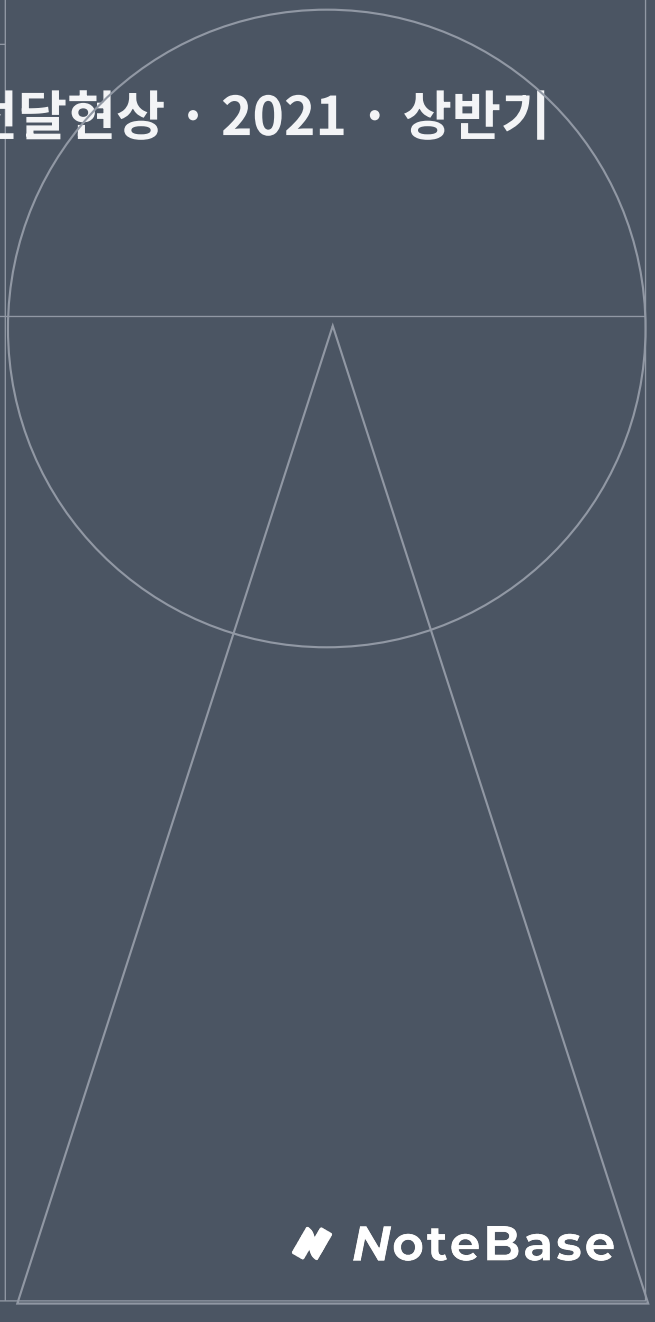
기출OX 해설집

공무원/해경/일반직 7급 · 전달현상 · 2021 · 상반기



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/해경/일반직 7급 · 전달현상 · 2021 · 상반기

공무원/해경/일반직 7급 · 전달현상 · 2021 · 상반기

문 1. 전열면적이 1 m^2인 나무의 평균 열전도도가 100°C에서 0.06 W/m·°C이다. 이 나무의 두께가 100 mm일 때 100°C에서 열저항(Thermal Resistance)은 약 몇 °C/W 인가?

① 0.83

② 1.67

③ 2.52

④ 4.24

정답 2번

출제 포인트

평판을 통한 정상상태 1차원 열전도에서 열저항 공식 $R = L/(kA)$을 적용하고, 두께의 단위를 mm에서 m로 바꾸어 열저항을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전열면적 $A = 1m^2$, 평균 열전도도 $k = 0.06W/(m \cdot {}^\circ C)$, 두께 $L = 100mm = 0.1m$이다.
구해야 할 값: 나무의 전도 열저항 R이다.
주의할 조건: 열전도도의 길이 단위가 m이므로 두께도 반드시 m로 환산한다.

사용할 공식

평판의 전도 열저항은
$R = \frac{L}{kA}$
이다. 두께가 L이고 전열면적과 열전도도가 각각 A, k인 평판을 통한 정상 열전도이므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

1. 두께를 환산하면 $100mm = 0.1m$이다.
2. 주어진 값을 공식에 대입하면
$R = \frac{0.1}{0.06 \times 1} = 1.666\ldots\,{}^\circ C/W$
이다.
3. 선지의 자릿수에 맞추어 반올림하면 약 $1.67\,{}^\circ C/W$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 0.83은 계산값 $1.67\,^\circ C/W$과 다르다. 틀린 값 0.83은 올바르게는 1.67이다.
② O — $R = 0.1/(0.06 \times 1) = 1.666\ldots\,^\circ C/W$이므로 약 1.67이 맞다.
③ X — 2.52는 계산값 $1.67\,^\circ C/W$과 다르다. 틀린 값 2.52는 올바르게는 1.67이다.
④ X — 4.24는 계산값 $1.67\,^\circ C/W$과 다르다. 틀린 값 4.24는 올바르게는 1.67이다.

오답 포인트

두께 100을 그대로 공식에 대입하면 mm와 m가 섞인다. 먼저 $100mm = 0.1m$로 바꾼 뒤, 열저항은 열전도도와 면적에 반비례하므로 kA/L가 아니라 $L/(kA)$로 계산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

평판 전도 열저항 문제에서는 두께·열전도도·면적의 단위를 먼저 통일하고, $R = L/(kA)$에 대입한 뒤 결과 단위가 $^\circ C/W$인지 확인한다.

암기 포인트

전도 열저항은 두께가 클수록 커지고, 열전도도와 전열면적이 클수록 작아진다: $R = L/(kA)$.

NoteBase

문 2. 유체 속에 잠겨있는 금속구 주위에서 강제대류 열전달이 일어날 때의 열전달 상관식은 $Nu = C \cdot Re^{1/2} Pr^{1/3}$이고, 대류열전달계수는 h_1이다. 다른 조건들은 동일하게 하고, 금속구의 직경을 4배로 할 경우 대류열전달계수(h_2)는? (단, C는 상수, Nu는 Nusselt 수, Re는 Reynolds 수, Pr은 Prandtl 수이다.)

① $2h_1$

② h_1

③ $\frac{1}{2}h_1$

④ $\frac{1}{\sqrt{2}}h_1$

정답 3번

출제 포인트

Nusselt 수와 Reynolds 수의 정의를 열전달 상관식에 대입하여 구의 직경 변화에 따른 대류열전달계수의 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

직경은 $D_2 = 4D_1$로 변한다. 다른 조건이 같으므로 유체의 열전도도 k, 밀도 ρ, 속도 V, 점도 μ, Prandtl 수 Pr는 일정하다. 구해야 할 값은 h_2와 h_1의 비이다.

사용할 공식

$Nu = \frac{hD}{k} = CRe^{1/2}Pr^{1/3}, \qquad Re = \frac{\rho VD}{\mu}$

다른 조건이 같으면 $Re \propto D$이고 Pr는 일정하므로 이 관계로 직경에 따른 h의 비를 구할 수 있다.

계산 과정

$\frac{hD}{k} \propto D^{1/2}$

$h \propto D^{-1/2}$

따라서

$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{-1/2} = 4^{-1/2} = \frac{1}{2}$

이므로 $h_2 = \frac{1}{2}h_1$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — $2h_1$은 h가 $D^{1/2}$에 비례한다고 잘못 판단한 값이다. 올바르게는 Nusselt 수 정의의 D까지 반영하여 $h_2 = \frac{1}{2}h_1$이다.
② X — h_1은 직경 변화가 열전달계수에 영향을 주지 않는다고 본 값이다. 올바르게는 $h \propto D^{-1/2}$이므로 직경이 4배가 되면 h는 절반이 된다.
③ O — 계산 결과 $h_2 = \frac{1}{2}h_1$이므로 옳다.
④ X — $\frac{1}{\sqrt{2}}h_1$은 직경이 2배일 때의 값이다. 직경은 4배이므로 올바르게는 $h_2 = \frac{1}{2}h_1$이다.

