은 압력에서 일어난다.

다. (가)의 구간 DE는 액체 상태이므로 (나)의 L 영역에 속한다.

바로알기 7. (가)에서 상태 변화가 두 번 일어나므로 (가)의 온도 T_1 은 T_2 보다 낮다. T_2 보다 높은 온도에서 압력을 높이면 상태 변화가 기체에서 액체로 한 번만 일어난다.

10 7. 상평형 그림의 승화 곡선에서 온도가 높아질수록 드라이아이스와 평형을 이루는 증기 압력이 증가한다. 따라서 온도가 높아질수록 수은을 많이 밀어내므로 h 는 감소한다.

나. (나)에서는 이산화 탄소의 고체 상태와 상평형을 이루는 증기 압력을 측정할 수 있다. 수은 기둥의 높이 차는 드라이아이스의 증기 압력에 해당하므로 $(76-h)$ cmHg는 주어진 온도에서 드라이아이스의 증기 압력이다.

바로알기 8. (나)에서 드라이아이스를 넣기 전 수은 기둥의 높이가 152 cm일 때는 대기압이 2기압이다. 외부 압력이 2기압이 되어도 삼중점보다 압력이 낮고 온도에 따른 드라이아이스의 증기 압력은 대기압과 무관하므로 액체 상태의 이산화 탄소를 관찰할 수 없다.

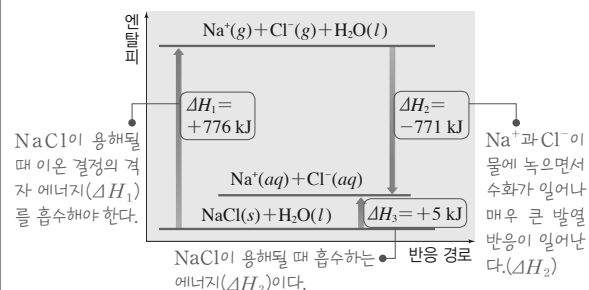
11 ①, ② 용해 평형은 용해 속도와 석출 속도가 같아서 용질과 용액이 동적 평형을 이루는 상태이며, 용해 평형 상태에 있는 용액을 포화 용액이라고 한다.

④ 고체의 용해 과정이 흡열 반응인 경우 온도가 높아지면 용해 과정의 평형이 정반응 쪽으로 이동하여 용해도가 증가한다.

⑤ 기체의 용해 과정은 발열 반응이므로 온도가 높아지면 용해 과정의 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 용해도가 감소한다.

바로알기 ③ 용해 평형은 동적 평형 상태이므로 용해 속도와 석출 속도가 항상 같다. 용해도가 클수록 용해 평형 상태에서 용해 속도와 석출 속도가 모두 빠르다.

그림은 헤스 법칙에 근거하여 염화 나트륨(NaCl)의 용해 과정에서 엔탈피 변화를 단계별로 분석한 것이다.



ㄱ. 염화 나트륨의 용해 엔탈피는 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$ 이다.

바로알기 ㄴ. ΔH_1 은 Na^+ 과 Cl^- 사이의 인력을 극복하는 데 필요한 에너지이고, ΔH_2 는 Na^+ 과 Cl^- 이 물 분자에 의해 수화될 때 방출하는 에너지이다. $|\Delta H_2|$ 가 $|\Delta H_1|$ 보다 작으므로 염화 나트륨과 물 분자 사이의 인력은 Na^+ 과 Cl^- 사이의 인력보다 작다.

ㄷ. 염화 나트륨이 물에 잘 녹는 것은 용해 과정에서 엔탈피는 증가하여 불리하지만 엔트로피가 크게 증가하여 자유 에너지가 감소하기 때문이다.

13 ③ NaCl 이 물에 녹으면 다음과 같이 이온화 평형을 이룬다.



HCl 기체가 물에 녹으면 Cl^- 의 농도가 증가하므로 NaCl 의 이온화 평형이 역반응 쪽으로 이동한다. 따라서 NaCl 의 용해도가 감소하고 석출되는 NaCl 의 양이 증가하므로 바닥에 가라앉은 NaCl 의 양이 많아진다.

바로알기 ④ NaCl 의 이온화 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 수용액 속 Na^+ 의 농도는 감소한다.

⑤ HCl 기체가 물에 녹으면 Cl^- 의 농도가 증가하여 평형 상태가 깨지므로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다.

14 ㄱ. (가)는 용해도 곡선 상에 위치하는 점이므로 포화 용액이다. 따라서 (가)에서 A 수용액은 용해 속도와 석출 속도가 같다.

ㄴ. 50% A 수용액 100g은 물 50g에 A 50g이 녹아 있는 상태이다. T_2 에서 A의 용해도는 140이므로 물 100g에 A가 최대 140g 녹을 수 있고, 물 50g에는 최대 70g이 녹을 수 있다. 따라서 T_2 에서 50% A 수용액 100g에는 A 20g(=70g - 50g)이 더 녹을 수 있다.

ㄷ. T_2 에서 B의 용해도는 160이므로 물 100g에 B 160g이 녹으면 포화 용액 260g이 된다. 따라서 T_2 에서 B의 포화 수용액 130g에 녹아 있는 B의 질량(x)은 80g이고, 물은 50g이다.

$$260\text{g} : 160\text{g} = 130\text{g} : x, x = 80\text{g}$$

T_1 에서 B의 용해도가 20이므로 물 50g에는 B가 최대 10g 녹을 수 있다. 따라서 T_2 에서 B의 포화 수용액 130g을 T_1 으로 냉각할 때 석출되는 B의 질량은 70g(=80g - 10g)이다.

15 ㄷ. (나)는 온도가 높을수록 용해도가 증가하므로 고체인 황산 마그네슘의 용해도 곡선이다. T_2 의 황산 마그네슘 포화 수용액의 온도를 T_1 으로 낮추면 용해도가 감소하므로 용질이 석출된다.

바로알기 ㄱ. 몰랄 농도는 용매 1kg 속에 녹아 있는 용질의 몰수를 나타낸다. 점 A에서 두 물질의 용해도가 같으므로 물 100g에 녹아 있는 용질의 질량은 같다. 그러나 두 물질의 화학식량이 달라 녹아 있는 몰수가 다르므로 몰랄 농도는 다르다.

ㄴ. (가)는 온도가 높을수록 용해도가 감소하므로 기체인 암모니아의 용해도 곡선이다.

16 (가)는 압력이 커질수록 기체의 용해도가 증가하는 것을 나타내고, (나)는 온도가 높아질수록 기체의 용해도가 감소하는 것을 나타낸다.

ㄴ. 여름에는 수온이 높아져 산소의 용해도가 감소하므로 물고기들이 호흡하기 위해 수면 가까이로 올라온다. - (나)

ㄷ. 깊은 바다 속에서는 수압이 높아져 기체의 용해도가 증가하므로 질소가 혈액에 많이 녹는다. 그런데 잠수부가 갑자기 수면으로 올라오면 압력이 낮아져 기체의 용해도가 감소하므로 혈액에서 질소 기체가 빠져나온다. 이 때문에 모세 혈관에 기포가 생겨 혈액의 흐름을 방해하므로 잠수부가 잠수병에 걸린다. - (가)

바로알기 ㄱ. 높은 산에서는 대기압이 낮아지므로 물의 끓는점이 낮아진다. 따라서 높은 산에서 밥을 지으면 쌀이 설익는다. - 압력과 끓는점의 관계

17 헨리 법칙에 따르면 일정한 온도에서 기체의 용해도는 그 기체의 부분 압력에 비례한다.

ㄱ. 수용액에 드라이아이스 조각을 넣으면 수용액의 온도가 낮아지고, 드라이아이스가 승화하여 CO_2 기체가 발생하므로 CO_2 의 압력이 높아진다. 따라서 CO_2 가 더 녹아 들어간다.

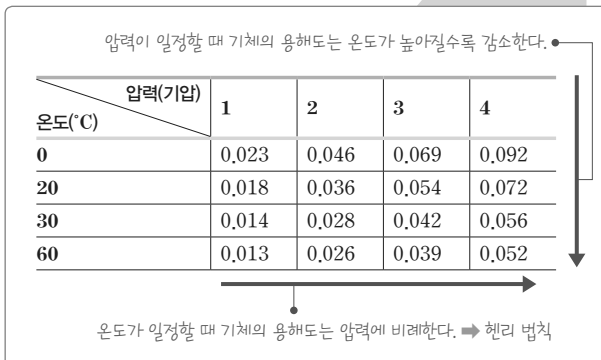
ㄴ. CO_2 를 넣어 전체 압력이 2기압이 되면 헨리 법칙에 의해 용해도가 2배가 된다.

바로알기 ㄴ. 마개를 열어 두면 CO_2 와 공기가 혼합되면서 CO_2 의 부분 압력이 작아지므로 용해도가 감소한다.

ㄷ. He를 넣어 전체 압력이 2기압이 되게 해도 CO_2 의 부분 압력은 1기압으로 일정하므로 CO_2 의 용해도는 변하지 않는다.

18

문제 분석하기



ㄴ. 온도가 일정할 때 물 1 L에 최대 녹는 질소 기체의 질량은 압력이 높을수록 증가한다.

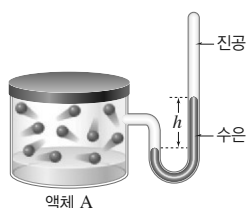
ㄷ. 일정한 온도에서 질소 기체의 용해도는 압력에 비례하므로 헨리 법칙을 잘 따른다.

바로알기 ㄱ. 일정한 압력에서 질소 기체의 용해도는 온도가 높아질수록 감소한다. 따라서 질소 기체의 용해 과정은 발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다.

19

문제 분석하기

- 진공인 용기에 액체 A를 넣었으므로 수은 기둥의 높이 차(h)는 액체 A의 증기 압력에 해당한다.
- 용기에 기체 B를 넣으면 수은 기둥의 높이 차는 용기에 들어 있는 기체의 전체 압력에 비례하여 증가한다.
- 기체 B는 액체 A에 녹지 않고 기체 A와도 반응하지 않으므로 기체 B를 용기에 넣으면 용기의 부피에 해당하는 부분 압력을 가진다.



●모범 답안● 액체 A의 증기 압력은 온도에만 영향을 받고 기체 B의 압력이나 전체 압력과는 관계가 없으므로 액체 A의 증발 속도는 변하지 않는다. 액체 A의 증기 압력과 기체 B의 압력이 합하여 용기의 전체 압력이 증가하므로 수은 기둥의 높이 차 h 는 커진다.

채점 기준	배점
증발 속도와 수은 기둥 높이 차를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
증발 속도와 수은 기둥 높이 차 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

20 자유 에너지 변화 $\Delta G < 0$ 이면 용해 과정이 자발적이다. 따라서 흡열 반응($\Delta H > 0$)일 때 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 이 되려면 $\Delta S > 0$ 이고, ΔH 의 절댓값보다 $T\Delta S$ 의 절댓값이 커야 한다.

●모범 답안● $\Delta S > 0$ 이고, $|\Delta H| < |T\Delta S|$ 이어야 한다.

채점 기준	배점
$\Delta H > 0$ 일 때 온도(T)와 엔트로피 변화(ΔS)의 관계를 이용하여 $\Delta G < 0$ 이 되는 경우를 옳게 서술한 경우	100 %
그 외의 경우	0 %

21 ●모범 답안● 헨리 법칙에 의하면 기체의 용해도는 기체의 부분 압력에 비례한다. 산소의 부분 압력이 1기압일 때 물 1 L에 0.043 g이 녹으면 산소의 부분 압력이 2기압일 때 1 L에 0.086 g이 녹을 것이다.

그런데 물의 양이 $\frac{1}{2}$ 로 되므로 2기압일 때 물 500 mL에 녹는 산소의 질량은 0.043 g이다.

온도가 일정하면 보일 법칙에 의해 압력이 증가할수록 부피는 감소한다. 따라서 산소의 부분 압력이 1기압일 때는 0.043 g의 부피가 31 mL이지만, 산소의 부분 압력이 2기압일 때는 0.043 g의 부피가 15.5 mL이다.

채점 기준	배점
산소 기체의 질량과 부피를 옳게 구하고, 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
산소 기체의 질량과 부피만 옳게 구한 경우	40 %

중단원 핵심 정리

220~221쪽

- ① 가역 ② 평형 ③ 온도 ④ 역수 ⑤ 정반응 ⑥ 역반응
 ⑦ 반응 지수 ⑧ 감소 ⑨ 감소 ⑩ 증가 ⑪ 감소 ⑫ 증가
 ⑬ 흡열 ⑭ 발열 ⑮ 작아 ⑯ 커 ⑰ 정반응 ⑱ 크다 ⑲ 작다
 ⑳ 작다 ㉑ 낮다 ㉒ 낮아진다 ㉓ 높아진다 ㉔ 높아진다
 ㉕ 용해 평형 ㉖ 포화 ㉗ 불포화 ㉘ 용해도 ㉙ 흡열 ㉚ 증가
 ㉛ 증가 ㉜ 헨리

중단원 마무리 문제

222~226쪽

- 01 ㄱ, ㄷ 02 ⑤ 03 (가) 3.6 (나) 정반응 04 ① 05 ②
 06 ⑤ 07 ⑤ 08 ② 09 ③ 10 ③ 11 ㄱ, ㄴ 12 ⑤
 13 ② 14 ④ 15 ⑤ 16 ④ 17 ④ 18 ⑤ 19 ③
 20 ④

01 ㄱ. 시간이 지날수록 반응물의 농도 감소량이 줄어들다가 평형 상태에 이르면 농도가 일정하게 유지된다. 따라서 정반응 속도는 평형 상태에 도달할 때까지 점점 감소하다가 평형 상태에서 일정해진다.

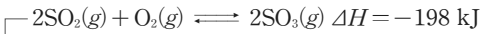
ㄷ. 주어진 반응에서 평형 상수(K)는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$K = \frac{[B]}{[A]}$$

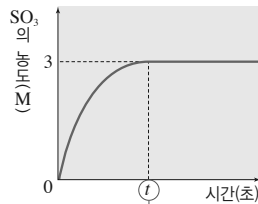
그런데 평형 상태에서 $[A] > [B]$ 이므로 이 반응의 평형 상수는 $K < 1$ 이다.

바로알기 ㄴ. 화학 평형 상태는 가역 반응에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같아 반응이 정지된 것처럼 보이는 동적 평형 상태이다. t 초 이후에는 평형 상태에 있으며, 평형 상태에서도 반응은 계속 진행되고 있다.

$\Delta H < 0$ 이므로 정반응은 발열 반응이다.



• 화학 반응식의 계수비는 $\text{SO}_2 : \text{O}_2 : \text{SO}_3 = 2 : 1 : 2$ 이므로 SO_2 3 M과 O_2 1.5 M이 반응하여 SO_3 3 M이 생성된다.



• 생성물 SO_3 의 농도가 증가하다가 t 초 이후 일정하게 유지되므로 평형 상태에 도달하였다.

① t 초 이후는 평형 상태이므로 정반응 속도와 역반응 속도가 같다.

②, ③ 부피가 1 L로 일정하므로 몰수는 몰 농도와 같다. 따라서 반응물의 처음 농도는 $[\text{SO}_2] = 5 \text{ M}$, $[\text{O}_2] = 2 \text{ M}$ 이고, 평형 상태에서 $[\text{SO}_3] = 3 \text{ M}$ 이다.

반응 농도와 평형 농도는 다음과 같이 구할 수 있다.

화학 반응식	$2\text{SO}_2(\text{g})$	+	$\text{O}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$2\text{SO}_3(\text{g})$
처음 농도(M)	5		2		0
반응 농도(M)	-3		-1.5		+3
평형 농도(M)	2		0.5		3

④ 평형 상수는 평형 상수식에 평형 농도를 대입하여 구한다. 이 반응의 평형 상수(K)를 구하면 다음과 같다.

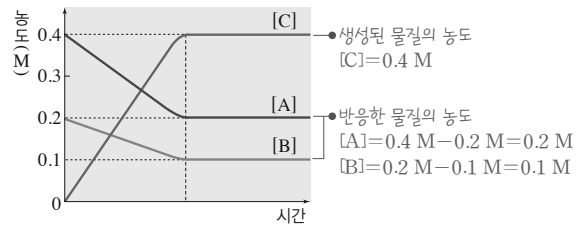
$$K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = \frac{3^2}{2^2 \times 0.5} = 4.5$$

▶ **바로알기** ⑤ 이 반응의 정반응은 발열 반응이므로 온도를 높이면 평형이 역반응 쪽으로 이동한다. 따라서 생성물인 SO_3 의 농도가 작아진다.

03 (가) 시간에 따라 A의 농도는 감소하고 B의 농도는 증가하다가 60초 이후에는 농도가 일정하므로 평형 상태에 있다. 평형 상태까지 A의 농도가 0.6 감소할 때 B의 농도는 1.2 증가하므로 반응한 농도비는 $A : B = 1 : 2$ 이다. 따라서 화학 반응식이 $A(\text{g}) \rightleftharpoons 2B(\text{g})$ 이므로 평형 상수(K)는 다음과 같다.

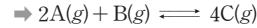
$$K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{1.2^2}{0.4} = 3.6$$

(나) 같은 온도에서 1 L 용기에 기체 A와 B를 각각 2.0몰씩 넣으면 반응 지수 $Q = \frac{2^2}{2} = 2$ 가 된다. 즉, 반응 지수($Q=2$)가 평형 상수($K=3.6$)보다 작으므로 반응물을 줄이고 생성물을 늘리는 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.



화학 반응식의 계수비는 평형에 도달할 때까지 반응한 농도비와 같다.

$$\Rightarrow [A] : [B] : [C] = 0.2 : 0.1 : 0.4 = 2 : 1 : 4$$



ㄱ. 화학 반응식은 $2A(\text{g}) + B(\text{g}) \rightleftharpoons 4C(\text{g})$ 이므로 $a+b+c=7$ 이다.

▶ **바로알기** ㄴ. 이 반응의 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{[C]^4}{[A]^2[B]} = \frac{0.4^4}{0.2^2 \times 0.1} = 6.4$$

ㄷ. 1 L 용기에 A, B, C를 각각 1몰씩 넣으면 각 물질의 농도는 $[A]=1 \text{ M}$, $[B]=1 \text{ M}$, $[C]=1 \text{ M}$ 이므로 반응 지수(Q)는 1이다.

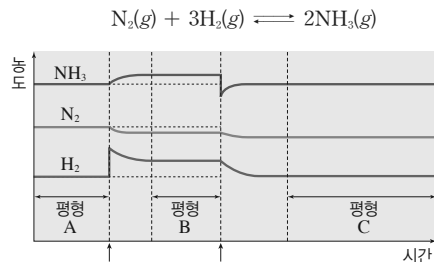
$$Q = \frac{[C]^4}{[A]^2[B]} = \frac{1^4}{1^2 \times 1} = 1$$

$Q < K$ 이므로 정반응 쪽으로 반응이 진행된 후 평형에 도달한다.

05 ㄴ. KSCN을 첨가하면 수용액 속 SCN^- 의 농도가 증가하므로 SCN^- 의 농도를 감소시키는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 FeSCN^{2+} 의 양이 많아져 점점 붉은색으로 변한다.

▶ **바로알기** ㄱ. 온도가 일정하면 평형 상수는 변하지 않는다.

ㄷ. KSCN을 첨가하면 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 SCN^- 과 Fe^{3+} 의 농도는 감소하지만 일정한 온도에서 평형 상수(K)는 일정하므로 처음 평형 상태보다 생성물이 늘어난 만큼 SCN^- 도 처음 평형 상태보다 큰 값을 가져야 한다.



(가)에서 $[\text{H}_2]$ 가 급격히 증가
 $\Rightarrow \text{H}_2$ 를 첨가하였다.(ㄱ)
 $\Rightarrow [\text{N}_2]$ 와 $[\text{H}_2]$ 는 감소하고 $[\text{NH}_3]$ 는 증가하므로 평형이 정반응 쪽으로 이동하여 평형 B에 도달한다.

(나)에서 $[\text{NH}_3]$ 가 급격히 감소
 $\Rightarrow \text{NH}_3$ 를 제거하였다.
 $\Rightarrow [\text{N}_2]$ 와 $[\text{H}_2]$ 는 감소하고 $[\text{NH}_3]$ 는 증가하므로 평형이 정반응 쪽으로 이동하여 평형 C에 도달한다.(ㄴ)

ㄷ. 평형 상수(K)는 온도에 의해서만 변하며, 반응물이나 생성물 농도의 영향을 받지 않는다. 온도가 일정하므로 평형 상태 A, B, C에서 평형 상수는 모두 같다.

07 주어진 반응의 정반응은 기체의 몰수가 감소하는 반응이고, 발열 반응이다.

ㄱ. 정반응이 발열 반응이므로 온도를 낮추면 온도가 높아지는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄴ. 용기의 압력을 높이면 기체의 몰수가 감소하는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄷ. 수산화 나트륨(NaOH)은 이산화 탄소(CO_2)를 흡수하는 성질이 있다. 따라서 NaOH 수용액을 첨가하면 생성물의 CO_2 가 제거되므로 생성물의 농도가 증가하는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

08 부피가 일정하게 유지되므로 몰수는 몰 농도에 비례한다. 온도를 변화시켰을 때 각 물질의 농도 변화는 다음과 같다.

물질	X	Y	Z
처음 농도(mol/L)	4	3	3
평형 농도(mol/L)	1	4	4
반응 농도(mol/L)	-3	+1	+1

따라서 화학 반응식은 $3\text{X}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Y}(\text{g}) + \text{Z}(\text{g})$ 이다.

ㄴ. 이 반응의 평형 상수식은 $K = \frac{[\text{Y}][\text{Z}]}{[\text{X}]^3}$ 이다. 이 식에 50°C 에서의 평형 농도를 대입하면 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{4 \times 4}{1^3} = 16$$

바로알기 ㄱ. $a + b + c = 3 + 1 + 1 = 5$ 이다.

ㄷ. 온도가 높아졌을 때 반응물이 감소하고 생성물이 증가하는 정반응이 일어나므로 X의 분해 반응은 흡열 반응이다.

09

문제 분석하기

$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = ?$

무색 적갈색

온도가 낮아지면 N_2O_4 가 증가하고 NO_2 가 감소한다. 즉, 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.
 ➡ 역반응이 발열 반응이다.

온도가 높아지면 N_2O_4 가 감소하고 NO_2 가 증가한다. 즉, 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.
 ➡ 정반응이 흡열 반응이다.
 ➡ $\Delta H > 0$ (?)

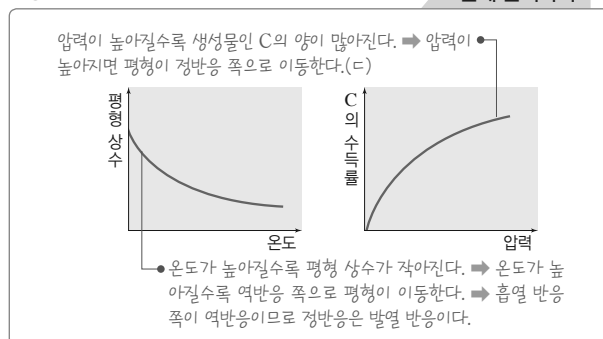
ㄴ. 온도가 높을수록 적갈색을 나타내는 NO_2 가 많아지므로 0°C 보다 100°C 에서 색이 진하다.

바로알기 ㄷ. 이 반응의 평형 상수는 $K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$ 으로 구할 수

있는데, 온도가 높을수록 $[\text{N}_2\text{O}_4]$ 가 감소하고 $[\text{NO}_2]$ 가 증가하므로 평형 상수가 커진다. 따라서 100°C 일 때가 0°C 일 때보다 평형 상수가 크다. 흡열 반응에서는 온도가 높아지면 정반응이 일어나 평형 상수가 커진다.

10

문제 분석하기



ㄱ. 주어진 반응은 발열 반응이므로 정반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.

ㄴ. 주어진 반응은 발열 반응이므로 온도가 낮아지면 온도가 높아지는 발열 반응 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

11

문제 분석하기

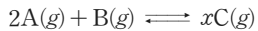
압력이 일정할 때 온도가 높아지면 수득률이 감소하므로 역반응 쪽으로 평형이 이동하였다.
 ➡ 역반응은 흡열 반응이다.

온도($^\circ\text{C}$)	200	400	600
압력(기압)			
100	82 %	25 %	5 %
200	86 %	36 %	8 %
600	96 %	65 %	23 %

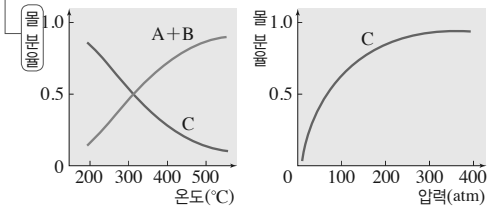
온도가 일정할 때 압력이 높아지면 수득률이 증가하므로 정반응 쪽으로 평형이 이동하였다. ➡ 정반응은 기체의 몰수가 감소하는 방향이다. ➡ $a + b > c$ (?)

ㄴ. 온도가 높아질 때 역반응 쪽으로 평형이 이동하였으므로 역반응은 흡열 반응이다. 따라서 정반응은 발열 반응이며, 발열 반응에서는 온도가 높을수록 반응물이 증가하고 생성물이 감소하여 평형 상수가 작아진다.

바로알기 ㄷ. 정반응은 발열 반응이므로 반응 엔탈피 $\Delta H < 0$ 이다.



● C의 몰 분율 : 평형 상태에서 남아 있는 A, B와 생성된 C의 몰수 합에 대한 생성물 C의 몰수 비율



(가) 온도가 높을수록 생성물 C 감소 \Rightarrow 흡열 반응인 역반응이 일어나 평형 상수가 감소한 것이다.

(나) 압력이 높을수록 생성물 C 증가 \Rightarrow 평형이 정반응 쪽으로 이동한 것이다.

ㄱ. 온도가 높을수록 C의 몰 분율이 감소하므로 역반응 쪽으로 평형이 이동하였다. 따라서 정반응은 발열 반응이다.

ㄴ. 초기 반응물 A와 B는 각각 10몰로 일정한 온도 높을수록 평형에서 C의 몰 분율이 감소하기 때문에 같은 양의 반응물에서 생성되는 C의 양이 감소하는 것이다. 따라서 온도가 높아질수록 C의 수득률은 낮아지고 평형 상수도 작아진다.

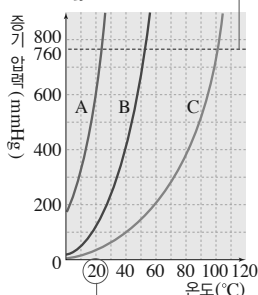
ㄷ. 일정한 온도에서 압력이 높을수록 C의 몰 분율이 증가하므로 기체의 몰수가 감소하는 방향이 정반응이다. 따라서 기체 생성물 C의 계수 x 는 기체 반응물 계수 합 3보다 작다.

13 ㄴ. (가)에서 액체 A의 양이 시간이 지나면서 줄어드는 것은 액체의 증발 속도가 증기의 응축 속도보다 크기 때문이다.

바로알기 ㄱ. 액체가 증발하여 생긴 증기의 양은 (나)가 (가)보다 많으므로 유리종 속의 압력은 (나)가 (가)보다 크다.

ㄷ. 동적 평형 상태에서는 액체의 증발과 증기의 응축이 같은 속도로 일어난다.

이 점선과 곡선이 만나는 점의 온도가 각 물질의 끓는점이다. \Rightarrow 끓는점 : $A < B < C$



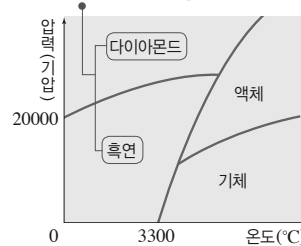
● 같은 온도에서 증기 압력의 크기는 $A > B > C$ 이다.

ㄱ. 일정한 온도에서 증기 압력이 클수록 증발이 잘 되므로 20 °C에서 증기 압력이 가장 큰 A가 증발이 가장 잘 된다.

ㄴ. 같은 온도에서 증기 압력이 클수록 분자 간 인력이 작아 증발이 잘 일어난다. 따라서 분자 간 인력은 $C > B > A$ 순이다.

바로알기 ㄷ. 액체의 끓는점은 액체의 증기 압력이 대기압(760 mmHg)과 같아지는 온도이다. 따라서 각 물질 A~C의 끓는점에서 증기 압력은 760 mmHg로 모두 같다.

탄소는 다이아몬드와 흑연의 두 가지 고체 상을 가지는데, 다이아몬드가 흑연보다 더 높은 압력에서 존재한다.(ㄱ)



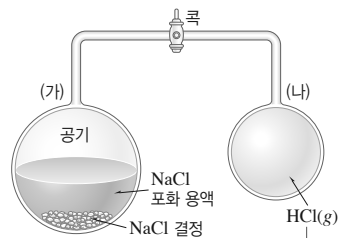
ㄴ. 상평형 그림에서 25 °C, 1기압을 나타내면 흑연이 존재하는 범위에 속하므로 흑연이 가장 안정한 상이다.

ㄷ. 상평형 그림에서 흑연은 일정한 온도에서 압력이 충분히 높아지면 다이아몬드로 변한다.

염화 나트륨(NaCl)의 용해 평형은 다음과 같다.



● (가)의 수용액에 Cl^- 이 녹으면 NaCl의 용해 평형은 역반응 쪽으로 이동한다.



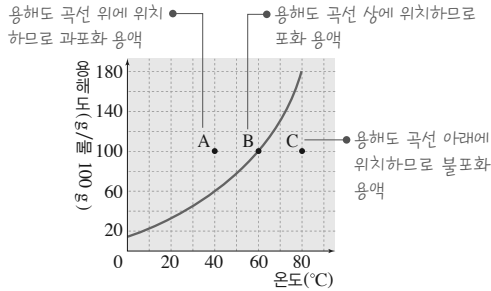
염화 수소(HCl)는 물에 매우 잘 녹는 기체이므로 꼭을 열면 (가)의 포화 용액에 녹는다.

ㄱ. (가)의 수용액에 HCl 가 녹으면 H^+ 이 생성되므로 수용액의 pH는 작아진다.

ㄴ. (가)의 수용액에 HCl 가 녹으면 Cl^- 이 증가하므로 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다.

바로알기 ㄷ. (가)의 수용액에 HCl 가 녹으면 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 NaCl 결정이 석출된다.

- 용해도 곡선은 온도에 따라 100 g의 물에 포화되는 용질의 질량을 나타낸 것이다.



포화 용액	일정한 온도에서 일정한 양의 용매에 용질이 최대한 녹은 용액
불포화 용액	포화 상태보다 용질이 적게 녹아 있어서 용질을 더 녹일 수 있는 용액
과포화 용액	포화 상태보다 용질이 더 많이 녹아 있는 불안정한 상태의 용액

ㄱ. 과포화 용액은 포화 용액보다 더 많은 용질이 녹아 있어 불안정한 상태이므로 용질이 석출될 수 있도록 자극을 주면 결정화가 급속히 일어난다. 자극을 주는 방법으로는 용기의 벽을 유리 막대로 긁거나 작은 고체 결정을 넣어 주는 것이 있다.

ㄴ. 몰랄 농도는 물 1 kg에 녹아 있는 용질의 몰수를 나타낸다. A, B, C 수용액은 일정량의 물에 같은 질량의 용질이 녹아 있고, 같은 물질이므로 화학식량도 같아 몰랄 농도가 같다.

바로알기 ㄷ. C점은 물 100 g에 물질 X 100 g이 녹아 있음을 뜻하므로 C 수용액 100 g은 물 50 g에 물질 X 50 g이 녹아 있는 것이다. 이 수용액을 40 °C로 냉각하면 용해도가 60이므로 물 50 g에 X가 최대로 30 g 녹을 수 있다. 따라서 C 수용액 100 g을 40 °C로 냉각하면 20 g(=50 g-30 g)이 석출된다.

18 ㄴ. T_2 에서 두 용질의 용해도가 같으므로 물 100 g에는 같은 질량의 용질이 녹아 있다. 용액의 질량과 용질의 질량이 같으므로 A, B 두 포화 수용액의 퍼센트 농도는 같다.

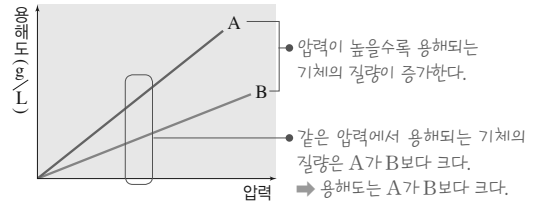
$$\text{퍼센트 농도} = \frac{\text{용질의 질량}}{\text{용액의 질량}} \times 100$$

ㄷ. T_2 에서 50 % B 수용액 100 g은 물 50 g에 B 50 g이 녹아 있다. 이 수용액을 T_1 으로 냉각하면 T_1 에서 용해도가 20이므로 물 50 g에 B 10 g이 최대로 녹을 수 있다. 따라서 50 % B 수용액 100 g을 T_1 으로 냉각하면 고체 B 40 g(=50 g-10 g)이 석출된다.

바로알기 ㄱ. P에서 A 수용액은 물 100 g에 A 170 g이 녹아 있는 것과 같다. 170 g을 A의 화학식량 85로 나누면 2몰에 해당한다. 몰랄 농도는 물 1 kg(=1000 g)에 녹아 있는 용질의 몰수로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{몰랄 농도} = \frac{\text{용질의 몰수(몰)}}{\text{용액의 질량(kg)}} = \frac{2\text{몰}}{0.1\text{ kg}} = 20\text{ m}$$

- 헨리 법칙 : 일정한 온도에서 일정량의 용매에 용해되는 기체의 질량은 그 기체의 부분 압력에 비례한다.



ㄷ. 잠수부의 산소통에는 공기와 비슷한 농도를 만들기 위해 다른 기체를 혼합하여 넣는다. 기체는 압력이 높을수록 용해도가 커지므로 깊은 바다 속에서는 혈액 속에 많은 양의 기체가 녹아 들어간다. 그런데 잠수부가 갑자기 수면으로 올라오면 압력이 급격히 낮아져 혈액으로부터 기체가 빠져나와 기포를 형성하여 혈액의 흐름을 방해하므로 잠수병을 일으킨다. 따라서 산소통에 함께 넣는 기체로는 압력에 따른 용해도 변화가 작은 B가 A보다 적당하다.

바로알기 ㄱ. 극성이 매우 큰 기체는 물에 매우 잘 녹으므로 압력의 영향을 거의 받지 않는다. 따라서 용해도가 압력에 비례하는 A와 B는 모두 극성이 매우 작은 기체임을 알 수 있다. 헨리 법칙은 물에 잘 녹지 않는 기체에 잘 적용된다.

ㄴ. 온도가 높아지면 기체의 용해도는 감소하므로 온도를 30 °C로 높이면 두 그래프의 기울기가 작아진다.

20 일정한 압력에서 온도가 높을수록 질소 기체의 물에 대한 용해도가 작아진다. 온도가 일정할 때 질소 기체의 물에 대한 용해도는 압력에 비례한다.

3기압에서 물 1 L에 이 기체를 포화시키면 0.057 g이 녹는다. 이것을 1기압으로 변화시키면 용해도가 0.019 g으로 감소하기 때문에 용액 밖으로 빠져나온 기체의 질량은 0.057 g-0.019 g=0.038 g이다. 20 °C, 1기압에서 기체 0.019 g이 차지하는 부피가 0.016 L이므로 0.038 g은 0.032 L가 된다.

1 ④ 2 ③ 3 ③ 4 ③ 5 ③ 6 ⑤ 7 ② 8 ⑤ 9 ③
10 ① 11 ⑤ 12 ② 13 ③ 14 ② 15 ②

1 반응 용기가 강철 용기이므로 부피 변화가 없어서 평형 농도 대신 평형 몰수를 이용해 평형 상수(K)를 구할 수 있다.

$$K = \frac{[B]}{[A]}$$

(가) A를 1몰 넣고 반응시켜 B가 x 몰 생성되었으므로 A의 평형 몰수는 $(1-x)$ 몰이다. 따라서 T_1 에서의 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = \frac{[B]}{[A]} = \frac{x}{1-x} = a$$

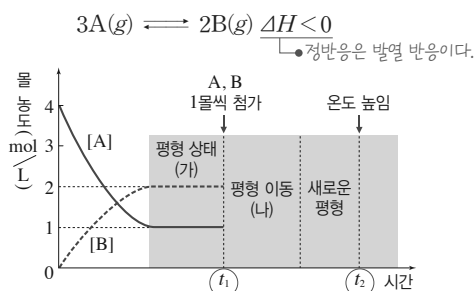
(나) B가 $2x$ 몰이므로 A의 평형 몰수는 $(1-2x)$ 몰이다. 따라서 T_2 에서의 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = \frac{[B]}{[A]} = \frac{2x}{1-2x} = 6a$$

두 평형 상수식을 이용하여 계산하면 $\frac{2x}{1-2x} = 6 \times \frac{x}{1-x}$ 이므로 $x=0.4$ 몰, $a=\frac{2}{3}$ 이다.

2

문제 분석하기



A, B 1몰씩을 첨가하였을 때 평형이 이동하는 방향은 반응 지수와 평형 상수를 비교하여 알 수 있다.

정반응이 발열 반응이므로 온도를 높였을 때 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄱ. (가)에서 A와 B의 평형 농도는 각각 1 mol/L, 2 mol/L이다. 따라서 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{[B]^2}{[A]^3} = \frac{2^2}{1^3} = 4$$

ㄴ. (나)에서 온도가 일정하고 물질의 농도만 변하는 경우에는 평형 상수가 변하지 않는다. A, B 1몰씩을 첨가했을 때 A와 B의 순간 농도는 각각 2 mol/L, 3 mol/L이고, 반응 지수 Q 는 다음과 같다.

$$Q = \frac{[B]^2}{[A]^3} = \frac{3^2}{2^3} = \frac{9}{8}$$

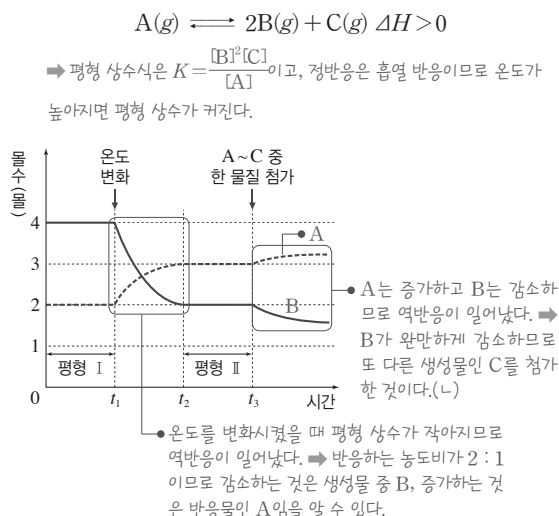
즉, 반응 지수($Q=\frac{9}{8}$)가 평형 상수($K=4$)보다 작으므로 반응물의 농도는 감소하고 생성물의 농도는 증가해야 평형 상수와 같아진다. 따라서 새로운 평형에 도달할 때까지 정반응이 우세하게 진행된다.

바로알기 ㄷ. $\Delta H < 0$ 이므로 정반응은 발열 반응이다. 온도가

높아지면 르사틀리에 원리에 의해 흡열 반응 방향인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 t_2 이후 다시 평형에 도달하면 생성물의 농도는 감소하고 반응물의 농도는 증가하므로 평형 상수는 4보다 작아진다.

3

문제 분석하기



ㄱ. $\Delta H > 0$ 이므로 정반응은 흡열 반응이다. 평형 I의 평형 상수가 평형 II의 12배인 것으로 보아 t_1 에서 온도를 낮추어 역반응이 일어난 것이다.

바로알기 ㄷ. 평형 I에서 A는 2 M, B는 4 M이므로 C의 농도를 c M이라고 하면 $K = \frac{4^2 \times c}{2} = 8c$ 이다.

평형 II에서 A는 3 M, B는 2 M이고, 평형 I보다 A의 농도가 1 M 증가하였으므로 C의 농도는 $(c-1)$ M이 된다.

