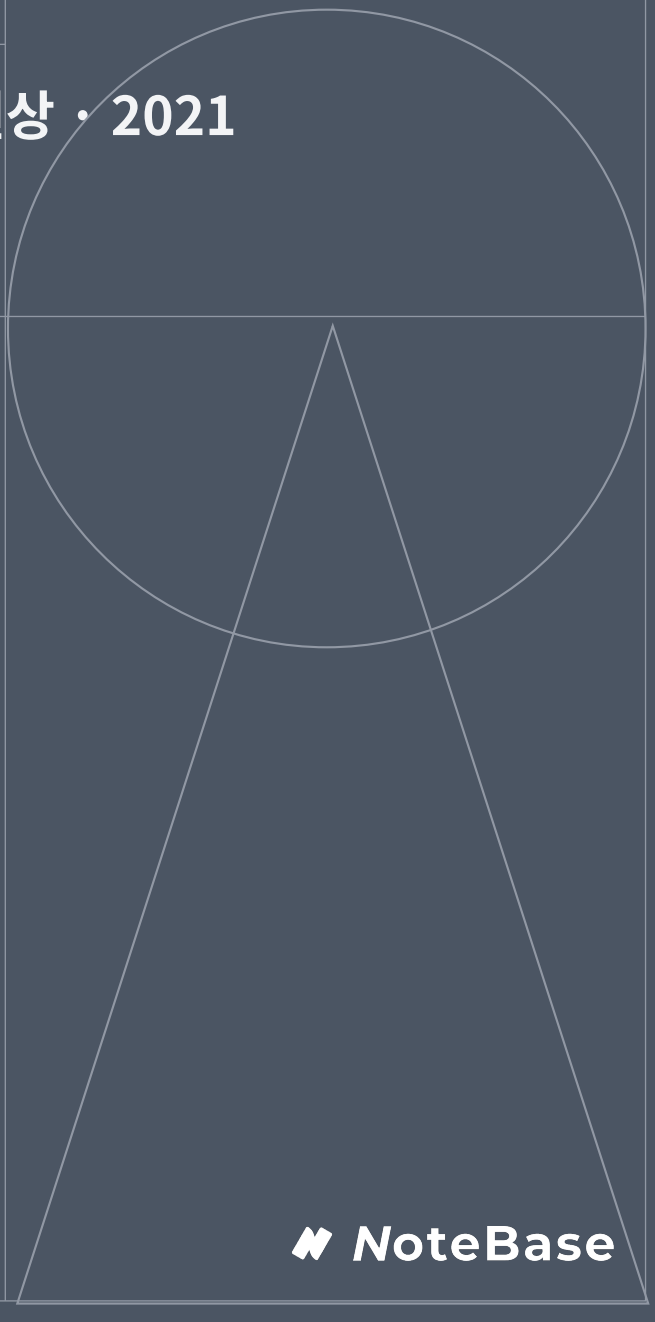
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2021



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2021

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2021

문 1. 자연대류(natural convection) 열전달 해석 시 Nusselt수를 함수로 나타낼 때, 함수의 변수를 옳게 짝지은 것은?

① Reynolds수, Prandtl수

② Schmidt수, Prandtl수

③ Grashof수, Prandtl수

④ Reynolds수, Grashof수

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 자연대류 열전달 상관식에서 Nusselt수를 어떤 무차원수들의 함수로 두는지를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

자연대류는 외부에서 유동을 강제로 만들지 않아도 온도차에 따른 밀도차와 부력으로 유동이 생기는 열전달이다.
Grashof수는 부력과 점성력의 상대 크기를 나타내는 자연대류의 대표 무차원수이다.
Prandtl수는 운동량 확산과 열확산의 상대 크기를 나타내는 유체 물성 무차원수이다.
Reynolds수는 강제대류의 유동 상태를, Schmidt수는 물질전달의 확산 특성을 주로 나타낸다.

선지별 해설

① X: 틀린 표현은 'Reynolds수'이다. Reynolds수는 강제대류에서 관성력과 점성력의 비를 나타내는 무차원수이다. 자연대류의 Nusselt수 상관식은 Reynolds수가 아니라 Grashof수와 Prandtl수의 함수로 나타낸다.
② X: 틀린 표현은 'Schmidt수'이다. Schmidt수는 운동량 확산과 물질확산의 비로서 물질전달에서 주로 쓰인다. 열전달 자연대류의 Nusselt수는 Schmidt수가 아니라 Grashof수와 Prandtl수로 정리한다.
③ O: 자연대류에서는 부력 효과를 나타내는 Grashof수와 유체의 열적 성질을 반영하는 Prandtl수를 함께 써서 Nusselt수를 표현한다. 따라서 옳은 짝은 ③이다.
④ X: 틀린 표현은 'Reynolds수'이다. Reynolds수와 Grashof수를 짝지으면 강제대류 기준과 자연대류 기준이 섞인다. 이 경우에는 Reynolds수가 아니라 Prandtl수가 들어가야 하므로 올바른 짝은 Grashof수, Prandtl수이다.

NoteBase

오답 포인트

Nusselt수 상관식을 외울 때 강제대류의 $Nu = f(Re, Pr)$를 그대로 가져오면 ①이나 ④로 흔들린다. 또한 Schmidt수는 비슷한 무차원수 이름 때문에 헷갈리기 쉽지만 열전달이 아니라 물질전달에서 중심적으로 쓰인다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 강제대류와 자연대류를 구분한다. 자연대류이면 유동의 원인이 부력이므로 Grashof수를 찾고, 열확산 특성은 Prandtl수로 본다. Reynolds수가 보이면 강제대류, Schmidt수가 보이면 물질전달 개념이 섞였는지 점검한다.

암기 포인트

자연대류는 $Nu = f(Gr, Pr)$, 강제대류는 $Nu = f(Re, Pr)$로 구분한다.

NoteBase

문 2. Fick의 법칙에 사용되는 비례상수인 확산계수(D)의 단위는?

① $(kg \cdot m)/sec$

② cm^2/sec

③ sec^2/cm

④ $kg/(m \cdot sec)$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Fick의 법칙에서 확산유속과 농도기울기의 차원을 비교해 확산계수 D의 단위를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 내용: Fick의 법칙에 쓰이는 비례상수 D의 단위를 묻는다.
구해야 할 값: 확산계수 D의 차원과 단위이다.
주의할 조건: 확산계수는 질량 자체의 단위가 아니라 길이 제곱을 시간으로 나눈 차원을 가진다.

사용할 공식

Fick의 제1법칙은 $J = -D\frac{dC}{dx}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 확산유속 J의 단위와 농도기울기 $\frac{dC}{dx}$의 단위를 비교하면 비례상수 D의 단위를 직접 소거해 구할 수 있다.

계산 과정

1. 확산유속 J의 단위는 일반적으로 질량유속 기준으로 $kg/(cm^2 \cdot sec)$이다.
2. 농도 C의 단위는 kg/cm^3이므로 농도기울기 $\frac{dC}{dx}$의 단위는 kg/cm^4이다.
3. 따라서 $D = \frac{J}{dC/dx} = \frac{kg/(cm^2 \cdot sec)}{kg/cm^4} = cm^2/sec$가 된다.

NoteBase

선지 판단

① X: $(kg \cdot m)/sec$는 질량 차원이 남아 있어 확산계수의 차원 L^2/t와 맞지 않는다. 틀린 표현은 질량이 포함된 점이며, 올바르게는 cm^2/sec처럼 길이 제곱을 시간으로 나눈 단위이다.
② O: cm^2/sec는 위의 차원 소거 결과와 정확히 일치한다. 확산계수는 단위계가 달라도 항상 길이 제곱/시간 형태이다.
③ X: sec^2/cm는 시간 제곱을 길이로 나눈 형태라서 차원이 완전히 반대이다. 틀린 표현은 시간 제곱이 들어간 점이며, 올바르게는 cm^2/sec이다.
④ X: $kg/(m \cdot sec)$는 질량 차원이 남아 있어 확산계수 단위가 아니다. 틀린 표현은 질량/길이/시간 형태라는 점이며, 올바르게는 cm^2/sec이다.

오답 포인트

확산유속 J의 단위를 그대로 확산계수의 단위로 착각하거나, 질량이 남는 단위를 비례상수의 단위로 오해하면 틀린다. ④처럼 $kg/(m \cdot sec)$ 형태는 점성계수와 혼동하기 쉬운 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

전달현상 계수의 단위를 묻는 문제는 먼저 지배식을 계수=유속/구동력기울기 형태로 정리한 뒤 차원을 소거해 본다. 질량 차원이 모두 없어지고 길이 제곱/시간만 남으면 확산계수이다.

암기 포인트

확산계수 D의 차원은 항상 L^2/t이며, 대표 단위는 cm^2/sec이다.

NoteBase

문 3. 실리콘 평판의 산화막 형성은 직교좌표계의 1차원 물질전달로 분석할 수 있다. 산소 기체 O_2가 평판의 Si와 만나 산화막 SiO_2가 형성되는데, 이를 의사 정상상태(pseudo-steady state)로 분석할 때, 산화막의 두께(δ)와 시간(t) 사이의 비례관계는?

① $\delta \propto t^{1/2}$

② $\delta \propto t$

③ $\delta \propto t^{3/2}$

④ $\delta \propto t^{2}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 생성된 산화막을 통한 확산이 속도를 지배할 때 산화막 두께 δ가 시간 t에 대해 어떻게 증가하는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 실리콘 표면에서 O_2가 반응하여 SiO_2를 만들고, 이를 의사 정상상태의 1차원 물질전달로 본다는 점이다.
구해야 할 값은 산화막 두께 δ와 시간 t의 비례관계이다.
주의할 조건은 산화막이 두꺼워질수록 확산거리가 δ만큼 증가하여 성장속도가 계속 감소한다는 점이다.

