

이름: _____ 학번: _____ 학과: _____

- 시험시간: 12:30 AM - 14:30 PM
- 휴대전화는 끌 것.
- 지우개, 계산기는 서로 빌려줄 수 없음.
- 답은 각 문제에 주어진 네모 안 에 적을 것. 네모 안에 빈 공간이 있는 경우는 풀이 과정을 적으라는 의미임. 빈 공간의 길이와 풀이 과정과는 상관관계가 없음. 답을 적을 때 항상 단위도 정확히 적을 것.
- 풀이에 필요한 상수나 데이터는 맨 뒤에 있음.
- 문제수: 10
- Page 수: 4
- 만점: 265 점

1. 라우릴 알코올은 코코넛 기름으로부터 얻어지며, 세제를 만드는 데 사용된다. 0.100 kg 벤젠에 5.00 g의 라우릴 알코올을 녹인 용액은 4.1°C에서 언다. 라우릴 알코올의 물질량은 얼마인가?

$$\Delta T_f = K_f A \quad (A = \text{몰랄농도})$$

$$(5.5 - 4.1)^\circ\text{C} = A (5.12^\circ\text{C}/m)$$

$$A = \frac{1.4^\circ\text{C}}{5.12^\circ\text{C}/m} = 0.27m = 0.27 \text{ mol}/Kg$$

0.100 kg 벤젠에 5.00 g의 라우릴 알코올이 녹은 용액은 벤젠 1.00 kg에 50.0 g의 라우릴 알코올이 녹은 용액과 같다. 따라서

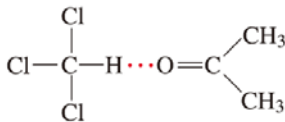
$$0.27 \text{ mol}/Kg = \frac{50.0 g}{\text{물질량}} / Kg$$

$$0.27 \text{ mol} \times \text{물질량} = 50.0 g$$

$$\text{물질량} = 1.9 \times 10^2 g/mol$$

물질량: 1.9 x 10² g/mol

2. 35°C에서 아세톤((CH₃)₂CO)의 증기 압력은 360 torr이고, 클로로폼(CHCl₃)의 증기 압력은 300 torr이다. 아세톤과 클로로폼은 서로 다음과 같이 약한 수소 결합을 형성한다.



같은 몰수의 아세톤과 클로로폼으로 조성된 용액은 35°C에서 증기 압력이 250 torr이다.

(a) 이상 행동을 나타낸다면(이상 용액이라면) 35°C에서 이 용액의 증기 압력은 얼마인가?

$$n_{\text{아세톤}} : n_{\text{클로로폼}} = 360 : 300$$

$$\chi_{\text{아세톤}} = \frac{360}{360 + 300} = 0.545$$

$$\chi_{\text{클로로폼}} = \frac{300}{360 + 300} = 0.455$$

$$P_{\text{total}} = P_{\text{아세톤}} + P_{\text{클로로폼}} = \chi_{\text{아세톤}} P_{\text{아세톤}}^0 + \chi_{\text{클로로폼}} P_{\text{클로로폼}}^0$$

$$= 0.545 \times 360 \text{ torr} + 0.455 \times 300 \text{ torr} = 333 \text{ torr}$$

증기 압력: 333 torr

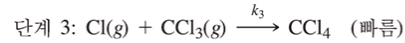
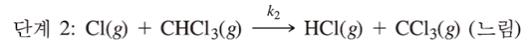
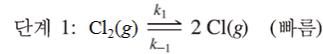
(b) 이상 용액으로 가정했을 때의 증기 압력과 실제 증기 압력이 차이가 난다면 그 이유를 설명하시오.

실제 증기압은 이상 용액에서의 증기 압력보다 작다. 즉, 아세톤-아세톤 사이, 혹은 클로로폼-클로로폼 사이의 인력보다 수소결합에 의해 아세톤-클로로폼 사이의 인력이 더 크다. 따라서 아세톤-클로로폼 혼합 용액의 증기 압력이 이상 용액으로 가정 했을 때 보다 더 작다.

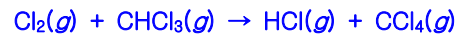
(c) 아세톤과 클로로폼의 혼합은 발열 과정인가 흡열 과정인가?

발열 과정

3. 다음 메커니즘은 클로로폼(CHCl₃)과 염소(Cl₂)의 기체상 반응이다.



