SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

화학

문제편

수시모집 일반전형 면접 및 구술고사 기출 문항집

2021–2026 · 12문항 (6개년) · 전 학년도 문항·제시문 수록

목차

2026학년도

문제 1 하버–보슈 공정과 암모니아 합성 5
문제 2 생명체 X 의 호흡과 산소 재생 시스템 7

2025학년도

문제 1 2차원 가상 세계의 원자·화학 결합·결정 11
문제 2 이산화 탄소로부터 메탄올을 만드는 전기·열화학 반응 13

2024학년도

문제 1 주기율표 · 이온 결합 · 이온화 에너지 · 분자 간 힘 17
문제 2 반투막을 통한 삼투 현상과 중화 반응 18

2023학년도

문제 1 반응 엔탈피와 화학 평형 21
문제 2 상태 변화와 가열 곡선 21

2022학년도

문제 1 기체 분자 운동론과 화학 반응 24
문제 2 요소(Urea)의 화학 26

2021학년도

문제 1 동전 뒤집기로 보는 화학 평형과 반응 속도 28
문제 2 같은 족 원소의 화합물 — 구조·분자 간 힘·산화수 29

연도별 · 단원별 출제 경향

● 주된 단원 · ○ 함께 다루어진 단원. 한 문항이 여러 단원에 걸치는 것이 이 시험의 특징이다.

연도	문항	제목	물질의 구조	화학 결합·분자간 힘	반응과 에너지	평형·반응 속도	산-염기·산화환원	상태·용액
2026	문제 1	하버–보슈 공정과 암모니아 합성			●	○	○	
	문제 2	생명체 X 의 호흡과 산소 재생 시스템			○	○		●
2025	문제 1	2차원 가상 세계의 원자·화학 결합·결정	●	○				
	문제 2	이산화 탄소로부터 메탄올을 만드는 전기·열화학 반응			●		○	
2024	문제 1	주기율표 · 이온 결합 · 이온화 에너지 · 분자 간 힘	●	○				
	문제 2	반투막을 통한 삼투 현상과 중화 반응					○	●
2023	문제 1	반응 엔탈피와 화학 평형			●	○		
	문제 2	상태 변화와 가열 곡선			○			●
2022	문제 1	기체 분자 운동론과 화학 반응			○			●
	문제 2	요소(Urea)의 화학		○	●			
2021	문제 1	동전 뒤집기로 보는 화학 평형과 반응 속도				●		
	문제 2	같은 족 원소의 화합물 — 구조·분자 간 힘·산화수	○	●			○	

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

2026학년도 · 문제편

문제 1 하버–보슈 공정과 암모니아 합성
문제 2 생명체 X 의 호흡과 산소 재생 시스템

단원 반응과 에너지 · 평형·반응 속도 · 산-염기·산화환원 · 상태·용액
핵심 개념 하버–보슈 공정과 평형 상수, 평균 결합 에너지와 반응 엔탈피, 르샤틀리에 원리와 온도 전략, 분자 구조와 끓는점 차이, 바닷물의 전기 분해와 반쪽 반응, 촉매의 활성화와 철의 제련, 이상 기체 방정식과 양적 관계, 표준 생성 엔탈피와 헤스 법칙, 반응 속도식과 1차 반응
문항 수 2문항 (소문항 9개 · 세부 물음 15개)

Ⅰ. 문제

문제 1 하버–보슈 공정과 암모니아 합성

화학 Ⅰ·화학 Ⅱ · 소문항 5개

※ 제시문을 읽고 문제에 답하시오.

독일의 화학자 하버 (Haber, F.) 와 보슈 (Bosch, C.) 는 질소와 수소를 반응시켜 암모니아를 만드는 공정을 개발하였다. 그 후 하버 – 보슈 공정은 질소 비료의 원료를 생산하는 주된 방식으로 현재까지 산업 분야에서 널리 활용되고 있다.

공장 A 와 B 는 하버 – 보슈 공정을 바탕으로 암모니아를 합성하며, 각 공장에는 질소 $50\ \mathrm{mol}$ 과 수소 $150\ \mathrm{mol}$ 이 제공된다. 반응기의 조건은 아래와 같다.

〈공장 A 반응기 조건〉	〈공장 B 반응기 조건〉
온도 (°C): T_1	온도 (°C): T_2
부피 (L): 100	부피 (L): 100
Fe 기반 촉매	Fe 기반 촉매

위의 공정을 이용해 암모니아를 생성하는 반응의 농도로 정의되는 평형 상수 (K) 는 온도 T_1 과 T_2 에서 각각 아래 두 가지 값 중 하나를 가진다.

$$\frac{1600}{2187} \quad \text{또는} \quad \frac{100}{1728}$$

공장 A 와 B 는 동일한 촉매를 사용하며, 반응기의 온도와 부피는 항상 일정하게 유지된다. (단, 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.)

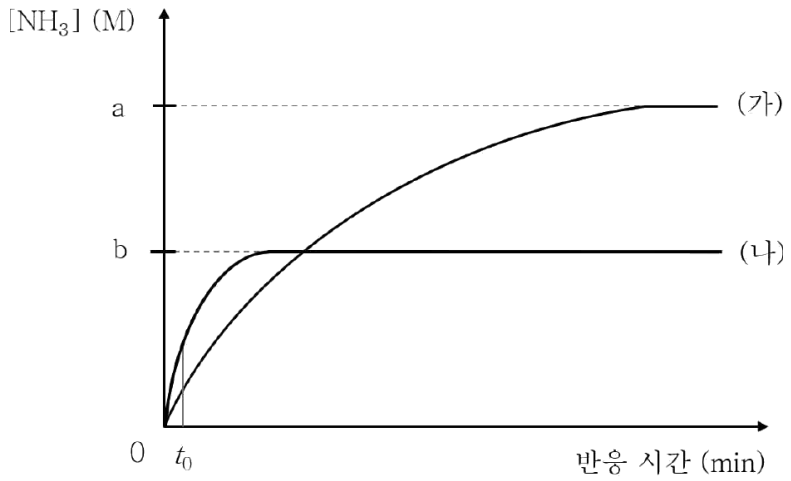
1-1. 공장 A 와 B 의 하버 – 보슈 공정에 관하여 아래 물음에 답하시오.

(1) 암모니아 합성 반응의 화학 반응식을 나타내고, [표 1] 의 평균 결합 에너지를 바탕으로 암모니아 기체 $1\ \mathrm{mol}$ 이 생성되는 화학 반응의 반응 엔탈피 (ΔH) 를 구하시오.

[표 1] 평균 결합 에너지

결합	결합 에너지 (kJ/mol)	결합	결합 에너지 (kJ/mol)
N–N	163	N–H	391
N=N	418	H–H	436
N≡N	941		

(2) 아래 [그림 1–1] 은 공장 A 와 B 에 제공된 반응물을 모두 반응기에 넣은 후 반응이 진행될 때, 반응 시간에 따른 $[\mathrm{NH_3}]$ 를 나타낸 것이다. 공장 A 와 B 가 (가) 와 (나) 중 어디에 해당하는지 답하고, 반응 시간이 $t_0\ \mathrm{min}$ 일 때 (가) 와 (나) 에서 기울기가 차이나는 이유를 제시하시오. 이를 바탕으로 [그림 1–1] 의 a 와 b 에 해당하는 암모니아의 농도를 각각 구하시오. (단, 전체 과정에서 물질을 추가하거나 제거하지 않으며, 반응 시 질소는 $0.1\ \mathrm{M}$ 단위로 반응한다고 가정한다.)



[그림 1-1]

1-2. 새로 지어진 공장 C 에서는 반응기의 온도를 [문제 1] 에서 주어진 T_1 또는 T_2 로만 설정할 수 있고, 온도를 제외한 모든 조건은 공장 A, B 와 동일하다. 화학 평형과 반응 속도를 고려하여 공장 C 가 공장 운영 효율을 높이기 위해 취할 수 있는 전략을 제시하시오. 이를 토대로 [그림 1-1] 에 공장 C 의 반응기 속 암모니아의 농도가 시간에 따라 어떻게 변할지 나타내고, 공장 A, B 와 비교하여 개선된 부분을 설명하시오. (단, 그래프의 시간 간격 및 개형을 정확하게 설명할 필요는 없으며, 공장 C 의 반응기 온도를 바꾸는데 소요되는 시간과 기체의 압력 변화는 무시한다. 온도 변화 횟수는 최소한으로 한다.)

1-3. 공장 B 는 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 재순환 시스템을 도입하기로 하였다. 새로 도입할 시스템은 반응기를 가동하여 얻은 혼합 기체로부터 생성물인 암모니아만을 분리하고, 남은 물질은 반응기에서 재반응시키는 방식으로 운영하고자 한다. 아래 물음에 답하시오.

(1) 공장 B 가 혼합 기체로부터 암모니아만을 분리하기 위해 도입할 수 있는 방법을 질소, 수소, 암모니아의 분자 구조에 의한 물질의 성질을 바탕으로 설명하시오.

(2) 재순환 시스템을 도입하여 공장 B 를 가동한다고 할 때, 동일한 조건에서 $50\ \mathrm{mol}$ 의 질소와 $150\ \mathrm{mol}$ 의 수소로부터 얻을 수 있는 암모니아의 최대 질량을 계산하시오. (단, 해당 과정에서 반응물의 손실이나 추가는 없으며, 생성된 암모니아는 손실 없이 모두 포집이 가능하다.)

1-4. 새로 지어질 공장 D 에서는 바닷물을 전기 분해하는 장치를 이용해 하버 – 보슈 공정에 필요한 반응물 중 하나를 수급하려 한다. 바닷물은 $0.5m\ \mathrm{NaCl}(aq)$ 으로만 구성되어 있으며, 전기 분해에 사용되는 전극은 반응에 참여하지 않는다고 가정한다. 아래 물음에 답하시오.

(1) 공장 D 에서 사용할 전기 분해 장치의 (+) 극과 (–) 극에서 일어나는 반쪽 반응에 대하여 각각 설명하고, 해당 반응이 일어나는 이유를 설명하시오.

(2) $150\ \mathrm{mol}$ 의 수소를 얻기 위해 전기 분해 장치에 공급되어야 할 바닷물의 최소 질량을 구하시오. (단, 전기 분해를 통해 얻은 기체의 손실은 없으며 증발량은 무시한다. NaCl 의 화학식량은 58 이다.)

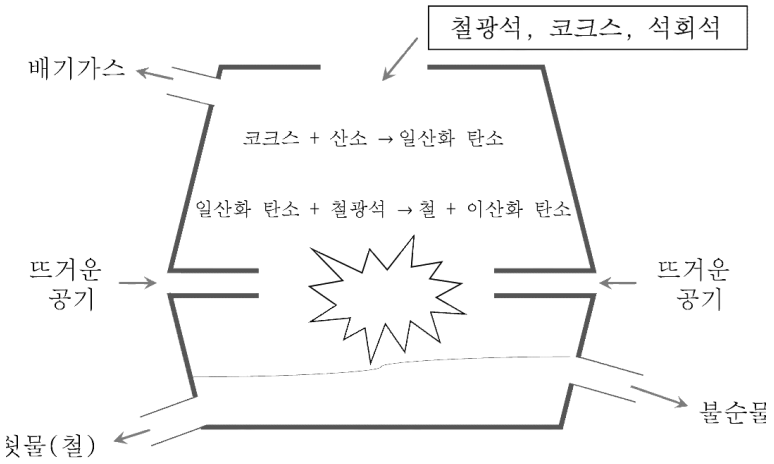
1-5. 산업 분야에서는 수소를 기반으로 친환경 에너지를 생산하려는 노력을 지속하고 있다. 공장 A 는 기존 반응기만을 가지고 암모니아로부터 수소를 대량으로 생산할 수 있을지 판단하기 위해 시험 가동하였다. 아래 물음에 답하시오.

