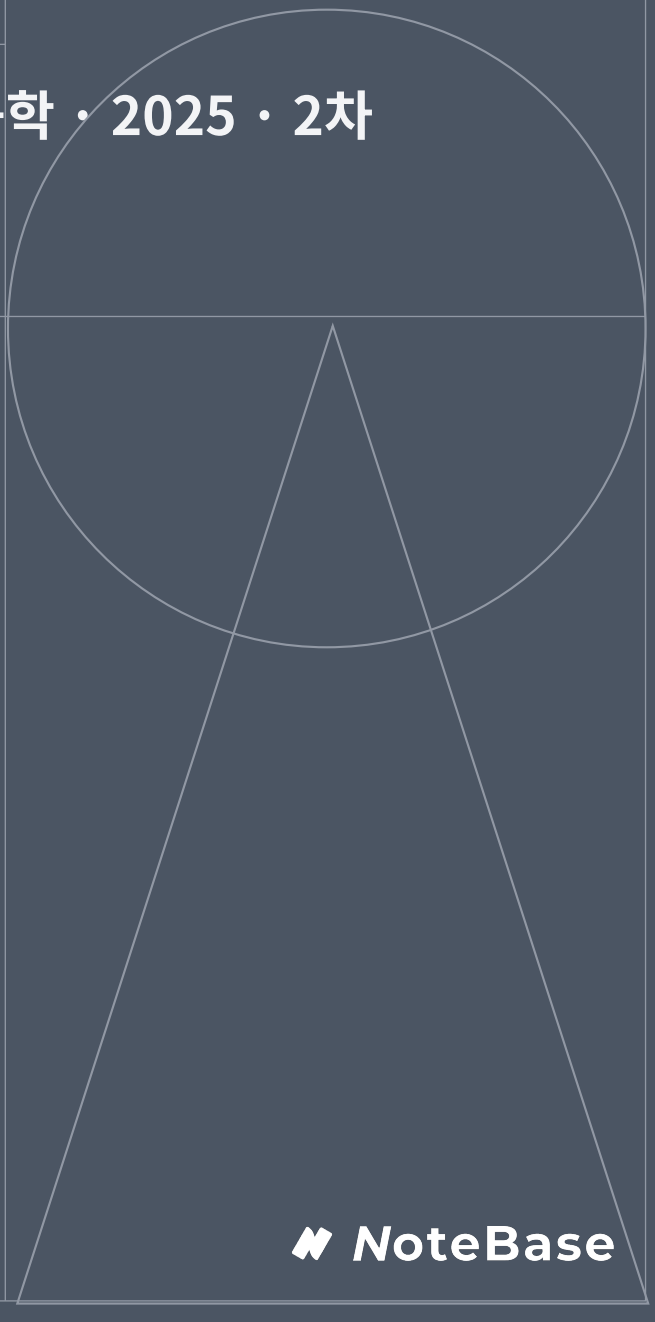
# 기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 반응공학 · 2025 · 2차



NoteBase

# 기출OX 해설집

## 공무원/국가직/7급 · 반응공학 · 2025 · 2차

**공무원/국가직/7급 · 반응공학 · 2025 · 2차**

**문 1. 반응 및 반응속도상수에 대한 설명으로 옳은 것은?**

① 0차 반응의 반응속도는 반응물의 초기농도에 영향을 받지 않는다.

② 1차 반응의 반응속도상수 단위는 $mol\ m^{-3}\ s^{-1}$이다.

③ 촉매는 화학반응의 활성화에너지와 반응열을 모두 변화시킨다.

④ 반응속도상수는 화학반응의 종류에 상관없이 온도에 의해서만 결정된다.

**정답 1번**

**출제 포인트**

이 문제는 반응 차수에 따른 속도식과 반응속도상수의 단위, 촉매의 역할을 구분하는 문제이다.

**핵심 개념**

0차 반응은 반응속도가 반응물 농도와 무관하여 속도식이 $r = k$인 반응이다. 1차 반응은 반응속도가 농도에 비례하여 속도식이 $r = kC$인 반응이며 반응속도상수 단위는 $s^{-1}$이다. 촉매는 더 낮은 활성화에너지 경로를 제공하지만 반응열과 평형 자체는 바꾸지 않는다. 반응속도상수는 온도의 영향을 크게 받지만 반응 종류, 촉매, 반응 매질에도 영향을 받는다.

**선지별 해설**

① O: 0차 반응의 속도식은 $r = k$이므로 속도는 반응물 농도 항을 포함하지 않는다. 따라서 초기농도를 바꾸어도 반응속도식 자체의 속도값은 영향을 받지 않는다.
② X: 틀린 표현은 \"$molm^{-3}s^{-1}$\"이다. 1차 반응은 $r = kC$이므로 $k$의 단위는 시간의 역수인 $s^{-1}$이다. $molm^{-3}s^{-1}$는 반응속도의 단위이거나 0차 반응 속도상수의 단위에 해당한다.
③ X: 틀린 표현은 \"활성화에너지와 반응열을 모두 변화시킨다\"이다. 촉매는 활성화에너지는 변화시키지만 반응물과 생성물의 에너지 차이인 반응열은 바꾸지 않는다. 올바르게는 \"촉매는 활성화에너지를 변화시키지만 반응열은 변화시키지 않는다\"이다.
④ X: 틀린 표현은 \"화학반응의 종류에 상관없이 온도에 의해서만\"이다. 반응속도상수는 온도뿐 아니라 반응 메커니즘, 촉매 유무, 반응계 특성에도 좌우된다. 올바르게는 \"반응속도상수는 온도의 영향을 크게 받으며 반응 종류와 촉매 등에도 달라진다\"이다.

NoteBase

### 오답 포인트

2번은 반응속도와 반응속도상수의 단위를 뒤섞으면 틀리기 쉽다. 3번은 촉매가 속도를 바꾸므로 반응열까지 바꾼다고 오해하기 쉽다. 4번은 아레니우스식 때문에 온도만 떠올리기 쉽지만, 같은 온도라도 반응 종류와 촉매가 다르면 $k$ 값은 달라진다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

먼저 속도식에서 농도항이 있는지 확인하면 차수와 속도상수 단위를 바로 판별할 수 있다. 이어서 촉매는 활성화에너지만 바꾸고 반응열은 바꾸지 않는다는 점, 반응속도상수는 온도 외에도 반응계 성질에 따라 달라진다는 점을 대조하면 된다.

### 암기 포인트

0차는 $r = k$, 1차는 $k$ 단위가 $s^{-1}$, 촉매는 $E_a$만 바꾸고 반응열은 바꾸지 않는다.

NoteBase

**문 2. 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 비가역 액상 기초반응 $A \rightarrow B$가 진행될 때, 반응물 A의 전환율에 대한 식은? (단, $k$는 반응속도상수, $\tau$는 공간시간이다)**

① $\frac{1}{1+k\tau}$
② $\frac{k\tau}{1+k\tau}$
③ $1-e^{-k\tau}$
④ $k\tau$

**정답 2번**

### 출제 포인트

이 문제는 1차 비가역 액상반응이 등온 CSTR에서 진행될 때 물질수지로부터 전환율 $X_A$ 식을 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 조건: 등온 연속교반탱크반응기(CSTR), 비가역 액상 기초반응 $A \rightarrow B$, 1차 반응속도식 $-r_A = kC_A$이다.
구해야 할 값: 반응물 $A$의 전환율 $X_A$이다.
주의할 조건: CSTR은 반응기 내부 농도와 출구 농도가 같으므로 속도식의 $C_A$는 출구농도 $C_{A0}(1-X_A)$로 써야 한다.

### 사용할 공식

정상상태 CSTR의 설계식은 $F_{A0}X_A = (-r_A)V$ 이고, 공간시간 $\tau = V/u_0$, 액상에서 $F_{A0} = u_0C_{A0}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문항이 정상상태 CSTR의 전환율을 묻고 있고, CSTR은 반응기 전체가 완전혼합이라 출구농도로 반응속도를 계산하는 장치이기 때문이다.

### 계산 과정

1. 출구농도는 $C_A = C_{A0}(1-X_A)$ 이다.
2. 반응속도는 $-r_A = kC_A = kC_{A0}(1-X_A)$ 이다.
3. 설계식에 대입하면 $u_0C_{A0}X_A = kC_{A0}(1-X_A)V$ 이다.
4. $u_0$, $C_{A0}$를 약분하고 $\tau = V/u_0$를 쓰면 $X_A = k\tau(1-X_A)$ 이다.
5. 정리하면 $X_A(1+k\tau) = k\tau$ 이므로 $X_A = \frac{k\tau}{1+k\tau}$ 이다.

NoteBase

### 선지 판단

① X: $\frac{1}{1+k\tau}$ 는 CSTR에서의 미반응분율 $\frac{C_A}{C_{A0}} = 1 - X_A$ 에 해당한다. 틀린 표현은 이를 전환율로 본 점이다. 올바르게는 전환율은 $X_A = \frac{k\tau}{1+k\tau}$ 이다.
② O: 계산 결과가 $X_A = \frac{k\tau}{1+k\tau}$ 이므로 옳다. CSTR의 완전혼합 조건을 정확히 반영한 식이다.
③ X: $1 - e^{-k\tau}$ 는 1차 반응이 PFR 또는 등부피 배치반응기에서 나오는 전환율식이다. 틀린 표현은 반응기 형식을 CSTR과 혼동한 점이다. 올바르게는 CSTR에서는 $X_A = \frac{k\tau}{1+k\tau}$ 이다.
④ X: $k\tau$ 는 분모 $(1 + k\tau)$ 를 빠뜨린 식이어서 일반적인 CSTR 전환율이 아니다. 틀린 표현은 전환율식을 저전환 근사식으로 단순화한 점이다. 올바르게는 정확한 식이 $\frac{k\tau}{1+k\tau}$ 이고, $k\tau$ 는 $k\tau \ll 1$ 일 때만 근사적으로 비슷하다.

### 오답 포인트

①은 전환율 $X_A$ 와 미반응분율 $1 - X_A$ 를 바꾸어 외우면 고르기 쉽다. ③은 1차 반응의 익숙한 $1 - e^{-k\tau}$ 식을 반응기 구분 없이 적용할 때 생기는 오답이다. ④는 분모를 빠뜨린 단순화 오답으로, 전환율이 1을 넘을 수 없다는 물리적 점검을 하면 걸러진다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

반응기 전환율 문제는 먼저 반응기 형식을 확인하고, CSTR이면 정상상태 설계식 $F_{A0}X_A = (-r_A)V$ 를 세운 뒤 출구농도로 속도식을 쓴다. 그 다음 PFR의 $1 - e^{-k\tau}$ 식과 혼동하지 않는지 점검하면 된다.

### 암기 포인트

1차 반응 기준으로 CSTR은 $\frac{k\tau}{1+k\tau}$, PFR은 $1 - e^{-k\tau}$ 이다.

NoteBase

**문 3. 등온 촉매충전층반응기(PBR)에서 비가역 기상 기초반응 $A \rightarrow B$를 진행할 때, A의 전환율 0.25를 달성하기 위하여 필요한 촉매의 최소량[kg]은? (단, 반응기로 공급되는 A의 부피유량은 $0.001\mathrm{m}^3\mathrm{min}^{-1}$, 반응속도상수는 $1\mathrm{Lkg}^{-1}\mathrm{min}^{-1}$이고, A와 B는 이상기체이며, 압력강하는 무시한다)**

① $\ln\frac{5}{4}$

② $\ln\frac{4}{3}$

③ $\ln 3$

④ $2\ln 2$

**정답 2번**

### 출제 포인트

이 문제는 등온 PBR 설계식과 기체 1차 비가역 반응 $A \rightarrow B$에서 $\Delta u = 0$이면 부피유량이 일정하다는 점을 이용해 필요한 촉매량 $W$를 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 전환율 $X = 0.25$, 부피유량 $v_0 = 0.001m^3min^{-1} = 1Lmin^{-1}$, 속도상수 $k = 1Lkg^{-1}min^{-1}$
구해야 할 값: 필요한 촉매량 $W$
주의할 조건: $A \rightarrow B$는 1몰이 1몰로 바뀌는 반응이므로 등온, 이상기체, 무압력강하 조건에서 전체 몰수와 부피유량이 일정하다. 따라서 $C_A = C_{A0}(1 - X)$가 된다.

### 사용할 공식

PBR 설계식은
$W = F_{A0}\int_0^X \frac{dX}{-r_A'}$
이다.
1차 반응이므로
$-r_A' = kC_A = kC_{A0}(1 - X)$
이다.
또한 $F_{A0} = v_0C_{A0}$이므로
$W = v_0\int_0^X \frac{dX}{k(1-X)} = \frac{v_0}{k}\ln\frac{1}{1-X}$
이 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 $A \rightarrow B$의 화학양론이 1:1이라 $\Delta u = 0$이고, 문제에서 등온·이상기체·무압력강하를 주었으므로 농도식이 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 단순화되기 때문이다.

NoteBase

### 계산 과정

1. 부피유량을 단위 변환하면 $0.001 m^3 min^{-1} = 1 L min^{-1}$이다.
2. 식에 대입하면
$W = \frac{v_0}{k} \ln \frac{1}{1-X} = \frac{1 L min^{-1}}{1 L kg^{-1} min^{-1}} \ln \frac{1}{1-0.25}$
이다.
3. 따라서
$W = 1 \cdot \ln \frac{1}{0.75} = \ln \frac{4}{3} kg$
이 된다.

### 선지별 해설

① X
전환율 0.25를 대입하면 $W = \ln \frac{4}{3}$이다. $\ln \frac{5}{4}$는 $\ln \frac{1}{1-X}$에서 $X = 0.20$일 때의 값이다. 틀린 표현은 최종 로그항이다. 올바르게는 $\ln \frac{4}{3}$이다.

② O
계산 결과가 정확히 $W = \ln \frac{4}{3} kg$이므로 옳다. $A \rightarrow B$에서 부피유량이 일정하다는 조건을 반영하면 바로 이 값이 나온다.

