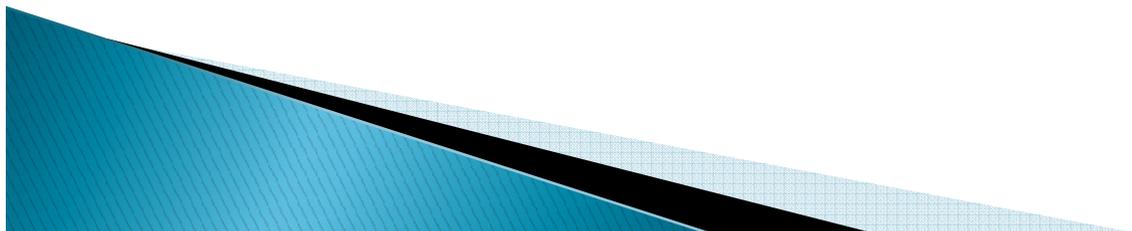


6.13 평형 계산의 체계적 접근법 - 모든 평형 문제의 해결법

질량균형 : 특정 원자(또는 그룹)를 포함한 용액 안의 모든 화학종들의 양은, 용액에 가해진 그 원자 (또는 그룹)의 양과 같다.

전하 균형: 용액에서 양전하의 합은 음전하의 합과 같다.



질량균형 : 특정 원자(또는 그룹)를 포함한 용액 안의 모든 화학종들의 양은, 용액에 가해진 그 원자 (또는 그룹)의 양과 같다.

0.050 mol 아세트산을 물에 녹여 총부피가 1.00 L되는 용액을 생각해 보자. 아세트산은 부분적으로 아세트산 이온으로 해리된다.



아세트산 수용액에서의
질량 균형 :

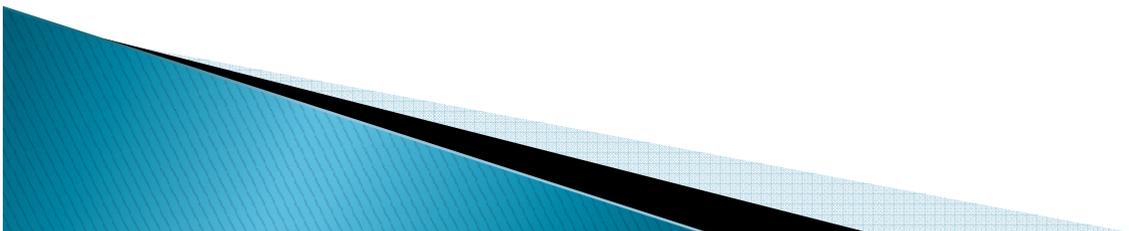
$$0.050 \text{ M} = [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] + [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]$$

용액에 해리되지 않은 해리된
넣어준 아세트산 생성물 생성물

인산 (H_3PO_4) 은 H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} 와 PO_4^{3-} 로 해리

0.0250 mol H_3PO_4 가 녹은 1.00 L 용액에 대한 질량균형은?

$$0.0250 \text{ M} = [\text{H}_3\text{PO}_4] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + [\text{PO}_4^{3-}]$$

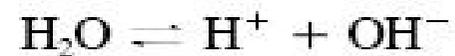


예제 6.6

0.100 M 아세트산 용액에 대한 질량균형식을 쓰시오.

풀이

평형에서는



예제 6.6

0.100 M 아세트산 용액에 대한 질량균형식을 쓰시오.

풀이

평형에서는



아세트산의 분석 농도는 평형에서 모든 화학종의 농도의 합과 같다.

$$C_{\text{HOAc}} = [\text{HOAc}] + [\text{OAc}^-] = 0.100 \text{ M}$$

두 번째 질량 균형식은 평형상태에서의 H^+ 의 농도로 표시할 수 있는데, 이것은 HOAc와 H_2O 로부터 유도되었다. 즉, 하나의 H^+ 는 OAc^- 로부터, 또 하나는 OH^- 로부터 얻었다.

