[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 9]

1. 일반정보

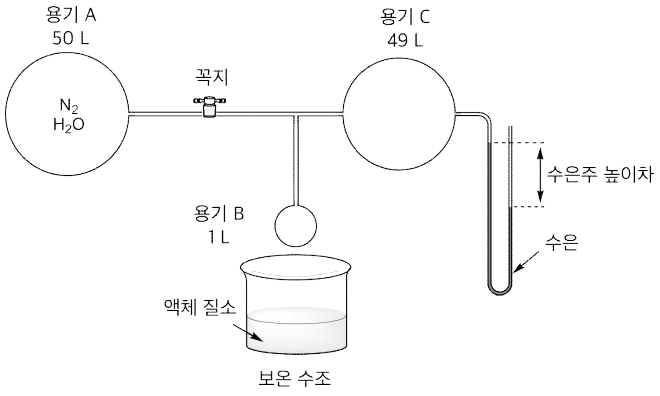
유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사	
전형명	일반전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(화학) / 문제1	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학 I , 화학 II
	핵심개념 및 용어	화학 반응식, 양적 관계, 이상기체 방정식
예상 소요 시간	10분	

2. 문항 및 제시문

하버-보쉬 법은 질소와 수소 기체를 혼합해 암모니아로 전환하는 유용한 화학반응이다. 그러나, 고온/고압의 반응 조건 때문에 엄청난 양의 천연가스를 소모하고 이 과정에서 다량의 이산화탄소를 발생시키는 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.



상온에서 꼭지가 닫혀있는 용기 A에 28 g의 질소, 54 g의 물, 1 mg의 촉매를 투입하여 반응을 완결했다. 꼭지를 열기 전 수은주 높이차가 76 cm 였다면, 반응이 완결된 후 꼭지를 열었을 때 수은주 높이차를 구하라. 단, 수은주의 오른쪽은 대기 중에 노출되어 있고, 상온, 1 기압 하에서 1 mol의 기체가 차지하는 부피는 20 L로 어림한다. (2점)

(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)

3. 출제 의도

(1) 임의의 화학 반응식이 주어졌을 때 반응식의 계수를 맞출 수 있다.

(2) 화학 반응의 정량적 관계를 이해하고, 이를 바탕으로 이상기체의 압력을 계산할 수 있다.

(3) 온도와 분자의 속도 사이의 정성적 관계를 압력의 개념으로 설명할 수 있다.

(4) 이상기체 방정식 정의를 이해하고 적용할 수 있다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정		예)교육부 고시 제2015-74호 [별책 9] “과학과 교육과정”
문항 및 제시문		학습내용 성취 기준
(1)	교육과정	[화학 I] (1) 화학의 첫걸음 [화학II] (3) 반응 속도와 촉매
	성취기준·성취수준	[12화학I 01-04] 여러 가지 반응을 화학 반응식으로 나타내고 이를 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 설명할 수 있다. [12화학 II 03-07] 촉매가 반응 속도를 변화시킬 수 있음을 설명할 수 있다.
(2)	교육과정	[화학 I] (1) 화학의 첫걸음 [화학II] (1) 물질의 세 가지 상태와 용액
	성취기준·성취수준	[12화학I 01-04] 여러 가지 반응을 화학 반응식으로 나타내고 이를 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 설명할 수 있다. [12화학 II 01-01] 기체의 온도, 압력, 부피, 몰수 사이의 관계를 설명할 수 있다. [12화학 II 01-02] 이상 기체 방정식을 활용하여 기체의 분자량을 구할 수 있다.
(3)	교육과정	[화학II] (1) 물질의 세 가지 상태와 용액
	성취기준·성취수준	[12화학 II 01-01] 기체의 온도, 압력, 부피, 몰수 사이의 관계를 설명할 수 있다. [12화학 II 01-03] 혼합 기체에서 몰 분율을 이용하여 분압의 의미를 설명할 수 있다.
(4)	교육과정	[화학II] (1) 물질의 세 가지 상태와 용액
	성취기준·성취수준	[12화학 II 01-01] 기체의 온도, 압력, 부피, 몰수 사이의 관계를 설명할 수 있다. [12화학 II 01-03] 혼합 기체에서 몰 분율을 이용하여 분압의 의미를 설명할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	노태희 외	㈜천재교육	2019	30-38
	화학 I	박종석 외	비상교육	2020	34-39
	화학II	노태희 외	㈜천재교육	2019	11-22
	화학II	장낙한 외	상상아카데미	2019	14-24
기타	EBS 개념 완성 화학 I	권기섭 외	EBS	2017	41-43
	EBS 개념 완성 화학II	김영호 외	EBS	2020	9-10 19-20

