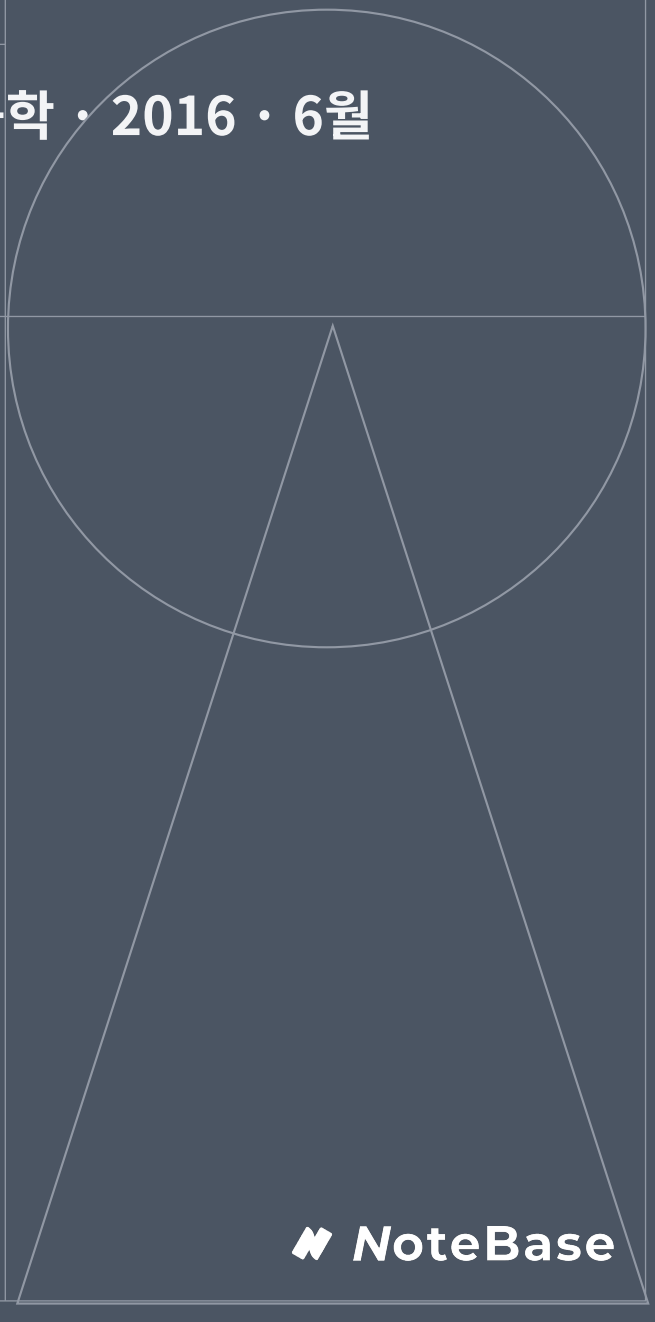
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2016 · 6월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2016 · 6월

공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2016 · 6월

문 1. 다음 중 촉매에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 반응속도를 변화시킨다.

② 반응평형상수를 변화시킨다.

③ 전이상태이론에 의하면 활성화에너지를 변화시킨다.

④ 반응수율과 선택도에 영향을 준다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 촉매가 바꾸는 것과 바꾸지 못하는 것을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

촉매는 더 낮은 활성화에너지의 반응 경로를 제공하여 반응속도를 바꾸는 물질이다.
반응평형상수는 온도에 의해 정해지는 열역학적 성질이므로 촉매가 바꾸지 못한다.
촉매는 정반응과 역반응을 함께 빠르게 하므로 평형 도달 속도는 바꾸지만 평형 위치 자체는 바꾸지 않는다.

NoteBase

선지별 해설

① O
촉매는 반응 메커니즘을 바꾸어 속도상수와 반응속도에 영향을 준다. 따라서 반응속도를 변화시킨다는 설명은 옳다.

② X
틀린 부분은 "반응평형상수를 변화시킨다"이다.
반응평형상수는 온도에 의해 결정되며 촉매는 이를 바꾸지 못한다. 올바르게는 "촉매는 평형에 도달하는 속도는 변화시키지만 반응평형상수는 변화시키지 않는다"이다.

③ O
전이상태이론으로 보면 촉매는 활성화에너지가 더 작은 새로운 경로를 제공한다. 표현을 엄밀히 하면 대체로 활성화에너지를 낮춘다고 볼 수 있으므로 이 선지는 옳다.

④ O
촉매는 원하는 생성물 경로를 촉진하고 부반응을 억제하여 선택도에 영향을 줄 수 있다. 그 결과 실제 공정에서 얻는 수율에도 영향을 줄 수 있으므로 이 선지는 옳다.

오답 포인트

수험생은 "촉매가 반응을 크게 바꾼다"는 인상 때문에 평형상수까지 바꾼다고 착각하기 쉽다. 그러나 속도론과 열역학을 분리해서 보면 촉매는 속도는 바꾸지만 평형상수는 바꾸지 못한다.

다시 나오면 이렇게 판단

"속도"를 묻는지 "평형"을 묻는지 먼저 구분하면 된다. 촉매가 관여하는 것은 반응 경로와 활성화에너지이므로 속도·선택도에는 영향이 있지만, 온도로 정해지는 평형상수와 평형조성 자체는 바꾸지 못한다.

암기 포인트

촉매는 속도를 바꾸고 평형은 못 바꾼다.

NoteBase

문 2. 비가역 1차 등온 액상반응(A → R)을 혼합흐름반응기(CSTR)에서 진행하여 50%의 전환율을 얻었다. 이 반응기에 동일한 크기의 혼합흐름반응기를 직렬로 연결할 경우, 최종 전환율이 90%와 95% 사이에 존재하기 위해 추가로 필요한 반응기의 수로 옳은 것은?

① 1개

② 2개

③ 3개

④ 4개

정답 3번

출제 포인트

동일 체류시간을 갖는 비가역 1차 액상반응 CSTR를 직렬로 연결할 때 단계별 농도 감소와 전체 전환율을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 단일 CSTR 1기에서 전환율이 50%이다.
구해야 할 값: 최종 전환율이 90%와 95% 사이가 되도록 추가할 CSTR 수이다.
주의할 조건: 동일한 크기의 CSTR를 직렬 연결하므로 각 반응기의 체류시간 τ는 같고, 액상 1차 반응이므로 각 단에서 같은 비율로 농도가 감소한다.

사용할 공식

$X = \frac{k\tau}{1+k\tau}$
$\frac{C_{A,\text{out}}}{C_{A,\text{in}}} = \frac{1}{1+k\tau}$
따라서 동일한 CSTR N기를 직렬로 연결하면
$X_N = 1 - \left(\frac{1}{1+k\tau}\right)^N$
이 공식을 쓰는 이유는 각 반응기가 같은 체류시간을 가지며 1차 반응에서는 매 단마다 같은 농도 감소비가 반복되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 단일 CSTR의 전환율이 50%이므로
$0.5 = \frac{k\tau}{1+k\tau}$
에서 $k\tau = 1$이다.
2. 따라서 각 반응기를 지날 때마다
$\frac{C_{A,\text{out}}}{C_{A,\text{in}}} = \frac{1}{1+1} = \frac{1}{2}$
가 된다.
3. 전체 N기 직렬의 전환율은
$X_N = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^N$
이다.
4. 총 3기이면 $X_3 = 1 - \frac{1}{8} = 0.875$로 87.5%이다.
5. 총 4기이면 $X_4 = 1 - \frac{1}{16} = 0.9375$로 93.75%이다.
6. 총 5기이면 $X_5 = 1 - \frac{1}{32} = 0.96875$로 96.875%이다.
7. 90%와 95% 사이를 만족하는 것은 총 4기이므로, 처음 1기를 제외하고 추가로 필요한 반응기는 3기이다.

선지별 해설

① X: 1개를 추가하면 총 2기이다. 이때 $X_2 = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0.75$이므로 75%에 불과하다. 틀린 표현은 '90~95% 범위에 들어간다'이고, 올바르게는 총 2기에서는 75%이다.
② X: 2개를 추가하면 총 3기이다. 이때 $X_3 = 87.5\%$이므로 여전히 90%에 못 미친다. 틀린 표현은 '범위에 도달한다'이고, 올바르게는 총 3기에서는 부족하다.
③ O: 3개를 추가하면 총 4기이다. 이때 $X_4 = 93.75\%$이므로 90%와 95% 사이를 만족한다.
④ X: 4개를 추가하면 총 5기이다. 이때 $X_5 = 96.875\%$이므로 95%를 초과한다. 틀린 표현은 '90~95% 사이'이고, 올바르게는 총 5기에서는 전환율이 너무 높다.

오답 포인트

추가 반응기 수와 총 반응기 수를 혼동하면 2개 또는 4개를 고르기 쉽다. 또한 단일 CSTR 전환율 50%를 보고 전체 전환율이 선형으로 50%, 100%처럼 증가한다고 착각하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 CSTR 계산형은 먼저 단일 반응기 전환율로 $k\tau$를 구한 뒤, 동일 반응기 직렬이면 농도 감소비 $1/(1+k\tau)$가 단마다 반복된다고 보고 총 전환율 1-감소비^N로 판단한다.

암기 포인트

1차 CSTR에서 $X = 0.5$이면 $k\tau = 1$이고, 동일 CSTR 직렬에서는 농도가 매 단마다 절반으로 줄어든다.