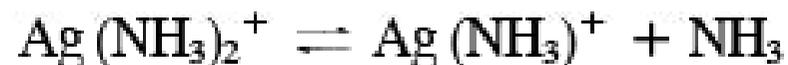
$$[\text{H}^+] = [\text{OAc}^-] + [\text{OH}^-]$$

예제 6.7

$1.00 \times 10^{-5} M$ $[Ag(NH_3)_2]Cl$ 용액의 질량 균형식을 쓰시오.

풀이

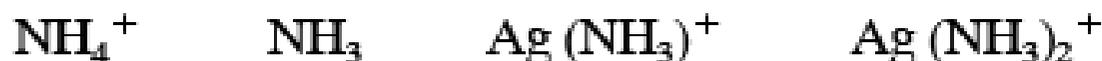
평형에서는



Cl⁻의 농도는 해리한 염의 농도와 같은 1.00 × 10⁻⁵ M이다. 또한 모든 은 화학종 농도의 합은 원래 은염으로부터 해리된 은의 농도와 같다.

$$C_{\text{Ag}} = [\text{Ag}^+] + [\text{Ag}(\text{NH}_3)^+] + [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] = [\text{Cl}^-] = 1.00 \times 10^{-5} \text{ M}$$

질소를 함유한 화학종은 다음과 같다.



마지막 화학종으로부터 질소의 농도는 Ag(NH₃)₂⁺ 농도의 2배이다. 총 질소 농도는 최초 염농도의 2배인데, 왜냐하면 몰당 2개의 NH₃가 있기 때문이다. 따라서 이것을 다시 정리하면

$$C_{\text{NH}_3} = [\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3] + [\text{Ag}(\text{NH}_3)^+] + 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] = 2.00 \times 10^{-5} \text{ M}$$

최종적으로, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$[\text{OH}^-] = [\text{NH}_4^+] + [\text{H}^+]$$

어떤 평형이나 그것으로부터 유도된 농도는 다른 것에 비하여 중요하지 않을 수가 있으며, 위의 마지막 질량 균형식처럼 계산할 필요가 없을 수도 있다.

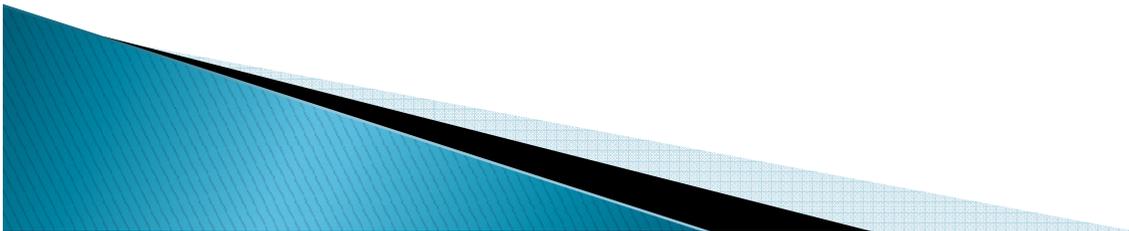


이온의 농도

- ▶ 0.25 M 염화 칼슘 용액에 대하여:



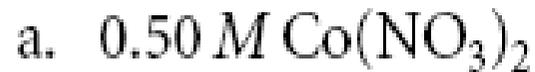
- Ca^{2+} : $1 \times 0.25 \text{ M} = 0.25 \text{ M Ca}^{2+}$
- Cl^- : $2 \times 0.25 \text{ M} = 0.50 \text{ M Cl}^-$.



