

High Top



정답과 해설

I 다양한 모습의 물질

1. 기체

01 분자 사이의 힘

개념 확인 문제

pp.024~025

01. ① 02. ③ 03. $I_2 > Br_2 > Cl_2 > F_2$ 04. ④ 05. ⑤
 06. ③ 07. ③ 08. ② 09. ①, ③ 10. ④ 11. ⑤
 12. ② 13. (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

① CF_4 , CCl_4 , CBr_4 는 모두 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력만 작용한다. 분자의 크기가 커질수록 다른 분자와의 접촉 면적이 커지므로 분산력도 커지며, 분자의 크기가 클수록 분자량이 커지므로 분자량이 커질수록 분산력이 커진다. 따라서 분산력의 크기는 $CF_4 < CCl_4 < CBr_4$ 이다.

② HCl , ICl 은 극성 분자이므로 분자 사이에 분산력과 쌍극자-쌍극자 힘이 작용한다. HF , H_2O 는 극성 분자이며 분자 사이에 수소 결합을 형성하므로 수소 결합과 쌍극자-쌍극자 힘, 분산력이 작용한다. CO_2 는 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력만 작용한다.

③ F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 는 무극성 분자이므로 분자 사이에 분산력만 작용한다. 따라서 분자량 순서와 끓는점 순서가 일치한다.

④ 수소 결합은 F, O, N과 수소가 직접 결합한 화합물에서 나타나는 분자 사이의 힘이다. 따라서 분자들 사이에 수소 결합을 형성하는 물질은 CH_3OH 이다.

⑤ 수소 결합을 형성하는 분자들은 다른 분자들에 비해 녹는점, 끓는점이 높다. 또한 비열, 기화열, 용해열, 표면 장력이 크다. 그러나 전기 전도성은 수소 결합과 관련이 없는 성질이다.

⑥ 2주기 수소 화합물 중 CH_4 는 수소 결합을 형성하지 않기 때문에 분자 사이의 힘이 가장 작다. 수소 결합을 형성하는 화합물 중 H_2O 는 분자당 수소 결합 수가 많기 때문에 끓는점이 가장 높다. HF 의 경우는 NH_3 보다 끓는점이 높는데, 이것은 F의 전기 음성도가 N의 전기 음성도보다 크기 때문이다.

⑦ 공유 결합은 원자 사이에 이루어지는 결합으로 분자 사이에 작용하는 힘이 아니다.

⑧ 수소 결합은 F, O, N과 수소가 직접 결합한 화합물에서 나타나는 분자 사이의 힘이다. 따라서 CH_3F , CH_3OCH_3 는 분자 사이에 수소 결합을 형성하지 않는다.

⑨ 수소 결합을 하는 물질들은 분자 사이의 힘이 크므로 어는점과 끓는점이 높고, 증발열이 크며, 증기 압력이 낮다. 밀도는 수소 결합과는 직접적인 관련이 없다.

⑩ ㄱ. 극성 분자라 할지라도 분자 사이에 분산력이 존재한다. 즉 분산력은 모든 분자 사이에 작용하는 힘이다.

ㄴ. NH_3 의 끓는점이 PH_3 보다 높은 것은 수소 결합과 관계있다. NH_3 는 수소 결합을 형성하지만 PH_3 는 수소 결합을 형성하지 않는다.

ㄷ. $C_{10}H_{22}$ 의 경우 분자의 크기가 크고 표면적이 넓기 때문에 분산력이 더 크다. 따라서 $C_{10}H_{22}$ (분자량 : 142)가 SF_6 (분자량 : 146)보다 끓는점이 훨씬 더 높다.

⑪ ㄱ. 에탄올은 하이드록시기를 가지고 있으므로 수소 결합을 형성하여 분자 사이의 힘이 다이메틸에테르보다 더 크다.

ㄴ. 에탄올과 다이메틸에테르의 분자식은 모두 C_2H_6O 로 같다. 따라서 두 물질의 분자량은 같다.

ㄷ. 친수기인 하이드록시기가 있는 에탄올의 경우는 물에 잘 녹지만, 친수기가 없는 다이메틸에테르의 경우는 물에 잘 녹지 않는다.

⑫ H_2O , HF , NH_3 는 수소 결합을 형성하기 때문에 같은 족 수소 화합물보다 끓는점이 높다. SnH_4 와 CH_4 는 모두 무극성 분자이다. 무극성 분자의 끓는점은 분산력이 클수록 높아진다. SnH_4 의 분산력이 CH_4 의 분산력보다 크기 때문에 SnH_4 의 끓는점이 CH_4 보다 높다.

⑬ (1) 에탄올은 하이드록시기($-OH$)를 가지고 있어서 극성을 나타내며, 분자 사이에 수소 결합이라는 강한 인력이 작용한다.

(2) 폼산은 카복시기($-COOH$)를 가지고 있어서 분자 사이에 수소 결합이 나타난다.

(3) 프로페인은 무극성 분자이므로 분자 사이에 쌍극자 간의 인력이 작용할 수 없고, 분산력만 작용한다.

(4) 분자 사이의 인력이 클수록 끓는점이 높아지므로 폼산이 에탄올보다 분자 사이의 인력이 크다.

(5) 물 분자도 하이드록시기(-OH)를 가지고 있어서 분자 사이에 수소 결합이 나타난다. 물에 에탄올을 섞으면 두 물질은 매우 잘 섞이는데, 이것은 물 분자와 에탄올 분자 사이에도 수소 결합이 작용하기 때문이다.

(6) 에탄올은 분자량이 비슷한 프로페인에 비해 끓는점이 매우 높다. 이것은 프로페인은 분자 사이에 분산력만이 작용하지만 에탄올은 분자 사이에 분산력과 함께 수소 결합이라는 강한 인력이 작용하기 때문이다.

02 기체의 성질

개념 확인 문제

pp.044~045

01. ④ 02. ④ 03. ③ 04. ③, ⑤ 05. 0.022몰
 06. 2 07. (1) 28 (2) 온도는 높을수록, 압력은 낮을수록 이상 기체에 가까워진다. 08. 74 09. A>B>C 10. ①
 11. ③ 12. ④ 13. 1기압 14. 질소 : 0.4기압, 산소 : 0.2기압, 수소 : 0.1기압, 이산화탄소 : 0.3기압 15. ①, ②, ③, ⑥

① $P_1V_1=P_2V_2$ 를 이용하면,

$$1\text{기압} \times 4.0\text{L} = \frac{380}{760}\text{기압} \times VL\text{이다.}$$

$$\therefore V=8.0\text{L}$$

② $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 를 이용하면,

$$\frac{11.2\text{L}}{(273+25)\text{K}} = \frac{11.2\text{L} \times 2}{T}\text{이고, } T=596(\text{K})\text{이다.}$$

절대 온도와 섭씨온도 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\text{따라서 섭씨온도}(^{\circ}\text{C}) = \text{절대 온도}(\text{K}) - 273\text{이므로 } 596 - 273 = 323(^{\circ}\text{C})\text{로 가열해야 한다.}$$

③ 실험 1과 실험 2의 비교에서 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다는 것을 알 수 있고, 실험 2와 실험 3의 비교에서 기체의 부피는 압력에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 따라서 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례하고 절대 온도에 비례한다.

즉 2기압 819K에서 산소의 부피는 실험 1과의 비교에서

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}\text{이므로,}$$

$$\frac{0.5 \times 4.48}{273} = \frac{2 \times V_2}{819}\text{이다.}$$

$$\therefore V_2=3.36(\text{L})$$

④ 실제 기체에 작용하는 분자 사이의 인력은 기체 분자가 용기 벽에 충돌하는 힘을 약화시켜 RT 값을 이상 기체보다 작게 한다.

⑤ 이상 기체 상태 방정식 $PV=nRT$ 에서

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(820 \div 760) \times 0.5}{0.082 \times 300} \approx 0.022(\text{mol})$$

⑥ 기체의 분자량을 M , 질량을 w 라고 하면, 이상 기체 상태 방정식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$PV=nRT=\frac{w}{M}RT, M=\frac{wRT}{PV}$$

$$M=\frac{4 \times 0.082 \times 300}{1 \times 49.2}=2$$

⑦ (1) 이상 기체라면 $\frac{PV}{RT}$ 값이 일정하게 유지되며, $\frac{PV}{RT}$ 는 몰수

를 의미하므로 이 기체 5.6g의 몰수는 0.2이다. $n=\frac{w}{M}$ 이므로

$$0.2=\frac{5.6}{M}\text{이다. 따라서 } M=28\text{이다.}$$

(2) 주어진 그래프에서 직선에 가까운 T_2 일 때가 이상 기체에 가깝다. 따라서 실제 기체는 온도가 높아질수록 이상 기체에 가까워진다는 것을 알 수 있다. 압력이 커지면 그래프가 직선에서 점점 멀어지므로 이상 기체에서 멀어진다. 그래프에서 압력이 커질수록 $\frac{PV}{RT}$ 값이 이상 기체에서 많이 멀어지고 있다. 따라서 압력이 작을수록 이상 기체에 가까워진다는 것을 알 수 있다. 즉 온도는 높을수록, 압력은 낮을수록 이상 기체에 가까워진다는 것을 알 수 있다.

⑧ 이상 기체 상태 방정식을 통해 기체의 분자량을 구하는 식은 다음과 같다.

$$M=\frac{w \times R \times T}{P \times V}$$

용기의 부피(V)는 4.1L, 에테르 증기의 온도(T)는 $97+273=370\text{K}$, 에테르 증기의 압력은 1.5기압, 에테르의 질량은 15g이다.

$$\text{따라서 분자량은 } M=\frac{15 \times 0.082 \times 370}{1.5 \times 4.1}=74\text{이다.}$$

⑨ 주어진 자료에서 기체 A, B, C의 밀도를 구하면

$A=2.0(\text{g/L})$ 이고, $B=1.4(\text{g/L})$ 이며, $C \approx 1.27(\text{g/L})$ 이다.

$$d=\frac{w}{V}\text{이므로 } PV=\frac{w}{M}RT \Rightarrow d=\frac{w}{V}=\frac{MP}{RT}\text{이다.}$$

따라서 일정한 온도와 압력에서 분자량은 밀도에 비례하므로 분자량의 순서는 $A>B>C$ 이다.

10 이상 기체 상태 방정식에서 $\frac{PV}{RT}=n$ 이므로 이상 기체라면

$$\frac{PV}{RT}=1 \text{이다. (그래프의 A)}$$

또 분자량이나 크기가 작은 H_2 는 이상 기체에 가까운 기체이므로 그래프 B에 해당하고, 상대적으로 CO_2 는 이상 기체에서 많이 벗어나는 기체이므로 그래프 C에 해당한다.

11 두 기체의 분출 속도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v_X = \frac{60.0}{10} = 6 \text{ mL/s}, v_{H_2} = \frac{480.0}{20} = 24 \text{ mL/s}$$

$$\frac{v_X}{v_{H_2}} = \sqrt{\frac{M_{H_2}}{M_X}} \text{에 대입하면,}$$

$$\frac{6}{24} = \sqrt{\frac{2}{M_X}}, \text{ 양변을 제곱하면 } \frac{1}{16} = \frac{2}{M_X}$$

$$M_X = 16 \times 2 \text{이다.}$$

$$\therefore M_X = 32$$

$$12 \quad v_{He} = \frac{150(\text{mL})}{5(\text{s})} = 30(\text{mL/s}) \text{이고,}$$

$$v_{XO_2} = \frac{75(\text{mL})}{10(\text{s})} = 7.5(\text{mL/s}) \text{이다.}$$

그레이엄 법칙에 의해

$$\frac{7.5}{30} = \sqrt{\frac{4}{M_{XO_2}}}, \text{ 양변을 제곱하면 } \frac{1}{16} = \frac{4}{M_{XO_2}}$$

$$M_{XO_2} = 64 \text{이다.}$$

$$\therefore X \text{의 원자량} = 32$$

$$13 \quad O_2 \text{와 } H_2 \text{의 몰수를 구하면 } n_{O_2} = \frac{16}{32} = 0.5(\text{mol}),$$

$$n_{H_2} = \frac{4}{2} = 2(\text{mol})$$

$$P_{O_2} = \frac{0.5}{0.5+2} \times 5 = 1(\text{기압})$$

$$14 \quad P_1 = \frac{n_1}{\text{전체 기체의 몰수}} \times \text{전체 압력}$$

$$\bullet \text{ 질소의 부분 압력 : } P_{N_2} = \frac{2}{5} \times 1 = 0.4(\text{기압})$$

$$\bullet \text{ 산소의 부분 압력 : } P_{O_2} = \frac{1}{5} \times 1 = 0.2(\text{기압})$$

$$\bullet \text{ 수소의 부분 압력 : } P_{H_2} = \frac{0.5}{5} \times 1 = 0.1(\text{기압})$$

$$\bullet \text{ 이산화탄소의 부분 압력 : } P_{CO_2} = \frac{1.5}{5} \times 1 = 0.3(\text{기압})$$

15 ① A가 생성된 지점이 왼쪽으로 치우친 것으로 보아, Y의 확산 속도가 X보다 빠르다.

② 온도를 높이면 분자의 확산 속도가 증가하여 새로운 물질 A가 생성되는 시간이 짧아진다.

③ 확산 속도는 물속보다는 공기 속에서 빠르고 공기 속보다는 진공에서 빠르다.

④ 확산 속도와 분자 사이의 힘 사이에는 관련이 없다.

⑤ 확산 속도와 분자의 크기는 관련이 없다.

⑥ 기체의 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 분자량이 작은 기체일수록 확산 속도가 빠르다. 즉 Y의 확산 속도가 더 빠른 것으로 보아 Y의 분자량이 더 작다는 것을 알 수 있다.

⑦ 확산 속도와 분자를 구성하는 원자 수는 관련이 없다.

⑧ Y가 X보다 가벼운 기체라는 것은 알 수 있지만 공기보다 가벼운지는 알 수 없다.

⑨ 확산 속도와 끓는점은 관련이 없다.

실력 확인 문제

pp.046~049

01. ② 02. ④

03. (1) $P_{He} : 0.5\text{기압}$, $P_{H_2} : 0.25\text{기압}$ (2) 0.75기압

04. ④ 05. ③ 06. ② 07. ④ 08. ③ 09. ④

단답형 · 서술형 문제

10. 해설 참조 11. A=1.4몰, B=42g

12. (가) - □, (나) - △, (다) - ㄱ 13. 3aL

14. 1.8기압

15. (1) 분자 사이의 인력 : $A < B < C$ (2) 기체의 온도 : $T_1 > T_2 > T_3$

16. (나) $2n$, (다) $4n$ 17. (1) 4 : 1 (2) 16 : 1 (3) 12 : 1

① 쌍극자 모멘트를 가지는 경우는 비슷한 분자량을 가지는 무극성 분자보다 분자 사이의 힘이 커지게 된다. 보기에서 쌍극자 모멘트를 가지는 분자는 HCl, ICl, CO이다. 따라서 나만 옳은 비교이다.

② 수소 결합은 전기 음성도가 큰 F, O, N와 H와의 화합물에 존재하므로 H_2O , NH_3 , HF , CH_3COOH 은 수소 결합을 형성하지만, CH_4 의 경우는 수소 결합을 형성하지 않는다.

③ (1) 헬륨(He) 기체의 부피가 20L에서 40L로 되었으므로

$$1\text{기압} \times 20\text{L} = P_{\text{He}} \times 40\text{L}$$

$$P_{\text{He}} = 0.5\text{기압이다.}$$

수소(H₂) 기체의 부피가 5L에서 40L로 되었으므로

$$2\text{기압} \times 5\text{L} = P_{\text{H}_2} \times 40\text{L}$$

$$P_{\text{H}_2} = 0.25\text{기압이다.}$$

(2) 전체 압력은 부분 압력의 합과 같으므로,

$$P = P_{\text{He}} + P_{\text{H}_2} = 0.5 + 0.25 = 0.75\text{기압}$$

④ 극성 분자는 극성 분자와 잘 섞이고 무극성 분자는 무극성 분자와 잘 섞인다. 분자 내에 존재하는 원자 사이의 결합력의 세기는 분자의 끓는점이나 녹는점, 분자의 용해성과는 직접적인 관련이 없다. 사이클로헥세인은 무극성 분자이고, 물은 극성 분자이기 때문에 서로 극성이 달라 잘 섞이지 않는 것이다.

⑤ F은 전기 음성도가 4.0으로 굉장히 커서 이웃하는 분자의 수소와 수소 결합을 한다. 그 결과 HF의 끓는점은 대단히 높다. $\text{HCl} \rightarrow \text{HBr} \rightarrow \text{HI}$ 로 갈수록 분자량이 커지므로 분산력이 증가하여 녹는점과 끓는점이 증가한다. 따라서 정답은 ③이다.

HCl, HBr, HI는 모두 극성 분자이다. 그러나 같은 극성 분자라 할지라도 분산력이 존재하며 분산력은 분자량이 커질수록 커진다. 또한 수소 결합은 분산력보다 큰 분자 사이의 힘이므로 HF의 끓는점이 HCl, HBr, HI보다 높은 것이다.

⑥ ① CH₄은 무극성 분자이므로 분산력만 작용하고 NH₃는 수소 결합이 작용하므로 NH₃의 끓는점이 CH₄의 끓는점보다 높다.

② 수소 결합은 전기 음성도가 큰 F, O, N 원자에 수소가 직접 결합한 화합물에서 존재하므로, 액체 상태의 HF에도 수소 결합이 작용한다.

③ H₂O이 HF보다 끓는점이 높은 이유는 H₂O에 존재하는 수소 결합 수가 HF에 존재하는 수소 결합 수보다 많기 때문이다.

④ 수소 결합력의 세기를 결정하는 가장 중요한 요인은 수소에 결합한 원소의 전기 음성도이다. O의 전기 음성도가 N의 전기 음성도보다 크기 때문에 물과 암모니아의 수소 결합력이 암모니아와 암모니아의 수소 결합력보다 크다.

⑤ 끓는점은 분자 사이의 힘에 의해서 결정되므로 원자 사이의 결합력인 공유 결합 에너지와는 관련이 없다.

⑦ (가), (나), (다)에 존재하는 각 기체의 몰수를 구해 보면,

$$PV = nRT \text{에서 } n = \frac{PV}{RT} \text{ 이므로,}$$

(가)의 $n = \frac{10}{RT}$, (나)의 $n = \frac{2}{RT}$, (다)의 $n = \frac{12}{RT}$ 이고 전체 몰수는

$$\frac{24}{RT} \text{이다.}$$

그런데 기체의 부피는 6L가 되었으므로

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{\frac{24}{RT} \cdot RT}{6} = 4(\text{atm}) \text{이다.}$$

⑧ 온도, 압력, 부피가 같을 때 기체 분자 수가 같으므로 기체의 질량은 분자량에 비례한다. 기체 C의 압력이 1기압일 때, 기체 C의 질량은 1.8g이므로 기체의 분자량은 $B > A > C$ 이다.

⑨ 진한 염산에서는 염화수소 기체가 발생하고, 암모니아수에서는 암모니아 기체가 발생한다. 그런데 그레이엄 법칙에서 기체의 확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\frac{v_{\text{HCl}}}{v_{\text{NH}_3}} = \sqrt{\frac{M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{HCl}}}}$$

그런데 일정한 시간 동안 기체가 이동한 거리가 HCl의 경우는 a

이고, NH₃의 경우는 b이므로 $\frac{a}{b} = \sqrt{\frac{M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{HCl}}}}$ 이다.

양변을 제곱하면 $\frac{a^2}{b^2} = \frac{M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{HCl}}}$ 이므로

$$M_{\text{HCl}} : M_{\text{NH}_3} = b^2 : a^2 \text{이다.}$$

확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 분자량은 기체가 확산되어 일정한 시간 동안 이동된 거리의 제곱에 반비례하는 것이다.

⑩ 정답

(1) HCl, HBr, HI로 갈수록 분자량이 커지므로 분산력이 커져서 끓는점이 높아진다.

(2) NH₃, HF, H₂O은 분자 사이에 수소 결합을 형성하므로 같은 족의 수소 화합물보다 끓는점이 매우 높다.

해설

(1) HCl, HBr, HI는 모두 극성 분자이지만 같은 극성 분자라 할지라도 분산력이 존재하며 분산력은 분자량이 커질수록 커진다.

⑪ 정답

$$A = 1.4\text{몰}, B = 42\text{g}$$

해설

일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 몰수에 비례한다. (가)에서

질소와 헬륨의 부피비는 3 : 7이고, 질소의 몰수는 $\frac{16.8}{28} = 0.6\text{몰}$

이므로 헬륨의 몰수는 1.4몰이다.

(나)에서 질소와 헬륨의 부피비는 3 : 2이고, 헬륨의 몰수는 1.4몰이므로 질소의 몰수는 2.1몰이다. 따라서 (나)에서 더 넣어 준 질소의 몰수는 $2.1 - 0.6 = 1.5(\text{몰})$ 이므로 그 질량은 $28 \times 1.5 = 42(\text{g})$ 이다.

12 정답

(가) - ㄷ, (나) - ㄴ, (다) - ㄱ

해설

- ㄱ. NH_3 의 끓는점이 높은 것은 수소 결합 때문이다.
 ㄴ. CO는 극성, N_2 는 무극성 분자이며, 분자량이 비슷하지만 극성 분자인 CO의 끓는점이 N_2 의 끓는점보다 높다.
 ㄷ. 분산력이 큰 Br_2 의 끓는점이 높다.

13 정답

3aL

해설

실험 1과 실험 2의 비교에서 기체의 부피는 기체의 양(몰)에 비례한다는 것을 알 수 있고, 실험 2와 실험 3의 비교에서 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다는 것을 알 수 있다. 또한 실험 3과 실험 4의 비교에서 기체의 부피는 압력에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 이상을 종합하면 기체의 부피는 기체의 양(몰)과 절대 온도에 비례하고 압력에 반비례한다.

주어진 조건을 실험 4와 비교해 보면 기체의 몰수가 2배, 압력이 2배 그리고 절대 온도가 1.5배가 되었으므로 기체의 부피는 몰수와 비교에서 2배, 압력과의 비교에서 $\frac{1}{2}$ 배 그리고 온도와의 비교에서 1.5배가 된다. 따라서 부피는 3a(L)가 된다.

14 정답

1.8기압

해설

He과 Ne의 부분 압력인 P_{He} 과 P_{Ne} 은 다음과 같다.

$$1.5 \times 2.0 = P_{\text{He}} \times 5.0 \rightarrow P_{\text{He}} = 0.6 \text{ 기압,}$$

$$2.0 \times 3.0 = P_{\text{Ne}} \times 5.0 \rightarrow P_{\text{Ne}} = 1.2 \text{ 기압}$$

그러므로 (나)의 전체 압력 $P = 0.6 + 1.2 = 1.8$ 기압이다.

15 정답

- (1) 분자 사이의 인력 : $A < B < C$
 (2) 기체의 온도 : $T_1 > T_2 > T_3$

해설

- (1) 분자 사이의 인력이 큰 기체일수록 이상 기체에서 벗어나는 행동을 한다. 그래프에서 C가 이상 기체에서 가장 벗어난다는 것을 알 수 있고, 기체 A가 이상 기체에 가장 가깝다는 것을 알 수 있다. 따라서 분자 사이의 인력은 $A < B < C$ 이다.
 (2) 온도가 높을수록 이상 기체와 비슷하게 행동한다. (나)에서 T_1 의 경우 가장 이상 기체에 가까운 행동을 하고, T_3 의 경우 가장 이상 기체에서 벗어났다는 것을 알 수 있다. 따라서 (나)에서 기체의 온도는 $T_1 > T_2 > T_3$ 이다.

16 정답

(나) 2n, (다) 4n

해설

아보가드로 법칙에 따르면 같은 온도와 압력에서 같은 부피의 용기 속에 들어 있는 기체 분자 수는 기체의 종류와 관계없이 모두 같다. 따라서 수소 기체와 같은 온도와 압력에서 (나)의 실린더에 들어 있는 질소 분자 수는 n개, (다)의 실린더에 들어 있는 아르곤 분자 수는 4n개이다. 질소 분자(N_2) 1개는 질소 원자 2개가 결합하여 이루어지고 아르곤 분자(Ar) 1개는 아르곤 원자 1개로 이루어진다. 따라서 (나)에 들어 있는 질소 원자 수는 2n개이고 (다)에 들어 있는 아르곤 원자 수는 4n개이다.

17 정답

(1) 4 : 1 (2) 16 : 1 (3) 12 : 1

해설

- (1) 기체의 분자 수는 각 기체의 몰수를 구해 보면 비교할 수 있다.
 $PV = nRT$ 에서 온도가 같으면 기체의 몰수는 PV값에 비례한다. Y_2 와 ZX_2 의 PV값을 각각 구해 보면 2.0, 0.5이다. 따라서 Y_2 분자 수가 ZX_2 분자 수의 4배이다.

- (2) $PV = \frac{w}{M} RT$ 이므로 같은 온도에서 M은 $\frac{w}{PV}$ 에 비례한다는 것을 알 수 있다.

X_2 의 $\frac{w}{PV}$ 값은 $\frac{0.64}{0.5}$ 이고, Y_2 의 $\frac{w}{PV}$ 값은 $\frac{0.16}{2.0}$ 이다.

따라서 X_2 의 분자량은 Y_2 의 분자량의 16배이다.

- (3) ZX_2 의 $\frac{w}{PV}$ 값은 $\frac{0.88}{0.5}$ 이고, Y_2 의 $\frac{w}{PV}$ 값은 $\frac{0.16}{2.0}$ 이므로

$$Z : Y = \frac{0.24}{0.5} : \frac{0.08}{2.0} = \frac{0.96}{2.0} : \frac{0.08}{2.0} = 12 : 1 \text{ 이다.}$$

따라서 Z의 원자량은 Y의 원자량의 12배이다.

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

① ㄱ. A의 끓는점이 B의 끓는점보다 낮은 것으로 보아, 분자 A 사이의 인력이 분자 B 사이의 인력보다 작다.

ㄴ. 분자 B의 경우 분자 A와 분자량이 비슷하고 분자의 극성은 오히려 작은데도 끓는점이 매우 높은 것으로 보아, 수소 결합이 존재한다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. C는 무극성 분자인 것으로 보아, 분자 사이에 분산력만 존재하는 것을 알 수 있다.

② ㄱ. NH_3 의 결합각 α 는 NH_3 가 삼각뿔 형태의 구조이므로 107° 이며, BF_3 의 결합각 β 는 BF_3 가 평면 삼각형 구조이므로 120° 이다. BF_3NH_3 는 중심 원자 주위에 공유 전자쌍이 4개이므로 정사면체 구조이고 결합각 γ 은 109.5° 일 것이다. 따라서 결합각은 $\beta > \gamma > \alpha$ 이다.

ㄴ. 암모니아는 비공유 전자쌍을 가지고 있으므로 비대칭 구조가 되어 극성 분자이고, 삼플루오린화붕소는 비공유 전자쌍이 없으므로 대칭 구조가 되어 무극성 분자이다. 따라서 물에 대한 용해도는 BF_3 가 NH_3 보다 작다.

ㄷ. 수소 결합은 H가 직접 F, O, N과 결합한 분자에서 나타난다. 따라서 암모니아와 삼플루오린화붕소암모늄은 분자 사이에 수소 결합을 형성한다.

③ ㄱ. HA의 끓는점이 특별히 높은 것으로 보아, 수소 결합이 존재한다는 것을 알 수 있다.

ㄴ. D_2 의 끓는점이 가장 높은 것으로 보아, D_2 의 분산력이 가장 크다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 상온에서 액체 상태로 존재하기 위해서는 녹는점은 상온보다 낮고 끓는점은 상온보다 높아야 된다. 따라서 상온에서 액체 상태로 존재하는 할로젠 분자는 C_2 한 개임을 알 수 있다.

④ ㄱ. 그래프에서 HF, HCl, HBr, HI로 갈수록 분자량은 커지나 끓는점의 순서는 $\text{HCl} < \text{HBr} < \text{HI} < \text{HF}$ 이므로 서로 일치하지 않음을 알 수 있다.

ㄴ. 분산력은 대체적으로 분자량이 증가할수록 커진다. CF_4 보다 Cl_4 의 분자량이 더 크므로 분산력은 Cl_4 가 더 크다. 무극성 분자에서 끓는점은 분산력에 의해서만 결정된다.

ㄷ. HF보다 HI의 분자량이 더 크므로 분산력이 크다. 그러나 그래프에서 HF의 끓는점이 HI의 끓는점보다 높다. 이것은 HF가 수소 결합을 형성하기 때문이다.

⑤ ㄱ. GeH_4 와 SiH_4 는 모두 무극성 분자이고 GeH_4 의 끓는점이 SiH_4 보다 높은 것으로 보아, 분산력은 GeH_4 가 SiH_4 보다 크다는 것을 알 수 있다.

ㄴ. F의 전기 음성도가 매우 크기 때문에 HF는 수소 결합을 형성한다.

ㄷ. 물의 끓는점이 높은 것은 물 분자가 분자 사이의 수소 결합을 형성하기 때문이다.

⑥ ㄱ. DE_2 는 공유 전자쌍이 2개이고 비공유 전자쌍이 2개이므로 굽은형 구조이며, 극성 분자이다. CE_3 는 공유 전자쌍 3쌍, 비공유 전자쌍 1쌍으로 삼각뿔 구조이며 극성 분자이다.

ㄴ. D는 산소 원자로 D_2 는 이중 결합을 가지고 있다.

ㄷ. A, B, C, D, E는 각각 B, C, N, O, F이다. A, B, C, D, E의 수소 화합물 중 수소 결합을 하는 물질은 C, D, E 3가지이다.

⑦ 그림 A에서 대기압 = 측정관 속의 기체 압력 + 물기둥의 압력이다. 그런데 기체의 압력은 수소 기체의 압력 + 수증기 압력이므로 수소 기체의 압력을 측정할 수 없다.

그림 B에서는 수면이 일치하므로 대기압과 측정관 속의 기체 압력이 같다. 그런데 측정관 속의 기체 압력 = 수소 기체의 압력 + 수증기 압력이므로 수소 기체의 압력은 '대기압 - 수증기 압력'이 된다. 따라서 수소 기체의 압력은 $760\text{mmHg} - 28\text{mmHg} = 732\text{mmHg}$ 이다.

⑧ ㄱ. 0°C , 1기압에서 기체 22.4L의 질량이 1몰이므로 그래프에서 이 기체 17g은 1몰임을 알 수 있다. 따라서 분자량은 17이다.

ㄴ. 5atm에서 PV값이 갑자기 줄어든 것으로 보아 액화가 일어났음을 알 수 있다.

ㄷ. 압력이 낮을 때는 거의 이상 기체에 가까우므로 $PV = 22.4$ 에서 $V = \frac{22.4}{0.5} = 44.8(\text{L})$ 이다.

ㄹ. 압력이 높아질수록 이상 기체에서 점점 멀어지고 있다.

9 He 분자의 평균 속도가 N₂ 분자의 평균 속도보다 빠르지만, He 분자의 속도 분포를 보면 N₂ 분자보다 느린 분자가 있음을 알 수 있다.

산소 분자 1몰의 속도는 모두 같지 않고 속도가 빠른 분자와 속도가 느린 분자가 모두 존재하며, 분자량이 작을수록 평균 속도가 빠르다.

10 ㄱ. 분출 속도가 $C > B > A$ 인데, 분출 속도는 기체의 분자량의 제곱근에 반비례하므로 분자량의 크기는 $A > B > C$ 이다.

ㄴ. 같은 온도와 압력에서 기체의 밀도는 분자량에 비례하므로 밀도의 크기는 $A > B > C$ 이다.

ㄷ. 분출 속도는 $C > B > A$ 이다.

ㄹ. 온도가 일정하므로 세 기체의 평균 분자 운동 에너지는 같다.

11 ㄱ. 압력이 1기압, 온도가 0°C로 일정할 때 기체의 부피는 물수에 비례하므로 기체 A의 몰수는 기체 B보다 2배 크다.

ㄴ. 기체 A의 끓는점은 기체 B의 끓는점보다 낮으므로 기체 A는 기체 B보다 분자 사이의 인력이 작다.

ㄷ. 이 자료에서 기체의 분자량은 판단할 수 없다.

12 ㄱ. 온도와 압력이 일정할 때 압력과 몰수는 서로 비례하므로, B의 몰수를 구하면 $2 : 1 = B : 0.4 \quad \therefore B = 0.8(\text{mol})$ 이다.

따라서 몰수는 A는 2.0mol, B는 0.8mol, C는 0.4mol이므로 분자량을 비교하면 $A = 4, B = 2, C = 4$ 이다.

ㄴ. 물 분율은 혼합된 전체 기체의 몰수에서 성분 기체의 몰수가 얼마인지를 나타내는 척도로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{기체 B의 몰 분율} = \frac{\text{기체 B의 몰수}}{\text{전체 기체의 몰수}} = \frac{0.8}{2.0 + 0.8 + 0.4} = 0.25$$

ㄷ. 압력과 몰수는 서로 비례하므로 기체 C의 부분 압력은 0.2(atm)이다.

1 물을 전기 분해할 때 수소 기체와 산소 기체가 2 : 1의 부피비로 발생한다. 이때 (-)전극에서 발생하는 기체는 수소 기체이고 (+)전극에서 발생하는 기체는 산소 기체이다. 따라서 (-)전극과 (+)전극에서 발생하는 기체의 부피비는 (-) : (+) = 2 : 1이다. 물은 전기를 잘 통하지 않으므로 전기 분해할 때 물속에 전해질 물질을 약간 넣어 준다. 물을 전기 분해할 때 황산구리를 넣어 주면 (-)극에서 금속 구리가 석출되므로 물의 전기 분해 생성물을 얻을 수 없다. 따라서 수산화나트륨 수용액을 넣어 주어야 한다.

2 ㄱ. A는 원자 사이의 결합인 공유 결합이고, B는 물 분자 사이의 수소 결합으로, 물이 기화될 때는 B 결합이 끊어진다.

ㄴ. 전해질을 넣은 물에 전류를 흘려 주면 물의 전기 분해가 일어나서 A 결합이 끊어진다.

ㄷ. 이온성 물질이 물에 잘 녹는 것은 이온성 물질과 물의 인력이 크기 때문으로 수소 결합인 B 결합과는 관계가 없다.

3 ① 물은 극성 분자이다.

② 물은 비열이 크기 때문에 다른 물질에 비해 온도가 쉽게 올라가지 않는다.

③ 물은 극성 용매이므로 무극성 분자인 H₂, N₂, O₂를 잘 녹이지 못한다.

④ 물은 수소 결합이 존재하기 때문에 분자량이 비슷한 다른 분자보다 분자 사이의 힘이 강하다.

⑤ 물이 액체에서 고체로 상태가 변하면 수소 결합 때문에 빈 공간이 많은 구조로 변하므로, 부피는 커지고, 밀도는 감소한다.

4 상태 변화는 분자 사이의 결합이 존재한다는 증거이며 분자 사이의 결합력의 세기는 기체 < 액체 < 고체이다. 액체에서 기체로 될 때 결합력이 더 작은 분자 사이의 결합력이 더 작은 분자 결합이 끊어지며, 결합 길이가 짧은 분자 내 공유 결합이 결합 길이가 긴 분자 사이의 수소 결합보다 강하다.

ㄱ의 굽은형 구조와 결합각은 산소 원자와 수소 원자의 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍의 수에 의해 결정되는 내용으로 결합력과는 관련이 없다.

2. 액체와 고체

01 액체

개념 확인 문제

pp.068~069

- | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
| 01. ⑤ | 02. ④ | 03. ④ | 04. ④ | 05. ① | 06. ④ |
| 07. ② | 08. ⑤ | 09. ④ | 10. ① | 11. (1) ○ (2) × | |
| (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ○ | | | | | |

- ⑤ ① 얼음이 물로 상태 변화하면 밀도가 변한다.
 ② 얼음이 물로 상태 변화하는 과정에서는 물의 온도가 일정하게 유지된다.
 ③ 물이 상태 변화한다고 해서 분자 구조가 변하는 것은 아니다.
 ④, ⑤ 물리 변화가 일어난다고 해서 분자 수가 변하는 것은 아니다. 분자 수가 변하기 위해서는 화학 반응이 일어나야 한다.

- ⑥ ㄱ. 물이 얼 때 분자 사이의 평균 거리가 멀어지므로 부피가 증가한다.
 ㄴ. 물은 4°C에서 밀도가 가장 크므로 같은 부피의 물의 질량은 4°C에서 가장 크다.
 ㄷ. 얼음이 물보다 수소 결합을 많이 형성하므로 분자 사이의 인력이 더 크다.

- ⑦ ㄱ. 얼음의 구조와 물의 구조를 비교해 보면 얼음의 구조에서는 분자 사이에 일정한 간격을 유지하고 있으나, 물의 구조에서는 빈 공간으로 분자들이 채워지는 것을 알 수 있다. 따라서 얼음이 녹아 물이 되면 분자 사이의 평균 거리가 가까워지므로 물의 밀도가 얼음의 밀도보다 더 크다.
 ㄴ. 물 분자의 경우는 부분적으로 수소 결합이 끊어지고 있으나 얼음의 구조에서는 수소 결합이 끊어지지 않아 얼음이 물보다 분자당 수소 결합 수가 많다는 것을 알 수 있다.
 ㄷ. 분자 내 원자 사이의 결합력은 물과 얼음에서 모두 같다. 상태가 변한다고 해서 원자 사이의 결합력이 변하는 것은 아니다.

- ⑧ ㄱ. 비열이 크다는 것은 쉽게 온도가 변하지 않는다는 것을 의미한다. 생물체는 비열이 큰 물이 주성분이기 때문에 쉽게 온도가 변하지 않는 것이다.
 ㄴ. 물이 얼면 부피가 커지는 것은 생물체가 수분과 체온을 일정하게 유지하는 것과는 관련이 없다.
 ㄷ. 물은 수소 결합을 하고 있으므로 끓는점이 매우 높고 기화열이 크다. 만일 물의 끓는점이 낮다면 생물체 내에 있는 물이 액체 상태로 존재하지 못하고 쉽게 기화되어 생물체 밖으로 모두 빠져 나갈 것이다. 또한 기화열이 크기 때문에 쉽게 증발하지 않고 외부 온도가 높아져도 증발하면서 많은 열을 흡수하기 때문에 체온이 일정하게 유지된다.

- ⑨ ① 물은 비열이 크기 때문에 쉽게 데워지거나 식지 않는다. 반면에 육지는 쉽게 온도가 올라가므로 해안 지방은 내륙 지방보다 일교차가 작다.
 ② 물은 극성 분자로 용해성이 커서 여러 가지 다양한 물질들을 녹일 수 있으므로 영양분을 효과적으로 흡수할 수 있다.
 ③ 물이 얼면 부피가 팽창하므로 겨울철에 수도관이 얼어서 터지는 현상이 발생한다.
 ④ 체온이 올라갈 때 땀을 흘리는 것은 물의 기화열을 이용하는 현상이다. 물은 기화열이 크기 때문에 수증기로 상태 변화하면서 피부로부터 많은 양의 에너지를 빼앗아가므로 효과적으로 체온을 낮출 수 있는 것이다.
 ⑤ 물은 표면 장력이 크기 때문에 바늘을 물 위에 수평으로 놓으면 바늘이 물 위에 뜬다.

- ⑩ 설명하는 현상은 표면 장력을 나타낸 것이므로 표면 장력과 관련된 현상을 찾으면 된다. 물 위에 클립을 띄울 수 있는 것은 물의 표면 장력이 크기 때문이다.
 ②, ④는 물의 밀도와 관련된 현상이고, ③은 물의 비열과 관련된 현상이며, ⑤는 물의 극성과 관련된 현상이다.

- ⑪ (1) -10°C 얼음의 밀도가 10°C 물의 밀도보다 작으므로 부피는 -10°C 의 얼음이 10°C 의 물보다 크다.
 (2) A는 수소와 산소의 공유 결합을 의미한다. 상태 변화가 일어난다고 해서 공유 결합에 변형이 일어나는 것은 아니다.
 (3) B는 물 분자의 수소 결합을 의미하며, 얼음이 녹아 물이 되면 분자 내에 있는 수소 결합이 끊어지게 되므로 수소 결합 수는 감소하게 된다.
 (4) 얼음이 녹아 물이 되면 부피가 감소하게 되므로 분자 사이의 평균 거리는 짧아지게 된다.
 (5) 얼음이 녹아 물이 되며 분자 사이의 수소 결합 수가 감소하게 되므로 분자 사이의 힘은 약해지게 된다.
 (6) 상태 변화가 일어난다고 해서 분자가 변형되는 것은 아니므로 결합각이 변하는 것은 아니다.
 (7) 얼음이 에너지를 흡수하면 물이 되므로 물의 에너지가 얼음의 에너지보다 크다.

개념 확인 문제

pp.082~083

01. ④ 02. ④ 03. ④ 04. ⑤ 05. ⑤
 06. (가) 전자, (나) 염화 이온(Cl^-), (다) 마그네슘 이온(Mg^{2+}) 07. ①
 08. ③ 09. ⑤
 10. (1) (가) 단순 입방 구조, (나) 체심 입방 구조, (다) 면심 입방 구조,
 (라) 육방 밀집 구조 (2) (가) $\frac{1}{8}$, (나) $\frac{1}{8}$, (다) $\frac{1}{8}$, (라) $\frac{1}{6}$
 (3) (가) 1, (나) 2, (다) 4, (라) 6 (4) (가) $\frac{\pi}{6}$, (나) $\frac{\sqrt{3}\pi}{8}$, (다) $\frac{\sqrt{2}\pi}{6}$

① 결정성 고체는 입자 사이의 결합을 끊는 데 필요한 에너지가 모든 부분에서 같으므로 녹는점이 일정하다. 비결정성 고체는 고체를 이루는 입자들 사이의 인력이 일정하지 않으므로 가열되면 결합이 약한 부분부터 먼저 끊어져 녹는점이 일정하지 않다. 결정성 고체에는 석영, 다이아몬드, 드라이아이스, 소금 등이 있고, 비결정성 고체에는 옻, 유리, 고무, 플라스틱 등이 있다.

② 녹는점이 매우 낮고 전기 전도성이 없는 고체 물질은 분자성 물질이다. 이온 결정과 원자성 물질은 녹는점이 매우 높고, 금속 결정은 전기 전도성이 있다.

③ ㄱ. A는 녹는점이 매우 높은 것으로 보아, 원자 결합임을 알 수 있다. 원자 결정은 일반적으로 고체와 액체 상태에서 모두 전기 전도성이 없다.

ㄴ. B는 고체 상태에서 전기 전도성이 있는 것으로 보아, 금속 결정이다.

ㄷ. C는 고체 상태에서는 전기 전도성이 없으나 액체 상태에서 전기 전도성이 있는 것으로 보아 이온 결정이다.

④ 금속의 양이온과 비금속의 음이온이 결합하여 형성된 물질은 이온 결정이다. 이온 결정은 고체 상태에서는 전기 전도성이 없으나 액체 상태에서는 전기 전도성을 가진다.

⑤ 금속은 자유 전자와 금속의 양이온 사이에 금속 결합을 형성하며, 자유 전자는 자유롭게 이동할 수 있기 때문에 열전도도와 전기 전도도가 매우 크고, 연성과 전성이 좋다. 이러한 금속의 성질을 설명할 수 있는 모형은 금속 결합 모형이다.

⑥ 금속 결합은 금속 양이온과 자유 전자로 이루어지며 전류를 흘려 주면 자유 전자가 (+)극으로 이동한다. 또한 이온 결합 물질의 수용액이나 용융액에 전류를 흘려 주면 양이온은 (-)극으로, 음이온은 (+)극으로 이동한다. 왼쪽 모형은 금속 나트륨에 전류를 흘려 주었을 때 입자의 이동을 나타낸 것이므로 (+)극 쪽으로 이동하는 입자(가)는 전자이다. 주어진 그림에서 오른쪽 모형은 염화마그네슘 용융액에 전류를 흘려 주었을 때 입자의 이동을 나타낸 것이므로 (+)극 쪽으로 이동하는 큰 입자인 (나)는 염화 이온(Cl^-)이고, (-)극 쪽으로 이동하는 작은 입자인 (다)는 마그네슘 이온(Mg^{2+})이다.

⑦ ㄷ. 이온 결정은 녹는점과 끓는점이 높으며, 실온에서 이온들이 규칙적으로 배열된 결정 상태로 존재한다.

ㄴ. 원자성 결정은 녹는점이 매우 높으므로 실온에서 고체 상태로 존재한다.

⑧ 물질의 상태는 녹는점과 끓는점에 의해서 결정된다. 녹는점과 끓는점이 상온보다 낮으면 물질은 상온에서 기체 상태로 존재하고, 녹는점이 상온보다 낮고, 끓는점이 상온보다 높으면 액체 상태로 존재하며, 녹는점과 끓는점이 상온보다 높으면 고체 상태로 존재한다. 따라서 물질 C는 액체 상태로 존재한다.

⑨ ㄱ. 흑연과 다이아몬드는 모두 탄소 원자로 이루어져 있다.

ㄴ. 흑연과 다이아몬드는 공유 결합으로 연결된 거대 분자이다.

ㄷ. 흑연과 다이아몬드는 모두 원자 결정이다.

⑩ (1) 단위 격자의 이름은 (가)는 단순 입방 구조, (나)는 체심 입방 구조, (다)는 면심 입방 구조, (라)는 육방 밀집 구조이다.

(2) (가), (나), (다), (라) 단위 격자에서 꼭짓점에 있는 입자가 단위 격자에 포함되는 비율은 각각 $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{6}$ 이다.

(3) (가), (나), (다), (라)에서 단위 격자 속의 입자 수를 구하면 다음과 같다.

$$\bullet (가): \frac{1}{8} \times 8 = 1$$

$$\bullet (나): 1(\text{체심}) + \frac{1}{8} \times 8(\text{꼭짓점}) = 2$$

$$\bullet (다): \frac{1}{2} \times 6(\text{면심}) + \frac{1}{8} \times 8(\text{꼭짓점}) = 4$$

$$\bullet (라): 1 \times 3(\text{중심}) + \frac{1}{2} \times 2(\text{면심}) + \frac{1}{6} \times 12(\text{꼭짓점}) = 6$$

(4) (가), (나), (다) 격자에서 입자의 점유 비율을 각각 구하시오.

• (가) : 격자의 부피 = a^3

$$\text{입자의 부피} = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi \left(\frac{a}{2}\right)^3}{3} = \frac{\pi a^3}{6}$$

$$\therefore \text{입자의 점유 비율} = \frac{\pi}{6}$$

• (나) : 격자의 부피 = a^3

$$\text{입자의 부피} = 2 \times \frac{4\pi r^3}{3} = 2 \times \frac{4\pi \left(\frac{\sqrt{3}a}{4}\right)^3}{3} = \frac{\sqrt{3}\pi a^3}{8}$$

$$\therefore \text{입자의 점유 비율} = \frac{\sqrt{3}\pi}{8}$$

• (다) : 격자의 부피 = a^3

$$\text{입자의 부피} = 4 \times \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4 \times 4\pi \left(\frac{\sqrt{2}a}{4}\right)^3}{3} = \frac{\sqrt{2}\pi a^3}{6}$$

$$\therefore \text{입자의 점유 비율} = \frac{\sqrt{2}\pi}{6}$$

실력 확인 문제

pp.084~087

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

단답형 · 서술형 문제

13. 해설 참조 14. 해설 참조 15. 해설 참조
16. BC 구간 17. ㄴ, ㄷ, ㅅ
18. 다이아몬드(C), 석영(SiO_2), 규소(Si)

① 점선에서 나타내고 있는 힘은 물 분자 사이에 작용하는 수소 결합이다. 보기에서 수소 결합과 관련된 현상을 찾으면 된다.

ㄱ. 생명체가 물을 체온 조절에 이용하는 것은 물의 기화열이 매우 큰 것과 관련이 있다. 물은 기화열이 크기 때문에 적은 양의 증발로도 많은 열을 빼앗아 갈 수 있다. 물의 기화열이 큰 것은 수소 결합과 관련이 있는 현상이다.

ㄴ. 소금이 에탄올보다 물에 잘 녹는 이유는 물의 극성이 에탄올보다 크기 때문이다.

ㄷ. 아세트산은 분자 사이에 수소 결합을 형성하여 이합체를 형성하기 때문에 분자량이 2배로 측정된다.

ㄹ. 물을 전기 분해하면 수소 기체와 산소 기체가 2 : 1로 발생한다는 것은 물의 구성 성분이 수소와 산소라는 것을 알려 주는 내용이다. 수소 결합과는 관계없다.

② ㄱ. 물과 나트륨(알칼리 금속)이 반응하면 결합 a가 끊어져서 수소 기체가 발생한다.

ㄴ. 물이 응고될 때에는 결합 b가 형성된다.

ㄷ. 결합 a는 원자 사이의 공유 결합이고, 결합 b는 분자 사이의 인력으로 수소 결합에 해당한다. 수소 결합은 원자 사이의 공유 결합보다 약하다.

③ ㄱ. (가)는 액체 상태인 물이고, (나)는 고체 상태인 얼음이다. 얼음은 물보다 분자 사이의 거리가 멀기 때문에 얼음이 물로 융해되면 부피는 작아지고 밀도는 커진다.

ㄴ. 얼음에서 물로 될 때 수소 결합(결합 A)이 끊어지므로 물 분자 1개당 결합 A의 평균 개수는 물보다 얼음에서 더 많다.

ㄷ. 결합 B는 공유 결합으로 상태가 변한다고 해서 결합 B의 결합력이 변하는 것은 아니다.

④ ㄱ, ㄴ. 표면 장력은 공기와 닿는 물 분자의 수를 적게 하기 위해서 물 분자들끼리 등골게 뭉치는 현상이라고 할 수 있다. 물은 수소 결합에 의해 물 분자 사이에 작용하는 인력이 크기 때문에 표면 장력이 크다.

ㄷ, ㄹ. 수소 결합에 의해 내부의 물 분자 사이에는 강한 인력이 작용하지만 공기와 닿는 표면에 있는 물 분자의 경우에는 공기와의 사이에 인력이 작용하지 않으므로 안쪽으로 끌리는 힘이 작용하게 된다.

⑤ 주어진 자료는 표면 장력에 관한 개념을 설명하고 있다. 표면 장력은 액체 표면에 있는 분자들이 분자 사이의 인력으로 액체 내부로 끌려서 액체 표면의 분자 수를 최소로 하려는 성질 때문에 생긴다. 일정량의 액체가 가장 작은 표면적을 가졌을 때의 형태가 구형이므로 물방울은 구형을 이루는 것이다.

① 빙산이 물 위에 뜨는 것은 얼음의 밀도가 물의 밀도보다 작기 때문이다.

② 소금이 물에 잘 녹는 것은 물이 극성 분자이기 때문이다.

③ 풀잎에 맺힌 이슬 방울이 둥근 것은 표면 장력과 관련된 예이다.

④ 해안 지방에서 밤에 육풍이 부는 것은 비열과 관련이 있다.

⑤ 사람이 체온 조절에 물을 이용하는 것은 물의 비열이 크기 때문이다.

6 ㄱ. 물에 비눗물을 떨어뜨리면 물 분자와 유리관, 물 분자와 물 분자 사이의 인력이 감소하여 물기둥의 높이가 낮아진다.

ㄴ. 유리관 속 수면의 높이는 유리관의 반지름이 작을수록 높아진다.

ㄷ. 에탄올은 물보다 표면 장력이 작으므로, 물 대신 에탄올을 사용하면 수면의 높이가 낮아진다.

7 금속 결합은 이온 결합과 마찬가지로 정전기적 인력에 의한 결합이다. 이온 결정에 힘을 가하면 양이온 - 양이온 사이의 반발력이 발생하여 이온 결정이 부스러지게 되지만 금속 결정에서는 자유롭게 움직이는 자유 전자가 서로 반발하는 양이온을 정전기적 인력으로 결합시켜 주기 때문에 부서지지 않고 변형만 된다.

8 ㄱ. (가)는 이온 결정으로 용융 상태에서 양이온과 음이온이 이동할 수 있으므로 전기 전도성을 가진다. 그러나 고체 상태에서는 전기 전도성을 가지지 않는다.

ㄴ. (나)는 분자 결정으로 분자 사이의 힘이 매우 약하다.

ㄷ. (다)는 원자 결정으로 매우 단단하다. 자유 전자의 특성이 나타나는 것은 금속 결정이다.

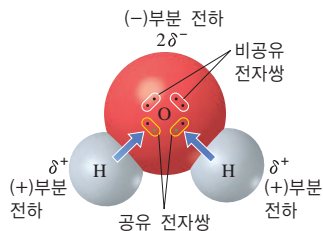
9 이온 결합의 구성 입자는 금속의 양이온과 비금속의 음이온이고, NaCl 결정에서 금속의 양이온은 Na^+ 이고 비금속의 음이온은 Cl^- 이다. 그런데 두 이온의 크기를 비교해 보면, 전자 껍질수가 Cl^- 의 경우가 Na^+ 보다 많으므로 이온의 크기가 Cl^- 이 Na^+ 보다 더 크다. 따라서 입자의 크기가 더 큰 A가 Cl^- 이고, 입자의 크기가 작은 B가 Na^+ 이다.

10 공유 결정에는 다이아몬드, 흑연, 석영 등의 물질들이 있다. 공유 결정은 입자 사이의 정전기적 힘에 의해 결합한 것이 아니므로 정전기적 반발에 의해 입자가 부서지는 것은 아니다. 결정을 이루는 모든 입자가 공유 결합에 의해 생성된 거대 입자인 공유 결정은 매우 단단하고 녹는점과 끓는점이 매우 높다.

11 원자들이 인접한 원자들과 공유 결합을 형성하여 결정을 구성하는 모든 원자들이 공유 결합에 의해서 그물처럼 연결되어 있는 물질은 공유 결정으로 녹는점과 끓는점이 매우 높다.

12 주어진 자료를 보면, 외력을 가해 변형된 후에도 입자들의 상대적 위치에는 변함이 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 결정은 금속 결정이다. 금속 결정은 연성과 전성이 크고, 열전도도와 전기 전도도가 크다. 부스러지기 쉬운 결정은 이온 결정이다.

