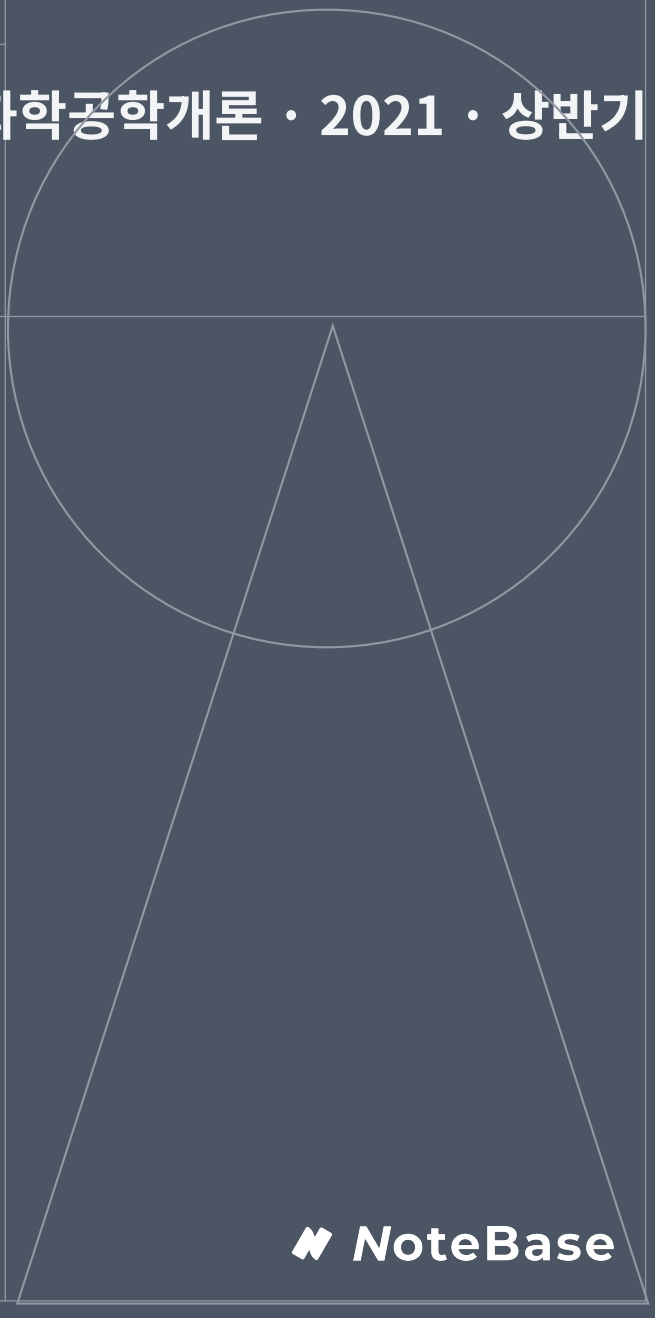
기출OX 해설집

공무원/해경/일반직 7급 · 화학공학개론 · 2021 · 상반기



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/해경/일반직 7급 · 화학공학개론 · 2021 · 상반기

공무원/해경/일반직 7급 · 화학공학개론 · 2021 · 상반기

문 1. 다음 중 단위들의 정의로 옳지 않은 것은?

① $Pa = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$

② $J = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$

③ $J = N \cdot m$

④ $J = Pa \cdot m^2$

정답 4번

출제 포인트

압력, 힘, 에너지의 SI 유도단위를 기본단위로 바꾸어 차원이 일치하는지 판단하는 문제이다.

조건 정리

힘의 단위는 $N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$이다. 압력은 단위 면적당 힘이므로 $Pa = N/m^2$이고, 일과 에너지는 힘과 이동거리의 곱이므로 $J = N \cdot m$이다.

사용할 공식

$Pa = \frac{N}{m^2}, \qquad J = N \cdot m$

각 선지의 단위를 kg, m, s 또는 N으로 환산하면 물리량의 차원이 같은지 직접 확인할 수 있다.

계산 과정

$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{m^2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$

$J = N \cdot m = (kg \cdot m \cdot s^{-2})m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$

또한 $Pa \cdot m^2 = (N/m^2)m^2 = N$이므로 에너지 단위 J가 아니라 힘의 단위 N이 된다. 에너지로 만들려면 $Pa \cdot m^3 = J$이어야 한다.

NoteBase

선지 판단

① O — $Pa = N/m^2$에 $N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$을 대입하면 $Pa = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$가 된다.
② O — $J = N \cdot m$에 뉴턴의 기본단위를 대입하면 $J = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$가 된다.
③ O — 일은 힘과 힘의 방향으로 이동한 거리의 곱이므로 $J = N \cdot m$이다.
④ X — 틀린 표현은 $J = Pa \cdot m^2$이다. $Pa \cdot m^2 = N$이므로 이는 힘의 단위이며, 올바르게는 $J = Pa \cdot m^3$이다.

오답 포인트

④에서 압력에 면적 m^2을 곱하면 힘이 된다는 점이 함정이다. 에너지는 힘에 거리 m를 한 번 더 곱해야 하므로 압력으로 나타낼 때는 부피 차원의 m^3이 필요하다.

다시 나오면 이렇게 판단

유도단위의 정의를 먼저 N, Pa, J의 관계식으로 쓰고, 모든 단위를 kg, m, s로 환산하여 길이 차원의 지수까지 비교한다.

암기 포인트

압력×면적=힘, 압력×부피=에너지이다. 즉 $Pa \cdot m^2 = N$, $Pa \cdot m^3 = J$이다.

NoteBase

문 2. 황산($H_2SO_4 = 98$) 1.5 노르말 용액 3 L를 1 노르말 용액으로 만들고자 한다. 물은 몇 L가 더 필요한가?

① 1.5

② 2.5

③ 3.5

④ 4.5

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 용질의 양이 보존되는 희석식 $N_1V_1 = N_2V_2$을 이용해 최종 용액의 부피를 구한 뒤, 처음 부피를 빼서 추가할 물의 부피를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 초기 노르말 농도 $N_1 = 1.5$, 초기 부피 $V_1 = 3L$, 최종 노르말 농도 $N_2 = 1$이다.
구해야 할 값: 추가할 물의 부피이다.
주의할 조건: 희석 후의 최종 부피와 추가하는 물의 부피를 구분해야 한다. 황산의 분자량은 이미 노르말 농도가 주어졌으므로 계산에 필요하지 않다.

사용할 공식

$N_1V_1 = N_2V_2$

물을 넣어 희석해도 황산 용질의 양은 변하지 않으므로 희석 전후의 노르말 농도와 부피의 곱이 같다.

계산 과정

1. 희석식에 값을 대입한다.
$1.5 \times 3 = 1 \times V_2$
2. 최종 용액의 부피를 구한다.
$V_2 = 4.5L$
3. 최종 부피에서 초기 용액의 부피를 뺀다.
V_물=4.5-3=1.5 L
따라서 더 필요한 물은 $1.5L$이다.

NoteBase

선지 판단

① O — 계산한 물의 부피 1.5L와 일치한다.
② X — '2.5L'는 계산 결과와 다르다. 올바르게는 1.5L이다.
③ X — '3.5L'는 계산 결과와 다르다. 올바르게는 1.5L이다.
④ X — 4.5L는 추가할 물의 부피가 아니라 희석 후 용액의 최종 부피이다. 올바르게는 최종 부피 4.5L에서 초기 부피 3L를 뺀 1.5L의 물을 더한다.

오답 포인트

④의 4.5L를 그대로 고르는 것이 핵심 함정이다. 희석식에서 구한 V_2는 최종 용액의 전체 부피이므로, 문제에서 묻는 '더 필요한 물'은 $V_2 - V_1$로 계산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

희석 문제에서는 먼저 $N_1V_1 = N_2V_2$로 최종 부피를 구한다. 그다음 물을 얼마나 더 넣는지 묻는 경우에는 최종 부피에서 초기 부피를 뺀다.

암기 포인트

희석에서는 NV가 보존되며, 추가한 물의 부피는 '최종 부피 - 초기 부피'이다.

