

2021학년도 수시 면접·구술고사

화학 기출

문항 · 채점 기준 · 예시 답안

한국과학기술원 (KAIST)

문제 1. 상평형 그림, 삼중점

문항 및 제시문

2035년 행성 X 로 여행을 떠나게 되었다. 7개월의 긴 여정 끝에 도달한 행성 X 는 일반적인 지구의 환경과는 달리 중요한 몇몇 조건들이 달랐다. 온도 213 K, 기압이 매우 낮았다 (0.006 atm). (총 3점)

(1) 상평형 그림을 고려했을 때, 지구에서의 H_2O 의 3중점은 0.006 atm, 273.2 K이다. 행성 X 에서는 H_2O 의 3중점이 지구에서와 비교하면 어떻게 달라지는가? (1점)

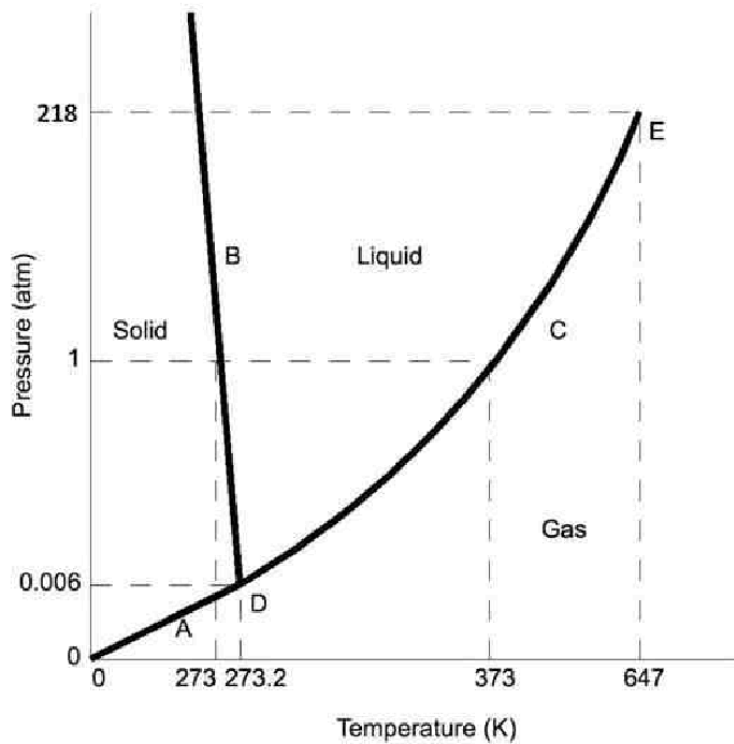
(2) 행성 X 의 지표면에서 H_2O 를 발견하였다. 행성 X 에는 H_2O 가 어떤 상태로 존재하겠는가? 이를 액체 상태의 물로 마시려면 어떤 방법을 써야 하는가? 3가지 방법을 서술하시오. (2점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	3중점이 물질의 고유한 성질임을 이해하고 3중점이 변하지 않음을 설명할 수 있다.	1점
(2)	3중점을 이용하여 물질의 상태 변화를 설명할 수 있다.	2점

예시 답안

- (1) 3중점은 물질의 고유한 성질이므로 온도와 압력이 달라지더라도 변하지 않는다.
- (2) 아래 상평형 그림을 참고하여 답한다.



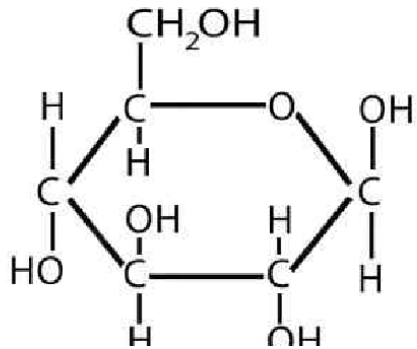
행성 X의 지표면에서(절대온도 213 K, 0.006 기압) H_2O 는 고체인 얼음으로 존재한다. 이를 물로 만들려면

1. 온도와 압력을 동시에 올린다.
2. 압력을 매우 높여준다.
3. H_2O 3중점은 일정한 값을 가지므로 온도를 올려 삼중점에 도달했을 때 액체(물)로 존재하는 부분을 추출한다.

