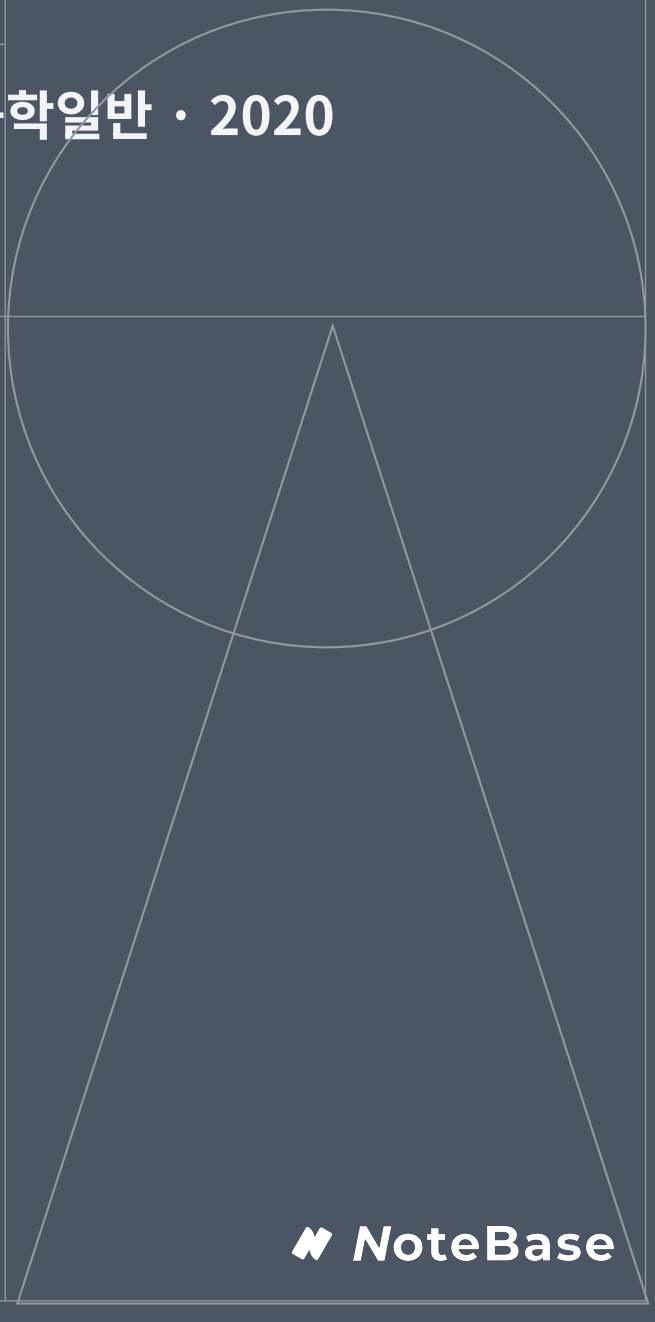
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2020



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2020

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2020

문 1. 물질 A와 물질 B로 구성된 이상용액에서 B에 대한 A의 상대휘발도는? (단, 동일한 온도에서 순수한 A와 B의 증기압은 각각 125 kPa과 50 kPa이다)

① 0.4

② 2.5

③ 4

④ 25

정답 2번

간단한 해설

이상용액에서 B에 대한 A의 상대휘발도는 **같은 온도에서의 순수 성분 증기압의 비**이다. 따라서 $\frac{125}{50} = 2.5$이며, 압력 단위가 약분되므로 단위가 없다.

계산 과정

1. 상대휘발도의 정의: 액상과 기상에서 성분 i의 몰분율을 각각 x_i, y_i라 하면, B에 대한 A의 상대휘발도는 $\alpha_{AB} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$이다. 즉, 각 성분의 기상 몰분율과 액상 몰분율의 비를 구한 뒤 **A의 값을 B의 값으로 나눈다**.

