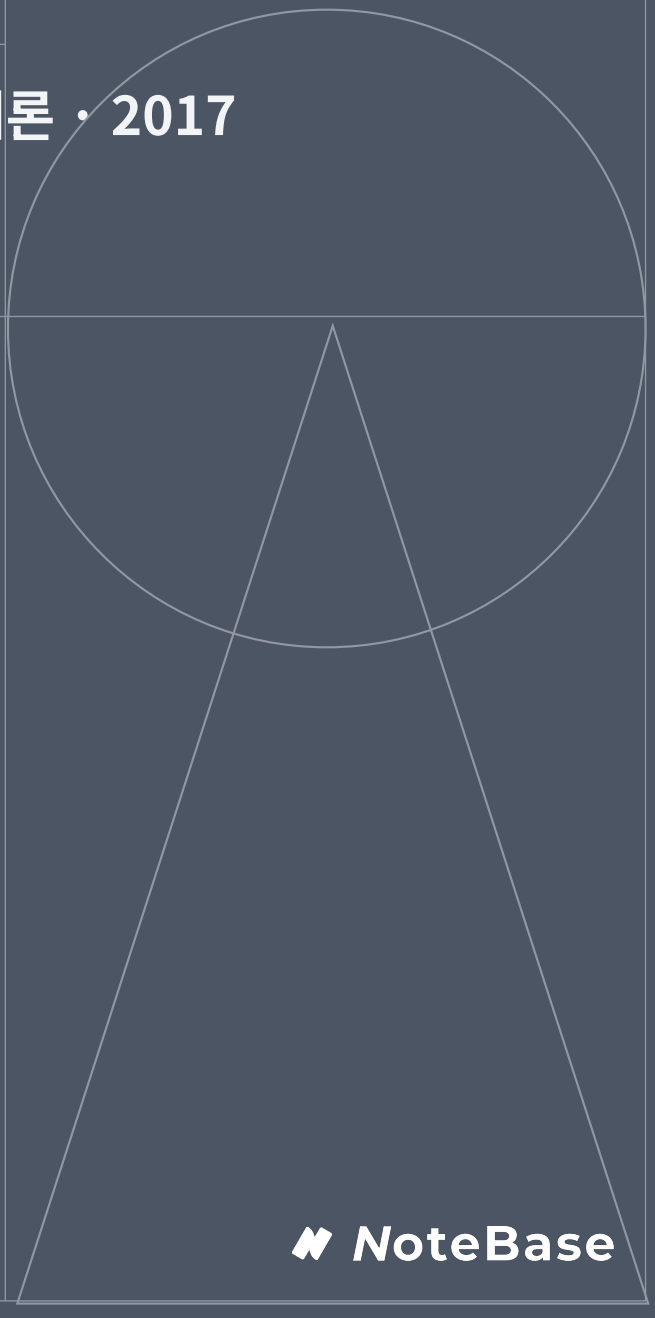
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화학개론 · 2017



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화학개론 · 2017

공무원/국가직/7급 · 화학개론 · 2017

문 1. 원소의 주기성과 관련된 설명으로 옳지 않은 것은?

① 마그네슘의 최외각 전자가 느끼는 유효 핵전하는 나트륨의 최외각 전자가 느끼는 유효 핵전하보다 크다.

② 같은 원소에서 동위원소의 반지름은 중성자가 많을수록 크다.

③ 마그네슘의 일차 이온화 에너지는 알루미늄의 일차 이온화 에너지보다 크다.

④ 알루미늄(III) 이온은 반자성이다.

정답 2번

출제 포인트

원소의 주기성(유효 핵전하, 원자 반지름, 이온화 에너지, 이온의 자성)을 각 선지에 적용해 옳지 않은 설명을 골라내는 문제이다. 동위원소의 반지름을 결정하는 요인이 양성자수(핵전하)인지 중성자수인지를 구분하는 것이 핵심이다.

핵심 개념

유효 핵전하는 같은 주기에서 원자 번호가 커질수록(양성자 수가 늘수록) 증가하며, 최외각 전자가 느끼는 가림 효과는 크게 변하지 않으므로 마그네슘의 유효 핵전하가 나트륨보다 크다. 원자(이온) 반지름은 전자 배치와 핵의 양성자 수, 즉 유효 핵전하에 의해 결정되는 것이며 중성자 수는 원자핵의 질량만 늘릴 뿐 전자구름의 크기에는 실질적 영향을 주지 않는다. 따라서 동위원소끼리는 양성자 수와 전자 배치가 같으므로 원자 반지름이 사실상 동일하다. 이온화 에너지는 2족(Mg)이 3족(Al)보다 오히려 크게 나타나는 예외적 경향이 있는데, 이는 Mg의 최외각 전자가 채워진 3s 오비탈에서 나오는 반면 Al의 최외각 전자는 에너지가 더 높은 3p 오비탈에서 나오기 때문이다. 이온의 자성은 전자 배치에서 홀전자 존재 여부로 판단하며, 홀전자가 없으면 반자성이다.

NoteBase

선지별 해설

① 옳다 → 마그네슘(원자 번호 12)은 나트륨(원자 번호 11)보다 양성자 수가 하나 더 많고 최외각 전자(3s)는 같은 껍질에 있어 가림 효과 증가폭이 작으므로, 마그네슘의 최외각 전자가 느끼는 유효 핵전하가 나트륨보다 크다.
② 옳지 않다 → 같은 원소의 동위원소는 양성자 수와 전자 배치가 동일하므로 원자 반지름은 사실상 같다. 중성자 수는 원자핵의 질량수만 변화시킬 뿐 전자구름의 크기(원자 반지름)를 결정짓는 유효 핵전하나 전자 배치에는 영향을 주지 않으므로, 중성자가 많을수록 반지름이 커진다는 설명은 옳지 않다.
③ 옳다 → 마그네슘의 최외각 전자는 채워진 3s 오비탈에 있어 비교적 안정하지만, 알루미늄의 최외각 전자는 에너지가 더 높은 3p 오비탈에 있어 상대적으로 쉽게 떨어져 나간다. 따라서 일차 이온화 에너지는 마그네슘이 알루미늄보다 크다.
④ 옳다 → 알루미늄(III) 이온은 알루미늄 원자(전자 13개)에서 전자 3개를 잃은 형태로 전자 10개를 가지며, 이는 네온과 같은 전자 배치($1s^2 2s^2 2p^6$)로 모든 전자가 쌍을 이루고 있어 홀전자가 없다. 따라서 반자성이다.

오답 포인트

동위원소 문제에서 '질량이 다르니 크기도 다르다'고 성급히 연결하면 안 된다. 원자 반지름을 좌우하는 것은 양성자 수(핵전하)와 전자 배치이지 중성자 수가 아니라는 점을 놓치면 ②를 옳은 설명으로 착각하기 쉽다. 또한 이온화 에너지를 단순히 '족이 오른쪽으로 갈수록 커진다'는 일반 경향만으로 판단하면 Mg와 Al 사이의 예외(2족이 3족보다 큼)를 놓쳐 ③을 틀린 설명으로 오판할 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

동위원소 관련 선지가 나오면 먼저 '양성자 수와 전자 배치가 같은가'를 확인한다. 같다면 화학적 성질과 원자 반지름은 사실상 동일하다고 판단하고, 중성자 수 변화가 반지름에 영향을 준다는 서술은 옳지 않은 설명으로 표시해 둔다. 이온화 에너지 비교 문제는 같은 주기 내 2족-3족(Be-B, Mg-Al), 15족-16족(N-O, P-S) 사이의 예외적 역전 경향을 먼저 떠올려 일반화의 함정을 피한다.

암기 포인트

원자(이온) 반지름 결정 요인은 양성자 수(유효 핵전하)와 전자 껍질 수이며, 중성자 수는 무관하다는 점을 기억해 둔다. 이온화 에너지 예외 경향(2족>3족, 15족>16족)과, 채워진 부껍질($3s^2$, $3p^3$처럼 반쯤 채워진 경우 포함)이 안정하여 이온화 에너지가 상대적으로 크다는 원리를 함께 정리해 둔다.

NoteBase

문 2. 30.0 g의 포도당 $C_6H_{12}O_6$에 포함된 원자의 총 개수는? (단, H, C, O의 원자량은 각각 1.0, 12.0, 16.0이며, N_A는 아보가드로수이다)

① N_A

② $2N_A$

③ $4N_A$

④ $6N_A$

정답 3번

출제 포인트

질량이 주어진 화합물에서 몰수를 구하고, 분자 하나에 들어 있는 원자 개수를 곱해 시료 전체의 원자 총 개수를 아보가드로수(N_A) 단위로 나타낼 수 있는지를 묻는다. 몰질량 계산과 분자당 원자 수 세기를 함께 요구하는 전형적인 문제이다.

조건 정리

포도당의 화학식은 $C_6H_{12}O_6$이고 시료의 질량은 30.0 g이다. 원자량은 H=1.0, C=12.0, O=16.0이며, N_A는 아보가드로수를 나타낸다. 구해야 하는 값은 시료에 들어 있는 원자의 총 개수이다.

사용할 공식

몰수는 n=질량몰질량으로 구하고, 분자 하나당 원자 수는 화학식의 각 원소 하첨자를 모두 더해 구한다. 원자의 총 개수는 n × (분자당 원자 수) × N_A이다.

계산 과정

포도당의 몰질량은 $6(12.0) + 12(1.0) + 6(16.0) = 72.0 + 12.0 + 96.0 = 180.0$ g/mol이다.
시료의 몰수는 $n = \frac{30.0\ \text{g}}{180.0\ \text{g/mol}} = \frac{1}{6}$ mol이다.
포도당 한 분자에 들어 있는 원자 수는 탄소 6개, 수소 12개, 산소 6개를 더한 $6 + 12 + 6 = 24$개이다.
따라서 원자의 총 개수는 $\frac{1}{6}\ \text{mol} \times 24 \times N_A = 4N_A$이다.

선지 판단

① N_A: X → 계산값 $4N_A$와 맞지 않는다.
② $2N_A$: X → 계산값 $4N_A$와 맞지 않는다.
③ $4N_A$: O → 몰수 $\frac{1}{6}$ mol에 분자당 원자 수 24를 곱한 값과 일치한다.
④ $6N_A$: X → 분자당 원자 수 24가 아니라 원소 종류 수(3종류)나 다른 값을 잘못 곱했을 때 나오는 값이다.

NoteBase

오답 포인트

몰질량을 구할 때 원자량에 하첨자를 곱하지 않고 단순히 더하거나(예: 12.0+1.0+16.0), 분자당 원자 수를 셀 때 하첨자를 모두 더하지 않고 원소 종류 수(3개)나 탄소 개수(6개)만 세는 실수가 오답으로 이어진다. 몰수를 구하는 나눗셈에서 질량과 몰질량을 바꿔 계산하는 것도 흔한 오류이다.

다시 나오면 이렇게 판단

질량에서 원자 총 개수를 구하는 문제는 항상 두 단계로 나눈다. 먼저 화학식의 하첨자에 원자량을 곱해 몰질량을 구해 몰수를 계산하고, 다음으로 화학식의 하첨자를 모두 더해 분자당 원자 수를 구한다. 두 값과 N_A를 모두 곱해야 원자의 총 개수가 나온다는 점을 놓치지 않는다.

암기 포인트

몰수는 n=질량몰질량이고, 분자당 원자 수는 화학식 하첨자의 합이며, 원자의 총 개수는 n × (분자당 원자 수) × N_A로 구한다. 포도당 $C_6H_{12}O_6$의 몰질량 180.0 g/mol과 분자당 원자 수 24개는 자주 나오는 값이므로 익혀 둔다.

NoteBase

문 3. 다음 결정성 고체 중 격자 엔탈피ΔH_L가 가장 큰 것은? (단, 기하학적 요인은 무시한다)

① Al_2O_3

② NaCl

③ LiF

④ $CaCl_2$

정답 1번

출제 포인트

이온성 결정의 격자 엔탈피(격자 에너지) 크기를 이온의 전하와 이온 간 거리로 비교할 수 있는지를 묻는다. 기하학적 요인(결정 구조 차이)은 무시하라는 단서가 있으므로 전하와 이온 반지름만으로 판단한다.

조건 정리

비교 대상은 Al2O3, NaCl, LiF, CaCl2이다. 각 화합물의 양이온과 음이온의 전하수는 다음과 같다: Al2O3은 Al3+과 O2-, NaCl은 Na+과 Cl-, LiF는 Li+과 F-, CaCl2는 Ca2+과 Cl-이다. 기하학적 요인(결정 구조에 따른 마델룽 상수 차이 등)은 무시하므로 전하의 곱과 이온 간 거리만 비교하면 된다.

사용할 공식

이온 결정의 격자 엔탈피는 쿨롱 법칙에 따라 다음과 비례한다. $\Delta H_L \propto \frac{Q_+ Q_-}{r_0}$ 여기서 Q_+, Q_-는 양이온과 음이온의 전하 크기(절댓값)이고 r_0는 두 이온 중심 간 거리이다. 전하의 곱이 클수록, 이온 간 거리가 짧을수록 격자 엔탈피는 커진다.