③ X
$\ln 3$이 되려면 $\frac{1}{1-X} = 3$, 즉 $1 - X = \frac{1}{3}$이어야 하므로 $X = \frac{2}{3}$일 때에만 가능하다. 전환율 0.25와 맞지 않는다. 틀린 표현은 전환율 0.25에 대응하는 로그항이다. 올바르게는 $\ln \frac{4}{3}$이다.

④ X
$2 \ln 2 = \ln 4$이므로 이는 $\frac{1}{1-X} = 4$, 즉 $X = 0.75$일 때의 값이다. 문제의 전환율 0.25와 다르다. 틀린 표현은 최종 촉매량 값이다. 올바르게는 $\ln \frac{4}{3}$이다.

### 오답 포인트

기상반응이라는 이유만으로 부피유량이 항상 변한다고 생각하면 식을 불필요하게 복잡하게 잡기 쉽다. 이 문항의 핵심은 $A \rightarrow B$가 1몰에서 1몰로 바뀌는 반응이라 $\Delta u = 0$이고, 따라서 등온·무압력강하 조건에서 부피유량이 일정하다는 점이다. 또 $0.001 m^3 min^{-1} = 1 L min^{-1}$ 변환을 놓치면 앞의 계수가 잘못 붙는다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

기체 PBR 계산에서는 먼저 $\Delta u$와 압력강하 유무를 보고 부피유량 일정 여부를 판단한다. 그다음 $F_{A0} = v_0 C_{A0}$를 써서 설계식을 $X$에 대해 적분하면 된다. 1차 반응에 $\Delta u = 0$이면 $W = \frac{v_0}{k} \ln \frac{1}{1-X}$로 바로 정리된다.

NoteBase

**암기 포인트**

등온 PBR에서 1차 반응이고 $A \rightarrow B$처럼 $\Delta u = 0$이면 $W = \frac{v_0}{k} \ln \frac{1}{1-X}$이다.

NoteBase

**문 4. 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 비가역 액상 0차 반응 $A \rightarrow B$를 진행할 때, A의 전환율은 0.4이다. 이 반응을 동일한 부피의 플러그 흐름반응기(PFR)로 진행할 때, A의 전환율은? (단, A의 공급 몰유량과 반응 온도는 동일하다)**

① 0.2

② 0.4

③ 0.6

④ 0.8

**정답 2번**

### 출제 포인트

이 문제는 액상 0차 반응에서 CSTR과 PFR의 설계식이 같은 전환율 식으로 정리된다는 점을 이용해 같은 부피에서의 전환율을 비교하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: CSTR에서 A의 전환율은 0.4이다.
구해야 할 값: 같은 부피의 PFR에서 A의 전환율이다.
주의할 조건: 비가역 액상 0차 반응, 등온, 공급 몰유량과 반응 온도가 동일하다.

### 사용할 공식

0차 반응에서는 반응속도가 농도와 무관하므로 $-r_A = k$이다.
CSTR 설계식은 $V = F_{A0}X/(-r_A) = F_{A0}X/k$이다.
PFR 설계식은 $V = F_{A0}\int_0^X dX/(-r_A) = F_{A0}\int_0^X dX/k = F_{A0}X/k$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 0차 반응에서는 반응기 내부 어디서나 속도가 일정하여 CSTR과 PFR이 같은 부피식으로 정리되기 때문이다.

### 계산 과정

1. CSTR에서 $X = 0.4$일 때 $V = F_{A0}X/k = F_{A0}(0.4)/k$이다.
2. 같은 부피의 PFR도 $V = F_{A0}X/k$를 따른다.
3. 따라서 $F_{A0}X/k = F_{A0}(0.4)/k$이므로 $X = 0.4$이다.

NoteBase

### 선지 판단

1번 X: 0.2는 같은 부피 조건을 만족하지 않는 값이다. 0차 반응에서는 CSTR과 PFR의 전환율 식이 같으므로 올바른 전환율은 0.4이다.
2번 O: 0차 반응에서는 $-r_A = k$이므로 CSTR과 PFR 모두 $V = F_{A0}X/k$가 된다. 같은 부피이면 전환율도 같아서 0.4가 맞다.
3번 X: 0.6은 PFR이 항상 CSTR보다 전환율이 크다고 일반화한 오답이다. 0차 반응에서는 속도가 농도와 무관하여 그런 차이가 생기지 않고, 올바른 전환율은 0.4이다.
4번 X: 0.8도 PFR 우수성을 기계적으로 적용한 오답이다. 이 문항에서는 반응차수가 0차이므로 같은 부피에서 전환율이 증가하지 않고 0.4로 유지된다.

### 오답 포인트

PFR이 언제나 CSTR보다 전환율이 크다고 외우면 틀린다. 반응속도가 농도에 의존하는 경우에는 차이가 나지만, 0차 반응처럼 속도가 일정한 경우에는 두 반응기의 설계식이 같은 전환율 관계로 정리된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

반응기 비교 문제는 먼저 반응차수를 확인하고, 그다음 각 반응기의 설계식을 쓴다. 0차 반응이면 $-r_A$가 상수인지 확인한 뒤 CSTR식과 PFR 적분식을 각각 정리해 같은 식이 되는지 본다.

### 암기 포인트

0차 반응은 $-r_A = k$이므로 같은 부피, 같은 공급조건, 같은 온도에서는 CSTR과 PFR의 전환율이 같다.

NoteBase

**문 5. 두 이상기체 A, B에 대하여 가역 기초반응 $A \rightleftharpoons B$를 진행할 때, 온도 400 K에서 평형상수가 2라면, 600 K에서 평형상수는? (단, 기체상수는 8 J mol$^{-1}$ K$^{-1}$, 표준반응엔탈피는 19,200 J mol$^{-1}$이며, 온도에 상관없이 일정하다)**

① $e^2$

② $2e^2$

③ $\frac{e^4}{2}$

④ $e^4$

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 반트호프 식을 이용해 온도 변화에 따른 평형상수 변화를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 400 K에서 평형상수 $K_1 = 2$, 600 K에서 평형상수 $K_2$, 표준반응엔탈피 $\Delta H^\circ = 19{,}200 J mol^{-1}$, 기체상수 $R = 8 J mol^{-1} K^{-1}$이다.
구해야 할 값: 600 K에서의 평형상수 $K_2$이다.
주의할 조건: $\Delta H^\circ$가 온도와 무관하게 일정하므로 반트호프 식을 바로 적용할 수 있다.

**사용할 공식**

$\ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right) = \frac{\Delta H^\circ}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$
이 식은 같은 반응의 두 온도에서 평형상수 관계를 표준반응엔탈피로 연결할 때 쓰는 식이다. 이 반응은 ΔH^°가 양수인 흡열반응이므로 온도가 올라가면 평형상수가 커진다.

**계산 과정**

1. 엔탈피항을 계산하면 $\Delta H^\circ / R = 19{,}200/8 = 2{,}400$이다.
2. 온도항을 계산하면 $1/400 - 1/600 = (3-2)/1200 = 1/1200$이다.
3. 따라서 $\ln(K_2/K_1) = 2{,}400 \times 1/1200 = 2$이므로 $K_2/K_1 = e^2$이다.
4. 초기 평형상수 $K_1 = 2$를 곱하면 $K_2 = 2e^2$이다.

NoteBase

### 선지 판단

1번 X: 값이 $e^2$이므로 400 K에서의 평형상수 $K_1 = 2$를 빠뜨린 값이다. 바르게는 $K_2 = 2e^2$이다.
2번 O: 계산 결과가 정확히 $K_2 = 2e^2$이므로 옳다.
3번 X: $e^4/2$는 계산 결과 $2e^2$와 일치하지 않는다. 지수항과 기존 평형상수의 결합을 잘못 처리한 값이며, 바르게는 $K_2 = 2e^2$이다.
4번 X: $e^4$는 기존 평형상수 2를 지수항으로 잘못 흡수한 값이다. 바르게는 $K_2 = e^2$가 아니라 $2e^2$이다.

### 오답 포인트

가장 흔한 실수는 $\ln(K_2/K_1) = 2$까지만 구하고 $K_2/K_1 = e^2$를 곧바로 최종답으로 착각하는 점이다. 이 문제는 비율이 아니라 $K_2$ 자체를 묻기 때문에 마지막에 반드시 $K_1 = 2$를 곱해야 한다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

온도에 따른 평형상수 변화 문제는 먼저 반트호프 식을 쓸 수 있는지 확인하고, 다음에 $\ln(K_2/K_1)$를 구한 뒤, 마지막에 비율인지 최종 평형상수 자체인지 구분해서 마무리하면 된다.

### 암기 포인트

반트호프 식은 $\ln(K_2/K_1)$를 먼저 구하고, 문제에서 묻는 값이 $K_2/K_1$인지 $K_2$인지 마지막에 한 번 더 확인하는 구조이다.

NoteBase

**문 6. 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 순수한 A를 반응물로 비가역 액상 기초반응 A → B를 진행할 때, A의 전환율이 0.5이다. A의 전환율을 높이기 위해, 두 번째 CSTR을 직렬로 연결하여 동일한 온도와 부피유량으로 같은 반응을 진행할 때, A의 총괄 전환율은 0.8이다. 두 번째 반응기 부피는 첫 번째 반응기 부피의 몇 배인가?**

① 0.5

② 1

③ 1.5

④ 2

**정답 3번**

### 출제 포인트

이 문제는 등온 액상 1차 비가역 반응의 CSTR 설계식으로 직렬 두 번째 반응기의 부피 비를 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값은 첫 번째 CSTR의 전환율 $X_1 = 0.5$, 두 번째 CSTR까지 지난 총괄 전환율 $X_2 = 0.8$이다.
구해야 할 값은 두 번째 반응기 부피 $V_2$가 첫 번째 반응기 부피 $V_1$의 몇 배인지이다.
주의할 조건은 액상 기초반응 $A \rightarrow B$, 등온, 순수한 $A$ 공급, 일정 부피유량이라는 점이다.

### 사용할 공식

$V = \frac{F_{A0}(X_{out} - X_{in})}{(-r_A)_{out}}$
액상 기초반응 $A \rightarrow B$가 등온인 경우 $-r_A = kC_A = kC_{A0}(1 - X)$이다.
첫 번째 CSTR은 $X_{in} = 0, X_{out} = 0.5$, 두 번째 CSTR은 $X_{in} = 0.5, X_{out} = 0.8$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 CSTR의 설계가 각 반응기 출구 조성에서의 반응속도를 기준으로 이루어지기 때문이다.

NoteBase

### 계산 과정

1. 첫 번째 반응기는
$V_1 = \frac{F_{A0}(0.5-0)}{kC_{A0}(1-0.5)}$
이고 $F_{A0} = v_0 C_{A0}$이므로
$V_1 = \frac{v_0 C_{A0} \cdot 0.5}{kC_{A0} \cdot 0.5} = \frac{v_0}{k}$
이다.

2. 두 번째 반응기는 추가 전환율이 $0.8 - 0.5 = 0.3$이고 출구 농도는 $C_{A0}(1-0.8) = 0.2C_{A0}$이므로
$V_2 = \frac{F_{A0}(0.8-0.5)}{kC_{A0}(1-0.8)} = \frac{v_0 C_{A0} \cdot 0.3}{kC_{A0} \cdot 0.2} = 1.5\frac{v_0}{k}$
이다.

3. 따라서
$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1.5(v_0/k)}{v_0/k} = 1.5$
이다.

### 선지별 해설

① X
- 0.5는 첫 번째 반응기의 전환율만 보고 두 번째 반응기 부피를 과소평가한 값이다. 두 번째 반응기는 더 낮은 출구 농도에서 반응하므로 $V_2/V_1 = 1.5$가 된다. 틀린 표현 → 올바르게는 두 번째 반응기 부피는 첫 번째의 1.5배이다.

② X
- 1은 두 반응기 부피가 같다고 본 값이다. 그러나 두 번째 CSTR은 $X = 0.8$ 출구 조건에서 반응속도가 더 느려 같은 추가 전환량을 얻으려면 더 큰 부피가 필요하다. 틀린 표현 → 올바르게는 두 번째 반응기 부피는 첫 번째의 1.5배이다.

③ O
- 설계식에 $X_{in} = 0.5$, $X_{out} = 0.8$을 대입하면 $V_2 = 1.5(v_0/k)$이고 $V_1 = v_0/k$이므로 $V_2/V_1 = 1.5$가 된다.

④ X
- 2는 출구 농도 감소 효과를 과대평가한 값이다. 추가 전환율은 0.3이고 출구 농도 항은 0.2이므로 비는 $0.3/0.2 = 1.5$이다. 틀린 표현 → 올바르게는 두 번째 반응기 부피는 첫 번째의 1.5배이다.

### 오답 포인트

첫 번째 반응기의 전환율 0.5와 두 번째 반응기의 추가 전환율 0.3만 단순 비교하면 오답이 된다. CSTR은 각 반응기 출구 농도에서의 반응속도로 설계하므로, 두 번째 반응기는 $X = 0.8$에서 $C_A$가 더 작아져 같은 추가 전환량에도 더 큰 부피가 필요하다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

직렬 CSTR 문제는 각 반응기마다 $X_{in}$, $X_{out}$, $-r_A(X_{out})$를 따로 적고 $V = F_{A0}(X_{out} - X_{in})/(-r_A)_{out}$를 적용하면 된다. 총괄 전환율만 한 번에 넣으면 중간 반응기의 효과를 놓치게 된다.

NoteBase

**암기 포인트**

직렬 CSTR은 각 단의 출구 농도로 설계하며, 전환율이 높아질수록 $C_A$가 작아져 뒤 반응기 부피가 더 커지기 쉽다.

NoteBase

**문 7. 순수한 반응물 A로 B를 생성하는 비가역 반응이 등온 정용 회분식 반응기에서 일어난다. A의 소멸반응에 대한 반응속도상수는 $0.2\mathrm{dm^6mol^{-2}min^{-1}}$이고 A의 초기농도는 $2\mathrm{moldm^{-3}}$일 때, 900초가 지난 후 A의 농도$[\mathrm{moldm^{-3}}]$는?**

① $\frac{2}{e^3}$
② $\frac{2}{e}$
③ $\frac{2}{7}$
④ $\frac{2}{5}$

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 3차 반응의 정용 회분반응기 적분속도식을 이용해 900초 후의 $A$ 농도를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값은 $k = 0.2dm^6mol^{-2}min^{-1}$, $C_{A0} = 2moldm^{-3}$, t=900초이다.
구해야 할 값은 t=900초 후의 $C_A$이다.
주의할 조건은 900초=15분으로 바꿔야 하고, 정용 회분반응기이므로 농도형 적분식을 그대로 적용할 수 있다는 점이다.

