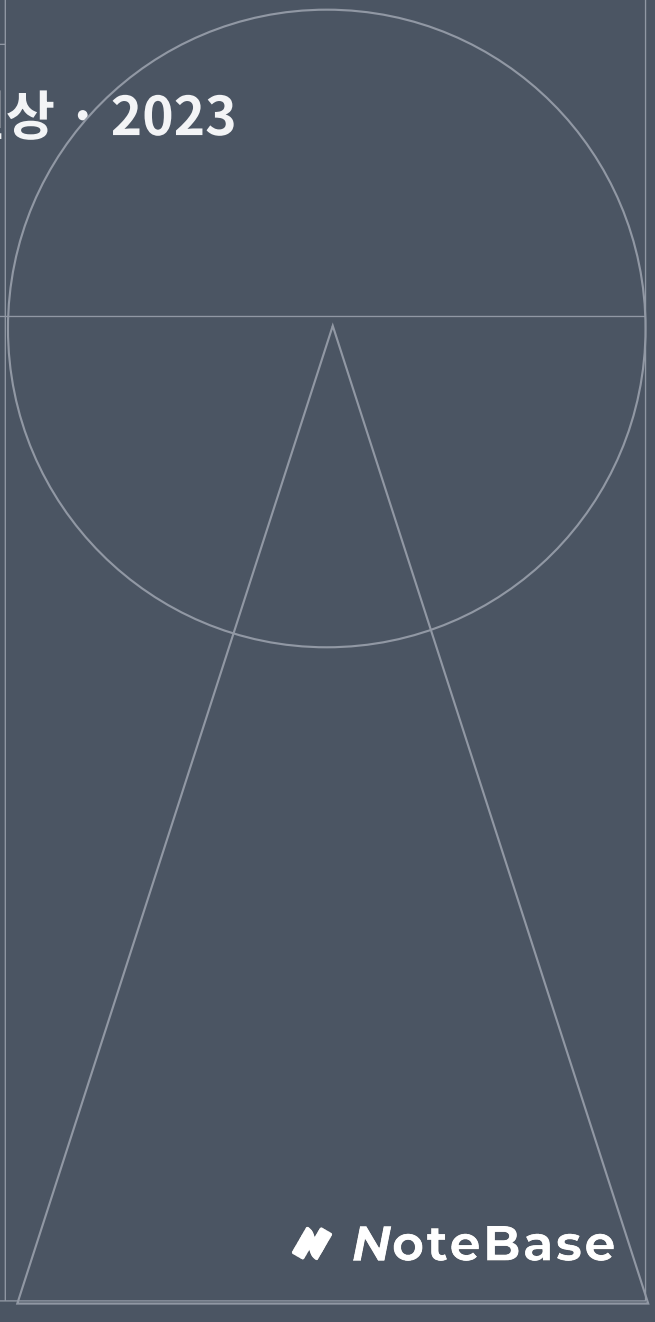
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2023



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2023

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2023

문 1. Schmidt 수와 개념적으로 가장 가까운 무차원수는?

① Nusselt 수

② Reynolds 수

③ Grashof 수

④ Prandtl 수

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 Schmidt 수와 열전달 쪽 무차원수의 개념적 대응 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Schmidt 수는 운동량 확산도와 물질 확산도의 비로, $Sc = \nu/D$이다.
Prandtl 수는 운동량 확산도와 열 확산도의 비로, $Pr = \nu/\alpha$이다.
둘 다 분자에 운동량 확산도가 오고 분모에 각각 물질 확산도 또는 열 확산도가 오는 대응 관계이다.
Nusselt 수는 대류 열전달과 전도 열전달의 상대 크기를 나타내고, Reynolds 수는 관성력과 점성력의 비를, Grashof 수는 부력과 점성력의 비를 나타낸다.

NoteBase

선지별 해설

① X
Nusselt 수는 열전달 성능을 나타내는 수로, 대류와 전도의 상대 크기를 본다.
틀린 부분은 "Nusselt 수"이다. Schmidt 수와 개념적으로 대응하는 것은 열전달 영역의 Prandtl 수이다.

② X
Reynolds 수는 Re로서 관성력과 점성력의 비를 나타내며 유동 상태 판단에 쓰인다.
틀린 부분은 "Reynolds 수"이다. Schmidt 수처럼 확산도끼리의 비를 보는 개념은 아니다. 올바르게는 Prandtl 수이다.

③ X
Grashof 수는 자연대류에서 부력과 점성력의 상대 크기를 나타낸다.
틀린 부분은 "Grashof 수"이다. Schmidt 수와의 대응 축은 부력 대 점성력이 아니라 운동량 확산도 대 다른 확산도이다. 올바르게는 Prandtl 수이다.

④ O
Prandtl 수는 운동량 확산도와 열 확산도의 비이고, Schmidt 수는 운동량 확산도와 물질 확산도의 비이다.
따라서 열확산도를 물질확산도로만 바꾼 대응 관계이므로 Schmidt 수와 개념적으로 가장 가깝다.

오답 포인트

무차원수 이름만 익히고 무엇의 비인지 연결하지 않으면 헷갈리기 쉽다. 특히 ① Nusselt 수는 열전달에서 자주 함께 나오지만 확산도 비가 아니라 열전달 계수 쪽 개념이므로 대응 관계가 다르다.

다시 나오면 이렇게 판단

문제에서 어떤 무차원수와 개념적으로 가장 가까운지를 물으면 먼저 그 수가 무엇과 무엇의 비인지 본다.
Schmidt 수는 운동량 확산도 대 물질 확산도이고, 같은 구조를 열전달로 바꾼 것이 Prandtl 수이므로 이 대응으로 판단한다.

암기 포인트

Schmidt는 운동량 대 물질확산, Prandtl은 운동량 대 열확산이다.

NoteBase

문 2. 상압, 상온의 비압축성 물이 수평관을 통해 흐르고, Hagen-Poiseuille 법칙을 따른다고 가정했을 때 가장 옳지 않은 것은?

① 물의 온도가 2배 증가하면, 체적 유량은 2배 증가한다.

② 물의 점도가 2배 커지면, 체적 유량은 반으로 감소한다.

③ 관의 지름이 2배 커지면, 체적 유량은 16배 증가한다.

④ 단위길이당 압력차가 2배 증가하면, 체적 유량은 2배 증가한다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 Hagen-Poiseuille 법칙에서 체적 유량이 점도, 관 지름, 단위길이당 압력차와 어떤 비례관계를 갖는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 조건: 상압·상온의 비압축성 물이 수평관에서 흐른다.
- 적용 법칙: Hagen-Poiseuille 법칙을 따른다.
- 판단 대상: 온도, 점도, 관 지름, 단위길이당 압력차가 변할 때 체적 유량이 어떻게 바뀌는지 비교한다.

사용할 공식

체적 유량 Q는

$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\mu L} = \frac{\pi D^4 \Delta P}{128 \mu L}$

이다.

이 식에서 $Q \propto 1/\mu$, $Q \propto D^4$, $Q \propto \Delta P/L$이다.

이 문제는 각 물리량이 2배로 변할 때 유량의 비례 변화를 묻기 때문에 이 비례관계를 그대로 적용한다.

계산 과정

1. 점도가 2배가 되면 $Q \propto 1/\mu$이므로 체적 유량은 1/2배가 된다.
2. 관 지름이 2배가 되면 $Q \propto D^4$이므로 체적 유량은 $2^4 = 16$배가 된다.
3. 단위길이당 압력차가 2배가 되면 $Q \propto \Delta P/L$이므로 체적 유량은 2배가 된다.
4. 온도는 이 식에 직접 들어가지 않는다. 온도 변화는 점도 변화를 통해 간접적으로만 영향을 주므로, 온도가 2배가 되었다는 이유만으로 체적 유량이 2배가 된다고 말할 수 없다.

NoteBase

선지 판단

① X: 틀린 표현은 "물의 온도가 2배 증가하면, 체적 유량은 2배 증가한다"이다. Hagen-Poiseuille 식에서 온도는 직접 변수로 들어가지 않는다. 올바르게는 "온도 변화는 점도 변화를 통해 체적 유량에 간접 영향을 주며, 온도가 2배가 되었다고 체적 유량이 반드시 2배가 되지는 않는다"이다.
② O: $Q \propto 1/\mu$이므로 점도가 2배가 되면 체적 유량은 반으로 감소한다.
③ O: $Q \propto D^4$이므로 관의 지름이 2배가 되면 체적 유량은 16배 증가한다.
④ O: $Q \propto \Delta P/L$이므로 단위길이당 압력차가 2배 증가하면 체적 유량도 2배 증가한다.

오답 포인트

온도와 점도를 같은 변수처럼 섞어 판단하기 쉽다는 점이 함정이다. 이 법칙에서 직접 비례관계가 주어진 것은 점도, 관 지름의 4제곱, 압력차와 관 길이이며, 온도는 식에 직접 나타나지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

Poiseuille 문제는 먼저 $Q \propto D^4$, $Q \propto \Delta P/L$, $Q \propto 1/\mu$의 세 비례관계를 잡고, 식에 직접 없는 변수는 간접 변수인지부터 구분해서 판단한다.

암기 포인트

Poiseuille 유량은 점도에 반비례하고, 지름의 4제곱과 압력구배에 비례한다.

NoteBase

문 3. 단일 물질로 구성된 이상기체 시스템에서의 자기확산계수(self-diffusion coefficient)는 기체 분자 운동론을 이용하여 이론적으로 예측할 수 있다. 자기확산계수에 영향을 주지 않는 인자는?

① 이상기체 시스템의 온도

② 이상기체 시스템의 부피

③ 이상기체 시스템의 압력

④ 이상기체 분자의 분자량

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 자기확산계수를 좌우하는 변수와 직접 영향이 없는 상태량을 구분할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

자기확산계수는 동일한 기체 분자가 무질서한 열운동으로 서로 퍼져 나가는 정도를 나타내는 물성이다.
이상기체의 자기확산계수는 분자 평균속도와 평균자유행로에 좌우되어 온도가 높을수록 커지고 압력이 높을수록 작아지며 분자량이 클수록 작아지는 경향이 있다.
부피는 독립적인 분자운동론 인자가 아니라 온도, 압력, 몰수로 정해지는 계의 크기 변수이므로 자기확산계수 자체를 직접 결정하지 않는다.

