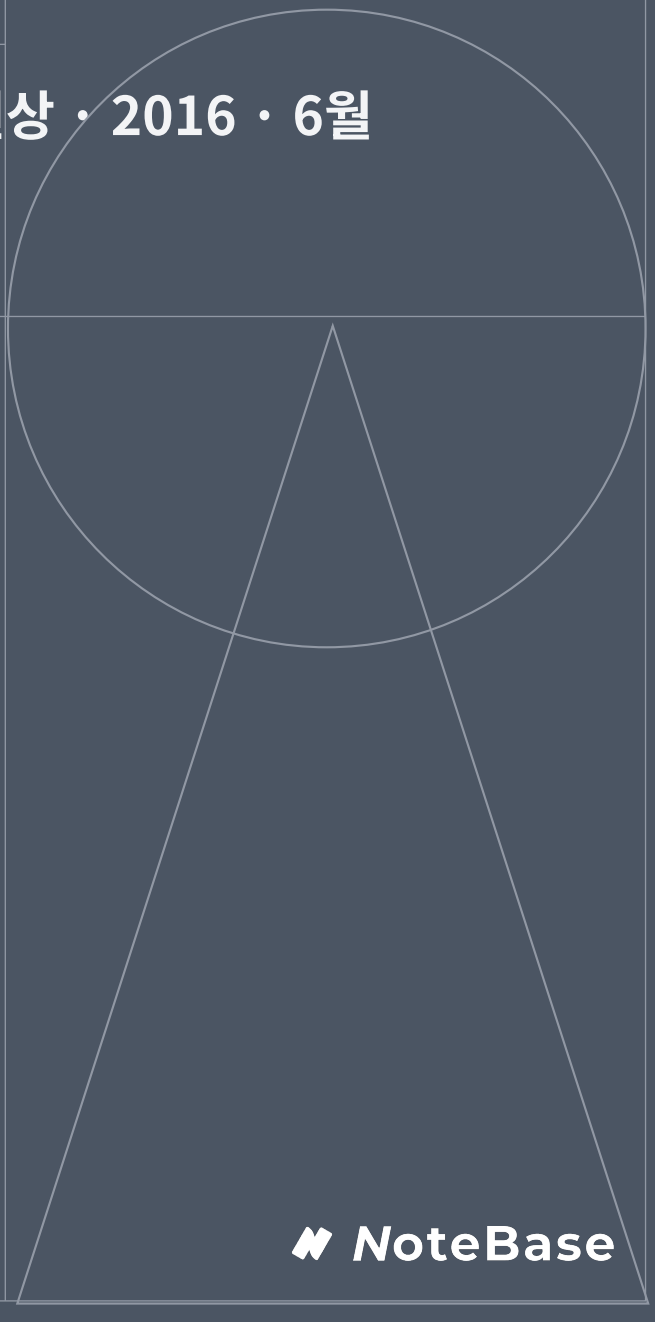
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2016 · 6월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2016 · 6월

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2016 · 6월

문 1. Hagen-Poiseuille 법칙을 적용하기 위해 필요한 가정으로 옳지 않은 것은?

① 층류 흐름이어야 한다.

② 뉴튼 유체에만 적용된다.

③ 누센(Knudsen) 흐름에 대해서도 적용할 수 있다.

④ 관의 벽면에서 안 미끄럼 조건(no slip condition)이 성립해야 한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Hagen-Poiseuille 법칙이 성립하는 유동 가정과 Knudsen 흐름의 적용 범위를 구별하는지를 묻는다.

핵심 개념

Hagen-Poiseuille 법칙은 원형 관 안의 정상, 층류, 완전 발달, 비압축성, 뉴턴 유체 흐름에서 압력차와 체적유량의 관계를 나타낸다.
대표식은 $Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\mu L}$이며, 점성계수 μ를 갖는 연속체 유체와 관 벽의 no slip 조건을 전제로 한다.
Knudsen 흐름은 평균자유행로가 관의 특성 길이에 비해 커져 연속체 가정과 no slip 조건이 약해지는 희박 기체 흐름이다.

선지별 해설

① O: Hagen-Poiseuille 법칙은 관 내 점성 지배 층류에서 유도된다. 난류에서는 속도분포와 압력손실 관계가 달라지므로 이 선지는 옳다.
② O: 표준 Hagen-Poiseuille 법칙은 전단응력과 속도구배가 선형으로 연결되는 뉴턴 유체를 전제로 한다. 비뉴턴 유체에는 점도 모델이 달라지므로 그대로 적용되지 않는다.
③ X: Knudsen 흐름은 희박 기체에서 분자-벽 충돌 효과가 커지는 영역으로, 연속체 유동과 no slip 조건을 전제로 하는 Hagen-Poiseuille 법칙의 적용 대상이 아니다. 틀린 표현은 "누센(Knudsen) 흐름에 대해서도 적용할 수 있다"이며, 올바르게는 "Knudsen 흐름에는 일반적인 Hagen-Poiseuille 법칙을 그대로 적용할 수 없다"이다.
④ O: 관 벽에서 유체 속도가 벽 속도와 같아지는 no slip 조건은 Hagen-Poiseuille 속도분포를 유도할 때 필요한 경계조건이다. 따라서 이 선지는 옳다.

NoteBase

오답 포인트

③은 관 속 흐름이라는 공통점 때문에 Poiseuille 흐름과 Knudsen 흐름을 같은 적용 범위로 묶는 함정이다. Poiseuille 법칙은 연속체 점성 유동이고, Knudsen 흐름은 희박 기체의 비연속체 효과가 핵심이라는 점이 다르다.

다시 나오면 이렇게 판단

Hagen-Poiseuille 법칙 문제에서는 층류, 뉴턴 유체, 원형 관의 완전 발달 유동, no slip, 연속체 가정이 보이면 성립 조건으로 판단한다. Knudsen, slip, 희박 기체, 분자 흐름이 보이면 표준 Hagen-Poiseuille 법칙의 적용 범위 밖으로 판단한다.

암기 포인트

Poiseuille은 연속체 뉴턴 유체의 no-slip 층류이고, Knudsen은 희박 기체의 분자 효과 흐름이다.

NoteBase

문 2. 오리피스관 내부를 흐르는 비중 1인 유체의 압력차를 측정하기 위하여 비중 15인 유체로 채워진 U자관 마노미터를 설치하였다. 마노미터 내 유체의 높이차가 50cm일 때 압력차 (kgf/cm^2)는 얼마인가?

① $0.700kgf/cm^2$

② $0.800kgf/cm^2$

③ $0.900kgf/cm^2$

④ $1.000kgf/cm^2$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 U자관 마노미터에서 관 내 유체와 마노미터 액의 비중량 차를 이용해 압력차를 구하는 문제이다.

조건 정리

관 내 유체의 비중은 1이다.
마노미터 액의 비중은 15이다.
마노미터 내 유체 높이차는 $50cm = 0.5m$이다.
구해야 할 값은 압력차 ΔP를 kg_f/cm^2로 나타낸 값이다.

사용할 공식

차압식 U자관 마노미터에서 같은 관 내 두 점의 압력차는 $\Delta P = (\gamma_m - \gamma_f)h$이다.
마노미터 액이 관 내 유체보다 무거우므로 전체 마노미터 액 비중 15를 그대로 쓰는 것이 아니라 관 내 유체 비중 1을 뺀 비중 차 14를 사용한다.

계산 과정

물의 비중량은 $1000kg_f/m^3$이므로 비중량 차는 $(15-1)\times 1000 = 14000kg_f/m^3$이다.
$\Delta P = 14000 \times 0.5 = 7000kg_f/m^2$
$1m^2 = 10000cm^2$이므로
$7000kg_f/m^2 = \frac{7000}{10000}kg_f/cm^2 = 0.700kg_f/cm^2$
따라서 압력차는 $0.700kg_f/cm^2$이다.

NoteBase

선지 판단

① O: 계산 결과가 $0.700 kg_f/cm^2$이므로 옳다.
② X: $0.800 kg_f/cm^2$은 비중 차를 15 − 1로 보지 않고 조건을 잘못 조합했을 때 나오는 값이다. 올바르게는 $0.700 kg_f/cm^2$이다.
③ X: $0.900 kg_f/cm^2$이 되려면 주어진 높이차와 비중 차가 아니라 더 큰 비중량 차를 가정해야 한다. 올바르게는 $0.700 kg_f/cm^2$이다.
④ X: $1.000 kg_f/cm^2$은 마노미터 액과 관 내 유체의 비중 차 14 및 높이차 0.5m를 반영한 값이 아니다. 올바르게는 $0.700 kg_f/cm^2$이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 비중 15인 마노미터 액의 효과만 보는 것이 아니라 관 내 유체 비중 1을 빼야 한다는 점이다. 또한 cm 단위 높이차를 m로 바꾸고, 마지막에 kg_f/m^2를 kg_f/cm^2로 바꾸는 단위 변환도 함께 처리해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

U자관 마노미터 차압 문제는 먼저 두 유체의 비중 차를 잡고, 높이차를 미터 단위로 바꾼 뒤, kg_f/m^2에서 kg_f/cm^2로 나누어 판단한다.

