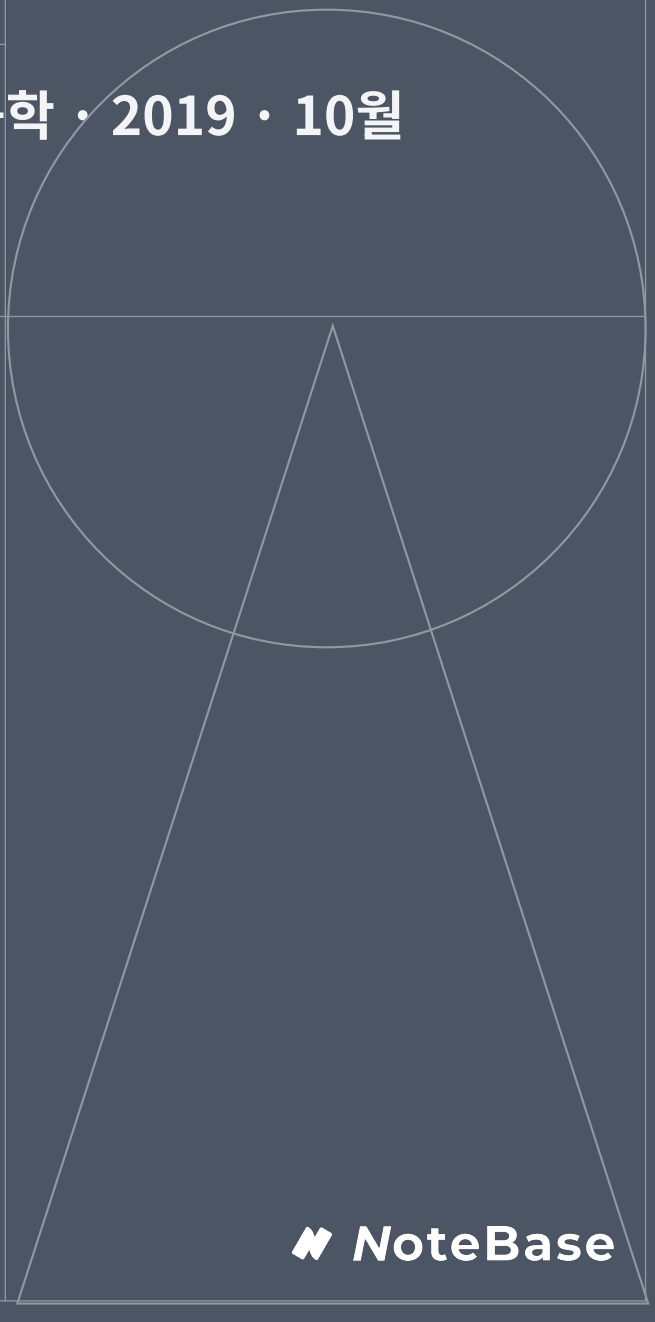
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2019 · 10월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2019 · 10월

공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2019 · 10월

문 1. <보기>의 반응에서, A의 생성속도 (r_A)가 $-2\text{mol/m}^3\cdot\text{s}$일 때, $(r_B)\times(r_R)$의 값은?

<보기>

$2A + B \rightarrow 4R + 3S$

① 6

② 2

③ -2

④ -4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 반응식의 양론계수로부터 성분별 생성속도 관계를 세우고 $r_B \times r_R$를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 반응식은 $2A + B \rightarrow 4R + 3S$이다.
주어진 값은 $r_A = -2\text{mol/m}^3\cdot\text{s}$이다.
구해야 할 값은 $r_B \times r_R$이다.
A와 B는 반응물이라 생성속도가 음수이고, R과 S는 생성물이라 생성속도가 양수이다.

사용할 공식

양론관계는 $-r_A/2 = -r_B/1 = r_R/4 = r_S/3$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 하나의 반응에서 각 성분의 생성속도는 반응식의 양론계수에 비례하기 때문이다.

계산 과정

먼저 $-r_A/2 = -(-2)/2 = 1$이다.
따라서 $-r_B = 1$이므로 $r_B = -1\text{mol/m}^3\cdot\text{s}$이다.
또한 $r_R/4 = 1$이므로 $r_R = 4\text{mol/m}^3\cdot\text{s}$이다.
따라서 $r_B \times r_R = (-1)\times 4 = -4$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 6은 옳지 않다. 올바르게는 $r_B = -1$, $r_R = 4$이므로 곱은 -4이다.
2번 X: 2는 옳지 않다. A의 속도값만 보고 다른 성분의 양론계수를 반영하지 않으면 이런 값에 끌릴 수 있으나, 올바르게는 양론관계로 r_B와 r_R를 각각 구해야 한다.
3번 X: -2는 옳지 않다. 부호만 맞추고 $r_R = 4$를 반영하지 않으면 이런 값이 나오지만, 올바르게는 $(-1) \times 4 = -4$이다.
4번 O: $-r_A/2 = 1$에서 $r_B = -1$, $r_R = 4$를 구하면 곱이 -4가 되므로 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 $r_A = -2$의 부호와 양론계수 2, 4를 동시에 처리해야 한다는 점이다. 반응물의 생성속도는 음수, 생성물의 생성속도는 양수라는 부호 규칙을 놓치거나, A의 계수 2만 보고 계산을 멈추면 2번이나 3번 같은 오답에 걸리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응속도 계산형은 먼저 $-r_i/\nu_i$ 형태의 공통비를 세운 뒤, 반응물과 생성물의 부호를 나누어 각 성분 속도를 복원하면 된다. 마지막에는 구한 값들을 다시 곱하거나 비교하면서 부호까지 검산한다.

암기 포인트

단일 반응의 성분별 생성속도는 -r_반응물/계수=r_생성물/계수로 연결된다.

NoteBase

문 2. 실제 반응기의 비이상 흐름 특성을 분석하기 위하여 반드시 필요한 것이 아닌 것은?

① 반응기에서 유체의 체류시간 분포

② 흐르는 물질의 응집상태

③ 열역학적 평형상수

④ 용기 내 물질에서 혼합의 빠름 혹은 늦음

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 실제 반응기의 비이상 흐름 분석에 필요한 유동학적 정보와 반응 평형 계산에 필요한 열역학적 정보를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

비이상 흐름 특성은 실제 반응기에서 유체가 이상적인 PFR이나 CSTR처럼 움직이지 않고 체류시간 분포, 축방향 혼합, 순환, 정체영역 등의 영향을 받는 상태를 뜻한다.
체류시간 분포는 유체 요소들이 반응기 안에 머무는 시간이 어떻게 퍼져 있는지를 나타내는 핵심 지표이다.
열역학적 평형상수는 반응이 평형에 도달했을 때 조성을 결정하는 값으로, 유동의 비이상성 자체를 판별하는 지표는 아니다.

선지별 해설

1번 O: 반응기에서 유체의 체류시간 분포는 비이상 흐름 분석의 대표적인 출발점이다. 실제 반응기가 이상흐름에서 얼마나 벗어나는지는 RTD로 가장 직접적으로 파악한다.
2번 O: 흐르는 물질의 응집상태는 기상, 액상, 고상 슬러리처럼 유동 거동을 바꾸므로 비이상 흐름 해석에 관련된다. 상이 달라지면 혼합, 분산, 데드존의 양상도 달라질 수 있다.
3번 X: 틀린 부분은 '열역학적 평형상수'이다. 평형상수는 반응의 열역학적 평형 조성을 판단할 때 필요한 값이지, 반응기 내부의 비이상 흐름 특성을 분석하기 위해 반드시 필요한 값은 아니다. 올바르게는 체류시간 분포나 혼합 특성 같은 유동 정보가 필요하다.
4번 O: 용기 내 물질에서 혼합의 빠름 혹은 늦음은 비이상 흐름을 판단하는 중요한 요소이다. 혼합이 매우 빠른지, 느린지에 따라 완전혼합에 가까운지 또는 농도 구배가 큰지가 달라진다.

오답 포인트

비이상 흐름 분석과 반응 평형 해석을 같은 범주로 묶으면 3번에 흔들린다. 3번은 반응공학에서 자주 보는 용어라는 점을 이용해 익숙함으로 오답을 유도한 선지이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

문제가 유체가 어떻게 흐르고 섞이는가를 묻는지, 반응이 어디까지 진행되는가를 묻는지부터 구분한다. 흐름과 혼합의 문제이면 RTD, 혼합속도, 유동상태를 보고, 평형상수처럼 반응 평형을 정하는 값은 제외한다.

암기 포인트

비이상 흐름은 체류시간과 혼합의 문제이고, 평형상수는 반응 평형의 문제이다.

NoteBase

문 3. 혼합흐름 반응기(CSTR)의 부피는 100 L이고, 공급 반응물 중 A의 농도는 $C_{A0} = 1\text{mol/L}$, A의 몰공급속도는 $F_{A0} = 100\text{mol/min}$이다. 부피 변화율이 0이 아닌 경우 공간시간[min]은?

① 100 min

② 10 min

③ 1 min

④ 0.1 min

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 공간시간의 정의 $\tau = V/\nu_0$와 입구 체적유량 $\nu_0 = F_{A0}/C_{A0}$를 이용해 값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 반응기 부피 $V = 100L$, 공급물 중 A의 농도 $C_{A0} = 1mol/L$, A의 몰공급속도 $F_{A0} = 100mol/min$이다.
구해야 할 값은 공간시간 τ이다.
부피 변화율이 0이 아니어도 공간시간은 출구 조건이 아니라 입구 체적유량 ν_0를 기준으로 정의된다.

사용할 공식

$\nu_0 = \frac{F_{A0}}{C_{A0}}$
$\tau = \frac{V}{\nu_0}$
공간시간은 반응기 부피를 입구 체적유량으로 나눈 값이므로 먼저 몰유량과 농도로 입구 체적유량을 구해야 한다.

계산 과정

1. 입구 체적유량은 $\nu_0 = \frac{F_{A0}}{C_{A0}} = \frac{100mol/min}{1mol/L} = 100L/min$ 이다.
2. 따라서 공간시간은 $\tau = \frac{V}{\nu_0} = \frac{100L}{100L/min} = 1min$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $100min$은 공간시간 계산 결과와 맞지 않는다. 공간시간은 $100L$를 $100L/min$로 나눈 값이므로 1분이다. 틀린 표현은 "100 min"이고, 올바르게는 "1 min"이다.
② X: $10min$은 입구 체적유량을 $10L/min$으로 잘못 두었을 때 나오는 오답이다.
$F_{A0}/C_{A0} = 100/1 = 100L/min$이므로 틀린 표현은 "10 min"이고, 올바르게는 "1 min"이다.
③ O: 입구 체적유량이 $100L/min$이므로 공간시간은 $100/100 = 1min$이다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.
④ X: $0.1min$은 비를 거꾸로 두어 ν_0/V처럼 계산한 값에 해당한다. 이는 공간시간이 아니라 공간속도에 가까운 형태이다. 틀린 표현은 "0.1 min"이고, 올바르게는 "1 min"이다.