NoteBase

문 3. 공기 200 g을 40°C에서 80°C까지 가열하는데 필요한 열량(kcal)은? (단, 평균비열=0.24 cal/g·°C)

① 0.24 kcal

② 0.48 kcal

③ 1.92 kcal

④ 3.84 kcal

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 물질의 질량, 평균비열, 온도 변화량을 이용하여 현열을 계산하고 cal을 kcal로 환산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 공기의 질량은 $200g$, 평균비열은 $0.24cal/(g\cdot{}^\circ C)$, 온도 변화량은 $80-40=40^\circ C$이다.
구해야 할 값: 공기를 가열하는 데 필요한 열량을 kcal 단위로 구한다.
주의할 조건: 계산 결과는 cal로 나오므로 $1kcal=1000cal$을 이용해 환산한다.

사용할 공식

현열 계산식은 $Q=mc\Delta T$이다. 온도 변화 과정에서 상변화가 제시되지 않았고 평균비열이 주어졌으므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

온도 변화량은 $\Delta T=80-40=40^\circ C$이다.
$Q=(200g)(0.24cal/(g\cdot{}^\circ C))(40^\circ C)=1920cal$
이를 kcal로 환산하면 $1920cal=1.92kcal$이다.

선지 판단

① X — $0.24kcal$는 계산 결과 $1.92kcal$와 다르다. 틀린 표현 '0.24 kcal'는 '1.92 kcal'로 고쳐야 한다.
② X — $0.48kcal$는 계산 결과 $1.92kcal$와 다르다. 틀린 표현 '0.48 kcal'는 '1.92 kcal'로 고쳐야 한다.
③ O — $Q=mc\Delta T$로 계산한 $1920cal$을 kcal로 환산하면 $1.92kcal$가 된다.
④ X — $3.84kcal$는 정확한 열량의 2배이다. 틀린 표현 '3.84 kcal'는 '1.92 kcal'로 고쳐야 한다.

오답 포인트

온도 자체인 80°C를 사용하는 것이 아니라 온도 변화량 $80-40=40^\circ C$를 사용해야 한다. 또한 $1920cal$을 답의 단위인 kcal로 바꿀 때 1000으로 나누어야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

상변화가 없는 가열·냉각 문제에서는 먼저 $\Delta T = T_2 - T_1$을 구하고, $Q = mc\Delta T$에 대입한 뒤 요구된 열량 단위로 환산한다.

암기 포인트

현열은 $Q = mc\Delta T$, 온도차는 '최종온도-초기온도', $1000cal = 1kcal$이다.

NoteBase

문 4. 100°C에서 밀폐된 용기에 벤젠 7.8 g, 톨루엔 18.4 g, 자일렌 54.0 g의 액체 혼합용액이 증기상과 평형상태에 있다. Raoult의 법칙을 따를 때, 기상에서 세가지 화합물의 분압크기를 비교한 것으로 옳은 것은? (단, 100°C에서 순성분 증기압은 벤젠 1,340 mmHg, 톨루엔 560 mmHg, 자일렌 210 mmHg이고, 분자량은 벤젠 78, 톨루엔 92, 자일렌 108이다.)

① 벤젠 > 톨루엔 > 자일렌

② 톨루엔 > 벤젠 > 자일렌

③ 벤젠 > 자일렌 > 톨루엔

④ 톨루엔 > 자일렌 > 벤젠

정답 1번

출제 포인트

각 성분의 질량을 몰수로 바꾸어 액상 몰분율을 구한 뒤, Raoult의 법칙으로 평형 증기상의 분압을 비교하는 문제이다.

조건 정리

벤젠의 몰수: $7.8g/(78g/mol) = 0.1mol$
톨루엔의 몰수: $18.4g/(92g/mol) = 0.2mol$
자일렌의 몰수: $54.0g/(108g/mol) = 0.5mol$
전체 몰수는 $0.8mol$이므로 액상 몰분율은 각각 $x_B = 0.125$, $x_T = 0.25$, $x_X = 0.625$이다.

사용할 공식

Raoult의 법칙은 $p_i = x_i P_i^{sat}$이다. 여기서 p_i는 성분 i의 분압, x_i는 액상 몰분율, P_i^{sat}는 같은 온도에서의 순성분 증기압이다. 혼합용액이 Raoult의 법칙을 따르므로 각 액상 몰분율에 순성분 증기압을 곱한다.

계산 과정

벤젠: $p_B = 0.125 \times 1{,}340mmHg = 167.5mmHg$
톨루엔: $p_T = 0.25 \times 560mmHg = 140mmHg$
자일렌: $p_X = 0.625 \times 210mmHg = 131.25mmHg$
따라서 분압의 크기는 벤젠 > 톨루엔 > 자일렌이다.

NoteBase

선지 판단

① O — 계산한 분압이 벤젠 $167.5 mmHg$, 톨루엔 $140 mmHg$, 자일렌 $131.25 mmHg$이므로 벤젠 > 톨루엔 > 자일렌이 맞다.
② X — '톨루엔 > 벤젠'이 틀렸다. 올바르게는 벤젠 > 톨루엔 > 자일렌이다.
③ X — '자일렌 > 톨루엔'이 틀렸다. 올바르게는 벤젠 > 톨루엔 > 자일렌이다.
④ X — '톨루엔 > 자일렌 > 벤젠'이 틀렸다. 올바르게는 벤젠 > 톨루엔 > 자일렌이다.

오답 포인트

순성분 증기압만 비교하거나 액체의 질량비를 그대로 몰분율로 쓰면 틀린다. 자일렌은 액상 몰분율이 가장 크지만 순성분 증기압이 낮아 분압은 가장 작다.

다시 나오면 이렇게 판단

질량을 분자량으로 나누어 몰수를 구하고, 액상 몰분율을 계산한 다음, 각 성분에 대해 $x_i P_i^{sat}$를 구해 비교한다.

암기 포인트

Raoult 분압 = 액상 몰분율 × 순성분 증기압이다. 질량비가 아니라 몰분율을 사용한다.

NoteBase

문 5. 2 mol%의 에테인(Ethane)이 포함된 기체가 20°C, 15 atm에서 물과 접해있다. 헨리(Henry)의 법칙이 적용 가능할 때 물에 용해된 에테인의 몰분율은? (단, 헨리 상수는 2.5×10^4 atm/mole fraction으로 가정한다.)

① 1.2×10^{-5}

② 2.4×10^{-5}

③ 3.6×10^{-5}

④ 6.0×10^{-5}

정답 1번

출제 포인트

기체 혼합물에서 에테인의 분압을 구한 뒤 헨리의 법칙을 적용하여 액상 몰분율을 계산하는 문제이다.

조건 정리

기체 중 에테인의 몰분율은 2 mol%이므로 $y_E = 0.02$이다.
전체 압력은 $P = 15atm$, 헨리 상수는 $H_E = 2.5 \times 10^4 atm/(mole\ fraction)$이다.
구해야 할 값은 물에 용해된 에테인의 액상 몰분율 x_E이다.

사용할 공식

기체 혼합물에서 에테인의 분압은 $p_E = y_E P$이다. 헨리의 법칙은 $p_E = H_E x_E$이므로 $x_E = p_E / H_E$이다.
문제에서 묽게 용해된 에테인에 헨리의 법칙을 적용할 수 있다고 하였으므로 이 관계식을 사용한다.

계산 과정

1. 에테인의 분압을 계산하면 $p_E = 0.02 \times 15atm = 0.30atm$이다.
2. 헨리의 법칙에 대입하면

$x_E = \frac{p_E}{H_E} = \frac{0.30}{2.5 \times 10^4} = 1.2 \times 10^{-5}$

이다. 압력 단위가 서로 소거되어 x_E는 무차원 몰분율이 된다.

선지 판단

① O: 계산된 액상 몰분율이 1.2×10^{-5}이므로 일치한다.
② X: 2.4×10^{-5}는 계산 결과의 2배이므로 틀린 값이다. 올바른 값은 1.2×10^{-5}이다.
③ X: 3.6×10^{-5}는 계산 결과의 3배이므로 틀린 값이다. 올바른 값은 1.2×10^{-5}이다.
④ X: 6.0×10^{-5}는 계산 결과의 5배이므로 틀린 값이다. 올바른 값은 1.2×10^{-5}이다.