선지별 해설

① X: 온도는 분자 평균운동에너지를 키워 분자 속도와 평균자유행로 효과를 통해 자기확산계수를 변화시킨다. 틀린 표현은 '영향을 주지 않는다'라는 판단이다. 올바르게는 온도는 자기확산계수에 영향을 준다.
② O: 계의 부피는 자기확산계수의 직접 결정 인자가 아니다. 이상기체에서 자기확산계수는 주로 온도, 압력, 분자량 같은 분자운동론 변수에 의해 정해지며 같은 상태라면 용기 크기만 달라도 계수 자체는 달라지지 않는다.
③ X: 압력은 평균자유행로를 바꾸므로 자기확산계수에 영향을 준다. 틀린 표현은 '영향을 주지 않는다'라는 판단이다. 올바르게는 압력이 높아질수록 충돌이 잦아져 자기확산계수는 작아진다.
④ X: 분자량은 분자 평균속도에 영향을 주므로 자기확산계수에 영향을 준다. 틀린 표현은 '영향을 주지 않는다'라는 판단이다. 올바르게는 같은 온도에서 분자량이 클수록 평균속도가 작아져 자기확산계수도 작아지는 경향이 있다.

오답 포인트

부피와 압력을 같은 뜻처럼 취급하면 틀린다. 자기확산계수는 계가 얼마나 큰지가 아니라 분자 충돌 빈도와 분자 속도를 좌우하는 상태량에 의해 정해진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

확산계수 문제는 먼저 평균속도를 바꾸는 온도와 분자량, 평균자유행로를 바꾸는 압력을 확인하고, 단순한 계의 크기 변수인 부피는 직접 인자인지 분리해서 판단한다.

암기 포인트

확산계수는 빠르게 움직이고 덜 충돌할수록 커진다. 고온은 증가, 고압과 큰 분자량은 감소, 부피는 직접 인자가 아니다.

문 4. 두께가 1.0m인 벽에 열이 일차원 정상상태로 전달되고 있다. 이때 벽 양쪽면의 온도 차이를 2배로 하기 위한 두 가지 방법을 비교하려고 한다. 기존 벽의 두께를 단순히 변화시키는 방법 A와, 열전도도가 낮은 단열재를 기존 벽에 부착하는 방법 B가 있다. 단열재의 열전도도가 기존 벽재의 열전도도의 1/5이라면, A 경우와 B 경우의 최종 벽 두께 차이[m]로 가장 옳은 것은? (단, 단열재는 기존 벽에 완벽하게 빈틈없이 부착된다.)

① 0.2

② 0.4

③ 0.6

④ 0.8

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 일차원 정상상태 열전도에서 $\Delta T = qL/k$ 관계를 이용해 두 방법의 최종 벽 두께 차이를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 기존 벽 두께: 1.0m
- 목표: 벽 양쪽면의 온도 차이를 2배로 만든다.
- 방법 A: 기존 벽 재료만으로 두께를 늘린다.
- 방법 B: 기존 벽에 열전도도가 $k/5$인 단열재를 붙인다.
- 비교 대상: A의 최종 벽 두께와 B의 최종 벽 두께의 차이

사용할 공식

일차원 정상상태 평판 전도에서는 온도 차가 $\Delta T = qL/k$ 이다.
단열재를 붙인 복합벽은 열저항을 더해 $\Delta T = q\left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}\right)$ 로 본다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 열이 일차원 정상상태로 전달된다고 했으므로 온도 차가 전체 열저항에 비례하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 기존 벽의 온도 차는 $\Delta T_0 = q\frac{1.0}{k}$ 이다.
2. 방법 A에서 온도 차를 2배로 하려면 $q\frac{L_A}{k} = 2q\frac{1.0}{k}$ 이므로 $L_A = 2.0m$ 이다.
3. 방법 B에서 단열재 두께를 L_B라 두면
$q\left(\frac{1.0}{k} + \frac{L_B}{k/5}\right) = 2q\frac{1.0}{k}$
이다.
4. 정리하면 $1 + 5L_B = 2$ 이므로 $L_B = 0.2m$ 이다.
5. 따라서 방법 B의 최종 벽 두께는 $1.0 + 0.2 = 1.2m$ 이다.
6. 최종 벽 두께 차이는 $2.0 - 1.2 = 0.8m$ 이다.

선지별 해설

① X: 0.2m는 방법 B에서 추가로 붙인 단열재 두께이다. 문제는 A와 B의 최종 벽 두께 차이를 묻고 있으므로 올바른 값은 0.8m이다.
② X: 0.4m는 열저항 합산이나 최종 두께 비교를 끝까지 하지 않았을 때 나올 수 있는 값이다. 최종 벽 두께는 A가 2.0m, B가 1.2m이므로 올바르게는 0.8m이다.
③ X: 0.6m는 단열재의 낮은 열전도도를 충분히 반영하지 못한 값이다. $k/5$ 단열재 0.2m는 기존 벽 1.0m와 같은 열저항을 더하므로 올바르게는 최종 두께 차이가 0.8m이다.
④ O: 방법 A의 최종 두께는 2.0m이고, 방법 B의 최종 두께는 1.2m이므로 차이는 0.8m이다.

오답 포인트

단열재 두께 0.2m를 바로 답으로 고르기 쉽다. 그러나 문제는 단열재 추가 두께가 아니라 A와 B의 최종 벽 두께 차이를 묻는다. 또한 열전도도가 1/5이면 같은 열저항을 내려면 두께가 1/5만 있으면 된다는 점을 놓치면 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

복합벽 문제는 먼저 기존 벽의 열저항을 L/k로 놓고, 목표 온도 차 배수를 전체 열저항 배수로 바꿔 판단한다. 그다음 각 방법의 최종 두께를 각각 구한 뒤 마지막에 비교해야 한다.

암기 포인트

정상상태 전도에서 온도 차는 열저항에 비례하므로, k가 1/5인 재료는 같은 열저항을 내는 데 두께가 1/5만 필요하다.

NoteBase

문 5. 순수한 액체 A의 표면을 따라 용해성이 없고 화학적으로도 불활성인 기체 B가 흐르고 있다. 이때 액체 A는 액체의 자유표면에서 증발하여 기체 B로 확산한다. 단일 방향으로 확산하는 액체의 증발속도는 자유표면과 인접한 기체 경막에 의하여 영향을 받는다. 순수한 액체 A의 증발속도에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 액체의 증발속도는 기체 경막에서의 총 농도에 비례한다.

② 액체의 증발속도는 기체 경막에서의 성분 A의 농도 구배에 비례한다.

③ 액체의 증발속도는 기체 경막에서의 성분 A의 확산도에 비례한다.

④ 액체의 증발속도는 기체 경막의 두께에 비례한다.

정답 4번

출제 포인트

기체 경막이 지배하는 증발에서 증발속도가 총농도, 성분 A의 농도구배, 확산도에는 비례하고 경막 두께에는 반비례한다는 전달관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

기체 경막 지배 증발은 액체 표면에서 기체 본류까지의 얇은 경막을 통해 성분 A가 확산으로 이동하는 현상이다.
이때 증발속도는 구동력인 성분 A의 농도차 또는 농도구배와 확산도 D_{AB}, 총농도 C가 커질수록 증가하고,
확산거리인 경막 두께 δ가 커질수록 감소한다.
핵심은 증발속도가 대체로 N_A D_AB C (농도구배) / δ의 방향으로 정리된다는 점이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
기체 경막 지배식에서 총농도 C는 전달속도를 키우는 항으로 작용한다. 같은 몰분율 구배라면 총농도가 클수록 단위부피당 전달 가능한 A의 몰수 기준이 커져 증발속도도 커진다.

② O
증발의 직접 구동력은 기체 경막 내 성분 A의 농도차 또는 농도구배이다. 따라서 성분 A의 농도구배가 커질수록 A가 기체 B 쪽으로 더 빠르게 확산하므로 증발속도도 증가한다.

③ O
Fick 법칙에서 확산유속은 확산도 D_{AB}에 비례한다. 따라서 성분 A가 기체 B 속에서 더 잘 확산할수록 기체 경막을 통과하는 속도가 커져 증발속도도 증가한다.

④ X
틀린 부분은 "기체 경막의 두께에 비례"라는 표현이다. 실제로는 경막이 두꺼울수록 확산경로가 길어져 전달저항이 커지므로 증발속도는 감소한다. 올바르게는 "액체의 증발속도는 기체 경막의 두께에 반비례한다"이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 구동력 항과 저항 항을 뒤바꾸는 데 있다. ④는 경막 두께가 커지면 전달이 잘될 것처럼 보이게 만들지만, 실제로 경막 두께는 확산거리를 늘리는 저항 항이므로 속도를 줄인다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체 경막 지배 전달 문제는 먼저 무엇이 구동력인지와 무엇이 저항인지 구분하면 된다. 농도구배, 총농도, 확산도는 전달을 키우는 항이고, 경막 두께는 분모에 들어가는 저항 항이므로 반비례 관계로 판단한다.

암기 포인트

증발속도는 "구동력 × 확산성 / 경막저항"으로 정리된다. C, 농도구배, D_{AB}는 속도를 키우고, δ는 속도를 줄인다.

NoteBase

문 6. 가열된 평판 표면을 따라 흐르는 유체의 열전달에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 가열된 평판 표면을 층류 유동으로 흐르는 유체의 Prandtl 수가 1보다 큰 경우 평판 표면에 형성되는 열 경계층의 두께는 유체역학적 경계층의 두께보다 두껍다.

② 가열된 평판 표면을 층류 유동으로 흐르는 유체의 Nusselt 수는 Prandtl 수와 Reynolds 수의 함수로 나타낼 수 있다.

③ 가열된 평판 표면을 흐르는 유체의 열전도에 대한 대류 열전달의 상대적 크기는 Nusselt 수로 표현된다.