암기 포인트

차압 마노미터는 무거운 액체의 비중에서 관 내 유체의 비중을 뺀 값에 높이차를 곱한다.

NoteBase

문 3. 겨울철 일정한 대기 온도에 노출되어 있는 대지의 표면으로부터 지하 1m 지점이 얼어붙는 시간을 예측하고자 한다. 지표면으로부터 지하 방향으로 시간에 따른 온도분포를 나타낼 수 있는 수학함수는? (단, 대지를 반무한적(semi-infinite)인 고체 매질로 가정한다.)

① 사인함수(sine function)

② 지수함수(exponential function)

③ 오차함수(error function)

④ 베셀함수(Bessel function)

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 일정한 표면온도에 노출된 반무한 고체의 1차원 비정상 열전도 해가 오차함수 형태로 주어진다는 점을 묻는다.

핵심 개념

반무한 고체에서 초기에 균일한 온도였던 매질의 표면온도가 갑자기 일정한 값으로 유지되면 온도분포는 유사변수 $x/(2\sqrt{\alpha t})$의 함수가 된다.
이때 대표 해는 $(T-T_s)/(T_i-T_s)=\mathrm{erf}(x/(2\sqrt{\alpha t}))$ 또는 동등하게 $(T-T_i)/(T_s-T_i)=\mathrm{erfc}(x/(2\sqrt{\alpha t}))$로 표현된다.
따라서 지표면에서 지하 방향으로 시간에 따른 동결 깊이를 예측하는 기본 함수는 오차함수이다.

선지별 해설

① X: 사인함수는 주로 표면온도가 주기적으로 변하는 정상 주기 열전도 문제에서 시간 변동을 표현할 때 연결된다. 이 문제의 틀린 표현은 "사인함수"이고, 올바르게는 일정한 표면온도 조건의 반무한 고체 해에는 오차함수가 사용된다.
② X: 지수함수만으로는 일정 표면온도에 대한 반무한 고체의 비정상 온도분포 전체를 나타낼 수 없다. 이 문제의 틀린 표현은 "지수함수"이고, 올바르게는 유사변수 $x/(2\sqrt{\alpha t})$를 갖는 오차함수 또는 여오차함수 형태이다.
③ O: 반무한 고체가 일정한 표면온도에 노출될 때 1차원 비정상 열전도 방정식의 해는 오차함수 해로 표현된다. 지하 1m 지점이 특정 온도에 도달하는 시간도 이 오차함수 관계에서 구한다.
④ X: 베셀함수는 원통좌표계나 구좌표계처럼 반지름 방향 해석이 포함되는 문제에서 주로 나타난다. 이 문제의 틀린 표현은 "베셀함수"이고, 올바르게는 평면 표면을 가진 반무한 고체의 1차원 깊이 방향 문제이므로 오차함수이다.

NoteBase

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 겨울철 대기온도라는 말 때문에 계절적 주기 변동을 떠올려 사인함수를 고르는 점이다. 그러나 발문은 "일정한 대기 온도"와 "반무한 고체"를 조건으로 주므로, 주기해가 아니라 일정 표면온도에 대한 비정상 침투해를 적용한다.

다시 나오면 이렇게 판단

반무한 고체, 갑작스러운 일정 표면온도, 깊이 방향 비정상 열전도라는 조건이 함께 나오면 오차함수 해로 판단한다. 표면온도가 주기적으로 변한다고 명시되면 사인파의 감쇠형 해를 따로 구분한다.

암기 포인트

반무한 고체의 일정 표면온도 비정상 열전도는 오차함수, 주기 표면온도 문제는 감쇠 사인파로 연결된다.

NoteBase

문 4. 압력 400 kPa, 온도 20°C의 공기가 직경이 75mm인 파이프 내를 평균속도 10m/s로 흐르고 있다. 관내의 마찰에 의해 압력이 100 kPa로 강하하였을 때 공기의 평균속도(m/s)는? (단, 온도는 20°C로 일정하고 공기는 이상기체로 가정한다.)

① 10m/s

② 20m/s

③ 30m/s

④ 40m/s

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 등온 이상기체가 일정 단면적의 관을 흐를 때 연속방정식과 $\rho \propto P$ 관계를 이용해 평균속도 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

초기 압력은 $400kPa$, 초기 평균속도는 $10m/s$이다.
최종 압력은 $100kPa$, 온도는 $20^\circ C$로 일정하다.
관 직경은 일정하므로 단면적 A는 변하지 않는다.
공기는 이상기체이고 온도가 일정하므로 밀도는 압력에 비례한다.

사용할 공식

연속방정식은 $\dot{m} = \rho AV = \text{constant}$이다.
같은 관에서 A가 일정하므로 $\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$가 된다.
이상기체에서 $\rho = P/(RT)$이고 T가 일정하므로 $\rho_1/\rho_2 = P_1/P_2$이다.

계산 과정

$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$
$V_2 = V_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} = V_1 \frac{P_1}{P_2}$
$V_2 = 10 \times \frac{400}{100} = 40m/s$
따라서 압력이 $100kPa$가 되었을 때 평균속도는 $40m/s$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: $10m/s$는 초기 평균속도 그대로이므로 틀리다. 압력이 $400kPa$에서 $100kPa$로 감소하면 밀도가 감소하므로 올바르게는 $40m/s$가 된다.
② X: $20m/s$는 속도가 2배만 증가한다고 본 값이므로 틀리다. 압력비는 400/100 = 4이므로 올바르게는 $40m/s$가 된다.
③ X: $30m/s$는 압력 감소량을 선형 차이처럼 처리한 값에 가까우며 연속방정식과 압력비를 반영하지 못하므로 틀리다. 올바르게는 $V_2 = 10 \times 4 = 40m/s$이다.
④ O: 등온 이상기체에서 밀도는 압력에 비례하고, 일정 단면적 관에서 ρV가 일정하므로 압력이 1/4이 되면 속도는 4배가 된다. 따라서 $40m/s$가 맞다.

오답 포인트

관 직경 $75mm$에 주목해 단면적을 계산하려고 하면 불필요한 계산으로 흐르기 쉽다. 직경이 변하지 않으므로 단면적은 약분되고, 핵심은 압력 감소에 따른 밀도 감소와 속도 증가의 반비례 관계이다.

다시 나오면 이렇게 판단

등온 이상기체가 일정 단면적 관을 흐르면 ρV가 일정하고 $\rho \propto P$이므로 PV가 일정하다고 판단한다. 압력비를 바로 속도비로 바꾸되 방향은 반비례로 처리한다.

암기 포인트

등온 이상기체의 일정 단면 유동에서는 압력이 줄어든 배수만큼 평균속도가 증가한다.

NoteBase

문 5. 평행한 두 개의 평판 사이에 점도가 50g/m·s인 유체 A를 넣고 아래 평판을 위 평판에 대해 상대속도 0.4m/s로 끌어당겼다. 평판 사이에 있는 유체 A 대신에 점도가 10g/m·s인 유체 B를 넣고 앞서 유체 A를 사용한 경우와 동일한 전단응력(shear stress)을 얻기 위해 아래 평판을 끌어당기려 한다. 이때 위 평판에 대한 아래 평판의 상대속도(m/s)는? (단, 뉴튼 유체이며 두 개의 평판 사이의 거리는 사용된 유체와 상관없이 일정하다.)

① 0.08m/s

② 0.40m/s

③ 1.0m/s

④ 2.0m/s

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 뉴턴 유체가 평행 평판 사이에서 선형 속도구배를 가질 때 전단응력 $\tau = \mu V/h$가 점도와 상대속도에 비례한다는 점을 이용해 필요한 상대속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

유체 A의 점도는 50g/(m · s)이고 상대속도는 0.4m/s이다.
유체 B의 점도는 10g/(m · s)이다.
두 평판 사이의 거리는 사용된 유체와 상관없이 일정하므로 h는 서로 같다.
구해야 할 값은 유체 B를 넣었을 때 같은 전단응력을 만들 아래 평판의 상대속도이다.