문제 2. 광합성과 연소, 결합에너지와 반응엔탈피

문항 및 제시문

식물은 햇빛 에너지를 사용하여 물과 이산화탄소를 포도당과 산소로 만든다. 아래 포도당의 구조식은 다음과 같다. (총 3점)



- (1) 광합성을 반응물과 생성물로 나누어 화학 반응식으로 표현하시오. (0.5점)
- (2) 위 반응식의 정반응은 흡열 반응인가 발열 반응인가? 또는 반응의 열적 특성을 알 수 있는가? (1점)
- (3) 결합에너지 자료를 사용하여 위 반응의 반응엔탈피 ($\Delta H = B$)를 계산하고, 정반응이 흡열 반응인지 발열 반응인지 서술하시오. (1점)

결합	결합 엔탈피 (kJ/mol)	결합	결합 엔탈피 (kJ/mol)	결합	결합 엔탈피 (kJ/mol)
C-H	413	O-H	463	C-O	358
C-O	799	C-C	348	O=O	495

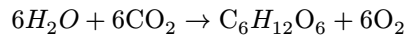
※ 표에서 799는 C=O(이중결합), 358은 C-O(단일결합)의 결합 엔탈피이다.

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	광합성 반응을 반응물과 생성물로 나누어 화학 반응식으로 바르게 표현할 수 있다.	0.5점
(2)	광합성 반응이 흡열 반응임을 판단할 수 있다.	1점
(3)	반응 엔탈피 (ΔH)를 구하면 0.5점, 흡열반응인지 판단하면 0.5점.	1점

예시 답안

(1) 반응물과 생성물을 이용하여 광합성 반응을 완성할 수 있다.



계수를 표기하지 않고 반응물과 생성물만 표기하면 0.5점.

(2) 광합성 반응은 햇빛 에너지가 필요한 반응이다. 즉, 반응물보다 생성물이 더 높은 에너지 상태이므로 흡열 반응이다.

(3) 반응물의 모든 결합이 분해되고 생성물의 모든 결합이 생성된다는 가정으로 결합에너지를 계산하면,

$$\begin{aligned}\Delta H &= (\text{반응물의 결합에너지 합}) - (\text{생성물의 결합에너지 합}) \\ &= (6 \times 2H_{O-H} + 6 \times 2H_{C=O}) \\ &\quad - (5H_{C-C} + 7H_{C-O} + 7H_{C-H} + 5H_{O-H} + 6H_{O=O}) \\ &= (6 \times 2 \times 463 + 6 \times 2 \times 799) \\ &\quad - (5 \times 348 + 7 \times 358 + 7 \times 413 + 5 \times 463 + 6 \times 495) \\ &= +2722 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

그러므로 흡열 반응이다.

문제 3. 약산의 이온화 평형, 완충 용액, pH

문항 및 제시문

아래 그림과 같이 같은 부피의 두 개의 수용액이 분리막에 의해 좌-우로 나뉘어져 있다. 왼쪽에는 순수한 물에 약한 산성 물질인 HA를 초기 농도 1 M로 녹였으며, 오른쪽은 HA는 전혀 포함되어 있지 않지만 pH 8로 맞추어진 완충 용액을 채워 넣었다. 이온 형태의 산성 물질 (A^-)과 물 분자 및 그 외 모든 화학종은 분리막을 통과하지 못하고, 오직 중성 형태의 산성 물질인 HA만 이 분리막을 통과할 수 있다. (총 4점)

(산성 물질 HA의 이온화 상수 K_a 는 10^{-4} 이다.)



