

2016학년도 수시모집

**과학인재 논술시험
문제 해설지 - 화학**



과학인재 논술시험 문제 해설지 (화학)

■ 출제의도 및 해설

고등학교 화학 교과과정에서 다루고 있는 화합물의 조성과 구조, 화학 반응식, 산화와 환원, 용액의 총괄성, 반응열, 자유 에너지, 반응 속도와 촉매, 수소의 선 스펙트럼, 고체, 화학평형 및 전기화학에 관련된 문제이다.

[문제 1]에서는 원소 분석과 용액의 총괄성에 기반하여 화합물의 조성을 확립하고 화학 반응식을 올바르게 유추하며, 화학 반응식을 이용한 산화-환원 반응을 이해하고 있는지 평가하고자 하였다.

[문제 2]에서는 반응열, 자유 에너지, 반응의 자발성, 촉매 작용을 연관하여 물질 변화와 에너지 관계를 기본적으로 이해하고 있는지 평가하고자 하였다.

[문제 3]에서는 산화-환원 반응을 이용한 화학 전지에 관련된 내용이다. 논리적인 문제 해석과 수리적 사고 능력을 요구하는 문제를 출제 하였다. 표준 환원 전위 값을 이해하여, 실험에서 제시되는 전체 전지 반응식을 유도하고, 반응의 자발성을 판단할 수 있는지 평가하는 문제이다.

[문제 4]에서는 화학 평형의 법칙을 이용하여, 용액에 존재하는 화학종의 양을 논리적으로 제시할 수 있는지 평가하는 문제이다. pH와 산의 이온화 상수 관계를 해석하여, 간단한 수리적 사고를 통해 화학적 해석이 가능한지 평가하고자 하였다.

과학인재 논술시험 문제 해설지 (화학)

■ 채점기준

[문제 1] 15점

[문제 1-i]

(5점) 원자량과 실험식의 의미를 이해하고, 원소 분석 결과를 바탕으로 양적 계산을 통해 올바른 실험식을 유추할 수 있다.

[문제 1-ii]

(5점) 용액의 총괄성을 이해하고 삼투압의 특징과 반트호프 법칙을 이용하여 분자량을 유추한다. 분자량을 바탕으로 실험식에서 분자식을 유추할 수 있다.

[문제 1-iii]

(5점) 주어진 광합성 반응에 대해 화학 반응식을 올바르게 확립할 수 있다. 산화수의 개념을 이용하고 이를 이용해 산화-환원 반응을 해석할 수 있다.

[문제 2] 15점

[문제 2-i]

(5점) 주어진 반응에 대해 반응 엔탈피를 파악할 수 있다. 촉매 작용의 의미에 대해 올바르게 이해, 반응 엔탈피의 관계를 구체적 화학 반응의 해석에 적용할 수 있다.

[문제 2-ii]

(5점) 반응 엔탈피와 반응의 자발성에 대한 관계를 올바르게 이해하고, 깁스 자유 에너지 개념을 구체적 화학 반응에 적용할 수 있다.

[문제 2-iii]

(5점) 헤스의 법칙에 따른 반응 엔탈피를 올바르게 유추할 수 있다. 반응 엔탈피, 온도에 따른 반응의 자발성에 대한 관계를 올바르게 이해 구체적 화학 반응에 적용할 수 있다.

과학인재 논술시험 문제 해설지 (화학)

[문제 3] 18점

[문제 3-i]

(6점) 전체 반응식을 주어진 표준 환원 전위값을 서로 비교하여 논리적으로 제시할 수 있다.



표준 전지 전위(E°)를 제시할 수 있다.

[문제 3-ii]

(6점) 도선을 따라 흐른 전하량: $965A \times 100초 = 96500C$ 즉 1몰의 전자가 흘러 지나갔음을 판단할 수 있다. 흘러간 전하량의 몰값을 판단하여, 주어진 원자량을 이용하여, 반응한 Fe의 질량은 $0.5 \times 56 = 28g$ 임을 제시할 수 있다.