사용할 공식

뉴턴 유체의 평판 Couette 유동에서 전단응력은 $\tau = \mu\frac{V}{h}$이다.
같은 평판 간격에서 같은 전단응력을 얻어야 하므로 $\mu_A V_A = \mu_B V_B$를 사용한다.

계산 과정

유체 A의 전단응력에 비례하는 값은 $\mu_A V_A = 50 \times 0.4 = 20$이다.
유체 B에서도 같은 전단응력이 필요하므로 $10 \times V_B = 20$이 된다.
따라서 $V_B = 20/10 = 2.0$m/s이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 0.08m/s는 $10 \times 0.08 = 0.8$이 되어 유체 A의 20과 같지 않다. 틀린 값은 점도가 작아졌는데 속도도 10/50배로 줄인 결과이며, 올바르게는 점도가 1/5로 작아졌으므로 속도는 5배가 되어 2.0m/s가 된다.
② X: 0.40m/s는 유체 A의 상대속도를 그대로 쓴 값이다. 유체 B는 점도가 더 작으므로 같은 전단응력을 내려면 같은 속도가 아니라 2.0m/s로 증가해야 한다.
③ X: 1.0m/s이면 $10 \times 1.0 = 10$으로 목표값 20의 절반이다. 올바르게는 $10 \times V_B = 20$이 되도록 $V_B = 2.0$m/s이다.
④ O: 2.0m/s이면 $10 \times 2.0 = 20$으로 유체 A의 $50 \times 0.4 = 20$과 같아 같은 전단응력을 만든다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 점도가 작아지면 필요한 속도도 작아진다고 반대로 판단하는 것이다. 전단응력 τ와 평판 간격 h가 같으면 μV가 일정하므로 점도가 작아질수록 상대속도는 커진다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행 평판 사이 뉴턴 유체 문제에서 간격이 같고 전단응력이 같다는 조건이 나오면 $\mu_1 V_1 = \mu_2 V_2$를 세워 점도비의 역수만큼 속도가 변한다고 판단한다.

암기 포인트

같은 전단응력과 같은 간격에서는 μV가 일정하며, 점도가 5분의 1이면 속도는 5배이다.

NoteBase

문 6. 기체의 확산계수에 대한 다음 설명 중 옳은 것은?

① 기체의 분자량이 클수록 증가한다.

② 분자간 충돌면적이 클수록 증가한다.

③ 절대압력이 클수록 증가한다.

④ 온도가 높을수록 증가한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 기체 확산계수 D_{AB}가 분자량, 충돌면적, 압력, 온도에 따라 어떻게 변하는지를 묻는다.

핵심 개념

기체 확산계수는 분자가 얼마나 빠르고 자유롭게 이동하는지를 나타내는 물성이다. 온도가 높아지면 분자 운동이 활발해져 확산계수가 증가하고, 압력이나 분자 크기, 분자량이 커지면 분자 이동이 방해되어 확산계수가 감소한다.

선지별 해설

1번 X: 기체의 분자량이 클수록 같은 온도에서 평균 분자 속도가 작아져 확산이 느려진다. 따라서 '분자량이 클수록 증가한다'가 틀렸고, 올바르게는 분자량이 클수록 확산계수는 작아진다.
2번 X: 분자간 충돌면적이 커지면 충돌 가능성이 커져 평균자유행로가 짧아지고 확산이 방해된다. 따라서 '충돌면적이 클수록 증가한다'가 틀렸고, 올바르게는 충돌면적이 클수록 확산계수는 작아진다.
3번 X: 기체 확산계수는 대체로 절대압력에 반비례한다. 압력이 커지면 단위부피당 분자 수와 충돌 빈도가 증가하므로 확산계수는 감소한다. 따라서 '절대압력이 클수록 증가한다'가 틀렸고, 올바르게는 절대압력이 클수록 확산계수는 작아진다.
4번 O: 온도가 높아지면 분자의 평균 운동에너지가 증가하고 분자 운동이 활발해져 확산계수가 증가한다. 따라서 온도가 높을수록 확산계수가 증가한다는 설명은 옳다.

오답 포인트

1번, 2번, 3번은 모두 '클수록 증가한다'라는 같은 표현을 쓰지만, 기체 확산에서는 분자량 증가, 충돌면적 증가, 압력 증가는 모두 분자 이동을 어렵게 하는 방향이다. 증가 요인과 감소 요인을 모두 증가 요인처럼 처리하는 것이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체 확산계수의 정성 비교에서는 먼저 온도인지 압력·분자량·분자 크기인지 구분한다. 온도 증가는 확산계수 증가, 압력·분자량·충돌면적 증가는 확산계수 감소로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

기체 확산계수는 온도에는 정비례 방향, 압력·분자량·충돌면적에는 반비례 방향이다.

NoteBase

문 7. 대류 열전달에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 강제대류에서 누셀(Nusselt) 수는 그라숍(Grashof) 수와 프란틀(Prandtl) 수의 함수로 표현된다.

② 자연대류에서 누셀(Nusselt) 수는 레이놀즈(Reynolds) 수와 프란틀(Prandtl) 수의 함수로 표현된다.

③ 대부분의 액체에서 프란틀(Prandtl) 수는 1보다 크다.

④ 누셀(Nusselt) 수가 크다는 것은 전도에 의한 열전달이 크다는 것을 의미한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 강제대류와 자연대류의 무차원수 상관관계, 프란틀수의 물성 의미, 누셀수의 물리적 의미를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

강제대류는 외부 유동이나 팬, 펌프 등에 의해 유동이 만들어지는 대류이며 보통 $Nu = f(Re, Pr)$ 형태로 정리된다.
자연대류는 온도차에 따른 밀도차와 부력으로 유동이 만들어지는 대류이며 보통 $Nu = f(Gr, Pr)$ 또는 $Nu = f(Ra, Pr)$ 형태로 정리된다.
프란틀수 Pr는 운동량 확산과 열확산의 비를 나타내며, 대부분의 일반 액체에서는 $Pr > 1$이다.
누셀수 Nu는 대류 열전달이 순수 전도 열전달에 비해 얼마나 커졌는지를 나타내는 무차원수이다.

선지별 해설

1번: X. 강제대류에서 Nu는 주로 레이놀즈수 Re와 프란틀수 Pr의 함수로 표현된다. 틀린 부분은 "그라쇼프수"이며, 올바르게는 "레이놀즈 수와 프란틀 수의 함수"이다.
2번: X. 자연대류에서는 부력 효과를 나타내는 그라쇼프수 Gr 또는 레일리수 $Ra = GrPr$가 중요하다. 틀린 부분은 "레이놀즈 수"이며, 올바르게는 "그라쇼프 수와 프란틀 수의 함수" 또는 "레일리 수의 함수"이다.
3번: O. 프란틀수 $Pr = \mu c_p / k$는 운동량 확산과 열확산의 상대적 크기를 나타내는 물성 무차원수이다. 대부분의 일반 액체는 열확산보다 운동량 확산의 영향이 커서 Pr가 1보다 크다.
4번: X. Nu가 크다는 것은 전도 자체가 크다는 뜻이 아니라, 같은 유체의 순수 전도 기준보다 대류에 의한 열전달이 더 강하다는 뜻이다. 틀린 부분은 "전도에 의한 열전달이 크다"이며, 올바르게는 "대류 열전달계수 또는 대류에 의한 열전달 효과가 크다"이다.

오답 포인트

강제대류와 자연대류의 상관식에 들어가는 무차원수를 서로 바꾸면 1번과 2번처럼 틀린다. 또한 4번은 Nu를 전도량 자체로 오해하게 만든 선지이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

대류의 원인이 외부에서 강제로 만든 유동이면 Re, 온도차에 따른 부력이면 Gr 또는 Ra를 먼저 연결한다. Nu는 전도 대비 대류 열전달의 상대적 크기로 판단한다.

암기 포인트

강제대류는 Re, Pr, 자연대류는 Gr, Pr 또는 Ra, 누셀수는 전도 대비 대류 효과이다.

NoteBase

문 8. 실험실에서 습식 적정을 하는 경우 뷰렛에 액체를 넣고 밸브를 미세하게 열면 액체가 매우 서서히 나와서 뷰렛의 끝에 모인 후, 일정한 부피가 되면 뷰렛의 끝(모세관 끝)으로부터 떨어진다. 이때 뷰렛 끝의 반경이 r일 때 액적의 부피는? (단, 공기의 밀도는 ρ_a, 물의 밀도는 ρ_w, 액체의 표면장력은 σ, 중력 가속도는 g°이다.)