계산 과정

각 화합물의 전하 곱을 구하면 다음과 같다. Al2O3: Al3+와 O2-이므로 전하 곱은 $3 \times 2 = 6$이다(실제로는 Al2O3 한 화학식 단위에 이온이 여러 개 있지만, 이온쌍당 전하 곱만으로도 다른 물질과 비교해 압도적으로 크다). NaCl: $1 \times 1 = 1$. LiF: $1 \times 1 = 1$. CaCl2: $2 \times 1 = 2$. 전하 곱이 클수록 정전기적 인력이 강해 격자 엔탈피가 커지므로, Al2O3의 전하 곱 6이 나머지(1, 1, 2)에 비해 훨씬 크다. 이온 반지름 측면에서도 Al3+과 O2-은 Na+, Cl-, Li+, F-, Ca2+보다 작거나 비슷한 수준이어서 이온 간 거리가 짧아 격자 엔탈피를 더 키우는 방향으로 작용한다. 따라서 전하와 거리 두 요인 모두 Al2O3이 가장 큰 격자 엔탈피를 갖는 쪽으로 일치한다.

NoteBase

선지 판단

① Al_2O_3: O 이온의 전하가 3과 2로 다른 선지들보다 훨씬 크고 이온 반지름도 작아 전하 곱과 거리 두 조건 모두에서 격자 엔탈피가 가장 크다. 정답이다.
② NaCl: Na^+과 Cl^-의 전하 곱은 1로 가장 작은 축에 속하고 이온 반지름도 비교적 커서 격자 엔탈피가 작다.
③ LiF: 전하 곱은 1로 NaCl과 같으나 이온 반지름이 작아 NaCl보다는 격자 엔탈피가 크지만, 전하가 2, 3으로 훨씬 큰 Al_2O_3에는 미치지 못한다.
④ $CaCl_2$: Ca^{2+}의 전하가 2이므로 전하 곱은 2로 NaCl, LiF보다는 크지만, 전하 곱이 6인 Al_2O_3보다는 작다.

오답 포인트

이온 반지름만 보고 크기가 작은 이온이 들어간 화합물을 무조건 정답으로 고르면 안 된다. 격자 엔탈피는 전하의 곱과 거리(반지름의 합)를 함께 고려해야 하며, 특히 전하가 1가지 클수록 영향력이 거리 차이보다 훨씬 크다. LiF가 이온 반지름이 작다는 이유만으로 정답으로 착각하기 쉬우나, 전하가 모두 1가인 LiF는 전하가 2가·3가인 Al_2O_3을 이길 수 없다.

다시 나오면 이렇게 판단

격자 엔탈피 비교 문제가 나오면 가장 먼저 각 이온의 전하수를 확인하고 전하의 곱을 계산한다. 전하 곱 차이가 크면 그것으로 순위가 거의 결정되고, 전하 곱이 같을 때만 이온 반지름(거리) 차이로 순위를 가른다.

암기 포인트

격자 엔탈피는 전하의 곱에 비례하고 이온 간 거리에 반비례한다는 쿨롱 법칙 형태의 관계를 기억해 둔다. 전하가 2가, 3가로 커지는 산화물(예 Al_2O_3, MgO)은 1가 이온으로 이루어진 할로겐화물(NaCl, LiF, $CaCl_2$ 등)보다 격자 엔탈피가 훨씬 크다는 경향을 함께 외워 둔다.

NoteBase

문 4. 다음은 암모니아가 생성되는 평형 반응식이다. 계의 평형을 오른쪽으로 이동시키는 과정으로 옳지 않은 것은?

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g),\ \Delta H = -92\text{kJ}$

① 일정 부피에서 N_2 기체를 첨가한다.

② 계의 온도를 낮춘다.

③ 용기의 부피를 줄인다.

④ 일정 부피에서 Ar 기체를 첨가한다.

정답 4번

출제 포인트

발열 반응 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g), \Delta H = -92\text{kJ}$에서 농도·온도·압력(부피) 변화를 르샤틀리에 원리로 분석해, 어떤 조작이 평형을 실제로 오른쪽(생성물 쪽)으로 이동시키는지 가려내는 문제이다. 특히 '일정 부피에서 비활성 기체 첨가'가 평형에 영향을 주는지가 핵심 함정이다.

핵심 개념

르샤틀리에 원리 = 평형계에 변화를 가하면 그 변화를 상쇄하는 방향으로 평형이 이동한다.
농도 변화: 반응물을 첨가하면 반응물을 소모하는 방향, 즉 정반응(오른쪽)으로 이동한다.
온도 변화: 발열 반응($\Delta H < 0$)에서 온도를 낮추면 열을 내놓는 방향인 정반응 쪽으로 이동한다.
부피(압력) 변화: 부피를 줄여 압력을 높이면 기체 몰수가 적은 쪽으로 이동한다. 이 반응은 반응물 4몰(1 + 3)에서 생성물 2몰로 몰수가 감소하므로, 부피를 줄이면 정반응(오른쪽) 쪽으로 이동한다.
비활성 기체(Ar 등) 첨가: 일정 부피(정적) 조건에서 비활성 기체를 넣으면 전체 압력은 올라가지만 반응에 관여하는 N_2, H_2, NH_3의 분압(농도)은 변하지 않으므로 평형은 이동하지 않는다. 반면 일정 압력(정압) 조건에서 비활성 기체를 넣으면 부피가 늘어나 반응물·생성물의 분압이 함께 낮아지므로 몰수가 많은 쪽, 즉 역반응 쪽으로 이동한다.

NoteBase

선지별 해설

① 일정 부피에서 N2 기체를 첨가한다 → O. 반응물인 N2의 농도(분압)를 늘리면 이를 소모하는 정반응(오른쪽)으로 평형이 이동한다.
② 계의 온도를 낮춘다 → O. 이 반응은 발열 반응($\Delta H = -92\text{kJ}$)이므로, 온도를 낮추면 열을 방출하는 정반응 쪽으로 평형이 이동해 오른쪽으로 이동한다.
③ 용기의 부피를 줄인다 → O. 부피를 줄이면 압력이 높아지고, 반응물 4몰에서 생성물 2몰로 기체 몰수가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동해 오른쪽으로 이동한다.
④ 일정 부피에서 Ar 기체를 첨가한다 → X. 일정 부피 조건에서 비활성 기체인 Ar을 첨가하면 전체 압력은 증가하지만 N2, H2, NH3 각각의 분압(농도)은 그대로이므로 정반응 속도와 역반응 속도 모두 변하지 않는다. 따라서 평형은 오른쪽으로 이동하지 않는다.

오답 포인트

'일정 부피에서 비활성 기체 첨가'를 무조건 '압력 증가 → 평형 이동'으로 오해하기 쉬운데, 이는 전체 압력만 오르는 것이지 반응에 관여하는 각 기체의 분압(농도)은 일정 부피에서는 그대로다. 평형 이동 여부는 전체 압력이 아니라 반응 성분의 분압(농도) 변화로 판단해야 한다. 만약 '일정 압력'에서 Ar을 첨가하는 조건이었다면 부피가 늘어나면서 반응물·생성물의 분압이 함께 줄어 몰수가 많은 역반응 쪽(왼쪽)으로 평형이 이동하므로, '일정 부피'와 '일정 압력' 조건을 혼동하지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

비활성 기체 첨가 문제가 나오면 가장 먼저 '일정 부피'인지 '일정 압력'인지부터 확인한다. 일정 부피이면 각 성분의 분압이 그대로이므로 평형 이동 없음, 일정 압력이면 부피 증가로 인해 기체 몰수가 많은 쪽으로 이동한다고 판단한다. 그 다음 반응물 첨가는 정반응 쪽, 발열 반응에서 온도를 낮추는 것은 정반응 쪽, 부피 감소(압력 증가)는 몰수가 적은 쪽으로 이동한다는 원리를 순서대로 적용한다.

암기 포인트

일정 부피 + 비활성 기체 첨가 = 분압 불변 = 평형 이동 없음. 일정 압력 + 비활성 기체 첨가 = 부피 증가 = 몰수 많은 쪽으로 이동. 발열 반응은 온도를 낮출수록, 압력은 높일수록(몰수 감소 방향), 반응물 농도는 늘릴수록 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

NoteBase

문 5. 다음 화학종 중 결합 차수가 2인 것만을 모두 고르면?

ㄱ. C_2^{2-}
ㄴ. NO
ㄷ. NO^-
ㄹ. N_2^{2-}

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄹ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄷ, ㄹ

정답 4번

출제 포인트

분자궤도함수(MO) 이론을 이용해 화학종의 전체 원자가전자 수를 구하고, 그 전자를 분자궤도에 채운 뒤 결합 차수(bond order)를 계산할 수 있는지를 묻는 문항이다. 결합 차수는 결합차수 = (결합성 전자 수) - (반결합성 전자 수)2로 구한다.

조건 정리

ㄱ. C2^2-, ㄴ. NO, ㄷ. NO^-, ㄹ. N2^2- 네 화학종이 주어져 있고, 이 중 결합 차수가 정확히 2인 것만을 모두 고르는 문제이다. C2, N2와 같이 2주기 원소로만 이루어진 등핵 이원자 분자·이온은 π2p 오비탈이 σ2p보다 에너지가 낮은 순서(2s, 2s*, π2p, σ2p, π2p*, σ2p*)를 따르고, N과 O가 섞인 NO 계열은 O2와 같은 순서(2s, 2s*, σ2p, π2p, π2p*, σ2p*)를 따른다는 점을 이용해야 한다.

사용할 공식

결합차수 = (n_b - n_a)/(2) 여기서 n_b는 결합성 분자궤도에 들어간 전자 수, n_a는 반결합성 분자궤도에 들어간 전자 수이다. 각 화학종의 원자가전자 총수를 구한 뒤 에너지가 낮은 오비탈부터 순서대로 채워 넣는다.

NoteBase

계산 과정

ㄱ. C2^2-: 탄소 원자가전자 4개씩 2개(8개)에 음전하 2개를 더해 총 10개이다. 순서(2s, 2s*, π2p, σ2p, …)로 채우면 σ2s(2), σ2s*(2), π2p(4), σ2p(2)로 모두 결합성 궤도에만 채워져 반결합성 전자는 σ2s*의 2개뿐이다. 결합차수 = (2+4+2-2)/2 = 3이다.
ㄴ. NO: 질소 5개, 산소 6개로 총 11개이다. O2형 순서(2s, 2s*, σ2p, π2p, π2p*, σ2p*)로 채우면 σ2s(2), σ2s*(2), σ2p(2), π2p(4)까지 10개를 채우고 남은 1개는 π2p*에 들어간다. 결합차수 = (2+2+4-2-1)/2 = 2.5이다.
ㄷ. NO^-: NO의 11개에 전자 1개가 더해져 총 12개이다. σ2s(2), σ2s*(2), σ2p(2), π2p(4), π2p*(2)로 채워진다. 결합차수 = (2+2+4-2-2)/2 = 2이다.
ㄹ. N2^2-: 질소 5개씩 2개(10개)에 전자 2개가 더해져 총 12개이다. N2형 순서(2s, 2s*, π2p, σ2p, π2p*, σ2p*)로 채우면 σ2s(2), σ2s*(2), π2p(4), σ2p(2)까지 10개를 채우고 남은 2개는 π2p*에 들어간다. 결합차수 = (2+4+2-2-2)/2 = 2이다.

선지 판단

① ㄱ, ㄴ → X. ㄱ(C2^2-)의 결합차수는 3, ㄴ(NO)의 결합차수는 2.5로 둘 다 2가 아니다.
② ㄱ, ㄹ → X. ㄱ의 결합차수는 3이므로 2가 아니다.
③ ㄴ, ㄷ → X. ㄴ(NO)의 결합차수는 2.5로 2가 아니다.
④ ㄷ, ㄹ → O. ㄷ(NO^-)의 결합차수는 2, ㄹ(N2^2-)의 결합차수도 2로 계산되어 둘 다 결합차수 2인 화학종이다.

오답 포인트

C2^2-를 단순히 이중결합처럼 여겨 결합차수를 2로 잘못 계산하는 경우가 많은데, 음이온이 되면서 전자가 늘어난 만큼 π2p와 σ2p까지 결합성 궤도가 채워져 실제로는 결합차수가 3이 된다. 또한 NO는 홀수 개(11개)의 전자를 가지므로 반결합성 π*2p 궤도에 전자가 1개만 들어가 결합차수가 정수가 아닌 2.5가 되는데, 이를 정수로 어림해 2로 착각하지 않도록 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

2주기 등핵 이원자 화학종(C2, N2 계열)과 N·O가 섞인 화학종(NO 계열)은 분자궤도 채움 순서가 서로 다르다는 점을 먼저 확인한 뒤, 전체 전자 수를 정확히 세어 순서대로 채우고 결합차수 공식에 대입해서 계산한다. 이온의 전하 부호(양이온은 전자를 빼고 음이온은 전자를 더함)를 놓치지 않도록 한다.

암기 포인트

결합차수 = (결합성 전자수 - 반결합성 전자수)/2. B2, C2, N2 계열은 π2p가 σ2p보다 낮고, O2, F2, NO 계열은 σ2p가 π2p보다 낮다. NO는 전자가 홀수(11개)라 결합차수가 2.5로 반정수가 된다는 점을 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 6. 양자 역학에서는 오비탈을 설명하기 위해 세 가지 양자수, n(주양자수), l(각운동량 양자수), m_l(자기 양자수)을 사용한다. ㉠ ~ ㉢의 값을 바르게 연결한 것은?

