

PART

01

화학 평형

1. 수용액 평형
2. 산 염기 평형

01 수용액 평형

1) 평형의 체계적인 처리

- 전하 균형 : 수용액에서 양전하량의 총 합과 음전하량의 총 합은 같다.
- 질량 균형 : 각 원자의 전체 몰수는 넣어 준 것과 평형에서가 같다.

예시 | 질량 균형과 전하균형

25mmol의 KH_2PO_4 와 30mmol의 KOH 를 모두 혼합하여 만든 수용액 1.00L에서

질량 균형 $[\text{K}^+] = 55\text{mM}$

$$[\text{H}_3\text{PO}_4] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + [\text{PO}_4^{3-}] = 25\text{mM}$$

전하 균형 $[\text{K}^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + 2[\text{HPO}_4^{2-}] + 3[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{OH}^-]$

예제 1-1

다음은 $\text{Ba}(\text{HSO}_4)_2$ 로 포화된 용액에서 수용액에 존재하는 화학종을 모두 나타낸 것이다.



질량 균형식과 전하 균형식을 쓰시오.

정답 질량 균형 $2([\text{Ba}^{2+}] + [\text{BaSO}_4] + [\text{BaOH}^+]) = [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HSO}_4^-] + [\text{BaSO}_4]$

$$2 \times (\text{전체 Ba 수}) = (\text{전체 S(또는 SO}_4\text{) 수})$$

전하 균형 $2[\text{Ba}^{2+}] + [\text{BaOH}^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] = 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HSO}_4^-] + [\text{OH}^-]$

2) 이온 세기

- 이온 세기(ionic strength, μ) : 용액 중에 있는 이온의 전체 농도를 나타내는 척도. 이온의 전하가 클수록 이온 세기는 더 커진다.

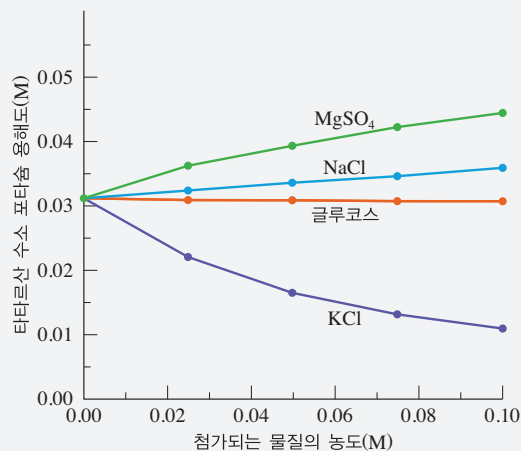
Critical Point

$$\mu = \frac{1}{2} (c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2 + \dots) = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2$$

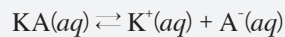
- c_i : i 번째 화학종의 몰 농도(mol L^{-1}) z_i : i 번째 화학종의 전하

- 이온 세기의 영향 : 이온 세기가 클수록 용액 안에서 특정 양이온과 음이온 사이의 인력은 감소한다.

예시 | 타타르산 수소 포타슘($\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6\text{K}$, 간단히 KA)의 용해도



KA의 용해 반응은 다음과 같이 표시할 수 있다.



- 공통이온 효과 : $\text{KCl}(aq)$ 에서 : K^+ 이 공통이온으로 작용하므로 용해도가 감소한다.
- 이온 세기의 영향 : $\text{MgSO}_4(aq)$, $\text{NaCl}(aq)$, $\text{글루코스}(aq)$ 에서 이온 세기가 커질수록 K^+ 과 A^- 사이의 인력이 약해지므로 용해도가 증가한다.

예제 1-2

다음 수용액의 이온 세기를 구하시오.

1) 0.10M $\text{NaNO}_3(aq)$

2) 0.010M $\text{Na}_2\text{SO}_4(aq)$

3) $\text{NaCl}(s)$ 과 $\text{MgCl}_2(s)$ 를 각각 1.0mmol씩 녹여서 만든 수용액 100mL

정답 1) 0.10M

$$\frac{1}{2} ([\text{Na}^+] \times 1^2 + [\text{NO}_3^-] \times 1^2) = \frac{1}{2} (0.10 \times 1^2 + 0.10 \times 1^2) = 0.10$$

2) 0.030M

$$\frac{1}{2} ([\text{Na}^+] \times 1^2 + [\text{SO}_4^{2-}] \times 2^2) = \frac{1}{2} (0.020 \times 1^2 + 0.010 \times 2^2) = 0.030$$

3) 0.40M

$$\frac{1}{2} ([\text{Na}^+] \times 1^2 + [\text{Mg}^{2+}] \times 2^2 + [\text{Cl}^-] \times 1^2) = \frac{1}{2} (0.10 \times 1^2 + 0.10 \times 2^2 + 0.30 \times 1^2) = 0.40$$

예제 1-3

25°C에서 수용액 (가)~(다)에 각각 $\text{CaSO}_4(s)$ 를 용해시킬 때, $\text{CaSO}_4(s)$ 의 용해도를 비교하시오.