(a) 전체 반응은 무엇인가?



(b) 반응 중간체를 모두 쓰시오.



(c) 각 단일단계 반응의 분자도는 얼마인가?

단계 1의 분자도: 1

단계 2의 분자도: 2

단계 3의 분자도: 2

(d) 속도 결정 단계는 어느 단계인가?

단계 2

(e) 이 메커니즘으로부터 예상되는 속도 법칙은 무엇인가?

반응 속도는 단계 2에서 결정된다.

$$\text{반응 속도} = k_2 [\text{Cl}(g)] [\text{CHCl}_3(g)]$$

단계1은 빠르고 단계2는 느리므로, 반응중에 단계1에서 동적 평형상태에 도달

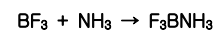
$$k_1 [\text{Cl}_2(g)] = k_{-1} [\text{Cl}(g)]^2$$

$$\therefore [\text{Cl}(g)] = \sqrt{\frac{k_1}{k_{-1}} [\text{Cl}_2(g)]}$$

$$\therefore \text{반응속도} = k_2 [\text{CHCl}_3(g)] \sqrt{\frac{k_1}{k_{-1}} [\text{Cl}_2(g)]}$$

$$\text{속도 법칙: } \text{반응 속도} = k_2 [\text{CHCl}_3(g)] \sqrt{\frac{k_1}{k_{-1}} [\text{Cl}_2(g)]}$$

4. 표는 다음 반응에 대한 연구 자료이다.



실험	[BF ₃] (M)	[NH ₃] (M)	초기 속도(M/s)
1	0.250	0.250	0.2130
2	0.250	0.125	0.1065
3	0.200	0.100	0.0682
4	0.350	0.100	0.1193
5	0.175	0.100	0.0596

(a) 위 반응의 속도 법칙을 쓰시오.

$$\begin{aligned} \text{반응 속도} &= k[BF_3]^n[NH_3]^m \\ \frac{\text{반응 속도}_4}{\text{반응 속도}_5} &= \frac{0.1196}{0.0596} = 2 = \frac{[0.350]^n[0.100]^m}{[0.175]^n[0.100]^m} = 2^n \\ \therefore n &= 1 \\ \frac{\text{반응 속도}_1}{\text{반응 속도}_2} &= \frac{0.2130}{0.1065} = 2 = \frac{[0.250]^2[0.250]^m}{[0.250]^2[0.125]^m} = 2^m \\ \therefore m &= 1 \\ \text{반응 속도} &= k[BF_3][NH_3] \end{aligned}$$

속도 법칙: $\text{반응 속도} = k[BF_3][NH_3]$

(b) 속도 상수는 얼마인가

$$\begin{aligned} \text{반응 속도}_3 &= k[BF_3][NH_3] = k \times 0.200 M \times 0.100 M = 0.0682 M/s \\ k &= 3.41 / (M \cdot s) \end{aligned}$$

속도 상수: $k = 3.41 / M \cdot s$

(c) $[BF_3] = 0.100 M$, $[NH_3] = 0.500 M$ 일 때의 초기 반응 속도는 얼마인가?

$$\begin{aligned} \text{반응 속도} &= k[BF_3][NH_3] = 3.41 / (M \cdot s) \times 0.100 M \times 0.500 M \\ &= 0.171 M/s \end{aligned}$$

반응 속도: $0.171 M/s$

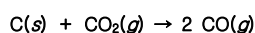
(d) $[BF_3] = 0.0100 M$, $[NH_3] = 5.00 M$ 의 농도로 위 반응을 시작하였다. $[BF_3] = 0.00250 M$ 이 될 때까지 걸리는 시간은 얼마이겠는가?

$$\begin{aligned} [BF_3] &= 0.0100 M, [NH_3] = 5.00 M \text{ 이므로 } NH_3 \text{ 이 과량되어 있다.} \\ \text{따라서 } [NH_3] &= [NH_3]_0 = 5.00 M \text{ 의 상수로 생각하면 속도식은} \\ -\frac{\Delta[BF_3]}{\Delta t} &= k[BF_3][NH_3]_0 \text{ 가 된다. } k[NH_3]_0 = k' \text{ 으로 놓으면} \\ -\frac{\Delta[BF_3]}{\Delta t} &= k'[BF_3] \\ -\frac{d[BF_3]}{dt} &= k'[BF_3] \\ -\frac{d[BF_3]}{[BF_3]} &= k' dt \\ -\ln([BF_3] - [BF_3]_0) &= k' t \\ -\ln \frac{0.00250}{0.0100} &= k' t \\ t &= \frac{1}{k'} \ln 4 = \frac{1}{(3.41/Ms) \times 5.00 M} \ln 4 = 8.13 \times 10^{-2} s \end{aligned}$$