사용할 공식

의사 정상상태에서 산화막 내 산소 플럭스는 $N \propto 1/\delta$이다.
산화막 성장속도는 이 플럭스에 비례하므로
$\frac{d\delta}{dt} \propto \frac{1}{\delta}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 생성물층인 산화막을 산소가 통과해 계면까지 가야 반응이 진행되므로, 산화막 두께가 커질수록 확산저항이 커지는 상황이기 때문이다.

계산 과정

1. $\frac{d\delta}{dt} \propto \frac{1}{\delta}$에서 양변에 δ를 곱하면 $\delta d\delta \propto dt$가 된다.
2. 이를 적분하면 $\delta^2 \propto t$가 된다.
3. 따라서 $\delta \propto t^{1/2}$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① O

- 적분 결과가 바로 $\delta \propto t^{1/2}$이므로 옳다.

② X

- $\delta \propto t$는 성장속도 $d\delta/dt$가 일정할 때의 선형 성장이다.
- 이 문제는 산화막이 두꺼워질수록 확산저항이 커져 성장속도가 감소하므로 선형 비례가 아니다.
- 틀린 표현은 지수 1이고, 올바르게는 $\delta \propto t^{1/2}$이다.

③ X

- $\delta \propto t^{3/2}$는 시간이 갈수록 성장속도가 더 빨라지는 형태인데, 생성물층 확산 지배에서는 반대로 성장속도가 느려진다.
- 틀린 표현은 지수 3/2이고, 올바르게는 $\delta \propto t^{1/2}$이다.

④ X

- $\delta \propto t^{2}$는 가속 성장 형태로서 확산저항이 누적되는 산화막 성장과 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 지수 2이고, 올바르게는 $\delta \propto t^{1/2}$이다.

오답 포인트

산화막 생성 문제를 반응속도 일정인 선형 성장으로 착각하면 ②를 고르기 쉽다. 이 문항의 핵심은 생성물층이 두꺼워질수록 확산거리가 늘어나 성장속도가 $1/\delta$로 감소한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

생성물층을 통과하는 확산이 지배하는 막 성장 문제는 먼저 성장속도가 $d\delta/dt \propto 1/\delta$인지 확인하고, 적분하여 $\delta^2 \propto t$인지 판단하면 된다.

암기 포인트

생성물층 확산 지배 막성장은 포물선 법칙이므로 $\delta^2 \propto t$, 즉 $\delta \propto t^{1/2}$이다.

NoteBase

문 4. Bernoulli 방정식을 유도하기 위한 가정으로 가장 옳지 않은 것은?

① 정상상태의 흐름이다.

② 비압축성 유체이다.

③ 점성의 유체이다.

④ 열전달과 내부에너지 변화가 없다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Bernoulli 방정식을 유도할 때 놓는 이상유체 가정과 점성 유동의 차이를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Bernoulli 방정식은 정상, 비압축성, 비점성 유동에서 유선 따라 기계적 에너지가 보존된다는 관계식이다.
비점성은 점성에 의한 마찰손실을 무시한다는 뜻이고, 점성 유체는 유동 중 에너지 손실이 생기므로 그대로는 Bernoulli 방정식의 유도 가정이 되지 않는다.
열전달과 내부에너지 변화가 없다는 가정은 압력에너지, 위치에너지, 운동에너지 사이의 보존 관계만 남기기 위한 조건이다.

선지별 해설

① O
정상상태 유동은 시간에 따라 한 점에서의 유동 상태가 변하지 않는 경우이다. Bernoulli 방정식의 기본 유도에서는 정상류를 가정하므로 옳다.

② O
비압축성 유체는 밀도 변화가 없다고 보는 유체이다. Bernoulli 방정식은 보통 밀도가 일정한 비압축성 유동을 가정하여 유도하므로 옳다.

③ X
틀린 부분은 `점성의 유체`이다. Bernoulli 방정식은 점성에 의한 마찰손실이 없는 비점성 유동을 가정한다.
올바르게는 `비점성 유체이다` 또는 `점성 손실을 무시할 수 있다`이다.

④ O
열전달이 없고 내부에너지 변화가 없다고 보면 기계적 에너지 사이의 변환만 남는다. 따라서 Bernoulli 방정식의 단순 유도 가정으로 볼 수 있으므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

점성 유체도 실제 유체이므로 자연스럽게 맞는 표현처럼 보이지만, Bernoulli 방정식의 유도는 실제 점성손실을 제거한 이상유체 가정에서 출발한다는 점이 함정이다. ④도 생소해서 틀리기 쉬우나, 이 선택지는 에너지 보존 형태를 단순화하는 조건이라는 점에서 맞는 진술이다.

다시 나오면 이렇게 판단

Bernoulli 방정식 문제에서는 먼저 `정상`, `비압축성`, `비점성`을 기본 3요소로 잡고, 점성·마찰손실을 허용하는 표현이 나오면 오답으로 판단한다. 이후 열전달, 축일, 내부에너지 변화처럼 기계적 에너지 보존을 깨는 항이 포함되는지도 함께 확인한다.

암기 포인트

Bernoulli는 정상-비압축성-비점성의 유선상 기계적 에너지 보존식이다.

NoteBase

문 5. <보기>에서 Stokes–Einstein식에 대해 옳은 설명을 모두 고른 것은?

<보기>
ㄱ. 용질의 크기와 용질의 확산도는 비례한다.
ㄴ. 용질의 모양을 구형으로 가정하고 용질의 확산도를 계산하였다.
ㄷ. 열에너지와 용질의 확산도는 비례한다.
ㄹ. 용매의 점도와 용질의 확산도는 반비례한다.

① ㄹ
② ㄷ, ㄹ
③ ㄴ, ㄷ, ㄹ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Stokes-Einstein식에서 확산도와 온도, 점도, 입자 크기 사이의 비례관계와 구형 가정을 정확히 구별하는지를 묻는다.

핵심 개념

Stokes-Einstein식은 구형 입자의 확산도 D를 $D = \frac{kT}{6\pi\mu r}$로 나타내는 식이다.
여기서 T가 커지면 D가 커지고, 용매 점도 μ와 입자 반지름 r이 커지면 D는 작아진다.
이 식은 용질을 구형 입자로 이상화하여 확산도를 구하는 관계식이다.

선지별 해설

1번 X: ㄹ만 고른 선택지이다. ㄹ은 맞지만 ㄴ과 ㄷ도 맞으므로 정답 조합이 아니다. 올바른 조합은 ㄴ, ㄷ, ㄹ이다.
2번 X: ㄷ, ㄹ만 고른 선택지이다. ㄷ과 ㄹ은 맞지만 ㄴ도 맞으므로 하나를 덜 고른 선택지이다. 올바른 조합은 ㄴ, ㄷ, ㄹ이다.
3번 O: ㄴ, ㄷ, ㄹ을 모두 고른 선택지이다. ㄴ은 식 유도에서 입자를 구형으로 가정한다는 설명이므로 맞다. ㄷ은 D가 kT에 비례하므로 맞다. ㄹ은 D가 μ에 반비례하므로 맞다. ㄱ은 틀리므로 이 조합이 정답이다.
4번 X: ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ을 모두 고른 선택지이다. 이 중 ㄱ이 틀리므로 오답이다. ㄱ의 틀린 표현은 "용질의 크기와 용질의 확산도는 비례한다"는 부분이다. 올바르게는 용질의 크기가 커질수록 확산도는 감소하므로 반비례한다.

오답 포인트

분모에 있는 변수와 분자에 있는 변수를 뒤집어 기억하면 틀리기 쉽다. 특히 ㄱ처럼 입자 크기와 확산도의 관계를 비례로 바꾸거나, ㄴ을 단순한 계산 편의로만 보고 놓치면 조합 판단에서 실수한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

Stokes-Einstein식이 나오면 먼저 $D = \frac{kT}{6\pi\mu r}$의 분자와 분모를 나눈다. 분자에 있는 온도는 비례, 분모에 있는 점도와 반지름은 반비례로 판단하면 된다. 이어서 이 식이 구형 입자 가정 위에서 세워졌는지도 함께 확인하면 된다.

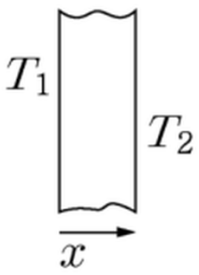
암기 포인트

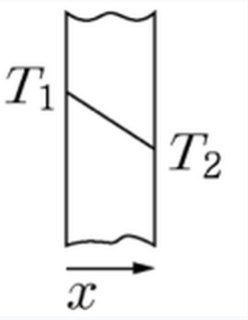
Stokes-Einstein식은 온도는 올리고, 점도와 입자 크기는 내리는 확산도 식이며, 기본 가정은 구형 입자이다.

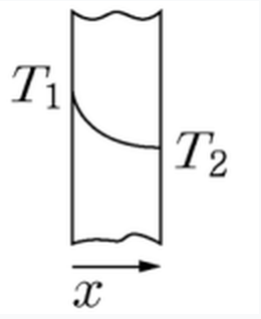
NoteBase

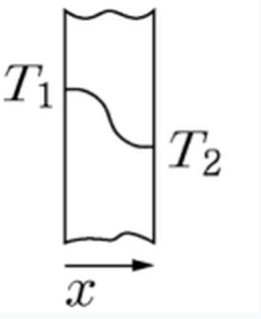
문 6. <보기>의 그림과 같이 수직평판의 양쪽면이 각각 일정한 온도 T_1과 T_2로 유지되고 있고, 수직평판에서 x 축 방향으로만 정상상태의 열전도가 일어나고 있다. 수직평판의 열전도도가 $k = k_0(1 + \beta T)$의 관계를 가질 때 $\beta > 0$인 경우에 대한 온도분포 그래프의 개형에 해당하는 것은? (단, $T_1 > T_2$이며 x축 방향 이외의 열전달은 고려하지 않는다.)