NoteBase

오답 포인트

전체 압력 $15atm$을 헨리의 법칙에 바로 넣으면 안 된다. 먼저 에테인의 몰분율 0.02를 곱하여 분압 $0.30atm$을 구해야 한다. 또한 2 mol%는 2가 아니라 0.02로 환산한다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체 혼합물의 용해 몰분율 문제는 기상 몰분율로 분압을 구한 다음, 그 분압을 헨리 상수로 나누고 단위를 검산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

혼합기체의 헨리 법칙은 $p_i = y_i P = H_i x_i$, 따라서 $x_i = y_i P / H_i$이다.

NoteBase

문 6. 다음 중 기체의 상태법칙에 대한 내용으로 가장 옳지 않은 것은?

① 온도가 일정할 때, 이상기체의 부피는 절대압력에 반비례한다.

② 압력이 일정할 때, 일정량의 이상기체가 차지하는 부피는 온도가 1℃씩 상승함에 따라 25℃ 때의 부피보다 $\frac{1}{273.15}$만큼씩 증가한다.

③ 일정온도에서 이상기체 혼합물의 전체압력은 각 성분의 부분압력을 합한 것과 같다.

④ 대응상태 원리에 따르면, 동일한 환산온도와 환산압력에서는 기체의 종류에 관계없이 거의 같은 Z값을 갖게 된다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 보일의 법칙, 샤를의 법칙, 돌턴의 부분압력 법칙, 대응상태 원리의 성립 조건과 기준량을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

보일의 법칙: 일정 온도에서 일정량의 이상기체는 PV=일정이므로 부피가 절대압력에 반비례한다.
샤를의 법칙: 일정 압력에서 일정량의 이상기체는 V/T=일정이며, 온도 T는 절대온도를 사용한다.
돌턴의 부분압력 법칙: 이상기체 혼합물의 전체압력은 각 성분의 부분압력의 합이다.
대응상태 원리: 서로 다른 기체도 환산온도와 환산압력이 같으면 압축성 인자 Z가 거의 같은 값을 갖는다.

선지별 해설

① O — 온도가 일정하면 PV=일정이므로 이상기체의 부피 V는 절대압력 P에 반비례한다.
② X — 틀린 부분은 '25 ° C 때의 부피보다 1/273.15만큼씩 증가한다'이다. 1 ° C 상승할 때마다 1/273.15씩 증가한다는 표현의 기준 부피는 0 ° C에서의 부피이다. 25 ° C의 부피를 기준으로 하면 1도 상승당 증가량은 그 부피의 1/298.15이다.
③ O — 돌턴의 부분압력 법칙에 따라 이상기체 혼합물의 전체압력은 $P = \sum_i P_i$로 나타낸다.
④ O — 환산온도 $T_r = T/T_c$와 환산압력 $P_r = P/P_c$가 같으면 기체의 종류가 달라도 압축성 인자 Z는 거의 같은 값을 갖는다는 것이 대응상태 원리이다.

오답 포인트

②는 1/273.15이라는 수치 자체가 아니라 그 수치가 곱해지는 기준 부피를 바꾸어 놓았다. 273.15는 0 ° C에 해당하는 절대온도이고, 25 ° C는 298.15K이므로 두 기준을 혼동하면 안 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

각 법칙에서 고정된 조건과 비례 관계를 먼저 확인한다. 샤를의 법칙에서 섭씨 온도와 함께 1/273.15이 제시되면 기준 부피가 0 °C의 부피인지 확인한다.

암기 포인트

보일은 PV, 샤를은 V/T, 돌턴은 부분압력의 합, 대응상태는 같은 $T_r \cdot P_r$에서 거의 같은 Z이다.

NoteBase

문 7. 정상상태의 일정한 압력에서 운전되는 등온의 단일상 흐름 반응기에서 $A + B \rightarrow R + S$ 반응이 진행된다. $C_{A_0} = 100$, $C_{B_0} = 300$인 기체공급물에 대하여 전화율 X_A가 0.9일 때, X_B, C_A 및 C_B는?

① 0.1, 10, 210

② 0.3, 10, 210

③ 0.3, 90, 10

④ 0.3, 10, 10

정답 2번

출제 포인트

반응식의 화학양론과 전환율을 이용하여 각 성분의 전환율과 출구 농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $C_{A_0} = 100$, $C_{B_0} = 300$, $X_A = 0.9$이다.
구해야 할 값: X_B, C_A, C_B이다.
주의할 조건: $A + B \rightarrow R + S$에서는 반응물 2몰이 생성물 2몰로 바뀌므로 총 몰수 변화가 없다. 등온·등압 기체 흐름에서 총 몰수 변화가 없으므로 체적유량도 변하지 않는다.

사용할 공식

$C_A = C_{A_0}(1 - X_A)$
$C_{A_0}X_A = C_{B_0}X_B$
$C_B = C_{B_0} - C_{A_0}X_A$

반응식에서 A와 B의 소비 몰비가 1:1이고 체적유량이 일정하므로 이 식들을 사용할 수 있다.

계산 과정

1. 반응한 A의 농도 기준 양은 $C_{A_0}X_A = 100 \times 0.9 = 90$이다.
2. A와 B가 1:1로 반응하므로 B도 90만큼 소비된다. 따라서 $X_B = 90/300 = 0.3$이다.
3. $C_A = 100 - 90 = 10$, $C_B = 300 - 90 = 210$이다.

선지 판단

① X — $C_A = 10$, $C_B = 210$은 맞지만 $X_B = 0.1$이 틀렸다. 올바르게는 $X_B = 0.3$이다.
② O — 계산 결과가 $X_B = 0.3$, $C_A = 10$, $C_B = 210$으로 모두 일치한다.
③ X — $X_B = 0.3$은 맞지만 $C_A = 90$, $C_B = 10$이 틀렸다. 올바르게는 $C_A = 10$, $C_B = 210$이다.
④ X — $X_B = 0.3$, $C_A = 10$은 맞지만 $C_B = 10$이 틀렸다. 올바르게는 $C_B = 210$이다.

NoteBase

오답 포인트

①은 A의 반응량 90을 B의 초기량 300으로 나누지 않아 생기는 오류이다. ③은 반응한 양 90을 남은 A의 농도로 착각하고, ④는 A와 B의 출구 농도가 같다고 착각하게 만든다. 두 성분은 같은 양만큼 소비되지만 초기 농도가 다르므로 출구 농도는 서로 다르다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 반응식의 총 몰수 변화를 확인한 뒤 기준 반응물의 반응량을 구한다. 그 반응량을 화학양론비에 따라 다른 성분에 적용하고, 각 성분의 초기량에서 소비량을 빼 출구 농도를 계산한다.

암기 포인트

1:1 반응에서는 두 반응물의 소비량이 같지만, 전환율은 각자의 초기량으로 나누므로 서로 다를 수 있다.

NoteBase

문 8. 부탄(C_4H_{10})의 완전연소 반응으로 생성된 이산화탄소의 질량이 176 g이다. 반응에 참여한 초기 부탄의 양이 60 g일 때 미반응한 부탄의 양은 얼마인가? (단, 원자량은 탄소=12, 수소=1, 산소=16이다.)

① 2 g
② 4 g
③ 6 g
④ 8 g

정답 1번

출제 포인트

완전연소 반응식의 몰비와 몰질량을 이용해 반응한 부탄의 질량을 구한 뒤, 초기 질량에서 빼 미반응량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 생성된 이산화탄소 $176g$, 초기 부탄 $60g$
구해야 할 값: 미반응한 부탄의 질량
몰질량: $C_4H_{10} = 58g/mol$, $CO_2 = 44g/mol$
주의할 조건: 생성된 이산화탄소로부터 반응한 부탄의 양을 먼저 구한 뒤 초기량에서 빼야 한다.

사용할 공식

완전연소 반응식은 다음과 같다.

$$C_4H_{10} + \frac{13}{2}O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$$

따라서 부탄과 이산화탄소의 몰비는 1 : 4이다. 생성된 이산화탄소의 몰수로 반응한 부탄의 몰수를 정할 수 있으므로 이 반응식과 몰비를 사용한다.

