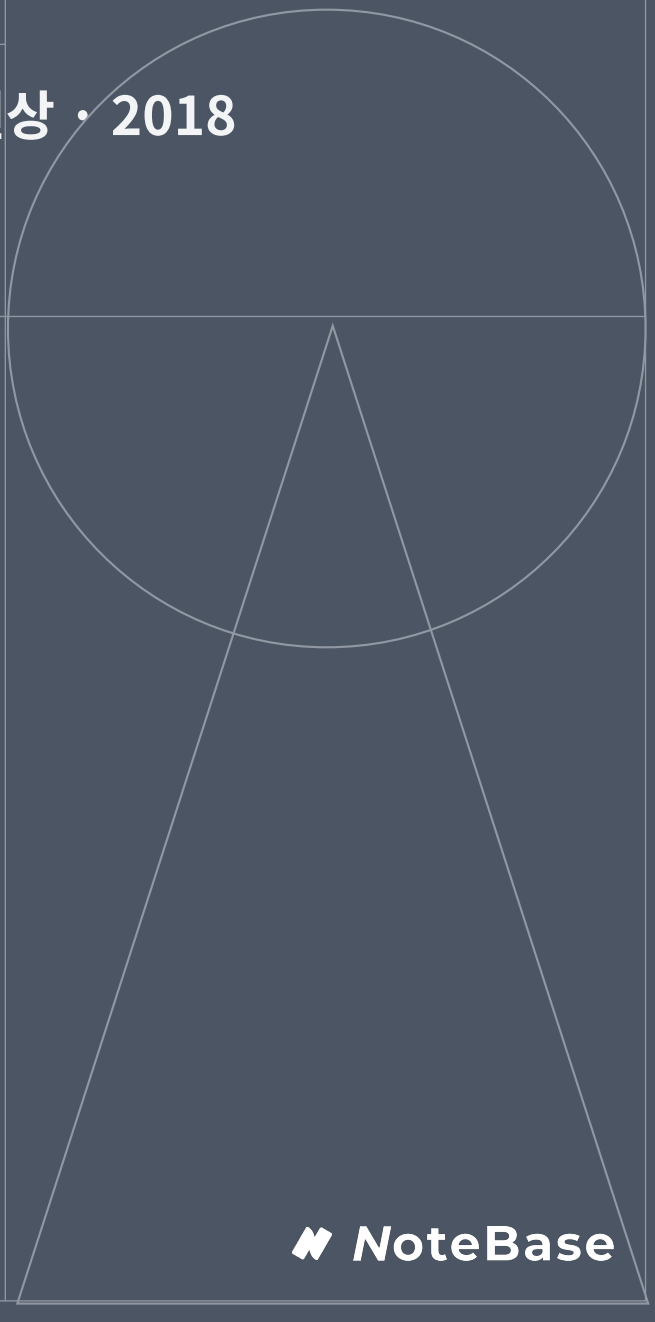
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2018



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2018

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2018

문 1. 수평으로 고정된 평판 위를 흐르는 유체의 Reynolds 수에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① Reynolds 수가 10,000이면 난류이다.

② Reynolds 수는 점성력에 대한 관성력의 비이다.

③ Reynolds 수는 유체의 점도에 반비례한다.

④ Reynolds 수는 강제대류의 Nusselt 수에 영향을 준다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 Reynolds 수의 정의, 점도와의 관계, 평판 외부유동에서의 층류·난류 판별 기준을 묻는 문제이다.

핵심 개념

Reynolds 수는 $Re = \rho UL/\mu = UL/\nu$로 나타내며, 점성력에 대한 관성력의 상대적 크기를 뜻한다.
평판 위 강제대류에서는 선단부터의 거리 x를 기준으로 한 국소 Reynolds 수 Re_x를 주로 사용하며, Re_x가 임계값보다 충분히 작으면 층류로 본다.
또한 강제대류의 Nusselt 수 상관식은 보통 Reynolds 수를 포함하므로 Reynolds 수 변화는 열전달 특성 변화로 이어진다.

선지별 해설

① X: 틀린 부분은 "Reynolds 수가 10,000이면 난류"이다. 평판 외부유동에서는 Re_x가 10,000 정도이면 일반적으로 층류 범위이므로, 올바르게는 "Reynolds 수가 10,000이면 보통 층류로 본다"이다.
② O: Reynolds 수는 관성력과 점성력의 상대적 비를 나타내는 무차원수이다. 따라서 "점성력에 대한 관성력의 비"라는 설명은 맞다.
③ O: $Re = \rho UL/\mu$이므로 다른 조건이 같으면 점성계수 μ가 커질수록 Reynolds 수는 작아진다. 따라서 Reynolds 수가 유체의 점도에 반비례한다는 설명은 맞다.
④ O: 강제대류의 평판 열전달 상관식에서 Nusselt 수는 보통 Reynolds 수의 함수로 표현된다. 따라서 Reynolds 수는 강제대류의 Nusselt 수에 영향을 준다.

NoteBase

오답 포인트

①은 내부유동의 대표 임계 Reynolds 수와 평판 외부유동의 국소 Reynolds 수 기준을 혼동하면 틀리기 쉽다. 이 문항은 "Reynolds 수가 크면 난류"라는 막연한 인상만으로 ①을 옳다고 보기 쉬운 함정을 노린다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 Reynolds 수가 무엇의 비인지 식으로 확인하고, 그다음 유동이 관 내부인지 평판 외부유동인지 구분한다. 평판 문제이면 Re_x의 크기로 층류·천이·난류 여부를 판단하고, 열전달 문제가 함께 나오면 Nusselt 수 상관식에 Reynolds 수가 들어가는지도 같이 본다.

암기 포인트

Reynolds 수는 관성력 대 점성력의 비이며, 평판 Re_x가 작으면 층류이고 강제대류 Nusselt 수는 Reynolds 수의 영향을 받는다.

NoteBase

문 2. 증류탑에서 공급단으로 들어가는 공급원료가 과열증기(superheated vapor)상태이다. 공급단에서 9몰의 공급원료에 대하여 2몰의 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 과열증기 공급에서 q값을 먼저 정한 뒤 원료공급선의 기울기 $\frac{q}{q-1}$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 공급원료는 과열증기 상태이고 공급량은 9몰이다.
구해야 할 값: 원료공급선의 기울기이다.
주의할 조건: 과열증기는 공급단의 액체를 추가로 기화시키므로 $q < 0$이다. 9몰의 공급원료에 대해 2몰의 액체가 기화하므로 $qF = -2$이다.

사용할 공식

원료공급선의 기울기는 $\frac{q}{q-1}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 맥케이브-틸 방법에서 원료의 열상태는 q값으로 표현되고, 과열증기 여부도 이 q값의 부호에 반영되기 때문이다.

계산 과정

1. 9몰의 공급원료가 들어올 때 공급단의 액체 2몰이 더 기화하므로 $qF = -2$이다.
2. 따라서 $q = -\frac{2}{9}$이다.
3. 원료공급선의 기울기는 $\frac{q}{q-1} = \frac{-2/9}{-2/9-1} = \frac{-2/9}{-11/9} = \frac{2}{11}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $-\frac{2}{7}$은 기화한 2몰과 남은 7몰을 바로 비로 둔 값인데, 원료공급선의 기울기는 그런 단순 비가 아니라 $\frac{q}{q-1}$로 계산한다. 올바르게는 $\frac{2}{11}$이다.

② X
- $-\frac{2}{9}$은 기울기가 아니라 q값이다. 과열증기에서 $q=-\frac{2}{9}$까지 구한 뒤 다시 $\frac{q}{q-1}$를 계산해야 하므로 올바르게는 $\frac{2}{11}$이다.

③ O
- $q=-\frac{2}{9}$를 $\frac{q}{q-1}$에 대입하면 $\frac{2}{11}$이 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

④ X
- $\frac{2}{9}$은 q의 부호를 놓치거나 기울기를 q의 절댓값으로 착각한 값이다. 과열증기에서는 q가 음수이고 최종 기울기는 $\frac{2}{11}$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 q값과 원료공급선의 기울기를 같은 값으로 보는 착각이다. ②처럼 $q=-\frac{2}{9}$에서 멈추거나 ④처럼 음수 부호를 놓치면 바로 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

증류탑 원료공급선 문제는 먼저 공급원료의 열상태를 보고 q의 부호를 정한 다음, 기화 또는 응축된 몰수로 q를 계산하고 마지막에 $\frac{q}{q-1}$를 적용하면 된다.

암기 포인트

과열증기는 $q<0$, 원료공급선 기울기는 항상 $\frac{q}{q-1}$이다.

NoteBase

문 3. 연구용 잠수함이 해저 1km에서 운항 중이다. 잠수함 내부의 절대압력이 1 atm일 때, 잠수함에 설치된 지름이 20 cm인 창에 가해지는 힘[kN]은? (단, 해수의 밀도는 $1.1 g cm^{-3}$이고, 중력가속도는 $9.8 m s^{-2}$이다)

① 128.5

② 338.5

③ 541.6

④ 751.6

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 수심에 따른 압력차 $\Delta P = \rho g h$와 원형 창의 면적 $A = \pi r^2$를 이용해 창에 작용하는 힘 $F = \Delta P A$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 수심 $h = 1000 m$, 해수 밀도 $\rho = 1.1 g/cm^3 = 1100 kg/m^3$, 중력가속도 $g = 9.8 m/s^2$, 창의 지름 $20 cm = 0.2 m$
구해야 할 값: 창에 가해지는 힘 F
주의할 조건: 잠수함 내부 절대압력이 $1 atm$이고 외부도 대기압이 포함된 절대압력이므로, 압력차는 대기압을 제외한 $\rho g h$만 남는다.

사용할 공식

사용 공식은 $F = \Delta P A$, $\Delta P = \rho g h$, $A = \pi r^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 창에 작용하는 힘은 창의 안팎 압력차에 면적을 곱한 값이며, 수심 $1000 m$에서의 추가 압력은 정수압 $\rho g h$로 계산된다.