**사용할 공식**

3차 반응의 정용 회분식 적분형은
$\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} = 2kt$
이다.

이 공식을 쓰는 이유는 반응속도상수의 단위가 $dm^6mol^{-2}min^{-1}$이므로 $-r_A = kC_A^3$인 3차 반응이고, 정용 회분반응기에서는 $-dC_A/dt = kC_A^3$를 적분한 식을 직접 쓸 수 있기 때문이다.

NoteBase

### 계산 과정

1. 시간을 분으로 바꾸면 900초=15분이다.

2. 적분식에 대입하면
$\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{2^2} = 2(0.2)(15) = 6$
이다.

3. 따라서
$\frac{1}{C_A^2} = 6 + \frac{1}{4} = \frac{25}{4}$
이므로
$C_A^2 = \frac{4}{25}, \quad C_A = \frac{2}{5} mol dm^{-3}$
이다.

### 선지별 해설

① X: $\frac{2}{e^3}$은 1차 반응 적분식 $C_A = C_{A0}e^{-kt}$를 잘못 적용하면 나오는 값이다. 이 문제의 $k$ 단위는 3차 반응에 해당하므로 지수감소식이 아니라 3차 반응 적분식을 써야 하며, 올바르게는 $C_A = \frac{2}{5} mol dm^{-3}$이다.
② X: $\frac{2}{e}$는 주어진 3차 반응 적분식으로는 얻을 수 없는 값이다. 반응차수를 무시하고 지수형 농도감소로 처리한 오답값이며, 올바른 농도는 $\frac{2}{5} mol dm^{-3}$이다.
③ X: $\frac{2}{7}$은 2차 반응 적분식 $\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt$를 적용하면 나오는 값이다. 이 문제는 2차가 아니라 3차이므로 $\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} = 2kt$를 써야 하며, 올바르게는 $\frac{2}{5} mol dm^{-3}$이다.
④ O: 계산 결과 $C_A = \frac{2}{5} mol dm^{-3}$이므로 ④가 옳다. 시간 단위를 분으로 바꾼 뒤 3차 반응 적분식을 적용하면 바로 확인된다.

### 오답 포인트

반응속도상수의 단위로 반응차수를 판단하지 않으면 1차 또는 2차 적분식을 잘못 적용하기 쉽다. 특히 900초를 그대로 넣거나, $k$의 단위만 보고 지수감소식을 떠올리면 ①이나 ③ 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

회분반응기 계산형 문제는 먼저 $k$의 단위로 반응차수를 정하고, 다음에 시간을 단위 일치시킨 뒤, 마지막에 그 차수의 적분속도식을 적용하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

3차 반응 정용 회분식은 $\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} = 2kt$ 형태로 정리된다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

**문 8.** $A \rightarrow B$ **반응에서 반응물 A의 초기농도와 부피유량이 각각** $2\text{mol}\text{L}^{-1}$, $20\text{L}\text{min}^{-1}$**일 때, A의 전환율** $0.8$ **을 달성하는 데 필요한 연속교반탱크반응기(CSTR)의 부피[L]는? (단, 속도식은** $-r_A = \frac{0.5C_A}{0.6 + C_A}$ $[\text{mol}\text{L}^{-1}\text{min}^{-1}]$**이고,** $C_A$**는 A의 농도** $[\text{mol}\text{L}^{-1}]$**이다)**

① 160

② 180

③ 200

④ 220

**정답 1번**

### 출제 포인트

이 문제는 CSTR 설계식과 전환율-농도 관계를 이용해 필요한 반응기 부피를 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값은 초기농도 $C_{A0} = 2\text{mol}\text{L}^{-1}$, 부피유량 $u_0 = 20\text{L}\text{min}^{-1}$, 전환율 $X = 0.8$이다. 구해야 할 값은 CSTR 부피 $V$이다. 액상 등밀도계로 보면 출구농도는 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 계산된다.

### 사용할 공식

사용할 공식은 $V = \frac{F_{A0}X}{(-r_A)_{\text{exit}}}$ 이다. 또한 $F_{A0} = C_{A0}u_0$, $C_A = C_{A0}(1 - X)$ 이다. 이 공식을 쓰는 이유는 CSTR에서는 반응기 전체가 출구 조건과 같은 조성을 가진다고 보므로 속도식을 출구농도에서 평가해야 하기 때문이다.

### 계산 과정

1. 출구농도는 $C_A = 2(1 - 0.8) = 0.4\text{mol}\text{L}^{-1}$ 이다.
2. 속도식에 대입하면 $(-r_A) = \frac{0.5C_A}{0.6 + C_A} = \frac{0.5 \times 0.4}{0.6 + 0.4} = 0.2\text{mol}\text{L}^{-1}\text{min}^{-1}$ 이다.
3. 유입 몰유량은 $F_{A0} = C_{A0}u_0 = 2 \times 20 = 40\text{mol}\text{min}^{-1}$ 이다.
4. 따라서 $V = \frac{40 \times 0.8}{0.2} = 160\text{L}$ 이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① O: 계산 결과가 160 L이므로 맞는 값이다. CSTR 설계식에 출구속도를 넣으면 바로 이 값이 나온다.
② X: 180 L는 계산 결과와 다르므로 틀리다. 틀린 표현은 '180 L'이고, 올바르게는 '160 L'이다. 이 값은 출구농도 또는 반응속도 대입을 잘못했을 때 나올 수 있는 오답이다.
③ X: 200 L는 계산 결과와 다르므로 틀리다. 틀린 표현은 '200 L'이고, 올바르게는 '160 L'이다. 전환율만 보고 체류시간을 거칠게 잡거나 분모의 반응속도를 작게 계산하면 이런 과대값이 나온다.
④ X: 220 L는 계산 결과와 다르므로 틀리다. 틀린 표현은 '220 L'이고, 올바르게는 '160 L'이다. CSTR에서 속도를 출구농도가 아닌 다른 농도로 평가하거나 계산 중 분자·분모를 혼동하면 더 큰 오답이 나온다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 속도식을 초기농도 $C_{A0}$에 대입하는 실수와, CSTR 설계식에서 반응속도를 출구조건으로 평가해야 한다는 점을 놓치는 데 있다. 전환율 0.8이면 $C_A = 0.4$가 된다는 연결을 놓치면 전부 오답으로 흐른다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

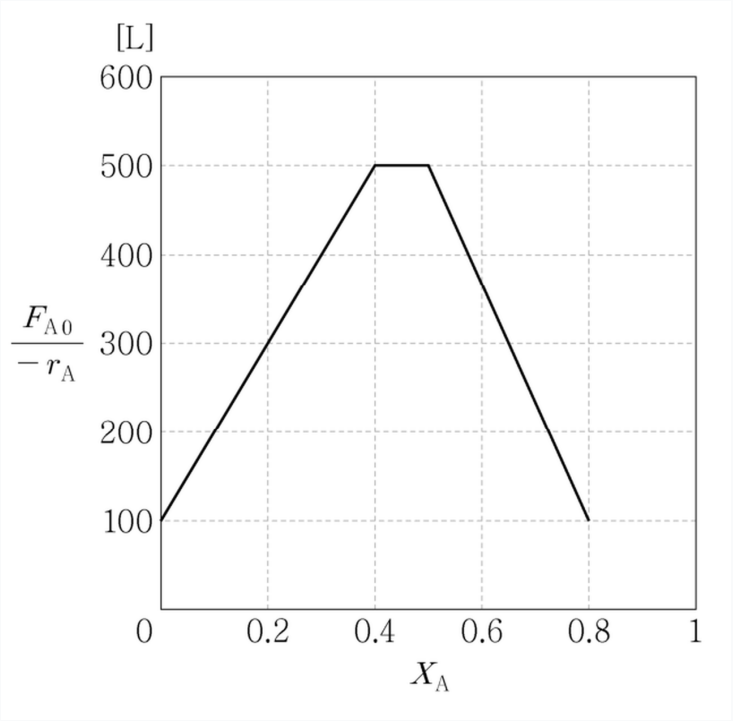
CSTR 계산형 문항은 먼저 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 출구농도를 구하고, 다음에 그 농도를 속도식에 넣어 $(-r_A)$를 계산한 뒤, 마지막에 $V = F_{A0}X/(-r_A)$ 순서로 판단하면 된다.

### 암기 포인트

CSTR은 출구조성으로 속도를 평가하고, 액상 등밀도계에서는 $C_A = C_{A0}(1 - X)$를 바로 연결한다.

NoteBase

**문 9. 그림은 등온 비가역 액상 반응 $A \rightarrow B$에 대한 레벤스필(Levenspiel) 도표이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, $F_{A0}$는 A의 공급 몰유량, $-r_A$는 A의 소멸속도, $X_A$는 A의 전환율이다)**




① 단일 연속교반탱크반응기(CSTR)로 $X_A = 0.4$를 달성하는 데 필요한 반응기 부피는 120 L이다.

② 단일 플러그흐름반응기(PFR)로 $X_A = 0.4$를 달성하는 데 필요한 반응기 부피는 40 L이다.

③ 특정 $X_A$를 달성하기 위해 직렬연결한 2개의 PFR 부피 합은 같은 $X_A$를 얻기 위한 단일 PFR 부피보다 작다.

④ $X_A = 0.8$을 달성하는 데 필요한 단일 CSTR 부피는 직렬연결한 2개의 CSTR 부피 합보다 항상 작다.

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 레벤스필 도표에서 PFR은 곡선 아래 면적, CSTR은 출구점 높이의 직사각형으로 부피를 구하는 문제이다.

이 도표의 곡선은 $X_A = 0$과 $X_A = 0.8$에서 높이 100으로 같고, 그 사이에서 위로 솟았다가 내려오는 종모양(상승-하강)이다. 곡선이 양 끝에서 가장 낮고 그 사이 구간에서는 항상 100 이상이라는 점이 직렬 CSTR과 단일 CSTR의 부피를 비교하는 열쇠이다.

NoteBase

### 조건 정리

주어진 값: 레벤스필 도표의 높이는 $X_A = 0$에서 100 L, $X_A = 0.4$에서 500 L, $X_A = 0.5$에서 500 L, $X_A = 0.8$에서 100 L이다.
구해야 할 값: 각 반응기 배치에서 필요한 부피이다.
주의할 조건: PFR 부피는 면적이고, CSTR 부피는 출구 전환율에서의 높이를 쓴 직사각형 면적이다.

### 사용할 공식

PFR: $V = \int_0^{X_A} \frac{F_{A0}}{-r_A} dX_A$
CSTR: $V = \left(\frac{F_{A0}}{-r_A}\right)_{\text{exit}} (X_{A,\,out} - X_{A,\,in})$
이 공식을 쓰는 이유: 레벤스필 도표에서 PFR은 적분면적, CSTR은 출구점 직사각형으로 바로 읽기 때문이다.

### 계산 과정

1. $X_A = 0.4$까지 PFR 부피는 사다리꼴 면적이므로 $\frac{100 + 500}{2} \times 0.4 = 120$ L이다.
2. $X_A = 0.4$까지 단일 CSTR 부피는 출구 높이 500을 써서 $500 \times 0.4 = 200$ L이다.
3. $X_A = 0.8$까지 단일 CSTR 부피는 출구 높이 100을 써서 $100 \times 0.8 = 80$ L이다.
4. $X_A = 0.8$까지 2개의 CSTR을 직렬로 두면, 중간 전환율을 $X_1$이라 할 때 첫 단은 출구 높이 $f(X_1)$의 직사각형, 둘째 단은 최종 출구 높이 $f(0.8) = 100$의 직사각형이므로 총부피는 $V = X_1 f(X_1) + (0.8 - X_1) \times 100$ 이다.
5. 이 도표는 $X_A = 0$부터 0.8까지 곡선 높이가 항상 100 이상이므로(양 끝에서 100, 그 사이는 더 높음) f(X_1)≥100이고, 따라서 $V \geq X_1 \times 100 + (0.8 - X_1) \times 100 = 0.8 \times 100 = 80$ L이다. 즉 직렬 두 CSTR의 부피 합은 단일 CSTR의 80 L보다 작아질 수 없으며, 등호는 $f(X_1) = 100$인 한계에서만 성립한다.

### 선지별 해설

① X: 단일 CSTR로 $X_A = 0.4$를 만들 때는 출구점 높이 500과 폭 0.4의 직사각형을 쓴다. 따라서 부피는 200 L이다. 틀린 표현은 \"120 L\"이고, 올바르게는 \"200 L이다\"이다.
② X: 단일 PFR로 $X_A = 0.4$를 만들 때는 0에서 0.4까지의 사다리꼴 면적을 구한다. 계산값은 120 L이다. 틀린 표현은 \"40 L\"이고, 올바르게는 \"120 L이다\"이다.
③ X: 같은 시작점과 끝점 사이의 PFR 부피는 적분면적이므로, 두 PFR을 직렬로 연결해도 면적의 합은 단일 PFR의 면적과 같다. 틀린 표현은 \"단일 PFR 부피보다 작다\"이고, 올바르게는 \"단일 PFR 부피와 같다\"이다.
④ O: 단일 CSTR로 $X_A = 0.8$을 달성하면 출구 높이 100과 폭 0.8의 직사각형이므로 부피는 80 L이다. 2개의 CSTR을 직렬로 두면 총부피는 $V = X_1 f(X_1) + (0.8 - X_1) \times 100$ 인데, 이 도표는 $X_A = 0$에서 0.8까지 곡선 높이가 항상 100 이상이라 중간 출구 높이 f(X_1)≥100이다. 그러므로 V≥0.8×100=80 L로, 직렬 두 CSTR 부피 합은 단일 CSTR(80 L)보다 작아질 수 없고 항상 같거나 크다. 결국 단일 CSTR 부피가 직렬 두 CSTR 합보다 항상 작으므로 4번 설명이 옳다. 만약 도표가 단조 감소(우하향)였다면 중간에 더 큰 높이를 거치지 않아 직렬 구성이 단일보다 작아질 수도 있으나, 양 끝이 같고 가운데가 솟은 이 종모양에서는 단일 CSTR이 항상 유리하다.