13 정답



물 분자는 수소 원자와 산소 원자 사이에 1쌍의 전자쌍을 공유하고 있으며, 이때 산소 원자는 수소 원자보다 전기 음성도가 크므로 공유 전자 쌍은 산소 원자 쪽에 치우쳐

있다. 따라서 산소 원자는 부분적으로 (-)전하를 띠고, 수소 원자는 부분적으로 (+)전하를 띠므로 물은 극성 분자이다. 또한 물 분자는 굽은형 구조이므로 극성을 갖는 분자이다.

해설

산소 원자는 원자가 전자가 6개이고, 수소 원자는 1개이다. 따라서 물 분자가 만들어지기 위해서 산소 원자와 수소 원자 사이에는 2개의 전자(1개의 전자쌍)를 공유하면서 결합을 형성한다.

14 정답

(1) 물이 얼면 물 분자들은 수소 결합을 형성하여 분자 사이에 빈 공간이 많은 규칙적인 육각 고리 구조의 결정을 이루므로 부피가 커져서 밀도가 작아진다. 따라서 얼음의 밀도가 물보다 작아 얼음이 물 위에 떠서 강물은 표면부터 얼게 되고, 표면에 생긴 얼음이 냉기를 차단하여 물이 아래쪽까지 어는 것을 막아 준다.

(2) 물은 모래보다 비열이 크므로 온도 변화가 작다. 그러나 사막 지역에는 물이 없고 비열이 작은 모래뿐이므로 한낮에는 쉽게 뜨거워졌다가 밤이 되면 급세 식어버려서 낮과 밤의 기온차가 크다.

해설

어떤 물질 1g의 온도를 1°C 올리는 데 필요한 열량을 비열이라고 한다. 비열이 큰 물질은 온도를 1°C 올리는 데 열이 많이 필요하므로 온도가 천천히 변하고, 비열이 작은 물질은 온도를 1°C 올리는 데 열이 적게 필요하므로 온도가 급격하게 변한다.

15 정답

물은 굽은형 구조로 극성 용매이기 때문에 몸 안 생리 작용에 필요한 많은 이온이 녹을 수 있는 환경을 제공해 줄 뿐만 아니라 여러 가지 영양분들을 이동시켜 주는 역할도 수행한다. 또한 물은 비열이 커서 온도가 잘 변하지 않기 때문에 체온 유지에 유리하다. 그리고 물은 기화열이 커서 물이 약간만 증발해도 체온을 쉽게 조절할 수 있기 때문에 격렬한 운동 후 물이 약간만 증발해도 체온을 낮출 수 있다. 만일 물의 기화열이 작다면 체온을 낮추기 위해 많은 물을 증발시켜야 할 것이다.

16 정답

BC 구간

해설

추운 겨울날 장독대가 깨지는 현상은 얼음의 밀도가 물의 밀도보다 작아지기 때문에 나타나는 현상으로 BC 구간과 관련이 있다. 0°C에서 물이 얼음이 되면, 물 분자의 분자 운동이 약해지므로 물 분자 사이의 간격이 가까워지게 된다. 이 때문에 모든 물 분자들이 수소 결합에 의해 결합하게 되어 육각 고리 모양의 결정을 이루므로 빈 공간이 생겨 얼음의 부피가 증가하고 밀도가 감소한다.

17 정답

ㄴ, ㄷ, ㄴ

해설

벤젠, 사이클로헥세인, 염화수소는 수소 결합을 형성하지 않는 물질이고, 메탄올, 암모니아, 아세트산은 수소 결합을 형성하는 물질이다.

18 정답

다이아몬드(C), 석영(SiO₂), 규소(Si)

해설

원자 결정은 결정을 이루는 모든 원자들이 강한 공유 결합에 의해 그물처럼 연결되어 있으므로 녹는점과 끓는점이 매우 높다.

개념 활용 문제

pp.088~093

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

1. 물은 4°C에서 밀도가 가장 크므로 부피가 가장 작다.
ㄴ. 얼음이 녹아 물이 되면 분자 내에 있는 수소 결합이 끊어지게 되므로 수소 결합 수는 감소하게 된다.
ㄷ. 얼음이 녹아 물이 되면 부피가 감소하게 되므로 분자 사이의 평균 거리는 짧아지게 된다.
2. ① CCl₄의 끓는점이 가장 높으므로 분자 사이의 인력이 가장 크다는 것을 알 수 있다.
② 주어진 물질 중 수소 결합을 형성하는 물질은 NH₃ 한 가지이다.
③ NH₃와 SiH₄를 비교해 보면 분자량이 커질수록 분자 사이의 힘이 커지는 것은 아니라는 것을 알 수 있다.

- ④ 물에 대한 용해도는 분자의 극성 유무로 판단할 수 있다. 자료에서 NH₃와 H₂S는 극성 분자이므로 물에 대한 용해도가 크고, CH₄와 SiH₄, CCl₄는 무극성 분자이므로 물에 대한 용해도가 매우 작다. 그런데 분자 사이의 인력은 CCl₄가 가장 크므로 분자 사이의 인력이 커질수록 용해도가 증가하는 것은 아니라는 것을 알 수 있다.
- ⑤ 모든 물질은 녹는점과 끓는점이 상온보다 낮으면 기체 상태로 존재한다. 위 물질들 중 CCl₄를 제외하면 모두 녹는점과 끓는점이 25°C보다 낮으므로 상온에서 기체 상태로 존재한다. CCl₄는 액체 상태로 존재한다.

3. ① 무질서도는 에너지가 커질수록 커진다.

- ②, ③ AB와 CD 사이에 가한 에너지는 상태 변화에 쓰였다.
- ③ 승화는 고체에서 액체를 거치지 않고 직접 기체로 변하는 것을 말한다. CD 구간에서는 기화가 일어난다.
- ④ t₁은 물의 녹는점이므로 0°C이고, t₂는 물의 끓는점이므로 100°C이다.
- ⑤ 비열은 물질 1g을 1°C 높이는 데 필요한 에너지를 의미하므로 $\frac{C-B}{180(t_2-t_1)}$ (kJ/g·°C)이다.

4. 각 구간에서 얻은 열량이 많을수록 가열 시간이 길어지고, 각 구간에서 얻은 열량은 다음과 같다.
• (가) : $2.05 \times 10 \times 30 = 615$ (J/g) = 0.615 (kJ/g)
• (나) : $0.334 \times 10 = 3.34$ (kJ/g)
• (다) : $4.18 \times 10 \times 100 = 4.18$ (kJ/g)
• (라) : $2.26 \times 10 = 22.6$ (kJ/g)
따라서 가열 시간은 (가) < (나) < (다) < (라) 순이다.

5. ㄱ. 모세관을 액체에 넣었을 때 액체 표면을 메니스커스라고 하며, 액체 입자끼리의 응집력이 클 때에는 메니스커스가 위로 볼록해지고 유리관과의 부착력이 더 클 때에는 아래로 볼록해진다. 수은의 경우에는 액체 입자끼리의 응집력이 매우 크기 때문에 위로 볼록해진다.
ㄴ. 수은은 액체 입자끼리의 응집력이 매우 크기 때문에 유리관의 액면이 수조의 액면보다 낮아지게 된다.
ㄷ. 낮아지거나 높아지는 높이는 유리관의 두께가 얇을수록 커진다. 따라서 액면의 높이 차는 A < B < C이다.
6. ㄱ. (가)는 금속의 연성과 전성을, (나)는 금속의 전기 전도성을 나타내는 모형이다. 구리로 전선을 만드는 데는 구리의 연성이 크고, 전기 전도성이 큰 성질을 이용한 것이다.

ㄴ. 알루미늄으로 포일을 만드는 것은 알루미늄의 전성이 큰 성질을 이용한 것이다.

ㄷ. 귀금속이나 장식용으로 이용하기 위해서는 단면의 빛깔이 아름답고, 쉽게 부식되지 않아야 한다.

7 주어진 자료로부터 물질 A는 금속 결합 물질이고, 물질 B는 이온 결합 물질임을 알 수 있다.

ㄱ. 금속 결정은 금속 양이온과 자유 전자 사이의 정전기적 인력으로 이루어진 결정으로, 외력이 가해져도 금속 이온과 자유 전자 사이에 변화가 없으므로 복원력이 크고 연성과 전성이 크다. 따라서 물질 A의 연성과 전성이 물질 B보다 크다.

ㄴ. 금속 결정은 자유 전자에 의해 전기 전도성을 가지나 이온 결정은 이온이 고정되어 있으므로 전기 전도성을 가지지 않는다. 따라서 물질 A의 전기 전도성이 물질 B보다 크다.

ㄷ. 소금은 금속의 양이온과 비금속의 음이온이 결합한 물질로 물질 B의 예이고, 구리는 금속 결합 물질로 물질 A의 예이다.

8 ㄱ. A는 서로 다른 원소로 구성되어 있고 액체의 전기 전도성이 없으며 물에 잘 녹으므로 극성 분자로 이루어진 물질이다.

ㄴ. B는 녹는점이 매우 높고 액체의 전기 전도성이 없는 원자 결정으로, 공유 결합으로 연결된 거대 분자이다.

ㄷ. C는 액체에서 전기 전도성이 있고 서로 다른 원소로 이루어진 이온 결정으로 자유 전자가 없다.

ㄹ. D는 한 종류의 원소로 이루어져 있으며 액체에서 전기 전도성이 있는 금속이다. 금속은 자유 전자가 있어서 고체 상태에서도 전기 전도성이 있다.

9 ㄱ. (가)는 결정성 고체(석영)로 녹는점과 융해열 등이 일정하다.

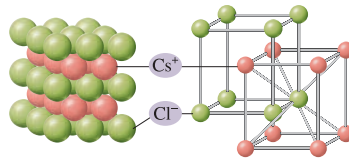
ㄴ. (나)는 비결정성 고체(유리)로 녹는점과 융해열이 일정하지 않다.

ㄷ. 결정성 고체로는 다이아몬드, 석영, 염화나트륨 등이 있고 비결정성 고체로는 유리, 고무 등이 있다.

ㄹ. 결정성 고체는 비결정성 고체보다 단단하다.

10 ㄱ. Cs^+ 을 둘러싸고 있는 Cl^- 이 꼭짓점에 8개가 존재하므로 배위수는 8이다.

ㄴ. 꼭짓점에 있는 Cl^- 의 수는 $8 \times \frac{1}{8} = 1$ 이므로 Cs^+ 과 Cl^- 은 1 : 1의 개수비로 결합하고 있다. 따라서 염화세슘의 화학식은 CsCl 이다.



CsCl(염화세슘)의 구조

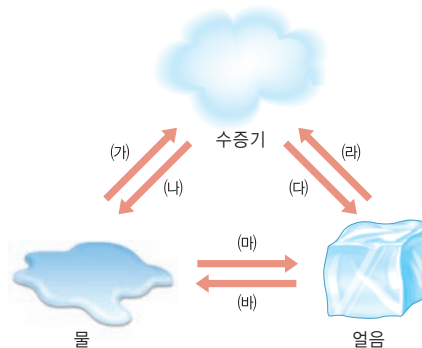
ㄷ. 체심 입방 구조의 단위 격자에서 체심에 있는 입자는 온전히 단위 격자에 포함되나(1체심), 꼭짓점에 존재하는 입자는 $\frac{1}{8}$ 만이 격자에 포함된다. 따라서 단위 격자 속에 존재하는 입자의 총 수는 2개이다. $1(\text{체심}) + \frac{1}{8} \times 8(\text{꼭짓점}) = 2$

11 ㄱ. A, B, C 상태는 고체, 액체, 기체 상태에 해당된다. 입자 사이의 인력의 크기는 고체 > 액체 > 기체이다.

ㄴ. B 상태는 액체 상태이고, C 상태는 기체 상태이다. 액체에서 기체로 될 때는 많은 열을 흡수한다.

ㄷ. 일반적으로 고체 상태일 때의 밀도가 액체 상태일 때의 밀도보다 크다. 하지만 물의 경우는 액체 상태일 때의 밀도가 고체 상태일 때의 밀도보다 크다.

12



ㄱ. 수증기가 응결하여 물이 되거나 수증기가 승화하여 얼음이 되는 경우 밀도가 증가한다. 또한 물의 경우는 다른 물질들과 달리 고체 상태의 얼음이 녹아서 액체 상태의 물이 될 때 밀도가 증가한다. 따라서 밀도가 커지는 과정은 (나), (라), (바)이다.

ㄴ. 에너지를 흡수하는 과정은 고체 → 액체 → 기체이므로 (가), (라), (바)이다.

ㄷ. 무질서도는 입자들의 배열이 가장 규칙적인 고체 상태에서 가장 작고, 입자들의 운동이 완전히 자유로운 기체 상태에서 가장 크다. 따라서 무질서도가 커지는 과정은 (가), (라), (바)이다.

3. 용액

01 용해와 용액의 농도

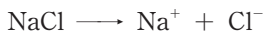
개념 확인 문제

pp.106~107

01. ⑤ 02. \neg - C, \neg - A, \neg - B 03. ③
 04. ① 05. ② 06. \neg , \neg 07. 2.08m 08. ④
 09. (1) ② (2) 6.25m 10. 에탄올의 물 분율 : 0.2, 물의 물 분율 : 0.8 11. ③
 12. (1) 1274g (2) 382.2g (3) 3.9mol (4) 3.9M (5) 4.37m

1 물질의 밀도로 보아 물질 A와 B는 모두 물 위에 뜬다. 그런데 A는 무극성 물질이므로 극성 용매인 물에 녹지 못하여 물에 뜬 채로 있게 되고, B는 극성 물질이므로 물에 용해될 것이다. 고체를 물 층 위에 가만히 떨어뜨린 것은 물보다 밀도가 작은 고체를 물 위에 뜨게 하려는 것이다. 이 경우 물의 밀도인 1.0g/mL보다 작은 A, B가 물 층 위에 뜨게 된다. 그런데 극성이 있는 물질은 극성이 있는 용매에 잘 용해되고, 극성이 없는 물질은 극성이 없는 용매에 잘 용해된다. 고체 A의 경우 무극성 물질이므로 사염화탄소에 녹을 수 있으나, 밀도가 물보다 작으므로 물 층에 떠있게 되어 사염화탄소와의 접촉이 차단되므로 사염화탄소에 용해되지 않는다.

2 \neg . NaCl은 수용액에서 다음과 같이 이온화된다.



생성된 이온과 물 사이에 이온-쌍극자 힘이 작용한다.

\neg . 아이오딘과 사염화탄소는 모두 무극성 물질이다.

\neg . 물과 염화수소는 모두 극성 물질이다.

3 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 의 화학식량은 322이므로 녹여야 할 질량을

x 라 하면, 용액의 질량 = $100 + x$, 용질의 질량 = $\frac{142}{322}x$

$$\therefore \% \text{농도} = \frac{\text{용질의 질량}}{\text{용액의 질량}} \times 100 = \frac{\frac{142}{322}x}{100+x} \times 100 = 10$$

$$\therefore x = 29.3$$

$$4 \text{ 물 농도} = \frac{4.90\text{g}}{98.0\text{g/mol}} \div 0.500\text{L} = 0.10\text{M}$$

5 49% 황산 1000g 중에 490g의 H_2SO_4 가 들어 있다.

$$\text{황산의 부피 (L)} = \frac{1000}{1000 \times 1.4} = \frac{1}{1.4} \text{ (L)}$$

$$\text{황산의 몰수} = \frac{490\text{g}}{98\text{g/mol}} = \frac{490}{98} \text{ mol}$$

$$\therefore \text{몰 농도} = \frac{\text{용질의 몰수 (mol)}}{\text{용액의 부피 (L)}} = \frac{490 \times 1.4}{98} \text{ (M)} = 7 \text{ (M)}$$

$$6 \% \text{ 농도} = \frac{\text{용질의 질량}}{\text{용액의 질량}} \times 100, \text{ 물 농도} = \frac{\text{용질의 몰수}}{\text{용액의 부피}} \text{ 이므로}$$

몰 농도를 구하기 위해서는 용질의 몰수와 용액의 부피가 필요하다.

$$\text{용질의 몰수} = \frac{\text{용질의 질량}}{\text{분자량}} \text{ 이므로 황산의 분자량이 필요하고,}$$

$$\text{용액의 부피} = \frac{\text{용액의 질량}}{\text{밀도}} \text{ 이므로 진한 황산의 밀도가 필요하다.}$$

% 농도는 용액 100g 속에 녹아 있는 용질의 질량이고, 몰 농도는 용액 1L 속에 녹아 있는 용질의 몰수이다.

$$7 \text{ 질량 \%} \rightarrow \text{MgSO}_4 : \text{용매} = 20 : 80$$

$$\frac{20}{120} : 80 = x : 1000, x = \frac{1000 \times 20}{80 \times 120} \approx 2.08 \text{ (m)}$$

$$8 \text{ 분자량} = \frac{45 \times 1000}{100 \times 2.5} = \frac{45000}{250} = 180$$

$$9 \text{ (1) 몰랄 농도} = \frac{\text{용질의 몰수 (mol)}}{\text{용매의 질량 (kg)}}$$

$$(2) \text{용액 } 1000\text{mL의 질량} = 1000\text{mL} \times 1.2\text{g/mL} = 1200\text{g,}$$

$$\text{용질의 질량} = 40 \times 6 = 240 \text{ (g),}$$

$$\text{용매의 질량} = 1200 - 240 = 960 \text{ (g) 이므로}$$

$$960\text{g} : 6\text{mol} = 1000\text{g} : x, x = 6.25 \text{ (m) 이다.}$$

$$10 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH의 몰수} = \frac{23}{46} = 0.5 \text{ (mol),}$$

$$\text{물의 몰수} = \frac{36}{18} = 2 \text{ (mol)}$$

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH의 물 분율} = \frac{0.5}{0.5+2} = 0.2$$

$$\text{물의 물 분율} = 1 - 0.2 = 0.8$$

$$11 \text{ MgCl}_2 \text{의 화학식량} = 24 + 71 = 95,$$

$$\bullet \text{ 몰 농도} : \frac{19\text{g}}{95\text{g/mol}} \times \frac{1}{0.2\text{L}} = 1.00\text{M,}$$

• 용액의 질량 : $1.0\text{g}/\text{cm}^3 \times 200\text{cm}^3 = 200\text{g}$,

$$\text{몰랄 농도} : \frac{19\text{g}}{95\text{g}/\text{mol}} \times \frac{1000\text{g}/\text{kg}}{200\text{g}-19\text{g}} \approx 1.1\text{m}$$

12 (1) 황산 수용액 1L의 질량 = 용액의 부피 (=1000mL) × 용액의 밀도 (=1.274g/mL) = 1274g

(2) 황산 수용액 1L 중의 H_2SO_4 의 질량

$$= \text{용액의 질량} (=1274\text{g}) \times \frac{30}{100} = 382.2(\text{g})$$


(3) 황산 수용액 1L의 중의 H_2SO_4 의 몰수 = $\frac{382.2\text{g}}{98} = 3.9(\text{mol})$

(4) 황산 수용액의 몰 농도 = $\frac{1274 \times 0.3}{98 \times 1} = 3.9(\text{M})$

$$\begin{aligned} \text{(5) 황산 수용액의 몰랄 농도} &= \frac{\text{용질의 몰수}(\text{mol})}{\text{용매의 질량}(\text{kg})} \\ &= \frac{3.9(\text{mol})}{\frac{1274-382.2}{1000}\text{kg}} \approx 4.37\text{m} \end{aligned}$$

02 묽은 용액의 성질

개념 확인 문제

 p.119

01. ⑤ 02. ⑤ 03. ③ 04. A>B>C
05. (1) 10000 (2) 10^{-4}M 06. ②
07. 설탕 수용액 > 포도당 수용액

1 증류수는 순수한 용매이고, 1m 포도당 수용액은 비전해질 수용액이며, 1m 염화나트륨 수용액은 전해질 수용액이다. 비전해질 수용액의 끓는점은 순수한 용매보다 높으며, 같은 농도의 전해질 수용액의 끓는점은 비전해질 수용액의 끓는점보다 높다.

2 용액의 증기 압력 내림은 용액 속에 존재하는 입자의 농도에 의하여 결정된다. 같은 농도일 때 전해질의 경우는 비전해질보다 수용액 속에 존재하는 입자의 농도가 더 크므로 증기 압력이 더 내려가게 된다. 따라서 전해질 용액의 증기 압력이 비전해질보다 더 낮다.

3 삼투 현상은 반투막을 사이에 두고 용액을 분리했을 때 묽은 용액 쪽의 용매가 진한 용액 쪽으로 이동하는 현상을 말한다. 용질은 반투막을 통과하지 못한다.

4 A의 경우는 수조 속에 증류수만 들어 있기 때문에 삼투 현상에 의해서 고구마 쪽으로 증류수가 이동하여 고구마의 질량이 더 커질 것이다.

B와 C의 경우 포도당은 비전해질이고, 염화나트륨은 전해질이므로 같은 2몰이지만 염화나트륨은 4몰의 효과가 나타나 삼투압이 더 커지게 된다. 따라서 염화나트륨이 녹아 있는 수용액에서는 포도당 수용액보다 고구마에서 더 많은 물이 빠져나가게 될 것이다.

5 (1) 반트 호프의 삼투압 법칙 $\pi V = nRT$ 에서 $n = \frac{w}{M}$ 이므로


$$M = \frac{wRT}{\pi V} = \frac{0.5 \times 0.082 \times 300}{2.46 \times 10^{-3} \times 0.5} = 10000 \text{이다.}$$

(2) 용액의 몰 농도 = $\frac{w}{M \cdot V} = \frac{0.5}{10000 \times 0.5} = 10^{-4}(\text{M})$ 이다.

6 삼투압, 끓는점 오름, 어는점 내림, 증기 압력 내림과 같은 묽은 용액의 성질들은 특정한 용질의 성질에 영향을 받는 것이 아니고 용질 입자의 농도에만 영향을 받는데, 이러한 특성들을 용액의 총괄성이라고 부른다. 용해도는 용매 100g에 녹을 수 있는 용질의 양으로, 묽은 용액의 총괄성과는 관련이 없다.

7 반투막을 사이에 두고 두 용액이 접하게 되면 농도가 얇은 쪽에서 진한 쪽으로 용매인 물이 이동하게 된다. 그런데 자료에서 반투막을 통해 포도당 수용액으로부터 설탕물로 물이 이동하는 것으로 보아, 몰 농도는 설탕물이 포도당 수용액보다 진하다는 것을 알 수 있다.

실력 확인 문제

 pp.120~123

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

단답형 · 서술형 문제

13. (1) B>C>A (2) A=B=C 14. (4)>(7) 15. 3.00M
16. 3.60mol 17. (1) 0.174m (2) 128
18. (1) 17.17m (2) 0.24 (3) -31.94°C
19. A : 0.1M $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 수용액, B : 0.2M $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 수용액,
C : 0.1M CaCl_2 수용액
20. ㉠ : 101.04°C, ㉡ : 100.52°C, ㉢ : 101.56°C, ㉣ : 100.52°C,
㉤ : 100.52°C, ㉥ : 101.04°C
21. 농도 : B>A, 어는점 : A>B 22. 2000

① 30°C에서 20°C로 될 때 용액의 부피가 감소했음을 알 수 있다. 그런데 물 농도는 용질의 몰수를 용액의 부피로 나누어서 구한다. 용액이 밀폐되어 있으므로 용질의 변화는 없지만 용액의 부피가 감소했으므로 용액의 물 농도는 증가하게 된다. % 농도의 경우는 용질의 질량을 용액의 질량으로 나누어서 구한다. 용액의 부피가 변한다고 해서 질량이 변하는 것은 아니므로 % 농도는 변함없다.

② 0.1M NaCl 수용액은 용액 1L 속에 NaCl 0.1몰이 녹아 있다. 그런데 몰랄 농도 = $\frac{\text{용질의 몰수(mol)}}{\text{용매 질량(kg)}}$

용매의 질량 = 용액의 질량 - 용질의 질량
= 용액의 부피 × 용액의 밀도 - 용질의 몰수 × 용질의 화학식량

이다. 따라서 용액의 밀도와 용질의 화학식량이 필요하다.

몰 농도는 기준이 부피이고 몰랄 농도는 기준이 질량이다. 따라서 부피를 질량으로 환산하기 위해서 밀도가 필요하다. 그런데 물 농도에서 부피는 용액의 부피이므로 용액의 밀도가 필요하다. 용질인 NaCl의 밀도와 용매인 H₂O의 밀도는 필요하지 않다.

③ 두 용액을 혼합하면 전체 수용액의 부피는 0.4L가 되고, Cl⁻의 몰수는 $1 \times 0.2 + 2 \times 0.2 = 0.6(\text{mol})$ 이므로,

몰 농도 = $\frac{0.6\text{mol}}{0.4\text{L}} = 1.5\text{M}$ 이다.

④ 표준 용액을 만들 때에는 시약의 질량을 정확히 측정하여 종류수에 녹여 원하는 농도로 만든 후 반드시 라벨을 붙여서 관리한다.

⑤ B에서 8g의 NaOH를 녹였으며, NaOH의 화학식량은 40이므로 몰수를 계산하면 $\frac{8}{40} = 0.2(\text{mol})$ 이다. 그런데 용액의 부피

가 1L이므로 몰 농도 = $\frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용액의 부피(L)}} = \frac{0.2\text{mol}}{1\text{L}} = 0.2\text{M}$ 이다.

⑥ A는 끓기 전이므로 증기 압력이 가장 작고, B와 C는 끓고 있는 상태이므로 증기 압력은 대기압과 같다. 따라서 증기 압력은 C=B>A이다.

⑦ ㄱ. 용액의 부피를 알 수 없으므로 몰 농도를 구할 수 없다.

ㄴ. 용질 X는 비전해질이고, 용질 Y는 전해질이므로 두 용액의 끓는점은 서로 다르다.

ㄷ. 용질 X 60g을 물 1000g에 녹인 용액과 용질 Y 111g을 물 1000g에 녹인 용액의 몰랄 농도는 모두 1m이다.

⑧ 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮기 때문에 끓는점이 올라간다. 몰랄 오름 상수(K_b)는 용매 1000g에 용질 1몰을 녹였을 때의 끓는점 오름값이다. 따라서 어떤 용질 0.1몰을 녹였을 때 아세트산은 $3.07^\circ\text{C} \times 0.1$ 올라가고, 벤젠은 $2.61^\circ\text{C} \times 0.1$ 올라가며, 물은 $0.52^\circ\text{C} \times 0.1$ 올라간다.

⑨ 그래프에서 수용액의 끓는점은 100.156°C 임을 알 수 있다. 그래프에서 끓은 이후에도 온도가 점점 높아지는 것은 물이 증발하여 용액의 조성이 점점 변하기 때문이다.(용액의 농도가 점점 증가하기 때문이다.) 물의 끓는점은 100°C 이므로 이 수용액의 끓는점 오름값은 0.156°C 임을 알 수 있다.

끓는점 오름과 몰랄 농도와의 관계식 $\Delta T_b = m \cdot K_b$ 에서

$0.156 = m \times 0.52 \quad \therefore m = 0.3(\text{m})$ 이다.

따라서 이 수용액은 비전해질 0.3mol/kg 의 용액과 등장액임을 알 수 있다. 포도당은 비전해질이고 염화나트륨은 전해질이므로 비전해질(포도당) 0.3mol/kg 의 용액과 등장액인 염화나트륨 용액의 몰랄 농도는 0.15mol/kg 이다.

⑩ 10g을 녹였을 때 2.0°C 가 낮아졌으므로 25g을 녹이면 5.0°C 가 낮아지게 된다.

⑪ $\Delta T = K \times \frac{w}{M_{\text{NaCl}}} \times 2, M_{\text{NaCl}} = \frac{2K \cdot w}{\Delta T}$

⑫ 끓는점 오름 상수값은 용질 1몰을 녹였을 때의 끓는점 오름값이다. 따라서 용액의 끓는점은 이화화탄소는 $46 + 2.3 = 48.3(^\circ\text{C})$, 벤젠은 $80 + 2.5 = 82.5(^\circ\text{C})$, 사염화탄소는 $78 + 5.0 = 83.0(^\circ\text{C})$ 이다.

⑬ 정답

(1) B>C>A (2) A=B=C

해설

(1) 몰랄 농도는 용매 1000g 중에 녹아 있는 용질의 몰수로 나타내므로 B가 가장 크고 그 다음이 C이며, A가 가장 작다.

(2) % 농도는 용액 100g 속에 녹아 있는 용질의 질량이다. 따라서 세 용액의 % 농도는 모두 같다.

14 정답

(나) > (개)

해설

2% NaOH 수용액의 몰랄 농도를 구하면 2% 수용액은 용액 100g 속에 용질이 2g 녹아 있는 수용액이고,

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

$$\text{몰랄 농도} = \frac{2}{40} \div \frac{100-2}{1000} = \frac{100}{196}$$

따라서 몰랄 농도는 $\frac{100}{196} \text{ m} > 0.2 \text{ m}$ 이므로 어는점은 0.2m 수용액이 더 높다.

15 정답

3.00M

해설

25.0%인 황산 수용액은 100g 속에 황산 25.0g과 물 75.0g을 포함하고 있다. 황산 25.0g을 몰수로 환산해 보면

$$\text{황산의 몰수} = \frac{25.0\text{g}}{98\text{g/mol}} \approx 0.255\text{mol} \text{이다.}$$

밀도를 이용하여 수용액 100.0g의 부피를 계산하면 다음과 같다.

$$\text{부피} = \frac{100.0\text{g}}{1.1783\text{g/mL}} \approx 84.87\text{mL} = 0.08487\text{L}$$

$$\therefore \text{몰 농도} = \frac{\text{황산의 몰수}}{\text{용액의 부피}} = \frac{0.255\text{mol}}{0.08487\text{L}} \approx 3.00\text{M}$$

16 정답

3.60mol

해설

용질의 몰수는 용액의 몰 농도에 용액의 부피를 곱함으로써 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{HCl의 몰수} &= (\text{용액의 몰 농도}) \times (\text{용액의 부피}) \\ &= \frac{12.0\text{mol}}{1\text{L}} \times 0.300\text{L} = 3.60(\text{mol}) \end{aligned}$$

12.0M의 염산 300mL 속에는 HCl 3.60mol이 존재한다.

17 정답

(1) 0.174m (2) 128

해설

$$(1) \Delta T_f = m \times K_f \text{이므로 } m = \frac{\Delta T_f}{K_f} = \frac{5.53-4.64}{5.12} \approx 0.174(\text{m})$$

$$(2) M = \frac{1000wK_f}{W\Delta T_f} = \frac{1000 \times 0.8615 \times 5.12}{38.7 \times 0.89} \approx 128$$

18 정답

(1) 17.17m (2) 0.24 (3) -31.94°C

해설

(1) 물 100mL와 에탄올 100mL를 혼합했다고 가정하면
물 100mL = 100g,

$$\text{에탄올 } 100\text{mL} = 100\text{mL} \times 0.79\text{g/mL} = 79\text{g} \text{이다.}$$

$$\text{그런데 에탄올의 분자량이 46이므로 } m = \frac{\frac{79}{46} \text{ mol}}{0.1\text{kg}} \approx 17.17(\text{m})$$

$$(2) \text{물의 몰수} = \frac{100}{18} \approx 5.56(\text{mol}),$$

$$\text{에탄올의 몰수} = \frac{79}{46} \approx 1.72(\text{mol})$$

$$\therefore \text{에탄올의 몰 분율} = \frac{1.72}{5.56+1.72} \approx 0.24$$

$$(3) \Delta T_f = m \times K_f = 17.17 \times 1.86 \approx 31.94(^\circ\text{C})$$

$$\therefore \text{어는점} : -31.94^\circ\text{C}$$

19 정답

A : 0.1M $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 수용액, B : 0.2M $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 수용액,

C : 0.1M CaCl_2 수용액

해설

라울 법칙에 의해서 용액의 증기 압력 내림은 용질의 몰랄 농도에 비례하므로 농도가 커질수록 용액의 증기 압력은 낮아진다. 따라서 같은 온도에서 증기 압력의 크기는 $0.2\text{M } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 < 0.1\text{M } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 이다.

CaCl_2 과 같은 전해질의 경우는 수용액에서 입자가 Ca^{2+} 과 2Cl^- 로 이온화되기 때문에 0.1M CaCl_2 수용액은 비전해질인 포도당 수용액 0.3M과 같은 효과가 나타난다.

20 정답

㉠ : 101.04°C , ㉡ : 100.52°C , ㉢ : 101.56°C , ㉣ : 100.52°C ,

㉤ : 100.52°C , ㉥ : 101.04°C

해설

㉠. NaCl 1몰이 물 1000g에 녹아 있는 수용액의 몰랄 농도는 1m 이고, NaCl은 전해질로 2배의 효과가 나타나므로 끓는점은 101.04°C 이다.

㉡. NaCl 1몰이 물 2000g에 녹아 있는 수용액의 몰랄 농도는 0.5m이고 NaCl은 전해질로 2배의 효과가 나타나므로 끓는점은 100.52°C 이다.

ㄷ. CaCl_2 1몰이 물 1000g에 녹아 있는 수용액의 몰랄 농도는 1m 이고 CaCl_2 은 전해질로 3배의 효과가 나타나므로 끓는점은 101.56°C 이다.

ㄹ. 설탕 1몰이 물 1000g에 녹아 있는 수용액의 몰랄 농도는 1m이므로 끓는점은 100.52°C 이다.

ㅁ. 포도당 1몰이 물 1000g에 녹아 있는 수용액의 몰랄 농도는 1m이므로 끓는점은 100.52°C 이다.

ㅂ. 포도당 2몰이 물 1000g에 녹아 있는 수용액의 몰랄 농도는 2m이므로 끓는점은 101.04°C 이다.

21 정답

농도 : B > A, 어는점 : A > B

해설

주어진 그림 (나)에서 설탕물 B 쪽의 수은주가 더 높은 것으로 보아, 증기 압력은 A > B라는 것을 알 수 있다. 증기 압력은 농도가 진할수록 낮아진다. 따라서 설탕물의 농도는 B > A이다. 용액의 농도가 진할수록 증기 압력은 낮아지며, 어는점은 내려가게 된다. 따라서 어는점은 A > B이다.

22 정답

2000

해설

삼투압은 용액의 몰 농도에 비례하므로 0.1M B 용액보다 유리관 내 액면 높이가 절반인 A 용액의 몰 농도는 0.05M이다. A의 몰

농도가 0.05M이므로, $0.05\text{M} = \frac{10}{\text{분자량}} \times \frac{1}{0.1}$,

분자량 = $10 \times \frac{1}{0.05} \times 10 = 2000$ 이다.

개념 활용 문제

pp.124~129

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

① ㄱ. 몰랄 농도는 용매 1000g 중에 녹아 있는 용질의 몰수로 나타내므로 세 용액의 몰랄 농도는 모두 다르다.

ㄴ. % 농도는 용액 100g 속에 녹아 있는 용질의 질량이다. 따라서 세 용액의 % 농도는 모두 같다.

ㄷ. 몰 농도는 용액 1L 속에 녹아 있는 용질의 몰수를 나타내므로 세 용액의 몰 농도는 모두 다르다.

② 수용액의 질량은 수용액의 밀도와 수용액의 부피를 곱해서 구한다. 따라서 0.1M NaCl 수용액 1L의 질량을 구하기 위해서는 0.1M NaCl 수용액의 밀도를 알아야 한다. NaCl 0.1몰의 질량을 구하기 위해서는 NaCl의 화학식량을 알아야 한다.

용질의 질량 = 용질의 몰수 × 용질의 화학식량

따라서 A는 0.1M NaCl 수용액의 밀도이고, B는 NaCl의 화학식량이다.

③ ㄱ. 0.1M NaOH 1L 속에는 NaOH가 0.1몰 존재하므로 NaOH 4g이 녹아 있다.

ㄴ. NaOH 4g이 들어 있는 10% NaOH 수용액의 질량을 계산하면 다음과 같다.

$100\text{g}(\text{NaOH 수용액}) : 10\text{g}(\text{NaOH}) = x\text{g} : 4\text{g}$

$$\therefore x = \frac{400}{10} \text{g}$$

이것을 부피로 환산하려면 10% NaOH 수용액(A)의 밀도를 알아야 한다.

ㄷ. 용액의 부피를 정확히 재는 기구는 부피 플라스크(메스 플라스크)이다.

④ ㄱ. 0.1M은 용액 1L에 용질이 0.1몰 녹아 있는 용액이다. 그런데 황산의 분자량이 98이므로 필요한 황산의 질량은 9.8g이다.

ㄴ. 필요한 황산의 질량이 9.8g이므로 필요한 96% 황산의 질량은 $\frac{a}{0.96}$ 이다. 그런데 황산 수용액의 밀도가 1.84g/mL이므로, 필요

한 96% 황산의 부피는 $\frac{a}{1.84} \times \frac{1}{0.96} \text{mL}$ 이다.

ㄷ. 액체의 양을 정확히 취할 때 쓰는 실험 기구는 피펫이다.

ㄹ. 진한 황산을 묽힐 때에는 충분한 양의 물에 진한 황산을 조금씩 가해야 된다. 진한 황산에 물을 가하면 황산 용액이 튀어올라 위험하다.

⑤ 용액은 순수한 용매보다 증기 압력이 내려간다. 그런데 용액의 증기 압력 내림은 농도가 클수록 커지고, 용액의 농도가 같을 때는 전해질 용액의 증기 압력이 비전해질 용액의 증기 압력보다 더 내려가게 된다. 따라서 전해질이면서 농도가 가장 큰 용액 (ㄷ)의 경우 증기 압력이 가장 작고, 비전해질인 용액 (ㄱ)의 경우 증기 압력이 가장 크다.

6. ㄱ. (가)에 NaCl을 녹여 주면 (가) 수용액 전체 농도가 증가하므로 증기 압력이 작아져서 h 가 작아진다.

ㄴ. (가)에 동일한 A 수용액을 넣어 주어도 농도는 변하지 않으므로 h 는 변하지 않는다.

ㄷ. (나)에 물을 넣어 주면 농도가 감소하게 되므로 h 가 감소한다.

ㄹ. (나) 용기를 냉각시켜 주면 증기 압력이 더 감소하게 되므로 h 차이가 증가한다.

7. ㄱ. 설탕물 쪽의 수은주가 물 쪽의 수은주보다 높이가 높은 것은 설탕물의 증기 압력은 순수한 물의 증기 압력보다 낮기 때문이다.

ㄴ. 설탕물의 증기 압력이 순수한 물의 증기 압력보다 낮은 것은 설탕물 표면의 설탕 분자가 물의 증발을 방해하기 때문이므로 설탕물의 농도가 묽어지면 증발을 방해하는 설탕 분자가 줄어들기 때문에 수은주의 높이 차 h 는 감소하게 된다.

ㄷ. 물의 양은 증기 압력에 영향을 미치지 않는다.

8. 어느점 내림 현상은 비전해질의 경우에는 용질의 몰수에 비례하며, 전해질의 경우에는 이온의 몰수에 비례한다. 따라서 100원으로 구입할 수 있는 각 물질의 질량에서 몰수를 구해 보면 각각 $\frac{2}{3}$

몰, $\frac{1}{2}$ 몰, $\frac{1}{5}$ 몰, $\frac{1}{6}$ 몰, 1몰이다.

그런데 NaCl, CaCl_2 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 는 전해질이므로, 이것을 고려하여 몰수를 구하면 $\frac{4}{3}$ 몰, $\frac{3}{2}$ 몰, $\frac{1}{5}$ 몰, $\frac{2}{3}$ 몰, 1몰이다. 가장 경제적인 것은 적은 비용으로 최대의 효과를 얻을 수 있는 물질이다. 자료에서 100원으로 구입할 수 있는 질량은 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 가 가장 크지만 효과가 적으므로 가격과 효과를 모두 고려하면 가장 경제적인 것은 CaCl_2 임을 알 수 있다.

9. ㄱ. 그림 (나)에서 두 용액의 액면이 더 이상 변하지 않는 것으로 보아 평형 상태가 이루어졌다는 것을 의미하며 평형 상태에서는 증기 압력이 같아야 한다.

ㄴ. 설탕물은 비전해질이고 소금물은 $(\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$ 전해질이므로 증기 압력이 같기 위해서는 설탕물의 농도가 소금물의 농도보다 2배 커야 한다.

ㄷ. 설탕, 물, 소금이 소멸되거나 다른 물질이 생성되지 않으므로 질량 변화는 없다.

10. ㄱ. 그래프의 온도 변화 유형을 근거로 판단할 때 포도당 수용액은 B 지점에서 끓기 시작한다. 따라서 C 상태의 수용액은 A 상태의 수용액에 비해 용매인 물이 더 많이 증발된 상태이다. 그러므로 C 상태에 있는 수용액이 A 상태에 있는 수용액보다 몰랄 농도가 더 크다.

ㄴ. B 상태에 있는 포도당 수용액이 끓기 시작하였으므로 이 수용액의 증기 압력은 대기압인 1기압과 같다.

ㄷ. 물의 몰랄 오름 상수가 $0.52(^{\circ}\text{C}/\text{m})$ 이므로 이 수용액의 몰랄 농도가 0.5m이라면 100.26°C 에서 끓어야 한다. 그런데 그래프에서 수용액이 100.13°C 에서 끓기 시작하였으므로 이 수용액의 몰랄 농도는 0.25(m)이다.

11. • 실험 (가)에서 끓는점 오름은 몰랄 농도에 비례한다. 끓는점 오름값이 더 크다는 것은 용액의 몰랄 농도가 더 크다는 것을 의미하므로 분자량이 작다는 것을 의미한다. 따라서 분자량은 B가 더 크다.

• 실험 (나)는 삼투압 실험으로 농도가 작은 B 용액에서 농도가 큰 A 용액으로 물이 이동하므로 h_1 이 h_2 보다 더 높아진다.

$$\therefore h_1 > h_2$$

12. ㄱ, ㄴ. B점이 용액이 얼기 시작하는 점으로, 물 100g에 X 0.1몰을 녹였으므로 X 수용액의 농도는 1m인데, 어느점이 $-2t$ 이므로 X는 물에서 이온화되는 전해질이다. 따라서 X의 수용액은 전기 전도성을 가진다.

ㄷ. A점과 B점은 용액이 얼기 전이므로 두 점에서 용액의 몰랄 농도는 같다.

ㄹ. B점에서 C점으로 갈수록 물이 얼음으로 변하므로 용액의 농도가 커지고 온도가 낮아지므로 용액의 증기 압력은 감소한다.



물질 변화와 에너지

1. 화학 반응과 에너지

01 화학 반응과 열

개념 확인 문제

pp.146~147

01. ② 02. ⑤ 03. ⑤ 04. ② 05. ②
 06. $\text{H}_2\text{O}(g) > \text{H}_2\text{O}(l) > \text{H}_2\text{O}(s)$ 07. 222.5 kJ
 08. ④ 09. ② 10. $\text{C}_3\text{H}_8(g) + 5\text{O}_2(g) \longrightarrow 3\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l) + 2220 \text{ kJ}$ 11. ① 12. ②
 13. (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) × (6) ○ (7) ○

- ① ① 양초의 연소 반응은 주위로 열을 방출하는 발열 반응이다.
 ② 식물의 광합성이 일어나기 위해서는 햇빛이 필요하다. 즉, 광합성 반응은 에너지를 흡수하는 흡열 반응이다.
 ③ 산과 염기의 중화 반응에서는 중화열이 방출된다.
 ④ 아이오딘 기체의 승화는 기체에서 고체로 되는 상태 변화로, 발열 반응이다.
 ⑤ 물에 진한 황산을 넣으면 황산이 용해되면서 열이 발생한다.
- ② ① 연료의 연소 반응은 발열 반응이고, 식물의 광합성은 빛에너지를 이용하여 탄수화물을 합성하는 흡열 반응이다.
 ② 연소 반응에서 산소가 소모되고, 광합성 과정에서는 산소가 발생한다.
 ③ 연소 반응이 지속되기 위해서는 높은 온도 조건이 필요하고, 광합성이 일어나기 위해서는 빛에너지가 필요하다.
 ④ 연소 반응은 빠르게 일어나는 격렬한 반응이고, 광합성은 상대적으로 느리게 일어나는 반응이다.
 ⑤ 연소 반응이 일어나면 화학 에너지가 열에너지로 전환되고, 광합성 반응이 일어나면 빛에너지가 화학 에너지로 전환된다.
- ③ ΔH 가 (+) 값인 반응은 흡열 반응을 의미한다. 따라서 흡열 반응을 고르면 된다.
 ① 천연가스는 빛과 열을 내면서 연소한다.
 ② 진한 황산은 용해되면서 열을 방출한다.

- ③ 물이 얼음으로 상태 변화하면서 열을 방출한다.
 ④ 수산화나트륨은 물에 용해되면서 열을 방출한다.
 ⑤ 수산화바륨과 질산암모늄의 반응은 흡열 반응이다.
- ④ ①, ④ 발열 반응은 열을 방출하는 반응으로, 반응이 일어나면 주위의 온도는 올라간다.
 ③, ⑤ 반응 물질의 에너지가 생성 물질의 에너지보다 크므로 생성 물질이 반응 물질보다 안정하다.
- ⑤ ㄱ. 발열 반응이므로 반응이 진행되면 에너지가 방출되어 주위의 온도가 높아진다.
 ㄴ. 질소와 수소로 되는 역반응은 흡열 반응으로, 외부에서 에너지를 가해 주면 일어날 수 있다.
 ㄷ. 발열 반응으로, 에너지가 감소하여 안정한 물질이 생성되는 반응이다. 발열 반응은 연소 반응 등 주위에서 쉽게 예를 찾을 수 있다.
 ㄹ. 그래프에서 반응 물질의 에너지가 생성 물질의 에너지보다 크다는 것을 알 수 있다.
- ⑥ 같은 물질의 경우 에너지가 가장 큰 것은 기체 상태이고, 그 다음은 액체 상태이며, 에너지가 가장 작은 것은 고체 상태이다.
- ⑦ 열화학 반응식에서 계수 비는 몰수 비를 나타내고, 메테인 1몰은 16g이다. 반응식에서 메테인 1몰(16g)이 연소하면 890 kJ의 열이 발생하므로 메테인 4g이 연소할 때 발생하는 열을 x 라 하면 다음과 같다.
 $16\text{g} : 890 \text{ kJ} = 4\text{g} : x \text{ kJ}$ 에서 $x = 222.5 \text{ kJ}$
- ⑧ 열화학 반응식으로부터 반응열의 크기, 반응 물질과 생성 물질의 종류, 반응 물질과 생성 물질의 상태 등을 알 수 있다. 반응 물질과 생성 물질의 엔탈피 차이는 알 수 있으나 반응 물질과 생성 물질의 엔탈피를 알 수는 없다.
- ⑨ ② ΔH 가 (+) 값일 때에는 엔탈피가 증가하는 것으로, 열을 흡수하는 흡열 반응임을 의미한다.
 ③, ④ 반응 엔탈피(ΔH)는 생성 물질의 총 엔탈피에서 반응 물질의 총 엔탈피를 뺀 값으로, 화학 반응이 일어날 때 출입하는 열과 같다.
 ⑤ ΔH 가 (-) 값일 때에는 발열 반응이므로 반응 물질의 에너지가 생성 물질의 에너지보다 크다.
- ⑩ 프로페인의 연소 반응식은 다음과 같다.
 $\text{C}_3\text{H}_8(g) + 5\text{O}_2(g) \longrightarrow 3\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$
 프로페인 0.5몰이 연소되면 1110 kJ의 에너지가 방출되므로 프로페인 1몰이 연소되면 2220 kJ의 에너지가 방출된다. 따라서 열화학 반응식은 다음과 같다.



⑪ 두 번째 식은 첫 번째 식의 역반응이면서 반응식의 계수가 2배가 되었으므로 ΔH_2 값은 ΔH_1 값의 부호를 바꾸고 반응열을 2배로 해주면 된다.

$$\Delta H_2 = -\Delta H_1 \times 2 = -283 \times 2 = -566\text{kJ}$$

⑫ ① $\Delta H > 0$ 이므로 흡열 반응이다.

②, ④ 흡열 반응은 생성 물질($2\text{H}(g)$)의 에너지가 반응 물질($\text{H}_2(g)$)의 에너지보다 크므로 반응 물질이 생성 물질보다 안정하다.

③ 흡열 반응이 일어나면 주위의 열을 흡수하므로 주위의 온도는 내려간다.

⑤ ΔH 와 Q 의 부호는 반대이므로 반응식은 다음과 같다.



⑬ (1) ΔH 가 (+) 값이므로 흡열 반응이다. 따라서 일산화질소가 생성되는 반응이 진행되면 열에너지를 흡수한다.

(2) 질량 보존 법칙에 의해 반응 전 물질의 질량과 반응 후 물질의 질량은 서로 같다.

(3) 흡열 반응으로, 반응 물질보다 생성 물질의 엔탈피가 크므로 질소(N_2)의 엔탈피보다 일산화질소(NO)의 엔탈피가 더 크다.

(4) 질소 1몰과 산소 1몰의 엔탈피 합이 일산화질소 2몰의 엔탈피보다 180.6kJ 작다.

(5) 일산화질소의 분해 반응은 주어진 반응의 역반응이므로 일산화질소 1mol이 질소와 산소로 분해될 때 90.3kJ 의 에너지를 방출한다.

(6) 반응식의 계수가 $\frac{1}{2}$ 배로 되었으므로 반응열도 $\frac{1}{2}$ 배로 된다.

(7) 주어진 반응의 역반응이므로 반응 엔탈피는 주어진 반응 엔탈피에 (-)를 붙인 값이 된다.

02 반응열

개념 확인 문제

pp.156~157

01. ③ 02. ① 03. ④ 04. ② 05. ① 06. ①
 07. (1) $2\text{N}_2\text{H}_4(l) + \text{N}_2\text{O}_4(g) \longrightarrow 3\text{N}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$
 (2) $\Delta H = -1255\text{kJ}$ (3) 62.75kJ 08. (1) 90kJ (2) $\Delta H = -180\text{kJ}$
 09. (1) $\text{C}_3\text{H}_8(g) + 5\text{O}_2(g) \longrightarrow 3\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$, $\Delta H = -2222\text{kJ}$
 (2) 222.2kJ 10. 1361.6kJ/mol 11. (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×

① 표준 상태는 물질의 성질을 측정하는 경우에 기준으로 정하는 환경 조건이다. 반응열을 표시할 때의 표준 상태는 25°C , 1기압이다.

② 생성열은 물질 1몰이 성분 홑원소 물질로부터 생성될 때의 반응열을 의미하므로 주어진 화학 반응식에서 $\Delta H = -110\text{kJ}$ 은 $\text{CO}(g)$ 의 생성열에 해당한다.

② 분해열은 생성열과 부호가 반대이다.

③ 중화열은 산과 염기의 중화 반응에서 물 1몰이 생성될 때의 반응열을 의미한다.

④ 연소열은 물질 1몰이 완전 연소되었을 때의 반응열을 의미한다.

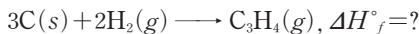
⑤ 용해열은 물질 1몰이 다량의 용매에 용해될 때의 반응열이다.

③ 표준 엔탈피 변화는 생성 물질의 표준 생성 엔탈피 합에서 반응 물질의 표준 생성 엔탈피 합을 뺀 값이다.

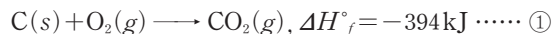
$$\begin{aligned} \Delta H &= \sum \Delta H_f^\circ(\text{생성 물질}) - \sum \Delta H_f^\circ(\text{반응 물질}) \\ &= [6 \times (-242) + (4 \times 90)] - [4 \times (-46)] \\ &= -908\text{kJ} \end{aligned}$$

④ 표준 생성 엔탈피란 25°C , 1기압 하에서 어떤 물질 1몰이 가장 안정한 성분 홑원소 물질로부터 생성될 때 출입하는 에너지이다.

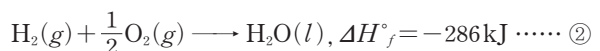
$\text{C}_3\text{H}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피를 구하는 반응식은 다음과 같다.



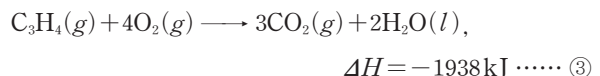
• $\text{CO}_2(g)$ 의 표준 생성 엔탈피에서



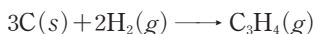
• $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 표준 생성 엔탈피에서



• $\text{C}_3\text{H}_4(g)$ 의 연소열에서



[① 식 $\times 3$ + ② 식 $\times 2$] - ③ 식을 하면 다음과 같다.



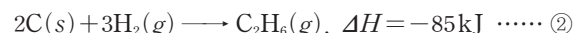
$\text{C}_3\text{H}_4(g)$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH_f°)

$$= 3(-394) + 2(-286) - (-1938) = +184\text{kJ/mol}$$

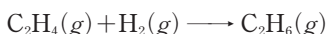
⑤ • 에텐(C_2H_4) 기체의 생성 엔탈피



• 에테인(C_2H_6) 기체의 생성 엔탈피



② 식 - ① 식을 하면 다음과 같다.



$$\Delta H = -52 + (-85) = -137\text{kJ/mol}$$

6 생성열이란 어떤 화합물 1몰이 그 성분 원소의 가장 안정한 홑원소 물질로부터 생성될 때의 반응열이다.

① $\text{CO}(g)$ 의 생성열은 1몰의 CO 기체가 생성되는 반응이고, $\Delta H < 0$ 이므로 발열 반응이다.

② $\text{O}(g)$ 가 안정한 성분 홑원소 물질이 아니다.

③ $\text{C}(g)$ 가 안정한 성분 홑원소 물질이 아니다.

④, ⑤ $\text{CO}_2(g)$ 가 성분 홑원소 물질이 아니다.