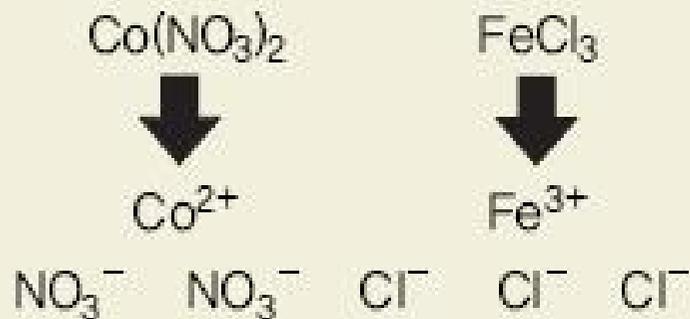
예제 15.5

용액 조성: 몰농도로부터 이온 농도의 계산

다음 용액에 존재하는 각 이온의 농도를 계산하시오.

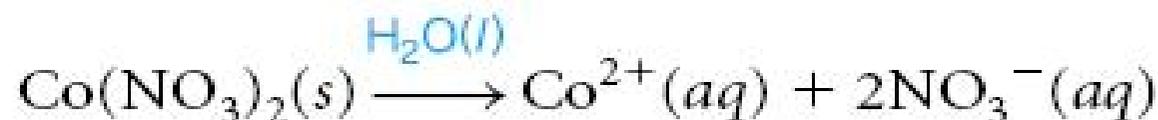


이온 결합 화합물은 물에 녹으면 이온 성분으로 해리된다는 것을 기억하시오.



풀이

- a. 고체 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 는 녹으면 다음의 이온들을 생성한다:

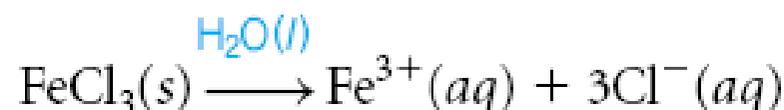


여기서 다음과 같이 나타낼 수 있다.



그러므로 $0.50 \text{ M Co}(\text{NO}_3)_2$ 용액은 0.50 M Co^{2+} 와 $(2 \times 0.50) \text{ M NO}_3^-$ 즉, 1.0 M NO_3^- 를 포함하고 있다.

- b. 고체 FeCl_3 가 물에 녹으면 다음의 이온들을 생성한다:



또는



그러므로 1 M FeCl_3 용액은 1 M Fe^{3+} 와 3 M Cl^- 를 포함하고 있다.

예제 15.6

용액 조성: 몰농도로부터 몰수 계산

25 mL의 0.75 M AgNO_3 용액에는 Ag^+ 이온이 몇 mol이나 존재하는가?

풀이

풀이 방향

Ag^+ 용액의 몰수를 결정하고자 한다.

주어진 자료

- 25 mL의 0.75 M AgNO_3 를 가지고 있다.

- **수학적 기능 항상 도움말**

$$M = \frac{\text{용질의 몰수}}{\text{용액의 리터}}$$

리터 \times M \rightarrow 용질의 몰수

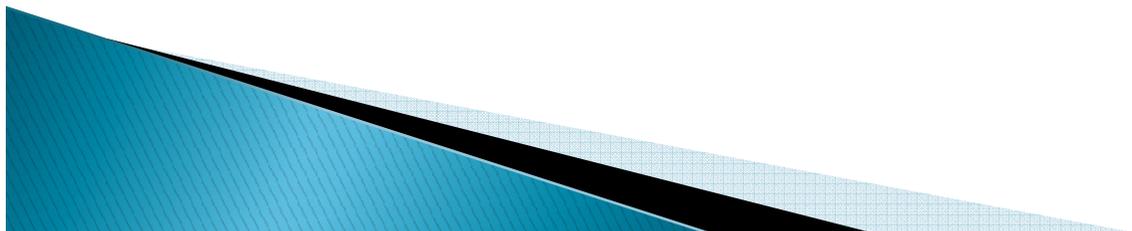
풀이 과정

0.75 M AgNO₃ 용액은 0.75 M Ag⁺ 이온과 0.75 M NO₃⁻ 이온을 포함하고 있다는 것을 알아야 한다. 다음에 부피를 리터로 나타낸다. 즉, mL를 L로 변환해야 한다.

$$25 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 0.025 \text{ L} = 2.5 \times 10^{-2} \text{ L}$$

부피를 몰농도에 곱한다.

$$2.5 \times 10^{-2} \text{ L} \text{ 용액} \times \frac{0.75 \text{ mol Ag}^+}{\text{L 용액}} = 1.9 \times 10^{-2} \text{ mol Ag}^+$$



전하 균형: 용액에서 양전하의 합은 음전하의 합과 같다.