계산 과정

1. 압력차는 $\Delta P = \rho g h = 1100 \times 9.8 \times 1000 = 10{,}780{,}000 Pa$이다.
2. 창의 반지름은 $r = 0.1 m$이므로 면적은 $A = \pi r^2 = \pi \times (0.1)^2 \approx 0.0314 m^2$이다.
3. 힘은 $F = \Delta P A = 10{,}780{,}000 \times 0.0314 \approx 338{,}500 N = 338.5 kN$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: $128.5kN$은 계산 결과 $338.5kN$보다 너무 작다. 창의 면적을 과소 계산하거나 반지름과 지름을 혼동한 값에 가깝다. 틀린 수치 $128.5kN$ → 올바르게는 $338.5kN$이다.
2번 O: 압력차 ρgh와 창 면적 πr^2를 정확히 적용하면 $338.5kN$이므로 정답이다.
3번 X: $541.6kN$은 압력차나 면적을 과대 계산한 값이다. 내부와 외부에 공통으로 작용하는 대기압을 별도로 더하거나 치수를 잘못 넣으면 이런 오차가 난다. 틀린 수치 $541.6kN$ → 올바르게는 $338.5kN$이다.
4번 X: $751.6kN$은 실제 힘의 두 배 이상으로, 압력차 또는 창 면적을 크게 잘못 계산한 값이다. 틀린 수치 $751.6kN$ → 올바르게는 $338.5kN$이다.

오답 포인트

내부 절대압력이 $1atm$이라는 조건 때문에 외부 절대압력에 대기압을 다시 더해 압력차를 과대 계산하기 쉽다. 또 지름 $20cm$를 바로 반지름으로 넣거나 g/cm^3를 kg/m^3로 바꾸지 않으면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

잠수함·수조 창문처럼 압력으로 힘을 구하는 문제는 안팎의 공통 압력을 먼저 지우고, 남는 압력차를 ρgh로 계산한 뒤, 치수를 SI 단위로 바꿔 $F = \Delta P A$에 대입하면 된다.

암기 포인트

정수압 힘 문제는 ρgh로 압력차를 구하고 πr^2를 곱한다.

NoteBase

문 4. 이성분계 기체확산계수에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 분자량이 작아지면 확산계수가 커진다.

② 온도가 높아지면 확산계수가 커진다.

③ 분자의 크기가 커지면 확산계수가 작아진다.

④ 압력이 낮아지면 확산계수가 작아진다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이성분계 기체확산계수에 영향을 주는 인자들의 방향성을 묻는 문제이다.

핵심 개념

기체확산계수는 두 기체가 서로 섞이는 빠르기를 나타내는 값이다.
대체로 온도가 높을수록 커지고, 압력이 높을수록 작아지며, 분자량과 분자 크기가 클수록 작아진다.
정리하면 기체확산계수는 대체로 $D_{AB} \propto \frac{T^{3/2}}{P}\sqrt{\frac{1}{M_A}+\frac{1}{M_B}}$의 경향을 가지며, 분자 크기가 커지면 충돌단면적이 커져 확산이 둔해진다.

선지별 해설

① O
분자량이 작아지면 분자 운동 속도가 커져 서로 더 빨리 섞이므로 확산계수가 커진다.

② O
온도가 높아지면 분자들의 운동에너지가 증가하여 확산이 활발해지므로 확산계수가 커진다.

③ O
분자의 크기가 커지면 충돌단면적이 커져 이동이 방해되므로 확산계수는 작아진다.

④ X
틀린 부분은 "압력이 낮아지면 확산계수가 작아진다"는 표현이다.
기체에서는 압력이 낮아질수록 분자 사이 평균 자유행로가 길어져 확산이 쉬워지므로 확산계수는 커진다.
올바르게는 "압력이 낮아지면 확산계수는 커진다"이다.

오답 포인트

압력 효과를 점도나 밀도 변화와 혼동하면 ④를 옳다고 보기 쉽다. 기체확산에서는 압력이 낮아질수록 충돌빈도가 줄어 평균 자유행로가 길어지므로 확산계수가 커진다는 방향을 기억해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

기체확산계수 문항이 나오면 먼저 온도와 압력의 방향을 본다. 온도는 상승하면 확산계수가 커지고, 압력은 상승하면 확산계수가 작아진다. 그다음 분자량과 분자 크기가 커질수록 확산이 느려진다는 점을 대입하면 정답을 고를 수 있다.

암기 포인트

기체확산계수는 고온에서 크고 저압에서 크며, 가볍고 작은 분자일수록 크다.

NoteBase

문 5. 열교환기에서 관(pipe) 내부유체에 대한 열전달계수가 $600 Wm^{-2}K^{-1}$이고, 관 외부유체에 대한 열전달계수가 $500 Wm^{-2}K^{-1}$일 때, 관 내부면적을 기준으로 한 총괄열전달계수$[Wm^{-2}K^{-1}]$는? (단, 관의 내부지름은 5 cm, 두께는 0.5 cm이며, 관에서 전도를 통한 열전달저항은 무시한다)

① 300

② 400

③ 500

④ 600

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 관 내면적 기준 총괄열전달계수 U_i를 대류저항의 직렬합으로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 관 내부 열전달계수는 $h_i = 600 Wm^{-2}K^{-1}$, 관 외부 열전달계수는 $h_o = 500 Wm^{-2}K^{-1}$이다.
구해야 할 값: 관 내면적 기준 총괄열전달계수 U_i이다.
주의할 조건: 내부지름은 $5cm$, 두께는 $0.5cm$이므로 외부지름은 $6cm$이고, 관 전도저항은 무시한다.

사용할 공식

관 내면적 기준에서는 $\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{h_o A_o}$이다.
따라서 $\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{A_i}{A_o}\frac{1}{h_o}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 관벽 전도저항을 무시하면 내부 대류저항과 외부 대류저항만 직렬로 더해지기 때문이다.

계산 과정

1. 외부지름은 $d_o = 5 + 2 \times 0.5 = 6cm$이다.
2. 원통면적 비는 $\frac{A_o}{A_i} = \frac{d_o}{d_i} = \frac{6}{5}$이므로 $\frac{A_i}{A_o} = \frac{5}{6}$이다.
3. 따라서 $\frac{1}{U_i} = \frac{1}{600} + \frac{5}{6} \times \frac{1}{500} = \frac{1}{600} + \frac{1}{600} = \frac{1}{300}$이다.
4. 결국 $U_i = 300 Wm^{-2}K^{-1}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
계산 결과가 $300 Wm^{-2}K^{-1}$이므로 맞는 값이다.

② X
400은 두 대류저항의 직렬합을 끝까지 계산하지 않은 값이다. 총괄열전달계수는 내부측 저항과 외부측 저항을 함께 반영해야 하므로 $300 Wm^{-2}K^{-1}$가 되어야 한다. 틀린 값 400 → 올바르게는 300이다.

③ X
500은 외부 열전달계수 h_o만 본 값이다. 총괄열전달계수는 단일 열전달계수가 아니라 전체 저항을 합친 결과이므로 500이 될 수 없다. 틀린 값 500 → 올바르게는 300이다.

④ X
600은 내부 열전달계수 h_i만 본 값이다. 외부 유체의 대류저항까지 더해지면 총괄열전달계수는 반드시 더 작아지므로 600은 될 수 없다. 틀린 값 600 → 올바르게는 300이다.

오답 포인트

함정은 '관 내면적 기준'이라는 조건을 놓치고 외부 면적 보정을 생략하는 데 있다. 또 총괄열전달계수를 개별 열전달계수 하나와 같은 값으로 보는 실수가 자주 나온다. 직렬저항 합으로 계산한 총괄열전달계수는 각 개별 계수보다 작아진다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통형 총괄열전달 문제는 먼저 기준 면적이 내부인지 외부인지 확인하고, 반대편 열전달계수를 그 기준 면적으로 환산한 뒤 저항을 직렬합으로 더해 판단한다. 계산이 끝난 뒤 총괄열전달계수가 각 개별 열전달계수보다 작은지도 함께 검산한다.

암기 포인트

총괄열전달계수는 직렬저항의 역수이며, 이 문제처럼 기준면적으로 환산한 두 대류저항이 같으면 총괄열전달계수는 그 값의 절반이 된다.

NoteBase

문 6. 300 K에서 수소가 수평으로 놓인 평판 고분자 막을 통해 확산하고 있다. 막의 상부와 하부에서의 압력은 각각 $3 \times 10^6 Pa$과 $5 \times 10^5 Pa$이다. 이 온도에서 막에 대한 수소의 투과계수(permeability coefficient)가 $4 \times 10^{-13} mol m^{-1} s^{-1} Pa^{-1}$이고, 수소의 몰플럭스(molar flux)가 $3.6 kmol m^{-2} h^{-1}$일 때, 막의 두께 $[\mu m]$는?

① 1

② 10

③ 100

④ 1,000

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 기체의 막 투과에서 $J = \frac{P\Delta p}{L}$를 적용하고, 몰플럭스 $3.6 kmol m^{-2} h^{-1}$를 $mol m^{-2} s^{-1}$로 정확히 환산하는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값

- 투과계수: $P = 4 \times 10^{-13} mol m^{-1} s^{-1} Pa^{-1}$
- 상부 압력: $3 \times 10^6 Pa$
- 하부 압력: $5 \times 10^5 Pa$
- 몰플럭스: $J = 3.6 kmol m^{-2} h^{-1}$

구해야 할 값

- 막의 두께 L

주의할 조건

- 압력차 Δp를 먼저 구해야 한다.
- $kmol \rightarrow mol$, $h \rightarrow s$ 단위 변환이 필수이다.