오답 포인트

부피 변화율이 0이 아니라고 해서 공간시간 정의가 바뀐다고 오해하기 쉽다. 이 문항은 체류시간과 공간시간을 혼동하거나, F_{A0}를 바로 체적유량처럼 쓰거나, V/ν_0와 ν_0/V를 뒤집는 실수를 노린 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

공간시간을 묻는 계산형 문항은 먼저 "부피를 무엇으로 나누는 값인가"를 확인한 뒤, 주어진 몰유량을 농도로 나누어 입구 체적유량으로 바꾸고 마지막에 단위가 분으로 정리되는지 검산하면 된다.

암기 포인트

공간시간은 $\tau = V/\nu_0$이고, ν_0는 입구 체적유량이라는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 4. 두 개의 플러그흐름 반응기(PFR)를 병렬로 연결하였다. 두 반응기의 크기는 $V_2 = 3V_1$이다. 두 흐름에서 동일한 전환율을 얻기 위하여 반응기 부피가 V_2인 지류로 흘러야 할 반응 공급물의 분율은?

① 1/3

② 1/2

③ 2/3

④ 3/4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 병렬 PFR에서 동일한 전환율을 얻을 때 각 지류의 유량이 반응기 부피에 비례한다는 설계식을 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 두 PFR이 병렬 연결되어 있고 $V_2 = 3V_1$이다.
구해야 할 값: 부피가 V_2인 지류로 보내야 할 반응 공급물의 분율이다.
주의할 조건: 두 지류에서 전환율이 동일해야 하므로 두 반응기에서 필요한 설계 적분값은 같다.

사용할 공식

PFR 설계식은 $V = F_{A0}\int_0^X \frac{dX}{-r_A}$이다.
이 문제에서는 두 지류의 목표 전환율 X가 같으므로 적분항이 동일하다. 따라서 각 지류의 공급 몰유량은 반응기 부피에 비례하여 $F_{A0,2}/F_{A0,1} = V_2/V_1$가 된다.

계산 과정

1. 동일한 전환율을 얻는 조건에서 $\int_0^X \frac{dX}{-r_A}$는 두 지류에서 같다.
2. 따라서 $\frac{F_{A0,2}}{F_{A0,1}} = \frac{V_2}{V_1} = 3$이므로 $F_{A0,2} = 3F_{A0,1}$이다.
3. 전체 공급물 기준으로 V_2 지류의 분율은 $\frac{F_{A0,2}}{F_{A0,1}+F_{A0,2}} = \frac{3}{1+3} = \frac{3}{4}$이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2019 · 10월

선지 판단

1번 X: 1/3은 큰 반응기로 가는 분율이 아니라 작은 반응기 유량을 기준으로 뒤집어 생각한 값이다. 틀린 표현은 '분율이 1/3이다'이며, 올바르게는 '부피가 V_2인 지류의 분율은 3/4이다'이다.
2번 X: 1/2는 두 지류를 같은 유량으로 나눌 때의 값인데, 반응기 부피가 1 : 3으로 다르므로 동일 전환율 조건을 만족하지 못한다. 틀린 표현은 '분율이 1/2이다'이며, 올바르게는 '유량도 부피비와 같은 1 : 3으로 나뉘어야 한다'이다.
3번 X: 2/3은 부피비 3 : 1을 전체 분율로 바꾸는 과정에서 분모를 4가 아니라 3으로 잘못 둔 값이다. 틀린 표현은 '분율이 2/3이다'이며, 올바르게는 '전체 분율은 3/(1 + 3) = 3/4이다'이다.
4번 O: 큰 반응기 지류의 유량은 작은 반응기 지류의 3배여야 하므로 전체 공급물 중 해당 지류의 분율은 3/4이다.

오답 포인트

병렬 반응기에서는 동일 전환율 조건을 '유량이 같다'로 착각하면 오답이 된다. 이 문항의 함정은 반응기 부피비 1 : 3을 바로 분율로 읽지 못하고 역수 1/3 또는 균등분배 1/2로 처리하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

병렬 PFR에서 각 지류의 전환율이 같다는 문구가 나오면 먼저 PFR 설계식에서 같은 전환율에 해당하는 적분항이 공통이라는 점을 확인한다. 그다음 유량비가 부피비와 같다고 두고 전체 분율로 환산한다.

암기 포인트

병렬 PFR에서 동일 전환율이면 유량비 = 부피비이다.

NoteBase

문 5. 액상 비가역 2차반응 $2A \rightarrow 2R$을 회분식 반응기(Batch reactor)에서 진행하였다. 반응물 A가 전환율 25%에 도달하는 데 걸리는 시간이 1시간일 때, 전환율 75%에 도달하는 데 필요한 시간은?

① 3시간

② 6시간

③ 9시간

④ 12시간

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 액상 회분식 2차반응의 적분식 $t = \frac{1}{kC_{A0}}\frac{X}{1-X}$를 이용해 전환율 변화에 따른 반응시간을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 액상 비가역 2차반응, $2A \rightarrow 2R$, 전환율 $X = 0.25$에 도달하는 시간 1시간이다.
구해야 할 값: 전환율 $X = 0.75$에 도달하는 시간이다.
주의할 조건: 액상 회분반응기이므로 체적이 일정하다고 보고, 2차반응의 시간은 전환율에 선형 비례하지 않는다.

사용할 공식

2차 액상 회분반응의 적분식은 다음과 같다.
$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2, \quad t = \frac{1}{kC_{A0}}\frac{X}{1-X}$
이 공식을 쓰는 이유는 액상 회분식 반응기에서 $-r_A = kC_A^2$인 2차반응이므로 농도-시간 관계를 전환율 형태로 적분해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. $X = 0.25$일 때 1시간이므로
$1 = \frac{1}{kC_{A0}}\frac{0.25}{0.75} = \frac{1}{kC_{A0}} \cdot \frac{1}{3}$
따라서 $\frac{1}{kC_{A0}} = 3$시간이다.
2. $X = 0.75$를 대입하면
t=(1)/(kC_A0)(0.75)/(0.25)=3× 3=9시간
3. 계산 결과 필요한 시간은 9시간이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 3시간은 계산값과 다르다. $X = 0.75$에서는 $\frac{X}{1-X} = \frac{0.75}{0.25} = 3$이므로 시간이 9시간이 되어야 한다. 틀린 표현은 '3시간'이며 올바르게는 '9시간'이다.
② X: 6시간은 2차반응 적분식을 만족하지 않는다. 2차반응 시간은 전환율 자체에 비례하는 것이 아니라 $\frac{X}{1-X}$에 비례하므로 6시간이 될 수 없다. 틀린 표현은 '6시간'이며 올바르게는 '9시간'이다.
③ O: $t = 3 \times \frac{0.75}{0.25} = 9$시간으로 계산과 정확히 일치한다.
④ X: 12시간은 $\frac{X}{1-X}$ 비를 과대평가한 값이다. $X = 0.75$에서의 시간은 12시간이 아니라 9시간이다. 틀린 표현은 '12시간'이며 올바르게는 '9시간'이다.

오답 포인트

전환율이 25%에서 75%로 3배가 되었으니 시간도 단순히 3배 또는 더 크게 늘어난다고 생각하면 오답이 된다. 2차 액상 회분반응은 $t \propto \frac{X}{1-X}$ 관계를 써야 하므로, 전환율과 시간을 선형으로 연결하면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

액상 회분 2차반응이 보이면 먼저 $t = \frac{1}{kC_{A0}}\frac{X}{1-X}$를 떠올리고, 주어진 한 점으로 $\frac{1}{kC_{A0}}$를 구한 뒤 목표 전환율을 다시 대입해 판단한다.

암기 포인트

액상 회분 2차반응은 시간과 전환율의 관계가 $t \propto \frac{X}{1-X}$이다.

NoteBase

문 6. A → B인 액상 기초반응이 10 L 혼합흐름 반응기(CSTR)에서 진행된다. 반응기로 공급되는 A의 농도가 1.0 mol/L일 때, 출구에서의 A의 농도가 0.2 mol/L로 측정되었다. 동일한 반응조건으로 직렬 연결된 두 개의 2.5 L 혼합흐름 반응기(CSTR)에서 같은 반응을 진행할 때, 두 번째 반응기 출구에서의 A의 농도[mol/L]는?

① 0.2 mol/L

② 0.25 mol/L

③ 0.5 mol/L

④ 0.75 mol/L

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 1차 액상 기초반응의 CSTR 설계식을 이용해 같은 반응조건에서 직렬 CSTR의 최종 출구 농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 단일 10 L CSTR에서의 입구 농도 1.0 mol/L와 출구 농도 0.2 mol/L이다.
같은 반응조건이므로 반응속도상수 k와 유량 ν는 동일하다.
구해야 할 값은 2.5 L CSTR 두 개를 직렬 연결했을 때 두 번째 반응기 출구 농도이다.

사용할 공식

1차반응 CSTR 설계식은 $\tau = \frac{V}{\nu} = \frac{C_{A,in} - C_{A,out}}{kC_{A,out}}$이다.
같은 식을 정리하면 각 CSTR에서 $C_{A,out} = \frac{C_{A,in}}{1 + k\tau}$가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제의 반응이 액상 기초반응 $A \rightarrow B$이므로 1차반응으로 보고, 혼합흐름반응기에서는 출구 농도로 속도를 평가하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

먼저 10 L CSTR에서
$\tau_{10} = \frac{1.0 - 0.2}{k \cdot 0.2} = \frac{0.8}{0.2k} = \frac{4}{k}$
이다.
따라서 유량은
$\nu = \frac{V}{\tau_{10}} = \frac{10}{4/k} = 2.5k$
이다.
이제 2.5 L CSTR 하나의 체류시간은
$\tau_{2.5} = \frac{2.5}{\nu} = \frac{2.5}{2.5k} = \frac{1}{k}$
이므로 $k\tau_{2.5} = 1$이다.
첫 번째 반응기 출구는
$C_{A1} = \frac{1.0}{1+1} = 0.50\ \text{mol/L}$
이다.
두 번째 반응기 출구는 첫 번째 출구를 입구로 넣어
$C_{A2} = \frac{0.50}{1+1} = 0.25\ \text{mol/L}$
이 된다.