(혹은 $[BF_3]$ 의 1차 반응의 반감기
 $t_{1/2} = \frac{0.693}{k'} = \frac{0.693}{(3.41/Ms) \times 5.00 M} = 4.06 \times 10^{-2} s$ 을 이용해도 된다.)

반응 속도: $8.13 \times 10^{-2} s$

5. 1000 K에서 다음 반응의 평형 상수는 $K_c = 1.90$ 이고, 298 K에서는 $K_c = 0.133$ 이다.



(a) 1000 K, 3.00 L 용기 속에 과량의 C와 25.0 g의 CO_2 를 반응시켰다면, CO는 몇 g 생성되는가?

$$\begin{aligned} CO_2 25.0 g &= 25.0 g \times \frac{mol}{44.0 g} = 0.568 mol \\ [CO_2] &= \frac{0.568 mol}{3.00 L} = 0.189 M \\ C(s) + CO_2(g) &\rightarrow 2 CO(g) \\ \begin{array}{ccc} \text{처음} & 0.189 & 0 \\ \text{변화} & -x & 2x \\ \text{평형} & 0.189-x & 2x \end{array} \\ K_c &= \frac{[CO]^2}{[CO_2]} = \frac{(2x)^2}{0.189-x} = 1.90 \\ 4x^2 + 1.90x - 0.359 &= 0 \\ x &= \frac{-1.90 \pm \sqrt{(1.90)^2 - 4(4)(-0.359)}}{2(4)} = 0.145 M \\ [CO] &= 0.145 M \times 2 = 0.290 M \\ \Rightarrow \text{몰수} &= 0.290 M \times 3.00 L = 0.870 mol \\ \Rightarrow \text{질량} &= 0.870 mol \times 28.0 g/mol = 24.4 g \end{aligned}$$

생성된 $CO(g)$ 의 질량: $24.4 g$

(b) C는 몇 g 소비 되었는가?

$$\begin{aligned} \text{(a)에서 } CO &\text{가 } 0.870 mol \text{ 생성되었으므로} \\ C &= 0.870 mol / 2 = 0.435 mol \text{ 소비} \\ \Rightarrow &0.435 mol \times 12.0 g = 5.22 g \end{aligned}$$

소비된 $C(s)$ 의 질량: $5.22 g$

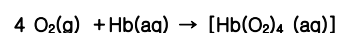
(c) 만약 이 반응이 보다 작은 용기 속에서 일어났다면 CO의 수득률은 커지겠는가 작아지겠는가? 이유를 적고 답하시오,

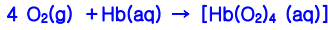
CO_2 의 부분 압력과 CO의 부분 압력이 커지므로 Le Châtelier 원리에 따라 전체 압력을 낮추는 방향인 역 방향으로 평형이 이동한다. 따라서 CO의 수득률은 작아진다.

(d) 이 반응은 발열반응인가 흡열반응인가? 이유를 적고 답하시오,

온도가 낮아짐에 따라 평형 상수가 작아졌다. 즉, 평형이 왼쪽으로 이동했다. 따라서 Le Châtelier 원리에 따라 역방향이 발열반응이어야 온도 변화에 저항하는 것이다. 따라서 위 반응은 흡열반응이다.