- (1) 평형 상태를 이루었을 때 왼쪽 수용액과 오른쪽 수용액에 녹아있는 화학종 중 농도가 같은 화학종은 무엇인가? (1점)
- (2) 평형 상태에서 (1)에서 답한 화학종의 농도는 몇 M인가? (2점)
- (3) 왼쪽 수용액의 pH는 얼마인가? (1점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	분리막을 통과할 수 있는 물질과 통과할 수 없는 물질을 이해하고, 왼쪽과 오른쪽 수용액에 녹아있는 화학종 중 농도가 같은 것을 이해하고 있다.	1점
(2)	HA의 농도와 계산 과정을 바르게 설명하고 있다.	2점
(3)	왼쪽 용액의 pH값과 계산 과정을 바르게 설명하고 있다.	1점

예시 답안

(1) 오직 중성 형태의 HA만 분리를 통과할 수 있으므로, 평형 상태에서 양쪽 수용액의 농도가 같은 화학종은 HA이다.

(2) HA는 약산이지만 오른쪽 완충 용액은 염기 조건으로 맞추어져 있기 때문에 대부분의 HA가 오른쪽으로 이동한 후 높은 pH로 인하여 대부분 A^- 로 이온화될 것이라는 화학적 직관력을 이용할 수 있다.

초기 조건을 모든 HA가 오른쪽으로 넘어간 후 100% 이온화 되어 A^- 의 형태로 존재하는 조건으로 바꾸어 생각해 보자. 즉 $[A^-]_R^0 = 1 \text{ M}$ 을 초기조건으로 생각하고 오른쪽 수용액의 산-염기 평형을 고려하면,

	HA	$\rightarrow H^+$	$+A^-$
초기:	0	10^{-8}	1
변화량:	$+x$		$-x$
최종:	x	10^{-8}	$1-x$

$$K_a = \frac{10^{-8}(1-x)}{x} = 10^{-4}$$

이때 x 가 충분히 작아 $1-x \approx 1$ 이면, 오른쪽 HA의 농도는 $[HA]_R = x = 10^{-4} \text{ M}$ 이 되며, 왼쪽과 오른쪽의 HA의 농도는 같기 때문에, 왼쪽의 HA의 농도 역시 $[HA]_L = x = 10^{-4} \text{ M}$ 이 된다.

(3) 평형 상태에서 왼쪽 수용액에서의 HA의 농도는 $[HA]_L = 10^{-4} \text{ M}$ 이므로, 왼쪽에서의 산-염기 평형은 아래와 같이 쓰여진다.

	HA	$\rightarrow H^+$	$+A^-$
초기:	y_0	0	0
변화량:	$-y$	y	y
최종:	10^{-4}	y	y

$$K_a = \frac{y^2}{10^{-4}} = 10^{-4}$$

$$[H^+]_L = [A^-]_L = y = 10^{-4}$$

그러므로 왼쪽 수용액의 pH는 $-\log_{10} [H^+]_L = -\log_{10} 10^{-4} = 4$ 이다.

문제 4. 화학 평형과 평형 이동, 르샤틀리에 원리

문항 및 제시문

다음의 발열반응이 있다.

$$3 \text{NO}(g) \rightarrow \text{N}_2 \text{O}(g) + \text{NO}_2(g)$$

반응이 아래의 각각의 경우에 왼쪽 혹은 오른쪽으로 갈지 답하고 설명하십시오. (총 3점)

- (1) 온도 변화 없이 부피가 감소하면 반응이 어느 쪽으로 가겠는가? 그 이유는 무엇인가? (0.5점)
- (2) 반응 온도를 낮추면 반응이 어느 쪽으로 가겠는가? 그 이유는 무엇인가? (0.5점)
- (3) 압력이나 온도의 변화 없이 비활성 기체가 더해지면 반응이 어느 쪽으로 가겠는가? 그 이유는 무엇인가? (1점)
- (4) 부피의 변화 없이 비활성 기체를 넣으면 반응이 어느 쪽으로 가겠는가? 그 이유는 무엇인가? (1점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	평형의 이동방향과 이유를 바르게 설명하면 0.5점.	0.5점
(2)	평형의 이동방향과 이유를 바르게 설명하면 0.5점.	0.5점
(3)	평형의 이동방향과 이유를 바르게 설명하면 1점.	1점
(4)	평형이 이동하지 않는다는 것과 그 이유를 바르게 설명하면 1점.	1점

