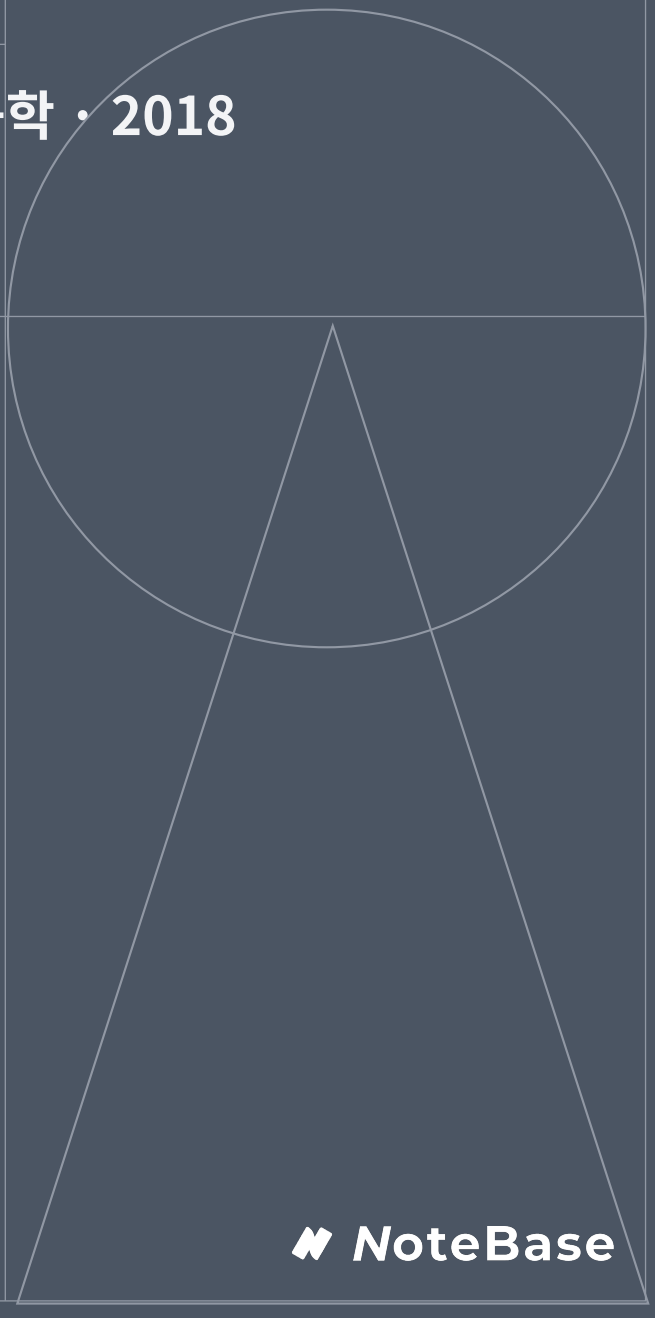
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 반응공학 · 2018



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 반응공학 · 2018

공무원/국가직/7급 · 반응공학 · 2018

문 1. 반응속도식이 $-r_A = kC_A^2C_BC_C^3$일 때, 옳지 않은 것은? (단, C_I는 I의 농도이다)

① 전체 반응차수는 6차이다.

② 반응속도상수 k는 무차원(dimensionless)이다.

③ A에 대해 반응차수는 2차이다.

④ 반응속도 $-r_A$는 단위시간당 단위부피당 반응하는 A의 몰수이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 반응속도식 $-r_A = kC_A^2C_BC_C^3$에서 반응차수와 반응속도상수의 차원을 판별하는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응속도식은 $-r_A = kC_A^2C_BC_C^3$이다.
A에 대한 반응차수는 지수 2이고, 전체 반응차수는 지수의 합인 $2 + 1 + 3 = 6$이다.
반응속도 $-r_A$의 단위는 단위시간당 단위부피당 A가 소모되는 몰수이므로 보통 $mol/(L \cdot t)$ 또는 농도/시간이다.

사용할 공식

전체 반응차수는 속도식 각 농도항 지수의 합으로 구한다.
반응속도상수의 차원은 $[k] = [-r_A]/[C]^6$으로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문항이 수치 계산이 아니라 속도식의 지수와 단위 일치를 이용해 선지를 판단하는 유형이기 때문이다.

계산 과정

1. A에 대한 차수는 C_A^2의 지수이므로 2차이다.
2. 전체 차수는 $2 + 1 + 3 = 6$이므로 6차이다.
3. 농도의 단위를 C로 두면 [k]=[-r_A]/[C]^6=(농도/시간)/(농도^6)=농도^-5· 시간^-1이다. 따라서 k는 무차원이 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① O
전체 반응차수는 각 농도항의 지수 합이므로 2 + 1 + 3 = 6차이다.

② X
반응속도상수 k는 무차원이 아니다. 속도식이 6차이므로 k는 반응속도 단위를 맞추기 위해 농도^-5· 시간^-1의 차원을 가진다. 틀린 표현은 '무차원'이고, 올바르게는 '6차 반응에 맞는 차원을 가지는 상수'이다.

③ O
A에 대한 반응차수는 C_A의 지수만 보면 되므로 2차이다.

④ O
반응속도 $-r_A$는 단위시간당 단위부피당 반응하는 A의 몰수, 즉 A의 소멸속도를 뜻한다.

오답 포인트

②는 반응속도상수 k를 항상 상수값이라는 이유만으로 무차원이라고 착각하게 만드는 함정이다. 상수라는 말과 무차원은 전혀 다르며, 반응차수가 1차가 아닐수록 k의 단위가 달라진다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

속도식 문제가 나오면 먼저 각 물질 농도항의 지수를 읽어 부분차수와 전체차수를 정리하고, 그다음 [k]=[rate]/[concentration]^전체차수로 차원을 검산하면 된다.

암기 포인트

전체차수는 지수의 합이고, k의 단위는 반응차수가 커질수록 무차원에서 멀어진다.

NoteBase

문 2. 등온 회분식 반응기에서 $A \rightarrow 2R$인 액상 반응이 진행된다. 반응이 A에 대해 2차일 때, 반응 개시 후 전환율 50%에 도달하는 데 걸리는 시간(t_{50})에 대한 전환율 75%에 도달하는 데 걸리는 시간(t_{75})의 비($\frac{t_{75}}{t_{50}}$)는?

① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 등온 액상 회분식 반응기에서 A에 대한 2차 반응의 적분식으로 전환율별 반응 시간을 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 등온 회분식 반응기, 액상 반응, $A \rightarrow 2R$, A에 대해 2차 반응이다.
구해야 할 값: 전환율 75% 도달 시간 t_{75}와 전환율 50% 도달 시간 t_{50}의 비 t_{75}/t_{50}이다.
주의할 조건: 액상 회분반응이므로 부피를 일정하게 보고 $C_A = C_{A0}(1 - X)$를 사용한다.

사용할 공식

$-r_A = kC_A^2$이고, 회분식 적분식은
$t = \int_0^X \frac{dX}{kC_{A0}(1-X)^2} = \frac{X}{kC_{A0}(1-X)}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 액상 회분반응에서 농도는 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 바뀌고, A에 대한 2차 속도식은 $-r_A = kC_A^2$이므로 전환율-시간 관계를 직접 적분할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 전환율 X일 때 $t = X/[kC_{A0}(1 - X)]$이다.

2. $X = 0.50$을 대입하면

$t_{50} = \frac{0.50}{kC_{A0}(1 - 0.50)} = \frac{0.50}{0.50kC_{A0}} = \frac{1}{kC_{A0}}$

이다.

3. $X = 0.75$를 대입하면

$t_{75} = \frac{0.75}{kC_{A0}(1 - 0.75)} = \frac{0.75}{0.25kC_{A0}} = \frac{3}{kC_{A0}}$

이다.

4. 따라서

$\frac{t_{75}}{t_{50}} = \frac{3/(kC_{A0})}{1/(kC_{A0})} = 3$

이다.

선지별 해설

① X

- 비가 1이라는 뜻인데 계산 결과와 맞지 않는다. $t_{50} = 1/(kC_{A0})$, $t_{75} = 3/(kC_{A0})$이므로 비는 1이 아니라 3이다.

② X

- 비가 2라는 뜻인데 2차 회분반응 적분식을 적용하면 3이 나온다. 틀린 표현은 비를 2로 본 점이며, 올바르게는 $t_{75}/t_{50} = 3$이다.

③ O

- $t_{75}/t_{50} = 3$이므로 옳다. 전환율이 50%에서 75%로 올라가면 남아 있는 A의 농도가 더 낮아져 2차 반응 속도가 크게 감소하므로 필요한 시간이 3배가 된다.

④ X

- 비가 4라는 뜻인데 75% 전환에서 시간이 크게 늘어나더라도 계산값은 4가 아니라 3이다. 틀린 표현은 비를 4로 본 점이며, 올바르게는 $t_{75}/t_{50} = 3$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 화학량론 $A \rightarrow 2R$에 시선을 빼앗겨 시간비가 달라진다고 생각하거나, 1차 반응처럼 시간을 단순 비례로 보는 데 있다. 액상 회분반응에서는 부피를 일정하게 보므로 시간비 계산의 핵심은 화학량론보다 A에 대한 2차 적분식 $t = X/[kC_{A0}(1 - X)]$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

회분식 반응에서 특정 전환율 도달 시간을 묻고 차수가 주어지면 먼저 속도식을 전환율 식으로 바꿔 t-X 관계를 적분한 뒤, 각 전환율을 대입해 시간을 구하고 마지막에 비를 계산하는 방식으로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

액상 회분식에서 A의 2차 반응은 $t = X/[kC_{A0}(1-X)]$이며, X가 커질수록 $1-X$가 작아져 시간이 비선형적으로 급증한다.

NoteBase

문 3. 직렬로 연결된 두 개의 혼합흐름 반응기에서 다음과 같은 액상 반응이 진행된다. 첫 번째 반응기로 공급되는 A의 농도가 $2.0\text{mol}\text{L}^{-1}$일 때 첫 번째 반응기 출구와 두 번째 반응기 출구에서 A의 농도가 각각 $0.5\text{mol}\text{L}^{-1}$와 $0.2\text{mol}\text{L}^{-1}$로 측정되었다. 반응기 입구에서 부피 유속이 $10\text{L}\text{min}^{-1}$일 때, 두 반응기 부피의 합[L]은? (단, C_A는 A의 농도이다)

$A \rightarrow R, \quad -r_A = \frac{C_A}{1+C_A}[\text{mol}\text{L}^{-1}\text{min}^{-1}]$

① 2.5

② 6.3

③ 25

④ 63

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 직렬 CSTR 두 개에 대해 각 반응기별 설계식 $V = \frac{\nu(C_{A,\,in} - C_{A,\,out})}{(-r_A)_{out}}$을 적용하여 총부피를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 첫 반응기 입구 농도는 $C_{A0} = 2.0mol/L$이다.
- 첫 반응기 출구 농도는 $C_{A1} = 0.5mol/L$이다.
- 둘째 반응기 출구 농도는 $C_{A2} = 0.2mol/L$이다.
- 부피 유속은 $\nu = 10L/min$이다.
- 반응속도식은 $(-r_A) = \frac{C_A}{1+C_A}$이다.

