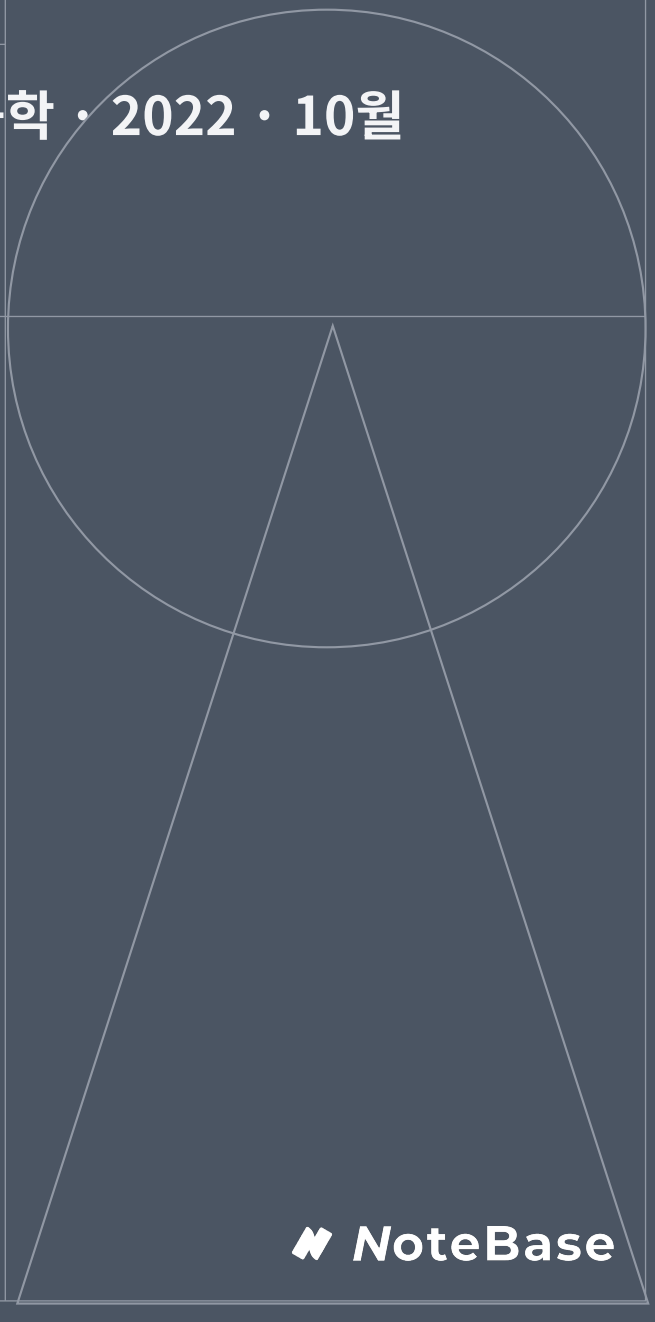
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2022 · 10월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2022 · 10월

공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2022 · 10월

문 1. 일정한 부피 V_0의 회분식 반응기에서 2차 비가역 액상 반응 $2A \rightarrow 2P,\ -r_A = k_R C_A^2$을 진행한다. 특정 반응조건(반응물 초기농도 C_{A0} 및 반응온도 T_0)에서 50%의 전환율을 얻는 데 30분의 시간이 걸렸다면, 동일한 반응조건에서 90%의 전환율을 얻기 위한 반응시간[분]은?

① 54

② 108

③ 270

④ 540

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 일정부피 회분식 반응기에서 2차 비가역 액상반응의 적분속도식을 전환율 형태로 바꾸어 반응시간을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 반응식: $2A \rightarrow 2P$
- 속도식: $-r_A = k_R C_A^2$
- 반응기: 일정한 부피 V_0의 회분식 반응기
- 50% 전환율 도달 시간: 30분

구해야 할 값:
- 동일 조건에서 90% 전환율 도달 시간

주의할 조건:
- 액상 일정부피이므로 $C_A = C_{A0}(1 - X)$를 그대로 쓸 수 있다.
- 반응식의 계수 2는 전환율 적분식에서 반응시간을 두 배로 만드는 항이 아니다.

NoteBase

사용할 공식

2차 비가역 액상반응의 일정부피 회분식 적분식은 $t = \frac{1}{k_R}\left(\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}}\right) = \frac{X}{k_R C_{A0}(1-X)}$이다.
이 공식을 쓰는 이유:
- 속도식이 $-r_A = k_R C_A^2$인 2차 반응이고, 일정부피 회분식이므로 농도를 전환율로 바로 치환할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. $X = 0.5$일 때
$30 = \frac{0.5}{k_R C_{A0}(1-0.5)} = \frac{1}{k_R C_{A0}}$
따라서 $\frac{1}{k_R C_{A0}} = 30$이다.
2. $X = 0.9$일 때
$t_{0.9} = \frac{0.9}{k_R C_{A0}(1-0.9)} = \frac{9}{k_R C_{A0}}$
3. 위 결과를 대입하면
t_0.9 = 9 × 30 = 270 분
따라서 90% 전환율을 얻는 데 필요한 시간은 270분이다.

선지별 해설

① X
- 54분은 30분에 전환율 비율 0.9/0.5만 곱한 값이다.
- 2차 반응의 시간은 $t \propto X/(1-X)$로 증가하므로 전환율에 선형 비례하지 않는다.
- 틀린 표현은 '90% 전환율까지 54분'이며, 올바르게는 '90% 전환율까지 270분'이다.
② X
- 108분은 적분속도식을 쓰지 않고 선형 비례 오답 54분에 반응식 계수 2를 임의로 반영할 때 나오는 대표적인 오산값이다.
- 일정부피 2차 회분식 반응에서는 $t = X/[k_R C_{A0}(1-X)]$를 그대로 써야 한다.
- 틀린 표현은 '90% 전환율까지 108분'이며, 올바르게는 '90% 전환율까지 270분'이다.
③ O
- $X = 0.9$이면 $t = 9/(k_R C_{A0})$이고, $1/(k_R C_{A0}) = 30$이므로 $t = 270$분이다.
- 50% 전환율 정보와 2차 반응 적분식이 정확히 일치한다.
④ X
- 540분은 정답 270분에 반응식 계수 2를 다시 곱할 때 나오는 대표적인 오산값이다.
- 반응식의 화학양론 계수 2는 이 적분식에서 반응시간을 두 배로 만들지 않는다.
- 틀린 표현은 '90% 전환율까지 540분'이며, 올바르게는 '90% 전환율까지 270분'이다.

NoteBase

오답 포인트

50%에서 90%로 갈 때 전환율이 1.8배이므로 시간도 1.8배라고 보면 틀린다. 2차 반응 회분식은 $X/(1-X)$ 항 때문에 고전환율 구간에서 시간이 급격히 커지며, 반응식의 계수 2를 시간식에 중복 반영하는 실수도 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

일정부피 회분식 계산형은 먼저 $C_A = C_{A0}(1-X)$로 전환율을 농도로 바꾸고, 속도식 차수에 맞는 적분식을 선택한 뒤, 주어진 한 점으로 $k_R C_{A0}$를 정리해서 목표 전환율에 다시 대입하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

일정부피 2차 회분식은 $t = X/[k_R C_{A0}(1-X)]$이므로 전환율이 1에 가까워질수록 시간이 급격히 증가한다.

NoteBase

문 2. 유사정상상태 가정, 즉 PSSH(Pseudo Steady State Hypothesis)를 위한 전제로 가장 옳은 것은?

① 반응중간체는 형성되고 오랫동안 존재한다.

② 반응기 내의 온도구배가 없다.

③ 반응속도의 공간 의존성이 없다.

④ 활성중간체 형성의 순 생성속도(net rate of formation)는 0에 가깝다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 유사정상상태 가정(PSSH)의 핵심이 반응중간체 농도 자체가 아니라 반응중간체의 순생성속도가 거의 0이라는 점을 묻는 문제이다.

핵심 개념

유사정상상태 가정은 활성중간체가 생성과 소모를 매우 빠르게 반복하여 농도가 크게 축적되지 않고 거의 일정하게 유지된다고 보는 가정이다.
핵심 판단축은 공간적으로 균일한가가 아니라 시간에 따른 중간체의 축적항이 무시될 정도로 작은가이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2022 · 10월

선지별 해설

① X
반응중간체는 형성되지만 오래 존재하는 종이 아니라 매우 반응성이 커서 빠르게 다음 단계로 소모되는 종이다.
틀린 표현은 "오랫동안 존재한다"이다. 올바르게는 "형성되지만 축적되지 않고 빠르게 소모된다"이다.

② X
반응기 내 온도구배가 없다는 조건은 열적 균일성이나 등온 가정에 가까운 조건이지 PSSH의 본질적 전제가 아니다.
틀린 표현은 "온도구배가 없다"를 PSSH의 전제로 본 부분이다. 올바르게는 "활성중간체의 순생성속도가 거의 0이다"이다.

③ X
반응속도의 공간 의존성 유무는 반응기 모델이나 혼합 상태의 문제이며, PSSH는 중간체의 시간적 축적항을 무시하는 가정이다.
틀린 표현은 "반응속도의 공간 의존성이 없다"이다. 올바르게는 "중간체 농도의 시간 변화가 매우 작다"이다.

④ O
PSSH에서는 활성중간체에 대해 생성속도와 소모속도가 거의 같아져 순 생성속도가 0에 가깝다고 본다.
따라서 활성중간체 형성의 순 생성속도(net rate of formation)가 0에 가깝다는 설명이 가장 정확하다.

오답 포인트

PSSH를 정상상태 반응기나 등온 반응기 조건과 혼동하면 ②나 ③으로 흐르기 쉽다. 이 문항은 반응기 전체의 공간적·열적 상태가 아니라 활성중간체 하나에 대한 물질수지의 축적항이 거의 0이라는 점을 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

PSSH가 나오면 먼저 대상이 반응기 전체인지 활성중간체인지 구분한다. 그다음 중간체에 대해 생성속도와 소모속도가 거의 같아 순생성속도가 0에 가깝다는 문장을 찾으면 된다.

암기 포인트

PSSH는 중간체가 오래 사는 가정이 아니라 중간체의 순축적이 거의 0인 가정이다.

NoteBase

문 3. 가역 액상 기초반응 $2A \rightleftharpoons B$가 일어나고 있다. A의 초기 몰농도가 5mol/L이고 평형 전환율이 50%일 때, 평형상수[L/mol]는?

① 0.2

② 0.3

③ 0.4

④ 0.5

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 가역 액상 기초반응 $2A \rightleftharpoons B$의 평형조성을 구한 뒤 평형상수 K_c를 계산하는 문제이다.

조건 정리

초기 농도는 $C_{A0} = 5\text{mol/L}$이다.
평형 전환율은 $X_e = 0.5$이다.
액상 반응이므로 부피 변화는 없다고 보고 농도를 그대로 몰수비로 계산할 수 있다.

사용할 공식

평형에서 $K_c = \frac{C_B}{C_A^2}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 반응식이 $2A \rightleftharpoons B$이므로 생성물 농도는 1제곱, 반응물 A의 농도는 화학양론계수 2만큼 제곱으로 들어가기 때문이다.