선지별 해설

① X
0.2 mol/L는 10 L 단일 CSTR의 출구 농도이다. 두 개의 2.5 L CSTR 직렬계의 두 번째 출구 농도로는 틀리며, 올바르게는 0.25 mol/L이다.

② O
각 2.5 L CSTR에서 $k\tau = 1$이므로 농도는 반응기 하나를 지날 때마다 $\frac{1}{1+k\tau} = \frac{1}{2}$배가 된다. 따라서 $1.0 \to 0.50 \to 0.25$가 되어 0.25 mol/L가 맞다.

③ X
0.5 mol/L는 첫 번째 2.5 L CSTR 출구 농도이다. 두 번째 반응기까지 지난 최종 출구 농도로는 틀리며, 올바르게는 0.25 mol/L이다.

④ X
0.75 mol/L는 직렬 CSTR에서의 반응 진행을 반영하지 못한 값이다. 2.5 L 반응기 하나만 지나도 출구가 0.50 mol/L이므로, 두 번째 반응기 출구가 0.75 mol/L일 수는 없다. 올바르게는 0.25 mol/L이다.

NoteBase

오답 포인트

10 L 단일 CSTR의 결과 0.2 mol/L를 그대로 옮기거나, 첫 번째 2.5 L CSTR의 출구 0.5 mol/L를 최종 출구로 착각하기 쉽다.
직렬 CSTR은 각 반응기 출구 농도를 다음 반응기의 입구 농도로 다시 넣어 순차 계산해야 한다.
또한 총부피가 5 L이므로 최종 농도는 10 L 단일 CSTR의 0.2 mol/L보다 커야 하고, 두 번째 반응기 출구이므로 첫 번째 출구 0.5 mol/L보다는 작아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

1차 CSTR 직렬 문제는 먼저 주어진 반응기 자료로 k 또는 $k\tau$를 구한 다음, 각 반응기에서 $C_{A,\,out} = \frac{C_{A,\,in}}{1 + k\tau}$를 순서대로 적용해 판단한다.
계산 뒤에는 최종값이 기존 기준값들 사이에서 물리적으로 타당한지 함께 검산한다.

암기 포인트

1차 CSTR은 $C_{A,\,out} = \frac{C_{A,\,in}}{1 + k\tau}$이고, 직렬 연결이면 출구 농도를 다음 반응기 입구 농도로 이어서 계산한다.

NoteBase

문 7. 액상 비가역 2차반응 $2A \rightarrow 2R$을 10m 길이의 플러그 흐름 반응기(PFR)에서 진행한다. 반응기 최종 출구에서의 전환율이 75%이면, 반응기 내 5m 지점에서의 전환율[%]은?

① 37.5%

② 40%

③ 50%

④ 60%

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 액상 등밀도 2차반응이 플러그흐름반응기에서 진행될 때 적분형 설계식을 이용해 반응기 중간 지점의 전환율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 반응기 길이 $L = 10m$, 출구 전환율 $X_{10} = 0.75$이다.
구해야 할 값은 반응기 내 $5m$ 지점의 전환율 X_5이다.
주의할 조건은 액상 비가역 반응이므로 밀도가 일정하고, 따라서 반응기 길이에 비례하여 체적도 비례한다는 점이다.

사용할 공식

액상 등밀도 2차반응의 PFR 설계식은
$\frac{dX}{dV} = K(1-X)^2$
로 둘 수 있고, 이를 적분하면
$\int_0^X \frac{dX}{(1-X)^2} = KV$
이므로
$\frac{1}{1-X} - 1 = KV$
가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제 조건이 액상 등밀도 2차반응의 PFR이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 반응기 출구 $10m$에서 $X = 0.75$이므로
$\frac{1}{1-0.75} - 1 = 4 - 1 = 3 = KV_{10}$
이다.
2. $5m$ 지점은 전체 길이의 절반이므로 $V_5 = \frac{1}{2}V_{10}$이고, 따라서
$KV_5 = \frac{1}{2} \times 3 = 1.5$
이다.
3. $5m$ 지점에서
$\frac{1}{1-X_5} - 1 = 1.5$
이므로
$\frac{1}{1-X_5} = 2.5, \quad 1 - X_5 = 0.4, \quad X_5 = 0.6$
이다.
따라서 $5m$ 지점의 전환율은 60%이다.

선지별 해설

① X: 37.5%는 전체 전환율 75%를 길이 절반에서 단순히 반으로 나눈 선형 가정에 해당한다. 2차반응 PFR에서는 전환율이 길이에 선형 비례하지 않는다. 틀린 부분은 전환율을 37.5%로 본 점이며, 올바르게는 60%이다.
② X: 40%는 2차반응 적분식을 쓰지 않고 길이와 전환율을 단순 비례 또는 근사적으로 처리한 값이므로 식을 만족하지 않는다. 틀린 부분은 전환율을 40%로 본 점이며, 올바르게는 60%이다.
③ X: 50%는 $\frac{1}{1-X} - 1$ 식의 상수항 -1을 빠뜨리고 $\frac{1}{1-X}$만 길이에 비례한다고 본 경우 나올 수 있는 값이다. 틀린 부분은 전환율을 50%로 본 점이며, 올바르게는 60%이다.
④ O: $5m$ 지점에서 $\frac{1}{1-X_5} - 1 = 1.5$이므로 $X_5 = 0.60$이다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

길이가 절반이면 전환율도 절반이라는 선형 감각이 가장 큰 함정이다. 이 문항은 2차반응 PFR이므로 전환율 자체가 아니라 $\frac{1}{1-X} - 1$가 반응기 체적 또는 길이에 비례한다는 점을 잡아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

액상 등밀도 반응기 계산 문제는 먼저 반응 차수에 맞는 적분형 PFR 식을 세운 뒤, 출구 조건으로 상수를 정하고, 원하는 위치의 길이비를 대입해 푼다고 판단한다.

암기 포인트

액상 등밀도 2차반응 PFR은 $\frac{1}{1-X} - 1$가 길이와 비례한다고 기억해 두면 된다.

NoteBase

문 8. 혼합흐름 반응기(CSTR)에서 등온 1차 비가역 액상반응 ($A \rightarrow R$)이 진행되고 있다. 전환율이 90%일 때 <보기>의 조건에서 반응기의 부피[L]는?

<보기>
• 성분 A의 몰공급속도 $F_{A0} = 10\text{mol/h}$
• 성분 A의 초기 농도 $C_{A0} = 2\text{mol/L}$
• 반응속도상수 $k = 5\text{h}^{-1}$

① 4.5 L
② 9 L
③ 18 L
④ 36 L

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 등온 1차 비기역 액상반응이 일어나는 CSTR에서 설계식 $V = F_{A0}X/(-r_A)$와 $-r_A = kC_A$를 이용해 반응기 부피를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $F_{A0} = 10\text{mol/h}$, $C_{A0} = 2\text{mol/L}$, $k = 5\text{h}^{-1}$, $X = 0.9$이다.
초기 체적유량은 $v_0 = F_{A0}/C_{A0} = 10/2 = 5\text{L/h}$이다.
출구 농도는 액상 등밀도 조건이므로 $C_A = C_{A0}(1 - X) = 2 \times 0.1 = 0.2\text{mol/L}$이다.

사용할 공식

CSTR 설계식은 $V = \frac{F_{A0}X}{-r_A}$ 이고, 1차 반응 속도식은 $-r_A = kC_A$ 이다.
이 문제는 혼합흐름 반응기이므로 출구 조건에서의 반응속도를 사용해야 하며, 전환율이 주어졌으므로 먼저 출구 농도 C_A를 구한 뒤 $-r_A$를 계산해야 한다.

계산 과정

1. 출구 농도는 $C_A = 2(1 - 0.9) = 0.2\text{mol/L}$이다.
2. 출구 반응속도는 $-r_A = kC_A = 5 \times 0.2 = 1\text{mol/(L} \cdot \text{h)}$이다.
3. 따라서 반응기 부피는 $V = \frac{10 \times 0.9}{1} = 9\text{L}$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과는 9 L이므로 4.5 L는 맞지 않는다. 출구 농도를 반영한 CSTR 설계식을 적용하면 올바른 값은 9 L이다.
② O: $C_A = 0.2\text{mol/L}$, $-r_A = 1\text{mol/(L}\cdot\text{h)}$, $V = 10 \times 0.9/1 = 9\text{L}$이므로 맞는 선택지이다.
③ X: 18 L는 계산 결과보다 2배 크다. 올바르게는 출구 반응속도 $-r_A = 1\text{mol/(L}\cdot\text{h)}$를 써서 $V = 9\text{L}$로 계산된다.
④ X: 36 L는 계산 결과와 크게 다르다. 올바른 진술은 이 조건의 CSTR 부피가 9 L라는 것이다.

오답 포인트

CSTR은 반응기 내부가 완전히 혼합되어 있으므로 반응속도를 출구 농도 기준으로 잡아야 한다는 점이 핵심이다. C_{A0}를 그대로 대입하거나 PFR처럼 적분하려는 습관이 있으면 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

CSTR 계산형 문제는 먼저 $v_0 = F_{A0}/C_{A0}$와 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 출구 상태를 만든 뒤, 출구 반응속도 $-r_A$를 구해서 $V = F_{A0}X/(-r_A)$에 넣는 순서로 판단한다.

암기 포인트

CSTR은 출구농도 속도식, PFR은 적분식이라는 구분이 계산의 출발점이다.

NoteBase

문 9. $A + B \rightarrow C$**인 반응의 반응차수를 알기 위하여 두 가지 실험을 수행하여 <보기>와 같은 결과를 얻었다. 이 반응의 전체 반응차수는?**

<보기>
• 첫 번째 실험에서는 반응물 B를 과량으로 하여 $\ln\left(-\frac{dC_A}{dt}\right)$를 $\ln C_A$의 함수로 도시하였더니, 그래프에서 기울기가 1이었다.
• 두 번째 실험에서는 반응물 A를 과량으로 하여 $\ln\left(-\frac{dC_B}{dt}\right)$와 $\ln C_B$의 함수로 도시했더니, 그래프에서 기울기가 2이었다.

