

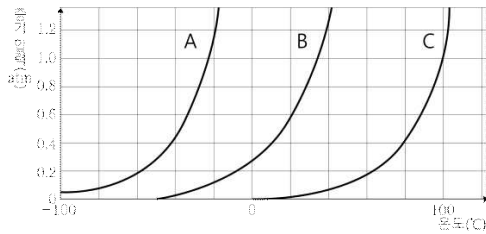
# 2023학년도 연세대학교 미래캠퍼스 논술시험 문제지

## [창의인재-의예과(화학)]

### 【문제 1】 아래 제시문을 읽고 문제에 답하십시오. (20점)

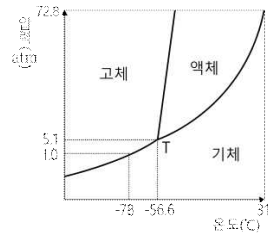
- (가) 액체를 뚜껑이 열린 그릇에 담아두면 시간이 지나면서 액체의 양이 점점 줄어든다. 이것은 액체 표면의 분자 중 일부가 분자 간 인력을 끊고 기체로 증발하기 때문이다. 반면 밀폐된 공간에서 기화된 분자는 밀폐된 공간에 퍼져 나가고, 밖으로 빠져나가지 못한다. 그 결과 증가한 기화된 분자는 액체 표면에 충돌하여 다시 액체 상태로 응축된다. 이렇게 증발과 응축을 반복하다가 증발과 응축의 동적 평형 상태가 되는데 이때를 액체의 증기 압력이라고 한다. 액체의 증기압은 물질에 따라 다르며, 분자 사이의 인력에 영향을 받고 온도가 높을수록 크다. 분자 사이의 인력에는, 한 분자 내에 존재하는 쌍극자를 갖는 분자 사이의 쌍극자·쌍극자 힘, 무극성 분자 사이에서 순간적인 편극에 의해 생성된 쌍극자 분자들 사이에 작용하는 분산력, 그리고 한 분자의 O, N, F 원자가 다른 분자의 H를 강하게 잡아당기는 힘인 수소 결합이 있다.
- (나) 기체는 액체나 고체에 비해 온도나 압력에 따라 부피가 크게 변한다. 아보가드로 법칙에 따르면 같은 온도와 압력에서 모든 기체는 같은 부피 속에 같은 수의 분자가 들어있다. 기체에서 압력을 2배, 3배로 증가시키면 부피는 각각 1/2 배, 1/3 배가 되는데, 기체의 양이 일정할 때 기체의 부피( $V$ )는 압력( $P$ )에 반비례 하는 관계를 나타내는데, 이것을 보일의 법칙이라고 한다. 샤를(Charles, J. A. C)의 실험에 따르면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 기체의 종류에 관계없이 온도가 1 °C 높아질 때마다 0 °C 부피의 1/273 만큼씩 증가한다. 이를 샤를의 법칙이라 한다. (기체 1 mol은 0 °C, 1 atm에서 22.4 L의 부피를 차지한다.)
- (다) 질산을 상업적으로 생산할 때 1단계 화학 반응에서는 암모니아( $\text{NH}_3$ ) 가스와 산소( $\text{O}_2$ )를 반응시켜 일산화 질소( $\text{NO}$ )와 물( $\text{H}_2\text{O}$ )을 생성한다. 2단계에서는 일산화 질소( $\text{NO}$ )와 산소( $\text{O}_2$ )가 반응하여 이산화 질소( $\text{NO}_2$ )를 생성하고, 3단계에서 이산화 질소( $\text{NO}_2$ )와 물( $\text{H}_2\text{O}$ )이 반응하여 질산( $\text{HNO}_3$ )과 일산화 질소( $\text{NO}$ )를 생성하게 된다.

