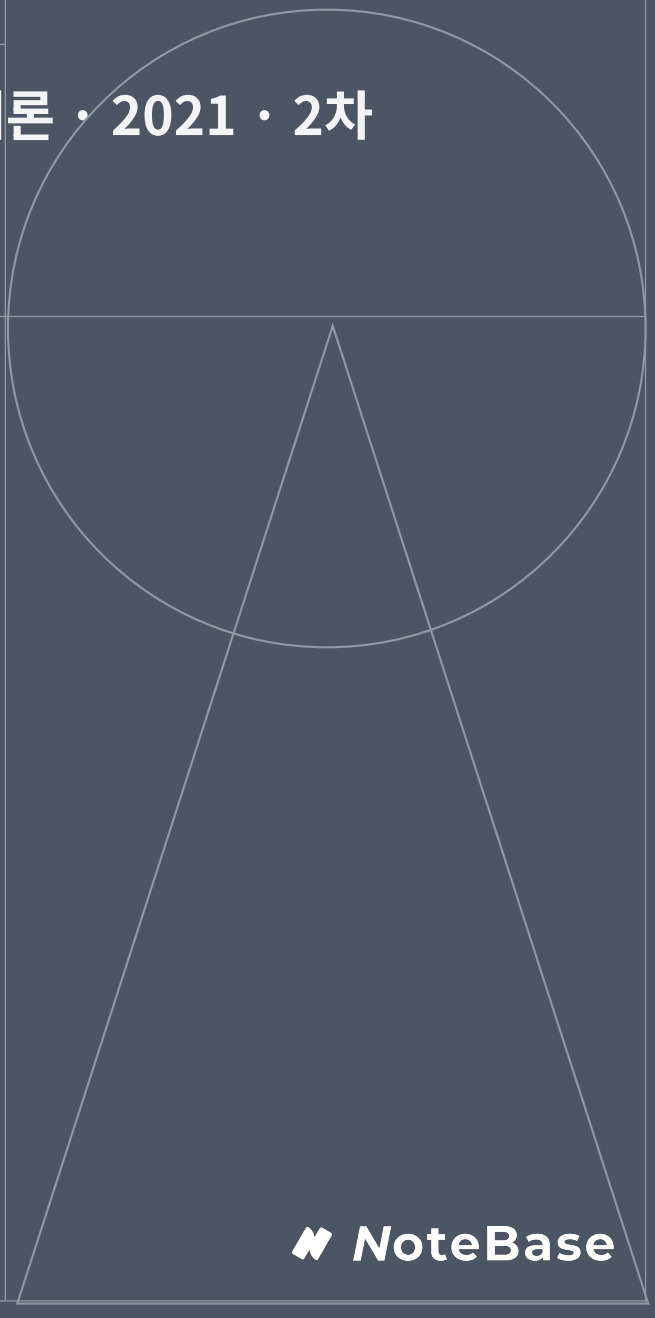
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화학개론 · 2021 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화학개론 · 2021 · 2차

공무원/국가직/7급 · 화학개론 · 2021 · 2차

문 1. 32g의 탄화 칼슘(CaC_2)에 들어 있는 이온의 총 개수는? (단, Ca, C의 원자량은 각각 40, 12이고, 아보가드로 수는 6.0×10^{23}이다)

① 3.0×10^{23}

② 6.0×10^{23}

③ 9.0×10^{23}

④ 1.2×10^{24}

정답 2번

출제 포인트

이온성 화합물의 질량으로부터 몰수를 구하고, 화학식 단위당 생성되는 이온의 개수를 곱해 총 이온 개수를 구하는 문제이다. 탄화 칼슘(CaC2)이 물에 녹거나 이온화될 때 양이온과 음이온이 각각 몇 개 생기는지를 정확히 파악하는 것이 핵심이다.

조건 정리

탄화 칼슘의 화학식은 CaC_2이다. Ca의 원자량은 40, C의 원자량은 12이므로 CaC_2의 화학식량은 $40 + 12 \times 2 = 64$이다. 주어진 질량은 32 g이고, 아보가드로 수는 6.0×10^{23}이다. CaC_2는 이온성 화합물로 Ca^{2+} 이온 1개와 C_2^{2-}(탄화물 이온) 1개로 이루어져 있어, 화학식 단위 1개당 이온은 총 2개이다.

사용할 공식

몰수는 $n = \frac{w}{M}$(w: 질량, M: 화학식량)으로 구한다. 입자(이온) 총 개수는 N = n × (화학식 단위당 이온 수) × N_A로 구한다(N_A: 아보가드로 수).

계산 과정

CaC_2의 몰수는 $n = \frac{32}{64} = 0.5$ mol이다. CaC_2는 Ca^{2+}과 C_2^{2-}로 해리되어 화학식 단위 1개당 이온 2개(양이온 1개+음이온 1개)를 내놓으므로, 이온의 총 몰수는 $0.5 \times 2 = 1$ mol이다. 따라서 이온의 총 개수는 $1 \times 6.0 \times 10^{23} = 6.0 \times 10^{23}$개이다.

NoteBase

선지 판단

① 3.0×10^{23} → X. 이는 CaC_2 0.5 mol의 화학식 단위 개수(이온화하지 않은 경우)에 해당하며, 이온 총 개수가 아니라 화학식 단위 개수를 그대로 아보가드로 수와 곱한 값이므로 틀렸다.
② 6.0×10^{23} → O. 0.5 mol × 2(이온 수) × 6.0×10^{23} = 6.0×10^{23}으로 계산 결과와 일치한다.
③ 9.0×10^{23} → X. 이온을 3개로 잘못 세거나 몰수 계산을 잘못한 경우에 나오는 값으로, 실제 이온 수(2개)와 맞지 않는다.
④ 1.2×10^{24} → X. 몰수를 0.5가 아닌 1로 잘못 구하거나 이온 수를 다르게 적용한 경우의 값으로, 정확한 계산값의 2배에 해당해 틀렸다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 CaC_2의 몰수(0.5 mol)까지만 구하고 이온 수 2개를 곱하는 것을 빠뜨려 ①번(3.0×10^{23})을 고르는 것이다. CaC_2는 원자가 아니라 이온성 화합물이므로 화학식 단위 하나가 곧 이온 하나가 아니라 양이온과 음이온 두 개로 나뉜다는 점을 놓치지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

이온성 화합물의 '이온 개수'를 묻는 문제는 항상 두 단계로 나눠 계산한다. 먼저 질량을 화학식량으로 나눠 화합물의 몰수를 구하고, 그다음 화학식에서 양이온과 음이온의 개수를 세어 화학식 단위당 총 이온 수를 곱한다. CaC_2처럼 다원자 이온(C_2^{2-})을 포함하는 경우에도 이온은 하나의 단위로 취급해 개수를 센다.

암기 포인트

CaC_2(탄화 칼슘, 카바이드)는 Ca^{2+}과 C_2^{2-}(아세틸리드 이온)로 이루어진 이온성 화합물로, 화학식 단위 1개당 이온 2개를 갖는다는 것을 기억해 둔다. 화학식량은 40 + 12 × 2 = 64이다.

NoteBase

문 2. 중성 원자 $^{52}_{24}Cr$에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 전자 개수는 24이다.

② 양성자 개수는 24이다.

③ 중성자 개수는 28이다.

④ 질량수는 양성자 개수의 2배이다.

정답 4번

출제 포인트

원자 표기 $^{A}_{Z}X$에서 원자번호(Z)와 질량수(A)로부터 중성 원자의 전자 수, 양성자 수, 중성자 수를 정확히 계산할 수 있는지 묻는 문항이다. 질량수와 양성자 수 사이에는 고정된 배수 관계가 없다는 점이 핵심이다.

조건 정리

주어진 원자는 $^{52}_{24}Cr$이며, 아래첨자 24는 원자번호(양성자 수), 위첨자 52는 질량수(양성자 수+중성자 수)를 나타낸다. 중성 원자이므로 전자 수는 양성자 수와 같다.

사용할 공식

양성자 수 = 원자번호 Z; 전자 수(중성 원자) = Z; 중성자 수 = 질량수 A - 원자번호 Z.

계산 과정

원자번호 $Z = 24$이므로 양성자 수는 24, 중성 원자이므로 전자 수도 24이다. 질량수 $A = 52$이므로 중성자 수는 $52 - 24 = 28$이다. 질량수 52와 양성자 수 24의 비는 $52/24 \approx 2.17$로 정확히 2배가 아니다.

선지 판단

① 전자 개수는 24이다. → 옳다. 중성 원자이므로 전자 수는 양성자 수(원자번호)인 24와 같다.
② 양성자 개수는 24이다. → 옳다. 원자번호가 24이므로 양성자 수도 24이다.
③ 중성자 개수는 28이다. → 옳다. 질량수 52에서 양성자 수 24를 빼면 28이다.
④ 질량수는 양성자 개수의 2배이다. → 옳지 않다. 질량수는 52이고 양성자 개수는 24이므로 2배인 48과 다르다. 질량수는 양성자 수와 중성자 수의 합일 뿐 양성자 수의 2배가 되어야 할 이유가 없다. 틀린 표현 → 올바른 표현: '질량수는 양성자 개수의 2배이다' → '질량수(52)는 양성자 수(24)와 중성자 수(28)의 합이며, 양성자 수의 2배(48)와는 다르다'.

NoteBase

오답 포인트

질량수를 양성자 수와 중성자 수의 단순한 합으로 보지 않고 양성자 수의 배수로 착각하면 ④를 옳은 설명으로 오판하게 된다. 중성자 수가 양성자 수보다 많아지는 무거운 원소일수록 질량수와 양성자 수의 비율이 2에서 점점 멀어진다는 점을 함께 기억해 둔다.

다시 나오면 이렇게 판단

${}^{A}_{Z}X$ 표기가 나오면 먼저 원자번호 Z로 양성자 수와 전자 수(중성 원자 기준)를 정하고, 질량수 A에서 Z를 빼서 중성자 수를 구하는 순서로 접근한다. 질량수와 양성자 수의 배수 관계를 묻는 선지는 항상 실제 값을 나눠 직접 확인한다.

암기 포인트

위첨자=질량수(양성자+중성자), 아래첨자=원자번호(양성자 수)=전자 수(중성 원자); 중성자 수=질량수-원자번호.

NoteBase

문 3. 300 K의 100 L 용기에서 가장 큰 압력을 갖는 기체는? (단, 기체는 서로 반응하지 않는 이상 기체이고, H, C, O의 원자량은 각각 1, 12, 16이다)

① O_2 64 g

② CH_4 64 g

③ H_2 6 g과 O_2 32 g의 혼합

④ H_2 6 g과 CH_4 32 g의 혼합

정답 4번

출제 포인트

같은 부피(100 L)와 같은 온도(300 K)에 있는 이상 기체의 압력을 비교하는 문제이다. 이상 기체 상태방정식 $PV = nRT$에서 V와 T가 모든 선지에서 동일하므로, 압력 P는 오직 기체의 전체 몰수 n에 비례한다. 결국 각 선지의 질량을 원자량으로 나누어 몰수를 구하고, 그 몰수가 가장 큰 것을 고르는 문제로 귀결된다.

조건 정리

원자량은 H=1, C=12, O=16으로 주어진다. 이에 따라 분자량은 다음과 같다. O2 분자량 = 16×2 = 32, CH4 분자량 = 12+1×4 = 16, H2 분자량 = 1×2 = 2. 용기 부피 100 L와 온도 300 K는 모든 선지에서 동일하고, 기체들은 서로 반응하지 않는 이상 기체이므로 혼합 기체의 압력은 각 성분 몰수의 합에 비례한다(돌턴의 분압 법칙과 이상 기체 법칙의 결합).

사용할 공식

이상 기체 상태방정식 $PV = nRT$를 압력에 대해 정리하면 $P = \frac{nRT}{V}$이다. V와 T가 일정하므로 $P \propto n$이 성립하고, 몰수는 n = 질량분자량으로 구한다. 혼합 기체의 경우 전체 몰수는 각 성분 몰수의 합인 n_전체 = n_1 + n_2이다.

계산 과정

①: O2 64 g의 몰수는 $\frac{64}{32} = 2$ mol이다.
②: CH4 64 g의 몰수는 $\frac{64}{16} = 4$ mol이다.
③: H2 6 g의 몰수는 $\frac{6}{2} = 3$ mol이고, O2 32 g의 몰수는 $\frac{32}{32} = 1$ mol이므로 전체 몰수는 $3 + 1 = 4$ mol이다.
④: H2 6 g의 몰수는 $\frac{6}{2} = 3$ mol이고, CH4 32 g의 몰수는 $\frac{32}{16} = 2$ mol이므로 전체 몰수는 $3 + 2 = 5$ mol이다.
같은 부피·온도 조건에서 압력은 몰수에 비례하므로, 몰수가 2, 4, 4, 5 mol인 네 선지 중 5 mol인 ④의 압력이 가장 크다.

NoteBase

선지 판단

① O2 64 g은 2 mol이다. 네 선지 중 몰수가 가장 작아 압력도 가장 작다. X
② CH4 64 g은 4 mol이다. ③과 몰수가 같아 압력도 같지만 ④의 5 mol보다는 작다. X
③ H2 6 g(3 mol)과 O2 32 g(1 mol)의 혼합은 전체 4 mol이다. ②와 몰수가 같아 압력도 같지만 ④의 5 mol보다는 작다. X
④ H2 6 g(3 mol)과 CH4 32 g(2 mol)의 혼합은 전체 5 mol로 네 선지 중 몰수가 가장 크다. 부피와 온도가 같으므로 압력도 가장 크다. O

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 질량이 큰 것을 압력이 큰 것으로 착각하는 것이다. ①과 ②는 둘 다 64 g으로 질량이 가장 크지만, 분자량이 다르기 때문에 몰수는 오히려 2 mol과 4 mol로 서로 다르다. 압력은 질량이 아니라 몰수에 비례한다는 점을 놓치면 ①을 정답으로 고르는 오류가 생긴다. 또한 혼합 기체의 몰수는 각 성분의 몰수를 각각 구한 뒤 더해야 하는데, 이를 질량 기준으로 더하거나 평균 분자량을 잘못 적용하면 ③과 ④의 몰수 차이(4 mol vs 5 mol)를 놓치게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

부피와 온도가 동일하다는 조건이 주어지면 곧바로 $P \propto n$임을 떠올리고, 질량 비교가 아니라 몰수 비교로 문제를 전환한다. 각 선지의 질량을 분자량으로 나누어 몰수를 구하고, 혼합 기체는 성분별 몰수를 각각 구해 합산한 뒤 비교한다. 원자량이 문제에 주어지면 반드시 그 값으로 분자량을 계산해야 하며, 암기하고 있는 표준 원자량과 다를 수 있으므로 주어진 값을 우선 적용한다.