사용할 공식

$J = \frac{P\Delta p}{L} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{P\Delta p}{J}$

이 공식을 쓰는 이유는 평판 막을 통한 정상상태 기체 투과에서 몰플럭스가 투과계수와 압력차에 비례하고 막 두께에 반비례하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 압력차를 구한다.

$\Delta p = 3 \times 10^6 - 5 \times 10^5 = 2.5 \times 10^6 Pa$

2. 몰플럭스를 $mol m^{-2} s^{-1}$로 바꾼다.

$3.6 kmol m^{-2} h^{-1} = 3.6 \times 10^3 mol m^{-2} h^{-1} = 1 mol m^{-2} s^{-1}$

3. 공식을 대입한다.

$L = \frac{4 \times 10^{-13} \times 2.5 \times 10^6}{1} = 1.0 \times 10^{-6} m = 1 \mu m$

따라서 막의 두께는 $1 \mu m$이다.

선지별 해설

① O

- 계산 결과 막의 두께는 $1 \mu m$이므로 옳다.

② X

- $10 \mu m$를 얻으려면 몰플럭스를 실제의 1/10인 $0.1 mol m^{-2} s^{-1}$로 잘못 환산해야 한다. 실제 몰플럭스는 $1 mol m^{-2} s^{-1}$이므로 막의 두께는 $10 \mu m$가 아니라 $1 \mu m$이다.

③ X

- $100 \mu m$를 얻으려면 몰플럭스를 실제의 1/100인 $0.01 mol m^{-2} s^{-1}$로 잘못 두어야 한다. 주어진 값을 정확히 환산하면 두께는 $100 \mu m$가 아니라 $1 \mu m$이다.

④ X

- $1{,}000 \mu m$는 $3.6 kmol m^{-2} h^{-1}$에서 $kmol \rightarrow mol$ 변환을 빠뜨려 $0.001 mol m^{-2} s^{-1}$처럼 계산했을 때 나올 수 있는 값이다. 실제 두께는 $1{,}000 \mu m$가 아니라 $1 \mu m$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, 압력차를 절대압 두 값 자체가 아니라 $\Delta p = 2.5 \times 10^6 Pa$로 계산해야 한다. 둘째, $3.6 kmol m^{-2} h^{-1}$를 $1 mol m^{-2} s^{-1}$로 바꾸지 않으면 두께가 10배, 100배, 1000배 수준으로 쉽게 틀어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

막 투과 계산형 문제는 압력차를 먼저 정리하고, $J = \frac{P \Delta p}{L}$에서 구하는 값에 맞게 식을 정리한 뒤, 마지막에 $kmol \leftrightarrow mol$, $h \leftrightarrow s$, $m \leftrightarrow \mu m$ 단위를 한 번 더 검산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

막 두께는 $L = P \Delta p / J$이고, $3.6 kmol h^{-1} = 1 mol s^{-1}$ 환산을 먼저 잡으면 정답이 바로 $1 \mu m$로 정리된다.

문 7. 반지름이 R인 수평 관(pipe) 안에서 비압축성 뉴톤유체(Newtonian fluid)가 층류로 흐르고 있다. 이 흐름은 Hagen-Poiseuille 관계식을 만족하며 완전발달된 속도분포를 보인다. 관 안에서 유체의 최대 속도(v_{max})는? (단, ΔP는 압력차의 절대값이고, L은 관의 길이이며, μ는 유체의 점도이다)

① $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)\frac{R^2}{2\mu}$
② $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)\frac{R}{2\mu}$
③ $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)\frac{R^2}{4\mu}$
④ $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)\frac{R}{4\mu}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Hagen-Poiseuille의 완전발달 층류 속도분포에서 관 중심의 최대속도 v_{max}를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 관 반지름은 R, 압력차 절대값은 ΔP, 관 길이는 L, 점도는 μ이다.
구해야 할 값: 관 안 유체의 최대속도 v_{max}이다.
주의할 조건: 원관 내 완전발달 층류의 속도분포는 포물선형이며, 최대속도는 벽면이 아니라 중심축 $r=0$에서 나온다.

사용할 공식

사용할 공식은 원관 내 Hagen-Poiseuille 속도분포
$v(r)=\frac{\Delta P}{4\mu L}(R^2-r^2)$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 비압축성 뉴턴유체가 원관 안을 층류로 흐르고, Hagen-Poiseuille 관계식과 완전발달 속도분포를 따른다고 했으므로 바로 이 분포식을 적용하면 된다.

계산 과정

1. 최대속도는 중심축에서 생기므로 $r=0$을 대입한다.
2. 따라서
$v_{max}=v(0)=\frac{\Delta P}{4\mu L}(R^2-0)=\frac{\Delta P R^2}{4\mu L}$
3. 식을 정리하면
$v_{max}=\left(\frac{\Delta P}{L}\right)\frac{R^2}{4\mu}$
가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 계산 결과 최대속도는 $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)\frac{R^2}{4\mu}$이므로 값이 두 배 크게 잡혀 있다.
- 틀린 표현은 분모의 2μ이다. 올바르게는 분모가 4μ여야 한다.

② X
- 원관 층류의 최대속도는 반지름의 제곱 R^2에 비례하므로 R이 1차로 들어간 식은 성립하지 않는다.
- 틀린 표현은 R이다. 올바르게는 R^2가 들어가야 하며, 식은 $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)\frac{R^2}{4\mu}$가 된다.

③ O
- $r = 0$을 대입한 최대속도 식과 정확히 일치한다.
- 따라서 $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)\frac{R^2}{4\mu}$인 ③이 정답이다.

④ X
- 분모의 4μ는 맞지만 반지름 항이 R로 되어 있어 차수가 부족하다.
- 틀린 표현은 R이다. 올바르게는 R^2가 되어야 하므로 식은 $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)\frac{R^2}{4\mu}$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 최대속도 위치와 반지름 차수를 동시에 묻는 데 있다. ①은 계수를 잘못 외워 분모를 2μ로 쓰는 실수이고, ②와 ④는 중심축 최대속도 공식에서도 반지름이 R^2로 들어간다는 점을 놓치게 만든 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

원관 완전발달 층류 문제가 나오면 먼저 Hagen-Poiseuille 속도분포를 쓴 뒤, 최대값을 묻는지 평균값을 묻는지 구분한다. 최대속도이면 항상 중심축 $r = 0$을 대입하고, 반지름 항이 R^2인지까지 함께 확인하면 된다.

암기 포인트

원관 층류 최대속도는 중심축에서 나오며 $v_{max} = \frac{\Delta P R^2}{4\mu L}$이다.

NoteBase

문 8. 지름이 10 cm이고 표면온도가 400 K인 강철봉(steel rod)이 공기와 벽의 온도가 모두 300 K인 방 한가운데에 수평으로 매달려 있다. 열전달계수는 $10 W m^{-2} K^{-1}$이고, 강철봉에서 방출된 복사에너지는 모두 벽으로 전달된다고 할 때, 강철봉의 단위길이당 총 열손실 $[W m^{-1}]$은? (단, 봉의 길이는 지름에 비해 매우 크고, 강철봉과 벽은 흑체이며, Stefan-Boltzmann 상수 값은 $1 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$이라고 가정하고, 전도에 의한 열전달은 무시한다)

① 69

② 369

③ 1,069

④ 1,569

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 긴 원통의 단위길이당 표면적을 구한 뒤, 대류 열손실과 복사 열손실을 각각 계산하여 합하는 문제이다.

조건 정리

- 지름: $d = 0.1m$
- 표면온도: $T_s = 400K$
- 주위 공기와 벽의 온도: $T_\infty = T_{sur} = 300K$
- 대류 열전달계수: $h = 10 W/(m^2 \cdot K)$
- Stefan-Boltzmann 상수: $\sigma = 1 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$
- 강철봉과 벽은 흑체이므로 방사율은 1로 본다.
- 구해야 할 값: 단위길이당 총 열손실 q'

사용할 공식

$A' = \pi d$

$q'_{conv} = hA'(T_s - T_\infty)$

$q'_{rad} = \sigma A'(T_s^4 - T_{sur}^4)$

$q' = q'_{conv} + q'_{rad}$

긴 원통이므로 단위길이당 옆면적은 $A' = \pi d$가 된다. 전도는 무시하므로 표면에서 빠져나가는 열은 대류와 복사만 더하면 된다.

NoteBase

계산 과정

1. 단위길이당 표면적은 $A' = \pi d = \pi \times 0.1 = 0.314 m^2/m$이다.
2. 대류 열손실은 $q'_{conv} = 10 \times 0.314 \times (400 - 300) = 314 W/m$이다.
3. 복사 열손실은 먼저 복사 열유속 $q''_{rad} = \sigma(T_s^4 - T_{sur}^4) = 10^{-8}(400^4 - 300^4) = 175 W/m^2$이고, 따라서 $q'_{rad} = 175 \times 0.314 = 55 W/m$이다.
4. 총 열손실은 $q' = 314 + 55 = 369 W/m$이다.

선지별 해설

① X

- 69는 총 열손실 값이 아니다. 대류 열손실만 계산해도 이미 $314 W/m$이므로 69는 지나치게 작다.
- 틀린 값 69 → 올바르게는 $369 W/m$이다.

② O

- 대류 $314 W/m$와 복사 $55 W/m$를 더하면 $369 W/m$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

③ X

- 1,069는 표면 열유속과 단위길이당 열손실을 혼동한 값에 가깝다. 열유속 $1000 W/m^2$를 그대로 선형 열손실처럼 다루면 과대평가가 된다.
- 틀린 값 1,069 → 올바르게는 $369 W/m$이다.

④ X

- 1,569는 대류와 복사의 면적 적용을 잘못하여 크게 부풀린 값이다. 이 문제는 단위길이당 면적 πd를 한 번만 곱해야 한다.
- 틀린 값 1,569 → 올바르게는 $369 W/m$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 열유속 W/m^2와 단위길이당 열손실 W/m을 혼동하는 데 있다. 또한 복사를 빼먹거나, 반대로 대류와 복사에 면적을 중복 적용하면 큰 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통의 단위길이당 열손실 문제는 먼저 $A' = \pi d$를 만든 뒤, 대류와 복사를 각각 W/m로 계산하여 마지막에 합산하는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

긴 원통의 단위길이당 표면적은 πd이고, 총 열손실은 대류와 복사의 합이다.