④ 가열된 평판 표면을 난류 유동으로 흐르는 유체의 Nusselt 수는 Prandtl 수, Reynolds 수, Stanton 수의 함수로 나타낼 수 있다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 평판 외부유동에서 Prandtl 수, Reynolds 수, Nusselt 수, Stanton 수의 의미와 경계층 두께 관계를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

Prandtl 수는 운동량 확산과 열확산의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다.
Prandtl 수가 1보다 크면 열확산보다 운동량 확산이 상대적으로 커서 열 경계층이 속도 경계층보다 더 얇게 형성된다.
Nusselt 수는 대류 열전달이 순수 전도에 비해 얼마나 큰지를 나타내는 무차원수이다.
Stanton 수는 대류 열전달 세기를 유동의 열용량 유속과 연결해 나타내며, $Nu = St \cdot Re \cdot Pr$ 관계로 묶인다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- 틀린 부분은 "Prandtl 수가 1보다 큰 경우 ... 열 경계층의 두께는 유체역학적 경계층의 두께보다 두껍다"는 표현이다.
- $Pr > 1$이면 열확산이 상대적으로 느려 열 경계층은 속도 경계층보다 얇다. 올바르게는 "열 경계층의 두께는 유체역학적 경계층의 두께보다 얇다"이다.

② O

- 층류 평판 외부유동의 Nusselt 수는 대표적으로 Reynolds 수와 Prandtl 수의 함수 형태로 정리된다.
- 예를 들어 국소 Nusselt 수는 $Nu_x \propto Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$ 형태로 나타난다.

③ O

- Nusselt 수는 대류가 전도보다 얼마나 열전달을 강화하는지를 나타내는 무차원수이므로, 대류 열전달의 상대적 크기를 표현한다는 설명이 맞다.

④ O

- Stanton 수, Reynolds 수, Prandtl 수 사이에는 $Nu = St \cdot Re \cdot Pr$ 관계가 있으므로, 난류 평판 유동의 Nusselt 수도 이들 무차원수의 함수로 나타낼 수 있다.

오답 포인트

Prandtl 수가 크면 열전달도 커진다고만 외우면 ①처럼 경계층 두께 방향을 거꾸로 판단하기 쉽다. 이 문항의 함정은 "Pr가 크다"와 "열 경계층이 두껍다"를 잘못 연결하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

평판 열전달 문항에서는 먼저 $Pr = \nu/\alpha$의 의미를 떠올린다. $Pr > 1$이면 열확산이 느려 열 경계층이 더 얇고, Nusselt 수는 대류 대 전도의 비, Stanton 수는 Nu, Re, Pr를 연결하는 무차원수라는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

$Pr > 1$이면 열경계층은 얇고, Nu는 대류 대 전도, $Nu = St \cdot Re \cdot Pr$이다.

NoteBase

문 7. Stokes-Einstein 식을 따르는 구형의 콜로이드 입자 하나가 어떤 액체 속에 있다. 절대온도가 2배 증가할 때 입자의 표면적이 4배 증가하고, 액체의 점도는 반으로 감소한다. 절대온도가 2배 증가한 후의 입자의 확산도는 온도가 증가하기 전의 확산도의 몇 배인가?

① 1/2

② 1

③ 2

④ 4

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Stokes-Einstein 식에서 확산도 D가 온도 T에 비례하고 점도 μ, 입자 반지름 r에 반비례한다는 관계를 이용해 변화 배수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 절대온도는 2배, 입자 표면적은 4배, 액체 점도는 1/2배가 된다.
구해야 할 값: 변화 후 확산도와 변화 전 확산도의 비 D'/D이다.
주의할 조건: 구의 표면적은 $A = 4\pi r^2$이므로 표면적 4배는 반지름 2배를 뜻한다.

사용할 공식

Stokes-Einstein 식은 $D = \frac{kT}{6\pi\mu r}$ 이다.
이 문제에서는 k와 6π가 상수이므로 $D \propto \frac{T}{\mu r}$로 두고 변화 배수만 비교하면 된다.

계산 과정

1. 표면적이 4배이면 $A' = 4A$이므로 $4\pi r'^2 = 4 \cdot 4\pi r^2$에서 $r' = 2r$이다.
2. 점도는 반으로 감소하므로 $\mu' = \mu/2$, 절대온도는 2배이므로 $T' = 2T$이다.
3. 따라서 $\frac{D'}{D} = \frac{T'/(\mu' r')}{T/(\mu r)} = \frac{2T}{(\mu/2)(2r)} \cdot \frac{\mu r}{T} = 2$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과는 1/2배가 아니라 2배이다. 틀린 표현은 `1/2배`이며, 올바르게는 `2배`이다. 1/2는 표면적 4배를 반지름 4배처럼 잘못 처리하면 나올 수 있는 오답이다.
② X: 계산 결과는 1배가 아니라 2배이다. 틀린 표현은 `1`이며, 올바르게는 `2`이다. 이 값은 온도 2배 증가와 반지름 2배 증가만 상쇄시키고 점도 1/2 감소 효과를 빠뜨리면 나온다.
③ O: $D \propto T/(\mu r)$이고 변화 비가 $2/((1/2)\cdot 2) = 2$이므로 맞는 선택지이다.
④ X: 계산 결과는 4배가 아니라 2배이다. 틀린 표현은 `4`이며, 올바르게는 `2`이다. 이 값은 온도 증가와 점도 감소만 반영하고 반지름 2배 증가를 빠뜨리면 나온다.

오답 포인트

핵심 함정은 `표면적 4배`를 바로 반지름 4배로 오해하거나, ②처럼 점도 변화 효과를 빠뜨리거나, ④처럼 반지름 증가 효과를 빼먹는 데 있다. 이 문항은 비례식에 넣기 전에 표면적을 반지름으로 바꾸는 단계가 먼저이다.

다시 나오면 이렇게 판단

Stokes-Einstein형 변화 문제는 먼저 $D \propto T/(\mu r)$ 형태로 정리하고, 구의 표면적 변화는 r^2 관계를 이용해 반지름 변화로 환산한 뒤 각 변화 배수를 곱셈으로 계산하면 된다.

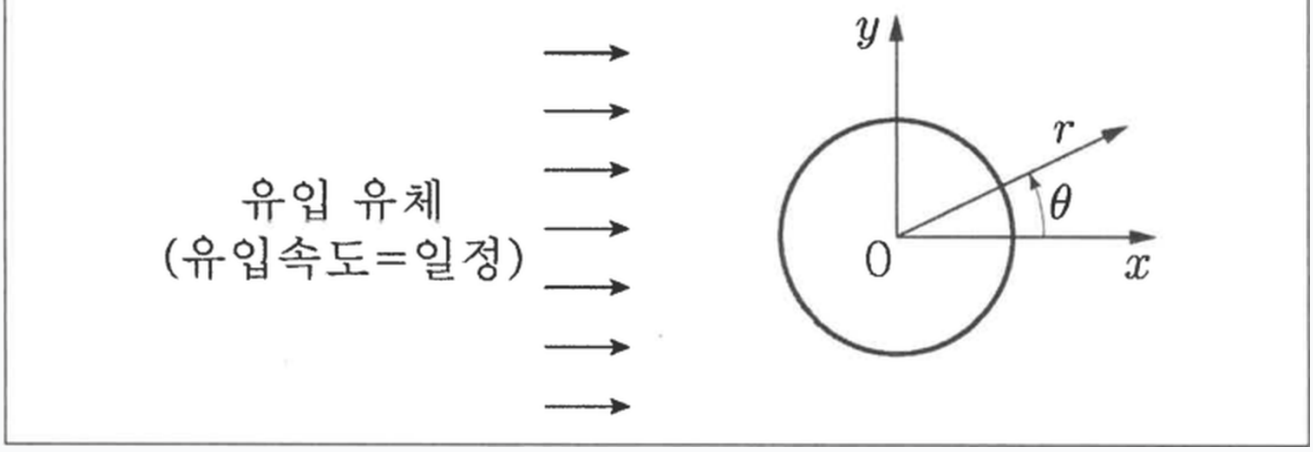
암기 포인트

구형 입자에서 표면적 4배는 반지름 2배이고, Stokes-Einstein 식에서 확산도는 T에 비례하고 μ, r에 반비례한다.

NoteBase

문 8. <보기>와 같이 무한히 긴 원기둥의 외부를 중력의 영향 없이 정상상태로 흐르는 비압축성, 비점성인 유체의 흐름은 유선 함수(stream function)와 퍼텐셜 함수(potential function)를 이용하여 2차원 퍼텐셜 흐름(potential flow)으로 표현할 수 있다. 원기둥 주위의 2차원 퍼텐셜 흐름에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

〈보기〉



① 원기둥 주위를 흐르는 유체 흐름은 회전성을 가지고 있다.

② 원기둥 표면에서 유체의 r방향 성분 속도의 크기는 0이다.

③ 원기둥 표면에서 유체 압력은 θ방향의 위치에 따라 변한다.

④ 원기둥 표면에서 유체 압력과 유체의 운동에너지 합은 일정하다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 원기둥 주위 2차원 퍼텐셜 흐름에서 무회전성, 표면 경계조건, 표면 속도 분포와 Bernoulli 관계를 함께 판단하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
퍼텐셜 흐름은 기본적으로 무회전성 유동이다. 원기둥 주위로 유선이 휘어 보여도 와도나 회전성이 생긴다는 뜻은 아니다. 틀린 표현은 '회전성을 가지고 있다'이고, 올바르게는 '무회전성이다'이다.

② O
원기둥 표면은 고체 경계이므로 유체가 벽을 뚫고 들어갈 수 없다. 따라서 표면 $r = a$에서 반지름 방향 속도 성분은 $v_r = 0$이다.

③ O
원기둥 표면에서는 접선방향 속도가 $v_\theta = -2U\sin\theta$처럼 θ에 따라 달라진다. 속도가 위치에 따라 달라지므로 Bernoulli 관계에 따라 표면 압력도 θ에 따라 변한다.

④ O
비점성·비압축성·중력 무시 조건의 정상 퍼텐셜 흐름에서는 Bernoulli 상수가 유동장 전체에서 일정하다. 따라서 원기둥 표면에서도 압력과 단위부피당 운동에너지 $p + \frac{1}{2}\rho v^2$의 합은 일정하다.

오답 포인트

유선이 원기둥을 감아 돌아가는 모양만 보고 회전성 유동으로 오해하기 쉽다. 이 문항은 '유선이 굽는다'와 '와도 또는 회전성이 존재한다'를 일부러 혼동하게 만든다.

다시 나오면 이렇게 판단

퍼텐셜 흐름이라는 말이 나오면 먼저 무회전성 여부를 확인하고, 다음으로 고체 표면에서는 법선속도가 0인지 본다. 그다음 표면 속도가 위치에 따라 달라지면 압력도 위치에 따라 달라진다고 연결하면 된다.

암기 포인트

원기둥 퍼텐셜 흐름은 무회전성, 표면에서는 $v_r = 0$, 속도분포가 바뀌면 압력분포도 바뀐다.

