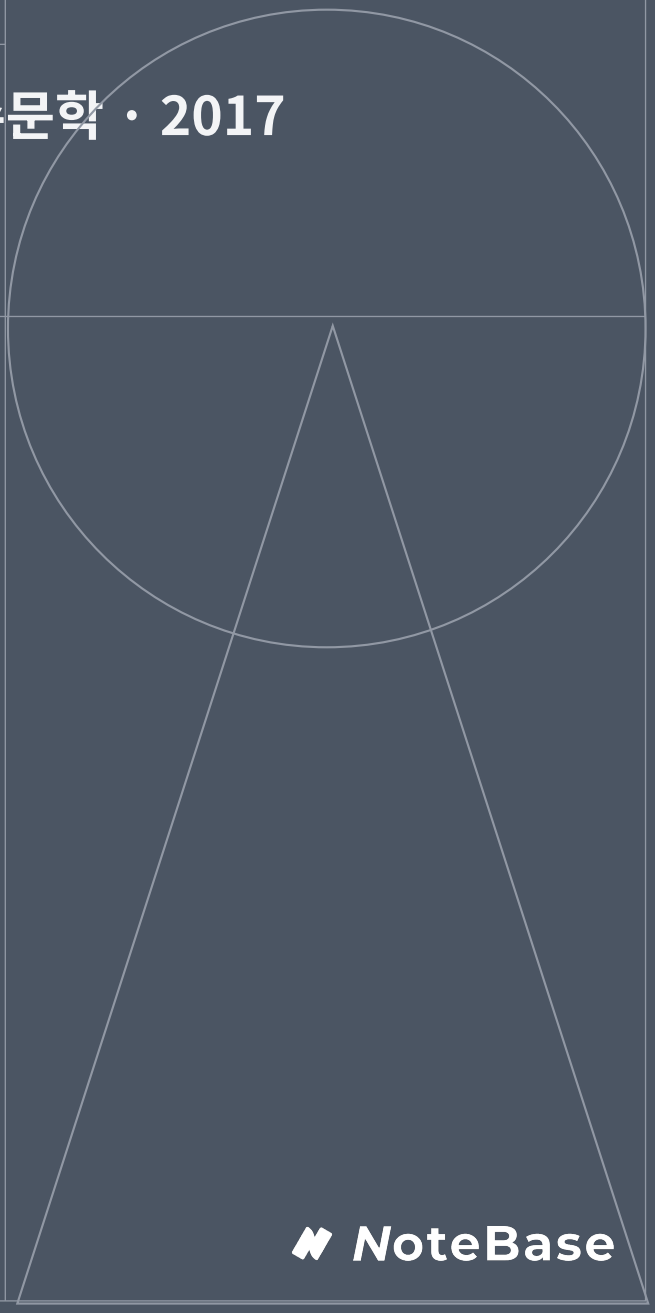
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 수리수문학 · 2017



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 수리수문학 · 2017

공무원/서울시/7급 · 수리수문학 · 2017

문 1. Bernoulli 방정식이 적용되기 위한 조건 중 가장 옳지 않은 것은?

① 마찰에 의한 에너지 손실이 없는 이상유체인 동시에 압축성 유체의 흐름이어야 한다.

② 임의의 두 점은 같은 유선상에 있어야 한다.

③ 흐름은 정상류이다.

④ 하나의 유선에 대해서는 총에너지가 일정하다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 Bernoulli 방정식의 적용 조건에서 이상유체, 비압축성, 정상류, 같은 유선상이라는 요건을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

Bernoulli 방정식은 점성에 의한 에너지 손실이 없는 이상유체의 정상류에서 같은 유선상 두 점에 대해 적용하는 식이다.
특히 기본 적용 조건의 핵심 키워드는 비압축성, 비점성, 정상류, 같은 유선상이다.

선지별 해설

1번: X. 틀린 부분은 "압축성 유체"이다. Bernoulli 방정식의 기본 적용 조건은 비압축성 유체의 흐름이다.
따라서 이 선지는 "마찰에 의한 에너지 손실이 없는 이상유체인 동시에 비압축성 유체의 흐름이어야 한다"로 고쳐야 한다.
2번: O. 일반적인 Bernoulli 방정식은 같은 유선상에 있는 두 점 사이에서 성립한다. 서로 다른 유선의 두 점을 임의로 연결해 같은 식을 바로 적용할 수는 없다.
3번: O. Bernoulli 방정식은 시간에 따라 유동 상태가 변하지 않는 정상류를 기본 조건으로 한다. 비정상류에서는 단순한 형태의 Bernoulli 식을 그대로 적용하기 어렵다.
4번: O. 하나의 유선에 대해서는 위치수두, 압력수두, 속도수두를 합한 총에너지가 일정하다고 본다. 이것이 Bernoulli 방정식의 핵심 내용이다.

NoteBase

오답 포인트

출제자는 1번의 "압축성"이라는 단어로 함정을 만든다. 이상유체와 비점성만 보고 맞는 문장처럼 넘기기 쉽지만, Bernoulli의 기본 조건은 압축성이 아니라 비압축성이라는 점에서 틀린다.

다시 나오면 이렇게 판단

Bernoulli 조건 문제는 먼저 비점성, 비압축성, 정상류, 같은 유선상 여부를 순서대로 확인하면 된다. 이 네 가지 중 하나라도 바뀌면 적용 조건에서 벗어난다고 판단할 수 있다.

암기 포인트

Bernoulli는 비점성·비압축성·정상류·같은 유선상이다.

NoteBase

문 2. 저류지의 수심이 55m인 곳에 직경이 10cm이고 마찰손실 계수가 0.02인 50m 길이의 관이 수평으로 설치되어 있을 때, 관 끝부분에서의 유량(Q)은? (단, 마찰손실만 고려하고 $g = 10m/sec^2$으로 가정한다.)

① $0.020\pi m^3/sec$

② $0.025\pi m^3/sec$

③ $0.030\pi m^3/sec$

④ $0.035\pi m^3/sec$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 저수지 자유수면과 관 출구 사이의 수두차 $55m$를 이용해 관내 유속과 유량을 구하는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 수두차 $H = 55m$, 관경 $D = 0.1m$, 관 길이 $L = 50m$, 마찰계수 $f = 0.02$, 중력가속도 $g = 10m/s^2$이다.
구해야 할 값: 관 끝부분의 유량 Q이다.
주의할 조건: 수평관이므로 위치수두차는 그대로 55m이고, 국부손실은 무시하지만 출구의 속도수두 $V^2/(2g)$는 포함된다.

사용할 공식

$H = \frac{V^2}{2g} + f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}, \quad Q = AV = \frac{\pi D^2}{4}V$
이 공식을 쓰는 이유는 저수지 자유수면에서 관 출구까지 베르누이 방정식을 적용하면 수두차 55m가 출구 속도수두와 관 마찰손실수두의 합으로 나타나기 때문이다.

계산 과정

1. 마찰항 계수를 정리하면 $fL/D = 0.02 \times 50/0.1 = 10$이다.
2. 따라서 $55 = (1 + 10)\frac{V^2}{2 \times 10} = 11\frac{V^2}{20}$이므로 $V^2 = 100$, $V = 10m/s$이다.
3. 단면적은 $A = \frac{\pi(0.1)^2}{4} = 0.0025\pi m^2$이므로 $Q = AV = 0.0025\pi \times 10 = 0.025\pi m^3/s$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 틀린 표현은 유량값 $0.020\pi m^3/s$이다. 이는 $V = 8m/s$에 해당하고 필요한 수두가 $35.2m$에 불과하므로 주어진 55m와 맞지 않는다. 올바르게는 $0.025\pi m^3/s$이다.
② O: $V = 10m/s$를 대입하면 필요한 수두가 정확히 $55m$가 되고, 유량도 $0.025\pi m^3/s$가 되므로 맞다.
③ X: 틀린 표현은 유량값 $0.030\pi m^3/s$이다. 이는 $V = 12m/s$에 해당하고 필요한 수두가 $79.2m$가 되어 과대하다. 올바르게는 $0.025\pi m^3/s$이다.
④ X: 틀린 표현은 유량값 $0.035\pi m^3/s$이다. 이는 $V = 14m/s$에 해당하고 필요한 수두가 $107.8m$가 되어 더 크게 어긋난다. 올바르게는 $0.025\pi m^3/s$이다.

오답 포인트

문제의 '마찰손실만 고려'를 출구 속도수두까지 없앤다는 뜻으로 오해하기 쉽다. 이 문항은 국부손실만 생략하는 것이며, $V^2/(2g)$를 빼면 유속이 달라져 정답 선지가 맞지 않게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

저수지에서 관 출구로 나가는 계산형은 먼저 전체 수두차를 잡고, 다음에 $V^2/(2g)$와 $f(L/D)V^2/(2g)$를 함께 묶어 유속을 구한 뒤, 마지막에 $Q = AV$로 바꾸어 판단한다.

암기 포인트

저수지 자유수면에서 관 출구까지는 $H = (1 + fL/D)\frac{V^2}{2g}$로 정리된다는 점을 기억하면 유속과 유량이 바로 이어진다.

NoteBase

문 3. 정상류 비압축성 유체에 대한 다음의 속도 성분 중에서 연속방정식을 만족시키는 것은?