NoteBase

### 오답 포인트

①은 CSTR인데도 PFR처럼 면적으로 읽으면 틀린다. ②는 사다리꼴 전체를 보지 않고 일부 삼각형만 떼어 읽으면 40 L 같은 오답이 나온다. ③은 직렬 연결이면 무조건 더 작아진다고 오해한 선택지인데, PFR은 면적의 가산성 때문에 단일 PFR과 같다는 점이 핵심이다. ④는 도표가 내려가는 구간에서는 출구 높이가 작아져 단일 CSTR이 유리할 수 있다는 점을 놓치기 쉽다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

레벤스필 도표 문제는 먼저 목표 전환율을 찍고, PFR이면 해당 구간 면적을, CSTR이면 출구점 높이의 직사각형을 그려 판단한다. 직렬 PFR은 면적의 합이므로 단일 PFR과 같고, 도표가 내려가는 구간에서는 단일 CSTR이 더 작아질 수 있다.

### 암기 포인트

PFR는 면적, CSTR는 출구 직사각형, 직렬 PFR 합은 단일 PFR와 같고 내려가는 구간의 CSTR는 유리할 수 있다.

NoteBase

**문 10. 등온 비가역 액상 2차 반응 $A \rightarrow B$를 진행한다. 전환율 0.6을 달성하는 데 필요한 플러그흐름반응기(PFR) 부피($V_P$)와 연속교반탱크반응기(CSTR) 부피($V_C$)의 비$\left(\frac{V_C}{V_P}\right)$는? (단, A의 공급 몰유량, A의 초기 농도, 반응 온도는 동일하다)**

① 1.5

② 2

③ 2.5

④ 3

**정답 3번**

### 출제 포인트

이 문제는 액상 2차 반응에서 같은 전환율을 만들 때 PFR 설계식과 CSTR 설계식을 각각 적용해 부피비 $V_C/V_P$를 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 등온, 비가역 액상 2차 반응 $A \rightarrow B$, 전환율 $X = 0.6$이다.
구해야 할 값: $V_C/V_P$이다.
주의할 조건: 액상 반응이므로 밀도와 체적유량을 일정하게 보고, 두 반응기에서 $F_{A0}$, $C_{A0}$, $k$가 동일하다.

### 사용할 공식

반응속도식은 $-r_A = kC_A^2 = kC_{A0}^2(1-X)^2$이다.
PFR 설계식은 $V_P = F_{A0}\int_0^X \frac{dX}{-r_A}$ 이고, CSTR 설계식은 $V_C = \frac{F_{A0}X}{(-r_A)_e}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 같은 공급 조건에서 PFR은 반응기 전체에 걸친 속도 변화를 적분해야 하고, CSTR은 출구 조건의 반응속도로 전체 부피가 결정되기 때문이다.

### 계산 과정

1. 액상 2차 반응이므로 $C_A = C_{A0}(1-X)$, 따라서 $-r_A = kC_{A0}^2(1-X)^2$이다.
2. PFR 부피는 $V_P = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}^2}\int_0^{0.6}\frac{dX}{(1-X)^2} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}^2}\left(\frac{X}{1-X}\right) = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}^2} \times 1.5$ 이다.
3. CSTR 부피는 $V_C = \frac{F_{A0}X}{kC_{A0}^2(1-X)^2} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}^2} \times \frac{0.6}{0.4^2} = \frac{F_{A0}}{kC_{A0}^2} \times 3.75$ 이다.
4. 따라서 $\frac{V_C}{V_P} = \frac{3.75}{1.5} = 2.5 = \frac{1}{1-X}$ 이다.

NoteBase

### 선지 판단

1번 X: 1.5는 $V_P$ 계산에서 나오는 $\frac{X}{1-X}$ 값일 뿐 $V_C/V_P$가 아니다. 올바른 비는 1.5가 아니라 2.5이다.
2번 X: 2는 계산 결과와 맞지 않는다. 2차 반응에서는 출구 농도가 가장 낮은 CSTR이 같은 전환율을 얻기 위해 PFR보다 더 큰 부피를 필요로 하며, 정확한 비는 2가 아니라 2.5이다.
3번 O: $V_C/V_P = 2.5$로 계산되므로 옳다. 같은 전환율 0.6에서 CSTR이 PFR보다 2.5배 큰 부피를 요구한다.
4번 X: 3은 실제 계산값보다 크게 잡은 값이다. 전환율 0.6을 대입한 정확한 부피비는 3이 아니라 2.5이다.

### 오답 포인트

PFR 적분 결과 $\frac{X}{1-X}$와 최종적으로 묻는 비 $\frac{V_C}{V_P}$를 혼동하면 1.5를 고르기 쉽다. 또 CSTR은 출구 농도 기준 속도를 쓰므로 2차 반응일수록 PFR보다 더 불리하다는 점을 놓치면 비를 과소평가하게 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

반응기 비교 문제는 먼저 $-r_A$를 전환율 $X$의 식으로 바꾼 뒤, PFR은 적분식, CSTR은 출구속도식을 각각 적용해 공통인자 $F_{A0}/(kC_{A0}^2)$를 약분하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

액상 2차 반응에서 같은 전환율이면 CSTR은 출구의 느린 반응속도만 사용하므로 항상 PFR보다 더 큰 부피가 필요하다.

NoteBase

**문 11. 소결(sintering)에 의한 촉매 비활성화에 해당하는 것은?**

① 반응 생성물의 침적에 의한 촉매 활성 표면적 상실

② 원료에 함유된 불순물의 비가역 흡착에 의한 촉매 활성점 상실

③ 활성 성분과 반응물 간의 결합에 의한 촉매 활성점 상실

④ 촉매 결정의 응집에 의한 촉매 활성 표면적 상실

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 촉매 비활성화 메커니즘 중 소결과 피독·오손을 구별할 수 있는지를 묻는다.

**핵심 개념**

소결은 고온에서 촉매 결정립이나 금속 입자가 응집·성장하여 분산도와 활성 표면적이 감소하는 현상이다. 피독은 불순물이나 특정 물질이 활성점에 강하게 흡착하여 활성점을 잃게 하는 현상이다. 오손은 반응 생성물, 코크, 침전물 등이 표면이나 기공을 덮어 물리적으로 활성 표면적을 줄이는 현상이다.

**선지별 해설**

1번: X. 반응 생성물의 침적에 의해 촉매 활성 표면적이 줄어드는 것은 오손에 해당한다. 틀린 표현은 "소결"이다. 올바르게는 "반응 생성물의 침적에 의한 촉매 활성 표면적 상실은 오손에 의한 비활성화이다"이다.
2번: X. 원료에 함유된 불순물이 비가역적으로 흡착하여 활성점이 사라지는 것은 피독이다. 틀린 표현은 "소결"이다. 올바르게는 "원료에 함유된 불순물의 비가역 흡착에 의한 촉매 활성점 상실은 피독이다"이다.
3번: X. 활성 성분과 반응물 간의 강한 결합으로 활성점이 사라지는 현상은 피독 또는 화학적 비활성화에 가깝다. 틀린 표현은 "소결"이다. 올바르게는 "활성 성분과 반응물 간의 결합에 의한 촉매 활성점 상실은 피독성 비활성화에 해당한다"이다.
4번: O. 촉매 결정의 응집으로 입자가 커지면 분산도가 낮아지고 외부에 노출된 활성 표면적이 감소한다. 이것이 소결에 의한 비활성화의 전형적인 설명이다.

**오답 포인트**

표면적 감소라는 결과만 보고 모두 소결로 묶으면 틀린다. 소결은 입자 응집·성장, 피독은 활성점의 화학적 점유, 오손은 침적물에 의한 표면·기공 차단으로 구분한다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

선지에서 비활성화 원인이 무엇인지 먼저 본다. 입자 성장이나 결정 응집이면 소결이고, 불순물의 강한 흡착이면 피독이며, 침적물이나 코크가 표면을 덮으면 오손으로 판단한다.

NoteBase

**암기 포인트**

소결은 응집, 피독은 흡착, 오손은 침적이다.

NoteBase

**문 12. 다음은 A의 분해 메커니즘이다. B·과 D·에 유사 정상상태 가정을 적용하여 유도된 C의 생성속도식은? (단, $C_A$, $C_{D_2}$는 각각 A, $D_2$의 농도이고, $k_1$, $k_3$은 각각 A와 D·의 소멸반응에 대한 반응속도상수이며, 각 단계의 반응은 기초반응이다)**

$A \rightarrow 2B\cdot$
$A + B\cdot \rightarrow C + D\cdot$
$2D\cdot \rightarrow D_2$

① $2k_1C_A$
② $2k_1C_{D_2}$
③ $2k_1C_AC_{D_2}$
④ $2k_1(C_A + C_{D_2})$

**정답 1번**

**출제 포인트**

유사 정상상태 가정으로 중간체 $B\cdot$를 제거하여 $C$의 생성속도를 개시반응 속도와 연결하는지를 묻는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 메커니즘은 $A \rightarrow 2B\cdot$, $A + B\cdot \rightarrow C + D\cdot$, $2D\cdot \rightarrow D_2$이다.
구해야 할 값은 $C$의 생성속도 $r_C$이다.
유사 정상상태 가정은 $B\cdot$와 $D\cdot$에 적용한다.

**사용할 공식**

유사 정상상태이므로 $\frac{dC_{B\cdot}}{dt} = 0$, $\frac{dC_{D\cdot}}{dt} = 0$이다.
$B\cdot$에 대해
$0 = 2k_1C_A - k_2C_AC_{B\cdot}$
이므로 $C_{B\cdot} = \frac{2k_1}{k_2}$이다.
또한 $C$의 생성속도는 2단계의 속도이므로 $r_C = k_2C_AC_{B\cdot}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 $B\cdot$가 중간체이므로 생성속도와 소멸속도를 같게 두면 직접 제거할 수 있기 때문이다.

NoteBase

### 계산 과정

1. $B\cdot$ 유사 정상상태식은 $2k_1C_A = k_2C_AC_{B\cdot}$이다.
2. 따라서 $C_{B\cdot} = \frac{2k_1}{k_2}$이다.
3. 이를 $r_C = k_2C_AC_{B\cdot}$에 대입하면
$r_C = k_2C_A\left(\frac{2k_1}{k_2}\right) = 2k_1C_A$
이다.
4. $D\cdot$ 유사 정상상태를 적용하면 $r_C = 2k_3C_{D\cdot}^2$가 되지만, 이는 $D\cdot$ 농도와의 관계일 뿐 $C_{D_2}$가 직접 들어가는 식은 아니다.

### 선지별 해설

① O: 계산 결과 $r_C = 2k_1C_A$이므로 맞는 식이다. $C$의 생성속도는 중간체 $B\cdot$를 제거하면 결국 $A$의 개시속도에 비례한다.
② X: $C_{D_2}$는 최종 생성물 $D_2$의 농도이지 유사 정상상태로 제거되는 중간체 농도가 아니다. 틀린 표현은 $C_{D_2}$이고, 올바르게는 $2k_1C_A$이다.
③ X: 2단계 원속도식만 보면 $k_2C_AC_{B\cdot}$처럼 곱 형태가 보이지만, 유사 정상상태를 적용하면 $C_{B\cdot}$가 제거되어 $C_{D_2}$는 남지 않는다. 틀린 표현은 $C_AC_{D_2}$이고, 올바르게는 $C_A$만 남는다.
④ X: 생성속도식은 농도항이 더해지는 $(C_A + C_{D_2})$ 형태가 아니라 단일항 $C_A$에 비례하는 식이다. 틀린 표현은 $C_A + C_{D_2}$이고, 올바르게는 $C_A$이다.

### 오답 포인트

2단계의 원속도식 $k_2C_AC_{B\cdot}$를 최종식으로 착각하거나, 최종 생성물 $D_2$의 농도 $C_{D_2}$를 중간체 $D\cdot$와 혼동하면 오답이 된다. 유사 정상상태는 생성물 농도가 아니라 중간체 농도에 적용된다는 점이 함정이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

연쇄반응 메커니즘 문제는 먼저 중간체를 찾고, 그 중간체에 유사 정상상태식을 세운 뒤, 목표 생성물의 속도식에 대입하여 중간체를 제거하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

유사 정상상태의 핵심은 중간체 생성속도 = 중간체 소멸속도이며, 최종 생성물 농도는 그대로 대입하지 않는다.

NoteBase

**문 13. 가역 기초반응 A [k_-1]k_1 B와 비가역 기초반응 $A \rightarrow C$가 동시에 진행될 때, $A$의 소멸속도식은?**

① $k_1 C_A - k_{-1} C_B + k_2 C_A$

② $k_1 C_A - k_{-1} C_B + k_2 C_C$

③ $(k_1 - k_{-1} + k_2) C_A$

④ $(k_1 + k_2) C_A - k_{-1} C_B - k_2 C_C$

**정답 1번**

### 출제 포인트

이 문제는 병렬·가역 기초반응에서 성분 A의 소멸속도를 각 반응의 기여로 합산할 수 있는지를 묻는다.

### 조건 정리

주어진 반응은 $A \rightleftharpoons B$와 $A \rightarrow C$이다.
정반응 속도는 $k_1 C_A$, 역반응 속도는 $k_{-1} C_B$, 비가역 반응 속도는 $k_2 C_A$이다.
구해야 할 값은 A의 소멸속도식이다.

### 사용할 공식

A의 소멸속도는 A를 소비하는 항은 더하고 A를 생성하는 항은 뺀 값이다.
따라서 $-r_A = k_1 C_A + k_2 C_A - k_{-1} C_B$이다.
기초반응이므로 각 속도식은 해당 반응물 농도에 1차로 비례한다.

### 계산 과정

1. $A \rightarrow B$ 정반응은 A를 소비하므로 $k_1 C_A$를 더한다.
2. $B \rightarrow A$ 역반응은 A를 생성하므로 $k_{-1} C_B$를 뺀다.
3. $A \rightarrow C$ 반응은 A를 소비하므로 $k_2 C_A$를 더한다.
4. 따라서 $-r_A = k_1 C_A - k_{-1} C_B + k_2 C_A = (k_1 + k_2) C_A - k_{-1} C_B$가 된다.

