



동적 평형

차례

Part 1 · 개념 정리	1
가역 반응과 비가역 반응	1
동적 평형	4
물의 자동 이온화	9
수소 이온 농도 지수(pH)	11
Part 2 · 기본문제	15
Part 3 · 심화문제	18
Part 4 · 정답과 해설	24
개념 체크 정답	24
기본문제 해설	25
심화문제 해설	27

Part 1 · 개념 정리

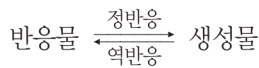
1 가역 반응과 비가역 반응

(1) 정반응과 역반응

- ① **정반응**은 반응물이 생성물로 되는 반응이고, **역반응**은 정반응의 생성물이 다시 반응물로 되는 반응이다.
- ② 정반응과 역반응은 서로 반대 방향으로 진행되는 반응이다.

(2) 가역 반응

- ① **가역 반응**: 반응 조건(농도, 압력, 온도 등)에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응으로, 화학 반응식에서 $\rightleftharpoons$ 로 나타낸다.



② 가역 반응의 예

- 물을 냉동실에 넣으면 얼음이 되지만 얼음을 밖에 꺼내 놓으면 다시 녹아 물이 된다.
 ➔ 정반응: 물의 응고, 역반응: 얼음의 융해
- 이른 아침 공기 중 수증기가 풀잎에 이슬로 맺히지만 시간이 지나면서 다시 공기 중 수증기로 돌아가 이슬이 없어진다.
 ➔ 정반응: 수증기의 액화, 역반응: 물의 기화
- 물에 이산화 탄소가 녹아 있는 탄산음료의 용기 뚜껑을 열어 두면 이산화 탄소가 다시 공기 중으로 빠져나가 탄산음료의 톡 쏘는 맛이 약해진다.
 ➔ 정반응: 이산화 탄소가 물에 녹는 반응, 역반응: 이산화 탄소가 탄산음료에서 빠져나오는 반응

핵심 정리 가역 반응은 반응 조건에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응이다.

개념 체크 A 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

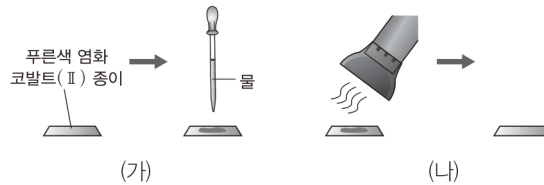
1. _____ 은 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응이다.
2. 정반응은 가역 반응의 화학 반응식에서 (오른 / 왼)쪽으로 진행되는 반응이다.
3. 가역 반응의 화학 반응식에서 화살표는 _____ 로 나타낸다.
4. 푸른색의 염화 코발트(II) 종이와 물과 반응해 붉게 되었다가 물을 증발시키면 다시 푸른색이 되는 것은 이 반응이 _____ 반응이기 때문이다.

탐구자료 살펴보기 수분 검출 시약 - 염화 코발트(Ⅱ)

푸른색의 염화 코발트(Ⅱ)(CoCl_2)는 수분을 흡수하면 붉은색으로 변하는 성질이 있으므로 화학 반응에서 물이 생성되었는지 확인하는 데 자주 이용된다. 간편한 실험을 위해 염화 코발트(Ⅱ) 종이로 주로 사용된다.

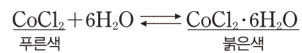
실험 과정 (가) 푸른색 염화 코발트(Ⅱ) 종이에 스포이트를 이용해 물방울을 떨어뜨린 후 색깔을 관찰한다.

(나) 물이 떨어졌던 부분에 헤어 드라이어의 따뜻한 바람을 이용하여 물을 증발시키고 염화 코발트(Ⅱ) 종이의 색깔을 관찰한다.



실험 결과 1. (가)에서 물에 닿은 부분이 붉은색으로 변했다.
2. (나)에서 물이 증발하면서 다시 푸른색으로 변했다.

분석 point 푸른색의 염화 코발트(Ⅱ)(CoCl_2)가 물을 흡수하면 붉은색의 염화 코발트(Ⅱ) 수화물($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)이 되고, 붉은색 염화 코발트(Ⅱ) 수화물($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)에서 물을 제거하면 다시 푸른색의 염화 코발트(Ⅱ)(CoCl_2)가 된다. 이 과정은 다음의 가역 반응으로 설명할 수 있다.

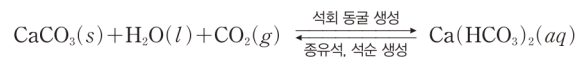


탐구자료 살펴보기 — 수분 검출 시약 - 염화 코발트(Ⅱ)

과학 돋보기 석회 동굴과 종유석, 석순



석회 동굴은 탄산 칼슘(CaCO_3)이 주성분인 석회암 지대에서 주로 생성된다. 그 이유는 탄산 칼슘이 지하수, 이산화 탄소와 함께 반응하여 물에 잘 녹는 탄산수소 칼슘($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)이 생성되기 때문이다. 그런데 석회 동굴 안에는 동굴 천장에 종유석이 달려 있고 바닥에 석순이 형성되어 있는 것을 종종 볼 수 있는데, 종유석과 석순은 어떻게 생성된 것일까? 그것은 바로 석회 동굴 생성 반응의 역반응에 의해 생성된 것이다.



탄산수소 칼슘 수용액에서 이산화 탄소가 빠져나가고 물이 생성되면서 물에 잘 녹지 않는 탄산 칼슘이 생성된 것이다. 탄산수소 칼슘 수용액이 천장에서 떨어지기 전 이 반응이 일어나 탄산 칼슘이 천장에 붙으면 종유석이 되고, 탄산수소 칼슘 수용액이 바닥에 떨어진 후 이 반응이 일어나 탄산 칼슘이 바닥에 쌓이면 석순이 되는 것이다. 따라서 일반적으로 천장의 종유석과 바닥의 석순은 수직 방향으로 일직선 상에서 생성되는 경우가 많다. 석회 동굴 생성 반응과 종유석, 석순 생성 반응은 가역 반응의 대표적인 사례이다.

과학 돋보기 — 석회 동굴과 종유석, 석순

과학 돋보기



우리 주변의 가역 반응의 예

■ 물의 상태 변화

- 추운 겨울이 지나고 봄이 시작되면 산행 시 낙석에 특히 주의해야 한다. 그 이유는 산속 바위 틈 사이에서 물이 얼어 돌 틈 속에 있다가 다시 얼음이 녹아 물이 되면서 바위가 떨어져 내리는 일이 발생하기 때문이다.
- 냄비에서 물을 끓이면 물이 수증기로 변해 날아간다. 이때 냄비 뚜껑 안쪽 면에 물이 많이 맺혀 있는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 수증기가 상대적으로 차가운 온도의 뚜껑을 만나 다시 물이 되기 때문이다.
- 실내에 빨래를 널어 두면 물이 수증기가 되어 날아가므로 빨래가 마르게 된다. 그러나 말랐던 빨래를 비오는 날에 걷지 않으면 공기 중 수증기가 물이 되어 빨래가 다시 눅눅해진다.

■ 용해

- 염전에서는 바닷물을 저장하고 물을 증발시켜 소금을 석출시킨다. 이렇게 얻은 소금은 다시 가정의 주방에서 음식을 만들 때 물에 녹여 사용된다.
- 가정에서 어항에 물고기를 키울 때 여름철 수온이 상승하면 물에 녹아 있던 산소가 공기 중으로 배출되어 용존 산소량이 감소함에 따라 물고기의 호흡이 어려워질 수 있다. 이때 어항용 산소 발생기를 통해 물속에 산소를 공급해 주기도 한다.

■ 생명체 내 반응

- 인체 내 각 조직에서 발생하는 이산화 탄소는 혈액 속에 용해되고 다시 이산화 탄소가 혈액에서 빠져나와 폐를 통해 날숨에 섞여 몸 밖으로 배출된다.

과학 돋보기 — 우리 주변의 가역 반응의 예

핵심 정리 석회 동굴 생성 반응과 종유석, 석순 생성 반응은 가역 반응이다.**개념 체크 B**

빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

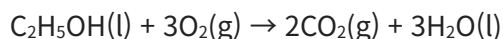
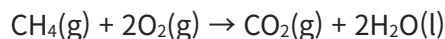
1. 탄산 칼슘이 물과 이산화 탄소와 함께 반응하여 탄산수소 칼슘 수용액이 생성되는 반응은 역반응이 일어나지 않는다. ()
2. 냄비에 물을 끓이면 물이 수증기로 변하고, 수증기가 냄비 뚜껑 안쪽에 물방울로 맺히는 것은 가역 반응의 예이다. ()

(3) 비가역 반응

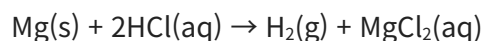
① **비가역 반응**: 한쪽 방향으로만 진행되는 반응으로, 역반응이 일어나지 않거나 정반응에 비해 무시할 수 있을 만큼 거의 일어나지 않는다.

② **비가역 반응의 예**

• **연료의 연소**: 메테인 또는 에탄올을 완전 연소시키면 이산화 탄소와 물이 생성된다.



• **금속과 산의 반응**: 마그네슘 리본을 염산에 넣으면 수소 기체가 발생한다.

**핵심 정리** 비가역 반응은 역반응이 일어나지 않거나 정반응에 비해 무시할 수 있을 만큼 거의 일어나지 않는 반응이다.

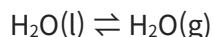
2 동적 평형

(1) 동적 평형

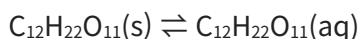
① **동적 평형**: 가역 반응에서 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않는 경우 겉으로 보기에 반응이 일어나지 않는 것처럼 보이지만 실제로는 **정반응과 역반응이 같은 속도로** 일어나고 있는 동적 평형 상태이다. 동적 평형 상태에서는 반응물과 생성물의 양이 일정하게 유지된다.