암기 포인트

같은 부피·같은 온도에서 이상 기체의 압력은 몰수에만 비례한다($P \propto n$). O2 분자량 32, CH4 분자량 16, H2 분자량 2를 빠르게 계산에 적용할 수 있어야 한다. 혼합 기체의 전체 몰수는 성분별 몰수의 합이라는 점, 그리고 질량이 같다고 몰수가 같은 것은 아니라는 점을 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 4. 300 K, 0.5 atm, 24 L의 수소(H_2) 기체와 분자 개수가 같은 프로페인(C_3H_8)의 질량[g]은? (단, 기체는 이상 기체이고 기체 상수 $R = 0.08 L atm K^{-1} mol^{-1}$이며, H, C의 원자량은 각각 1, 12이다)

① 11

② 22

③ 33

④ 44

정답 2번

출제 포인트

이상 기체 방정식 $PV = nRT$로 수소 기체의 몰수를 구한 뒤, 분자 개수(몰수)가 같다는 조건으로 프로페인의 몰수를 그대로 옮기고 몰질량을 곱해 질량을 구하는 문제이다.

조건 정리

수소(H2) 기체: 온도 300 K, 압력 0.5 atm, 부피 24 L, 기체 상수 $R = 0.08\ \mathrm{L\,atm\,K^{-1}\,mol^{-1}}$.
프로페인(C3H8)은 수소와 분자 개수(몰수)가 같다. H의 원자량 1, C의 원자량 12이므로 C3H8의 몰질량은 $3 \times 12 + 8 \times 1 = 44$이다.

사용할 공식

이상 기체 방정식 $PV = nRT$를 몰수 n에 대해 정리하면 $n = \frac{PV}{RT}$이고, 질량은 $m = n \times M$이다(M은 몰질량).

계산 과정

수소의 몰수를 구하면 $n = \frac{PV}{RT} = \frac{0.5 \times 24}{0.08 \times 300} = \frac{12}{24} = 0.5\ \mathrm{mol}$이다. 분자 개수가 같으므로 프로페인의 몰수도 $0.5\ \mathrm{mol}$이다. 프로페인의 몰질량은 44이므로 질량은 $m = 0.5 \times 44 = 22\ \mathrm{g}$이다.

선지 판단

① 11 → X: 몰수 0.5를 두 번 나누는 등 계산을 잘못했을 때 나오는 값으로, 몰질량 44를 정확히 곱하지 않은 오답이다.
② 22 → O: 몰수 0.5 mol에 몰질량 44를 곱한 값과 정확히 일치한다.
③ 33 → X: 몰질량이나 몰수 계산 과정에서 수치를 잘못 대입했을 때 나올 수 있는 값으로, 올바른 계산 결과와 맞지 않는다.
④ 44 → X: 프로페인의 몰질량 자체(44)를 몰수 계산 없이 그대로 답으로 고른 오답이다. 분자 개수가 같다는 조건은 몰수가 1 mol이 아니라 0.5 mol임을 의미하므로 몰질량을 그대로 쓰면 안 된다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항에서 가장 흔한 실수는 프로페인의 몰수를 구하지 않고 몰질량 44를 그대로 답으로 고르는 것(④)이다. '분자 개수가 같다'는 조건은 몰수가 같다는 뜻이므로, 반드시 수소의 몰수를 $PV = nRT$로 먼저 구한 뒤 그 몰수에 프로페인의 몰질량을 곱해야 한다. 또한 $R = 0.08$로 주어졌으므로 실제 기체 상수값(0.082)과 헷갈리지 않고 문제에서 준 값을 그대로 사용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

'분자 개수가 같다'는 표현이 나오면 몰수(n)가 같다는 뜻으로 바로 치환한다. 먼저 조건이 주어진 기체의 몰수를 $n = \frac{PV}{RT}$로 구하고, 그 몰수를 다른 물질에 그대로 적용해 질량은 $m = nM$로 계산한다. 계산 중간에 몰수를 구하지 않고 몰질량만으로 답을 고르지 않도록 주의한다.

암기 포인트

이상 기체 방정식 $PV = nRT$, 분자 개수 비교는 몰수 비교와 동일, 질량 $m = nM$, 프로페인(C3H8)의 몰질량 계산법($3 \times 12 + 8 \times 1 = 44$)을 기억해 둔다.

NoteBase

문 5. 분자 오비탈 이론에 근거하여, 바닥 상태 분자의 결합 차수가 같은 것끼리 묶은 것은? (단, C, N, O, F의 원자 번호는 각각 6, 7, 8, 9이다)

① C_2, O_2

② C_2, F_2

③ N_2, O_2

④ N_2, F_2

정답 1번

출제 포인트

2주기 동종 이원자 분자(C2, N2, O2, F2)의 분자 오비탈(MO) 에너지 도표를 그려 바닥 상태 전자 배치를 채우고, 이로부터 결합 차수를 계산해 서로 비교하는 문제이다. 2주기 원소 중 B2~N2는 π2p 오비탈이 σ2p보다 에너지가 낮고, O2~Ne2는 반대로 σ2p가 π2p보다 낮다는 오비탈 순서 역전을 알아야 한다.

조건 정리

원자 번호는 C=6, N=7, O=8, F=9이다. 각 원자의 원자가전자(2s, 2p) 수는 C=4, N=5, O=6, F=7이며, 분자당 전자 수는 이의 2배이다(1s 오비탈은 각 원자 안에서 비결합 성격이라 결합 차수 계산에서 상쇄되므로 2s, 2p 전자만 고려한다). B2, C2, N2는 π2p가 σ2p보다 낮은 순서를, O2, F2, Ne2는 σ2p가 π2p보다 낮은 순서를 따른다.

사용할 공식

결합 차수 = (결합성 오비탈 전자 수) - (반결합성 오비탈 전자 수)2. C2, N2의 채움 순서는 $\sigma_{2s}, \sigma_{2s}^*, \pi_{2p}, \sigma_{2p}, \pi_{2p}^*, \sigma_{2p}^*$이고, O2, F2의 채움 순서는 $\sigma_{2s}, \sigma_{2s}^*, \sigma_{2p}, \pi_{2p}, \pi_{2p}^*, \sigma_{2p}^*$이다.

계산 과정

C2: 원자가전자 총 8개를 채우면 $\sigma_{2s}^2\sigma_{2s}^{*2}\pi_{2p}^4$가 된다. 결합성 전자 6개(σ2s 2개+π2p 4개), 반결합성 전자 2개이므로 결합 차수 $= (6-2)/2 = 2$이다.

N2: 원자가전자 총 10개를 채우면 $\sigma_{2s}^2\sigma_{2s}^{*2}\pi_{2p}^4\sigma_{2p}^2$가 된다. 결합성 전자 8개, 반결합성 전자 2개이므로 결합 차수 $= (8-2)/2 = 3$이다.

O2: 원자가전자 총 12개를 채우면 $\sigma_{2s}^2\sigma_{2s}^{*2}\sigma_{2p}^2\pi_{2p}^4\pi_{2p}^{*2}$가 된다. 결합성 전자 8개, 반결합성 전자 4개이므로 결합 차수 $= (8-4)/2 = 2$이다.

F2: 원자가전자 총 14개를 채우면 $\sigma_{2s}^2\sigma_{2s}^{*2}\sigma_{2p}^2\pi_{2p}^4\pi_{2p}^{*4}$가 된다. 결합성 전자 8개, 반결합성 전자 6개이므로 결합 차수 $= (8-6)/2 = 1$이다.

따라서 C2와 O2의 결합 차수가 2로 서로 같다.

NoteBase

선지 판단

① C2, O2 → O. 둘 다 결합 차수 2로 같다.
② C2, F2 → X. C2는 2, F2는 1로 서로 다르다.
③ N2, O2 → X. N2는 3, O2는 2로 서로 다르다.
④ N2, F2 → X. N2는 3, F2는 1로 서로 다르다.

오답 포인트

C2와 N2는 π2p가 σ2p보다 먼저 채워지고, O2와 F2는 σ2p가 π2p보다 먼저 채워진다는 오비탈 순서 역전을 놓치면 결합 차수를 잘못 계산하기 쉽다. 또한 결합 차수는 원자가전자만으로 계산해야 하며, 원자 번호(전체 전자 수)를 그대로 분자 전자 수로 오인하지 않도록 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

2주기 동종 이원자 분자 문제가 나오면 먼저 원자가전자 수를 세어 분자의 총 전자 수를 구하고, B2~N2인지 O2~Ne2인지에 따라 σ2p와 π2p의 순서를 바꿔 채운 뒤 결합 차수 공식을 적용한다. 계산된 결합 차수를 표로 나열해 두면 비교 선지를 빠르게 판별할 수 있다.

암기 포인트

2주기 동종 이원자 분자의 결합 차수는 Li2=1, B2=1, C2=2, N2=3, O2=2, F2=1로 정리해 둔다. σ2p와 π2p의 순서 역전 기준은 N2까지는 π2p가 먼저, O2부터는 σ2p가 먼저라는 점이다.

NoteBase

문 6. 다음에 나타낸 주기율표의 일부에서 A ~ D에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, A ~ D는 임의의 원소 기호이다)

주기 \ 족	1	2	…	13	…	17
2			…		…	A
3	B	C	…	D	…	

① A의 원자가 전자 개수는 5이다.

② 2차 이온화 에너지는 C가 B보다 크다.

③ 이온 반지름의 크기는 C^{2+}가 B^{+}보다 크다.

④ 원자가 전자에 대한 유효 핵전하는 D가 C보다 크다.

정답 4번

출제 포인트

주기율표에서 주기와 족 좌표만으로 원소를 특정한 뒤, 원자가 전자 수·이온화 에너지·이온 반지름·유효 핵전하 같은 주기적 성질의 경향을 정확히 적용할 수 있는지 묻는 문항이다. 표의 좌표를 원소 정체로 옮기는 과정에서 실수하면 뒤의 모든 판단이 어긋나므로, 좌표 확인이 첫 단계가 된다.

자료 읽는 순서

표에서 A는 2주기 17족이므로 플루오린(F, 원자 번호 9)이다. B는 3주기 1족이므로 소듐(Na, 원자 번호 11)이다. C는 3주기 2족이므로 마그네슘(Mg, 원자 번호 12)이다. D는 3주기 13족이므로 알루미늄(Al, 원자 번호 13)이다. B, C, D는 같은 3주기에 속하므로 같은 주기 내 좌에서 우로 갈수록 유효 핵전하가 커지는 경향을 그대로 적용할 수 있다.

NoteBase

선지별 해설

① X: A는 플루오린(F)이며 원자 번호가 9이므로 전자 개수는 9개이다. 원자가 전자 수는 7개(2주기 17족)이지 5개가 아니며, 전자 개수 자체도 5가 아니다.
② X: 2차 이온화 에너지는 1차로 전자를 제거한 이후 두 번째 전자를 떼어내는 데 드는 에너지이다. B(Na)는 1차 이온화로 네온과 같은 전자 배치(옥텟)를 이미 이루었으므로, 안정한 옥텟을 깨고 안쪽 껍질에서 전자를 떼어내는 2차 이온화 에너지가 매우 크다. 반면 C(Mg)는 1차 이온화 후에도 아직 원자가 전자(3s)가 하나 남아 있어 2차 이온화가 비교적 쉽다. 따라서 2차 이온화 에너지는 B가 C보다 훨씬 크며, 'C가 B보다 크다'는 설명은 반대이다.
③ X: B^{+}(Na^{+})와 C^{2+}(Mg^{2+})는 둘 다 전자 10개로 네온과 같은 전자 배치를 갖는 등전자 이온이다. 등전자 이온에서는 양성자수(핵전하)가 클수록 전자를 더 강하게 끌어당겨 반지름이 작아지므로, 양성자수가 더 많은 C^{2+}(Mg, 12)가 B^{+}(Na, 11)보다 반지름이 작다. 따라서 'C^{2+}가 B^{+}보다 크다'는 설명은 반대이다.
④ O: D(Al)와 C(Mg)는 같은 3주기 원소로, 같은 주기에서는 오른쪽으로 갈수록 양성자 수가 늘어나는 만큼 원자가 전자가 느끼는 유효 핵전하도 증가한다. Al(13족)이 Mg(2족)보다 오른쪽에 있으므로 원자가 전자에 대한 유효 핵전하는 D가 C보다 크다는 설명이 옳다.

오답 포인트

①은 원자가 전자 수와 전체 전자 개수를 혼동하거나 좌표를 잘못 읽어 생기는 오답이다. ②와 ③은 모두 '같은 족에서는 아래로 갈수록 크다'는 일반적인 주기적 경향을 그대로 적용해 버려서 생기는 오답으로, 실제로는 서로 다른 주기·다른 족에 걸친 비교이거나 등전자 이온 비교이므로 단순한 족 내 경향만으로는 판단할 수 없다. 특히 2차 이온화 에너지는 직전 이온화로 옥텟이 완성되었는지 여부가 크기를 좌우하므로, 1족 원소(B)의 2차 이온화 에너지가 비정상적으로 크다는 점을 놓치면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

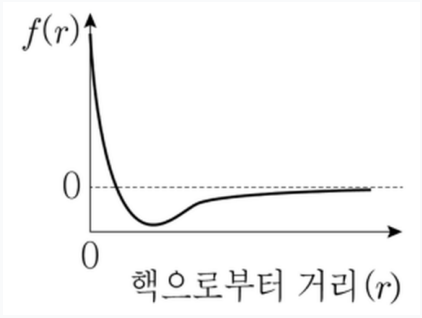
주기율표 좌표형 문제는 먼저 표의 주기·족 번호를 원소 기호로 정확히 옮기는 것이 최우선이다. 그다음 비교 대상이 같은 주기인지 같은 족인지 구분한다. 같은 주기 비교는 유효 핵전하·원자 반지름·이온화 에너지가 오른쪽으로 갈수록 커지는(원자 반지름은 작아지는) 경향으로, 같은 족 비교는 아래로 갈수록 원자 반지름이 커지고 이온화 에너지가 작아지는 경향으로 판단한다. 이온화 에너지는 몇 번째 이온화인지, 그 직전 전자 배치가 옥텟을 이루는지를 반드시 함께 확인한다.

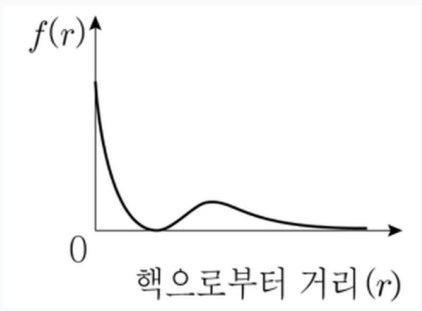
암기 포인트

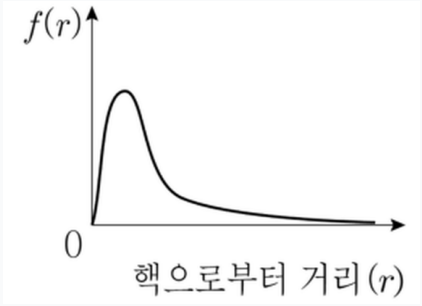
같은 주기에서는 오른쪽으로 갈수록 유효 핵전하·이온화 에너지가 커지고 원자 반지름은 작아진다. n차 이온화 에너지는 그 직전 단계에서 옥텟(안정한 전자 배치)이 완성되었으면 급격히 커진다(예: Na의 2차 이온화 에너지). 등전자 이온은 양성자수가 많을수록 반지름이 작다($Na^{+} > Mg^{2+} > Al^{3+}$).

