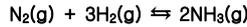


이름: _____ 학번: _____ 학과: _____

- 시험시간: 07:00 PM - 09:30 PM
- 휴대전화는 끌 것.
- 지우개, 계산기는 서로 빌려줄 수 없음.
- 답은 각 문제에 주어진 네모 안에 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: 14
- Page 수: 4, 만점: 300점

1. 다음의 암모니아 합성 반응을 생각해보자.(Haber 공정)
(8+4+10+10+10 = 42점)



<참고>

화합물	ΔH_f° (kJ/mol)	ΔG_f° (kJ/mol)	S° (J/mol·K)
$N_2(g)$	-	-	191.50
$H_2(g)$	-	-	130.58
$NH_3(g)$	-46.19	-16.66	192.5

(a) 다음 각 화합물 또는 원소에서 원자의 산화수는?

화합물	원자	산화수	화합물	원자	산화수
N_2	N	0	H_2	H	0
NH_3	N	-3	NH_3	H	+1

(b) 정반응에서 산화제와 환원제는 각각 어느 것인가?

산화제		환원제	
	N_2		H_2

(c) 25°C에서 위 반응의 평형 상수는 얼마인가?

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

$\Delta G^\circ = 2\Delta G_f^\circ(NH_3(g)) - \Delta G_f^\circ(N_2(g)) - 3\Delta G_f^\circ(H_2(g))$
 $= 2 \times (-16.66 \text{ kJ/mol}) - 0 - 0 = -33.32 \text{ kJ/mol}$

$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln(Q)$

평형에서
 $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln(K) = 0$

$K = e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}} = e^{-\frac{-33.32 \text{ kJ/mol}}{8.314 \text{ J/K} \cdot \text{mol} \times 298.15 \text{ K}}} = e^{13.44} = 6.869 \times 10^5$

$K = 6.869 \times 10^5$

(d) 25°C에서 위 반응의 표준기전력은 얼마일 것인가?

$E = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log(Q)$

평형에서 $E = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log(K) = 0$, $E^\circ = \frac{0.0592}{n} \log(K)$

그런데 환원반쪽반응: $N_2 + 6e^- \rightarrow 2N^{3-}$
 산화반쪽반응: $3H_2 \rightarrow 6H^+ + 6e^-$ 이므로 $n=6$

$E^\circ = \frac{0.0592}{n} \log(K) = \frac{0.0592}{6} \times \log(6.869 \times 10^5) = 0.0576 \text{ V}$

또는
 $\Delta G^\circ = -nFE^\circ$
 $E^\circ = -\frac{\Delta G^\circ}{nF} = -\frac{-33.32 \text{ kJ/mol}}{6 \cdot 96485 \text{ C/mol}} = \frac{33320 \text{ J/mol}}{6 \cdot 96485 \text{ C/mol}}$
 $= 0.0576 \text{ J/C} = 0.0576 \text{ V}$

$E^\circ = 0.0576 \text{ V}$

(e) 위 반응은 온도가 올라가면 평형상수가 커지거나 작아지는가? 답을 하고 <참고> 표를 이용하여 그 이유를 설명하시오.

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

$\Delta S^\circ = 2S^\circ(NH_3(g)) - S^\circ(N_2(g)) - 3S^\circ(H_2(g))$
 $= 2(192.5) - 191.5 - 3(130.58) = -198.2 \text{ J/mol} \cdot \text{K} < 0$

$\Delta H^\circ = 2\Delta H_f^\circ(NH_3(g)) - \Delta H_f^\circ(N_2(g)) - 3\Delta H_f^\circ(H_2(g))$
 $= 2 \times (-46.19 \text{ kJ/mol}) - 0 - 0 = -92.38 \text{ kJ/mol} < 0$

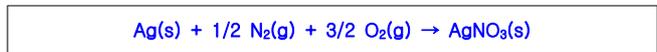
$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - \Delta S^\circ/T \Rightarrow \text{음수} + \text{양수}/T \quad (T > 0)$

따라서 온도가 올라갈수록 ΔG° 값이 증가한다. 즉, 정반응이 덜 자발적이 되므로 평형상수는 작아진다.