② 동적 평형의 예

• 밀폐된 용기 안에 충분한 시간 동안 물을 담아 두면 물이 증발하는 속도와 수증기가 응축하는 속도가 같은 동적 평형 상태에 도달하고, 물과 수증기의 양은 일정하게 유지된다.



• 충분한 양의 설탕($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)을 충분한 시간 동안 물에 넣어 두면 설탕이 용해되는 속도와 석출되는 속도가 같은 동적 평형 상태에 도달하게 되고, 설탕 수용액의 농도는 일정하게 유지된다.



핵심 정리 동적 평형은 가역 반응에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 상태이다.

개념 체크 C 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 가역 반응에서 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않으면 반응이 더 이상 일어나지 않는 것이다. ()
2. 동적 평형 상태에서는 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나며, 반응물과 생성물의 양이 일정하게 유지된다. ()

탐구자료 살펴보기

이산화 질소(NO_2)와 사산화 이질소(N_2O_4) 사이의 동적 평형 실험

실험 과정

(가) 투명한 밀폐 용기에 적갈색의 이산화 질소(NO_2) 기체를 담아 두고 색 변화를 관찰한다.
 (나) 투명한 밀폐 용기에 무색의 사산화 이질소(N_2O_4) 기체를 담아 두고 색 변화를 관찰한다.

실험 결과

- (가)에서 점점 적갈색이 얼어지다가 연한 적갈색을 띠게 되고 더 이상 얼어지지 않는 상태에 도달했다.
- (나)에서 무색에서 점점 적갈색이 진해지다가 연한 적갈색을 띠게 되고 더 이상 진해지지 않는 상태에 도달했다.

분석 point

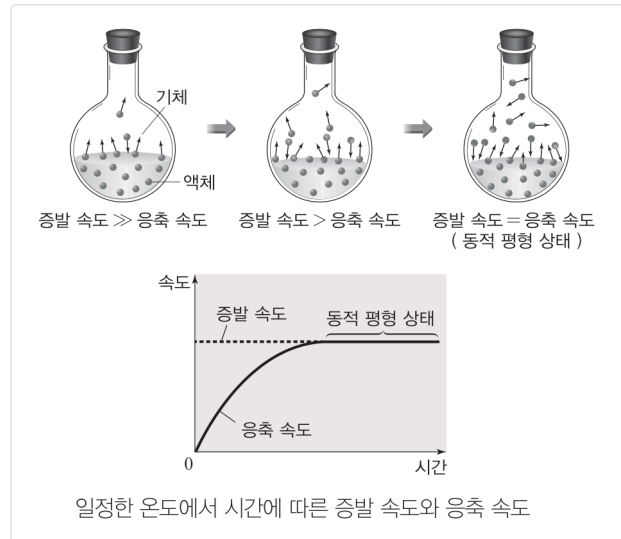
- (가)에서 처음에는 적갈색의 NO_2 가 무색의 N_2O_4 로 되는 반응이 주로 일어나지만 점점 N_2O_4 가 NO_2 로 되는 반응도 많이 일어나 정반응과 역반응의 속도가 같은 동적 평형 상태에 도달하게 된다. 동적 평형 상태에 도달한 후에는 NO_2 와 N_2O_4 의 농도가 일정하게 유지되어, 혼합 기체의 색깔이 더 이상 변하지 않고 일정하게 유지된다.
- (나)에서 처음에는 무색의 N_2O_4 가 적갈색의 NO_2 로 되는 반응이 주로 일어나지만 점점 NO_2 가 N_2O_4 로 되는 반응도 많이 일어나 정반응과 역반응의 속도가 같은 동적 평형 상태에 도달하게 된다. 동적 평형 상태에 도달한 후에는 NO_2 와 N_2O_4 의 농도가 일정하게 유지되어, 혼합 기체의 색깔이 더 이상 변하지 않고 일정하게 유지된다.

탐구자료 살펴보기 — 이산화 질소(NO_2)와 사산화 이질소(N_2O_4) 사이의 동적 평형 실험

(2) 상평형

① 2가지 이상의 상태가 공존할 때 서로 상태가 변하는 속도가 같아서 겉보기에 상태 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 동적 평형 상태에 도달하게 되는데, 이를 **상평형**이라고 한다.

② 액체와 기체 사이의 상평형은 일정한 온도에서 밀폐된 용기에 들어 있는 액체가 액체 표면에서 기체로 되는 **증발 속도**와 기체가 액체로 되는 **응축 속도**가 같아져서 변화가 없는 것처럼 보이는 상태이다. 밀폐된 진공 용기에 액체를 넣었을 때 초기에는 증발 속도가 응축 속도보다 크지만 시간이 지나면서 응축 속도가 점점 커져 증발 속도와 같아지는 동적 평형 상태에 도달한다. 동적 평형 상태에서는 기체의 양과 액체의 양이 일정하게 유지된다.



핵심 정리 상평형은 2가지 이상의 상태가 공존할 때 서로 상태가 변하는 속도가 같아서 겉보기에 상태 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 동적 평형 상태이다.

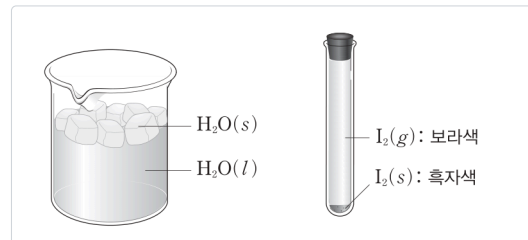
개념 체크 D 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

- 투명한 밀폐 용기에 무색의 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 를 담아 두면 무색의 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 일부가 적갈색의 $\text{NO}_2(\text{g})$ 로 분해되고 혼합 기체가 연한 적갈색에서 색 변화가 멈추는데, 이는 _____ 상태에 도달했기 때문이다.
- 밀폐된 용기에 들어 있는 액체의 _____ 속도와 기체의 _____ 속도가 같아져서 _____ 상태에 도달하면 기체의 양과 액체의 양이 각각 일정하게 유지된다.

③ 고체와 액체 사이의 상평형, 고체와 기체 사이의 상평형도 있다.

예 • **얼음과 물의 상평형**: 얼음물에서 $\text{H}_2\text{O}(s)$ 의 용해 속도와 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 응고 속도가 같아 $\text{H}_2\text{O}(s)$ 과 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 양이 일정하게 유지되는 상태이다.

• **승화성이 있는 아이오딘 고체와 기체 사이의 상평형**: $\text{I}_2(s)$ 에서 $\text{I}_2(g)$ 으로의 승화 속도와 $\text{I}_2(g)$ 에서 $\text{I}_2(s)$ 으로의 승화 속도가 같아 $\text{I}_2(s)$ 과 $\text{I}_2(g)$ 의 양이 일정하게 유지되는 상태이다.

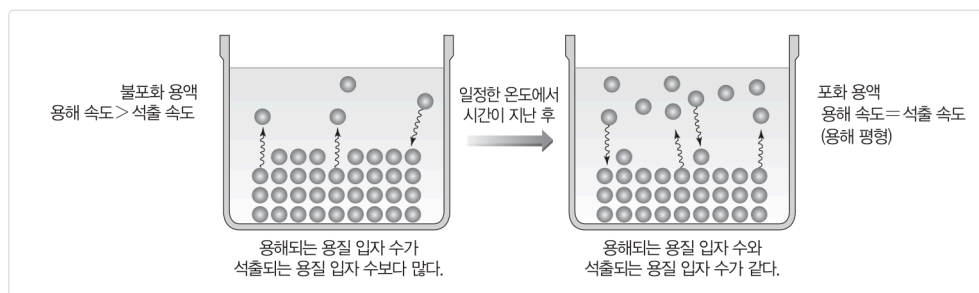


(3) 용해 평형

① 용매 속에 충분한 양의 고체 용질이 충분한 시간 동안 들어 있을 때 용질이 용해되는 속도와 석출되는 속도가 같아서 겉보기에 용해나 석출이 일어나지 않는 것처럼 보이는 동적 평형 상태에 도달하는데, 이를 **용해 평형**이라고 한다.

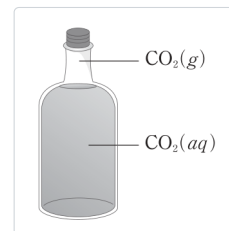
② 고체 용질과 액체 용매 사이의 용해 평형은 일정한 온도에서 고체 용질이 액체 용매에 녹을 때 용질이 용매에 녹는 **용해 속도**와 용매에 녹아 있던 용질이 다시 고체 용질로 되돌아가는 **석출 속도**가 같아져서 변화가 없는 것처럼 보이는 상태이다. 초기에는 용해 속도가 석출 속도보다 크지만 시간이 지나면서 석출 속도가 점점 커져 용해 속도와 같아지는 동적 평형 상태에 도달한다. 동적 평형 상태에서는 고체 용질의 양과 용액의 농도가 일정하게 유지된다.

• 포화 용액보다 용질이 적게 녹아 있는 용액을 **불포화 용액**이라고 하고, 용해 평형을 이루고 있는 용액을 **포화 용액**이라고 한다.



③ 기체가 액체에 녹아 동적 평형 상태에 도달하는 용해 평형도 있다.

예 **밀폐된 용기에 들어 있는 탄산음료**: 이산화 탄소가 음료에 녹는 속도와 음료에서 빠져나오는 속도가 같아 음료 속 이산화 탄소 농도가 일정하게 유지되는 동적 평형 상태이다.



핵심 정리 용해 평형은 용질이 용해되는 속도와 석출되는 속도가 같아서 겉보기에 용해나 석출이 일어나지 않는 것처럼 보이는 동적 평형 상태이다.

