

2025학년도 대학 신입학생 수시모집 일반전형

## 면접 및 구술고사

# 화학

문항 · 제시문 · 예시 답안

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

서울대학교

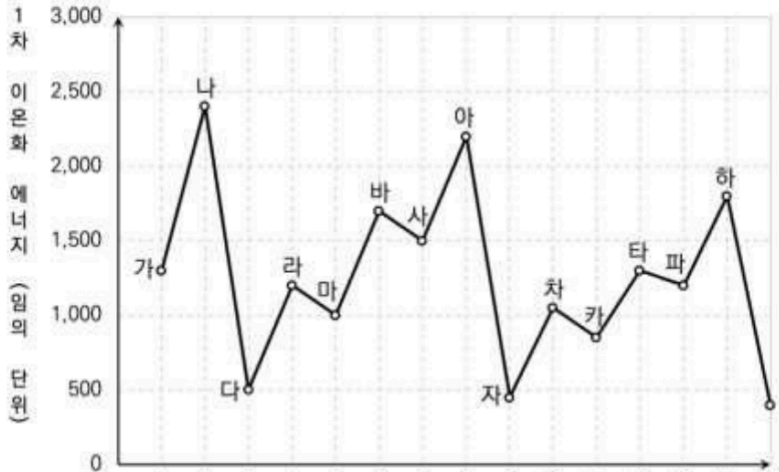
※ 예시 답안은 자체 풀이·검토 결과이며 학습용 참고 자료입니다.

# 화학 — 문제 1. 2차원 가상 세계의 원자와 화학 결합

## 제시문

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 있다. 이것을 가능하게 하는 주요 화학 원리는 원자와 분자의 전자 배치이다.

이제 다음과 같은 **가상 세계**에 대해 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 배치로서 설명되며, 1차 이온화 에너지는 **[그림 1]** 과 같이 원자 번호에 따른 변화를 보인다. 가상 세계의 환경에서 온도와 압력은 일정할 때, 물질의 성질에 대한 다음 문제에 답하시오.



[그림 1] 가상 세계 원자의 1차 이온화 에너지

## 문항

### 문제 1-1.

우리 세계에서 전자는  $1s, 2s, 2p_x, 2p_y, 2p_z, 3s, \dots$  오비탈에 순서대로 채워지지만, 2차원 가상 세계에서는  $1a, 2a, 2b_x, 2b_y, 3a, \dots$  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 있는지 설명하시오.
- (2) '가', '마', '바' 세 원자의 바닥상태 전자 배치를 각각 구하시오.

### 문제 1-2.

가상 세계 대기의 주요 구성 원소는 '나', '바', '아'이며, 존재 비율은 '바' > '나' > '아' 순으로 감소한다.

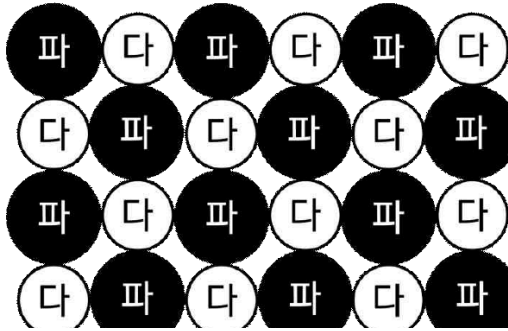
- (1) '나', '바', '아' 중 단원자 분자로 안정한 원소는 무엇인가?
- (2) '나', '바', '아' 중 이원자 분자로 화학적으로 안정한 원소는 무엇인가? 이 분자를 이루는 결합은 단일 결합과 이중 결합 중 어느 것인가?
- (3) 문항 (1), (2)의 '나', '바', '아'로 이루어진 단원자 또는 이원자 분자 물질의 끓는점 순서는 어떻게 되고 이유를 설명하시오.

(4) 이 물질들이 기체 상태로 존재한다는 사실로부터 가상 세계의 온도와 압력에 대해 무엇을 알 수 있는가?

**문제 1-3.**

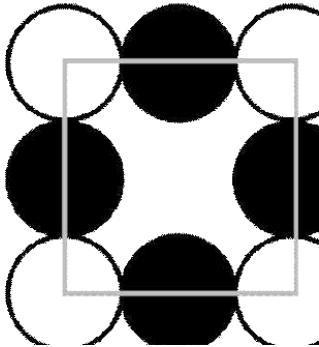
가상 세계에서 발견되는 다음 고체 화합물에 대해 답하시오.