H^+ , OH^- , K^+ , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} 등의 이온 화학종이 들어 있는 용액.

전하 균형은 다음과 같다.



전하 균형:

$$n_1[C_1] + n_2[C_2] + \dots = m_1[A_1] + m_2[A_2] + \dots$$

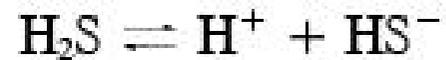
여기서 $[C]$ 는 양이온의 농도, n 은 양이온의 전하, $[A]$ 는 음이온의 농도, m 은 음이온의 전하이다.

예제 6.8

H_2S 용액의 전하 균형식을 쓰시오.

풀이

평형에서는 다음과 같다.



H_2S 가 해리되면 H^+ 과 2개의 음이온 화학종인 HS^- 와 S^{2-} 을 나타낸다. 그리고 물이 해리되면 H^+ 와 OH^- 를 나타낸다. 완전히 해리된 H_2S 로부터 생성된 H^+ 의 양은 S^{2-} 로 형성된 양의 2배와 같으며, 그리고 부분적으로 해리된 (첫 번째 단계) HS^- 양과 같다. 다시 말하면, S^{2-} 가 형성되기 위해서는 2H^+ 가 필요하고, HS^- 가 형성되기 위해서는 1H^+ , OH^- 가 형성되기 위해서는 1H^+ 가 있어야 한다. 단일 전하 화학종에서는, 전하 농도가 그 화학종 농도와 같다. 그러나 S^{2-} 에서 전하 농도는 그 화학종 농도의 2배이다. 따라서 전하 농도에 도달하기 위해서는 S^{2-} 농도에 2를 곱해야 한다. 전기중성의 원리에 따르면, 양전하 농도는 음전하 농도와 같아야 한다. 그러므로,

$$[\text{H}^+] = 2[\text{S}^{2-}] + [\text{HS}^-] + [\text{OH}^-]$$

주어진 하나의 화학종에 대하여 하나 이상의 공급원이 있어도, (이 경우에는 H^+) 모든 공급원으로부터 나오는 전체 전하농도는 언제나 자체 전하를 곱한 화학종의 알짜 평형농도와 같다는 것을 주목하자.





예제 6.9

KCl , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, KNO_3 을 포함하는 전하 균형식을 쓰시오. 단, 물의 해리는 무시한다.

예제 6.9

KCl, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, KNO_3 을 포함하는 전하 균형식을 쓰시오. 단, 물의 해리는 무시한다.

풀이

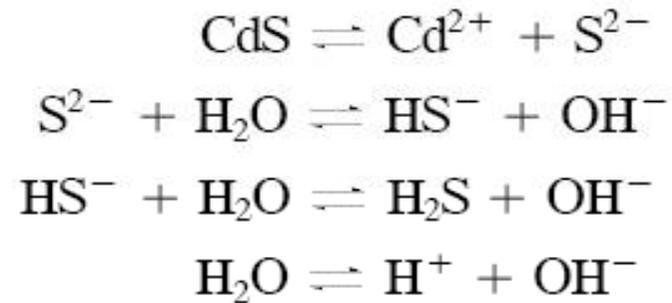


예제 6.10

포화된 CdS이 용액에 대한 전하 균형식을 쓰시오.

풀이

평형은 다음과 같다.