6. 헤모글로빈(Hb)은 포유 동물 혈액 속의 O_2 를 운반한다. 각 Hb은 4개 O_2 분자와 결합한다. O_2 -Hb 결합 반응에 대한 평형 상수는 성인 헤모글로빈에서보다 태아의 헤모글로빈에서 더 크다. O_2 -Hb 결합 능력을 논의하는 데 있어, 생화학자들은 헤모글로빈의 50%가 산소와 결합된 상태를 의미하는 P50 지수라고 하는 척도를 사용한다. 태아 헤모글로빈은 19.0 torr에서 P50 지수를 나타내고, 성인 헤모글로빈은 26.8 torr에서 P50 지수를 나타낸다. 이 자료를 이용하여, P50 조건에서 다음 수용액 반응에 대한 $\frac{K_c(\text{태아})}{K_c(\text{성인})}$ 비를 정확히 구하시오.





$$K_c = \frac{[\text{Hb}(\text{O}_2)_4(\text{aq})]}{[\text{O}_2(\text{g})]^4[\text{Hb}(\text{aq})]} = \frac{[\text{Hb}(\text{O}_2)_4(\text{aq})]}{(A \cdot P_{\text{O}_2})^4[\text{Hb}(\text{aq})]}$$

(A는 0이 아닌 임의의 상수로 압력을 농도로 바꾸는 상수)

Hb의 초기 농도를 $[\text{Hb}]_0$ 이라고 하면

$$P50에서 [\text{Hb}] = \frac{1}{2}[\text{Hb}]_0 \quad [\text{Hb}(\text{O}_2)_4] = \frac{1}{2}[\text{Hb}]_0$$

∴ P50조건에서의 평형 상수는

$$K_c(\text{태아}) = \frac{[\text{Hb}(\text{O}_2)_4(\text{aq})]}{[\text{O}_2(\text{g})]^4[\text{Hb}(\text{aq})]} = \frac{\frac{1}{2}[\text{Hb}]_0}{(A \cdot 19.0 \text{ torr})^4 \frac{1}{2}[\text{Hb}]_0}$$

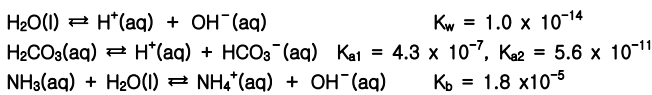
$$= \frac{1}{(A \cdot 19.0 \text{ torr})^4}$$

$$K_c(\text{성인}) = \frac{1}{(A \cdot 26.8 \text{ torr})^4}$$

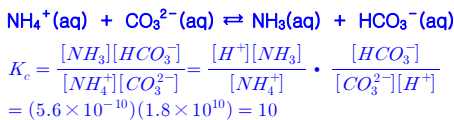
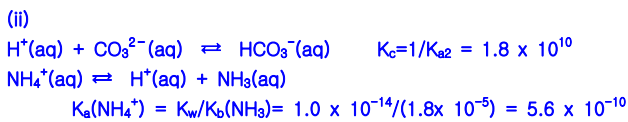
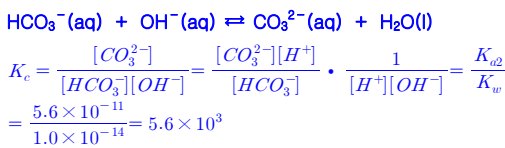
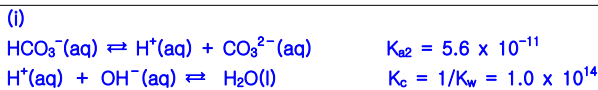
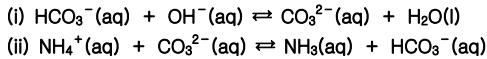
$$\frac{K_c(\text{태아})}{K_c(\text{성인})} = \frac{(A \cdot 26.8 \text{ torr})^4}{(A \cdot 19.0 \text{ torr})^4} = \left(\frac{26.8}{19.0}\right)^4 = 3.96$$

$$\frac{K_c(\text{태아})}{K_c(\text{성인})} = 3.96$$

7. 다음은 25 °C에서 각 반응에 대한 해리 상수이다.

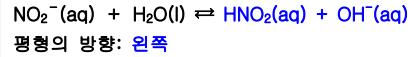
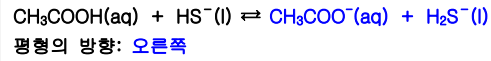
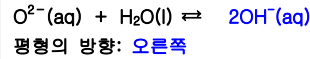
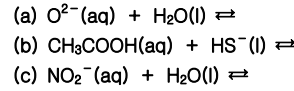


25 °C에서 다음 (i), (ii) 반응에 대한 평형 상수를 구하시오.



평형 상수: (i) 5.6×10^3 (ii) 10

8. 다음 산-염기 반응의 생성물을 예측하고, 평형의 방향이 왼쪽으로 또는 오른쪽으로 진행할지를 예측하시오.