NoteBase

문 3. 다음의 액상 반응이 혼합흐름반응기(CSTR)에서 일어난다. 반응물 A의 초기농도가 2 mol/L일 때 전환율이 0.5였다면, 생성물 R의 최종농도는?

$A \rightarrow R, r_R = k_1 C_A^2, k_1 = 2L \cdot mol^{-1} \cdot min^{-1}$
$A \rightarrow S, r_S = k_2 C_A, k_2 = 8min^{-1}$

① 0.1 mol/L

② 0.2 mol/L

③ 0.5 mol/L

④ 1.0 mol/L

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 CSTR 물질수지와 병렬반응 속도식을 이용해 생성물 R의 출구농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 반응은 $A \rightarrow R, A \rightarrow S$의 병렬반응이고, $r_R = k_1 C_A^2$, $r_S = k_2 C_A$이다. $k_1 = 2Lmol^{-1}min^{-1}$, $k_2 = 8min^{-1}$, $C_{A0} = 2mol/L$, 전환율 $X = 0.5$이다.
구해야 할 값: 생성물 R의 최종농도 C_R이다.
주의할 조건: CSTR에서는 반응기 내부와 출구의 농도가 같으므로 먼저 출구의 C_A를 구한 뒤 전체 A 소모속도로 체류시간을 구해야 한다.

사용할 공식

출구 농도는 $C_A = C_{A0}(1 - X)$이다.
전체 A 물질수지는 $C_{A0} - C_A = \tau(-r_A)$이고, 병렬반응이므로 $(-r_A) = r_R + r_S$이다.
생성물 R 수지는 $C_R = \tau r_R$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 CSTR의 정상상태에서 출구농도와 반응기 내부농도가 같고, A의 소모는 R 생성반응과 S 생성반응이 함께 결정하기 때문이다.

계산 과정

1. 전환율로 출구의 A 농도를 구하면 $C_A = 2(1 - 0.5) = 1mol/L$이다.
2. 이 농도에서 각 반응속도는 $r_R = 2 \times 1^2 = 2molL^{-1}min^{-1}$, $r_S = 8 \times 1 = 8molL^{-1}min^{-1}$이다.
3. 따라서 전체 A 소모속도는 $(-r_A) = 2 + 8 = 10molL^{-1}min^{-1}$이다.
4. CSTR 물질수지로 체류시간은 $\tau = (2 - 1)/10 = 0.1min$이다.
5. 생성물 R의 최종농도는 $C_R = \tau r_R = 0.1 \times 2 = 0.2mol/L$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
계산 결과 생성물 R의 최종농도는 $0.2mol/L$이므로 $0.1mol/L$는 맞지 않는다. 옳게는 생성물 R의 최종농도는 $0.2mol/L$이다.

② O
CSTR에서 $C_A = 1mol/L$, $\tau = 0.1min$, $r_R = 2molL^{-1}min^{-1}$이므로 $C_R = \tau r_R = 0.2mol/L$가 된다.

③ X
$0.5mol/L$는 계산 결과와 다르다. 전환율 0.5를 생성물 R의 농도로 바로 옮기면 경쟁반응 $A \rightarrow S$를 무시하게 된다. 옳게는 생성물 R의 최종농도는 $0.2mol/L$이다.

④ X
$1.0mol/L$는 반응한 A가 모두 R로만 간다고 본 값에 가깝지만, 실제로는 $A \rightarrow S$ 반응도 동시에 일어나므로 R은 그보다 훨씬 작다. 옳게는 생성물 R의 최종농도는 $0.2mol/L$이다.

오답 포인트

전환율로 줄어든 A의 양을 곧바로 R 생성량으로 보면 오답이 된다. 이 문항의 함정은 병렬반응에서 선택도를 보지 않고 반응한 A가 모두 R로 간다고 착각하는 점과, $(-r_A) = r_R + r_S$를 빠뜨리는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

병렬반응 CSTR 계산문항은 먼저 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 출구농도를 구하고, 다음에 $(-r_A) = r_R + r_S$로 전체 소모속도를 만든 뒤, 마지막에 원하는 생성물에 대해 $C_{product} = \tau r_{product}$를 적용하면 된다.

암기 포인트

병렬반응 CSTR은 전환율로 C_A를 먼저 정하고, 체류시간은 전체 A 소모속도로, 생성물 농도는 해당 생성속도로 계산한다.

NoteBase

문 4. 반응온도를 500K에서 600K으로 증가시켰을 때, 반응속도상수가 3배 증가하였다. 이 반응에 대한 활성화에너지 E로 옳은 것은? (단, 반응속도상수는 Arrhenius 관계식을 따르며, R은 기체상수이다. $\ln 2 = 0.7$, $\ln 3 = 1.1$로 가정한다.)

① $E = 2100R$

② $E = 2800R$

③ $E = 3000R$

④ $E = 3300R$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 Arrhenius 식에서 두 온도에서의 속도상수 비를 이용해 활성화에너지 E를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $T_1 = 500K$, $T_2 = 600K$, $k_2/k_1 = 3$

구해야 할 값: E

주의할 조건: 문제에서 $\ln 3 = 1.1$로 가정하라고 했으므로 그 값을 그대로 사용한다.

사용할 공식

$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$

이 공식을 쓰는 이유는 같은 반응의 두 온도에서 Arrhenius 식 $k = Ae^{-E/RT}$를 비로 정리하면 빈도인자 A가 소거되고, 속도상수 비와 온도만으로 E를 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 식에 값을 대입한다.

$\ln 3 = \frac{E}{R}\left(\frac{1}{500} - \frac{1}{600}\right)$

2. 온도 항을 정리한다.

$\frac{1}{500} - \frac{1}{600} = \frac{600-500}{500 \cdot 600} = \frac{100}{300000} = \frac{1}{3000}$

3. $\ln 3 = 1.1$을 대입한다.

$1.1 = \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{3000}$

4. 양변에 3000을 곱하면

$\frac{E}{R} = 3300$

따라서 $E = 3300R$이다.

NoteBase

선지 판단

① X

$E = 2100R$는 계산 결과와 맞지 않는다. 틀린 표현은 $E = 2100R$이고, 올바르게는 $E = 3300R$이다. 이 값은 속도상수가 3배 증가했는데도 $\ln 3$ 대신 $\ln 2 = 0.7$을 잘못 쓰면 나올 수 있다.

② X

$E = 2800R$는 계산 결과와 맞지 않는다. 틀린 표현은 $E = 2800R$이고, 올바르게는 $E = 3300R$이다. 주어진 비와 온도 역수 차를 정확히 대입하면 2800이 아니라 3300이 된다.

③ X

$E = 3000R$는 계산 결과와 맞지 않는다. 틀린 표현은 $E = 3000R$이고, 올바르게는 $E = 3300R$이다. 이 값은 문제에서 제시한 $\ln 3 = 1.1$을 무시하고 $\ln 3$을 1로 거칠게 처리할 때 생기기 쉽다.

④ O

$E/R = 3300$이므로 $E = 3300R$이다. 계산 결과와 정확히 일치한다.

오답 포인트

속도상수가 3배 증가했다는 조건을 보고도 $\ln 3$ 대신 익숙한 $\ln 2$를 넣거나, $1/500 - 1/600$을 단순히 100으로 보는 실수가 자주 나온다. 이 문제는 온도 차 자체가 아니라 온도의 역수 차를 쓰는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

두 온도에서 속도상수 비가 주어지면 Arrhenius 식을 바로 비로 나누어 $\ln(k_2/k_1) = \frac{E}{R}(1/T_1 - 1/T_2)$ 형태로 만든다. 그다음 온도는 반드시 역수 차로 계산하고, 문제에서 준 로그 근삿값을 그대로 대입해 검산한다.

암기 포인트

Arrhenius 두 점 비교식은 $\ln(k_2/k_1) = \frac{E}{R}(1/T_1 - 1/T_2)$이고, 온도는 차가 아니라 역수 차로 들어간다.

NoteBase

문 5. A → R 단일 반응이 크기가 같은 2개의 혼합흐름반응기(CSTR)에서 일어난다. 전체반응의 전환율은 90%이고, 전체 전환율의 2/3는 첫 번째 반응기에서 달성되고 나머지는 두 번째 반응기에서 달성된다고 할 때, 이 반응의 반응차수는 얼마인가?

① 0차

② 0.5차

③ 1차

④ 2차

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 등부피 CSTR 2기 직렬계에서 각 반응기 설계식과 전환율 분배를 이용해 반응차수 n을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 전체 전환율은 90%이므로 최종 전환율은 $X_2 = 0.9$이다.
- 전체 전환율의 2/3가 첫 번째 반응기에서 달성되므로 $X_1 = 0.9 \times \frac{2}{3} = 0.6$이다.
- 두 번째 반응기에서 추가로 달성되는 전환율은 $X_2 - X_1 = 0.3$이다.
- 두 CSTR의 부피는 같다.

구해야 할 값:
- 반응차수 n

주의할 조건:
- CSTR 설계식은 각 반응기 출구 조건의 반응속도를 사용한다.