① $(2\pi\sigma r)/(\rho_w - \rho_a)g$

② $(2\pi\sigma r^2)/(\rho_w - \rho_a)g$

③ $(2\pi\sigma r)/(\rho_w - \rho_a)^2 g$

④ $(2\pi\sigma r^2)/(\rho_w - \rho_a)^2 g$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 뷰렛 끝에서 액적이 떨어지는 순간 표면장력에 의한 지지력과 부력을 고려한 유효중량의 평형으로 액적 부피를 구하는 문제이다.

조건 정리

뷰렛 끝의 반경은 r이다.
액체의 밀도는 ρ_w, 공기의 밀도는 ρ_a이다.
액체의 표면장력은 σ, 중력가속도는 g이다.
액적이 떨어지는 순간에는 아래쪽 유효중량과 위쪽 표면장력 힘이 같아진다.

사용할 공식

뷰렛 끝 둘레를 따라 작용하는 표면장력의 최대 지지력은 $2\pi r\sigma$이다.
액적 부피를 V라 하면 공기 중에서의 유효중량은 $(\rho_w - \rho_a)Vg$이다.
따라서 떨어지는 순간의 힘 평형은 $(\rho_w - \rho_a)Vg = 2\pi r\sigma$이다.

계산 과정

힘 평형식에서 액적 부피 V를 풀면 다음과 같다.
$(\rho_w - \rho_a)Vg = 2\pi r\sigma$
$V = \frac{2\pi r\sigma}{(\rho_w - \rho_a)g}$
따라서 액적의 부피는 $\frac{2\pi\sigma r}{(\rho_w - \rho_a)g}$이다.

NoteBase

선지 판단

① O: $\frac{2\pi\sigma r}{(\rho_w-\rho_a)g}$는 표면장력 힘 $2\pi r\sigma$를 유효중량 계수 $(\rho_w-\rho_a)g$로 나눈 값이므로 액적의 부피가 된다.
② X: 분자의 r^2이 틀렸다. 표면장력은 면적이 아니라 접촉선 둘레 $2\pi r$에 작용하므로 올바르게는 $2\pi\sigma r$이 분자에 와야 한다.
③ X: 분모의 $(\rho_w-\rho_a)^2$가 틀렸다. 부력을 고려한 유효중량은 밀도 차의 1제곱인 $(\rho_w-\rho_a)Vg$이므로 올바르게는 $(\rho_w-\rho_a)g$가 분모에 와야 한다.
④ X: 분자의 r^2와 분모의 $(\rho_w-\rho_a)^2$가 모두 틀렸다. 올바르게는 접촉선 둘레에서 나온 r과 유효중량에서 나온 $(\rho_w-\rho_a)$의 1제곱을 사용한 $\frac{2\pi\sigma r}{(\rho_w-\rho_a)g}$이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 액적을 구형으로 생각해 반경의 제곱이나 세제곱을 끌어오는 실수이다. 이 문제에서 표면장력 힘은 액적의 표면적이 아니라 뷰렛 끝의 접촉선 둘레 $2\pi r$에 비례한다. 또 부력 보정은 밀도 차 $(\rho_w-\rho_a)$를 한 번만 쓰는 것이며 밀도 차를 제곱하지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

액적이 관 끝에서 떨어지는 문제는 떨어지기 직전의 힘 평형으로 판단한다. 위쪽 표면장력 힘은 $2\pi r\sigma$, 아래쪽 유효중량은 $(\rho_{liquid}-\rho_{gas})Vg$로 두고 V를 푼다.

암기 포인트

관 끝 액적 부피는 둘레 표면장력 힘을 유효중량 계수로 나눈 값, 즉 $V=\frac{2\pi r\sigma}{(\rho_w-\rho_a)g}$이다.

NoteBase

문 9. 고체와 절연체 사이의 계면, 즉 단일경계(insulated boundaries)에서 온도구배(temperature gradient)의 값은?

① -1

② 0

③ 1

④ 2

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 단열경계에서 열유속이 0이라는 조건을 온도구배 조건으로 바꿀 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 조건: 고체와 절연체 사이의 계면은 단열경계이다.
구해야 할 값: 경계면에 수직한 방향의 온도구배이다.
주의할 조건: 단열은 열이 통과하지 않는다는 뜻이므로 경계면 법선방향 열유속이 0이다.

사용할 공식

Fourier 법칙에서 법선방향 열유속은 $q_n = -k\frac{dT}{dn}$이다.
단열경계에서는 $q_n = 0$이고, 일반적인 고체의 열전도도 k는 0이 아니므로 $\frac{dT}{dn} = 0$이 된다.

계산 과정

1단계: 단열경계 조건을 $q_n = 0$으로 둔다.
2단계: $0 = -k\frac{dT}{dn}$에 대입한다.
3단계: 열전도도 k는 0이 아니므로 경계면 수직방향 온도구배는 $\frac{dT}{dn} = 0$이다.

선지 판단

① X: -1은 단열경계의 온도구배가 아니다. 단열경계에서는 열유속이 0이므로 올바른 값은 0이다.
② O: 단열경계에서는 경계면을 통과하는 열전달이 없고, 따라서 법선방향 온도구배가 0이다.
③ X: 1은 열이 흐를 수 있는 비영(非零) 온도구배를 뜻하므로 단열경계 조건과 맞지 않는다. 올바른 값은 0이다.
④ X: 2도 비영 온도구배이므로 단열경계 조건과 맞지 않는다. 올바른 값은 0이다.

오답 포인트

단열경계는 온도가 반드시 0이거나 일정한 온도값을 가진다는 뜻이 아니다. 경계면을 통과하는 열유속이 0이고, 그 결과 경계면에 수직한 온도구배가 0이라는 점이 핵심이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

단열 또는 insulated boundary가 보이면 먼저 $q_n = 0$을 세우고, Fourier 법칙으로 $\frac{dT}{dn} = 0$을 판단한다.

암기 포인트

단열경계는 법선방향 열유속 0, 법선방향 온도구배 0이다.

NoteBase

문 10. 어떤 기체 흡수공정에서 액체 경막(film)의 물질전달 저항이 기체 경막의 물질전달 저항보다 4배가 크다고 한다. 만일 다른 조건은 동일하게 유지하면서 액체 경막의 물질전달 계수(mass transfer coefficient)만 4배로 증가시킬 경우 기체 상에서의 총괄 물질전달 계수는 몇 배로 바뀌게 되는가? (단, 액체 경막의 물질전달 계수가 바뀌어도 기체 경막의 물질전달 저항은 바뀌지 않는다.)

① 0.25배

② 2.5배

③ 4.0배

④ 5.0배

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 액체 경막 저항과 기체 경막 저항을 직렬 저항으로 더한 뒤, 총괄 물질전달계수가 총괄 저항의 역수에 비례한다는 관계를 이용해 변화 배율을 구하는 문제이다.

조건 정리

처음 액체 경막 저항은 기체 경막 저항의 4배이므로 $R_L = 4R_G$이다.
액체 경막의 물질전달계수만 4배가 되므로 액체 경막 저항은 4분의 1로 감소한다.
기체 경막 저항 R_G은 변하지 않는다.

사용할 공식

두 경막 저항은 직렬로 작용하므로 총괄 저항은 $R_T = R_G + R_L$이다.
총괄 물질전달계수 K는 같은 기준에서 총괄 저항의 역수에 비례하므로 $K \propto 1/R_T$이다.
물질전달계수를 키우면 해당 경막 저항은 그 배수만큼 작아지므로 k_L이 4배가 되면 R_L은 $R_L/4$가 된다.

계산 과정

초기 총괄 저항은 $R_T = R_G + 4R_G = 5R_G$이다.
액체 경막 계수를 4배로 증가시키면 새 액체 경막 저항은 $R_L' = 4R_G/4 = R_G$이다.
새 총괄 저항은 $R_T' = R_G + R_G = 2R_G$이다.
따라서 총괄 물질전달계수의 변화 배율은 $K'/K = R_T/R_T' = 5R_G/2R_G = 2.5$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 0.25배는 액체 경막 계수 증가를 저항 감소로만 잘못 연결해 전체 총괄계수까지 감소한다고 본 값이다. 올바르게는 전체 저항이 $5R_G$에서 $2R_G$로 줄어 총괄계수는 2.5배가 된다.
② O: 계산 결과 $K'/K = 2.5$이므로 기체상에서의 총괄 물질전달계수는 2.5배가 된다.
③ X: 4.0배는 액체 경막의 물질전달계수 증가 배율을 총괄 물질전달계수 증가 배율로 그대로 본 값이다. 올바르게는 변하지 않는 기체 경막 저항이 남아 있으므로 총괄계수는 4.0배가 아니라 2.5배이다.
④ X: 5.0배는 초기 총괄 저항이 $5R_G$라는 값만 보고 새 총괄 저항 $2R_G$와 비교하지 않은 값이다. 올바르게는 저항비 $5R_G : 2R_G$에 따라 총괄계수 변화는 2.5배이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 액체 경막 물질전달계수 4배를 총괄 물질전달계수 4배로 바로 바꾸는 것이다. 총괄계수는 한쪽 경막계수 하나가 아니라 기체 경막 저항과 액체 경막 저항을 합한 전체 저항의 역수로 결정된다.