계산 과정

1. 생성된 이산화탄소의 몰수는 $176g \div 44g/mol = 4mol$이다.
2. 반응식에서 $C_4H_{10} : CO_2 = 1 : 4$이므로 반응한 부탄은 $1mol$이다.
3. 반응한 부탄의 질량은 $1mol \times 58g/mol = 58g$이다.
4. 미반응한 부탄의 질량은 $60g - 58g = 2g$이다.

NoteBase

선지 판단

① O — 계산한 미반응 부탄의 질량이 $2g$이므로 맞다.
② X — 미반응량은 $4g$이 아니라 $2g$이다. 이산화탄소 $4mol$을 부탄 $1mol$로 환산하고 그 질량 $58g$을 초기량에서 빼야 한다.
③ X — 미반응량은 $6g$이 아니라 $2g$이다. 반응한 부탄의 몰질량은 탄소와 수소를 모두 합한 $58g/mol$이다.
④ X — 미반응량은 $8g$이 아니라 $2g$이다. 생성물인 이산화탄소의 질량을 초기 부탄에서 직접 빼지 않고, 반응식의 몰비로 반응한 부탄의 질량을 먼저 구해야 한다.

오답 포인트

이산화탄소 $176g$을 곧바로 부탄의 질량과 비교하면 안 된다. 서로 다른 물질의 질량이므로 각각 몰수로 바꾸고, 반응식의 몰비 1 : 4를 적용한 뒤 다시 부탄의 질량으로 환산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

연소 생성물의 양으로 미반응 반응물을 구할 때는 반응식 계수 확인 → 생성물의 질량을 몰수로 환산 → 몰비로 반응한 반응물의 몰수 계산 → 질량 환산 → 초기량에서 차감 순서로 판단한다.

암기 포인트

부탄 $1mol$이 완전연소하면 이산화탄소 $4mol$이 생성되며, 미반응량은 초기량에서 실제 반응량을 뺀 값이다.

NoteBase

문 9. 다음 중 대기압이 1기압일 때 압력이 큰 순서로 나열된 것은? (단, 다른 조건이 없으면 압력은 절대압이다.)

① 3×10^7 Pa > 1 bar > 2×10^5 N/m2 > 2.7 mH2O > 380 mmHg

② 2×10^5 N/m2 > 3×10^7 Pa > 1 bar > 12.7 psi > 1.5 mH2O

③ 3×10^7 Pa > 2×10^5 N/m2 > 1 bar > 1.5 mH2O > 12.7 psi

④ 3×10^7 Pa > 2×10^5 N/m2 > 1 bar > 380 mmHg > 5.6 psi

정답 4번

출제 포인트

서로 다른 압력 단위를 Pa로 통일하여 압력의 크기를 비교하는 문제이다.

조건 정리

압력은 절대압으로 비교한다. 주요 환산값은 $1bar = 1.0 \times 10^5 Pa$, $1psi \approx 6.895 \times 10^3 Pa$, $1mmHg \approx 133.3 Pa$, $1mH_2O \approx 9.807 \times 10^3 Pa$이다.

사용할 공식

압력수두는 $P = \rho gh$로 환산한다. 물의 밀도를 $\rho \approx 1000 kg/m^3$, 중력가속도를 $g \approx 9.807 m/s^2$로 두면 $1mH_2O \approx 9.807 \times 10^3 Pa$이다. 서로 다른 단위를 하나의 기준 단위로 바꾸어야 대소 관계를 직접 비교할 수 있으므로 이 환산식을 사용한다.

계산 과정

비교에 필요한 값을 Pa로 바꾸면 다음과 같다.

$3 \times 10^7 Pa = 30{,}000{,}000 Pa$

$2 \times 10^5 N/m^2 = 200{,}000 Pa$

$1bar = 100{,}000 Pa$

$12.7psi \approx 87{,}600 Pa$, $5.6psi \approx 38{,}600 Pa$

$380mmHg \approx 50{,}700 Pa$

$2.7mH_2O \approx 26{,}500 Pa$, $1.5mH_2O \approx 14{,}700 Pa$

NoteBase

선지 판단

① X — $1bar$를 $2 \times 10^5 N/m^2$보다 크게 놓고, $2.7mH_2O$를 $380mmHg$보다 크게 놓은 부분이 틀리다. 올바른 순서는 $3 \times 10^7 Pa > 2 \times 10^5 N/m^2 > 1bar > 380mmHg > 2.7mH_2O$이다.
② X — 첫 두 항의 순서가 뒤바뀌었다. $3 \times 10^7 Pa$는 $2 \times 10^5 Pa$보다 크므로, 올바른 순서는 $3 \times 10^7 Pa > 2 \times 10^5 N/m^2 > 1bar > 12.7psi > 1.5mH_2O$이다.
③ X — $1.5mH_2O$와 $12.7psi$의 순서가 뒤바뀌었다. 각각 약 $14{,}700Pa$, $87{,}600Pa$이므로 올바르게는 $12.7psi > 1.5mH_2O$이다.
④ O — 각 항은 약 $30{,}000{,}000Pa > 200{,}000Pa > 100{,}000Pa > 50{,}700Pa > 38{,}600Pa$이므로 제시된 순서가 옳다.

오답 포인트

N/m^2가 곧 Pa라는 점과 압력수두의 액주 높이가 압력과 같은 단위가 아니라는 점이 핵심 함정이다. 특히 $380mmHg$는 약 $50.7kPa$이므로 $5.6psi$의 약 $38.6kPa$보다 크다.

다시 나오면 이렇게 판단

모든 값을 먼저 Pa로 환산한 다음 큰 값부터 배열한다. $1Pa = 1N/m^2$, $P = \rho gh$를 적용하고, psi와 mmHg도 Pa 환산값으로 비교하면 단위 모양에 따른 착각을 피할 수 있다.

암기 포인트

$1bar = 100kPa$, $1atm = 760mmHg \approx 101.3kPa$, $1mH_2O \approx 9.81kPa$, $1psi \approx 6.895kPa$이다.

NoteBase

문 10. 다음 <보기>의 액상 기초반응은 회분식 반응기에서 진행된다. 반응물 A와 B의 초기농도가 10 mol/L와 2 mol/L이고 제한반응물의 전화율이 100%일 때, 제한반응물과 제한반응물이 아닌 반응물의 최종농도(mol/L)를 바르게 나열한 것은?

<보기>

$3A + B \rightarrow 3C + D$

① 제한반응물: A, 제한반응물이 아닌 반응물의 최종농도: 1

② 제한반응물: B, 제한반응물이 아닌 반응물의 최종농도: 4

③ 제한반응물: A, 제한반응물이 아닌 반응물의 최종농도: 4

④ 제한반응물: B, 제한반응물이 아닌 반응물의 최종농도: 1

정답 2번

출제 포인트

반응식의 화학양론계수로 제한반응물을 판별하고, 완전 반응 뒤 남는 과잉 반응물의 최종농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

반응식: $3A + B \rightarrow 3C + D$
초기농도: $C_{A0} = 10 mol/L$, $C_{B0} = 2 mol/L$
제한반응물의 전화율: 100%
회분식 액상 반응에서 부피가 일정하다고 보고 화학양론계수에 따라 소비 농도를 계산한다.

사용할 공식

제한반응물 판별에는 초기농도를 화학양론계수로 나눈 값을 비교한다.
$\frac{C_{A0}}{3} = \frac{10}{3}, \quad \frac{C_{B0}}{1} = 2$
더 작은 값에 해당하는 B가 먼저 소진되므로 제한반응물이다. B가 $2 mol/L$ 소비될 때 A의 소비농도는 화학양론비 3 : 1에 따라 $3 \times 2 = 6 mol/L$이다.

계산 과정

1. A와 B의 반응 가능량을 비교하면 $10/3 > 2$이므로 B가 제한반응물이다.
2. B의 전화율이 100%이므로 B는 $2 mol/L$ 전부 소비된다.
3. 이때 A의 소비농도는 $3 \times 2 = 6 mol/L$이다.
4. 따라서 A의 최종농도는 $10 - 6 = 4 mol/L$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 제한반응물을 A라고 한 부분과 과잉 반응물의 최종농도를 $1mol/L$라고 한 부분이 모두 틀리다. 올바르게는 제한반응물이 B이고, 과잉 반응물 A의 최종농도는 $4mol/L$이다.
② O — B가 제한반응물이고, 남는 A의 최종농도가 $4mol/L$이므로 계산 결과와 일치한다.
③ X — 과잉 반응물의 최종농도 $4mol/L$는 맞지만 제한반응물을 A라고 한 부분이 틀리다. 올바르게는 제한반응물이 B이다.
④ X — 제한반응물이 B라는 판별은 맞지만 과잉 반응물의 최종농도를 $1mol/L$라고 한 부분이 틀리다. 올바르게는 A의 최종농도가 $4mol/L$이다.