① 0차
② 1차
③ 2차
④ 3차

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 속도식 $r = kC_A^m C_B^n$에서 과량 조건을 이용한 의사반응차수 실험의 로그-로그 그래프 기울기로 각 성분 차수와 전체 반응차수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 반응은 $A + B \rightarrow C$이다.
- B를 과량으로 한 실험에서 $\ln(-dC_A/dt)$ 대 $\ln C_A$ 그래프의 기울기는 1이다.
- A를 과량으로 한 실험에서 $\ln(-dC_B/dt)$ 대 $\ln C_B$ 그래프의 기울기는 2이다.

구해야 할 값:
- 전체 반응차수 $m + n$이다.

주의할 조건:
- 화학양론식의 계수만 보고 반응차수를 정하는 문제가 아니고, 실험에서 얻은 기울기로 차수를 읽어야 한다.

사용할 공식

속도식을 $r = kC_A^m C_B^n$로 둔다.
B가 과량이면 C_B는 거의 일정하므로 $-dC_A/dt = k' C_A^m$가 되고, 따라서 $\ln(-dC_A/dt) = \ln k' + m\ln C_A$이다.
A가 과량이면 C_A는 거의 일정하므로 $-dC_B/dt = k'' C_B^n$가 되고, 따라서 $\ln(-dC_B/dt) = \ln k'' + n\ln C_B$이다.
이 공식을 쓰는 이유:
- 로그-로그 직선식에서 기울기가 각각 m, n이므로 실험 그래프 기울기만으로 각 반응차수를 바로 읽을 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 첫 번째 실험에서 B를 과량으로 두었으므로 그래프 기울기 1은 A에 대한 반응차수 $m = 1$을 뜻한다.
2. 두 번째 실험에서 A를 과량으로 두었으므로 그래프 기울기 2는 B에 대한 반응차수 $n = 2$를 뜻한다.
3. 전체 반응차수는 $m + n = 1 + 2 = 3$이다.

선지별 해설

① X
0차라면 전체 반응차수 $m + n$가 0이어야 한다. 실제 실험 결과는 $m = 1$, $n = 2$이므로 전체 반응차수는 3이다. 틀린 표현은 '0차'이고, 올바르게는 '3차'이다.

② X
1차라면 $m + n = 1$이어야 한다. 그런데 첫 번째 실험 기울기 1과 두 번째 실험 기울기 2를 합하면 3이 된다. 틀린 표현은 '1차'이고, 올바르게는 '3차'이다.

③ X
2차라면 $m + n = 2$이어야 한다. 실제로는 $1 + 2 = 3$이므로 2차가 아니다. 틀린 표현은 '2차'이고, 올바르게는 '3차'이다.

④ O
첫 번째 실험으로 A에 대한 차수는 1, 두 번째 실험으로 B에 대한 차수는 2이므로 전체 반응차수는 $1 + 2 = 3$이다. 따라서 4번이 맞다.

오답 포인트

화학반응식이 $A + B \rightarrow C$라는 이유만으로 2차라고 단정하기 쉽다. 그러나 반응차수는 실험으로 결정되며, 이 문제에서는 과량 조건에서 얻은 로그-로그 그래프의 기울기가 각 성분 차수라는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

과량 조건이 보이면 먼저 다른 반응물 농도를 상수로 묶어 의사속도식으로 바꾼다. 그다음 $\ln(-r)$ 대 $\ln C$ 그래프의 기울기를 해당 성분 차수로 읽고, 마지막에 각 차수를 합쳐 전체 반응차수를 판단한다.

암기 포인트

과량으로 둔 성분은 상수 취급, 로그-로그 그래프의 기울기는 남겨진 성분의 반응차수, 전체 반응차수는 각 차수의 합이다.

NoteBase

문 10. 강한 기공확산 저항(Strong pore diffusion resistance) 영역에서 촉매반응이 진행되고 있다. 두께가 2cm인 평판(flat plate)형 촉매의 Thiele 계수(Thiele modulus)는 40이다. 두께가 1cm인 촉매의 유효성 인자(Effectiveness factor)는? (단, 반응속도상수와 확산계수는 상수이다.)

① 0.025

② 0.05

③ 0.1

④ 0.2

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 강한 기공확산 저항의 평판 촉매에서 $\phi \propto L$ 관계와 $\eta = \tanh\phi/\phi \approx 1/\phi$ 근사를 이용해 유효성 인자를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 두께 2cm 평판 촉매의 Thiele 계수는 40이다.
구해야 할 값: 두께 1cm일 때의 유효성 인자이다.
주의할 조건: 반응속도상수와 확산계수가 일정하므로 ϕ는 촉매 두께에 비례하고, 강한 기공확산 저항에서는 평판 촉매의 $\eta = \tanh\phi/\phi \approx 1/\phi$이다.

사용할 공식

$\phi \propto L$
$\eta = \frac{\tanh\phi}{\phi} \approx \frac{1}{\phi} \quad (\phi \gg 1)$
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 반응속도상수와 확산계수가 상수라고 했으므로 Thiele 계수는 촉매의 특성길이 변화에만 비례한다. 또한 강한 기공확산 저항은 ϕ가 매우 큰 경우이므로 평판 촉매의 유효성 인자를 $1/\phi$로 근사할 수 있다.

계산 과정

1. 두께를 2cm에서 1cm로 줄이면 특성길이도 절반이 되므로 Thiele 계수도 절반이 된다.
2. 따라서 새로운 Thiele 계수는 $\phi_2 = 40 \times \frac{1}{2} = 20$이다.
3. 강한 기공확산 저항에서는 $\phi \gg 1$이므로 $\eta \approx 1/\phi$이다.
4. 따라서 $\eta \approx 1/20 = 0.05$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 0.025는 두께 변화 후의 ϕ를 20으로 바꾸지 않고 원래 값 40에 대해 1/40을 계산한 값이다. 틀린 값 0.025 → 올바르게는 0.05이다.
② O: 두께가 절반으로 줄면 ϕ도 절반인 20이 되고, 강한 확산 저항에서 $\eta \approx 1/\phi$이므로 $\eta = 0.05$가 된다.
③ X: 0.1은 계산 결과와 맞지 않는다. 두께 1cm에서의 유효성 인자는 $1/20 = 0.05$이므로, 틀린 값 0.1 → 올바르게는 0.05이다.
④ X: 0.2는 계산 결과와 맞지 않는다. 강한 기공확산 저항 조건을 적용하면 유효성 인자는 작은 값이 되어야 하며 계산값은 0.05이다. 틀린 값 0.2 → 올바르게는 0.05이다.

오답 포인트

두께가 절반이면 ϕ도 절반이 된다는 비례관계를 놓치기 쉽다. 또한 강한 기공확산 저항이라는 조건을 보고도 $\eta \approx 1/\phi$ 근사를 쓰지 않거나, 원래 $\phi = 40$을 그대로 대입하면 0.025 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

평판 촉매 계산은 먼저 새 두께로 ϕ를 비례 조정하고, 그다음 $\phi \gg 1$인지 확인한 뒤 강한 확산 저항 근사식 $\eta \approx 1/\phi$를 적용하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

강한 확산 저항의 평판 촉매는 $\eta \approx 1/\phi$이고, 두께가 반이면 ϕ도 반이다.

NoteBase

문 11. 플러그흐름 반응기(PFR)에서 $A \to R \to S$의 단분자형 비가역 연속 1차반응이 일어나며, 부피변화율 $\varepsilon = 0$, 속도상수는 $k_1 = 1$, $k_2/k_1 = 2$이다. A의 반응기 유입농도가 $C_{A0} = 1.0\text{mol/L}$인 경우, R의 최대 농도[mol/L]는?

① $C_{R,\max} = 0.25\text{mol/L}$

② $C_{R,\max} = 0.33\text{mol/L}$

③ $C_{R,\max} = 0.50\text{mol/L}$

④ $C_{R,\max} = 0.67\text{mol/L}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 플러그흐름 반응기에서 단분자형 연속 1차반응 $A \to R \to S$의 중간생성물 R의 최대 농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $C_{A0} = 1.0\text{mol/L}$, $k_1 = 1$, $k_2 = 2$, $\varepsilon = 0$이다.
구해야 할 값: R의 최대 농도 $C_{R,\max}$이다.
주의할 조건: PFR이고 부피변화가 없으므로 공간시간 τ에 대한 농도식이 회분식과 같은 형태로 정리된다.

사용할 공식

$C_A = C_{A0}e^{-k_1\tau}, \quad C_R = C_{A0}\frac{k_1}{k_2 - k_1}(e^{-k_1\tau} - e^{-k_2\tau})$
이 공식을 쓰는 이유: 연속 1차의 직렬반응 $A \to R \to S$에서 중간생성물 R은 생성항 k_1C_A와 소멸항 k_2C_R를 동시에 가지므로 위 식으로 표현된다.

계산 과정

1. $k_1 = 1$, $k_2 = 2$, $C_{A0} = 1$을 대입하면
$C_R = e^{-\tau} - e^{-2\tau}$
이 된다.
2. 최대값 조건은 $\frac{dC_R}{d\tau} = 0$이므로
$\frac{dC_R}{d\tau} = -e^{-\tau} + 2e^{-2\tau} = 0$
이다.
3. 이를 정리하면 $e^{-\tau} = 2e^{-2\tau}$, 즉 $e^{\tau} = 2$, $\tau = \ln 2$이다.
4. 최대 농도는
$C_{R,\max} = e^{-\ln 2} - e^{-2\ln 2} = \frac{1}{2} - \frac{1}{4} = \frac{1}{4} = 0.25\text{mol/L}$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① O. 계산 결과 $C_{R,\max} = 0.25\text{mol/L}$이므로 옳다.
② X. 최대 농도는 0.33 mol/L가 아니다. 최대점에서 $k_1 C_A = k_2 C_R$ 관계는 성립하지만, 그 시점에는 이미 S도 생성되어 있으므로 $C_A + C_R = 1$로 둘 수 없다. 0.33 mol/L는 S 생성을 무시했을 때 나오는 오답값이며, 올바르게는 $C_{R,\max} = 0.25\text{mol/L}$이다.
③ X. 최대 농도는 0.50 mol/L가 아니다. 최대조건에서 $e^{-\tau} = 1/2$가 나오더라도 $C_R = e^{-\tau}$가 아니라 $C_R = e^{-\tau} - e^{-2\tau}$로 계산해야 한다. 0.50 mol/L는 두 번째 소멸항 $e^{-2\tau}$를 빠뜨린 값이며, 올바르게는 0.25mol/L이다.
④ X. 최대 농도는 0.67 mol/L가 아니다. 이 값은 최대조건의 비를 거꾸로 두어 $C_R = 2C_A$처럼 처리한 오판에 가깝다. 실제 최대조건은 $k_1 C_A = k_2 C_R$이므로 $C_A = 2C_R$이고, 정확한 식으로 계산한 최대 농도는 0.25mol/L이다.