다시 나오면 이렇게 판단

두 경막 문제에서는 먼저 각 경막 저항의 비를 둔 다음, 변한 경막의 저항만 계수 증가 배율의 역수로 바꾸고, 마지막에 총괄계수비를 기존 총괄저항과 새 총괄저항의 비로 계산한다.

암기 포인트

경막계수 증가는 해당 경막 저항 감소이고, 총괄계수 변화는 전체 저항 합의 역수 변화이다.

NoteBase

문 11. 윤활유를 이중관형(double-pipe) 열교환기를 이용하여 냉각시키려 한다. 윤활유는 두께가 매우 얇은 금속관 내부를 100g/s의 유량으로 지난다. 금속관 주위에는 윤활유 유량의 2배인 유량을 갖는 냉각수가 반대방향으로 흐른다. 윤활유는 130°C에서 유입되어 50°C로 냉각되고, 냉각수는 25°C에서 유입된다. 열교환기로부터 유출되는 냉각수의 온도 (°C)는? (단, 물의 정압비열은 4.2kJ/kg°C이며 윤활유의 정압비열은 2.1kJ/kg°C이다.)

① 20°C

② 35°C

③ 45°C

④ 60°C

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 열교환기에서 뜨거운 유체가 잃은 열량과 차가운 유체가 얻은 열량이 같다는 정상상태 열수지를 이용해 냉각수 출구온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

윤활유 유량은 $100g/s = 0.1kg/s$이다.
냉각수 유량은 윤활유 유량의 2배이므로 $0.2kg/s$이다.
윤활유는 $130^\circ C$에서 $50^\circ C$로 냉각된다.
냉각수는 $25^\circ C$에서 들어가며, 구할 값은 냉각수 출구온도이다.
물의 정압비열은 $4.2kJ/(kg \cdot ^\circ C)$, 윤활유의 정압비열은 $2.1kJ/(kg \cdot ^\circ C)$이다.

사용할 공식

정상상태 열교환기에서 열손실이 없고 관벽 열용량을 무시하면 뜨거운 유체가 잃은 열량은 차가운 유체가 얻은 열량과 같다.
$\dot{m}_o c_{p,o}(T_{o,in} - T_{o,out}) = \dot{m}_w c_{p,w}(T_{w,out} - T_{w,in})$
문제에서 두 유체가 반대방향으로 흐른다는 조건은 열교환기 형태를 설명하는 조건이고, 이 문항의 출구온도 계산은 전체 에너지수지로 결정된다.

NoteBase

계산 과정

윤활유가 잃은 열량은 다음과 같다.

$\dot{Q} = 0.1 \times 2.1 \times (130 - 50) = 16.8 kJ/s$

냉각수가 얻은 열량은 다음과 같다.

$16.8 = 0.2 \times 4.2 \times (T_{w,out} - 25)$

따라서 냉각수의 온도상승은 다음과 같다.

$T_{w,out} - 25 = \frac{16.8}{0.2 \times 4.2} = 20^\circ C$

냉각수 출구온도는 다음과 같다.

$T_{w,out} = 25 + 20 = 45^\circ C$

선지 판단

① X: 20°C는 냉각수의 출구온도가 아니라 냉각수의 온도상승량이다. 올바르게는 출구온도 $25 + 20 = 45^\circ C$이다.

② X: 35°C라면 냉각수 온도상승은 10°C이고, 냉각수가 얻는 열량은 $0.2 \times 4.2 \times 10 = 8.4 kJ/s$가 되어 윤활유가 잃은 $16.8 kJ/s$와 맞지 않는다. 올바른 출구온도는 45°C이다.

③ O: 열수지로 구한 냉각수 출구온도는 $45^\circ C$이므로 맞는 선지이다.

④ X: 60°C라면 냉각수 온도상승은 35°C이고, 냉각수가 얻는 열량은 $0.2 \times 4.2 \times 35 = 29.4 kJ/s$가 되어 윤활유가 잃은 열량보다 크다. 올바른 출구온도는 45°C이다.

오답 포인트

①의 20°C는 계산 중간값인 온도상승량을 출구온도로 착각한 값이다. 냉각수 입구온도 25°C를 더해야 한다는 점이 이 문제의 핵심 함정이다. 또한 100g/s를 0.1kg/s로 바꾸고, 냉각수 유량이 그 2배라는 조건을 함께 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

열교환기 온도 계산은 먼저 각 유체의 질량유량과 비열을 같은 단위로 맞춘 뒤, $\dot{m}_h c_{p,h} \Delta T_h = \dot{m}_c c_{p,c} \Delta T_c$를 세우고, 마지막에 입구온도에 온도상승량을 더해 출구온도를 판단한다.

암기 포인트

열교환기 전체 열수지는 뜨거운 쪽 손실열량과 차가운 쪽 획득열량이 같고, 냉각수 출구온도는 입구온도에 온도상승량을 더한 값이다.

NoteBase

문 12. 다음 중 열전달에서 사용되는 운동량 확산도와 열 확산도의 비를 나타내는 무차원수는?

① Nusselt수(Nu)

② Prandtl수(Pr)

③ Reynolds수(Re)

④ Grashof수(Gr)

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 전달현상에서 운동량 확산도와 열 확산도의 비를 나타내는 무차원수를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

운동량 확산도는 동점성계수 ν로 나타내고, 열 확산도는 α로 나타낸다.
Prandtl수는 $Pr = \nu/\alpha = \mu c_p/k$이므로 운동량 확산도와 열 확산도의 비이다.
Nusselt수는 대류 열전달과 전도 열전달의 비, Reynolds수는 관성력과 점성력의 비, Grashof수는 부력과 점성력의 비를 나타낸다.

선지별 해설

① Nusselt수(Nu): X. Nusselt수는 $Nu = hL/k$로, 대류 열전달이 전도 열전달에 비해 얼마나 큰지를 나타낸다. 틀린 표현은 "운동량 확산도와 열 확산도의 비"이며, 올바르게는 "대류 열전달과 전도 열전달의 비"이다.
② Prandtl수(Pr): O. Prandtl수는 $Pr = \nu/\alpha$로, 운동량 확산도 ν와 열 확산도 α의 비를 나타낸다. 따라서 발문에 맞는 무차원수이다.
③ Reynolds수(Re): X. Reynolds수는 $Re = \rho uL/\mu$로, 관성력과 점성력의 비 또는 유동에서 관성 효과와 점성 효과의 상대 크기를 나타낸다. 틀린 표현은 "운동량 확산도와 열 확산도의 비"이며, 올바르게는 "관성력과 점성력의 비"이다.
④ Grashof수(Gr): X. Grashof수는 자연대류에서 부력과 점성력의 비를 나타낸다. 틀린 표현은 "운동량 확산도와 열 확산도의 비"이며, 올바르게는 "부력과 점성력의 비"이다.

오답 포인트

전달현상의 무차원수는 모두 비율을 나타내므로, 단순히 "비"라는 말만 보고 고르면 틀린다. 이 문항의 핵심 단어는 "운동량 확산도"와 "열 확산도"이며, 이 두 확산도의 직접 비율은 Prandtl수에만 해당한다.

다시 나오면 이렇게 판단

발문에 두 확산도 ν와 α의 비가 나오면 Prandtl수로 판단한다. 열전달 대 전도는 Nusselt수, 관성력 대 점성력은 Reynolds수, 부력 대 점성력은 Grashof수로 구별한다.

NoteBase

암기 포인트

Prandtl수는 ν/α, 즉 운동량 확산도 대 열 확산도이다.

NoteBase

문 13. 면적이 $1\mathrm{m}^2$, 두께 $3\mathrm{mm}$, 열전도도 $k = 0.6\mathrm{W/m \cdot K}$인 유리창이 있다. 이 유리창 내부에서의 열전달계수 $h_i = 5\mathrm{W/m}^2 \cdot \mathrm{K}$, 외부에서의 열전달계수 $h_o = 5\mathrm{W/m}^2 \cdot \mathrm{K}$이다. 창문 내부온도가 $300\mathrm{K}$, 창문 외부온도가 $260\mathrm{K}$일 때 창문을 통한 열손실(W)은 대략 어느 정도인가?