계산 과정

1. A의 평형농도는 $C_A = C_{A0}(1 - X_e) = 5(1 - 0.5) = 2.5\text{mol/L}$이다.
2. $2A \rightarrow B$이므로 A 2몰이 반응할 때 B 1몰이 생성된다. 따라서 B의 평형농도는 $C_B = \frac{C_{A0}X_e}{2} = \frac{5 \times 0.5}{2} = 1.25\text{mol/L}$이다.
3. 이를 대입하면 $K_c = \frac{C_B}{C_A^2} = \frac{1.25}{(2.5)^2} = \frac{1.25}{6.25} = 0.2\text{L/mol}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O : 계산 결과 평형상수는 0.2L/mol이므로 옳다.
② X : 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 "평형상수는 0.3L/mol이다"이고, 올바르게는 "평형상수는 0.2L/mol이다"이다. 이 값은 B 생성량이나 A의 제곱항을 부정확하게 처리하면 흔들릴 수 있다.
③ X : 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 "평형상수는 0.4L/mol이다"이고, 올바르게는 "평형상수는 0.2L/mol이다"이다. 이 값은 $2A \rightarrow B$의 화학양론을 무시하고 B 생성량을 2.5mol/L처럼 잘못 두면 나올 수 있다.
④ X : 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 "평형상수는 0.5L/mol이다"이고, 올바르게는 "평형상수는 0.2L/mol이다"이다. 이 값은 $K_c = \frac{C_B}{C_A}$처럼 A의 제곱을 빼먹을 때 나오는 대표적 오답이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 반응식 $2A \rightleftharpoons B$에서 B 생성량을 A 소비량과 같게 두는 경우와, 평형상수 식에서 C_A^2를 C_A로 잘못 쓰는 경우이다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역 반응 계산형은 반응식의 계수부터 확인하고, 전환율로 반응물 평형농도를 구한 다음, 화학양론으로 생성물 농도를 계산한 뒤 평형상수 식에 그대로 대입하면 된다.

암기 포인트

$2A \rightleftharpoons B$이면 $K_c = \frac{C_B}{C_A^2}$, B 생성량은 A 반응량의 절반이다.

NoteBase

문 4. 등온, 등압의 이상적 혼합흐름반응기(CSTR)를 이용하여 기상 1차 기초반응 $A_3(g) \rightarrow 3A(g)$를 수행하고자 한다. 순수한 기체 A_3가 반응기에 유입되며, 유입되는 A_3의 입구 부피유량은 10L/min, 반응기의 부피는 400L일 때 CSTR 출구에서 측정한 출구 전환율은 0.5였다. 같은 반응조건(온도, 압력, 입구 부피유량)에서 동일한 반응을 실시하여 출구 전환율을 0.8로 높이고자 한다. 이를 달성할 수 있는 이상적 CSTR의 부피[L]는?

① 1,680

② 1,920

③ 2,080

④ 2,400

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 등온·등압 기상 CSTR에서 총 몰수 변화가 있는 1차반응의 설계식으로 필요한 반응기 부피를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: $v_0 = 10L/min$, 기존 $V = 400L$, 기존 전환율 $X = 0.5$이다.
- 구해야 할 값: 같은 T, P, v_0에서 $X = 0.8$을 만드는 CSTR 부피이다.
- 주의할 조건: 반응은 $A_3(g) \rightarrow 3A(g)$이므로 총 몰수가 증가한다. 순수 A_3 유입, 등온·등압 이상기체 조건에서 출구 부피유량은 $v = v_0(1 + 2X)$가 된다.

사용할 공식

기초 1차반응이므로 $-r_{A_3} = kC_{A_3}$이다.
등온·등압 이상기체에서 $C_{A_3} = C_{A_3,0}\frac{1-X}{1+2X}$이다.
따라서 CSTR 설계식은
$V = \frac{F_{A_3,0}X}{-r_{A_3}} = \frac{v_0X(1+2X)}{k(1-X)}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 반응이 진행될수록 총 몰수가 증가하여 반응기 출구의 A_3 농도가 단순히 $(1-X)$만으로 줄지 않고 $(1+2X)$까지 함께 반영되어야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 기존 CSTR로부터 속도상수 k를 구한다.

$\tau = \frac{V}{v_0} = \frac{400}{10} = 40min$

또한

$40 = \frac{0.5(1+2\cdot 0.5)}{k(1-0.5)} = \frac{2}{k}$

이므로 $k = 0.05min^{-1}$이다.

2. 목표 전환율 $X = 0.8$에서 필요한 체류시간을 구한다.

$\tau = \frac{0.8(1+2\cdot 0.8)}{0.05(1-0.8)} = \frac{0.8\cdot 2.6}{0.01} = 208min$

3. 필요한 반응기 부피는

$V = v_0\tau = 10 \times 208 = 2080L$

이다.

선지 판단

① X: 1,680 L는 체류시간으로 환산하면 $168min$인데, 계산 결과 필요한 체류시간은 $208min$이다. 틀린 표현은 '1,680 L'이며, 올바르게는 '2,080 L'이다.

② X: 1,920 L는 체류시간 $192min$에 해당하므로 계산값보다 작다. 기체 팽창에 따른 $(1+2X)$ 항이나 산술을 과소평가한 값이다. 틀린 표현은 '1,920 L'이며, 올바르게는 '2,080 L'이다.

③ O: 계산 결과 필요한 부피가 $2,080L$이므로 정답이다. 기존 반응기에서 구한 $k = 0.05min^{-1}$를 같은 반응조건에 그대로 적용하면 정확히 일치한다.

④ X: 2,400 L는 체류시간 $240min$에 해당하여 계산값보다 크다. 목표 전환율을 높일 때 필요한 부피를 과대평가한 값이다. 틀린 표현은 '2,400 L'이며, 올바르게는 '2,080 L'이다.

오답 포인트

이 반응은 $A_3 \rightarrow 3A$로 총 몰수가 늘어나므로 $C_{A_3} = C_{A_3,0}(1-X)$로 두면 틀린다. 등온·등압 기상반응에서는 반드시 분모의 $(1+2X)$를 넣어 농도 감소를 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

기상 등온·등압 반응기 문제는 먼저 화학양론으로 총 몰수 변화량을 구하고, 다음에 $C_A = C_{A0}(1-X)/(1+\varepsilon X)$를 만든 뒤, 마지막에 CSTR 설계식 $V = F_{A0}X/(-r_A)$에 출구 조건을 넣어 계산한다.

암기 포인트

$A_3 \rightarrow 3A$처럼 1몰이 3몰이 되는 반응은 $\varepsilon = 2$이고, 등온·등압 기상 CSTR에서는 $V/v_0 = X(1+2X)/[k(1-X)]$가 된다.

NoteBase

문 5. 기상 2차 기초반응 $2A \rightarrow B + C$를 등온 등압 조건에서 부피가 V_0인 이상적인 혼합흐름반응기(CSTR)를 이용하여 수행한 결과 출구 전환율 2/3를 달성할 수 있었다. 전환율을 더욱 향상시키고자 유입되는 A의 몰유량을 F_{A0}로 유지하면서, CSTR의 하류에 상기 CSTR의 절반 부피 $V_0/2$의 이상적인 PFR을 직렬 연결하여 추가 설치하였다. 이 CSTR→PFR 직렬반응기에서 반응이 동일한 조건하에 등온 등압으로 실시되었을 때, 기대되는 최종 전환율의 이론값은?

① $\frac{5}{6}$
② $\frac{9}{10}$
③ $\frac{11}{12}$
④ $\frac{20}{21}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 기상 2차 기초반응 $2A \rightarrow B + C$에서 CSTR 결과를 이용해 뒤단 PFR의 추가 전환율을 적분식으로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 기존 CSTR 부피는 V_0이고, 이때 출구 전환율은 $X_1 = 2/3$이다.
구해야 할 값: CSTR 뒤에 $V_0/2$의 PFR를 직렬 연결했을 때의 최종 전환율 X_2이다.
주의할 조건: 등온 등압 기상반응이지만 $2A \rightarrow B + C$는 총 몰수 변화가 없어 체적유량이 일정하므로 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 둘 수 있다.

사용할 공식

CSTR 설계식은 $V = \frac{F_{A0}X}{-r_A}$ 이고, PFR 설계식은 $V = F_{A0}\int \frac{dX}{-r_A}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유: 앞단은 완전혼합반응기이므로 출구 조성으로 설계식을 세우고, 뒤단은 관형반응기이므로 전환율 구간 $2/3 \rightarrow X_2$를 적분해야 한다.

계산 과정

1. 기초반응이므로 $-r_A = kC_A^2 = kC_{A0}^2(1 - X)^2$이다.
2. 기존 CSTR에서 $V_0 = \frac{F_{A0}(2/3)}{kC_{A0}^2(1/3)^2} = \frac{6F_{A0}}{kC_{A0}^2}$ 이다.
3. 추가 PFR는 $V_0/2$이므로 $\frac{V_0}{2} = F_{A0}\int_{2/3}^{X_2} \frac{dX}{kC_{A0}^2(1-X)^2} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}^2}\left(\frac{1}{1-X_2} - 3\right)$ 이다.
4. $V_0/2 = 3F_{A0}/(kC_{A0}^2)$를 대입하면 $\frac{1}{1-X_2} - 3 = 3$ 이므로 $\frac{1}{1-X_2} = 6, \quad X_2 = \frac{5}{6}$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① O

- 계산 결과 최종 전환율은 5/6이므로 옳다.

② X

- 최종 전환율을 9/10으로 본 부분이 틀리다. PFR 구간은 출구점 하나로 계산하는 CSTR가 아니라 적분으로 누적 전환을 계산해야 하므로 올바르게는 5/6이다.

③ X

- 최종 전환율을 11/12로 본 부분이 틀리다. 이는 추가 PFR의 효과를 과대평가한 값이며, $V_0/2$만큼의 추가 체적으로는 X가 2/3에서 5/6까지만 증가한다.

④ X

- 최종 전환율을 20/21로 본 부분이 틀리다. 전환율이 1에 가까워질수록 $(1-X)^2$ 항 때문에 필요한 부피가 급격히 커지므로 $V_0/2$ 추가만으로는 20/21에 도달할 수 없다. 올바르게는 5/6이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 CSTR 식과 PFR 식을 같은 방식으로 취급하는 데 있다. 앞단 CSTR에서 구한 $X = 2/3$ 이후 구간은 반드시 적분으로 계산해야 하며, 출구 농도 한 점만으로 처리하면 전환율을 과대평가하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬반응기 문제는 각 반응기 구간을 분리해서 본다. CSTR는 출구농도로 대입하고, PFR는 해당 전환율 구간을 적분해서 계산하면 된다.

암기 포인트

총 몰수 변화가 없는 기상반응은 $C_A = C_{A0}(1-X)$이고, CSTR는 대입식, PFR는 적분식으로 푼다.

NoteBase

문 6. <보기>는 회분식 반응기를 이용하여 A 반응물의 시간에 따른 농도 변화를 측정한 것이다. 시간에 따른 농도 변화를 고려할 때, 이 반응의 차수는? (단, $\ln 2 = 0.7$로 가정한다.)

〈보기〉

시간(분)	0	10	20	30	40
농도(mol/L)	12.6	6.3	3.2	1.7	0.8

① 0차

② 0.5차

③ 1차

④ 2차

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 시간에 따른 농도 감소에서 반감기가 일정한지를 확인하여 반응 차수를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 시간 0, 10, 20, 30, 40분에서 농도는 각각 12.6, 6.3, 3.2, 1.7, 0.8 mol/L이다.
구해야 할 값: 반응 차수이다.
주의할 조건: 일정 시간마다 농도가 절반으로 줄어드는지 확인하면 1차 반응 여부를 빠르게 판별할 수 있다.