오답 포인트

중간생성물 최대농도 문제에서 가장 흔한 실수는 최대조건 $k_1 C_A = k_2 C_R$만 보고 S의 존재를 무시하거나, C_R 식의 소멸항 $e^{-k_2\tau}$를 빼먹는 점이다. 이 문제도 그 두 함정을 숫자 선택지로 배치한 형태이다.

다시 나오면 이렇게 판단

연속 직렬반응의 중간생성물 최대값 문제는 먼저 $C_R(\tau)$ 식을 쓰고, 다음에 $\frac{dC_R}{d\tau} = 0$ 또는 $k_1 C_A = k_2 C_R$ 최대조건을 적용한 뒤, 마지막에 원래 식에 다시 대입해 실제 농도를 구하는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

직렬 1차반응의 중간생성물 최대점은 생성속도와 소멸속도가 같아지는 지점이며, 최대조건을 구한 뒤에도 C_R 원식에 다시 대입해야 최종 농도가 나온다.

NoteBase

문 12. 순수한 기체 A를 이용하여 고체 촉매 표면에서 다음의 단계를 거치는 반응을 진행한다. A의 초기분압을 증가시킴에 따라, A의 초기 소모속도가 선형적으로 증가한다면 <보기>에서 속도결정단계는?

<보기>

• 단계 1: $A + S \rightleftharpoons A \cdot S$ (A의 흡착단계)

• 단계 2: $A \cdot S \rightleftharpoons B \cdot S$ (표면반응단계)

• 단계 3: $B \cdot S \rightleftharpoons B + S$ (B의 탈착단계)

① 단계 1

② 단계 2

③ 단계 3

④ 단계 2와 3

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 고체 촉매 표면반응 메커니즘에서 속도결정단계에 따라 초기속도의 P_A 의존성이 어떻게 달라지는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 단계는 흡착 $A + S \rightleftharpoons A \cdot S$, 표면반응 $A \cdot S \rightleftharpoons B \cdot S$, 탈착 $B \cdot S \rightleftharpoons B + S$이다.
관찰 사실은 A의 초기분압을 높이면 A의 초기 소모속도가 선형적으로 증가한다는 점이다.
따라서 초기속도식이 $r_{A0} \propto P_A$ 꼴로 직접 나타나야 한다.

사용할 공식

속도결정단계가 전체 속도를 지배하고, 나머지 빠른 단계는 평형 또는 준평형으로 처리한다.
1단계가 느리면 $r_{A0} = k_1 P_A \theta_S$가 되고 초기 빈 활성점 비율 θ_S를 거의 일정하게 볼 수 있어 $r_{A0} \propto P_A$가 된다.
2단계가 느리면 $r_{A0} = k_2 \theta_A$, $\theta_A = \frac{K_A P_A}{1 + K_A P_A}$이므로 $r_{A0} = k_2 \frac{K_A P_A}{1 + K_A P_A}$가 된다.
3단계가 느리면 $r_{A0} = k_3 \theta_B$, $\theta_B = \frac{K_A K_2 P_A}{1 + K_A P_A + K_A K_2 P_A}$이므로 역시 분모가 있는 포화형이 된다.

계산 과정

1. 선형 증가라는 말은 초기속도가 P_A에 정비례한다는 뜻이다.
2. 1단계가 속도결정단계이면 $r_{A0} = k_1 P_A \theta_S \approx k_1 P_A$이므로 정비례가 성립한다.
3. 2단계 또는 3단계가 속도결정단계이면 흡착평형이 먼저 들어가서 속도식에 $1 + K_A P_A$ 형태의 분모가 생기므로 압력이 커질수록 포화 경향이 나타난다.
4. 따라서 관찰된 선형 관계와 일치하는 것은 1단계뿐이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- 1단계 흡착이 가장 느리면 A의 소모속도는 바로 흡착속도에 의해 정해진다.
- 이때 $r_{A0} = k_1 P_A \theta_S$이고 초기에는 빈 활성점이 충분하므로 P_A에 대해 선형 증가가 된다.

② X
- 틀린 부분은 '단계 2가 속도결정단계'라는 판단이다.
- 실제로는 단계 2가 느리면 $r_{A0} = k_2 \frac{K_A P_A}{1 + K_A P_A}$가 되어 단순 선형이 아니라 포화형 증가를 보인다.
- 올바르게는 단계 2 지배이면 저압에서는 거의 선형처럼 보여도 전체적으로는 흡착항 분모가 생긴다.

③ X
- 틀린 부분은 '단계 3이 속도결정단계'라는 판단이다.
- 실제로는 단계 3이 느리면 $B \cdot S$ 피복률로 속도가 정해져 $r_{A0} = k_3 \frac{K_A K_2 P_A}{1 + K_A P_A + K_A K_2 P_A}$ 꼴이 된다.
- 올바르게는 단계 3 지배도 압력이 커질수록 포화 경향이 나타나므로 순수한 선형 증가와 맞지 않는다.

④ X
- 틀린 부분은 '단계 2와 3이 함께 속도결정단계'라는 판단이다.
- 실제로 이 문항의 관찰 결과는 하나의 지배 단계가 만드는 속도식 형태로 구분하는 문제이고, 2단계와 3단계 모두 흡착평형이 들어가면 선형 정비례식이 나오지 않는다.
- 올바르게는 선형 정비례를 만족하는 1단계 흡착 지배로 판단한다.

오답 포인트

저압 영역에서는 $\frac{K_A P_A}{1 + K_A P_A} \approx K_A P_A$가 되어 2단계나 3단계도 잠시 선형처럼 보일 수 있다는 점이 함정이다. 하지만 문항은 분압 증가에 따른 전체 초기 경향을 묻고 있으므로, 분모 없이 바로 P_A에 정비례하는 흡착 지배를 골라야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

촉매 반응 메커니즘에서 분압 변화와 속도결정단계를 연결할 때는 먼저 각 후보 단계의 속도식을 쓴다. 그다음 흡착평형을 대입했을 때 분모 $1 + KP$가 생기면 포화형, 분모 없이 $r \propto P$가 남으면 흡착 지배로 판단한다.

암기 포인트

분압에 그대로 정비례하면 흡착 지배이고, $1 + KP$ 분모가 생기면 표면반응 또는 탈착 지배일 가능성이 크다.

NoteBase

문 13. 유체 반응물로 둘러싸인 다공성 촉매입자의 유체-고체 반응의 속도결정단계에 영향을 미치는 입자크기가 동일 전환율에 도달하는 시간 (t)과 입자크기 (R)와의 관계를 나타낸 것 중 '화학반응 지배'를 나타낸 것은?

① $t \propto R^{1.5 \sim 2.0}$

② $t \propto R^{2.0}$

③ $t \propto R^{1.0}$

④ $t \propto R^{0.5}$

정답 3번

출제 포인트

유체-고체 반응에서 동일 전환율 도달시간 t의 입자크기 R 의존성을 보고 속도결정단계가 화학반응 지배인지 구분하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 동일 전환율에 도달하는 시간 t와 입자크기 R의 비례관계이다.
구해야 할 값은 화학반응 지배일 때의 지수 n이다.
주의할 조건은 전환율을 같게 둔 상태에서 입자크기 효과만 비교한다는 점이다.

사용할 공식

판별식은 $t \propto R^n$이다.
화학반응 지배에서는 $n = 1$, 확산 저항이 커질수록 n이 2에 가까워진다.
이 공식을 쓰는 이유는 속도결정단계에 따라 입자크기가 시간척도에 반영되는 방식이 달라지기 때문이다.

계산 과정

1. 보기마다 $t \propto R^n$의 지수 n을 읽는다.
2. 유체-고체 반응에서 화학반응 지배의 대표적 크기 의존성은 $t \propto R$임을 대응시킨다.
3. 따라서 지수 $n = 1.0$인 보기를 고르면 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $t \propto R^{1.5 \sim 2.0}$은 화학반응 자체보다 입자 내부 확산 저항의 영향이 커질 때 나타나는 범위이다.
- 틀린 표현은 지수 1.5 ~ 2.0을 화학반응 지배로 본 점이다. 올바르게는 내부 확산 영향이 큰 경우의 관계로 본다.

② X
- $t \propto R^{2.0}$은 확산 지배 쪽의 전형적 스케일링이다.
- 틀린 표현은 지수 2.0이다. 화학반응 지배라면 올바르게는 $t \propto R^{1.0}$이다.

③ O
- 화학반응 지배에서는 시간척도가 입자크기 R에 1차로 비례하므로 동일 전환율 도달시간은 $t \propto R^{1.0}$이다.
- 따라서 ③이 화학반응 지배를 나타낸다.

④ X
- $t \propto R^{0.5}$는 화학반응 지배보다 크기 의존성이 지나치게 약해서 이 경우의 판별식과 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 지수 0.5이다. 올바르게는 지수 1.0이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 확산 지배와 화학반응 지배의 지수를 뒤바꾸는 데 있다. R^2 또는 $R^{1.5 \sim 2.0}$는 확산 저항이 커질수록 나타나는 관계인데, 이를 화학반응 지배와 혼동하면 ① 또는 ②로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

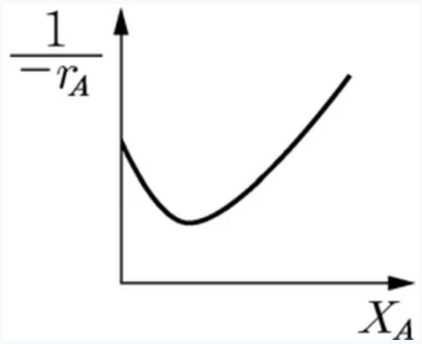
유체-고체 반응에서 t-R 관계를 묻는 문항은 먼저 지배 단계를 확인한 뒤 화학반응 지배는 1, 확산 지배는 2에 가깝다는 기준으로 판별한다. 중간값 1.5 ~ 2.0은 내부 확산 영향이 큰 경우로 본다.

