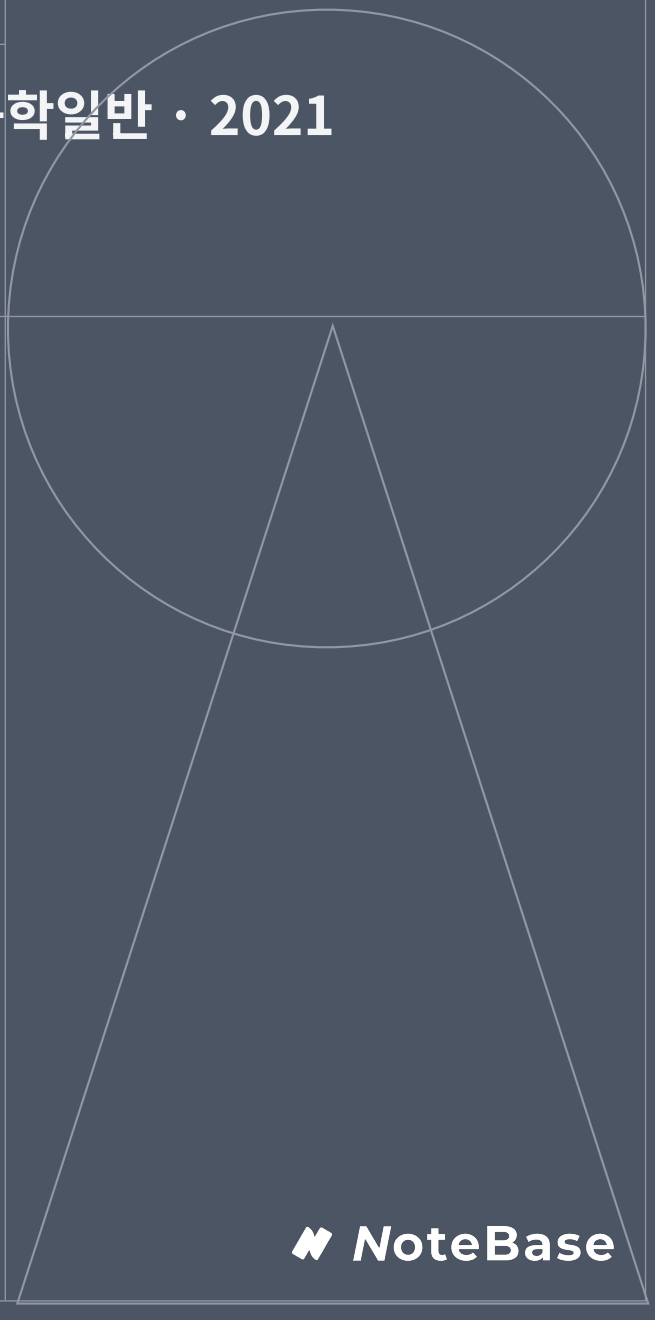
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2021



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2021

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2021

문 1. 0.01440의 유효 숫자 개수는?

① 3개

② 4개

③ 5개

④ 6개

정답 2번

간단한 해설

0.01440에서 앞의 0들은 소수점 위치를 나타내므로 유효 숫자에서 제외하지만, **소수 부분 끝의 0은 포함**한다. 따라서 1, 4, 4, 0의 네 숫자가 유효 숫자이다.

공통 해설

유효 숫자는 측정값의 정밀도를 나타내도록 기록한 숫자이다. 소수로 표시된 측정값에서는 **처음으로 0이 아닌 숫자가 나온 자리부터 마지막으로 기록된 자리까지**를 유효 숫자로 센다. 첫 번째 0이 아닌 숫자 앞의 0은 자릿값만 표시하므로 제외하고, 소수 부분 끝에 기록된 0은 그 자리까지 측정값을 표시했다는 뜻이므로 포함한다.

0.01440에서는 첫 번째 0이 아닌 숫자가 1이다. 그 앞의 두 0은 제외하고 1, 4, 4, 0을 세므로 유효 숫자는 4개이다.

NoteBase

문 2. 다음 멱법칙(power-law)은 유체의 전단 변형률과 전단응력에 대한 관계를 기술한다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, τ는 전단응력, v는 유체의 속도, dv/dy는 전단 변형률이다)

$\tau = m\left|\frac{dv}{dy}\right|^{n-1}\frac{dv}{dy}$

① 유사가소성(pseudoplastic) 유체에 대한 n값은 1보다 크다.

② 팽창성(dilatant) 유체의 점도는 전단 변형률이 증가함에 따라 증가한다.

③ 뉴튼 유체의 경우 n값은 1이다.

④ m과 n의 값은 유체의 특성에 따라 달라진다.

정답 1번

간단한 해설

유사가소성 유체는 전단 변형률이 커질수록 **겉보기 점도가 감소**하므로 멱법칙의 지수 n은 **1보다 작다**. n이 1보다 큰 것은 팽창성 유체이다.

선지별 해설

온도 등 다른 조건이 일정할 때, 전단 변형률의 크기를 $g = \left|\frac{dv}{dy}\right| > 0$라 하면 겉보기 점도는 $\mu_{\text{app}} = \frac{|\tau|}{g} = mg^{n-1}$이다. 따라서 점도의 증감은 지수 n − 1의 부호로 판단한다.