평형 II의 평형 상수는 평형 I의 평형 상수의 $\frac{1}{12}$ 이므로

$$K = \frac{2^2 \times (c-1)}{3} = 8c \times \frac{1}{12} \text{에 의해 } c \text{는 } 2 \text{ M이다. 따라서 평형 II에서 C의 농도는 } (c-1) \text{ M} = 1 \text{ M이다. 즉, 평형 II에서 B의 몰수는 2몰, C의 몰수는 1몰이다.}$$

4 200 °C, 1 L의 밀폐된 용기이므로 평형 농도를 이용하여 평형 상수를 계산할 수 있다.

$$(가)의 \text{평형 상수} : K_{(가)} = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{2^2}{2 \times 2} = 1$$

$$(나)의 \text{평형 상수} : K_{(나)} = \frac{[D]^2}{[A][C]^2} = \frac{2^2}{2 \times 1^2} = 2$$

ㄷ. $2A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2D(g)$ 반응식은 (가)와 (나)의 반응식을 더하면 얻어진다. 같은 온도에서 이 반응의 평형 상수(K)는 반응 (가)와 (나)의 평형 상수를 곱하여 구할 수 있다.

$$K_{(7)} = \frac{[C]^2}{[A][B]}, K_{(4)} = \frac{[D]^2}{[A][C]^2}$$

$$K = \frac{[D]^2}{[A]^2[B]} = \frac{[C]^2}{[A][B]} \times \frac{[D]^2}{[A][C]^2} = K_{(7)} \times K_{(4)} = 2$$

바로알기 ㄱ. (가)는 흡열 반응($\Delta H > 0$)이므로 온도를 높이면 온도를 낮추는 흡열 반응인 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 반응물인 A의 농도가 감소한다.

ㄴ. (가)에 생성물 C 1몰을 첨가하면 역반응이 일어나 생성물의 농도가 감소하고 반응물의 농도가 증가한다.

화학 반응식	A(g)	+	B(g)	\rightleftharpoons	2C(g)
처음 농도(mol/L)	2		2		2+1
반응 농도(mol/L)	+x		+x		-2x
평형 농도(mol/L)	2+x		2+x		3-2x

온도가 일정하면 평형 상수가 변하지 않으므로 새로운 평형 농도는 다음과 같이 평형 상수(K)를 이용해 구할 수 있다.

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{(3-2x)^2}{(2+x)(2+x)} = 1, x = \frac{1}{3}$$

이 값을 평형 농도에 대입하면

$$[A] = [B] = 2 + x = 2 + \frac{1}{3} = \frac{7}{3} \text{ (M)},$$

$$[C] = 3 - 2x = 3 - \frac{2}{3} = \frac{7}{3} \text{ (M)이다.}$$

즉, 새로운 평형에 도달하였을 때 몰 농도는 $[A] = [B] = [C]$ 이다.

5 ㄱ. $PV = nRT$ 에 의해 기체의 부피와 온도가 같을 때 압력은 몰수에 비례하므로 (가)에서 A의 압력(x)은 12기압이다.

$$0.3\text{몰} : x\text{기압} = 0.2\text{몰} : 8\text{기압}, x = 12$$

ㄴ. (가)에서 0.5 L, 8기압일 때 B의 몰수는 0.2몰이다. 기체의 압력과 온도가 같을 때 몰수는 부피에 비례하므로 (나)에서 1 L, 8기압일 때 기체 A, B, C의 총 몰수는 0.4몰이다.

즉, 반응한 몰수와 평형 상태에서의 몰수는 다음과 같다.

물질	A	B	C
처음 몰수(몰)	0.3	0.2	0
반응 몰수(몰)	-0.1	-0.1	+0.1
평형 몰수(몰)	0.2	0.1	0.1

$$\text{(나)에서 C의 몰 분율은 } \frac{0.1}{0.2+0.1+0.1} = \frac{1}{4} \text{ 이므로 C의 부분}$$

$$\text{압력은 } 8\text{기압} \times \frac{1}{4} = 2\text{기압이다.}$$

바로알기 ㄷ. (나)에서 반응 용기의 부피는 1 L이고, A는 0.2몰, B는 0.1몰, C는 0.1몰이므로 이 반응의 평형 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{[C]}{[A][B]} = \frac{0.1}{0.2 \times 0.1} = 5$$

6

문제 분석하기

$A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons C(g) + D(g) \quad \Delta H < 0$

기체의 몰수가 감소하는 반응이므로 부피를 증가(압력을 감소)시키면 역반응 진행

$\Delta H < 0$ 인 발열 반응이므로 온도를 높이면 역반응 진행

역반응이 진행될 때 감소하는 물질 ●와 ▲는 생성물이므로 C와 D 중 하나이다.

고정 장치, 온도 일정, 온도 높임, 고정 장치

평형 (가), 평형 (나), 평형 (다)

역반응이 진행될 때 증가하는 물질 ○와 ▲는 반응물이므로 A와 B 중 하나이다. \Rightarrow 반응 몰수비가 ○ : ▲ = 3 : 1이므로 반응식의 계수가 3인 B는 ○, 반응식의 계수가 1인 A는 ▲이다.

ㄴ. 정반응이 발열 반응이므로 온도를 높이면 흡열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

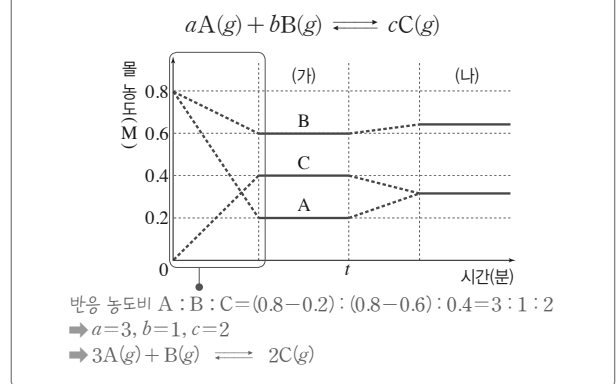
ㄷ. A는 ▲, B는 ○, C와 D는 ●과 △ 중 하나이고, 기체의 부피가 1 L이므로 $[A]$, $[B]$, $[C]$, $[D]$ 는 각각 2, 2, 8, 8이다. 따라서

$$\text{(가)에서 평형 상수 } K = \frac{[C][D]}{[A][B]^3} = \frac{8 \times 8}{2 \times 2^3} = 4 \text{이다.}$$

바로알기 ㄱ. 평형 이동이 일어나지 않는다면 부피가 2배가 될 때 압력이 $\frac{1}{2}$ 로 된다. 그러나 조건이 변하면 평형 이동이 일어나므로 전체 압력은 (가)가 (나)의 2배가 조금 못 된다.

7

문제 분석하기

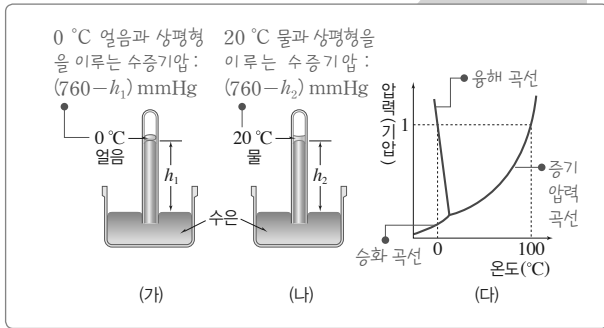


ㄴ. 평형 상수식에 (가)의 평형 농도를 대입하면 평형 상수(K)를 구할 수 있다.

$$K = \frac{[C]^2}{[A]^3[B]} = \frac{0.4^2}{0.2^3 \times 0.6} = \frac{100}{3}$$

바로알기 ㄱ. 온도를 높였더니 반응물이 증가하고 생성물이 감소하였으므로 역반응이 일어난 것이다. 따라서 역반응이 흡열 반응이므로 정반응은 발열 반응이다.

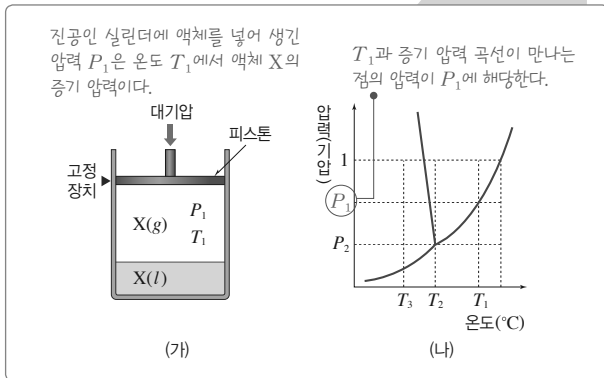
ㄷ. 촉매는 평형에 도달하는 시간만 변화시킬 뿐 평형 상수에 영향을 주지 않는다.



ㄱ. (다)의 상평형 그림에 의하면 얼음은 수증기와 승화 평형을 이루므로 얼음이 승화되어 생성된 수증기가 수은 기둥을 밀어내어 h_1 은 760 mm보다 조금 작다.

ㄴ. (다)의 상평형 그림에 의하면 온도가 높아질수록 수증기압은 커지므로 h_2 가 h_1 보다 작다.

ㄷ. 일정한 온도에서 수증기압은 같으므로 (나)의 수조에 수은을 더 넣어도 수은 기둥의 높이 h_2 는 변함이 없다.



ㄱ. 고정 장치를 풀지 않았으므로 실린더는 부피를 일정하게 유지하고 액체의 증기에 의한 압력만 가진다. 따라서 T_1 일 때 액체의 증기 압력은 P_1 이다.

ㄴ. 대기압(1기압) 하에서 (가)의 고정 장치를 풀면 (나)의 상평형 그림에서 T_1 일 때 액체의 증기 압력 P_1 은 1기압보다 작으므로 압축되어 실린더 내부 부피가 감소한다.

바로알기 ㄷ. (가)에서 고정 장치를 풀지 않고 온도를 T_3 로 낮추면 물질 X가 고체로 변하고, T_3 에서는 고체와 기체가 평형을 이룬다. (나)의 승화 곡선에서 T_3 일 때의 압력은 P_2 보다 작다.

10 실험 결과 (다)에서 수은 기둥의 높이가 같으므로 25 °C X와 40 °C Y의 증기 압력은 같다. 온도가 높을수록 증기 압력이 커지므로 같은 온도에서 Y의 증기 압력은 X보다 작다. 증기 압력이 큰 물질일수록 분자 간 인력이 작고, 끓는점이 낮다.

ㄱ. 같은 온도에서 증기 압력이 작을수록 분자 간 인력이 크다. 증기 압력은 $X > Y$ 이므로 분자 간 인력은 $X < Y$ 이다.

바로알기 ㄴ. 증기 압력이 작을수록 끓는점이 높다. 증기 압력은 $X > Y$ 이므로 기준 끓는점은 $X < Y$ 이다.

ㄷ. 증기 압력은 용액의 양과 관련이 없고, 온도에만 영향을 받으므로 (라)에서 X, Y의 증기 압력은 (다)의 결과와 같다. 따라서 수은 기둥의 높이는 a 쪽과 b 쪽이 같다.

11 주어진 그림은 물의 상평형 그림의 일부로, 얼음과 물의 증기 압력 곡선을 나타낸 것이다. 과냉각되어 온도는 낮아도 아직 분자 간 인력이 크지 않은 과냉각된 물은 같은 온도의 고체 얼음보다 분자 운동이 활발하므로 증기 압력이 더 크다.

ㄱ. 점 A의 물은 액체를 급냉각시켜 분자의 운동이 일어나지 못한 상태에서 온도만 낮아진 불안정한 상태이다. 따라서 자극을 주어 분자를 움직이게 하면 결정 구조를 이루며 쉽게 얼음이 된다.

ㄴ. 증기 압력 곡선이 꺾이는 지점인 B에서 얼음의 증기 압력 곡선과 물의 증기 압력 곡선이 만나므로 B는 상평형 그림의 삼중점에 해당한다. 따라서 B에서 물, 얼음, 수증기가 상평형을 이룬다.

ㄷ. 얼음의 증기 압력 곡선은 얼음의 승화 과정을 설명할 수 있다. 따라서 고체가 기체로 승화되는 현상을 이용하는 동결 건조 식품의 제조 과정을 설명할 수 있다.

• 가열 곡선에서 기울기가 클수록 온도 변화가 크므로 비열이 작다.

비열이 가장 작으므로 기체 상태

비열이 크므로 액체 상태

녹는점은 P_C 가 P_B 보다 낮다.

고체+액체

고체+액체

액체

고체

삼중점

기체

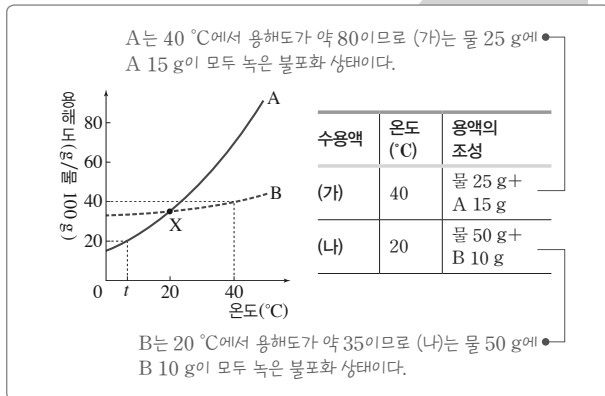
ㄴ. 온도 a에서 P_A 의 압력이면 물질이 기체 상태로 존재하고, P_B 의 압력이면 고체 상태이며, P_C 의 압력이면 고체에서 액체로 상태 변화가 일어나야 한다. 따라서 온도 a는 삼중점보다 낮은 온도이다. 온도 a가 삼중점보다 높으면 액체와 기체 상태만 존재한다.

바로알기 ㄱ. P_A 는 그래프의 기울기가 가장 크므로 비열이 가장 작다. 따라서 P_A 에서는 기체 상태로 존재하므로 P_A 의 압력은 삼중점의 압력보다 낮다. P_B 는 온도가 일정한 구간 이전보다 이후의 기울기가 작으므로 비열이 작은 고체에서 비열이 큰 액체로 상태 변화가 일어나고 있는 것을 나타낸다. 따라서 P_B 의 압력은 삼중점의 압력보다 높다. P_C 는 용해 곡선 상에서부터 액체로 되는 경우를 나타내므로 P_C 의 압력은 삼중점의 압력보다 높다. (나)에서 고체의 녹는점은 압력이 높을수록 감소하므로 녹는점이 낮은 P_C 는 P_B 보다 압력이 높은 상태이다. 따라서 압력의 크기는 $P_A < P_B < P_C$ 이다.

ㄷ. P_B 의 압력에서 열을 가하면 물질은 고체에서 액체로 상태 변화하므로 온도 a , 압력 P_B 인 상태에서 이 물질은 고체 상태이다.

13

문제 분석하기



ㄱ. 점 X에서 용해도가 같아 물 100 g에 최대로 녹는 용질의 질량이 같으므로 A와 B의 포화 수용액의 퍼센트 농도는 같다.

ㄴ. (가)의 온도를 t °C로 낮추면 용해도가 감소하는데 물 100 g에 A가 최대로 20 g 녹을 수 있으므로 물 25 g에는 A가 최대로 5 g이 녹아 $15\text{ g} - 5\text{ g} = 10\text{ g}$ 이 석출된다.

바로알기 ㄷ. 40 °C에서 B의 포화 수용액은 물 100 g(=0.1 kg)에 B 40 g이 녹아 있으므로 B의 화학식량을 M_B 라 할 때 몰랄 농도는 다음과 같다.

$$\text{몰랄 농도} = \frac{\frac{40}{M_B}}{0.1} = \frac{400}{M_B}(\text{m})$$

물 50 g(=0.05 kg)에 B 10 g이 녹아 있는 (나)의 몰랄 농도는 다음과 같다.

$$\text{몰랄 농도} = \frac{\frac{10}{M_B}}{0.05} = \frac{200}{M_B}(\text{m})$$

따라서 40 °C에서 B의 포화 수용액의 몰랄 농도는 (나)의 2배이다.

14 (가)의 A에서 추 1개의 압력은 1기압이므로 실린더 내부의

압력은 대기압+추 1개의 압력=2기압= $2 \times 760\text{ mmHg} = 1520\text{ mmHg}$ 이다. 그런데 27 °C에서 물의 증기 압력은 28 mmHg이므로 질소(N_2)의 압력은 $(1520 - 28)\text{ mmHg}$ 이다.

(가)의 B는 추가 없으므로 실린더 내부 압력은 1기압이다. 따라서 헬륨(He)의 압력은 $(760 - 28)\text{ mmHg}$ 이다.

(나)에서 추를 제거하면 실린더 내부 압력은 1기압이 되므로 N_2 의 압력은 $(760 - 28)\text{ mmHg}$ 이다.

(다)에서 콕을 열면 대기압은 1기압이지만 N_2 와 He 기체가 콕을 통해 이동하므로 전체 부피가 증가하여 두 기체 모두 부분 압력은 감소한다.

ㄷ. 헨리 법칙에 따르면 일정한 온도에서 기체의 용해도는 부분 압력에 비례한다. (다)는 (가)보다 부분 압력이 작아지므로 용해도가 감소하여 B의 물에 용해된 He 입자 수는 (가) > (다)이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 기체의 부분 압력은 N_2 가 $(1520 - 28)\text{ mmHg}$, He가 $(760 - 28)\text{ mmHg}$ 이므로 N_2 가 He의 2배보다 조금 더 크다.

ㄴ. 밀도 = $\frac{\text{질량}}{\text{부피}}$ 인데, 기체의 질량은 분자 수에 비례하고

$PV = nRT$ 에 의해 $\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$ 이므로 일정한 온도에서 밀도는 부분 압력으로 알 수 있다. (가)와 (나)는 온도가 27 °C로 일정하므로 A에서 수증기의 부분 압력이 같아 밀도는 (가) = (나)이다.

15 기체의 용해도는 온도가 낮을수록, 압력이 높을수록 증가한다.

ㄷ. 삼중점에서는 고체, 액체, 기체가 서로 평형을 이루며 공존하므로 세 상태의 자유 에너지 값이 같아 자유 에너지 변화 $\Delta G = 0$ 이다.

바로알기 ㄱ. 온도가 높아질수록 기체의 용해도는 감소한다. A와 B는 압력은 P_1 으로 같지만 온도가 다르며, 온도가 낮은 A가 B보다 더 많이 녹는다.

ㄴ. 같은 온도에서 압력과 용해도는 비례하므로 B가 C보다 적게 녹는다. 따라서 $P_1 : B = P_2 : C$ 이므로 $B = \frac{P_1}{P_2}C$, 즉 B가 C의 $\frac{P_1}{P_2}$ 배이다.

2. 평형의 이용

01 산과 염기의 평형

개념 확인 문제

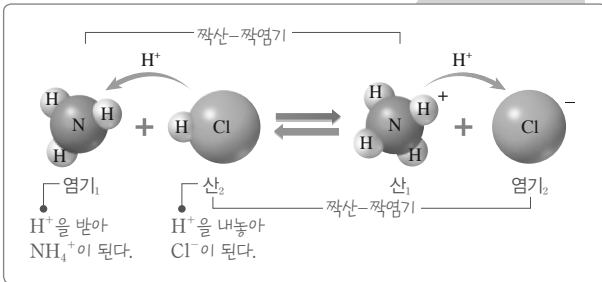
240쪽

- 1 산, 염기 2 짝산, 짝염기 3 양쪽성 물질 4 이온화도
5 높을, 물을 6 강 7 약, 강

- A 1 (1) 산: HCl , NH_4^+ , 염기: NH_3 , Cl^- (2) $\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$,
 $\text{HCl} - \text{Cl}^-$ 2 ① HS^- , ② H_2CO_3 , ③ H_2O
B 3 (1) \times (2) \bigcirc (3) \times (4) \bigcirc 4 1.69×10^{-5} 5 NO_3^-
 $< \text{H}_2\text{PO}_4^- < \text{CH}_3\text{COO}^-$

1

문제 분석하기



브뢴스테드-로우리의 산과 염기 정의에 의하면 수소 이온(H^+)을 내놓는 물질은 산, 수소 이온(H^+)을 받아들이는 물질은 염기이다.

이때 염기가 수소 이온(H^+)을 받아서 생성된 물질은 그 염기의 짝산이고, 산이 수소 이온(H^+)을 내놓아서 생성된 물질은 그 산의 짝염기이다.

2 H^+ 의 이동에 의해 산과 염기로 되는 한 쌍의 물질이 짝산-짝염기이다.

① H_2S 는 H^+ 을 내놓으면 HS^- 이 되므로 H_2S 의 짝염기는 HS^- 이다.

② HCO_3^- 이 H^+ 을 받으면 H_2CO_3 이 되므로 HCO_3^- 의 짝산은 H_2CO_3 이다.

③ OH^- 이 H^+ 을 받으면 H_2O 이 되므로 OH^- 의 짝산은 H_2O 이다.

- 3 (1) 이온화도는 온도가 높을수록, 농도가 낮을수록 커진다.
(2) 산의 이온화 상수가 클수록 이온화 평형에서 정반응이 우세하여 H^+ 이 많이 생기므로 산의 세기가 강하다.
(3) 이온화 상수는 평형 상수이므로 온도에 의해서만 변하며, 농도의 영향은 받지 않는다.

(4) 강산의 짝염기는 H^+ 과 반응하여 원래의 산이 되는 역반응을 잘 일으키지 않으므로 약염기이다. 강산의 짝염기는 약염기이고, 약산의 짝염기는 강염기이다. 즉, 짝산-짝염기의 세기는 서로 반대이다.

4 아세트산은 수용액에서 다음과 같은 이온화 평형 상태에 있다.



처음 농도(M)	C	0	0
농도 변화(M)	-Ca	+Ca	+Ca
평형 농도(M)	C(1-α)	Ca	Ca

따라서 이온화 상수(K_a)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{Ca \times Ca}{C(1-\alpha)} = \frac{Ca^2}{1-\alpha}$$

이고, 조건에서 $1-\alpha \approx 1$ 이므로 $K_a = 0.10 \times 0.013^2 = 1.69 \times 10^{-5}$ 이다.

[다른 풀이] 약산의 이온화도와 이온화 상수의 관계식을 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$K_a = Ca^2 = 0.10 \times 0.013^2 = 1.69 \times 10^{-5}$$

5

문제 분석하기

이온화 상수가 클수록 산의 세기는 강하다.

짝산(HA)	산의 이온화 상수(K_a)	짝염기(A ⁻)
HNO_3	~20	NO_3^-
H_3PO_4	7.1×10^{-3}	H_2PO_4^-
CH_3COOH	1.8×10^{-5}	CH_3COO^-

산의 세기가 약할수록 짝염기의 세기는 강하다.

산의 이온화 상수가 클수록 산의 세기가 강하다. 따라서 산의 세기는 $\text{HNO}_3 > \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{CH}_3\text{COOH}$ 순이다.

짝염기의 세기는 짝산의 세기와 반대이다. 즉, 강산의 짝염기는 약염기이고, 약산의 짝염기는 강염기이다. 따라서 짝염기의 세기는 $\text{NO}_3^- < \text{H}_2\text{PO}_4^- < \text{CH}_3\text{COO}^-$ 순이다.

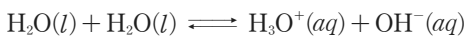
개념 확인 문제

243쪽

- 1 자동 이온화 2 이온곱 상수, 높 3 $[\text{H}_3\text{O}^+]$, $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 4 14, 작아 5 작, 크

- C 1 (1) \bigcirc (2) \bigcirc (3) \times (4) \bigcirc (5) \times 2 A : 7.3, B : 3, C : 7, D : 2 3 0.094 M 4 (1) 3 (2) 3.7 (3) 11.96 5 pH=12.3, pOH=1.7

1 (1) 물은 다음과 같이 자동 이온화하여 H_3O^+ 과 OH^- 을 1 : 1로 내놓는다.



(2) 중성 용액에서는 $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$, 산성 용액에서는 $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$, 염기성 용액에서는 $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$ 이다.

(3) pH는 수용액 속 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 의 역수에 대한 상용로그 값이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 커질수록 pH는 작아진다.

(4) 25°C에서 물의 이온곱 상수 K_w 는 1.0×10^{-14} 으로 일정하므로 pH와 pOH의 합은 항상 14로 일정하다.

(5) pH 값이 커질수록 수용액의 산성은 약해지고, 염기성은 강해진다.

2 $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이고, $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$ 이며, $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ (25°C)이다. $\log 5 = \log \frac{10}{2} = 1 - \log 2 = 0.7$ 이므로 각각의 경우에 대하여 pH와 pOH를 구하면 다음과 같다.

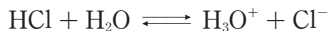
$$\text{A : pH} = -\log(5.0 \times 10^{-8}) = 8 - \log 5 = 7.3$$

$$\text{B : pH} = -\log(1.0 \times 10^{-3}) = 3$$

$$\text{C : pOH} = -\log(1.0 \times 10^{-7}) = 7, \text{ pH} = 14 - \text{pOH} = 7$$

$$\text{D : pOH} = -\log(1.0 \times 10^{-12}) = 12, \text{ pH} = 14 - \text{pOH} = 2$$

3 염산(HCl)은 수용액 상태에서 다음과 같이 이온화한다.



처음 농도(M)	C	0	0
반응 농도(M)	-Cα	+Cα	+Cα
평형 농도(M)	C(1-α)	Cα	Cα

즉, H_3O^+ 의 몰 농도는 처음 몰 농도(C) × 이온화도(α)이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0.10 \times 0.94 = 0.094(\text{M})$ 이다.

$$\text{4 (1) pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log C\alpha = -\log(0.1 \times 0.01) = -\log(1 \times 10^{-3}) = 3$$

(2) $K_a = C\alpha^2$ 으로부터 α 값을 먼저 구한 후 pH를 구한다.

$$K_a = C\alpha^2 = 0.1 \times \alpha^2 = 4.0 \times 10^{-7}, \alpha = 2.0 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log C\alpha = -\log(0.1 \times 2.0 \times 10^{-3}) = -\log(2.0 \times 10^{-4}) = 4 - \log 2 = 4 - 0.3 = 3.7$$

$$\text{(3) pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log C\alpha = -\log(0.01 \times 0.9) = -\log(9 \times 10^{-3}) = 3 - \log(3^2) = 3 - 2\log 3 = 2.04$$

따라서 $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 11.96$ 이다.

5 NaOH의 몰수 = $\frac{\text{질량}}{\text{화학적량}} = \frac{0.4}{40} = 0.01(\text{몰})$ 이다. 이 수용액은 500 mL(=0.5 L)에 NaOH 0.01몰이 녹아 있으므로 몰 농도는 $\frac{0.01\text{몰}}{0.5\text{L}} = 0.02 \text{ M}$ 이다.

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log(0.02) = -\log(2 \times 10^{-2}) = 2 - \log 2 = 1.7$$

25°C 수용액에서 $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ 이므로 $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 12.3$ 이다.

개념 확인 문제

248쪽

1 음, 양 2 정염 3 가수 분해 4 산, 염기 5 공통 이온 효과
6 완충 용액

1 (1) × (2) × (3) ○ (4) × 2 L, D, M 3 ㉠ 음이온,
㉡ 산성, ㉢ 양이온, 음이온

4 4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × 5 ㉠

1 (1) Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- 등을 포함하는 염은 물에 잘 녹지만, Ca^{2+} , Ba^{2+} 과 SO_4^{2-} , CO_3^{2-} 이 결합한 염은 물에 잘 녹지 않는다.

(2) 염의 종류(정염, 산성염, 염기성염)는 염의 성분에 따라 분류한 것이고, 염을 녹인 수용액의 액성은 염의 이온화와 가수 분해를 고려해야 한다. 따라서 염의 종류와 수용액의 액성은 다를 수 있다.

(3) 약산과 강염기의 중화 반응으로 생성된 염은 가수 분해하여 염기성을 띤다. 즉, 약산의 음이온은 물과 반응하여 수용액 중에 OH^- 을 내놓는다.

(4) 강산과 강염기의 중화 반응으로 생성된 염은 가수 분해하지 않으며 염의 종류에 따라 수용액의 액성이 달라진다. NaCl, KNO_3 과 같은 염의 수용액은 중성이고, NaHSO_4 과 같은 염의 수용액은 산성을 띠며, Ca(OH)Cl 과 같은 염의 수용액은 염기성을 띤다.

2 L, D, M. Na_2CO_3 , KHCO_3 , CH_3COONa 는 약산과 강염기의 중화 반응으로 생성된 염이므로 수용액은 염기성을 나타낸다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. NaCl, K_2SO_4 는 강산과 강염기의 중화 반응으로 생성된 정염이며, 수용액은 중성을 나타낸다.

ㄷ. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 는 강산과 약염기의 중화 반응으로 생성된 염이므로 수용액은 산성을 나타낸다.

3 염의 수용액에서 약산의 음이온은 가수 분해하여 염기성을 나타내고, 약염기의 양이온은 가수 분해하여 산성을 나타낸다.

구분	약산 + 강염기 의 염	강산 + 약염기 의 염	약산 + 약염기의 염
가수 분해 이온	㉠ 음이온	양이온	㉢ 양이온, 음이온
수용액의 액성	염기성	㉡ 산성	거의 중성

4 (1) 완충 용액은 약산과 그 약산의 짝염기 또는 약염기와 그 약염기의 짝산이 약 1 : 1로 섞여 있는 수용액으로, 적은 양의 산이나 염기를 넣어도 공통 이온 효과에 의해 pH가 크게 변하지 않는다.

(2) 약산과 그 약산의 짝염기 또는 약염기와 그 약염기의 짝산으로 구성된 완충 용액에는 공통 이온이 들어 있다. 완충 용액에 산이나 염기가 첨가될 때 약산 또는 약염기의 이온화 평형이 이동하므로 산이나 염기 첨가에 의한 pH 변화를 최소화할 수 있다.

(3) $\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$
 이 평형에 있을 때 HCl을 가하면 H_3O^+ 이 증가하므로 CH_3COOH 의 이온화 평형은 H_3O^+ 이 감소하는 역반응 쪽으로 이동한다.

(4) $\text{NH}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$ 이 평형에 있을 때 NaOH 수용액을 가하면 OH^- 이 증가하므로 NH_3 의 이온화 평형은 OH^- 이 감소하는 역반응 쪽으로 이동한다.

5 완충 용액은 약산과 그 약산의 짝염기 또는 약염기와 그 약염기의 짝산을 비슷한 양으로 섞은 용액이다.

② $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}(\text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-)$
 약염기 짝산

③ $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3 (\text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-)$
 약산 짝염기

$$\textcircled{4} \text{NaH}_2\text{PO}_4(\text{Na}^+ + \underbrace{\text{H}_2\text{PO}_4^-}_{\text{약산}}) + \text{Na}_2\text{HPO}_4(2\text{Na}^+ + \underbrace{\text{HPO}_4^{2-}}_{\text{짝염기}})$$

⑤ $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}(\text{Na}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-)$
 약산 짝염기

바로알기 ① HCl과 NaCl은 강산과 강산의 염이므로 완충 용액이 될 수 없다.

(2) 산과 염기의 중화 반응에서는 H^+ 과 OH^- 이 반응하여 물이 생성된다.

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

양금이 생성되는 경우에는 양금 생성 반응도 알짜 이온 반응식에 포함시켜야 한다.

(3) 중화점의 pH는 사용한 산과 염기의 세기에 따라 달라지는데, 이것은 생성된 염의 가수 분해 반응 때문이다.

(4) 약산과 강염기의 중화 적정에서는 pH가 급격히 변하는 구간이 염기성 쪽에 치우쳐 있어 페놀프탈레인의 변색 범위가 포함되므로 지시약으로 페놀프탈레인을 사용할 수 있다.

(5) 약산과 강염기의 중화 적정에서는 생성된 염이 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 중화점의 $\text{pH} > 7$ 이고, 강산과 약염기의 중화 적정에서는 생성된 염이 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로 중화점의 $\text{pH} < 7$ 이다.

2 (1) NaOH 0.1몰이 내놓는 OH^- 의 몰수는 0.1몰이다. 그런데 H_2SO_4 1몰은 H^+ 2몰을 내놓으므로 NaOH 0.1몰을 완전히 중화시키는 데 필요한 H_2SO_4 의 몰수는 0.05몰이다. 이때 중화되는 H^+ 과 OH^- 의 몰수는 각각 0.1몰이다.

(2) NH_3 0.1몰을 물에 녹여 만든 1 L 암모니아수의 몰 농도는 0.1 M이다. 따라서 중화 반응의 양적 관계에 의해 0.1 M 암모니아수 10 mL를 완전히 중화시키는 데 필요한 0.2 M 염산(HCl)의 부피(V_1)는 5 mL이다.

$$n_1M_1V_1=n_2M_2V_2$$
$$1 \times 0.2 \text{ M} \times V_1 = 1 \times 0.1 \text{ M} \times 10 \text{ mL}, V_1 = 5 \text{ mL}$$

3 산과 염기의 중화 적정 실험에서 미지의 산 수용액의 농도 (M_1)를 구하기 위해서는 산과 염기의 가수(n_1, n_2), 사용한 염기 수용액의 농도(M_2)와 부피(V_2), 산 수용액의 부피(V_1)를 알아야 한다.

$$n_1M_1V_1=n_2M_2V_2$$

바로알기 ② 산과 염기의 중화 반응에서는 산의 이온화도, 즉 산과 염기의 세기는 고려할 필요가 없다. 약산이라고 할지라도 수산화 나트륨 수용액에 의해 중화되면 평형이 이동하여 모두 이온화되기 때문이다.

4 (가), (나), (다)의 경우 모두 산의 H^+ 몰수와 염기의 OH^- 몰수가 같으므로 조건대로 혼합하였을 경우 산과 염기가 완전히 중화된다.

(가)는 강산과 강염기의 중화 반응이므로 중화점의 $\text{pH}=7$, (나)는 강산과 약염기의 중화 반응이므로 중화점의 $\text{pH}<7$, (다)는 약산과 강염기의 중화 반응이므로 중화점의 $\text{pH}>7$ 이다. 따라서 각 혼합 수용액의 pH 는 (다) $>$ (가) $>$ (나)의 순이다.

개념 확인 문제

253쪽

1 H₂O 2 몰수, 몰수 3 지시약 4 중화 적정 5 중화점
6 중화 적정

F 1 (1) \times (2) \bigcirc (3) \times (4) \bigcirc (5) \bigcirc 2 (1) (가) 0.05몰 (나) H^+
: 0.1몰, OH^- : 0.1몰 (2) 5 mL 3 ② 4 (다) $>$ (가) $>$ (나)

1 (1) 산과 염기의 몰수가 같더라도 몰당 내놓는 H^+ 과 OH^- 의 몰수가 다를 수 있다. 예를 들어 같은 몰수비의 H_2SO_4 과 NaOH 의 경우 몰당 내놓는 H^+ 과 OH^- 의 몰수가 2 : 1이므로 완전히 중화되지는 않는다. 따라서 산과 염기가 완전히 중화하려면 산과 염기의 가수를 고려하여 다음과 같은 양적 관계가 성립해야 한다.

$$n_1M_1V_1=n_2M_2V_2$$

대표 자료 ① 1 $K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]}$ 2 $\text{HCN}, \text{H}_3\text{O}^+$ 3 (1) ○

(2) × (3) × 4 ③

대표 자료 ② 1 $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$ 2 (1) × (2) ○ (3) ×

(4) ○ 3 $1.0 \times 10^{-11} \text{ M}$

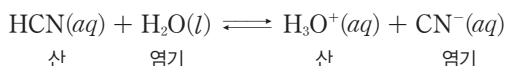
대표 자료 ③ 1 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 2 ①

대표 자료 ④ 1 0.1 M 2 0.01 3 ③ 4 페놀프탈레인

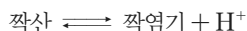
①-1 이온화 상수식에서 용매인 물은 나타내지 않는다. 따라서 이온화 상수(K_a)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

①-2 산은 수소 이온(H^+)을 내놓는 물질이므로 반응물에서는 HCN , 생성물에서는 H_3O^+ 이다.



①-3 (1) 짙산에서 수소 이온(H^+) 1개가 떨어져 나간 것이 짙염기이다. 즉, HCN 의 짙염기는 CN^- 이다.



(2) 이온화 상수(K_a)가 매우 작으므로 이온화 평형에서 역반응이 우세하다. 따라서 HCN 는 H_3O^+ 보다 약한 산이다.

(3) HCN 는 이온화 상수가 매우 작은 약산으로, 이온화 평형에서 역반응이 우세하다. 따라서 HCN 는 대부분 분자 상태로 존재한다.

①-4 $\text{pH}=12$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]=1.0 \times 10^{-12} \text{ M}$ 이다. 이 값을 이온화 상수식에 대입하면 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = 1.0 \times 10^{-12} \times \frac{[\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = 6.2 \times 10^{-10}$$

따라서 $\frac{[\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = 6.2 \times 10^2$ 이므로 $[\text{HCN}] : [\text{CN}^-] = 1 : 620$ 이다.

②-1 평형 상수식에 순수한 물질인 액체나 고체는 나타내지 않는다. 따라서 물의 이온곱 상수(K_w)는 다음과 같이 나타낸다.
 $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$

②-2 (1) 주어진 표에서 온도가 높아지면 물의 이온곱 상수(K_w)가 커지므로 온도가 높을수록 이온화도가 커지는 것을 알 수 있다. 물의 자동 이온화 평형은 정반응이 흡열 반응이므로 온도가 높을수록 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 물의 이온곱 상수가 커진다.

(2) 물은 자동 이온화 평형에서 수소 이온을 내놓기도 하고 받기도 하므로 산과 염기의 역할을 모두 하는 양쪽성 물질이다.

(3) 물의 짙산은 물(H_2O)에 수소 이온이 결합된 형태이어야 하므로 H_3O^+ 이다.

(4) 25°C 에서 $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 이므로 순수한 물은 $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이다.

②-3 $\text{pH}=3$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다. 25°C 에서 물의 이온곱 상수 $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 이므로 $(1.0 \times 10^{-3}) \times [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 이다. 따라서 $[\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-11} \text{ M}$ 이다.

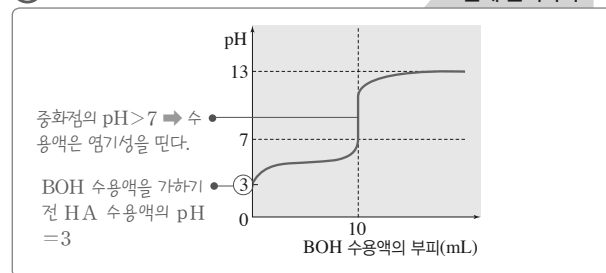
③-1 (1) CH_3COONa 이 물에 녹아 생성되는 CH_3COO^- 은 CH_3COOH 의 이온화 평형에 의해서도 생성되므로 공통 이온이다.

(2), (3), (4) 산을 넣으면 CH_3COOH 의 이온화 평형은 역반응 쪽으로 이동하므로 CH_3COO^- 의 농도가 감소하며, 이 과정에서 증가한 H_3O^+ 이 제거되므로 pH 는 거의 일정하게 유지된다. 또한 염기를 넣으면 CH_3COOH 의 이온화 평형은 정반응 쪽으로 이동하므로 CH_3COO^- 의 농도가 증가하며, 이 과정에서 증가한 OH^- 이 H_3O^+ 과 반응하여 제거되므로 pH 는 거의 일정하게 유지된다.

③-2 이 혼합 용액은 약산 CH_3COOH 과 그 약산의 짙염기 CH_3COO^- 이 약 1 : 1로 섞여 있는 수용액으로, 적은 양의 산이나 염기를 넣어도 공통 이온 효과에 의해 pH 가 크게 변하지 않는다.

④-1

문제 분석하기



중화점까지 사용된 0.1 M BOH 수용액의 부피가 10 mL이므로 중화 반응의 양적 관계를 이용하여 HA 수용액의 몰 농도(x)를 구하면 다음과 같다.

$$n_1 M_1 V_1 = n_2 M_2 V_2$$

$$1 \times x \times 10 \text{ mL} = 1 \times 0.1 \text{ M} \times 10 \text{ mL}, x = 0.1 \text{ M}$$

따라서 HA 수용액의 몰 농도는 0.1 M이다.

④-2 $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이고 BOH 수용액을 가하기 전 HA 수용액의 $\text{pH} = 3$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \text{ M}$ 이다. 이때 HA 수용액의 몰 농도(C)는 0.1 M 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = C\alpha = 0.1 \times \alpha = 10^{-3}$, 이온화도(α) = 0.01이다.

④-3 중화점의 pH가 7보다 크므로 수용액은 염기성을 나타낸다. 그 이유는 HA 수용액과 BOH 수용액이 중화 반응하여 생성되는 염 BA에서 음이온인 A^- 만 가수 분해하여 OH^- 을 생성하기 때문이다. 따라서 HA는 약산, BOH는 강염기이다.

④-4 메틸 오렌지의 변색 범위는 산성 쪽에 치우쳐 있고, 페놀프탈레인의 변색 범위는 염기성 쪽에 치우쳐 있다. 지시약의 변색 범위가 중화점을 포함해야 하므로 염기성 변색 범위를 가지는 페놀프탈레인 이 적당하다.