**[문제 1-1]** 다음은 온도에 따른 증기 압력의 크기를 나타낸 증기압 곡선 그래프 예시이다. 예시 그래프를 바탕으로 메테인( $\text{CH}_4$ ), 사불화 탄소( $\text{CF}_4$ ), 클로로폼( $\text{CHCl}_3$ )의 끓는점을 비교해서 서술하십시오. 그리고 순수한 용매와 비휘발성 용질이 녹아있는 용액의 증기압력 곡선을 x축 온도와 y축 증기압 곡선으로 나타내고 이유를 서술하십시오. (C, F, Cl, H의 원자량은 각각 12, 19, 35, 1이다.)(4점)



- A:  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$
- B:  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$
- C:  $\text{H}_2\text{O}$

**[문제 1-2]**  $0^\circ\text{C}$ , 1 atm에서 드라이아이스 22 g을 진공 상태의 5 L 강철 용기에 넣고 충분한 시간이 흘렀을 때, 연결된 풍선의 부피는 얼마가 되겠는가? 풍선의 부피가 1.5 배 더 커지려면 온도를 얼마나 증가시켜야 하며, 이산화 탄소를 드라이아이스로 되돌리려면 어떻게 해야 하는지 아래 상평형 그림을 참고하여 서술하시오. (단, 연결 부위의 부피는 무시한다. 탄소와 산소의 원자량은 각각 12, 16이다.)(8점)



**[문제 1-3]** 제시문 (나)를 참고하여 제시문 (다)에서 예시로 들었던 질산( $\text{HNO}_3$ , (g))의 상업적 생산 1단계 반응에서의 화학 반응식을 완성하시오. 그리고 34%의 암모니아( $\text{NH}_3$ ) 수용액 100 mL를 몰랄 농도( $m$ )로 표시해 보고, 만약 이것을 사용해서 1 단계 반응을 한다면, 1단계 반응에서 생성된 일산화 질소( $\text{NO}$ , (g)) 가스와 10 atm, 1.068 L의 아르곤( $\text{Ar}$ , (g)) 가스를  $0^\circ\text{C}$ , 17 L 용기에 함께 채울 때 전체 용기의 압력은 얼마인지 서술하시오. (단, 암모니아( $\text{NH}_3$ ) 가스는 수용액에서 완전히 가스 상태로 분리되고, 일산화 질소( $\text{NO}$ )는 아르곤( $\text{Ar}$ )과 반응하지 않는다고 가정한다. 아르곤 가스는  $0^\circ\text{C}$ 로 간주한다. 암모니아 수용액의 밀도는 0.9 g/mL, N, O, H의 원자량은 각각 14, 16, 1이다.)(8점)

## [문항해설]

### [문제 1-1]

분자 간 상호 작용을 이해하고, 분자 간 상호 작용의 크기와 끓는점의 관계에 대한 이해도를 평가한다. 묽은 용액의 증기압 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림의 이해도를 평가한다.

### [문제 1-2]

기체의 온도, 압력, 부피, 양(mol) 사이의 관계에 대한 이해도를 평가한다.

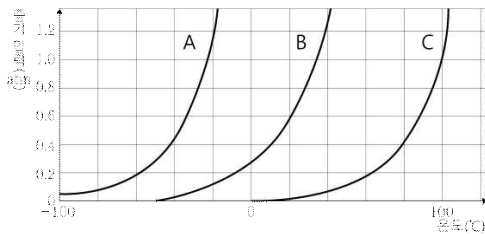
상평형 그림을 이용하여 물질의 상태 변화에 대한 이해도를 평가한다.

### [문제 1-3]

여러 가지 반응을 화학 반응식으로 나타내고 이를 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계에 대한 이해도를 평가한다. 기체의 온도, 압력, 부피, 양(mol) 사이의 관계에 대한 이해도를 평가한다. 퍼센트 농도, ppm, 몰농도, 몰랄 농도의 의미에 대한 이해도를 평가한다.

## [예시답안]

[문제 1-1] 다음은 온도에 따른 증기 압력의 크기를 나타낸 증기압 곡선 그래프 예시이다. 예시 그래프를 바탕으로 메테인( $\text{CH}_4$ ), 사불화 탄소( $\text{CF}_4$ ), 클로로폼( $\text{CHCl}_3$ )의 끓는점을 비교해서 서술하시오. 그리고 순수한 용매와 비휘발성 용질이 녹아있는 용액의 증기압력 곡선을 x축 온도와 y축 증기압 곡선으로 나타내고 이유를 서술하시오. (C, F, Cl, H의 원자량은 각각 12, 19, 35, 1이다.)(4점)