○ (㉠)은 $n = 4$일 때, 가능한 l값의 개수
○ (㉡)은 $l = 2$일 때, 가능한 m_l값의 개수
○ (㉢)은 $m_l = 2$일 때, 가능한 l값 중 가장 작은 값

① ㉠: 3, ㉡: 3, ㉢: 0
② ㉠: 3, ㉡: 5, ㉢: 1
③ ㉠: 4, ㉡: 3, ㉢: 0
④ ㉠: 4, ㉡: 5, ㉢: 2

정답 4번

출제 포인트

양자수 n, l, ml 사이의 허용 범위 규칙을 정확히 적용해 각 물음에 맞는 개수 또는 최솟값을 구할 수 있는지를 묻는다. 세 가지 규칙 $0 \le l \le n-1$, $-l \le m_l \le l$, 그리고 이 둘을 뒤집어 특정 m_l이 나오기 위한 l의 최솟값을 함께 다룬다.

조건 정리

ㄱ: $n = 4$일 때 가능한 l값의 개수를 구한다.
ㄴ: $l = 2$일 때 가능한 m_l값의 개수를 구한다.
ㄷ: $m_l = 2$일 때 가능한 l값 중 가장 작은 값을 구한다.

사용할 공식

각운동량 양자수의 허용 범위: $l = 0, 1, 2, \ldots, n-1$ (총 n개).
자기 양자수의 허용 범위: $m_l = -l, -l+1, \ldots, 0, \ldots, l-1, l$ (총 $2l+1$개).
특정 m_l값이 존재하려면 $l \ge |m_l|$이어야 하므로, m_l이 주어졌을 때 가능한 l의 최솟값은 $|m_l|$이다.

계산 과정

ㄱ: $n = 4$이면 l은 0, 1, 2, 3의 4가지 값을 가지므로 개수는 4이다.
ㄴ: $l = 2$이면 m_l은 $-2, -1, 0, 1, 2$의 $2(2)+1 = 5$가지 값을 가지므로 개수는 5이다.
ㄷ: $m_l = 2$가 존재하려면 $l \ge 2$이어야 하므로 가능한 l 중 가장 작은 값은 2이다.
따라서 ㄱ=4, ㄴ=5, ㄷ=2이다.

NoteBase

선지 판단

① ㄱ=3, ㄴ=3, ㄷ=0 → ㄱ은 4이어야 하므로(오답), ㄴ도 5이어야 하며, ㄷ도 2이어야 한다. 세 값 모두 틀림.
② ㄱ=3, ㄴ=5, ㄷ=1 → ㄴ은 맞으나 ㄱ은 4이어야 하고 ㄷ은 2이어야 한다.
③ ㄱ=4, ㄴ=3, ㄷ=0 → ㄱ은 맞으나 ㄴ은 5이어야 하고($l = 2$일 때 m_l은 5가지), ㄷ은 2이어야 한다.
④ ㄱ=4, ㄴ=5, ㄷ=2 → $n = 4$일 때 l의 개수 4, $l = 2$일 때 m_l의 개수 5, $m_l = 2$를 만족하는 최소 l값 2가 모두 계산과 일치한다.

오답 포인트

ㄱ에서 $n = 4$일 때 l의 최댓값을 $n - 1 = 3$으로 착각해 그 값 자체를 개수로 답하면 3이 나와 오답(①, ②)이 된다. l값은 0부터 시작하므로 개수는 최댓값보다 1 크다.
ㄴ에서 m_l의 개수 공식 $2l + 1$을 잊고 l값 자체(3)를 답하면 오답(①, ③)이 된다.
ㄷ에서 $m_l = 2$라는 조건만 보고 $l = 0$ 또는 $l = 1$도 가능하다고 착각하면 안 된다. m_l의 절댓값이 l보다 클 수 없으므로 $l \geq |m_l| = 2$가 반드시 성립해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

n이 주어지면 l의 개수는 n과 같고(0부터 $n - 1$까지), l이 주어지면 m_l의 개수는 $2l + 1$이다. 반대로 m_l이 주어지고 가능한 l의 최솟값을 물으면 $l = |m_l|$로 바로 계산한다.

암기 포인트

l의 범위: $0 \sim n - 1$(개수 = n). m_l의 범위: $-l \sim l$(개수 = $2l + 1$). m_l이 주어지면 l의 최솟값은 $|m_l|$이다.

NoteBase

문 7. 다음은 기체 A가 기체 B와 C로 분해되는 평형 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)를 나타낸 것이다. 일정 온도에서 부피가 2L인 용기에 4 mol의 기체 A만을 넣은 후 평형에 도달하게 하였다. 평형상태에서 A의 농도[M]는?

$A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g), K = \frac{1}{6}$

① $\frac{1}{2}$

② 1

③ $\frac{3}{2}$

④ 3

정답 3번

출제 포인트

기체 평형에서 초기 농도와 평형 상수(K)가 주어졌을 때 ICE 표를 이용해 반응 진행도를 구하고 평형 농도를 계산하는 능력을 묻는다. 부피를 이용해 몰수를 몰농도로 먼저 환산하는 과정이 출발점이다.

조건 정리

반응식은 $A(g) \rightleftharpoons B(g) + C(g)$이고 $K = \frac{1}{6}$이다. 용기 부피는 2 L, 초기 A는 4 mol이므로 초기 농도는 $[A]_0 = \frac{4}{2} = 2$ M이고, B와 C는 처음에 존재하지 않는다.

사용할 공식

평형 상수식 $K = \frac{[B][C]}{[A]}$를 사용한다. A가 x M만큼 반응해 없어지면 B와 C는 각각 x M씩 생성되므로 평형에서 $[A] = 2 - x$, $[B] = [C] = x$이다.

계산 과정

이를 K식에 대입하면 $\frac{x^2}{2-x} = \frac{1}{6}$이 된다. 양변에 $6(2-x)$를 곱하면 $6x^2 = 2 - x$, 즉 $6x^2 + x - 2 = 0$이다. 근의 공식을 적용하면 $x = \frac{-1 \pm \sqrt{1+48}}{12} = \frac{-1 \pm 7}{12}$이므로 $x = 0.5$(농도이므로 음수 해는 버린다)이다. 따라서 평형에서 A의 농도는 $[A] = 2 - 0.5 = 1.5$ M $= \frac{3}{2}$ M이다.

선지 판단

① 1/2 → X, 반응이 진행된 양 $x = 0.5$와 값이 같아 혼동하기 쉬우나 이는 A의 감소량이지 남은 A의 농도가 아니다.

② 1 → X, $x = 1$로 잘못 계산했을 때 나오는 값으로 2차방정식을 정확히 풀지 않으면 얻기 쉬운 오답이다.

③ 3/2 → O, 계산 과정에서 구한 평형 A의 농도 1.5 M과 일치한다.

④ 3 → X, 초기 농도 2 M보다 큰 값으로 A가 분해되는 반응에서는 나올 수 없는 값이다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 반응 진행도 x를 그대로 평형 농도로 착각하는 것이다(①). 또한 2차방정식 $6x^2 + x - 2 = 0$을 인수분해나 근의 공식 없이 어림잡아 풀면 ②와 같은 오답이 나온다. 반드시 초기 몰수를 부피로 나누어 몰농도로 바꾼 뒤 ICE 표를 세워야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체 평형 문제에서는 먼저 몰수를 부피로 나누어 초기 몰농도를 구하고, 반응식의 계수에 맞추어 ICE 표(초기-변화-평형)를 세운다. 다음으로 K식에 평형 농도 표현을 대입해 x에 대한 방정식을 만들고, 이차방정식이면 근의 공식으로 풀되 음수 해는 물리적으로 불가능하므로 버린다.

암기 포인트

K 식은 반드시 생성물을 분자, 반응물을 분모에 놓는다: $K = \frac{[B][C]}{[A]}$. 몰수만 주어지고 농도가 필요하면 항상 부피로 나누는 것을 잊지 않는다. 이차방정식의 두 해 중 농도가 음수이거나 초기 농도를 넘는 해는 물리적으로 불가능하므로 제외한다.

NoteBase

문 8. 아미노산 중 하나인 알라닌은 두 개의 pK_a값을 갖는다. 다음 중 pK_{a1}에 해당하는 산 해리 평형 반응식은? (단, $pK_{a1} = 2.34$, $pK_{a2} = 9.69$)

① 

② 

③ 

④ 

정답 1번

출제 포인트

알라닌처럼 카복실기(-COOH)와 아미노기(-NH2)를 모두 가진 아미노산은 산-염기 해리가 두 단계로 일어난다는 것을 이해하고 있는지 묻는 문제이다. 완전히 양성자화된 양이온형(H3N+-CH(CH3)-COOH)에서 출발해 어느 작용기가 먼저 양성자를 잃는지, 그리고 그 순서를 pKa1과 pKa2에 각각 대응시킬 수 있는지가 핵심이다.

핵심 개념

알라닌은 pH에 따라 세 가지 이온 형태로 존재한다. 낮은 pH에서는 카복실기도 아미노기도 모두 양성자를 가진 양이온형(H3N+-CH(CH3)-COOH)이 우세하고, 중성 부근에서는 카복실기는 음이온(-COO-), 아미노기는 양이온(-NH3+)인 쯔비터이온형(H3N+-CH(CH3)-COO-)이 우세하며, 높은 pH에서는 아미노기까지 양성자를 잃은 음이온형(H2N-CH(CH3)-COO-)이 우세하다. 카복실기(-COOH)는 아미노기(-NH3+)보다 훨씬 강한 산이므로 낮은 pKa 값을 가진다. 즉 pKa1(2.34)은 카복실기의 해리, pKa2(9.69)는 아미노기의 해리에 해당한다. 따라서 pKa1에 해당하는 반응식은 양이온형이 카복실기의 양성자를 내놓아 쯔비터이온형으로 바뀌는 평형이다: H3N+-CH(CH3)-COOH + H2O ⇌ H3N+-CH(CH3)-COO- + H3O+.

NoteBase

선지별 해설

① H3N+-CH(CH3)-COOH + H2O ⇌ H3N+-CH(CH3)-COO- + H3O+ : O, 반응 전과 후 모두 아미노기는 H3N+로 그대로이고, 카복실기만 COOH에서 COO-로 바뀌었다. 이는 산성이 강한 카복실기의 해리이므로 pKa1(2.34)에 해당한다.
② H3N+-CH(CH3)-COOH + H2O ⇌ H2N-CH(CH3)-COOH + H3O+ : X, 카복실기는 COOH로 그대로이고 아미노기만 H3N+에서 H2N으로 바뀌었다. 이는 아미노기의 해리이므로 pKa2(9.69)에 해당하는 반응이며 pKa1과는 맞지 않는다.
③ H3N+-CH(CH3)-COO- + H2O ⇌ H2N-CH(CH3)-COO- + H3O+ : X, 쯔비터이온형에서 아미노기가 다시 양성자를 잃어 음이온형이 되는 반응으로, 이 역시 아미노기의 해리인 pKa2 단계에 해당한다.
④ H2N-CH(CH3)-COOH + H2O ⇌ H2N-CH(CH3)-COO- + H3O+ : X, 출발 물질인 H2N-CH(CH3)-COOH는 카복실기는 그대로이고 아미노기만 이미 중성(H2N)인 형태인데, 이는 알라닌이 실제로 취하는 세 가지 주요 이온형(양이온형·쯔비터이온형·음이온형) 중 어디에도 해당하지 않는 가상의 조합이다. 반응 자체는 카복실기의 해리를 나타내지만 출발 물질의 아미노기 상태가 실제 알라닌의 해리 경로와 맞지 않는다.

