

2023학년도 수시 면접·구술고사

화학 기출

문항 · 채점 기준 · 예시 답안

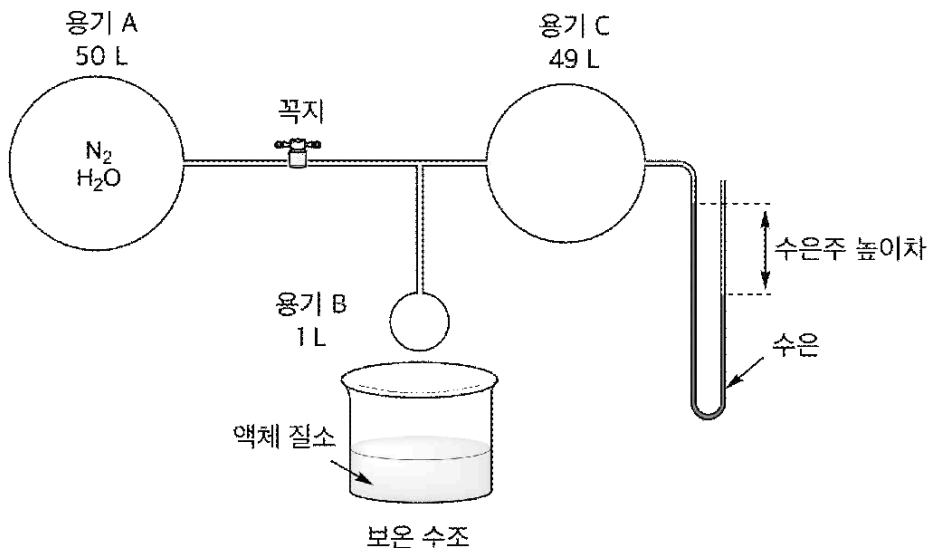
한국과학기술원 (KAIST)

문항정보 9. 화학 반응식과 이상기체 · 압력

문항 및 제시문

하버-보슈 법은 질소와 수소 기체를 혼합해 암모니아로 전환하는 유용한 화학반응이다. 그러나, 고온/고압의 반응 조건 때문에 엄청난 양의 천연가스를 소모하고 이 과정에서 다량의 이산화탄소를 발생시키는 점 등 많은 문제를 초래해왔다. 이를 해결하기 위해 카이스트의 대학원생 넙죽이는 새로운 고체 촉매와 화학 반응을 개발했다. 이 반응은 촉매 존재 하에 100% 효율로 질소 기체와 물을 반응시켜 암모니아 기체와 산소 기체를 생성한다. 아래 참고자료를 활용해 다음 물음에 답하여라. 단, 실험은 1 기압(760 mmHg), 상온에서 진행되었고, 용기 사이 연결관의 부피와 고체의 부피, 수은의 증기압은 무시한다. 모든 기체는 이상기체로 가정한다. 원자량은 수소 1, 질소 14, 산소 16 이다.

- (1) 넙죽이가 개발한 반응의 화학 반응식을 써라. (1점)
- (2) 넙죽이는 촉매 반응을 위해 아래 그림과 같은 실험 기구를 제작했다. (2점)



상온에서 꼭지가 닫혀있는 용기 A에 28 g의 질소, 54 g의 물, 1 mg의 촉매를 투입하여 반응을 완결했다. 꼭지를 열기 전 수은주 높이차가 76 cm였다면, 반응이 완결된 후 꼭지를 열었을 때 수은주 높이차를 구하라. 단, 수은주의 오른쪽 대기 중에 노출되어 있고, 상온, 1 기압 하에서 1 mol의 기체가 차지하는 부피는 20 L로 어림한다.