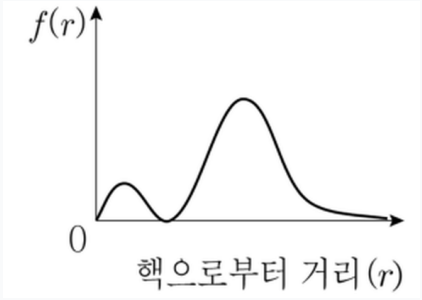
NoteBase

문 7. 수소(H) 원자의 $2s$ 오비탈에서 방사 방향 확률 분포 $f(r)$로 옳은 것은?

① 

② 

③ 

④ 

정답 4번

출제 포인트

수소 원자 2s 오비탈의 방사 방향 확률분포함수 $f(r) \propto r^2R(r)^2$의 실제 개형을 그래프에서 구별할 수 있는지 확인하는 문제이다. 2s 오비탈은 주양자수 $n = 2$, 각운동량 양자수 $l = 0$이므로 방사마디(radial node)의 개수가 $n - l - 1 = 1$개라는 사실과, 확률분포함수는 제곱량이므로 항상 0 이상이라는 두 가지 조건이 핵심이다.

NoteBase

선지별 해설

① f(r)가 r=0에서 큰 양의 값으로 시작하고 이후 0보다 작은 영역까지 내려가는 그래프 → 방사 확률분포함수는 파동함수의 제곱을 포함하는 양이므로 어떤 r에서도 음수가 될 수 없다. 파동함수 자체는 마디에서 부호가 바뀌어 음의 값을 가질 수 있지만, 그 제곱인 확률분포는 항상 0 이상이어야 한다. 또한 r^2 인자 때문에 r=0에서는 0에서 출발해야 하는데 이 그래프는 r=0에서 최댓값으로 시작하므로 개형 자체가 틀렸다.
② 첫 번째(안쪽) 봉우리가 두 번째(바깥쪽) 봉우리보다 큰 그래프 → 2s 오비탈처럼 바깥쪽 껍질의 전자는 핵에서 먼 영역에 존재할 확률이 통계적으로 더 크므로, 마디 바깥쪽의 두 번째 봉우리가 안쪽의 첫 번째 봉우리보다 커야 한다. 이 그래프는 두 봉우리의 상대적 크기가 실제와 반대로 그려져 있으므로 틀렸다.
③ 봉우리가 하나뿐이고 마디 없이 완만하게 감소하는 그래프 → 이는 방사마디가 없는 1s 오비탈의 방사 확률분포 개형이다. 2s 오비탈은 방사마디가 1개 있어야 하므로 확률분포함수가 중간에 한 번 0으로 떨어지는 지점, 즉 봉우리가 2개 나타나야 한다. 마디 없이 봉우리가 하나뿐이므로 틀렸다.
④ r=0에서 0으로 시작하여 작은 첫 번째 봉우리를 이룬 뒤 0으로 떨어지고(방사마디), 다시 상승하여 첫 번째보다 큰 두 번째 봉우리를 이룬 후 서서히 0으로 수렴하는 그래프 → 방사마디가 정확히 1개이고, 확률분포함수가 항상 0 이상이며, 바깥쪽 봉우리가 안쪽 봉우리보다 큰 2s 오비탈의 실제 개형과 정확히 일치한다. 옳은 그래프이다.

오답 포인트

방사 확률분포함수가 음수 영역으로 내려갈 수 있다고 착각하는 것(①), 안쪽 봉우리가 바깥쪽보다 크다고 착각하는 것(②), 오비탈의 방사마디 개수 공식($n - l - 1$)을 고려하지 않고 2s를 1s와 혼동하는 것(③)이 대표적인 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 방사마디 개수 공식 $n - l - 1$을 적용한다. 2s는 $n = 2$, $l = 0$이므로 마디가 1개이고, 따라서 그래프에서 0으로 떨어지는 지점(봉우리 사이의 골)이 정확히 1번 나타나야 한다. 다음으로 확률분포함수는 항상 0 이상이고 r=0에서 0으로 시작한다는 조건만으로 음수 구간이 있거나 r=0에서 최댓값으로 시작하는 그래프를 즉시 제외할 수 있다. 마지막으로 핵에서 먼 바깥쪽 봉우리가 안쪽 봉우리보다 커야 한다는 경향을 적용해 남은 후보 중 정답을 고른다.

암기 포인트

방사마디 개수 $= n - l - 1$; 방사 확률분포함수 $f(r) \propto r^2 R(r)^2$는 항상 0 이상이며 r=0에서 0으로 시작한다; $n \geq 2$인 s 오비탈은 마디 바깥쪽 봉우리가 안쪽 봉우리보다 크다.

NoteBase

문 8. 다음은 산-염기 중화 반응의 열화학 반응식이다. 일정 압력의 단열 용기에서 0.8 M HCl(aq) 1 L와 0.4 M NaOH(aq) 1 L를 혼합할 때, 중화 반응에 의한 용액의 온도 변화는? (단, 용액의 밀도는 $1.0\mathrm{g cm^{-3}}$이고 비열은 $4.0\mathrm{J^\circ C^{-1} g^{-1}}$이다)

$$\mathrm{H^+}(aq) + \mathrm{OH^-}(aq) \rightarrow \mathrm{H_2O}(l) \qquad \Delta H = -56\mathrm{kJ}$$

① 2.8°C 감소

② 0.28°C 감소

③ 0.28°C 증가

④ 2.8°C 증가

정답 4번

출제 포인트

산-염기 중화 반응의 열화학 반응식에서 반응한 몰수를 구하고, 이를 이용해 방출된 열량을 계산한 뒤 $q = mc\Delta T$로 온도 변화를 구하는 문제다. 두 용액의 부피를 합친 혼합 용액 전체의 질량을 기준으로 계산해야 하는 점과, 중화 반응은 발열 반응이라 온도가 올라간다는 점이 핵심이다.

조건 정리

HCl(aq) 0.8 M, 1 L이므로 H+ 몰수는 $0.8\ \mathrm{M} \times 1\ \mathrm{L} = 0.8\ \mathrm{mol}$이다. NaOH(aq) 0.4 M, 1 L이므로 OH- 몰수는 $0.4\ \mathrm{M} \times 1\ \mathrm{L} = 0.4\ \mathrm{mol}$이다. H+(aq) + OH-(aq) → H2O(l)는 1:1 반응이므로 OH- 0.4 mol이 모두 소모될 때 H+도 0.4 mol만 반응하고, H+는 0.4 mol이 반응하지 않고 남는다. 즉 중화 반응에 실제로 참여하는 양은 0.4 mol이다. 혼합 용액의 부피는 1 L + 1 L = 2 L이고, 밀도가 1.0 g/cm^3(=1.0 g/mL)이므로 질량은 2000 g이다.

사용할 공식

반응에 참여한 몰수를 n, 반응열을 ΔH라 하면 방출 열량은 $q = n \times |\Delta H|$이다. 이 열이 전부 용액의 온도를 높이는 데 쓰인다고 하면 $q = mc\Delta T$이므로 $\Delta T = \frac{q}{mc}$이다.

계산 과정

방출된 열량은 $q = 0.4\ \mathrm{mol} \times 56\ \mathrm{kJ/mol} = 22.4\ \mathrm{kJ} = 22400\ \mathrm{J}$이다. 혼합 용액의 질량은 2000 g, 비열은 4.0 J/(°C·g)이므로 $\Delta T = \frac{22400}{2000 \times 4.0} = \frac{22400}{8000} = 2.8\ ^\circ\mathrm{C}$이다. 중화 반응은 ΔH가 음수인 발열 반응이므로 반응이 일어나면서 열이 용액으로 방출되어 온도가 올라간다. 따라서 온도 변화는 2.8 °C 증가이다.

NoteBase

선지 판단

① 2.8 °C 감소: O/X 표시로는 X다. 온도 변화의 크기(2.8 °C)는 맞지만 방향이 틀렸다. 중화 반응은 발열 반응이므로 감소가 아니라 증가해야 한다.
② 0.28 °C 감소: X다. 크기 계산에서 소수점 자리를 잘못 두어 10배 작게 나온 값이며 방향도 틀렸다.
③ 0.28 °C 증가: X다. 방향은 맞지만 크기가 틀렸다. 소수점을 잘못 두면 나오는 값으로, 실제 값은 0.28 °C가 아니라 2.8 °C이다.
④ 2.8 °C 증가: O다. 방출 열량 22.4 kJ을 혼합 용액 질량 2000 g과 비열 4.0 J/(°C·g)로 나누면 2.8 °C 증가가 정확히 나온다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 몰수 계산에서 두 반응물 중 넣은 산과 염기의 몰수를 그대로 반응 몰수로 쓰는 것이다. H+ 0.8 mol과 OH- 0.4 mol은 1:1로 반응하므로 적은 쪽인 OH- 0.4 mol만 반응하고 나머지 H+ 0.4 mol은 반응하지 않은 채 남는다는 점을 놓치면 열량을 2배로 계산하게 되어 5.6 °C 같은 값이 나온다. 또한 질량을 구할 때 혼합 전 한쪽 용액의 부피(1 L)만 쓰거나 부피를 그대로 mL로 오인해 소수점을 잘못 두면 2.8 °C 대신 0.28 °C가 나온다. 마지막으로 중화 반응의 ΔH가 음수라는 것을 보고 무조건 온도가 내려간다고 착각하는 경우가 있는데, ΔH가 음수인 발열 반응은 열을 용액 밖(계 자체)으로 내보내는 것이 아니라 그 용액 자체를 데우는 것이므로 온도는 올라간다.

다시 나오면 이렇게 판단

이런 유형은 먼저 두 반응물의 몰수를 각각 구하고 반응식의 계수비로 한계 반응물을 정한 뒤, 실제로 반응한 몰수만으로 열량을 계산한다. 그다음 질량은 반드시 섞인 후의 전체 용액을 기준으로 잡고, ΔH가 음수면 발열이므로 온도는 증가, 양수면 흡열이므로 온도는 감소라고 방향을 먼저 정해 놓고 크기를 계산하면 계산 실수와 부호 실수를 동시에 줄일 수 있다.

암기 포인트

산-염기 중화 열량 문제는 $q = mc\Delta T$와 $q = n\Delta H$를 연결하는 문제이며, 반응 몰수는 항상 적게 넣은 이온의 몰수(한계 반응물)로 잡고, 질량은 섞인 후 전체 용액 질량으로, ΔH<0(발열)이면 온도 증가·ΔH>0(흡열)이면 온도 감소로 방향을 고정해 외워 둔다.

NoteBase

문 9. 원자가 껍질 전자쌍 반발(VSEPR) 모형에 근거하여, IF_4^+의 가장 타당한 분자 기하 구조는?

① 시소(see-saw)형

② 사면체형(tetrahedral)

③ 평면 사각형(square planar)

④ 삼각 쌍뿔형(trigonal bipyramidal)

정답 1번

출제 포인트

VSEPR(원자가 껍질 전자쌍 반발) 모형에서 분자의 기하 구조를 결정할 때는 중심 원자 주위의 결합 전자쌍뿐 아니라 비공유 전자쌍(고립 전자쌍)까지 함께 세어야 한다는 점을 확인하는 문항이다. IF_4^+처럼 중심 원자에 홀로 전자쌍이 남는 경우, 그 전자쌍이 이상적인 다면체(사면체·삼각 쌍뿔·팔면체 등)의 한 자리를 차지하면서 실제 분자 모양은 이상적인 다면체보다 한 단계 찌그러진 형태로 나타난다.

조건 정리

중심 원자는 아이오딘(I)이고, 이온은 IF_4^+(1가 양이온)이다. I는 F 4개와 각각 단일 결합을 이루고 있다. I의 원자가 전자 수는 7개, F 1개당 원자가 전자 수는 7개이며, 이온 전체가 +1가이므로 전자 1개를 잃은 상태로 취급한다.

사용할 공식

중심 원자 주위 전자쌍 배치를 구하려면 먼저 전체 원자가 전자 수를 센다: 전체 전자 수 = 7(I) + 4× 7(F) - 1(양전하) = 34개. I–F 결합 4개에 쓰이는 전자는 $4 \times 2 = 8$개이므로, 나머지 $34 - 8 = 26$개는 F 원자들의 고립 전자쌍과 I의 고립 전자쌍으로 나뉜다. F 1개는 결합에 참여하지 않는 전자쌍 3쌍(6전자)을 가지므로 F 4개가 쓰는 전자는 $4 \times 6 = 24$개이고, 남는 $26 - 24 = 2$개, 즉 1쌍이 중심 원자 I에 고립 전자쌍으로 남는다. 이렇게 얻은 결합 전자쌍 수(X)와 고립 전자쌍 수(E)를 AX_nE_m 표기로 정리해 VSEPR 표(전자쌍 기하 → 분자 기하)에 대입한다.

계산 과정

위 계산 결과 I 주위에는 결합 전자쌍 4개(F 4개와의 결합)와 고립 전자쌍 1개, 총 5개의 전자쌍이 존재한다. 전자쌍이 5개이므로 전자쌍 기하(입체수 5)는 삼각 쌍뿔형이 기본 배치가 된다. 그런데 이 중 1자리는 결합이 아닌 고립 전자쌍이 차지하므로, 고립 전자쌍의 반발을 최소화하기 위해 고립 전자쌍은 삼각 쌍뿔의 적도(equatorial) 자리에 위치하고, 나머지 4개의 F 원자가 축 방향 2자리와 적도 방향 2자리를 차지하게 된다. 이 결과로 만들어지는 분자 모양이 바로 시소(see-saw)형이며, 이는 SF_4의 분자 구조와 동일한 AX_4E_1 유형이다.

NoteBase

선지 판단

① 시소(see-saw)형 — O. 결합 전자쌍 4개, 고립 전자쌍 1개(AX_4E_1)인 경우의 실제 분자 모양이며, 계산 결과와 일치한다.
② 사면체형(tetrahedral) — X. 사면체형은 고립 전자쌍 없이 결합 전자쌍만 4개인 AX_4 구조(예: CH_4)에서 나타나는 모양이며, IF_4^+에는 고립 전자쌍이 1개 있으므로 해당하지 않는다.
③ 평면 사각형(square planar) — X. 평면 사각형은 결합 전자쌍 4개에 고립 전자쌍이 2개 있는 AX_4E_2 구조(예: XeF_4)에서 나타나는 모양이며, IF_4^+은 고립 전자쌍이 1개뿐이므로 해당하지 않는다.
④ 삼각 쌍뿔형(trigonal bipyramidal) — X. 이는 전자쌍의 배치(전자쌍 기하)일 뿐이며, 고립 전자쌍이 없는 AX_5 구조에서 나타나는 분자 모양이다. IF_4^+은 전자쌍 기하는 삼각 쌍뿔형이 맞지만 고립 전자쌍 1개가 한 자리를 차지하므로 실제 분자 모양(분자 기하)은 삼각 쌍뿔형이 아니라 시소형이 된다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 전자쌍 기하와 분자 기하를 혼동하는 것이다. 전자쌍이 5개이니 삼각 쌍뿔형이라고 바로 답을 고르면 ④를 선택하게 되는데, 이는 고립 전자쌍의 존재를 무시한 판단이다. 분자 기하는 원자 배치만을 가리키는 것이므로 고립 전자쌍이 있으면 반드시 한 단계 낮은 형태로 이름이 바뀐다는 점을 놓치지 않아야 한다. 또한 이온의 전하(+1)를 전자 수 계산에서 빠뜨리고 중성 IF_4로 계산하면 전자쌍 수가 어긋나므로, 전하 반영을 빠뜨리지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

중심 원자에 할로젠 원소(I, Br, Cl, Xe 등)가 오고 이온 전하가 붙어 있는 문제는 먼저 전체 원자가 전자 수(중심 원자 전자 수 + 주변 원자 전자 수의 합 ∓ 전하)를 정확히 구한 뒤, 결합에 쓰인 전자 수를 빼서 남는 전자를 고립 전자쌍으로 배분한다. 그다음 결합 전자쌍 수(X)와 고립 전자쌍 수(E)를 모두 확인하고, 전자쌍 기하가 아니라 고립 전자쌍까지 반영한 분자 기하 이름을 답으로 고른다.