예시 답안

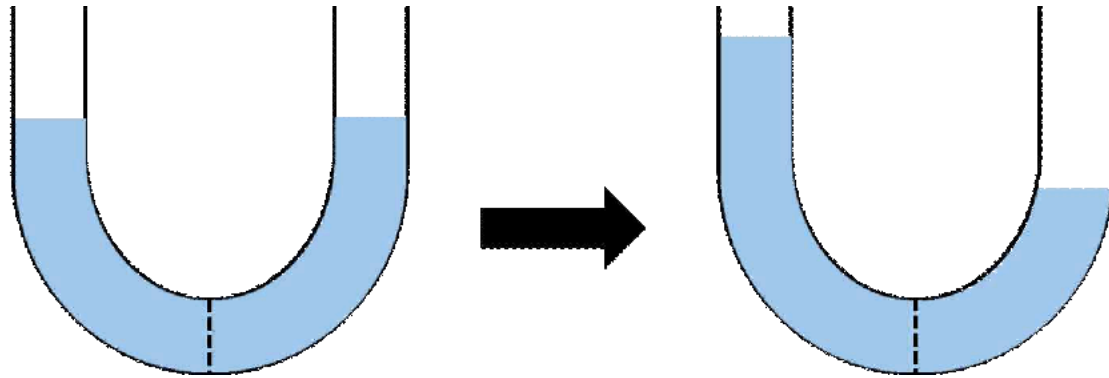
- (1) 기체의 부피(압력) 변화에 따른 평형의 이동 방향을 설명할 수 있는가? 부피가 감소하면 모든 기체의 부분 압력이 상승하므로, 르샤틀리에 원리에 따라 반응은 몰 수가 줄어드는 방향으로 이동한다. 이때 왼쪽은 4몰, 오른쪽은 2몰이므로 반응은 오른쪽(정반응, 생성물)쪽으로 가게 된다.
- (2) 온도 변화에 따른 평형의 이동 방향을 설명할 수 있는가? 문제에 제시된 반응은 발열반응이므로 온도를 낮추면 생성물을 만드는 것을 더 선호하므로 오른쪽(정반응, 생성물)쪽으로 가게 된다.
- (3) 압력이 일정한 상황에서 비활성 기체가 더해질 때 계에서 일어나는 변화를 설명할 수 있는가? 비활성 기체가 더해지게 되면 주어진 압력 및 온도를 유지하기 위해서 부피는 반드시 증가해야 하고 부피가 증가하면 각 기체의 부분 압력이 낮아지는 효과가 있으므로 르샤틀리에의 원리에 따라 몰 수가 증가하는 왼쪽(역반응, 반응물)쪽으로 평형이 이동한다.
- (4) 부피가 일정한 상황에서 비활성 기체가 추가될 때 계에서 일어나는 변화를 설명할 수 있는가? 평형에 영향을 주지 않는 물질이 추가될 때 평형의 이동 방향을 설명할 수 있는가? 부피의 변화 없이 부분 압력이 변하지 않고, 또한 반응의 평형이 전체 압력에 독립적이기 때문에 평형에는 변화가 없다.

문제 5. 삼투압, 총괄성, 물질량

문항 및 제시문

물활동도는 몰랄농도와 동일하다고 가정하라. (총 3점)

- (1) 0.002 M 설탕 수용액 (설탕 분자량: 342 g/mol)과 0.0015 M 소금 수용액 (소금 분자량: 60 g/mol) 중 끓는점이 더 높은 수용액은 무엇이고 그 이유는? (0.5점)
- (2) 아래 그림의 U자관 중앙에는 설탕은 통과할 수 없고 물과 이온은 통과할 수 있는 반투과성 막이 있다. 이 U자관의 한 쪽에는 0.002 M 설탕 수용액 1 L를, 다른 한 쪽에는 0.0015 M 소금 수용액 1 L를 부었다. 충분한 시간이 흐른 후 양쪽 물기둥 사이의 높이 차이가 생겼다. 어느 수용액을 넣은 쪽의 수면이 더 높은 쪽인가? 그 이유가 무엇인가? (온도는 300 K로 유지되었다.) (1점)