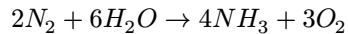
- (3) (2)의 최종 상황에서 넙죽이는 용기 B의 외부를 액체 질소가 가득 담긴 보온 수조 속에 담그고, 수은주가 더는 움직이지 않을 때까지 기다렸다. 이때, 수은주의 높이차는 (2)의 최종 상황보다 커질까, 작아질까, 일정할까? 그 이유에 관해 설명하라. 액체 질소의 온도는 77 K이다. (1점)
- (4) (3)의 최종 상황에서 꼭지를 잠그고 액체 질소가 담긴 수조를 제거하였다. 용기 A, B, C의 온도가 같아졌을 때 용기 A와 용기 C 중 압력이 더 큰 용기는 어떤 쪽일까? 그 이유에 관해 설명하라. (1점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	화학 반응식을 바르게 작성하면 1점. 화학 반응계수로 표현하여도 정답으로 인정.	1점
(2)	꼭지를 열었을 때 내부 기체의 압력을 계산하고, 수은주의 높이 차이를 바르게 설명하면 2점. 꼭지를 열었을 때 내부 기체의 압력만 설명하면 1점.	2점
(3)	온도가 낮아지면 내부 압력이 감소하여 수은주의 높이 차이가 커짐을 설명하면 1점.	1점
(4)	부피는 같지만 분자 수 다름을 통해 용기 B+C의 압력이 더 큼을 바르게 설명하면 1점.	1점

예시 답안

(1) 질소 기체와 물 분자로 암모니아 기체와 산소 기체가 발생하므로 분자의 수소 원자가 암모니아 분자의 수소 원자로 전환된다는 점을 착안하면 다음 관계를 도출할 수 있다.



(2) N_2 와 H_2O 의 몰 질량이 각각 28 g/mol, 18 g/mol이므로 용기 A에 첨가한 양은 각각 1 mol, 3 mol이다. 반응의 효율이 100%이고 반응식에서 질소와 물 사이의 계수비가 1:3 이므로, 반응 후에는 반응물이 모두 사라지고 암모니아 산소로 전환된다. 따라서 반응 완결 후에 존재하는 기체의 총 몰수 (n_{tot}) = 2 + 1.5 = 3.5 mol이다. 꼭지를 열기 전 수은주 높이차가 76 cm이므로 실은 용기 A의 전공(진공)상태로 이해된다. 즉, 꼭지를 열면 3.5 mol의 기체가 100L의 공간에 존재하는 상황이다. 문제의 어림에 의해 기체 1 mol이 1 기압에서 차지하는 부피가 20 L이므로, 이상기체 방정식을 활용하면 기체의 압력을 구할 수 있다.

$$\frac{P_1 V_1}{n_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2}$$

$$(1 \text{ atm})(20 \text{ L})/(1 \text{ mol}) = P_2(100 \text{ L})/(3.5 \text{ mol}), \therefore P_2 = 0.7 \text{ atm}$$

따라서, 최종 수은주의 높이차는 대기압 1 기압과 내부 압력 0.7 기압의 차이 값인 0.3 기압만큼이다. 0.3 기압에 해당하는 수은주의 높이차는 다음과 같은 비례식을 통해 구할 수 있다.

$$(0.3 \text{ atm})(76 \text{ cmHg})/1 \text{ atm} = 22.8 \text{ cmHg}$$

(3) 용기 B를 액체 질소에 담그면 점차 평형에 의해 용기 B의 온도는 액체 질소와 같아진다. 온도가 낮아지면 기체 분자의 운동이 둔해지므로 연결되어있는 용기 A-B-C 전체의 압력이 낮아지고, 따라서 외부 대기압(1기압)과 용기 내부 사이의 압력 차이가 벌어지기 때문에 수은주 높이차가 커진다.

(4) 용기 B를 액체 질소에 담그면 낮은 온도 때문에 용기 B에 존재하는 기체 분자의 밀도는 용기 C와 A에 비해 크게 증가한다. 따라서, 꼭지를 잠그고 온도를 상온으로 되돌리면 용기 B에 있는 기체 분자의 수가 늘기 때문에 용기 A에서보다 더 많다. 총 부피는 용기 A와 용기 B+C가 50 L로 같아서 기체 분자의 수가 더 많은 용기 B+C 쪽의 압력이 더 높다.

문항정보 10. 화학 결합과 녹는점 · 용해도

문항 및 제시문

표는 바닥 상태 원자 A~D에 대한 자료이다. n 과 m_l 는 각각 방위(부) 양자수와 스핀 자기 양자수를 가리킨다.