① ≤ft(alignedu &= 3x^2 - y\ &= y^2 - 2y\ &= 2y^2 - yzaligned)

② ≤ft(alignedu &= 2x^2 - y\ &= y^2 - 2xy\ &= 2z^2 - 2yaligned)

③ ≤ft(alignedu &= 2x^2 - xy\ &= y^2 - 4xy\ &= y^2 - yzaligned)

④ ≤ft(alignedu &= x^2 + 2y\ &= y^2 - 2xy\ &= z^2 - yzaligned)

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 정상류 비압축성 유체의 연속방정식 $\partial u/\partial x + \partial v/\partial y + \partial w/\partial z = 0$를 만족하는 속도 성분을 판별하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 각 선지의 3차원 속도 성분 u, v, w이다.
구해야 할 값: 각 선지에서 $\partial u/\partial x + \partial v/\partial y + \partial w/\partial z$의 합이 0인지 여부이다.
주의할 조건: 비압축성 유체이므로 발산이 항상 0이어야 한다.

사용할 공식

연속방정식은 $\partial u/\partial x + \partial v/\partial y + \partial w/\partial z = 0$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 정상류 비압축성 유체에서는 한 점에서 유입과 유출이 같아야 하므로 속도장의 발산이 0이어야 한다.

계산 과정

1. 각 선지에서 u를 x로, v를 y로, w를 z로 각각 편미분한다.
2. 편미분값 세 개를 더해 연속방정식을 만족하는지 확인한다.
3. 3번은 $\partial u/\partial x = 4x - y$, $\partial v/\partial y = 2y - 4x$, $\partial w/\partial z = -y$이므로 합이 $(4x - y) + (2y - 4x) + (-y) = 0$이 되어 조건을 만족한다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. $\partial u/\partial x = 6x$, $\partial v/\partial y = 2y - 2$, $\partial w/\partial z = -y$이므로 합은 $6x + y - 2$이다. 0이 아니므로 비압축성 연속방정식을 만족하지 않는다. 틀린 표현은 이 속도장이 연속방정식을 만족한다는 점이며, 올바르게는 발산이 0이 되는 성분으로 바뀌어야 한다.
2번: X. $\partial u/\partial x = 4x$, $\partial v/\partial y = 2y - 2x$, $\partial w/\partial z = 4z$이므로 합은 $2x + 2y + 4z$이다. 0이 아니므로 성립하지 않는다. 틀린 표현은 비압축성 조건을 만족한다는 점이며, 올바르게는 세 편미분의 합이 변수와 무관하게 0이어야 한다.
3번: O. $\partial u/\partial x = 4x - y$, $\partial v/\partial y = 2y - 4x$, $\partial w/\partial z = -y$이므로 합은 0이다. 따라서 정상류 비압축성 유체의 연속방정식을 만족한다.
4번: X. $\partial u/\partial x = 2x$, $\partial v/\partial y = 2y - 2x$, $\partial w/\partial z = 2z - y$이므로 합은 $y + 2z$이다. 0이 아니므로 성립하지 않는다. 틀린 표현은 이 성분이 무발산 속도장이라는 점이며, 올바르게는 $\partial u/\partial x + \partial v/\partial y + \partial w/\partial z = 0$이 되도록 구성되어야 한다.

오답 포인트

문제는 각 식 자체를 보는 것이 아니라 각 변수에 대한 편미분 결과를 더하는지 묻는다. u에서 y항을 x로 미분할 때 0이 되는 점, w에서 z에 대한 미분만 취하는 점을 놓치면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

비압축성 속도장 문제는 각 성분을 자기 변수로 편미분한 뒤 세 값을 더해 0인지 바로 확인하면 된다. 식이 복잡해 보여도 발산만 계산하면 정답을 빠르게 가를 수 있다.

암기 포인트

비압축성 유체의 핵심 판정식은 $\nabla \cdot \vec{V} = \partial u/\partial x + \partial v/\partial y + \partial w/\partial z = 0$이다.

NoteBase

문 4. 직경 2m인 원형관에서 만류로 물이 흐른다. 이 관로상 한 점에서 50m 연장을 흐르는 동안 생긴 손실수두를 측정하였더니 10m였다. 물과 관로의 벽 사이에 가해진 마찰응력은 얼마인가? (단, 물의 단위중량은 1,000kg_f/m^3으로 가정한다.)

① 0.005kg_f/cm^2

② 0.010kg_f/cm^2

③ 0.020kg_f/cm^2

④ 0.040kg_f/cm^2

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 관로 구간의 손실수두로부터 관벽에 작용하는 평균 마찰응력 τ_0를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 직경 $D = 2m$, 관로 연장 $L = 50m$, 손실수두 $h_f = 10m$, 물의 단위중량 $\gamma = 1000kgf/m^3$이다.
구해야 할 값: 물과 관벽 사이의 평균 마찰응력이다.
주의할 조건: 최종 단위가 kgf/cm^2이므로 kgf/m^2에서 1/10,000을 곱해 환산해야 한다.

사용할 공식

관내 완전발달 흐름에서는 손실수두에 따른 압력강하가 관벽 마찰력과 평형을 이룬다.
$\tau_0 = \frac{\gamma A h_f}{PL}$
원형관에서는 $A = \frac{\pi D^2}{4}$, $P = \pi D$이므로
$\tau_0 = \frac{\gamma D h_f}{4L}$
이 공식을 쓰는 이유는 손실수두가 주어졌고, 이를 같은 구간의 관벽 전단응력으로 바로 연결할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 원형관 단면적과 젖은둘레를 정리하면 $A = \frac{\pi(2)^2}{4} = \pi m^2$, $P = \pi \times 2 = 2\pi m$이다.
2. 평균 마찰응력은
$\tau_0 = \frac{1000 \times \pi \times 10}{2\pi \times 50} = 100kgf/m^2$
이다.
3. 단위를 kgf/cm^2로 바꾸면
$100kgf/m^2 = \frac{100}{10,000} = 0.010kgf/cm^2$
이다.

NoteBase

선지 판단

① X
0.005 kgf/cm^2는 계산값의 절반이므로 틀린 수치이다. 관벽 면적이나 힘 평형식을 잘못 두 배로 처리할 때 나오는 값이며, 올바르게는 0.010 kgf/cm^2이다.

② O
계산 결과가 정확히 0.010 kgf/cm^2이므로 옳다.

③ X
0.020 kgf/cm^2는 계산값의 두 배이므로 틀린 수치이다. 직경, 젖은둘레, 단위환산 중 하나를 절반으로 잘못 처리하면 나올 수 있으며, 올바르게는 0.010 kgf/cm^2이다.

④ X
0.040 kgf/cm^2는 정답의 네 배이므로 틀린 수치이다. 손실수두와 전단응력의 비례관계만 보고 면적 관계를 빠뜨리면 과대계산되기 쉽고, 올바르게는 0.010 kgf/cm^2이다.

오답 포인트

손실수두 h_f가 크다고 해서 곧바로 큰 수치를 고르면 틀리기 쉽다. 이 문항의 핵심 함정은 관벽 마찰응력을 압력강하와 면적 평형으로 구해야 한다는 점과, 마지막에 $kgf/m^2 \rightarrow kgf/cm^2$ 단위환산을 해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

관마찰 계산형 문제는 먼저 A, P, L, h_f를 정리한 뒤 $\tau_0 = \gamma A h_f/(PL)$ 또는 $\tau_0 = \gamma D h_f/(4L)$에 대입해 계산한다. 그 다음 최종 단위가 m^2 기준인지 cm^2 기준인지 반드시 한 번 더 검산한다.

암기 포인트

원형관 평균 마찰응력은 $\tau_0 = \gamma D h_f/(4L)$이고, $1m^2 = 10{,}000cm^2$이므로 kgf/m^2를 kgf/cm^2로 바꿀 때는 10,000으로 나눈다.

NoteBase

문 5. 어떤 유역 내 5개의 관측점(A~E)에서 기록된 강우량과 지배면적이 아래의 표와 같다. 여기서 Thiessen법으로 계산된 유역 평균 강우량이 16mm일 때, 관측점 A의 강우량(x)은 얼마인가?

관측점	A	B	C	D	E
강우량(mm)	x	24	18	13	12
지배면적(km^2)	6	12	10	14	8

① 6mm

② 7mm

③ 8mm

④ 9mm

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 Thiessen법의 면적가중 평균강우량 공식을 이용해 관측점 A의 강우량을 역산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 관측점별 강우량은 A가 x, B가 24mm, C가 18mm, D가 13mm, E가 12mm이다.
주어진 값: 지배면적은 A가 6, B가 12, C가 10, D가 14, E가 8km^2이다.
구해야 할 값: 관측점 A의 강우량 x이다.
주의할 조건: Thiessen법은 단순평균이 아니라 지배면적을 가중치로 곱한 뒤 전체 면적으로 나누어야 한다.

사용할 공식

$\bar{P} = \frac{\sum P_i A_i}{\sum A_i}$

이 문제에서는 유역 평균 강우량 $\bar{P}$가 16mm로 주어졌고, 각 관측점의 지배면적이 함께 제시되었으므로 Thiessen법의 면적가중 평균 공식을 사용한다.

계산 과정

1. 총 지배면적은 $6 + 12 + 10 + 14 + 8 = 50km^2$이다.
2. 평균 강우량이 16mm이므로 총 가중강우량은 $16 \times 50 = 800$이다.
3. B, C, D, E의 가중강우량 합은 $24 \times 12 + 18 \times 10 + 13 \times 14 + 12 \times 8 = 746$이다.
4. 따라서 A의 가중강우량은 $800 - 746 = 54$이다.
5. A의 지배면적이 6이므로 $6x = 54$, 따라서 $x = 9$mm이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- 틀린 표현은 'A의 강우량이 6mm'라는 값 제시이다. $x = 6$을 대입하면 총 가중강우량은 782, 평균은 $782/50 = 15.64$mm이므로 16mm가 되지 않는다. 올바르게는 A의 강우량이 9mm이어야 한다.

② X

- 틀린 표현은 'A의 강우량이 7mm'라는 값 제시이다. $x = 7$을 대입하면 총 가중강우량은 788, 평균은 $788/50 = 15.76$mm이므로 조건을 만족하지 않는다. 올바르게는 A의 강우량이 9mm이어야 한다.