- 시험 가동은 [문제 1] 에서 제시한 공장 A 의 반응기 조건에서 총 세 번 진행되었다.
- 시험 가동 ① : 공장 A 의 반응기에 암모니아 $100\ \mathrm{mol}$ 을 투입한 후 1 시간 동안 수소가 거의 생성되지 않았다.
- 시험 가동 ② : 공장 A 의 반응기에 소량의 수소를 넣은 후 암모니아 $100\ \mathrm{mol}$ 을 투입하였다. 그 후, 1 시간 동안 생성된 수소의 양은 시험 가동 ① 에서보다 더 많았다.
- 시험 가동 ③ : 공장 A 의 반응기에 일산화 탄소를 넣은 후 암모니아 $100\ \mathrm{mol}$ 을 투입하였다. 그 후, 1 시간 동안 생성된 수소의 양은 시험 가동 ① 에서보다 더 많았다.

(1) 공장의 연구원들은 시험 가동 ① 과 ② 를 바탕으로 수소가 촉매 표면의 $\mathrm{Fe_2O_3}$ 를 활성화하는데 중요한 역할을 할 것이라고 추정하였다. 시험 가동 ① ~ ③ 을 종합하여 연구원들의 추정이 타당한지 판단하고, 실제 촉매로 기능하

는 물질은 무엇일지 추론하시오. 그렇게 생각한 이유를 시험 가동 ② 와 ③ 의 촉매 활성화 반응의 화학 반응식을 바탕으로 설명하시오.

(2) 아래 [그림 1-2] 는 철의 제련 과정을 나타낸 모식도이다. 철의 제련 과정에서 발생하는 환경적 문제를 개선할 수 있는 방안을 (1) 에서 유추한 화학 반응식을 바탕으로 설명하시오.



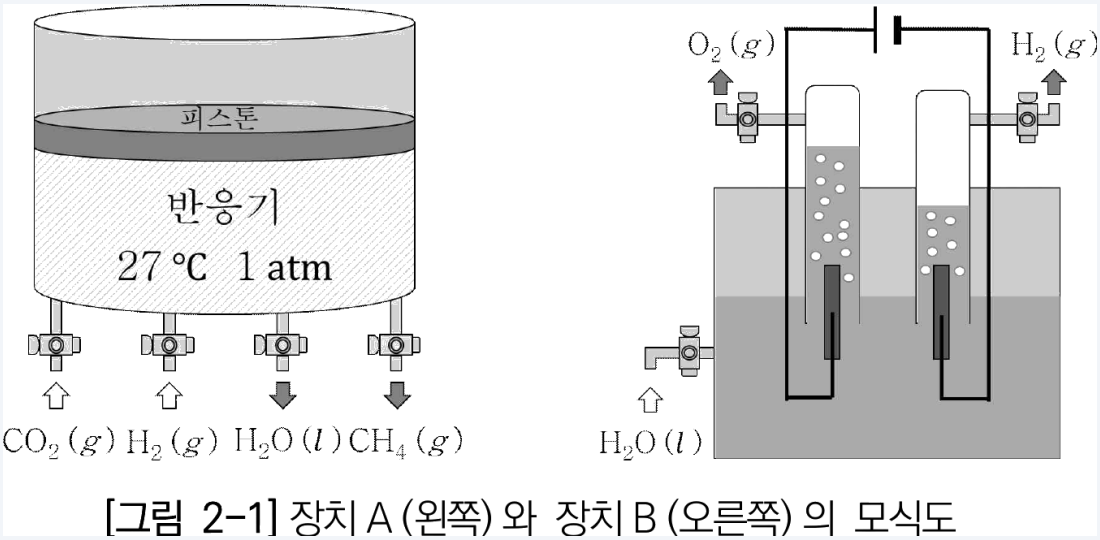
[그림 1-2] 철의 제련 과정 단순 모식도

문제 2 생명체 X 의 호흡과 산소 재생 시스템

화학 I ·화학 II · 소문항 4개

※ 제시문을 읽고 문제에 답하시오.

아래 [그림 2-1] 은 우주 실험 동물인 생명체 X 의 호흡으로 발생한 이산화 탄소 (CO_2) 를 산소 (O_2) 로 재생하기 위해 개발한 두 가지 장치를 나타낸다.



[그림 2-1] 장치 A (왼쪽) 와 장치 B (오른쪽) 의 모식도

장치 A: 이산화 탄소 (CO_2) 와 수소 (H_2) 를 물 (H_2O) 과 메테인 (CH_4) 으로 변환하는 장치이다. 장치에는 닫힌 반응기가 있으며, 반응기의 부피는 내부 기체의 부피와 동일하다. 또한 내부 온도와 압력은 $27°\ C$ 와 $1\ atm$ 으로 유지되며, 피스톤의 질량과 마찰력은 무시한다.

장치 B: 물 (H_2O) 을 수소 (H_2) 와 산소 (O_2) 로 변환하는 전기 분해 장치이다.

2-1. 두 장치와 관련하여 아래 물음에 답하시오.

(1) 장치 A 반응기의 초기 부피는 $2.4\ L$ 이고, 이산화 탄소 (CO_2) 와 수소 (H_2) 만 있다. 반응이 종료된 시점에 초기 CO_2 와 H_2 가 모두 소진된다. 반응 종료 후 반응기의 최종 부피와 생성된 물 (H_2O) 의 몰 수를 각각 구하시오. (단, 모든 기체는 이상 기체로 가정하며, 기체 상수 (R) 는 $0.08\ atm \cdot L/mol \cdot K$ 이다.)

(2) 장치 B 에 H_2O 를 넣고 가동하였더니 작동하지 않았다. 그 이유를 설명하고 해결책을 제안하시오.

2-2. 생명체 X 는 호흡을 통해 생명 활동에 필요한 열량을 보충한다. 생명체 X 의 호흡은 설탕 ($\mathrm{C_{12}H_{22}O_{11}}(s)$) 과 산소 ($\mathrm{O_2}(g)$) 를 이산화 탄소 ($\mathrm{CO_2}(g)$) 와 물 ($\mathrm{H_2O}\ (l)$) 로 변환하는 과정이며, 생성물은 손실 없이 생명체 X 의 몸 밖으로 배출된다. 이와 관련된 몇 가지 물질들의 표준 생성 엔탈피 (ΔH_f°) 는 다음과 같다.

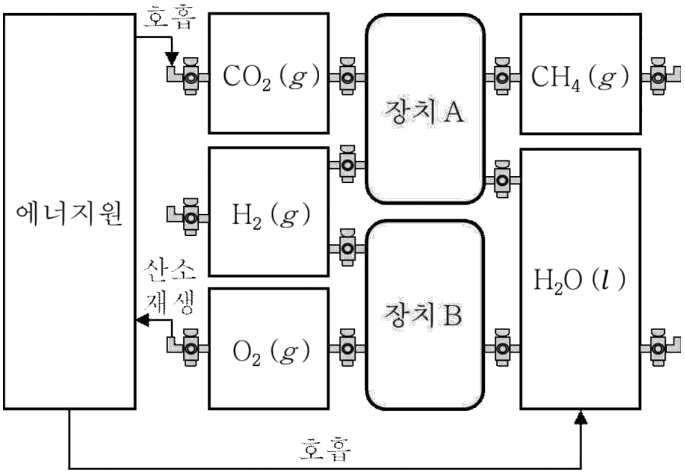
$$\Delta H_f^\circ(\mathrm{C_{12}H_{22}O_{11}}(s)) = -2220\ \mathrm{kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(\mathrm{CO_2}(g)) = -390\ \mathrm{kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(\mathrm{H_2O}\ (l)) = -290\ \mathrm{kJ/mol}$$

생명체 X 가 하루에 필요로 하는 최소 열량이 $14125\ \mathrm{kJ}$ 일 때, 400 일간 소비하는 $\mathrm{C_{12}H_{22}O_{11}}(s)$ 과 $\mathrm{O_2}(g)$ 의 최소 질량을 각각 구하시오. (단, H, C, O 의 원자량은 각각 $1, 12, 16$ 이다. 생명체 X 의 호흡은 표준상태 ($25^\circ\ \mathrm{C}, 1\ \mathrm{atm}$) 에서 진행된다. 호흡으로 발생하는 열량은 손실 없이 생명체 X 의 생명 활동에 사용한다.)

2-3. 우주정거장에 머무는 우주인은 생명체 X 가 400 일간 호흡으로 사용하는 모든 물질을 보내 달라고 지구에 있는 연구원에게 요청하였다. 생명체 X 의 호흡에 필요한 양의 설탕과 산소를 모두 보내줄 수도 있으나, 연구원은 장치 A 와 B 를 활용하여 지구에서 보내야 할 물질의 질량을 최소화할 수 있는 전략을 마련하고자 한다. 아래 물음에 답하시오.

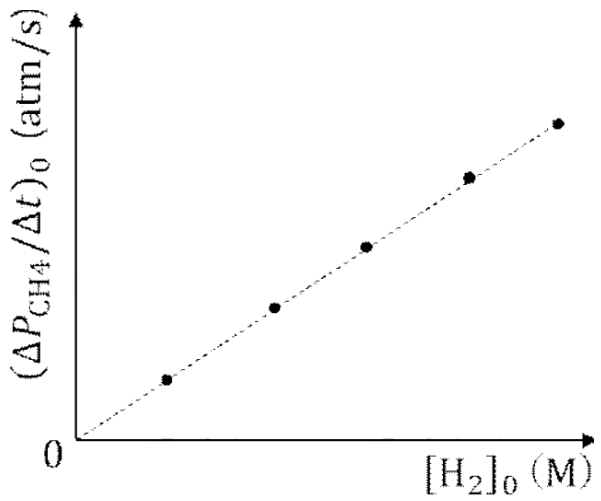


[그림 2-2] 산소 재생 시스템의 모식도

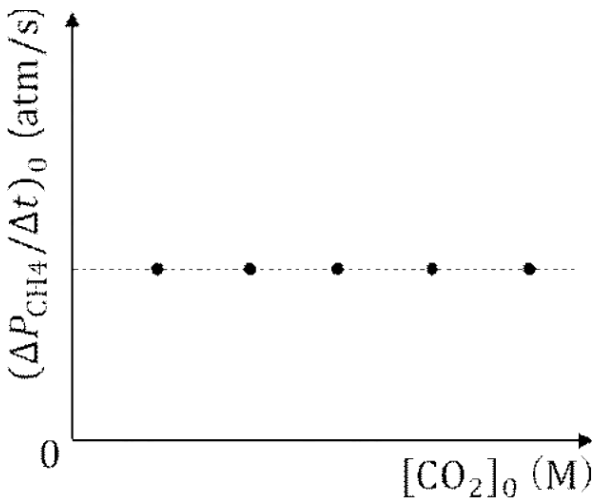
(1) 지구에 있는 연구원은 장치 A 와 B 를 활용하면 [그림 2-2] 와 같이 호흡의 생성물로부터 산소 ($\mathrm{O_2}$) 를 재생하는 산소 재생 시스템을 만들 수 있을 것으로 생각했다. 이를 바탕으로 400 일간 호흡에 필요한 설탕 ($\mathrm{C_{12}H_{22}O_{11}}$) $n\ \mathrm{mol}$ 과 수소 기체 ($\mathrm{H_2}$) $2n\ \mathrm{mol}$ 을 보내는 것이 최적화된 전략이라고 생각했다. 이 전략이 타당한 이유를 구체적으로 설명하시오. (단, 산소 재생 시스템에서 호흡을 제외한 나머지 과정은 매우 빠르다고 가정하며, 분리와 이동 과정에서 손실되는 물질이 없는 이상적인 상황을 가정한다.)