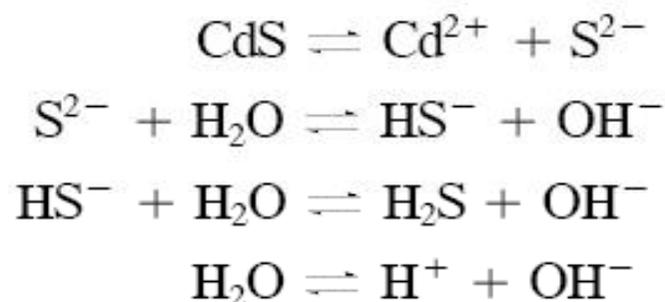


예제 6.10

포화된 CdS이 용액에 대한 전하 균형식을 쓰시오.

풀이

평형은 다음과 같다.



단일 전하 화학종 (H^+ , OH^- , HS^-)에 대한 전하 농도는 그 화학종의 농도와 같을 것이다. 그러나 Cd^{2+} 와 S^{2-} 에 대한 전하 농도는 그들의 농도에 2배일 것이다. 양전하 농도의 음전하 농도가 같다는 것을 다시 식으로 나타낼 수 있다.

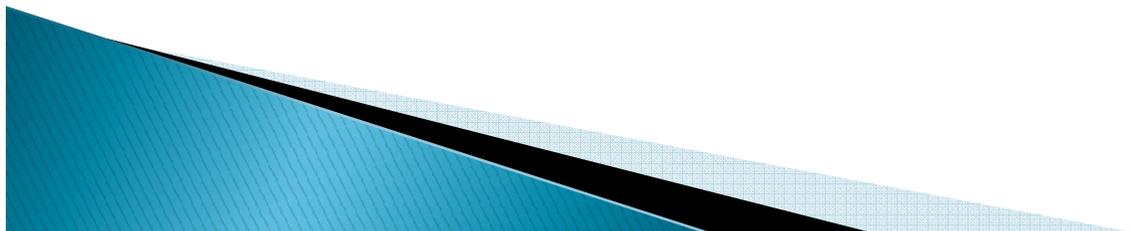
$$2[\text{Cd}^{2+}] + [\text{H}^+] = 2[\text{S}^{2-}] + [\text{HS}^-] + [\text{OH}^-]$$



예제 6.11

예제 6.7에 대한 전하 균형식을 쓰시오.

풀이

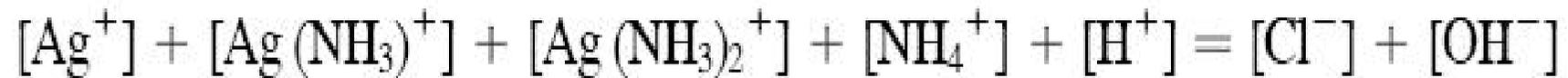




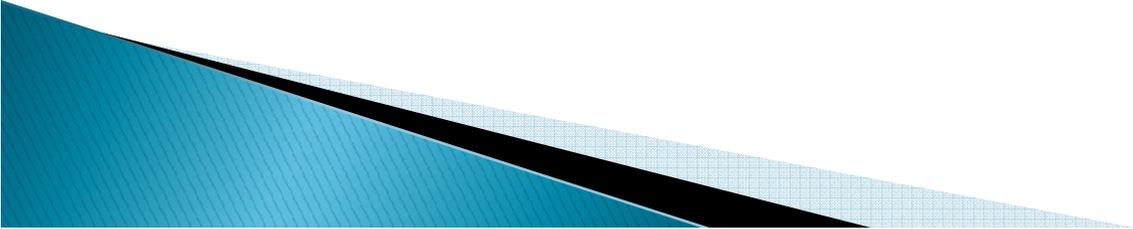
예제 6.11

예제 6.7에 대한 전하 균형식을 쓰시오.

풀이



모두 단일 전하 화학종이므로, 그 전하 농도는 몰농도와 같다.