NoteBase

### 선지별 해설

1번 O: $k_1C_A$와 $k_2C_A$는 A를 소비하는 항이고 $k_{-1}C_B$는 A를 생성하는 역반응 항이므로 소멸속도는 $k_1C_A - k_{-1}C_B + k_2C_A$가 맞다.
2번 X: $A \rightarrow C$는 기초반응이므로 속도는 생성물 $C$가 아니라 반응물 $A$ 농도에 비례한다. 틀린 표현은 $k_2C_C$이고, 올바르게는 $k_2C_A$이다.
3번 X: 역반응 항 $k_{-1}C_B$는 $C_A$와 묶을 수 없고 농도 변수도 $C_B$로 남아야 한다. 틀린 표현은 $(k_1 - k_{-1} + k_2)C_A$이고, 올바르게는 $(k_1 + k_2)C_A - k_{-1}C_B$이다.
4번 X: $A \rightarrow C$ 반응은 A의 소멸에 기여하므로 $-k_2C_C$ 같은 생성물 농도 항이 들어가지 않는다. 틀린 표현은 $-k_2C_C$이고, 올바르게는 $+k_2C_A$이다.

### 오답 포인트

역반응 항의 부호와 비가역 반응의 농도 기준을 동시에 헷갈리기 쉽다. 특히 생성물 C가 보인다는 이유로 $k_2C_C$를 넣거나, 역반응 항 $k_{-1}C_B$를 $C_A$와 같은 항으로 합쳐 버리면 틀린다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

반응망 문제가 나오면 각 반응마다 해당 성분이 소비되는지 생성되는지를 먼저 표시한 뒤, 기초반응이면 그 반응속도를 반응물 농도로 쓴 다음 부호만 합산하면 된다.

### 암기 포인트

기초반응 속도식은 반응물 기준이고, 소멸속도는 소비항 플러스·생성항 마이너스이다.

NoteBase

**문 14. 정용 회분식반응기에서 $0.875\text{moldm}^{-3}$의 순수한 A를 반응물로 등온 가역 액상 기초반응 $A \rightleftharpoons 2B$를 진행한다. 평형상수가 $0.4$일 때, A의 평형전환율은? (단, A와 B의 활동도계수는 1이다)**

① $\frac{1}{7}$
② $\frac{1}{5}$
③ $\frac{2}{7}$
④ $\frac{2}{5}$

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 정용 회분식반응기에서 가역 액상 반응 $A \rightleftharpoons 2B$의 평형상수식으로 A의 평형전환율을 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 초기농도 $C_{A0} = 0.875 = 7/8\text{moldm}^{-3}$, 평형상수 $K = 0.4$
구해야 할 값: A의 평형전환율 $X_e$
주의할 조건: 액상 반응이고 부피가 일정하므로 $C_A = C_{A0}(1 - X)$, $C_B = 2C_{A0}X$이다. 활동도계수 1이므로 농도 기준 평형상수식을 그대로 적용한다.

**사용할 공식**

평형상수식은
$K = \frac{C_B^2}{C_A}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 반응식이 $A \rightleftharpoons 2B$이므로 생성물 B의 농도가 제곱으로 들어가고, 정용 액상계에서는 전환율로 평형농도를 바로 쓸 수 있기 때문이다.

NoteBase

### 계산 과정

평형에서
$C_A = \frac{7}{8}(1 - X), \quad C_B = 2 \cdot \frac{7}{8}X = \frac{7}{4}X$
이므로
$0.4 = \frac{(\frac{7}{4}X)^2}{\frac{7}{8}(1-X)} = \frac{3.5X^2}{1-X}$
이다.
이를 정리하면
$4(1 - X) = 35X^2$
$35X^2 + 4X - 4 = 0$
이 된다.
근의 공식으로 풀면
$X = \frac{-4 \pm \sqrt{16 + 560}}{70} = \frac{-4 \pm 24}{70}$
이므로 가능한 양의 해는
$X_e = \frac{2}{7}$
이다. 다른 해 $-2/5$는 전환율이 될 수 없으므로 버린다.

### 선지 판단

1번(X): $X = 1/7$을 대입하면 $K = 3.5X^2/(1 - X) = 1/12$가 되어 0.4와 다르다. 올바른 평형전환율은 $2/7$이다.
2번(X): $X = 1/5$를 대입하면 $K = 3.5 \times (1/25)/(4/5) = 0.175$가 되어 평형상수보다 작다. 올바른 평형전환율은 $2/7$이다.
3번(O): $X = 2/7$을 대입하면 $K = 3.5 \times (4/49)/(5/7) = 0.4$가 되어 평형상수식을 정확히 만족한다.
4번(X): $X = 2/5$를 대입하면 $K = 3.5 \times (4/25)/(3/5) = 14/15 \approx 0.933$이 되어 평형상수보다 크다. 올바른 평형전환율은 $2/7$이다.

### 오답 포인트

가장 흔한 함정은 생성물 계수 2를 빼먹고 $C_B$를 잘못 두거나, 평형상수식에서 $B$의 농도가 $C_B^2$로 들어간다는 점을 놓치는 것이다. 또 $35X^2 + 4X - 4 = 0$의 두 근 중 음의 해까지 기계적으로 고르면 틀린다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

가역 평형 계산형은 초기농도를 전환율식으로 바꾸고, 반응식 계수대로 평형상수식을 세운 뒤, 계산된 근 중 물리적으로 가능한 양의 전환율만 채택하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

정용 액상 가역반응은 $C_A = C_{A0}(1 - X)$, $C_B = u_B C_{A0} X$를 먼저 세우면 평형전환율 계산이 바로 정리된다.

NoteBase

**문 15. 등온 반응기에서 순수한 A를 반응물로 비가역 액상 병렬반응 $A \to D$와 $A \to U$를 동시에 진행한다. 순간선택도($S_{D/U}$)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, S_D/U = D의 생성속도U의 생성속도이고, 반응속도상수는 아레니우스(Arrhenius) 식을 따른다)**

① 두 반응의 활성화에너지가 같다면, $S_{D/U}$는 반응 온도와 무관하다.

② D의 반응차수가 U의 반응차수보다 크면, $S_{D/U}$는 A의 농도가 높을수록 증가한다.

③ 두 반응의 반응차수가 같다면, $S_{D/U}$는 A의 농도와 무관하다.

④ 두 반응의 활성화에너지와 반응차수가 모두 같다면, $S_{D/U}$는 항상 1이다.

**정답 4번**

### 출제 포인트

이 문제는 병렬반응의 순간선택도 $S_{D/U}$를 속도식의 비로 정리한 뒤, 반응차수와 활성화에너지 차이에 따라 농도 의존성과 온도 의존성을 판단하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 반응은 비가역 액상 병렬반응 $A \to D$, $A \to U$이다. 순간선택도는 $S_{D/U} = r_D/r_U$이다. 각 생성속도를 $r_D = k_D C_A^m$, $r_U = k_U C_A^n$이라 두면 $S_{D/U} = (k_D/k_U) C_A^{m-n}$가 된다. 또한 반응속도상수는 아레니우스식 $k_i = A_i \exp(-E_i/RT)$를 따른다.

### 사용할 공식

$$S_{D/U} = \frac{r_D}{r_U} = \frac{k_D C_A^m}{k_U C_A^n} = \frac{k_D}{k_U} C_A^{m-n}$$

$$\frac{k_D}{k_U} = \frac{A_D}{A_U} \exp\left(-\frac{E_D - E_U}{RT}\right)$$

따라서

$$S_{D/U} = \frac{A_D}{A_U} \exp\left(-\frac{E_D - E_U}{RT}\right) C_A^{m-n}$$

이 식을 쓰는 이유는 각 선지가 선택도의 온도 의존성과 농도 의존성을 묻고 있으므로, 선택도를 $E_D - E_U$와 $m - n$으로 직접 표현해야 바로 판단할 수 있기 때문이다.

### 계산 과정

1. 생성속도 비로 순간선택도를 쓰면 $S_{D/U} = (k_D/k_U) C_A^{m-n}$이다.
2. 아레니우스식을 대입하면 $k_D/k_U = (A_D/A_U) \exp(-(E_D - E_U)/RT)$이다.
3. 따라서 순간선택도는 $S_{D/U} = (A_D/A_U) \exp(-(E_D - E_U)/RT) C_A^{m-n}$가 된다.
4. 이 식에서 온도 영향은 $E_D - E_U$가, 농도 영향은 $m - n$이 결정한다.

NoteBase

### 선지별 해설

① O 두 반응의 활성화에너지가 같으면 $E_D - E_U = 0$이므로 지수항이 1이 된다. 이때 $S_{D/U} = (A_D/A_U)C_A^{m-n}$가 되어 반응 온도와는 무관하다.
② O D의 반응차수를 $m$, U의 반응차수를 $n$이라 할 때 $m > n$이면 $C_A^{m-n}$의 지수가 양수이다. 따라서 A의 농도가 높아질수록 $S_{D/U}$는 증가한다.
③ O 두 반응의 반응차수가 같으면 $m - n = 0$이므로 $C_A^{m-n} = 1$이다. 따라서 $S_{D/U}$는 A의 농도와 무관하다.
④ X 두 반응의 활성화에너지와 반응차수가 모두 같아도 일반적으로 $S_{D/U} = A_D/A_U$이다. 틀린 표현은 '항상 1이다'이다. 올바르게는 '두 반응의 활성화에너지와 반응차수가 모두 같다면 $S_{D/U}$는 온도와 A의 농도에 무관한 상수이며, 그 값은 $A_D/A_U$이다'가 된다.

### 오답 포인트

④는 활성화에너지와 반응차수가 같으면 곧바로 $k_D = k_U$라고 착각하게 만드는 함정이다. 아레니우스식에서는 빈도인자 $A_D$, $A_U$도 남으므로, 활성화에너지와 반응차수가 같아도 선택도는 일반적으로 1이 아니라 $A_D/A_U$라는 상수이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

병렬반응 선택도 문제는 먼저 $S$=생성속도비로 두고, 다음에 $S \propto \exp(-(\Delta E)/RT)C_A^{\Delta n}$ 꼴로 정리해 본다. 이후 온도 의존성은 $\Delta E$, 농도 의존성은 $\Delta n$, 상수값 여부는 앞의 계수 $A_D/A_U$까지 남는지로 판단하면 된다.

### 암기 포인트

병렬반응 순간선택도는 $S_{D/U} \propto \exp(-(E_D - E_U)/RT)C_A^{m-n}$이다. 온도 영향은 활성화에너지 차, 농도 영향은 반응차수 차, 상수값은 빈도인자 비가 결정한다.

NoteBase

**문 16. 등온 플러그흐름반응기(PFR)에서 비가역 액상 2차 반응 $2A \rightarrow B$를 진행하여 A의 전환율 0.2를 얻었다. 동일한 반응조건에서 반응기의 길이만 2배로 증가시켰을 때, A의 전환율은?**

① $\frac{1}{3}$
② $\frac{1}{2}$
③ $\frac{2}{3}$
④ $\frac{3}{4}$

**정답 1번**

### 출제 포인트

이 문제는 등온 액상 2차 반응의 PFR 설계식에서 반응기 길이 증가가 체류시간 증가와 같다는 점을 이용해 새로운 전환율을 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값은 비가역 액상 2차 반응 $2A \rightarrow B$, 초기 전환율 $X_1 = 0.2$, 반응기 길이 2배이다.
구해야 할 값은 길이를 2배로 늘렸을 때의 전환율 $X_2$이다.
액상 반응이므로 밀도 변화가 없다고 보고 $C_A = C_{A0}(1 - X)$, 반응기 길이 2배는 PFR 부피와 체류시간 2배에 해당한다.

### 사용할 공식

속도식은 $-r_A = kC_A^2 = kC_{A0}^2(1 - X)^2$이다.
PFR 설계식은 $\frac{V}{F_{A0}} = \int_0^X \frac{dX}{-r_A}$ 이고, 이를 대입하면 $\frac{V}{F_{A0}} = \frac{1}{kC_{A0}} \int_0^X \frac{dX}{(1-X)^2} = \frac{1}{kC_{A0}} \frac{X}{1-X}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 액상 2차 반응 PFR에서 전환율과 반응기 부피의 관계가 $\frac{X}{1-X}$ 형태로 정리되기 때문이다.

### 계산 과정

처음 반응기에서 $\frac{V_1}{F_{A0}} = \frac{1}{kC_{A0}} \frac{0.2}{1-0.2} = \frac{1}{kC_{A0}} \times 0.25$ 이다.
길이를 2배로 하면 $V_2 = 2V_1$ 이므로 $\frac{V_2}{F_{A0}} = \frac{1}{kC_{A0}} \times 0.5$ 이다.
따라서 $\frac{X_2}{1-X_2} = 0.5$ 이고, $X_2 = 0.5(1 - X_2)$ 이므로 $1.5X_2 = 0.5$ 이다.
결국 $X_2 = \frac{1}{3}$ 이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① O: 계산 결과 $X_2 = \frac{1}{3}$ 이므로 맞는 선택지이다.
② X: $\frac{1}{2}$는 길이를 2배로 했다고 전환율 자체가 단순 비례 증가한다고 본 값인데, 2차 반응 PFR에서는 $X$가 아니라 $\frac{X}{1-X}$가 부피에 비례한다. 틀린 표현은 최종 전환율을 $\frac{1}{2}$로 둔 부분이고, 올바르게는 $\frac{1}{3}$이다.
③ X: $\frac{2}{3}$는 반응기 길이 증가 효과를 과대평가한 값이다. $\frac{X}{1-X} = 0.5$를 풀면 $X = \frac{2}{3}$가 아니라 $X = \frac{1}{3}$가 된다. 틀린 표현은 해를 잘못 푼 부분이고, 올바르게는 $X = \frac{1}{3}$이다.
④ X: $\frac{3}{4}$는 잔존 농도 $(1 - X)$를 임의로 절반 이하로 본 오답이다. 이 문항은 농도 직접 비례가 아니라 PFR 적분식을 사용해야 한다. 틀린 표현은 최종 전환율을 $\frac{3}{4}$로 둔 부분이고, 올바르게는 $\frac{1}{3}$이다.