① X: 유사가소성 유체는 **전단 변형률이 증가할수록 겉보기 점도가 감소**하는 유체이다. 멱법칙에서 이러한 감소가 나타나려면 $n - 1 < 0$, 즉 $n < 1$이어야 한다. 따라서 선지의 '1보다 크다'는 '1보다 작다'로 고쳐야 한다.

② O: 팽창성 유체는 $n > 1$이므로 $n - 1 > 0$이다. 따라서 $\mu_{\text{app}} = mg^{n-1}$에서 전단 변형률의 크기 g가 증가하면 **겉보기 점도도 증가**한다.

③ O: 뉴튼 유체는 전단응력이 전단 변형률에 비례하며, 점도는 전단 변형률과 무관하게 일정하다. 멱법칙에 $n = 1$을 대입하면 $\tau = m\frac{dv}{dy}$가 되어 뉴튼의 점성 법칙과 같아진다. 이때 **m이 일정한 점도**에 해당한다.

④ O: m은 점성 저항의 크기를 나타내는 양의 점조도 계수이고, n은 **전단 변형률에 따른 점도 변화 양상**을 나타내는 유동 거동 지수이다. 두 값은 유체의 특성을 반영하는 매개변수이므로 유체에 따라 달라진다.

NoteBase

문 3. 흑체의 총복사방출능(emissive power)은 흑체 절대 온도의 4제곱에 비례한다는 법칙은?

① 뉴튼의 냉각법칙(Newton’s law of cooling)

② 푸리에의 법칙(Fourier’s law)

③ 슈테판-볼츠만의 법칙(Stefan–Boltzmann’s law)

④ 플랑크의 법칙(Planck’s law)

정답 3번

간단한 해설

흑체의 총복사방출능은 **절대온도의 4제곱**에 비례하며, 이 관계를 슈테판-볼츠만의 법칙이라 한다.

개념 구분

슈테판-볼츠만의 법칙: 흑체의 총복사방출능은 단위 면적에서 단위 시간 동안 **모든 파장에 걸쳐 방출하는 복사에너지**이며, $E_b = \sigma T^4$로 나타낸다. 여기서 E_b의 단위는 W/m^2, T는 절대온도(K), σ는 슈테판-볼츠만 상수이다. 문제의 ‘총복사방출능’과 ‘절대온도의 4제곱에 비례’가 이 법칙을 가리킨다.

플랑크의 법칙과의 구분: 플랑크의 법칙은 주어진 온도의 흑체에서 **파장별 복사방출능의 분포**를 설명한다. 이 분포를 모든 파장에 걸쳐 적분한 총복사방출능이 슈테판-볼츠만의 법칙을 따른다. 따라서 특정 파장의 분포를 묻는지, 모든 파장의 총량을 묻는지를 구분해야 한다.

나머지 열전달 법칙: 뉴튼의 냉각법칙은 표면과 유체 사이의 온도차에 따른 대류 열전달을, 푸리에의 법칙은 온도기울기에 따른 전도 열전달을 나타낸다. 두 법칙은 흑체의 총복사방출능과 절대온도의 4제곱 사이의 관계를 설명하는 법칙이 아니다.

NoteBase

문 4. 전달단위 수(number of transfer unit)가 4이고 전달단위 높이(height of transfer unit)가 2 m인 충전 흡수탑의 높이[m]는?

① 2

② 6

③ 8

④ 16

정답 3번

간단한 해설

충전 흡수탑의 높이는 **전달단위 높이와 전달단위 수의 곱**이므로 2 × 4 = 8 m이다.

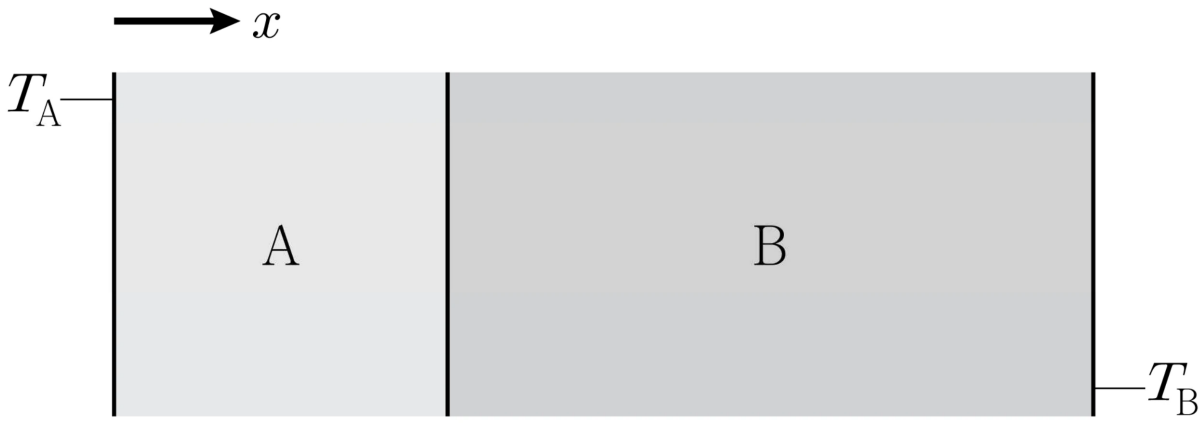
계산 과정

전달단위 수 N은 필요한 물질전달 정도를 나타내는 무차원 수이고, 전달단위 높이 H는 전달단위 하나에 해당하는 충전층의 높이이다. 따라서 충전층 높이 Z는 **단위당 높이에 단위 수를 곱하여** 구하며, 관계식은 $Z = H \cdot N$이다.