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



고체 A — ‘다’·‘파’ 1:1 2차원 결정

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



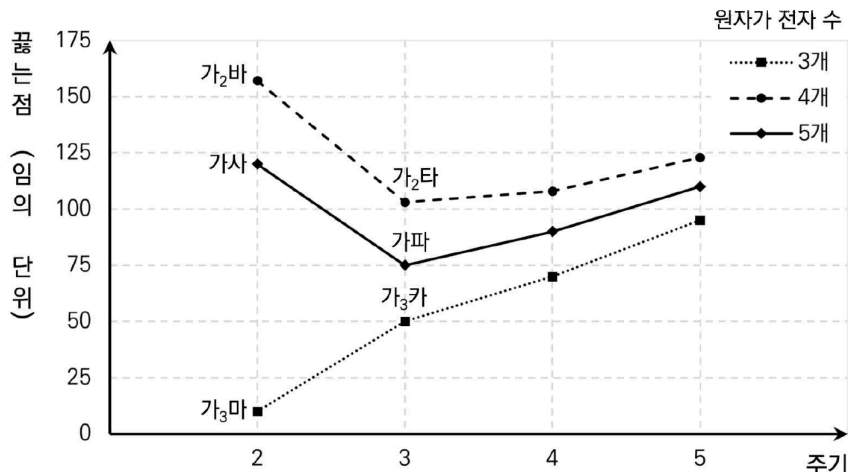
고체 B — 단위 세포

(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.

**문제 1-4.**

2차원 가상 세계에 존재하는 다음 물질에 대해 답하십시오.

(1) 아래 그림은 원자가 전자 수가 3, 4, 5개인 원자가 '가' 원자와 이루는 화합물의 끓는점을 주기에 따라 나타낸 것이다. 이 데이터로부터 분자 간 인력에 대해 무엇을 알아낼 수 있는지 설명하십시오.

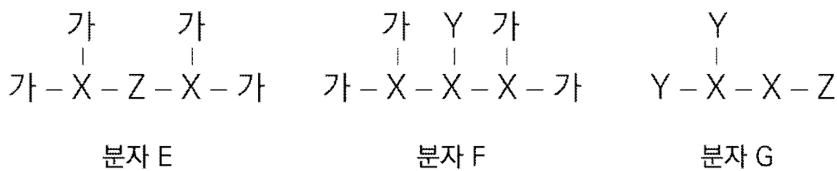


원자가 전자 수 3·4·5개 원자의 '가' 화합물 끓는점

(2) 가상 세계에는 화학식이 '가<sub>2</sub>바'인 분자 D가 액체 상태로 존재한다. 이 화합물은 2차원에서 어떤 분자 구조를 가질지 결합각을 포함하여 설명하십시오.

(3) [문제 1-3]의 고체 A와 고체 C 중 어느 것이 액체 D에 더 잘 녹을지 설명하십시오.

(4) 아래는 2주기 원자 '다'~'아' 중 X, Y, Z가 '가' 원자와 결합해 만들어진 분자 E, F, G의 구조를 나타낸 것이다. 그림에서는 단일 결합과 다중 결합을 구분하지 않았다. X, Y, Z에 해당하는 원소를 밝히시오. (이들 분자에서 각 원자를 중심으로 하는 2a, 2b 오비탈은 모두 전자로 채워진다.)



분자 E, F, G의 구조 (단일·다중 결합 미구분)

### 문제 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 [문제 1-2]~[문제 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.

## 화학 — 문제 1 예시 답안

**전제 모형.** 2차원에서 오비탈은  $1a$ (원형, 2개 수용)  $\rightarrow 2a$ (원형, 2개)  $\rightarrow 2b_x, 2b_y$ (아령, 각 2개, 합 4개)  $\rightarrow 3a \dots$  순으로 채워진다. 따라서 껍질별 최대 전자 수는 1껍질 2개, 2껍질 6개(=2a 2개 + 2b 4개)이다. 안정한 전자 배치는 껍질이 꽉 찬 ‘가득 채움’(2개 또는 8개=2+6)이며, 원자가 전자 6개를 ‘옥텟’에 대응하는 안정 규칙으로 본다. 원소는 가(1)·나(2)·다(3)·라(4)·마(5)·바(6)·사(7)·아(8)·자(9)·차(10)…… 순의 원자 번호를 갖는다.

### 문제 1-1.

(1) [그림 1]의 1차 이온화 에너지는 우리 세계의 원리로 설명된다.

**답** 한 껍질 안에서는 유효 핵전하가 커지며 이온화 에너지가 대체로 증가하고, 껍질이 가득 찬 원자(나:  $1a^2$ , 아:  $1a^2 2a^2 2b^4$ )에서 극대가 된다. 새 껍질의 첫 전자가 들어가는 원자(다:  $2a^1$ , 자:  $3a^1$ )에서는 껍질이 멀어지고 안쪽 전자의 가림 효과로 이온화 에너지가 급감한다. 즉 주기성은 우리 세계의 ‘껍질·유효 핵전하·가림 효과’ 원리로 그대로 설명된다. 2차원에서 2껍질 용량이 6개이므로 주기의 길이가 (2, 6, 6, …)으로 달라질 뿐이다.

(2) 바닥상태 전자 배치.