오답 포인트

상관식의 $Nu \propto Re^{1/2}$만 보고 $h \propto D^{1/2}$로 판단하면 ①을 고르게 된다. 그러나 $Nu = hD/k$에도 직경 D가 포함되므로 이를 함께 정리해야 한다. 또한 ④는 직경의 4배 변화를 2배 변화로 처리할 때 나오는 값이다.

다시 나오면 이렇게 판단

크기 변화 문제에서는 먼저 $Nu = hD/k$와 $Re = \rho VD/\mu$를 모두 직경 D의 함수로 바꾼 뒤, 양변의 직경 지수를 비교하여 h의 비를 구한다.

암기 포인트

이 상관식과 동일 조건에서는 $Nu \propto D^{1/2}$, $h \propto D^{-1/2}$이다. 직경 4배는 열전달계수 $\frac{1}{2}$배이다.

NoteBase

문 3. 건물 벽의 두께가 10 cm이고, 겨울철 바깥 표면의 온도가 0°C일 때, 안쪽 표면의 온도를 30°C로 유지하면 벽을 통한 단위 면적당 열전달량은? (단, 건물 벽의 열전도도는 0.01 kcal/m·hr·°C이다.)

① 0.005 kcal/$m^2 \cdot$ min

② 0.05 kcal/$m^2 \cdot$ min

③ 0.5 kcal/$m^2 \cdot$ min

④ 5 kcal/$m^2 \cdot$ min

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평면 벽을 통한 정상상태 1차원 열전도식을 적용하고, 시간 단위를 시간에서 분으로 환산하여 단위 면적당 열전달량을 구하는 문제이다.

조건 정리

벽 두께: $L = 10cm = 0.10m$

열전도도: $k = 0.01\text{kcal/(m} \cdot \text{hr} \cdot {}^\circ\text{C)}$

온도차: $\Delta T = 30 - 0 = 30\,^\circ\text{C}$

구해야 할 값: 분당 단위 면적당 열전달량 q''의 크기

사용할 공식

평면 벽의 정상상태 열전도에서 단위 면적당 열전달량의 크기는

$q'' = k\frac{\Delta T}{L}$

이다. 벽의 두 표면 온도와 두께 및 열전도도가 주어졌으므로 이 식을 사용한다.

계산 과정

먼저 시간당 열전달량을 계산한다.

$q'' = 0.01 \times \frac{30}{0.10} = 3\text{kcal/(m}^2 \cdot \text{hr)}$

문제의 선지는 분당 단위이므로 1시간이 60분임을 이용한다.

$3 \div 60 = 0.05\text{kcal/(m}^2 \cdot \text{min)}$

따라서 단위 면적당 열전달량의 크기는 $0.05\text{kcal/(m}^2 \cdot \text{min)}$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 0.005kcal/($m^2 \cdot min$)는 계산값의 10분의 1이다. 올바르게는 0.05kcal/($m^2 \cdot min$)이다.
② O — 전도식으로 얻은 3kcal/($m^2 \cdot hr$)를 60으로 나누면 0.05kcal/($m^2 \cdot min$)가 된다.
③ X — 0.5kcal/($m^2 \cdot min$)는 계산값의 10배이다. 올바르게는 0.05kcal/($m^2 \cdot min$)이다.
④ X — 5kcal/($m^2 \cdot min$)는 계산값의 100배이다. 올바르게는 0.05kcal/($m^2 \cdot min$)이다.

오답 포인트

벽 두께 10cm를 0.10m로 바꾸지 않거나, 시간당 값을 분당 값으로 바꿀 때 60으로 나누지 않으면 자릿수가 달라진다. 특히 열전도도의 시간 단위는 hr인데 선지의 시간 단위는 min이라는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면 벽의 전도 문제에서는 두께와 온도차를 먼저 같은 단위계로 정리하고, $q'' = k\Delta T/L$을 적용한 뒤 열전도도와 선지의 시간 단위가 같은지 검산한다.

암기 포인트

벽체 전도는 '열전도도 × 온도차 ÷ 두께'이며, 시간당 값을 분당 값으로 바꿀 때는 60으로 나눈다.

NoteBase

문 4. 다음 중 열전도도에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 일반적인 열전도도의 크기는 액체 > 고체 > 기체 순서이다.

② Fourier의 법칙에서 비례상수 k는 열전도도이며, 온도의 함수이다.

③ 일반적으로 기체의 열전도도는 온도 상승에 따라 증가한다.

④ 이상기체의 열전도도는 평균 분자속도에 비례한다.

정답 1번

출제 포인트

물질의 상태와 온도에 따른 열전도도의 일반적 크기 관계, 그리고 Fourier 법칙과 기체 분자운동론에서 열전도도가 갖는 의미를 묻는 문제이다.

핵심 개념

열전도도 k는 물질 내부에서 온도 차이에 의해 열이 얼마나 잘 전달되는지를 나타내는 물성치이다. Fourier의 법칙은 $\mathbf{q} = -k\nabla T$로 나타내며, 음의 부호는 열이 온도가 낮아지는 방향으로 흐른다는 뜻이다. 일반적인 열전도도의 크기는 고체 > 액체 > 기체 순이며, 기체에서는 분자의 운동이 활발해질수록 에너지 전달도 증가한다.

선지별 해설

① X — '액체 > 고체 > 기체'라는 순서가 틀렸다. 일반적으로 고체는 입자 간 결합과 에너지 전달이 활발하여 열전도도가 가장 크므로, 올바른 순서는 고체 > 액체 > 기체이다.
② O — Fourier의 법칙에서 k는 열전도도이다. 열전도도는 물질의 종류와 상태에 따라 정해지는 물성치이며 온도에 따라 달라질 수 있으므로 온도의 함수로 취급한다.
③ O — 일반적으로 기체는 온도가 상승하면 분자의 평균 운동속도가 커지고 분자에 의한 에너지 전달이 활발해져 열전도도가 증가한다.
④ O — 이상기체의 열전도는 분자들이 이동하며 에너지를 운반하는 현상이다. 기체분자운동론에서 다른 분자 특성이 일정할 때 열전도도는 평균 분자속도에 비례한다.

오답 포인트

①은 액체의 대류에 의한 열전달이 활발하다는 사실을 열전도도 자체가 크다는 뜻으로 혼동하게 만든다. 열전도도는 유체의 벌크 운동인 대류를 제외한 전도 능력이므로, 일반적인 상태별 순서는 고체 > 액체 > 기체이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 물질 상태별 일반적 열전도도 순서를 고체 > 액체 > 기체로 판별한다. 이어서 기체의 온도가 높아지면 분자 운동과 에너지 운반이 활발해져 열전도도가 증가한다는 관계를 적용한다.

NoteBase

암기 포인트

열전도도는 고체 > 액체 > 기체, 기체는 온도 상승 → 분자속도 상승 → 열전도도 상승이다.

NoteBase

문 5. 다음 중 펌프에서 일어나는 공동화 현상(Cavitation)을 피하기 위해 할 수 있는 가장 옳은 것은?

① 저장조에서 펌프로 유체를 보내는 파이프의 직경을 크게 한다.

② 펌프 전단에 있는 저장조를 더 낮은 곳에 설치한다.

③ 펌프의 임펠러 속도를 증가시킨다.

④ 유체의 온도를 높인다.

정답 1번

출제 포인트

공동화를 피하려면 펌프 흡입부의 압력이 유체의 증기압 아래로 내려가지 않도록 유효흡입수두를 충분히 확보해야 한다.