[문제 3-iii]

(6점) 바뀌어진 전극에서의 반응을 판단하고, 전체 반응식을 제히할 수 있고, 이에 따른 전지 전위 값을 제시할 수 있다. 전체 반응식: $Fe + Cu^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Cu$ 표준 전지 전위(E°) =

$$E^\circ_{환원전극} - E^\circ_{산화전극} + 0.34 - (-0.40) = 0.74V$$

$\Delta G^\circ = -nFE^\circ$ 관계식을 이용하여, $\Delta G^\circ < 0$ 이므로 자발적인 반응임을 논할 수 있다.

[문제 4] 12점

[문제 4-i]

(6점) 주어진 정보를 이용하여, $25^\circ C$ 에서 pOH가 4일 때, $[H^+] = 10^{-10}M$ 임을 판단할 수 있다.

인산의 평형 관계식을 세우고, $[H^+] = 10^{-10}M$ 을 대입하여 서로의 상대적 관계식을 유도할 수 있다.

$$1단계: H_3PO_4(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + H_2PO_4^-(aq) \quad K_{a1} = \frac{[H^+][H_2PO_4^-]}{[H_3PO_4]} = 1 \times 10^{-3}$$

$$2단계: H_2PO_4^-(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HPO_4^{2-}(aq) \quad K_{a2} = \frac{[H^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 1 \times 10^{-9}$$

$$3단계: HPO_4^{2-}(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + PO_4^{3-}(aq) \quad K_{a3} = \frac{[H^+][PO_4^{3-}]}{[HPO_4^{2-}]} = 1 \times 10^{-13}$$

용액에 존재하는 화학종의 상대적양을 정확히 제시할 수 있다.

이들의 상대적 양의 비교는 $[HPO_4^{2-}] > [H_2PO_4^-] > [PO_4^{3-}] > [H_3PO_4]$ 이다.

[문제 4-ii]

(6점) 반응 $H_3PO_4(aq) \rightleftharpoons 3H^+(aq) + PO_4^{3-}(aq)$ 의 K값은 $K = K_{a1} \times K_{a2} \times K_{a3}$ 임을 제시할 수 있다.

이 반응의 역반응 상수가 주어진 반응($3H^+(aq) + PO_4^{3-}(aq) \rightleftharpoons H_3PO_4(aq)$)의 평형 상수 이므로, $K = 1 \times 10^{24}$ 임을 제시할 수 있다.

과학인재 논술시험 문제 해설지 (화학)

■ 모범답안

[문제 1]

[문제 1-i] 얻어진 147 g 이산화 탄소에 있는 탄소는 $147 \times (12/44) = 40$ g 이며, 60 g 물에 있는 수소는 $60 \times (2/18) = 6.7$ g이다. 따라서 탄수화물 100 g에 들어 있는 탄소는 40 g, 수소는 6.7 g, 산소는 $100 - 40 - 6.7 = 53.3$ g이다. 탄수화물에 들어 있는 원소 개수의 상대적인 비 및 가장 간단한 정수비는 C : H : O = $(40/12) : (6.7/1) : (53.3/16) = 3.33 : 6.67 : 3.33 = 1 : 2 : 1$ 이다. 따라서 탄수화물의 실험식은 CH_2O 이다.

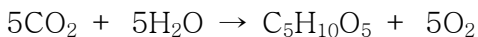
[문제 1-ii] 반트호프 법칙을 이용하여 탄수화물의 분자량을 구하면 다음과 같다.

$$\Pi = CRT, \quad 2.44 = [(0.150/M)/0.01] \times 0.082 \times 298, \quad M = 150 \text{ g/mol}$$

실험식 = CH_2O 의 해당 화학식량은 30 g/mol

따라서 분자식은 $5 \times [\text{실험식} = \text{CH}_2\text{O}] = \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$

[문제 1-iii] 광합성과정에 대한 화학 반응식을 세우면 다음과 같다.