내신 만점 문제

256~261쪽

- 01 $\text{HA} > \text{HC} > \text{HB}$ 02 ① 03 c, e 04 (가) $2 \times 10^{-3} \text{ M}$
 (나) 2×10^{-5} 05 ⑤ 06 ④ 07 ④ 08 ⑤ 09 ④
 10 ② 11 (가) 0.01 (나) 3 12 ⑤ 13 ④ 14 ④
 15 ⑤ 16 ④ 17 ④ 18 ② 19 ① 20 0.05 M
 21 ④ 22 ③ 23 ⑤ 24 ③ 25 c, d 26 ⑤
 27 해설 참조 28 해설 참조 29 해설 참조

01 $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이고, $[\text{H}_3\text{O}^+] = C\alpha$ 이다. 따라서 산 HA, HB, HC 수용액의 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 를 구하면 다음과 같다.

산	HA	HB	HC
농도(M) = C	0.01	0.1	0.5
이온화도 = α	0.9	0.7	0.1
$[\text{H}_3\text{O}^+] = C\alpha$	0.009 M	0.07 M	0.05 M

$[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 클수록 pH는 작아지므로 HA, HB, HC 수용액의 pH는 $\text{HA} > \text{HC} > \text{HB}$ 이다.

02 \neg . 주어진 표에서 HA의 농도가 묽을수록 이온화도가 증가함을 알 수 있다. 같은 온도에서 동일한 산의 이온화도는 농도가 진할수록 감소한다. 그리고 이온화도(α)가 작아도 산의 농도(C)가 진할수록 H_3O^+ 의 농도가 커진다.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = C\alpha$$

바로알기 \neg . $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 클수록 pH는 작다. 주어진 표에서 HA의 농도가 묽을수록 H_3O^+ 의 농도가 감소하므로 용액의 pH는 증가한다.

d . HA의 농도가 묽을수록 이온화도는 증가하지만, 이온화 상수(K_a)는 온도가 변하지 않는 한 달라지지 않는다.

03 주어진 이온화 평형식으로부터 이온화 상수

$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]}$ 이고, 각 물질의 평형 상태에서의 몰 농도를 이 식에 대입하면 다음과 같다.

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} = \frac{C\alpha \times C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$$

약산의 이온화도는 매우 작으므로 $1-\alpha \approx 1$ 이 되어 $K_a = C\alpha^2$ 이다.

따라서 $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$, $[\text{H}_3\text{O}^+] = C\alpha = \sqrt{K_a C}$ 이므로 H_3O^+ 의 농도를 구하려면 폼산(HCOOH) 수용액의 몰 농도(C)와 HCOOH의 이온화 상수(K_a)가 필요하다.

04

문제 분석하기

	$\text{NH}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$		
처음 농도(M)	C	0	0
반응 농도(M)	-C α	+C α	+C α
평형 농도(M)	C(1- α)	C α	C α
$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{C\alpha \times C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$			
$\hookrightarrow \bullet \text{NH}_3$ 는 약염기이므로 $1-\alpha \approx 1$ 이라 하면 $K_b = C\alpha^2$ 이다.			

(가) 수용액에서 $[\text{OH}^-] = C\alpha$ 이므로 0.2 M NH_3 수용액에서 $[\text{OH}^-] = C\alpha = 0.2 \times 0.01 = 2 \times 10^{-3} (\text{M})$ 이다.

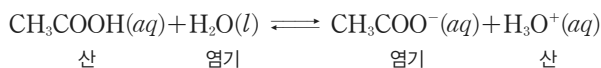
(나) 이온화 상수식과 평형 농도를 이용하여 이온화 상수(K_b)를 구하면 다음과 같다.

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{C\alpha \times C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha} \\ = \frac{0.2 \times (0.01)^2}{1-0.01} \approx 2 \times 10^{-5}$$

[다른 풀이] 약염기의 이온화도와 이온화 상수의 관계식을 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$K_b = C\alpha^2 = 0.2 \times (0.01)^2 = 2 \times 10^{-5}$$

05 아세트산(CH_3COOH)의 이온화 평형에서 산과 염기의 관계는 다음과 같다.

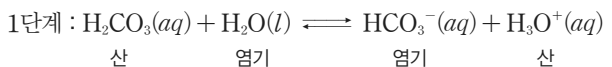


\neg . H_2O 은 수소 이온을 받았으므로 염기로 작용하였다.

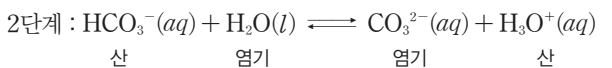
\neg . 짝염기에서 수소 이온 1개가 결합한 것이 짝산이다.

d . 이온화 상수가 매우 작으므로 역반응이 우세하다. 따라서 H_3O^+ 은 CH_3COOH 보다 강한 산이다.

06 ㄴ. 염기는 이온화 평형에서 수소 이온을 받는 물질이다. 따라서 정반응에서는 H_2O , 역반응에서는 HCO_3^- 과 CO_3^{2-} 이 염기로 작용하였다.



$$K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7}$$



$$K_{a2} = 4.7 \times 10^{-11}$$

ㄷ. HCO_3^- 은 양쪽성 물질로, 산과 염기로 모두 작용하였다.

바로알기 ㄱ. 1단계와 2단계의 이온화 상수가 매우 작으므로 산의 세기는 $\text{H}_2\text{CO}_3 < \text{H}_3\text{O}^+$ 이고, $\text{HCO}_3^- < \text{H}_3\text{O}^+$ 이다. 또, 1단계보다 2단계의 이온화 상수가 더 작으므로 산의 세기는 $\text{HCO}_3^- < \text{H}_2\text{CO}_3$ 이다. 즉, 산의 세기는 $\text{HCO}_3^- < \text{H}_2\text{CO}_3 < \text{H}_3\text{O}^+$ 이다.

07 ㄱ. H_2O 은 두 반응에서 모두 H^+ 을 받으므로 염기로 작용하였다.

ㄷ. HA의 이온화도가 HB보다 크므로 HA가 HB보다 강한 산이다. 산의 세기가 강할수록 짝염기의 세기는 약하므로 A^- 은 B^- 보다 약한 염기이다.

바로알기 ㄴ. HB의 이온화도가 매우 작으므로 HB의 이온화 평형에서는 역반응이 우세하다. 따라서 반응물이 생성물에 비해 약한 산, 약한 염기이다. 즉, HB는 H_3O^+ 보다 약한 산이다.

08 ㄴ. CH_3COOH 의 이온화 상수가 H_2CO_3 보다 크므로 CH_3COOH 이 H_2CO_3 보다 강한 산이다. 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하므로 CH_3COO^- 은 HCO_3^- 보다 약한 염기이다.

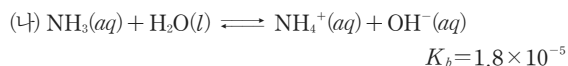
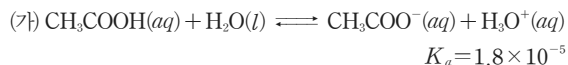
ㄷ. 이온화 상수가 더 큰 H_2CO_3 이 H_2S 보다 강한 산이므로 같은 농도의 수용액에서 더 강한 산성을 나타낸다. 따라서 같은 농도에서 H_2CO_3 수용액의 pH는 H_2S 수용액보다 작다.

바로알기 ㄱ. CH_3COOH 의 이온화 상수가 H_2S 보다 크므로 CH_3COOH 이 H_2S 보다 강한 산이다.

09

문제 분석하기

(가)는 아세트산의 이온화 평형이고, (나)는 암모니아의 이온화 평형이다.



(가)와 (나)에서 이온화 상수가 1보다 작으므로 CH_3COOH 과 NH_3 는 약산과 약염기이다.

(가) 산의 세기: $\text{CH}_3\text{COOH} < \text{H}_3\text{O}^+$

(나) 염기의 세기: $\text{NH}_3 < \text{OH}^-$

① H_2O 은 (가)에서는 염기로 작용하고, (나)에서는 산으로 작용한다.

② 이온화 평형에서 수소 이온을 받는 물질은 염기이므로 (가)에서 CH_3COO^- 은 CH_3COOH 의 짝염기이다.

③ 아세트산(CH_3COOH)이 약산이므로 산의 세기는 $\text{CH}_3\text{COOH} < \text{H}_3\text{O}^+$ 이다.

⑤ 두 물질의 농도와 이온화 상수가 같으므로 CH_3COO^- 의 농도와 NH_4^+ 의 농도는 같다.

바로알기 ④ 암모니아(NH_3)가 약염기이므로 염기의 세기는 $\text{NH}_3 < \text{OH}^-$ 이다.

10 $[\text{H}_3\text{O}^+] = C\alpha$ 인데, HCl 수용액의 농도(C)는 0.01 M이고, HCl의 이온화도(α)는 1.0이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0.01 \text{ M}$ 이다. 25°C 에서 $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 이므로 $[\text{OH}^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = 1.0 \times 10^{-12}(\text{M})$ 이다.

11 HA가 이온화하면 A^- 과 H^+ 이 1 : 1로 생성되므로 H^+ 의 평형 농도 b 는 0.001 M이다. 이때 반응한 HA의 농도는 0.001 M이므로 HA의 평형 농도 a 는 $0.100 \text{ M} - 0.001 \text{ M} = 0.099 \text{ M}$ 이다.

화학 반응식	$\text{HA}(aq) \rightleftharpoons \text{A}^-(aq) + \text{H}^+(aq)$
처음 농도(M)	0.100 0 0
반응 농도(M)	-0.001 +0.001 +0.001
평형 농도(M)	$a=0.099$ 0.001 $b=0.001$

(가) 이온화도 $\alpha = \frac{\text{이온화한 HA 분자 수}}{\text{처음에 용해시킨 HA 분자 수}}$ 이므로

$$\alpha = \frac{0.001}{0.100} = 0.01 \text{이다.}$$

(나) H^+ 의 평형 농도 b 가 $0.001 \text{ M} = 10^{-3} \text{ M}$ 이므로 수용액의 $\text{pH} = -\log 10^{-3} = 3$ 이다.

12

문제 분석하기

수용액의 액성	산성	중성	염기성
$[\text{H}_3\text{O}^+]$	1 10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9} 10^{-10} 10^{-11} 10^{-12} 10^{-13} 10^{-14}		
pH	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14		
pOH	14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
$[\text{OH}^-]$	10^{-14} 10^{-13} 10^{-12} 10^{-11} 10^{-10} 10^{-9} 10^{-8} 10^{-7} 10^{-6} 10^{-5} 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 1		

• $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 커지면 $[\text{OH}^-]$ 는 작아진다.

• $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이고, $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$ 이다.

①, ④ 25°C 수용액에서 $[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 이고, $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ 이다.

② 25°C 에서 중성 용액은 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 $1.0 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이므로 $\text{pH} = 7$ 이다.

③ $[H_3O^+]$ 가 클수록 수용액의 산성이 강해지며 pH가 작아진다.
바로알기 ⑤ 25 °C에서 염기성 수용액은 $[OH^-]$ 가 $[H_3O^+]$ 보다 크므로 $[H_3O^+]$ 는 $1.0 \times 10^{-7} M$ 보다 작다.

13 ①, ② 온도가 높을수록 물의 이온곱 상수(K_w)가 커진다. 즉, 온도가 높을수록 자동 이온화로 이온이 많이 생성되어 $[H_3O^+]$ 와 $[OH^-]$ 가 커지므로 pH와 pOH는 모두 작아진다.

③ 25 °C에서 $K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ 이므로 $[H_3O^+] = [OH^-] = 1 \times 10^{-7} M$ 이다.

⑤ 온도가 높을수록 평형 상수인 물의 이온곱 상수가 커지므로 물의 자동 이온화 반응은 흡열 반응이다.

바로알기 ④ 50 °C에서 $K_w = [H_3O^+][OH^-] = 6 \times 10^{-14}$ 이므로 $[H_3O^+] = \sqrt{6} \times 10^{-7} M$ 이다. 따라서 $[H_3O^+] > 10^{-7} M$ 이므로 pH < 7이다.

14 각 염의 수용액에서 액성은 다음과 같다.

염	NaCl	NH ₄ Cl	KHSO ₄	NaHCO ₃	CH ₃ COONa
액성	중성	산성	(가) 산성	(나) 염기성	염기성

① NaCl은 물에 녹아 가수 분해하지 않으므로 Na^+ 과 Cl^- 으로 존재한다.

② NH_4Cl 수용액은 약염기의 양이온인 NH_4^+ 이 일부 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로 산성을 나타낸다.

③ K^+ 과 HSO_4^- 은 가수 분해하지 않는데, HSO_4^- 은 강산의 음이온으로 염기성은 약하고 추가로 이온화할 수 있는 수소 이온을 가지고 있어 다음과 같이 이온화한다.

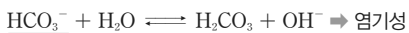
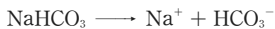


⑤ CH_3COONa 수용액은 약산의 음이온인 CH_3COO^- 이 일부 가수 분해하여 OH^- 을 생성한다.

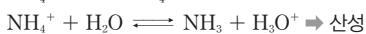
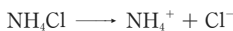
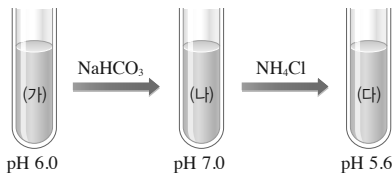
바로알기 ④ $NaHCO_3$ 수용액은 약산의 음이온인 HCO_3^- 이 일부 가수 분해하여 OH^- 을 생성하므로 염기성을 나타낸다.

15

문제 분석하기



↳ 약산의 음이온이므로 가수 분해하여 OH^- 을 생성한다.



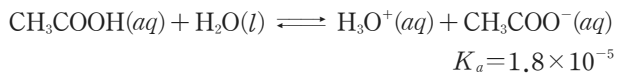
↳ 약염기의 양이온이므로 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성한다.

ㄱ. pH 6.0인 용액 (가)에 $NaHCO_3$ 을 녹였을 때 pH가 7.0으로 증가하였으므로 $NaHCO_3$ 수용액은 염기성을 나타낸다.

ㄴ. $pH = -\log[H_3O^+]$ 이므로 pH가 작을수록 H_3O^+ 의 농도가 크다. 따라서 수용액의 H_3O^+ 농도는 (다) > (가) > (나) 순이다.

ㄷ. pH 7.0인 용액 (나)에 NH_4Cl 을 녹였을 때 pH가 5.6으로 감소하였으므로 NH_4Cl 수용액은 산성을 나타낸다. 즉, NH_4^+ 이 가수 분해하여 H_3O^+ 의 농도를 증가시킨다.

16 25 °C에서 아세트산(CH_3COOH) 수용액은 다음과 같이 이온화 평형을 이룬다.



25 °C에서 0.1 M CH_3COOH 수용액 100 mL에는 0.1 M \times 0.1 L = 0.01몰의 아세트산이 들어 있으므로 아세트산 나트륨(CH_3COONa) 0.01몰을 녹이면 약산과 그 약산의 짝염기가 1 : 1로 혼합된 완충 용액이 된다.

①, ②, ③ 아세트산 나트륨을 수용액에 녹이면 CH_3COO^- 이 생성되는데, 이 CH_3COO^- 은 아세트산의 이온화 평형에서 생성물도 되어 공통 이온으로 작용하므로 아세트산의 이온화 평형은 역반응 쪽으로 이동한다. 또, 아세트산의 이온화 평형이 역반응 쪽으로 이동하면 CH_3COO^- 이 H_3O^+ 과 결합하므로 H_3O^+ 의 농도는 감소한다.

⑤ 혼합 용액에 염기가 소량 첨가되면 산인 CH_3COOH 과 중화 반응하여 제거되고, 산이 소량 첨가되면 염기인 CH_3COO^- 과 결합하여 제거되므로 수용액의 pH가 거의 일정하게 유지된다.

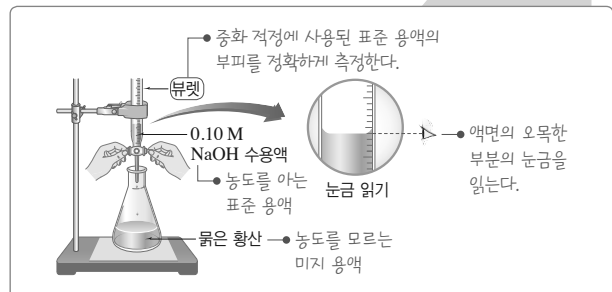
바로알기 ④ 온도가 같으므로 이온화 상수(K_a)는 일정하다.

17 (가) $H_2CO_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$ 의 평형에 소량의 HCl을 첨가하면 H_3O^+ 의 공통 이온 효과에 의해 역반응(ㄴ)이 일어나 다시 평형을 이룬다.

(나) 소량의 NaOH 수용액을 첨가하면 OH^- 이 H_2CO_3 과 중화 반응(ㄷ)을 하여 다시 평형을 이룬다.

18

문제 분석하기



일반적인 중화 적정 실험 방법은 다음과 같다.

먼저 적정하고자 하는 물질을 피펫을 이용하여 삼각 플라스크에 넣는다. 중화 적정할 때 pH가 급격히 변하는 구간에 변색 범위가 포함되는 지시약을 삼각 플라스크에 1~2방울 떨어뜨린다. 지시약의 색 변화가 나타날 때까지 표준 용액을 떨어뜨린다. 지시약의 색 변화가 나타나면 그때까지 떨어뜨린 표준 용액의 부피를 구하고, $n_1M_1V_1=n_2M_2V_2$ 의 관계식을 이용하여 미지 용액의 농도를 구한다.

② 순서에 맞게 주어진 실험을 배치하면 (가) → (다) → (라) → (마) → (나)의 순서가 된다.

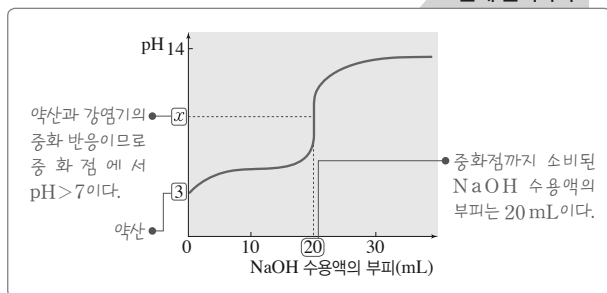
19 농도를 모르는 묽은 황산은 피펫(A)을 이용해 부피를 정확히 측정하여 삼각 플라스크에 넣는다.

페놀프탈레인 용액은 산성과 중성에서는 무색, 염기성에서는 붉은색을 나타낸다. 강산을 강염기로 적정하므로 용액의 액성은 산성에서 중성을 거쳐 염기성으로 바뀐다. 따라서 페놀프탈레인의 색은 무색(B)에서 붉은색(C)으로 변한다.

20 황산(H_2SO_4)은 2가 산이다. 묽은 황산 10.0 mL를 중화시키는 데 필요한 0.10 M NaOH 수용액의 부피가 10.0 mL이므로 $n_1M_1V_1=n_2M_2V_2$ 에 의해 묽은 황산의 농도(x)는 다음과 같다. $2 \times x \times 10.0 \text{ mL} = 1 \times 0.10 \text{ M} \times 10.0 \text{ mL}$, $x = 0.05 \text{ M}$

21

문제 분석하기



ㄴ. HA 수용액 20 mL를 완전히 중화시키는 데 필요한 0.1 M NaOH 수용액의 부피가 20 mL이므로 $n_1M_1V_1=n_2M_2V_2$ 에 의해 HA 수용액의 농도(x)는 다음과 같다.

$$1 \times x \times 20 \text{ mL} = 1 \times 0.1 \text{ M} \times 20 \text{ mL}, x = 0.1 \text{ M}$$

ㄹ. 약산과 강염기의 중화 반응이므로 중화점이 염기성을 나타낸다. 따라서 지시약으로는 페놀프탈레인이 적당하다.

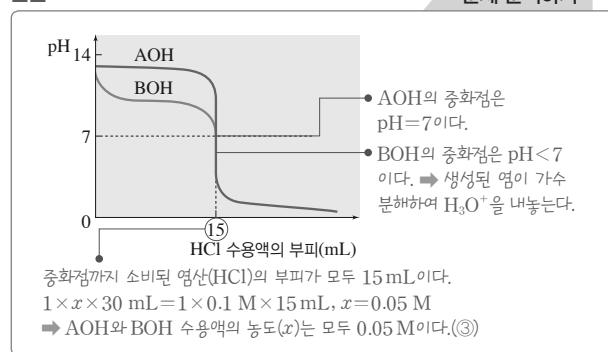
바로알기 ㄱ. 약산과 강염기의 중화 반응에서는 생성된 염이 가수 분해하여 염기성을 띠므로 중화점에서 pH(x)는 7보다 크다.

ㄷ. 적정 전 HA 수용액은 pH=3이다. $[H_3O^+] = C\alpha$ 이므로 이온화도(α)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$[H_3O^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M} = C\alpha = 0.1 \text{ M} \times \alpha, \alpha = 0.01$$

22

문제 분석하기



바로알기 ① AOH의 중화점은 pH 7이고 BOH의 중화점은 pH 7보다 낮은 부분에 위치하므로 AOH는 강염기이고, BOH는 약염기이다.

또는 AOH와 BOH 수용액은 농도가 같은데 염산(HCl)을 가하기 전 AOH의 pH가 BOH의 pH보다 크므로 AOH는 BOH보다 이온화도가 큰 강한 염기임을 알 수 있다.

② AOH가 BOH보다 강한 염기이므로 AOH의 이온화도는 BOH의 이온화도보다 크다.

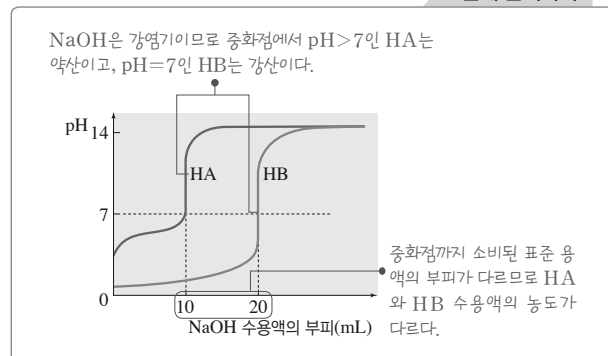
④ AOH의 중화점은 pH 7이므로 중화점에서 용액은 중성을 나타낸다.

⑤ AOH의 중화 적정 곡선에서 pH가 급격하게 변하는 구간에 페놀프탈레인의 변색 범위가 포함되므로 지시약으로 페놀프탈레인을 사용할 수 있다.

그러나 BOH의 중화 적정 곡선에서 pH가 급격하게 변하는 구간에 페놀프탈레인의 변색 범위가 포함되지 않으므로 지시약으로 페놀프탈레인을 사용할 수 없다. 이 경우 변색 범위가 산성 쪽에 있는 메틸 오렌지를 사용한다.

23

문제 분석하기



① 중화 반응의 양적 관계 $n_1M_1V_1=n_2M_2V_2$ 를 이용하여 HA 수용액의 농도(x)를 구하면 다음과 같다.

$$1 \times x \times 20 \text{ mL} = 1 \times 0.1 \text{ M} \times 10 \text{ mL}, x = 0.05 \text{ M}$$

② HA는 약산이므로 강산인 HB보다 이온화도가 작다.

③ 중화점까지 소비된 NaOH 수용액의 부피가 HB 수용액의 경우 HA 수용액의 2배이다. 즉, HB 수용액의 농도는 HA 수용액 농도의 2배이다.

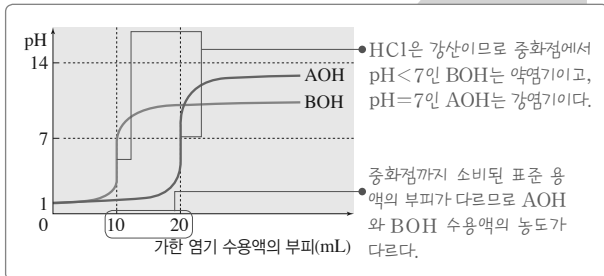
④ HB는 강산이므로 중화점에서 가수 분해하지 않아 pH=7로 중성이다.

바로알기 ⑤ NaA는 약산의 음이온인 A⁻이 가수 분해하여 OH⁻을 생성하므로 염기성을 나타낸다.



24

문제 분석하기



③ 중화점까지 소비된 표준 용액의 부피로 염기의 농도를 구하면 다음과 같다.

$$\text{AOH 수용액의 농도}(x) : n_1 M_1 V_1 = n_2 M_2 V_2,$$

$$1 \times 0.1 \text{ M} \times 20 \text{ mL} = 1 \times x \times 20 \text{ mL}, x = 0.1 \text{ M}$$

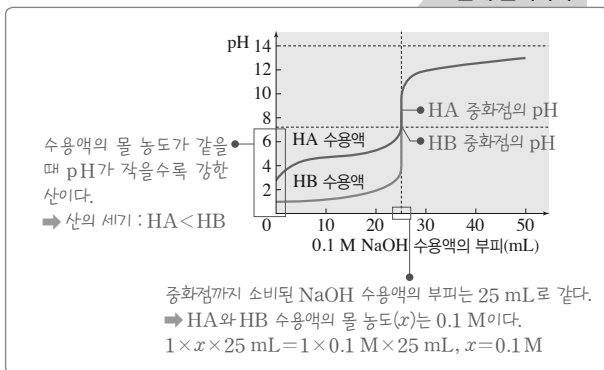
$$\text{BOH 수용액의 농도}(y) : n_1 M_1 V_1 = n_2 M_2 V_2,$$

$$1 \times 0.1 \text{ M} \times 20 \text{ mL} = 1 \times y \times 10 \text{ mL}, y = 0.2 \text{ M}$$

바로알기 ①, ②, ④, ⑤ 중화점의 pH가 AOH > BOH이므로 염기의 세기는 AOH > BOH이다. 염기의 세기가 강할수록 이온화도도 크고 이온화 상수도 크므로 AOH > BOH이다.

25

문제 분석하기



ㄴ. HA는 약산이고, HB는 강산이다. 산의 세기가 강할수록 이온화 상수가 크므로 이온화 상수는 HB가 HA보다 크다.

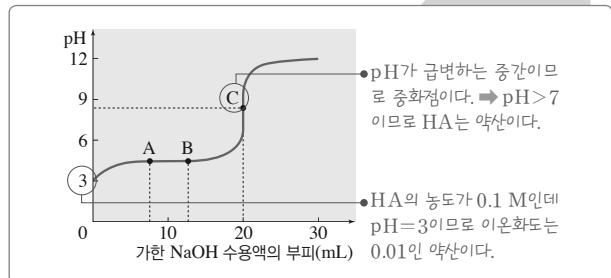
ㄷ. 같은 농도의 산 수용액에서 음이온의 농도는 H₃O⁺의 농도와 마찬가지로 이온화 상수가 클수록 크다. 따라서 음이온의 농도는 HB 수용액이 HA 수용액보다 크다.

바로알기 ㄱ. 중화점까지 소비된 NaOH 수용액의 부피가 같으므로 HA 수용액과 HB 수용액의 몰 농도는 같다.

ㄹ. 중화점에서 혼합 용액의 pH는 HA의 경우 pH > 7이고, HB의 경우 pH = 7이다.

26

문제 분석하기



ㄱ. 중화점에서 미지 용액과 표준 용액의 부피가 20 mL로 같으므로 HA 수용액의 농도는 NaOH 수용액과 같은 0.1 M이다.

ㄴ. 점 C의 pH는 약산의 음이온인 A⁻의 가수 분해에 의한 것이다.

ㄷ. AB 구간에서 HA와 NaOH 혼합 수용액은 중화 반응이 절반 정도 일어나 HA와 A⁻의 농도비가 약 1 : 1인 완충 용액으로 작용한다.

27 NH₃의 이온화 상수(K_b)가 매우 작으므로 평형이 역반응 쪽으로 치우쳐 있다. 따라서 반응물보다 생성물이 더 강한 산과 강한 염기이다.

●모범 답안● NH₄⁺ 이온화 상수(K_a)가 매우 작으므로 평형이 역반응 쪽으로 치우친다. 따라서 역반응에서 산으로 작용하는 NH₄⁺이 가장 강한 산이다.

채점 기준	배점
NH ₄ ⁺ 을 고르고, 그 이유를 옳게 서술한 경우	100 %
NH ₄ ⁺ 만 고른 경우	30 %

28 ●모범 답안● 물이 자동 이온화될 때 내놓는 H₃O⁺과 OH⁻의 몰 수비는 항상 1 : 1이고, 25 °C에서 물의 이온곱 상수 K_w = [H₃O⁺][OH⁻] = 1.0 × 10⁻¹⁴이다. 따라서 25 °C에서 [H₃O⁺] = [OH⁻] = 1.0 × 10⁻⁷ M 이므로 중류수의 액성은 중성이다.

채점 기준	배점
물의 이온곱 상수로 옳게 서술한 경우	100 %
물의 이온곱 상수를 이용하지 않고 물의 자동 이온화만 서술한 경우	40 %

29 ●모범 답안● 메틸 오렌지, pH가 급변하는 범위가 산성 쪽에 치우쳐 있으므로 변색 범위가 산성 쪽에 있는 메틸 오렌지를 지시약으로 사용할 수 있다.

채점 기준	배점
지시약을 옳게 고르고, 그 이유를 옳게 서술한 경우	100 %
지시약만 옳게 고른 경우	30 %

02 산화-환원 평형

개념 확인 문제

266쪽

1 일, 양 2 화학 전지 3 산화, 환원 4 볼타 5 염다리

A 1 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

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

4 (1) Cu < Zn (2) 감소한다. (3) 점점 열어진다.

1 CuSO_4 수용액에 Zn을 넣으면 Zn은 전자를 잃고 Zn^{2+} 으로 산화되어 용액 속으로 녹아 들어가고, 용액 속의 Cu^{2+} 이 전자를 얻고 환원되어 금속 Cu가 석출된다.

(1) Zn판 표면에 Cu^{2+} 이 환원되어 생성된 금속 Cu가 석출된다.

(2) CuSO_4 수용액에 Zn을 넣었을 때 반응이 일어나는 것은 넣어진 금속인 Zn이 Cu보다 반응성이 커서 전자를 잃고 산화되기 쉽기 때문이다.

(3) SO_4^{2-} 은 반응이 진행되는 동안 반응에 참여하지 않는 구경꾼이온이므로 용액 속 SO_4^{2-} 의 수는 변하지 않는다.

(4) 반응이 진행되면서 용액 속 Cu^{2+} 의 수가 감소하므로 용액의 푸른색이 점점 없어진다.

2 (1) 화학 전지의 산화 전극(−극)은 전자를 잃고 양이온이 되기 쉬운(반응성이 큰) 금속이다.

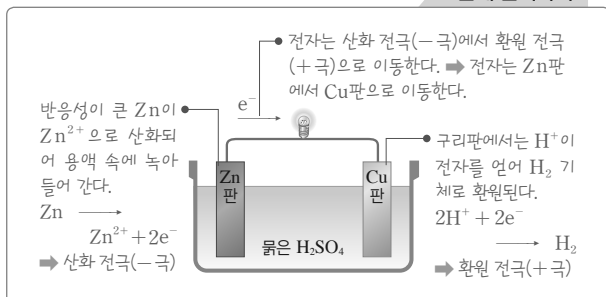
(2) 볼타 전지에서 Zn이 Zn^{2+} 으로 산화되고 H^+ 이 H_2 로 환원되므로 아연의 산화수는 증가하고, 수소의 산화수는 감소한다.

(3) 다니엘 전지를 구성할 때 금속을 그 금속의 양이온을 포함하는 전해질 수용액에 넣는다. 황산 아연 수용액에 아연판을 넣고 황산 구리(II) 수용액에 구리판을 넣은 후 염다리로 연결한다.

(4) 볼타 전지는 수소 기체가 발생하므로 분극 현상이 일어나지만, 다니엘 전지는 분극 현상이 일어나지 않는다.

3

문제 분석하기



(1), (2) Zn은 Cu보다 반응성이 크기 때문에 산화 전극(−극)이 되고, 환원 전극(+극)인 Cu판에서는 용액 속 H^+ 이 환원되어 H_2 기체가 발생한다.

(3) 염다리는 다니엘 전지에서 쓰인다.

(4) Cu판 표면에 발생하는 H_2 기체가 표면에서의 전극 반응을 방해하기 때문에 분극 현상이 나타난다. 이산화 망가니즈를 넣어 주면 H_2 기체가 H_2O 로 산화되므로 분극 현상을 막을 수 있다.

4 (1) 금속의 반응성 크기는 $\text{Zn} > \text{Cu}$ 이다. 반응성이 큰 Zn판은 산화 전극(−극)이고, 반응성이 작은 Cu판은 환원 전극(+극)이다.

(2), (3) 다니엘 전지는 산화 전극(−극)에서 Zn이 Zn^{2+} 으로 산화되어 용액 속에 녹아 들어가므로 Zn판의 질량은 감소하고, 환원 전극(+극)에서 Cu^{2+} 이 환원되어 Cu로 석출되기 때문에 Cu판의 질량은 증가한다. 이때 용액 속 Cu^{2+} 의 수가 감소하므로 CuSO_4 수용액의 푸른색은 없어진다.

개념 확인 문제

271쪽

1 전지 전위 2 표준 수소 전극 3 표준 환원 전위 4 (+), (−) 5 (+), (−) 6 >, <

C 1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) × 2 (−)극: A, (+)극: C 3 1.10 V 4 역반응이 자발적으로 일어난다.

1 (1) 표준 수소 전극은 전극 전위의 기준으로 약속한 것으로 0.00 V로 정한다.

(2) 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고, 표준 환원 전위가 작을수록 산화되기 쉽다. 금속의 반응성은 전자를 잃고 산화되려는 정도를 의미하므로 표준 환원 전위가 작을수록 커진다.

(3) 수소보다 이온화 경향이 작은 금속은 수소보다 환원되기 쉬우므로 표준 환원 전위가 (+)값이다.

(4) 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉬우므로 전지의 환원 전극(+극)이 된다.

(5) 표준 전지 전위는 환원 전극의 표준 환원 전위에서 산화 전극의 표준 환원 전위를 빼서 구하므로 두 전극의 표준 환원 전위 차이가 클수록 크다.

(6) $\Delta G^\circ = -nFE^\circ_{\text{전지}}$ 이므로 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)가 (+)값일 때 ΔG° 가 (−)값이 되어 자발적인 전지 반응이 일어난다.

2 표준 환원 전위 차이가 클수록 전지의 표준 전지 전위가 크므로 A와 C로 이루어진 전지의 표준 전지 전위가 가장 크다. 또한, 화학 전지는 (+)극에서 환원 반응, (−)극에서 산화 반응이 일어나므로 표준 환원 전위가 큰 C가 (+)극이고, 표준 환원 전위가 작은 A가 (−)극이다.

3 주어진 다니엘 전지에서 Zn은 (-)극, Cu는 (+)극이다. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 환원 전극(+극)의 표준 환원 전위에서 산화 전극(-극)의 표준 환원 전위를 빼서 구한다.

$$E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+\text{극})} - E^\circ_{(-\text{극})} = +0.34 \text{ V} - (-0.76 \text{ V}) = +1.10 \text{ V}$$

4 $\text{Pb(s)} + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn(s)}$ 반응에서 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 환원되는 아연의 표준 환원 전위에서 산화되는 납의 표준 환원 전위를 빼서 구한다.

$$E^\circ_{\text{전지}} = -0.76 \text{ V} - (-0.13 \text{ V}) = -0.63 \text{ V}$$

$\Delta G^\circ = -nFE^\circ_{\text{전지}}$ 에서 $E^\circ_{\text{전지}}$ 가 (-)값이므로 ΔG° 가 (+)값이 되어 역반응이 자발적으로 일어난다.

개념 확인 문제

273쪽

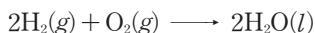
1 아연, 탄소 2 납, 황산 납 3 수소, 산소

D 1 (1) × (2) × (3) ○ 2 산화 전극(-극): 증가, 환원 전극(+극): 증가

1 (1) 1차 전지는 충전하여 다시 사용할 수 없고, 2차 전지는 충전하여 다시 사용할 수 있다.

(2) 납축전지가 방전될 때는 물이 생성되므로 전해질인 황산 수용액의 농도가 묽어진다. 납축전지가 충전될 때는 방전의 역반응이 일어나므로 황산 수용액의 농도가 진해진다.

(3) 수소-산소 연료 전지의 전체 반응은 다음과 같이 물이 생성되는 반응이므로 환경오염을 거의 일으키지 않는다.



2 납축전지가 방전될 때 산화 전극(-극)에서는 Pb이 PbSO_4 으로 되므로 질량이 증가하고, 환원 전극(+극)에서는 PbO_2 이 PbSO_4 으로 되므로 질량이 증가한다.

개념 확인 문제

277쪽

1 전기 분해 2 산화, 환원 3 양이온, 물, 수소 4 (+), (-) 5 1 F 6 1

E/F 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) × 2 (가) L, C, K (나) M, B, S 3 (1) ○ (2) × (3) × 4 (+)극: $\text{Cu(s)} \longrightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$, (-)극: $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu(s)}$ 5 수소(H_2) 기체, 1 g

1 (1) 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉬우므로 수용액을 전기 분해할 때 환원 전극(-극)에서 양이온과 물 중 표준 환원 전위가 큰 것이 먼저 환원된다.

(2) (-)극에서 물이 환원되면 H_2 기체가 발생하고, OH^- 이 남으므로 수용액의 pH가 커진다.



(3) 숟가락 표면을 은으로 도금할 때 (+)극에서는 Ag이 Ag^+ 으로 산화되고, (-)극에서는 Ag^+ 이 Ag으로 환원되므로 수용액 속 Ag^+ 의 농도는 일정하다.

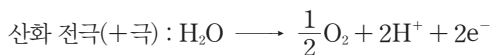
(4) 구리를 정제할 때 구리 속에 포함되어 있던 Zn, Fe 등은 산화되어 양이온으로 용액 속에 녹아 들어간다.

(5) 패러데이 법칙에 따르면 전기 분해에서 생성되거나 소모되는 물질의 양은 흘려 준 전하량에 비례한다.

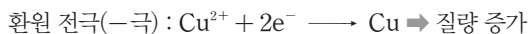
(6) 전기 분해할 때 1 F의 전하량에 의해 생성되는 금속의 질량은 전자 1몰에 의해 환원되는 질량이다. 따라서 금속 양이온의 전하가 작을수록, 금속의 원자량이 클수록 생성되는 금속의 질량은 증가한다.

2 Li^+ , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , NH_4^+ 등의 양이온은 물보다 환원되기 어렵고, F^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , NO_3^- 등의 음이온은 물보다 산화되기 어렵다.

3 (1), (2) CuSO_4 수용액을 전기 분해하면 (+)극에서는 H_2O 이 산화되고, (-)극에서는 Cu^{2+} 이 환원된다.

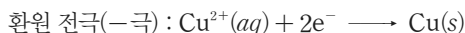
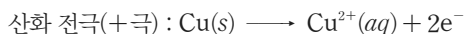


→ 용액은 산성

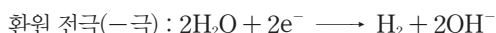


(3) NaCl 수용액을 전기 분해하면 (-)극에서는 물이 환원되어 수소 기체가 발생하므로 (-)극판의 질량은 변하지 않는다.

4 (-)극에서는 Cu^{2+} 의 환원 반응이 일어나고, (+)극에서는 Cu의 산화 반응이 일어난다.



5 NaCl 수용액을 전기 분해할 때 각 전극에서의 반응은 다음과 같다.



(+)극에서 2 F, 즉 전자 2몰에 의해 Cl_2 1몰이 생성되는데, Cl_2 0.5몰($=\frac{35.5}{71}$ 몰)이 생성되었으므로 1 F의 전하량을 흘려 준 것이다. (-)극에서는 H_2O 이 환원되어 H_2 기체가 발생하며, 1 F의 전하량이 흐를 때 H_2 0.5몰($=1 \text{ g}$)이 생성된다.

대표 자료 ① 1 아연(Zn) > 구리(Cu) 2 (1) 감소 (2) 증가 (3) 일정
3 (1) ○ (2) ○ (3) ×

대표 자료 ② 1 (+)극 : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$, (-)극 :
 $\text{Zn}(\text{s}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$ 2 1.10 V 3 (1) ○
(2) × (3) ×

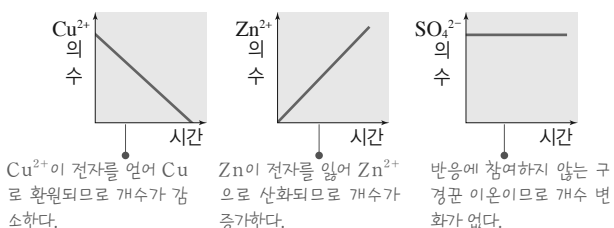
대표 자료 ③ 1 전극 A : (-)극, 전극 B : (+)극, 산화되는 물질 :
 H_2 , 환원되는 물질 : O_2 2 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow$
 $2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×

대표 자료 ④ 1 $2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$ 2 0.01몰 3 (1)
○ (2) × (3) × (4) ○

①-1 황산 구리(II)(CuSO_4) 수용액과 금속 아연(Zn)이 반응
하므로 아연이 구리보다 전자를 잃고 산화되기 쉽다.



