

전달현상

1. 분자의 운동과 물질전달에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 기체 분자는 서로 충돌하지 않는다.
② 용액 내의 농도구배는 분자 확산을 유발한다.
③ 기체의 압력 변화는 확산계수에 영향을 주지 않는다.
④ 온도가 높을수록 기체 분자의 확산 속도는 감소한다.

2. 운동량 확산도와 열 확산도의 비를 설명하는 무차원수는?

- ① Schmidt 수
② Grashof 수
③ Prandtl 수
④ Sherwood 수

3. 1차원 열전도에 대한 푸리에의 법칙(Fourier's law)이 다음 식을 따를 때, 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, A 는 열흐름 방향에 수직인 단면적으로 일정하고, $k > 0$ 이다)

$$\frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} [\text{W m}^{-2}]$$

- ① q_x 는 x 방향에 대한 열 플럭스(heat flux)이다.
② 음의 부호(-)는 온도가 감소하는 방향으로 열이 전달됨을 의미한다.
③ k 는 열전도도(thermal conductivity)이다.
④ $\frac{dT}{dx}$ 는 x 방향에 대한 온도구배를 의미한다.

4. 300 K에서 물에 용해된 A와 B의 농도에 헨리의 법칙(Henry's law)이 적용 가능할 때, 두 기체 A, B의 헨리상수는 다음과 같다.

- $H_A = 2 \times 10^4 \text{ bar}$
○ $H_B = 1 \times 10^4 \text{ bar}$

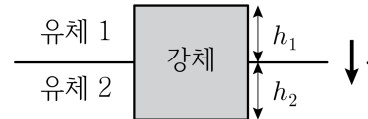
액체상에서 A와 B의 몰분율 비(x_A/x_B)가 2일 때, 기체상에서 A와 B의 분압 비(P_A/P_B)는? (단, 액체상과 기체상은 평형을 이룬다)

- ① 0.5
② 1
③ 2
④ 4

5. 25 °C, 1 atm에서 물질 A가 공기로 확산한다. 물질 A의 Lewis 수는 2이고, 물질확산계수가 $0.1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 일 때, 열 확산도 [$\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$]는?

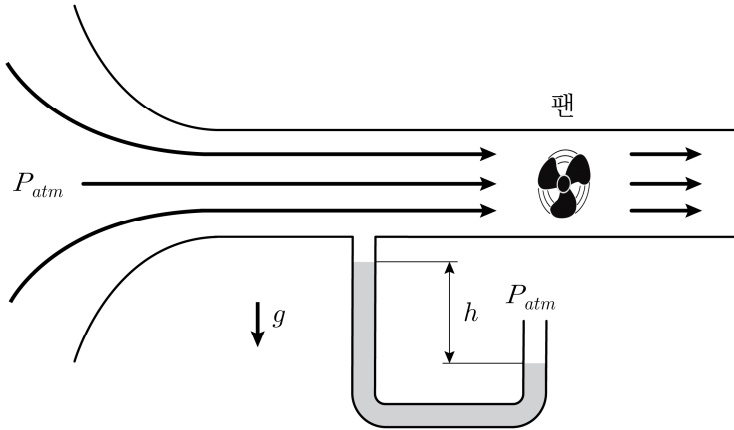
- ① 0.05
② 0.2
③ 20
④ 40

6. 정육면체의 강체가 정지해 있는 유체 1과 유체 2의 사이에 걸쳐 잠겨 있다. 유체 1, 유체 2의 밀도는 각각 $1,000 \text{ kg m}^{-3}$, $4,000 \text{ kg m}^{-3}$ 이고 강체의 밀도는 $2,000 \text{ kg m}^{-3}$ 일 때, $\frac{h_1}{h_2}$ 은? (단, h_1 과 h_2 는 각각 강체가 유체 1과 2에 잠겨 있는 높이이고, 중력가속도(g)는 10 m s^{-2} 로 계산하며, 표면장력의 영향은 무시한다)