(2) 생명체 X 는 설탕 대신 포도당 ($\mathrm{C_6H_{12}O_6}$) 을 산화하여 이산화 탄소 ($\mathrm{CO_2}$) 와 물 ($\mathrm{H_2O}$) 로 변환하는 과정으로 호흡이 가능하다고 하자. 만약 연구원이 포도당을 우주정거장으로 보내기로 계획했다면, 설탕을 사용했을 때의 전략과 어떻게 달라질지 설명하시오.

2-4. 일정한 온도에서 장치 A 의 반응기에 수소 기체 ($\mathrm{H_2}$) 의 초기 농도 ($[\mathrm{H_2}]_0$) 나 이산화 탄소 ($\mathrm{CO_2}$) 의 초기 농도 ($[\mathrm{CO_2}]_0$) 를 달리하여 넣고, 반응 초기 메테인 ($\mathrm{CH_4}$) 의 부분 압력 변화량 ($\left(\Delta P_{\mathrm{CH_4}}/\Delta t\right)_0$) 을 측정하는 실험을 여러 번 진행했다. 아래 [그림 2-3] 은 $[\mathrm{CO_2}]_0$ 는 일정한 상태에서 $[\mathrm{H_2}]_0$ 를 증가시키며 얻은 다섯 번의 실험 결과를, [그림 2-4] 는 $[\mathrm{H_2}]_0$ 는 일정한 상태에서 $[\mathrm{CO_2}]_0$ 를 증가시키며 얻은 다섯 번의 실험 결과를 나타낸 것이다. 아래 물음에 답하시오.



[그림 2-3]



[그림 2-4]

(1) 장치 A 에서 일어나는 화학 반응의 반응 속도식을 구하시오.

(2) 장치 A 의 반응기는 최대 $5\ \mathrm{L}$ 의 기체를 담을 수 있다. 수소 기체 $8\ \mathrm{L}$ 와 이산화 탄소 기체 $2\ \mathrm{L}$ 의 반응을 가장 빠르게 완료하기 위한 전략을 (1) 에서 얻은 반응 속도식을 바탕으로 제안하시오. (단, 언제든지 원하는 반응물을 반응기에 넣을 수 있고, 원하는 생성물을 반응기에서 빼낼 수 있다. 반응기에 기체를 넣고 빼는데 지연 시간은 없으며, 모든 과정에서 반응기 내부는 항상 $1\ \mathrm{atm}$ 이다.)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

2025학년도 · 문제편

문제 1 2차원 가상 세계의 원자·화학 결합·결정
문제 2 이산화 탄소로부터 메탄올을 만드는 전기·열화학 반응

단원 물질의 구조 · 화학 결합·분자간 힘 · 반응과 에너지 · 산-염기·산화환원
핵심 개념 2차원 가상 세계의 오비탈과 바닥상태 전자 배치, 1차 이온화 에너지의 주기성, 이온 결합과 단위 세포, 공유 결합 그물구조와 결합각, 분자 구조와 분자간 힘, 반쪽 반응식과 산화수 변화, 이상 기체 상태 방정식, 반응 속도와 분압, 헤스 법칙, 르 샤틀리에 원리
문항 수 2문항 (소문항 10개 · 세부 문항 27개)

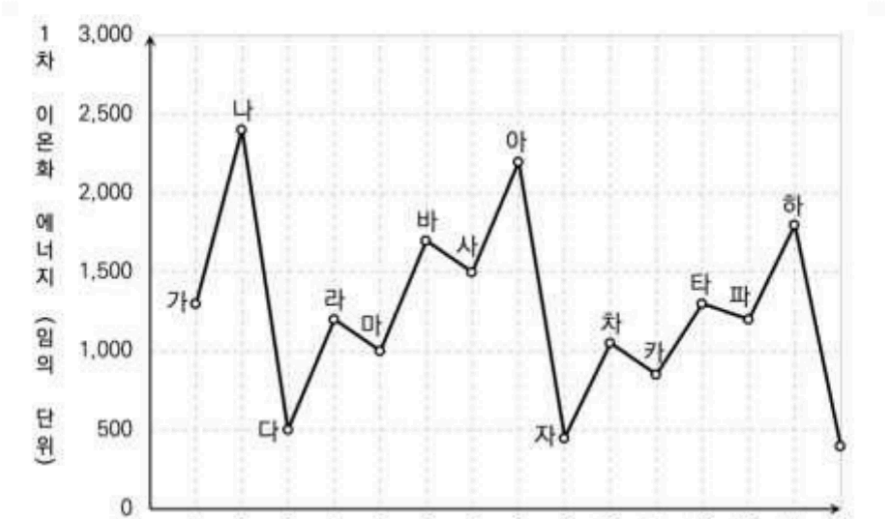
Ⅰ. 문제

문제 1 2차원 가상 세계의 원자·화학 결합·결정

소문항 5개

우리의 세상은 다양한 물질로 이루어져 있다. 대기에는 질소와 산소가, 지상에는 다양한 금속과 비금속, 그리고 물과 생명체가 있다. 인간은 자연에 존재하는 물질의 성질을 이해할 뿐 아니라 새로운 성질을 가진 신물질을 개발하고 있으며, 이것을 가능하게 하는 주요 화학 원리는 원자와 분자의 전자 배치이다.

이제 다음과 같은 **가상 세계**를 생각해 보자. 이 가상 세계는 3차원이 아닌 **2차원 공간**이고, 원자는 원자핵과 전자에 해당하는 입자로 이루어져 있다. 원소 기호는 원자 번호순으로 가, 나, 다, … 로 나타낸다. 이들 원자로 이루어진 물질의 성질도 우리 세상처럼 전자 배치로 설명되며, 1차 이온화 에너지는 **[그림 1]** 과 같이 원자 번호에 따른 변화를 보인다. 가상 세계의 온도와 압력은 일정하다고 할 때, 물질의 성질에 대한 다음 문제에 답하시오.



[그림 1] 가상 세계 원자의 1차 이온화 에너지

(1–1) 우리 세계에서 전자는 $1s, 2s, 2p_x, 2p_y, 2p_z, 3s, \ldots$ 오비탈에 순서대로 채워지지만, 2차원 가상 세계에서는 $1a, 2a, 2b_x, 2b_y, 3a, \ldots$ 오비탈에 채워진다고 하자. 여기서 a 오비탈은 원형이며 3차원의 s 오비탈에, b_x, b_y 오비탈은 x, y 축 상에서 아령 모양을 가지며 3차원의 p_x, p_y 오비탈에 해당한다.
(1) **[그림 1]** 의 1차 이온화 에너지 변화를 우리 세계의 전자 배치 원리로 설명할 수 있는가?
(2) '가', '마', '바' 세 원자의 바닥상태 전자 배치를 각각 구하시오.

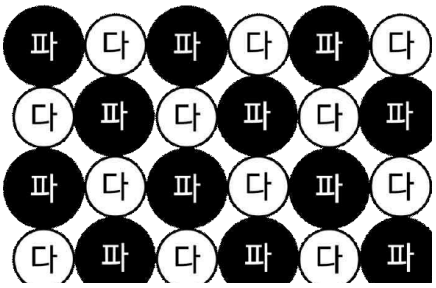
(1–2) 가상 세계 대기의 주요 구성 원소는 '나', '바', '아'이며, 존재 비율은 '바' > '나' > '아' 순으로 감소한다.
(1) '나', '바', '아' 중 단원자 분자가 화학적으로 안정한 원소는 무엇인가?
(2) '나', '바', '아' 중 이원자 분자가 화학적으로 안정한 원소는 무엇인가? 이 분자를 이루는 결합은 단일 결합과 이중 결합 중 어느 것인가?
(3) 문항 (1), (2)의 '나', '바', '아'로 이루어진 단원자 또는 이원자 분자 물질의 끓는점 순서는 어떻게 되는지 설명하시오.
(4) 이 물질들이 기체 상태로 존재한다는 사실로부터 가상 세계의 온도와 압력에 대해 무엇을 알 수 있는가?

(1–3) 가상 세계에서 발견되는 다음 고체 화합물에 대해 답하시오.

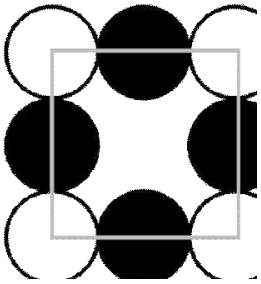
(1) '다'와 '파' 원자의 개수 비가 $1:1$ 인 **고체 A** 는 아래 **[그림 2]** 와 같은 2차원 결정을 이룬다. 가상 세계의 환경에서 이 물질은 왜 기체나 액체가 아닌 고체로 존재하는지 설명하시오.

(2) '라'와 '파' 원자로 이루어진 **고체 B** 는 아래 **[그림 3]** 과 같은 단위 세포가 2차원에 배열된 결정 물질이다. 아래 검은색과 흰색 원 중 어느 것이 '라'에 해당하는지 말하시오. (그림에서 검은색과 흰색 원의 크기 비율은 실제와 무관하다.)

(3) '마' 원자만으로 이루어진 어떤 **고체 C** 는 (1), (2)의 고체 A, B보다 훨씬 단단하고 녹는점도 높다. 고체 C에서 '마' 원자 사이의 결합이 어떤 양상을 나타낼지 결합각을 포함하여 설명하시오.



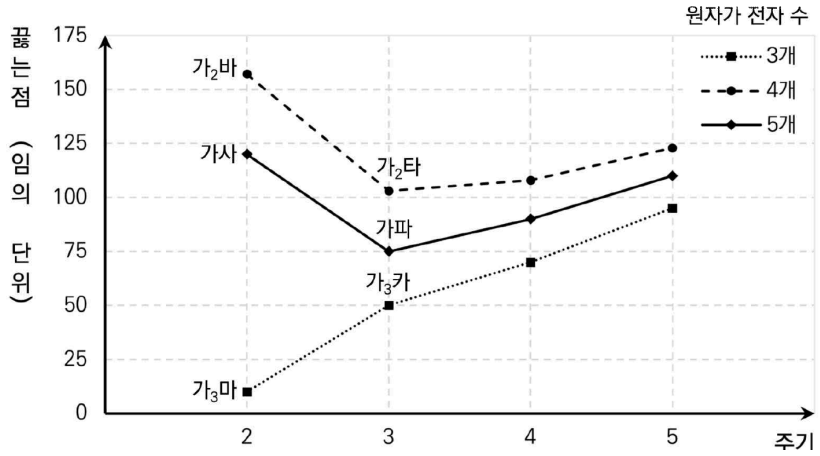
[그림 2] 고체 A — '다'·'파' $1:1$ 2차원 결정



[그림 3] 고체 B 의 단위 세포

(1–4) 2차원 가상 세계에 존재하는 다음 물질에 대해 답하시오.

(1) 아래 **[그림 4]** 는 가상 세계에서 원자가 전자 수가 3개, 4개, 5개인 원자들이 '가' 원자와 이루는 화합물의 끓는점을 주기에 따라 나타내고 있다. 이 데이터로부터 분자 간 인력에 대해 무엇을 알아낼 수 있는지 설명하시오.

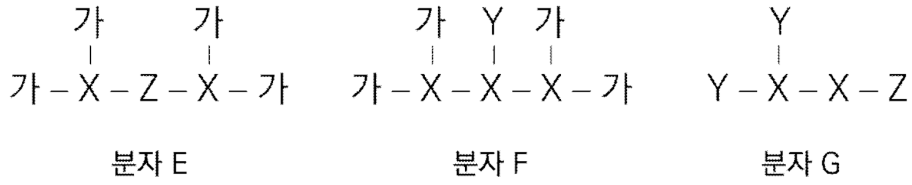


[그림 4] 원자가 전자 수가 3·4·5개인 원자와 '가' 로 이루어진 화합물의 끓는점

(2) 가상 세계에는 화학식이 '**가$_2$바**' 인 분자 **D** 가 액체 상태로 존재한다. 이 화합물은 2차원에서 어떤 분자 구조를 가질지 결합각을 포함하여 설명하시오.