7 (1) 반응 물질은 $\text{N}_2\text{H}_4(l)$ 과 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 이고, 생성 물질은 $\text{N}_2(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이므로 반응 전후의 원자 수를 맞추어 주면 다음과 같다.



$$(2) \Delta H = \Delta H^\circ_{f(\text{생성 물질})} - \Delta H^\circ_{f(\text{반응 물질})}$$

$$= 3 \times \Delta H^\circ_{f(\text{N}_2)} + 4 \times \Delta H^\circ_{f(\text{H}_2\text{O})} - [2 \times \Delta H^\circ_{f(\text{N}_2\text{H}_4)} + \Delta H^\circ_{f(\text{N}_2\text{O}_4)}]$$

$$= 3 \times 0 + 4 \times (-286) - (2 \times 51 + 9)$$

$$= -1255 \text{ (kJ)}$$

(3) $\text{N}_2\text{H}_4(l)$ 2몰이 반응할 때 발생하는 열이 1255 kJ이므로 0.1몰이 반응할 때 발생하는 열은 다음과 같다.

$$2 \text{ 몰} : 1255 \text{ kJ} = 0.1 \text{ 몰} : x \text{ 에서 } x = 62.75 \text{ kJ}$$

$$8 (1) Q_{\text{반응}} = C_{\text{열량계}} \times \Delta t = 9 \text{ kJ/}^\circ\text{C} \times (30 - 20)^\circ\text{C} = 90 \text{ kJ}$$

(2) H_2 1몰은 2g이므로 다음의 식이 성립한다.

$$1 \text{ g} : 90 \text{ kJ} = 2 \text{ g} : x \text{ 에서 } x = 180 \text{ kJ}$$

발열 반응이므로 $\Delta H < 0$ 이다.



9 (1) 프로페인 기체의 연소 반응식은 다음과 같다.



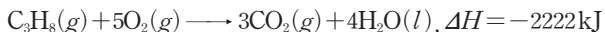
$$\Delta H = \Sigma \Delta H^\circ_{f(\text{생성 물질})} - \Sigma \Delta H^\circ_{f(\text{반응 물질})}$$

$$= [3\Delta H^\circ_{f(\text{CO}_2)} + 4\Delta H^\circ_{f(\text{H}_2\text{O})}] - [\Delta H^\circ_{f(\text{C}_3\text{H}_8)} + 5\Delta H^\circ_{f(\text{O}_2)}]$$

$$= 3(-394) + 4(-286) - (-104 + 5 \times 0)$$

$$= -2222 \text{ (kJ)}$$

따라서 프로페인 연소 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



(2) 프로페인의 연소열은 프로페인 1몰(44g)이 완전 연소되었을 때 발생하는 열량이므로 프로페인 4.4g이 완전 연소될 때 발생하는 열량은 다음과 같다.

$$44 : 2222 = 4.4 : x \text{ 에서 } x = 222.2 \text{ kJ}$$

10 통 열량계에서 화학 반응이 일어날 때 발생하는 열은 모두 통 열량계와 물이 흡수하므로 발생한 열량(Q)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$Q = \text{물이 흡수한 열량} + \text{통 열량계가 흡수한 열량}$

$$= (c_{\text{물}} \times m_{\text{물}} \times \Delta t) + (C_{\text{통}} \times \Delta t)$$

여기서 $c_{\text{물}}$ 은 물의 비열, $m_{\text{물}}$ 은 물의 질량, Δt 는 온도 변화, $C_{\text{통}}$ 은 통 열량계의 열용량이므로 각각의 값을 대입한다.

$$Q = (4.2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 300 \text{ g} \times 10^\circ\text{C}) + (1700 \text{ J/}^\circ\text{C} \times 10^\circ\text{C})$$

$$= 29600 \text{ J} = 29.6 \text{ kJ}$$

에탄올의 분자량이 46이므로 에탄올 1g은 $\frac{1}{46}$ 몰이다.

따라서 물 당 반응열을 구하면 $\frac{29.6 \text{ kJ}}{\frac{1}{46} \text{ mol}} = 1361.6 \text{ kJ/mol}$ 이다.

11 (1) 분해열은 물질 1몰이 성분 원소로 분해될 때의 반응열이다.

(2) $\text{CaO}(s)$ 와 $\text{CO}_2(g)$ 가 홑원소 물질이 아니므로 생성열이 아니다.

(3) 중화열은 산과 염기가 중화하여 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1몰이 생성될 때의 반응열이다.

(4) 용해열은 물질 1몰이 다량의 용매에 용해될 때의 반응열이다.

(5) Q 는 $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ 2몰이 연소할 때 발생하는 열량이므로 연소열은 $\frac{1}{2}Q$ 가 된다.

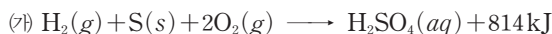
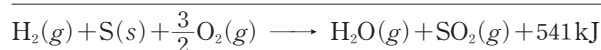
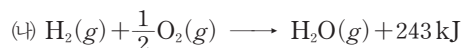
03 헤스 법칙과 에너지 보존

개념 확인 문제

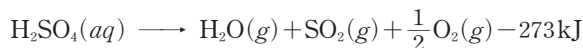
pp.168~169

01. ① 02. ④ 03. 2 04. ② 05. ③ 06. ④
07. ② 08. 590 kJ/mol 09. ①
10. (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

1 우선 [(나) 식 + (다) 식]을 하면 다음과 같다.

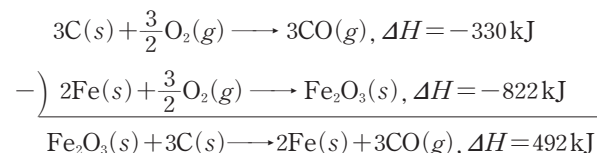


[(나) 식 + (다) 식 - (가) 식]을 하면 다음과 같다.

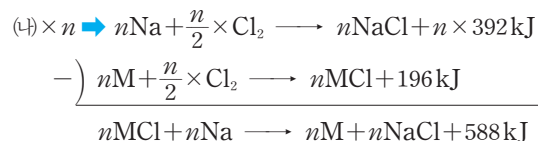


따라서 $Q = -273\text{kJ}$ 이다.

② [(나) 식 $\times 3$ - (가) 식]을 하면 다음과 같다.

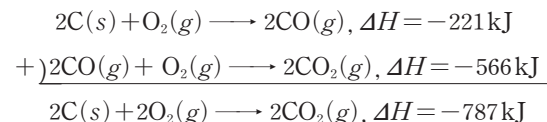


③ 주어진 세 식의 관계는 [$(\text{나}) \times n$ - (가)] = (다) 이다.



따라서 $n \times 392 - 196 = 588$ 이므로 $n = 2$ 이다.

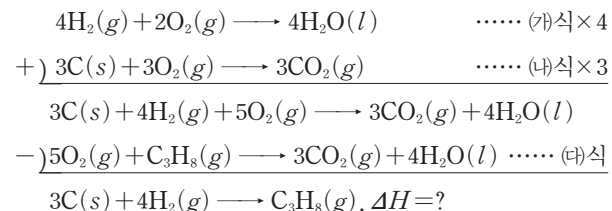
④ (가) 식과 (나) 식을 더하면 다음과 같다.



구하고자 하는 반응식은 이 반응식보다 몰수가 $\frac{1}{2}$ 배이므로 2로 나누어 준다.



⑤ 프로페인의 생성 반응식은 [(가) 식 $\times 4$ + (나) 식 $\times 3$ - (다) 식]으로 구할 수 있다.



$$\begin{aligned} \Delta H &= 4 \times \Delta H_1 + 3 \times \Delta H_2 - \Delta H_3 \\ &= 4 \times (-286) + 3 \times (-394) - (-2220) = -106(\text{kJ}) \end{aligned}$$

⑥ 물 기화열은 물 1몰이 수증기로 상태 변화할 때 필요한 에너지를 의미한다. [(가) 식 - (나) 식]을 하면 $2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(g)$, $\Delta H_1 - \Delta H_2 = -484 - (-571) = 87(\text{kJ})$ 인데, 이 값은 물 2몰이 기화할 때 필요한 에너지이므로 물의 몰 기화열은 $\frac{87}{2} = 43.5(\text{kJ/mol})$ 이다.

기화열은 물 1몰이 수증기로 상태 변화할 때 필요한 에너지이다.

물 1몰의 질량은 18g 이므로 $18 : 43.5 = 1 : x$ 에서

$x = 2.42(\text{kJ/g})$ 이다.



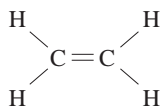
ΔH = (반응 물질의 결합 에너지 합) - (생성 물질의 결합 에너지 합)

$$= (\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + \frac{1}{2}(\text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지})$$

$$- 2(\text{O}-\text{H} \text{ 결합 에너지})$$

$$= (436 + \frac{1}{2} \times 499) - 2 \times 463 = -240.5(\text{kJ})$$

⑧ 에틸렌의 구조식은 다음과 같다.



따라서 에틸렌에 존재하는 결합은 C-H 결합 4개와 C=C 결합 1개이다. 그런데 에틸렌에 존재하는 모든 결합을 끊는 데 필요한 에너지가 2250kJ/mol 이므로 C=C 결합 에너지를 x 라 하면 다음 식이 성립한다.

$$2250 = 415 \times 4 + x \text{에서 } x = 590(\text{kJ/mol})$$

⑨ $\Delta H = \Sigma D_{\text{끊어지는 결합}} - \Sigma D_{\text{생성되는 결합}}$

$$= D_{\text{H}-\text{H}} + D_{\text{Br}-\text{Br}} - 2D_{\text{H}-\text{Br}}$$

$$-111 = 436 + 194 - 2D_{\text{H}-\text{Br}}$$

$$D_{\text{H}-\text{Br}} = \frac{436 + 194 + 111}{2} = 370.5(\text{kJ/mol})$$

⑩ (1) (가) 에서 결합이 끊어지므로 흡열 반응이다.

(2) (나) 에서 C-H 결합이 끊어지고 H-Br 결합이 생성되므로 $416 - 370 = 46\text{kJ/mol}$ 의 열을 흡수한다.

(3) (다) 에서 Br-Br 결합이 끊어지고 C-Br 결합이 생성되므로 $-290 + 194 = -96(\text{kJ})$

→ 96kJ/mol 의 열이 발생한다.

(4) (나) 와 (다) 의 합이므로 발열 반응이다.



[(나) + (다)]를 하면 다음과 같다.



(5) HBr의 결합 에너지가 Br₂의 결합 에너지보다 큰 것으로 보아 HBr의 결합이 더 강하다는 것을 알 수 있다.

(6) 해리 에너지는 분자의 모든 결합을 끊는 데 필요한 에너지를 의미한다.

C-H의 결합 에너지가 416 kJ/mol이므로 CH₄의 해리 에너지는 4 × 416 kJ/mol이다.

실력 확인 문제

pp.170~173

01. ③ 02. ③ 03. ③ 04. ③ 05. ① 06. ①
07. ② 08. ① 09. ③ 10. ② 11. ① 12. ③
13. ②

단답형 · 서술형 문제

14. $\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(s) + 50.0 \text{ kJ}$ 15. -46 kJ
16. (1) -1255 kJ (2) 251 kJ
17. (1) $\text{C}_3\text{H}_8(g) + 5\text{O}_2(g) \longrightarrow 3\text{CO}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$ (2) -2220 kJ
(3) -106 kJ 18. 0.70 J/g·°C 19. -800 kJ
20. 1단계 : 열에너지 흡수(흡열 반응), 2단계 : 열에너지 방출(발열 반응)
21. -808 kJ 22. -55 kJ/mol

① ① 생성 물질 C의 에너지가 반응 물질 (A+B)의 에너지보다 작으므로 발열 반응이다.

② 발열 반응의 ΔH 는 (-) 값이다.

③ 생성 물질의 에너지가 작으므로 생성 물질이 반응 물질보다 안정하다.

④ 반응이 진행되면 Q의 에너지를 방출한다.

⑤ 반응 물질의 에너지가 생성 물질의 에너지보다 크다.

② $\Delta H < 0$ 이면 발열 반응이다. 따라서 생성 물질보다 반응 물질의 에너지가 더 크다. ΔH 는 반응 물질과 생성 물질의 엔탈피 차이이므로 반응 물질의 에너지가 생성 물질의 에너지보다 242 kJ만큼 더 크다.

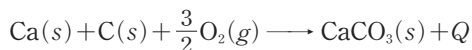
③ 메테인이 연소되는 반응식은 $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 이다. 메테인 1몰이 연소할 때 발생하는 열에너지는 8 g : 445 kJ = 16 g : x에서 x = 890 kJ이므로 열화학 반응식은 $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l) + 890 \text{ kJ}$ 이다.

④ 반응 물질(A+B)과 생성 물질(C)을 화살표로 연결하여 화학 반응식을 쓰면 $\text{A}(g) + \text{B}(g) \longrightarrow \text{C}(g)$ 이다.

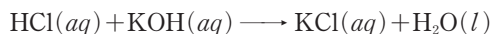
주어진 그래프에서 생성 물질의 에너지가 반응 물질의 에너지보다 작으므로 이 반응은 발열 반응이고, 반응 물질과 생성 물질의 에너지 차이는 10 kJ이므로 화학 반응식에 반응열을 표시하여 나타낸 열화학 반응식은 다음과 같다.



⑤ ② 생성열은 성분 원소의 가장 안정한 홑원소 물질로부터 만들어져야 한다.



③ 중화열은 수용액끼리 반응해야 한다.



④ 가수 분해 반응이다.

⑤ $\text{C}_2\text{H}_2(g)$ $\frac{1}{2}$ 몰이 반응했으므로 연소열이 아니다.



⑥ 물이 얻은 열량 : $4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 100 \text{ g} \times 10^\circ\text{C} = 4184 \text{ J}$

이 열량은 염화칼슘 4g이 용해될 때 발생한 열량과 같다.

염화칼슘 4g이 녹았을 때 4184 J의 열량이 발생하므로 1g의 염화칼슘이 녹았을 때 발생하는 열량은 $\frac{4184 \text{ J}}{4 \text{ g}}$ 이다. 따라서 염화칼슘의 물에 대한 용해열은 $1046 \text{ J/g} = 1.046 \text{ kJ/g}$ 이다.

⑦ 열용량은 물질의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량이다. 따라서 열량계의 열용량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{50 \text{ kJ}}{5^\circ\text{C}} = 10 \text{ kJ/}^\circ\text{C}$$

⑧ $\text{C}(s) + \text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow \text{CO}(g) + \text{H}_2(g) + Q$ 의 반응식은

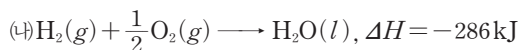
$$(가) - (나) \times \frac{1}{2} - (다) \times \frac{1}{2} \text{를 하면 얻어진다.}$$

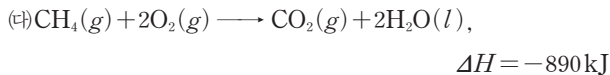
$$\text{반응열 } Q \text{를 계산하면 } Q = 394 - \frac{484}{2} - \frac{566}{2} = -131 \text{ kJ이다.}$$

⑨ 메테인의 생성열은 다음 반응식의 ΔH 를 구하면 된다.



이 반응식은 $[(가) + (나) \times 2 - (다)]$ 로부터 얻을 수 있다.

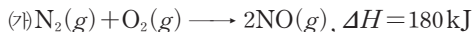




따라서 생성열 ΔH_f 는 다음과 같다.

$$-394 + 2 \times (-286) - (-890) = -76 (\text{kJ/mol})$$

10 헤스 법칙을 이용하여 주어진 반응의 반응 엔탈피를 계산한다.

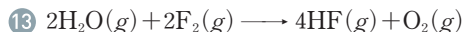


[$(나) - (가)$]를 하면 $2NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ 의 식을 얻을 수 있다. 이 반응식의 $\Delta H = 68 \text{ kJ} - 180 \text{ kJ} = -112 \text{ kJ}$ 이다.

11 반응열 ΔH

$$\begin{aligned} &= \text{반응 물질의 결합 에너지 합} - \text{생성 물질의 결합 에너지 합} \\ &= 3 \times (\text{H-H 결합 에너지}) + (\text{N} \equiv \text{N 결합 에너지}) - 6 \times (\text{N-H 결합 에너지}) \\ &= (3 \times 436 + 947) - (6 \times 392) = -97 (\text{kJ}) \end{aligned}$$

12 그래프에서 수소 기체와 염소 기체의 결합 에너지 합은 678 kJ 임을 알 수 있다. 따라서 염소의 결합 에너지($Cl_2(g) \longrightarrow 2Cl(g)$) = $678 - \text{수소의 결합 에너지} (H_2(g) \longrightarrow 2H(g)) = 678 - 436 = 242 (\text{kJ/mol})$ 이다.



$$\Delta H = \Sigma D_{\text{반응 물질}} - \Sigma D_{\text{생성 물질}}$$

H_2O 에 존재하는 결합은 O-H 2개이므로 H_2O 2몰에 존재하는 O-H 결합은 4몰이다.

F_2 에 존재하는 결합은 F-F이므로 F_2 2몰에는 F-F 결합이 2몰 존재한다.

HF에 존재하는 결합은 H-F이므로 HF 4몰에는 H-F 결합이 4몰 존재한다.

O_2 1몰에는 O=O 결합 1몰이 존재한다.

따라서 반응열은 다음과 같다.

$$\Delta H = (4 \times 463 + 2 \times 159) - (4 \times 570 + 499) = -609 (\text{kJ})$$

14 정답



해설

그래프에서 수증기 1몰이 얼음으로 상태 변화할 때 방출하는 에너지는 $44.0 + 6.0 = 50.0 (\text{kJ})$ 이고, 이 반응은 발열 반응이다. 따라서 열화학 반응식은 다음과 같다.



15 정답

$$-46 \text{ kJ}$$

해설

물질의 생성열은 물질 1몰이 생성될 때의 엔탈피 변화인데, 주어진 반응식에서 ΔH 는 $NH_3(g)$ 2몰이 생성될 때의 엔탈피 변화이다.

$$\text{따라서 } NH_3(g) \text{의 생성열은 } \Delta H_f = \frac{-92 \text{ kJ}}{2} = -46 \text{ kJ} \text{이다.}$$

16 정답

$$(1) -1255 \text{ kJ} \quad (2) 251 \text{ kJ}$$

해설

(1) 반응식은 $2N_2H_4(l) + N_2O_4(g) \longrightarrow 3N_2(g) + 4H_2O(l)$ 이다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= \Delta H_f^{\circ}(\text{생성 물질}) - \Delta H_f^{\circ}(\text{반응 물질}) \\ &= 4 \times (-286) - (2 \times 51 + 9) \\ &= -1255 \text{ kJ} \end{aligned}$$

(2) $N_2H_4(l)$ 0.4몰이 모두 반응하므로 발생하는 열량을 x 라 하면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$2 : 1255 = 0.4 : x \text{에서 } x = 251 (\text{kJ})$$

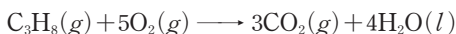
17 정답



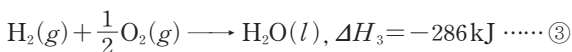
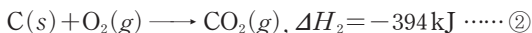
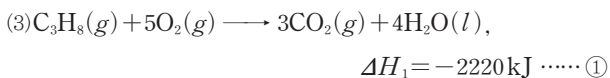
$$(3) -106 \text{ kJ}$$

해설

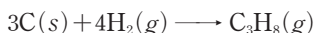
(1) 프로페인이 완전 연소하면 이산화탄소와 물이 생성된다. 프로페인의 연소 반응식은 다음과 같다.



(2) 프로페인 2몰이 연소할 때 4440 kJ 의 열이 발생하므로 프로페인 1몰이 연소할 때는 2220 kJ 의 열이 발생한다. 따라서 프로페인의 연소 엔탈피는 $\Delta H = -2220 \text{ kJ}$ 이다.



② $\times 3 +$ ③ $\times 4 -$ ①을 하면 원하는 식을 얻을 수 있다.



이 반응의 반응 엔탈피는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= 3\Delta H_2 + 4\Delta H_3 - \Delta H_1 \\ &= 3 \times (-394) + 4 \times (-286) - (-2220) = -106 \text{ kJ} \end{aligned}$$

18 정답

0.70 J/g·°C

해설

물질의 비열은 물질 1g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량이다.

189J의 열이 Si 45.0g의 온도를 6.0°C 높였으므로 $\frac{189}{45.0} = 4.2$

(J)의 열이 Si 1g의 온도를 6°C 높였고, $\frac{4.2}{6.0} = 0.70$ (J)이 Si 1g

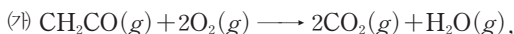
의 온도를 1°C 높이게 된다. 즉, Si의 비열은 다음과 같다.

$$\text{Si의 비열} = \frac{189\text{J}}{(45.0\text{g})(6.0^\circ\text{C})} = 0.70\text{J/g}\cdot^\circ\text{C}$$

19 정답

-800 kJ

해설



$$\Delta H = -980\text{kJ}$$



$$\Delta H = -890\text{kJ}$$



[(나)×2-(가)]를 하면 위 식이 얻어지므로 ΔH 는 다음과 같다.

$$\Delta H = 2 \times (-890) - (-980) = -800(\text{kJ})$$

20 정답

1단계 : 열에너지 흡수(흡열 반응), 2단계 : 열에너지 방출(발열 반응)

해설

1단계의 반응은 결합이 끊어지는 반응으로, 결합 에너지가 필요하므로 흡열 반응이다.

2단계의 반응은 화학 결합이 형성되는 반응으로, 결합 에너지만큼의 에너지를 방출하므로 발열 반응이다.

21 정답

-808 kJ

해설

반응열(Q) = 생성 물질의 결합 에너지 - 반응 물질의 결합 에너지

$$\Delta H = \sum D_{\text{반응 물질}} - \sum D_{\text{생성 물질}}$$

생성 물질의 경우 C=O 결합이 2몰, O-H 결합이 4몰이므로 생성 물질의 결합 에너지 합은 $805 \times 2 + 463 \times 4 = 3462$ (kJ)이다.

반응 물질의 경우 C-H 결합이 4몰, O=O 결합이 2몰이므로 반응 물질의 결합 에너지 합은 $414 \times 4 + 499 \times 2 = 2654$ (kJ)이다.

반응열은 $\Delta H = 2654 - 3462 = -808$ (kJ)이다.

22 정답

-55 kJ/mol

해설

HBr의 생성열은 $\frac{1}{2}\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{Br}_2(g) \longrightarrow \text{HBr}(g)$ 의 반응에서 구할 수 있다.

따라서 $\Delta H = \frac{1}{2} \times (436 + 194) - 370 = -55$ (kJ)이다.

개념 활용 문제

pp.174~179

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

① 열화학 반응식을 보면 $\Delta H = -198\text{kJ}$ 이므로 이산화황과 산소의 반응은 에너지를 방출하는 발열 반응을 알 수 있다. 발열 반응에 해당하는 그래프는 ①, ②, ③이다.

또, 반응열이 198 kJ이고, 반응열은 반응 물질과 생성 물질의 에너지 차이므로 이를 만족시키는 그래프는 ①과 ②이다. 그런데 이 반응이 일어나는 데 필요한 에너지는 반응 물질이 넘어야 할 에너지 장벽이므로 이를 만족하는 그래프는 ①이다.

② 주어진 장치를 이용하여 염화칼슘의 용해열(kJ/g)을 구하고자 할 때 필요한 것은 염화칼슘의 질량, 물의 비열, 물의 질량, 물의 온도 변화이다.

변화한 열량 $Q = \text{물이 얻은 열량}$

$$= \text{물의 비열} \times \text{물의 질량} \times \text{물의 온도 변화}$$

이때 구한 열량을 염화칼슘의 질량으로 나누면 용해열(kJ/g)을 구할 수 있다.

ㄱ, ㄴ. 스타이로폼 컵의 부피와 염화칼슘의 비열은 계산 과정에 필요하지 않다.

③ 그래프에서 에탄올의 기울기를 구해 보면 $\frac{30^\circ\text{C}}{2\text{분}}$ 이고, 물의 기울기를 구해 보면 $\frac{30^\circ\text{C}}{8\text{분}}$ 이므로 에탄올의 기울기가 물의 기울기보다 4배 더 크다는 것을 알 수 있다. 일정한 열원으로 가열하므로 x 축은 열량으로 볼 수 있다. 따라서 이 그래프는 일정한 열량(Q)에 따른 온도 변화(Δt) 그래프이다. 따라서 $Q = mc\Delta t$ 에서 기울기는 $\frac{\Delta t}{Q} = \frac{1}{mc}$ 이므로 에탄올의 기울기가 물의 기울기의 4배인 것으로부터 에탄올 100g의 열용량(mc)은 물 200g의 $\frac{1}{4}$ 배임을 알 수 있다.

4 먼저 물 200g이 흡수한 열량은 다음과 같다.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 200 \times 4.2 \times (t_2 - t_1)$$

에탄올의 연소열(J/mol)은 에탄올(C₂H₅OH) 1몰 = 12×2 + 1×6 + 16 = 46g이 연소할 때 발생하는 열량이므로 연소한 에탄올의 몰수로 나누어야 한다.

연소한 에탄올의 몰수는 $\frac{m_1 - m_2}{46}$ 이다.

따라서 에탄올의 연소열(kJ/mol)을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\frac{200 \times 4.2 \times 46(t_2 - t_1)}{m_1 - m_2}$$

5 ① H₂(g) → 2H(g), ΔH = 686 - 250 = +436 kJ

H₂의 결합 에너지 = 436 kJ/mol

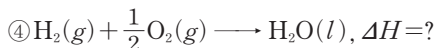
② O₂(g) → 2O(g), ΔH = 250 × 2 = +500 kJ

O₂의 결합 에너지 = 500 kJ/mol

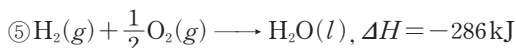
③ 수증기의 생성열(ΔH_f)



$$\Delta H = -242 \text{ kJ/mol}$$

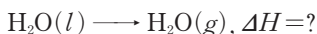


$$\Delta H = -286 \text{ kJ}$$



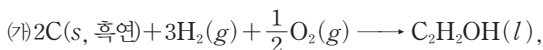
ΔH가 (-)이므로 이 반응은 발열 반응이다.

6 물의 몰 증발열(ΔH)은 다음과 같은 반응식으로 구할 수 있다.

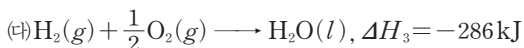
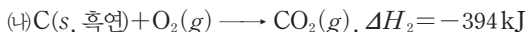


$$\Delta H = (-242) - (-286) = +44 \text{ (kJ)}$$

7 제시된 세 개의 열화학 반응식을 이용하여 에탄올의 연소 반응식을 꾸밀 수 있다.



$$\Delta H_1 = -278 \text{ kJ}$$

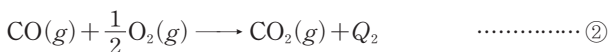
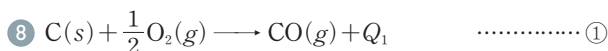


에탄올의 연소 반응식은 (나) × 2 + (다) × 3 - (가)로 구할 수 있다.

따라서 엔탈피의 변화량(ΔH)은 다음 식으로 계산된다.

$$\Delta H = 2\Delta H_2 + 3\Delta H_3 - \Delta H_1$$

④는 제시된 반응의 역반응의 반응 엔탈피를 구하는 식이다.



C(s) + O₂(g) → CO₂(g) + Q라 하면, 헤스 법칙에서 Q = Q₁ + Q₂이다. 그런데 Q는 탄소 1몰(12g)이 완전 연소할 때 방출하는 열량이므로 1g이 연소할 때 방출하는 열량을 계산하면

$$12 : (Q_1 + Q_2) = 1 : x \text{이다. 따라서 } x = \frac{Q_1 + Q_2}{12} \text{이다.}$$

$$9 \neg. \Delta H_{\text{PR}} = \Delta H_{\text{PQ}} + \Delta H_{\text{QS}} + \Delta H_{\text{SR}} \\ = (-134) + 92 - (-75) = +33 \text{ kJ}$$

$$\neg. \Delta H_{\text{RQ}} = \Delta H_{\text{RS}} + \Delta H_{\text{SQ}} \\ = (-75) - (+92) = -167 \text{ kJ} < 0$$

따라서 발열 반응이다.

$$\neg. \Delta H_{\text{SP}} = \Delta H_{\text{SQ}} + \Delta H_{\text{QP}} \\ = -(+92) - (-134) = +42 \text{ kJ}$$

10 ㄱ. 먼저 생성 물질의 결합 에너지 합을 계산하면 412 kJ × 2 = 824 kJ이다.

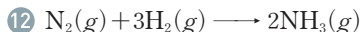
반응 물질의 결합 에너지 합을 계산하면 436 kJ + 243 kJ = 679 kJ이다.

$$Q = \text{생성 물질의 결합 에너지 합} - \text{반응 물질의 결합 에너지 합} \\ = 824 \text{ kJ} - 679 \text{ kJ} = 145 \text{ kJ이다.}$$

ㄴ. 그래프로 보아 H-Cl의 결합을 끊기 위해서는 에너지가 필요하다는 것을 알 수 있다. 따라서 H-Cl의 분해 반응은 주어진 반응의 역반응으로, 흡열 반응이다.

ㄷ. 결합 에너지가 클수록 강한 결합이다. 따라서 가장 강한 결합은 H-H이고, 그 다음이 H-Cl이며, Cl-Cl의 결합이 가장 약하다.

11 전체 엔탈피 변화 ΔH = ΣD_끊 - ΣD_생이다. 즉, 단계 (나)와 단계 (가)의 차이가 반응 엔탈피(ΔH)이다.



암모니아의 생성 엔탈피는 끊어지는 결합과 생성되는 결합에 관여하는 에너지의 차이에 해당한다.

$$\Delta H = (\text{N} \equiv \text{N의 결합 에너지}) + 3 \times (\text{H}-\text{H의 결합 에너지}) - 6 \times (\text{N}-\text{H의 결합 에너지}) = -92 \text{ kJ}$$

따라서 (N≡N의 결합 에너지) = -92 kJ + 6 × (N-H의 결합 에너지) - 3 × (H-H의 결합 에너지)이다.

2. 화학 반응의 자발성

01 에너지 보존과 엔트로피

개념 확인 문제

pp.192~193

01. (가) 열린계, (나) 닫힌계, (다) 고립계 02. ① 03. ⑤ 04. ⑤
 05. (1) (-) (2) (+) (3) (+) (4) (+) (5) (-) (6) (+) 06. ⑤
 07. ⑤ 08. ① 09. (가) ΔH 감소, $\Delta S_{\text{주위}}$ 증가, (나) ΔH 증가, $\Delta S_{\text{주위}}$ 감소 10. ③ 11. (1) \times (2) \times (3) \circ (4) \circ (5) \circ

① (가) 유리병의 입구를 통해 수증기가 출입할 수 있고, 주위와 열 에너지를 교환할 수 있다. 따라서 열린계이다.

(나) 유리병의 입구를 막으면 수증기는 출입할 수 없지만, 주위와 열 에너지는 교환할 수 있다. 따라서 닫힌계이다.

(다) 단열재로 유리병을 감싸면 주위와 수증기, 열에너지를 모두 교환할 수 없다. 따라서 고립계이다.

② 얼음이 녹아서 물이 되는 반응은 고체에서 액체로의 상태 변화이므로 흡열 반응이다. 따라서 ΔH 는 0보다 크다.

또, 분자 배열이 규칙적인 고체 상태에서 흐트러진 액체 상태로 변하기 때문에 ΔS 는 0보다 크다.

③ ① 분자의 엔트로피는 구성하는 원자 수가 증가할수록 커진다.

② 기체 상태의 엔트로피는 고체 상태의 엔트로피에 비해 훨씬 크다.

③ 분자를 구성하는 원자 수가 많고, 분자 수가 많을수록 엔트로피가 크므로 2몰 $\text{O}_3(g)$ 의 엔트로피가 1몰 $\text{O}_2(g)$ 의 엔트로피보다 크다.

④ 규칙적인 배열로 이루어진 이온 결합 물질이 물에 용해되면 규칙적인 배열이 흐트러지므로 엔트로피가 증가한다.

⑤ 같은 물질의 엔트로피는 분자 수가 많을수록 증가한다.

④ 고체 \rightarrow 액체 \rightarrow 기체로의 상태 변화가 일어날 때와 기체 분자 수가 많아지는 반응에서 엔트로피(무질서도)는 증가한다.

① 기체 \rightarrow 액체, ② 액체 \rightarrow 고체, ③ 기체 분자 수 감소, ④ 기체 \rightarrow 액체의 반응이 일어나므로 각각 엔트로피가 감소한다.

⑤ 고체 \rightarrow 기체의 반응이 일어나므로 엔트로피가 증가한다.

⑤ (1) 2개의 기체 분자가 결합하여 1개의 액체 분자를 생성하므로 계의 무질서도는 감소한다. 따라서 $\Delta S < 0$ 이다.

(2) 9개의 기체 분자들이 반응하여 10개의 기체 분자들을 생성하므로 계의 무질서도는 증가한다. 따라서 $\Delta S > 0$ 이다.

(3) 기체는 고체보다 훨씬 더 무질서하다. 따라서 $\Delta S > 0$ 이다.

(4) 생성 물질 쪽에 기체 분자가 있는 반면, 반응 물질 쪽에는 기체 분자가 없다. 따라서 기체 분자 수가 증가하는 반응이므로 $\Delta S > 0$ 이다.

(5) 반응이 진행되면 기체 분자 수가 반으로 감소하기 때문에 $\Delta S < 0$ 이다. 즉, 반응 전보다 반응 후에 자유롭게 움직일 수 있는 분자의 수가 더 적다.

(6) 아이오딘 분자들은 전기적으로 중성이지만 고체 상태의 결정으로 존재한다. 용해 과정은 결정의 배열이 흐트러지는 반응으로, 아이오딘 분자들이 수용액 상태에서 자유롭게 돌아다닐 수 있게 된다. 따라서 $\Delta S > 0$ 이다.

⑥ ① 눈이 녹아 물로 되는 반응은 고체에서 액체로의 상태 변화이므로 엔트로피가 증가한다.

② 종이 뭉치가 흩어지는 과정은 무질서해지는 것이므로 엔트로피가 증가한다.

③ 드라이아이스가 승화하는 과정은 고체에서 기체로 상태 변화하는 과정이므로 엔트로피가 증가한다.

④ 구멍 난 물통으로부터 물이 흘러나오는 과정은 무질서해지는 것이므로 엔트로피가 증가한다.

⑤ 여러 가지 부품으로 컴퓨터를 조립하는 것은 질서 있는 상태로 만드는 과정이므로 엔트로피가 감소한다.

⑦ ① 부피가 증가하므로 기체의 압력은 감소한다.

② 내부 에너지는 온도에 의해서만 영향을 받으므로 내부 에너지는 변함이 없다.

③ 일정한 압력에 대해 팽창하면서 부피가 증가하면 엔트로피는 증가하게 된다.

④ 일정한 온도가 유지되므로 내부 에너지는 변함이 없다. 그런데 외부로 일을 하게 되므로 주위에서 열을 흡수해야 한다.

⑤ 온도가 일정하게 유지되므로 평균 속력은 변함이 없다.

$$\textcircled{8} \Delta S_{\text{주위}} = -\frac{\Delta H}{T} = -\frac{(-6006\text{J})}{273\text{K}} = 22\text{J/K}$$

평형 상태에서 우주 전체의 엔트로피 변화는 0이다.

따라서 $\Delta S_{\text{계}} = -\Delta S_{\text{주위}}$ 이다.

$$\Delta S_{\text{계}} = -22\text{J/K}$$

9 (가) 발열 반응의 경우 계의 ΔH 는 감소하게 된다. 그리고 계로부터 주위로 열이 이동하게 되므로 $\Delta S_{\text{주위}}$ 는 증가하게 된다.

(나) 흡열 반응의 경우 계의 ΔH 는 증가하게 된다. 그리고 주위로부터 계로 열이 이동하게 되므로 $\Delta S_{\text{주위}}$ 는 감소하게 된다.

10 (가)~(라) 모두 기체가 발생하는 반응이므로 엔트로피가 증가하는 반응이다. 따라서 공통점은 엔트로피가 증가하는 반응이다.

11 (1) 정반응이 진행되면 기체가 없어지므로 엔트로피는 감소한다.

(2) 정반응이 발열 반응이므로 정반응이 진행되면 계가 주위로 열에너지를 방출한다.

(3) 주위의 엔트로피 변화는 다음과 같다.

$$\Delta S_{\text{주위}} = -\frac{\Delta H}{T} = -\frac{(-1192\text{J})}{298\text{K}} = +4.0\text{kJ/K}$$

(4) 우주 전체의 엔트로피 변화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\Delta S_{\text{전체}} &= \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} = -217\text{J/K} + 4.0\text{kJ/K} \\ &= -0.22\text{kJ/K} + 4.0\text{kJ/K} = 3.78\text{kJ/K}\end{aligned}$$

(5) 우주 전체의 엔트로피 변화가 (+) 값이므로 정반응은 자발적으로 진행된다.

02 자유 에너지

개념 확인 문제

pp.202~203

01. ① 02. ① 03. ② 04. ③ 05. 기체 분자 수가

감소하는 반응이기 때문이고, $\Delta G < 0$ 이므로 자발적 반응이다.

06. ③ 07. ③ 08. ③ 09. ④

10. (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

1 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 $\Delta S < 0$ 이다. 따라서 반응이 자발적으로 진행되기 위해서는 $\Delta G (= \Delta H - T\Delta S) < 0$ 이

여야 하므로 $\Delta H < 0$ 이고, $\Delta S < 0$ 이므로 $T < \frac{\Delta H}{\Delta S}$ 이다.

2 방향성이 없고 무질서한 액체 상태에서 액정 상태로 변하면 어느 정도의 방향성을 가지고 규칙적인 배열을 이루게 되므로 ΔS 는 감소하게 된다.

그리고 이 반응이 상온에서 자발적으로 진행된다면 $\Delta G < 0$ 이다.

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 ΔG 와 ΔS 가 모두 (-) 값이므로 식이 성립하기 위해서 ΔH 는 (-) 값을 가져야 한다.

3 엔탈피, 내부 에너지, 자유 에너지는 절댓값이 존재하는 것이 아니라, 상대적 비교 값만 가진다. 반면에 엔트로피는 절댓값을 가지고 있다.

4 상온(25°C)에서 이 반응의 ΔG 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta H - T\Delta S \\ &= -64.9\text{kJ} - 298\text{K} \times (-0.13\text{kJ/K}) \\ &= -64.9\text{kJ} + 38.74\text{kJ} \\ &= -26.16\text{kJ}\end{aligned}$$

5 • 이 반응에서 반응 물질의 기체 분자 수는 2이고, 생성 물질의 기체 분자 수는 1이다. 따라서 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 엔트로피가 감소하는 반응임을 알 수 있다.

• 상온에서 ΔG 가 0보다 작은 값을 가지는 것으로 보아 이 반응은 상온에서 자발적으로 진행된다는 것을 알 수 있다.

6 반응의 자발성을 예측하기 위한 자료는 ΔG 이다.

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 이므로 엔탈피 변화로 반응의 자발성을 예측하기 위해서는 엔트로피 변화(ΔS)가 일정하게 유지되어야 한다.

7 반응의 자발성은 ΔG 를 계산하여 판단한다.

$$\Delta H = 26.5\text{kJ}$$

$$\Delta S = 0.08\text{kJ/K}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 26.5\text{kJ} - 298\text{K} \times 0.08\text{kJ/K} = 2.66\text{kJ} > 0$$

ΔG 가 0보다 크기 때문에 이 반응은 비자발적 반응이다.

8 ΔG 가 0보다 작으면 기화 과정이 자발적으로 진행되며, ΔG 가 0보다 크면 역반응인 액화 과정이 자발적으로 진행된다.

끓는점에서는 정반응과 역반응이 평형을 이루며, 이때 $\Delta G = 0$ 이 된다. 따라서 ΔG 가 0이 되는 온도를 구하면 이 온도가 기준 끓는점이 된다.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 0$$

$$T = \frac{\Delta H}{\Delta S} = \frac{29880\text{J}}{90\text{J/K}} = 332\text{K}$$

9 기체 분자 수가 증가하는 반응이므로 $\Delta S > 0$ 이다.

그리고 $\Delta H < 0$ 이므로 $\Delta G (= \Delta H - T\Delta S) < 0$ 이다.

10 (1) 온도가 높을 때 자발적이고, 온도가 낮을 때 비자발적인 반응이기 위해서는 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta S > 0$, $\Delta H > 0$ 이어야 한다. 따라서 ㄱ이 해당한다.

- (2) 온도가 낮을 때 자발적이고, 온도가 높을 때 비자발적인 반응이기 위해서는 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta S < 0$, $\Delta H < 0$ 이어야 한다. 따라서 ㄴ이 해당한다.
- (3) 온도에 관계없이 항상 비자발적인 반응이기 위해서는 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta S < 0$, $\Delta H > 0$ 이어야 한다. 따라서 ㄷ이 해당한다.
- (4) 온도에 관계없이 항상 자발적인 반응이기 위해서는 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 $\Delta S > 0$, $\Delta H < 0$ 이어야 한다. 따라서 ㄹ이 해당한다.
- (5) $\Delta G = 0$ 인 평형 상태가 나타나기 위해서는 ΔS 와 ΔH 의 부호가 같아야 한다. 따라서 ㄱ, ㄴ이 해당한다.

실력 확인 문제

pp.204~207

01. ② 02. ④ 03. ② 04. ③ 05. ② 06. ④
07. ① 08. ④ 09. ① 10. ①

단답형·서술형 문제

11. $\Delta E = 0$, 한 일 : 2.24 kJ
12. 이동한 열 : 2.24 kJ, $\Delta S_{\text{주위}} = -7.5 \text{ J/K}$
13. $\Delta S_{\text{계}} = 19.1 \text{ J/K}$, $\Delta S_{\text{전체}} = 11.6 \text{ J/K}$
14. (1) $\text{CO}_2(s) < \text{CO}_2(g)$ (2) 1기압 $\text{N}_2(g) < 10^{-2}$ 기압 $\text{N}_2(g)$
15. (가) 응해, (나) 기화
16. 기화가 일어날 때의 부피 변화가 응해가 일어날 때보다 크다.
17. 기체 A와 기체 B의 분자들이 고르게 섞인다, $\Delta H = 0$, $\Delta S > 0$
18. 자발적, 비가역적 변화, $\Delta S = 0$
19. $\Delta G = 0$ 으로 평형을 이루는 온도 20. 300 K보다 높은 온도

- ① ① 일정한 외부 압력에 대해 팽창을 하면 외부로 일을 하게 된다. 따라서 W 는 0이 아니다.
- ②, ④ $\Delta E = \frac{3}{2}nR\Delta T$ 이므로 단열 상태($Q=0$)에서 외부로 일을 하면 내부 에너지가 감소하게 되어 온도가 내려간다.
- ③ 팽창을 하면 부피가 증가하므로 엔트로피는 증가하게 된다.
- ⑤ 단열 상태이므로 $Q=0$ 이다.
- ② ①, ④ $\Delta E = Q + W = 0$ 에서 진공에 대해 팽창하고 있으므로 외부로 일을 하지 않아 $W=0$ 이고, 따라서 $Q=0$ 이다. 내부 에너지(E)의 변화 없이 등온 팽창을 한 경우 엔트로피는 증가한다.

② 등온 과정이므로 $\Delta E = \frac{3}{2}nR\Delta T$ 에서 $\Delta E = 0$ 이다.

③ 단위자 이상 기체 1 몰의 내부 에너지는 $E = \frac{3}{2}RT$ 이다.

⑤ 이상 기체 상태 방정식은 모든 이상 기체에 대해서 성립한다.

③ (가) 설탕을 물에 녹이면 규칙적인 배열을 이루던 설탕 결정이 불규칙적인 배열을 가지는 수용액 상태로 되므로 엔트로피는 증가하게 된다.

(나) 기체 상태에서 고체 상태로 변하므로 엔트로피는 감소하게 된다.

④ ㄱ. 기체가 액체로 되는 반응이므로 엔트로피가 감소하는 반응이다.

ㄴ. 기체 분자 수가 감소하므로 엔트로피가 감소하는 반응이다.

ㄷ. 기체 분자 수가 증가하므로 엔트로피가 증가하는 반응이다.

⑤ 가열하면 열에너지를 흡수하게 되므로 엔트로피는 증가하게 된다. 따라서 $\Delta S > 0$ 이다.

고무줄이 늘어난 상태에서 고무에 열을 가하면 분자들의 운동이 활발해지면서 원래 모습인 꼬불꼬불한 사슬 모양으로 불규칙하게 뒤엉켜 있는 상태로 되돌아가게 된다.

⑥ (가) 액체가 기화하는 경우 엔트로피는 증가한다.

(나) 수용액에서 결정으로 되는 경우 엔트로피는 감소한다.

(다) 기체가 없어지는 반응은 엔트로피가 감소한다.

(라) 흡원소 물질 간의 반응으로 화합물이 만들어질 때 엔트로피는 증가한다.

⑦ 1 단계 반응은 오존의 O—O 결합 하나가 끊어져야 하므로 흡열 반응이다. 따라서 $\Delta H > 0$ 이고, 분자 수가 증가하므로 엔트로피도 증가하게 된다. 따라서 $\Delta S > 0$ 이다.

⑧ 온도가 높아지면 사방정계에서 단사정계로의 상전이 반응이 자발적으로 진행된다는 것을 알 수 있다.

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 이므로 $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$ 임을 알 수 있다.

⑨ 자유 에너지 변화와 엔탈피 변화, 엔트로피 변화 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

온도를 x 축으로, 자유 에너지 변화를 y 축으로 그래프를 그리면 y 절편은 ΔH 이고, 기울기는 $-\Delta S$ 이다. 따라서 $\Delta H > 0$ 이고, 기울기는 음수이므로 $-\Delta S < 0$ 에서 $\Delta S > 0$ 이다.

높은 온도일 때 $\Delta G < 0$ 이 되어 자발적으로 일어나는 반응이다.

10 단백질의 붕괴 반응은 결합이 끊어지게 되므로 흡열 반응이고 $\Delta H > 0$ 이다.

그런데 자발적으로 단백질의 붕괴 반응이 일어난다고 했으므로 $\Delta G (= \Delta H - T\Delta S) < 0$ 이다. 따라서 $\Delta S > 0$ 이다.

11 정답

$\Delta E = 0$, 한 일 : 2.24 kJ

해설

내부 에너지는 상태 함수이고, 온도가 일정하므로 내부 에너지 변화는 없다.

$$\Delta E = \frac{3}{2}nR\Delta T = 0$$

$$\begin{aligned} \text{처음 부피 } V_1 &= \frac{nRT}{P_1} \\ &= \frac{1 \text{ mol} \times 0.082 \text{ 기압} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}}{10 \text{ 기압}} \\ &= 2.46 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{나중 부피 } V_2 &= \frac{nRT}{P_2} \\ &= \frac{1 \text{ mol} \times 0.082 \text{ 기압} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}}{1 \text{ 기압}} \\ &= 24.6 \text{ L} \end{aligned}$$

기체가 한 일 $W = -P_{\text{외부}}\Delta V$

$$= -1 \text{ 기압} \times (24.6 \text{ L} - 2.46 \text{ L})$$

$$= -22.14 \text{ 기압} \cdot \text{L} = -22.14 \times 101.3 \text{ J} \approx -2.24 \text{ kJ}$$

따라서 이 기체가 외부로 한 일은 2.24 kJ이다.

12 정답

이동한 열 : 2.24 kJ, $\Delta S_{\text{주위}} = -7.5 \text{ J/K}$

해설

• 에너지 보존 법칙에서 $\Delta E = Q + W = 0$ 이고, $W = -P\Delta V$ 이므로 2.24 kJ의 열이 주위에서 계로 이동한다.

• 주위의 엔트로피 변화는 계의 엔탈피 변화를 이용해서 구할 수 있다. 2.24 kJ의 열이 주위에서 계로 이동했으므로 계의 $\Delta H = 2.24 \text{ kJ}$ 이다.

$$\Delta S_{\text{주위}} = -\frac{\Delta H}{T} = \frac{-2.24 \text{ kJ}}{300 \text{ K}} = -7.5 \text{ J/K}$$

13 정답

$$\Delta S_{\text{계}} = 19.1 \text{ J/K}, \Delta S_{\text{전체}} = 11.6 \text{ J/K}$$

해설

• 등온 과정에서 부피가 증가하면 계의 엔트로피가 증가하고, $\Delta S_{\text{계}}$ 는 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{계}} &= nR \ln \frac{V_2}{V_1} = 1 \text{ mol} \times 8.3 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \times \ln \frac{24.6 \text{ L}}{2.46 \text{ L}} \\ &= 8.3 \text{ J/K} \times \ln 10 = 8.3 \text{ J/K} \times 2.3 = 19.1 \text{ J/K} \end{aligned}$$

• 우주 전체의 엔트로피 변화는 계의 엔트로피 변화와 주위의 엔트로피 변화의 합이므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{전체}} &= \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}} = 19.1 \text{ J/K} - 7.5 \text{ J/K} \\ &= 11.6 \text{ J/K} \end{aligned}$$

14 정답

(1) $\text{CO}_2(s) < \text{CO}_2(g)$ (2) 1 기압 $\text{N}_2(g) < 10^{-2}$ 기압 $\text{N}_2(g)$

해설

(1) 같은 물질의 경우 고체 상태보다 기체 상태의 엔트로피가 훨씬 크다.

(2) 압력이 작을수록 부피가 커지므로 엔트로피가 커진다.

15 정답

(가) 융해, (나) 기화

해설

온도가 높아지면 엔트로피는 증가하게 되며, 상태 변화가 일어날 때 급격하게 증가하게 된다. 따라서 (가)와 (나)에서 융해, 기화의 상태 변화가 일어나는 것을 알 수 있다.

16 정답

기화가 일어날 때의 부피 변화가 융해가 일어날 때보다 크다.

해설

(나) 구간이 (가) 구간보다 긴 이유는 기화가 일어날 때에는 융해가 일어날 때에 비해 부피가 훨씬 크게 증가하기 때문이다.

17 정답

기체 A와 기체 B의 분자들이 고르게 섞인다, $\Delta H = 0$, $\Delta S > 0$

해설

• 기체 A와 기체 B의 분자들이 고르게 섞인다.

• 화학 반응이나 상태 변화는 일어나지 않으므로 $\Delta H = 0$ 이다. 그리고 분자들이 섞이게 되므로 $\Delta S > 0$ 이다.

18 정답

자발적, 비가역적 변화, $\Delta S = 0$

해설

• $\Delta H = 0$, $\Delta S > 0$ 이므로 $\Delta G (= \Delta H - T\Delta S) < 0$ 이 되어 자발적으로 변화가 일어나고, 비가역 변화이다.

• $\Delta H = 0$ 이므로 주위의 엔트로피 변화는 $\Delta S_{\text{주위}} = -\frac{\Delta H}{T} = 0$ 이다.

19 정답

$\Delta G=0$ 으로 평형을 이루는 온도

해설

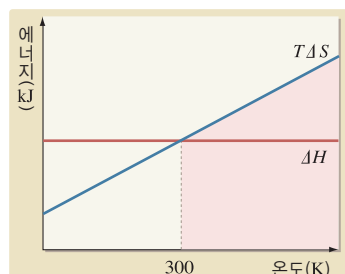
ΔH 와 $T\Delta S$ 가 같은 지점인 300K에서 ΔG 는 0이 된다. 따라서 이 온도에서 평형 상태가 이루어진다는 것을 알 수 있다.

20 정답

300K보다 높은 온도

해설

반응이 자발적으로 일어나는 영역은 $\Delta G(=\Delta H-T\Delta S)$ 값이 0보다 작아야 하므로 $T\Delta S$ 값이 ΔH 보다 큰 값을 가지는 온도 영역이 된다. 따라서 300K보다 높은 온도에서 $A \rightarrow B$ 의 반응이 자발적으로 일어난다.



개념 활용 문제

pp.208~211

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

1. 가. 용액이 되면 두 액체 물질이 서로 섞이게 되므로 액체 상태보다는 용액일 때의 엔트로피가 더 크다.

나. 기체 상태에서 액체 상태로 상태 변화가 일어나면 엔트로피는 감소하게 된다.

다. 온도가 높아지면 엔트로피는 증가하며, 고체에서 기체로 상태 변화가 일어나므로 엔트로피가 증가한다.

2. 가. 부피가 증가했으므로 계의 엔트로피는 증가한다.

나. 0°C, 1기압 상태가 아니므로 기체 1몰의 부피는 22.4L가 아니다.

다. 계는 주위로부터 29.8kJ의 에너지를 흡수한다.

르. 엔탈피 변화가 29.8kJ이고, 외부로 2.9kJ의 일을 했으므로 내

부 에너지 변화는 다음과 같다.

$$\Delta E = 29.8\text{kJ} - 2.9\text{kJ} = 26.9\text{kJ}$$

3. 가. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -10\text{kJ} - 300\text{K} \times 0.1\text{kJ/K} = -40\text{kJ}$ 이다. 따라서 이 반응은 자발적으로 일어난다.

나. 최대를 얻을 수 있는 일의 양은 ΔG 의 절댓값과 같다. 따라서 40kJ이다.

다. 엔트로피는 크기 성질이므로 물질의 양이 2배로 되면 반응 엔트로피 값도 2배가 된다.

$$4. \text{ 가. } \Delta H = 0 + (-400) \times 2 - [(-1000) + 2 \times (-100)] = 400(\text{kJ})$$

$$\text{나. } \Delta S = 100 + 2 \times 400 - (200 + 2 \times 300) = 100(\text{J/K}) = 0.1(\text{kJ/K})$$

$$\text{다. } \Delta G = \Delta H - T\Delta S = 400\text{kJ} - 298\text{K} \times 0.1\text{kJ/K} = 400\text{kJ} - 29.8\text{kJ} = 370.2\text{kJ}$$

따라서 $\Delta G < 0$ 이므로 비자발적 반응이다.

5. 가. 전체 반응은 1단계 반응 + (2단계 반응) × 3에 의해 얻어진 다. 따라서 $\Delta G = 742\text{kJ} - 3 \times 137\text{kJ} = 331\text{kJ}$ 이다.