(가) : 0.10M $\text{KNO}_3(aq)$

(나) : 0.50M $\text{KNO}_3(aq)$

(다) : 0.10M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(aq)$

정답 (나) > (가) > (다)

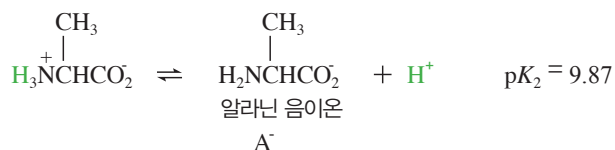
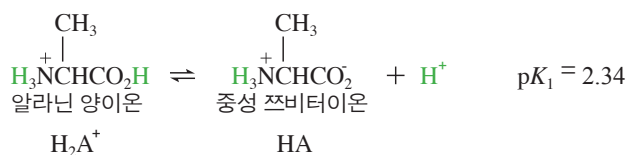
(다)에서는 공통이온 효과가 작용하므로 물에서보다 $\text{CaSO}_4(s)$ 의 용해도가 더 작아진다.

(가)와 (나)에는 공통 이온이 없으므로 이온 세기의 영향으로 물에서보다 용해도가 더 커진다.

이온 세기의 크기를 고려하면 용해도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

02 산 염기 평형

1) 등전점과 등이온점



- 등전점(isoelectric point) : 다양성자성 산의 전체 평균 전하가 0이 되는 pH

Critical Point

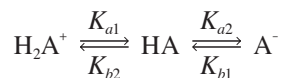
$$[\text{H}_2\text{A}^+] = [\text{A}^-] \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_{a1} \times K_{a2}}, \quad \text{pH} = \frac{1}{2}(pK_{a1} + pK_{a2})$$

- 등이온점(isoionic point) : 다양성자성 산의 중간 형태를 물에 녹였을 때의 pH

Critical Point

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{\frac{K_{a1} \times K_{a2}[\text{HA}] + K_{a1}K_w}{K_{a1} + [\text{HA}]}}$$

- 등전점과 등이온점의 비교



- ① $K_{b2} = K_{a2}$ 이면 $[\text{H}_2\text{A}^+] = [\text{A}^-] \rightarrow$ 등전점 = 등이온점
- ② $K_{b2} < K_{a2}$ 이면 $[\text{H}_2\text{A}^+] < [\text{A}^-] \rightarrow$ 등전점 < 등이온점
- ③ $K_{b2} > K_{a2}$ 이면 $[\text{H}_2\text{A}^+] > [\text{A}^-] \rightarrow$ 등전점 > 등이온점

쯔비터 이온

양전하와 음전하를 함께 갖는
중성 분자

등이온점

다음과 같은 가정이 성립할 때
등이온점은 근사적으로 등전
점과 같다.

$$\begin{aligned}
 [\text{HA}] &= [\text{HA}]_0 \\
 [\text{HA}]_0 &\gg K_{a1} \\
 K_{a2}[\text{HA}]_0 &\gg K_w
 \end{aligned}$$

예제 1-4

다음 중 이양성자산 H_2A^+ 의 수용액에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 온도는 25°C 로 일정하고, 25°C 에서 H_2A^+ 의 $pK_{a1} = 4.14$, $pK_{a2} = 8.52$ 이다.)

- ① $\text{pH} = 6.50$ 일 때 주화합종은 HA 이다.
- ② $\text{pH} = 4.00$ 일 때 $[\text{H}_2\text{A}^+] > [\text{HA}]$ 이다.
- ③ 등전점은 $\text{pH} = 6.33$ 이다.
- ④ 등이온점은 $\text{pH} < 6.33$ 이다.