오답 포인트

②와 ③을 고르는 학생은 pKa1과 pKa2를 반대로 기억했거나, 어느 작용기가 더 강한 산인지 헷갈린 경우이다. 카복실산(-COOH)은 암모늄이온(-NH3+)보다 훨씬 강한 산이므로 먼저 해리되어 pKa 값이 더 작다는 점을 놓치면 안 된다. ④를 고르는 학생은 반응 형태(카복실기 해리)만 보고 정답으로 착각하기 쉬운데, 실제로는 출발 물질의 아미노기가 이미 중성(H2N)으로 되어 있어 알라닌이 실제로 거치는 이온 형태 순서(양이온형→쯔비터이온형→음이온형)와 맞지 않는다는 점까지 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

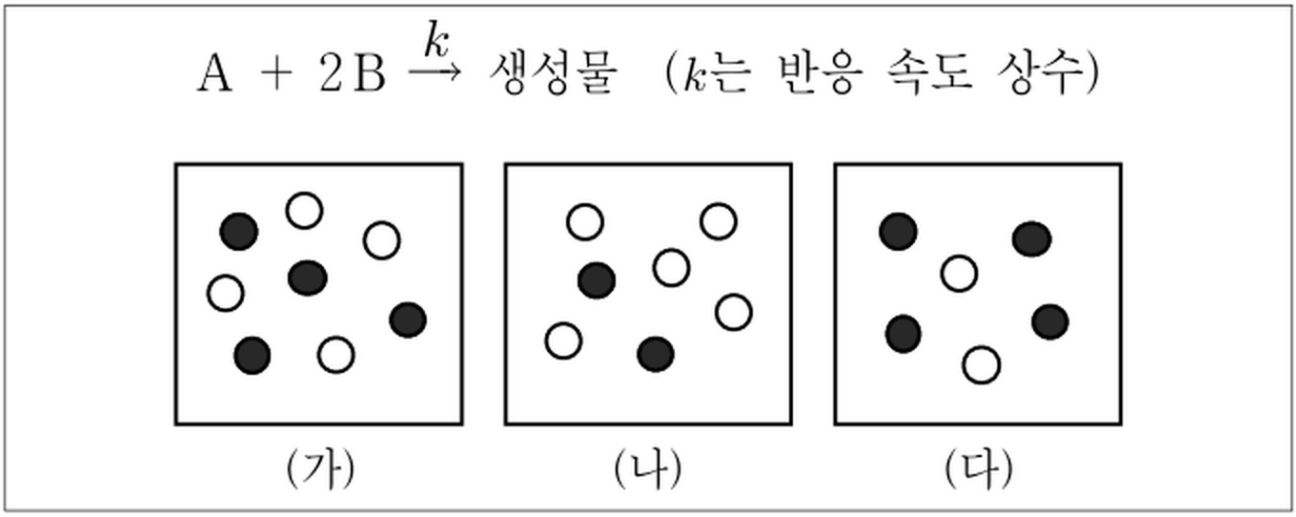
먼저 반응식에서 반응 전후 두 작용기(-NH3+/-NH2, -COOH/-COO-) 중 어느 것이 바뀌었는지를 확인한다. 카복실기가 바뀌면 pKa1, 아미노기가 바뀌면 pKa2에 해당한다. 그다음 출발 물질이 알라닌이 실제로 취할 수 있는 이온형(양이온형·쯔비터이온형·음이온형) 중 하나인지, 즉 pKa1 반응이라면 출발 물질은 반드시 양이온형(H3N+⋯COOH)이어야 한다는 점까지 함께 검토한다.

암기 포인트

카복실기(-COOH)는 강산이라 먼저 해리되어 pKa1(작은 값), 아미노기(-NH3+)는 약산이라 나중에 해리되어 pKa2(큰 값)이다. 순서는 양이온형(H3N+⋯COOH) → 쯔비터이온형(H3N+⋯COO-) → 음이온형(H2N⋯COO-)이며, pKa1은 첫 번째 화살표, pKa2는 두 번째 화살표에 대응한다.

NoteBase

문 9. 다음은 분자 A(●)와 B(○) 사이의 반응식과 초기 상태 모형을 나타낸 것이다. 모형 (가), (나), (다)에서 측정된 반응 속도 비가 (가):(나):(다) = 2:1:2일 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것은?



① 속도 법칙은 $v = k[A][B]^2$이다.

② 반응 속도 상수 k의 단위는 $M^{-1}s^{-1}$이다.

③ 반감기는 반응물의 초기 농도에 반비례한다.

④ 반응 차수는 B의 농도에 대해 0차이다.

정답 4번

출제 포인트

속도 법칙 $v = k[\mathrm{A}]^m[\mathrm{B}]^n$의 반응 차수 m, n은 화학 반응식의 계수가 아니라 실험(초기 속도 비교)으로만 결정된다는 점을 모형에서 읽어낸 개수 자료를 통해 확인하는 문항이다. 반응식 계수 2를 보고 B에 대해 2차라고 단정하면 함정에 걸린다.

조건 정리

반응식은 A + 2B →생성물이다. 각 용기의 초기 입자 수는 (가) A 4개, B 4개이고 (나) A 2개, B 5개이며 (다) A 4개, B 2개이다. 측정된 초기 속도비는 (가):(나):(다) = 2:1:2이다.

사용할 공식

속도 법칙 $v = k[\mathrm{A}]^m[\mathrm{B}]^n$에서, 한 조건만 다르고 나머지가 같은 두 실험을 비교하면 그 조건의 차수를 바로 구할 수 있다. 즉 $\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{[\mathrm{A}]_1}{[\mathrm{A}]_2}\right)^m\left(\frac{[\mathrm{B}]_1}{[\mathrm{B}]_2}\right)^n$이다.

NoteBase

계산 과정

(가)와 (다)는 A의 개수가 4개로 같고 B의 개수만 4개에서 2개로 절반이 되었는데, 속도비는 2:2로 변화가 없다. 즉 B의 농도가 달라져도 속도가 그대로이므로 B에 대한 차수는 $n = 0$이다.
(나)와 (다)를 비교하면 A의 개수가 2개에서 4개로 2배가 되고 속도는 1에서 2로 2배가 되므로, 속도가 A의 농도에 정비례한다. 즉 A에 대한 차수는 $m = 1$이다.
(가)와 (나)로도 검산하면 A는 4개에서 2개로 절반, B는 4개에서 5개로 늘었지만 B는 차수 0이므로 영향이 없고 A만 절반이 되어 속도도 2에서 1로 절반이 되는 것과 일치한다.
따라서 속도 법칙은 $v = k[\mathrm{A}]$이고, 전체 반응 차수는 1차이다.

선지 판단

① 속도 법칙은 $v = k[\mathrm{A}][\mathrm{B}]^2$이다. → X. 반응식의 계수 2를 그대로 차수로 쓴 오답이며, 실제로는 $v = k[\mathrm{A}]$로 B에 대한 차수는 0이다.
② 반응 속도 상수(k)의 단위는 $\mathrm{M^{-1}s^{-1}}$이다. → X. 이 반응은 전체 1차 반응이므로 $v = k[\mathrm{A}]$에서 v의 단위 $\mathrm{Ms^{-1}}$를 [A]의 단위 M으로 나누면 k의 단위는 $\mathrm{s^{-1}}$이다. $\mathrm{M^{-1}s^{-1}}$은 전체 2차 반응일 때의 단위이다.
③ 반감기는 반응물의 초기 농도에 반비례한다. → X. 반감기가 초기 농도에 반비례하는 것은 2차 반응의 특징이다. 이 반응은 1차 반응이므로 반감기는 $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$로 초기 농도와 무관하게 일정하다.
④ 반응 차수는 B의 농도에 대해 0차이다. → O. 계산 과정에서 확인했듯이 (가)와 (다)에서 B의 농도만 절반이 되어도 속도가 변하지 않으므로 B에 대한 반응 차수는 0차가 맞다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 반응식의 계수 2B를 보고 B의 반응 차수를 자동으로 2차라고 단정하는 것이다. 반응 차수는 반드시 실험으로 측정한 속도 자료로부터 구해야 하며, 이 문제처럼 한 성분의 농도만 다르고 나머지가 동일한 두 모형을 짝지어 비교하는 것이 핵심 풀이 전략이다. 또한 반감기 성질을 차수별로 헷갈리는 경우가 많은데, 이 반응은 1차이므로 반감기가 일정하다는 점에 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

모형이나 표로 여러 조건의 초기 속도가 주어지면, 먼저 한 성분의 농도만 다르고 다른 성분은 개수가 같은 두 조건을 찾는다. 그 두 조건의 속도비와 해당 성분의 농도비를 비교해 지수를 구하고, 나머지 성분도 같은 방식으로 확인한 뒤 전체를 검산한다. 반응식의 계수는 차수 판단에 사용하지 않는다.

암기 포인트

반응 차수는 실험적으로 결정되며 화학 반응식의 계수와는 무관하다. 전체 반응 차수에 따른 반감기 성질은 0차는 초기 농도에 비례, 1차는 초기 농도와 무관(일정), 2차는 초기 농도에 반비례한다. 속도 상수 k의 단위는 전체 차수가 n일 때 $\mathrm{M^{1-n}s^{-1}}$이며, 0차는 $\mathrm{Ms^{-1}}$, 1차는 $\mathrm{s^{-1}}$, 2차는 $\mathrm{M^{-1}s^{-1}}$이다.

NoteBase

문 10. Co^{2+} **팔면체 착물** $[CoCl_6]^{4-}$**,** $[Co(CN)_6]^{4-}$**,** $[Co(H_2O)_6]^{2+}$**,** $[Co(NH_3)_6]^{2+}$**의 수용액은 빨간색, 주황색, 노란색, 초록색 중 한 색을 띤다. 다음 중 노란색을 띠는 착물은?**

① $[CoCl_6]^{4-}$

② $[Co(CN)_6]^{4-}$

③ $[Co(H_2O)_6]^{2+}$

④ $[Co(NH_3)_6]^{2+}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 팔면체 전이금속 착물에서 리간드의 결정장 세기(분광화학적 계열, spectrochemical series)에 따라 결정장 갈라짐 에너지 Δ_o가 달라지고, 그 결과 착물이 흡수하는 가시광선의 파장(에너지)이 달라져 수용액의 색이 달라진다는 점을 묻는다. 리간드의 세기가 강할수록 Δ_o가 커지고, 착물은 더 짧은 파장(더 큰 에너지)의 빛을 흡수하게 되며, 실제 관찰되는 용액의 색은 흡수된 빛의 보색으로 나타난다.

핵심 개념

분광화학적 계열에서 이 문제에 등장하는 네 리간드의 결정장 세기 순서는 Cl- < H2O < NH3 < CN-이다. Cl-은 약한장 리간드로 Δ_o가 가장 작고, CN-은 강한장 리간드로 Δ_o가 가장 크다. Δ_o가 작으면 에너지가 낮은(파장이 긴, 붉은 계열) 빛을 흡수하고 그 보색이 관찰되며, Δ_o가 크면 에너지가 높은(파장이 짧은, 보라 · 파랑 계열) 빛을 흡수하고 그 보색이 관찰된다. 흡수색과 관찰되는 보색은 서로 색상환에서 마주보는 관계에 있다(예: 붉은 계열 빛을 흡수하면 초록 계열로 보이고, 보라 · 파랑 계열 빛을 흡수하면 노란 계열로 보인다). 또한 Co2+의 수화 이온인 [Co(H2O)6]2+가 분홍 · 붉은 계열의 색을 띤다는 것은 널리 알려진 사실이다(무수 CoCl2가 파란색이다가 수분을 흡수하면 분홍색으로 변하는 현상이 이와 관련된 대표적 예이다).

선지별 해설

① [CoCl6]4- — Cl-은 분광화학적 계열에서 가장 약한장 리간드에 속해 Δ_o가 가장 작다. 에너지가 낮은(파장이 긴, 붉은 계열) 빛을 흡수하므로 그 보색인 초록색 계열로 관찰된다. 노란색이 아니므로 오답이다.

② [Co(CN)6]4- — CN-은 분광화학적 계열에서 가장 강한장 리간드에 속해 Δ_o가 가장 크다. 네 착물 중 에너지가 가장 높은(파장이 가장 짧은, 보라 · 파랑 계열) 빛을 흡수하므로 그 보색인 노란색 계열로 관찰된다. 정답이다.

③ [Co(H2O)6]2+ — H2O는 Cl-보다는 강하지만 NH3, CN-보다는 약한장 리간드이다. Co2+의 수화 착이온은 흔히 분홍 · 붉은 계열의 색을 띠는 것으로 알려져 있어 이 문제에서는 빨간색에 해당한다. 노란색이 아니므로 오답이다.

④ [Co(NH3)6]2+ — NH3는 H2O보다 강하지만 CN-보다는 약한장 리간드이다. 결정장 세기가 중간 정도이므로 흡수하는 빛의 에너지도 Cl-, H2O 착물과 CN- 착물의 중간 수준이 되어 주황색 계열로 관찰된다. 노란색이 아니므로 오답이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 리간드의 세기와 관찰되는 색을 단순히 같은 방향으로 대응시켜 버리는 것이다. 즉 Δ_o가 클수록 착물이 더 진하고 자극적인(예: 노란색이 아니라 빨간색) 색을 띨 것이라고 잘못 추측하는 경우가 있다. 그러나 실제로 관찰되는 색은 착물이 흡수한 빛의 보색이므로, 흡수한 빛의 파장 · 에너지 순서와 관찰되는 색의 순서가 그대로 일치하지 않는다는 점에 유의해야 한다. 또한 CN-을 약한장 리간드로 착각하는 경우도 있는데, CN-은 분광화학적 계열에서 대표적인 강한장 리간드에 속한다는 점을 정확히 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

리간드가 등장하고 착물의 색을 묻는 문제가 나오면, 먼저 분광화학적 계열에서 각 리간드의 상대적 세기 순서(이 문제의 경우 Cl- < H2O < NH3 < CN-)를 확인한다. 그다음 리간드가 강할수록 Δ_o가 커져 더 짧은 파장(더 큰 에너지)의 빛을 흡수한다는 원리를 적용하고, 마지막으로 흡수한 빛의 보색이 실제 관찰되는 용액의 색이 된다는 점을 반드시 함께 고려하여 판단한다.

암기 포인트

분광화학적 계열(약한장 → 강한장) 일부: I- < Br- < Cl- < F- < OH- < H2O < NH3 < en < CN- < CO. 강한장 리간드일수록 Δ_o가 크고 더 높은 에너지(짧은 파장)의 빛을 흡수하며, 관찰되는 색은 그 보색이다. CN-은 대표적인 강한장 리간드, Cl-는 대표적인 약한장 리간드임을 기억해 둔다.