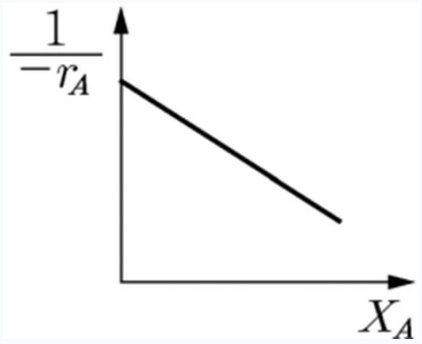
암기 포인트

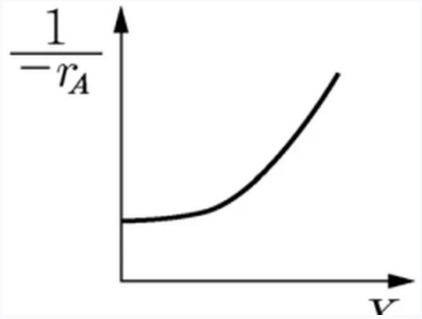
화학반응 지배는 $t \propto R$, 확산 지배는 $t \propto R^2$로 기억해 둔다.

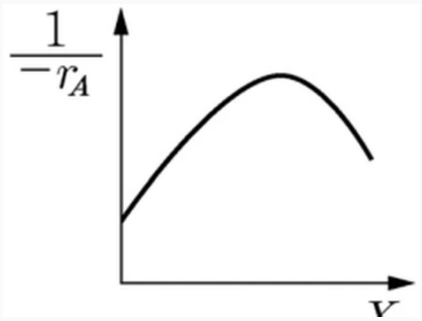
NoteBase

문 14. 반응물 A와 미량의 R를 반응물로 진행하는 $A + R \rightarrow R + R$인 자동촉매반응(autocatalytic reaction)에서 A의 전환율(X_A)과 반응속도($-r_A$)와의 관계에 대한 그래프로 가장 옳은 것은?

① 

② 

③ 

④ 

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 자동촉매반응 $A + R \rightarrow 2R$에서 R이 생성되면서 초기에 속도가 빨라지고, 후반에는 A가 고갈되면서 다시 속도가 느려진다는 점을 그래프로 판단하는 문제이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2019 · 10월

선지별 해설

① O

- 자동촉매반응에서는 $-r_A = kC_AC_R$이다. 전환율 X_A를 쓰면 $C_A = C_{A0}(1 - X_A)$, $C_R = C_{R0} + C_{A0}X_A$이므로 $-r_A = kC_{A0}^2(1 - X_A)(M + X_A)$, $M = C_{R0}/C_{A0} \ll 1$이다.
- 처음에는 R이 미량이라 속도가 작아 $1/(-r_A)$가 비교적 크고, 반응이 진행되면 R이 늘어 속도가 커져 $1/(-r_A)$가 감소한다. 이후에는 A가 줄어 속도가 다시 작아지므로 $1/(-r_A)$가 증가한다. 따라서 중간에 최소값을 갖는 U자형 그래프가 맞다.

② X

- 이 그래프는 $1/(-r_A)$가 전환율이 커질수록 계속 감소한다는 뜻이므로, $-r_A$가 끝까지 계속 증가한다는 해석이 된다.
- 틀린 표현은 '끝까지 감소한다'는 부분이다. 올바르게는 '초기에는 감소하지만, 높은 전환율에서는 A 고갈 때문에 다시 증가한다'이다.

③ X

- 이 그래프는 $1/(-r_A)$가 처음부터 계속 증가한다는 뜻이므로, $-r_A$가 처음부터 계속 감소한다는 해석이 된다.
- 틀린 표현은 '처음부터 계속 증가한다'는 부분이다. 올바르게는 '초기에는 생성물 R의 자동촉매 효과로 속도가 커지므로 $1/(-r_A)$가 먼저 감소한다'이다.

④ X

- 이 그래프는 $1/(-r_A)$가 먼저 증가했다가 다시 감소하는 형태이므로, $-r_A$는 먼저 감소했다가 다시 증가하는 뜻이 된다.
- 틀린 표현은 '처음에 증가한다'는 부분이다. 올바르게는 '처음에는 R 축적으로 속도가 증가하므로 $1/(-r_A)$는 감소하고, 후반에만 다시 증가한다'이다.

오답 포인트

자동촉매반응이라는 말만 보고 속도가 계속 증가한다고 보면 ②로 흐르기 쉽다. 반대로 반응물 농도 감소만 보면 ③으로 흐르기 쉽다. 이 문항은 '생성물 증가 효과'와 '반응물 고갈 효과'가 서로 다른 구간에서 지배적이라는 점을 함께 봐야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

자동촉매반응에서 속도식에 반응물 농도와 생성물 농도가 함께 곱해지면, 초반에는 생성물 축적으로 속도가 증가하고 후반에는 반응물 고갈로 속도가 감소한다. 따라서 $-r_A$는 봉우리형, $1/(-r_A)$는 U자형으로 판단된다.

NoteBase

암기 포인트

자동촉매반응 $A + R \rightarrow 2R$에서는 '초반 가속, 후반 감속'이므로 $-r_A$는 최대값을 가지고 $1/(-r_A)$는 최소값을 가진다.

NoteBase

문 15. $A \rightarrow B$**인 기상 발열반응이 단열 혼합흐름 반응기(CSTR)에서 진행된다. 500K의 순수한 A가 반응기로 공급되어 전환율 50%를 얻었다면 반응기 온도[K]는? (단, A와 B의 열용량은** $20\text{cal/mol} \cdot \text{K}$**으로 동일하고, 500K에서 반응열** ΔH_r°**는** -2000cal/mol**이며, 교반기에 의한 일은 무시할 수 있다.)**

① 800K

② 650K

③ 600K

④ 550K

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 단열 CSTR의 정상상태 에너지수지를 이용해 전환율 50%일 때의 반응기 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 공급온도 500K, 전환율 0.5, $\Delta H_r = -2000 cal/mol$, $C_{p,A} = C_{p,B} = 20 cal/(mol \cdot K)$
- 구해야 할 값: 반응기 온도 T
- 주의할 조건: 단열이므로 반응열이 모두 온도 상승으로 바뀌고, $A \rightarrow B$에서 $C_{p,A} = C_{p,B}$이므로 반응 전후 평균 열용량을 20으로 둘 수 있다.

사용할 공식

$T = T_0 + \frac{(-\Delta H_r)X}{C_p}$

이 공식은 단열 반응기에서 방출된 반응열이 유출물의 현열 증가로 그대로 전환될 때 쓰는 에너지수지식이다.

계산 과정

1. 전환율 50%이므로 1 mol의 A를 기준으로 반응한 양은 $X = 0.5 mol/mol$이다.
2. 방출되는 열량은 $(-\Delta H_r)X = 2000 \times 0.5 = 1000 cal/mol$이다.
3. 온도 상승은 $\Delta T = 1000/20 = 50K$이다.
4. 따라서 반응기 온도는 $T = 500 + 50 = 550K$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- 800K라는 판단은 계산 결과와 맞지 않는다. 올바르게는 반응기 온도가 550K이다.
- 800K는 전환율 50% 조건을 반영하지 않거나 단열 에너지수지를 잘못 적용해 온도 상승을 과대평가한 값이다.

② X

- 650K라는 판단은 계산 결과보다 100K 높다. 올바르게는 550K이다.
- 650K는 방출열을 1000cal/mol이 아니라 3000cal/mol처럼 잘못 보거나 분모 열용량을 잘못 처리한 경우에 가까운 오답이다.

③ X

- 600K라는 판단도 틀리다. 올바르게는 550K이다.
- 600K는 전환율 50%를 빠뜨리고 $(-\Delta H_r) = 2000 cal/mol$ 전체를 그대로 써서 $\Delta T = 100K$로 계산할 때 나오는 대표적 오답이다.

④ O

- 단열이므로 반응열이 전부 유출물의 온도 상승으로 바뀐다.
- $\Delta T = \frac{2000 \times 0.5}{20} = 50K$이므로 반응기 온도는 550K가 된다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 발열반응이라는 말만 보고 $(-\Delta H_r)$ 전체를 그대로 넣어 전환율 50%를 누락하는 데 있다. 또한 $C_{p,A} = C_{p,B}$라는 조건을 놓치면 출구 조성 변화 때문에 열용량을 다시 복잡하게 잡아야 한다고 오해하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

단열 반응기 계산형 문제는 먼저 반응한 몰수 X를 반응열에 곱해 실제 발생열을 구하고, 그다음 이를 유체의 총 열용량으로 나누어 ΔT를 계산하는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

단열 발열반응은 반응열만큼 온도가 오른다. 전환율이 절반이면 온도 상승도 반응열 기준 절반만 반영된다.

NoteBase

문 16. 수용액에서 <보기>의 효소(enzyme, E)와 기질(substrate, S)이 포함된 반응이 보기와 같이 진행되며, 이 반응에 대한 반응속도식을 $-r_s = \frac{V_{\max}(S)}{K_M + (S)}$와 같이 미카엘리스-멘텐식(Michaelis-Menten)으로 나타낼 수 있다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, W는 물, P는 생성물, $E \cdot S$는 효소-기질 복합체, (S)는 기질(반응물)의 농도, K_M은 미카엘리스 상수를 나타낸다.)

<보기>

- $E + S \rightarrow E \cdot S$
- $E \cdot S \rightarrow E + S$
- $E \cdot S + W \rightarrow P + E$

① K_M은 반응속도가 최대속도일 때의 기질의 농도이다.

② K_M은 단일 시스템에서 기질에 대한 효소의 인력을 나타낸다.

③ K_M은 $\frac{k_3(W) + k_2}{k_1}$로 나타낼 수 있다.

④ $k_3(W)$은 전환수(turnover number)를 나타낸다.

정답 1번

출제 포인트

미카엘리스-멘텐식에서 K_M과 k_{cat}의 의미를 정확히 구분하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

K_M은 효소반응 속도가 최대일 때의 기질농도가 아니라 반응속도가 최대속도의 절반이 되는 기질농도이다.
단일 기질 효소반응에서는 K_M이 작을수록 효소와 기질의 친화도가 큰 경향을 나타낸다.
이 반응에서는 물 W의 농도를 일정하게 보면 생성 단계의 유효 속도상수는 $k_3(W)$가 되고, 이는 k_{cat} 즉 전환수에 해당한다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2019 · 10월

선지별 해설

① X

틀린 부분은 '반응속도가 최대속도일 때'이다.

미카엘리스-멘텐식에서 K_M은 $-r_s = V_{max}/2$가 되는 순간의 기질농도이다. 최대속도일 때의 기질농도가 아니다.

② O

단일 기질 효소반응에서는 K_M을 효소의 기질 친화도를 나타내는 지표로 해석할 수 있다. 일반적으로 K_M이 작을수록 기질에 대한 친화도가 크다.