핵심 개념

공동화는 펌프 내부의 국부 압력이 유체의 증기압보다 낮아져 기포가 생기고, 이 기포가 고압부에서 붕괴하는 현상이다. 흡입관의 마찰손실을 줄이고 펌프 입구의 정압을 높이며 유체의 증기압을 낮추면 공동화 방지에 유리하다.

선지별 해설

① O — 같은 유량에서 흡입 파이프의 직경을 크게 하면 유속과 마찰손실이 감소한다. 그 결과 펌프 입구 압력과 유효흡입수두가 커져 공동화 가능성이 낮아진다.
② X — 틀린 표현은 '저장조를 더 낮은 곳에 설치한다'이다. 저장조를 낮추면 펌프 입구까지의 정수두가 감소하여 흡입압력이 낮아지고 공동화가 더 쉽게 발생한다. 올바르게는 저장조의 액면을 펌프보다 높게 설치하거나 펌프를 더 낮게 설치하여 흡입 정수두를 키워야 한다.
③ X — 틀린 표현은 '임펠러 속도를 증가시킨다'이다. 회전속도를 높이면 펌프가 요구하는 흡입수두가 커지고 임펠러 입구의 압력 저하가 심해져 공동화 위험이 증가한다. 올바르게는 운전 조건이 허용하는 범위에서 임펠러 회전속도를 낮춰야 한다.
④ X — 틀린 표현은 '유체의 온도를 높인다'이다. 온도가 높아지면 유체의 증기압이 상승하여 같은 흡입압력에서도 기화가 더 쉽게 일어난다. 올바르게는 유체의 온도를 낮춰 증기압을 낮춰야 한다.

오답 포인트

②의 저장조 높이, ③의 임펠러 속도, ④의 유체 온도는 모두 높고 낮음의 방향을 반대로 제시한 함정이다. 공동화 방지에는 흡입압력은 높게, 흡입관 손실·회전속도·유체 증기압은 낮게 하는 방향이 유리하다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

각 조치가 펌프 입구의 가용 압력을 높이는지, 압력손실이나 유체의 증기압을 낮추는지를 판단한다. 흡입압력의 여유가 커지는 조치는 공동화를 줄이고, 그 여유가 작아지는 조치는 공동화를 촉진한다.

암기 포인트

공동화 방지의 방향은 ‘흡입관은 굵게, 저장조 액면은 높게, 회전속도와 유체 온도는 낮게’이다.

NoteBase

문 6. 다음 중 정류(Rectification)공정에서 환류비가 커지면 일어나는 현상으로 가장 옳지 않은 것은?

① 제품의 순도가 높아진다.

② 정류탑의 단수가 작아진다.

③ 가열과 냉각에 따른 비용이 증가한다.

④ 제품의 생산량이 증가한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 정류탑의 환류비가 커질 때 분리 성능, 필요 단수, 에너지 비용, 제품 생산량이 어떻게 변하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

환류비는 탑정에서 응축된 액체 중 탑으로 되돌려 보내는 환류량 L과 제품으로 빼내는 유출액량 D의 비 $R = L/D$이다. 환류비가 커지면 탑 안의 액체와 증기의 접촉 및 분리가 좋아져 제품 순도는 높아지고, 같은 순도를 얻는 데 필요한 이론단수는 줄어든다. 반면 내부 순환량과 재비기·응축기의 열부하가 커져 가열·냉각 비용은 증가하며, 제품으로 회수하는 양이 증가하는 것은 아니다.

선지별 해설

① O — 환류량이 늘면 기액 접촉과 재분리가 강화되므로 탑정 제품의 순도가 높아진다.

② O — 같은 제품 순도를 기준으로 하면 환류비가 클수록 각 단에서 분리가 유리해져 필요한 이론단수가 작아진다. 전환류에서는 필요한 단수가 최소가 된다.

③ O — 환류비가 커지면 탑 내부의 액체·증기 순환량이 늘어 재비기 가열부하와 응축기 냉각부하가 커지므로 비용이 증가한다.

④ X — 틀린 표현은 '제품의 생산량이 증가한다'이다. 환류비를 높이면 응축액 중 탑으로 되돌아가는 몫이 커지므로 제품 인출량이 증가하지 않는다. 처리 용량과 열부하가 제한된 실제 운전에서는 제품 생산량이 오히려 감소할 수 있다.

오답 포인트

환류비 증가가 분리 성능을 높인다는 사실을 생산량 증가로 확대 해석하기 쉽다. 환류는 제품으로 내보내는 흐름이 아니라 탑 안으로 되돌리는 흐름이므로, 순도 향상과 생산량 증가는 같은 의미가 아니다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

환류비가 커지면 '분리 성능 향상 → 순도 증가·필요 단수 감소'와 '내부 순환 증가 → 가열·냉각 비용 증가'를 먼저 연결한다. 제품으로 빼낼 응축액을 더 많이 되돌리므로 생산량 증가라는 표현은 옳지 않다고 판단한다.

암기 포인트

환류비 증가: 순도는 올라가고, 필요 단수는 내려가며, 에너지 비용은 올라가고, 생산량은 늘지 않는다.

NoteBase

문 7. 수직으로 놓인 지름 1 m의 원통형 탱크에 높이 2 m까지 물이 채워져 있다. 탱크 바닥에 내경 5 cm의 관을 연결하여 1 m/s의 일정한 관내 평균유속으로 물을 배출한다면, 탱크의 물이 모두 배출 되는데 걸리는 시간으로 가장 맞는 것은?

① 500초

② 600초

③ 700초

④ 800초

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 원통형 탱크의 물 체적과 관의 체적유량을 구한 뒤, 배출 시간 $t = V/Q$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

탱크 지름: $D = 1m$
물 높이: $H = 2m$
관 내경: $d = 5cm = 0.05m$
관내 평균유속: $v = 1m/s$
구해야 할 값: 탱크의 물이 모두 배출되는 시간 t
주의할 조건: 평균유속이 일정하므로 관의 체적유량도 일정하며, 탱크와 관의 지름은 반드시 같은 단위로 환산한다.

사용할 공식

탱크에 저장된 물의 체적은
$V = \frac{\pi D^2}{4} H$
이고, 관을 통과하는 체적유량은
$Q = A_p v = \frac{\pi d^2}{4} v$
이다. 일정한 유량으로 전체 체적을 배출하므로
$t = \frac{V}{Q}$
를 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 탱크의 물 체적을 구한다.
$V = \frac{\pi(1)^2}{4}(2) = \frac{\pi}{2} m^3$
2. 관의 단면적과 체적유량을 구한다.
$A_p = \frac{\pi(0.05)^2}{4} = \frac{\pi}{1600} m^2$
$Q = A_p v = \frac{\pi}{1600}(1) = \frac{\pi}{1600} m^3/s$
3. 배출 시간을 구한다.
$t = \frac{V}{Q} = \frac{\pi/2}{\pi/1600} = 800 s$
따라서 물이 모두 배출되는 데 걸리는 시간은 800초이다.

선지 판단

① X — 500초는 계산값 800초와 일치하지 않는다. 올바르게는 800초이다.
② X — 600초는 계산값 800초와 일치하지 않는다. 올바르게는 800초이다.
③ X — 700초는 계산값 800초와 일치하지 않는다. 올바르게는 800초이다.
④ O — 탱크 체적을 관의 일정한 체적유량으로 나누면 800초가 된다.

오답 포인트

관 내경 5 cm를 $0.05m$로 바꾸지 않거나, 지름을 그대로 단면적으로 사용하면 유량이 틀어진다. 탱크와 관의 단면적은 모두 지름의 제곱에 비례하므로 $A = \pi d^2/4$를 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

저장된 유체의 배출 시간은 '저장 체적 계산 → 배출구 체적유량 계산 → $t = V/Q$ 적용 → 단위 검산'의 순서로 판단한다.

암기 포인트

일정 유량 배출에서는 '시간 = 체적 ÷ 체적유량', 즉 $t = V/Q$이다.