NoteBase

문 9. 공기 중의 기체 A를 물에 흡수시키고자 한다. 이 기체흡수 공정에서 평형선의 기울기는 1이며, 액체경막저항이 기체경막저항의 5배이다. 액체경막계수만 변화시켜 A의 흡수속도를 2배로 높이기 위해서는 액체경막계수를 처음의 몇 배로 해야 하는가?

① 0.4

② 1

③ 2.5

④ 4

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 기체흡수에서 총괄저항이 기체경막저항과 액체경막저항의 합으로 표현되고, 경막계수는 저항에 반비례한다는 점을 이용해 필요한 액체경막계수의 배수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 평형선의 기울기 1, 액체경막저항이 기체경막저항의 5배, 흡수속도를 2배로 증가시켜야 한다는 조건이다.
구해야 할 값은 새로운 액체경막계수가 처음 액체경막계수의 몇 배인지이다.
평형선의 기울기가 1이므로 저항 환산에서 추가 배율 없이 총저항을 $R_G + R_L$로 바로 다룰 수 있다.

사용할 공식

흡수속도 N_A는 총괄저항 R_{tot}에 반비례하므로 $N_A \propto 1/R_{tot}$이다.
총괄저항은 $R_{tot} = R_G + R_L$이다.
경막저항은 경막계수에 반비례하므로 $R_L \propto 1/k_L$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 기체저항과 액체저항의 상대적 크기를 주었고, 바꾸는 변수도 액체경막계수 하나뿐이기 때문이다.

계산 과정

기체경막저항을 $R_G = r$라고 두면 처음 액체경막저항은 $R_L = 5r$이다.
처음 총저항은 $R_{tot} = r + 5r = 6r$이다.
흡수속도를 2배로 하려면 총저항은 절반이 되어야 하므로 새로운 총저항은 $6r/2 = 3r$이다.
기체경막저항은 그대로이므로 새로운 액체경막저항은 $R_L' = 3r - r = 2r$이다.
따라서 $R_L'/R_L = 2r/5r = 2/5$이다.
저항은 계수에 반비례하므로 $k_L'/k_L = R_L/R_L' = 5/2 = 2.5$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 0.4배는 액체경막계수를 줄이는 값이므로 액체경막저항이 오히려 2.5배 커진다. 올바르게는 액체경막저항이 처음의 0.4배가 되어야 하며, 그에 대응하는 액체경막계수는 2.5배이다.
2번 X: 1배는 액체경막계수를 바꾸지 않은 경우이므로 총저항이 그대로 $6r$로 남아 흡수속도도 증가하지 않는다. 올바르게는 계수를 증가시켜 총저항을 $3r$까지 낮춰야 한다.
3번 O: 액체경막계수를 2.5배로 하면 액체경막저항은 처음의 $1/2.5 = 0.4$배가 되어 $5r \rightarrow 2r$로 줄어든다. 그러면 총저항이 $r + 2r = 3r$가 되어 흡수속도가 정확히 2배가 된다.
4번 X: 4배는 액체경막저항을 $5r/4 = 1.25r$로 줄이는 경우라서 총저항이 $r + 1.25r = 2.25r$가 된다. 이는 흡수속도를 2배보다 더 크게 만드는 값이며, 올바른 필요 배수는 2.5배이다.

오답 포인트

액체경막저항이 5배라는 조건을 액체경막계수가 5배라는 뜻으로 거꾸로 읽으면 바로 틀린다. 이 문제의 함정은 저항과 계수가 서로 반비례한다는 점, 그리고 속도 2배 증가가 계수 2배 증가와 같지 않다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

저항비가 주어지는 흡수 계산은 먼저 기체저항을 r로 두고 총저항을 합으로 만든 뒤, 속도 변화량을 총저항 변화량으로 바꿔 계산한다. 마지막에는 저항과 경막계수의 반비례 관계로 다시 환산하면 된다.

암기 포인트

흡수속도는 총저항의 역수이고, 경막계수는 각 경막저항의 역수라는 두 역비 관계가 핵심이다.

NoteBase

문 10. 고체물질 C 내에서 물질 A와 B가 확산하고 있다. 이들의 확산계수를 각각 D_{AC}와 D_{BC}라고 하자. 이 확산계수들은 온도에 대해 Arrhenius 식의 형태를 따르고, 온도가 높아지면서 D_{AC}와 D_{BC}는 동일한 값으로 수렴할 때, 온도 $T_2\left(=\frac{T_1}{2}\right)$에서의 $\frac{D_{AC}}{D_{BC}}$는 온도 T_1에서의 $\frac{D_{AC}}{D_{BC}}$의 몇 배인가? (단, R은 기체상수이고, 모든 온도에서 물질 A의 확산활성화에너지는 RT_1, 물질 B의 확산활성화에너지는 $2RT_1$로 일정하다)

① e

② e^2

③ e^{-1}

④ e^{-2}

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 확산계수의 Arrhenius식에서 활성화에너지 차이가 비율 D_{AC}/D_{BC}에 어떻게 반영되는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 물질 A의 확산활성화에너지 $E_A = RT_1$, 물질 B의 확산활성화에너지 $E_B = 2RT_1$, 그리고 $T_2 = T_1/2$이다.
고온에서 D_{AC}와 D_{BC}가 같은 값으로 수렴하므로 Arrhenius식의 전지수항은 두 물질에서 같다고 본다.
구해야 할 값은 T_2에서의 D_{AC}/D_{BC}가 T_1에서의 D_{AC}/D_{BC}의 몇 배인지이다.

사용할 공식

확산계수는 $D = D_0\exp(-E/RT)$이다.
따라서 두 물질의 비는 $\frac{D_{AC}}{D_{BC}} = \frac{D_{0,A}}{D_{0,B}}\exp\left(-\frac{E_A - E_B}{RT}\right)$이다.
이 문제에서는 고온에서 두 확산계수가 같은 값으로 수렴하므로 $D_{0,A} = D_{0,B}$가 되어 비율식만 남는다.

계산 과정

1. 전지수항이 같으므로 $\frac{D_{AC}}{D_{BC}} = \exp\left(-\frac{E_A - E_B}{RT}\right)$이다.
2. $E_A = RT_1$, $E_B = 2RT_1$를 대입하면 $\frac{D_{AC}}{D_{BC}} = \exp\left(-\frac{RT_1 - 2RT_1}{RT}\right) = \exp\left(\frac{T_1}{T}\right)$이다.
3. $T = T_1$이면 $\frac{D_{AC}}{D_{BC}} = \exp(1) = e$이다.
4. $T = T_2 = T_1/2$이면 $\frac{D_{AC}}{D_{BC}} = \exp(2) = e^2$이다.
5. 따라서 T_2에서의 값은 T_1에서의 값의 $\frac{e^2}{e} = e$배이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: T_1에서의 비는 e, T_2에서의 비는 e^2이므로 비교값은 $e^2/e = e$이다.
② X: e^2는 T_2에서의 D_{AC}/D_{BC} 자체의 값이다. 문제는 이것이 T_1에서의 값에 비해 몇 배인지를 묻는다. 옳게는 e이다.
③ X: e^{-1}는 활성화에너지 차이의 부호를 반대로 넣어 $\frac{D_{AC}}{D_{BC}} = \exp(-T_1/T)$처럼 계산할 때 나오는 오답이다. 옳게는 $\exp(T_1/T)$가 되어 최종 비교값은 e이다.
④ X: e^{-2}는 부호를 반대로 처리한 데 더해 T_2와 T_1의 비율 비교도 잘못한 값이다. 옳게는 T_2에서의 값이 T_1에서의 값보다 e배 크다.

오답 포인트

고온에서 같은 값으로 수렴한다는 문장에서 전지수항이 같다는 조건을 놓치기 쉽다.
또한 T_2에서의 비율 자체인 e^2와, 그것이 T_1에서의 비율 e에 비해 몇 배인지를 구하는 마지막 비교를 혼동하기 쉽다.
활성화에너지 차이 $E_A - E_B$의 부호를 반대로 넣으면 역수가 되어 정반대 선택지가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

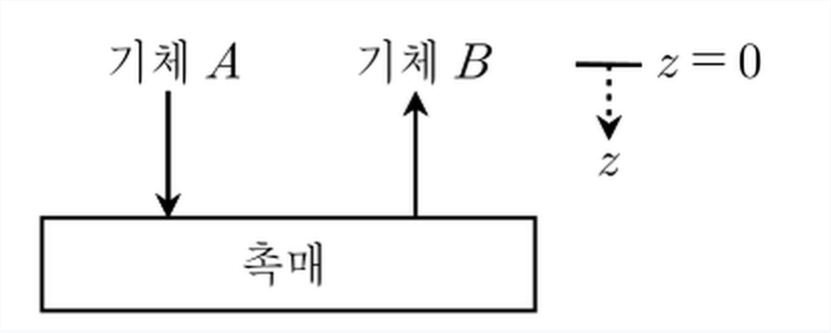
Arrhenius형 비율 문제는 먼저 전지수항이 소거되는지 확인하고, 다음에 $\exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right)$ 형태로 정리한 뒤, 각 온도에서의 값을 따로 구해 마지막에 비교하면 된다.

암기 포인트

Arrhenius 비율은 전지수항 소거 여부를 먼저 보고, 활성화에너지가 큰 물질일수록 저온에서 더 불리하다는 점을 함께 기억하면 된다.