5. 문항 해설

주어진 조건을 이용하여 화학 반응식을 완성하고, 온도, 부피가 달라짐에 따라 기체의 압력을 판단할 수 있는지 묻는 문항이다.

6. 채점 기준

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

7. 예시 답안

(1) 질소 기체의 질소 원자가 암모니아의 질소 원자로 전환되고, 물 분자의 수소 원자가 암모니아 분자의 수소 원자로 전환된다는 점을 착안하면 다음 관계를 도출할 수 있다.

$$2\ N_2 + 6\ H_2O \rightarrow 4\ NH_3 + 3\ O_2$$

(2) N_2와 H_2O의 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 1:3이므로, 완결 후에는 반응물이 모두 소모되어 암모니아와 산소로 전환된다. 따라서 반응 완결 후 존재하는 기체의 총 몰수 ($n_{NH3} + n_{O2}$) 는 2 + 1.5 = 3.5 mol이다. 꼭지를 열기 전 수은주 높이차가 76 cm라는 것은 용기 B 와 C가 진공상태임을 의미한다. 즉, 꼭지를 열면 3.5 mol의 기체가 100L의 공간에 존재하는 상황이다. 문제의 어림에 의해 기체 1 mol이 1 기압에서 차지하는 부피가 20 L이고, 이상기체 방정식을 활용하면 기체의 압력을 구할 수 있다.

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

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

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.

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

(3) 용기 B를 액체 질소에 담그면 점차 열적 평형에 의해 용기 B의 온도는 액체 질소와 같아진다. 온도가 낮아지면 기체 분자의 운동이 둔해지므로 연결되어있는 용기 A-B-C 전

체의 압력이 낮아지고, 따라서 외부 대기압(1기압)과 용기 내부 사이의 압력 차이가 벌어지기 때문에 수은주의 높이차는 커지게 된다.

(4) 용기 B를 액체 질소로 냉각했을 때 낮은 온도 때문에 용기 B에 존재하는 기체 분자의 밀도는 용기 A와 C에 비해 높아진다. 따라서, 꼭지를 닫고 상온으로 온도를 올리면 연결되어 있는 용기 B와 C에 있는 기체 분자의 수가 용기 A에서보다 많아진다. 총 부피는 용기 A와 용기 B+C가 50 L로 같아서 기체 분자의 수가 더 많은 용기 B+C 쪽의 압력이 높다.

8. 총평

[고등학교 화학교사 A]

화학 반응식과 양적 관계, 이상 기체 방정식 등 학생들이 개념은 잘 이해하지만 적용에 어려움을 겪는 영역의 조합으로 대입 수학 능력 시험에서도 종종 출제되는 유형의 문항이다. 하지만 복잡한 계산 과정이 없고 정성적 이해를 기반으로 답변을 할 수 있는 수준의 문항이라 학생들은 크게 어려움을 느끼지 않았을 것으로 생각한다. 기본 개념의 조합으로 구성된 문항으로 2015 개정 교육과정 내용을 성실히 수행하였다면 해결할 수 있는 문항이라고 생각한다.