나. 1단계 반응에서 기체가 발생하므로 엔트로피가 증가하는 반응을 알 수 있다.

다. 25°C에서 1단계 반응은 ΔG 값이 0보다 크므로 비자발적 반응이고, 2단계 반응은 ΔG 값이 0보다 작으므로 자발적 반응이다.

$$6. \text{ 가. 포도당의 연소열}(\Delta H) = (-400 \times 6) + (-290 \times 6) - (-1270 + 0 \times 6) = -2870(\text{kJ})$$

$$\text{나. 표준 자유 에너지 변화}(\Delta G^\circ) = (-390) \times 6 - (240 \times 6) - (-900 + 0 \times 6) = -2880(\text{kJ})$$

$$\text{다. 포도당 1g으로 할 수 있는 최대 일의 양은 } \frac{2880}{180} = 16\text{kJ/g}$$

7. $A(g) + B(g) \rightarrow AB(g)$ 의 반응에서 기체 분자 수가 감소하므로 엔트로피는 감소한다. $\Rightarrow \Delta S < 0$

그리고 반응이 자발적으로 일어난다고 했으므로 $\Delta G < 0$ 이다.

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 에서 ΔS , ΔG 가 각각 0보다 작기 위해서는 $\Delta H < 0$ 이어야 한다.

8. 가. $\Delta H = -154\text{kJ}$ 이므로 발열 반응이다.

나. $\Delta S = -110 + 130 = 20\text{J/K}$ 이다. 따라서 엔트로피는 증가하는 반응이다.

$$\text{다. } \Delta G = \Delta H - T\Delta S = -154\text{kJ} - 350\text{K} \times 20\text{J/K} = -161\text{kJ}$$

따라서 반응이 자발적으로 진행된다.

High Top



정답과 해설



화학 평형

1. 화학 평형과 평형 이동

01 평형 상태

개념 확인 문제

pp.018~019

01. ㄹ, ㅁ 02. ③ 03. ③ 04. (가) ㄴ, (나) ㄷ 05. ②
 06. ③ 07. ① 정반응 속도, ② 역반응 속도, ③ 생성 물질의 농도,
 ④ 반응 물질의 농도 08. ⑤
 09. (1) $\text{CO} : 0.7\text{M}$, $\text{H}_2 : 2.1\text{M}$, $\text{CH}_4 : 0.3\text{M}$, $\text{H}_2\text{O} : 0.3\text{M}$
 (2) $[\text{CO}] : 0.07\text{M}$, $[\text{H}_2] : 0.21\text{M}$, $[\text{CH}_4] : 0.03\text{M}$, $[\text{H}_2\text{O}] : 0.03\text{M}$
 10. ④ 11. (1) \times (2) \times (3) \times (4) \times (5) \circ (6) \times (7) \circ

① 비가역 반응은 역반응이 거의 무시할 정도로 적게 일어나는 반응으로, 기체 발생 반응, 양금 생성 반응, 산과 염기의 중화 반응, 연소 반응 등이 있다. ㄹ은 산과 염기의 중화 반응이고, ㅁ은 기체 발생 반응이므로 비가역 반응이다.

② 평형 상태는 가역 반응에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같아서 농도 변화가 없는 상태이다. 반응식의 계수 비는 평형 상태에서 존재하는 반응 물질과 생성 물질의 계수 비가 아니라, 평형에 도달하기까지 감소하거나 증가하는 농도의 비이다. 따라서 계수 비가 2 : 1인 것은 용기 속의 NO_2 와 N_2O_4 의 농도 비가 2 : 1이 되는 것이 아니라, NO_2 의 농도 감소량은 N_2O_4 의 농도 증가량의 2배임을 의미한다.

③ 화학 평형 상태에서는 반응 물질과 생성 물질이 함께 존재하고, 화학 평형이 이루어지는 반응은 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 가역 반응이다.

ㄱ. 평형 상태는 동적 평형 상태로, 반응이 정지된 것이 아니라 정반응이 일어나는 속도와 역반응이 일어나는 속도가 같아서 겉으로 보기에만 변화가 없다.

ㄴ. 평형 상태에서는 정반응 속도와 역반응 속도가 같다.

④ (가) 평형 상태에 도달할 때까지는 정반응 속도가 역반응 속도보다 빠르므로 반응 물질의 농도는 감소하고, 생성 물질의 농도는 증

가한다. 평형에 도달하면 반응 물질이 줄어드는 만큼 다시 생기고, 생성 물질이 생기는 만큼 다시 줄어들므로 반응 물질과 생성 물질의 농도는 일정하게 유지된다.

(나) 반응이 진행되면 정반응 속도는 점점 느려지고 역반응 속도는 점점 빨라진다. 그리고 결국 정반응 속도와 역반응 속도가 같아지게 되는데, 이를 평형 상태라고 한다.

⑤ ① 화학 평형 상태는 동적 평형 상태를 의미하며, 정지된 상태가 아니다.

②, ④ 평형 상태에서는 정반응이 일어나는 속도와 역반응이 일어나는 속도가 같다.

③ 평형 상태에 도달한 반응 물질과 생성 물질의 농도를 평형 농도라고 하는데, 처음 물질의 농도에 따라 서로 다른 평형 농도가 존재할 수 있다.

⑤ 평형 상태는 반응 물질의 전체 농도와 생성 물질의 전체 농도가 같다는 의미가 아니다.

⑥ ①, ② 화학 반응식에서 반응 물질과 생성 물질의 계수 비는 반응하고 생성되는 물질의 몰수 비나 농도 비를 나타낸다. 즉, 평형 상태에서 존재하는 반응 물질과 생성 물질의 몰수 비나 농도 비와는 관계가 없다.

③ 평형 상태는 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 동적 평형 상태로, 반응 물질의 농도와 생성 물질의 농도가 변하지 않고 일정한 상태이다.

④ 화학 평형 상태가 화학 반응식의 계수를 농도의 지수로 한 반응 물질의 값과 생성 물질의 값이 같은 것을 의미하지는 않는다.

⑤ O_2 분해 반응이나 O_3 생성 반응이 일어나지 않는 것이 아니라 정반응 속도와 역반응 속도가 같아서 겉으로 보기에 변화가 없는 것으로 보이는 것이다.

⑦ (가)는 시간에 따른 정반응 속도와 역반응 속도 변화를 나타낸 것이고, (나)는 시간에 따른 반응 물질의 농도와 생성 물질의 농도 변화를 나타낸 것이다.

① 정반응 속도는 반응 초기에는 빠르지만, 반응이 진행됨에 따라 생성 물질의 농도는 커지고, 반응 물질의 농도는 작아지므로 점점 느려진다.

② 역반응 속도는 반응 초기에는 0이지만, 반응이 진행되면서 생성 물질의 농도가 진해지므로 역반응 속도가 점점 빨라진다.

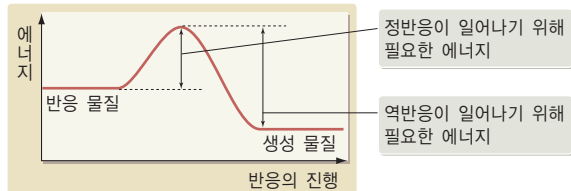
③ 생성 물질의 농도는 반응이 진행됨에 따라 점점 증가하다가 평형 상태에 이르면 일정해진다.

④ 반응 물질의 농도는 반응이 진행됨에 따라 점점 감소하다가 평형 상태에 이르면 일정해진다.

8 ㄱ. 발열 반응이므로 생성 물질이 반응 물질보다 안정하다.

ㄴ. 평형 상태에서는 정반응 속도와 역반응 속도가 같으므로 생성 속도와 분해 속도가 같다.

ㄷ. 발열 반응의 경우 생성 물질이 가진 에너지가 반응 물질이 가진 에너지보다 작으므로 반응을 일으키는 데 필요한 에너지는 역반응이 정반응보다 크다.



9 (1) $\text{CO}(g) + 3\text{H}_2(g) \rightleftharpoons \text{CH}_4(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$

처음	1	3	0	0
반응	$-x$	$-3x$	x	x
평형	$1-x$	$3-3x$	x	x

생성된 수증기가 0.3몰이므로 $x=0.3$ 이다. 따라서 각 물질의 몰수는 다음과 같다.

CO의 몰수 $= 1 - 0.3 = 0.7$ 몰

H_2 의 몰수 $= 3 - 3 \times 0.3 = 2.1$ 몰

CH_4 의 몰수 $= 0.3$

H_2O 의 몰수 $= 0.3$

(2) 몰 농도는 $\frac{\text{몰수}}{\text{부피}}$ 이며, 반응 용기의 부피가 10L이므로 각 물질의 몰 농도는 다음과 같다.

$$[\text{CO}] = \frac{0.7}{10} = 0.07\text{M}$$

$$[\text{H}_2] = \frac{2.1}{10} = 0.21\text{M}$$

$$[\text{CH}_4] = \frac{0.3}{10} = 0.03\text{M}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{0.3}{10} = 0.03\text{M}$$

10 반응 기체의 계수 합은 3이고, 생성 기체의 계수 합은 1이다. 따라서 정반응의 엔트로피는 감소($\Delta S < 0$)한다. 평형은 엔트로피가 증가하는 쪽으로, 엔탈피가 감소하는 쪽으로 이동한다. 정반응의 엔트로피가 감소($\Delta S < 0$)하므로 평형이 이루어지는 반응이라면 정반응이 엔탈피가 감소($\Delta H < 0$)하는 발열 반응이어야만 한다.

11 (1) 평형 상태는 동적 평형 상태이므로 반응이 정지된 것이 아니라, 암모니아 생성 반응 속도와 분해 반응 속도가 같은 것이다.

(2), (4) 평형 상태에서 존재하는 물질의 농도 비와 반응식의 계수 비와는 관계가 없다. 화학 반응식의 계수 비는 반응하는 물질의 농도 비와 같다.

(3) 평형 상태에서 반응 물질의 분자 수와 생성 물질의 분자 수가 같은 것은 아니다.

(5) 평형 상태에서는 반응 물질과 생성 물질의 농도가 일정하게 유지된다.

(6) 정반응 속도와 역반응 속도는 일정 시간이 지나면 일정하게 유지된다.

(7) 평형 상태는 반응 물질과 생성 물질의 자유 에너지가 최소가 되는 지점에서 이루어진다.

02 화학 평형의 법칙

개념 확인 문제

pp.028~029

01. (1) $K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2[\text{O}_2]}$ (2) $K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}$ (3) $K = \frac{1}{[\text{NH}_3][\text{HCl}]}$

(4) $K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]^2}$ (5) $K = \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$ (6) $K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$

02. (1) $\frac{1}{100}$ (2) $\frac{1}{10}$ 03. (1) \sqrt{a} (2) $\frac{1}{a}$ (3) a^2 04. 100

05. $2\text{A}(g) + \text{B}(g) \rightleftharpoons 2\text{C}(g)$, $K = 2.5$ 06. ① 07. (1) 8

(2) 정반응 08. 3몰 09. ① 10. (1) 정, 역 (2) 평형 상태

(3) 온도 (4) 역반응, 정반응 11. 0.3 12. (1) × (2) ○

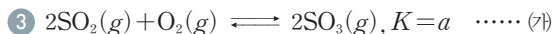
(3) ○ 13. (1) × (2) × (3) ○

1 평형 상수식을 표시할 때에는 화학 반응식의 계수를 지수로 한 반응 물질의 몰 농도 곱이 분모가 되고, 화학 반응식의 계수를 지수로 한 생성 물질의 몰 농도 곱이 분자가 된다. 고체나 용매로 사용된 물은 평형 상수식에 표현하지 않는다.

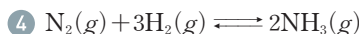
2 $K = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} = 100$

(1) $K_1 = \frac{[\text{N}_2][\text{O}_2]}{[\text{NO}]^2} = \frac{1}{K} = \frac{1}{100}$

(2) $K_2 = \frac{[\text{N}_2]^{\frac{1}{2}}[\text{O}_2]^{\frac{1}{2}}}{[\text{NO}]} = \sqrt{\frac{1}{K}} = \sqrt{\frac{1}{100}} = \frac{1}{10}$

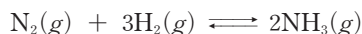


(1)은 화학 반응식 (가)의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 평형 상수는 $a^{\frac{1}{2}}$ 이며, (2)는 화학 반응식 (가)의 역반응이므로 평형 상수는 a 의 역수가 되어 $\frac{1}{a}$ 이다. (3)은 화학 반응식 (가)의 2배이므로 평형 상수는 a^2 이다.



NH_3 0.4몰이 생성되기 위해서는 N_2 0.2몰과 H_2 0.6몰이 반응해야 한다.

따라서 평형 상태에서의 농도는 $[\text{N}_2]=0.4\text{M}-0.2\text{M}=0.2\text{M}$, $[\text{H}_2]=0.8\text{M}-0.6\text{M}=0.2\text{M}$, $[\text{NH}_3]=0.4\text{M}$ 이다.

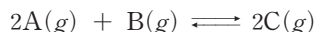


처음(M)	0.4	0.8	0
반응(M)	-0.2	-0.6	0.4
평형(M)	0.2	0.2	0.4

$$K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.4)^2}{(0.2) \times (0.2)^3} = 100$$

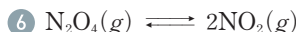
5 A, B의 처음 농도가 0.4M, 0.5M인데, A, B, C의 평형 농도가 0.2M, 0.4M, 0.2M이므로 A, B, C의 반응 농도는 0.2M, 0.1M, 0.2M이다.

따라서 화학 반응식의 계수 비는 A : B : C = 2 : 1 : 2이다.



처음(M)	0.4	0.5	0
반응(M)	-0.2	-0.1	0.2
평형(M)	0.2	0.4	0.2

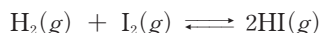
$$K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}]^2[\text{B}]} = \frac{(0.2)^2}{(0.2)^2 \times (0.4)} = 2.5$$



평형 상태에서 이산화질소(NO_2)의 몰 농도가 0.4M이므로 사산화이질소(N_2O_4)는 0.2몰이 반응하여 0.8몰이 남게 된다.

따라서 평형 상수 = $\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{(0.4)^2}{0.8} = 0.2$ 이다.

7 (1) 화학 반응식은 다음과 같다.



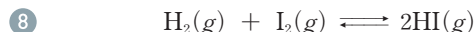
처음(M)	0.4	0.3	0
반응(M)	-0.2	-0.2	0.4
평형(M)	0.2	0.1	0.4

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{(0.4)^2}{(0.2) \times (0.1)} = 8$$

(2) 주어진 농도를 평형 상수식에 대입하여 얻은 반응 지수 Q는 다음과 같다.

$$Q = \frac{\left(\frac{4}{10}\right)^2}{\left(\frac{3}{10}\right) \times \left(\frac{2}{10}\right)} = \frac{8}{3}$$

Q가 평형 상수 8과 같아지려면 생성 물질의 농도가 커져야 한다. 따라서 반응은 정반응 쪽으로 진행된다.



처음(M)	x	3.5	0
반응(M)	-2.5	-2.5	5
평형(M)	x-2.5	1	5

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{5^2}{(x-2.5) \times 1} = 50, x=3$$

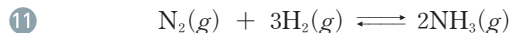
9 평형 상수는 온도에 의해서만 변하는 함수이다. 발열 반응은 온도가 높아지면 평형 상수가 작아지고, 흡열 반응은 온도가 높아지면 평형 상수가 커진다. 주어진 반응은 $\Delta H > 0$ 이므로 흡열 반응이다.

10 (1) 평형 상수가 크면 정반응이 우세하게 진행된다.

(2) 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 상태는 평형 상태이다.

(3) 평형 상수는 온도에 의해서만 변한다.

(4) 반응 지수 Q가 평형 상수 K보다 작으면 정반응이 진행된다.



처음(M)	x	0.8	0
반응(M)	-0.2	-0.6	0.4
평형(M)	y	0.2	0.4

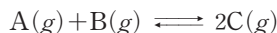
이 반응에 대한 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.4)^2}{y \times (0.2)^3} = 200 \text{에서 } y=0.1 \text{이다.}$$

$$x=y+0.2=0.3$$

12 (1) [A], [B]가 각각 1몰씩 감소할 때 [C]는 2몰이 증가했으므로 반응식의 계수 비는 $a : b : c = 1 : 1 : 2$ 이다.

(2) 가장 간단한 정수비로 반응식을 나타내면 다음과 같다.



$$\text{평형 상수 } K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]} = \frac{\left(\frac{2}{8.2}\right)^2}{\left(\frac{1}{8.2}\right)\left(\frac{1}{8.2}\right)} = 4$$

(3) 평형 상태에서 물질들의 몰수 합이 4몰이므로, $PV=nRT$ 에서 전체 압력을 구해 보면 12기압이다.

$$P = \frac{4 \times 0.082 \times 300}{8.2} = 12 \text{기압}$$

13 (1) A, B, C 1몰씩을 더 넣어 줄 때 반응 지수는 다음과 같다.

$$Q = \frac{\left(\frac{3}{8.2}\right)^2}{\left(\frac{2}{8.2}\right)\left(\frac{2}{8.2}\right)} = \frac{3^2}{2 \times 2} = \frac{9}{4}$$

Q 가 K 보다 작으므로 반응은 정반응 쪽으로 진행된다.

(2) 온도가 일정하게 유지되므로 새로운 평형 상태에서도 평형 상수는 4로 일정하다.

(3) A 1몰과 B 1몰이 반응하면 C 2몰이 생성되므로 반응 전후에 전체 몰수는 변하지 않는다.

따라서 새로운 평형 상태에서 용기 속에 존재하는 물질들의 몰수 합은 7이다.

$PV=nRT$ 에서 전체 압력을 구해 보면 다음과 같다.

$$P = \frac{7 \times 0.082 \times 300}{8.2} = 21 \text{기압}$$

03 평형 이동의 원리

개념 확인 문제

pp.046~047

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 01. ③ | 02. (1) > (2) < | 03. (1) 역반응 쪽 (2) 정반응 쪽 |
| (3) 이동하지 않는다. | 04. ③ | 05. ① |
| 06. (1) 이동하지 않는다. (2) 역반응 쪽 | 07. ⑤ | 08. 흡열 반응 |
| 09. ③ | 10. ④ | 11. ④ |
| 12. ② | 13. (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ | |
| (6) × (7) ○ (8) × | | |

1 정반응이 발열 반응이므로 온도를 낮추면 수득률을 높일 수 있고, 정반응 쪽으로 반응이 진행되면 기체 분자 수가 감소하므로 압력을 크게 하면 수득률을 높일 수 있다.

2 (1) 온도가 일정할 때 압력이 커질수록 C의 수득률이 크므로 정반응은 몰수가 감소하는 방향이다. 따라서 $a+b > c$ 이다.

(2) 온도가 높을수록 C의 수득률이 크므로 정반응은 온도가 낮아지는 흡열 반응이다. 따라서 $Q < 0$ 이다.

3 (1) 가열하면 흡열 반응 쪽으로 반응이 진행되고, 냉각하면 발열 반응 쪽으로 반응이 진행된다. 주어진 반응은 정반응이 발열 반응이므로 가열하면 흡열 반응인 역반응 쪽으로 반응이 진행된다.

(2) 압력을 높이면 기체의 몰수가 감소하는 방향으로 반응이 진행되고, 압력을 낮추면 기체의 몰수가 증가하는 방향으로 반응이 진행된다. 주어진 반응은 생성 기체의 계수 합이 더 크므로 압력을 낮추면 전체 분자 수가 늘어나는 방향인 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

(3) 촉매는 반응 속도만 변화시키고 평형 이동에는 영향을 미치지 않는다.

4 반응 용기의 부피를 줄이면 압력이 증가한다. 따라서 정반응이 기체의 몰수가 감소하는 반응이어야 생성 물질의 수득률을 높일 수 있다.

5 ① 온도를 높이면 흡열 반응 쪽으로 반응이 진행되고, 온도를 낮추면 발열 반응 쪽으로 반응이 진행된다. 따라서 발열 반응에서는 온도가 높아지면 K 값이 작아지고, 흡열 반응에서는 온도가 높아지면 K 값이 커진다. 이 반응은 흡열 반응이므로 온도를 낮추면 평형 상수 K 값이 감소한다.

② SO_2 를 첨가하면 역반응 쪽으로 반응이 진행되지만, K 값은 변하지 않는다.

③ 촉매는 평형 이동에 영향을 끼치지 않는다.

④ 압력을 가하면 기체의 몰수가 감소하는 방향인 역반응 쪽으로 반응이 진행된다.

⑤ O_2 를 제거하면 O_2 가 생성되는 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

6 (1) 고체는 평형에 영향을 미치지 않는다. 따라서 $\text{C}(s)$ 를 가해도 평형은 이동하지 않는다.

(2) 부피를 감소시키면 압력이 증가하는 것과 같은 효과가 나타나므로 기체 분자 수가 작아지는 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

7 ①, ② 평형 상태에서 반응 물질과 생성 물질의 농도가 변하면 그 변화를 감소시키려는 방향으로 평형이 이동한다.

③, ④ 반응계의 온도나 압력이 변하면 그 변화를 감소시키려는 방향으로 평형이 이동한다.

⑤ 촉매는 평형을 이동시킬 수 있는 요인이 아니다.

8 주어진 각 온도에서의 평형 농도로 판단할 때 온도가 높아지면 생성 물질의 양이 증가하는 반응이다. 온도가 높아지면 평형 이동의 원리에 의해 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 정반응은 흡열 반응이다.

9 ① 반응계의 부피를 줄이면 압력이 커지게 되므로 기체의 몰수가 작아지는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

② 반응계의 온도를 낮추면 발열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

③ 이산화황 기체를 제거하면 이산화황의 농도가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

④ 산소 기체를 넣어 주면 산소 기체가 감소하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

⑤ 아르곤 기체는 주어진 반응과 관계없는 물질이므로 평형에 영향을 미치지 않는다.

10 ① 온도를 높이면 흡열 반응인 정반응 쪽으로 반응이 진행되므로 평형 상수가 증가한다.

② 온도를 높이면 흡열 반응인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

③ 압력이 감소하면 기체의 몰수가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

④ 촉매는 평형에 도달하는 시간을 단축시키지만 평형을 이동시키지는 않는다.

⑤ 반응 물질인 $\text{PCl}_5(g)$ 의 농도를 증가시키면 생성 물질의 양이 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

11 평형 상태를 이루면 반응계의 압력은 일정하게 유지되고, 액체, 고체, 수용액은 압력의 영향을 받지 않는다. 압력을 증가시켰을 때 정반응 쪽으로 평형이 이동하는 반응은 생성 물질 중 기체의 계수 합이 반응 물질 중 기체의 계수 합보다 작은 경우이다.

12 ① 온도를 낮추면 발열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 수득률이 감소한다.

② 생성 물질인 Br_2 를 제거하면 평형이 정반응 쪽으로 이동하므로 수득률이 증가한다.

③ 생성 물질인 NO를 첨가하면 NO가 소모되는 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 수득률이 감소한다.

④ 반응 물질인 NOBr을 제거하면 NOBr이 생성되는 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 수득률이 감소한다.

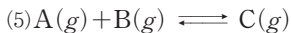
⑤ 반응 용기의 부피를 줄여서 압력이 증가하면 몰수가 감소하는 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 수득률이 감소한다.

13 (1) 표를 보면 온도가 높아질 때 평형 상수가 작아지므로 정반응은 발열 반응인 것을 알 수 있다.

(2) 발열 반응이므로 생성 물질이 반응 물질보다 안정하다.

(3) 정반응은 기체 분자 수가 감소하는 반응이다.

(4) 압력은 평형 상수를 변화시키지 못한다.



$$K = \frac{[\text{C}]}{[\text{A}][\text{B}]}$$

2L 용기 속에 A, B, C를 각각 1몰씩 넣었을 때 $[\text{A}] = 0.5\text{M}$, $[\text{B}] = 0.5\text{M}$, $[\text{C}] = 0.5\text{M}$ 이고, 반응 지수 Q 를 구해 보면

$$\frac{0.5}{0.5 \times 0.5} = 2 \text{가 된다.}$$

500K에서 평형 상수 $K = 3$ 이므로 $Q < K$ 이고, 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

(6) 600K에서 평형 상수 $K = 2$ 이므로 반응 지수 $Q = 2$ 와 같아서 평형 상태이다.

(7) 발열 반응이므로 실험 2의 온도가 400K로 실험 3보다 낮아서 평형 상수는 3보다 크다.

(8) 실험 5의 온도는 실험 4의 온도와 같으므로 평형 상수 값은 실험 4와 같다.

실력 확인 문제

pp.048~053

- | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 01. ⑤ | 02. ② | 03. ① | 04. ⑤ | 05. ③ | 06. ② |
| 07. ① | 08. ② | 09. ④ | 10. ④ | 11. ④ | 12. ③ |
| 13. ② | 14. ① | 15. ① | 16. ④ | 17. ② | 18. ② |
| 19. ① | 20. ① | 21. ③ | | | |

단답형 · 서술형 문제

22. (1) $K = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}$ (2) $K = \frac{[\text{Hg}_2^{2+}]}{[\text{Hg}^{2+}]}$ 23. 100 24. (1) K^2 (2) $\frac{1}{K}$

25. 평형 상태가 아니다, 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

26. 평형 상태가 아니다, 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

27. 0.1M보다 커진다. 28. $P_{\text{NO}} = 4.0 \times 10^{-16}$ 기압, $P_{\text{N}_2} = 0.50$ 기압, $P_{\text{O}_2} = 0.80$ 기압 29. 26.896

30. (1) 50 (2) 5.9기압 (3) 0.11몰 (4) $P_{\text{H}_2} = 0.65$ 기압, $P_{\text{I}_2} = 0.65$ 기압, $P_{\text{HI}} = 4.6$ 기압 31. (가) 수소 첨가, (나) 암모니아 제거

32. (1) 증가한다. (2) 감소한다. (3) 변화 없다. 33. 평형 이동 : 정반응 쪽, 평형 상수 : 변화 없다. 34. 실험 1

① 평형 상태에서는 정반응 속도와 역반응 속도가 같아서 농도가 일정하게 유지된다. 반응식의 계수 비는 물질의 반응 농도 비를 의미할 뿐 평형 상태에서 물질들의 존재 비와 직접적 관계가 없다.

② 실험 결과 표에서 반응식의 계수 비가 $\text{A} : \text{B} : \text{C} = 1 : 1 : 1$ 임을 알 수 있다.

예를 들면, 실험 1에서 A 0.2몰이 감소하고, B 0.2몰과 C 0.2몰이 생성되었으므로 화학 반응식은 $A \rightleftharpoons B + C$ 이다.

A가 0.8M 생성되었으므로 B와 C는 0.8M씩 반응했다. 따라서 B와 C의 평형 상태에서 농도는 모두 0.2M이다.

	A	\rightleftharpoons	B	+	C
처음(M)	0		1.0		1.0
반응(M)	0.8		-0.8		-0.8
평형(M)	0.8		0.2		0.2

③	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g) + D(g)$			
처음(M)	0.6	0.9		
반응(M)	-0.3	-0.3	+0.3	+0.3
평형(M)	0.3	0.6	0.3	0.3

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]} = \frac{0.3 \times 0.3}{0.3 \times 0.6} = 0.5$$

④ 평형 상태에서 이산화질소의 몰수가 1.8몰이므로 사산화이질소는 0.9몰이 반응하여 0.1몰이 남게 된다.

	$N_2O_4(g)$	\rightleftharpoons	$2NO_2(g)$
처음(M)	1		0
반응(M)	-0.9		1.8
평형(M)	0.1		1.8

$$\text{따라서 평형 상수 } K = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{(1.8)^2}{0.1} = 32.4 \text{이다.}$$

⑤	$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$		
처음	1	1	0
반응	-x	-x	+2x
평형	1-x	1-x	2x

$$K = \frac{(2x)^2}{(1-x)^2} = 4$$

$$\frac{2x}{1-x} = 2 \text{에서 } x = \frac{1}{2}$$

따라서 생성되는 HI의 몰수는 $2x = 2 \times \frac{1}{2} = 1$ 몰이다.

⑥ 평형을 역반응 쪽으로 이동시키기 위해서는 생성 물질의 농도를 증가시켜야 한다. HCl을 넣으면 H_3O^+ 의 농도가 증가하여 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 염기성 물질을 넣으면 H_3O^+ 과 중화 반응하여 H_3O^+ 을 감소시키므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

⑦ 온도를 높이면 르샤틀리에 원리에 의해 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동한다. 주어진 반응은 발열 반응이므로 온도를 높이면 흡열

반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동하기 때문에 수소의 몰수는 감소하고, 평형 상수 값도 작아지게 된다.

⑧ 기체 반응의 평형 상태에서 반응계의 압력을 증가시키면 분자 수가 감소하는 방향으로 평형이 이동하고, 압력을 감소시키면 분자 수가 증가하는 방향으로 평형이 이동한다. 그러나 ②와 같이 반응 물질과 생성 물질의 계수 합이 같은 경우에는 압력 변화에 의해 평형이 이동하지 않는다.

⑨ ① 생성되는 암모니아의 몰수는 평형 상수 값을 알아야 계산할 수 있다. 평형 상태에서 물질들의 농도 비는 화학 반응식의 계수 비와는 관계가 없다. 또한, 가역 반응의 평형 상태이기 때문에 암모니아가 2몰까지 모두 생성될 수는 없다.

② 온도를 높여 주면 르샤틀리에 원리에 의해 역반응으로 평형이 이동하므로 생성 물질의 농도는 작아진다.

③ 평형 상수는 온도에 의해 변한다.

④ 촉매는 평형을 이동시키지 못한다. 즉 평형 상태에서 촉매는 반응 물질과 생성 물질의 몰수를 변화시키지 못한다.

⑤ 화학 반응식의 계수 비는 반응하는 몰수 비일 뿐 평형 상태에서 존재하는 몰수 비(농도 비)는 아니다.

⑩ ① 온도를 높이면 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동하므로 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

② 촉매는 평형을 이동시키지 못한다.

③ SO_3 을 첨가하면 평형 이동의 원리에 의해 SO_3 이 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

⑤ 용기의 부피를 증가시키면 압력이 감소하므로 기체의 몰수가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

⑪ NaOH(aq)을 넣으면 OH^- 이 H^+ 과 중화 반응하여 H^+ 의 농도가 작아지므로 크로뮴산 이온(CrO_4^{2-})의 농도가 커지는 역반응 쪽으로 반응이 진행되어 새로운 평형 상태에 도달한다. 그러나 온도 변화가 없으므로 새로운 평형 상태에 도달해도 평형 상수 값에는 변함이 없다.

⑫ 평형 상수는 온도에 의해서만 변한다. 압력을 변화시키거나 농도를 변화시키면 평형은 이동하지만, 온도가 변하지 않으면 평형 상수 값은 변하지 않는다.

⑬ ㄱ. 온도가 높아질수록 수득률이 높아진 것으로 보아 정반응은 흡열 반응이다.

ㄴ. 온도를 높이면 수득률이 증가하므로 평형 상수 값이 커진다.

ㄷ. 압력이 커질수록 수득률이 감소한 것으로 보아 정반응은 분자 수가 증가하는 반응이고, 역반응은 분자 수가 감소하는 반응이다.

14 온도가 올라가면 반응 속도가 증가한다. 높은 온도에서 생성 물질 C의 양이 더 적으므로 정반응이 발열 반응임을 알 수 있다. 따라서 발열 반응에 해당하는 그래프를 찾으면 된다.

15 (가)에서 수소 기체의 농도만 증가한 것으로 보아 (가)에서 변화시킨 요인은 수소 기체의 첨가라는 것을 알 수 있다.

16 온도가 일정하므로 새로운 평형 상태에서 평형 상수 값(K')은 처음 평형 상수 값(K)과 같다.

$$K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.6)^2}{0.4 \times (0.1)^3} = 900$$

17 그래프에서 반응 물질이 가지는 에너지가 생성 물질보다 크므로 발열 반응임을 알 수 있다.

①, ② 발열 반응의 경우 르샤틀리에 원리에 의하여 온도를 높이면 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 평형 상수 값은 작아진다. 평형 상수 값을 크게 하기 위해서는 온도를 낮추어야 한다.

③, ④ 촉매는 평형에 도달하는 시간을 변화시켜 반응 속도를 변하게 할 뿐 평형을 이동시키지는 못한다.

⑤ 평형 상수는 압력에는 영향을 받지 않으므로 반응 용기의 부피와는 관계가 없다.

18 온도를 높이면 분자의 운동 에너지가 증가하므로 액체의 증발이 활발해지며, 반응계 물질의 무질서도가 증가하지만 전체 질량에는 변화가 없다.

19 평형 상수는 온도에 의해서만 변한다. 반응 물질과 생성 물질의 농도가 변하거나 다른 요인이 변해도 온도만 일정하면 평형 상수 값이 일정하다. 주어진 반응은 흡열 반응이므로 온도를 높이면 평형 이동의 원리에 의해 정반응 쪽으로 평형이 이동하고, 평형 상수가 커지게 된다.

20 그래프에서 압력 변화에 따른 수득률 변화가 없는 것으로 보아 반응 기체의 계수 합과 생성 기체의 계수 합이 같아야 한다.

② 압력 증가에 따라 수득률이 커진다.

③, ⑤ 압력 증가에 따라 수득률이 작아진다.

압력 증가에 따라 수득률 변화가 없는 것은 ①과 ④인데, ④는 흡열 반응이므로 온도가 증가할수록 수득률이 증가한다. 주어진 그래프에서는 온도가 증가할수록 수득률이 감소하므로 발열 반응임을 알 수 있다.

21 ㄱ. 온도를 낮추면 발열 반응인 정반응이 진행된다.

ㄴ. 가라앉은 $\text{Ag}(s)$ 은 고체이므로 일부 제거하여도 평형이 이동하지 않는다.

ㄷ. 생성 물질인 Ce^{4+} 의 농도를 증가시키면 역반응이 진행되므로 $\text{Ag}(s)$ 의 양이 감소한다.

ㄹ. 반응 물질인 Ce^{3+} 의 농도를 증가시키면 정반응이 진행되므로 $\text{Ag}(s)$ 의 양이 증가한다.

22 정답

$$(1) K = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]} \quad (2) K = \frac{[\text{Hg}_2^{+}]}{[\text{Hg}^{2+}]}$$

해설

(1) 탄소는 순수한 고체이므로 물 농도가 일정하다. 따라서 평형 상수식에 나타내지 않는다.

$$K = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}$$

이때 CO와 CO_2 는 기체이므로 부분 압력을 이용하여 평형 상수식을 쓰면 다음과 같다.

$$K = \frac{(P_{\text{CO}})^2}{P_{\text{CO}_2}}$$

(2) 수은(I) 이온과 수은(II) 이온의 농도는 평형 상수식에 나타내지 만, 순수한 액체인 수은의 농도는 일정하므로 수은의 농도는 나타내지 않는다. 따라서 평형 상수식은 다음과 같다.

$$K = \frac{[\text{Hg}_2^{+}]}{[\text{Hg}^{2+}]}$$

23 정답

100

해설

주어진 반응의 평형 상수 $K = \frac{[\text{B}]}{[\text{A}]^2}$ 이다. 그런데 각 기체의 농도

$$\text{는 } [\text{A}] = \frac{0.4 \text{ 몰}}{2 \text{ L}} = 0.2 \text{ M 이고, } [\text{B}] = \frac{8 \text{ 몰}}{2 \text{ L}} = 4 \text{ M 이므로}$$

$$K = \frac{4}{(0.2)^2} = 100 \text{ 이다.}$$

24 정답

$$(1) K^2 \quad (2) \frac{1}{K}$$

해설

$2\text{A} \rightleftharpoons 2\text{B}$ 의 경우 평형 상수는 $\frac{[\text{B}]^2}{[\text{A}]^2} = K^2$ 이고, $\text{B} \rightleftharpoons \text{A}$ 의

경우 $\text{A} \rightleftharpoons \text{B}$ 의 역반응이므로 평형 상수는 $\frac{[\text{A}]}{[\text{B}]} = \frac{1}{K}$ 이다.

25 정답

평형 상태가 아니다, 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

해설

반응 지수 Q 는 평형 상수식에 현재 농도를 대입하여 구한 값으로, 평형 상수와 비교하여 반응의 진행 방향을 판단할 수 있다. $Q > K$ 이면 반응은 역반응 쪽으로 진행되며, $Q < K$ 이면 반응은 정반응 쪽으로 진행된다. 또한 $Q = K$ 이면 평형 상태에 있음을 의미한다.

이 반응의 평형 상수식은 $K = \frac{[PCl_3][Cl_2]}{[PCl_5]}$ 이다. 각 물질의 농도

$$\text{는 } [PCl_5] = \frac{0.2}{2} = 0.1M, [PCl_3] = \frac{0.2}{2} = 0.1M, [Cl_2] = \frac{0.06}{2}$$

$= 0.03M$ 이므로 반응지수는 다음과 같다.

$$Q = \frac{0.1 \times 0.03}{0.1} = 0.03$$

평형 상수 K 와 Q 가 다르므로 평형 상태가 아니며, $K > Q$ 이므로 평형은 정반응 쪽으로 이동한다.

26 정답

평형 상태가 아니다, 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

해설

평형 상수식에 처음 농도를 대입하여 반응 지수를 구한 다음, 평형 상수와 비교하면 알 수 있다.

$$\text{반응 지수 } Q = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2 [O_2]} = \frac{(0.10)^2}{(0.10)^2 \times 10} = 0.1$$

$K > Q$ 이므로 평형 상태가 아니고, 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

27 정답

0.1M보다 커진다.

해설

반응 용기의 부피가 10.0L이므로 혼합 상태에서 $[N_2] = 0.10M$, $[H_2] = 0.20M$, $[NH_3] = 0.20M$ 이고, 반응 지수는 다음과 같다.

$$Q = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(0.2)^2}{0.1 \times (0.2)^3} = 50$$

470°C에서 $K = 0.1$ 이므로 $Q > K$ 이며, 평형은 역반응 쪽으로 이동하므로 반응물 N_2 의 몰 농도는 처음보다 증가하여 0.1M보다 커진다.

28 정답

$$P_{NO} = 4.0 \times 10^{-16} \text{ 기압}, P_{N_2} = 0.50 \text{ 기압}, P_{O_2} = 0.80 \text{ 기압}$$

해설

$N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$ 반응의 평형 상수가 4.0×10^{-31} 로 매우 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 처음의 NO가 대부분 N_2 와 O_2 로 되는 역반응이 진행되었다고 가정하면 각 기체의 분압을 계산할 수 있다.

NO가 모두 N_2 와 O_2 로 되었다고 가정하면 다음과 같다.

	$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$		
처음(M)	0.39	0.69	0.22
반응(M)	+0.11	+0.11	-0.22
평형(M)	0.50	0.80	0

아주 미량의 N_2 와 O_2 가 반응하여 NO가 된 것이며, 반응하는 N_2 와 O_2 의 압력을 x 라고 하면 다음과 같다.

$$\text{평형 } 0.50 - x \quad 0.80 - x \quad 2x$$

$$K = \frac{P_{NO}^2}{P_{N_2} \cdot P_{O_2}} = \frac{(2x)^2}{(0.50 - x)(0.80 - x)} \div \frac{(2x)^2}{0.50 \times 0.80} = \frac{4x^2}{0.4} = 4.0 \times 10^{-31}$$

$$x = 2.0 \times 10^{-16} \text{ 기압}$$

$$P_{NO} = 2 \times 2.0 \times 10^{-16} = 4.0 \times 10^{-16} \text{ 기압}$$

$$P_{N_2} = 0.50 - 2.0 \times 10^{-16} = 0.50 \text{ 기압}$$

$$P_{O_2} = 0.80 - 2.0 \times 10^{-16} = 0.80 \text{ 기압}$$

29 정답

26.896

해설

화학 평형 상수에는 압력 평형 상수 K_P 와 농도 평형 상수 K_C 가 있다. K_P 와 K_C 와의 관계를 유도할 수 있어야 한다.

이 반응에서 $\Delta n = (1+3) - (1+1) = 2$ 이므로 K_P 는 다음과 같다.

$$K_P = K_C (RT)^{\Delta n} = K_C (RT)^2 = (4.0 \times 10^{-3}) (0.082 \times 1000)^2 = 26.896$$

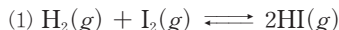
30 정답

(1) 50 (2) 5.9기압 (3) 0.11몰

$$(4) P_{H_2} = 0.65 \text{ 기압}, P_{I_2} = 0.65 \text{ 기압}, P_{HI} = 4.6 \text{ 기압}$$

해설

K_C 와 K_P 의 관계를 이해하고 H_2 와 I_2 가 반응하여 HI가 생성되는 화학 반응식을 세운다. 반응식에서 반응 물질의 계수 합과 생성 물질의 계수가 같으므로 반응의 진행에 관계없이 전체 몰수는 항상 같다는 것을 이용한다.



반응의 진행에 관계없이 기체의 전체 몰수나 부피는 변하지 않으므로 이 반응은 부피나 압력의 영향을 받지 않는다. 따라서 K_P 는 K_C 와 같다.

$$K_P = K_C = 50$$

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{\left(\frac{\text{HI 몰수}}{V}\right)^2}{\left(\frac{\text{H}_2 \text{ 몰수}}{V}\right) \times \left(\frac{\text{I}_2 \text{ 몰수}}{V}\right)}$$

$$= \frac{(\text{HI 몰수})^2}{(\text{H}_2 \text{ 몰수}) \times (\text{I}_2 \text{ 몰수})}$$

$$K_p = \frac{(P_{\text{HI}})^2}{(P_{\text{H}_2}) \times (P_{\text{I}_2})} = \frac{\left(P \times \frac{\text{HI 몰수}}{\text{전체 몰수}}\right)^2}{\left(P \times \frac{\text{H}_2 \text{ 몰수}}{\text{전체 몰수}}\right) \times \left(P \times \frac{\text{I}_2 \text{ 몰수}}{\text{전체 몰수}}\right)}$$

$$= \frac{(\text{HI 몰수})^2}{(\text{H}_2 \text{ 몰수}) \times (\text{I}_2 \text{ 몰수})}$$

(2) 반응의 진행에 관계없이 전체 몰수는 같다.

$$\text{전체 몰수} = 0.5 + 0.5 = 1.0$$

$$PV = nRT$$

$$P \times 10\text{L} = 1\text{mol} \times 0.082\text{L} \cdot \text{기압/mol} \cdot \text{K} \times 721\text{K}$$

$$P = 5.9\text{기압}$$



처음 몰수	0.5	0.5	0
반응 몰수	-x	-x	+2x
남은 몰수	0.5-x	0.5-x	2x

$$K = \frac{(2x)^2}{(0.5-x)(0.5-x)} = 50, x = 0.39 \text{ 몰}$$

$$\text{남은 I}_2 \text{의 몰수} = 0.5 - 0.39 = 0.11 \text{ 몰}$$

$$(4) P_{\text{H}_2} = 5.9 \times \frac{0.11}{1} = 0.65\text{기압}$$

$$P_{\text{I}_2} = 5.9 \times \frac{0.11}{1} = 0.65\text{기압}$$

$$P_{\text{HI}} = 5.9 - 0.65 - 0.65 = 4.6\text{기압}$$

31 정답

(가) 수소 첨가, (나) 암모니아 제거

해설

(가)에서 수소의 농도만 증가한 것으로 보아 수소를 첨가하였고, (나)에서 암모니아의 농도만 감소한 것으로 보아 암모니아를 제거하였다. 반응 물질인 수소를 첨가하거나 생성 물질인 암모니아를 제거하는 경우 모두 평형이 정반응 쪽으로 이동하므로 반응 물질인 질소와 수소의 농도는 감소하고, 생성 물질인 암모니아의 농도는 증가한다.

32 정답

(1) 증가한다. (2) 감소한다. (3) 변화 없다.

해설

반응 용기의 부피를 증가시키면 압력이 감소하는 것과 같은 효과가 나타난다.

(1) 르샤틀리에 원리에 의하면 압력을 감소시키면 기체의 몰수가 증가하는 정반응 쪽으로 반응이 진행된다. 따라서 생성 물질인 PCl_3 과 Cl_2 의 몰수가 증가한다.

(2) 압력을 감소시키면 기체의 몰수가 증가하는 역반응 쪽으로 반응이 진행된다. 따라서 생성 물질인 CaCO_3 의 몰수는 감소한다.

(3) 화학 반응식의 양쪽에 기체의 계수 합이 4 몰로 같으므로 평형은 압력 변화의 영향을 받지 않는다. 따라서 생성 물질인 Fe_3O_4 과 H_2 의 몰수는 변하지 않는다.

33 정답

평형 이동 : 정반응 쪽, 평형 상수 : 변화 없다.

해설

반응 용기의 부피를 2배로 크게 했다는 것은 반응 물질의 농도(압력)가 $\frac{1}{2}$ 로 되었다는 것을 의미한다. 따라서 르샤틀리에 원리에 의해 압력이 커지는 쪽으로 평형이 이동하므로 평형은 정반응 쪽으로 이동한다. 그러나 평형 상수 K 는 온도에 의해서만 달라지므로 변화가 없다.

34 정답

실험 1

해설

주어진 반응의 정반응은 발열 반응이므로 온도를 낮추면 정반응 쪽으로 반응이 진행된다. 따라서 산소의 농도가 커질수록, 온도는 낮을수록 정반응으로 평형이 이동하게 되며, 촉매는 평형 이동에 영향을 끼치지 못한다.

개념 활용 문제

pp.054~059

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

1 ㄱ. 농도는 몰수를 부피로 나눈 값이므로 기체 A와 기체 B의

처음 농도는 각각 $[\text{A}] = \frac{4\text{몰}}{2\text{L}} = 2\text{M}$, $[\text{B}] = \frac{2\text{몰}}{2\text{L}} = 1\text{M}$ 이다.

ㄴ. 평형 상태에서 반응 물질과 생성 물질의 농도가 같은 것은 아니다.

ㄷ. 평형 상태에서는 정반응 속도와 역반응 속도가 같으므로 각 물질의 농도가 일정하게 유지된다.

ㄹ. 정촉매는 반응 속도를 빠르게 하므로 평형에 도달하는 데 걸리는 시간을 단축시켜 t 값이 작아진다.

② ㄱ. HCl을 넣으면 수용액 속의 수소이온 (H_3O^+) 의 농도가 커지게 되므로 르사틀리에 원리에 의해 H_3O^+ 을 제거하는 방향인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄴ. NaCl이 이온화되면 Na^+ 과 Cl^- 이 생성된다. 그러나 Na^+ 과 Cl^- 은 주어진 반응의 평형에 아무런 영향을 끼치지 않는 물질이다.

ㄷ. NaOH을 넣으면 $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ 의 반응에 의해서 H_3O^+ 의 농도가 작아지므로 르사틀리에 원리에 의해 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

ㄹ. CH_3COONa 를 넣으면 $\text{CH}_3\text{COONa} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+$ 의 이온화 반응에 의해서 CH_3COO^- 의 농도가 증가하므로 CH_3COO^- 을 제거하는 방향인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

③ 부피가 반으로 줄어들면 밀도가 증가하므로 실린더 안의 색깔은 순간적으로 진해진다. 그러나 실린더의 부피를 줄이면 압력이 증가하는 것과 같은 효과가 있으므로 NO_2 가 줄어드는 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 색깔은 다시 옅어진다. 따라서 B는 A와 C보다 색깔이 진하다.

평형 이동의 원리만 생각하면 B의 경우 색깔이 옅어질 것으로 생각할 수 있다. 그러나 B는 순간적으로 압축시킨 직후이므로 아직 평형 이동이 일어나지 않은 단계이다.

④ ㄱ. 실험 1에서 A와 B가 0.3몰씩 줄었을 때 C는 0.6몰이 증가했으므로 반응하는 몰수 비는 1 : 1 : 2이다. 따라서 화학 반응식의 계수 비는 1 : 1 : 2이므로 화학 반응식은 $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons 2\text{C}$ 이다.

ㄴ. 반응식이 $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons 2\text{C}$ 이므로 평형 상수는 $K = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]}$
 $= \frac{(1.0)^2}{0.5 \times 0.5} = 4$ 이다.

ㄷ. 25°C에서 1L 용기에 A, B, C를 1몰씩 넣으면 농도가 모두 1M이므로, 반응 지수 Q 를 구하면 $Q = \frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]} = \frac{1^2}{1 \times 1} = 1$ 이다. 이 값은 평형 상수 4보다 작다. 따라서 평형 상수 4를 유지하기 위하여 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

⑤ ㄱ. 온도가 높을수록 수득률이 증가하므로 정반응은 흡열 반응이라는 것을 알 수 있다. 따라서 역반응은 발열 반응이다.

ㄴ. 압력이 증가할수록 수득률이 감소하므로 정반응은 기체 분자 수가 증가하는 반응이고, 역반응은 기체 분자 수가 감소하는 반응인 것을 알 수 있다.

ㄷ. 온도가 높을수록 수득률이 증가하므로 온도가 높아짐에 따라 평형 상수 값이 커지게 된다. 평형 상수는 온도에 의해서만 변한다.

⑥ (가) 반응 속도는 농도가 클수록, 온도가 높을수록, 정촉매를 사용할수록 커진다. 실험 4의 경우 초기 반응 속도가 가장 빠르다.

(나) 질소와 수소가 반응해서 암모니아가 생성되는 반응은 발열 반응이므로 수득률은 온도가 낮을수록, 반응 물질의 농도가 클수록 커진다. 따라서 실험 5의 경우 암모니아의 수득률이 가장 크다.

촉매는 활성화 에너지를 낮추어서 반응 속도를 빠르게 할 뿐 평형 이동에는 영향을 끼치지 않는다. 즉, 촉매는 생성 물질의 수득률에는 영향을 끼치지 않는다.

⑦ 이 반응의 평형 상수식은 $K = \frac{[\text{C}]}{[\text{A}][\text{B}]}$ 이다. 그런데 용기의 부피가 2L이므로 A, B, C의 농도는 모두 0.5M이다. 온도가 400K일 때 반응 지수 Q 값을 구해 보면 $Q = \frac{0.5}{0.5 \times 0.5} = 2$ 이므로 400K에서의 평형 상수 값 3보다 작다. 따라서 반응은 정반응 쪽으로 진행된다.

온도가 450K일 때의 평형 상수 값은 0.2이므로 Q 값이 평형 상수 값보다 크다. 따라서 반응은 역반응 쪽으로 진행된다.

⑧ ㄱ. 그래프에서 온도가 높아질수록 수득률이 감소하므로 암모니아의 합성 반응은 발열 반응이다. 따라서 생성 물질이 반응 물질보다 안정하다.

ㄴ. 그래프에서 압력이 증가할수록 수득률이 증가하는 것으로 보아 암모니아의 합성 반응은 분자 수가 감소하는 반응임을 알 수 있다.

ㄷ. 촉매는 반응에 필요한 에너지를 감소시켜서 정반응 속도와 역반응 속도를 빠르게 할 뿐, 평형 이동에는 영향을 끼치지 못한다. 따라서 수득률을 변화시키지는 못한다.

ㄹ. 그래프에서 온도는 낮을수록, 압력은 높을수록 암모니아 합성 반응의 수득률은 증가하는 것을 알 수 있다.

⑨ 평형 상태에서의 몰 농도로부터 반응 농도를 계산할 수 있다.

$$a\text{A}_2(g) + \text{B}_2(g) \rightleftharpoons b\text{X}(g)$$

처음(M)	3.0	4.0	0
반응(M)	-2.0	-1.0	+2.0
평형(M)	1.0	3.0	2.0

① 화학 반응식의 계수 비는 반응 몰수 비와 같으므로 $a=2, b=2$ 이다. 생성 물질 X 2몰은 2몰의 A_2 와 1몰의 B_2 로 이루어져 있으므로 분자식이 A_2B 이다.

② 화학 반응식은 $2\text{A}_2(g) + \text{B}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{X}(g)$ 이며, 평형 상수는 평형 농도를 대입하여 구할 수 있다.

$$K = \frac{[X]^2}{[A_2]^2[B_2]} = \frac{2^2}{1^2 \times 3} = \frac{4}{3} \text{이다.}$$

③ 가역 반응에서 반응이 평형 상태에 도달하기 전에 정반응 속도는 역반응 속도보다 빠르며, 반응이 진행될수록 정반응 속도는 느리고 역반응 속도는 빨라져서 정반응 속도와 역반응 속도가 같아지면 평형 상태에 도달하게 된다.

④ 평형 상태에 도달한 반응계에서 반응 용기의 부피를 줄여서 압력을 증가시키면 기체의 몰수가 감소하는 방향으로 평형이 이동하게 된다. 따라서 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 X의 몰수는 증가한다.

⑤ 1L 용기에 A_2 , B_2 , X 기체를 1몰씩 넣었을 때 초기 농도는 각각 1M이며, 반응 지수 $Q=1$ 이므로 평형 상수 K 와 Q 를 비교하면 $Q < K$ 이므로 정반응 쪽으로 반응이 진행된다.

⑩ (가) 평형 상태에서 $NO_2(g)$ 를 주입하면 전체 압력이 커지지만, $NO_2(g)$ 가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동하므로 전체 압력이 감소하다가 다시 평형을 이룬다.

(나) 용기에 헬륨 기체를 주입하면 전체 압력이 커지지만, $NO_2(g)$ 와 $N_2O_4(g)$ 의 부분 압력은 변화가 없으므로 평형 이동이 일어나지 않아 전체 압력만 증가한 상태 그대로 일정하게 유지된다.

⑪ 반응 엔탈피 ΔH 는 정반응에 필요한 에너지에서 역반응에 필요한 에너지를 빼서 구할 수 있다.

ㄱ. (가)의 ΔH 는 20kJ이므로 (가)는 흡열 반응이다.

ㄴ. (다)의 ΔH 는 -10kJ이므로 (다)는 발열 반응이다. 따라서 (다)는 온도가 높아질수록 평형 상수(K)가 감소한다.

