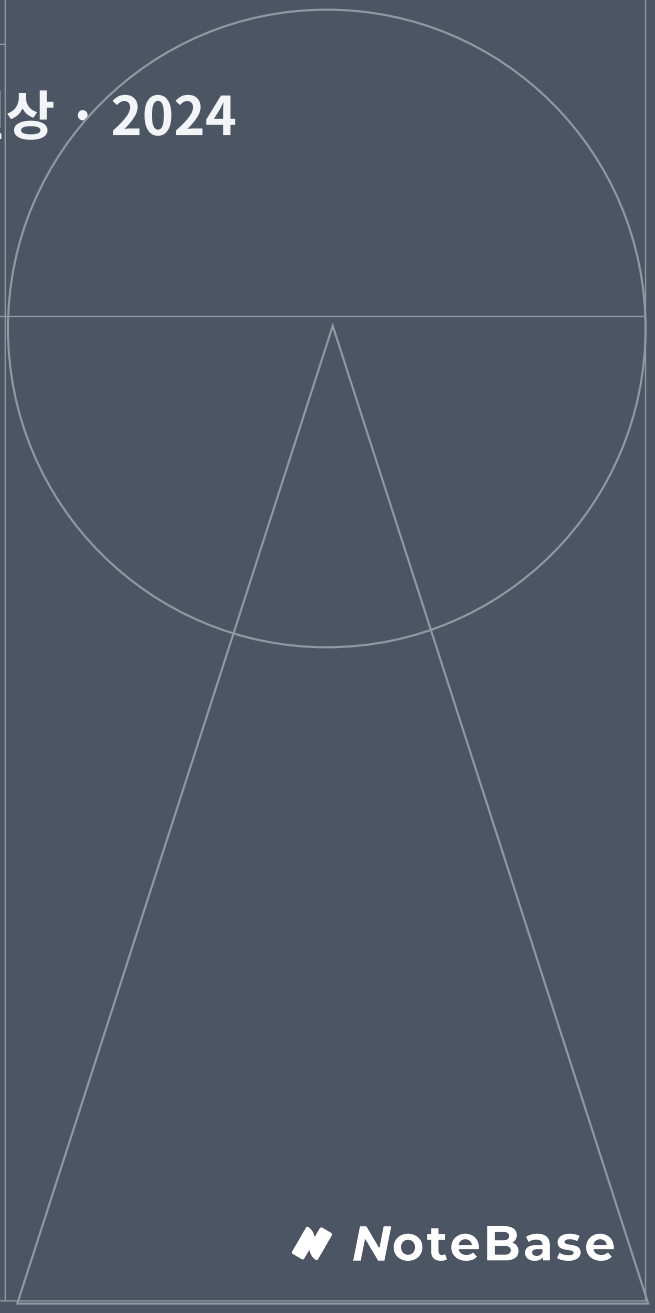
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2024



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2024

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2024

문 1. 물질전달 및 확산에 대한 일반적인 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 물질의 확산은 계에 존재하는 물질의 농도 차이에 의해서 나타나는 현상으로 해석된다.

② 액체의 확산계수는 같은 종류의 고체 확산계수와 비슷한 값을 가진다.

③ 물질의 확산은 온도가 증가하면 빨라진다.

④ 액체상 물질의 확산계수는 점도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 확산의 구동력과 상(phase)에 따른 확산계수의 상대적 크기를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

확산은 농도 차이 때문에 물질이 이동하는 현상이다. 액체에서는 분자 이동이 비교적 자유로워 확산계수가 크고, 고체에서는 격자 내부 이동이 느려 확산계수가 매우 작다. 액체상 확산계수는 일반적으로 온도가 올라가면 증가하고 점도가 커지면 감소한다.

선지별 해설

1번: O. 확산의 직접적인 구동력은 농도 구배이다. 계 안에 농도 차이가 있으면 고농도 영역에서 저농도 영역으로 물질이 이동하므로 옳은 설명이다.
2번: X. 틀린 표현은 "같은 종류의 고체 확산계수와 비슷한 값"이다. 액체의 확산계수는 같은 물질의 고체 내 확산계수보다 보통 훨씬 크다. 고체에서는 원자나 분자가 격자나 고체 구조 안에서 매우 느리게 이동하므로 두 값은 비슷하지 않다.
3번: O. 온도가 증가하면 분자의 열운동이 커져 확산 속도가 일반적으로 빨라진다. 따라서 확산이 온도 상승에 따라 빨라진다는 설명은 옳다.
4번: O. 액체상 확산은 점성이 큰 유체일수록 분자 이동이 더 방해받는다. 따라서 점도가 증가하면 액체상 물질의 확산계수는 감소하는 경향을 보이므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

2번은 "액체"와 "고체"의 확산계수를 같은 수준으로 놓는 표현이 함정이다. 수험생이 온도나 점도 같은 일반 경향만 기억하고 상에 따른 이동성 차이를 놓치면 2번을 지나치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 확산의 구동력이 농도 차이인지 확인하고, 다음으로 어느 상에서의 확산인지 본다. 액체는 고체보다 분자 이동이 훨씬 자유로워 확산계수가 크고, 액체에서는 온도 상승 시 증가, 점도 상승 시 감소라는 경향으로 판단하면 된다.

암기 포인트

확산은 농도 차이로 일어나고, 액체 확산계수는 고체보다 훨씬 크며, 온도와는 정비례 경향, 점도와는 반비례 경향을 보인다.

NoteBase

문 2. 복사 현상에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 매질이 없어도 전자기파 형태로 열을 전달할 수 있다.

② 흑체는 입사하는 모든 전자기 복사를 흡수하는 이상적인 물체이다.

③ 흑체는 온도에 반비례하는 특정 파장의 전자기파만 방출한다.

④ 흑체의 단위 면적당 복사 에너지는 절대 온도의 네제곱에 비례한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 복사의 기본 성질과 흑체에 관한 빈의 변위법칙, 스테판-볼츠만 법칙을 구분하는지를 묻는다.

핵심 개념

복사는 매질 없이 전자기파로 에너지가 전달되는 현상이다. 흑체는 입사하는 모든 복사를 흡수하는 이상물체이며, 방출은 특정 한 파장만이 아니라 여러 파장대에 걸쳐 일어난다. 온도가 높아질수록 최대 방출 파장은 짧아지고, 총 복사에너지는 커진다.

선지별 해설

① O: 복사는 전도나 대류와 달리 매질이 없어도 가능하다. 태양과 지구 사이의 진공에서도 열이 전달되는 이유가 전자기파 복사이기 때문이다.
② O: 흑체는 입사하는 모든 전자기 복사를 흡수하는 이상적인 물체라는 정의에 맞는 설명이다. 흡수율이 1인 이상 모델이다.
③ X: 틀린 부분은 '온도에 반비례하는 특정 파장의 전자기파만 방출한다'는 표현이다. 빈의 변위법칙은 최대 방출 강도를 가지는 파장이 온도에 반비례한다는 뜻일 뿐이고, 흑체는 특정 한 파장만이 아니라 연속적인 여러 파장의 전자기파를 방출한다.
④ O: 흑체의 단위 면적당 총 복사에너지는 절대온도의 네제곱에 비례한다. 이는 스테판-볼츠만 법칙에 해당한다.

오답 포인트

③은 '최대 방출 파장'과 '실제 방출 스펙트럼'을 섞어 놓은 선지이다. 최대가 되는 파장이 온도에 반비례한다는 사실을, 그 파장만 방출한다는 뜻으로 오해하면 틀리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

흑체 선지는 먼저 흡수에 대한 설명인지, 최대 방출 파장에 대한 설명인지, 총 복사에너지에 대한 설명인지 구분하면 된다. 최대 방출 파장은 빈의 변위법칙, 총 복사에너지는 스테판-볼츠만 법칙으로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

흑체는 모든 복사를 흡수하고 모든 파장대에서 방출한다. 최대 방출 파장은 온도가 높을수록 짧아지고, 총 복사에너지는 T^4에 비례한다.

NoteBase

문 3. 유체에 전단유동이 가해졌을 때 전단응력(shear stress)을 세로축으로, 전단율(shear rate)을 가로축으로 하여 나타낸 그래프에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 뉴튼 유체(Newtonian fluid)는 원점을 지나는 직선이다.

② 팽창성 유체(dilatant fluid)는 전단율이 작을 때의 접선의 기울기가 전단율이 클 때의 접선의 기울기보다 크다.

③ 유사 가소성 유체(pseudoplastic fluid)는 위로 볼록한 형태를 나타낸다.

④ 빙햄소성 유체(Bingham plastic)의 경우 항복응력(yield stress)만큼의 절편을 갖는 직선 형태이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 전단응력-전단율 그래프에서 뉴턴 유체, 팽창성 유체, 유사가소성 유체, 빙햄소성 유체의 곡선 형태와 기울기 변화를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

뉴턴 유체는 전단응력이 전단율에 비례하여 점도가 일정한 유체이다. 팽창성 유체는 전단율이 커질수록 겉보기점도가 커지는 전단농화 유체이다. 유사가소성 유체는 전단율이 커질수록 겉보기점도가 작아지는 전단박화 유체이다. 빙햄소성 유체는 항복응력 이상에서야 흐르기 시작하고 그 이후에는 거의 직선 관계를 보이는 유체이다.

선지별 해설

① O: 뉴턴 유체는 $\tau = \mu\dot{\gamma}$ 관계를 따르므로 전단응력-전단율 그래프가 원점을 지나는 직선이 된다.
② X: 틀린 부분은 "전단율이 작을 때의 접선의 기울기가 전단율이 클 때의 접선의 기울기보다 크다"는 표현이다. 팽창성 유체는 전단농화 유체이므로 전단율이 증가할수록 기울기가 더 커진다. 올바르게는 "전단율이 클 때의 접선의 기울기가 더 크다"이다.
③ O: 유사가소성 유체는 전단박화 유체이므로 전단율이 커질수록 기울기가 감소한다. 따라서 전단응력이 전단율보다 완만하게 증가하는 곡선 형태로 나타나며 제시 문장의 취지에 맞다.
④ O: 빙햄소성 유체는 항복응력 τ_0을 넘어야 유동하고, 그 이후에는 $\tau = \tau_0 + \mu_p\dot{\gamma}$ 꼴의 직선으로 나타난다. 따라서 전단응력축에 항복응력만큼의 절편을 갖는 직선 형태라는 설명이 맞다.

오답 포인트

팽창성 유체와 유사가소성 유체를 둘 다 비뉴턴 유체로만 묶어 두면 기울기 변화 방향을 뒤바꾸기 쉽다. 이 문항은 ②에서 접선 기울기의 대소관계를 반대로 써 놓아 전단농화와 전단박화를 혼동하는지를 묻는다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

세로축이 전단응력, 가로축이 전단율이면 먼저 기울기 변화가 점도 변화 방향과 같은지 본다. 기울기가 일정하면 뉴턴 유체, 커지면 팽창성 유체, 작아지면 유사가소성 유체, 전단응력축 절편이 있으면 빙햄소성 유체로 판단한다.

암기 포인트

뉴턴은 일정, 팽창성은 갈수록 가팔라짐, 유사가소성은 갈수록 완만해짐, 빙햄소성은 항복응력 절편이 핵심이다.

NoteBase

문 4. 뉴튼 유체 A와 유사 가소성 유체 B가 동일한 길이와 직경을 갖는 파이프 내부에서 동일한 압력차에 의하여 완전 발달된 층류 상태로 흐를 때에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은? (단, 주 흐름 방향(z 방향)으로의 1차원 흐름만을 고려하고 속도 분포는 반지름 방향(r 방향)으로만 변화한다. $v_z(r)$은 r 위치에서의 z 방향 속도이고, v_{avg}는 유체의 파이프 내부에서의 평균 속도이다.)

① 파이프 중심에서 두 유체의 전단응력은 동일하다.

② 파이프 벽에서 두 유체의 전단응력은 동일하다.