NoteBase

문 8. 복사능이 0.4이고 온도가 400 K인 '표면A'와 비교할 때 복사능이 0.8이고 온도가 800 K인 '표면B'의 총 복사에너지는 '표면A'의 총 복사에너지에 대해 몇 배인가?

① 6

② 12

③ 24

④ 32

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 표면의 총 복사에너지가 복사능에 비례하고 절대온도의 4제곱에 비례한다는 슈테판－볼츠만 법칙을 이용해 두 표면의 복사에너지 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

표면A: 복사능 $\varepsilon_A = 0.4$, 절대온도 $T_A = 400K$
표면B: 복사능 $\varepsilon_B = 0.8$, 절대온도 $T_B = 800K$
구해야 할 값은 E_B/E_A이다. 두 온도 모두 절대온도이므로 별도의 온도 변환은 필요하지 않다.

사용할 공식

표면의 단위면적당 총 복사에너지는 $E = \varepsilon\sigma T^4$이다. 따라서 두 표면의 비를 구하면 공통인 슈테판－볼츠만 상수 σ가 약분되어 $E_B/E_A = (\varepsilon_B/\varepsilon_A)(T_B/T_A)^4$가 된다.

계산 과정

$\frac{E_B}{E_A} = \frac{0.8}{0.4}\left(\frac{800}{400}\right)^4 = 2 \times 2^4 = 2 \times 16 = 32$
따라서 표면B의 총 복사에너지는 표면A의 32배이다.

선지 판단

① X — 6배가 아니라 32배이다. 복사능비 2와 절대온도비의 4제곱 16을 곱해야 한다. 틀린 표현 '6'은 '32'로 고쳐야 한다.
② X — 12배가 아니라 32배이다. 온도비 2를 단순한 배수처럼 처리하면 안 되고 반드시 4제곱해야 한다. 틀린 표현 '12'는 '32'로 고쳐야 한다.
③ X — 24배가 아니라 32배이다. 정확한 비는 $2 \times 2^4 = 32$이다. 틀린 표현 '24'는 '32'로 고쳐야 한다.
④ O — 복사능비가 2이고 절대온도비가 2이므로 총 복사에너지비는 $2 \times 2^4 = 32$이다.

NoteBase

오답 포인트

핵심 함정은 온도가 2배일 때 복사에너지도 2배가 된다고 보는 것이다. 복사능은 1차로 반영되지만 절대온도는 4제곱으로 반영되므로, 복사능 증가 효과 2배와 온도 증가 효과 16배를 모두 곱해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

두 표면의 복사에너지를 비교할 때는 먼저 $E = \varepsilon \sigma T^4$를 비의 형태로 만들고, 복사능비와 절대온도비의 4제곱을 각각 계산한 뒤 곱한다.

암기 포인트

복사에너지는 '복사능에는 1제곱, 절대온도에는 4제곱'으로 비례한다.

NoteBase

문 9. 다음 설명 중 가장 옳은 것은?

① 기체 충전탑의 액체 유량을 줄이면 편류(Channeling)는 감소한다.

② 기체 흐름에 의해 액체의 체류량이 증가하기 시작하는 기체속도를 범람속도라 한다.

③ 기체 충전탑에서 조작선의 평균 기울기는 액상과 기상의 몰유량(Molar flow rate) 비이다.

④ 기체의 확산계수는 절대압력이 클수록 증가한다.

정답 3번

출제 포인트

충전탑의 편류·부하·범람과 조작선의 기울기, 기체 확산계수의 압력 의존성을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

편류는 액체가 충전물 전체를 고르게 적시지 못하고 일부 통로로 치우쳐 흐르는 현상이다. 낮은 액체 유량은 젖음과 분포를 나쁘게 하여 편류를 증가시킬 수 있다.
부하는 기체 흐름이 하강 액체를 방해하여 액체 체류량이 증가하기 시작하는 상태이고, 범람은 기체속도가 더 커져 액체의 정상적인 하강이 어려워지는 상태이다.
충전 흡수탑의 조작선은 물질수지로 정해지며, 몰비 기준 평균 기울기는 액상 몰유량과 기상 몰유량의 비인 L/V 이다.
일정한 온도에서 기체의 이성분 확산계수는 압력에 대체로 반비례하여 $D_{AB} \propto 1/P$의 관계를 보인다.

NoteBase

선지별 해설

① X
틀린 표현은 '액체 유량을 줄이면 편류는 감소한다'이다. 액체 유량이 너무 작아지면 충전물의 젖음과 액체 분포가 불량해지므로 편류는 오히려 증가하기 쉽다. 올바르게는 '액체 유량을 줄이면 편류가 증가할 수 있다'이다.

② X
틀린 표현은 '범람속도'이다. 기체 흐름의 방해로 액체 체류량이 증가하기 시작하는 기체속도는 부하속도이다. 범람속도는 그보다 높은 속도에서 액체가 탑 안에 급격히 축적되어 정상적인 향류 조작이 어려워지는 속도이다.

③ O
충전탑의 미소 구간에 물질수지를 적용하면 조작선의 평균 기울기는 액상 몰유량과 기상 몰유량의 비인 L/V로 나타난다. 따라서 옳은 설명이다.

④ X
틀린 표현은 '절대압력이 클수록 증가한다'이다. 일정한 온도에서 기체 확산계수는 절대압력에 대체로 반비례하므로 압력이 커질수록 감소한다. 올바르게는 '기체의 확산계수는 절대압력이 클수록 감소한다'이다.

오답 포인트

②는 액체 체류량이 증가하기 '시작'하는 지점을 범람으로 바꾼 함정이다. 시작은 부하이고, 정상적인 액체 하강이 무너지는 더 높은 속도가 범람이다. ④는 기체 확산계수와 압력의 반비례 관계를 정비례처럼 뒤집었다.

다시 나오면 이렇게 판단

충전탑 문제에서는 먼저 현상의 단계와 방향을 확인한다. 낮은 액체 유량은 젖음 불량과 편류를 키우고, 체류량 증가의 시작은 부하, 조작 불능에 가까운 상태는 범람이다. 조작선 기울기는 액상 유량을 기상 유량으로 나눈 값이며, 기체 확산계수는 압력이 커지면 작아진다.

암기 포인트

저액량은 편류 증가, 체류량 증가 시작은 부하, 조작선 기울기는 L/V, 기체 확산계수는 압력에 반비례한다.

NoteBase

문 10. 면적이 1m^2, 두께 3 mm, 열전도도 $k = 0.6\text{W/(m}\cdot\text{K)}$인 유리창이 있다. 이 유리창 내부에서의 열전달계수 $h_i = 2\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$, 외부에서의 열전달계수 $h_0 = 2\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$이다. 창문 내부 온도가 320 K, 창문 외부 온도가 270 K일 때 창문을 통한 열손실은 대략 어느 정도인가?

① 5 W

② 50 W

③ 500 W

④ 5,000 W

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 실내 대류, 유리의 전도, 실외 대류가 직렬로 이어질 때의 총 열저항을 이용해 열손실률을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 면적 $A = 1\text{m}^2$, 두께 $L = 3\text{mm} = 0.003\text{m}$, 열전도도 $k = 0.6\text{W/(m}\cdot\text{K)}$, 실내·실외 열전달계수 $h_i = h_0 = 2\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$이다.
온도 차는 $\Delta T = 320 - 270 = 50\text{K}$이다.
구해야 할 값은 창문을 통과하는 정상상태 열손실률 $\dot{Q}$이다.

사용할 공식

실내 대류, 유리 전도, 실외 대류의 열저항은 직렬이므로
$R_{\text{tot}} = \frac{1}{h_i A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_0 A}$
이고, 열손실률은
$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{\text{tot}}}$
이다. 세 열전달 과정이 차례로 일어나므로 각 열저항을 합한다.