ㄷ. 반응에 필요한 에너지가 가장 작은 (가)의 초기 반응 속도가 가장 빠르다.

ㄹ. (나)의 $\Delta H = 60 - 80 = -20 \text{ kJ}$ (반응 물질의 결합 에너지 합 - 생성 물질의 결합 에너지 합) < 0 이므로, (나)는 반응 물질의 결합 에너지 합이 생성 물질의 결합 에너지 합보다 작다.

⑫ ㄱ. A가 2몰 반응할 때 B는 1몰 생성되므로 $aA(g) \rightleftharpoons bB(g)$ 에서 $a=2$, $b=1$ 임을 알 수 있다. 따라서 처음 평형 상수 $K = \frac{[B]}{[A]^2} = \frac{1}{2^2} = 0.25$ 이다. 평형 상수는 온도에 의해서만 변하므로 새로운 평형에서도 평형 상수 K 는 0.25이다.

ㄴ. (가)점에서 반응 지수 $Q = \frac{1+1}{(2+1)^2} = \frac{2}{9} < K$ 이므로 새로운 평형에 도달할 때까지는 정반응이 역반응보다 빠르게 진행된다.

ㄷ. 용기의 부피를 줄이면 압력이 증가하여 평형은 몰수가 감소하는 정반응 쪽으로 이동하므로 기체 A의 몰 분율은 감소한다.

2. 상평형과 용해 평형

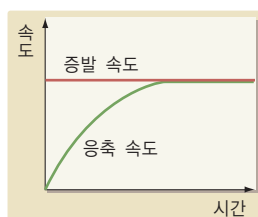
01 상평형

개념 확인 문제

pp.070-071

01. 해설 참조 02. ⑤ 03. ③ 04. 액체 A 05. ④
06. 고체 상태 07. ② 08. ① 09. ② 10. ③
11. (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ○

① 액체의 증발 속도는 항상 일정하고, 에탄올 증기의 응축 속도는 처음에는 0이지만 시간이 지나면서 계속 증가하게 된다. 결국 응축 속도가 증발 속도와 같아져서 동적 평형 상태를 이루게 된다.



② 2시간 2분 동안 땀의 증발에 의해 손실된 열을 계산하면 $36.1 \text{ kJ/분} \times 122 \text{ 분} = 4404 \text{ kJ}$ 이다.

따라서 증발한 물의 몰수를 구하면 $44.0 : 1 \text{ 몰} = 4404 : x$ 에서 $x \approx 100$ 몰임을 알 수 있다.

1몰의 개수가 6×10^{23} 개이므로 100몰의 개수는 6×10^{25} 개이다.

③ 밀폐된 용기에서 액체가 기화하면서 나타나는 증기 압력이 액체의 외부 압력으로 작용하여 끓는점이 점점 높아지게 된다.

④ 같은 온도에서는 분자 간 인력이 클수록 증기 압력이 작으므로 액체 A의 기준 끓는점이 더 높다.

⑤ ㄱ. 고체가 액체로 용해될 때 온도가 일정하게 유지된다. 이 구간의 길이가 길수록 용해열이 크므로 용해열은 A가 B보다 작다.

ㄴ. 고체 상태에서 기울기가 작을수록 비열이 크므로 고체의 비열은 A가 B보다 작다.

ㄷ. 녹는점과 끓는점 사이에서 액체로 존재하므로 A가 B보다 액체로 존재하는 온도 구간이 길다.

⑥ -70°C , 4기압에서 CO_2 는 승화 곡선 위쪽에 위치하므로 고체 상태로 존재한다.

⑦ 그래프에서 점 P의 상태는 기체 상태이고, 압력만 증가시키면 증기 압력 곡선을 지나 액체 상태로 변한다.

⑧ (가) 추운 겨울철에 수도관이 얼어 터지는 현상은 물이 얼음으로

될 때 부피가 증가하여 나타나는 현상으로, 용해 곡선(AT)의 기울기가 (-)인 것으로 설명할 수 있다.

(나) 높은 산에 올라가면 대기압이 낮아져 물의 끓는점이 내려가므로 높은 산에서 밥을 하면 설익게 된다. 이 현상은 증기 압력 곡선(BT)으로 설명할 수 있다.

9. 가. 압력이 증가하면 AT선의 기울기가 (-)이므로 물질 X의 녹는점은 낮아지고, BT선의 기울기가 (+)이므로 끓는점은 높아진다.

나. (가) 상태보다 (나) 상태의 온도가 높으므로 (나) 상태에서 물질 X의 분자 운동이 (가) 상태보다 더 활발하다.

다. (가) 상태에서 용기의 압력을 작게 하면 승화 곡선인 CT 곡선을 통과하게 되어 기체로 승화하게 된다.

10. 물질 C의 용해 곡선의 기울기는 다른 물질과 달리 (-)이므로 고체 상태에서 압력을 가하면 녹아서 액체가 된다.

물질 A와 B의 용해 곡선 기울기는 (+)이므로 압력이 커지면 고체 상태이면서 부피가 줄어든다. 즉, 고체 상태의 A, B에는 압력을 가해도 액체 상태로 변하지 않는다.

11. (1) A는 물의 상평형 그림이고, B는 이산화탄소의 상평형 그림이다. A의 끓는점은 B의 끓는점보다 매우 높은 것을 알 수 있다. 따라서 A의 분자 간 인력이 B의 분자 간 인력보다 크다.

(2) A는 고체의 밀도가 액체의 밀도보다 작다. 따라서 같은 부피 속에 들어 있는 분자 수는 액체 상태일 때가 더 많다.

(3) A는 압력이 증가할수록 녹는점은 낮아지고, 끓는점은 높아진다.

(4) B는 압력이 증가할수록 녹는점과 끓는점이 높아진다.

(5) B는 1기압 상태에서 승화가 일어나므로 어는점이 존재하지 않는다.

(6) (가) 점은 증기 압력 곡선 상에 위치하므로 증발 속도와 응축 속도가 같다.

02 용해 평형

개념 확인 문제

pp.082~083

- | | | | | |
|---|------------------------------|---------------------|-------|-------|
| 01. ④ | 02. ④ | 03. (1) 45g (2) 32g | 04. ② | 05. ④ |
| 06. 60g | 07. ① | 08. 2.64g | 09. ③ | 10. ⑤ |
| 11. 2g, 11.2L | 12. 부피 : 152mL, 질량 : 0.0434g | | | |
| 13. (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) × (7) × | | | | |

1. ① 용매 입자들이 분리되려면 에너지가 필요하다.

② 용질 입자들이 분리되려면 에너지가 필요하다.

③ 용매 입자와 용질 입자 사이에 작용하는 힘에 의해 용해 현상이 일어나면 에너지를 방출하면서 안정화된다.

④, ⑤ 용질이 용매에 녹아 용액이 생성될 때의 용해 엔탈피는 용매나 용질 입자가 분리될 때와 용질 입자와 용매 입자 사이의 상호작용이 형성될 때의 엔탈피 변화의 합이 되고, 엔탈피 변화의 합이 (+) 값이면 에너지를 흡수하고, (-) 값이면 에너지를 방출한다.

2. 가. 용해 현상의 자발성 여부는 자유 에너지 변화에 의해 결정되므로 엔트로피 변화뿐 아니라 엔탈피 변화와도 관계가 있다.

$$\Delta G_{\text{용해}} = \Delta H_{\text{용해}} - T \Delta S_{\text{용해}}$$

나. $\Delta G_{\text{용해}} = \Delta H_{\text{용해}} - T \Delta S_{\text{용해}}$ 이므로 흡열 반응($\Delta H_{\text{용해}} > 0$)이라도 $\Delta S_{\text{용해}}$ 값이 크면 $\Delta G_{\text{용해}}$ 가 (-) 값일 수 있다.

다. 용해 과정이 발열 반응인 경우는 용매와 용질 각각으로 존재할 때의 에너지가 용액으로 존재할 때의 에너지보다 더 크다. 따라서 용액으로 존재하는 것이 더 안정하다.

3. (1) 100°C에서 질산나트륨의 용해도는 176이므로 150g이 모두 녹아 있다. 40°C로 온도를 낮아시키면 150 - 105(40°C에서의 용해도) = 45(g)이 결정으로 석출된다.

(2) 20°C의 포화 용액 188g의 온도를 80°C로 높일 때 더 녹을 수 있는 용질의 질량은 60g이므로 188 : 60 = 100 : x에서 x = 32(g)이다.

4. 40°C에서 용해도가 60이므로 포화 용액 160g 속에 용질 60g이 녹아 있다. 이 수용액을 15°C로 낮추면 용해도가 20이므로 40g이 석출된다.

따라서 160 : 40 = 100 : x에서 x = 25(g)이 석출된다.

5. 점 E 상태의 용액은 포화 용액보다 용질이 비정상적으로 많이 녹아 있어서 불안정한 상태의 과포화 용액이므로 흔들어 주거나 약간의 충격만 가해도 용질이 바로 고체 상태로 석출된다.

6. • 40°C의 포화 용액 480g은 물 300g에 물질 180g이 녹아 있는 것이다.

$$160 : 60 = 480 : x \text{에서 } x = 180g$$

$$\text{물은 } 480 - 180 = 300(g)$$

• 50°C로 가열하면 물질 60g이 더 녹을 수 있다.

50°C에서 용해도는 80이므로

$$100 : 80 = 300 : y \text{에서 } y = 240g$$

따라서 더 녹을 수 있는 양은 240 - 180 = 60(g)이다.

7 헨리 법칙은 H_2 , He, N_2 , O_2 , Ne 등 물에 대한 용해도가 매우 작은 기체에서 잘 성립한다.

8 0°C , 1기압에서 물 150mL에 녹는 CO_2 의 질량은 다음과 같다.
 $5 : 3.3 = 1 : x$ 에서 $x = 0.66(\text{g})$

따라서 방출되는 질량은 $3.3 - 0.66 = 2.64(\text{g})$ 이다.

9 헨리 법칙에 의하여 압력이 2배로 되면 용해되는 기체의 질량은 2배가 되지만, 보일 법칙에 의해 부피는 압력에 반비례하여 작아지므로 용해되는 기체의 부피는 변하지 않고 그대로이다.

10 표에서 용해되는 수소 기체의 부피는 그대로이고, 용해되는 수소 기체의 질량은 압력에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 4기압일 때 1L에 용해되는 수소 기체의 부피는 22.4mL이고, 용해되는 수소 기체의 질량은 0.008g이다.

11 같은 온도에서 용해되는 기체의 질량은 압력에 비례한다.

$1 : 0.2 = 2 : x$ 에서 $x = 0.4(\text{g})$

용매가 5배 있으므로 녹는 양도 5배가 되어 2g이 녹으며, 수소 1몰(2g)의 부피는 0°C , 1기압에서 22.4L이므로 0°C , 2기압에서는 11.2L이다.

$1 \times 22.4 = 2 \times y$ 에서 $y = 11.2(\text{L})$

12 표에서 용해되는 기체의 부피는 압력에 관계없이 그대로이고, 용해되는 기체의 질량은 압력에 비례하는 것을 알 수 있다. 따라서 $\frac{1}{5}$ 기압(공기 중 산소의 분압)일 때 물 5L에 용해되는 산소 기체의 질량은 $\frac{1}{5} \times 0.0434\text{g} \times 5 = 0.0434\text{g}$ 이고, 산소 기체의 부피는 $30.4\text{mL} \times 5 = 152\text{mL}$ 이다.

기체의 용해도가 압력에 비례하므로 0.2기압에서 녹는 기체의 부피와 질량이 모두 $\frac{1}{5}$ 인 것으로 생각할 수 있다. 그러나 자료에서 볼 수 있듯이 녹아 들어가는 기체의 부피는 압력에 관계없이 그대로이고, 여항의 물은 1L가 아니고 5L이므로 녹아 들어가는 기체의 양은 5배가 된다.

13 (1) A 점은 포화 용액으로, 용해와 석출이 같은 속도로 일어난다.

(2) B 점은 과포화 용액으로, 가장 불안정한 상태이다.

(3) B점과 C점은 녹은 용질의 질량이 같으므로 용액의 퍼센트 농도가 같다.

(4) D점의 포화 용액 $200\text{g} + 100\text{g} = 300\text{g}$ 을 20°C 로 냉각시키면 $200\text{g} - 100\text{g} = 100\text{g}$ 의 용질이 석출되므로 D점의 포화 용액 150g을 20°C 로 냉각시키면 용질 50g이 석출된다.

(5) 온도가 높아질수록 용해도가 증가하는 것으로 보아 물질 X의 용해 과정은 흡열 반응이다.

(6) 기체의 용해 과정은 발열 반응이다. 물질 X의 용해 과정은 흡열 반응이므로 물질 X는 기체가 아니다.

(7) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 이므로 X의 용해 과정의 ΔG 값은 온도가 높아질수록 작아진다.

실력 확인 문제

pp.084~087

01. ⑤ 02. ⑤ 03. ④ 04. ③ 05. ③ 06. ②
 07. ② 08. ④ 09. ④ 10. ④

단답형 · 서술형 문제

11. (가) B, (나) C, (다) A 12. \perp , \parallel 13. (가) D, (나) A
 14. $(210a + b)\text{J}$ 15. 1몰 16. 10g
 17. 포화 용액 : B, D, 물 농도 : $D > B$
 18. 44.8mL, 0.016g 19. A

1 ① 증기 압력이 클수록 휘발성이 크므로 다이에틸에테르의 휘발성이 가장 크다.

② 기준 끓는점은 증기 압력이 760mmHg일 때의 온도이다. 따라서 에탄올의 기준 끓는점은 40°C 보다 높다는 것을 알 수 있다.

③ 다이에틸에테르는 증기 압력이 가장 크므로 분자 간 인력이 가장 작다.

④ 물 증발열은 증기 압력이 작을수록 크므로 물 > 에탄올 > 다이에틸에테르 순서이다.

⑤ 끓는점이 높을수록 증기 압력이 낮다. 증기 압력이 물 < 에탄올 < 다이에틸에테르 순서이므로 일정한 압력에서 끓는점은 물 > 에탄올 > 다이에틸에테르 순서이다.

2 끓는점이 낮은 액체는 휘발성이 크며, 물 증발열과 분자 간 인력이 작다. 증기 압력이 760mmHg에 도달하는 온도가 끓는점이며, 그림에서 에탄올의 끓는점이 물의 끓는점보다 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 끓는점이 낮은 에탄올은 물에 비해 휘발성이 크고, 물 증발열과 분자 간 인력은 작다.

3 ① 승화는 고체에서 액체를 거치지 않고 직접 기체로 변하는 상태 변화이며, cd 구간에서는 기화가 일어난다.

② 비열은 물질 1g을 1°C 높이는 데 필요한 에너지를 의미하므로 $\frac{c-b}{180(t_2-t_1)} (\text{kJ/g} \cdot ^\circ\text{C})$ 이다.

③ 무질서도는 가해 준 열량이 클수록 증가한다.

④ t_1 은 얼음의 녹는점이고, t_2 는 물의 끓는점이다.

⑤ 가해 준 에너지가 상태 변화에 쓰인 구간은 ab와 cd이다.

④ ㄱ. 그래프에서 얼음의 온도가 올라가는 가열 곡선의 기울기는 물의 온도가 올라가는 가열 곡선의 기울기보다 크므로 같은 열량을 가해 줄 때 얼음이 물보다 온도가 더 많이 올라간다는 것을 알 수 있다. 따라서 물의 비열이 얼음의 비열보다 크다.

ㄴ. 물의 기화가 일어나는 구간은 cd 구간이고, 얼음의 용해가 일어나는 구간은 ab 구간이다. cd 구간이 ab 구간보다 긴 것으로 보아 cd 구간에서 더 큰 열에너지를 흡수한다는 것을 알 수 있으므로 물을 기화시키는 데 필요한 열에너지가 얼음을 용해시키는 데 필요한 열에너지보다 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 물의 기화열이 얼음의 용해열보다 크다.

ㄷ. cd 구간에서 온도가 일정한 것은 가해 준 열에너지가 물을 기화시키는 데 사용되기 때문이다.

⑤ 물의 몰 증발열은 1 몰의 물을 액체 상태에서 기체 상태로 상태 변화시키는 데 필요한 열량을 의미한다. 물의 분자량은 18이므로 물 1 몰의 질량은 18g이고, 180g의 물(=10몰)을 액체 상태에서 기체 상태로 변화시키는 데에는 $(d-c)$ kJ이 필요하므로 물 18g(=1몰)을 상태 변화시키는 데에는 $\frac{(d-c)\text{kJ}}{10\text{mol}}=0.1(d-c)$ kJ/mol이 필요하다.

⑥ ㄱ. 용해 곡선의 기울기가 (-)이므로 고체(A점)의 밀도가 액체(B점)보다 작다.

ㄴ. 고체(A점) 상태에서는 액체(B점) 상태에서도 분자 간 인력이 크다.

ㄷ. 온도가 높은 B점이 A점보다 분자의 평균 운동 에너지가 크다.

⑦ ㄱ. 기준 끓는점은 1기압의 압력 하에서 물질이 끓는 온도이므로 물질 B의 기준 끓는점은 삼중점 온도인 0.01°C 보다 훨씬 높다.

ㄴ. 같은 온도에서 증기 압력 곡선을 비교해 보면 물질 A의 증기 압력이 훨씬 크다.

ㄷ. 끓는점이 물질 B가 물질 A보다 훨씬 높으므로 분자 간 인력도 물질 B가 물질 A보다 크다.

ㄹ. 1기압에서 물질 A는 액체 상태가 존재하지 않으므로 승화성이 있고, 물질 B는 액체 상태가 존재하므로 승화성이 없다.

⑧ 자료에서 ΔH_1 은 이온 결합 물질의 격자 에너지이다. 격자 에너지는 이온 반지름이 작을수록 커진다. 따라서 KCl이 NaCl보다 격자 에너지가 작다.

ΔH_2 는 이온이 물에 의해 수화될 때 방출되는 에너지로 (-)부호를 가지며, 방출되는 에너지는 이온의 크기가 작을수록 크다. 따라서 KCl이 NaCl보다 방출되는 에너지가 작으므로 음수인 ΔH_2 는 KCl이 NaCl보다 크다.

⑨ ㄱ. 온도가 높아질수록 용해도가 증가하므로 질산칼륨의 용해 과정은 흡열 반응이다.

ㄴ. A 상태의 용액과 B 상태의 용액은 같은 양의 물에 녹아 있는 질산칼륨의 양이 다르므로 물 농도가 서로 다르다.

A 상태의 용액 1000mL에 녹아 있는 양은 $130 : 30 = 1000 : x$ 에서 $x = 231\text{g}$ 이다.

B 상태의 용액 1000mL에 녹아 있는 양은 $210 : 110 = 1000 : y$ 에서 $y = 524\text{g}$ 이다.

ㄷ. 60°C 에서 질산칼륨의 용해도는 110이다. 따라서 100g의 물에 110g의 질산칼륨이 녹는다. 이 포화 용액의 온도를 20°C 로 낮추면 용해도가 30이므로 물 100g에 30g의 질산칼륨만 녹고, 80g의 질산칼륨이 석출된다.

⑩ 물에 대한 용해도는 염화수소와 질산칼륨이 매우 크고, 이산화탄소는 작다. 또, 기체는 온도가 높아짐에 따라 용해도가 감소한다. 표에서 물질 A는 물에 대한 용해도가 작으므로 이산화탄소임을 알 수 있다. 물질 C는 온도가 올라갈수록 용해도가 감소하므로 기체인 염화수소이다. 따라서 물질 B는 온도가 올라갈수록 용해도가 증가하는 고체 물질인 질산칼륨이다.

11 정답

(가) B, (나) C, (다) A

해설

용액이든 순물질이든 밀폐된 공간에서 평형 상태에 이르기 전에는 증발 속도가 응축 속도보다 빠르고, 평형 상태에 이르면 증발 속도와 응축 속도는 같아지게 된다. 그런데 용액은 밀폐된 공간에서 순수한 용매일 때보다 평형 상태에서의 증발 속도와 응축 속도가 느리다. 열린 공간에서는 기체가 증발하여 기체 분자 수가 줄어들기 때문에 평형 상태에서 증발 속도가 응축 속도보다 크다.

12 정답

ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 에탄올과 물을 밀폐된 용기 속에 놓아두었을 때 에탄올의 양은 줄어들고, 물의 양이 늘어나는 것은 에탄올의 증기 압력이 물의 증기 압력보다 크기 때문에 나타나는 현상이다.

나. 에탄올이 물보다 증기 압력이 크기 때문에 에탄올이 물보다 물 증발열은 작다.

다. 증기 압력이 클수록 끓는점은 낮아진다. 따라서 기준 끓는점은 에탄올이 물보다 낮다.

13 정답

(개) D, (나) A

해설

B는 얼음의 융해열, D는 물의 기화열 구간이다.

A~D 구간에 필요한 열량을 구하면 다음과 같다.

$$A : 10\text{g} \times 2\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C} = 1000\text{J}$$

$$B : 300\text{J/g} \times 10\text{g} = 3000\text{J}$$

$$C : 10\text{g} \times 4\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 100^\circ\text{C} = 4000\text{J}$$

$$D : 2100\text{J/g} \times 10\text{g} = 21000\text{J}$$

따라서 가열 시간이 가장 긴 것은 D이고, 가장 짧은 것은 A이다.

14 정답

$(210a+b)\text{J}$

해설

A점 : -10°C 의 얼음

B점 : 100°C 의 물

-10°C 의 얼음 1g의 온도를 0°C 까지 높이기 위해 필요한 열량은 $a\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 1\text{g} \times 10^\circ\text{C} = 10a\text{J}$ 이다.

0°C 의 얼음 1g을 0°C 의 물로 만들기 위해 필요한 열량은 $b\text{J/g} \times 1\text{g} = b\text{J}$ 이다.

0°C 의 물 1g을 100°C 의 물로 만들기 위해 필요한 열량은 $2a\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 1\text{g} \times 100^\circ\text{C} = 200a\text{J}$ 이다. A점의 얼음 1g을 B점의 물 1g으로 변화시키는 데 필요한 열량은 $(10a+b+200a)\text{J} = (210a+b)\text{J}$ 이다.

15 정답

1몰

해설

10°C 에서 B의 용해도는 20이므로 물 100g에 B 20g이 녹으면 포화 용액 120g이 된다. 10°C 에서 B의 포화 용액 600g 속에는 B가

100g 녹아 있고, B의 화학식량이 100이므로 $\frac{100}{100} = 1$ 몰이다.

$$120\text{g} : 20\text{g} = 600\text{g} : x \text{에서 } x = 100\text{g}$$

16 정답

10g

해설

50°C 에서 A의 용해도가 100보다 크므로 물 50g 속에는 A 50g이 모두 녹는다. 이 용액의 온도를 10°C 로 낮추면 10°C 에서 A의 용해도가 80이므로 물 50g에 녹을 수 있는 A의 질량은 40g이고, 석출되는 A의 질량은 $50\text{g} - 40\text{g} = 10\text{g}$ 이다.

17 정답

포화 용액 : B, D, 물 농도 : $D > B$

해설

포화 용액은 용해도 곡선 상의 점이므로 B와 D가 포화 용액이다. 그런데 D의 경우 B보다 온도가 높아 같은 양의 물에 용질이 더 많이 녹아 있으므로 D의 물 농도가 B의 물 농도보다 크다.

18 정답

44.8mL, 0.016g

해설

표에서 용해되는 기체의 부피는 압력에 관계없이 같고, 용해되는 기체의 질량은 압력에 비례함을 알 수 있다. 따라서 4기압일 때 물 1L에 용해되는 수소 기체의 부피는 22.4mL이고, 용해되는 수소 기체의 질량은 0.008g이다.

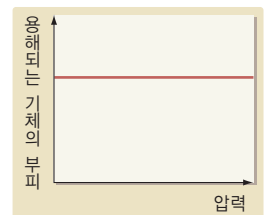
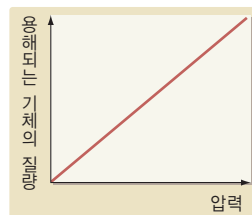
물 2L에 용해되는 기체의 부피와 질량은 각각 2배가 되므로 $2 \times 22.4 = 44.8\text{mL}$, $2 \times 0.008 = 0.016\text{g}$ 이다.

19 정답

A

해설

헨리 법칙은 일정량의 용매에 용해되는 기체의 질량은 그 기체의 부분 압력에 비례한다는 법칙으로, 용해되는 기체의 부피는 압력에 관계없이 일정하지만, 용해되는 기체의 질량은 압력에 비례하여 증가한다.



기체는 온도가 높아질수록 용해도가 감소하고, 고체는 온도가 높아질수록 용해도가 증가하므로 A, B, C는 기체이고, D, E는 고체인 것을 예상할 수 있다.

헨리 법칙은 물에 대한 용해도가 매우 작은 기체에 잘 적용된다. 자료에서 용해도가 매우 작은 기체는 A임을 알 수 있다.

B, C의 경우는 기체이기는 하지만 물에 대한 용해도가 매우 커서 헨리 법칙이 잘 적용되지 않는다.

D, E의 경우는 고체이기 때문에 헨리 법칙과 관계가 없다. 고체의 용해도는 압력의 영향을 거의 받지 않는다.

개념 활용 문제

pp.088~091

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

① ㄱ. 같은 온도에서 에탄올의 증기 압력이 아세트산의 증기 압력보다 크다는 것을 알 수 있다. 증기 압력이 클수록 끓는점은 낮다.

ㄴ. 50°C는 다이에틸에테르의 끓는점보다 높은 온도이고, 물질은 끓는점보다 높은 온도에서 기체 상태로 존재한다.

ㄷ. 그래프에서 아세트산의 증기 압력이 물의 증기 압력보다 작고, 아세트산의 끓는점이 물의 끓는점보다 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 두 액체의 혼합물을 가열하면 끓는점이 낮은 물이 먼저 끓어 나온다.

② ㄱ. 온도가 높아지면 증기 압력이 커진다.

ㄴ. 에탄올을 더 넣어도 주어진 온도에서는 증기 압력이 일정하므로 수은 기둥의 높이 변화가 없다. 즉, 일정한 온도에서 액체의 양과 증기 압력은 관계가 없다.

ㄷ. 용기의 부피가 증가해도 증기 압력은 변하지 않는다.

③ ㄱ. 얼음은 온도가 4초 동안 20°C 올라갔고, 물은 40초 동안 100°C 올라갔으므로 1초 동안 가해진 같은 열량에 의해 올라간 온도를 비교해 보면 얼음은 5°C이고, 물은 2.5°C이다. 따라서 물의 비열이 얼음의 비열보다 2배 크다.

ㄴ. 상태 변화가 일어나는 구간은 온도 변화가 없는 4~36초 구간과 76~296초 구간이다.

ㄷ. 무질서도는 296초 이후에도 더 커진다.

ㄹ. 물 융해열은 얼음 1몰(18g)이 모두 물로 상태 변화하는 데 필요한 에너지이다. 그래프에서 볼 때 얼음 180g이 상태 변화하는 데 $32 \times 1.9 = 60.8 \text{ kJ}$ 이 필요하므로 1몰의 얼음 18g이 상태 변화하는 데 필요한 에너지는 6.08 kJ이다.

④ ㄱ. 물질 A는 삼중점의 온도, 압력이 각각 -57°C, 5.1 기압이므로 상온, 상압 조건에서 기체 상태로 존재한다.

ㄴ. 물질 B는 융해 곡선의 기울기가 음(-)이라는 것을 알 수 있다. 따라서 고체 상태보다 액체 상태의 밀도가 더 크다.

ㄷ. 물질 B의 끓는점이 물질 A의 끓는점보다 훨씬 높으므로 분자간 인력도 물질 A보다 물질 B가 훨씬 크다.

⑤ ㄱ, ㄴ. 상평형 그림에서 증기 압력 곡선과 대기압이 만나는 온도가 끓는점(t_1)이고, 융해 곡선과 대기압이 만나는 온도가 녹는점(t_2)이다. 대기압이 낮아지면 끓는점(t_1)은 낮아지고, 녹는점(t_2)은 높아진다.

ㄷ, ㄹ. A의 길이는 융해열, B의 기울기는 비열과 관계가 있는데, 융해열과 비열은 대기압과 관계가 없다.

⑥ ㄱ. KI의 융해열은 $\text{KI}(s) + \text{물} \longrightarrow \text{K}^+(aq) + \text{I}^-(aq)$ 반응의 반응열(ΔH)과 같으므로 $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 13 \text{ kJ/mol}$ 이다.

ㄴ. $\text{NaBr}(s)$ 의 이온 결합력이 $\text{KI}(s)$ 보다 크므로 $\text{NaBr}(s)$ 의 경우 ΔH_1 값은 +632 kJ/mol보다 크다.

ㄷ. I_2 과 물 사이의 인력은 물과 $\text{K}^+(g) + \text{I}^-(g)$ 사이의 인력보다 작으므로 (나)에서 방출되는 에너지는 감소한다.

⑦ ㄱ. $t_1^\circ\text{C}$ 에서 물 100g 속에 $a\text{g}$ 의 용질이 녹으면 $(100+a)\text{g}$ 의 포화 용액이 된다.

ㄴ. $t_2^\circ\text{C}$ 에서 물 100g에 용질 $b\text{g}$ 이 녹으면 포화 용액이 되므로 포화 용액은 $(100+b)\text{g}$ 이다. 그리고 $t_1^\circ\text{C}$ 에서는 물 100g에 $a\text{g}$ 이 녹아서 포화 용액이 되므로 온도를 낮추면 $(b-a)\text{g}$ 의 용질이 석출된다.

ㄷ. A점의 % 농도는 $\frac{a}{100+a} \times 100$ 이고, B점의 % 농도는 $\frac{b}{100+b} \times 100$ 이므로 $\frac{\text{A점의 \% 농도}}{\text{B점의 \% 농도}} = \frac{a(100+b)}{b(100+a)}$ 이다.

⑧ ㄱ. (나)는 온도가 높을수록 용해도가 감소하므로 기체 Y의 용해도 곡선이다.

ㄴ. (가)는 고체 X의 용해도 곡선으로, 온도가 높을수록 용해도가 증가하므로 X가 물에 녹을 때는 열을 흡수한다. 그러므로 X의 융해열($\Delta H_{\text{융해}}$)은 0보다 크다.

ㄷ. 물질 X는 (가)와 같이 $\Delta H_{\text{융해}} > 0$ 이고, $\Delta S_{\text{융해}} > 0$ 일 때 $\Delta G_{\text{융해}} = \Delta H_{\text{융해}} - T\Delta S_{\text{융해}}$ 에서 $\Delta S_{\text{융해}} > \frac{\Delta H_{\text{융해}}}{T}$ 이면 $\Delta G_{\text{융해}} < 0$ 일 수 있으므로 자발적으로 용해될 수 있다.

ㄹ. (가)의 $t_1^\circ\text{C}$ 의 포화 용액 $(100+a)\text{g}$ 은 물 100g에 물질 X가 $a\text{g}$ 녹아 있는 것으로, 이 용액의 온도를 $t_2^\circ\text{C}$ 로 높이면 용해도 차이에 해당하는 $(b-a)\text{g}$ 의 용질이 더 녹을 수 있다.

3. 산-염기 평형

01 산과 염기의 세기

개념 확인 문제

pp.102~103

01. ④ 02. ③ 03. ③ 04. ①

05. HA의 $[H_3O^+] = 1.3 \times 10^{-3} M$, HB의 $[H_3O^+] = 2.1 \times 10^{-4} M$,
HA > HB 06. ②, ⑤ 07. ② 08. ⑤

09. (1) H_2CO_3 (2) HF 10. ③ 11. ⑤ 12. ⑤

13. (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ○ (7) ×

① 물 농도가 $C mol/L$ 인 산 수용액에서 산의 이온화도가 α 일 때 $[H^+] = C\alpha$ 이다.

$$0.02 = 0.1 \times \alpha, \therefore \alpha = 0.2$$

② 물 농도가 $C mol/L$ 인 약산 HA의 이온화 상수

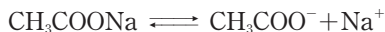
$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$$

$$\alpha \text{가 } 0.2 \text{이므로 } K_a = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha} = \frac{(0.01) \times (0.2)^2}{1-0.2} = 5.0 \times 10^{-4}$$

③ 아세트산의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-][H_3O^+]}{[CH_3COOH]} = 1.8 \times 10^{-5}$$

아세트산나트륨은 수용액에서 다음과 같이 이온화한다.



$$[CH_3COOH] = 0.1 M$$

$$[CH_3COO^-] = [CH_3COONa] = 0.1 M$$

$$K_a = \frac{0.1 \times [H_3O^+]}{0.1} = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$\therefore [H_3O^+] = 1.8 \times 10^{-5} M$$

$$④ \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-5}}{0.1}}$$

$$= \sqrt{10^{-4}} = 10^{-2}$$

$$\therefore \alpha = 0.01$$

⑤ 0.1M HA의 경우 $[H_3O^+]$ 는 다음과 같다.

$$[H_3O^+] = C\alpha = \sqrt{K_a C} = \sqrt{1.69 \times 10^{-5} \times 0.1}$$

$$= 1.3 \times 10^{-3} M$$

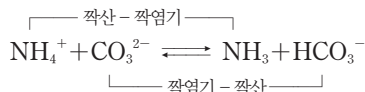
0.1M HB의 경우 $[H_3O^+]$ 는 다음과 같다.

$$[H_3O^+] = C\alpha = \sqrt{K_a C} = \sqrt{4.41 \times 10^{-7} \times 0.1}$$

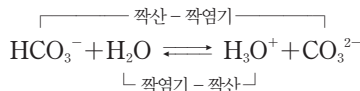
$$= 2.1 \times 10^{-4} M$$

HA 수용액이 HB 수용액보다 $[H_3O^+]$ 가 크므로 더 강한 산이다.

⑥ H^+ 의 이동에 의하여 산과 염기로 되는 한 쌍의 물질을 짝산-짝염기라고 한다.



⑦ HCO_3^- 은 H_2O 에게 H^+ 을 주고, H_3O^+ 은 CO_3^{2-} 에게 H^+ 을 준다.



⑧ SO_2 , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , S^{2-} 등은 H^+ 을 내놓을 수 없으므로 산으로 작용할 수 없다.

⑨ 짝염기의 염기성이 강한 물질은 상대적으로 약한 산이다.

(1) H_2CO_3 과 H_2SO_4 의 비교에서 H_2CO_3 이 더 약한 산이므로 짝염기의 염기성이 더 강한 것은 H_2CO_3 이다.

(2) HCl과 HF의 비교에서 HF가 더 약한 산이므로 짝염기의 염기성이 더 강한 것은 HF이다.

⑩ K_a 값이 클수록 강한 산이고, K_a 값이 작을수록 약한 산이다. 따라서 가장 강한 산은 H_3PO_4 이다. 또한, 강산의 짝염기는 약염기이고, 약산의 짝염기는 강염기이므로 가장 강한 짝염기는 HCO_3^- 이다.

⑪ ① 결합 에너지는 HF가 HCl보다 크므로 HF가 HCl보다 약한 산이다.

② S와 O의 크기를 비교하면 $S > O$ 이므로 H-S의 결합이 더 약하다. 따라서 H_2S 가 더 강한 산이다.

③ $HClO_3$ 보다 전기 음성도가 큰 O가 1개 더 많이 존재하는 $HClO_4$ 가 더 강한 산이다.

④ NH_4^+ 의 짝염기는 NH_3 이고 H_3O^+ 의 짝염기는 H_2O 이다. 짝염기인 NH_3 가 H_2O 보다 더 강한 염기이므로 H_3O^+ 이 NH_4^+ 보다 더 강한 산이다.

⑤ S와 Cl의 전기 음성도를 비교하면 Cl의 전기 음성도가 더 크므로 HCl이 더 강한 산이다.

⑫ \neg . 짝염기의 세기는 $CO_3^{2-} > HCO_3^- > H_2O$ 이다.

ㄴ. HCO_3^- 는 1단계 반응에서는 염기로, 2단계 반응에서는 산으로 작용했다.

ㄷ. 1단계 반응과 2단계 반응을 합하면 주어진 반응식이 나오므로 두 이온화 상수를 곱하면 주어진 반응식의 이온화 상수가 된다.

$$K_a = 4.0 \times 10^{-7} \times 5.0 \times 10^{-11} = 2.0 \times 10^{-17}$$

⑬ (1) CH_3COOH 의 K_a 값이 더 크므로 CH_3COOH 가 더 강한 산이다.

(2) CH_3COOH 가 H_2CO_3 보다 더 강한 산이므로 CH_3COO^- 보다 HCO_3^- 가 더 강한 염기이다.

(3) H_2CO_3 가 H_2S 보다 강한 산이므로 수용액의 pH는 H_2CO_3 가 더 작다.

(4) $K_a \times K_b$ 의 값이 1.0×10^{-14} 이므로 다음과 같다.

$$\text{CH}_3\text{COO}^- \text{의 } K_b = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = \frac{1}{1.8} \times 10^{-9}$$

(5) HS^- 의 이온화 상수 K_b 는 $K_a \cdot K_b = 1.0 \times 10^{-14}$ 에서 H_2S 의 이온화 상수 1.0×10^{-7} 과 같은 값을 가진다.

(6) H_2O 는 세 반응에서 모두 수소 이온을 받았으므로 염기로 작용하였다.

(7) HCO_3^- 의 짝산은 H_2CO_3 이다.

02 산-염기 평형과 중화 반응

개념 확인 문제

pp.124~125

01. ④ 02. ③ 03. ⑤ 04. (1) 0.7 (2) 4 (3) 12 (4) 11

05. $D > C > B > A$ 06. (1) 3 (2) 7 07. ③

08. (1) $\frac{1}{100}$ (2) 3 09. ③ 10. ② 11. ② 12. ④

13. ② 14. ③ 15. ② 16. ① 17. ③

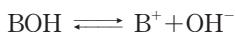
18. (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) × (7) ○ (8) ○

① HCl은 강산이므로 거의 100% 이온화하므로 다음과 같다.

$$[\text{H}^+] = 0.1\text{M}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.1} = 1.0 \times 10^{-13}\text{M}$$

② BOH는 다음과 같이 이온화한다.



이온화도(α)가 0.01이므로 다음과 같다.

$$[\text{OH}^-] = C\alpha = 0.01 \times 0.01 = 1.0 \times 10^{-4}\text{M}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-4}} = 1.0 \times 10^{-10}\text{M}$$

③ HCl은 거의 대부분의 이온화하므로 이온화도를 1로 가정한다.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = C\alpha = 0.01 \times 1 = 0.01\text{M}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.01} = 1.0 \times 10^{-12}(\text{M})$$

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{OH}^-]} = \frac{0.01}{1.0 \times 10^{-12}} = 1.0 \times 10^{10}$$

④ (1) HCl은 강산이므로 $[\text{H}^+] = 0.2\text{M}$ 이다.

$$\text{pH} = -\log(0.2) = -\log(2 \times 10^{-1})$$

$$= 1 - \log 2 = 1 - 0.3 = 0.7$$

$$(2) [\text{H}^+] = C\alpha = 0.01 \times 1.0 \times 10^{-2} = 1.0 \times 10^{-4}$$

$$\text{pH} = -\log(1.0 \times 10^{-4}) = 4$$

(3) NaOH은 강염기이므로 $[\text{OH}^-] = 0.01\text{M}$ 이다.

$$\text{pOH} = -\log(0.01) = 2$$

$$\text{pH} = 14 - 2 = 12$$

$$(4) [\text{OH}^-] = C\alpha = 0.1 \times 1.0 \times 10^{-2} = 1.0 \times 10^{-3}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-3}} = 1.0 \times 10^{-11}$$

$$\text{pH} = -\log(1.0 \times 10^{-11}) = 11$$

⑤ pH는 강염기 > 약염기 > 물 > 약산 > 강산 순서이다.

따라서 pH는 $D > C > B > A$ 순서이다.

⑥ (1) pH=1인 용액의 $[\text{H}^+]$ 는 10^{-1}M 이다. 이 용액을 100배 희석시키면 $[\text{H}^+] = 10^{-3}\text{M}$ 이므로 $\text{pH} = -\log(10^{-3}) = 3$ 이다.

(2) pH=6인 용액의 $[\text{H}^+]$ 는 10^{-6}M 이다. 이 용액을 100배 희석시키면 $[\text{H}^+] = 10^{-8}\text{M}$ 이 되어 pH=8이므로 염기성 용액이 된다. 그러나 산성 용액을 희석해도 염기성 용액으로 되지는 않고, 물의 자동 이온화로 $[\text{H}^+] \approx 10^{-7}\text{M}$ 이 되므로 pH는 7이다.

$$⑦ \text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = \log \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

$[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이 클수록 pH는 감소한다.

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}(25^\circ\text{C}) \text{이므로 } \text{pH} + \text{pOH} = 14 \text{이다.}$$

$$⑧ K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}^+]}{[\text{HA}]} = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$(1) [\text{H}^+] = C\alpha = \sqrt{K_a C} = \sqrt{0.1 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-3}$$

$$K_a = \frac{[\text{A}^-] \times 1.0 \times 10^{-3}}{[\text{HA}]} = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{1.0 \times 10^{-5} M}{1.0 \times 10^{-3} M} = \frac{1}{100}$$

(2) $[H^+] = 1.0 \times 10^{-3} M$ 이므로 $pH = -\log(10^{-3}) = 3$ 이다.

9 $nMV = n'V'$

$$1 \times 0.1 \times 100 = 1 \times 0.2 \times V, V = 50 \text{ mL}$$

10 NaOH은 강염기이므로 강산(HNO_3)과 중화 적정할 때 중화점의 pH는 7이다.

11 HCl의 nMV 값이 크므로 다음과 같은 식으로 쓸 수 있다.

$$nMV - n'V' = M''(V + V')$$

$$1 \times 0.06 \times 70 - 2 \times 0.03 \times 50 = M'' \times 120$$

$$\therefore M'' = 0.01 M$$

따라서 혼합 용액의 $[H^+] = 0.01 M$ 이다.

$$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log(0.01) = 2$$



처음	0.1몰	0.1몰	0	0
반응	-0.1몰	-0.05몰	+0.05몰	+0.1몰
반응 후	0몰	0.05몰	0.05몰	0.1몰

반응 후에는 $Ba(OH)_2$ 0.05몰이 용액 1L에 녹아 있으므로

$$[OH^-] = 0.05 \times 2 \text{ mol/L} = 0.1 M \text{이다.}$$

$$\therefore pOH = -\log(0.1) = 1, pH = 14 - pOH = 13$$

13 $1 \times 0.1 \times 50 - 1 \times 0.1 \times 49 = M'' \times (50 + 49)$

$$M'' \approx 1.0 \times 10^{-3} M$$

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-3} M$ 이므로 pH는 다음과 같다.

$$pH = -\log[H^+] = -\log(1.0 \times 10^{-3}) = 3$$

14 H^+ 의 총 몰수와 OH^- 의 총 몰수가 같아야 한다.

KOH 수용액의 부피를 x 라고 하면 다음과 같다.

$$2 \times 0.1 \times 30 = 1 \times 0.1 \times 15 + 1 \times 0.1 \times x, x = 45 \text{ mL}$$

15 NaOH 수용액의 부피를 x 라고 하면 다음과 같다.

$$1 \times 0.1 \times 10 + 2 \times 0.1 \times 20 = 1 \times 0.1 \times x, x = 50 \text{ mL}$$

16 H_2SO_4 수용액의 부피를 x 라고 하면 다음과 같다.

$$2 \times 0.1 \times 10 = 1 \times 0.1 \times 10 + 2 \times 0.1 \times x, x = 5 \text{ mL}$$

17 $M''(V + V') = nMV - n'V'$

$$M'' \times (50 + 49) = 0.2 \times 50 - 0.2 \times 49$$

$$M'' = \frac{10 - 9.8}{99} \approx \frac{0.2}{100} = 0.002 M$$

$$[NaCl] = \frac{0.2 \times 49}{50 + 49} = \frac{9.8}{99} \approx \frac{10}{100} = 0.1 M$$

18 (1) AOH 수용액 50mL와 BOH 수용액 50mL를 완전히 중

화시키는 데 사용되는 0.1M HCl 수용액의 부피가 50mL로 같으므로 AOH 수용액과 BOH 수용액의 몰 농도는 0.1M으로 같다.

(2) BOH 수용액의 pH=11이므로 $[OH^-] = 1 \times 10^{-3} M$ 이다.

$[OH^-] = C\alpha = 0.1 M \times \alpha = 1 \times 10^{-3}$ 이므로 이온화도 $\alpha = 0.01$ 이다.

(3) $K_b = \frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}$ 에서 $[OH^-] = K_b \frac{[BOH]}{[B^+]}$ 이다.

(가)점에서 $[BOH] = [B^+]$ 이므로 $[OH^-] = K_b$ 이다.

$K_b = C\alpha^2 = 0.1 \times (0.01)^2 = 10^{-5}$ 이므로 $[OH^-] = 1 \times 10^{-5} M$ 이다. 따라서 pH=9이다.

(4) pH가 클수록 OH^- 을 잘 내놓으므로 염기의 세기는 AOH가 BOH보다 크다.

(5) AOH의 pH=13이므로 $[OH^-] = 1 \times 10^{-1} M$ 이다. 따라서 이온화도는 1이다.

(6) AOH의 이온화 상수는 $K_b = C\alpha^2 = 0.1 \times 1^2 = 10^{-1}$ 이다.

(7) BOH의 이온화 상수는 $K_a = C\alpha^2 = 10^{-5}$ 이다.

(8) AOH 수용액은 강염기 수용액이므로 강산인 HCl 수용액으로 중화 적정할 때 중화점을 찾기 위한 지시약으로 페놀프탈레인을 사용할 수 있다.

03 완충 용액

개념 확인 문제

pp.138~139

01. ④ 02. (1) 역반응 (2) 역반응 (3) 정반응 (4) 정반응
 03. (1) ㄹ (2) ㄱ (3) ㄴ, ㄷ 04. ⑤ 05. ① 06. ②
 07. ④ 08. ② 09. ④ 10. ③ 11. ② 12. ⑤
 13. ④ 14. (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

1 산이나 비금속 산화물은 염기인 NaOH과 반응하여 염을 생성한다.

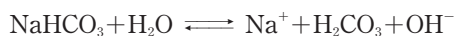
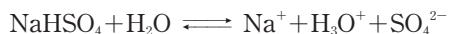
- 금속 산화물(MgO, CaO, Na_2O, Fe_2O_3) : 염기성
- 비금속 산화물(SO_2) : 산성

2 산과 염기의 반응에서는 항상 약산과 약염기가 생성되는 쪽으로 반응이 진행된다.

(1), (2)의 경우는 반응 물질이 상대적으로 약산, 약염기이고, (3), (4)는 생성 물질이 약산과 약염기이다. 따라서 (1), (2)는 역반응이, (3), (4)는 정반응이 우세한 반응이다.

③ H^+ 이 될 수 있는 H 원자가 있으면 산성염, OH^- 이 될 수 있는 OH가 있으면 염기성염이다. H^+ 이나 OH^- 이 될 수 있는 것이 모두 없으면 정염이다.

④ 주어진 물질 중 산성염은 $NaHSO_4$, $NaHCO_3$ 이다. 두 물질의 가수 분해 반응식은 다음과 같다.



따라서 수용액의 액성은 $NaHSO_4$ 의 경우는 산성이고, $NaHCO_3$ 의 경우는 염기성이다.

⑤ 약염기의 짝산은 가수 분해하여 산성을 나타낸다. NH_4^+ 은 약염기인 NH_3 의 짝산이다.



⑥ 염기성 물질에는 다음과 같은 것이 있다.

- 금속 산화물 : Na_2O (비금속 산화물은 주로 산성을 나타낸다.)
- 약산과 강염기가 반응하여 생성된 염 : CH_3COONa , KCN

⑦ $NaOH$ 과 H_3PO_4 이 중화 반응하면 다음과 같이 Na_2HPO_4 이 생성된다.



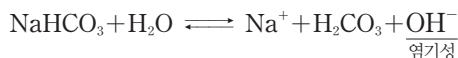
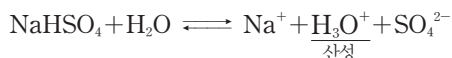
Na_2HPO_4 는 약산과 강염기가 반응하여 생성되는 염이므로 수용액은 염기성이다. 또한, Na_2HPO_4 은 H^+ 을 내놓을 수 있는 H를 가지고 있으므로 산성염이다.

⑧ 강산과 약염기의 반응으로 이루어진 염은 가수 분해하여 산성을 나타낸다.

①, ④ 가수 분해하여 중성을 나타낸다.

③, ⑤ 가수 분해하여 염기성을 나타낸다.

⑨ 산성염은 $NaHSO_4$ 과 $NaHCO_3$ 이다.



⑩ 염기성 물질에는 다음과 같은 것이 있다.

- 금속 산화물 : Na_2O , CaO
- 약산과 강염기가 반응하여 생성된 염 : CH_3COONa

비금속 산화물(SO_2)과, 강산과 약염기가 반응하여 생성된 염(NH_4Cl)은 산성을 나타낸다.

$NaCl$ 은 강산과 강염기가 반응하여 생성된 염이므로 중성을 나타낸다.

⑪ 약산의 짝염기인 CH_3COO^- 과 약염기의 짝산인 NH_4^+ 은 물과 가수 분해 반응을 하고, 나머지 이온들은 가수 분해 반응을 하지 않는다. CH_3COO^- 은 물속에서 OH^- 을 내놓아 염기성 용액이 되므로 다른 용액보다 pH가 크다.



NH_4^+ 은 물속에서 H_3O^+ 을 내놓아 산성 용액이 되므로 다른 용액보다 pH가 작다.



⑫ NH_4^+ 은 물속에서 H_3O^+ 을 내놓는다.



약산에서 $K_a = C\alpha^2$ 이므로

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.4 \times 10^{-10}}{0.001}} = 8.0 \times 10^{-4} \text{이다.}$$

$$[H_3O^+] = C\alpha = 0.001 \times 8.0 \times 10^{-4} = 8.0 \times 10^{-7} \text{M}$$

$$pH = -\log[H_3O^+] = -\log(8.0 \times 10^{-7})$$

$$= 7 - 3\log 2 = 7 - 3 \times 0.3 = 6.1$$

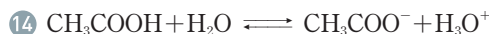
$$\textcircled{13} K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9} \text{이다.}$$

약산에서 $K_a = C\alpha^2$ 이므로

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-9}}{0.1}} = 1.0 \times 10^{-4} \text{이다.}$$

$$[H_3O^+] = C\alpha = 0.1 \times 1.0 \times 10^{-4} = 1.0 \times 10^{-5} \text{M}$$

$$pH = -\log(1.0 \times 10^{-5}) = 5.0$$



(1) CH_3COOH 0.01몰과 CH_3COONa 0.01몰을 녹여 만든 완충용액 100mL에서 $[CH_3COOH] = [CH_3COO^-] = 0.1 \text{M}$ 이고,

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]} \text{이므로 } [H^+] = 2.0 \times 10^{-5} \text{M이다.}$$

$$pH = -\log(2 \times 10^{-5}) = 5 - \log 2 = 4.7$$

(2) 완충 용액에 증류수를 가한다고 해도 $\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$ 의 비가 변

하지 않으므로 pH는 거의 변하지 않는다.

(3) $NaOH$ 를 넣어 주면 H_3O^+ 와 OH^- 이 반응하여 H_3O^+ 이 소모되므로 평형이 정반응 쪽으로 이동하고, $[CH_3COO^-]$ 가 증가한다.

(4) 완충 용량은 넣어 준 물질의 양이 많을수록 커진다. 따라서 (나) 용액의 완충 용량이 (가) 용액보다 크다.

(5) (가) 용액과 (나) 용액에서 $\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$ 의 비가 같으므로 pH는 서로 같다.

실력 확인 문제

pp.140~145

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

단답형 · 서술형 문제

20. (1) $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$, $\alpha = 0.01$ (2) 5
21. (1) 8.7 (2) 0.5 (3) 증가한다. 22. $\alpha = 0.099$, $b = 0.001$
23. (1) 13 (2) 12 (3) 12 24. 11.3
25. (1) $A > C > B$ (2) $[\text{CH}_3\text{COO}^-] < [\text{K}^+]$ (3) $[\text{Cu}^{2+}] < [\text{SO}_4^{2-}]$
26. 해설 참조 27. 10 28. (가) ㄷ, (나) ㄹ
29. (1) $[\text{NH}_4\text{OH}] = 0.2\text{M}$, $[\text{NH}_4\text{Cl}] = 0.4\text{M}$ (2) $9.0 \times 10^{-6}\text{M}$
30. (1) HA 수용액 : 0.2M, HB 수용액 : 0.2M (2) $\text{HB} > \text{HA}$
31. (1) 2.89 (2) 4.59 (3) 4.77 (4) 8.73 (5) 11.29
32. 아세트산 : 아세트산나트륨 = 1 : 10

① 1가산 HA의 $K_a = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$ 이다. $\alpha(1.0 \times 10^{-4})$ 가 매우 작은 약

산일 때는 $K_a = C\alpha^2$ 이다. 따라서 K_a 는 다음과 같다.

$$K_a = 0.1 \times (1.0 \times 10^{-4})^2 = 1.0 \times 10^{-9}$$

② 브뢴스테드-로우리의 이론에 따르면 양성자(H^+)를 내놓는 분
자나 이온은 산이고, 양성자(H^+)를 받는 분자나 이온은 염기이다.

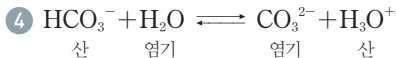
② H_2O 은 NH_3 에게 수소 이온을 주는 산으로 작용한다.

①, ④ 산화·환원 반응이다.

③, ⑤ H_2O 이 염기로 작용한다.

③ H^+ 의 이동에 의해 산과 염기로 되는 한 쌍의 물질을 짝산-짝
염기라고 한다.

NH_4^+ 과 NH_3 , 그리고 H_3O^+ 과 H_2O 은 각각 짝산-짝염기 관계
이다.