③ 유체 A의 $v_z(r=0)/v_{\text{avg}}$ 값은 유체 B의 $v_z(r=0)/v_{\text{avg}}$ 값보다 작다.

④ 동일한 유량이 흘러갈 때 파이프 벽에서 dv_z/dr 값은 유체 B가 유체 A보다 크다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 완전 발달 원관 층류에서 전단응력 분포는 압력구배로 결정되고, 유사가소성 유체는 뉴튼 유체보다 속도분포가 더 평평하다는 점을 비교하는 문제이다.

핵심 개념

완전 발달 원관 층류에서는 $\tau_{rz}(r) = -\frac{r}{2}\frac{dp}{dz}$ 이므로 같은 압력강하, 같은 길이, 같은 직경이면 전단응력 분포는 유체 종류와 무관하게 같다. 유사가소성 유체는 전단박화 유체이므로 중심부는 더 평평하고 벽 근처에서는 더 급하게 속도가 변한다. 따라서 $v_z(0)/v_{avg}$는 뉴튼 유체보다 작고, 벽면 속도구배의 크기 $|dv_z/dr|$는 더 크다.

선지별 해설

1번: O. 파이프 중심 $r=0$에서는 $\tau_{rz}(0)=0$ 이다. 같은 압력구배에서 전단응력 분포 자체가 같으므로 두 유체의 중심 전단응력은 동일하다.
2번: O. 파이프 벽 $r=R$에서는 $\tau_w = -\frac{R}{2}\frac{dp}{dz}$ 이다. 같은 관과 같은 압력차 조건이므로 벽면 전단응력도 동일하다.
3번: X. 틀린 표현은 '유체 A의 $v_z(r=0)/v_{avg}$ 값은 유체 B의 값보다 작다'이다. 뉴튼 유체는 속도분포가 포물선형이어서 $v_z(0)/v_{avg}=2$ 이고, 유사가소성 유체는 더 평평한 분포를 가져 이 비가 더 작다. 올바르게는 '유체 A의 $v_z(r=0)/v_{avg}$ 값은 유체 B의 값보다 크다'이다.
4번: O. 동일한 유량에서는 유사가소성 유체가 중심부는 더 평평하고 벽 근처에서 더 급하게 떨어진다. 따라서 벽면 속도구배의 크기 $|dv_z/dr|_w$ 또는 전단률은 유체 B가 유체 A보다 크다.

오답 포인트

같은 압력차 조건과 같은 유량 조건을 섞으면 틀리기 쉽다. 1번과 2번은 운동량수지로 바로 결정되는 전단응력 비교이고, 3번과 4번은 전단박화 때문에 달라지는 속도분포 비교이다. 특히 3번은 중심최대속도와 평균속도의 비가 전단박화 유체에서 더 작아진다는 점을 뒤집으면 오답이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 비교 대상이 전단응력인지 속도분포인지 구분한다. 같은 압력구배이면 $\tau_{rz}(r)$부터 써서 전단응력은 같다고 판단한다. 그다음 유사가소성 유체는 전단박화로 속도분포가 더 평평하므로 $v_z(0)/v_{avg}$는 더 작고, 같은 유량에서 벽면 기울기 크기는 더 크다고 판단한다.

암기 포인트

같은 Δp면 전단응력 분포는 같고, 전단박화면 중심은 평평해져 v_{max}/v_{avg}는 작아지고 벽면 기울기 크기는 커진다.

NoteBase

문 5. 기체 흡수(gas absorption) 공정에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은? (단, 흡수되는 기체의 평형선(equilibrium line)은 기상에서의 조성y^*을 세로축으로, 액상에서의 조성x을 가로축으로 나타낼 때 원점을 지나는 직선이며, 기상과 액상 흐름의 양은 흡수 과정에서 변화하지 않고 일정한 것으로 가정한다.)

① 주어진 기체 흐름에 대하여 액체 흐름의 양이 줄어들면 조작선(operating line)의 기울기가 증가한다.

② 평형선의 기울기가 1보다 매우 크게 되면 액체 쪽의 물질전달 과정이 율속(rate determining) 과정이다.

③ 주어진 기체 흐름에 대하여 액체 흐름의 양이 줄어들면 흡수탑의 높이는 증가한다.

④ 흡수탑은 물질전달 속도를 증가시키기 위하여 가압하여 운전한다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 흡수탑의 조작선 기울기 L/G, 평형선 기울기 m, 그리고 액체 유량 변화가 흡수 난이도와 탑 높이에 미치는 영향을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

조작선은 주어진 기상·액상 유량에서 물질수지를 나타내는 직선이며 기울기는 L/G이다.
평형선은 기상 조성 y^*와 액상 조성 x의 평형관계를 나타내며, 여기서는 $y^* = mx$인 직선이다.
m이 클수록 같은 액상 농도에 대응하는 평형 기상 농도가 커지므로 흡수는 불리해지고 액상 저항의 영향이 커진다.

선지별 해설

1번: X. 틀린 부분은 "액체 흐름의 양이 줄어들면 조작선의 기울기가 증가한다"이다. 조작선의 기울기는 L/G이므로 주어진 기체 유량 G에서 액체 유량 L이 줄어들면 기울기는 증가가 아니라 감소한다. 올바르게는 "액체 흐름의 양이 줄어들면 조작선의 기울기는 감소한다"이다.
2번: O. 평형선이 $y^* = mx$이고 m이 매우 크면 전체 저항을 기상 기준으로 볼 때 액상 저항 항 m/k_x의 비중이 커진다. 따라서 액체 쪽 물질전달 과정이 율속 단계가 되기 쉽다.
3번: O. 주어진 기체 유량에서 액체 유량이 줄면 조작선 기울기 L/G가 작아져 조작선이 평형선에 가까워진다. 그만큼 평균 추진력이 작아져 같은 흡수량을 얻으려면 더 큰 전달면적, 즉 더 높은 흡수탑이 필요하다.
4번: O. 기체 흡수는 일반적으로 압력을 높이면 용질의 분압이 커지고 기체의 용해가 유리해져 물질전달 속도가 증가할 수 있다. 그래서 흡수 조작은 가압 운전이 유리한 경우가 많다.

오답 포인트

1번은 액체 유량이 줄면 조작선 기울기 L/G가 어떻게 바뀌는지를 반대로 말한 선지이다. 2번과 3번은 모두 액체 유량 감소가 흡수를 불리하게 만든다는 흐름과 연결되는데, 1번만 기울기 방향을 뒤집어 놓아 헷갈리게 만든다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

흡수 문제에서 먼저 조작선 기울기가 L/G인지 확인한다. 그다음 액체 유량 L이 줄면 기울기가 작아지고 추진력이 감소하여 흡수가 어려워진다고 연결하면 탑 높이와 율속 단계 판단이 정리된다.

암기 포인트

흡수 조작선 기울기는 L/G이며, 액체 유량 감소는 기울기 감소와 흡수 불리로 이어진다.

NoteBase

문 6. 이성분계 증류를 위한 증류탑 설계에 McCabe-Thiele법을 적용하는 과정에서 정류부(enriching section)와 탈거부(stripping section)에 대한 조작선(operating line)을 각각의 단일한 직선으로 만들기 위한 가정으로 가장 옳지 않은 것은? (단, 각 단에서의 액체 및 기체 유량과 조성은 몰을 기준으로 한다.)

① 증류탑은 단열(adiabatic) 조건이 성립해야 한다.

② 몰당 증발열은 농도에 상관없이 일정하다.

③ 엔탈피-조성 도표를 몰 단위로 표시했을 때 포화 액체선과 포화 기체선이 평행이다.

④ 정류부에서의 액체 몰유량과 탈거부에서의 액체 몰유량은 서로 같다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 McCabe-Thiele법에서 조작선을 직선으로 두기 위한 등몰 오버플로우 가정의 의미를 정확히 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

McCabe-Thiele법은 정류부와 탈거부에서 각각 L과 V가 거의 일정하다고 보고 조작선을 직선으로 다룬다. 이 가정은 각 구간 내부의 유량 일정성을 뜻하며, 공급단을 기준으로 정류부 유량과 탈거부 유량이 서로 같다는 뜻은 아니다.

선지별 해설

1번 O: 등몰 오버플로우를 위해서는 탑이 거의 단열로 거동하여 외부와의 열교환이 무시되어야 한다. 그래야 각 단에서 응축과 기화가 내부 열수지로 정리되어 조작선을 직선으로 둘 수 있다.
2번 O: 몰당 증발열이 농도와 무관하게 거의 일정하다고 보면 어떤 성분 조성에서도 1몰의 응축과 1몰의 기화가 비슷한 열량으로 대응한다. 이 가정이 정류부와 탈거부의 몰유량 일정성을 뒷받침한다.
3번 O: 엔탈피-조성도를 몰 기준으로 나타낼 때 포화 액체선과 포화 기체선의 간격이 거의 일정하면 두 선을 평행으로 다룰 수 있다. 이는 몰당 증발열이 조성에 따라 거의 변하지 않는다는 가정의 표현이다.
4번 X: 틀린 표현은 "정류부에서의 액체 몰유량과 탈거부에서의 액체 몰유량은 서로 같다"이다. 실제로는 정류부의 액체 몰유량과 탈거부의 액체 몰유량이 공급단 상태에 따라 달라질 수 있다. 올바르게는 정류부 내부에서는 액체 몰유량이 거의 일정하고, 탈거부 내부에서도 액체 몰유량이 거의 일정하다고 본다.

오답 포인트

각 구간에서 유량이 일정하다는 말을 탑 전체에서 같은 유량이라는 뜻으로 확대해 해석하면 4번에 걸린다. 공급단은 정류부와 탈거부의 유량을 바꾸는 경계이므로 구간 내부 일정성과 구간 간 동일성을 구분해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

McCabe-Thiele 가정 문제는 먼저 각 구간 내부에서 일정한지, 아니면 탑 전체에서 서로 같은지를 구분해 본다. 이어서 단열, 몰당 증발열 일정, 엔탈피선 평행이 모두 등몰 오버플로우를 위한 전형적 가정인지 확인하면 된다.

암기 포인트

등몰 오버플로우는 정류부 일정, 탈거부 일정이지 정류부와 탈거부가 서로 같은 것은 아니다.

NoteBase

문 7. 액체 흡수제를 이용한 이산화탄소 기체 흡수 장치에서 기체상에서 이산화탄소의 몰분율(y)과 액체상에서 이산화탄소의 몰분율(x) 사이의 평형관계가 $y = 0.1x$로 주어질 때, 기체상 기준 총괄 물질전달계수(K_y)의 값 [$\mathrm{mol m^{-2} s^{-1}}$]은? (단, 이산화탄소에 대한 액체상 기준 물질전달계수(k_x)는 $0.1\mathrm{mol m^{-2} s^{-1}}$, 기체상 기준 물질전달계수($k_y$)는 $0.5\mathrm{mol m^{-2} s^{-1}}$이다.)

① 1/30

② 1/10

③ 1/6

④ 1/3

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평형선의 기울기 m를 이용하여 기체상 기준 총괄 물질전달계수 K_y를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $y = 0.1x$이므로 평형선 기울기 $m = 0.1$, 액체상 기준 물질전달계수 $k_x = 0.1\mathrm{mol m^{-2} s^{-1}}$,
기체상 기준 물질전달계수 $k_y = 0.5\mathrm{mol m^{-2} s^{-1}}$이다. 구해야 할 값은 기체상 기준 총괄 물질전달계수 K_y이다.
주의할 조건은 총괄계수는 각 막의 저항을 더한 뒤 역수를 취한다는 점이다.

사용할 공식

평형식이 $y^* = mx$일 때 기체상 기준 총괄 저항식은 $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 기체막 저항과 액체막 저항을 모두 기체상 농도차 기준으로 환산해 합해야 하기 때문이다.