NoteBase

문 11. $CuSO_4$ **수용액을 전기 분해하여 구리 25.6 g을 얻으려고 한다. 이때 필요한 전하량**$[C]$**은? (단,** Cu**의 원자량은 64.0이고, Faraday 상수는** $96{,}500 C mol^{-1}$**)**

① 38,600

② 57,900

③ 77,200

④ 96,500

정답 3번

출제 포인트

전기분해에서 석출되는 금속의 질량으로부터 이동한 전자의 몰수를 구하고, 이를 Faraday 상수와 곱해 필요한 전하량을 계산하는 문제이다. 핵심은 Cu^{2+} 이온이 전자 2몰을 받아야 구리 원자 1몰이 석출된다는 반응의 양적 관계를 정확히 적용하는 것이다.

조건 정리

얻고자 하는 구리의 질량은 25.6 g이고 Cu의 원자량은 64.0이다. Faraday 상수는 1몰의 전자가 지니는 전하량으로 96,500 C mol^{-1}이다. 전극 반응은 $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$이므로 구리 1몰을 석출시키는 데 전자 2몰이 필요하다.

사용할 공식

구리의 몰수는 $n_{Cu} = \frac{m}{M}$로 구한다. 필요한 전자의 몰수는 $n_{e^-} = 2 \times n_{Cu}$이며, 총 전하량은 $Q = n_{e^-} \times F$이다(F는 Faraday 상수).

계산 과정

구리의 몰수는 $n_{Cu} = \frac{25.6}{64.0} = 0.4$ mol이다. 반응식에서 구리 1몰당 전자 2몰이 필요하므로 전자의 몰수는 $n_{e^-} = 2 \times 0.4 = 0.8$ mol이다. 따라서 필요한 전하량은 $Q = 0.8 \times 96{,}500 = 77{,}200$ C이다.

NoteBase

선지 판단

① 38,600 → 틀린 표현: 전자 1몰만 필요하다고 잘못 계산한 값의 절반 수준으로, 전자 이동 몰수를 0.4가 아닌 더 작은 값으로 오인한 경우에 나오는 값이다. 올바른 표현 → 전자 몰수는 0.8몰이므로 이 값은 성립하지 않는다.
② 57,900 → 틀린 표현: 구리의 몰수 0.4에 전자 2몰이 아닌 1.5몰 등을 곱하는 등 반응식의 전자 계수를 잘못 적용했을 때 나오는 값으로, 실제 반응식과 맞지 않는다. 올바른 표현 → 전자 계수는 정확히 2이다.
③ 77,200 → 옳은 표현: 구리 0.4몰을 석출하는 데 전자 0.8몰이 필요하고, 이를 Faraday 상수 96,500과 곱하면 77,200 C가 된다. 계산 과정과 정확히 일치한다.
④ 96,500 → 틀린 표현: 이는 전자 1몰에 해당하는 전하량(Faraday 상수 그 자체)일 뿐이며, 이 문제에서 필요한 전자 몰수인 0.8몰을 반영하지 않은 값이다. 올바른 표현 → 전자 1몰이 아니라 0.8몰이 필요하므로 96,500이 아니라 77,200이 되어야 한다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 Cu^{2+}가 전자 2개를 받아야 환원된다는 것을 놓치고 구리의 몰수와 전자의 몰수를 1:1로 놓는 것이다. 그 경우 $0.4 \times 96{,}500 = 38{,}600$이 나와 ①을 고르게 되므로, 산화수 변화(2가 양이온)를 반드시 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

전기분해 전하량 문제는 먼저 석출/생성된 물질의 몰수를 구하고, 그 물질 1몰을 만드는 데 필요한 전자의 몰수(이온의 전하수)를 곱한 뒤 Faraday 상수를 곱하는 순서로 접근한다. 이온의 전하가 2가, 3가로 바뀌어도 같은 절차를 적용하면 된다.

암기 포인트

전하량 $Q = n \times z \times F$ (n: 물질의 몰수, z: 이온 1개당 전자 수, F: Faraday 상수)를 공식으로 기억해 둔다. Cu^{2+}는 z=2임을 함께 외워 둔다.

NoteBase

문 12. 다음 설명 중 옳은 것만을 모두 고른 것은?

ㄱ. 알케인은 탄소-탄소 다중 결합을 가지지 않는다.
ㄴ. 사이클로뷰테인은 포화 탄화수소이다.
ㄷ. 사이클로헥세인은 평면구조이다.
ㄹ. 알카인은 탄소-탄소 이중 결합을 가진다.
ㅁ. 펜테인은 포화 탄화수소이고, 1-펜텐은 불포화 탄화수소이다.

① ㄱ, ㄴ, ㄷ
② ㄱ, ㄴ, ㅁ
③ ㄴ, ㄷ, ㄹ
④ ㄷ, ㄹ, ㅁ

정답 2번

출제 포인트

알케인·사이클로알케인·알카인·알켄의 결합 종류와 포화·불포화 개념, 그리고 사이클로헥세인의 입체구조(비평면성)를 정확히 알고 있는지를 묻는다. ㄱ~ㅁ 중 옳은 설명만을 골라내는 조합형 문제이다.

핵심 개념

알케인(alkane)은 탄소 원자 사이에 단일 결합만 있는 포화 탄화수소이며, 사이클로알케인(고리형 알케인)도 고리 안에 단일 결합만 있으므로 포화 탄화수소이다. 알켄(alkene)은 탄소-탄소 이중 결합을, 알카인(alkyne)은 탄소-탄소 삼중 결합을 가지는 불포화 탄화수소이다. 사이클로헥세인은 고리 형태이지만 정육각형처럼 평면에 놓이지 않고 의자形(chair) 또는 보트形(boat) 같은 비평면 입체구조를 취하는데, 이는 모든 탄소가 sp^3 혼성으로 결합각 109.5 °를 이루기 위함이다.

NoteBase

선지별 해설

ㄱ. 알케인은 탄소-탄소 다중 결합을 가지지 않는다 → O. 알케인은 정의상 탄소 사이가 모두 단일 결합인 포화 탄화수소이므로 다중 결합(이중·삼중)을 가지지 않는다는 설명은 옳다.
ㄴ. 사이클로뷰테인은 포화 탄화수소이다 → O. 사이클로뷰테인은 탄소 4개가 고리를 이루는 사이클로알케인으로, 고리 안 결합이 모두 단일 결합이므로 포화 탄화수소이다.
ㄷ. 사이클로헥세인은 평면구조이다 → X. 사이클로헥세인은 평면구조가 아니라 의자형처럼 접힌 비평면 입체구조를 가진다. 탄소가 모두 sp^3 혼성이라 결합각을 유지하려면 고리가 뒤틀려야 하기 때문이다. 틀린 표현 → 올바른 표현: "평면구조이다" → "비평면(의자형) 입체구조이다".
ㄹ. 알카인은 탄소-탄소 이중 결합을 가진다 → X. 알카인은 이중 결합이 아니라 삼중 결합을 가지는 불포화 탄화수소이다. 틀린 표현 → 올바른 표현: "이중 결합을 가진다" → "삼중 결합을 가진다".
ㅁ. 펜테인은 포화 탄화수소이고, 1-펜텐은 불포화 탄화수소이다 → O. 펜테인은 탄소 5개가 모두 단일 결합으로 연결된 포화 탄화수소이고, 1-펜텐은 1번 탄소 위치에 탄소-탄소 이중 결합을 가지는 불포화 탄화수소이므로 옳은 설명이다.

오답 포인트

①(ㄱ,ㄴ,ㄷ)과 ④(ㄷ,ㄹ,ㅁ)는 평면구조가 아닌 사이클로헥세인을 옳다고 잘못 판단해 ㄷ을 포함시킨 오답이고, ③(ㄴ,ㄷ,ㄹ)은 ㄷ뿐 아니라 이중 결합과 삼중 결합을 혼동한 ㄹ까지 포함시킨 오답이다. '알카인=이중 결합'으로 잘못 암기하면 ㄹ을 옳다고 착각하기 쉬우므로 알켄과 알카인의 결합 차수를 혼동하지 않도록 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 각 보기에서 다루는 탄화수소가 알케인(단일 결합)·알켄(이중 결합)·알카인(삼중 결합) 중 무엇인지부터 구분하고, 사이클로 계열은 고리 안 결합 종류만 보면 포화·불포화가 정해진다는 점을 적용한다.
사이클로헥세인처럼 육각 고리형 분자가 나오면 그림상 육각형으로 그려져도 실제 입체구조는 평면이 아니라는 점을 함께 떠올린다.

암기 포인트

결합 차수 암기: 알케인=단일 결합(포화), 알켄=이중 결합, 알카인=삼중 결합(모두 불포화). 고리형(사이클로-) 이름이 붙어도 고리 안 결합이 단일 결합이면 포화 탄화수소이다. 사이클로헥세인은 육각형 평면이 아니라 의자형 입체구조를 가진다는 점을 별도로 기억해 둔다.

NoteBase

문 13. 다음 구조의 고분자를 축합 중합 반응으로 합성하기 위해 필요한 단량체들로 옳은 것은?



① $HOOCCH_2COOH$, $HOCH_2CH_2CH_2CH_2OH$

② $HOCH_2CH_2COOH$, $HOCH_2CH_2CH_2COH$

③ $HOCH_2CH_2COOH$, $HOCH_2CH_2CH_2COOH$

④ $HOCH_2CH_2CH_2OH$, $HOOCCH_2CH_2COOH$

정답 4번

출제 포인트

축합 중합으로 만들어진 폴리에스터의 반복단위 구조식을 보고, 이를 이루는 두 가지 단량체 즉 다이올과 다이카복실산을 역으로 찾아내는 문제이다.

핵심 개념

다이올(HO-R-OH)과 다이카복실산(HOOC-R'-COOH)이 축합 중합을 하면 각 OH와 COOH가 물 분자를 내놓으면서 에스터 결합(-O-CO-)을 형성하고, 반복단위는 -[O-R-O-CO-R'-CO]-n 형태가 된다. 그림의 반복단위 -O-CH2CH2CH2-O-CO-CH2CH2-CO-를 에스터 결합의 C-O 단일결합 자리에서 자르면, 산소(-O-) 쪽 조각인 -CH2CH2CH2- 양 끝에 -H를 붙여 다이올 HOCH2CH2CH2OH(1,3-프로판다이올)를 얻고, 카보닐(-CO-) 쪽 조각인 -CH2CH2- 양 끝에 -OH를 붙여 다이카복실산 HOOCCH2CH2COOH(숙신산)를 얻는다.

NoteBase

선지별 해설

① HOOCCH2COOH(다이카복실산 부분 탄소 3개), HOCH2CH2CH2CH2OH(다이올 부분 탄소 4개) → X. 그림의 반복단위에서 산소 쪽 조각은 탄소 3개(-CH2CH2CH2-)이고 카보닐 쪽 조각은 탄소 2개(-CH2CH2-)인데, 이 선지는 두 조각의 탄소 수를 서로 반대로 하나씩 어긋나게 배치한 조합이라 맞지 않는다.
② HOCH2CH2COOH(한 분자에 OH와 COOH가 함께 있는 하이드록시산), HOCH2CH2CH2COH(끝이 알데하이드기인 화합물) → X. 그림의 구조는 서로 다른 두 이관능성 단량체(다이올과 다이애시드)가 교대로 결합해야 나오는데, 하이드록시산 한 종류로는 이 배열이 만들어지지 않고 알데하이드기(-COH)는 축합 중합에서 에스터 결합을 만드는 작용기가 아니다.
③ HOCH2CH2COOH, HOCH2CH2CH2COOH → X. 두 화합물 모두 한 분자 안에 OH와 COOH를 동시에 가진 하이드록시산이다. 이런 단량체는 스스로 중합되어 사슬을 만들 뿐, 그림처럼 다이올과 다이카복실산이 번갈아 연결된 반복단위를 만들지 못한다.
④ HOCH2CH2CH2OH(1,3-프로판다이올), HOOCCH2CH2COOH(숙신산) → O. 다이올의 두 OH가 각각 숙신산의 두 COOH와 축합되면서 물이 빠져나가면 -O-CH2CH2CH2-O-CO-CH2CH2-CO- 반복단위가 만들어지고, 이는 그림의 폴리에스터 구조와 정확히 일치한다.

오답 포인트

반복단위를 산소로 끝나는 조각과 카보닐로 끝나는 조각으로 나누지 않고 대충 이름이 비슷한 단량체를 고르면, 탄소 개수가 하나씩 어긋난 ①과 같은 오답을 고르기 쉽다. 또한 한 분자에 OH와 COOH가 함께 있는 하이드록시산(②, ③)은 축합 중합 자체는 가능하지만, 이 문제처럼 서로 다른 두 단량체가 번갈아 연결되는 반복단위는 만들 수 없다는 점을 혼동하면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

반복단위 구조식에서 에스터 결합(-C(=O)-O-)의 C-O 단일결합을 자르는 기준선으로 삼는다. 산소(-O-) 쪽에 붙은 알킬 조각은 양 끝에 -H를 채워 다이올로, 카보닐(-C(=O)-) 쪽에 붙은 알킬 조각은 양 끝에 -OH를 채워 다이카복실산으로 복원한 뒤, 조각의 탄소 개수를 정확히 세어 선지와 대조한다.