③ X

- 틀린 표현은 'A의 강우량이 8mm'라는 값 제시이다. $x = 8$을 대입하면 총 가중강우량은 794, 평균은 $794/50 = 15.88$mm이므로 16mm에 미달한다. 올바르게는 A의 강우량이 9mm이어야 한다.

④ O

- $x = 9$를 대입하면 A의 가중강우량은 $9 \times 6 = 54$이고 전체 가중강우량은 $746 + 54 = 800$이다. 이를 전체 면적 50으로 나누면 $800/50 = 16$mm가 되어 발문과 정확히 일치한다.

오답 포인트

단순히 강우량 숫자만 평균내면 오답이 된다. 이 문항의 함정은 관측점별 지배면적이 서로 다르다는 점을 무시하고 단순평균이나 대략적인 감으로 값을 고르는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

Thiessen법 문제는 먼저 전체 면적을 합하고, 다음으로 평균강우량에 전체 면적을 곱해 총 가중강우량을 만든 뒤, 이미 아는 관측점들의 기여분을 빼서 미지수의 가중강우량을 역산하면 된다.

암기 포인트

Thiessen법은 '강우량 × 지배면적의 합을 전체 면적으로 나누는 면적가중 평균'이다.

NoteBase

문 6. 다음 중 단위유량도의 기본 가정이 아닌 것은?

① 일정 기저시간에 대한 가정

② 비례에 대한 가정

③ 단위강우량에 대한 가정

④ 중첩에 대한 가정

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 단위유량도의 기본 가정과 단위유량도 자체의 정의를 구별하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

단위유량도는 어떤 유역에 일정한 지속시간 동안 공간적으로 균등하게 내린 단위유효우량이 만드는 직접유출수문곡선이다.
기본 가정은 같은 지속시간의 유효우량에 대해 유역 반응이 선형이라는 점이며, 여기서 비례가정과 중첩가정이 나온다.
또한 같은 지속시간의 유효우량이면 직접유출의 기저시간이 거의 일정하다고 본다.
반면 단위강우량은 단위유량도를 정의하는 기준량일 뿐, 유역 반응의 성질을 설명하는 기본 가정은 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① O
같은 지속시간의 유효우량이면 유효우량의 크기가 달라도 직접유출수문곡선의 기저시간은 거의 일정하다고 보는 가정이다. 단위유량도 이론에서 사용하는 기본 가정에 해당한다.

② O
비례에 대한 가정은 유효우량이 단위유효우량의 몇 배가 되면 직접유출수문곡선의 유량도 같은 비율로 커진다고 보는 선형성 가정이다. 단위유량도의 핵심 가정에 해당한다.

③ X
틀린 부분은 "단위강우량에 대한 가정"이라는 표현이다. 단위강우량은 단위유량도를 만들기 위해 정한 기준 유효우량일 뿐 가정이 아니다. 올바르게는 "단위유량도는 단위유효우량에 대한 직접유출수문곡선의 정의이다"라고 정리한다.

④ O
중첩에 대한 가정은 여러 개의 유효우량 블록이 시간차를 두고 발생하면 각 직접유출수문곡선을 시간 이동 후 합성할 수 있다는 뜻이다. 이것도 선형계 가정에서 나오는 기본 가정이다.

오답 포인트

③은 단위유량도의 정의에 들어가는 "단위유효우량"을 기본 가정으로 바꿔 적어 혼동을 유도한다. 정의 요소와 가정 요소를 구분하지 못하면 ③을 맞는 말처럼 보기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

단위유량도 문제에서는 먼저 선지가 유역 반응의 성질을 말하는지, 아니면 단위유량도를 만들기 위한 기준 정의를 말하는지 구분한다. 비례, 중첩, 일정 기저시간은 가정이고, 단위유효우량은 정의 조건으로 판단한다.

암기 포인트

단위유량도는 비례·중첩·일정 기저시간이 가정이고, 단위유효우량은 정의 기준이다.

NoteBase

문 7. 댐 여수로 아래의 감세공상에서 도수가 발생한다. 감세공의 단면은 구형이며 단위폭당 유량은 $0.4\text{m}^3/\text{sec/m}$이고 도수 전의 수심은 0.2m이다. 도수 후의 유속은 얼마인가? (단, 중력가속도는 9m/sec^2으로 가정한다.)

① 0.6m/sec

② 1.0m/sec

③ 1.2m/sec

④ 2.0m/sec

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 구형 감세공의 도수 전 수심과 단위폭당 유량으로 도수 전 Froude수와 공액수심을 구한 뒤 도수 후 유속을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 단위폭당 유량 $q = 0.4m^3/sec/m$, 도수 전 수심 $y_1 = 0.2m$, 중력가속도 $g = 9m/sec^2$이다.
구해야 할 값: 도수 후 유속 v_2이다.
주의할 조건: 구형 단면이므로 단위폭 유량 q에 대해 $q = vy$와 직사각형 수로의 도수 공액수심식을 적용한다.

사용할 공식

$+v_1 = \frac{q}{y_1}, \quad Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}, \quad \frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1\right), \quad v_2 = \frac{q}{y_2} +$
이 공식을 쓰는 이유는 감세공에서 발생하는 도수는 직사각형 수로의 공액수심 관계로 도수 전후 수심이 연결되고, 도수 후 유속은 연속식 $q = v_2y_2$로 바로 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 도수 전 유속은 $v_1 = q/y_1 = 0.4/0.2 = 2.0m/sec$이다.
2. 도수 전 Froude수는 $Fr_1 = 2.0/\sqrt{9 \times 0.2} = 2.0/\sqrt{1.8} \approx 1.49$이다.
3. 공액수심비는 $y_2/y_1 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8 \times 1.49^2} - 1) \approx \frac{1}{2}(4.33 - 1) = 1.67$이다.
4. 따라서 도수 후 수심은 $y_2 = 1.67 \times 0.2 \approx 0.333m$이다.
5. 도수 후 유속은 $v_2 = q/y_2 = 0.4/0.333 \approx 1.2m/sec$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 계산 결과 도수 후 유속은 $1.2m/sec$이므로 $0.6m/sec$는 맞지 않는다. 틀린 표현은 최종 유속값이며, 올바르게는 도수 후 유속이 $1.2m/sec$이다. 이 값은 도수 후 수심을 과대평가하거나 유량을 절반으로 잘못 대입할 때 나오기 쉽다.
② X: 계산 결과와 비교하면 $1.0m/sec$도 맞지 않는다. 틀린 표현은 최종 유속값이며, 올바르게는 도수 후 유속이 $1.2m/sec$이다. 이 값은 공액수심비 계산에서 Fr_1를 거칠게 처리해 y_2를 크게 잡을 때 생기기 쉽다.
③ O: 공액수심을 구하면 $y_2 \approx 0.333m$이고, 연속식 $v_2 = q/y_2$를 적용하면 $v_2 \approx 1.2m/sec$가 된다.
④ X: 계산 결과와 비교하면 $2.0m/sec$는 도수 전 유속과 같은 값이라서 도수 후 유속이 될 수 없다. 틀린 표현은 도수 후 유속값이며, 올바르게는 도수 후 유속이 $1.2m/sec$이다. 이 값은 도수 전후를 구분하지 않고 v_1를 그대로 답으로 적을 때 나온다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 단위폭당 유량이 주어졌을 때 먼저 $v_1 = q/y_1$를 구해야 한다는 점과, 도수 후 유속을 바로 추정하지 않고 반드시 공액수심 y_2를 거쳐야 한다는 점이다. ④처럼 도수 전 유속 $2.0m/sec$를 그대로 답으로 고르기 쉽고, ①이나 ②처럼 공액수심을 대충 계산해 오차를 내기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

도수 계산형 문제는 단위폭 유량으로 도수 전 유속을 먼저 구하고, Froude수로 공액수심을 계산한 다음, 마지막에 연속식으로 도수 후 유속을 구하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

구형 도수는 $q \rightarrow v_1 \rightarrow Fr_1 \rightarrow y_2 \rightarrow v_2$ 순서로 연결된다.

NoteBase

문 8. 어떤 대수층으로부터 토양표본을 채취하여 지름 4cm, 길이 30cm인 실린더에 넣고 물을 흘렸다. 실린더에서 1분간 채취한 물의 부피가 15cm^3였으며 두 단면 간의 압력수두차 $h_1 - h_2$는 15cm로 측정되었다. 이 대수층의 투수계수를 Darcy공식을 이용하여 구하면 얼마인가? (단, $\pi = 3$으로 가정한다.)

① 1.5cm/min

② 2.0cm/min

③ 2.5cm/min

④ 4.0cm/min

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Darcy 공식 $Q = kAi$를 이용해 투수계수 k를 구할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 지름 4cm, 길이 30cm, 1분간 통과한 물의 부피 15cm^3, 수두차 15cm이다.
단면적은 $A = \pi d^2/4 = 3 \times 4^2/4 = 12cm^2$이다.
동수경사는 $i = (h_1 - h_2)/L = 15/30 = 0.5$이다.

사용할 공식

Darcy 공식은 $Q = kAi$이다.
이 문제는 일정 시간 동안 통과한 유량과 시료 길이, 단면적, 수두차가 모두 주어졌으므로 이 공식으로 투수계수를 직접 구할 수 있다.