<보기>



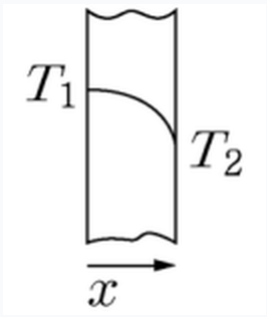
① 

② 

③ 

NoteBase

④



정답 4번

출제 포인트

정상 1차원 열전도에서 $q = -kdT/dx$가 일정할 때, $k = k_0(1 + \beta T)$이고 $\beta > 0$이면 고온부일수록 열전도도가 커서 온도기울기 절댓값이 작고 저온부로 갈수록 온도기울기 절댓값이 커진다는 점을 묻는 문제이다.

선지별 해설

① X: 직선 분포는 열전도도가 일정할 때의 개형이다. 이 문항은 $k = k_0(1 + \beta T)$로 온도에 따라 k가 변하므로 기울기가 일정할 수 없다. 틀린 표현은 '직선 분포'이고, 올바르게는 '왼쪽은 완만하고 오른쪽으로 갈수록 더 급해지는 곡선 분포'이다.
② X: 이 그래프는 왼쪽에서 더 급하고 오른쪽으로 갈수록 완만해지는 개형이다. $\beta > 0$이면 고온부인 왼쪽에서 k가 더 커서 $|dT/dx|$가 작아야 하므로 실제 기울기 변화와 반대이다. 틀린 표현은 '왼쪽이 더 급하고 오른쪽이 더 완만한 개형'이고, 올바르게는 '왼쪽은 완만하고 오른쪽으로 갈수록 더 급한 개형'이다.
③ X: 이 그래프는 중간에 변곡점이 있는 S자형 분포이다. 그러나 정상 1차원 전도에서는 $d^2T/dx^2 = -(1/k)(dk/dT)(dT/dx)^2$이고 $dk/dT = k_0\beta > 0$이므로 곡률은 항상 음수이다. 틀린 표현은 'S자형 분포'이고, 올바르게는 '변곡점 없이 한쪽으로만 굽는 감소곡선'이다.
④ O: $\beta > 0$이면 온도가 높은 왼쪽에서 k가 크고 온도가 낮은 오른쪽에서 k가 작다. 같은 열유속을 전달하려면 $|dT/dx|$는 왼쪽에서 작고 오른쪽에서 커져야 하므로 처음 완만하다가 오른쪽으로 갈수록 급해지는 감소곡선이 맞다.

오답 포인트

온도가 높은 쪽에서 온도차가 크게 느껴진다고 해서 기울기도 더 크다고 보면 틀리기 쉽다. 이 문항은 온도 자체가 아니라 같은 q를 유지할 때 k가 큰 구간에서는 더 작은 기울기로도 열이 전달된다는 점을 역으로 묻는다. 또한 곡선이기만 하면 된다고 생각해 S자형을 고르면 곡률 부호를 놓치게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $q = -kdT/dx$가 일정하다고 두고, k가 큰 구간일수록 $|dT/dx|$가 작고 k가 작은 구간일수록 $|dT/dx|$가 크다고 판단하면 된다. 그다음 d^2T/dx^2의 부호를 확인하면 변곡점 유무까지 함께 정리된다.

NoteBase

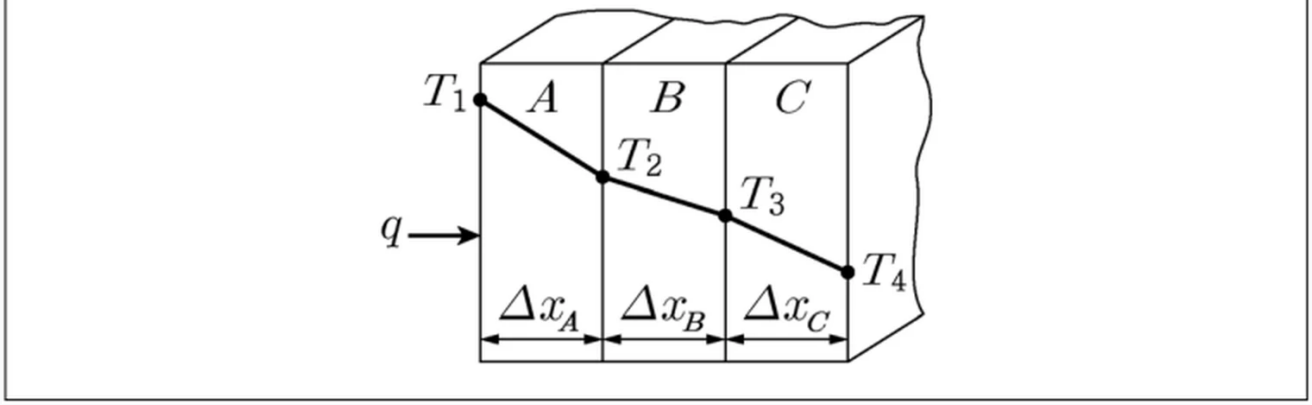
암기 포인트

$\beta > 0$이면 고온부에서 k가 크고 기울기는 완만하다. 따라서 온도분포는 고온부 완만, 저온부 급경사인 감소곡선이다.

NoteBase

문 7. <보기>의 그림과 같이 직렬로 연결된 벽을 통해 열이 전달된다. 각 층에서의 열전도도는 $k_A = 3k_B = 2k_C$의 관계를 갖고 있다. 초기에 각 벽의 두께는 모두 동일하다. 열이 전달되는 벽면의 면적을 일정하게 유지하면서 벽 C의 두께만 초기 두께의 2배로 증가시켰을 때, 직렬로 연결된 벽 전체의 열저항은 처음의 몇 배가 되는가?

<보기>



① $\frac{1}{3}$

② $\frac{2}{3}$

③ 1

④ $\frac{4}{3}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 직렬 열전도에서 전체 열저항 $R = \sum \frac{L}{kA}$를 이용해 벽 C의 두께를 바꾼 뒤 전체 열저항이 처음의 몇 배가 되는지를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 세 벽 A, B, C는 직렬 연결이고 초기 두께는 모두 동일하다. 열전도도는 $k_A = 3k_B = 2k_C$이다.
구해야 할 값: 벽 C의 두께만 2배로 늘렸을 때 전체 열저항의 배수이다.
주의할 조건: 직렬 연결에서는 각 층의 열저항이 더해지고, 전달 면적은 일정하므로 모든 항에서 같은 면적 A가 공통으로 묶인다.

NoteBase

사용할 공식

직렬 평판벽의 전체 열저항은
$R = \frac{L_A}{k_A A} + \frac{L_B}{k_B A} + \frac{L_C}{k_C A}$
이다.

이 공식을 쓰는 이유:
세 벽이 직렬로 연결되어 있으므로 각 층의 전도 열저항이 순서대로 합산된다. 문제는 두께 변화에 따른 전체 저항의 비만 묻기 때문에 공통 면적 A는 그대로 유지된다.

계산 과정

1. 초기 공통 두께를 L, 공통 면적을 A, $k_A = k$라고 두면 $k_B = \frac{k}{3}$, $k_C = \frac{k}{2}$가 된다.
2. 초기 전체 열저항은
$R_0 = \frac{L}{kA} + \frac{L}{(k/3)A} + \frac{L}{(k/2)A} = \frac{L}{kA}(1 + 3 + 2) = \frac{6L}{kA}$
이다.
3. 벽 C의 두께만 $2L$로 바꾸면 새로운 전체 열저항은
$R_1 = \frac{L}{kA} + \frac{L}{(k/3)A} + \frac{2L}{(k/2)A} = \frac{L}{kA}(1 + 3 + 4) = \frac{8L}{kA}$
이다.
4. 따라서 비는
$\frac{R_1}{R_0} = \frac{8L/(kA)}{6L/(kA)} = \frac{4}{3}$
이므로 전체 열저항은 처음의 $\frac{4}{3}$배가 된다.

선지별 해설

① X: $\frac{1}{3}$배는 전체 열저항이 오히려 크게 감소한 경우인데, 벽 C의 두께를 늘리면 직렬 열저항은 증가해야 하므로 성립하지 않는다. ①의 '1/3배'가 틀렸고 올바르게는 '4/3배'이다.
② X: $\frac{2}{3}$배도 1보다 작아 열저항 감소를 뜻한다. 두께 증가를 반영한 직렬 열저항 계산 결과는 $\frac{8}{6} = \frac{4}{3}$이므로 ②의 '2/3배'가 틀렸고 올바르게는 '4/3배'이다.
③ X: 1배는 변화가 없다는 뜻이지만, $R_C = \frac{L_C}{k_C A}$에서 L_C를 2배로 하면 C층 저항이 2배가 되어 전체 저항도 커진다. ③의 '1배'가 틀렸고 올바르게는 '4/3배'이다.
④ O: 초기 계수 합은 $1 + 3 + 2 = 6$, 변경 후 계수 합은 $1 + 3 + 4 = 8$이므로 비는 $\frac{8}{6} = \frac{4}{3}$이다. 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

열전도도 관계를 역수로 바꾸는 단계에서 많이 틀린다. $k_A = 3k_B = 2k_C$이면 저항 비례항 $\frac{1}{k}$는 1 : 3 : 2가 된다. 또 C의 두께를 2배로 만들면 C층 저항이 단순히 한 항 더해지는 것이 아니라 기존 C항 2가 4로 바뀐다는 점이 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 열저항 문제는 각 층에 대해 $\frac{L}{kA}$ 꼴의 계수를 먼저 맞춘 뒤, 바뀌는 층의 두께나 열전도도만 수정해서 전체 합의 비를 구하면 된다. 열전도도 관계가 주어지면 반드시 저항에 해당하는 역수 비로 다시 써서 판단한다.

