

이름: _____ 학번: _____ 학과: _____

- 시험시간: 3:00 PM - 4:15 PM
- 휴대전화는 끌 것.
- 지우개, 계산기는 서로 빌려줄 수 없음.
- 답은 각 문제에 주어진 네모 안 에 적을 것. 네모의 크기와 답의 길이는 상관관계가 없음.
- 각 문항에서 빈 공간이 있는 경우는 풀이 과정을 적으라는 의미임. 빈 공간의 길이와 풀이과정과는 상관관계가 없음.
- 실험에 필요한 상수나 데이터는 맨 뒤에 있음.
- 문제수: 5
- Page 수: 5
- 만점: 점

1. 반응



에 대한 속도식은

$$\text{속도 (Rate)} = -\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t}$$

이다. (80점 = 10 + 10 + 10 + 5 + 5 + 5 + 10 + 5 + 10 + 10)

(a) 위의 반응이 일차 반응이라고 하면, 즉,

$$-\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} = k[\text{N}_2\text{O}_5]$$

이라고 하면 적분속도식은 어떻게 되는지 유도하여라. k는 속도 상수 이다.
(유도과정을 몰라서 답만 적을 경우에도 부분 점수 있음)

$$-\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} = k[\text{N}_2\text{O}_5]$$

$$-\frac{d[\text{N}_2\text{O}_5]}{dt} = k[\text{N}_2\text{O}_5]$$

$$\frac{d[\text{N}_2\text{O}_5]}{[\text{N}_2\text{O}_5]} = -kdt$$

$$d \ln[\text{N}_2\text{O}_5] = -kdt$$

$$[\ln[\text{N}_2\text{O}_5]]_{[\text{N}_2\text{O}_5]_0}^{[\text{N}_2\text{O}_5]_t} = -k[t]_0^t$$

$$\ln[\text{N}_2\text{O}_5]_t - \ln[\text{N}_2\text{O}_5]_0 = -k[t - 0]$$

$$\ln[\text{N}_2\text{O}_5]_t = -kt + \ln[\text{N}_2\text{O}_5]_0$$

$$\ln[\text{N}_2\text{O}_5] = -kt + \ln[\text{N}_2\text{O}_5]_0$$

$$\ln[\text{N}_2\text{O}_5] = -kt + \ln[\text{N}_2\text{O}_5]_0$$

(a) 위의 반응이 이차 반응이라고 하면, 즉,

$$-\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} = k[\text{N}_2\text{O}_5]^2$$

이라고 하면 적분속도식은 어떻게 되는지 유도하여라. (유도과정을 몰라서
답만 적을 경우에도 부분 점수 있음)

$$-\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} = k[\text{N}_2\text{O}_5]^2$$

$$-\frac{d[\text{N}_2\text{O}_5]}{dt} = k[\text{N}_2\text{O}_5]^2$$

$$\frac{d[\text{N}_2\text{O}_5]}{[\text{N}_2\text{O}_5]^2} = -kdt$$

$$d\left(-\frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]}\right) = -kdt$$

$$\left[\frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]}\right]_{[\text{N}_2\text{O}_5]_0}^{[\text{N}_2\text{O}_5]_t} = k[t]_0^t$$

$$\frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]_t} - \frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]_0} = kt$$

$$\frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]_t} = kt + \frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]_0}$$

$$\frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]} = kt + \frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]_0}$$

$$\frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]} = kt + \frac{1}{[\text{N}_2\text{O}_5]_0}$$

위 반응



에 대하여 두 온도에서 시간에 따라 N_2O_5 의 농도를 측정한 결과는 다음과 같았다. (처음에 $\text{NO}_2(\text{g})$ 와 $\text{O}_2(\text{g})$ 는 없었다고 가정)

시간 (sec)	[N_2O_5] (M) { M = mol/L }	
	T = 338 K	T = 318 K
0	1.00×10^{-1}	1.00×10^{-1}
100.	6.14×10^{-2}	9.54×10^{-2}
300.	2.33×10^{-2}	8.63×10^{-2}
600.	5.41×10^{-3}	7.43×10^{-2}
900.	1.26×10^{-3}	6.39×10^{-2}

(c) 다음의 빈칸에 $\ln[\text{N}_2\text{O}_5]$ 값과 $1/[\text{N}_2\text{O}_5]$ 값을 계산하여 적어 넣고 $T = 338 \text{ K}$ 에 대하여 주어진 그래프 용지 위에 $\ln[\text{N}_2\text{O}_5]$ 대 시간, $1/[\text{N}_2\text{O}_5]$ 대 시간을 ●로 표시하여라. 점들 사이는 직선으로 연결하여라.