사용할 공식

1차 반응은 반감기 $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$가 초기농도와 무관하게 일정하다.
0차 반응은 $C_A = C_{A0} - kt$이므로 같은 시간 간격마다 같은 농도 차이만큼 감소한다.
0.5차 반응과 2차 반응은 반감기가 농도에 따라 달라지므로 연속된 반감기가 일정하지 않다.
이 공식을 쓰는 이유는 표가 시간에 따른 농도값을 직접 주고 있어 반감기 일정성을 바로 비교할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 0분에서 10분으로 갈 때 농도는 12.6에서 6.3으로 줄어 정확히 절반이 된다.
2. 10분에서 20분으로 갈 때 6.3의 절반은 3.15인데 실제 값은 3.2로 거의 절반이다.
3. 20분에서 30분으로 갈 때 3.2의 절반은 1.6인데 실제 값은 1.7로 거의 절반이다.
4. 30분에서 40분으로 갈 때 1.7의 절반은 0.85인데 실제 값은 0.8로 거의 절반이다.
5. 따라서 반감기 $t_{1/2}$는 대략 10분으로 일정하다. 이는 1차 반응의 특징이다.
6. 주어진 값 $\ln 2 = 0.7$을 쓰면 $k = \frac{0.7}{10} = 0.07\text{min}^{-1}$로 둘 수 있으며, 핵심 판단은 k값 자체보다 반감기의 일정성이다.

선지 판단

① X: 0차 반응이라면 같은 시간 간격마다 농도가 같은 양만큼 줄어야 한다. 실제 감소량은 6.3, 3.1, 1.5, 0.9 mol/L로 일정하지 않다. 틀린 표현은 '0차'이고, 올바르게는 '같은 시간마다 절반으로 줄어드는 1차 반응'이다.
② X: 0.5차 반응은 반감기가 농도에 따라 달라져 연속된 반감기가 일정하지 않다. 이 표는 거의 10분마다 절반이 되므로 맞지 않는다. 틀린 표현은 '0.5차'이고, 올바르게는 '반감기가 일정한 1차 반응'이다.
③ O: 1차 반응은 반감기 $t_{1/2}$가 농도와 무관하게 일정하다. 표의 농도는 약 10분마다 절반이 되므로 1차 반응으로 판단한다.
④ X: 2차 반응은 $t_{1/2} = \frac{1}{kC_{A0}}$이어서 농도가 낮아질수록 다음 반감기가 더 길어진다. 그런데 이 표는 반감기가 거의 일정하다. 틀린 표현은 '2차'이고, 올바르게는 '연속 반감기가 거의 같은 1차 반응'이다.

오답 포인트

농도값이 완전히 정확한 절반이 아니어서 계산식으로만 접근하다가 흔들리기 쉽다. 이 문항은 미세한 오차를 감안하고 '연속된 반감기가 거의 일정한가'를 보는 문제이다. 0차는 감소량 일정, 1차는 반감기 일정, 2차는 반감기가 점점 길어진다는 구분을 놓치면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

시간표가 주어지면 먼저 같은 시간 간격마다 절반이 되는지 본다. 절반이 반복되면 1차, 같은 양이 반복되면 0차, 농도가 낮아질수록 절반까지 걸리는 시간이 길어지면 2차로 판단할 수 있다.

암기 포인트

1차 반응은 반감기 일정, 0차 반응은 감소량 일정이라는 대비로 정리된다.

NoteBase

문 7. 비가역 등온 액상 1차 기초반응 $A \rightarrow B$ (반응속도상수 k)를 부피 V_{CSTR}인 이상적인 혼합흐름반응기(CSTR)에서 수행하여 전환율 50%를 달성하였다. 동일한 등온반응을 부피 V_{PFR}인 이상적인 플러그흐름반응기(PFR)에서 수행하여 동일하게 A의 전환율 50%를 달성하였을 때, 이상적인 PFR과 이상적인 CSTR의 부피의 비 (V_{PFR}/V_{CSTR})는? (단, CSTR에서 몰유량은 F_{A0}, 반응물의 입구농도는 C_{A0}이며 반응조건인 온도, 몰유량, 입구농도는 동일하다.)

① $\ln 2$

② $1/2$

③ 2

④ $\ln 4$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 액상 1차 반응의 CSTR 설계식과 PFR 설계식을 각각 적용하여 같은 전환율에서의 반응기 부피비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 비가역 등온 액상 1차 반응 $A \rightarrow B$, 반응속도상수 k, 전환율 $X = 0.5$이다.
구해야 할 값: V_{PFR}/V_{CSTR}이다.
주의할 조건: 액상 등온 반응이므로 밀도 변화가 없어서 $C_A = C_{A0}(1 - X)$를 쓸 수 있고, 두 반응기의 F_{A0}, C_{A0}, 온도 조건은 동일하다.

사용할 공식

CSTR 설계식은 $V_{CSTR} = \frac{F_{A0}X}{-r_A}$이고, 1차 반응이므로 $-r_A = kC_A = kC_{A0}(1 - X)$이다.
PFR 설계식은 $V_{PFR} = F_{A0}\int_0^X \frac{dX}{-r_A}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 같은 반응을 이상적인 CSTR과 이상적인 PFR에서 각각 수행한다고 했으므로 반응기 종류별 기본 설계방정식을 직접 비교해야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. CSTR에서
$V_{CSTR} = \frac{F_{A0}X}{kC_{A0}(1-X)}$
전환율 $X = 0.5$를 대입하면
$V_{CSTR} = \frac{F_{A0}(0.5)}{kC_{A0}(0.5)} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}}$
2. PFR에서
$V_{PFR} = F_{A0}\int_0^{0.5} \frac{dX}{kC_{A0}(1-X)} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}}\int_0^{0.5} \frac{dX}{1-X}$
따라서
$V_{PFR} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}}[-\ln(1-X)]_0^{0.5} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}}\ln 2$
3. 부피비는
$\frac{V_{PFR}}{V_{CSTR}} = \frac{\frac{F_{A0}}{kC_{A0}}\ln 2}{\frac{F_{A0}}{kC_{A0}}} = \ln 2$
계산 결과 $V_{PFR}/V_{CSTR} = \ln 2$이므로 정답은 ①이다.

선지 판단

① O
- 계산 결과가 바로 $\ln 2$이므로 옳다.

② X
- 1/2는 적분값 $\int_0^{0.5} \frac{dX}{1-X}$를 로그로 처리하지 않고 단순 평균처럼 본 오답이다.
- 틀린 표현은 "부피비가 1/2이다"이고, 올바르게는 "부피비는 $\ln 2$이다"이다.

③ X
- 2는 비를 거꾸로 읽거나 CSTR 부피가 더 작다고 착각한 오답이다.
- 틀린 표현은 "부피비가 2이다"이고, 올바르게는 "같은 전환율에서 1차 반응의 PFR 부피는 CSTR보다 작아서 $V_{PFR}/V_{CSTR} = \ln 2 < 1$이다"이다.

④ X
- $\ln 4$는 적분 상한을 잘못 잡거나 로그 계수를 두 배로 계산한 오답이다.
- 틀린 표현은 "부피비가 $\ln 4$이다"이고, 올바르게는 "전환율이 50%이므로 적분 결과는 $-\ln(1-0.5) = \ln 2$이다"이다.

오답 포인트

CSTR과 PFR의 설계식을 같은 형태로 두고 비교하지 않으면 적분이 필요한 PFR을 단순 대입식처럼 처리하기 쉽다. 특히 $\int \frac{dX}{1-X}$를 로그가 아니라 비례식처럼 처리하면 ②가 나오고, 비의 방향을 뒤집으면 ③이 나온다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

반응기 비교 문제는 먼저 각 반응기의 설계식을 따로 쓴 뒤, 같은 X를 대입하고 마지막에 공통인 $F_{A0}/(kC_{A0})$를 약분하는 순서로 판단한다. PFR에 적분이 보이면 먼저 $1/(1-X)$ 꼴인지 확인하고 로그 적분을 적용하면 된다.

암기 포인트

액상 1차 반응에서 50% 전환이면 $V_{CSTR} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}}$, $V_{PFR} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}}\ln 2$이므로 부피비는 $\ln 2$이다.

NoteBase

문 8. 회분식 반응기 내에서 $A \rightarrow D \rightarrow U$ 직렬 반응이 있다고 가정하자. A의 전환율이 30%일 때, D의 총괄 수율(overall yield)이 80%라면, U 대비 D의 총괄 선택도 S_{DU}는?

① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 총괄 수율과 총괄 선택도의 정의를 연결하여 S_{DU}를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $X_A = 0.30$, $Y_D = 0.80$
구해야 할 값: $S_{DU} = \frac{D}{U}$
주의할 조건: 총괄 수율은 반응한 A 중 최종적으로 D로 남은 비율이다.

사용할 공식

$Y_D = \frac{D}{A_0 - A} = \frac{D}{D+U}$, $S_{DU} = \frac{D}{U}$
이 공식을 쓰는 이유: 직렬 반응 $A \rightarrow D \rightarrow U$에서는 반응한 A가 최종적으로 D와 U로 나뉘므로 총괄 수율 0.80은 $D : (D + U) = 0.80 : 1$을 뜻한다.

계산 과정

1. 총괄 수율 0.80이므로 $\frac{D}{D+U} = 0.80$이다.
2. 따라서 $D = 0.8(D + U)$이고, $0.2D = 0.8U$이므로 $\frac{D}{U} = 4$이다.
3. 같은 내용을 전환율로 확인하면 $A_0 = 1$ 기준 반응한 A는 0.30, $D = 0.30 \times 0.80 = 0.24$,
$U = 0.30 - 0.24 = 0.06$이어서 $\frac{0.24}{0.06} = 4$이다.

NoteBase

선지 판단

① X

- 2는 실제 선택도보다 작다. 총괄 수율 80%이면 U 비율은 20%이므로 $D : U = 80 : 20 = 4 : 1$이다.
- 틀린 표현은 "$S_{DU} = 2$"이고, 올바르게는 "$S_{DU} = 4$"이다.

② O

- 총괄 수율 80%에서 $D : U = 0.80 : 0.20 = 4 : 1$이므로 $S_{DU} = 4$가 맞다.

③ X

- 6은 계산 결과와 맞지 않는다. 전환율까지 대입해도 $D = 0.24$, $U = 0.06$이므로 선택도는 6이 아니라 4이다.
- 틀린 표현은 "$S_{DU} = 6$"이고, 올바르게는 "$S_{DU} = 4$"이다.

④ X

- 8은 총괄 수율 80%를 선택도 8로 잘못 읽은 값이다. 수율 80%는 D와 U의 비가 8:1이라는 뜻이 아니라 80:20, 즉 4:1이라는 뜻이다.
- 틀린 표현은 "$S_{DU} = 8$"이고, 올바르게는 "$S_{DU} = 4$"이다.