NoteBase

문 9. <보기>는 유체의 이송에 중요한 Fanning 마찰계수 f에 대한 설명이다. 표면이 충분히 거친 원통관에서의 마찰계수에 대한 일반적인 설명으로 옳은 것을 모두 고른 것은? (단, Re는 Reynolds 수이고, Re_n은 유사 가소성 유체의 수정 Reynolds 수이다.)

<보기>

ㄱ. 뉴턴 유체의 층류 조건에서 $f = 16/Re$이다.

ㄴ. 뉴턴 유체의 Re가 10^6 이상이면 f는 Re와 무관하다.

ㄷ. 유사 가소성 유체의 층류 조건에서 $f = 16/Re_n$이다.

① ㄱ

② ㄱ, ㄴ

③ ㄴ, ㄷ

④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 Fanning 마찰계수에서 층류와 난류의 구분, 뉴턴 유체와 유사 가소성 유체의 Reynolds 수 정의 차이를 함께 묻는 문제이다.

핵심 개념

뉴턴 유체의 원관 층류에서는 Fanning 마찰계수가 $f = 16/Re$로 정리된다.
표면이 충분히 거친 관의 난류 고 Reynolds 수 영역에서는 완전조도 영역에 가까워져 f가 Re와 거의 무관해진다.
유사 가소성 유체의 층류에서는 수정 Reynolds 수 Re_n을 사용하면 같은 형식으로 $f = 16/Re_n$으로 나타낸다.

NoteBase

선지별 해설

① X: ①은 ㄱ만 옳다고 본 조합이어서 틀리다. ㄱ은 뉴턴 유체의 층류 원관 유동에서 Fanning 마찰계수가 $f = 16/Re$라는 관계이므로 옳다. 그러나 충분히 거친 관의 고 Re 난류에서는 f가 Re와 거의 무관하므로 ㄴ도 옳고, 유사 가소성 유체의 층류에서도 $f = 16/Re_n$ 관계가 성립하므로 ㄷ도 옳다. 틀린 조합 표현은 'ㄱ만 해당'이고, 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄷ 모두 옳다'이다.
② X: ②는 ㄱ, ㄴ만 옳다고 본 조합이어서 틀리다. ㄱ은 층류 뉴턴 유체의 기본식이므로 옳고, ㄴ도 충분히 거친 관의 완전조도 난류 영역 설명이므로 옳다. 다만 ㄷ 역시 유사 가소성 유체 층류에서 수정 Reynolds 수를 쓰면 $f = 16/Re_n$이므로 옳다. 틀린 조합 표현은 'ㄷ 제외'이고, 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄷ 모두 옳다'이다.
③ X: ③은 ㄴ, ㄷ만 옳다고 본 조합이어서 틀리다. ㄴ은 충분히 거친 원통관의 매우 큰 Re 영역에서 마찰계수가 상대조도에 의해 주로 결정되어 Re 의존성이 약해지므로 옳다. ㄷ도 유사 가소성 유체 층류의 일반식 설명으로 옳다. 그러나 ㄱ 역시 뉴턴 유체 층류의 Fanning 마찰계수 식 $f = 16/Re$이므로 옳다. 틀린 조합 표현은 'ㄱ 제외'이고, 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄷ 모두 옳다'이다.
④ O: ㄱ, ㄴ, ㄷ을 모두 고른 조합이므로 옳다. ㄱ은 뉴턴 유체 층류식, ㄴ은 충분히 거친 관의 고 Re 난류 특성, ㄷ은 유사 가소성 유체 층류의 수정 Reynolds 수 표현을 각각 정확히 설명한다.

오답 포인트

Darcy 마찰계수와 Fanning 마찰계수를 혼동하면 층류식이 $64/Re$인지 $16/Re$인지에서 바로 틀린다. 또 '표면이 충분히 거친 관'이라는 문구 때문에 모든 경우에 거칠기 영향만 생각하면 안 되고, 먼저 층류인지 고 Reynolds 수 난류인지를 나누어 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

마찰계수 문제는 먼저 유체 종류와 유동 영역을 나눈다. 그다음 뉴턴 유체 층류이면 $f = 16/Re$, 유사 가소성 유체 층류이면 $f = 16/Re_n$, 충분히 거친 관의 매우 큰 Reynolds 수 난류이면 f가 Re와 거의 무관하다는 순서로 대입하면 조합선지를 빠르게 정리할 수 있다.

암기 포인트

Fanning 층류식은 뉴턴 유체 $16/Re$, 유사 가소성 유체 $16/Re_n$, 완전조도 난류는 Re보다 거칠기 영향이 우세하다는 구조로 기억한다.

NoteBase

문 10. 30°C**, 1기압(**760mmHg**)하에 있는 공기 중의 수증기 분압이** 30mmHg**이다. 절대습도에 가장 가까운 값 [kg(H_2O)/kg(건공기)]은? (단, 공기의 평균분자량은 30, 포화증기압은** 32mmHg**로 간주한다.)**

① 0.025

② 0.03

③ 0.035

④ 0.04

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 수증기 분압과 건공기 분압을 이용해 습도비 w를 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: 전체압 760 mmHg, 수증기 분압 30 mmHg, 공기 평균분자량 30, 물 분자량 18
구해야 할 값: kg(H_2O)/kg(건공기)
주의할 조건: 분모는 전체압이 아니라 건공기 분압 $760 - 30 = 730$ mmHg이며, 포화증기압 32 mmHg는 이 계산에 직접 쓰이지 않는다.

사용할 공식

습도비는 $w = \frac{M_w}{M_a}\frac{p_w}{P - p_w}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제의 단위가 건공기 1 kg당 수증기 질량이므로, 수증기 몰수비에 분자량비를 곱한 습도비 공식을 적용한다.

계산 과정

1. 건공기 분압은 $P - p_w = 760 - 30 = 730$ mmHg이다.
2. 물의 분자량은 18, 공기의 평균분자량은 30이므로 분자량비는 $\frac{18}{30} = 0.6$이다.
3. 따라서
$w = \frac{18}{30} \cdot \frac{30}{730} = 0.6 \cdot 0.0411 \approx 0.0247$
4. 계산값에 가장 가까운 선택지는 0.025이다.

NoteBase

선지 판단

① O: 계산값이 약 0.0247이므로 0.025가 가장 가깝다.
② X: 0.03은 계산값보다 크다. 틀린 표현은 숫자 0.03이며, 올바르게는 약 0.025이다.
③ X: 0.035는 계산값보다 더 크다. 틀린 표현은 숫자 0.035이며, 올바르게는 약 0.025이다.
④ X: 0.04는 분압비 $\frac{30}{730}$만 보고 분자량비 $\frac{18}{30}$를 빠뜨렸을 때 나올 수 있는 값에 가깝다. 틀린 표현은 숫자 0.04이며, 올바르게는 약 0.025이다.

오답 포인트

포화증기압 32 mmHg를 보고 상대습도 계산으로 넘어가면 틀리기 쉽다. 이 문항은 포화 여부가 아니라 건공기 기준 습도비를 묻기 때문에 $p_w = 30$, $P - p_w = 730$, 분자량비 18/30만 정확히 넣으면 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

단위가 kg(H_2O)/kg(건공기)이면 먼저 습도비 문제로 본다. 그다음 전체압에서 수증기 분압을 빼 건공기 분압을 만들고, $\frac{M_w}{M_a}\frac{p_w}{P-p_w}$를 적용해 값을 계산한다.

암기 포인트

습도비는 분자량비 × 수증기 분압 ÷ 건공기 분압이다.

NoteBase

문 11. <보기>의 Navier-Stokes 식을 이용하여 유체 유동장의 속도와 압력 분포를 구하고자 한다. Navier-Stokes 식을 사용하기 위하여 필요한 유체의 조건으로 가장 옳지 않은 것은? (단, 유체의 밀도는 ρ, 속도벡터는 $\vec{v}$, 압력은 P, 점도는 μ, 중력가속도 벡터는 $\vec{g}$, $\frac{D}{Dt}$는 실도함수(substantial derivative)이다.)

<보기>

$$\rho\frac{D\vec{v}}{Dt} = \rho\vec{g} - \nabla P + \mu\nabla^2\vec{v}$$

① 유체는 반드시 연속체(continuum)이어야 한다.

② 유체는 반드시 액체이어야 한다.

③ 유체의 흐름은 뉴턴 유체이어야 한다.

④ 유체의 점도는 반드시 일정해야 한다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 제시된 Navier-Stokes 식이 성립하기 위한 연속체 가정, 뉴턴 유체 가정, 점도 상수 가정을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

연속체는 밀도·속도·압력 같은 물성값이 공간의 각 점에서 연속적으로 정의될 수 있는 유체 모델이다.
뉴턴 유체는 전단응력이 속도구배에 비례하는 유체이며, 그래서 점성항이 $\mu\nabla^2\vec{v}$ 형태로 단순화된다.
액체와 기체는 유체의 종류 구분일 뿐이며, Navier-Stokes 식은 액체에만 한정되지 않고 기체에도 적용될 수 있다.
제시식처럼 점성항 앞에 μ가 상수처럼 분리되어 있으면 점도가 일정하다는 가정이 포함된다.

NoteBase

선지별 해설

① O
연속체 가정이 있어야 밀도 ρ, 속도 $\vec{v}$, 압력 P를 미분 가능한 장으로 정의하고 미분방정식 형태의 Navier-Stokes 식을 적용할 수 있다.

② X
틀린 부분은 "반드시 액체"이다.
Navier-Stokes 식은 액체 전용식이 아니며, 공기 같은 기체에도 적용할 수 있다. 올바르게는 "유체는 연속체로 취급 가능하고, 해당 구성방정식을 따르는 유체여야 한다"이다.

③ O
제시된 식의 점성항은 뉴턴 유체를 가정한 형태이다. 뉴턴 유체는 응력과 변형률속도가 비례하므로 이런 선형 점성항으로 쓸 수 있다.

④ O
제시된 식은 μ를 상수처럼 밖으로 뺀 단순형이므로 점도가 일정해야 그대로 사용할 수 있다. 점도가 위치나 온도에 따라 달라지면 추가 항을 포함한 더 일반적인 형태로 써야 한다.