2. 다음 자료를 이용하여 물음에 답하시오.(온도는 25°C)
(5+3+10+10+10+10=48점)

물질	ΔH_f° (kJ/mol)	ΔG_f° (kJ/mol)
$AgNO_3(s)$	-124.4	-33.4
$AgNO_3(aq)$	-101.7	-34.2
$MgSO_4(s)$	-1283.7	-1169.6
$MgSO_4(aq)$	-1374.8	-1198.4

(a) $AgNO_3(s)$ 의 형성반응식을 쓰시오. (ΔH_f° , ΔG_f° 에 해당하는 반응식)



(b) 위 반응식에 근거하여 $AgNO_3(s)$ 가 형성될 때 엔트로피가 증가하는지, 감소하는지를 예측하시오.

감소한다.

(c) $AgNO_3(s)$ 의 ΔH_f° , ΔG_f° 를 사용하여 이 물질 형성에 따른 엔트로피 변화량(ΔS)을 결정하시오.

$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$
 $\Delta S^\circ = \frac{\Delta H^\circ - \Delta G^\circ}{T} = \frac{(-124.4 + 33.4) \text{ kJ/mol}}{298.15 \text{ K}} = -305 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

$\Delta S^\circ = -305 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

(d) $AgNO_3(s)$, $MgSO_4(s)$ 가 물에 녹는 과정은 각각 발열 과정인가, 흡열 과정인가? ΔH° 를 구하고 답하시오.

$AgNO_3(s)$ 가 물에 녹는 과정: $AgNO_3(s) \rightarrow AgNO_3(aq)$
 $\Delta H^\circ = \Delta H_f^\circ(AgNO_3(aq)) - \Delta H_f^\circ(AgNO_3(s))$
 $= -101.7 - (-124.4) = 22.7 \text{ kJ/mol} > 0$
 $AgNO_3(s)$ 가 물에 녹는 과정은 흡열 과정이다.

$MgSO_4(s)$ 가 물에 녹는 과정: $MgSO_4(s) \rightarrow MgSO_4(aq)$
 $\Delta H^\circ = \Delta H_f^\circ(MgSO_4(aq)) - \Delta H_f^\circ(MgSO_4(s))$
 $= -1374.8 - (-1283.7) = -91.1 \text{ kJ/mol} < 0$
 $AgNO_3(s)$ 가 물에 녹는 과정은 발열 과정이다.

(e) 물에 $\text{AgNO}_3(\text{s})$, $\text{MgSO}_4(\text{s})$ 가 물에 녹는 과정에서 엔트로피 변화량(ΔS°)은 각각 얼마인가?

$\text{AgNO}_3(\text{s})$ 가 물에 녹는 과정: $\text{AgNO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{AgNO}_3(\text{aq})$
 $\Delta G^\circ = \Delta G_f^\circ(\text{AgNO}_3(\text{aq})) - \Delta G_f^\circ(\text{AgNO}_3(\text{s}))$
 $= -34.2 - (-33.4) = -0.8 \text{ kJ/mol}$
 $\Delta S^\circ = \frac{\Delta H^\circ - \Delta G^\circ}{T} = \frac{(22.7 + 0.8) \text{ kJ/mol}}{298.15 \text{ K}} = 78.8 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

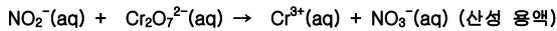
$\text{MgSO}_4(\text{s})$ 가 물에 녹는 과정: $\text{MgSO}_4(\text{s}) \rightarrow \text{MgSO}_4(\text{aq})$
 $\Delta G^\circ = \Delta G_f^\circ(\text{MgSO}_4(\text{aq})) - \Delta G_f^\circ(\text{MgSO}_4(\text{s}))$
 $= -1198.4 - (-1169.6) = -28.8 \text{ kJ/mol}$
 $\Delta S^\circ = \frac{\Delta H^\circ - \Delta G^\circ}{T} = \frac{(-91.1 + 28.8) \text{ kJ/mol}}{298.15 \text{ K}} = -209 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

(f) (d), (e) 결과를 바탕으로 $\text{AgNO}_3(\text{s})$, $\text{MgSO}_4(\text{s})$ 가 물에 녹는 과정에서의 차이점을 용액의 총괄성(Hint: Van't Hoff 계수)의 의미를 이용하여 논의하시오,