A:  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$

B:  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$

C:  $\text{H}_2\text{O}$

## (해답예시)

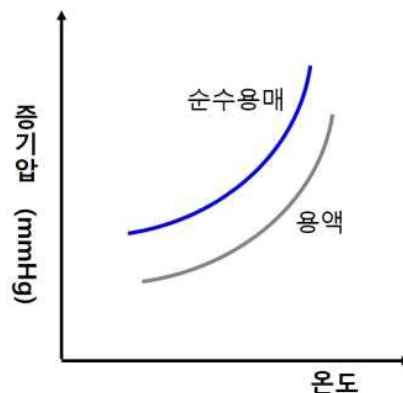
끓는점:  $\text{CH}_4 < \text{CF}_4 < \text{CHCl}_3$

분자량의 크기는  $\text{CH}_4 < \text{CF}_4 < \text{CHCl}_3$

분산력의 크기는 분자량에 비례하며,

쌍극자 모멘트:  $\text{CH}_4 = \text{CF}_4 < \text{CHCl}_3$  다른 두 분자에 비해  $\text{CHCl}_3$ 가 쌍극자 모멘트가 크기 때문에 분자간의 인력이 높게 나타난다.

따라서 끓는점은  $\text{CH}_4 < \text{CF}_4 < \text{CHCl}_3$ 와 같은 순서로 나타난다.



용액에서 증기압은 낮아진다. 그 이유는 용질이 용액 표면의 일정 부분을 차지하여, 표면에 존재하는 용매의 수가 감소하고 용질 분자가 용매 분자의 증발을 방해하기 때문이다. 순수한 용매에 비해 증기압이 낮아지는 현상을 증기 압력 내림이라고 한다.

**[문제 1-2]** 0 °C, 1 atm에서 드라이아이스 22 g을 진공 상태의 5 L 강철 용기에 넣고 충분한 시간이 흘렀을 때, 연결된 풍선의 부피는 얼마가 되겠는가? 풍선의 부피가 1.5 배 더 커지려면 온도를 얼마나 증가시켜야 하며, 이산화 탄소를 드라이아이스로 되돌리려면 어떻게 해야 하는지 아래 상평형 그림을 참고하여 서술하시오. (단, 풍선이 연결된 상태는 1 atm으로 가정하고, 연결 부위의 부피는 무시한다. 탄소와 산소의 원자량은 각각 12, 16이다.)**(8점)**

**(해답예시)**

이산화 탄소의 양(mol) 구하기

$$\text{드라이아이스 } 22 \text{ g} / 44 \text{ gmol}^{-1} = 0.5 \text{ mol}$$

0 °C, 1 atm 기체 분자 0.5 mol의 이산화 탄소 부피는 11.2 L이다.

전체 11.2 L에서 강철 용기의 부피 5 L를 뺀 부피가 풍선의 부피이다.

$$\text{풍선의 부피: } 11.2 \text{ L} - 5 \text{ L} = 6.2 \text{ L}$$

풍선의 부피가 1.5 배가 되기 위해서는 3.1 L가 증가해야 함.

샤를의 법칙에 따라

$$V_t = V_0 + \left(\frac{V_0}{273} \times t\right)$$

$$14.3 = 11.2 + \left(\frac{11.2}{273}\right) \times t$$

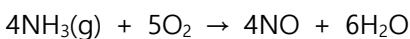
t 는 약 75.56 °C

이산화 탄소를 드라이아이스로 되돌리기 위해서 온도를 -78 °C 이하로 낮춘다.

**[문제 1-3]** 제시문 (나)를 참고하여 제시문 (다)에서 예시로 들었던 질산(HNO<sub>3</sub>, (g))의 상업적 생산 1단계 반응에서의 화학 반응식을 완성 하시오. 그리고 34%의 암모니아(NH<sub>3</sub>) 수용액 100 mL를 몰랄 농도(m)로 표시해 보고, 만약 이것을 사용해서 1 단계 반응을 한다면, 1단계 반응에서 생성된 일산화 질소(NO, (g)) 가스와 10 atm, 1.068 L의 아르곤(Ar, (g)) 가스를 0 °C, 17 L 용기에 함께 채울 때 전체 용기의 압력은 얼마인지 서술하시오. (단, 암모니아(NH<sub>3</sub>) 가스는 수용액에서 완전히 가스 상태로 분리되고, 일산화 질소(NO)는 아르곤(Ar)과 반응하지 않는다고 가정한다. 아르곤 가스는 0 °C로 간주한다. 암모니아 수용액의 밀도는 0.9 g/mL, N, O, H 의 원자량은 각각 14, 16, 1이다.)**(8점)**