계산 과정

1. 유량은 1분 동안 15cm^3이므로 $Q = 15cm^3/min$이다.
2. Darcy 공식에서 $k = Q/(Ai)$이므로 $k = 15/(12 \times 0.5)$이다.
3. 따라서 $k = 15/6 = 2.5cm/min$이다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. 계산 결과는 1.5cm/min가 아니라 2.5cm/min이다. 1번의 수치는 Darcy 공식 대입 결과와 맞지 않으며, 올바르게는 2.5cm/min이다.
2번: X. 계산 결과는 2.0cm/min가 아니라 2.5cm/min이다. 단면적이나 동수경사 값을 잘못 넣으면 나올 수 있는 오답이며, 올바르게는 2.5cm/min이다.
3번: O. $k = 15/(12 \times 0.5) = 2.5 cm/min$이므로 정답이다.
4번: X. 계산 결과는 4.0cm/min가 아니라 2.5cm/min이다. 수두차와 시료 길이의 비를 반대로 보거나 단면적을 잘못 계산하면 커질 수 있는 오답이며, 올바르게는 2.5cm/min이다.

오답 포인트

동수경사 i를 $(h_1 - h_2)/L$로 두지 않고 반대로 쓰거나, 원형 단면적 $\pi d^2/4$에서 /4를 빠뜨리면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

투수계수 계산 문제는 단면적 산정, 동수경사 계산, Darcy 공식 대입의 순서로 정리하면 안정적으로 풀린다.

암기 포인트

투수계수는 $k = Q/(Ai) = QL/(A\Delta h)$로 구하며, 원형 단면적은 $\pi d^2/4$이다.

NoteBase

문 9. 개수로 흐름의 점변류 중 배수곡선에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 한계경사가 수로바닥경사보다 크다.

② 현재수심이 한계수심보다 크다.

③ 현재수심이 등류수심보다 크다.

④ 한계수심이 등류수심보다 크다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 배수곡선이 나타나는 완경사 수로에서의 수심 관계와 경사 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

배수곡선은 하류 수위 상승 등의 영향으로 수면이 상류 방향으로 서서히 높아지는 점변류 곡선이다. 일반적으로 완경사 수로에서 나타나며, 관계는 $y > y_n > y_c$, $S_c > S_0$로 정리된다. 여기서 y는 현재수심, y_n은 등류수심, y_c는 한계수심, S_0는 수로바닥경사, S_c는 한계경사이다.

선지별 해설

① O

한계경사 S_c가 수로바닥경사 S_0보다 큰 완경사에서 배수곡선이 나타난다. 따라서 이 설명은 맞다.

② O

배수곡선은 상류성 흐름의 점변류이므로 현재수심 y가 한계수심 y_c보다 크다. 따라서 이 설명은 맞다.

③ O

배수곡선은 하류 영향으로 수심이 등류수심 y_n보다 더 커진 상태이다. 따라서 현재수심이 등류수심보다 크다는 설명은 맞다.

④ X

틀린 부분은 '한계수심이 등류수심보다 크다'는 표현이다. 배수곡선이 생기는 완경사에서는 등류수심 y_n이 한계수심 y_c보다 크다. 올바르게는 '등류수심이 한계수심보다 크다'이다.

오답 포인트

배수곡선에서 수심이 커진다는 사실만 기억하고 y_n과 y_c의 상대 크기를 뒤집기 쉽다. 완경사에서는 항상 $y_n > y_c$이고, 배수곡선은 여기에 $y > y_n$가 추가된다고 정리하면 ④를 바로 걸러낼 수 있다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

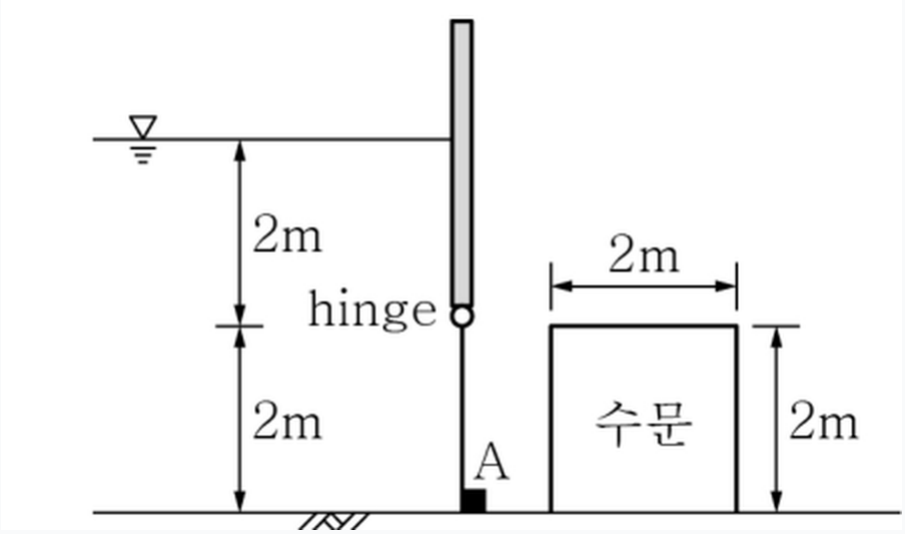
배수곡선 문제가 나오면 먼저 완경사 여부를 본다. 완경사이면 $S_c > S_0$, $y_n > y_c$를 놓고, 배수곡선이면 현재수심이 더 커져 $y > y_n$인지 확인하면 된다.

암기 포인트

배수곡선은 완경사에서 나타나며 관계는 $y > y_n > y_c$, $S_c > S_0$이다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 연직 평면수문에 수압이 작용하고 있다. 수문의 상단은 힌지(hinge)로 되어있고 수문 폭 b_수문은 2m, 수문 높이 h_수문는 2m라면 블록 A에 수문으로 인하여 가해지는 힘의 크기는 얼마인가? (단, h_수문 h_블록A, 물의 단위중량은 $1t_f/m^3$이고 소수점 둘째 자리에서 반올림한다.)



① $6.0t_f$

② $6.7t_f$

③ $9.3t_f$

④ $12.0t_f$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 연직 직사각형 수문에 작용하는 정수압 합력과 중심압 위치를 구한 뒤, 힌지 기준 모멘트 평형으로 블록 A의 반력을 계산하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:
- 수문 폭 $b = 2m$
- 수문 높이 $h = 2m$
- 수문 상단 힌지의 수면 아래 깊이 $2m$
- 물의 단위중량 $\gamma = 1tf/m^3$

구해야 할 값:
- 블록 A에 가해지는 힘 R_A

주의할 조건:
- 수문 전체에 작용하는 합력을 바로 답으로 쓰지 않고, 힌지에 대한 모멘트 평형으로 블록 반력으로 바꾸어야 한다.

사용할 공식

수압 합력은 $F = \gamma A\bar{h}$이다.
중심압 깊이는 $h_p = \bar{h} + \frac{I_G}{\bar{h}A}$이다.
힌지 기준 모멘트 평형은 $R_A \cdot 2 = F \cdot (h_p - 2)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 수문이 폭과 높이가 일정한 연직 직사각형 평면이므로 합력은 평균수심에서, 작용점은 중심압 공식에서 구할 수 있고, 블록 A의 힘은 힌지에 대한 회전평형으로 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 수문 면적은 $A = bh = 2 \times 2 = 4m^2$이다.
2. 수문 도심의 수면 아래 깊이는 $\bar{h} = 2 + \frac{2}{2} = 3m$이다.
3. 수압 합력은 $F = \gamma A\bar{h} = 1 \times 4 \times 3 = 12tf$이다.
4. 직사각형의 도심축 2차모멘트는 $I_G = \frac{bh^3}{12} = \frac{2 \times 2^3}{12} = \frac{4}{3}m^4$이다.
5. 중심압 깊이는 $h_p = 3 + \frac{(4/3)}{3 \times 4} = 3 + \frac{1}{9} = 3.11m$이다.
6. 힌지는 수면 아래 $2m$에 있으므로 합력의 힌지 기준 모멘트팔은 $3.11 - 2 = 1.11m$이다.
7. 힌지 기준 모멘트 평형에서 $R_A \cdot 2 = 12 \times 1.11$이므로 $R_A = 6.67tf$이다.
8. 소수점 둘째 자리에서 반올림하면 $6.7tf$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $6.0tf$는 수압 합력 $12tf$가 도심에서 작용한다고 보고 모멘트팔을 $1m$로 잡은 값이다. 정수압 합력의 작용점은 도심이 아니라 중심압이므로 올바른 값은 $6.7tf$이다.
② O: 수압 합력은 $12tf$, 중심압은 수면 아래 $3.11m$, 힌지 기준 모멘트팔은 $1.11m$이다. 따라서 $R_A = \frac{12 \times 1.11}{2} = 6.67tf$이므로 반올림하면 $6.7tf$이다.
③ X: $9.3tf$는 중심압 위치를 실제보다 더 깊게 잡아 힌지 기준 모멘트팔을 과대평가한 값에 가깝다. 직사각형 수문의 중심압은 $3.11m$이고 힌지 기준 팔길이는 $1.11m$이므로 올바른 값은 $6.7tf$이다.
④ X: $12.0tf$는 수문 전체에 작용하는 수압 합력 자체이다. 문제에서 묻는 것은 블록 A가 받는 힘이므로 힌지에 대한 모멘트 평형으로 환산해야 하며 정답 값은 $6.7tf$이다.