시간 (sec)	T = 338 K			T = 318 K		
	$[\text{N}_2\text{O}_5]$ (M)	$\ln[\text{N}_2\text{O}_5]$	$1/[\text{N}_2\text{O}_5]$	$[\text{N}_2\text{O}_5]$ (M)	$\ln[\text{N}_2\text{O}_5]$	$1/[\text{N}_2\text{O}_5]$
0	1.00×10^{-1}	-2.30	10.0	1.00×10^{-1}	-2.30	10.0
100.	6.14×10^{-2}	-2.79	1.63	9.54×10^{-2}	-2.34	10.5
300.	2.33×10^{-2}	-3.76	42.9	8.63×10^{-2}	-2.44	11.6
600.	5.41×10^{-3}	-5.22	184	7.43×10^{-2}	-2.59	13.5
900.	1.26×10^{-3}	-6.68	793	6.39×10^{-2}	-2.75	15.6

$$k = 4.87 \times 10^{-3} / s$$

(f) $T = 318 \text{ K}$ 에서 속도상수 k 의 값은 ? (단위도 표시)

$$k = -\text{slope} = -\frac{-2.75 - (-2.30)}{(900 - 0)s} = 5.0 \times 10^{-4} / s$$

$$k = 5.0 \times 10^{-4} / s$$

(g) 위 반응의 활성화 에너지 E_a 는 얼마인가?

$$\ln(k) = -\frac{E_a}{RT} + \text{constant}$$

$$\therefore \ln(k_2) - \ln(k_1) = -\frac{E_a}{RT_2} + \frac{E_a}{RT_1}$$

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$E_a = \frac{R \ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}$$

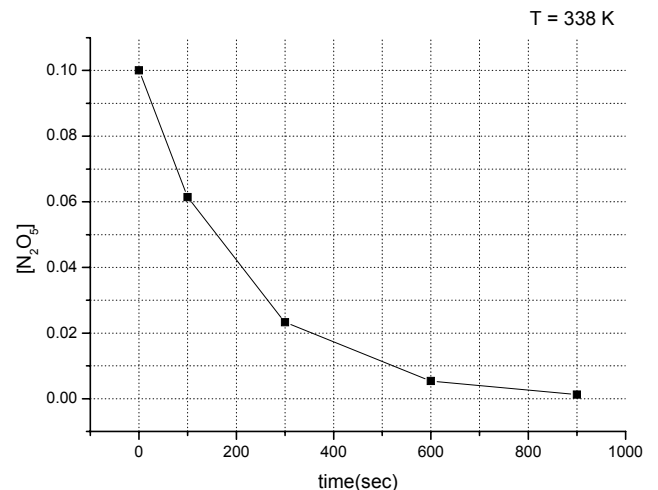
$$= \frac{8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \times \ln\left(\frac{4.87 \times 10^{-3}}{5.0 \times 10^{-4}}\right)}{\left(\frac{1}{318 \text{ K}} - \frac{1}{338 \text{ K}}\right)}$$

$$= 1.0 \times 10^5 \text{ J/mol}$$

$$= 1.0 \times 10^2 \text{ kJ/mol}$$

$$E_a = 1.0 \times 10^2 \text{ kJ/mol}$$

(h) $T = 338 \text{ K}$ 에 대하여 주어진 그래프 용지 위에 $[\text{N}_2\text{O}_5]$ 대 시간을 ●로 표시하여라. 점들 사이는 직선으로 연결하여라.



(d) 위 반응은 몇 차 반응인가?

