

[중앙대학교 문항정보]

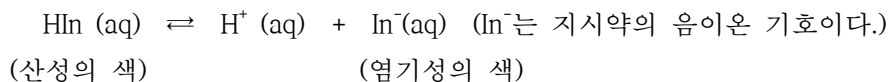
일반정보

유형	<input checked="" type="checkbox"/> 논술고사 <input type="checkbox"/> 면접 및 구술고사	
전형명	수시 논술전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 I(화학) / 문제 4	
출제 범위	고등학교 과목명	화학 I
	핵심개념 및 용어	화학의 언어/분자량, 화학 반응식 얇은꼴 화학반응/산과 염기/중화 반응
예상 소요 시간	30분	

문항 및 제시문

[문제 4] 다음 제시문 (가), (나), (다)를 읽고 문제에 답하시오.

(가) 산과 염기를 반응시키면 물과 염이 생성되어 산과 염기의 성질이 사라지는데, 이러한 반응을 중화 반응이라고 한다. 농도를 알고 있는 산이나 염기를 사용한 중화 반응을 통하여 농도를 모르는 염기나 산의 농도를 구하는 방법을 중화 적정이라고 한다. 중화 반응으로 지시약의 색 변화를 측정하여 중화점을 확인할 수 있다. 지시약은 그들 자신이 약한 산이나 약한 염기이다. 용액 내에서 약한 산인 지시약의 평형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



실험실에서 많이 사용하는 대표적인 지시약에는 메틸 레드와 페놀프탈레인 용액이 있는데, 이들의 변색 pH 범위와 색 변화는 다음과 같다.

지시약	메틸 레드	페놀프탈레인
변색 pH 범위	4.8 ~ 6.0	8.3 ~ 10.0
색 (산성 - 염기성)	빨강 - 노랑	무색 - 빨강

(나) 화학 반응이 일어날 때 반응 물질과 생성 물질 사이의 관계를 나타낸 식을 화학 반응식이라고 한다. 화학 반응식에서 각 물질의 계수비는 반응에 관여한 물질의 분자수비와 몰수비, 부피비를 의미한다. 이때 몰과 입자수, 몰과 질량, 몰과 기체의 부피 관계를 이용하면 반응물과 생성물의 몰수, 입자수, 질량, 부피를 구할 수 있다. 용액의 농도는 일정한 용액 속에 녹아 있는 용질의 상대적인 양으로, 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 몰수를 몰 농도(M)라고 한다.

(다) 화학 반응에서 전자를 잃는 것을 산화라고 하고, 전자를 얻는 것을 환원이라고 한다. 대부분의 금속은 산과 반응하면 금속 양이온이 되고, 수소 기체가 발생한다. 금속과 산의 반응에서 금속은 전자를 잃어 금속 양이온으로 산화되고, 산의 수소 이온은 전자를 얻어 수소 기체로 환원된다.

[문제 4-1] 다음은 약산인 일양성자산 HA의 중화 적정 실험 과정이다.

[실험 과정]

- I. HA 1.2 g을 100 mL 부피 플라스크에 넣고, 증류수를 가하여 녹인 후 눈금까지 채웠다.
- II. 실험 과정 I 에서 만든 용액 10 mL와 지시약 2 ~ 3 방울을 100 mL 삼각 플라스크에 넣었다.
- III. 0.1 M NaOH 수용액을 뷰렛에 넣고 중화 적정하였더니, 20 mL의 NaOH 수용액이 들어 갔을 때 혼합 용액의 색이 변하였다.

이 중화 적정 실험에서 사용한 약산 HA의 분자량과 가장 적절한 지시약을 찾는 과정을 제시문 (가)와 (나)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. [10점]

[문제 4-2] 아래의 표는 과량의 묽은 염산(HCl) 용액에 금속 조각을 넣었을 때, 생성된 수소 기체의 부피와 용액 속에 존재하는 음이온과 양이온의 개수 차이(음이온 개수 - 양이온 개수)를 나타낸 것이다.

금속	수소 기체 부피	음이온과 양이온의 개수 차이
A	300 mL	9N
B	200 mL	8N

0.1 M 묽은 염산 용액 600 mL에 0.01몰 금속 A를 가했을 때 생성된 수소 기체의 부피(V_A)와, 같은 양의 묽은 염산 용액에 0.03몰 금속 B를 가했을 때 생성된 수소 기체의 부피(V_B)를 측정하였다. 금속 A, B의 산화수와 $V_A : V_B$ 를 구하는 과정을 제시문 (나)와 (다)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. 단, 기체의 부피는 같은 온도, 같은 압력에서 측정되었다. [20점]

출제 근거

1. 제시문

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2009-41호[별책9] “과학과 교육과정”
성취기준	<ul style="list-style-type: none"> - 과학과 교육과정 문서 (1) 화학의 언어(24쪽) ⑤ 여러 가지 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 원자량과 분자량 등을 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 알 수 있다. (4) 닳은꼴 화학반응(25쪽) ④ 산과 염기가 원소의 산화와 환원에 의해 만들어진다는 사실을 이해한다. ⑤ 산과 염기의 중화 반응을 이해한다.

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종석 외 4인	교학사	2011	38-41, 213-217, 231-242
	화학 I	류해일 외	비상교육	2013	42-45,

		7인			197-198, 217-222
	화학 I	김희준 외 8인	상상 아카데미	2013	46-50, 185-188, 191-201
	화학 I	노태희 외 7인	천재교육	2013	41-49, 221-229

2. 문항

(1) 문항 1

문항 4-1 문항

[문제 4-1] 다음은 약산인 일양성자산 HA의 중화 적정 실험 과정이다.

[실험 과정]

- I. HA 1.2 g을 100 mL 부피 플라스크에 넣고, 증류수를 가하여 녹인 후 눈금까지 채웠다.
- II. 실험 과정 I 에서 만든 용액 10 mL와 지시약 2 ~ 3 방울을 100 mL 삼각 플라스크에 넣었다.
- III. 0.1 M NaOH 수용액을 뷰렛에 넣고 중화 적정하였더니, 20 mL의 NaOH 수용액이 들어 갔을 때 혼합 용액의 색이 변하였다.

이 중화 적정 실험에서 사용한 약산 HA의 분자량과 가장 적절한 지시약을 찾는 과정을 제시문 (가)와 (나)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. [10점]

문항 4-1 출제의도 및 해설

고등학교 화학 I 교과과정은 주로 화학의 기본적인 언어를 습득하는 것에 주 목적을 두고 있다. 본 논술 고사에서는 고등학교 화학 I에서 다루고 있는 화학 반응, 원소, 반응식, 양적 관계, 탄화수소의 구조식, 실험식, 분자식, 산화 환원 과정 등 중요한 개념들에 관한 이해도를 평가한다.

문제 4-1은 제시문과 실험 과정에서 제공하는 정보들을 정확하게 숙지하여 강염기로 중화 농도와 몰을 구해내고 약산의 분자량을 논리적으로 찾아내며, 당량점에서의 용액의 산성도를 판단하게 하여 가장 적합한 지시약을 찾아내도록 하는 능력을 평가한다.

문항 4-1 채점기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-1	(1) 약산을 강염기로 중화 적정하는 실험이라는 표현이 있으면, +2점	10

- (2) HA 수용액의 농도 0.2 M과 수용액 1 L에 녹아 있는 HA의 몰수(0.2mol)를 맞게 계산하면, +3점
- (3) HA의 물질량을 맞게 계산하면, +2점
- (4) 약산을 강염기로 적정할 때 당량점에서 생성되는 염이 염기성을 나타내므로 지시약의 변색 범위가 염기성(pH >7)이 좋으므로 가장 적절한 지시약은 페놀프탈레인임을 제시하면, +3점
- ※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 20점 이내에서 ± 0.5 점 추가 점수 부여 가능함.

문항 4-1 예시답안

[화학 문제 4-1 예시 답안]

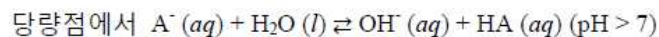
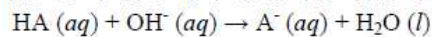
- ▶ 이 적정 실험은 약산을 강염기로 중화 반응하는 실험이다.
- ▶ (III)에서 (I)의 수용액 10 mL를 중화 적정하는데 0.1 M NaOH 수용액 20 mL가 필요하므로 (I)의 HA 수용액 농도는

$$0.1 \text{ M} \times 20 \text{ mL} = x \text{ M} \times 10 \text{ mL}$$

$$x = 0.2 \text{ M} \text{ 이다.}$$

- ▶ HA 1.2 g을 녹여 0.1 L(100 mL)가 되었으므로, 수용액 1 L에는 12.0 g(0.2 mol)의 HA가 녹아 있다.
- ▶ 따라서 HA의 물질량은 60 g/mol이다.

- ▶ 약산을 강염기로 적정하는 중화 반응에서 생성되는 염은 염기성을 나타낸다.



- ▶ 지시약의 변색 범위는 pH가 7 이상인 것이 좋고, 따라서 (II)에서 지시약으로 가장 적절한 것은 페놀프탈레인이다.

(2) 문항 2

문항 4-2 문항

[문제 4-2] 아래의 표는 과량의 묽은 염산(HCl) 용액에 금속 조각을 넣었을 때, 생성된 수소 기체의 부피와 용액 속에 존재하는 음이온과 양이온의 개수 차이(음이온 개수 - 양이온 개수)를 나타낸 것이다.

금속	수소 기체 부피	음이온과 양이온의 개수 차이
A	300 mL	9N
B	200 mL	8N

0.1 M 묽은 염산 용액 600 mL에 0.01몰 금속 A를 가했을 때 생성된 수소 기체의 부피(V_A)와, 같은 양의 묽은 염산 용액에 0.03몰 금속 B를 가했을 때 생성된 수소 기체의

부피(V_B)를 측정하였다. 금속 A, B의 산화수와 $V_A : V_B$ 를 구하는 과정을 제시문 (나)와 (다)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. 단, 기체의 부피는 같은 온도, 같은 압력에서 측정되었다. [20점]

문항 4-2 출제의도 및 해설

문제 4-2는 제시문 및 실험에서 제공하는 정보들을 정확하게 숙지하여 금속과 산 사이의 화학 반응을 논리적으로 판단한 후 적합한 화학 반응식을 제시할 수 있어야 한다. 화학 반응식을 통해 반응 물질과 생성 물질 사이의 양적 관계를 파악하여, 산과 금속의 반응 시 생성되는 수소 기체의 부피와 용액 속에 존재하는 이온들의 개수와 종류를 알아낼 수 있어야 한다. 산화수가 다른 두 금속이 산과 반응했을 때 생성된 수소 기체의 부피비와 용액 속에 존재하는 음이온과 양이온의 개수 차이의 비를 이용하고 화학 반응식을 통해 두 금속의 산화수를 파악하여야 한다. 실험에 주어진 화학 반응식을 논리적으로 제시하며, 화학 반응이 일어날 때 물질들 사이의 양적 관계를 다양하게 응용하는 능력을 평가한다.

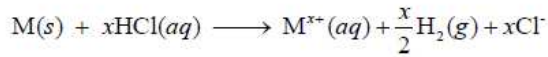
문항 4-2 채점기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-2	(1) 임의의 산화수에 대한 화학 반응식을 올바르게 제시하면 +2점. (2) 일반화된 식으로 음이온과 양이온의 개수 차이를 표현하면 +3점 (3) 산화수를 대입하여 각각의 개수 차이를 구하면 +3점. (4) 양이온과 음이온의 개수 차이의 비를 이용하여 산화수를 구하면 +4점. (5) 금속 A의 반응에서 생성된 수소 기체의 양을 구하면 +3점 (6) 금속 B의 반응에서 생성된 수소 기체의 양을 구하면 +3점 (7) 금속 A와 금속 B에서 생성된 수소 기체의 부피비를 정확히 구하면 +2점 ※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 20점 이내에서 ± 0.5 점 추가 점수 부여 가능함.	20

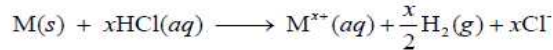
문항 4-2 예시답안

[문제 4-2 예시 답안]

- ▶ 산화수가 x 인 금속과 묽은 염산 용액의 화학 반응식을 쓰면 다음과 같다.



- ▶ 금속과의 반응 전, 묽은 염산 용액 속에 염산이 y 몰 존재한다고 하고, 반응이 진행되면서 염산 a 몰이 소모되었다고 하면 다음과 같이 화학 반응식을 쓸 수 있다.



반응전 y

반응후 $y-a$ $\frac{a}{x}$ $\frac{a}{2}$ y

- ▶ 반응 후에 용액 속에 존재하는 이온의 종류와 양은 다음과 같다.

과량으로 존재하는 수소 이온(H^+)이 $y-a$, 생성된 금속 양이온(M^{x+})이 $\frac{a}{x}$ 그리고

반응에 참여하지 않은 염화 음이온(Cl^-)이 y 만큼 존재한다.

- ▶ 전체 음이온의 개수와 전체 양이온의 개수의 차이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y - (y - a + \frac{a}{x}) = a(1 - \frac{1}{x})$$

- ▶ 산화수가 1 일 경우는

$$a(1 - \frac{1}{1}) = 0$$

- ▶ 산화수가 2 일 경우는

$$a(1 - \frac{1}{2}) = \frac{a}{2}$$

- ▶ 산화수가 3 일 경우는

$$a(1 - \frac{1}{3}) = \frac{2a}{3}$$

- ▶ 표에서 주어진 정보를 보면 생성된 수소 기체의 부피가 같을 때, 금속 A 와 금속 B 의 반응에서 생성되는 전체 음이온의 개수와 양이온의 개수 차이의 비가 3:4 라는 것을 알 수 있다. 이 조건을 만족하는 경우를 생각해보면

$$\frac{a}{2} : \frac{2a}{3} = 3 : 4$$

이므로 금속 A 의 산화수는 +2 금속 B 의 산화수는 +3 이다.

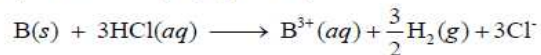
- ▶ 금속 A 와 묽은 염산의 반응에 대한 화학식을 적으면 다음과 같다.



반응전 0.01 0.06

반응후 0.04 0.01 0.01 0.06

- ▶ 금속 B 와 묽은 염산의 화학 반응식은



반응전 0.03 0.06

반응후 0.01 0.02 0.03 0.06

- ▶ 생성된 수소 기체의 부피비는 위에서 계산된 몰 수비와 같다.

$$0.01:0.03 = 1:3$$

[중앙대학교 문항정보]

일반정보

유형	<input checked="" type="checkbox"/> 논술고사 <input type="checkbox"/> 면접 및 구술고사	
전형명	수시 논술전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 II(화학) / 문제 4	
출제 범위	고등학교 과목명	화학 I
	핵심개념 및 용어	아름다운 분자 세계, 분자의 구조, 탄소 화합물, 달은꼴 화학 반응, 산화 환원, 철의 제련, 화학의 언어, 몰, 화학 반응식
예상 소요 시간	30분	

문항 및 제시문

[문제 4] 다음 제시문 (가), (나), (다)를 읽고 문제에 답하시오.

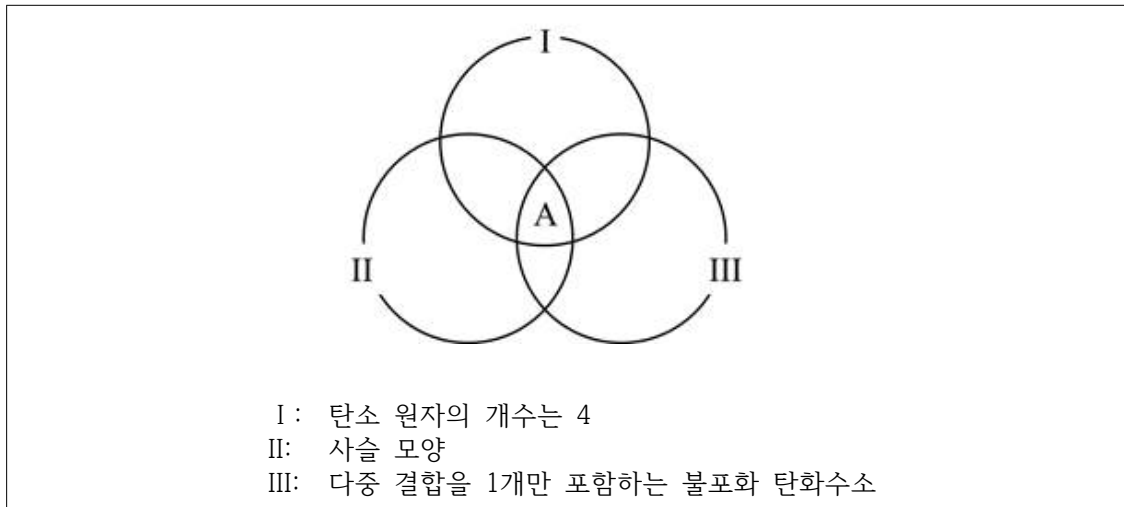
(가) 탄소 원자는 탄소 원자끼리 결합하거나 다른 원자와 결합함으로써 다양한 형태의 분자를 만들어 낸다. 탄소 화합물 중에서 가장 기본이 되는 것은 탄소(C) 원자와 수소(H) 원자로만 이루어진 탄화수소이다. 탄소 원자 사이에 단일 결합만으로 이루어진 탄화수소를 포화 탄화수소라고 하며, 탄소 원자 사이에 이중 결합이나 삼중 결합 등의 다중 결합을 포함하는 탄화수소를 불포화 탄화수소라고 한다. 탄소 사이에 이중 결합을 가지는 탄소 화합물에서 구성 원자의 공간상에서의 배치가 서로 달라 생기는 이성질체를 기하 이성질체라고 한다.

(나) 다양한 물질을 구별하고 특징을 표현하기 위해 물질을 원소 기호와 함께 성분비, 원자의 개수, 결합 방식 등으로 나타낸 것을 화학식이라고 한다. 화합물의 구성 원소의 원자 개수 비율을 가장 간단한 정수비로 나타낸 화학식을 실험식이라 하고, 각 원자가 분자 내에서 어떻게 결합해 있는가를 도식으로 나타낸 화학식을 구조식이라 한다. 구조식은 공유 결합 화합물에 있는 분자의 전자 배치를 좀 더 간단하게 나타내기 위하여 비공유 전자쌍은 생략하고 공유 전자쌍만을 결합선으로 나타낸다.

(다) 철광석의 주성분은 철의 산화물인 삼산화이철(Fe_2O_3)이다. 따라서 철을 얻으려면 철광석에서 산소를 제거해야 한다. 아래 그림과 같이 철광석을 탄소 성분인 코크스(C), 석회석(CaCO_3)과 함께 용광로에 넣고 1250°C 이상의 뜨거운 공기를 불어 넣으면, 철광석이 녹으면서 코크스는 불완전 연소되어 일산화 탄소가 된다. 일산화 탄소는 녹은 철광석으로부터 산소를 얻어 이산화 탄소가 되고 쇳물이 녹아 나오는데, 이것을 용융철이라고 한다. 철광석으로부터 철을 제련하는 과정에서 코크스가 산소와 결합하여 일산화 탄소가 되는 것은 산화 과정이며, 철광석이 산소를 잃고 철로 되는 것은 환원 과정이다. 이때 석회석이 열분해되어 생성된 산화칼슘(CaO)이 철광석에 불순물로 섞여 있는 이산화 규소(SiO_2)와 결합하여 슬래그(CaSiO_3)를 만드는 반응이 일어난다. 생성된 슬래그는 철보다 비중이 낮으므로 용융 철 위로 뜨며, 시멘트의 원료로 사용된다.



[문제 4-1] 다음은 어떤 학생이 탄화수소를 분류하기 위하여 만든 벤 다이어그램이다.



이 학생은 A에 속하는 탄화수소에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

[결론] $\frac{\text{실험식이 } CH_2 \text{인 탄화수소가 가질 수 있는 구조식의 개수}}{\text{실험식이 } C_2H_3 \text{인 탄화수소가 가질 수 있는 구조식의 개수}} = \frac{3}{2}$

이 학생이 얻은 결론이 옳은지 그른지를 제시문 (가)와 (나)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. [10점]

[문제 4-2] 철광석으로부터 철을 제련하는 과정에서 용융 철(Fe) 8L와 슬래그($CaSiO_3$) 1L가 생성되었을 때, 불완전 연소된 코크스(C)의 최소 질량과 철광석(Fe_2O_3)에 불순물로 섞여 있던 이산화 규소(SiO_2)의 질량을 구하는 과정을 제시문 (다)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. 단, Fe와 $CaSiO_3$ 의 밀도는 각각 7.0 g/mL, 2.9 g/mL이고, Fe, Ca, Si, O, C의 원자량은 각각 56, 40, 28, 16, 12이다. 모든 코크스와 철광석은 각각 일산화 탄소와 용융 철이 된다고 가정한다. [20점]

출제 근거

1. 제시문

적용 교육과정	1. 교육과학기술부 고시 제 2009-41호[별책9] “과학과 교육과정” 2. 교육과학기술부 고시 제 2009-41호[별책9]에 따른 “고교 과학과 교육과정 해설서”
성취기준	1. 과학과 교육과정 문서 (1) 화학의 언어(24쪽) ⑤ 여러 가지 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 원자량과 분자량 등을 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 알 수 있다. (3) 아름다운 분자 세계(25쪽) ⑥ 탄소화합물의 다양성과 구조적 특징을 이해한다. (4) 님은꼴 화학반응 (25쪽) ① 광합성과 호흡, 철광석의 제련과 철의 부식이 산소에 의한 화학적 산화 환원 반응임을 이해한다.

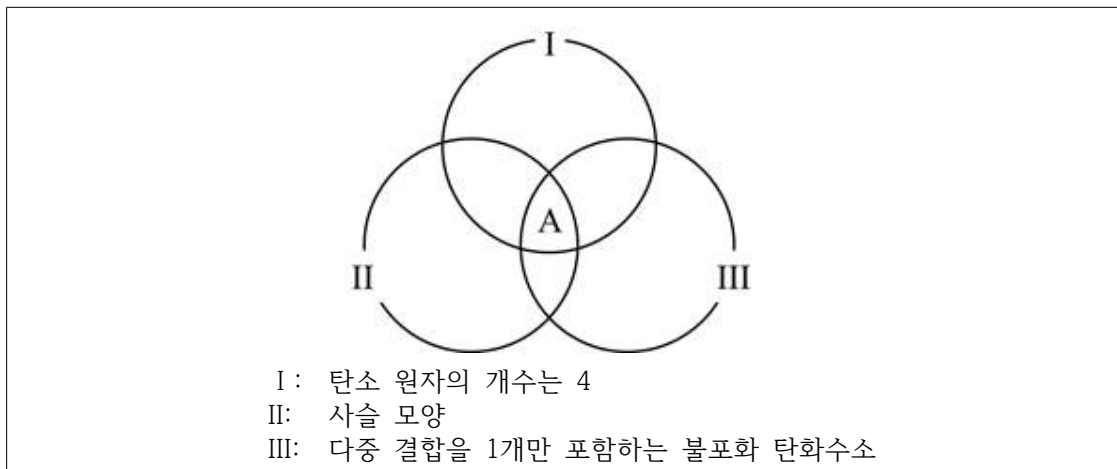
참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	김희준 외 8인	상상 아카데미	2013	153-155
	화학 I	류해일 외 7인	비상교육	2013	34-35, 169-171
	화학 I	박종석 외 4인	교학사	2011	176-178, 206-209
기타	화학 I	류시경 외 3인	EBS	2011	189-190

2. 문항

(1) 문항 1

문항 4-1 문항

[문제 4-1] 다음은 어떤 학생이 탄화수소를 분류하기 위하여 만든 벤 다이어그램이다.



이 학생은 A에 속하는 탄화수소에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

[결론] $\frac{\text{실험식이 } CH_2 \text{인 탄화수소가 가질 수 있는 구조식의 개수}}{\text{실험식이 } C_2H_3 \text{인 탄화수소가 가질 수 있는 구조식의 개수}} = \frac{3}{2}$

이 학생이 얻은 결론이 옳은지 그른지를 제시문 (가)와 (나)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. [10점]

문항 4-1 출제의도 및 해설

탄화수소는 자연계를 구성하고 있는 물질 중에서 가장 많이 발견되는 화합물로 탄화 수소를 이루고 있는 화학결합의 종류와 구조에 따라 분류될 수 있다. 다양한 탄화수소를 분류할 수 있는 기준은 탄소 혹은 수소 원자의 개수비로 나타나는 실험식, 탄소 원자 사이의 결합의 종류, 탄소 원자의 구조로 나누어 볼 수 있다. 문제 4-1은 이러한 분류 기준들을 정확히 이해하고 분류된 탄화수소들의 구조와 결합의 종류를 결정하여야 한다.

제시문에서 제공하는 탄소 원자 사이의 결합 수, 구성 원자의 공간상에서의 배치 등에 따라 탄화수소를 분류할 수 있고, 실험식, 분자식, 구조식 등의 개념을 숙지하여 탄화수소의 화학식과 관계를 이해하여 문제에서 제시하는 모든 조건을 만족하는 탄화수소 화합물의 구조식을 정확하게 찾아내고 실험식에 따라 분류할 수 있는 능력을 평가한다.

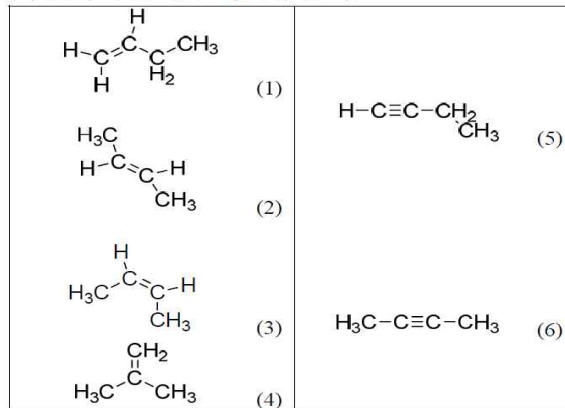
문항 4-1 채점기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-1	(1) 분류 기준에 적합한 6개의 구조를 모두 바르게 제시하면 +6점 (구조식이 틀렸거나 빠진 것은 각각 -1점) (2) 실험식에 따른 두 종류의 탄화수소 분류를 정확하면 +2점 (구조식 그림이 틀려도 실험식 분류가 맞으면 +2점) (3) 결론이 틀렸다는 것을 정확히 표현하면 +2점 (결론이 틀려도 찾은 구조식 내에서 구조식 개수 비를 맞게 구했으면 +2점) ※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 10점 이내에서 ± 0.5점 추가 점수 부여 가능함.	10

문항 4-1 예시답안

▶ 이 문제는 탄화수소의 구조식, 실험식 등을 정확하게 이해하는지를 평가하는 문제로, 벤 다이어그램의 I, II, III 의 조건을 모두 만족하는 탄화수소, 즉 탄소 원자의 개수는 4 이고, 사슬 모양이며, 다중 결합을 1 개만 포함하는 불포화 탄화수소의 구조식을 찾아낼 수 있어야 한다.

▶ A 에 속하는 탄화수소의 구조식은 다음과 같다.



▶ 위 그림에서 분자식이 C_4H_8 인 탄화수소(1, 2, 3, 4 번) 4 개는 실험식이 CH_2 이고, 분자식이 C_4H_6 인 탄화수소(5, 6 번) 2 개는 실험식이 C_2H_3 이다.

▶ 각각의 실험식을 가지는 탄화수소의 구조식 개수에 대한 비는

$$\frac{\text{실험식이 } \text{CH}_2 \text{인 탄화수소가 가질 수 있는 구조식의 개수}}{\text{실험식이 } \text{C}_2\text{H}_3 \text{인 탄화수소가 가질 수 있는 구조식의 개수}} = \frac{4}{2} = 2$$

▶ 따라서 A에 속하는 탄화수소에 대하여 학생이 내린 결론은 거짓이다.

(2) 문항 2

문항 4-2 문항

[문제 4-2] 철광석으로부터 철을 제련하는 과정에서 용융 철(Fe) 8L와 슬래그(CaSiO_3) 1L가 생성되었을 때, 불완전 연소된 코크스(C)의 최소 질량과 철광석(Fe_2O_3)에 불순물로 섞여 있던 이산화 규소(SiO_2)의 질량을 구하는 과정을 제시문 (다)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. 단, Fe와 CaSiO_3 의 밀도는 각각 7.0 g/mL, 2.9 g/mL이고, Fe, Ca, Si, O, C의 원자량은 각각 56, 40, 28, 16, 12이다. 모든 코크스와 철광석은 각각 일산화 탄소와 용융 철이 된다고 가정한다. [20점]

문항 4-2 출제의도 및 해설

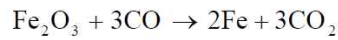
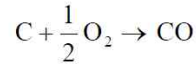
문제 4-2에서는 제시문에 있는 철광석으로부터 철을 제련하는 과정에 대한 설명을 숙지하여 산화와 환원이 되는 화학종 및 반응을 정확히 이해하고, 밀도, 부피, 질량, 몰 사이의 화학 양적 상호관계를 정확하게 이해하는 지를 평가한다.

문항 4-2 채점기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-2	(1) 철의 제련과정 중 용광로 안에서 일어나는 화학 반응식을 맞게 쓰면 +5점 (1몰의 코크스가 불완전 연소되어 1몰의 일산화 탄소가 되고, 철광석(Fe_2O_3) 1몰이 3몰의 일산화 탄소에 의해 환원되어 2몰의 용융철이 생성된다는 등 반응물과 생성물의 화학 양적인 관계를 맞게 기술해도 +5점.) (2) 용융 철의 몰수를 맞게 구하면 +2점 (3) 산화-환원 반응의 몰비 관계를 이용하여 불완전 연소된 코크스의 최소 질량을 맞게 구하면 +3점 (4) 석회석이 열분해 되어 생성된 산화칼슘(CaO)이 철광석에 불순물로 섞여 있는 이산화 규소(SiO_2)와 결합하여 슬래그(CaSiO_3)를 만드는 과정의 화학 반응식을 바르게 제시하면 +4점 (1몰의 CaO 와 1몰의 SiO_2 가 반응하여 1몰의 CaSiO_3 가 형성된다고 해도 +4점.) (5) CaSiO_3 1 L의 질량과 몰수를 맞게 구하면 +3점 (6) Fe_2O_3 에 불순물로 섞여 있던 SiO_2 의 질량을 맞게 구하면 +3점 ※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 20점 이내에서 ± 0.5 점 추가 점수 부여 가능함.	20

문항 4-2 예시답안

- ▶ 철의 제련과정 중 용광로 안에서는 다음과 같은 반응이 일어난다.



- ▶ 용융 철(Fe) 8L 가 생성되었으므로, 생성된 철의 양은

$$m = 8,000 \text{ mL} \times 7.0 \text{ g/mL} = 56,000 \text{ g}$$

$$\frac{56,000 \text{ g}}{56 \text{ g/mol}} = 1,000 \text{ mol}$$

- ▶ 철광석이 환원되는 반응식에서 철 2 몰이 생성될 때 CO 3 몰이 산화되었고, 코크스 1 몰이 불완전 연소될 때 CO 1 몰이 생성되었으므로

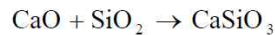
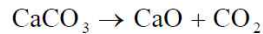
$$1,000 \text{ mol Fe} : 2 \text{ mol Fe} = x \text{ mol C} : 3 \text{ mol C}$$

$$x = 1,500 \text{ mol C}$$

$$1,500 \text{ mol C} \times 12 \text{ g/mol} = 18,000 \text{ g (18 kg)}$$

즉 철 8L 가 생성되기 위해서는 최소 18 kg 의 코크스가 필요

- ▶ 석회석이 열분해 되어 생성된 산화칼슘(CaO)이 철광석에 불순물로 섞여 있는 이산화 규소(SiO₂)와 결합하여 슬래그(CaSiO₃)를 만드는 과정의 화학 반응식은



- ▶ 즉 1 몰의 CaO 와 1 몰의 SiO₂ 가 반응하여 1 몰의 CaSiO₃ 가 형성된다.

- ▶ CaSiO₃ 의 밀도가 2.9 g/mL 이므로 생성된 CaSiO₃ 1 L 의 질량은

$$m = 1,000 \text{ mL} \times 2.9 \text{ g/mL} = 2,900 \text{ g}$$

- ▶ 생성된 CaSiO₃ 1 L 의 몰수는

$$\frac{2,900 \text{ g}}{116 \text{ g/mol}} = 25 \text{ mol}$$

- ▶ 1 몰 SiO₂ 가 반응하여 1 몰 CaSiO₃ 가 생성되었다. 1 몰 SiO₂ 의 화학식량은 60 g/mol 이므로, Fe₂O₃ 에 불순물로 섞여 있던 SiO₂ 의 질량은

$$25 \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol} = 1,500 \text{ g (1.5 kg)}$$

◆ 문항카드 22

[중앙대학교 문항정보]

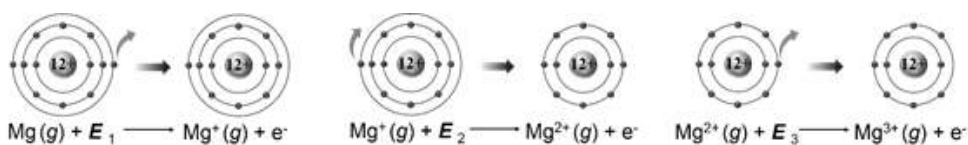
1. 일반정보

유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 I(화학) / 문제 4-1, 4-2	
입학 모집요강에 제시한 자격 기준 과목명	제시 과목 없음	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	화학의 언어/ 분자량, 화학 반응식 개성있는 원소/ 동위 원소, 이온화 에너지 아름다운 분자 세계/ 이온 결합, 옥텟 규칙 닭은꼴 화학 반응/산화수, 산화-환원 반응 다양한 모습의 물질/ 기체의 확산 속도
예상 소요 시간	30분	

2. 문항 및 제시문

[문제 4] 다음 제시문 (가) - (라)를 읽고 문제에 답하시오.

(가) 기체 상태의 중성 원자에서 전자를 1개씩 순차적으로 떼어낼 때 필요한 에너지를 차례로 제1 이온화 에너지(E_1), 제2 이온화 에너지(E_2),.....라고 하며, 이를 순차적 이온화 에너지라고 한다. 원자로부터 원자가 전자를 모두 떼어낸 후 다음 전자를 떼어 낼 때는 안쪽 껍질의 전자가 떨어지게 되어 이온화 에너지가 급격히 증가하므로 순차적 이온화 에너지를 비교하여 원자가 전자 수를 알 수 있다. 이온화 에너지는 핵과 전자 사이의 인력이 클수록 증가한다. 다음 그림은 마그네슘 원자가 순차적으로 이온화되는 과정을 보여 준다.



(나) 대부분의 원자들은 전자를 잃거나 얻어서 비활성 기체처럼 최외각 전자껍질에 8개의 전자를 채워 안정한 전자배치를 가지려 한다. 이러한 경향을 옥텟 규칙이라고 한다. 옥텟 규칙에 따라 금속 원자는 전자를 잃어 양이온이 되려 하고 비금속 원자는 전자를 얻어 음이온이 되려 한다. 이러한 전하를 띤 입자 사이의 정전기적 인력에 의해 만들어진 화학 결합을 이온 결합이라고 한다. 이온 결합 화합물에서 정전기적 인력이 클수록 녹는점이 높다.