- ① 0.25
② 0.5
③ 1
④ 2

7. 원형관에 설치된 팬이 대기로부터 공기를 흡입하고 있고, 관의 벽면에 설치된 U관 마노미터에는 물이 채워져 있다. 공기와 물의 밀도가 각각 1.2 kg m^{-3} , $1,000 \text{ kg m}^{-3}$ 이고, 관 속을 흐르는 공기의 유속이 20 m s^{-1} 일 때, U관 마노미터의 높이차 $h[\text{m}]$ 는? (단, 공기의 흐름은 베르누이 방정식의 가정을 만족하고 마찰은 없으며, 중력가속도(g)는 10 m s^{-2} 로 계산한다)



- ① 0.020
 ② 0.024
 ③ 20
 ④ 24
8. 내부가 비압축성 Newton 유체로 채워진 수직 원형관에 반지름이 0.001 m이고 밀도가 $10,000 \text{ kg m}^{-3}$ 인 고체 구를 떨어지게 한 결과, 스토크스(Stokes) 영역에서 종말속도(terminal velocity)가 0.001 m s^{-1} 로 측정되었다. 유체의 밀도가 $1,000 \text{ kg m}^{-3}$ 일 때, 유체의 점도 $[\text{Pa} \cdot \text{s}]$ 는? (단, 원형관의 반지름이 구의 반지름에 비해 매우 커서 벽면의 영향을 무시할 수 있고, 중력가속도는 10 m s^{-2} 로 계산한다)

- ① 10
 ② 20
 ③ 40
 ④ 100

9. 원형관 내에 점성을 갖는 비압축성 Newton 유체가 균일한 속도로 유입된다. 유체의 흐름 발달에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 정상흐름을 가정하고, (r, θ, z) 는 원통형 좌표이다)

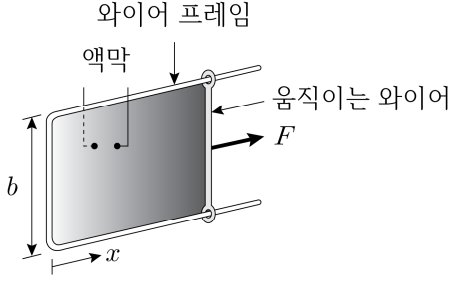
- ㄱ. 입구영역(entrance region)에서 관의 벽면이 받는 전단응력은 입구로부터의 위치(z)에 따라 다르다.
 ㄴ. 완전발달영역(fully developed region)에서 속도분포는 관 중심으로부터의 위치(r)에만 의존한다.
 ㄷ. 유체의 단위 길이당 압력강하는 완전발달영역이 입구영역보다 크다.

- ① ㄱ
 ② ㄴ
 ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ

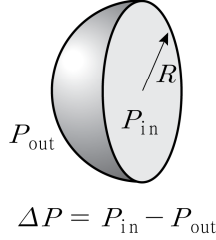
10. 원형관 내부 비압축성 유동에서 Reynolds 수와 마찰계수의 관계를 나타내는 무디(Moody) 차트에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 유체는 Newton 유체이다)
- ① 관 내부의 거칠기(roughness)에 의한 영향을 확인할 수 있다.
 ② 난류에서 Reynolds 수와 마찰계수의 관계는 실험적으로 얻을 수 있다.
 ③ 나비에-스톡스(Navier-Stokes) 식을 통해 층류에서 Reynolds 수와 마찰계수의 관계를 구할 수 있다.
 ④ Reynolds 수 증가에 따른 마찰계수 감소 정도는 층류일 때보다 난류일 때 더 크다.

11. 정지해 있는 고체 구 주위 비압축성 유동의 경계층 분리 현상에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 유체는 Newton 유체이고, 유동은 스토크스(Stokes) 영역이 아니다)
- ① 유체가 점성을 갖는 경우 발생하는 현상이다.
 ② 경계층 분리가 발생하는 곳에서 와류가 형성될 수 있다.
 ③ 경계층 분리 현상은 고체 구가 받는 항력에 영향을 주지 않는다.
 ④ 유체 흐름의 역방향으로 압력이 감소하는 상황에서 발생할 수 있다.