오답 포인트

②의 "유체"를 "액체"로 좁혀 읽으면 틀리기 쉽다. Navier-Stokes는 액체역학 식이 아니라 유체역학의 기본 방정식이며, ④도 일반적인 Navier-Stokes와 제시된 단순형 식을 구분하지 못하면 함께 흔들리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

Navier-Stokes 관련 선지는 먼저 액체 전용인지 여부를 걸러 내고, 그다음 연속체 가정과 뉴턴 유체 가정, 마지막으로 식이 $\mu\nabla^2\vec{v}$처럼 단순화되어 있으면 점도 상수 가정이 들어갔는지를 확인하면 된다.

암기 포인트

Navier-Stokes는 액체만의 식이 아니며, 제시된 단순형은 연속체·뉴턴 유체·점도 일정 가정을 전제로 한다.

NoteBase

문 12. 두 물질 A와 B가 평형을 이루는 이상 혼합물의 경우에 상대휘발도 $\alpha_{AB} = 2$이고 액체상에서 A의 몰분율이 0.25라면, 평형을 이루는 기체상에서 A의 몰분율로 가장 옳은 것은?

① 0.3

② 0.4

③ 0.5

④ 0.6

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 상대휘발도 정의식 $\alpha_{AB} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$를 이용해 평형 기체상 조성 y_A를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 액체상에서 $x_A = 0.25$, $x_B = 0.75$, 상대휘발도 $\alpha_{AB} = 2$이다.
구해야 할 값: 평형 기체상에서 A의 몰분율 y_A이다.
주의할 조건: 상대휘발도는 y_A/x_A 자체가 아니라 $\frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$의 비로 정의된다.

사용할 공식

$\alpha_{AB} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{y_A/(1-y_A)}{x_A/(1-x_A)}$
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 평형을 이루는 이상 혼합물의 상대휘발도와 액체상 조성을 함께 주었으므로, 액상 조성과 기상 조성을 직접 연결하는 상대휘발도 정의식을 적용해야 한다.

계산 과정

1. 액체상에서 $x_B = 1 - 0.25 = 0.75$이다.
2. 상대휘발도 정의식에 대입하면
$2 = \frac{y_A/0.25}{y_B/0.75} = \frac{y_A}{y_B} \cdot \frac{0.75}{0.25} = 3\frac{y_A}{y_B}$
따라서 $\frac{y_A}{y_B} = \frac{2}{3}$이다.
3. $y_B = 1 - y_A$이므로
$\frac{y_A}{1-y_A} = \frac{2}{3}$
$3y_A = 2 - 2y_A$
$5y_A = 2$
$y_A = 0.4$
따라서 평형 기체상에서 A의 몰분율은 0.4이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
계산 결과 $y_A = 0.4$이므로 0.3은 맞지 않는다. '기체상에서 A의 몰분율이 0.3이다'가 틀린 표현이며, 올바르게는 0.4이다.

② O
상대휘발도 정의식을 정확히 적용하면 $y_A = 0.4$가 된다. 따라서 0.4가 정답이다.

③ X
0.5는 상대휘발도를 $y_A/x_A = 2$처럼 한 성분의 비로 잘못 단순화하면 나올 수 있는 값이다. '기체상에서 A의 몰분율이 0.5이다'가 틀린 표현이며, 올바르게는 0.4이다.

④ X
계산 결과와 다르므로 0.6은 틀리다. A가 기상에서 지나치게 크게 농축된 것으로 본 값이며, 올바르게는 0.4이다.

오답 포인트

상대휘발도를 y_A/x_A처럼 한 성분만의 비로 오해하면 0.5 같은 오답에 끌리기 쉽다. 또한 $x_B = 1 - x_A$, $y_B = 1 - y_A$의 보완 관계를 빠뜨리면 기상 조성을 과대평가하거나 과소평가하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

상대휘발도 문제가 나오면 먼저 두 성분이 모두 들어간 정의식 $\alpha_{AB} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$를 쓴 뒤, $x_B = 1 - x_A$, $y_B = 1 - y_A$를 대입해 한 변수 식으로 정리하면 된다.

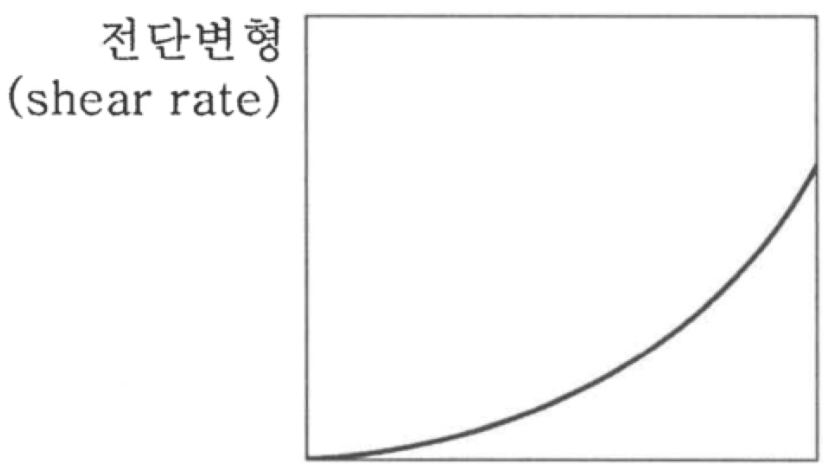
암기 포인트

상대휘발도는 한 성분의 비가 아니라 $\frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$의 비이며, 이항계에서는 보완 관계 $x_B = 1 - x_A$, $y_B = 1 - y_A$를 함께 써야 한다.

NoteBase

문 13. 비압축성 유체의 전단응력과 전단변형의 관계를 <보기>에 도시하였다. <보기>에 나타난 비압축성 유체의 유변학적 특성에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

〈보기〉



① 유체의 점도는 일정하다.

② 유체는 전단응력이 증가할수록 점도가 증가하는 특성을 가지고 있다.

③ 유체는 유사 가소성(pseudo-plastic) 유체의 특성을 가지고 있다.

④ 유체는 옥수수전분 수용액과 같은 유변학적 특성을 가지고 있다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 전단응력-전단변형 그래프의 곡선 형태를 보고 유체의 겉보기 점도 변화와 유사 가소성 거동을 판단하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 점도가 일정한 유체라면 뉴턴유체이므로 전단응력과 전단변형이 비례하는 직선 관계가 나타나야 한다. 이 그래프는 직선이 아니라 위로 볼록한 곡선이므로 틀리다. 틀린 표현은 "점도는 일정하다"이고, 올바르게는 "점도는 전단응력에 따라 변한다"이다.
② X: 그래프는 전단응력이 증가할수록 전단변형이 더 빠르게 증가하는 형태이므로 점도가 증가하는 것이 아니라 감소한다. 틀린 표현은 "점도가 증가한다"이고, 올바르게는 "겉보기 점도가 감소한다"이다.
③ O: 전단응력이 커질수록 전단변형 증가율이 더 커지므로 전단박화 유체로 해석된다. 이는 유사 가소성(pseudo-plastic) 유체의 전형적 특성이다.
④ X: 옥수수전분 수용액은 전단이 커질수록 점도가 증가하는 팽창성(dilatant) 유체의 대표 예이다. 제시된 그래프는 그 반대인 전단박화 거동이다. 틀린 표현은 "옥수수전분 수용액과 같은"이고, 올바르게는 "페인트, 고분자 용액처럼 유사 가소성 거동을 보이는 유체와 같은"이다.

오답 포인트

축의 순서를 바꾸어 읽으면 판단을 거꾸로 하기 쉽다. 이 문항은 세로축이 전단변형, 가로축이 전단응력이므로 곡선 기울기가 커질수록 같은 응력 증가에 대해 변형률이 더 크게 늘어나고, 결국 겉보기 점도는 감소한다고 읽어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

전단응력-전단변형 그래프에서는 먼저 직선인지 곡선인지 본다. 그다음 전단응력이 커질수록 전단변형이 더 빨리 늘어나면 전단박화, 더 천천히 늘어나면 전단농화로 판단한다.

암기 포인트

위로 볼록해 전단변형 증가가 빨라지면 유사 가소성, 아래로 눕는 형태면 팽창성으로 연결된다.

NoteBase

문 14. 복잡한 모양의 정상상태 열전도를 간단히 계산하기 위하여, 미리 구해진 형상인자 S를 이용하기도 한다. 매우 긴 실린더가 다양한 단면을 지닌 경우에 $q/L = kS\Delta T$ 형태의 식을 이용할 수 있는데, 이때 형상인자 S의 단위로 가장 옳은 것은? (단, q는 열전달속도, L은 실린더의 길이, k는 열전도도, ΔT는 온도차이다.)

① m^{-1}

② 무차원

③ m

④ m^2

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 식 $q/L = kS\Delta T$의 양변 차원을 맞춰 형상인자 S의 단위를 판정하는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $q/L = kS\Delta T$이다.
q는 열전달속도이므로 단위가 W이다.
L은 길이이므로 단위가 m이다.
k는 열전도도이므로 단위가 $W/(m \cdot K)$이다.
ΔT는 온도차이므로 단위가 K이다.
구해야 할 값은 형상인자 S의 단위이다.

사용할 공식

$\frac{q}{L} = kS\Delta T$
이 식을 쓰는 이유는 문제에서 형상인자 S가 직접 포함된 관계식을 이미 주었기 때문이다.
따라서 양변의 단위를 맞추면 S의 차원을 바로 판정할 수 있다.

계산 과정

좌변의 단위는 $q/L = W/m$이다.
우변에서 $k\Delta T$의 단위는 $W/(m \cdot K) \times K = W/m$이다.
따라서 우변이 좌변과 같아지려면 S는 추가 차원을 만들지 않아야 하므로 무차원이어야 한다.

NoteBase

선지별 해설

① X
S가 m^{-1}이면 우변 단위는 $W/m \times m^{-1} = W/m^2$가 되어 좌변 W/m과 맞지 않는다. 틀린 표현은 m^{-1}이며, 올바르게는 무차원이다.

② O
$k\Delta T$만으로 이미 W/m가 되므로 S는 단위를 바꾸지 않는 무차원이어야 한다.

③ X
S가 m이면 우변 단위는 $W/m \times m = W$가 되어 좌변과 맞지 않는다. 틀린 표현은 m이며, 올바르게는 무차원이다.

④ X
S가 m^2이면 우변 단위는 $W/m \times m^2 = W \cdot m$가 되어 좌변과 맞지 않는다. 틀린 표현은 m^2이며, 올바르게는 무차원이다.