계산 과정

먼저 각 열저항을 더하면
$R_{\text{tot}} = \frac{1}{2\times 1} + \frac{0.003}{0.6\times 1} + \frac{1}{2\times 1} = 0.5 + 0.005 + 0.5 = 1.005\text{K/W}$
이다. 따라서
$\dot{Q} = \frac{50}{1.005} \simeq 49.8\text{W}$
이므로 열손실은 대략 50W이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 5W는 계산값 49.8W의 약 10분의 1이므로 틀리다. 올바르게는 약 50W이다.
② O — 49.8W를 선지의 정밀도에 맞게 나타내면 50W이다.
③ X — 500W는 계산값의 약 10배이므로 틀리다. 올바르게는 약 50W이다.
④ X — 5,000W는 계산값의 약 100배이므로 틀리다. 올바르게는 약 50W이다.

오답 포인트

유리의 전도저항만 계산하거나 열전달계수를 곧바로 열전도도와 결합하면 안 된다. 이 문항에서는 양쪽 대류저항이 각각 0.5K/W로, 유리의 전도저항 0.005K/W보다 훨씬 크다. 또한 두께 3mm는 반드시 0.003m로 변환한다.

다시 나오면 이렇게 판단

평판을 사이에 둔 대류–전도–대류 문제에서는 각 구간의 열저항을 직렬로 더한 뒤, 전체 온도 차를 총 열저항으로 나누어 열전달률을 구한다.

암기 포인트

대류–전도–대류의 총 열저항은 $1/(h_iA) + L/(kA) + 1/(h_0A)$이다.

NoteBase

문 11. 초산과 물의 혼합액에 추제 벤젠을 가하여 초산을 추출한다. 추출상의 wt%가 초산 3, 물 0.5, 벤젠 96.5이고, 추잔상은 wt%가 초산 27, 물 70, 벤젠 3일 때 초산에 대한 벤젠의 선택도는 약 얼마인가?

① 8.95

② 15.6

③ 72.5

④ 241.5

정답 2번

출제 포인트

추출상과 추잔상에서 초산과 물의 분배 정도를 비교하여 초산에 대한 벤젠의 선택도를 구하는 문제이다.

조건 정리

추출상 질량분율: 초산 3, 물 0.5
추잔상 질량분율: 초산 27, 물 70
구해야 할 값: 물에 대한 초산의 선택도
각 성분의 조성이 모두 wt%이므로 같은 단위끼리 비를 취하면 백분율의 100은 소거된다.

사용할 공식

추출상 조성을 y, 추잔상 조성을 x로 두면 초산 A에 대한 벤젠의 선택도는 다음과 같다.
$\beta = \frac{y_A/x_A}{y_W/x_W} = \frac{y_A/y_W}{x_A/x_W}$
여기서 W는 물이다. 이 식은 초산의 분배계수를 물의 분배계수로 나누어, 벤젠이 물보다 초산을 얼마나 선택적으로 추출하는지를 나타낸다.

계산 과정

초산의 분배계수는 $y_A/x_A = 3/27$이고, 물의 분배계수는 $y_W/x_W = 0.5/70$이다.
$\beta = \frac{3/27}{0.5/70} = \frac{3 \times 70}{27 \times 0.5} = 15.555\ldots \approx 15.6$
따라서 초산에 대한 벤젠의 선택도는 약 15.6이다.

선지 판단

① X — 8.95는 선택도 계산값 15.6과 일치하지 않는다. 올바른 값은 약 15.6이다.
② O — 계산 결과 15.555…를 소수 첫째 자리까지 나타내면 15.6이다.
③ X — 72.5는 선택도 계산값 15.6과 일치하지 않는다. 올바른 값은 약 15.6이다.
④ X — 241.5는 선택도 계산값 15.6과 일치하지 않는다. 올바른 값은 약 15.6이다.

NoteBase

오답 포인트

선택도를 초산의 단순한 상간 조성비 3/27로 계산하면 안 된다. 초산의 분배계수를 물의 분배계수로 다시 나누어야 하며, 추출상과 추잔상의 위치를 두 성분에 일관되게 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

선택도 문제에서는 먼저 두 성분 각각에 대해 '추출상 조성/추잔상 조성'의 분배계수를 구한 뒤, 목적 성분의 분배계수를 동반 성분의 분배계수로 나눈다.

암기 포인트

선택도는 '목적 성분의 분배계수 ÷ 동반 성분의 분배계수'이다.

NoteBase

문 12. 벤젠 30 mol%, 톨루엔 70 mol% 혼합액 100 mol/h를 증류탑에 공급하여 벤젠이 90 mol% 함유된 탑상(Top product)과 10 mol% 함유된 탑저(Bottom product)로 분리된다. 탑상 제품의 유량은?

① 20 mol/h

② 25 mol/h

③ 30 mol/h

④ 35 mol/h

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 증류탑의 전수지와 벤젠 성분수지를 연립하여 탑상 제품의 유량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 공급 유량은 $F = 100 mol/h$, 공급액의 벤젠 몰분율은 $z_F = 0.30$, 탑상 제품의 벤젠 몰분율은 $x_D = 0.90$, 탑저 제품의 벤젠 몰분율은 $x_B = 0.10$이다.
구해야 할 값: 탑상 제품 유량 D이다.
주의할 조건: 톨루엔 수지를 별도로 세우지 않아도 전수지와 벤젠 성분수지 두 식으로 D와 탑저 제품 유량 B를 구할 수 있다.

사용할 공식

전수지: $F = D + B$
벤젠 성분수지: $Fz_F = Dx_D + Bx_B$
공급물에 들어온 전체 몰유량과 벤젠 몰유량이 각각 탑상과 탑저 제품으로 나뉘므로 이 두 수지를 사용한다.

계산 과정

전수지에서 $B = 100 - D$이다. 이를 벤젠 성분수지에 대입하면 다음과 같다.
$100(0.30) = 0.90D + 0.10(100 - D)$
$30 = 0.80D + 10$
$D = 25 mol/h$
따라서 탑상 제품의 유량은 $25 mol/h$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 탑상 유량을 $20 mol/h$로 두면 탑저 유량은 $80 mol/h$이고, 제품으로 나가는 벤젠은 $0.90(20) + 0.10(80) = 26 mol/h$에 불과하여 공급 벤젠 $30 mol/h$와 일치하지 않는다. 올바른 탑상 유량은 $25 mol/h$이다.

② O — $D = 25 mol/h$, $B = 75 mol/h$일 때 벤젠 수지는 $0.90(25) + 0.10(75) = 30 mol/h$로 공급 벤젠량과 일치한다.

③ X — 탑상 유량을 $30 mol/h$로 두면 탑저 유량은 $70 mol/h$이고, 제품의 벤젠량은 $0.90(30) + 0.10(70) = 34 mol/h$가 되어 성분수지를 만족하지 않는다. 올바른 탑상 유량은 $25 mol/h$이다.

④ X — 탑상 유량을 $35 mol/h$로 두면 탑저 유량은 $65 mol/h$이고, 제품의 벤젠량은 $0.90(35) + 0.10(65) = 38 mol/h$가 되어 성분수지를 만족하지 않는다. 올바른 탑상 유량은 $25 mol/h$이다.

오답 포인트

공급액의 벤젠 유량 $30 mol/h$를 탑상 제품 유량으로 그대로 보는 것이 함정이다. 탑상 제품은 벤젠 90 mol%의 혼합물이므로 전수지와 성분수지를 함께 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

두 성분 분리 문제에서는 먼저 $F = D + B$를 세우고, 한 성분을 골라 $Fz_F = Dx_D + Bx_B$를 세운 뒤 연립한다. 마지막에는 구한 두 제품 유량의 합과 선택한 성분의 유량이 각각 보존되는지 검산한다.

암기 포인트

증류 유량 계산의 기본은 '전수지 1개 + 독립적인 성분수지 1개'이다.

NoteBase

문 13. 증류탑의 총괄효율이 60%이고, 이론단수가 18단 일 때 실제단수는 얼마인가?

