

## 반응공학

1. 불균일계 촉매 반응의 해석에 사용되는 유효 인자(effectiveness factor)의 정의는?

- ① 촉매 표면의 유체 경막을 통한 확산 속도를 촉매 기공 내에서의 확산 속도로 나눈 값
- ② 실제 반응속도를 촉매 기공을 통한 확산이 없는 경우를 가정한 반응속도로 나눈 값
- ③ 촉매 입자의 부피를 확산이 일어나는 입자 내 기공의 표면적으로 나눈 값
- ④ 실제 반응속도를 촉매 기공 내에서의 확산 속도로 나눈 값

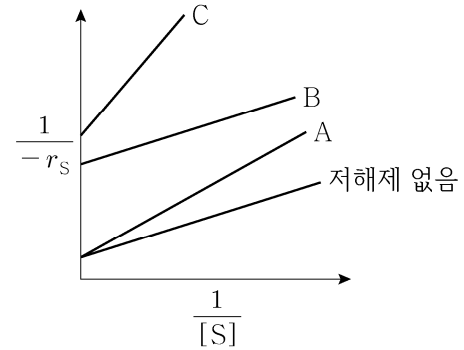
2. 등온 회분식반응기에서  $A \rightleftharpoons B$  가역 액상 반응을 진행할 때, 반응의 농도 평형상수는 19이다. 진행 초기에 순수한 A만 반응기 내에 존재하였다면, A의 평형전환율[%]은?

- ① 65
- ② 75
- ③ 85
- ④ 95

3. 등온 회분식반응기에서 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow B$  비가역 액상 2차 반응을 진행한다. 초기 반응물 A의 50%가 소모될 때까지 4분이 소요되었다. 동일 조건에서 초기 반응물 A의 80%가 소모되는 데 걸리는 시간[min]은?

- ① 12
- ② 16
- ③ 20
- ④ 24

4. 다음 그림은 저해제 첨가에 대한 특정 효소의 라인위버-버크 플롯(Lineweaver-Burk plot)이다. 특정 효소에 저해제가 작용하는 방식은 경쟁(competitive), 무경쟁(uncompetitive), 비경쟁(noncompetitive) 저해로 구분되며, 저해제 A, B, C를 각각 첨가한 결과를 그래프로 나타내었다. 저해제가 없을 때의 그래프 기울기는 B의 그래프 기울기와 같고, A 및 C의 그래프 기울기와는 다르다. 각 저해제와 저해제가 작용하는 방식을 바르게 연결한 것은? (단,  $[S]$ 는 기질의 농도,  $-r_s$ 는 기질의 분해 속도이다)



저해제 A	저해제 B	저해제 C
① 경쟁 저해	무경쟁 저해	비경쟁 저해
② 경쟁 저해	비경쟁 저해	무경쟁 저해
③ 무경쟁 저해	경쟁 저해	비경쟁 저해
④ 무경쟁 저해	비경쟁 저해	경쟁 저해

5. 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 순수한 A를 반응물로  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  연속반응을 진행한다. 각 단계의 반응이 모두 비가역 액상 1차 반응일 때, R의 농도를 최대를 얻기 위한 공간시간은? (단,  $k_1 \neq k_2$ 이다)

- ①  $\frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}}$
- ②  $\sqrt{k_1 k_2}$
- ③  $\frac{\ln(\frac{k_2}{k_1})}{k_2 - k_1}$
- ④  $\frac{k_2 - k_1}{\ln(\frac{k_2}{k_1})}$

6. 등온 정압 회분식반응기에서  $A + 2B \rightarrow 3C + 4D$  비가역 기상 기초 반응을 진행한다. 초기 반응물은  $2 \text{ mol L}^{-1}$ 의 A,  $4 \text{ mol L}^{-1}$ 의 B,  $4 \text{ mol L}^{-1}$ 의 비활성 기체만으로 구성된다. A의 전환율이 25 %일 때, C의 농도[ $\text{mol L}^{-1}$ ]는? (단, 모든 기체는 이상기체로 가정한다)