오답 포인트

형상인자라는 이름 때문에 면적과 비슷한 물리량으로 오해하여 m이나 m^2를 고르기 쉽다. 그러나 이 문항은 형상인자의 정의를 외우는 문제가 아니라, 주어진 식에서 양변의 차원을 맞추는 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

단위를 묻는 식이 나오면 먼저 좌변 단위를 정리하고, 우변의 알려진 물리량 단위를 곱해 본 뒤, 남는 차원을 미지수의 단위로 판단한다. 이미 양변 단위가 맞아 있으면 그 미지수는 무차원이다.

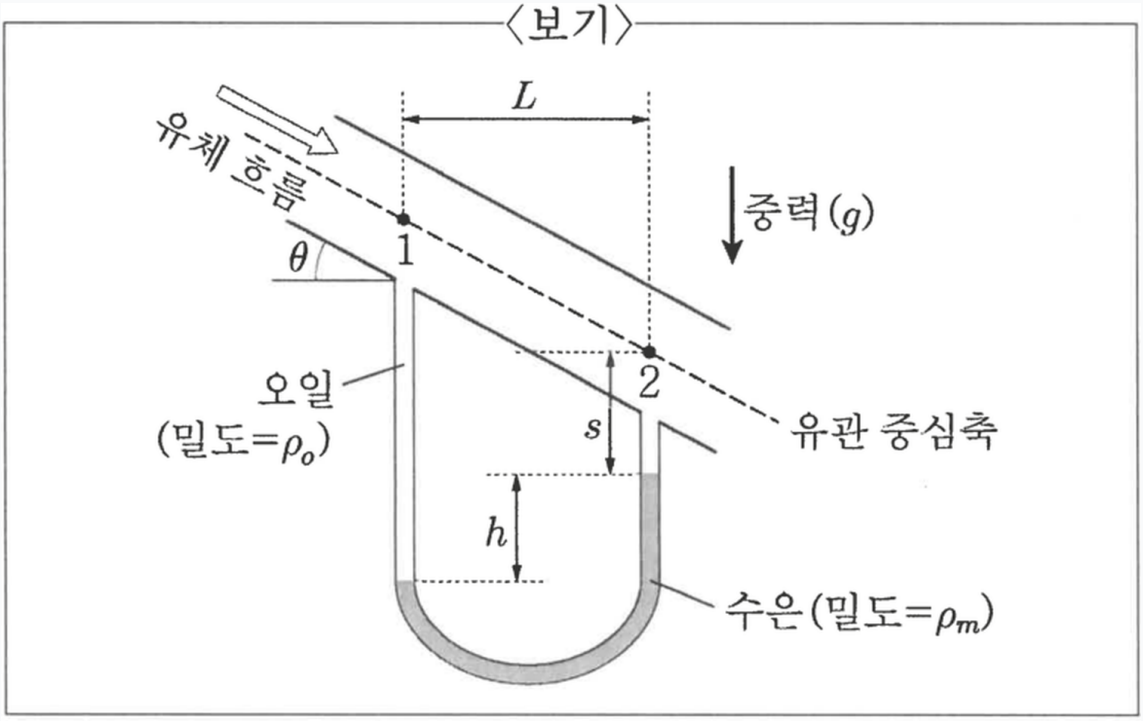
암기 포인트

$k\Delta T$가 이미 W/m이면 S는 무차원이다.

NoteBase

문 15. <보기>와 같이 θ 각도로 기울어진 원통 유관에 점성 유체인 오일이 완전발달 흐름으로 중력에 의하여 정상 상태로 흐르고 있다. 이때 유관에 설치된 수은 마노미터(manometer)를 이용하여 유관 내의 지점 1과 2의 압력차($P_1 - P_2$)를 측정하였다. 유체의 압력차에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은? (단, 오일의 밀도는 ρ_o, 수은의 밀도는 ρ_m, 중력가속도는 g로 일정하다.)

<보기>



① 수은의 높이 h는 유관 내의 지점 1과 지점 2의 압력 차이에 의하여 발생한다.

② 유관의 수직단면 중 중심축에서의 오일의 속도가 최대이다.

③ 유관 내의 지점 1과 지점 2 사이의 압력차($P_1 - P_2$)는 $hg(\rho_m - \rho_o) + \rho_o gL\tan\theta$이다.

④ 유관 내의 지점 1과 지점 2 사이의 압력차($P_1 - P_2$)는 베르누이식으로 계산할 수 없다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 기울어진 관에 연결된 차압 마노미터의 정수압 관계를 이용해 $P_1 - P_2$ 식의 부호를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 오일 밀도 ρ_o, 수은 밀도 ρ_m, 수은주 높이차 h, 두 지점의 수평거리 L, 관의 경사각 θ이다.
구해야 할 값: 지점 1과 지점 2 사이의 압력차 $P_1 - P_2$의 식과 각 선지의 옳고 그름이다.
주의할 조건: 지점 1이 지점 2보다 $L\tan\theta$만큼 높고, 유동은 점성유체의 완전발달 흐름이므로 점성손실이 존재한다.

NoteBase

사용할 공식

$P_1 - P_2 = (\rho_m - \rho_o)gh - \rho_o g L\tan\theta$
이 식은 같은 유체인 오일로 연결된 두 탭 사이에 수은이 들어 있는 차압 마노미터의 정수압 평형식이다. 관이 기울어져 있으므로 수은주 차 h만 보는 것이 아니라 두 탭의 고저차 $L\tan\theta$까지 함께 보정해야 한다.

계산 과정

1. 왼쪽 수은면 압력을 P_A, 오른쪽 수은면 압력을 P_B로 두면 $P_A = P_1 + \rho_o g(z_1 - z_A)$, $P_B = P_2 + \rho_o g(z_2 - z_B)$이다.
2. 같은 수은기둥에서 왼쪽 면이 오른쪽 면보다 h만큼 낮으므로 $P_A = P_B + \rho_m gh$이다.
3. 그림에서 $z_1 - z_2 = L\tan\theta$이고 $(z_1 - z_A) - (z_2 - z_B) = L\tan\theta + h$이므로
$P_1 - P_2 = \rho_m gh - \rho_o g(L\tan\theta + h) = (\rho_m - \rho_o)gh - \rho_o g L\tan\theta$
이다.

선지별 해설

① O
- 수은주 높이차 h는 두 탭의 압력 상태가 다르기 때문에 생긴다. 실제 계산에서는 탭의 고저차와 오일 기둥 보정이 함께 들어가지만, 높이차 자체를 만든 직접 원인은 지점 1과 지점 2의 압력차이다.

② O
- 원통 유관의 완전발달 점성유동에서는 벽면의 무미끄럼 조건 때문에 속도가 벽에서 0이고 중심축으로 갈수록 커진다. 따라서 중심축에서 속도가 최대이다.

③ X
- 올바른 식은 $P_1 - P_2 = (\rho_m - \rho_o)gh - \rho_o g L\tan\theta$이다. 선지의 $+\rho_o g L\tan\theta$가 틀렸고, 기울어진 관의 고저차 보정은 더하는 것이 아니라 빼야 한다.
- 틀린 표현은 "$+\rho_o g L\tan\theta$"이고, 올바르게는 "$-\rho_o g L\tan\theta$"이다.

④ O
- 이 유동은 점성유체의 완전발달 흐름이므로 마찰에 의한 에너지 손실이 존재한다. 따라서 손실항이 없는 단순 베르누이식만으로 $P_1 - P_2$를 직접 계산할 수 없다는 설명은 옳다.

오답 포인트

수은 마노미터 문제에서 가장 흔한 실수는 $(\rho_m - \rho_o)gh$ 항만 외우고 탭의 고저차 항 부호를 반대로 넣는 것이다. 이 문항은 지점 2가 더 낮다는 사실 때문에 $\rho_o g L\tan\theta$가 더해질 것처럼 보이게 만들어 ③으로 유도한다.

다시 나오면 이렇게 판단

차압 마노미터 문제는 먼저 두 탭의 높낮이를 정하고, 다음으로 같은 유체 구간과 다른 유체 구간을 나누어 정수압 평형식을 세운 뒤, 마지막에 고저차 항의 부호를 다시 검산하는 순서로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

차압 마노미터의 기본형은 $(\rho_m - \rho_f)gh$이고, 탭의 높이가 다르면 $\rho_f g\Delta z$ 보정을 추가한다. 핵심은 고저차 항의 크기보다 부호 판단이다.

문 16. 기체 A가 촉매 반응기로 유입되어 두께 0.0002m이고 등온(300K)인 헬륨 기체막을 1차원으로 확산해서 촉매 표면에 도달한다. 기체 투과성이 없는 촉매의 표면에서 <보기>와 같이 반응 (가) 또는 반응 (나)가 일어난다. 두 가지 반응은 독립적이다. 기체막 상부 끝표면에서 성분 A의 몰분율은 0.2이며, 촉매 표면에서는 A가 완전히 소모되어 B만 존재한다. 전체 농도와 기체 확산계수는 일정하다. 이에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

<보기>

반응 (가): $A \rightarrow 2B$ 반응 (나): $A \rightarrow B$

① 반응 (가)의 A의 플럭스는 반응 (나)의 A의 플럭스보다 작다.

② A의 플럭스는 두 경우 모두 동일하다.

③ 반응 (가)의 A의 플럭스는 반응 (나)의 A의 플럭스보다 크다.

④ B의 플럭스는 두 경우 모두 동일하다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 표면 반응의 화학양론이 총 몰플럭스를 바꾸면 A의 확산 플럭스도 달라진다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

기체막 두께는 $L = 0.0002m$이다.
기체막 상부에서 $y_{A,b} = 0.2$, 촉매 표면에서 $y_{A,s} = 0$이다.
반응 (가)는 $A \rightarrow 2B$이므로 $N_B = -2N_A$이다.
반응 (나)는 $A \rightarrow B$이므로 $N_B = -N_A$이다.
전체 농도 C와 확산계수 D는 일정하다.