① 1W

② 10W

③ 100W

④ 1000W

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 평판 벽 전도저항과 양쪽 대류저항을 직렬 열저항으로 합산하여 창문을 통한 열손실률을 구하는 계산 문제이다.

조건 정리

면적은 $A = 1m^2$, 두께는 $L = 3mm = 0.003m$, 열전도도는 $k = 0.6W/(m \cdot K)$이다.
내부 대류열전달계수와 외부 대류열전달계수는 각각 $h_i = 5W/(m^2 \cdot K)$, $h_o = 5W/(m^2 \cdot K)$이다.
온도차는 $\Delta T = 300 - 260 = 40K$이고, 구해야 할 값은 창문을 통과하는 열손실률 Q이다.

사용할 공식

평면 벽 양쪽에 대류가 붙어 있으므로 전체 열저항은 내부 대류저항, 유리 전도저항, 외부 대류저항의 합이다.
$R_{tot} = \frac{1}{h_iA} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_oA}$
열손실률은 전체 온도차를 전체 열저항으로 나눈 값이다.
$Q = \frac{\Delta T}{R_{tot}}$

계산 과정

각 저항은 다음과 같다.
$\frac{1}{h_iA} = \frac{1}{5 \times 1} = 0.2K/W$
$\frac{L}{kA} = \frac{0.003}{0.6 \times 1} = 0.005K/W$
$\frac{1}{h_oA} = \frac{1}{5 \times 1} = 0.2K/W$
따라서 전체 열저항은 $R_{tot} = 0.2 + 0.005 + 0.2 = 0.405K/W$이다.
$Q = \frac{40}{0.405} = 98.8W$
대략값은 $100W$이다.

NoteBase

선지 판단

① X. $1W$는 계산값 $98.8W$보다 약 100배 작다. 틀린 표현은 "1 W"이고, 올바르게는 약 $100W$이다.
② X. $10W$는 계산값 $98.8W$보다 10배 정도 작다. 틀린 표현은 "10 W"이고, 올바르게는 약 $100W$이다.
③ O. 전체 열저항 $0.405K/W$에 대해 $Q = 40/0.405 \approx 98.8W$이므로 대략 $100W$가 맞다.
④ X. $1000W$는 계산값 $98.8W$보다 10배 정도 크다. 틀린 표현은 "1000 W"이고, 올바르게는 약 $100W$이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 유리 전도저항만 쓰거나 대류저항을 빠뜨리는 데 있다. 이 문항에서는 $L/kA = 0.005K/W$보다 양쪽 대류저항 $0.2 + 0.2K/W$가 훨씬 크므로, 전도만 계산하면 열손실을 크게 잘못 판단하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

벽 양쪽에 열전달계수 h_i, h_o가 함께 주어지면 전도저항과 대류저항을 모두 직렬로 더한 뒤 $Q = \Delta T/R_{tot}$로 판단한다. 두께가 mm로 주어지면 먼저 m로 바꾸어 계산한다.

암기 포인트

창문 열손실은 "내부 대류 + 유리 전도 + 외부 대류"의 직렬저항 합으로 계산한다.

NoteBase

문 14. 농업용수로 이용하기 위하여 저수지의 물을 펌프로 퍼 올려서 탱크에 저장해 두고자 한다. 이때, 내경이 5cm인 매끄러운 관을 사용하여 마찰손실을 무시할 수 있을 정도로 줄였다. 펌프가 4m/s의 유속으로 물을 퍼 올릴 때, 펌프가 하는 일(kgf·m/kg)은? (단, 저장 탱크는 뚜껑이 없는 개방형이고, 저수지보다 5m 높다. 또한 중력가속도 g=10m/s^2, 운동에너지 보정인자 α=1이다.)

① 5.8 kgf·m/kg

② 6.3 kgf·m/kg

③ 6.8 kgf·m/kg

④ 7.3 kgf·m/kg

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 마찰손실이 없는 펌프 계에서 단위질량당 펌프 일이 위치수두와 속도수두의 합으로 결정된다는 점을 묻는다.

조건 정리

저장 탱크는 저수지보다 5m 높고, 두 곳 모두 개방되어 압력항 차이는 없다.
관내 유속은 $V = 4m/s$, 중력가속도는 $g = 10m/s^2$, 운동에너지 보정인자는 $\alpha = 1$이다.
매끄러운 관으로 주어졌으므로 마찰손실은 무시한다.
내경 5cm는 유량을 구할 때 필요한 조건이지만, 단위질량당 일만 묻는 이 계산에서는 직접 쓰이지 않는다.

사용할 공식

마찰손실과 압력차가 없을 때 펌프가 공급해야 하는 단위질량당 일은 다음 수두 합으로 계산된다.
W_p = Δ z + α V^2 2g
여기서 Δz는 위치수두 차이고, $\alpha V^2/(2g)$는 관내 속도수두이다. 단위가 kgf·m/kg로 주어졌으므로 수두 m 값이 그대로 kgf·m/kg 값에 대응한다.

계산 과정

위치수두는 $\Delta z = 5m$이다.
속도수두는 다음과 같다.
V^2 2g=4^2 2× 10=16 20=0.8 m
따라서 펌프가 해야 하는 단위질량당 일은 다음과 같다.
$W_p = 5 + 0.8 = 5.8kgf \cdot m/kg$

NoteBase

선지 판단

① O: 계산 결과가 5.8 kgf·m/kg이므로 맞는 값이다.
② X: 6.3 kgf·m/kg은 위치수두 5m와 속도수두 0.8m의 합보다 0.5m 크게 잡은 값이다. 틀린 값 6.3이 아니라 올바른 값은 5.8 kgf·m/kg이다.
③ X: 6.8 kgf·m/kg은 속도수두 0.8m에 추가 수두 1m를 더한 형태의 과대값이다. 문제에는 마찰손실이나 별도의 압력수두가 없으므로 올바른 값은 5.8 kgf·m/kg이다.
④ X: 7.3 kgf·m/kg은 주어진 조건으로 계산되는 위치수두와 속도수두의 합보다 1.5m 크다. 매끄러운 관 조건에서 마찰손실을 더하지 않으므로 올바른 값은 5.8 kgf·m/kg이다.

오답 포인트

내경 5cm가 제시되어 있어 유량이나 관 단면적을 계산해야 할 것처럼 보이지만, 문제는 단위질량당 일을 묻고 있다. 따라서 유량 항은 필요 없고, 마찰손실이 무시되므로 위치수두 5m와 속도수두 0.8m만 더한다.

다시 나오면 이렇게 판단

펌프 일 문제가 나오면 먼저 압력차, 위치차, 속도차, 손실수두의 존재 여부를 나눈다. 개방 탱크 사이이고 마찰손실이 없으면 펌프 수두는 $\Delta z + \alpha V^2/(2g)$로 판단한다.

암기 포인트

마찰이 없고 개방계이면 펌프 수두는 들어 올린 높이와 속도수두의 합이다.

NoteBase

문 15. 공탑속도 0.6m/s를 갖는 어떤 유체가 고체물질이 충전된 충전탑 내를 흐르고 있다. 이때 충전탑 내 유체의 실제 속도가 1.4m/s라면, 충전탑의 공극률은 얼마인가? (단, 소수점 둘째 자리에서 반올림한다.)

① 0.1

② 0.2

③ 0.3

④ 0.4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 충전탑에서 공탑속도와 실제 속도의 관계를 이용해 충전탑 공극률을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 공탑속도 $u_s = 0.6m/s$, 충전탑 내 유체의 실제 속도 $u = 1.4m/s$이다.
구해야 할 값은 충전탑의 공극률 ε이다.
문제에서 소수점 둘째 자리에서 반올림하라고 했으므로 계산값을 소수 첫째 자리까지 나타낸다.

사용할 공식

공탑속도는 전체 단면적 기준 속도이고, 실제 속도는 공극 단면적 기준 속도이다.
$u_s = \varepsilon u$
따라서 공극률은 다음과 같이 구한다.
$\varepsilon = \frac{u_s}{u}$
이 공식을 쓰는 이유는 충전물 때문에 유체가 흐르는 실제 단면적이 전체 단면적의 ε배가 되고, 같은 유량에서 실제 속도가 공탑속도보다 커지기 때문이다.