(다) 양성자 수는 같으나 중성자 수가 다른 원자들을 동위 원소라고 하며, 자연계에 존재하는 동위 원소의 존재 비율은 거의 일정하다. 동위 원소들은 화학적 성질이 같으나 물리적 성질에는 차이가 있다. 화학 반응이 일어날 때 반응 물질과 생

성 물질 사이의 관계를 나타낸 식을 화학 반응식이라고 한다. 화학 반응이 일어나도 반응 전후 원자는 새로 생겨나거나 없어지지 않는다. 화학 반응식에서 각 물질의 계수비는 반응에 참여한 물질의 분자수비와 몰수비, 부피비를 의미한다. 몰과 입자수, 몰과 질량, 몰과 기체의 부피 관계를 이용하면 반응물과 생성물의 몰수, 입자수, 질량, 부피를 구할 수 있다. 질량과 부피 관계에서 모든 기체는 종류에 관계없이 0°C, 1기압에서 1몰의 부피가 22.4 L인 것을 이용한다. 또한 일정한 온도와 압력에서 기체 분자의 확산 속도는 기체의 밀도의 제곱근에 반비례한다.

(라) 산화수는 어떤 물질 속에서 원소가 어느 정도로 산화되었는지를 나타내는 가상적인 전하수이다. 산화수 규칙에 의하면 원소를 구성하는 원자의 산화수는 0이며, 일원자 이온의 산화수는 그 이온의 전하수와 같다. 대부분의 경우 산소의 산화수는 이며 수소의 산화수는 +1이다. 화합물을 구성하는 각 원자의 산화수의 총합은 이다. 산화 - 환원 반응에서 어떤 물질의 산화수가 증가하는 반응을 산화 반응이라 하고, 산화수가 감소하는 반응을 환원 반응이라고 한다. 이때 자신은 산화되면서 다른 물질을 환원시키는 물질을 환원제, 자신은 환원되면서 다른 물질을 산화시키는 물질은 산화제라고 한다.

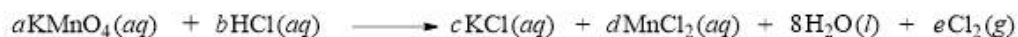
[문제 4-1] 임의의 원자 A, B, C의 순차적 이온화 에너지는 아래 표와 같다.

<원자 A, B, C의 순차적 이온화 에너지(kJ/mol)>

원자	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9
A	496	4562	6910	9543	13354	16613	20117	25496	28932
B	1681	3374	6050	8408	11023	15164	17868	92038	106434
C	1251	2298	3822	5159	6542	9362	11018	33604	38600

제시문 (가)와 (나)에 근거하여 원자 A, B, C로부터 생성되는 안정한 상태의 이온들을 논리적으로 제시하시오. 또한, 이들 중 두 종류의 이온만을 사용하여 만들 수 있는 모든 이온 결합 화합물의 실험식을 구하고 녹는점을 논리적으로 비교하시오. [10점]

[문제 4-2] 과망가니즈산 칼륨(KMnO_4) 6.32 g을 물 1 L에 녹인 후 모든 과망가니즈산 칼륨이 반응할 수 있는 충분한 양의 진한 염산(HCl)을 이에 가하면 아래와 같은 반응이 일어난다. 제시문 (다)와 (라)에 근거하여 반응식의 계수(a, b, c, d, e)를 정하고 이때 생성되는 염소 가스(Cl_2)의 질량을 구하시오. 또한 아래의 반응식에서 염산과 과망가니즈산 칼륨의 산화제 또는 환원제로서의 역할에 대해 망가니즈(Mn)와 염소(Cl)의 산화수 변화에 근거하여 설명하시오. 이때 분리된 염소 가스가 작은 튜브로 새어 나오기 시작할 때, 분자량이 서로 다른 염소 가스 분자들의 확산 속도비를 비례식으로 표시하시오. (단, K, Mn, O, H, Cl의 평균 원자량은 각각 39, 55, 16, 1, 35.5이고, 자연계에서 염소는 두 동위 원소 ^{35}Cl 과 ^{37}Cl 로 존재한다.) [20점]



3. 출제 의도

본 논술 고사에서는 고등학교 화학 I, II 교과과정에 대한 전반적인 이해도를 평가하기 위해 융합적인 문제를 다루며, 그 내용은 ‘고등학교 화학 성취 기준’을 만족한다.

제시문은 화학의 언어를 바탕으로 이온화 에너지, 원자가 전자, 이온 결합의 특성을 설명한다. 동위원소의 특성에 대한 이해, 화학반응식에 대한 양적관계의 이해, 기체 분자의 확산 속도에 대한 이해를 설명한다. 또한 다양한 화학반응에서 일어나는 산화-환원 반응에 대한 이해와 산화수의 개념을 설명한다. 제시문에 제시된 화학의 기본 개념을 이용하여 문제를 구성하여 제시된 자료와 반응을 해석하는 능력을 요구하는 문항이다.

4. 출제 근거

1. 교육과정 근거

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제2011-361호[별책9] “과학과 교육과정”
성취기준	[화학 I] (1) 화학의 언어(88쪽) (다) 원소 분석을 통하여 여러 가지 화합물의 조성을 확인하여 화학식과 분자의 구조를 밝혀 내는 과정을 설명할 수 있다. (마) 여러 가지 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 원자량과 분자량 등을 이용하여 화학 반응에서의 양적 관계를 알 수 있다.
	[화학 I] (2) 개성 있는 원소(88쪽) (가) 원자가 양성자, 중성자, 전자로 구성되어 있음을 알고, 지구에서 가장 흔하게 존재하는 H, C, N, O, Fe 등과 같은 원자의 공통점과 차이점을 설명할 수 있다. (나) 원소의 기원, 핵 반응 및 방사성 동위원소의 특성을 이해한다. (마) 주기율표에서 원자가전자의 수, 원자 반지름, 이온화 에너지, 전기 음성도 등 원자의 성질이 주기적으로 변화됨을 설명할 수 있다.
	[화학 I] (3) 아름다운 분자 세계(89쪽) (다) 비활성 기체의 전자 구조를 통해 옥텟 규칙을 이해하고, 옥텟 규칙으로 화학 결합을 설명할 수 있다.
	[화학 I] (4) 값은꼴 화학반응(90쪽) (가) 광합성과 호흡, 철광석의 제련과 철의 부식이 산소에 의한 화학적 산화-환원 반응임을 이해한다. (나) 질소와 수소의 반응에 의한 암모니아의 합성이 전자 이동에 의한 산화·환원 반응임을 이해한다. (다) 이산화탄소, 물, 메탄, 암모니아에서 화학 결합을 하고 있는 원자들 사이의 전기 음성도 차이로부터 각 원소의 산화수를 설명할 수 있다.
	[화학 II] (1) 다양한 모습의 물질(96쪽) (다) 온도에 따른 기체 분자 운동의 특성을 이해하고, 확산 속도와 분자량의 관계를 설명할 수 있다.

2. 자료 출처

제시문(가)

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종성 외 4인	교학사	2011	100
	화학 I	김희준 외 8인	상상 아카데미	2011	100

제시문(나)

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종성 외 4인	교학사	2011	148-159
	화학 I	노태희 외 7인	천재 교육	2011	133-140

제시문(다)

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	류해일 외 7인	비상 교육	2011	40-45
	화학 I	노태희 외 7인	천재 교육	2011	66-67
	화학 II	박종성 외 4인	교학사	2011	32
	화학 II	류해일 외 7인	비상 교육	2012	33

제시문(라)

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	김희준 외 8인	상상 아카데미	2011	190-202
	화학 I	노태희 외 7인	천재 교육	2011	185-188

5. 문항 해설

문제 4-1은 제시문에서 제공하는 정보들을 정확하게 숙지하여 원자의 이온화 에너지와 원소의 주기적 성질을 나타내는 원자가 전자 수와의 관계를 찾아내게 하여, 옥

텟 규칙에 기반하여 안정한 이온을 추론하여야 한다. 이를 바탕으로 가능한 이온 결합 화합물의 조합을 찾아내고, 이들의 녹는점을 원자의 크기와 이온화 에너지의 관계를 이용하여 논리적으로 비교하여야 한다.

문제 4-2는 제시문에서 제공하는 정보들을 정확하게 숙지하여 화학반응식의 양적 관계를 바탕으로 반응식의 계수를 올바르게 구할 수 있어야 한다. 또한 반응식의 계수비와 몰과 질량의 관계를 이용하여 염소 가스의 질량을 올바르게 구할 수 있어야 한다. 산화수 규칙에 대한 이해를 바탕으로 반응식의 반응물과 생성물의 산화수를 올바르게 파악하고, 이를 바탕으로 산화제와 환원제를 알아낸다. 화학적 성질이 동일하나 물리적 성질의 차이를 가지는 동위원소의 특성을 이해와 기체 분자의 몰-부피, 몰-질량 관계를 이용하여 밀도와 분자량의 비례 관계를 파악할 수 있어야 한다. 이를 바탕으로 동위원소로 구성된 기체 분자들의 확산 속도비를 올바르게 파악할 수 있어야 한다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-1	<p>【채점 요소】</p> <p>이온화 에너지 값을 통해 원자가 전자 수를 올바르게 해석하고 이온화합물을 올바르게 제시하며, 이들의 녹는점을 올바르게 제시하였는가?</p> <p>【예시 답안】</p> <p>▶ 이온화 에너지의 경향을 분석하며 원자 A는 제 1이온화 에너지와 제 2이온화 에너지간에 큰 차이를 보여 원자가 전자가 1개임을 알 수 있다. 또한 원자 B와 원자 C는 제 7이온화 에너지와 제 8이온화 에너지간에 큰 차이를 보여 각각 원자가 전자가 7개임을 알 수 있다. 따라서 옥텟 규칙을 만족하는 안정한 이온을 형성하기 위해서, 원자 A는 1가의 양이온인 A^+, 원자 B와 C는 1가의 음이온인 B^-, C^-를 형성한다.</p> <p>▶ 이온 결합 화합물은 양이온과 음이온으로 구성된 화합물로 두 종류의 이온을 사용시 양이온과 음이온을 각각 1개씩 사용해야 한다. 한 종류의 일가 양이온 A^+와 두 종류의 일가 음이온 B와 C^-를 사용하여 만들 수 있는 이성분계 이온 결합 화합물의 실험식은 전기적으로 중성을 만족하여 1:1의 비로 결합하는 AB와 AC이다.</p> <p>▶ 동일한 원자가 전자 수를 가지는 B와 C는 이온화 에너지의 경향으로부터 B는 C보다 큰 이온화 에너지를 보여주어 핵과 전자의 거리가 B가 C보다 가까움을 알 수 있다. 따라서 B^-는 C^-보다 크기가 작다. 따라서 좀더 이온간의 거리가 가까운 AB가 AC에 비하여 높은 녹는점과 끓는점을 가진다.</p> <p>【채점 준거】</p> <p>1. 이온화 에너지의 경향성을 표의 값에 근거하여 바르게 파악하여 원자가 전자를 올바르게 파악하고 3 가지 이온의 종류를 모두 바르게 제시하면 +4점. (각 원자의 원자가 전자를 표의 값에 근거하여 올바르게 파악하면</p>	10

	<p>+2점 (각 이온의 경우+0.5점), 해당 이온을 올바르게 적으면 +2점 (각 이온의 경우 +0.5점))</p> <p>2. 실험식의 개수를 올바르게 추론하고 이온의 전하비에 따라 해당하는 두 실험식을 올바르게 적으면 2점. (각 실험식을 올바르게 적으면 +1점)</p> <p>3. 이온화 에너지의 경향으로부터 B와 C의 크기 차이를 올바르게 비교하고, 거리의 차이에 의한 정전기적 인력의 차이에 따른 결합력의 차이를 올바르게 기술한다. 이를 바탕으로 녹는점의 차이를 올바르게 비교하면 +4점. (이온화 에너지의 경향에 따른 B와 C의 크기 차이를 올바르게 기술하면 +2.5 점, 전하의 크기 차이가 아닌 A-B와 A-C간의 거리의 차이에 따른 결합력의 증가를 올바르게 기술하면 +1점, 결합력의 증가에 따른 녹는점의 증가를 올바르게 기술하면 0.5점)</p> <p>※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 10점 이내에서 ± 0.5점 추가 점수 부여 가능함.</p> <p>【유의 사항】</p> <p>※ 각, 개념을 올바르게 제시하였는가에 주안점을 두어 채점함.</p>	
4-2	<p>【채점 요소】</p> <p>화학반응식의 양적 관계를 바탕으로 반응식의 계수와 반응물의 생성량을 올바르게 구할 수 있는가? 산화수를 바탕으로 산화제와 환원제의 역할을 올바르게 파악하는가? 동위 원소의 특성에 대한 이해, 기체의 몰-부피와 몰-질량에 대한 이해, 기체의 확산 속도에 대한 이해를 바탕으로 기체 분체들의 확산 속도비를 올바르게 파악할 수 있는가?</p> <p>【예시 답안】</p> <p>▶ 화학 반응 중 반응 물질의 원자 수 총합과 생성 물질의 원자 수 총합은 동일하다. 주어진 반응의 계수를 맞추기 위하여 반응에 참여하는 K, Mn, O, H, Cl에 대한 반응 전후의 계수비 관계식을 적으면 다음과 같다.</p> <p>K: $a = c$ Mn: $a = d$ O: $4a = 8$</p> <p>H: $b = 16$ Cl: $b = 2e + 2d + c$</p> <p>$a = 2, b = 16, c = 2, d = 2, e = 5$</p> <p>▶ 6.32 g의 과망가니즈산 칼륨(KMnO₄)이 모두 진한 염산(HCl)과 반응하였으므로, 염소 가스는 반응식에서 얻어진 과망가니즈산 칼륨과 염소 가스의 몰 수비인 KMnO₄:Cl₂=2:5의 비로 발생한다. 염소 가스의 질량은 “과망가니즈산 칼륨의 몰 수 $\times \frac{5}{2}$ \times 염소 가스의 분자량”이다. $6.32\text{g} / (39 + 55 + 16 \times 4) \times \frac{5}{2} \times 71 = 7.1\text{g}$</p> <p>▶ 산화수 규칙에 따라 주어진 반응식의 산화수는 아래와 같이 변화한다. 반응 전 과망가니즈산 칼륨(KMnO₄)에서 망가니즈(Mn)의 산화수는 +7이고 염산(HCl)의 염소(Cl)의 산화수는 -1이나, 반응 후에 MnCl₂의 망가니즈의 산화수는 +2이고 Cl₂의 염소의 산화수는 0이다. 망가니즈의 산화수는 감소하여 환원되고, 염소의 산화수는 증가하여 산화된다. 따라서 자신이 환원되는 과망가니즈산 칼륨은 산화제이고 자신이 산화되는 염산은 환원제이다.</p>	20

▶ 작은 틈으로 새어 나오는 염소 가스(Cl_2)는 동위원소의 존재로 인하여 서로 다른 분자량을 가진다. 자연계에 존재하는 염소는 원자량 35 또는 37을 가질 수 있으며, 이원자 분자인 염소 가스는 분자량 70, 72, 74를 가질 수 있다. 이러한 염소 가스 분자의 확산 속도는 밀도의 제곱근의 역수에 비례한다. 기체는 동일 압력과 온도에서 동일한 부피에 같은 분자의 개수를 가지므로, 분자량은 밀도에 비례한다. 따라서 기체의 확산 속도는 분자량의 제곱근의 역수에 비례한다. 이를 이용하여 분자량 70, 72, 74인 염소 가스의 확산 속도를 각각 라고 하면 이의 확산 속도비는 다음과 같다.

$$v_{70} : v_{72} : v_{74} = \frac{1}{\sqrt{70}} : \frac{1}{\sqrt{72}} : \frac{1}{\sqrt{74}}$$

【채점 준거】

1. 반응 전후의 원자들의 몰비 관계식을 올바르게 적으면 +6점. (각 원자들의 계수 관계식을 올바르게 적으면 각 +0.5점, 계수를 맞추면 각 +0.5점)
2. KMnO_4 의 몰-질량관계와 산화-환원 반응의 몰수비 관계를 이용하여 발생하는 염소 가스의 몰수를 올바르게 구하고, 염소 가스의 몰수와 분자량을 이용하여 발생한 염소 가스의 질량을 올바르게 구하면 +4점. (반응식의 계수를 이용하여 몰수비를 올바르게 구하면 +2점, 질량 몰수관계를 이용하여 염소 가스의 질량을 올바르게 구하면 +2점)
3. 산화수 규칙을 이용하여 망간과 염소의 산화수를 올바르게 구하고, 이때 산화수의 변화를 바탕으로 산화제 및 환원제를 올바르게 기술하면 +4점. (반응 전후 Mn과 염소의 산화수를 올바르게 기술하면 각 +0.5점, 산화수의 변화를 올바르게 기술하여 산화제 및 환원제를 올바르게 기술하면 각 +1점, (과망가니즈산 칼륨과 염산대신에 Mn, Cl로 기술하면 각 +0.5점))
4. 서로 다른 동위원소를 가져 분자량이 다른 염소분자의 분자량을 올바르게 구하고, 질량-부피관계, 부피-몰수관계를 이용하여 기체의 확산속도가 분자량의 제곱근에 반비례함을 유도하여 염소 분자들의 확산 속도를 분자량의 제곱근의 역수로 올바르게 표현하면 +6점. (분자량70, 74의 염소 가스를 올바르게 적으면 각 +1.5점, 분자량 72의 염소가스를 올바르게 적으면 +1.5점, 질량-부피관계, 부피-몰수관계를 이용하여 기체의 확산속도가 분자량의 제곱근에 반비례함을 유도하면 +1.5점, 염소 분자들의 확산 속도를 분자량의 제곱근의 역수로 올바르게 표현하면 +1.5점)

※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 20점 이내에서 ± 0.5 점 추가 점수 부여 가능함.

【유의 사항】

※ 각, 개념을 올바르게 제시하였는가에 주안점을 두어 채점함.

7. 예시 답안

【문제 4-1】 이온화 에너지의 경향을 분석하며 원자 A는 제 1이온화 에너지와 제 2이온화 에너지간에 큰 차이를 보여 원자가 전자가 1개임을 알 수 있다. 또한 원자 B와 원자 C는 제 7이온화 에너지와 제 8이온화 에너지간에 큰 차이를 보여 각각 원자가 전자가 7개임을 알 수 있다. 따라서 옥텟 규칙을 만족하는 안정한 이온을 형성하기

위해서, 원자 A는 1가의 양이온인 A⁺, 원자 B-와 C-는 1가의 음이온인 B⁻, C⁻를 형성한다. 이때 이온 결합 화합물은 양이온과 음이온으로 구성된 화합물로 두 종류의 이온을 사용시 양이온과 음이온을 각각 1개씩 사용해야 한다. 한 종류의 일가 양이온 A⁺와 두 종류의 일가 음이온 B⁻와 C⁻를 사용하여 만들 수 있는 이성분계 이온 결합 화합물의 실험식은 전기적으로 중성을 만족하여 1:1의 비로 결합하는 AB와 AC이다. 또한 동일한 원자가 전자 수를 가지는 B와 C는 이온화 에너지의 경향으로부터 B는 C보다 큰 이온화 에너지를 보여주어 핵과 전자의 거리가 B가 C보다 가까움을 알 수 있다. 따라서 B-는 C-보다 크기가 작다. 따라서 좀더 이온간의 거리가 가까운 AB가 AC에 비하여 높은 녹는점과 끓는점을 가진다.

[문제 4-2] 화학 반응 중 반응 물질의 원자 수 총합과 생성 물질의 원자 수 총합은 동일하다. 주어진 반응의 계수를 맞추기 위하여 반응에 참여하는 K, Mn, O, H, Cl에 대한 반응 전후의 계수비 관계식을 적으면 다음과 같다.

$$\text{K: } a = c \quad \text{Mn: } a = d \quad \text{O: } 4a = 8$$

$$\text{H: } b = 16 \quad \text{Cl: } b = 2e + 2d + c$$

$$a = 2, b = 16, c = 2, d = 2, e = 5$$

6.32 g의 과망가니즈산 칼륨(KMnO₄)이 모두 진한 염산(HCl)과 반응하였으므로, 염소 가스는 반응식에서 얻어진 과망가니즈산 칼륨과 염소 가스의 몰 수비인 KMnO₄:Cl₂=2:5의 비로 발생한다. 염소 가스의 질량은 “과망가니즈산 칼륨의 몰 수 \times 5/2 \times 염소 가스의 분자량”이다. $6.32\text{g} / (39 + 55 + 16 \times 4) \times 5/2 \times 71 = 7.1\text{g}$ 또한 산화수 규칙에 따라 주어진 반응식의 산화수는 아래와 같이 변화한다. 반응 전 과망가니즈산 칼륨(KMnO₄)에서 망가니즈(Mn)의 산화수는 +7이고 염산(HCl)의 염소(Cl)의 산화수는 -1이나, 반응 후에 MnCl₂의 망가니즈의 산화수는 +2이고 Cl₂의 염소의 산화수는 0이다. 망가니즈의 산화수는 감소하여 환원되고, 염소의 산화수는 증가하여 산화된다. 따라서 자신이 환원되는 과망가니즈산 칼륨은 산화제이고 자신이 산화되는 염산은 환원제이다. 이때 작은 틈으로 새어 나오는 염소 가스(Cl₂)는 동위원소의 존재로 인하여 서로 다른 분자량을 가진다. 자연계에 존재하는 염소는 원자량 35 또는 37을 가질 수 있으며, 이원자 분자인 염소 가스는 분자량 70, 72, 74를 가질 수 있다. 이러한 염소 가스 분자의 확산 속도는 밀도의 제곱근의 역수에 비례한다. 기체는 동일 압력과 온도에서 동일한 부피에 같은 분자의 개수를 가지므로, 분자량은 밀도에 비례한다. 따라서 기체의 확산 속도는 분자량의 제곱근의 역수에 비례한다. 이를 이용하여 분자량 70, 72, 74인 염소 가스의 확산 속도를 각각 라고 하면 이의 확산 속도비는 다음과 같다.

◆ 문항카드 23

[중앙대학교 문항정보]

1. 일반정보

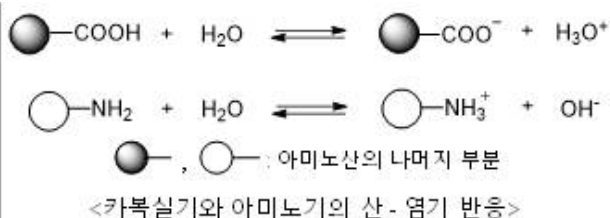
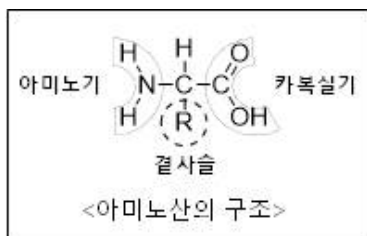
유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 II(화학) / 문제 4-1, 4-2	
입학 모집요강에 제시한 자격 기준 과목명	제시 과목 없음	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	과학, 화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	화학의 언어/ 아름다운 분자 세계/ 달은꼴 화학반응/ 화학평형/ 원소분석/ 화학식/ 분자의 구조/ 산-염기 반응/ 아미노산 / 평형 이동 법칙
예상 소요 시간	30분	

2. 문항 및 제시문

[문제 4] 다음 제시문 (가) - (라)를 읽고 문제에 답하시오.

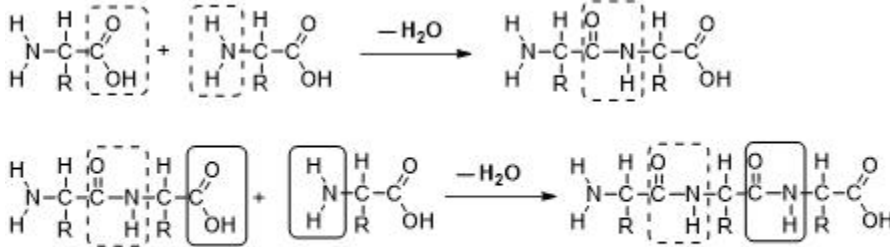
(가) 분자가 아보가드로수만큼 모인 집단을 그 분자의 1몰이라고 한다. 분자량은 분자를 이루는 원자들의 원자량을 합한 값이고, 몰 질량은 분자량에 g (그램)을 붙인 값과 같다. 분자와 같은 화합물의 전체 질량 중 화합물을 구성하는 각 원소가 차지하는 질량을 그 원자량으로 나누어 주면 조성비를 구할 수 있다. 구성 원소의 원자 개수의 비율을 가장 간단한 정수비로 나타낸 식을 실험식이라고 하며, 분자식은 실험식의 정수배로 나타낼 수 있다. 탄소(C), 수소(H), 질소(N), 산소(O)의 원자량은 각각 12, 1, 14, 16이다.

(나) 탄소 원자가 기본 골격을 이루고 여기에 수소, 산소, 질소 등의 여러 가지 원자가 결합한 화합물을 탄소 화합물이라고 한다. 탄소 화합물의 한 종류인 아미노산은 다음 그림과 같이 중심 탄소에 아미노기(-NH₂), 카복실기(-COOH), 곁사슬(-R)을 가지고 있다. 아래의 산 - 염기 반응식과 같이 수용액에서 아미노산의 카복실기는 브뢴스테드 - 로우리 산으로 작용할 수 있고, 아미노기는 브뢴스테드 - 로우리 염기로 작용할 수 있다.



(다) 아미노산 사이의 펩타이드 결합을 통해 생명 활동에 중요한 성분인 단백질을

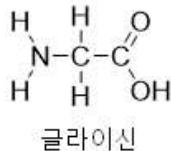
합성할 수 있다. 펩타이드 결합은 아미노산의 종류에 관계없이 같은 방식으로 이루어지는데, 다음 그림과 같이 하나의 아미노산의 카복실기와 다른 아미노산의 아미노기 사이에서 물 분자가 빠지면서 두 아미노산이 결합된다. 이 반응이 연속적으로 일어나 여러 개의 아미노산이 결합된 것을 폴리펩타이드라고 하며, 폴리펩타이드의 사슬이 길어지면 단백질이 된다.



<펩타이드 결합 반응>

(라) 화학 반응에서 정반응과 역반응이 평형 상태에 있을 때 농도, 압력, 온도 등을 변화시키면 그 변화를 감소시키는 방향으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달하며, 이 법칙을 평형 이동 법칙(르사틀리에 원리)이라고 한다.

[문제 4-1] 다음은 가장 간단한 아미노산인 글라이신의 구조이다. 제시문 (나)와 (라)에 근거하여 중성 수용액에서의 글라이신의 구조와 여기에 KOH 용액을 첨가한 후의 구조를 각각 제시하고, 그 구조 변화의 이유를 평형 이동 법칙을 이용하여 논리적으로 설명하시오. [10점]



[문제 4-2] 실험식과 분자식이 같은 어떤 아미노산 A에서 각 원소의 질량비가 C : H : N : O = 36 : 7 : 14 : 32 일 때, 제시문 (가)와 (나)에 근거하여 아미노산 A의 분자식을 구하고 구조를 나타내시오. 제시문 (다)에 주어진 아미노산의 화학 반응을 이용하여 7개의 아미노산으로 구성된 폴리펩타이드를 형성하였는데 그 폴리펩타이드는 아미노산 A와 [문제 4-1]의 글라이신으로만 구성되었다. 이 폴리펩타이드의 몰 질량이 487 g/mol이면, 글라이신과 아미노산 A의 조성비는 얼마인가? [20점]

3. 출제 의도

본 논술 고사에서는 고등학교 화학 I, II 교과과정에 대한 전반적인 이해도를 평가하기 위해 융합적인 문제를 다루며, 그 내용은 ‘고등학교 화학 성취 기준’을 만족한다.

제시문은 화학 I의 단원 ‘화학의 언어’, ‘닭은꼴 화학반응’과 화학 II의 단원 ‘화학평형’을 바탕으로 몰, 분자량, 분자식, 산-염기 반응, 아미노산, 평형 이동 법칙 등의 개념을 제공한다. 제시문에서 제공하는 정보들을 정확하게 숙지하여 융합적인 문

제를 잘 다룰 수 있는지 평가하고자 한다. 화합물에서 구성 원소의 질량비를 이용하여 실험식, 분자식을 유도하고, 이를 이용하여 분자량과 몰 질량을 계산해야 한다. 또한, 제시문에 주어진 화학 반응식을 정확히 이해하여, 반응 물질과 생성 물질 사이의 양적 관계를 파악하고 반응물로 이용된 두 아미노산의 비율을 알아낸다. 즉, 화학 반응이 일어날 때 물질들 사이의 양적 관계를 다양하게 응용하는 능력을 평가한다.

4. 출제 근거

1. 교육과정 근거

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제2011-361호[별책9] “과학과 교육과정”
성취기준	<p>[화학 I] (1) 화학의 언어(88쪽) (다)원소 분석을 통하여 여러 가지 화합물의 조성을 확인하여 화학식과 분자의 구조를 밝혀내는 과정을 설명할 수 있다. (마) 여러 가지 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 원자량과 분자량 등을 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 알 수 있다.</p> <p>[화학 I] (3) 아름다운 분자 세계(89쪽) (바) 탄소화합물의 다양성과 구조적 특징을 이해한다.</p> <p>[화학 I] (4) 값은꼴 화학반응(90쪽) (마) 산과 염기의 중화 반응을 이해한다. (바) 암모니아, 아미노산, 핵산과 같은 산과 염기의 화학적 특성을 이해한다.</p> <p>[화학 II] (3) 화학 평형(97쪽) (다) 농도, 압력, 온도가 변함에 따라 화학 평형이 이동함을 관찰하고 이를 설명할 수 있다.</p>

2. 자료 출처

제시문(가)

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종성 외 4인	교학사	2011	23-24, 35-37
	화학 I	김희준 외 8인	상상 아카데미	2011	33, 39-41
	화학 I	노태희 외 7인	천재 교육	2011	27-28, 34
	화학 I	류해일 외 7인	비상 교육	2011	33-34

제시문(나)

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종성 외 4인	교학사	2011	245, 246
	화학 I	김희준 외 8인	상상 아카데미	2011	205-207
	화학 I	노태희 외 7인	천재 교육	2011	165, 235-236
	화학 I	류해일 외 7인	비상 교육	2011	166, 223, 226

제시문(다)

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	김희준 외 8인	상상 아카데미	2011	207
	화학 I	노태희 외 7인	천재 교육	2011	236
	과학	오필석 외 8인	천재 교육	2011	270
	과학	김희준 외 8인	상상아카데미	2011	237
	과학	정완호 외 11인	교학사	2011	247

제시문(라)

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 II	박종성 외 4인	교학사	2011	155,156
	화학 II	김희준 외 8인	상상 아카데미	2011	137
	화학 II	노태희 외 7인	천재 교육	2011	146
	화학 II	류해일 외 7인	비상 교육	2012	140

5. 문항 해설

문제 4-1은 제시문에서 제공하는 정보들을 정확하게 숙지하여 아미노산의 양쪽성을 이해하는지를 평가하는 문제로, 중성용액과 염기성 용액에서의 아미노산 구조를 제시할 수 있어야 한다. 염기성 용액에서의 변화를 잘 알려진 중화반응으로만 해석하지 않고, 제시문 (라)에 주어진 화학 반응식의 평형 이동 법칙과 연관시켜 설명할 수 있는지를 평가한다. 카복실기와 아미노기의 각 변화를 설명하기 위해 제시문 (나)에 주어진 산-염기 반응식을 이용하고, 수산화 이온(OH^-)이 첨가될 때 OH^- 농도가 증가하고, OH^- 와 H^+ 가 중화반응하여 H^+ 의 농도가 감소됨을 고려해야 한다.

문제 4-2는 화학 I교과과정의 전반적인 이해도를 평가하는 문제이다. ‘4단원 닳은 풀 화학 반응’에서 다루어지는 생체 분자를 소재로 하여 (과학 ‘정보 통신과 신소재’ 단원에서도 다루고 있음), ‘1단원 화학의 언어’에서 다루는 분자량, 구조식, 실험식, 분자식, 양적 관계 등의 개념들에 관한 이해도를 평가하는 문제이다. 화합물에서 구성 원소의 질량비를 이용하여 실험식, 분자식을 유도하고, 이를 이용하여 분자량과 몰 질량을 계산해야 한다. 또한, 제시문에 주어진 화학 반응식을 정확히 이해하여, 반응 물질과 생성 물질 사이의 양적 관계를 파악하고 반응물로 이용된 두 아미노산의 비율을 알아낸다. 즉, 화학 반응이 일어날 때 물질들 사이의 양적 관계를 다양하게 응용하는 능력을 평가한다.

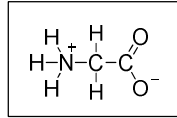
6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-1	중성 수용액에서의 아미노산의 구조를 정확히 제시하였는가?	2
	카복실기의 산-염기 반응식을 이용하여, H^+ 혹은 OH^- 의 농도 변화를 제시하고, 평형 이동 법칙에 따라서 $-\text{COO}^-$ 형성 쪽으로 평형 이동이 우세함을 보였는가?	3
	아미노기의 산-염기 반응식을 이용하여, H^+ 혹은 OH^- 의 농도 변화를 제시하고, 평형 이동 법칙에 따라서 $-\text{NH}_2$ 형성 쪽으로 평형 이동이 우세함을 보였는가?	3
	염기성 용액에서의 최종 글라이신의 구조를 정확히 제시하였는가?	2
4-2	제시문 정보를 바탕으로 아미노산 A의 분자식을 구하였는가?	5
	아미노산 A의 구조를 정확하게 제시하였는가?	5
	폴리펩타이드에서 글라이신과 아미노산 A의 비율을 구하기 위해 식을 바르게 제시하고 올바르게 계산하여 조성비를 맞게 구하였는가?	10

7. 예시 답안

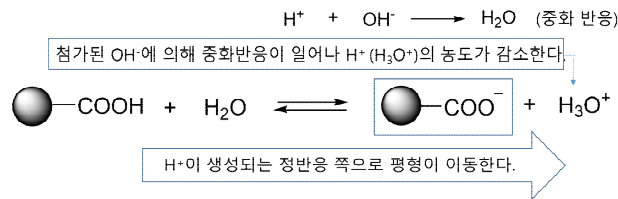
[문제 4-1 예시 답안]

▶ 제시문 (나)에서 주어진 바와 같이 아미노산의 카복실기는 산으로, 아미노기는 염기로 작용하여 중성수용액에서의 글라이신의 주 구조는 다음과 같다.

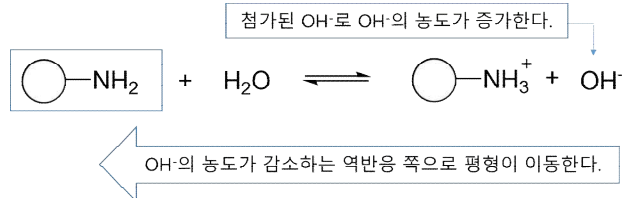


▶ KOH 용액을 첨가하였을 때의 구조 변화를 제시문 (나)에 주어진 산 - 염기 반응식과 평형 이동 법칙을 고려하여 다음과 같이 기술할 수 있다.

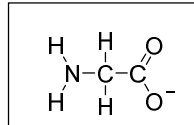
- 카복실기의 반응



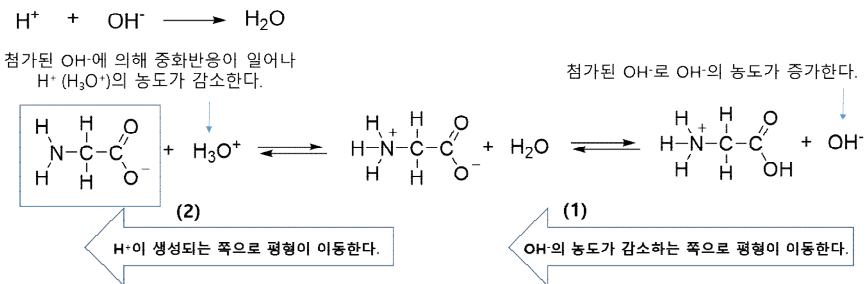
- 아미노기의 반응



▶ 따라서, KOH가 첨가된 염기성 수용액에서의 글라이신의 구조는 다음과 같다.