①-2 알짜 이온 반응식은 $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$ 이
고, 황산 이온(SO_4^{2-})은 구경꾼 이온이다.
따라서 수용액 속 각 이온의 이온 수 변화는 다음과 같다.



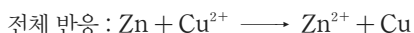
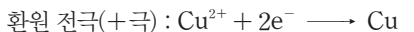
①-3 (1) 아연(Zn)은 전자를 잃고 아연 이온(Zn^{2+})으로 산화
된다.

(2) 구리 이온(Cu^{2+})은 아연이 내놓은 전자를 얻어 금속 구리
(Cu)가 된다.

(3) 반응성이 아연(Zn) > 구리(Cu)이므로 황산 아연 수용액에 구
리판을 넣으면 반응이 일어나지 않는다.

②-1 화학 전지에서 표준 환원 전위가 큰 물질은 환원 전극
(+극)이 되고, 작은 물질은 산화 전극(-극)이 된다.

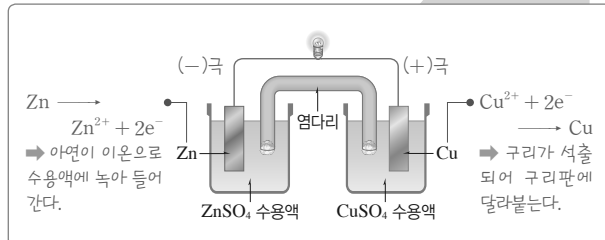
②-2 전체 반응식은 다음과 같다.



따라서 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$) = $E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} = +0.34 \text{ V} - (-0.76 \text{ V}) = 1.10 \text{ V}$ 이다.

②-3

문제 분석하기



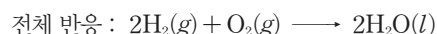
(1) 구리 이온(Cu^{2+}) 수가 감소하므로 황산 구리(II)(CuSO_4) 수
용액의 푸른색이 점점 없어진다.

(2) 생성물이 기체가 아니고 고체 금속이므로 분극 현상이 없다.

(3) 아연(Zn) 전극은 금속 아연이 아연 이온(Zn^{2+})으로 녹아 들
어가 수용액 속 양이온 수가 증가하므로 전하 균형을 이루기 위
해 음이온이 염다리를 통해 Zn 전극 쪽으로 이동한다. 반대로 구
리(Cu) 전극은 구리 이온(Cu^{2+})이 금속 구리로 석출되어 수용액
속 양이온 수가 감소하므로 전하 균형을 이루기 위해 양이온이
염다리를 통해 Cu 전극 쪽으로 이동한다.

③-1 전극 A는 수소(H_2) 기체가 산화되므로 (-)극이고, 전
극 B는 산소(O_2) 기체가 환원되므로 (+)극이다.

③-2 산화 전극(-극)과 환원 전극(+극)에서 주고 받은 전자
수를 4몰로 같게 맞춘 후 두 식을 더하면 전체 반응식을 구할 수
있다.



③-3 (1) 전극 A(-극)에서 H_2 기체가 H_2O 로 산화된다.

(2) 전극 B(+극)에서는 O_2 기체가 (-)극으로부터 온 전자를 받
아 H_2O 과 반응하여 수산화 이온(OH^-)을 생성한다.

(3) 전자는 산화 전극(-극)에서 도선을 따라 환원 전극(+극)으
로 이동한다.

(4) 전지를 사용해도 전해질 KOH 수용액의 OH^- 소비 속도와
생성 속도가 같으므로 KOH 수용액의 농도는 일정하다.

④-1 (가)는 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 염화 이온
(Cl^-)이 산화되어 염소 기체(Cl_2)가 되는 산화 반응이 일어난다.

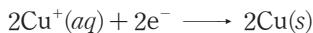
④-2 9650초 동안 0.1 A의 전류를 흘려 주었으므로 9650초
× 0.1 A = 965 C의 전하량이 흘렀다. 전자 1몰의 전하량이 1 F
(=96500 C)이므로 965 C는 0.01몰의 전하량에 해당한다.

$$96500 \text{ C} : 1\text{몰} = 965 \text{ C} : x, x = 0.01\text{몰}$$

④-3 (1) 전극 (가)는 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 산화 반응이 일어난다.

(2) 전극 (나)는 (-)극이고, 구리 이온이 환원되어 금속 구리가 석출된다. 이때 석출된 구리의 양이 0.64 g인데 구리의 원자량이 64이므로 환원된 구리의 몰수는 0.01몰이다.

(3), (4) 같은 전하량을 흘려 주었을 때 전극 (나)와 (다)에서 일어나는 반응은 다음과 같다.



즉, 같은 전하량을 흘려 주었을 때 생성되는 Cu의 질량은 염화물 CuCl가 CuCl₂의 2배이다.

구리 염화물 A는 0.01 F에 의해 구리 0.64 g(=0.01몰)이 석출되었으므로 구리 이온은 Cu⁺이다. 따라서 구리 염화물 A는 CuCl이다.

구리 염화물 B는 0.01 F에 의해 구리 0.32 g(=0.005몰)이 석출되었으므로 구리 이온은 Cu²⁺이다. 따라서 구리 염화물 B는 CuCl₂이다.

내신 만점 문제

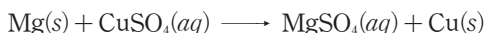
280~284쪽

01 ② 02 ② 03 ③ 04 ③ 05 ② 06 (1) Zn(s) → Zn²⁺(aq) + 2e⁻ (2) Cu²⁺(aq) + 2e⁻ → Cu(s) 07 ③
08 ③ 09 ③ 10 0.46 V 11 ④ 12 ④ 13 ④ 14 ③
15 ⑤ 16 ⑤ 17 ③ 18 ③ 19 ③ 20 ① 21 ⑤
22 ⑤ 23 해설 참조 24 해설 참조

01 반응성이 큰 금속은 전자를 잃고 양이온으로 산화되기 쉽다.

(가) 구리판을 묽은 염산에 담갔을 때 반응하지 않으므로 반응성은 Cu < H이다.

(나) 마그네슘판을 황산 구리(II) 수용액에 담갔을 때 반응하였으므로 반응성은 Mg > Cu이다.



① (가)에서 구리는 수소보다 반응성이 작아 산화되기 어려우므로 반응하지 않는다.

③ (나)에서 알짜 이온 반응식은 다음과 같다.



마그네슘 원자(Mg)는 산화수가 0인데 마그네슘 이온(Mg²⁺)이 되면 산화수가 +2로 증가한다.

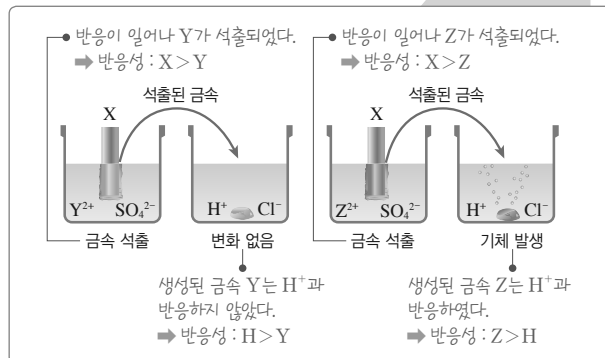
④ Mg²⁺ 1몰이 수용액 속에 녹아 들어갈 때 수용액 속 Cu²⁺ 1몰이 Cu로 석출되므로 총 이온 수는 일정하다.

⑤ (나)에서 Mg이 전자를 잃고 산화되므로 Mg이 Cu보다 양이온이 되기 쉽다. 즉, 반응성은 Mg > Cu이다.

바로알기 ② (나)에서 마그네슘은 자신을 산화되면서 구리 이온을 환원시키는 환원제이다.

02

문제 분석하기



금속 X를 YSO₄ 수용액에 넣었을 때 반응이 일어난 것은 넣어 준 금속 X의 반응성이 금속 Y보다 크기 때문이며, 이때 석출된 금속은 Y이다. Y를 묽은 염산에 넣었을 때 아무 변화가 없는 것으로 보아 Y는 H보다 반응성이 작은 금속이다. 따라서 반응성의 크기는 X > Y, (H) > Y이다.

금속 X를 ZSO₄ 수용액에 넣었을 때 반응이 일어난 것은 넣어 준 금속 X의 반응성이 금속 Z보다 크기 때문이며, 이때 석출된 금속은 Z이다. Z를 묽은 염산에 넣었을 때 기체가 발생하는 것으로 보아 Z는 H보다 반응성이 큰 금속이다. 따라서 반응성의 크기는 X > Z > (H)이다.

두 결과를 종합하면 금속의 반응성 크기는 X > Z > (H) > Y의 순이다.

03

문제 분석하기

• 금속 A, B, C와 그 염의 수용액을 반응시키면 반응성이 큰 금속은 산화되어 녹고, 반응성이 작은 금속의 이온은 환원되어 금속으로 석출된다.

C²⁺의 색은 푸른색이다.

실험 장치		실험 1	실험 2	실험 3
		BCl ₂ 수용액	CSO ₄ 수용액	CSO ₄ 수용액
반응 전	금속 표면	은백색	은색	은백색
	용액	무색	(푸른색)	(푸른색)
반응 후	금속 표면	(금속 석출)	(금속 석출)	(가)
	용액	무색	무색	(나)

A는 B보다 반응성이 크다. • B는 C보다 반응성이 크다.

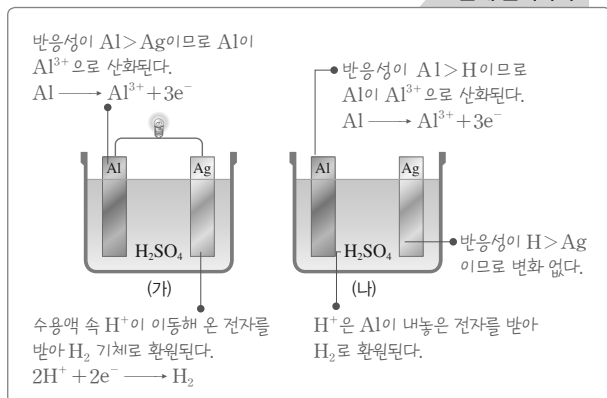
ㄱ. BCl₂ 수용액에 A를 넣었을 때와 CSO₄ 수용액에 B를 넣었을 때 금속이 석출되었으므로 모두 반응이 일어난 것이다. 따라서 반응성은 A > B이고, B > C이므로 A > B > C 순이다.

ㄴ. A가 C보다 반응성이 크므로 CSO_4 수용액에 금속 A를 넣으면 반응이 일어나 (가)에서는 금속 C가 석출된다.

바로알기 ㄷ. CSO_4 수용액에 금속 A를 넣으면 반응이 일어나 수용액 속 C^{2+} 이 금속 C로 석출된다. 따라서 푸른색을 띠는 C^{2+} 이 감소하므로 (나)에서는 수용액의 푸른색이 없어진다.

04

문제 분석하기



① (가)에서는 전지가 형성되어 반응성이 작은 Ag판에서 H_2 기체가 발생하고, (나)에서는 H보다 반응성이 큰 Al판에서 H_2 기체가 발생한다.

② (가), (나)에서 모두 Al이 산화되어 Al^{3+} 으로 녹아 들어가므로 Al판의 질량이 감소한다.

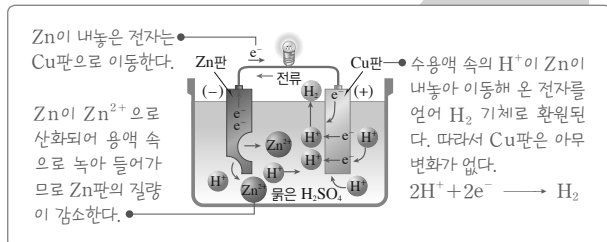
④ (가), (나)에서 모두 H^+ 이 H_2 기체로 환원되어 수용액 속 H^+ 의 농도가 감소하므로 pH가 커진다.

⑤ SO_4^{2-} 은 구경꾼 이온이므로 그 수가 일정하게 유지된다.

바로알기 ③ (가)의 Ag판에서는 H^+ 이 환원되어 H_2 기체가 발생한다. 그러나 (나)의 Ag판에서는 아무런 반응도 일어나지 않는다. (나)에서는 Al판에서 H^+ 이 H_2 기체로 환원된다.

05

문제 분석하기



ㄴ. Zn판이 산화 전극(-극)이고, Cu판이 환원 전극(+극)이므로 전자는 Zn판에서 Cu판 쪽으로 이동하고, 전류는 Cu판에서 Zn판 쪽으로 흐른다.

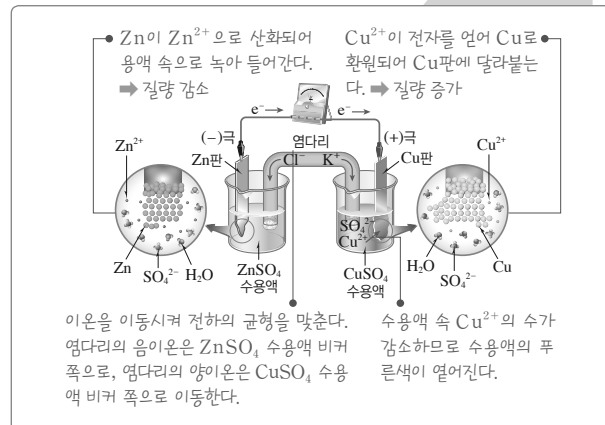
바로알기 ㄱ. Zn은 산화되지만, Cu는 변화가 없다.

ㄷ. Zn이 Zn^{2+} 으로 녹아 들어가므로 Zn판의 질량은 감소하지

만, Cu판에서는 수소 기체가 발생하므로 Cu판의 질량은 변하지 않는다.

[06~07]

문제 분석하기



06 Zn이 Cu보다 반응성이 크므로 Zn판이 산화 전극(-극)이고, Cu판이 환원 전극(+극)이다. 산화 전극(-극)에서는 Zn이 전자를 잃어 Zn^{2+} 으로 산화되고, 환원 전극(+극)에서는 Cu^{2+} 이 전자를 얻어 Cu로 환원된다.

07 ① 계의 자유 에너지 변화 $\Delta G < 0$ 이므로 자발적인 산화-환원 반응이 일어나는 것이다.

② Zn은 Zn^{2+} 으로 되므로 아연의 산화수는 2만큼 증가한다.

④ 구리 이온이 환원되어 금속 구리로 되므로 황산 구리(II) 수용액의 푸른색이 점점 없어진다.

⑤ 아연 전극에서 아연 이온(Zn^{2+})의 수가 증가하므로 전하 균형을 이루기 위해 음이온이 염다리를 통해 아연 전극 쪽으로 이동한다.

바로알기 ③ 아연 전극에서는 아연이 산화되어 질량이 감소하고, 구리 전극에서는 구리 이온이 금속 구리로 환원되어 달라붙어 질량이 증가한다.



그런데 아연과 구리의 원자량은 각각 65와 64이므로 1 : 1의 몰수비로 반응할 때 두 전극의 질량의 합은 감소한다.

08 • 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고, 표준 환원 전위가 작을수록 산화되기 쉽다.

• 표준 환원 전위가 클수록 반응성이 작다. 따라서 반응성은 $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{H} > \text{Cu} > \text{Ag}$ 순이다.

• 전지에서는 표준 환원 전위가 큰 쪽이 (+)극, 작은 쪽이 (-)극이다.

ㄱ. Zn과 Fe의 표준 환원 전위가 (-)값이므로 두 금속은 H보다 환원되기 어려우며 H보다 산화되기 쉽다.

나. 두 금속으로 전지를 구성할 때 표준 환원 전위가 작아 산화되기 쉬운 물질이 산화 전극(-극)이 된다. 따라서 Zn과 Cu로 전지를 만들면 Zn이 산화 전극(-극), Cu가 환원 전극(+극)이 된다.

바로알기 다. 전지의 표준 전지 전위는 표준 환원 전위의 차로 나타낼 수 있다. Cu와 Ag으로 전지를 구성하면 표준 환원 전위가 작은 Cu가 (-)극이 되고, 표준 환원 전위가 큰 Ag이 (+)극이 된다. 따라서 표준 전지 전위는 0.46 V이다.

$$E^{\circ}_{\text{전지}} = E^{\circ}_{(+)\text{극}} - E^{\circ}_{(-)\text{극}} \\ = +0.80 \text{ V} - (+0.34 \text{ V}) = +0.46 \text{ V}$$

09

문제 분석하기

• 표준 환원 전위가 큰 금속이 (+)극이 된다.

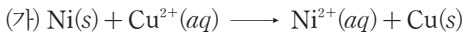
전지 구성	A-B	A-E	B-D	C-E
(-)극 산화가 일어나는 반쪽 전지	B	A	D	E
(+)극 환원이 일어나는 반쪽 전지	A	E	B	C

$E > A > B$
 $E > A > B > D$

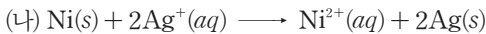
전체 표준 환원 전위의 크기: $C > E > A > B > D$

10 표준 전지 전위($E^{\circ}_{\text{전지}}$)는 환원 전극(+극)의 표준 환원 전위에서 산화 전극(-극)의 표준 환원 전위를 빼서 구한다.

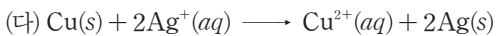
$$E^{\circ}_{\text{전지}} = E^{\circ}_{(+)\text{극}} - E^{\circ}_{(-)\text{극}} = E^{\circ}_{\text{환원 전극}} - E^{\circ}_{\text{산화 전극}}$$



$$E_1^{\circ} = +0.57 \text{ V} \rightarrow E_1^{\circ} = E^{\circ}_{\text{Cu}} - E^{\circ}_{\text{Ni}}$$



$$E_2^{\circ} = +1.03 \text{ V} \rightarrow E_2^{\circ} = E^{\circ}_{\text{Ag}} - E^{\circ}_{\text{Ni}}$$



$$E_3^{\circ} = ? \rightarrow E_3^{\circ} = E^{\circ}_{\text{Ag}} - E^{\circ}_{\text{Cu}}$$

(가) E_1° 는 환원 전극인 Cu의 표준 환원 전위에서 산화 전극인 Ni의 표준 환원 전위를 뺀 값이다.

(나) E_2° 는 환원 전극인 Ag의 표준 환원 전위에서 산화 전극인 Ni의 표준 환원 전위를 뺀 값이다.

(다) E_3° 는 환원 전극인 Ag의 표준 환원 전위에서 산화 전극인 Cu의 표준 환원 전위를 뺀 값이다.

따라서 $E_2^{\circ} - E_1^{\circ}$ 를 하면 Ni의 표준 환원 전위는 제거되고 Ag의 표준 환원 전위와 Cu의 표준 환원 전위의 차를 구할 수 있다.

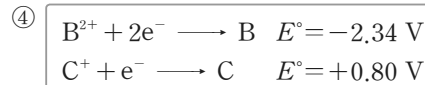
$$E_3^{\circ} = E_2^{\circ} - E_1^{\circ} = 1.03 \text{ V} - 0.57 \text{ V} = 0.46 \text{ V}$$

11 전지의 표준 전지 전위가 크려면 두 금속의 표준 환원 전위의 차가 커야 하므로 B와 C로 전지를 구성할 때 표준 전지 전위가 가장 크다.

이때 표준 환원 전위가 큰 쪽이 (+)극이고, 작은 쪽이 (-)극이므로 표준 전지 전위($E^{\circ}_{\text{전지}}$)는 3.14 V이다.

$$E^{\circ}_{\text{전지}} = E^{\circ}_{(+)\text{극}} - E^{\circ}_{(-)\text{극}} \\ = +0.80 \text{ V} - (-2.34 \text{ V}) = +3.14 \text{ V}$$

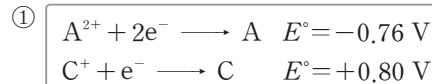
12 산화-환원 반응의 표준 전지 전위 $E^{\circ}_{\text{전지}} > 0$ 이면 반응이 자발적으로 진행된다.



반응에서 C^{+} 이 환원되고 B가 산화되므로 $E^{\circ}_{\text{전지}} = E^{\circ}_{\text{환원 전극}} - E^{\circ}_{\text{산화 전극}} = +0.80 \text{ V} - (-2.34 \text{ V}) = 3.14 \text{ V}$ 이다.

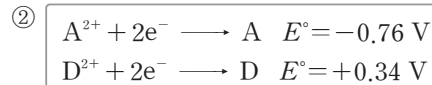
따라서 $2\text{C}^{+} + \text{B} \longrightarrow 2\text{C} + \text{B}^{2+}$ 반응은 자발적으로 일어난다.

바로알기 산화-환원 반응의 표준 전지 전위 $E^{\circ}_{\text{전지}} < 0$ 이면 역반응이 자발적으로 일어난다.



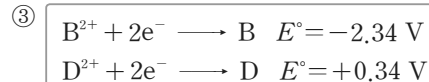
반응에서 A^{2+} 이 환원되고 C가 산화되므로 $E^{\circ}_{\text{전지}} = -0.76 \text{ V} - (+0.80 \text{ V}) = -1.56 \text{ V}$ 이다.

따라서 $\text{A}^{2+} + 2\text{C} \longrightarrow \text{A} + 2\text{C}^{+}$ 반응은 자발적으로 일어나지 않는다.



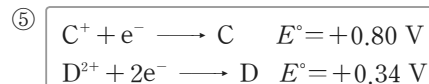
반응에서 A^{2+} 이 환원되고 D가 산화되므로 $E^{\circ}_{\text{전지}} = -0.76 \text{ V} - (+0.34 \text{ V}) = -1.10 \text{ V}$ 이다.

따라서 $\text{A}^{2+} + \text{D} \longrightarrow \text{A} + \text{D}^{2+}$ 반응은 자발적으로 일어나지 않는다.



반응에서 B^{2+} 이 환원되고 D가 산화되므로 $E^{\circ}_{\text{전지}} = -2.34 \text{ V} - (+0.34 \text{ V}) = -2.68 \text{ V}$ 이다.

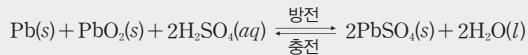
따라서 $\text{B}^{2+} + \text{D} \longrightarrow \text{B} + \text{D}^{2+}$ 반응은 자발적으로 일어나지 않는다.



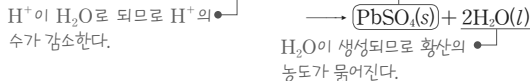
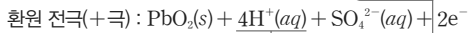
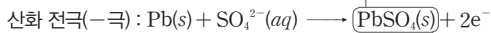
반응에서 D^{2+} 이 환원되고 C가 산화되므로 $E^{\circ}_{\text{전지}} = +0.34 \text{ V} - (+0.80 \text{ V}) = -0.46 \text{ V}$ 이다.

따라서 $\text{D}^{2+} + 2\text{C} \longrightarrow \text{D} + 2\text{C}^{+}$ 반응은 자발적으로 일어나지 않는다.

납축전지가 충전, 방전될 때 전체 반응식은 다음과 같다.



[방전될 때]



• PbSO_4 이 생성되므로 질량이 증가한다.

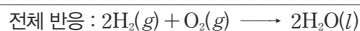
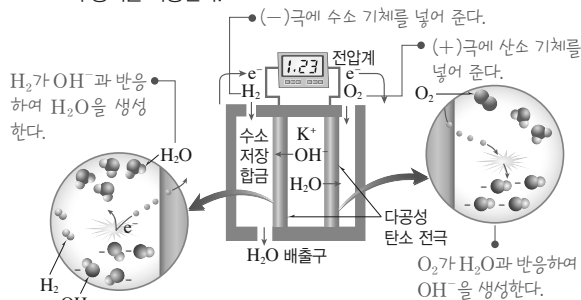
• H_2O 이 생성되므로 황산의 농도가 묽어진다.

ㄴ. 납축전지가 방전될 때 두 전극에서 생성되는 황산 납(PbSO_4)은 물에 녹지 않으며, 두 전극을 이루는 Pb 이나 PbO_2 보다 무거우므로 두 전극의 질량이 모두 증가한다.

ㄷ. 납축전지가 방전될 때 H_2SO_4 이 소모되므로 수용액의 H^+ 농도가 감소하여 pH가 커진다.

바로알기 ㄱ. 화학 전지에서 산화가 일어나는 전극은 전자를 공급하는 (-)극이다. 납축전지에서 Pb 판은 산화되므로 (-)극으로 작용한다.

수소-산소 연료 전지는 촉매가 채워진 다공성 탄소 전극을 통해 (-)극에는 H_2 기체를, (+)극에는 O_2 기체를 공급하며, 전해질은 뜨거운 KOH 수용액을 사용한다.



전지 반응 결과 물만 생긴다.

- ① (-)극에서는 H_2 기체가 전자를 잃고 산화된다.
- ② (+)극에서 O_2 가 전자를 얻어 환원된다.
- ④ 전체 반응식은 $2\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O(l)}$ 이므로 수소의 연소 반응식과 같다.
- ⑤ 전지 반응의 결과로 물만 생기므로 환경오염을 거의 일으키지 않는다.

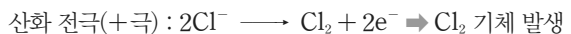
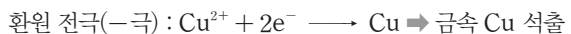
바로알기 ③ (-)극에서 OH^- 을 소비하지만 (+)극에서 그만큼의 OH^- 을 생성하므로 전해질 수용액 속 전체 OH^- 의 수는 변화가 없다.

15 수용액을 전기 분해할 때 환원 전극(-극)과 산화 전극(+극)에서 생성되는 물질은 다음과 같다.

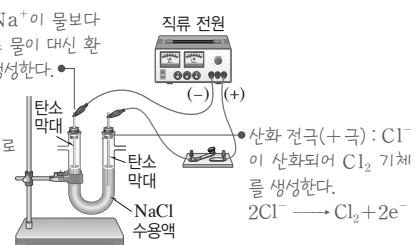
전극	전기 분해	수용액의 예
환원 전극(-극)	양이온이 환원 $\text{K}^+, \text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Al}^{3+} \rightarrow$ 물이 대신 환원되어 H_2 발생	NaCl(aq) (ㄱ), $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{(aq)}$ (ㄷ), $\text{KNO}_3\text{(aq)}$ (ㄹ)
산화 전극(+극)	음이온이 산화 $\text{NO}_3^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{F}^- \rightarrow$ 물이 대신 산화되어 O_2 발생	$\text{CuSO}_4\text{(aq)}$ (ㄷ), $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{(aq)}$ (ㄷ), $\text{KNO}_3\text{(aq)}$ (ㄹ)

따라서 Na_2CO_3 수용액과 KNO_3 수용액은 (-)극과 (+)극에서 발생하는 기체가 서로 같다. (-)극에서는 H_2 기체가, (+)극에서는 O_2 기체가 발생한다.

바로알기 전기 분해 시 수용액 속에 Cu^{2+} 이 있는 경우 (-)극에서는 Cu 가 석출되고, 수용액 속에 Cl^- 이 있는 경우 (+)극에서는 Cl_2 기체가 발생한다.



환원 전극(-극) : Na^+ 이 물보다 환원되기 어려우므로 물이 대신 환원되어 H_2 기체를 생성한다.
 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
 $\Rightarrow \text{OH}^-$ 이 생성되므로 염기성을 나타낸다.

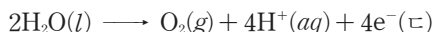


ㄱ. (-)극에서는 전자 2몰당 H_2 기체 1몰이 발생하고, (+)극에서는 전자 2몰당 Cl_2 기체 1몰이 발생한다. 따라서 두 전극에서 발생하는 기체의 부피는 같다.

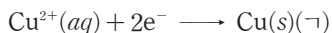
ㄴ. (-)극에서 발생한 H_2 기체는 가연성 기체로, 불꽃을 대면 '퍽' 소리를 내며 연소된다.

ㄷ. 전기 분해가 진행되면 (-)극에서는 OH^- 이 생성되므로 용액이 염기성을 띤다. 따라서 붉은색 리트머스 종이를 넣으면 리트머스 종이가 푸르게 변한다.

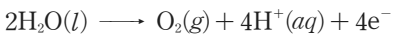
17 • 산화 전극(+극) 반응 : 백금 전극의 표면에서 황산 이온(SO_4^{2-}) 대신 물이 산화되어 산소 기체가 발생한다.



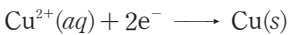
• 환원 전극(-극) 반응 : 구리 전극의 표면에서 구리 이온(Cu^{2+})이 전자를 얻어 환원된다.



18 ㄱ. 물이 (+)극에서 산화되어 수용액 속 수소 이온(H^+) 농도가 커지므로 수용액의 pH는 작아진다.



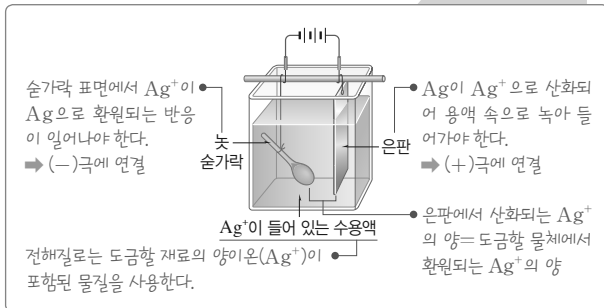
ㄴ. 구리 전극의 표면에서 구리 이온이 환원되어 금속 구리로 석출되므로 구리 전극의 질량은 증가한다.



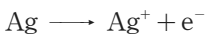
바로알기 ㄷ. 백금 전극은 반응성이 작아 자신은 전자를 전달만 하고 수용액 속 물이 산화되어 산소 기체가 발생한다.

19

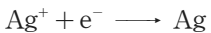
문제 분석하기



ㄱ. Ag판은 (+)극으로, 산화 반응이 일어나 Ag^+ 으로 수용액 속에 녹아 들어가므로 질량이 감소한다.



ㄷ. 낫슬가락은 (-)극이므로 낫슬가락의 표면에서 Ag^+ 이 전자를 받아 Ag 으로 환원된다.



바로알기 ㄴ. (-)극에서 환원되는 Ag^+ 의 수만큼 (+)극에서 Ag 이 산화되어 Ag^+ 으로 수용액 속에 녹아 들어가므로 수용액 속 Ag^+ 의 수는 일정하다.

20 그림을 해석하여 다음과 같은 과정으로 금속 M의 원자량을 구할 수 있다.

[1단계] 전자 1몰로 환원되는 금속 M의 몰수를 구한다. 이를 위해서는 (-)극에서 일어나는 환원 반응의 화학 반응식을 알아야 한다.

예를 들어 금속 이온이 M^+ 이면 전자 1몰에 의해 금속 M 1몰이 석출되므로 전자 1몰로 석출되는 M의 질량은 원자량과 같다. 하지만 금속 이온이 M^{2+} 이면 전자 2몰에 의해 금속 M 1몰이 석출되므로 전자 1몰로 석출되는 M의 질량은 원자량의 $\frac{1}{2}$ 이다.

[2단계] 전자 1몰의 전하량을 알아본다. 전자 1몰의 전하량이 96500 C이라는 사실을 알면 그림에서 9650 C은 전자 0.1몰의 전하량이다. 따라서 전자 0.1몰에 의해 금속 M이 10.8 g 석출된다는 사실을 알게 된다.

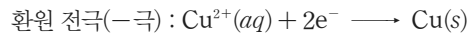
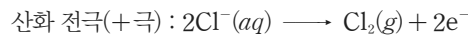
[3단계] 전하량과 금속 M의 석출량의 관계로 비례식을 세워 금속 M의 원자량을 구한다.

$$\text{전자 } 0.1\text{몰} : 10.8\text{ g} = \text{전자 } 1\text{몰} : \frac{\text{원자량}}{\text{이온의 전하수}}\text{ g}$$

금속 이온의 전하수가 +1이면 금속 M의 원자량은 108이다.

그러므로 금속 M의 원자량을 구하려면 전자 1몰의 전하량과 (-)극에서 일어나는 반응식이 필요하다.

21 $CuCl_2$ 수용액을 전기 분해할 때 각 전극에서의 반응은 다음과 같다.



따라서 (+)극과 (-)극에서 Cl_2 와 Cu 1몰씩 생성되는 데 필요한 전하량은 2 F이다.

전하량 = 전류의 세기 × 전류를 흘려 준 시간 = $9.65\text{ A} \times 10000\text{ 초} = 96500\text{ C}$ 이므로 1 F의 전하량을 흘려 주었다.

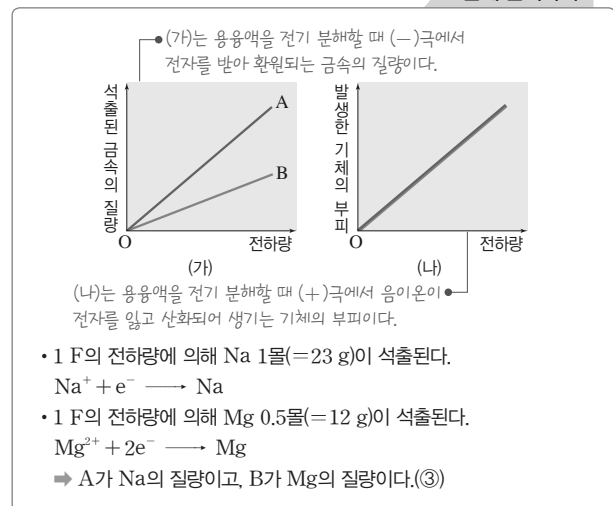
⑤ 전자 2몰의 이동에 의해 Cl_2 기체 1몰, Cu 1몰이 생성되므로 (+)극과 (-)극에서 생성되는 물질의 몰수비는 1 : 1이다.

바로알기 ①, ③ (+)극에서 염소(Cl_2) 기체가 1몰 발생할 때 전자 2몰이 필요하므로 전자 1몰에 의해서는 Cl_2 기체 0.5몰(35.5 g)이 발생한다.

②, ④ (-)극에서 전자 2몰에 의해 금속 구리(Cu) 1몰(64 g)이 석출되므로 전자 1몰에 의해 금속 Cu 32 g이 석출된다.

22

문제 분석하기



① NaCl과 $MgCl_2$ 용융액 모두 Cl^- 이 들어 있으므로 (+)극에서 발생한 기체는 Cl_2 이다.

② (나)에서 발생한 기체의 부피는 전하량에 비례함을 알 수 있다. 전기 분해할 때 생성되는 물질의 몰수는 흘려 준 전하량에 비례하고, 기체의 부피는 기체의 몰수에 비례하므로 발생한 기체의 부피는 전하량에 비례한다.

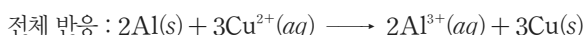
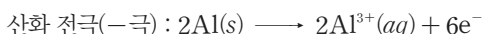
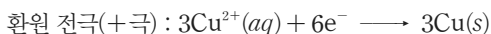
④ 1 F의 전하량에 의해 석출된 금속의 질량은

$\frac{\text{원자량}}{\text{금속 이온의 전하수}}$ 에 비례하므로 (가)에서 석출된 금속의 질량은 $\frac{\text{원자량}}{\text{금속 이온의 전하수}}$ 에 비례한다.

바로알기 ⑤ (나)에서 직선의 기울기는 $\frac{\text{기체의 부피}}{\text{전하량}}$ 이다.

전기 분해할 때 발생하는 기체의 부피는 전하량이나 기체의 몰수에 비례하지만, 기체의 분자량과는 관계가 없다.

23 표준 환원 전위가 큰 Cu가 환원 전극(+극)이 되고, 표준 환원 전위가 작은 Al이 산화 전극(-극)이 된다.



이때 전자의 몰수를 맞추기 위해 반쪽 반응에 정수배를 해 주더라도 표준 환원 전위에는 정수배를 하면 안 된다.

따라서 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$) = $+0.34 \text{ V} - (-1.66 \text{ V}) = 2.00 \text{ V}$ 이다.

● 모범 답안 ● $2\text{Al}(s) + 3\text{Cu}^{2+}(aq) \longrightarrow 2\text{Al}^{3+}(aq) + 3\text{Cu}(s)$, $E^\circ_{\text{전지}} = 2.00 \text{ V}$

채점 기준	배점
전체 반응식과 표준 전지 전위를 모두 옳게 구한 경우	100 %
전체 반응식과 표준 전지 전위 중 하나만 옳게 구한 경우	50 %

24

전기 분해	NaCl 용융액	NaCl 수용액
공통점	(+)극 반응	전자를 잃는 산화 반응이 일어난다.
	(+)극 생성물	Cl^- 이 전자를 잃고 산화되어 Cl_2 기체가 발생한다. $2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2e^-$
	(+)극판 질량 변화	기체가 생성되므로 질량 변화가 없다.
	(-)극 반응	전자를 얻는 환원 반응이 일어난다.
차이점	(-)극 생성물	Na^+ 이 전자를 얻고 환원되어 금속 Na로 된다. $\text{Na}^+ + e^- \longrightarrow \text{Na}$
		물이 전자를 얻고 환원되어 H_2 기체를 생성한다. $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

● 모범 답안 ● (-)극, NaCl 용융액의 경우는 (-)극에서 Na^+ 이 환원되어 금속 Na이 생성되지만, NaCl 수용액의 경우는 Na^+ 이 물보다 환원되기 어렵기 때문에 물이 대신 환원되어 수소(H_2) 기체가 생성된다.

채점 기준	배점
서로 다른 물질이 생성되는 전극을 쓰고, 그 이유를 옳게 서술한 경우	100 %
서로 다른 물질이 생성되는 전극만 쓴 경우	30 %

중단원 핵심 정리

285~286쪽

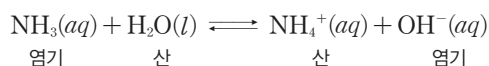
- ① 산 ② 염기 ③ 양쪽성 물질 ④ 커 ⑤ 강 ⑥ 강 ⑦ 약
⑧ 가수 분해 ⑨ 산성 ⑩ 염기성 ⑪ 완충 용액 ⑫ 역반응
⑬ 정반응 ⑭ 몰수 ⑮ 몰수 ⑯ 중화 적정 ⑰ 크 ⑱ 작음
⑲ 큰 ⑳ 볼타 ㉑ 다니엘 ㉒ 환원 ㉓ 큰 ㉔ 작은 ㉕ (+)
㉖ 작은 ㉗ 큰 ㉘ 비례 ㉙ 비례 ㉚ 전하량

중단원 마무리 문제

287~290쪽

- 01 ④ 02 ② 03 (가) 0.2 (나) 0.005 04 ③ 05 ④ 06 ⑤
07 ④ 08 ⑤ 09 ③ 10 ⑤ 11 ② 12 ④ 13 ③ 14
④ 15 ② 16 ① 17 ㄱ

01 ㄴ. 이온화 상수(K_a)가 1보다 매우 작으므로 역반응이 우세함을 알 수 있다. 이온화 평형에서 수소 이온(H^+)을 내놓는 물질이 산이므로 H_2O 과 NH_4^+ 이 산이며, 정반응보다 역반응이 우세하므로 H_2O 은 NH_4^+ 보다 약한 산이다.



ㄷ. H_2O 과 OH^- 은 H^+ 의 이동에 의한 짝산-짝염기 관계이며, OH^- 은 H_2O 에서 H^+ 이 떨어져 나간 것이므로 H_2O 의 짝염기이다.

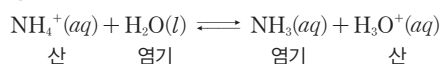
바로알기 ㄱ. 이온화 상수가 매우 작아 정반응보다 역반응이 훨씬 더 우세하므로 NH_3 보다 NH_4^+ 의 농도가 매우 작다.

02

문제 분석하기



⇒ 염화 암모늄(NH_4Cl)이 물에 녹아 양이온과 음이온으로 해리되는 과정이다.



$$K_a = 5.7 \times 10^{-10}$$

⇒ NH_4^+ 이 물과 반응(가수 분해 반응)하여 NH_3 와 H_3O^+ 을 생성하는 이온화 평형이다.

ㄱ. 산의 짝염기는 산에서 수소 이온(H^+)이 떨어져 나간 형태이다. 따라서 NH_4^+ 의 짝염기는 NH_3 이다.

ㄴ. 염화 암모늄(NH_4Cl)이 물에 녹으면 NH_4^+ 과 Cl^- 이 1 : 1로 생성되지만 NH_4^+ 은 일부가 가수 분해하여 NH_3 로 되므로 수용액에 가장 많이 존재하는 이온은 Cl^- 이다.