오답 포인트

가장 흔한 오답은 수압 합력의 작용점을 도심으로 착각하는 경우와, 합력 $12tf$를 그대로 블록 힘으로 쓰는 경우이다. 이 문제는 힘의 크기와 작용점을 모두 구한 뒤에야 블록 반력을 계산할 수 있다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

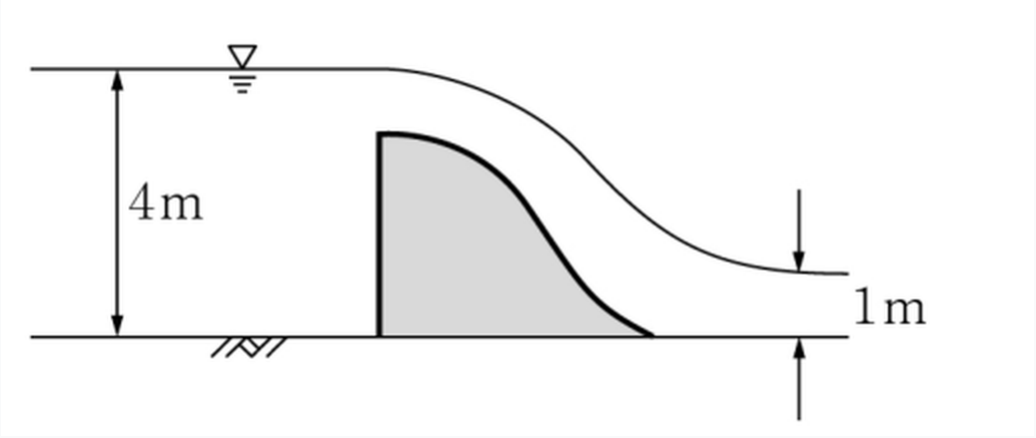
연직 수문 계산은 먼저 A, $\bar{h}$, $F = \gamma A\bar{h}$를 구하고, 다음에 중심압 h_p를 계산한 뒤, 마지막에 힌지나 지점에 대한 모멘트 평형으로 반력을 구하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

연직 직사각형 수문은 합력 $F = \gamma A\bar{h}$, 작용점은 도심보다 아래의 중심압, 지점 반력은 모멘트 평형으로 구한다.

NoteBase

문 11. 그림과 같이 물이 댐을 넘을 때 단위폭당 댐이 받는 수평력의 크기는 얼마인가? (단, 모든 에너지 손실은 무시하고 물의 단위중량은 $1t_f/m^3$, 중력가속도는 $10m/sec^2$으로 가정한다.)



① $2.7t_f/m$

② $4.8t_f/m$

③ $7.5t_f/m$

④ $12.3t_f/m$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 월류부 상류·하류의 수심이 주어졌을 때 연속식, 에너지식, 운동량 방정식을 연결하여 단위폭당 댐이 받는 수평력을 구하는 문제이다.

조건 정리

상류 수심은 $y_1 = 4m$, 하류 수심은 $y_2 = 1m$이다.
단위중량은 $\gamma = 1tf/m^3$, 중력가속도는 $g = 10m/s^2$이다.
단위폭 흐름이며 모든 에너지 손실은 무시한다.
구해야 할 값은 단위폭당 댐이 받는 수평력 F이다.

사용할 공식

연속식은 $q = y_1V_1 = y_2V_2$이다.
에너지식은 $y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$이다.
운동량 방정식은 $P_1 - P_2 - F = \frac{\gamma}{g}q(V_2 - V_1)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 월류 전후의 수심과 속도가 모두 달라져 정수압 차이만이 아니라 수평방향 운동량 변화까지 함께 고려해야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 연속식에서 $4V_1 = 1V_2$이므로 $V_2 = 4V_1$이다.
2. 에너지식에 대입하면 $4 + \frac{V_1^2}{20} = 1 + \frac{(4V_1)^2}{20}$이고, 따라서 $3 = \frac{15V_1^2}{20}$이므로 $V_1 = 2m/s$, $V_2 = 8m/s$이다.
3. 단위폭당 유량은 $q = y_1 V_1 = 4 \times 2 = 8m^2/s$이다.
4. 각 단면의 정수압은 $P_1 = \frac{\gamma y_1^2}{2} = \frac{1 \times 4^2}{2} = 8tf/m$, $P_2 = \frac{\gamma y_2^2}{2} = \frac{1 \times 1^2}{2} = 0.5tf/m$이다.
5. 운동량 변화항은 $\frac{\gamma}{g} q(V_2 - V_1) = \frac{1}{10} \times 8 \times (8 - 2) = 4.8tf/m$이다.
6. 따라서 $F = P_1 - P_2 - \frac{\gamma}{g} q(V_2 - V_1) = 8 - 0.5 - 4.8 = 2.7tf/m$이다.

선지 판단

1번: O. 계산된 단위폭당 수평력은 $2.7tf/m$이므로 정답이다.
2번: X. $4.8tf/m$는 운동량 변화항 $\frac{\gamma}{g} q(V_2 - V_1)$만 계산한 값이다. 댐이 받는 실제 수평력은 정수압 차이에서 이 운동량 증가분을 뺀 $2.7tf/m$이다.
3번: X. $7.5tf/m$는 $P_1 - P_2 = 8 - 0.5$로 정수압 차이만 본 값이다. 월류하면서 속도가 커져 운동량이 증가하므로 $4.8tf/m$를 추가로 반영해야 하고 실제 값은 $2.7tf/m$이다.
4번: X. $12.3tf/m$는 $7.5 + 4.8$처럼 운동량 항의 방향을 반대로 두었을 때 나오는 값이다. 이 문제에서는 운동량 증가분이 정수압이 주는 힘을 상쇄하므로 더하는 것이 아니라 빼야 하며, 옳은 값은 $2.7tf/m$이다.

오답 포인트

상류 유속을 0으로 놓거나, 정수압 차이 $P_1 - P_2$만 계산하고 끝내면 틀린다. 이 문항의 핵심 함정은 월류 전후의 속도 변화로 생기는 운동량 증가분의 방향을 잘못 잡아 4.8, 7.5, 12.3 같은 오답을 고르게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

월류 구조물의 수평력 문제는 먼저 연속식으로 속도 관계를 세우고, 에너지식으로 각 단면 속도를 구한 뒤, 정수압 차이와 운동량 변화항의 부호를 확인하여 운동량 방정식에 대입하면 된다.

암기 포인트

월류부 수평력은 정수압 차이-운동량 증가분 형태로 정리된다.

NoteBase

문 12. 다음 중 단위도 대신 합성단위도를 작성하여야 하는 경우로 가장 옳은 것은?

① 1cm 유효강우가 적용되지 않는 유역

② 해당 유역에서의 강우 및 유출자료 부재

③ 면적 $25km^2$ 이하의 소유역에서의 유출수문곡선 작성

④ 시간별 유출수문곡선의 변화를 고려하여야 하는 경우

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 단위도와 합성단위도의 적용 조건, 특히 실측 강우-유출 자료의 유무에 따른 사용 구분을 묻는 문제이다.

핵심 개념

단위도는 한 유역의 실측 강우와 직접유출 자료로부터 유도한 1단위 유효강우의 유출 응답이다.
합성단위도는 실측 단위도를 만들 자료가 없는 유역에서 유역 특성식이나 지역 경험식을 이용해 추정한 단위도이다.
구분 기준은 유효강우의 크기가 아니라 해당 유역의 강우-유출 관측자료 보유 여부이다.

선지별 해설

① X: 틀린 부분은 "$1cm$ 유효강우가 적용되지 않는"이다. 단위도와 합성단위도는 모두 1단위 유효강우에 대한 응답 개념이므로, 유효강우가 $1cm$가 아니라는 이유만으로 합성단위도를 쓰는 것은 아니다. 올바르게는 "실측 단위도를 유도할 강우-유출 자료가 없을 때 합성단위도를 사용한다"이다.
② O: 해당 유역의 강우 및 유출자료가 없으면 실측 단위도를 직접 유도할 수 없으므로 합성단위도를 작성한다. 합성단위도는 유역면적, 주하도 길이, 지체시간 같은 유역 특성을 이용해 단위도를 추정하는 방법이다.
③ X: 틀린 부분은 "면적 $25km^2$ 이하의 소유역"이다. 유역면적이 작다는 사실 자체는 합성단위도 사용의 직접 기준이 아니다. 올바르게는 "소유역 여부와 무관하게 실측 자료가 없을 때 합성단위도를 사용한다"이다.
④ X: 틀린 부분은 "시간별 유출수문곡선의 변화를 고려하여야 하는 경우"이다. 시간별 유출수문곡선의 변화 고려는 단위도 해석 일반이나 유출모형 선택과 관련된 사항이지, 합성단위도를 써야 하는 직접 조건은 아니다. 올바르게는 "자료 부족으로 단위도를 실측 유도할 수 없을 때 합성단위도를 사용한다"이다.

오답 포인트

단위도와 합성단위도의 차이를 1cm 유효강우, 소유역 규모, 시간변화 고려 여부 같은 주변 조건으로 외우면 틀리기 쉽다. 이 문항의 함정은 적용 목적이 아니라 작성 근거가 실측자료인지 추정식인지에 있다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

단위도 관련 문항은 먼저 "이 유역에 실측 강우-유출 자료가 있는가"를 기준으로 판단한다. 있으면 단위도 유도 문제이고, 없으면 합성단위도 적용 문제로 본다.

암기 포인트

단위도는 실측, 합성단위도는 무자료 유역 추정이라는 대응으로 정리된다.

NoteBase

문 13. 내경 1m의 상수도관을 매설하고자 한다. 이 상수도 강관에 최고 7기압의 수압이 작용하고 강관의 허용인장응력이 $1,400 \mathrm{kgf/cm^2}$이라면 강관의 최소 두께는 얼마인가? (단, 1기압은 $1 \mathrm{kgf/cm^2}$으로 가정한다.)

① 0.25mm

② 0.50mm

③ 2.50mm

④ 5.00mm

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 내압을 받는 얇은 원통형 강관의 둘레응력 식을 이용해 최소 두께를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 내경 $D = 1m = 100cm$, 수압 $p = 7kgf/cm^2$, 허용인장응력 $\sigma = 1400kgf/cm^2$이다.
구해야 할 값은 강관의 최소 두께 t이다.
주의할 조건은 지름을 cm로 맞춰 계산한 뒤 마지막에 mm로 환산하는 점이다.