① 12단

② 24단

③ 30단

④ 36단

정답 3번

출제 포인트

증류탑의 총괄효율과 이론단수로부터 실제단수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 총괄효율 60%, 이론단수 18단
구해야 할 값: 실제단수
주의할 조건: 총괄효율은 이론단수를 실제단수로 나눈 비율이므로, 실제단수는 이론단수보다 많아야 한다.

사용할 공식

총괄효율을 E_o, 이론단수를 N_t, 실제단수를 N_a라 하면
$E_o = \frac{N_t}{N_a}$
따라서
$N_a = \frac{N_t}{E_o}$
총괄효율은 실제단 가운데 이론단에 해당하는 비율을 나타내므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

1. 총괄효율 60%를 소수로 바꾸면 0.60이다.
2. 공식에 대입하면 $N_a = \frac{18}{0.60} = 30$이다.
3. 따라서 실제단수는 30단이다. 효율이 100%보다 작으므로 실제단수 30단이 이론단수 18단보다 많아 결과도 타당하다.

선지 판단

① X — 12단은 계산 결과 30단과 일치하지 않는다. 틀린 값 12단은 올바르게는 30단이다.
② X — 24단은 계산 결과 30단과 일치하지 않는다. 틀린 값 24단은 올바르게는 30단이다.
③ O — $18 \div 0.60 = 30$이므로 실제단수는 30단이다.
④ X — 36단은 계산 결과 30단과 일치하지 않는다. 틀린 값 36단은 올바르게는 30단이다.

NoteBase

오답 포인트

효율을 곱하는 것이 아니라 이론단수를 소수로 나타낸 효율로 나누어야 한다. 또한 60%를 60이 아닌 0.60으로 바꾸어 대입해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

총괄효율 문제에서는 먼저 $E_o = N_t/N_a$를 세우고, 백분율을 소수로 바꾼 뒤 $N_a = N_t/E_o$로 계산한다. 마지막으로 효율이 100%보다 작을 때 실제단수가 이론단수보다 큰지 검산한다.

암기 포인트

증류탑 총괄효율은 '이론단수 ÷ 실제단수'이며, 실제단수는 '이론단수 ÷ 효율'이다.

NoteBase

문 14. 복사에 의해 열전달이 일어나고 있는 물체의 복사 에너지 반사율이 0.4이고, 흡수율이 0.3이라면, 이 물체의 투과율은?

① 0.1

② 0.3

③ 0.7

④ 1

정답 2번

출제 포인트

복사 에너지의 반사율, 흡수율, 투과율 사이의 에너지 보존 관계를 이용해 투과율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 반사율 $\rho = 0.4$, 흡수율 $\alpha = 0.3$
구해야 할 값: 투과율 τ
주의할 조건: 입사한 복사 에너지는 반사·흡수·투과된 에너지로 나뉘므로 세 비율의 합은 1이다.

사용할 공식

$\rho + \alpha + \tau = 1$

이 공식을 쓰는 이유는 물체에 입사한 전체 복사 에너지 중 반사, 흡수, 투과되는 몫이 서로 겹치지 않으며 그 합이 전체 에너지와 같기 때문이다.

계산 과정

1. 에너지 보존식에 반사율과 흡수율을 대입한다.
$0.4 + 0.3 + \tau = 1$
2. 투과율을 정리한다.
$\tau = 1 - 0.4 - 0.3 = 0.3$
따라서 물체의 투과율은 0.3이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 0.1은 계산 결과 0.3과 다르다. 반사율과 흡수율을 전체 1에서 모두 빼야 하며, 올바른 투과율은 0.3이다.
② O — $1 - 0.4 - 0.3 = 0.3$이므로 투과율과 일치한다.
③ X — 0.7은 반사율과 흡수율의 합 $0.4 + 0.3$이지 투과율이 아니다. 올바른 투과율은 그 합을 1에서 뺀 0.3이다.
④ X — 1은 반사율·흡수율·투과율을 모두 합한 전체 비율이다. 투과율만의 값은 0.3이다.

오답 포인트

③의 0.7은 반사율과 흡수율을 더한 뒤 이를 그대로 투과율로 착각하면 고르는 값이다. 두 값의 합은 비투과분이므로 전체 1에서 빼야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

복사 에너지의 세 비율이 나오면 먼저 $\rho + \alpha + \tau = 1$을 세우고, 구하려는 비율을 나머지 두 비율의 합을 1에서 빼서 계산한다.

암기 포인트

반사율 + 흡수율 + 투과율 = 1이다.

NoteBase

문 15. 다음 중 유체에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① 전단응력(Shear stress)은 전단력(Shear force)과 전단면적을 곱한 값이다.

② 비중과 점도와의 관계를 비점도라 한다.

③ 속도구배가 증가함에 따라 점도가 증가하는 유체를 유사가소성 유체(Pseudoplastic fluid)라고 한다.

④ 주어진 유체의 표면장력과 단위 면적당 에너지는 동일한 수치 및 단위를 갖는다.

정답 4번

출제 포인트

전단응력, 점도 관련 물성, 비뉴턴 유체의 거동, 표면장력과 표면에너지의 관계를 정확한 정의와 단위로 구별하는 문제이다.

핵심 개념

전단응력은 전단력을 전단면적으로 나눈 값으로, $\tau = F/A$이다.
동점도는 점성계수(절대점도)를 밀도로 나눈 값으로, $\nu = \mu/\rho$이다.
유사가소성 유체는 전단률이 커질수록 겉보기 점도가 감소하는 전단박화 유체이고, 팽창성 유체는 반대로 겉보기 점도가 증가하는 전단농화 유체이다.
표면장력 γ는 단위 길이당 힘인 동시에 새 표면을 만드는 데 필요한 단위 면적당 에너지이다.

선지별 해설

① X — 틀린 표현은 '전단력과 전단면적을 곱한 값'이다. 전단응력은 전단력을 면적으로 나눈 값이므로 $\tau = F/A$이다.
② X — 틀린 표현은 '비중과 점도와의 관계를 비점도라 한다'이다. 동점도는 점성계수를 밀도로 나눈 $\nu = \mu/\rho$이고, 비점도는 용액의 점도가 용매에 비해 증가한 정도를 나타내는 $\eta_{sp} = (\eta - \eta_s)/\eta_s$이다.
③ X — 틀린 표현은 '점도가 증가하는 유체를 유사가소성 유체라고 한다'이다. 유사가소성 유체는 속도구배, 즉 전단률이 증가할수록 겉보기 점도가 감소한다. 겉보기 점도가 증가하는 유체는 팽창성 유체이다.
④ O — 표면장력의 단위 N/m는 단위 면적당 표면에너지의 단위 J/m^2와 같다. $1J = 1N \cdot m$이므로 $J/m^2 = N/m$이며, 두 물리량은 동일한 수치를 갖는다.

오답 포인트

①은 응력 정의의 '나눗셈'을 '곱셈'으로 바꾸었고, ③은 유사가소성 유체의 점도 변화 방향을 반대로 제시했다.
④는 힘과 에너지라는 표현만 보면 서로 달라 보이지만, 단위를 환산하면 $J/m^2 = N/m$이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

응력은 힘을 면적으로 나누고, 유사가소성 유체는 전단률 증가에 따라 겉보기 점도가 감소하는지 확인한다. 표면장력과 단위 면적당 표면에너지는 $1J = 1N \cdot m$을 이용해 단위를 환산하여 판단한다.

암기 포인트

전단응력은 힘/면적, 유사가소성은 전단률 증가·점도 감소, 표면장력은 $N/m = J/m^2$이다.

NoteBase

문 16. 증류탑에서 공급단으로 들어가는 공급원료가 과열 증기(Superheated vapor)상태이다. 공급단에서 9 mol의 공급원료에 대하여 2 mol의 액체가 기화할 때, 원료공급선(Feed line)의 기울기는?