계산 과정

먼저 평형선의 기울기는 $m = 0.1$이다.
따라서 $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{0.5} + \frac{0.1}{0.1} = 2 + 1 = 3$
이므로 $K_y = \frac{1}{3}\mathrm{mol m^{-2} s^{-1}}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X. 선지의 값 1/30이 틀렸고, 올바른 값은 1/3이다. 총괄 저항은 두 저항을 더한 뒤 역수를 취해야 하므로 이렇게 작은 값이 나오지 않는다.
② X. 선지의 값 1/10이 틀렸고, 올바른 값은 1/3이다. 계산 결과 $1/K_y = 3$이므로 $K_y = 1/3$이어야 하며, 1/10은 총괄 저항식의 합산 결과와 맞지 않는다.
③ X. 선지의 값 1/6이 틀렸고, 올바른 값은 1/3이다. 기체막 저항 $1/k_y = 2$와 환산된 액체막 저항 $m/k_x = 1$을 더하면 3이므로 K_y는 1/6이 될 수 없다.
④ O. $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{0.5} + \frac{0.1}{0.1} = 3$이므로 $K_y = 1/3$이다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

개별 전달계수 k_y, k_x를 바로 더하거나, 평형선 기울기 m로 액체막 저항을 기체상 기준으로 환산하는 단계를 빼먹으면 오답이 된다. 특히 총괄계수는 계수의 합이 아니라 저항의 합이라는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

흡수 문제에서 총괄계수를 묻으면 먼저 평형식에서 m을 읽고, 원하는 기준에 맞는 총괄 저항식으로 바꾼 뒤, 각 막 저항을 더해서 마지막에 역수를 취하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

기체상 기준 총괄계수는 $1/K_y = 1/k_y + m/k_x$처럼 저항을 더한 뒤 역수를 취한다.

NoteBase

문 8. 이중관 열교환기의 안쪽 파이프 내부 쪽의 열전달계수가 $600\mathrm{Wm^{-2}{\circ}C^{-1}}$이고, 파이프 외부 쪽의 열전달계수가 $500\mathrm{Wm^{-2}{\circ}C^{-1}}$일 때, 파이프 내부 면적을 기준으로 한 총괄 열전달계수의 값[$\mathrm{Wm^{-2}{\circ}C^{-1}}$]은? (단, 안쪽 파이프의 안지름은 5cm, 두께는 0.5cm이며, 파이프 벽면에서 전도를 통한 열전달 저항은 무시한다.)

① 300

② 400

③ 500

④ 600

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이중관 열교환기에서 파이프 내부 면적 기준 총괄 열전달계수 U_i를 면적비까지 반영하여 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 내부 대류 열전달계수 600, 외부 대류 열전달계수 500, 안지름 5cm, 두께 0.5cm이다. 구해야 할 값은 파이프 내부 면적 기준 총괄 열전달계수이다. 파이프 벽 전도저항은 무시하므로 내부 대류저항과 외부 대류저항만 합하면 된다.

사용할 공식

내부 면적 기준에서는

$$\frac{1}{U_i}=\frac{1}{h_i}+\frac{A_i}{A_o}\frac{1}{h_o}$$

이다. 이 문제는 원통벽 전도저항을 무시하고 내부 기준 총괄 열전달계수를 묻기 때문에 외부 저항을 내부 면적으로 환산하는 면적비 A_i/A_o가 필요하다.

계산 과정

바깥지름은 5cm에 두께 0.5cm가 양쪽으로 더해지므로 6cm이다. 따라서 면적비는 $A_i/A_o = D_i/D_o = 5/6$이다.

이를 공식에 대입하면

$$\frac{1}{U_i}=\frac{1}{600}+\frac{5}{6}\cdot\frac{1}{500}=\frac{1}{600}+\frac{1}{600}=\frac{1}{300}$$

이므로

$$U_i = 300$$

이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과 내부 면적 기준 총괄 열전달계수는 300이므로 맞다. 내부 기준에서는 외부 열전달계수 500을 그대로 쓰지 않고 면적비 5/6을 곱해 내부 면적으로 환산해야 한다.

② X: 400은 내부와 외부 열전달계수를 단순 평균하거나 저항합성을 잘못 처리하면 나올 수 있는 값이다. 총괄 열전달계수는 평균값이 아니라 열저항의 합으로 구하므로 틀리며, 올바른 값은 300이다.

③ X: 500은 외부 대류 열전달계수만 본 값이다. 총괄 열전달계수는 내부와 외부의 대류저항이 직렬로 더해진 결과이므로 한쪽 계수 500보다 커질 수 없고, 올바른 값은 300이다.

④ X: 600은 내부 대류 열전달계수만 본 값이다. 총괄 열전달계수는 두 대류저항을 모두 반영해야 하므로 가장 작은 저항 하나의 역수처럼 취급할 수 없고, 올바른 값은 300이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 내부 면적 기준이라는 조건을 놓치고 h_i와 h_o를 그대로 평균하거나, 외부 저항을 내부 면적으로 환산하는 면적비 A_i/A_o를 빼먹는 데 있다. 두께가 주어진 이유는 바깥지름 6cm와 면적비 5/6를 구하게 하려는 것이다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통형 열교환기에서 총괄 열전달계수를 묻고 기준 면적이 제시되면 먼저 그 기준이 내부인지 외부인지 확인한 뒤, 각 열저항을 같은 기준 면적으로 환산해서 더한 다음 역수를 취하면 된다.

암기 포인트

총괄 열전달계수는 평균이 아니라 저항의 합의 역수이며, 원통에서는 면적 기준이 바뀌면 A_i/A_o 또는 A_o/A_i가 함께 따라온다.

NoteBase

문 9. 섞이지 않고 점도가 서로 다른 두 가지 뉴튼 유체 A와 B가 두 평판 사이에서 압력차에 의하여 완전발달 상태로 흐를 때에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은? (단, 두 평판은 고정되어 있으며, 아래층에 유체 A, 위층에 유체 B가 흐르고 있다. 주 흐름 방향(z 방향)으로의 1차원 흐름만을 고려하고, 속도 분포는 z 방향의 수직 방향(x 방향)으로만 변화한다.)

① 두 유체의 경계면에서 두 유체의 속도는 동일하다.

② 두 유체의 경계면에서 두 유체의 전단응력은 동일하다.

③ 전단응력을 x 방향에 따라서 도시하였을 때 선형 분포를 나타낸다.

④ 두 유체의 경계면에서 속도 분포의 x 방향 접선의 기울기는 동일하다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 점도가 다른 두 뉴튼 유체의 완전발달 층류에서 경계면 연속조건과 전단응력-속도구배 관계를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

두 유체의 경계면에서는 속도와 전단응력이 연속이다. 뉴튼 유체에서는 전단응력이 $\tau = \mu\frac{du}{dx}$ 이므로 점도가 다르면 같은 전단응력을 만들기 위한 속도 기울기 $\frac{du}{dx}$ 는 일반적으로 서로 다르다. 또한 완전발달 1차원 압력구동 유동에서는 $\frac{d\tau}{dx} = \frac{dp}{dz}$ 이므로 전단응력은 각 층에서 x 에 대해 선형으로 변한다.

선지별 해설

1번 O: 두 유체의 경계면에서는 접선방향 속도가 연속이므로 경계면에서 유체 A와 유체 B의 속도는 동일하다.
2번 O: 경계면에서 전단응력은 양쪽에서 같아야 한다. 따라서 두 유체의 경계면에서 전달되는 전단응력은 동일하다.
3번 O: 완전발달 1차원 유동의 운동량 방정식에서 $\frac{d\tau}{dx} = \frac{dp}{dz}$ 이고, 압력기울기 $\frac{dp}{dz}$ 는 일정하므로 전단응력은 x 방향에 따라 선형 분포를 나타낸다.
4번 X: 틀린 부분은 '속도 분포의 x 방향 접선의 기울기는 동일하다'이다. 실제로는 경계면에서 $\mu_A\frac{du_A}{dx} = \mu_B\frac{du_B}{dx}$ 가 성립한다. 점도가 서로 다르므로 속도 기울기 자체는 일반적으로 같지 않고, 올바른 표현은 '경계면에서 전단응력은 같지만 속도 기울기는 점도에 따라 달라질 수 있다'이다.

오답 포인트

전단응력의 연속과 속도구배의 연속을 같은 뜻으로 오해하면 4번을 고르지 못한다. 이 문제는 '점도가 서로 다르다'는 조건을 이용해 τ 연속과 $\frac{du}{dx}$ 불일치 가능성을 구분하게 만든다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

계면 유동 문제는 먼저 경계면에서 속도 연속과 전단응력 연속을 적고, 그다음 뉴튼 유체식 $\tau = \mu \frac{du}{dx}$ 에 점도 차이를 대입해 속도 기울기가 같은지 다른지 판단하면 된다.

암기 포인트

계면에서는 u 와 τ 는 연속이고, 점도가 다르면 $\frac{du}{dx}$ 는 달라질 수 있다.

NoteBase

문 10. 열전달과 물질전달에서 유사한 의미를 가진 무차원 수를 가장 옳게 짝지은 것은?

① Grashof수 – Schmidt수, Nusselt수 – Lewis수

② Nusselt수 – Schmidt수, Prandtl수 – Sherwood수

③ Prandtl수 – Schmidt수, Nusselt수 – Sherwood수

④ Stanton수 – Schmidt수, Prandtl수 – Reynolds수

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 열전달과 물질전달에서 같은 역할을 하는 무차원수를 의미별로 대응시킬 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

Prandtl수는 운동량 확산도와 열확산도의 비 $Pr = \nu/\alpha$이고, Schmidt수는 운동량 확산도와 물질확산도의 비 $Sc = \nu/D_{AB}$이므로 둘은 확산도비라는 점에서 대응된다.
Nusselt수는 대류 열전달과 전도 열전달의 상대 크기 $Nu = hL/k$이고, Sherwood수는 대류 물질전달과 분자확산 물질전달의 상대 크기 $Sh = k_cL/D_{AB}$이므로 둘은 전달계수형 무차원수로 대응된다.
Lewis수는 열확산도와 물질확산도의 비 $Le = \alpha/D_{AB} = Sc/Pr$이고, Reynolds수는 관성력과 점성력의 비이므로 이 문제의 대표 대응쌍과는 성격이 다르다.

선지별 해설

1번: X. Grashof수는 자연대류에서 부력과 점성력의 비를 나타내는 무차원수이므로 Schmidt수와 같은 의미가 아니다. 틀린 표현은 'Grashof수 - Schmidt수'이다. 올바르게는 Grashof수는 물질전달의 질량 Grashof수와 대응되고, Nusselt수는 Lewis수가 아니라 Sherwood수와 대응된다.
2번: X. Nusselt수는 전달계수형이어서 Sherwood수와 대응되고, Prandtl수는 확산도비형이어서 Schmidt수와 대응된다. 틀린 표현은 'Nusselt수 - Schmidt수, Prandtl수 - Sherwood수'이다. 올바르게는 'Nusselt수 - Sherwood수, Prandtl수 - Schmidt수'이다.
3번: O. Prandtl수와 Schmidt수는 모두 운동량 확산도를 기준으로 다른 확산도를 비교하는 무차원수이고, Nusselt수와 Sherwood수는 모두 대류전달을 분자전달과 비교하는 무차원수이므로 가장 정확한 대응이다.
4번: X. Stanton수는 열전달과 물질전달에서 각각 Stanton수끼리 대응되는 개념이고, Reynolds수는 열과 물질전달 모두에 공통으로 쓰이는 유동 무차원수일 뿐 Prandtl수의 대응쌍이 아니다. 틀린 표현은 'Stanton수 - Schmidt수, Prandtl수 - Reynolds수'이다. 올바르게는 Prandtl수는 Schmidt수와 대응시키고, Stanton수는 열전달 Stanton수와 질량 Stanton수의 대응으로 본다.

NoteBase

오답 포인트

전달계수형 무차원수인 Nusselt수·Sherwood수와 확산도비형 무차원수인 Prandtl수·Schmidt수를 서로 바꾸어 짝지으면 틀린다. Lewis수와 Reynolds수는 자주 보이지만 이 문제의 대표 1대1 대응쌍은 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 각 무차원수가 무엇의 비인지 본다. 운동량 확산도 대비 다른 확산도의 비이면 $Pr \leftrightarrow Sc$로, 대류전달 대비 분자전달의 비이면 $Nu \leftrightarrow Sh$로 묶으면 된다.

