

이름: _____ 학번: _____ 학과: _____

- 시험시간: 10:30 AM - 12:30 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: 10, 만점: 218 점
- Page 수: 4

1. (10+10=20점) 약산 HX 1.0 M 용액에 다음의 지시약(HIn) 몇 방울을 넣고 용액의 색을 관찰하였다. 다음 표는 여러 지시약의 성격과 용액에 지시약을 넣었을 때 용액의 색을 정리한 표이다.

실험	지시약	HIn의 색	In ⁻ 의 색	HIn의 pK _a	약산 HX 1.0 M 용액의 색
1	브롬페놀블루	노란색	파란색	4.0	파란색
2	브롬크레졸퍼플	노란색	진홍색	6.0	노란색
3	브롬그레졸	노란색	파란색	4.8	초록색
4	알리자린	노란색	빨간색	6.5	노란색

(a) 약산 HX 1.0 M 용액의 pH는 대략 얼마인가?

지시약의 변색 범위는 $pH \approx pK_a \pm 1$ 이다.

실험1: 파란색이므로 $pH \geq pK_a + 1 = 5.0$
 실험2: 노란색이므로 $pH \leq pK_a - 1 = 5.0$
 실험3: 초록색이므로 $pK_a - 1 \leq pH \leq pK_a + 1 \Rightarrow 3.8 \leq pH \leq 5.8$
 실험4: 노란색이므로 $pH \leq pK_a - 1 = 5.5$

따라서 약산 HX 1.0 M 용액의 pH는 대략 5 이다.

$$pH \approx 5$$

(b) HX의 K_a 값은 대략 얼마인지 계산하여라.

$$HX \rightleftharpoons H^+ + X^-$$

반응 전 농도(M)	1	~0	0
평형 농도(M)	1-x	x	x

$$K_a = \frac{[H^+][X^-]}{[HX]} = \frac{x^2}{1-x} \approx x^2$$

pH ≈ 5 이므로 $[H^+] = x = 10^{-5}$

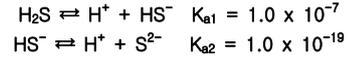
따라서

$$K_a \approx x^2 \approx 10^{-10}$$

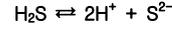
$$K_a \approx 10^{-10}$$

2. (10+20=30점) pH = 3.0인 용액에 H₂S를 1.0 M 녹였다. 이 용액에 녹일 수 있는 Ni²⁺ 이온의 최대 농도는 얼마인지 계산하자.

(a) H₂S는 이양성자산으로서 다음의 산해리상수(K_a) 값을 가지고 있다.



다음 반응의 평형상수(K)는 얼마인가?



$$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^- \quad K_{a1} = 1.0 \times 10^{-7}$$

$$HS^- \rightleftharpoons H^+ + S^{2-} \quad K_{a2} = 1.0 \times 10^{-19}$$

$$H_2S \rightleftharpoons 2H^+ + S^{2-} \quad K = K_{a1} \times K_{a2} = 1.0 \times 10^{-26}$$

$$K \approx 1.0 \times 10^{-26}$$

(b) NiS의 K_{sp} 값은 3.0 × 10⁻²¹ 이다. 물에 녹일 수 있는 Ni²⁺ 이온의 최대 농도는 얼마인가?

$$H_2S \rightleftharpoons 2H^+ + S^{2-} \quad K = 1.0 \times 10^{-26}$$

처음 농도	1.0	10 ⁻³	0
평형 농도	1.0 - x	10 ⁻³ - x	x

$$K = \frac{[H^+]^2[S^{2-}]}{[H_2S]} = \frac{(10^{-3} - x)^2 \times x}{1 - x} = 10^{-6} \times x = 1.0 \times 10^{-26}$$

$$[S^{2-}] = x = 1.0 \times 10^{-20} \text{ M}$$

$$NiS \rightleftharpoons Ni^{2+} + S^{2-} \quad (K_{sp} = 3.0 \times 10^{-21})$$

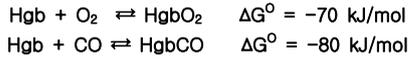
Q_{sp} > K_{sp} 일 때 침전이 생성되므로 Q_{sp} = K_{sp} 일 때까지 Ni²⁺를 녹일 수 있다.

$$Q_{sp} = [Ni^{2+}]_o[S^{2-}]_o = [Ni^{2+}](1.0 \times 10^{-20}) = K_{sp} = 3.0 \times 10^{-21}$$

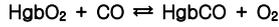
따라서 $[Ni^{2+}] = 0.30 \text{ M}$

$$[Ni^{2+}] \approx 0.30 \text{ M}$$

3. (10+10=20점) 다음은 일산화탄소(CO)와 O₂가 헤모글로빈(Hgb)과 결합하는 반응의 표준자유에너지 변화량(ΔG°)이다.