▶ 또 다른 풀이법으로 다음의 산 - 염기 반응식을 이용하여 기술할 수 있다.



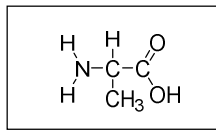
[문제 4-2 예시 답안]

▶ 아미노산 A의 원소 질량비가 C : H : N : O = 36 : 7 : 14 : 32이고, 탄소(C), 수소(H), 질소(N), 산소(O)의 원자량은 각각 12, 1, 14, 16이므로, 원소의 조성비는 다음과 같다.

$$\frac{36}{12} : \frac{7}{1} : \frac{14}{14} : \frac{32}{16} = 3:7:1:2$$

따라서, 실험식은 $C_3H_7NO_2$ 이고 실험식과 분자식이 같으므로 아미노산 A의 분자식은 $C_3H_7NO_2$ 이다.

▶ 분자식 $C_3H_7NO_2$ 과 제시문 (나)에 제시된 아미노산의 기본 구조를 고려할 때, 곁사슬 (-R)이 $-CH_3$ 임을 알 수 있고 따라서 아미노산 A의 구조는 다음과 같다.



▶ [문제4-1]에 제시된 글라이신의 구조를 바탕으로 분자식 $C_2H_5NO_2$ 을 유도할 수 있고, 분자량은 75이다.

$$(12 \times 2) + (1 \times 5) + (14 \times 1) + (16 \times 2) = 75$$

아미노산 A의 분자식은 $C_3H_7NO_2$ 이므로, 분자량은 89이다.

$$(12 \times 3) + (1 \times 7) + (14 \times 1) + (16 \times 2) = 89$$

▶ 물 질량이 487g/mol 이므로, 폴리펩타이드의 분자량은 487이다. 글라이신과 A 조합의 7개 아미노산으로 구성되었는데, 제시문 (다)에 근거하여 6번의 반응을 거쳐 형성되었음을 알 수 있다. 제시문과 주어진 화학 반응식에 의하면, 물 분자가 빠지면서 두 아미노산이 결합되므로, 6번의 반응을 통해 물 분자 6개가 나온다. 따라서, 7개 아미노산 분자량의 합에서 물분자 6개의 질량을 빼면 487이 나와야 한다. 이를 통해 다음과 같은 식을 만들 수 있다.

글라이신의 개수가 a일 때, A의 개수는 (7-a)

$$75 \times a + 89 \times (7-a) - 18 \times 6 = 487$$

$$-14a = -28, a=2$$

즉, 폴리펩타이드는 글라이신 2개와 아미노산A 5개로 형성,

조성비는 글라이신 : 아미노산 A = 2 : 5 이다.

◆ 자연계열 I 화학 [문제 4] 문항카드 18

1. 일반정보

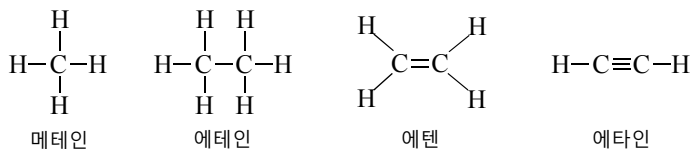
유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	수시 모집 논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(화학)/ 문제 4	
모집요강에 제시한 출제 범위(과목명)	화학 I, 화학 II	
출제 범위	교육과정 과목명	화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	화합물의 분자 개수, 부피, 몰수, 양적 관계, 실험식, 분자식, 구조식, 탄화수소, 탄소 사이의 결합각, 화학 반응, 화학 반응식, 열의 출입, 헤스 법칙, 반응의 자발적 변화
예상 소요 시간	24분	

2. 문항 및 제시문

[제시문]

(가) 어떤 물질 속에 들어 있는 원자나 분자 1몰은 6.02×10^{23} 개의 입자 수를 의미하며, 이 수를 아보가드로수라고 한다. 기체의 종류에 관계없이 같은 온도와 압력에서 기체 1몰이 차지하는 부피는 일정하다. 다양한 물질들을 구별하고 특징을 표현하기 위해 물질을 원소 기호와 함께 성분비, 원자 개수, 결합 방식 등으로 나타낸 것을 화학식이라고 한다. 화합물의 구성 원소의 원자 개수 비율을 가장 간단한 정수비로 나타낸 화학식을 실험식이라고 하고, 화합물을 구성하고 있는 원자의 종류와 수를 모두 나타내는 화학식을 분자식이라고 한다.

(나) 탄소 원자는 원자가 전자가 4개이므로 최대 4개의 공유 결합을 형성할 수 있다. 메테인, 에테인, 에텐, 에타인과 같이 탄소 (C)와 수소 (H)로만 이루어진 화합물을 탄화수소라고 하고, 탄소 원자 사이의 결합이 일렬로 연결된 탄화수소를 사슬 모양 탄화수소라고 한다. 탄화수소는 분자식과 구조식으로 나타낼 수 있는데, 몇 가지 사슬 모양 탄화수소의 구조식은 아래와 같다. 분자식은 같으나 구조가 달라서 녹는점이나 끓는점과 같은 물리적 특성이 다른 화합물을 구조 이성질체라고 한다.



(다) 어떤 압력과 온도에서 물질이 가지고 있는 에너지를 엔탈피 (H)라고 한다. 각 물질의 엔탈피는 정확히 측정하기 어렵지만, 물질 사이의 엔탈피 변화는 열에너지 형태로

나타나므로 화학 반응에서 출입하는 반응열을 측정하면 엔탈피 변화를 쉽게 알 수 있다. 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때 엔탈피 변화를 반응 엔탈피 (ΔH)라고 한다. 러시아의 과학자 헤스는 화학 반응에서 처음 반응물의 종류와 상태, 나중 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 화학 반응이 일어나는 동안에 방출하거나 흡수한 열량의 총합은 언제나 일정하다고 발표하였다. 이를 총열량 불변 법칙 혹은 헤스 법칙이라고 한다.

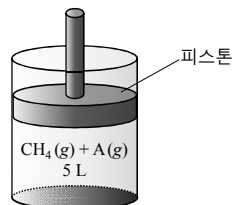
(라) 미국의 과학자 깁스는 계의 엔탈피와 엔트로피를 다음과 같이 하나의 식에 나타내어 반응의 자발성을 결정하는 방법을 고안하였다.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

여기서 ΔG 는 계의 자유 에너지 변화, ΔH 는 계의 엔탈피 변화(반응 엔탈피), T 는 절대 온도, ΔS 는 계의 엔트로피 변화를 의미한다. $\Delta G < 0$ 인 반응은 자발적이고, $\Delta G > 0$ 인 반응은 비자발적이며, $\Delta G = 0$ 인 반응은 평형 상태이다.

하위 문항 1 [문제 4-1] <15점>

다음 그림은 30 °C, 1기압에서 서로 반응하지 않는 CH_4 (g)와 탄화수소 A (g)가 실린더에 들어 있는 것을 나타낸 것이다. 실린더 내에는 9.03×10^{22} 개의 CH_4 (g)가 들어 있고, 두 기체의 전체 부피는 5 L이다. 탄화수소 A는 사슬 모양 탄화수소로서 2.4 g의 탄소 (C)와 0.3 g의 수소 (H)로 구성되어 있다.



제시문 (가), (나)에 근거하여 탄화수소 A의 분자식을 구하고, 탄화수소 A의 가능한 구조 이성질체 중에서 탄소 (C) 사이의 결합각 ($\angle \text{CCC}$)의 합이 가장 작은 것의 구조식을 제시하시오. (단, 30 °C, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 25 L이고, 탄소 (C), 수소 (H)의 원자량은 각각 12, 1이며, 피스톤의 마찰과 질량은 무시한다.)

하위 문항 2 [문제 4-2] <15점>

다이아몬드가 흑연으로 변하는 반응의 엔트로피 변화 (ΔS)는 3.36 J/mol·K이다. 흑연 2.4 g을 완전 연소시키면 78.7 kJ의 열량이 발생하고, 다이아몬드 6 g을 완전 연소시키면 197.7 kJ의 열량이 발생한다. 제시문 (다), (라)에 근거하여 25 °C, 1기압에서 다이아몬드가 흑연으로 변하는 반응이 자발적인지 비자발적인지를 판별하고, 그 이유를 설명하시오. (단, 탄소 (C)의 원자량은 12이다.)

3. 출제 의도

제시문에서 제공하는 정보를 정확하게 숙지하여 실린더 내부에 있는 두 기체의 분자 개수, 부피, 몰수 등 양적 관계를 이해하여 실험식과 분자식을 논리적으로 찾아내고, 분자식을 바탕으로 탄화수소의 가능한 구조식을 제시하며, 탄화수소 내의 탄소 사이의 결합각을 조사하여 실제 실린더 내부에 존재하는 탄화수소를 찾

아낼 수 있는 능력을 평가하고자 하였다.

화학 반응, 화학 반응식, 양적 관계, 화학 반응 중 열의 출입, 헤스 법칙, 반응의 자발적 변화 등에 대한 전반적인 이해도를 평가하고자 하였다. 제시문의 내용을 이해하고 흑연과 다이아몬드의 연소 반응식을 나타내며 연소 반응에서 1몰당 생성된 연소열을 구할 수 있는 지를 확인하고, 헤스 법칙을 이용하여 반응의 엔탈피를 논리적으로 구하는 능력에 대한 평가를 하고자 하였다. 또한 제시문에 있는 내용을 바탕으로 엔트로피 변화와 엔탈피 변화 및 자유 에너지 변화를 계산하고, 반응에 있어서 자발적 변화의 방향을 설명할 수 있는 능력을 평가하고자 하였다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 근거

제시문 (가), (나)

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책 9] “과학과 교육과정”
성취기준	<p>[제시문 (가)]</p> <p>화학 I</p> <p>(1) 화학의 언어 (88쪽)</p> <p>(다) 원소 분석을 통하여 여러 가지 화합물의 조성을 확인하여 화학식과 분자의 구조를 밝혀내는 과정을 설명할 수 있다.</p> <p>(라) 아보가드로 수와 몰의 의미를 이해한다.</p> <p>(마) 여러 가지 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 원자량과 분자량 등을 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 알 수 있다.</p>
적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책 9] “과학과 교육과정”
성취기준	<p>[제시문 (나)]</p> <p>화학 I</p> <p>(3) 아름다운 분자 세계 (89쪽)</p> <p>(바) 탄소화합물의 다양성과 구조적 특징을 이해한다.</p> <p>(2) 물질 변화와 에너지 (97쪽)</p> <p>(가) 화학 반응을 통해 열이 발생하거나 흡수됨을 설명할 수 있다.</p> <p>(나) 엔탈피와 결합 에너지의 관계를 설명하고, 헤스 법칙을 설명할 수 있다.</p> <p>(다) 화학 반응에서 에너지가 보존됨을 설명할 수 있다.</p> <p>(마) 일정한 온도, 압력에서 자유 에너지의 의미를 정성적으로 이해하고, 자유에너지가 줄어드는 방향으로 자발적 변화가 일어남을 설명할 수 있다.</p>

제시문 (다), (라)

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책 9] “과학과 교육과정”
성취기준	[제시문 (다), (라)] 화학 II (2) 물질 변화와 에너지 (97쪽) (가) 화학 반응을 통해 열이 발생하거나 흡수됨을 설명할 수 있다. (나) 엔탈피와 결합 에너지의 관계를 설명하고, 헤스 법칙을 설명할 수 있다. (다) 화학 반응에서 에너지가 보존됨을 설명할 수 있다. (마) 일정한 온도, 압력에서 자유 에너지의 의미를 정성적으로 이해하고, 자유에너지가 줄어드는 방향으로 자발적 변화가 일어남을 설명할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	노태희 외 7인	(주)천재교육	2016	제시문(가): pp.24-52 제시문(나): pp.165-176
	화학 I	류해일 외 7인	(주)비상교육	2017	제시문(가): pp.30-50 제시문(나): pp.166-178
	화학 I	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문(가): pp.30-46 제시문(나): pp.183-196
	화학 I	김희준 외 8인	(주)상상아카데미	2013	제시문(가): pp.24-50 제시문(나): pp.152-160
	화학 II	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문(다): pp.86-88, pp.94-95 제시문(라): pp.115
	화학 II	김희준 외 8명	(주)상상아카데미	2013	제시문(다): pp.87-88, pp.97-98 제시문(라): pp.109
	화학 II	노태희 외 7인	(주)천재교육	2015	제시문(다): pp.85, pp.89-90 제시문(라): pp.115-120
	화학 II	류해일 외 7인	(주)비상교육	2016	제시문(다): pp.86, pp.94 제시문(라): pp.108-109
기타					

5. 문항 해설

제시문의 내용은 물질 속에 있는 원자나 분자의 몰, 입자수 등 양적 관계와, 화학식, 탄화수소, 반응 엔탈피 및 헤스의 법칙, 자유 에너지 변화 및 반응의 자발성 등 고등학교 화학 I, II 교육과정에서 중요하게 다루어지는 내용으로 모두 교육과정 범위에 포함되어 있다. 이 문항에서는 고교 화학 교과 과정에서 중요하게 다루어지고 있는 여러 가지 개념들을 명확하게 이해하여 이들을 통합적으로 분석하고 연계할 수 있는지 알아보고자 한다. 하위 문항 1은 제시문에서 제공하는 정보를

정확하게 숙지하여 실린더 내부에 있는 두 기체의 분자 개수, 부피, 몰수 등 양적 관계를 이해하여 실험식과 분자식을 논리적으로 찾아내고, 분자식을 바탕으로 탄화수소의 가능한 구조식을 제시하며, 탄화수소 내의 탄소 사이의 결합각을 조사하여 실제 실린더 내부에 존재하는 탄화수소를 찾아내는 문제이다. 하위 문항 2는 화학 반응, 화학 반응식, 양적 관계, 화학 반응 중 일어나는 열의 출입, 헤스 법칙, 반응의 자발적 변화 등을 이해하는 지 평가하기 위한 문제이다. 제시문의 내용을 이해하여 흑연과 다이아몬드의 연소 반응식을 나타내고, 연소 반응에서 1몰당 생성된 연소열을 구하며, 헤스 법칙을 이용하여 반응의 엔탈피를 논리적으로 구해야 한다. 또한 제시문에 있는 내용을 바탕으로 엔트로피 변화와 엔탈피 변화 및 자유 에너지 변화를 계산하고, 반응에 있어서 자발적 변화의 방향을 설명하는 문제이다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점														
문제 4-1	[화학 문제 4-1]															
	<table><tr><th>채점기준</th><th>배점</th></tr><tr><td>실린더 내에 CH₄가 9.03×10^{22}개 들어 있으므로 아보가드로수로 나누어 CH₄의 몰수가 0.15몰임을 구하면</td><td>2</td></tr><tr><td>탄화수소 A에 들어 있는 C와 H의 몰수 비가 2:3임을 보이고 A의 실험식이 C₂H₃임을 구하면</td><td>2</td></tr><tr><td>30 ° C, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 25 L이므로, 기체의 총 몰수는 0.2몰임을 보이면</td><td>2</td></tr><tr><td>탄화수소 A 2.7 g의 몰수는 0.05몰이므로, A의 분자량이 54이고, A의 분자식을 C₄H₆로 맞게 쓰면</td><td>3</td></tr><tr><td>탄화수소 A의 가능한 구조식 중 조건에 맞는 구조식을 그리면</td><td>4</td></tr><tr><td>탄소 사이의 결합각의 합이 최소인 구조식을 맞게 제시하면</td><td>2</td></tr></table>	채점기준	배점	실린더 내에 CH ₄ 가 9.03×10^{22} 개 들어 있으므로 아보가드로수로 나누어 CH ₄ 의 몰수가 0.15몰임을 구하면	2	탄화수소 A에 들어 있는 C와 H의 몰수 비가 2:3임을 보이고 A의 실험식이 C ₂ H ₃ 임을 구하면	2	30 ° C, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 25 L이므로, 기체의 총 몰수는 0.2몰임을 보이면	2	탄화수소 A 2.7 g의 몰수는 0.05몰이므로, A의 분자량이 54이고, A의 분자식을 C ₄ H ₆ 로 맞게 쓰면	3	탄화수소 A의 가능한 구조식 중 조건에 맞는 구조식을 그리면	4	탄소 사이의 결합각의 합이 최소인 구조식을 맞게 제시하면	2	15
	채점기준	배점														
	실린더 내에 CH ₄ 가 9.03×10^{22} 개 들어 있으므로 아보가드로수로 나누어 CH ₄ 의 몰수가 0.15몰임을 구하면	2														
	탄화수소 A에 들어 있는 C와 H의 몰수 비가 2:3임을 보이고 A의 실험식이 C ₂ H ₃ 임을 구하면	2														
	30 ° C, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 25 L이므로, 기체의 총 몰수는 0.2몰임을 보이면	2														
	탄화수소 A 2.7 g의 몰수는 0.05몰이므로, A의 분자량이 54이고, A의 분자식을 C ₄ H ₆ 로 맞게 쓰면	3														
	탄화수소 A의 가능한 구조식 중 조건에 맞는 구조식을 그리면	4														
탄소 사이의 결합각의 합이 최소인 구조식을 맞게 제시하면	2															
문제 4-2	[화학 문제 4-2]															
	<table><tr><th>채점기준</th><th>배점</th></tr><tr><td>흑연과 다이아몬드의 연소 반응식을 맞게 적으면</td><td>3</td></tr><tr><td>흑연과 다이아몬드의 연소 반응에서 1몰당 생성된 연소열을 맞게 구하면</td><td>4</td></tr><tr><td>헤스 법칙을 이용하여 다이아몬드가 흑연으로 변하는 반응의 엔탈피 변화를 맞게 구하면</td><td>4</td></tr><tr><td>엔트로피 변화와 엔탈피 변화에 근거하여 자유 에너지 변화를 맞게 계산하고, 반응이 자발적인 반응임을 올바르게 설명하면</td><td>4</td></tr></table>	채점기준	배점	흑연과 다이아몬드의 연소 반응식을 맞게 적으면	3	흑연과 다이아몬드의 연소 반응에서 1몰당 생성된 연소열을 맞게 구하면	4	헤스 법칙을 이용하여 다이아몬드가 흑연으로 변하는 반응의 엔탈피 변화를 맞게 구하면	4	엔트로피 변화와 엔탈피 변화에 근거하여 자유 에너지 변화를 맞게 계산하고, 반응이 자발적인 반응임을 올바르게 설명하면	4	15				
	채점기준	배점														
	흑연과 다이아몬드의 연소 반응식을 맞게 적으면	3														
	흑연과 다이아몬드의 연소 반응에서 1몰당 생성된 연소열을 맞게 구하면	4														
	헤스 법칙을 이용하여 다이아몬드가 흑연으로 변하는 반응의 엔탈피 변화를 맞게 구하면	4														
엔트로피 변화와 엔탈피 변화에 근거하여 자유 에너지 변화를 맞게 계산하고, 반응이 자발적인 반응임을 올바르게 설명하면	4															

7. 예시 답안

[4-1 예시 답안]

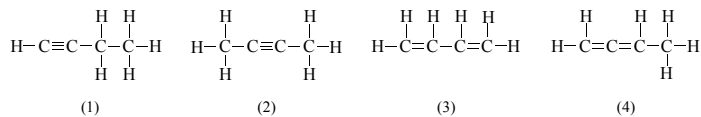
▶ 실린더에는 9.03×10^{22} 개의 CH_4 가 들어 있으므로 CH_4 의 몰수는 $(9.03 \times 10^{22}) / (6.02 \times 10^{23}) = 0.15$ 몰이다.

▶ 탄화수소 A에 들어 있는 C와 H의 몰수 비는 $\text{C:H} = (2.4/12):(0.3/1) = 2:3$ 이므로 A의 실험식은 C_2H_3 이다.

▶ 30°C , 1기압에서 기체 1몰의 부피는 25 L이므로, 기체의 총 몰수는 0.2몰이다.

▶ 2.4 g의 탄소(C)와 0.3 g의 수소(H)로 구성되어 있는 탄화수소 A 2.7 g의 몰수는 (기체의 총 몰수 0.2몰 - CH_4 의 몰수 0.15몰) = 0.05몰이므로, A의 분자량은 $(2.7/0.05) = 54$ 이고, A의 분자식은 C_4H_6 이다.

▶ 분자식이 C_4H_6 인 사슬 모양 탄화수소의 가능한 구조식은 다음과 같다.



▶ 구조식 (1)에서 탄소(C) 사이의 결합각($\angle\text{CCC}$)의 합은 $180^\circ + 109.5^\circ = 289.5^\circ$

구조식 (2)에서 탄소(C) 사이의 결합각($\angle\text{CCC}$)의 합은 $180^\circ + 180^\circ = 360^\circ$

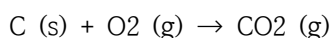
구조식 (3)에서 탄소(C) 사이의 결합각($\angle\text{CCC}$)의 합은 $120^\circ + 120^\circ = 240^\circ$

구조식 (4)에서 탄소(C) 사이의 결합각($\angle\text{CCC}$)의 합은 $180^\circ + 120^\circ = 300^\circ$

따라서 탄화수소 A의 가능한 구조 이성질체 중 탄소(C) 사이의 결합각($\angle\text{CCC}$)의 합이 가장 작은 것의 구조식은 (3)이다.

[4-2 예시 답안]

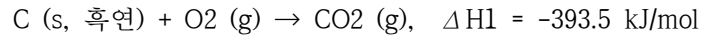
▶ 흑연과 다이아몬드의 연소 반응은 다음과 같이 쓸 수 있다.



▶ 흑연 2.4 g은 $2.4/12 = 0.2$ 몰이다. 0.2몰의 흑연을 완전 연소시키면 78.7 kJ의 열량이 발생하므로, 흑연 1 몰을 연소 시켰을 때는 $78.7 \text{ kJ} \times 1/0.2 = 393.5 \text{ kJ}$ 의 열량이 발생하게 된다.

다이아몬드 6 g은 $6/12 = 0.5$ 몰이다. 0.5몰의 다이아몬드를 완전 연소시키면 197.7 kJ의 열량이 발생하므로, 다이아몬드 1 몰을 연소 시켰을 때는 $197.7 \text{ kJ} \times 1/0.5 = 395.4 \text{ kJ}$ 의 열량이 발생하게 된다.

▶ 다이아몬드에서 흑연으로 변화는 반응의 엔탈피 변화는 다음과 같이 구할 수 있다.



$$\therefore \text{C (s, 다이아몬드)} \rightarrow \text{C (s, 흑연)}, \quad \Delta H = -\Delta H_1 + \Delta H_2 = -1.9 \text{ kJ/mol}$$

▶ 다이아몬드에서 흑연으로 변하는 반응의 엔탈피 변화 $\Delta H = -1.9 \text{ kJ/mol}$ 와 문제에서 주어진 엔트로피 변화 $\Delta S = 3.36 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ 를 이용하면 자유 에너지 변화 ΔG 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$= -1.9 \text{ kJ/mol} - (273+25) \text{ K} \times (3.36 \text{ J/mol}\cdot\text{K}) \times 10^{-3} \text{ kJ/J}$$

$$= -2.9 \text{ kJ/mol}$$

자유 에너지 변화가 음수 값(-2.9 kJ/mol)이므로, 다이아몬드가 흑연으로 변하는 과정은 자발적이다.

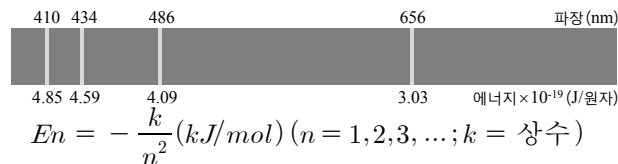
◆ 자연계열Ⅱ 화학 [문제 4] 문항카드 19

1. 일반정보

유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	수시 모집 논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(화학)/문제 4	
모집요강에 제시한 출제 범위(과목명)	화학 I, 화학 II	
출제 범위	교육과정 과목명	화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	보어 모형, 이온화 에너지, 산화수, 엔탈피, 결합 에너지, 헤스 법칙, 엔트로피
예상 소요 시간	24분	

2. 문항 및 제시문

(가) 1885년 발머는 수소 방전관에서 다음과 같이 빛의 파장이 410 nm, 434 nm, 486 nm, 656 nm인 가시광선 영역 대의 선 스펙트럼을 관찰하였으나, 왜 이런 현상이 일어나는지에 대해서는 설명하지 못하였다.



1913년 보어는 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명하기 위해, 전자가 원자핵 주위에 무질서하게 존재하는 것이 아니라 특정한 에너지 준위를 가진 궤도에만 있을 수 있다는 모형과 함께, 각 궤도가 가지는 에너지 준위를 다음과 같이 제시하였다.

보어의 원자 모형을 이용하면 발머가 관찰하였던 수소 원자의 선 스펙트럼은 들뜬 전자가 L 전자껍질($n = 2$)로 전이하면서 방출하는 빛에 의한 것이라고 설명할 수 있다.

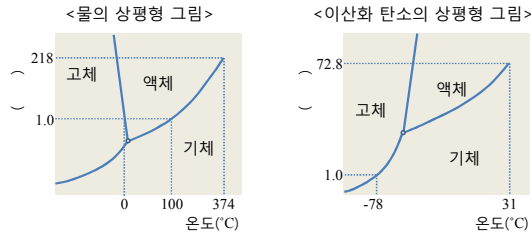
(나) 공유 결합 물질에서 공유 전자쌍이 그것을 더 세게 끌어당기는 원자에 속해 있다고 가정할 때, 각 원자에 할당된 전하수를 산화수라고 한다. 산화수는 공유 결합 물질의 원자 사이에 주고받는 전자의 수로 나타내며, 전자를 잃은 상태는 (+)부호를 붙여 나타내고, 전자를 얻은 상태는 (-)부호를 붙여 나타낸다.

(다) 화학 반응이 일어날 때 반응물을 이루는 원자 사이의 결합은 끊어지고 생성물을 이루는 원자 사이의 결합은 형성된다. 화학 반응에서 출입하는 열에너지를 엔탈피 변화 또는 반응 엔탈피(ΔH)라고 하고 결합 에너지를 이용하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta H \approx (\text{반응물의 결합 에너지 합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 합})$$

1840년 헤스는 여러 화학 반응의 반응열을 측정하여 '반응열은 화학 반응이 한 단계에서 일어나든지 여러 단계를 걸쳐 일어나든지 같다'는 것을 발표하였는데, 이것을 헤스 법칙이라고 한다.

(라) 물질은 온도와 압력에 따라 상태가 변한다. 물질의 상태와 온도, 압력의 관계를 나타낸 그림을 상평형 그림이라고 하는데 다음은 물과 이산화 탄소의 상평형 그림을 나타낸 것이다. 고체, 액체, 기체의 세 가지 상이 평형을 이루며 함께 존재하는 점을 삼중점이라고 하는데, 물의 삼중점은 0.0098°C , 0.006기압이고, 이산화 탄소의 삼중점은 -56.6°C , 5.1기압이다.



하위 문항 1 [문제 4-1] <10점>

제시문 (가)에 근거하여 기체 상태의 수소 원자 1몰에서 전자를 떼어내는 데 필요한 이온화 에너지를 구하시오. (단, 아보가드로수는 6.02×10^{23} 이다.)

하위 문항 2 [문제 4-2] <20점>

다음의 <표1>은 1기압에서 몇 가지 화합물의 물리적 특성을 나타낸 것이고 <표2>는 몇 가지 화학 결합의 결합 에너지를 나타낸 것이다.

	끓는점 ($^{\circ}\text{C}$)	기화열 (kJ/mol)
C_3H_6	-47.6	16
O_2	-183	6.82
H_2O	100	40.7
CO_2	-	16.7

결합	결합 에너지 (kJ/mol)	결합	결합 에너지 (kJ/mol)
H-H	440	C-O	350
C-H	410	C=O	800
C-C	350	O-H	460
C=C	610	O-O	140
C≡C	810	O=O	500

제시문 (나), (다), (라)에 근거하여 25°C , 1기압에서 프로펜(C_3H_6)의 연소 반응에 대한 화학 반응식을 완성하고 반응 엔탈피(ΔH)를 구하시오. 이때 반응물과 생성물에 있는 모든 탄소 원자의 산화수를 표시하시오. 또한, 25°C , 1기압에서 일어나는 프로펜 연소 반응에 대한 계의 엔트로피 증가 여부를 판별하고 그 이유를 설명하시오.

3. 출제 의도

원자의 성질에 대한 이해를 바탕으로 수소 원자의 선 스펙트럼, 보어의 원자 모형, 원자의 이온화 에너지에 대해 이들을 논리적으로 연계해서 생각할 수 있는지를 평가한다. 또한, 화학 반응의 기본인 화학 반응식을 반응물과 생성물의 상태를 고려하여 완성해 보고, 이를 토대로 반응 엔탈피, 산화수 및 엔트로피 변화에 대한 정보를 얻어낼 수 있는지 평가한다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 근거

제시문 (가), (나)

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호 [별책9] “과학과 교육과정”
성취기준	[제시문 (가)] 화학 I (2) 개성 있는 원소 (88-89쪽) (다) 보어 모형을 이용하여 수소의 선스펙트럼과 에너지 준위를 설명하고, 대표적인 원자의 유효 핵전하 차이를 안다. (마) 주기율표에서 원자가전자의 수, 원자 반지름, 이온화 에너지, 전기 음성도 등 원자의 성질이 주기적으로 변화됨을 설명할 수 있다.
적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호 [별책9] “과학과 교육과정”
성취기준	[제시문 (나)] 화학 I (4) 님은꼴 화학반응 (90쪽) (다) 이산화탄소, 물, 메탄, 암모니아에서 화학 결합을 하고 있는 원자들 사이의 전기 음성도 차이로부터 각 원소의 산화수를 설명할 수 있다.

제시문 (다), (라)

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호 [별책9] “과학과 교육과정”
성취기준	[제시문 (다)] 화학 II (2) 물질 변화와 에너지 (97쪽) (가) 화학 반응을 통해 열이 발생하거나 흡수됨을 설명할 수 있다. (나) 엔탈피와 결합 에너지의 관계를 설명하고, 헤스의 법칙을 설명할 수 있다. (라) 엔트로피의 의미를 정성적으로 설명하고, 고립계에서 자발적 변화와 엔트로피의 관계를 설명할 수 있다.
적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호 [별책9] “과학과 교육과정”
성취기준	[제시문 (라)] 화학 II (3) 화학 평형 (97쪽) (라) 고체, 액체, 기체 사이의 동적 평형과 증기압의 의미를 이해하고 온도와 압력에 따른 물질의 상태를 도표로 나타낼 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문(가): pp. 70-73 제시문(나): pp. 213
	화학 I	김희준 외 8인	(주)상상아카데미	2016	제시문(가): pp. 77-80 제시문(나): pp. 185
	화학 I	노태희 외 7인	(주)천재교육	2017	제시문(가): pp. 82-84 제시문(나): pp. 190
	화학 I	류해일 외 7인	(주)비상교육	2016	제시문(가): pp. 76-79 제시문(나): pp. 199-200
	화학 II	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문(다): pp. 94-98 제시문(라): pp. 162-164
	화학 II	김희준 외 8명	(주)상상아카데미	2013	제시문(다): pp. 95-98 제시문(라): pp. 150-152
	화학 II	노태희 외 7인	(주)천재교육	2015	제시문(다): pp. 89-94 제시문(라): pp. 149-151
	화학 II	류해일 외 7인	(주)비상교육	2016	제시문(다): pp. 90-95 제시문(라): pp. 151-153
기타					

5. 문항 해설

제시문의 내용은 수소의 선 스펙트럼과 보어의 원자 모형, 산화수, 반응 엔탈피 및 헤스 법칙, 물질의 상평형 그림에 대한 것인데 고등학교 화학 I, II 교육과정에서 중요하게 다루어지는 내용으로 과학과 교육과정 범위에 포함되어 있다. 이 문항에서는 고교 화학 교과 과정에서 중요하게 다루어지고 있는 여러 가지 개념들을 통합적으로 분석하여 연계할 수 있는지 알아보려고 한다.

하위 문항 첫 번째 [문제 4-1]은 모든 물질을 구성하는 기본 입자인 원자의 성질을 보어의 원자 모형을 통해서 이해하고, 이를 통해 원자의 이온화 에너지를 구할 수 있는지를 물어보는 문제이다. 제시문에서 제공하는 정보를 정확하게 숙지하여 수소 방전관 실험을 통해 발머가 얻어낸 선 스펙트럼과 보어가 제시한 수소 원자 모형을 논리적으로 연결할 수 있어야 하고 이를 통해 원자 내에서 전자가 특정한 에너지 준위를 가지고 있다는 것을 이해하고 있는지 물어보고자 한다. 또한, 원자의 이온화 에너지가 안정된 기체 원자로부터 전자 하나를 떼어내는 데 드는 에너지라는 것을 이해하고, 이를 보어의 원자 모형으로부터 계산할 수 있는지 물어보고자 한다.

하위 문항 두 번째 [문제 4-2]는 화학 반응이 원자 사이의 결합이 끊어지고 생성되면서 일어난다는 것을 알고, 주어진 반응 조건에서의 화학 반응식을 완성할 수

있는지 물어보는 문제이다. 주어진 제시문과 자료를 통합적, 논리적으로 분석하여 반응식의 계수, 주어진 반응 조건에서의 반응물과 생성물의 상태, 그 화학 반응에서 출입하는 열에너지(반응 엔탈피)를 구한 후 이를 바탕으로 화학 반응식을 완성할 수 있는지를 알아보려고 한다. 반응물과 생성물의 상태를 파악하기 위해서 해당 조건에서의 반응물과 생성물의 상태를 각 물질의 물리적 특성 및 상평형 그림으로부터 유추할 수 있는지를 알아야 한다. 또한 결합 에너지와 헤스 법칙에 대한 이해를 바탕으로 반응 엔탈피를 반응물과 생성물의 상태를 고려하여 계산할 수 있고, 산화수 규칙에 대한 이해를 바탕으로 반응물과 생성물의 산화수를 올바르게 파악할 수 있는지 물어보고자 한다. 마지막으로, 완성한 화학 반응식으로부터 반응물과 생성물의 기체 몰수를 비교하여 이를 엔트로피와 연결하여 생각할 수 있는지 물어보고자 한다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준		배점
문제 4-1	[화학 문제 4-1]		10
	채점 기준	배점	
	선 스펙트럼을 제대로 이해하고, 선 스펙트럼 파장(656 nm)과 보어의 원자 모형에서 제시된 식으로 구한 에너지 값 ($\Delta E = E_3 - E_2 = k(1/4 - 1/9)$)을 맞게 연결하면 [유의사항] 위의 1)번 항목에서 다른 선 스펙트럼 파장을 이용해도 인정.	3	
	수소 원자의 선 스펙트럼의 에너지에서 아보가드로수를 곱한 값이 보어의 원자 모형으로 구한 에너지 값과 같음을 보이고, 보어의 원자 모형에서의 상수 k (~1300 kJ/mol)를 제대로 구하면	3	
	이온화 에너지가 K전자껍질에서 전자를 떼어내는 데 드는 에너지임을 보이고 보어의 원자 모형을 이용하여 이를 맞게 계산하게 되면	4	
문제 4-2	[화학 문제 4-2]		20
	채점 기준	배점	
	반응물과 생성물의 상태 표시를 하지 않았거나 상태를 틀리게 적었다라도 프로펜의 연소 반응식의 반응 계수를 제대로 적으면 [유의사항] 반응식의 계수가 2배가 된 $2C_3H_6 + 9O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ 라고 화학 반응식을 완성하고 반응 엔탈피를 이에 상응해서 구해도 인정.	2	
	모든 반응물과 생성물의 상태를 제대로 화학 반응식에 표시하면	2	

결합 에너지를 이용하여 프로펜 연소 반응의 반응 엔탈피를 구하면	4
물의 기화열을 고려하여 헤스 법칙을 통해 프로펜 연소 반응의 반응 엔탈피를 구하면	5
C ₃ H ₈ 과 CO ₂ 분자를 구성하고 있는 탄소 원자의 산화수를 맞게 적으면 (탄소 원자 하나당 1점으로 배점.)	4
프로펜 연소 반응의 화학 반응식에 근거하여 반응물과 생성물의 기체 몰수를 비교하고, 이를 바탕으로 계의 엔트로피가 감소한다는 것을 밝히면	3

7. 예시 답안

[문제 4-1 예시 답안]

▶ 발머 계열의 선 스펙트럼 중에서 가장 낮은 에너지를 나타내는 선 스펙트럼 656 nm 는 전자가 M꺽질($n = 3$)에서 L꺽질($n = 2$)로 전이할 때 나타난다. 따라서 656 nm에 해당하는 에너지인 $3.03 \times 10^{-19} \text{ J}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta E = E_3 - E_2 = -k/3^2 - (-k/2^2) = k(1/4 - 1/9) \quad \dots\dots(1)$$

(1) 식에서 구한 에너지는 수소 원자 1몰에 의한 에너지이고 선 스펙트럼의 파장은 원자 하나에 의한 값이기 때문에, 선 스펙트럼의 에너지에 아보가드로수를 곱한 에너지 값이 (1) 식과 같게 된다. 따라서 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\Delta E = 3.03 \times 10^{-19} \text{ J} \times (6.02 \times 10^{23} / \text{mol}) = k(1/4 - 1/9)$$

위 식을 풀게 되면, $k = 1313 \text{ kJ/mol}$ 이 나오게 된다.