(3) **[문항 1–3]** 의 고체 A와 고체 C 중 어느 것이 액체 D에 더 잘 녹을지 설명하시오.

(4) 아래 **[그림 5]** 는 2주기 원자 '다'~'아' 중 원자 X, Y, Z가 각각 '가' 원자와 결합하여 만들어진 분자 **E**, **F**, **G** 의 구조식을 나타낸 것이다. 이 그림에서는 단일 결합과 다중 결합을 구분하지 않았다. X, Y, Z에 해당하는 원소를 찾고, **E**, **F**, **G** 분자가 각각 극성인지 무극성인지 말하시오. (이들 분자에서 각 원자를 중심으로 하는 $2a, 2b$ 오비탈은 모두 전자로 채워진다.)



[그림 5] 분자 E, F, G의 구조 (단일 결합과 다중 결합을 구분하지 않음)

(1–5) 2차원 가상 세계의 물질과 우리 세계의 물질을 비교해 보자.
(1) 우리 지구에서 물은 생명체의 주요 구성 성분이다. 가상 세계에서 물 분자와 유사한 역할을 할 수 있는 분자를 **[문항 1-2]** ~ **[문항 1-4]** 에서 언급된 것 중에서 고르고, 그 이유를 설명하시오.
(2) 얼음의 밀도가 물보다 작은 것은 얼음에서 물 분자가 수소 결합으로 서로 맞물려 배열되어 생기는 결과이다. 위 (1)의 가상 세계 분자도 고체와 액체 상태의 밀도 차이 측면에서 유사한 양상을 나타낼지 설명하시오.
(3) 지구상의 생명체는 탄소를 포함하는 다양한 유기물로 이루어져 있다. 가상 세계에서 탄소와 가장 유사한 역할을 할 수 있는 원소를 고르고, 그 이유를 설명하시오.
(4) 지구의 생명체를 이루는 여러 유기물과, 가상 세계에서 이에 해당하는 여러 물질 사이의 '종류 수' 차이를 결정하는 요소를 두 가지 제시하시오. (단, 1, 2주기 원소를 중심으로 고려한다.)
(5) 지구의 지각은 다양한 규산염 광물로 이루어져 있다. 규산염 광물을 구성하는 기본 구조는 규소 1개와 산소 4개가 공유 결합을 이룬 사면체이다. 이를 참고하여 가상 세계에서도 규산염 광물에 해당하는 다양한 물질이 존재할 수 있을지 설명하시오.

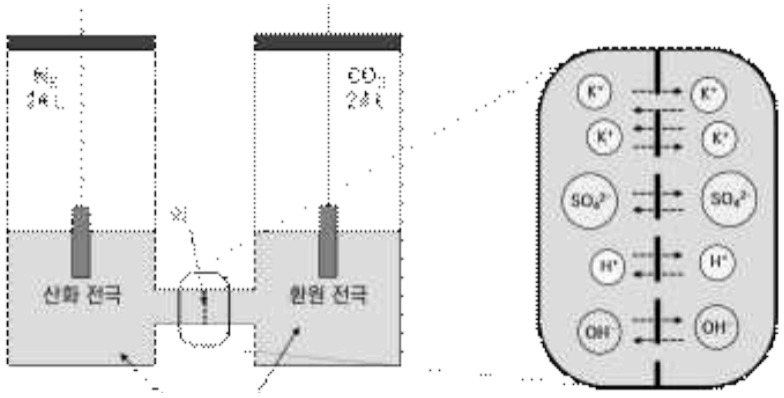
문제 2 이산화 탄소로부터 메탄올을 만드는 전기·열화학 반응

소문항 5개

심각해지는 지구 온난화 상황에서 탄소 중립을 위한 과학 기술 개발이 주목을 받고 있다. 온실 기체인 이산화 탄소(CO_2)는 화학 반응을 통해 유용한 화합물로 전환될 수 있으며, 이러한 전환 기술은 탄소 저감에 기여할 것으로 기대된다.

[그림 6] 은 1 atm, 300 K에서 이산화 탄소를 환원하여 메탄올(CH_3OH)을 생성하는 전기 화학 반응기의 모식도이며, 물을 환원제로 사용하는 청정한 화학 반응이다. 반응기는 산화 반응과 환원 반응이 일어나는 두 개의 수조로 나누어져 있다.

두 수조는 기체 분자 및 메탄올은 통과할 수 없지만 모든 이온은 원활하게 투과할 수 있는 막으로 구분되어 있다. 양쪽 수조에는 동일한 **중성** K_2SO_4 수용액이 들어 있다. 이 수용액에는 반응에 참여하지 않는 페놀프탈레인을 넣었다. 두 수조에서 수면 위 공간은 각각 질소(N_2)와 이산화 탄소 기체로 충분한 양이 차 있고, **두 기체가 수용액에 녹는 양은 무시 가능하며**, 이산화 탄소가 물 속에서 탄산이 되는 반응도 무시할 수 있다고 하자. 메탄올 생성 반응과 관련하여 다음 질문에 답하여라.



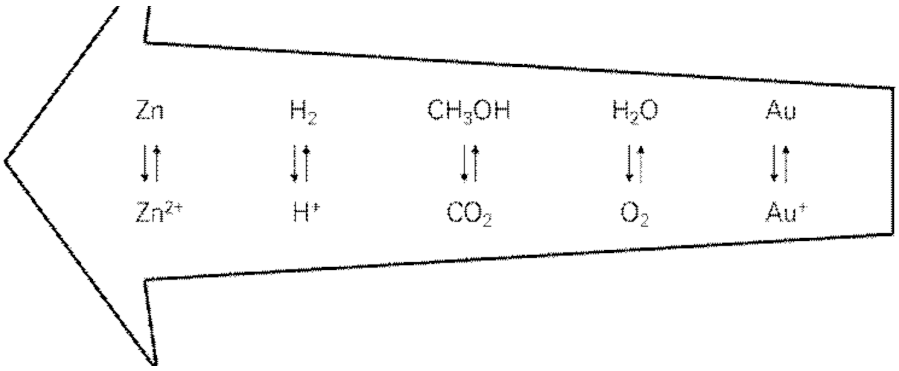
[그림 6] 메탄올 생성을 위한 전기 화학 반응기와 막을 통한 이온 이동

(2–1) 산화·환원 전극에서 일어나는 아래의 반쪽 반응식을 완성하고 전체 반응식을 도출하여라. (단, 각 반쪽 반응식에서 전자는 표시하지 않았으므로 반응에 참여하는 전자를 포함하여 반쪽 반응식을 완성하여라.)

산화 전극	$H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + H^+(aq)$
환원 전극	$CO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow CH_3OH(aq) + OH^-(aq)$
전체 반응	$CO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow CH_3OH(aq) + O_2(g)$

(2–2) 300 K에서 일정 시간 동안 전류를 흘려줬을 때 두 수조 사이에 압력 차이가 0.01 atm이었다. 이때 생성되는 메탄올의 양을 구하고, 어느 쪽 수조의 수위가 높아질지 예측하여라. (단, 반응이 진행되는 동안 수위가 변하더라도 각 기체의 부피 변화에 미치는 영향은 무시 가능하며, 각 기체가 차지하는 부피는 24 L로 동일하다고 하자. 모든 기체는 이상 기체이고 기체 상수는 0.08 atm·L·mol^{-1}·K^{-1} 이다.)

(2–3) 이온화 경향은 금속 원자가 전자를 잃고 산화되기 쉬운 정도를 나타내며, 금속이 아닌 다른 물질이 산화되기 쉬운 정도에도 대응될 수 있다. 현재 실험 조건에서 몇 가지 화학종의 산화되는 경향은 **[그림 7]** 과 같다. **[문항 2–2]** 와 동일한 조건에서 산화 전극만 아연(Zn) 전극으로 바꾼 후, 환원 전극에서 동일한 양의 메탄올을 생성하였다. 다음 질문에 답하여라.

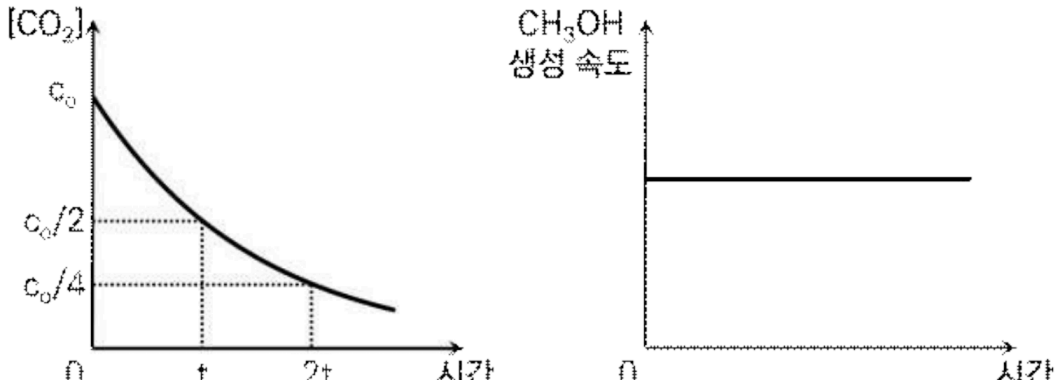


[그림 7] 여러 화학종이 산화되는 경향 (왼쪽일수록 산화되기 쉽다)

(1) 아연 전극에서 산화되는 물질은 무엇인가?
(2) 산화 전극으로 아연을 사용하였을 때, **[문항 2–2]** 에 비해 수조의 수위는 어떻게 달라질지 설명하여라.
(3) 산화 전극으로 아연을 사용하였을 때와 금(Au)을 사용하였을 때 수용액의 색은 어떻게 다른지 설명하여라.

(2–4) 반응 환경에 따라 메탄올 생성 속도가 어떻게 달라지는지 알아본다. **[그림 8]** 의 (1)은 〈기본 조건〉에서 시간에 따른 CO_2 농도를, (2)는 〈A 조건〉에서 시간에 따른 메탄올 생성 속도를 나타낸 것이다. 〈A 조건〉에서 시작하여 일정 시간 후 〈B 조건〉으로, 이후 〈C 조건〉으로 바꿀 때 시간에 따른 메탄올 농도의 개형을 추론하시오. (모든 기체는 이상 기체이고 온도는 일정하며, 산화 전극 수조는 열려 있다.)

- **기본 조건** — 환원 전극 수조에 CO_2 1 mol을 넣고 반응 중 추가로 공급하지 않는다.
- **A 조건** — 환원 전극 수조의 CO_2 분압이 1 atm으로 유지되도록 계속 공급한다.
- **B 조건** — 〈A 조건〉에서 환원 전극 수조에 CO_2 는 1 atm 대신 0.2 atm이 유지되도록 계속 공급한다.
- **C 조건** — 〈B 조건〉에 질소를 추가하여, 환원 전극 수조의 전체 압력이 1 atm이 유지되도록 계속 공급한다.