### 오답 포인트

길이 2배를 전환율 2배로 받아들이면 오답이 된다. 이 문항의 함정은 2차 반응 PFR에서 부피에 비례하는 항이 $X$ 자체가 아니라 $\frac{X}{1-X}$라는 점이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

액상 등밀도 PFR 계산형 문제는 먼저 속도식을 $X$로 바꾸고, 다음으로 설계식을 적분해 부피와 연결한 뒤, 마지막에 길이 변화에 따라 비례하는 항이 무엇인지 확인하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

액상 2차 반응 PFR은 $V \propto \frac{X}{1-X}$ 관계로 기억해 두면 길이나 체류시간 변화 문제를 빠르게 풀 수 있다.

NoteBase

**문 17. 정용 회분식반응기에서 등온 비가역 액상 기초반응 $2A \rightarrow B + C$를 진행할 때, 반응 1시간 후 전환율 0.5에 도달한다. 반응 3시간 후 전환율은?**

① 0.6

② 0.65

③ 0.7

④ 0.75

**정답 4번**

### 출제 포인트

이 문제는 정용 회분식반응기에서 기초반응 $2A \rightarrow B + C$의 2차 반응 적분식을 이용해 시간에 따른 전환율을 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 반응 1시간 후 전환율은 $X = 0.5$이다.
구해야 할 값: 반응 3시간 후 전환율 $X$이다.
주의할 조건: 액상, 등온, 정용 조건이므로 부피가 일정하여 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 둘 수 있다. 또한 기초반응 $2A \rightarrow B + C$는 $A$ 분자 2개가 직접 충돌하여 반응하므로 속도식이 $-r_A = kC_A^2$으로 $A$에 대해 2차 반응이 된다. 기초반응에서는 반응 차수가 화학양론계수와 같으므로 $A$의 계수 2가 차수 2를 결정한다.

### 사용할 공식

정용 회분식반응기의 2차 반응 적분식은
$\frac{X}{1-X} = Kt$
이다. 여기서 $K$는 $kC_{A0}$에 비례하는 상수이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문항이 정용 액상 회분식반응기에서 $A$ 농도가 $C_A = C_{A0}(1 - X)$로 변하는 2차 기초반응 상황이기 때문이다.

NoteBase

### 계산 과정

1. 반응 1시간 후 $X = 0.5$를 적분식에 대입하면
$\frac{0.5}{1-0.5} = K \cdot 1$
이므로 $K = 1$이다.
2. 반응 3시간 후에는
$\frac{X}{1-X} = K \cdot 3 = 3$
이 된다.
3. 이를 정리하면
$X = 3(1 - X)$
$4X = 3$
$X = 0.75$
가 된다.

### 선지별 해설

① X. 제시값 0.6은 틀렸고, 계산 결과는 $X = 0.75$이다. 올바르게는 반응 3시간 후 전환율이 0.75가 된다.
② X. 제시값 0.65는 틀렸고, $\frac{X}{1-X} = 3$을 만족하지 못한다. 올바르게는 전환율이 0.75이다.
③ X. 제시값 0.7은 틀렸고, 2차 반응 적분식으로 계산하면 $X = 0.75$가 된다. 올바르게는 0.7이 아니라 0.75이다.
④ O. 계산 결과 $X = 0.75$이므로 맞는 선지이다. 반응 1시간 자료로 상수를 먼저 구한 뒤 3시간을 대입하면 바로 확인된다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 전환율이 시간에 단순 비례한다고 착각하는 데 있다. 2차 반응 회분식 적분식은 $\frac{X}{1-X}$가 시간에 비례하므로, 1시간에 0.5였다고 해서 3시간에 1.5배나 3배로 단순 환산하면 오답이 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

정용 회분식반응기 계산형은 먼저 반응 차수에 맞는 적분식을 고른 뒤, 주어진 한 시점의 전환율로 상수를 구하고, 그 상수를 다른 시간에 다시 대입하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

정용 회분식 2차 반응은 $\frac{X}{1-X} \propto t$ 관계로 정리된다고 기억해 두면 된다.

NoteBase

**문 18. 정반응이 발열 반응인 가역 액상 1차 반응 A ⇄ B를 진행할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것은?**

① 평형전환율은 온도 증가에 따라 최대 1까지 증가한다.

② 단열 조건에서 동일한 전환율을 달성하기 위한 연속교반탱크반응기(CSTR) 부피는 플러그흐름반응기(PFR) 부피보다 항상 크거나 같다.

③ 단열 조건에서 도달할 수 있는 가장 높은 전환율은 단열평형온도에서의 평형전환율과 같다.

④ 반응이 평형전환율에 도달하면, 반응물의 단위 시간당 농도변화는 최대가 된다.

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 가역 발열반응의 온도-평형 관계와 단열 반응기에서의 최대 도달 전환율을 묻는 문제이다.

**핵심 개념**

가역 발열반응은 온도가 올라가면 평형이 반응물 쪽으로 이동하므로 평형전환율이 감소한다. 단열 반응기에서는 반응이 진행되며 온도가 상승하고, 단열선과 평형선이 만나는 지점에서 순반응속도가 0이 되어 더 이상 전환율이 증가하지 않는다. CSTR와 PFR의 부피 우열은 순반응속도가 전환율에 따라 어떻게 변하는지에 달려 있으므로, 발열 가역계에서는 항상 한쪽이 더 크다고 일반화할 수 없다.

**선지별 해설**

① X: 정반응이 발열이면 온도 상승은 평형을 생성물 쪽이 아니라 반응물 쪽으로 이동시킨다. 틀린 표현은 '온도 증가에 따라 최대 1까지 증가한다'이다. 올바르게는 '온도 증가에 따라 평형전환율은 감소한다'이다.
② X: 틀린 표현은 '항상 크거나 같다'이다. 비가역 1차 반응처럼 순반응속도가 전환율이 커질수록 단조감소할 때는 CSTR 부피가 PFR보다 크지만, 단열 발열 가역반응은 온도 상승으로 속도가 커지는 효과와 평형 접근으로 속도가 줄어드는 효과가 함께 나타난다. 따라서 같은 전환율에서 CSTR 부피가 PFR 부피보다 항상 크거나 같다고 단정할 수 없다.
③ O: 단열 조건에서 도달 가능한 최고 전환율은 에너지수지로 정해지는 단열선과 평형선의 교점에서 결정된다. 이 점에서는 정반응속도와 역반응속도가 같아 순반응속도가 0이 되므로 더 이상 전환율이 증가하지 못한다. 따라서 그 최대 전환율은 단열평형온도에서의 평형전환율과 같다.
④ X: 평형전환율에 도달하면 정반응속도와 역반응속도가 같아져 반응물의 순농도변화율은 0이 된다. 틀린 표현은 '최대가 된다'이다. 올바르게는 '0이 된다'이다.

**오답 포인트**

발열반응이라는 말만 보고 온도가 올라가면 반응이 더 잘 진행되어 평형전환율도 커진다고 연결하면 ①에 걸리기 쉽다. 또 비가역반응에서 자주 쓰는 CSTR 부피 ≥ PFR 부피 기억을 가역 단열계에 그대로 적용하면 ②를 고르기 쉽다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

가역 발열반응은 먼저 온도 상승이 평형에 주는 방향부터 판단한다. 단열 반응기 문제는 단열선과 평형선의 교점이 최대 전환율인지, 평형점에서는 순반응속도와 농도변화율이 0인지로 선지를 판별한다.

**암기 포인트**

발열 가역반응은 온도 상승 시 평형전환율이 감소하고, 단열 최대전환율은 단열선과 평형선의 교점에서 정해진다.

NoteBase

**문 19. 정상상태 단열 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 반응물 A 80%, 비활성 물질 I 20%를 원료로 공급하여 상변화 없는 비가역 액상 발열 기초반응 A→B를 진행한다. 반응기 입구와 출구의 온도가 각각 600 K, 700 K이고 출구에서 A의 전환율이 0.5일 때, 이 반응의 반응열[cal mol^-1]은? (단, A, B, I의 열용량은 각각 20 cal mol^-1 K^-1, 20 cal mol^-1 K^-1, 40 cal mol^-1 K^-1이고, 열용량과 반응열은 온도에 상관없이 일정하며, 교반기에 의한 일은 무시한다)**

① -2,000

② -3,000

③ -4,000

④ -6,000

**정답 4번**

### 출제 포인트

이 문제는 정상상태 단열 CSTR의 에너지수지를 이용해 반응열을 구하는 문제이다.

### 조건 정리

기준을 원료 1 mol로 두면 $A$는 0.8 mol, 불활성 $I$는 0.2 mol이다.
전환율이 0.5이므로 반응한 $A$의 양은 $0.8 \times 0.5 = 0.4$ mol이다.
출구 조성은 $A$ 0.4 mol, $B$ 0.4 mol, $I$ 0.2 mol이다.
온도는 600 K에서 700 K로 100 K 상승한다.

### 사용할 공식

단열 정상상태 에너지수지는 $\xi \Delta H_R + \sum n_i C_{p,i}(T_{out} - T_{in}) = 0$이다.
이 문제는 열출입이 없고 축일도 무시하므로 반응에서 방출된 열이 전부 유출물의 현열 증가로 간다.

### 계산 과정

반응진행량은 $\xi = 0.4$ mol이다.
유출물의 총 열용량은 $0.4 \times 20 + 0.4 \times 20 + 0.2 \times 40 = 24$ cal K^-1이다.
따라서 현열 증가는 $24 \times (700 - 600) = 2400$ cal이다.
에너지수지에 대입하면 $0.4\Delta H_R + 2400 = 0$이다.
따라서 $\Delta H_R = -6000$ cal mol^-1이다.

NoteBase

### 선지 판단

1번: X. 반응열을 -2000 cal mol^-1로 둔 값이다. 에너지수지식 $0.4\Delta H_R + 2400 = 0$를 만족하지 못한다. 틀린 표현은 반응열이 -2000이라는 부분이며, 올바르게는 -6000 cal mol^-1이다.
2번: X. 반응열을 -3000 cal mol^-1로 본 값이다. 출구 유체의 현열 증가 2400 cal을 상쇄하기에 절대값이 부족하다. 틀린 표현은 반응열이 -3000이라는 부분이며, 올바르게는 -6000 cal mol^-1이다.
3번: X. 반응열을 -4000 cal mol^-1로 본 값이다. 이는 전환된 $A$ 0.4 mol을 반영해도 $0.4 \times 4000 = 1600$ cal만 방출되어 부족하다. 틀린 표현은 반응열이 -4000이라는 부분이며, 올바르게는 -6000 cal mol^-1이다.
4번: O. $0.4\Delta H_R + 2400 = 0$에서 $\Delta H_R = -6000$ cal mol^-1이므로 맞다.

### 오답 포인트

총 현열 증가를 구할 때 출구 조성 기준 열용량을 빠뜨리거나, 전환된 $A$의 양 0.4 mol을 반응열에 곱하지 않으면 -2000, -3000, -4000 같은 작은 절대값 오답으로 흐르기 쉽다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

단열 반응기 계산은 먼저 기준 유량을 1 mol로 두고 출입 조성을 정리한 뒤, 반응진행량 $\xi$를 구하고, 마지막에 현열 증가와 반응열을 같은 식에 넣어 부호까지 함께 검산하면 된다.

### 암기 포인트

단열 발열반응은 반응열 절대값 = 유체 현열 증가량 ÷ 반응진행량이라는 구조로 정리된다.

NoteBase

**문 20. 정용 회분식반응기에서 순수한 A를 반응물로 등온 연속반응을 진행한다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?**

$A \rightarrow R \rightarrow S$ (단, 각 단계의 반응은 모두 비가역 액상 1차 반응이고, $C_j$는 j의 농도, $C_{A0}$는 A의 초기농도, $t$는 반응시간, $k_1$, $k_2$는 반응속도상수이다)

① $C_A = C_{A0}e^{-k_1 t}$이다.

② $C_{A0} \geq C_R + C_S$이다.

③ $k_1 \gg k_2$일 때, S의 농도는 $C_{A0}(1 - e^{-k_1 t})$이다.

④ $k_2 \gg k_1$일 때, R의 최대 농도는 $\frac{k_1 C_{A0}}{k_2}$이다.

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 회분식 연속반응 $A \rightarrow R \rightarrow S$의 농도식과 속도상수의 상대적 크기에 따른 극한 거동을 판별하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 조건: 정용 회분식반응기, 비가역 액상 1차 연속반응 $A \rightarrow R \rightarrow S$이다.
구해야 할 것: 보기 1~4 중 옳지 않은 설명이다.
주의할 조건: 액상 정용이므로 총농도 수지는 $C_A + C_R + C_S = C_{A0}$로 둘 수 있고, $k_1 \gg k_2$, $k_2 \gg k_1$는 극한 근사로 해석한다.

**사용할 공식**

$C_A = C_{A0}e^{-k_1 t}, \quad C_R = \frac{k_1 C_{A0}}{k_2 - k_1}(e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}), \quad C_S = C_{A0} - C_A - C_R$
이 공식을 쓰는 이유: 각 단계가 모두 비가역 액상 1차반응인 정용 회분식 연속반응이므로 표준 해를 그대로 적용할 수 있다.

**계산 과정**

1. A의 물질수지는 $\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A$이므로 $C_A = C_{A0}e^{-k_1 t}$이다.
2. 정용 액상에서 1:1:1 연속반응이므로 항상 $C_A + C_R + C_S = C_{A0}$이다.
3. $k_1 \gg k_2$이면 A가 먼저 매우 빨리 R로 바뀌고, 그 뒤 S 생성은 느린 $R \rightarrow S$ 단계가 지배하므로 $C_S \approx C_{A0}(1 - e^{-k_2 t})$이다.
4. $k_2 \gg k_1$이면 R은 생성되자마자 거의 바로 S로 넘어가므로 $C_R$는 매우 작고, 최대값도 $C_{R,\max} \approx \frac{k_1}{k_2}C_{A0}$로 근사된다.