① $-\frac{2}{7}$
② $-\frac{2}{9}$
③ $\frac{2}{11}$
④ $\frac{2}{9}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 과열 증기 공급물의 액상분율 q를 정한 뒤, 원료공급선의 기울기 $q/(q-1)$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 공급원료 9 mol이 들어올 때 공급단의 액체 2 mol이 추가로 기화한다.
구해야 할 값: 원료공급선의 기울기이다.
주의할 조건: 과열 증기는 공급단의 액체를 기화시키므로 액상분율 q는 음수이다. 따라서 $q=-2/9$이다.

사용할 공식

원료공급선의 기울기 m은

$$m=\frac{q}{q-1}$$

이다. 여기서 q는 공급물 1 mol이 공급단 조건에 도달할 때 생기는 액체의 몰수이다. 과열 증기가 기존 액체를 기화시키는 경우에는 그 양을 음의 액체량으로 보아 $q<0$로 둔다.

계산 과정

1. 공급원료 9 mol당 액체 2 mol이 기화하므로 $q=-2/9$이다.
2. 이를 원료공급선 기울기 공식에 대입한다.

$$m=\frac{-2/9}{-2/9-1}=\frac{-2/9}{-11/9}=\frac{2}{11}$$

3. 계산값 2/11과 일치하는 선지는 ③이다.

NoteBase

선지 판단

① X — $-2/7$은 계산값 $2/11$과 다르다. 분모를 $q-1$이 아니라 $q+1$로 잘못 쓰면 나오는 값이다. 올바른 기울기는 $2/11$이다.
② X — $-2/9$은 원료공급선의 기울기가 아니라 과열 증기 공급물의 q값이다. 올바른 기울기는 $q/(q-1) = 2/11$이다.
③ O — $q = -2/9$를 $q/(q-1)$에 대입하면 $2/11$이 된다.
④ X — $2/9$은 q의 부호만 없앤 값으로, 기울기 공식을 적용한 결과가 아니다. 올바른 기울기는 $2/11$이다.

오답 포인트

과열 증기라는 말 때문에 원료공급선의 기울기도 음수라고 단정하면 안 된다. 액체가 기화하는 양이므로 먼저 $q = -2/9$로 두고, 분모까지 포함한 $q/(q-1)$을 계산하면 음수끼리 나누어 기울기는 양수 $2/11$이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

공급물의 열적 상태로 q의 부호를 먼저 정하고, 그다음 $m = q/(q-1)$에 대입한다. 액체가 추가로 기화하면 $q < 0$, 액체가 일부 응축하면 $q > 0$이라는 물질수지 방향을 기준으로 판단한다.

암기 포인트

과열 증기: $q < 0$, 원료공급선 기울기: $q/(q-1)$이다.

NoteBase

문 17. 향류(Countercurrent flow) 이중관 열교환기 내에서 알코올과 물 사이에 열이동이 일어난다. 알코올은 60°C로 주입되어 30°C로 배출되고, 물은 16°C로 주입되어 32°C로 배출된다. 관을 통한 단위 면적당 열흐름 속도(W/m^2)는? (단, 총괄 열전달 계수는 600 W/m^2·°C이고, ln2 = 0.7이다.)

① 18,000

② 16,000

③ 14,000

④ 12,000

정답 4번

출제 포인트

향류 이중관 열교환기의 양 끝 온도차로 대수평균온도차를 구한 뒤, 총괄 열전달식으로 단위 면적당 열흐름 속도를 계산하는 문제이다.

조건 정리

알코올의 입구·출구 온도는 각각 $60^\circ C$, $30^\circ C$이고, 물의 입구·출구 온도는 각각 $16^\circ C$, $32^\circ C$이다. 총괄 열전달 계수는 $U = 600 W/(m^2 \cdot {}^\circ C)$이다. 향류이므로 한쪽 끝에서는 알코올 입구와 물 출구, 다른 쪽 끝에서는 알코올 출구와 물 입구의 온도차를 짝지어야 한다.

사용할 공식

대수평균온도차는 $\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$이고, 단위 면적당 열흐름 속도는 $\frac{Q}{A} = U\Delta T_{lm}$이다. 열교환기 양 끝의 온도차가 서로 다르므로 단순 산술평균이 아니라 대수평균온도차를 사용한다.

계산 과정

1. 향류의 양 끝 온도차는 $\Delta T_1 = 60 - 32 = 28^\circ C$, $\Delta T_2 = 30 - 16 = 14^\circ C$이다.
2. $\ln 2 = 0.7$을 적용하면 $\Delta T_{lm} = \frac{28 - 14}{\ln(28/14)} = \frac{14}{\ln 2} = \frac{14}{0.7} = 20^\circ C$이다.
3. 따라서 $\frac{Q}{A} = 600 \times 20 = 12{,}000 W/m^2$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 18,000은 계산된 $12{,}000 W/m^2$와 일치하지 않는다. 18,000이 아니라 $12{,}000 W/m^2$가 올바른 값이다.
② X — 16,000은 계산된 $12{,}000 W/m^2$와 일치하지 않는다. 16,000이 아니라 $12{,}000 W/m^2$가 올바른 값이다.
③ X — 14,000은 계산된 $12{,}000 W/m^2$와 일치하지 않는다. 14,000이 아니라 $12{,}000 W/m^2$가 올바른 값이다.
④ O — 대수평균온도차가 $20^\circ C$이므로 단위 면적당 열흐름 속도는 $600 \times 20 = 12{,}000 W/m^2$이다.

오답 포인트

향류에서 같은 유체의 입구끼리 또는 출구끼리 온도차를 잡으면 안 된다. 반드시 뜨거운 유체의 입구와 차가운 유체의 출구를 한 쌍으로, 뜨거운 유체의 출구와 차가운 유체의 입구를 다른 한 쌍으로 잡는다. 또한 두 끝 온도차 28과 14를 단순 산술평균하지 않고 대수평균해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

향류인지 병류인지 먼저 확인하고, 흐름 방향에 맞춰 양 끝 온도차 두 개를 만든 다음 대수평균온도차를 계산하여 $Q/A = U\Delta T_{lm}$에 대입한다. 마지막으로 단위가 W/m^2인지 검산한다.

암기 포인트

향류는 서로 반대쪽 출입구를 짝지어 온도차를 구하고, 열유속은 총괄 열전달 계수와 대수평균온도차의 곱이다.

NoteBase

문 18. 레이놀즈 수(N_{Re})는 층류와 난류를 구분할 수 있는 무차원의 값이다. 내경 0.01 m의 관내를 평균 0.7 m/s로 진행하는 액체의 밀도가 100 kg/m^3, 점도가 0.1 P일 경우, 이 액체의 레이놀즈수와 흐름은?

① 70 층류

② 70 난류

③ 7,000 난류

④ 7,000 층류

정답 1번

출제 포인트

관내 유동의 레이놀즈수를 계산하고, 그 값으로 층류와 난류를 구분하는 문제이다. 특히 점도 단위인 포아즈(P)를 SI 단위로 바꾸는 과정이 핵심이다.

조건 정리

주어진 값: 관 내경 $D = 0.01m$, 평균 유속 $v = 0.7m/s$, 밀도 $\rho = 100kg/m^3$, 점도 $\mu = 0.1P$이다.
구해야 할 값: 레이놀즈수 N_{Re}와 유동 상태이다.
단위 변환: $1P = 0.1Pa \cdot s$이므로 $0.1P = 0.01Pa \cdot s$이다.

사용할 공식

관내 유동의 레이놀즈수는 다음과 같다.
$N_{Re} = \frac{\rho v D}{\mu}$
이 공식은 유체의 관성력과 점성력의 상대적 크기를 나타내며, 관내 흐름이 층류인지 난류인지 판별할 때 사용한다.

계산 과정

1. 점도를 SI 단위로 바꾸면 $\mu = 0.01Pa \cdot s$이다.
2. 값을 공식에 대입한다.
$N_{Re} = \frac{(100)(0.7)(0.01)}{0.01} = 70$
3. 관내 유동에서 레이놀즈수 70은 층류 영역에 해당하므로 이 액체의 흐름은 층류이다.