NoteBase

문 11. 기체 A가 고체 촉매표면에서 화학반응 $A \rightarrow 2B$를 통해 기체 B로 전환된다. 촉매표면의 기체경막을 통한 z-방향 확산에 비해 반응속도가 매우 빠를 때, A의 z-방향 몰플럭스($N_{A,z}$)는? (단, y_A는 A의 기상 몰분율, D_{AB}는 확산계수, z는 기체 영역에서 촉매표면으로의 좌표이며, c는 전체 농도로 일정하다)



① $-\frac{cD_{AB}}{(1-y_A)}\frac{dy_A}{dz}$
② $-\frac{cD_{AB}}{(1+y_A)}\frac{dy_A}{dz}$
③ $-\frac{cD_{AB}}{(1+3y_A)}\frac{dy_A}{dz}$
④ $-\frac{cD_{AB}}{(1-3y_A)}\frac{dy_A}{dz}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 비등몰 확산이 아닌 표면반응 동반 이성분 확산에서 화학양론으로 전체 몰플럭스를 먼저 정한 뒤 $N_{A,z}$ 식을 세우는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응은 $A \rightarrow 2B$이다.
촉매 표면에서 반응이 매우 빨라 기상경막 확산이 지배적이며, 화학양론 때문에 $N_{B,z} = -2N_{A,z}$가 된다.
따라서 전체 몰플럭스는 $N_z = N_{A,z} + N_{B,z} = -N_{A,z}$이다.

사용할 공식

이성분계에서 A의 몰플럭스는 $N_{A,z} = -cD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A N_z$이다.
이 문제는 반응 때문에 전체 몰플럭스 N_z가 0이 아니므로, 단순 등몰상반확산식이 아니라 화학양론으로 구한 $N_z = -N_{A,z}$를 대입해야 한다.

NoteBase

계산 과정

화학양론으로부터 $N_z = -N_{A,z}$이다.
이를 $N_{A,z} = -cD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A N_z$에 대입하면
$N_{A,z} = -cD_{AB}\frac{dy_A}{dz} - y_A N_{A,z}$
정리하면
$(1 + y_A)N_{A,z} = -cD_{AB}\frac{dy_A}{dz}$
따라서
$N_{A,z} = -\frac{cD_{AB}}{1+y_A}\frac{dy_A}{dz}$
이므로 정답은 2번이다.

선지별 해설

① X
$-\frac{cD_{AB}}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz}$는 $N_{B,z} = 0$인 정지한 B를 통과하는 A의 확산식이다. 이 문제에서는 B가 생성되어 표면에서 바깥쪽으로 이동하므로 맞지 않는다. 틀린 표현은 분모의 $(1 - y_A)$이며, 올바르게는 $(1 + y_A)$이다.

② O
반응식 $A \rightarrow 2B$에서 $N_{B,z} = -2N_{A,z}$이므로 $N_z = -N_{A,z}$가 된다. 이를 일반식에 넣으면 $N_{A,z} = -\frac{cD_{AB}}{1+y_A}\frac{dy_A}{dz}$가 되어 정답과 일치한다.

③ X
분모가 $(1 + 3y_A)$가 되려면 $N_z = -3N_{A,z}$ 같은 관계가 필요하다. 이는 $A \rightarrow 2B$의 화학양론과 맞지 않는다. 틀린 표현은 계수 3이며, 올바르게는 1이다.

④ X
분모가 $(1 - 3y_A)$가 되려면 전체 몰플럭스의 방향과 크기가 현재 반응계와 반대로 잡혀야 한다. $A \rightarrow 2B$에서는 B 생성 때문에 $N_z = -N_{A,z}$가 되어야 하므로 성립하지 않는다. 틀린 표현은 $-3y_A$이며, 올바르게는 $+y_A$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 생성물 B가 움직이지 않는다고 보고 ①의 정지성분 확산식을 쓰는 것이다. 이 문제의 핵심은 반응식 $A \rightarrow 2B$에서 전체 몰수가 증가하므로 전체 몰플럭스가 0이 아니라는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

표면반응이 붙은 확산 문제는 먼저 반응식으로 N_B와 N_A의 비를 정하고, 그다음 $N = N_A + N_B$를 구한 뒤, 마지막에 $N_A = -cD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A N$에 대입하는 순서로 판단한다.

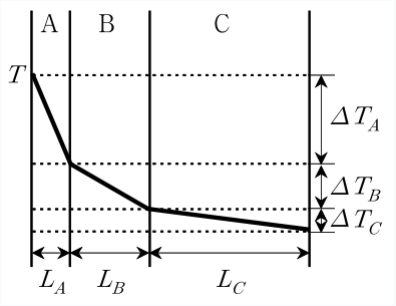
NoteBase

암기 포인트

$A \to 2B$이면 $N_B = -2N_A$, 따라서 $N = -N_A$, 그래서 분모는 $(1 + y_A)$이다.

NoteBase

문 12. 직렬로 연결된 세 개의 고체평판 A, B, C 층을 통과하는 정상상태 열흐름에서 각 층의 온도 분포는 그림과 같다. A, B, C 각 평판의 두께(L)는 10 mm, 20 mm, 40 mm이고, 각 평판에서의 온도 차이(ΔT)는 40 K, 20 K, 10 K이다. 열전도도가 가장 큰 평판은 어느 것이며, 평판 B의 열전도도는 평판 A의 열전도도의 몇 배인가?



① A, 0.25

② A, 4

③ C, 0.25

④ C, 4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 직렬 평판의 정상상태 열전도에서 열유속이 각 층에서 같다는 점을 이용해 $k \propto \frac{L}{\Delta T}$ 관계를 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 A, B, C의 두께가 각각 10 mm, 20 mm, 40 mm이고, 온도 차가 각각 40 K, 20 K, 10 K라는 점이다.
구해야 할 값은 열전도도가 가장 큰 평판과 평판 B의 열전도도가 평판 A의 몇 배인지이다.
주의할 조건은 세 평판이 직렬 연결된 정상상태이므로 각 층을 지나는 열유속이 동일하다는 점이다.

사용할 공식

정상 1차원 열전도에서 열유속은 $q = \frac{k\Delta T}{L}$이다.
직렬 연결된 각 층에서는 q가 같으므로 $k = \frac{qL}{\Delta T}$이고, 같은 q에서는 $k \propto \frac{L}{\Delta T}$로 비교할 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 각 층의 두께와 온도 차를 함께 주었고, 그림이 정상상태 직렬 전도를 나타내기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 각 평판의 $\frac{L}{\Delta T}$를 계산한다.
A는 $\frac{10}{40} = 0.25$, B는 $\frac{20}{20} = 1$, C는 $\frac{40}{10} = 4$이다.
2. 같은 열유속 조건이므로 열전도도 크기는 $\frac{L}{\Delta T}$의 크기와 같다.
따라서 $k_C > k_B > k_A$이므로 열전도도가 가장 큰 평판은 C이다.
3. 비율은 $\frac{k_B}{k_A} = \frac{1}{0.25} = 4$이다.

선지 판단

1번: X. A가 가장 크다는 판단이 틀리다. A의 $\frac{L}{\Delta T}$는 0.25로 가장 작다. 올바르게는 열전도도가 가장 큰 평판은 C이고, $\frac{k_B}{k_A} = 4$이다.
2번: X. B가 A의 4배라는 비율은 맞지만, 가장 큰 평판을 A로 본 부분이 틀리다. 올바르게는 가장 큰 평판은 C이다.
3번: X. 가장 큰 평판을 C로 본 부분은 맞지만, 비율 0.25가 틀리다. 올바르게는 $\frac{k_B}{k_A} = 4$이다.
4번: O. $k \propto \frac{L}{\Delta T}$이므로 C가 가장 크고, B는 1, A는 0.25이어서 $\frac{k_B}{k_A} = 4$가 된다.

오답 포인트

온도 차가 작을수록 열전도도가 작다고 바로 생각하면 틀린다. 이 문제는 두께와 온도 차를 함께 봐야 하며, 직렬 전도에서는 $\frac{L}{\Delta T}$를 비교해야 한다. 특히 3번은 평판 선택은 맞고 비율만 바꿔 놓은 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 열전도 문제는 먼저 각 층의 열유속이 같은지 확인한 뒤 $q = \frac{k\Delta T}{L}$에서 $k \propto \frac{L}{\Delta T}$로 바꾸어 비교하면 된다.
그다음 가장 큰 값과 요구한 비율을 순서대로 계산하면 된다.

암기 포인트

직렬 정상상태 열전도는 같은 q, 따라서 열전도도 비교는 $\frac{L}{\Delta T}$ 비교이다.

NoteBase

문 13. 비압축성 유체가 $4\mathrm{cms}^{-1}$의 평균속도로 내부지름이 $4\mathrm{cm}$인 관(pipe) 안에서 흐르고 있다. 이 유체의 밀도가 $2\mathrm{gcm}^{-3}$이고 점도가 $2\mathrm{cP}$일 때, Fanning 마찰인자(friction factor)는?

① 0.005

② 0.01

③ 0.05

④ 0.1

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Reynolds 수를 구해 층류 여부를 판단한 뒤 Fanning 마찰인자 $f = 16/Re$를 적용할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: 평균속도 $v = 4cm/s$, 관 내경 $D = 4cm$, 밀도 $\rho = 2g/cm^3$, 점도 $\mu = 2cP = 0.02g/(cm \cdot s)$이다.
구해야 할 값: Fanning 마찰인자 f이다.
주의할 조건: 점도 cP를 Poise 계열 단위로 바꿔 Reynolds 수를 계산해야 한다.

사용할 공식

Reynolds 수는 $Re = \rho vD/\mu$이다. 층류이면 Fanning 마찰인자는 $f = 16/Re$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 관내 유동의 마찰인자는 먼저 Re로 층류인지 판단한 뒤 해당 유동영역의 식을 적용해서 구하기 때문이다.