구해야 할 값:
- 두 반응기 부피의 합이다.

주의할 조건:
- 혼합흐름반응기이므로 각 반응기의 반응속도는 그 반응기 출구 농도로 계산한다.

사용할 공식

각 혼합흐름반응기에는
$V = \frac{\nu(C_{A,\,in} - C_{A,\,out})}{(-r_A)_{out}}$
를 적용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제의 반응기가 두 개의 혼합흐름반응기(CSTR)이고, CSTR 설계식은 입출구 농도차를 출구 조건의 반응속도로 나누는 형태이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 첫 번째 반응기 출구에서의 속도를 계산하면
$(-r_A)_1 = \frac{0.5}{1+0.5} = \frac{1}{3} mol/(L \cdot min)$
이다.
2. 첫 번째 반응기 부피는
$V_1 = \frac{10(2.0-0.5)}{1/3} = 45L$
이다.
3. 두 번째 반응기 출구에서의 속도를 계산하면
$(-r_A)_2 = \frac{0.2}{1+0.2} = \frac{1}{6} mol/(L \cdot min)$
이다.
4. 두 번째 반응기 부피는
$V_2 = \frac{10(0.5-0.2)}{1/6} = 18L$
이다.
5. 따라서 총부피는
$V_1 + V_2 = 45 + 18 = 63L$
이다.

선지별 해설

① X
- 2.5는 계산된 총부피 63과 일치하지 않으므로 틀리다.
- 첫 번째 반응기만 계산해도 $45L$이므로 총부피가 $2.5L$일 수는 없다.
- 틀린 표현은 '2.5'이며, 올바르게는 '두 반응기 부피의 합은 $63L$이다'이다.

② X
- 6.3은 계산된 총부피 63과 일치하지 않으므로 틀리다.
- 첫 번째 반응기 부피 $45L$보다도 작으므로 총부피 후보가 될 수 없다.
- 틀린 표현은 '6.3'이며, 올바르게는 '두 반응기 부피의 합은 $63L$이다'이다.

③ X
- 25는 계산된 총부피 63과 일치하지 않으므로 틀리다.
- 첫 번째 반응기 하나의 부피가 이미 $45L$이므로 합계가 $25L$가 되는 것은 불가능하다.
- 틀린 표현은 '25'이며, 올바르게는 '두 반응기 부피의 합은 $63L$이다'이다.

④ O
- 첫 번째 반응기 부피 $45L$와 두 번째 반응기 부피 $18L$를 더하면 $63L$이므로 옳다.
- CSTR 설계식에서 각 반응기의 출구 농도로 속도를 넣어 계산한 결과와 정확히 일치한다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 PFR 적분식과 CSTR 설계식을 혼동하거나, 두 반응기 모두에 하나의 평균 속도를 적용하는 데 있다. CSTR은 각 반응기 출구 농도에서의 반응속도를 써야 하므로, 첫 번째 반응기에서 $C_A = 0.5$, 두 번째 반응기에서 $C_A = 0.2$를 각각 대입해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 반응기 계산 문제는 반응기 종류를 먼저 확인한 뒤 각 장치별로 입구 농도, 출구 농도, 출구 속도를 따로 정리해서 $V = \nu \Delta C/(-r_A)_{out}$를 순서대로 적용하면 된다. 첫 장치 부피보다 작은 총합 선지는 즉시 배제할 수 있다.

암기 포인트

CSTR은 출구농도 속도식, 직렬 CSTR은 반응기별로 따로 계산한 뒤 합산한다.

NoteBase

문 4. 반응물 A에 대해 다음의 플러그흐름 반응기 물질수지식을 유도하기 위한 가정으로 옳지 않은 것은? (단, F_A는 A의 몰유량, V는 반응기 부피, r_A는 A에 대한 반응속도이다)

$$\frac{dF_A}{dV} = r_A$$

① 반응기 반지름방향으로 A의 농도변화는 없다.

② 정상상태에서 반응기가 운전된다.

③ 반응기 축방향으로 r_A의 변화는 없다.

④ 반응기 내 흐름장(flow field)은 플러그흐름 분포로 모델화될 수 있다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 플러그흐름 반응기 물질수지식 $dF_A/dV = r_A$를 유도할 때 필요한 가정과, 반지름 방향 균일성과 축방향 변화 가능성을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

플러그흐름 반응기(PFR)는 반지름 방향으로는 조성과 농도가 균일하지만 축방향 혼합은 없으므로 F_A, 농도, 온도, r_A는 축방향 위치에 따라 변할 수 있는 이상반응기이다. 즉 반지름 방향 변화 없음과 축방향 변화 없음은 서로 다른 개념이다.

선지별 해설

1번(O): 플러그흐름 가정에서는 단면 내 완전한 반경방향 혼합이 이루어진 것으로 보아 반지름 방향으로 A의 농도변화가 없다고 본다. 따라서 물질수지를 단면 평균값으로 정리할 수 있다.
2번(O): $dF_A/dV = r_A$ 형태의 설계식은 정상상태에서 축방향 미소체적에 대해 유입-유출-반응을 정리하여 얻는다. 시간에 따른 축적항이 없다는 가정이 필요하다.
3번(X): 틀린 부분은 "반응기 축방향으로 r_A의 변화는 없다"는 표현이다. 실제로는 반응이 진행되면서 축방향으로 농도와 온도가 변할 수 있으므로 r_A도 위치에 따라 변할 수 있다. 올바르게는 "반응기 축방향으로 r_A는 변화할 수 있다"이다.
4번(O): 플러그흐름 반응기는 흐름장을 플러그흐름으로 이상화하여 모델링한다. 즉 유체요소가 피스톤처럼 이동하고 축방향 혼합은 없다고 본다.

오답 포인트

플러그흐름의 핵심은 "축방향 혼합이 없다"는 뜻이지 "축방향으로 상태량이 일정하다"는 뜻이 아니다. 3번은 반지름 방향 균일 가정을 축방향 일정 가정으로 바꿔치기한 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

PFR 가정 문제는 먼저 정상상태 여부를 보고, 다음으로 반지름 방향 균일과 축방향 혼합 부재를 확인한다. 그 뒤 농도와 반응속도는 축방향으로 변할 수 있는지를 판단하면 틀린 선지를 빠르게 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

PFR는 반지름 방향 균일, 축방향 변화 가능, 축방향 혼합 없음으로 정리된다.

NoteBase

문 5. 등온 회분식 반응기에서 $2A \rightarrow B$인 액상 기초반응을 수행하여 A의 초기농도가 1molL^{-1}일 때 10분 후 50%의 전환율을 얻었다. 이 반응을 동일 온도의 혼합흐름 반응기에서 수행하여 동일한 전환율을 얻고자 할 때, 필요한 혼합흐름 반응기의 부피[L]는? (단, 혼합흐름 반응기로 A가 1molL^{-1}의 농도와 10molmin^{-1}의 몰유량으로 공급된다)

① 10

② 20

③ 100

④ 200

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 등온 액상 기초반응 $2A \rightarrow B$의 배치반응기 자료로 속도상수 k를 구한 뒤, 같은 전환율을 주는 혼합흐름반응기 설계식으로 부피를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $C_{A0} = 1mol/L$, $t = 10min$, $X = 0.5$, $F_{A0} = 10mol/min$
구해야 할 값: 같은 전환율 $X = 0.5$를 주는 혼합흐름반응기의 부피 V
주의할 조건: 액상 반응이므로 체적유량이 일정하고, $X = 0.5$에서 $C_A = C_{A0}(1 - X) = 0.5mol/L$이다.

사용할 공식

기초반응 $2A \rightarrow B$의 A 소모속도는 $-r_A = kC_A^2$이다.
배치반응기 적분식은 $t = \int_{C_A}^{C_{A0}} \frac{dC_A}{kC_A^2} = \frac{1}{k}\left(\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}}\right)$ 이다.
혼합흐름반응기 설계식은 $V = \frac{F_{A0}X}{(-r_A)_{exit}}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 배치반응기 자료에서 같은 온도의 k를 먼저 구할 수 있고, CSTR은 반응기 전체가 출구 조성과 같으므로 출구 반응속도로 설계하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 배치반응기에서 $C_A = 0.5 mol/L$일 때
$10 = \frac{1}{k}\left(\frac{1}{0.5} - \frac{1}{1}\right) = \frac{1}{k}(2-1) = \frac{1}{k}$
이므로 $k = 0.1 L/(mol \cdot min)$이다.
2. 혼합흐름반응기 출구에서 $C_A = 0.5 mol/L$이므로
$(-r_A)_{exit} = kC_A^2 = 0.1 \times (0.5)^2 = 0.025 mol/(L \cdot min)$
이다.
3. 따라서
$V = \frac{F_{A0}X}{(-r_A)_{exit}} = \frac{10 \times 0.5}{0.025} = 200 L$
이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과 필요한 부피는 $200L$이므로 $10L$는 맞지 않는다. 틀린 표현은 부피값 10이고, 올바르게는 $200L$이다.
② X: 계산 결과와 비교하면 $20L$도 맞지 않는다. 틀린 표현은 부피값 20이고, 올바르게는 $200L$이다.
③ X: $100L$는 배치반응기 반응시간 $10min$에 체적유량 $10L/min$을 단순히 곱할 때 떠올리기 쉬운 값이지만, CSTR은 출구 조성에서의 느린 반응속도를 써야 하므로 부족하다. 틀린 표현은 부피값 100이고, 올바르게는 $200L$이다.
④ O: 출구에서 $(-r_A)_{exit} = 0.025 mol/(L \cdot min)$이고, $V = 10 \times 0.5/0.025 = 200L$이므로 옳다.

오답 포인트

배치반응기에서 50% 전환에 $10min$이 걸렸다고 해서 곧바로 $V = v_0 t = 100L$로 두면 틀린다. CSTR은 반응기 전체 농도가 출구 농도와 같아 반응속도가 가장 느린 상태로 계산되므로, 같은 전환율을 얻으려면 더 큰 부피가 필요하다.

다시 나오면 이렇게 판단

배치 자료가 주어지면 먼저 적분식으로 k를 구하고, CSTR 문제로 바뀌면 $C_A = C_{A0}(1-X)$로 출구농도를 만든 뒤 $(-r_A)_{exit}$를 계산하여 $V = F_{A0}X/(-r_A)_{exit}$를 적용하면 된다.