(a) 25°C에서 다음 반응의 평형상수를 구하라.



$\text{Hgb} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{HgbO}_2 \quad \Delta G^\circ = -70.0 \text{ kJ/mol} \quad (1)$
 $\text{Hgb} + \text{CO} \rightleftharpoons \text{HgbCO} \quad \Delta G^\circ = -80.0 \text{ kJ/mol} \quad (2)$
 $(2) - (1) = \text{HgbO}_2 + \text{CO} \rightleftharpoons \text{HgbCO} + \text{O}_2 \quad \Delta G^\circ = -10.0 \text{ kJ/mol}$

$\Delta G^\circ = -RT \ln(K)$ 에서 $K = e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}} = e^{-\frac{-10.0 \text{ kJ/mol}}{(8.314 \text{ J/K} \cdot \text{mol})(298 \text{ K})}} = 56.6$

$K = 56.6$

(b) 공기 중에 CO가 대략 12,800 ppm (1.28 %) 정도 있으면, 사람은 두세 번 호흡으로 바로 의식 불명이 되고 3분 이내 사망에 이르게 된다. 공기 중에 CO가 대략 12,800 ppm (1.28 %) 정도 있을 때 몸 안에 있는 헤모글로빈에 결합하여 있는 O₂와 CO의 비($\frac{[\text{HgbCO}]}{[\text{HgbO}_2]}$)는 얼마인가? (공기 중에 O₂는 20 % 있다.)

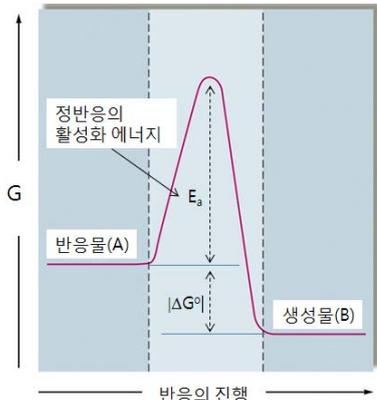
$K = \frac{[\text{HgbCO}][\text{O}_2]}{[\text{HgbO}_2][\text{CO}]} = 56.6$

따라서

$\frac{[\text{HgbCO}]}{[\text{HgbO}_2]} = \frac{[\text{CO}]}{[\text{O}_2]} \times 56.6 = \frac{1.28}{20} \times 56.6 = 3.62$

$\frac{[\text{HgbCO}]}{[\text{HgbO}_2]} = 3.62$

4. (15점) 단순한 한 단계 반응 A ⇌ B의 표준자유에너지 변화량을 ΔG° 이라고 하자. 다음 그림은 이 반응에 대한 자유에너지 프로필이다.



정반응의 속도 상수를 k_f, 역 반응의 속도 상수를 k_r 이라고 할 때 A ⇌ B 반응의 평형상수(K)는 $\frac{k_f}{k_r}$ 임을 보여라. (힌트: Arrhenius의 식) (주의: ΔG°의 부호)

$\Delta G^\circ = -RT \ln(K)$ 에서 $K = e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}} \quad (1)$

정반응의 속도 상수 $k_f = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$

ΔG°의 값이 음수이므로

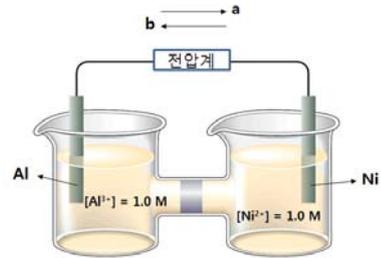
역반응의 속도 상수 $k_r = A e^{-\frac{E_a + |\Delta G^\circ|}{RT}} = A e^{-\frac{E_a - \Delta G^\circ}{RT}}$

$\frac{k_f}{k_r} = \frac{A e^{-\frac{E_a}{RT}}}{A e^{-\frac{E_a - \Delta G^\circ}{RT}}} = e^{-\frac{E_a - (E_a - \Delta G^\circ)}{RT}} = e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}} \quad (2)$

식 (1)과 (2)로부터

$K = \frac{k_f}{k_r}$

5. (10+10+10=30점) 다음과 같은 갈바니 전지가 있다.



(a) 위 전지에 대하여 다음의 빈칸을 채워라.

기전력(E°)	1.43 V
전체 반응식	3Ni ²⁺ (aq)+2Al(s) → 3Ni(s)+2Al ³⁺ (aq)
산화전극(Al 비커, Ni 비커?)	Al 비커
전자 흐름의 방향 (a, b?)	a

(b) 위 전지를 설치한 후 어느 정도의 시간이 흐른 후 전압계가 0 V를 나타내었다. 이때 [Al³⁺]²과 [Ni²⁺]³ 값의 비([Al³⁺]²/[Ni²⁺]³)는 얼마인가?