사용할 공식

얇은 원통형 강관의 둘레응력 관계식은 $\sigma = \frac{pD}{2t}$이다.
이 문제는 내압이 강관 벽을 원주 방향으로 벌리려는 상황이므로 허용인장응력과 내압, 지름의 관계를 직접 연결하는 이 식을 사용한다.

계산 과정

$t = \frac{pD}{2\sigma} = \frac{7 \times 100}{2 \times 1400} cm = \frac{700}{2800} cm = 0.25cm$
$0.25cm = 2.50mm$이므로 최소 두께는 2.50mm이다.

선지 판단

1번 X: 0.25mm는 계산 결과 $0.25cm$를 mm로 바꾸지 않고 단위를 잘못 읽은 값이다. 틀린 표현은 두께값이며 올바르게는 2.50mm이다.
2번 X: 둘레응력 식에 주어진 값을 대입하면 $t = 2.50mm$가 나오므로 0.50mm는 맞지 않는다. 틀린 표현은 두께값이며 올바르게는 2.50mm이다.
3번 O: 계산 결과가 $2.50mm$이므로 맞다.
4번 X: 5.00mm는 식의 분모의 2를 빠뜨려 $t = \frac{pD}{\sigma}$처럼 계산할 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 두께값이며 올바르게는 2.50mm이다.

NoteBase

오답 포인트

내압 관 두께 문제에서는 $\sigma = \frac{pD}{2t}$의 분모 2를 빠뜨리거나, $0.25cm$를 $2.50mm$로 환산하지 못해 오답이 나온다. 지름을 그대로 쓰는지 반지름으로 바꾸는지 혼동하는 경우도 잦다.

다시 나오면 이렇게 판단

내압 강관 문제는 먼저 압력, 지름, 허용응력의 단위를 맞춘 뒤 $t = \frac{pD}{2\sigma}$를 적용하고, 마지막에 두께 단위를 선지 단위로 변환해 비교하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

얇은 원통형 강관의 최소 두께는 $t = \frac{pD}{2\sigma}$이며, 계산 뒤 cm를 mm로 바꾸는 검산까지 끝내야 한다.

NoteBase

문 14. 수심이 10cm이고 수로 폭이 20cm인 직사각형 단면 수로에서 유량 $100\text{cm}^3/\text{sec}$가 흐를 때 물의 동점성계수가 $1 \times 10^{-2}\text{cm}^2/\text{sec}$라면 이 흐름의 종류는? (단, 중력가속도는 $10\text{m}/\text{sec}^2$으로 가정한다.)

① 층류, 상류

② 층류, 사류

③ 난류, 상류

④ 난류, 사류

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 개수로의 Reynolds 수와 Froude 수를 계산해 흐름을 층류·난류, 상류·사류로 판별하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 수심 10cm, 수로 폭 20cm, 유량 $100\text{cm}^3/\text{sec}$, 동점성계수 $1 \times 10^{-2} cm^2/sec$, 중력가속도 $10 m/sec^2$이다.
구해야 할 값: Reynolds 수와 Froude 수이다.
주의할 조건: Reynolds 수는 R과 ν의 단위를 맞추고, Froude 수는 g가 m/sec^2이므로 속도와 수심을 m 단위로 맞춘다.

사용할 공식

직사각형 개수로에서
$A = by, \quad P = b + 2y, \quad R = \frac{A}{P}, \quad D = \frac{A}{T} = y$
$Re = \frac{VR}{\nu}, \quad Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$
를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유: 흐름의 점성 지배 여부는 Reynolds 수로, 상류·사류 구분은 Froude 수로 판정하기 때문이다.

계산 과정

1. 단면적은 $A = 20 \times 10 = 200 cm^2$이므로 평균유속은 $V = Q/A = 100/200 = 0.5 cm/sec$이다.
2. 윤변은 $P = 20 + 2 \times 10 = 40 cm$, 동수반지름은 $R = A/P = 200/40 = 5 cm$이므로
$Re = VR/\nu = 0.5 \times 5/(1 \times 10^{-2}) = 250$이다. $Re < 500$이므로 층류이다.
3. Froude 수는 $D = y = 10 cm = 0.1 m$, $V = 0.5 cm/sec = 0.005 m/sec$로 두면
$Fr = 0.005/\sqrt{10 \times 0.1} = 0.005$이다. $Fr < 1$이므로 상류이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과 $Re = 250 < 500$, $Fr = 0.005 < 1$이므로 층류, 상류가 맞다.
② X: 뒤의 '사류'가 틀렸다. 이 흐름은 $Fr < 1$이므로 사류가 아니라 상류이다.
③ X: 앞의 '난류'가 틀렸다. 이 흐름은 $Re < 500$이므로 난류가 아니라 층류이다.
④ X: '난류, 사류'가 모두 틀렸다. 올바르게는 층류, 상류이다.

오답 포인트

Reynolds 수와 Froude 수의 판정 기준을 뒤섞으면 ③이나 ④로 흐르기 쉽다. 특히 유속이 매우 작다는 점을 놓치면 난류나 사류로 과대판정하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

개수로 분류 문제는 먼저 A로 유속을 구하고, 다음에 Re로 층류·난류를, Fr로 상류·사류를 따로 판정하면 된다.

암기 포인트

개수로 분류는 Re가 점성효과, Fr가 중력효과를 본다. $Re < 500$이면 층류, $Fr < 1$이면 상류이다.

NoteBase

문 15. $0.12m^3/sec$**의 유량이** $20cm$ **관경에서** $40cm$ **관경으로 급확대되어 흐를 때 손실수두는 얼마인가? (단, 마찰손실은 없다고 가정하며, 중력가속도는** $9m/sec^2$**,** $\pi = 3$**으로 가정한다.)**

① 0.25m

② 0.50m

③ 1.00m

④ 2.00m

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 급확대관에서의 손실수두를 연속방정식으로 유속을 구한 뒤 급확대 손실식에 대입해 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 유량 $Q = 0.12m^3/sec$
- 상류 관경 $d_1 = 0.20m$
- 하류 관경 $d_2 = 0.40m$
- 중력가속도 $g = 9m/sec^2$
- 원주율 $\pi = 3$

구해야 할 값:
- 급확대에 따른 손실수두 h_L

주의할 조건:
- 마찰손실은 없으므로 급확대에 의한 국부손실만 계산한다.

사용할 공식

급확대 손실수두는 $h_L = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$ 이다.
연속방정식은 $Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유:
문제는 20cm 관이 40cm 관으로 급확대될 때의 손실수두를 묻고 있으므로, 먼저 각 단면의 유속을 구한 뒤 급확대 손실식을 적용해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. 단면적을 구한다.

$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3 \times 0.2^2}{4} = 0.03m^2$

$A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{3 \times 0.4^2}{4} = 0.12m^2$

2. 유속을 구한다.

$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.12}{0.03} = 4m/sec$

$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.12}{0.12} = 1m/sec$

3. 손실수두를 계산한다.

$h_L = \frac{(4-1)^2}{2 \times 9} = \frac{9}{18} = 0.50m$

선지별 해설

① X

- 계산 결과 손실수두는 $0.50m$이므로 $0.25m$는 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 "손실수두가 0.25m이다"이고, 올바르게는 "손실수두가 0.50m이다"이다.
- 이 값은 급확대 손실식의 제곱 효과를 과소평가하면 나올 수 있는 오답이다.

② O

- $v_1 = 4m/sec$, $v_2 = 1m/sec$이므로 $h_L = (v_1 - v_2)^2/(2g)$에 대입하면 $0.50m$가 된다.
- 따라서 0.50m를 제시한 ②가 옳다.

③ X

- 계산 결과와 비교하면 $1.00m$는 실제 손실수두의 두 배이므로 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 "손실수두가 1.00m이다"이고, 올바르게는 "손실수두가 0.50m이다"이다.
- 이 값은 $(v_1 - v_2)^2/g$처럼 $2g$ 대신 g로 잘못 나누면 나오는 대표적 오답이다.

④ X

- 계산 결과와 비교하면 $2.00m$는 손실수두가 아니라 상류 유속수두 $v_1^2/(2g) = 16/18$보다도 큰 값으로, 주어진 조건과 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 "손실수두가 2.00m이다"이고, 올바르게는 "손실수두가 0.50m이다"이다.
- 이 값은 급확대 손실식 대신 다른 수두식을 뒤섞어 적용한 오답이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 관경이 커졌다고 해서 손실수두를 단순히 작게 보거나, 유속 차 $v_1 - v_2$를 구한 뒤 제곱을 빠뜨리는 데 있다. 또한 단면적 계산에서 d^2를 빼먹으면 유속이 전부 틀어져 최종 답도 달라진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

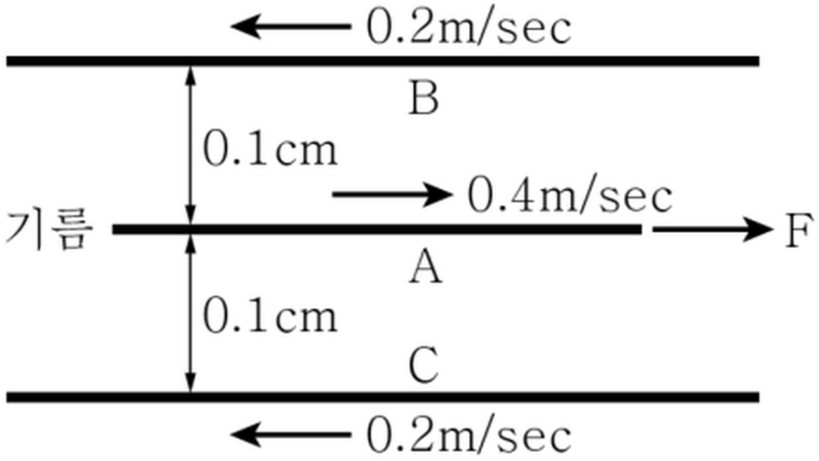
급확대 계산형은 먼저 $Q = Av$로 각 단면 유속을 구하고, 그다음 급확대 손실식 $h_L = (v_1 - v_2)^2/(2g)$에 대입하는 순서로 판단한다. 관경 변화 문제에서는 단면적이 관경의 제곱에 비례한다는 점을 함께 확인하면 계산이 안정된다.