사용할 공식

반응 (나)는 등몰 역확산이므로 $N_A = \frac{CD}{L}(y_{A,b} - y_{A,s})$를 쓴다.
반응 (가)는 생성물 몰수가 더 많아 총 몰플럭스가 0이 아니므로 $N = N_A + N_B = -N_A$이고,
$N_A = -CD\frac{dy_A}{dz} + y_A N = -CD\frac{dy_A}{dz} - y_A N_A$
를 적분해 $N_A = \frac{CD}{L}\ln\frac{1 + y_{A,b}}{1 + y_{A,s}}$를 쓴다.
이 공식을 쓰는 이유는 반응식에 따라 N_B/N_A가 달라져 확산 구동식 자체가 달라지기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 반응 (나)에서는
N_A,(나)=(CD)/(L)(0.2-0)=0.2(CD)/(L)
이다.
2. 반응 (가)에서는
N_A,(가)=(CD)/(L)(1+0.2)/(1+0)=(CD)/(L)(1.2)≈0.182(CD)/(L)
이다.
3. 따라서 N_A,(가)<N_A,(나)이다.
4. B 플럭스는 반응식으로부터 |N_B,(가)|=2|N_A,(가)|≈0.364(CD)/(L),
|N_B,(나)|=|N_A,(나)|=0.2(CD)/(L)이므로 서로 같지 않다.

선지 판단

① O. 반응 (가)에서는 N_A,(가)=(1.2)(CD)/(L)≈0.182(CD)/(L), 반응 (나)에서는
N_A,(나)=0.2(CD)/(L)이므로 반응 (가)의 A 플럭스가 더 작다.
② X. "A의 플럭스는 두 경우 모두 동일하다"가 틀렸다. 올바르게는 반응 (가)의 A 플럭스가 반응 (나)보다 작다.
③ X. "반응 (가)의 A의 플럭스는 반응 (나)의 A의 플럭스보다 크다"가 틀렸다. 올바르게는 반응 (가)의 A 플럭스가 더 작다.
④ X. "B의 플럭스는 두 경우 모두 동일하다"가 틀렸다. 올바르게는 반응 (가)에서의 B 플럭스 크기가 반응 (나)보다 크다. 반응 (가)는 A 1몰이 B 2몰을 만들므로 바깥쪽으로 나가는 B의 양이 더 크다.

오답 포인트

A → B와 A → 2B를 둘 다 같은 등몰 역확산으로 처리하면 틀린다. 생성물 몰수가 2배가 되면 총 몰플럭스가 0이 아니어서 A 플럭스 식이 $0.2\frac{CD}{L}$가 아니라 $\ln(1.2)\frac{CD}{L}$로 바뀐다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체 확산 반응 문제는 먼저 반응식으로 N_B/N_A를 정하고, 그다음 총 몰플럭스 $N_A + N_B$가 0인지 아닌지를 판단한 뒤, 마지막에 경계 몰분율을 대입해 비교한다.

암기 포인트

등몰 역확산이면 $N_A + N_B = 0$이고, 생성 몰수가 더 크면 총 몰플럭스가 생겨 A 플럭스가 단순 선형식보다 작아진다.

NoteBase

문 17. 1차원 비정상상태 전도로 해석할 수 있는 반무한벽이 있으며, 이때 특정시간의 온도 분포는 거리(깊이)에 대한 2차 함수로 근사하여 계산할 수 있다. 초기에 벽의 온도는 $5^\circ C$로 균일하였는데 표면의 온도가 $-15^\circ C$로 급격히 하강하여 유지된다. 특정한 시간에 표면에서 $0.4m$ 떨어진 내부의 온도를 측정하였더니 $0^\circ C$였다. 이때의 침투거리(penetration distance)의 값$[m]$은?

① 0.4

② 0.6

③ 0.8

④ 1.0

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 1차원 비정상상태 전도에서 2차 온도분포 근사를 이용해 침투거리 δ를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 초기 균일온도 5℃, 표면온도 -15℃, 표면에서 0.4m 떨어진 지점의 온도 0℃이다.
구해야 할 값은 특정 시점의 침투거리 δ이다.
주의할 조건은 반무한벽의 2차 온도분포 근사이므로 침투거리 위치에서 온도는 초기온도로 돌아가고 온도구배는 0으로 본다는 점이다.

사용할 공식

2차 근사 온도분포는
$\frac{T-T_i}{T_s-T_i} = \left(1-\frac{x}{\delta}\right)^2$
로 둘 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유는 반무한벽의 비정상 전도에서 표면온도는 급변하고, 침투거리 δ에서 $T = T_i$, $dT/dx = 0$ 이라는 경계조건을 만족하는 2차 함수 근사를 사용하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 주어진 값을 식에 대입하면
$\frac{0-5}{-15-5} = \left(1-\frac{0.4}{\delta}\right)^2$
이다.

2. 좌변은
$\frac{-5}{-20} = \frac{1}{4}$
이므로
$\left(1-\frac{0.4}{\delta}\right)^2 = \frac{1}{4}$
가 된다.

3. 침투거리 내부에서는 $0 < x < \delta$이므로
$1-\frac{0.4}{\delta} = \frac{1}{2}$
를 취한다. 따라서
$\frac{0.4}{\delta} = \frac{1}{2}, \quad \delta = 0.8m$
이다.

선지 판단

① X: 0.4m는 측정 위치 x를 그대로 침투거리로 본 값이라 틀리다. 올바르게는 0°C가 나온 위치가 침투거리의 절반이므로 침투거리는 0.8m이다.
② X: 0.6m는 식의 제곱 관계를 무시하고 선형적으로 보간하면 나올 수 있는 값이라 틀리다. 올바르게는 2차 분포식을 적용해야 하므로 $\delta = 0.8m$이다.
③ O: 계산 결과 침투거리는 $0.8m$이므로 옳다.
④ X: 1.0m는 $1-0.4/\delta = 0.6$처럼 비율을 잘못 읽었을 때 가까워지는 값이라 틀리다. 올바르게는 $(1-0.4/\delta)^2 = 1/4$에서 $1-0.4/\delta = 1/2$를 써서 $\delta = 0.8m$으로 계산한다.

오답 포인트

표면에서 0.4m 떨어진 위치를 침투거리 자체로 착각하거나, 2차 분포식을 선형 온도분포로 바꾸어 해석하면 오답이 된다. 특히 제곱이 붙은 무차원 온도식을 끝까지 유지해야 한다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

비정상 전도 근사 문제는 먼저 초기온도와 표면온도로 무차원 온도를 만든 뒤, 주어진 위치 x를 2차 온도분포식에 대입하여 x/δ를 구하고 마지막에 δ를 역산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

반무한벽 2차 근사는 $\frac{T-T_i}{T_s-T_i} = \left(1-\frac{x}{\delta}\right)^2$로 두고, 측정점 온도에서 x/δ를 먼저 구하면 된다.

NoteBase

문 18. 정상상태, 단열 및 100% 효율인 수력발전소의 입구 및 출구 조건은 <보기>와 같다. 수력발전소에서 얻을 수 있는 일(work)의 양에 가장 가까운 값[Jkg^{-1}]은? (단, 유체는 무마찰 조건이며, 비열은 1,000[$Jkg^{-1}K^{-1}$], 중력가속도는 10[ms^{-2}]로 가정한다.)

〈보기〉

	압력[kPa]	높이[m]	유체속도[ms^{-1}]	온도[K]
입구(inlet)	100	100	100	300
출구(outlet)	100	0	0.1	302

① 1,000

② 2,000

③ 4,000

④ 8,000

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 정상류 에너지 방정식을 이용해 수력발전소에서 얻는 단위질량당 일 w를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:

입구: 압력 100 kPa, 높이 100m, 유체속도 $100ms^{-1}$, 온도 300 K

출구: 압력 100 kPa, 높이 0m, 유체속도 $0.1ms^{-1}$, 온도 302 K

구해야 할 값: 수력발전소가 외부로 내보내는 단위질량당 일 w

주의할 조건: 정상상태, 단열, 무마찰, 압력 변화 없음, 비열 $c_p = 1000Jkg^{-1}K^{-1}$, 중력가속도 $g = 10ms^{-2}$ 이다.

사용할 공식

$w = (h_1 - h_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)$

또한 압력이 같으므로 엔탈피 변화는 $h_1 - h_2 = c_p(T_1 - T_2)$로 계산한다.

이 공식을 쓰는 이유는 정상상태·단열·무마찰의 터빈형 장치에서는 유체의 엔탈피, 속도, 위치에너지 감소분이 축일로 전환되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 엔탈피 변화는 $h_1 - h_2 = 1000 \times (300 - 302) = -2000 J kg^{-1}$이다.
2. 속도에너지 변화는 $\frac{V_1^2 - V_2^2}{2} = \frac{100^2 - 0.1^2}{2} \approx 4999.995 J kg^{-1}$이다.
3. 위치에너지 변화는 $g(z_1 - z_2) = 10 \times (100 - 0) = 1000 J kg^{-1}$이다.
4. 따라서 얻는 일은 $w = -2000 + 4999.995 + 1000 \approx 3999.995 J kg^{-1}$이므로 가장 가까운 값은 $4000 J kg^{-1}$이다.

선지별 해설

① X: $1000 J kg^{-1}$는 위치에너지 감소 $g(z_1 - z_2)$만 반영한 값이다. 이 문항은 엔탈피 변화와 속도에너지 변화도 함께 더해야 하므로 올바른 값은 $4000 J kg^{-1}$이다.
② X: $2000 J kg^{-1}$는 온도 변화에 따른 엔탈피 항의 크기만 보거나 부호를 잘못 처리한 값에 가깝다. 출구 온도가 더 높으므로 $h_1 - h_2 = c_p(T_1 - T_2) = -2000 J kg^{-1}$이고, 전체 일은 $4000 J kg^{-1}$이다.
③ O: 정상류 에너지 방정식에 엔탈피 변화, 속도에너지 변화, 위치에너지 변화를 모두 넣으면 $w \approx 4000 J kg^{-1}$가 된다. 따라서 ③이 옳다.
④ X: $8000 J kg^{-1}$는 온도 상승을 엔탈피 감소로 오해하여 $+2000 J kg^{-1}$를 더한 값에 가깝다. 실제로는 $h_1 - h_2 = -2000 J kg^{-1}$이므로 8000이 아니라 $4000 J kg^{-1}$이다.

오답 포인트

출구 온도가 302 K로 더 높다는 점 때문에 엔탈피 항의 부호를 반대로 넣기 쉽다. 또한 압력이 같다고 해서 엔탈피 항을 아예 빼거나, 위치에너지 항만 보고 1000으로 고르는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

터빈·수력발전 문제는 먼저 $w = (h_1 - h_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)$ 형태를 세운 뒤, 각 항의 부호를 입구값 기준으로 하나씩 계산하면 된다. 특히 온도가 올라가면 $h_1 - h_2$는 음수가 된다는 점을 같이 확인한다.