③ O

정상상태 가정에서 $E \cdot S$의 생성속도와 소멸속도를 같게 두면 $K_M = \frac{k_2 + k_3(W)}{k_1}$로 정리된다. 물의 농도가 일정하므로 $k_3(W)$는 유효 1차 속도상수처럼 취급된다.

④ O

$E \cdot S + W \rightarrow P + E$ 단계의 유효 속도상수 $k_3(W)$는 k_{cat}에 해당한다. 따라서 효소 1몰이 단위시간에 처리하는 기질 몰수를 뜻하는 전환수로 볼 수 있다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 K_M을 '최대속도에서의 농도'로 외우는 착각이다. 실제 시험에서는 '최대속도'와 '최대속도의 절반'을 바꿔 적어 오답을 유도하는 경우가 많다.

다시 나오면 이렇게 판단

미카엘리스-멘텐 문제에서 K_M이 나오면 먼저 '속도가 $V_{max}/2$일 때의 기질농도'를 떠올리면 된다. 그다음 생성단계 속도상수가 무엇인지 보고 그것이 k_{cat}인지 판단하면 선지를 빠르게 정리할 수 있다.

암기 포인트

K_M은 반최대속도 농도, k_{cat}은 생성단계 전환수이다.

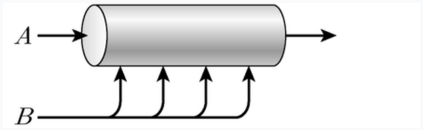
NoteBase

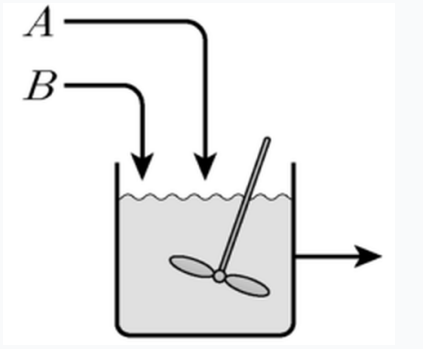
문 17. <보기>의 병렬 반응에서 생성물 R을 보다 선택적으로 생성하기 위한 반응기 형태로 가장 적합한 것은?

<보기>

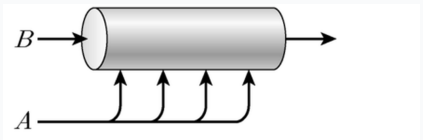
$A + B \rightarrow R, \frac{dC_R}{dt} = k_1 C_A^2 C_B$

$A + B \rightarrow S, \frac{dC_S}{dt} = k_2 C_A C_B^2$

① 

② 

③ 

④ 

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 도식에서 반응물 공급 방식을 보고 병렬반응의 순간 선택도 $r_R/r_S = (k_1/k_2)(C_A/C_B)$가 커지도록 C_A는 높게, C_B는 낮게 유지하는 반응기를 고르는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: $A + B \rightarrow R$의 속도는 $k_1 C_A^2 C_B$, $A + B \rightarrow S$의 속도는 $k_2 C_A C_B^2$이므로 순간 선택도는 $r_R/r_S = (k_1/k_2)(C_A/C_B)$이다. 따라서 C_A를 크게 하고 C_B를 작게 유지할수록 R 생성이 유리하다. 1번은 A를 입구에서 계속 높게 유지하고 B를 관형반응기 길이 방향으로 분할 주입하므로 C_B가 한꺼번에 커지지 않아 R 선택도가 가장 커진다.
② X: 연속교반탱크반응기(CSTR)는 유입 즉시 완전혼합되므로 탱크 전체가 출구 농도와 같은 조성을 가진다. 그래서 C_A는 높고 C_B는 낮은 상태를 반응기 전 구간에서 유지하기 어렵다. 틀린 표현은 'R을 가장 선택적으로 만든다'는 판단이며, 올바르게는 '완전혼합 때문에 1번처럼 유리한 C_A/C_B 비를 유지하기 어려워 R 선택도에 불리하다'이다.
③ X: 관형반응기 자체는 유리할 수 있으나 A와 B를 입구에서 함께 넣으면 입구에서 두 농도가 동시에 커진다. 이 경우 B를 분할 주입하는 1번보다 C_B를 낮게 제어하기 어렵다. 틀린 표현은 '단순 공주입 PFR이 가장 적합하다'는 판단이며, 올바르게는 'R 선택도를 더 높이려면 B를 길이 방향으로 나누어 넣는 1번이 더 적합하다'이다.
④ X: 4번은 1번과 반대로 B를 입구에서 높게 유지하고 A를 분할 주입하는 형태이다. 그런데 $r_R/r_S \propto C_A/C_B$이므로 이렇게 하면 C_A/C_B가 작아져 오히려 S 생성이 상대적으로 유리해진다. 틀린 표현은 'R 선택도에 가장 적합하다'는 판단이며, 올바르게는 'R을 원하면 B가 아니라 A를 주반응기 입구에 두고 B를 분할 주입해야 한다'이다.

오답 포인트

관형반응기라는 형식만 보고 ③을 고르기 쉽지만, 이 문제의 핵심은 PFR인지 CSTR인지보다 어느 반응물을 높게 유지하느냐이다. 또한 ④처럼 분할 주입 자체만 보고 고르면 안 되고, 원하는 생성물의 선택도가 C_A/C_B에 비례하는지 먼저 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

병렬반응 선택도 문제는 먼저 $r_{desired}/r_{undesired}$를 만들어 어떤 농도비가 유리한지 본다. 그다음 그 농도비를 반응기 내부에서 오래 유지하는 공급 방식인지 판단하면 된다. 이 문항에서는 C_A/C_B를 크게 유지해야 하므로 A를 주류로 두고 B를 분할 주입하는 형태가 정답이 된다.

암기 포인트

병렬반응에서 $r_R/r_S \propto C_A/C_B$이면 A 과잉, B 분할 주입이 R 선택도에 유리하다.

NoteBase

문 18. 혼합흐름 반응기(CSTR)에서 등온 1차 비가역 기상반응 $A \rightarrow 3R$이 진행되고 있다. 공급물이 50%의 A와 50%의 불활성물질로 구성되어 있고 전환율이 80%일 때 <보기>의 조건에서 반응속도상수 k $[h^{-1}]$는?

<보기>

- 혼합흐름 반응기의 부피 $V = 4L$
- 공급물의 유량 $v_0 = 2L/h$
- 성분 A의 초기 농도 $C_{A0} = 1mol/L$

① $3.6\ h^{-1}$

② $2\ h^{-1}$

③ $1.8\ h^{-1}$

④ $0.4\ h^{-1}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 기상 CSTR에서 반응으로 인한 총 몰수 증가를 반영하여 k를 구하는 계산형 문항이다.

조건 정리

주어진 값은 $V = 4L$, $v_0 = 2L/h$, $C_{A0} = 1mol/L$, 공급물의 A 몰분율 $y_{A0} = 0.5$, 전환율 $X = 0.8$이다.
구해야 할 값은 1차 반응속도상수 k이다.
주의할 조건은 반응식이 $A \rightarrow 3R$인 기상반응이므로 반응 후 총 몰수가 증가하여 출구 부피유량이 증가한다는 점이다.

사용할 공식

먼저 $F_{A0} = v_0 C_{A0}$이다.
기상반응의 팽창계수는 $\Delta\nu = 3 - 1 = 2$, $\varepsilon = y_{A0}\Delta\nu = 0.5 \times 2 = 1$이다.
따라서 출구 농도는 $C_A = C_{A0}\frac{1-X}{1+\varepsilon X}$이다.
CSTR 설계식은 $F_{A0}X = (-r_A)V = kC_AV$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 등온 1차 기상 CSTR에서는 반응속도 $-r_A = kC_A$이고, 기체 팽창 때문에 C_A를 출구 조건으로 다시 계산해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. $F_{A0} = v_0 C_{A0} = 2 \times 1 = 2mol/h$이다.
2. $\varepsilon = 1$이므로 $C_A = 1 \times \frac{1-0.8}{1+1\times 0.8} = \frac{0.2}{1.8} = 0.1111mol/L$이다.
3. $k = \frac{F_{A0}X}{VC_A} = \frac{2\times 0.8}{4\times 0.1111} = 3.6h^{-1}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과가 $k = 3.6h^{-1}$이므로 옳다.
② X: 이 값은 액상반응처럼 부피유량이 일정하다고 보고 $\tau = V/v_0 = 2h$, $k = \frac{X}{\tau(1-X)}$로 처리할 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 기상 팽창을 무시한 점이다. 올바르게는 $A \rightarrow 3R$로 총 몰수가 증가하므로 C_A를 $\frac{1-X}{1+\varepsilon X}$로 다시 계산해야 한다.
③ X: 이 값은 출구 농도 C_A를 실제보다 크게 잡아 k를 작게 계산한 경우에 해당한다. 틀린 표현은 팽창계수 계산을 정확히 하지 않은 점이다. 올바르게는 $\Delta\nu = +2$, $y_{A0} = 0.5$이므로 $\varepsilon = 1$이다.
④ X: 이 값은 $k\tau = X$ 같은 단순 비례식이나 배치반응기식으로 오해할 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 CSTR 설계식을 쓰지 않은 점이다. 올바르게는 $F_{A0}X = kC_AV$로 계산해야 한다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 공급물에 불활성물질이 50% 섞여 있다는 조건과 기상반응의 몰수 증가를 동시에 놓치는 점이다. 이 문항에서는 $y_{A0} = 0.5$를 넣어 $\varepsilon = 1$을 만든 뒤 출구 농도 C_A를 다시 구해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

기상 CSTR 계산형은 조건 정리 → Δν, 계산 → 출구농도 계산 → CSTR 설계식 대입 순서로 판단하면 된다. 반응 전후 총 몰수가 달라지면 $v = v_0$로 두지 않는다는 점이 핵심이다.