(유사 답안) 다른 세 가지 선 스펙트럼 파장에 대해서도 위와 동일하게 풀어 k 값을 구할 수 있다.

$$486 \text{ nm: } \Delta E = 4.09 \times 10^{-19} \text{ J} \times (6.02 \times 10^{23} / \text{mol}) = k(1/4 - 1/16), k = 1313 \text{ kJ/mol}$$

$$434 \text{ nm: } \Delta E = 4.59 \times 10^{-19} \text{ J} \times (6.02 \times 10^{23} / \text{mol}) = k(1/4 - 1/25), k = 1316 \text{ kJ/mol}$$

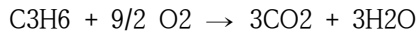
$$410 \text{ nm: } \Delta E = 4.85 \times 10^{-19} \text{ J} \times (6.02 \times 10^{23} / \text{mol}) = k(1/4 - 1/36), k = 1314 \text{ kJ/mol}$$

▶ 이온화 에너지(I.E)는 안정한 기체 원자 1몰에서 전자를 떼어내는 데 드는 에너지이다. 수소 원자의 가장 안정한 상태는 전자가 K꺽질($n = 1$)에 위치할 때이므로, 이 원자를 떼어내는데 드는 에너지는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{I.E.} = E_{\infty} - E_1 = 0 - (-k/1^2) = k = 1313 \text{ kJ/mol}$$

[문제 4-2 예시 답안]

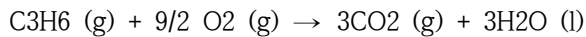
▶ 반응물과 생성물의 상태를 생각하지 않은 프로펜의 연소 반응식은 다음과 같다.



▶ 25 ° C, 1기압에서 각 물질의 C₃H₆ 상태는 다음과 같다.

- 1) C₃H₆ 의 끓는점이 -47.6 ° C 이므로 C₃H₆는 기체 상태로 존재.
- 2) O₂의 끓는점이 -183 ° C 이므로 O₂는 기체 상태로 존재.
- 3) CO₂의 상평형 그림을 보면 25 ° C, 1기압에서 기체 상태로 존재.
- 4) H₂O 의 상평형 그림을 보면 25 ° C, 1기압에서 액체 상태로 존재.

따라서 25 ° C, 1기압에서 반응물과 생성물의 상태를 고려한 프로펜의 연소 반응식은 다음과 같이 쓸 수 있다.



▶ 연소 반응식에서 물질의 상태가 다 기체일 경우, 프로펜 연소 반응의 반응 엔탈피는 다음과 같이 구할 수 있다. A-B의 결합 에너지를 D(A-B)로 표현한다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= D(\text{C}-\text{C}) + D(\text{C}=\text{C}) + 6 \times D(\text{C}-\text{H}) + 9/2 \times D(\text{O}=\text{O}) - 3 \times 2 \times D(\text{C}=\text{O}) - 3 \times 2 \times D(\text{H}-\text{O}) \\ &= -1890 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

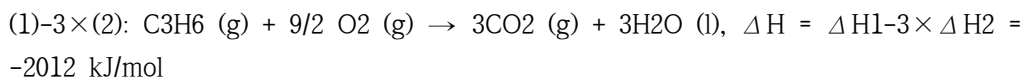
이 반응 엔탈피를 이용하면, 다음과 같은 열화학 반응식을 완성할 수 있다.



▶ 물의 기화에 대한 열화학 반응식을 적으면 다음과 같다.



위 식 (1)과 (2)를 이용하면, 25 ° C, 1기압에서 프로펜의 연소 반응의 열화학 반응식을 다음과 같이 얻을 수 있다.



따라서 25 ° C, 1기압에서 프로펜 연소 반응의 반응 엔탈피는 $\Delta H = -2012 \text{ kJ/mol}$ 이다.

▶ 반응물과 생성물에 있는 탄소 원자의 산화수를 표시하면 다음과 같다.



▶ 25 ° C, 1기압에서 프로펜 연소 반응의 화학 반응식을 보면, 프로펜 1몰당 반응물은 5.5 (1+9/2)몰의 기체로 이루어져 있고 생성물은 3몰의 기체로 이루어진다. 따라서 기체의 몰 수가 더 많은 반응물이 생성물보다 엔트로피가 높기 때문에, 25 ° C, 1기압에서 프로펜의 연소 반응에서 엔트로피는 감소한다.

문항카드 18

1. 일반정보

유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	수시 모집 논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 I(화학)/문제 [4-1], 문제 [4-2]	
모집요강에 제시한 출제 범위(과목명)	화학 I, 화학 II	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	화합물의 분자 개수, 부피, 몰수, 양적 관계, 화학 반응식, 반응 계수, 연소 반응, 산화-환원, 산화수, 기체, 돌턴의 부분 압력 법칙, 반감기
예상 소요 시간	30분	

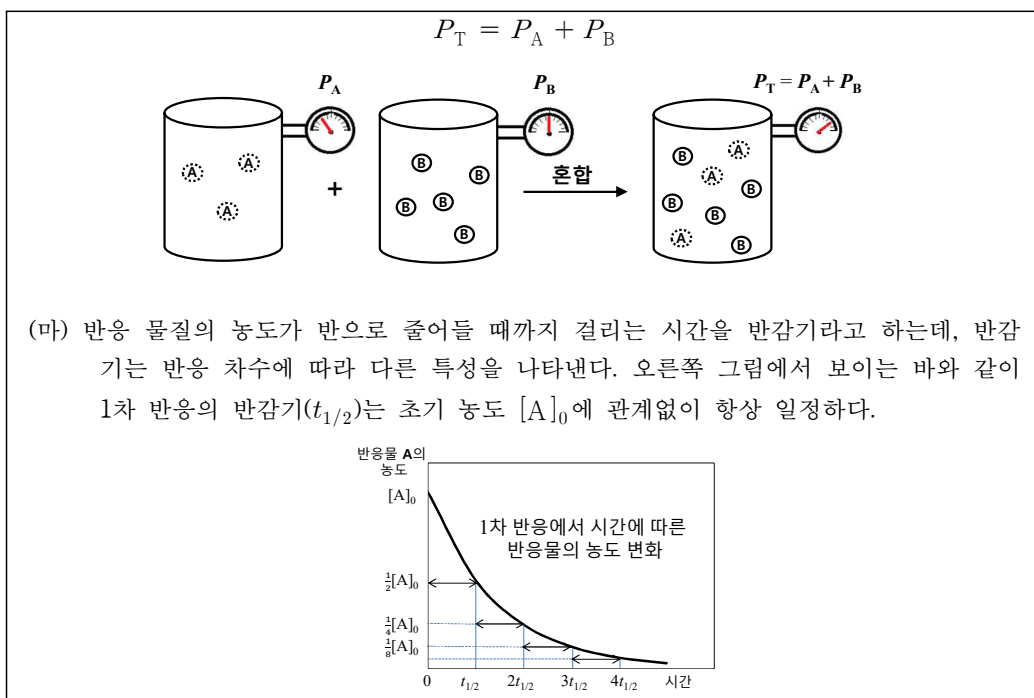
2. 문항 및 제시문

[제시문]

- (가) 화학 반응이 일어날 때 반응 물질과 생성 물질 사이의 관계를 나타낸 식을 화학 반응식이라고 한다. 화학 반응식에서 각 물질의 계수비는 반응에 관여한 물질의 분자 수의 비와 몰수비, 부피비를 의미한다. 이때 몰과 입자 수, 몰과 질량, 몰과 기체의 부피 관계를 이용하면 반응물과 생성물의 몰수, 입자 수, 질량, 부피를 구할 수 있다. 1몰은 6.02×10^{23} 개 입자의 집단이며, 이 수를 아보가드로수라고 한다.
- (나) 원자가 전자를 공유하면서 결합할 때 원자마다 전자를 끌어당기는 힘이 다르기 때문에 전자쌍은 어느 한쪽으로 치우치게 된다. 이처럼 분자에서 공유 전자쌍을 끌어당기는 능력을 상대적 수치로 나타낸 것을 전기 음성도라고 한다. 폴링은 플루오린 (F) 의 전기 음성도를 4.0으로 정하고 다른 원자들의 전기 음성도를 상대적으로 정하였다. 다음 표는 일부 원자들의 폴링의 전기 음성도 값을 보여준다.

${}^1_1\text{H}$ 2.1						
${}^3_3\text{Li}$ 1.0	${}^4_4\text{Be}$ 1.5	${}^5_5\text{B}$ 2.0	${}^6_6\text{C}$ 2.5	${}^7_7\text{N}$ 3.0	${}^8_8\text{O}$ 3.5	${}^9_9\text{F}$ 4.0

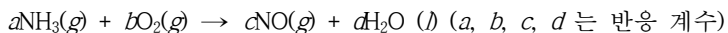
- (다) 화학 반응에서 전자를 잃는 것을 산화라 하고, 전자를 얻는 것을 환원이라 한다. 산화와 환원은 항상 동시에 일어나므로 산화-환원 반응이라고 부른다. 공유 결합 물질에서는 전기 음성도 차이를 통해 반응 전과 반응 후의 전자 치우침을 비교하여 산화-환원 반응을 설명할 수 있다. 공유 결합 물질에서 공유 전자쌍이 그것을 더 세게 끌어당기는 원자에 속해 있다고 가정할 때, 각 원자에 할당된 전하수를 산화수라고 한다. 중성 화합물에서 각 원자의 산화수의 합은 0이다. 반응을 통해 산화수가 증가하면 전자를 잃은 것이므로 산화된 것이고, 산화수가 감소하면 전자를 얻은 것이므로 환원된 것이다.
- (라) 혼합 기체에서 각각의 기체가 나타내는 압력을 부분 압력이라고 한다. 일정한 온도와 부피에서 기체의 압력은 몰수에 비례한다. 혼합 기체의 전체 압력은 성분 기체의 총 몰수에 비례하는 값으로 성분 기체의 부분 압력의 합이 된다. 이를 돌턴의 부분 압력 법칙이라고 한다. 일정한 부피의 용기 속에 기체 A와 기체 B가 혼합되어 있을 때의 전체 압력(P_T)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



[문제 4] 다음 제시문 (가) - (마)를 읽고 문제에 답하시오.

[문제 4-1]

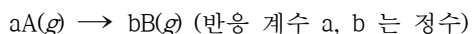
다음은 암모니아(NH_3) 기체의 화학 반응식을 나타낸 것이다.



반응의 초기에는 일정량의 NH_3 와 충분한 양의 산소(O_2) 만 존재한다고 가정한다. 반응을 통해 전체 물질의 분자 개수가 4.515×10^{23} 개 변화할 때, 반응한 NH_3 의 몰수는 X 이고 이때 이동하는 전자의 몰수는 Y 이다. 만약 암모니아 대신 메테인(CH_4)을 이용하는 완전 연소 반응이 진행된다면, 반응에서 Y 몰수의 전자 이동을 위해서는 Z g의 CH_4 이 필요하다. 제시문 (가), (나), (다)에 근거하여 X, Y, Z 를 논리적으로 구하시오. (단, 수소(H)와 탄소(C)의 원자량은 각각 1, 12 이다.)

[문제 4-2]

다음은 임의의 기체 A가 반응하여 기체 B가 생성되는 1차 반응의 화학 반응식이다.



일정한 온도에서 빈 강철 용기에 P 기압에 해당되는 2몰의 기체 A를 넣은 후 반감기 $t_{1/2}$ 에 측정된 전체 압력은 $\frac{5}{6}P$ 이다.

시간	0	$t_{1/2}$
전체 압력	P	$\frac{5}{6}P$

제시문 (가), (라), (마)에 근거하여 반응식의 계수 a, b 를 구하시오. 또한, 시간 $3t_{1/2}$ 후, 이 강철 용기에 f 몰의 기체 A와 $2f$ 몰의 기체 B를 추가한 직후 측정된 전체 압력은 $\frac{35}{24}P$ 이다. 이때 f 를 논리적으로 구하시오.

3. 출제 의도

본 논술 고사에서는 고등학교 화학 교과과정의 전반적인 내용을 평가하고자 하였다. 화학의 언어에 해당하는 화합물의 조성, 화학식, 화학 반응 등 양적 관계에 대한 이해와, 개성 있는 원소와 관련하여 원자의 전기 음성도를 이해하고 이를 공유 결합 물질의 산화-환원 반응에 적용하는 통합적인 성취도를 평가하고자 하였다. 또한, 다양한 모습의 물질에서 다루는 기체의 부분 압력 법칙 및 화학 반응 속도와 관련된 반감기 등에 대한 이해도를 평가하고자 하였다.

[문제 4-1]은 화학 I에서 다루는 화학 반응, 화학 반응식, 산화수, 산화-환원 반응 등에 대한 전반적인 이해도를 평가하는 문제이다. 제시문의 내용을 이해하여 화학 반응식의 계수 및 공유 결합 물질인 반응물과 결과물 내 원자의 산화수를 구하고, 이를 바탕으로 산화-환원 반응을 통해 이동하는 전자의 몰수를 알아내는 능력을 평가하고자 하였다. 또한, 화학 반응식의 양적 관계를 도출하는 능력을 평가하고 하였다.

[문제 4-2]는 화학 I에서 다루는 화학 반응식과 양적 관계, 화학 II에서 다루는 기체와 반감기 등에 대한 전반적인 이해도를 평가하는 문제이다. 제시문에서 제공하는 정보를 정확하게 숙지하여 주어진 1차 기체 반응식의 반응 계수를 구하고, 돌턴의 부분 압력을 정확하게 이해하여 반응 시간에 따른 용기 내의 전체 압력을 구하는 능력을 평가하고자 하였다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 근거

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책 9] 과학과 교육과정
성취기준 / 영역별 내용	<p>화학 I</p> <p>(1) 화학의 언어 (88쪽)</p> <p>(라) <u>아보가드로 수</u>와 <u>몰의 의미</u>를 이해한다.</p> <p>(마) 여러 가지 <u>화학 반응</u>을 <u>화학 반응식</u>으로 나타낼 수 있고, <u>원자량</u>과 <u>분자량</u> 등을 이용해서 <u>화학 반응</u>에서의 <u>양적 관계</u>를 알 수 있다.</p> <p>(3) 개성 있는 원소 (89쪽)</p> <p>(마) <u>주기율표</u>에서 <u>원자가전자</u>의 수, <u>원자 반지름</u>, <u>이온화 에너지</u>, <u>전기 음성도</u> 등 원자의 성질이 주기적으로 변화됨을 설명할 수 있다.</p> <p>(4) <u>담은꼴 화학반응</u> (90쪽)</p> <p>(나) 질소와 수소의 반응에 의한 <u>암모니아</u>의 합성이 <u>전자 이동</u>에 의한 <u>산화-환원 반응</u>임을 이해한다.</p> <p>(다) 이산화탄소, 물, 메탄, 암모니아에서 <u>화학 결합</u>을 하고 있는 원자들 사이의 <u>전기 음성도 차이</u>로부터 각 원소의 <u>산화수</u>를 설명할 수 있다.</p> <p>화학 II</p> <p>(1) 다양한 모습의 물질 (96쪽)</p> <p>(나) 기체의 온도, 압력, 부피 사이의 관계 및 <u>기체 분압</u>의 의미를 설명하고, 이상 기체 상태 방정식을 이해한다.</p> <p>(4) 화학 반응 속도</p> <p>(다) 반응 속도의 농도 의존도가 다양하다는 사실을 이해하고, 반감기를 정의할 수 있는 경우도 있음을 설명할 수 있다.</p>

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문 (가): 24-25, 38-41 제시문 (나): 102 제시문 (다): 209-216
	화학 I	김희준 외 8인	(주)상상아카데미	2016	제시문 (가): 33-34, 47-50 제시문 (나): 103-104 제시문 (다): 177-188
	화학 I	노태희 외 7인	(주)천재교육	2017	제시문 (가): 27-29, 41-49 제시문 (나): 114 제시문 (다): 188-193
	화학 I	류해일 외 7인	(주)비상교육	2016	제시문 (가): 36-37, 42-47 제시문 (나): 113 제시문 (다): 197-202
	화학 II	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문 (라): 33-34 제시문 (마): 251
	화학 II	김희준 외 8명	(주)상상아카데미	2016	제시문 (라): 34-35 제시문 (마): 217-218
	화학 II	노태희 외 7인	(주)천재교육	2015	제시문 (라): 23-24 제시문 (마): 219
	화학 II	류해일 외 7인	(주)비상교육	2017	제시문 (라): 27-29 제시문 (마): 230
기타					

5. 문항 해설

제시문의 내용은 화학 반응식, 물질 속에 있는 원자나 분자의 몰, 입자 수, 질량, 부피 등 양적 관계와, 전기 음성도, 산화수, 산화-환원 반응, 기체의 부분 압력 법칙, 반응의 반감기 등 고등학교 화학 I, II 교과과정에서 중요하게 다루어지는 내용으로 모두 교육과정 범위에 포함되어 있다. 이 문항에서는 고교 화학 교과 과정에서 중요하게 다루어지고 있는 여러 가지 개념들을 명확하게 이해하여 이들을 통합적으로 분석하고 연계할 수 있는지 알아보려고 한다.

하위 문항 1은 화학 I에서 다루는 화학 반응, 화학 반응식, 산화수, 산화-환원 반응 등에 등에 대한 전반적인 이해도를 평가하는 문제이다. 제시문의 내용을 정확하게 이해하여 주어진 암모니아 화학 반응식의 계수 및 공유 결합 물질인 반응물과 결과물 내 원자의 산화수를 구하고, 이를 바탕으로 산화-환원 반응을 통해 이동하는 전자의 몰수를 계산하는 문제이다. 또한, 암모니아와 메테인의 분자량의 차이, 산화 반응을 통한 각 질소, 탄소 원자의 산화수의 변화를 파악하여 같은 몰수의 전자 변화를 위해 필요한 반응물의 양 차이를 구하는 문제이다.

하위 문항 2는 화학 I에서 다루는 화학 반응식과 양적 관계, 화학 II에서 다루는 기체와 반감기 등에 대한 전반적인 이해도를 평가하는 문제이다. 제시문에서 제공하는 정보를 정확하게 숙지하여, 1차 반응의 반감기를 이해하고 이를 바탕으로 주어진 1차 기체 반응식의 반응 계수를 구하는 문제이다. 또한 돌턴의 부분 압력 법칙과 반감기의 내용을 연계하여 반응 시간에 따른 용기 내의 전체 압력을 정확하게 계산할 수 있어야 한다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-1	<p>[채점요소] 반응물과 결과물의 분자 개수, 부피, 몰수 등 양적 관계를 이해하여 화학 반응식을 논리적으로 찾아내는가? 원자들의 산화수의 변화를 이용하여 반응을 통해 이동하는 전자 몰수를 구할 수 있는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조</p> <p>[채점준거] 다음과 같이 4단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 반응 계수의 비, 4:5:4:6 을 바르게 구하면 +3점 2. 분자 개수 변화를 바탕으로 몰수 변화 0.75 몰을 바르게 구하고, 이를 이용하여 반응한 NH₃의 몰수 X=3을 도출하면 +3점 3. N의 산화수 (혹은 O의 산화수) 변화를 고려하여 NH₃ 1몰당 전자 5몰이 이동함을 구하고, 이를 고려하여 전자 총 이동 몰수 Y=15를 바르게 구하면 +5점 4. CH₄ 1몰당 전자 8몰이 이동함을 고려하여 $\frac{15}{8}$ 몰이 필요하고 분자량을 고려하여 Z=30을 바르게 구하면, +4점 계산을 잘못하면 -1점. 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 15점 이내에서 ± 1.0점 추가 점수 부여 가능함. 	15
4-2	<p>[채점요소] 기체의 부분 압력 법칙과 1차 반응의 반감기를 이해하여, 화학 반응식을 논리적으로 도출할 수 있는가? 기체의 분자 개수, 몰수, 기압 등의 양적 관계를 이해하는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조</p> <p>[채점준거] 다음과 같이 3단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p>	15

1. 반응 계수의 비, $a : b = 3 : 2$ 를 바르게 구하면 +4점
2. $3t_{1/2}$ 후의 기체 A와 B의 부분압력, 그리고 전체 압력 $\frac{17}{24}P$ 을 바르게 구하면 +6점 (몰수로 구하여도 인정: $\frac{17}{12}$ 몰)
3. 추가된 3f 몰에 해당하는 압력이 $\frac{3}{4}P$ 임을 도출하고 ($=\frac{3}{2}$ 몰), 이를 이용하여 $f=\frac{1}{2}=0.5$ 임을 바르게 구하면 +5점
- 계산을 잘못하면 -1점.
- 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 15점 이내에서 ± 1.0 점 추가 점수 부여 가능함.

7. 예시 답안

[문제 4-1]



· N, O, H의 개수를 고려하여 반응 계수를 구하면,

$a = c$, $3a = 2d$, $2b = c + d$ 이고, 이를 만족하는 최소의 정수비는 $4 : 5 : 4 : 6$ 이다.



· 위 화학반응을 통해 전체 물질의 분자 개수가 4.515×10^{23} 개 변화하였고, 1몰의 분자 개수는 6.02×10^{23} 이므로, 변화된 전체 몰수의 변화는

$$\frac{4.515 \times 10^{23}}{6.02 \times 10^{23}} = 0.75 \text{ 몰이다.}$$

NH_3 가 X몰 반응할 때, 이 화학반응의 몰수 변화를 구하면,

$$\text{감소한 반응물의 몰수: } -X - \frac{5}{4}X = -2.25X, \text{ 증가한 생성물의 몰수: } +X + \frac{6}{4}X = +2.5X$$

$$\text{전체 몰수의 변화: } 2.5X - 2.25X = 0.25X$$

위에서 구한 전체 몰수의 변화는 0.75몰이므로 $0.25X = 0.75$, $X=3$, 즉 3몰의 NH_3 가 반응하였다.

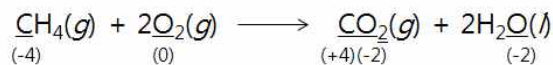
· 반응에서 N과 O의 산화수 변화를 구하면 (H의 산화수 변화는 없음),



N의 산화수 변화: $-3 \rightarrow +2$: NH_3 1몰당 전자 5몰을 내어줌.

NH_3 가 3몰 반응하였으므로 이동한 전자의 몰수는 $3 \times 5 = 15$, $Y=15$ 몰

· NH_3 대신 CH_4 을 이용하여 반응을 진행시키면,



C의 산화수 변화: $-4 \rightarrow +4$: CH_4 1몰당 전자 8몰을 내어줌.

따라서, 전자 15몰이 이동하기 위해서는 CH_4 $\frac{15}{8}$ 몰이 필요,

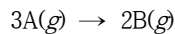
다른 풀이 방법) 두 반응에서 반응 물질 1몰당 이동하는 전자 몰수비는 5 : 8 이므로, CH₄의 반응에서 같은 Y몰수의 전자 이동을 위해서는 X몰의 $\frac{5}{8}$ 배 만큼의 CH₄이 필요하다.

$$X=3\text{이므로, } 3 \times \frac{5}{8} = \frac{15}{8} \text{ 몰}$$

$$\text{CH}_4\text{의 분자량은 } 12+1+1+1=16 \text{ 이므로, } \frac{15}{8} \text{ 몰} \times 16 \text{ g/몰} = 30 \text{ g, 즉 } \mathbf{Z= 30}$$

[문제 4-2]

- 반감기는 반응물의 농도(기체의 경우 압력)가 $\frac{1}{2}$ 이 되는 시간을 의미한다. 반응물 A의 압력은 반감기인 시간 $t_{1/2}$ 동안에 P 에서 $\frac{1}{2}P$ 만큼 감소하여 $\frac{1}{2}P$ 가 된다. 시간 $t_{1/2}$ 에서 전체 압력이 $\frac{5}{6}P$ 이므로 $\frac{5}{6}P - \frac{1}{2}P = \frac{1}{3}P$ 는 새로 생성된 B의 압력을 나타낸다. 시간 $t_{1/2}$ 동안 소모된 A와 생성된 B의 압력 변화는 $\frac{1}{2}P : \frac{1}{3}P = 3 : 2$ 이므로 화학 반응식의 계수 a와 b는 **3 : 2** 이다.



- 시간 $3t_{1/2}$ 일 때 아래와 같이 3번의 반감기가 지나므로

$$3t_{1/2}\text{후의 전체 압력은 } P_T = P_A + P_B$$

$$P_A : 1 - \frac{1}{2}P - \frac{1}{4}P - \frac{1}{8}P = 1 - \frac{7}{8}P = \frac{1}{8}P \text{ (혹은 } \frac{1}{2^3}P = \frac{1}{8}P)$$

$$P_B : (\frac{1}{2}P \times \frac{2}{3}) + (\frac{1}{4}P \times \frac{2}{3}) + (\frac{1}{8}P \times \frac{2}{3}) = \frac{7}{12}P$$

$$\text{전체 압력 } P_T = P_A + P_B = \frac{1}{8}P + \frac{7}{12}P = \frac{17}{24}P$$

- f 몰의 A기체와 $2f$ 몰의 B기체를 추가한 직후 측정된 전체 압력은 $\frac{35}{24}P$ 이다. 혼합 기체의 전체 압력은 성분 기체의 총 몰수에 비례하는 값으로 성분 기체의 부분 압력의 합이 되므로, 기압 차이인 $\frac{35}{24}P - \frac{17}{24}P = \frac{3}{4}P$ 은 추가된 $3f$ 몰의 기체의 압력에 해당된다. P 기압에 해당되는 기체의 몰수는 2몰이라고 주어졌으므로, $P : 2 = \frac{3}{4}P : 3f$ 이고 이를 계산하여 $f = \frac{1}{2} = 0.5$ 임을 구할 수 있다.

문항카드 19

1. 일반정보

유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	수시 모집 논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열II(화학)/문제 [4-1], 문제 [4-2]	
입학 모집요강에 제시한 자격 기준 과목명	화학 I, 화학 II	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	화학 반응식, 공유 결합, 중화 반응, 이온화 상수, 증기 압력, 이상 기체 상태 방정식, 부분 압력의 법칙
예상 소요 시간	30분	

2. 문항 및 제시문

[문제 4] 다음 제시문 (가) - (마)를 읽고 문제에 답하시오.

(가) 화학 반응이 일어날 때 반응 물질과 생성 물질의 관계를 나타낸 식을 화학 반응식이라고 한다. 화학 반응이 일어나도 반응 전후 원자는 새로 생겨나거나 없어지지 않으며, 반응 물질의 원자 수 총합과 생성 물질의 원자 수 총합이 같은 것을 이용하여 화학 반응식을 나타낼 수 있다. 화학 반응식을 완성하면 반응 물질과 생성 물질의 분자 수, 질량, 부피 등 여러 가지 양적 관계를 알 수 있다. 화학 반응식에서 계수비는 각 물질의 입자 수의 비를 나타내고, 기체의 경우는 부피비를 나타낸다.

(나) 산의 H_3O^+ 과 염기의 OH^- 이 만나 물이 생성되는 반응을 중화 반응이라고 한다. 산-염기가 중화될 때 H_3O^+ 과 OH^- 이 반응하여 물이 되고, 산의 성분이었던 음이온과 염기의 성분이었던 양이온이 만나 생성되는 물질을 염이라고 한다. H_3O^+ 과 OH^- 이 결합하는 중화 반응에서 발생하는 열을 중화열이라고 한다. 이때 반응하는 H_3O^+ 과 OH^- 의 수가 많을수록 중화열이 많이 발생한다. 약산이나 약염기는 수용액에서 일부만 이온화하여 평형을 이룬다. 일반적으로 산 HA의 이온화 상수(K_a)는 다음과 같이 정의한다.

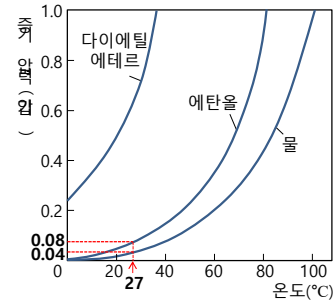
$$K_a = \frac{[A^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$$

(다) 18족 원소 이외의 대부분의 원자들은 전자를 잃거나 얻어서 최외각 전자 껍질에 8개의 전자를 채워 안정한 전자 배치를 가지려고 하는데, 이러한 경향을 옥텟 규칙이라고 한다. 비금속 원자들은 전자를 공유함으로써 옥텟 규칙을 만족시키는데, 2개 이상의 원자들이 전자쌍을 공유하면서 형성되는 화학 결합을 공유 결합이라고 한다. 이때 각 원자에 포함된 원자가 전자 중에서 쌍을 이루지 않는 전자를 홀전자, 두 원자가 공유하는 전자쌍을 공유 전자쌍, 결합에 참여하지 않는 전자쌍을 비공유 전자쌍이라고 한다.

(라) 어떤 액체를 밀폐된 용기 속에 넣어 두면 액체가 기체로 증발되는 속도와 기체가 액체로 응축되는 속도가 같아진다. 이러한 상태가 동적 평형 상태이며, 일정한 온도에서 동적 평형 상태에 있을 때 기체가 나타내는 압력을 그 액체의 증기 압력이라고 한다. 액체의 온도를 높여주면 기체로 되는 분자 수가 많아지므로 증기 압력은 커

진다. 온도 변화에 따른 증기 압력의 변화를 나타낸 그래프를 증기 압력 곡선이라고 하는데, 오른쪽은 몇 가지 액체의 증기 압력 곡선을 나타낸 것이다.

(마) 기체의 성질에 관한 보일 법칙, 샤를 법칙, 아보가드로 법칙을 종합하면 기체의 압력(P), 부피(V), 절대 온도(T), 몰수(n)에 대해 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있으며, 이 식을 이상 기체 상태 방정식이라고 한다.



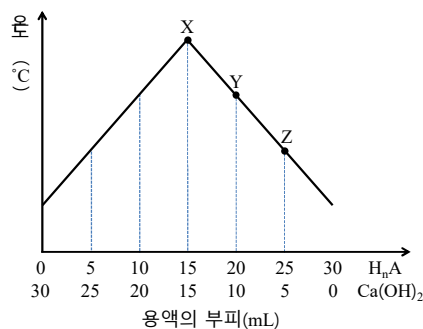
$$PV = nRT \quad (R \text{는 기체 상수})$$

한편, 서로 반응하지 않는 두 가지 이상의 기체가 혼합되어 있을 때 혼합 기체를 이루는 각 성분 기체가 나타내는 압력을 부분 압력이라고 한다. 돌턴은 실험을 통해 반응하지 않는 두 종류 이상의 기체가 섞여 있을 때 혼합 기체가 나타내는 전체 압력은 각 성분 기체의 부분 압력의 합과 같다는 것을 밝혀내었는데 이 법칙을 돌턴의 부분 압력 법칙이라고 한다. 혼합 기체의 전체 압력을 P_T , 각 성분 기체의 부분 압력을 P_1, P_2, P_3, \dots 라고 하면 부분 압력 법칙은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

[문제 4-1]

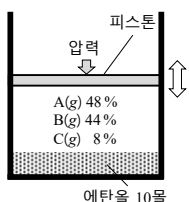
다음 그래프는 0.2 M 약산 $H_nA(aq)$ 와 0.1 M 강염기 $Ca(OH)_2(aq)$ 의 부피를 다르게 하여 반응시켜 그 온도를 측정한 것을 나타낸 실험 결과이다. Y에서의 수소 이온 농도가 $1 \times 10^{-5} M$ 일 때, 제시문 (가)와 (나)에 근거하여 이 산-염기 반응의 화학 반응식을 제시하고, X와 Z에서의 수소 이온 농도를 구하시오. (단, $Ca(OH)_2(aq)$ 에서 $Ca(OH)_2$ 의 이온화도(α)는 1이고, 이 실험 결과의 온도 범위에서 물의 이온곱 상수(K_w)는 1×10^{-14} 로 일정하며, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 각 용액의 부피의 합과 같다.)



[문제 4-2]

다음 그림과 같이 27 °C, 0.98기압에서 서로 반응하지 않는 세 종류의 기체 A, B, C가 각각 48 %, 44 %, 8 %의 질량 조성비로 10몰의 에탄올(C_2H_5OH)과 함께 실린더에 들어 있다. 이 세 종류의 기체에 대한 성질은 아래의 표에 나타내었고, 이때 실린더 안의 전체 기체의 부피는 24 L이다. 제시문 (가), (다), (라), (마)에 근거하여, 이 실린더 안에서 액체 에탄올이 완전 연소하였을 때 실린더 안의 기체의 부피를 구하시오. 그 후, 외부 압력이 0.1기압으로 감소하였

을 때 실린더 안의 기체의 부피와 남아 있는 액체의 몰수를 구하시오. (단, 피스톤의 질량과 마찰은 무시하되 액체의 증기 압력은 무시하지 않는다. 기체 상수 R 는 0.08기압·L/몰·K이고, 수소(H), 헬륨(He), 탄소(C), 산소(O)의 원자량은 각각 1, 4, 12, 16이며, 에탄올과 물의 증기 압력은 27 °C에서 각각 0.08, 0.04기압이다.)



- 기체 A, B, C는 각각 헬륨(He), 산소(O₂), 이산화 탄소(CO₂) 중 하나이다.
- 기체 A를 구성하는 원자들이 가지고 있는 원자가 전자의 총합은 12개이다.
- 기체 B는 분자 내의 비공유 전자쌍의 개수와 공유 전자쌍의 개수가 동일하다.