암기 포인트

다이올 + 다이카복실산으로 만든 폴리에스터의 반복단위는 -[O-R-O-CO-R'-CO]-n 형태이다. 이번 문제에서 R은 -CH2CH2CH2-(1,3-프로판다이올, 탄소 3개), R'는 -CH2CH2-(숙신산, 탄소 2개의 메틸렌을 가진 다이카복실산)이다.

NoteBase

문 14. 금속 알루미늄(Al)이 면심 입방 결정구조를 갖고 단위세포의 모서리 길이가 $4.0 Å$일 때, 옳은 것만을 모두 고른 것은?

ㄱ. 단위세포는 Al 원자 4개를 포함한다.
ㄴ. Al 원자와 가장 인접한 원자의 개수는 6개이다.
ㄷ. Al 원자 핵 간 최단거리는 $2\sqrt{2} Å$이다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 3번

출제 포인트

면심 입방(FCC) 결정구조의 단위세포당 원자 수, 배위수(가장 인접한 원자의 개수), 그리고 모서리 길이로부터 원자 핵 간 최단거리를 구하는 능력을 함께 묻는 문항이다. FCC의 기하학적 특징을 정확히 알고 있는지가 핵심이다.

조건 정리

알루미늄(Al)은 면심 입방(face-centered cubic, FCC) 결정구조를 가지며, 단위세포의 모서리 길이(격자상수) $a = 4.0$ Å이다. FCC 구조에서 원자는 각 꼭짓점과 각 면의 중심에 위치한다.

사용할 공식

FCC 단위세포당 원자 수는 꼭짓점 원자 $8 \times \frac{1}{8} = 1$개와 면심 원자 $6 \times \frac{1}{2} = 3$개를 더해 $1 + 3 = 4$개이다.
FCC에서 원자끼리 가장 가깝게 접촉하는 방향은 면의 대각선 방향이며, 면 대각선의 길이는 $a\sqrt{2}$이고 이 대각선 위에 원자 4개(반지름 4개분)가 나란히 접하므로 원자 핵 간 최단거리(=원자 반지름의 2배)는 다음과 같다.
$d = \frac{a\sqrt{2}}{2}$ 또한 FCC의 배위수(가장 인접한 원자의 개수)는 12개로 알려져 있다.

계산 과정

먼저 단위세포당 원자 수를 계산하면, 꼭짓점 8개는 각각 $\frac{1}{8}$씩, 면심 6개는 각각 $\frac{1}{2}$씩 이 단위세포에 속하므로 $8 \times (1)/(8) + 6 \times (1)/(2) = 1 + 3 = 4$개이다. 다음으로 배위수는 FCC 구조 고유의 값으로 12개이며, 이는 한 원자를 둘러싼 인접 원자가 같은 층에서 4개, 위층에서 4개, 아래층에서 4개로 총 12개가 되는 구조적 특징에서 나온다.
마지막으로 핵 간 최단거리는 면 대각선을 따라 원자들이 서로 맞닿아 있다는 사실로부터 구한다. 면 대각선의 길이는 $a\sqrt{2} = 4.0 \times \sqrt{2}$ Å이고, 이 대각선 위에 원자 중심 3개(모서리-면심-모서리)가 놓여 있어 최근접 두 원자핵 사이의 거리는 대각선 길이의 절반이 된다. $d = \frac{4.0\sqrt{2}}{2} = 2\sqrt{2}$ Å

NoteBase

선지 판단

ㄱ. 단위세포는 Al 원자 4개를 포함한다 → 옳다. FCC 단위세포당 원자 수는 계산 과정에서 구한 대로 4개이다.
ㄴ. Al 원자와 가장 인접한 원자의 개수는 6개이다 → 틀리다. FCC의 배위수는 6개가 아니라 12개이다. 6개는 단순 입방(simple cubic) 구조의 배위수이므로 혼동하기 쉬운 부분이다.
ㄷ. Al 원자 핵 간 최단거리는 $2\sqrt{2}$ Å이다 → 옳다. 계산 과정에서 구한 값과 정확히 일치한다.
따라서 옳은 것은 ㄱ, ㄷ이므로 정답은 ③이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 배위수를 헷갈리는 것이다. 단순 입방구조의 배위수 6과 면심 입방구조의 배위수 12를 혼동하면 ㄴ을 옳다고 잘못 판단하게 된다. 또한 최단거리를 구할 때 모서리 길이 a를 그대로 쓰거나 체대각선(body diagonal)을 기준으로 계산하면 $2\sqrt{2}$ 대신 다른 값이 나오므로, FCC에서 원자가 서로 맞닿는 방향이 면 대각선이라는 점을 정확히 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

결정구조 문제가 나오면 먼저 단위세포당 원자 수, 배위수, 최근접 원자 간 거리라는 세 가지 수치를 구조별로 구분해서 떠올린다. FCC는 원자 수 4개·배위수 12개·최단거리 $a\sqrt{2}/2$, 체심 입방(BCC)은 원자 수 2개·배위수 8개·최단거리 $a\sqrt{3}/2$, 단순 입방(SC)은 원자 수 1개·배위수 6개·최단거리 a로 서로 다르므로 주어진 구조가 무엇인지부터 확인한다.

암기 포인트

FCC(면심 입방)의 세 가지 핵심 수치는 단위세포당 원자 수 4개, 배위수 12개, 최근접 원자핵 간 거리 $a\sqrt{2}/2$로 함께 묶어 기억해 둔다.

NoteBase

문 15. 팔면체 착물 $Cr(H_2O)_3ClBrI$가 가질 수 있는 이성질체의 수와 거울상 이성질체 쌍의 수를 바르게 연결한 것은?

① 이성질체의 수: 4, 거울상 이성질체 쌍의 수: 1

② 이성질체의 수: 4, 거울상 이성질체 쌍의 수: 2

③ 이성질체의 수: 5, 거울상 이성질체 쌍의 수: 1

④ 이성질체의 수: 5, 거울상 이성질체 쌍의 수: 2

정답 3번

출제 포인트

Cr(H2O)3ClBrI는 동일한 리간드(H2O) 3개와 서로 다른 리간드(Cl, Br, I) 3개가 결합한 팔면체 착물, 즉 MA_3BCD 유형이다. 이 유형의 착물이 가질 수 있는 전체 입체이성질체(기하이성질체+광학이성질체)의 수와, 그중 서로 거울상 관계에 있는 쌍의 수를 정확히 세는 문제이다.

핵심 개념

MA_3BCD 팔면체 착물의 A(H2O) 3개는 팔면체의 한 면(삼각형)에 모이는 fac(면형) 배열과, 두 개가 트랜스로 마주 보고 나머지 하나가 시스로 붙는 mer(메리디안형) 배열 중 하나를 취한다.

fac 배열: A 3개가 한 면을 차지하면 남은 반대쪽 면에 Cl, Br, I가 놓인다. 이 반대쪽 면에서 Cl, Br, I를 시계 방향/반시계 방향으로 배열하는 두 가지가 서로 겹쳐지지 않는 거울상이 되어, fac 구조는 거울상 이성질체 1쌍(2개)을 만든다.

mer 배열: A 3개 중 두 개가 트랜스, 하나가 시스로 위치하면 남은 세 자리 중 하나는 H2O와 트랜스이고 나머지 두 자리는 서로 트랜스 관계가 된다. 이때 H2O와 트랜스로 들어가는 리간드가 Cl, Br, I 중 무엇이냐에 따라 서로 다른 구조 3개가 생긴다. 그런데 남은 두 트랜스 자리를 채우는 두 리간드는 대칭면(H2O 세 개와 나머지 한 리간드를 포함하는 평면)에 의해 서로 위치를 바꿔도 같은 분자가 되므로, mer 이성질체 3개는 각각 대칭면을 가진 비활성(광학적으로 비활성, 거울상이 자기 자신과 겹치는) 구조이다.

따라서 전체 이성질체 수 = fac 2개 + mer 3개 = 5개이고, 이 중 서로 거울상 쌍을 이루는 것은 fac 구조 2개(1쌍)뿐이며 mer 구조 3개는 각각 독립적으로 존재한다(거울상 짝이 없다).

NoteBase

선지별 해설

① 이성질체 4개, 거울상 쌍 1개 → X. mer 배열에서 나오는 3가지 구조(H2O와 트랜스로 오는 리간드가 Cl, Br, I인 경우 각각)를 모두 반영하지 않고 일부만 센 결과이다. 실제 mer 구조는 3개이므로 전체 이성질체는 5개가 되어야 한다.
② 이성질체 4개, 거울상 쌍 2개 → X. 이성질체 개수를 4개로 적게 센 오류에 더해, mer 구조도 광학 활성이 있다고 잘못 판단해 거울상 쌍을 2개로 늘린 이중 오류이다. mer 구조는 대칭면이 있어 광학적으로 비활성이다.
③ 이성질체 5개, 거울상 쌍 1개 → O. fac 구조 2개(서로 거울상, 1쌍)와 mer 구조 3개(각각 비활성, 거울상 짝 없음)를 합쳐 전체 5개, 그중 거울상 쌍은 1개라는 결과와 정확히 일치한다.
④ 이성질체 5개, 거울상 쌍 2개 → X. 전체 이성질체 수는 5개로 맞게 세었지만, mer 구조 3개 중 일부를 거울상 쌍으로 잘못 묶은 경우이다. mer 구조는 대칭면을 가져 광학 비활성이므로 거울상 쌍은 fac 구조에서 나오는 1쌍뿐이다.

오답 포인트

이성질체 수를 4개로 잘못 세는 경우는 mer 배열에서 H2O와 트랜스로 들어가는 리간드가 Cl, Br, I 중 무엇인지에 따라 서로 다른 구조 3개가 나온다는 점을 놓치고 mer를 1개로만 취급했을 때 생긴다. 거울상 쌍을 2개로 잘못 세는 경우는 mer 구조에도 광학 활성이 있다고 착각한 것인데, mer 구조는 H2O 세 개와 나머지 한 리간드가 이루는 평면이 대칭면이 되어 거울상이 자기 자신과 겹치므로(비활성) 거울상 쌍이 생기지 않는다. 광학 활성은 오직 fac 구조(Cl, Br, I가 서로 다른 순서로 배열되는 반대쪽 면)에서만 나타난다.

다시 나오면 이렇게 판단

MA_3BCD 유형(동일 리간드 3개+서로 다른 리간드 3개)이 나오면 먼저 A 3개의 배열을 fac와 mer로 나눈다. fac는 반대 면에 B, C, D가 남아 이를 배열하는 두 가지가 서로 거울상이 되어 1쌍(2개)을 만들고, mer는 A와 트랜스로 들어가는 리간드가 B, C, D 중 무엇인지에 따라 3가지 구조가 나오며 각각 대칭면 때문에 비활성이라는 점을 순서대로 확인한다. 전체 이성질체 수는 2+3=5개, 거울상 쌍은 fac에서 나온 1쌍뿐이라는 결론으로 정리한다.

암기 포인트

팔면체 MA_3BCD 착물: 전체 이성질체 5개(=fac 2개+mer 3개), 거울상 이성질체 쌍은 1개(fac만 광학 활성, mer 3개는 대칭면을 가져 모두 비활성).

NoteBase

문 16. 배출가스에 포함된 SO_2 기체는 $CaCO_3$에 열을 가하여 생성되는 CaO와 반응하여 $CaSO_3$ 형태로 제거된다. 0°C, 1기압에서 150.0 g의 $CaCO_3$로 제거할 수 있는 SO_2 기체의 최대 부피[L]는? (단, C, O, S, Ca의 원자량은 각각 12.0, 16.0, 32.0, 40.0이고, SO_2 기체는 이상기체로 가정한다)

① 33.6

② 44.8

③ 56.0

④ 67.2

정답 1번

출제 포인트

화학반응식의 몰비를 이용해 반응물(CaCO3)의 질량으로부터 생성물(SO2)의 부피를 구하는 화학량론 계산 문제이다. CaCO3의 열분해로 CaO가 생성되고, 이 CaO가 SO2와 반응해 CaSO3로 제거되는 두 단계 반응에서 CaCO3와 SO2의 몰비가 1:1임을 파악하는 것이 핵심이다.

조건 정리

반응은 2단계로 진행된다. 1단계: CaCO3가 열분해되어 CaO와 CO2가 생성된다(CaCO3 → CaO + CO2). 2단계: 생성된 CaO가 SO2와 반응하여 CaSO3가 된다(CaO + SO2 → CaSO3). 두 반응식을 연결하면 CaCO3 1몰이 SO2 1몰을 제거하는 것과 같다(CaCO3 + SO2 → CaSO3 + CO2, 몰비 1:1). 온도는 0°C, 압력은 1기압으로 표준상태(STP)이며, CaCO3의 질량은 150.0 g, 원자량은 C 12.0, O 16.0, S 32.0, Ca 40.0이다.

사용할 공식

CaCO3의 몰 질량은 $40.0 + 12.0 + 16.0 \times 3 = 100.0$ g/mol이다. 몰수는 $n = \frac{m}{M}$로 구하고, 표준상태(0°C, 1기압)에서 기체 1몰의 부피는 22.4 L이므로 부피는 $V = n \times 22.4$ L/mol로 계산한다.