NoteBase

### 선지 판단

1번 O: $A$의 소모는 1차반응 하나만 따르므로 $C_A = C_{A0}e^{-k_1 t}$가 맞다.
2번 O: $C_A + C_R + C_S = C_{A0}$이므로 $C_{A0} - (C_R + C_S) = C_A \geq 0$이다. 따라서 $C_{A0} \geq C_R + C_S$가 맞다.
3번 X: $k_1 \gg k_2$에서는 빠른 단계가 $A \to R$, 느린 단계가 $R \to S$이므로 S의 축적 속도는 $k_2$가 지배한다. 따라서 'S의 농도는 $C_{A0}(1 - e^{-k_1 t})$이다'가 틀린 표현이고, 올바르게는 '근사적으로 $C_S \approx C_{A0}(1 - e^{-k_2 t})$이다'이다.
4번 O: $k_2 \gg k_1$이면 중간생성물 R이 거의 정상상태에 가까워져 $C_R \approx \frac{k_1}{k_2} C_A$이다. 초기에는 $C_A \approx C_{A0}$이므로 최대 농도는 근사적으로 $\frac{k_1 C_{A0}}{k_2}$가 된다.

### 오답 포인트

3번은 빠른 단계와 느린 단계를 뒤바꾸면 바로 틀린다. $k_1 \gg k_2$라고 해서 생성물 S까지 $k_1$로 따라가는 것이 아니라, 최종생성물의 축적은 느린 $R \to S$ 단계가 지배한다는 점이 함정이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

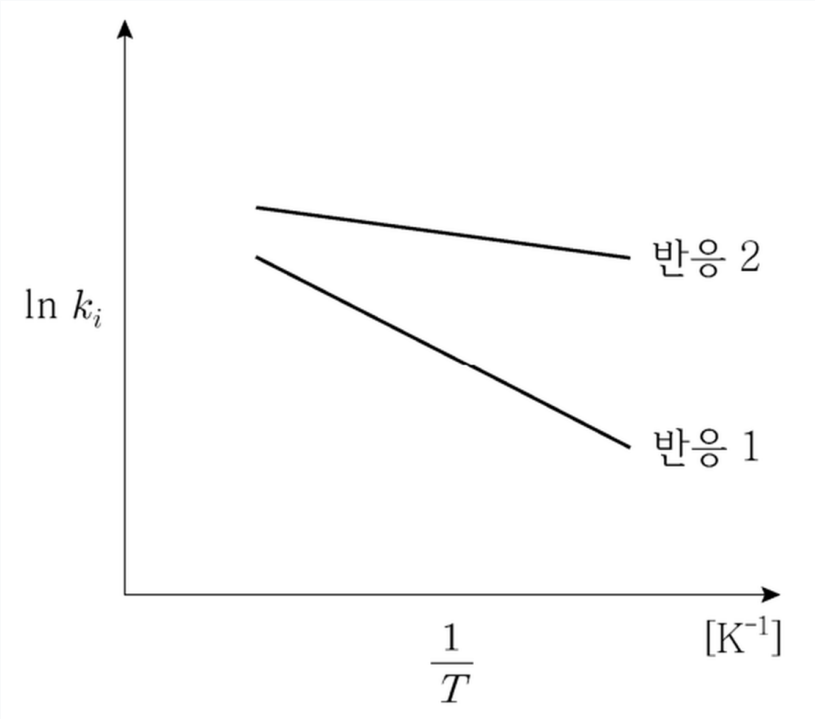
연속반응 문제는 먼저 $C_A$, $C_R$, $C_S$의 기본식을 적고, 그다음 극한조건에서 어느 단계가 속도지배 단계인지 본다. 최종생성물은 보통 더 느린 뒤단계의 시간상수로 결정된다고 판단할 수 있다.

### 암기 포인트

연속반응 $A \to R \to S$에서 $A$는 $e^{-k_1 t}$, 최종생성물 S는 느린 단계가 지배하고, $k_2 \gg k_1$이면 중간생성물 최대농도는 대략 $\frac{k_1}{k_2} C_{A0}$이다.

NoteBase

**문 21. 다음은 두 반응에 대한 아레니우스(Arrhenius) 식의 도표이다. 반응 1과 반응 2에 대한 직선의 기울기가 각각 -10,000 K, -4,000 K이고, y절편은 일치한다. 이때, 온도 1,000 K에서 반응 1의 반응속도상수($k_1$)에 대한 200 K에서 반응 2의 반응속도상수($k_2$)의 비$\left(\frac{k_2}{k_1}\right)$는? (단, $k_i$는 반응 $i$의 반응속도상수이다)**




① $e^{-12}$

② $e^{-10}$

③ 1

④ $e^{10}$

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 아레니우스 도표의 기울기와 공통 절편을 이용해 서로 다른 온도에서의 반응속도상수 비 $k_2/k_1$를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값은 반응 1의 기울기 $-10{,}000K$, 반응 2의 기울기 $-4{,}000K$, 두 직선의 절편 동일, 반응 1의 온도 1000 K, 반응 2의 온도 200 K이다. 구해야 할 값은 $k_2/k_1$이다. 주의할 조건은 y절편이 같으므로 두 식의 상수항이 서로 소거된다는 점이다.

NoteBase

### 사용할 공식

아레니우스 도표에서 $\ln k$와 $1/T$의 관계는 $\ln k = b + m(1/T)$로 볼 수 있고, 여기서 $m$은 그래프의 기울기, $b$는 공통 절편이다. 이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 각 반응의 기울기와 절편 관계를 직접 주었으므로 $1/T$를 대입해 각 온도에서의 $\ln k$를 바로 비교할 수 있기 때문이다.

### 계산 과정

반응 1은 $\ln k_1 = b - 10{,}000 \times (1/1000) = b - 10$이다. 반응 2는
$\ln k_2 = b - 4{,}000 \times (1/200) = b - 20$이다. 따라서
$\ln(k_2/k_1) = \ln k_2 - \ln k_1 = (b - 20) - (b - 10) = -10$이다. 그러므로 $k_2/k_1 = e^{-10}$이다.

### 선지별 해설

① X: 계산 결과는 $k_2/k_1 = e^{-10}$이다. 틀린 표현은 비가 $e^{-12}$라는 부분이며, 올바르게는 $e^{-10}$이다. $e^{-12}$는 기울기 대입이나 지수 계산을 잘못한 값이다.
② O: $\ln(k_2/k_1) = -10$이므로 $k_2/k_1 = e^{-10}$이 된다. 공통 절편 $b$가 소거된다는 점까지 반영한 정확한 값이다.
③ X: $k_2/k_1 = 1$이 되려면 $\ln(k_2/k_1) = 0$이어야 한다. 실제로는 $-10$이므로 틀리다. 틀린 표현은 비가 1이라는 부분이며, 올바르게는 $e^{-10}$이다.
④ X: $e^{10}$은 지수 부호를 반대로 쓴 값이다. 틀린 표현은 비가 $e^{10}$이라는 부분이며, 올바르게는 $e^{-10}$이다. 이는 $k_2/k_1$ 대신 $k_1/k_2$를 구한 경우에 해당한다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 절편이 같다는 조건을 무시하거나, $k_2/k_1$를 구해야 하는데 $k_1/k_2$를 계산해 지수 부호를 뒤집는 데 있다. 또한 기울기 값을 $1/T$에 대입할 때 각 반응의 온도를 서로 바꾸면 다른 오답이 나온다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

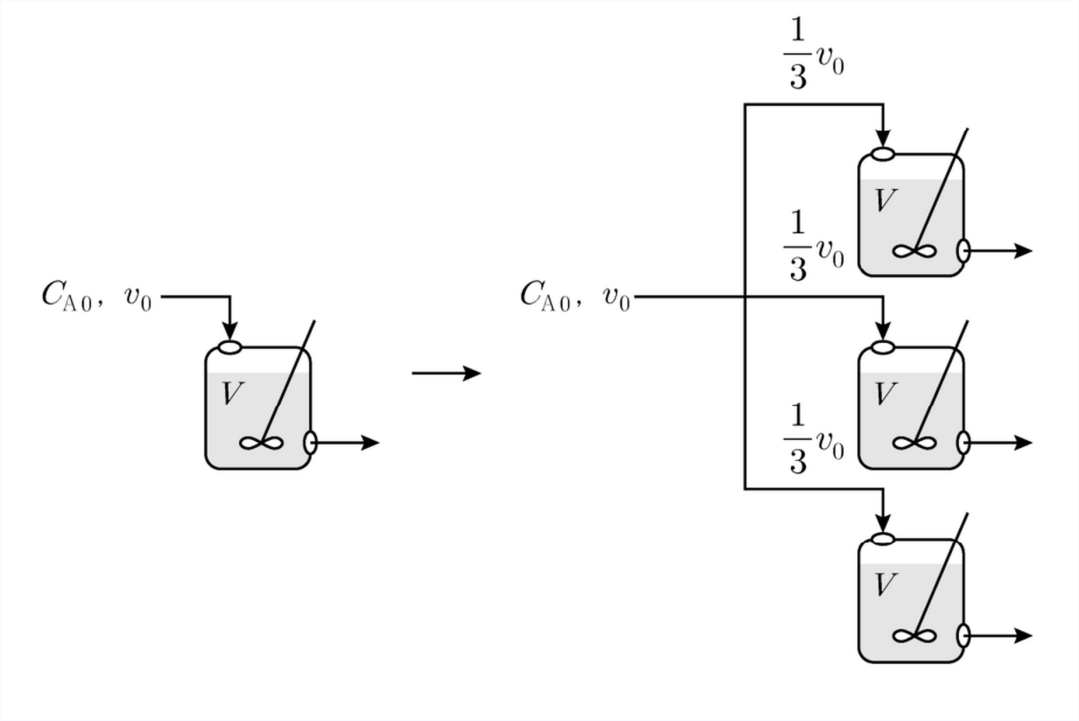
아레니우스 직선 문제는 먼저 $\ln k = b + m(1/T)$ 형태로 놓고, 각 반응의 기울기와 해당 온도를 그대로 대입한 뒤, 마지막에 비를 묻는 방향이 $k_2/k_1$인지 $k_1/k_2$인지 확인하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

아레니우스 도표에서 같은 절편이면 $\ln(k_2/k_1)$ 계산에서 절편은 소거되고, 남는 것은 각 기울기와 $1/T$ 대입 결과의 차이뿐이다.

NoteBase

**문 22. 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 비가역 액상 기초반응 $2A \rightarrow B + C$를 진행할 때, 반응물 A의 전환율은 0.5이다. 이 반응을 그림과 같이 동일한 부피의 CSTR 3개를 병렬로 연결하여 수행할 때, 반응물 A의 전환율은? (단, $v_0$는 반응기로 공급되는 A의 부피유량, $C_{A0}$는 A의 초기농도, $V$는 반응기 부피이며, 반응속도상수는 모든 반응기에서 동일하다)**




① $\frac{5}{9}$
② $\frac{7}{12}$
③ $\frac{5}{8}$
④ $\frac{2}{3}$

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 액상 기초반응의 CSTR 설계식과 병렬 연결 시 각 반응기의 체류시간 변화를 이용해 전환율을 구하는 문제이다.

NoteBase

### 조건 정리

주어진 값: 동일 부피 $V$의 단일 CSTR에서 반응물 A의 전환율이 0.5이다. 반응은 비가역 액상 기초반응 $2A \rightarrow B + C$이다.
구해야 할 값: 동일한 부피 $V$의 CSTR 3개를 병렬로 두었을 때의 전환율이다.
주의할 조건: 병렬 연결이면 각 반응기로 들어가는 유량은 $v_0/3$이고, 각 반응기의 유입 농도는 그대로 $C_{A0}$이다. 따라서 각 반응기의 체류시간은 단일 반응기 때보다 3배가 된다.

### 사용할 공식

액상 밀도 일정 CSTR의 설계식은 $F_{A0}X = (-r_A)V$ 이다. 이 반응은 A에 대한 2차 형태이므로 $-r_A \propto C_A^2$, 또 액상 반응이라 $C_A = C_{A0}(1 - X)$ 이다. 따라서 비례상수를 하나의 상수 $K$로 묶으면 $X = K(1 - X)^2$ 꼴로 정리된다. 이 공식을 쓰는 이유는 주어진 반응이 기초반응이고, 단일 CSTR의 전환율 정보로부터 $K$를 먼저 구한 뒤 병렬 연결에서 바뀌는 것은 유량뿐이므로 새로운 $K$를 바로 구할 수 있기 때문이다.

### 계산 과정

1. 단일 CSTR에서 $X = 0.5$를 대입하면 $0.5 = K(1 - 0.5)^2 = K(0.5)^2$ 이므로 $K = 2$이다.
2. 동일 부피의 CSTR 3개를 병렬로 두면 각 반응기로 들어가는 유량은 $v_0/3$이다. 따라서 각 반응기의 $K$는 유량의 역수에 비례하므로 $K_{\parallel} = 3K = 6$ 이다.
3. 병렬의 각 반응기 전환율 $X$는 $X = 6(1 - X)^2$ 를 만족한다. 이를 정리하면 $6X^2 - 13X + 6 = 0$ 이고, $X = \frac{13 \pm 5}{12} = \frac{3}{2}, \frac{2}{3}$ 이다. 물리적으로 가능한 전환율은 1 이하이므로 $X = 2/3$이다.

### 선지별 해설

① X: $X = 5/9$를 대입하면 $X/(1 - X)^2 = (5/9)/(4/9)^2 = 45/16$으로 6이 아니다. 병렬 3개일 때의 설계식 $X = 6(1 - X)^2$를 만족하지 못한다. 올바르게는 전환율이 5/9가 아니라 2/3이다.
② X: $X = 7/12$를 대입하면 $X/(1 - X)^2 = (7/12)/(5/12)^2 = 84/25$로 6이 아니다. 체류시간이 3배가 된 효과를 반영한 값이 아니다. 올바르게는 전환율이 7/12가 아니라 2/3이다.
③ X: $X = 5/8$를 대입하면 $X/(1 - X)^2 = (5/8)/(3/8)^2 = 40/9$로 6이 아니다. 2차 반응 CSTR 식을 만족하지 못한다. 올바르게는 전환율이 5/8가 아니라 2/3이다.
④ O: $X = 2/3$를 대입하면 $X/(1 - X)^2 = (2/3)/(1/3)^2 = 6$이 되어 병렬 3개일 때의 식을 정확히 만족한다. 따라서 정답에 해당한다.