3. 출제 의도

본 논술 고사에서는 고등학교 화학 I, II 교과과정에 대한 전반적인 이해도를 평가하기 위해 융합적인 문제를 다루며 화학 반응식, 산과 염기의 중화 반응, 공유 결합, 이상 기체 상태 방정식, 부분 압력의 법칙, 증기 압력 등 고교 화학 교과 과정에서 중요하게 다루어지고 있는 여러 가지 내용을 명확하게 이해하고 연계 지을 수 있는지 물어보고자 한다. 산-염기 중화 반응과 연소 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 그 화학 반응식으로부터 반응 물질과 생성 물질의 양적 관계를 이해할 수 있는지 물어보고자 한다. 산-염기 중화 반응에서의 화학 평형에 대한 이해를 바탕으로, 산이나 염기의 이온화 상수를 이용하여 그 양적 관계를 알아낼 수 있는지를 알아보하고자 한다. 또한, 대부분의 기체가 공유 결합 물질이라는 것을 알고, 그 전자 구조를 이해하고 있는지 알아보고, 액체와 기체가 반응하는 연소 반응을 제시하여 그 양적 관계를 알아내기 위해 액체와 기체의 동적 평형, 부분 압력의 법칙, 이상 기체 상태 방정식을 연결 지어 사고할 수 있는지 물어보고자 한다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 근거

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책 9] 과학과 교육과정
성취기준 / 영역별 내용	(1) 화학의 언어 (88쪽) (마) 여러 가지 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 원자량과 분자량 등을 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 알 수 있다. (3) 아름다운 분자 세계 (89쪽) (다) 비활성 기체의 전자 구조를 통해 옥텟 규칙을 이해하고, 옥텟 규칙으로 화학 결합을 설명할 수 있다. (4) 달은꼴 화학반응 (90쪽) (마) 산과 염기의 중화 반응을 이해한다.
	(1) 다양한 모습의 물질 (96쪽) (나) 기체의 온도, 압력, 부피 사이의 관계 및 기체 분압의 의미를 설명하고, 이상 기체 상태 방정식을 이해한다. (3) 화학 평형 (97-98쪽) (라) 고체, 액체, 기체 사이의 동적 평형과 증기압의 의미를 이해하고 온도와 압력에 따른 물질의 상태를 도표로 나타낼 수 있다. (바) 산-염기 중화 반응에서의 양적 관계를 설명할 수 있고, 공통이온 효과, 염의 가수 분해에 의해 만들어진 용액의 특성을 설명할 수 있다. (사) 이온화도와 이온화 상수를 이용하여 산과 염기의 상대적 세기를 설명할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문 (가): 38-41 제시문 (나): 240-243 제시문 (다): 152-159
	화학 I	김희준 외 8인	(주)상상아카데미	2017	제시문 (가): 47-50 제시문 (나): 199-201 제시문 (다): 128, 137
	화학 I	노태희 외 7인	(주)천재교육	2016	제시문 (가): 41-49 제시문 (나): 226-229 제시문 (다): 141-142
	화학 I	류해일 외 7인	(주)비상교육	2016	제시문 (가): 42-47 제시문 (나): 220-222 제시문 (다): 141-143
	화학 II	박종석 외 4인	(주)교학사	2017	제시문 (나): 183-184 제시문 (라): 160-162 제시문 (마): 21-24, 33-34
	화학 II	김희준 외 8명	(주)상상아카데미	2016	제시문 (나): 166-168 제시문 (라): 145-150 제시문 (마): 23-28, 34-35
	화학 II	노태희 외 7인	(주)천재교육	2015	제시문 (나): 162-165 제시문 (라): 149 제시문 (마): 19-25
	화학 II	류해일 외 7인	(주)비상교육	2017	제시문 (나): 167-168 제시문 (라): 149-150 제시문 (마): 19-29
기타					

5. 문항 해설

제시문의 내용은 화학 반응에서의 양적 관계, 산-염기의 중화 반응, 공유 결합, 액체의 증기 압력, 이상 기체 상태 방정식, 부분 압력의 법칙에 대한 것인데 고등학교 화학 I, II 교과과정에서 중요하게 다루어지는 내용으로 과학과 교육과정 범위에 포함되어 있다. 하위 문항 [문제 4-1]과 [문제 4-2] 문항에서는 이 제시문의 내용에 근거하여 고교 화학 교과과정에서 중요하게 다루어지고 있는 여러 가지 개념을 연계하여 통합적으로 사고할 수 있는지 알아보려고 한다.

하위 문항 첫 번째 [문제 4-1]은 산과 염기가 반응하는 중화 반응에서 열이 발생한다는 것을 이해하여 이를 바탕으로 중화 반응의 양적 관계를 알아낼 수 있는지 물어보는 문제이다. 제시문에서 제공하는 정보 및 문제에서 주어진 그래프를 정확하게 숙지하여 산-염기 중화 반응의 양적 관계를 알아내고 중화 반응의 화학 반응식을 완성할 수 있어야 한다. 또한, 산과 그 짝염기의 농도가 같을 때의 수소 이온 농도가 산의 이온화 상수와 같음을 이해하고, 산-염기 평형 상태에서의 양적 관계를 산의 이온화 상수를 이용하여 알아낼 수 있어야 한다.

하위 문항 두 번째 [문제 4-2]는 공유 결합 물질의 전자 구조를 이해하는지와 증기 압력, 이상 기체 상태 방정식, 부분 압력의 법칙을 통합적으로 연계하여 기체와 액체가 공존하는 화학 반응의 양적 관계를 이해하고 분석할 수 있는지 물어보는 문제이다. 제시문 및 문제에서 제시하는 정보를 바탕으로 실린더 안에 존재하는 기체의 종류를 판별한 후, 기체의 질량 조성비와 분자량을 이용하여 그 몰수비를 계산할 수 있어야 한다. 액체 에탄올의 증기 압력, 부분 압력의 법칙, 이상 기체 상태 방정식을 연계하여 연소 반응 전 실린더에 존재하는 전체 기체의 몰수를 구하고 기체의 몰수비를 바탕으로 각 기체의 몰수를 계산할 수 있어야 한다. 그 후, 에탄올의 연소 반응에 대한 화학 반응식을 완성하여 반응 전에 존재하였던 각 기체의 몰수가 연소 반응 후 어떻게 변화하는지 그 양적 관계를 알아내고, 연소 반응에 의한 반응 물질과 생성 물질의 몰수 변화가 전체 기체의 부피에 어떻게 영향을 주는지 이상 기체 상태 방정식을 이용하여 알아낼 수 있어야 한다. 특히, 액체 상태의 물이 에탄올의 연소 반응으로부터 생성된다는 것을 인지하고, 물과 에탄올의 증기 압력을 고려하여 전체 기체의 부피를 계산할 수 있어야 한다. 마지막으로, 실린더의 외부 압력이 감소하였을 때, 실린더 안에 존재하는 물질의 상변화가 일어날 수 있음을 인지하고, 이를 고려하여 실린더 안의 기체의 부피와 남아 있는 액체의 몰수를 계산할 수 있어야 한다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-1	<p>[채점요소] 산-염기 중화 반응에서 중화열이 발생함을 이해하고 중화 반응의 화학 반응식과 이온화 상수를 이용하여 중화 반응의 양적 관계를 알아낼 수 있는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조</p> <p>[채점준거] 다음과 같이 4단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p> <p>1) 중화 반응의 양적 관계를 이해하여 약산의 화학식이 HA임을 보이고 중화 반응의 화학 반응식을 제대로 완성하면 3점.</p> <p>2) Y 에서의 수소 이온 농도가 약산 HA의 이온화 상수와 같음을 알고, HA의 이온화 상수를 맞게 구하면 2점.</p> <p>3) 1), 2)번을 바탕으로 X 에서의 수소 이온 농도를 제대로 구하면 3점.</p> <p>4) 1), 2)번을 바탕으로 Z 에서의 수소 이온 농도를 제대로 구하면 2점.</p> <p>[유의사항] 위의 1)번 항목에서 중화 반응의 화학 반응식을 완성할 때, 생성 물질</p>	10

	2A ⁻ +Ca ²⁺ 대신 CaA ₂ 라고 써도 인정.	
4-2	<p>[채점요소] 공유 결합 물질의 전자 구조를 이해하고, 분자 사이의 양적 관계를 알 수 있는가? 또한, 액체와 기체 상태의 물질이 관여하는 화학 반응의 양적 관계를 액체의 증기 압력, 부분 압력의 법칙, 이상 기체 상태 방정식을 통합적으로 연계하여 알아낼 수 있는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조</p> <p>[채점준거] 다음과 같이 7단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p> <p>1) 기체 A, B, C의 종류를 제대로 판별하여 A가 산소, B가 이산화 탄소, C가 헬륨임을 보이면 2점.</p> <p>2) 기체 A, B, C의 조성비와 분자량으로부터 그 몰수비가 1.5 : 1 : 2 임을 구하면 2점.</p> <p>3) 기체 A, B, C의 몰수가 각각 0.3몰, 0.2몰, 0.4몰이라는 것을 구하면 3점.</p> <p>4) 에탄올 연소 반응의 화학 반응식을 완성하고 이로부터 연소 반응이 끝난 후의 A, B, C 각각의 기체 몰수가 0몰, 0.4몰, 0.4몰이라는 것을 구하면 3점.</p> <p>5) 에탄올의 증기 압력과 4)번에서 구한 기체의 몰수를 이용하여 연소 반응 후의 기체의 부피가 21.3... L임을 구하면 4점.</p> <p>6) 압력이 0.1기압으로 감소할 때 기체의 부피가 960 L이라는 것을 구하면 4점.</p> <p>7) 6)번에서 구한 기체의 부피와 에탄올의 증기 압력을 이용하여 남아 있는 액체의 몰수가 7몰이라는 것을 구하면 2점.</p>	20

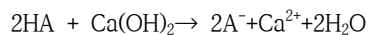
7. 예시 답안

[문제 4-1]

· 래프로부터 0.2 M H_nA와 0.1 M Ca(OH)₂가 1:1의 부피비로 중화 반응이 일어남을 알 수 있다. 중화 반응에서 수소 이온과 수산화 이온이 1:1로 반응하므로 다음 식이 성립한다.

$$n \times 0.2 \text{ M} \times V_1 \text{ L} = 2 \times 0.1 \text{ M} \times V_1 \text{ L} \quad \therefore n=1$$

따라서 이 중화 반응의 화학 반응식은 다음과 같이 쓸 수 있다.



· Y에서 약산 HA 20 mL 중 10 mL 가 중화 반응을 하여 A⁻로 변하고, 10 mL는 HA의 형태로 남아 있게 된다. 즉, 혼합 용액에서 HA와 A⁻의 초기 농도는 [HA]₀ = [A⁻]₀ = $0.2\text{M} \times \frac{10\text{mL}}{30\text{mL}} = \frac{2}{30}\text{M}$ 이 된다. 평형이 이동하여 HA의 농도가 x만큼 변화했다면, 평형 상태에서의 농도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

	$\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{A}^- + \text{H}_3\text{O}^+$		
초기 농도(M)	$\frac{2}{30}$	$\frac{2}{30}$	0
이온화 농도(M)		+x	+x
평형 후 농도(M)	$(\frac{2}{30} - x)$	$(\frac{2}{30} + x)$	x

따라서 $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{(\frac{2}{30}+x)x}{(\frac{2}{30}-x)}$ 로 나타낼 수 있다. Y에서의 수소 이온 농도가 1×10^{-5}

M로 주어졌기 때문에 $x = 1 \times 10^{-5}$ 이고, x 값은 초기 농도에 비해 충분히 작기 때문에 $(\frac{2}{30}-x) \approx \frac{2}{30}$, $(\frac{2}{30}+x) \approx \frac{2}{30}$ 로 근사할 수 있다. 이 값을 위의 이온화 상수 식에 대입하면, 약산 HA의 이온화 상수(K_a)는 1×10^{-5} 로 구할 수 있다.

· X에서는 약산 HA 15 mL가 모두 중화 반응을 하여 A^- 로 변한다. 혼합 용액에서 A^- 만 존재한다고 볼 수 있기 때문에, $[HA]_0 = 0, [A^-]_0 = 0.2M \times \frac{15mL}{30mL} = \frac{1}{10}M$ 로 생각할 수 있다. A^- 는 수 용액에서 아래의 화학 반응식과 같이 이온화할 수 있고, 그 이온화 상수 $K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^{-9}$ 이다. 평형이 이동하여 A^- 의 농도가 x 만큼 변화한다면, 평형 상태에서의 농도는 다음과 같이 나타낼 수 있다

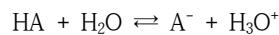


초기 농도(M)	$\frac{1}{10}$	0	0
이온화 농도(M)	$-x$	$+x$	$+x$
평형 후 농도(M)	$(\frac{1}{10}-x)$	x	x

약산 HA의 x 값은 작기 때문에 $K_b = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} = \frac{x^2}{(\frac{1}{10}-x)} = \frac{x^2}{(\frac{1}{10})} = 1 \times 10^{-9}$ 로 나타낼 수

있다. 이 식을 풀면, $x = [OH^-] = 1 \times 10^{-5} M$ 이고, X에서의 수소 이온 농도는 $[H_3O^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^{-9} M$ 이다.

· Z에서 HA의 5 mL가 중화 반응에 참여하여 A^- 를 생성하고, 20 mL는 반응에 참여하지 않고 HA의 형태로 남아 있다. 즉, 혼합 용액에서의 HA의 초기 농도는 $[HA]_0 = 0.2M \times \frac{20mL}{30mL} = \frac{4}{30}M$ 이고, A^- 의 초기 농도는 $[A^-]_0 = 0.2M \times \frac{5mL}{30mL} = \frac{1}{30}M$ 이다. 평형이 이동하여 HA의 농도가 x 만큼 변화한다면, 평형 상태에서의 농도는 다음과 같다.



초기 농도(M)	$\frac{4}{30}$	$\frac{1}{30}$	0
이온화 농도(M)	$-x$	$+x$	$+x$
평형 후 농도(M)	$(\frac{4}{30}-x)$	$(\frac{1}{30}+x)$	x

약산 HA의 x 값은 작기 때문에, $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{(\frac{1}{30}+x)x}{(\frac{4}{30}-x)} \approx \frac{1}{4}x = 1 \times 10^{-5}$ 라고 나타낼

수 있다. 즉, $x = 4 \times 10^{-5}$ 임을 알 수 있으므로 Z에서의 수소 이온 농도 $[H_3O^+] = x = 4 \times 10^{-5} M$ 이다.

[문제 4-2]

· 헬륨, 산소, 이산화 탄소를 구성하는 원자들의 원자가 전자의 총합, 비공유 전자쌍의 개수, 공유 전자쌍의 개수는 다음과 같다.

1) 헬륨(He): 원자가 전자 2개, 비공유 전자쌍 1개, 공유 전자쌍 0개

1) 산소(O₂): 원자가 전자 12개, 비공유 전자쌍 4개, 공유 전자쌍 2개

1) 이산화 탄소(CO₂): 원자가 전자 16개, 비공유 전자쌍 4개, 공유 전자쌍 4개

따라서 A는 산소, B는 이산화 탄소, C는 헬륨이다.

· 기체 A, B, C의 조성비와 분자량으로부터 세 기체의 몰수비는 다음과 같이 구한다.

$$n_A : n_B : n_C = \frac{48}{32} : \frac{44}{44} : \frac{8}{4} = 1.5 : 1 : 2$$

· 초기 조건에서 실린더의 전체 압력이 0.98기압이고 에탄올의 증기 압력이 0.08기압이므로 기체 A, B, C만의 압력은 다음과 같다.

$$P_{A+B+C} = P_{\text{전체}} - P_{\text{에탄올}(g)} = 0.98 - 0.08 = 0.9 \text{ 기압}$$

이상 기체 상태 방정식을 이용하여 27°C에서 24 L 실린더 안에 존재하는 기체 A, B, C의 전체 몰수는 다음과 같이 구한다.

$$n_A + n_B + n_C = \frac{P_{A+B+C} V}{RT} = \frac{0.9 \text{ 기압} \times 24 \text{ L}}{0.08 \text{ 기압 L / 몰 K} \times 300 \text{ K}} = 0.9 \text{ 몰}$$

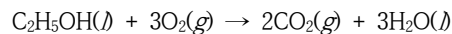
세 기체 분자의 몰수비(1.5:1:2)와 전체 몰수 0.9몰을 이용하면 각 기체 분자 A, B, C의 몰수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$1) n_A = 0.9 \text{ 몰} \times \frac{1.5}{(1.5+1+2)} = 0.3 \text{ 몰 (산소)}$$

$$1) n_B = 0.9 \text{ 몰} \times \frac{1}{(1.5+1+2)} = 0.2 \text{ 몰 (이산화 탄소)}$$

$$1) n_C = 0.9 \text{ 몰} \times \frac{2}{(1.5+1+2)} = 0.4 \text{ 몰 (헬륨)}$$

· 물과 에탄올의 증기 압력 곡선을 보면 27°C, 0.98기압에서 에탄올과 물은 액체 상태로 존재한다. 따라서 에탄올의 연소 반응은 다음과 같이 쓸 수 있다.



연소 반응 전, 생성물인 에탄올이 10몰, 산소가 0.3몰 존재하므로, 연소 반응 후 실린더 안 각 분자들의 몰수는 다음과 같다.

$$1) \text{ 산소(A): } 0.3 \text{ 몰} - 0.3 \text{ 몰} = 0 \text{ 몰}$$

$$1) \text{ 이산화 탄소(B): } 0.2 \text{ 몰} + 0.2 \text{ 몰} = 0.4 \text{ 몰}$$

$$1) \text{ 헬륨(C): } 0.4 \text{ 몰 (연소 반응에 참여하지 않으므로 변화가 없음)}$$

$$1) \text{ 물: } 0.3 \text{ 몰}$$

1) 에탄올: 10몰 - 0.1몰 = 9.9몰

· 연소 반응 후에는 산소(A)가 전부 소모되고 물이 생성되어 물과 에탄올이 실린더 안에서 액체로 존재한다. 액체의 대부분은 에탄올이기 때문에 (0.3몰(물) << 9.9몰(에탄올)), 액체 전체의 증기 압력은 에탄올의 증기 압력과 비슷하다고 생각할 수 있다. 실린더 안의 기체 압력은 기체 B, C와 액체의 증기 압력의 합과 같으므로, 부분 압력의 법칙을 이용하여 27°C에서 두 기체 B+C만의 압력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{B+C} = P_{\text{전체}} - P_{\text{에탄올(g)}} = 0.98 - 0.08 = 0.9 \text{ 기압}$$

또한, 반응 후 두 기체 B와 C의 몰수의 합은 $n_B + n_C = 0.4 + 0.4 = 0.8 \text{ 몰}$ 이기 때문에 반응 후의 기체의 부피는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V = \frac{(n_B + n_C)RT}{P_{B+C}} = \frac{0.8 \text{ 몰} \times 0.08 \text{ 기압} \cdot \text{몰} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}}{0.9 \text{ 기압}} = \frac{64}{3} = 21.3 \dots \text{ L}$$

· 압력이 0.1기압으로 감소했을 때 기체 ‘B+C’의 압력과 몰수는 위와 동일하게 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{B+C} = P_{\text{전체}} - P_{\text{에탄올(g)}} = 0.1 - 0.08 = 0.02 \text{ 기압}$$

$$n_{B+C} = 0.4 + 0.4 = 0.8 \text{ 몰}$$

이상 기체 상태 방정식을 이용하여 기체의 부피를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{0.8 \text{ 몰} \times 0.08 \text{ 기압} \cdot \text{몰} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}}{0.02 \text{ 기압}} = 960 \text{ L}$$

· 주어진 조건에서 액체로 존재하는 물질은 에탄올과 물이 있으며 에탄올 9.9몰과 물 0.3몰을 합해 10.2몰이다. 액체의 대부분은 에탄올이기 때문에 액체의 증기 압력은 에탄올의 증기 압력과 비슷하다고 생각할 수 있다. 따라서 액체의 증발에 의한 기체의 몰수는 다음과 같다.

$$n_{\text{증발(g)}} = \frac{PV}{RT} = \frac{0.08 \text{ 기압} \times 960 \text{ L}}{0.08 \text{ 기압} \cdot \text{몰} \cdot \text{K} \times 300 \text{ K}} = 3.2 \text{ 몰}$$

따라서 남아 있는 액체의 몰수는 10.2몰 - 3.2몰 = 7몰이 된다.

문항카드 18

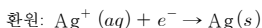
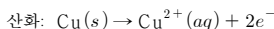
1. 일반정보

유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	수시 모집 논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 I (화학)/ 문제 [4-1], 문제 [4-2]	
모집요강에 제시한 출제 범위(과목명)	화학 I, 화학 II	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	화합물, 원자량, 몰, 물질량, 화학 반응식, 양적 관계, 산화, 환원, 화학 전지, 표준 환원 전위
예상 소요 시간	30분	

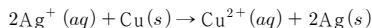
2. 문항 및 제시문

[제시문] 다음 제시문 (가) - (라)를 읽고 문제에 답하시오.

- (가) 어떤 물질 속에 들어 있는 원자나 분자 1몰은 6.02×10^{23} 개 입자 수를 의미하며, 이 수를 아보가드로수라고 한다. 원자량과 분자량은 상대적인 값이므로 단위가 없지만, 그 값에 그램(g)을 붙이면 그 물질의 물질량이 된다. 0 °C, 1기압에서 기체 분자 1몰이 차지하는 부피는 그 종류에 관계없이 22.4 L로 일정하다.
- (나) 화학 반응이 일어날 때 반응 물질과 생성 물질 사이의 관계를 나타낸 식을 화학 반응식이라고 한다. 화학 반응식에서 각 물질의 계수비는 반응에 참여한 물질의 분자 수의 비와 몰수비, 부피비를 의미한다. 이때 몰과 입자 수, 몰과 질량, 몰과 기체의 부피 관계를 이용하면 반응물과 생성물의 몰수, 입자 수, 질량, 부피를 구할 수 있다.
- (다) 화학 반응에서 전자를 잃는 것을 산화라 하고, 전자를 얻는 것을 환원이라 한다. 산화와 환원은 항상 동시에 일어나므로 산화-환원 반응이라고 부른다. 예를 들어, 질산은(AgNO_3) 수용액에 구리줄을 넣으면 구리줄 표면에 은이 석출되며 용액의 색이 푸른색으로 변하는 것을 관찰할 수 있고, 이 반응은 다음과 같이 전자의 이동으로 나타낼 수 있다.



산화-환원 반응에서는 잃은 전자 수와 얻은 전자 수가 같으므로, 이동하는 전자 수를 맞추어 주면 전체 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

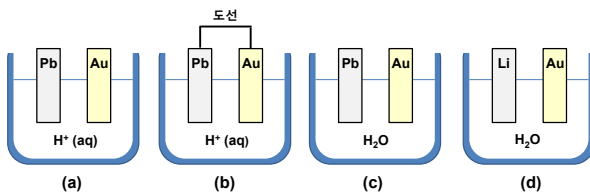


- (라) 화학 전지는 자발적으로 일어나는 산화-환원 반응을 이용하여 화학 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 장치이다. 전지에서 산화 반응이 일어나는 부분과 환원 반응이 일어나는 부분을 각각 반쪽 전지라고 한다. 반쪽 전지의 전위를 전극 전위라고 하며, 반쪽 전지들의 표준 전위값을 결정하기 위해 표준 수소 전극을 사용한다. 표준 환원 전위는 25 °C에서 표준 수소 전극과 연결한 반쪽 전지의 환원 반응 전위이고, 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽다. 다음 표는 일부 반쪽 반응들의 표준 환원 전위를 보여준다. 기전력(표준 전지 전위)은 두 금속의 표준 환원 전위차로서, 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 뺀 값과 같다. 기전력 값이 (+)일때 산화-환원 반응은 자발적

으로 진행되며, (-)일때 자발적으로 진행되지 않는다.

반쪽 반응	표준 환원 전위(V)
$\text{Au}^+(aq) + e^- \rightarrow \text{Au}(s)$	+ 1.68
$2\text{H}^+(aq) + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(g)$	0.00
$\text{Pb}^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow \text{Pb}(s)$	- 0.13
$2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$	- 0.83
$\text{Li}^+(aq) + e^- \rightarrow \text{Li}(s)$	- 3.04

[문제 4-1] 산성 용액과 물에 20.0 g의 납(Pb)판, 금(Au)판, 리튬(Li)판을 다음 그림과 같이 넣었다. 수소 기체(H_2)가 발생하는 경우에는, 0 °C, 1기압에서 측정할 때 그 부피가 1.12 L가 되는 시점에서 반응을 중단하였다. 제시문 (가) - (라)에 근거하여 (a), (b), (c), (d)의 금속판에서 수소 기체의 발생 유무를 판단하고, 반응 후 남아있는 각 금속판의 질량을 각각 논리적으로 구하시오. (단, 수소(H), 리튬(Li), 금(Au), 납(Pb)의 원자량은 각각 1, 7, 197, 207이고, 금속의 산화물 형성은 고려하지 않는다.) [10점]



[문제 4-2] 가상의 원소 A를 포함하는 두 염화 화합물 $\text{ACl}(s)$ 과 $\text{ACl}_3(s)$ 를 4.8g씩 이용하여 혼합 수용액을 만들었다. 이 혼합 수용액 내의 두 화합물이 모두 완전히 해리되는 시점에서 산화-환원 반응이 시작되었다고 가정하자. 다음의 표와 제시문 (가) - (라)를 바탕으로 이 혼합 수용액에서 자발적으로 일어나는 산화-환원 반응식을 제시하고, 그 근거를 설명하시오. 또한 $\text{A}^+(aq)$ 의 양이 $\frac{1}{2}$ 만큼 변화할 때 걸리는 시간이 5분으로 일정하다면, 15분 후 $\text{A}(s)$ 의 질량은 얼마인지 논리적으로 구하시오. (단, 가상의 원소 A와 염소(Cl)의 원자량은 각각 164.5, 35.5이다.) [20점]

반쪽 반응	표준 환원 전위(V)
$\text{Cl}_2(g) + 2e^- \rightarrow 2\text{Cl}^-(aq)$	+ 1.36
$\text{A}^+(aq) + e^- \rightarrow \text{A}(s)$	- 0.36
$\text{A}^{3+}(aq) + 2e^- \rightarrow \text{A}^+(aq)$	- 0.70
$2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$	- 0.83

3. 출제 의도

본 논술 고사에서는 고등학교 화학 교과과정의 전반적인 내용을 평가하고자 하였다. 화학 I에서 다루는 ‘화학의 언어’에 해당하는 화합물의 조성, 화학식, 화학 반응에서의 양적 관계에 대한 이해와, ‘달은꼴 화학 반응’ 단원의 산화-환원 반응에서의 전자의 이동에 대한 이해도를 평가하고자 하였다. 또한 화학 II에서 다루는 ‘화학 평형’에서 산화-환원 반응을 화학 전지에 적용하는 통합적인 성취도를 평가하고자 하였다.

제시문에서 제공하는 정보를 정확하게 숙지하여, 전자의 이동을 보여주는 산화-환원 반응의 반응성을 주어진 물질들의 표준 환원 전위 값과 연결시켜 파악할 수 있는지 평가하고자 하였다. 문제 4-1은 납, 금, 리튬 금속들과 수소이온, 물의 표준 환원 전위 값을 비교하여 진행될 수 있는 산화-환원 반응들을 예상하고, 발생되는 수소 기체의 부피를 바탕으로 화학 반응에서의 부피, 몰수, 질량의 양적 관계를 도출하는 능력을 평가하고자 하였다. 문제 4-2는 여러 산화수를 가지는 주어진 물질의 표준 환원 전위 값을 이용하여 산화-환원 반응식을 도출해내고, 어떤 산화수의 물질이 산화와 환원에 관여하는지 찾아내는 문제이다. 또한 반응 계수 관계를 통해 화학 반응에서의 양적 관계를 도출하는 능력을 평가하고자 하였다.

4. 문항 및 제시문의 출제 근거

가) 교육과정 근거

‘교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책 9] 과학과 교육과정’을 바탕으로 작성

영역별 내용		
제시문	(가)	화학 I. (1) 화학의 언어 (88쪽) (라) <u>아보가드로 수</u> 와 <u>몰</u> 의 의미를 이해한다.
	(나)	화학 I. (1) 화학의 언어 (88쪽) (마) 여러 가지 <u>화학 반응</u> 을 <u>화학 반응식</u> 으로 나타낼 수 있고, <u>원자량</u> 과 <u>분자량</u> 등을 이용해서 <u>화학 반응</u> 에서의 <u>양적 관계</u> 를 알 수 있다.
	(다)	화학 I. (4) 달은꼴 화학반응 (90쪽) (나) 질소와 수소의 반응에 의한 암모니아의 합성이 <u>전자 이동</u> 에 의한 <u>산화-환원 반응</u> 임을 이해한다.
	(라)	화학 II. (3) 화학 평형 (98쪽) (아) 화학 전지, 연료 전지, 전기 분해의 원리를 산화-환원 반응으로 설명하고, 전기량과 반응의 진행 정도와의 관계를 설명할 수 있다.
하위문항	4-1	제시문 (가)-(라)에 근거
	4-2	제시문 (가)-(라)에 근거

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문 (가): p. 23-25, 제시문 (나): p. 38-41 제시문 (다): p. 209-212
	화학 I	김희준 외 8인	(주)상상아카데미	2016	제시문 (가): p. 31-35 제시문 (나): p. 47-50

					제시문 (다): p. 176-181
	화학 I	노태희 외 7인	(주)천재교육	2017	제시문 (가): p. 25-29 제시문 (나): p. 41-49 제시문 (다): p. 183-195
	화학 I	류해일 외 7인	(주)비상교육	2016	제시문 (가): p. 36-41 제시문 (나): p. 42-47 제시문 (다): p. 191-198
	화학 II	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문 (라): p. 206-209
기타	화학 II	김희준 외 8명	(주)상상아카데미	2016	제시문 (라): p. 184-190
	화학 II	노태희 외 7인	(주)천재교육	2015	제시문 (라): p. 190-194
	화학 II	류해일 외 7인	(주)비상교육	2017	제시문 (라): p. 189-196

5. 문항 해석

제시문의 내용은 화학 반응식, 물질 속에 있는 원자나 분자의 몰, 질량, 부피 등의 양적 관계와, 산화-환원 반응, 화학 전지 등 고등학교 화학 I, II 교과과정에서 중요하게 다루어지는 내용으로 모두 교육과정 범위에 포함되어 있다. 이 문항에서는 여러 가지 개념들을 명확하게 이해하여 이들을 통합적으로 분석하고 연계할 수 있는지 알아보려고 한다. 전자의 이동을 보여주는 산화-환원 반응의 반응성을 주어진 물질들의 표준 환원 전위 값과 연결시켜 파악할 수 있는지 평가하는 문제이다.

하위 문항 1은 제시문의 내용을 정확하게 이해하여 납, 금, 리튬 금속들과 수소이온, 물의 표준 환원 전위 값을 비교하여 진행될 수 있는 산화-환원 반응들을 예상하고, 발생하는 수소 기체의 부피를 바탕으로 화학 반응에서의 양적 관계를 도출하는 능력을 평가하는 문제이다. 하위 문항 2는 여러 산화수를 가지는 주어진 물질의 표준 환원 전위 값을 이용하여 산화-환원 반응식을 도출해내고, 어떤 물질이 산화와 환원에 관여하는지 찾아내는 문제이다. 또한, 반응 계수 관계를 통해 화학 반응에서의 양적 관계를 도출하는 능력을 평가한다.

6. 채점 기준

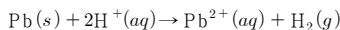
하위 문항	채점 기준	배점
4-1	<p>[채점요소] (a), (b), (c), (d)의 각 경우에 어떤 금속판에서 산화-환원 반응이 일어나는 지 논리적으로 찾아내는가? 발생한 수소 기체의 부피를 이용하여 구한 몰수를 바탕으로 화학 반응에서의 양적 관계를 고려하여 줄어든 금속판의 질량을 구할 수 있는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조 [채점준기] 다음과 같이 4단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p> <p>1. (a): 납판에서 산화반응 및 수소 기체가 발생함을 보이고, 남아있는 질량 납 9.65g/ 금 20.0g을 바르게 구하면 +2.5점</p> <p>2. (b): 납판에서 산화반응, 금판 주변에서 수소 기체가 발생함을 보이고, 남아있는 질량 납 9.65g/ 금 20.0g을 바르게 구하면 +2.5점 (납판에서만 발생한다고 하면 오답이지만, 두 판에서 모두 수소 기체가 발생한다고 한 경우에는 감점하지 않음)</p> <p>3. (c): 반응이 일어나지 않고, 질량 변화도 없음을 보이면 +2.5점</p> <p>4. (d): 리튬판에서 산화반응 및 수소기체가 발생함을 보이고, 리튬 19.3g/금 20.0g을 바르게 구하면 +2.5점</p>	10

	<p>※계산을 잘못하면 -1점. ※각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 10점 이내에서 ± 1.0점 추가 점수 부여 가능함.</p>	
4-2	<p>[채점요소] A(aq)의 산화-환원 반응식을 바르게 유도하고 반응에서의 양적 관계를 고려하여 A(s)의 질량을 구할 수 있는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조 [채점기준] 다음과 같이 3단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다. 1. $3A^+(aq) \rightarrow 2A(s) + A^{3+}(aq)$의 산화-환원 반응식을 바르게 유도하면 +8점 (산화 반응과 환원 반응을 따로 제시한 경우에는 부분 점수 각 2점) 2. 주어진 표준 환원 전위 값에 근거하여, 전위차가 $-0.36V - (-0.70V) = +0.34V$로 (+)값을 보여 자발적인 반응임을 설명하면 +5점 3. 15분 후 A(s)의 질량이 2.303g임을 바르게 구하면 +7점 ※계산을 잘못하면 -2점. ※각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 20점 이내에서 ± 2.0점 추가 점수 부여 가능함.</p>	20

7. 예시 답안

[4-1]

- ▶ (a): 산성 용액에 두 금속판이 담겨져 있는 경우인데, 표준 환원 전위가 (+)값이면 H⁺보다 환원되기 쉽고, (-)값이면 H⁺보다 환원되기 어렵다. 주어진 두 반쪽 반응의 표준 환원 전위 값에 의하면 H⁺(aq)와 금(Au) 사이에서는 산화-환원 반응이 일어날 수 없고, H⁺(aq)와 납(Pb) 사이의 산화-환원 반응의 기전력은 $0.00V - (-0.13V) = +0.13V$ 로, (+)값이므로 다음과 같이 H⁺(aq)와의 자발적 산화-환원 반응이 가능하다.

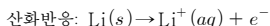
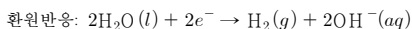


남아있는 금속판의 질량:

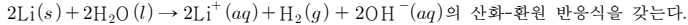
- 반응하지 않는 금판의 질량은 변화되지 않고 20.0 g 그대로 남아 있다.
- 납판 주위에서 일어나는 산화-환원 반응에서 발생된 수소 기체의 부피가 0 ° C, 1기압에서 1.12 L이고, 이는 $\frac{1.12L}{22.4L/mol} = 0.0500 mol$ 에 해당한다.

위 산화-환원 반응식에서 소모되는 Pb(s)와 생성되는 H₂(g)의 계수비가 1:1이므로, 소모된 납판의 양은 $0.0500 mol \times 207 g/mol = 10.35 g$ 이고, 따라서, 남아있는 납판의 질량은 $20.0 g - 10.35 g = 9.65 g$ 이다.