[고등학교 화학교사 B]

화학 반응식을 이용한 양적 관계와 이상기체 방정식은 수능에서 어렵게 출제되는 경향이 있으나 본 문항에서는 제시된 숫자가 간단하고 장치도 복잡하지 않아 학생들이 결과를 도출하는데 어려움이 없었을 것으로 여겨진다. 출제자가 원하는 값을 얻어내기 위해 이상기체 방정식을 적절하게 변형할 수 있는지를 확인하는 계산 문항과 기체 분자 운동론을 제대로 이해해야 답변할 수 있는 비계산형 소문항들이 함께 제시되어 있어 개념에 대한 이해도와 응용력을 모두 평가할 수 있으며 2015 개정 교육과정 범주를 벗어나지 않는 문항이라고 생각한다.

〈 유사 기출 문제 〉	
유사문제	**2022학년도 대학수학능력시험 화학Ⅱ 18번** **2022학년도 9월 모의 평가 화학Ⅱ 18번** **2021학년도 9월 모의 평가 화학Ⅱ 20번**
근거	• 주어진 물질이 화학 반응 할 때, 기체의 압력 변화

[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 10]

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사	
전형명	일반전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(화학) / 문제2	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학Ⅰ, 화학Ⅱ
	핵심개념 및 용어	양자수, 이온결합, 공유결합, 중화반응, 화학 평형, 르샤틀리에 원리
예상 소요 시간	10분	

2. 문항 및 제시문

표는 바닥 상태 원자 A~D에 대한 자료이다. l과 m_S는 각각 방위(부) 양자수와 스핀 자기 양자수를 가리킨다.

	A	B	C	D
l = 0인 전자 수	3	1	?	?
l = 1인 전자 수	?	?	1	7
모든 전자의 m_S의 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 g 씩 섞어 세 종류의 용액을 만든 뒤, 이들 용액에 이산화탄소를 녹이고자 한다. 이산화탄소를 많이 녹일 수 있는 용액의 순서대로 나열하고 그 이유를 설명하시오. (2점)

3. 출제 의도

(1) 바닥 상태 원자의 전자 구조를 이용하여 족 별 가능한 화학 결합의 수를 설명할 수 있다.

(2) 화학 결합의 종류(이온 및 공유 결합)를 구별하고 녹는점 차이를 설명할 수 있다.

(3) 산-염기 반응에 따른 화학 평형의 이동 방향을 예측할 수 있다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정		예)교육부 고시 제2015-74호 [별책 9] “과학과 교육과정”
문항 및 제시문		학습내용 성취 기준
(1)	교육과정	[통합과학] 1. 물질과 규칙성 [화학 I] 2. 원자의 세계
	성취기준·성취수준	[10통과01-03] 세상을 이루는 물질은 원소들로 이루어져 있으며, 원소들의 성질이 주기성을 나타내는 현상을 통해 자연의 규칙성을 찾아낼 수 있다. [10통과01-04] 지구와 생명체를 구성하는 주요 원소들이 결합을 형성하는 이유와, 원소들의 성질에 따라 형성되는 결합의 종류를 추론할 수 있다. [12화학 I 02-02] 양자수와 오비탈을 이용하여 원자의 현대적 모형을 설명할 수 있다. [12화학 I 02-03] 전자 배치 규칙에 따라 원자의 전자를 오비탈에 배치할 수 있다.
(2)	교육과정	[통합과학] 1. 물질과 규칙성 [화학 I] 3. 화학결합과 분자의 세계 [화학 II] 1. 물질의 세 가지 상태와 용액
	성취기준·성취수준	[10통과01-04] 지구와 생명체를 구성하는 주요 원소들이 결합을 형성하는 이유와, 원소들의 성질에 따라 형성되는 결합의 종류를 추론할 수 있다. [10통과01-05] 인류의 생존에 필수적인 산소, 물, 소금 등이 만들어지는 결합의 차이를 알고, 각 화합물의 성질을 비교할 수 있다. [12화학 I 03-02] 이온 결합의 특성과 이온 화합물의 성질을 설명하고 예를 찾을 수 있다. [12화학 I 03-03] 공유 결합, 금속 결합의 특성을 이해하고 몇 가지 물질의 성질을 결합의 종류와 관련지어 설명할 수 있다. [12화학II 01-04] 분자 간 상호 작용을 이해하고, 분자 간 상호 작용의 크기와 끓는점의 관계를 설명할 수 있다.
(3)	교육과정	[통합과학] 3. 변화와 다양성 [화학 I] 4. 역동적인 화학 반응 [화학 II] 2. 반응 엔탈피와 화학 평형
	성취기준·성취수준	[10통과06-03] 생활 주변의 물질들을 산과 염기로 구분할 수 있다. [12화학 I 04-03] 산 · 염기 중화 반응을 이해하고, 산 · 염기 중화 반응에서의 양적 관계를 설명할 수 있다. [12화학 II 02-04] 농도, 압력, 온도 변화에 따른 화학 평형의 이동을 관찰하고 르샤틀리에 원리로 설명할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	통합과학	심규철 외	비상교육	2022	35-49 186-187, 192
	화학 I	노태희 외	㈜천재교육	2019	68-77 110-120 173-174
	화학 I	장낙한 외	상상아카데미	2019	71-79 113-120
	화학II	노태희 외	㈜천재교육	2019	89-102
	화학II	장낙한 외	상상아카데미	2019	96-111
기타	EBS 수능특강 화학 I	권민수 외	EBS	2022	71-78, 110-113 121-122, 129
	EBS 개념 완성 화학II	김영호 외	EBS	2019	61-69, 77-85