12. 그림 (가)는 높이 b 인 U형 와이어 프레임에 매달려 있는 액막을, 그림 (나)는 공기 중에 있는 반지름 R 인 구형 액체 방울의 절반 부분을 보여 주고 있다. 그림 (가)의 U형 와이어 프레임의 액막에 작용하는 표면장력은 힘 F 와 평형에 있고, 그림 (나)의 액체 방울 내부 압력(P_{in})과 외부 압력(P_{out})의 차는 ΔP 이다. 그림 (가)와 (나)에서 유체의 표면장력을 바르게 나열한 것은?



(가)



(나)

- | | (가) | (나) |
|---|----------------|-----------------------|
| ① | $\frac{F}{2b}$ | $\frac{R\Delta P}{4}$ |
| ② | $\frac{F}{2b}$ | $\frac{R\Delta P}{2}$ |
| ③ | $\frac{F}{b}$ | $\frac{R\Delta P}{4}$ |
| ④ | $\frac{F}{b}$ | $\frac{R\Delta P}{2}$ |

13. 가로 6 mm, 세로 12 mm의 직사각형 단면을 가진 길이 3 m의 관에 점도 $0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 의 유체가 흐를 때, 관 양단의 압력차는 100 Pa 로 측정되었다. 수력학적 직경(hydraulic diameter)을 적용했을 때 유체의 흐름이 Hagen-Poiseuille 관계식의 가정을 만족한다면, 유체의 부피 유량 $[\text{m}^3 \text{ s}^{-1}]$ 은? (단, 유로는 완전히 젖어 있고, 원주율(π)은 3으로 계산한다)

- ① 3.20×10^{-6}
 ② 6.40×10^{-6}
 ③ 1.28×10^{-5}
 ④ 2.56×10^{-5}

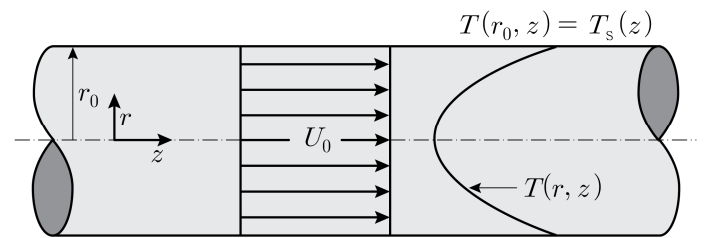
14. 두 개의 동심원 원형관으로 구성된 특수 열전달 시스템이 있다. 내부 관과 외부 관은 각각 온도 T_1 , T_2 를 유지하며, $T_1 > T_2$ 이다. 두 관 사이의 공간은 진공 상태이며, 두 관의 표면은 회색체로 가정한다. 내부 관과 외부 관의 방사율은 각각 ε_1 , ε_2 이며, 내부 관의 표면은 온도에 따라 ε_1 이 변하는 특수 물질이다. 이 시스템의 특성에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 각 표면의 방사율과 흡수율은 같고, 관 양 끝의 말단효과는 무시한다)

- ① 두 관 사이의 거리와 관계없이 열전달 속도는 일정하다.
 ② 정상상태에서 내부 관에서 외부 관으로의 총 열전달 속도는 온도차($T_1 - T_2$)의 네제곱에 비례한다.
 ③ ε_1 이 증가하면, 열전달 속도가 감소한다.
 ④ 내부 관의 온도가 증가함에 따라 ε_1 이 감소하도록 설계하면, 특정 조건에서 열전달 속도를 일정하게 유지할 수 있다.