NoteBase

선지 판단

① O — 레이놀즈수는 70이고, 이 값은 층류 영역이므로 옳다.
② X — 레이놀즈수 70을 난류로 분류한 부분이 틀렸다. 올바르게는 '70, 층류'이다.
③ X — 난류라는 분류뿐 아니라 레이놀즈수 7,000도 틀렸다. 올바르게는 점도 $0.1P = 0.01Pa \cdot s$를 적용한 '70, 층류'이다.
④ X — 층류라는 분류는 맞지만 레이놀즈수 7,000이 틀렸다. 올바르게는 '70, 층류'이다.
계산 결과 레이놀즈수는 70이고 흐름은 층류이므로 정답은 1번이다.

오답 포인트

③과 ④의 7,000은 포아즈(P)를 $Pa \cdot s$로 잘못 환산하면 선택하기 쉬운 값이다. 또한 레이놀즈수를 계산한 뒤에는 수치만 고르는 것이 아니라 그 수치에 맞는 유동 상태까지 함께 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

관내 유동 문제는 점도를 SI 단위로 변환한 뒤 $N_{Re} = \rho v D/\mu$를 계산하고, 마지막에 레이놀즈수의 크기로 층류·천이·난류를 판별한다.

암기 포인트

$1P = 0.1Pa \cdot s$이며, 레이놀즈수가 작을수록 점성의 영향이 커서 층류가 된다.

NoteBase

문 19. 다음 <보기>의 레이놀즈 수(Re)에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고른 것은?

<보기>
㉠ 원통관 안에 흐르는 유체흐름에서 $Re = 1 \times 10^3$이면 층류이다.
㉡ 평판 위에 평행하게 흐르는 유체흐름에서 $Re = 6 \times 10^5$이면 난류이다.
㉢ 관 내부의 흐름에서 마찰계수는 관 표면의 거칠기에 관계없이 Re만의 함수이다.

① ㉠
② ㉠, ㉡
③ ㉡, ㉢
④ ㉠, ㉡, ㉢

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 관내 유동과 평판 외부 유동의 임계 레이놀즈 수, 그리고 관 마찰계수의 결정 요인을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

레이놀즈 수는 관성력과 점성력의 비를 나타내며 유동이 층류인지 난류인지 판단하는 기준이다.
원통관 내부 유동은 일반적으로 $Re < 2{,}300$이면 층류로 본다.
평판을 따라 흐르는 외부 유동은 평판 선단으로부터의 국소 레이놀즈 수가 임계값인 약 5×10^5을 넘으면 난류로 천이한다고 본다.
관 마찰계수는 층류에서는 $f = 64/Re$로 레이놀즈 수만의 함수이지만, 난류에서는 레이놀즈 수와 상대조도 ε/D의 영향을 함께 받는다.

NoteBase

선지별 해설

① X
㉠은 옳지만 ㉡도 옳으므로 ㉠만 고른 것이 틀렸다. 올바르게는 ㉠과 ㉡을 모두 골라야 한다.

② O
㉠의 관내 유동은 $Re = 1 \times 10^3 < 2{,}300$이므로 층류이고, ㉡의 평판 유동은 $Re = 6 \times 10^5$로 임계값 약 5×10^5을 넘으므로 난류로 본다. 따라서 옳은 것은 ㉠과 ㉡이다.

③ X
㉡은 옳지만 ㉢은 틀리고 ㉠은 옳으므로 선지의 조합이 잘못되었다. 올바르게는 ㉠과 ㉡을 골라야 한다. ㉢은 관 마찰계수가 언제나 레이놀즈 수만의 함수라고 한 부분이 틀렸으며, 난류에서는 상대조도의 영향도 받는다.

④ X
㉠과 ㉡은 옳지만 ㉢이 틀렸으므로 세 진술을 모두 고를 수 없다. 올바르게는 ㉠과 ㉡만 골라야 하며, ㉢은 '층류의 마찰계수는 관 표면의 거칠기와 관계없이 레이놀즈 수만의 함수이다'로 한정해야 옳다.

오답 포인트

㉡의 6×10^5을 관내 유동의 임계 레이놀즈 수와 비교하면 안 된다. 형상에 따라 임계값이 다르다. 또한 ㉢은 층류의 관계를 관 내부의 모든 유동으로 확대했다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 유동이 원통관 내부인지 평판 외부인지 확인하여 각각의 임계 레이놀즈 수와 비교한다. 마찰계수 문제에서는 층류이면 Re만, 난류이면 Re와 상대조도를 함께 확인한다.

암기 포인트

관내 층류는 약 2,300 미만, 평판 천이는 약 5×10^5, 난류 관 마찰계수는 Re와 상대조도의 함수이다.

NoteBase

문 20. 다음 중 대류 열전달과 관련된 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 자연대류에서 무차원 넛셀(Nusselt) 수는 무차원 그라쇼프(Grashof) 수와 무차원 플란틀(Prandtl) 수의 함수이다.

② 강제대류에서 무차원 넛셀(Nusselt) 수는 무차원 레이놀즈(Reynolds) 수와 무차원 플란틀(Prandtl) 수의 함수이다.

③ 관성력이 일정할 경우 점성력이 증가할수록 무차원 레이놀즈(Reynolds) 수는 커진다.

④ 대부분의 액체에서 플란틀(Prandtl) 수는 1보다 크다.

정답 3번

출제 포인트

대류 열전달의 대표 무차원수인 넛셀 수, 그라쇼프 수, 레이놀즈 수, 플란틀 수의 물리적 의미와 상관관계를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

넛셀 수 Nu: 대류 열전달이 전도에 비해 얼마나 활발한지를 나타내는 무차원수이다.
그라쇼프 수 Gr: 자연대류에서 부력과 점성력의 상대적 크기를 나타낸다.
레이놀즈 수 Re: 관성력과 점성력의 비이며, 대표적으로 $Re = \rho VL/\mu$로 나타낸다.
플란틀 수 Pr: 운동량 확산도와 열확산도의 비이며, $Pr = \nu/\alpha$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
자연대류에서는 부력의 영향을 나타내는 Gr와 유체의 운동량·열 확산 특성을 나타내는 Pr가 중요하므로 일반적으로 $Nu = f(Gr, Pr)$로 나타낸다.

② O
강제대류에서는 외부에서 유도된 유동의 관성력과 점성력의 비인 Re, 그리고 운동량 확산도와 열확산도의 비인 Pr가 중요하므로 일반적으로 $Nu = f(Re, Pr)$로 나타낸다.

③ X
틀린 표현은 '점성력이 증가할수록 레이놀즈 수는 커진다'이다. Re는 관성력과 점성력의 비이므로 관성력이 일정할 때 점성력이 증가하면 Re는 작아진다. 올바르게는 '관성력이 일정할 경우 점성력이 증가할수록 레이놀즈 수는 작아진다'이다.

④ O
대부분의 일반 액체는 운동량 확산도가 열확산도보다 커서 $Pr > 1$이다. 다만 액체금속처럼 열확산도가 매우 큰 유체는 예외적으로 $Pr < 1$일 수 있다.

오답 포인트

③은 점성력이 커지면 유동 저항이 커진다는 사실을 레이놀즈 수도 커진다는 뜻으로 뒤집은 선지이다. 레이놀즈 수에서 점성력은 분모 쪽 효과이므로 점성이 커질수록 레이놀즈 수는 감소한다.

다시 나오면 이렇게 판단

자연대류는 부력에서 시작하므로 Gr와 Pr, 강제대류는 외부 유동이 주어지므로 Re와 Pr를 먼저 연결한다. 레이놀즈 수의 증감은 '관성력/점성력'이라는 비로 판단한다.

암기 포인트

자연대류는 $Nu = f(Gr, Pr)$, 강제대류는 $Nu = f(Re, Pr)$, 점성 증가 시 Re 감소이다.

NoteBase