5. 문항 해설

(1) 주어진 방위 양자수와 스핀 자기 양자수를 갖는 전자의 수와 전자배치 규칙을 이용하여 바닥 상태 원자의 전자배치를 알아낸 후 원소의 종류를 판별하고, 이 원소의 원자가 전자 수를 이용하여 OH와 해당 원자와의 가능한 화학 결합수를 구할 수 있는지를 묻는 문항이다.

(2) 원소의 종류가 금속인지 비금속인지를 구분한 후 이것과 OH와의 화학 결합이 이온 결합인지 공유 결합인지를 판단하고, 결합의 종류에 따른 물질의 성질(녹는점)을 비교할 수 있는지를 묻는 문항이다.

(3) 화학식으로부터 물질의 액성을 판별해내고 이들이 용해 평형을 이루고 있는 용액 속에서 이산화탄소의 용해도를 르샤틀리에 원리를 적용하여 비교할 수 있는지를 묻는 문항이다.

6. 채점 기준

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

7. 예시 답안

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

(2) 화합물 (가)와 화합물 (나) 모두 1족 원소의 수산화물이지만, (가)는 LiOH로 이온 결합 물질로 염으로 존재하고, (나)는 H_2O로 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_2O는 중성, 화합물 (다)인 H_3BO_3(붕산)은 물에 녹아 약산성을 띠게 된다. 이들 (가)~(다)가 녹아있는 수용액에 물에 녹아 약산성을 띠는 이산화탄소를 첨가하면 르샤틀리에 원리에 따라 이산화탄소의 용해도는 염기성을 띠는 (가) 수용액에서는 증가하나, 산성인 (다) 수용액에서는 감소한다. 따라서, 각 용액에서의 이산화탄소 용해도 크기는 (가) > (나) > (다)의 순이다.

8. 총평

[고등학교 화학교사 A]

오비탈 전자배치, 화학 결합, 중화 반응, 르샤틀리에 원리 등 2015 개정 교육과정에서 다루는 개념으로 이루어진 문항이다. 주어진 양자수 정보를 통해 해당 원소를 찾고, 각 물질의 구조와 특성을 유추하는 것이 핵심으로, 화학에 대한 기본적인 개념과 그것을 상황에 적절하게 활용할 수 있는지를 묻는 아주 좋은 문항이라고 생각한다.

[고등학교 화학교사 B]

화학과 관련된 여러 단원, 개념이 종합된 문항으로 2015 개정 교육과정의 통합과학, 화학Ⅰ, 화학Ⅱ 내용을 잘 반영하고 있으며, 교육과정에 범위 내에서 출제된 문항으로 판단된다. 양자수와 전자배치를 이용하여 중심원자 및 화학식을 찾고, 물질의 구조와 결합 특성을 이용하여 물성을 비교해야 하며, 산-염기 반응을 이용하여 용해도까지 판단해야 하는 문항으로 종합적 사고 능력이 매우 우수한 학생을 선발하기에 적합한 문항으로 판단된다.