오답 포인트

총괄 수율의 분모를 전체 공급량으로 볼지 반응한 A로 볼지 헷갈리면 오답이 된다. 이 문항에서는 총괄 수율 80%를 먼저 $D : (D + U) = 80 : 100$으로 해석한 뒤, 남는 20%를 U로 두어 선택도를 만들면 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 반응에서 총괄 수율이 주어지면 먼저 $Y_D = \frac{D}{D+U}$로 읽고, $1 - Y_D$를 U 비율로 바꾸어 $D : U$를 만든다.
전환율은 필요하면 실제 양을 검산하는 단계에서만 사용한다.

암기 포인트

총괄 수율 80%는 $D : U = 80 : 20 = 4 : 1$을 뜻하므로 $S_{DU} = 4$이다.

NoteBase

문 9. <보기>의 가역반응을 순수한 A가 공급되는 이상적인 등온 혼합흐름반응기(CSTR)에서 수행하고자 한다. 반응기에 공급되는 A의 몰유량은 25.0kmol/min이고, 입구 부피유량은 25.0m^3/min이다. 반응기 전체에서 등온 조건이 유지되고 있으며, 압력강하 등 반응기 내 기타 압력변화도 존재하지 않는다. 평형 전환율이 0.500일 때 가장 옳지 않은 것은?

<보기>

$2A \rightleftharpoons 3B + C$

① 만약 반응이 기상반응으로 진행된다면 A의 평형 농도는 약 0.333 mol/L이다.

② 만약 반응이 기상반응으로 진행된다면 C의 평형 농도는 약 0.167 mol/L이다.

③ 만약 반응이 비압축성 용액상의 액상반응으로 진행된다면 A의 평형 농도는 0.500 mol/L이다.

④ 만약 반응이 비압축성 용액상의 액상반응으로 진행된다면 B의 평형 농도는 0.250 mol/L이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 전환율 X와 반응식 $2A \rightleftharpoons 3B + C$를 이용해 기상 반응과 비압축성 액상 반응의 평형 농도를 각각 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $F_{A0} = 25.0 kmol/min$, $v_0 = 25.0 m^3/min$, $X_e = 0.500$이다.
입구에서 순수한 A만 공급되므로 $C_{A0} = F_{A0}/v_0 = 1.00 kmol/m^3 = 1.00 mol/L$이다.
반응식 $2A \rightleftharpoons 3B + C$에서 A 2몰이 반응하면 B 3몰, C 1몰이 생성된다.

사용할 공식

기본 몰수지는 $F_A = F_{A0}(1 - X)$이다.
생성물 유량은 $F_B = \frac{3}{2}F_{A0}X$, $F_C = \frac{1}{2}F_{A0}X$이다.
기상 반응은 전체 몰수 변화가 있으므로 $v = v_0(1 + \varepsilon X)$를 쓴다. 여기서 $\Delta u = (3 + 1) - 2 = 2$,
$\varepsilon = \Delta u/2 = 1$이다.
비압축성 액상 반응은 부피유량이 일정하므로 $v = v_0$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 같은 전환율이라도 기상 반응은 부피 팽창을 반영해야 하고, 비압축성 액상 반응은 부피가 변하지 않기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. A의 평형 유량은 $F_A = 25.0(1 - 0.500) = 12.5 kmol/min$이다.
2. 생성물 유량은 $F_B = \frac{3}{2} \times 25.0 \times 0.500 = 18.75 kmol/min$, $F_C = \frac{1}{2} \times 25.0 \times 0.500 = 6.25 kmol/min$이다.
3. 기상 반응이면 $v = 25.0(1 + 0.500) = 37.5 m^3/min$이므로 $C_A = 12.5/37.5 = 0.333 mol/L$, $C_B = 18.75/37.5 = 0.500 mol/L$, $C_C = 6.25/37.5 = 0.167 mol/L$이다.
4. 비압축성 액상 반응이면 $v = 25.0 m^3/min$ 그대로이므로 $C_A = 12.5/25.0 = 0.500 mol/L$, $C_B = 18.75/25.0 = 0.750 mol/L$, $C_C = 6.25/25.0 = 0.250 mol/L$이다.

선지 판단

① O
기상 반응에서 A의 평형 농도는 $0.333 mol/L$가 맞다. A 유량은 절반으로 줄지만 전체 몰수 증가 때문에 부피유량이 $37.5 m^3/min$으로 커지므로 $12.5/37.5 = 0.333$이 된다.

② O
기상 반응에서 C의 평형 농도는 $0.167 mol/L$가 맞다. C 생성유량은 $6.25 kmol/min$이고 팽창된 부피유량 $37.5 m^3/min$으로 나누면 $0.167 mol/L$이다.

③ O
비압축성 액상 반응에서 A의 평형 농도는 $0.500 mol/L$가 맞다. 액상에서는 부피유량이 일정하므로 단순히 $12.5/25.0 = 0.500$으로 계산된다.

④ X
비압축성 액상 반응에서 B의 평형 농도는 $0.250 mol/L$가 아니라 $0.750 mol/L$이다. 틀린 표현은 "B의 평형 농도는 $0.250 mol/L$"이고, 올바르게는 "B의 평형 농도는 $0.750 mol/L$"이다. $0.250 mol/L$는 B가 아니라 C의 평형 농도이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 기상 반응과 액상 반응의 부피유량 처리 차이, 그리고 B와 C의 화학양론 계수를 혼동하는 데 있다. 특히 ④의 $0.250 mol/L$는 액상에서 C 농도이므로, 생성물의 계수 3:1을 놓치면 B와 C를 바꿔 적기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역반응 평형 농도 문제는 먼저 C_{A0}를 구하고, 다음으로 전환율 X로 각 성분 유량을 계산한 뒤, 마지막에 반응상이 기상인지 비압축성 액상인지에 따라 부피유량 변화를 반영해 농도로 바꾸면 된다.

NoteBase

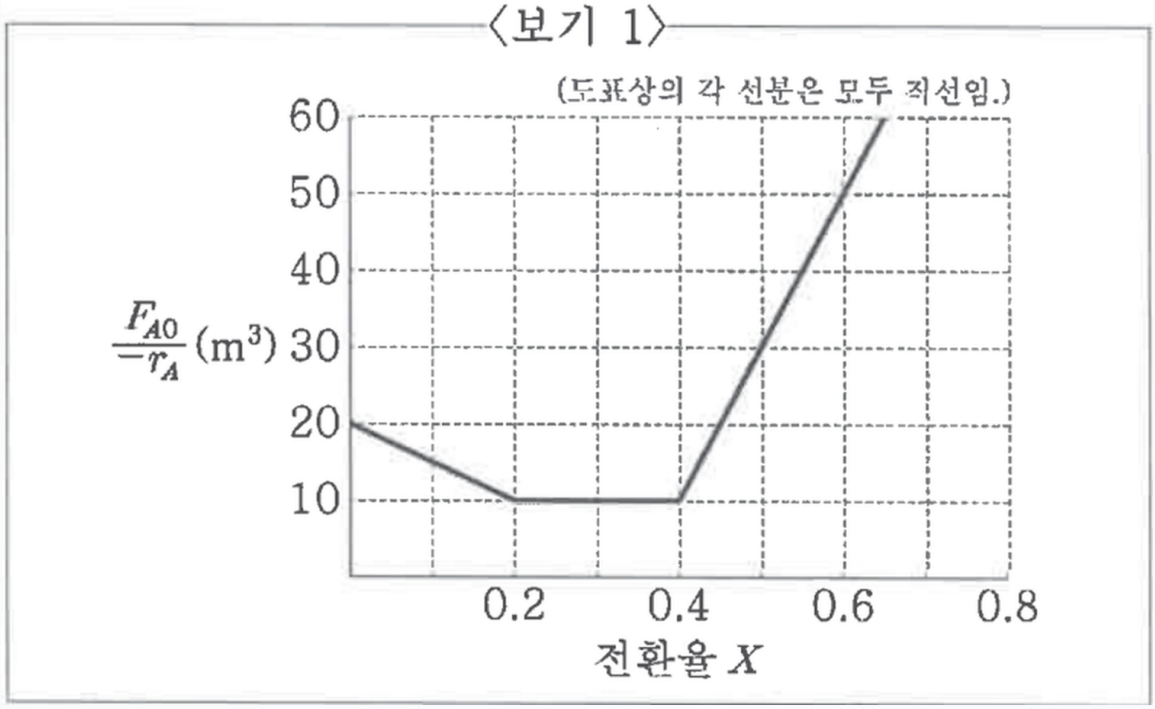
암기 포인트

순수 A 공급에서 $2A \rightarrow 3B + C$, $X = 0.5$이면 유량비는 $A : B : C = 12.5 : 18.75 : 6.25$이고, 기상은 부피 팽창을 나누고 액상은 원래 부피유량을 그대로 나눈다.

NoteBase

문 10. 반응물 A와 B가 같은 몰유량으로 공급되고 있는 어떤 흐름반응기에서 비가역 기상반응 $A + B \rightarrow 2C$가 단열 조건 하에서 일어나고 있다. 해당 반응조건에서 이 반응은 발열반응이며, 레벤스필 플롯(Levenspiel plot)이 <보기 1>과 같이 주어져 있다. <보기 2>에서 옳은 것을 모두 고른 것은? (단, 사용되는 모든 흐름반응기는 이상반응기(ideal reactor)이며, F_{A0}는 공급되는 A의 몰유량, $-r_A$는 반응속도이다.)

〈보기 1〉



<보기 2>

ㄱ. 40% 전환율을 달성하는 단일 혼합흐름반응기(CSTR)의 부피는 $4m^3$이다.

ㄴ. 40% 전환율을 달성하는 단일 플러그흐름반응기(PFR)의 부피는 $6m^3$이다.

ㄷ. CSTR 1기와 PFR 1기를 CSTR(상류)-PFR(하류) 순으로 직렬로 배치하여 전환율 60%를 달성하였을 때, 이 직렬반응기의 전체 부피의 이론적인 최소값은 $10m^3$이다.

ㄹ. 출구 전환율 30%를 달성하는 CSTR이 있을 때, 최종 전환율을 50%로 올리기 위해서 CSTR의 하류에 직렬로 연결하여 추가 설치해야 하는 PFR의 부피는 $4m^3$이다.

ㅁ. 출구 전환율이 50%인 단일 CSTR의 부피에서 출구 전환율이 50%인 단일 PFR의 부피를 뺀 값은 $8m^3$이다.

① ㄱ, ㄴ

② ㄴ, ㄹ

③ ㄱ, ㄷ, ㅁ

④ ㄷ, ㄹ, ㅁ

정답 3번

NoteBase

출제 포인트

이 문제는 레벤스필 플롯에서 PFR은 곡선 아래 면적, CSTR은 출구점 높이의 직사각형 면적으로 읽어 각 선지의 반응기 부피를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 레벤스필 플롯의 주요 점은 $X=0,\ F_{A0}/-r_A = 20, 0.2, 10, 0.4, 10, 0.5, 30, 0.6, 50$이다.
도표의 각 선분은 직선이므로 각 구간 면적은 사다리꼴 또는 직사각형으로 계산할 수 있다.
구해야 할 값은 보기 2의 ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ, ㅁ의 옳고 그름과 최종 조합이다.

사용할 공식

CSTR 부피는 $V_{CSTR} = \left(\frac{F_{A0}}{-r_A}\right)_{X_{out}}(X_{out} - X_{in})$이다.
PFR 부피는 $V_{PFR} = \int_{X_{in}}^{X_{out}} \frac{F_{A0}}{-r_A} dX$이다.
이 문항은 레벤스필 플롯이 주어졌으므로 CSTR은 출구 높이의 직사각형 면적, PFR은 곡선 아래 면적으로 바로 읽는 상황이다.