일차 반응

(e) $T = 338 \text{ K}$ 에서 속도상수 k 의 값은 ? (단위도 표시)

$$k = -\text{slope} = -\frac{-6.68 - (-2.30)}{(900 - 0)s} = 4.87 \times 10^{-3} / s$$

(i) 위의 반응에 대한 실험에서 900 초 이후에 계속하여 $[N_2O_5]$ 농도를 측정하여보니 그 농도가 900 초 때와 변함이 없음을 관찰하였다고 하면 위 반응 $2N_2O_5(g) \rightleftharpoons 4NO_2(g) + O_2(g)$ 의 평형상수는 어떻게 되는가?

위 반응은 900 초 때 평형에 도달하였다.

$2N_2O_5(g)$	$\rightleftharpoons$	$4NO_2(g)$	+	$O_2(g)$
초기농도 $1.00 \times 10^{-1} M$		0 M		0 M
평형농도 $1.26 \times 10^{-3} M$		$2x(1.00 \times 10^{-1} - 1.26 \times 10^{-3}) M$		$0.5x(1.00 \times 10^{-1} - 1.26 \times 10^{-3}) M$

따라서 평형에서

$$[N_2O_5] = 1.26 \times 10^{-3} M$$

$$[NO_2] = 1.98 \times 10^{-1} M$$

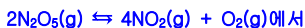
$$[O_2] = 4.9 \times 10^{-2} M$$

따라서 평형상수 (K) 는

$$K = \frac{[NO_2]^4 [O_2]}{[N_2O_5]^2} = \frac{[0.198]^4 [0.049]}{[0.00126]^2} = 47$$

$$K (\text{평형상수}) = 47$$

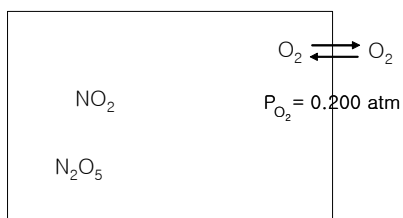
(j) 위의 반응의 정반응은 흡열반응이다. $T = 318 K$ 에서 위 반응이 평형에 도달하였을 때 $[N_2O_5]$ 농도는 $T = 338 K$ 에서의 $[N_2O_5]$ 평형농도와 비교 하였을 때 어떠하겠는가? 그 이유를 쓰고 답하라. (답란에는 ‘크다’, ‘작다’ 중 하나를 써라)



온도를 낮추었을 때는 온도를 올릴 수 있는 방향 즉 발열반응 쪽으로 평형이 이동한다. 위의 정반응은 흡열반응이므로 역반응은 발열반응이다. 따라서 $318 K$ 에서는 $338 K$ 에서와 비교하였을 때 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 초기농도가 같았으므로 $318 K$ 에서의 $[N_2O_5]$ 평형농도가 더 크다.

평형 $[N_2O_5]_{318 K}$ 는 평형 $[N_2O_5]_{338 K}$ 보다 더 (크 다)

2. 문제 1의 $2N_2O_5(g) \rightleftharpoons 4NO_2(g) + O_2(g)$ 반응에 대한 1 page의 실험값 표는 밀폐된 용기에서 실험을 진행하여 얻는 것이다. 특수 장치되어 있는 용기가 있다고 하자. 이 용기는 다음 그림과 같이 $O_2(g)$ 는 자유로이 출입할 수 있으나 다른 기체는 출입할 수 없다고 하자 (실제로 가능함). 따라서, 대기중의 $O_2(g)$ 의 부분압 $P_{O_2} = 0.200 atm$ 은 용기 내부에도 항상 적용이 된다. 즉, 용기 내부에서 $O_2(g)$ 의 부분압은 항상 $0.200 atm$ 이다. 초기에 N_2O_5 의 농도가 문제 1 에서 처럼 $0.100 M$ 이고 NO_2 는 존재하지 않았다고 하자. (25점 = 10 + 15)



$$P_{NO_2} = 4.68 atm$$

(a) 이상기체 상태 방정식을 이용하여 용기내에서 N_2O_5 의 초기압력을 구하여라. (온도는 상온 $25^\circ C = 298 K$ 라고 가정) (힌트: $PV=nRT$, 농도=몰수/부피)

$$PV = nRT \text{ 이므로}$$

$$P = (n/V)RT = MRT \text{ (M = 몰농도)}$$

$$P = (0.100 \text{ mol/L}) \times 0.08206 \text{ L}\cdot\text{atm}/(\text{mol}\cdot\text{K}) \times 298 K = 2.45 atm$$

$$\text{초기 } P_{N_2O_5} = 2.45 atm$$

(b) 상온에서 $2N_2O_5(g) \rightleftharpoons 4NO_2(g) + O_2(g)$ 반응의 평형상수가 10.0 이라고 가정하면 평형에 도달하였을 때 $NO_2(g)$ 의 압력은 얼마인가 계산하여라. (최

종적으로 z차 방정식의 해 $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ 를 이용해야함.)