〈 유사 기출 문제 〉	
유사문제	**2023 EBS 수능 특강 화학I 87쪽 예제**
근거	• 주어진 방위 양자수와 스핀 자기 양자수를 갖는 전자의 수와 전자배치 규칙을 이용하여 바닥 상태 원자의 전자배치를 알아낸 후 원소의 종류를 판별하는 형태가 매우 유사하다.
유사문제	**EBS 개념완성 화학I 254쪽 7번**
근거	• 염기성 수용액에 이산화 탄소를 첨가한 중화 반응

[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 11]

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사	
전형명	학교장추천전형, 고른기회전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(화학) / 문제1	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학Ⅰ, 화학Ⅱ
	핵심개념 및 용어	몰 질량, 평형 상수, 르샤틀리에의 원리
예상 소요 시간	10분	

2. 문항 및 제시문

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

단백질 A + 화합물 X $\rightleftharpoons$ 복합체 A–X

(1) 실험실에서 단백질 A와 물질 X가 담긴 1 L 수용액을 만들고 평형 상태를 만들었다. 평형 상태에서 수용액에 녹아있는 A, X, A–X의 질량이 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 복합체 A–X의 농도는 0이다. (2점)

3. 출제 의도

(1) 화학평형이 주어졌을 때, 평형 상수의 정의를 활용해 계산을 수행할 수 있다.

(2) 분자를 구성하는 원자 수 비율과 분자량을 이용하여 분자식을 찾을 수 있다.

(3) 르샤틀리에 원리를 이해하고, 평형 상수를 활용해 계산을 수행할 수 있다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정		예)교육부 고시 제2015-74호 [별책 9] "과학과 교육과정"
문항 및 제시문		학습내용 성취 기준
(1), (2)	교육과정	[화학 I] 1. 화학의 첫걸음 [화학 II] 2. 반응엔탈피와 화학평형
	성취기준·성취수준	[12화학I 01-03] 아보가드로수와 몰의 의미를 이해하고, 고체, 액체, 기체 물질 1 몰의 양을 어림하고 체험할 수 있다 [12화학I 01-04] 여러 가지 반응을 화학 반응식으로 나타내고 이를 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 설명할 수 있다. [12화학 II02-03] 가역 반응에서 동적 평형을 이해하고, 평형 상수를 이용해서 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다.
(2)	교육과정	[화학 I] 1. 화학의 첫걸음 [화학 II] 2. 반응엔탈피와 화학평형
	성취기준·성취수준	[12화학 I 01-05] 용액의 농도를 몰 농도로 표현할 수 있다. [12화학 II02-03] 가역 반응에서 동적 평형을 이해하고, 평형 상수를 이용해서 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다. [12화학 II 02-04] 농도, 압력, 온도 변화에 따른 화학 평형의 이동을 관찰하고 르샤틀리에 원리로 설명할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종석 외	비상교육	2020	27-45
	화학 I	장낙한 외	상상아카데미	2019	30-52
	화학 II	박종석 외	비상교육	2020	77-90
	화학 II	장낙한 외	상상아카데미	2019	95-111
기타	수능완성 화학 I	EBS	EBS	2022	7, 15, 22
	수능완성 화학 II	EBS	EBS	2022	61

5. 문항 해설

(1) 평형 상수의 개념, 몰 농도와 몰 질량의 관계를 이해하고 있는지를 묻는 문항이다. 평형 상수가 반응물과 생성물의 몰 농도로 나타내고, 각 몰 농도를 전체 부피가 1L라 했으므로 몰 질량의 비로 표현할 수 있어 물질 X의 몰 질량을 구할 수 있다.

(2) 원자량과 분자량의 관계에 대한 이해를 묻는 문항이다. 주어진 분자를 구성하는 각 원자의 비를 이용하여 그 합을 구하고, (1)에서 구한 몰 질량을 이용하여 그 비를 구하면 분자식을 구할 수 있다.