암기 포인트

직렬 전도는 $R_{tot} = \sum \frac{L}{kA}$이고, 두께는 비례로 저항을 키우며 열전도도는 역비례로 저항을 키운다.

NoteBase

문 8. 대류열전달과 관련된 무차원수에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 강제대류에서의 Nusselt수는 Prandtl수와 Reynolds수의 관계식으로 표현된다.

② Nusselt수는 유체에서의 전도 열저항과 대류 열저항의 비를 나타낸다.

③ Prandtl수는 운동량 확산도와 열 확산도의 비를 나타낸다.

④ Prandtl수는 유체의 유동 속도에 영향을 받는다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 대류열전달에서 자주 쓰는 무차원수인 Nusselt수, Reynolds수, Prandtl수의 의미와 서로의 관계를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

Nusselt수는 $Nu = hL/k$로 정의되며 대류에 의한 열전달이 전도에 비해 얼마나 큰지를 나타내는 무차원수이다.
Prandtl수는 $Pr = \nu/\alpha = \mu c_p/k$로 정의되며 운동량 확산도와 열 확산도의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다.
Reynolds수는 $Re = \rho VL/\mu$로 정의되며 관성력과 점성력의 상대적 크기, 즉 유동 상태를 나타내는 무차원수이다.
강제대류 상관식은 보통 $Nu = f(Re, Pr)$ 형태로 정리되므로, 유속의 영향은 직접적으로는 Reynolds수에 반영되고 Prandtl수는 주로 유체 물성치로 결정된다.

선지별 해설

1번 O: 강제대류에서는 열전달계수 h가 유동 상태의 영향을 받으므로 Nusselt수는 일반적으로 Reynolds수와 Prandtl수의 함수로 표현된다. 예를 들어 내부유동이나 평판 외부유동 상관식이 $Nu = CRe^mPr^n$ 꼴로 주어진다.
2번 O: Nusselt수는 $Nu = hL/k$이므로 전도 열저항 $L/(kA)$을 대류 열저항 $1/(hA)$으로 나눈 값과 같다. 따라서 유체에서 전도로만 열이 전달될 때보다 대류가 얼마나 열전달을 강화하는지를 나타낸다.
3번 O: Prandtl수는 운동량 확산도 ν와 열 확산도 α의 비이다. 즉 속도경계층과 열경계층의 상대적인 두께 경향을 판단할 때 쓰는 물성 기반 무차원수이다.
4번 X: 틀린 부분은 "유체의 유동 속도에 영향을 받는다"는 표현이다. Prandtl수는 $Pr = \nu/\alpha = \mu c_p/k$로 나타나며 점도, 비열, 열전도율 같은 유체 물성치에 의해 결정된다. 올바르게는 "Prandtl수는 주로 유체의 물성치와 온도에 따라 달라지며, 유동 속도 자체에는 직접 영향을 받지 않는다"이다.

NoteBase

오답 포인트

Reynolds수와 Prandtl수를 모두 대류 상관식에 넣어 쓰다 보니 둘 다 유속의 영향을 받는다고 섞어서 외우기 쉽다. 이 문항의 함정은 "대류열전달 관련 무차원수"라는 공통점 때문에 각 무차원수의 정의식이 무엇으로 구성되는지를 흐리게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

무차원수 문제가 나오면 먼저 정의식을 본다. 정의식에 유속 V나 길이 L가 직접 들어가면 유동 조건의 영향을 받는 수이고, 점도·비열·열전도율처럼 물성치만 들어가면 물성 기반 무차원수로 판단할 수 있다.

암기 포인트

Nu는 대류 대 전도, Re는 유속 포함 유동 상태, Pr는 물성치 비로 기억하면 정리가 된다.

NoteBase

문 9. Wilke-Chang식은 무한히 묽은 혼합용액에서의 액체상 용질의 확산계수를 계산하는 데 유용하다. 이에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① 용질의 확산계수는 용매의 점도에 비례한다.

② 용질의 확산계수는 온도에 반비례한다.

③ 용매 분자량이 클수록 용질의 확산계수는 증가한다.

④ 용질 분자의 부피가 클수록 용질의 확산계수는 증가한다.

정답 3번

출제 포인트

Wilke-Chang식에서 액체상 무한희석 확산계수와 온도, 용매 점도, 용매 분자량, 용질 몰부피의 비례관계를 읽어내는 문제이다.

조건 정리

대상은 무한히 묽은 혼합용액에서의 액체상 용질 확산계수이다.
식에서 분자에 있는 항은 확산계수를 증가시키고, 분모에 있는 항은 확산계수를 감소시킨다.
용질 크기는 보통 정상비점에서의 몰부피 V_A로 나타내며 분모에 $V_A^{0.6}$ 형태로 들어간다.

사용할 공식

Wilke-Chang식은 $D_{AB} = 7.4 \times 10^{-8} \frac{(\phi M_B)^{1/2} T}{\mu_B V_A^{0.6}}$
이다.
이 식에서 온도 T와 용매 분자량 항 $(\phi M_B)^{1/2}$는 분자에 있으므로 커질수록 확산계수가 증가하고, 용매 점도 μ_B와 용질 몰부피 $V_A^{0.6}$는 분모에 있으므로 커질수록 확산계수가 감소한다.

NoteBase

선지별 해설

① X
용매의 점도에 비례한다는 표현이 틀렸다.
Wilke-Chang식에서 점도 μ_B는 분모에 있으므로 점도가 클수록 확산계수는 감소한다.
올바르게는 용질의 확산계수는 용매의 점도에 반비례한다.

② X
온도에 반비례한다는 표현이 틀렸다.
온도 T는 분자에 있으므로 온도가 높을수록 확산계수는 증가한다.
올바르게는 용질의 확산계수는 온도에 비례한다.

③ O
용매 분자량 M_B는 $(\phi M_B)^{1/2}$ 형태로 분자에 들어가므로 다른 조건이 같으면 커질수록 확산계수는 증가한다.
따라서 ③은 식의 비례관계를 바르게 설명한 선지이다.

④ X
용질 분자의 부피가 클수록 확산계수가 증가한다는 표현이 틀렸다.
용질 몰부피 V_A는 분모에 $V_A^{0.6}$로 들어가므로 부피가 클수록 확산계수는 감소한다.
올바르게는 용질 분자의 부피가 클수록 용질의 확산계수는 감소한다.

오답 포인트

①과 ②는 분자와 분모의 방향을 뒤집어 읽게 만드는 선지이다.
④는 부피가 크면 더 잘 퍼질 것 같다는 직관을 노린 함정이지만, 식에서는 용질 몰부피가 커질수록 확산이 느려진다.

다시 나오면 이렇게 판단

상관식을 보면 먼저 어떤 항이 분자에 있고 어떤 항이 분모에 있는지 확인한다.
그다음 지수까지 함께 읽어서 분자 항은 증가 방향, 분모 항은 감소 방향으로 정리하면 된다.

암기 포인트

Wilke-Chang식은 T, M_B는 확산계수를 올리고, μ_B, V_A는 확산계수를 내린다.

NoteBase

문 10. Knudsen 확산은 기체 분자가 매우 작은 모세관 기공을 통과 시 기공 지름이 확산하는 기체 분자의 평균 자유 경로보다 작고 기체의 밀도가 낮은 경우에 발생한다. Knudsen 확산에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① Knudsen 확산 시 기체 분자는 기공 벽보다 다른 기체 분자와 더 자주 충돌한다.

② Knudsen 확산도는 온도의 제곱근에 반비례한다.

③ Knudsen 확산도는 분자량의 제곱근에 반비례한다.

④ Knudsen 확산도는 모세관 기공의 지름에 반비례한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Knudsen 확산의 성립 조건과 Knudsen 확산도 D_K의 비례관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Knudsen 확산은 기공 지름이 기체 분자의 평균 자유행로보다 작아 분자끼리의 충돌보다 기공 벽과의 충돌이 지배적인 확산이다.
Knudsen 확산도는 $D_K \propto d_p\sqrt{T/M}$ 이므로 기공 지름에 비례하고, 온도의 제곱근에 비례하며, 분자량의 제곱근에 반비례한다.

선지별 해설

① X: Knudsen 확산에서는 분자-분자 충돌보다 벽 충돌이 더 빈번하다. 틀린 표현은 "기공 벽보다 다른 기체 분자와 더 자주 충돌한다"이며, 올바르게는 "다른 기체 분자보다 기공 벽과 더 자주 충돌한다"이다.
② X: Knudsen 확산도는 온도의 제곱근에 비례한다. 틀린 표현은 "온도의 제곱근에 반비례한다"이며, 올바르게는 "온도의 제곱근에 비례한다"이다.
③ O: Knudsen 확산도는 $D_K \propto 1/\sqrt{M}$ 관계를 가지므로 분자량이 클수록 확산도가 작아진다.
④ X: Knudsen 확산도는 기공 지름에 비례한다. 틀린 표현은 "모세관 기공의 지름에 반비례한다"이며, 올바르게는 "모세관 기공의 지름에 비례한다"이다.

오답 포인트

분자확산의 감각을 그대로 적용하면 ①처럼 분자-분자 충돌이 우세하다고 착각하기 쉽고, 좁은 기공이라는 말 때문에 ④처럼 지름과 반비례한다고 오해하기 쉽다. Knudsen 확산은 벽 충돌 지배와 $D_K \propto d_p\sqrt{T/M}$ 만 정확히 기억하면 정리된다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 기공 지름이 평균 자유행로보다 작은지 확인해 Knudsen 영역임을 판단한다. 그다음 $D_K \propto d_p\sqrt{T/M}$를 적용해 온도는 제곱근 비례, 분자량은 제곱근 반비례, 기공 지름은 정비례로 판별한다.

NoteBase

암기 포인트

Knudsen은 벽 충돌 지배, $D_K \propto d_p\sqrt{T/M}$ 이다.