개념 체크 E 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하십시오. (정답은 교재 말미 해설)

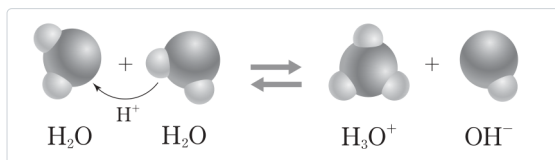
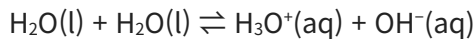
1. 포화 용액에서 용질의 용해 속도와 석출 속도는 같다. ()
2. 충분한 시간 동안 밀폐된 용기에 들어 있는 탄산음료는 이산화 탄소의 용해 반응이 멈춘 상태이다. ()

3 물의 자동 이온화

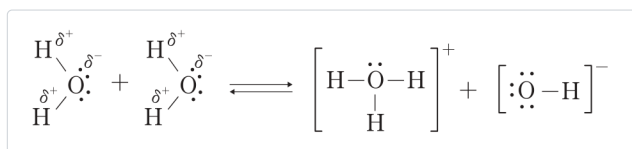
(1) 물의 자동 이온화

① 물은 대부분 분자로 존재하지만 매우 적은 양의 물이 이온화하여 동적 평형 상태를 이룬다.

② 물의 자동 이온화 반응식



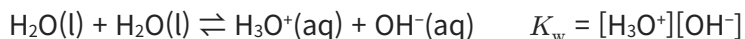
③ 물 분자에서 부분적인 음전하(δ^-)를 띤 산소와 이웃한 물 분자에서 부분적인 양전하(δ^+)를 띤 수소가 서로 접근하여 H^+ 의 이동이 생기고 결과적으로 H_3O^+ 과 OH^- 이 생성된다.



핵심 정리 하이드로늄 이온(H_3O^+)은 수소 이온(H^+)이 수용액 속에 존재하는 형태이므로 H_3O^+ 과 H^+ 은 수용액 속에서 화학적으로 같은 의미라고 할 수 있다. 따라서 물의 자동 이온화 반응식을 $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ 로 나타내기도 한다.

(2) 물의 이온화 상수

① 물의 자동 이온화 반응에서 생성된 H_3O^+ 과 OH^- 의 몰 농도 곱을 **물의 이온화 상수**(K_w)라고 한다.



② 물의 자동 이온화 반응은 가역 반응으로서 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 동적 평형 상태를 이루므로 일정한 온도에서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와 $[\text{OH}^-]$ 는 일정한 값을 갖고, $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와 $[\text{OH}^-]$ 의 곱인 물의 이온화 상수(K_w)도 일정한 값을 갖는다.

③ 25 °C에서 $K_w = 1 \times 10^{-14}$ 이고, 순수한 물에서 $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ 이므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이다.

④ 일정한 온도에서 물의 이온화 상수(K_w)는 용액의 액성에 관계없이 일정한 값을 갖는다.

예 25 °C에서 $K_w = 1 \times 10^{-14}$ 이고, $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-5} \text{ M}$ 인 수용액의 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-9} \text{ M}$ 이다.

핵심 정리 물의 이온화 상수는 $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$ 이다.

개념 체크 F 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 물의 자동 이온화 반응은 비가역 반응이다. ()
2. 물의 자동 이온화 반응에서 H_2O 분자가 H^+ 을 받으면 _____ 이 되고, H^+ 을 잃으면 _____ 이 된다.
3. 물의 자동 이온화 반응에서 생성된 _____ 과 _____ 의 몰 농도 곱을 물의 이온화 상수(K_w)라고 한다.
4. 25 °C의 순수한 물에서 $[\text{H}_3\text{O}^+] =$ _____ M이다.

4 수소 이온 농도 지수(pH)

(1) pH

① $[H_3O^+]$ 는 용액의 액성을 설명하기에 유용하지만 그 값이 매우 작아 실제 값을 그대로 사용하기가 불편하다. 이를 개선하기 위해 덴마크 화학자 쇠렌센이 **수소 이온 농도 지수(pH)**를 제안하였다.

② pH는 $[H_3O^+]$ 의 상용로그 값에 음의 부호를 붙인 것이다.

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

예 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-5} \text{ M} \Rightarrow pH = 5.0$, $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M} \Rightarrow pH = 3.0$

• $[H_3O^+]$ 가 클수록 pH가 작고, $[H_3O^+]$ 가 작을수록 pH가 크다.

• $[H_3O^+]$ 가 10^2 배이면 pH가 2만큼 작다.

③ pH와 마찬가지로 **pOH**는 $[OH^-]$ 의 상용로그 값에 음의 부호를 붙인 것이다.

$$pOH = -\log[OH^-]$$

④ 25 °C에서 $K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ 이므로 **pH + pOH = 14.0**이다.

예 25 °C에서 pH = 6.0인 수용액의 pOH = 8.0이다.

핵심 정리 수소 이온 농도 지수(pH)는 수용액에서 $[H_3O^+]$ 의 상용로그 값에 음의 부호를 붙인 것이다($pH = -\log[H_3O^+]$). 25 °C에서 순수한 물이나 모든 수용액은 항상 pH와 pOH의 합이 14.0이다.

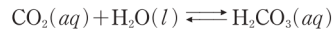
과학 돋보기

깨끗한 빗물의 pH와 산성비의 pH

건조한 공기에는 기본적으로 이산화 탄소가 약 0.03% 포함되어 있다. 공기와 접하고 있는 물은 이산화 탄소가 용해되기도 하고 다시 공기 중으로 배출되기도 하며 이산화 탄소의 용해 평형에 도달하게 된다.



용해된 이산화 탄소는 물과 반응하여 탄산을 생성하게 되므로 깨끗한 물도 약한 산성을 띠게 된다.



이산화 탄소의 용해 평형에서 물속 이산화 탄소의 평형 농도는 약 $1.2 \times 10^{-5} \text{ M}$ 가 되고, 이어서 생성되는 탄산에 의해 물의 pH는 약 5.6이 된다. 따라서 깨끗한 빗물도 깨끗한 공기에 들어 있는 이산화 탄소의 용해에 의해 약 5.6의 pH를 갖게 된다.

산성비는 대기 오염 물질이 빗물에 녹아 pH 5.6 미만의 산성을 갖는 비이다. 주로 공장의 매연이나 자동차 배기 가스가 원인 물질로 알려져 있다. 다음은 3년간 A~C 지역에 내린 빗물의 pH에 대한 자료이다.

지역	2014년	2015년	2016년	평균
A	4.7	4.9	4.8	4.8
B	5.4	5.5	5.3	5.4
C	4.9	4.5	5.2	4.9

- 3년간 평균적으로 빗물의 산성이 가장 강한 지역은 A이다.
- 2015년 빗물의 산성 차이가 가장 큰 두 지역인 B와 C의 pH 차는 1.0이다. 이때 빗물의 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 C가 B의 10배이다.

과학 돋보기 — 깨끗한 빗물의 pH와 산성비의 pH

(2) 25 °C에서 수용액의 액성과 pH

- ① 순수한 물이나 모든 수용액은 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와 $[\text{OH}^-]$ 를 곱한 값이 1×10^{-14} 으로 일정하므로 pH와 pOH의 합은 14.0이다.
- ② 순수한 물이나 **중성** 수용액은 물의 자동 이온화에 의해 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와 $[\text{OH}^-]$ 가 $1 \times 10^{-7} \text{ M}$ 로 같으므로 pH와 pOH는 모두 7.0으로 같다.
- ③ **산성** 수용액은 중성 수용액보다 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 가 큰 수용액이다. 따라서 $[\text{H}_3\text{O}^+] > 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이고, $[\text{OH}^-] < 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이므로 $\text{pH} < 7.0$ 이고, $\text{pOH} > 7.0$ 이다.
- ④ **염기성** 수용액은 중성 수용액보다 $[\text{OH}^-]$ 가 큰 수용액이다. 따라서 $[\text{OH}^-] > 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이고, $[\text{H}_3\text{O}^+] < 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이므로 $\text{pOH} < 7.0$ 이고, $\text{pH} > 7.0$ 이다.

산성	중성	염기성
$[H_3O^+] > [OH^-]$	$[H_3O^+] = [OH^-]$	$[H_3O^+] < [OH^-]$

일정한 온도에서 $[H_3O^+]$ 와 $[OH^-]$ 의 관계

수용액의 액성	농도(25°C)	pH 및 pOH(25°C)
산성	$[H_3O^+] > 1 \times 10^{-7} M > [OH^-]$	pH < 7.0, pOH > 7.0
중성	$[H_3O^+] = 1 \times 10^{-7} M = [OH^-]$	pH = 7.0, pOH = 7.0
염기성	$[H_3O^+] < 1 \times 10^{-7} M < [OH^-]$	pH > 7.0, pOH < 7.0

핵심 정리 25 °C 수용액에서 pH가 7.0보다 작으면 산성, 7.0이면 중성, 7.0보다 크면 염기성이다.

개념 체크 G 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

- 25 °C에서 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-5} M$ 인 수용액에 대해 (1) 액성은 _____ 이다. (2) pH는 _____ 이다. (3) pOH는 _____ 이다.
- 수용액에서 $[H_3O^+]$ 가 10배 증가하면 pH는 _____ 만큼 감소한다.

탐구자료 살펴보기 **그래프로 용액의 액성 분석하기**

탐구 자료

- 25°C에서 $[H_3O^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ 이고, $[H_3O^+]$ 와 $[OH^-]$ 는 반비례한다.
- 25°C에서 pH + pOH = 14.0이다.