(3) 르샤틀리에의 원리에 따르면 반응물 물질 X를 투입하면 정반응이 진행되어 단백질 A의 농도가 감소한다. 이때, 투약 전후 체액의 부피, 밀도 변화를 무시할 수 있다고 했고, 단백질 A의 농도가 0.1M에서 0.05M로 감소한다고 했으므로 평형 상수와 알고 있는 물질의 농도를 이용하여 투약 농도를 결정하는 문항이다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	· 물질 X의 몰 질량을 구하는 과정과 결과를 바르게 설명하면 2점 · 물질 X의 몰 질량을 정량적으로 바르게 구하지 않았더라도, 평형 상수의 관계식을 바르게 이해하고 있고 구하는 과정을 적절히 설명하면 1점	2
(2)	· 물질 X의 분자식을 바르게 구하면 1점	1
(3)	· 체액에 투입한 물질 X의 초기 농도를 구하는 과정과 결과를 바르게 설명하면 2점 · 물질 X의 초기 농도를 정량적으로 바르게 구하지 못했더라도, 반응물과 생성물의 증감, 반응의 진행 방향 등 물질 X의 초기 농도를 구하는 과정에 대한 전반적인 설명을 바르게 하면 1점	2

7. 예시 답안

(1) 평형 상수의 정의와 수용액의 부피 V =1 L 라는 점을 착안해 평형 상태에서 A, X, A–X 각각의 몰수 n은 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 g/mol을 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.

8. 총평

[고등학교 화학교사 A]

몰 질량과 몰 농도, 화학 평형 및 평형 상수, 화학 반응식과 양적 관계 등 2015 개정 교육과정의 화학 Ⅰ, Ⅱ 내용을 잘 반영하고 있으며, 교육과정을 성실히 학습하고 여러 상황으로 고민해 본 학생들이라면 충분히 해결할 수 있는 문항으로 생각된다. 학생들의 개념 학습이 각 단원별로는 잘 되어 있지만 이들을 조합했을 때 다소 새로운 문항이 될 수 있으며, 복잡한 계산 과정 없이 화학 평형이라는 가장 기본적인 상황을 약물의 투입 및 치료라는 새로운 상황으로 주어 결코 가볍게 접근할 수 있지 않은 문항으로 판단되어 사고력이 우수한 학생을 선발하는 데 적합한 문항으로 생각된다.

[고등학교 화학교사 B]

학생들이 어려워하는 화학 평형의 개념을 다루며, 화학 Ⅱ 내용에 대한 이해도를 묻고 있다고 생각한다. 학생들 입장에서는 다소 생소한 화학 반응식과 큰 분자량을 제시되었으며, 주어진 지문에서 화학적 개념을 찾아낼 수 있는지 평가하고 있다고 생각한다. 복잡한 계산을 요구하지 않으나 문해력이 낮은 학생들은 어려움을 느꼈을 것으로 생각한다. 2015 개정 교육과정 화학 Ⅰ, Ⅱ의 개념을 적용할 수 있는지 물음으로서 학생들의 화학에 대한 이해도를 판단하기에 훌륭한 문항이라 생각한다.

< 유사 기출 문제 >	
유사문제	**2023학년도 EBS 수능완성 12쪽 2번, 3번**
근거	• 밀도비를 이용하여 화학식을 추론하여 문제를 해결하는 과정 유사
유사문제	**비상교육 화학Ⅱ 2. 화학 평형과 평형이동(80쪽~81쪽) 예제**
근거	• 평형 상수가 반응물, 생성물의 관계에 대한 예제로 매우 유사한 형태의 문항 • 르샤틀리에의 원리를 이용하여 물질의 이동, 양적 관계에 대한 설명
유사문제	**2023학년도 9월 수능 모의 평가 화학 Ⅱ 16번**
근거	• 평형 상수와 물질의 농도(압력)과의 관계를 이용하여 문제를 해결하는 과정 유사