오답 포인트

초기농도가 더 큰 A를 제한반응물로 오인하거나, 반응식의 계수비 $A:B=3:1$을 농도비와 비교하지 않는 것이 함정이다. 제한반응물은 초기농도 자체가 아니라 초기농도를 각 화학양론계수로 나눈 값이 더 작은 반응물이다.

다시 나오면 이렇게 판단

각 반응물의 초기 몰수 또는 농도를 해당 화학양론계수로 나누어 가장 작은 값을 갖는 반응물을 제한반응물로 정한다. 그 반응물의 소비량을 기준으로 다른 반응물의 소비량을 계수비로 구한 뒤, 초기량에서 빼서 최종량을 계산한다.

암기 포인트

제한반응물은 '초기량 ÷ 화학양론계수'가 가장 작은 반응물이며, 남는 양은 '초기량 − 화학양론비에 따른 소비량'이다.

NoteBase

문 11. 다음 중 원형관을 통해 흐르는 뉴턴 유체에 적용되는 Hagen-Poiseuille 식에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 최대 유속은 단위 길이당 압력강하에 반비례한다.

② 관의 내경 방향으로의 유속 분포는 포물선 형태이다.

③ 단위 길이당 압력강하는 유체의 밀도와 무관하다.

④ 관벽면에서의 유속은 0이다.

정답 1번

출제 포인트

원형관 속 뉴턴 유체의 완전 발달 층류에 적용되는 Hagen-Poiseuille 식에서 유속 분포와 압력강하의 관계를 판단하는 문제이다.

조건 정리

Hagen-Poiseuille 식은 정상 상태의 비압축성 뉴턴 유체가 원형관에서 완전 발달한 층류로 흐르고, 관벽에서 미끄럼이 없다는 조건에 적용된다. 압력강하를 Δ P=P_입구-P_출구>0, 관의 길이를 L, 반지름을 R, 점도를 μ로 둔다.

사용할 공식

반지름 방향 위치 r에서의 유속은
$u(r) = \frac{\Delta P}{4\mu L}(R^2 - r^2)$
이고, 최대 유속과 평균 유속은
$u_{max} = \frac{\Delta P R^2}{4\mu L}, \qquad \bar{u} = \frac{\Delta P R^2}{8\mu L}$
이다. 따라서 u_{max}는 단위 길이당 압력강하 $\Delta P/L$에 정비례한다. 또한
$\frac{\Delta P}{L} = \frac{8\mu\bar{u}}{R^2} = \frac{32\mu\bar{u}}{D^2}$
이므로 주어진 평균 유속과 점도 및 관경에 대한 압력강하에는 밀도 ρ가 직접 포함되지 않는다.

선지 판단

① X — '최대 유속은 단위 길이당 압력강하에 반비례한다'가 틀렸다. $u_{max} = R^2(\Delta P/L)/(4\mu)$이므로 올바르게는 최대 유속이 단위 길이당 압력강하에 정비례한다.
② O — $u(r)$가 $R^2 - r^2$에 비례하므로 관의 중심에서 최대이고 관벽으로 갈수록 감소하는 포물선형 유속 분포가 된다.
③ O — $\Delta P/L = 32\mu\bar{u}/D^2$에는 밀도 항이 없으므로, 평균 유속·점도·관경이 주어진 Hagen-Poiseuille 관계에서 단위 길이당 압력강하는 밀도와 무관하다.
④ O — 미끄럼 없음 조건에 따라 관벽 $r = R$에서 $u(R) = 0$이다.

NoteBase

오답 포인트

①의 '반비례'가 핵심 함정이다. 유속은 점도와 관 길이에는 반비례하지만 압력강하에는 정비례한다. 또한 밀도는 관성의 영향을 나타내는 Reynolds 수에는 들어가지만 Hagen-Poiseuille 압력강하 식에는 직접 들어가지 않는다는 점을 구분한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $u(r) = \Delta P(R^2 - r^2)/(4\mu L)$를 적고 각 선지의 변수가 분자와 분모 중 어디에 있는지 확인한다. 이어서 $r = 0$과 $r = R$를 대입해 중심의 최대 유속과 관벽의 영 유속을 판단한다.

암기 포인트

압력강하가 클수록 빠르고, 점도가 클수록 느리며, 원형관 층류의 유속 분포는 포물선이고 관벽 유속은 0이다.

NoteBase

문 12. 다음 중 발열 가역반응의 최적 조작(반응전화율을 극대화하고 반응기 부피를 최소화할 수 있는 조작)을 위해서 필요한 반응기 온도의 조작 방법으로 가장 옳은 것은?

① 초기에는 낮은 온도에서 운전하다가 점차 온도를 증가시킨다.

② 초기에는 높은 온도에서 운전하다가 점차 온도를 감소시킨다.

③ 최대한 높은 온도에서 유지한다.

④ 최대한 낮은 온도에서 유지한다.

정답 2번

출제 포인트

발열 가역반응에서 온도가 반응속도와 평형 전환율에 미치는 영향이 서로 반대라는 점을 이용하여 최적 온도 조작 방향을 판단하는 문제이다.

핵심 개념

발열 가역반응은 온도를 높이면 반응속도가 커지지만 평형은 반응물을 만드는 역반응 쪽에 유리해져 도달 가능한 평형 전환율이 낮아진다. 따라서 반응기 입구에서는 높은 온도로 빠른 반응속도를 확보하고, 전환율이 높아지는 출구 쪽으로 갈수록 온도를 낮추어 평형 전환율을 높이는 조작이 유리하다.

선지별 해설

① X — 틀린 표현은 '초기에는 낮은 온도에서 운전하다가 점차 온도를 증가시킨다'이다. 발열 가역반응의 최적 조작은 반대로 초기에는 높은 온도에서 운전하고 전환율이 증가함에 따라 온도를 낮추는 방식이다.
② O — 초기의 높은 온도는 반응속도를 크게 하고, 이후의 온도 감소는 발열반응의 평형을 생성물 쪽으로 이동시켜 높은 전환율에 도달하게 한다. 반응속도와 평형 전환율을 함께 고려한 최적 조작이다.
③ X — 틀린 표현은 '최대한 높은 온도에서 유지한다'이다. 높은 온도를 계속 유지하면 반응은 빠르지만 발열 가역반응의 평형 전환율이 낮아져 전환율 극대화에 불리하다. 올바르게는 초기에 높은 온도로 운전한 뒤 점차 온도를 낮춘다.
④ X — 틀린 표현은 '최대한 낮은 온도에서 유지한다'이다. 낮은 온도는 평형 전환율에는 유리하지만 반응속도를 지나치게 낮추어 필요한 반응기 부피가 커진다. 올바르게는 초기에 높은 온도로 반응속도를 확보한 뒤 점차 온도를 낮춘다.

오답 포인트

'발열반응은 낮은 온도가 유리하다'는 평형 관점만 적용하면 ④를 고르기 쉽다. 이 문항은 전환율뿐 아니라 반응기 부피의 최소화도 요구하므로, 입구에서의 반응속도와 출구 부근의 평형 제한을 함께 고려해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

발열 가역반응의 최적 온도 경로를 물으면 입구에서는 속도를 위해 고온, 출구 쪽에서는 평형 전환율을 위해 저온으로 판단한다.

암기 포인트

발열 가역반응의 최적 조작은 '앞은 고온으로 빠르게, 뒤는 저온으로 평형을 유리하게'이다.

NoteBase

문 13. 건조 공기와 수증기로 구성된 기체 혼합물의 전체 압력은 1,000 mmHg이다. 건조 공기의 분압이 600 mmHg일 때 기체 혼합물의 절대습도는? (단, 건조 공기와 수증기의 분자량은 각각 30과 18이고, 모두 이상기체이다.)