**답** 가( $Z=1$ ):  $1a^1$  / 마( $Z=5$ ):  $1a^2 2a^2 2b_x^1$  / 바( $Z=6$ ):  $1a^2 2a^2 2b_x^1 2b_y^1$ . (2b 오비탈에는 훈트 규칙에 따라 각 축에 홀전자가 하나씩 먼저 채워진다.)

### 문제 1-2.

(1) 단원자 분자로 안정한 원소: 아.

**답** 아는  $1a^2 2a^2 2b^4$  로 2껍질이 가득 찬(원자가 전자 6개 = 2차원 ‘옥텟’) 비활성 원소이므로, 다른 원자와 결합하지 않고 단원자 기체로 안정하다.

(2) 이원자 분자로 안정한 원소: 바, 결합은 이중 결합.

**답** 바는 원자가 전자가 4개여서 안정 껍질(6개)을 채우려면 2개가 부족하다. 두 바 원자가 각각 2개의 전자를 공유하면(이중 결합) 두 원자 모두 6개의 원자가 전자를 갖게 되어 안정해진다. 따라서 바<sub>2</sub>는 이중 결합 이원자 분자이다. (나는  $2a^1$  로 결합해도 안정 배치에 못 미쳐 이원자로 안정하지 못하다.)

(3) 끓는점 순서: 바<sub>2</sub> > 아 > 나 (또는 나가 금속성이면 논외).

**답** 모두 무극성이므로 분자 간 인력은 분산력이 지배하며, 전자 수가 많을수록 분산력이 크다. 전자 수는 바<sub>2</sub>(12) > 아(8) > 나(2) 순이므로 끓는점도 같은 순서다.

(4) 온도·압력 조건.

**답** 이 물질들이 모두 기체로 존재한다는 것은, 가상 세계의 온도가 이들 물질의 끓는점보다 높고 압력이 충분히 낮음을 뜻한다. 즉 분자 간 분산력을 이겨낼 만큼 열운동 에너지가 큰(상대적으로 고온·저압) 환경이다.

### 문제 1-3.

(1) 고체 A(다·파 1:1)가 고체인 이유.

**답** 다는 원자가 전자가 3개(안정 껍질보다 3개 많음 → 3개를 잃고 양이온  $\text{다}^{3+}$ 가 되기 쉬움), 파는 사(7)에 대응하는 할로겐형으로 1개가 부족해 음이온이 되기 쉽다. 두 원자는 전자를 주고받아 이온 결합을 이루며, 1:1 비율의 강한 정전기적 인력이 2차원 격자 전체로 연결된다. 이 결합은 방향성 있는 강한 결합망이므로 상온에서 쉽게 끊어지지 않아 고체로 존재한다.

(2) 고체 B에서 '라'는 **흰색(큰 원)**.

**답** 단위 세포에서 흰 원은 1개, 검은 원은 2개 비율(라:파 = 1:2, 화학식  $\text{라}_2\text{파}$ )이다. 라 원자가 전자 4개로 4개를 내주어  $\text{라}^{4+}$ 가 되고, 파는 1개씩 받아  $\text{파}^-$ 가 되므로 전하 균형상 라 1개당 파 2개가 필요하다 → 개수가 적은(1개) 흰 원이 라이다. 또한 양이온 라가 전자를 잃어 반지름이 작지만, 그림의 크기 비는 실제와 무관하다는 단서와 개수비로 판정한다.

(3) 고체 C('마'만으로 구성)의 결합.

**답** 마는 원자가 전자 5개로 안정 껍질(6개)에 1개가 부족하다. 각 마 원자가 이웃 세 원자와 한 개씩 공유 결합하면 원자가 전자를 6개로 채우며, 결합이 2차원 전체로 끝없이 이어지는 **공유 결합 그물구조(망상 구조)**가 된다.  $2b_x, 2b_y$  오비탈이 2차원 평면에서  $120^\circ$  방향으로 뻗으므로 결합각은 약  $120^\circ$  이고, 벌집 모양 육각 격자를 이룬다. 강한 공유 결합망 전체를 끊어야 녹으므로 A·B보다 훨씬 단단하고 녹는점이 높다.

#### 문제 1-4.

(1) 끓는점 데이터로부터 알 수 있는 것.

**답** 원자가 전자가 4개인 원자의 ‘가’ 화합물(가사, 무극성·대칭)은 주기가 커질수록 분자 크기·전자 수가 늘어 분산력이 커지므로 끓는점이 단조 증가한다. 반면 원자가 전자가 3, 5개인 원자의 화합물은 극성을 띠어, 특히 2주기 원소(예: 바, 사)의 화합물에서 끓는점이 비정상적으로 높게 튀어 오른다. 이는 전기음성도가 큰 2주기 원자와 ‘가’(수소 대응) 사이에 **수소 결합에 해당하는 특별히 강한 분자 간 인력**이 작용함을 뜻한다.

(2) 분자 D(가<sub>2</sub>바)의 구조: **굽은형, 결합각 약 120°**.