주어진 H = 2 m와 N = 4를 대입하면 Z = 2 × 4 = 8 m이다. 전달단위 수에는 단위가 없으므로 높이의 단위는 m로 유지된다. 계산한 높이 8 m는 ③의 값에 해당한다.

NoteBase

문 5. 창고의 단열을 위해 A층과 B층으로 이루어진 이중벽을 만들었다. A층과 B층의 열전달 저항[$K \cdot W^{-1}$]은 각각 R_A, R_B이고, 벽 내부와 외부의 온도[K]는 각각 T_A, T_B이며, 열은 정상상태로 x축 방향으로만 전달된다. 벽을 통한 열전달 속도[W]는? (단, $T_A > T_B$)



① $\frac{T_A - T_B}{1/R_A + 1/R_B}$
② $\frac{T_A - T_B}{R_A + R_B}$
③ $\frac{1/R_A + 1/R_B}{T_A - T_B}$
④ $\frac{R_A + R_B}{T_A - T_B}$

정답 2번

간단한 해설

열이 A층과 B층을 차례로 통과하므로 두 열저항은 **직렬로 더한다**. 열전달 속도는 전체 온도차를 전체 열저항으로 나눈 $\frac{T_A - T_B}{R_A + R_B}$이다.

공통 해설

열전달 저항은 온도차를 열전달 속도로 나눈 양이므로, 열전달 속도는 온도차를 열저항으로 나누어 구한다. 그림에서 A층과 B층은 열이 흐르는 x축 방향으로 차례로 놓여 있다. 정상상태에서는 벽에 열이 축적되지 않으므로 **두 층을 통과하는 열전달 속도가 같다**.

이처럼 같은 열이 두 층을 차례로 통과하는 직렬 구조에서는 각 층의 온도차가 더해지므로 전체 열저항은 $R_A + R_B$이다. 따라서 벽 양쪽의 온도차 $T_A - T_B$에 대한 열전달 속도는 $\dot{Q} = \frac{T_A - T_B}{R_A + R_B}$이다. 저항의 역수를 더하는 방식은 이 직렬 구조에 적용하지 않는다.

온도차의 단위는 K, 열저항의 단위는 $K \cdot W^{-1}$이므로 이를 나눈 열전달 속도의 단위는 W이다. 또한 $T_A > T_B$이므로 열은 온도가 높은 왼쪽에서 낮은 오른쪽으로, 즉 x축의 양의 방향으로 전달된다.

NoteBase

문 6. 분쇄공정에서 고려해야 할 재료 특성 중 마모에 대한 저항의 척도는?

① 질김성(toughness)

② 응집성(cohesivity)

③ 섬유성(fibrous nature)

④ 경도(hardness)

정답 4번

간단한 해설

마찰로 표면이 닳는 마모에 대한 저항을 나타내는 재료 특성은 **경도(hardness)**이다.

개념 구분

경도(hardness): 재료 표면이 긁히거나 눌리는 것에 저항하는 정도이다. 분쇄공정에서 말하는 마모는 접촉과 마찰로 표면이 닳는 현상이므로, 문제의 **마모에 대한 저항**은 경도에 대응한다.

질김성(toughness)과의 구분: 질김성은 재료가 **파괴되기까지 에너지를 흡수하는 능력**이다. 표면이 닳는 데 대한 저항을 묻는 경도와, 재료가 깨지는 데 대한 저항을 나타내는 질김성을 구별해야 한다.

NoteBase

문 7. 불균일계 반응기에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 고정층 반응기(fixed bed reactor)에서는 고체촉매를 충진·고정한 층에 반응기체를 흘려 준다.

② 기포탑 반응기(bubble column reactor)는 탑 아래에 있는 기체 분산기를 통해 기체를 액상에 불어 넣는다.

③ 이동층 반응기(moving bed reactor)는 고체 입자가 반응기 내를 중력이나 기계적 힘을 통해 이동하면서 반응이 진행된다.

④ 유동층 반응기(fluidized bed reactor)는 유체의 유동을 크게 만들어 고정된 촉매와 유체 간의 강한 충돌을 유도하여 반응의 효율을 높일 수 있다.

정답 4번

간단한 해설

④의 '고정된 촉매'가 잘못된 표현이다. 유동층 반응기는 유체의 흐름으로 고체 촉매 입자를 **떠오르게 하여 움직이는 상태**로 유지하며, 활발한 혼합으로 유체와 촉매의 접촉 및 열·물질전달을 촉진한다.

선지별 해설

① O: 고정층 반응기는 고체 촉매 입자를 충전하여 **제자리에 고정된 층**을 만든다. 반응기체가 입자 사이의 빈 공간을 통과하면서 촉매 표면과 접촉하여 반응하므로, 유체는 흐르지만 촉매층 자체는 이동하지 않는다.

② O: 기포탑 반응기는 탑 하부의 **기체 분산기**로 액상에 기체를 주입한다. 분산기에서 형성된 기포가 액체 속을 상승하면서 기체와 액체가 접촉하고, 두 상 사이의 물질전달과 반응이 이루어진다.

③ O: 이동층 반응기에서는 **고체 입자 자체가 반응기 안을 이동**하면서 유체와 접촉한다. 중력이나 기계적 힘으로 입자를 이동시킨다는 점에서, 촉매 입자의 위치를 고정하는 고정층 반응기와 구별된다.