9. 어떤 생리학 실험에서 pH 6.5의 완충 용액이 필요하다. 작업 중인 시료들이 약산 H_2X ($K_{a1} = 2.0 \times 10^{-2}$; $K_{a2} = 5.0 \times 10^{-7}$) 또는 그것의 소등 염에 민감하지 않음을 알았다. 1.0M H_2X 산 용액 1.0 L와 1.0M NaOH 용액을 이용하여 pH 6.5의 완충 용액을 만들려고 한다.

(a) 위 완충용액을 만들기 위해 K_{a1} 평형, K_{a2} 평형 중 어느 평형을 이용해야 하는가? 답을 쓰고 그 평형식을 적으시오.

$$\text{p}K_{a1} = -\log(2.0 \times 10^{-2}) = 1.70$$

$$\text{p}K_{a2} = -\log(5.0 \times 10^{-7}) = 6.30$$

따라서 6.50에 가까운 K_{a2} 평형을 이용해야 한다.



(b) 위 완충용액을 만들기 위해 1.0M H_2X 산 용액 1.0 L에 1.0 M NaOH 용액을 첨가하려고 한다. 1.0 M NaOH 용액의 부피는 1.0 L 보다 많아야 하는가 적어야 하는가?



화학양론적으로 보았을 때 처음의 H_2X 가 모두 없어지고 HX^- 와 X^{2-} 가 생겨야 한다. 따라서 $\text{H}_2\text{X}(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{HX}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 의 완전 반응에서 H_2X 가 남아있지 않아야 한다.

H_2X 가 처음에 1.0 mol (=1.0 M x 1.0 L) 있었으므로 NaOH의 양은 1.0 mol 보다 많아야 한다. 1.0 M NaOH 이므로 1.0 L보다 많은 양의 NaOH를 첨가해야 한다.

(c) 위 완충용액을 만들기 위해 1.0 M NaOH 용액을 1.0 L의 H_2X 용액에 얼마나 넣어 주어야 하는가? (총 1.0 M NaOH 용액의 부피)

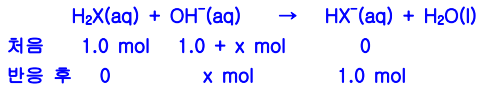
$$\text{pH} = 6.50 \Rightarrow [\text{H}^+] = 3.2 \times 10^{-7} \text{ M}$$

$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{X}^{2-}]}{[\text{HX}^-]}$$

$$\frac{[\text{X}^{2-}]}{[\text{HX}^-]} = \frac{K_{a2}}{[\text{H}^+]} = \frac{5.0 \times 10^{-7}}{3.2 \times 10^{-7}} = 1.6$$

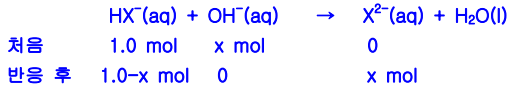
즉 $[\text{X}^{2-}]$ 가 $[\text{HX}^-]$ 의 1.6 배 이어야 한다. 즉, X^{2-} 의 몰 수가 HX^- 의 몰 수의 1.6 배 이어야 한다.

1.0 M NaOH를 1.0 + x mol (=1.0 + x L) 넣으면, 첫 번째 완전 반응 (화학양론적 반응)에서



처음 1.0 mol은 $\text{H}_2\text{X}(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{HX}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 의 완전 반응에 쓰여, 반응 완결 후 위와 같이 HX^- 가 1.0 mol 생기고 OH^- 가 x mol 남는다.

두 번째 완전 반응(화학양론적 반응)에서



$$\frac{x}{1.0 - x} = 1.6$$

$$x = 0.62$$

따라서 처음 넣어준 NaOH의 부피는 1.0 + x = 1.6 L

NaOH의 총 부피: 1.6 L

- 상수 -

표 13.3 • 몰랄 끓는점 오름 상수와 어는점 내림 상수

용매	정상 끓는점 (°C)	K_b (°C/m)	정상 어는점 (°C)	K_f (°C/m)
물(H ₂ O)	100.0	0.51	0.0	1.86
벤젠(C ₆ H ₆)	80.1	2.53	5.5	5.12
에탄올(C ₂ H ₅ OH)	78.4	1.22	-114.6	1.99
사염화 탄소(CCl ₄)	76.8	5.02	-22.3	29.8
클로로폼(CHCl ₃)	61.2	3.63	-63.5	4.68