	A	B	C	D
$l = 0$ 인 전자 수	3	1	?	?
$l = 1$ 인 전자 수	?	?	1	?
모든 전자의 m_l 의 합	1/2	1/2	?	1/2

- (1) A~D의 원소는 무엇인지 답하여라. 이 원소들이 수산기(OH)와 결합하여 만드는 수산화물의 실험식은 $A(OH)_W$ (화합물 (가)), $B(OH)_X$ (화합물 (나)), $C(OH)_Y$ (화합물 (다)), $D(OH)_Z$ (화합물 (라))와 같이 표기된다. 화합물 (가)~(라)의 숫자 W, X, Y, Z는 각각 얼마인가? 그 이유를 설명하시오. (2점)
- (2) 화합물 (가)의 녹는점은 735 K인데 반해, 화합물 (나)의 녹는점은 273 K으로 훨씬 낮다. 그 이유를 설명하시오. (1점)
- (3) 화합물 (가)~(다)를 1 L의 물에 각각 10 g씩 섞어 세 종류의 용액을 만든 뒤, 이들 용액에 이산화탄소를 녹이고자 한다. 이산화탄소를 많이 녹일 수 있는 용액의 순서대로 나열하고 그 이유를 설명하시오. (2점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	W~Z의 값과 그 이유를 바르게 서술하면 각 0.5점씩 부여.	2점
(2)	(가)와 (나)의 녹는점 차이를 화학결합의 종류를 언급하여 바르게 설명하면 1점.	1점
(3)	화합물 (가)~(다)의 액성을 바르게 서술하고 각 용액에서 이산화탄소의 용해도를 르샤틀리에 원리를 적용하여 바르게 설명하면 2점. 화합물 (가)~(다)의 액성을 바르게 서술했으나 각 용액에서 이산화탄소의 용해도를 르샤틀리에 원리를 적용하여 설명하지 않으면 1점. 화합물 (가)~(다)의 액성은 바르지 않으나 이산화탄소의 용해도 설명 시 르샤틀리에 원리를 바르게 적용할 줄 알면 1점.	2점

예시 답안

(1) A의 전자배치는 $1s^2 2s^2 2p^1$ 이므로 A는 Li(리튬)이다. Li는 1족이라 원자가 전자 수가 1개이므로 이것이 형성하는 화합물의 화학식은 LiOH이다. 따라서 W=1이다. B의 전자배치는 $1s^2 2s^1$ 이므로 B는 H(수소)이다. H는 1족이라 원자가 전자 수가 1개이므로 이것이 형성하는 화합물의 화학식은 HOH이다. 따라서 X=1이다. C의 전자배치는 $1s^2 2s^2 2p^1$ 이므로 C는 B(붕소)이고 B는 13족이라 원자가 전자 수가 3개이므로 이것이 형성하는 화합물의 화학식은 $B(OH)_3$ 이다. 따라서 Y=3이다. D의 전자배치는 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ 이므로 D는 Al(알루미늄)이고 Al은 13족이라 원자가 전자가 3개이므로 이것이 형성하는 화합물의 화학식은 $Al(OH)_3$ 이다. 따라서 Z=3이다.

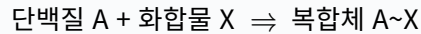
(2) 화합물 (가)와 화합물 (나) 모두 1족 원소의 수산화물이지만, (가)는 LiOH로 이온 결합 물질로 염으로 존재하고, (나)는 H_2O 로 공유 결합 물질로 분자로 존재한다. (가)의 녹는점은 구성 입자인 이온 사이의 인력이 강한 화학 결합이므로 녹는점이 매우 높은 편이나, (나)의 녹는점은 구성 입자인 분자 사이의 인력이 화학 결합보다는 약해 녹는점이 낮은 편이다.

(3) 화합물 (가)인 LiOH는 물에 녹아 Li^+ 와 OH^- 로 해리되어 염기성을, 화합물 (나)인 H_2O 는 중성, 화합물 (다)인 H_3BO_3 (붕산)은 물에 녹아 약산성을 띤다. 이들 (가)~(다)가 녹아있는 수용액에 물에 녹아 약산성을 띤 이산화탄소를 첨가하면 르샤틀리에 원리에 따라 이산화탄소의 용해도는 염기성을 띤 (가) 수용액에서는 증가하나, 산성인 (다) 수용액에서는 감소한다. 따라서, 각 용액에서의 이산화탄소 용해도 크기는 (가) > (나) > (다)의 순이다.