산은 H^+ 을 내놓는 물질이므로 HCO_3^- 과 H_3O^+ 이 산이다. 염기는
 H^+ 을 받는 물질이므로 H_2O 과 CO_3^{2-} 이 염기이다. $\text{HCO}_3^- -$
 CO_3^{2-} , 그리고 $\text{H}_3\text{O}^+ - \text{H}_2\text{O}$ 은 각각 짝산-짝염기 관계이다.

⑤ ㄱ. 브뢴스테드-로우리의 산-염기 평형은 강산과 강염기에서
약산과 약염기가 생성되는 쪽으로 평형이 치우친다.

HF의 K_a 는 매우 작으므로 HF의 이온화 평형은 역반응 쪽으로 치
우쳐 있는데, 이것은 H_3O^+ 이 HF보다 강한 산이라는 것을 의미한다.

HCN의 K_a 는 HF의 K_a 보다 더 작으므로 HCN은 HF보다 약한
산이다.

ㄴ. 강산의 짝염기는 약염기이고, 약산의 짝염기는 강염기이므로
염기의 세기는 $\text{CN}^- > \text{F}^- > \text{H}_2\text{O}$ 이다.

ㄷ. H_2O 는 두 반응에서 모두 염기로 작용한다.

⑥ HCl 수용액의 몰 농도를 구해 보면 HCl의 몰수가 0.01몰이고
용액의 부피가 1L이므로 0.01M이고, 이온화도가 1이므로
 $[\text{H}^+] = 0.01\text{M}$ 이다. 따라서 $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log 10^{-2} = 2$ 이다.

⑦ ① $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ 이므로 (가)의 수소 이온 농도는 10^{-4}M 이다.

② (나)의 $\text{pH} = 14 - 9 = 5$ 이다.

③ (다)의 수소 이온 농도는 $0.1 \times 0.01 = 0.001\text{M}$ 이다.

④ (라) 약산이므로 $K_a = C\alpha^2$ 이다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-3}}{10^{-1}}} = 10^{-1}$$

$$[\text{H}^+] = C\alpha = 0.1 \times 0.1 = 10^{-2}\text{M}$$

따라서 $\text{pH} = 2$ 이다.

(라)의 pH 는 2이고, (다)의 pH 는 3이므로 산성도는 (라)가 (다)보다 산
성이 강하다.

⑤ pH 는 (가) 4, (나) 5, (다) 3, (라) 2이므로 (나) > (가) > (다) > (라)의 순서
이다.

⑧ ㄱ. 산의 세기는 $\text{H}_3\text{O}^+ > \text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HCO}_3^-$ 이므로 짝염기의
세기는 $\text{H}_2\text{O} < \text{HCO}_3^- < \text{CO}_3^{2-}$ 이다.

ㄴ. H_2O 는 1단계, 2단계에서 모두 염기로 작용하고, HCO_3^- 은
1단계 반응에서는 염기로 작용하고, 2단계 반응에서는 산으로 작용
한다.

ㄷ. 다단계 반응에서 전체 반응의 평형 상수는 각 단계별 평형 상수
의 곱과 같다. 따라서 전체 반응의 평형 상수는 다음과 같다.

$$K_a = K_{a1} \times K_{a2} = 2.0 \times 10^{-17}$$

⑨ 용액의 pH는 수소 이온의 농도에 의해 결정된다. 각 수용액의
수소 이온 농도 $[\text{H}^+]$ 를 구해 보면 다음과 같다.

$$(가) [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-5}\text{mol/L}$$

$$(나) [\text{H}^+] = C\alpha = 0.1 \times 0.1 = 1.0 \times 10^{-2}\text{mol/L}$$

$$\text{pH} = -\log(1.0 \times 10^{-2}) = 2$$

(다) 약산이므로 $K_a = C\alpha^2$ 이다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-5}}{10^{-1}}} = 10^{-2}$$

$[H^+] = Ca = 0.01 \times 0.1 = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 이다.

$$\text{pH} = -\log(1.0 \times 10^{-3}) = 3$$

따라서 pH는 (가)5, (나)2, (다)3 이므로 (가) > (다) > (나)이다.

10 중화 반응의 알짜 이온 반응식은 $H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$ 이므로

중화 반응이 완결되기 위해서는 H^+ 의 몰수와 OH^- 의 몰수가 같아야 한다. 황산 수용액 속의 수소 이온의 몰수는 다음과 같다.

$$\text{몰수} = \text{가수} \times \text{몰 농도} \times \text{부피} = 2 \times 0.2 \times 0.02 = 0.008 (\text{몰})$$

따라서 필요한 NaOH의 질량은 $0.008 \times 40 = 0.32 \text{ g}$ 이다.

11 암모니아 3.4g은 $\frac{3.4}{17} = 0.2$ 몰이며, 1L 용액을 만들었으므로

암모니아수의 농도는 0.2M이고, 부피는 10mL이다. 염산의 농도는 0.1M이므로 다음 식이 성립한다.

$$nMV = n' M' V'$$

$$1 \times 0.2 \times 10 = 1 \times 0.1 \times x \text{에서 } x = 20 \text{ mL}$$

12 0.1M HCl 수용액 20mL 속에 존재하는 H^+ 의 몰수는 $0.1 \text{ M} \times 0.02 \text{ L} = 0.002 \text{ 몰}$ 이고, 0.2M NaOH 수용액 20mL 속에 존재하는 OH^- 의 몰수는 $0.2 \text{ M} \times 0.02 \text{ L} = 0.004 \text{ 몰}$ 이다. 따라서 혼합 용액 속에 존재하는 OH^- 의 몰수는 $0.004 \text{ 몰} - 0.002 \text{ 몰} = 0.002 \text{ 몰}$ 이다.

$$OH^- \text{의 몰 농도} = \frac{\text{용질의 몰수}}{\text{용액의 부피}} = \frac{0.002}{0.04} = 0.05 \text{ M}$$

$$\text{pOH} = -\log 0.05 = 2 - \log 5 = 1.3$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \text{에서 } \text{pH} = 14 - 1.3 = 12.7 \text{이다.}$$

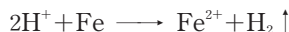
13 ① 주전자의 물때가 산에 의해 제거되는 것은 반응 (나)로 설명할 수 있는데, 이는 반응 (다)와 같이 탄산칼슘이 가수 분해하여 수산화 이온을 내는 염기성 물질이기 때문이다.

② 반응 (나)는 반응 (다)보다 매우 빠르게 일어나므로 평형 상수도 크다.

③, ⑤ 탄산칼슘은 이산화탄소가 녹아 있는 물과 반응하여 수용성의 탄산수소칼슘으로 되고, 이러한 센물을 가열하면 반응 (가)의 역반응이 일어나 탄산칼슘의 불용성 염이 생성된다.

④ 두 번째와 세 번째 반응은 H_2CO_3 과 HCO_3^- 이 이산화 평형을 나타내는 반응식으로, 두 반응의 평형 상수가 매우 작으므로 모두 역반응이 잘 일어난다. 따라서 $Ca(HCO_3)_2$ 과 $CaCO_3$ 모두 염기성 물질임을 알 수 있다.

14 ㄱ. 산성비에 의해서 철제 구조물이 부식되는 반응은 산화-환원 반응이다.



ㄴ. 이산화황 제거 장치에 석회석($CaCO_3$)을 가하면 석회석이 열분해되어 CaO가 생성된다. CaO은 금속 산화물로 염기성 물질이다. 비금속 산화물인 황 산화물은 산성을 띠기 때문에 염기성 물질인 CaO와 반응하여 $CaSO_4$, $CaSO_3$ 을 생성하므로 제거된다.

ㄷ. 철광석을 제련할 때 석회석을 가하면 염기성 물질인 CaO가 생성된다. CaO는 산성인 SiO_2 와 반응하여 슬래그($CaSiO_3$)를 만든다.

ㄹ. 비누에는 NaOH(염기성)이 약간 존재하여 공기 중의 CO_2 (산성)과 중화 반응하므로 염인 탄산나트륨(Na_2CO_3)이 생성된다.

15 ① HA의 농도를 x 라 하면 $0.05 \times 20 = x \times 10$ 에서 x 는 0.1M이다.

②, ③ 처음에 HA 수용액의 pH가 3이므로

$$[H^+] = Ca = 0.1\alpha = 10^{-3} \text{에서 이온화도}(\alpha) \text{는 } 0.01 \text{이다.}$$

$$\text{따라서 } K_a \text{는 } Ca^2 = 0.1 \times (0.01)^2 = 10^{-5} \text{이다.}$$

a점의 용액은 NaOH가 10mL 들어간 지점이므로

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \text{에서 } [HA] \text{와 } [A^-] \text{가 같다.}$$

따라서 $[H^+] = 10^{-5} \text{ M}$ 이고, pH는 5이다.

$$④ K_a = 10^{-5} = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \text{이므로 pH} = 7 \text{인 지점에서 } \frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$= \frac{10^{-5}}{10^{-7}} = 100 \text{이다.}$$

⑤ 페놀프탈레인 용액은 변색 범위가 pH 7보다 크므로 강염기로 적정하는 중화 적정 실험에서 지시약으로 사용할 수 있다.

16 ㄱ. 산성 용액에서는 H^+ 가 많으므로 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 지시약이 주로 HIn 형태로 존재한다. 따라서 노란색을 나타낸다.

$$\text{ㄴ. } K_a = \frac{[H_3O^+][In^-]}{[HIn]} \text{이고, pH} = 6 \text{인 용액에서 } [H_3O^+] = 10^{-6}$$

$$\text{이므로 } \frac{[In^-]}{[HIn]} = \frac{K_a}{[H_3O^+]} = \frac{10^{-8}}{10^{-6}} = 10^{-2} \text{이다.}$$

ㄷ. pH 10인 용액은 염기성이므로 평형이 정반응 쪽으로 이동하고, 지시약은 주로 In^- 형태로 존재한다. 따라서 In^- 의 농도가 HIn의 농도보다 크다.

17 ㄱ, ㄴ. 중화점의 pH가 7보다 큰 것으로 보아 HA는 약산이고, BOH는 강염기이다. 따라서 지시약은 변색 범위가 pH 7 이상인 페놀프탈레인 용액(pH 8.3~10.0)이 적당하다.

ㄷ. 중화점까지 소모된 염기의 부피가 10mL인 것으로 보아 산의 농도는 0.1M이다. 그런데 산 HA 수용액의 초기 pH가 3이므로 이온화도는 0.01이다.

18 ① HA는 약산이므로 HA와 A⁻으로 이루어진 a점의 용액은 완충 용액이다.

② HA 수용액의 농도가 0.1M이고, NaOH 수용액을 넣기 전 HA 수용액의 pH가 3이므로 HA의 이온화도(α)는 10^{-2} 이다. 그러므로 HA의 이온화 상수(K_a)는 $0.1 \times (10^{-2})^2 = 10^{-5}$ 이다.

③ HB 수용액 50mL를 중화 적정하는 데 0.1M NaOH 수용액이 50mL 필요하므로 HB 수용액의 농도는 0.1M이다. HB가 강산이고, b점에서는 HB의 $\frac{1}{2}$ 이 중화된다. b점에서 B⁻은 $0.1 \times \frac{50}{1000} = 5 \times 10^{-3}$ 몰이고, H⁺은 $5 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} = 2.5 \times 10^{-3}$ 몰 존재한다.

④ HA는 약산이고, HB는 강산이므로 중화점에서 혼합 용액의 pH는 HA 수용액이 HB 수용액보다 크다.

⑤ HA와 HB는 모두 pH가 급격히 변하는 구간이 페놀프탈레인의 변색 범위에 포함되므로 지시약으로 페놀프탈레인을 사용할 수 있다.

19 ㄱ. HCl을 넣으면 수용액 속의 하이드로늄 이온(H₃O⁺)의 농도가 커지므로 르사틀리에 원리에 의해 H₃O⁺을 제거하는 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 아세트산 이온의 개수가 감소한다.

ㄴ. NaOH를 넣으면 H₃O⁺ + OH⁻ → 2H₂O의 반응에 의해서 H₃O⁺의 농도가 감소하므로 르사틀리에 원리에 의해 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 아세트산 이온의 개수가 증가한다.

ㄷ. 아세트산을 넣으면 평형이 정반응 쪽으로 이동하여 아세트산 이온의 개수가 증가한다.

ㄹ. CH₃COONa를 수용액에 넣으면 이온화(CH₃COONa → CH₃COO⁻ + Na⁺)에 의해서 CH₃COO⁻의 농도가 증가하므로 르사틀리에 원리에 의해 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 그러나 넣어 준 아세트산 이온이 모두 반응하여 소모되는 것은 아니므로 아세트산 이온의 총 개수는 결과적으로 증가한다.

20 정답

(1) $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$, $\alpha = 0.01$ (2) 5

해설

(1) $[H^+] = 10^{-pH}$, $[H^+] = \sqrt{K_a C}$ 에서 $\sqrt{K_a C} = 10^{-pH}$

$$K_a = \frac{(10^{-pH})^2}{C} = \frac{(10^{-3})^2}{0.1} = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$K_a = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha} \doteq C\alpha^2$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1 \times 10^{-5}}{0.1}} = 0.01$$

(2) $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$ 에서 $K_a = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}$ 이다.

이때 $[A^-] = [HA] = \frac{0.1M \times 0.1L}{0.2L} = 0.05M$ 이다.

따라서 $[H^+]$ 는 다음과 같다.

$$[H^+] = K_a \times \frac{[HA]}{[A^-]} = 1.0 \times 10^{-5} \times \frac{0.05}{0.05} = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$pH = -\log[H^+] = -\log 10^{-5} = 5$$

21 정답

(1) 8.7 (2) 0.5 (3) 증가한다.

해설

(1) $pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$ 에서 $[HA]$ 가 $[A^-]$ 의 10배이면

$$pH = -\log(2.0 \times 10^{-10}) + \log \frac{1}{10}$$

$$= 10 - \log 2.0 - 1 = 8.7$$

(2) $pK'_a = -\log(4.0 \times 10^{-8}) = 8 - 2\log 2 = 7.4$ 이다.

$pH = pK_a + \log \frac{[B^-]}{[HB]}$ 에 $pK'_a = 7.4$ 를 대입하면 $\frac{[B^-]}{[HB]} = 1$ 이다.

따라서 HB의 이온화도는 0.5이다.

(3) (가) 수용액에 NaOH를 넣어 주면 HA보다 강한 산인 HB가 NaOH와 반응하므로 HB의 농도는 감소하고, B⁻의 농도는 증가한다.

22 정답

$a = 0.099$, $b = 0.001$

해설

	$BOH(aq) \rightleftharpoons B^+(aq) + OH^-(aq)$		
초기(M)	0.1	0	0
반응(M)	-1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}
평형(M)	$0.1 - 1.0 \times 10^{-3}$	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}

$$a = 0.1 - 1.0 \times 10^{-3} = 0.099$$

$$b = 1.0 \times 10^{-3} = 0.001$$

23 정답

(1) 13 (2) 12 (3) 12

해설

(1) NaOH은 강염기이므로 100% 이온화한다.

따라서 $[OH^-] = 0.1M$, $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-13}M$ 이다.

$$[H_3O^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.1} = 1.0 \times 10^{-13}M$$

따라서 $pH = -\log(1.0 \times 10^{-13}) = 13$ 이다.

나. 부피 플라스크로, 표준 용액을 만드는 데 사용된다.

다. 뷰렛으로, 중화 적정 실험에서 쓰이는 표준 용액의 부피를 측정하는 실험 기구이다.

르. 피펫으로, 정확한 부피의 용액을 취해 옮기는 데 사용되는 실험 기구이다.

29 정답

(1) $[\text{NH}_4\text{OH}] = 0.2\text{M}$, $[\text{NH}_4\text{Cl}] = 0.4\text{M}$ (2) $9.0 \times 10^{-6}\text{M}$

해설

(1) HCl의 몰 농도 = $\frac{1.0 \times 0.02}{0.05} = 0.4\text{M}$ 이고, NH_4OH 의 몰 농

도 = $\frac{1.0 \times 0.03}{0.05} = 0.6\text{M}$ 이며, 중화 반응식은 다음과 같다.

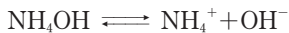


따라서 생성된 NH_4Cl 의 농도는 반응한 HCl의 농도와 같으며, 용액 속에 남은 NH_4OH 의 농도는 처음의 농도에서 NH_4Cl 의 농도를 뺀 것과 같다.

반응 후 $[\text{NH}_4\text{OH}] = 0.6\text{M} - 0.4\text{M} = 0.2\text{M}$

반응 후 $[\text{NH}_4\text{Cl}] = 0.4\text{M}$

(2) 용액 1L 속에 NH_4Cl 0.4몰과 NH_4OH 0.2몰이 녹아 있는 완충 용액이 된다.



$$[\text{OH}^-] = \frac{K_b[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{1.8 \times 10^{-5} \times 0.2}{0.4} = 9.0 \times 10^{-6}\text{M}$$

30 정답

(1) HA 수용액 : 0.2M, HB 수용액 : 0.2M (2) $\text{HB} > \text{HA}$

해설

(1) HA 수용액 25mL, HB 수용액 25mL는 각각 0.1M NaOH 50mL와 완전 중화되므로 HA 수용액, HB 수용액의 농도는 $x \times 25 = 0.1 \times 50$ 에서 $x = 0.2\text{M}$ 이다. 따라서 적정 전 두 용액의 농도는 각각 0.2M이다.

(2) 처음 두 용액의 pH를 보면 HB가 HA보다 강한 산이다.

31 정답

(1) 2.89 (2) 4.59 (3) 4.77 (4) 8.73 (5) 11.29

해설

약산 HA를 강염기인 NaOH으로 중화 적정하면 중화점에 이르기 전에 약산 HA의 짝염기인 A^- 이 생성되므로 그 수용액은 완충 용액이 된다. 따라서 헨더슨-하셀바흐 식을 이용해서 수용액의 pH를 구한다.

$$(1) [\text{H}^+] = \sqrt{K_a C} = \sqrt{1.69 \times 10^{-5} \times 0.1} = 1.3 \times 10^{-3}\text{M}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(1.3 \times 10^{-3}) = 2.89$$

$$(2) \text{초기 HA의 몰수} = 0.1\text{M} \times 0.025\text{L} = 2.5 \times 10^{-3}\text{몰}$$

$$\text{이 점에서 사용한 } \text{OH}^- \text{의 몰수} = 0.1\text{M} \times 0.01\text{L} = 1.0 \times 10^{-3}\text{몰}$$

	HA	+	OH ⁻	⇌	A ⁻ + H ₂ O
처음 몰수	2.5×10^{-3}		1.0×10^{-3}		0
반응 몰수	-1.0×10^{-3}		-1.0×10^{-3}		$+1.0 \times 10^{-3}$
반응 후 몰수	1.5×10^{-3}		0		1.0×10^{-3}

헨더슨-하셀바흐 식에 의해 pH는 다음과 같다.

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$= \log(1.69 \times 10^{-5}) + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$= 4.77 + \log \frac{1.0 \times 10^{-3}}{1.5 \times 10^{-3}}$$

$$= 4.77 + \log \frac{2}{3}$$

$$= 4.77 + 0.3 - 0.48 = 4.59$$

$$(3) \text{초기 HA의 몰수} = 0.1\text{M} \times 0.025\text{L} = 2.5 \times 10^{-3}\text{몰}$$

$$\text{이 점에서 사용한 } \text{OH}^- \text{의 몰수} = 0.1\text{M} \times 0.0125\text{L}$$

$$= 1.25 \times 10^{-3}\text{몰}$$

	HA	+	OH ⁻	⇌	A ⁻ + H ₂ O
처음 몰수	2.5×10^{-3}		1.25×10^{-3}		0
반응 몰수	-1.25×10^{-3}		-1.25×10^{-3}		$+1.25 \times 10^{-3}$
반응 후 몰수	1.25×10^{-3}		0		1.25×10^{-3}

헨더슨-하셀바흐 식에 의해 pH는 다음과 같다.

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 4.77 + \log \frac{1.25 \times 10^{-3}}{1.25 \times 10^{-3}} = 4.77$$

$$(4) \text{중화점에서 생성된 } \text{A}^- \text{의 몰수} = 0.1\text{M} \times 0.025\text{L}$$

$$= 2.5 \times 10^{-3}\text{몰}$$

중화점에서 혼합 용액의 부피 = 50mL

중화점에서 A^- 의 몰 농도 = 0.05M

A^- 는 약산으로부터 생성된 이온이므로 다음과 같이 가수 분해가 일어난다.

	A ⁻ + H ₂ O	⇌	HA + OH ⁻
처음 몰 농도	0.05		0
반응 몰 농도	-x		+x
반응 후 몰 농도	0.05 - x		x
	≈ 0.05		

$K_a \times K_b = K_w$ 이므로 K_b 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.69 \times 10^{-5}} = 5.9 \times 10^{-10}$$

평형 상수식에서 K_b 는 다음과 같다.

$$K_b = \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} = \frac{x^2}{0.05 - x} \doteq \frac{x^2}{0.05} = 5.9 \times 10^{-10}$$

$$x^2 = 29.5 \times 10^{-12}$$

$$x = 5.4 \times 10^{-6} \text{ M} = [\text{OH}^-]$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log(5.4 \times 10^{-6}) = 5.27$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 5.27 = 8.73$$

(5) 초기 HA의 몰수 = $0.1 \text{ M} \times 0.025 \text{ L} = 2.5 \times 10^{-3}$ 몰

$$\begin{aligned} \text{이 점에서 사용한 } \text{OH}^- \text{의 몰수} &= 0.1 \text{ M} \times 0.026 \text{ L} \\ &= 2.6 \times 10^{-3} \text{ 몰} \end{aligned}$$

$$\text{혼합 용액의 부피} = 25 \text{ mL} + 26 \text{ mL} = 51 \text{ mL} = 5.1 \times 10^{-2} \text{ L}$$

	HA	+	OH ⁻	⇌	A ⁻ + H ₂ O
처음 몰수	2.5×10^{-3}		2.6×10^{-3}		0
반응 몰수	-2.5×10^{-3}		-2.5×10^{-3}		$+2.5 \times 10^{-3}$
반응 후 몰수	0		1.0×10^{-4}		2.5×10^{-3}
반응 후 몰 농도	0		1.96×10^{-3}		4.9×10^{-2}

$$[\text{OH}^-] = \frac{1.0 \times 10^{-4}}{5.1 \times 10^{-2}} = 1.96 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log(1.96 \times 10^{-3}) = 2.71$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 2.71 = 11.29$$

32 정답

아세트산 : 아세트산나트륨 = 1 : 10

해설

원충 용액에서 수용액의 pH는 다음과 같이 헨더슨 - 하셀바흐 식을 이용해서 구할 수 있다.

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$



$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\log K_a = \log[\text{H}_3\text{O}^+] + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\text{p}K_a = \text{pH} - \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

이 식을 만족하도록 해 주면 원충 용액이 된다.

$$\log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 5.75 - 4.75 = 1.0$$

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 10$$

따라서 아세트산 : 아세트산나트륨 = 1 : 10의 몰수 비로 섞어 주면 된다.

개념 활용 문제

pp.146~151

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

① ㄱ. 짝산-짝염기는 H^+ 을 주고받는 관계이다. 즉, HF와 F^- 은 짝산-짝염기 관계이고, H_3O^+ 과 H_2O 도 짝산-짝염기 관계이다.

ㄴ. 물(H_2O)이 H^+ 을 받으면 염기로 작용한 것이고, H^+ 을 내놓으면 산으로 작용한 것이다. 주어진 반응식에서 H_2O 은 HF로부터 H^+ 을 받으므로 염기로 작용하였다.

ㄷ. 산성의 세기는 이온화도나 이온화 상수가 클수록 강하다. 주어진 자료에서 HF가 산으로 작용하는 정반응의 이온화 상수(K_a)는 6.8×10^{-4} 로 1보다 작다. 따라서 H_3O^+ 이 산으로 작용하는 역반응의 이온화 상수(K_a^{-1})는 다음과 같으므로 $K_a^{-1} > K_a$ 가 성립한다.

$$K_a^{-1} = \frac{1}{K_a} = \frac{1}{6.8 \times 10^{-4}} > 1$$

따라서 이온화 상수 값이 작은 HF가 이온화 상수 값이 큰 H_3O^+ 보다 약한 산이다.

② ㄱ. 중화열은 1몰의 H^+ 과 OH^- 가 반응하여 1몰의 H_2O 가 생성될 때 방출되는 열이므로 $\Delta H = -57.7 \text{ kJ}$ 이다.

ㄴ. $t^\circ\text{C}$ 에서 $K_w = 1.60 \times 10^{-15}$ 이므로 $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 4.0 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ 이다. 따라서 물의 pH는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log(4.0 \times 10^{-8}) = 8 - \log 4.0 \\ &= 8 - 2\log 2 = 8 - 0.6 = 7.4 \text{이다.} \end{aligned}$$

ㄷ. 어떤 온도에서도 물의 $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ 이므로 온도에 관계없이 물은 중성이다.

③ ㄱ. (ㄷ)의 반응에서 이온화 상수가 매우 작으므로 역반응이 정반응보다 우세하게 일어난다. 그러므로 OH^- 은 HCO_3^- 보다 강한 염기이다.

ㄴ. 용액의 pH가 커지면 OH^- 이 증가하므로 (ㄴ)의 반응에서 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 CO_3^{2-} 의 농도가 커진다. CO_3^{2-} 의 농도가 커지면 (ㄱ)의 반응에서 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로 CaCO_3 의 용해도가 감소한다.

ㄷ. (ㄴ)의 반응에서 H_2O 와 HCO_3^- 은 모두 H^+ 을 내놓는 산으로 작용한다.

4 (ㄱ) 염산의 양이 증가하여도 이온 수가 변하지 않는 것으로 보여 넣어 주는 염산과는 관계없고, 중화 반응에 참여하지 않는 이온임을 알 수 있다. 따라서 수산화나트륨 수용액에 들어 있는 Na^+ 이다.

(ㄴ) 넣어 주는 염산의 양이 증가할수록 감소하다가 중화점 이후에 존재하지 않는 것으로 보여 수산화나트륨 수용액에 들어 있던 이온으로, 중화 반응에 참여하는 OH^- 임을 알 수 있다.

(ㄷ) 넣어 주는 염산의 양이 10mL가 될 때까지 존재하지 않다가 중화점 이후에 증가하는 것으로 보여 염산 속의 이온으로, 중화 반응에 참여하는 H^+ 임을 알 수 있다.

(ㄹ) 넣어 주는 염산의 양에 비례하는 것으로 보여 염산 속의 이온으로, 중화 반응에 참여하지 않는 이온인 Cl^- 임을 알 수 있다.

5 수산화나트륨 표준 용액을 부피 플라스크에 만든 후(ㄱ)→(ㄷ)→(ㄷ) 뷰렛에 채워 넣고, 삼각 플라스크 속 식초 수용액을 중화 적정하여(ㄹ)→(ㄴ)→(ㄴ) 아세트산 농도를 계산한다(ㄹ).

6 $nMV = n'M'V'$ (n, n' : 산, 염기의 가수, M, M' : 산, 염기의 몰 농도, V, V' : 산, 염기의 부피)

$M = \frac{n' \times M' \times V'}{n \times V}$ 이므로 M' 이나 V' 가 크고, V 가 작으면 M 이 커진다.

7 ㄱ. 뷰렛 속에는 농도를 알고 있는 표준 용액을 넣는다.

ㄴ. 삼각 플라스크에는 농도를 모르는 미지의 용액과 지시약을 넣는다.

ㄷ. 약산과 강염기의 중화 반응에서는 중화점의 pH가 7보다 크다.

ㄹ. 약산과 강염기의 중화점은 pH가 7보다 크므로 지시약은 변색 범위가 7보다 큰 페놀프탈레인이 적당하다.

8 ㄱ. a점에서 BOH 수용액의 pH가 12.0이다.

따라서 $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-12} \text{M}$ 이고, BOH 수용액 50mL의 중화 반응에 사용된 1.0M HCl 수용액이 50mL이므로 BOH의 농도는 1.0M이다.

a점에서 BOH의 이온화도는 $\alpha = 0.01$ 이다.

ㄴ. b점에서 $[\text{BOH}] = [\text{B}^+]$ 이고, $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-4}$ 이므로 염기

BOH의 이온화 상수는 $K_b = \frac{[\text{B}^+][\text{OH}^-]}{[\text{BOH}]} = 1 \times 10^{-4}$ 이다.

ㄷ. c점에서 $\text{pH} < 7$ 이므로 $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ 이다.

9 이산화탄소의 용해 반응

(1) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$

(2) $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

(3) $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$

ㄱ. 온도가 변하지 않으면 평형 상수는 변하지 않으므로 K_{a2} 는 변하지 않는다.

ㄴ. 이산화탄소가 발생하는 것은 역반응이 일어난 것으로, H_3O^+ 의 농도가 감소하므로 pH는 증가한다.

ㄷ. CO_2 가 발생하는 것은 역반응으로 평형이 이동하는 것으로, 역반응 속도가 정반응 속도보다 빠르다.

10 ㄱ. 같은 농도에서 pH가 작을수록 $[\text{H}^+]$ 가 크고, 이온화도가 크므로 산의 세기는 $\text{HX} < \text{HY} < \text{HZ}$ 순이다.

ㄴ. 0.01M에서 HX 수용액의 pH가 4이므로 $[\text{H}^+] = 0.01 \times \alpha = 10^{-4}$ 이다. 따라서 이온화도(α)는 0.01이다.

ㄷ. 1M HY 수용액에서 이온화도가 0.01이므로 HY는 약산이다. 따라서 강염기인 NaOH와 혼합하면 완충 용액이 생성된다.

11 ㄱ. A는 CH_3COO^- 이 가수 분해하여 염기성 용액이 되고, B는 Cu^{2+} 이 가수 분해하여 산성 용액이 되며, C는 중성이다. 따라서 pH를 비교하면 $A > C > B$ 이다.

ㄴ. 전기 전도도는 이온 농도가 크고 이온의 전하가 큰 B가 가장 크고, 농도가 가장 작은 A가 가장 작다.

ㄷ. A에서 CH_3COO^- 는 가수 분해하므로 Na^+ 의 농도보다 작다.

$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$

ㄹ. B에서 Cu^{2+} 는 가수 분해되므로 SO_4^{2-} 의 농도보다 작다.

$\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$

12 ㄱ. 운동을 하면 혈액 중의 $\text{CO}_2(aq)$ 가 증가하여 (ㄷ)의 평형이 정반응 쪽으로 이동하므로 혈액 내 HCO_3^- 의 농도가 증가한다.

ㄴ. 약산인 H_2CO_3 과 짝염기인 HCO_3^- 으로 이루어진 용액은 완충 용액이다.

ㄷ. 혈액에 소량의 염기가 유입되면 (ㄷ)에서 H^+ 이 소모되므로 평형이 정반응 쪽으로 이동한다.

4. 산화-환원 평형

01 화학 전기

개념 확인 문제

pp.170~171

01. ④ 02. ⑤ 03. ④ 04. ① 05. ②
 06. 역반응 쪽 07. ① 08. ③ 09. ② 10. ①
 11. (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) × (7) × (8) ○ (9) × (10) ×

1 전지가 형성되어 다음과 같은 반응이 일어난다.

(-)극 아연판 : $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ (산화 반응)

(+)극 구리판 : $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 \uparrow$ (환원 반응)

전체 반응 : $\text{Zn} + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$

아연판에서는 아연이 아연 이온으로 되어 용액에 녹아 들어가므로 질량이 감소하고, 구리판에서는 수소 기체가 발생한다.

2 (-)극 : $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ (산화, 전극 질량 감소)

(+)극 : $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$ (환원, 전극 질량 불변)

전체 반응 : $\text{Zn} + 2\text{Fe}^{3+} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{Fe}^{2+}$

3 전자는 (-)극인 Zn에서 (+)극인 Pt 전극으로 이동한다.

4 표준 전지 전위는 $+0.77 - (-0.76) = +1.53(\text{V})$ 이다.

3 화학 에너지를 전기 에너지로 바꾸면 전류가 흐르게 되고, 전지가 형성되기 위해서는 전자의 이동이 필요하다. 화학 반응에서 전자가 이동하는 반응을 산화·환원 반응이라고 하며, 전지를 만드는 데 산화·환원 반응을 이용할 수 있다.

① 다니엘 전지에서의 반응

② 산화는 전지에서의 반응

③ 볼타 전지에서의 반응

④ 산화·환원 반응이 아닌 양금 생성 반응이다.

⑤ 납축전지에서의 반응

4 $\text{M}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{M}, E^\circ$

표준 환원 전위(E°)가 큰 금속일수록 이온화 경향이 작으며, 산화되기 어렵고, 환원되기 쉬운 금속이다.

반대로 표준 산화 전위가 큰 금속일수록 이온화 경향이 크고, 산화되기 쉬우며, 환원되기 어려운 금속이다.

5 $\text{Ag}^+(aq) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}(s), E^\circ = +0.80\text{V}$

$\text{Cu}^{2+}(aq) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(s), E^\circ = +0.34\text{V}$

표준 환원 전위가 더 큰 Ag^+ 이 환원되고, Cu가 산화된다.

환원 : $\text{Ag}^+(aq) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}(s) \cdots \cdots \text{㉠}$

산화 : $\text{Cu}(s) \longrightarrow \text{Cu}^{2+}(aq) + 2\text{e}^- \cdots \cdots \text{㉡}$

㉠ $\times 2$ + ㉡을 하면 다음과 같다.

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

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

$2\text{Ag}^+(aq) + \text{Cu}(s) \longrightarrow 2\text{Ag}(s) + \text{Cu}^{2+}(aq)$

표준 전지 전위($E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{\text{Ag}^+} - E^\circ_{\text{Cu}^{2+}}$)

$= +0.80\text{V} - (+0.34\text{V}) = +0.46\text{V}$

6 $\text{Pb} \longrightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-, E^\circ = +0.13\text{V}$

$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Zn}, E^\circ = -0.76\text{V}$

두 식을 더하면 $\text{Pb} + \text{Zn}^{2+} \longrightarrow \text{Pb}^{2+} + \text{Zn}, E^\circ = -0.63\text{V}$

E° 의 값이 (-)이므로 역반응이 일어난다.

7 납축전지에서 방전이 일어날 때 (-)극인 Pb 전극에서는 산화 반응이 일어나 PbSO_4 이 생성되고, (+)극인 PbO_2 전극에서는 환원 반응이 일어나 PbSO_4 이 생성되므로 두 전극에서는 모두 질량이 증가한다.

(-)극 : $\text{Pb}(s) + \text{SO}_4^{2-}(aq) \longrightarrow \text{PbSO}_4(s) + 2\text{e}^-$ (산화)

(+)극 : $\text{PbO}_2(s) + \text{SO}_4^{2-}(aq) + 4\text{H}^+(aq) + 2\text{e}^-$

$\longrightarrow \text{PbSO}_4(s) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$ (환원)

전체 반응 : $\text{Pb}(s) + \text{PbO}_2(s) + 2\text{H}_2\text{SO}_4(aq) \rightleftharpoons$

$2\text{PbSO}_4(s) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$

8 납축전지는 충전과 방전이 가능한 2차 전지로, 자동차의 배터리로 이용되고 있다.

$\text{Pb}(s) + \text{PbO}_2(s) + 2\text{H}_2\text{SO}_4(aq) \xrightleftharpoons[\text{충전}]{\text{방전}}$

$2\text{PbSO}_4(s) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$

9 1차 전지는 일정 기간 사용하고 나면 더 이상 사용할 수 없는 전지이고, 2차 전지는 충전하여 다시 사용할 수 있는 전지이다. 대부분의 전지는 1차 전지이고, 1차 전지로는 망가니즈 건전지, 알칼리 건전지, 볼타 전지, 다니엘 전지 등이 있다. 2차 전지의 대표적인 예로는 자동차에 쓰이는 납축전지, 휴대폰이나 노트북에 쓰이는 리튬-이온 전지, 카세트 라디오의 충전용 전지로 쓰이는 니켈-카드뮴 전지가 있다.

10 ㄱ. 납축전지 1개의 전압은 2V로, 자동차의 배터리에는 납축 전지 3개 또는 6개를 직렬로 연결해서 사용한다.

ㄴ. 납축전지는 충전이 가능한 2차 전지이다.

ㄷ. 납축전지는 방전되면 두 전극에서 모두 황산납(PbSO_4)이 생성되므로 전극의 질량이 증가한다.

르. 납축전지는 방전되면 황산의 농도가 묽어지고, 충전하면 황산의 농도가 진해진다.

11 (1) 아연판에서는 $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 의 산화 반응이 일어나므로 질량이 감소한다.

(2) (가)에서 다음과 같은 반응이 일어나므로 이온 수는 감소한다.



(3) 수소 이온이 점점 소모되므로 pH는 점점 증가한다.

(4) 발생하는 수소 기체로 인해 분극 현상이 일어난다.

(5) (-)극은 아연판이고, (+)극은 구리판이다.

(-)극 아연판 : $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ (산화 반응)

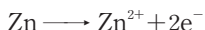
(+)극 구리판 : $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 \uparrow$ (환원 반응)

(6) (나)의 아연판에서는 $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 의 산화 반응이 일어나므로 질량이 감소하고, 구리판에서는 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$ 의 환원 반응이 일어나므로 질량이 증가한다.

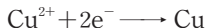
(7) 전자는 산화 반응이 일어나는 전극인 아연판에서 환원 반응이 일어나는 전극인 구리판으로 이동한다.

(8) 염다리는 질산칼륨의 포화 수용액에 한천을 녹여서 U자관에 넣어 냉각시켜 만든 것으로, 염다리를 통해서 이온이 이동함으로써 두 용액 사이에 전류가 흐르게 하는 역할을 하는데, (-)극은 양이온의 농도가 증가하므로 염다리에 있는 NO_3^- 이온이 이동해 가며, (+)극은 양이온의 농도가 감소하므로 염다리에 있는 K^+ 이온이 이동해 가서 전기적 균형이 이루어지게 된다.

(9) (나)에서 아연판은 (-)극으로 작용한다.



(10) (나)에서 구리판은 (+)극으로, 환원 반응이 일어난다.



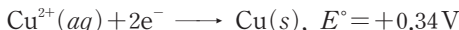
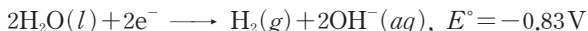
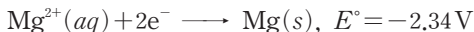
02 전기 분해

개념 확인 문제

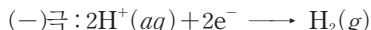
pp.182~183

- | | | | | |
|------------|---|-------|----------|------------|
| 01. ① | 02. ⑤ | 03. ② | 04. ③ | 05. 0.112L |
| 06. ① | 07. ③ | 08. ② | 09. 200초 | 10. ③ |
| 12. 19300초 | 13. (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) × | | | |

1 Na^+ 과 Mg^{2+} 은 표준 환원 전위 값이 매우 작기 때문에 수용액에서 환원되기가 어려워 물이 대신 환원된다.



2 염산 수용액을 전기 분해할 때 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

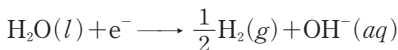


ㄱ, ㄴ. (+)극에서는 황록색의 자극성 기체인 염소 기체가 발생하고, (-)극에서는 수소 기체가 발생한다.

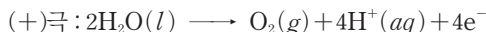
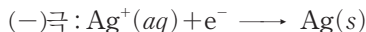
ㄷ. 전기 분해가 진행되면 수용액 속의 수소 이온(H^+)이 점점 감소하므로 용액의 산성이 약해진다. 따라서 pH는 점점 증가한다.

3 패러데이 법칙에 의하면 같은 전하량을 흘려 주었을 때 (-)극에서 생성되는 물질의 몰수는 이온의 전하에 반비례한다. 따라서 AgNO_3 의 경우 생성되는 물질의 몰수가 가장 크다.

③, ④, ⑤의 경우에는 (-)극에서 물이 대신 환원되는 반응이 일어나므로 수소 기체가 발생한다.

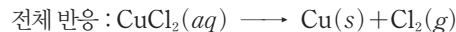
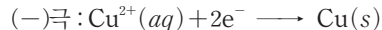
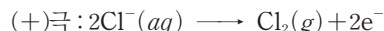


4 ③ AgNO_3 수용액을 전기 분해할 때 일어나는 반응은 다음과 같다.



이때 생성된 H^+ 에 의해 용액은 산성으로 변한다.

5 염화구리(II) 수용액을 전기 분해하면 다음과 같은 반응이 일어난다.



$\text{Cu} : \text{Cl}_2 = 1 \text{ 몰} : 1 \text{ 몰}$ (= 반응식의 계수 비)

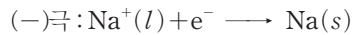
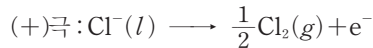
$\text{Cu } 0.32 \text{ g}$ 은 $\frac{0.32}{64} \text{ 몰} = 0.005 \text{ 몰}$ 이다.

따라서 표준 상태에서 발생한 Cl_2 의 부피는 다음과 같다.

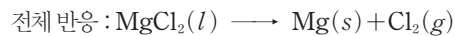
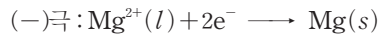
$$\text{몰수} \times 22.4 \text{ L} = 0.005 \times 22.4 \text{ L} = 0.112 \text{ L}$$

6 수용액은 달리 용융액에는 물(H₂O)이 존재하지 않으므로 Na⁺나 Mg²⁺ 대신 물이 환원되지 않는다.

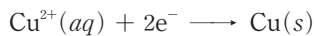
염화나트륨(NaCl) 용융액의 전기 분해



염화마그네슘(MgCl₂) 용융액의 전기 분해



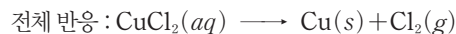
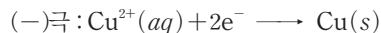
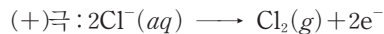
7 Cu 1몰을 석출시키기 위해서 전자 2몰, 즉 2F의 전하량이 필요하다.



Cu 1몰의 질량은 64g이므로 Cu 25.6g을 석출하기 위해서 필요한 전하량 x 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$64 : 96500 \times 2 = 25.6 : x \text{에서 } x = 77200C$$

8 염화구리(II) 수용액의 전기 분해 반응



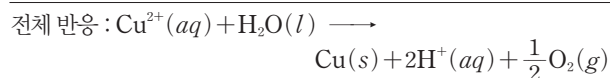
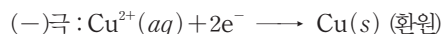
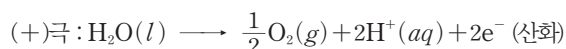
흘려준 전하량은 다음과 같다.

$$Q = I \times t = (9.65 \times 3600)C = \frac{96500 \times 0.36}{96500}F = 0.36F$$

2F의 전하량으로 1몰의 염소 기체가 발생하므로 (+)극에서 발생하는 염소의 몰수는 $2 : 1 = 0.36 : x$ 에서 $x = 0.18$ 몰이다. 2F의 전하량으로 1몰의 구리가 생성되므로 (-)극에서 발생하는 구리의 몰수는 $2 : 1 = 0.36 : y$ 에서 $y = 0.18$ 몰이다.

9 황산구리(II) 수용액을 전기 분해할 때 $Cu^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow Cu$ 의 반응에 의해 (-)극에서 구리가 석출된다. 2F의 전하량에 의해 1몰의 구리가 생성되므로 구리 0.64g(=0.01몰)을 석출시키려면 0.02F의 전하를 흘려 주어야 한다. $0.02F = 1930C = 9.65A \times t$ 에서 $t = 200$ 이므로 전류를 흘려 주어야 하는 시간은 200초이다.

10 CuSO₄ 수용액의 전기 분해 반응



(-)극에서 전자가 2몰 반응할 때 Cu 1몰이 생성된다. Cu가 $3.2g = \frac{3.2}{64}$ 몰 = 0.05몰 생성되었으므로 $2 : 1 = x : 0.05$ 에서 $x = 0.1$ 몰의 전자가 이동한 것이다.

11 이동한 전자의 몰수가 0.1몰이므로 흘려 준 전하량은 0.1F이다. 1F은 96500C이므로 전류의 세기는 다음과 같다.

$$0.1F = 9650C = 965\text{초} \times I$$

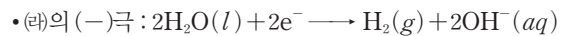
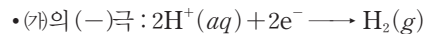
$$I = 10A$$

12 이 납축전지에서는 Pb 207g과 PbO₂ 239g이 반응할 수 있고, Pb 207g과 PbO₂ 239g은 각각 1몰씩이므로 전자 2몰이 이동하여 2F의 전하량에 해당한다. 따라서 시간을 t 라고 하면 다음의 식이 성립한다.

$$2F = 2 \times 96500C = 10A \times t$$

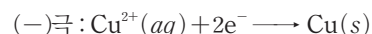
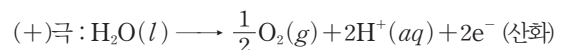
$$t = 19300\text{초}$$

13 (1) (가)와 (라)의 (-)극에서는 각각 H⁺, H₂O이 환원되어 생성된 수소 기체가 발생한다.



(2) (나)에서는 Ag이 Ag⁺으로 산화되어 녹는다.

(3) CuSO₄ 수용액을 전기 분해하면 (+)극에서는 SO₄²⁻ 대신에 H₂O이 산화되므로 H⁺이 생성된다. 따라서 수용액의 pH가 감소한다.

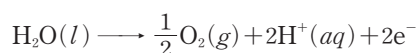


(4) (다)의 (+)극에서는 염소 기체(Cl₂)가 발생한다.

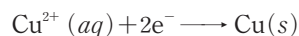


2F의 전하량이 흐를 때 Cl₂가 1몰(= 표준 상태에서 22.4L) 발생하므로 1F의 전하량이 흐를 때 표준 상태에서 0.5몰(11.2L)의 Cl₂가 발생한다.

(5) 황산구리(II) 수용액을 전기 분해하면 (+)극에서 SO₄²⁻ 대신 H₂O이 산화되어 산소 기체가 발생한다.



(6) (바)에서는 구리가 석출되는 반응이 일어난다.



2F의 전하량이 흐를 때 1몰의 Cu가 생성된다.

실력 확인 문제

pp.184~187

01. ① 02. ① 03. ③ 04. ⑤ 05. ⑤ 06. ③
07. ③ 08. ③ 09. ④ 10. ④

단답형 · 서술형 문제

11. 마그네슘(Mg), 아연(Zn)
12. (1) $X^{2+} + 2e^- \longrightarrow X$ (2) 1.10V
13. (1) 해설 참조 (2) +1.25V (3) -241.25kJ
14. (1) 수소(H_2) (2) 증가한다. (3) $H_2 : I_2 = 1 : 1$
15. 4.32g 16. (1) 5A (2) 해설 참조 (3) 1.6g (4) 0.84L
17. (1) $Cd(s) \longrightarrow Cd^{2+}(aq) + 2e^-$
(2) $Cd^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cd(s)$ (3) 0.05몰

① ㄱ. 표준 환원 전위가 큰 금속판이 (+)극이고, 표준 환원 전위가 작은 금속판이 (-)극이 된다. 따라서 은판이 (+)극이고, 구리판이 (-)극이다.

ㄴ. 염다리는 이온의 통로 역할을 하며, 염다리를 사용하면 분극 현상이 나타나지 않는다.

ㄷ. 화학 전지의 (-)극에서는 산화 반응이 일어나므로 질량이 감소하고, (+)극에서는 환원 반응이 일어나므로 질량이 증가한다. 따라서 구리판은 $Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$ 의 반응이 진행되어 질량이 감소하고, 은판은 $Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$ 의 반응이 진행되어 질량이 증가한다.

ㄹ. 전지의 표준 전지 전위 = 환원 전극의 표준 환원 전위 - 산화 전극의 표준 환원 전위 = $0.80V - 0.34V = 0.46V$

② ㄱ. 표준 환원 전위가 큰 은판에서는 Ag^+ 이 Ag 으로 되는 환원 반응이 일어나므로 은판이 (+)극이 된다.

ㄴ. 전자는 주석판에서 은판으로 이동한다.

ㄷ. 전지의 표준 전지 전위(E°) = 환원 전극의 표준 환원 전위 - 산화 전극의 표준 환원 전위 = $+0.80V - (-0.14V) = +0.94V$

ㄹ. 표준 환원 전위가 작은 주석판에서는 Sn 이 Sn^{2+} 로 되는 산화 반응이 일어난다. 따라서 주석판이 담긴 수용액 속 Sn^{2+} 의 수는 증가한다.

③ 표준 전지 전위는 $E^\circ_{\text{환원 전극}} - E^\circ_{\text{산화 전극}}$ 이고, 자발적으로 일어나는 반응은 표준 전지 전위가 (+) 값이다.

① $2A^+ + B \longrightarrow 2A + B^{2+}$, $E^\circ = -2.92 - (-0.76) < 0$

→ 비자발적

② $B^{2+} + 2D \longrightarrow B + 2D^+$, $E^\circ = -0.76 - 0.80 < 0$

→ 비자발적

③ $C^{2+} + 2A \longrightarrow C + 2A^+$, $E^\circ = 0.34 - (-2.92) > 0$

→ 자발적

④ $C^{2+} + 2D \longrightarrow C + 2D^+$, $E^\circ = 0.34 - 0.80 < 0$

→ 비자발적

⑤ $D + A^+ \longrightarrow D^+ + A$, $E^\circ = -2.92 - 0.80 < 0$

→ 비자발적

④ ① (가)에서 금속 A는 표준 환원 전위가 수소의 표준 환원 전위인 0보다 작기 때문에 산화가 잘 되며, 금속 A가 산화되면서 내놓은 전자를 묶은 황산의 수소 이온이 받아 환원되므로 금속 A의 표면에서 수소 기체가 발생한다. 표준 환원 전위가 큰 B는 묶은 황산에 넣었을 때 산화되지 않으므로 변화가 일어나지 않는다.

② (나)에서는 금속 A와 금속 B를 도선으로 연결했으므로 금속 A가 산화되면서 내놓은 전자가 도선을 따라 금속 B로 이동한다. 따라서 금속 B의 표면에서 수소 이온의 환원 반응이 일어나 수소 기체가 발생한다.

③ (나)에서 표준 환원 전위가 작은 금속 A는 산화 반응이 일어나며, 이때 생성된 전자는 도선을 따라 금속 A에서 B로 이동한다.

④ (가)와 (나)에서 모두 묶은 황산의 수소 이온(H^+)이 전자를 얻고 환원되어 수소 기체가 발생하므로 수소 이온 농도가 감소하여 pH는 증가한다.

⑤ (가)에서 산화 반응이 일어나는 금속 A는 이온 상태로 용액 속에 녹아 들어가므로 질량이 감소하고, 묶은 황산과 반응을 일으키지 않는 금속 B는 질량이 변하지 않는다.

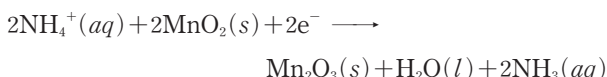
⑤ ㄱ. 아연은 전자를 잃는 산화 반응을 하므로 (-)극이 된다.

ㄴ. 2차 전지는 충전하여 다시 사용할 수 있는 전지이다. 건전지는 1차 전지로, 충전하여 다시 사용할 수 없다.

ㄷ. MnO_2 는 산화제로, 감극제의 역할을 한다. MnO_2 는 건전지의 전극 반응에서 생성된 수소 기체를 산화시켜서 물로 만들어 수소 기체에 의해 분극 현상이 일어나는 것을 막아 준다.

ㄹ. 건전지의 (+)극인 탄소 막대 주위에서는 환원 반응이 일어나며, 건전지를 계속 사용하면 암모니아(NH_3)가 탄소 막대 주위에 생성되어 전압을 떨어뜨린다.

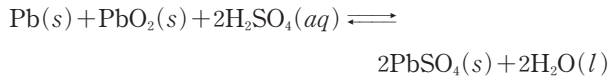
• (+)극에서의 환원 반응



⑥ ㄱ. (가)는 전자를 잃는 산화 반응으로, (-)극에서 일어나는 반응이다.

ㄴ. (4)는 납축전지의 (+)극에서 일어나는 반응으로, PbO_2 은 PbSO_4 으로 되면서 Pb의 산화수가 +4에서 +2로 되어 환원되므로 납축전지의 반응에서 산화제 역할을 한다.

ㄷ. 납축전지의 전체 반응은 다음과 같다.

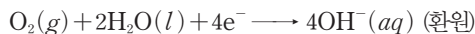


따라서 반응이 진행되면 묽은 황산의 농도가 감소한다.

ㄹ. 납축전지의 (-)극과 (+)극에서 모두 $\text{PbSO}_4(s)$ 이 생성되므로 질량이 증가한다.

7 ① 수소-산소 연료 전지는 금속 촉매를 주입한 다공성 탄소 전극을 극으로 사용하여 (-)극과 (+)극에 각각 수소와 산소를 공급하고, 전해질로는 고온의 KOH 용액을 사용한다.

(+)극은 산소가 공급되는 전극으로 환원 반응이 일어난다.



② (-)극은 수소 기체가 공급되는 전극으로 산화 반응이 일어난다.



③ 전지 반응이 진행되어도 OH^- 의 농도는 일정하게 유지되므로 pH는 변함이 없다.

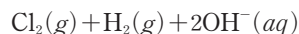
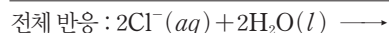
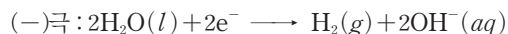
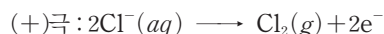
④ 전자는 산화 반응이 일어나는 (-)극에서 도선을 따라 (+)극으로 이동한다.

⑤ 전체 반응식은 $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$ 으로, 수소의 연소 반응식과 같다.

8 각 물질의 수용액을 전기 분해할 때 (+)극과 (-)극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

수용액	(+)극	(-)극
NaOH	$4\text{OH}^- \longrightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^-$	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
NaCl	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2e^-$	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
CuCl_2	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2e^-$	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$
Na_2SO_4	$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^-$	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
CuSO_4	$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^-$	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$

9 염화나트륨 수용액을 전기 분해하면 다음과 같은 반응이 일어난다.