바로알기 ㄴ. NH_4^+ 의 가수 분해 반응의 이온화 상수(K_a)가 1보다 매우 작기 때문에 정반응보다 역반응이 우세하다. 따라서 반응물의 NH_4^+ 보다 생성물의 H_3O^+ 이 더 강한 산이다.

ㄷ. 염화 암모늄 수용액은 NH_4^+ 이 가수 분해하여 H_3O^+ 을 생성하므로 산성을 띤다. 즉, 수용액의 pH는 7보다 작다.

03 (가) 그림을 보면 총 10개의 HA 중에서 8개는 분자 상태로 있고, 2개는 H^+ 과 A^- 형태로 이온화되어 있다.

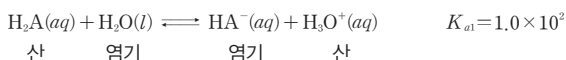
따라서 이온화도 $\alpha = \frac{2}{10} = 0.2$ 이다.

(나) $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$ 의 이온화 평형을 이룰 때 $[H^+] = C\alpha$ 이므로 $[H^+] = [A^-] = C\alpha = 0.10 \times 0.2 = 0.02(M)$ 이고, $[HA] = 0.10 - 0.02 = 0.08(M)$ 이다.

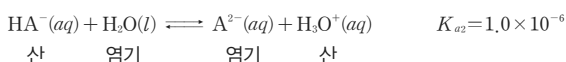
따라서 이온화 상수 $K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{0.02 \times 0.02}{0.08} = 0.005$ 이다.

04

문제 분석하기



⇒ 1단계는 이온화 상수(K_{a1})가 1보다 매우 크므로 H_2A 는 대부분 이온화하는 강산이다.



⇒ 2단계는 이온화 상수(K_{a2})가 1보다 매우 작으므로 HA^- 은 극히 일부분만 이온화하는 약산이다.

ㄱ. 이온화 평형에서 이온화 상수가 1보다 클수록 정반응이 우세하고, 1보다 작을수록 역반응이 우세하다. 이온화 상수로 판단한 평형의 위치로 산의 세기를 비교할 수 있다. 1단계에서 산의 세기는 $H_2A > H_3O^+$ 이고, 2단계에서 산의 세기는 $H_3O^+ > HA^-$ 이다. 따라서 산의 세기는 $H_2A > H_3O^+ > HA^-$ 이다.

ㄴ. 수용액에 존재하는 이온은 HA^- , A^{2-} , H_3O^+ 이다. 그런데 H_2A 는 강산이므로 1단계에서 대부분 H_3O^+ 과 HA^- 이 1:1로 존재하고, H_3O^+ 은 2단계에서도 일부 생성되므로 농도가 가장 큰 이온은 H_3O^+ 이다.

바로알기 ㄷ. 산의 세기가 강할수록 짝염기의 세기가 약하다. 따라서 염기의 세기는 $A^{2-} > H_2O > HA^-$ 이다.

05 ㄱ. 온도가 높을수록 물의 이온곱 상수(K_w)가 커지므로 물의 자동 이온화 반응의 평형이 정반응 쪽으로 이동한 것이다. 따라서 물의 이온화 반응은 흡열 반응이다.

ㄷ. 온도가 높아지면 물의 이온화도가 증가하여 이온화한 물 분자 수가 늘어나므로 물의 이온곱 상수가 커진다.

바로알기 ㄴ. 중성인 수용액은 $[H_3O^+]$ 과 $[OH^-]$ 가 같다. 따라서 25 °C일 때 물의 이온곱 상수가 1.0×10^{-14} 이므로 $[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{1.0 \times 10^{-14}} = 1.0 \times 10^{-7}(M)$ 이 되어 pH=7이다. 그러나 온도가 변하면 물의 이온곱 상수가 변하므로 중성 수용액의 pH가 항상 7은 아니다. 온도가 높아질수록 물의 자동 이온화가 잘 일어나 $[H_3O^+]$ 과 $[OH^-]$ 가 커지므로 pH와 pOH는 작아진다.

06

문제 분석하기

• BTB 용액은 산성에서 노란색, 중성에서 녹색, 염기성에서 푸른색을 나타낸다.

염의 수용액	CH_3COONa	$NaCl$	$MgCl_2$
BTB 용액의 색깔	푸른색	녹색	노란색
액성	염기성	중성	산성
염의 생성	$CH_3COOH + NaOH$	$HCl + NaOH$	$2HCl + Mg(OH)_2$
가수 분해	$CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH^-$	가수 분해하지 않음	$Mg^{2+} + 4H_2O \rightleftharpoons Mg(OH)_2 + 2H_3O^+$

약산인 CH_3COOH 과 강염기인 $NaOH$ 이 중화 반응하여 생성된 염이므로 CH_3COO^- 이 가수 분해하여 염기성을 나타낸다.

강산인 HCl 과 강염기인 $NaOH$ 이 중화 반응하여 생성된 염이므로 가수 분해하지 않으며 중성을 나타낸다.

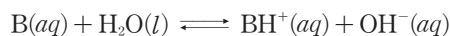
강산인 HCl 과 약염기인 $Mg(OH)_2$ 이 중화 반응하여 생성된 염이므로 Mg^{2+} 이 가수 분해하여 산성을 나타낸다.

ㄱ. $NaOH$ 의 양이온인 Na^+ 은 가수 분해하지 않고 $Mg(OH)_2$ 의 양이온인 Mg^{2+} 은 가수 분해하므로 $NaOH$ 은 강염기이고, $Mg(OH)_2$ 은 약염기이다.

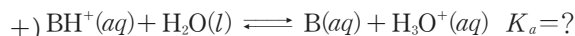
ㄴ. CH_3COONa 은 가수 분해하여 염기성을 나타내고, $MgCl_2$ 은 가수 분해하여 산성을 나타낸다.

ㄷ. $(CH_3COO)_2Mg$ 은 약산과 약염기의 염이므로 양이온과 음이온이 모두 가수 분해하지만, 그 영향이 서로 상쇄되어 거의 중성이 되므로 BTB 용액을 가하면 녹색을 나타낼 것이다.

07 이온화 상수 크기로 보아 HA 는 약산이고, B 는 약염기이다. BH^+ 의 이온화 상수는 B 의 값을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.



$$K_b = 1.0 \times 10^{-6}$$



이때 $K_b \times K_a = K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}(25^\circ C)$ 이므로

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-6}} = 1.0 \times 10^{-8} \text{이다.}$$

ㄴ. 약염기와 그 약염기의 짝산을 1:1로 혼합한 용액은 완충 용액이다. B 수용액의 $K_b = 1.0 \times 10^{-6}$ 이므로 B 수용액과 BH^+ 수용액을 1:1로 혼합한 용액은 완충 용액이다.

ㄷ. B 수용액의 $[OH^-] = \sqrt{K_b C} = \sqrt{1.0 \times 10^{-6} \times 1.0} = 1.0 \times 10^{-3}$ 이다. $[H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 이므로 $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-11}$ 이다. 따라서 pH는 11.0이다.

바로알기 ㄱ. 이온화 상수가 클수록 산의 세기가 강하므로 HA 는 BH^+ 보다 약한 산이다.

08 ㄱ. 중화 적정은 중화 반응의 양적 관계를 이용하여 산 또는 염기의 농도를 알아내는 방법이다.

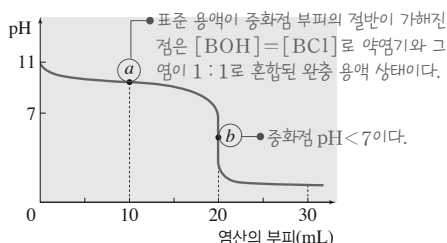
H^+ 의 몰수($n_1M_1V_1$)= OH^- 의 몰수($n_2M_2V_2$)

ㄴ. 약산을 약염기로 중화 적정하지 않는다. 그 이유는 이온화도가 작아 반응 속도가 느리고 적절한 지시약이 없기 때문이다.

ㄷ. 중화 적정의 지시약을 선택할 때는 생성되는 염의 가수 분해를 고려해서 중화점의 pH가 변색 범위에 포함되어야 한다.

09

문제 분석하기



25 °C에서 염기 BOH 수용액 20 mL를 0.1 M 염산(HCl)으로 중화 적정한 적정 곡선으로, 중화점(b)에서 소비된 염산의 부피는 20 mL이다. 따라서 BOH 수용액의 농도는 0.1 M이다.

ㄱ. 25 °C에서 물의 이온곱 상수 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ 이므로 $pH + pOH = 14$ 이다. 시작점에서 BOH 수용액의 $pH = 11$ 이므로 $pOH = 3$ 이다. 즉, $[OH^-] = 10^{-3} M = 0.001 M$ 이므로 0.1 M의 BOH가 1 %만 이온화한 것이다. 즉, 이온화도가 매우 작으므로 BOH는 약염기이다.

BOH의 이온화도(α) = $\frac{0.001}{0.1} = 0.01$

ㄴ. a점은 표준 용액이 중화점 부피의 절반만큼 가해진 지점이므로 $[BOH] = [B^+]$ 인 완충 용액 상태이다.

바로알기 ㄷ. 중화점 b에서 염인 BCl이 생성되지만 약염기의 양이온인 B^+ 은 일부가 가수 분해하여 BOH로 되므로 $[B^+] < [Cl^-]$ 이다.

10 ㄱ. 아연이 수소보다 반응성이 크다. 따라서 아연판을 1 M 염산에 담그면 자발적인 산화-환원 반응이 일어나 아연 금속은 아연 이온으로 산화되고 수소 이온은 수소 기체로 환원된다.

알짜 이온 반응식은 $Zn(s) + 2H^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + H_2(g)$ 이고, 염화 이온(Cl^-)은 구경꾼 이온이다.

ㄴ. 아연의 산화수는 0에서 +2로 증가하고 수소의 산화수는 +1에서 0으로 감소한다.

ㄷ. 자발적인 산화-환원 반응이 일어나므로 $\Delta G < 0$ 이다.

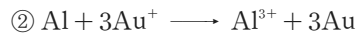
11 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽다.

전지의 전체 반응식은 주고 받은 전자의 몰수가 같게 계수를 맞추어야 하지만, 표준 전지 전위는 계수에 상관없이 다음과 같이 계산하면 된다.

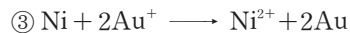
$$E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{\text{환원 전극(+극)}} - E^\circ_{\text{산화 전극(-극)}}$$



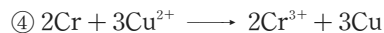
$$E^\circ_{\text{전지}} = -0.74 V - (-1.66 V) = 0.92 V$$



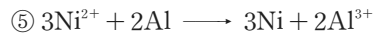
$$E^\circ_{\text{전지}} = +1.68 V - (-1.66 V) = 3.34 V$$



$$E^\circ_{\text{전지}} = +1.68 V - (-0.26 V) = 1.94 V$$



$$E^\circ_{\text{전지}} = +0.34 V - (-0.74 V) = 1.08 V$$



$$E^\circ_{\text{전지}} = -0.26 V - (-1.66 V) = 1.40 V$$

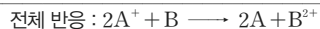
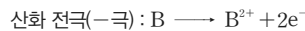
12

문제 분석하기

표준 환원 전위가 더 크다. \Rightarrow 환원 전극(+극)

반쪽 반응	표준 환원 전위(V)
$A^+ + e^- \rightarrow A$	+0.80
$B^{2+} + 2e^- \rightarrow B$	-0.76

표준 환원 전위가 더 작다. \Rightarrow 산화 전극(-극)



①, ③ 환원 전극(+극)인 금속 A에서는 환원 반응이 일어나고, 산화 전극(-극)인 금속 B에서는 산화 반응이 일어난다. 전압계의 (-)단자는 산화 전극(-극)인 금속 B에 연결한다.

② 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 환원 전극(+극)의 표준 환원 전위에서 산화 전극(-극)의 표준 환원 전위를 빼서 구한다.

$$E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+\text{극})} - E^\circ_{(-\text{극})}$$

$$= +0.80 V - (-0.76 V) = +1.56 V$$

⑤ 환원 전극(+극)에서 수용액 속 A^+ 이 환원되므로 전지 반응이 진행될수록 A^+ 의 수는 감소한다.

바로알기 ④ 산화 전극(-극)에서 금속 B 1몰이 산화될 때 전자 2몰을 내놓는다. 따라서 전자 1몰이 이동할 때 금속 B 0.5몰이 산화되므로 금속 B의 질량은 32.5 g 감소한다.

13 • 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고, 표준 환원 전위가 작을수록 산화되기 쉽다.

• 표준 환원 전위가 클수록 금속의 반응성이 작다. \Rightarrow 반응성: $A > B > C > D$

• 전지에서 표준 환원 전위가 큰 쪽이 환원 전극(+극)이고, 작은 쪽이 산화 전극(-극)이다.

ㄱ. 산화가 가장 잘 되는 금속은 표준 환원 전위가 가장 작은 A이다.

ㄴ. $B + C^{2+} \longrightarrow B^{2+} + C$ 반응에서 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}}$)는 C의 표준 환원 전위에서 B의 표준 환원 전위를 빼서 구한다.

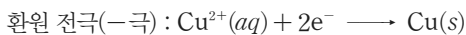
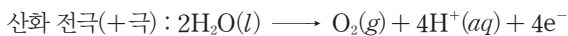
$$E^\circ_{\text{전지}} = +0.34 \text{ V} - (-0.44 \text{ V}) = +0.78 \text{ V}$$

$\Delta G^\circ = -nFE^\circ_{\text{전지}}$ 에서 $E^\circ_{\text{전지}}$ 가 (+)값이므로 ΔG° 가 (-)값이 되어 이 반응은 자발적이다.

바로알기 ㄷ. 반쪽 전지 B와 D를 이용하여 만든 전지에서 표준 환원 전위가 큰 D가 환원 전극(+극)이고, 표준 환원 전위가 작은 B가 산화 전극(-극)이므로 표준 전지 전위는 다음과 같다.

$$E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+\text{극})} - E^\circ_{(-\text{극})} = +0.80 \text{ V} - (-0.44 \text{ V}) = +1.24 \text{ V}$$

14 CuSO_4 수용액을 전기 분해하면 산화 전극(+극)에서는 물이 산화되어 O_2 기체가 발생하고, 환원 전극(-극)에서는 Cu^{2+} 이 환원되어 Cu가 석출된다.



① (+)극에 연결된 전극 A는 산화 전극(+극)이다.

② 전기 분해가 진행되면 산화 전극(+극)에서 물이 산화되어 H^+ 의 농도가 커지므로 수용액의 pH가 작아진다.

③ 전기 분해가 진행되면 환원 전극(-극)인 전극 B에서는 Cu가 석출되므로 전극 B의 질량이 증가한다.

⑤ 전극 A(산화 전극)에서는 O_2 기체가 발생하고, 전극 B(환원 전극)에서는 금속 Cu가 석출된다.

바로알기 ④ 산화 전극(+극)에서는 전자 4몰에 의해 O_2 기체 1몰이 발생하고, 환원 전극(-극)에서는 전자 2몰에 의해 Cu 1몰이 생성된다. 따라서 같은 시간 동안 같은 전하량에 의해 전극 A, B에서 생성되는 물질의 몰수비는 $\frac{1}{4} : \frac{1}{2} = 1 : 2$ 이다.

15

문제 분석하기

• (+)극에 연결한 불순물을 포함한 구리에서는 산화 반응이 일어난다.
 $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e^-$
 이때 불순물 중 구리보다 반응성이 큰 금속도 산화되어 이온으로 녹아 나온다.

전원 장치

불순물을 포함한 구리 (+) (-) 순수한 구리

순수한 (-)극에서는 Cu^{2+} 이 환원되어 Cu로 석출되므로 순수한 구리의 질량이 증가한다.
 $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$

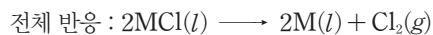
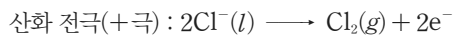
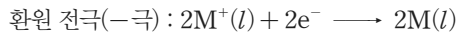
구리보다 반응성이 작은 금속은 금속 상태로 (+)극 아래에 양극 찌꺼기로 쌓인다.

ㄱ. 불순물 중에서 금은 구리보다 반응성이 작기 때문에 산화되지 않고 금속 상태로 (+)극 아래에 쌓인다.

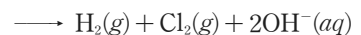
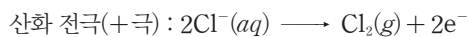
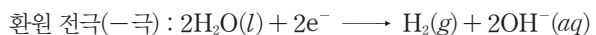
ㄴ. (-)극에서 Cu^{2+} 이 환원되어 Cu 1몰이 석출되는 데 전자 2몰이 필요하다. 따라서 1 F의 전하량을 흘려 주면 Cu 0.5몰이 석출된다.

바로알기 ㄷ. 양극 찌꺼기에 남은 금속의 몰수와 (-)극에서 증가한 구리의 몰수는 서로 관련이 없으며, 불순물로 금, 은과 같이 반응성이 작은 금속이 많이 포함되어 있을 경우 양극 찌꺼기의 양이 많아진다.

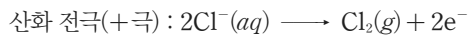
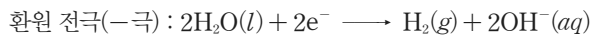
16 (가) 금속 M의 염화물(MCl)의 용융액은 금속의 양이온(M^+)과 염화 이온(Cl^-)만 존재하므로 전기 분해하면 다음과 같은 반응이 일어난다.



(나) MCl 수용액에는 M^+ 과 Cl^- 외에도 물이 존재하는데 물의 환원 전위가 금속 M의 환원 전위보다 크기 때문에 M^+ 대신 물이 환원된다.



ㄴ. (나)의 각 전극에서의 반응은 다음과 같다.



따라서 같은 전하량을 흘려 주었을 때 두 전극에서 생성되는 물질 H_2 와 Cl_2 의 몰수는 같다.

바로알기 ㄱ. (가)의 (-)극에서는 M^+ 이 환원되어 금속 M이 석출되지만, (나)의 (-)극에서는 물이 환원되어 수소(H_2) 기체가 생성된다.

ㄷ. (나)에서 물이 환원되면 OH^- 의 농도가 커지므로 수용액의 pH는 커진다.

17 전해질 수용액의 전기 분해에는 전해질의 양이온, 음이온 외에도 물이 관여할 수 있다. 따라서 전극 (가)~(라)의 반응은 다음과 같다.

전극	반응식
(가)	(+)극 $2\text{Cl}^-(aq) \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + 2e^-$
(나)	(-)극 $2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$
(다)	(+)극 $2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^-$
(라)	(-)극 $\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}(s)$

ㄱ. 전극 (가)에서는 전자 2몰의 이동에 의해 염소(Cl_2) 기체 1몰이 생성되고, 전극 (다)에서는 전자 4몰의 이동에 의해 산소(O_2) 기체 1몰이 생성된다. 따라서 같은 전하량에 의해 생성되는 물질의 몰수비는 $\frac{1}{2} : \frac{1}{4} = 2 : 1$ 인데, 같은 온도와 압력이므로 몰수비는 기체의 부피비가 된다. 따라서 전극 (가)와 (다)에서 생성되는 물질의 부피비는 $\text{Cl}_2 : \text{O}_2 = 2 : 1$ 이다.

바로알기 ㄴ. 전극 (라)는 구리가 백금 전극의 표면에 석출되므로 질량이 증가하지만, 전극 (나)는 수소 기체가 발생하므로 전극의 질량은 변함없다.

ㄷ. 두 비커 모두 물이 전기 분해에 관여하지만 왼쪽 비커는 물이 환원되므로 OH⁻의 농도가 커져 pH가 커지고, 오른쪽 비커는 물이 산화되어 H⁺의 농도가 커져 pH가 작아진다.

수능 실전 문제

292~296쪽

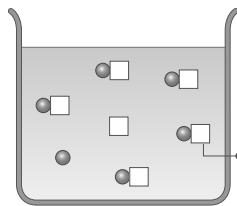
1 ② 2 ③ 3 ③ 4 ③ 5 ⑤ 6 ④ 7 ⑤ 8 ③ 9 ①
10 ④ 11 ③ 12 ⑤ 13 ③ 14 ③ 15 ② 16 ③

1

문제 분석하기

1개의 \bullet □은 0.1몰에 해당하는데 처음에 녹인 HA는 0.6몰이고 부피는 1 L이므로 초기 농도는 0.6 M이다.

→ 평형 상태 : [HA]=0.5 M, [H⁺]=[A⁻]=0.1 M



● 녹은 산의 몰수는 0.6몰이고, 이온화된 산의 몰수는 0.1몰이다.

ㄴ. 산의 이온화도(α) = $\frac{\text{이온화된 산의 몰수}}{\text{녹은 산의 몰수}} = \frac{1}{6}$ 이다.

바로알기 ㄱ. ●과 □은 산 \bullet □이 이온화하여 생성된 입자로 짝산-짝염기의 관계가 아니다.

ㄷ. 산의 이온화 상수(K_a)는 각 물질의 평형 농도를 이온화 상수식에 대입하여 구할 수 있다.

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{0.1 \times 0.1}{0.5} = 0.02$$

2 산과 염기의 이온화 상수가 클수록 이온화가 잘 되어 산과 염기의 세기가 강하다. 따라서 HCOOH은 HCN보다 산의 세기가 강하고, CH₃NH₂은 C₆H₅NH₂보다 염기의 세기가 강하다.

ㄱ. 산의 세기가 강할수록 짝염기의 세기는 약하다. 따라서 염기의 세기는 CN⁻이 HCOO⁻보다 강하다.

ㄷ. 주어진 산과 염기가 이온화하면 H⁺ 또는 OH⁻과 그 짝염기 또는 짝산이 1 : 1로 생성된다. 이때 같은 농도에서 이온화 상수가 클수록 이온화가 잘 되고, 생성된 전체 이온 수가 많다. 따라서 수용액 중 전체 이온 수가 가장 많은 것은 이온화 상수가 가장 큰 CH₃NH₂이다.

바로알기 ㄴ. 염기의 짝산의 이온화 상수(K_a)는 물의 이온곱 상수(K_w)를 염기의 이온화 상수(K_b)로 나누어 구한다. C₆H₅NH₂의 짝산의 이온화 상수는 $K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{4 \times 10^{-10}} = 2.5 \times 10^{-5}$ 으로 HCN의 이온화 상수보다 크다. 따라서 C₆H₅NH₂의 짝산은 HCN보다 강한 산이다.

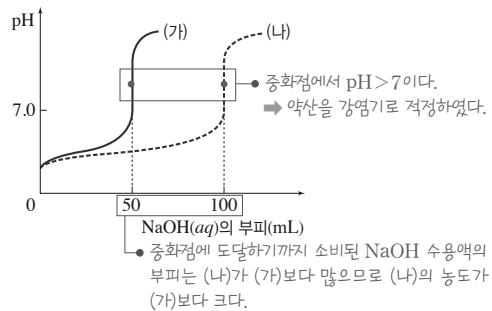
3 ㄷ. 이온화 상수(K_a)가 1보다 작으므로 역반응이 우세하다. 따라서 정반응에서의 산 HA보다 역반응에서의 산 H₃O⁺이 더 강한 산이다.

바로알기 ㄱ. (가)와 (나)는 같은 온도, 같은 산이므로 농도와 부피가 달라도 이온화 상수(K_a)가 같다.

ㄴ. [H₃O⁺] = $C\alpha = \sqrt{K_a C}$ 인데 K_a 는 같으므로 몰 농도(C)가 큰 (나)가 (가)보다 [H₃O⁺]가 크다. 그런데 pH = -log[H₃O⁺]이므로 pH는 (가)가 (나)보다 크다.

4

문제 분석하기



ㄱ. 중화 반응의 양적 관계를 이용하여 (가)와 (나)의 NaOH 수용액의 농도를 구하면 (가)의 농도(x)는 0.5 M, (나)의 농도(y)는 1.0 M이다.

$$n_1 M_1 V_1 = n_2 M_2 V_2$$

$$(가) 1 \times x \times 100 \text{ mL} = 1 \times 1.0 \text{ M} \times 50 \text{ mL}, x = 0.5 \text{ M}$$

$$(나) 1 \times y \times 100 \text{ mL} = 1 \times 1.0 \text{ M} \times 100 \text{ mL}, y = 1.0 \text{ M}$$

ㄴ. (가)의 경우 HA 수용액의 농도는 0.5 M이므로 HA의 몰수는 $0.5 \text{ M} \times 0.1 \text{ L} = 0.05 \text{ 몰}$ 이다. 따라서 중화점에서 A⁻의 몰수는 0.05몰이고, 혼합 용액의 부피는 150 mL이므로 $[A^-] = \frac{0.05 \text{ 몰}}{0.15 \text{ L}} = \frac{1}{3} \text{ M}$ 이다.

(나)의 경우 HA 수용액의 농도는 1.0 M이므로 HA의 몰수는 $1.0 \text{ M} \times 0.1 \text{ L} = 0.1 \text{ 몰}$ 이다. 따라서 중화점에서 A⁻의 몰수는 0.1몰이고, 혼합 용액의 부피는 200 mL이므로 $[A^-] = \frac{0.1 \text{ 몰}}{0.2 \text{ L}} = \frac{1}{2} \text{ M}$ 이다. 따라서 중화점에서 [A⁻]는 (나)가 (가)보다 크다.

바로알기 ㄷ. 같은 종류의 산은 농도가 묽을수록 이온화도(α)가 크다. 따라서 이온화도는 농도가 더 큰 (나)가 (가)보다 작다.

5 ㄱ. HA 수용액 50 mL를 완전히 중화하는 데 소비된 1.0 M NaOH 수용액의 부피가 50 mL이므로 중화 반응의 양적 관계에 의하면 HA 수용액의 농도(x)는 1.0 M이다.

$1 \times x \times 50 \text{ mL} = 1 \times 1.0 \text{ M} \times 50 \text{ mL}$, $x = 1.0 \text{ M}$
NaOH 수용액을 가하기 전 HA 수용액의 pH=2.0이므로 $[H^+] = C\alpha = 1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이다. 따라서 HA의 이온화도가 $\alpha = 0.01$ 로 매우 작으므로 HA는 약산이다.

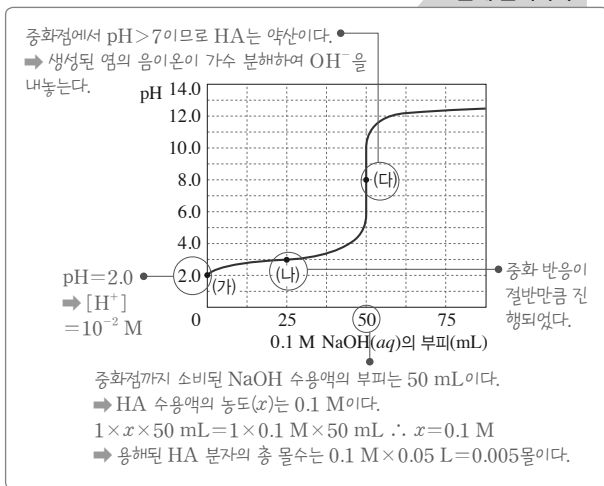
또는 중화점에서 pH>7이므로 약산과 강염기의 반응임을 알 수 있다.

ㄴ. HA가 이온화하면 H^+ 과 A^- 이 1:1로 생성되는데, α 에서 $[H^+] = 1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이므로 $[A^-] = 1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이다.

ㄷ. b에서 pH>7이므로 $[OH^-]$ 가 $[H^+]$ 보다 크다. 약산과 강염기가 중화 반응하여 생성된 염 NaA의 음이온인 A^- 이 가수 분해하여 OH^- 을 내놓으므로 중화점(b)은 염기성 쪽으로 치우친다.
 $HA + NaOH \longrightarrow NaA + H_2O$
 $A^- + H_2O \rightleftharpoons HA + OH^-$

6

문제 분석하기



(가) 시작점의 pH가 2.0이므로 $[H^+] = [A^-] = 0.01 \text{ M}$ 이고, $[H^+] = C\alpha$ 에 의해 이온화도 $\alpha = 0.01$ 이다. 즉, 녹인 HA 분자를 10개라 할 때 1개가 이온화한 것이므로 남은 HA 분자는 9개이다. 따라서 HA와 A^- 의 입자 수비는 9:1이다.

(나) NaOH 수용액이 25 mL 소비되었으므로 HA의 절반이 중화되어 A^- 으로 존재하는 완충 용액 상태이다. 따라서 HA와 A^- 의 입자 수비는 1:1이다.

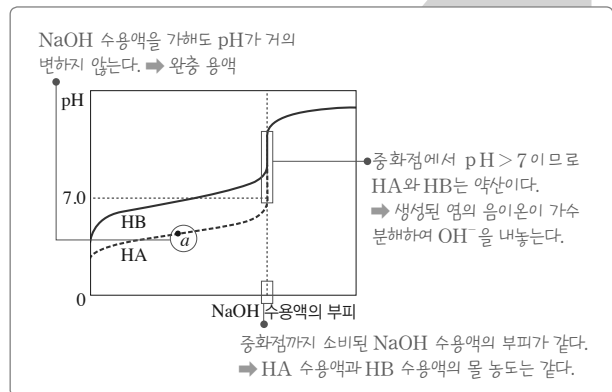
(다) 중화점에서 pH>7인 것으로 보아 A^- 이 가수 분해한다는 것을 알 수 있다. 즉, (다)에서는 $A^- + H_2O \rightleftharpoons HA + OH^-$ 반응이 일어나 HA가 존재한다.

중화점 (다)에서 pH=8.0이므로 $[H^+] = 10^{-8} \text{ M}$ 이고, $[OH^-] = 10^{-6} \text{ M}$ 이다.

A^- 의 가수 분해 반응식에서 HA와 OH^- 의 계수비가 1:1이므로 $[HA] = 10^{-6} \text{ M}$ 이다. 중화점에서 혼합 용액의 부피는 100 mL이므로 HA의 몰수는 $10^{-6} \text{ M} \times 0.1 \text{ L} = 10^{-7} \text{ 몰}$ 이다. 그리고 가수 분해하지 않고 남은 A^- 의 몰수는 $(0.005 - 10^{-7}) \text{ 몰}$ 이므로 HA 몰수의 거의 50000배이다. 즉, (다)에서 가수 분해되어 생성되는 HA의 입자 수는 매우 적고, 대부분 A^- 으로 존재한다. 따라서 (가), (나), (다)에서 HA와 A^- 의 입자 수(상댓값)를 가장 잘 나타낸 것은 ④이다.

7

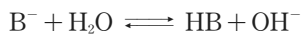
문제 분석하기



ㄱ. 같은 농도의 1가 산인 HB보다 HA의 pH가 더 작으므로 HA가 HB보다 강한 산이다. 따라서 이온화 상수(K_a)는 HA가 HB보다 크다.

ㄴ. a는 중화 반응이 절반 정도 진행된 지점이다. HA는 약산이므로 강염기에 의해 절반이 중화되어 약산과 그 짝염기가 1:1로 존재하는 a의 혼합 수용액은 완충 용액이다.

ㄷ. HB 수용액의 중화점에서 약산의 짝염기인 B^- 의 일부가 가수 분해하여 HB로 된다.



따라서 가수 분해하지 않는 $[Na^+]$ 는 가수 분해하는 $[B^-]$ 보다 크다.

8

ㄱ. (가)의 혼합 용액에서 pH=6, $[HA] = [A^-]$ 이므로 HA의 이온화 상수 $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = [H_3O^+] = 10^{-6}$ 이다. 혼합 전 용액은 pH=3이므로 $[H_3O^+] = 10^{-3} = \sqrt{K_a C} = \sqrt{10^{-6} \times C}$ 에 의해 혼합 전 HA의 농도(C)는 1.0 M이다.

ㄷ. (가)의 혼합 용액은 중화 반응이 절반 정도 진행된 지점으로 0.5 M BOH 수용액 100 mL를 더 가해 주면 중화점에 도달한다. 중화점에서 생성된 염 BA에서 약산의 짝염기인 A^- 의 일부가 가수 분해하여 HA로 되므로 가수 분해하지 않는 B^+ 보다 농도가 작다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 HA의 이온화 상수는 (가)와 같고, pH=4이므로 $[H_3O^+]=10^{-4}=\sqrt{K_a C}=\sqrt{10^{-6} \times C}$ 이다. 즉, 혼합 전 HA의 농도(C)는 0.01 M이다.

0.01 M HA 수용액 100 mL를 0.5 M BOH 수용액으로 완전히 중화시키기 위해 필요한 부피(V)를 중화 반응의 양적 관계로 구하면 다음과 같다.

$$n_1 M_1 V_1 = n_2 M_2 V_2$$

$$1 \times 0.01 \text{ M} \times 100 \text{ mL} = 1 \times 0.5 \text{ M} \times V, V = 2 \text{ mL}$$

그런데 혼합 용액의 pH가 7보다 작으므로 넣어 준 BOH 수용액의 부피(x)는 2보다 작다.

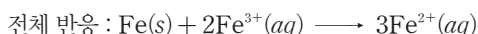
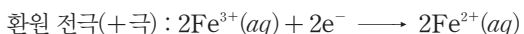
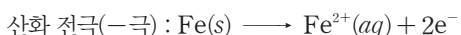
9 ㄱ. B의 표준 환원 전위가 (-)값이므로 B를 염산에 넣으면 산화된다.

바로알기 ㄴ. $A^{2+} + 2C \longrightarrow A + 2C^+$ 반응의 표준 전지 전위 $E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{\text{환원 전극}} - E^\circ_{\text{산화 전극}} = 1.18 \text{ V} - (-0.14 \text{ V}) = 1.32 \text{ V}$ 이다.

ㄷ. 표준 환원 전위가 더 작은 B가 환원되는 반응은 자발적으로 일어나지 않으므로 자유 에너지 변화(ΔG°)는 0보다 크다.

10 ㄴ. 표준 환원 전위가 큰 금속이 (+)극(환원 전극)이 되므로 $Fe^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow Fe^{2+}(aq)$ 의 반응이 일어난다.

ㄷ. 화학 전지의 (-)극에서는 산화 반응이 일어나고 (+)극에서는 환원 반응이 일어나므로 전체 반응식은 다음과 같다.



바로알기 ㄱ. 표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{(+)\text{극}} - E^\circ_{(-)\text{극}} = +0.77 \text{ V} - (-0.44 \text{ V}) = +1.21 \text{ V}$)

11

문제 분석하기

• 물의 산화 반응: $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

⇒ O_2 기체 발생, pH 감소

• 물의 환원 반응: $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

⇒ H_2 기체 발생, pH 증가

pH가 감소했으므로 H_2O 이 산화되어 O_2 와 H^+ 이 생성된다는 것을 알 수 있다.

⇒ (나)= O_2 (ㄴ)

수용액	(+)극 산화 반응		(-)극 환원 반응	
	생성 물질	pH 변화	생성 물질	pH 변화
ACl_2	Cl_2	(가)	(가)	일정
BSO_4	(나)	(감소)	H_2	(다)

H_2 가 생성되므로 H_2O 이 환원된다는 것을 알 수 있다.

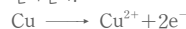
pH 변화가 없으므로 A^{2+} 이 환원되어 A가 생성된다는 것을 알 수 있다. ⇒ (가)=A(ㄱ)

ㄷ. BSO_4 수용액의 경우 (-)극에서 H_2 가 생성되었으므로 B^{2+} 대신 H_2O 이 환원되었다는 것을 알 수 있다. H_2O 이 환원되면 H_2 와 함께 OH^- 이 생성되므로 pH가 커진다.

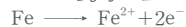
12

문제 분석하기

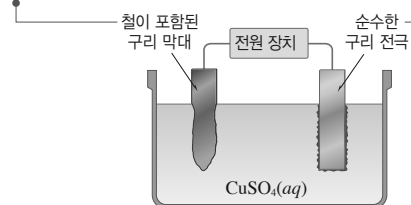
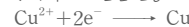
• (+)극에서 산화 반응이 일어나 구리가 산화된다.



• Cu보다 반응성이 큰 Fe도 산화된다.



(-)극에서 환원 반응이 일어난다.



ㄱ. 순수한 구리 전극에서 Cu^{2+} 이 환원되어 Cu로 석출되어야 하므로 순수한 구리 전극은 전원 장치의 (-)극에 연결한다.

ㄴ. 철이 포함된 구리 막대는 전원 장치의 (+)극에 연결되어 산화 반응이 일어난다. 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고, 산화되기 어렵다. Fe은 Cu보다 표준 환원 전위가 작으므로 (+)극에서는 쉽게 산화되어 Fe^{2+} 으로 수용액에 녹아 들어가고, (-)극에서는 Fe^{2+} 이 Cu^{2+} 보다 환원되기 어려워 수용액에 양이온으로 존재한다.

ㄷ. (-)극에서 $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$ 반응이 일어나므로 2 F의 전하량에 의해 Cu 1몰(=64 g)이 석출된다. 전하량(C)=전류의 세기(A)×시간(초)이므로 흘려 준 전하량은 $10 \text{ A} \times 9650 \text{ 초} = 96500 \text{ C} = 1 \text{ F}$ 이다. 따라서 Cu 0.5몰(=32 g)이 석출되므로 순수한 구리 전극의 질량이 32 g 증가한다.

13

문제 분석하기

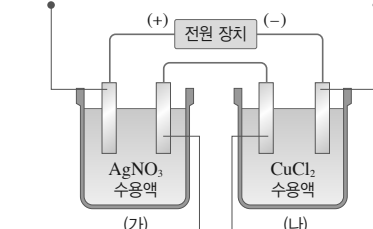
산화 전극(+극): NO_3^- 대신 H_2O 이

산화되어 O_2 기체 발생



환원 전극(-극): Cu^{2+} 이

환원되어 Cu 석출



환원 전극(-극): Ag^+ 이 환원되어 Ag 석출
 $Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$

산화 전극(+극): Cl^- 이 산화되어 Cl_2 기체 발생
 $2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

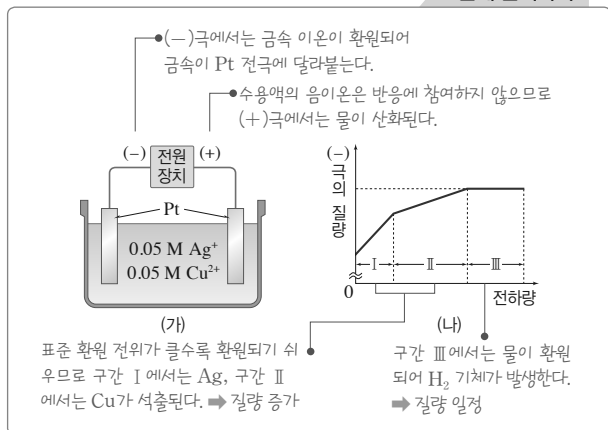
ㄱ. $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$ 반응에 의해 Ag 1몰이 석출되려면 전자 1몰, 즉 1 F의 전하량이 필요하다. 그런데 석출된 Ag의 양이 10.8 g이므로 Ag 0.1몰이 석출된 것이다. 따라서 전기 분해 장치에 흘려 준 전하량은 0.1 F이다.

ㄴ. (가)의 (-)극에서 Ag^+ 이 환원되는 반쪽 반응은 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}(\text{s})$ 이다.

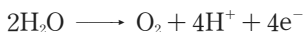
바로알기 ㄷ. $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$ 반응에 의해 Cu 1몰이 석출되는 데 필요한 전하량은 2 F이다. 그런데 전기 분해 장치에 흘려 준 전하량이 0.1 F이므로 Cu는 3.2 g(0.05몰)이 석출된다. $2\text{F} : 1\text{몰} = 0.1\text{F} : x, x = 0.05\text{몰}$

14

문제 분석하기



ㄱ. 혼합 수용액의 음이온은 반응에 참여하지 않으므로 구간 I에서 (+)극에서는 물이 산화되어 O_2 기체가 발생하고 H^+ 의 농도가 증가한다. 따라서 수용액의 pH는 작아진다.

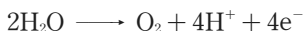


ㄷ. 구간 III에서 (-)극의 질량이 증가하지 않는 것은 수용액의 금속 양이온이 모두 환원된 후 물이 환원되어 H_2 기체가 발생하기 때문이다.

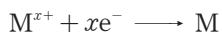


바로알기 ㄴ. 구간 I에서는 Ag이 석출되고, 구간 II에서는 Cu가 석출된다. 그런데 혼합 수용액 중 Ag^+ 과 Cu^{2+} 의 농도가 0.05 M로 같으므로 구간 I과 II에서 석출되는 금속의 몰수는 같다. 다만 같은 몰수가 석출되기 위해 Cu^{2+} 은 Ag^+ 보다 2배의 전하량을 필요로 하므로 흘려 준 전하량의 크기는 구간 II가 구간 I의 2배이다.