암기 포인트

급확대 손실은 유속차를 제곱한 뒤 $2g$로 나눈 값이며, 유속은 반드시 Q/A로 먼저 구한다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 길이가 각각 10cm×10cm인 금속판 A가 점성계수 $0.2\mathrm{N}\cdot\mathrm{sec/m^2}$인 기름 속에서 오른쪽으로 0.4m/sec의 속도로 잡아 당겨지고 있다. 한편 위와 아래의 매우 넓은 금속판 B와 C도 왼쪽으로 0.2m/sec의 속도로 움직인다면 힘 F는 얼마인가?



① 0.8 N

② 1.2 N

③ 1.6 N

④ 2.4 N

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 점성유체에서 평판 양면에 작용하는 전단응력을 이용해 끌어당기는 힘 F를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 점성계수 μ=0.2 N00b7s/m^2, 금속판 한 변 $10cm = 0.1m$, 간격 $h = 0.1cm = 0.001m$

금속판 A의 속도: 오른쪽 $0.4m/s$

금속판 B, C의 속도: 왼쪽 $0.2m/s$

구해야 할 값: 판 A를 일정 속도로 끌기 위한 힘 F

주의할 조건: 위쪽과 아래쪽 기름층이 모두 저항하므로 두 면의 힘을 합해야 한다.

NoteBase

사용할 공식

전단응력은 $\tau = \mu\frac{\Delta u}{h}$이고, 한 면에 작용하는 힘은 $F_1 = \tau A$이다.
따라서 양면 전체 힘은 $F = 2\mu A\frac{\Delta u}{h}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 판 A와 양쪽 판 사이에 두께 h의 점성유체 층이 있고, 각 층에서 속도차에 의한 전단저항이 각각 생기기 때문이다.

계산 과정

1. 판 A와 판 B의 상대속도는 $0.4 - (-0.2) = 0.6m/s$이다. 아래쪽 판 C와의 상대속도도 $0.6m/s$이다.
2. 판 A의 한 면적은 $A = 0.1 \times 0.1 = 0.01m^2$이다.
3. 한 면의 전단응력은 $\tau = 0.2 \times \frac{0.6}{0.001} = 120N/m^2$이다.
4. 한 면의 힘은 $F_1 = 120 \times 0.01 = 1.2N$이다.
5. 위쪽과 아래쪽 두 면을 합하면 $F = 2 \times 1.2 = 2.4N$이다.

선지별 해설

① X
0.8 N은 상대속도를 $0.4m/s$로 잘못 보거나 한 면만 계산한 값에 해당한다. 이 문항에서는 상대속도가 $0.6m/s$이고 양면 저항을 모두 더해야 하므로 올바르게는 2.4 N이다.

② X
1.2 N은 한 면에만 작용하는 점성저항력이다. 판 A의 위아래에 기름층이 모두 있으므로 전체 끌림력은 $1.2 + 1.2 = 2.4N$이 되어야 한다.

③ X
1.6 N은 상대속도를 $0.4m/s$로 잘못 두고 양면을 계산했을 때 나오는 값이다. 틀린 부분은 상대속도이며, 실제 상대속도는 $0.6m/s$이므로 올바른 힘은 2.4 N이다.

④ O
판 A와 양쪽 판의 상대속도는 각각 $0.6m/s$이고, 각 면에서 $1.2N$의 저항이 작용한다. 두 면의 합이 $2.4N$이므로 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 상대속도를 $0.4m/s$로만 보거나, 위아래 두 기름층 중 한 면의 힘만 계산하는 것이다. 이 문제는 절대속도가 아니라 판 A와 양쪽 판의 상대속도 $0.6m/s$를 써야 하고, 저항이 양면에서 동시에 작용한다는 점이 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

점성저항 계산 문제는 먼저 각 판의 운동방향을 반영해 상대속도를 구하고, 다음에 $\tau = \mu \Delta u / h$를 적용한 뒤, 마지막에 저항이 작용하는 면의 수를 확인해 합산하면 된다.

암기 포인트

평판 점성저항은 상대속도, 유막두께, 작용면 수가 핵심이며, 이 문항은 한 면 1.2 N, 양면 2.4 N이다.

NoteBase

문 17. 다음 중 직접유출의 지속시간이 유역면적의 멱함수에 비례한다는 가정을 이용하는 수문곡선 분리법으로 옳은 것은?

① N-day법
② 가변경사법
③ 수평직선 분리법
④ 주 지하수 감수곡선법

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 수문곡선 분리법 중 N-day법이 직접유출 지속시간을 유역면적의 멱함수로 두는 경험식을 사용한다는 점을 묻는 문제이다.

핵심 개념

N-day법은 첨두유량 발생 후 직접유출이 끝나는 시간을 유역면적 A의 멱함수로 두는 경험식 $N = 0.827A^{0.2}$로 정해 기저유출 분리점을 잡는 방법이다.
수평직선 분리법은 상승부 기점에서 수평선을 그어 분리하고, 가변경사법과 주 지하수 감수곡선법은 감수부의 기울기와 지하수 감수 특성을 이용한다.

선지별 해설

1번 O: N-day법은 직접유출 지속시간 N을 유역면적 A의 멱함수로 두는 경험식을 사용한다. 문제의 설명과 일치한다.
2번 X: 가변경사법은 감수부의 기울기 변화와 변곡점을 이용해 분리선을 정한다. 틀린 표현은 "직접유출의 지속시간이 유역면적의 멱함수에 비례한다"이다. 올바르게는 "감수곡선의 기울기 변화를 이용해 기저유출을 분리한다"이다.
3번 X: 수평직선 분리법은 수문곡선 상승부 기점에서 수평선을 그어 감수부와 연결하는 단순 도식법이다. 틀린 표현은 "유역면적의 멱함수"이다. 올바르게는 "상승부 기점의 수평 연장선으로 기저유출을 분리한다"이다.
4번 X: 주 지하수 감수곡선법은 평상시의 지하수 감수곡선을 연장해 기저유출을 추정하는 방법이다. 틀린 표현은 "직접유출의 지속시간"이다. 올바르게는 "주 지하수 감수 특성으로 기저유출선을 정한다"이다.

오답 포인트

수문곡선 분리법이 모두 도식적으로 보여서 서로 비슷하게 외우기 쉽다. N-day법만 유역면적에서 직접유출 지속시간을 계산하고, 나머지는 수평선, 감수곡선, 기울기 같은 선의 형태를 이용한다는 점이 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

선지에 유역면적 A, 직접유출 지속시간 N, 경험식이 함께 나오면 N-day법을 먼저 연결한다. 반대로 수평선, 감수곡선 연장, 기울기 변화가 나오면 수평직선 분리법, 주 지하수 감수곡선법, 가변경사법을 구분한다.

암기 포인트

N-day법은 면적에서 시간을 잡는 방법이고, 나머지 분리법은 곡선 모양과 감수특성으로 분리하는 방법이다.

NoteBase

문 18. 해수면 50m 아래에서 1m/sec로 항해하는 잠수함에 대한 모형 실험을 축척 1:100으로 작게 만들어 수행하고자 한다. 원형과 모형에서 같은 유체가 사용된다면 모형 잠수함의 속도는 얼마인가?

① 0.01m/sec

② 0.10m/sec

③ 10.00m/sec

④ 100.00m/sec

정답 4번

출제 포인트

같은 유체를 쓰는 완전 잠수체 모형실험에서 Reynolds 상사를 적용하여 속도 축척을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 원형 잠수함 속도는 1m/sec, 축척은 1:100, 원형과 모형의 유체는 같다.
구해야 할 값: 모형 잠수함의 속도이다.
주의할 조건: 잠수함은 해수면 아래를 운항하는 완전 잠수체이므로 자유수면을 기준으로 한 Froude 상사가 아니라 Reynolds 상사를 본다.

사용할 공식

Reynolds 수는 $Re = VL/\nu$이다.
상사조건은 $Re_m = Re_p$이므로 $\frac{V_m L_m}{\nu} = \frac{V_p L_p}{\nu}$이다. 같은 유체를 쓰므로 ν가 같아져 $V_m L_m = V_p L_p$가 된다.
이 공식을 쓰는 이유: 잠수함은 완전 잠수체이므로 자유수면 파형을 맞출 필요가 없고, 점성 영향이 중요한 Reynolds 상사를 적용한다.

계산 과정

축척 1:100이므로 $L_m/L_p = 1/100$이다.
따라서 $V_m L_m = V_p L_p$에서
$V_m = V_p \frac{L_p}{L_m} = 1 \times 100 = 100 m/sec$
계산 결과 모형 잠수함 속도는 $100 m/sec$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 0.01m/sec는 속도를 길이와 같은 비율로 줄인 값이다. 틀린 표현은 '모형 속도는 0.01m/sec이다'이고, 올바르게는 '모형 속도는 100m/sec이다'이다.
② X: 0.10m/sec는 자유수면 유동에서 쓰는 Froude 상사 $V \propto \sqrt{L}$를 잘못 적용한 값이다. 잠수함은 해수면 아래를 움직이는 완전 잠수체이므로 이 문항에서는 Reynolds 상사를 써야 한다. 틀린 표현은 '모형 속도는 0.10m/sec이다'이고, 올바르게는 '모형 속도는 100m/sec이다'이다.
③ X: 10.00m/sec는 축척 1:100을 잘못 해석해 속도 배율을 10배로만 잡은 값이다. Reynolds 상사에서는 길이가 100분의 1로 줄면 속도는 100배가 되어야 한다. 틀린 표현은 '모형 속도는 10.00m/sec이다'이고, 올바르게는 '모형 속도는 100m/sec이다'이다.
④ O: $Re_m = Re_p$와 $L_m/L_p = 1/100$을 적용하면 $V_m = 100 m/sec$가 된다. 같은 유체를 쓰는 완전 잠수체 모형실험의 정답이다.