ㄱ. (+)극에서는 염화 이온(Cl^-)이 산화되는 반응이 일어나므로 염소 기체(Cl_2)가 생성된다.

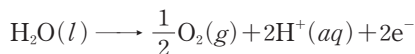
ㄴ, ㄷ. (-)극에서는 Na^+ 의 표준 환원 전위가 작아서 물이 대신 환원되는 반응이 일어난다.

따라서 (-)극에서는 수산화나트륨(NaOH)과 수소 기체(H_2)가 생성된다.

ㄹ. (+)극과 (-)극에서 생성된 물질이 서로 반응하지 않도록 하기 위해 (+)극과 (-)극을 격막으로 분리하면 (+)극과 (-)극에서 생성된 물질들을 관을 통해 따로 분리하여 얻을 수 있게 된다.

10 ㄱ. 흘려 준 전하량은 $Q = It = 1 \text{ A} \times 9650 \text{ 초} = 9650 \text{ C} = 0.1 \text{ F}$ 이다.

ㄴ. 황산구리(II) 수용액을 전기 분해하면 (+)극에서 SO_4^{2-} 대신 물이 산화되어 산소 기체가 발생하고, H^+ 이 생성되므로 수용액의 pH는 점점 감소한다.



ㄷ. 0.1F에 의해 0.05몰의 구리가 생성되므로 생성되는 구리의 질량은 $64 \text{ g} \times 0.05 \text{ 몰} = 3.2 \text{ g}$ 이다.

ㄹ. 2F의 전하량이 흐를 때 산소 기체 0.5몰이 생성되므로 0.1F의 전하량이 흐를 때 생성되는 산소 기체의 몰수는 $2 : 0.5 = 0.1 : x$ 에서 $x = 0.025 \text{ 몰}$ 이다.

11 정답

마그네슘(Mg), 아연(Zn)

해설

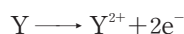
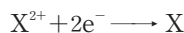
철보다 반응성이 큰 금속을 철에 부착하면 철보다 먼저 산화되므로 철이 산화되어 부식되는 것을 막을 수 있다. 철보다 반응성이 큰 금속은 표준 환원 전위가 철보다 작은 금속이다. 따라서 철의 부식을 막기 위해 철에 부착할 수 있는 금속은 마그네슘(Mg)과 아연(Zn)이다.

12 정답

(1) $\text{X}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{X}$ (2) 1.10V

해설

(1) $\text{X}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{X}$ 의 표준 환원 전위는 $\text{Y}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Y}$ 의 표준 환원 전위보다 크므로 X판에서는 환원 반응이 일어나고, Y판에서는 산화 반응이 일어난다.

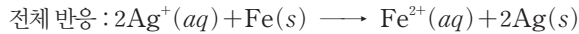
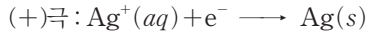


(2) 두 전극의 표준 환원 전위의 차이가 표준 전지 전위이다. 따라서 이 화학 전지의 표준 전지 전위는 $0.34 - (-0.76) = 1.10 \text{ V}$ 이다.

13 정답

(1) 해설 참조 (2) +1.25V (3) -241.25kJ

해설



$$(2) E^{\circ}_{전지} = E^{\circ}_{환원 전극} - E^{\circ}_{산화 전극}$$

$$= +0.80V - (-0.45)V = +1.25V$$

(3) 화학 전지에서 전지의 표준 전지 전위와 표준 자유 에너지 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ}_{전지}$$

$$\Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ}_{전지} = -2\text{mol} \times 96500\text{C/mol} \times 1.25\text{J/C}$$

$$= -241.25\text{kJ} \quad (1V = 1\text{J/C})$$

14 정답

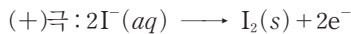
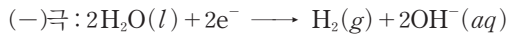
(1) 수소(H₂)

(2) 증가한다.

(3) H₂ : I₂ = 1 : 1

해설

(-)극으로는 M⁺이 이동해 가지만 M의 표준 환원 전위가 작아서 H₂O가 대신 환원되어 수소가 생성된다. (+)극에서는 I⁻이 이동해 가서 산화되어 I₂이 생성된다.



(1) (-)극에서 생성되는 물질은 H₂(수소 기체)이다.

(2) (-)극에서 물이 환원되어 OH⁻가 생성되므로 수용액의 pH는 증가한다.

(3) 두 전극에서 생성되는 물질의 몰수 비는 같다.

15 정답

4.32g

해설

(+)극인 아연판에서는 Zn \longrightarrow Zn²⁺ + 2e⁻의 반응이 일어나서 아연판의 질량이 감소하며, (-)극인 은판에서는 Ag⁺ + e⁻ \longrightarrow Ag의 반응이 일어나서 은판의 질량이 증가한다. 전체 반응식은 Zn + 2Ag⁺ \longrightarrow Zn²⁺ + 2Ag이므로 Zn 1몰이 반응할 때 Ag 2몰이 생성된다.

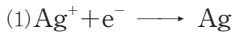
반응한 Zn의 몰수 = $\frac{1.3}{65} = 0.02$ 이므로 생성되는 Ag는 0.04몰이며, 질량은 0.04 × 108 = 4.32g이다.

16 정답

(1) 5A (2) 해설 참조 (3) 1.6g (4) 0.84L

해설

A 전극은 (+)극이므로 H₂O이 NO₃⁻ 대신 산화되어 산소 기체가 생성되는 반응이 일어나고, B 전극은 (-)극이므로 Ag⁺이 환원되어 Ag이 석출되는 반응이 일어난다.

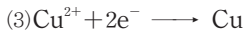
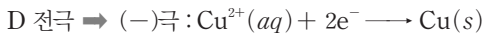
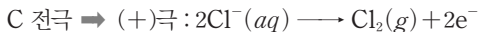
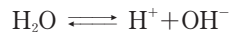
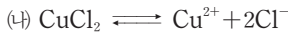
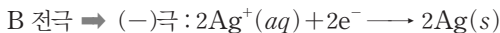
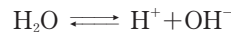
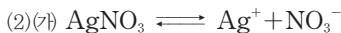


$$1F \qquad 1\text{mol}(108\text{g})$$

$$1 : 108 = x : 5.4$$

$$x = 0.05F = 0.05 \times 96500\text{C} = 4825\text{C}$$

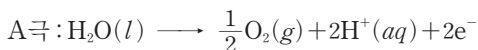
$$Q = It \text{에서 } I = \frac{Q}{t} = \frac{4825\text{C}}{(16 \times 60 + 5)\text{초}} = 5\text{A}$$



$$2F \qquad 1\text{mol}(64\text{g})$$

$$0.05F \qquad x = 1.6\text{g}$$

(4) 기체가 발생하는 전극은 A와 C이다.



$$\frac{1}{2}\text{mol}(11.2\text{L}) \qquad 2F$$

$$0.28\text{L} = x \qquad 0.05F$$

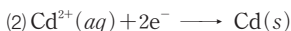
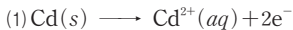


$$1\text{mol}(22.4\text{L}) \quad 2F$$

$$0.56\text{L} = y \qquad 0.05F$$

발생하는 기체의 총 부피 = x + y = (0.28 + 0.56)L = 0.84L

17 정답



(3) 0.05몰

해설

Fe에 Cd을 도금하는 반응이다.

(1) (+)극에서는 Cd이 Cd^{2+} 으로 녹아 들어가는 산화 반응이 일어난다.

(2) (-)극에서는 Cd^{2+} 이 Cd으로 환원되므로 철 표면이 Cd 금속으로 도금된다.

$$(3) Q = I \times t = 0.5 \times 19300 = 9650 \text{ C} = 0.1 \text{ F}$$

(-)극에서 일어나는 반응은 $\text{Cd}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cd}$ 이므로 생성되는 Cd의 몰수는 다음과 같다.

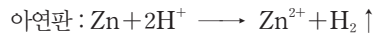
$$2\text{F} : 1 \text{ 몰} = 0.1 \text{ F} : x \text{ 에서 } x = 0.05 \text{ 몰}$$

개념 활용 문제

pp.188~193

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

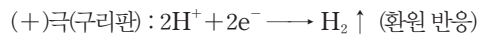
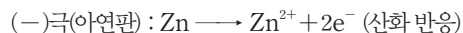
① 회로가 연결되지 않을 때에는 아연판에서 수소 기체가 발생한다.



구리판 : 반응이 일어나지 않는다.



회로를 연결할 때 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.



스위치를 연결할 때와 연결하지 않을 때 모두 아연판에서는 아연이 이온으로 되어 녹아 들어가므로 아연판의 질량이 감소하고, 스위치를 연결하지 않을 때 구리판에서는 반응이 일어나지 않고, 스위치를 연결할 때 구리판에서는 수소 기체가 발생하므로 두 경우 모두 질량 변화가 없다.

② 두 금속을 연결하여 전지를 만들 때 표준 환원 전위 값이 작은 금속이 (-)극이 되며, 표준 환원 전위 값이 큰 금속이 (+)극이 된다. 따라서 ③과 ⑤는 전지의 전극이 옳지 않고, ①, ②, ④의 전극만 옳게 연결되어 있다.

전지의 표준 전지 전위는 (+)극의 표준 환원 전위에서 (-)극의 표준 환원 전위를 빼서 구한다.

$$\textcircled{1} E^\circ = 0.80\text{V} - 0.34\text{V} = 0.46\text{V}$$

$$\textcircled{2} E^\circ = 0.80\text{V} - (-0.45\text{V}) = 1.25\text{V}$$

$$\textcircled{4} E^\circ = -0.45\text{V} - (-0.76\text{V}) = 0.31\text{V}$$

③ 전체 반응식은 다음과 같다.



ㄱ. 반응식의 계수와 표준 환원 전위는 무관하므로 전지의 표준 전지 전위(E°)는 $0.80 - (-0.25) = 1.05\text{V}$ 이다.

ㄴ. B^{2+} 이 A^+ 보다 환원되기 어려우므로 B는 A보다 산화되기 쉽다. 그러므로 산화 반응이 일어나는 (-)극의 반쪽 반응은 다음과 같다.



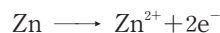
ㄷ. 전자 2몰이 이동할 때 (+)극에서는 A가 2몰 석출되므로 질량 변화량은 $2 \times 108 = 216\text{g}$ 이다.

④ ㄱ. 표준 환원 전위가 큰 금속일수록 산화되기가 어려우므로 환원력이 작다. 환원력이 가장 큰 금속은 표준 환원 전위가 가장 작은 C이다.

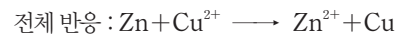
ㄴ. 표준 전지 전위(E°) = $+0.80 - 0.34 = 0.46\text{V}$ 이다.

ㄷ. 철에 철보다 산화가 잘 되는 금속을 연결해 두면 철의 부식을 방지할 수 있는데, 이러한 방법을 음극화 보호라고 한다. 금속 A, B의 반응성이 Fe보다 작으므로 금속 A, B는 철의 음극화 보호에 이용될 수 없다.

⑤ (-)극 아연판 : 산화 반응, 아연판의 질량 감소



(+)극 구리판 : 환원 반응, 구리판의 질량 증가



ㄱ. 전지의 반응은 $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$ 이다. 따라서 Zn^{2+} 의 농도는 증가하고, Cu^{2+} 의 농도는 감소한다.

ㄴ. 감소한 Zn의 원자 수와 증가한 Cu의 원자 수는 같다. 따라서 변화한 Zn판과 Cu판의 질량 비는 원자량 비와 같은 65 : 64가 된다.

ㄷ. 초벌구이 컵이 깨져서 용액이 섞이면 수용액의 부피가 커지므로 Zn^{2+} 과 Cu^{2+} 의 농도가 감소하여 전지의 볼이 약해진다.

⑥ ㄱ. 휘발유나 경유를 사용하는 자동차의 경우 열효율은 25% 정도를 넘지 않으나, 연료 전지를 이용하면 열효율이 75% 정도나 된다. 이것은 터빈을 돌리는 과정이 없기 때문에 열손실을 최소화할 수 있기 때문이다.

나. 수소-산소 연료 전지에서는 생성 물질이 물이다. 따라서 공해 물질을 배출하지 않는다.

다. 화학 전지에서는 항상 (-)극에서 산화 반응, (+)극에서 환원 반응이 일어난다.

르. (-)극에서는 전자를 잃는 산화 반응이 일어난다. (-)극에서의 반응은 $2\text{H}_2(\text{g}) + 4\text{OH}^-(\text{aq}) \longrightarrow 4\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^-$ 이다.

7. 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(-)극 : $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$

(+)극 : $2\text{Cl}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$

(+)극에서는 Cl^- 이 전자를 잃고 산화되며, (-)극에서는 H_2O 이 전자를 얻어 환원된다.

나. H_2O 이 전기 분해되면 H_2 와 OH^- 로 되므로 OH^- 의 농도가 계속 증가한다. 따라서 전기 분해가 진행될수록 수용액의 pH는 증가한다.

다. 1F의 전하량에 의해 (+)극과 (-)극에서 생성되는 Cl_2 와 H_2 의 몰수는 각각 0.5몰씩이므로 발생하는 기체의 총 몰수는 1몰이 된다.

8. 금속 A가 석출되는 반응식은 $\text{A}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{A}$ 이므로 1F에 의해 A 1몰이 석출된다. 그래프에서 9650C(=5A×1930초), 즉 0.1F에 의해 A 10.8g이 석출되므로 1F에 의해서는 A 108.0g이 석출된다는 것을 알 수 있다.

금속 B가 석출되는 반응식은 $\text{B}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{B}$ 이므로 2F에 의해 B 1몰이 석출된다. 그래프에서 0.1F에 의해 B 3.2g이 석출되므로 1F에 의해 B 32g이 석출되며, 2F에 의해 B 64g이 석출된다. 따라서 금속 A, B의 원자량은 각각 108과 64이다. 따라서 원자량 비는 10.8 : 6.4이다.

9. ㄱ. 실험 1과 실험 5의 비교에서 다른 조건은 모두 같고 온도만 변했으나, 석출된 구리의 질량이 0.32g으로 일정하므로 온도는 생성된 구리의 질량에 영향을 미치지 않았다.

나. 실험 1과 실험 2의 비교에서 다른 조건은 모두 같고 용액의 농도만 변했으나, 석출된 구리의 질량이 0.32g으로 일정하므로 용액의 농도는 생성된 구리의 질량에 영향을 미치지 않았다.

다. 실험 3과 실험 5의 비교에서 다른 조건은 모두 같고 전류의 세기만 2배로 되었을 때 석출된 구리의 질량이 2배로 된 것으로 보아 전류의 세기는 생성된 구리의 질량에 영향을 미쳤다.

르. 실험 4와 실험 5의 비교에서 전류를 통한 시간이 $\frac{1}{2}$ 로 되었을

때 석출된 구리의 질량이 $\frac{1}{2}$ 로 된 것으로 보아 전류를 통한 시간은 생성된 구리의 질량에 영향을 미쳤다.

10. ㄱ. 1A의 전류가 9650초 동안 통과할 때 전하량이 9650C이고, 1A의 전류가 19300초 동안 통과할 때 전하량이 19300C이므로 전하량은 전류의 세기와 시간의 곱이다.

나. 석출된 금속의 질량은 전류의 세기에 비례하는 것이 아니라, 전류와 시간의 곱인 전하량에 비례한다.

다. 같은 전하량에 의하여 석출된 금속의 몰수 비는 다음과 같다.

$$\text{Ag} : \text{Cu} = \frac{10.8}{108} : \frac{3.2}{64} = 2 : 1$$

• 질산은 수용액의 전기 분해

(-)극 : $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$

(+)극 : $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

• 황산구리(II) 수용액의 전기 분해

(-)극 : $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$

(+)극 : $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

11. CuSO_4 수용액의 전기 분해 반응은 다음과 같다.

• (-)극 : $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$ (Cu 석출)

• (+)극 : $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (O_2 생성)

(라) 실험 장치에서 전극 A가 (+)극이고, 전극 B가 (-)극이다. 따라서 Cu는 전극 B에서 생성된다.

12. 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.

(+)극 : $2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$

(-)극 : $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

1A의 전류를 9650초 동안 흘려 주었으므로 전하량은 다음과 같다.

$$1\text{A} \times 9650\text{초} = 9650\text{C} = 0.1\text{F}$$

0.1F에 의해 각 전극에서 모두 0.05몰의 기체가 발생하므로 두 기체의 몰수를 합하면 0.1몰이다.

나. (-)극에서 물이 환원되는 반응이 일어나 수산화 이온이 생성되므로 수용액의 pH는 증가한다.

다. 같은 전하량에 의해 (+)극에서 발생하는 염소 기체와 (-)극에서 발생하는 수소 기체의 부피 비는 1 : 1이다.

High Top



정답과 해설

IV 화학 반응 속도

1. 반응 속도

01 반응 속도

개념 확인 문제

pp.022~023

01. $-\frac{d[H_2]}{dt} = -\frac{d[I_2]}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{d[HI]}{dt}$ 02. ③
 03. $v = k[H_2O_2][HI]$, k 의 단위 : $L \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1}$
 04. (1) $0.030 mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ (2) 일산화질소 : $0.024 mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$, 수증기 : $0.036 mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ 05. ① 06. $k = 6.0 \times 10^{-1} s^{-1}$ 07. ②
 08. $v = k[A]^2[B]$ 09. ② 10. ① 11. (1) \times (2) \times
 (3) \times (4) \circ (5) \circ (6) \circ

① 반응 속도 = $\frac{\text{농도 변화}}{\text{시간 변화}}$ 로 나타내므로 이 반응에서 각 물질의 순간 반응 속도식 사이의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{반응 속도} = -\frac{d[H_2]}{dt} = -\frac{d[I_2]}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{d[HI]}{dt}$$

② 반응의 반응 속도식은 $v = k[A]^m[B]^n$ 으로 나타낼 수 있다. 실험 1과 실험 2의 비교에서 [B]는 일정하게 유지하면서 [A]가 2배로 되었을 때 반응 속도는 4배가 되었으므로 $m=2$ 이다. 실험 1과 실험 3의 비교에서 [A]는 일정하게 유지하면서 [B]가 2배로 되었을 때 반응 속도는 2배가 되었으므로 $n=1$ 이다.

③ 반응의 반응 속도식은 $v = k[H_2O_2]^m[HI]^n$ 으로 나타낼 수 있다. 실험 1과 실험 2의 비교에서 [HI]는 일정하게 유지하면서 $[H_2O_2]$ 가 2배로 되었을 때 반응 속도도 2배가 되었으므로 $m=1$ 이고, 실험 1과 3의 비교에서 $[H_2O_2]$ 는 일정하게 유지하면서 [HI]가 2배로 되었을 때 반응 속도도 2배가 되었으므로 $n=1$ 이다. 따라서 이 반응의 반응 속도식은 $v = k[H_2O_2][HI]$ 이다.

$$k = \frac{v}{[H_2O_2][HI]} \text{에서 } k \text{의 단위는}$$

$$\frac{mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}}{mol \cdot L^{-1} \cdot mol \cdot L^{-1}} = L \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1} \text{이다.}$$

④ (1) 산소의 분해 속도와 암모니아의 분해 속도 사이에는 다음과

같은 관계식이 성립한다.

$$-\frac{1}{4} \cdot \frac{d[NH_3]}{dt} = -\frac{1}{5} \cdot \frac{d[O_2]}{dt}$$

따라서 어떤 시간 t_1 에서 산소의 분해 속도는

$$0.024 mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1} \times \frac{5}{4} = 0.030 mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1} \text{이다.}$$

(2) 암모니아가 4몰 분해되면 산소가 5몰 분해되고, 일산화질소 4몰과 수증기 6몰이 생성된다. 따라서 일산화질소와 수증기의 생성 속도는 다음과 같다.

$$\text{일산화질소 : } 0.024 mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1} \times \frac{4}{4} = 0.024 mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$$

$$\text{수증기 : } 0.024 mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1} \times \frac{6}{4} = 0.036 mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$$

⑤ 반응 물질을 R이라고 할 때, 1차 반응의 반응 속도식은 $v = k[R]$ 로 나타낼 수 있다. 이때 v 의 단위는 $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ 이고, [R]는 몰 농도이므로 단위는 $mol \cdot L^{-1}$ 이다. 따라서 k 의 단위는 다음과 같다.

$$k = \frac{v}{[R]} = \frac{mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}}{mol \cdot L^{-1}} = s^{-1}$$

⑥ 반응의 반응 속도식은 $v = k[A]^m[B]^n$ 으로 나타낼 수 있다. 실험 1과 실험 2에서 [B]를 일정하게 하고 [A]를 0.10에서 0.20으로 2배 증가시키면 반응 속도가 2배로 증가하므로 $m=1$ 이다. 실험 2와 실험 4에서 [A]를 일정하게 하고 [B]를 0.05에서 0.15로 3배 증가시켜도 반응 속도가 변화없으므로 $n=0$ 이다. 따라서 이 반응의 반응 속도식은 $v = k[A]$ 이다. 실험 1의 실험값을 이 반응식에 대입하면 다음과 같다.

$$6.0 \times 10^{-2} mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1} = k \times 0.10 mol \cdot L^{-1}, \therefore k = 6.0 \times 10^{-1} s^{-1}$$

⑦ I^- 은 반응 물질이므로 감소하고 I_3^- 은 생성 물질이므로 증가한다. 따라서 두 이온의 변화량은 부호는 서로 반대이고, 반응하는 몰수 비가 3 : 1이므로 I^- 의 분해 속도가 I_3^- 의 생성 속도의 3배이다.

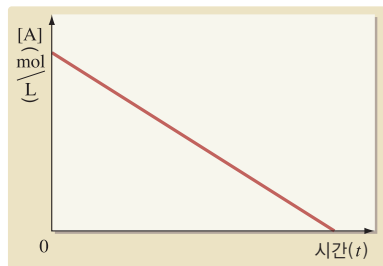
⑧ 실험 1과 실험 2의 비교에서 [A]는 일정하고 [B]가 2배로 되었을 때 반응 속도는 2배가 되었으므로 반응 속도는 B의 농도에 비례한다. 실험 2와 실험 3의 비교에서 [B]는 일정하고 [A]가 2배로 되었을 때 반응 속도는 4배가 되었으므로 반응 속도는 A의 농도의 제곱에 비례한다.

따라서 이 반응의 반응 속도식은 $v = k[A]^2[B]$ 이다.

⑨ 반응 속도는 반응 물질의 성질에 의해 영향을 받는다. 실제로 (가)와 같이 용액에서 일어나는 이온 사이의 반응은 빠르며, (나), (다)와

같이 공유 결합으로 이루어진 분자 사이의 반응은 느리다. 공유 결합으로 이루어진 분자 사이의 반응에서도 (다)와 같이 이온 사이의 반응인 경우 반응 속도가 더 빠르다.

- ⑩ 반응 속도는 $-\frac{d[A]}{dt}$ 이므로 그래프의 기울기에 해당한다. 그 래프는 직선이므로 반응 속도(=기울기)는 일정하다.



- ⑪ (1) 실험 1과 실험 2를 비교해보면 [A]가 2배가 될 때, C의 생성 속도가 4배(=2²) 증가하였으므로 A에 대한 2차 반응이다. 실험 1과 실험 3을 비교해보면 [B]가 2배가 될 때, C의 생성 속도는 변화가 없으므로 B에 대한 0차 반응이다. 따라서 전체 반응 차수는 2이다.

- (2) 온도가 일정하므로 반응 속도 상수는 모두 같다.
 (3) A에 대해 2차, B에 대해 0차이므로, 반응 속도식 $v=k[A]^2$ 이다.
 (4) $k=\frac{v}{[A]^2}$ 에서 k 의 단위는 $\frac{\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}}{(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})^2} = \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.
 (5) A에 대한 반응 차수를 알기 위해서 B의 농도는 일정하게 유지 되어야 한다. 실험 1과 실험 2에서 B의 농도는 일정하고 A의 농도 만 변화하였으므로 A에 대한 반응 차수를 알 수 있다.
 (6) B에 대한 반응 차수를 알기 위해서 A의 농도는 일정하게 유지 되어야 한다. 실험 1과 실험 3에서 A의 농도는 일정하고 B의 농도 만 변화하였으므로 B에 대한 반응 차수를 알 수 있다.

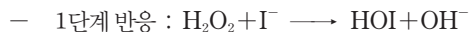
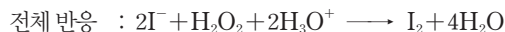
02 반응 경로와 반응 메커니즘

개념 확인 문제

p.031

01. ⑤ 02. ⑤ 03. (1) $A+B \longrightarrow X+E$ (2) 4배 빨라진다.
 04. ⑤ 05. (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

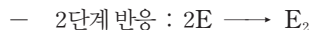
- ① 전체 반응 - (1단계 반응 + 3단계 반응) = 2단계 반응이므로 2단계 반응은 다음과 같다.



- ② 반응열(Q) = 역반응의 활성화 에너지 - 정반응의 활성화 에너지
 $193.2 \text{ kJ} = x - 235.2 \text{ kJ}, \therefore x = 428.4 \text{ kJ}$

- ③ (1) 전체 반응 = 1단계 + 2단계 + 3단계 반응이다.

따라서 1단계 반응 = 전체 반응 - 2단계 반응 - 3단계 반응이다.



- (2) 1단계가 느린 반응이므로 반응 속도 결정 단계는 1단계이다. 따라서 $v=k[A][B]$ 이므로 반응 속도는 A의 농도와 B의 농도에 각각 비례한다. 이에 따라 A와 B의 각각 2배로 되면 반응 속도는 4배가 된다.

- ④ 그래프를 통해 이 반응은 흡열 반응이므로 반응열 Q의 값은 (-) 값을 가진다는 것을 알 수 있으며, 반응열의 크기는 생성 물질과 반응 물질의 에너지 차이(=a-b)이므로 $Q=(b-a) \text{ kJ}$ 이다. 그래프에서 a는 정반응이 일어나는 데 넘어야 할 에너지 장벽이므로 정반응의 활성화 에너지를 의미하고, b는 역반응이 일어나는 데 넘어야 할 에너지 장벽이므로 역반응의 활성화 에너지를 의미하므로, '반응열 = 역반응의 활성화 에너지 - 정반응의 활성화 에너지'라는 것을 알 수 있다.

- ⑤ (1) 1단계의 활성화 에너지가 2단계의 활성화 에너지보다 크므로 1단계의 반응 속도가 더 느리다.
 (2) 반응 속도 결정 단계는 느린 반응이 일어나는 1단계이다.
 (3) 반응 속도 = $k[\text{NO}_2]^2$ 이므로 [CO]를 2배로 해도 반응 속도는 변하지 않는다.
 (4) 전체 반응이 2차 반응이므로 전체 반응의 반응 속도 상수(k)의 단위는 $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.
 (5) 생성 물질의 엔탈피가 반응 물질의 엔탈피보다 작으므로 전체 반응은 발열 반응이다.
 (6) 전체 반응식은 1단계와 2단계 반응을 더해주면 된다. 따라서 전체 반응식은 $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 이다.

01. ③ 02. ② 03. ⑤ 04. ④ 05. ⑤ 06. ④
07. ③ 08. ① 09. ①

단답형 · 서술형 문제

10. $v=k[\text{NO}]^2[\text{Br}_2]$, $k=1.2 \times 10^4 \text{ L}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
11. $v=k[\text{CH}_3\text{CHO}]^2$, $k=1 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
12. (1) $2\text{N}_2\text{O}(g) \longrightarrow 2\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g)$ (2) $\text{O}(g)$
13. (1) $v=k[\text{NOCl}]^2$ (2) $k=4 \times 10^{-8} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
14. (1) $^{14}_6\text{C}$: 양성자 6개, 중성자 8개, 전자 6개, $^{14}_7\text{N}$: 양성자 7개, 중성자 7개, 전자 7개 (2) $\ln N_t = -kt + \ln N_0$ (3) $k=1.21 \times 10^{-4} \text{ 년}^{-1}$ (4) 2372년
15. (1) 1단계 (2) 0차 (3) 1차 16. (1) 1단계 (2) (-)
17. $4.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 18. (1) 2분 (2) 0.8 mol/L

① 이 반응의 반응 물질과 생성 물질의 반응 속도 사이에는

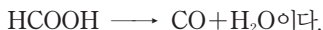
$$-\frac{d[\text{Cl}_2]}{dt} = -\frac{1}{3} \frac{d[\text{F}_2]}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d[\text{ClF}_3]}{dt} \text{의 관계가 성립한다.}$$

$$\therefore -\frac{d[\text{F}_2]}{dt} = \frac{3}{2} \frac{d[\text{ClF}_3]}{dt} = \frac{3}{2} \times (0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) \\ = 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

② 실험 1과 실험 2의 비교에서 반응 속도는 B의 농도에 비례한다는 것을 알 수 있고, 실험 2와 실험 3의 비교에서 반응 속도는 A의 농도의 제곱에 비례한다는 것을 알 수 있다. 따라서 반응 속도식 $v=k[\text{A}]^2[\text{B}]$ 이다.

③ ① H^+ 는 1단계에서 반응했다가 3단계에서 다시 생성되므로 촉매로 작용한 것이다.

② 전체 반응식은 1단계+2단계+3단계 반응식이므로



따라서 생성 물질은 CO와 H_2O 이다.

③ HCOOH_2^+ 와 HCO^+ 는 각각 1단계와 2단계에서 생성되었다가 2단계와 3단계에서 사라졌으므로 중간체이다.

④ 활성화 에너지가 클수록 반응 속도는 느리므로 반응 속도가 느린 2단계가 활성화 에너지가 가장 큰 단계이다.

⑤ 전체 반응의 반응 속도식은 반응 속도 결정 단계의 반응 속도식과 같으므로 2단계의 반응 속도식인 $v=k_2[\text{HCOOH}_2^+]$ 로 나타낼 수 있으며, $k_1[\text{HCOOH}][\text{H}^+] = k_1'[\text{HCOOH}_2^+]$ 이므로

$$v = \frac{k_1 k_2}{k_1'} [\text{HCOOH}][\text{H}^+] \text{이다.}$$

④ 반응 차수와 반응식의 계수가 일치하지 않는 이유는 화학 반응이 여러 단계를 거쳐서 일어나기 때문이다.

① 표에서 반응 속도는 오산화이질소의 초기 농도에 정비례하므로 1차 반응임을 알 수 있다.

② 몇 단계의 과정을 거쳐서 반응이 일어나는 다단계 반응은 반응 중간에 중간체가 생겼다가 사라진다.

③ 1차 반응이므로 반응 속도는 오산화이질소의 농도에 비례한다.

④ 오산화이질소의 분해 반응은 다단계 반응이다.

⑤ 반응 속도 상수는 농도에 의해 변하지 않고 온도에 의해서만 변한다.

⑤ ㄱ. 반응 물질의 농도가 2분이 지날 때마다 이전 농도의 $\frac{1}{2}$ 로 되는 것으로 보아 반감기가 일정한 반응이다. 반감기가 일정한 반응은 1차 반응이다.

ㄴ. (가)는 시간이 지날수록 농도가 줄어들고 있으므로 반응 물질 A의 농도 변화이고, (나)는 시간이 지날수록 농도가 증가하고 있으므로 생성 물질 B의 농도 변화이다.

ㄷ. 6분 후에 A의 농도는 0.05 mol/L가 되므로 생성 물질인 B의 농도는 $\frac{1}{2} \times (0.4 - 0.05) = 0.175 \text{ mol/L}$ 가 된다.

⑥ ㄱ. 반응 속도는 단위 시간 당 반응 물질의 농도 변화로 나타낼 수 있으므로 농도(mol/L)를 시간(s)으로 나누면 된다.

ㄴ. 0초~4초에서의 평균 반응 속도를 비교하면 A는 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, B는 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, C는 $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다. 따라서 반응 속도는 반응 물질의 초기 농도에 비례하며, 반응 차수는 1차이다.

ㄷ. 1차 반응이므로 반응 물질의 농도가 2배가 되면 반응 속도도 2배가 된다.

⑦ ㄱ. T_2 일 때의 반응 속도가 T_1 일 때의 반응 속도보다 큰 것으로 보아 T_2 가 T_1 보다 높은 온도라는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 실험 2와 실험 3의 비교에서 H_2 의 농도가 2배로 되었을 때 반응 속도가 2배가 되었다는 것을 알 수 있다. 따라서 H_2 에 대해 1차 반응임을 알 수 있다.

ㄷ. 실험 1과 실험 2의 비교에서 I_2 에 대해 1차 반응이고 실험 2와 실험 3의 비교에서 H_2 에 대해 1차 반응임을 알 수 있다. 따라서 전

체 반응은 2차 반응이다.

르. T_2 일 때의 반응 속도가 T_1 일 때의 반응 속도보다 더 빠른 것으로 보아 T_2 일 때의 반응 속도 상수가 T_1 일 때의 반응 속도 상수보다 더 크다는 것을 알 수 있다.

⑧ 반응 속도는 활성화 에너지에 의해서 결정된다. 활성화 에너지가 큰 반응일수록 반응 속도는 느리다. 따라서 반응 속도가 가장 느린 단계는 활성화 에너지가 가장 큰 반응인 1단계 반응이다. 또한 다단계 반응에서 반응 속도가 가장 느린 단계의 속도식이 전체 반응의 속도식이 된다. 따라서 전체 반응의 속도식은 1단계 반응의 속도식인 $v=k[\text{HBr}][\text{O}_2]$ 이다.

⑨ ②, ③, ④, ⑤의 반응은 각각 산·염기 중화 반응, 양금 생성 반응, 연소 반응, 이온 간의 반응이므로 쉽게 반응이 일어나지만, ①의 반응에서는 H—H, O=O 사이의 공유 결합이 끊어진 후 반응이 일어나므로 반응 속도가 느리다.

10 정답

$$v=k[\text{NO}]^2[\text{Br}_2], \quad k=1.2 \times 10^4 \text{ L}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

해설

실험 1과 실험 2의 비교에서 반응 속도는 Br_2 의 농도에 비례하는 것을 알 수 있고, 실험 1과 실험 4의 비교에서 반응 속도는 NO의 농도의 제곱에 비례하는 것을 알 수 있다. 따라서 반응 속도식은 $v=k[\text{NO}]^2[\text{Br}_2]$ 이다.

이때 반응 속도 상수 k 는 실험 1의 값을 반응 속도식에 대입하여 구할 수 있다.

$$12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = k \times (0.10 \text{ mol/L})^2 \times (0.10 \text{ mol/L})$$

$$\therefore k = 1.2 \times 10^4 \text{ L}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

11 정답

$$v=k[\text{CH}_3\text{CHO}]^2, \quad k=1 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

해설

아세트알데하이드의 분해 반응이 2차 반응이므로 반응 속도식은 $v=k[\text{CH}_3\text{CHO}]^2$ 으로 나타낼 수 있다. 이때 반응 속도 상수값은 주어진 농도값과 반응 속도를 식에 대입하여 구할 수 있다.

$$0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = k \times (0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})^2$$

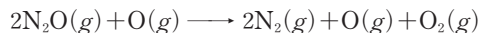
$$\therefore k = \frac{0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}}{(0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})^2} = 1 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

12 정답

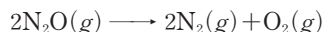


해설

(1) 전체 반응은 두 개의 단일 단계 반응의 합이므로 다음과 같다.



$\text{O}(g)$ 는 양쪽에 모두 있으므로 소거하면 전체 화학 반응식은 다음과 같다.



(2) $\text{O}(g)$ 는 1단계 반응에서 생성되었다가 2단계 반응에서 소비되는 것으로 보아 중간체이다.

13 정답

$$(1) v=k[\text{NOCl}]^2$$

$$(2) k=4 \times 10^{-8} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

해설

주어진 자료를 해석하여 NOCl의 분해 반응에 대한 반응 차수를 구할 수 있어야 한다.

(1) 실험 1과 실험 2의 결과에서 NOCl의 농도를 2배로 하면 반응 속도가 4배(=2²배) 빨라지므로, 이 반응은 NOCl에 대하여 2차 반응이다. 따라서 이 반응의 반응 속도식은 다음과 같다.

$$v=k[\text{NOCl}]^2$$

(2) $v=k[\text{NOCl}]^2$ 에 실험 1의 값을 대입한다.

$$k = \frac{v}{[\text{NOCl}]^2} = \frac{3.60 \times 10^{-9}}{(0.30)^2} = 4 \times 10^{-8} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

14 정답

(1) $^{14}_6\text{C}$: 양성자 6개, 중성자 8개, 전자 6개, $^{14}_7\text{N}$: 양성자 7개, 중성자 7개, 전자 7개

$$(2) \ln N_t = -kt + \ln N_0$$

$$(3) k=1.21 \times 10^{-4} (\text{년}^{-1})$$

$$(4) 2372(\text{년})$$

해설

방사성 동위 원소의 분해 반응은 모두 1차 반응이다. $^{14}_6\text{C}$ 의 분해 반응에 대한 반감기가 5730년으로 일정한 것으로 보아 분해 반응이 1차 반응임을 알 수 있다. 1차 반응에서 반응 속도 상수 k 와 반감기 $t_{1/2}$ 는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

(1) 원소 기호의 왼쪽 아래는 양성자 수(=전자 수)를 나타내고 왼쪽

위는 양성자 수 + 중성자 수를 나타낸다.

$^{14}_6\text{C}$ 와 $^{14}_7\text{N}$ 의 양성자 수, 중성자 수, 전자 수는 다음과 같다.

$^{14}_6\text{C}$: 양성자 6개, 중성자 8개, 전자 6개

$^{14}_7\text{N}$: 양성자 7개, 중성자 7개, 전자 7개

(2) $^{14}_6\text{C}$ 의 붕괴 반응은 1차 반응이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-\frac{dN}{dt} = kN, \quad \frac{1}{N}dN = -kdt$$

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{1}{N}dN = -\int_0^t kdt$$

$$\ln N_t - \ln N_0 = -kt$$

$$\therefore \ln N_t = -kt + \ln N_0$$

(3) 이 반응의 반감기는 5730년이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k} = 5730 \text{년}$$

$$k = \frac{\ln 2}{5730 \text{년}} = \frac{0.693}{5730 \text{년}} \\ = 1.21 \times 10^{-4} (\text{년}^{-1})$$

(4) 처음의 25%가 붕괴하므로 t 년 후에 남은 $^{14}_6\text{C}$ 원자 수는 75%이다.

따라서 $N_t = \frac{3}{4}N_0$ 이다.

$$-(1.21 \times 10^{-4} \text{년}^{-1}) \times t = \ln \frac{\frac{3}{4}N_0}{N_0} \\ = \ln \frac{3}{4} = \ln 3 - \ln 4 = 1.099 - 2 \times 0.693$$

$$\therefore t = \frac{1.099 - 2 \times 0.693}{-1.21 \times 10^{-4} \text{년}^{-1}} = 2372 (\text{년})$$

15 정답

(1) 1단계

(2) 0차

(3) 1차

해설

(1) 다단계 반응에서 가장 느린 단계가 전체 반응의 속도를 결정하므로 1단계가 반응 속도 결정 단계이다.

(2) 반응 속도 결정 단계가 1단계이므로 전체 반응 속도식은 $v = k[\text{O}_3]$ 이다. 따라서 NO는 반응 속도를 변화시키지 못하므로 NO에 대한 반응 차수는 0이다.

(3) 반응 속도 결정 단계가 1단계이므로 전체 반응 속도식은 $v = k[\text{O}_3]$ 이다. 따라서 O_3 에 대한 반응 차수는 1이다.

16 정답

(1) 1단계

(2) (-)

해설

(1) 가장 느린 단계가 속도 결정 단계이다. 그래프에서 1단계의 활성화 에너지가 가장 크므로 반응 속도가 가장 느리다는 것을 알 수 있다. 따라서 반응 속도 결정 단계는 1단계이다.

(2) 그래프를 통해 전체 반응에서 반응 물질의 에너지가 생성 물질의 에너지보다 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 발열 반응이고 반응 엔탈피 값의 부호는 (-)이다.

17 정답

$$4.0 \times 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

해설

주어진 자료를 통해 반응 속도는 반응 물질 A에 1차(실험 2와 실험 3 비교), 반응 물질 B에 1차(실험 1과 실험 2 비교)라는 것을 알 수 있다. 그런데 실험 4의 [A]와 [B]는 실험 3의 [A]와 [B] 각각의 2배이므로 속도는 $2 \times 2 = 4$ 배가 될 것이다. 따라서 C의 생성 속도는 $4.0 \times 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

18 정답

(1) 2분

(2) 0.8mol/L

해설

(1) 그래프를 통해 N_2O_4 농도는 처음 0.8mol/L이었다가 2분씩 지날 때마다 반으로 감소하여 0.4, 0.2, 0.1, ...이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 N_2O_4 분해 반응의 반감기는 2분이다.

(2) 2분이 지났을 때 N_2O_4 의 농도가 0.4mol/L이므로 0.4mol/L가 분해된 것을 알 수 있다. 따라서 생성되는 NO_2 의 농도는 $0.4 \text{mol/L} \times 2 = 0.8 \text{mol/L}$ 이다.

개념 활용 문제

pp.036~041

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

① 첫 번째와 두 번째 실험의 비교에서 I_2 의 생성 속도는 $[H_2O_2]$ 에 비례하고, 두 번째와 세 번째 실험의 비교에서 I_2 의 생성 속도는 $[I^-]$ 에 비례하며, 세 번째와 네 번째 실험의 비교에서 I_2 의 생성 속도는 $[H^+]$ 에 관계없다는 것을 알 수 있다. 따라서 반응 속도식은 $v = k[H_2O_2][I^-]$ 이다.

표에 있는 반응 물질이 모두 반응 속도에 영향을 미치는 요인으로 생각되어 답이 ③번이라고 생각할 수 있다. 그러나 반응 속도식은 언제나 주어진 자료를 통해 구해야 하며, 자료에서 H^+ 의 농도는 반응 속도에 영향을 끼치지 않았음을 알 수 있다.

② ㄱ. 그래프에서 반응 물질의 에너지가 생성 물질의 에너지보다 높으므로 이 반응은 발열 반응이다.

ㄴ. 그래프에서 활성화 에너지가 가장 커서 반응 속도가 가장 느린 1단계가 반응 속도 결정 단계이다.

ㄷ. 반응 속도는 활성화 에너지가 작을수록 빠르다. 따라서 반응 속도는 1단계 < 3단계 < 2단계이다.

③ ㄱ. 실험 2와 실험 3의 비교에서 $[A]$ 가 2배로 되었을 때 C의 생성 속도가 2배가 되었으므로 A에 대한 반응 차수는 1이다. 또한 실험 1과 실험 2의 비교에서 $[B]$ 가 2배로 되었을 때 C의 생성 속도가 2배가 되었으므로 B에 대한 반응 차수는 1이다. 따라서 전체 반응 차수는 2이므로 2차 반응이다.

ㄴ. 반응 속도식 $v = k[A][B]$ 이므로 k 의 단위는

$$\frac{(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})}{(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) \cdot (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})} = \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \text{이다.}$$

ㄷ. 주어진 자료에서 반응 속도는 A의 농도에 대해 1차 반응, B의 농도에 대해 1차 반응이다. 따라서 반응 속도식은 $v = k[A][B]$ 이다. 그런데 실험 1과의 비교에서 A와 B의 농도가 모두 3배가 되므로 C의 생성 속도는 $3 \times 3 = 9$ 배가 될 것이다. 따라서 C의 생성 속도는 $4.5 \times 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

④ ㄱ. 반감기는 농도가 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이므로 4초이다.

ㄴ. 반응 속도는 $\frac{\Delta[\text{농도}]}{\Delta[\text{시간}]}$ 이므로 반응 속도의 단위는 $\frac{\text{mol/L}}{\text{s}} = \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

ㄷ. 반응이 시작된 지 4초 후에 감소한 반응 물질의 농도는 A의 경우 4mol/L이고 B의 경우는 2mol/L이며 C의 경우는 1mol/L이다. 이와 같이 초기 반응 속도는 초기 농도에 따라 달라진다.

ㄹ. 반응 속도 상수는 온도에 의해 달라지고 농도의 영향은 받지 않

는다. 따라서 A, B, C 모두 반응 속도 상수가 같다.

⑤ 실험 1과 실험 2의 비교에서 Br^- 의 농도가 2배가 되었을 때 반응 속도도 2배가 된 것으로 보아 반응 속도는 Br^- 의 농도에 비례함을 알 수 있다. 또한 실험 2와 실험 3의 비교에서 H^+ 의 농도가 2배가 되었을 때 반응 속도가 4배가 된 것으로 보아 반응 속도는 H^+ 의 농도의 제곱에 비례한다는 것을 알 수 있다.

비례 그래프는 직선으로 나타내며, 제곱에 비례하는 그래프는 포물선으로 나타낸다. 따라서 $[Br^-]$ 와 반응 속도의 그래프는 ㄱ이고 $[H^+]$ 와 반응 속도의 그래프는 ㄴ이다.

⑥ 아이오딘화 이온의 반응 차수 n 을 구하려면 아이오딘화 이온의 농도($[I^-]$)를 변화시킬 때 반응 속도가 어떻게 변하는지를 살펴 보아야 한다. 따라서 $[S_2O_8^{2-}]$ 는 일정하게 유지시키고 $[I^-]$ 를 변화시킨 실험 2와 실험 3의 결과를 비교해야 한다.

또한 k 를 구하려면 실험 3과 실험 4의 결과를 비교한다. 제시된 자료에서 반응 속도는 $[S_2O_8^{2-}]$ 에 정비례한다. 따라서 실험 3의 반응 속도보다 실험 4의 반응 속도가 $\frac{3}{2}$ 배 더 크므로 k 는

$$2.4 \times 10^{-4} \times \frac{3}{2} = 3.6 \times 10^{-4} \text{이다. 실험 1과 실험 2의 비교에서는 } [S_2O_8^{2-}] \text{에 대한 반응 차수 } m \text{을 구할 수 있다.}$$

⑦ ㄱ. (가)보다 반응 속도가 빠르므로 (대)의 온도가 (가)보다 높으며, (가)와 (나)의 온도는 같으므로 (대)의 온도는 (나)보다 높다.

ㄴ. (가), (나), (대)에서 모두 반감기가 일정하므로 X의 분해 반응은 1차 반응이다.

ㄷ. 반응 속도는 $[X]$ 에 비례한다. (가)의 초기 $[X]$ 가 (나)의 초기 $[X]$ 의 2배이므로, 초기 반응 속도는 (가)가 (나)의 2배이다.

ㄹ. (가)의 조건에서 물질 X의 반감기는 10초로 일정하므로, 40초일 때의 농도는 0.25mol/L이다.

⑧ ㄱ. 주어진 반응 메커니즘으로부터 전체 반응식을 구해보면 $H_2O_2 + 2H^+ + 2I^- \longrightarrow I_2 + 2H_2O$ 이다. 따라서 H^+ 은 반응 물질이다. 촉매는 전체 반응 식에 나타나지 않으며, 반응이 빠르게 혹은 느리게 일어나도록 넣어주는 물질이다.

ㄴ. 반응 중간체는 이전 단계에서 생성되고, 다음 단계에서 반응물로 사용되어 사라지게 되는 물질이므로 전체 반응식에서는 나타나지 않는다. HOI 와 OH^- 는 전체 반응식에 나타나지 않으며 각 단계의 반응식을 합할 때 상쇄되므로 중간체이다.

ㄷ. 전체 반응의 반응 속도식은 반응 메커니즘의 가장 느린 단계인

속도 결정 단계에서의 반응 속도식과 같으므로 $v = k[\text{H}_2\text{O}_2][\text{I}^-]$ 이다.

9. ㄱ. 반응 속도식이 $v = k[\text{HBr}][\text{O}_2]$ 이므로 1단계 반응이 속도 결정 단계이다. 따라서 E_1 값이 가장 크다.

ㄴ. 1단계+2단계+3단계의 반응식을 더하면 전체 반응식이 구해지므로 2단계의 반응식은 $\text{HOBr} + \text{HBr} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ 이다.

ㄷ. 전체 반응은 발열 반응이므로 엔탈피 변화(ΔH)는 0보다 작다. 따라서 반응 물질의 결합 에너지 총합은 생성 물질의 결합 에너지 총합보다 작다.

10. ㄱ. A는 NO_2 이고 B는 Cl_2 이므로, A는 극성 분자이고 B는 무극성 분자이다.

ㄴ. 1단계가 반응 속도 결정 단계이고, 1단계의 속도식이 $v = k[\text{NO}_2\text{Cl}]$ 이므로 NO_2Cl 의 농도가 2배가 되면 반응 속도도 2배가 된다.

ㄷ. 1단계의 반응 속도가 2단계의 반응 속도보다 느리기 때문에 활성화 에너지는 1단계가 더 크다.

11. F는 1단계 반응에서 생성되었다가 2단계 반응에서 사라지는 물질로서, 이 반응의 중간체이다.

$2\text{NO}_2 + \text{F}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2\text{F}$ 의 반응은 두 단계에 걸쳐 일어난다. 활성화 에너지가 $E_{a1} > E_{a2}$ 이므로 반응 속도는 1단계 반응이 2단계보다 느리다. 따라서 1단계 반응이 속도 결정 단계이며, 전체 반응의 속도식은 $v = k[\text{NO}_2][\text{F}_2]$ 이다. $2\text{NO}_2 + \text{F}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2\text{F}$ 의 반응은 발열 반응이므로 반응 물질의 결합 에너지 총합이 생성 물질보다 작다.

활성화 에너지는 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지로서, 가장 느린 단계(활성화 에너지가 가장 큰 단계)의 활성화 에너지가 전체 반응의 활성화 에너지이다. 따라서 E_{a1} 이 전체 반응의 활성화 에너지이다.

12. ㄱ. HI의 농도가 2배가 되었을 때 반응 속도는 4배가 되었으므로 HI에 대한 반응 차수는 2이다.

ㄴ. 실험 1과 3에서 HI의 농도가 4배로 변할 때 반응 속도는 16배 변했으므로 이 반응은 HI에 대한 2차 반응이다. 따라서 $v = k[\text{HI}]^2$ 이며, 실험 1의 $[\text{HI}]$ 와 반응 속도 값을 대입하면 $k = \frac{7.5 \times 10^{-4}}{(0.005)^2} = 30(\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$ 이다.

ㄷ. $[\text{HI}] = 0.001 \text{ mol/L}$ 를 반응 속도식에 대입하면

$$v = (30 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) \times (0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})^2 = 3 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \text{이다.}$$

2. 반응 속도에 영향을 미치는 요인

01 농도와 온도

개념 확인 문제

pp.052-053

01. ㄷ > ㄴ > ㄱ 02. ④ 03. ② 04. ① 05. ②
06. (1) 표면적, (2) 농도, (3) 농도, (4) 표면적, (5) 표면적, (6) 온도, (7) 온도, (8) 표면적, (9) 표면적, (10) 온도, (11) 온도, (12) 농도, (13) 농도, (14) 표면적, (15) 표면적, (16) 온도, (17) 온도 07. (1) × (2) × (3) × (4) × (5) ×

1. 반응 속도는 반응 물질의 농도가 커질수록, 온도가 높을수록 빨라진다. 따라서 반응 속도가 가장 빠른 경우는 온도가 가장 높고, 농도가 가장 큰 ㄷ이고, 가장 느린 경우는 온도가 가장 낮고, 농도가 가장 작은 ㄱ이다.

2. 큰 입자는 작은 입자 여러 개로 나누어지며, 부피가 같을 때 작은 입자 전체의 표면적은 큰 입자 한 개의 표면적보다 크다. 따라서 다른 반응 물질과 접촉하는 면적이 넓어지므로 분자 사이의 충돌 횟수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다. 강철솥이 철사에 비해 빠르게 연소되는 이유도 강철솥이 철사보다 산소와 접촉하는 면적이 넓어서 반응하는 분자 사이의 충돌 횟수가 크기 때문이다.

⑤ 온도가 같으면 강철솥을 이루는 입자와 철사를 이루는 입자의 운동 속도는 같다.

3. 대리석의 상태가 반응 속도에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 대리석의 상태를 제외한 묶은 염산의 부피, 농도, 온도가 모두 일정하게 유지되어야 한다. 따라서 실험 1과 실험 3의 비교에서 대리석의 상태가 반응 속도에 미치는 영향을 알아볼 수 있다.

4. 그림의 모형은 반응 물질의 분자 수에 따른 충돌 횟수를 나타낸 것으로, 분자 수가 증가할수록 충돌 횟수도 증가한다는 것을 알 수 있다. 그런데 충돌 횟수가 증가하면 반응 속도는 빨라질 것이므로 보기에서 농도의 증가로 반응 속도가 빨라지는 경우를 찾으면 된다. ㄱ. 산성비는 수소 이온의 농도가 크기 때문에 조각품들의 부식을 빠르게 한다.

ㄴ. 암모니아의 합성 반응에 산화철을 넣어 주는 것은 반응 속도에 미치는 영향 중 촉매의 영향을 나타낸 것이다.

ㄷ. 압력 밥솥에서 밥이 빨리 지어지는 것은 반응 속도에 영향을 미치는 요인 중 온도의 영향을 나타낸 것이다.

5 그래프는 반응 속도에 영향을 미치는 요인 중 온도에 대한 것이다. 온도가 높아지면 활성화 에너지보다 큰 에너지를 갖는 입자 수가 증가하므로 반응할 수 있는 입자 수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다. 따라서 온도와 관련된 현상을 고르면 된다.

ㄱ. 여름철에 저울철보다 음식물이 쉽게 상하는 것은 온도와 관련된 현상이다.

ㄴ. 장작불을 피우기 위해 잘게 쪼갠 불쏘시개를 사용하는 것은 표면적과 관련된 현상이다.

ㄷ. 꺼져 가는 성냥불을 산소가 들어 있는 병에 넣으면 다시 살아나는 것은 농도와 관련 있는 현상이다.

ㄹ. 시베리아는 온도가 낮아 반응 속도가 작기 때문에 메머드의 시체가 썩지 않고 발견된 것으로서, 온도와 관련된 현상이다.