④ X: 유동층 반응기의 촉매 입자는 **고정되어 있지 않다**. 위로 흐르는 유체가 입자를 들어 올릴 만큼 충분한 항력을 주면 입자들이 떠서 움직이고, 입자층이 유체처럼 거동한다. 이때의 활발한 혼합이 유체와 촉매의 접촉 및 열·물질전달을 촉진한다. 따라서 '고정된 촉매와 유체 간의 강한 충돌'이 아니라 '유동하는 촉매 입자와 유체의 활발한 접촉과 혼합'으로 설명해야 한다.

NoteBase

문 8. 공정 엔지니어가 공정을 한눈에 파악할 수 있도록 장비, 밸브 및 이음 등을 포함한 상세 정보, 기술적 세부 사항과 물질사양, 제어라인 등을 포함한 정보를 제공할 수 있는 것은?

① 블록선도(block diagram)

② 상평형도(phase diagram)

③ 공정흐름도(process flow diagram)

④ 배관계장도(piping and instrumentation diagram)

정답 4번

간단한 해설

배관계장도(P&ID)는 장비와 배관뿐 아니라 밸브·이음, 계측기와 **제어 신호선까지 상세하게** 나타낸다. 공정의 주요 흐름을 보여 주는 수준을 넘어 이러한 세부 정보를 요구한다는 점이 결정적인 단서이다.

개념 구분

배관계장도(P&ID): 장비와 배관의 연결 관계에 더해 배관 사양, 밸브·이음, 계측기와 제어 신호선 등을 나타내는 상세 도면이다. 계측기는 온도·압력·유량 등을 측정하는 장치이며, 제어 신호선은 계측·제어 장치 사이의 신호 전달 관계를 나타낸다. 문제에서 요구하는 **배관 부속과 제어라인의 상세 정보**가 이 도면의 특징에 해당한다.

공정흐름도(PFD): 주요 장비 사이에서 물질이 어떤 순서로 흐르는지와 주요 운전조건을 중심으로 나타낸다. 공정의 흐름을 파악하는 데 적합하지만, 문제처럼 **밸브·이음과 제어 신호선까지 구체적으로** 확인하려면 배관계장도가 필요하다.

블록선도: 공정의 주요 단계나 기능을 블록으로 나타내고 흐름을 선이나 화살표로 연결한다. 공정의 전체 구성을 간략히 보여 주므로 세부 배관 부속과 계장 정보를 제공하는 도면과 구별된다.

상평형도: 온도·압력·조성 등의 조건에 따라 어떤 상이 안정하게 존재하거나 서로 평형을 이루는지 나타낸다. 장비나 배관의 연결 관계를 표시하는 공정 도면과는 목적이 다르다.

NoteBase

문 9. 50 mol% A와 50 mol% B로 구성된 원료(feed)가 과냉각된 액상으로 증류탑에 공급된다. 공급원료 1 mol당 원료 공급단(feed stage)으로 유입되는 증기 흐름 중 0.5 mol이 액화될 때, 원료 공급선(feed line)은?

① $y = 3x - 1$

② $y = -x + 1$

③ $y = x - 1$

④ $y = -3x + 1$

정답 1번

간단한 해설

과냉각 액상 원료 1 mol에 증기가 응축된 0.5 mol이 더해지므로, 원료 1 mol당 액체 흐름의 순증가량을 나타내는 **q는 1.5**이다. 원료 몰분율 0.5를 원료 공급선 식에 적용하면 $y = 3x - 1$이다.

계산 과정

1. 조성 및 변수: 원료 중 A의 몰분율은 $z_F = 0.50$이다. x와 y는 각각 액상과 기상의 A 몰분율이며, q는 원료 공급에 따른 액체 몰유량의 증가량을 원료 몰유량으로 나눈 무차원 값이다.

2. q 계산: 과냉각된 액상 원료는 공급단에서 가열되면서 유입 증기의 일부를 응축시킨다. 원료 1 mol당 액체 흐름은 **원료 자체의 1 mol과 응축액 0.5 mol을 합한 양**만큼 증가한다. 따라서 $q = \frac{1 + 0.5}{1} = 1.5$이다.

3. 원료 공급선 식: 각 구간의 몰유량을 일정하게 보는 증류 물질수지에서, 두 조작선의 교점은 $qx + (1 - q)y = z_F$를 만족한다. 이 관계를 y에 대해 정리한 원료 공급선은 $y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_F}{q-1}$이다.

4. 기울기와 절편: 기울기는 $\frac{1.5}{1.5-1} = 3$이고, y절편은 $-\frac{0.50}{1.5-1} = -1$이다. 따라서 원료 공급선은 $y = 3x - 1$로, ①의 식과 일치한다. x와 y가 몰분율이므로 기울기와 절편에는 단위가 없다.

NoteBase

문 10. 비압축성 뉴튼 유체의 흐름을 설명하는 Navier－Stokes 식을 유도할 수 있는 법칙은?

① 아보가드로의 법칙

② 질량보존의 법칙

③ 열역학 제2법칙

④ 뉴튼의 운동 제2법칙

정답 4번

간단한 해설

Navier－Stokes 식은 유체에 작용하는 힘과 유체의 가속도를 연결하는 운동방정식이다. 유도하는 기본 원리는 **힘의 합이 질량과 가속도의 곱과 같다**는 뉴튼의 운동 제2법칙이다.