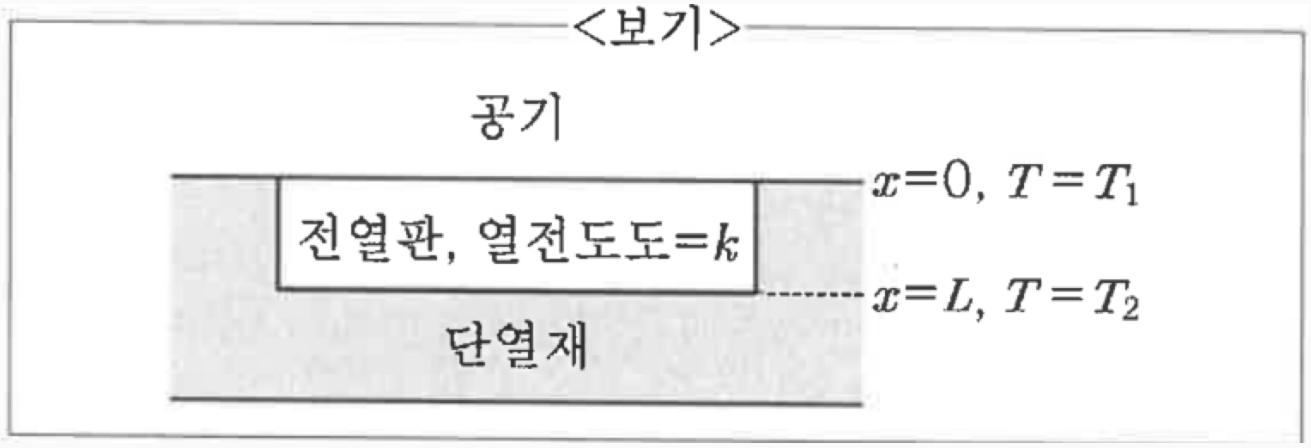
암기 포인트

Pr-Sc는 확산도비, Nu-Sh는 전달계수비이다.

NoteBase

문 11. 두께가 L이고 단면적이 A인 직육면체의 전열판이 <보기>와 같이 세라믹 단열재에 설치되어 있다. 전열판에 공급되는 모든 전력은 전열판을 통하여 정상상태의 열에너지(W)로 발산된다. 전열판의 열전도도가 k이고, 전열판의 상부 표면 온도는 T_1으로 일정한 경우, 전열판의 하부 표면 온도 T_2의 값은? (단, 전열판과 단열재 사이에 열전달 저항은 없으며, 1차원 열전달이다.)

<보기>



① $\frac{L}{2k} + T_1$
② $\frac{LW}{kA} + T_1$
③ $\frac{LW}{2kA} + T_1$
④ $\frac{LW}{2kA}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 내부발열이 있는 평판의 1차원 정상 열전도에서 단열면의 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

두께는 L, 단면적은 A, 열전도도는 k이다.
전열판 전체에서 발생하는 열량은 W이고, 측면과 하부는 단열재로 둘러싸여 열은 상부로만 빠져나간다.
상부 표면은 $x = 0,\ T = T_1$이고, 하부 표면은 $x = L,\ T = T_2$이다.

NoteBase

사용할 공식

균일한 내부발열 q'''가 있는 평판에서 한쪽은 등온, 다른 쪽은 단열이면
$T_2 - T_1 = \frac{q'''L^2}{2k}$
이다.
전체 발생열량이 W이므로 $q''' = \frac{W}{AL}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 전열판 자체에서 전력이 열로 발생하고, 하부와 측면은 단열되어 생성된 열이 상부 한쪽으로만 빠져나가기 때문이다.

계산 과정

$q''' = \frac{W}{AL}$
이 값을 온도상승식에 대입하면
$T_2 - T_1 = \frac{1}{2k} \cdot \frac{W}{AL} \cdot L^2 = \frac{LW}{2kA}$
따라서
$T_2 = T_1 + \frac{LW}{2kA}$
이다.

선지별 해설

1번 X: $\frac{L}{2k} + T_1$은 W/A가 빠져 있어 온도차를 만들 수 없다. 틀린 표현은 열발생량 항이 없는 점이며, 올바르게는 $T_2 = T_1 + \frac{LW}{2kA}$이다.
2번 X: $T_1 + \frac{LW}{kA}$는 내부발열 평판의 단열면 온도상승에서 필요한 $\frac{1}{2}$가 빠진 값이다. 이는 열이 한 면에서만 공급되어 선형 온도분포가 생기는 경우의 식에 가깝고, 이 문제처럼 판 내부에서 열이 균일 발생하는 경우에는 올바르게는 $T_1 + \frac{LW}{2kA}$이다.
3번 O: 전체 발생열량 W를 체적발열률 $q''' = \frac{W}{AL}$로 바꾸어 $T_2 - T_1 = \frac{q'''L^2}{2k}$에 대입하면 $T_2 = T_1 + \frac{LW}{2kA}$가 된다.
4번 X: $\frac{LW}{2kA}$는 상부 표면 기준의 온도상승분 $T_2 - T_1$만 나타낸 값이다. 틀린 표현은 기준온도 T_1를 누락한 점이며, 올바르게는 $T_2 = T_1 + \frac{LW}{2kA}$이다.

오답 포인트

2번과 3번을 가르는 핵심은 내부발열 여부이다. 문제의 전력 W는 전열판 내부에서 발생하는 열이므로 온도분포가 선형이 아니라 포물선형이 되고, 단열면 온도상승에 $\frac{1}{2}$가 붙는다. 4번처럼 절대온도와 온도차를 혼동하는 실수도 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전열판 문제는 먼저 열이 어디서 생성되는지와 어느 면이 단열인지 확인한다. 내부발열이고 한쪽이 단열, 다른 쪽이 등온이면 먼저 $q''' = \frac{W}{AL}$로 바꾸고, 그다음 T_단열면-T_등온면=(q'''L^2)/(2k)를 적용하면 된다.

NoteBase

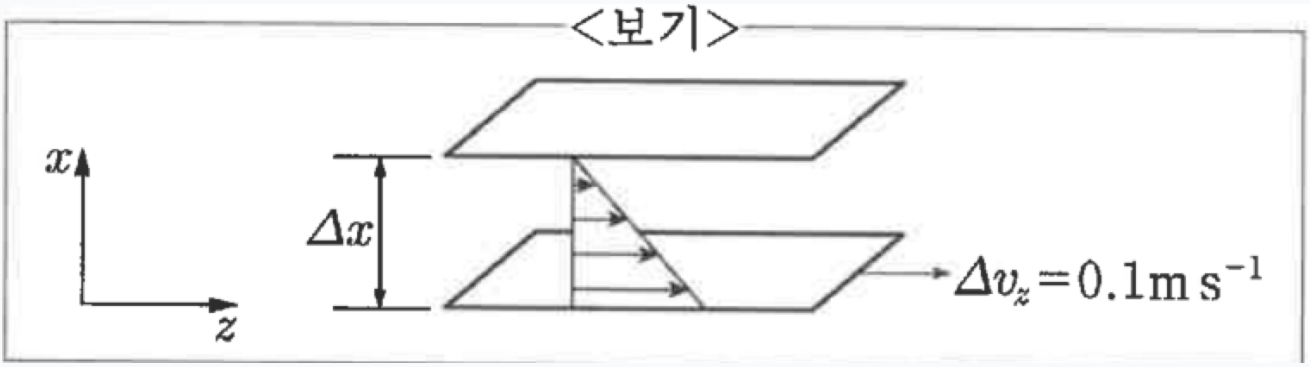
암기 포인트

내부발열 평판의 한쪽 단열면 온도상승은 $\frac{q'''L^2}{2k}$, 전체열량으로 쓰면 $\frac{LW}{2kA}$이다.

NoteBase

문 12. <보기>에서 두 평판 사이의 거리(Δx)가 0.002m, z 방향으로의 속도차이(Δv_z)가 0.1ms^{-1}이고, 두 평판 사이에 채워진 비압축성 뉴턴 유체의 점도가 1.2cP일 때, 전단 응력 τ_{xz}의 크기[Nm^{-2}]는?

<보기>



① 0.06

② 0.6

③ 6

④ 60

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 뉴턴 점성법칙 $\tau_{xz} = \mu\frac{\Delta v_z}{\Delta x}$을 이용해 전단응력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 두 평판 사이 거리 $\Delta x = 0.002m$, 속도차 $\Delta v_z = 0.1ms^{-1}$, 점도 1.2 cP이다. 구해야 할 값은 전단응력 τ_{xz}의 크기이다. 주의할 조건은 1 cP = $10^{-3}Pa \cdot s$이므로 1.2 cP = $1.2 \times 10^{-3}Pa \cdot s$로 바꾸어야 한다는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $\tau_{xz} = \mu\frac{\Delta v_z}{\Delta x}$이다. 비압축성 뉴턴 유체가 두 평판 사이에서 선형 속도분포를 가지므로 전단응력은 점도와 속도구배의 곱으로 계산된다.

계산 과정

1. 점도를 SI 단위로 바꾸면 $\mu = 1.2 \times 10^{-3}Pa \cdot s$이다.
2. 속도구배는 $\frac{\Delta v_z}{\Delta x} = \frac{0.1}{0.002} = 50s^{-1}$이다.
3. 따라서 $\tau_{xz} = \mu\frac{\Delta v_z}{\Delta x} = 1.2 \times 10^{-3} \times 50 = 0.06Pa$이다.
4. $1Pa = 1Nm^{-2}$이므로 전단응력의 크기는 0.06 Nm^{-2}이다.

NoteBase

선지 판단

1번 O: 계산 결과가 0.06 Nm^{-2}이므로 맞는 선지이다.
2번 X: 0.6 Nm^{-2}는 점도 1.2 cP를 0.012$Pa \cdot s$로 잘못 바꾸면 나오는 값이다. 틀린 표현은 전단응력이 0.6이라는 점이고, 올바르게는 0.06 Nm^{-2}이다.
3번 X: 6 Nm^{-2}는 cP를 P나 $Pa \cdot s$로 크게 잘못 환산한 경우에 해당한다. 틀린 표현은 전단응력이 6이라는 점이고, 올바르게는 0.06 Nm^{-2}이다.
4번 X: 60 Nm^{-2}는 1.2 cP를 단위 변환 없이 1.2로 두고 그대로 곱하면 나오는 값이다. 틀린 표현은 전단응력이 60이라는 점이고, 올바르게는 0.06 Nm^{-2}이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 cP를 $Pa \cdot s$로 바꾸지 않고 바로 계산하는 실수이다. 이 문항의 오답 2번, 3번, 4번은 모두 점도 단위 환산을 잘못했을 때 나오는 값들이다.

다시 나오면 이렇게 판단

평판 사이 전단응력 계산 문제는 주어진 점도를 먼저 SI 단위로 바꾼 뒤, 속도구배 $\Delta v/\Delta x$를 구하고, 마지막에 $\tau = \mu\frac{\Delta v}{\Delta x}$를 적용하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

뉴턴 유체의 전단응력은 점도 × 속도구배이며, 1 cP = $10^{-3} Pa \cdot s$이다.

NoteBase

문 13. 유체 내의 반지름이 r인 작은 구의 종말속도(v)를 측정하여 유체의 점도(μ)를 구할 수 있는 관계식으로 가장 옳은 것은? (단, 구와 유체의 밀도는 각각 ρ_s와 ρ이고, 중력가속도는 g이며, Reynolds수는 0.1보다 매우 작다.)