- ▶ (b): 납판과 금판을 도선으로 연결한 경우, 납이 산화되면서 전자를 잃고, 그 전자는 도선을 따라 금판 쪽으로 이용한다. 금판에서는 H⁺(aq)이 전자를 얻어 환원되므로 금판 주변에서 수소 기체가 발생한다. 남아있는 금속판의 질량은 (a)의 경우와 동일, 즉 납판 9.65g, 금판 20.0g이 남아있다. 단, 일부 실험에서는 납판 주변에서도 수소기체가 약간 발생됨이 관찰되므로, ‘납판과 금판 주변에서 둘 다 발생한다’ 라고 한 경우에도 감점하지 않는다.
- ▶ (c): 두 금속판이 연결되어있지 않고 물에 담겨 있는 경우인데, 주어진 표준 환원 전위(V)값에 의하면 금과 납의 두 반쪽 반응 모두 물의 반쪽 반응보다 환원되는 경향이 크므로, 어떠한 산화-환원 반응도 일어나지 않는다. 반응이 일어나지 않기 때문에, 납판과 금판 모두 20.0 g이 남아있다.
- ▶ (d): 리튬판의 경우에는, 물과 리튬 사이에서 가능한 산화-환원 반응의 기전력이 $-0.83V - (-3.04V) = +2.21V$ 로, (+)값이므로 자발적 산화-환원 반응이 가능하다.



산화-환원 반응에서는 잃은 전자 수와 얻은 전자 수가 같으므로,



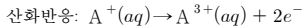
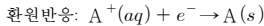
소모되는 $\text{Li}(s)$ 과 생성되는 $\text{H}_2(g)$ 의 계수비가 2:1이므로,

소모된 리튬의 양은 $(0.05 \text{ mol} \times 2) \times 7 \text{ g/mol} = 0.70 \text{ g}$ 이고, 따라서 남아있는 리튬판의 질량은 $20.0 \text{ g} - 0.70 \text{ g} = 19.3 \text{ g}$ 이다.

금판은 변화없이 20.0 g 남아있다.

[4-2]

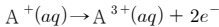
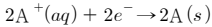
▶ $\text{AlCl}_3(s)$ 와 $\text{AlCl}_3(aq)$ 를 이용하여 혼합수용액을 만들 때, $\text{A}^+(aq)$, $\text{A}^{3+}(aq)$, $\text{Cl}^-(aq)$, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 존재한다. 산화와 환원은 항상 동시에 일어나고, 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽다. 표에 주어진 환원 반쪽 반응들의 표준 환원 전위 값에 의하면, 자발적인 산화-환원 반응이 일어나는 경우는 다음과 같다.



위 산화-환원 반응의 기전력은 $-0.36 \text{ V} - (-0.70 \text{ V}) = +0.34 \text{ V}$ 로 (+)값을 가진다.

주어진 표준 환원 전위 값에 의하면 $\text{Cl}^-(aq)$ 과 H_2O 는 산화-환원 반응에 참여하지 않는다.

▶ 산화-환원 반응에서는 잃은 전자 수와 얻은 전자 수가 같으므로,



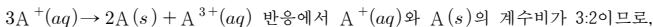
즉, $3\text{A}^+(aq) \rightarrow 2\text{A}(s) + \text{A}^{3+}(aq)$ 의 산화-환원 반응식을 얻을 수 있다.

▶ 이 반응에서 $\text{A}^+(aq)$ 는 산화와 환원이 동시에 되는 물질이며, 산화-환원 반응 시작 시점의 $\text{A}^+(aq)$ 의 양은 다음과 같다.

$$\text{AlCl}(s) \text{ 몰수} = \text{초기 } \text{A}^+(aq) \text{의 몰수} = \frac{4.8 \text{ g}}{(164.5 + 35.5) \text{ g/mol}} = 0.024 \text{ mol}$$

▶ 산화-환원 반응이 진행됨에 따라 $\text{A}^+(aq)$ 양이 감소한다. 즉, $\text{A}^+(aq)$ 의 양이 5분마다 $\frac{1}{2}$ 만큼 변화한다는 것을 절반씩 줄어드는 것으로 해석해야하고, 이에 따라 15분 후에 남아 있는 $\text{A}^+(aq)$ 의 양은 $0.024 \text{ mol} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = 0.003 \text{ mol}$ 임을 알 수 있다.

▶ 15분동안 소모된 $\text{A}^+(aq)$ 의 양은 $0.024 \text{ mol} - 0.003 \text{ mol} = 0.021 \text{ mol}$ 이고,



15분 후 $\text{A}(s)$ 의 질량은 $0.021 \text{ mol} \times \frac{2}{3} \times 164.5 \text{ g/mol} = 2.303 \text{ g}$ 이다.

(이 계산과정을 간단히 요약하면, $\frac{4.8 \text{ g}}{200 \text{ g/mol}} \times \frac{7}{8} \times \frac{2}{3} \times 164.5 \text{ g/mol} = 2.303 \text{ g}$)

문항카드 19

1. 일반정보

유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	수시 모집 논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 II(화학)/ 문제 [4-1], 문제 [4-2]	
입학 모집요강에 제시한 자격 기준 과목명	과학, 화학 I, 화학 II	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	과학, 화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	원소 분석, 화학 반응식, 탄화수소, 이성질체, 용액, 증기 압력, 삼투압
예상 소요 시간	30분	

2. 문항 및 제시문

제시문

- (가) 독일의 과학자 리비히는 유기 화합물 내의 탄소와 수소의 성분 조성을 알아내는 분석 방법을 발표하였다. 이 분석 방법은 유기 화합물을 연소시켰을 때 생성되는 이산화탄소와 물의 질량을 측정함으로써 화합물 중의 탄소, 수소, 산소 성분의 질량비를 알아내는 것이다. 각 성분의 질량을 알게 되면 각각의 질량 값을 성분 원소의 원자량으로 나누어 조성비를 구할 수 있다. 조성비를 구한 다음 구성 원소의 원자 개수의 비율을 가장 간단한 정수비로 나타낸 식을 실험식이라고 한다. 분자에 포함된 실제 원자 수를 알기 위해서는 분자식을 알아야 한다. 분자식은 한 분자를 이루는 각 원자의 총 개수로 나타낸다.
- (나) 화학 반응이 일어날 때 반응 물질과 생성 물질의 관계를 나타낸 식을 화학 반응식이라고 한다. 화학 반응이 일어나도 반응 전후 원자는 새로 생겨나거나 없어지지 않으며 반응 물질의 원자 수 총합과 생성 물질의 원자 수 총합이 같은 것을 이용하여 화학 반응식을 나타낼 수 있다. 화학 반응식에서 각 물질의 계수비는 반응에 관여한 물질의 분자 수의 비와 몰수비 및 기체의 부피비를 의미한다. 이때 몰과 입자 수, 몰과 질량, 몰과 기체의 부피 관계를 이용하면 반응 물질과 생성 물질의 질량, 부피, 몰수를 구할 수 있다.
- (다) 탄소 원자는 전자가 4개이므로 최대로 다른 원자 4개와 결합할 수 있어 매우 다양한 종류의 화합물을 만들 수 있다. 이 중 메테인, 에테인, 프로페인, 뷰테인과 같이 탄소와 수소로만 이루어진 화합물을 탄화수소라고 한다. 탄화수소 내의 모든 탄소-탄소 사이의 결합이 단일 결합일 때, 분자에 수소 원자가 더 이상 결합될 수 없으므로 이들 탄화수소를 포화 탄화수소라고 부르고, 탄소 원자 사이에 이중 결합이나 삼중 결합을 가지는 탄화수소를 불포화 탄화수소라고 한다. 분자식은 같으나 구조식, 즉 결합 형태가 달라서 서로 다른 성질을 갖는 화합물을 구조 이성질체라고 한다.
- (라) 프랑스의 과학자 라울은 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 몰 분율($X_{\text{용질}}$)에 비례한다는 사실을 밝혀내었는데 이를 라울 법칙이라고 한다.

$$\Delta P = X_{\text{용질}} \times P_0 \quad (P_0 : \text{순수한 용매의 증기 압력})$$

따라서 용액의 농도가 높을수록 용액의 증기 압력은 더 낮아진다.

(마) 용매는 같지만 농도가 서로 다른 두 용액이 반투막 사이에 두고 있을 때 농도가 낮은 용액에서 농도가 높은 용액 쪽으로 용매 분자가 이동하는 현상을 삼투라고 한다. 삼투가 일어날 때 반투막에 작용하는 압력을 삼투압이라고 하며, 기호 Π 로 나타낸다. 네덜란드의 과학자 반트 호프는 실험을 통해 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압(Π)은 용매나 용질의 종류에 관계없이 용액의 몰 농도(C)와 절대 온도(T)에 비례한다는 사실을 알아내었다. 이것을 반트 호프 법칙이라고 한다.

$$\Pi = CRT$$

여기서 R 는 기체 상수이다.

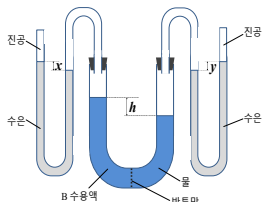
하위 문항 1 [문제 4-1] <10점>

[문제 4-1] 다음과 같은 원소 분석 장치를 이용하여 탄화수소 A 21 mg을 완전 연소시켰을 때 염화 칼슘관의 질량이 27 mg 증가하였고, 수산화 나트륨관의 질량이 66 mg 증가하였다. 이 연소 반응에서의 반응물의 총 몰수가 2.5×10^{-3} 몰일 때, 제시문 (가), (나), (다)에 근거하여 탄화수소 A의 분자식을 제시하고, A의 구조 이성질체 중에서 탄소(C) 사이의 결합각(\angle CCC)이 모두 약 120° 인 화합물의 구조식을 제시하시오. (단, 수소(H), 탄소(C), 산소(O)의 원자량은 각각 1, 12, 16 이다.) [10점]



하위 문항 2 [문제 4-2] <20점>

[문제 4-2] 27°C 에서 다음과 같이 반투막으로 분리된 U자관에 B 수용액과 물을 넣었더니, 일정 시간 후에 높이 차 h 가 발생한 평형 상태가 되었다. 측정한 높이 차 x 와 y 에 대해서 $x = \frac{500000}{500009}y$ 인 것을 관찰하였을 때, 아래 그림 우측의 내용과 제시문 (라)와 (마)에 근거하여 U자관의 높이 차 h 를 논리적으로 구하시오. (단, 용질 B는 비휘발성, 비전해질이며 B 수용액은 라울 법칙을 따른다. 또한, B 수용액에서 용액의 부피는 용매의 부피와 같다고 가정한다.) [20점]



- 기체 상수 $R = 0.08 \text{ 기압} \cdot \text{L} / \text{몰} \cdot \text{K}$
- 물의 증기압력 = 0.035 기압
- 물의 밀도 = 1 g/mL
- 물의 분자량 = 18
- 1기압 = 760 mmHg
- 평형 상태에서의 B 수용액의 밀도

$$= \frac{1}{10} \times \text{수은의 밀도}$$
- 같은 압력에 의해 발생하는 액체의 높이 차는 그 액체의 밀도에 반비례한다.

3. 출제 의도

본 논술고사에서는 고등학교 화학 I, II 교과과정에 대한 전반적인 이해도를 평가하기 위해 융합적인 문제를 다루며 원소 분석 장치, 화학 반응에서의 양적 관계, 다양한 구조의 탄화수소, 용액의 증기압력 내림 및 삼투압 등 고교 화학 교과 과정에서 중요하게 다루어지고 있는 여러 가지 내용을 명확하게 이해하고 연계 지을 수 있는지 물어보고자 한다. 원소 분석 장치에서 일어나는 탄화수소의 연소 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 화학 반응에서의 양적 관계를 이용하여 탄화수소의 분자식을 알아낼 수 있는지 물어보고자 한다. 탄화수소의 다양한 구조적 이성질체가 존재할 수 있다는 것을 이해하고, 문제에서 주어진 탄화수소의 구조적 정보와 일치하는 구조를 가지는 탄화수소의 구조식을 제시할 수 있는지 알아보하고자 한다. 또한, 용액의 특징인 증기 압력 내림 현상과 삼투압 현상을 라울 법칙과 반트 호프 법칙을 바탕으로 연계하여 이해할 수 있는지 물어보고자 한다. 용액 속에 존재하는 용질에 의해 증기 압력 내림 및 삼투압 현상이 발생한다는 것을 이해하여 용액의 증기 압력 내림을 이용하여 그 용액의 삼투압을 구할 수 있어야 한다.

4. 문항 및 제시문의 출제 근거

가) 교육과정 근거

‘교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책 9] 과학과 교육과정’ 을 바탕으로 작성

영역별 내용		
제시문	가	화학 I (1) 화학의 언어 (88쪽) (다) 원소 분석을 통하여 여러 가지 화합물의 조성을 확인하여 화학식과 분자의 구조를 밝혀내는 과정을 설명할 수 있다.
	나	화학 I (1) 화학의 언어 (88쪽) (마) 여러 가지 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 원자량과 분자량 등을 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 알 수 있다.
	다	화학 I (3) 아름다운 분자 세계 (89쪽) (바) 탄소화합물의 다양성과 구조적 특징을 이해한다.
	라	화학 II (1) 다양한 모습의 물질 (96쪽) (아) 묽은 용액의 증기압 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압 등 총괄성에 대해서 설명할 수 있다.
	마	화학 II (1) 다양한 모습의 물질 (96쪽) (아) 묽은 용액의 증기압 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압 등 총괄성에 대해서 설명할 수 있다.
	하위문항	
	4-1	제시문 (가)-(다)의 내용과 동일
	4-2	제시문 (라)-(마)의 내용과 동일

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	박종석 외 4인	(주)교학사	2016	제시문 (가): p. 35-37 제시문 (나): p. 38-41

					제시문 (다): p. 183-189
	화학 I	김희준 외 8인	(주)상상아카데미	2016	제시문 (가): p. 39-41 제시문 (나): p. 47-50 제시문 (다): p. 153-157
	화학 I	노태희 외 7인	(주)천재교육	2017	제시문 (가): p. 33-34 제시문 (나): p. 41-49 제시문 (다): p. 165-172
	화학 I	류해일 외 7인	(주)비상교육	2016	제시문 (가): p. 34-35 제시문 (나): p. 45-47 제시문 (다): p. 166-173
	화학 II	박종석 외 4인	(주)교학사	2017	제시문 (라): p. 59-61 제시문 (마): p. 65-67
	화학 II	김희준 외 8인	(주)상상아카데미	2016	제시문 (라): p. 67-68 제시문 (마): p. 72-73
	화학 II	노태희 외 7인	(주)천재교육	2015	제시문 (라): p. 62-63 제시문 (마): p. 66-67
	화학 II	류해일 외 7인	(주)비상교육	2016	제시문 (라): p. 59-61 제시문 (마): p. 65-66
기타					

5. 문항 해설

제시문의 내용은 원소 분석 장치, 화학 반응에서의 양적 관계, 다양한 구조의 탄화수소, 용액의 증기 압력 내림에 관한 라울 법칙, 용액의 삼투압에 관한 반트 호프 법칙에 대한 것으로 화학 I 과 화학 II 교과서의 내용을 기반으로 하였으며 고등학교 과학과 교육과정 범위 내에 포함되어 있다. 하위 문항 [문제 4-1]과 [문제 4-2]에서는 이 제시문의 내용을 근거로 하여 고등학교 화학 교과 과정에서 중요하게 다루어지는 여러 가지 개념을 연계하여 통합적으로 이해하고 있는지 물어본다.

하위 문항 첫 번째 [문제 4-1]은 탄화수소의 연소 반응에서 이산화탄소와 물이 생성된다는 것을 알고, 연소 반응에서의 양적 관계를 이용하여 탄화수소의 분자식을 알아낼 수 있는지 물어보는 문제이다. 또한, 탄화수소가 동일한 분자식을 가지더라도 다양한 구조 이성질체가 존재한다는 것을 이해하고, 문제에서 주어진 분자의 구조적 정보를 바탕으로 분자의 구조식을 도출해 낼 수 있어야 한다.

하위 문항 두 번째 [문제 4-2]는 용액의 대표적 특징인 증기 압력 내림과 삼투압 현상을 연계하여 이해하여 통합적으로 사고할 수 있는지 물어보는 문제이다. 용액의 증기 압력 내림과 삼투압 현상 모두 용액 내 존재하는 용질에 의해 나타난다는 것을 이해하고 있어야 한다. 용액과 용매의 증기 압력 차로부터 용액의 증기 압력 내림을 알아낸 후, 용액 속에 존재하는 용질의 몰분율을 라울 법칙을 이용하여 구해야 한다. 용질의 몰분율로부터 용액의 몰농도를 계산하여 알아낸 후, 반트 호프 법칙을 이용하여 삼투압을 계산할 수 있어야 한다. 또한, 반투막을 사이에 둔 용액과 용매 사이의 높이 차가 용액의 삼투압에 의해 생긴다는 것을 이해하여 삼투압에 의해 발생한 높이 차를 구할 수 있어야 한다.

6. 채점 기준

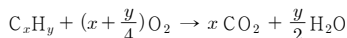
하위 문항	채점 기준	배점
4-1	[채점 요소] 원소 분석 장치를 이용하여 화학 반응식에서의 양적 관계 및 분자의 구	10

	<p>조직 정보를 바탕으로 탄화수소의 실험식, 분자식 및 구조식을 도출해 낼 수 있는가?</p> <p>[예시 답안] 7번 참조</p> <p>[채점 준거] 다음과 같이 3단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p> <p>1) 생성된 CO₂와 H₂O의 몰수비가 1 : 1 임을 보이고, 탄화수소 A의 실험식이 CH₂임을 보이면 +4점.</p> <p>2) 분자량이 84임을 보이고, 이로부터 분자식이 C₆H₁₂임을 제시하면 +3점.</p> <p>3) 모든 ∠CCC가 약 120°인 탄화수소의 구조식을 바르게 제시하면 +3점.</p>	
4-2	<p>[채점 요소] 용액의 증기 압력 내림과 삼투압을 연계지어 이해할 수 있는가?</p> <p>[예시 답안] 7번 참조</p> <p>[채점 준거] 다음과 같이 5단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p> <p>1) 문제에서 주어진 장치에서 x와 y의 차이가 B 수용액의 증기 압력 내림에 의해서 발생한다는 것을 기술하면 +4점.</p> <p>2) 라울 법칙을 이해하여 용액과 물의 증기압력 차로부터 용질의 몰분율을 제대로 구하면 +4점.</p> <p>3) 용질의 몰분율을 이용하여 B 수용액의 몰농도가 0.001 M 임을 보이면 +4점.</p> <p>4) 반트 호프 법칙을 이용하여 삼투압이 0.024기압임을 보이면 +4점.</p> <p>5) 삼투압 0.024기압에 의해 발생한 U자관에서 높이 차 h가 182.4 mm가 되는 것을 보이면 +4점.</p>	20

7. 예시 답안

[문제 4-1]

▶ 탄화수소 A의 실험식은 C_xH_y로 쓸 수 있고, A의 연소 반응식은 다음과 같이 쓸 수 있다.



원소 분석 장치에서 생성된 CO₂는 수산화 나트륨관의 질량을 증가시키므로 66 mg의 CO₂가 생성되었음을 알 수 있고, 생성된 H₂O는 염화 칼슘관의 질량을 증가시키므로 27 mg의 H₂O가 생성되었음을 알 수 있다. 반응 전후 원자는 새로 생성되거나 없어지지 않으므로 탄화수소 A를 구성하는 원소 C와 H의 질량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C: 66 \text{ mg} \times \frac{12}{44} = 18 \text{ mg}$$

$$H: 27 \text{ mg} \times \frac{2}{18} = 3 \text{ mg}$$

탄화수소 A에 존재하는 C와 H의 몰수비는 각 원소의 질량을 원자량으로 나눈 값과 같으므로

$$x : y = \frac{18 \text{ mg}}{12 \text{ g/mol}} : \frac{3 \text{ mg}}{1 \text{ g/mol}} = 1 : 2 \text{가 된다. 즉, 탄화수소 A의 실험식은 } \underline{\underline{CH_2}} \text{이다.}$$

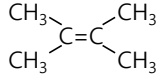
▶ 탄화수소 A의 분자식을 알기 위해서는 A의 분자량을 알아야 한다. 반응물의 총 질량은 생성물의 총 질량과 같아야 하므로, 반응에 소모된 산소의 질량을 w 라고 했을 때 $21 \text{ mg} + w = 27 \text{ mg} + 66 \text{ mg}$ 이 성립한다. 즉, 반응한 산소의 질량은 72 mg임을 알 수 있고, 몰수로는 $\frac{72 \text{ mg}}{32 \text{ g/mol}} = 2.25 \times 10^{-3} \text{ 몰}$ 이 된다. 총 반응물의 몰수가 $2.5 \times 10^{-3} \text{ 몰}$ 이라고

주어졌으므로 반응한 탄화수소 A 21 mg의 몰수는 $2.5 \times 10^{-3} - 2.25 \times 10^{-3} = 0.25 \times 10^{-3}$ 몰임을 알 수 있다. 따라서 탄화수소 A의 분자량 M은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$21 \times 10^{-3} \text{ g} : 0.25 \times 10^{-3} \text{ 몰} = M : 1 \text{ 몰} \quad \therefore M = 84 \text{ g/몰}$$

실험식이 CH_2 인 탄화수소의 실험식량은 14이므로 분자량이 84인 분자식은 $n = \frac{84}{14} = 6$ 이기 때문에 C_6H_{12} 이다.

▶ 분자식이 C_6H_{12} 인 탄화수소는 탄소 사이의 이중 결합을 하나 가지고 있는 사슬형 탄화수소이거나 탄소 사이의 결합이 모두 단일결합인 고리형 탄화수소이다. 탄소는 4개의 결합을 할 수 있기 때문에 $\angle \text{CCC}$ 가 약 120° 가 되기 위해서는 중심 탄소 원자에 이중 결합이 하나 존재해야 한다. 따라서, 모든 $\angle \text{CCC}$ 가 약 120° 인 탄화수소의 구조식은 다음과 같다.



[문제 4-2]

▶ 문제의 장치에서 높이 차 x 는 B수용액의 증기 압력($P_{\text{용액}}$)에 의해 생기고, 높이 차 y 는 물의 증기 압력($P_{\text{물}}$)에 의해서 생긴다. 즉, $x : y = P_{\text{용액}} : P_{\text{물}}$ 이다. 용액에서의 증기 압력 내림을 ΔP 라고 할 때 $x : y = P_{\text{용액}} : P_{\text{물}} = P_{\text{물}} - \Delta P : P_{\text{물}}$ 라고 쓸 수 있다. 따라서,

$$\frac{x}{y} = \frac{P_{\text{용액}}}{P_{\text{물}}} = \frac{P_{\text{물}} - \Delta P}{P_{\text{물}}} \text{ 이라고 쓸 수 있다.}$$

▶ 용액의 증기 압력 내림은 라울 법칙에 의하여 $\Delta P = X_{\text{용질}} \times P_{\text{물}}$ 이므로 B수용액의 증기 압력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{\text{용액}} = P_{\text{물}} - \Delta P = P_{\text{물}} - X_{\text{용질}} \times P_{\text{물}} = (1 - X_{\text{용질}}) \times P_{\text{물}}$$

따라서, $\frac{x}{y} = \frac{P_{\text{용액}}}{P_{\text{물}}} = \frac{(1 - X_{\text{용질}}) \times P_{\text{물}}}{P_{\text{물}}} = 1 - X_{\text{용질}}$ 이다. $x = \frac{500000}{500009} y$ 라고 주어졌으므로,

$$1 - X_{\text{용질}} = \frac{x}{y} = \frac{500000}{500009} \text{ 이다. 즉, } X_{\text{용질}} = \frac{9}{500009} \text{ 이다.}$$

▶ 용질의 몰분율을 이용하면 용액의 몰농도를 구할 수 있다. 용질의 몰분율이

$$X_{\text{용질}} = \frac{9}{500009} \text{ 이기 때문에 B수용액 용액에 존재하는 용질과 용매(물)의 몰수비는}$$

$9 : (500009 - 9) = 9 : 500000$ 이다. 용질 $9a$ 몰, 용매 $500000a$ 몰이 있는 용액의 몰농도를 구하기 위해서는 용질의 몰수와 용액의 부피를 알아야 한다. 용액의 부피가 용매의 부피와 같다고

$$\text{가정했기 때문에 용매의 부피를 구하면, } V_{\text{용매}} = \frac{\text{용매의 질량}}{\text{용매의 밀도}} = \frac{500000a \text{ 몰} \times 18 \text{ g/몰}}{1 \text{ g/mL}} =$$

$500000a \times 18 \text{ (mL)} = 500a \times 18 \text{ (L)}$ 이다. 따라서, B수용액의 몰농도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C = \frac{n_{\text{용질}}}{V_{\text{용액}}} = \frac{n_{\text{용질}} \text{ (몰)}}{V_{\text{용매}} \text{ (L)}} = \frac{9a}{500a \times 18} = \frac{1}{1000} = \underline{0.001 \text{ 몰/L}}$$

▶ 반트 호프 법칙을 이용하여 다음과 같이 B 수용액의 삼투압을 구할 수 있다.
 $\Pi = CRT = 0.001 \text{ 몰/L} \times 0.08 \text{ 기압}\cdot\text{L/몰}\cdot\text{K} \times 300 \text{ K} = \underline{0.024 \text{ 기압}}$

▶ 1기압은 수은주 높이 760 mm의 압력과 같고 B 수용액의 밀도가 수은의 $\frac{1}{10}$ 이므로, 1기압은 B 수용액 높이 7600 mm의 압력과 같다. 따라서 삼투압에 의한 B 수용액의 높이차 h 는 $0.024 \text{ 기압} \times 7600 \text{ mm/기압} = \underline{182.4 \text{ mm}}$ 가 된다.

※ [문제4-2]의 장치에서 용액의 높이차 h 는 “삼투압 $+\Delta P$ ”에 의해 생기지만, 용액의 증기압력 내림은 $\Delta P = X_{\text{용질}} \times P_{\text{물}} = \frac{9}{500009} \times 0.035 \text{ 기압} = 6.3 \times 10^{-7} \text{ 기압}$ 이고, 이는 삼투압(0.024기압)에 비해 굉장히 작으므로 ΔP 의 영향은 무시할 수 있다.

문항카드 16

1. 일반정보

유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	수시 모집 논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 I (화학) / 문제 [4-1], 문제 [4-2]	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	분자량, 몰농도, 몰랄농도, 화학 반응식, 양적 관계, 어는점 내림, 삼투압, 이상 기체 방정식, 부분 압력
예상 소요 시간	30분	

2. 문항 및 제시문

[문제 4] 다음 제시문 (가) - (마)를 읽고 문제에 답하시오.

- (가) 화학 반응이 일어나면 원자 간 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성되므로 다른 물질이 생기고 상태가 달라지기도 한다. 이러한 화학 반응을 화학식과 숫자로 간단하게 나타낸 것을 화학 반응식이라고 한다. 화학 반응식은 반응물과 생성물의 종류와 상태뿐만 아니라 반응에 관여한 물질의 양적 관계를 나타내므로 이를 이용하여 반응물과 생성물의 양을 구할 수 있다.
- (나) 기체의 부피는 기체의 몰수와 절대 온도에 비례하고 압력에 반비례한다. 비례 상수(R)를 이용하여 기체의 부피, 몰수, 온도, 압력의 관계를 정리한 식을 이상 기체 방정식이라고 한다. 기체 1몰은 0°C , 1기압에서 22.4L의 부피를 차지하므로 이를 대입하면 R 값을 구할 수 있다. 이 R 를 기체 상수라고 한다. 또한, 서로 반응하지 않는 두 가지 이상의 기체가 혼합되어 있을 때 혼합 기체를 이루는 각 기체의 압력을 부분 압력이라고 한다. 혼합 기체의 전체 압력이 각 성분 기체의 부분 압력의 합과 같다는 것을 부분 압력 법칙이라고 한다.
- (다) 용질과 용매가 균일하게 섞인 혼합물을 용액이라고 한다. 용액에서 일정량의 용매 또는 용액에 대한 용질의 비율을 농도라고 하는데, 농도가 높을수록 같은 양의 용액에 들어 있는 용질의 양이 많다. 용액 1L에 녹아 있는 용질의 몰수를 몰 농도라고 하며 단위는 M 또는 mol/L를 사용한다. 용매 1kg에 녹아 있는 용질의 몰수를 몰랄 농도라고 하며 단위는 m 또는 mol/kg을 사용한다.
- (라) 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮는데 이를 어는점 내림(ΔT_f)이라고 한다. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 어는점 내림은 용질의 종류에는 관계없고 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다. K_f 는 몰랄 내림 상수로 용액의 농도가 1 m 일 때 어는점 내림을 뜻하며 이 값은 용질의 종류와 관계없이 용매의 종류에 따라 달라진다.

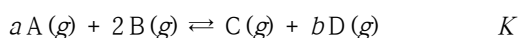
$$\Delta T_f = T_f - T_f' = K_f \cdot m$$

(T_f : 용매의 어는점, T_f' : 용액의 어는점)

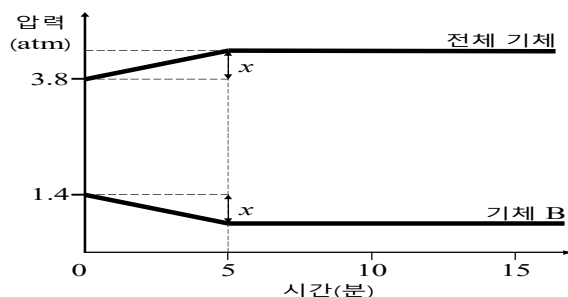
(마) 물질의 입자를 선택적으로 통과시키는 얇은 막을 반투막이라고 하며, 용매는 같지만 농도가 서로 다른 두 용액이 반투막을 사이에 두고 있을 때, 농도가 낮은 용액에서 농도가 높은 용액 쪽으로 용매 입자가 이동하는 현상을 삼투 현상이라고 한다. 이때 반투막에 작용하는 압력이 삼투압이다. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압(Π)은 용매나 용질의 종류와 관계없이 용액의 몰 농도(C)와 절대 온도(T)에 비례한다. 이를 반트호프 법칙이라고 하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Pi = CRT \quad (R: \text{기체 상수})$$

[문제 4-1] 다음은 기체 A와 B가 반응하여 기체 C와 D를 생성하는 반응의 화학 반응식과 온도 T 에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



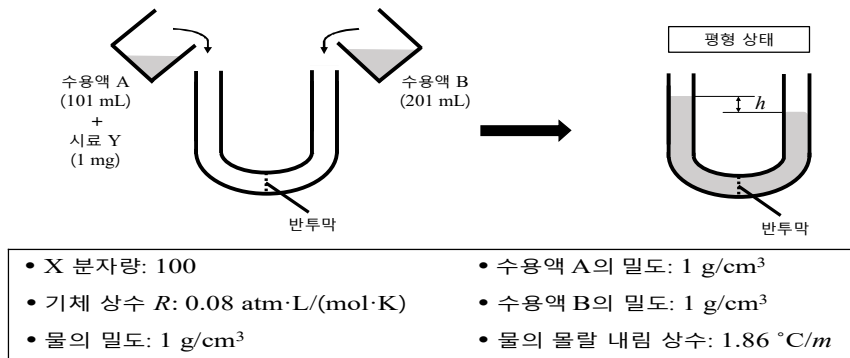
일정 부피의 반응 용기에 기체 A와 B를 넣은 후, 용기 내 전체 기체의 압력과 기체 B의 압력 변화를 관찰하였다. 아래의 그림과 같이 5분 후 평형에 도달하였고 기체 B의 압력이 줄어드는 만큼 전체 압력은 증가하였다. 또한, 평형 상태에서 A의 압력은 D의 압력의 2배이고 B의 압력은 C의 압력의 5배라고 할 때, 제시문 (가)와 (나)에 근거하여 K 를 논리적으로 구하시오. (단, $RT = 10 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}$ 이다.) [15점]



[문제 4-2] 비휘발성, 비전해질 용질 X가 용해된 수용액 A 101 mL와 수용액 B 201 mL가 있다. 수용액 A의 어는점이 0.186°C 내려갔고 수용액 B의 어는점은 0.093°C 내려갔다. 반투막이 설치된 U자관 왼쪽에는 수용액 A에 비휘발성, 비전해질 시료 Y를 1 mg 첨가하여 완전히 녹인 후 전부 넣어 주었고, U자관 오른쪽에는 수용액 B를 전부 넣어 주었다. 충분한 시간이 지난 후

평형 상태에서 높이 차 h 로부터 삼투압을 측정하였더니 300 K 에서 $\frac{1}{1510}$ 기압이었다. 제시문 (다), (라), (마)에 근거하여 시료 Y의 분자량을 구하시오. (단, X와 Y는 서로 반응하지 않고, Y의 용해는 수용액 A의 부피에 영향을 주지 않는다. 삼투압 차이로 이동한 용매의 부피는 전체 부피에 비해 무시할 만큼 작고, 증발 및 온도 변화에 따른 수용액의 부피 변화는 무시한다.)

[15점]



3. 출제 의도

본 논술 고사에서는 고등학교 화학 교과과정의 전반적인 내용을 평가하고자 하였다. 화학 I에서 다루는 화학 반응식을 이해하고 화학 반응에서 반응물과 생성물의 양적관계에 대한 이해도를 평가하고자 하였고 몰랄농도와 몰농도의 상관관계에 대한 이해도와 이로부터 물질의 분자량에 대한 이해도를 평가하고자 하였다. 화학 II에서 다루는 이상 기체 방정식과 부분 압력의 법칙의 상관관계에 대해 바르게 이해하고 화학반응식을 완성할 수 있는지에 대해서 평가하고자 하였다. 또한 ‘어는점 내림’과 반트호프 법칙으로 구할 수 있는 삼투압의 이해도를 평가하고자 하였다. 몰랄농도와 몰농도의 관계를 어는점 내림으로부터 구하고 이를 삼투압에 적용하는 통합적 성취도를 평가하고자 하였다.

문제 4-1은 화학 반응이 일어나면서 발생하는 기체와 남아있는 고체와의 동적 평형상태를 이해하고 이를 압력과 연결해서 완전한 화학 반응식을 제시할 수 있는 능력에 대해 평가하고자 하였다. 문제 4-2는 제시문에서 제공하는 정보를 정확하게 숙지하여, 수용액에서의 용질과 용매의 관계를 이해해 몰농도와 몰랄농도 개념에 대한 종합적인 이해도를 평가하고자 하였다. 또한 비휘발성 비전해질 용질이 녹아있는 용액에서 추가적인 시료를 첨가해 주었을 때 농도의 차이 때문에 발생하는 어는점 내림 현상과 몰랄농도의 상관관계를 이해하고 몰농도의 차이로 발생하는 삼투압에 대한 이해도를 통합적으로 평가하고자 하였다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 근거

‘교육부 고시 제 2015-74호[별책 9] 과학과 교육과정’을 바탕으로 작성

영역별 내용	
제시문	(가) 화학 I. (1) 화학의 첫걸음 (146쪽) [12화학 I 01-04] 여러 가지 반응을 화학 반응식으로 나타내고 이를 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 설명할 수 있다.
	화학 I. (4) 역동적인 화학 반응 (150쪽) [12화학 I 04-01] 가역 반응에서 동적 평형 상태를 설명할 수 있다.
	화학 II. (1) 물질의 세 가지 상태와 용액 (157쪽) [12화학 II 01-01] 기체의 온도, 압력, 부피, 몰수 사이의 관계를 설명할 수 있다.
	화학 II. (1) 물질의 세 가지 상태와 용액 (157쪽) [12화학 II 01-03] 혼합 기체에서 몰 분율을 이용하여 분압의 의미를 설명할 수 있다.
	(다) 화학 I. (4) 화학의 첫걸음 (146쪽) [12화학 I 01-05] 용액의 농도를 몰 농도로 표현할 수 있다.
	(라) 화학 II. (1) 물질의 세 가지 상태와 용액 (157쪽) [12화학 II 01-09] 묽은 용액의 증기압 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림을 이해하고, 일상생활의 예를 들 수 있다.