계산 과정

1. $X=0 \sim 0.2$ 구간 PFR 면적은 $((20+10)/2) \times 0.2 = 3m^3$이다.
2. $X=0.2 \sim 0.4$ 구간 PFR 면적은 $10 \times 0.2 = 2m^3$이다.
3. 따라서 단일 PFR로 $X=0.4$까지 가는 부피는 $3+2=5m^3$이다.
4. 단일 CSTR로 $X=0.4$까지 가는 부피는 $0.4 \times 10 = 4m^3$이다.
5. $X=0.4 \sim 0.5$ 구간 PFR 면적은 $((10+30)/2) \times 0.1 = 2m^3$이므로, $X=0.3 \rightarrow 0.5$ 추가 PFR 부피는 $10 \times 0.1 + 2 = 3m^3$이다.
6. 단일 CSTR로 $X=0.5$까지 가는 부피는 $0.5 \times 30 = 15m^3$이고, 단일 PFR로 $X=0.5$까지 가는 부피는 $3+2+2=7m^3$이므로 차는 $8m^3$이다.
7. CSTR(상류)-PFR(하류)로 $X=0.6$을 만들 때 CSTR 출구를 $X=0.2 \sim 0.4$의 최저 높이 구간에 두면 전체 부피가 최소가 되고, 그 최소값은 $10m^3$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- ㄱ은 단일 CSTR로 $X = 0.4$까지 갈 때 출구점 높이가 10이므로 $V = 0.4 \times 10 = 4m^3$가 되어 옳다.
- ㄴ은 단일 PFR 부피가 $0 \sim 0.2$ 구간 3과 $0.2 \sim 0.4$ 구간 2의 합인 $5m^3$이므로 틀리다. 틀린 표현은 'PFR의 부피는 $6m^3$이다'이며, 올바르게는 'PFR의 부피는 $5m^3$이다'이다.

② X
- ㄴ이 틀리므로 이 조합은 옳지 않다.
- ㄹ은 출구 전환율 30%인 CSTR 뒤에 PFR을 붙여 최종 전환율을 50%로 올릴 때 필요한 추가 PFR 부피가 $1 + 2 = 3m^3$이므로 틀리다. 틀린 표현은 '추가 설치해야 하는 PFR의 부피는 $4m^3$이다'이며, 올바르게는 '추가 설치해야 하는 PFR의 부피는 $3m^3$이다'이다.

③ O
- ㄱ, ㄷ, ㅁ은 모두 옳다.
- ㄷ은 CSTR 출구를 $X = 0.2 \sim 0.4$의 최저 높이 구간에 두면 CSTR 직사각형과 남은 PFR 면적의 합이 항상 최소 $10m^3$가 되므로 옳다.
- ㅁ은 단일 CSTR의 부피가 $15m^3$, 단일 PFR의 부피가 $7m^3$이므로 차가 $8m^3$가 되어 옳다.

④ X
- ㄷ과 ㅁ은 옳지만 ㄹ이 틀리므로 이 조합은 옳지 않다.
- 틀린 표현은 ㄹ의 '$4m^3$'이며, 올바르게는 '$3m^3$'이다.

오답 포인트

PFR과 CSTR을 같은 방식으로 읽으면 ㄴ과 ㄹ을 틀리기 쉽다. PFR은 구간 면적의 합이고 CSTR은 출구 높이 직사각형이므로, 레벤스필 플롯에서 먼저 어떤 반응기인지 구분해야 한다. 또한 ㄷ은 'CSTR이 상류'라는 조건을 놓치면 전체 PFR 면적 $11m^3$만 떠올려 오판하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

레벤스필 플롯 문제는 먼저 구간별 높이와 면적을 끊어서 적고, PFR은 면적, CSTR은 출구점 높이의 직사각형이라는 기준으로 각 문장을 독립 계산하면 된다. 직렬 최소부피는 CSTR 출구를 $F_{A0}/-r_A$가 가장 낮은 구간에 둘 수 있는지부터 판단하면 된다.

암기 포인트

레벤스필 플롯에서 PFR은 곡선 아래 면적이고 CSTR은 출구점 높이의 직사각형이라는 기준이 핵심이다.

NoteBase

문 11. 연속흐름 반응기에서 등온 (625K), 등압 기상 비가역 반응 $A + 1/2B \rightarrow C$가 일어났다. 초기 반응물은 50% A와 50% B의 몰비율로 구성되어 있다. 반응물은 이상기체로 가정하고, 압력은 40atm, 기체 상수는 $0.08\text{atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$, A의 전환율은 80%일 때, 반응 후 A와 C의 농도[mol/L]는?

① A의 농도: 0.1, C의 농도: 0.2

② A의 농도: 0.1, C의 농도: 0.4

③ A의 농도: 0.2, C의 농도: 0.2

④ A의 농도: 0.2, C의 농도: 0.4

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 등온·등압 이상기체 반응에서 전체 농도 C_T를 구한 뒤, 화학양론으로 출구 몰분율을 계산하여 A와 C의 농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응은 $A + \frac{1}{2}B \rightarrow C$이다.
초기 몰비율은 $y_{A0} = 0.5, y_{B0} = 0.5$이다.
등온·등압 이상기체이므로 전체 농도는 $C_T = \frac{P}{RT} = \frac{40}{0.08 \times 625} = 0.8 mol/L$이다.
따라서 초기 농도는 $C_{A0} = 0.5 \times 0.8 = 0.4 mol/L, C_{B0} = 0.4 mol/L$이다.
A의 전화율은 80%이므로 $X_A = 0.8$이다.

사용할 공식

등온·등압 이상기체에서는 $C_i = y_i C_T$를 쓴다.
또한 반응 후 조성은 화학양론표로 계산한다.
이 공식을 쓰는 이유는 압력과 온도가 일정하므로 전체 농도 $C_T = P/RT$가 일정하고, 각 성분 농도는 출구 몰분율 y_i만 구하면 바로 결정되기 때문이다.

계산 과정

기준을 A 1 mol, B 1 mol로 잡으면 초기 총몰수는 2 mol이다.
A의 전화율이 0.8이므로 반응 후 몰수는 $A = 1 - 0.8 = 0.2, B = 1 - \frac{1}{2} \times 0.8 = 0.6, C = 0.8$이다.
따라서 반응 후 총몰수는 $0.2 + 0.6 + 0.8 = 1.6$ mol이다.
몰분율은 $y_A = \frac{0.2}{1.6} = 0.125, y_C = \frac{0.8}{1.6} = 0.5$이다.
따라서 $C_A = 0.125 \times 0.8 = 0.1 mol/L, C_C = 0.5 \times 0.8 = 0.4 mol/L$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: A의 농도 0.1은 맞지만 C의 농도 0.2는 틀리다. 틀린 표현은 "C의 농도 0.2"이고, 올바르게는 "C의 농도 0.4"이다.
② O: 계산 결과 $C_A = 0.1 mol/L$, $C_C = 0.4 mol/L$이므로 맞는 선지이다.
③ X: C의 농도 0.2는 틀리다. 틀린 표현은 "C의 농도 0.2"이고, 올바르게는 "C의 농도 0.4"이다. 또한 A의 농도 0.2도 틀리며, 올바르게는 0.1이다.
④ X: C의 농도 0.4는 맞지만 A의 농도 0.2는 틀리다. 틀린 표현은 "A의 농도 0.2"이고, 올바르게는 "A의 농도 0.1"이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 생성물 농도를 구할 때 반응 후 총몰수 감소를 빼먹는 데 있다. $A + \frac{1}{2}B \rightarrow C$는 총몰수가 줄어드는 반응이므로, 단순히 초기농도에 전화율만 곱하거나 빼면 출구 농도를 틀리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

기상 등온·등압 반응 농도 문제는 먼저 $C_T = P/RT$로 전체 농도를 구하고, 다음에 화학양론표로 반응 후 각 성분 몰수와 총몰수를 계산한 뒤, 마지막에 $C_i = y_i C_T$로 바꾸면 된다.

암기 포인트

등온·등압 이상기체는 $C_i = y_i P/RT$이고, 총몰수가 바뀌는 반응은 전화율만으로 농도를 바로 쓰지 않는다.

NoteBase

문 12. A에서 B를 생성하는 1차 비가역 반응 $A \rightarrow B,\ -r = k_A C_A$이 플러그흐름반응기(PFR)에서 진행되며, 전환율이 87%이다. 동일한 크기의 혼합흐름반응기(CSTR)에서 동일한 조건으로 반응이 진행되었을 때의 전환율에 가장 가까운 값[%]은? (단, $\ln 0.13 = -2$로 가정한다.)

① 33

② 56

③ 67

④ 87

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 같은 체류시간에서 1차 비가역 반응의 PFR 설계식과 CSTR 설계식을 연결해 전환율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 반응은 $A \rightarrow B$, 속도식은 $-r_A = k_A C_A$, PFR 전환율은 $X = 0.87$이다.
구해야 할 값: 동일한 크기와 동일한 조건의 CSTR 전환율이다.
주의할 조건: 동일한 크기와 동일한 조건이므로 체류시간 τ와 k_A가 같아 $k_A\tau$가 동일하다.

사용할 공식

PFR 설계식은 $k_A\tau = -\ln(1 - X)$ 이다.
CSTR 설계식은 $k_A\tau = \frac{X}{1-X}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 액상 등밀도 1차 반응에서 같은 반응기 크기와 같은 유량 조건이면 두 반응기의 $k_A\tau$를 같게 둘 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. PFR에서 $X = 0.87$ 이므로 $1 - X = 0.13$ 이다.
2. 따라서 $k_A\tau = -\ln(0.13) = 2$ 이다.
3. 동일한 크기의 CSTR에서도 $k_A\tau = 2$ 이므로 $\frac{X}{1-X} = 2$ 이다.
4. 정리하면 $X = 2(1 - X)$, 즉 $3X = 2$ 이므로 $X = \frac{2}{3} \approx 0.667$ 이다.
5. 전환율은 약 67%이므로 정답은 3번이다.