① 0.4

② 0.5

③ 0.6

④ 0.7

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체 혼합물에서 수증기와 건조 공기의 분압 및 분자량을 이용해 절대습도, 즉 건조 공기 질량에 대한 수증기 질량의 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

전체 압력: $P = 1{,}000 mmHg$
건조 공기의 분압: $p_a = 600 mmHg$
수증기의 분압: $p_w = P - p_a = 400 mmHg$
분자량: 건조 공기 $M_a = 30$, 수증기 $M_w = 18$
구해야 할 값: 절대습도 $Y = m_w/m_a$

사용할 공식

$Y = \frac{m_w}{m_a} = \frac{n_w M_w}{n_a M_a} = \frac{p_w M_w}{p_a M_a}$
같은 온도와 부피에서 이상기체의 몰수는 분압에 비례하므로 $n_w/n_a = p_w/p_a$가 성립한다. 따라서 분압비에 분자량비를 곱해 질량비인 절대습도를 구한다.

계산 과정

1. 달톤의 분압 법칙에 따라 수증기의 분압은 $1{,}000 - 600 = 400 mmHg$이다.
2. 절대습도 식에 대입하면 다음과 같다.
$Y = \frac{400 \times 18}{600 \times 30} = \frac{2}{3} \times \frac{3}{5} = 0.4$
3. 따라서 기체 혼합물의 절대습도는 $0.4 kg\text{-}water/kg\text{-}dry\ air$이다.

NoteBase

선지 판단

① O — 계산 결과가 0.4이므로 옳다.
② X — 0.5가 아니라 0.4이다. 수증기와 건조 공기의 질량비는 분압비만으로 정해지지 않고 분자량비까지 반영해야 한다.
③ X — 0.6은 분자량비 18/30만 계산한 값이다. 올바르게는 여기에 분압비 400/600을 곱해 0.4가 된다.
④ X — 0.7이 아니라 0.4이다. 수증기 분압 400$mmHg$과 건조 공기 분압 600$mmHg$을 구분하고 분자량까지 함께 적용해야 한다.

오답 포인트

전체 압력 1,000$mmHg$을 수증기 분압으로 직접 쓰거나, 분압비 p_w/p_a와 분자량비 M_w/M_a 중 하나만 반영하면 오답이 된다. 특히 ③의 0.6은 분자량비만 계산한 값이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 전체 압력에서 건조 공기의 분압을 빼 수증기 분압을 구한 뒤, $Y = (p_w M_w)/(p_a M_a)$에 대입하고 질량비인지 몰비인지 확인한다.

암기 포인트

절대습도는 건조 공기 기준 수증기 질량비이며, 이상기체에서는 '수증기 분압×수증기 분자량'을 '건조 공기 분압×건조 공기 분자량'으로 나눈 값이다.

NoteBase

문 14. 등온 정압하의 변용 회분식 반응기에서 균일계 기상 반응 $2A + 3B \rightarrow 4C$를 진행한다. 반응초기에 2 mol의 A와 3 mol의 B만을 반응기에 넣을 때, 전화율(X_A)로 나타낸 A의 농도(C_A)는? (단, 기체는 모두 이상기체이고 C_{A_0}는 A의 초기농도이다.)

① $C_{A_0}\frac{1-0.2X_A}{1-X_A}$
② $C_{A_0}\frac{1-X_A}{1+0.2X_A}$
③ $C_{A_0}\frac{1-X_A}{1-0.2X_A}$
④ $C_{A_0}\frac{1+0.2X_A}{1-X_A}$

정답 3번

출제 포인트

정압 이상기체 반응에서 반응에 따른 총몰수 변화로 부피가 달라질 때, 전화율 X_A로 반응물 A의 농도 C_A를 나타내는 문제이다.

조건 정리

초기 몰수는 $n_{A_0} = 2$, $n_{B_0} = 3$, $n_{T_0} = 5$이다. 반응식은 $2A + 3B \rightarrow 4C$이고 A와 B가 화학양론비로 공급되었다. 등온·정압의 이상기체이므로 반응기 부피는 총몰수에 비례한다.

사용할 공식

반응진행도를 ξ라 하면 $X_A = 2\xi/n_{A_0} = \xi$이므로 $\xi = X_A$이다. 따라서
$n_A = 2 - 2\xi = 2(1 - X_A)$
이고, 반응진행도 1만큼 진행될 때 총몰수 변화는 $\Delta\nu = 4 - (2 + 3) = -1$이므로
$n_T = 5 - \xi = 5 - X_A = 5(1 - 0.2X_A)$
이다. 등온·정압 이상기체에서 $V/V_0 = n_T/n_{T_0}$이므로
$C_A = C_{A_0}\frac{n_A/n_{A_0}}{V/V_0} = C_{A_0}\frac{1-X_A}{1-0.2X_A}$
를 사용한다.

계산 과정

1. A의 잔존 몰수 비는 $n_A/n_{A_0} = 1 - X_A$이다.
2. 총몰수는 $5 - X_A$이므로 부피비는 $V/V_0 = (5 - X_A)/5 = 1 - 0.2X_A$이다.
3. 농도는 잔존 몰수 비를 부피비로 나누므로 $C_A = C_{A_0}(1 - X_A)/(1 - 0.2X_A)$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — $C_{A_0}(1-0.2X_A)/(1-X_A)$는 잔존 몰수 비와 부피비를 거꾸로 나눈 식이다. 틀린 표현 → 올바르게는 $C_{A_0}(1-X_A)/(1-0.2X_A)$이다.
② X — 생성물 몰수 4가 반응물 몰수 5보다 작아 총몰수와 부피가 감소하므로 부피비는 $1+0.2X_A$가 아니라 $1-0.2X_A$이다. 틀린 표현 → 올바르게는 $C_{A_0}(1-X_A)/(1-0.2X_A)$이다.
③ O — A의 잔존 몰수 비 $1-X_A$를 부피비 $1-0.2X_A$로 나눈 정확한 농도식이다.
④ X — 잔존 몰수 비와 부피비를 뒤바꾸었고, 총몰수가 감소하는데도 부피 변화의 부호를 더하기로 썼다. 틀린 표현 → 올바르게는 $C_{A_0}(1-X_A)/(1-0.2X_A)$이다.

오답 포인트

핵심 함정은 정압 기상반응에서 C_A/C_{A_0}를 단순히 $1-X_A$로 둘 수 없다는 점이다. 이 반응은 총몰수가 5에서 4로 감소하므로 부피도 감소하며, 그 보정항 $1-0.2X_A$가 분모에 들어간다.

다시 나오면 이렇게 판단

정압 기상반응의 농도는 먼저 반응물의 잔존 몰수 비를 구하고, 반응식의 총몰수 변화로 부피비를 구한 뒤, '잔존 몰수 비 ÷ 부피비'의 순서로 계산한다.

암기 포인트

등온·정압 이상기체에서는 $C_A/C_{A_0}=(1-X_A)/(V/V_0)$이고, 이 문항의 부피비는 $1-0.2X_A$이다.

NoteBase

문 15. 다음 <보기>의 암모니아 생성 반응에서 암모니아의 수득률을 높이기 위한 반응조건으로 옳은 것은?

<보기>

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + 22\ \text{kcal/mol}$

① 저온, 저압

② 고온, 고압

③ 저온, 고압

④ 고온, 저압

정답 3번

출제 포인트

발열 가역반응에서 온도와 압력의 변화가 화학 평형을 어느 방향으로 이동시키는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

르샤틀리에 원리에 따르면 평형 상태의 계에 온도나 압력 변화를 가하면 그 변화를 줄이는 방향으로 평형이 이동한다.

주어진 반응은 열이 생성물 쪽에 있는 발열반응이므로 저온에서 암모니아 생성 방향이 유리하다. 또한 기체 몰수는 반응물 쪽이 4몰, 생성물 쪽이 2몰이므로 고압에서 기체 몰수가 적은 암모니아 생성 방향이 유리하다.

NoteBase

선지별 해설

① X
저온은 암모니아 생성을 촉진하지만 저압은 기체 몰수가 많은 반응물 쪽에 유리하다. 틀린 표현은 '저압'이며, 올바른 조건은 '저온, 고압'이다.