[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 12]

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사	
전형명	학교장추천전형, 고른기회전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(화학) / 문제2	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	통합과학, 화학Ⅰ, 화학Ⅱ
	핵심개념 및 용어	1차 반응, 반감기, 촉매, 엔탈피, 전기분해
예상 소요 시간	10분	

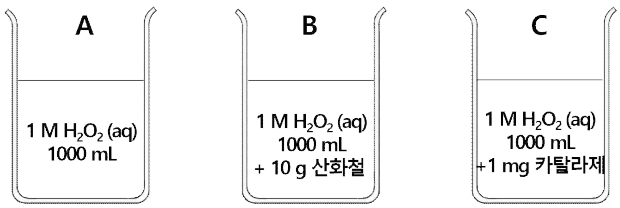
2. 문항 및 제시문

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 과산화수소의 체내 축적을 방지하기 위해 카탈라제(catalase)라는 효소를 이용하여 아래와 같은 반응을 촉진한다.

$$2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$$

(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.

[반응 시작 시 조건]



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. (2점)

(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 서술하시오. 전기 분해를 위해 A에 전해질을 넣어주었고, 물이 전기 분해되지 않는 조건에서 실험이 진행되었다. (1점)

3. 출제 의도

(1) 반감기를 통해 반응속도 차수를 결정할 수 있고, 1차 반응의 반응 속도 상수와 반감기 간의 관계를 이해한다.

(2) 결합 에너지의 정의를 이용해 반응 엔탈피를 구할 수 있다. 반응 엔탈피는 촉매 작용과 무관하게 결정되나 반응의 진행 정도에 따른 발열 정도가 달라짐을 이해한다.

(3) 과산화수소 분해 반응이 산화-환원 반응임을 이해하고 이를 전기 분해할 시 산화 반응과 환원 반응을 구분하고 각각의 생성물을 예측할 수 있다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정		예)교육부 고시 제2015-74호 [별책 9] “과학과 교육과정”
문항 및 제시문		학습내용 성취 기준
(1)	교육과정	[통합과학] 6. 화학 변화 [화학 II] 3. 반응 속도와 촉매
	성취기준·성취수준	[10통과06-02] 생명 현상 및 일상생활에서 일어나고 있는 다양한 변화의 이유를 산화와 환원에서 나타나는 규칙성과 특성 측면에서 파악하여 분석할 수 있다. [12화학 II 03-01] 화학 반응의 속도가 다양하다는 것을 알고, 화학 반응 속도를 계산할 수 있다. [12화학 II 03-02] 자료 해석을 통하여 반응 속도식을 구할 수 있다. [12화학 II 03-03] 1차 반응의 반감기를 구할 수 있다. [12화학 II 03-07] 촉매가 반응 속도를 변화시킬 수 있음을 설명할 수 있다.
(2)	교육과정	[화학 I] 4. 역동적인 화학 반응 [화학 II] 2. 반응 엔탈피와 화학 평형
	성취기준·성취수준	[12화학 I 04-06] 화학 반응에서 열의 출입을 측정하는 실험을 수행할 수 있다. [12화학 II 02-02] 엔탈피와 결합 에너지의 관계를 이해하고, 헤스 법칙을 설명할 수 있다.
(3)	교육과정	[화학 II] 4. 전기 화학과 이용
	성취기준·성취수준	[12화학 II 04-02] 전기 분해의 원리를 산화 환원 반응으로 설명할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	통합과학	심규철	비상교육	2022	179~183
	화학 I	박종석 외	비상교육	2020	172~175
	화학 I	장낙한 외	상상아카데미	2019	192~195
	화학II	박종석 외	비상교육	2020	61~63 123~125 172~173
	화학II	장낙한 외	상상아카데미	2019	88~91 144~155 203~205
기타	수능완성 화학 I	EBS	EBS	2022	112
	수능완성 화학II	EBS	EBS	2022	45, 86~87 107

5. 문항 해설

(1) 반응물의 양에 따른 각 상황에서의 반응 시간이 주어져 있어 반응 속도식을 유추할 수 있으며, 물질의 농도가 1/2이 되는 시간을 주어졌기에 반감기, 반응 차수를 유추할 수 있다. 따라서 1차 반응 속도식의 기본 개념을 묻는 문항이다.