**(해답예시)**

완결된 반응식:



100 mL 의 암모니아 수용액의 질량은 90 g

34%의 암모니아는 30.6 g 있다. (= 1.8 mol)

$$\frac{1.8 \text{ mol}}{(90 - 30.6) \times 0.001 \text{ kg}}$$

몰랄 농도( $m$ )  $\approx 30.3 m$

10atm, 1.068L 아르곤을 용기에 채우면  $(P_1V_1/n_1) = (P_2V_2/n_2)$ 이므로  $n_{Ar}$ 은 0.477mol,  $n_{NO} + n_{Ar}=1.8+0.477$ 이므로 2.277mol이고 위와 같은 방식으로 다시 계산하면  $P_T$ 는 약 3기압을 나타낸다.

$$\frac{P_1V_1}{n_1T} = \frac{P_2V_2}{n_2T} \Rightarrow \frac{P_1V_1}{n_1} = \frac{P_2V_2}{n_2}$$

$$\frac{1 \times 22.4}{1} = \frac{10 \times 1.068}{n_{Ar}}$$

$$n_{Ar} = \frac{10.68}{22.4} \text{ mol} \approx 0.477 \text{ mol}$$

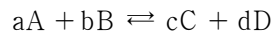
$$n_{NO} + n_{Ar} = 1.8 + 0.477 = 2.277 \text{ mol}$$

$$\frac{P_1V_1}{n_1} = \frac{P_{\text{전체}}V_{\text{전체}}}{n_{\text{전체}}} \Rightarrow \frac{1 \times 22.4}{1} = \frac{P_{\text{전체}} \times 17}{n_{NO} + n_{Ar}}$$

$P_{\text{전체}} \approx 3$ 기압

**【문제 2】 아래 제시문을 읽고 문제에 답하시오.(20점)**

(가) 가역 반응에서 모든 반응물과 생성물의 농도가 시간에 따라 변하지 않고 일정하게 유지되는 상태를 화학 평형 상태라고 한다. 화학 평형 상태는 겉으로 보기에 변화가 없어 반응이 정지된 것처럼 보이지만, 실제로는 정반응과 역반응이 같은 속도로 끊임없이 일어나고 있는 동적 평형 상태이다. 일정한 온도에서 어떤 반응이 화학 평형 상태에 있을 때 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비는 항상 일정하며 이것을 화학 평형 법칙이라고 하고, 일반적으로 아래와 같이 나타낸다. 이때  $K$ 를 평형 상수라고 하고, 이 식을 평형 상수식이라고 한다. 평형 상수는 온도가 일정할 때 농도나 기체의 압력에 관계없이 항상 일정하다. 또한 평형 상수식에 반응물과 생성물의 현재 농도를 대입하여 얻은 값을 반응 지수( $Q$ )라고 하며, 반응 지수와 평형 상수의 상대적인 크기를 통해 반응이 어떤 방향으로 진행될지 예측할 수 있다.

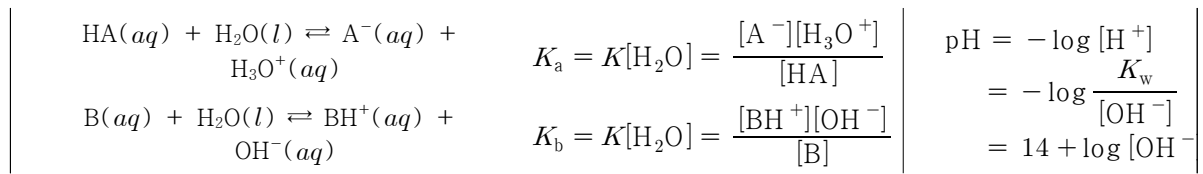


$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = \text{일정}$$

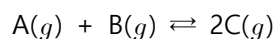
[A],[B],[C],[D] 평형상태에서 각 물질의 몰 농도

(나) 금속 원소는 일반적으로 전자를 잃고 양이온이 되려는 성질이 있는데 이것을 이온화 경향이라고 한다. 이온화 경향은 금속의 종류에 따라 다르며, 이온화 경향이 클수록 전자를 잃고 산화되기 쉽다. 금속 간 산화 환원 반응이 수용액 상에서 일어날 때 전자의 이동이 도선을 통해 일어나게 하면, 회로에 전류가 흘러 전기 에너지를 얻을 수 있다. 이처럼 산화 환원 반응에서 발생한 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치를 화학전지라고 한다.