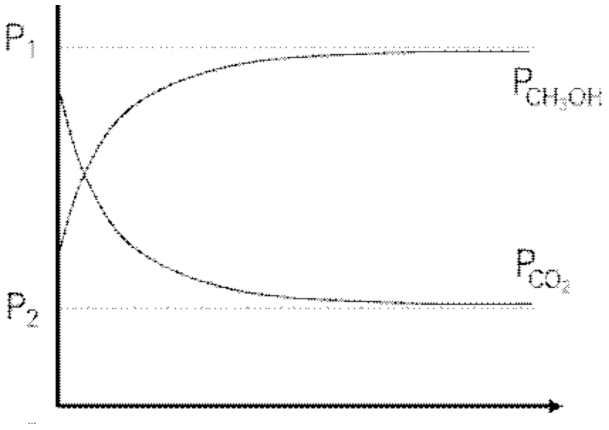


[그림 8] (1) 기본 조건에서 시간에 따른 CO_2 농도 (2) A 조건에서 메탄올 생성 속도

(2–5) 전기 화학 반응 외에 열화학 반응으로도 메탄올을 만들 수 있다. 다음 자료를 보고 물음에 답하시오.

- **'가' 반응** (계수 미완성) : $CO_2(g) + H_2O(g) \rightarrow CH_3OH(g) + O_2(g)$
- **'나' 반응** : $CO_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow CH_3OH(g) + H_2O(g)$, $\Delta H = -49$ kJ
- $H_2O(g)$ 의 생성 엔탈피 $\Delta H_f =$ [illegible] kJ/mol

(1) $CO_2(g)$ 와 $H_2O(g)$ 로부터 메탄올($CH_3OH(g)$)과 $O_2(g)$ 를 생성하는 반응('가' 반응)의 반응식을 완성하고, 반응 엔탈피(ΔH)를 구하여라. 수소 기체를 환원제로 사용한 '나' 반응식의 반응 엔탈피(ΔH)를 참고하여라.
(2) '가' 반응식의 반응 엔탈피(ΔH)와 **[문항 2-1]** 의 전체 반응식의 반응 엔탈피(ΔH)를 비교하고, 두 값이 다르다면 그 이유는 무엇인지 설명하여라. (단, **[문항 2-1]** 의 전체 반응식의 반응 엔탈피(ΔH)를 구할 필요는 없다.)
(3) '가' 반응이 온도 T_1 에서 평형에 도달했을 때 메탄올과 이산화 탄소의 압력을 각각 P_1, P_2 라 하자 (**[그림 9]**). 온도를 T_2 $(> T_1)$ 로 올리면 새 평형에서 두 압력이 어떻게 변하고, 평형에 도달하는 시간은 어떻게 변할지 추론하시오.



[그림 9] T_1 에서 CO_2 와 CH_3OH 분압의 시간 변화

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

2024학년도 · 문제편

문제 1 주기율표 · 이온 결합 · 이온화 에너지 · 분자 간 힘
문제 2 반투막을 통한 삼투 현상과 중화 반응

단원 물질의 구조 · 화학 결합·분자간 힘 · 산-염기·산화환원 · 상태·용액
핵심 개념 격자 에너지와 이온 반지름, 순차 이온화 에너지, 헤스 법칙(본–하버 순환)과 결합 에너지, 퍼텐셜 에너지 곡선, 분산력·쌍극자 인력과 끓는점, 파울리 배타 원리와 전자 배치, 주기율표의 구조, 반트호프 식과 삼투압, 중화 반응과 중화열, 강산·약산의 이온화와 총괄성
문항 수 2문항 (소문항 10개)

Ⅰ. 문제

문제 1 주기율표 · 이온 결합 · 이온화 에너지 · 분자 간 힘

소문항 5개

원소를 배열하였을 때 비슷한 성질의 원소들이 주기적으로 나타나는 것을 주기율이라 하며, 주기율에 따라 원소들을 배열한 표를 주기율표라 한다. 아래 제시된 주기율표를 참고하여 다음 문제들에 답하시오.

H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca						

제시된 주기율표

(1–1) 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 바륨(Ba, 원자 번호 56)은 모두 2족 원소들이다. 각각의 산화물은 MgO, CaO, BaO 이다.

(1) MgO, CaO, BaO 의 녹는점을 각각 높은 순서대로 나열하고, 그 이유를 설명하시오.

(2) 알루미늄 양이온($\mathrm{Al^{+}}$), 알루미늄(Al), 마그네슘을 이온화 에너지가 큰 순서대로 나열하고, 그 이유를 설명하시오.

(1–2) 아래에 주어진 칼슘(Ca)의 순차 이온화 에너지와 반응 엔탈피 값을 이용하여, 기체 상태의 칼슘 양이온($\mathrm{Ca^{2+}}$)과 산소 음이온($\mathrm{O^{2-}}$)으로부터 고체 상태의 산화칼슘(CaO)을 형성하는 과정의 반응 엔탈피를 구하시오.

$$\mathrm{Ca^{2+}(g) + O^{2-}(g) \rightarrow CaO(s)} \quad \Delta H = ?\ \mathrm{kJ/mol}$$

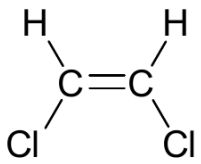
주어진 자료	
Ca의 일차 이온화 에너지 $= 590$ kJ/mol	Ca의 이차 이온화 에너지 $= 1145$ kJ/mol
$\mathrm{Ca(g) + O(g) \rightarrow CaO(s)}$ $\Delta H = -610$ kJ/mol	$\mathrm{O^{-}(g) \rightarrow O(g) + e^{-}}$ $\Delta H = 141$ kJ/mol
$\mathrm{O^{2-}(g) \rightarrow O^{-}(g) + e^{-}}$ $\Delta H = -844$ kJ/mol	

(1–3) HF 를 구성하는 두 원자가 서로 멀리 떨어져 있다가 점점 가까워질 때, 두 원자 사이의 결합 에너지 변화를 아래 주어진 정보를 활용하여 설명하시오. 단, 두 원자 사이의 거리가 (1) 매우 멀 때, (2) 결합 길이와 같을 때, (3) 0에 가까울 때를 기준으로 서술하시오.

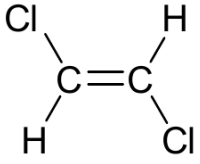
주어진 자료	
$\mathrm{H_2}$ 의 결합 길이는 0.76 Å이다.	$\mathrm{F_2}$ 의 결합 길이는 1.42 Å이다.
$\mathrm{H_2}$ 의 결합 에너지는 436 kJ/mol이다.	$\mathrm{F_2}$ 의 결합 에너지는 160 kJ/mol이다.
HF 의 표준 생성 엔탈피는 -272 kJ/mol이다.	

(1–4) 분자 간 상호 작용은 여러 요인에 의해 결정된다. 다음 물음에 답하시오.
(1) 염소(Cl_2), 브로민(Br_2, 원자 번호 35), 아이오딘(I_2, 원자 번호 53)을 끓는점이 높은 순서대로 나열하고, 그 이유를 설명하시오.

(2) 다음 두 화합물은 모두 동일한 $C_2H_2Cl_2$ 의 분자식을 가지며, 두 염소 원자의 배열 상태에 따라 화합물 A와 화합물 B로 구분된다. 이때, 두 화합물의 끓는점을 비교하고, 그 이유를 설명하시오.



화합물 **A**



화합물 **B**

화합물 A와 화합물 B

(1–5) 스핀 자기 양자수는 전자의 운동 방향에 따라 결정되는 양자수로, 두 가지 상태($+1/2$ 혹은 $-1/2$)를 가진다. 전자의 스핀 자기 양자수가 네 가지인 가상 세계가 존재한다고 가정할 때 다음 물음에 답하시오. 단, 원소의 원자 번호, 오비탈, 입자(원자핵 등)의 전하량과 질량 등 다른 모든 조건들은 현실 세계와 동일하다. 또한, 이 가상 세계에서도 쌓음 원리, 파울리 배타 원리, 훈트 규칙이 모두 적용된다.
(1) 가상 세계에서 플루오린(F)의 전자 배치를 기술하시오.

(2) 가상 세계에서의 주기율표가 어떻게 구성될지 현실 세계에서의 주기율표와 비교하여 각 원소가 배치되는 족과 주기의 관점에서 설명하시오. 단, 원자 번호 20번까지만 고려한다.

(3) 가상 세계에서 수소(H)부터 네온(Ne)까지의 원소에 대하여 일차 이온화 에너지 경향성이 어떻게 변화할지 현실 세계와 비교하여 설명하시오.

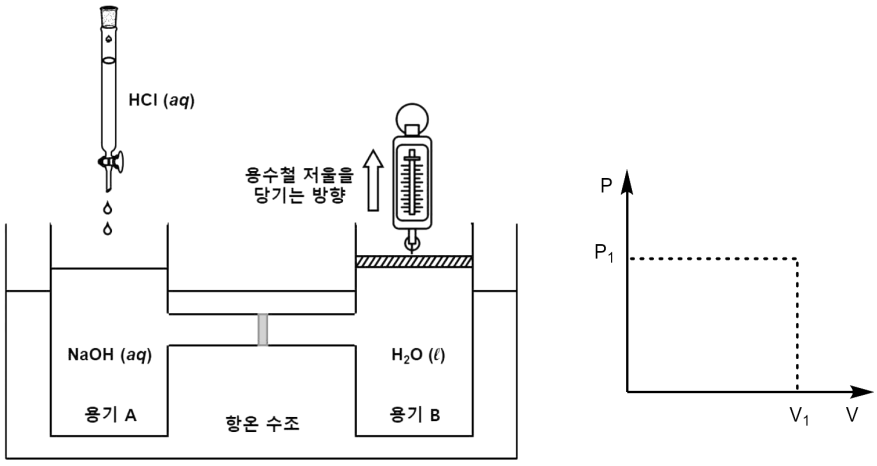
문제 2 반투막을 통한 삼투 현상과 중화 반응

소문항 5개

반투막을 사이에 두고 농도가 서로 다른 두 용액이 존재하면, 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 용매 입자가 이동하는 삼투 현상이 발생한다. 이때, 두 용액의 수면 높이를 동일하게 만들기 위해 농도가 높은 쪽에 가해야 하는 압력을 삼투압이라 한다.

아래 그림과 같이 수산화나트륨 수용액($NaOH(aq)$)이 담겨 있는 용기 A와 물($H_2O(l)$)로 채워진 용기 B가 반투막을 통해 연결된 장치를 생각하자. 이 반투막은 전체 과정에서 물 이외의 물질은 통과시키지 않는다. 용수철 저울을 사용해 용기 A와 용기 B의 수면 높이를 동일하게 만드는 데 필요한 압력, 즉 용기 A의 삼투압(P)을 측정할 수 있다. 용기 A와 B는 모두 온도가 일정하게 유지되는 큰 수조(항온 수조) 안에 설치되어 있다.

용기 A에 담긴 $NaOH(aq)$에 염산 수용액($HCl(aq)$)을 조금씩 넣어줄 때, 넣어준 $HCl(aq)$의 부피를 V 라고 하고, $NaOH$ 의 몰수와 넣어준 HCl 의 몰수가 같아지는 지점까지 넣어준 $HCl(aq)$의 부피를 V_1 이라고 한다. $HCl(aq)$을 첨가하기 전 용기 A의 삼투압을 P_0, V_1 에서 용기 A의 삼투압을 P_1 이라고 한다. 모든 과정에서 첨가한 $HCl(aq)$과 중화 반응으로 생성된 물로 인한 부피 증가는 무시하며, $HCl(aq)$과 $NaOH(aq)$의 농도는 충분히 묽다.

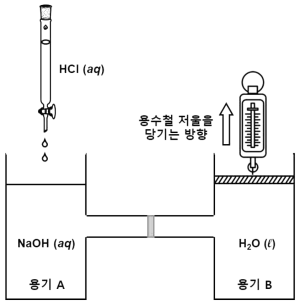


반투막으로 연결된 용기 A와 용기 B (항온 수조 안에 설치)

(2–1) $0 < V < V_1$ 구간에서, 넣어준 $\mathrm{HCl}(aq)$의 부피(V)가 증가함에 따라 용기 A의 삼투압(P)이 어떻게 변화할지 설명하시오.