계산 과정

1. 점도를 단위 변환하면 $2cP = 0.02g/(cm \cdot s)$이다.
2. Reynolds 수는 $Re = (2 \times 4 \times 4)/0.02 = 1600$이다.
3. $Re = 1600 < 2100$이므로 층류이다.
4. 따라서 Fanning 마찰인자는 $f = 16/1600 = 0.01$이다.

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 0.01이므로 0.005는 틀리다. 마찰인자는 0.005가 아니라 0.01이다.
2번 O: $Re = 1600$인 층류에서 $f = 16/Re = 0.01$이므로 맞다.
3번 X: 0.05는 계산값보다 5배 크므로 틀리다. 마찰인자는 0.05가 아니라 0.01이다.
4번 X: 0.1은 계산값보다 10배 크므로 틀리다. 마찰인자는 0.1이 아니라 0.01이다.

NoteBase

오답 포인트

점도 2cP를 그대로 2로 넣으면 Reynolds 수가 과소평가되어 마찰인자를 크게 틀리기 쉽다. Darcy 마찰인자 식 $64/Re$와 Fanning 식 $16/Re$를 혼동해도 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

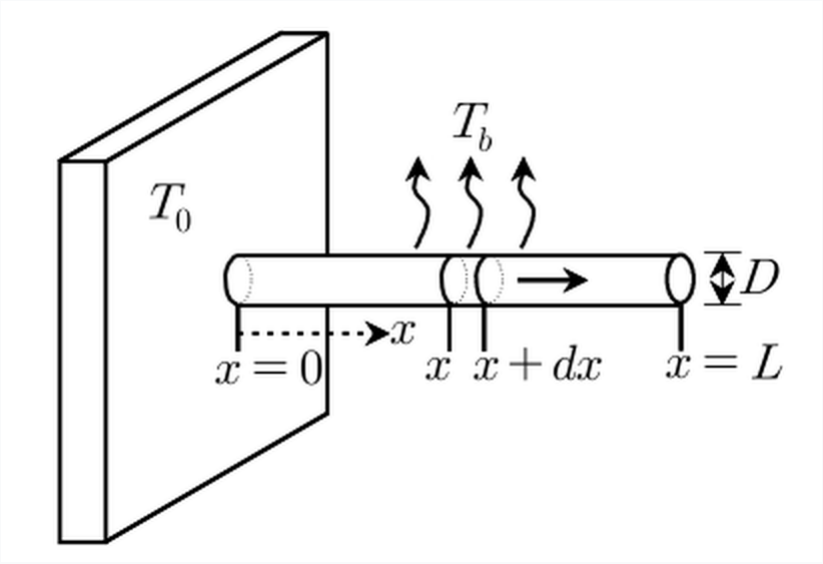
관마찰 계산형 문제는 먼저 단위를 맞춘 뒤 Re를 계산하고, 유동영역을 판정한 다음 Fanning인지 Darcy인지 확인해서 해당 식을 적용하면 된다.

암기 포인트

층류 관유동에서는 Fanning 마찰인자가 $16/Re$, Darcy 마찰인자가 $64/Re$이다.

NoteBase

문 14. 그림과 같이 벽에 부착된 지름이 D이고 길이가 L인 봉(rod) 형태의 알루미늄 핀(fin)을 통해 열이 방출되고 있다. 핀 외부로의 대류와 x-방향의 1차원 정상상태 열전도만을 고려한 핀에서의 온도 분포 $T = T(x)$ 지배방정식은? (단, h는 열전달계수이고, k는 핀의 열전도도이며, T_0는 벽의 온도, T_b는 공기의 온도이고, $T_0 > T_b$이다)



① $k\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{h}{D}(T - T_b) = 0$
② $k\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{2h}{D}(T - T_b) = 0$
③ $k\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{4h}{D}(T - T_b) = 0$
④ $k\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{8h}{D}(T - T_b) = 0$

정답 3번

출제 포인트

원형 봉 핀의 1차원 정상상태 열전도 지배방정식을 세울 때 단면적 A와 둘레 P의 비 P/A를 정확히 구하는지가 핵심이다.

조건 정리

주어진 형상은 지름 D, 길이 L인 원형 봉 핀이다.
열전도는 x 방향 1차원 정상상태로 본다.
핀 외부에서는 대류만 일어나고, 주변 유체 온도는 T_b이다.
핀 재질의 열전도도는 k이고, 열전달계수는 h이다.

NoteBase

사용할 공식

핀의 정상상태 1차원 지배방정식은
$\frac{d}{dx}\left(kA\frac{dT}{dx}\right) - hP(T - T_b) = 0$
이다.

여기서 A는 전도 단면적, P는 대류가 일어나는 젖은둘레이며, 이 문제의 원형 봉에서는 $A = \pi D^2/4$, $P = \pi D$
이다.

따라서 상수 k, A를 두면
$kA\frac{d^2T}{dx^2} - hP(T - T_b) = 0$
이고, A로 나누면
$k\frac{d^2T}{dx^2} - h\frac{P}{A}(T - T_b) = 0$
가 된다.

계산 과정

1. 원형 봉의 단면적은 $A = \pi D^2/4$이다.

2. 원형 봉의 둘레는 $P = \pi D$이다.

3. 따라서
$\frac{P}{A} = \frac{\pi D}{\pi D^2/4} = \frac{4}{D}$
이다.

4. 이를 지배방정식에 대입하면
$k\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{4h}{D}(T - T_b) = 0$
가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X
계수 $\frac{h}{D}$는 $\frac{P}{A}$를 $\frac{1}{D}$로 잘못 본 경우이다. 원형 봉에서는 $\frac{P}{A}=\frac{4}{D}$이므로 옳게는 $k\frac{d^2T}{dx^2}-\frac{4h}{D}(T-T_b)=0$가 된다.

② X
계수 $\frac{2h}{D}$는 평판 핀의 양면 대류를 떠올리거나 둘레/단면적 비를 절반으로 착각한 값이다. 이 문제의 형상은 원형 봉이므로 옳게는 $\frac{4h}{D}$가 들어간다.

③ O
원형 봉 핀의 경우 $\frac{P}{A}=\frac{4}{D}$이므로
$k\frac{d^2T}{dx^2}-\frac{4h}{D}(T-T_b)=0$
가 성립한다. 따라서 ③이 옳다.

④ X
계수 $\frac{8h}{D}$는 둘레 효과를 중복 계산한 값이다. 대류항은 이미 $hP(T-T_b)$로 한 번만 들어가므로 옳은 계수는 $\frac{4h}{D}$이다.

오답 포인트

원형 핀 문제에서 가장 흔한 실수는 단면적 A와 둘레 P를 따로 기억하지 않고 감으로 계수를 고르는 것이다. 특히 ②처럼 평판 핀의 계수 $\frac{2}{t}$ 형태를 원형 봉에 그대로 옮기면 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

핀 지배방정식 문제는 먼저 $\frac{d}{dx}(kA\frac{dT}{dx})-hP(T-T_b)=0$를 적고, 그다음 해당 형상의 A와 P를 구해 P/A만 정확히 계산하면 빠르게 판단할 수 있다.

암기 포인트

원형 봉 핀은 $A=\pi D^2/4$, $P=\pi D$, 따라서 $P/A=4/D$이다.

NoteBase

문 15. 창문에 환풍기를 설치하여 실내의 오염된 공기를 실외로 방출하고자 한다. 피토정관(pitot-static tube)의 차압계를 환풍기 바로 외부에 설치하여 압력차를 측정하였더니 260 Pa이었다. 환풍기를 통해 방출되는 공기 흐름의 속도[ms^{-1}]는? (단, 공기의 밀도는 $1.3kgm^{-3}$이고, 피토정관에 대한 마찰은 무시한다)

① 10

② 20

③ 30

④ 40

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 피토정관의 차압이 곧 동압이라는 관계를 이용해 공기 속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 차압 $\Delta p = 260Pa$, 공기 밀도 $\rho = 1.3kg/m^3$

구해야 할 값: 환풍기를 통과하는 공기 속도 v

주의할 조건: 피토정관 마찰을 무시하므로 차압을 그대로 동압 $\frac{1}{2}\rho v^2$로 둔다.

사용할 공식

$\Delta p = \frac{1}{2}\rho v^2$

따라서 $v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$

이 공식은 피토정관의 정체압과 정압의 차가 유체의 동압이기 때문에 사용한다.

계산 과정

$v = \sqrt{\frac{2 \times 260}{1.3}} = \sqrt{400} = 20m/s$

따라서 방출 공기 속도는 $20m/s$이다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. $10 m/s$는 계산값보다 작다. 주어진 차압 $260 Pa$를 동압식에 대입하면 나오지 않는 수치이며, 올바른 속도는 $20 m/s$이다.
2번: O. $v = 20 m/s$로 계산되므로 정답이다.
3번: X. $30 m/s$이면 동압이 $\frac{1}{2} \times 1.3 \times 30^2 = 585 Pa$가 되어 주어진 차압 $260 Pa$와 맞지 않는다. 틀린 수치이며, 올바른 속도는 $20 m/s$이다.
4번: X. $40 m/s$이면 동압이 $\frac{1}{2} \times 1.3 \times 40^2 = 1040 Pa$가 되어 과대하다. 틀린 수치이며, 올바른 속도는 $20 m/s$이다.

오답 포인트

피토정관 차압을 그대로 속도로 보거나, $v = \sqrt{\Delta p/\rho}$처럼 계수 2를 빠뜨리면 오답이 된다. 제곱근을 취하지 않고 비례식만 보는 실수도 잦다.

다시 나오면 이렇게 판단

피토정관 문제가 나오면 차압을 먼저 동압 $\frac{1}{2}\rho v^2$와 연결하고, $v = \sqrt{2\Delta p/\rho}$로 정리한 뒤 계산값과 선지를 대조한다.

암기 포인트

피토정관 차압은 동압이므로 $\Delta p = \frac{1}{2}\rho v^2$, 속도는 제곱근으로 구한다.