### 오답 포인트

병렬 연결을 총부피 증가만으로 보지 않고, 각 반응기 유량이 $v_0/3$로 줄어 체류시간이 3배가 된다는 점을 놓치기 쉽다. 또 2차 반응 CSTR에서는 전환율이 $X = K(1 - X)^2$ 꼴로 들어가므로, 1차 반응처럼 단순 비례로 계산하면 오답이 된다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

CSTR 병렬 문제는 먼저 단일 반응기 데이터로 무차원 상수 $K$를 구한 뒤, 병렬 연결에서 각 반응기의 유량 변화로 새로운 $K$를 잡아 다시 같은 설계식에 넣는 순서로 판단한다. 동일한 반응기 3개 병렬이면 각 반응기의 체류시간은 3배가 된다.

**암기 포인트**

동일 부피 CSTR $n$개 병렬에서는 각 반응기 유량이 $1/n$로 줄어 각 반응기의 체류시간이 $n$배가 된다.

NoteBase

**문 23. 플러그흐름반응기(PFR)에서 반응물 A 80%, 비활성 물질 I 20%를 원료로 공급하여 A → 2B 반응을 진행할 때, 반응기 출구에서 전환율은 0.5이며, 출구 압력은 입구 압력의 4배, 출구 온도는 입구 온도의 2배이다. 반응기 출구 부피유량은 입구 부피유량의 몇 배인가? (단, A, B, I는 이상기체이다)**

① 0.5

② 0.7

③ 0.75

④ 1

**정답 2번**

### 출제 포인트

이 문제는 이상기체 반응계에서 부피유량비를 $\dot{V}/\dot{V}_0 = (F_T/F_{T0})(T/T_0)(P_0/P)$로 계산하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값은 반응식 $A \rightarrow 2B$, 입구 조성 $y_{A0} = 0.8$, $y_{I0} = 0.2$, 전환율 $X = 0.5$, $P/P_0 = 4$, $T/T_0 = 2$이다.
구해야 할 값은 출구 부피유량과 입구 부피유량의 비이다. 비활성 물질이 20% 포함되어 있으므로 총몰수 증가분을 순수 A 공급처럼 계산하면 안 된다.

### 사용할 공식

이상기체의 부피유량은 $\dot{V} = F_T RT/P$이므로
$\frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} = \frac{F_T}{F_{T0}} \frac{T}{T_0} \frac{P_0}{P}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 A, B, I가 모두 이상기체이고, 반응으로 총몰유량이 바뀌며, 온도와 압력도 함께 변하기 때문이다.

### 계산 과정

기준을 입구 총몰유량 1로 두면 $F_{A0} = 0.8$, $F_{I0} = 0.2$이다.
1. A의 반응량은 $F_{A0}X = 0.8 \times 0.5 = 0.4$이다.
2. 출구 몰유량은 $F_A = 0.8 - 0.4 = 0.4$, $F_B = 2 \times 0.4 = 0.8$, $F_I = 0.2$이므로 $F_T = 0.4 + 0.8 + 0.2 = 1.4$이다.
3. 따라서
$\frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} = \frac{1.4}{1.0} \times 2 \times \frac{1}{4} = 0.7$
이다. 계산 결과 출구 부피유량은 입구의 0.7배이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X: 0.5는 $F_T/F_{T0}=1$로 두고 온도와 압력 변화만 반영한 값이다. 틀린 수치는 0.5배이며, 올바르게는 반응으로 총몰유량이 1.4배가 되므로 0.7배이다.
② O: $F_T/F_{T0}=1.4$, $T/T_0=2$, $P_0/P=1/4$를 반영하면 $\dot{V}/\dot{V}_0=0.7$이므로 맞는 선지이다.
③ X: 0.75는 비활성 I 20%를 무시하고 반응물 A만 공급된다고 보아 $F_T/F_{T0}=1+X=1.5$로 계산할 때 나오는 값이다. 틀린 수치는 0.75배이며, 올바르게는 $F_T/F_{T0}=1+0.8X=1.4$이므로 0.7배이다.
④ X: 1은 출구 총몰유량 증가를 과대평가하거나 부피유량식의 항을 잘못 곱해 얻는 값이다. 틀린 수치는 1배이며, 올바르게는 조성 변화, 온도, 압력을 함께 반영한 0.7배이다.

### 오답 포인트

A → 2B라서 총몰수 증가가 있다는 점은 쉽게 보이지만, 그 증가율을 순수 A 공급처럼 $1+X$로 두면 틀린다. 이 문제의 함정은 비활성 20% 때문에 총몰유량비가 $1+0.8X$가 된다는 점과, 압력항이 $P/P_0$가 아니라 $P_0/P$라는 점이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

계산형 기체 반응 문제는 먼저 기준 유량을 1로 잡아 출구 총몰유량 $F_T$를 구하고, 그다음 $\dot{V}/\dot{V}_0=(F_T/F_{T0})(T/T_0)(P_0/P)$에 대입하는 순서로 판단한다. 비활성 성분이 있으면 반드시 초기 반응물 몰분율을 함께 반영한다.

### 암기 포인트

이상기체 부피유량비는 (총몰유량비) × (온도비) × (압력의 역비)이고, $A\rightarrow 2B$에서 $y_{A0}=0.8$이면 $F_T/F_{T0}=1+0.8X$이다.

NoteBase

**문 24. 다음은 촉매를 이용하여 에틸렌으로부터 에테인을 생성하는 수소화 반응의 속도식($-r'_E$)이다. 이 반응의 반응 메커니즘과 속도제한단계를 바르게 연결한 것은? (단, $k$ = 속도상수, $P_E$ = 에틸렌 압력, $P_{H_2}$ = 수소 압력, $K_E$ = 에틸렌 흡착평형상수이다)**

$$-r'_E = \frac{kP_EP_{H_2}}{1+K_EP_E}$$

① 반응 메커니즘: 이중활성점, 속도제한단계: 비가역적 표면반응

② 반응 메커니즘: 이중활성점, 속도제한단계: 가역적 표면반응

③ 반응 메커니즘: Eley-Rideal, 속도제한단계: 비가역적 표면반응

④ 반응 메커니즘: Eley-Rideal, 속도제한단계: 가역적 표면반응

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 속도식의 분자와 분모에 나타난 압력항으로 흡착 종을 판별하고, 그로부터 반응 메커니즘과 속도제한단계의 가역성을 연결하는 문제이다.

**핵심 개념**

Eley-Rideal 메커니즘은 한 반응물만 촉매 표면에 흡착되고 다른 반응물은 기상에서 직접 흡착종과 반응하는 메커니즘이다. 이때 흡착되는 종만 분모의 점유식에 나타나고, 기상에서 들어오는 종은 분자에 압력항으로 그대로 남는다. 이중활성점(Dual-site, Langmuir-Hinshelwood 2점) 메커니즘은 두 반응물이 모두 인접한 활성점에 흡착된 상태에서 반응하므로, 분모에 두 성분의 흡착항이 모두 나타나고 두 점의 점유 확률이 곱해져 흔히 제곱 형태가 된다. 예를 들어 에틸렌과 수소가 모두 흡착되는 이중활성점이라면 분모는 $(1+K_EP_E+K_{H_2}P_{H_2})^2$ 꼴이 된다. 주어진 식은 분모가 $1+K_EP_E$뿐이고 제곱도 아니므로 에틸렌만 흡착평형을 따르고, 분자에 $P_{H_2}$가 그대로 남아 수소는 기상에서 직접 반응에 들어간다. 또한 표면반응이 가역적이면 역반응 속도(생성물 에테인의 역흡착 항)가 분모에 추가되는 것이 보통인데, 주어진 식에는 그런 생성물 항이나 역반응 항이 없으므로 속도제한단계는 비가역적 표면반응으로 해석된다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X: 틀린 부분은 \"이중활성점\"이다. 이중활성점이라면 분모에 수소 흡착항이 함께 나타나고 $(1 + K_E P_E + K_{H_2} P_{H_2})^2$처럼 제곱 형태가 되어야 한다. 그러나 분모에 $K_E P_E$만 있고 제곱도 아니므로 표면에 의미 있게 흡착되는 종은 에틸렌뿐이다. 따라서 올바르게는 Eley-Rideal 메커니즘과 비가역적 표면반응의 조합이다.
② X: 틀린 부분은 \"이중활성점\"과 \"가역적 표면반응\"이다. 메커니즘은 ①과 같은 이유로 Eley-Rideal이어야 한다. 또한 가역적 표면반응이면 역방향 속도, 즉 생성물 에테인의 역흡착 항이 분모에 추가로 나타나는 것이 보통인데, 주어진 식에는 정반응 항만 있으므로 올바르게는 비가역적 표면반응이다.
③ O: 분모 $1 + K_E P_E$는 에틸렌 흡착만 고려한 Langmuir형 점유식을 뜻하고, 분자에 $P_{H_2}$가 직접 곱해져 있으므로 수소는 기상에서 바로 흡착된 에틸렌과 반응한다. 따라서 메커니즘은 Eley-Rideal이다. 또 속도식에 역반응이나 생성물 항이 없어 속도제한단계는 비가역적 표면반응이다.
④ X: 틀린 부분은 \"가역적 표면반응\"이다. Eley-Rideal이라는 연결 자체는 맞지만, 가역적 표면반응이라면 생성물 에테인의 역흡착에 따른 역반응 항이 분모에 드러나야 한다. 주어진 식은 정방향 속도만 나타내므로 올바르게는 비가역적 표면반응이다.

### 오답 포인트

분모에 흡착항이 하나만 있고 제곱이 아니라는 사실을 놓치고 반응 이름만 외우면 이중활성점과 Eley-Rideal을 혼동하기 쉽다. 또 $P_{H_2}$가 분자에 있다는 이유만으로 수소가 흡착되었다고 오해하기 쉬운데, 흡착되었다면 보통 분모의 점유식에도 그 흔적이 나타난다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

먼저 분모를 보고 어떤 종이 표면을 점유하는지 확인한다. 분모에 에틸렌 항만 있고 제곱이 아니면 에틸렌만 단일 흡착된 것이다. 다음으로 다른 반응물이 분자에 직접 남아 있으면 그 종은 기상에서 반응에 참여하므로 Eley-Rideal로 본다. 마지막으로 생성물 항이나 역반응 항이 없으면 속도제한단계는 비가역적으로 정리된다.

### 암기 포인트

분모에 한 종만 보이면 단일 흡착, 분모가 두 항의 제곱이면 이중활성점, 다른 반응물이 분자에 그대로 보이면 Eley-Rideal, 역항이 없으면 비가역적 표면반응이다.

NoteBase

**문 25. 불균일계 촉매에서 일어나는 등온 비가역 1차 반응 $A \rightarrow B$의 유효인자($\eta$)와 Thiele 계수($\phi$)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?**

① Thiele 계수가 0.4 보다 작으면, 표면반응이 반응속도를 지배한다.

② 단일 원통형 기공에서 $\eta = \frac{\tanh \phi}{\phi}$가 성립한다.

③ Thiele 계수가 4보다 크면, 유효인자는 1에 접근한다.

④ 촉매 기공 내부의 확산 저항이 클수록 유효인자는 작아진다.

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 유효인자와 Thiele 계수의 의미, 그리고 $\phi$의 크기에 따라 내부 확산 지배와 반응 지배가 어떻게 달라지는지를 묻는 문제이다.

**핵심 개념**

유효인자 $\eta$는 내부 확산 저항이 있는 실제 반응속도를 내부 확산 저항이 전혀 없다고 가정한 반응속도로 나눈 값이다.
Thiele 계수 $\phi$는 반응속도와 기공 내부 확산속도의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다.
$\phi$가 작으면 내부 확산 저항이 거의 없어 $\eta$가 1에 가깝고, $\phi$가 크면 내부 확산 지배가 커져 $\eta$가 작아진다.

**선지별 해설**

1번: O. $\phi < 0.4$이면 내부 확산 저항이 매우 작아서 농도구배가 거의 생기지 않는다. 따라서 반응속도는 주로 표면반응, 즉 고유 반응속도에 의해 결정된다고 볼 수 있다.
2번: O. 단일 원통형 기공 모델(Thiele의 단일 기공 모델)에서는 반응물이 기공 입구에서 기공 축 방향으로만 확산하면서 기공 벽면에서 반응한다고 본다. 이때 확산-반응 방정식은 무한 평판(슬래브)에서와 같은 1차원 형태가 되어 1차 반응의 유효인자가 $\eta = \tanh \phi / \phi$로 유도된다. 반경 방향 확산을 고려하는 원통형 펠릿에서 베셀함수 해가 나오는 것과 혼동하지 않아야 한다. 이 식도 $\phi$가 커질수록 $\eta$가 감소함을 보여 준다.
3번: X. 틀린 표현은 "유효인자는 1에 접근한다"이다. 실제로는 $\phi$가 4보다 크면 내부 확산의 영향이 커져 유효인자는 1에서 멀어지고 더 작은 값이 된다. 올바르게는 "Thiele 계수가 4보다 크면 내부 확산 지배가 커져 유효인자는 1보다 상당히 작아진다"이다.
4번: O. 촉매 기공 내부의 확산 저항이 커질수록 반응물 A가 기공 깊숙한 곳까지 충분히 공급되지 못하므로 실제 반응속도가 감소한다. 따라서 유효인자는 작아진다.

**오답 포인트**

큰 $\phi$를 큰 반응성으로만 받아들이면 $\eta$도 커진다고 오해하기 쉽다. 그러나 시험에서는 $\phi$가 커진다는 말이 내부 확산에 비해 반응이 지나치게 빨라져 기공 내부 농도저하가 커진다는 뜻으로 출제되는 경우가 많다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

먼저 $\phi$가 작은지 큰지를 본다. 작은 $\phi$는 반응 지배와 $\eta \approx 1$로, 큰 $\phi$는 내부 확산 지배와 작은 $\eta$로 연결하면 판단이 정리된다.

**암기 포인트**

$\phi$가 작으면 반응 지배와 $\eta \approx 1$, $\phi$가 크면 내부 확산 지배와 작은 $\eta$이다.

NoteBase