일반적으로 염이 물에 녹으면 염이 양이온과 음이온으로 해리되어 엔트로피가 증가한다. $\text{AgNO}_3(\text{s})$ 가 물에 녹는 과정에서도 $\text{AgNO}_3(\text{s})$ 가 물에 녹아 $\text{Ag}^+(\text{aq})$ 이온과 $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ 이온으로 해리되어 엔트로피가 증가한다. 또한 $\text{AgNO}_3(\text{s})$ 가 물에 녹는 과정의 ΔH° 가 양수인 것으로 보아 이온들과 물분자 사이에 큰 인력이 작용하지 않는 것으로 보인다. 즉, 양이온, 음이온, 물분자 등의 개체들이 서로 무질서하게 배치될 것으로 보인다.

그러나 $\text{MgSO}_4(\text{s})$ 가 물에 녹는 과정에서는 엔트로피가 감소한다. 이는 $\text{Mg}^{2+}(\text{aq})$ 이온과 $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 이온 들이 이온 짝지움(ion-pairing)을 형성하기 때문일 것이다. 즉 Van't Hoff 계수가 1 보다 큰 값일 것이다. 또한 $\text{MgSO}_4(\text{s})$ 가 물에 녹는 과정의 ΔH° 가 음수인 것으로 보아 이온들과 물분자 사이에 인력이 작용하는 것으로 보인다. 즉, 양이온, 음이온, 물분자 사이에 이온 짝지움 및 인력이 작용하여 엔트로피가 감소하는 것으로 예측된다.

3. 다음 균형잡히지 않은 산화-환원 반응에서 산화제와 환원제는 각각 어느 것인지 밝히고 반응의 균형을 맞추시오, (15점)



산화제: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 환원제: NO_2^-

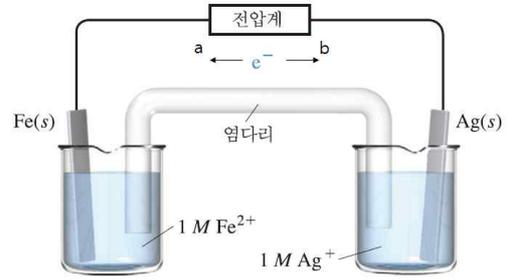
산화 반쪽 반응: $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$
 $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^-$
 $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$
 $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ (1)

환원 반쪽 반응: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$
 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow 2\text{Cr}^{3+}$
 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$
 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$
 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ (2)

(1) x 3 + (2)
 $= (3\text{NO}_2^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{NO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-)$
 $+ (\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O})$
 $= 3\text{NO}_2^- + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 8\text{H}^+ \rightarrow 3\text{NO}_3^- + 2\text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$

균형잡힌 반응식: $3\text{NO}_2^- + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 8\text{H}^+ \rightarrow 3\text{NO}_3^- + 2\text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$

4. 다음의 볼타 전지가 있다. (10+4+2+10+10=36점)



(a) 위 전지에서 일어나는 화학반응의 균형잡힌 반응식을 쓰고, 전지 전위를 구하시오.

$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$ (1) $E^\circ = -0.44 \text{ V}$
 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$ (2) $E^\circ = 0.80 \text{ V}$

균형잡힌 반응식: (2) x 2 - (1)
 $= 2\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Fe}(\text{s}) \rightarrow 2\text{Ag}(\text{s}) + \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$

전지 전위: $E^\circ = 0.80 - (-0.44) = 1.24 \text{ V}$

균형잡힌 반응식: $2\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Fe}(\text{s}) \rightarrow 2\text{Ag}(\text{s}) + \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$
 전지 전위: 1.24 V

(b) 위 전지에서 환원전극과 산화전극은 각각 어느 것인가?

산화전극	Fe	환원전극	Ag
------	-----------	------	-----------

(c) 전자가 흐르는 방향은 a, b 중 어느 것인가?

b

(d) 오른쪽 비커의 이온 농도가 10배 증가하면 전지 전위는 얼마인가? 이 때 전자가 흐르는 방향은 a, b 중 어느 것인가?