NoteBase

문 16. 열린 탱크가 $300K$의 공기에 노출된 상태로 벤젠을 저장하고 있다. $300K$에서 벤젠의 증기압이 $1.2 \times 10^4 Pa$, 물질전달계수가 $0.08 ms^{-1}$일 때, 벤젠의 증발속도$[molm^{-2}s^{-1}]$는? (단, 기체상수는 $8.0 Pam^3 mol^{-1}K^{-1}$이다)

① 0.1

② 0.2

③ 0.4

④ 0.8

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 기액 계면의 물질전달식 $N_A = k_c(C_{Ai} - C_{A\infty})$와 이상기체식 $C_A = p_A/(RT)$를 이용해 벤젠의 증발속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:

- $T = 300K$
- 벤젠 증기압 $p_{Ai} = 1.2 \times 10^4 Pa$
- 물질전달계수 $k_c = 0.08 m/s$
- 벌크 공기 중 벤젠 농도는 열린 탱크가 외기에 노출된 조건이므로 거의 0으로 본다.

구해야 할 값:

- 벤젠 증발속도 N_A

주의할 조건:

- 압력을 바로 농도로 쓰지 않고 $C_A = p_A/(RT)$로 바꿔야 한다.

사용할 공식

$N_A = k_c(C_{Ai} - C_{A\infty}), \quad C_A = \frac{p_A}{RT}$

이 공식을 쓰는 이유:

열린 탱크에서 벤젠은 액면에서 증발해 공기 중으로 이동하므로, 계면 농도와 벌크 농도의 차이에 비례하는 물질전달식으로 플럭스를 계산하는 상황이다.

NoteBase

계산 과정

1. 계면의 벤젠 농도를 이상기체식으로 바꾸면
$C_{Ai} = \frac{p_{Ai}}{RT} = \frac{1.2 \times 10^4}{8.0 \times 300} = 5 mol/m^3$
2. 벌크 공기 중 벤젠 농도는 거의 0이므로 $C_{A\infty} \approx 0$이다.
3. 따라서
$N_A = 0.08 \times (5 - 0) = 0.4 mol/(m^2 \cdot s)$
이므로 벤젠의 증발속도는 0.4이다.

선지별 해설

① X: 틀린 표현은 '증발속도 = 0.1'이다. 계산 결과는 $0.4 mol/(m^2 \cdot s)$이므로 올바르게는 '증발속도 = 0.4'이다. 압력을 농도로 바꾸는 과정이나 최종 곱셈에서 수치를 축소하면 이런 오답이 나온다.
② X: 틀린 표현은 '증발속도 = 0.2'이다. 계산 결과는 $0.4 mol/(m^2 \cdot s)$이므로 올바르게는 '증발속도 = 0.4'이다. 계면 농도 $5 mol/m^3$를 절반 수준으로 잘못 처리하면 가까운 값이 된다.
③ O: $C_{Ai} = 5 mol/m^3$, $C_{A\infty} \approx 0$이므로 $N_A = 0.08 \times 5 = 0.4 mol/(m^2 \cdot s)$이다. 수치와 단위가 모두 맞는다.
④ X: 틀린 표현은 '증발속도 = 0.8'이다. 계산 결과는 $0.4 mol/(m^2 \cdot s)$이므로 올바르게는 '증발속도 = 0.4'이다. 농도차를 두 배로 보거나 수치를 중복 곱하면 이런 오답이 나온다.

오답 포인트

증기압 p를 바로 증발속도로 쓰면 안 되고, 먼저 $C = p/(RT)$로 농도로 바꿔야 한다. 또 열린 탱크의 벌크 공기에서는 $C_{A\infty} \approx 0$이라는 조건을 놓치면 농도차를 잘못 잡게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체로 증발하는 물질전달 문제는 먼저 주어진 값이 압력인지 농도인지를 구분하고, 압력이 주어지면 $C = p/(RT)$로 바꾼 뒤 $N_A = k_c \Delta C_A$ 순서로 계산하면 된다.

암기 포인트

증기압이 주어지면 바로 플럭스로 가지 않고 $p \rightarrow C \rightarrow N_A$ 순서로 정리한다.

NoteBase

문 17. 이중관 열교환기에서 고온 유체가 작은 관(pipe) 내부를, 저온 유체가 두 관 사이의 환상 공간(annular space)을 통해 흐르고 있다. 두 유체의 흐름은 난류이고 모든 관의 표면은 매끄럽다. 작은 관 벽 근처에서 관의 반지름 r-방향에 대한 저온 유체의 온도 분포 함수 $T = T_w - 2(r - r_i)$일 때, 저온 유체에 대한 Nusselt 수는? (단, r_i는 작은 관의 외부 반지름, D_{eq}는 환상 공간의 상당지름(equivalent diameter)이고, T_m은 저온 유체의 평균온도, T_w는 저온 유체와 접한 작은 관의 벽면 온도이다)

① $\frac{2D_{eq}}{T_m - T_w}$
② $\frac{2D_{eq}}{T_w - T_m}$
③ $\frac{D_{eq}}{2(T_m - T_w)}$
④ $\frac{D_{eq}}{2(T_w - T_m)}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 벽면 온도구배로 열유속을 구한 뒤 $Nu = hD_{eq}/k$ 정의식에 대입하는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 작은 관 바깥벽 근처 저온 유체의 온도분포 $T = T_w - 2(r - r_i)$이다.
벽면에서의 온도구배는 $\frac{dT}{dr}\Big|_{r=r_i} = -2$이다.
저온 유체는 벽면과 접하고 있으므로 대류 열전달계수는 $h = \frac{q''}{T_w - T_m}$로 둔다.
저온 유체가 가열되는 상황이므로 $T_w > T_m$이다.

사용할 공식

벽면 열유속은 $q'' = -k\frac{dT}{dr}\Big|_w$이다.
대류 열전달계수는 $h = \frac{q''}{T_w - T_m}$이다.
Nusselt 수는 $Nu = \frac{hD_{eq}}{k}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제가 벽면 근처 온도분포를 직접 주었으므로 먼저 전도식으로 벽면 열유속을 구하고, 그 열유속을 대류 정의식에 연결하면 바로 Nu를 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 온도분포를 미분하면 $\frac{dT}{dr} = -2$이다.
2. 따라서 벽면 열유속은 $q'' = -k\frac{dT}{dr} = 2k$이다.
3. 그러므로 $h = \frac{q''}{T_w - T_m} = \frac{2k}{T_w - T_m}$이다.
4. 이를 Nusselt 수 정의식에 대입하면 $Nu = \frac{hD_{eq}}{k} = \frac{2D_{eq}}{T_w - T_m}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

틀린 표현은 분모의 $T_m - T_w$이다. 저온 유체가 가열되므로 $T_w > T_m$이고, 이 식은 음의 Nusselt 수를 만들어 물리적으로 맞지 않는다. 올바르게는 $\frac{2D_{eq}}{T_w - T_m}$이다.

② O

계산 결과가 바로 $Nu = \frac{2D_{eq}}{T_w - T_m}$이므로 맞는 선지이다.

③ X

틀린 표현은 분모의 부호와 앞의 계수이다. $T_m - T_w$는 부호가 반대이고, 벽면 열유속 $q'' = 2k$가 반영되어야 하므로 앞계수도 $\frac{1}{2}$가 아니라 2가 되어야 한다. 올바르게는 $\frac{D_{eq}}{2(T_m - T_w)}$가 아니라 $\frac{2D_{eq}}{T_w - T_m}$이다.

④ X

틀린 표현은 앞의 계수이다. 분모 $T_w - T_m$의 방향은 맞지만, 벽면 열유속 $q'' = 2k$를 넣으면 Nu 앞계수는 $\frac{1}{2}$가 아니라 2가 된다. 올바르게는 $\frac{D_{eq}}{2(T_w - T_m)}$가 아니라 $\frac{2D_{eq}}{T_w - T_m}$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 온도차의 방향을 $T_m - T_w$로 두어 부호를 뒤집는 실수와, 벽면 온도구배 -2에서 나온 계수 2를 놓치는 실수이다. 이 문제는 난류 여부보다 벽면 기울기와 Nusselt 수 정의식을 바로 연결하는지가 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

온도분포가 주어지면 먼저 벽면에서 dT/dr를 구해 $q'' = -kdT/dr$를 만든다. 그다음 $h = q''/(T_w - T_m)$, 마지막으로 $Nu = hD/k$ 순서로 연결하면 부호와 계수를 함께 정리할 수 있다.

암기 포인트

벽면 온도분포가 보이면 전도식으로 q''를 먼저 구하고, 그 열유속을 h와 Nu 정의식에 차례로 넣는 구조이다.

NoteBase

문 18. 내부지름이 10 mm, 외부지름이 20 mm인 고무 관(pipe)의 내벽 온도가 275 K, 외벽 온도가 300 K로 일정하게 유지되고 있다. 이 관을 통한 열전달량이 15 W일 때, 이 관의 길이[m]는? (단, 고무의 열전도도는 0.0151 $Wm^{-1}K^{-1}$이고, $\ln 2 = 0.7$로 가정한다)

① 1.31

② 2.65

③ 3.92

④ 4.43

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 원통벽의 정상상태 반경방향 열전도식을 이용해 관의 길이 L를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 내경 $10mm$, 외경 $20mm$, 내벽 온도 $275K$, 외벽 온도 $300K$, 열전도도 $0.0151Wm^{-1}K^{-1}$, 열전달량 $15W$, $\ln 2 = 0.7$이다.
구해야 할 값: 관의 길이 L이다.
주의할 조건: 원통벽 전도이므로 평판식이 아니라 로그항 $\ln(r_o/r_i)$가 들어가는 식을 써야 한다.

사용할 공식

$$Q = \frac{2\pi kL(T_o - T_i)}{\ln(r_o/r_i)}$$

이 공식을 쓰는 이유는 고무 관의 벽을 따라 반경방향으로 정상상태 전도가 일어나는 원통벽 문제이기 때문이다.