① $\mu = \frac{2}{9} r^2 (\rho - \rho_s) g / v$

② $\mu = \frac{2}{9} r^2 (\rho_s - \rho) g / v$

③ $\mu = \frac{4}{9} r^2 (\rho - \rho_s) g / v$

④ $\mu = \frac{4}{9} r^2 (\rho_s - \rho) g / v$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Reynolds수가 매우 작은 구의 침강에서 스토크스 법칙을 적용해 점도 μ를 식으로 정리할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: 구 반지름은 r, 종말속도는 v, 구의 밀도는 ρ_s, 유체의 밀도는 ρ, 중력가속도는 g이다.
구해야 할 값: 유체의 점도 μ이다.
주의할 조건: Reynolds수가 0.1보다 매우 작으므로 항력은 스토크스 법칙 $F_D = 6\pi\mu r v$를 따른다.
종말속도에서는 가속도가 0이므로 유효중력과 항력이 같아진다.

사용할 공식

종말속도 조건은 $6\pi\mu r v = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_s - \rho) g$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 작은 구가 매우 낮은 Reynolds수에서 움직이므로 점성항력이 스토크스 법칙을 따르고, 종말속도에서는 무게에서 부력을 뺀 힘이 항력과 평형을 이루기 때문이다.

계산 과정

1. 구의 무게에서 부력을 뺀 유효중력은 $\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_s - \rho) g$이다.
2. 항력은 $6\pi\mu r v$이다.
3. 종말속도에서는 두 힘이 같으므로 $6\pi\mu r v = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_s - \rho) g$이다.
4. 이를 μ에 대해 정리하면 $\mu = \frac{2}{9} r^2 (\rho_s - \rho) g / v$이다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. 식의 밀도차가 $(\rho - \rho_s)$로 되어 있어 부호가 반대이다. 침강하는 구의 유효중력은 $(\rho_s - \rho)$가 되어야 한다. 틀린 표현은 $(\rho - \rho_s)$이고, 올바르게는 $(\rho_s - \rho)$이다.
2번: O. $\mu = \frac{2}{9} r^2 (\rho_s - \rho) g / v$로 정리되므로 계수와 밀도차 부호가 모두 맞다.
3번: X. 계수가 $\frac{4}{9}$로 잘못되었고 밀도차도 $(\rho - \rho_s)$로 반대이다. 틀린 표현은 $\frac{4}{9}$와 $(\rho - \rho_s)$이고, 올바르게는 $\frac{2}{9}$와 $(\rho_s - \rho)$이다.
4번: X. 밀도차 부호는 맞지만 계수가 $\frac{4}{9}$로 잘못되었다. 틀린 표현은 $\frac{4}{9}$이고, 올바르게는 $\frac{2}{9}$이다.

오답 포인트

유효중력을 무게만으로 보거나 부력 방향을 반대로 잡으면 $(\rho_s - \rho)$ 대신 $(\rho - \rho_s)$가 나온다. 또 $6\pi\mu r v$와 $\frac{4}{3}\pi r^3$를 정리하는 과정에서 수치계수 계산을 잘못하면 $\frac{4}{9}$ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

침강 구 문제는 먼저 Reynolds수 조건으로 스토크스 법칙 적용 여부를 확인하고, 다음에 종말속도에서 유효중력(무게-부력)과 항력을 같게 둔 뒤 마지막에 밀도차 부호와 계수를 검산하면 된다.

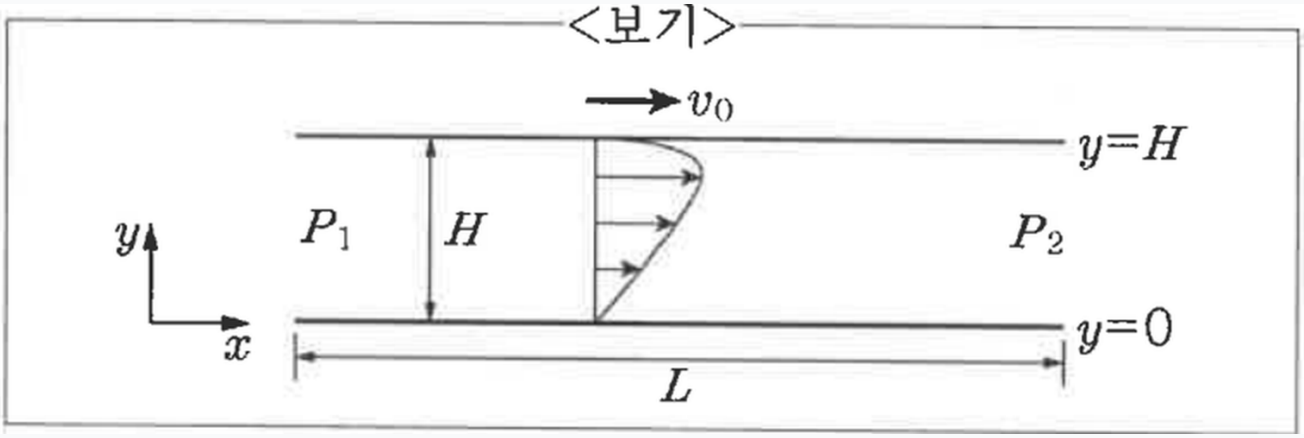
암기 포인트

작은 구의 종말속도는 스토크스 평형 $6\pi\mu r v = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_s - \rho) g$에서 출발하며, 정리 결과는 $\mu = \frac{2}{9} r^2 (\rho_s - \rho) g / v$이다.

NoteBase

문 14. 점도가 μ인 비압축성 뉴튼 유체가 <보기>와 같이 길이 L인 평행판 사이를 흐르고 있다. 위 판은 일정한 속도 v_0로 움직이고 있고 아래 판은 정지하고 있다. 또, 판 전체 길이 L에 걸친 압력 차이는 $\Delta P(=P_1-P_2,\ P_1>P_2)$이다. 이때, 평행판 사이$(0<y<H)$에서 x 방향의 유체 속도가 최대가 되는 위치의 y값[cm]은? (단, $v_0=1\text{cm s}^{-1}$, $H=10\text{cm}$, $L=1\text{m}$, $\Delta P=1{,}000\text{Pa}$, $\mu=200\text{Pa s}$이며, x 방향의 일차원 정상상태 흐름만을 고려한다.)

<보기>



① 3

② 5

③ 6

④ 7

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평행판 사이의 Couette-Poiseuille 유동에서 속도분포식을 세운 뒤, 미분하여 최대 속도 위치를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $v_0=1cm/s=0.01m/s$, $H=10cm=0.1m$, $L=1m$, $\Delta P=1000Pa$, $\mu=200Pa\cdot s$이다. 아래 판은 $y=0$에서 정지하고, 위 판은 $y=H$에서 $+x$ 방향으로 움직인다. 압력은 $P_1>P_2$이므로 $dp/dx=(P_2-P_1)/L=-\Delta P/L$이다.

사용할 공식

일차원 정상상태 운동방정식은 $0=-dp/dx+\mu d^2u/dy^2$이다. 경계조건 $u(0)=0$, $u(H)=v_0$를 적용하면 속도분포는 $u(y)=\frac{\Delta P}{2\mu L}y(H-y)+\frac{v_0}{H}y$가 된다. 최대 속도 위치는 $du/dy=0$에서 구한다. 이 공식을 쓰는 이유는 이 유동이 압력구배에 의한 Poiseuille 유동과 상판 이동에 의한 Couette 유동이 합쳐진 형태이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 속도분포를 미분하면 $\frac{du}{dy} = \frac{\Delta P}{2\mu L}(H - 2y) + \frac{v_0}{H}$이다.
2. 최대 속도 조건 $du/dy = 0$을 대입하면 $\frac{\Delta P}{2\mu L}(H - 2y) + \frac{v_0}{H} = 0$이다.
3. 정리하면 $y = \frac{H}{2} + \frac{\mu L v_0}{\Delta P H}$이다.
4. 수치를 넣으면 $y = 0.05 + \frac{200 \times 1 \times 0.01}{1000 \times 0.1} = 0.05 + 0.02 = 0.07m$이다.
5. 따라서 최대 속도 위치는 7cm이다.

선지별 해설

① X: 3cm는 틀리다. 이는 $y = H/2 - \mu L v_0/(\Delta P H)$처럼 상판 속도항의 부호를 반대로 둔 값이다. 위 판이 $+x$ 방향으로 움직이므로 최대점은 중심 5cm보다 위쪽으로 올라가야 하며, 올바르게는 7cm이다.
② X: 5cm는 틀리다. 이는 상판 이동 효과를 무시하고 순수 Poiseuille 유동의 최대점 $H/2$만 적용한 값이다. 이 문제는 Couette 유동이 함께 작용하므로 올바르게는 7cm이다.
③ X: 6cm는 틀리다. 이는 $du/dy = 0$을 정리하는 과정에서 2를 하나 놓쳐 $y = H/2 + \mu L v_0/(2\Delta P H)$처럼 계산한 값에 해당한다. 올바른 미분식 정리 결과는 7cm이다.
④ O: $y = 7cm$가 맞다. 압력구배에 의한 포물선 분포에 상판의 $+x$ 이동이 더해져 최대점이 중심보다 위쪽으로 이동한다.

오답 포인트

순수 Poiseuille 유동이면 최대점이 항상 $H/2$라고 외워 둔 상태에서 상판 이동 효과를 빼먹기 쉽다. 또 $dp/dx = -\Delta P/L$의 부호를 반대로 두거나, $du/dy = 0$을 정리할 때 2를 놓치면 3cm나 6cm 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행판 유동에서 압력구배와 판의 이동이 함께 주어지면 먼저 Couette 항과 Poiseuille 항이 함께 들어간 속도분포를 쓴다. 그다음 $du/dy = 0$으로 최대 위치를 구하고, 이동판이 정답 방향으로 최대점을 끌어올리는지까지 함께 점검하면 된다.

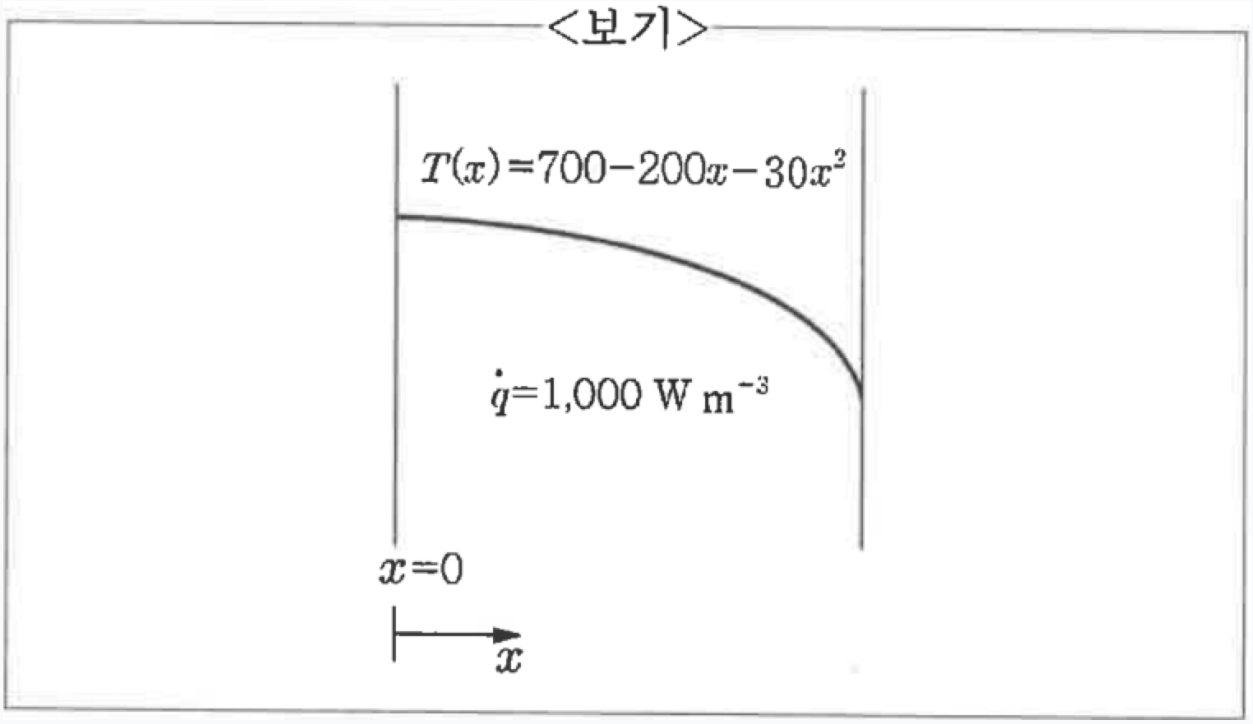
암기 포인트

순수 Poiseuille 유동의 최대점은 $H/2$이고, 이동판이 흐름과 같은 방향으로 움직이면 최대점은 그 판 쪽으로 이동한다. 이 문제의 식은 $y_{max} = H/2 + \mu L v_0/(\Delta P H)$이다.