암기 포인트

단열 터빈의 일은 엔탈피 감소분 + 속도감소분 + 위치감소분이며, 이 문제에서는 $-2000 + 5000 + 1000 = 4000$으로 정리된다.

NoteBase

문 19. 125mm **직경의 스팀파이프가 건물 상부에 설치되어 있다. 파이프의 길이는** 40m**, 파이프 표면의 온도는** 130°C**, 대류 열전달계수** $h = 10\mathrm{Wm^{-2}K^{-1}}$**이다. 건물과 공기의 온도가** 30°C**이고 가스보일러로 스팀을 공급한다고 할 때 일일 가스 비용으로 가장 가까운 값[$]은? (단, 가스 비용은** $0.02\$\mathrm{MJ^{-1}}$**이고 복사의 영향은 무시하고, 편의상** π**는 3으로 계산한다.)**

① 25

② 50

③ 75

④ 100

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 원통형 파이프의 대류 열손실 $Q = hA\Delta T$를 구한 뒤 이를 하루 에너지량과 가스비로 환산하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 직경 $D = 0.125m$, 길이 $L = 40m$, 표면온도 $130^\circ C$, 공기온도 $30^\circ C$, 대류 열전달계수 $h = 10Wm^{-2}K^{-1}$
- 구해야 할 값: 일일 가스 비용
- 주의할 조건: 원통 옆면적은 $A = \pi DL$이고, $125mm = 0.125m$, $\pi = 3$, 하루는 86400초이다.

사용할 공식

$Q = hA\Delta T, \quad A = \pi DL$

일일 열량=Q× 86400, 가스비=일일 열량(MJ)× 0.02 \$/MJ

이 공식을 쓰는 이유는 파이프 표면에서 주변 공기로 빠져나가는 열이 대류에 의한 열전달로 주어졌고, 문제에서 복사는 무시한다고 했기 때문이다.

계산 과정

1. 원통 표면적을 구하면 $A = \pi DL = 3 \times 0.125 \times 40 = 15m^2$이다.
2. 온도차는 $\Delta T = 130 - 30 = 100K$이므로 열손실은 $Q = hA\Delta T = 10 \times 15 \times 100 = 15000W$이다.
3. 하루 에너지 손실은 $15000J/s \times 86400s = 1.296 \times 10^9 J = 1296MJ$이다.
4. 일일 가스비는 $1296MJ \times 0.02\$/MJ = 25.92\$$이다.

NoteBase

선지 판단

① O
- 계산 결과가 약 25.92달러이므로 가장 가까운 값은 25달러이다.

② X
- 50달러는 정답값의 거의 2배이다. 표면적을 불필요하게 두 배로 잡거나 하루 열손실을 과대평가한 경우에 가까운 값이다.
- 올바르게는 일일 가스비가 약 25.92달러이다.

③ X
- 75달러는 정답값의 약 3배이다. 원주 계산이나 단위 환산에서 오류가 겹치면 나올 수 있는 과대값이다.
- 올바르게는 일일 가스비가 약 25.92달러이다.

④ X
- 100달러는 정답값의 약 4배이다. 직경 환산이나 시간 환산을 크게 잘못 적용한 경우에 가까운 값이다.
- 올바르게는 일일 가스비가 약 25.92달러이다.

계산 결과 약 25.92달러이므로 정답은 1번이다.

오답 포인트

원통 표면적을 πDL이 아니라 $2\pi rL$과 중복 적용해 두 배로 세거나, $125mm$를 $0.125m$로 바꾸지 못하면 오답으로 흐르기 쉽다. 또한 와트를 바로 비용으로 바꾸지 말고 하루 기준 에너지량인 MJ로 먼저 환산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

계산형 문제는 조건 정리 → 표면적 계산 → 열손실 계산 → 시간 환산 → 비용 환산 순서로 판단한다. 특히 단위가 W, J, MJ로 바뀌는 지점을 마지막에 다시 검산하면 실수를 줄일 수 있다.

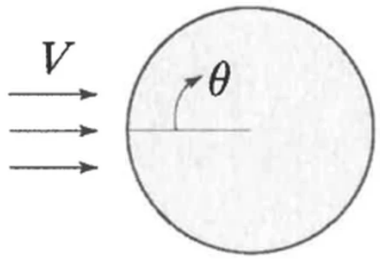
암기 포인트

원통 대류 열손실은 $Q = h(\pi DL)\Delta T$, 비용 문제는 열량을 하루 MJ로 바꾼 뒤 단가를 곱한다.

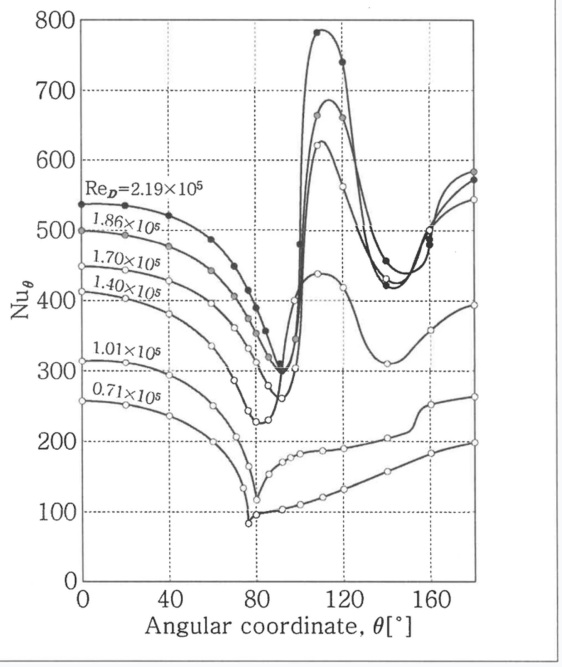
NoteBase

문 20. <보기 1> 그림에서 정의되는 실린더 각도에 따른 국부 *Nu*수(local Nusselt number)의 거동을 도식화하면 <보기 2>와 같다. 예를 들어, $Re_D = 2.19 \times 10^5$에서의 거동을 보면 각도가 커짐에 따라 ㉠초기에는 *Nu*수가 감소하다가, ㉡ 90° 부근에서부터 *Nu*수가 증가하고, ㉢ 이후 다시 *Nu*수가 감소하다가, ㉣ 140° 부근에서 다시 *Nu*수가 증가하는 거동을 보인다. 밑줄 친 ㉠~㉣의 발생 이유를 옳게 짝지은 것은?

〈보기 1〉



〈보기 2〉



① ㉠: 경계층이 얇아지기 때문, ㉡: 난류로의 전환, ㉢: 경계층이 두꺼워지기 때문, ㉣: 박리(separation)

② ㉠: 경계층이 두꺼워지기 때문, ㉡: 박리(separation), ㉢: 경계층이 두꺼워지기 때문, ㉣: 난류로의 전환

③ ㉠: 경계층이 얇아지기 때문, ㉡: 난류로의 전환, ㉢: 경계층이 얇아지기 때문, ㉣: 박리(separation)

④ ㉠: 경계층이 두꺼워지기 때문, ㉡: 난류로의 전환, ㉢: 경계층이 두꺼워지기 때문, ㉣: 박리(separation)

정답 4번

NoteBase

출제 포인트

이 문제는 원통 외부유동에서 각도에 따른 국부 Nusselt 수 변화가 경계층 성장, 난류 천이, 박리와 어떻게 연결되는지를 묻는 문제이다.

선지별 해설

① X
㉠이 틀렸다. 정체점에서 출발한 경계층은 하류로 갈수록 성장하므로 초기 Nu 감소 이유는 경계층이 얇아져서가 아니라 두꺼워지기 때문이다. ㉡ 난류로의 전환, ㉢ 경계층 두꺼워짐, ㉣ 박리라는 대응은 맞지만 ㉠이 틀려서 오답이다.
틀린 표현은 '경계층이 얇아지기 때문'이고, 올바르게는 '경계층이 두꺼워지기 때문'이다.

② X
㉠과 ㉢은 맞지만 ㉡과 ㉣이 뒤바뀌었다. 90° 부근의 급격한 Nu 증가는 난류로의 전환으로 설명하고, 140° 부근의 재증가는 박리와 후류 혼합의 영향으로 본다.
틀린 표현은 '㉡ 박리, ㉣ 난류로의 전환'이고, 올바르게는 '㉡ 난류로의 전환, ㉣ 박리'이다.

③ X
㉠과 ㉢이 모두 틀렸다. 초기 감소도, 난류 천이 후 다시 나타나는 감소도 모두 경계층이 성장하여 두꺼워지기 때문에 나타난다. 경계층이 얇아지면 일반적으로 벽면 열전달은 증가 방향이 된다.
틀린 표현은 '㉠ 경계층이 얇아지기 때문, ㉢ 경계층이 얇아지기 때문'이고, 올바르게는 둘 다 '경계층이 두꺼워지기 때문'이다.

④ O
㉠ 초기 감소는 정체점 이후 경계층이 두꺼워지면서 열저항이 커지기 때문이고, ㉡ 90° 부근의 증가는 난류로 전환되며 혼합이 강해지기 때문이며, ㉢ 이후 감소는 다시 경계층이 두꺼워지기 때문이고, ㉣ 140° 부근의 재증가는 박리로 인해 후류 혼합이 강화되기 때문이다. 따라서 ㉠~㉣의 대응이 모두 맞다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 '증가 구간은 모두 경계층이 얇아져서 생긴다'고 단순화하거나, 90° 부근의 증가와 140° 부근의 증가를 둘 다 같은 현상으로 보는 데 있다. 이 그래프에서는 첫 번째 증가는 난류 천이, 마지막 증가는 박리와 후류 혼합으로 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통 주위 국부 열전달 그래프가 나오면 먼저 정체점 이후의 기본 추세를 본다. 하류로 갈수록 경계층 성장으로 Nu가 감소하고, 고 Reynolds 수에서 급상승이 나타나면 난류 천이 여부를, 후단 재상승이 나타나면 박리와 후류 혼합 여부를 연결하여 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

원통 국부 열전달은 '경계층 성장으로 감소, 난류 천이로 증가, 다시 성장으로 감소, 박리로 재증가'의 흐름으로 정리된다.

NoteBase