핵심 풀이

뉴튼의 운동 제2법칙은 물체에 작용하는 힘의 합이 그 물체의 질량과 가속도의 곱과 같다는 법칙이다. 이를 유체의 미소 요소에 적용하여 압력에 의한 힘, 점성력, 중력 등의 체적력을 합산한다. 여기에 뉴튼 유체의 **점성응력과 속도구배 사이의 비례관계** 및 비압축성 조건을 적용하면 Navier－Stokes 식을 얻는다. 즉, 이 식의 직접적인 역학적 바탕은 뉴튼의 운동 제2법칙이다.

질량보존의 법칙으로 얻는 것은 **연속방정식**이다. 연속방정식은 유체의 유입·유출과 질량 축적의 관계를 나타내며, Navier－Stokes 식과 함께 유동을 해석하는 데 쓰인다. 그러나 힘에 따른 속도 변화를 설명하는 운동방정식의 직접적인 출발점과는 구별해야 한다.

NoteBase

문 11. 실제기체가 이상기체 상태 방정식을 근사적으로 만족시킬 수 있는 조건만을 모두 고르면?

ㄱ. 분자의 크기가 작을수록
ㄴ. 온도가 낮을수록
ㄷ. 압력이 낮을수록

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 2번

간단한 해설

압력이 낮으면 분자 사이가 멀어져 **분자 자체의 부피와 분자 간 인력의 영향**을 무시하기 쉽다. 온도는 낮을수록이 아니라 **높을수록** 인력에 비해 분자의 열운동 효과가 커져 이상기체에 가깝다.

보기별 해설

이상기체는 분자 자체의 부피를 무시하고, 분자 사이에 인력이 작용하지 않는다고 가정한 기체이다. 실제기체도 이 두 영향이 충분히 작으면 이상기체 상태 방정식을 근사적으로 만족한다.

ㄱ. O: 다른 조건이 같을 때 분자의 크기가 작을수록 기체 전체 부피에서 **분자 자체가 차지하는 부피의 비중**이 작아진다. 따라서 분자 부피를 무시하는 이상기체의 가정에 가까워진다.

ㄴ. X: 온도가 낮아지면 분자의 열운동 에너지가 작아져 분자 간 인력의 상대적 영향이 커진다. 따라서 '온도가 낮을수록'은 **'온도가 높을수록'**으로 고쳐야 한다. 온도가 높아지면 분자의 열운동 에너지가 커져 인력의 영향을 상대적으로 무시하기 쉽다.

ㄷ. O: 같은 온도에서 압력이 낮아지면 기체의 밀도가 작아지고 **분자 사이의 평균 거리가 멀어진다**. 이에 따라 분자 간 인력의 영향이 작아지고, 기체 전체 부피에서 분자 자체의 부피가 차지하는 비중도 줄어든다.

이상기체에 가까워지는 조건은 ㄱ과 ㄷ이며, 이 조합은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 12. 추출에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 고-액 추출은 침출(leaching)이라고도 한다.

② 증류에 의한 분리가 비효율적인 액체 혼합물에 대해 액-액 추출은 주요 대체공정 중 하나이다.

③ 거의 같은 기포점을 갖는 석유제품들을 분리할 때 활용된다.

④ 추출용매에 대해 유사한 용해도를 갖는 성분들로 구성된 액체 혼합물의 분리에 효과적이다.

정답 4번

간단한 해설

추출은 성분들이 추출용매에 녹는 정도의 차이를 이용한다. 성분들의 용해도가 비슷하면 함께 추출되므로, **목표 성분을 선택적으로 잘 녹이는 용매**를 사용할 수 있을 때 분리에 효과적이다.

선지별 해설

① O: 고-액 추출은 고체에 들어 있는 가용성 성분을 액체 용매에 녹여 분리하는 조작으로, **침출(leaching)**이라고도 한다. 고체 전체를 녹이는 것이 아니라 고체 속의 특정 성분을 용매 쪽으로 옮기는 것이다.

② O: 액-액 추출은 액체 혼합물을 다른 액체 용매와 접촉시켜 특정 성분을 용매가 풍부한 액상으로 이동시킨 뒤, 두 액상을 나누는 조작이다. 증류가 휘발도 차이를 이용하는 데 비해 추출은 **두 액상 사이의 성분별 분배 차이**를 이용하므로, 증류로 분리하기 어려운 혼합물의 대체공정이 될 수 있다.

③ O: 기포점이 거의 같은 석유 성분들은 증류로 분리하기 어려울 수 있다. 이러한 성분들도 **적절한 용매에 대한 친화도 차이**가 있으면 한쪽 성분을 선택적으로 추출할 수 있으므로, 추출은 이들의 분리에 활용된다.

④ X: 분리하려는 성분들이 추출용매에 비슷하게 녹으면 함께 추출되어 성분 간 분리가 어렵다. 효과적인 분리를 위해서는 목표 성분을 다른 성분보다 **선택적으로 잘 녹이는 용매**가 필요하다. 즉, 목표 성분은 용매 쪽으로 잘 이동하고 다른 성분은 원래 액상에 더 많이 남도록 용매를 선택해야 한다.

NoteBase

문 13. 유체가 흐르는 방향과 반대 방향으로의 흐름이 발생하는 것을 방지하기 위한 밸브는?

① 게이트밸브

② 글로브밸브

③ 체크밸브

④ 볼밸브

정답 3번

간단한 해설

체크밸브는 유체를 한 방향으로 흐르게 하고, 반대 방향으로 흐르려 하면 **자동으로 닫혀 역류를 방지**한다.