**답** 중심 원자 바는 원자가 전자 6개 중 2개를 두 개의 가와 단일 결합에 쓰고, 나머지는 비공유 전자쌍(2차원에서 1쌍)으로 남는다. 중심 바 주위에 공유 전자쌍 2개 + 비공유 전자쌍 1개, 총 3개의 전자 영역이 2차원 평면에서 서로 최대한 벌어지려 하므로 120° 간격으로 배치된다. 결합에 참여한 두 가가 이루는 결합각은 약 **120°** 이고 분자는 굽은형이며, 전하가 한쪽으로 치우쳐 극성을 띤다(그래서 액체로 존재).

(3) 고체 A와 고체 C 중 액체 D에 잘 녹는 것: **고체 A**.

**답** 액체 D(가<sub>2</sub>바)는 굽은형 극성 분자다. 극성 용매는 이온 결정을 잘 녹이므로, 이온 결합 물질인 고체 A(다·파)가 잘 녹는다. 고체 C는 원자들이 강한 공유 결합 그물로 묶인 망상 고체라 어떤 용매에도 잘 녹지 않는다. ‘유유상종(비슷한 것끼리 잘 녹음)’ 및 이온-극성 상호작용 관점 모두에서 A가 D에 더 잘 녹는다.

(4) X, Y, Z 판정: **X=마(5), Y=사(7), Z=바(6)**.

**답** 각 원자를 중심으로 2a, 2b 오비탈이 모두 전자로 채워진다(원자가 전자 6개, 2차원 옥텟 충족)는 조건에서, 중심 원자가 ‘가’(1가) 원자와 이루는 결합 수 = 6 - (원자가 전자 수) 이다. 분자 E·F·G의 ‘가’ 원자 개수(중심원자당 결합 가짓수)로 판별하면, 결합 1개면 원자가 5(마), 2개면 6이 아니라 비공유쌍 포함으로 바(6, 결합 2 + 다중결합/비공유), 3개면 사(7, 3개 부족분)로 대응된다. 즉 중심 원자의 원자가 전자가 클수록 ‘가’와의 결합 수가 줄어드는 관계로부터 X=마, Y=사, Z=바로 확정된다. (E=가<sub>3</sub>마 삼각형, G=가사 형태 등 구조의 대칭·결합 수가 근거.)

#### 문제 1-5.

(1) 물과 유사한 역할을 하는 분자: **가<sub>2</sub>바(분자 D)**.

**답** 가<sub>2</sub>바는 물(H<sub>2</sub>O)처럼 중심 원자에 비공유 전자쌍이 있는 굽은형 극성 분자이며, 수소 결합에 해당하는 강한 분자 간 인력을 형성한다. 넓은 온도 범위에서 액체로 존재하고 이온성 물질을 잘 녹이는 등 용매로서 물과 같은 역할을 할 수 있다.

(2) 고체-액체 밀도 차: **유사하게 고체가 액체보다 밀도가 작을 수 있다**.

**답** 가<sub>2</sub>바도 물처럼 굽은형이며 수소 결합을 이루므로, 고체(결정)에서 분자들이 수소 결합으로 규칙적·성기게 맞물려 배열되면 빈 공간이 커져 액체보다 밀도가 낮아질 수 있다. 즉 얼음이 물에 뜨는 것과 유사하게, 고체 가<sub>2</sub>바가 액체 가<sub>2</sub>바에 뜨는 현상이 나타날 수 있다.

(3) 탄소와 가장 유사한 역할의 원소: **마(5)**.

**답** 마는 원자가 전자 5개로 안정 껍질보다 1개 부족해, 이웃 원자들과 여러 개의 공유 결합을 이루며 사슬·고리 등 복잡한 골격을 만들 수 있다(고체 C에서 확인). 이는 4개의 공유 결합으로 다양한 유기 골격을 만드는 탄소의 역할과 가장 유사하다.

(4) 유기물 ‘종류 수’ 차이를 결정하는 요소 (두 가지).

**답** ① **중심 원자가 만들 수 있는 결합의 수**: 3차원 탄소는 결합 4개로 사면체 골격을 이뤄 가지·고리 구조의 조합 수가 매우 크지만, 2차원 마는 결합 3개(평면 120°)로 만들 수 있는 골격의 다양성이 작다. ② **공간 차원**: 3차원에서는 입체 이성질체·나선 등 배열의 자유도가 크지만, 2차원 평면에서는 배치의 자유도가 제한되어 만들 수 있는 물질의 종류 수가 근본적으로 적다.

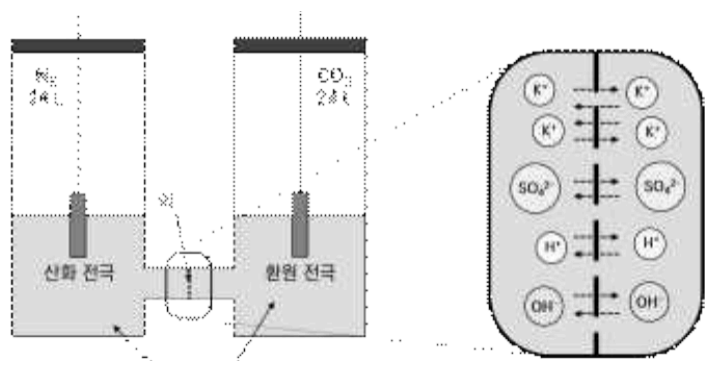
(5) 규산염 광물에 대응하는 물질의 존재 가능성.