	$2N_2O_5(g)$	$\rightleftharpoons$	$4NO_2(g)$	+	$O_2(g)$
초기압력	2.45 atm		0 atm		0.200 atm
평형압력	$(2.45-x) atm$		$2x atm$		0.200 atm

$$K_p = \frac{P_{NO_2}^4 P_{O_2}}{P_{N_2O_5}^2} = K(RT)^3 = \frac{(2x)^4 (0.200)}{(2.45-x)^2} = 10.0(0.08206 \times 298)^3$$

$$\therefore \frac{16x^4}{(2.45-x)^2} = 7.31 \times 10^5$$

$$\frac{16x^2}{2.45-x} = \sqrt{7.31 \times 10^5} = 855$$

$$16x^2 + 855x - 2.09 \times 10^3 = 0$$

$$x = \frac{-855 \pm \sqrt{855^2 - 4 \times 16 \times (-2.09 \times 10^3)}}{2 \times 16} = 2.34 \text{ or } -55.8$$

$x > 0$ 이므로

$$x = 2.34$$

$$\text{따라서 } P_{NO_2} = 2x = 4.68 atm$$

3. 약산인 아세트산 (CH_3COOH) 32.00 g을 충분한 양의 물에 넣어 녹였다. 평형에 이른 후 에 물 속에서 아세트산 (CH_3COOH) 의 형태로 남아 있는 양을 보니 31.00 g 이었다. 이 용액의 pH를 계산하여 보자. ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$) (35점 = 10 + 15 + 10)

(a) 이 용액에서 아세트산의 해리백분율은 얼마인가?

$$\text{해리백분율} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]_0 - [\text{CH}_3\text{COOH}]_{eq}}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_0} \times 100 \%$$

$$= \frac{m_0 - m_{eq}}{m_0} \times 100 \% = \frac{1.00 \text{ g}}{32.00 \text{ g}} \times 100 \% = 3.13 \%$$

3.13 %

(b) 아세트산의 처음 농도는 얼마인가? (아세트산 32.00 g 이 녹았을 때 아세트산의 농도)

처음 농도를 Y M 이라고 하면

	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$	$\rightleftharpoons$	$\text{H}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$
initial	Y M		0
eq	(Y-x) M		x M

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{x^2}{Y-x} \approx \frac{x^2}{Y}$$

$$\text{그런데 } x = [\text{CH}_3\text{COO}^-] = Y \times \frac{1.00}{32.00} \text{ 이므로}$$

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5} \approx \frac{x^2}{Y} = \frac{Y^2 / 32.00^2}{Y}$$

$$Y = 1.8 \times 10^{-5} \times 32.00^2 = 1.8 \times 10^{-2}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}]_0 = 1.8 \times 10^{-2} \text{ M}$$

(c) 평형에 이른 후 용액의 pH는?

$$[\text{H}^+] = x = Y \times \frac{1.00}{32.00} = 1.8 \times 10^{-2} \times \frac{1.00}{32.00} = 5.6 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(5.6 \times 10^{-4}) = 3.25$$

pH = 3.25

4. 0.50 M CH_3COOH ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$) 과 0.50 M NaCH_3COO 로 만들어진 완충용액이 있다. (30점 = 10 + 10 + 10)

(a) 이 완충용액의 pH는?