계산 과정

$\varepsilon = \frac{0.6}{1.4} = 0.42857\cdots$
소수점 둘째 자리에서 반올림하면 $0.42857\cdots$는 0.4가 된다.
따라서 충전탑의 공극률은 0.4이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 공극률이 0.1이면 공탑속도는 $u_s = 0.1 \times 1.4 = 0.14 m/s$가 되어 주어진 0.6m/s와 맞지 않는다. 틀린 표현 0.1은 올바르게는 0.4이다.
② X: 공극률이 0.2이면 공탑속도는 $u_s = 0.2 \times 1.4 = 0.28 m/s$가 되어 주어진 0.6m/s와 맞지 않는다. 틀린 표현 0.2는 올바르게는 0.4이다.
③ X: 공극률이 0.3이면 공탑속도는 $u_s = 0.3 \times 1.4 = 0.42 m/s$가 되어 주어진 0.6m/s와 맞지 않는다. 틀린 표현 0.3은 올바르게는 0.4이다.
④ O: $\varepsilon = 0.6/1.4 = 0.42857\cdots$이고, 소수점 둘째 자리에서 반올림하면 0.4이므로 옳다.

오답 포인트

공탑속도 0.6m/s와 실제 속도 1.4m/s를 더하거나 빼는 문제가 아니라, 두 속도의 비로 공극률을 구하는 문제이다. 실제 속도는 공극 단면적 기준이므로 공탑속도보다 크고, 공극률은 u_s/u로 계산된다.

다시 나오면 이렇게 판단

충전탑에서 공탑속도와 실제 속도가 함께 주어지면 먼저 전체 단면적 기준인지 공극 단면적 기준인지 구분하고, $u_s = \varepsilon u$를 이용해 공극률을 판단한다.

암기 포인트

충전탑에서는 실제 속도 = 공탑속도 ÷ 공극률, 공극률 = 공탑속도 ÷ 실제 속도이다.

NoteBase

문 16. 유체 A와 유체 B의 혼합액을 연속 정류하는 공정에서 이 혼합액을 A : B=0.4 : 0.6의 비율로 25, 000kg/hr로 공급한다. A의 탑상액과 탑저액에서의 조성을 각각 90wt%, 20wt%이라 하면 탑상제품의 양(kg/hr)은 대략 얼마인가?

① 7143kg/hr

② 7243kg/hr

③ 7343kg/hr

④ 7443kg/hr

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 연속 정류 공정에서 총량수지와 A 성분수지를 세워 탑상제품 유량을 구하는 문제이다.

조건 정리

공급액 유량은 $F = 25000\text{kg/hr}$이다.
공급액의 A 조성은 $z_F = 0.40$이다.
탑상제품의 A 조성은 $x_D = 0.90$이다.
탑저액의 A 조성은 $x_W = 0.20$이다.
구해야 할 값은 탑상제품 유량 D이다.

사용할 공식

총량수지는 $F = D + W$이고, A 성분수지는 $Fz_F = Dx_D + Wx_W$이다.
$W = F - D$를 A 성분수지에 대입하면 $D = F\frac{z_F - x_W}{x_D - x_W}$가 된다.
이 공식은 공급액이 A가 풍부한 탑상제품과 A가 적은 탑저액으로 나뉘는 이성분계 연속 정상상태 물질수지에 해당하기 때문에 사용된다.

계산 과정

$D = 25000 \times \frac{0.40 - 0.20}{0.90 - 0.20}$
$D = 25000 \times \frac{0.20}{0.70} = 7142.857\text{kg/hr}$
따라서 탑상제품의 양은 대략 7143kg/hr이다.

NoteBase

선지 판단

1번 O: 계산 결과가 7142.857kg/hr이므로 반올림하면 7143kg/hr이다.
2번 X: 7243kg/hr가 아니라 7143kg/hr이다. A 성분수지 $D = F(z_F - x_W)/(x_D - x_W)$에 대입하면 7243kg/hr가 나오지 않는다.
3번 X: 7343kg/hr가 아니라 7143kg/hr이다. 이 값은 계산 결과보다 약 200kg/hr 크므로 성분수지를 만족하지 않는다.
4번 X: 7443kg/hr가 아니라 7143kg/hr이다. 이 값은 계산 결과보다 약 300kg/hr 크므로 A 성분의 입출량이 맞지 않는다.

오답 포인트

공급액의 A:B=0.4:0.6을 탑상제품과 탑저제품의 유량비로 착각하면 안 된다. 0.4와 0.6은 공급액 내부 조성이고, 제품 유량비는 탑상 90wt%, 탑저 20wt%라는 두 제품 조성까지 함께 넣은 성분수지로 결정된다.

다시 나오면 이렇게 판단

정류 공정에서 공급 조성과 두 제품 조성이 주어지면 먼저 $F = D + W$를 세우고, 구하려는 성분 하나에 대해 $Fz_F = Dx_D + Wx_W$를 세운 뒤 미지수 하나를 소거하여 제품 유량을 계산한다.

암기 포인트

이성분 정류 물질수지는 총량수지 1개와 성분수지 1개로 탑상제품과 탑저제품 유량이 결정된다.

NoteBase

문 17. 활성탄을 이용해서 기체를 흡착하는 공정에서 압력[P(N/m^2)]을 증가시키면서 흡착된 기체의 부피[V(cm^3/g)]를 측정하고 y축은 P/V, x축은 P로 그래프를 그린 후 습득된 기울기가 0.005이다. 활성탄 표면에 흡착된 기체의 최대부피(cm^3/g)는?

① $200cm^3/g$

② $20cm^3/g$

③ $5cm^3/g$

④ $0.005cm^3/g$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 Langmuir 흡착 등온식의 직선화에서 P/V 대 P 그래프의 기울기가 최대 흡착부피의 역수임을 이용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 그래프는 세로축이 P/V, 가로축이 P인 직선 그래프이다.
직선의 기울기는 0.005이다.
구해야 할 값은 활성탄 표면에 흡착된 기체의 최대부피 V_m이다.

사용할 공식

Langmuir 등온식은 직선형으로 쓰면 다음과 같다.
$\frac{P}{V} = \frac{1}{bV_m} + \frac{P}{V_m}$
따라서 P/V를 세로축, P를 가로축으로 그리면 기울기는 $1/V_m$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 바로 P/V 대 P 그래프의 기울기를 주었기 때문이다.

계산 과정

기울기 m은 $1/V_m$이다.
$m = \frac{1}{V_m} = 0.005$
따라서 최대 흡착부피는 다음과 같다.
$V_m = \frac{1}{0.005} = 200$
문제의 부피 단위가 cm^3/g이므로 최대부피는 $200cm^3/g$이다.

NoteBase

선지 판단

① O: 계산 결과 $V_m = 200 cm^3/g$이므로 맞는 선지이다.
② X: $20 cm^3/g$은 기울기 0.005의 역수를 잘못 계산한 값이다. 올바르게는 $200 cm^3/g$이다.
③ X: $5 cm^3/g$은 기울기와 최대부피의 역수 관계를 제대로 적용하지 않은 값이다. 올바르게는 $V_m = 1/0.005 = 200 cm^3/g$이다.
④ X: $0.005 cm^3/g$은 그래프의 기울기를 최대부피 자체로 착각한 값이다. 올바르게는 기울기 0.005의 역수인 $200 cm^3/g$이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 기울기 0.005를 그대로 최대부피로 읽는 데 있다. P/V 대 P 그래프에서는 기울기가 V_m이 아니라 $1/V_m$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

Langmuir 직선화 문제에서는 축을 먼저 확인한다. 세로축이 P/V, 가로축이 P이면 기울기 $= 1/V_m$, 절편 $= 1/(bV_m)$로 판단한다.

암기 포인트

P/V 대 P 그래프의 기울기는 최대 흡착부피가 아니라 최대 흡착부피의 역수이다.

NoteBase

문 18. 물이 상온에서 내경 4cm인 관으로 흐른다고 한다. Fanning 마찰계수가 0.01일 경우 관으로 흐르는 물의 유속(cm/s)은? (단, 유체는 비압축성이며 층류로 가정한다. 물의 점도는 $0.01g/cm\cdot s$이며 밀도는 $1g/cm^3$이다.)

① 2cm/s

② 4cm/s

③ 8cm/s

④ 16cm/s

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 원관 내 층류에서 Fanning 마찰계수와 Reynolds 수의 관계를 이용해 평균 유속을 구하는 문제이다.

조건 정리

관 내경은 $D = 4cm$이다.
Fanning 마찰계수는 $f_F = 0.01$이다.
점도는 $\mu = 0.01g/(cm \cdot s)$이고 밀도는 $\rho = 1g/cm^3$이다.
구해야 할 값은 관으로 흐르는 물의 유속 v이다.

사용할 공식

층류 원관 유동에서 Fanning 마찰계수는 $f_F = 16/Re$이다.
Reynolds 수는 $Re = \rho vD/\mu$이다.
문제에서 유체가 층류라고 주어졌고 마찰계수가 Fanning 마찰계수라고 명시되어 있으므로 $16/Re$ 관계를 사용한다.