NoteBase

문 15. <보기>와 같이 특정 시점에서 1m 두께를 갖는 벽 내부의 지점 x[m]에서의 온도 $T(x)$[°C]가 $T(x) = 700 - 200x - 30x^2$의 식을 따른다. 벽 내부에는 균일한 열 생성률 $\dot{q} = 1{,}000\text{Wm}^{-3}$이 존재할 때, $x = 0.5\text{m}$에서 시간에 따른 온도의 변화율 [°Cs^{-1}]은? (단, x 방향으로의 열전달만 고려하며, 벽의 밀도는 2,000kgm^{-3}, 정압 비열은 2.5kJkg^{-1}°C^{-1}, 열전도도는 50Wm^{-1}°C^{-1}이다.)

<보기>



① -2×10^{-4}

② -4×10^{-4}

③ -6×10^{-4}

④ -8×10^{-4}

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 1차원 비정상 열전도 방정식 $\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \dot{q}$를 이용해 특정 지점의 시간당 온도변화율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $T(x) = 700 - 200x - 30x^2$, $\dot{q} = 1000W/m^3$, $\rho = 2000kg/m^3$, $c_p = 2.5kJ/(kg \cdot {}^\circ C) = 2500J/(kg \cdot {}^\circ C)$, $k = 50W/(m \cdot {}^\circ C)$이다. 구해야 할 값은 $x = 0.5m$에서의 $\frac{\partial T}{\partial t}$이다. 이 온도분포식의 2차 미분값은 상수이므로 $x = 0.5$라는 위치조건은 최종 계산에 영향을 주지 않는다.

NoteBase

사용할 공식

사용할 공식은 $\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \dot{q}$이다. 문제에서 x방향 1차원 열전달만 고려하고, 벽 내부에 균일한 열생성률이 존재한다고 했으므로 비정상 1차원 열전도 지배방정식을 그대로 적용하는 상황이다.

계산 과정

1. $\frac{dT}{dx} = -200 - 60x$, $\frac{d^2T}{dx^2} = -60$이다.
2. 전도항과 열생성항을 합하면 $k\frac{d^2T}{dx^2} + \dot{q} = 50 \times (-60) + 1000 = -3000 + 1000 = -2000 W/m^3$이다.
3. 체적 열용량은 $\rho c_p = 2000 \times 2500 = 5.0 \times 10^6 J/(m^3 \cdot {}^\circ C)$이다.
4. 따라서 $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{-2000}{5.0 \times 10^6} = -4 \times 10^{-4} {}^\circ C/s$이다.

선지 판단

1번 X: 계산값은 $-2 \times 10^{-4} {}^\circ C/s$가 아니라 $-4 \times 10^{-4} {}^\circ C/s$이다. 제시값의 절대값이 작아 전도항, 열생성항, 또는 체적 열용량 대입을 정확히 반영하지 못한 값이다. 틀린 값 -2×10^{-4} → 올바르게는 $-4 \times 10^{-4} {}^\circ C/s$이다.

2번 O: $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = -60$, $k\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \dot{q} = -2000 W/m^3$, $\rho c_p = 5.0 \times 10^6$이므로 $\frac{\partial T}{\partial t} = -4 \times 10^{-4} {}^\circ C/s$가 된다. 따라서 정답 선택지는 2번이다.

3번 X: $-6 \times 10^{-4} {}^\circ C/s$는 $\dot{q}$를 빼고 전도항 $-3000 W/m^3$만 사용했을 때 나오는 값이다. 문제는 벽 내부 열생성률이 존재하므로 $+1000 W/m^3$를 함께 넣어야 한다. 틀린 값 -6×10^{-4} → 올바르게는 $-4 \times 10^{-4} {}^\circ C/s$이다.

4번 X: $-8 \times 10^{-4} {}^\circ C/s$는 열생성항 $\dot{q}$의 부호를 반대로 두어 $-3000 - 1000 = -4000 W/m^3$로 계산할 때 나오는 값이다. 내부 열생성은 지배방정식에서 $+\dot{q}$로 들어간다. 틀린 값 -8×10^{-4} → 올바르게는 $-4 \times 10^{-4} {}^\circ C/s$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 세 가지이다. 첫째, $-30x^2$의 2차 미분을 -60이 아니라 -30으로 잘못 보는 실수이다. 둘째, $c_p = 2.5 kJ/(kg \cdot {}^\circ C)$를 반드시 $2500 J/(kg \cdot {}^\circ C)$로 바꿔야 하는데 이를 놓치는 실수이다. 셋째, 내부 열생성항 $\dot{q}$를 빠뜨리거나 부호를 반대로 두는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

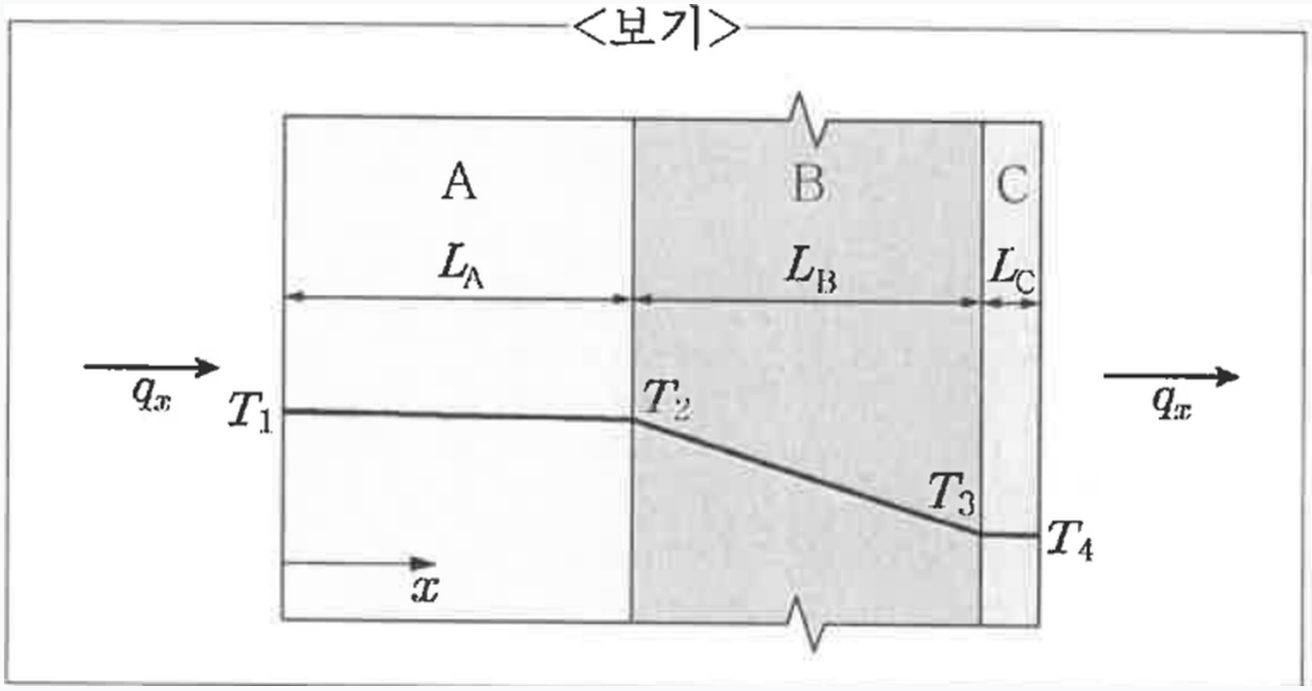
비정상 열전도 계산형은 온도분포식을 먼저 2차 미분한 뒤, $k\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \dot{q}$의 부호를 확인하고, 마지막에 ρc_p 단위를 J 기준으로 맞춘 후 $\frac{\partial T}{\partial t}$를 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

1차원 비정상 열전도는 $\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \dot{q}$이고, kJ 비열은 반드시 J로 환산해야 한다.

문 16. <보기>와 같이 왼쪽부터 순서대로 고체 A, 고체 B, 고체 C 3개의 층으로 된 벽이 정상상태의 열전달 상황에 있다. 내부 표면 온도(T_1)는 1,350K, 외부 표면 온도(T_4)는 300K일 때 가장 옳지 않은 것은? (단, x 방향으로의 열전달만 고려한다. 각 층의 두께는 $L_A = 30\text{cm}$, $L_B = 30\text{cm}$, $L_C = 5\text{cm}$이며, 각 층의 열전도도는 $k_A = 1.50\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, $k_B = 0.06\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, $k_C = 1.0\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$이다.)

<보기>



① 열전달 저항을 모두 합한 단위 면적(1m^2)당 총괄 열저항은 5.25KW^{-1}이다.

② 열전달속도는 200W이다.

③ 경계면의 온도 T_2는 1,310K이다.

④ 경계면의 온도 T_3는 320K이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평판 3층 벽의 정상 1차원 전도에서 열저항 합과 열전달속도, 경계면 온도를 차례로 구할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $T_1 = 1350K$, $T_4 = 300K$, $L_A = 0.30m$, $L_B = 0.30m$, $L_C = 0.05m$, $k_A = 1.50Wm^{-1}K^{-1}$, $k_B = 0.06Wm^{-1}K^{-1}$, $k_C = 1.0Wm^{-1}K^{-1}$이다.
구해야 할 값: 총괄 열저항, 열전달속도 q_x, 경계면 온도 T_2, T_3이다.
주의할 조건: 단위 면적 $1m^2$ 기준의 전도 저항을 써야 하고, 각 층은 직렬 열저항으로 합산된다.

NoteBase

사용할 공식

전도 열저항은 $R = \frac{L}{kA}$ 이고, 직렬 연결이므로 $R_{tot} = R_A + R_B + R_C$ 이다.
열전달속도는 $q_x = \frac{T_1 - T_4}{R_{tot}}$ 이다.
경계면 온도는 각 층에서의 온도강하 $\Delta T = q_x R$ 를 이용해 구한다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제 조건이 정상상태, 1차원, 다층 평판벽 전도이므로 각 층의 열유속이 같고 열저항이 직렬로 더해지는 상황이기 때문이다.

계산 과정

$R_A = \frac{0.30}{1.50 \times 1} = 0.20 KW^{-1}$
$R_B = \frac{0.30}{0.06 \times 1} = 5.00 KW^{-1}$
$R_C = \frac{0.05}{1.0 \times 1} = 0.05 KW^{-1}$
$R_{tot} = 0.20 + 5.00 + 0.05 = 5.25 KW^{-1}$
$q_x = \frac{1350 - 300}{5.25} = 200 W$
$T_2 = T_1 - q_x R_A = 1350 - (200)(0.20) = 1310 K$
$T_3 = T_2 - q_x R_B = 1310 - (200)(5.00) = 310 K$
검산하면 $T_4 = T_3 - q_x R_C = 310 - (200)(0.05) = 300 K$ 이므로 계산이 일치한다.

선지 판단

1번: O. 총괄 열저항은 $5.25 KW^{-1}$ 이다. 직렬층이므로 각 층 저항을 그대로 더하면 된다.
2번: O. 전체 온도차는 1050K이고 총괄 열저항은 $5.25 KW^{-1}$ 이므로 열전달속도는 200 W이다.
3번: O. A층의 온도강하는 $q_x R_A = (200)(0.20) = 40 K$ 이므로 $T_2 = 1350 - 40 = 1310 K$ 이다.
4번: X. 틀린 표현은 "경계면의 온도 T_3는 320K이다"이다. B층의 온도강하는 $(200)(5.00) = 1000 K$ 이므로 올바르게는 "경계면의 온도 T_3는 310K이다"가 된다.