$3\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Al}(\text{s}) \rightarrow 3\text{Ni}(\text{s}) + 2\text{Al}^{3+}(\text{aq}) \quad E^\circ = 1.43 \text{ V}$

$E = E^\circ - 0.0591/n \times \log([\text{Al}^{3+}]^2/[\text{Ni}^{2+}]^3) = 0 \quad (\text{평형 상태})$

$E^\circ = 0.0591/6 \times \log([\text{Al}^{3+}]^2/[\text{Ni}^{2+}]^3) = 1.43$

$\log([\text{Al}^{3+}]^2/[\text{Ni}^{2+}]^3) = 6 \times 1.43/0.0591 = 145$

$[\text{Al}^{3+}]^2/[\text{Ni}^{2+}]^3 = 10^{145}$

$[\text{Al}^{3+}]^2/[\text{Ni}^{2+}]^3 = 10^{145}$

(c) (b)에서 전압계가 0 V를 나타내었을 때까지 흐른 전자의 전하량은 몇 C 인가? (각 비커의 부피는 1 L 이다.)

$3\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Al}(\text{s}) \rightarrow 3\text{Ni}(\text{s}) + 2\text{Al}^{3+}(\text{aq})$ 의 반응이 평형에 도달 하였을 때 $[\text{Al}^{3+}]^2/[\text{Ni}^{2+}]^3$ 의 값은 10^{145} 로 극단적으로 크다. 즉 Ni^{2+} 는 전부 $\text{Ni}(\text{s})$ 로 환원되었다고 할 수 있다.

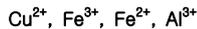
처음에 있던 Ni^{2+} 의 농도가 1.0 M 이고 비커의 부피가 1 L 이므로 처음에 있었던 Ni^{2+} 의 mol 수는 $1.0 \text{ M} \times 1 \text{ L} = 1 \text{ mol}$ 이다.

하나의 Ni^{2+} 가 $\text{Ni}(\text{s})$ 로 환원되기 위하여 2개의 전자가 필요하므로 1 mol 의 Ni^{2+} 를 환원시키기 위하여 2 mol 전자가 필요하다. 즉, 도선을 통하여 흐른 전자의 양은 2 mol 이다.

1 mol 전자의 전하량 = 96,485 C
2 mol 전자의 전하량 = 192,970 C

192,970 C

6. (10점) Mn을 Mn^{2+} 로 산화시키지만 Ni을 Ni^{2+} 로 산화시킬 수 없는 물질은 어느 것인지 다음 중에서 고르고 그 물질과 Mn을 반응시켰을 때 일어나는 반응의 균형잡힌 화학 반응식을 써라.



Fe^{2+}

$\text{Mn}(\text{s}) + \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Fe}(\text{s})$

7. (8+4+4+16+5=37점) $\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$ 와 CoF_6^{3-} 는 6배위 팔면체 구조의 착이온이다. 그러나 $\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$ 는 반자기성(diamagnetic) 물질이지만 CoF_6^{3-} 는 상자기성(paramagnetic) 물질이다.

(a) 체계명(이름)을 써라.

$\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$	CoF_6^{3-}
hexacyanocobaltate(III) 헥사사이아노코발트(III)산	hexafluorocobaltate(III) 헥사플루오로코발트(III)산

(b) Co 이온의 산화수는?

$\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$	CoF_6^{3-}
3	3

(c) 각 Co 이온에 있는 d 전자의 수는?

$\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$	CoF_6^{3-}
6	6

(d) 결정장 이론(Crystal Field Model)에 근거하여 각 착이온에서의 3d 궤도 함수 에너지의 분리를 그림으로 표시하고 그림 위에 d-전자의 배치를 화살표로 표시하라. 홀전자(unpaired electron)는 몇 개인가? 스핀 양자수 (S) 는 얼마인가? (오비탈의 이름도 그림 위에 쓸 것)

	$\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$	CoF_6^{3-}
그림		
홀전자의 수	0	4
스핀 양자수 (S)	0	2

(e) 두 착이온의 흡수 파장은 220 nm와 770 nm이다. 각 파장은 어느 착물에 해당하는가?

$\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$	CoF_6^{3-}
220 nm	770 nm

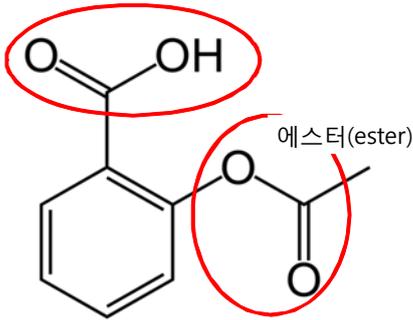
8. (10점) $[\text{Pt}(\text{en})_2\text{Cl}_2]^{2+}$ 의 모든 가능한 이성질체를 모두 그려라. 만일 광학 이성질체가 있을 경우 그 짝들을 표시하여라. (빈 칸은 필요 이상 주어지지 않음)

광학이성질체 짝

9. (8+5+13=26점) 다음은 아스피린의 구조이다.