15 수용액을 전기 분해할 때 (+)극에서 산소(O_2) 기체가 발생하였으므로 물이 산화되었다.



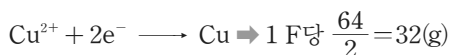
또한 금속의 양이온은 (-)극에서 전자를 받아 금속으로 석출되었다.



이때 석출되는 생성물의 질량은 전자의 몰수에 비례하며 양이온의 전하와 금속의 원자량에 의해 다음과 같은 관계를 가진다. (패러데이 법칙)

$$\text{전자 1몰에 의해 석출되는 금속의 질량(g)} = \frac{\text{금속의 원자량}}{\text{양이온의 전하수}}$$

따라서 같은 전하량(같은 전자의 몰수)에 의해 환원되는 은(Ag)과 구리(Cu)의 질량은 다음과 같다.



즉, (나)보다 기울기가 3배 정도 큰 (가)가 AgNO_3 수용액이고, (나)는 CuSO_4 수용액이다.

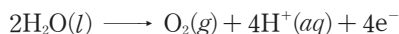
ㄴ. (+)극의 반쪽 반응식에 의하면 물이 산화되어 산소(O_2) 기체 0.1몰이 발생할 때 0.4몰의 전자가 생성되어 (-)극에 공급된다. 따라서 Ag 0.4몰이 석출된다.

바로알기 ㄱ. 같은 전하량에 의해 석출되는 금속의 질량이 큰 (가)가 질산 은(AgNO_3) 수용액이다. (나)는 황산 구리(II) (CuSO_4) 수용액이다.

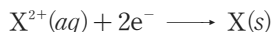
ㄷ. 두 수용액 모두 (+)극에서는 산소 기체가 발생하므로 같은 양의 전하량을 흘려 주면 같은 몰수(질량, 부피)의 기체가 발생한다.

16 수용액의 전기 분해에서 (+)극에서는 산화 반응이, (-)극에서는 환원 반응이 일어난다. 그런데 수용액에는 물이 들어 있으므로 양이온이나 음이온 대신 물이 환원 또는 산화될 수 있다.

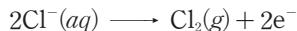
A 전극 : 황산 이온(SO_4^{2-}) 대신 물이 산화되어 산소(O_2) 기체가 발생한다.



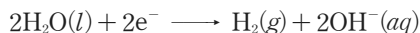
B 전극 : 금속이 석출되었으므로 X가 석출된 것이다.



C 전극 : 염화 이온(Cl^-)이 물보다 산화되기 쉬우므로 염소(Cl_2) 기체가 발생한다.



D 전극 : 금속 Y 대신 기체가 발생하였으므로 물이 환원되어 수소(H_2) 기체가 발생한 것이다.



ㄱ. (가)에서는 전극 A에서 물이 산화되어 산소 기체가 발생하며 수용액 속 H^+ 의 농도가 커지므로 pH는 작아진다.

ㄴ. 전극 D에서는 물이 환원되어 수소 기체가 발생한다.

바로알기 ㄷ. 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽다. 그런데 수용액에서 X는 환원되어 석출되었지만 Y는 환원되지 못했으므로 표준 환원 전위(E°)는 X가 Y보다 크다.

IV

화학 반응 속도

1. 화학 반응 속도

01 반응 속도

개념 확인 문제

304쪽

1 빠른, 느린 2 생성물, 반응물 3 평균 반응 속도

4 순간 반응 속도

A/B 1 (1) 느 (2) 빠 (3) 느 (4) 빠 2 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×
3 1.5 mL/s 4 2배 5 $v_{I_1} > v_{I_2} > v_{I_3}$

1 (1) 과일이 익어 가는 과정은 오랜 시간에 걸쳐 일어나는 반응으로 느린 반응이다.

(2) 불꽃놀이는 폭약에 여러 가지 금속 원소를 섞어 터뜨릴 때 하늘에 여러 가지 색의 불꽃이 나타나는 빠른 반응이다.

(3) 철의 부식은 철이 산소와 반응하여 산화 철로 되는 반응으로 매우 서서히 일어난다.

(4) 염화 나트륨 수용액의 염화 이온(Cl^-)과 질산 은 수용액의 은 이온(Ag^+)은 빠르게 반응하여 흰색의 염화 은($AgCl$) 앙금을 생성한다.

2 (1), (2) 반응이 진행될수록 반응물의 농도는 점점 감소하다가 일정해지고, 생성물의 농도는 점점 증가하다가 일정해진다. 따라서 시간이 지날수록 반응 속도는 점점 느려지다가 0이 된다.

(3) 기체가 발생하는 반응에서는 단위 시간 동안 발생하는 기체의 부피를 측정하거나 기체의 발생으로 감소한 반응 용기 전체의 질량을 측정하여 반응 속도를 구할 수 있다.

(4) 평균 반응 속도는 시간-농도 그래프에서 두 점을 지나는 직선의 기울기로 구할 수 있다. 시간-농도 그래프에서 한 점에서의 접선의 기울기는 순간 반응 속도를 의미한다.

3 마그네슘과 묽은 염산이 반응하여 수소 기체가 발생하는 반응은 다음과 같다.



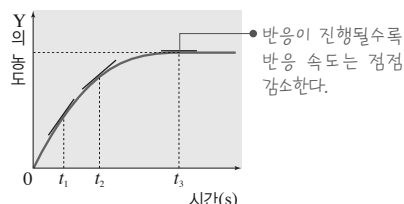
20초 동안 수소 기체 30 mL가 발생하였으므로

반응 속도 = $\frac{\text{생성된 수소 기체의 부피}}{\text{시간}} = \frac{30}{20} = 1.5(\text{mL/s})$ 이다.

4 $A(g) \longrightarrow 2B(g)$ 반응에서 A와 B의 계수 비가 1 : 2이므로 A가 1몰 반응하면 B가 2몰 생성된다. 따라서 B의 생성 속도는 A의 반응 속도의 2배가 된다.

5

문제 분석하기



시간-농도 그래프에서 접선의 기울기가 클수록 반응 속도가 빠르다.

대표 자료 분석

305쪽

대표 자료 ① 1 ㄱ 2 (1) × (2) ○ (3) ×

대표 자료 ② 1 (가) 1.2 mol/L·s (나) 0.6 mol/L·s (다) 0.3 mol/L·s 2 A 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○

①-1

문제 분석하기

시간(초)	0	10	20	30	40	50	60
부피(mL)	0	18	27	32	35	36	36
부피 변화량(mL)		18	9	5	3	1	0
반응 속도(mL/s)		1.8	0.9	0.5	0.3	0.1	0

시간이 지날수록 반응 속도는 점점 느려지므로 반응 속도는 반응 초기에 가장 빠르다.

①-2 (1) 반응이 진행될수록 반응물의 농도는 점점 감소하다가 일정해진다.

(2) 10초 동안 발생하는 수소 기체의 부피가 점점 감소하는 것으로 보아 단위 시간당 발생하는 수소 기체의 부피는 점점 감소함을 알 수 있다.

(3) 10~30초일 때 수소 기체 14 mL가 발생하므로 20초 동안의 평균 반응 속도는 $\frac{14}{20} = 0.7(\text{mL/s})$ 이다.

②-1 평균 반응 속도 = $\frac{\text{X의 농도 변화량}}{\Delta t}$ 이다.

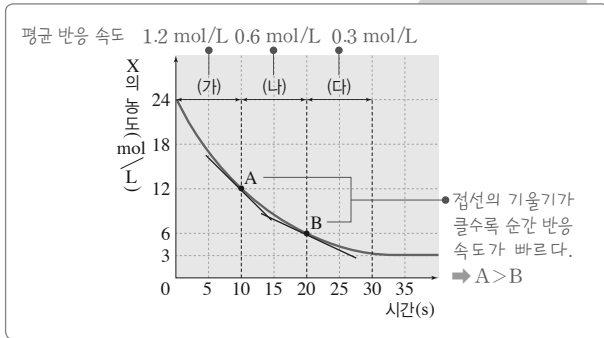
(가) 구간의 평균 반응 속도 = $\frac{12}{10} = 1.2(\text{mol/L} \cdot \text{s})$

(나) 구간의 평균 반응 속도 = $\frac{6}{10} = 0.6(\text{mol/L} \cdot \text{s})$

(다) 구간의 평균 반응 속도 = $\frac{3}{10} = 0.3(\text{mol/L} \cdot \text{s})$

②-2

문제 분석하기



- ②-3 (1) 생성물인 Y의 농도가 증가할수록 반응 속도가 점점 느려지다가 Y의 농도가 일정해지면 반응 속도가 0이 된다.
 (2) 접선의 기울기는 순간 반응 속도로, 접선의 기울기가 클수록 순간 반응 속도가 빠르다.
 (3) 30초 이후 A의 농도가 3 mol/L로 일정하게 유지되므로 반응이 완결되는 데 걸리는 시간은 30초이다.
 (4) 35초에서 접선의 기울기는 0이므로 순간 반응 속도는 0이다.

내신 만점 문제

306~307쪽

- 01 ④ 02 ㄱ 03 0.30 mol/L·s 04 ① 05 ③ 06 ⑤
 07 ③ 08 ① 09 해설 참조

01 터널 공사장에서 폭약을 터뜨리는 반응(ㄴ)과 수산화 나트륨과 묽은 염산을 중화시키는 반응(ㄷ)은 빠른 반응이고, 기차길의 철로가 녹스는 반응(ㄱ)과 복숭아 나무에서 복숭아가 익는 반응(ㄹ)은 느린 반응이다.

02 ㄱ. 싸이오황산 나트륨 수용액과 묽은 염산이 반응하면 노란색의 황 양금이 생성되기 때문에 반응이 진행되면서 흰 종이의 ×표가 보이지 않게 된다. 따라서 ×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간을 측정하면 반응의 빠르기를 구할 수 있다.

반응의 빠르기 = $\frac{1}{\times \text{표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간}}$

바로알기 ㄴ. ×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간이 짧을수록 반응이 빠르게 일어난 것이다.

ㄷ. 황산 나트륨(Na_2SO_4) 수용액과 묽은 염산(HCl)이 반응하면 양금이 생성되지 않기 때문에 주어진 실험 방법으로는 반응의 빠르기를 측정할 수 없다.

03 반응 속도 = $\frac{\text{반응물의 농도 감소량}}{\text{시간 변화}}$ 또는

$\frac{\text{생성물의 농도 증가량}}{\text{시간 변화}} = \frac{\text{농도 변화}}{\text{시간 변화}}$ 이다.

$\text{Cl}_2(\text{g}) + 3\text{F}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{ClF}_3(\text{g})$ 반응의 반응 속도식은

반응 속도(v) = $-\frac{\Delta[\text{Cl}_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{3} \frac{\Delta[\text{F}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{ClF}_3]}{\Delta t}$ 이다.

이때 $\frac{\Delta[\text{ClF}_3]}{\Delta t} = 0.20 \text{ mol/L} \cdot \text{s}$ 이므로 F_2 의 반응 속도를 구하면

$-\frac{1}{3} \frac{\Delta[\text{F}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \times 0.20 \text{ mol/L} \cdot \text{s}$ 이다.

따라서 $-\frac{\Delta[\text{F}_2]}{\Delta t} = 3 \times 0.10 \text{ mol/L} \cdot \text{s} = 0.30 \text{ mol/L} \cdot \text{s}$ 이다.

04

문제 분석하기

마그네슘과 묽은 염산의 반응을 나타내는 화학 반응식은 다음과 같다.



시간(초)	0	20	40	60	80	100
발생한 수소 기체의 부피(mL)	0	25.0	40.0	50.0	50.0	50.0
부피 변화량(mL)		25.0	15.0	10.0	0	0

시간이 지날수록 일정한 시간 간격으로 발생하는 기체의 부피 변화량은 점점 감소하다가 0이 된다.

ㄱ. 마그네슘과 묽은 염산이 반응하면 마그네슘은 Mg^{2+} 으로 용액 속에 녹아 들어가고, H^+ 은 수소 기체가 된다. 따라서 시간이 지날수록 수용액 속 Mg^{2+} 의 농도는 증가하다가 일정해진다.

바로알기 ㄴ. 0~20초일 때의 평균 반응 속도 : $\frac{25.0}{20} = 1.25(\text{mL/s})$

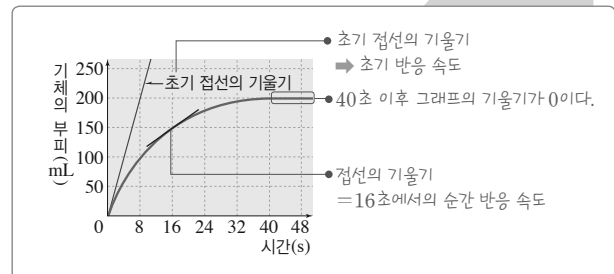
40~60초일 때의 평균 반응 속도 : $\frac{10.0}{20} = 0.5(\text{mL/s})$

따라서 0~20초일 때의 평균 반응 속도는 40~60초일 때의 평균 반응 속도의 2.5배이다.

ㄷ. 반응이 시작된 후 수소 기체 25 mL가 모이는 데 20초가 걸리지만, 20초 이후 수소 기체 25 mL가 더 모이는 데 40초가 걸린다. 즉, 같은 양의 기체가 발생하는 데 걸리는 시간이 점점 길어지다가 60초 이후에는 기체의 부피가 더 이상 증가하지 않는다.

05

문제 분석하기

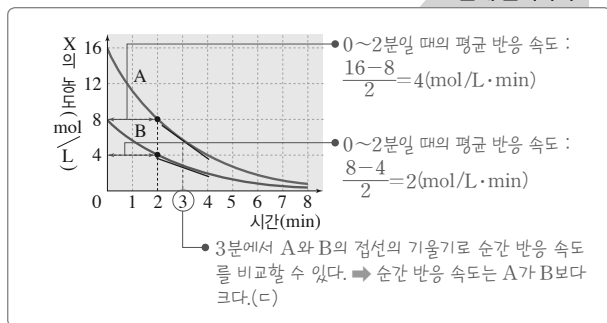


- ① 초기 반응 속도는 $\frac{200}{8}=25(\text{mL/s})$ 이다.
- ② 시간이 지날수록 그래프의 기울기가 점점 작아지는 것으로 보아 반응 속도가 점점 감소함을 알 수 있다.
- ④ 40초 이후 그래프의 기울기가 0이므로 40초 이후 반응 속도가 0이다.
- ⑤ 염산의 농도가 증가한다고 해서 생성물의 총 발생량이 항상 증가하는 것은 아니다. 문제에서 묶은 염산이 모두 반응에 쓰이고도 남을 만큼 ‘충분한’ 양이라는 조건이 주어졌으므로 묶은 염산의 농도를 0.2 M로 증가시켜도 마그네슘 0.1 g은 그대로이므로 수소 기체의 총 발생량은 200 mL이다.

바로알기 ③ 16초가 되는 지점에서의 반응 속도는 16초가 되는 지점에서의 접선의 기울기이며, 이는 16초에서의 순간 반응 속도를 의미한다. $\frac{150 \text{ mL}}{16 \text{ 초}}$ 는 0~16초일 때의 평균 반응 속도이다.

06

문제 분석하기



ㄱ. 시간이 지날수록 X의 농도가 감소하므로 반응 속도는 점점 느려진다. 그래프에서도 A, B 모두 시간이 지날수록 접선의 기울기가 작아지는 것으로 보아 반응 속도가 느려짐을 알 수 있다.

ㄴ. 0~2분일 때의 평균 반응 속도는 A가 4 mol/L·min이고 B가 2 mol/L·min이므로 A가 B의 2배이다.

07

문제 분석하기

시간(분)	0	10	20	30	40	50
O ₂ 의 농도 (mol/L)	0.000	0.021	0.036	0.043	0.047	0.048
농도 변화량 (mol/L)	0.021	0.015	0.007	0.004	0.001	

단위 시간당 O₂의 발생량은 점점 감소한다.(ㄴ)

시간이 지날수록 O₂의 총 발생량은 점점 커진다.(ㄱ)

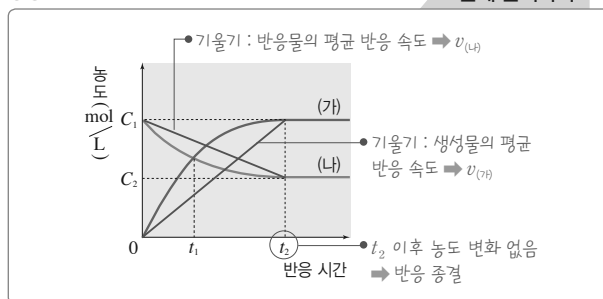
ㄷ. 반응식에서 계수비가 NO₂ : O₂ = 4 : 1이므로 NO₂의 생성 속도는 O₂의 생성 속도의 4배이다. 따라서 같은 시간 동안 NO₂의 농도 변화는 O₂의 농도 변화보다 클 것이다.

바로알기 ㄴ. 20~30분일 때의 평균 반응 속도는

$$\frac{0.043-0.036}{30-20}=0.0007(\text{mol/L} \cdot \text{min}) \text{이다.}$$

08

문제 분석하기



② $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HI}(\text{g})$ 반응에서 $\text{H}_2 : \text{I}_2 : \text{HI} = 1 : 1 : 2$ 이므로 반응 속도 $v = -\frac{[\text{H}_2]}{\Delta t} = -\frac{[\text{I}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{[\text{HI}]}{\Delta t}$ 이다. 따라서 반응 속도 $v_{(가)} = \frac{C_1 - C_2}{t_2} = \frac{1}{2} v_{(나)} = \frac{1}{2} \frac{C_1}{t_2}$ 이므로 $C_1 = 2C_2$ 이다.

③ 수소와 아이오딘이 1 : 1로 반응하기 때문에 수소와 아이오딘의 반응 속도는 같다.

④ 반응물과 생성물의 반응 속도는 반응 계수에 비례하므로 한 점에서의 접선의 기울기인 순간 반응 속도는 (가)가 (나)의 2배이다. 따라서 t_1 에서 접선의 기울기의 절댓값은 (가)가 (나)의 2배이다.

⑤ t_2 이후 반응물과 생성물의 양에는 변화가 없다. 또한 반응 속도는 접선의 기울기로, 반응물이나 생성물의 양에 변화가 없으므로 기울기가 0이며 반응 속도도 0이다.

바로알기 ① (가)는 농도가 점점 증가하므로 생성물의 농도인 [HI]의 변화이고, (나)는 농도가 점점 감소하므로 반응물의 농도인 [H₂]의 변화이다.

09 시간에 따른 반응물의 농도 변화 그래프에서 접선의 기울기는 순간 반응 속도이다. 그래프에서 접선의 기울기는 $A > B > C$ 순이므로 반응 속도도 $A > B > C$ 순이다.

● 모범 답안 ● A, 그래프의 접선의 기울기가 순간 반응 속도이므로 A ~ C 중 접선의 기울기가 가장 큰 A점에서 반응 속도가 가장 빠르다.

채점 기준	배점
반응 속도가 가장 빠른 지점을 옳게 고르고, 그 이유를 접선의 기울기와 반응 속도의 관계로 옳게 서술한 경우	100 %
반응 속도가 가장 빠른 지점을 옳게 고르고, 반응 초기의 반응 속도가 가장 빠르다고만 서술한 경우	50 %
반응 속도가 가장 빠른 지점을 옳게 고르고, 시간이 지날수록 반응 속도가 점점 느려진다고만 서술한 경우	
반응 속도가 가장 빠른 지점만 옳게 고른 경우	30 %

개념 확인 문제

312쪽

1 증가 2 증가, 증가 3 반응 속도식 4 반응 속도 상수
5 반감기

- A 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 (1) 표 (2) 표 (3) 농
B 3 $v = k[A][B]^2$ 4 (1) 1차 (2) 2초 (3) 0.05 mol/L

1 (1) 일정량의 기체가 들어 있는 용기의 압력이 높아지면 입자 사이의 평균 거리가 감소하여 단위 부피당 입자 수가 증가하므로 기체 입자들의 충돌 횟수가 증가한다.

(2) 반응 속도에 영향을 주는 요인 중 농도, 압력, 표면적은 입자들의 충돌 횟수를 변화시킨다. 농도가 증가하면 입자 사이의 충돌 횟수가 증가하여 반응 속도가 빨라지고, 압력이 높아지면 단위 부피당 입자 수가 증가하여 충돌 횟수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다. 또한 반응물이 고체인 경우 표면적이 클수록 충돌 횟수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

(3) 이상 기체 상태 방정식 $PV = nRT$ 에서 몰 농도(=단위 부피당 몰수)로 정리하면 $\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$ 가 된다. 이때 온도가 일정하다면 기체의 부분 압력은 수용액에서의 몰 농도와 같다고 볼 수 있다. 즉, 반응물이 기체일 경우 반응 속도식은 몰 농도 대신에 기체들의 부분 압력으로 나타낼 수 있다. 이때 기체 상수(R)와 절대 온도(T)는 상수가 되어 반응 속도 상수에 포함되어 보정된다. 따라서 농도에 대한 반응 속도 상수와 부분 압력에 대한 반응 속도 상수는 다르다.

2 (1) 잘게 쪼갠 장작은 통나무보다 표면적이 크므로 더 잘 탄다. - 표면적

(2) 음식을 잘게 씹어 먹으면 음식물의 표면적이 커지므로 소화가 잘 된다. - 표면적

(3) 고압의 산소통 속은 산소의 농도가 매우 커 용접을 할 때 연료를 빠르게 연소시킨다. - 농도

3

문제 분석하기

실험	[A](mol/L)	[B](mol/L)	초기 반응 속도(mol/L·s)
1	1.0	1.0	0.25
2	1.0	2.0	1.0
3	2.0	2.0	2.0

반응 속도식을 $v = k[A]^m[B]^n$ 이라고 하면 반응 차수 m 과 n 은 다음과 같다.

• A에 대한 반응 차수(m) : [B]는 일정하고 [A]만 다른 실험 2와 실험 3을 비교한다. [A]가 2배일 때 초기 반응 속도는 2배이므로 $m=1$ 이다.

• B에 대한 반응 차수(n) : [A]는 일정하고 [B]만 다른 실험 1과 실험 2를 비교한다. [B]가 2배일 때 초기 반응 속도는 4배이므로 $n=2$ 이다.

따라서 전체 반응 속도식 $v = k[A][B]^2$ 이다.

4 (1) 시간에 따른 [A]의 변화 그래프를 보면 초기 농도에 관계없이 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간(반감기)이 2초로 일정하므로 1차 반응이다.

(2) [A]가 0.4 → 0.2로, 0.2 → 0.1로, 0.1 → 0.05로 되는 데 걸리는 시간(반감기)이 모두 2초로 일정하다.

(3) 반감기가 2초이므로 6초는 반감기가 3번 지난 것이다. 따라서 6초에서의 [A]는 초기의 [A]의 $\frac{1}{2^3}$ 이 되므로 $0.4 \times \frac{1}{8} = 0.05(\text{mol/L})$ 이다.

개념 확인 문제

317쪽

1 유효 충돌 2 활성화 에너지 3 활성화 상태 4 증가
5 증가 6 반응 메커니즘 7 반응 속도 결정 단계

C/D 1 (1) × (2) × 2 172 kJ 3 (1) < (2) < (3) <

E 4 (1) 1단계 (2) HOObBr, HOBr

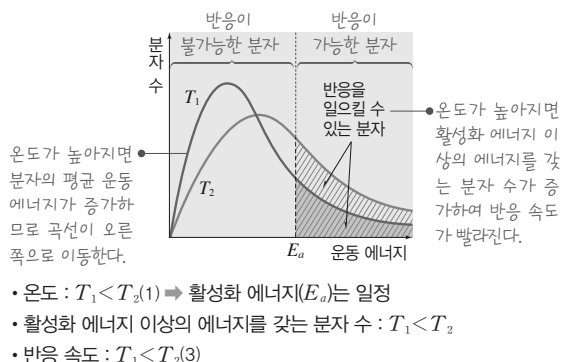
1 (1) 충분한 에너지를 가진 입자들이 충돌한다고 해서 모두 반응이 일어나는 것은 아니다. 이 입자들이 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충돌해야 반응이 일어날 수 있다.

(2) 온도를 높이면 분자들의 평균 운동 에너지가 증가하지만 활성화 에너지는 변하지 않는다. 즉, 온도를 높이면 분자들의 평균 운동 에너지가 증가함으로써 상대적으로 반응을 일으킬 수 있는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

2 $2\text{HI}(g) \longrightarrow \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$ 반응에서 반응열(ΔH)은 정반응의 활성화 에너지(E_a)에서 역반응의 활성화 에너지(E_a')를 뺀 값과 같다.

$$\Delta H = E_a - E_a' \Rightarrow 13 \text{ kJ} = 185 \text{ kJ} - E_a'$$

$$\therefore E_a' = 185 \text{ kJ} - 13 \text{ kJ} = 172 \text{ kJ}$$



(2) 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다 ($E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$). 온도는 $T_1 < T_2$ 이므로 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 온도와 평균 운동 에너지는 $T_1 < T_2$ 이다.

4 (1) 반응 속도 결정 단계는 반응 메커니즘에서 반응 속도가 가장 느린 단계이다. 활성화 에너지가 가장 큰 반응의 반응 속도가 가장 느리며, 이 반응이 전체 반응 속도를 결정한다. 따라서 활성화 에너지가 가장 높은 1단계가 반응 속도 결정 단계이다.

(2) 반응 중간체는 반응 메커니즘의 과정에서 생성되었다가 이후 단계에서 반응물의 역할을 하는 물질이다. 이 반응에서는 HOBr 과 HOBBr 가 반응 중간체이다.

개념 확인 문제

321쪽

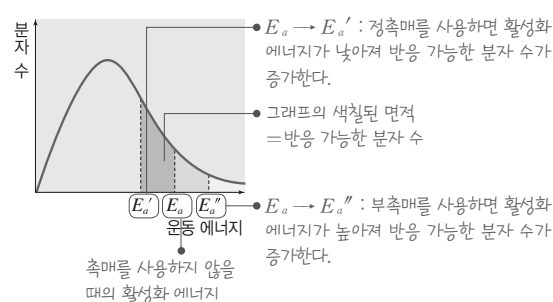
1 촉매 2 정촉매 3 효소 4 활성 부위

F/G 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 (1) × (2) × 3 ④

1 (1) 촉매는 반응 경로를 변화시킴으로써 활성화 에너지를 높이거나 낮출 뿐 반응열에는 영향을 주지 않는다.

(2) 정촉매를 넣으면 반응열은 그대로이지만 정반응의 활성화 에너지와 역반응의 활성화 에너지가 낮아져 정반응 속도뿐 아니라 역반응 속도도 빨라진다.

(3) 부촉매를 넣으면 활성화 에너지가 높아져 상대적으로 반응에 참여할 수 있는 분자 수가 감소하므로 반응 속도가 느려진다. 그러나 촉매에 의해 전체 반응 속도만 변화될 뿐 생성물의 양은 변하지 않는다.



(1) 온도가 높아져도 활성화 에너지는 변하지 않는다. 단지 활성화 에너지보다 큰 에너지를 갖는 분자 수가 증가할 뿐이다.

(2) 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 낮아져 E_a 는 E_a' 가 된다.

3 $35 \sim 40^\circ\text{C}$ 에서는 효소의 활성이 최대가 되었다가 40°C 이상의 고온에서는 효소의 주성분인 단백질이 변성되어 작용을 못하므로 반응 속도가 느려진다.

대표 자료 분석

322~323쪽

대표 자료 ① 1 (가) 실험 1과 실험 3 (나) 실험 1과 실험 2
2 $m=2, n=1$ 3 $1.2 \times 10^4 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{s}$
4 (1) ○ (2) ×

대표 자료 ② 1 T_2 2 ㄱ, ㄴ, ㄹ, ㅁ, ㅂ 3 (1) × (2) ○

대표 자료 ③ 1 1단계 2 $v=k[A][B]$ 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

대표 자료 ④ 1 (가) B (나) A 2 (1) B (2) A 3 (1) × (2) × (3) ○

①-1, 2

실험	초기 농도(mol/L)		초기 반응 속도(mol/L·s)
	[A]	[B]	
1	0.10	0.10	12
2	0.10	0.20	24
3	0.20	0.10	48

반응 속도식을 $v=k[A]^m[B]^n$ 이라고 하면 반응 차수 m 과 n 은 다음과 같이 구할 수 있다.

• 실험 1, 2 비교 - [A] : 일정, [B] : 2배일 때 반응 속도는 $2(=2^1)$ 배
→ B에 대한 1차 반응이므로 $n=1$

• 실험 1, 3 비교 - [A] : 2배, [B] : 일정할 때 반응 속도는 $4(=2^2)$ 배
→ A에 대한 2차 반응이므로 $m=2$

따라서 반응 속도식은 $v=k[A]^2[B]$ 이다.

①-3 반응 속도식이 $v=k[A]^2[B]$ 이므로 실험 1에서 반응물의 초기 농도와 초기 반응 속도를 대입하면,

$$12 \text{ mol/L} \cdot \text{s} = k \times (0.10 \text{ mol/L})^2 \times (0.10 \text{ mol/L})$$

$$\therefore k = 1.2 \times 10^4 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{s}$$

①-4 (1) A의 반응 차수 m 은 2이고, B의 반응 차수 n 은 1이므로 전체 반응 차수는 3차이다.

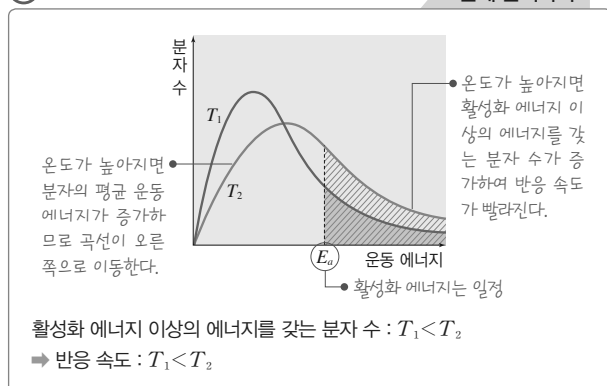
(2) [A]와 [B]를 0.30 mol/L로 하면 실험 1과 비교하여 [A]와 [B]가 각각 3배로 된 것이므로 반응 속도는 실험 1의 27배가 된다. 따라서 반응 속도는 324 mol/L·s가 된다.

[다른 풀이] 반응 속도식 $v = (1.2 \times 10^4 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{s}) \times [A]^2[B]$ 이므로 [A]와 [B]에 각각 0.30 mol/L를 대입하면 다음과 같다.

$$v = (1.2 \times 10^4 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{s}) \times (0.30 \text{ mol/L})^2 \times (0.30 \text{ mol/L}) = 324 \text{ mol/L} \cdot \text{s}$$

②-1, 2

문제 분석하기



물질의 상태에 따라 차이는 있지만 대체로 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. 온도를 높이면 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 입자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다. 주어진 그림에서 평균 운동 에너지는 $T_1 < T_2$ 이므로 유효 충돌 횟수, 반응 속도 모두 T_2 가 T_1 보다 많거나 빠르다.

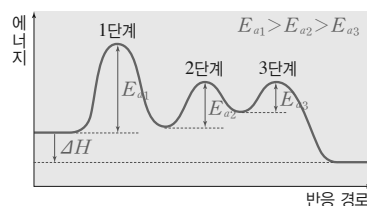
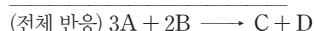
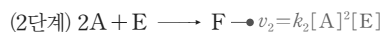
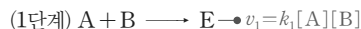
바로알기 n, m 총 분자 수와 활성화 에너지는 T_1 과 T_2 에서 동일하다.

②-3 (1) 같은 조건에서 온도만 다를 때 온도가 높아지거나 낮아져도 활성화 에너지는 변하지 않는다.

(2) 활성화 에너지 이상에서 곡선의 아래쪽 면적은 T_1 이 T_2 보다 더 작으므로 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 기체의 분자 수도 T_1 이 T_2 보다 적다.

③-1, 2

문제 분석하기



전체 반응 속도식은 반응 속도 결정 단계인 1단계의 반응 속도식과 같다. 따라서 반응 속도 상수를 k 라 하면 전체 반응 속도식은 $v = k[A][B]$ 이다.

③-3 (1) 반응물과 생성물의 에너지 차 만큼 열을 방출하는 발열 반응이다.

(2) 전체 반응 속도식 $v = k[A][B]$ 이므로 이 반응의 전체 반응 차수는 2차이다.

(3) 활성화 에너지가 작을수록 반응 속도가 빠르다. 반응 메커니즘에서 활성화 에너지의 크기는 $E_{a1} > E_{a2} > E_{a3}$ 순이므로 각 단계의 반응 속도는 $v_1 < v_2 < v_3$ 순이다.

(4) 반응 중간체는 반응 메커니즘의 과정에서 생성되었다가 이후 단계에서 반응물의 역할을 하는 물질로 E와 F가 이에 해당한다.

④-1 정촉매를 넣으면 활성화 에너지가 낮아져 반응 속도가 빨라지고, 부촉매를 넣으면 활성화 에너지가 높아져 반응 속도가 느려진다.

④-2 (1) 펌프는 정촉매로 사용되어 단백질의 분해 반응에서 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 빠르게 한다.

(2) 인산은 부촉매로 사용되어 과산화 수소의 분해 반응에서 활성화 에너지를 높여 반응 속도를 느리게 한다.

④-3 (1) 촉매를 넣으면 활성화 에너지가 달라질 뿐 반응열은 변하지 않는다.

(2) 촉매는 화학 반응에 관여하여 반응 속도를 변화시키지만 그 자신은 변하지 않는 물질이다. 따라서 반응에 참여한 촉매는 반응이 끝난 후에도 사라지지 않고 그대로 남아 있다.

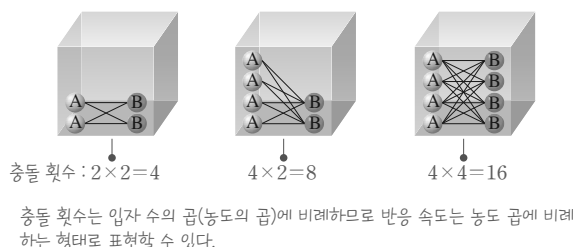
(3) 정촉매를 넣어 주면 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 빨라지고, 부촉매를 넣어 주면 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 느려진다.

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ⑤ 04 ④ 05 ① 06 ③ 07 ⑤
08 ⑤ 09 ⑤ 10 ③ 11 ㄴ, ㄷ, ㄹ 12 ③ 13 ③ 14 ①
15 ③ 16 ⑤ 17 ① 18 ⑤ 19 해설 참조

01

문제 분석하기

일정한 부피 안에 들어 있는 입자 수가 증가하여 충돌 횟수가 많아지기 때문에 반응 속도가 빨라진다.



⑤ 강철솥은 산소의 농도가 약 21 %인 공기 중에서도 순수한 산소 기체 속에서 더 빠르게 연소한다. - 농도

바로알기 ① 침 속에는 녹말을 분해하는 효소인 아밀레이스가 들어 있으므로 먹다 남은 밥은 침으로 인해 그냥 있던 밥에 비해 쉽게 상한다. - 촉매

② 압력솥에서는 압력이 높아져 물이 100 °C보다 높은 온도에서 끓으므로 쌀이 익는 속도가 빨라져 밥이 되는 속도가 빠르다. - 온도

③ 온도가 낮은 냉장고에서는 김치가 익는 속도가 느리므로 오랫동안 보관할 수 있다. - 온도

④ 기계적 풍화를 받으면 암석이 부서져 틈새가 넓어지므로 표면적이 커지기 때문에 화학적 풍화가 잘 일어난다. - 표면적

02 아연과 묽은 염산이 반응하여 수소 기체가 발생하는 반응은 다음과 같다.



ㄴ. 염산의 농도가 증가하면 반응 속도가 빨라지므로 반응이 종결될 때까지 걸린 시간 t 가 짧아진다.

ㄷ. 시간이 지날수록 그래프에서 접선의 기울기가 작아지므로 반응 속도는 점점 느려지다가 0이 된다.

바로알기 ㄱ. 충분한 양의 묽은 염산에 일정량의 아연을 넣고 반응시키는 실험으로, 묽은 염산의 양은 아연 조각이 모두 반응하기에 충분하므로 생성되는 수소 기체의 총 부피(V)는 아연 조각의 양에 따라 결정된다. 따라서 V 가 커지려면 아연 조각의 양을 증가시켜야 한다. 염산의 농도가 5 %에서 10 %로 증가하여도 아연 조각의 양이 그대로라면 생성되는 수소 기체의 총 부피(V)는 변하지 않는다.

03

문제 분석하기

실험	[A](mol/L)	[B](mol/L)	초기 반응 속도(mol/L·s)
1	1.0 × 10 ⁻¹	1.0 × 10 ⁻¹	2.5 × 10 ⁻²
2	1.0 × 10 ⁻¹	2.0 × 10 ⁻¹	5.0 × 10 ⁻²
3	2.0 × 10 ⁻¹	2.0 × 10 ⁻¹	2.0 × 10 ⁻¹

반응 속도식을 $v = k[A]^m[B]^n$ 이라고 하면

• 실험 1, 2 비교 - [A] : 일정, [B] : 2배일 때 반응 속도는 2($=2^1$)배

➔ B에 대한 1차 반응이므로 $n = 1$

• 실험 2, 3 비교 - [B] : 일정, [A] : 2배일 때 반응 속도는 4($=2^2$)배

➔ A에 대한 2차 반응이므로 $m = 2$

따라서 반응 속도식은 $v = k[A]^2[B]$ 이다.(ㄱ)

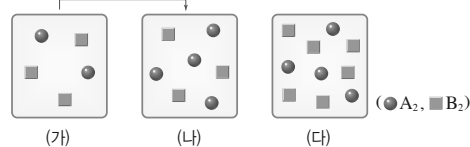
ㄷ. A와 B의 농도를 각각 4.0×10^{-1} mol/L로 하면 실험 3과 비교하여 A와 B의 농도가 각각 2배가 된 것이므로 반응 속도는 실험 3의 8배가 된다. 따라서 1.6 mol/L·s이다.

바로알기 ㄴ. 반응 속도 상수는 농도에 의해 달라지지 않으므로 실험 1, 2, 3에서 반응 속도 상수는 모두 같다.

04

문제 분석하기

[A₂]가 2배가 되고, [B₂]는 일정할 때 초기 반응 속도의 비가 (가) : (나) = 1 : 2이므로 [A₂]가 2배가 되면 반응 속도도 2배가 된다. ➔ A₂에 대한 1차 반응



[A₂]가 일정하고, [B₂]가 2배가 될 때 초기 반응 속도의 비가 (나) : (다) = 2 : 2 즉, 1 : 1과 같으므로 [B₂]가 증가하더라도 반응 속도는 변하지 않는다. ➔ B₂에 대한 0차 반응

ㄴ. 전체 반응 속도식 $v = k[A_2]$ 로, 전체 반응은 A에 대한 1차 반응이다. 따라서 반감기는 초기 농도에 관계없이 일정하다.

ㄷ. 실험 (나)와 (다)에서 [B₂]가 2배가 되어도 반응 속도가 같으므로 이 반응은 B₂에 대한 0차 반응이다.

바로알기 ㄱ. 이 반응은 (가)와 (나)를 비교하면 A₂에 대한 1차 반응, (나)와 (다)를 비교하면 B₂에 대한 0차 반응을 알 수 있다. 따라서 전체 반응 차수는 1차이다.

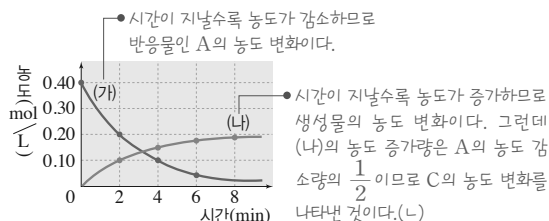
05 X의 초기 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간은 3초로 일정하다. 따라서 이 반응은 X에 대한 1차 반응이다.

ㄱ. 1차 반응이므로 반응 속도식은 $v = k[X]$ 이며, 반응 속도 상수의 단위는 1/s이다.

바로알기 ㄴ. 반응 속도 상수는 농도의 영향을 받지 않으므로 A, B, C에서 반응 속도 상수는 모두 같다.
 ㄷ. 반응물의 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간은 3초로 일정하다. 따라서 반감기는 3초이다.

06

문제 분석하기



반응물의 농도가 절반으로 되는 데 걸리는 시간은 2분으로 일정하다.
 ⇒ 반감기가 2분인 1차 반응이다.(ㄱ)

ㄷ. A의 감소 속도와 B의 생성 속도는 같다.