2. 이상용액에 적용: 전체 압력을 P, 같은 온도에서 순수한 성분 i의 증기압을 P_i^*라 하자. 이상용액은 라울의 법칙을 따르므로 $y_i P = x_i P_i^*$이고, 이를 정리하면 $\frac{y_i}{x_i} = \frac{P_i^*}{P}$이다. 두 성분에 공통인 전체 압력이 약분되어 $\alpha_{AB} = \frac{P_A^*}{P_B^*}$가 된다. 따라서 이 조건에서는 액상 조성을 몰라도 상대휘발도를 계산할 수 있다.

3. 수치 대입: $\alpha_{AB} = \frac{125\text{kPa}}{50\text{kPa}} = 2.5$이다. 분자와 분모의 압력 단위가 약분되므로 상대휘발도는 무차원량이다. 계산값 2.5는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 2. 기체의 거동을 이상기체법칙으로 해석하기 위한 가정과 관계없는 것은?

① 기체 분자 간 에너지 교환이 없다.

② 기체 분자는 어떤 공간도 차지하지 않는다.

③ 기체 분자 간 인력이 없으므로 분자는 서로 완전히 독립적으로 움직인다.

④ 기체 분자 간 충돌 및 분자와 용기 벽과의 충돌은 완전 탄성충돌이다.

정답 1번

간단한 해설

이상기체에서도 분자끼리 충돌하면 **운동에너지를 서로 주고받을 수 있다**. 완전 탄성충돌은 에너지 교환이 없다는 뜻이 아니라, 충돌 전후 **운동에너지의 총합이 보존된다**는 뜻이다.

선지별 해설

① X: 이상기체 분자끼리도 충돌을 통해 운동에너지를 주고받을 수 있다. 완전 탄성충돌에서 보존되는 것은 **충돌한 분자들의 운동에너지 총합**이며, 각 분자의 운동에너지가 모두 그대로 유지되는 것은 아니다. 따라서 '에너지 교환이 없다'는 '에너지 교환은 가능하지만 충돌 전후 운동에너지의 총합은 보존된다'로 고쳐야 한다.

② O: 이상기체에서는 분자 자체의 부피를 용기 부피에 비해 **무시할 수 있다**고 가정하여 분자를 부피가 없는 점입자로 취급한다. 선지의 '어떤 공간도 차지하지 않는다'는 이러한 이상화를 뜻한다.

③ O: 이상기체에서는 **충돌하는 순간을 제외하면 분자 사이에 인력이나 척력이 작용하지 않는다**고 가정한다. 따라서 분자는 충돌 사이에 다른 분자의 힘에 의해 속도가 변하지 않고 등속 직선 운동을 한다. 서로 독립적으로 움직인다는 것은 충돌 자체가 없다는 뜻은 아니다.

④ O: 분자끼리의 충돌과 분자와 용기 벽 사이의 충돌은 **운동에너지 손실이 없는 완전 탄성충돌**로 가정한다. 분자끼리 충돌할 때는 두 분자의 운동에너지 총합이 보존되고, 정지한 용기 벽과 충돌할 때는 분자의 운동 방향이 바뀌어도 속력은 유지된다.

NoteBase

문 3. 기체의 액체에 대한 용해도 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 용해도는 용액 1L에 녹아 있는 용질의 몰수이다.
ㄴ. 헨리의 법칙은 용해도가 매우 높은 물질의 증기압과 몰분율 간의 관계를 나타낸다.
ㄷ. 물에 대한 기체의 용해도는 압력이 일정할 때, 온도가 증가함에 따라 감소한다.
ㄹ. 물에 대한 기체의 용해도는 온도가 일정할 때, 압력이 증가함에 따라 증가한다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄹ
④ ㄷ, ㄹ

정답 4번

간단한 해설

물에 대한 기체의 용해도는 일반적으로 **온도가 높아지면 감소**하고, 일정한 온도에서는 **기체의 분압이 커지면 증가**한다. 헨리의 법칙은 기체가 적게 녹아 있는 묽은 용액에 적용한다.

보기별 해설

ㄱ. X: 용액 1 L에 녹아 있는 용질의 몰수는 **몰농도**이다. 용해도는 주어진 온도와 압력에서 일정량의 용매에 최대로 녹을 수 있는 용질의 양을 뜻한다. 몰농도는 현재 용액의 농도를 나타내므로, 포화 상태에서 녹을 수 있는 한계를 뜻하는 용해도와 구별해야 한다.