핵심 풀이

체크밸브는 '역지밸브'라고도 하며, 정방향의 압력 차에 의해 열려 유체를 통과시킨다. 반대로 역방향 압력이 작용하면 밸브가 닫힌다. 따라서 문제의 '반대 방향으로의 흐름을 방지'는 **체크밸브의 역류 방지 기능**을 가리킨다.

게이트밸브와 볼밸브는 주로 유로를 열고 닫는 데 사용하고, 글로브밸브는 유량 조절에 사용한다. 이들 밸브의 개폐·조절 기능은 **흐름 방향에 따라 자동으로 역류를 차단하는 기능**과 구분된다.

NoteBase

문 14. 균일한 단열재로 만들어진 벽을 이용하여 보일러의 열손실을 20,000 W · m^{-2}으로 유지하고자 한다. 단열재 벽의 내부와 외부 온도가 각각 500 ℃와 100 ℃일 때, 단열재 벽의 두께[m]는? (단, 단열재 벽의 열전도도는 0.5 W · m^{-1} · K^{-1}이고, 정상상태 한 방향 열전도를 가정한다)

① 0.01

② 0.02

③ 0.05

④ 0.1

정답 1번

간단한 해설

정상상태에서 균일한 벽을 통한 열유속은 $q'' = k\Delta T/L$이다. 벽 양쪽의 온도차가 400 K이므로, 주어진 열유속을 유지하는 데 필요한 **벽 두께는 0.01 m**이다.

계산 과정

열전도 관계: 균일한 단열재 벽에서 정상상태 한 방향 열전도를 가정하므로 푸리에 법칙을 적용한다. 벽 두께를 L, 열전도도를 k, 벽 양쪽의 온도차를 ΔT라 하면, 열유속의 크기는 $q'' = k\Delta T/L$이다. 주어진 20,000 W · m^{-2}은 전체 열손실률이 아니라 **단위 면적당 열손실률인 열유속**이므로 벽의 면적은 필요하지 않다.

온도차: 내부 온도는 500 ℃, 외부 온도는 100 ℃이므로 온도차는 500 − 100 = 400 ℃이다. **온도차는 ℃와 K의 수치가 같으므로** $\Delta T = 400\mathrm{K}$를 사용한다.

벽 두께 계산: 열전도도는 $k = 0.5\mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$, 열유속은 $q'' = 20{,}000\mathrm{W \cdot m^{-2}}$이다. 열전도 관계를 두께에 대해 정리하면 $L = \frac{k\Delta T}{q''}$이고, 값을 대입하면 $L = \frac{0.5 \times 400}{20{,}000} = 0.01\mathrm{m}$이다.

따라서 필요한 단열재 벽의 두께는 0.01 m이며, ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 15. 정상상태에서 분자확산을 기술하는 Fick의 제1법칙에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 플럭스(flux)는 농도구배에 비례한다.
ㄴ. 확산거리와 플럭스(flux)는 비례한다.
ㄷ. 확산계수가 커지면 플럭스(flux)는 증가한다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 2번

간단한 해설

농도 차와 확산계수가 같다면 확산거리가 길어질수록 농도구배가 완만해져 플럭스의 크기는 **확산거리에 반비례**한다. 확산거리 자체가 아니라 단위 거리당 농도 변화인 농도구배가 확산을 일으키는 기준이다.

보기별 해설

플럭스는 단위 면적을 단위 시간에 통과하는 물질의 양이다. 한 방향의 분자확산에 대한 Fick의 제1법칙은 $J = -D\frac{dC}{dz}$이다. 여기서 J는 확산 플럭스, D는 확산계수, C는 농도, z는 확산 방향의 위치이다. 음의 부호는 물질이 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동함을 뜻한다.

ㄱ. O: 확산계수가 일정할 때 플럭스의 크기는 **농도구배의 크기에 비례**한다. 같은 거리에서 농도 차가 클수록 단위 거리당 농도 변화가 커져 확산이 더 활발해진다.

ㄴ. X: 확산계수가 일정하고 반응이 없는 평면층의 정상 확산에서, 양 끝의 농도 차를 같게 유지하면 플럭스의 크기는 **확산거리에 반비례**한다. 확산거리 L과 양 끝의 농도 차 ΔC에 대해 $|J| = D\frac{|\Delta C|}{L}$이므로, 거리가 길어질수록 농도구배가 완만해지고 플럭스의 크기는 감소한다.

ㄷ. O: 0이 아닌 농도구배가 같을 때 플럭스의 크기는 **확산계수에 비례**한다. 확산계수는 주어진 농도구배에서 물질이 얼마나 쉽게 확산하는지를 나타내므로, 확산계수가 클수록 플럭스의 크기도 커진다.

따라서 옳은 보기는 ㄱ, ㄷ이며, 이 조합은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 16. 내경 40 cm인 원통형 도관 내부를 비압축성 뉴튼 유체 A가 평균 유속 20 $cm \cdot s^{-1}$로 흐르고 있다. 이 흐름이 층류이고 패닝(Fanning) 마찰계수가 0.2일 때, 유체 A의 동점도[$cm^2 \cdot s^{-1}$]는?

① 0.1

② 1

③ 10

④ 100

정답 3번

간단한 해설

원형 도관의 층류에서는 **패닝 마찰계수와 레이놀즈수의 관계**가 $f = \frac{16}{Re}$이므로 레이놀즈수는 80이다. 이를 평균 유속과 내경으로 정의한 레이놀즈수 식에 대입하면 동점도는 10 $cm^2 \cdot s^{-1}$이다.