반감기가 2분이므로 A의 농도 변화는 다음과 같다.

$$0.40 \text{ mol/L} \xrightarrow{2\text{분 후}} 0.20 \text{ mol/L} \xrightarrow{2\text{분 후}} 0.10 \text{ mol/L} \\ \xrightarrow{2\text{분 후}} 0.05 \text{ mol/L} \xrightarrow{2\text{분 후}} 0.025 \text{ mol/L}$$

8분 동안 A의 농도가 $(0.40 - 0.025) \text{ mol/L}$ 만큼 감소한다. 생성물인 B는 A가 감소한 만큼 생성되므로 8분 후 B의 농도는 0.375 mol/L 가 된다.

07 ① 온도를 높이면 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 입자 수가 많아져 유효 충돌을 할 수 있는 입자 수가 증가한다.

② 유효 충돌을 하기 위해서는 입자들이 충분한 에너지를 가지고 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충돌해야 한다.

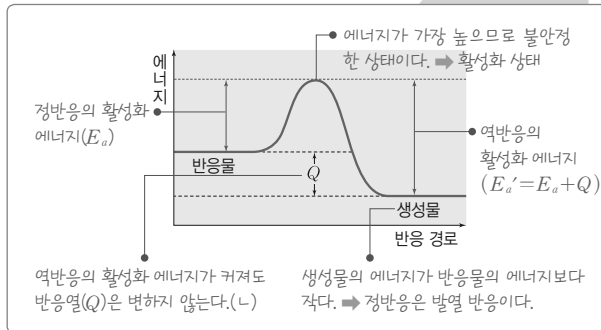
③ 반응물이 생성물로 변하는 과정에서 에너지가 가장 높은 불안정한 상태의 물질인 활성화물이 만들어진다. 활성화물은 반응물의 결합이 약해지고 생성물의 새로운 결합이 형성되어가는 과정에서 반응물의 결합이 완전히 끊어지기 전의 상태이고, 결합 에너지는 기체 상태의 두 원자 사이의 공유 결합을 완전히 끊는 데 필요한 에너지이므로, 결합 에너지가 활성화 에너지보다 크다.

④ 활성화 에너지가 낮아지면 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 입자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

바로알기 ⑤ 유효 충돌이 일어나려면 반응이 일어나기에 적합한 방향과 충분한 에너지를 가지고 입자들이 충돌해야 하는데, 방향이 적합하더라도 충분한 에너지를 가지고 있지 않으면 유효 충돌을 할 수 없다. 즉, 유효 충돌은 활성화 에너지 이상의 에너지를 지닌 입자들이 적합한 방향으로 충돌하는 것을 의미하므로 활성화 에너지 이하의 에너지를 가진 입자들은 방향이 맞더라도 유효 충돌을 할 수 없다.

08

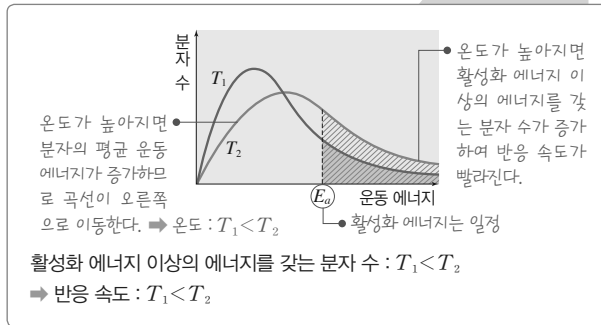
문제 분석하기



ㄱ, ㄷ. 주어진 반응은 발열 반응이므로 역반응의 활성화 에너지 = 정반응의 활성화 에너지 + 반응열(Q)이다. 따라서 역반응의 활성화 에너지(E_a')는 정반응의 활성화 에너지(E_a)와 반응열을 포함하므로 활성화 에너지의 크기는 $E_a < E_a'$ 이다.

09

문제 분석하기



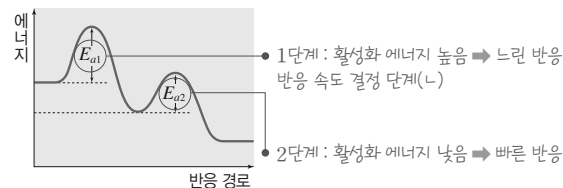
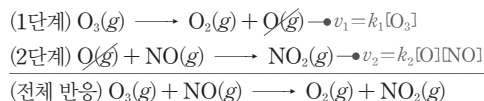
ㄱ. 반응 속도식에서 반응 속도 상수 k 는 온도에 의해 변하며, k 는 온도가 높을수록 커진다.

ㄴ. 압력솥에서는 압력이 높아져 물이 100°C 보다 높은 온도에서 끓으므로 쌀이 익는 속도가 빨라져 밥이 되는 속도가 빠르다.

ㄷ. 온도가 높아지면 분자들의 평균 운동 에너지가 증가하여 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 입자 수가 증가함으로써 입자들의 충돌 횟수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

10

문제 분석하기

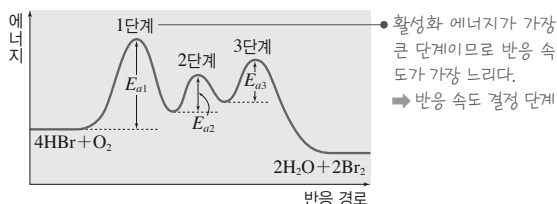
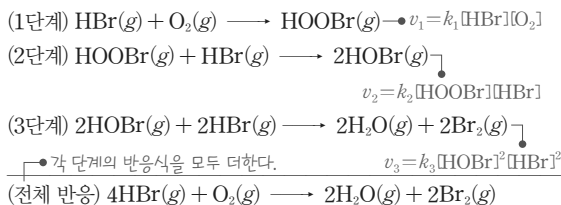


ㄱ. 생성물의 에너지 합이 반응물의 에너지의 합보다 작으므로 이 반응은 발열 반응이다.

바로알기 ㄷ. 전체 반응 속도식은 $v=k_1[\text{O}_3]$ 이므로, $[\text{NO}]$ 는 반응 속도에 영향을 미치지 못한다.

11

문제 분석하기



반응 속도 결정 단계가 1단계이므로 전체 반응의 반응 속도식은 1단계 반응의 반응 속도식과 같다.

- 전체 반응 속도식 : $v = k_1[\text{HBr}][\text{O}_2]$
- 반응 중간체 : HOBr , HOBr

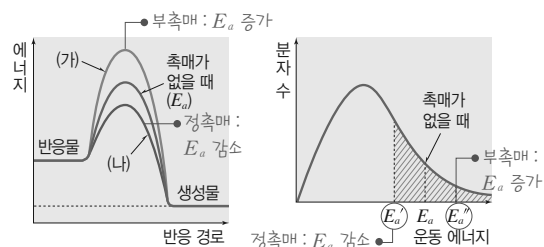
ㄴ. 활성화 에너지가 가장 큰 1단계에서 반응 속도가 가장 느리다.
 ㄷ. 반응 메커니즘의 각 단계는 단일 단계 반응이므로 반응 계수가 반응 차수가 된다. 1단계의 반응 속도식은 $v_1 = k_1[\text{HBr}][\text{O}_2]$ 이고, 2단계는 $v_2 = k_2[\text{HOBr}][\text{HBr}]$ 이며, 3단계는 $v_3 = k_3[\text{HOBr}]^2[\text{HBr}]^2$ 이다. 따라서 1단계의 반응 차수는 2차, 2단계의 반응 차수는 2차, 3단계의 반응 차수는 4차로, 3단계의 반응 차수가 가장 크다.

ㄹ. 각 단계 중 활성화 에너지가 가장 큰 단계가 반응 속도 결정 단계이다. 따라서 전체 반응의 반응 속도식은 1단계의 반응 속도식인 $k_1[\text{HBr}][\text{O}_2]$ 이다.

바로알기 ㄱ. 이 반응에서 반응 중간체는 두 종류이다.

12

문제 분석하기



- 정촉매(ㄴ) : $E_a \rightarrow E_a'' \Rightarrow$ 반응할 수 있는 분자 수 증가 \Rightarrow 반응 속도 증가(⑤)
- 부촉매(ㄱ) : $E_a \rightarrow E_a'' \Rightarrow$ 반응할 수 있는 분자 수 감소 \Rightarrow 반응 속도 감소(⑤)

① 촉매는 앞단계에서 반응하여 사라졌다가 다시 뒷단계에서 모두 생성되기 때문에 반응 전후에 질량 변화가 없어 반응에 참여하지 않는 것처럼 보인다.

② 부촉매(가)는 활성화 에너지를 높여($E_a \rightarrow E_a''$) 반응 가능한 분자 수를 감소시키고, 정촉매(나)는 활성화 에너지를 낮춰($E_a \rightarrow E_a'$) 반응 가능한 분자 수를 증가시킨다.

④ (나)는 정촉매로 정반응의 활성화 에너지와 역반응의 활성화 에너지를 모두 낮춘다. 따라서 정촉매를 사용하면 정반응과 역반응의 속도가 모두 빨라진다.

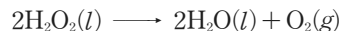
바로알기 ③ (가)는 부촉매로 활성화 에너지를 높여 반응 가능한 분자 수를 감소시킨다.

13 과산화 수소가 분해되면 물과 산소 기체가 생성된다. 이때 산소 기체에 의해 합성 세제가 거품을 발생시키므로 과산화 수소의 분해 속도가 빠를수록 산소가 많이 생성되어 같은 시간 동안 발생한 거품의 양이 많아진다.

① 묽은 인산을 첨가하였을 때(C)가 아무것도 넣지 않았을 때(A)보다 같은 시간 동안 발생한 거품의 양이 더 적은 것으로 보아 인산은 부촉매로 작용하였음을 알 수 있다.

② 눈금실린더에서 거품의 높이가 높은 것은 반응 속도가 빠른 것을 의미한다. 따라서 반응 속도는 $B > A > C$ 순이다.

④ 과산화 수소가 분해되면 물과 산소 기체가 발생한다.

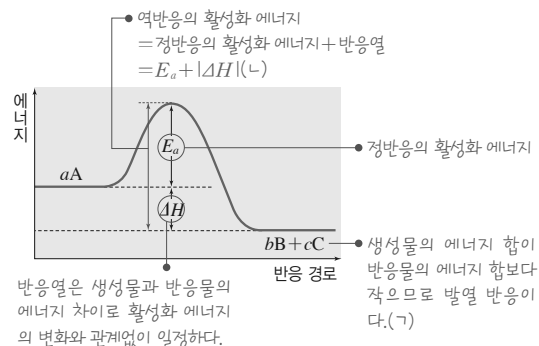


⑤ 이산화 망가니즈를 첨가하였을 때(B)가 아무것도 넣지 않았을 때(A)보다 같은 시간 동안 발생한 거품의 양이 더 많은 것으로 보아 이산화 망가니즈는 정촉매로 작용하였음을 알 수 있다.

바로알기 ③ 이산화 망가니즈는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 빠르게 하므로 같은 시간 동안 발생하는 거품의 양이 많고, 인산은 활성화 에너지를 높여 반응 속도를 느리게 하므로 같은 시간 동안 발생하는 거품의 양이 적다. 따라서 과산화 수소 분해 반응의 활성화 에너지는 $C > A > B$ 순이다.

14

문제 분석하기



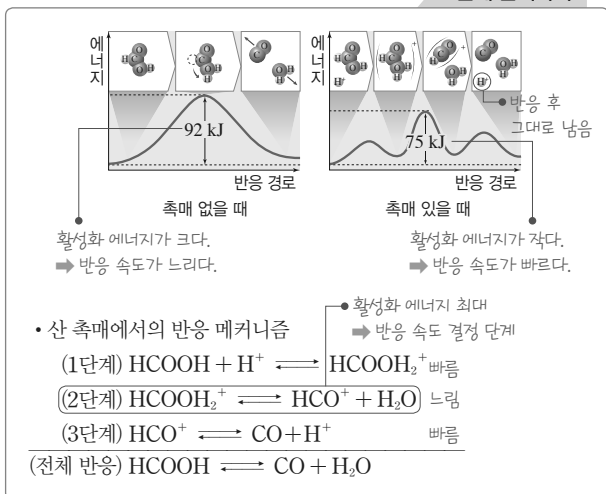
반응열은 생성물과 반응물의 에너지 차이로 활성화 에너지의 변화와 관계없이 일정하다.

바로알기 ㄷ. 부촉매를 넣어 주면 활성화 에너지는 증가하지만 반응열은 변하지 않는다.

ㄹ. 발열 반응이 일어날 때는 주위로 열을 방출하므로 주위의 온도가 높아진다.

15

문제 분석하기



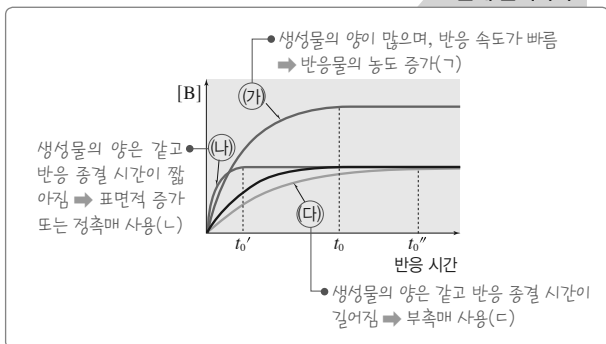
ㄱ. 촉매가 있을 때 반응 메커니즘이 3단계로 나누어지는데, 이중 2단계 반응이 활성화 에너지가 가장 크므로 전체 반응 속도를 결정하는 가장 느린 반응이다.

ㄴ. 촉매가 없을 때 활성화 에너지는 92 kJ이지만, 산 촉매를 넣었을 때는 75 kJ로 감소하므로 산 촉매는 정촉매로 작용하였음을 알 수 있다.

바로알기 ㄷ. 반응 중간체는 반응 메커니즘의 앞단계에서 생성되었다가 뒷단계에서 반응하여 없어진다. 따라서 반응 중간체는 $\text{HCOOH} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ 반응에서 관찰할 수 없는 물질로, HCOOH_2^+ 과 HCO^+ 2종류이다. H^+ 은 초기 단계에서 반응하여 사라졌다가 이후 단계에서 다시 생성되는 촉매이다.

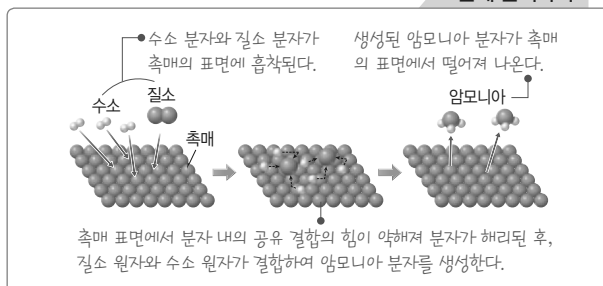
16

문제 분석하기



17

문제 분석하기



ㄱ. 촉매 표면에 수소 분자와 질소 분자가 흡착되면서 원자 사이의 공유 결합이 약해지거나 끊어진다.

바로알기 ㄴ. 촉매에 수소 분자와 질소 분자가 흡착되었다가 암모니아 분자를 생성하여 촉매의 표면에서 떨어져 나오므로 반응 전후 촉매의 질량은 변하지 않는다.

ㄷ. 암모니아의 합성 반응에서 사용된 촉매는 정촉매이다. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아져 반응 속도가 빨라진다.

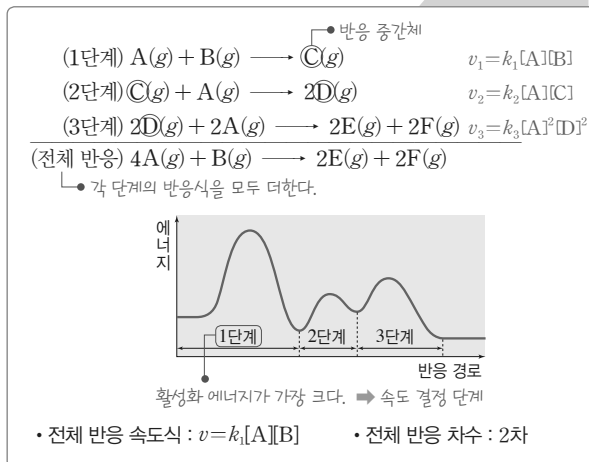
18 ㄱ. 생체 촉매는 효소라고도 하며, 세포 내에서 생명 활동에 필요한 반응들을 촉진시키는 촉매로 생물체 내에서 물질의 분해와 합성이 잘 일어나도록 하는 역할을 한다.

ㄴ. 생체 촉매인 효소는 활성 부위에 맞는 분자나 원자단에만 촉매 작용을 한다. 즉, 효소의 활성 부위와 결합하여 촉매 작용을 받아 반응하는 물질을 기질이라고 하는데, 수크레이스와 결합을 하는 기질은 설탕 분자뿐이다.

ㄷ. 효소에서 촉매 작용을 하는 것은 극히 제한된 부분으로, 이 부분을 활성 부위라고 한다.

19

문제 분석하기



전체 반응식은 반응 메커니즘에서 각 단계의 반응식을 모두 더한 것과 같다. 따라서 전체 반응식은 $4\text{A(g)} + \text{B(g)} \rightarrow \text{E(g)} + 2\text{F(g)}$ 가 된다. 반응 중간체는 전체 반응식에서 제외된 물질

중 앞단계에서 생성되었다가 뒷단계에서 반응하여 사라지는 물질로 C와 D가 해당된다.

반응 메커니즘에서 전체 반응 속도식은 반응 속도 결정 단계의 속도식과 같다. 반응 속도 결정 단계는 활성화 에너지가 가장 커서 반응 속도가 가장 느린 1단계이다. 따라서 전체 반응 속도식은 $v = k_1[A][B]$ 이다.

●모범 답안● 전체 반응식 : $4A(g) + B(g) \longrightarrow 2E(g) + 2F(g)$.

반응 중간체 : C와 D, 전체 반응 속도식 : $v = k_1[A][B]$

채점 기준	배점
전체 반응식, 반응 중간체, 전체 반응 속도식을 모두 옳게 쓴 경우	100 %
전체 반응식, 반응 중간체, 전체 반응 속도식 중 두 가지만 옳게 쓴 경우	70 %
전체 반응식, 반응 중간체, 전체 반응 속도식 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	35 %

중단원 복습 정리

329쪽

- ① 반응 속도 상수 ② 0차 ③ 1차 ④ 유효 충돌
 ⑤ 활성화 에너지 ⑥ 반응 메커니즘 ⑦ 1 ⑧ $[HBr][O_2]$
 ⑨ 증가 ⑩ 증가 ⑪ 증가 ⑫ 증가 ⑬ 감소 ⑭ 증가
 ⑮ 효소 ⑯ 기질 ⑰ 활성 부위

중단원 마무리 문제

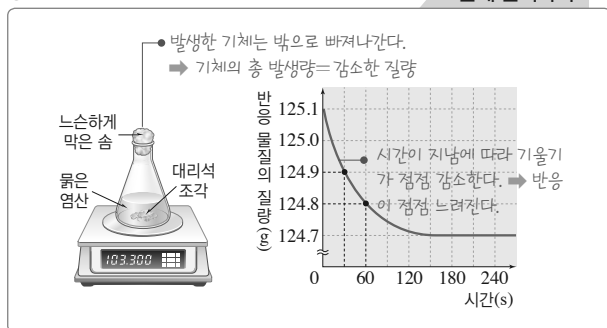
330~332쪽

- 01 ② 02 ⑤ 03 ④ 04 $v = -\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$
 $= \frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$ 05 ③ 06 ④ 07 ⑤ 08 ④
 09 ③ 10 ② 11 ① 12 ② 13 ④

01 철이 녹스는 반응(①), 사람의 노화(③), 사과가 익는 과정(④), 누룩을 발효시켜 술을 만드는 반응(⑤)은 느린 반응에 해당하고, 폭약이 폭발하는 반응(②)은 빠른 반응에 해당한다.

02

문제 분석하기



나. 반응물의 농도가 진할수록 초기 반응 속도가 빠르다.

다. 평균 반응 속도는 $\frac{\text{반응 용기 전체의 질량 변화량}}{\text{시간 변화}}$ 이므로

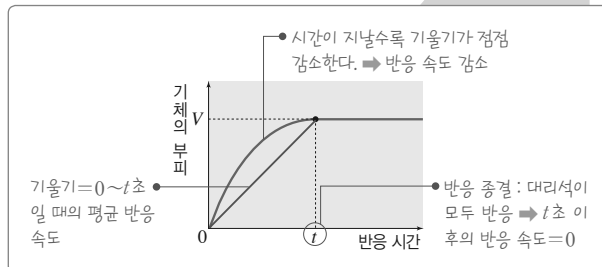
0~30초일 때는 $\frac{(125.1-124.9)}{30} = \frac{1}{150}(\text{g/s})$ 이고,

30~60초일 때는 $\frac{(124.9-124.8)}{30} = \frac{1}{300}(\text{g/s})$ 이다.

바로알기 ㄱ. 반응이 진행될수록 반응물의 농도가 감소하므로 반응 속도가 느려진다. 따라서 반응이 진행될수록 묶은 염산의 농도는 감소한다.

03

문제 분석하기



① 시간이 지날수록 일정한 시간 간격으로 발생하는 기체의 부피가 감소하므로 반응 속도가 감소한다. 그래프에서 기올기는 반응 속도와 같은데, 시간이 지날수록 한 점에서의 기올기가 점점 감소하므로 반응 속도는 점점 감소한다.

② t 초 동안 증가한 생성물의 양은 V이므로 0~t초일 때의 평균 반응 속도 $v = \frac{V}{t}$ 이다.

③ t 초 이후 생성물의 양에는 변화가 없으므로 반응 속도는 0이다.

⑤ 묶은 염산에 마그네슘 조각을 넣으면 수소 기체가 발생한다.

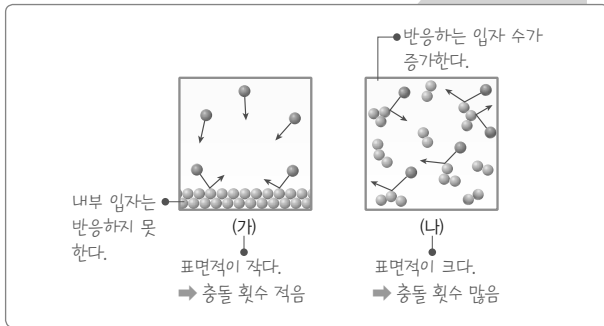


이때 발생한 수소 기체는 용기 밖으로 빠져나가는데, 수소 기체가 발생한 만큼 전체 반응 용기의 질량이 감소한다. 따라서 전체 반응 용기의 질량 변화를 통해 반응 속도를 알 수 있다.

바로알기 ④ 2 g의 마그네슘 조각 대신 2 g의 마그네슘 가루를 사용하면 반응물의 표면적이 커지므로 반응 속도가 빨라지지만, 반응물의 질량은 같기 때문에 최종 생성물의 양은 같다. 따라서 생성된 수소 기체의 최종 부피 V는 같고 반응이 종결되는 데 걸리는 시간은 줄어든다.

04 $aA + bB \longrightarrow cC + dD$ 반응에서 각 화합물의 반응 속도 비는 $[A] : [B] : [C] : [D] = a : b : c : d$ 이므로 반응 속도(v)는 다음과 같다.

$$v = -\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$



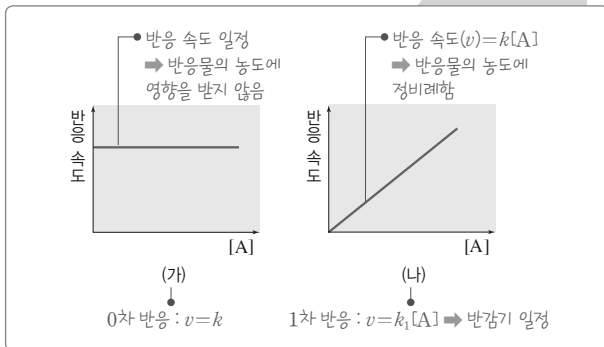
③ 가루약은 알약보다 표면적이 크므로 알약보다 가루약을 먹을 때 우리 몸에서 더 빨리 흡수한다.

바로알기 ① 음식이 상하는 반응의 속도를 늦추기 위해 온도가 낮은 냉장고에 음식을 보관한다.

② 효소는 생체 촉매로 세포 내에서 생명 활동에 필요한 반응들을 촉진시키는 역할을 한다.

④ 변온 동물은 겨울철 낮은 온도로 인해 체온이 낮아져 심장 박동이 느려지고 물질 대사 속도가 느려져 적은 에너지로도 겨울을 날 수 있다.

⑤ 농도가 증가할수록 단위 부피당 입자 수가 많아 충돌 횟수가 증가하므로 반응에 참여할 수 있는 유효 충돌 횟수가 증가한다. 탄산 칼슘(CaCO_3)으로 이루어진 대리석은 산과 반응하면 이산화 탄소가 발생하며 녹는다. 산입화로 인해 산의 농도가 진한 산성비가 내려 대리석의 부식이 빨라지는 것은 농도와 관련이 있다.



ㄴ. (나)는 A에 대한 1차 반응이다. 1차 반응에서는 [A]에 관계없이 [A]가 절반이 되는 데 걸리는 시간이 일정하다.

ㄷ. (가)의 반응 속도식은 $v=k$ 로, [A]에 관계없이 반응 속도가 항상 일정한 0차 반응이다. 따라서 A에 대한 반응 차수는 (나)가 (가)보다 크다.

바로알기 ㄱ. (가)는 0차 반응으로, 반응 속도식이 $v=k$ 이다. 따라서 반응 속도 상수의 단위는 $\text{mol/L} \cdot \text{s}$ 로, 반응 속도의 단위와 같다.

실험	$[A_2](\text{mol/L})$	$[B_2](\text{mol/L})$	A_2B 의 생성 속도 ($\text{mol/L} \cdot \text{min}$)
(가)	1.0	1.0	0.01
(나)	2.0	1.0	0.02
(다)	1.0	2.0	0.01

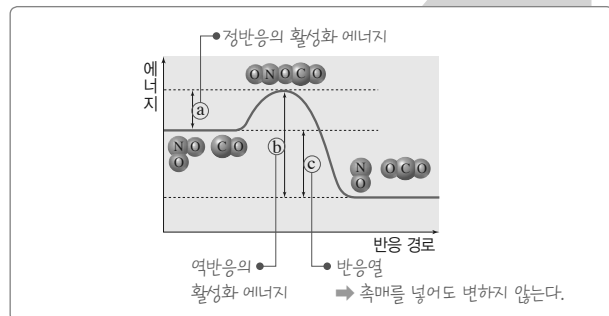
- 실험 (가)와 (나) : $[A_2]$ 2배, $[B_2]$ 일정 $\Rightarrow A_2B$ 의 생성 속도 2배
 $\Rightarrow A_2$ 에 대한 1차 반응
- 실험 (가)와 (다) : $[B_2]$ 2배, $[A_2]$ 일정 $\Rightarrow A_2B$ 의 생성 속도 일정
 $\Rightarrow B_2$ 에 대한 0차 반응
- 전체 반응 속도식 : $v=k[A_2]$

ㄱ. 전체 반응 속도식은 $v=k[A_2]$ 이다. A_2B 의 생성 속도의 단위가 $\text{mol/L} \cdot \text{min}$ 이므로, 반응 속도 상수 $k = \frac{v}{[A_2]} = \frac{0.01}{1.0} = 0.01(1/\text{min})$ 이다.

ㄴ. 단일 단계 반응은 반응 속도식의 차수가 화학 반응식의 반응 계수와 일치한다. 반응 메커니즘에서 각 단계의 반응 속도식의 차수가 화학 반응식의 반응 계수와 같은 것은 각 단계가 모두 단일 단계 반응이기 때문이다.

2단계 이상의 반응 메커니즘을 갖는 다단계 반응의 경우 반응 속도식의 차수는 화학 반응식의 반응 계수와 다르다.

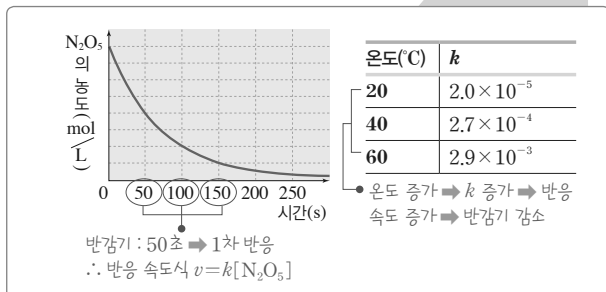
ㄷ. 전체 반응의 반응 속도식 $v=k[A_2]$ 로, 전체 반응은 A_2 에 대한 1차 반응이다. 1차 반응의 경우 반응물의 초기 농도에 관계없이 반응물의 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간, 즉 반감기가 일정하다.



ㄱ. 반응 경로에 따른 에너지 변화 그래프에서 에너지가 가장 높은 상태의 물질은 반응물이 활성화 에너지를 얻어서 생긴 활성화물이다.

ㄷ. 발열 반응이므로 역반응의 활성화 에너지 b가 정반응의 활성화 에너지 a보다 크다.

바로알기 ㄴ. 온도를 높이면 분자들의 평균 운동 에너지가 증가하여 정반응의 활성화 에너지인 a 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.



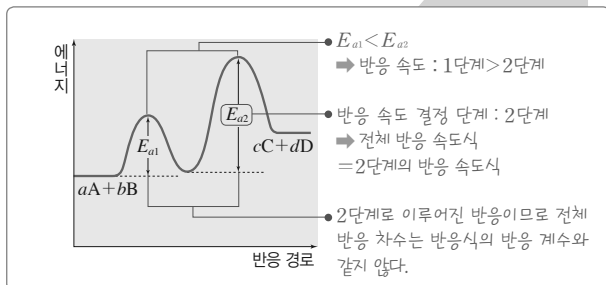
③ 20 °C에서의 농도 변화 그래프를 보면 초기 농도에 관계없이 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간이 50초로 일정하다. 따라서 N_2O_5 의 분해 반응은 반감기가 50초인 1차 반응이다.

바로알기 ① 시간에 따른 농도 변화 그래프에서 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간(반감기)이 일정하므로 1차 반응이다.

② N_2O_5 의 분해 반응의 반응 속도식 $v = k[N_2O_5]$ 이다. 1차 반응의 반응 속도는 반응물의 농도에 정비례한다.

④, ⑤ 온도가 높아지면 반응 속도 상수 k 가 커지므로 반응 속도가 빨라져 반응물의 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간(반감기)이 짧아진다.

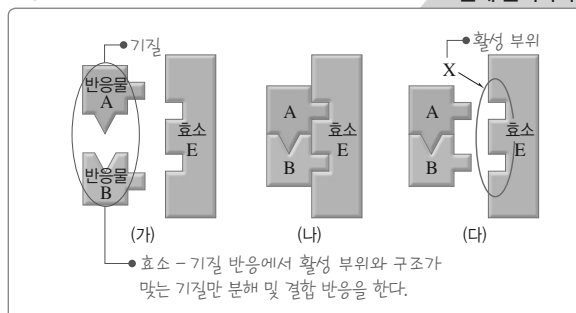
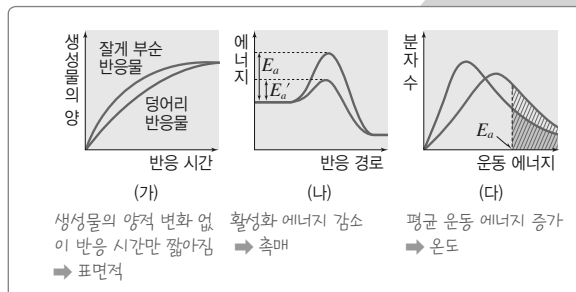
10 화학 반응에서 활성화 에너지가 클수록 반응 속도가 느리다. 따라서 반응 속도가 $v_1 > v_3 > v_2$ 순이므로 활성화 에너지의 크기는 $E_{a1} < E_{a3} < E_{a2}$ 순이다.



ㄴ. 활성화 에너지는 모든 화학 반응에 존재하므로 반응 경로에 따른 에너지 변화 그래프에서 활성화 에너지의 개수만큼의 반응 단계가 존재한다. 따라서 이 반응은 2단계로 진행된다.

바로알기 ㄱ. 단일 단계 반응은 화학 반응식의 반응 계수와 반응 속도식의 반응 차수가 같다. 그러나 이 반응은 2단계로 이루어진 반응이므로 전체 반응의 반응 계수와 전체 반응의 반응 차수가 일치하지 않는다.

ㄷ. 활성화 에너지가 가장 큰 단계가 반응 속도 결정 단계이다. $E_{a1} < E_{a2}$ 이므로 2단계가 반응 속도 결정 단계이다. 따라서 전체 반응 속도식은 2단계의 반응 속도식과 같다.



ㄴ. 반응물 A와 B는 효소의 활성 부위에서 결합 반응을 하는 물질로 기질이다.

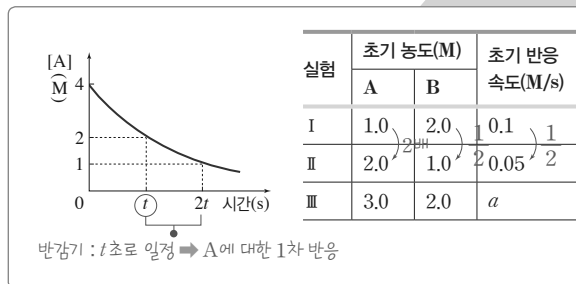
ㄷ. X는 효소에서 기질들과 결합하는 특정 자리로 활성 부위라고 한다. 생명 활동과 관련된 물질들의 반응은 이와 같이 효소의 활성 부위에 맞는 물질들만 분해 및 결합 반응을 할 수 있다.

바로알기 ㄱ. (나)는 생체 촉매인 효소와 기질이 결합한 형태로 전체 반응 메커니즘에서 반응 중간체에 해당한다.

수능 실전 문제

334~337쪽

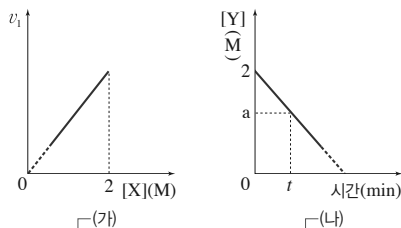
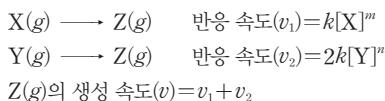
1 ⑤ 2 ② 3 ⑤ 4 ④ 5 ⑤ 6 ⑤ 7 ⑤ 8 ④ 9 ②
 10 ⑤ 11 ① 12 ③



이 반응의 반응 속도 $v=k[A]^m[B]^n$ 이라 할 때
 ㄱ. 그래프에서 A의 농도가 절반으로 되는 데 걸리는 시간이 t 초로 일정하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다. $\Rightarrow m=1$
 표에서 실험 I과 II를 비교하면 [A]가 2배, [B]가 $\frac{1}{2}$ 이 될 때 초기 반응 속도가 $\frac{1}{2}$ 이 되므로 이 반응은 B에 대한 2차 반응이다. $\Rightarrow n=2$
 따라서 반응 속도식은 $v=k[A][B]^2$ 가 되고, 이 식에 실험 I의 값을 대입하면 반응 속도 상수 $k=\frac{0.1}{1 \times 2^2}=\frac{1}{40}$ 이 된다. 즉 이 반응의 반응 속도식은 $v=\frac{1}{40}[A][B]^2$ 이다.
 ㄴ. 이 반응의 반감기가 t 초이므로 $3t$ 초에서의 [A]는 $2t$ 초에서의 농도의 $\frac{1}{2}$ 인 0.5 M이 된다.
 ㄷ. 반응 속도식 $v=\frac{1}{40}[A][B]^2$ 에 실험 III의 초기 농도를 대입하면 $v=\frac{1}{40} \times 3.0 \times (2.0)^2=0.3(\text{M/s})$ 이 된다.
 [다른 풀이] 실험 I과 실험 III을 비교하면 [A]는 3배, [B]는 일정하다. 따라서 [A]가 3배가 되면 이 반응의 반응 속도도 3배가 된다.

2

문제 분석하기

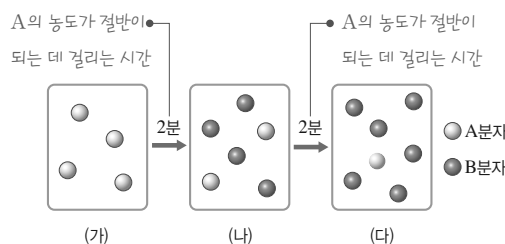


X의 농도에 정비례하여 반응 속도 v_1 이 증가하므로 이 반응은 X에 대한 1차 반응이다. $\Rightarrow m=1$ 이므로 $v_1=k[X]$
 Y의 농도에 관계없이 반응 속도가 일정하므로 이 반응은 Y에 대한 0차 반응이다. $\Rightarrow n=0$ 이므로 $v_2=2k$

ㄴ. [X]가 2.0 M일 때 $v_1=2k$ 이고, [Y]가 2.0 M일 때 $v_2=2k$ 로, v_1 과 v_2 가 같다. 하지만 반응 시작되면 v_1 은 [X]에 따라 반응 속도가 감소하지만, v_2 는 [Y]에 관계없이 반응 속도가 일정하게 유지된다. 즉, 반응이 시작되면 v_1 은 $2k$ 에서 [X]가 줄어드는 만큼 속도가 감소하는 반면, v_2 는 $2k$ 로 일정하게 유지되므로 t 분에서 [X]와 [Y]를 비교하면 [X]는 [Y]보다 크다.
 바로알기 ㄱ. (가)는 X에 대한 1차 반응이고, (나)는 Y에 대한 0차 반응이다. 따라서 $m=1$, $n=0$ 이므로 n 은 m 보다 작다.
 ㄷ. Z의 생성 속도(v)는 $v_1+v_2=k[X]+2k$ 이다. 따라서 $[X]=[Y]=2.0$ M일 때 Z의 생성 속도 $v=2k+2k=4k$ 이고 $[X]=1.0$ M일 때 Z의 생성 속도 $v=k+2k=3k$ 이다.

3

문제 분석하기

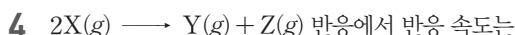


구분	(가)	(나)	(다)
A분자의 몰수	4	2	1
B분자의 몰수	0	4	6

ㄱ. (가) \rightarrow (나) 과정에서 A(g) 2몰이 반응하여 B(g) 4몰이 생성되므로 $2a=b$ 이다.
 ㄴ. 이 반응은 반감기가 일정하므로 A에 대한 1차 반응이며, 반응 속도는 A의 농도에 정비례한다. 따라서 (가)는 (나)보다 A의 농도가 2배이므로 (가)의 반응 속도도 (나)의 반응 속도의 2배이다.
 ㄷ. 이 반응은 반감기가 일정하므로 (가)에 4몰의 A(g)를 추가하면 다음과 같다.

구분	0분	2분 후	4분 후	6분 후
A분자의 몰수	8	4	2	1
B분자의 몰수	0	8	12	14

6분 후 A분자는 1몰, B분자는 14몰이 강철 용기 안에 남아 있다. 따라서 부피와 온도가 같을 때 기체의 부분 압력은 그 기체의 몰수에 비례하므로 A의 부분 압력은 (다)에서와 같다.



$$-\frac{1}{2} \frac{\Delta[X]}{\Delta t} = \frac{\Delta[Y]}{\Delta t} = \frac{\Delta[Z]}{\Delta t}$$

이다. 즉, [Y]의 증가량은 [X]의 감소량의 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 T_2 에서 시간에 따른 Y의 몰 농도로부터 X의 몰 농도를 구하면 다음과 같다.

시간(분)	0	2	4	6	8
X의 몰 농도(M)	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1

이때 X의 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간이 2분으로 일정하므로 이 반응은 X에 대한 1차 반응이다.

ㄱ. T_2 에서 시간이 6분에서 8분이 될 때 X가 0.1 M 감소하므로 Y는 6분에서 8분이 될 때 0.05 M 증가한다. 따라서 6분에서 [Y]는 0.70 M이었으므로 8분이 되면 0.75 M이 된다.
 ㄷ. Z(g)의 생성 속도는 Y(g)의 생성 속도와 같으므로 T_1 에서 초기 4분 동안 Z(g)의 평균 생성 속도는 $\frac{0.4}{4}=0.1(\text{M/min})$ 이다.

바로알기 ㄴ. 이 반응은 X에 대한 1차 반응이므로 T_1 에서의 반응 속도식 $v=k[A]$ 이다.