(가) $[H_3O^+]$ 와 $[OH^-]$ 의 관계(25°C)

(나) pH와 pOH의 관계(25°C)

분석 point

- pH < 7.0인 산성 용액에도 OH^- 이 존재하고, pH > 7.0인 염기성 용액에도 H_3O^+ 이 존재한다.
- (가)의 모든 점에서 $[H_3O^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ 이고, (나)의 모든 점에서 pH + pOH = 14.0이다.
- 산성 증가 : $[H_3O^+]$ 증가, $[OH^-]$ 감소, pH 감소, pOH 증가
- 염기성 증가 : $[H_3O^+]$ 감소, $[OH^-]$ 증가, pH 증가, pOH 감소

탐구자료 살펴보기 — 그래프로 용액의 액성 분석하기

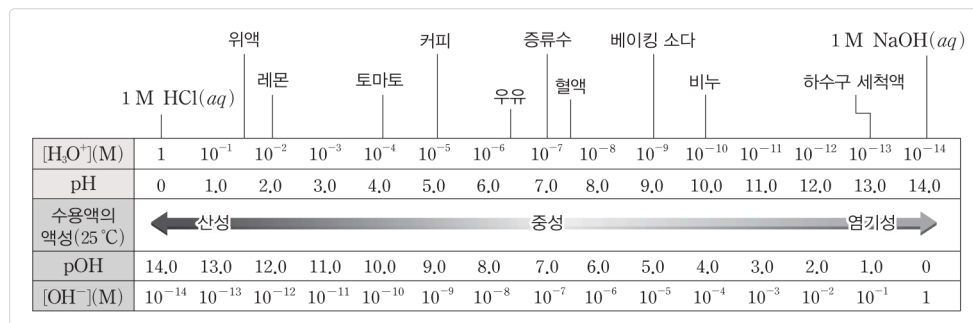
(3) 우리 주변 생활 속 물질의 pH

① pH 측정 방법: 우리 주변 생활 속 물질의 pH를 간단히 확인하기 위해 pH 시험지나 pH 미터를 이용한다.



② 25 °C에서 1 M HCl(aq)과 NaOH(aq)의 pH: 1 M HCl(aq)은 $[H_3O^+] = 1\text{ M}$ 이므로 pH는 $0(= -\log 1)$, pOH는 14.0 이고, 1 M NaOH(aq)은 $[OH^-] = 1\text{ M}$ 이므로 pOH는 $0(= -\log 1)$ 이고, pH는 14.0이다.

③ 25 °C에서 우리 몸속의 위액, 우리가 즐겨 먹는 레몬, 토마토, 커피, 우유는 pH가 7.0보다 작아 산성이고, 우리 몸속의 혈액, 생활용품으로 많이 사용하는 베이킹 소다, 비누, 하수구 세척액은 pH가 7.0보다 커서 염기성이다.



핵심 정리 산성이 증가하면 $[H_3O^+]$ 증가, $[OH^-]$ 감소, pH 감소, pOH 증가이고, 염기성이 증가하면 $[H_3O^+]$ 감소, $[OH^-]$ 증가, pH 증가, pOH 감소이다.

개념 체크 H 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

- 수용액에서 산성이 증가하면 $[H_3O^+]$ 는 _____ 하고, pH는 _____ 한다.
- 수용액에서 염기성이 증가하면 $[OH^-]$ 는 _____ 하고, pOH는 _____ 한다.

Part 2 · 기본문제

12문항 · 정답과 해설은 Part 4.

01 다음은 가역 반응에 대한 원격 수업 장면의 일부이다.

가역 반응에 대해 학습한 내용을 말해봅시다.

학생 A
정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 화학 반응입니다.

학생 B
X로부터 Y가 생성되는 반응이 가역 반응일 경우 $X \rightleftharpoons Y$ 와 같이 나타냅니다.

학생 C
가역 반응에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같아지면 동적 평형에 도달합니다.

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

02 표는 밀폐된 진공 용기에 $I_2(s)$ 을 넣은 후 시간에 따른 $I_2(s)$ 과 $I_2(g)$ 의 양을 나타낸 것이다. 시간이 $2t$ 일 때 $I_2(s)$ 과 $I_2(g)$ 은 동적 평형에 도달하였다.

시간	0	t	$2t$
$I_2(s)$ 의 양(mol)	a	b	x
$I_2(g)$ 의 양(mol)	0	b	y

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\frac{y}{x} > 1$ 이다.
 ㄴ. $I_2(g)$ 이 $I_2(s)$ 으로 승화되는 속도는 t 일 때가 $2t$ 일 때보다 크다.
 ㄷ. $3t$ 에서 $I_2(g)$ 의 양은 y mol보다 많다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 다음은 탄산수($CO_2(aq)$)에 대한 설명이다.

㉠ 물에 $CO_2(g)$ 를 녹여 만든 탄산수($CO_2(aq)$)가 들어 있는 병의 뚜껑을 열어 두면 ㉡ $CO_2(aq)$ 에서 $CO_2(g)$ 가 공기 중으로 빠져나가 탄산수의 톡 쏘는 맛이 약해진다.



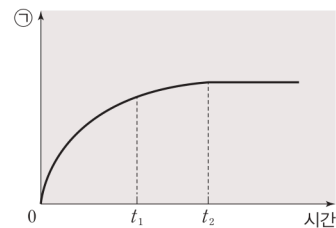
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 물에 $CO_2(g)$ 를 녹이는 반응은 가역 반응이다.
 ㄴ. ㉠의 뚜껑을 닫고 충분한 시간이 지나면 병 내부에서 $CO_2(g)$ 의 양은 일정하게 유지된다.
 ㄷ. ㉡은 $CO_2(g)$ 가 물에 녹는 반응의 역반응이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림은 밀폐된 진공 용기에 $H_2O(l)$ 을 넣은 후 시간에 따른 ㉠을 나타낸 것이다. ㉠은 $H_2O(l)$ 의 증발 속도와 $H_2O(g)$ 의 응축 속도 중 하나이다.



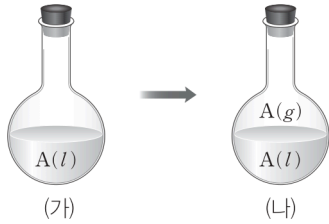
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. ㉠은 $H_2O(l)$ 의 증발 속도이다.
 ㄴ. $H_2O(g)$ 의 양(mol)은 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 많다.
 ㄷ. 동적 평형에 도달한 이후 $H_2O(l)$ 의 양(mol)은 일정하게 유지된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림 (가)는 밀폐된 진공 용기에 A(*l*)를 넣은 모습을, (나)는 (가)에서 충분한 시간이 흐른 후 A(*l*)와 A(*g*)가 동적 평형에 도달한 모습을 나타낸 것이다.



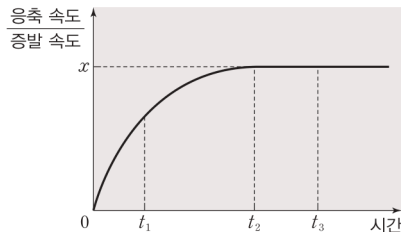
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (나)에서 A(*g*)의 양(mol)은 일정하게 유지된다.
- ㄴ. A(*l*)의 양(mol)은 (가)에서가 (나)에서보다 많다.
- ㄷ. $\frac{A(g) \text{의 응축 속도}}{A(l) \text{의 증발 속도}}$ 는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림은 밀폐된 진공 용기 안에 H₂O(*l*)을 넣은 후 시간에 따른 H₂O의 $\frac{\text{응축 속도}}{\text{증발 속도}}$ 를 나타낸 것이다. *t*₂일 때 H₂O(*l*)과 H₂O(*g*)는 동적 평형에 도달하였다.



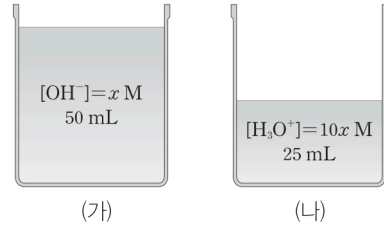
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x=1$ 이다.
- ㄴ. 응축 속도는 *t*₂일 때가 *t*₃일 때보다 크다.
- ㄷ. $\frac{H_2O(l) \text{의 양(mol)}}{H_2O(g) \text{의 양(mol)}}$ 은 *t*₁일 때가 *t*₂일 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림 (가)와 (나)는 각각 25°C의 증류수와 HCl(*aq*)을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 25°C에서 물의 이온화 상수(*K*_w)는 1×10^{-14} 이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x=1 \times 10^{-7}$ 이다.
- ㄴ. (나)의 pOH=8.0이다.
- ㄷ. H₃O⁺의 양(mol)은 (나)에서가 (가)에서의 5배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 표는 25°C에서 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

수용액	(가)	(나)	(다)
H ₃ O ⁺ 의 양(mol)	<i>x</i>		<i>x</i>
pOH	<i>y</i>	$\frac{y}{2}$	
부피(L)	1		0.5

(가)~(다)의 pH를 비교한 것으로 옳은 것은? (단, 25°C에서 물의 이온화 상수(*K*_w)는 1×10^{-14} 이다.)

- ① (가) > (나) > (다) ② (가) > (다) > (나)
③ (나) > (가) > (다) ④ (나) > (다) > (가)
⑤ (다) > (나) > (가)

09 표는 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물과 수용액 (가)와 (나)의 농도에 대한 자료이다.