암기 포인트

같은 전환율에서는 CSTR이 출구농도 기준 반응속도를 쓰므로, 2차 반응에서는 배치시간에 유량을 단순히 곱한 값보다 더 크게 계산되는 경우가 많다.

NoteBase

문 6. 다음과 같은 A에 대한 0차 기상 반응이 부피 2L인 플러그흐름 반응기에서 등온 정압 조건하에 진행된다. 순수한 A가 공급되며 반응기 입구에서 A의 농도는 $100.0\text{mol}\text{L}^{-1}$이고 반응기 출구에서 A의 농도는 $25.0\text{mol}\text{L}^{-1}$이다. 반응기 입구에서 A의 몰유량 $[\text{mol}\text{min}^{-1}]$은?

$A \rightarrow B + C + D, \ -r_A = 5[\text{mol}\text{L}^{-1}\text{min}^{-1}]$

① 13.3

② 16.7

③ 20.0

④ 23.3

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 등온 정압 기상반응에서 몰수 증가에 따른 농도 변화를 반영하여 전환율을 구한 뒤, 0차 반응의 플러그흐름반응기 설계식으로 입구 몰유량을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 반응기 부피는 $V = 2L$이다.
- 반응속도는 0차이며 $-r_A = 5mol/(L \cdot min)$이다.
- 입구 농도는 $C_{A0} = 100.0mol/L$이다.
- 출구 농도는 $C_A = 25.0mol/L$이다.
- 반응식은 $A \rightarrow B + C + D$이다.

구해야 할 값:
- 입구에서의 A 몰유량 F_{A0}이다.

주의할 조건:
- 등온 정압 기상반응이므로 총 몰수 증가에 따른 부피유량 증가를 함께 반영해야 한다.

사용할 공식

기상 등온 정압 반응의 농도식은 $C_A = C_{A0}\frac{1-X}{1+\varepsilon X}$ 이다.
여기서 $\varepsilon = \Delta\nu y_{A0}$이고, 순수한 A가 공급되므로 $y_{A0} = 1$이다. 반응식 $A \rightarrow B + C + D$에서 총 몰수 변화는 $\Delta\nu = 3 - 1 = 2$이므로 $\varepsilon = 2$이다.
플러그흐름반응기의 설계식은 $V = F_{A0}\int_0^X \frac{dX}{-r_A}$ 이다.
이 문제는 0차 반응이라 $-r_A$가 일정하므로 $V = \frac{F_{A0}X}{-r_A}$ 로 바로 계산할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 출구 농도로부터 전환율을 구한다.

$\frac{25.0}{100.0} = \frac{1-X}{1+2X} = 0.25$

$0.25(1+2X) = 1-X$

$0.25 + 0.5X = 1 - X$

$1.5X = 0.75$

$X = 0.5$

2. PFR 설계식에 대입한다.

$V = \frac{F_{A0}X}{-r_A}$

$2 = \frac{F_{A0} \times 0.5}{5}$

3. F_{A0}를 정리한다.

$F_{A0} = \frac{2 \times 5}{0.5} = 20.0 mol/min$

따라서 입구 몰유량은 $20.0 mol/min$이다.

선지별 해설

① X

- 13.3은 $F_{A0} = 10/0.75$로 계산한 값이다.
- 틀린 부분은 출구 농도비 $25/100 = 0.25$만 보고 전환율을 $X = 0.75$로 둔 점이다. 올바르게는 등온 정압 기상반응에서 몰수 증가가 있으므로 $C_A/C_{A0} = 1 - X$를 그대로 쓰지 않는다.

② X

- 16.7은 $X = 0.6$일 때의 값이다.
- 틀린 부분은 $\varepsilon = 1$처럼 총 몰수 증가를 잘못 둔 점이다. 올바르게는 $A \rightarrow B + C + D$에서 총 몰수 변화는 $\Delta\nu = 2$이다.

③ O

- 전환율이 $X = 0.5$이므로 $F_{A0} = 2 \times 5/0.5 = 20.0 mol/min$이다.
- 기상 팽창 보정과 PFR 설계식을 함께 적용한 계산 결과와 일치하므로 옳다.

④ X

- 23.3은 $F_{A0} = 10/0.4286$ 형태의 값이다.
- 틀린 부분은 증가항을 $\varepsilon = 3$처럼 둔 점이다. 올바르게는 생성물 몰수 3이 아니라 총 몰수 증가분 $3 - 1 = 2$를 사용한다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 농도 감소율을 전환율과 같게 보는 점과, $A \rightarrow B + C + D$에서 생성물 수 3을 그대로 ε로 넣는 점이다. 이 문제는 등온 정압 기상반응이라 농도 변화에 부피유량 증가가 섞여 있으므로, 단순한 액상 반응처럼 계산하면 오답이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

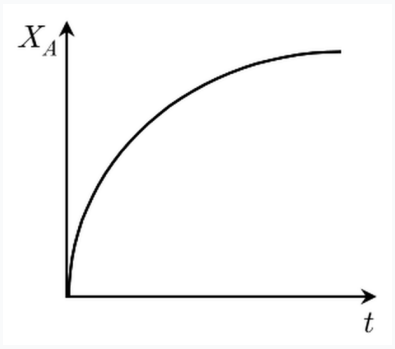
등온 정압 기상반응 계산은 먼저 $\Delta\nu$로 ε를 정하고, 그다음 $C_A = C_{A0}(1 - X)/(1 + \varepsilon X)$에서 전환율을 구한 뒤, 마지막에 반응기 설계식으로 유량을 계산하는 순서로 판단한다.

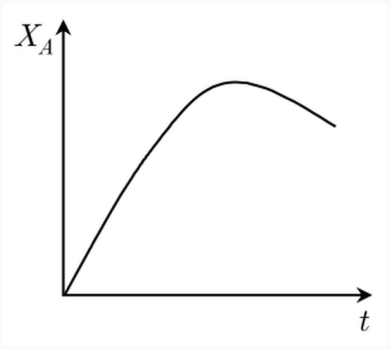
암기 포인트

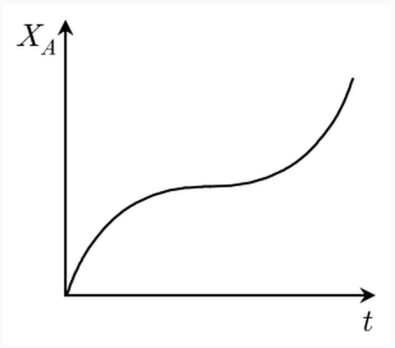
기상 등온 정압 반응은 농도비만 보고 X를 정하지 않는다. 먼저 ε를 넣어 팽창 보정을 해야 한다.

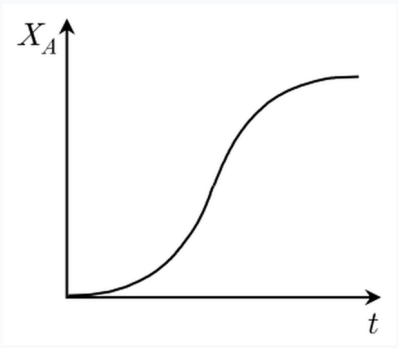
NoteBase

문 7. 자동촉매반응(autocatalytic reaction) $A + R \rightarrow R + R$의 시간t에 따른 전환율X_A 그래프는? (단, 반응 초기에는 A와 미량의 R이 존재한다)

① 

② 

③ 

④ 

정답 4번

NoteBase

출제 포인트

이 문제는 자동촉매반응 $A + R \rightarrow 2R$에서 속도가 $r \propto C_A C_R$에 비례한다는 점을 이용하여, 초기에는 R이 매우 적어 전환율 X_A가 천천히 증가하고 중간에 빨라졌다가 말기에는 A 고갈로 다시 완만해지는 S자형 그래프를 고르는 문제이다.

선지별 해설

① X

- 처음부터 기울기가 매우 큰 오목감소형 그래프이다. 자동촉매반응은 반응 초기에 R이 미량이므로 초기 속도가 작아야 한다. 틀린 표현은 '처음부터 빠르게 진행된다'는 그래프 형태이며, 올바르게는 '초기에는 완만하고 생성된 R이 늘면서 점점 빨라진다'이다.

② X

- 전환율이 증가하다가 다시 감소하는 그래프이다. 비가역반응의 전환율 X_A는 시간에 따라 감소할 수 없다. 틀린 표현은 '한번 증가한 전환율이 다시 내려간다'는 형태이며, 올바르게는 '전환율은 단조증가하되 말기에 증가속도만 둔화된다'이다.

③ X

- 초기에 조금 증가한 뒤 거의 정체되다가 후반에 다시 급격히 증가하는 형태이다. 자동촉매반응은 중간에 속도가 최대가 된 뒤 A가 줄어들면서 다시 느려져야 하므로, 후반 재가속은 맞지 않는다. 틀린 표현은 '말기에 다시 가속된다'는 부분이며, 올바르게는 '말기에는 반응물 A 부족으로 증가율이 감소한다'이다.

④ O

- 초기에 완만하고, 중간에 가파르게 증가하며, 말기에 다시 완만해지는 전형적인 S자형 그래프이다. 초기에는 R이 적어 속도가 작고, 생성된 R이 축적되면 자동촉매 효과로 속도가 커지며, 이후 A가 감소하면 속도가 다시 줄어든다.

오답 포인트

자동촉매반응이라는 말만 보고 '촉매가 있으니 처음부터 빠르다'고 생각하면 ①로 흐르기 쉽다. 이 문항의 핵심은 촉매 R이 외부에서 충분히 주어진 것이 아니라 반응이 진행되면서 스스로 생성된다는 점이다. 따라서 초기 미량 R, 중간 가속, 말기 감속의 3단계를 함께 보아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

자동촉매반응 그래프는 먼저 속도식에 생성물 농도가 들어가는지 확인한다. 생성물이 속도에 들어가고 초기 생성물이 매우 적으면 초반은 느리다. 이후 생성물 축적으로 가속되고, 반응물 고갈 구간에서는 다시 감속되므로 전환율-시간 그래프는 S자형으로 판단된다.

NoteBase

암기 포인트

자동촉매반응 전환율은 '초기 미량 생성물로 느림 → 중간 자기촉진으로 빠름 → 말기 반응물 고갈로 느림'의 S자형이다.

NoteBase

문 8. 직렬로 연결된 두 개의 혼합흐름 반응기에서 $A \rightarrow B$인 1차 등온 액상 반응이 진행된다. 최종 전환율이 0.75일 때, 두 반응기 부피의 합이 최소가 되는 첫 번째 반응기 출구 전환율은?