암기 포인트

AX_4E_1=시소형(예: SF_4, IF_4^+), AX_4E_2=평면 사각형(예: XeF_4), AX_4=사면체형(예: CH_4), AX_5=삼각 쌍뿔형(예: PCl_5)으로 전자쌍 조합별 이름을 짝지어 기억해 둔다.

NoteBase

문 10. 다음은 2개의 반쪽 전지와 염다리로 구성된 갈바니 전지의 전지 반응식과, 25°C에서 반쪽 반응의 표준 환원 전위 (E°)이다. 25°C에서 이 전지에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 패러데이 상수 $F = 96{,}500\text{C mol}^{-1}$ 이다)

전지 반응: $2Ag^+(aq) + Cu(s) \rightarrow 2Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$
반쪽 반응: $Ag^+(aq) + e^- \rightleftharpoons Ag(s)\ E^\circ = +0.80V$
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)\ E^\circ = +0.34V$

① 표준 기전력은 1.26V이다.

② Ag 전극은 (-)극이다.

③ 전지 반응의 표준 반응 자유 에너지는 $-(0.92 \times 96.5)$kJ이다.

④ Cu 전극이 포함된 반쪽 전지에서 $Cu^{2+}(aq)$ 농도를 높이면 기전력이 증가한다.

정답 3번

출제 포인트

갈바니 전지에서 표준 환원 전위로부터 표준 기전력·전극 극성·표준 반응 자유 에너지를 계산하고, 농도 변화가 기전력에 미치는 영향을 네른스트 식의 방향으로 판단하는 문제이다. 전지 반응 $2Ag^+(aq) + Cu(s) \rightarrow 2Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$에서 Ag^+은 환원(정극, 환원전극), Cu는 산화(부극, 산화전극)되므로, 정극 E°=+0.80 V(Ag^+/Ag), 부극 E°=+0.34 V(Cu^{2+}/Cu)이다.

조건 정리

전체 반응은 Ag^+ 반쪽 반응에 2를 곱하고 Cu^{2+} 반쪽 반응은 산화 방향으로 뒤집어 더한 것이므로, 전달된 전자 수 n=2이다. 표준 기전력은 (정극의 E°) − (부극의 E°)로 구하며, 전자수를 곱해도 E°(전위) 자체는 변하지 않는다는 점에 유의한다.

사용할 공식

E^_전지 = E^_환원(정극) - E^_산화(부극)
Δ G^ = -nFE^_전지
네른스트 식: $E = E^\circ - \frac{RT}{nF}\ln Q$ (여기서 $Q = \frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^+]^2}$)

계산 과정

표준 기전력: E^_전지 = 0.80 V - 0.34 V = 0.46 V
표준 반응 자유 에너지: Δ G^ = -nFE^_전지 = -(2)(96,500 C mol^-1)(0.46 V)
이를 정리하면 $\Delta G^\circ = -(2 \times 0.46) \times 96{,}500\text{J} = -(0.92 \times 96{,}500)\text{J} = -(0.92 \times 96.5)$kJ이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 표준 기전력은 정극 전위에서 부극 전위를 뺀 값이므로 0.80 V − 0.34 V = 0.46 V이다. 1.26 V는 두 전위를 더한 값도 아니고 올바른 계산 결과가 아니다.
② X: 전지 반응에서 $Ag^{+}(aq) + e^{-} \rightleftharpoons Ag(s)$는 환원 반응이므로 Ag 전극은 환원이 일어나는 (+)극(정극)이며, Cu 전극이 산화가 일어나는 (−)극(부극)이다.
③ O: 계산 과정과 같이 n=2, F=96,500 C mol^{-1}, E°=0.46 V를 대입하면 $\Delta G^\circ = -(0.92 \times 96.5)$kJ로 정확히 일치한다.
④ X: Cu 전극이 포함된 반쪽 전지는 반응의 생성물인 $Cu^{2+}(aq)$이 생성되는 쪽이므로, $Cu^{2+}(aq)$ 농도를 높이면 반응지수 $Q = [Cu^{2+}]/[Ag^{+}]^2$가 커진다. 네른스트 식에서 Q가 커지면 $E = E^\circ - \frac{RT}{nF}\ln Q$의 두 번째 항이 커져 E는 작아지므로, 기전력은 증가가 아니라 감소한다.

오답 포인트

①은 표준 기전력을 두 반쪽 반응의 E°를 단순히 더하거나 잘못 조합해서 생기는 착오이다. 표준 기전력은 항상 (환원이 일어나는 정극의 E°) − (산화가 일어나는 부극의 E°)로 뺄셈해야 한다.
②는 전지 반응식만 보고 산화·환원 방향을 거꾸로 판단하기 쉬운데, 전지 반응식에서 Ag^{+}이 Ag(s)로 바뀌는 쪽(환원)이 정극, Cu(s)가 Cu^{2+}으로 바뀌는 쪽(산화)이 부극임을 반드시 반응식에서 직접 확인해야 한다.
④는 반응물 Ag^{+} 농도와 생성물 Cu^{2+} 농도를 혼동하지 않아야 한다. 생성물 농도가 높아지면 정반응이 불리해져 기전력은 감소한다.

다시 나오면 이렇게 판단

전지 반응식이 주어지면 먼저 어느 이온이 감소(환원)되어 정극이 되고 어느 금속이 산화되어 부극이 되는지부터 반응식으로 확정한다. 그다음 표준 기전력은 반드시 (정극 E°) − (부극 E°)로 계산하고, $\Delta G^\circ = -nFE^\circ$에서 n은 전체 반응식의 전자 이동 수(계수를 맞춘 반쪽 반응 기준)임을 확인한다. 농도 변화의 영향은 네른스트 식의 반응지수 Q에 생성물이 분자, 반응물이 분모로 들어간다는 점에서 출발해 판단한다.

암기 포인트

표준 기전력 = 정극(환원) E° − 부극(산화) E°; 환원이 일어나는 전극이 갈바니 전지의 (+)극이다. $\Delta G^\circ = -nFE^\circ$이며 n은 전체 반응의 이동 전자 수이다. 생성물 농도 증가 → Q 증가 → E 감소, 반응물 농도 증가 → Q 감소 → E 증가.

NoteBase

문 11. 피스톤이 달린 실린더에서 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ 반응이 평형에 도달한 후 변화를 가할 때, 평형의 이동 방향이 나머지와 다른 것은? (단, 온도는 일정하다)

① 실린더 부피를 일정하게 유지하면서 H_2를 가한다.

② 실린더 부피를 일정하게 유지하면서 NH_3를 제거한다.

③ 외부 압력을 일정하게 유지하면서 Ar을 주입한다.

④ 피스톤에 힘을 가해 실린더의 내부 압력을 증가시킨다.

정답 3번

출제 포인트

N2(g) + 3H2(g) ⇌ 2NH3(g) 반응(반응물 4몰 → 생성물 2몰, 몰수 감소 반응)에서 부피 일정·전압 일정이라는 조건 차이에 따라 불활성 기체(Ar) 첨가가 평형에 미치는 영향이 반응물·생성물 농도 변화와는 다르게 작동한다는 점을 이해하는지 묻는다. 나머지 선지는 모두 정반응(NH3 생성 방향) 쪽으로 평형이 이동하고, 3번만 역반응(반응물 생성 방향) 쪽으로 이동한다.

핵심 개념

부피 일정 상태에서 반응물을 추가하거나 생성물을 제거하면 그 성분의 농도(분압) 변화가 직접 반응지수 Q를 K보다 작게 만들어 정반응 쪽으로 이동한다. 부피를 줄이거나 압력을 높이는 조작(피스톤으로 압축)도 몰수가 적은 쪽, 즉 생성물(NH3) 쪽으로 평형을 이동시킨다. 반면 외부 압력을 일정하게 유지하면서 반응에 관여하지 않는 불활성 기체(Ar)를 넣으면 전체 압력을 일정하게 유지하기 위해 피스톤이 밀려 실린더 부피가 늘어난다. 이때 반응 성분(N2, H2, NH3)의 분압은 모두 같은 비율로 낮아지고 반응물·생성물의 몰수 합이 다르므로(반응물 4몰 대 생성물 2몰), 부피 팽창은 몰수가 더 많은 쪽인 반응물 쪽으로 평형을 이동시킨다. 즉 정압 조건에서의 불활성 기체 첨가는 실질적으로 계를 희석하는 효과를 내어, 몰수가 많은 반응물 생성 방향(역반응)으로 이동시킨다.

선지별 해설

① 부피 일정 + H2 첨가: H2 농도가 증가해 Q < K가 되므로 정반응(NH3 생성) 방향으로 이동한다.
② 부피 일정 + NH3 제거: 생성물 농도가 감소해 Q < K가 되므로 정반응(NH3 생성) 방향으로 이동한다.
③ 외부 압력 일정 + Ar 주입: 부피가 늘어나 모든 반응 성분의 분압이 함께 낮아지는 희석 효과가 발생하고, 몰수가 많은 반응물 쪽(역반응)으로 평형이 이동한다. 나머지 선지와 이동 방향이 반대이므로 이것이 정답이다.
④ 피스톤으로 내부 압력 증가(부피 감소): 압력이 높아지면 몰수가 적은 생성물(NH3) 쪽, 즉 정반응 방향으로 이동한다.

NoteBase

오답 포인트

①②④를 정반응 이동으로 옳게 판단하고도 ③을 '기체를 더 넣었으니 압력이 높아져 역시 정반응 쪽(몰수가 적은 쪽)으로 이동한다'고 착각하기 쉽다. 그러나 조건이 '외부 압력 일정'이라는 점이 핵심이다. 전체 압력이 고정된 상태에서 반응에 관여하지 않는 기체를 넣으면 실린더 부피 자체가 늘어나 각 반응 성분의 실제 분압은 오히려 낮아진다. 전체 압력이 일정한지, 부피가 일정한지를 혼동하면 이동 방향을 반대로 판단하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

불활성 기체 첨가 문제는 먼저 '부피 일정' 조건인지 '압력(부피 가변) 일정' 조건인지부터 확인한다. 부피가 고정된 채로 불활성 기체를 넣으면 각 성분의 분압·농도가 변하지 않으므로 평형은 이동하지 않는다. 반대로 압력이 고정된 채(피스톤이 자유롭게 움직이는 실린더)로 불활성 기체를 넣으면 부피가 늘어나 반응 성분들의 분압이 함께 낮아지고, 반응물과 생성물 중 몰수가 많은 쪽으로 평형이 이동한다.

암기 포인트

정압 조건에서 불활성 기체 주입 = 부피 팽창 = 몰수 많은 쪽으로 이동(희석 효과). 정적 조건에서 불활성 기체 주입 = 분압 불변 = 평형 이동 없음. 이 둘을 구분해서 기억해 둔다.

NoteBase

문 12. 온도 T에서, 반응 $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$의 평형 상수($K_c$)가 0.2이면 $4NO_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O_4(g)$ 반응의 K_c는?

① 0.4

② 5

③ 25

④ 50

정답 3번

출제 포인트

화학반응식을 역으로 뒤집거나 계수를 배수로 곱했을 때 평형 상수가 어떻게 변하는지를 묻는 문제이다.
정반응의 평형 상수를 알 때, 역반응 및 계수를 정수배한 반응의 평형 상수를 구할 수 있는지가 핵심이다.

조건 정리

기준 반응은 $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$이고 이 반응의 평형 상수는 $K_c = 0.2$이다. 구해야 하는 반응은 $4NO_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O_4(g)$이다. 이 반응은 기준 반응을 역으로 뒤집고 모든 계수를 2배 한 것과 같다.

사용할 공식

반응식을 역으로 쓰면 평형 상수는 역수가 된다: K_역 = (1)/(K). 반응식의 모든 계수를 n배 하면 평형 상수는 n제곱이 된다: $K_{n\times} = K^n$.

계산 과정

먼저 기준 반응 $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$의 역반응인 $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$의 평형 상수를 구한다.K_역 = (1)/(0.2) = 5이 역반응의 계수를 모두 2배 하면 목표 반응인 $4NO_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O_4(g)$이 된다. 계수를 2배 하면 평형 상수는 제곱이 되므로$K_c = 5^2 = 25$이다.

선지 판단

① 0.4 → X. 기준 반응의 평형 상수 0.2에 단순히 2를 곱한 값으로, 역반응·계수배수의 관계를 적용하지 않은 오답이다.
② 5 → X. 역반응까지만 취하고 계수를 2배 하는 과정을 빠뜨린 값이다(역반응 $2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$의 Kc에 해당하며, 목표 반응인 4NO2⇌2N2O4의 Kc는 아니다).
③ 25 → O. 역반응의 Kc(=5)를 계수 2배에 맞춰 제곱한 값으로 옳다.
④ 50 → X. 역반응 Kc(5)에 계수배수 2를 곱한 값으로, 제곱해야 할 것을 곱하기로 잘못 계산한 오답이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제에서 자주 하는 실수는 두 가지이다. 하나는 역반응의 평형 상수가 원래 값의 역수라는 것을 잊고 원래 값에 계수배수만 곱하거나 제곱하는 것이고(①, ④), 다른 하나는 역수는 취했지만 계수가 2배 되었다는 것을 반영하지 않고 역수 값을 그대로 답으로 고르는 것이다(②). 계수배수와 역반응은 각각 독립적으로 적용해야 하며, 두 조작을 모두 거쳐야 정확한 값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 주어진 반응과 구하려는 반응을 비교하여 방향이 뒤집혔는지, 계수가 몇 배 되었는지를 따로 확인한다. 방향이 뒤집혔으면 역수를 취하고, 계수가 n배 되었으면 그 결과를 n제곱한다. 두 조작의 순서는 상관없지만 둘 다 빠짐없이 적용해야 한다.

암기 포인트

반응식을 역으로 쓰면 $K \to \frac{1}{K}$, 계수를 n배 하면 $K \to K^n$이라는 두 규칙을 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 13. 착화합물과 Co의 산화수를 옳게 짝 지은 것은?