5 ㄱ. $2A(g) \longrightarrow B(g)$ 반응에서 반응 속도 $v=k[A]^m$ 이다. 이때 반응 속도가 A의 농도에 정비례하므로 이 반응은 A에 대한 1차 반응이다. $\Rightarrow m=1$ 이므로 $v=k[A]$

ㄴ. T_1 에서 $[A]=0.2\text{ M}$ 일 때 $v=0.8\text{ M/s}$ 이다. T_1 에서의 반응 속도 상수를 k_1 이라고 하면 $k_1=\frac{v}{[A]}$ 이므로 $k_1=4/\text{s}$ 이다.

T_2 에서 $[A]=0.2\text{ M}$ 일 때 $v=0.4\text{ M/s}$ 이다. T_2 에서의 반응 속도 상수를 k_2 라고 하면 $k_2=\frac{v}{[A]}$ 이므로 $k_2=2/\text{s}$ 이다.

따라서 T_1 과 T_2 에서 반응 속도 상수를 비교하면 k_1 은 k_2 의 2배이다.

ㄷ. 초기 반응 속도가 1.2 M/s 일 때 T_1, T_2 에서 A의 초기 농도는 각각 다음과 같다.

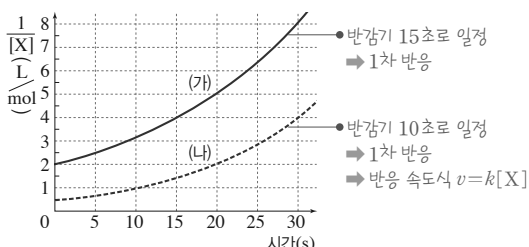
T_1 에서는 $1.2\text{ M/s}=4/\text{s} \times [A] \Rightarrow [A]=0.3\text{ M}$

T_2 에서는 $1.2\text{ M/s}=2/\text{s} \times [A] \Rightarrow [A]=0.6\text{ M}$

따라서 $[A]$ 는 T_2 에서가 T_1 에서보다 0.3 M 더 크다.

6

문제 분석하기



온도가 높을수록 반응 속도가 증가하므로 1차 반응에서 반감기가 짧을수록 반응 속도 상수가 크고 온도가 높다.
 \Rightarrow 반응 속도 상수 : (가) < (나), 온도 : (가) < (나)

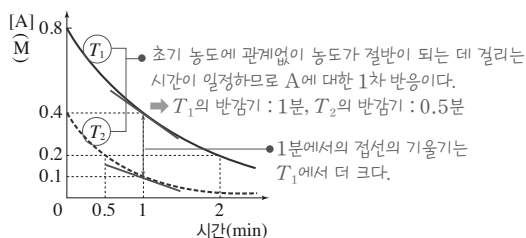
ㄱ, ㄴ. (가)와 (나)는 1차 반응이다. 따라서 시간에 따라 $[X]$ 가 감소하는 비율이 일정하며, 동일한 농도에 대해 반응 속도는 반감기의 역수와 같다.

(가)의 반감기는 15초, (나)의 반감기는 10초이다. 따라서 반응 속도는 동일한 농도에 대해 (나)가 (가)의 1.5배이고, 반응 속도 상수도 (나)가 (가)의 1.5배이다.

ㄷ. 60초일 때 (가)는 반감기가 4번, (나)는 반감기가 6번 지난 것이다. 그러므로 초기 농도를 기준으로 $\frac{1}{[X]}$ 값을 구하면 (가)에서는 초기 값(2)의 2^4 배인 32가 되고, (나)에서는 초기 값(0.5)의 2^6 배인 32가 된다. 따라서 60초일 때 (가)와 (나)에서 X의 농도는 동일하다.

7

문제 분석하기



- 1차 반응의 반응 속도식 $v=k[A]$
- T_2 가 T_1 보다 반감기가 짧으므로 온도는 $T_1 < T_2$ 이다.

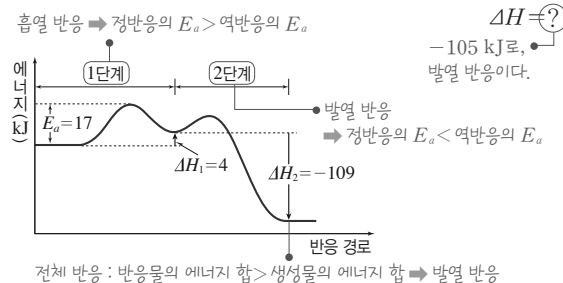
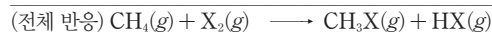
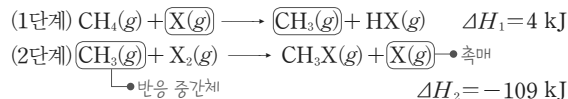
ㄱ. T_1 과 T_2 에서 모두 초기 농도에 관계없이 반응물의 농도 $[A]$ 가 절반이 되는 데 걸리는 시간이 일정하다. 이와 같은 반응은 A에 대한 1차 반응이다.

ㄴ. 시간에 따른 반응물의 농도 변화 그래프에서 1분에서 접선의 기울기는 T_1 에서가 T_2 에서보다 크므로 1분에서의 순간 반응 속도는 T_1 에서가 T_2 에서보다 빠르다.

ㄷ. T_1 에서 반감기가 1분, T_2 에서 반감기가 0.5분이므로 A의 초기 농도가 같으면 초기 반응 속도는 반감기가 짧은 T_2 가 T_1 보다 빠르다.

8

문제 분석하기



ㄱ. 반응 중간체는 반응 메커니즘에서 최종 단계를 제외한 중간 단계에서 생성되었다가 사라지는 물질로, $\text{CH}_3(g)$ 가 이에 해당한다.

ㄷ. 1단계 반응은 반응물의 에너지 합이 생성물의 에너지 합보다 작은 흡열 반응으로, 역반응의 활성화 에너지는 정반응의 활성화 에너지에서 반응열을 뺀 값과 같다. 따라서 역반응의 활성화 에너지는 $13 (= 17 - 4)\text{ kJ}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 전체 반응에서 반응물의 에너지 합이 생성물의 에너지 합보다 크므로 전체 반응은 발열 반응이다.

9. 가장 높은 에너지 상태를 E_0 라고 할 때 정반응의 활성화 에너지는 $E_0 - E_2$ 이고, 역반응의 활성화 에너지는 $E_0 - E_1$ 이다. 따라서 역반응의 활성화 에너지에서 정반응의 활성화 에너지를 빼면 $(E_0 - E_1) - (E_0 - E_2) = -E_1 + E_2$, 즉 역반응과 정반응의 활성화 에너지 차이는 $E_2 - E_1$ 이다.

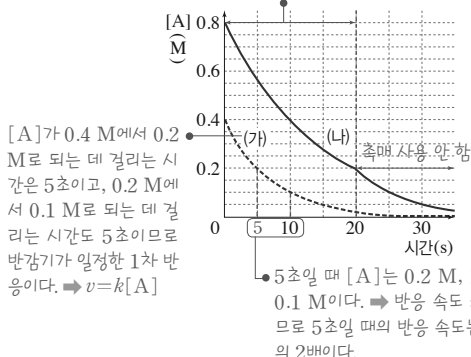
바로알기 ㄱ. 촉매를 사용하지 않은 경우(가)보다 촉매를 사용한 경우(나) 활성화 에너지가 감소하므로 사용한 촉매 X는 정촉매이다.

ㄷ. 반응 속도 상수는 온도뿐 아니라 촉매에 의해서도 변한다. 따라서 촉매를 사용하지 않은 경우(가)와 촉매를 사용한 경우(나)의 반응 속도 상수는 서로 다르다.

10

문제 분석하기

촉매를 사용한 0~20초에서 (나)의 반감기가 10초로 2배 증가, 10초에서의 농도가 (가)의 초기 농도와 같은데 같은 시간 동안 감소한 비율이 작다. \Rightarrow 반응 속도 감소 \Rightarrow 사용한 촉매는 부촉매이다.



- ① (가)에서 [A]가 절반이 되는 데 걸리는 시간이 5초로 일정함을 알 수 있다. 이와 같이 반감기가 일정한 반응은 1차 반응이다.
- ② (가)에서 5초일 때 [A]는 0.2 M, 10초일 때 [A]는 0.1 M이며, 반응 속도(v)= $k[A]$ 이므로 5초일 때의 반응 속도는 10초일 때의 2배이다.
- ③ 10초에서 (나)의 농도는 (가)의 초기 농도와 같은데 같은 시간 동안 감소하는 비율이 (나)가 (가)보다 작다. 따라서 (나)에서는 촉매를 사용함으로써 반응 속도가 감소하였음을 알 수 있다. 즉 이때 사용한 촉매는 부촉매이다.
- ④ 부촉매를 사용하여 반감기가 2배로 되었으므로 반응 속도는 $\frac{1}{2}$ 로 되었음을 알 수 있다. 이때 반응 속도 상수(k)도 $\frac{1}{2}$ 로 되므로 (가)와 (나)의 반응 속도 상수의 비는 2 : 1이다.

바로알기 ⑤ (나)에서 40초일 때의 농도는 20초의 0.2 M에서 4번의 반감기를 거치므로 0.0125 M이고, (가)에서 20초일 때의 농도는 0.4 M에서 4번의 반감기를 거치므로 0.025 M이다.

11. ㄱ. t_2 에서 촉매를 넣어 준 후 반응 속도가 빨라졌으므로 넣어 준 촉매는 정촉매이다.

바로알기 ㄴ. 촉매를 넣어 주면 반응 경로가 달라지므로 반응 속도식이 달라진다. t_1 에서는 촉매가 없는 상태에서 반응이 일어났고, t_3 에서는 촉매가 있는 상태에서 반응이 일어났으므로 시간이 t_1 일 때와 t_3 일 때 반응 속도식은 서로 다르다.

ㄷ. 기체 반응의 화학 반응식에서 계수비는 몰수비이다. $A(g) + B(g) \rightarrow 2C(g)$ 반응이 진행되더라도 전체 기체의 분자 수는 일정하다. 따라서 반응이 진행되더라도 용기 내 기체의 전체 몰수는 변하지 않으므로 기체의 압력도 변하지 않는다.

12

문제 분석하기

밀폐 용기에서 기체의 부분 압력은 그 기체의 몰수에 비례한다.

반응 시간(분)	온도(K)	X의 압력(기압)	Y의 압력(기압)
0	T_1	3.2	0
1	T_1	1.6	0.8
2	T_1	0.8	1.2
③	T_2	0.8	x

● 온도가 높아졌음에도 X의 압력이 0.8기압인 것으로 보아 넣어 준 고체 촉매는 부촉매이다.

ㄱ. 밀폐 용기에서 기체의 압력은 몰수에 비례하며, 기체의 몰수비는 반응식의 계수비와 같다. 0~1분에서는 X가 1.6기압 감소하고, Y가 0.8기압 증가하므로 $aX(g) \rightarrow bY(g)$ 반응에서 $a=2$, $b=1$ 이다.

ㄴ. 0~2분에서는 온도가 T_1 으로 일정하지만 2분이 지난 직후 촉매를 사용하고 온도를 T_1 의 2배보다 작게 올렸다. 이때 3분에서는 온도가 2배보다 작게 오른 상태이고 정반응이 진행되어 Y(g)가 더 생성되기에 Y의 압력은 $x > 1.2$ 이어야 한다.

바로알기 ㄷ. 2분 후 $T_1 \rightarrow T_2$ 이므로 3분에서 T_1 이라 하더라도 X(g)의 부분 압력은 0.4보다 커야 한다. 따라서 고체는 반응 속도를 감소시키는 물질로 부촉매이고, 이 물질은 활성화 에너지를 높여 준다.

1. 의약품과 녹색 화학

01 의약품과 녹색 화학

개념 확인 문제

346쪽

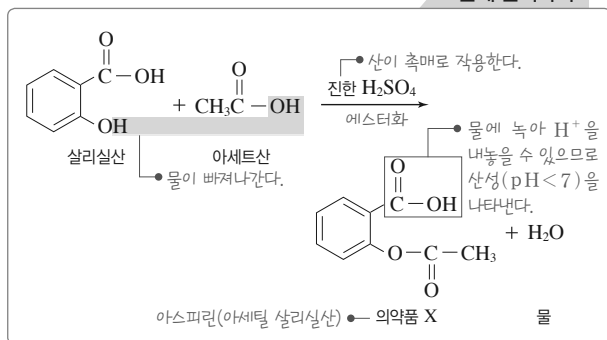
- 1 생약 2 약용 식물 3 알칼로이드 4 아스피린
5 페니실린 6 효소 반응 저해

- A 1 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 2 아스피린(아세틸 살리실산)
3 페니실린
B 4 A : 기질, B : 저해제 5 (라)-(나)-(가)-(마)-(다)-(바)

- 1 (1) 천연 의약품은 자연에서 얻은 물질을 그대로 쓰거나, 간단한 가공을 거쳐 이용하는 의약품이다.
(2), (3) 퀴닌, 카페인, 모르핀은 식물에서 추출하는 알칼로이드로, 질소 원자를 포함하는 고리 모양의 화합물이며, 염기성을 나타낸다. 알칼로이드는 소량으로도 강력한 약리 작용을 나타낸다.
(4) 약용 식물은 의약품으로 쓰이거나 의약품의 재료가 되는 식물이다. 약용 식물에는 질병을 치료하는 성분 이외에도 여러 가지 물질이 함유되어 있어서 부작용을 일으킬 수 있으므로 화학적 방법을 이용하여 약효 성분만 따로 분리한다.

2

문제 분석하기

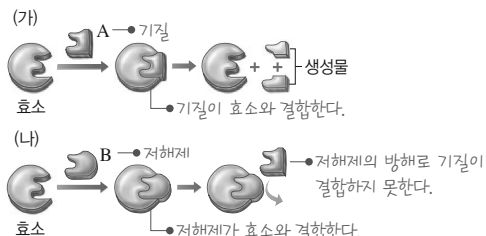


아스피린은 살리실산의 하이드록시기(-OH)와 아세트산의 카복시기(-COOH) 사이의 반응으로 생성되는 물질로, 최초의 합성 의약품이다.

- 3 페니실린은 영국의 플레밍이 푸른곰팡이에서 추출한 최초의 항생제로, 세균의 세포벽 형성을 억제하여 세균 감염에 의한 염증 치료에 이용된다.

4

문제 분석하기



- (가) 효소-기질 반응 : 효소와 기질이 결합하여 질병을 유발한다.
(나) 효소-저해제 반응 : 저해제(의약품)가 효소의 활성 부위에 결합하여 효소와 기질의 반응을 저해한다.

(가)는 효소-기질 반응이고, (나)는 효소-저해제 반응이다. 효소의 활성 부위와 구조가 같은 A는 기질이고, B는 저해제(의약품)이다.

- 5 체내에서 일어나는 물질 대사 반응들은 생촉매인 효소와 관련되어 있다. 따라서 물질 대사 반응을 하는 기질에 맞는 효소의 활성 부위를 분석해야 하므로 해당 효소를 분리하는 과정이 먼저 이루어져야 한다. 그 다음으로 컴퓨터 모의 실험을 통해 분리된 효소에 맞는 화합물의 구조를 디자인하는 분자 모델링이 진행되고, 모델링에 맞는 의약품을 합성하고, 합성한 의약품이 약효를 발휘하는지, 부작용은 없는지를 알아보기 위해 임상 시험을 진행한다. 임상 시험 결과 약효가 입증되면 기관(식약청)의 허가를 받은 후 대량 생산을 통해 판매한다.

개념 확인 문제

350쪽

- 1 녹색 화학 2 생분해성 3 복분해 4 친환경 5 광분해

- C 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 ⑤ 3 복분해 반응
D 4 수소 에너지 5 L, C

- 1 (1), (2) 녹색 화학은 인간 생활의 편리성을 추구한 화학에서 벗어나 자원 고갈, 환경오염, 기후 변화 등을 막거나 최소화하기 위한 친환경 화학을 말한다.

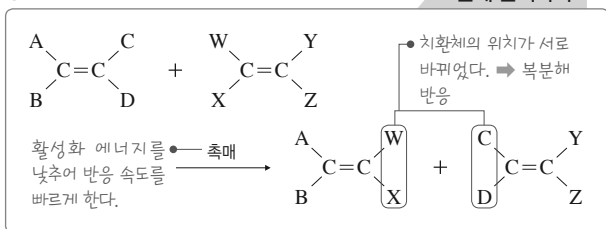
(3) 녹색 화학의 원리에서는 최종 합성 물질뿐만 아니라 반응물과 중간 생성물까지 모두 친환경 물질이 되도록 한다.

- 2 녹색 화학의 12원리는 방지, 원자 경제성, 덜 해로운 화학 합성, 보다 안전한 화학 물질의 고안, 보다 안전한 용매와 보조제, 에너지 효율 고려, 재생 가능한 공급 원료의 사용, 유도체의 감소, 촉매, 분해의 고려, 공해 방지를 위한 실시간 분석, 사고 방지를 위한 보다 안전한 화학이다.

바로알기 ⑤ 촉매는 선택성이 높고, 에너지 효율성을 높일 수 있으므로 사용을 권장한다.

3

문제 분석하기



복분해 반응은 두 반응물의 치환체의 결합 위치가 바뀌는 반응이다.

4 수소 에너지는 다른 연료에 비해 1 g당 연소열이 매우 크다. 또한 연소 생성물이 물이므로 청정 에너지이며, 풍부한 자원인 물을 분해하여 얻기 때문에 고가의 염려가 없다.

5 ㄴ, ㄷ. 물의 광분해는 태양광 에너지로 물을 분해하여 수소를 얻는 방법으로, 식물의 엽록소를 대신할 물질로 광촉매나 광전극을 개발하고 있다.

바로알기 ㄱ. 전기 에너지가 많이 소모되는 물의 분해 방법은 전기 분해이다.

대표 자료 분석

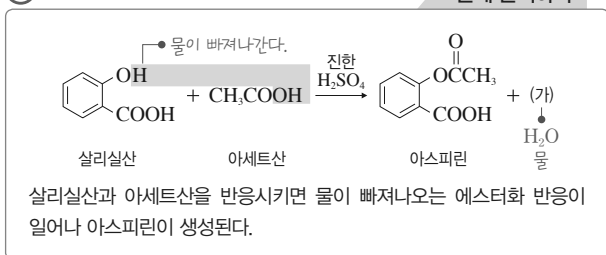
351쪽

대표 자료 ① 1 H_2O 2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 3 ㄴ

대표 자료 ② 1 (가) 전기 에너지 (나) 태양광 에너지 2 광전극
3 A : 수소, B : 산소, C : 산소, D : 수소 4 (1) ○
(2) × (3) ○

①-1

문제 분석하기



①-2 (1) 아스피린을 합성할 때 산(H^+)은 촉매로 작용하여 반응을 촉진시킨다.

(2) 살리실산은 하이드록시기($-\text{OH}$)와 카복시기($-\text{COOH}$)를 가지고 있으나 아세트산과 반응하는 작용기는 하이드록시기이다.

(3) 아스피린은 카복시기($-\text{COOH}$)를 가지고 있어 물에 녹아 수소 이온(H^+)을 내놓을 수 있으므로 산성을 나타낸다.

(4) 아스피린을 합성할 때 아세트산을 사용하면 아스피린과 물이 다시 살리실산과 아세트산으로 분해되는 역반응이 일어나지만, 아세트산 무수물을 사용하면 역반응이 일어나지 않아 수득률이 높아진다.

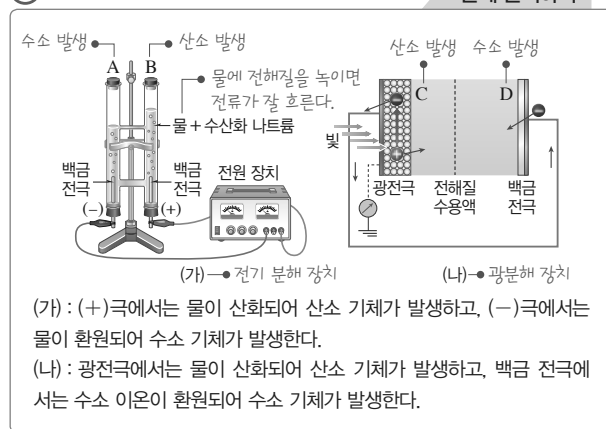
①-3 ㄴ. 아스피린은 최초의 합성 의약품이다.

바로알기 ㄱ. 아스피린은 아세틸 살리실산의 상품명이다.

ㄷ. 아스피린은 버드나무 껍질에서 추출한 살리실산으로 만든 해열·진통제이다. 푸른곰팡이에서 추출한 최초의 항생제는 페니실린이다.

②-1

문제 분석하기



(가)는 물의 전기 분해 장치로, 전기 에너지를 이용하여 물을 분해한다. (나)는 물의 광분해 장치로, 태양광 에너지를 이용하여 물을 분해한다.

②-2 물의 광분해에서 식물의 엽록소를 대신할 물질로 광촉매나 광전극이 개발되고 있다.

②-3 A와 D에서는 환원 반응에 의해 수소 기체가 발생하고, B와 C에서는 산화 반응에 의해 산소 기체가 발생한다.

②-4 (1) A와 D에서 발생하는 기체는 수소로, 수소 에너지는 현재 사용하는 연료를 대체할 친환경 미래 에너지이다.

(2) (나)의 광전극은 산화 전극으로, 물을 산화시켜 산소 기체와 수소 이온을 생성한다.

(3) (가)와 (나)에서 일어나는 반응의 전체 반응식은 $2\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow 2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g)$ 이다.

01 ④ 02 ① 03 (라)-(나)-(다)-(가) 04 ⑤ 05 ③
06 ⑤ 07 ④ 08 ④ 09 ⑤ 10 ⑤ 11 ⑤ 12 생분해성
플라스틱 13 ⑤ 14 ③ 15 ㄱ, ㄴ 16 ③ 17 해설 참조
18 해설 참조 19 해설 참조 20 해설 참조

01 **바로알기** ④ 합성 의약품을 만드는 과정에서 약효 성분 이외에도 합성되는 성분이 있고, 이러한 성분에 의해 부작용이 나타나기도 한다.

02 퀴닌은 키나나무 껍질에서 추출한 알칼로이드 성분으로, 말라리아 치료제로 이용된다.

03 약용 식물을 이용하여 의약품을 개발할 때는 먼저 약용 식물의 효능을 조사하고, 약용 식물의 약효 성분을 추출하여 순수한 화합물로 분리한다. 분리한 화합물은 약효를 조사한 후 약효가 있는 화합물을 대량 합성하여 부작용이 적은 의약품으로 개발한다.

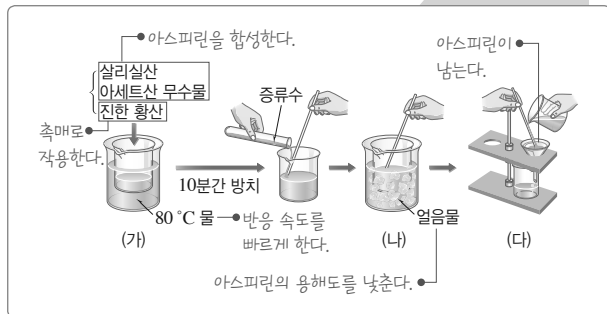
04 ㄱ. 살리실산과 아세트산의 에스터화 반응을 통해 생성되는 X는 아스피린(아세틸 살리실산)이며, 최초의 합성 의약품이다.

ㄴ. A는 물(H_2O)로, 아스피린을 합성할 때 살리실산의 하이드록시기($-OH$)와 아세트산의 카복시기($-COOH$) 사이의 반응으로 생성된다.

ㄷ. 아스피린은 벤젠 고리(벤젠)에 붙은 카복시기($-COOH$)가 산으로 작용하지만, 살리실산은 벤젠 고리에 붙은 하이드록시기($-OH$)와 카복시기($-COOH$)가 모두 산으로 작용한다. 따라서 수용액에서 산성의 세기는 살리실산이 아스피린보다 강하다.

05

문제 분석하기



① (가)에서 이 반응을 빠르게 진행시키기 위해 진한 황산을 촉매로 이용한다.

② (가)에서 비커를 80°C 물에 담가 두는 이유는 온도를 높여 반응 속도를 빠르게 하기 위해서이다.

④ (나)에서 비커를 얼음물에 넣어 냉각하면 아스피린의 용해도가 감소하여 아스피린 결정이 석출된다.

⑤ (다)에서 거름종이에 걸러진 물질은 아스피린이다. 아스피린은 벤젠 고리에 카복시기($-COOH$)가 붙어 있으므로 물에 녹아 산성을 나타내어 pH가 7보다 작다.

바로알기 ③ 아세트산을 이용하여 아스피린을 합성하면 물이 생성되면서 촉매로 넣어 준 산에 의해 역반응이 진행되어 수득률이 낮아진다.

06 ㄱ. 물질 (나)는 페니실린으로, 최초의 항생제이며 염증, 폐렴, 독감, 결핵 치료에 이용된다.

ㄴ. 항생제는 세균의 성장과 기능을 억제하여 죽이는 의약품이다.

ㄷ. 항생제를 남용하면 세균이나 바이러스의 저항성이 커져 내성균이 발생할 수 있다.

07 • 지혜 : 약리 작용이 나타나는 천연 의약품은 수요에 비해 공급량이 매우 부족하다. 그러므로 약리 작용이 있는 화합물을 추출하여 화학적으로 대량 생산하여 이용한다.

• 영수 : 질병에 관련된 효소의 활성 부위와 기질을 분석하여 효소 반응 저해의 원리를 이용하면 질병에 맞는 맞춤형 의약품을 개발할 수 있다.

바로알기 철수 : 신약 개발의 주된 목적은 이윤 창출보다 인류가 건강한 삶을 영위하도록 하는 데 있다.

08 ㄱ. 효소의 활성 부위(a)는 구조가 맞는 특정 물질(기질)과 결합하여 반응(질병)을 유도하므로 신약을 개발할 때는 효소의 활성 부위의 구조를 알아야 한다.

ㄷ. 효소 반응 저해의 원리를 이용하여 효소가 관여하는 질병의 치료약을 개발할 수 있다.

바로알기 ㄴ. 의약품은 효소와 기질의 반응을 저해하는 역할을 하는 것으로 효소-저해제 반응인 (나)에서 B의 역할을 하며, 기질인 A와 경쟁한다.

09 ㄱ. (가)는 분자 모델링 과정으로, 컴퓨터 모의 실험을 통해 활성 부위에 맞는 화합물의 구조를 디자인하는 과정이다.

ㄴ. (나)는 임상 시험 과정으로, 동물 실험을 거쳐 용량, 용법을 구체적으로 조사한 후 인체 실험을 통해 부작용 및 독성을 조사하는 과정이다.

ㄷ. 이처럼 의약품 설계 방법을 이용하면 특정 질병을 치료할 수 있는 맞춤형 신약을 개발할 수 있다.

10 ① '방지'는 만들어진 폐기물을 처리하기보다 처음부터 폐기물의 발생을 최소화하거나 막는 것을 의미한다.

② ‘원자 경제성’은 사용된 원료의 원소들이 모두 최종 생성물에 포함되도록 합성 방법을 개발하는 것을 의미한다.

③ ‘에너지 효율 고려’는 합성 방법 중 에너지 소비를 최소화하기 위해 상온과 대기압에서 반응할 수 있도록 설계하는 것을 의미한다.

④ ‘유도체의 감소’는 합성 과정에서 유도체의 생성을 최소화하거나 불필요한 유도 과정을 피하도록 설계하는 것을 의미한다.

바로알기 ⑤ ‘보다 안전한 용매와 보조제’는 가능하면 용매나 보조제와 같은 부가 물질을 사용하지 않아야 하고, 꼭 필요한 경우 독성이 적은 것을 사용하는 것을 의미한다. 기능성은 유지하면서도 독성이 적은 제품을 개발하는 것은 ‘보다 안전한 화학 물질의 고안’을 의미한다.

11 녹색 화학의 주요 목표는 친환경 공정을 개발하는 것이다.

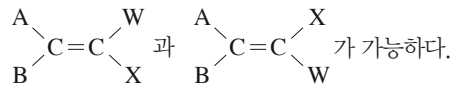
바로알기 ⑤ 영구적 사용보다는 환경에 무해한 물질로 잘 분해되도록 만들어야 한다.

12 생분해성 플라스틱은 식물의 전분과 콩의 단백질을 이용한 생합성 방법으로 만든 고분자 플라스틱으로, 미생물에 의해 쉽게 분해되는 친환경 물질이다.

13 ㄱ. 기존의 복분해 반응은 반응 과정에서 불순물을 정제해 주어야 하고, 폐기물도 많이 발생하였다. 쇼뱅, 슈록, 그립스는 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 금속을 포함한 촉매를 개발하여 낮은 온도에서도 다양한 화합물을 합성할 수 있고, 폐기물의 양도 최소화할 수 있는 방법을 개발하였다.

ㄴ. 촉매를 이용한 복분해 반응은 현재 에이즈 치료제, 콘택트 렌즈, 생물 농약 등에 이용된다.

ㄷ. (다)는 (가)에서 C와 D가 W와 X로 치환된 화합물이므로



14 ㄱ. 오른손과 왼손은 거울상은 같지만 서로 겹쳐지지 않는다. 이처럼 서로 거울상의 관계를 가지는 화합물을 키랄성 화합물이라고 한다.

ㄷ. 키랄 촉매를 사용하여 키랄성 화합물 중 필요한 한쪽 물질만 합성하면 폐기물의 양을 최소화할 수 있다.

바로알기 ㄴ. 양쪽 키랄성 화합물이 동시에 생성된 경우 필요한 성분을 분리하는 과정에서 유기 용매가 사용되고 불필요한 폐기물이 늘어나므로 필요한 한쪽 성분만 합성하는 방법을 개발하는 것이 좋다.

15 ㄱ. A는 수소 에너지이다. 수소는 물을 전기 분해하여 얻을 수 있지만, 전기 에너지가 많이 소모되므로 비효율적이다. 따

라서 태양광 에너지와 광촉매, 광전극을 이용하여 수소를 얻는 방법인 물의 광분해 기술이 개발되고 있다.

ㄴ. B는 해양 에너지(조력 발전)이다. 조석 현상을 이용하므로 조수 간만의 차가 큰 지역에서 이용하기에 적합하다.

바로알기 ㄷ. C는 태양 에너지이다. 태양 에너지는 계절, 날씨, 지역에 따른 영향을 받는다는 단점이 있다.

16 (가)는 물의 전기 분해 장치이고, (나)는 물의 광분해 장치이다.

ㄱ. 물을 전기 분해하면 생성되는 수소 기체의 양에 비해 전기 에너지의 소모량이 매우 커서 비효율적이다.

ㄴ. 식물의 엽록소에서는 흡수된 빛에 의해 물이 산소 기체와 전자, 수소 이온으로 분해된다. 광전극은 엽록소와 같은 원리로 태양광 에너지를 이용하여 물을 산소 기체와 전자, 수소 이온으로 분해한다.

바로알기 ㄷ. (가)의 B와 (나)의 C에서는 산화 반응을 통해 산소 기체가 발생하고, (가)의 A와 (나)의 D에서는 환원 반응을 통해 수소 기체가 발생한다.

17 ●모범 답안● 아스피린을 합성할 때 아세트산을 사용하면 생성된 아스피린과 물이 반응하는 역반응이 일어난다. 그러나 아세트산 대신 아세트산 무수물을 사용하면 역반응이 일어나지 않아 아스피린의 수득률이 높아진다.

채점 기준	배점
아스피린의 수득률로 옳게 서술한 경우	100 %
아스피린의 수득률로 서술하지 못한 경우	0 %

18 효소와 기질은 특이적인 입체 구조를 가지기 때문에 하나의 효소는 활성 부위에 맞는 특정한 기질에만 작용한다. 따라서 효소의 활성 부위에 기질과 경쟁적으로 결합할 수 있는 저해제를 투여하여 효소의 작용을 억제할 수 있다.

●모범 답안● 새로운 항암제는 기질과 유사한 구조를 가지고 있어서 효소의 활성 부위에 결합하여 효소의 작용을 억제하므로 암세포의 증식이 억제된다.

채점 기준	배점
항암제의 작용을 효소 반응 저해의 원리로 옳게 서술한 경우	100 %
효소 반응 저해의 원리만 서술한 경우	30 %

19 기존의 복분해 반응은 높은 온도에서 여러 과정을 거쳐야 하기 때문에 생성물의 수득률이 낮고, 폐기물도 많이 발생한다.

●모범 답안● 낮은 온도에서도 생성물의 수득률이 높고, 폐기물이 적게 발생하므로 원자 경제성을 가진다.

채점 기준	배점
수득률과 폐기물의 양으로 녹색 화학과 연관지어 옳게 서술한 경우	100 %
수득률과 폐기물의 양 중 한 가지로만 녹색 화학과 연관지어 옳게 서술한 경우	50 %
수득률과 폐기물의 양으로만 서술한 경우	20 %

20 수소 에너지는 연소 생성물이 물이므로 환경오염을 일으키지 않고, 물을 분해시켜 얻으므로 자원이 무한하다.

●모범 답안● 기체 연료이므로 저장과 운반이 어렵다. 수소를 얻기 위해 물을 분해하는 데 큰 에너지가 필요하다.

채점 기준	배점
두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

중단원 핵심 정리

356쪽

① 약용 식물 ② 퀴닌 ③ 모르핀 ④ 아세틸 살리실산 ⑤ 페니실린 ⑥ 활성 부위 ⑦ 임상 시험 ⑧ 녹색 화학 ⑨ 생분해성 플라스틱 ⑩ 복분해 ⑪ 수소 ⑫ 전기 분해 ⑬ 광분해 ⑭ 태양광 ⑮ 광촉매

중단원 마무리 문제

357~358쪽

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

01 니코틴, 모르핀, 퀴닌은 모두 식물에서 추출한 알칼로이드이다. 알칼로이드는 질소 원자를 포함하는 고리 모양의 화합물이며, 염기성을 나타낸다.

ㄴ. 알칼로이드는 아주 적은 양으로도 강력한 약리 작용을 나타내는 특징이 있다.

ㄷ. 키나나무 껍질의 추출액에 포함된 퀴닌은 말라리아 치료제로 사용된다.

바로알기 ㄱ. 알칼로이드는 염기성을 띠는 물질이므로 물에 녹이면 pH가 7보다 크다.

02 (가)는 아스피린, (나)는 페니실린의 구조이다.

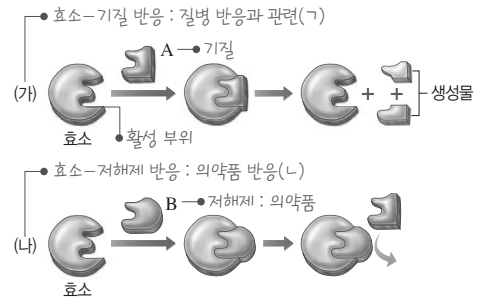
ㄱ. 아스피린은 아세트산과 버드나무 껍질에서 추출한 살리실산으로 합성한다.

ㄴ. 페니실린은 항생제로, 항생제를 남용하면 세균이나 바이러스의 저항성이 커져 내성균이 발생할 수 있다.

바로알기 ㄷ. 아스피린은 살리실산과 아세트산의 에스터화 반응으로 생성되지만, 페니실린은 에스터화 반응으로 생성되지 않는다.

03

문제 분석하기



바로알기 ㄷ. A(기질)는 효소의 활성 부위와 결합하여 질병을 유발하고, B(저해제, 의약품)는 A보다 먼저 효소의 활성 부위와 결합하여 A가 결합하는 것을 방지한다.

04 신약 개발 과정은 크게 ‘효소 분리 → 분자 모델링 → 의약품 합성 → 임상 시험 → 기관 허가 → 판매’의 단계로 진행된다.

(나) 효소 분리 : 질병에 관련된 효소를 분리하고, X선 회절법으로 효소의 활성 부위의 3차원 구조를 조사한다.

(라) 분자 모델링 : 활성 부위에 맞는 화합물의 구조를 디자인하여 의약품을 합성한다.

(다) 임상 시험 : 합성한 의약품의 약효를 검증하고 부작용의 여부를 검토한다.

(가) 기관 허가 : 신약으로 정부 기관의 허가를 받은 후 대량 생산하여 판매한다.

05 녹색 화학의 원리는 친환경을 목표로 하고 있다.

ㄱ. 기능성은 유지하면서 독성이 적은 안전한 제품을 개발함으로써 환경오염을 줄일 수 있다.

ㄴ. 공정을 실시간으로 분석하여 환경을 오염시키는 물질이 생성되는 과정을 철저히 통제할 수 있도록 하고 있다.

ㄷ. 사용한 물질은 환경에 무해한 물질로 쉽게 분해되어 환경오염을 일으키지 않도록 설계되어야 한다.

06 ① 새로운 촉매를 개발하여 상온에서 반응을 진행하면 에너지 효율이 높아진다.

② 화학 공정에서 가능한 한 용매와 같은 부가 물질을 사용하지 않아야 하고, 꼭 필요한 경우 독성이 적은 것을 사용하며, 사용한 후 재활용해야 한다.

③ 이산화 탄소는 온실 효과를 일으키는 기체이므로 이산화 탄소 배출을 줄여야 한다.

④ 폐기물이 만들어진 후 처리하려면 에너지가 필요하고, 처리 과정에서 또 다른 폐기물이 발생하므로 폐기물 발생이 최소화되는 합성 경로를 개발하는 것이 중요하다.

바로알기 ⑤ 합성 과정에서 여러 단계의 반응을 거치면 폐기물이 발생하므로 가능한 한 불필요한 단계를 줄여야 한다.

07 수소는 연소 생성물이 물이므로 환경오염 물질을 배출하지 않는 청정 에너지원이고, 물을 분해하여 얻을 수 있어 자원 고갈의 염려가 적다. 그러나 물을 분해하는 과정에서 많은 에너지가 소모되고, 기체 연료이므로 저장이나 운반이 어렵다.

08 ㄷ. 촉매 없이 복분해 반응이 일어나려면 높은 온도에서 반응해야 하므로 수득률이 낮고 폐기물도 많이 발생하는 문제점이 있다. 촉매를 사용함으로써 낮은 온도에서 과정을 단순화시켜 폐기물을 최소화할 수 있으므로 녹색 화학이 적용된 예이다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. 두 탄소 화합물의 치환체가 바뀌는 반응으로 복분해 반응이며, 이때 탄소 사이의 결합 수는 변하지 않는다.

09 ㄱ. 광전극은 식물의 엽록소를 대신하는 물질로, 태양광 에너지를 받아 물을 산화시켜 산소 기체와 전자, 수소 이온으로 분해하는 역할을 한다.

ㄴ. 수소-산소 연료 전지는 연료인 수소 기체가 산소 기체와 반응할 때 물이 생성되므로 환경오염을 일으키지 않는다.

ㄷ. 물의 광분해 장치에서 생성된 수소 기체는 수소-산소 연료 전지에서 연료로 사용된다. 따라서 수소-산소 연료 전지는 물의 광분해 장치를 통해 수소 기체를 계속 공급받는 한 전기를 계속 생산할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 아스피린은 최초의 합성 의약품이다. 최초의 항생제는 페니실린이다.

ㄷ. 아스피린은 위를 자극하고, 알레르기 반응을 유발하는 부작용이 있다.

2 ㄱ. A는 화석 연료로, 석탄이나 석유는 대표적인 화석 연료이다.

ㄴ, ㄷ. 화석 연료를 연소시킬 때 생성되는 기체 중에서 지구 온난화와 관련된 B는 이산화 탄소(CO_2)이고, 연료로 사용할 때 물과 질소만 배출하는 C는 암모니아(NH_3)이다. 중심 원자의 결합각은 CO_2 가 180° , NH_3 가 107° 이고, 한 분자를 형성하는 원자 수는 NH_3 가 CO_2 보다 많다.

3 생분해성 플라스틱은 미생물에 의해 쉽게 분해되는 친환경 고분자 플라스틱이다. 살충제 대신 페로몬을 사용하면 환경오염 없이 해충을 박멸할 수 있다. 물의 광분해는 태양광 에너지를 이용하여 친환경 에너지원인 수소를 얻는 방법이다.

4 (가) 종이를 표백할 때 염소 대신 이산화 염소를 사용하면 표백 단계에서 생성되는 독성 물질인 다이옥신의 양이 감소한다. 이는 합성 과정에서 발생하는 유해 물질의 최소화와 관련된 내용이다.

(나) 촉매를 이용하여 복분해 반응에서 생성물의 수득률을 높이고, 발생하는 폐기물을 최소화하는 것은 원료 사용의 경제성과 관련된 내용이다.

수능 실전 문제

360쪽

1 ① 2 ⑤ 3 ③ 4 ⑤

1 아스피린에 대한 설명이다.

ㄴ. 아스피린은 해열·진통제이지만, 소염 효과가 있어 관절염, 류머티즘 치료제로도 사용된다.