① 0.3

② 0.4

③ 0.5

④ 0.6

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 직렬 CSTR 두 개에서 1차 액상반응이 진행될 때, 최종 전환율이 고정된 조건에서 총 반응기 부피가 최소가 되도록 중간 전환율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 두 개의 혼합흐름반응기가 직렬로 연결되어 있고, 반응은 $A \rightarrow B$인 1차 등온 액상반응이며, 최종 전환율은 0.75이다.
구해야 할 값은 첫 번째 반응기 출구 전환율 X_1이다.
액상 등밀도 1차반응의 CSTR 설계식은 출구 농도로 속도를 계산한다는 점이 핵심이다.

사용할 공식

각 CSTR의 부피는 $V = \frac{F_{A0}(X_{out} - X_{in})}{kC_{A0}(1 - X_{out})}$이다.
첫 번째 반응기와 두 번째 반응기의 부피를 더하면
$V_T = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}}\left[\frac{X_1}{1 - X_1} + \frac{0.75 - X_1}{1 - 0.75}\right]$
이 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 직렬 CSTR의 총부피 최소 조건은 각 반응기 설계식을 중간 전환율 X_1의 함수로 만든 뒤 미분해서 찾기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

상수 $\frac{F_{A0}}{kC_{A0}}$를 제외하면 최소화할 함수는
$f(X_1) = \frac{X_1}{1-X_1} + \frac{0.75 - X_1}{0.25} = \frac{X_1}{1-X_1} + 3 - 4X_1$
이다.
이를 미분하면
$f'(X_1) = \frac{1}{(1-X_1)^2} - 4$
이다.
최소 조건 $f'(X_1) = 0$에서
$\frac{1}{(1-X_1)^2} = 4$
$1 - X_1 = 0.5$
$X_1 = 0.5$
이므로 첫 번째 반응기 출구 전환율은 0.5이다.

선지 판단

1번 X: $X_1 = 0.3$이면 $f(0.3) = \frac{0.3}{0.7} + 3 - 1.2 \approx 2.2286$으로 최소값보다 크다. 올바르게는 최소가 되는 전환율이 0.5여야 한다.
2번 X: $X_1 = 0.4$이면 $f(0.4) = \frac{0.4}{0.6} + 3 - 1.6 \approx 2.0667$으로 더 작아지지만 아직 최소점은 아니다. 올바르게는 미분값이 0이 되는 0.5가 되어야 한다.
3번 O: $X_1 = 0.5$이면 $f(0.5) = \frac{0.5}{0.5} + 3 - 2 = 2.0$이고, 미분조건도 만족하므로 총 부피가 최소가 된다.
4번 X: $X_1 = 0.6$이면 $f(0.6) = \frac{0.6}{0.4} + 3 - 2.4 = 2.1$로 다시 커진다. 올바르게는 최소점을 지난 값이 아니라 0.5가 되어야 한다.

오답 포인트

두 번째 반응기 부피식에서 분모를 $1 - X_1$로 잘못 두거나, 총부피식을 만든 뒤 미분하지 않고 감으로 중간값을 고르면 틀리기 쉽다. CSTR은 각 반응기 출구 전환율을 기준으로 속도를 계산한다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 CSTR 최소부피 문제는 각 반응기 설계식을 중간 전환율 변수 하나로 정리한 뒤, 총부피식을 만들고 미분해서 극값을 찾는 순서로 판단한다.

암기 포인트

직렬 CSTR의 최소 총부피는 $V_T(X_1)$를 만든 뒤 $\frac{dV_T}{dX_1} = 0$으로 찾는다.

NoteBase

문 9. 등온 정압 조건의 혼합흐름 반응기에서 $A \rightarrow 2R$인 기상 기초반응이 진행된다. 비활성 물질이 반응물 A와 함께 공급되며 반응기 입구에서 A의 몰분율은 0.8, 반응속도상수 k는 0.1min^{-1}일 때, 전환율 50%를 얻기 위한 공간시간[min]은?

① 7

② 14

③ 28

④ 56

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 등온·정압 기상반응에서 몰수 변화가 있는 혼합흐름반응기의 공간시간 τ를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 반응식 $A \rightarrow 2R$, 입구 몰분율 $y_{A0} = 0.8$, 반응속도상수 $k = 0.1min^{-1}$, 전환율 $X = 0.5$이다.
구해야 할 값은 혼합흐름반응기의 공간시간 τ이다.
등온·정압 기상반응이므로 반응 전후 총몰수 변화가 농도식에 반영된다.

사용할 공식

혼합흐름반응기에서는 $\tau = \frac{C_{A0}X}{-r_A}$를 출구조건으로 계산한다.
이 문제의 반응은 기초반응이므로 $-r_A = kC_A$이다.
또한 등온·정압 기상반응에서 $A \rightarrow 2R$이면 총몰수 변화계수는 $\varepsilon = y_{A0}\Delta\nu = 0.8 \times 1 = 0.8$이므로
$C_A = C_{A0}\frac{1-X}{1+\varepsilon X} = C_{A0}\frac{1-X}{1+0.8X}$를 쓴다.

계산 과정

$-r_A = kC_A = 0.1C_{A0}\frac{1-X}{1+0.8X}$
따라서
$\tau = \frac{C_{A0}X}{-r_A} = \frac{X(1+0.8X)}{0.1(1-X)}$
$X = 0.5$를 대입하면
$\tau = \frac{0.5(1+0.8\times0.5)}{0.1(1-0.5)} = \frac{0.5\times1.4}{0.05} = 14$
따라서 공간시간은 14분이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 14분이므로 7분은 맞지 않는다. 7분은 $\tau = \frac{X}{k}$처럼 혼합흐름반응기 식도, 기상 팽창 보정도 모두 빠뜨린 값에 가깝다. 틀린 표현은 수치 7이며, 올바르게는 14분이다.
2번 O: 출구농도를 반영한 혼합흐름반응기 설계식으로 계산하면 $\tau = 14$분이 된다.
3번 X: 28분은 정답 14분의 2배로 과대평가된 값이다. 보통 분모의 $(1 - X)$를 중복 처리하거나 기상 팽창 효과를 잘못 겹쳐 넣을 때 나올 수 있다. 틀린 표현은 수치 28이며, 올바르게는 14분이다.
4번 X: 56분은 정답보다 지나치게 큰 값이다. 혼합흐름반응기 설계식을 잘못 세우거나 몰수 변화 보정을 과도하게 적용한 경우의 오답이다. 틀린 표현은 수치 56이며, 올바르게는 14분이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 1차반응이라는 이유만으로 액상식처럼 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 두는 데 있다. 등온·정압 기상반응에서 $A \rightarrow 2R$는 총몰수가 증가하므로 $1 + \varepsilon X$ 보정을 반드시 넣어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

기상 반응기 계산형은 먼저 반응 전후 총몰수 변화가 있는지 확인하고, 그다음 C_A의 X 의존식을 만든 뒤, 반응기 종류에 맞는 설계식에 대입해 판단한다.

암기 포인트

등온·정압 기상반응에서 몰수 변화가 있으면 $C_A = C_{A0}\frac{1 - X}{1 + \varepsilon X}$, 혼합흐름반응기에서는 $\tau = \frac{C_{A0}X}{-r_A}$를 출구조건으로 쓴다.

NoteBase

문 10. 혼합흐름 반응기에서 다음과 같은 액상 반응들이 경쟁적으로 진행된다. A의 전환율이 80%일 때, 반응기 출구에서 S의 농도 $[\mathrm{mol L^{-1}}]$는? (단, C_I는 I의 농도, 반응기로는 A와 B만 공급되고, 반응기 입구에서 A와 B의 농도는 $10\mathrm{mol L^{-1}}$으로 동일하며, $k_1 = k_2$이다)

$A + B \rightarrow R,\ \frac{dC_R}{dt} = k_1 C_A^2 C_B$
$A + B \rightarrow S,\ \frac{dC_S}{dt} = k_2 C_A C_B^2$

① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 혼합흐름 반응기에서 대칭 공급 조건 $C_{A0} = C_{B0}$, 같은 화학양론, $k_1 = k_2$를 이용해 경쟁 반응의 생성물 분배와 S의 출구 농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $C_{A0} = C_{B0} = 10 mol/L$, $X_A = 0.8$, $k_1 = k_2$이다.
구해야 할 값: 반응기 출구의 C_S이다.
주의할 조건: 두 반응 모두 $A + B$를 1:1로 소비하므로 입구 농도가 같으면 출구에서도 $C_A = C_B$가 된다.

사용할 공식

정상상태 혼합흐름 반응기에서 A, B의 물질수지는
$Q(C_{A0} - C_A) = V(r_R + r_S), \quad Q(C_{B0} - C_B) = V(r_R + r_S)$
이다. 두 식의 우변이 같고 $C_{A0} = C_{B0}$이므로 $C_A = C_B$이다.
또한 생성속도비는
$\frac{r_R}{r_S} = \frac{k_1 C_A^2 C_B}{k_2 C_A C_B^2} = \frac{k_1 C_A}{k_2 C_B} = 1$
이므로 R과 S는 같은 속도로 생성된다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문항이 반응기 내부 농도비로 경쟁 반응의 선택도를 먼저 정한 뒤, 총 전환량을 각 생성물에 배분하는 구조이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. A의 전환율이 80%이므로 소모된 A의 양은 $10 \times 0.8 = 8 mol/L$이다.
2. 입구 농도가 같고 두 반응의 화학양론이 같으므로 출구에서 $C_A = C_B$이다.
3. $k_1 = k_2$, $C_A = C_B$이므로 $r_R = r_S$이다. 따라서 소모된 A 8 중 절반은 R, 절반은 S 생성에 사용된다.
4. 따라서 $C_S = 8/2 = 4 mol/L$이다.

선지별 해설

① X: $C_S = 2 mol/L$는 틀리다. 소모된 A의 총량은 $8 mol/L$이고, 생성물은 R과 S에 반씩 배분되므로 S는 $4 mol/L$가 된다. 틀린 표현은 '2'이고, 올바르게는 $C_S = 4 mol/L$이다.
② O: $C_S = 4 mol/L$가 맞다. $k_1 = k_2$, $C_A = C_B$이므로 두 경쟁 반응의 속도가 같아 A 소모량 $8 mol/L$의 절반이 S로 간다.
③ X: $C_S = 6 mol/L$는 틀리다. S는 전체 생성량 $8 mol/L$의 절반만 차지하므로 $4 mol/L$를 넘을 수 없다. 틀린 표현은 '6'이고, 올바르게는 $C_S = 4 mol/L$이다.
④ X: $C_S = 8 mol/L$는 틀리다. 이 값은 소모된 A가 모두 S로 갔다고 본 경우인데, 실제로는 R과 S가 같은 속도로 함께 생성된다. 틀린 표현은 '8'이고, 올바르게는 $C_S = 4 mol/L$이다.