1																		2																	
H																		He																	
Hydrogen 1.00794																		Helium 4.00260																	
3		4																5		6		7		8		9		10							
Li		Be																																	
Lithium 6.941		Beryllium 9.012182																																	
11		12																13		14		15		16		17		18							
Na		Mg																																	
Sodium 22.989769		Magnesium 24.3050																																	
19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36	
K		Ca		Sc		Ti		V		Cr		Mn		Fe		Co		Ni		Cu		Zn		Ga		Ge		As		Se		Br		Kr	
Potassium 39.0983		Calcium 40.078		Scandium 44.955910		Titanium 47.867		Vanadium 50.9415		Chromium 51.9961		Manganese 54.938045		Iron 55.845		Cobalt 58.933200		Nickel 58.6934		Copper 63.546		Zinc 65.38		Gallium 69.723		Germanium 72.61		Arsenic 74.92160		Selenium 78.96		Bromine 79.904		Krypton 83.80	
37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54	
Rb		Sr		Y		Zr		Nb		Mo		Tc		Ru		Rh		Pd		Ag		Cd		In		Sn		Sb		Te		I		Xe	
Rubidium 85.4678		Strontium 87.62		Yttrium 88.90585		Zirconium 91.224		Niobium 92.90638		Molybdenum 95.94		Technetium (98)		Ruthenium 101.07		Rhodium 102.90550		Palladium 106.42		Silver 107.8682		Cadmium 112.411		Indium 114.818		Tin 118.710		Antimony 121.757		Tellurium 127.60		Iodine 126.90447		Xenon 131.29	
55		56		57		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86	
Cs		Ba		La		Hf		Ta		W		Re		Os		Ir		Pt		Au		Hg		Tl		Pb		Bi		Po		At		Rn	
Cesium 132.90545		Barium 137.327		Lanthanum 138.9055		Hafnium 178.49		Tantalum 180.9479		Tungsten 183.84		Rhenium 186.207		Osmium 190.23		Iridium 192.227		Platinum 195.078		Gold 196.96655		Mercury 200.59		Thallium 204.3833		Lead 207.2		Bismuth 208.98039		Polonium (209)		Astatine (210)		Radon (222)	
87		88		89		104		105		106		107		108		109		110		111		112		113		114									
Fr		Ra		Ac		Rf		Db		Sg		Bh		Hs		Mt																			
Francium (223)		Radium (226)		Actinium (227)		Rutherfordium (261)		Dubnium (262)		Seaborgium (263)		Bohrium (264)		Hassium (265)		Meitnerium (266)																			

- R (기체상수) = 0.08206 L·atm/(mol·K) = 8.314 J/(mol·K)
- 1 atm = 760 torr

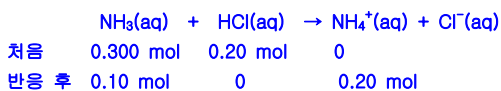
10. 22°C, 735 torr에서 NH₃ 기체 7.5 L를 0.40 M의 HCl 용액 0.50 L에 넣었다. 모든 NH₃가 용해되었고, 용액의 부피는 0.50 L로 유지되었다고 가정하면, 용액의 pH는 얼마인가?

NH₃(g)의 몰 수

$$pV = nRT$$

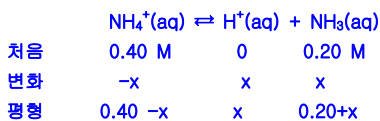
$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{735\text{torr}(1\text{atm}/760\text{torr})7.5\text{L}}{0.08206(\text{L} \cdot \text{atm})/(\text{mol} \cdot \text{K})295\text{K}} = 0.300\text{mol}$$

화학양론적 반응



화학평형 반응

처음 [NH₃(aq)] = 0.10 mol/0.50 L = 0.20 M
처음 [NH₄⁺(aq)] = 0.20 mol/0.50 L = 0.40 M



문제 7에서 $K_a(\text{NH}_4^+) = 5.6 \times 10^{-10}$

$$K_a = 5.6 \times 10^{-10} = \frac{[\text{H}^+][\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{x(0.20 + x)}{(0.40 - x)} \approx \frac{x}{2}$$

$$x = 1.1 \times 10^{-9}$$

$$pH = -\log(1.1 \times 10^{-9}) = 8.96$$

pH: 8.96