(다) 산과 염기가 중화 반응을 할 때 물과 함께 생성되는 이온 결합 물질을 염이라고 한다. 염은 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합한 화합물이다. 염 수용액은 염의 종류에 따라 산성, 염기성, 중성을 나타낸다. 수용액에서 약산이나 약염기는 물에 녹아 평형을 이루므로 평형 상수를 이용하면 산과 염기의 세기를 정량적으로 나타낼 수 있다. 평형 상수는 아래의 관계식으로 계산할 수 있으며,  $K_a$ 와  $K_b$ 를 각각 산과 염기의 이온화 상수라고 한다. 1909년 쇠렌센(Sorensen, S. P. C.)이 제안한 pH는  $H_3O^+$ 의 농도를 아래의 식으로 나타낸다.



**【문제 2-1】** 다음은 기체 A와 B로부터 기체 C가 생성되는 화학 반응식을 나타낸 것이다.



2L 강철 용기에 A 0.4 mol과 B 1.0 mol을 반응 시켰을 때 C가 0.4 mol이 생성 되었다. 이 반응의 평형 상수를 구하시오. 평형 상태에서 A와 C를 동시에 0.6 mol을 추가할 때 시간에 따른 몰 농도(M) 변화를 예측하여 A, B, C에 대하여 그래프로 나타내고 반응의 진행 방향을 판단하여 내용을 서술하시오.(7점)

[문제 2-2] 납축전지는 황산 수용액에 양극에는 납(Pb) 판과 이산화 납(PbO<sub>2</sub>) 판을 세워 놓은 구조로 전극 사이에 얇은 다공성 막을 두어 두 전극 판이 서로 접촉하지 않도록 설계되어있다. 납축전지의 (-)극과 (+)극에서 발생하는 화학 반응식을 각각 작성하고, 산화 환원 전체 반응식을 완성하시오.(5점)

[문제 2-3]

- ①  $\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{NaOH}(aq) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(aq) + \text{H}_2\text{O}(aq)$
- ②  $\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{NH}_4\text{OH}(aq) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONH}_4(aq) + \text{H}_2\text{O}(aq)$
- ③  $\text{HCl}(aq) + \text{NH}_4\text{OH}(aq) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(aq)$

위에 제시된 산 염기 중화 반응으로 생성된 염이 물에 녹아 있을 때 액성을 각각 판단하시오. ③에서 25 °C 에서 0.1 M 염화 암모늄 수용액의 액성에 대해 pH를 계산하시오.(8점) (단, 암모니아의 이온화 상수  $K_b = 2.0 \times 10^{-5}$ , 물의 이온화 상수  $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ ,  $\sqrt{2} = 1.4$ ,  $\log 7 = 0.845$ )

## [문항해설]

### (문제 2-1)

가역 반응에서 동적 평형에 대한 이해를 평가한다.

평형 상수를 이용하여 반응의 진행 방향에 대한 예측을 평가한다.

### (문제 2-2)

화학전지의 작동원리와 산화 환원 반응에 대한 이해를 평가한다.

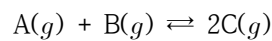
### (문제 2-3)

염의 가수 분해와 염 수용액의 특성에 대한 이해를 평가한다.

수소 이온 농도를 pH로 계산하는 방법에 대한 이해를 평가한다.

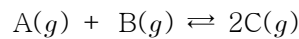
## [예시답안]

[문제 2-1] 다음은 기체 A와 B로부터 기체 C가 생성되는 화학 반응식을 나타낸 것이다.