ㄴ. X: 헨리의 법칙은 기체가 액체에 적게 녹아 있는 **묽은 용액**에서 적용하는 관계이다. 일정한 온도에서 용액 위 기체의 분압은 액체에 녹아 있는 그 기체의 몰분율에 비례한다. 따라서 '용해도가 매우 높은 물질'이 아니라 '용해도가 낮은 기체'에 대한 관계로 고쳐야 한다. 기체가 용매와 반응하는 경우에는 이 단순한 비례 관계를 그대로 적용하기 어렵다.

ㄷ. O: 일반적으로 기체가 물에 녹는 과정은 **발열 과정**이다. 압력이 일정할 때 온도를 높이면 기체가 물에서 빠져나오는 쪽으로 평형이 이동하므로, 물에 녹을 수 있는 기체의 양이 감소한다.

ㄹ. O: 헨리의 법칙이 적용되는 범위에서 온도가 일정하면 기체의 용해도는 **그 기체의 분압에 비례**한다. 물 위 기체의 분압이 커지면 기체가 물에 더 많이 녹아 새로운 평형에 도달한다. 혼합 기체에서는 전체 압력보다 녹으려는 기체 성분의 분압을 기준으로 판단한다.

옳은 보기는 ㄷ과 ㄹ이며, 이 조합은 ④에 해당한다.

NoteBase

문 4. 뉴턴의 점도법칙을 따르는 뉴턴유체(Newtonian fluid)로 가정할 수 없는 것은?

① 기체 질소

② 액체 물

③ 액체 헥세인

④ 고분자용액

정답 4번

간단한 해설

고분자용액은 전단률에 따라 겉보기 점도가 달라지는 **비뉴턴유체**의 대표적인 예이다. 뉴턴유체는 같은 온도·압력에서 **전단률과 무관하게 점도가 일정**해야 한다.

선지별 해설

뉴턴의 점도법칙은 전단응력과 전단률이 비례한다는 관계로, $\tau = \mu\dot{\gamma}$로 나타낸다. 여기서 τ는 전단응력, μ는 점도, $\dot{\gamma}$는 유체층 사이의 속도 기울기를 나타내는 전단률이다. 뉴턴유체는 같은 온도·압력에서 전단률이 변해도 점도가 일정하다.

① O: 기체 질소는 통상적인 조건에서 뉴턴유체로 취급한다. 전단응력이 전단률에 비례하므로 일정한 점도를 사용해 뉴턴의 점도법칙을 적용할 수 있다.

② O: 액체 물은 대표적인 뉴턴유체이다. 같은 온도·압력에서 전단률을 높이면 **전단응력이 같은 비율로 증가**하며, 점도는 일정하게 유지된다.

③ O: 액체 헥세인은 작은 분자로 이루어진 액체로, 통상적인 조건에서 뉴턴유체로 취급한다. 물과 점도의 크기는 다르지만, **점도가 전단률에 의존하지 않는다**는 점에서 같은 분류에 속한다.

④ X: 고분자용액은 일반적으로 **비뉴턴유체로 분류**한다. 전단에 의해 긴 고분자 사슬의 배열과 얽힘 상태가 달라져 겉보기 점도가 전단률에 따라 변하기 때문이다. 흔히 전단률이 커질수록 겉보기 점도가 감소하는 전단박화 거동을 보이므로, 일정한 점도를 전제로 하는 뉴턴유체로 가정하기 어렵다.

NoteBase

문 5. 등몰의 A와 B 혼합물 100몰을 플래쉬증류(flash distillation) 장치에서 기액으로 분리하고 있다. A와 B의 K인자(분배계수, distribution coefficient)의 값이 각각 1.5와 0.6일 때, 장치를 나가는 액체의 양[mol]과 액체에서 B의 몰분율은?