사용할 공식

등밀도 n차 반응의 CSTR 설계식은 $V = \frac{F_{A0}(X_{out} - X_{in})}{(-r_A)_{out}}$ 이고, 반응속도식은 $(-r_A) = kC_A^n = k(C_{A0}(1 - X))^n$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유:
- 문제는 같은 크기의 CSTR 두 개가 직렬로 연결된 경우이므로 각 반응기의 부피식을 같게 두면 반응차수 n을 직접 구할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 첫 번째 반응기에는 $V = \frac{F_{A0}X_1}{kC_{A0}^n(1-X_1)^n}$ 가 적용된다.
2. 두 번째 반응기에는 $V = \frac{F_{A0}(X_2-X_1)}{kC_{A0}^n(1-X_2)^n}$ 가 적용된다.
3. 두 반응기 부피가 같으므로 $\frac{X_1}{(1-X_1)^n} = \frac{X_2-X_1}{(1-X_2)^n}$ 이다.
4. $X_1 = 0.6, X_2 = 0.9$를 대입하면 $\frac{0.6}{0.4^n} = \frac{0.3}{0.1^n}$ 이고, 정리하면 $2 = \left(\frac{0.4}{0.1}\right)^n = 4^n$ 이다.
5. 따라서 $n = \frac{\ln 2}{\ln 4} = \frac{1}{2} = 0.5$ 이다.

선지별 해설

① X: 0차 반응이면 반응속도가 농도와 무관하므로 같은 부피의 CSTR 두 기에서 전환율 증가량이 동일하게 나온다. 이 경우 $\Delta X_1 = \Delta X_2 = 0.45$가 되어야 하므로 첫 번째 반응기 전환율이 0.6이라는 조건과 맞지 않는다. 틀린 표현은 "0차"이고, 올바르게는 "0.5차"이다.

② O: 위의 등부피 CSTR 설계식에서 $\frac{0.6}{0.4^n} = \frac{0.3}{0.1^n}$ 를 풀면 $n = 0.5$가 된다. 첫 번째 반응기에서 더 큰 전환율이 나오되 0차처럼 완전히 동일 증가량은 아닌 경우에 해당한다.

③ X: 1차 반응이면 등부피 CSTR에서 $\frac{X}{1-X}$ 값이 각 반응기에서 같아야 한다. 그런데 첫 번째 반응기는 $\frac{0.6}{0.4} = 1.5$, 두 번째 반응기는 $\frac{0.3}{0.1} = 3$이므로 같지 않다. 틀린 표현은 "1차"이고, 올바르게는 "0.5차"이다.

④ X: 2차 반응이면 농도 저하의 영향이 더 커져 뒤 반응기에서 전환율을 더 얻기 어려워진다. 실제로 $\frac{0.6}{0.4^2} = 3.75$, $\frac{0.3}{0.1^2} = 30$으로 같지 않아 같은 부피 조건을 만족하지 못한다. 틀린 표현은 "2차"이고, 올바르게는 "0.5차"이다.

오답 포인트

전체 전환율 90%의 2/3를 첫 번째 반응기 전환율 60%로 바꾸지 못하면 계산이 처음부터 어긋난다. 또 CSTR은 각 반응기 출구 농도로 속도를 평가하므로 PFR처럼 적분식을 바로 쓰면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 CSTR 계산형은 먼저 각 반응기의 누적 전환율과 구간 전환율을 분리한 뒤, 같은 부피 조건이면 두 설계식을 같게 놓아 n 또는 $k\tau$를 구하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

등부피 직렬 CSTR에서는 X_구간(1-X_출구)^n 형태를 같게 두면 반응차수를 빠르게 구할 수 있다.

NoteBase

문 6. 비가역 1차 액상 기초반응 $A \rightarrow B$를 회분식반응기에서 진행할 때, 초기농도 1mol/L의 반응물 A를 넣고 시간에 따른 농도를 측정하였더니 다음 표와 같았다. 초기농도를 0.5mol/L로 바꾸어 반응시킬 때, 10시간 후의 전환율은 얼마인가?

시간(분)	0	300	600	900	1200
A의 농도(mol/L)	1	0.5	0.33	0.25	0.2

① 0.5

② 0.33

③ 0.25

④ 0.1

정답 1번

출제 포인트

표의 농도 변화에 맞는 회분식 적분 속도식을 찾아 새 초기농도에서 10시간 후 전환율 X_A를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 기존 실험은 $C_{A0} = 1 mol/L$이고, 시간 0, 300, 600, 900, 1200분에서
$C_A = 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.2 mol/L$이다.
구해야 할 값: 초기농도 $0.5 mol/L$에서 10시간 후 전환율이다.
주의할 조건: 10시간은 $600 min$이다. 문면의 '1차'라는 표현과 달리 표 데이터는 2차 회분식 적분식에 맞으므로 정답은 표 기준으로 판단한다.

사용할 공식

$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt$
$X_A = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}}$
이 공식을 쓰는 이유: 표에서 $1/C_A$ 값이 1, 2, 약 3.03, 4, 5로 시간에 따라 거의 직선적으로 증가하므로 2차 반응의 회분식 적분형에 해당한다.

NoteBase

계산 과정

1. 기존 표에서 속도상수 k를 구하면 $k = (1/0.5 - 1/1)/300 = 1/300 L mol^{-1} min^{-1}$이다.
2. 새 조건에서 $C_{A0} = 0.5 mol/L$, $t = 600 min$이므로
$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{0.5} + \frac{1}{300} \times 600 = 2 + 2 = 4$
따라서 $C_A = 0.25 mol/L$이다.
3. 전환율은
$X_A = \frac{0.5 - 0.25}{0.5} = 0.5$
이므로 10시간 후 전환율은 0.5이다.

선지별 해설

① O
- 계산 결과 전환율이 0.5이므로 맞는 선택지이다.
- 새 조건 600분 후 잔존농도는 $0.25 mol/L$, 전환율은 0.5로 구분해야 한다.

② X
- 0.33은 원래 표에서 600분일 때의 농도값에 가까운 수치일 뿐, 새 조건의 전환율이 아니다.
- 틀린 값 0.33 → 올바르게는 전환율 0.5이다.

③ X
- 0.25는 새 조건에서 600분 후의 잔존농도 C_A 값이지 전환율이 아니다.
- 틀린 값 0.25 → 올바르게는 잔존농도 0.25, 전환율 0.5이다.

④ X
- 전환율이 0.1이면 잔존농도는 $0.45 mol/L$여야 하는데, 실제 계산 잔존농도는 $0.25 mol/L$이므로 맞지 않는다.
- 틀린 값 0.1 → 올바르게는 전환율 0.5이다.

오답 포인트

문면의 '1차'라는 표현만 보고 1차 반응식을 바로 대입하면 보기와 맞지 않는다. 이 문항은 표가 어떤 적분식과 맞는지 먼저 확인해야 하며, 특히 0.25처럼 잔존농도를 전환율로 착각하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

회분식 농도표 문제가 나오면 먼저 C_A, $\ln C_A$, $1/C_A$ 중 무엇이 시간에 대해 직선이 되는지 본다. 그다음 해당 적분식을 선택하고, 마지막에 구한 값이 농도인지 전환율인지 구분해 판단한다.

암기 포인트

2차 회분식 반응은 $1/C_A$ 대 t가 직선이고, 전환율은 농도가 아니라 $(C_{A0} - C_A)/C_{A0}$이다.

NoteBase

문 7. 발열가역반응의 최적 조작(반응전환율을 극대화하고 반응기 부피를 최소화 할 수 있는 조작)을 위해서 필요한 반응기 온도의 조작 방법으로 가장 옳은 것은?

① 최대한 높은 온도에서 유지한다.

② 최대한 낮은 온도에서 유지한다.

③ 초기에는 높은 온도에서 운전하다가 점차 온도를 감소시킨다.

④ 초기에는 낮은 온도에서 운전하다가 점차 온도를 증가시킨다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 발열가역반응의 최적 온도 조작에서 초기 반응속도와 후반 평형전환율을 함께 만족시키는 온도 프로파일을 묻는 문제이다.

올바른 순서

1. 반응 초기는 비교적 높은 온도에서 시작한다. - 반응물 농도가 높아 정반응 속도를 크게 확보할 수 있다.
2. 반응이 진행되면 온도를 점차 낮춘다. - 발열가역반응은 낮은 온도일수록 평형이 생성물 쪽에 유리해진다.
3. 후반부는 더 낮은 온도에서 전환율을 끌어올린다. - 평형 제한 때문에 고온을 유지하면 더 이상 전환율을 충분히 올리기 어렵다.

왜 이 순서: 초기에는 속도 우세가 중요하고 후반에는 평형 우세가 중요하므로, 높은 온도에서 시작한 뒤 점차 낮추는 조작이 반응기 부피를 줄이면서 전환율을 높이는 방향이다.

선지별 해설

① X: "최대한 높은 온도에서 유지"가 틀린 표현이다. 발열가역반응에서 고온은 초기 속도는 빠르게 하지만 평형전환율을 낮춘다. 올바르게는 초기에는 높은 온도를 쓰더라도 후반에는 온도를 낮춰야 한다.

② X: "최대한 낮은 온도에서 유지"가 틀린 표현이다. 낮은 온도는 평형에는 유리하지만 초기 반응속도가 너무 느려져 필요한 반응기 부피가 커진다. 올바르게는 처음부터 끝까지 저온 유지가 아니라 초기 속도를 위해 어느 정도 높은 온도에서 출발해야 한다.

③ O: 초기에는 높은 온도에서 운전하다가 점차 온도를 감소시키는 방식이 맞다. 초기에는 속도 이점을 취하고, 반응이 진행된 뒤에는 낮은 온도로 평형을 생성물 쪽으로 밀어 전환율을 높일 수 있다.