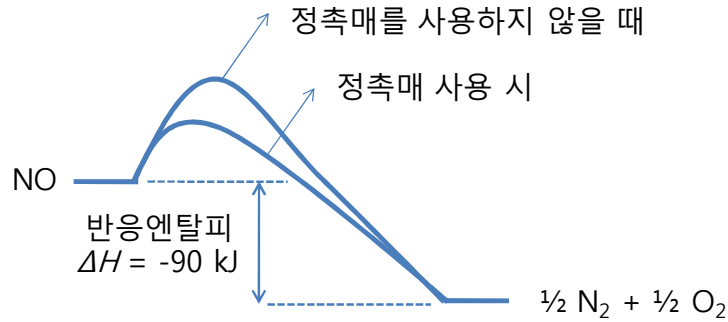


이 반응은 산화-환원 반응으로 CO_2 의 산소 원소와 H_2O 의 산소 원소는 O_2 로 -2의 산화수에서 0가 산화수로 +2에 해당하는 산화수 증가가 일어나고 CO_2 의 탄소 원소는 $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ 로 환원된다. 1몰의 $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ 생성될 때 산화에 관여한 전자의 개수는 10몰 산소 원소가 +2 산화수 증가로 20몰의 전자가 관여하게 된다. 이 20몰의 전자는 환원을 통하여 1몰의 $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ 생성되는데 사용된다.

과학인재 논술시험 문제 해설지 (화학)

[문제 2]

[문제 2-i] 제시문에 의하면 $\text{NO}(\text{g}) \rightarrow 1/2 \text{N}_2(\text{g}) + 1/2 \text{O}_2(\text{g})$ 은 발열 반응으로 반응 엔탈피 $\Delta H = -90 \text{ kJ}$ 이다. 정촉매를 사용할 경우 촉매를 사용하지 않았을 경우에 비하여 활성화 에너지가 낮아지고 반응이 빨라지나 반응 엔탈피는 $\Delta H = -90 \text{ kJ}$ 는 변하지 않는다. 이것을 그림으로 나타내면 다음과 같다.



[문제 2-ii] $1/2 \text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g})$ 은 반응 엔탈피 $\Delta H = 33 \text{ kJ}$ 양의 값이며 정반응은 분자의 개수가 감소하므로 반응 엔트로피 ΔS 는 음의 값이다. 따라서 깃스 자유 에너지 변화는 ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$) 항상 양의 값을 가진다. 따라서 이 반응은 온도에 관계없이 비자발성을 가지는 반응이다.

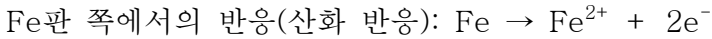
[문제 2-iii] NO_2 로부터 N_2O_4 가 형성되는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

$2\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4$ 가 형성되는 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H = -(33 \times 2) + 9 = -57 \text{ kJ}$ 으로 음의 값을 가진다. 이 반응은 분자의 개수가 감소하는 반응으로 반응 엔트로피 ΔS 는 음의 값을 가진다. 따라서 이 반응의 깃스 자유 에너지 변화는 ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$) 높은 온도에서는 양의 값, 즉 비자발성을 가지며 낮은 온도에서는 음의 값, 즉 자발성을 가진다.

과학인재 논술시험 문제 해설지 (화학)

[문제 3]

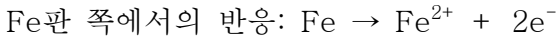
[문제 3-i] 환원 전위 값을 비교해 보면, Fe이 산화되고 Ag전극에서 환원이 되는 것을 판단 할 수 있다.



Ag관 쪽에서의 반응(환원 반응): $Fe^{3+} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$ (Fe^{3+} , H^{+} , Cu^{2+} 중에서 표준 환원 전위가 더 큰 Fe^{3+} 가 반응한다.)