오답 포인트

'해수면 50m 아래'라는 조건을 보고 자유수면 유동처럼 Froude 상사를 적용하면 0.10m/sec 쪽으로 끌려간다. 이 문항의 핵심은 수면 아래를 움직이는 잠수함이라는 점과 같은 유체를 쓴다는 점이다. 이때는 Reynolds 수 일치를 먼저 본다.

다시 나오면 이렇게 판단

잠수함·어뢰·수중체처럼 완전 잠수체이면 먼저 자유수면 영향이 있는지부터 판단한다. 자유수면 영향이 없고 같은 유체를 쓰면 $Re = VL/\nu$를 맞추어 속도가 길이 축척의 역수로 변한다고 본다.

암기 포인트

완전 잠수체 + 같은 유체이면 Reynolds 상사이다. 길이를 100분의 1로 줄이면 속도는 100배가 된다.

NoteBase

문 19. 면적이 $52km^2$인 어떤 유역의 도달시간(t_c)은 20시간이다. SCS 무차원 단위도법을 이용하여 2시간 단위도의 첨두 유량을 구하면 얼마인가?

① $5.41m^3/\text{sec}$

② $8.32m^3/\text{sec}$

③ $9.01m^3/\text{sec}$

④ $54.08m^3/\text{sec}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 SCS 무차원 단위도법에서 유역의 도달시간으로 지체시간과 첨두시간을 구한 뒤 2시간 단위도의 첨두유량을 계산하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 유역면적 $A = 52km^2$, 도달시간 $t_c = 20hr$, 유효우량 지속기간 $D = 2hr$
- 구해야 할 값: 2시간 단위도의 첨두유량 Q_p
- 주의할 조건: SCS 무차원 단위도법에서는 지체시간 $t_{lag} = 0.6t_c$, 첨두시간 $T_p = t_{lag} + D/2$를 사용한다.

사용할 공식

$t_{lag} = 0.6t_c$

$T_p = t_{lag} + \frac{D}{2}$

$Q_p = \frac{2.08A}{T_p}$

이 공식을 쓰는 이유는 SCS 무차원 단위도법의 첨두유량이 유역면적과 첨두시간으로 결정되기 때문이다. 문제에서 도달시간과 단위도 지속기간이 주어졌으므로 먼저 t_{lag}와 T_p를 구한 뒤 Q_p를 계산한다.

계산 과정

1. 지체시간은 $t_{lag} = 0.6t_c = 0.6 \times 20 = 12hr$이다.
2. 첨두시간은 $T_p = t_{lag} + D/2 = 12 + 2/2 = 13hr$이다.
3. 첨두유량은 $Q_p = 2.08A/T_p = 2.08 \times 52/13 = 8.32m^3/sec$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- $5.41m^3/sec$는 $Q_p = 2.08 \times 52/20$처럼 첨두시간 대신 도달시간 $t_c = 20hr$를 그대로 분모에 넣으면 나오는 값이다. SCS법의 분모는 도달시간이 아니라 $T_p = 13hr$이므로 첨두유량은 5.41가 아니라 $8.32m^3/sec$이다.

② O

- 계산 결과가 $8.32m^3/sec$이므로 옳다. 지체시간과 첨두시간을 순서대로 구한 뒤 첨두유량 공식을 적용한 값과 일치한다.

③ X

- $9.01m^3/sec$는 $Q_p = 2.08 \times 52/12$처럼 지체시간 $t_{lag} = 12hr$만 분모에 넣고 $D/2$를 더하지 않으면 나오는 값이다. 첨두시간은 t_{lag} 자체가 아니라 $T_p = t_{lag} + D/2$이므로 올바른 값은 9.01이 아니라 $8.32m^3/sec$이다.

④ X

- $54.08m^3/sec$는 $Q_p = 2.08 \times 52/2$처럼 지속기간 $D = 2hr$를 첨두시간으로 오인하면 나오는 값이다. SCS법에서는 D를 그대로 쓰지 않고 $T_p = 13hr$를 사용하므로 첨두유량은 54.08이 아니라 $8.32m^3/sec$이다.

오답 포인트

도달시간 t_c, 지체시간 t_{lag}, 첨두시간 T_p를 같은 시간으로 혼동하기 쉽다. 이 문항은 특히 $T_p = t_{lag} + D/2$에서 $D/2$를 빼먹거나, t_c를 바로 분모에 넣는 실수를 노린 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

SCS 단위도 계산형은 먼저 주어진 시간이 t_c인지 t_{lag}인지 구분하고, 그다음 $t_{lag} = 0.6t_c$와 $T_p = t_{lag} + D/2$를 순서대로 만든 뒤 마지막에 $Q_p = 2.08A/T_p$를 적용하면 된다.

암기 포인트

SCS 첨두유량은 t_c를 바로 쓰지 않고 $t_c \rightarrow t_{lag} = 0.6t_c \rightarrow T_p = t_{lag} + D/2 \rightarrow Q_p = 2.08A/T_p$ 순서로 계산한다.

NoteBase

문 20. 직경이 20cm이고 속이 비어있는 유리관 안에 속이 꽉 찬 직경 15cm의 유리봉을 끼워 물속에 세웠다. 물의 표면장력을 $0.075g_f/cm$라 할 때 물이 상승한 모세관 높이는 얼마인가? (단, 물과 유리의 접촉각은 0°이고 물의 단위중량은 $1g_f/cm^3$으로 가정한다.)

① 0.0075cm

② 0.0150cm

③ 0.0300cm

④ 0.0600cm

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 동심 원환상 간극에서 표면장력의 수직성분과 상승한 물기둥의 중량을 평형시켜 모세관 상승고를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 바깥 유리관 직경 20cm, 안쪽 유리봉 직경 15cm, 표면장력 0.075gf/cm, 접촉각 0°, 물의 단위중량 1gf/cm^3이다.
구해야 할 값: 물이 상승한 모세관 높이 h이다.
주의할 조건: 물은 바깥 관의 안벽과 안쪽 봉의 외벽을 모두 적시므로 젖은 둘레는 두 원주의 합이고, 유체 단면은 원환 단면이다.

사용할 공식

모세관 상승 평형식은 $\sigma P\cos\theta = \gamma A h$ 이다.
여기서 P는 젖은 둘레이고 A는 상승한 물기둥의 단면적이다.
이 문제는 관 안에 유리봉이 끼워진 원환상 간극이므로 $P = \pi D + \pi d = \pi(D+d)$, $A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$를 사용한다.

계산 과정

1. 접촉각이 0°이므로 $\cos\theta = 1$이다.
2. 평형식에 원환 단면을 대입하면 $h = \frac{\sigma\pi(D+d)}{\gamma \cdot \frac{\pi}{4}(D^2-d^2)} = \frac{4\sigma}{\gamma(D-d)}$ 가 된다.
3. $D - d = 20 - 15 = 5cm$ 이므로 $h = \frac{4 \times 0.075}{1 \times 5} = 0.0600cm$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X: 0.0075cm는 일반 원형 모세관식 $h = \frac{4\sigma}{\gamma D}$에 바깥 관 직경 20cm만 넣은 값이다. 이 문제는 유리봉이 들어 있어 유효 간극 $D - d$를 써야 하므로 틀리다. 틀린 표현은 "직경 20cm의 단일 관"으로 본 점이고, 올바르게는 "직경차 5cm의 원환상 간극"으로 본다.
2번 X: 0.0150cm는 간극 구조를 잘못 해석해 한쪽 치수만 단순 대입한 값이다. 원환 간극의 상승고는 $\frac{4\sigma}{\gamma(D-d)}$로 계산해야 하므로 틀리다. 올바른 값은 0.0600cm이다.
3번 X: 0.0300cm는 $D - d = 5cm$는 보았지만 젖은 둘레를 한 면만 계산해 $\frac{2\sigma}{\gamma(D-d)}$처럼 처리할 때 나오는 값이다. 물은 바깥 관과 안쪽 봉을 모두 적시므로 표면장력의 수직성분이 두 접촉선에서 작용한다.
4번 O: 원환상 간극의 모세관 상승식 $h = \frac{4\sigma}{\gamma(D-d)}$에 값을 대입하면 0.0600cm가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 원형 모세관 공식만 기계적으로 외워 바깥 관 직경 20cm를 그대로 넣거나, 원환 간극임을 알아도 젖은 둘레를 한 면만 계산하는 데 있다. 이 문제는 단면적은 원환 면적, 표면장력은 두 접촉선의 합으로 본다는 점이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

관 안에 봉이 들어 있으면 먼저 유체가 차 있는 공간이 원환 간극인지 확인한다. 그다음 $D - d$로 간극 폭을 잡고, 젖은 둘레는 접촉하는 모든 고체면의 둘레를 합산해 표면장력 평형식을 세우면 된다.

암기 포인트

원환상 모세관 상승은 단일 관 직경이 아니라 직경차로 결정되며, 결과식은 $h = \frac{4\sigma}{\gamma(D-d)}$이다.

NoteBase