물질	물	(가)	(나)
$[\text{H}_3\text{O}^+](\text{M})$	1×10^{-7}	1×10^{-5}	
$[\text{OH}^-](\text{M})$			1×10^{-4}

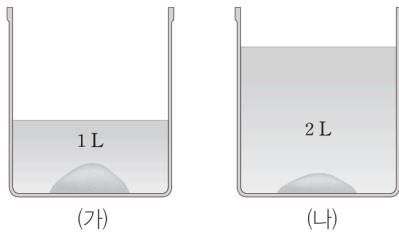
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10^{-14} 이다.
- ㄴ. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 (가) 100 mL에 포함된 OH^- 의 양은 $1 \times 10^{-8} \text{ mol}$ 이다.
- ㄷ. $t^{\circ}\text{C}$ 에서 $\frac{(\text{가}) \text{의 } \text{pOH}}{(\text{나}) \text{의 } \text{pH}} > 1$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 그림 (가)와 (나)는 25°C 에서 물이 담긴 두 비커에 각각 $w \text{ g}$ 의 설탕을 넣은 후, 동적 평형에 도달한 모습을 나타낸 것이다.



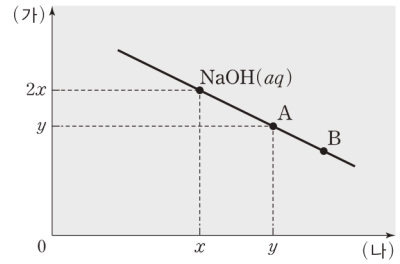
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 설탕의 $\frac{\text{석출 속도}}{\text{용해 속도}} = 1$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 녹지 않고 남아 있는 설탕의 질량은 일정하게 유지된다.
- ㄷ. 물에 용해된 설탕의 질량은 (나) > (가)이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 그림은 25°C 에서 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 과 수용액 A와 B의 (가)와 (나)를 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 각각 pH와 pOH 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C 에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)는 pH이다.
- ㄴ. $x + y = 12.0$ 이다.
- ㄷ. OH^- 의 몰 농도(M)는 $B > A$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 다음은 25°C 에서 수용액 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

- (가)에서 $\frac{[\text{OH}^-]}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = 1000$ 이다.
- (나)의 pH / (가)의 pOH = 2이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C 에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)의 액성은 염기성이다.
- ㄴ. (가)의 pOH = 5.0이다.
- ㄷ. $\frac{\text{pOH}}{\text{pH}}$ 는 (가) > (나)이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Part 3 · 심화문제

12문항 · 정답과 해설은 Part 4. 각 문항의 접근 Point는 해설에 수록.

01 다음은 염화 코발트(II)와 물의 반응에 대한 자료 및 실험이다.

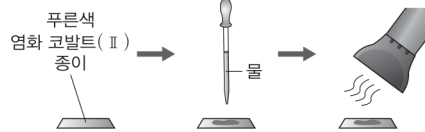
[자료]

- 염화 코발트(II)와 물의 화학 반응에서의 반응물과 생성물
 • 반응물 : $\text{CoCl}_2, \text{H}_2\text{O}$ • 생성물 : $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

㉠

[실험 과정]

- (가) 푸른색 염화 코발트(II) 종이에 물방울을 떨어뜨린 후 색깔을 관찰한다.
 (나) 물이 떨어졌던 부분에 따뜻한 바람을 불어 물을 증발시키고 염화 코발트(II) 종이의 색깔을 관찰한다.



[실험 결과]

- (가)에서 물에 닿은 부분이 붉은색으로 변하였다.
 ○ (나)에서 물이 증발하면서 붉은색이었던 부분이 다시 푸른색으로 변하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. ㉠은 푸른색이다.
 ㄴ. 염화 코발트(II)와 물의 반응은 가역 반응이다.
 ㄷ. 염화 코발트(II)와 물의 반응의 화학 반응식은 $\text{CoCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 표는 25°C에서 같은 질량의 물이 담긴 비커 (가)와 (나)에 서로 다른 양의 고체 설탕을 넣은 후, 녹지 않고 남아 있는 고체 설탕의 질량을 시간에 따라 나타낸 것이다. (가)에서는 t_1 일 때, (나)에서는 t_2 일 때 고체 설탕과 용해된 설탕은 동적 평형 상태에 도달하였다. $0 < t_1 < t_2$ 이다.

시간		0	t_1	t_2
고체 설탕의 질량(g)	(가)	a	c	x
	(나)	b		

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x=c$ 이다.
 ㄴ. t_1 일 때 (나)에서 설탕의 $\frac{\text{식출 속도}}{\text{용해 속도}} = 1$ 이다.
 ㄷ. t_2 일 때 (가)에서 설탕이 용해되는 반응은 일어나지 않는다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 표는 25°C에서 밀폐된 진공 용기에 X(*l*) 1 mol을 넣은 후 시간에 따른 X(*l*)의 양(mol)에 대한 자료이고, 그림은 시간이 t_2 일 때 용기에 들어 있는 물질을 나타낸 것이다. t_2 일 때 X(*l*)와 X(*g*)는 동적 평형 상태에 도달하였다. $0 < t_1 < t_2 < t_3$ 이다.

시간	t_1	t_2	t_3
X(<i>l</i>)의 양(mol)(상댓값)	19	18	18

X(<i>g</i>) 0.1 mol
X(<i>l</i>)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. t_3 일 때 X(*l*)와 X(*g*)는 동적 평형을 이루고 있다.
- ㄴ. X(*g*)의 응축 속도는 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 작다.
- ㄷ. $\frac{t_2\text{일 때 X}(g)\text{의 양(mol)}}{t_1\text{일 때 X}(g)\text{의 양(mol)}} = 2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 다음은 설탕의 용해에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 25°C에서 그림과 같이 2V L, V L의 물이 각각 담긴 비커 I, II에 각각 충분한 양의 설탕을 넣고 유리 막대로 저어 준다.



(나) 시간에 따른 수용액의 농도(%)를 측정한다.

[실험 결과]

시간		t	$2t$	$3t$
수용액의 농도(%)	I		a	b
	II	a	b	b

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, $a \neq b$ 이며, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $2t$ 일 때 II에서 설탕의 $\frac{\text{석출 속도}}{\text{용해 속도}} < 1$ 이다.
- ㄴ. $3t$ 일 때 I의 비커에 설탕을 더 넣으면 용액의 농도는 증가한다.
- ㄷ. I에서 설탕의 석출 속도는 $3t$ 일 때가 $2t$ 일 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 표는 밀폐된 진공 용기에 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 을 넣은 후 시간에 따른 ㉠과 ㉡을 나타낸 것이다. $c > b > a$ 이고, ㉠과 ㉡은 H_2O 의 증발 속도와 H_2O 의 응축 속도를 순서 없이 나타낸 것이다. $0 < t_1 < t_2 < t_3$ 이다.

시간	t_1	t_2	t_3
㉠	a	b	c
㉡	c	c	c

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. ㉠은 H_2O 의 응축 속도이다.
- ㄴ. t_3 일 때 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 과 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 는 동적 평형 상태이다.
- ㄷ. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 양(mol)은 t_3 일 때가 t_2 일 때보다 많다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 표는 25°C 에서 물질 (가)~(다)에 대한 자료이다. (가)~(다)는 $\text{H}_2\text{O}(l)$, $\text{HCl}(aq)$, $\text{NaOH}(aq)$ 을 순서 없이 나타낸 것이다.

물질	(가)	(나)	(다)
pH	k	$2k$	$3k$
부피(L)	V	V	$100V$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C 에서 물의 이온화 상수 (K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $k=3.5$ 이다.
- ㄴ. (다)의 $\text{pOH}=1.5$ 이다.
- ㄷ. $\frac{\text{(다)에서 OH}^- \text{의 양(mol)}}{\text{(가)에서 H}_3\text{O}^+ \text{의 양(mol)}} = 10^{-2}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 표는 25°C 에서 $\text{HCl}(aq)$ (가)~(다)에 대한 자료이다.

수용액	(가)	(나)	(다)
용질의 질량(g)	w	$2w$	aw
부피(mL)	$5V$	$100V$	V
pH	$4x$	$6x$	1.0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C 에서 물의 이온화 상수 (K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

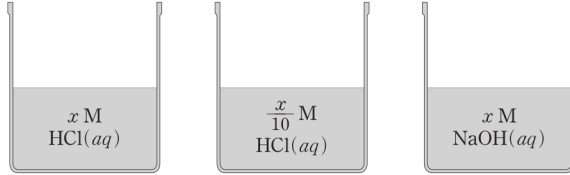
◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x=0.5$ 이다.
- ㄴ. (가)의 $[\text{H}_3\text{O}^+]=1 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이다.
- ㄷ. $a=2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 다음은 25°C에서 3가지 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

- (가)~(다)는 $x \text{ M HCl}(aq)$, $\frac{x}{10} \text{ M HCl}(aq)$, $x \text{ M NaOH}(aq)$ 을 순서 없이 나타낸 것이다.



- (가)에서 $\frac{\text{pH}}{\text{pOH}}=6$ 이다.
○ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (나) > (다)이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C에서 물의 이온화 상수 (K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)는 $x \text{ M NaOH}(aq)$ 이다.
ㄴ. $x=0.01$ 이다.
ㄷ. (다)의 pOH는 11.0이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 표는 25°C에서 $\text{NaOH}(aq)$ (가)~(다)에 대한 자료이다.

수용액	용질의 질량(g)	물 농도(M)	부피(L)	$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{OH}^-]}$
(가)	w	1×10^{-2}	V	a
(나)		x		1×10^{-6}
(다)	y		$100V$	$100a$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C에서 물의 이온화 상수 (K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $x=1 \times 10^{-4}$ 이다.
ㄴ. (다)의 pH=10.0이다.
ㄷ. $y=100w$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 표는 25°C에서 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다. X와 Y는 HCl과 NaOH을 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠은 H_3O^+ 또는 OH^- 중 하나이다.