오답 포인트

전환율 80%를 그대로 S 생성량으로 보는 실수가 대표적이다. 이 문항은 먼저 총 소모량 $8 mol/L$을 구한 뒤, 경쟁 반응의 속도비가 1:1인지 따져 생성물 분배를 해야 한다. 또한 혼합흐름 반응기라는 이유만으로 $C_A = C_B$ 확인을 생략하면 선택도 판단이 흐려진다.

다시 나오면 이렇게 판단

경쟁 반응 계산형은 먼저 총 전환량을 구하고, 그다음 속도식으로 생성속도비 $r_1 : r_2$를 정해 각 생성물에 배분하는 순서로 판단한다. 입구 농도와 화학양론이 대칭이면 $C_A = C_B$부터 확인하면 계산이 바로 단순화된다.

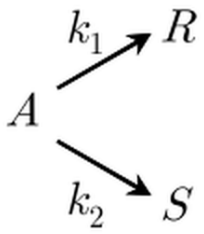
암기 포인트

대칭 공급과 같은 화학양론, $k_1 = k_2$이면 경쟁 반응 생성물은 속도비 1:1로 나뉘고, 각 생성물 농도는 총 전환량의 절반이다.

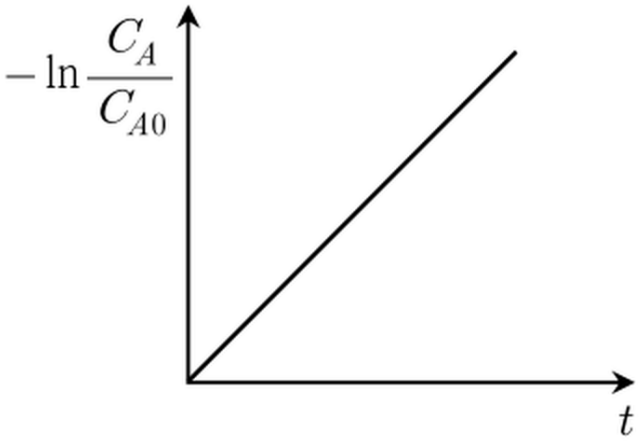
NoteBase

문 11. 등온 회분식 반응기에서 그림 (가)와 같이 두 개의 액상 기초반응이 경쟁적으로 진행된다. 시간(t)에 따른 반응물 A의 농도 변화를 그림 (나)와 같이 그래프로 나타낼 때, 그래프에서 직선의 기울기는? (단, C_{A0}는 A의 초기농도이며, C_A는 시간(t)에서 A의 농도이다)

(가)



(나)



① $k_1 + k_2$

② $k_1 - k_2$

③ $k_1 k_2$

④ $\frac{k_1}{k_2}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 등온 회분식 반응기에서 병렬 1차 반응의 A 소모속도를 합산하여 그래프 $-\ln(C_A/C_{A0})$ 대 t의 기울기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응은 $A \rightarrow R$, $A \rightarrow S$의 경쟁 병렬 기초반응이다.
반응물 A의 소모속도는 두 경로의 속도 합이다.
그래프의 세로축은 $-\ln(C_A/C_{A0})$, 가로축은 t이다.

NoteBase

사용할 공식

$-r_A = k_1 C_A + k_2 C_A = (k_1 + k_2) C_A$
회분식 반응기에서 부피가 일정하면
$\frac{dC_A}{dt} = -(k_1 + k_2) C_A$
이 식을 적분하면
$-\ln\left(\frac{C_A}{C_{A0}}\right) = (k_1 + k_2) t$
이 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 반응이 모두 A를 소비하는 병렬 기초반응이어서 A의 전체 소모속도상수가 합으로 나타나기 때문이다.

계산 과정

1. 각 반응의 속도는 기초반응이므로 각각 $r_1 = k_1 C_A$, $r_2 = k_2 C_A$이다.
2. A의 전체 소모속도는 $-r_A = r_1 + r_2 = (k_1 + k_2) C_A$이다.
3. 회분식 반응기 물질수지는 $\frac{dC_A}{dt} = -(k_1 + k_2) C_A$가 된다.
4. 이를 적분하면 $-\ln(C_A/C_{A0}) = (k_1 + k_2) t$이므로 직선의 기울기는 $k_1 + k_2$이다.

선지 판단

1번: O. 그래프식이 $-\ln(C_A/C_{A0}) = (k_1 + k_2) t$이므로 기울기는 $k_1 + k_2$이다.
2번: X. 틀린 표현은 $k_1 - k_2$이다. 병렬 반응에서 A의 소모속도는 두 속도의 차가 아니라 합이므로 올바르게는 $k_1 + k_2$이다.
3번: X. 틀린 표현은 $k_1 k_2$이다. 속도상수의 곱은 이 물질수지 적분식의 기울기로 나오지 않으며, 올바르게는 두 1차 소모항의 합인 $k_1 + k_2$이다.
4번: X. 틀린 표현은 k_1/k_2이다. 이 비는 생성물 선택성 r_1/r_2와 관련될 수 있으나 A 농도감소 직선의 기울기는 아니며, 올바르게는 $k_1 + k_2$이다.

오답 포인트

병렬반응에서 생성물 분배를 나타내는 비율 k_1/k_2와 반응물 A의 전체 소모속도상수 $k_1 + k_2$를 혼동하면 틀린다. 이 문제의 함정은 생성물 선택성 정보와 농도감소 기울기 정보를 같은 것으로 착각하게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

병렬 반응 그래프 문제는 먼저 반응물이 어느 경로에서 몇 번 소비되는지 본 뒤, 같은 반응물의 소모항은 모두 더해 전체 물질수지를 세운다. 그다음 적분형이 $-\ln(C_A/C_{A0})$인지 확인하면 기울기를 바로 읽을 수 있다.

암기 포인트

경쟁 병렬 1차반응에서 반응물 A의 사라짐은 합으로 본다. 선택성은 k_1/k_2, 농도감소 기울기는 $k_1 + k_2$이다.

NoteBase

문 12. 연속식 반응기에서 순수한 A로부터 $A \rightarrow B$인 1차 액상 반응을 이용하여 B를 생산하고자 한다. 이때 $B \rightarrow C$인 1차 액상 반응도 부반응으로 함께 진행된다. 플러그흐름 반응기와 혼합흐름 반응기에서 B의 생산을 최대로 하기 위한 공간시간[min]은? (단, k_1은 0.4min^{-1}, k_2는 0.1min^{-1}이며, $\ln 2 = 0.69$로 가정한다)

① 플러그흐름 반응기: 4.6, 혼합흐름 반응기: 5.0

② 플러그흐름 반응기: 5.0, 혼합흐름 반응기: 4.6

③ 플러그흐름 반응기: 5.0, 혼합흐름 반응기: 6.6

④ 플러그흐름 반응기: 6.6, 혼합흐름 반응기: 5.0

정답 1번

출제 포인트

연속반응 $A \rightarrow B \rightarrow C$에서 중간생성물 B의 농도를 최대로 만드는 공간시간을 플러그흐름 반응기와 혼합흐름 반응기별로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $k_1 = 0.4min^{-1}$, $k_2 = 0.1min^{-1}$
구해야 할 값: 플러그흐름 반응기와 혼합흐름 반응기에서 B 생성이 최대가 되는 공간시간
주의할 조건: 순차 1차 반응이므로 플러그흐름 반응기는 배치반응기와 같은 시간식, 혼합흐름 반응기는 정상상태 물질수지식을 사용한다.

사용할 공식

플러그흐름 반응기:
$\tau_{PFR,\,max} = \frac{\ln(k_1/k_2)}{k_1 - k_2}$
혼합흐름 반응기:
$\tau_{CSTR,\,max} = \frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}}$
이 공식을 쓰는 이유: 중간생성물 B의 농도 최대조건은 $dC_B/d\tau = 0$에서 얻어지며, 플러그흐름 반응기는 배치형 농도식에서, 혼합흐름 반응기는 정상상태 물질수지식에서 바로 유도된다.

NoteBase

계산 과정

1. 플러그흐름 반응기에서는
$\tau_{PFR,\,max} = \frac{\ln(0.4/0.1)}{0.4-0.1} = \frac{\ln 4}{0.3}$
문제에서 $\ln 2 = 0.69$이므로 $\ln 4 = 2\ln 2 = 1.38$이다.
따라서
$\tau_{PFR,\,max} = \frac{1.38}{0.3} = 4.6min$
2. 혼합흐름 반응기에서는
$\tau_{CSTR,\,max} = \frac{1}{\sqrt{0.4\times 0.1}} = \frac{1}{\sqrt{0.04}} = \frac{1}{0.2} = 5.0min$
3. 따라서 최대 B 생성 공간시간은 플러그흐름 반응기 $4.6min$, 혼합흐름 반응기 $5.0min$이다.

선지별 해설

① O
- 플러그흐름 반응기 $4.6min$, 혼합흐름 반응기 $5.0min$으로 계산 결과와 일치한다.

② X
- 플러그흐름과 혼합흐름의 값이 서로 뒤바뀌었다. 틀린 표현은 "플러그흐름 반응기 5.0, 혼합흐름 반응기 4.6"이다. 올바르게는 "플러그흐름 반응기 4.6, 혼합흐름 반응기 5.0"이다.

③ X
- 두 반응기의 값이 모두 잘못되었다. 틀린 표현은 "플러그흐름 반응기 5.0, 혼합흐름 반응기 6.6"이다. 올바르게는 "플러그흐름 반응기 4.6, 혼합흐름 반응기 5.0"이다. $5.0min$은 혼합흐름 반응기 값이고, $6.6min$은 $\ln 4$ 또는 분모 $(k_1 - k_2)$를 잘못 처리할 때 나오는 오답값이다.

④ X
- 혼합흐름 반응기 값은 맞지만 플러그흐름 반응기 값이 잘못되었다. 틀린 표현은 "플러그흐름 반응기 6.6"이다. 올바르게는 "플러그흐름 반응기 4.6"이다.

오답 포인트

플러그흐름 반응기와 혼합흐름 반응기의 최대조건식을 서로 바꾸어 쓰기 쉽다. 특히 혼합흐름 반응기의 $\tau_{max} = 1/\sqrt{k_1 k_2}$를 플러그흐름에 대입하면 5.0이 나오고, 플러그흐름의 $\ln(k_1/k_2)/(k_1 - k_2)$ 계산에서 $\ln 4$ 처리나 분모 계산을 틀리면 6.6 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

순차반응에서 중간생성물 최대를 묻는 계산형은 먼저 반응기 종류를 확인한 뒤, 플러그흐름이면 $\ln(k_1/k_2)/(k_1 - k_2)$, 혼합흐름이면 $1/\sqrt{k_1 k_2}$를 적용해 각각 따로 계산하면 된다.