계산 과정

먼저 Fanning 마찰계수식에서 Reynolds 수를 구한다.
$Re = \frac{16}{f_F} = \frac{16}{0.01} = 1600$
다음으로 Reynolds 수 정의식에서 유속을 구한다.
$v = \frac{Re\mu}{\rho D} = \frac{1600 \times 0.01}{1 \times 4} = 4cm/s$
따라서 관으로 흐르는 물의 유속은 4cm/s이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 2cm/s는 계산 결과 4cm/s의 절반이므로 틀린 값이다. 올바르게는 4cm/s이다.
② O: Fanning 마찰계수 $f_F = 16/Re$에서 $Re = 1600$이고, $v = Re\mu/(\rho D) = 4cm/s$가 된다.
③ X: 8cm/s는 계산 결과 4cm/s의 두 배이므로 틀린 값이다. 올바르게는 4cm/s이다.
④ X: 16cm/s는 Fanning 마찰계수와 Darcy 마찰계수의 층류식을 혼동하면 나올 수 있는 값이므로 틀린 값이다. 올바르게는 Fanning 기준 $f_F = 16/Re$를 적용한 4cm/s이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 Fanning 마찰계수와 Darcy 마찰계수를 구별하는 지점이다. Fanning 마찰계수의 층류식은 $16/Re$이고, Darcy 마찰계수의 층류식은 $64/Re$이므로 ④의 16cm/s를 고르면 마찰계수 정의를 바꿔 쓴 오류가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

층류 관내 유동에서 마찰계수가 Fanning인지 Darcy인지 먼저 구분한 뒤, 해당 마찰계수식으로 Re를 구하고 $Re = \rho vD/\mu$에 대입해 유속을 판단한다.

암기 포인트

원관 층류에서는 Fanning $f_F = 16/Re$, Darcy $f_D = 64/Re$로 구분한다.

NoteBase

문 19. 수평으로 배치된 원통형 관이 있다. 해당된 관의 경우 반지름이 R이고 길이가 L이며, 관 안에서 흐르는 유체의 경우 비압축성 뉴튼 유체이며 층류로 흐른다고 가정한다. 이 때 관 양끝의 압력차가 일정할 때 관의 반지름이 2배로 커진다면 부피유량(volumetric flow rate)은 몇 배로 커지는가?

① 2배

② 4배

③ 8배

④ 16배

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 원통형 관의 층류 압력유동에서 부피유량이 관 반지름의 네제곱에 비례한다는 Hagen-Poiseuille 법칙을 적용하는 문제이다.

조건 정리

관의 길이 L, 압력차 ΔP, 유체의 점도 μ는 일정하다.
관 반지름만 R에서 $2R$로 변한다.
유체는 비압축성 Newtonian 유체이고 흐름은 층류이므로 원형 관의 Poiseuille 유동 공식을 사용할 수 있다.

사용할 공식

원통형 관의 층류 부피유량은 다음과 같다.
$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\mu L}$
이 조건에서는 ΔP, μ, L이 모두 일정하므로 $Q \propto R^4$이다.

계산 과정

반지름이 2배가 되면 새 부피유량 Q_2와 기존 부피유량 Q_1의 비는 다음과 같다.
$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{(2R)^4}{R^4} = 2^4 = 16$
따라서 부피유량은 16배로 커진다.

NoteBase

선지 판단

① X: 2배는 부피유량이 반지름에 1차 비례한다고 본 값이다. 올바르게는 $Q \propto R^4$이므로 16배이다.
② X: 4배는 단면적 $A \propto R^2$만 고려한 값이다. 압력차가 일정한 층류 관유동에서는 단면적 증가뿐 아니라 속도분포도 반지름 변화의 영향을 받아 R^4 의존성이 된다. 올바르게는 16배이다.
③ X: 8배는 반지름의 세제곱에 비례한다고 보거나 지수 계산을 하나 빠뜨린 값이다. Poiseuille 유동의 부피유량은 R^3이 아니라 R^4에 비례하므로 올바르게는 16배이다.
④ O: $Q \propto R^4$이고 반지름이 $2R$가 되므로 $2^4 = 16$이다. 따라서 16배가 맞다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 부피유량을 단순히 단면적에만 비례한다고 보아 4배를 고르는 것이다. 관 내 층류 압력유동에서는 평균속도도 반지름 제곱에 비례하여 커지므로 전체 부피유량은 단면적 효과 R^2와 속도 효과 R^2가 합쳐져 R^4에 비례한다.

다시 나오면 이렇게 판단

원형 관, Newtonian 유체, 층류, 일정한 압력차가 함께 주어지면 Poiseuille 법칙을 먼저 적용한다. $\Delta P, \mu, L$이 일정하면 변화율은 $Q \propto R^4$만으로 판단한다.

암기 포인트

층류 원형 관 압력유동의 부피유량은 반지름의 네제곱에 비례한다.

NoteBase

문 20. 광택처리(polishing) 된 실리콘(Si) 원판을 1000°C에서 산소 O_2와 반응시켜 표면에 두께 300nm의 산화실리콘 SiO_2 층을 형성시키고 이를 반도체 제조에 사용하고자 한다. 이때 300nm 두께의 산화실리콘 층이 형성되기까지 걸리는 시간을 예측하는 것은 실제 생산공정에서 매우 중요하다. 이를 위한 아래의 정보들 중 필요하지 않은 것은?

① 산화실리콘의 밀도

② 산화실리콘 내 산소의 용해도

③ 산화실리콘 내 산소의 확산계수

④ 정상상태(steady state) 물질전달을 가정

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 실리콘 열산화 시간 예측에 필요한 물성값과 단순한 모델 가정을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

실리콘 산화막 성장 시간은 산화제가 산화실리콘 안으로 녹아 들어가 확산하고, 계면에서 반응하여 산화막 부피로 전환되는 속도로 결정된다. 따라서 산화막의 밀도, 산화제의 용해도, 산화제의 확산계수는 성장속도식의 물성값으로 필요하다. 반면 정상상태 물질전달 가정은 모델을 세울 때 쓰는 해석상 가정이지, 300nm 산화막 형성 시간을 계산하기 위해 별도로 주어져야 하는 물성 정보는 아니다.

선지별 해설

① X: 산화실리콘의 밀도는 필요한 정보이다. 산화제 플럭스가 들어왔을 때 그것이 산화실리콘 두께 증가량으로 얼마나 전환되는지를 알려 주는 값이므로 시간 예측에 필요하다. 틀린 표현은 '필요하지 않다'는 판단이며, 올바르게는 산화실리콘의 밀도는 필요한 정보이다.

② X: 산화실리콘 내 산소의 용해도는 필요한 정보이다. 산소가 산화막 내부에 얼마나 녹아 존재할 수 있는지가 계면으로 공급되는 산화제 농도와 성장속도를 좌우한다. 틀린 표현은 '필요하지 않다'는 판단이며, 올바르게는 산화실리콘 내 산소의 용해도는 필요한 정보이다.

③ X: 산화실리콘 내 산소의 확산계수는 필요한 정보이다. 산화막이 두꺼워질수록 산소가 산화막을 통과해 계면까지 이동하는 확산 저항이 커지므로, 확산계수는 산화 시간 예측의 핵심 물성이다. 틀린 표현은 '필요하지 않다'는 판단이며, 올바르게는 산화실리콘 내 산소의 확산계수는 필요한 정보이다.

④ O: 정상상태 물질전달을 가정하는 것은 불필요한 정보에 해당한다. 이는 산화막 성장 모델을 단순화할 때 채택하는 해석상 가정이지, 산화실리콘 300nm를 만들기 위한 시간 계산에 입력해야 하는 독립적인 물성값은 아니다.

NoteBase

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 '필요한 물성 정보'와 '모델 가정'을 같은 종류로 보는 것이다. ①~③은 산화막 성장속도를 정량화하는 물성값이지만, ④는 계산에 넣는 물성값이 아니라 해석 모델의 전제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

산화막 성장 시간 문제에서는 물질이 얼마나 녹는지, 얼마나 빨리 확산하는지, 유입량이 두께로 어떻게 바뀌는지를 먼저 본다. 용해도, 확산계수, 밀도는 필요한 물성으로 판단하고, 정상상태 같은 문구는 별도 입력 정보가 아니라 모델 가정으로 판단한다.

암기 포인트

열산화 시간 예측의 핵심 물성은 밀도, 용해도, 확산계수이고, 정상상태는 물성값이 아니라 가정이다.

NoteBase