- ① 1.00  
② 1.25  
③ 1.50  
④ 1.75

7. 부피 10 L의 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow B$  비가역 액상 1차 반응을 진행한다. 유입되는 반응물 A의 초기농도는  $1 \text{ mol L}^{-1}$ 이고 온도가 400 K일 때, 반응기가 400 K에서 등온을 유지하면서 A의 전환율 90 %를 얻기 위해 필요한 열 제거 속도[ $\text{kcal min}^{-1}$ ]는? (단, 400 K에서 반응열( $\Delta H_R$ )은  $-20 \text{ kcal mol}^{-1}$ 이고 반응속도상수는  $0.05 \text{ min}^{-1}$ 이며, 축일은 무시한다)

- ① 1  
② 5  
③ 10  
④ 50

8. 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 초기농도  $1 \text{ mol L}^{-1}$ 의 순수한 A를 반응물로 다음 두 개의 비가역 액상 기초 반응을 경쟁적으로 진행한다. 반응기 내에서 생성물 U에 대한 D의 순간 선택도( $S_{D/U}$ )는 4이고, 반응기 출구에서 A의 농도는  $0.10 \text{ mol L}^{-1}$ 이다. 반응기 출구에서 D의 농도[ $\text{mol L}^{-1}$ ]는? (단,  $S_{D/U} = \frac{r_D}{r_U}$ ,  $r_j$ 는 j의 생성 속도[ $\text{mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ]이다)

- 반응 1:  $2A \rightarrow D$   
○ 반응 2:  $A \rightarrow U$

- ① 0.30  
② 0.35  
③ 0.40  
④ 0.45

9. 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 초기농도  $5 \text{ mol L}^{-1}$ 의 순수한 A를 반응물로 다음 세 개의 비가역 액상 반응을 경쟁적으로 진행한다. 반응물 A에 대한 생성물 D의 순간 수율( $Y_D$ )을 최대로 유지하기 위한 반응물 A의 전환율[%]은? (단,  $Y_D = \frac{r_D}{-r_A}$ ,  $r_j$ 는 j의 생성 속도[ $\text{mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ],  $C_A$ 는 A의 농도[ $\text{mol L}^{-1}$ ]이다)

- 반응 1:  $A \rightarrow U$ ,  $r_U = C_A$   
○ 반응 2:  $A \rightarrow D$ ,  $r_D = C_A^2$   
○ 반응 3:  $A \rightarrow T$ ,  $r_T = C_A^3$

- ① 60  
② 70  
③ 80  
④ 90

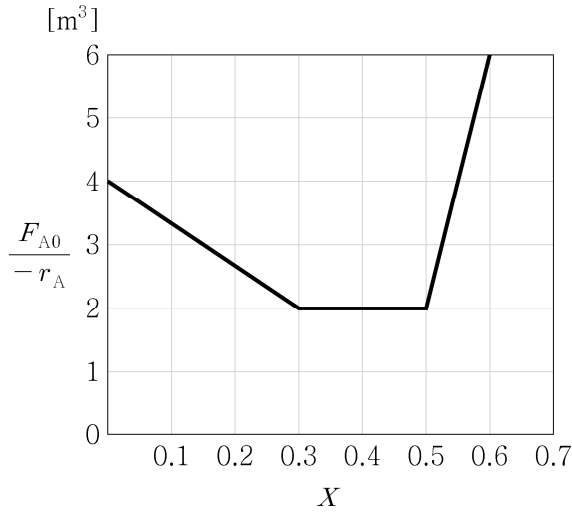
10. 등온 관형 충전층반응기(PBR)에서 기상 반응을 진행한다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 고정층 PBR은 연속흐름반응기이다.  
② 관의 길이가 일정할 때, 관의 직경이 증가할수록 반응 온도를 일정하게 유지하기 어려울 수 있다.  
③ 관의 직경이 일정할 때, 관의 길이가 증가할수록 출구에서의 압력은 감소할 수 있다.  
④ 에르군(Ergun) 식에 의하면, 공탑속도가 감소할수록 출구에서의 압력은 감소한다.