① $K[Co(NH_3)_2(CN)_4]$: +3, $Na[Co(OH_2)_3(OH)_3]$: +2

② $K[Co(NH_3)_2(CN)_4]$: +3, $Na[Co(OH_2)_3(OH)_3]$: +3

③ $K[Co(NH_3)_2(CN)_4]$: +4, $Na[Co(OH_2)_3(OH)_3]$: +2

④ $K[Co(NH_3)_2(CN)_4]$: +4, $Na[Co(OH_2)_3(OH)_3]$: +3

정답 1번

출제 포인트

착화합물(착이온)의 산화수 계산 규칙을 적용해 중심 금속 Co의 산화수를 구하는 문제이다. 착이온 전체의 전하는 짝이온(반대이온)의 전하로부터 정해지고, 배위된 리간드는 각각 고유의 전하(중성 또는 음이온)를 가지므로 이를 합산해 중심 금속의 산화수를 역산한다.

조건 정리

K[Co(NH3)2(CN)4]에서 K는 +1의 양이온이므로 착이온 [Co(NH3)2(CN)4]는 -1의 전하를 가진다. 리간드 NH3(암모니아)는 중성 리간드로 전하가 0이고, CN(시아노)은 -1의 전하를 가지는 음이온성 리간드이다. Na[Co(OH2)3(OH)3]에서 Na는 +1의 양이온이므로 착이온 [Co(OH2)3(OH)3]는 -1의 전하를 가진다. 리간드 OH2(아쿠아, 물)는 중성 리간드로 전하가 0이고, OH(하이드록소)는 -1의 전하를 가지는 음이온성 리간드이다.

사용할 공식

착이온의 전체 전하 = 중심 금속의 산화수 + 모든 리간드 전하의 합. 이를 중심 금속의 산화수에 대해 정리하면 다음과 같다. Co의 산화수 = 착이온 전체 전하 - Σ(리간드 전하)

계산 과정

K[Co(NH3)2(CN)4]: 착이온 전하는 -1이다. 리간드 전하의 합은 $NH_3 \times 2 = 0$, $CN^- \times 4 = -4$이므로 합은 -4이다. 따라서 Co 산화수 = -1 - (-4) = +3이다. Na[Co(OH2)3(OH)3]: 착이온 전하는 -1이다. 리간드 전하의 합은 $OH_2 \times 3 = 0$, $OH^- \times 3 = -3$이므로 합은 -3이다. 따라서 Co 산화수 = -1 - (-3) = +2이다. 즉 K[Co(NH3)2(CN)4]에서 Co는 +3, Na[Co(OH2)3(OH)3]에서 Co는 +2이다.

NoteBase

선지 판단

① +3, +2 → 계산 결과와 정확히 일치하므로 옳다.
② +3, +3 → 앞의 +3은 맞지만 뒤는 OH를 중성으로 잘못 취급하거나 계산을 틀리게 한 값으로 틀리다 → 올바른 값은 +2이다.
③ +4, +2 → 뒤의 +2는 맞지만 앞은 CN을 중성 리간드로 잘못 취급한 값으로 틀리다 → 올바른 값은 +3이다.
④ +4, +3 → 두 값 모두 음이온성 리간드(CN, OH)의 전하를 0으로 잘못 계산한 값으로 틀리다 → 올바른 값은 +3, +2이다.

오답 포인트

이 문제의 오답은 대부분 리간드의 전하를 구분하지 못한 데서 나온다. NH3와 OH2(물)는 중성 리간드로 전하가 0이지만, CN(시아노)과 OH(하이드록소)는 음이온성 리간드로 전하가 -1이다. 이름이 비슷해 보이는 OH2(물, 중성)와 OH(하이드록소, -1)를 혼동하지 않아야 하며, 리간드 개수만큼 전하를 곱하는 것을 빠뜨리면 산화수 계산이 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

착화합물 문제를 보면 먼저 바깥의 반대이온(K, Na 등 알칼리 금속)의 전하를 확인해 착이온 전체의 전하를 정한다. 그다음 괄호 안 리간드를 하나씩 보고 중성 리간드(NH3, H2O 또는 OH2)와 음이온성 리간드(CN, OH, Cl 등)를 구분해 전하를 모두 더한다. 마지막으로 착이온 전체 전하에서 리간드 전하의 합을 빼면 중심 금속의 산화수가 나온다.

암기 포인트

중성 리간드: NH3(암모니아), H2O 또는 OH2(아쿠아) → 전하 0. 음이온성 리간드: CN(시아노), OH(하이드록소), Cl(클로로) → 전하 -1. 착이온 전체 전하는 바깥 반대이온의 전하로부터 결정된다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 14. 탄소 원자의 혼성 오비탈이 나머지와 다른 것은?

① 흑연

② 다이아몬드

③ 벤젠

④ 폼알데하이드

정답 2번

출제 포인트

탄소 원자의 결합 형태로부터 혼성 오비탈 종류를 판단하는 문제이다. 탄소는 주변에 결합한 원자(또는 전자쌍)의 개수와 배치에 따라 sp^3, sp^2, sp 혼성을 이루며, 이 문항은 흑연·다이아몬드·벤젠·폼알데하이드 각각에서 탄소가 어떤 혼성을 갖는지 비교해 나머지와 다른 하나를 찾는 형태이다.

핵심 개념

탄소가 4개의 시그마 결합만으로 정사면체 구조를 이루면 sp^3 혼성이다. 탄소가 3개의 시그마 결합과 1개의 파이 결합(이중결합 1개 또는 비편재 파이 전자계)을 가지며 평면 삼각형 구조를 이루면 sp^2 혼성이다. 흑연은 탄소가 육각형 판상 구조로 배열되어 각 탄소가 이웃 3개의 탄소와 시그마 결합을 이루고 남은 p오비탈 전자가 비편재화된 파이 결합을 형성하므로 sp^2이다. 다이아몬드는 각 탄소가 다른 탄소 4개와 단일 결합만으로 정사면체 그물 구조를 이루므로 sp^3이다. 벤젠은 육각형 고리에서 각 탄소가 인접 탄소 2개, 수소 1개와 시그마 결합을 이루고 고리 전체에 비편재화된 파이 전자계를 가지므로 sp^2이다. 폼알데하이드($HCHO$)는 탄소가 산소와 이중결합, 수소 2개와 단일결합을 이루는 평면 삼각형 구조이므로 sp^2이다.

선지별 해설

① 흑연: 탄소가 평면 육각망을 이루며 이웃 탄소 3개와 시그마 결합, 나머지 전자는 비편재 파이 결합에 참여하므로 sp^2 혼성이다. 나머지 세 보기와 같은 혼성이므로 정답이 아니다.

② 다이아몬드: 탄소가 사방의 다른 탄소 4개와 모두 단일 결합(시그마 결합)만으로 연결된 정사면체 그물 구조이므로 sp^3 혼성이다. 나머지 셋(흑연·벤젠·폼알데하이드)은 모두 sp^2이므로 이 선지만 혼성이 다르다. 정답이다.

③ 벤젠: 평면 육각 고리 구조에서 각 탄소가 시그마 결합 3개(이웃 탄소 2개, 수소 1개)와 비편재화된 파이 결합을 가지므로 sp^2 혼성이다. 나머지와 같은 혼성이므로 정답이 아니다.

④ 폼알데하이드: 탄소가 산소와 이중결합(시그마+파이), 수소 2개와 단일결합을 이루는 평면 삼각형 구조이므로 sp^2 혼성이다. 나머지와 같은 혼성이므로 정답이 아니다.

NoteBase

오답 포인트

이중결합이나 방향족 고리처럼 파이 결합이 있으면 sp^2, 사면체 구조로 단일결합만 있으면 sp^3이라는 기준을 놓치면 흑연과 다이아몬드를 혼동하기 쉽다. 흑연은 평면 판상 구조, 다이아몬드는 입체 그물 구조라는 결정 구조 차이를 혼성 오비탈과 연결하지 못하면 오답을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

탄소 화합물에서 혼성을 물을 때는 먼저 그 탄소에 이중결합이나 방향족 고리(비편재 파이 결합)가 있는지부터 확인한다. 있으면 sp^2, 결합이 모두 단일결합이고 입체적 사면체 배치이면 sp^3으로 판단한다. 여러 물질을 비교하는 문제에서는 각 물질의 탄소 결합 형태를 하나씩 표시해 보면서 혼성을 정리하면 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

다이아몬드=탄소 단일결합 사면체 구조=sp^3. 흑연·벤젠·폼알데하이드=이중결합 또는 비편재 파이 결합을 가진 평면 삼각형 구조=sp^2.

NoteBase

문 15. 축합 반응으로 아마이드(amide) 결합을 형성할 수 있는 것은?

① 1차 아민(amine)과 1차 알코올(alcohol)의 반응

② 1차 아민과 카복실산(carboxylic acid)의 반응

③ 2차 아민과 에터(ether)의 반응

④ 2차 아민과 알데하이드(aldehyde)의 반응

정답 2번

출제 포인트

아마이드(amide) 결합이 어떤 두 작용기의 축합 반응으로 생기는지를 묻는 문제다. 아마이드 결합은 카복실산의 카보닐 탄소에 아민의 질소가 결합하고 물이 빠져나가는 축합으로 형성되므로, 반응 짝으로 카복실산과 아민이 제시된 선지를 골라야 한다.

핵심 개념

아마이드 결합($-CONH-$)은 카복실산($-COOH$)과 아민($-NH_2$ 또는 $-NHR$)이 축합하여 물 한 분자를 잃으면서 생성된다. 이때 카복실산 쪽은 1차든 2차든 관계없이 카보닐기이면 되고, 아민 쪽은 질소에 수소가 남아 있어야(1차 또는 2차 아민) 아마이드 질소로 치환될 수 있다. 반면 알코올과 아민의 축합은 아마이드가 아니라 이민(imine)이나 에터 계열 생성물로 이어지지 않고, 알데하이드와 아민의 축합은 이민(엔아민 포함)을 만들며, 에터는 애초에 반응성이 낮아 아민과 직접 축합하지 않는다.

선지별 해설

① X. 1차 아민과 1차 알코올은 서로 축합하여 아마이드를 만드는 조합이 아니다. 알코올의 하이드록시기는 카보닐기가 아니므로 아마이드 결합에 필요한 $C(=O)-N$ 골격이 생기지 않는다.
② O. 1차 아민과 카복실산이 축합하면 카복실산의 하이드록시기와 아민의 수소 하나가 물로 빠져나가면서 $C(=O)-NH-$ 구조, 즉 아마이드 결합이 형성된다. 이는 아마이드 합성의 기본 반응이다.
③ X. 2차 아민과 에터는 서로 축합 반응을 일으키지 않는다. 에터는 산소 양쪽이 알킬기로 막혀 있어 반응성이 낮고 카보닐기도 없으므로 아마이드가 생길 수 없다.
④ X. 2차 아민과 알데하이드가 축합하면 물이 빠지면서 이민 계열(엔아민) 화합물이 만들어지는 것이지, 아마이드 결합이 생기는 것은 아니다.

오답 포인트

아민과 축합하는 상대가 카복실산인지 알코올·알데하이드·에터인지를 헷갈리면 오답을 고르게 된다.
아마이드는 반드시 카보닐 탄소(카복실산 계열)에 질소가 붙는 구조라는 점을 기준으로 판단해야 하며, 단순히 '아민이 관여했다'는 이유만으로 선지를 고르면 안 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

선지에서 아민의 반응 상대가 무엇인지부터 확인한다. 상대가 카복실산(또는 그 유도체인 산할라이드, 산무수물, 에스터)이면 아마이드 결합이 생기고, 상대가 알코올·알데하이드·케톤·에터이면 각각 다른 생성물(에스터 유사 결합 없음, 이민/엔아민, 반응 없음)이 되어 아마이드와 무관하다.

암기 포인트

아마이드 결합 = 카복실산 + 아민(1차 또는 2차) − 물. 카보닐기가 없는 알코올·에터는 아마이드를 만들 수 없고, 알데하이드는 아민과 축합해도 이민 계열이 된다는 점을 함께 정리해 둔다.

NoteBase

문 16. t°C**의 물에서** MgF_2**의 용해도곱 상수(**K_{sp}**)가** 4×10^{-9}**일 때,** t°C**에서** MgF_2**의 용해 거동에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단,** NaF**은 물에서 이온으로 완전히 해리된다)**

ㄱ. 물에서 MgF_2의 몰용해도는 1×10^{-3}M이다.
ㄴ. 물에서 MgF_2의 몰용해도0.1 M HCl 수용액에서 MgF_2의 몰용해도는 1보다 작다.
ㄷ. 물에서 MgF_2의 몰용해도0.1 M NaF 수용액에서 MgF_2의 몰용해도는 10^4이다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

난용성 염 MgF2의 용해도곱 상수로부터 물에서의 몰용해도를 구하고, 공통 이온 효과와 약산 음이온의 양성자화 효과가 용해도를 각각 어떻게 바꾸는지 비교하는 문제이다. ㄱ은 순수한 물에서의 용해도 계산, ㄴ은 산성 용액에서 F^-이 소모되어 용해도가 커지는 효과, ㄷ은 공통 이온 F^- 첨가로 용해도가 작아지는 효과를 각각 정량적으로 판단해야 한다.

조건 정리

MgF2(s) ⇌ Mg2+(aq) + 2F⁻(aq), Ksp = 4×10⁻⁹이다. 물에서의 몰용해도를 s라 하면 [Mg2+] = s, [F⁻] = 2s이다. HCl 수용액에서는 H^+이 F^-과 결합해 약산인 HF를 생성하므로 평형에서 소비되는 F^-만큼 MgF2가 추가로 더 녹는다. NaF는 물에서 완전히 해리되므로 0.1 M NaF 수용액은 F^- 농도가 처음부터 0.1 M로 공급되어 공통 이온 효과로 MgF2의 용해도가 억제된다.

사용할 공식

$K_{sp} = [Mg^{2+}][F^-]^2$. 물에서: $K_{sp} = s(2s)^2 = 4s^3$. NaF 수용액에서 F^-이 공통 이온으로 과량 존재하면 $[F^-] \approx 0.1$ M로 근사하여 $K_{sp} = s'(0.1)^2$로 계산한다.

NoteBase

계산 과정

① 물에서의 몰용해도(ㄱ 검증): $4s^3 = 4 \times 10^{-9}$ 이므로 $s^3 = 1 \times 10^{-9}$, 따라서 $s = 1 \times 10^{-3}$ M이다. ㄱ의 값과 일치하므로 참이다.
② 0.1 M HCl 수용액에서(ㄴ 검증): HCl은 강산으로 완전히 해리되어 H^+을 공급하고, 이 H^+이 F^-과 결합해 HF(약산)를 생성한다. 이렇게 F^-이 소모되면 르샤틀리에 원리에 따라 MgF2가 녹는 방향으로 평형이 이동하므로, HCl 수용액에서의 몰용해도는 순수한 물에서보다 커진다. 따라서 (물에서의 몰용해도) / (HCl 수용액에서의 몰용해도) 는 1보다 작다. ㄴ은 참이다.
③ 0.1 M NaF 수용액에서(ㄷ 검증): NaF이 완전히 해리되어 공급하는 F^- 농도(0.1 M)가 MgF2 자체의 용해로 생기는 F^-보다 훨씬 크므로 $[F^-] \approx 0.1$ M로 둘 수 있다. $K_{sp} = s'(0.1)^2 = 4 \times 10^{-9}$에서 $s' = \frac{4 \times 10^{-9}}{1 \times 10^{-2}} = 4 \times 10^{-7}$ M이다. 따라서 (물에서의 몰용해도) / (NaF 수용액에서의 몰용해도) = $\frac{1 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-7}} = 2.5 \times 10^3$로 10^4이 아니다. ㄷ은 거짓이다.