수용액	용질	몰 농도(M)	부피(mL)	㉠의 양(mol)(상댓값)
(가)	X	1×10^{-4}	1000	10^8
(나)	Y	1×10^{-4}	10	1
(다)	NaOH	1×10^{-6}	1000	10^4

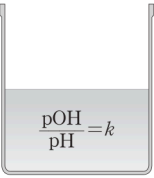
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C에서 물의 이온화 상수 (K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

◀ 보기 ▶

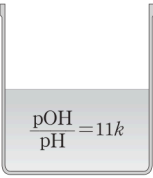
- ㄱ. ㉠은 H_3O^+ 이다.
 ㄴ. (가)의 pOH는 10.0이다.
 ㄷ. (나)에서 $\frac{\text{OH}^- \text{의 양(mol)}}{\text{H}_3\text{O}^+ \text{의 양(mol)}} = 10^8$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

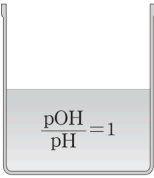
11 다음은 25°C에서 물질 (가)~(다)에 대한 자료이다.



(가)



(나)



(다)

○ (나) : (다) = 1 : 9의 부피비로 혼합한 수용액에서 $\frac{\text{pOH}}{\text{pH}} = 2.5$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C에서 물의 이온화 상수 (K_w)는 1×10^{-14} 이고, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 각 물질의 부피의 합과 같다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (나)의 pH=4.0이다.
 ㄴ. $k = \frac{1}{3}$ 이다.
 ㄷ. $\frac{\text{(다)의 pH}}{\text{(가)의 pOH}} = 2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 다음은 25°C 에서 물질 (가)~(다)에 대한 자료이다. (가)~(다)는 $\text{H}_2\text{O}(l)$, $\text{HCl}(aq)$, $\text{NaOH}(aq)$ 을 순서 없이 나타낸 것이다.

- (가)~(다)의 $|\text{pH}-\text{pOH}|$ 는 각각 a , a , b 이다.
- (가)~(다)의 부피는 각각 1 L, 100 mL, 100 mL이다.
- OH^- 의 양(mol)은 (다)가 (가)의 100배이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C 에서 물의 이온화 상수 (K_w)는 1×10^{-14} 이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (다)는 산성이다.
- ㄴ. $a=6.0$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 H_3O^+ 의 양은 1×10^{-11} mol이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Part 4 · 정답과 해설

1 개념 체크 정답

A	1. 가역 반응	2. 오름	3. $\rightleftharpoons$	4. 가역
B	1. ×		2. ○	
C	1. ×		2. ○	
D	1. 동적 평형		2. 증발, 응축, 동적 평형	
E	1. ○		2. ×	
F	1. ×	2. H_3O^+ , OH^-	3. H_3O^+ , OH^-	4. 1×10^{-7}
G	1. (1) 산성 (2) 5.0 (3) 9.0		2. 1.0	
H	1. 증가, 감소		2. 증가, 감소	

2 기본문제 해설

정답

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

01 가역 반응

가역 반응은 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응으로 화학 반응식을 나타낼 때는 $\rightleftharpoons$ 를 이용한다. 가역 반응에서 정반응의 속도와 역반응의 속도가 같아지면 동적 평형에 도달한다.

02 동적 평형

- ㉠ 동적 평형에 도달할 때까지 $I_2(s)$ 의 양은 감소하고, $I_2(g)$ 의 양은 증가하므로 $x < b$, $y > b$ 이다. 따라서 $y > x$ 이며, $\frac{y}{x} > 1$ 이다.
- ㉡ 동적 평형에 도달할 때까지 $I_2(g)$ 의 양이 증가하므로 $I_2(g)$ 이 $I_2(s)$ 으로 승화되는 속도는 $2t$ 일 때가 t 일 때보다 크다.
- ㉢ $2t$ 에서 동적 평형에 도달하였으므로 $2t$ 이후에 $I_2(g)$ 의 양은 변하지 않는다.

03 가역 반응과 동적 평형

- ㉠ 물에 $CO_2(g)$ 를 녹이면 $CO_2(aq)$ 에서 $CO_2(g)$ 가 빠져나오는 반응도 함께 일어나므로 물에 $CO_2(g)$ 를 녹이는 반응은 가역 반응이다.
- ㉡ 물에 $CO_2(g)$ 를 녹여 만든 탄산수($CO_2(aq)$)가 들어 있는 병의 뚜껑을 닫고 충분한 시간이 지나면 동적 평형에 도달하여 병 내부에서 $CO_2(g)$ 와 $CO_2(aq)$ 의 양은 일정하게 유지된다.
- ㉢ $CO_2(aq)$ 에서 $CO_2(g)$ 가 빠져나가는 반응은 $CO_2(g)$ 가 물에 녹는 반응의 역반응이다.

04 H_2O 의 상평형

- ㉡ 온도가 일정할 때 밀폐된 진공 용기 안에서 동적 평형에 도달할 때까지 $H_2O(g)$ 의 응축 속도는 증가한다. 따라서 ㉠은 $H_2O(g)$ 의 응축 속도이다.
- ㉢ 동적 평형 상태에 도달할 때까지 $H_2O(g)$ 의 양이 증가하므로 $H_2O(g)$ 의 양은 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 많다.
- ㉣ 동적 평형 상태에서는 정반응과 역반응의 속도가 같아 반응물과 생성물의 양이 일정하게 유지된다.

05 가역 반응과 동적 평형

- 밀폐된 진공 용기에 $A(l)$ 를 넣으면 증발이 일어나며 $A(l)$ 의 양(mol)은 감소하고, $A(g)$ 의 양(mol)은 증가한다.
- ㉠ (나)는 동적 평형 상태이므로 $A(g)$ 의 양은 일정하게 유지된다.
- ㉡ 시간이 지날수록 용기 속 $A(l)$ 의 양(mol)은 감소하므로 $A(l)$ 의 양(mol)은 (가)에서 (나)에서보다 많다.
- ㉢ 응축 속도는 $A(g)$ 의 양(mol)이 증가함에 따라 빨라지므로 $\frac{A(g)의 응축 속도}{A(l)의 증발 속도}$ 는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

06 가역 반응과 동적 평형

- 밀폐된 진공 용기에 $H_2O(l)$ 을 넣으면 증발에 의해 $H_2O(g)$ 가 생성되므로 $H_2O(g)$ 의 응축 속도는 점점 빨라지고, 동적 평형에 도달하면 $H_2O(l)$ 의 증발 속도와 $H_2O(g)$ 의 응축 속도가 같아진다.
- ㉠ t_2 일 때 동적 평형에 도달하였으므로 $H_2O(l)$ 의 증발 속도와 $H_2O(g)$ 의 응축 속도가 같다. 따라서 $x=1$ 이다.
- ㉡ t_2 일 때 동적 평형에 도달하였으므로 $H_2O(g)$ 의 응축 속도는 t_2 일 때와 t_3 일 때가 같다.
- ㉢ 시간이 흐름에 따라 $H_2O(l)$ 의 양(mol)은 감소하고, $H_2O(g)$ 의 양(mol)은 증가하므로 $\frac{H_2O(l)의 양(mol)}{H_2O(g)의 양(mol)}$ 은 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 크다.

07 물과 수용액의 pH

- ㉠ 25°C 에서 $K_w = 1 \times 10^{-14} = [H_3O^+][OH^-]$ 이므로 (가)에서 $[OH^-] = x \text{ M} = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이다.
- ㉡ $x = 1 \times 10^{-7}$ 이므로 (나)에서 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-6} \text{ M}$ 이고, $\text{pH} = 6.0$ 이다. 25°C 에서 $K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ 이므로 $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이며, $\text{pOH} = 8.0$ 이다.
- ㉢ (가)에서 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이므로 H_3O^+ 의 양 $= 1 \times 10^{-7} \text{ mol/L} \times 50 \text{ mL} = 5 \times 10^{-6} \text{ mmol}$ 이다. (나)에서 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-6} \text{ M}$ 이므로 H_3O^+ 의 양 $= 1 \times 10^{-6} \text{ mol/L} \times 25 \text{ mL} = 25 \times 10^{-6} \text{ mmol}$ 이다. 따라서 H_3O^+ 의 양(mol)은 (나)에서 (가)에서의 5배이다.

08 수용액의 $[H_3O^+]$ 와 pOH

- 25°C 에서 $K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ 이므로 $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이다. $\text{pH} = -\log[H_3O^+]$ 이므로 $[H_3O^+]$ 가 클수록 pH는 작다. (가)와 (다)는 H_3O^+ 의 양(mol)은 같고, 부피는 (가) > (다)이므로 $[H_3O^+]$ 는 (다) > (가)이다. 따라서 pH는 (가) > (다)이다. pOH 는 (가) > (나)이므로 pH는 (나) > (가)이다. 따라서 (가)~(다)의 pH를 비교하면 (나) > (가) > (다)이다.

09 $[H_3O^+]$ 와 $[OH^-]$

㉠. $t^\circ C$ 에서 물의 자동 이온화 반응($H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$)에 의해 생성된 H_3O^+ 의 농도가 $1 \times 10^{-7} M$ 이고, $K_w = [H_3O^+][OH^-]$ 이며 $[H_3O^+] = [OH^-]$ 이므로 $K_w = 1 \times 10^{-14}$ 이다.

㉡. $t^\circ C$ 에서 $K_w = 1 \times 10^{-14}$ 이므로 (가)의 $[OH^-] = 1 \times 10^{-9} M$ 이다. (가) 100 mL에 포함된 OH^- 의 양은 $1 \times 10^{-9} mol/L \times 0.1 L = 1 \times 10^{-10} mol$ 이다.