계산 과정

조건 정리: 도관의 내경은 D = 40 cm, 평균 유속은 u = 20 $cm \cdot s^{-1}$, 패닝 마찰계수는 f = 0.2이다. 구하려는 동점도를 ν라 하며, 동점도는 유체의 점도를 밀도로 나눈 값이다. 길이를 모두 cm로 주었으므로 단위를 바꾸지 않고 계산하면 결과가 $cm^2 \cdot s^{-1}$로 나온다.

레이놀즈수 계산: 뉴튼 유체가 원형 도관에서 충분히 발달한 층류로 흐를 때 패닝 마찰계수는 $f = \frac{16}{Re}$이다. 문제에서 **층류와 패닝 마찰계수**를 주었으므로 이 관계를 적용한다. 따라서 $Re = \frac{16}{f} = \frac{16}{0.2} = 80$이다. 이 값은 관성력과 점성력의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다.

동점도 계산: 도관 흐름의 레이놀즈수는 **평균 유속과 내경을 기준**으로 $Re = \frac{uD}{\nu}$로 정의한다. 이를 동점도에 대해 정리하면 $\nu = \frac{uD}{Re}$이다.
수치를 대입하면 $\nu = \frac{20 \cdot 40}{80} = 10\ cm^2 \cdot s^{-1}$이다. 따라서 동점도는 10 $cm^2 \cdot s^{-1}$이며, ③의 10과 일치한다.

NoteBase

문 17. 비압축성 뉴튼 유체 A가 중심 유속이 4 $m \cdot s^{-1}$인 정상상태의 완전발달흐름으로 단면적 1m^2인 원통형 도관 내부를 층류로 흐를 때, 유체 A의 부피 유속[$m^3 \cdot s^{-1}$]은?

① 0.5

② 2

③ 4

④ 6

정답 2번

간단한 해설

원형 도관에서 뉴튼 유체가 완전발달 층류로 흐르면 **단면 평균 유속은 중심 유속의 절반**이다. 평균 유속은 2 $m \cdot s^{-1}$이므로, 단면적 1 m^2를 곱한 부피 유속은 2 $m^3 \cdot s^{-1}$이다.

계산 과정

1. 유속 분포: 비압축성 뉴튼 유체가 원형 도관에서 정상상태의 완전발달 층류로 흐르므로, 유속은 벽에서 0이고 중심에서 최대인 **포물선 분포**를 이룬다. 도관 반지름을 R, 중심에서의 거리를 r, 중심 유속을 u_{max}라 하면 $u(r) = u_{max}\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$이다. 주어진 중심 유속은 $u_{max} = 4 m \cdot s^{-1}$이다.

2. 단면 평균 유속: 부피 유속을 구할 때는 중심 유속이 아니라 **단면 전체의 평균 유속**을 사용한다. 위의 포물선 유속 분포를 단면적에 대해 평균하면 $\bar{u} = \frac{u_{max}}{2}$이므로, $\bar{u} = \frac{4}{2} = 2 m \cdot s^{-1}$이다. 이는 단면 전체를 같은 유속으로 통과한다고 보았을 때 실제와 같은 유량을 만드는 유속이다.

3. 부피 유속: 단위 시간에 도관 단면을 통과하는 부피는 단면적과 평균 유속의 곱이므로 $Q = A\bar{u}$이다. 단면적 A = 1 m^2를 대입하면 Q = 1 × 2 = 2 $m^3 \cdot s^{-1}$이다.

계산한 부피 유속 2 $m^3 \cdot s^{-1}$은 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 18. 다공성 촉매를 이용한 불균일계 촉매반응에서의 물질전달에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 벌크(bulk) 유체의 속도가 충분히 빠르면 벌크 유체로부터 촉매 표면으로의 외부 물질전달 단계가 반응의 속도결정단계이다.

② 촉매 입자의 크기가 작을수록 경계층의 두께가 줄어들어 외부 물질전달 저항이 줄어든다.

③ 벌크 유체의 속도는 촉매 입자 내부에서의 물질 확산에 영향을 주지 않는다.

④ 기공의 크기가 기체 분자의 평균자유경로보다 작으면 다공성 촉매 기공 내부에서의 기체 확산은 Knudsen 확산으로 설명할 수 있다.

정답 1번

간단한 해설

벌크 유체의 속도가 충분히 빠르면 촉매 표면의 경계층이 얇아져 **외부 물질전달 저항이 감소**한다. 따라서 외부 물질전달이 속도결정단계가 된다는 설명은 반대이며, 이때는 내부 확산이나 표면반응이 전체 속도를 제한할 수 있다.

선지별 해설

① X: 속도결정단계는 전체 반응의 진행을 가장 크게 제한하는 단계이다. 벌크 유체의 속도가 증가하면 촉매 표면 주위의 경계층이 얇아지고 외부 물질전달이 빨라진다. 유속이 충분히 크면 벌크와 촉매 외부 표면 사이의 농도 차이가 작아져 **외부 물질전달은 속도결정단계에서 벗어난다**. 외부 물질전달이 전체 속도를 제한하기 쉬운 것은 유속이 낮아 외부 전달저항이 큰 경우이며, 유속이 충분히 커진 뒤에는 내부 확산이나 표면반응이 속도를 제한할 수 있다.