NoteBase

선지별 해설

① X. 33%는 $\frac{X}{1-X}=2$ 를 뒤집어 $\frac{X}{1-X}=\frac{1}{2}$ 로 잘못 두었을 때 나오는 값에 가깝다. 틀린 표현은 "동일 크기 CSTR의 전환율이 33%이다"이다. 올바르게는 "동일 크기 CSTR의 전환율은 약 67%이다"이다.
② X. 56%는 계산 결과와 맞지 않는다. CSTR 식에 $k_A\tau=2$ 를 대입하면 전환율은 정확히 $\frac{2}{3}$ 이다. 틀린 표현은 "동일 크기 CSTR의 전환율이 56%이다"이다. 올바르게는 "동일 크기 CSTR의 전환율은 약 67%이다"이다.
③ O. PFR에서 구한 $k_A\tau=2$ 를 동일한 조건의 CSTR 식 $\frac{X}{1-X}=2$ 에 대입하면 $X=\frac{2}{3}\approx 67\%$ 이다. 따라서 ③이 옳다.
④ X. 87%는 PFR의 전환율 그대로이며 CSTR의 전환율이 아니다. 같은 크기와 같은 조건에서는 양의 차수 반응에서 PFR의 전환율이 CSTR보다 크다. 틀린 표현은 "동일 크기 CSTR에서도 전환율이 87%이다"이다. 올바르게는 "동일 크기 CSTR의 전환율은 PFR보다 낮은 약 67%이다"이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 PFR에서 구한 87%를 그대로 CSTR에도 적용하는 실수와, 같은 크기라는 조건을 같은 전환율로 오해하는 실수이다. 또 $k_A\tau$ 를 먼저 구하지 않고 바로 감으로 작은 값을 고르면 ①이나 ② 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

계산형 반응기 문제는 먼저 한 반응기에서 $k\tau$ 또는 Damkohler 수를 구한 뒤, 같은 크기 조건이면 그 값을 다른 반응기 설계식에 그대로 넣어 전환율을 다시 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

1차 반응에서 같은 $k\tau$이면 PFR은 $-\ln(1-X)$, CSTR은 $\frac{X}{1-X}$ 를 쓴다는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 13. 회분식 반응기에서 기상 비가역 반응이 $3A \rightarrow P$로 진행된다. 반응 시간 동안 온도와 압력은 일정하고 반응 혼합물의 부피는 3분 동안 40% 감소하였다. 초기 반응 혼합물은 90%가 A, 10%가 비활성 기체로 구성되어 있고 반응이 1차라고 가정할 때, 1차 반응의 속도 상수에 가장 가까운 값$[min^{-1}]$은? (단, $\ln 3 = 1.1$로 가정한다.)

① 0.22

② 0.36

③ 0.44

④ 0.64

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 등온·등압 기상 회분반응기에서 부피 변화로 전환율을 구한 뒤, 1차 반응 적분식으로 속도 상수 k를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
반응식은 $3A \rightarrow P$이다.
초기 조성은 $y_{A0} = 0.9$, 비활성 기체는 0.1이다.
3분 후 부피가 40% 감소하므로 $V/V_0 = 0.6$이다.
구해야 할 값:
1차 반응 속도 상수 k이다.
주의할 조건:
등온·등압이므로 $V/V_0 = N_T/N_{T0}$ 관계를 먼저 써서 전환율 X를 구해야 한다.

NoteBase

사용할 공식

총몰수 변화:
$\frac{V}{V_0} = \frac{N_T}{N_{T0}} = 1 + \varepsilon X$
이 문제에서는 $3A \rightarrow P$이므로 반응 1회당 총몰수 변화가 -2이고, $\varepsilon = y_{A0}\Delta u/a = 0.9 \times (-2/3) = -0.6$이다.
따라서
$\frac{V}{V_0} = 1 - 0.6X$
1차 회분반응 적분식:
$\ln\frac{N_{A0}}{N_A} = kt$
이 공식을 쓰는 이유:
속도식이 $-r_A = kC_A$이고 회분식에서 $dN_A/dt = -kN_A$로 적분되므로, 전환율만 구하면 $N_A/N_{A0} = 1 - X$를 바로 대입할 수 있다.

계산 과정

1. 부피 감소로 전환율을 구한다.
$0.6 = 1 - 0.6X$
$0.6X = 0.4$
$X = \frac{2}{3}$
2. 따라서 3분 후 A의 잔존 비율은
$\frac{N_A}{N_{A0}} = 1 - X = \frac{1}{3}$
이다.
3. 1차 반응 적분식을 대입한다.
$kt = \ln\frac{N_{A0}}{N_A} = \ln 3$
$k = \frac{\ln 3}{3} = \frac{1.1}{3} \approx 0.366\text{min}^{-1}$
따라서 가장 가까운 값은 0.36이다.

선지 판단

① X. $k = 0.22\text{min}^{-1}$이면 3분 후 $N_A/N_{A0} = e^{-0.66} \approx 0.52$이므로 $X \approx 0.48$이다. 그러면 $V/V_0 = 1 - 0.6X \approx 0.71$가 되어 부피 감소가 약 29%에 그치므로 제시값 0.22는 틀리고, 올바른 값은 약 0.36이다.
② O. 계산 결과 $k = \ln 3/3 \approx 0.366\text{min}^{-1}$이므로 0.36이 가장 가깝다.
③ X. $k = 0.44\text{min}^{-1}$이면 3분 후 $N_A/N_{A0} = e^{-1.32} \approx 0.27$이므로 $X \approx 0.73$이다. 그러면 $V/V_0 \approx 0.56$이 되어 부피 감소가 약 44%가 되므로 제시값 0.44는 틀리고, 올바른 값은 약 0.36이다.
④ X. $k = 0.64\text{min}^{-1}$이면 3분 후 $N_A/N_{A0} = e^{-1.92} \approx 0.15$이므로 $X \approx 0.85$이다. 그러면 $V/V_0 \approx 0.49$가 되어 부피 감소가 약 51%가 되므로 제시값 0.64는 틀리고, 올바른 값은 약 0.36이다.

NoteBase

오답 포인트

부피가 40% 감소했다는 사실을 곧바로 $X = 0.4$로 두면 틀린다. 이 문항은 반응식 $3A \rightarrow P$ 때문에 총몰수 변화가 생기고, 초기 A 몰분율이 0.9라는 점까지 반영해서 $V/V_0 = 1 - 0.6X$를 먼저 세워야 한다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

등온·등압 기상 반응기에서 부피 변화가 주어지면 먼저 총몰수 변화식으로 전환율을 구하고, 그다음 속도식 차수에 맞는 회분반응 적분식을 적용하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

등온·등압 기상 회분반응기는 V/V_0 → X → 1차 적분식 순서로 연결하면 된다.

NoteBase

문 14. 액상 1차반응 $A \rightarrow D + U$를 이상적인 등온 혼합흐름 반응기(CSTR)에서 수행하였다. CSTR의 공간시간이 1분 30초였을 때 출구 전환율이 75%였다. 동일한 온도와 몰유량에서 동일한 출구 전환율 75%를 달성할 수 있는 이상적인 등온 플러그흐름반응기(PFR)의 공간시간에 가장 가까운 값[초]은? (단, $\ln 2 = 0.7$로 가정한다.)

① 36

② 42

③ 54

④ 66

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 1차 액상반응에서 같은 전환율을 만들 때 CSTR과 PFR의 공간시간 관계를 설계식으로 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- CSTR 공간시간: 90초
- CSTR 출구 전환율: 75%
- 반응식: 액상 1차반응 $A \rightarrow D + U$

구해야 할 값:
- 같은 온도와 몰유량에서 PFR이 전환율 75%를 달성하는 공간시간

주의할 조건:
- 액상 1차반응이므로 밀도 변화가 없다고 보고 $C_A = C_{A0}(1 - X)$를 사용한다.

사용할 공식

$\tau_{CSTR} = \frac{X}{k(1-X)}, \qquad \tau_{PFR} = \frac{-\ln(1-X)}{k}$

이 공식을 쓰는 이유:
- 1차 액상반응에서는 $-r_A = kC_A = kC_{A0}(1 - X)$가 된다.
- CSTR은 출구 조성으로 반응속도를 계산하므로 $\tau = X/[k(1 - X)]$가 되고, PFR은 반응기 내부를 적분하므로 $\tau = -\ln(1 - X)/k$가 된다.

NoteBase

계산 과정

1. CSTR 식에 $X = 0.75$, $\tau = 90s$를 대입하면
$90 = \frac{0.75}{k(1-0.75)} = \frac{0.75}{0.25k} = \frac{3}{k}$
이므로 $k = 1/30 s^{-1}$이다.
2. PFR 식에 같은 $X = 0.75$를 대입하면
$\tau_{PFR} = \frac{-\ln(1-0.75)}{1/30} = 30\ln 4$
이다.
3. $\ln 2 = 0.7$이므로 $\ln 4 = 2\ln 2 = 1.4$이고
$\tau_{PFR} = 30 \times 1.4 = 42s$
이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과 PFR의 공간시간은 42초이므로 36초는 맞지 않는다. 틀린 표현은 숫자 36초이고, 올바르게는 42초이다.
② O: $\tau_{PFR} = 30\ln 4 = 42s$이므로 42초가 정확하다.
③ X: 54초는 계산값 42초보다 크다. 틀린 표현은 숫자 54초이고, 올바르게는 42초이다. CSTR 식으로 구한 k 값을 잘못 넣거나 $\ln 4$를 과대평가하면 이런 오답이 나온다.
④ X: 66초도 계산값과 일치하지 않는다. 틀린 표현은 숫자 66초이고, 올바르게는 42초이다. 같은 전환율의 1차반응에서는 PFR의 공간시간이 CSTR보다 짧아야 하는데 66초는 그 관계만 보고도 정답이 될 수 없다.

오답 포인트

CSTR과 PFR의 설계식을 같은 형태로 생각하면 오답이 나온다. CSTR은 $X/(1-X)$ 꼴이고, PFR은 적분 결과인 $-\ln(1-X)$ 꼴이라는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 전환율에서 두 반응기를 비교하는 계산형 문제는 먼저 한 반응기 식으로 k를 구한 뒤 다른 반응기 설계식에 같은 X를 넣어 다시 계산하면 된다. 1차반응에서는 CSTR은 $X/(1-X)$, PFR은 $-\ln(1-X)$ 구조인지부터 확인하면 된다.

암기 포인트

1차반응 동일 전환율 비교에서는 $\tau_{PFR} < \tau_{CSTR}$이고, CSTR은 $X/[k(1-X)]$, PFR은 $-\ln(1-X)/k$이다.

NoteBase

문 15. 1차 연속 반응 $A \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} B \rightarrow C$에서 A와 B 사이에서 일어나는 정반응과 역반응이 모두 매우 빠르게 일어나 B에서 C를 생성하는 비가역 반응이 율속 단계이다. 이때, C의 생성 속도식은?

① $\frac{k_1}{k_2 k_3} C_A$
② $\frac{k_1}{k_2 k_3} C_B$
③ $\frac{k_1}{k_2 + k_3} C_A$
④ $\frac{k_1 k_3}{k_2} C_A$

정답 4번

출제 포인트

빠른 가역평형과 율속단계를 연결하여 중간체 B의 농도를 A의 농도로 치환한 뒤 C의 생성 속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 반응계: A [k_2]k_1 B k_3 C
- 구해야 할 값: C의 생성 속도 r_C
- 주의할 조건: $A \leftrightarrow B$의 정반응과 역반응은 매우 빨라 평형으로 보고, $B \rightarrow C$의 비가역 반응이 율속단계이다.

사용할 공식

$r_C = k_3 C_B, \quad k_1 C_A = k_2 C_B$
따라서
$C_B = \frac{k_1}{k_2} C_A, \quad r_C = k_3 \left(\frac{k_1}{k_2} C_A \right) = \frac{k_1 k_3}{k_2} C_A$
이 공식을 쓰는 이유는 빠른 $A \leftrightarrow B$ 단계는 준평형으로 놓고, 실제 전체 속도는 느린 $B \rightarrow C$ 단계가 지배하기 때문이다.