㉢. $t^\circ C$ 에서 $K_w = 1 \times 10^{-14}$ 이므로 $pH + pOH = 14.0$ 이다. (가)의 $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-5} M$ 이므로 (가)의 $pH = 5.0$, $pOH = 9.0$ 이고, (나)의 $[OH^-] = 1 \times 10^{-4} M$ 이므로 (나)의 $pOH = 4.0$, $pH = 10.0$ 이다. 따라서 $\frac{(가)의 pOH}{(나)의 pH} = \frac{9.0}{10.0} < 1$ 이다.

10 설탕 수용액의 동적 평형

㉠. 설탕이 물에 용해되는 반응에서 동적 평형에 도달하면 설탕이 용해되는 속도와 석출되는 속도가 같아져 겉보기에는 설탕이 더 이상 용해되지 않는 것으로 보인다. 따라서 (가)에서 설탕의 $\frac{\text{석출 속도}}{\text{용해 속도}} = 1$ 이다.

㉡. (나)는 동적 평형 상태이므로 녹지 않고 남아 있는 설탕의 질량은 일정하게 유지된다.

㉢. 물의 양이 더 많은 (나)에서 더 많은 질량의 설탕이 용해될 수 있다. 따라서 물에 용해된 설탕의 질량은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

11 수용액의 pH와 pOH

㉠. $NaOH(aq)$ 은 염기성 물질이므로 $pH > pOH$ 이다. 따라서 (가)는 pH이다.

㉡. pH와 pOH가 y 로 같은 A는 중성인 물질이며 $25^\circ C$ 에서 $K_w = 1 \times 10^{-14}$ 이므로 $y = 7.0$ 이다. 또한 $pH + pOH = 14.0$ 이므로 $2x + x = 14.0$ 이고, $x = \frac{14}{3}$ 이다. 따라서 $x + y < 12.0$ 이다.

㉢. A는 중성인 물질이고, B는 pOH가 pH보다 큰 산성 물질이므로, OH^- 의 몰 농도(M)는 $A > B$ 이다.

12 수용액의 pH와 pOH

㉠. $25^\circ C$ 에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10^{-14} 이므로 (가)에서 $\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} = 1000$ 의 양변에 $-\log$ 를 씌우면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$-\log \frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} = -\log 1000$$

$$-\log[OH^-] + \log[H_3O^+] = -3.0$$

$pOH - pH = -3.0$, $(14.0 - pH) - pH = -3.0$, $2pH = 17.0$ 따라서 (가)의 $pH = 8.5$ 이고 액성은 염기성이다.

㉡. (가)의 $pH = 8.5$ 이며, $pH + pOH = 14.0$ 이므로 (가)의 $pOH = 5.5$ 이다.

㉢. $\frac{(나)의 pH}{(가)의 pOH} = \frac{(나)의 pH}{5.5} = 2$ 이므로 (나)의 pH는 11.0이다. 따라서 (가)와 (나)의 $\frac{pOH}{pH}$ 는 각각 $\frac{5.5}{8.5}$, $\frac{3.0}{11.0}$ 이므로 $\frac{pOH}{pH}$ 는 (가) > (나)이다.

3 심화문제 해설

정답

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

심화 01번

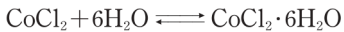
접근 Point 푸른색 CoCl_2 는 물과 반응하여 붉은색을 띤다.

01 가역 반응

✕. ①($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)은 염화 코발트(II)와 물이 반응하여 생성된 물질로 붉은색을 띤다.

○. 염화 코발트(II)와 물의 반응은 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 가역 반응이다.

○. 염화 코발트(II)와 물의 반응은 가역 반응으로서 다음과 같은 화학 반응식으로 표현할 수 있다.



심화 02번

접근 Point 설탕 수용액에서 동적 평형 상태에 도달하면 설탕의 용해 속도와 설탕의 석출 속도는 같아진다.

02 설탕 수용액에서의 용해 평형

설탕 수용액에서 동적 평형 상태에 도달하면 설탕의 용해 속도와 설탕의 석출 속도는 같아진다.

○. (가)에서 t_1 일 때 동적 평형 상태에 도달하였으므로 녹지 않고 남아 있는 고체 설탕의 질량은 이후에도 일정하게 유지된다. 따라서 $x=c$ 이다.

✕. (나)에서 t_1 일 때는 동적 평형 상태에 도달하기 전이므로 설탕의 용해 속도가 설탕의 석출 속도보다 빠르다. 따라서 설탕의 $\frac{\text{석출 속도}}{\text{용해 속도}} < 1$ 이다.

✕. (가)에서 t_2 일 때는 동적 평형 상태이므로 설탕의 용해 속도와 설탕의 석출 속도가 같아서 겉보기에는 설탕이 용해되는 반응이 일어나지 않는 것처럼 보이지만 실제로는 끊임없이 용해와 석출이 일어난다.

심화 03번

접근 Point 동적 평형 상태에서 X(l) 의 양(mol)은 일정하게 유지된다.

03 상평형

○. t_2 일 때 동적 평형 상태에 도달하였고 외부 요인에 의한 영향이 없었으므로 t_3 일 때 X(l) 와 X(g) 는 동적 평형 상태이다.

✕. X(g) 의 응축 속도는 X(g) 의 양(mol)이 많아질수록 증가하므로 X(g) 의 응축 속도는 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 크다.

○. t_2 일 때 X(l) 의 양이 0.9 mol이므로 t_1 일 때 X(l) 의 양을 x mol이라고 하면, $19 : 18 = x : 0.9$ 이다. 따라서 t_1 일 때 X(l) 의 양은 0.95 mol, X(g) 의 양은 0.05 mol이고, $\frac{t_2 \text{일 때 } \text{X(g)의 양(mol)}}{t_1 \text{일 때 } \text{X(g)의 양(mol)}} = \frac{0.1}{0.05} = 2$ 이다.

심화 04번

접근 Point $2t$ 일 때 II의 설탕 수용액은 동적 평형 상태이다.

04 설탕 수용액의 동적 평형

물에 대한 설탕의 용해도는 온도에 의해 결정되므로 25°C 에서 비커 I, II에 담긴 설탕 수용액의 최종 농도는 같다. II에서 수용액의 농도가 $2t$ 이후 변하지 않으므로 II의 수용액은 $2t$, $3t$ 일 때, I의 수용액은 $3t$ 일 때 동적 평형을 이루고 있다.

✕. $2t$ 일 때 II에서는 동적 평형을 이루고 있으므로 설탕의 $\frac{\text{석출 속도}}{\text{용해 속도}} = 1$ 이다.

✕. $3t$ 일 때 I의 수용액은 포화 상태이므로 설탕을 더 넣어도 농도는 증가하지 않는다.

○. 수용액에 용해된 설탕의 양이 많아지면 석출 속도가 증가하므로 I에서 설탕의 석출 속도는 $3t$ 일 때가 $2t$ 일 때보다 크다.

심화 05번

접근 Point $\text{H}_2\text{O(l)}$ 의 증발 속도와 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 의 응축 속도가 같아지면 동적 평형에 도달한다.

05 H_2O 의 상평형

밀폐된 진공 용기에 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 을 넣으면 증발하여 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 가 생성된다. $\text{H}_2\text{O(l)}$ 의 증발 속도와 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 의 응축 속도가 같아지면 동적 평형에 도달한다.

○. $\text{H}_2\text{O(g)}$ 의 응축 속도는 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 의 양(mol)이 증가함에 따라 빨라진다. 따라서 ①은 H_2O 의 응축 속도이다.

○. 동적 평형 상태에 도달하면 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 의 증발 속도와 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 의 응축 속도는 같아진다. 따라서 t_3 일 때 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 과 $\text{H}_2\text{O(g)}$ 는 동적 평형 상태이다.

✕. $\text{H}_2\text{O(l)}$ 의 양(mol)은 동적 평형 상태에 도달하기 전까지 시간이 지날수록 감소하므로 t_2 일 때가 t_3 일 때보다 많다.

심화 06번

접근 Point 25°C 에서 물의 pH = 7.0, 산성 수용액은 pH < 7.0, 염기성 수용액은 pH > 7.0이다.

06 물질의 부피와 pH

○. (가)~(다) 중 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 은 pH가 7.0이며 HCl(aq) 은 pH가 7.0보다 작고, NaOH(aq) 은 pH가 7.0보다 크므로 (가)~(다)는 각각 HCl(aq) , $\text{H}_2\text{O(l)}$, NaOH(aq) 이다. 따라서 $k=3.5$ 이다.

✕. (다)는 pH가 10.5인 NaOH(aq) 이다. 25°C 에서 물의 이온화 상수(K_w)가 1×10^{-14} 이고, $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이므로 (다)의 $\text{pH} = 10.5$ 이고 $\text{pOH} = 3.5$ 이다.

✕. (가)는 pH가 3.5인 $\text{HCl}(aq)$ 이므로 (가)에서 H_3O^+ 의 양(mol)은 $1 \times 10^{-3.5} \text{ mol/L} \times V \text{ L} = 1 \times 10^{-3.5} V \text{ mol}$ 이고, (다)는 pOH가 3.5인 $\text{NaOH}(aq)$ 이므로 OH^- 의 양(mol)은 $1 \times 10^{-3.5} \text{ mol/L} \times 100V \text{ L} = 1 \times 10^{-1.5} V \text{ mol}$ 이다.

따라서 $\frac{(\text{다})\text{에서 } \text{OH}^- \text{의 양(mol)}}{(\text{가})\text{에서 } \text{H}_3\text{O}^+ \text{의 양(mol)}} = \frac{1 \times 10^{-1.5} V}{1 \times 10^{-3.5} V} = 10^2$ 이다.

심화 07번

접근 Point (나)에 녹아 있는 HCl 의 질량은 (가)의 2배이고, (나)의 부피는 (가)의 20배이다. 따라서 (나)의 몰 농도는 (가)의 $\frac{1}{10}$ 배이다.