(a) 그림 위에 아스피린에 존재하는 모든 작용기를 동그라미로 표시하고 그 작용기의 이름을 써라.

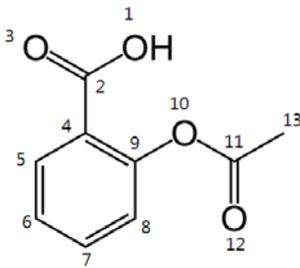
카복실산(carboxylic acid)



(b) 아스피린의 분자식은?

$C_9H_8O_4$

(c) 아스피린의 각 산소원자와 탄소원자에 형성되는 혼성오비탈은 어떤 것인지 써라. (다음 그림의 번호 참조)



1	2	3	4
sp^3	sp^2	sp^2	sp^2
5	6	7	8
sp^2	sp^2	sp^2	sp^2
9	10	11	12
sp^2	sp^3	sp^2	sp^2
13			
sp^3			

10. (20점) 분자식이 $C_4H_{10}O$ 인 모든 알코올을 그리고 그 이름과 몇 차 알코올인지 써라. (빈 칸은 필요 이상 주어져 있음)

그림	이름	몇 차 알코올
	1-뷰탄올 (1-butanol) 또는 <i>n</i> -butyl alcohol <i>n</i> -butanol	1
	2-뷰탄올 (2-butanol) 또는 <i>sec</i> -butyl alcohol <i>sec</i> -butanol	2
	2-메틸-1-프로판올 (2-methyl-1-propanol) 또는 isobutyl alcohol isobutanol	1
	2-메틸-2-프로판올 (2-methyl-2-propanol) 또는 <i>tert</i> -butyl alcohol <i>tert</i> -butanol	3

- 상수 -

• R (기체상수) = 0.08206 L·atm/(mol·K) = 8.314 J/(mol·K)

• F (파라데이상수) = 96,485 C/mol

• Arrhenius의 식: 속도 상수 (k) = $Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$

TABLE 17.1 Standard Reduction Potentials at 25°C (298 K) for Many Common Half-Reactions

Half-Reaction	\mathcal{E}° (V)	Half-Reaction	\mathcal{E}° (V)
$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	2.87	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	0.40
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	1.99	$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	0.34
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	1.82	$Hg_2Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Hg + 2Cl^-$	0.27
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	1.78	$AgCl + e^- \rightarrow Ag + Cl^-$	0.22
$Ce^{4+} + e^- \rightarrow Ce^{3+}$	1.70	$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow H_2SO_3 + H_2O$	0.20
$PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$	1.69	$Cu^+ + e^- \rightarrow Cu$	0.16
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$	1.68	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0.00
$2e^- + 2H^+ + IO_4^- \rightarrow IO_3^- + H_2O$	1.60	$Fe^{3+} + 3e^- \rightarrow Fe$	-0.036
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1.51	$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	-0.13
$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$	1.50	$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	-0.14
$PbO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Pb^{2+} + 2H_2O$	1.46	$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	-0.23
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	1.36	$PbSO_4 + 2e^- \rightarrow Pb + SO_4^{2-}$	-0.35
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1.33	$Cd^{2+} + 2e^- \rightarrow Cd$	-0.40
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1.23	$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	-0.44
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	1.21	$Cr^{3+} + e^- \rightarrow Cr^{2+}$	-0.50
$IO_3^- + 6H^+ + 5e^- \rightarrow \frac{1}{2}I_2 + 3H_2O$	1.20	$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	-0.73
$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	1.09	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	-0.76
$VO_2^+ + 2H^+ + e^- \rightarrow VO^{2+} + H_2O$	1.00	$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	-0.83
$AuCl_4^- + 3e^- \rightarrow Au + 4Cl^-$	0.99	$Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn$	-1.18
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NO + 2H_2O$	0.96	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	-1.66
$ClO_2 + e^- \rightarrow ClO_2^-$	0.954	$H_2 + 2e^- \rightarrow 2H^+$	-2.23
$2Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}$	0.91	$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	-2.37
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0.80	$La^{3+} + 3e^- \rightarrow La$	-2.37
$Hg_2^{2+} + 2e^- \rightarrow 2Hg$	0.80	$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	-2.71
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	0.77	$Ca^{2+} + 2e^- \rightarrow Ca$	-2.76
$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$	0.68	$Ba^{2+} + 2e^- \rightarrow Ba$	-2.90
$MnO_4^- + e^- \rightarrow MnO_4^{2-}$	0.56	$K^+ + e^- \rightarrow K$	-2.92
$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	0.54	$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	-3.05
$Cu^+ + e^- \rightarrow Cu$	0.52		