오답 포인트

B층의 열전도도가 매우 작아 저항이 가장 크다는 점을 놓치면 T_3 계산에서 오차가 난다. 4번의 320K는 B층 또는 C층의 온도강하를 잘못 더하거나 빼서 생기는 값이다.

다시 나오면 이렇게 판단

다층 전도 문제는 먼저 각 층의 $\frac{L}{kA}$ 를 구해 직렬 저항을 합산하고, 다음에 $q_x = \frac{\Delta T}{R_{tot}}$ 를 계산한 뒤, 마지막으로 왼쪽에서 오른쪽으로 층별 온도강하 $q_x R$ 를 순서대로 빼서 경계면 온도를 구하면 된다.

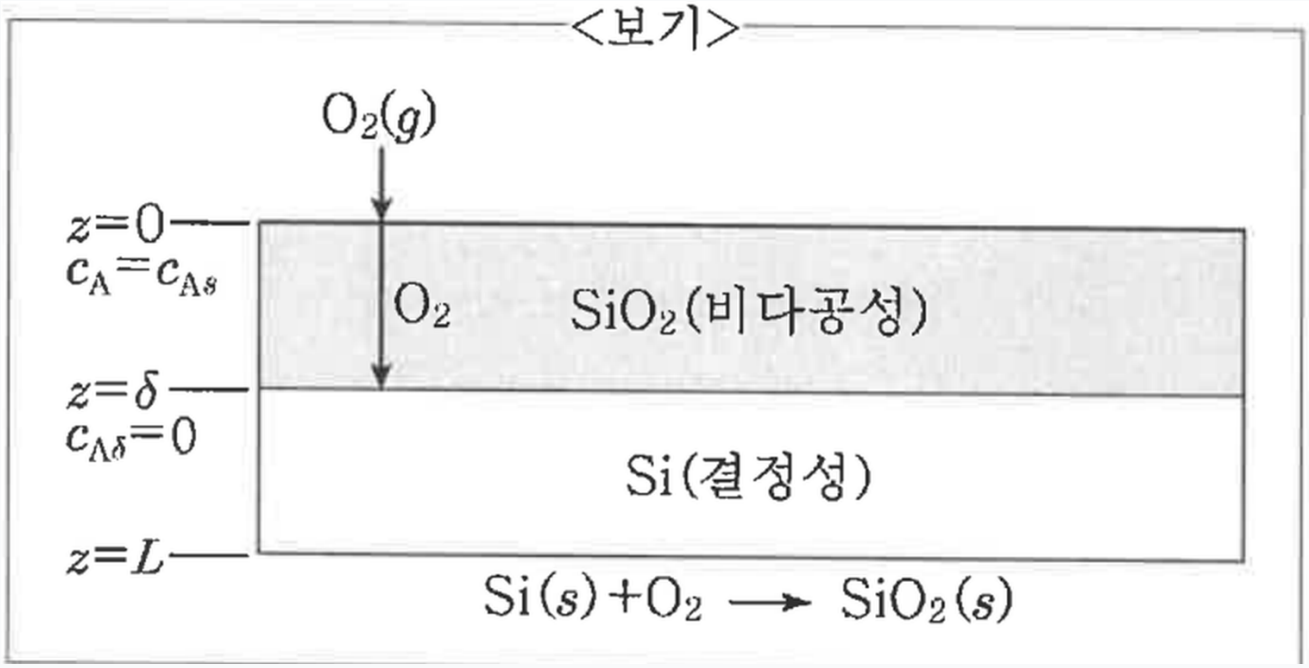
암기 포인트

다층 평판벽은 저항 직렬합, 열유속 동일, 경계면 온도는 누적 온도강하로 계산한다.

NoteBase

문 17. <보기>의 Si 웨이퍼 표면 위에 SiO_2 필름이 형성되는 반도체 공정에서 O_2 분자는 SiO_2 고체에 녹아 확산하여 Si/SiO_2 표면에서 Si와 반응한다. 이때 O_2가 SiO_2 필름으로 확산하는 과정이 전체 산화 공정의 속도를 결정하는 단계이다. 시간(t)에 따른 SiO_2 층의 두께 δ를 옳게 표현한 것은? (단, M_B는 SiO_2의 분자량, D_{AB}는 SiO_2로 확산하는 O_2의 확산계수, c_{As}는 O_2의 표면 농도, ρ_B는 SiO_2의 밀도이다.)

<보기>



① $\delta=\sqrt{\frac{M_B D_{AB} c_{As}}{\rho_B}}t$
② $\delta=\sqrt{\frac{2M_B D_{AB} c_{As}}{\rho_B}}t$
③ $\delta=\sqrt{\frac{3M_B D_{AB} c_{As}}{\rho_B}}t$
④ $\delta=\sqrt{\frac{4M_B D_{AB} c_{As}}{\rho_B}}t$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 확산 지배 산화막 성장에서 Fick 법칙과 계면 물질수지를 연결해 시간에 따른 막 두께 δ를 구하는 문제이다.

조건 정리

확산이 전체 속도결정단계이다.
표면 $z=0$에서 $c_A=c_{As}$이다.
계면 $z=\delta$에서 $c_{A\delta}=0$이다.
반응식은 $Si+O_2 \rightarrow SiO_2$이다.
구해야 할 값은 시간 t에 따른 산화막 두께 δ이다.

NoteBase

사용할 공식

정상상태 확산 플럭스는 $N_A = -D_{AB}dc_A/dz = D_{AB}(c_{As}-0)/\delta = D_{AB}c_{As}/\delta$이다.
생성되는 SiO_2의 몰수속도는 $(\rho_B/M_B)(d\delta/dt)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 O_2의 SiO_2 막 내 확산이 속도결정단계라고 했으므로, 확산 플럭스와 계면의 막 생성속도를 같게 두어야 하기 때문이다.

계산 과정

1. O_2의 확산 플럭스는 $N_A = D_{AB}c_{As}/\delta$이다.
2. 반응식이 $Si + O_2 \rightarrow SiO_2$이므로 O_2 1몰이 SiO_2 1몰을 만든다. 따라서 $N_A = (\rho_B/M_B)(d\delta/dt)$이다.
3. 두 식을 같게 두면 $d\delta/dt = M_B D_{AB}c_{As}/(\rho_B\delta)$이고, 정리하면 $\delta d\delta = (M_B D_{AB}c_{As}/\rho_B)dt$이다.
4. 초기 조건 $t=0$에서 $\delta = 0$으로 적분하면 $\delta^2/2 = (M_B D_{AB}c_{As}/\rho_B)t$이다.
5. 따라서 $\delta = \sqrt{(2M_B D_{AB}c_{As}/\rho_B)t}$가 된다.

선지 판단

1번 X: 적분에서 생기는 1/2를 빠뜨린 식이다. δ가 분모에 있으므로 $\delta d\delta$를 적분하면 $\delta^2/2$가 된다. 틀린 표현은 $\sqrt{(M_B D_{AB}c_{As}/\rho_B)t}$이고, 올바르게는 $\sqrt{(2M_B D_{AB}c_{As}/\rho_B)t}$이다.
2번 O: 확산 플럭스와 막 생성속도를 1:1로 두고 적분하면 $\delta = \sqrt{(2M_B D_{AB}c_{As}/\rho_B)t}$가 된다. 제시식과 일치하므로 옳다.
3번 X: 반응식의 화학양론을 잘못 읽어 루트 안 계수를 3으로 키운 오답이다. O_2 1몰이 SiO_2 1몰을 만들므로 3은 나올 수 없다. 틀린 표현은 루트 안의 계수 3이고, 올바르게는 2이다.
4번 X: SiO_2에 산소 원자가 2개라는 이유로 O_2 플럭스를 두 번 더 곱한 형태의 오답이다. 분자 기준 화학양론은 $O_2 : SiO_2 = 1 : 1$이다. 틀린 표현은 루트 안의 계수 4이고, 올바르게는 2이다.

오답 포인트

막 두께 δ 자체가 확산거리이므로 플럭스가 $1/\delta$에 비례한다는 점을 놓치기 쉽다. 또 적분 결과가 $\delta^2 \propto t$ 형태가 된다는 점을 빼먹으면 1번처럼 계수 2가 사라진다. 산소 원자 수만 보고 화학양론을 잘못 읽으면 3번이나 4번 같은 오답으로 간다.

다시 나오면 이렇게 판단

확산 지배 막성장 문제는 농도 경계조건으로 플럭스를 먼저 세우고, 그 플럭스를 생성물 축적속도와 연결한 뒤, 마지막에 적분하여 $\delta \propto \sqrt{t}$가 되는지 확인하면 된다.

암기 포인트

확산 지배 산화막 성장에서는 $N_A \propto 1/\delta$이므로 $\delta^2 \propto t$, 따라서 $\delta \propto \sqrt{t}$이다.

NoteBase

문 18. 대류 물질전달계수를 해석하기 위한 모델에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 침투이론(penetration theory)에서는 기-액 상계면으로 올라온 유체 요소의 평균 노출 시간을 이론적으로 예측할 수 있다.

② 침투이론에서는 대류 물질전달 계수가 확산계수의 1/2제곱에 비례한다.

③ 경막이론(film theory)에서는 경계면 위로 흐르고 있는 유체에 전체 물질전달에서와 같은 양의 저항값을 갖는 가상의 유체막이 존재한다고 가정한다.

④ 경막이론에서는 물질전달 계수가 확산계수에 정비례한다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 경막이론과 침투이론이 대류 물질전달계수를 어떻게 해석하는지, 특히 접촉시간 가정과 확산계수 의존성을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

침투이론: 유체 요소가 계면에 일정 시간 노출된 뒤 다시 벌크로 돌아간다고 보는 비정상 확산 모델이며, 접촉시간을 가정하여 $k \propto \sqrt{D/t_c}$ 형태로 본다.
경막이론: 계면 근처에 저항이 집중된 가상 정지막이 있다고 보는 정상 확산 모델이며, 막 두께 δ에 대해 $k = D/\delta$로 본다.
핵심 차이: 침투이론은 노출시간이 핵심이고, 경막이론은 막 두께와 정상 확산 저항이 핵심이다.

선지별 해설

① X: 침투이론은 유체 요소의 평균 노출 시간을 이론적으로 예측하는 모델이 아니다. 틀린 부분은 "평균 노출 시간을 이론적으로 예측할 수 있다"는 표현이다. 올바르게는 유체 요소가 일정한 접촉시간 동안 계면에 노출된다고 가정하고 그 시간에 기초해 물질전달계수를 구한다.
② O: 침투이론에서는 $k \propto \sqrt{D}$이므로 대류 물질전달계수가 확산계수의 1/2제곱에 비례한다.
③ O: 경막이론은 실제 복잡한 계면 부근 저항을, 동일한 전달저항을 주는 가상의 정지 유체막으로 치환해 해석하는 모델이다.
④ O: 경막이론에서는 $k = D/\delta$이므로 막 두께가 일정하면 물질전달계수는 확산계수에 정비례한다.

오답 포인트

①은 침투이론과 표면재생 개념을 섞으면 틀리기 쉽다. 침투이론은 접촉시간을 가정하는 모델인데, 선지는 이를 "이론적으로 예측"한다고 바꾸어 서술해 모델의 전제를 결과처럼 뒤집었다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

선지에 시간과 비정상 확산이 나오면 침투이론을, 가상 막과 정상 확산 저항이 나오면 경막이론을 먼저 연결하면 된다. 이어서 $\sqrt{D}$이면 침투이론, D에 정비례하면 경막이론으로 판단할 수 있다.

암기 포인트

침투이론은 시간 지배로 $\sqrt{D}$, 경막이론은 막 지배로 D/δ이다.