계산 과정

CaCO3의 몰수를 구하면 $n(CaCO_3) = \frac{150.0\ \text{g}}{100.0\ \text{g/mol}} = 1.5$ mol이다. CaCO3와 SO2의 반응 몰비가 1:1이므로 제거되는 SO2의 몰수도 1.5 mol이다. 표준상태에서 SO2 기체의 부피는 $V = 1.5\ \text{mol} \times 22.4\ \text{L/mol} = 33.6$ L이다.

NoteBase

선지 판단

① 33.6 → O. $CaCO_3$ 1.5몰이 SO_2 1.5몰과 반응(몰비 1:1)하므로 표준상태에서 부피는 33.6 L로 계산된다.
② 44.8 → X. 이 값은 2.0몰에 해당하는 부피로, $CaCO_3$의 몰수 계산 없이 임의의 값을 대입하거나 몰비를 잘못 적용한 경우에 나올 수 있는 오답이다.
③ 56.0 → X. 이 값은 2.5몰에 해당하는 부피로, $CaCO_3$의 몰 질량을 잘못 계산(예: 60.0 g/mol로 오산)했을 때 나올 수 있는 오답이다.
④ 67.2 → X. 이 값은 3.0몰에 해당하는 부피로, $CaCO_3$와 SO_2의 몰비를 1:2로 잘못 적용했을 때 나올 수 있는 오답이다.

오답 포인트

이 문제는 두 반응식이 연달아 제시되어 있어 $CaCO_3$와 SO_2의 몰비를 1:1로 정확히 연결하지 못하면 틀리기 쉽다. $CaCO_3$ 1몰이 CaO 1몰을 만들고, CaO 1몰이 SO_2 1몰과 반응하므로 전체적으로 $CaCO_3$ 1몰당 SO_2 1몰이 제거된다는 점을 놓치면 몰비를 잘못 설정하게 된다. 또한 $CaCO_3$의 몰 질량을 원자량 합으로 정확히 계산(40.0+12.0+48.0=100.0)하지 않으면 몰수 계산부터 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

여러 단계의 반응식이 함께 제시되면 먼저 각 반응식의 몰비를 확인하고, 최종적으로 묻는 물질과 주어진 물질 사이의 전체 몰비를 하나로 정리한다. 그 다음 주어진 질량을 몰 질량으로 나누어 몰수를 구하고, 표준상태(0°C, 1기압)라면 22.4 L/mol을 곱해 부피를 구한다.

암기 포인트

표준상태(STP, 0°C·1기압)에서 기체 1몰의 부피는 22.4 L이다. 여러 단계 반응이 이어질 때는 중간 생성물을 소거하여 처음 물질과 마지막 물질의 몰비를 하나의 식으로 정리해 두면 실수를 줄일 수 있다.

NoteBase

문 17. 다음 화합물 중 밑줄 친 원자의 비공유 전자쌍 수가 다른 것은?

① H_2O

② SF_4

③ ClF_3

④ XeF_4

정답 2번

출제 포인트

각 화합물에서 밑줄 친 원자(중심 원자 또는 곁원자)가 갖는 비공유 전자쌍(고립 전자쌍) 수를 원자가전자와 결합수로부터 계산할 수 있는지를 묻는다. 네 화합물 모두 밑줄 친 원자를 중심으로 결합이 이루어지므로, 그 원자의 원자가전자 수에서 결합에 쓰인 전자 수를 뺀 나머지가 비공유 전자쌍이 된다.

조건 정리

① H2O에서 밑줄 친 원자는 O이다. ② SF4에서 밑줄 친 원자는 S이다. ③ ClF3에서 밑줄 친 원자는 Cl이다. ④ XeF4에서 밑줄 친 원자는 Xe이다. 네 경우 모두 밑줄 친 원자가 다른 원자들과 단일 결합만으로 연결된 중심 원자이므로, 결합수는 화학식에서 그 원자에 붙은 원자 수와 같다.

사용할 공식

중심 원자의 비공유 전자쌍 수 = (원자가전자 수) - (단일 결합 수)2

계산 과정

O(원자가전자 6개, 결합 2개, H2O): 비공유 전자쌍 $= \frac{6-2}{2} = 2$개.
S(원자가전자 6개, 결합 4개, SF4): 비공유 전자쌍 $= \frac{6-4}{2} = 1$개.
Cl(원자가전자 7개, 결합 3개, ClF3): 비공유 전자쌍 $= \frac{7-3}{2} = 2$개.
Xe(원자가전자 8개, 결합 4개, XeF4): 비공유 전자쌍 $= \frac{8-4}{2} = 2$개.

NoteBase

선지 판단

① H2O: O 원자가전자 6개 중 2개는 H와 결합에 쓰이고 4개(2쌍)가 남아 비공유 전자쌍 2개. 나머지 선지와 같다.
② SF4: S 원자가전자 6개 중 4개는 F 4개와 결합에 쓰이고 2개(1쌍)만 남아 비공유 전자쌍 1개. 다른 선지들의 2개와 다르므로 이 선지가 정답이다.
③ ClF3: Cl 원자가전자 7개 중 3개는 F 3개와 결합에 쓰이고 4개(2쌍)가 남아 비공유 전자쌍 2개. 나머지 선지와 같다.
④ XeF4: Xe 원자가전자 8개 중 4개는 F 4개와 결합에 쓰이고 4개(2쌍)가 남아 비공유 전자쌍 2개. 나머지 선지와 같다.

오답 포인트

①③④는 모두 밑줄 친 원자의 비공유 전자쌍이 2개로 같아서 헷갈리기 쉬운데, 원자마다 원자가전자 수가 다르고(O는 6개, Cl은 7개, Xe는 8개) 결합수도 다르므로(2개, 3개, 4개) 결과적으로 (원자가전자 수 − 결합수)/2가 우연히 모두 2로 같아진 것일 뿐이다. SF4의 S만 결합수(4개)가 원자가전자 수(6개)에 가까워 남는 전자가 2개(1쌍)뿐이라는 점을 놓치면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

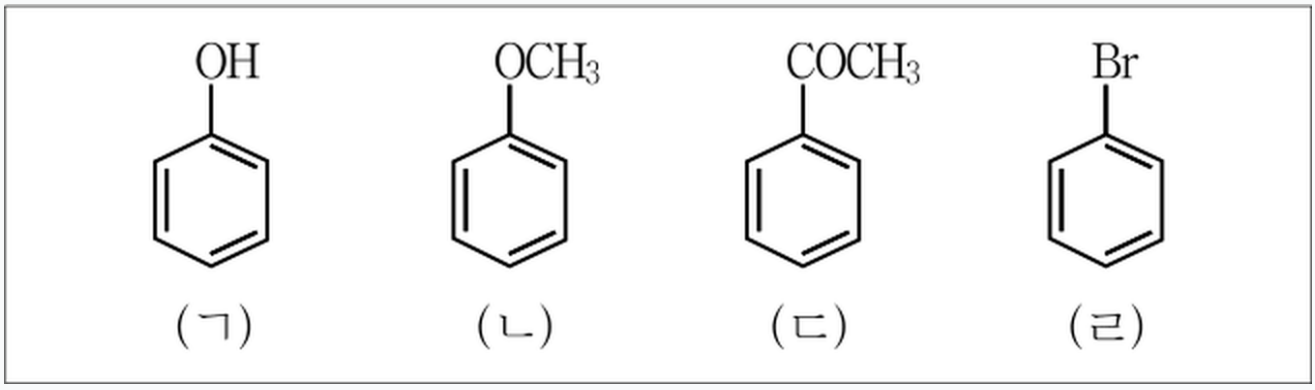
밑줄 친 원자를 확인한 뒤 그 원자의 원자가전자 수를 먼저 적고, 화학식에서 그 원자에 직접 결합된 원자 수(=결합수)를 세어 (원자가전자 수 − 결합수)/2를 계산한다. 옥텟규칙을 만족하는 일반적인 분자라면 이 값이 비공유 전자쌍 수와 일치한다.

암기 포인트

O(6개), S(6개), Cl(7개), Xe(8개)의 원자가전자 수를 기억해 두고, 비공유 전자쌍 수 = (원자가전자 수 − 결합수) ÷ 2 공식을 적용한다.

NoteBase

문 18. 친전자성 방향족 치환반응으로 나이트로화(nitration) 반응이 진행될 때, 보기의 화합물들 중 반응 속도가 가장 빠른 화합물 A와 메타(meta) 위치에 나이트로기가 치환된 주생성물이 얻어지는 화합물 B를 순서대로 바르게 연결한 것은?



① A: ㄱ, B: ㄷ

② A: ㄱ, B: ㄹ

③ A: ㄴ, B: ㄷ

④ A: ㄴ, B: ㄹ

정답 1번

출제 포인트

친전자성 방향족 치환반응(나이트로화)에서 벤젠 고리에 붙은 치환기의 종류에 따라 반응 속도(활성화 vs 비활성화)와 새 치환기가 들어가는 자리(오르토·파라 배향 vs 메타 배향)가 어떻게 달라지는지를 함께 묻는 문제이다. 네 화합물(ㄱ OH, ㄴ OCH3, ㄷ COCH3, ㄹ Br) 중 반응이 가장 빠른 것(A)과 메타 자리에 나이트로기가 들어가는 것(B)을 각각 골라야 한다.

NoteBase

핵심 개념

치환기는 크게 두 축으로 분류한다. 첫째, 반응 속도 측면에서 활성화기(전자주개)는 벤젠 고리의 전자밀도를 높여 나이트로화를 빠르게 하고, 비활성화기(전자받개)는 고리의 전자밀도를 낮춰 반응을 느리게 한다. OH와 OCH3는 산소의 비공유전자쌍이 고리로 비편재화되어 강한 활성화기이며, 그중에서도 OH는 OCH3보다 더 강한 활성화기이다(OCH3는 메틸기의 입체·유발효과로 산소 비공유전자쌍의 비편재화 효율이 OH보다 다소 떨어져 페놀이 아니솔보다 나이트로화가 더 빠르다). COCH3(아세틸기)는 카보닐 탄소가 전자를 끌어당겨 고리 전자밀도를 낮추는 비활성화기이고, Br도 전기음성도에 의한 유발효과로 비활성화기이다. 둘째, 배향성 측면에서는 성격이 다르다. OH·OCH3는 산소의 비공유전자쌍을 오르토·파라 위치의 공명구조에 넣어 안정화하므로 오르토·파라 배향기이다. Br도 할로젠의 비공유전자쌍이 오르토·파라 위치를 공명으로 안정화하기 때문에, 비활성화기이면서도 오르토·파라 배향기라는 예외적 성질을 가진다. 반면 COCH3는 카보닐기의 공명구조가 오르토·파라 위치에 양전하를 만들어 오히려 불안정화시키므로, 상대적으로 안정한 메타 위치로 치환이 일어나는 메타 배향기이다.

선지별 해설

① A=ㄱ(OH), B=ㄷ(COCH3): OH는 네 치환기 중 가장 강한 활성화기이므로 나이트로화 반응 속도가 가장 빠르다. COCH3는 비활성화기이면서 메타 배향기이므로 메타 위치에 나이트로기가 붙은 화합물이 주생성물이 된다. 두 조건을 모두 만족하므로 옳다.
② A=ㄱ(OH), B=ㄹ(Br): A는 옳지만 Br은 비활성화기이면서도 오르토·파라 배향기이므로 주생성물은 메타가 아니라 오르토·파라 치환체이다. B가 틀렸다.
③ A=ㄴ(OCH3), B=ㄷ(COCH3): B는 옳지만 반응 속도가 가장 빠른 화합물은 OCH3가 아니라 OH이다(OH가 OCH3보다 더 강한 활성화기). A가 틀렸다.
④ A=ㄴ(OCH3), B=ㄹ(Br): A, B 모두 틀렸다. 가장 빠른 것은 OH이고, 메타를 주로 주는 것은 COCH3이다.

오답 포인트

Br을 COCH3와 혼동해 메타 배향기로 착각하기 쉽다. Br은 전자를 끌어당겨 반응은 느리게 하지만(비활성화), 비공유전자쌍으로 오르토·파라 위치를 공명으로 안정화하므로 배향은 오르토·파라라는 점을 구분해야 한다. 또한 OH와 OCH3를 모두 '알콕시 계열'로 뭉뚱그려 반응 속도가 같다고 보면 안 되며, OH가 OCH3보다 더 강한 활성화기라는 점을 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

치환기가 나오면 먼저 '활성화/비활성화(반응 속도)'와 '오르토·파라/메타(배향)'를 별개의 표로 나누어 판단한다. 산소·질소·할로젠처럼 비공유전자쌍을 가진 원자가 고리에 직접 붙은 경우 오르토·파라 배향이 되고, 이 중 할로젠만 비활성화기라는 예외를 기억한다. 카보닐(C=O), 나이트로, 설폰산, 사이아노, 카복실기처럼 고리에 붙은 원자에 다중결합으로 전자가 끌려나가는 구조는 메타 배향기이자 비활성화기이다.