선지 판단

ㄱ: 물에서 MgF2의 몰용해도를 $4s^3 = 4 \times 10^{-9}$로 풀면 $s = 1 \times 10^{-3}$ M이 나오므로 참이다.
ㄴ: HCl 수용액에서는 F^-이 HF로 소모되어 MgF2가 더 잘 녹으므로 물에서의 용해도가 HCl 수용액에서의 용해도보다 작다. 따라서 비(比)가 1보다 작다는 설명은 참이다.
ㄷ: NaF의 공통 이온 효과로 계산하면 비는 2.5×10^3이지 10^4이 아니므로 거짓이다.
옳은 것은 ㄱ, ㄴ이므로 정답은 ①번이다.

오답 포인트

②, ③, ④번은 모두 ㄷ을 옳은 것으로 포함하고 있어 틀린다. ㄷ을 계산할 때 F^- 농도의 지수(0.1 M의 제곱)를 빠뜨리고 단순히 몰용해도 비를 Ksp 값의 배수로만 어림하면 10^4이라는 틀린 값이 나올 수 있으므로, 반드시 $[F^-]^2$ 항으로 정확히 계산해야 한다. 또한 ㄴ에서 HCl이 공통 이온 효과를 일으켜 용해도를 줄인다고 착각하면 비가 1보다 크다고 잘못 판단하게 되는데, H^+은 Mg2+과 무관하고 오히려 F^-을 HF로 소모하여 용해도를 늘리는 방향으로 작용한다는 점을 혼동하지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

난용성 염이 M_aX_b 형태로 녹을 때는 화학양론 계수를 지수에 반영해 $K_{sp} = [M]^a[X]^b$로 놓고 몰용해도 s를 대입해 세제곱, 네제곱 등 정확한 차수로 계산한다. 짝염기(F^- 등) 음이온이 강산의 짝산과 결합해 약산을 만드는 경우에는 그 음이온이 소모되어 용해도가 증가하고, 반대로 같은 이온을 과량으로 첨가하면(공통 이온 효과) 용해도가 감소한다는 방향성을 먼저 정한 뒤 계산 결과로 확인한다.

암기 포인트

MgF2형(1:2) 난용성 염은 $K_{sp} = 4s^3$로 몰용해도를 구한다. 강산 첨가는 짝염기 음이온을 소모해 용해도를 증가시키고, 공통 이온(같은 이온) 첨가는 용해도를 감소시킨다는 두 방향을 짝지어 기억해 둔다.

NoteBase

문 17. 다음은 산성 용액에서 일어나는 산화-환원 과정의 불균형 반응식이다. 이 과정에 대한 설명으로 옳은 것은?

$Sn(s) + Cl^-(aq) + NO_3^-(aq) \rightarrow SnCl_6^{2-}(aq) + NO_2(g)$

① Cl의 산화수는 감소한다.

② NO_3^-은 환원제이다.

③ 1몰의 Sn이 반응할 때 4몰의 H_2O이 생성된다.

④ 1몰의 Sn이 반응할 때 2몰의 전자가 이동한다.

정답 3번

출제 포인트

산성 용액에서의 산화-환원 반쪽반응 균형 맞추기 문제이다. 주어진 불균형 반응식 $Sn(s) + Cl^-(aq) + NO_3^-(aq) \rightarrow SnCl_6^{2-}(aq) + NO_2(g)$를 산화수 변화와 전자 이동을 이용해 완전히 균형 맞춘 뒤, 계수(H^+, H2O 포함)로부터 각 선지의 참·거짓을 판단해야 한다.

조건 정리

산화 반쪽반응: Sn은 0에서 SnCl6^2- 안에서 +4로 산화수가 증가한다(착이온 전체 전하 -2이고 Cl 6개가 각각 -1이므로 Sn은 +4). 환원 반쪽반응: N은 NO3^-에서 +5, NO2에서 +4로 산화수가 1 감소한다. 용액은 산성이므로 H^+과 H2O로 산소·수소 균형을 맞춘다.

사용할 공식

산화 반쪽반응: $Sn + 6Cl^- \rightarrow SnCl_6^{2-} + 4e^-$

환원 반쪽반응(전자 1개당): $NO_3^- + 2H^+ + e^- \rightarrow NO_2 + H_2O$

두 반쪽반응의 전자 수를 맞춘 뒤 더하여 전체 균형식을 얻는다.

계산 과정

산화 반쪽반응에서 Sn 1몰이 반응할 때 전자 4몰이 방출된다(0 → +4).

환원 반쪽반응 1개당 전자 1몰이 필요하므로, 전자 4몰을 맞추기 위해 환원 반쪽반응 전체에 4를 곱한다: $4NO_3^- + 8H^+ + 4e^- \rightarrow 4NO_2 + 4H_2O$.

두 반쪽반응을 더하면 전자가 상쇄되어 전체 균형식은 다음과 같다.

$Sn + 6Cl^- + 4NO_3^- + 8H^+ \rightarrow SnCl_6^{2-} + 4NO_2 + 4H_2O$

이 균형식에서 Sn의 계수는 1이고 H2O의 계수는 4, 이동한 전자의 몰수는 4이다.

NoteBase

선지 판단

① Cl의 산화수는 감소한다. → X. Cl^-은 반응 전후 모두 -1이다. SnCl6^2- 안에서도 Cl은 Sn에 결합된 리간드일 뿐 산화수가 -1로 유지되므로 변화가 없다. 산화수가 감소한 것이 아니라 애초에 변화 자체가 없다.
② $NO3^-$은 환원제이다. → X. $NO3^-$은 N의 산화수가 +5에서 +4로 감소하며 스스로 환원되므로, 상대(Sn)를 산화시키는 산화제이다. 환원제는 전자를 내주며 산화되는 Sn이다.
③ 1몰의 Sn이 반응할 때 4몰의 H2O이 생성된다. → O. 균형식
$Sn + 6Cl^- + 4NO_3^- + 8H^+ \rightarrow SnCl_6^{2-} + 4NO_2 + 4H_2O$에서 Sn 계수가 1일 때 H2O 계수는 4이므로 옳다.
④ 1몰의 Sn이 반응할 때 2몰의 전자가 이동한다. → X. Sn은 0에서 +4로 산화되므로 이동하는 전자는 4몰이다. 2몰이 아니다.

오답 포인트

①은 착이온의 리간드로 결합된 원자도 산화수 계산에 포함해야 한다는 점을 이용한 함정이다. Cl은 착이온을 이루어도 여전히 -1이며 산화·환원에 관여하지 않는다. ②는 '환원되는 물질=산화제'라는 정의를 반대로 적용하면 틀리기 쉽다. ④는 Sn의 산화수 변화(0→+4)를 정확히 계산하지 않고 임의의 값을 대입하면 틀린 전자 수를 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

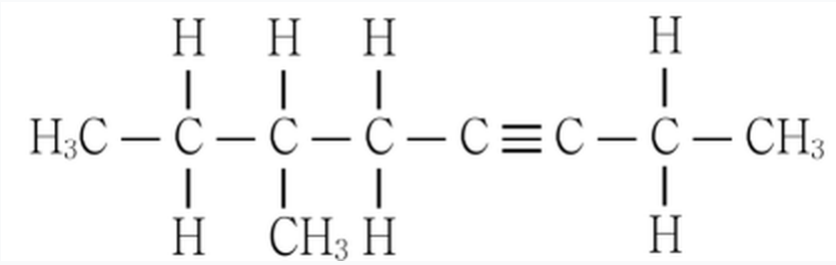
불균형 산화-환원 반응식이 나오면 먼저 산화수가 변하는 원자(이 문제에서는 Sn과 N)만 골라 반쪽반응을 세운다. 착이온 속 리간드(Cl 등)는 대개 산화수가 그대로이므로 산화-환원에 관여하지 않는다는 점을 확인한다. 전자 수를 맞춰 두 반쪽반응을 더한 뒤, 얻어진 계수(H^+, H2O 포함)로 각 선지의 몰수 진술을 검증한다.

암기 포인트

산화수가 감소하는 물질이 환원되며, 그 물질 자체가 산화제이다. 착이온의 리간드 산화수는 반응 전후 변화가 없는 경우가 많으므로 산화-환원 판단에서 제외한다. 반쪽반응을 더할 때는 전자 수를 반드시 맞춘 뒤 계수를 읽어야 몰비 진술의 참·거짓을 정확히 판단할 수 있다.

NoteBase

문 18. 다음 화합물의 IUPAC 이름은?



① 2-ethylhept-4-yne

② 6-ethylhept-3-yne

③ 3-methyloct-5-yne

④ 6-methyloct-3-yne

정답 4번

출제 포인트

그림의 구조식을 보고 가장 긴 사슬(주쇄)을 찾고, 삼중결합과 치환기(메틸기)의 위치가 가장 작은 번호를 갖도록 사슬 양 끝 중 어느 쪽에서 번호를 매길지 결정해 IUPAC 이름을 완성하는 문제이다.

조건 정리

구조식을 왼쪽부터 순서대로 쓰면 CH3-CH2-CH(CH3)-CH2-C≡C-CH2-CH3이다. 사슬을 이루는 탄소는 모두 8개이므로 모체 이름은 oct-이고, 탄소-탄소 삼중결합이 하나 있으므로 어미는 −yne이다. 왼쪽에서 3번째 탄소에 메틸기(−CH_3) 가지 하나가 붙어 있다.

사용할 공식

IUPAC 명명 규칙: 1) 삼중(또는 이중)결합을 포함하도록 최장 사슬을 주쇄로 정한다. 2) 주쇄 양 끝 중 삼중결합에 더 낮은 번호가 부여되는 쪽에서부터 번호를 매긴다(치환기 위치보다 불포화 결합 위치 우선). 3) 치환기 이름과 위치 번호를 앞에 붙이고, 삼중결합 위치 번호를 어미 앞에 표기한다.

계산 과정

왼쪽 끝 탄소를 1번으로 두면: C1(CH_3)-C2(CH_2)-C3(메틸 치환)-C4(CH_2)-C5≡C6-C7(CH_2)-C8(CH_3). 이 경우 삼중결합 위치는 5번(5-yne)이다.
반대로 오른쪽 끝 탄소를 1번으로 두면: C1(CH_3)-C2(CH_2)-C3≡C4-C5(CH_2)-C6(메틸 치환)-C7(CH_2)-C8(CH_3). 이 경우 삼중결합 위치는 3번(3-yne)이다.
삼중결합 위치는 낮을수록 우선이므로 5보다 3이 작은 오른쪽 번호 매김을 채택한다. 이때 메틸 치환기는 6번 탄소에 위치하므로 치환기 이름은 6-methyl이 된다. 따라서 전체 이름은 6-methyloct-3-yne이다.

NoteBase

선지 판단

① 2-ethylhept-4-yne, X → 주쇄를 7개 탄소(hept)로 잘못 잡고 곁가지의 CH_2CH_3 일부를 에틸기로 처리한 이름이다. 그러나 삼중결합을 포함하는 실제 최장 사슬은 탄소 8개(oct)이므로 주쇄 선택이 틀렸다.
② 6-ethylhept-3-yne, X → 역시 주쇄를 7개 탄소로 잘못 설정하고 치환기를 에틸기(ethyl)로 처리한 이름이라 주쇄 탄소 수와 치환기 종류가 모두 실제 구조와 다르다.
③ 3-methyloct-5-yne, X → 주쇄 탄소 수(oct)와 치환기(methyl) 종류는 맞지만, 번호를 왼쪽 끝에서부터 매겨 삼중결합 위치가 5번이 되었다. 삼중결합에 더 낮은 번호를 주는 오른쪽 번호 매김을 썼어야 한다.
④ 6-methyloct-3-yne, O → 주쇄 탄소 8개(oct), 메틸 치환기 1개, 삼중결합에 가장 낮은 번호(3번)를 부여하도록 오른쪽 끝에서 번호를 매겨 치환기 위치가 6번이 되는 이름으로, 실제 구조와 정확히 일치한다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 두 가지이다. 첫째, 삼중결합이 포함되지 않은 짧은 사슬(탄소 7개)을 주쇄로 착각해 나머지를 에틸기로 처리하는 것이다(①, ②). 둘째, 주쇄는 제대로 8개로 잡았지만 번호를 삼중결합에 낮은 번호를 주는 방향이 아니라 반대쪽에서 매겨 5-yne으로 쓰는 것이다(③). 번호는 치환기 위치가 아니라 불포화결합(삼중결합) 위치가 낮아지는 방향을 우선한다는 점을 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 삼중결합(또는 이중결합)을 포함하는 가장 긴 사슬을 찾아 전체 탄소 수로 모체 이름(hept, oct 등)을 정한다. 그다음 사슬 양 끝에서 각각 번호를 매겨 보고, 삼중결합의 위치 번호가 더 작아지는 쪽을 선택한다. 마지막으로 그 번호 매김 기준으로 치환기의 위치를 확인해 이름 앞에 붙인다.

암기 포인트

사슬 번호 매김의 우선순위는 치환기 위치가 아니라 다중결합(이중·삼중결합) 위치가 최소가 되는 방향이라는 것을 암기해 둔다. 즉 두 방향에서 다중결합 번호를 각각 계산해 더 작은 쪽을 선택한 뒤, 그 번호 매김을 그대로 치환기에도 적용한다.

NoteBase

문 19. 다음은 $N_2O_5(g)$의 분해 반응에 대한 반응식, 속도 법칙, 반응 시간에 따른 몰농도를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은?

2N_2O_5(g) → 4NO_2(g) + O_2(g) 반응 속도 = k[N_2O_5]^n

반응 시간[s]	0	100	200
N_2O_5의 몰농도[M]	0.10	0.050	(나)
NO_2의 몰농도[M]	0	(가)	0.15

① n은 2이다.

② (나)는 0.025이다.

③ (가)는 (나)의 2배이다.

④ 반응 온도가 낮아지면 k는 증가한다.

정답 2번

출제 포인트

반응식 $2N_2O_5(g) \rightarrow 4NO_2(g) + O_2(g)$의 화학량론비를 이용해 표의 빈칸 (가), (나)를 구하고, 시간에 따른 농도 변화 양상으로부터 반응 차수 n을 판단하는 문제이다. 몰농도 변화량의 비를 계수비에 맞춰 환산하는 능력과, 반감기가 일정한지를 보고 반응 차수를 추론하는 능력을 함께 묻는다.

조건 정리

$t = 0$초에서 $[N_2O_5] = 0.10$ M, $[NO_2] = 0$ M이다. $t = 100$초에서 $[N_2O_5] = 0.050$ M, [NO_2]=(가)이다. $t = 200$초에서 [N_2O_5]=(나), $[NO_2] = 0.15$ M이다. 반응식의 계수비는 $N_2O_5 : NO_2 = 2 : 4 = 1 : 2$이므로, 소모된 N_2O_5의 몰농도의 2배만큼 NO_2가 생성된다.

사용할 공식

화학량론 관계: Δ[NO_2]_생성 = 2× Δ[N_2O_5]_소모. 반감기 판정: 같은 시간 간격 동안 농도가 절반으로 줄어드는 것이 반복되면 1차 반응($n = 1$)이다.