NoteBase

문 19. 직경이 5cm인 구형 물체 A를 초기에 균일한 온도 20 ° C 상태로 있다가 온도 100 ° C로 유지되는 액체 속에 넣었다. 이때 구형 물체 A의 평균 온도가 40 ° C가 될 때까지 걸린 시간이 16초였다. 열전도도가 A 물체의 2배이고, 열용량은 4배인 구형 물체 B의 직경이 10cm일 때, 같은 조건에서 구형 물체 B의 평균 온도가 40 ° C가 될 때까지 걸리는 시간[초]은? (단, 물체 A와 B의 밀도는 동일하며, 구형 물체의 표면온도는 액체 속에 넣는 순간 액체의 온도와 같아진다고 가정한다.)

① 32

② 64

③ 128

④ 256

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 구의 비정상 열전도에서 같은 평균온도에 도달하는 시간을 푸리에수와 열확산율 관계로 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: A의 지름은 5cm, B의 지름은 10cm이다. A는 평균온도 40°C에 16초가 걸린다.
구해야 할 값: B가 평균온도 40°C가 될 때까지의 시간이다.
주의할 조건: 밀도는 같고, B의 열전도도는 A의 2배, 열용량은 A의 4배이다. 표면온도는 넣는 순간부터 액체 온도와 같으므로 같은 평균온도 조건에서는 무차원 평균온도가 같다고 본다.

사용할 공식

같은 형상에서 표면온도가 갑자기 일정해지면 같은 평균 무차원온도에 도달하는 조건은 푸리에수 Fo가 같다는 뜻이다.
$Fo = \frac{\alpha t}{R^2}, \quad \alpha = \frac{k}{\rho c}$
따라서 시간은
$t \propto \frac{R^2}{\alpha} = \frac{R^2 \rho c}{k}$
가 된다.
이 공식을 쓰는 이유: A와 B는 모두 구형이고, 평균온도 40°C라는 동일한 무차원 온도 조건을 비교하므로 시간비는 R^2, k, ρc의 비로 바로 정리할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 반지름비는 $R_B/R_A = 10/5 = 2$이다.
2. 밀도는 같으므로 $\rho_B/\rho_A = 1$이다. 또 $k_B/k_A = 2$, $c_B/c_A = 4$이다.
3. 시간비는
$\frac{t_B}{t_A} = \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^2 \frac{\rho_B c_B}{\rho_A c_A}\frac{k_A}{k_B} = 2^2 \times 4 \times \frac{1}{2} = 8$
4. 따라서
$t_B = 8t_A = 8 \times 16 = 128s$
가 된다.

선지 판단

1번: X. 계산 결과는 32초가 아니라 128초이다. 열확산율 $\alpha = k/(\rho c)$에서 열용량이 커지면 가열 시간이 길어진다는 점이 반영되지 않았다. 올바르게는 128초이다.
2번: X. 64초는 지름 변화에 따른 R^2 효과만 보거나 물성 변화의 일부를 빠뜨린 값이다. 열용량 4배와 열전도도 2배를 함께 반영해야 한다. 올바르게는 128초이다.
3번: O. $t \propto R^2\rho c/k$이므로 반지름 2배, 열용량 4배, 열전도도 2배를 반영하면 시간은 8배가 되고 $16 \times 8 = 128$초이다.
4번: X. 256초는 반지름 증가와 열용량 증가 효과를 과대평가한 값이다. 열전도도가 2배라서 가열이 더 빨라지는 효과가 반드시 나누기로 들어가야 한다. 올바르게는 128초이다.

오답 포인트

열전도도 k만 보면 빨리 가열된다고 생각하기 쉽지만, 시간비는 k 하나가 아니라 $R^2\rho c/k$ 전체로 본다. 특히 열용량 4배를 빠뜨리거나, 열전도도 2배를 곱해야 할지 나누어야 할지 거꾸로 처리하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

구나 원통의 비정상 전도 비교 문제는 먼저 같은 무차원온도 조건인지 확인하고, 그다음 $t \propto R^2/\alpha = R^2\rho c/k$로 시간비를 세운 뒤 반지름, 밀도, 열용량, 열전도도를 한 번에 대입해 판단한다.

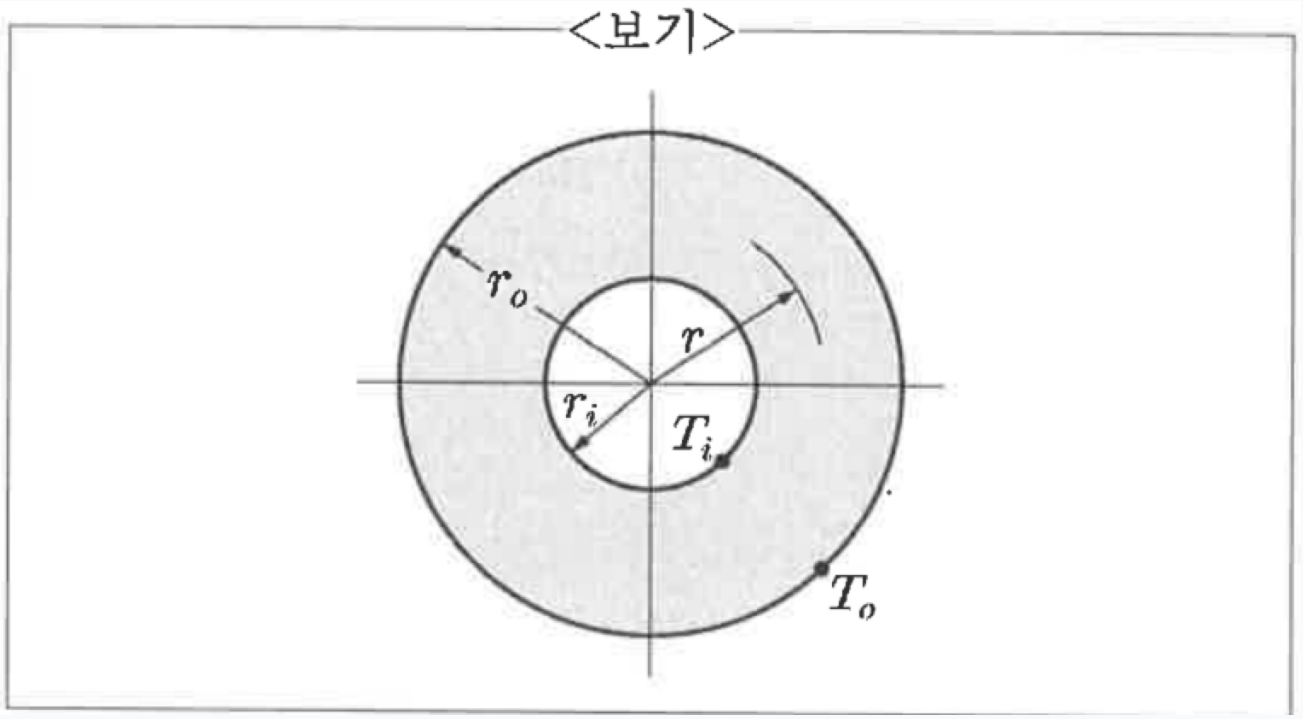
암기 포인트

같은 평균온도 도달 시간은 $t \propto R^2\rho c/k$이다. 크기와 열용량이 커지면 느려지고, 열전도도가 커지면 빨라진다.

NoteBase

문 20. <보기>와 같이 속이 빈 구형 고체의 중심으로부터 바깥쪽 방향으로만 정상상태 열전도가 일어날 때, 위치 r에 따른 온도 분포함수 $T(r)$을 옳게 표현한 것은? (단, 매질 내 열전도도는 k로 일정하고, 내부 $(r = r_i)$와 외부$(r = r_o)$ 표면의 온도는 각각 T_i, T_o로 일정하다.)

<보기>



① $T(r) = T_i - (1/r_i - 1/r)(T_i - T_o)/(1/r_i - 1/r_o)$

② $T(r) = T_i - (1/r_o - 1/r)(T_i - T_o)/(1/r_o - 1/r_i)$

③ $T(r) = T_i - \ln(r/r_i)(T_i - T_o)/\ln(r_o/r_i)$

④ $T(r) = T_i - \ln(r/r_o)(T_i - T_o)/\ln(r_i/r_o)$

정답 1번

출제 포인트

구형 좌표계에서 내부 열발생이 없는 정상상태 반경방향 열전도의 일반해 $T(r) = C_1 + C_2/r$와 경계조건 적용을 묻는 문제이다.

조건 정리

- 속이 빈 구형 고체에서 중심으로부터 바깥쪽 방향으로만 정상상태 열전도가 일어난다.
- 열전도도 k는 일정하고 내부 열발생이 없다.
- 경계조건은 $T(r_i) = T_i$, $T(r_o) = T_o$이다.

NoteBase

사용할 공식

구형 껍질의 정상 반경방향 열전도 온도분포는 $T(r) = C_1 + \frac{C_2}{r}$ 이고, 경계조건을 대입하면 $T(r) = T_i - \frac{(1/r_i - 1/r)(T_i - T_o)}{(1/r_i - 1/r_o)}$ 이 된다. 이 공식을 쓰는 이유는 구면에서는 열이 지나는 면적이 $4\pi r^2$로 변하므로 적분 결과가 $\ln r$가 아니라 $1/r$ 꼴로 나오기 때문이다.

계산 과정

1. 내부 열발생이 없는 구형의 정상 반경방향 열전도이므로 지배방정식의 해는 $T(r) = C_1 + C_2/r$이다.
2. $T(r_i) = T_i$, $T(r_o) = T_o$를 대입해 상수를 소거하면 $T(r) = T_i - \frac{(1/r_i - 1/r)(T_i - T_o)}{(1/r_i - 1/r_o)}$를 얻는다.
3. 검산하면 $r = r_i$에서 $T(r) = T_i$, $r = r_o$에서 $T(r) = T_o$가 되어 경계조건을 만족한다.

선지별 해설

① O: 구형 껍질의 $1/r$형 온도분포를 그대로 쓴 식이며, $r = r_i$에서 T_i, $r = r_o$에서 T_o가 된다.
② X: 식의 형태는 $1/r$형이지만 경계조건 배치가 뒤집혀 있다. 이 식은 $r = r_i$에서 T_o, $r = r_o$에서 T_i가 되어 틀리다. 틀린 표현은 $(1/r_o - 1/r)/(1/r_o - 1/r_i)$ 부분이며, 올바르게는 $(1/r_i - 1/r)/(1/r_i - 1/r_o)$이어야 한다.
③ X: $\ln(r/r_i)$가 들어간 식은 원통좌표계의 정상 반경방향 열전도 해이다. 구형 고체에는 적용되지 않는다. 틀린 표현은 로그형 온도분포이며, 올바르게는 구형 해 $C_1 + C_2/r$, 즉 ①의 식이어야 한다.
④ X: 로그형이라서 먼저 원통 문제의 식이고, 추가로 경계조건도 뒤집혀 있다. 이 식은 $r = r_i$에서 T_o, $r = r_o$에서 T_i가 되어 틀리다. 틀린 표현은 $\ln(r/r_o)/\ln(r_i/r_o)$ 부분이며, 올바르게는 로그형 자체가 아니라 ①의 $1/r$형 식이어야 한다.

오답 포인트

원통과 구의 반경방향 전도를 같은 공식으로 외우면 $\ln r$형과 $1/r$형을 혼동하게 된다. 또 경계조건 $T(r_i) = T_i$, $T(r_o) = T_o$를 직접 대입해 보지 않으면 ②와 ④처럼 안팎 온도가 뒤바뀐 식을 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

반경방향 전도 문제는 먼저 형상이 원통인지 구인지 구분한다. 원통이면 $\ln r$형, 구이면 $1/r$형을 떠올린 뒤 $r = r_i$, $r = r_o$를 대입해 경계조건이 맞는지 바로 검산하면 된다.

암기 포인트

정상 반경방향 전도에서 원통은 $\ln r$, 구는 $1/r$이다.

NoteBase