(2) 결합 에너지를 이용하여 반응 엔탈피를 구할 수 있다. 또한 촉매는 직접적으로 반응 엔탈피에 영향을 주지는 않으나 반응 진행 정도에 영향을 주게 되어 각 상황에 따라 물질의 반응 정도를 파악하고 방출된 열의 양을 비교하는 문항이다.

(3) 과산화수소의 분해 반응이 산화-환원 반응임을 파악하여 전기 분해하는 동안 각 전극에서 발생하는 물질의 종류를 구분하는 문항이다. 전기 분해에서는 산화 전극이 양극, 환원 전극이 음극임을 이해하고 있어야 한다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	· 반응 차수와 반응 속도를 바르게 비교하면 각각 1점 · 반응 차수는 A, B, C에서 반감기가 일정함을 이용하여 반응 차수가 1차임을 설명하면 정답 · 평균 반응 속도를 구하거나 과산화수소의 농도가 같을 때까지 걸리는 시간을 이용하여 2배, 10^{10}배임을 설명하면 정답	2
(2)	· 과산화수소 분해 반응이 발열 반응이고 A의 온도가 가장 낮음을 설명하면 각각 1점 · 결합에너지를 이용하여 반응엔탈피가 음수 또는 발열 반응임을 설명하면 정답 · 일정한 반응 시간 동안 A에서 과산화수소가 가장 적게 반응하여 온도가 낮음을 설명하면 정답	2
(3)	· 양극(산화전극)과 음극(환원전극)에서 일어나는 화학 반응식을 바르게 작성하면 1점	1

7. 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.

8. 총평

[고등학교 화학교사 A]

반응 속도, 반응 엔탈피, 전기분해 등 여러 개념이 융합된 문항으로 2015 개정 교육과정의 화학Ⅰ, 화학Ⅱ 내용을 잘 반영하고 있으며, 교육과정에 매우 부합하는 문항이다. 각 단원의 주요 개념이 묶어서 출제되어 학생들이 보다 정확한 개념을 이해하고 있어야 충분히 활용하여 문제를 해결할 수 있을 것으로 예상된다. 단순히 화학적인 상황이 아닌 생명과학과 관련된 내용을 제시함으로써 학생들에게 복합적인 사고를 요구하고 있어 과학적 사고력이 우수한 학생을 선발하기 적합한 문항으로 판단된다.

[고등학교 화학교사 B]

2015 개정 교육과정 수준을 벗어나지 않으며 화학Ⅱ 영역의 학습이 잘 이루어졌는지 평가할 수 있는 문항이라고 생각한다. 특히, 반응 속도와 전기 분해 영역은 학생들이 상당한 어려움을 겪는 영역으로 이 부분의 학습이 미흡한 학생들은 당혹감을 느꼈을 것으로 생각한다. 또, (1) 문항에서 표의 해석, (3) 문항에서 전기 분해와 산화-환원 개념의 연결시킬 수 있는지 물음으로서 학생의 자료 해석 능력과 개념의 숙지 정도를 파악할 수 있는 훌륭한 문항이라고 생각한다. 다양한 단원에서 학습하는 개념을 종합적으로 적용할 수 있는지 물음으로써 변별도까지 갖추었다고 생각한다.

< 유사 기출 문제 >	
유사문제	**2023학년도 9월 수능 모의 평가 화학 Ⅱ 14번, 19번**
근거	• 평균 반응속도 비교 • 1차 반응속도와 반감기
유사문제	**2023학년도 대학수학능력시험 화학Ⅱ 13번**
근거	• 결합에너지와 반응 엔탈피의 관계
유사문제	**2023학년도 대학수학능력시험 화학Ⅱ 10번**
근거	• 전기 분해 시 양극과 음극에서 생성되는 물질 추론 과정