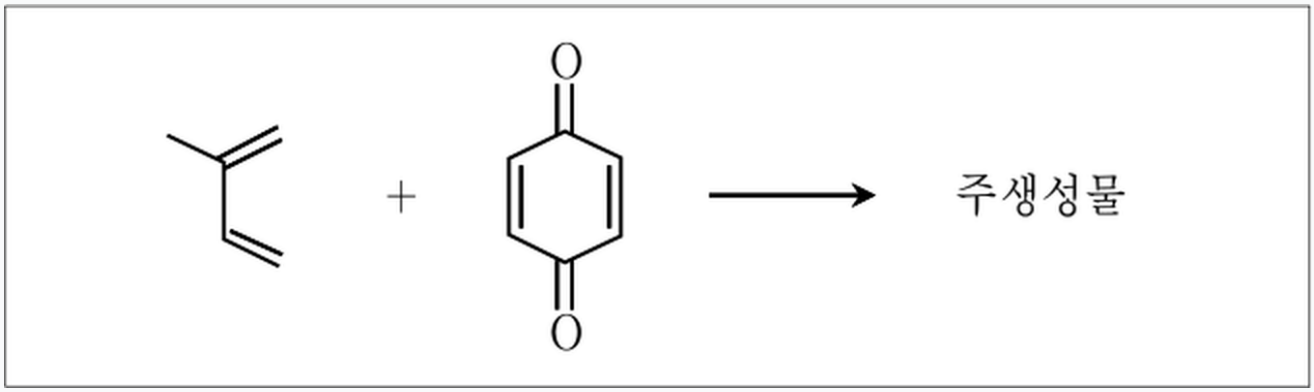
NoteBase

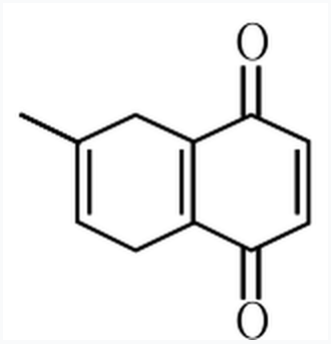
암기 포인트

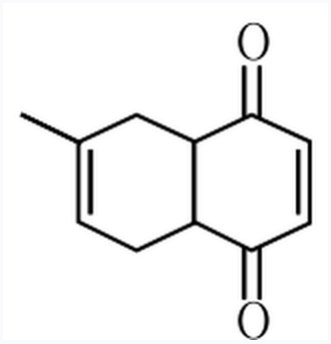
오르토·파라 배향 활성화기: -NH2, -OH, -OCH3, -알킬기(반응 속도는 -NH2 > -OH > -OCH3 > -알킬기 순). 오르토·파라 배향이지만 비활성화기(예외): 할로젠(-F, -Cl, -Br, -I). 메타 배향 비활성화기: -COCH3, -CHO, -COOH, -NO2, -SO3H, -CN.

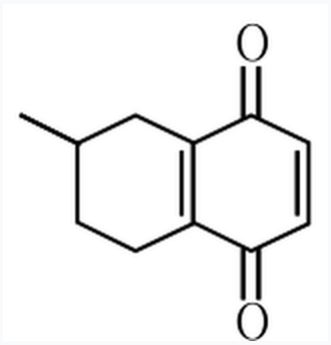
NoteBase

문 19. 다음 Diels-Alder 반응에서 얻어지는 주생성물은?

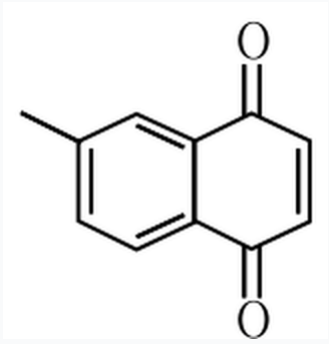


① 

② 

③ 

NoteBase

④ 

정답 2번

출제 포인트

이소프렌(2-메틸-1,3-부타디엔)과 1,4-벤조퀴논의 Diels-Alder 반응에서 실제로 만들어질 수 있는 부가생성물의 구조를 판단하는 문제이다. 딘(diene)과 다이노필(dienophile)이 결합할 때 어느 탄소가 새로 sp3 단일결합(고리 접합 탄소)이 되고, 어느 탄소가 새로운 이중결합으로 남는지를 정확히 알아야 한다.

핵심 개념

Diels-Alder 반응에서는 다이엔의 양 끝 탄소(C1, C4)와 다이노필의 두 알켄 탄소가 새로운 시그마 결합을 만들며 육각형 고리가 형성된다. 이 두 쌍의 탄소, 즉 고리와 고리가 만나는 접합 탄소들은 반응 후 모두 sp3 혼성이 되어 서로 단일결합으로만 연결된다(이중결합이 될 수 없다). 한편 다이엔의 가운데 결합(C2=C3)은 반응 후 새로운 고리 안에서 이중결합으로 남으며, 이소프렌의 경우 메틸기가 붙어 있는 C2가 그대로 이 새 이중결합의 한쪽 탄소가 된다. 다이노필인 1,4-벤조퀴논 쪽은 반응에 참여한 알켄만 단일결합(접합 탄소)으로 바뀌고, 반응에 참여하지 않은 나머지 알켄과 두 카르보닐(C=O)은 그대로 남아 엔다이온(고리 안에 이중결합과 두 케톤이 있는) 구조가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① 메틸기가 이중결합 탄소에 붙어 있는 것은 맞지만, 두 고리가 만나는 접합 탄소 사이의 결합이 이중결합으로 그려져 있다. 접합 탄소는 새로 생긴 sp3 탄소이므로 단일결합이어야 하며, 이중결합으로 그리면 그 탄소가 5개의 결합을 갖게 되어 존재할 수 없는 구조이다. 따라서 오답이다.
② 메틸기가 새로 생긴 고리의 이중결합 탄소(이소프렌의 C2)에 그대로 남아 있고, 두 고리의 접합 탄소 사이는 단일결합으로 옳게 그려져 있다. 오른쪽 고리도 반응에 참여하지 않은 이중결합과 두 카르보닐이 그대로 유지되어 있어 Diels-Alder 반응의 생성물 구조와 정확히 일치한다. 정답이다.
③ 메틸기가 이중결합이 아닌 포화 탄소에 붙어 있어, 이소프렌의 C2=C3 이중결합이 새 고리의 이중결합으로 남는다는 반응 원리와 맞지 않는다. 또한 ①과 마찬가지로 접합 탄소 사이가 이중결합으로 그려져 있어 구조적으로도 성립할 수 없다. 오답이다.
④ 메틸기가 붙은 왼쪽 고리가 완전히 방향족화된 벤젠 고리로 그려져 있다. 이는 Diels-Alder 부가반응만으로 얻어지는 것이 아니라, 추가로 수소가 빠져나가는 산화(탈수소화) 과정을 거쳐야 만들어지는 구조이므로 이 반응의 주생성물이 될 수 없다. 오답이다.

오답 포인트

①과 ③에서 가장 흔히 놓치는 부분은 '고리 접합 탄소 사이의 결합'이다. 이 결합은 반응 전 다이노필의 이중결합이었던 자리가 아니라, 다이엔의 끝 탄소와 다이노필의 알켄 탄소가 새로 결합하며 생긴 자리이므로 항상 단일결합이다. 이중결합으로 잘못 그리면 탄소가 결합을 5개 갖는 구조가 되어버려 애초에 존재할 수 없다. ③은 여기에 더해 메틸기 위치까지 잘못되어 있다는 점도 함께 기억해야 한다. ④는 반응식만 보고 '더 안정한 방향족 고리가 되지 않을까' 하고 성급히 판단하면 고르기 쉬운 오답으로, Diels-Alder 반응 자체는 산화-환원이 일어나지 않는 부가반응이라는 점을 놓치면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

Diels-Alder 생성물 구조를 고르는 문제에서는 먼저 새로 생긴 두 개의 고리 접합 탄소를 찾아 그 사이 결합이 반드시 단일결합인지부터 확인한다. 그다음 다이엔의 치환기(여기서는 메틸기)가 새로 생긴 이중결합 탄소 위에 남아 있는지를 확인하고, 마지막으로 다이노필 쪽에 있던 관능기(카르보닐 등)와 반응에 참여하지 않은 이중결합이 그대로 보존되어 있는지를 순서대로 대조하면 오답을 빠르게 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

Diels-Alder 반응의 고리 접합 탄소=새로 생긴 sp3 탄소=반드시 단일결합. 다이엔의 가운데 이중결합(치환기 포함)은 그대로 생성물의 새 이중결합으로 남는다. 다이노필의 반응하지 않은 이중결합과 관능기(C=O 등)는 그대로 보존된다. 단순 부가반응에서는 방향족화(탈수소화)가 일어나지 않는다.

NoteBase

문 20. 자연계에서 Cl의 동위원소는 ^{35}Cl와 ^{37}Cl이 3:1의 비율로 존재한다. 2개의 Cl을 포함하고 있는 유기화합물의 질량분석 스펙트럼에서 분자 이온 피크를 $[M]^+$라고 할 때, 피크들의 상대적인 세기 비 ($[M]^+ : [M+2]^+ : [M+4]^+$)로 옳은 것은? (단, Cl 이외의 다른 원자들의 동위원소 존재는 무시한다)

① 3 : 2 : 1

② 6 : 3 : 1

③ 9 : 3 : 1

④ 9 : 6 : 1

정답 4번

출제 포인트

염소(Cl) 두 개를 포함하는 화합물의 질량 스펙트럼에서 동위원소 조합에 따른 분자 이온 피크의 상대 세기 비를 이항분포로 구할 수 있는지 묻는 문제이다. 35Cl과 37Cl이 3:1의 비율로 존재할 때, 분자 안의 두 염소 자리에 각각 어느 동위원소가 들어가는지의 모든 조합을 확률적으로 따져야 한다.

조건 정리

35Cl의 존재 비율은 3/4, 37Cl의 존재 비율은 1/4이다. 화합물 하나에 Cl 원자가 2개 들어 있으므로, 두 자리에 35Cl 또는 37Cl이 독립적으로 배치된다고 보고 조합을 따진다. [M]+는 두 자리 모두 35Cl인 경우, [M+2]+는 한 자리는 35Cl 다른 자리는 37Cl인 경우, [M+4]+는 두 자리 모두 37Cl인 경우에 해당한다.

사용할 공식

두 개의 독립 시행에서 성공 확률 p, 실패 확률 $q = 1 - p$일 때 이항분포 전개식 $(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2$을 사용한다. 여기서 $p = \frac{3}{4}$(35Cl), $q = \frac{1}{4}$(37Cl)이다.

계산 과정

[M]+ (둘 다 35Cl)의 확률은 $\left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{9}{16}$이다.
[M+2]+ (35Cl 하나, 37Cl 하나)의 확률은 두 자리 중 어느 쪽이 37Cl이 되어도 되므로 경우의 수 2를 곱해 $2 \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{6}{16}$이다.
[M+4]+ (둘 다 37Cl)의 확률은 $\left(\frac{1}{4}\right)^2 = \frac{1}{16}$이다.
따라서 [M]+:[M+2]+:[M+4]+ = 9:6:1이 된다.

NoteBase

선지 판단

① 3:2:1 — 틀린 표현. 이 비는 두 자리를 독립적으로 조합하지 않고 3:1 비율을 그대로 두 배로 늘린 값에 불과하며, 실제 이항 전개 결과인 9:6:1과 다르다 → 올바른 표현은 9:6:1이다.
② 6:3:1 — 틀린 표현. 가운데 항이 실제보다 작게 계산된 값으로, 35Cl과 37Cl이 섞이는 조합의 경우의 수(2가지)를 제대로 반영하지 못한 결과이다 → 올바른 표현은 9:6:1이다.
③ 9:3:1 — 틀린 표현. 첫 항은 맞지만 가운데 항에서 경우의 수 2를 곱하지 않아 6이 아닌 3으로 잘못 계산된 값이다 → 올바른 표현은 9:6:1이다.
④ 9:6:1 — 옳은 표현. $(\frac{3}{4}+\frac{1}{4})^2$을 전개한 $\frac{9}{16}:\frac{6}{16}:\frac{1}{16}$과 정확히 일치한다.

오답 포인트

이 유형에서 가장 흔한 실수는 Cl이 2개일 때 [M+2]+ 항을 만드는 조합이 2가지(첫 번째 자리가 37Cl이거나 두 번째 자리가 37Cl)라는 사실을 놓치고 단순히 3:1 비율만 두 번 곱하는 것이다. 동위원소가 여러 개 섞이는 자리에서는 반드시 이항계수(경우의 수)를 곱해야 한다는 점을 놓치면 6:3:1이나 9:3:1처럼 가운데 항이 축소된 오답을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

Cl, Br처럼 두 동위원소가 뚜렷한 비율로 존재하는 원소가 화합물에 n개 들어 있으면, 동위원소 존재비를 $p:q$로 놓고 $(p+q)^n$을 이항 전개하여 각 피크의 상대 세기를 구한다고 판단한다. n=2이면 $p^2:2pq:q^2$, n=3이면 $p^3:3p^2q:3pq^2:q^3$ 형태로 항이 늘어난다는 점을 우선 확인한다.

암기 포인트

Cl 2개 포함 화합물의 동위원소 피크비는 3:1 비율의 제곱 전개인 9:6:1로 외워 둔다. Cl 1개면 3:1, Cl 2개면 9:6:1, Br 2개(1:1 비율)면 1:2:1처럼 원자 개수가 늘어날 때마다 이항계수가 커진다는 패턴으로 정리해 둔다.

NoteBase