④ X: "초기에는 낮은 온도에서 운전하다가 점차 온도를 증가"가 틀린 표현이다. 이 방식은 초기에 속도를 희생하고 후반에는 고온으로 인해 평형전환율까지 불리하게 만든다. 올바르게는 저온에서 고온으로 올리는 것이 아니라 고온에서 시작해 저온으로 낮춘다.

NoteBase

오답 포인트

발열반응이면 무조건 저온, 반응속도는 무조건 고온이라는 한쪽 기준만 붙들면 오답이 된다. 이 문항은 ①과 ②를 각각 속도만 본 선택지, 평형만 본 선택지로 배치하고, ④에는 올바른 방향을 반대로 뒤집어 함정을 만든 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역반응의 최적 온도 조작은 초기와 후반의 지배 요인을 나누어 판단한다. 초기에는 반응속도 확보가 중요하고, 후반에는 평형전환율 확보가 중요하다. 따라서 발열가역반응이면 고온 시작 후 저온 마무리, 흡열가역반응이면 그 반대 방향으로 판단한다.

암기 포인트

발열가역반응 최적 조작은 고온으로 시작하고 저온으로 끝나는 프로파일이다.

NoteBase

문 8. 다음 중 체류시간분포 $E(t)$에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 모든 시간구간에 대해 적분하면 1이다. 즉, $\int_0^\infty E(t)dt = 1$

② 이상반응기 PFR의 E(t)는 지수함수이다.

③ E(t)를 이용하여 전환율을 구할 수 있다.

④ 평균체류시간을 구할 수 있다.

정답 2번

출제 포인트

체류시간분포함수 $E(t)$의 정규화 성질과 이상 PFR, 이상 CSTR의 대표적 분포 형태를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

체류시간분포함수 $E(t)$는 유체 미소요소가 반응기 안에 얼마 동안 머무는지의 분포를 나타내는 함수이다.
이상 PFR은 모든 유체가 같은 시간 τ에 나가므로 $E(t)$가 $t = \tau$에서의 델타함수로 나타난다.
이상 CSTR은 유체가 완전혼합되어 나가므로 $E(t) = \frac{1}{\tau}e^{-t/\tau}$인 지수분포를 따른다.

선지별 해설

1번 O
$E(t)$는 확률밀도함수와 같은 방식으로 정규화되므로 전체 시간영역에서 적분하면 1이다. 따라서 $\int_0^\infty E(t)dt = 1$은 옳다.

2번 X
틀린 부분은 "이상반응기 PFR의 $E(t)$는 지수함수"라는 표현이다.
이상 PFR에서는 모든 유체요소의 체류시간이 동일하므로 $E(t)$는 지수함수가 아니라 $t = \tau$에서의 델타함수이다.
지수함수형 분포는 이상 CSTR에 해당한다.

3번 O
체류시간분포는 비이상유동 반응기의 유체 체류거동을 나타내므로, 반응속도식과 적절한 반응모형을 함께 쓰면 전환율 추정에 활용할 수 있다.

4번 O
평균체류시간은 체류시간분포의 1차 모멘트이므로 $\bar{t} = \int_0^\infty tE(t)dt$로 구할 수 있다.

NoteBase

오답 포인트

이상 PFR과 이상 CSTR의 $E(t)$ 형태를 서로 바꿔 기억하면 2번을 맞는 말처럼 보기 쉽다. PFR은 한 시점에 몰려 나오는 델타함수이고, CSTR은 넓게 퍼진 지수분포라는 대비가 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

체류시간분포 문제가 나오면 먼저 정규화 조건 $\int E(t)dt = 1$과 평균체류시간 $\bar{t} = \int tE(t)dt$를 확인한다. 그다음 이상 PFR은 단일 체류시간, 이상 CSTR은 완전혼합 지수분포라는 기준으로 선지를 판별한다.

암기 포인트

PFR은 한 번에 나가서 델타함수, CSTR은 섞여 나가서 지수함수, 평균체류시간은 $\int tE(t)dt$이다.

NoteBase

문 9. 다음 중 옳지 않은 것은?

① 분자도(molecularity)는 반응에 참여하는 분자의 수이다.

② 비균일상 반응(heterogeneous reaction)의 반응속도는 물질전달 속도의 영향을 받는다.

③ 반응차수에 따라 반응속도상수의 단위는 다르다.

④ 화학반응의 속도식은 항상 화학양론식에 대응한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 분자도, 비균일상 반응의 속도 지배 요인, 반응차수에 따른 반응속도상수의 단위, 속도식과 화학양론식의 관계를 구별하는 반응속도론의 기본 개념을 묻는 문제이다.

핵심 개념

분자도는 한 번의 소반응에 동시에 참여하는 분자 수를 뜻하는 개념이다.
비균일상 반응은 상이 다른 계면에서 진행되므로 반응 자체뿐 아니라 물질전달 저항의 영향을 함께 받을 수 있다.
반응속도상수 k의 단위는 속도식 $r = kC^n$에서 전체 반응차수 n에 따라 달라진다.
속도식은 실험적으로 정해지는 반응속도 표현식이며, 일반적으로 화학양론계수와 반드시 일치하지는 않는다.

선지별 해설

① O
분자도는 반응에 참여하는 분자의 수를 뜻한다. 엄밀히는 소반응 기준의 개념이지만, 선지의 진술은 그 핵심 뜻을 옳게 설명한 것이다.

② O
비균일상 반응은 기체-고체, 액체-고체처럼 상이 달라 계면을 거쳐 물질이 이동해야 하므로 반응속도가 물질전달 속도의 영향을 받을 수 있다.

③ O
반응차수가 달라지면 $r = kC^n$에서 농도 항의 차원이 달라지므로 k의 단위도 달라진다. 따라서 반응차수에 따라 반응속도상수의 단위는 서로 다르다.

④ X
틀린 부분은 "항상 화학양론식에 대응한다"이다.
올바르게는 속도식은 실험적으로 결정되며, 소반응이 아닌 전체 반응에서는 화학양론계수와 차수가 일치하지 않을 수 있다.

NoteBase

오답 포인트

④는 화학양론식과 속도식을 같은 것으로 보는 혼동을 노린 선지이다. 소반응에서는 양론계수와 차수가 대응할 수 있지만, 일반 반응 전체에 대해 이를 항상 성립하는 법칙처럼 외우면 틀리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

속도식 관련 선지가 나오면 먼저 그것이 소반응의 설명인지, 아니면 전체 반응의 일반론인지 구분한다. "항상", "반드시" 같은 단정 표현이 붙으면 속도식이 실험식이라는 점을 떠올려 검토하면 된다.

암기 포인트

분자도는 소반응 참여 분자 수, 속도식은 실험식, 차수와 양론계수는 항상 같지 않다.

NoteBase

문 10. 아래는 일산화탄소의 비해리 흡착 반응식이고, 이 반응은 기초반응으로 취급할 수 있다. 다음 중 옳지 않은 것은?

$CO + S \rightleftharpoons CO \cdot S$
k_a: 흡착반응속도상수
k_d: 탈착반응속도상수
K: 흡착평형상수

① 흡착속도는 CO 분압에 비례한다.

② 탈착속도는 점유된 활성점의 농도에 비례한다.

③ 흡착속도는 빈 활성점의 농도에 비례한다.

④ 흡착평형상수는 온도와 무관하다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비해리 흡착의 기초반응 속도식과 흡착평형상수의 의미를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

흡착속도는 기체가 표면에 붙는 속도로서 CO 분압과 빈 활성점 농도에 함께 좌우된다.
탈착속도는 흡착된 종이 표면에서 떨어지는 속도로서 점유된 활성점 농도에 좌우된다.
흡착평형상수 K는 평형에서 흡착과 탈착의 상대적 경향을 나타내며 일반적으로 온도의 영향을 받는다.

NoteBase

선지별 해설

① O
흡착 기초반응은 보통 $r_a = k_a P_{CO} C_v$ 형태로 쓸 수 있으므로, 빈 활성점 농도 C_v를 고정하면 흡착속도는 CO 분압에 비례한다.

② O
탈착은 표면에 이미 흡착된 $CO \cdot S$가 떨어지는 과정이므로 $r_d = k_d C_{occ}$와 같이 점유된 활성점 농도에 비례한다.

③ O
흡착은 비어 있는 활성점이 있어야 일어나므로 흡착속도는 빈 활성점 농도에 비례한다.

④ X
틀린 표현은 '온도와 무관하다'이다.
흡착평형상수 K는 일반적인 평형상수와 마찬가지로 온도에 따라 달라진다. 올바르게는 '흡착평형상수는 온도의 함수이다'이다.

오답 포인트

④는 속도상수와 평형상수를 섞어 헷갈리게 만드는 선지이다. $K = k_a/k_d$로 볼 수 있지만, k_a와 k_d 자체가 온도 의존성을 가지므로 K도 온도와 무관하지 않다.

다시 나오면 이렇게 판단

흡착 선지는 먼저 '기체 분압', '빈 활성점', '점유된 활성점', '평형상수의 온도의존성'을 각각 대응시켜 판단하면 된다. 속도는 진행 가능한 자리 수와 반응물 존재량을 보고, 평형상수는 온도 의존성을 바로 확인하면 된다.

암기 포인트

흡착은 분압과 빈 자리, 탈착은 점유 자리, 평형상수 K는 온도 의존이다.