NoteBase

계산 과정

0초에서 100초 사이에 N_2O_5는 $0.10 - 0.050 = 0.050$ M 소모되었으므로, 이 구간에서 생성된 NO_2의 몰농도는 $2 \times 0.050 = 0.10$ M이다. 따라서 (가) = 0.10 M이다.
100초에서 200초 사이에 NO_2는 0.15-(가)=0.15-0.10=0.050 M 증가하였으므로, 이 구간에서 소모된 N_2O_5의 몰농도는 $0.050 \div 2 = 0.025$ M이다. 따라서 (나) $= 0.050 - 0.025 = 0.025$ M이다.
N_2O_5의 몰농도는 $0.10 \rightarrow 0.050 \rightarrow 0.025$ M으로, 매 100초마다 정확히 절반으로 줄어든다. 반감기가 농도에 관계없이 일정하게 유지되는 것은 1차 반응의 특징이므로 $n = 1$이다.

선지 판단

① n은 2이다. → X: 반감기(100초)가 농도와 무관하게 일정하므로 이 반응은 1차 반응이며 $n = 1$이다. $n = 2$라면 반감기가 초기 농도에 반비례하여 뒤로 갈수록 길어져야 하는데, 표에서는 반감기가 100초로 일정하다.
② (나)는 0.025이다. → O: 계산 과정에서 구한 대로 (나)=0.050-0.025=0.025 M이 맞다.
③ (가)는 (나)의 2배이다. → X: (가)=0.10 M, (나)=0.025 M이므로 (가)는 (나)의 2배가 아니라 4배이다.
④ 반응 온도가 낮아지면 k는 증가한다. → X: 반응 속도 상수 k는 온도가 높아질수록 증가하고 낮아질수록 감소한다(아레니우스 식). 온도가 낮아지면 분자의 평균 운동 에너지가 감소해 활성화 에너지를 넘는 유효 충돌 비율이 줄어들므로 k는 오히려 감소한다.

오답 포인트

①은 반감기가 일정하다는 사실을 놓치고 지수를 임의로 크게 잡을 때 나오는 오답이다. 표에서 반감기가 100초로 계속 같다는 것 자체가 1차 반응($n = 1$)의 결정적 증거임을 놓치지 않아야 한다. ③은 (가), (나)를 화학량론 계산 없이 어림짐작하거나 단순히 표 안의 숫자만 비교할 때 나오는 오답이다. N_2O_5와 NO_2는 계수비가 1:2이므로 몰농도 변화량 자체가 다른 배율로 움직인다는 점을 반드시 반영해야 한다. ④는 온도와 반응 속도 상수 k의 관계를 반대로 기억할 때 나오는 오답이다. 온도가 낮아지면 반응 속도와 k 모두 감소한다.

다시 나오면 이렇게 판단

표에 반응 시간별 반응물 몰농도가 나오고 반감기가 일정한 간격으로 절반씩 줄어드는 패턴이 보이면 곧바로 1차 반응($n = 1$)으로 판단한다. 반응물의 농도 변화량으로부터 생성물의 농도 변화량(또는 그 반대)을 구할 때는 반드시 반응식의 계수비를 곱하거나 나누어 환산하고, 표에 그대로 적힌 숫자를 계수비 확인 없이 그대로 쓰지 않는다. 온도와 반응 속도 상수의 관계를 묻는 선지가 나오면 온도 상승 시 k 증가, 온도 하강 시 k 감소라는 아레니우스 식의 방향을 기준으로 판단한다.

암기 포인트

반감기가 초기 농도와 무관하게 일정하면 1차 반응이다. 화학량론 계산에서는 각 물질의 몰농도 변화량을 계수비에 맞추어 환산해야 한다(계수비 1:2이면 변화량도 1:2). 반응 속도 상수 k는 온도가 높아지면 커지고 온도가 낮아지면 작아진다.

NoteBase

문 20. 면심 입방 구조인 금(Au) 결정의 쌓임 효율(packing efficiency)은?

① $\frac{\pi}{6}$
② $\frac{\sqrt{3}\pi}{8}$
③ $\frac{\sqrt{2}\pi}{6}$
④ $\frac{\sqrt{3}\pi}{6}$

정답 3번

출제 포인트

면심 입방 구조(FCC, face-centered cubic)의 단위세포 안에 원자가 몇 개 들어있고 단위세포 모서리 길이가 원자 반지름과 어떤 관계인지를 바탕으로 쌓임 효율(원자가 차지하는 부피 / 단위세포 전체 부피)을 계산하는 문제이다.

조건 정리

면심 입방 구조는 꼭짓점 8개(각 1/8씩 기여)와 면 중심 6개(각 1/2씩 기여)에 원자가 위치하므로 단위세포당 원자 수는 $8\times(1/8)+6\times(1/2)=4$개이다. 면심 입방 구조에서는 면의 대각선을 따라 원자들이 서로 맞닿으므로, 원자 반지름을 r, 단위세포 모서리 길이를 a라 하면 면의 대각선 길이는 원자 4개 반지름의 합인 $4r$과 같다.

사용할 공식

쌓임 효율 =단위세포 속 원자들의 부피단위세포의 부피=(Z· (4)/(3)π r^3)/(a^3) (여기서 Z는 단위세포당 원자 수). 면의 대각선 관계식은 $a\sqrt{2}=4r$이다.

계산 과정

먼저 모서리 길이를 반지름으로 나타낸다. $a\sqrt{2}=4r$이므로 $a=\frac{4r}{\sqrt{2}}=2\sqrt{2}r$이다. 이를 세제곱하면 $a^3=(2\sqrt{2}r)^3=16\sqrt{2}r^3$이다. 단위세포당 원자 수는 4개이므로 원자들이 차지하는 부피는 $4\times\frac{4}{3}\pi r^3=\frac{16}{3}\pi r^3$이다. 따라서 쌓임 효율은 $\frac{\frac{16}{3}\pi r^3}{16\sqrt{2}r^3}=\frac{\pi}{3\sqrt{2}}=\frac{\pi\sqrt{2}}{6}$이 된다.

NoteBase

선지 판단

① $\pi/6$ → X. 이는 단순 입방(simple cubic) 구조의 쌓임 효율(약 52%)에 해당하는 값으로, 면심 입방 구조에는 해당하지 않는다.
② $\sqrt{3}\pi/8$ → X. 이는 체심 입방 구조(BCC)의 쌓임 효율(약 68%)을 나타내는 값으로, 몸통 대각선 관계식 $a\sqrt{3}=4r$에서 유도되는 값이며 면심 입방 구조의 값이 아니다.
③ $\sqrt{2}\pi/6$ → O. 계산 과정에서 유도한 값과 정확히 일치하며, 약 74.05%로 면심 입방(FCC) 및 이와 동일한 배열인 육방 최밀 쌓임(HCP) 구조의 쌓임 효율에 해당한다.
④ $\sqrt{3}\pi/6$ → X. 앞의 계산 과정에서 나온 $\sqrt{2}$가 아닌 $\sqrt{3}$을 잘못 대입했을 때 나오는 값으로, 면심 입방 구조의 값과 근호 안의 숫자를 혼동한 오답이다.

오답 포인트

이 문제는 단순 입방(SC), 체심 입방(BCC), 면심 입방(FCC)의 쌓임 효율 값을 서로 바꿔 기억하기 쉬운 함정을 담고 있다. 특히 몸통 대각선 관계식($a\sqrt{3}=4r$, BCC)과 면 대각선 관계식($a\sqrt{2}=4r$, FCC)을 혼동하면 ②나 ④를 고르게 된다. 근호 안의 숫자가 2인지 3인지를 원자 배열 방식과 정확히 연결해서 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

구조 이름을 보면 먼저 단위세포당 원자 수(SC=1, BCC=2, FCC=4)를 정하고, 원자들이 맞닿는 방향(SC=모서리, BCC=몸통 대각선, FCC=면 대각선)에 따라 a와 r의 관계식을 세운 뒤 쌓임 효율 공식에 대입해서 계산한다. 결과값을 외워 두면 계산 없이도 바로 선지를 판단할 수 있다.

암기 포인트

쌓임 효율은 단순 입방 약 52%($\pi/6$), 체심 입방 약 68%($\sqrt{3}\pi/8$), 면심 입방·육방 최밀 쌓임 약 74%($\sqrt{2}\pi/6$) 순으로 커진다는 것을 세트로 묶어 암기해 둔다.

NoteBase

문 21. n-형 반도체로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, Al, Si, P의 족 번호는 각각 13, 14, 15이다)

ㄱ. 소량의 인(P)이 혼입된 규소(Si)
ㄴ. 소량의 인이 혼입된 알루미늄(Al)
ㄷ. 소량의 알루미늄이 혼입된 규소

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

반도체의 host 격자(순수 반도체 결정)에 도판트(dopant)가 소량 치환될 때, 두 원소의 최외각 전자수(족 번호) 차이에 따라 n형(전자 과잉)이 되는지 p형(정공 과잉)이 되는지를 구분하는 문제이다. 또한 도핑 개념 자체가 반도체 결정(공유결합 격자)에만 적용되고, Al처럼 금속인 물질을 host로 삼는 경우에는 적용되지 않는다는 점도 함께 묻고 있다.

핵심 개념

규소(Si)는 14족 원소로 최외각 전자가 4개이며, 공유결합으로 다이아몬드 구조의 반도체 결정을 이룬다. 이 Si 격자에 15족(인, P, 최외각 전자 5개)을 소량 치환해 넣으면 인 원자마다 결합에 쓰이지 않는 전자가 하나씩 남아 도너(donor) 역할을 하고, 이 여분의 전자가 전도띠 근처의 에너지 준위를 채워 전자가 다수 캐리어인 n형 반도체가 만들어진다. 반대로 13족(알루미늄, Al, 최외각 전자 3개)을 Si에 치환해 넣으면 결합에 전자가 하나 모자라 정공(hole)이 생기고, 정공이 다수 캐리어인 p형 반도체가 만들어진다. 이러한 도핑 논의는 Si처럼 공유결합 격자를 이루는 반도체를 기준(host)으로 삼을 때만 성립하며, Al처럼 그 자체가 금속인 물질을 host로 놓고 도핑을 논하는 것은 반도체의 전자·정공 개념이 적용되지 않는다.

선지별 해설

ㄱ. 소량의 인(P)이 혼입된 규소(Si) - O: Si(14족, 4가)의 결정 격자에 P(15족, 5가)이 치환되어 들어가면 결합에 쓰이지 않는 전자가 하나 남아 도너 준위를 형성한다. 다수 캐리어가 전자가 되므로 n형 반도체이다.
ㄴ. 소량의 인이 혼입된 알루미늄(Al) - X: Al은 13족 금속으로, 그 자체가 금속 결합을 이루는 도체이지 공유결합 반도체 결정이 아니다. Al을 host로 삼아 P을 소량 섞는 상황에는 반도체의 도핑·전자·정공 개념이 적용되지 않으므로 n형 반도체라 할 수 없다.
ㄷ. 소량의 알루미늄이 혼입된 규소 - X: Si(14족, 4가)의 격자에 Al(13족, 3가)이 치환되어 들어가면 결합에 전자가 하나 부족해 정공이 생긴다. 다수 캐리어가 정공이 되는 p형 반도체이며, n형이 아니다.

NoteBase

오답 포인트

ㄴ을 n형으로 착각하는 경우는 '인(P)이 섞였으니 무조건 n형'이라고 도판트 원소만 보고 판단했기 때문이다. 실제로는 host가 되는 물질이 Si처럼 공유결합 반도체 결정이어야 도핑 논리가 성립하며, Al은 host 자체가 금속이라 애초에 적용 대상이 아니다. ㄷ을 n형으로 착각하는 경우는 Si가 host라는 점만 보고 도판트 종류를 확인하지 않은 경우인데, Al(13족)은 Si(14족)보다 최외각 전자가 하나 적으므로 정공을 만드는 p형 도판트이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 host가 공유결합 반도체 결정(예: Si, Ge)인지부터 확인한다. host가 금속이면 도핑 논리 자체가 성립하지 않아 제외한다. host가 반도체라면 host의 족 번호와 도판트의 족 번호를 비교해, 도판트의 족 번호가 host보다 크면(최외각 전자가 많으면) n형, 작으면(최외각 전자가 적으면) p형으로 판단한다.

암기 포인트

n형은 host보다 최외각 전자가 많은 원소를 도핑(Si+15족→전자 과잉), p형은 host보다 최외각 전자가 적은 원소를 도핑(Si+13족→정공 과잉)한다. 도핑은 반드시 공유결합 반도체 결정을 host로 할 때만 의미가 있고, 금속을 host로 놓고 논하면 성립하지 않는다.

NoteBase

문 22. 착화합물 $K_2[Ni(CN)_4]$에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, Ni의 족 번호는 10이다)

ㄱ. Ni의 $3d$ 전자 개수는 6이다.
ㄴ. 반자성이다.
ㄷ. 화합물 이름은 테트라사이아노니켈 포타슘이다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 2번

출제 포인트

착화합물 $K_2[Ni(CN)_4]$에서 중심 금속의 산화수와 d 전자 개수를 구하고, 이를 바탕으로 자성(반자성/상자성)을 판단하며, 착이온의 명명법(음이온 착물의 '-산' 어미)까지 함께 확인하는 문항이다.

조건 정리

화합물은 $K_2[Ni(CN)_4]$이고 Ni의 족 번호는 10으로 주어진다. K는 +1, CN^-는 -1의 전하를 가지는 리간드이다. 전체 화합물은 전기적으로 중성이므로 K 2개(+2)와 착이온의 전하 합이 0이 되어야 하고, 착이온 $[Ni(CN)_4]^{2-}$ 내부에서 Ni의 산화수와 CN^- 4개의 전하 합이 -2가 되어야 한다.

사용할 공식

산화수 계산: (착이온 전체 전하) = (중심금속 산화수) + (리간드 전하의 합). 바닥상태 전자배치: 10족 원소 Ni의 원자가전자배치는 $3d^8 4s^2$이며, 양이온이 될 때는 4s 전자가 먼저 빠져나간다. 자성 판단: 배위수 4, d^8 금속에 CN^- 같은 강한 장 리간드가 배위하면 사각평면(square planar) 구조를 이루어 dsp^2 혼성을 하고, 이때 d 오비탈의 전자가 모두 짝을 이루면 반자성이 된다.

NoteBase

계산 과정

화합물 전체 전하: K_2에서 K는 +1이므로 K 2개는 +2이고, CN^- 4개는 -4이다. 화합물은 중성이므로 Ni의 산화수를 x라 하면 $+2 + x + (-4) = 0$에서 $x = +2$, 즉 Ni은 +2가이다. 10족 Ni의 바닥상태 전자배치는 $[Ar]3d^8 4s^2$이므로, Ni^{2+}이 되면서 4s 전자 2개가 먼저 빠져나가 $[Ar]3d^8$이 된다. 따라서 Ni^{2+}의 3d 전자 개수는 8이며, ㄱ에서 말한 6개는 틀린 값이다. 배위수 4의 d^8 금속 이온에 강한 장 리간드인 CN^-가 배위하면 사각평면 구조를 이루고, 이 구조에서는 d^8의 8개 전자가 모두 짝을 이루어 홀전자가 없다. 홀전자가 없으므로 이 착이온은 반자성이며 ㄴ은 옳다. 명명에서 착이온 $[Ni(CN)_4]^{2-}$는 전체적으로 음이온이므로 중심 금속 이름 뒤에 '-산'을 붙여 '테트라사이아노니켈(II)산'으로 표기해야 하고, 그 뒤에 양이온 이름인 '포타슘'을 붙여야 한다. 보기 ㄷ의 '테트라사이아노니켈 포타슘'은 음이온 착물임을 나타내는 '-산'이 빠져 있으므로 옳은 이름이 아니다.