	(마)	화학 II. (1) 물질의 세 가지 상태와 용액 (157쪽) [12화학 II 01-010] 삼투 현상을 관찰하고, 삼투압을 설명할 수 있다.
하위문항	4-1	제시문 (가)-(나)에 근거
	4-2	제시문 (다)-(마)에 근거

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	최미화 외 5인	(주)미래엔	2020	제시문 (가): p. 36-41 제시문 (나): p. 32-33 제시문 (다): p. 44-45
	화학 I	노태희 외 6인	(주)천재교육	2020	제시문 (가): p. 30-38 제시문 (나): p. 27-28 제시문 (다): p. 40-41
	화학 I	홍훈기 외 6인	(주)교학사	2020	제시문 (가): p. 38-42 제시문 (나): p. 32-33 제시문 (다): p. 43-45
	화학 I	하윤경 외 5인	(주)금성출판사	2019	제시문 (가): p. 34-39 제시문 (나): p. 32-33 제시문 (다): p. 40-43
	화학 I	강대훈 외 3인	(주)와이비엠	2020	제시문 (가): p. 46-57 제시문 (나): p. 37-38 제시문 (다): p. 41-43
	화학 I	황성용 외 3인	동아출판(주)	2020	제시문 (가): p. 39-45 제시문 (나): p. 33-35 제시문 (다): p. 36-38
	화학 I	이상권 외 7인	(주)지학사	2019	제시문 (가): p. 34-39 제시문 (나): p. 31-33 제시문 (다): p. 40-42
	화학 I	박종석 외 7인	(주)비상교육	2020	제시문 (가): p. 34-39 제시문 (나): p. 31-33 제시문 (다): p. 40-42
	화학 II	홍훈기 외 6인	(주)교학사	2020	제시문 (라): p. 55-63 제시문 (마): p. 66-67
	화학 II	장낙한 외 9명	(주)상상아카데미	2020	제시문 (라): p. 56-67 제시문 (마): p. 68-70
	화학 II	노태희 외 6인	(주)천재교육	2019	제시문 (라): p. 50-56 제시문 (마): p. 58-60
	화학 II	이상권 외 7명	(주)지학사	2019	제시문 (라): p. 49-56 제시문 (마): p. 58-60
	화학 II	최미화 외 5인	(주)미래엔	2020	제시문 (라): p. 54-55, 60-63 제시문 (마): p. 64-67
	화학 II	박종석 외 7인	(주)비상교육	2020	제시문 (라): p. 40-41, 44-45 제시문 (마): p. 46-48

5. 문항 해설

제시문의 내용은 화학 반응식과 반응에 관여한 물질의 양적 관계, 이상 기체 방정식, 분자량과 몰농도, 몰랄농도의 관계, 어는점 내림, 삼투압을 설명하는 반트호프 법칙 등 고등학교 화학 I, II 교과과정에서 중요하게 다루어지는 내용으로 모두 교육과정 범위에 포함되어 있다. 이 문항에서는 위에서 언급한 여러 가지 과학적 개념들을 명확하게 이해하여 주어진 결과를 종합적으로 분석하고 그 관계를 도출할 수 있는지 평가하고자 한다.

하위 문항 1은 제시문의 내용을 명확하게 이해하여 기체 반응의 화학 반응식으로부터 반응 전후의 몰수 변화를 예측하고 평형 상태에 도달했을 때 동적 평형상태를 이해하고 기체의 압력 변화를 통해 평형 상수와의 관계를 바르게 도출하는 능력을 평가하는 문제이다. 하위 문항 2는 물의 몰랄 내림 상수로부터 물질의 몰랄농도와 몰농도의 관계를 도출해내고, 용질의 농도 차에 의해 생기는 용질의 이동을 삼투압과 연계하여 물질의 분자량을 찾아내는 문제이다. 문제에 주어진 여러 가지 요소들의 관계를 도출하는 능력을 평가한다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-1	<p>[채점요소] 평형 상태에 도달했을 때, 화학 반응식을 토대로 각 기체 압력의 변화량을 구할 수 있는가? 각 기체 압력의 변화로부터 전체 압력의 증가량을 구할 수 있는가? 전체 기체 압력 증가량을 이용하여 화학반응식을 완성하고 평형 상수식을 도출할 수 있는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조 [채점준거] 다음과 같이 3단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다. 1. 평형상태까지의 전체 압력 증가량 x가 B의 부분 압력의 감소량과 같다는 것으로부터 $b = a + 3$을 바르게 구하면 +5점 2. x 값이 0.4임을 바르게 구하면 +5점 3. 평형상수식을 바르게 도출하고 평형 상수 K를 바르게 구하면 +5점 ※ 계산을 잘못하면 -1점. ※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 15점 이내에서 ± 2.0점 추가 점수 부여 가능함.</p>	10
4-2	<p>[채점요소] 물의 몰랄 내림 상수를 이용하여 몰랄농도로부터 몰농도를 도출하고 삼투압 공식을 이용하여 물질의 분자량을 계산할 수 있는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조 [채점준거] 다음과 같이 3단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다. 1. 수용액 A와 B의 몰랄농도를 바르게 구하면 +3점 2. 몰랄농도로부터 수용액 A와 B의 몰농도를 바르게 구하면 +6점 3. 삼투압 공식을 이용하여 Y의 분자량을 바르게 구하면 +6점 ※ 계산을 잘못하면 -2점. ※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 15점 이내에서 ± 2.0점 추가 점수 부여 가능함.</p>	20

7. 예시 답안

[문제 4-1 예시답안]

▶ 기체 반응의 화학 반응식으로부터 반응 전후의 몰수 변화를 알 수 있다. 이상 기체 방정식

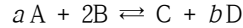
$$PV = nRT \text{로부터 각 기체의 몰수는 } n = \frac{PV}{RT} \text{로 구할 수 있고, 온도와 부피가 일정하기 때문에}$$

몰수는 기체의 압력에 비례하게 된다.

반응 초기에는 기체 A와 B만 존재하므로 $P_0 = P_{A0} + P_{B0}$ 이고, 주어진 그래프로부터

$P_0 = 3.8 \text{ atm}$, $P_{B0} = 1.4 \text{ atm}$ 임을 알 수 있기 때문에, $P_{A0} = 2.4 \text{ atm}$ 임을 알 수 있다. 평형 상태에 도달했을 때 B의 부분 압력이 x 만큼 감소하였기 때문에 평형 상태의 각 기체 부분 압력은

다음과 같다.



	A	B	C	D
초기 상태 압력	2.4	1.4	0	0
평형 상태 압력	$2.4 - \frac{a}{2}x$	$1.4 - x$	$\frac{x}{2}$	$\frac{b}{2}x$

평형 상태에서 전체 압력은

$$P_1 = (2.4 - \frac{a}{2}x) + (1.4 - x) + \frac{x}{2} + \frac{b}{2}x = \frac{(b-a-1)}{2}x + 3.8 \text{ atm}$$

이고 반응 초기의 전체

압력은 $P_0 = 3.8 \text{ atm}$ 이므로, 전체 압력의 증가량은 $\Delta P = P_1 - P_0 = \frac{(b-a-1)}{2}x \text{ atm}$

이다. 그래프에서 전체 압력의 증가량이 $x \text{ atm}$ 이라고 주어졌기 때문에 $\frac{(b-a-1)}{2}x = x$ 이고,

따라서 $b = a + 3$ 이다.

▶ 평형 상태에서 $P_{B1} = 5P_{C1}$ 라고 주어졌기 때문에 $P_{B1} = (1.4 - x) = 5P_{C1} = 5 \times \frac{x}{2}$ 이고,

이 식을 풀면 $x = 0.4$ 임을 구할 수 있다.

▶ 평형 상태에서 $P_{A1} = 2P_{D1}$ 라고 주어졌기 때문에

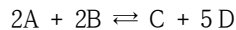
$$P_{A1} = 2.4 - \frac{a}{2}x = 2P_{D1} = 2 \times \frac{b}{2} \times x$$

이고, 위에서 구한 $b = a + 3$, $x = 0.4$ 를 대입하면

$$2.4 - \frac{a}{2} \times 0.4 = 2 \times \frac{(a+3)}{2} \times 0.4$$

이 된다. 이 식을 풀면 $a = 2$ 이고, $b = a + 3 = 5$ 이다.

정리하면 반응 용기 안에서 일어나는 화학 반응식은 다음과 같다.



따라서 이 화학 반응식의 농도로 정의되는 평형 상수는 $K = \frac{[C][D]^5}{[A]^2[B]^2}$ 로 나타낼 수 있다.

▶ a, b, x 값으로부터 평형 상태에서의 각 기체의 부분 압력을 구할 수 있고 이를 정리하면 다음과 같다.

	A	B	C	D
초기 상태 압력	2.4	1.4	0	0
평형 상태 압력	$2.4 - 0.4 = 2.0$	$1.4 - 0.4 = 1.0$	0.2	1

따라서 농도로 정의되는 평형 상수 K 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K = \frac{[C][D]^5}{[A]^2[B]^2} = \frac{(\frac{P_C}{RT})(\frac{P_D}{RT})^5}{(\frac{P_A}{RT})^2(\frac{P_B}{RT})^2} = \frac{P_C P_D^5}{P_A^2 P_B^2} \frac{1}{(RT)^2} = \frac{0.2 \times 1^5}{2^2 \times 1^2} \times \frac{1}{10^2} = \frac{1}{2000} = 5 \times 10^{-4}$$

[문제 4-2 예시답안]

- ▶ U자관 왼쪽에 수용액 A 101 mL를 넣어주고, U자관 오른쪽에 수용액 B 201 mL를 넣어주면 부피 차이로 인한 중력 차가 발생하므로, 용매가 U자관 오른쪽 201 mL에서 왼쪽 101 mL 쪽으로 이동하게 된다.

중력에 의한 압력 차이가 없어질 때의 부피가 $\frac{201+101}{2} \text{ mL} = 151 \text{ mL} = 0.151 \text{ L}$ 이다

그런데 Y를 첨가한 수용액 A와 Y를 첨가하지 않은 수용액 B의 농도 차이 때문에 발생하는 삼투압이 추가적인 용매의 이동을 발생시킨다. 이때, 삼투압의 차이가 두 용액의 높이 차 h 를 결정하게 된다. 시료 Y를 첨가한 수용액 A와 첨가하지 않은 수용액 B의 삼투압의 차이를 이용해, 추가한 시료 Y의 분자량을 구할 수 있다.

- ▶ 수용액 A에 용해된 용질 X의 몰랄 농도를 어는점 내림을 이용해 구하면 다음과 같다.

$$\Delta T_f = T_f - T'_f = K_f \cdot m$$

$$0.186^\circ\text{C} = 1.86^\circ\text{C}/m \times m_A$$

그러므로 수용액 A에 용해된 X의 몰랄 농도는 $m_A = 0.1 \text{ mol/kg}$ 이다.

수용액 A에 용해된 X의 몰수를 a 라고 하면 다음의 식이 성립한다.

$$m_A = \frac{a \text{ mol}}{(0.101 - 0.1a) \text{ kg}} = 0.1 \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \quad (0.101 \text{ kg: 수용액 A의 질량, } 0.1a: \text{ 용질 X의 질량})$$

따라서, 수용액 A에 용해된 X의 몰수 a 는 0.01 mol이다.

- ▶ 수용액 B에 용해된 용질 X의 몰랄 농도를 어는점 내림을 이용해 구하면 다음과 같다.

$$\Delta T_f = T_f - T'_f = K_f \cdot m$$

$$0.093^\circ\text{C} = 1.86^\circ\text{C}/m \times m_B$$

따라서, 수용액 B에 용해된 X의 몰랄 농도는 $m_B = 0.05 \text{ mol/kg}$ 이다.

B에 용해된 X의 몰수를 b 라고 하면 다음의 식이 성립한다.

$$m_B = \frac{b \text{ mol}}{(0.201 - 0.1b) \text{ kg}} = 0.05 \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \quad (0.201 \text{ kg: 수용액 B의 질량, } 0.1b: \text{ 용질 X의 질량})$$

그러므로 수용액 B에 용해된 X의 몰수 b 는 0.01 mol이다.

- ▶ 수용액 A와 B에 용해된 용질 X의 몰수가 같으므로, X로 인해 발생하는 삼투압 차이는 없다. 따라서 시료 Y에 의한 삼투압의 차이로 높이 차 h 가 생긴다.

삼투압 공식 $\Pi = CRT$ 를 이용하여 시료 Y에 의한 삼투압을 구해보면 다음과 같다.

$$\Pi = \frac{0.001}{M_Y} \text{ mol} \times \frac{1}{0.151 \text{ L}} \times 0.08 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \times 300 \text{ K}$$

문제에 주어진 삼투압의 차이가 $\frac{1}{1510} \text{ atm}$ 이므로, 다음의 식이 성립한다.

$$\frac{1}{1510} \text{ atm} = \frac{0.001}{M_Y} \text{ mol} \times \frac{1}{0.151 \text{ L}} \times 0.08 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \times 300 \text{ K}$$

따라서, Y의 분자량 $M_Y = 240$ 이다.

문항카드 22

1. 일반정보

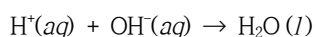
유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	수시 모집 논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 II(화학) / 문제 [4-1], 문제 [4-2]	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	화학 반응식, 양적 관계, 중화 반응, 반응 속도, 반감기
예상 소요 시간	30분	

2. 문항 및 제시문

제시문

(가) 화학 반응은 본래의 물질과 성질이 전혀 다른 새로운 물질이 생성되는 현상이다. 화학 반응이 일어날 때 반응물과 생성물의 관계를 화학식을 이용하여 나타낸 것을 화학 반응식이라고 한다. 화학 반응에 참여한 물질 사이의 계수비는 곧 몰비이므로, 이를 통해 반응물과 생성물의 질량비를 계산할 수 있다. 즉 화학 반응식을 통해 반응물과 생성물의 종류, 몰비, 질량비, 기체 부피비 등을 알 수 있다.

(나) 산의 수용액에는 수소 이온(H^+)과 음이온이 들어 있고, 염기의 수용액에는 수산화 이온(OH^-)과 양이온이 들어 있다. 산 수용액과 염기 수용액을 섞으면 H^+ 과 OH^- 이 반응하여 물(H_2O)을 생성하고, 산의 음이온과 염기의 양이온이 반응하여 염을 생성하는데, 이를 중화 반응이라고 한다. 실제 반응에 참여한 이온만으로 나타낸 화학 반응식을 알짜 이온 반응식이라고 하며, 이를 이용하여 중화 반응을 나타내면 다음과 같다.



중화 반응이 완전히 일어나려면 산이 내놓는 H^+ 과 염기가 내놓는 OH^- 의 개수가 같아야 한다. 따라서 1몰당 n 몰의 H^+ 을 내놓는 산과 1몰당 n' 몰의 OH^- 을 내놓는 염기가 반응하여 완전히 중화할 때, 일반적으로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$nMV = n'M'V'$$

(M : 산의 몰 농도, V : 산의 부피, M' : 염기의 몰 농도, V' : 염기의 부피)

(다) 1801년 영국의 과학자 돌턴은 서로 반응하지 않는 두 종류 이상의 기체가 섞여 있을 때 혼합 기체가 나타내는 전체 압력은 각 기체가 나타내는 압력의 합과 같다는 사실을 알아냈다. 이를 부분 압력 법칙이라고 한다. 혼합 기체의 전체 압력을 P , 각 기체의 분압을 P_A , P_B , P_C , ...라고 하면 부분 압력 법칙은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P = P_A + P_B + P_C + \dots$$

혼합물에서 각 물질의 양을 전체 양으로 나눈 값을 몰 분율이라고 한다. 혼합 기체에서 각 기체의 몰 분율을 각각 X_A , X_B 라고 하면 각 기체의 분압은 각 기체의 몰

분율에 비례한다.

$$P_A = X_A P, P_B = X_B P$$

(라) A와 B가 반응하여 C와 D가 생성되는 일반적인 화학 반응에서 반응 속도(v)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

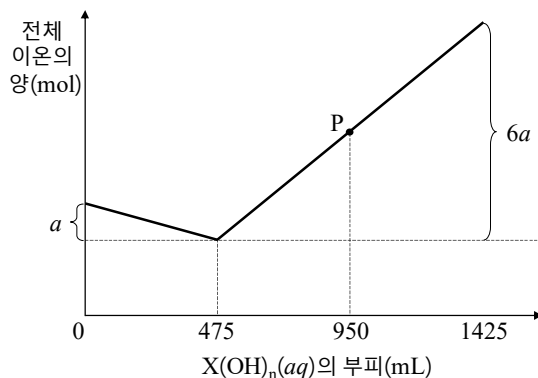


$$v = k[A]^m[B]^n$$

이와 같이 반응 속도와 반응물의 농도 사이의 관계를 나타낸 식을 반응 속도식이라고 한다. 이때 k 는 반응 속도 상수라고 불리는 비례 상수로, 반응물의 농도와는 관계없고 온도 및 촉매에 따라 변한다. 반응 속도식에서 농도의 지수인 m 과 n 을 반응 차수라고 한다. $m=1$ 이면 이 반응은 A에 대하여 1차 반응, $n=2$ 이면 B에 대하여 2차 반응이며, $(m+n)$ 을 이 반응의 전체 반응 차수라고 한다. 반응이 진행됨에 따라 반응물의 농도는 감소하며, 반응물의 농도가 감소하는 경향은 반응 차수에 따라 달라진다. 특히 반응물의 농도가 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간을 반감기라고 하는데, 반감기는 반응 차수에 따라 다른 특성을 나타낸다.

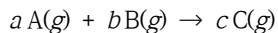
하위 문항 1 [문제 4-1] <15점>

[문제 4-1] 아래 그림은 25 °C에서 HCl(aq) 50 mL에 임의의 강염기 X(OH)_n(aq)을 조금씩 넣었을 때 넣어 준 X(OH)_n(aq)의 부피에 따른 혼합 용액 속 전체 이온의 양을 나타낸 것이다. 아래 그림과 제시문 (가)와 (나)에 근거하여 넣어 준 강염기의 화학식을 제시하시오. 또한, P 지점에서의 pH가 13이라고 할 때 HCl(aq)의 초기 농도와 넣어 준 X(OH)_n(aq)의 농도를 구하시오. (단, 온도는 일정하고, 25 °C에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1.0×10^{-14} 이며, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 용액의 부피의 합과 같다.) [15점]



하위 문항 2 [문제 4-2] <20점>

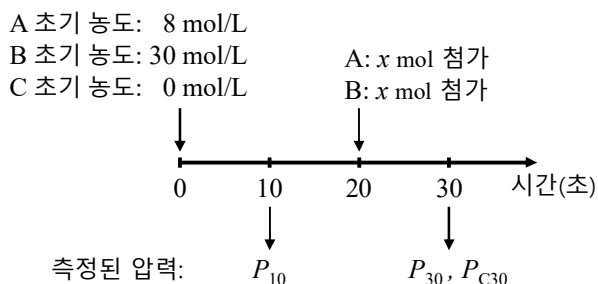
[문제 4-2] 다음은 임의의 기체 A와 기체 B가 반응하여 기체 C를 생성하는 화학 반응식이다.



이 반응은 A에 대한 1차 반응이며 반감기는 10초이다. 부피가 0.5 L이고 온도가 300 K로 일정하게 유지되는 강철 용기에서 서로 다른 초기 반응 조건으로 실험하여 그 결과를 아래의 표에 나타내었다.

실험	반응 전 초기 농도 (mol/L)			10초가 지난 후 A의 몰 분율
	A	B	C	
I	8	30	0	$\frac{2}{15}$
II	16	30	0	$\frac{4}{15}$

위의 두 실험 중 실험 I에서 반응을 시작한 지 20초가 되었을 때 반응 용기 안에 A와 B를 각각 x mol씩 첨가하였다. 실험 I에서 반응을 시작한 지 10초가 되었을 때 반응 용기 내부의 전체 압력이 P_{10} , 30초가 되었을 때 반응 용기 내부의 전체 압력과 C의 압력이 각각 P_{30} , P_{C30} 이었다. P_{10} 과 P_{30} 은 같고 P_{C30} 이 120 기압일 때 제시문 (다)와 (라)에 근거하여 x 를 구하고 화학 반응식을 완성하시오. (단, 기체 상수 R 는 $0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 이다.) [15점]



3. 출제 의도

본 논술 고사에서는 고등학교 ‘화학 I’과 ‘화학 II’ 교육과정에 포함된 기본 개념의 통합적인 이해도 및 과학적 사고력을 평가하기 위한 문제를 다루며 화학 반응에서의 양적 관계, 산·염기의 중화 반응, 혼합 기체의 부분 압력 법칙, 반응 속도 및 반감기 등 고교 화학 교과 과정에서 핵심적으로 다루어지고 있는 다양한 내용을 명확하게 이해하고 통합적으로 사고할 수 있는지 물어보고자 한다. 산·염기 중화 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있고, 화학 반응에서의 양적 관계를 이용하여 중화 반응에서의 전체 이온의 변화량을 이해하여야 한다. 또한, 반응물과 생성물이 모두 기체이고 반감기가 주어진 1차 반응에서, 시간에 따른 반응물과 생성물의 양을 분석적으로 이해하고 혼합 기체의 부분 압력 법칙과 연계지어 화학 반응식을 완성할 수

있어야 한다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 근거

‘교육부 고시 제 2015-74호[별책 9] 과학과 교육과정’을 바탕으로 작성

영역별 내용		
제시문	(가)	화학 I (1) 화학의 언어 (146쪽) [12화학 I 01-04] 여러 가지 반응을 화학 반응식으로 나타내고 이를 이용하여 화학 반응에서의 양적 관계를 설명할 수 있다.
	(나)	화학 I (4) 역동적인 화학 반응 (150쪽) [12화학 I 04-03] 산·염기 중화 반응을 이해하고, 산·염기 중화 반응에서의 양적 관계를 설명할 수 있다.
	(다)	화학 II (1) 물질의 세 가지 상태와 용액 (157쪽) [12화학 II 01-03] 혼합 기체에서 물 분율을 이용하여 분압의 의미를 설명할 수 있다.
	(라)	화학 II (3) 반응 속도와 촉매 (160쪽) [12화학 II 03-01] 화학 반응의 속도가 다양하다는 것을 알고, 화학 반응 속도를 계산할 수 있다. [12화학 II 03-03] 1차 반응의 반감기를 구할 수 있다.
하위문항	4-1	제시문 (가), (나)의 내용과 동일
	4-2	제시문 (다), (라)의 내용과 동일

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	홍훈기 외 6인	(주)교학사	2020	제시문 (가): p. 39-44 제시문 (나): p. 161-168
	화학 I	최미화 외 5인	(주)미래엔	2020	제시문 (가): p. 36-41 제시문 (나): p. 164-169
	화학 I	노태희 외 6인	(주)천재교육	2019	제시문 (가): p. 30-36 제시문 (나): p. 173-177
	화학 I	박종석 외 7인	(주)비상교육	2020	제시문 (가): p. 34-39 제시문 (나): p. 159-161
	화학 I	강대훈 외 3인	(주)와이비엠	2020	제시문 (가): p. 47-53 제시문 (나): p. 185-187
	화학 I	황성용 외 3인	(주)동아출판	2020	제시문 (가): p. 39-43 제시문 (나): p. 175-178
	화학 I	이상권 외 7인	(주)지학사	2019	제시문 (가): p. 34-39 제시문 (나): p. 168-171

화학 I	하윤경 외 5인	(주)금성출판사	2019	제시문 (가): p. 34-38 제시문 (나): p. 162-165
화학 II	홍훈기 외 6인	(주)교학사	2020	제시문 (다): p. 26-27 제시문 (라): p. 136-142
화학 II	최미화 외 5인	(주)미래엔	2020	제시문 (다): p. 26-27 제시문 (라): p. 144-147
화학 II	노태희 외 6인	(주)천재교육	2019	제시문 (다): p. 21-22 제시문 (라): p. 142-146
화학 II	박종석 외 7인	(주)비상교육	2020	제시문 (다): p. 18-19 제시문 (라): p. 123-125
화학 II	이상권 외 7인	(주)지학사	2019	제시문 (다): p. 23-24 제시문 (라): p. 150-153
화학 II	장낙한 외 9인	(주)상상아카데미	2020	제시문 (다): p. 27-30 제시문 (라): p. 151-154

5. 문항 해설

제시문의 내용은 화학 반응에서의 양적 관계, 산·염기의 중화 반응, 혼합 기체의 부분 압력 법칙, 화학 반응 속도 및 반감기에 대한 것으로 고등학교 교과서 ‘화학 I’ 과 ‘화학 II’ 의 내용을 기반으로 하였으며 고등학교 과학과 교육과정 범위 내에 포함되어 있다. 하위 문항 [문제 4-1]과 [문제 4-2]에서는 이 제시문의 내용을 근거로 하여 고등학교 화학 교과 과정에서 중요하게 다루어지는 여러 가지 개념을 연계하여 통합적으로 이해하고 있는지 물어본다.

하위 문항 첫 번째 [문제 4-1]은 산과 염기의 중화 반응에서 물이 생성된다는 것을 알고, 중화 반응에서의 양적 관계를 이용하여 전체 이온의 양이 어떻게 변화할지 분석하고 이해하는지 물어보는 문제이다. 강산에 강염기를 조금씩 넣어주는 경우, 중화점 전과 후로 넣어준 염기의 부피에 따른 전체 이온의 양이 변화하는 정도가 달라진다는 것을 이해하여 중화점을 찾아내어야 한다. 그리고 중화점에서 수소 이온의 농도와 수산화 이온의 농도가 같다는 것을 알고, 이를 바탕으로 산과 염기의 농도를 계산할 수 있어야 한다.

하위 문항 두 번째 [문제 4-2]는 1차 반응이면서 반응물과 생성물이 모두 기체인 화학 반응에서, 1차 반응의 반응 속도와 혼합 기체의 부분 압력 법칙을 연계하여 통합적으로 사고할 수 있는지 물어보는 문제이다. 1차 반응의 경우 반감기가 지날 때마다 반응물이 반씩 줄어든다는 것을 알고, 이를 이용하여 시간에 따른 반응물과 생성물의 양적 관계를 도출해 낼 수 있어야 한다. 또한, 반응물을 반응 도중 첨가한 경우에 반응물과 생성물의 양이 각각 어떻게 변화하는지 반감기와 화학 반응의 양적 관계를 이용하여 구해보고, 이를 부분 압력 법칙으로 구한 생성물의 몰 분율과 연계하여 문제에서 주어진 화학 반응식을 완성할 수 있어야 한다.

6. 채점 기준

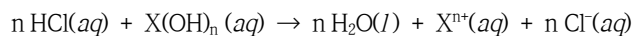
하위 문항	채점 기준	배점
4-1	<p>[채점 요소] 산·염기 중화 반응에서의 양적 관계를 이해하여, HCl(aq)에 넣어준 강염기 $\text{X(OH)}_n(\text{aq})$의 부피에 따른 전체 이온의 변화량으로부터 염기의 화학식을 찾아내고, HCl(aq)의 초기 농도와 넣어준 $\text{X(OH)}_n(\text{aq})$의 농도를 알아낼 수 있는가?</p> <p>[예시 답안] 7번 참조</p> <p>[채점 준거] 다음과 같이 4단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p>	15

	<p>1) 중화점 전후의 전체 이온 수의 변화량을 고려하여 $n = 2$임을 보이면 +7점. 2) 염산의 초기 농도가 2 M임을 바르게 구하면 +4점. 3) 넣어준 염기의 농도가 $\frac{2}{19}$ M임을 바르게 구하면 +4점.</p> <p>※ 계산을 잘못하면 -1점. ※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 15점 이내에서 ± 2점 추가 점수 부여 가능함.</p>	
4-2	<p>[채점 요소] 1차 반응이면서 반응물과 생성물이 모두 기체인 화학 반응의 양적 관계를 이해하고 반감기와 혼합 기체의 부분 압력 법칙을 이용하여 화학 반응식을 완성할 수 있는가?</p> <p>[예시 답안] 7번 참조</p> <p>[채점 준거] 다음과 같이 3단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p> <p>1) 1차 반응의 시간에 따른 농도 변화를 이해하여 반응 계수 a, b, c 간의 관계를 바르게 제시하면 +5점. (실험 I, II 중 하나만 사용해도 무방함) 2) 1차 반응의 양적 관계를 이해하여 첨가해준 몰수 x를 바르게 계산하면 +6점. 3) 부분 압력 법칙으로 구한 C의 몰 분율을 이용하여 화학 반응식을 바르게 완성하면 +4점.</p> <p>※ 계산을 잘못하면 -1점. ※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 15점 이내에서 ± 2점 추가 점수 부여 가능함.</p>	15

7. 예시 답안

[화학, 문제 4-1 예시답안]

- ▶ $\text{HCl}(aq)$ 과 $\text{X}(\text{OH})_n(aq)$ 의 중화 반응에 대한 화학 반응식은 다음과 같다.



- ▶ 중화점 전에는 넣어준 $\text{X}(\text{OH})_n$ 하나당 1개의 X^{n+} 과 n 개의 OH^- 이 생기고, n 개의 물이 생성되면서 n 개의 H^+ 과 n 개의 OH^- 이 사라진다. 따라서 넣어준 $\text{X}(\text{OH})_n$ 하나당 총 이온 수의 변화량($\Delta N_{\text{전}}$)은 $(1+n) - (n+n) = 1-n$ 이다.

반면, 중화점 후에는 넣어준 $\text{X}(\text{OH})_n$ 하나당 1개의 X^{n+} 과 n 개의 OH^- 이 생기고, 물이 더 이상 생성되지 않기 때문에 사라지는 이온은 없다. 따라서 넣어준 $\text{X}(\text{OH})_n$ 하나당 총 이온 수의 변화량($\Delta N_{\text{후}}$)은 $(1+n) - 0 = 1+n$ 이다

- ▶ 문제에서 주어진 그래프로부터 중화점 전과 후에서 넣어준 $\text{X}(\text{OH})_n$ 1몰당 총 이온 수의 변화량은 다음과 같다.

$$\text{전: 넣어준 } \text{X}(\text{OH})_n \text{ 1몰당 총 이온 수의 변화량} = \frac{-a \text{ 몰}}{[\text{X}(\text{OH})_n] \times 0.475 \text{ L}}$$

$$\begin{aligned} \text{후: 넣어준 } \text{X}(\text{OH})_n \text{ 1몰당 총 이온 수의 변화량} &= \frac{6a \text{ 몰}}{[\text{X}(\text{OH})_n] \times (1.425 - 0.475) \text{ L}} \\ &= \frac{3a \text{ 몰}}{[\text{X}(\text{OH})_n] \times 0.475 \text{ L}} \end{aligned}$$

즉, 같은 몰수의 $\text{X}(\text{OH})_n$ 이 추가될 때 중화점 전에는 총 이온 수가 감소하고, 중화점 후에는 총 이온 수가 증가하는데 그 변화량이 중화점 후가 중화점 전에 비교하여 3배 크다는 것을 알 수

있다.

따라서 $\frac{\Delta N_{\text{후}}}{\Delta N_{\text{전}}} = \frac{1+n}{1-n} = -3$ 이고, 이 식을 풀면 $n = 2$ 임을 알 수 있으므로 넣어준 강염기의 화학식은 $X(\text{OH})_2$ 이다.

- ▶ P 지점에서의 pH가 13이므로 $[\text{H}^+] = 10^{-13} \text{ mol/L}$ 이고, $[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{[\text{H}^+]} = 0.1 \text{ mol/L}$ 이다. P 지점에서의 용액의 부피는 $V_p = V_{\text{HCl}} + V_{X(\text{OH})_2} = 50 \text{ mL} + 950 \text{ mL} = 1000 \text{ mL}$ 이므로, 이때 OH^- 의 몰수는 다음과 같다.

$$n_{\text{OH}^-} = [\text{OH}^-] \times V_p = 0.1 \text{ mol/L} \times 1\text{L} = 0.1 \text{ mol}$$

중화점까지 추가된 OH^- 은 중화 반응으로 사라지기 때문에, 중화점에서부터 P 지점까지 추가된 OH^- 의 몰수가 0.1 mol 이라고 할 수 있다. 이때 들어간 $X(\text{OH})_2(aq)$ 의 부피는 $950 - 475 = 475 \text{ mL}$ 이므로 $X(\text{OH})_2(aq)$ 에는 부피 475 mL당 0.1 mol의 OH^- 이 존재한다.

한편, 중화점까지 $X(\text{OH})_2(aq)$ 는 475 mL가 들어갔기 때문에 중화된 OH^- 의 몰수가 0.1 mol이라는 것을 알 수 있다. 이는 초기에 존재한 H^+ 의 몰수와 같다. 따라서 $\text{HCl}(aq)$ 의 초기 몰 농도를 $x \text{ M}$ 이라고 할 때, 다음의 식이 성립한다.

$$x \text{ M} \times 0.05 \text{ L} = 0.1 \text{ mol}$$

위 식을 풀면 $x = 2$ 라는 것을 알 수 있으므로 $\text{HCl}(aq)$ 의 초기 농도는 2 M이다.

- ▶ $X(\text{OH})_2(aq)$ 의 몰 농도를 $y \text{ M}$ 이라고 할 때 중화점에서 다음과 같은 관계가 성립한다.

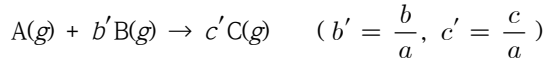
$$n_{\text{HCl}} M_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} = n_{X(\text{OH})_2} M_{X(\text{OH})_2} V_{X(\text{OH})_2}$$

$$1 \times 2 \text{ M} \times 0.05 \text{ L} = 2 \times y \text{ M} \times 0.475 \text{ L} \quad \therefore y = \frac{2}{19}$$

따라서 넣어준 $X(\text{OH})_2(aq)$ 의 농도는 $\frac{2}{19} \text{ M}$ 이다.

[화학, 문제 4-2 예시답안]

- ▶ 풀이 과정의 편의를 위해 주어진 반응식을 아래와 같이 변형한다.



- ▶ 각 실험에서 시간에 따라 변화하는 A, B, C의 몰 농도와 A의 몰 분율은 다음과 같다.

		A(g)	+	b'B(g)	→	c'C(g)	A의 몰분율
실험 I	반응 전 (M)	8		30		0	
	변화량 (M)	-4		-4b'		+4c'	
	10 초 후 (M)	4		30-4b'		4c'	$\frac{4}{34-4b'+4c'}$
실험 II	반응 전 (M)	16		30		0	
	변화량 (M)	-8		-8b'		+8c'	
	10 초 후 (M)	8		30-8b'		8c'	$\frac{8}{38-8b'+8c'}$

실험 I, II에서 10초가 지난 후 A의 몰 분율은 각각 $\frac{2}{15}$, $\frac{4}{15}$ 이다. 이를 이용하면 모든 실험에서 $b'-1=c'$ (혹은 $b-a=c$)의 관계식이 얻어지는 것을 알 수 있다.

- ▶ 새로운 식 $A(g) + b'B(g) \rightarrow (b'-1)C(g)$ 를 이용해 문제에서 묻고 있는 실험 I의 진행 상황에 따라 반응물과 생성물의 농도 변화를 표시하면 다음과 같다.

	A(g)	+	b'B(g)	→	(b'-1)C(g)
반응 전 (M)	8		30		0
변화량 (M)	-4		-4b'		+4(b'-1)
10 초 후 (M)	4		30-4b'		4(b'-1)
변화량 (M)	-2		-2b'		+2(b'-1)
20 초 후 (M)	2		30-6b'		6(b'-1)
A, B x mol 씩 첨가(M)	+2x		+2x		
첨가 후 (M)	2(1+x)		30-6b'+2x		6(b'-1)
변화량 (M)	-(1+x)		-b'(1+x)		+(b'-1)(1+x)
30 초 후 (M)	(1+x)		30-6b'+2x-b'(1+x)		6(b'-1)+(b'-1)(1+x)

반응을 시작한지 10초가 되었을 때 A의 농도는 4M이고, 이때 A의 몰분율은 $\frac{2}{15}$ 이므로 전체 농도는 30M이 된다.