NoteBase

문 11. 1차 비가역 균일계 기상 기초반응 $A \rightarrow 3B$을 진행하였다. 초기에 A와 불활성기체가 각각 75%, 25%씩 존재하고, 일정 온도 및 일정 압력에서 부피가 변하는 회분식반응기를 이용할 경우, 반응기 부피가 75% 증가하는 데 걸리는 시간은 얼마인가? (단, 반응속도상수 $k = 0.1\text{min}^{-1}$, $\ln 2 = 0.7$로 가정한다.)

① 7분

② 10분

③ 11분

④ 14분

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 등온·등압 기상 회분식반응기에서 부피 증가율로 전환율 X를 먼저 구한 뒤, 1차 반응의 회분식 적분식을 적용해 시간을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 반응: $A \rightarrow 3B$
- 초기 조성: $y_{A0} = 0.75$, 불활성기체 0.25
- 속도상수: $k = 0.1\text{min}^{-1}$
- $\ln 2 = 0.7$

구해야 할 값:
- 반응기 부피가 75% 증가할 때의 시간

주의할 조건:
- 등온·등압이므로 $V \propto N_T$이다.
- 1차 반응이므로 $\frac{dN_A}{dt} = -kN_A$가 된다.

NoteBase

사용할 공식

부피 변화식은
$\frac{V}{V_0} = \frac{N_T}{N_{T0}} = 1 + y_{A0}\Delta\nu X$
이다. 여기서 $\Delta\nu = 3 - 1 = 2$이므로
$\frac{V}{V_0} = 1 + 0.75 \times 2X = 1 + 1.5X$
이다.

1차 회분식반응기의 적분식은
$\ln\frac{1}{1-X} = kt$
이다.

이 공식을 쓰는 이유는 문제 조건이 등온·등압 기상반응이라 전체 몰수 변화가 곧 부피 변화로 연결되고, 반응속도가 1차이므로 N_A가 지수적으로 감소하기 때문이다.

계산 과정

1. 부피가 75% 증가했으므로
$\frac{V}{V_0} = 1.75$
이다.
2. 부피 변화식에 대입하면
$1.75 = 1 + 1.5X$
이므로
$X = \frac{0.75}{1.5} = 0.5$
이다.
3. 1차 반응 적분식에 대입하면
$t = \frac{1}{k}\ln\frac{1}{1-X} = \frac{1}{0.1}\ln\frac{1}{0.5}$
이다.
4. $\ln 2 = 0.7$이므로
$t = 10 \times 0.7 = 7\text{min}$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- 계산 결과가 7 min이므로 옳다.

② X
- ②의 "10분"은 계산 결과와 다르다. 부피 75% 증가에서 전환율은 $X = 0.5$이고, 따라서 시간은 $t = \ln 2 / 0.1 = 7\text{min}$이다.
- 틀린 표현은 "10분"이고, 올바르게는 "7분"이다.

③ X
- ③의 "11분"도 계산 결과와 다르다. 이 문제는 먼저 부피 증가율로 X를 구한 뒤 1차 적분식을 써야 하며, 그 결과는 11분이 아니라 7분이다.
- 틀린 표현은 "11분"이고, 올바르게는 "7분"이다.

④ X
- ④의 "14분"은 불활성기체를 무시하고 $1.75 = 1 + X$처럼 잘못 놓을 때 나올 수 있는 값이다. 실제로는 초기 A가 전체의 75%뿐이므로 $\frac{V}{V_0} = 1 + 1.5X$를 써야 한다.
- 틀린 표현은 "14분"이고, 올바르게는 "7분"이다.

오답 포인트

함정은 부피가 75% 증가했다는 조건을 곧바로 시간식에 넣는 데 있다. 이 문제는 먼저 부피 증가를 전환율로 바꾸어야 하며, 그때 불활성기체 25%를 반드시 반영해야 한다. 또한 부피가 변해도 1차 반응에서는 $\frac{dN_A}{dt} = -kN_A$ 형태가 유지된다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

등온·등압 기상반응에서 부피 변화가 주어지면 $V/V_0 \rightarrow X$를 먼저 연결한 뒤, 반응차수에 맞는 회분식 적분식으로 시간을 구하면 된다. 조성에 불활성기체가 있으면 y_{A0}를 반드시 곱해 총몰수 변화를 계산한다.

암기 포인트

등온·등압 기상 회분식은 부피 증가를 먼저 전환율로 바꾸고, 1차 반응은 $\ln \frac{1}{1-X} = kt$로 마무리한다.

NoteBase

문 12. 실제 혼합흐름반응기(CSTR)는 여러 가지 이유에 의해 비이상적(non-ideal)인 거동을 보이기도 한다. 이렇게 비이상적인 거동을 일으킬 가능성이 있는 이유로 가장 옳지 않은 것은?

① 여러 반응물이 충분히 혼합되기까지 걸리는 시간이 길다.

② 반응물의 흐름이 정체되어 있는 지역이 존재한다.

③ 반응기 내 온도분포가 매우 균일하다.

④ 반응물이 다양한 상(phase)으로 존재한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상적 CSTR와 비이상적 CSTR를 가르는 핵심 원인, 즉 혼합 불완전·정체영역·다상 유동 같은 유동 비이상성과 온도 균일성의 차이를 묻는 문제이다.

핵심 개념

이상적 CSTR는 반응기 내부의 조성·온도가 거의 균일하다고 보는 완전혼합 반응기이다.
비이상적 CSTR는 혼합 지연, 정체영역, 단락흐름, 상분리처럼 내부 상태가 공간적으로 균일하지 않을 때 나타난다.
따라서 균일한 온도분포는 비이상성을 만드는 원인이라기보다 이상혼합 가정에 가까운 특징이다.

선지별 해설

① O: 여러 반응물이 충분히 섞이기까지 시간이 길면 반응기 내부 농도분포가 순간적으로 달라질 수 있어 완전혼합 가정에서 벗어난다.
② O: 반응물 흐름이 정체된 영역이 있으면 일부 유체의 체류시간이 과도하게 길어지고 전체가 균일하게 섞이지 않아 비이상 거동이 생길 수 있다.
③ X: 틀린 부분은 "온도분포가 매우 균일하다"이다. 실제로는 온도분포가 균일할수록 이상적 CSTR 가정에 가깝고, 비이상 거동의 원인으로는 온도분포가 불균일하거나 국부적인 hot spot과 cold spot이 존재하는 경우가 더 적절하다.
④ O: 반응물이 기체·액체·고체 등 여러 상으로 존재하면 상간 전달저항과 분산 불균일 때문에 이상적인 완전혼합에서 벗어나기 쉽다.

오답 포인트

비이상성이라는 말을 보면 반응기 안에서 변화가 크다는 인상만으로 ③도 원인처럼 고르기 쉽다. 그러나 CSTR의 이상성은 내부 조성과 온도가 균일하다는 가정에 서므로, 균일성 자체는 원인이 아니라 오히려 이상성 쪽 특징이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

CSTR 비이상 원인을 묻는 문제에서는 완전혼합을 깨는 요소인지부터 본다. 혼합 지연, 정체영역, 상분리, 온도·농도 구배는 비이상 원인이고, 내부 상태의 균일성은 이상적 거동 쪽 단서이다.

암기 포인트

비이상 CSTR는 구배와 정체이고, 이상적 CSTR는 균일한 혼합과 균일한 온도이다.

NoteBase

문 13. 2차반응에서 반응속도를 결정하는 직접적인 인자로 옳지 않은 것은?

① 점도

② 온도

③ 농도

④ 촉매

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 2차반응의 반응속도를 직접 좌우하는 인자(농도·온도·촉매)와 속도식에 직접 들어가지 않는 유체 물성(점도)을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

반응속도는 단위시간당 농도 변화량으로 정의되며, 속도식에 직접 들어가는 것은 농도와 속도상수이다.
속도상수는 온도와 촉매의 영향을 직접 받으므로 온도와 촉매도 반응속도를 직접 바꾸는 인자이다.
반면 점도는 유체의 흐름에 대한 저항을 나타내는 물성으로, 2차반응의 속도식이나 속도상수에 직접 들어가지 않는다. 점도는 확산이 속도를 지배하는 물질전달 제한 조건에서 간접적으로 영향을 줄 수 있을 뿐, 반응속도를 결정하는 직접적인 인자는 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① O
점도는 유체의 흐름에 대한 저항을 나타내는 물성일 뿐, 2차반응 속도식 $-r_A = kC_A^2$이나 속도상수 k에 직접 들어가는 변수는 아니다. 확산이 반응을 지배하는 특수한 경우에 간접적으로 영향을 줄 수 있으나, 반응속도를 결정하는 직접적인 인자로는 옳지 않으므로 정답이다.

② X
틀린 부분은 온도를 '직접적인 인자가 아닌 것'으로 본 점이다. 실제로는 온도가 바뀌면 속도상수 k가 변하고, 그 결과 반응속도도 직접 달라진다.

③ X
틀린 부분은 농도를 '직접적인 인자가 아닌 것'으로 본 점이다. 실제로는 2차반응에서 반응속도는 농도항에 직접 비례하므로 농도는 대표적인 직접 인자이다.

④ X
틀린 부분은 촉매를 '직접적인 인자가 아닌 것'으로 본 점이다. 실제로는 촉매가 활성화에너지를 낮추어 속도상수를 변화시키므로 반응속도에 직접 영향을 준다.