문 11. 상온에서의 유체의 점도를 큰 순서대로 바르게 나열한 것은?

① 물 > n-부탄올 > 벤젠 > 글리세롤

② 물 > 글리세롤 > n-부탄올 > 벤젠

③ 글리세롤 > 물 > n-부탄올 > 벤젠

④ 글리세롤 > n-부탄올 > 물 > 벤젠

정답 4번

출제 포인트

상온에서 액체의 점도는 분자 사이 인력과 분자 구조에 따라 달라지며, 수소결합을 강하게 만드는 글리세롤이 가장 크고 비극성인 벤젠이 가장 작다는 점을 묻는 문제이다.

핵심 개념

점도는 유체가 흐르려 할 때 나타나는 내부 저항의 크기이다.
글리세롤은 수산기 3개를 가져 분자 사이 수소결합이 매우 강하므로 상온 점도가 가장 크다.
n-부탄올은 수산기 1개를 가지며 탄화수소 사슬 효과까지 있어 물보다 점도가 크다.
물은 수소결합을 하지만 분자가 작아 n-부탄올보다는 점도가 작다.
벤젠은 비극성 분자로 분자 사이 인력이 상대적으로 약해 네 물질 중 점도가 가장 작다.

NoteBase

선지별 해설

① X
틀린 부분은 "물 > n-부탄올"과 "벤젠 > 글리세롤"이다.
실제로는 n-부탄올이 물보다 점도가 크고 글리세롤이 벤젠보다 훨씬 크므로 올바른 순서는 "글리세롤 > n-부탄올 > 물 > 벤젠"이다.

② X
틀린 부분은 "물 > 글리세롤"이다.
실제로는 글리세롤이 물보다 압도적으로 점도가 크므로 이 배열은 성립하지 않는다.

③ X
틀린 부분은 "물 > n-부탄올"이다.
실제로는 n-부탄올이 물보다 점도가 크므로 올바른 가운데 순서는 "n-부탄올 > 물"이다.

④ O
글리세롤은 수산기 3개로 수소결합이 가장 강해 점도가 가장 크고, n-부탄올은 물보다 점도가 크며, 벤젠은 비극성이라 가장 작다.
따라서 "글리세롤 > n-부탄올 > 물 > 벤젠"의 배열이 옳다.

오답 포인트

수소결합을 한다는 이유만으로 물을 n-부탄올보다 크게 보거나, 분자량만 보고 벤젠이 물보다 클 것이라고 착각하기 쉽다. 이 문제는 수소결합의 강도와 수산기 개수, 비극성 여부를 함께 비교해야 풀린다.

다시 나오면 이렇게 판단

점도 비교 문제에서는 먼저 다가 알코올처럼 수산기가 많은 물질을 최상위로 두고, 비극성 방향족처럼 분자 사이 인력이 약한 물질을 최하위로 둔다. 그다음 남은 물질은 수소결합 가능성과 탄화수소 사슬 효과를 비교하면 이 문제에서는 n-부탄올 > 물로 정리된다.

암기 포인트

상온 점도 순서는 수소결합이 강한 글리세롤이 최상, 비극성인 벤젠이 최하이며 전체 배열은 글리세롤 > n-부탄올 > 물 > 벤젠이다.

NoteBase

문 12. 점도 값이 다른 것은?

① $10Pa \cdot s$

② 10poise

③ $10(N \cdot s)/m^2$

④ $10kg/(m \cdot s)$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 점도의 단위 환산과 SI 단위와 cgs 단위의 대응 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

점도의 SI 단위는 $Pa \cdot s$이며 $1Pa = 1N/m^2$이므로 $Pa \cdot s$는 $N \cdot s/m^2$와 같다.
또한 $1N = 1kg \cdot m/s^2$이므로 $N \cdot s/m^2 = kg/(m \cdot s)$가 된다.
cgs 단위인 poise는 $1P = 0.1Pa \cdot s$이므로 $10Pa \cdot s = 100P$이다.

선지별 해설

① O
$10Pa \cdot s$는 기준이 되는 점도값 자체이므로 맞다.

② X
틀린 부분은 $10poise$라는 값이다.
실제로는 $1P = 0.1Pa \cdot s$이므로 $10P = 1Pa \cdot s$이고, $10Pa \cdot s$와 같으려면 $100poise$여야 한다.

③ O
$1Pa = 1N/m^2$이므로 $10Pa \cdot s = 10(N \cdot s)/m^2$가 되어 같은 값이다.

④ O
$1N = 1kg \cdot m/s^2$를 $N \cdot s/m^2$에 대입하면 $kg/(m \cdot s)$가 된다.
따라서 $10kg/(m \cdot s)$는 $10Pa \cdot s$와 같은 값이다.

오답 포인트

poise를 SI 단위와 바로 같은 크기로 착각하면 ②를 고르지 못한다. 이 문항의 함정은 단위 이름이 익숙하다는 이유로 수치까지 같다고 오인하는 데 있다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

점도 단위 문제는 먼저 $Pa \cdot s$를 $N \cdot s/m^2$, $kg/(m \cdot s)$로 바꿔 보고, poise가 나오면 반드시 $1P = 0.1Pa \cdot s$ 환산식을 적용해 수치를 다시 맞춰 본다.

암기 포인트

점도는 $Pa \cdot s = N \cdot s/m^2 = kg/(m \cdot s)$, 그리고 $10Pa \cdot s = 100poise$이다.

NoteBase

문 13. 속이 비고 매우 긴 원통형 열전달장치의 내부반지름과 외부반지름이 각각 r_i와 r_o이고, 내면과 외면의 온도는 T_i와 T_o이다. 이때 열전달장치를 이루는 물질 A의 열전도도는 온도에 따라 급격하게 변화하며 $k = k_0(1 + \beta T^2)$의 형태를 가진다. 만일, 장치의 구성물질을 열전도도가 k_0로 온도와 무관하게 일정한 물질 B로 변경한다면, 두 경우의 열전달속도 비(q_A/q_B)에 해당하는 것은? (단, 형태와 표면의 온도는 변화하지 않고 정상상태이며, k_0와 β는 상수이다.)

① $1 + \frac{\beta}{2}(T_i - T_o)$
② $1 + \frac{\beta}{3}(T_i^2 - T_o^2)$
③ $1 + \frac{\beta}{3}(T_i^2 + T_o^2)$
④ $1 + \frac{\beta}{3}(T_i^2 + T_o^2 + T_iT_o)$

정답 4번

출제 포인트

온도의존 열전도도 $k(T)$를 갖는 매우 긴 원통벽의 정상 반경방향 열전도에서 열전달속도가 $\int k(T)dT$에 비례한다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 내부반지름 r_i, 외부반지름 r_o, 내면온도 T_i, 외면온도 T_o, 물질 A의 열전도도 $k = k_0(1 + \beta T^2)$, 물질 B의 열전도도 k_0이다.
구해야 할 값은 같은 형상과 같은 표면온도 조건에서의 열전달속도 비 q_A/q_B이다.
주의할 조건은 정상상태이므로 반경방향 열전달속도 q가 일정하고, 두 경우에서 형상항 $2\pi L/\ln(r_o/r_i)$가 같아 비를 취하면 소거된다는 점이다.

사용할 공식

매우 긴 원통벽의 정상 반경전도는
$q = -2\pi Lrk(T)\frac{dT}{dr}$
로 쓸 수 있다.
이를 적분하면
$q = \frac{2\pi L}{\ln(r_o/r_i)}\int_{T_o}^{T_i} k(T)dT$
가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제의 장치가 매우 긴 원통형이며, 정상상태에서 반경방향 1차원 전도만 고려하면 되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

물질 A에 대해
$q_A = \frac{2\pi L}{\ln(r_o/r_i)} \int_{T_o}^{T_i} k_0(1+\beta T^2)dT$
이므로
$q_A = \frac{2\pi L k_0}{\ln(r_o/r_i)} \left[(T_i - T_o) + \frac{\beta}{3}(T_i^3 - T_o^3)\right]$
이다.

물질 B에 대해
$q_B = \frac{2\pi L k_0}{\ln(r_o/r_i)}(T_i - T_o)$
이다.

따라서
$\frac{q_A}{q_B} = 1 + \frac{\beta}{3} \cdot \frac{T_i^3 - T_o^3}{T_i - T_o}$
이고, $T_i^3 - T_o^3 = (T_i - T_o)(T_i^2 + T_i T_o + T_o^2)$이므로
$\frac{q_A}{q_B} = 1 + \frac{\beta}{3}(T_i^2 + T_o^2 + T_i T_o)$
가 된다.

선지별 해설

① X
틀린 표현은 $1 + \frac{\beta}{2}(T_i - T_o)$이다. βT^2를 적분하면 $\frac{\beta}{3}(T_i^3 - T_o^3)$가 되어야 하므로 1차 온도차만 남는 형태가 아니다. 올바르게는 $1 + \frac{\beta}{3}(T_i^2 + T_i T_o + T_o^2)$이다.

② X
틀린 표현은 $1 + \frac{\beta}{3}(T_i^2 - T_o^2)$이다. $\frac{T_i^3 - T_o^3}{T_i - T_o}$는 $T_i^2 - T_o^2$가 아니라 $T_i^2 + T_i T_o + T_o^2$이다. 올바르게는 교차항 $T_i T_o$가 포함되어야 한다.

③ X
틀린 표현은 $1 + \frac{\beta}{3}(T_i^2 + T_o^2)$이다. 이 식은 $T_i^3 - T_o^3$를 인수분해한 뒤 생기는 $T_i T_o$ 항을 빠뜨린 값이다.
올바르게는 $1 + \frac{\beta}{3}(T_i^2 + T_i T_o + T_o^2)$이다.