체계적 접근법에 의한 평형계산

- 질량균형과 전하균형 이용 연립 방정식 풀이

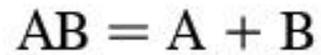
1. 계에 적당한 화학 반응식을 쓴다.
2. 이들 반응에 대한 평형상수식을 쓴다.
3. 모든 질량 균형식을 쓴다.
4. 전하 균형식을 쓴다.
5. 관련된 화학종과 **독립적인** 반응식의 수를 세어라 (단계 2, 3, 4로부터). 만약 반응식이 화학종의 수보다 같거나 크면, 그 용액은 계산이 가능하다. 즉, 이와 같은 경우에는 직감적인 능력 (수학적)에 의해 간단한 답을 얻을 수 있다.
6. 화학종의 상대적인 농도에 관련된 간단한 가정을 만들어라. 즉, 이와 같이 하면 계산이 간단해지도록 화학자다운 생각이 필요하다.
7. 답을 계산한다.
8. 이러한 가정들의 타당성을 검토한다.



예제 6.12

위에 요약된 체계적 접근법을 사용하여 예제 6.4에 있는 문제를 반복해 보자.

화학 반응식



평형상수식

$$K_{\text{eq}} = \frac{[A][B]}{[AB]} = 3.0 \times 10^{-6} \quad (1)$$

질량 균형식

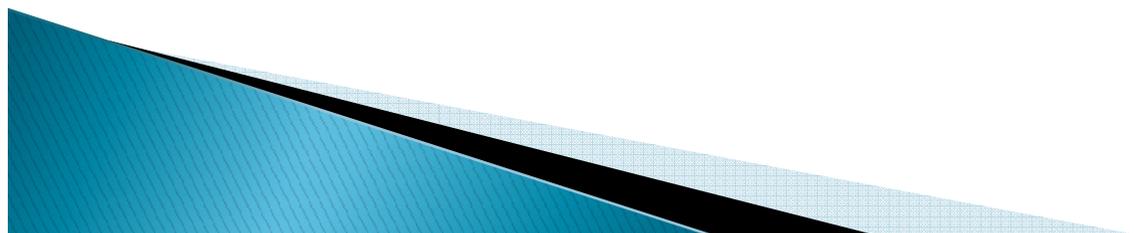
$$C_{\text{AB}} = [AB] + [A] = 0.10 \text{ M} \quad (2)$$

$$[A] = [B] \quad (3)$$

C 는 AB의 전체 분석 농도를 나타냄을 기억하라.

전하균형식

전하를 가지는 화학종이 없으므로 존재하지 않는다.



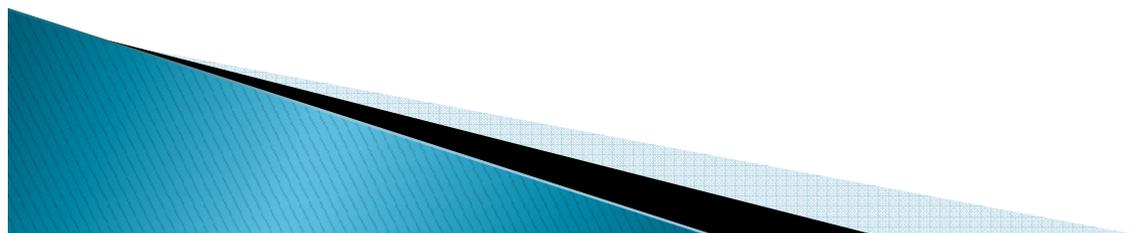
식의 수 대 미지수의 수

3개의 미지수 ($[AB]$, $[A]$, $[B]$)와 3개의 식 (하나의 평형과 2개의 질량 균형)이 있다.

단순한 가정을 하자.

우리는 평형농도 A , B , AB 를 원한다. K 가 작기 때문에, 식 (2)로부터 매우 작은 AB 가 해리될 것이다.

$$[AB] = C_{AB} - [A] = 0.10 - [A] \approx 0.10 \text{ M}$$



계산

[AB]는 위에서 구했다.