**답** 규산염의 기본 단위는 규소(4가) 1개가 산소 4개와 결합한 사면체다. 2차원 가상 세계에서 이에 대응하려면 4개의 방향으로 결합하는 중심 원자가 필요한데, 2차원에서 원자가 전자가 4개인 라(라<sup>4+</sup>)와 산소 대응 원자(파 또는 바)가 결합하면 **중심 원자 1개를 여러 개의 음이온이 둘러싼 평면 다각형 단위**(예: 삼각형·사각형)를 이룰 수 있다. 이 단위들이 꼭짓점 원자를 공유하며 2차원으로 이어지면 규산염과 유사한 다양한 그물·사슬 광물이 존재할 수 있다. 다만 사면체(3차원) 대신 평면 다각형이므로 구조의 다양성은 지구보다 제한적이다.

## 화학 — 문제 2. 이산화 탄소로부터 메탄올을 만드는 전기·열화학 반응

### 제시문

심각해지는 지구 온난화 상황에서 온실 기체인 이산화 탄소( $\text{CO}_2$ )를 유용한 화합물로 전환하는 화학 기술이 주목받고 있다. [그림 2-1]은 1 atm, 300 K에서 이산화 탄소를 환원하여 메탄올( $\text{CH}_3\text{OH}$ )을 생성하는 전기 화학 반응기의 모식도로, 물을 환원제로 사용하는 청정 반응이다. 반응기는 산화 반응과 환원 반응이 일어나는 두 개의 수조로 나뉘며, 두 수조는 기체 분자·메탄올은 통과시키지 못하고 이온만 원활히 통과시키는 막으로 구분된다. 양쪽 수조에는 동일한 농도의  $\text{K}_2\text{SO}_4$  수용액과, 반응에 참여하지 않는 페놀프탈레인 지시약이 들어 있다. 두 수조의 수면 위 공간에는 각각 질소( $\text{N}_2$ )와 이산화 탄소가 충분히 채워져 있다. (탄산 생성 반응은 무시한다.)



[그림 2-1] 메탄올 생성을 위한 전기 화학 반응기

### 문항

#### 문제 2-1.

산화 전극과 환원 전극에서 일어나는 아래 반쪽 반응식의 계수와 전자를 채워 완성하고, 전체 반응식을 도출하시오.

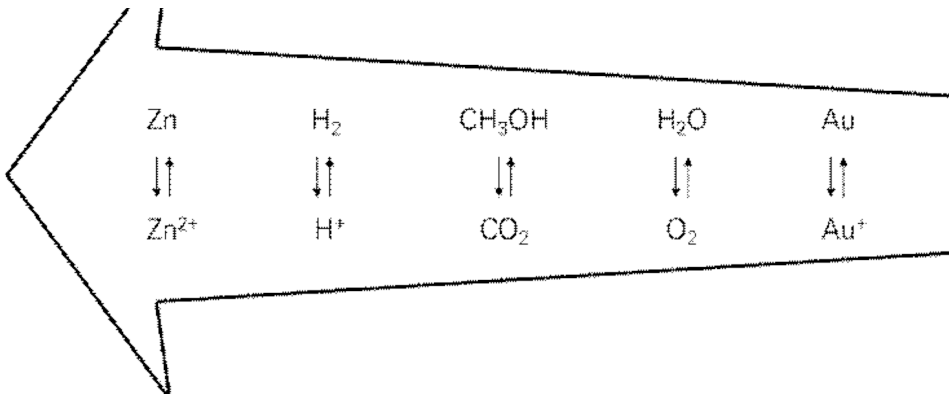
산화 전극:  $\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{O}_2(g) + \text{H}^+(aq)$   
 환원 전극:  $\text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(aq) + \text{OH}^-(aq)$   
 전체 반응:  $\text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(aq) + \text{O}_2(g)$

#### 문제 2-2.

300 K에서 일정 시간 전류를 흘렸더니 두 수조 사이의 기체 압력 차이가 0.01 atm 이 되었다. 이때 생성된 메탄올의 양(몰수·질량)을 구하고, 어느 쪽 수조의 수위가 높아질지 예측하시오. (각 수조 기체가 차지하는 부피는 24 L로 같고, 모든 기체는 이상 기체, 기체 상수  $R = 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , 원자량  $C=12 \cdot H=1 \cdot O=16$ .)