④ O
적분 결과와 항등식 $T_i^3 - T_o^3 = (T_i - T_o)(T_i^2 + T_i T_o + T_o^2)$를 적용하면 $\frac{q_A}{q_B} = 1 + \frac{\beta}{3}(T_i^2 + T_o^2 + T_i T_o)$가 되어 4번이 맞다.

오답 포인트

온도의존 열전도도를 단순히 평균 열전도도로 처리하면 ① 같은 오답이 나오기 쉽다. 또 $T_i^3 - T_o^3$를 $T_i^2 - T_o^2$나 $T_i^2 + T_o^2$로 잘못 바꾸면 ②, ③처럼 교차항 $T_i T_o$를 놓치게 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

원통형 정상전도에서 형상과 경계온도가 같고 재료만 바뀌면 먼저 q를 $\frac{2\pi L}{\ln(r_o/r_i)}\int k(T)dT$ 꼴로 쓴다. 그다음 공통 형상항과 $k_0(T_i - T_o)$를 나누어 비를 만들고, 마지막에 다항식 인수분해로 정리하면 된다.

암기 포인트

온도의존 열전도도 비는 $\frac{q_A}{q_B} = \frac{\int_{T_o}^{T_i} k(T)dT}{k_0(T_i - T_o)}$로 정리한다. T^2 항은 적분하면 $T^3/3$이 되고, $a^3 - b^3$은 $(a-b)(a^2+ab+b^2)$로 인수분해된다.

NoteBase

문 14. 어떤 유체의 3차원 정상상태 흐름장에 대한 속도 성분이 <보기>와 같을 때, 비압축성 흐름에 해당하지 않는 z방향 속도 성분은?

<보기>

$u_x = x^2 + y^2,\ u_y = xy + yz + x$

① $u_z = -3xz - \frac{z^2}{2} + 6xy$

② $u_z = -3xz - \frac{z^2}{2} + 6x$

③ $u_z = -3xz - \frac{z^2}{2} + 6yz$

④ $u_z = -3xz - \frac{z^2}{2} + 6y$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 비압축성 유동의 연속방정식 $\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0$를 이용해 u_z의 허용 형태를 판별하는 문제이다.

조건 정리

주어진 속도 성분은 $u_x = x^2 + y^2, u_y = xy + yz + x$이다.
구해야 할 것은 비압축성 흐름에 해당하지 않는 z방향 속도 성분이다.
비압축성 조건에서는 $\frac{\partial u_z}{\partial z} = -\left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y}\right)$가 되어야 한다.

사용할 공식

$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0$
이 문제는 3차원 정상상태 여부보다 비압축성 조건 자체가 핵심이므로, 속도의 발산이 0인지로 판별한다.

계산 과정

1. $\frac{\partial u_x}{\partial x} = \frac{\partial (x^2 + y^2)}{\partial x} = 2x$이다.
2. $\frac{\partial u_y}{\partial y} = \frac{\partial (xy + yz + x)}{\partial y} = x + z$이다.
3. 따라서 $\frac{\partial u_z}{\partial z} = -(2x + x + z) = -(3x + z)$이다.
4. 이를 z에 대해 적분하면 $u_z = -3xz - \frac{z^2}{2} + f(x, y)$이다.
5. 즉 비압축성 흐름의 u_z는 마지막 항이 반드시 z와 무관한 함수 $f(x, y)$ 꼴이어야 한다.

NoteBase

선지별 해설

① X

$u_z = -3xz - \frac{z^2}{2} + 6xy$는 마지막 항 $6xy$가 z와 무관하므로 $f(x, y)$에 해당한다. 따라서 비압축성 조건을 만족하므로 '해당하지 않는 성분'이라는 선택지로는 틀리다. 올바르게는 가능한 u_z 성분으로 보아야 한다.

② X

$u_z = -3xz - \frac{z^2}{2} + 6x$도 마지막 항 $6x$가 z와 무관하므로 $f(x, y)$에 해당한다. 따라서 비압축성 조건을 만족한다. 올바르게는 이 식도 가능한 u_z 성분이다.

③ O

$u_z = -3xz - \frac{z^2}{2} + 6yz$는 마지막 항에 z가 포함되어 있으므로 $f(x, y)$ 꼴이 아니다. 실제로 $\frac{\partial u_z}{\partial z} = -(3x + z) + 6y$가 되어 발산이 0이 되지 않는다. 따라서 비압축성 흐름에 해당하지 않는 성분이므로 정답이다.

④ X

$u_z = -3xz - \frac{z^2}{2} + 6y$는 마지막 항 $6y$가 z와 무관하므로 $f(x, y)$에 해당한다. 따라서 비압축성 조건을 만족한다. 올바르게는 이 식 역시 가능한 u_z 성분이다.

오답 포인트

적분 뒤에 붙는 임의함수의 변수 범위를 놓치기 쉽다. u_z를 z에 대해 적분했으므로 적분상수는 상수가 아니라 $f(x, y)$가 되며, 여기에 z가 다시 들어가면 비압축성 조건이 깨진다.

다시 나오면 이렇게 판단

비압축성 속도장 문제는 먼저 $\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y}$를 구한 뒤, 그 음수로 $\frac{\partial u_z}{\partial z}$를 만든다. 이후 z에 대해 적분한 결과의 마지막 항이 z 없는 $f(x, y)$인지 확인하면 정답을 빠르게 판별할 수 있다.

암기 포인트

비압축성 3차원 유동에서는 u_z 적분 뒤의 자유항이 반드시 $f(x, y)$ 꼴이어야 하며, z가 섞이면 탈락이다.

NoteBase

문 15. 유체역학에서 경계층 이론의 개념에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 큰 Reynolds수에서 유체의 마찰에 의한 효과는 물체의 표면 위의 얇은 경계층에 의해서만 발생되며, 경계층 내에서의 압력은 매우 큰 변화를 보인다.

② 경계층 내의 압력은 경계층 밖의 비점성흐름의 압력과 같다.

③ 경계층 내의 압력은 실험적으로 또는 비점성흐름 이론으로부터 구할 수 있으며 속도성분을 처리하면 해석이 가능하다.

④ 경계층의 두께는 자유흐름속도의 99%에 도달하는 거리로 정의된다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 큰 Reynolds수 유동에서 경계층의 의미, 경계층 내부 압력 가정, 경계층 두께 정의를 정확히 구별하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

경계층은 벽면 가까이에서 점성효과가 집중되어 속도구배가 큰 얇은 유동층이다. 큰 Reynolds수에서는 경계층 바깥은 거의 비점성 유동으로 보고, 압력분포는 주로 바깥 유동이 결정하며 경계층 내부 압력도 그 압력을 따른다.

선지별 해설

① X. 틀린 부분은 "경계층 내에서의 압력은 매우 큰 변화를 보인다"이다. 큰 Reynolds수에서는 마찰효과가 주로 얇은 경계층에 집중되는 설명은 맞지만, 경계층 내부 압력은 보통 경계층 밖 비점성 유동의 압력과 거의 같다고 본다. 올바르게는 "경계층 내 압력은 외부 유동의 압력분포를 따른다"이다.
② O. 경계층 방정식에서는 벽에 수직한 방향의 압력변화가 매우 작으므로 경계층 내 압력을 경계층 밖 비점성흐름의 압력과 같게 둔다.
③ O. 경계층 해석에서는 외부 비점성 유동해석이나 실험으로 압력분포를 먼저 구한 뒤, 그 압력조건을 사용하여 경계층 내부 속도장을 해석할 수 있다.
④ O. 경계층 두께 δ는 일반적으로 국소 속도가 자유흐름속도 U_∞의 99%에 이르는 위치로 정의한다.

오답 포인트

점성효과가 큰 곳이라는 말 때문에 압력도 경계층 안에서 크게 변한다고 오해하기 쉽다. 경계층에서 크게 변하는 대표 물리량은 속도구배와 전단응력이며, 압력은 대체로 외부 유동이 정한 값을 그대로 따른다.

다시 나오면 이렇게 판단

경계층 문제에서는 먼저 "속도는 벽면 근처에서 급변하지만 압력은 외부 유동이 결정한다"는 기준으로 선지를 가른다. 이어서 두께 정의가 U_∞의 99% 위치인지 확인하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

경계층은 속도는 급변하고 압력은 외부 유동을 따른다.

NoteBase

문 16. 수평상태로 설치된 길이 100m의 매끄러운 정사각형 관에서 비압축성 뉴튼 유체가 정상상태의 완전발달 층류 흐름(fully developed laminar flow)으로 흐르고 있다. 이때 중력가속도는 9.8m/s^2이며, 유체 흐름의 Reynolds수는 1,280, 유체의 평균 속도는 9.8m/s, 헤드손실(head loss)은 24.5m이다. 유체가 흐르는 정사각형 관의 한 변의 길이[m]는?

① 0.5

② 1

③ 2

④ 4

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 비원형관을 수리직경으로 환산한 뒤 Darcy-Weisbach 식과 층류 마찰계수 $f = 64/Re$를 적용해 정사각형 관의 한 변 길이를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 길이 100m, Reynolds수 1,280, 평균 속도 9.8m/s, 헤드손실 24.5m, 중력가속도 9.8m/s^2이다.
구해야 할 값은 정사각형 관 한 변의 길이 a이다.
정사각형 관의 수리직경은 $D_h = \frac{4A}{P} = a$이다.