② X
고압은 암모니아 생성에 유리하지만 고온은 열을 흡수하는 역반응을 촉진하여 암모니아의 평형 수득률을 낮춘다. 틀린 표현은 '고온'이며, 올바른 조건은 '저온, 고압'이다.

③ O
저온은 발열 정반응을 촉진하고, 고압은 기체 몰수가 4몰에서 2몰로 감소하는 정반응을 촉진하므로 암모니아의 평형 수득률이 높아진다.

④ X
고온과 저압은 모두 암모니아 생성의 역방향에 유리하다. 틀린 표현은 '고온, 저압'이며, 올바른 조건은 '저온, 고압'이다.

오답 포인트

온도 조건과 압력 조건을 따로 판단하지 않고 한 조건만 보고 고르는 것이 함정이다. 반응식 오른쪽의 열은 정반응이 발열반응임을 뜻하고, 압력 효과는 양쪽의 기체 몰수 4몰과 2몰을 비교하여 판단한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 열이 반응물 쪽인지 생성물 쪽인지 확인하여 유리한 온도를 정한다. 다음으로 반응식 양쪽의 기체 몰수를 합산하여, 고압에서는 기체 몰수가 적은 쪽으로 평형이 이동한다는 기준을 적용한다.

암기 포인트

암모니아 합성의 평형 수득률은 저온·고압에서 높아진다.

NoteBase

문 16. 기초반응인 $A \rightarrow B$ 반응을 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 진행하여 얻은 반응물 A의 전화율은 50%이다. 동일한 조건에서 같은 크기의 플러그흐름반응기(PFR)에서 진행할 경우, 반응물 A의 전화율은? (단, $e^{-1.0} = 0.368$으로 계산한다.)

① 18.4%

② 36.8%

③ 63.2%

④ 73.6%

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 1차 반응에서 CSTR의 전화율로부터 반응속도상수와 공간시간의 곱 $k\tau$를 구한 뒤, 같은 크기·같은 조건의 PFR 전화율을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응: 기초반응 $A \rightarrow B$이므로 $-r_A = kC_A$인 1차 반응이다.
주어진 값: CSTR 전화율은 $X_{CSTR} = 0.50$이다.
구해야 할 값: 같은 공간시간 τ를 갖는 PFR의 전화율 X_{PFR}이다.
주의할 조건: 같은 크기와 동일한 운전 조건이므로 두 반응기의 공간시간은 같다고 본다.

사용할 공식

1차 반응의 CSTR 설계식은
$X_{CSTR} = \frac{k\tau}{1+k\tau}$
이고, 1차 반응의 PFR 설계식은
$X_{PFR} = 1 - e^{-k\tau}$
이다. CSTR의 알려진 전화율로 $k\tau$를 결정할 수 있고, 같은 조건의 PFR에도 그 값을 적용할 수 있으므로 이 두 식을 사용한다.

계산 과정

1. CSTR 설계식에 $X_{CSTR} = 0.50$을 대입한다.
$0.50 = \frac{k\tau}{1+k\tau}$
2. 이를 풀면 $k\tau = 1$이다.
3. PFR 설계식에 대입한다.
$X_{PFR} = 1 - e^{-1} = 1 - 0.368 = 0.632$
따라서 PFR의 전화율은 63.2%이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 18.4%는 계산 결과 63.2%와 일치하지 않는다. 18.4%가 아니라 63.2%가 되어야 한다. 이는 CSTR 전화율 0.5와 PFR의 미반응 분율 0.368을 잘못 곱하면 나오는 값이다.
② X — 36.8%는 $e^{-1} = 0.368$, 즉 PFR 출구에서 남아 있는 A의 미반응 분율이다. 전화율은 이를 1에서 뺀 63.2%가 되어야 한다.
③ O — $X_{PFR} = 1 - e^{-1} = 0.632$이므로 63.2%가 맞다.
④ X — 73.6%는 계산 결과와 일치하지 않는다. 73.6%가 아니라 63.2%가 되어야 하며, $2e^{-1} = 0.736$은 PFR 전화율 식이 아니다.
계산 결과 63.2%이므로 정답은 3번이다.

오답 포인트

②의 36.8%는 전화율이 아니라 미반응 분율이라는 점이 핵심 함정이다. PFR에서 $e^{-k\tau}$는 출구에 남은 반응물의 비율이고, 전화율은 반드시 $1 - e^{-k\tau}$로 계산한다. 또한 CSTR의 전화율 50%를 PFR 식에 직접 대입하지 않고 먼저 $k\tau$로 변환해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 조건의 CSTR과 PFR을 비교하는 1차 반응 문제에서는 먼저 CSTR 식으로 $k\tau$를 역산한 뒤 PFR 식 $X = 1 - e^{-k\tau}$에 대입한다. 마지막에는 $e^{-k\tau}$가 전화율이 아니라 미반응 분율인지 확인한다.

암기 포인트

1차 반응은 CSTR에서 $X = \frac{k\tau}{1 + k\tau}$, PFR에서 $X = 1 - e^{-k\tau}$이다. $k\tau = 1$이면 각각 50%와 63.2%이다.

NoteBase

문 17. 연속교반탱크반응기(CSTR)의 부피는 100 L이고, 공급 반응물 중 A의 농도 $C'_{A_0} = 1\text{mol/L}$, A의 몰공급속도 $F_{A_0} = 50\text{mol/min}$이다. 부피 변화율이 0이 아닌 경우 공간시간은?

① 1 min

② 2 min

③ 5 min

④ 10 min

정답 2번

출제 포인트

공급물의 입구 부피유량을 구한 뒤 CSTR의 공간시간을 계산하는 문제이다. 부피 변화율이 0이 아니어도 공간시간은 반응기 부피를 입구 부피유량으로 나눈 값으로 정의한다.

조건 정리

반응기 부피: $V = 100\text{L}$
입구에서 A의 농도: $C'_{A_0} = 1\text{mol/L}$
A의 몰공급속도: $F_{A_0} = 50\text{mol/min}$
구해야 할 값: 공간시간 τ

사용할 공식

입구 부피유량은 $v_0 = F_{A_0}/C'_{A_0}$이고, 공간시간은 $\tau = V/v_0$이다. 따라서
$\tau = \frac{VC'_{A_0}}{F_{A_0}}$
를 사용한다. 공간시간은 실제 반응 중 부피유량이 변하더라도 입구 부피유량 v_0을 기준으로 정의되기 때문이다.

계산 과정

먼저 입구 부피유량을 계산한다.
$v_0 = \frac{50\text{mol/min}}{1\text{mol/L}} = 50\text{L/min}$
따라서 공간시간은
$\tau = \frac{100\text{L}}{50\text{L/min}} = 2\text{min}$
이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 1min은 계산값 2min과 다르다. 틀린 값 1min → 올바르게는 2min이다.
② O — $V/v_0 = 100/50 = 2$이므로 2min이 맞다.
③ X — 5min은 계산값 2min과 다르다. 틀린 값 5min → 올바르게는 2min이다.
④ X — 10min은 계산값 2min과 다르다. 틀린 값 10min → 올바르게는 2min이다.

오답 포인트

‘부피 변화율이 0이 아니다’라는 조건 때문에 출구 부피유량을 써야 한다고 판단하기 쉽다. 그러나 공간시간의 분모는 입구 부피유량이며, 이를 F_{A_0}/C'_{A_0}로 구해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

공간시간 문제에서는 먼저 $v_0 = F_{A_0}/C'_{A_0}$로 입구 부피유량을 구하고, 이어서 $\tau = V/v_0$를 적용한 뒤 단위가 시간으로 소거되는지 확인한다.

암기 포인트

공간시간은 ‘반응기 부피 ÷ 입구 부피유량’이며, $\tau = V/v_0 = VC'_{A_0}/F_{A_0}$이다.

NoteBase

문 18. $A + 3B \rightarrow 5R$**인 반응에서** $r_R = 100$ **gmol/L·min일 때, B에 관한 반응속도** $(-r_B)$**는?**

① 30 gmol/L·min

② 40 gmol/L·min

③ 50 gmol/L·min

④ 60 gmol/L·min

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 반응물과 생성물의 화학양론계수를 이용하여 성분별 반응속도의 관계를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응식: $A + 3B \rightarrow 5R$
주어진 값: $r_R = 100 gmol/(L \cdot min)$
구해야 할 값: B의 소모속도 $(-r_B)$
주의할 조건: 생성물 R의 생성속도는 양수이고 반응물 B의 소모속도는 $(-r_B)$로 나타낸다.