② O: 다른 조건이 같을 때 촉매 입자의 크기가 작아지면 입자 주위의 물질전달 경계층이 얇아진다. 반응물이 통과해야 하는 외부 확산 거리가 짧아져 **외부 물질전달계수는 커지고 전달저항은 작아진다**. 이는 입자 내부 기공에서의 확산 거리와 구별되는, 입자 외부 경계층의 효과이다.

③ O: 벌크 유속은 입자 외부의 유동과 경계층에 영향을 주지만, 기공 내부의 물질 이동은 주로 농도 차이에 따른 확산으로 이루어진다. 내부 확산은 온도, 분자의 성질, 기공의 크기와 구조 등에 좌우되므로, 다른 조건이 같으면 **벌크 유속 증가로 내부 확산저항이 직접 감소하지는 않는다**.

④ O: 평균자유경로는 기체 분자가 다른 분자와 충돌하기 전까지 이동하는 평균 거리이다. 기공의 크기가 이 거리보다 작으면 분자는 다른 분자와 부딪히기 전에 기공 벽에 부딪히기 쉽다. 이처럼 **분자와 기공 벽의 충돌이 지배적인 확산**을 Knudsen 확산이라고 한다.

NoteBase

문 19. 1 atm의 압력하에서 성분 A와 성분 B로 구성된 혼합물이 기-액 상평형을 이루고 있다. 액상에서 B의 몰분율이 0.2이고 기상에서 B의 부분압이 0.6 atm일 때, A에 대한 B의 상대 휘발도는? (단, 기상은 이상기체이고, 액상은 이상용액이다)

① 6

② 8

③ 10

④ 12

정답 1번

간단한 해설

각 성분의 기상 몰분율을 액상 몰분율로 나눈 값은 B가 3, A가 0.5이다. **A에 대한 B의 상대 휘발도**는 두 값의 비인 $\frac{3}{0.5} = 6$이며, 단위가 없다.

계산 과정

상대 휘발도는 두 성분이 액상에 비해 기상에 얼마나 잘 분포하는지를 비교하는 값이다. 액상 몰분율을 x_i, 기상 몰분율을 y_i라 하면, 각 성분의 기액 평형비는 $K_i = \frac{y_i}{x_i}$이다. **A를 기준으로 B를 비교**하므로 $\alpha_{B/A} = \frac{K_B}{K_A}$를 구한다.

기상 몰분율: 기상이 이상기체이므로 부분압은 $p_i = y_i P$이다. 전체 압력이 1 atm이고 B의 부분압이 0.6 atm이므로 $y_B = \frac{0.6}{1} = 0.6$이다. 기상은 A와 B로만 구성되어 있으므로 $y_A = 1 - 0.6 = 0.4$이다.

액상 몰분율: 주어진 B의 몰분율은 $x_B = 0.2$이다. 액상도 A와 B로만 구성되어 있으므로 $x_A = 1 - 0.2 = 0.8$이다.

상대 휘발도 계산: $K_B = \frac{0.6}{0.2} = 3$, $K_A = \frac{0.4}{0.8} = 0.5$이다. 이는 B의 기상 몰분율이 액상 몰분율의 3배이고, A는 0.5배라는 뜻이다. 따라서 $\alpha_{B/A} = \frac{3}{0.5} = 6$이다. 상대 휘발도는 몰분율 비의 비이므로 무차원이며, 계산값 6은 ①과 일치한다.

NoteBase

문 20. 내경 0.1 m인 원통형 도관을 이용하여 유체 A를 4 cm·s^{-1}의 평균 유속으로 100 m 이송할 때 발생하는 압력손실[Pa]은? (단, 유체 A의 밀도와 점도는 각각 0.8 g·cm^{-3}, 0.1 Pa·s이고, 유체의 흐름은 Hagen-Poiseuille 식을 만족한다)

① 1,080

② 1,280

③ 1,480

④ 1,680

정답 2번

간단한 해설

Hagen-Poiseuille 식에 따르면 압력손실은 $\Delta P = \frac{32\mu L v}{D^2}$이다. 평균 유속을 **0.04 m/s로 환산**하여 대입하면, 100 m 구간의 압력손실은 1,280 Pa이다.

계산 과정

주어진 값: 내경 D = 0.1 m, 관 길이 L = 100 m, 점도 μ = 0.1 Pa·s이다. 평균 유속은 **4 cm/s = 0.04 m/s**로 환산한다. 밀도는 0.8 g/cm^3 = 800 kg/m^{3}이다.

적용 관계: 문제에서 Hagen-Poiseuille 식을 만족한다고 주었으므로, 원형 도관의 층류에서 점성 저항에 따른 압력손실을 구한다. 평균 유속 v와 내경 D를 사용하면 $\frac{\Delta P}{L} = \frac{32\mu v}{D^2}$이다. 여기서 ΔP는 길이 L에 걸친 압력손실이며, 이 식에는 밀도가 직접 들어가지 않는다.

단위 길이당 압력손실: $\frac{\Delta P}{L} = \frac{32 \times 0.1 \times 0.04}{(0.1)^2}$을 계산하면 12.8 Pa/m이다. 이는 **관 1 m마다 압력이 12.8 Pa씩 감소**한다는 뜻이다.

전체 압력손실: 길이가 100 m이므로 ΔP = 12.8 × 100 = 1,280 Pa이다. 이 값은 ②의 1,280에 해당한다.

NoteBase