$E = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log(Q)$
 $= E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log\left(\frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]^2}\right)$
 $\equiv 1.24 - \frac{0.0592}{2} \log\left(\frac{1}{10^2}\right)$
 $= 1.30 \text{ V}$

전지 전위: 1.30 V
 전자의 방향: b

(e) 왼쪽 비커의 이온 농도가 10배 증가하면 전지 전위는 얼마인가? 이 때 전자가 흐르는 방향은 a, b 중 어느 것인가?

$E = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log(Q)$
 $= E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log\left(\frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]^2}\right)$
 $\equiv 1.24 - \frac{0.0592}{2} \log\left(\frac{10}{1}\right)$
 $= 1.21 \text{ V}$

전지 전위: 1.21 V
 전자의 방향: b

5. 다음 각 화합물의 화학식 또는 이름을 쓰시오.(12점)

화학식	이름
$K_4[Mn(CN)_6]$	potassium hexacyanomanganate(II) 포타슘 헥사사이아노망가니즈(II)산
$[Cr(NH_3)_6](NO_3)_3$	hexaamminechromium(III) nitrate 헥사암민크롬(III) 질산이온
$[Cd(en)Cl_2]$	dichloroethylenediaminecadmium(II) 다이클로로에틸렌다이아민카드뮴(II)
$K[V(H_2O)_2Br_4]$	potassium diaquatetrabromovanadate(III) 포타슘 다이아쿠아브로모바나디움(III)산

6. 다음 각 6배위 팔면체 화합물들은 가능한 이성질체를 두 가지씩 가지고 있다. 구조를 그림으로 둘 사이의 어떤 이성질현상인지 쓰시오.(18점)

화합물	이성질체	이성질 현상
$[Co(NH_3)_5SCN]^{2+}$		구조 (결합)
$[Co(NH_3)_3Cl_3]$		입체 (기하)

7. cis-[Co(NH₃)₄(H₂O)₂], [Ru(H₂O)Cl₅], trans-[Co(en)₂(H₂O)₂], cis-[Ru(en)₂Cl₂] 중 광학적으로 활성인 것을 모두 고르고, 그것의 가능한 이성질체를 모두 그리시오.(줄은 필요 이상으로 많이 주어져 있다).(10점)

광학 활성인 화합물	이성질체 구조
cis-[Ru(en) ₂ Cl ₂]	

8. 자유 원자 또는 자유 이온에서 d-오비탈 5개는 축퇴되어 있다. 팔면체 결정장과 평면사각형 결정장, 선형 결정장에서 오비탈의 갈라짐을 예측하여 에너지 준위를 그리시오.(오비탈 이름도 표시)(15점)

팔면체 결정장	평면사각형 결정장	선형 결정장

9. $[Fe(CN)_6]^{3-}$ 는 약 400 nm에서 최대 흡수를 보이고 $[Fe(NCS)_6]^{3-}$ 착물은 약 700 nm에서 최대 흡수를 보이며, 두 착물의 스핀 양자수는 다르다. (2+2+14=18점)

(a) Fe의 산화수는 얼마인가? +3

(b) d 전자는 몇 개인가? 5

(c) 각 착물에서 홀전자(unpaired electron)의 개수, 스핀 양자수(S)를 쓰고, 8번 답의 에너지 준위도를 그리고 그 위에 전자배치를 화살표로 표시하시오.

	$[Fe(CN)_6]^{3-}$	$[Fe(NCS)_6]^{3-}$
홀전자의 개수	1	5
S	1/2	5/2
전자배치 그림		

10. 다음의 구조식이나 이름을 쓰시오.(12점)

구조식	이름
	2-메틸헥세인 (2-methylhexane)
	2-메틸헵테인 (2-methylheptane)
	시스-6-메틸-3-옥센 (찬-6-methyl-3-oxene)
	3-메틸-2-뷰탄온 (3-methyl-2-butanone)

11. 다음 화합물에서 작용기를 찾아 동그라미로 표시하고 작용기의 이름을 쓰시오.(12점)

화합물	작용기 이름
	에스터(ester)
	아마이드(amide)
	에터(ether)
	알데하이드(aldehyde), 알켄(alkene)