암기 포인트

중간생성물 최대시간은 PFR은 로그식, CSTR은 제곱근식이다. 즉 $\tau_{PFR,\,max} = \ln(k_1/k_2)/(k_1 - k_2)$, $\tau_{CSTR,\,max} = 1/\sqrt{k_1 k_2}$이다.

NoteBase

문 13. (가)와 (나)는 각각 효소(enzyme)가 포함된 화학반응식과 반응속도식이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, E는 효소, S는 기질(반응물), ES는 효소-기질 복합체, P는 생성물, $[I]$는 I의 농도를 나타낸다)

(가) E + S [k_2]k_1 ES k_3 E + P
(나) $-r_S = \frac{V_{max}[S]}{K_M + [S]}$

① ES에 대해 유사 정상상태 가정(pseudo steady state hypothesis, PSSH)을 적용하면 $k_1[E][S] = k_2[ES] + k_3[ES]$이 성립한다.
② K_M은 $\frac{k_1}{k_2 + k_3}$로 나타낼 수 있다.
③ V_{max}는 주어진 전체 효소 농도에서 최대 반응속도를 의미한다.
④ k_3는 전환수(turnover number)를 나타내며, 효소가 기질과 함께 포화되었을 때 단일 효소분자에서 단위시간당 생성물로 변하는 기질분자의 수이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Michaelis-Menten 속도식에서 K_M, V_{max}, k_3의 정의와 유사 정상상태 가정의 의미를 정확히 구별하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

K_M은 Michaelis 상수로서 단순한 친화도 하나만을 뜻하는 값이 아니라 ES의 분해와 생성 속도상수의 비로 정의되며, 이 반응계에서는 $K_M = (k_2 + k_3)/k_1$이다.
V_{max}는 주어진 전체 효소농도에서 기질이 충분히 많아 효소가 포화되었을 때의 최대 반응속도이다.
k_3는 이 반응계의 생성물 형성 단계 속도상수이며, 포화 조건에서는 전환수 k_{cat}와 같은 의미로 해석된다.

NoteBase

선지별 해설

① O
유사 정상상태 가정은 $d[ES]/dt = 0$으로 두는 것이다. 따라서 ES의 생성속도 $k_1[E][S]$와 소멸속도 $(k_2 + k_3)[ES]$가 같아져 $k_1[E][S] = k_2[ES] + k_3[ES]$가 성립한다.

② X
틀린 부분은 K_M을 $k_1/(k_2 + k_3)$로 쓴 표현이다. 실제로는 $K_M = (k_2 + k_3)/k_1$이다. 분자와 분모가 뒤바뀐 식이므로 옳지 않다.

③ O
V_{max}는 효소량이 정해져 있을 때 기질 농도를 매우 크게 하여 효소가 포화되면 도달하는 최대 반응속도이다. 따라서 주어진 전체 효소 농도에서의 최대 반응속도라는 설명은 옳다.

④ O
이 반응계에서 k_3는 $ES \rightarrow E + P$ 단계의 속도상수이고, 포화 조건에서는 효소 1분자가 단위시간당 몇 개의 기질을 생성물로 바꾸는지를 나타내는 전환수와 연결된다. 따라서 진술의 취지는 옳다.

오답 포인트

②처럼 K_M 식의 분자와 분모를 거꾸로 쓰는 함정이 대표적이다. 또한 V_{max}와 k_3를 모두 최대속도 관련 기호로만 외우면 ③과 ④를 혼동하기 쉽다. V_{max}는 계 전체의 속도, k_3는 효소 1분자 기준의 전환 성능이라는 축이 다르다.

다시 나오면 이렇게 판단

효소반응 문제에서는 먼저 유사 정상상태에서 $d[ES]/dt = 0$을 세워 ES 수지를 맞춘다. 그다음 K_M은 (분해 상수들의 합)/(결합 상수), V_{max}는 포화 시 계의 최대속도, k_{cat} 또는 이 문제의 k_3는 효소 1분자당 전환수라는 기준으로 구분하면 된다.

암기 포인트

$K_M = (k_2 + k_3)/k_1$, V_{max}는 전체 최대속도, 포화 시 $k_3 = k_{cat}$로 본다.

NoteBase

문 14. 촉매반응의 일반적인 특성에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 촉매는 반응의 활성화에너지에 영향을 주어 반응속도를 변화시킨다.

② 불균일계 고체 촉매반응은 주로 유체와 고체 사이의 계면에서 일어난다.

③ 촉매활성을 나타내는 전환빈도(turnover frequency, TOF)는 단위시간, 단위활성점당 반응하는 분자수를 의미한다.

④ 촉매는 주로 반응속도를 높여서 가역반응의 평형전환율을 높인다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 촉매의 역할과 촉매반응의 기본 지표를 정확히 구별하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

촉매는 더 낮은 활성화 경로를 제공하여 반응속도를 바꾸지만, 반응의 평형상수나 평형조성 자체는 바꾸지 않는다.
불균일계 고체 촉매반응은 주로 유체와 고체 촉매 표면의 계면에서 진행된다.
전환빈도(TOF)는 단위시간에 단위활성점당 몇 개의 반응분자가 전환되는지를 나타내는 촉매활성 지표이다.

선지별 해설

① O: 촉매는 활성화에너지를 낮추는 다른 반응경로를 제공하여 반응속도를 변화시킨다. 반응속도 변화의 핵심은 평형 이동이 아니라 속도상수 변화이다.
② O: 불균일계 고체 촉매반응은 보통 기체나 액체 같은 유체 반응물이 고체 촉매 표면에 흡착한 뒤 표면에서 반응하므로 주된 반응 위치는 유체와 고체의 계면이다.
③ O: TOF는 촉매의 고유활성을 나타내는 대표 지표로, 단위시간·단위활성점당 전환되는 분자수 또는 분자몰수의 개념이다. 선지의 취지가 맞다.
④ X: 틀린 부분은 "가역반응의 평형전환율을 높인다"이다. 촉매는 정반응과 역반응의 속도를 함께 빠르게 하므로 평형 도달 시간은 줄일 수 있어도 평형전환율 자체는 높이지 못한다. 올바르게는 "촉매는 평형에 더 빨리 도달하게 하지만 평형조성은 바꾸지 않는다"이다.

오답 포인트

촉매가 반응속도를 높인다는 사실만 기억하면 평형까지 바꾼다고 착각하기 쉽다. 이 문항은 "속도 변화"와 "평형 변화"를 일부러 섞어 ④를 함정으로 만든 문제이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

촉매 관련 선지를 보면 먼저 속도에 관한 진술인지, 평형조성에 관한 진술인지 나누어 본다. 속도만 바꾸면 대체로 옳고, 평형상수나 평형전환율까지 바꾼다고 하면 틀린 선지일 가능성이 높다.

암기 포인트

촉매는 빠르게 할 뿐, 평형은 바꾸지 않는다.

NoteBase

문 15. 혼합흐름 반응기에서 $A \rightarrow B$인 2차 액상반응을 수행하여 공급하는 A의 농도가 $2\text{mol}\text{L}^{-1}$일 때 50%의 전환율을 얻었다. 공간시간과 반응속도상수는 변화시키지 않고 공급하는 A의 농도를 $20\text{mol}\text{L}^{-1}$로 높였을 때, 출구에서 전환율[%]은?

① 60

② 70

③ 80

④ 90

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 혼합흐름반응기(CSTR)에서 2차 액상반응의 설계식 $\tau = X/[kC_{A0}(1-X)^2]$을 이용해 공급농도 변화에 따른 출구 전환율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 반응기: 혼합흐름반응기(CSTR)
- 반응: $A \rightarrow B$인 2차 액상반응
- 처음 조건: $C_{A0} = 2mol/L$, $X = 0.5$
- 바뀐 조건: $C_{A0} = 20mol/L$
- 동일 조건: 공간시간 τ, 반응속도상수 k 불변

구해야 할 값:
- 바뀐 조건에서의 출구 전환율 X

주의할 조건:
- 액상반응이므로 등밀도 가정에서 $C_A = C_{A0}(1-X)$를 사용한다.

사용할 공식

$$\tau = \frac{C_{A0}X}{-r_A} = \frac{C_{A0}X}{k[C_{A0}(1-X)]^2} = \frac{X}{kC_{A0}(1-X)^2}$$

이 공식은 액상 등밀도 2차반응이 CSTR에서 정상상태로 진행될 때 출구농도 $C_A = C_{A0}(1-X)$를 대입한 설계식이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 처음 조건을 대입하면
$\tau k = \frac{X}{C_{A0}(1-X)^2} = \frac{0.5}{2(0.5)^2} = 1$
2. 따라서 새 조건에서도
$1 = \frac{X}{20(1-X)^2}$
3. 정리하면
$X = 20(1-X)^2 = 20 - 40X + 20X^2$
$20X^2 - 41X + 20 = 0$
4. 근의 공식으로
$X = \frac{41 \pm 9}{40} = 1.25,\ 0.8$
5. 전환율은 $0 \le X \le 1$이어야 하므로 $X = 1.25$는 버리고 $X = 0.8$만 가능하다. 따라서 출구 전환율은 80%이다.

선지별 해설

① X
- 60%는 계산 결과와 다르다. 이 문항의 설계식을 적용하면 $X = 0.8$이므로 60%가 아니라 80%이다.

② X
- 70%는 계산 결과와 다르다. 공급농도만 10배로 높아지면 같은 τ, k에서 2차반응 속도가 더 크게 증가하므로 50%보다 더 높은 전환율이 나와야 하며, 정확한 값은 80%이다.

③ O
- 계산 결과 $X = 0.8$이므로 80%가 맞다.

④ X
- 90%는 보기상 가장 큰 값이라 끌리기 쉽지만 식에 대입하면 맞지 않는다. 90%를 대입하면 $\tau k = 0.9/[20(0.1)^2] = 4.5$가 되어 처음 조건의 값 1과 일치하지 않는다. 따라서 90%가 아니라 80%이다.

오답 포인트

혼합흐름반응기와 관형반응기의 설계식을 혼동하면 오답이 된다. 또 $20X^2 - 41X + 20 = 0$의 두 근 중 $X = 1.25$도 나오지만, 전환율은 1을 넘을 수 없으므로 물리적으로 가능한 근만 선택해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 반응기에서 τ와 k가 그대로일 때는 기존 조건으로 τk 또는 같은 무차원 조합을 먼저 고정한 뒤, 새 C_{A0}를 넣어 다시 X를 푼다. 계산 뒤에는 $0 \le X \le 1$인지 반드시 검산한다.

암기 포인트

CSTR 2차 액상반응은 $\tau = X/[kC_{A0}(1-X)^2]$를 쓰며, 같은 τ, k에서 C_{A0}가 커지면 전환율이 증가한다.