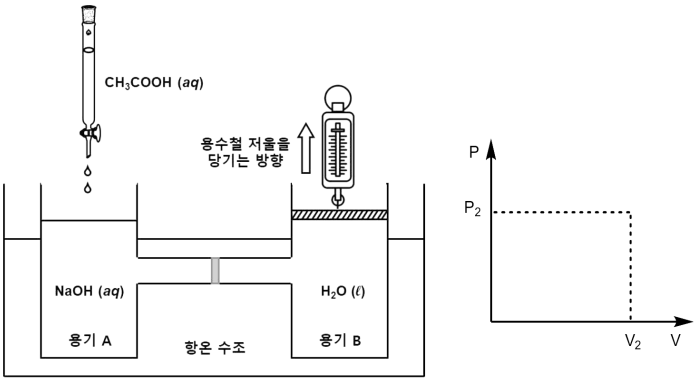
(2–2) $V > V_1$ 구간에서 V 가 증가함에 따라 용기 A의 삼투압이 어떻게 변화할지 설명하시오.

(2–3) 제시된 장치에서 항온 수조를 제거한 후 같은 실험을 수행하였다. 이때, $0 < V < V_1$ 구간에서 V 가 증가함에 따라 용기 A의 삼투압이 어떻게 변화할지 설명하시오.



항온 수조를 제거한 장치 (문제 2–3)

동일한 실험을 앞에서 사용한 $\mathrm{HCl}(aq)$과 같은 농도의 아세트산 수용액($\mathrm{CH_3COOH}(aq)$)을 사용하여 수행하였다. 이때 넣어준 $\mathrm{CH_3COOH}(aq)$의 부피를 V 라고 하자. NaOH 의 몰수와 넣어준 $\mathrm{CH_3COOH}$ 의 몰수가 같아지는 지점까지 넣어준 $\mathrm{CH_3COOH}(aq)$의 부피를 V_2 라고 한다. $\mathrm{CH_3COOH}(aq)$을 첨가하기 전 용기 A의 삼투압을 P_0, V_2 에서 용기 A의 삼투압을 P_2 라고 한다.



아세트산 수용액을 사용한 실험 (항온 수조 안에 설치)

(2–4) P_0 와 P_2 의 크기를 비교하시오.

(2–5) $V > V_2$ 구간에서, 넣어준 $\mathrm{CH_3COOH}(aq)$의 부피(V)가 증가함에 따라 용기 A의 삼투압이 어떻게 변화할지 문제 2–2에서의 결과와 비교하여 설명하시오.

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

2023학년도 · 문제편

문제 1 반응 엔탈피와 화학 평형
문제 2 상태 변화와 가열 곡선

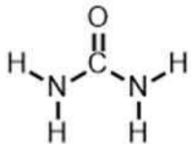
단원 반응과 에너지 · 평형·반응 속도 · 상태·용액
핵심 개념 표준 생성 엔탈피와 헤스 법칙, 평균 결합 에너지, 화학 평형 상수와 르 샤틀리에 원리, 상태 변화와 가열 곡선(잠열), 비열과 열용량, 전기음성도와 수소 결합, 상변화를 이용한 온도 유지
문항 수 2문항 (소문항 8개)

Ⅰ. 문제

문제 1 반응 엔탈피와 화학 평형

소문항 3개

(1-1) 표준 상태(25 °C, 1 기압)에서의 화학 반응은 표준 생성 엔탈피(ΔH_f°)를 활용하여 그 반응 엔탈피를 계산할 수 있다. 아래의 표준 생성 엔탈피 값을 이용하여 다음 고체 상태의 요소를 분해하는 반응의 표준 반응 엔탈피를 구하시오.



요소(urea)의 구조

$$\textbf{요소}(\mathrm{s}) + \mathrm{H_2O}(\mathrm{l}) \rightarrow \mathrm{CO_2}(\mathrm{g}) + 2\mathrm{NH_3}(\mathrm{g})$$

표준 생성 엔탈피 ΔH_f° (kJ/mol)	
ΔH_f° (요소, s) $= -334$	ΔH_f° ($\mathrm{CO_2}$, g) $= -394$
ΔH_f° ($\mathrm{H_2O}$, l) $= -286$	ΔH_f° ($\mathrm{NH_3}$, g) $= -46$

(1-2) 모든 반응 물질이 기체 상태일 때, 평균 결합 에너지 값을 활용하여 반응 엔탈피를 계산할 수 있다.

$$\textbf{요소}(\mathrm{g}) + \mathrm{H_2O}(\mathrm{g}) \rightarrow \mathrm{CO_2}(\mathrm{g}) + 2\mathrm{NH_3}(\mathrm{g})$$

(1) 다음의 평균 결합 에너지 값을 이용하여 기체 상태의 요소를 분해하는 반응의 반응 엔탈피를 구하시오.

평균 결합 에너지 (kJ/mol)			
C=O	732	O–H	460
C–N	300	N–H	390

(2) (1)에서 구한 값이 문항 1-1의 반응 엔탈피 값과 다르다면, 이는 어디에서 기인하는 것인지 설명하시오.

(1-3) 다음은 일정한 온도에서 일어나는 기체 상태의 요소 분해 반응의 화학 반응식을 나타낸 것이다. 밀폐된 1 L 용기에서 이 반응이 평형 상태에 도달했을 때, 네 가지 화합물 모두 1 M의 농도를 가지는 것을 확인하였다. 다음과 같은 외부 조건에 의해 요소(g)와 $\mathrm{CO_2}$(g)의 몰 수가 각각 어떻게 변할 것인지 정성적으로 설명하시오. (이때, 온도 변화, 외부와의 열 출입, 그리고 외부에 대한 일은 무시한다.)

$$\textbf{요소}(\mathrm{g}) + \mathrm{H_2O}(\mathrm{g}) \rightleftharpoons \mathrm{CO_2}(\mathrm{g}) + 2\mathrm{NH_3}(\mathrm{g})$$

(1) 용기의 부피를 두 배로 늘렸을 경우
(2) 1 몰의 $\mathrm{NH_3}$ 기체를 첨가할 경우
(3) 1 몰의 HCl 기체를 첨가할 경우
(4) 0.1 몰의 $\mathrm{H_2O}$와 0.1 몰의 $\mathrm{CO_2}$를 반응 용기에서 동시에 제거할 경우
(5) 0.1 몰의 $\mathrm{H_2O}$와 0.1 몰의 $\mathrm{NH_3}$를 반응 용기에서 동시에 제거할 경우

문제 2 상태 변화와 가열 곡선

소문항 5개

고체, 액체, 기체 상태의 안정도는 온도와 압력에 따라 달라지고, 물질은 특정 온도와 압력에서 가장 안정한 상태로 상태 변화하려는 특성이 있다.

녹는점에서 고체물질이 액체로 상태 변화할 때 흡수하는 열을 융해열이라 하고, 끓는점에서 액체물질이 기체로 상태 변화할 때 흡수하는 열을 기화열이라 한다. 예를 들어, $\mathrm{H_2O}$의 융해열과 기화열은 아래와 같다.

$$\mathrm{H_2O}(\mathrm{s}) \rightarrow \mathrm{H_2O}(\mathrm{l}) \quad \textbf{융해열}\text{: } \Delta H = 300 \ \mathrm{J/g} \quad (0\ ^\circ\mathrm{C},\ 1\ \textbf{기압})$$

$$\mathrm{H_2O}(\mathrm{l}) \rightarrow \mathrm{H_2O}(\mathrm{g}) \quad \textbf{기화열}\text{: } \Delta H = 2300 \ \mathrm{J/g} \quad (100\ ^\circ\mathrm{C},\ 1\ \textbf{기압})$$

또한, 어떤 물체나 일정량의 물질이 얻거나 잃은 열량(Q)은 그 비열(c), 질량(m), 온도 변화(Δt)를 통해 아래와 같은 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$Q = c \times m \times \Delta t$$

(2–1) -20 °C, 1 기압의 $\mathrm{H_2O}$ 1 kg을 특수 용기에 넣고 가열판에 올려 가열하기 시작하였다. 가열판은 초당 100 J의 열을 일정하게 용기에 전달한다. 이 때, $\mathrm{H_2O}$의 온도가 가열 시간에 따라 어떻게 변화하는지 수치를 이용하여 설명하시오. 이 특수 용기는 매우 얇아 $\mathrm{H_2O}$에 비해 열을 흡수하는 정도를 무시할 수 있고, 열전달은 매우 빠르게 일어난다. 또한, 이 용기는 가열하는 동안 외부와의 물질 출입은 없으며, 1 기압을 계속해서 유지할 수 있다고 가정한다. 1 기압에서 $\mathrm{H_2O}$의 비열(c)은 고체 상태일 때 2 J/g·°C, 액체 상태일 때 4 J/g·°C, 기체 상태일 때 2 J/g·°C 이다.

(2–2) 열용량은 어떤 물질 일정량의 온도를 1 °C 높이는 데 필요한 열량이다. 비열(c), 질량(m)인 물질의 열용량(C)는 아래와 같은 식에 의해 계산된다.

$$C = c \times m$$

문항 2–1에서 진행된 실험에서, 1 kg $\mathrm{H_2O}$의 열용량이 가열 시간에 따라 어떻게 변화하는지 설명해 보시오.

(2–3) 산소(O)의 전기음성도는 3.5, 질소(N)의 전기음성도는 3.0, 수소(H)의 전기음성도는 2.1이다. 산소의 전기음성도가 2.8로 줄어들었다고 가정하자. 그렇다면, 문항 2–1에서 제시한 가열 시간에 따른 $\mathrm{H_2O}$의 온도 변화 개형은 어떻게 변화하게 될 것인지 설명해 보시오. 또한 그 이유는 무엇인지 설명해 보시오.

(2–4) 물질 A와 물질 B가 반응하여 생성물 C를 형성할 때, 많은 열이 발생한다.

$$\mathrm{A} + \mathrm{B} \rightarrow \mathrm{C} \quad \Delta H < 0$$

이 반응은 온도에 매우 민감하여, 온도가 올라가면 생성물 C가 분해되고, 온도가 낮아지면 반응이 잘 진행되지 않는 특징을 가지고 있다. 따라서 우리는 이 반응 시 온도를 0 °C로 일정하게 유지하고자 한다. 문항 2–1~2–3의 결과를 토대로, $\mathrm{H_2O}$를 이용하여 온도를 일정하게 유지시킬 수 있는 방법을 설명하시오. 이 반응이 일어나는 용기는 위에서 사용한 특수 용기를 사용한다.

(2–5) 열의 흡수/방출과 상관없이 체온과 유사한 37 °C의 온도를 최대한 유지하려 한다. 문항 2–1~2–4의 내용을 토대로, 특정 물질을 이용하여 이를 해결할 수 있는 방법을 고안해 보시오.