15. 벽면으로부터 일정한 열 플럭스(heat flux)가 입사되는 원형관 내부에 유체가 관 단면에 걸쳐 균일한 속도($v_r = 0$, $v_\theta = 0$, $v_z = U_0$)로 흐른다. 원형관의 반경은 r_0 , 유체의 열 확산도는 α , 관 표면 온도는 $T_s(z)$ 이다. 원형관 내부의 에너지 방정식이 다음과 같을 때, 관 내부의 열적으로 완전발달된 유체의 온도 분포 $T(r, z)$ 를 나타낸 식은? (단, 유체는 비점성, 비압축성 정상흐름이고, 유체의 물성은 온도에 따라 변하지 않으며, $\frac{\partial T}{\partial z} = C$ (C 는 상수)이다)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right\}$$

t 는 시간, (r, θ, z) 는 원통형 좌표임



- ① $T_s(z) - \frac{U_0 C}{2\alpha} (r_0^2 - r^2)$
 ② $T_s(z) - \frac{U_0 C}{4\alpha} (r_0^2 - r^2)$
 ③ $T_s(z) - \frac{U_0 C}{8\alpha} (r_0^2 - r^2)$
 ④ $T_s(z) - \frac{U_0 C}{16\alpha} (r_0^2 - r^2)$

16. 온도가 30°C 로 일정하게 유지되는 수평 평판 위로 10°C , 1 atm 의 기체 A가 판의 길이 방향으로 1 m s^{-1} 의 자유흐름 속도로 흐르고 있다. 판의 길이 L에 대한 평균 Nusselt 수($\overline{\text{Nu}}$)가 다음 관계를 따를 때, 판에서 기체 A로의 열전달 속도[W]는?

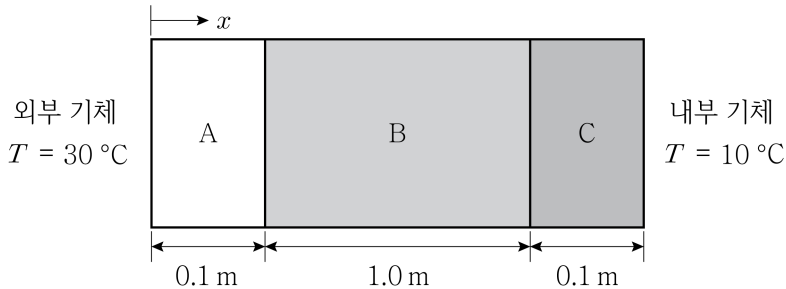
$$\overline{\text{Nu}} = 0.7\text{Re}_L^{1/2}\text{Pr}^{1/3}$$

Re_L 은 특성길이를 L로 계산한 Reynolds 수이다

(단, 판의 길이와 폭은 각각 1 m이고, 평판과 자유흐름 사이 층류 경계층의 기체 A의 점도 $= 1 \times 10^{-4}\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$, 밀도 $= 1.0\text{ kg m}^{-3}$, 열전도도 $= 0.05\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$, $\text{Pr} = 1$ 이다)

- ① 3.5
② 7.0
③ 35
④ 70

17. 그림과 같이 평판 세 개가 완전히 밀착되어 복합체를 이루고 있다. 평판 외부 기체와 내부 기체의 온도는 각각 30°C , 10°C 이고, 외부 기체와 내부 기체의 대류 열전달계수는 각각 $30\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-1}$, $10\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-1}$ 이다. 물질 B와 C의 열전도도는 각각 $10\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$, $1\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ 이다. 정상상태에서 물질 B의 온도가 25°C 이하로 유지되기 위한 물질 A의 최대 열전도도[W m $^{-1}\text{ K}^{-1}$]는? (단, x방향으로의 열전달만 고려하며, 세 평판의 x방향에 수직인 단면적은 모두 같다)



- ① 0.5
② 1.0
③ 1.5
④ 2.0

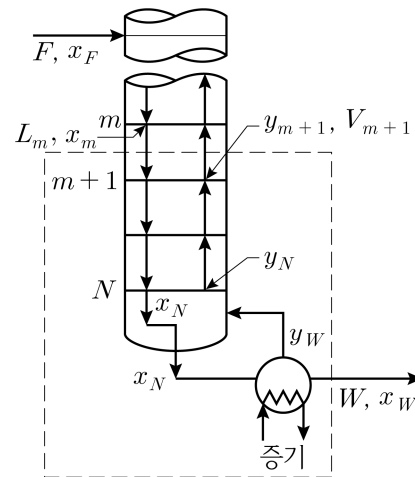
18. 길고 속이 빈 원형관에서 반지름 방향으로 정상상태의 전도열전달이 일어나고 있다. 관의 내부 표면과 외부 표면의 온도는 각각 500 K, 430 K으로 유지된다. 관 내부 반지름은 2 cm이고 외부 반지름은 4 cm이다. 반지름 3 cm 지점에서의 온도[K]는? (단, 관의 열전도도는 일정하며, $\ln 2$ 와 $\ln 3$ 은 각각 0.7, 1.0으로 계산한다)