[A]는 식 (1) 과 (3) 으로부터 구할 수 있다.

$$\frac{[A][B]}{0.10} = 3.0 \times 10^{-6}$$

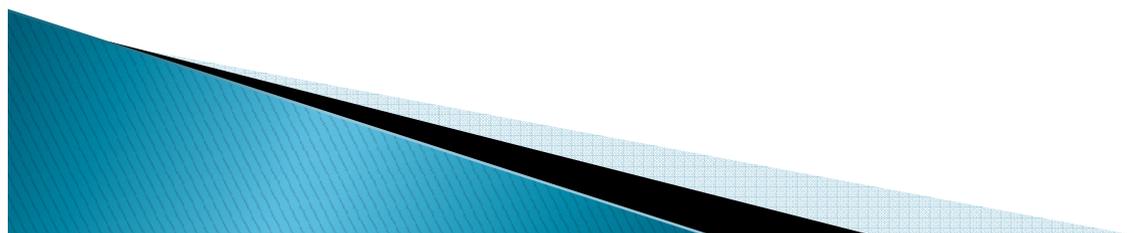
$$[A] = \sqrt{3.0 \times 10^{-7}} = 5.5 \times 10^{-4} M$$

[B]는 식 (3) 으로부터 구할 수 있다.

$$[B] = [A] = 5.5 \times 10^{-4} M$$

검토

$$[AB] = 0.10 - 5.5 \times 10^{-4} = 0.10 M (\text{유효 숫자 범위내})$$



예제 6.13

체계적인 접근법을 이용하여 예제 6.5에 요약된 문제를 반복해 보자. A의 전하를 $+1$, B의 전하를 -1 이라고 가정하고, 여분의 B (0.20 M)는 MB로부터 온 것이고 MB는 완전히 해리된다고 가정하자.

풀이

화학 반응식



평형식

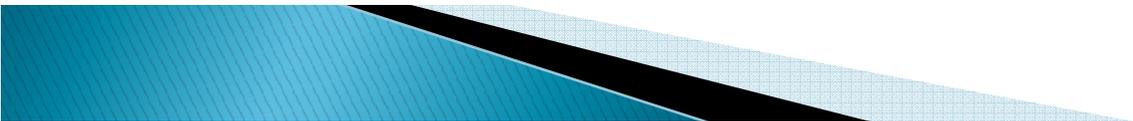
$$K_{\text{eq}} = \frac{[A^+][B^-]}{[AB]} = 3.0 \times 10^{-6} \quad (1)$$

질량 균형식

$$C_{\text{AB}} = [AB] + [A^+] = 0.10 \text{ M} \quad (2)$$

$$[B^-] = [A^+] + [M^+] = [A^+] + 0.20 \text{ M} \quad (3)$$

전하 균형식

$$[A^+] + [M^+] = [B^-] \quad (4)$$


식의 수 대 미지수의 수

3개의 미지수 ($[AB]$, $[A^+]$, $[B^-]$ 이고 M^+ 의 농도는 $0.20 M$ 으로 알려져 있다)가 있고, 3개의 독립된 식 (하나의 평형식과 2개의 질량 균형식이 있고, 전하 균형식은 두 번째 질량 균형식과 같다)이 있다.

단순한 가정을 하자

(1) K_{eq} 가 작기 때문에 매우 적은 AB 가 해리될 것이다. 따라서, 식 (2)로부터

$$[AB] = 0.10 - [A^+] \approx 0.10 M$$

(2) $[A] \ll [M]$ 이므로 식 (3) 또는 (4)로부터

$$[B^-] = 0.20 + [A^+] \approx 0.20 M$$

계산

예제 $[A]$ 는 식 (1)로부터 구한다.

$$\frac{[A^+](0.20)}{0.10} = 3.0 \times 10^{-6}$$

$$[A^+] = 1.5 \times 10^{-6} M$$

검토

$$(1) [AB] = 0.10 - 1.5 \times 10^{-6} = 0.10 M$$

$$(2) [B] = 0.20 + 1.5 \times 10^{-6} = 0.20 M$$



6.14 불균일 평형 – 고체는 포함시키지 않는다

(고체나 순수한 액체의 농도는 1이다)