정답 ④

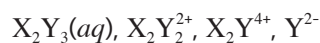
- ① $pK_{a1} < \text{pH} < pK_{a2}$ 이므로 주화합종은 중간 형태인 HA 이다.
- ② $\text{pH} = pK_{a1} + \log \frac{[\text{HA}]}{[\text{H}_2\text{A}^+]}$ 이므로 $\text{pH} = 4.00$ 일 때 $[\text{H}_2\text{A}^+] > [\text{HA}]$ 이다.
- ③ 등전점에서 $[\text{H}_2\text{A}^+] = [\text{A}^-]$ 이고 $\text{pH} = \frac{1}{2}(4.14 + 8.52) = 6.33$ 이다.
- ④ HA 의 $pK_a = 8.52$ 이고 $pK_b = 14 - 4.14 = 9.86$ 이다. $pK_a < pK_b$ 이므로 등이온점에서 $[\text{H}_2\text{A}^+] < [\text{A}^-]$ 이고, 등이온점은 등전점에 OH^- 를 첨가한 것과 같다. 따라서 등이온점은 $\text{pH} > 6.33$ 이다.

연습문제

01 다음 중 0.10M $\text{NH}_3(aq)$ 의 평형 농도(M)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① $[\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+] = 0.10$
- ② $[\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-]$
- ③ $[\text{NH}_4^+] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} - [\text{H}_3\text{O}^+]$
- ④ $[\text{NH}_3] = 0.10 + \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} + [\text{H}_3\text{O}^+]$

02 다음은 $\text{X}_2\text{Y}_3(s)$ 를 물에 녹였을 때 수용액에 존재하는 화학종을 나타낸 것이다.



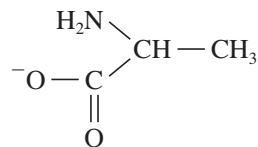
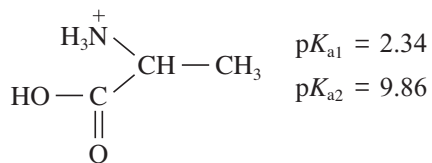
질량 균형식을 이용하여 $[\text{Y}^{2-}]$ 를 나타낸 것으로 옳은 것은?

- ① $[\text{X}_2\text{Y}_3^{2+}] + [\text{X}_2\text{Y}^{4+}]$
- ② $2 \times [\text{X}_2\text{Y}_2^{2+}] + [\text{X}_2\text{Y}^{4+}]$
- ③ $[\text{X}_2\text{Y}_2^{2+}] + 2 \times [\text{X}_2\text{Y}^{4+}]$
- ④ $2 \times ([\text{X}_2\text{Y}_2^{2+}] + [\text{X}_2\text{Y}^{4+}])$

03 0.100M $\text{Na}_2\text{SO}_4(aq)$ 용액의 이온 세기(ionic strength, μ)는 얼마인가?

- ① 0.100M ② 0.200M ③ 0.300M ④ 0.400M ⑤ 0.500M

- 06 아래는 아미노산의 하나인 알라닌의 완전히 양성자화된 (fully protonated, H_2A^+) 형태와 proton (H^+)을 모두 잃어 버린 형태 (즉, A^-)를 각각 보여주고 있다. 다음 설명 중 옳은 것만을 <보기>에서 모두 고른 것은?

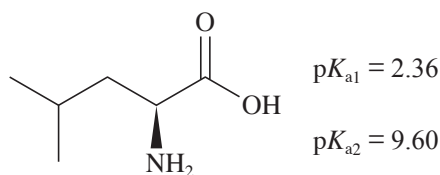


보기

- ㄱ. 중성의 알라닌을 $\text{pH} = 7$ 인 완충 용액에 녹이면 주 화학종은 H_2A^+ 형태이다.
 ㄴ. 중성의 알라닌을 순수한 물에 녹였을 때, $\text{pH} = 7$ 보다 작다.
 ㄷ. $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{H}_2\text{A}^+]} = 1$ 을 만족하는 $\text{pH} = 6.10$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ

- 07 아래 그림은 필수 아미노산의 하나로 이양성자성 계인 leucine (약식으로 HA로 나타내기로 함)의 구조식이다. 아래 설명 중 가장 옳은 설명은 무엇인가?



- ① $\text{pH} = 1.00$ 에서 leucine의 주화학종은 A^- 형태의 음이온이다.
 ② 순수한 HA 형태를 물에 녹였을 때 얻어지는 pH 를 등전점이라고 한다.
 ③ leucine의 등전 pH 는 등이온 pH 보다 낮다.
 ④ $[\text{H}_2\text{A}^+] = [\text{A}^-]$ 인 pH 를 등이온점이라고 한다.
 ⑤ $\text{pH} = \text{p}K_{a2}$ 일 때 H_2A^+ 의 분율 조성 값은 대략 0.50이다.

[정답]

01. ④ 02. ③ 03. ③ 04. ④
 05. ② 06. ④ 07. ③