6 (1) 표면적, (2) 농도, (3) 농도, (4) 표면적, (5) 표면적, (6) 온도, (7) 온도, (8) 표면적, (9) 표면적, (10) 온도, (11) 온도, (12) 농도, (13) 농도, (14) 표면적, (15) 표면적, (16) 온도, (17) 온도

7 (1) 활성화 에너지 보다 큰 운동 에너지를 갖는 분자 수가 많을수록 반응 속도는 빨라지므로 A보다 B의 반응 속도가 더 빠르다.

(2) 온도가 높을수록 운동 에너지가 큰 분자 수가 증가하므로 A보다 B가 더 높은 온도이다.

(3) 그래프의 전체 면적이 같으므로 기체의 총 수는 A와 B가 동일하다.

(4) 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지는 분자 수는 A보다 B가 더 많다.

(5) 활성화 에너지보다 큰 운동 에너지를 가지는 분자들이 반응을 일으킬 수 있다. 따라서 반응을 일으킬 수 있는 분자 수는 A보다 B가 더 많다.

02 촉매

개념 확인 문제

pp.063~064

01. (1) A (2) C (3) B 02. ④ 03. ⑤ 04. ② 05. ⑤
06. ④ 07. ③ 08. 촉매로서, 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 빠르게 한다. 09. ⑤ 10. ④ 11. (1) ○ (2) ×
(3) × (4) ○ (5) × (6) ×

1 농도가 증가하면 충돌 횟수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다. 온도가 증가하면 활성화 에너지보다 큰 에너지를 가지는 입자 수가

증가하여 반응 속도가 빨라진다.

정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 감소하여 반응 속도가 빨라진다.

2 반응 속도에 영향을 미치는 요인에는 온도, 반응 물질의 농도, 정촉매의 사용 유무가 있다.

온도가 높을수록, 농도가 커질수록, 정촉매를 사용할수록 반응 속도는 빨라지게 된다. 따라서 실험 4의 반응 속도가 가장 빠를 것으로 예측된다.

3 반응 속도는 반응 물질의 농도가 커질수록, 온도가 높을수록, 정촉매를 사용할수록 빨라진다. 기체 A와 기체 B를 넣어 주면 반응 물질의 농도가 커지며, 반응 용기를 가열하면 온도가 높아지므로 반응 속도가 빨라진다. 반응 용기의 부피를 2L로 늘리면 반응 물질의 농도가 작아지므로 반응 속도는 느려지게 된다.

4 촉매는 활성화 에너지를 변화시켜서 반응 속도에 영향을 준다. 정촉매는 활성화 에너지를 낮추어서 정반응의 속도뿐만 아니라 역반응의 속도도 증가시킨다. 부촉매는 활성화 에너지를 높여서 정반응의 속도뿐만 아니라 역반응의 속도도 감소시킨다.

5 촉매는 정반응과 역반응의 활성화 에너지를 변화시켜 반응 속도를 조절한다. 그러나 촉매를 사용해도 반응열은 변하지 않는다.

6 ①, ②, ③, ⑤는 표면적이 증가하여 반응 속도가 빨라지는 경우이고, ④는 촉매가 작용하여 반응 속도가 빨라진 경우이다.

7 ①과 ④는 표면적이 증가하여 반응 속도가 빨라지는 경우이고, ②는 온도가 작용하여 반응 속도가 빨라지는 경우이며, ⑤는 농도가 증가하여 반응 속도가 빨라지는 경우이다.

8 화학 반응이 일어나기 위해서는 반응 물질이 활성화 에너지 장벽을 넘어야 한다. 따라서 발열 반응이라 하더라도 활성화 에너지 장벽을 넘지 못하면 반응은 진행되지 않는다. 이 활성화 에너지 장벽을 낮추는 역할을 하는 것이 바로 촉매이다. 즉 촉매는 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 빠르게 한다. 백금 가루는 수소 기체와 산소 기체가 반응하여 물을 생성하는 반응에서 촉매로 작용한다.

9 ① 활성화 에너지가 커지면 반응 속도는 느려진다.

② 온도가 높아지면 입자들의 운동 에너지가 커져서 활성화 에너지를 넘는 입자 수가 증가하기 때문에 반응 속도가 빨라진다.

③ 부촉매는 활성화 에너지를 높이므로 정반응 속도와 역반응 속도가 모두 느려진다.

④ 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아져서 반응 속도가 빨라

진다.

⑤ 충돌 이론에 의해 농도가 진할수록 충돌 횟수가 증가하여 반응 속도는 빨라진다.

⑩ 과산화수소의 분해 반응은 반응 물질의 농도가 클수록, 온도가 높을수록, 촉매인 MnO_2 를 사용할수록 반응 속도가 빨라진다. 따라서 실험 (ㄷ)의 반응 속도가 가장 빠르다.

⑪ 그래프에서 E_a 는 정반응의 활성화 에너지이며, ΔH 는 반응열이다.

(1) 반응 물질($2H_2O_2$)의 에너지가 생성 물질($2H_2O + O_2$)의 에너지 보다 높으므로 발열 반응이다.

(2) 역반응의 활성화 에너지는 반응열과 정반응의 활성화 에너지의 합이므로 $E_a + \Delta H$ 이다.

(3) 소의 공간에는 카탈레이스라는 생체 촉매(효소)가 들어있어서 정반응과 역반응의 활성화 에너지를 모두 낮춰준다. 따라서 E_a 는 작아지며, 반응 속도는 빨라지게 된다.

(4) 발열 반응이므로 반응이 진행되면 열을 방출한다. 따라서 주위의 온도는 올라간다.

(5) 인산은 부촉매로 작용하므로 E_a 를 커지게 한다.

(6) 촉매는 반응열을 변화시키지 않고 활성화 에너지만 변화시킨다.

실력 확인 문제

pp.065~068

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

단답형 · 서술형 문제

09. (1) $2H_2O_2(aq) \longrightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$, 산소 기체($O_2(g)$) (2) A 시험관, 이산화망가니즈가 정촉매로 작용해서 반응 속도를 빠르게 하기 때문이다. (3) 같다, 촉매는 생성 물질의 양을 변화시키지 않고 반응 속도만 변화시키기 때문이다.

10. (1) 실험 6 (2) 실험 1의 활성화 에너지가 실험 2의 활성화 에너지보다 작다.

11. (가)-ㄴ, (나)-ㄷ, (다)-ㄱ 12. $C > B > A$

13. (1) $T_2 > T_1$ (2) $T_2 > T_1$ (3) (-) 14. 192 kJ

15. (1) (실험 1, 실험 5), (실험 2, 실험 6) (2) $0.24 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

16. 해설 참조

① ㄱ. 기울기가 점점 감소하므로 시간에 따라 반응 속도는 점점 느려진다.

ㄴ. 기울기가 가장 큰 (가)지점에서의 반응 속도가 가장 빠르다.

ㄷ. 정촉매를 사용하면 반응 속도가 빨라지므로 (마)에 이르는 시간이 단축된다.

ㄹ. 반응이 진행되면 반응 물질인 A와 B의 양은 점점 감소한다.

② 산화철은 촉매로 작용하였다. 촉매는 활성화 에너지를 변화시키면서 반응 속도를 조절한다. 그래프에서 B는 정반응의 활성화 에너지이고, D는 역반응의 활성화 에너지이다.

C는 반응열로서, 촉매를 넣어준다고 해서 변하는 구간이 아니다. 또한 반응 물질의 에너지(A)와 생성 물질의 에너지(E)도 촉매를 사용한다고 해서 변하는 값이 아니다.

③ ㄱ. 활성화 에너지는 촉매에 의해서만 변하며, 온도가 높아지면 활성화 에너지보다 큰 운동 에너지를 갖는 분자 수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

ㄴ. 농도가 커질수록 충돌 횟수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

ㄷ. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아지므로 정반응뿐만 아니라 역반응의 반응 속도도 빨라진다.

ㄹ. 표면적이 넓어지면 충돌 횟수가 많아져서 반응 속도가 빨라진다. 평균 운동 에너지가 커지는 것은 온도와 관련이 있다.

④ ㄱ. 주어진 그래프에서 B의 초기 반응 속도가 A의 초기 반응 속도보다 빠르므로 X는 반응 속도를 빠르게 해주는 정촉매라는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 촉매는 화학 반응 전후에 질량이 변하지 않는다.

ㄷ. 반응 속도가 빨라진 것으로 보아 그래프에서 X는 정촉매로 작용했음을 알 수 있고, 정촉매는 반응이 일어나기 위해 넘어야 하는 활성화 에너지를 감소시키는 물질이다.

⑤ 그래프에서 A는 활성화 에너지를 의미한다. 활성화 에너지는 촉매에 의해 변하므로 촉매가 관여하는 반응을 고르면 된다.

ㄱ. 탄광 지대에서는 탄소 가루가 많이 날리기 때문에 폭발 사고가 잘 일어나는 것으로서, 표면적과 관련이 있다.

ㄴ. 시베리아의 온도가 낮아 반응이 느리게 일어나서 사체가 보존된 것이다.

ㄷ. 위액은 단백질 분해 과정에서 정촉매로 작용한다.

ㄹ. 백금은 수소 기체와 산소 기체의 반응에서 정촉매로 작용한다.

⑥ 정촉매를 사용하는 경우 반응 속도는 증가하지만 생성 물질의

양은 변하지 않는다. 따라서 반응 속도는 증가하고 생성 물질의 양은 일정한 그래프를 찾으면 된다.

③, ④의 경우 생성 물질의 양이 변했으므로 옳은 그래프가 아니다. 또 ②의 경우 정촉매를 넣었을 때 반응 속도가 오히려 느려졌으므로 옳은 그래프가 아니며, ⑤의 경우 반응 속도는 농도의 영향을 받므로 곡선의 형태로 점점 줄어들기 때문에 직선과 같은 형태는 옳지 않다.

7. 가. 아연 조각을 2.0g으로 양을 늘려서 넣어주면 반응 속도뿐만 아니라 생성 물질의 양도 증가하므로 B 그래프의 모양과는 다르다. 나. 아연 조각보다 아연 가루가 표면적이 넓어 반응 속도가 크기 때문에 B 그래프 모양이 된다.

다. 묽은 염산의 양이 증가하여도 묽은 염산의 농도가 일정하므로 반응 속도는 일정하여 B 그래프 모양과는 다르다.

르. 묽은 염산의 농도를 높여서 반응시키면 반응 속도가 빨라지므로 B 그래프 모양이 된다.

8. 활성화 에너지가 변화하여 반응 속도가 변하는 경우는 촉매를 가하는 경우이다.

가. 석회석을 잘게 부수면 빨리 녹는 것은 표면적이 넓어져서 반응 속도가 빨라진 경우이다.

나. 과산화수소의 분해 반응에서 이산화망가니즈는 정촉매로 작용하여 과산화수소의 분해 반응을 빠르게 한다.

다. 여름철에 김치를 담가 밖에 놓으면 온도가 높으므로 냉장고 속에 넣어 놓은 것보다 반응 속도가 빨라져서 빨리 시어진다.

9 정답

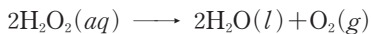
(1) $2\text{H}_2\text{O}_2(aq) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) + \text{O}_2(g)$, 산소 기체($\text{O}_2(g)$)

(2) A 시험관, 이산화망가니즈가 정촉매로 작용해서 반응 속도를 빠르게 하기 때문이다.

(3) 같다, 촉매는 생성 물질의 양을 변화시키지 않고 반응 속도만 변화시키기 때문이다.

해설

(1) 과산화수소가 분해되면 산소 기체가 발생한다.



(2) 이산화망가니즈가 과산화수소 분해 반응의 촉매로 작용하므로 A 시험관이 B 시험관보다 반응이 먼저 종결된다.

(3) 촉매를 사용한다고 해서 생성되는 최종 산소 기체의 양이 증가하는 것은 아니다. 따라서 두 시험관에서 발생하는 산소 기체의 양은 동일하다.

10 정답

(1) 실험 6

(2) 실험 1의 활성화 에너지가 실험 2의 활성화 에너지보다 작다.

해설

(1) 반응 속도는 반응 물질의 농도가 커질수록, 온도가 높을수록, 정촉매를 사용할수록 빨라진다. 따라서 실험 6의 경우 반응 속도가 가장 빠를 것이다.

(2) 화학 반응의 활성화 에너지는 촉매에 의해 변한다. 실험 1의 경우 정촉매를 사용했으므로 활성화 에너지가 실험 2보다 작아질 것이다.

11 정답

(가)-나, (나)-다, (다)-가

해설

(가)는 반응 속도에 미치는 표면적의 영향을 나타낸 것이고, (나)는 반응 속도에 미치는 촉매의 영향을 나타낸 것이며, (다)는 반응 속도에 미치는 온도의 영향을 나타낸 것이다. 따라서 표면적에 의한 영향, 촉매에 의한 영향, 온도에 의한 영향을 각각 보기에서 찾아 연결하면 된다.

가. 압력 밥솥에서는 물의 온도가 100°C 이상 올라가므로 밥이 빨리된다.

나. 탄광 내에서는 작은 탄소 입자들이 많으므로 폭발 사고가 자주 일어난다.

다. 산화철은 암모니아 합성 반응의 촉매로 작용한다.

12 정답

C > B > A

해설

반응 속도는 농도, 온도, 촉매 등의 영향을 받는다. 즉 반응 물질의 농도가 진할수록, 온도가 높을수록 반응 속도는 빨라지고, 부촉매는 사용하면 반응 속도가 느려진다.

실험 1과 실험 2를 비교해보면 실험 2의 경우 농도가 더 크다. 따라서 실험 2가 실험 1보다 반응 속도가 더 빠를 것이다. 또한 자료에서 실험 2와 실험 3을 비교해보면 실험 2는 부촉매인 인산을 첨가하였다. 따라서 실험 3보다 실험 2의 경우 반응 속도가 더 느릴 것이다. 그러므로 기체 발생 속도는 C > B > A이다.

13 정답

(1) $T_2 > T_1$

(2) $T_2 > T_1$

(3) (－)

해설

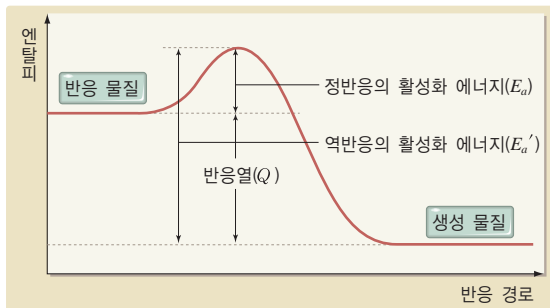
- (1) 초기 반응 속도가 T_1 보다 T_2 가 더 큰 것으로 보아 T_2 의 온도가 더 높다는 것을 알 수 있다.
- (2) 온도가 높을수록 반응 속도 상수가 커지므로 반응 속도 상수 k 는 T_1 일 때보다 T_2 일 때가 더 크다.
- (3) T_1 보다 온도가 높은 T_2 의 경우일 때 평형 상태에서 생성 물질인 B의 농도가 더 작다는 것을 알 수 있다. 이것은 온도가 높아질 경우 평형이 역반응 쪽으로 이동하기 때문이다. 따라서 정반응은 발열 반응이므로 ΔH 의 부호는 (－)이다.

14 정답

192kJ

해설

금속 Fe을 첨가하였을 때 활성화 에너지가 143.6kJ만큼 감소하였으므로 정반응의 활성화 에너지는 100kJ이 된다. '역반응의 활성화 에너지 = 정반응의 활성화 에너지 + 반응열' 이므로 역반응의 활성화 에너지는 192kJ이 된다.



15 정답

(1) (실험 1, 실험 5), (실험 2, 실험 6)

(2) $0.24 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

해설

- (1) 온도가 미치는 영향을 알아보려면 A의 농도, B의 농도, 촉매 사용 여부는 모두 동일하고 온도만 다른 두 실험을 비교해야 한다.
- (2) 실험 1과 실험 3, 실험 2와 실험 4의 비교를 통해 반응 속도가 A와 B의 농도에 각각 비례한다는 것을 알 수 있으므로, 반응 속도는 $0.06 \times 2 \times 2 = 0.24 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

16 정답

해설 참조

해설

그래프에서 0~ M_1 까지는 반응 속도가 기질의 농도에 비례하는 것을 알 수 있다. 따라서 1차 반응이고, M_2 이후에는 기질의 농도와 관련없이 속도가 일정하므로 0차 반응이라는 것을 알 수 있다.

효소의 작용을 받는 물질인 기질의 농도가 증가하면 처음에는 1차 반응으로서 효소 반응 속도가 증가하지만, 어느 한계에 이르면 기질의 농도가 증가해도 반응 속도는 기질의 농도의 영향을 받지 않고 0차 반응으로서 일정한 속도를 유지하게 된다. 이것은 기질이 효소의 작용을 받을 때 활성 자리에 꼭 맞는 경우에만 화학 반응이 일어나며 효소의 활성 자리가 모두 채워지게 되면 효소가 작용할 수 있는 기질의 농도에 한계가 생기기 때문이다.

개념 활용 문제

pp.069~073

01. ②	02. ⑤	03. ①	04. ⑤	05. ④	06. ①
07. ①	08. ④	09. ④	10. ④		

① 가, 다. 실험 1과 2의 비교에서 싸이오황산나트륨 수용액의 농도가 2배가 되었을 때 반응 속도도 2배가 되었다는 것을 알 수 있다. 따라서 반응 속도는 싸이오황산나트륨 수용액의 농도에 비례하므로 (가)의 값은 $0.0045 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 임을 알 수 있다.

나. 온도가 높아지면 반응 속도는 증가하지만 반응 속도가 온도에 비례하지는 않는다.

르. 온도는 일정하고 싸이오황산나트륨 수용액의 농도가 변할 때 반응 속도가 변하였고, 싸이오황산나트륨 수용액의 농도는 일정하고 온도가 변할 때도 반응 속도가 변하였다. 그러나 염산의 양은 모든 실험에서 일정하게 유지하였으므로 변인이 아니다.

② (가)는 반응 속도에 미치는 표면적의 영향을 나타낸 것이고, (나)는 반응 속도에 미치는 촉매의 영향을 나타낸 것이며, (다)는 반응 속도에 미치는 온도의 영향을 나타낸 것이다. 따라서 보기에서 표면적에 의한 영향과 촉매에 의한 영향, 온도에 의한 영향을 각각 찾으려면 된다.

가. 열대 지방은 온도가 높으므로 식물의 성장 속도가 빠르다. \Rightarrow 온도의 영향

나. 아밀레이스는 녹말의 분해 효소로 작용한다. \Rightarrow 촉매의 영향

다. 알약보다 가루약의 경우 작은 입자들이 많으므로 흡수가 빠르다. \Rightarrow 표면적의 영향

③ ㄱ. 이 반응에서 백금은 정촉매로 작용하기 때문에 백금의 표면적이 증가하면 반응 속도가 커진다.

ㄴ, ㄷ. 그래프에서 반응 속도는 기울기를 나타낸다. 그래프가 직선이므로 반응 속도는 시간에 관계없이 일정하다. 이와 같은 반응을 0차 반응이라고 하고 반응 속도식은 $v=k$ 이다.

④ (㉠)는 활성화 에너지를 나타낸 것이고 (㉡)는 반응열을 나타낸 것이다. 활성화 에너지가 크면 반응 속도가 느리고, 작으면 반응 속도가 빠르다. 이산화망가니즈는 정촉매로서 활성화 에너지를 낮춰서 반응 속도를 증가시킨다. 그러나 활성화 에너지는 반응 속도만 관련이 있고, 평형 상수는 관련이 없다. 반면에 반응열은 평형 상수와 관련이 있다. 즉 촉매는 반응열과 무관하므로 반응열은 일정하고 이에 따라 평형 상수는 일정한 값을 가진다.

⑤ 그림 (㉠)는 반응이 일어나기 위해 필요한 에너지, 즉 활성화 에너지가 낮아져서 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 입자 수가 증가하므로 반응 속도가 증가함을 나타낸다. 활성화 에너지는 촉매에 의해 낮아진다.

(㉡)의 반응 메커니즘은 수소 원자가 백금 표면에 원자 상태로 결합했다가 염소와 반응하는 단계별 반응을 나타낸다. 이것은 백금이 촉매로 작용하여 반응 경로를 바꿔준 것이다.

그러나 (㉡)의 반응 메커니즘을 통해서는 반응에 참여하는 분자 수가 증가함을 알기는 어렵다.

⑥ 정촉매는 활성화 에너지를 낮춤으로서 반응 속도를 빠르게 하며, 역반응의 활성화 에너지는 역반응이 일어나기 위해 넘어야 할 에너지 장벽을 의미한다.

그래프에서 정촉매를 사용했을 때 정반응의 활성화 에너지는 E' 이고 정촉매를 사용하지 않았을 때 정반응의 활성화 에너지는 E 이다. 따라서 역반응이 일어날 때 넘어야 할 장벽(역반응의 활성화 에너지)은 $E' + Q$ 임을 알 수 있다.

정반응의 활성화 에너지는 오른쪽으로 반응이 진행될 때 넘어야 할 에너지 장벽을 의미하고 역반응의 활성화 에너지는 왼쪽으로 반응이 진행될 때 넘어야 할 에너지 장벽을 의미한다.

⑦ ㄱ. 표의 자료에서 A의 농도가 0.7 mol/L 감소했을 때 B의 농도가 1.4 mol/L 증가했으므로 반응하는 몰수 비는 A:B=1:2임을 알 수 있다. 따라서 반응식은 $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ 이다.

ㄴ. 3분부터 농도가 변하지 않는 것으로 보아 이 반응은 3분일 때

평형 상태이다. 평형 상태에서는 더 이상 농도는 변하지 않지만 반응이 정지된 것은 아니다. 즉 반응 속도가 0인 것이 아니고, 정반응 속도와 역반응 속도가 같아서 더 이상 농도 변화가 없을 뿐이다.

ㄷ. 정촉매를 사용한다고 해서 반응 물질의 농도가 작아지는 것은 아니고 평형에 도달하는 속도가 빨라질 뿐이다.

⑧ ㄱ. 실험 1과 실험 2의 비교에서 B의 농도를 제외한 나머지 조건은 모두 같다. 따라서 B의 농도가 반응 속도에 미치는 영향을 알 수 있다.

ㄴ. 반응 속도는 농도가 클수록, 온도가 높을수록, 정촉매를 사용할수록 커진다. 반응 물질의 농도가 가장 큰 경우는 실험 2, 실험 3, 실험 4의 경우이고 이 중 온도가 가장 높은 경우는 실험 3과 실험 4, 그리고 정촉매를 사용한 경우는 실험 3이다. 따라서 실험 3의 반응 속도가 가장 빠르다.

ㄷ. 촉매는 반응 속도만 빠르게 할 뿐 반응이 완결되었을 때의 생성량을 증가시키는 것은 아니다. 따라서 반응이 완결되었을 때 실험 3과 실험 4의 경우 생성되는 C의 양은 같다.

⑨ ㄱ. 실험 2의 온도는 50°C이고 실험 1의 온도는 25°C이므로 실험 2의 초기 분해 속도가 실험 1의 초기 분해 속도보다 빠르다는 것을 알 수 있다. 하지만 2배인지는 알 수 없다.

ㄴ. 과산화수소의 분해 반응이 1차 반응이고, 실험 3의 경우 실험 1보다 H_2O_2 의 농도가 2배로 증가했으므로 초기 반응 속도도 2배가 된다.

ㄷ. 반응 속도 상수 k 는 온도에 의해서 변한다. 따라서 실험 1, 3의 경우는 같지만 실험 2의 경우는 다르고 실험 4의 경우는 전혀 다른 경로를 거치므로 속도 상수 k 의 값도 달라진다.

ㄹ. 정촉매(MnO_2)를 사용하면 활성화 에너지가 작아져서 반응 속도가 빨라진다. 따라서 실험 4의 활성화 에너지가 가장 작다.

⑩ ㄱ. 실험 1과 실험 2의 비교에서 반응 속도는 사이오황산나트륨의 농도에 비례한다는 것을 알 수 있으므로 (㉠)의 값은 $0.0045 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 임을 알 수 있다.

ㄴ. 실험 1과 실험 2의 비교에서 사이오황산나트륨의 농도가 2배가 되었을 때 반응 속도도 2배가 되었다는 것을 알 수 있다. 따라서 반응 속도는 사이오황산나트륨의 농도에 비례한다.

ㄷ. 실험 1, 2, 3에서 온도가 같으므로 반응 속도에 영향을 미치는 온도의 영향을 알 수 없다.

V 인류 복지와 화학

1. 인류 복지와 화학

01 의약품

개념 확인 문제

pp.092~093

01. ⑤ 02. ⑤ 03. ③ 04. ⑤ 05. 아스피린
06. (1) ㄱ (2) ㄴ (3) ㄷ 07. ② 08. ④ 09. ①
10. ① 11. ⑤ 12. (1)-㉠, (2)-㉢, (3)-㉠
13. ③ 14. (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

① 영지는 불면증, 두통, 소화 장애, 병후 회복, 노인성 만성 기관지염, 만성 관절염 등에 약효가 있는 생약이다.

지혈 작용이 있는 식물은 쑥이며, 쑥의 향은 모기를 퇴치하는 효과가 있다.

② 알칼로이드는 염기성 질소 원자를 포함하고 있는 고리 모양의 유기 화합물로 각성제, 진통제, 마취제로 사용되는 물질이다. 알칼로이드에는 카페인(커피나무), 모르핀(양귀비), 아미그달린(살구나무), 코카인(코카나무) 등이 있다.

버드나무는 알칼로이드를 얻을 수 있는 식물이 아니며, 버드나무에서 추출한 살리실산은 아세트산과 반응하여 아스피린을 합성한다.

③ 양귀비에서 추출한 모르핀은 진통제이고, 커피나무에서 추출한 카페인(커피나무)은 각성제이며, 코카나무에서 추출한 코카인은 마취제이다. 키나나무 껍질에서 추출한 퀴닌은 말라리아 치료제로 사용된다. 코카인, 퀴닌, 모르핀, 카페인과 같은 물질은 알칼로이드의 일종으로, 몇 가지 식물로부터 얻어서 약용으로 사용하고 있다.

④ 인삼의 성분으로 항암 효과가 있는 것은 사포닌이다. 코카인은 알칼로이드 식물인 코카나무에서 추출한 마취제이고, 아세틸살리실산은 아스피린의 주성분이다. 모르핀은 양귀비에서 추출한 진통제이며, 프로게스테론은 스테로이드의 일종인 여성 호르몬이다.

⑤ 아스피린은 진통·해열제로, 살리실산과 아세트산을 반응시켜서 합성한다. 아스피린은 아세틸살리실산의 상품명이다.

⑥ 진통제는 통증을 완화시키고, 항암제는 암세포를 죽이거나 억제시키며, 항생제는 다른 미생물의 성장을 억제한다.

⑦ 항생제는 미생물에서 분비되는 물질로, 미량으로 다른 미생물의 성장을 억제하거나 죽이는 물질이다. 항생제에는 페니실린, 스트렙토마이신, 테트라마이신, 에리트로마이신 등이 있다. 항생제를 무분별하게 사용하면 내성이 강한 균이 많이 생기며, 페니실린 쇼크 등의 부작용이 발생할 수 있다.

⑧ 아스피린과 아세트아미노펜은 비마약성 진통제이며, 모르핀(morphine), 코데인(codeine), 헤로인(heroin) 등은 마약성(마취성) 진통제이다.

⑨ 페니실린은 플레밍에 의해 1928년 푸른곰팡이의 추출물로부터 발견된 최초의 항생제이다. 항생제에는 페니실린 외에도 테트라마이신, 스트렙토마이신, 테트라사이클린, 에리트로마이신 등이 있다. 이들 항생제는 박테리아의 세포 내에서의 단백질 합성을 차단하여 박테리아의 성장을 방해하거나 박테리아를 죽인다.

⑩ 페니실린은 플레밍이 포도상구균의 배양 실험을 하던 중에 발견한 항생제로, 미생물의 발육을 억제시키거나 죽이는 물질이다. 테트라마이신, 스트렙토마이신 등은 대표적인 항생제이다. 항생제의 사용이 늘어나면 항생제에 내성을 가지는 내성균이 생기는 문제점이 있다.

② 무기력증, 졸음, 갈증은 소화제의 부작용이다.

③ 골수 기능 장애, 탈모증은 항암제의 부작용이다.

④ 위장 장애, 신장 장애, 간 장애는 진통제의 부작용이다.

⑤ 습관성, 의존성 등의 금단 현상은 중독성 약물의 부작용이다.

⑪ 효소는 단백질의 일종으로, 체내에서 일어나는 화학 반응의 속도를 빠르게 하는 촉매로 작용하는 물질이다. 생물체는 효소 없이는 생명을 유지할 수 없다. 아밀레이스는 녹말의 소화 효소로 작용하여 낮은 온도에서도 음식물이 분해되는 반응 속도를 빠르게 한다.

⑫ (1) 페니실린은 항생제로서, 미생물의 발육을 억제시키거나 죽이는 물질이다. (㉠)

(2) 글리벡은 암세포의 발육이나 증식을 억제하는 약품이다. (㉢)

(3) 살리실산메틸은 진통제로서, 복용하면 독성이 있으므로 바르는 약으로만 사용되며, 근육통과 타박상에 이용된다. (㉠)

13 신약 개발 과정은 다음과 같다.

1. 의약품 합성을 위한 설계(ㄴ)
2. 화학적인 방법이나 유전 공학적인 방법으로 의약품 합성(ㄷ)
3. 합성된 의약품의 약효 및 안정성 검사를 위한 동물 실험(ㄱ)
4. 사람을 대상으로 투여하여 여러 번의 임상 시험(ㄷ)
5. 신약으로 허가를 받아 환자의 치료에 사용(ㄹ)

14 (가)는 살리실산메틸, (나)는 아세틸살리실산이다.

- (1) 살리실산메틸은 페놀성 하이드록시기를 가지고 있으므로 산성 물질이다. 따라서 수용액의 pH는 7보다 작다.
- (2) 살리실산메틸은 진통제로, 통증을 줄여주는 의약품이다. 하지만 통증의 원인을 없애는 치료약은 아니다.
- (3) 살리실산메틸은 복용하면 체내에 독성 물질인 폴말데하이드가 생성되므로, 파스나 연고 형태의 바르는 의약품으로 이용된다.
- (4) (나)는 아세틸살리실산으로, 시판되는 상품명은 아스피린이다.
- (5) 아스피린은 진통제로, 통증을 줄여준다.
- (6) 두 반응은 모두 에스터 결합을 생성하는 반응으로, 산 촉매 반응이다.

02 녹색 화학과 청정에너지

개념 확인 문제

pp.103~104

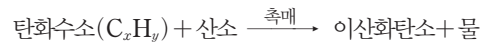
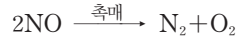
- | | | | | | |
|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 01. ③ | 02. ④ | 03. ⑤ | 04. ③ | 05. ③ | 06. ⑤ |
| 07. ④ | 08. ④ | 09. ⑤ | 10. ④ | 11. ① | 12. ⑤ |
| 13. ② | 14. (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) × | | | | |

1 산업이 발달함에 따라 중금속 오염에 의한 피해가 증가하고 있으며, 중금속을 함유한 폐수는 낮은 농도로도 큰 피해를 준다. 수은에 중독되면 미나마타병에 걸리며, 지각 이상, 언어 장애, 시야 협착 등을 일으킨다. 또한 중금속 오염은 생물 농축 현상이 나타나며, 자정 작용에 의해 거의 정화되지 않는다.

2 수질 오염 물질에는 크게 산업 폐수, 축산 폐수, 생활 하수가 있다. 공장 폐수는 산업 폐수이고, 세탁 폐수와 음식물 찌꺼기는 생활 하수이며, 가축의 분뇨는 축산 폐수이다. 질소 산화물은 대기 오염 물질이다.

3 토양 오염은 지하로 확산되기 때문에 진행 정도를 파악하기 어렵고, 보이지 않는 상태로 지하수나 토양 또는 공기를 따라 넓은 지역으로 서서히 확산된다. 따라서 오염이 오랜 기간 동안 진행되면 복구하기 어렵다.

4 자동차의 촉매 변환 장치에서는 일산화질소(NO)가 질소(N₂)와 산소(O₂)로 분해되는 반응이 일어나며, 불완전 연소 생성물인 일산화탄소(CO)와 탄화수소(C_xH_y)를 산화시켜 이산화탄소(CO₂)와 물(H₂O)로 변화시킴으로써 오염 물질의 방출을 막는다.



5 주어진 자료에서 설명하고 있는 대기 오염 물질은 이산화질소이다. 이산화질소(NO₂)는 적갈색의 기체로서 주로 자동차의 배기 가스로 배출되며, 광화학 스모그를 일으키는 주범이다.

이산화황은 황이 연소될 때 발생하는 기체로 런던형 스모그의 원인 물질이고, 오존층 파괴의 원인 물질은 프레온 가스이며, 지구 온난화의 원인 물질은 이산화탄소이다. 또 이산화탄소는 정상적인 빗물이 약한 산성을 띠게 하는 원인이 되는 물질이다.

6 온실 효과는 대기가 지표면이 방출하는 에너지의 일부를 흡수한 후 지표면으로 재방출하여 생기는 현상이다. 온실 효과를 일으키는 기체는 이산화탄소, 메테인, 프레온 가스, 산화질소, 오존, 수증기 등이다. 이산화탄소는 다른 기체들보다 지표면에서 방출되는 적외선을 흡수하는 효과가 떨어지지만 대기 중 농도가 매우 높기 때문에 온실 효과를 크게 나타내며, 화석 연료의 사용과 인구 증가로 대기 중 농도가 증가하고 있기 때문에 지구 온난화의 주범이 되고 있다. 비활성 기체인 네온과 아르곤은 단원자 분자로, 온실 효과를 일으키지 않는다.

7 산성비를 방지하려면 SO₂, NO_x 등의 배출을 줄여야 한다. 각종 자동차의 배기 가스로부터 배출되는 질소 산화물을 줄이기 위해 촉매 변환기를 설치하는 것이 필요하고, 공장의 굴뚝 등에서 나오는 이산화황을 줄이기 위해 탈황 시설을 하는 것이 필요하다. 또한 산성비를 막기 위해서는 화석 연료와 같은 에너지원 대신 환경에 영향을 미치지 않는 새로운 대체 에너지가 필요하다. 수소-산소 연료 전지는 오염 물질의 배출이 없는 전지이므로 산성비에 의한 피해를 줄일 수 있다.

8 대체 에너지 중 조력 발전은 해양 에너지를 이용한 것으로, 달의 인력에 의해 나타나는 조수간만의 차이를 이용하여 전기를 생산하는 친환경적인 발전 방법이다.

9 쓰레기 소각은 소각장에서 실시하고, 배출 가스는 정화시켜야 한다. 또한, 에너지를 절약하고 대중교통을 이용하여 환경을 보호해야 한다.

10 A. 태양 에너지는 고갈될 염려가 없고, 환경 오염 물질의 배출은 없으나 에너지 밀도가 낮다. 따라서 태양 에너지를 이용하기 위해서는 경제성 문제를 해결해야 한다. (ㄷ)

B. 원자력 에너지는 대기 오염 물질을 배출하지 않지만 방사성 물질을 배출하므로 방사능 폐기물 처리 등의 안전 문제를 해결해야 한다. (ㄱ)

C. 수소는 연소할 때 많은 에너지를 방출하는 기체로, 수소-산소 연료 전지에 이용되고 있다. (ㄴ)

11 대체 에너지는 환경을 오염시키지 않으면서 열효율이 좋고 값이 싸야 한다. 대체 에너지에는 태양 에너지, 풍력 에너지, 해양 에너지 등이 있다.

12 청정에너지에는 태양 에너지, 수소 에너지, 지열 에너지, 풍력 에너지, 바이오 에너지 등이 있다.

원자력 에너지는 방사선의 누출 위험이 있으므로 청정에너지라고 볼 수 없다.

13 나프타를 1000°C 가까운 뜨거운 통 속에 넣으면 열에너지를 흡수한 고분자가 스스로 쪼개지는데, 이것을 열분해 공정이라고 한다. 이 과정에 화석 연료가 소비되는데 에틸렌이나 프로필렌 100t을 얻는 데 석유 40t이 소모되며, 이때 발생하는 이산화탄소의 양도 엄청나다. 따라서 이것은 녹색 화학이 적용된 예가 아니다.

14 (1) (－)극에서는 전자를 얻는 환원 반응이 일어난다.

(2) 청정 연료로 사용될 수 있는 물질은 수소 기체이다. 물의 전기 분해에서 수소 기체는 (－)극에서 생성된다.

(3) 전체 반응의 ΔH 가 (+)값을 가지므로 전체 반응은 흡열 반응이다.

(4) 이 반응에서 전기 에너지가 화학 에너지로 전환되고 있다.

(5) 물을 전기 분해할 때 넣어 줄 수 있는 물질은 수산화나트륨이다. 황산구리를 넣어 주면 물이 전기 분해되지 않고 구리가 석출된다.

실력 확인 문제

pp.105~108

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

단답형 · 서술형 문제

09. (가)－ㄱ, (나)－ㄴ

10. (1) (가), (2) (나) (3) (가)와 (나) 모두 없다.

11. 임상 시험, 약효를 테스트한 후 우수한 약효가 나타나면 동물 실험을 거쳐 용량, 용법 등을 구체적으로 조사한 후 임상 시험으로 다시 확인한다. 이때 부작용과 독성 등을 자세히 조사한다.

12. ㄱ, ㄴ 13. 태양 에너지 14. (가)－ㄷ, (나)－ㄱ, (다)－ㄴ

15. 1－A, 2－B, 3－I, 4－H, 5－K, 6－G, 7－F, 8－E, 9－C, 10－D, 11－J, 12－L

1 결정에 X선을 쏘여주면 X선이 결정 내의 원자들에 의해서 회절되어 규칙적인 회절 무늬가 생기는데, 이것을 분석하면 결정의 구조를 알아낼 수 있다. 현재에는 결정을 자동으로 회전시키면서 모든 면으로부터의 회절을 컴퓨터로 처리해 주는 장비인 X선 회절 분석계(X-ray diffractometer)를 이용하여 한 결정 내에 있는 두 원자 사이의 거리와 결정 구조를 알아낸다. 이러한 학문을 X선 결정학(X-ray crystallography)이라고 하는데, 이 X선 결정학은 분자 구조를 결정하는 중요한 수단이다.

2 신약의 개발 과정은 다음과 같다.

① 기초 탐색 단계 : 연구 방향을 설정하고, 필요한 물질을 생약으로부터 추출 또는 화학적으로 합성한다.

② 동물 실험 단계 : 동물 실험을 통해 약물이 갖는 부작용 및 독성을 검색한다.

③ 임상 시험 단계 : 사람들을 대상으로 약물의 안정성과 내약성을 여러 차례에 걸쳐 검토한다.

④ 신약 허가 : 의약품을 담당하는 기관의 허가를 받아 환자의 치료에 신약을 사용하게 되며 신약 판매 시판 후 조사 및 재심사를 한다.

3 알칼로이드는 질소 원자를 포함하고 있는 고리 모양의 화합물로, 모두 염기성을 나타내며 아주 적은 양으로도 강력한 약리 작용을 나타내는 특징이 있다.

ㄱ. 알칼로이드는 질소를 포함한 고리 모양의 화합물로 모두 물에 잘 녹지 않는다.

ㄷ. 모르핀과 코카인은 습관성과 중독성이 있는 약물이지만 카페인 아니다.

④ ① (가), (나), (다)는 모두 산소를 잃거나 얻으므로 산화·환원 반응이다.

② (나)에서 (a)는 자연 상태에서 쉽게 일어나지만, (b)는 자외선이 필요한 반응이다.

③ (b) 반응에서 생성된 O와 공기 중의 O₂가 반응하며 광화학 스모그의 원인 물질인 O₃을 생성한다.

④ (나)의 반응에서 NO는 (a)에서 반응에 참여했다가 (b)에서 다시 배출되므로 촉매로 작용하는 것이다.

⑤ (가)의 반응은 고온에서 일어나지만 (다)의 반응은 상온에서 촉매에 의해 일어난다.

⑤ • 현석 : 해양 에너지를 이용한 조력 발전은 조수간만의 차를 이용하여 전기를 생산하는 시설로, 조수간만의 차가 심한 서해안 지역에 설치하면 효과적이다.

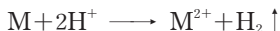
• 수진 : 풍력 에너지는 바람이 센 해안, 섬, 산간 지역의 발전 장치에 이용된다. 따라서 바람이 센 제주도와 같은 섬 지방에는 풍력 발전소를 설치하면 효과적일 것이다.

• 철수 : 원자력 에너지는 우라늄의 핵분열 반응을 이용하여 전기 에너지를 얻는 방법으로, 큰 에너지를 얻을 수 있으며 대기 오염 물질을 배출하지 않지만 체르노빌 원전 사건처럼 방사능 폐기물에 의한 심각한 오염 문제 등이 발생할 수 있다.

• 영희 : 전기 에너지는 오염 물질을 배출하지 않으나 전기 에너지를 만들기 위해 화력 발전소에서 화석 연료를 소비해야 하므로 화력 발전소의 건설은 적절한 제안이 아니다.

⑥ ① 이산화질소에 대한 설명이다.

② 수소 기체에 대한 설명이다.



③ 질소나 아르곤 기체에 대한 설명이다.

④ 이산화탄소 기체는 호흡 과정에서 생성되며, 온실 효과와 가장 관련이 깊은 기체이다.

⑤ 오존층 파괴와 가장 관계가 깊은 물질은 프레온 가스이다. 프레온 가스는 매우 안정한 물질로 대기 중에서 분해되지 않고 성층권까지 올라가게 된다. 성층권에서 파장이 매우 짧은 자외선에 의해 프레온 가스가 분해되면 염소 원자가 생성되며, 이 염소 원자가 오존층을 분해한다.

⑦ ㄱ. 복분해는 두 물질이 분해되었다가 재결합하면서 결합의 위치가 바뀌는 것을 의미한다.



위 반응에서 C, D와 W, X의 위치가 바뀌었으므로 복분해 반응이다.

ㄴ. 기존의 복분해 반응은 높은 온도에서 여러 과정을 거쳐야 했으므로 그 과정에서 불순물이나 폐기물이 많이 나오는 단점이 있었다. 그런데 쇼뱅, 슈록, 그럽스가 유기금속 촉매를 개발하여 폐기물을 최소화하고 다양한 화합물을 합성하는 방법을 개발하였으며, 이 공로로 녹색 화학 분야에서 최초로 노벨상을 수상하였다.

ㄷ. 이 반응은 에이즈 치료제, 콘택트 렌즈, 생물 농약 등 여러 가지 물질 개발에 이용되고 있다.

⑧ ㄱ. 연료 전지가 반응하면 물이 생성되므로 공해 물질을 배출하지 않는다.

ㄴ. (－)극에서 OH[－]이 소모되고 (+)극에서 OH[－]이 생성되지만, 각 전극에서 따로 반응이 일어나므로 OH[－]이 촉매로 작용하는 것은 아니다.

ㄷ. (－)극에서는 H₂가 산화되어 H₂O로 되고, (+)극에서는 O₂가 환원되어 OH[－]으로 된다.

⑨ 정답

(가)－ㄱ, (나)－ㄴ

해설

(가)는 페니실린이다. 페니실린은 다른 미생물의 발육과 번식을 억제하거나 죽이는 대표적인 항생제이다. 페니실린은 최초의 항생제로서 1929년 영국의 플레밍이 포도상구균의 성장을 방해하는 푸른곰팡이로부터 발견하였다.(ㄱ)

(나)는 아스피린이다. 아스피린은 두통이나 치통과 같은 통증을 줄여주는 의약품으로 1899년 독일의 바이엘 제약 회사에서 개발하였으며, 살리실산과 아세트산을 반응시켜 만든 아세틸살리실산의 상품명이다.(ㄴ)

⑩ 정답

(1) (가), (2) (나), (3) (가)와 (나) 모두 없다.

해설

(1) (가) 모르핀은 진통제로서, 중추 신경에 작용하여 통증을 줄여주는 의약품이다.

(2) (나) 퀴닌은 말라리아 치료제, 아주 적은 양으로도 효과를 나타내는 의약품이다.

(3) (가), (나) 모두 에스터 결합을 가지고 있지 않다.

11 정답

임상 시험, 약효를 테스트한 후 우수한 약효가 나타나면 동물 실험을 거쳐 용량, 용법 등을 구체적으로 조사한 후 임상 시험으로 다시 확인한다. 이때 부작용과 독성 등을 자세히 조사한다.

12 정답

ㄱ, ㄴ

해설

질량 분석기는 질량을 측정하여 동일성을 확인하며, 기체 크로마토 그래피는 화학 물질의 성분을 분리하여 확인한다.

이 두 가지 장치를 동시에 사용하면 신뢰도가 매우 높아진다.

13 정답

태양 에너지

해설

계절에 따라 차이가 있고, 고갈될 염려가 없는 대체 에너지는 태양 에너지이다. 태양 에너지는 에너지 밀도는 낮으나 고갈될 염려가 없는 청정에너지이다.

14 정답

(가)－ㄷ, (나)－ㄱ, (다)－ㄴ

해설

(가) : 공장에 설치된 코트렐 집진기로, 주로 매연이나 분진을 제거하는 장치이다.

(나) : 이산화황 제거 장치로, 공장에서 배출되는 황 산화물을 제거하는 장치이다.

(다) : 촉매 변환기로, 벌집 모양의 산화알루미늄에 작은 구멍이 많이 있고 백금, 팔라듐, 로듐 등의 촉매가 포함되어 있어서 연소하지 못한 탄화수소를 완전 연소시키고 질소 산화물을 질소와 산소로 분해시켜 대기 오염 물질의 양을 줄인다.

15 정답

1－A, 2－B, 3－I, 4－H, 5－K, 6－G, 7－F, 8－E, 9－C, 10－D, 11－J, 12－L

해설

녹색 화학의 12가지 원리는 1998년 OECD에서 제정하였으며, 자연과 환경 그리고 화학이 함께 성장하는 지속 가능한 화학, 인간의 건강이나 환경에 해로운 원료, 제품, 부산물, 용액, 시약 등의 사용과 발생을 줄이는 화학이 녹색 화학이다.

녹색 화학의 12가지 기본 원리

1. 예방	폐기물은 배출 후 처리하는 것보다 먼저 발생을 막는 것이 중요하다.
2. 원자 경제성	최종 생산물은 모든 원료가 사용되도록 합성 방법을 설계해야 한다.
3. 자유해성 화학 합성	인체와 환경에 대한 독성을 없애거나 줄이는 방법을 모두 동원한 합성 방법을 개발해야 한다.
4. 더 안전한 제품 개발	제품의 기능은 유지하면서 독성이 최소화된 제품을 개발해야 한다.
5. 더 안전한 용매와 보조제	용매와 보조제는 가능하면 사용하지 않도록 하며, 무독성인 것을 사용해야 한다.
6. 에너지 효율 설계	물질 합성은 실온과 대기압에서 실행하고 화학 공정에서 에너지 사용을 최소화해야 한다.
7. 재생성 원료 사용	기술적으로 경제적으로 가능하면 고갈되지 않고 재생 가능한 원료를 사용해야 한다.
8. 유도체 감소	합성 과정에서 폐기물을 발생시키는 유도체화 과정은 피하거나 최소화해야 한다.
9. 촉매	촉매는 선택성 등에서 우위에 있으므로 사용하는 것이 유익하다.
10. 분해 가능 설계	화학 물질은 기능을 다한 후에 무독성으로 분해되는 것으로 고안해야 한다.
11. 오염 방지의 실시간 분석	화학 공정을 실시간으로 분석해서 유해 물질이 만들어지는 과정을 철저히 통제할 수 있어야 한다.
12. 사고 예방을 위한 안전 화학	화학 공정에 사용되는 물질은 폭발, 화재 등의 사고를 일으킬 위험성이 최소화되도록 개발되어야 한다.

개념 활용 문제

pp.109~112

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

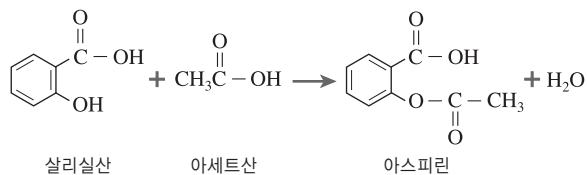
① ㄱ. 카복시기는 $-COOH$ 로 페니실린의 구조에서 확인할 수 있다.

ㄴ. 통증을 완화시키는 물질은 진통제이다.

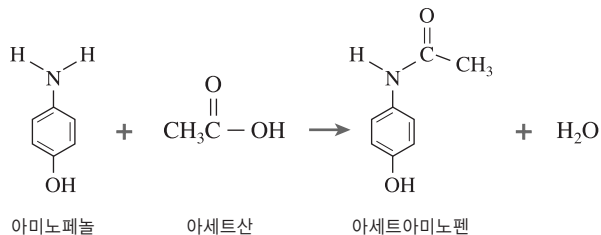
ㄷ. 세균은 항생제에 의해 내성이 생기게 되므로 페니실린을 오랫동안 반복용하게 되면 복용량을 늘려야 한다.

② ㄱ. 두 화합물은 모두 수소 결합을 할 수 있는 카복시기($-COOH$)나 하이드록시기($-OH$)를 가지고 있다.

ㄴ. 아스피린은 다음과 같이 살리실산과 아세트산의 에스터화 반응으로 합성된다.



타이레놀(아세트아미노펜)의 합성에도 다음과 같이 아세트산이 필요하다.



ㄷ. 아스피린은 카복시기와 있고 타이레놀은 페놀성 하이드록시기를 갖고 있으므로 수용액 상태에서 H^+ 을 내놓아 수용액의 액성은 산성을 띤다.

③ ㄱ. 아스피린 합성에서 반응 용기를 가열하는 이유는 온도를 높여 반응 속도를 빠르게 하기 위해서이다.

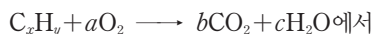
ㄴ. 과정 (2)에서 물을 넣어 주는 것은 반응이 완결되었다고 생각될 때 반응하지 않고 남아 있는 아세트산 무수물을 분해시키기 위해서이다.

ㄷ. 과정 (3)에서 물을 넣어 주는 것은 진한 황산과 아세트산, 아스피린을 분리하기 위해서이다.

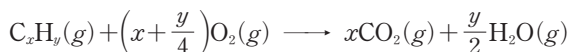
ㄹ. 결정이 생길 때 냉각시켜 주는 이유는 아스피린을 재결정시키기 위해서이다.

④ ㄱ. CO는 O를 얻어 CO_2 가 되므로 산화 반응이고, NO는 O를 잃어 N_2 가 되므로 환원 반응이다.

ㄴ. 연소 반응이 일어나도 원자 수는 변하지 않는다.



$x=b$, $y=2c$, $2a=2b+\frac{c}{2}$ 이므로 $a=x+\frac{y}{4}$ 이다.



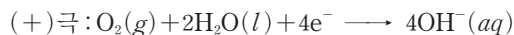
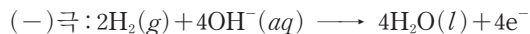
ㄷ. (가)는 벌집 모양으로 이루어져 있다. 이것은 촉매의 표면적을 크게 하여 대기 오염 물질인 탄화수소(C_xH_y), CO, NO 등을 빠르게 제거하기 위해서이다.

⑤ ㄱ. 수소-산소 연료 전지에서는 (-)극에서 수소가 산화되고 (+)극에서 산소가 환원된다.

ㄴ. 수소-산소 연료 전지는 연소 생성물이 물이므로 산성비의 원인 물질을 배출하지 않는다.

ㄷ. 수소-산소 연료 전지는 수소에 저장된 화학 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치이다.

ㄹ. 연료 전지에서 일어나는 반응은 다음과 같다. 이때 OH^- 의 수는 변하지 않지만 물이 생기므로 OH^- 의 농도는 감소한다. 따라서 수용액의 pH는 작아진다.



⑥ ㄱ. 반응식에서 보면 햇빛이 강할 때 질소 산화물이 분해되어 오존을 생성하므로 광화학 스모그는 맑은 날 한낮에 잘 발생한다. 오전에 NO의 농도가 높은 것은 자동차의 이동이 활발해지는 시간이기 때문이다.

ㄴ. 자동차 운행이 많을수록 질소 산화물의 배출량이 증가하여 오존의 생성량이 증가하므로 지표면 근처의 오존(O_3) 농도가 높아진다.

ㄷ. 자동차 연료로 등유 대신 청정 연료인 LNG를 사용하면 질소 산화물의 배출량이 줄어들기 때문에 광화학 스모그는 감소한다.

⑦ ㄱ. 물의 전기 분해 장치에서 A와 B 전극에 모인 기체의 부피비가 A : B = 2 : 1이므로 A에 모인 기체는 수소 기체이고 B에 모인 기체는 산소 기체이다. 그러므로 A 전극은 (-)극에 연결되어 있고, B 전극은 (+)극에 연결되어 있다.

ㄴ. B 전극에서는 산소 기체가 발생되므로 (+)극에서의 반응이다. 반응식을 보면 산소 기체가 발생되면서 H^+ 이 생성된다. 따라서 용액의 액성이 산성으로 변하게 되므로 BTB 용액의 색은 노란색으로 변한다.

ㄷ. 질산나트륨 수용액 대신에 염화나트륨 수용액을 넣으면 (+)극에서 산소가 발생하지 않고 염소 기체가 발생하므로 다른 결과가 나타난다.

⑧ ㄱ. 제시된 그래프에서 빗물의 pH가 점점 커지는 것으로 보아 시간이 지날수록 빗물의 산성은 점점 약해진다는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 산성비는 pH 5.6 이하의 빗물을 의미한다. 그래프에서 처음 3시간 동안 내린 빗물의 pH가 5.6보다 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 처음 3시간 동안은 산성비가 내렸다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 11시에서 13시 사이에 대기 중에 산성 오염 물질이 존재하지 않는다면 13시에 내린 빗물이 산성비라는 것을 설명할 수 없다.