문항정보 11. 화학 평형과 평형 상수 · 르샤틀리에 원리

문항 및 제시문

카이스트의 대학원생 녀죽이는 독감 증상을 유발하는 바이러스 단백질 A에 선택적으로 결합하는 의약품 후보 물질 X를 최초로 합성했다. 몰 질량이 1500 g/mol인 단백질 A의 활성 자리에 결합하는 X가 결합하여 A와 X의 복합체 A~X가 형성되면서 독감 증상이 없어지는 것을 관찰했고, 이 반응에는 평형 상수 $K = 10$ 의 화학 평형이 존재하며 밝혀졌다. 다음 물음에 답하여라. 원자량은 수소 1, 탄소 12, 산소 16 이다.



- (1) 실험실에서 단백질 A와 물질 X가 담긴 1 L 수용액을 만들고 평형 상태를 만들었다. 평형 상태에서 수용액에 녹아 있는 A, X, A~X의 질량이 각각 10 g, 10 g, 9 g 일 때, 의약품 후보 물질 X의 몰 질량을 구하라. (2점)
- (2) 의약품 후보 물질 X를 구성하는 원소는 탄소, 수소, 산소이고, 구성 원자들의 개수비가 탄소 : 수소 : 산소 = 1 : 2 : 1 일 때, X의 분자식을 구하라. (1점)
- (3) 실험실에서 수행한 앞선 (1), (2)의 결과를 바탕으로 임상 실험을 계획하였다. 체액 내 바이러스 단백질 A의 농도가 0.1 M인 환자에게 의약품 후보 물질 X를 투약하여 독감을 치료하고자 한다. 이 환자의 체내 단백질 A의 농도를 50% 이하로 낮추는데 필요한 물질 X를 최소량으로 투입했다면, 이때 투약 후 체액 내 X의 초기 농도를 구하여라. 투약 전후 체액 부피와 밀도의 변화는 무시한다. 투약 전 체액 내 X의 초기 농도는 0이다. (2점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	물질 X의 몰 질량을 구하는 과정과 결과를 바르게 설명하면 2점.	2점
(2)	물질 X의 분자식을 바르게 구하면 1점.	1점
(3)	체액에 투입한 물질 X의 초기 농도를 구하는 과정과 결과를 바르게 설명하고 X의 값을 구하면 2점. 물질 X 초기 농도를 정성적으로 바르게 구했으나 정량적 값을 틀리게 구하면 1점.	2점

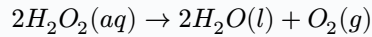
예시 답안

- (1) 평형 상수의 정의와 수용액의 부피 $V=1\text{ L}$ 라는 점을 착안해 평형 상태에서 A, X, A~X 각각의 몰수 n 은 질량과 몰 질량의 관계식으로 나타낼 수 있다. 이때, 의약품 후보 물질의 몰 질량을 Mw_X 라고 할 때, 복합체 A~X의 몰 질량은 $(1500 + Mw_X)$ 이고, 이를 평형 상수 관계식에 대입하면 $Mw_X = 120\text{ g/mol}$ 을 구할 수 있다.
- (2) 분자를 구성하는 원자들의 원자량 총합이 분자량과 같다는 관계를 활용하여 최종 분자식 및 원자간 몰 비를 도출하면 X의 분자식은 $C_4H_8O_4$ 이다.
- (3) 르샤틀리에 원리에 의해 X의 농도가 증가할수록 화학 평형이 정반응 쪽으로 이동한다. 따라서, X를 많이 투약할수록 체내 A의 농도는 감소한다. A의 농도가 초기 농도 (0.1 M)의 50%인 0.05 M이 되는 데 필요한 X의 최소 농도 $[X]_0$ 는 평형 반응 관계식을 통해 구할 수 있다. X의 투약을 통해 환자 체내의 초기 X 농도가 0.15 M이 된다면, 0.1 M의 단백질 A의 절반인 0.05M이 복합체 A~X로 전환된다.

문항정보 12. 반응 속도와 반감기 · 촉매 · 전기분해

문항 및 제시문

과산화수소는 좋은 산화제이며 세균이나 바이러스 등을 죽이는 살균제로 활용된다. 하지만 체내에 과산화수소가 일정량 이상 존재할 경우 신진대사에 필수적인 생체물질까지 산화되어 우리 몸의 노화가 유발될 수 있다. 우리 몸은 과산화수소를 신속하게 축적을 방지하기 위해 카탈라제(catalase)라는 효소를 이용하여 아래와 같은 반응을 촉진한다.