- ① 460
② 470
③ 480
④ 490

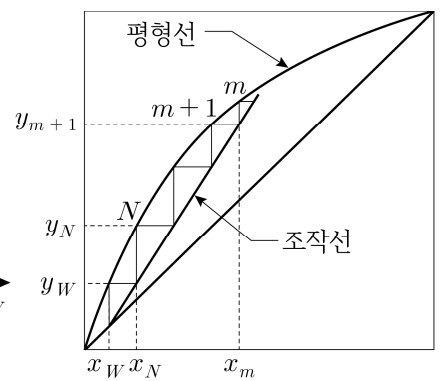
19. 320 K에서 기체로 존재하는 어떤 물질이 평균자유이동거리(mean free path)보다 매우 작은 원통형 기공을 통해 Knudsen 확산한다. Knudsen 확산도가 $0.0388\text{ cm}^2\text{ s}^{-1}$ 일 때, 기공의 반지름[cm]에 가장 가까운 값은? (단, 물질의 분자량은 80 g mol^{-1} 로 계산한다)

- ① 2×10^{-6}
② 4×10^{-6}
③ 6×10^{-6}
④ 8×10^{-6}

20. 그림 (가)는 증류탑의 탈거부(stripping section)의 개략도이고, 그림 (나)는 탈거부 해석을 위한 McCabe-Thiele 작도법을 나타낸다. F와 W는 원료와 탑밑 제품의 유체 몰흐름이고, x_F 와 x_W 는 해당 유체 흐름에서의 몰분율이다. L_i 와 V_i 는 임의의 단 i ($i = m, m+1, \dots, N$)를 나가는 액체와 증기의 몰흐름이고, x_i 와 y_i 는 해당 유체 흐름에서의 몰분율이다. 모든 단에 대해 $L_i = L$ (일정), $V_i = V$ (일정)일 때, 그림 (나)에서 조작선의 기울기는? (단, 원료는 2성분 혼합물이고, 몰분율은 휘발성이 큰 성분의 몰분율이다)



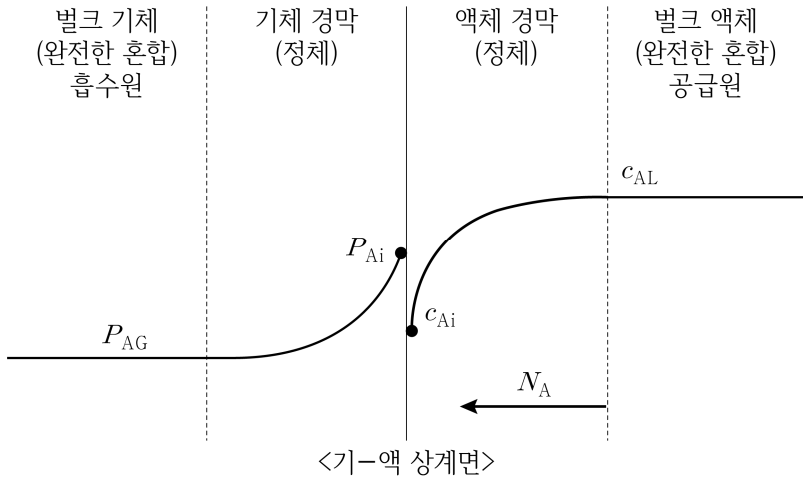
(가)



(나)