사용할 공식

사용 식은 $h_f = f\frac{L}{D_h}\frac{V^2}{2g}$ 이고, 층류이므로 $f = \frac{64}{Re}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 완전발달 층류, Reynolds수, 평균 속도, 헤드손실이 모두 주어져 있어 마찰손실식으로 관의 대표길이를 바로 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 층류 마찰계수는 $f = \frac{64}{1280} = 0.05$ 이다.
2. 속도수두는 $\frac{V^2}{2g} = \frac{9.8^2}{2 \times 9.8} = 4.9$ 이다.
3. Darcy-Weisbach 식에 대입하면 $24.5 = 0.05 \times \frac{100}{a} \times 4.9$ 이다.
4. 정리하면 $24.5 = \frac{24.5}{a}$ 이므로 $a = 1m$ 이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 계산 결과와 다르다. 정사각형 관 한 변 길이는 0.5m가 아니라 1m이다.
② O: $a = 1m$이므로 정답이다.
③ X: 계산 결과와 다르다. 정사각형 관 한 변 길이는 2m가 아니라 1m이다. 이런 값은 $\frac{V^2}{2g}$에서 분모의 2를 빠뜨리는 식의 실수에서 나오기 쉽다.
④ X: 계산 결과와 다르다. 정사각형 관 한 변 길이는 4m가 아니라 1m이다.

오답 포인트

정사각형 관이라고 해서 별도 형상식을 새로 찾다가 시간을 쓰기 쉽다. 이 문항은 수리직경 $D_h = a$로 바꾼 뒤 층류 마찰계수와 Darcy-Weisbach 식을 그대로 적용하는지가 핵심이다. 또 $\frac{V^2}{2g}$의 2를 빼먹으면 오답으로 바로 이어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

비원형관 계산형은 먼저 수리직경을 대표길이로 바꾸고, 흐름이 층류인지 난류인지 판단한 뒤, 마찰계수 식과 손실수두 식을 순서대로 대입해 계산한다.

암기 포인트

정사각형 관은 $D_h = 4A/P = a$이고, 완전발달 층류는 $f = 64/Re$를 먼저 넣는다.

NoteBase

문 17. 교반기의 일률은 교반기 날개의 직경과 각속도 그리고 교반기에 의하여 혼합되는 유체의 밀도와 점도에 의하여 결정된다. 이때 매개변수들을 연결하는 무차원수를 이용하면 무차원수의 관계식으로 표현할 수 있다. 교반기에 관한 변수들을 무차원수의 관계식으로 표현할 때 필요한 무차원수의 개수는?

① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 버킹엄 Π 정리를 적용하여 변수 5개를 기본차원 3개로 묶을 때 필요한 무차원수의 개수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 변수: 일률 P, 날개 직경 D, 각속도 ω, 밀도 ρ, 점도 μ이다.
구해야 할 값: 무차원수의 개수이다.
주의할 조건: 일률의 차원은 ML^2T^{-3}, 직경은 L, 각속도는 T^{-1}, 밀도는 ML^{-3}, 점도는 $ML^{-1}T^{-1}$이므로 기본차원은 M, L, T의 3개이다.

사용할 공식

버킹엄 Π 정리에 따라 무차원수의 개수는
$N_\Pi = n - r$
이다.
여기서 n은 변수의 개수, r은 독립 기본차원의 개수이다.
이 공식을 쓰는 이유는 교반기 일률 문제가 직경, 속도, 밀도, 점도처럼 차원을 가진 여러 변수를 무차원군의 관계식으로 바꾸는 전형적인 차원해석 문제이기 때문이다.

계산 과정

1. 변수의 개수를 센다. P, D, ω, ρ, μ이므로 $n = 5$이다.
2. 각 변수의 차원을 정리하면 모두 M, L, T의 조합으로 표현되므로 독립 기본차원 수는 $r = 3$이다.
3. 따라서
$N_\Pi = 5 - 3 = 2$
이다.
이 문제는 결국 교반동력수와 레이놀즈수 같은 두 개의 무차원군으로 정리된다는 뜻이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
필요한 무차원수의 개수는 2개이다. 변수 5개에서 기본차원 3개를 빼면 $5-3=2$가 되므로 맞는 선지이다.

② X
3개라는 판단은 틀리다. 이 문제의 독립 기본차원은 M, L, T 세 개이므로 무차원수는 3개가 아니라 2개이다. 틀린 표현은 "3개"이고, 올바르게는 "2개"이다.

③ X
4개라는 판단은 틀리다. 무차원수의 개수는 변수 수보다 기본차원 수만큼 줄어들어야 하므로 4개가 될 수 없다. 틀린 표현은 "4개"이고, 올바르게는 "2개"이다.

④ X
5개라는 판단은 틀리다. 5개는 단순히 변수의 총개수일 뿐이며, 차원해석을 하면 그대로 남지 않는다. 틀린 표현은 "5개"이고, 올바르게는 "2개"이다.

오답 포인트

변수의 개수 n와 무차원수의 개수 $n-r$를 혼동하기 쉽다. 또 점도가 들어가면 기본차원이 하나 더 늘어난다고 착각하기 쉬우나, 점도 역시 M, L, T만으로 표현된다.

다시 나오면 이렇게 판단

차원해석 문제는 먼저 변수 개수 n를 세고, 다음에 각 변수를 M, L, T 같은 기본차원으로 풀어 독립 차원 수 r를 확인한 뒤 $n-r$를 계산하면 된다.

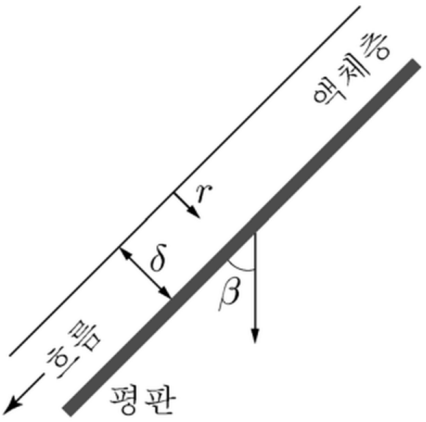
암기 포인트

버킹엄 Π 정리는 "무차원수 개수 = 변수 수 - 기본차원 수"로 정리된다.

NoteBase

문 18. <보기 1>과 같이 경사진 평판 위를 정상상태의 층류로 흐르는 뉴튼 액체가 있다. 액체층의 두께, 밀도, 점도는 각각 δ, ρ, μ이고, 평판과 중력방향의 각도는 β이다. 이때 흐름의 속도는 자유표면으로부터의 거리 r에 따라 <보기 2>와 같이 분포한다. 최대속도와 평균속도의 비 $\left(\frac{u_{max}}{u_{mean}}\right)$는? (단, g는 중력가속도이다.)

<보기 1>



<보기 2>

$$u = \frac{\rho g \cos\beta}{2\mu}(\delta^2 - r^2)$$

① 1

② $\frac{3}{2}$

③ 2

④ $\frac{5}{2}$

정답 2번

출제 포인트

자유표면 기준의 포물선 속도분포에서 최대속도와 적분 평균속도의 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 속도분포는 $u = \frac{\rho g \cos\beta}{2\mu}(\delta^2 - r^2)$이다.
$r = 0$은 자유표면이고 $r = \delta$는 평판 벽면이다.
구해야 할 값은 $\frac{u_{max}}{u_{mean}}$이다.
비를 묻는 문제이므로 공통계수 $\frac{\rho g \cos\beta}{2\mu}$는 마지막에 소거된다.

NoteBase

사용할 공식

최대속도는 속도식이 r가 커질수록 감소하므로 $r=0$에서 구한다.

$u_{\max}=u(0)$

평균속도는 두께 방향 적분평균으로 구한다.

$u_{\text{mean}}=\frac{1}{\delta}\int_0^{\delta}u(r)dr$

이 공식을 쓰는 이유는 속도가 위치 r에 따라 분포하므로 단순 산술평균이 아니라 연속 분포의 적분평균을 써야 하기 때문이다.

계산 과정

1. $C=\frac{\rho g\cos\beta}{2\mu}$로 두면 $u=C(\delta^2-r^2)$이다.
2. 최대속도는 $u_{\max}=u(0)=C\delta^2$이다.
3. 평균속도는 $u_{\text{mean}}=\frac{1}{\delta}\int_0^{\delta}C(\delta^2-r^2)dr$이다.
4. 적분하면 $u_{\text{mean}}=\frac{C}{\delta}\left[\delta^2 r-\frac{r^3}{3}\right]_0^{\delta}=\frac{C}{\delta}\left(\delta^3-\frac{\delta^3}{3}\right)=\frac{2}{3}C\delta^2$이다.
5. 따라서 $\frac{u_{\max}}{u_{\text{mean}}}=\frac{C\delta^2}{\frac{2}{3}C\delta^2}=\frac{3}{2}$이다.

선지별 해설

① X

선지의 값 1은 틀렸다. 1이 되려면 최대속도와 평균속도가 같아야 하지만, 주어진 분포는 자유표면에서 가장 크고 벽면으로 갈수록 작아지는 포물선 분포이므로 평균속도가 최대속도와 같을 수 없다. 올바른 값은 $\frac{3}{2}$이다.

② O

적분평균으로 구하면 $u_{\text{mean}}=\frac{2}{3}C\delta^2$, 최대속도는 $u_{\max}=C\delta^2$이므로 비는 $\frac{3}{2}$가 된다. 따라서 옳은 선지이다.

③ X

선지의 값 2는 틀렸다. 이는 평균속도를 $\frac{1}{2}u_{\max}$처럼 선형분포로 오인할 때 나오는 값이다. 이 문제의 속도분포는 δ^2-r^2 꼴의 2차식이므로 올바르게는 $u_{\text{mean}}=\frac{2}{3}u_{\max}$이고, 비는 $\frac{3}{2}$이다.

④ X

선지의 값 $\frac{5}{2}$는 틀렸다. 평균속도 적분에서 $r^3/3$ 항 처리를 잘못하거나 자유표면과 벽면의 위치를 혼동하면 이런 오답이 나온다. 올바르게는 공통계수를 소거한 뒤 $\frac{u_{\max}}{u_{\text{mean}}}=\frac{3}{2}$가 된다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 평균속도를 단순 산술평균으로 처리하는 점과 $r=0$이 자유표면이라는 좌표 기준을 놓치는 점이다. 최대속도 위치를 먼저 잡지 않거나 적분평균 대신 임의의 비율을 대입하면 1, 2, $\frac{5}{2}$ 같은 오답이 나온다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

속도 분포식이 주어지면 먼저 최대값이 생기는 위치를 확인하고, 평균속도는 반드시 $\frac{1}{\delta}\int_0^{\delta} u(r)dr$로 적분한 뒤 공통계수를 소거해 비를 정한다.