(1) 반응 용기 A~C에 1 M 과산화수소 수용액 1 L를 각각 넣고, B에는 10 g의 산화철 촉매를, C에는 1 mg의 카탈라제를 더 넣었다. 이후 일정량의 과산화수소가 소모될 때까지의 반응 시간을 측정하여 아래 표에 나타내었다. (2점)

과산화수소 농도 (M)	1	0.5	0.25	0.125
A의 반응 시간 (초)	0	1000	2000	3000
B의 반응 시간 (초)	0	500	1000	1500
C의 반응 시간 (초)	0	1×10^{-7}	2×10^{-7}	3×10^{-7}

각 용기에서 일어난 과산화수소 분해 반응의 반응 차수는 얼마인가? 또한, 촉매가 없을 때에 비해 산화철 촉매와 카탈라제 효소가 각각 반응 속도를 몇 배 높였는가? 이를 위해 초기 과산화수소의 농도가 반이 되는 동안의 평균 반응 속도를 비교하여라.

(2) 반응 용기 A~C를 열량계에 넣고 반응이 시작된 뒤 2000초가 지난 뒤 각 용액 온도를 측정하였다면, 어느 용기 용액의 온도가 가장 낮을지 고르고 그 이유를 설명하시오. (각 화학 결합 에너지는 아래와 같고, $H_2O_2(aq)$ 와 $H_2O(l)$ 의 기화열은 같다. 열량계 부피는 충분히 커서 발생한 산소는 용액 내 반응 속도에 영향을 주지 않았다.) (2점)

결합	H-H	H-O	O-O	O=O
결합 에너지 (kJ/mol)	440	460	180	500

(3) A의 용액을 전기 분해한다면 양극과 음극에서 각각 어떠한 반응이 일어나는지 화학 반응식을 서술하여라. 전기 분해를 위해 전해질을 넣어주었고, 물이 전기 분해되지 않는 조건에서 실험이 진행되었다. (1점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	반응 차수와 반응 속도를 바르게 비교하면 각각 1점. 반응 차수는 A, B, C에서 반감기가 일정함을 이용해 각각 1차 반응임을 알아낼 수 있고 각 반응 차수 답하면 1점. 평균 반응 속도 비교시 산화철 촉매는 과산화수소 분해 반응을 2배, 카탈라제 효소는 반응 속도를 10^{10} 배 만큼 빠르게 함을 알아내면 1점.	2점
(2)	일정한 반응 시간 동안 A에서 반응이 가장 덜 진행됨을 이용해 온도 변화를 비교하여 A의 온도가 가장 낮음을 설명하는 정답 1점. 결합에너지를 이용해 반응 엔탈피를 구해 발열 또는 흡열 여부 판단 정답 1점.	2점
(3)	양극(산화전극)과 음극(환원전극)에서 일어나는 화학 반응식을 바르게 작성하면 1점.	1점

예시 답안

- (1) 반응 시간에 따른 반응물의 양을 비교하여 주어진 표로부터 반감기를 예측하고, 1차 반응의 경우 반감기가 일정함을 이용해 A, B, C 세 용기 모두 1차 반응임을 알아낸다. 첫 반감기까지의 평균 반응 속도 비율을 이용해 산화철 촉매는 과산화수소 분해 반응을 2배, 카탈라제 효소는 반응 속도를 10^{10} 배 빠르게 높임을 알아낸다.
- (2) 반응의 반감기를 이용해 주어진 반응 시간 동안 반응이 진행된 정도를 비교하여 A의 용기에서 반응이 가장 덜 진행되었고 C는 가장 많이 진행되었음을 이해한다. 결합 에너지를 이용해 반응 엔탈피를 구해 발열 반응임을 알아내거나, 생성물이 반응물보다 안정한 분자임을 이용해 발열 반응임을 알아낸다. 따라서 반응이 가장 덜 진행된 용기 A의 온도가 가장 낮다.
- (3) 주어진 반응이 이미 산화-환원 반응을 포함하고 있음을 인지하고 전기 분해할 때 각 반응이 양극(산화전극)과 음극(환원전극)에서 일어남을 이해하고 생성물을 알아낸다. 양극에서는 산소 기체, 음극에서는 물이 생성되는 화학 반응식을 작성한다.