NoteBase

문 16. 일정 부피 회분식 반응기에서 기체 반응물 A가 $-r_A = kC_A^2$의 반응속도로 일정 온도에서 분해된다. 온도 T[K]에서 A의 기체 압력 p_A[atm]는 시간 t[h]에 따라 다음의 관계식을 따를 때, 이 반응에 대한 반응속도상수 k[Lmol^{-1}h^{-1}]는? (단, C_A는 A의 농도, R[atmLmol^{-1}K^{-1}]는 기체상수이며, 반응물 A는 이상기체로 가정한다)

$p_A = \frac{1}{3t+1}$

① $\frac{1}{9}RT$

② $\frac{1}{3}RT$

③ $3RT$

④ $9RT$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 일정 부피 회분식 반응기의 2차 반응 적분식과 이상기체식 $C_A = p_A/(RT)$를 연결하여 반응속도상수 k를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 속도식은 $-r_A = kC_A^2$이다.
일정 부피 회분식 반응기이므로 $-dC_A/dt = -r_A = kC_A^2$가 된다.
주어진 압력식은 $p_A = 1/(3t+1)$이고, 이상기체이므로 $C_A = p_A/(RT)$이다.
구해야 할 값은 반응속도상수 k이다.

사용할 공식

2차 반응의 일정 부피 회분식 적분식은 $\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} + kt$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 $-r_A = kC_A^2$인 2차 반응과 일정 부피 회분식 조건이 함께 주어졌기 때문이다.
또한 이상기체 관계로 $C_A = p_A/(RT)$, 따라서 $1/C_A = RT/p_A$로 바꿀 수 있다.

계산 과정

주어진 압력식을 농도로 바꾸면 $C_A = \frac{p_A}{RT} = \frac{1}{(3t+1)RT}$ 이다.
따라서 $\frac{1}{C_A} = (3t+1)RT = 3RTt + RT$ 이다.
이를 2차 반응 적분식 $\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} + kt$와 비교하면, t의 계수가 바로 k이므로 $k = 3RT$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과 $k = 3RT$이므로 $\frac{1}{9}RT$는 맞지 않는다. 틀린 표현은 $k = \frac{1}{9}RT$이고, 올바르게는 $k = 3RT$이다. 이런 값은 3의 계수를 역수처럼 잘못 처리할 때 나오는 오답이다.
② X: 계산 결과 $k = 3RT$이므로 $\frac{1}{3}RT$는 맞지 않는다. 틀린 표현은 $k = \frac{1}{3}RT$이고, 올바르게는 $k = 3RT$이다. 이런 값은 $C_A = p_A/(RT)$를 쓴 뒤 $1/C_A$로 바꾸면서 RT의 위치를 잘못 옮길 때 생기는 오답이다.
③ O: $\frac{1}{C_A} = 3RTt + RT$이므로 2차 반응 적분식의 기울기와 비교한 k는 $3RT$이다. 따라서 ③이 옳다.
④ X: 계산 결과 $k = 3RT$이므로 $9RT$는 맞지 않는다. 틀린 표현은 $k = 9RT$이고, 올바르게는 $k = 3RT$이다. 이런 값은 $(3t + 1)RT$에서 3을 한 번 더 곱해 기울기를 과대평가할 때 나오는 오답이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 압력식 p_A를 바로 적분식과 비교하는 것이 아니라 먼저 $C_A = p_A/(RT)$로 농도로 바꾼 뒤 $1/C_A$를 만들어야 한다는 점이다. 특히 $1/C_A = RT/p_A$에서 RT가 분자로 올라온다는 점과, 최종적으로 t의 계수가 k라는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

회분식 계산형 문제는 반응차수를 먼저 확인하고, 그 차수에 맞는 적분식을 고른 뒤, 문제에서 준 압력이나 몰수식을 농도식으로 바꾸어 적분식의 기울기와 비교하면 된다.

암기 포인트

일정 부피 회분식 2차 반응은 $\frac{1}{C_A}$ 대 t의 직선 기울기가 k이다.

NoteBase

문 17. 정상상태 비등온 플러그흐름 반응기에서 진행되는 단열 가역반응에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 발열반응의 경우 공급원료의 온도가 높아짐에 따라 평형전환율을 얻을 수 있는 위치는 반응기 입구로부터 멀어진다.

② 발열반응의 경우 공급원료의 온도가 높아짐에 따라 평형전환율은 감소한다.

③ 흡열반응의 경우 공급원료의 온도가 매우 낮은 상태에서는 생성물이 거의 생기지 않는다.

④ 발열반응의 도달할 수 있는 최대 전환율은 단열조작선과 온도-평형전환율 상관식의 교점으로 구한다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 단열 비등온 가역반응에서 발열반응과 흡열반응의 평형전환율 변화, 그리고 단열조작선과 평형전환율 곡선의 관계를 묻는다.

핵심 개념

발열 가역반응: 온도가 올라가면 평형은 반응물 쪽으로 이동하므로 평형전환율이 감소한다.
흡열 가역반응: 온도가 올라가면 평형은 생성물 쪽으로 이동하므로 평형전환율이 증가한다.
흡열반응의 평형상수는 반트호프 관계상 저온일수록 작아지므로, 온도가 매우 낮으면 평형 자체가 반응물 쪽에 치우쳐 생성물이 거의 만들어지지 않는다.
단열조작선: 열교환이 없어서 반응이 진행될수록 온도가 함께 변하는 선이며, 이 선과 평형전환율 곡선의 교점이 도달 가능한 최대 전환율이다. 단열조작선의 기울기는 $-\Delta H_{rxn}/(\sum \Theta_i C_{p,i})$로 열적 물성에만 의존하므로, 공급원료 온도가 달라져도 기울기는 일정하고 출발점만 평행하게 이동한다.

NoteBase

선지별 해설

1번: X. 틀린 부분은 "반응기 입구로부터 멀어진다"이다. 발열 가역반응에서 공급원료 온도가 높아지면 단열조작선은 기울기 $-\Delta H_{rxn}/(\sum \Theta_i C_{p,i})$가 그대로인 채 더 높은 온도에서 출발하도록 평행하게 이동한다. 발열반응의 평형전환율 곡선은 고온일수록 낮아지므로, 높은 온도에서 출발한 조작선은 더 낮은 전환율에서 평형곡선과 교차한다. 게다가 온도가 높을수록 반응속도가 빨라 이 낮은 목표 전환율에는 더 짧은 반응기 길이에서 도달하므로, 평형에 이르는 위치는 입구로부터 멀어지는 것이 아니라 오히려 입구에 더 가까워진다. 올바르게는 "반응기 입구에 더 가까워진다"이다.
2번: O. 발열 가역반응은 온도 상승 시 평형이 반응물 쪽으로 이동하므로 공급원료 온도가 높아질수록 평형전환율은 감소한다.
3번: O. 흡열 가역반응의 평형상수는 반트호프 관계상 저온일수록 작아지고 반응속도도 함께 느려진다. 따라서 공급원료 온도가 매우 낮으면 평형이 반응물 쪽에 치우쳐 생성물이 거의 생기지 않는데, 이때 지배적인 요인은 낮은 평형상수라는 열역학적 한계이다.
4번: O. 단열 비등온 가역반응에서 실제 전환율은 단열조작선을 따라가다가 평형전환율 곡선과 만나는 점에서 더 이상 증가할 수 없으므로, 그 교점이 최대 전환율을 준다.

오답 포인트

1번은 발열반응에서 "온도 상승 → 평형전환율 감소"를 알고도, 평형 도달 위치를 반대로 연결하면 틀린다. 이 문항의 함정은 평형값의 크기와 반응기 길이 방향 위치를 함께 묶어 판단하게 만든다는 점이다. 조작선이 높은 온도에서 출발할수록 더 낮은 전환율에서 곡선과 만나고, 빠른 반응속도까지 겹쳐 그 위치가 입구에 가까워진다는 흐름을 놓치지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역반응 문항은 먼저 발열인지 흡열인지 확인하고, 온도 상승 시 평형전환율이 증가하는지 감소하는지를 정한다. 그다음 단열조작선과 평형전환율 곡선의 교점이 최대 전환율이라는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

발열은 고온에서 평형전환율이 내려가고, 흡열은 고온에서 평형전환율이 올라간다. 단열 최대 전환율은 조작선과 평형곡선의 교점이다.

NoteBase

문 18. 정상상태 혼합흐름 반응기에서 $A \rightarrow B$인 액상 발열반응이 상변이 없이 진행된다. 온도 300K의 순수한 A가 반응기로 공급되며 반응기의 온도는 460K으로 일정하게 유지된다. 전환율 60 %를 얻기 위해, 공급되는 A의 단위몰당 반응기에서 제거해야 하는 열[cal mol^{-1}]은? (단, 교반기에 의해 반응기에 가해진 일은 무시할 수 있고 A와 B의 열용량은 10cal mol^{-1} K^{-1}으로 동일하며, 300K에서 반응열 ΔH_r는 $-8{,}000$cal mol^{-1} 이다)

① 800

② 1,600

③ 2,400

④ 3,200

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 혼합흐름 반응기의 에너지수지를 이용해 공급된 A 1몰당 제거해야 할 열량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 전환율 $X = 0.6$, 유입 온도 $300K$, 반응기 온도 $460K$, $C_{p,A} = C_{p,B} = 10 cal mol^{-1} K^{-1}$, $\Delta H_r = -8000 cal mol^{-1}$이다.
구해야 할 값은 공급된 A 1몰당 반응기에서 제거해야 하는 열량이다.
$A \rightarrow B$가 1:1 반응이고 A와 B의 열용량이 같으므로 총 몰수와 총 열용량은 반응 전후에 같고, $\Delta C_p = 0$이어서 반응열도 온도에 따라 바뀌지 않는다. 따라서 300 K 기준 반응열 $-8000 cal mol^{-1}$을 460 K에서도 그대로 쓸 수 있다.

NoteBase

사용할 공식

정상상태 혼합흐름 반응기의 에너지수지 기본식은
$Q - W_s = F_{A0}\left[\sum \Theta_i C_{p,i}(T - T_0) + X\Delta H_r(T)\right]$
이다. 여기서 Q는 반응기에 공급하는 열, W_s는 교반기 일이다.
이 문제는 교반기에 의한 일을 무시하므로 $W_s = 0$이고, 순수한 A만 유입되어 $\Theta_A = 1$이므로 공급된 A 1몰 기준($F_{A0} = 1$)으로 정리하면
$Q = C_{p,A}(T - T_0) + X\Delta H_r$
이 된다.
$\Delta H_r = -8000 cal mol^{-1}$로 음수(발열)이므로 $X\Delta H_r$도 음수이고, 이는 반응이 열을 내놓아 $Q < 0$, 즉 반응기에서 외부로 열을 제거해야 함을 뜻한다. 그래서 제거해야 할 열의 크기는
$Q_{\text{removed}} = -Q = X \times 8000 - C_{p,A}(460 - 300)$
로 쓸 수 있다. 여기서 +8000은 발열로 방출되는 반응열의 크기($|\Delta H_r|$)이고, 뒤의 항은 유입물 A를 300 K에서 460 K까지 올리는 데 쓰이는 현열(sensible heat)이다.