① 액체의 양: 25, B의 몰분율: $\frac{4}{9}$

② 액체의 양: 25, B의 몰분율: $\frac{5}{9}$

③ 액체의 양: 75, B의 몰분율: $\frac{4}{9}$

④ 액체의 양: 75, B의 몰분율: $\frac{5}{9}$

정답 4번

간단한 해설

K인자는 기상 몰분율을 액상 몰분율로 나눈 값이므로, 각 상의 몰분율 합이 1이라는 조건을 적용하면 **액체에서 B의 몰분율**은 $\frac{5}{9}$이다. 이 조성을 B의 성분수지에 대입하면 액체의 양은 75 mol이다.

계산 과정

1. 조건과 변수: 공급 혼합물은 100 mol이고 A와 B가 등몰이므로 각 성분은 50 mol씩 들어 있다. 장치를 나가는 액체와 기체의 양을 각각 L, V(mol), 성분 i의 액상과 기상 몰분율을 각각 x_i, y_i라 둔다. 전체 물질수지는 $L + V = 100$이다.

2. 기액평형 관계: 플래쉬증류에서 분리되는 두 상은 기액평형을 이루며, K인자는 $K_i = \frac{y_i}{x_i}$이다. 따라서 $y_A = 1.5x_A$, $y_B = 0.6x_B$이다. A와 B만 있는 혼합물이므로 **각 상의 몰분율 합은 1**이며, $x_A + x_B = 1$, $y_A + y_B = 1$이 성립한다.

3. 두 상의 조성: 기상 몰분율의 합에 평형 관계를 대입하면 $1.5x_A + 0.6x_B = 1$이다. 여기에 $x_A = 1 - x_B$를 넣으면 $1.5(1 - x_B) + 0.6x_B = 1$이므로 $x_B = \frac{5}{9}$이다. 기체에서 B의 몰분율은 $y_B = 0.6 \cdot \frac{5}{9} = \frac{1}{3}$이다.

4. 액체의 양: 공급된 B 50 mol은 **액체 속 B와 기체 속 B의 합**과 같으므로 $50 = Lx_B + Vy_B$이다. $V = 100 - L$과 두 상의 B 몰분율을 대입하면 $50 = \frac{5}{9}L + \frac{1}{3}(100 - L)$이다. 양변에 9를 곱해 정리하면 $450 = 5L + 300 - 3L$, $2L = 150$이므로 L = 75 mol이다. 이는 공급량 100 mol 중 액체로 나가는 양이며, 나머지 기체는 25 mol이다.

액체의 양 75 mol, 액체에서 B의 몰분율 $\frac{5}{9}$인 조합은 ④와 일치한다.

NoteBase

문 6. 부피 변화가 없는 2차 반응 $2A \rightarrow B + C$가 회분식반응기에서 일어나고 있다. 초기에 반응물 A만 있고, A의 초기 농도는 0.1 mol · L^{-1}이라면 10초 동안 반응하였을 때 A의 전화율은? (단, 반응속도상수 $k = 1.0L \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1}$이다)

① 0.25

② 0.5

③ 0.75

④ 1.0

정답 2번

간단한 해설

부피가 일정한 2차 반응에서는 **A 농도의 역수**가 시간에 비례하여 증가한다. 10초 뒤 A의 농도는 0.05 mol/L로 초기의 절반이므로, A의 전화율은 **0.5(50%)**이다.

계산 과정

조건과 속도식: C_{A0}를 A의 초기 농도, C_A를 시간 t에서의 농도라고 한다. 주어진 값은 $C_{A0} = 0.1\text{mol/L}$, $k = 1.0\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, t = 10초이다. 회분식반응기는 반응 중 물질의 유입·유출이 없고 **부피가 일정**하므로, A의 소멸속도식은 $-\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2$이다.