오답 포인트

점도도 반응 용액의 물성이어서 속도 결정 인자로 착각하기 쉽다. 그러나 점도는 유체의 물리적 성질일 뿐이고, 농도·온도·촉매처럼 속도식이나 속도상수를 바로 바꾸는 인자와는 성격이 다르다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응속도 문제에서는 속도식에 직접 들어가거나 속도상수 k를 바꾸는지부터 본다. 농도, 온도, 촉매는 직접 인자이고, 점도처럼 속도식에 나타나지 않는 유체 물성은 직접 인자가 아니다.

암기 포인트

속도는 농도와 k가 정하고, 점도는 속도식에 들어가지 않는다.

NoteBase

문 14. 1차 비가역 등온 액상반응 (A → B)과 2차 비가역 등온 액상반응 (2C → D)를 같은 크기의 회분식반응기에서 진행하였다. 반응물 초기농도를 1 mol/L로 동일하게 하였을 때, 각각의 반응에서 초기 반응물의 90%가 소모될 때까지 걸리는 시간의 차이는? (단, 1차 반응속도상수 $k_1 = 0.1\text{min}^{-1}$, 2차 반응속도상수 $k_2 = 0.2\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$이고, $\ln 10 = 2.3$으로 가정한다.)

① 20분

② 22분

③ 23분

④ 25분

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 회분식반응기에서 1차 반응과 2차 반응의 적분식으로 90% 소모 시간과 그 차이를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 1차 반응 $A \rightarrow B$, $k_1 = 0.1\text{min}^{-1}$
- 2차 반응 $2C \rightarrow D$, $k_2 = 0.2\text{Lmol}^{-1}\text{min}^{-1}$
- 초기농도는 두 반응 모두 1mol/L이다.
- 초기 반응물의 90%가 소모되면 남는 농도는 0.1mol/L이다.
- $\ln 10 = 2.3$

구해야 할 값:
- 두 반응이 90% 소모될 때까지 걸리는 시간의 차이

주의할 조건:
- 묻는 값은 각 시간 자체가 아니라 시간의 차이이다.

사용할 공식

1차 반응의 회분식 적분식은
$t_1 = \frac{1}{k_1} \ln \frac{C_{A0}}{C_A}$
이다.
2차 반응의 회분식 적분식은
$t_2 = \frac{1}{k_2}\left(\frac{1}{C_C} - \frac{1}{C_{C0}}\right)$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 반응 모두 액상 등온 회분식반응기에서 진행되고, 각각 반응차수가 1차와 2차로 주어져 있어 농도-시간 적분식을 직접 적용할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 1차 반응에서 90% 소모 시 $C_A = 0.1\text{mol/L}$이다.
$t_1 = \frac{1}{0.1}\ln\frac{1}{0.1} = 10\ln 10 = 10 \times 2.3 = 23\text{min}$
2. 2차 반응에서 90% 소모 시 $C_C = 0.1\text{mol/L}$이다.
$t_2 = \frac{1}{0.2}\left(\frac{1}{0.1} - \frac{1}{1}\right) = 5(10 - 1) = 45\text{min}$
3. 시간 차이는
$\Delta t = t_2 - t_1 = 45 - 23 = 22\text{min}$
이다.

선지별 해설

① X
- 계산 결과 시간 차이는 20분이 아니라 22분이다.
- 틀린 표현은 '20분'이다. 올바르게는 '22분'이다.
- 20분은 제시된 $\ln 10 = 2.3$ 조건을 무시하거나 적분식을 잘못 적용했을 때 나오는 오답이다.

② O
- 1차 반응은 23분, 2차 반응은 45분이므로 시간 차이는 22분이다.
- 90% 소모에서는 남은 농도가 초기농도의 10%라는 점만 정확히 넣으면 바로 구해진다.

③ X
- 23분은 1차 반응이 90% 소모되는 시간일 뿐, 두 반응 시간의 차이가 아니다.
- 틀린 표현은 '23분'이다. 올바르게는 '22분'이다.
- 이 값은 차이를 묻는 발문을 놓치고 첫 번째 계산 결과만 답한 경우의 오답이다.

④ X
- 계산 결과 시간 차이는 25분이 아니라 22분이다.
- 틀린 표현은 '25분'이다. 올바르게는 '22분'이다.
- 25분은 2차 반응 적분식에서 $1/C_{C0}$ 항을 잘못 처리하거나 산술 계산을 틀렸을 때 생기는 오답이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, 90% 소모를 $C/C_0 = 0.9$로 넣는 실수이다. 실제로는 남은 농도가 10%이므로 $C/C_0 = 0.1$이다. 둘째, 각 반응 시간을 구한 뒤 바로 끝내고 '차이'를 빼지 않는 실수이다. ③이 그 함정을 노린 선택지이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

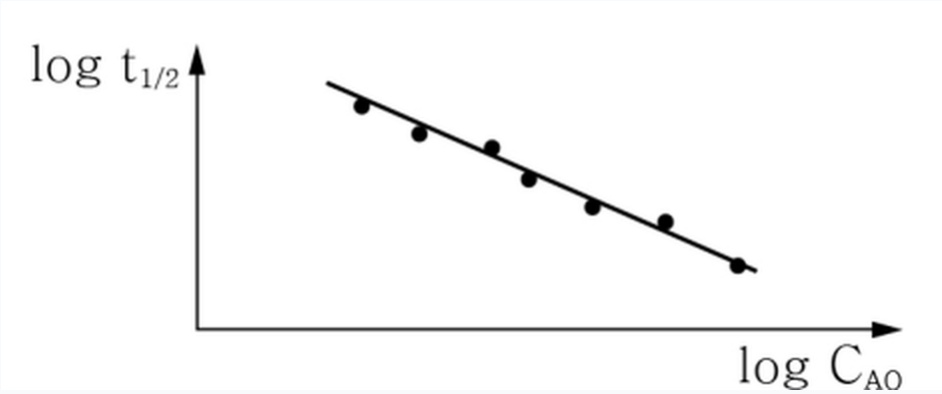
회분식 계산형은 먼저 전환율을 남은 농도로 바꾸고, 반응차수에 맞는 적분식을 고른 뒤, 각 시간을 계산한 다음 발문이 시간 자체인지 시간 차이인지를 마지막에 다시 확인하면 된다.

암기 포인트

1차 반응은 $t = (1/k)\ln(C_0/C)$, 2차 반응은 $t = (1/k)(1/C - 1/C_0)$이며, 90% 소모는 남은 농도 10%이다.

NoteBase

문 15. 비가역 등온 액상반응 $A \rightarrow B$을 회분식반응기에서 진행한 결과, 반응물 A에 대한 반응차수가 n차임을 보였다. 반응물 A의 초기농도 C_{A0}와 반감기 $t_{1/2}$ 사이의 관계가 다음의 그림과 같다면, 반응차수 n에 대해 옳게 표현한 것은?



① $n = 0$

② $0 < n < 1$

③ $n = 1$

④ $n > 1$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 n차 반응의 반감기식에서 $\log t_{1/2}$ 대 $\log C_{A0}$ 그래프의 기울기 $1 - n$으로 반응차수를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 비가역 등온 액상반응 $A \rightarrow B$, 회분식반응기, 반응물 A에 대한 n차 반응이다.
그래프는 $\log t_{1/2}$와 $\log C_{A0}$가 직선관계이며 기울기가 음수임을 보여 준다.
구해야 할 값은 반응차수 n의 범위이다.

사용할 공식

$n \neq 1$일 때

$t_{1/2} = \frac{2^{n-1}-1}{(n-1)k} C_{A0}^{1-n}$

따라서

$\log t_{1/2} = \log\left(\frac{2^{n-1}-1}{(n-1)k}\right) + (1-n)\log C_{A0}$

이 공식을 쓰는 이유는 회분식반응기의 n차 반응에서 반감기를 초기농도의 지수함수 꼴로 나타낼 수 있고, 로그를 취하면 기울기가 $1 - n$인 직선이 되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. $\log t_{1/2}$ 대 $\log C_{A0}$ 직선의 기울기는 식에서 $1-n$이다.
2. 그림의 직선 기울기는 음수이므로 $1-n<0$이다.
3. 따라서 $n>1$이다.

선지별 해설

① X

$n=0$이면 기울기 $1-n=1$이므로 양의 기울기가 된다. 그림과 맞지 않는다.
틀린 표현은 "$n=0$"이다. 올바르게는 음의 기울기이므로 $n>1$이어야 한다.

② X

$0<n<1$이면 $1-n>0$이므로 기울기는 여전히 양수이다. 그림과 맞지 않는다.
틀린 표현은 "$0<n<1$"이다. 올바르게는 $1-n<0$가 되는 $n>1$이다.

③ X

$n=1$이면 $t_{1/2}=\ln 2/k$가 되어 C_{A0}와 무관하다. 따라서 $\log t_{1/2}$ 대 $\log C_{A0}$ 그래프의 기울기는 0이다.
틀린 표현은 "$n=1$"이다. 올바르게는 기울기가 0이 아니라 음수이므로 $n>1$이다.

④ O

$n>1$이면 $1-n<0$이므로 $\log t_{1/2}$ 대 $\log C_{A0}$ 그래프의 기울기가 음수가 된다. 그림의 직선과 일치한다.