선지 판단

① ㄱ → X. Ni^{2+}의 3d 전자 개수는 8이므로, 6이라는 진술은 틀렸다.
② ㄴ → O. 사각평면 구조의 d^8 착이온은 전자가 모두 짝을 이루어 반자성이 맞다.
③ ㄷ → X. 음이온 착물이므로 '-산' 어미가 붙어야 하는데 빠져 있어 이름이 틀렸다.
④ ㄴ, ㄷ → X. ㄴ은 옳지만 ㄷ이 틀린 이름이므로 함께 고를 수 없다.
따라서 옳은 것은 ㄴ뿐이므로 정답은 ②이다.

오답 포인트

①과 ④를 고르는 학생은 Ni의 산화수를 구하지 않고 중성 원자의 3d 전자 개수(8)나 다른 값과 혼동해 6으로 착각했거나, 4s 전자가 먼저 빠진다는 규칙을 놓친 경우이다. ③과 ④를 고르는 학생은 착이온이 음이온일 때 이름에 '-산'을 붙여야 한다는 명명 규칙을 놓치고 겉보기 이름만으로 판단한 경우이다.

다시 나오면 이렇게 판단

착화합물 문제를 보면 먼저 전체 화합물의 중성 조건으로 중심 금속의 산화수부터 구한다. 그다음 중심 금속의 바닥상태 전자배치에서 4s 전자가 먼저 빠진다는 규칙으로 양이온의 d 전자 개수를 센다. 배위수와 d 전자 개수, 리간드의 세기(강한 장/약한 장)를 함께 보고 사각평면인지 정사면체인지를 판단해 자성을 결정한다. 마지막으로 착이온이 음이온이면 이름 끝에 '-산'이 붙어야 한다는 명명 규칙을 반드시 확인한다.

암기 포인트

10족 Ni의 바닥상태 전자배치는 $3d^8 4s^2$이고, 양이온이 되면 4s 전자가 먼저 빠져 Ni^{2+}은 $3d^8$이 된다. CN^-는 강한 장 리간드이며, 배위수 4의 d^8 금속과 결합하면 사각평면 구조로 모든 전자가 짝을 이루어 반자성이 된다. 착이온이 음이온이면 명명 시 중심 금속 이름 뒤에 반드시 '-산'을 붙인다.

NoteBase

문 23. 정상 끓는점이 가장 낮은 것은?

① n-pentane

② 2-methylbutane

③ neopentane

④ cyclopentane

정답 3번

출제 포인트

탄소수가 같은 알케인 이성질체와 고리형 탄화수소의 정상 끓는점을 분자 모양(사슬형/가지형/고리형)에 따른 분산력 차이로 비교하는 문제이다. n-pentane, 2-methylbutane, neopentane은 분자식이 C_5H_{12}로 동일한 이성질체이고 cyclopentane은 C_5H_{10}의 고리형 화합물이다.

핵심 개념

무극성 탄화수소의 끓는점은 분자 간 분산력(런던 힘)의 크기로 결정되고, 분산력은 분자의 접촉 표면적이 클수록 커진다. 가지가 없는 곧은 사슬(n-형)은 표면적이 넓어 분자끼리 잘 접촉하므로 끓는점이 높고, 가지(branch)가 많아질수록 분자가 둥근 공 모양에 가까워져 표면적이 줄고 분자 간 접촉이 줄어 끓는점이 낮아진다. 즉 같은 탄소수에서 끓는점은 n-형 > 1개 가지 > 여러 개 가지 순으로 낮아진다. 반면 고리형(cyclo-) 화합물은 고리 구조로 분자가 납작하고 강직해 사슬형보다 분자 간 접촉이 오히려 좋아지므로, 같은 탄소수의 사슬형 이성질체보다 끓는점이 더 높은 경우가 많다.

선지별 해설

① n-pentane: 가지가 없는 곧은 사슬 구조라 분자 표면적이 가장 넓어 분산력이 크고 끓는점이 이성질체 중 가장 높다(약 36°C). X

② 2-methylbutane(isopentane): 메틸기 1개가 붙은 가지형으로 n-pentane보다 표면적이 줄어 끓는점이 더 낮다(약 28°C). n-pentane보다는 낮지만 가지가 더 많은 neopentane보다는 높다. X

③ neopentane(2,2-dimethylpropane): 중심 탄소에 메틸기 4개가 대칭으로 붙어 가장 둥근 공 모양에 가까운 구조이다. 분자 간 접촉 표면적이 세 이성질체 중 가장 작아 분산력이 가장 약하고, 정상 끓는점이 가장 낮다(약 9.5°C). O

④ cyclopentane: 고리형 구조로 분자가 납작하고 강직해 사슬형 이성질체들보다 오히려 분자 간 접촉이 좋아 끓는점이 높다(약 49°C로 네 선지 중 가장 높음). X

NoteBase

오답 포인트

고리형 화합물은 탄소수가 적어 보여도 끓는점이 낮을 것이라 착각하기 쉬운데, 실제로는 고리 구조 때문에 사슬형 이성질체보다 끓는점이 더 높은 경우가 많다는 점을 놓치면 ④를 고르는 실수를 하게 된다. 또한 가지 개수와 끓는점의 관계를 반대로 기억해 n-pentane을 가장 낮다고 착각하면 ①을 고르는 오류가 생긴다. 가지가 많을수록 분자가 둥글어져 분산력이 약해지고 끓는점이 낮아진다는 방향을 정확히 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 탄소수의 이성질체 비교 문제가 나오면 먼저 분자 골격을 그려 가지의 개수를 센다. 가지가 없을수록(n-형) 표면적이 넓어 끓는점이 높고, 가지가 많을수록(neopentane처럼 중심 탄소에 대칭적으로 몰릴수록) 표면적이 좁아져 끓는점이 낮아진다. 사슬형과 고리형을 비교할 때는 고리형이 구조적으로 더 강직하고 납작해 분자 간 접촉이 좋아 끓는점이 오히려 높아지는 경우가 많다는 점을 함께 고려한다.

암기 포인트

탄소수가 같으면 가지 많을수록(둥글수록) 끓는점 낮음: n-pentane > 2-methylbutane > neopentane. 고리형(cyclopentane)은 사슬형 이성질체들보다 끓는점이 더 높다.

NoteBase

문 24. 실험식이 CH_4O인 비전해질 화합물 0.16g을 녹인 100mL 수용액의 삼투압이 300K에서 0.6atm이면 이 화합물의 분자식은? (단, 기체 상수 $R = 0.08 \text{L atm K}^{-1}\text{mol}^{-1}$이고, H, C, O의 원자량은 각각 1, 12, 16이다)

① CH_4O

② $C_2H_8O_2$

③ $C_3H_{12}O_3$

④ $C_4H_{16}O_4$

정답 2번

출제 포인트

삼투압 데이터로부터 용질의 몰수와 몰질량을 구하고, 주어진 실험식(CH4O)의 화학식량과 비교해 분자식을 결정하는 문제이다. 삼투압 공식 $\pi V = nRT$를 세우는 것이 핵심이고, 분자식은 실험식의 정수배($(CH_4O)_n$) 형태로만 나올 수 있다는 점도 함께 확인해야 한다.

조건 정리

용질의 질량 $w = 0.16$ g, 용액의 부피 $V = 100$ mL $= 0.1$ L, 온도 $T = 300$ K, 삼투압 $\pi = 0.6$ atm, 기체 상수 $R = 0.08$ L atm $\text{K}^{-1}\text{mol}^{-1}$이다. 실험식 CH4O의 화학식량은 $12 + 4(1) + 16 = 32$이다.

사용할 공식

비전해질 용액의 삼투압 공식은 $\pi V = nRT$이며, 여기서 n은 용질의 몰수이다. 몰수를 구한 뒤 $M = \frac{w}{n}$으로 몰질량을 구하고, 분자식의 화학식량이 실험식 화학식량의 몇 배인지로 분자식을 정한다.

계산 과정

삼투압 공식에서 몰수를 구하면 $n = \frac{\pi V}{RT} = \frac{0.6 \times 0.1}{0.08 \times 300} = \frac{0.06}{24} = 0.0025$ mol이다.
이 값으로 몰질량을 구하면 $M = \frac{w}{n} = \frac{0.16}{0.0025} = 64$ g/mol이다.
실험식 CH4O의 화학식량이 32이므로, 분자식의 화학식량과 실험식량의 비는 $\frac{64}{32} = 2$이다. 따라서 분자식은 실험식의 2배인 $C_2H_8O_2$이다.

선지 판단

① CH4O — X, 이는 실험식 그대로이며 화학식량이 32로 계산된 몰질량 64와 맞지 않는다.
② C2H8O2 — O, 실험식의 2배로 화학식량이 64가 되어 계산된 몰질량과 일치한다.
③ C3H12O3 — X, 실험식의 3배로 화학식량이 96이 되어 몰질량 64와 맞지 않는다.
④ C4H16O4 — X, 실험식의 4배로 화학식량이 128이 되어 몰질량 64와 맞지 않는다.

NoteBase

오답 포인트

삼투압 공식을 몰농도 형태인 $\pi = MRT$로 쓰면서 M을 몰질량으로 착각해 단위를 혼동하는 경우가 잦다. 여기서 $\pi V = nRT$로 몰수를 먼저 구하고, 몰질량은 w/n으로 별도로 구해야 한다. 또한 부피 단위를 mL로 그대로 대입하면 몰수가 1000배 틀어지므로 반드시 L로 환산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

삼투압 문제에서는 먼저 $\pi V = nRT$로 몰수를 구하고, 이어서 몰질량 $M = w/n$을 구한 뒤, 실험식의 화학식량과 비교해 몇 배인지(정수배)를 확인하는 순서로 접근한다. 이 순서를 지키면 단위 실수 없이 분자식을 결정할 수 있다.

암기 포인트

삼투압 공식은 $\pi V = nRT$(기체 상태방정식과 형태가 같음)로 기억해 둔다. 분자식은 항상 실험식의 정수배이므로, 몰질량을 실험식량으로 나눈 값이 정수가 되는지로 검산할 수 있다.

NoteBase

문 25. 중합 반응(polymerization)과 중합체(polymer)에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 첨가 중합 반응에서는 작은 분자가 떨어져 나온다.
ㄴ. 폴리염화 바이닐(PVC)은 공중합체(copolymer)이다.
ㄷ. 단백질 중합체는 축합 중합 반응으로 만들어진다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 3번

출제 포인트

첨가 중합과 축합 중합의 차이, 그리고 단독중합체와 공중합체의 구분을 정확히 알고 있는지를 묻는 문항이다. 첨가 중합은 이중결합이 열리며 단량체가 그대로 이어 붙는 반응이고, 축합 중합은 단량체가 결합하면서 물이나 알코올 같은 작은 분자가 함께 떨어져 나오는 반응이다.

핵심 개념

첨가 중합(addition polymerization)은 에틸렌, 염화 바이닐처럼 이중결합을 가진 단량체가 그 이중결합이 끊어지면서 사슬처럼 이어 붙는 반응으로, 반응 전후 원자의 종류와 개수가 그대로 보존되며 부산물이 생기지 않는다. 축합 중합(condensation polymerization)은 단량체가 작용기(예: -COOH와 -NH2, -COOH와 -OH)끼리 결합할 때마다 물 같은 작은 분자가 함께 빠져나가는 반응이다. 단백질은 아미노산의 카복시기와 아미노기가 반응하여 펩타이드 결합을 형성할 때마다 물 분자가 하나씩 빠져나가므로 축합 중합체에 해당한다. 한편 공중합체(copolymer)는 서로 다른 두 종류 이상의 단량체가 함께 결합하여 만들어진 중합체를 말하고, 한 종류의 단량체만으로 이루어진 중합체는 단독중합체(homopolymer)라고 한다. 폴리염화 바이닐(PVC)은 염화 바이닐이라는 한 가지 단량체만 첨가 중합하여 만든 단독중합체이다.

NoteBase

선지별 해설

ㄱ. 첨가 중합 반응에서는 작은 분자가 떨어져 나온다. → X. 작은 분자가 떨어져 나오는 것은 축합 중합의 특징이다. 첨가 중합은 단량체의 이중결합이 끊어지면서 그대로 사슬에 더해지는 반응이므로 반응 과정에서 물이나 다른 작은 분자가 생성되지 않는다.
ㄴ. 폴리염화 바이닐(PVC)은 공중합체(copolymer)이다. → X. PVC는 염화 바이닐(vinyl chloride) 한 가지 단량체만 첨가 중합하여 만들어지므로 공중합체가 아니라 단독중합체이다.
ㄷ. 단백질 중합체는 축합 중합 반응으로 만들어진다. → O. 단백질은 아미노산들이 펩타이드 결합을 형성하며 연결되는데, 이 과정에서 매번 물 분자가 하나씩 빠져나가므로 축합 중합에 해당한다.
따라서 옳은 설명은 ㄷ뿐이므로 정답은 ③이다.

오답 포인트

첨가 중합과 축합 중합을 반대로 기억하면 ㄱ을 옳다고 오판하기 쉽다. 부산물(작은 분자)의 유무는 축합 중합의 특징임을 명확히 구분해야 한다. 또한 공중합체라는 용어를 '여러 단위체가 반복되어 길게 이어진 중합체' 정도로 막연히 이해하면 PVC도 공중합체로 착각할 수 있는데, 공중합체는 반드시 서로 다른 두 종류 이상의 단량체가 함께 쓰인 경우에만 해당한다는 점을 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

선지에 '작은 분자가 떨어져 나온다'는 표현이 나오면 축합 중합을 가리키는 신호로 보고, 첨가 중합에 이 표현을 붙였는지부터 확인한다. 또한 특정 고분자가 공중합체인지 묻는 선지가 나오면 그 고분자를 이루는 단량체가 한 종류인지 두 종류 이상인지를 먼저 따져본다. 단백질, 핵산, 폴리에스터, 나일론처럼 작용기 간 결합으로 만들어지는 고분자는 축합 중합체로, 폴리에틸렌·폴리프로필렌·PVC·폴리스타이렌처럼 이중결합이 열리며 만들어지는 고분자는 첨가 중합체(대부분 단독중합체)로 분류해 둔다.

암기 포인트

첨가 중합=부산물 없음(이중결합이 열려 이어 붙음), 축합 중합=부산물 있음(작용기 결합 시 물 등 작은 분자 방출). 단독중합체=단량체 한 종류, 공중합체=단량체 두 종류 이상. PVC=단독중합체(첨가 중합), 단백질=축합 중합체(펩타이드 결합, 물 방출).

NoteBase