전체 반응식: $2Fe^{3+} + Fe \rightarrow 3Fe^{2+}$ 표준 전지 전위(E°) = $E^{\circ}_{환원전극} - E^{\circ}_{산화전극}$
 $+0.77 - (-0.40) = 1.17 V$

[문제 3-ii] 도선을 따라 흐른 전하량: $965A \times 100초 = 96500C$ 즉 1몰의 전자가 흘러 지나갔음을 알 수 있다.



1몰의 Fe가 반응하면 2몰의 전자가 생성된다. 따라서 반응한 Fe의 양은 0.5몰이다. Fe 원자량은 56이므로, 필요한 Fe의 최소 질량은 $0.5 \times 56 = 28g$ 이다.

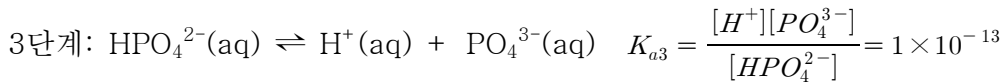
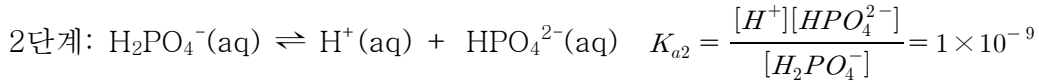
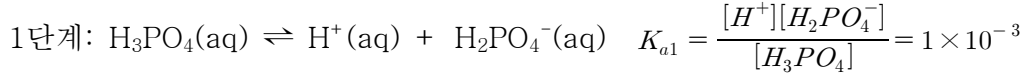
[문제 3-iii] Fe관 쪽에서의 반응(산화 반응): $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$

Ag관 쪽에서의 반응(환원 반응): $Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$ (Cu^{2+} , Fe^{2+} 중에서 표준 환원 전위가 더 큰 Cu^{2+} 가 반응한다.)

전체 반응식: $Fe + Cu^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Cu$ 표준 전지 전위(E°) = $E^{\circ}_{환원전극} - E^{\circ}_{산화전극}$
 $+0.34 - (-0.40) = 0.74 V$

$\Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ}$ 이므로, 얻어진 E° 값을 넣으면, $\Delta G^{\circ} < 0$ 이므로 자발적인 반응이 발생한다.

[문제 4]

[문제 4-i] 3가 산인 인산(H_3PO_4)은 3단계로 이온화하여 평형을 이룬다.25°C에서 pOH가 4일 때, pH는 10이다. 즉 $[H^+] = 10^{-10}M$ 이다.

위에서 얻어진 관계식에 이 조건을 대입하면,

$$\frac{[H_2PO_4^-]}{[H_3PO_4]} = 1 \times 10^7, \text{ 즉 } [H_2PO_4^-] \text{ 가 } [H_3PO_4] \text{ 보다 } 10000000 \text{ 배 더 많다.}$$

$$\frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 1 \times 10^1, \text{ 즉 } [HPO_4^{2-}] \text{ 가 } [H_2PO_4^-] \text{ 보다 } 10 \text{ 배 더 많다.}$$

$$\frac{[PO_4^{3-}]}{[HPO_4^{2-}]} = 1 \times 10^{-3}, \text{ 즉 } [HPO_4^{2-}] \text{ 가 } [PO_4^{3-}] \text{ 보다 } 1000 \text{ 배 더 많다}$$

따라서, 이들의 상대적 양의 비교는 $[HPO_4^{2-}] > [H_2PO_4^-] > [PO_4^{3-}] > [H_3PO_4]$ 이다.[문제 4-ii] 반응 $H_3PO_4(aq) \rightleftharpoons 3H^+(aq) + PO_4^{3-}(aq)$ 의 K값은 $K = K_{a1} \times K_{a2} \times K_{a3}$ 이다.즉 $K = 1 \times 10^{-25}$ 이다. 이 반응의 역반응 상수가 주어진 반응($3H^+(aq) + PO_4^{3-}(aq) \rightleftharpoons H_3PO_4(aq)$)의 평형 상수 이므로, $K = 1 \times 10^{25}$ 이다.