**문제 2-3.**

이온화 경향(산화되기 쉬운 정도)이 [그림 2-2] 와 같을 때, [문제 2-2] 와 동일한 조건에서 산화 전극만 아연(Zn) 전극으로 바꾸어 같은 양의 메탄올을 생성하였다.



[그림 2-2] 다양한 화학종의 산화되는 경향 (왼쪽일수록 산화되기 쉬움)

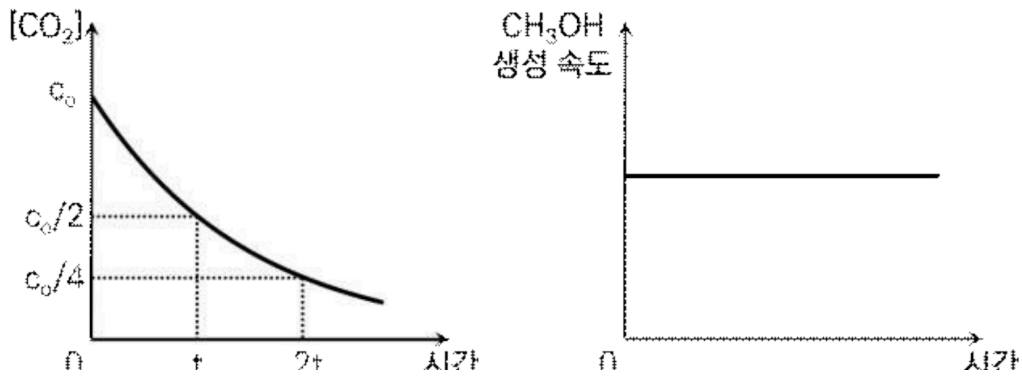
- (1) 아연 전극에서 산화되는 물질은 무엇인가?
- (2) 산화 전극으로 아연을 사용했을 때, [문제 2-2] 에 비해 수조의 수위는 어떻게 달라지는지 설명하시오.
- (3) 산화 전극으로 아연을 사용했을 때와 금(Au, 불활성)을 사용했을 때 수용액(지시약)의 색이 어떻게 다른지 설명하시오.

### 문제 2-4.

반응 환경에 따라 메탄을 생성 속도가 어떻게 달라지는지 알아본다. [그림 2-3(1)] 은 〈기본 조건〉에서 시간에 따른  $\text{CO}_2$  농도, [그림 2-3(2)] 는 〈A 조건〉에서 시간에 따른 메탄을 생성 속도이다. 〈A 조건〉에서 시작해 일정 시간 후 〈B 조건〉, 이후 〈C 조건〉으로 바꿀 때 시간에 따른 메탄을 농도 개형을 추론하시오. (모든 기체는 이상 기체, 온도 일정, 산화 전극 수조는 열려 있음.)

#### 조건

- 기본 조건: 환원 전극 수조에  $\text{CO}_2$  1 mol을 넣고 반응 중 추가 공급하지 않는다.
- A 조건: 환원 수조에  $\text{CO}_2$  분압이 1 atm으로 유지되도록 계속 공급한다.
- B 조건: A 조건에서  $\text{CO}_2$  분압을 0.2 atm으로 유지하도록 공급한다.
- C 조건: B 조건에 질소를 추가해 수조 전체 압력이 1 atm이 되도록 유지한다.



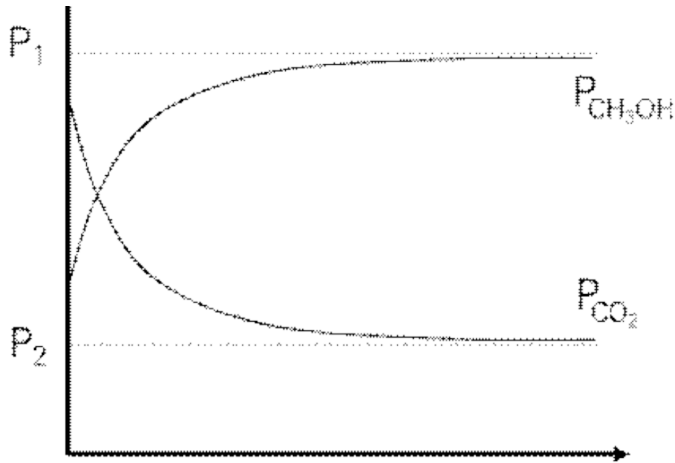
[그림 2-3] (1) 시간- $\text{CO}_2$  농도 (2) A 조건의 메탄을 생성 속도

**문제 2-5.**

전기 화학 반응 외에 열화학 반응으로도 메탄올을 만들 수 있다. 다음 물음에 답하시오.