오답 포인트

1차 반응의 반감기만 기억하면 모든 반감기가 초기농도와 무관하다고 착각하기 쉽다. 이 문제는 일반 n차 반응에서 $t_{1/2}\propto C_{A0}^{1-n}$임을 묻고 있으며, 그래프의 음의 기울기를 곧바로 $1-n<0$로 연결하는지가 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

반감기-초기농도 그래프 문제는 먼저 $t_{1/2}$의 C_{A0} 지수를 찾고, 로그를 취했을 때의 기울기를 읽으면 된다.
기울기가 $1-n$이면 음수는 $n>1$, 0은 $n=1$, 양수는 $n<1$이다.

암기 포인트

$t_{1/2}\propto C_{A0}^{1-n}$이므로 로그-로그 그래프의 기울기는 $1-n$이다.

NoteBase

문 17. 아래의 암모니아 생성 반응에서 암모니아의 수득률을 높이기 위한 반응조건으로 옳은 것은?

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

① 저온 고압
② 고온 고압
③ 저온 저압
④ 고온 저압

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 발열 평형반응에서 온도 변화와 기체 몰수 차이에 따른 압력 변화가 암모니아 수득률에 어떻게 작용하는지를 묻는다.

핵심 개념

발열반응: 생성물 쪽에 열이 포함된 반응이므로 온도를 낮추면 평형이 생성물 쪽으로 이동한다. / 결정 차이축: 온도 변화에 대한 평형 이동 / 키워드: 저온 유리
기체 몰수 감소 방향: 압력을 높이면 기체 몰수가 더 적은 쪽으로 평형이 이동한다. 이 반응은 반응물 쪽 4몰, 생성물 쪽 2몰이므로 고압이 암모니아 생성에 유리하다. / 결정 차이축: 압력 변화에 대한 평형 이동 / 키워드: 고압 유리

선지별 해설

1번 O: 저온은 발열반응의 생성물 쪽을 유리하게 하고, 고압은 기체 몰수가 4몰에서 2몰로 줄어드는 생성물 쪽을 유리하게 하므로 암모니아 수득률이 가장 커진다.
2번 X: 틀린 부분은 "고온"이다. 발열반응에서 고온은 열을 가한 효과가 되어 평형을 반응물 쪽으로 이동시키므로, 올바르게는 저온 고압이어야 한다.
3번 X: 틀린 부분은 "저압"이다. 저온 자체는 유리하지만 저압은 기체 몰수가 많은 반응물 쪽을 유리하게 하므로, 올바르게는 저온 고압이어야 한다.
4번 X: 틀린 부분은 "고온"과 "저압"이다. 고온은 발열반응의 생성물 생성을 불리하게 하고 저압은 반응물 쪽을 유리하게 하므로, 올바르게는 저온 고압이어야 한다.

오답 포인트

발열반응이라는 점만 보고 저온을 고른 뒤 압력 조건을 놓치거나, 압력을 높이면 반응속도만 빨라진다고 생각하고 수득률 변화와 분리하지 못하면 3번이나 2번으로 흔들리기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

가역 기체 평형문제는 먼저 발열반응인지 흡열반응인지 확인해 온도 방향을 정하고, 그다음 반응물과 생성물의 기체 총몰수를 비교해 압력 방향을 정하면 된다.

암기 포인트

발열반응은 저온, 기체 몰수 감소 반응은 고압이 수득률을 높인다.

NoteBase

문 18. 부피와 밀도의 변화가 없는 등온 비가역 2차 액상 반응 ($A \rightarrow B$)을 부피의 비 (V_{CSTR}/V_{PFR})가 10인 혼합흐름반응기(CSTR)와 플러그흐름반응기(PFR)에서 각각 진행하면 최종 전환율은 얼마인가?

① 0.6

② 0.7

③ 0.8

④ 0.9

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 등온 비가역 2차 액상반응에서 같은 전환율을 만들 때 CSTR과 PFR의 설계식 부피비를 연결해 최종 전환율을 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 부피와 밀도 변화가 없는 등온 비가역 2차 액상 반응, $A \rightarrow B$, $V_{CSTR}/V_{PFR} = 10$
- 구해야 할 값: 두 반응기가 각각 같은 조건에서 운전될 때의 최종 전환율 X
- 주의할 조건: 액상 2차 반응이므로 $-r_A = kC_A^2$, 그리고 부피 변화가 없으므로 $C_A = C_{A0}(1 - X)$를 쓴다.

사용할 공식

등온 액상 2차 반응에서

- CSTR: $V_{CSTR} = \frac{F_{A0}X}{kC_{A0}^2(1-X)^2}$
- PFR: $V_{PFR} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}^2}\int_0^X \frac{dX}{(1-X)^2} = \frac{F_{A0}X}{kC_{A0}^2(1-X)}$

따라서 $\frac{V_{CSTR}}{V_{PFR}} = \frac{1}{1-X}$이다.

이 공식을 쓰는 이유는 같은 반응과 같은 유입조건에서 같은 전환율 X를 만들 때 두 반응기의 필요 부피를 직접 비교할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 2차 액상반응의 설계식을 각각 쓴다.
$V_{CSTR} = \frac{F_{A0}X}{kC_{A0}^2(1-X)^2}, \quad V_{PFR} = \frac{F_{A0}X}{kC_{A0}^2(1-X)}$
2. 부피비를 취하면 공통항이 소거된다.
$\frac{V_{CSTR}}{V_{PFR}} = \frac{1}{1-X}$
3. 문제의 조건 $V_{CSTR}/V_{PFR} = 10$을 대입한다.
$10 = \frac{1}{1-X}$
4. 정리하면
$1 - X = 0.1, \quad X = 0.9$
따라서 최종 전환율은 0.9이다.

선지 판단

① X
- 0.6을 대입하면 $V_{CSTR}/V_{PFR} = 1/(1-0.6) = 2.5$가 되어 주어진 부피비 10과 맞지 않는다. 틀린 값이며 올바르게는 최종 전환율이 0.9이다.

② X
- 0.7을 대입하면 $V_{CSTR}/V_{PFR} = 1/(1-0.7) = 3.33$이므로 조건을 만족하지 못한다. 틀린 값이며 올바르게는 0.9가 되어야 한다.

③ X
- 0.8을 대입하면 $V_{CSTR}/V_{PFR} = 1/(1-0.8) = 5$가 되어 여전히 10이 아니다. 틀린 값이며 올바르게는 0.9이다.

④ O
- 0.9를 대입하면 $V_{CSTR}/V_{PFR} = 1/(1-0.9) = 10$이 되어 문제의 조건과 정확히 일치한다. 따라서 옳은 선택지이다.

오답 포인트

CSTR과 PFR의 설계식을 각각 따로 외우지 못하면 비례식만 보고 감으로 고르기 쉽다. 이 문항의 함정은 2차 반응에서 CSTR이 PFR보다 훨씬 큰 부피를 요구한다는 점을 놓치고 0.7이나 0.8 같은 중간값을 고르는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

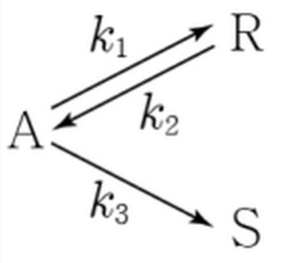
반응기 비교 문제는 먼저 같은 전환율 X에 대한 CSTR식과 PFR식을 각각 쓴 뒤 부피비를 만든다. 그다음 공통항을 소거해 X만 남기는 형태로 바꾸면 계산이 가장 빠르다.

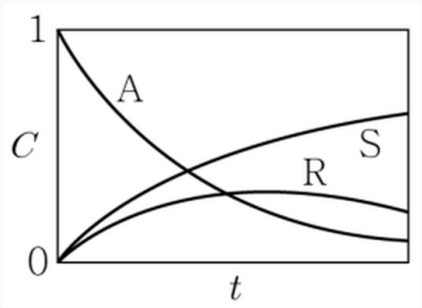
암기 포인트

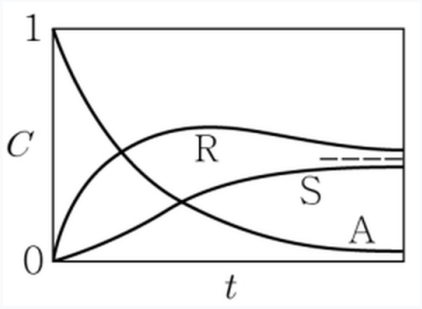
액상 2차 반응에서 같은 X에 대한 부피비는 $V_{CSTR}/V_{PFR} = 1/(1-X)$이며, 부피비가 10이면 전환율은 0.9이다.

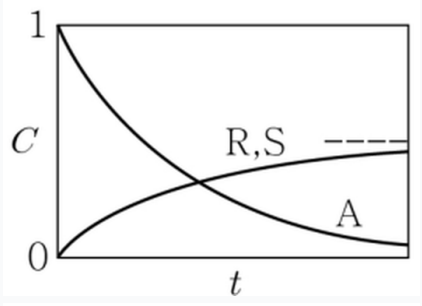
NoteBase

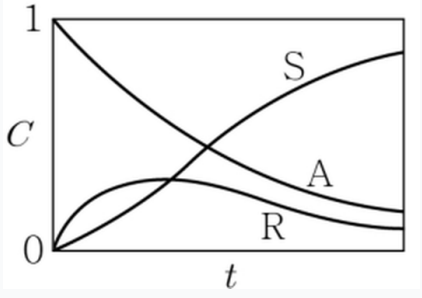
문 19. 다음의 1차 액상 병렬반응이 회분식반응기에서 진행되고 있다. 반응속도상수가 모두 같은 값을 가질 때 $k_1 = k_2 = k_3$, 시간 t에 따른 A, R, S의 농도 C 변화를 나타낸 것으로 옳은 것은?