반응 전의 주요 화학종: CH_3COOH , Na^+ , CH_3COO^- , H_2O

pH 에 영향을 주는 반응식: $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$

	CH_3COOH	$\rightleftharpoons$	H^+	+	CH_3COO^-
초기농도	0.50 M		~ 0 M		0.50 M
평형농도	(0.50 -x) M		x M		(0.50 +x) M

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{x(5.0+x)}{5.0-x} \approx \frac{x(5.0)}{5.0}$$

$$[\text{H}^+] = x = 1.8 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$(5\% \text{ rule: } \frac{x}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_0} = \frac{1.8 \times 10^{-5} \text{ M}}{5.0 \text{ M}} < 5\%)$$

$$\text{pH} = -\log(1.8 \times 10^{-5}) = 4.74$$

(다른 풀이법) Henderson-Hasselbach eq 에 따라

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right)$$

$$= -\log(1.8 \times 10^{-5}) + \log\left(\frac{0.50}{0.50}\right)$$

$$= 4.74$$

pH = 4.74

(b) 순수한 물 1.00 L 에 0.40 g의 NaOH를 첨가하였을때의 pH를 구하여라.

$$\text{NaOH } 0.400 \text{ g} = 0.40 \text{ g} / (40.00 \text{ g/mol}) = 0.010 \text{ mol NaOH}$$

주요 화학종: Na^+ , OH^- , H_2O

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.010} = 1.0 \times 10^{-12}$$

$$\text{pH} = 12.00$$

pH = 12.00

(c) 위의 완충용액 1.00 L 에 0.400 g의 NaOH를 첨가하였을때의 pH를 구 하여라.

반응 전의 주요 화학종: CH_3COOH , Na^+ , CH_3COO^- , OH^- , H_2O

화학양론 문제 (완전반응) : $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{COO}^-$

	CH_3COOH	+	OH^-	$\rightleftharpoons$	H_2O	+	CH_3COO^-
반응전	0.50 mol		0.0100 mol				0.50 mol
	(=0.50 M x 1.00 L)				(=0.50 M x 1.00 L)		
반응후	0.49 mol		0 mol				0.51 mol

pH 에 영향을 주는 반응식: $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$

	CH_3COOH	$\rightleftharpoons$	H^+	+	CH_3COO^-
초기농도	0.49 M		~0 M		0.51 M
	(= 0.49 mol/1.00L)				(= 0.49 mol/1.00L)
평형농도	(0.49 -x) M		x M		(0.51 +x) M

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{x(5.1+x)}{4.9-x} \approx \frac{x(5.1)}{4.9}$$

$$[\text{H}^+] = x = 1.7 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$(5\% \text{ rule: } \frac{x}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_0} = \frac{1.7 \times 10^{-5} \text{ M}}{4.9 \text{ M}} < 5\%)$$

$$\text{pH} = -\log(1.7 \times 10^{-5}) = 4.76$$

(다른 풀이법) Henderson-Hasselbach eq 에 따라

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right)$$

$$= -\log(1.8 \times 10^{-5}) + \log\left(\frac{0.51}{0.49}\right)$$

$$= 4.74 + 0.02 = 4.76$$

$$\text{pH} = 4.76$$

5. $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{s})$ 의 포화용액에서 Ag^{2+} 의 농도는 $2.2 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이다.



(20점 = 10 + 10)

(a) $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{s})$ 의 용해도는?

$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{s})$ 의 용해도를 x M 이라하면

	$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{s})$	$\rightleftharpoons$	$2\text{Ag}^+(\text{aq})$	+	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$
처음	x M		0		0
평형	0		2x M		x M

$$2x \text{ M} = 2.2 \times 10^{-4} \text{ M} \text{ 이므로}$$

$$x \text{ M} = 1.1 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{용해도} = 1.1 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{용해도} = 1.1 \times 10^{-4} \text{ M}$$

(b) $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{s})$ 의 K_{sp} 값은?

$$K_{sp} = [\text{Ag}^+]^2[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]$$

(a)로부터

$$K_{sp} = (2x)^2(x) = 4x^3$$

$$= 4 \times (1.1 \times 10^{-4})^3$$

$$= 5.3 \times 10^{-12}$$

$$K_{sp} = 5.3 \times 10^{-12}$$

- 여러 가지 상수들 -

- R (기체상수) = $0.08206 \text{ L}\cdot\text{atm}/(\text{mol}\cdot\text{K}) = 8.314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$
- 아보가드로의 수 (Avogadro's number), $N_A = 6.022 \times 10^{23}/\text{mol}$
- Na의 원자량 = 22.99 g/mol
- H의 원자량 = 1.008 g/mol
- O의 원자량 = 16.00 g/mol