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

2022학년도 · 문제편

문제 1 기체 분자 운동론과 화학 반응
문제 2 요소(Urea)의 화학

단원 화학 결합·분자간 힘 · 반응과 에너지 · 상태·용액
핵심 개념 이상 기체 방정식과 기체 분자 운동론, 한계 반응물과 화학 반응의 양적 관계, 활성화 에너지, 물의 전기 분해와 표준 환원 전위, 표준 생성 엔탈피와 헤스 법칙, 루이스 전자점식과 형식전하, 산화수와 전자 수지, 르 샤틀리에 원리
문항 수 2문항 (소문항 9개)

Ⅰ. 문제

문제 1 기체 분자 운동론과 화학 반응

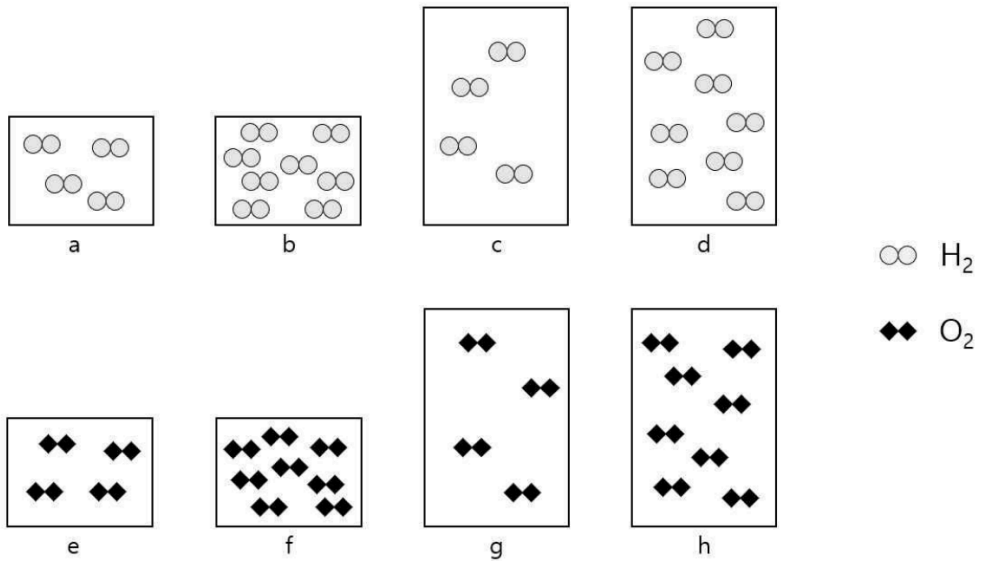
소문항 4개

기체 분자는 서로 멀리 떨어져 있고, 액체나 고체에 비해 밀도가 매우 작으며, 빠른 속도로 무질서한 운동을 하고 있어 용기의 모양이나 부피에 관계없이 용기를 가득 채우게 된다. 기체 분자 운동론은 이러한 기체의 성질을 분자 운동으로 설명하고 있으며, 이때 가정하는 이상 기체는 다음의 특징을 가진다. 기체 분자 사이에 인력과 반발력이 없고, 기체 분자는 완전 탄성체로 분자끼리의 충돌이나 용기 벽면과의 충돌 과정에서 에너지는 손실되지 않으며, 입자 자체의 부피는 매우 작아 무시할 수 있다.

〈문제 1〉에 나오는 기체는 모두 이상 기체라 가정하고, 아래 조건을 고려하여 답하시오.

- 상온(25 °C), 1.00 atm 조건에서 이상 기체 1몰당 부피 $= 24$ L
- $R = 0.08 \quad (\text{atm} \cdot \text{L} \,/\, \text{mol} \cdot \text{K})$
- 0 °C $= 273$ K
- H의 원자량 $= 1$, C의 원자량 $= 12$, O의 원자량 $= 16$

(1-1) 수소와 산소 기체를 상온(25 °C)으로 유지되는 용기에 아래 [그림 1]과 같이 보관하였다. 큰 용기는 작은 용기보다 2배 큰 부피를 가지고 있다.



[그림 1] 다양한 용기에 보관된 기체

각 용기 내부 기체의 다음 특성들을 작은 것부터 큰 것 순으로 나열하시오.

(1) 압력
(2) 밀도
(3) 분자당 평균 속력

(1-2) 수소 기체와 산소 기체를 반응시켜 물을 만드는 실험을 수행했다. 실험은 둘 중 하나의 반응물이 모두 소진될 때까지 진행하였다.
(1) 227 °C로 온도가 유지되는 20.0 L 스테인레스 용기에서 2.00 atm 수소 기체와 3.00 atm 산소 기체를 반응시켰을 때, 용기 내부의 압력은 얼마인지 구하시오.

(2) (1)의 반응이 진행된 이후, 온도를 0 °C로 내렸을 때 생성되는 얼음의 질량이 얼마인지 구하시오.

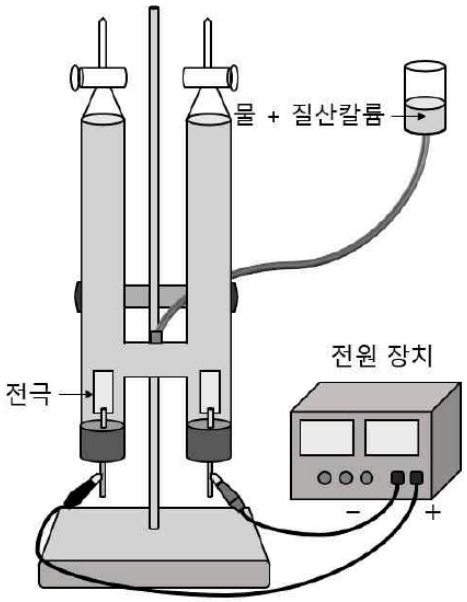
(3) 수소 기체와 산소 기체가 만나 반응을 하면 큰 에너지를 방출하지만, 수소 기체와 산소 기체의 혼합물은 상온에서 서로 반응을 하지 않고 독립적으로 존재할 수 있다. 두 기체가 해당 조건에서 반응하지 않는 이유를 설명하시오.

(1–3) 수소, 산소 기체 생산을 위한 하나의 방법으로 물의 전기분해를 활용할 수 있다. 전기 분해는 외부에서 전기 에너지를 공급하여 비자발적인 산화 환원반응을 일으키는 과정으로, 이때 전극과 전해질을 구성하는 물질 사이의 반응성을 필수적으로 고려해야 한다. 25 °C에서 전해질의 농도가 1 M, 기체의 압력이 1.00 atm일 때, 반쪽 전지 중 환원 반응이 일어나는 전극의 전위를 표준 환원 전위라 한다.

반쪽 반응	표준 환원 전위 (V)
$\mathrm{F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq)}$	$+2.87$
$\mathrm{O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)}$	$+1.23$
$\mathrm{I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-(aq)}$	$+0.54$
$\mathrm{2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)}$	$+0.00$
$\mathrm{Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)}$	-0.45
$\mathrm{2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)}$	-0.83
$\mathrm{Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)}$	-2.71
$\mathrm{K^+(aq) + e^- \rightarrow K(s)}$	-2.92

[표 1] 25 °C에서 반쪽 전지의 표준 환원 전위

아래와 같은 장치([그림 2] 참고)에 물을 채우고 충분한 전압을 걸어줄 수 있는 전원 장치를 연결하여 전기 분해를 수행하였다. 위의 [표 1]을 이용하여 다음의 질문에 대답하시오.



[그림 2] 물의 전기 분해 장치

(1) (+)극과 (−)극에서 일어나는 pH 변화를 전극 인접 부위에 한정하여 설명하시오.

(2) 25 °C, 1.00 atm 조건에서 18.0 L의 기체가 만들어졌을 때, 소모된 물의 양은 얼마인지 제시하시오.

(3) 위 [그림 2]의 질산칼륨 대신에 NaI를 넣으면, NaI가 소진되기 전까지 (+)극과 (−)극에서 어떤 차이가 발생하는지 서술하시오.

(1–4) 16.0 g의 메테인($\mathrm{CH_4}$) 기체와 64.0 g의 산소($\mathrm{O_2}$) 기체를 온도가 227 °C로 유지되는 10.0 L 밀폐 용기에 넣고 반응시켰더니 완전 연소(이산화탄소와 수증기 형성)와 불완전 연소(일산화탄소와 수증기 형성)가 동시에 일어난 후 평형에 도달하였다. 평형에서 산소의 압력이 1.00 atm이고 수증기의 압력이 7.50 atm이다. 평형 상태에서 메테인, 일산화탄소, 그리고 이산화탄소의 압력은 각각 얼마일지 구하시오.

문제 2 요소(Urea)의 화학

소문항 5개

최근 요소의 공급부족으로 인한 '요소수 대란'이 사회적으로 문제가 되고 있다. 요소($(NH_2)_2CO$)는 디젤 엔진의 선택적 환원 촉매장치에 활용되어 질소산화물(NO_x)의 분해를 돕는다. 이러한 질소산화물은 산성비와 미세먼지를 유발하는 등 대기오염의 주요 원인이기 때문에, 디젤 엔진에서 요소수의 사용을 통해 이를 분해하는 과정이 필수적이다. 대표적인 질소산화물인 일산화질소(NO)와 요소의 화학 반응식은 다음과 같다.

$$4NO + 2(NH_2)_2CO + O_2 \rightarrow 4N_2 + 2CO_2 + 4H_2O$$

(2–1) 위 반응식을 바탕으로, 25 °C, 1 atm에서 1 mol의 NO가 반응할 때의 엔탈피 변화를 구하라. 단, 각 화합물의 표준 생성 엔탈피(ΔH_f)는 다음과 같다.

$\Delta H_f(NO(g))$	$= +100$ kJ/mol
$\Delta H_f\left((NH_2)_2CO(s)\right)$	$= -350$ kJ/mol
$\Delta H_f(CO_2(g))$	$= -350$ kJ/mol
$\Delta H_f(H_2O(g))$	$= -250$ kJ/mol
$\Delta H_f(H_2O(l))$	$= -300$ kJ/mol

(2–2) NO의 루이스 전자점식을 그려라. 가능한 루이스 전자점식은 두 가지 이상 제시하고, 가장 안정한 구조의 전자점식과 그 이유를 설명하라.

(2–3) 일산화질소와 요소의 산화·환원 반응에서 (1) 산화되는 물질과 환원되는 물질을 찾고, 그 물질들의 산화수 변화를 구하라. (2) 산화수의 변화를 바탕으로 전체 반응계의 전자 이동을 설명하고, (3) 이를 바탕으로 산화·환원 반응의 일반적인 특징을 서술하라.

(2–4) 또 다른 질소산화물인 이산화질소(NO_2)는 암모니아(NH_3)와 반응하여 질소 기체와 물을 생성한다. 이 반응이 일어날 때 주위의 온도가 어떻게 변화할지, 그 이유를 논리적으로 설명하라. NO_2와 NH_3의 반응은 아래와 같은 간단한 화학 반응식으로 나타낼 수 있다.

$$6NO_2 + 8NH_3 \rightarrow 7N_2 + 12H_2O$$

(2–5) 문제 2-4의 반응이 상온에서 가역적으로 일어나며, 반응 과정에서 온도가 일정하게 유지된다고 가정하자. 반응 용기의 부피가 줄어들었을 때 화학 평형이 어느 쪽으로 이동할지 서술하라.

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

2021학년도 · 문제편

문제 1 동전 뒤집기로 보는 화학 평형과 반응 속도
문제 2 같은 족 원소의 화합물 — 구조·분자 간 힘·산화수

단원 물질의 구조 · 화학 결합·분자간 힘 · 평형·반응 속도 · 산-염기·산화환원
핵심 개념 동적 평형과 평형 상수·반응 지수, 르 샤틀리에 원리, 반응 차수와 반감기, 활성화 에너지와 전이 상태, 분자 간 힘(분산력·수소 결합)과 끓는점, 한계 반응물과 이상 기체 방정식, 중화 적정, 산화수와 산화·환원 지시 반응
문항 수 2문항 (소문항 8개)

Ⅰ. 문제

문제 1 동전 뒤집기로 보는 화학 평형과 반응 속도

소문항 4개

동전의 앞면과 뒷면을 구분할 수 있는 동전이 640개 있다. 이 중 동전을 앞면이 위를 향하도록 하여 큰 상자 안에 넣었다. 상자의 뚜껑을 닫고 충분히 세게 흔들면, 앞면이 위를 향한 동전의 개수와 뒷면이 위를 향한 동전의 개수가 같아진다고 하자. 앞면이 위를 향한 동전을 반응물, 뒷면이 위를 향한 동전을 생성물로 간주하면, 이를 다음과 같은 화학 반응식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{동전(앞면)} \rightleftharpoons \text{동전(뒷면)}$$

이 때, 반응물의 농도는 앞면이 위를 향한 동전의 개수로, 생성물의 농도는 뒷면이 위를 향한 동전의 개수로 나타낼 수 있다.