① 

② 

③ 

④ 

정답 1번

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 반응공학 · 2016 · 6월

출제 포인트

이 문제는 $A \rightleftharpoons R$, $A \rightarrow S$ 반응에서 각 성분의 속도식 부호를 보고 농도-시간 곡선의 형태를 판단하는 문제이다. S는 $\frac{dS}{dt} = kA > 0$인 비가역 생성물이라 단조 증가하고, R은 생성항과 소비항을 함께 가져 중간에 최대값을 만든다.

선지별 해설

① O\nA는 $A \rightarrow R$와 $A \rightarrow S$ 두 경로로 소모되므로 단조 감소한다. R은 처음에는 $A \rightarrow R$로 생성되어 증가하지만, 시간이 지나면 $R \rightarrow A$와 A 고갈의 영향으로 최대값 뒤 감소한다. S는 $A \rightarrow S$의 비가역 생성물이라 계속 증가하므로 ①의 형태가 맞다.

② X\nR이 S보다 크게 유지되고 두 성분이 비슷한 값으로 남는 형태가 틀리다. S는 누적 생성물이라 감소하지 않고, 충분히 긴 시간 뒤에는 $A, R \rightarrow 0, S \rightarrow 1$로 간다. 틀린 표현은 'R이 S보다 크게 유지된다'이며, 올바르게는 'S가 R보다 위에 있고 R은 봉우리 뒤 감소한다'이다.

③ X\nR과 S가 같은 형태로 함께 증가하는 그림이 틀리다. R에는 $-kR$ 소비항이 있으므로 S처럼 계속 쌓일 수 없다. 틀린 표현은 'R도 단조 증가한다'이며, 올바르게는 'S만 단조 증가하고 R은 증가 후 감소한다'이다.

④ X\nR이 초기에 S보다 더 크게 올라가는 형태가 틀리다. 처음에는 $\frac{dR}{dt}\Big|_{t=0} = \frac{dS}{dt}\Big|_{t=0} = kC_{A0}$이지만, R에는 곧바로 역반응 소비항이 작용하므로 S보다 불리하다. 틀린 표현은 'R이 S보다 먼저 우세해진다'이며, 올바르게는 'S와 R은 같은 초기 기울기로 시작하지만 S가 누적되어 R보다 위에 놓인다'이다.

오답 포인트

가역 생성물 R도 A에서 만들어지므로 크게 쌓일 것이라고 생각하면 ②나 ④로 흔들리기 쉽다. 그러나 R은 생성과 동시에 $R \rightarrow A$로도 빠지고, S는 한 번 만들어지면 되돌아오지 않으므로 '누적되는 종은 S, 봉우리를 만드는 종은 R'이라는 구분이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

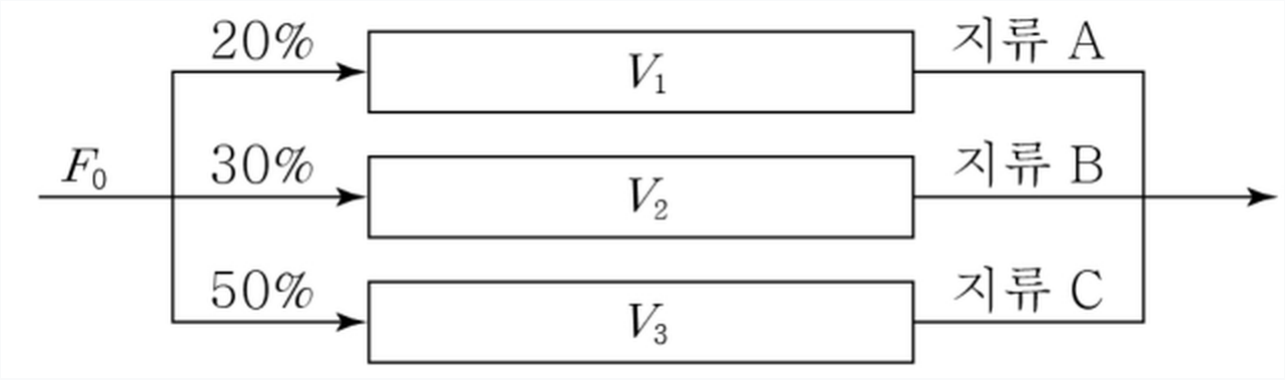
1. 비가역 생성물의 속도식을 먼저 본다. 여기서는 $\frac{dS}{dt} = kA > 0$이므로 S는 단조 증가한다.
2. 생성항과 소비항을 함께 가진 종을 찾는다. R은 $\frac{dR}{dt} = kA - kR$이므로 증가 후 감소하는 봉우리형이다.
3. 남는 반응물 A는 단조 감소한다. 이 세 조건을 동시에 만족하는 그래프를 고르면 된다.

암기 포인트

비가역 생성물은 계속 쌓이고, 가역 중간체는 봉우리를 만든다.

NoteBase

문 20. 다음 그림은 3개의 평행한 지류로 이루어진 3개의 플러그흐름반응기(PFR)를 보여주고 있다. 전체 원료의 양(F_0)을 각각 20%, 30%, 50%의 비율로 각 지류에 있는 반응기에 공급하였을 때, 3개의 반응기 부피(V_1, V_2, V_3) 사이의 관계식으로 옳은 것은? (단, 각 지류의 전환율은 동일하다.)



① $15V_1 = 10V_2 = 6V_3$

② $10V_1 = 15V_2 = 6V_3$

③ $6V_1 = 10V_2 = 15V_3$

④ $6V_1 = 15V_2 = 10V_3$

정답 1번

출제 포인트

병렬 PFR에서 각 지류의 전환율이 같으면 PFR 설계식의 적분항이 동일해져 반응기 부피가 각 지류의 유량에 비례한다.

조건 정리

주어진 값:
전체 원료 유량 F_0가 지류 A, B, C로 각각 20%, 30%, 50% 분할된다.
구해야 할 값:
세 반응기 부피 V_1, V_2, V_3의 관계식이다.
주의할 조건:
세 지류의 전환율이 같고, 같은 원료가 단순 분할되어 들어가므로 각 지류의 반응 조건과 적분 구간 $0 \rightarrow X$는 동일하다.

NoteBase

사용할 공식

각 지류 PFR의 설계식은
$V_i = F_{A0,i}\int_0^X \frac{dX}{-r_A}$
이다.
이 문제는 세 지류의 전환율 X가 같고 반응 속도식도 동일하므로 적분항이 모두 같다. 따라서
$V_i \propto F_{A0,i}$
가 된다.

계산 과정

1. 유량 분할비는 $F_{A0,1} : F_{A0,2} : F_{A0,3} = 0.2 : 0.3 : 0.5$이다.
2. 전환율이 같으므로 각 지류에서 $\int_0^X \frac{dX}{-r_A}$ 값이 같다.
3. 따라서 $V_1 : V_2 : V_3 = 0.2 : 0.3 : 0.5 = 2 : 3 : 5$이다.
4. 비 $2 : 3 : 5$를 관계식으로 바꾸면 $V_1 = \frac{2}{3}V_2 = \frac{2}{5}V_3$이고, 공통배수 30을 곱하면
$15V_1 = 10V_2 = 6V_3$
가 된다.

선지별 해설

① O: $15V_1 = 10V_2 = 6V_3$는 $V_1 : V_2 : V_3 = 2 : 3 : 5$와 같은 뜻이다. 지류 유량비 20:30:50과 정확히 일치하므로 옳다.
② X: $10V_1 = 15V_2 = 6V_3$는 $V_1 : V_2 : V_3 = 3 : 2 : 5$를 뜻한다. 20%와 30% 지류의 비가 뒤바뀐 표현이 틀렸고, 올바르게는 $V_1 : V_2 : V_3 = 2 : 3 : 5$이다.
③ X: $6V_1 = 10V_2 = 15V_3$는 $V_1 : V_2 : V_3 = 5 : 3 : 2$를 뜻한다. 유량이 가장 큰 50% 지류에 가장 큰 부피가 배정되어야 하는데 오히려 V_1이 가장 크게 되어 틀렸고, 올바르게는 V_3가 가장 커야 한다.
④ X: $6V_1 = 15V_2 = 10V_3$는 $V_1 : V_2 : V_3 = 5 : 2 : 3$를 뜻한다. 20% 지류의 반응기 부피를 가장 크게 둔 점이 틀렸고, 올바르게는 분할 유량비와 같은 $2 : 3 : 5$가 되어야 한다.

오답 포인트

병렬 연결에서는 각 반응기의 부피가 직렬처럼 모두 같아진다고 오해하거나, 유량비를 그대로 읽지 않고 역수처럼 뒤집는 실수가 자주 나온다. 이 문항은 20%, 30%, 50%를 본 뒤 가장 큰 유량 지류에 가장 큰 부피가 가야 한다는 점을 놓치면 ②, ③, ④에 쉽게 끌린다.

다시 나오면 이렇게 판단

병렬 PFR에서 같은 원료를 분할 투입하고 각 지류의 목표 전환율이 같으면 먼저 $V \propto F_{A0}$를 확인한다. 그다음 부피비가 유량비와 같은지 비교하고, 마지막에 관계식을 비 형태로 다시 환산하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

병렬 PFR, 동일 전환율이면 부피비는 유량비와 같다.

NoteBase