- (3) 위 U자관의 어느 한 쪽에 분자량을 모르는 단백질 10 g을 넣어 녹여 주었더니 충분한 시간이 흐른 후 양쪽 물기둥의 높이가 동일해졌다. 단백질은 어느 수용액을 넣어 주어야 하는가? 이 단백질의 분자량은 얼마인가? (1.5점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	소금과 설탕 수용액의 끓는점 오름을 비교하고 그 이유를 바르게 설명할 수 있다.	0.5점
(2)	삼투 현상에 따른 U자관의 양쪽 높이 변화를 이유와 함께 설명할 수 있다.	1점
(3)	삼투 현상을 이용하여 단백질의 분자량을 계산할 수 있다.	1.5점

예시 답안

(1) 끓는점 오름은 입자의 수에 비례하며, 몰농도와 몰랄농도가 같다고 가정했으므로 다음과 같이 생각할 수 있다.

- 설탕 수용액의 몰랄농도 = 0.002 M
- 소금 수용액의 몰랄농도 = $0.0015 \times 2 = 0.003$ M (완전히 이온화했을 경우)

즉, 총 입자수가 더 많은 소금 수용액의 끓는점이 더 높다.

(2) 설탕은 반투막을 통과할 수 없고 소금 수용액의 이온은 반투막을 통과할 수 있어 U자 관 내 용액에 골고루 분포하게 된다. 삼투압은 설탕에 의해 유발되므로, 물이 반투막을 통과하여 소금 수용액에서 설탕 수용액 쪽으로 이동하게 된다. 따라서 설탕 수용액을 넣은 쪽의 수면이 더 높다.

(3) 물기둥의 높이를 동일하게 만들기 위해서는 설탕 수용액을 넣은 반대쪽(소금 수용액 쪽)에 단백질을 녹여야 한다. 이때 삼투압이 같아져야 하므로 단백질 0.002 몰을 넣어야 한다. 따라서 단백질의 분자량은 다음과 같다.

$$MW = 10 \text{ g} / (0.002 \text{ mol}) = 5000 \text{ g/mol}$$

문제 6. 수소 연료전지, 헤스 법칙, 최대 전기에너지·전압

문항 및 제시문

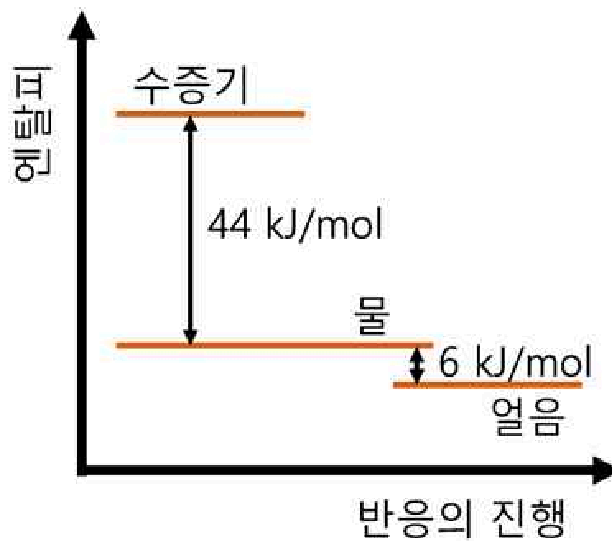
최근 에너지, 환경 문제가 대두되면서 친환경 자동차에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중 수소 연료 전지 자동차는 수소 기체를 연료로 하여 공기 중의 산소와 만나 물을 생성하며 전기 에너지를 얻는다. 이러한 수소 연료 전지 자동차로 각광 받고 있다.