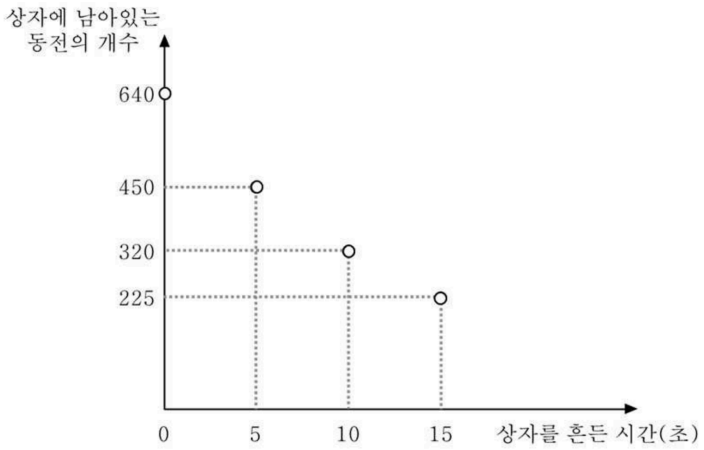
※ 실제로 이 실험을 하면 앞면이 위를 향한 동전의 개수와 뒷면이 위를 향한 동전의 개수가 실험마다 조금씩 다르게 얻어질 수 있다. 그러나 이 문제에서는 충분히 긴 시간 동안 상자를 흔들면 앞면이 위를 향한 동전의 개수와 뒷면이 위를 향한 동전의 개수가 항상 같아진다고 가정한다.

(1-1) 충분히 시간이 지난 동안 상자를 흔들고 있을 때, 각 동전의 앞·뒷면이 뒤집히는 과정을 동적 평형과 연관 지어 설명하시오. 또한, 이 반응의 평형 상수 K와 동전의 앞면이 모두 위를 향한 초기 상태에서의 반응 지수 Q를 구하고, 이를 바탕으로 반응 초기에 반응의 진행 방향을 설명하시오.

(1-2) 640개의 동전이 평형에 도달하여 앞면·뒷면이 위를 향한 동전의 개수가 일정하게 유지되고 있을 때, 앞면이 위를 향한 동전 640개를 상자에 추가하고 계속해서 동전이 뒤집힌다. 아래의 각 상황에서 앞면이 위를 향한 동전의 개수를 각각 구하고, 이를 르샤틀리에 원리와 관련지어 설명하시오.

① 동전을 추가하기 직전
② 새로 동전을 추가한 직후
③ 동전을 추가한 후 충분히 긴 시간 동안 흔들어 새로운 평형에 도달하였을 때

(1-3) 동전 앞면에 끈끈한 물질을 발라 동전이 한 번 뒤집히면(즉, 동전 뒷면이 위를 향하고 앞면이 상자 바닥에 붙으면) 다시 뒤집힐 수 없게 만들었다. 동전의 앞면이 모두 위를 향한 초기 상태에서 상자 뚜껑을 닫고 흔들면서 5초에 한 번씩 뚜껑을 열어 바닥에 붙은(즉, 뒷면이 위를 향한) 동전을 모두 떼어 상자 밖으로 꺼냈다. 상자를 흔든 시간에 따라 상자에 남아있는 동전의 개수를 기록하여 아래와 같은 결과를 얻었다. 이 반응의 반응 차수를 구하고, 상자에 동전이 5개 남을 때까지 상자를 흔들어야 하는 시간을 구하시오. (단, 동전이 서로 붙거나, 상자의 바닥이 아닌 다른 면에는 붙지 않는다고 가정한다.)



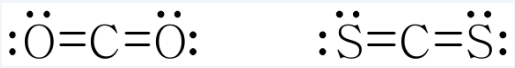
상자를 흔든 시간에 따라 상자에 남아있는 동전의 개수

(1–4) 동전이 뒤집히기 위해서는 동전이 선 상태를 거쳐 가야 한다. 동전이 뒤집히는 반응의 진행에 따른 에너지 변화를 그래프로 간단히 나타내고, 이와 연관 지어 이 반응의 활성화 에너지를 설명하시오.

문제 2 같은 족 원소의 화합물 — 구조·분자 간 힘·산화수

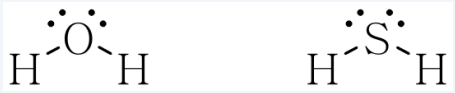
소문항 4개

주기율표에서 같은 족 원소들은 화학적 성질이 비슷하다. 예컨대, 같은 족에 속하는 산소(O)와 황(S)은 탄소(C)와 결합하여 각각 이산화탄소(CO_2)와 이황화탄소(CS_2)를 만든다. 이산화탄소와 이황화탄소는 모두 아래와 같이 직선형 구조를 가진다.



이산화탄소(CO_2)와 이황화탄소(CS_2)의 루이스 구조 (직선형)

또한, 산소 원자와 황 원자는 두 개의 수소(H) 원자와 결합하면 각각 물(H_2O)과 황화수소(H_2S)를 만드는데, 이들은 모두 아래와 같이 굽은 형 구조를 가진다.



물(H_2O)과 황화수소(H_2S)의 루이스 구조 (굽은 형)

각 원자의 물리적 성질은 아래 표와 같다.

	수소 원자	탄소 원자	산소 원자	황 원자
원자량	1	12	16	32
원자 반지름 (pm)	50	75	64	104
1차 이온화 에너지 (kJ/mol)	1312	1087	1314	1000
전기음성도	2.1	2.5	3.5	2.5

(2–1) 아래 [표 1]은 제시문에서 제시한 분자들의 끓는점을 나타낸 것이다. 다음 물음에 답하시오.

분자	CO_2	CS_2	H_2O	H_2S
끓는점 (°C)	-78.5	46	100	-60

[표 1] CO_2, CS_2, H_2O, H_2S의 끓는점

(1) 25 °C에서 CO_2는 기체인 반면, CS_2는 액체 상태로 존재한다. 그 이유를 설명하시오.

(2) 25 °C에서 H_2O는 액체로 존재하지만 H_2S는 기체로 존재한다. 이는 앞에서 황을 포함하는 CS_2가 액체로 존재하고, 황을 포함하지 않는 CO_2가 기체로 존재하는 것과 반대되는 현상이다. 그 이유를 설명하시오.

(2-2) 이황화탄소는 산소 기체와 아래와 같이 반응한다.

$$\mathrm{CS_2} + x\mathrm{O_2} \rightarrow \mathrm{CO_2} + y\mathrm{SO_2}$$

상온에서 10 L의 단단한 반응 용기에 He와 $\mathrm{O_2}$를 1:3의 부피비로 포함하고 있는 혼합기체와 $\mathrm{CS_2}$ 76 g을 넣고 밀봉하였다. 이후, 500 K에서 충분한 시간 동안 반응을 진행한 뒤 $\mathrm{O_2}$가 완전히 소모되었을 때, 반응 용기 내부 압력이 13 atm이었다. 아래 〈조건〉을 고려하여 남은 $\mathrm{CS_2}$의 질량을 구하시오. 또한, 반응 후 300 K에서 반응 용기 내 기체의 압력을 구하시오.

〈조건〉

- $\mathrm{CS_2}$의 끓는점은 46 °C이다.
- 반응 용기의 부피는 온도에 관계없이 일정하다.
- 기체상수 $R = 0.08 \quad \mathrm{atm \cdot L\ /(mol \cdot K)}$ 로 계산하시오.
- 끓는점보다 낮은 온도에서 $\mathrm{CS_2(l)}$의 증기압은 무시한다.
- 모든 기체는 이상기체라 가정하고 액체의 부피는 무시한다.
- 위에서 제시된 반응 외에 액·기체를 포함한 다른 반응은 일어나지 않는다고 가정한다.
- $\mathrm{CS_2}$를 제외한 모든 화합물은 주어진 온도, 압력 범위에서 항상 기체로 존재한다고 가정한다.

(2-3) 이산화황($\mathrm{SO_2}$)이 물에 녹으면 아황산($\mathrm{H_2SO_3}$)이 생성된다. 아황산은 용액 중 산소(O)에 의해 산화되어 황산($\mathrm{H_2SO_4}$)이 될 수 있다. 1.0 L에 이산화황 3.2 mg을 녹였다. 아래 〈조건〉을 고려하여 이 용액 1.0 L를 완전히 중화시키는데 필요한 0.0010 M 수산화나트륨(NaOH) 수용액의 부피를 계산하시오.

〈조건〉

- 중화 반응 시 생성되는 물의 양은 무시한다.
- 녹인 $\mathrm{SO_2}$는 $\mathrm{H_2SO_3}$ 형태를 거쳐 모두 $\mathrm{H_2SO_4}$로 변환되었다고 가정한다.
- $\mathrm{H_2SO_4}$는 물에서 완전히 이온화하여 $\mathrm{H^+}$와 $\mathrm{SO_4^{2-}}$로만 존재한다.

(2-4) (1) 황은 산소 원자와 결합하여 다양한 산화수를 갖는 물질을 형성한다. 대표적인 예로 아황산수소 이온($\mathrm{HSO_3^-}$), 황산수소 이온($\mathrm{HSO_4^-}$), 싸이오황산 이온($\mathrm{S_2O_3^{2-}}$)이 있다. 각 이온에서 황의 산화수를 구하시오.

(2) 아황산수소 이온과 아이오딘산 이온($\mathrm{IO_3^-}$)이 반응하면 아이오딘($\mathrm{I_2}$)이 생성되지만, 황산수소 이온은 아이오딘산 이온과 반응하지 않는다. 두 비커에 각각 0.1 M 아황산수소 이온 수용액과 0.1 M 황산수소 이온 수용액이 담겨있다. 아래 〈재료〉를 사용하여 각 비커에 담겨있는 용액을 구분할 수 있는 실험을 설계해 보시오.

〈재료〉

- 0.1 M 아이오딘산 칼륨($\mathrm{KIO_3}$) 수용액
- 0.1 M 염화 칼륨(KCl) 수용액
- 5% 녹말 용액

WRITEGROW.NET

써봄 AI 논술 자동 첨삭

쓴 글을 올리면, 바로 채점과 피드백이 돌아옵니다.

무료

3회 무료 분석

회원가입만 하면 3회까지 무료로 분석해 드립니다.

결제 정보 없이 바로 시작할 수 있습니다. 첨삭 결과는 PDF 리포트로 내려받을 수 있습니다.

네 가지 영역을 점수로 보여 줍니다

· 논리 구조
· 주장 명확성
· 근거 타당성
· 언어 표현

받아 보는 것

영역별 점수와 함께 **강점**, **개선점**, **구체적 제안사항**이 담긴 상세 피드백이 나옵니다.

이런 분께

혼자 쓴 답안을 바로 점검하고 싶은 **수험생**, 여러 학생 글을 한 번에 채점해야 하는 **논술 교사·강사·학원**.

writegrow.net

QR 을 찍으면 바로 열립니다

이용 방법

1

회원가입

이메일로 가입하면 곧바로 무료 분석 3회가 주어집니다.

2

답안 올리기

PDF · DOCX · TXT 파일을 올립니다. 한 번에 최대 10편까지 일괄 처리됩니다.

3

첨삭 받기

영역별 점수와 상세 피드백을 확인하고 PDF 리포트로 내려받습니다.