- ‘가’ 반응(계수 완성):  $\text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(g) + \text{O}_2(g)$
- ‘나’ 반응:  $\text{CO}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$ ,  $\Delta H = -49 \text{ kJ}$
- $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 생성 엔탈피  $\Delta H_f = -242 \text{ kJ/mol}$

- (1) 이산화 탄소와 물( $\text{H}_2\text{O}(g)$ )로부터 메탄올과 산소를 생성하는 ‘가’ 반응식을 완성하고, 그 반응 엔탈피  $\Delta H$  를 헤스 법칙으로 구하시오.
- (2) ‘가’ 반응의  $\Delta H$  와 [문제 2-1] 전체 반응식의  $\Delta H$  를 비교하고, 두 값이 다르다면 그 이유를 설명하시오.
- (3) ‘가’ 반응이 온도  $T_1$  에서 평형에 도달했을 때 메탄올·이산화 탄소의 압력을 각각  $P_1, P_2$  라 하자. 온도를  $T_2 (> T_1)$  로 올리면 새 평형에서 두 압력이 어떻게 변하고, 평형 도달 시간은 어떻게 변할지 추론하시오.

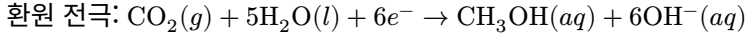
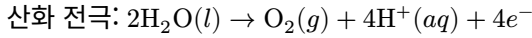


$\text{CO}_2 \cdot \text{CH}_3\text{OH}$  분압의 시간 변화 (평형 도달)

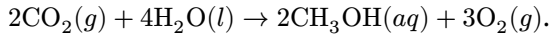
## 화학 — 문제 2 예시 답안

### 문제 2-1.

답 전자 수를 맞춰 반쪽 반응식을 완성한다.



전자 수를 12로 맞춰(산화  $\times 3$ , 환원  $\times 2$ ) 더하고  $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  로 정리하면



### 문제 2-2.

답 이동한 전자를  $q$  (mol)라 하면 산화 전극에서  $\text{O}_2 = q/4$  mol이 생겨 그 수조의 기체가 늘고, 환원 전극에서  $\text{CO}_2 = q/6$  mol이 소모되어 그 수조의 기체가 준다.  $RT/V = 0.08 \times 300/24 = 1$  atm/mol 이므로 두 수조의 압력 변화는 각각  $+q/4, -q/6$  이고, 압력 차이는

$$q/4 + q/6 = 5q/12 = 0.01 \text{ atm} \Rightarrow q = 0.024 \text{ mol}.$$

따라서  $n(\text{CH}_3\text{OH}) = q/6 = 0.004$  mol, 질량 =  $0.004 \times 32 = 0.128$  g.

산화 수조는  $\text{O}_2$  가 생겨 압력이 높아지므로 수위가 내려가고, 환원 수조는  $\text{CO}_2$  가 소모되어 압력이 낮아지므로 수위가 올라간다. → 환원 전극 수조의 수위가 더 높아진다.

$$n(\text{CH}_3\text{OH}) = 0.004 \text{ mol, 질량} = 0.128 \text{ g, 환원 수조 수위 상승}$$

### 문제 2-3.

(1) 산화되는 물질: 아연(Zn) 자신.

답 [그림 2-2] 에서 Zn은 가장 왼쪽, 즉 가장 산화되기 쉬운 화학종이다. 따라서 물( $\text{H}_2\text{O}$ )이 산화되는 대신 전극인 아연 자체가 산화된다:  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$ . 산소 기체는 발생하지 않는다.

(2) 수위 변화의 차이.

답 백금(Au)일 때는 산화 전극에서  $\text{O}_2$  기체가 발생해 그 수조의 압력이 올라 수위가 내려갔다. 아연을 쓰면 기체가 생기지 않고 전극이  $\text{Zn}^{2+}$  로 녹을 뿐이므로, 산화 수조의 압력 상승(과 그에 따른 수위 하강)이 나타나지 않는다. 결국 [문제 2-2] 에 비해 산화 전극 수조의 수위가 상대적으로 높게 유지된다.

(3) 지시약 색 차이.