암기 포인트

$u = C(\delta^2 - r^2)$ 꼴 포물선 분포에서는 $u_{\text{mean}} = \frac{2}{3}u_{\text{max}}$이므로 $\frac{u_{\text{max}}}{u_{\text{mean}}} = \frac{3}{2}$이다.

NoteBase

문 19. 속이 비고 매우 긴 원통형 열전달장치가 2개의 층으로 되어 있다. 즉, 내부층은 반지름 r_1에서 r_2까지 물질 A로 되어 있고, 외부층은 반지름 r_2에서 r_3까지 물질 B로 되어 있다. 정상상태에서 두 층의 온도 강하가 동일한 값일 때, 두 층을 이루는 물질의 열전도도 비 k_B/k_A는?

① $\frac{\ln r_3 - \ln r_2}{\ln r_2 - \ln r_1}$
② $\frac{\ln r_2 - \ln r_1}{\ln r_3 - \ln r_2}$
③ $\frac{\ln r_2 - \ln r_1}{\ln r_3 - \ln r_1}$
④ $\frac{\ln r_3 - \ln r_1}{\ln r_2 - \ln r_1}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 복합 원통벽의 반경방향 정상전도에서 각 층의 온도강하가 같다는 조건으로 열저항을 같게 놓고 열전도도비를 구하는 문제이다.

조건 정리

내부층은 반지름 r_1에서 r_2까지의 물질 A이다.
외부층은 반지름 r_2에서 r_3까지의 물질 B이다.
정상상태에서 두 층의 온도강하가 같으므로 $\Delta T_A = \Delta T_B$이다.

사용할 공식

$\Delta T = qR, \quad R_A = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_A}, \quad R_B = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_B}$
정상상태에서는 두 층을 지나는 열량 q가 같으므로 온도강하가 같다는 조건은 곧 두 층의 열저항이 같다는 뜻이다.

NoteBase

계산 과정

두 층의 온도강하가 같으므로

$qR_A = qR_B$

이다.

같은 q를 약분하면

$\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_A} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_B}$

이다.

$2\pi L$도 약분하면

$\frac{\ln(r_2/r_1)}{k_A} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_B}$

이다.

따라서

$\frac{k_B}{k_A} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{\ln(r_2/r_1)} = \frac{\ln r_3 - \ln r_2}{\ln r_2 - \ln r_1}$

이므로 1번이 맞다.

선지 판단

① O: $\frac{k_B}{k_A} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{\ln(r_2/r_1)}$를 그대로 쓴 식이므로 옳다.

② X: 분자와 분모가 서로 뒤집혀 있다. 올바르게는 $\frac{\ln r_3 - \ln r_2}{\ln r_2 - \ln r_1}$이어야 한다.

③ X: 분모를 $\ln r_3 - \ln r_1$로 두었는데, 이는 내부층 저항 $\ln(r_2/r_1)$가 아니라 전체 반지름 구간을 한 번에 묶은 값이다. 올바르게는 분모가 $\ln r_2 - \ln r_1$이다.

④ X: 분자를 $\ln r_3 - \ln r_1$로 두었는데, 이는 외부층 저항 $\ln(r_3/r_2)$가 아니라 전체 구간의 로그차이다. 올바르게는 분자가 $\ln r_3 - \ln r_2$이다.

오답 포인트

원통벽 전도에서는 평판처럼 두께비가 아니라 로그반경비가 들어간다. 또한 두 층의 온도강하가 같다는 조건을 보고 ΔT를 직접 같게 두지 않고 열저항식을 거치지 않으면 분자와 분모를 뒤집거나 전체 반경차 $r_3 - r_1$에 해당하는 형태로 잘못 묶기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

복합벽 전도 문제에서 각 층의 온도강하 비교 조건이 나오면 먼저 $\Delta T = qR$를 쓴다. 그다음 원통형이면 각 층 저항을 $\ln(r_{out}/r_{in})/(2\pi L k)$로 놓고, 평판형이면 두께 L/kA 형태를 쓴다.

암기 포인트

원통 복합벽의 전도저항은 반지름차가 아니라 로그반경비 $\ln(r_{out}/r_{in})$로 정리된다.

NoteBase

문 20. 열전도도가 k_1 및 k_3인 콘크리트와 석면을 각각 L_1 및 L_3 두께로 직렬로 연결하였다. 콘크리트 표면 T_1에서 석면 표면 T_3으로 $T_1 > T_3$ 콘크리트와 석면을 통해 정상상태의 열전달이 발생하고 있다. 이때, 콘크리트와 석면 사이 경계면에서의 온도는? (단, 두 소재의 면적은 A로 동일하다.)

① $T_3 + \frac{T_3 - T_1}{\left(\frac{L_1}{k_1 A}\right) - \left(\frac{L_3}{k_3 A}\right)}$
② $T_1 - \frac{T_1 - T_3}{\left(\frac{L_1}{k_1 A}\right) + \left(\frac{L_3}{k_3 A}\right)} \cdot \left(\frac{L_1}{k_1 A}\right)$
③ $T_1 + \frac{T_1 - T_3}{\left(\frac{L_1}{k_1 A}\right) + \left(\frac{L_3}{k_3 A}\right)} \cdot \left(\frac{L_3}{k_3 A}\right)$
④ $T_1 - \frac{T_1 - T_3}{\left(\frac{L_1}{k_1 A}\right) - \left(\frac{L_3}{k_3 A}\right)}$

정답 2번

출제 포인트

직렬 평판 전도에서 열저항의 합과 층별 온도강하를 이용해 경계면 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 콘크리트의 열전도도 k_1, 두께 L_1, 석면의 열전도도 k_3, 두께 L_3, 공통 면적 A, 표면온도 $T_1 > T_3$ 이다.
- 구해야 할 값: 콘크리트와 석면 사이 경계면 온도 T_i이다.
- 주의할 조건: 정상상태 직렬 전도이므로 두 층을 지나는 열유량은 같고, 열저항은 더해진다.

사용할 공식

$R_1 = \frac{L_1}{k_1 A}$, $R_3 = \frac{L_3}{k_3 A}$이다.
$q = \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_3}$, $\quad T_i = T_1 - qR_1 = T_3 + qR_3$
이 공식을 쓰는 이유:
두 재료가 직렬로 연결된 정상상태 전도에서는 전체 온도차가 전체 열저항 $R_1 + R_3$에 걸리고, 경계면 온도는 한 층에서 생긴 온도강하 qR만큼 빼거나 더해서 구할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 각 층의 열저항을 $R_1 = \frac{L_1}{k_1 A}$, $R_3 = \frac{L_3}{k_3 A}$로 둔다.
2. 전체 열유량은
$q = \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_3}$
이다.
3. 경계면 온도는 고온면 T_1에서 콘크리트 층의 온도강하 qR_1를 뺀 값이므로
$T_i = T_1 - qR_1 = T_1 - \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_3} R_1$
이다.
4. $R_1 = \frac{L_1}{k_1 A}$, $R_3 = \frac{L_3}{k_3 A}$를 대입하면
$T_i = T_1 - \frac{T_1 - T_3}{\left(\frac{L_1}{k_1 A}\right) + \left(\frac{L_3}{k_3 A}\right)} \left(\frac{L_1}{k_1 A}\right)$
이므로 2번과 같다.

선지별 해설

① X
- 분모를 $R_1 - R_3$로 둔 부분이 틀리다. 직렬 전도에서는 열저항이 차가 아니라 합 $R_1 + R_3$로 들어간다.
- 또한 $T_3 - T_1$를 사용해 열방향 부호도 뒤집혔다. 올바르게는 $T_i = T_3 + \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_3} R_3$ 또는 $T_i = T_1 - \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_3} R_1$
이다.

② O
- 전체 온도차 $T_1 - T_3$를 전체 열저항 $R_1 + R_3$로 나누어 열유량을 구한 뒤, 콘크리트 층의 온도강하 qR_1를 T_1에서 뺀 식이다.
- 따라서 경계면 온도를 정확히 나타낸다.

③ X
- $T_1 + qR_3$ 꼴이 되어 경계면 온도가 고온면 온도 T_1보다 더 커지는 비물리적 식이 된다.
- 경계면 온도는 반드시 T_3와 T_1 사이에 있어야 한다. 올바르게는 $T_i = T_3 + \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_3} R_3$ 또는 $T_i = T_1 - \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_3} R_1$
이다.

④ X
- 분모를 $R_1 - R_3$로 둔 부분이 틀리다. 직렬 전도는 열저항을 더해야 한다.
- 경계면 온도도 한 층의 온도강하를 반영해 구해야 한다. 올바르게는 $T_i = T_1 - \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_3} R_1$이다.

오답 포인트

직렬 열전달 문제에서 가장 흔한 실수는 열저항을 $R_1 - R_3$처럼 빼는 것과, 경계면 온도를 구하면서 온도강하를 더하는 것이다. 경계면 온도는 항상 T_3와 T_1 사이값이어야 하므로 이 범위를 벗어나면 식이 잘못된 것이다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 전도 문제는 먼저 $R = L/(kA)$로 각 층 열저항을 놓고, $q = \Delta T / \sum R$를 구한 뒤, 찾는 위치까지의 온도강하 qR를 고온면에서 빼거나 저온면에서 더해 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

직렬 전도는 열저항을 더하고, 경계면 온도는 T_hot-qR_앞층 또는 T_cold+qR_뒤층으로 구한다.

NoteBase