11. 촉매에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 불균일계 촉매 반응에는 2개 이상의 상(phase)이 수반된다.
- ② 촉매의 표면에서 일어나는 물리흡착은 발열반응이다.
- ③ 촉매는 선택도와 수율 모두에 영향을 미칠 수 있다.
- ④ 촉매는 반응속도와 열역학적 평형 모두에 영향을 미칠 수 있다.

12. 다음 그림은 특정 조건에서  $A \rightarrow B$  비가역 액상 반응에 대한 레벤스필(Levenspiel) 도표이다. 플러그흐름반응기(PFR)와 연속교반탱크반응기(CSTR) 중 선택한 2개의 반응기를 직렬로 연결하여 전체 반응기를 구성하고, 순수한 A를 반응물로 도표에서와 같은 반응을 진행한다. 첫 번째 반응기의 출구에서 A의 전환율 0.3, 두 번째 반응기의 출구에서 A의 최종전환율 0.6을 얻기 위해 필요한 두 반응기 부피의 합이 가장 작은 조합은? (단, 같은 종류의 반응기를 선택할 수 있으며,  $F_{A0}$ 는 첫 번째 반응기에 유입되는 A의 몰유량[ $\text{mol s}^{-1}$ ],  $-r_A$ 는 A의 소멸 속도[ $\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$ ],  $X$ 는 A의 전환율이다)



- |   | 첫 번째 반응기 | 두 번째 반응기 |
|---|----------|----------|
| ① | CSTR     | CSTR     |
| ② | CSTR     | PFR      |
| ③ | PFR      | CSTR     |
| ④ | PFR      | PFR      |

13. 등온 플러그흐름반응기(PFR)에서 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow B$  비가역 액상 2차 반응을 진행한다. 반응물 A의 초기농도가  $1 \text{ mol L}^{-1}$ 일 때, A의 전환율 90 %를 얻기 위해 필요한 공간시간은 90분이다. 반응물 A의 초기농도만  $2 \text{ mol L}^{-1}$ 로 높였을 때, 동일한 전환율을 얻기 위해 필요한 공간시간[ $\text{min}$ ]은? (단, 반응속도상수는 변함없다)

- ① 30
- ② 45
- ③ 60
- ④ 90

14. 동일 부피의 등온 연속교반탱크반응기(CSTR) 3개를 직렬로 연결하여 전체 반응기를 구성한다. 구성된 반응기에서 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow B$  비가역 액상 1차 반응을 진행하며, 공급되는 반응물의 부피유량은  $2 \text{ L min}^{-1}$ 이다. 마지막 반응기 출구에서 A의 농도가 첫 번째 반응기에 유입되는 A의 초기농도의  $\frac{1}{8}$ 이 되는 데 필요한 각 반응기의 부피[L]는? (단, 반응속도상수는  $0.5 \text{ min}^{-1}$ 로 모든 반응기에서 동일하다)

- ① 2
- ② 4
- ③ 6
- ④ 8

15. 등온 회분식반응기에서 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow B$  비가역 액상 1차 반응을 진행하여, 반응 12분 후 A의 전환율 70 %를 얻었다. 초기농도  $4 \text{ mol L}^{-1}$ 의 순수한 A를  $10 \text{ mol min}^{-1}$ 의 몰유량으로 등온 플러그흐름반응기(PFR)에 공급하여 같은 반응을 진행할 때, 동일한 전환율을 얻기 위해 필요한 PFR의 부피[L]는? (단, 반응속도상수는 변함없다)