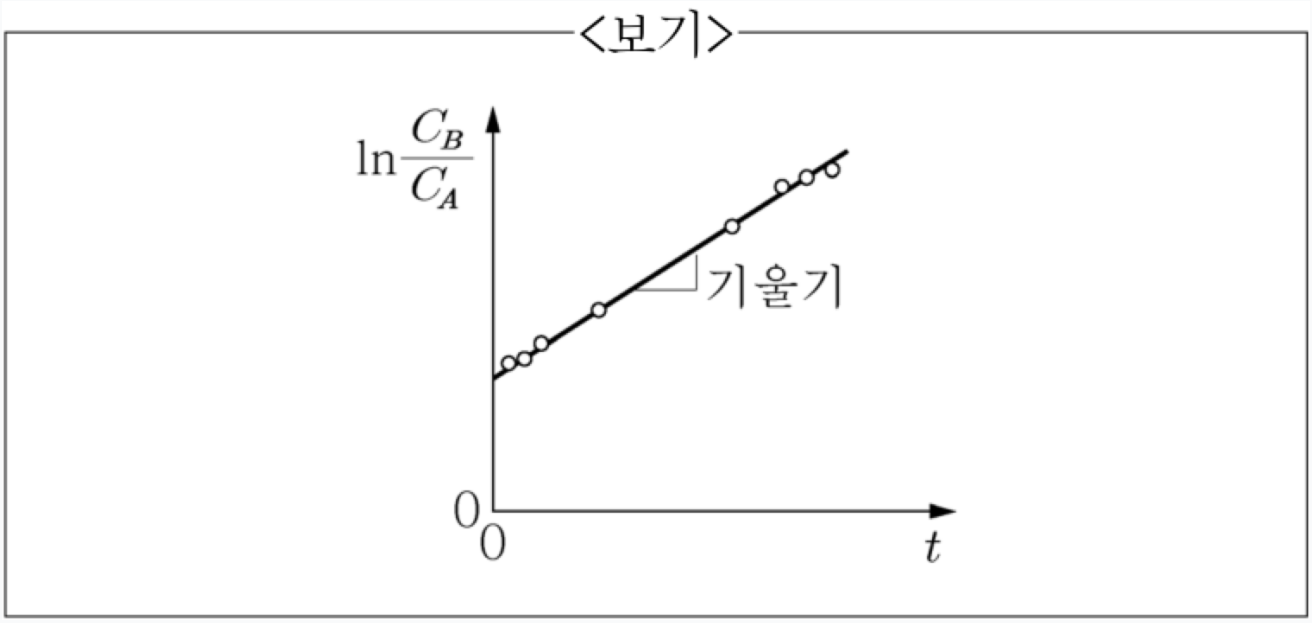
암기 포인트

기상 CSTR에서 $A \rightarrow 3R$, $y_{A0} = 0.5$이면 $\varepsilon = 1$이고 $C_A = C_{A0}\frac{1-X}{1+X}$가 된다.

NoteBase

문 19. 액상 비가역 2차반응 $A + B \rightarrow R$을 회분식 반응기(Batch reactor)에서 진행하면서 반응시간에 따른 반응물 A와 B의 농도 변화를 관찰한 결과, 두 반응물의 농도 비 C_B/C_A와 반응시간 t 사이의 관계가 <보기>와 같았다. 기울기에 대해 가장 옳게 표현한 것은? (단, 반응 전 A와 B의 농도는 각각 $C_{A0} = 2\text{mol/L}$, $C_{B0} = 4\text{mol/L}$이며, k는 반응속도상수이다.)

<보기>



① $0.5k$

② k

③ $2k$

④ $4k$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 회분식 비가역 $A + B \rightarrow R$ 반응에서 초기농도가 다른 경우의 적분식으로 $\ln\left(\frac{C_B}{C_A}\right)$ 대 t 그래프의 기울기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $C_{A0} = 2\text{mol/L}$, $C_{B0} = 4\text{mol/L}$, 속도식 $r = kC_AC_B$이다.
회분식이고 화학양론이 $A : B = 1 : 1$이므로 반응 중에도 $C_B - C_A = C_{B0} - C_{A0} = 2$가 유지된다.
구해야 할 값은 $\ln\left(\frac{C_B}{C_A}\right)$를 t에 대해 그렸을 때의 기울기이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2019 · 10월

사용할 공식

초기농도가 다른 2차반응 $A + B \rightarrow R$의 적분식은
$\frac{1}{C_{B0} - C_{A0}} \ln\left(\frac{C_B C_{A0}}{C_A C_{B0}}\right) = kt$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 속도식이 kC_AC_B이고, 회분식에서 $C_B - C_A$가 일정하여 서로 다른 초기농도를 가진 두 반응물의 적분형으로 바로 정리할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. $C_{B0} - C_{A0} = 4 - 2 = 2$이다.
2. 적분식에 대입하면
$\frac{1}{2}\ln\left(\frac{2C_B}{4C_A}\right) = kt$
이다.
3. 정리하면
$\ln\left(\frac{C_B}{2C_A}\right) = 2kt$
이고,
$\ln\left(\frac{C_B}{C_A}\right) = 2kt + \ln 2$
가 된다.
4. 따라서 $\ln\left(\frac{C_B}{C_A}\right)$ 대 t 직선의 기울기는 $2k$이다.

선지별 해설

① X: 기울기는 $0.5k$가 아니라 $2k$이다. 적분식의 $\frac{1}{C_{B0} - C_{A0}}$를 잘못 뒤집으면 이런 값이 나온다.
② X: 기울기는 k가 아니라 $2k$이다. 초기농도 차 $C_{B0} - C_{A0} = 2$를 반영하지 않으면 k로 오판하기 쉽다.
③ O: $\ln\left(\frac{C_B}{C_A}\right) = 2kt + \ln 2$이므로 t에 대한 기울기는 $2k$이다.
④ X: 기울기는 $4k$가 아니라 $2k$이다. $C_{B0} = 4$만 따로 끌어와 계수처럼 취급한 값일 뿐, 실제 기울기는 초기농도 차 2에 의해 결정된다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 초기농도 자체 2, 4를 그대로 기울기 계수로 착각하는 데 있다. 필요한 값은 각 초기농도 크기가 아니라 차이 $C_{B0} - C_{A0} = 2$이며, $\ln\left(\frac{C_B}{C_A}\right)$만 바로 쓰지 말고 적분식의 상수항 $\ln 2$까지 함께 정리해야 기울기와 절편이 분리된다.

다시 나오면 이렇게 판단

회분식 $A + B \rightarrow R$에서 두 반응물의 화학양론 계수가 같고 초기농도가 다르면 먼저 C_B-C_A=상수를 잡는다. 그다음 서로 다른 초기농도용 적분식을 써서 $y = mt + b$ 꼴로 정리하면 기울기 m을 바로 읽을 수 있다.

NoteBase

암기 포인트

초기농도가 다른 $A + B$ 회분반응은 $\ln\left(\frac{C_B C_{A0}}{C_A C_{B0}}\right) = (C_{B0} - C_{A0})kt$로 정리되고, 기울기는 초기농도 차에 비례한다.

NoteBase

문 20. $A \rightleftharpoons B$**인 기상 기초반응을 순수한** A**를 이용하여 회분식 반응기(Batch reactor)에서 진행하였다. 400K에서 평형전환율 50%, 800K에서 평형전환율 80%를 얻었다. 이 반응의 반응한** A**의 반응열은? (단,** R**은 기체상수이며,** A**와** B**의 열용량은 동일하며, 반응열은 반응온도와 무관하다.)**

① $400R \times \ln 0.25$

② $400R \times \ln 4$

③ $800R \times \ln 0.25$

④ $800R \times \ln 4$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평형전환율로 평형상수 K를 구한 뒤 van't Hoff 식으로 반응열을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 400 K에서 평형전환율 $X_e = 0.5$
- 800 K에서 평형전환율 $X_e = 0.8$
- 기상 기초반응 $A \rightleftharpoons B$
- 순수한 A를 투입하며 $A \rightarrow B$는 1:1 반응이다

구해야 할 값:
- 반응한 A의 반응열 ΔH_R

주의할 조건:
- 1:1 기초반응이므로 총 몰수 변화가 없어 $K = \frac{C_B}{C_A} = \frac{X_e}{1 - X_e}$로 바로 쓸 수 있다

사용할 공식

평형상수는 $K = \frac{X_e}{1 - X_e}$이다.
van't Hoff 식은
$\ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right) = \frac{\Delta H_R}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$
이다.
이 공식을 쓰는 이유:
서로 다른 두 온도에서의 평형전환율이 주어졌으므로 각 온도에서의 평형상수 K를 구할 수 있고, 그 비를 van't Hoff 식에 대입하면 반응열을 직접 계산할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 400 K에서
$K_1 = \frac{0.5}{1-0.5} = 1$
2. 800 K에서
$K_2 = \frac{0.8}{1-0.8} = 4$
3. van't Hoff 식에 대입하면
$\ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right) = \ln 4 = \frac{\Delta H_R}{R}\left(\frac{1}{400} - \frac{1}{800}\right)$
이므로
$\ln 4 = \frac{\Delta H_R}{R} \cdot \frac{1}{800}$
따라서
$\Delta H_R = 800R\ln 4$
이다.

선지별 해설

① X: $400R \times \ln 0.25$는 계수와 부호가 모두 틀렸다. 틀린 표현은 '400'과 'ln0.25'이다. 올바르게는 $\frac{K_2}{K_1} = 4$이므로 로그항은 $\ln 4$이고, $\frac{1}{400} - \frac{1}{800} = \frac{1}{800}$이므로 계수는 $800R$이다.
② X: $400R \times \ln 4$는 로그항은 맞지만 계수가 틀렸다. 틀린 표현은 '400R'이다. 올바르게는 역온도차가 $\frac{1}{800}$이므로 $\Delta H_R = 800R\ln 4$가 된다.
③ X: $800R \times \ln 0.25$는 계수는 맞지만 로그항의 방향이 틀렸다. 틀린 표현은 'ln0.25'이다. 올바르게는 $K_2/K_1 = 4/1 = 4$이므로 $\ln 4$를 써야 한다.
④ O: 400 K와 800 K의 평형전환율로부터 $K_1 = 1$, $K_2 = 4$가 되고, van't Hoff 식에 대입하면 $\Delta H_R = 800R\ln 4$가 된다.

오답 포인트

평형전환율이 커졌다는 사실만 보고 흡열반응이라는 방향성은 맞게 잡아도, K_2/K_1 대신 K_1/K_2를 써서 $\ln 0.25$를 넣거나 역온도차 $\left(\frac{1}{400} - \frac{1}{800}\right)$를 $\frac{1}{400}$로 잘못 계산하는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역 1:1 기상반응의 평형전환율 문제가 나오면 먼저 $K = \frac{X_e}{1-X_e}$로 각 온도의 K를 구하고, 그다음 $\ln(K_2/K_1)$의 순서와 $\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$의 역온도차를 정확히 계산해 반응열을 판단한다.

암기 포인트

1:1 가역반응은 $K = \frac{X_e}{1-X_e}$, 온도 두 점이 주어지면 van't Hoff 식으로 ΔH_R를 연결한다.

NoteBase