- ① $\frac{L}{V}$
② $\frac{V}{L}$
③ $\frac{V}{W}$
④ $\frac{W}{V}$

21. 그림과 같이 Whitman의 이중경막론(two-film theory)에 따라 용질 A가 액체상에서 기체상으로 전달된다. 기체 경막과 액체 경막에서의 물질전달계수를 각각 k_G , k_L 이라 하며, 상계면에서는 확산 성분에 대한 저항이 없다. A의 벌크 액체에서의 농도(c_{AL}), 상계면에서의 농도(c_{Ai}), 벌크 기체에서의 분압(P_{AG}), 상계면에서의 분압(P_{Ai})을 이용하여 정상상태에서 $\frac{k_L}{k_G}$ 을 나타낸 식은? (단, 용매는 비휘발성이고 운반기체와 서로 섞이지 않는다)



- ① $\frac{P_{AG} - P_{Ai}}{c_{AL} - c_{Ai}}$
- ② $\frac{P_{Ai} - P_{AG}}{c_{AL} - c_{Ai}}$
- ③ $\frac{c_{Ai} - c_{AL}}{P_{AG} - P_{Ai}}$
- ④ $\frac{c_{AL} - c_{Ai}}{P_{AG} - P_{Ai}}$
22. 300 K, 1 atm에서 이상기체 A와 B가 1차원으로 등몰상호확산(equimolar counter-diffusion)하고 있다. 확산 튜브의 길이는 10 cm, 단면적은 2 cm^2 이다. 튜브의 양 끝에서 A의 몰분율이 각각 0.8, 0.2일 때, A의 확산 몰플럭스가 $1 \times 10^{-5} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 로 측정되었다. 확산계수 $D_{AB} [\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}]$ 의 값은? (단, 튜브 내 화학반응은 없으며, 기체상수는 $0.08 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 이다)

- ① 1
- ② 2
- ③ 4
- ④ 6

23. 다음 표는 강제대류상태 흐름 속으로의 물질전달과 관련된 변수들의 기호와 차원을 나타낸다. Buckingham 방법에 의해 변수들을 세 그룹(π_1, π_2, π_3)으로 묶을 때, $\pi_1, \frac{\pi_2}{\pi_3}$ 에 해당하는 무차원수를 바르게 나열한 것은? (단, L, M, t 는 각각 길이, 질량, 시간 차원이며, a, b, \dots, i 는 변수의 지수이다)

$\pi_1 = D_{AB}^a \rho^b D^c k$
$\pi_2 = D_{AB}^d \rho^e D^f v$
$\pi_3 = D_{AB}^g \rho^h D^i \mu$

변수	기호	차원
관 직경	D	L
유체밀도	ρ	ML^{-3}
유체점도	μ	$ML^{-1}t^{-1}$
유체속도	v	Lt^{-1}
물질확산계수	D_{AB}	L^2t^{-1}
물질전달계수	k	Lt^{-1}

- | π_1 | $\frac{\pi_2}{\pi_3}$ |
|--------------|-----------------------|
| ① Sherwood 수 | Reynolds 수 |
| ② Sherwood 수 | Grashof 수 |
| ③ Schmidt 수 | Reynolds 수 |
| ④ Schmidt 수 | Grashof 수 |

24. 극 좌표계 (r, θ) 에서 비압축성, 비회전 흐름에 대한 속도 퍼텐셜(velocity potential) $\phi = 3(\ln r - \theta)$ 이다. 흐름의 r 방향 속도 성분(v_r)과 θ 방향 속도 성분(v_θ)에 대하여 $r = 1$ 일 때, 2차원 속도 \vec{v} 의 크기는?
- ① $\sqrt{3}$
- ② $\sqrt{6}$
- ③ 3
- ④ $3\sqrt{2}$

25. A, B, C의 세 물질이 $A:B:C = 1:4:6$ 몰비로 혼합되어 있는 기체 혼합물(M)이 있다. 확산계수 D_{AB} 와 D_{AC} 가 각각 $2.0 \times 10^3 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 과 $3.0 \times 10^3 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 일 때, 확산계수 $D_{AM} [\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}]$ 에 가장 가까운 값은?
- ① 1.0×10^3
- ② 1.5×10^3
- ③ 2.5×10^3
- ④ 3.5×10^3