- ① 10
- ② 20
- ③ 30
- ④ 40

16. 등온 회분식반응기에서 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow B$  비가역 액상 3차 반응을 진행한다. 반응물 A의 초기농도를  $C_{A0}$ , 반감기를  $t_{1/2}$ 이라고 할 때,  $\ln t_{1/2}$ 을  $\ln C_{A0}$ 에 대하여 그린 직선의 기울기는? (단, 반응속도상수는 모든 조건에서 동일하다)

- ① -3  
② -2  
③ 2  
④ 3

17. 플러그흐름반응기(PFR)에서  $A + B \rightarrow C$  비가역 액상 반응을 진행한다. 반응물 A와 B는 동일한 몰유량 및 200 K의 일정한 온도로 반응기 입구에서 유입되며, 반응기는 단열로 운전된다. 반응열 ( $\Delta H_R$ )이  $-2,000 \text{ cal mol}^{-1}$ 로 일정하고 반응기 출구에서 A의 전환율이 80 %일 때, 반응기 출구에서의 온도[K]는? (단, A, B, C의 정압비열 [ $\text{cal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]은 각각 5, 15, 20이며, 반응은 상변화를 수반하지 않는다)

- ① 280  
② 310  
③ 340  
④ 370

18. 등온 반응기에서 다음 두 개의 균일계 비가역 반응을 경쟁적으로 진행한다. 일정한 온도에서 생성물 U에 대한 D의 순간 선택도( $S_{D/U}$ )를 증대하기 위한 전략으로 옳지 않은 것은? (단,  $S_{D/U} = \frac{r_D}{r_U}$ ,  $r_j$ 는 j의 생성 속도,  $C_j$ 는 j의 농도이다)

- 반응 1:  $A + B \xrightarrow{k_1} D$ ,  $r_D = k_1 C_A C_B$   
○ 반응 2:  $A + B \xrightarrow{k_2} U$ ,  $r_U = k_2 C_A^2 C_B^2$

- ① 플러그흐름반응기(PFR)보다는 연속교반탱크반응기(CSTR)를 사용한다.  
② 기상 반응이라면 높은 압력보다는 낮은 압력에서 반응기를 운전한다.  
③ 반응에 참여하지 않는 물질로 희석한 원료를 사용한다.  
④ B에 A를 천천히 유입시키는 반회분식반응기(semi-batch reactor) 보다는 회분식반응기를 사용한다.

19. 동일 부피의 연속교반탱크반응기(CSTR) 2개를 직렬로 연결하여 전체 반응기를 구성한다. 구성된 반응기에서 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow B$  비가역 등온 액상 반응을 진행하며, 두 반응기의 운전조건을 다르게 하여 첫 번째 반응기와 두 번째 반응기에서의 반응속도를 동일하게 유지한다. 두 번째 반응기 출구에서 A의 최종전환율이 80 %일 때, 첫 번째 반응기 출구에서 A의 전환율[%]은?

- ① 20  
② 30  
③ 40  
④ 60

20. 효소(E)와 기질(S)이 결합하여 중간체(E·S)를 형성하는 반응 메커니즘에 대한 해석을 위해, 중간체의 유사 정상상태 가정에 따른 미카엘리스-멘텐(Michaelis-Menten) 식을 이용한다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단,  $K_M$ 은 미카엘리스 상수,  $V_{\max}$ 는 최대 반응속도,  $-r_S$ 는 반응속도, [S]는 기질의 농도이다)

- ①  $K_M$ 은 기질과 효소의 상호작용을 나타내는 척도이다.  
②  $[S] \ll K_M$ 일 때, 미카엘리스-멘텐 식은  $-r_S \approx \frac{V_{\max} [S]}{K_M}$ 로 근사된다.  
③  $[S] = K_M$ 일 때, 반응속도는 최대가 된다.  
④  $V_{\max}$ 는 전체 효소 농도에 영향을 받지만,  $K_M$ 은 영향을 받지 않는다.