2 L 용기에 A 0.4 mol B 1.0 mol을 반응 시켰을 때 C가 0.4 mol이 생성 되었다. 이 반응의 평형 상수를 구하시오. 평형상태에서 A와 C를 동시에 0.6 mol을 추가할 때 시간에 따른 몰 농도(M) 변화를 예측하여 A, B, C에 대하여 그래프로 나타내고 반응의 진행 방향을 판단하여 내용을 서술하시오. (7점)

(해답 예시)

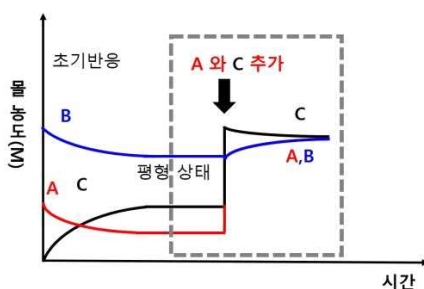


초기	[A] 몰 농도 0.2	[B] 몰 농도 0.5	[c] 몰 농도 0
사용된	-0.1	-0.1	
반응후	0.1	0.4	0.2 (평형상태)

평형상수( $K$ )  $[0.2]^2/[0.1][0.4]= 1$

A와 C에 0.3 mole/L 추가하면,

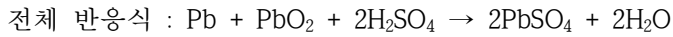
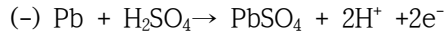
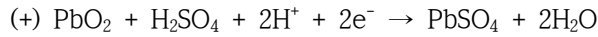
반응지수 ( $Q$ )  $[0.5]^2/[0.4][0.4]= 25/16$   $Q > K$  (역반응)



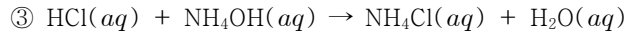
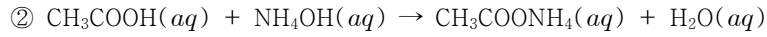
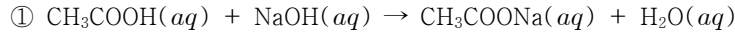
[문제 2-2] 납축전지는 황산 수용액에 양극에는 납(Pb) 판과 이산화 납(PbO<sub>2</sub>) 판을 세워 놓은 구조로 전극 사이에 얇은 다공성 막을 두어 두 전극 판이 서로 접촉하지 않도록 설계되어있다. 납축전지의 (-)극과 (+)극에서 발생하는 화학 반응식을 각각 작성하고, 산화 환원 전체 반응식을 완성하시오. (5점)

(해답 예시)

납축전지에서 (+)극은 PbO<sub>2</sub>, (-)극은 Pb 판으로 구성되어 있다.



[문제 2-3]



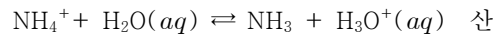
위에 제시된 산 염기 중화 반응으로 생성된 염이 물에 녹아 있을 때 액성을 각각 판단하시오. ③에서 25°C 에서 0.1 M 염화 암모늄 수용액의 액성에 대해 pH를 계산하시오. (단, 암모니아의 이온화 상수  $K_b = 2.0 \times 10^{-5}$ , 물의 이온화 상수  $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ ,  $\sqrt{2} = 1.4$ ,  $\log 7 = 0.845$ ) (8점)

(해답 예시)

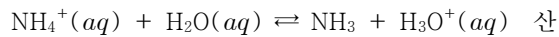
CH<sub>3</sub>COONa 경우 (염기성)



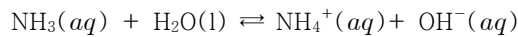
NH<sub>4</sub>Cl 경우 (산성)



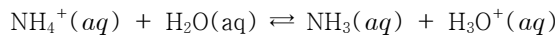
CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 경우 (중성)



0.1 M 염화 암모늄 수용액의 pH를 계산 (암모니아의 이온화 상수가  $K_b = 2.0 \times 10^{-5}$ )

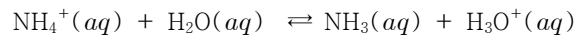


$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = 2.0 \times 10^{-5}$$



$$K_a = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]} \times [\text{OH}^-][\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_w}{K_b}$$

$$= \frac{1.0 \times 10^{-14}}{2.0 \times 10^{-5}} = 5 \times 10^{-10}$$



초기농도	0.1	0	0
반응농도	-x	+x	+x
평형농도	0.1-x	x	x

$$K_a = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{x^2}{0.1 - x} = 5 \times 10^{-10}$$

$$x \approx 7 \times 10^{-6} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log[7 \times 10^{-6}]$$

$$\text{pH} = 5.155$$