계산 과정

1. 반지름비는 $r_o/r_i = 10/5 = 2$이므로 $\ln(r_o/r_i) = \ln 2 = 0.7$이다.
2. 온도차는 $\Delta T = 300 - 275 = 25K$이다.
3. 공식을 L에 대해 정리하면 $L = \frac{Q\ln(r_o/r_i)}{2\pi k\Delta T}$ 이다.
4. 값을 대입하면 $L = \frac{15 \times 0.7}{2\pi \times 0.0151 \times 25} \approx 4.43m$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 계산 결과 관의 길이는 $4.43m$이므로 $1.31m$는 식을 만족하지 않는다.
- 틀린 표현은 '길이가 1.31 m이다'이고, 올바르게는 '길이가 4.43 m이다'이다.

② X
- 원통벽 전도식을 정확히 대입하면 $L \approx 4.43m$가 나온다.
- 틀린 표현은 '길이가 2.65 m이다'이고, 올바르게는 '길이가 4.43 m이다'이다.

③ X
- $3.92m$도 계산값과 일치하지 않으므로 오답이다. 원통벽 전도는 로그항까지 포함해 계산해야 한다.
- 틀린 표현은 '길이가 3.92 m이다'이고, 올바르게는 '길이가 4.43 m이다'이다.

④ O
- 원통벽 정상상태 전도식으로 계산하면 $L \approx 4.43m$가 된다.
- 계산 결과와 일치하므로 옳은 선택지는 ④이다.

오답 포인트

원통벽 전도를 평판 전도처럼 처리하거나, 식을 L에 대해 정리할 때 $Q\ln(r_o/r_i)$를 분자로 올리지 못하면 오답이 나온다. 이 문항의 핵심 함정은 형상이 관이라는 점을 놓치고 로그항을 빼먹는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

관이나 원통이 보이면 먼저 원통벽 전도식인지 확인하고, 다음에 r_o/r_i 비와 온도차를 구한 뒤 식을 미지수에 맞게 정리해 대입하면 된다.

암기 포인트

원통벽 전도는 $\ln(r_o/r_i)$가 들어가며, 길이를 구할 때는 $L = Q\ln(r_o/r_i)/(2\pi k\Delta T)$ 형태가 된다.

NoteBase

문 19. 다음의 2차원 속도장(velocity field) 중에서 비압축성 흐름이 아닌 것은? (단, u와 v는 각각 x-방향의 속도와 y-방향의 속도이며, 시간 $(t) > 0$이다)

① u: $-x$, v: y

② u: $3y$, v: $3x$

③ u: $4x^2y^3$, v: $-2xy^4$

④ u: $4xt$, v: $4yt$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 2차원 속도장이 비압축성 조건 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$을 만족하는지 판별하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 각 선지의 속도장 (u, v)이다.
구해야 할 값: 각 선지에서 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$의 값이다.
주의할 조건: 발문은 비압축성 흐름이 아닌 것을 묻고, $t > 0$이므로 $8t \neq 0$이다.

사용할 공식

2차원 비압축성 조건은 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 비압축성 여부는 속도장의 발산이 0인지로 바로 판별되기 때문이다.

계산 과정

1. ①은 $u = -x$, $v = y$이므로 $\frac{\partial u}{\partial x} = -1$, $\frac{\partial v}{\partial y} = 1$이다. 따라서 합은 0이다.
2. ②는 $u = 3y$, $v = 3x$이므로 $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial v}{\partial y} = 0$이다. 따라서 합은 0이다.
3. ③은 $u = 4x^2y^3$, $v = -2xy^4$이므로 $\frac{\partial u}{\partial x} = 8xy^3$, $\frac{\partial v}{\partial y} = -8xy^3$이다. 따라서 합은 0이다.
4. ④는 $u = 4xt$, $v = 4yt$이므로 $\frac{\partial u}{\partial x} = 4t$, $\frac{\partial v}{\partial y} = 4t$이다. 따라서 합은 $8t$이고, $t > 0$이므로 0이 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = -1 + 1 = 0$이다. 틀린 판단 표현은 '비압축성 흐름이 아니다'이고, 올바르게는 '비압축성 흐름이다'이다.

② X

- $u = 3y$는 x에 무관하고 $v = 3x$는 y에 무관하므로 $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial v}{\partial y} = 0$이다. 합이 0이므로 비압축성 흐름이다. 틀린 판단 표현은 '비압축성 흐름이 아니다'이고, 올바르게는 '비압축성 흐름이다'이다.

③ X

- $\frac{\partial u}{\partial x} = 8xy^3$, $\frac{\partial v}{\partial y} = -8xy^3$이어서 서로 상쇄된다. 합이 0이므로 비압축성 흐름이다. 틀린 판단 표현은 '비압축성 흐름이 아니다'이고, 올바르게는 '비압축성 흐름이다'이다.

④ O

- $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 4t + 4t = 8t$이다. $t > 0$이므로 0이 될 수 없어서 비압축성 조건을 만족하지 않는다. 발문에 맞는 정답 선지이다.

오답 포인트

발문이 '비압축성 흐름이 아닌 것'이라는 점을 놓치면 0이 되는 선지를 고르기 쉽다. 특히 ②처럼 u가 y만의 함수이고 v가 x만의 함수인 경우에는 값이 커 보여도 자기 좌표에 대한 미분은 둘 다 0이라는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

비압축성 판별 문제는 각 선지마다 먼저 $\frac{\partial u}{\partial x}$와 $\frac{\partial v}{\partial y}$를 구한 뒤 두 값을 더해 0인지 확인하면 된다. 발문이 '옳은 것'인지 '아닌 것'인지까지 마지막에 다시 대조하면 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

2차원 비압축성의 핵심은 $\nabla \cdot \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$이다.

NoteBase

문 20. 밀도가 $1{,}000 kg m^{-3}$인 물이 관(pipe) 안을 일정한 유속으로 흐른다. 관 출구는 입구보다 $4m$ 높고, 입구에서의 절대압력은 $1 kg_f cm^{-2}$, 출구에서의 절대압력은 $2 kg_f cm^{-2}$이다. 물이 펌프에 의해 물 $1kg$당 $20 kg_f \cdot m$의 에너지를 공급받는다면, 관에서 마찰에 의한 에너지 손실 $[kg_f \cdot m kg^{-1}]$은?

① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 유속이 같은 관유동에서 베르누이 방정식에 펌프수두와 마찰손실수두를 넣어 손실 에너지를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값
- 입구 압력: $1 kgf/cm^2$
- 출구 압력: $2 kgf/cm^2$
- 출구 높이: 입구보다 $4m$ 높다
- 펌프 공급 에너지: 물 $1kg$당 $20 kgf \cdot m$
- 유속: 일정하므로 입구와 출구의 속도수두는 같다

구해야 할 값
- 관 마찰에 의한 에너지 손실 $kgf \cdot m kg^{-1}$

주의할 조건
- $1 kgf/cm^2$는 물기둥 약 $10m$에 해당한다
- 절대압력을 주었어도 입구와 출구에 공통으로 포함된 대기압 성분은 차이에서 상쇄된다

사용할 공식

베르누이 방정식에 펌프수두와 손실수두를 포함하면
$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + h_p = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_f$
이다.

이 공식을 쓰는 이유
- 유속이 일정하므로 속도수두 항은 서로 같아 소거된다
- 문제는 펌프가 더한 에너지와 압력수두·위치수두의 증가분을 제외하고 남는 마찰손실을 묻는다

NoteBase

계산 과정

1. 압력수두로 바꾸면 입구는 $10m$, 출구는 $20m$이다.
2. 높이 기준을 $z_1 = 0$으로 두면 $z_2 = 4m$이다.
3. 식에 대입하면
$10 + 20 = 20 + 4 + h_f$
이다.
4. 따라서
$h_f = 6m$
이다.
5. 물 $1kg$ 기준에서는 $6m$ 수두가 그대로 $6kgf \cdot mkg^{-1}$의 손실 에너지에 해당한다.

선지별 해설

① X
- 계산 결과는 $6kgf \cdot mkg^{-1}$이므로 2는 맞지 않는다.
- 틀린 수치 2 → 올바르게는 6이다.
- 2는 압력수두 증가분 $10m$과 위치수두 증가분 $4m$를 함께 반영하지 못한 오답이다.

② X
- 계산 결과는 6이므로 4는 맞지 않는다.
- 틀린 수치 4 → 올바르게는 6이다.
- 4는 출구가 입구보다 높다는 조건만 보고 높이차만 손실로 착각한 경우에 가까운 오답이다.

③ O
- 압력수두 증가분은 $20 - 10 = 10m$, 위치수두 증가분은 $4m$이다.
- 펌프가 공급한 $20m$ 중에서 이 $14m$를 제외한 나머지 $6m$가 마찰손실이므로 맞다.

④ X
- 계산 결과는 6이므로 8은 맞지 않는다.
- 틀린 수치 8 → 올바르게는 6이다.
- 8은 압력수두와 위치수두의 부호를 잘못 처리하거나 펌프수두를 과대 반영했을 때 나오는 오답이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 절대압력이라는 표현에 끌려 대기압을 따로 더하거나, 출구의 압력수두 증가분과 위치수두 증가분의 부호를 거꾸로 넣는 데 있다. 유속이 같으면 속도수두는 소거되고, 펌프가 준 $20m$에서 압력 증가 $10m$과 위치 증가 $4m$를 빼야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

관로 계산형은 먼저 속도수두가 소거되는지 확인하고, 다음에 압력수두 변화와 위치수두 변화를 같은 기준으로 정리한 뒤, 마지막에 펌프수두에서 증가한 총수두를 빼서 손실수두를 구하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

유속이 같으면 속도수두는 지워지고, 펌프수두 = 압력수두 증가 + 위치수두 증가 + 손실수두로 정리된다.

NoteBase