계산 과정

1. 율속단계가 $B \rightarrow C$이므로 C의 생성 속도는 $r_C = k_3 C_B$이다.
2. A와 B 사이 반응은 매우 빠르므로 $k_1 C_A = k_2 C_B$가 성립한다.
3. 따라서 $C_B = \frac{k_1}{k_2} C_A$를 1식에 대입하면 $r_C = \frac{k_1 k_3}{k_2} C_A$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- 틀린 표현은 분모의 k_3이다. k_3는 $B \rightarrow C$ 생성 속도상수이므로 나누는 값이 아니라 곱해지는 값이다. 올바르게는 $r_C = \frac{k_1 k_3}{k_2} C_A$이다.

② X

- 틀린 표현은 $\frac{k_1}{k_2 k_3} C_B$ 꼴이다. C_B를 그대로 쓰면 생성 속도는 단순히 $r_C = k_3 C_B$이어야 한다. 올바르게는 C_B 기준으로는 $r_C = k_3 C_B$, C_A 기준으로 바꾸면 $r_C = \frac{k_1 k_3}{k_2} C_A$이다.

③ X

- 틀린 표현은 분모의 $k_2 + k_3$이다. 이는 정상상태 근사 형태와 혼동한 결과에 가깝다. 이 문항은 빠른 평형 조건이므로 $C_B = \frac{k_1}{k_2} C_A$를 써야 하며, 올바르게는 $r_C = \frac{k_1 k_3}{k_2} C_A$이다.

④ O

- 빠른 평형에서 $C_B = \frac{k_1}{k_2} C_A$이고, 율속단계 속도는 $r_C = k_3 C_B$이므로 $r_C = \frac{k_1 k_3}{k_2} C_A$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

빠른 평형 문제를 정상상태 근사 문제로 착각하여 분모에 $k_2 + k_3$를 넣기 쉽다. 또한 율속단계 상수 k_3는 생성 속도에 곱해져야 하는데 이를 분모로 보내는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

빠른 가역평형이 보이면 먼저 $k_{\text{forward}} C_{\text{reactant}} = k_{\text{reverse}} C_{\text{product}}$로 중간체 농도를 원물질 농도로 바꾼다. 그다음 느린 율속단계의 속도식에 대입하여 최종 생성 속도를 판단한다.

암기 포인트

빠른 평형 + 느린 생성 단계이면 최종 속도는 '율속단계 속도상수 × 평형으로 치환한 중간체 농도'이다.

NoteBase

문 16. 반응속도상수가 $k = 0.2\text{min}^{-1}$인 1차 액상 반응이 연속 혼합흐름반응기(CSTR)에서 수행된다. 공간시간이 $\tau = 5\text{min}$인 똑같은 크기의 연속 혼합흐름반응기 4개가 직렬로 연결되어 있다. 첫 번째 반응기의 입구 농도가 3mol/L일 때 네 번째 반응기의 입구 농도[mol/L]는?

① 0.188

② 0.375

③ 0.750

④ 1.500

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 1차 반응이 일어나는 연속 혼합흐름반응기 직렬계에서 각 반응기 출구 농도를 순차적으로 계산해 네 번째 반응기 입구 농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 반응속도상수 $k = 0.2min^{-1}$, 공간시간 $\tau = 5min$, 동일한 CSTR 4기 직렬, 첫 번째 반응기 입구 농도 $C_{A0} = 3mol/L$이다.
구해야 할 값: 네 번째 반응기 입구 농도이다.
주의할 조건: 네 번째 반응기 입구는 세 번째 반응기 출구와 같고, 네 번째 반응기 출구와는 다르다.

사용할 공식

1차 반응이 정상상태 CSTR에서 진행될 때 출구 농도는 $C_{out} = \frac{C_{in}}{1 + k\tau}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 반응 차수, 반응속도상수, 공간시간이 주어졌고 동일한 CSTR 여러 개가 직렬로 연결되어 있으므로 반응기 하나를 지날 때마다 같은 비율로 출구 농도를 계산할 수 있다.

계산 과정

1. $k\tau = 0.2 \times 5 = 1$이다.
2. 따라서 각 반응기에서 $C_{out} = \frac{C_{in}}{1+1} = \frac{C_{in}}{2}$가 되어 농도가 한 단계마다 절반이 된다.
3. 첫 번째 반응기 출구는 $3/2 = 1.5mol/L$이고, 이는 두 번째 반응기 입구 농도이다.
4. 두 번째 반응기 출구는 $1.5/2 = 0.75mol/L$이고, 이는 세 번째 반응기 입구 농도이다.
5. 세 번째 반응기 출구는 $0.75/2 = 0.375mol/L$이고, 이는 네 번째 반응기 입구 농도이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 0.188은 $3 \times (1/2)^4 = 0.1875$로 계산한 값으로 네 번째 반응기 출구 농도에 해당한다. 틀린 표현은 '네 번째 반응기 입구'이고, 올바르게는 '네 번째 반응기 출구 농도는 약 0.188 mol/L이다'이다.
② O: 각 반응기에서 $k\tau = 1$이므로 출구 농도는 입구 농도의 절반이 된다. 따라서 $3 \rightarrow 1.5 \rightarrow 0.75 \rightarrow 0.375$이므로 네 번째 반응기 입구 농도는 $0.375 mol/L$이다.
③ X: 0.750은 두 번째 반응기 출구이자 세 번째 반응기 입구 농도이다. 틀린 표현은 '네 번째 반응기 입구'이고, 올바르게는 '세 번째 반응기 입구 농도는 0.750 mol/L이다'이다.
④ X: 1.500은 첫 번째 반응기 출구이자 두 번째 반응기 입구 농도이다. 틀린 표현은 '네 번째 반응기 입구'이고, 올바르게는 '두 번째 반응기 입구 농도는 1.500 mol/L이다'이다.

오답 포인트

직렬 CSTR 문제에서는 묻는 위치가 몇 번째 반응기의 입구인지 출구인지가 핵심이다. ①은 네 번째 반응기 입구를 구한 뒤 한 번 더 반응기를 통과시켜 나온 값이고, ③과 ④는 각각 앞단 반응기에서 계산을 멈춘 값이라 단계 수를 잘못 세면 쉽게 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 CSTR 계산은 각 반응기마다 $C_{out} = C_{in}/(1 + k\tau)$를 반복 적용한 뒤, 문제에서 묻는 지점이 몇 번째 반응기의 입구인지 출구인지 마지막에 다시 대조해 판단한다.

암기 포인트

1차 반응 CSTR에서 $k\tau = 1$이면 반응기 하나를 지날 때마다 농도가 절반이 된다.

NoteBase

문 17. <보기>는 바이오매스 반응에서 기질S과 세포C가 반응하여 더 많은 세포와 생성물을 생성하는 것을 표현하는 식이다. 가장 옳지 않은 것은? (단, C_S는 기질의 농도, C_C는 세포의 농도이고, k와 K_S는 상수이다.)

<보기>

기질S + 세포C → 더 많은 세포 + 생성물P

$r_P = \frac{kC_SC_C}{K_S + C_S}$

① 매우 낮은 기질농도에서 총괄반응 차수는 2차이다.

② 생성물을 얻음에 있어 기질농도와 세포농도는 항상 비례관계에 있다.

③ 매우 높은 기질농도에서 총괄반응 차수는 1차이다.

④ 생성물을 얻음에 있어 세포 농도의 반응차수는 항상 1차이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 $r_P = \frac{kC_SC_C}{K_S + C_S}$의 저농도·고농도 극한에서 기질과 세포에 대한 반응차수, 그리고 총괄반응 차수를 판정할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 속도식은 $r_P = \frac{kC_SC_C}{K_S + C_S}$이다.
C_S가 매우 작으면 $C_S \ll K_S$로 본다.
C_S가 매우 크면 $C_S \gg K_S$로 본다.
C_C는 식 전체에 1차로 곱해져 있다.

사용할 공식

극한조건에서 분모를 단순화해 반응차수를 읽는다.
$r_P = \frac{kC_SC_C}{K_S + C_S}$
저농도에서는 $K_S + C_S \approx K_S$, 고농도에서는 $K_S + C_S \approx C_S$가 된다. 이 식은 Monod형 포화식이므로 기질에 대해서는 저농도에서 1차, 고농도에서 0차 거동을 보이고 세포에 대해서는 항상 1차 거동을 보인다.

NoteBase

계산 과정

1. $C_S \ll K_S$이면
$r_P \approx \frac{kC_SC_C}{K_S} = \frac{k}{K_S}C_SC_C$
이므로 C_S에 1차, C_C에 1차, 총괄반응 차수는 2차이다.
2. $C_S \gg K_S$이면
$r_P \approx \frac{kC_SC_C}{C_S} = kC_C$
이므로 C_S에 0차, C_C에 1차, 총괄반응 차수는 1차이다.
3. 따라서 세포농도 반응차수는 항상 1차이지만, 기질농도 반응차수는 농도영역에 따라 달라진다.

선지 판단

1번 O: 매우 낮은 기질농도에서는 $r_P \approx \frac{k}{K_S}C_SC_C$가 되어 기질 1차, 세포 1차이므로 총괄반응 차수는 2차이다.
2번 X: 틀린 표현은 "항상 비례관계"이다. 생성속도는 세포농도 C_C에는 항상 비례하지만, 기질농도 C_S에는 $\frac{C_S}{K_S + C_S}$ 꼴로 들어가므로 저농도에서만 거의 비례하고 고농도에서는 포화되어 더 이상 비례하지 않는다.
올바르게는 "생성속도는 세포농도에는 항상 비례하지만, 기질농도에는 항상 비례하지 않는다"가 된다.
3번 O: 매우 높은 기질농도에서는 $r_P \approx kC_C$가 되어 기질에 대해서는 0차, 세포에 대해서는 1차이므로 총괄반응 차수는 1차이다.
4번 O: 속도식에서 C_C는 분자에 1차로만 존재하므로 기질농도와 무관하게 세포농도의 반응차수는 항상 1차이다.

오답 포인트

2번처럼 "항상 비례"라는 말을 보면 기질항이 단순한 C_S인지, 아니면 $\frac{C_S}{K_S + C_S}$ 같은 포화식인지 먼저 봐야 한다. 이 문항은 세포농도 1차와 기질농도 포화거동을 혼동하면 틀리도록 만든 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

포화형 속도식이 나오면 먼저 분모에 같은 변수가 있는지 확인한 뒤, 저농도 $C_S \ll K_S$와 고농도 $C_S \gg K_S$의 두 극한으로 단순화해 각 성분의 차수를 읽으면 된다.

암기 포인트

Monod형 속도식은 기질 저농도에서 1차, 고농도에서 0차로 포화되고, 이 식에서는 세포농도만 항상 1차이다.

NoteBase

문 18. 일정 온도 및 일정 압력에서 부피가 변하는 회분식 반응기를 이용하여, 비가역 반응(3A → B + C)을 진행하였다. 초기에 A 75%, 불활성기체 25%가 혼합되었다고 하였을 때, 반응이 진행되는 30분 동안 부피가 25% 감소하였다면, 전환율[%]은?

① 25

② 50

③ 75

④ 100

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 일정 온도·압력의 기상 회분식 반응기에서 전체 몰수 변화와 부피 변화를 연결하여 전환율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 반응식: $3A \rightarrow B + C$
- 초기 조성: A 75%, 불활성기체 25%
- 30분 후 부피: 초기의 75%

구해야 할 값:
- A의 전환율 X

주의할 조건:
- 일정 온도·일정 압력에서는 $V \propto N_T$이다.