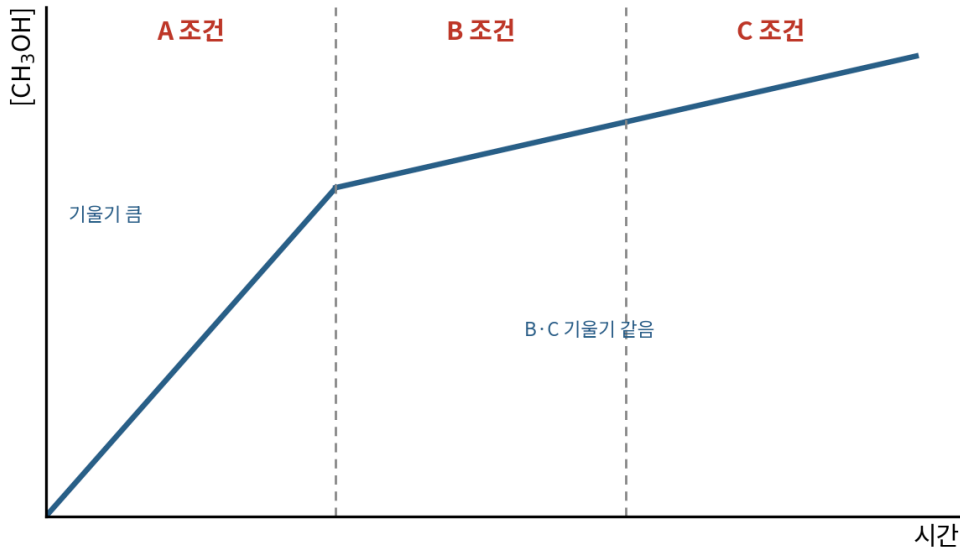
답 환원 전극에서는 두 경우 모두  $\text{OH}^-$  가 생성·축적되어 염기성이 되므로 페놀프탈레인이 분홍색으로 변한다. 산화 전극 쪽은 다르다. 금(Au, 불활성)일 때는 물이 산화되며  $\text{H}^+$  가 생성되어 그 수조가 산성이 되므로 무색을 유지한다. 아연일 때는  $\text{H}^+$  대신  $\text{Zn}^{2+}$  만 생기므로 산성화가 일어나지 않아 그 수조는 중성에 가깝게 무색으로 남는다. 즉 두 경우 모두 환원 쪽은 분홍색이지만, 산화 쪽의 액성이 금은 산성, 아연은 중성으로 갈린다.

**문제 2-4.**

**답** [그림 2-3(1)] 에서 CO<sub>2</sub> 농도가 반감기 형태로 지수 감소하므로 메탄올 생성 속도는 CO<sub>2</sub> 분압에 **비례**(1차)한다. CO<sub>2</sub> 분압이 일정하게 유지되면 생성 속도도 일정하여 농도가 직선으로 증가한다([그림 2-3(2)]).

- A 조건: CO<sub>2</sub> 1 atm → 기울기 가장 큼.
- B 조건: CO<sub>2</sub> 0.2 atm → 기울기가 A의 0.2배로 감소.
- C 조건: 질소를 더해 전체 압력만 1 atm일 뿐 CO<sub>2</sub> 분압은 여전히 0.2 atm(질소는 반응에 무관) → 기울기가 B와 **동일**.

따라서 메탄올 농도 개형은 A 구간에서 가파른 직선, B로 바뀌며 완만해지고, C에서는 B와 같은 기울기로 꺾임 없이 이어진다. (기울기 A > B = C.)



예시 작도 — 메탄올 농도-시간 개형 (기울기 A > B = C, B→C 꺾임 없음)

**문제 2-5.**

(1) ‘가’ 반응식과 반응 엔탈피.

**답** ‘가’ 반응:  $\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(g) + 3/2\text{O}_2(g)$ .

‘나’ 반응에서  $\Delta H = -49 = [\Delta H_f(\text{CH}_3\text{OH}) + \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})] - \Delta H_f(\text{CO}_2)$  이고  $\Delta H_f(\text{H}_2\text{O}, g) = -242$  이므로  $\Delta H_f(\text{CH}_3\text{OH}) - \Delta H_f(\text{CO}_2) = -49 - (-242) = +193$  kJ.

‘가’ 반응은  $\Delta H_{\text{가}} = [\Delta H_f(\text{CH}_3\text{OH}) - \Delta H_f(\text{CO}_2)] - 2\Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) = 193 - 2(-242) = +677$  kJ.

즉 헤스 법칙으로  $\Delta H_{\text{가}} = +677$  kJ (흡열)이다.

$\Delta H_{\text{가}} = +677 \text{ kJ (흡열)}$

(2) [문제 2-1] 반응과의 비교.

**답** 두 반응은 같은 ‘이산화 탄소 + 물 → 메탄올 + 산소’이지만 물질의 **상태(phase)**가 다르다. ‘가’ 반응은 반응물·생성물이 모두 **기체**(H<sub>2</sub>O(g), CH<sub>3</sub>OH(g))인 반면, [문제 2-1]의 전체 반응은 액체 물·수용액 상태(H<sub>2</sub>O(l), CH<sub>3</sub>OH(aq))로 진행된다. 따라서 두 ΔH는 물과 메탄올의 **상변화(증발·용해) 엔탈피**만큼 차이가 난다. 기화는 흡열 과정이므로 기체 기준인 ‘가’ 반응 쪽이 더 흡열적이다.

(3) 온도를 T<sub>2</sub>(> T<sub>1</sub>) 로 올릴 때.

**답** ‘가’ 반응은 흡열(ΔH = +677 kJ > 0)이므로, 르샤틀리에 원리에 따라 온도를 높이면 평형이 **정반응(흡열) 쪽**으로 이동한다. 따라서 메탄올이 더 생성되어 P<sub>1</sub>' > P<sub>1</sub> (메탄올 압력 증가), P<sub>2</sub>' < P<sub>2</sub> (이산화 탄소 압력 감소)가 된다. 또한 온도가 높아지면 분자 운동이 활발해져 반응 속도가 커지므로 **평형에 도달하는 시간은 짧아진다**.