계산 과정

1. 전환율 60%이므로 반응한 A는 0.6몰이고, 발열로 방출되는 반응열은 $0.6 \times 8000 = 4800 cal mol^{-1}$이다.
2. 유입된 순수 A 1몰을 300 K에서 460 K까지 올리는 데 필요한 현열은
$1 \times 10 \times (460 - 300) = 1600 cal mol^{-1}$이다.
3. 따라서 반응기 온도를 460 K로 유지하려면 방출된 반응열에서 현열을 뺀 $4800 - 1600 = 3200 cal mol^{-1}$를 제거해야 한다.

선지 판단

1번 X: 반응열을 전환율을 절반으로 잘못 보아 $0.3 \times 8000 = 2400 cal mol^{-1}$로 계산한 뒤 현열 $1600 cal mol^{-1}$을 빼 $2400 - 1600 = 800$으로 구한 값이다. 올바르게는 반응열이 $4800 cal mol^{-1}$이므로 $3200 cal mol^{-1}$를 제거해야 한다.
2번 X: $1600 cal mol^{-1}$는 공급된 A를 300 K에서 460 K까지 올리는 현열만 계산한 값이다. 발열반응으로 방출되는 반응열 $4800 cal mol^{-1}$를 빠뜨렸으므로, 올바르게는 $3200 cal mol^{-1}$를 제거해야 한다.
3번 X: 반응열을 전환율을 절반으로 오해해 $0.3 \times 8000 = 2400 cal mol^{-1}$로만 잡고 현열을 반영하지 않은 값이다. 올바르게는 반응열 $4800 cal mol^{-1}$에서 현열 $1600 cal mol^{-1}$을 뺀 $3200 cal mol^{-1}$를 제거해야 한다.
4번 O: 반응으로 $4800 cal mol^{-1}$가 방출되고 유입물 가열(현열)에 $1600 cal mol^{-1}$가 쓰이므로 순제거열은 $4800 - 1600 = 3200 cal mol^{-1}$이다.

NoteBase

오답 포인트

발열반응 문제에서 방출되는 반응열과 유입물을 반응기 온도까지 올리는 데 필요한 현열을 따로 보지 않으면 틀리기 쉽다. 특히 $1600 cal mol^{-1}$는 제거열이 아니라 유입물을 반응기 온도까지 데우는 현열이라는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

정상상태 반응기 열수지는 먼저 반응으로 생성되거나 소비되는 열을 구하고, 다음으로 유입물과 유출물의 현열을 계산한 뒤, 두 값을 합쳐 외부에서 제거하거나 공급해야 할 순열량을 판단하면 된다.

암기 포인트

발열반응기의 제거열은 반응열 방출량에서 유입물을 반응기 온도까지 올리는 현열을 뺀 값으로 정리된다.

NoteBase

문 19. 혼합흐름 반응기에서 순수한 A로부터 $A \rightarrow B$와 $A \rightarrow C$인 두 개의 1차 액상 반응이 경쟁적으로 진행될 경우 옳은 것은? (단, C_{A0}는 반응기 입구에서 A의 농도, C_I는 반응기 출구에서 I의 농도, τ는 공간시간, S_I는 반응물 A가 반응하는 속도에 대한 I가 생성되는 속도의 비를 나타낸다)

① $C_A = \frac{C_{A0}}{1-(k_1+k_2)\tau}$
② $C_B = \frac{\tau k_1 C_{A0}}{1+(k_1+k_2)\tau}$
③ $C_C = \frac{k_2 C_{A0}}{1-(k_1+k_2)\tau}$
④ $S_B = \frac{k_1}{k_1-k_2}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 문합흐름반응기에서 병렬 1차 반응의 성분수지를 세워 C_A, C_B, C_C, S_B 식을 판단하는 문제이다.

조건 정리

- 반응은 $A \rightarrow B$, $A \rightarrow C$의 병렬 1차 반응이다.
- 공급물은 순수한 A이므로 입구에서 $C_{B0} = 0$, $C_{C0} = 0$이다.
- 공간시간은 $\tau = V/Q$이다.
- A의 총 소모속도는 $(k_1 + k_2)C_A$이다.

사용할 공식

$Q(C_{A0} - C_A) = V(k_1 + k_2)C_A$
$QC_B = Vk_1C_A, \qquad QC_C = Vk_2C_A$
$S_B = \frac{r_B}{-r_A} = \frac{k_1C_A}{(k_1+k_2)C_A} = \frac{k_1}{k_1+k_2}$
이 식들을 쓰는 이유는 문합흐름반응기에서는 정상상태 성분수지 유입-유출+생성=0을 그대로 적용할 수 있고, 병렬 1차 반응에서는 A의 소모항이 $k_1 + k_2$로 합쳐지기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. A 성분수지에서 $Q(C_{A0}-C_A)=V(k_1+k_2)C_A$이므로
$C_A=\frac{C_{A0}}{1+(k_1+k_2)\tau}$
이다.
2. B는 유입이 없고 생성만 있으므로 $QC_B=Vk_1C_A$이다. 따라서
$C_B=\tau k_1C_A=\frac{\tau k_1C_{A0}}{1+(k_1+k_2)\tau}$
이다.
3. 같은 방식으로
$C_C=\tau k_2C_A=\frac{\tau k_2C_{A0}}{1+(k_1+k_2)\tau}$
이고, 선택도는
$S_B=\frac{k_1}{k_1+k_2}$
이다.

선지별 해설

① X
- 정상상태 CSTR의 A 성분수지로부터 $C_A=\frac{C_{A0}}{1+(k_1+k_2)\tau}$가 된다. 따라서 분모 부호가 틀렸다.
- 틀린 표현은 $1-(k_1+k_2)\tau$이다. 올바르게는 $1+(k_1+k_2)\tau$이다.

② O
- $C_B=\tau k_1C_A$이므로
$C_B=\frac{\tau k_1C_{A0}}{1+(k_1+k_2)\tau}$
가 된다. 선지의 식과 일치하므로 옳다.

③ X
- C_C는 $QC_C=Vk_2C_A$에서 구하므로
$C_C=\tau k_2C_A=\frac{\tau k_2C_{A0}}{1+(k_1+k_2)\tau}$
이다. 제시식은 분모 부호가 틀렸고 분자에 τ도 빠졌다.
- 틀린 표현은 $\frac{k_2C_{A0}}{1-(k_1+k_2)\tau}$이다. 올바르게는 $\frac{\tau k_2C_{A0}}{1+(k_1+k_2)\tau}$이다.

④ X
- 선택도 S_B는 A 반응속도 대비 B 생성속도의 비이므로
$S_B=\frac{r_B}{-r_A}=\frac{k_1C_A}{(k_1+k_2)C_A}=\frac{k_1}{k_1+k_2}$
이다.
- 틀린 표현은 분모의 k_1-k_2이다. 올바르게는 k_1+k_2이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항의 함정은 병렬반응에서 A의 총 소모속도를 k_1C_A 또는 k_2C_A 하나만 쓰거나, CSTR 성분수지의 분모를 $1-(\cdots)\tau$로 잘못 쓰는 데 있다. 또한 생성물 농도식에서는 $C_B=\tau k_1C_A$, $C_C=\tau k_2C_A$처럼 τ가 반드시 붙는다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

병렬 1차 반응의 CSTR 문제는 먼저 A에 대해 유입-유출-반응=0을 세워 C_A를 구하고, 그다음 각 생성물은 τk_iC_A 형태로 계산하며, 선택도는 생성속도/반응속도 정의로 바로 판단하면 된다.

암기 포인트

병렬 1차 반응 CSTR에서는 $C_A=\frac{C_{A0}}{1+\sum k_i\tau}$, 생성물은 $C_i=\tau k_iC_A$, 선택도는 $S_i=\frac{k_i}{\sum k_i}$ 형태로 정리된다.

NoteBase

문 20. 고체 촉매를 이용한 반응기 설계에서 고정층(fixed bed) 반응기와 비교할 때 유동층(fluidized bed) 반응기의 장점에 해당하지 않는 것은?

① 반응기 내부의 온도 제어가 용이하다.

② 촉매무게당 전환율이 높다.

③ 반응기 내부에 국소고온점(hot spot)이 생성될 가능성이 낮다.

④ 촉매의 비활성화가 급격히 일어나 촉매를 자주 재생할 필요가 있을 경우 효과적이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 고정층 반응기와 비교한 유동층 반응기의 핵심 장단점을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

고정층 반응기는 촉매층이 고정되어 축방향 혼합이 적어 플러그흐름에 가깝다. 유동층 반응기는 입자가 유체에 의해 부유되어 혼합과 열전달이 매우 좋아 온도 분포가 균일하다.
유동층의 결정 차이축은 혼합과 열전달은 좋지만 역혼합이 커서 같은 촉매무게당 전환 효율은 불리할 수 있다는 점이다.

선지별 해설

① O. 유동층은 입자와 기체가 잘 섞여 열전달이 크므로 반응기 내부 온도 제어가 고정층보다 쉽다.
② X. 틀린 부분은 "전환율이 높다"이다. 실제로는 유동층은 역혼합이 커서 플러그흐름에 가까운 고정층보다 같은 촉매무게당 전환율이 낮아질 수 있다.
③ O. 유동층은 혼합이 좋아 온도 구배가 작으므로 국소고온점이 생길 가능성이 고정층보다 낮다.
④ O. 촉매 비활성화가 빠른 공정에서는 유동층이 촉매의 연속적 또는 빈번한 재생·교체에 유리하므로 효과적이다.

오답 포인트

유동층은 "혼합이 좋다"와 "성능이 항상 높다"를 같은 뜻으로 오해하면 ②를 고르지 못한다. 열전달과 온도 균일성은 유동층의 장점이지만, 반응기 거동이 완전혼합 쪽에 가까워 촉매 이용 효율과 전환율은 불리할 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

고정층과 유동층 비교 문제는 먼저 열전달, 온도제어, hot spot, 촉매재생처럼 혼합이 좋아질수록 유리한 항목을 찾는다. 그다음 전환율이나 촉매 이용 효율처럼 플러그흐름성이 중요한 항목은 유동층이 불리할 수 있다고 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

유동층은 열제어와 재생에 강하고, 고정층은 같은 촉매무게당 전환에 강하다.

NoteBase