사용할 공식

일정 온도·압력의 기상계에서는 $\frac{V}{V_0} = \frac{N_T}{N_{T0}}$이다.
또한 이 반응은 3몰의 A가 반응할 때 전체 몰수가 1몰 감소하므로, 전환율 X에서
$N_T = N_{T0} - \frac{N_{A0}X}{3}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유:
부피 감소량이 직접 주어졌으므로, 부피비를 전체 몰수비로 바꾸면 전환율을 바로 연결할 수 있다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2022 · 10월

계산 과정

1. 초기 A 몰분율은 $y_{A0} = 0.75$이다.

2. 전체 몰수는

$\frac{N_T}{N_{T0}} = 1 - \frac{N_{A0}}{N_{T0}} \cdot \frac{X}{3} = 1 - \frac{0.75X}{3} = 1 - 0.25X$

이다.

3. 부피가 25% 감소했으므로 $\frac{V}{V_0} = 0.75$이고, 이는 $\frac{N_T}{N_{T0}} = 0.75$와 같다.

따라서

$1 - 0.25X = 0.75$

이므로

$0.25X = 0.25, \quad X = 1$

이다. 전환율은 100%이다.

선지별 해설

① X

- 계산 결과 전환율은 25%가 아니다. 25%는 $1 - 0.25X = 0.75$에서 마지막으로 0.25가 보인다는 이유만으로 성급히 고른 값이다.
- 틀린 표현은 "전환율 25%"이다. 올바르게는 "전환율 100%"이다.

② X

- 계산 결과 전환율은 50%가 아니다. 50%는 부피 감소율 25%를 전환율과 단순 비례시켜 잘못 해석할 때 나오는 값이다.
- 틀린 표현은 "전환율 50%"이다. 올바르게는 "전환율 100%"이다.

③ X

- 계산 결과 전환율은 75%가 아니다. 75%는 초기 A의 조성 75%를 그대로 전환율로 착각한 값이다.
- 틀린 표현은 "전환율 75%"이다. 올바르게는 "전환율 100%"이다.

④ O

- $1 - 0.25X = 0.75$에서 $X = 1$이므로 전환율은 100%이다. 부피 감소 25%가 전체 몰수 감소 25%와 같고, 초기 A가 전체의 75%이므로 A가 전부 반응해야 그 감소량이 맞아떨어진다.

오답 포인트

부피 25% 감소를 전환율 25%로 바로 읽으면 틀린다. 이 문제는 반응식의 총몰수 변화 (3 → 2)와 초기 A 몰분율 75%를 함께 넣어야 한다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

일정 온도·압력의 기상 회분식 반응기는 먼저 $V/V_0 = N_T/N_{T0}$를 세우고, 그다음 반응식의 총몰수 변화와 초기 반응물 몰분율을 넣어 N_T/N_{T0}를 X의 식으로 바꿔 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

기상계에서 일정 T, P이면 부피비는 전체 몰수비와 같고, 전환율은 반응식의 총몰수 변화까지 반영해야 한다.

NoteBase

문 19. 특정 효소가 Michaelis-Menten 속도 공식을 따라 반응하고, 경쟁적 억제제의 참여가 가능하다. 경쟁적 억제제의 농도가 4배로 증가하였을 때, 겉보기 최대속도 V_{max}의 기존 대비 비는?

① 0.25

② 0.5

③ 1

④ 4

정답 3번

출제 포인트

경쟁적 억제에서 억제제 농도가 변해도 겉보기 최대속도 V_{max}는 변하지 않고 겉보기 K_m만 증가한다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 효소 반응은 Michaelis-Menten 속도식을 따르고 경쟁적 억제제가 작용한다.
변화 조건: 경쟁적 억제제 농도가 4배로 증가한다.
구해야 할 값: 증가 후 겉보기 최대속도 V_{max}의 기준 대비 비이다.
주의할 조건: 경쟁적 억제는 활성자리 경쟁이므로 충분히 큰 기질 농도에서는 억제 효과를 극복할 수 있다.

사용할 공식

$v = \frac{V_{max}[S]}{\alpha K_m + [S]}, \quad \alpha = 1 + \frac{[I]}{K_i}$
이 공식을 쓰는 이유는 경쟁적 억제에서 α가 K_m 앞에만 붙고 V_{max} 항은 그대로 유지되기 때문이다.

계산 과정

1. 경쟁적 억제제 농도 $[I]$가 4배가 되면 α 값은 커진다.
2. 그러나 이 변화는 식에서 K_m 항에만 반영되고 V_{max} 자체는 바뀌지 않는다.
3. 따라서 증가 전후의 겉보기 최대속도 비는 $V_{max,\,after}/V_{max,\,before} = 1$이다.

NoteBase

선지 판단

① X
0.25는 겉보기 최대속도 V_{max}가 1/4로 감소한다고 본 값이다. 경쟁적 억제에서는 V_{max}가 감소하지 않는다.
틀린 값 0.25 → 올바르게는 1이다.

② X
0.5는 V_{max}가 절반으로 감소한다고 본 값이다. 경쟁적 억제는 충분히 큰 기질 농도에서 극복되므로 최대속도는 유지된다.
틀린 값 0.5 → 올바르게는 1이다.

③ O
경쟁적 억제는 겉보기 K_m만 증가시키고 V_{max}는 유지한다. 따라서 기준 대비 비는 1이다.

④ X
4는 억제제 농도 증가 배수를 그대로 V_{max} 변화 배수로 오해한 값이다. 억제제 농도가 4배가 되어도 V_{max}는 4배가 되지 않는다.
틀린 값 4 → 올바르게는 1이다.

계산 결과 1이므로 정답은 3번이다.

오답 포인트

경쟁적 억제에서 변하는 것은 V_{max}가 아니라 겉보기 K_m라는 점을 뒤바꾸어 기억하면 오답이 된다. 억제제 농도 변화 배수를 그대로 최대속도 변화 배수로 연결하는 것이 출제자가 노린 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

억제 유형을 먼저 확인한 뒤 경쟁적 억제이면 K_m 변화, V_{max} 불변을 바로 적용해 판단한다. 최대속도를 묻는 문항에서는 기질 농도를 충분히 크게 했을 때도 같은지를 기준으로 본다.

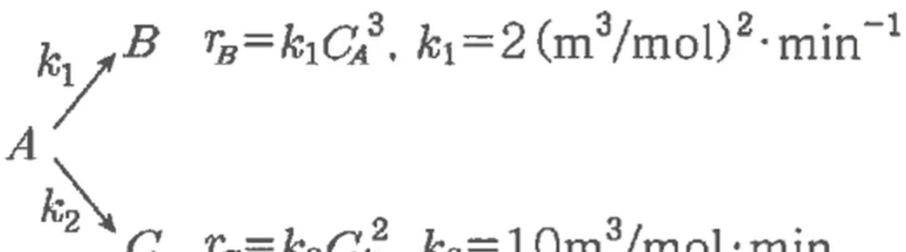
암기 포인트

경쟁적 억제는 K_m만 오른다. V_{max}는 그대로이다.

NoteBase

문 20. 관형흐름반응기(PFR) 내에서 <보기>와 같은 액상 반응이 일어난다. 초기 A 농도는 40mol/m^3이고, 전환율 (X_A)이 0.9일 때, 반응 후 C의 농도[mol/m^3]는? (단, $\ln 5 = 1.6$으로 가정한다.)

〈보기〉



① 8

② 16

③ 24

④ 32

정답 1번

출제 포인트

병렬반응이 일어나는 액상 PFR에서 $\frac{dC_C}{dC_A} = -\frac{r_C}{r_B + r_C}$를 세워 적분해 생성물 C의 출구 농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 초기 A 농도 $C_{A0} = 40mol/m^3$, 전환율 $X_A = 0.9$, $r_B = k_1C_A^3$, $k_1 = 2(m^3/mol)^2 \cdot min^{-1}$, $r_C = k_2C_A^2$, $k_2 = 10m^3/(mol \cdot min)$이다.
구해야 할 값은 반응 후 C의 농도이다.
액상 반응이므로 밀도 변화가 없다고 보고 농도 기준으로 바로 적분할 수 있다.

사용할 공식

A가 B와 C로 병렬 생성되므로
$-\frac{dC_A}{d\tau} = r_B + r_C = k_1C_A^3 + k_2C_A^2$
$\frac{dC_C}{d\tau} = r_C = k_2C_A^2$
따라서 두 식을 나누면
$\frac{dC_C}{dC_A} = -\frac{r_C}{r_B + r_C} = -\frac{k_2C_A^2}{k_1C_A^3 + k_2C_A^2} = -\frac{10}{2C_A + 10} = -\frac{5}{C_A + 5}$
이 식을 쓰는 이유는 PFR에서 축 방향 체류시간 τ를 제거하면 생성물 C 농도를 A 농도 변화만으로 직접 구할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전환율로 출구의 A 농도를 구하면

$C_A = C_{A0}(1 - X_A) = 40(1 - 0.9) = 4mol/m^3$

2. C의 초기 농도는 0이므로

$\int_0^{C_C} dC_C = \int_{40}^{4} -\frac{5}{C_A + 5} dC_A$

3. 적분하면

$C_C = -5[\ln(C_A + 5)]_{40}^{4} = 5\ln\frac{45}{9} = 5\ln 5$

4. $\ln 5 = 1.6$을 대입하면

$C_C = 5 \times 1.6 = 8mol/m^3$

따라서 반응 후 C의 농도는 8이다.

선지별 해설

① O

- 적분 결과가 $C_C = 8mol/m^3$이므로 옳은 값이다.

② X

- 16은 $-\frac{10}{2C_A + 10}$을 $-\frac{10}{C_A + 5}$처럼 잘못 단순화해 2배 크게 계산할 때 나오는 값이다.
- 틀린 수치는 16이며, 올바르게는 $8mol/m^3$이다.

③ X

- 24는 병렬반응의 생성 비율을 일정하다고 보고 단순 비례로 나눌 때 생기기 쉬운 오답이다. 실제로는 $\frac{r_C}{r_B} = \frac{10}{2C_A} = \frac{5}{C_A}$이므로 비율이 C_A에 따라 계속 변한다.
- 틀린 수치는 24이며, 올바르게는 $8mol/m^3$이다.

④ X

- 32는 전환된 A의 대부분이 C로 간다고 본 값인데, 고농도 구간에서는 $r_B = 2C_A^3$가 더 크게 작용하므로 B 생성이 우세하다.
- 틀린 수치는 32이며, 올바르게는 $8mol/m^3$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 전체 전환율 0.9만 보고 C 생성량을 직접 나누려는 점에 있다. 병렬반응에서는 r_C/r_B가 C_A에 따라 변하므로 선택도가 일정하지 않다. 또한 $-\frac{10}{2C_A + 10}$을 $-\frac{5}{C_A + 5}$로 정리하는 과정에서 2를 빠뜨리면 정답이 바로 16으로 틀어진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

병렬반응 PFR 계산형은 먼저 전환율로 출구의 A 농도를 구한 뒤, (dC_생성물)/(dC_A)=-(r_생성물)/(Σ r)를 세워 적분하는 순서로 판단하면 된다. 생성 비율이 농도에 따라 달라지는지부터 확인하면 단순 비례 오답을 피할 수 있다.

암기 포인트

병렬반응 PFR 생성물 농도는 (dC_생성물)/(dC_A)=-(r_생성물)/(Σ r)로 바꿔 적분한다는 점이 핵심이다.

NoteBase