반응을 시작한지 30초가 되었을 때 A, B, C의 전체 농도는 다음과 같다.

$$(1+x) + \{30-6b'+2x-b'(1+x)\} + \{6(b'-1)+(b'-1)(1+x)\} = 24+2x$$

10초에서의 전체 압력과 30초에서의 전체 압력이 같다고 했기 때문에 일정 온도에서 10초에서의 전체 농도와 30초에서의 전체 농도가 같다고 할 수 있다. 즉, $30=24+2x$ 이 된다.

따라서 20초에 첨가해 준 몰수 x는 3 mol이다.

▶ $x = 3$ 을 넣어 30초에서의 반응물과 생성물의 양을 정리하면 다음과 같다.

	$A(g)$	+	$b'B(g)$	→	$(b'-1)C(g)$
30 초 후 (M)	$\frac{1+3}{=4}$		$\frac{30-6b'+2\times 3-b'(1+3)}{=36-10b'}$		$\frac{6(b'-1)+(b'-1)(1+3)}{=10b'-10}$

30초에서의 전체 농도가 30 M이기 때문에, C의 몰 분율은 $\frac{10b'-10}{30} = \frac{b'-1}{3}$ 이다. 이때 전체 압력

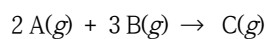
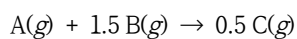
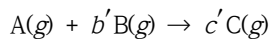
은 $P = \frac{n}{V}RT = 30 M \times 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K} = 720 \text{ atm}$ 이고, C의 압력이

120 atm으로 주어졌기 때문에 부분 압력 법칙을 이용하여 C의 몰 분율을 구하면 다음과 같다.

$$X_C = \frac{P_C}{P} = \frac{120 \text{ atm}}{720 \text{ atm}} = \frac{1}{6}$$

따라서 $\frac{b'-1}{3} = \frac{1}{6}$ 의 관계가 성립하므로 $b' = 1.5$ 가 얻어지고, $c' = b' - 1$ 이므로 $c' = 0.5$ 가

얻어진다. 따라서 문제에서 주어진 화학 반응식을 완성하면 다음과 같다.



문항카드 28

1. 일반정보

유형	■ 논술고사 □ 면접 및 구술고사	
전형명	수시 모집 논술	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열 III(화학) / 문제 [4-1], 문제 [4-2]	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	화학 I, 화학 II
	핵심개념 및 용어	원소, 주기율표, 원소의 주기성, 이온화 경향, 화학 반응, 기체 방정식, 동적 평형, 상평형
예상 소요 시간	30분	

2. 문항 및 제시문

제시문

(가) 현대 원자 모형에 의하면 원자핵 주위에 전자가 분포하는 경계가 분명하지 않아 원자 반지름을 명확하게 알 수 없다. 따라서 일반적으로 수소 분자(H_2)와 같이 동일한 2개의 원자가 결합하였을 때, 두 원자핵 간 거리의 $\frac{1}{2}$ 을 원자 반지름으로 정의하여 사용한다.

(나) 원자에 에너지를 가하면 원자가 전자 껍질에 있는 전자는 원자핵으로부터 떨어져 나오게 된다. 이때 바닥상태에 있는 기체 원자 1몰에서 전자 1몰을 떼어 내어 기체 양이온으로 만들기 위해 필요한 최소 에너지를 이온화 에너지라고 한다.

(다) 금속 원소는 일반적으로 전자를 잃고 양이온이 되려는 성질이 있는데, 이것을 이온화 경향이라고 한다. 여러 가지 금속의 이온화 경향의 크기 순서를 아래와 같이 나타낼 수 있다.



이온화 경향이 다른 두 금속을 전해질 용액 속에 넣으면 자발적으로 산화 환원 반응이 일어날 수 있다. 이때 두 금속 사이에 전자의 이동이 발생하면서 전류가 흐르며, 화학 에너지가 전기 에너지로 전환된다.

(라) 기체의 부피는 기체의 몰수와 절대 온도에 비례하고 압력에 반비례한다. 비례 상수(R)를 이용하여 기체의 압력(P), 부피(V), 몰수(n), 온도(T) 간의 관계에 대해 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있고, 이 식을 이상 기체 방정식이라고 한다.

$$V = R \left(\frac{nT}{P} \right) \Rightarrow PV = nRT$$

기체 1몰은 $0^\circ C$, 1기압에서 22.4L의 부피를 차지하므로 이를 대입하면 R 값을 구할 수 있다. 이 R 를 기체 상수라고 한다.

(마) 밀폐된 용기에 액체를 담아 두면 액체 표면에 있는 분자들이 분자 사이의 인력을 극복하고 기체 상태로 떨어져 나오는데, 이를 증발이라고 한다. 처음에는 용기 내 기체 분자 수가 적기 때문에 증발이 주로 일어나지만, 증발이 계속되면서 용기 내 기체 분자 수가 많아진다. 기체 분자들 중 일부는 액체 표면에 충돌하여 다시 액체로 돌아가는데, 이를 응축이라고 한다. 시간이 지날수록 기체 분자 수가 많아지므로 기체의 응축 속도는 점점 빨라진다. 이에 비해 액체의 증발 속도는 일정한 온도에서 변하지 않으므로 시간이 지나면 증발 속도와 응축 속도가 같아지게 되는 평형에 도달한다. 이와 같이 정반응과 역반응의 속도가 같아서 겉으로 보기에 반응이 일어나지 않는 것처럼 보이는 상태를 동적 평형이라고 한다. 동적 평형에 이르면 증발하는 액체 분자 수와 응축하는 기체 분자 수가 같으므로 더 이상 증발과 응축이 일어나지 않는 것처럼 보인다. 물질은 적절한 온도와 압력에서 고체와 액체, 액체와 기체, 고체와 기체가 평형을 이룰 수 있다. 이와 같이 물질이 두 상 사이에서 평형을 이루고 있는 상태를 상평형이라고 한다. 물질의 상태와 온도, 압력의 관계를 그래프로 나타낸 것을 상평형 그림이라고 한다. 상평형 그림은 세 개의 곡선으로 이루어져 있고, 곡선으로 나누어진 각각의 영역은 고체, 액체, 기체 상태로 안정하게 존재할 수 있는 온도와 압력 조건을 나타낸다.

하위 문항 1 [문제 4-1] <15점>

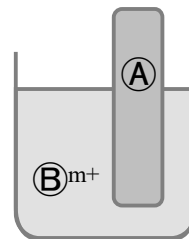
[문제 4-1] 금속 원자 ㉠~㉥는 Li, Na, Mg, Al, K 중 각각 하나에 해당한다. 다음은 ㉠~㉥에 대한 자료이다.

- 제1 이온화 에너지: ㉠ > ㉢ > ㉥ > ㉡ > ㉣
- 원자 반지름: ㉣ > ㉡ > ㉠ > ㉥ > ㉢
- ㉢와 ㉥의 원자가 전자 수는 같다.

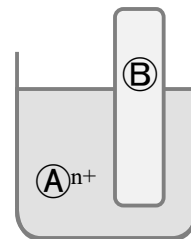
<그림 1>의 주기율표와 제시문 (가), (나)에 근거하여 ㉠~㉥는 각각 어떤 원소에 해당하는지 논리적으로 예측하시오. 또한, <그림 2>와 같이 ㉢^{m+}가 들어 있는 수용액에 ㉠ 금속 막대를 담근 비커와 <그림 3>과 같이 ㉠ⁿ⁺가 들어 있는 수용액에 ㉢ 금속 막대를 담근 비커를 준비했다. 각 비커에서 어떤 반응이 일어나는지를 제시문 (다)에 근거하여 논리적으로 설명하고, 전체 산화 환원 반응식을 표시하시오. (단, ㉠ⁿ⁺, ㉢^{m+} 이외의 양이온과 물은 고려하지 않고, 음이온은 반응하지 않는다. ㉠ⁿ⁺와 ㉢^{m+}는 모두 비활성 기체와 같은 전자 배치를 가진다.) [15점]

주기	1	2	13	14	15	16	17
2	Li	Be	B	C	N	O	F
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
4	K	Ca					

<그림 1>



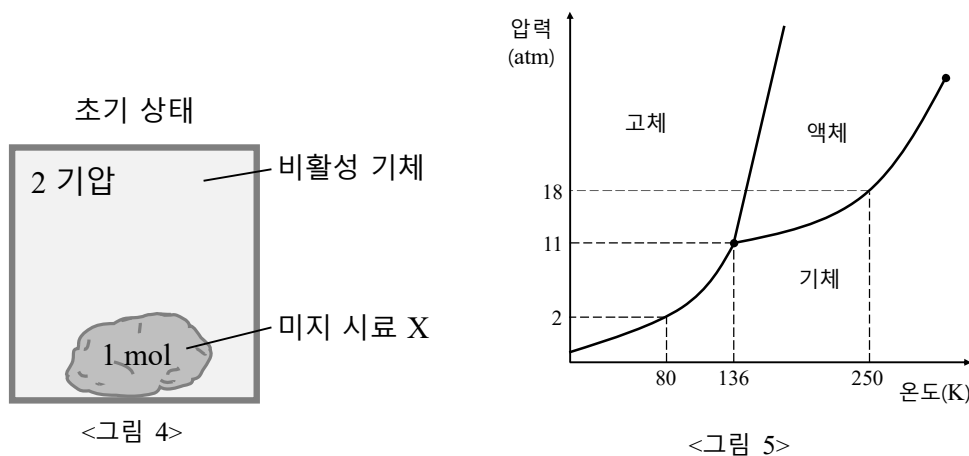
<그림 2>



<그림 3>

하위 문항 2 [문제 4-2] <15점>

[문제 4-2] <그림 4>와 같이 고체 상태의 미지 시료 X 1 mol과 비활성 기체가 1L의 용기 안에 들어 있다. 초기 상태에서 용기 안의 압력은 2 기압이고, 온도는 X의 상태 변화를 관찰하는 동안 250 K로 일정하다. 고체 상태의 X가 0.5 mol 줄어들었을 때, 제시문 (라)와 <그림 5>에 나온 X의 상평형 그림에 근거하여 용기 안의 압력을 구하시오. 또한, 제시문 (마)에 근거하여 충분한 시간이 지난 후 용기 안의 X가 동적 평형 상태에 이르렀을 때 존재하는 X의 상태를 제시하고 각 상태의 몰수를 구하시오. (단, X의 분자량은 40이고 액체와 고체 X의 밀도는 0.18 g/mL로 동일하다. 비활성 기체는 항상 기체 상태로 존재하며, 기체 상수 R 는 $0.08 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 이다.) **[15점]**



3. 출제 의도

본 논술 고사에서는 고등학교 화학 교과과정에 대한 전반적인 이해도 및 문제 해결 능력을 평가하고자 하였다. 주기율표, 원소의 주기성, 이온화 경향, 화학 반응, 기체 방정식, 동적 평형, 상평형 등에 대한 통합적 사고 능력을 평가하고자 하였다. 하위 문항 [4-1]에서는 원소의 주기적 성질(원자 반지름, 이온화 에너지)을 이용하여 무작위로 섞여 있는 미지의 원소를 올바르게 구별하는 방법에 대해 묻고 있다. 1족 알칼리 금속 원소의 제1 이온화 에너지가 다른 족의 원소들에 비해 작은 것, 같은 족에서는 원자 번호가 증가할수록 원자 반지름은 커지고 이온화 에너지는 작아지는 것, 같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 원자 반지름은 작아지는 것(18족 제외), 원자가 전자 수 등을 이용하면 미지의 원소를 합리적으로 추론할 수 있다. 또한, 제시문을 통해 얻은 금속의 이온화 경향에 대한 정보를 이용해 그림에 표시된 각 비커에서 어떤 반응이 일어나는지를 유추할 수 있다. 하위 문항 [4-2]에서는 기체, 상평형, 증기압에 대한 통합적 이해도와 문제 분석 능력을 가늠하고자 하였다. 첫 번째 질문에 답하기 위해서는 부피와 온도가 일정하게 유지되는 용기 내부에서 일어나는 미지 시료의 승화 과정을 고려하여야 한다. 용기 내에서 고체 미지 시료가 차지하는 부피를 뺀 나머지 부피를 차지하고 있는 혼합 기체에 대한 압력을 이상 기체 방정식을 이용해 정량적으로 계산할 수 있다. 두 번째 질문에 답하기 위해서는 기체와 액체 간 동적 평형을 고려하여야 한다. 상평형 그림에서 주어진 증기압 정보를 이용하면 250 K에서 미지 시료는 기체 및 액체로 존재함을 추론할 수 있다. 따라서 용기 내에 존재하는 혼합 기체의 압력이 250 K에서 미지 시료의 증기압(18atm)과 같음을 이상 기체 방정식에 적용하면 액상과 기상 미지 시료 몰수를 계산할 수 있다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 근거

‘교육부 고시 제 2015-74호[별책 9] 과학과 교육과정’을 바탕으로 작성

영역별 내용		
제시문	(가)	화학 I. (2) 원자의 세계 (147쪽) [12화학 I 02-05] 주기율표에서 유효 핵전하, 원자 반지름, 이온화 에너지의 주기성을 설명할 수 있다.
	(나)	화학 I. (2) 원자의 세계 (147쪽) [12화학 I 02-05] 주기율표에서 유효 핵전하, 원자 반지름, 이온화 에너지의 주기성을 설명할 수 있다.
	(다)	화학 II. (4) 전기 화학과 이용 (161쪽) [12화학 II 04-01] 화학 전지의 작동 원리를 산화·환원 반응으로 설명할 수 있다.
	(라)	화학 II. (1) 물질의 세 가지 상태와 용액 (157쪽) [12화학 II 01-02] 이상 기체 방정식을 활용하여 가체의 분자량을 구할 수 있다.
	(마)	화학 I. (4) 역동적인 화학 반응 (150쪽) [12화학 I 04-01] 가역 반응에서 동적 평형 상태를 설명할 수 있다. 화학 II. (1) 물질의 세 가지 상태와 용액 (157쪽) [12화학 II 01-03] 혼합 기체에서 몰 분율을 이용하여 분압의 의미를 설명할 수 있다. 화학 II. (1) 물질의 세 가지 상태와 용액 (157쪽) [12화학 II 01-06] 액체의 증기압과 끓는점의 관계를 설명할 수 있다.
하위문항	4-1	제시문 (가)-(마)에 근거
	4-2	제시문 (가)-(마)에 근거

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	화학 I	이상권 외 7인	(주)지학사	2019	제시문 (가): p. 87-88, 제시문 (나): p. 90-91 제시문 (마): p. 158-159
	화학 I	노태희 외 6인	(주)천재교육	2019	제시문 (가): p. 88-89 제시문 (나): p. 92-94 제시문 (마): p. 161
	화학 I	홍훈기 외 6인	(주)교학사	2020	제시문 (가): p. 88 제시문 (나): p. 89 제시문 (마): p. 149-153
	화학 I	하윤경 외 5인	(주)금성출판사	2019	제시문 (가): p. 84-85 제시문 (나): p. 85-87
	화학 I	최미화 외 5인	(주)미래엔	2020	제시문 (가): p. 89-91 제시문 (나): p. 92-93
	화학 I	강대훈 외 3인	(주)와이비엠	2020	제시문 (가): p. 102-103 제시문 (나): p. 105-109

화학 II	최미화 외 5인	(주)미래엔	2020	제시문 (다): p. 180-181 제시문 (라): p. 20-21 제시문 (마): p. 108-111
화학 II	노태희 외 6인	(주)천재교육	2019	제시문 (다): p. 188-190 제시문 (라): p. 14-18 제시문 (마): p. 104-107
화학 II	박종석 외 7인	(주)비상교육	2020	제시문 (다): p. 165-166
화학 II	홍훈기 외 6인	(주)교학사	2020	제시문 (라): p. 19 제시문 (마): p. 103-105

5. 문항 해설

제시문의 내용은 현대 원자 모형, 원소의 주기성, 이온화 경향, 이상 기체 방정식, 동적 평형, 상평형 등 고등학교 화학 I, II 교과과정에서 중요하게 다루어지는 내용으로 모두 교육과정 범위에 포함되어 있다. 본 논술 고사에서는 고등학교 화학 교과과정에 대한 여러 가지 개념들을 명확하게 이해하여 이를 통합적으로 연계, 분석 및 응용할 수 있는 능력을 알아보고자 한다.

하위 문항 1은 제시문의 내용과 여러 금속 원소의 주기성—제1 이온화 에너지와 원자 반지름—과 원자가 전자수를 이용해 미지 원소의 종류를 규명하고, 각 금속의 이온화 경향을 비교하여 진행될 수 있는 산화 환원 반응을 예상하는 문제이다. 하위 문항 2는 부피와 온도가 일정하게 유지되는 고립된 용기에서 진행되는 물질의 상변화를 분석하고 이를 이상 기체 방정식에 적용하여 양적 관계를 계산하는 능력을 가늠하는 문제이다. 미지 시료의 질량, 밀도, 부피 등의 물리적 특징을 주어진 상변화 그림에 적용하고, 나아가 압력, 몰수에 대한 면밀한 계산 과정을 수행할 수 있는 능력을 평가한다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
4-1	<p>[채점요소] 1차 이온화 에너지와 원자 반지름을 이용해 ㉠ ~ ㉣가 각각 어떤 원소에 해당하는지 논리적으로 찾아내는가? 금속 원소의 이온화 경향을 이용해 화학 전지의 반쪽 전극을 구성할 수 있는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조</p> <p>[채점준거] 다음과 같이 3단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다.</p> <p>1) 1족 알칼리 금속 원소의 제1 이온화 에너지와 원자 반지름, 원자가 전자 수를 이용해 ㉠(Na), ㉡(K), ㉢(Li)를 모두 올바르게 제시하면 +5점</p> <p>2) Mg보다 큰 유효 핵전하를 가지는 Al의 원자 반지름이 더 작다는 것을 이용해 ㉠, ㉢가 각각 Mg, Al에 해당함을 모두 올바르게 제시하면 +5점</p> <p>3) 이온화 경향의 차이를 이용해 각 비커에서의 반응 진행 여부와 올바른 산화 환원 반응을 제시하면 +5점 (㉠과 ㉢를 잘못 찾은 경우 오답이지만, 이온화 경향에 따른 산화 환원 반응이 맞는 경우 +2점, 양이온의 전하나 반응식의 계수가 틀린 경우 오답)</p> <p>※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 15점 이내에서 ± 2.0점 추가 점수 부여 가능함.</p>	15

4-2	<p>[채점요소] 물질의 상평형을 올바르게 이해하고 있는가? 물질의 승화나 증발에 따른 양적 관계의 변화를 이상 기체 상태 방정식을 이용해 정량적으로 계산할 수 있는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조 [채점준거] 다음과 같이 4단계로 나누어서 각 부분 점수를 준다. 1) 상평형 그림을 바르게 해석하여 초기에 승화가 일어난다고 기술하면 +2점 2) 고체 X의 부피 감소를 고려하여 고체 X가 0.5몰 줄어들었을 때 용기 안의 압력이 13 atm임을 보이면 +5점 3) 평형 상태에서 액체와 기체가 동적 평형 상태라는 것을 기술하면 +3점 4) 평형 상태에서 존재하는 액체와 기체의 몰수를 올바르게 구하면 +5점</p> <p>※ 계산을 잘못하면 -2점. ※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 완성도에 따라 총점 15점 이 내에서 ± 2.0점 추가 점수 부여 가능함.</p>	15
-----	---	----

7. 예시 답안

[화학, 문제 4-1 예시답안]

- ▶ 제1 이온화 에너지가 가장 작고 원자 반지름이 가장 큰 ㉠이 K이 된다. 다음으로 제1 이온화 에너지가 작고 원자 반지름이 큰 ㉡가 Na이 된다. ㉡와 ㉢의 원자가 전자 수는 1로 같기 때문에 ㉢은 남은 1족 원소인 Li이 된다. 이것은 ㉢이 ㉡보다 제1 이온화 에너지가 크고 원자 반지름이 작다는 설명과도 잘 부합한다.
- ▶ Mg보다 큰 유효 핵전하를 가지는 Al의 원자 반지름이 더 작다. 따라서 원자 반지름이 ㉠ > ㉢라는 사실로부터 ㉠, ㉢이 각각 Mg, Al에 해당함을 예상할 수 있다.
- ▶ <그림 2>에서 이온화 경향이 상대적으로 큰 Mg 금속이 산화되면서 발생한 전자가 Al^{3+} 을 환원시키는 데 이용된다. 따라서 반응이 진행됨에 따라 환원된 Al 금속이 석출된다. 전체 산화 환원 반응은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$3Mg + 2Al^{3+} \rightarrow 3Mg^{2+} + 2Al$$
 <그림 3>의 경우 이온화 경향이 상대적으로 큰 Mg이 이미 전자를 잃고 산화된 Mg^{2+} 의 형태로 녹아 있어 반응이 진행되지 않는다.

[화학, 문제 4-2 예시답안]

- ▶ 상평형 그림으로부터 고체 X는 250K, 2 atm에서 기체 상태가 안정한 상태임을 알 수 있으므로 초기에는 용기의 고체 X가 기체 상태로 바뀌는 승화 현상이 일어난다. 승화 현상이 일어나면, 용기 내의 압력이 증가하기 시작하는데 용기의 압력이 18 atm이 되기까지 승화 현상이 계속 일어나게 된다. 용기의 압력의 18 atm이 되면 액체 상태와 기체 상태가 동적 평형을 이룰 것을 예상할 수 있다.
- ▶ 초기 상태 용기 내 기체의 부피는 전체 부피 1L에서 고체 시료 X 1mol이 차지하는 부피를 뺀 것과 같다. 고체 시료 1mol이 차지하는 부피는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_{0, \text{고체}} = \frac{\text{고체 X의 질량}}{\text{고체 X의 밀도}} = \frac{1 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol}}{0.18 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL/L}} = \frac{2}{9} \text{ L}$$

따라서 초기 상태에서 비활성 기체가 차지하는 부피는 $V_{0, \text{비활성기체}} = 1 - \frac{2}{9} = \frac{7}{9} \text{ L}$ 이

다. 이때 기체의 압력은 $P_{0, \text{비활성기체}} = 2 \text{ atm}$ 으로 주어졌다.

- ▶ 고체 X가 1 mol에서 0.5 mol로 절반이 되면, 고체의 부피 또한 반으로 줄게 되어 $V_{1, \text{고체}} = \frac{1}{9} \text{ L}$ 이고, 용기 내 기체의 부피는 $V_{1, \text{기체}} = 1 - \frac{1}{9} = \frac{8}{9} \text{ L}$ 이다. 모든 기체는 같은 공간을 차지하므로 용기에 존재하는 두 가지 기체(비활성 기체, X) 모두 부피가 $\frac{8}{9} \text{ L}$ 라고 말할 수 있다. 이를 이용하여 용기 내 존재하는 두 가지 기체의 압력을 구하면 다음과 같다.

$$P_{1, \text{비활성기체}} = \frac{P_{0, \text{비활성기체}} V_{0, \text{비활성기체}}}{V_{1, \text{비활성기체}}} = \frac{2 \text{ atm} \times \frac{7}{9} \text{ L}}{\frac{8}{9} \text{ L}} = \frac{7}{4} \text{ atm}$$

$$P_{1, X} = \frac{n_{1, X} RT}{V_{1, X}} = \frac{0.5 \text{ mol} \times 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \times 250 \text{ K}}{\frac{8}{9} \text{ L}} = \frac{45}{4} \text{ atm}$$

따라서, 용기 안의 압력은 $P_{1, \text{기체}} = P_{1, \text{비활성기체}} + P_{1, X} = \frac{7}{4} + \frac{45}{4} = 13 \text{ atm}$ 이다.

- ▶ 고체 X가 전부 기체로 변했을 경우를 가정해 보면, 기체의 부피는 $V_{2, \text{기체}} = 1 \text{ L} = V_{2, \text{비활성기체}} = V_{2, X}$ 이므로 각 기체의 압력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{2, \text{비활성기체}} = \frac{P_{0, \text{비활성기체}} V_{0, \text{비활성기체}}}{V_{2, \text{비활성기체}}} = \frac{2 \text{ atm} \times \frac{7}{9} \text{ L}}{1 \text{ L}} = \frac{14}{9} \text{ atm}$$

$$P_{2, X} = \frac{n_{2, X} RT}{V_{2, X}} = \frac{1 \text{ mol} \times 0.08 \text{ atm} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \times 250 \text{ K}}{1 \text{ L}} = 20 \text{ atm}$$

즉, 이때 용기 안의 압력은 $P_{2, \text{기체}} = P_{2, \text{비활성기체}} + P_{2, X} = \frac{14}{9} + 20 > 18 \text{ atm}$ 이기 때문에 용기 내의 기체 X는 일부가 응축하여 액체와 기체가 공존하는 동적 평형 상태를 이룰 것을 예상할 수 있다.

- ▶ 평형 상태에서 액체 상태 X의 몰수를 x 라고 하면 기체 상태 X의 몰수는 $(1-x)$ 라고 할 수 있다. 이때 액체 상태의 X가 차지하는 부피($V_{3, \text{액체}}$)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_{3, \text{액체}} = \frac{\text{액체 X의 질량}}{\text{액체 X의 밀도}} = \frac{x \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol}}{0.18 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL/L}} = \frac{2}{9} x \text{ L}$$

따라서 기체가 차지하는 부피는 $V_{3, \text{기체}} = V_{\text{용기}} - V_{3, \text{액체}} = (1 - \frac{2}{9}x) \text{ L}$ 이고, 각각의 부피를 이용하여 전체 기체의 압력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{3,\text{기체}} &= P_{3,\text{비활성기체}} + P_{3,X} \\
 &= \frac{P_{0,\text{비활성기체}} V_{0,\text{비활성기체}}}{V_{3,\text{비활성기체}}} + \frac{n_3 RT}{V_{3,X}} = \frac{2 \times \frac{7}{9}}{1 - \frac{2}{9}x} + \frac{(1-x) \times 0.08 \times 250}{1 - \frac{2}{9}x} = 18 \text{ atm}
 \end{aligned}$$

위 식을 풀게 되면, $x = \frac{2}{9}$ 가 나오므로 충분한 시간이 흐른 후 동적 평형 상태에 도달했

을 때 X는 액체 $\frac{2}{9} \text{ mol}$ 과 기체 $\frac{7}{9} \text{ mol}$ 로 존재한다고 말할 수 있다.

문항카드 29

1. 일반 정보

유형	<input type="checkbox"/> 논술고사 <input checked="" type="checkbox"/> 면접 및 구술고사	
전형명	재외국민 특별전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	의학부 / 문제 [1-1], [1-2]	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	생명과화학 I, 화학 I
	핵심개념 및 용어	세포호흡, 노폐물, 배설, 요소, 루이스 전자점식, 산과 염기
예상 소요 시간	20분	

2. 문항 및 제시문

[문제 1] 다음 제시문 (가)-(나)와 실험내용을 읽고 문제에 답하시오.

(가) 조직세포는 혈액에서 공급받은 영양소와 산소로 세포호흡을 하여 에너지를 얻는 과정에서 여러 가지 노폐물을 생성한다. 이들 노폐물 중 일부는 간에서 독성이 적은 요소로 바뀐 후 주로 콩팥을 통하여 오줌으로 배설된다.

(나) 원자 사이의 화학 결합은 ‘원자가 전자’가 관여하여 이루어진다. 미국의 화학자인 루이스는 원소 기호 주변에 ‘원자가 전자’를 점으로 나타내어 화학결합을 간단하게 표현하였는데 이를 루이스 전자점식이라고 한다.

[실험] 생콩즙과 오줌을 가지고 다음과 같은 실험을 진행하였다. BTB 용액은 산성일 때 노란색, 중성일 때 초록색, 염기성일 때 푸른색을 띈다.

1. 생콩즙을 둘로 나누어 한쪽은 그대로 두고, 다른 한쪽은 끓여서 식혀둔다.
2. 시험관 A와 B에 각각 오줌을 넣고, 시험관 A에는 생콩즙을, B에는 끓인 콩즙을 넣은 후 BTB 용액을 떨어뜨려 색깔의 변화를 관찰한다.

[문제 1-1] 시험관 A와 B에서 관찰되는 색깔의 변화를 쓰고, 색깔의 변화가 일어나는 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 각각 그 이유를 설명하시오. [50점]

[문제 1-2] 위 실험에서 생성된 질소화합물이 물(H_2O)과 반응할 때의 반응식을 루이스 전자점식을 사용하여 표시하고, 브뢴스테드·로리의 산 염기 정의를 사용하여 이 반응을 설명하시오. [50점]

3. 출제 의도

본 심층면접에서는 고등학교 생명과학과 화학 교과과정을 접목하여 교과통합형으로 전공학습에 요구되는 기초지식 개념을 평가하고자 하였다. 생명과학 I에서 다루는 세포호흡의 결과로 발생한 노폐물의 배설과정과 종류를 이해하고 있는지 평가하고자 하였으며, 제시문에서 제공하는 정보를 바탕으로 배설물의 종류를 유추할 수 있도록 하였다. 또한 화학 I에서 다루는 루이스 전

자점식과 기본적인 화학반응 및 산 염기에 대한 개념을 이해하고 있는지를 통해 생명과학과 화학에 대한 통합적인 성취도를 평가하고자 하였다. 생콩즙을 이용한 오줌성분의 확인 실험을 통하여 탐구수행과 결론 도출 능력을 평가하고자 하였다. 문제 1-1은 생콩즙에 들어 있는 효소의 작용을 통하여 오줌의 성분인 요소가 염기성인 암모니아로 전환되는 반응에 대한 실험을 이해하고 있는지 평가하고자 하였다. 문제 1-2는 발생하는 암모니아의 루이스 전자점식과 물과의 반응을 통해 발생하는 암모늄이온과 수산화이온에 대한 기본적인 원자가 전자의 배치를 이해하고 있는지와 기본적인 산, 염기의 개념을 이해하고 있는지 평가하고자 하였다.

4. 문항 및 제시문의 출제 근거

가) 교육과정 근거

‘과학과 교육과정(제2015-74호)’을 바탕으로 출제

영역별 내용		
제시문	(가)	p169 [12생과 I 02-02] 세포 호흡 결과 발생한 노폐물의 배설 과정을 물질대사와 관련하여 설명할 수 있다.
	(나)	p148 [12화학 I 03-05] 원자, 분자, 이온, 화합물을 루이스 전자점식으로 표현할 수 있다.
하위문항	[실험] & [문제 1-1]	p169 <탐구 활동> 콩즙으로 오줌 속의 요소 분해하기
	[문제 1-2]	p149 <탐구 활동> 원자, 분자, 이온, 화합물을 루이스 전자점식으로 표현하기
		p150 [12화학 I 04-03] 브뢴스테드 산과 염기의 정의를 다룬다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	생명과학 I	이용철외 3인	(주)와이비엠	2019	제시문 (가): p. 39 실험: p. 40-41
	생명과학 I	심규철외 5인	(주)비상교육	2018	제시문 (가): p. 41 실험: p. 41
	생명과학 I	전상학외 7인	(주)지학사	2018	제시문 (가): p. 42-43 실험: p. 42-43
	생명과학 I	심재호외 5인	(주)금성출판사	2018	제시문 (가): p. 52 실험: p. 53
	화학 I	강대훈외 3인	(주)와이비엠	2018	제시문 (나): p. 145-147
	화학 I	최미화외 5인	(주)미래엔	2018	제시문 (나): p. 130-133
	화학 I	박종석외 7인	(주)비상교육	2018	제시문 (나): p. 115-116
	화학 I	노태희외 6인	(주)천재교육	2018	제시문 (나): p. 132-136
기타					

5. 문항 해설

제시문의 내용은 세포호흡의 결과로 발생한 노폐물의 배설과정과 종류등 고등학교 생명과학 I 교과과정에서 중요하게 다루어지는 내용이고, 루이스 전자점식과 기본적인 화학반응 및 산 염기에 대한 개념은 고등학교 화학 I에서 중요한 내용들로 모두 교육과정 범위에 포함되어 있다. 이 문항에서는 생명과학과 화학에서의 기본적인 원리와 개념들을 명확하게 이해하여 이들을 통합적으로 분석하고 이해하고 있는지 확인하고자 하였다. 또한 생콩즙을 이용한 오줌성분의 확인 실험을 통하여 실제 실험을 이해하고 해석할 수 있는 능력을 평가하고자 하였다. 하위 문항 1-1은 생콩즙에 들어 있는 효소가 오줌의 성분인 요소를 암모니아로 전환시킨다는 사실과 암모니아가 염기성인지를 찾아내는 문제이고, 하위 문항 1-2는 루이스 전자점식에 대한 이해를 통하여 반응물과 생성물들을 표시할 수 있고, 물과의 반응을 통해 기본적인 산, 염기의 개념을 설명할 수 있는지 평가하고자 하였다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
1-1	<p>[채점요소] 생콩즙에 효소가 있는지를 이해하는가? 효소의 작용으로 요소가 분해되어 암모니아와 이산화탄소가 생성되는지를 이해하는가? 암모니아가 염기성인지 알고 있는가? 효소는 단백질이므로 열에 의하여 불활성화되는지 이해하는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조 [채점준거]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 생콩즙에 포함되어 있는 효소의 작용으로 요소가 분해된다. (+10점) 2. 요소가 분해되어 암모니아가 생성된다. (+10점) 3. 암모니아가 염기성이므로 BTB용액과 반응하여 푸른색을 나타낸다. (+20점) 4. 끓인 콩즙은 효소가 불활성화되어 요소를 분해하지 못하므로 색깔의 변화가 일어나지 않아 노란색을 나타낸다. (+10점) <p>※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 논리적 표현력과 의사소통능력에 따라 총점 50점이내에서 ±5점 추가점수 부여 가능함.</p>	50
1-2	<p>[채점요소] 암모니아와 물의 반응을 바르게 이해하고 있는가? 루이스 전자점식을 이해하고 있는가? 브뢴스테르·로리의 산 염기 개념을 이해하는가?</p> <p>[예시답안] 7번 참조 [채점준거]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 암모니아가 물과 반응하여 암모늄이온과 수산화이온을 생성하는 반응식을 잘 표시하면 (+10점) 2. 암모니아, 물, 암모늄이온, 수산화이온에 대하여 루이스 전자점식으로 잘 표시하면 (각 +5점, 모두 맞으면 +20점) 3. 물은 H⁺를 내놓으므로 산이고, 암모니아는 H⁺를 받으므로 염기이다. (+20점) <p>※ 각 부분에서 바르게 답안을 작성한 경우에도 답안의 논리적 표현력과 의사소통능력에 따라 총점 50점이내에서 ±5점 추가점수 부여 가능함.</p>	50

7. 예시 답안

[문제 1-1] 생콩즙에 포함되어 있는 유레이스라고 하는 효소의 작용으로 오줌속의 요소가 분해되어 암모니아와 이산화탄소가 발생하며, 암모니아가 염기성이므로 BTB 용액과 반응하여 푸른색을 나타낸다. 끓인 콩즙의 경우에는 효소가 변성되어 요소를 분해하지 못하므로 색깔의 변화가 일어나지 않아 노란색을 나타낸다.

[문제 1-2]

암모니아가 물과 반응하여 암모늄이온과 수산화이온을 생성하는 반응이다.

물은 H⁺를 내놓으므로 산이고, 암모니아는 H⁺를 받으므로 염기이다.