21. 부피 10 L의 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow B$  비가역 액상 기초 반응을 진행하여, A의 전환율 50 %를 얻었다. 이 반응기의 입구에 공급되는 반응물의 흐름을 반으로 나누어, 각각 부피 2.5 L와 7.5 L의 등온 CSTR에 반응물로 주입하여 같은 반응을 진행한다. 반응 후 두 반응기 출구에서의 흐름을 다시 하나로 합칠 때, 최종적으로 얻을 수 있는 A의 전환율은? (단, 반응속도상수는 모든 반응기에서 동일하다)

- ①  $\frac{2}{15}$
- ②  $\frac{4}{15}$
- ③  $\frac{7}{15}$
- ④  $\frac{8}{15}$

22. 일정 부피의 등온 회분식반응기에서 초기농도  $10 \text{ mol L}^{-1}$ 의 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow 2B$  비가역 기상 기초 반응을 진행하여, 반응 2시간 후 A의 전환율 90 %를 얻었다. 초기농도가 동일한 순수한 A를  $10 \text{ mol h}^{-1}$ 의 몰유량으로 플러그흐름반응기(PFR)에 공급하여, 등온 및 정압 조건에서 같은 반응을 진행한다. A의 전환율 90 %를 얻기 위해 필요한 PFR의 부피[L]는? (단,  $\ln 10 = 2$ 이며, 반응속도상수는 모든 조건에서 동일하다)

- ① 3.1
- ② 6.2
- ③ 31
- ④ 62

23. 온도  $T_0$ 에서의 반응속도상수  $k_0$ 와 활성화 에너지  $E_a$ 를 알고 있을 때, 아레니우스(Arrhenius) 식을 적용하여 임의의 다른 온도  $T$ 에서의 반응속도상수를 나타낸 것으로 옳은 것은? (단,  $R$ 은 기체상수이다)

- ①  $k_0 \exp[\frac{-R}{E_a}(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})]$
- ②  $k_0 \exp[\frac{-E_a}{R}(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})]$
- ③  $k_0 \exp[\frac{E_a}{R}(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})]$
- ④  $k_0 \exp[\frac{R}{E_a}(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})]$

24. 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 초기농도  $10 \text{ mol L}^{-1}$ 의 순수한 A를 반응물로  $A \rightarrow B$  비가역 액상 1차 반응을 진행한다. A의 전환율이 70 %일 때, 반응기 출구에서 B를  $63 \text{ mol min}^{-1}$ 의 몰유량으로 생산하기 위해 필요한 반응기의 부피[L]는? (단, 반응속도상수는  $0.3 \text{ min}^{-1}$ 이다)

- ① 35
- ② 70
- ③ 350
- ④ 700

25. 등온 회분식반응기에서 순수한 A를 반응물로 다음 세 개의 비가역 액상 기초 반응을 연속적으로 진행한다. 중간 생성물 B의 유사 정상상태를 가정했을 때, 반응시간에 따른 P의 농도를 나타낸 것으로 옳은 것은? (단,  $2k_1 < k_3$ ,  $t$ 는 반응시간,  $C_{A0}$ 는 A의 초기농도이다)

- 반응 1:  $A \xrightarrow{k_1} B + C$
  - 반응 2:  $A + B \xrightarrow{k_2} P$
  - 반응 3:  $P \xrightarrow{k_3} D$

- ①  $\frac{k_1 C_{A0}}{k_3 - 2k_1}(e^{-2k_1 t} - e^{-k_3 t})$
- ②  $\frac{k_1 C_{A0}}{k_3 - 2k_1}(e^{-2k_1 t} - e^{-2k_3 t})$
- ③  $\frac{k_3 C_{A0}}{k_3 - 2k_1}(e^{-2k_1 t} - e^{-k_3 t})$
- ④  $\frac{k_3 C_{A0}}{k_3 - 2k_1}(e^{-2k_1 t} - e^{-2k_3 t})$