사용할 공식

성분별 반응속도와 화학양론계수의 관계는 다음과 같다.
$\frac{-r_B}{3} = \frac{r_R}{5}$
한 번의 반응 진행에서 B는 3몰 소모되고 R은 5몰 생성되므로 두 성분의 속도 크기도 3 : 5의 비를 갖는다.

계산 과정

반응속도 관계식에 $r_R = 100 gmol/(L \cdot min)$을 대입한다.
$\frac{-r_B}{3} = \frac{100}{5} = 20 gmol/(L \cdot min)$
따라서
$-r_B = 3 \times 20 = 60 gmol/(L \cdot min)$
이다.

NoteBase

선지 판단

① X — $30 gmol/(L \cdot min)$이면 화학양론 관계에 따라 $r_R = (5/3) \times 30 = 50 gmol/(L \cdot min)$이 되어 주어진 값 100과 맞지 않는다. 올바른 B의 소모속도는 $60 gmol/(L \cdot min)$이다.
② X — $40 gmol/(L \cdot min)$이면 $r_R = (5/3) \times 40 = 200/3 gmol/(L \cdot min)$이므로 주어진 값 100과 맞지 않는다. 올바른 값은 $60 gmol/(L \cdot min)$이다.
③ X — $50 gmol/(L \cdot min)$이면 $r_R = (5/3) \times 50 = 250/3 gmol/(L \cdot min)$이므로 주어진 값 100과 맞지 않는다. 올바른 값은 $60 gmol/(L \cdot min)$이다.
④ O — $r_R/5 = 100/5 = 20 gmol/(L \cdot min)$이고 $(-r_B) = 3 \times 20 = 60 gmol/(L \cdot min)$이므로 옳다.

오답 포인트

R의 생성속도 100에 B의 계수 3을 곧바로 곱하거나 나누면 안 된다. 먼저 r_R을 R의 계수 5로 나누어 공통 반응속도를 구한 뒤 B의 계수 3을 곱해야 한다. 또한 B는 반응물이므로 r_B는 음수이지만, 문제에서 묻는 $(-r_B)$는 양의 소모속도이다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응식의 계수를 ν_i라 하면 반응물은 $(-r_i)/|\nu_i|$, 생성물은 r_i/ν_i가 모두 같은 공통 반응속도라는 관계를 세운다. 그다음 주어진 성분의 속도를 해당 계수로 나누고, 구하려는 성분의 계수를 곱한다.

암기 포인트

성분별 속도는 화학양론계수에 비례한다. 이 반응에서는 $(-r_A) : (-r_B) : r_R = 1 : 3 : 5$이다.

NoteBase

문 19. 등온 회분식 반응기에서 A → B인 비가역 2차 액상 반응을 진행하여, 반응개시 후 전화율 20%에 도달하는 데 20분 걸렸다. 전화율 50%에 도달하는데 걸리는 시간은? (단, 다른 조건은 변함없다.)

① 20분

② 40분

③ 60분

④ 80분

정답 4번

출제 포인트

등온·정용 회분식 반응기의 비가역 2차 반응 적분식으로 목표 전화율에 도달하는 시간을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전화율 $X = 0.20$에 도달하는 시간은 $t = 20\text{min}$이다.
구해야 할 값: 전화율 $X = 0.50$에 도달하는 시간이다.
주의할 조건: 2차 반응에서는 전화율이 시간에 정비례하지 않고, $X/(1-X)$가 시간에 정비례한다.

사용할 공식

2차 반응 $-r_A = kC_A^2$의 등온·정용 회분식 적분식은
$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt$
이다. $C_A = C_{A0}(1-X)$를 대입하면
$\frac{X}{1-X} = kC_{A0}t$
가 된다. 반응 차수가 2차이고 온도와 다른 조건이 일정하므로 kC_{A0}가 일정하여 이 식을 사용한다.

계산 과정

1. $X = 0.20$일 때 $X/(1-X) = 0.20/0.80 = 0.25$이다.
2. $X = 0.50$일 때 $X/(1-X) = 0.50/0.50 = 1$이다.
3. $X/(1-X)$가 시간에 비례하므로
$\frac{t_{50}}{20\text{min}} = \frac{1}{0.25} = 4$
이고, 따라서 $t_{50} = 80\text{min}$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 20min은 전화율 20%에 도달하는 시간이다. 틀린 값 20분 → 올바르게는 80분이다.
② X — 40min이면 $X/(1-X) = 0.50$이므로 $X = 1/3$, 즉 약 33.3%이다. 틀린 값 40분 → 올바르게는 80분이다.
③ X — 60min이면 $X/(1-X) = 0.75$이므로 $X = 3/7$, 즉 약 42.9%이다. 틀린 값 60분 → 올바르게는 80분이다.
④ O — 계산 결과 전화율 50%에 도달하는 시간은 80min이다.

오답 포인트

전화율이 20%에서 50%로 2.5배가 되었으므로 시간도 2.5배라고 보는 것이 함정이다. 2차 반응에서는 X가 아니라 $X/(1-X)$가 시간에 비례하며, 이 값은 0.25에서 1로 4배가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

정용 회분식 2차 반응에서는 먼저 각 전화율을 $X/(1-X)$로 바꾼 뒤, 두 값의 비로 시간의 비를 구한다.

암기 포인트

정용 회분식 2차 반응은 $X/(1-X) = kC_{A0}t$이다.

NoteBase

문 20. 내경이 10 cm인 원형 파이프 내부로 유체가 층류로 흐를 때, 원형 파이프 중심에서의 유속이 10 m/s라고 하면 파이프 벽면으로부터 1 cm 떨어진 지점에서 유체의 유속(m/s)은?

① 2.2

② 2.6

③ 2.8

④ 3.6

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 원형 관의 완전 발달 층류에서 포물선형 속도 분포를 이용해 벽면에서 일정 거리 떨어진 지점의 유속을 구하는 문제이다.

조건 정리

관의 내경은 $10cm$이므로 반지름은 $R = 5cm$이다.
관 중심의 유속은 최대 유속 $u_{max} = 10m/s$이다.
벽면에서 $1cm$ 떨어진 지점은 중심에서 $r = 5 - 1 = 4cm$ 떨어진 지점이다.

사용할 공식

원형 관의 완전 발달 층류 속도 분포는
$u(r) = u_{max}\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$
이다. 층류에서는 관 벽면의 유속이 0이고 중심의 유속이 최대인 포물선형 분포가 형성되므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

벽면 기준 거리 $1cm$를 중심 기준 거리로 바꾸면 $r = 4cm$이다.
이를 속도 분포식에 대입하면
$u = 10\left[1 - \left(\frac{4}{5}\right)^2\right] = 10(1 - 0.64) = 3.6m/s$
이다.

선지 판단

① X — $2.2m/s$는 계산값 $3.6m/s$와 다르다. 올바른 유속은 $3.6m/s$이다.
② X — $2.6m/s$는 포물선형 속도 분포식에 $r/R = 4/5$를 대입한 결과와 다르다. 올바른 유속은 $3.6m/s$이다.
③ X — $2.8m/s$는 계산값 $3.6m/s$와 다르다. 올바른 유속은 $3.6m/s$이다.
④ O — 속도 분포식으로 계산한 유속이 $3.6m/s$이므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

문제의 '벽면으로부터 $1cm$'를 곧바로 $r = 1cm$로 대입하면 안 된다. 공식의 r는 관 중심으로부터의 거리이므로 $r = R - 1 = 4cm$로 바꾸어야 한다. 또한 속도비에는 거리비 r/R가 아니라 그 제곱 $(r/R)^2$이 들어간다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 내경을 반지름으로 바꾸고, 벽면 기준 거리를 중심 기준 거리 r로 환산한 뒤, 포물선형 속도 분포식에 대입하여 단위를 검산한다.

암기 포인트

원형 관 층류는 '중심에서 최대, 벽면에서 0'이며, 속도 분포는 $u/u_{max} = 1 - (r/R)^2$이다.

NoteBase