수소 자동차가 120 L 부피의 탱크에 상온 300 K의 수소 기체를 700 기압으로 저장하고 있다고 하자. 이러한 수소 탱크에 저장된 수소 기체를 이용하여, 상온 1 기압에서 공기 중의 산소와 반응시켜서 전기를 생성할 경우, 아래의 참고 정보 중 필요한 정보를 활용하여 답하시오. (총 4점)

[참고 정보 1] 표준 상태에서 원자 사이의 평균 결합 에너지

결합	결합 에너지 (kJ/mol)	결합	결합 에너지 (kJ/mol)	결합	결합 에너지 (kJ/mol)
H-H	436	O-O	146	C-O	360
O-H	460	O=O	500	C=O	732

[참고 정보 2] 물의 상태 변화에 따른 엔탈피 변화



[참고 정보 3] 1 V의 전압이 걸려있는 회로 내에서 1 몰의 전자가 회로를 따라 이동할 경우에, 화학전지가 생성할 수 있는 최대 전기에너지는 100 kJ/mol이라 가정하자.

- (1) 생산할 수 있는 최대 전기에너지의 양을 구하시오. (3점)
- (2) 생산할 수 있는 최대 전압을 구하시오. (기체상수: $0.08 \text{ atm}\cdot\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) (1점)

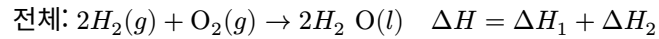
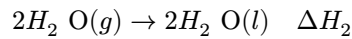
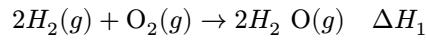
채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	반응식 $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H_1 = -468 \text{ kJ/mol}$ 을 바르게 구하면 1점. 헤스의 법칙을 적용하여 $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = -556 \text{ kJ}$ 를 바르게 구하면 1점. 최대 전기에너지 973,000 kJ (또는 819,000 kJ, 만 구한 경우)를 구하면 1점.	3점
(2)	최대 전압 1.39 V 또는 1.17 V를 바르게 구하면 1점.	1점

예시 답안

(1) 주어진 결합에너지 및 반응식을 이용하여 반응엔탈피를 구할 수 있는가? 물의 상태 변화와 헤스의 법칙을 이용하여 수소가 산소와 반응하여 물을 생성하는 연료전지 반응의 반응 엔탈피를 구할 수 있는가?

수소 연료전지의 반응식은 다음과 같이 쓸 수 있다.



참고 정보 1과 2, 헤스의 법칙을 이용해서 다음과 같이 계산할 수 있다.

$\Delta H_1 =$ 반응물의 결합에너지 합 $-$ 생성물의 결합에너지 합

$$= (2 \times 436 + 1 \times 500) - (2 \times 2 \times 460) = -468 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_2 = -(44 \times 2) = -88 \text{ kJ}$$

이다. 따라서

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = -556 \text{ kJ}$$

이며, 수소 2몰을 전기화학 반응을 통해 얻을 수 있는 최대 화학 에너지는 556 kJ이다.

이때, 300K, 120L의 탱크 안에는 수소가 700기압으로 존재하고 있기 때문에, 이상기체 상태방정식을 활용하면,

$$n = (P V)/(R T) = (700 \times 120)/(0.08 \times 300) = 3500 \text{ 몰}$$

으로 수소의 몰수를 구할 수 있다.

그러므로 수소 전체의 최대 화학 에너지는 $556/2 \times 3500 = 973000 \text{ kJ}$ 이고, 이 화학 에너지를 모두 전기에너지로 전환하면 최대 973,000 kJ의 전기에너지를 생산할 수 있다.

(2) 수소 이온으로 수소 기체 1몰을 만들기 위해 필요한 전자의 수를 찾아 최대 전압을 구할 수 있다. 수소 1몰 반응 시 전자 2몰이 이동하게 되므로 3,500몰의 수소가 반응하는 동안 7,000몰의 전자가 이동하게 되므로

$$\text{최대 전압} = \frac{973000 \text{ kJ}}{7000 \text{ mol} \times 100 \text{ kJ/mol}\cdot\text{V}} = 1.39 \text{ V}$$

또는

$$\text{최대 전압} = \frac{819000 \text{ kJ}}{7000 \text{ mol} \times 100 \text{ kJ/mol}\cdot\text{V}} = 1.17 \text{ V}$$

최대 전압 1.39 V 또는 1.17 V를 바르게 구하면 1점.