07 $\text{HCl}(aq)$ 의 pH

㉠. (나)에 녹아 있는 HCl 의 질량은 (가)의 2배이고, (나)의 부피는 (가)의 20배이다. 따라서 (나)의 몰 농도는 (가)의 $\frac{1}{10}$ 배이다. $\text{HCl}(aq)$ 의 몰 농도가 $\frac{1}{10}$ 배가 되면 pH는 1.0만큼 증가하므로 (나)의 pH는 (가)보다 1.0만큼 크고, $4x + 1.0 = 6x$ 이다. 따라서 $x = 0.5$ 이다.

㉡. (가)의 pH=2.0이고, $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이므로 (가)의 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이다.

㉢. (다)는 (가)보다 pH가 1.0만큼 작으므로 (다)의 몰 농도는 (가)의 10배이다. (다)의 부피가 (가)의 $\frac{1}{5}$ 배이므로 (다)의 몰 농도가 (가)의 10배가 되기 위해서는 (다)에 녹아 있는 HCl 의 양(mol)이 (가)의 2배여야 한다. 따라서 $a = 2$ 이다.

심화 08번

접근 Point 25 °C에서 물의 이온화 상수(K_w)가 1×10^{-14} 이고, $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이므로 (가)는 $\text{pH} = 12.0$, $\text{pOH} = 2.0$ 인 수용액이다.

08 pH와 pOH

25°C에서 물의 이온화 상수(K_w)가 1×10^{-14} 이고, $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이다. (가)에서 $\frac{\text{pH}}{\text{pOH}} = \frac{\text{pH}}{14.0 - \text{pH}} = 6$ 이므로 (가)는 $\text{pH} = 12.0$, $\text{pOH} = 2.0$ 인 염기성 수용액이다.

㉠. (가)~(다) 중 염기성 수용액은 $\text{NaOH}(aq)$ 뿐이므로 (가)는 $x \text{ M NaOH}(aq)$ 이다. 또한 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 (나) > (다)이므로 (나)는 $x \text{ M HCl}(aq)$, (다)는 $\frac{x}{10} \text{ M HCl}(aq)$ 이다.

㉡. (가)($\text{NaOH}(aq)$)의 $\text{pOH} = 2.0$ 이므로 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이다. 따라서 $x = 0.01$ 이다.

㉢. (다)의 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이므로 (다)의 $\text{pH} = 3.0$, $\text{pOH} = 11.0$ 이다.

심화 09번

접근 Point 25 °C에서 물의 이온화 상수(K_w)가 1×10^{-14} 이고, $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$ 이므로 (나)의 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이다.

09 몰 농도와 $\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{OH}^-]}$

㉠. 25°C에서 물의 이온화 상수(K_w)가 1×10^{-14} 이고, $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$ 이므로 (나)의 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이다. 따라서 $x = 1 \times 10^{-4}$ 이다.

✕. (가)의 $[\text{OH}^-]$ 는 $1 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이므로 $a = \frac{1 \times 10^{-12}}{1 \times 10^{-2}} = 1 \times 10^{-10}$ 이고, $100a = 1 \times 10^{-8}$ 이다. 따라서 (다)의 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-11} \text{ M}$ 이며, $\text{pH} = 11.0$ 이다.

✕. (다)는 (가)보다 pOH가 1.0만큼 크므로 (다)의 몰 농도는 (가)의 $\frac{1}{10}$ 배이다. (다)의 부피가 (가)의 100배이므로 (다)에 녹아 있는 NaOH 의 양(mol)은 (가)의 10배이다. 따라서 $y = 10w$ 이다.

심화 10번

접근 Point (다)의 부피는 1 L, $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-6} \text{ M}$, $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-8} \text{ M}$ 이므로 OH^- 과 H_3O^+ 의 양은 각각 $1 \times 10^{-6} \text{ mol}$, $1 \times 10^{-8} \text{ mol}$ 이다.

10 수용액의 농도와 $[\text{H}_3\text{O}^+]$

(다)의 부피는 1 L, $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-6} \text{ M}$, $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-8} \text{ M}$ 이므로 OH^- 과 H_3O^+ 의 양은 각각 $1 \times 10^{-6} \text{ mol}$, $1 \times 10^{-8} \text{ mol}$ 이다.

㉠. ㉠의 양(mol)의 상대값을 고려할 때, ㉠이 OH^- 이라면 (가)와 (나)에서 ㉠의 양(mol)은 각각 1×10^{-2} , 1×10^{-10} 이므로 (가)는 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-2} \text{ M}$ 인 $\text{NaOH}(aq)$ 이고, (나)는 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-8} \text{ M}$ 인 $\text{HCl}(aq)$ 이므로 모순이다. 따라서 ㉠은 H_3O^+ 이고, (다)에서 H_3O^+ 의 양(mol)은 1×10^{-8} 이므로 (가)와 (나)에서 ㉠의 양(mol)은 각각 1×10^{-4} , 1×10^{-12} 이다. 따라서 (가)는 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 인 $\text{HCl}(aq)$ 이고, (나)는 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 인 $\text{NaOH}(aq)$ 이다.

㉡. (가)는 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 인 $\text{HCl}(aq)$ 이므로 $\text{pH} = 4.0$, $\text{pOH} = 10.0$ 이다.

✕. (나)는 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ 인 $\text{NaOH}(aq)$ 이므로 $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$, $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-10} \text{ M}$ 이다. 용액에 존재하는 물질의 양(mol)의 비는 농도(M)의 비와 같으므로 $\frac{\text{OH}^- \text{의 양(mol)}}{\text{H}_3\text{O}^+ \text{의 양(mol)}} = \frac{1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-10}} = 10^6$ 이다.

심화 11번

접근 Point 25 °C에서 물의 자동 이온화에 의해 생성되는 H_3O^+ 과 OH^- 의 양이 같으므로 중성 수용액에서 $\frac{\text{pOH}}{\text{pH}} = 1$ 이다.

11 혼합 용액의 액성

25°C에서 물의 자동 이온화에 의해 생성되는 H_3O^+ 과 OH^- 의 양이 같으므로 중성 수용액에서 $\frac{\text{pOH}}{\text{pH}} = 1$ 이다. 따라서 (다)는 중성 수용액이다.

✕. 25°C에서 물의 이온화 상수(K_w)가 1×10^{-14} 이고, $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$ 이므로 $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이다. (나)와 (다)를 1 : 9의 부피비로 혼합한 수용액의 $\frac{\text{pOH}}{\text{pH}} = 2.5$ 이므로 $\text{pH} = 4.0$, $\text{pOH} = 10.0$ 이다. (나)와 (다)를 1 : 9의 부피비로 혼합한 수용액의 농도는 (나)의 $\frac{1}{10}$ 배이다. 수용액의 농도가 $\frac{1}{10}$ 배로 희석되면 산성 수용액의 pH가 1.0만큼 증가하므로 (나)의 $\text{pH} = 3.0$, $\text{pOH} = 11.0$ 이다.

㉠. (나)의 $\frac{\text{pOH}}{\text{pH}} = \frac{11}{3}$ 이므로 $k = \frac{1}{3}$ 이다.

㉡. (가)의 $\frac{\text{pOH}}{\text{pH}} = \frac{1}{3}$ 이고, $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이므로 (가)의 $\text{pH} = 10.5$, $\text{pOH} = 3.5$ 이다. 25°C에서 (다)의 $\text{pH} = 7.0$ 이므로 $\frac{(\text{다})\text{의 pH}}{(\text{가})\text{의 pOH}} = \frac{7.0}{3.5} = 2$ 이다.

심화 12번

접근 Point $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 $|\text{pH} - \text{pOH}| = 0$ 이고, $\text{HCl}(aq)$ 과 $\text{NaOH}(aq)$ 의 $|\text{pH} - \text{pOH}|$ 은 0이 아니므로 (다)는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이고, $b = 0$ 이다.

12 물질의 $|\text{pH} - \text{pOH}|$

✕. a 와 b 는 $\text{H}_2\text{O}(l)$, $\text{HCl}(aq)$, $\text{NaOH}(aq)$ 의 $|\text{pH} - \text{pOH}|$ 를 나타낸 값이다. $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 $|\text{pH} - \text{pOH}| = 0$ 이고, $\text{HCl}(aq)$ 과 $\text{NaOH}(aq)$ 의 $|\text{pH} - \text{pOH}|$ 은 0이 아니므로 (다)는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이고, $b = 0$ 이다. 따라서 (다)는 중성이다.

㉠. (다)($\text{H}_2\text{O}(l)$)에서 OH^- 의 양은 $1 \times 10^{-7} \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 1 \times 10^{-8} \text{ mol}$ 이므로 (가)에서 OH^- 의 양은 $1 \times 10^{-8} \text{ mol} \times 10^{-2} = 1 \times 10^{-10} \text{ mol}$ 이다. 따라서 (가)의 $[\text{OH}^-] = \frac{1 \times 10^{-10} \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 1 \times 10^{-10} \text{ M}$ 이고, $\text{pOH} = 10.0$ 이다. 25°C에서 물의 이온화 상수(K_w)가 1×10^{-14} 이고, $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$ 이므로 $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이다. 따라서 (가)는 $\text{pH} = 4.0$, $\text{pOH} = 10.0$ 인 $\text{HCl}(aq)$ 이고, $a = |4.0 - 10.0| = 6.0$ 이다.

㉡. (나)의 $|\text{pH} - \text{pOH}| = a = 6.0$ 이고, (나)는 $\text{NaOH}(aq)$ 이므로 (나)의 $\text{pH} = 10.0$, $\text{pOH} = 4.0$ 이며, $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-10} \text{ M}$ 이다. 따라서 H_3O^+ 의 양은 $1 \times 10^{-10} \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 1 \times 10^{-11} \text{ mol}$ 이다.