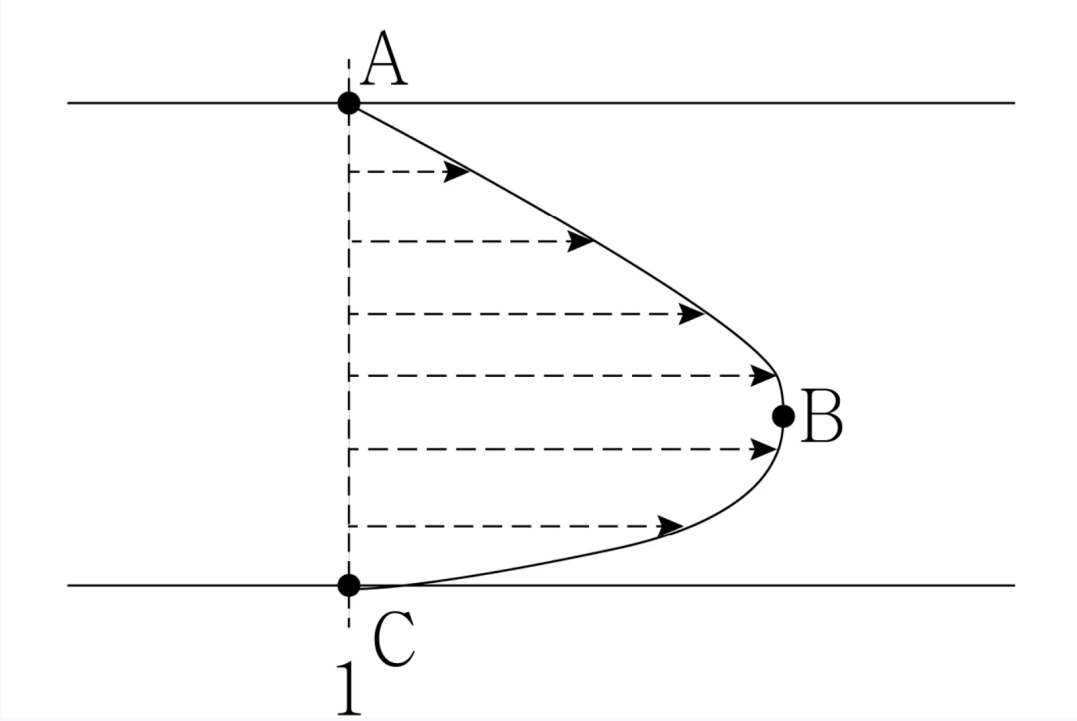
적분 관계: 위 식을 초기 농도에서 시간 t의 농도까지 적분하면 $\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt$가 된다. 따라서 농도 자체가 일정한 속도로 줄어드는 것이 아니라, **농도의 역수가 일정한 속도로 증가**한다.

10초 뒤의 농도: 값을 대입하면 $\frac{1}{C_A} = \frac{1}{0.1} + 1.0 \cdot 10 = 20\text{L/mol}$이다. 이를 역수로 바꾸면 $C_A = 0.05\text{mol/L}$이다. 이는 10초 뒤에 남아 있는 A의 농도이다.

전화율: 전화율은 **처음 A 중 반응한 비율**이다. 부피가 일정하므로 몰수 대신 농도로 계산할 수 있으며, $X_A = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}}$이다. 따라서 $X_A = \frac{0.1 - 0.05}{0.1} = 0.5$로, 초기 A의 50%가 반응하였다. 선택지 ②의 0.5와 일치한다.

NoteBase

문 7. 다음 그림은 관 내부 지점 1에서의 비뉴턴 유체(Non-Newtonian fluid)의 속도분포를 나타내고 있다. 유체는 전단속도(shear rate)가 증가할수록 점도가 증가하는 전단농후(shear thickening) 거동을 보인다. 이때 A, B, C 각 위치에서 전단응력(shear stress)의 크기 순서는?



① A > B > C

② A > C > B

③ C > A > B

④ C > B > A

정답 3번

간단한 해설

전단응력은 유속 자체가 아니라 **관에 수직인 방향의 속도 변화율**로 판단한다. 그림에서 C 부근은 짧은 수직 거리에서도 유속이 크게 변하며, 전단농후 유체는 전단속도가 클수록 점도도 커져 전단응력이 더 커진다.

NoteBase

올바른 순서

C > A > B

C: 그림의 가로 방향 화살표 길이는 유속 u를 나타낸다. 관을 가로지르는 세로 방향 좌표를 y라 하면 전단속도의 크기는 $\dot{\gamma} = |du/dy|$이다. C 부근에서는 작은 세로 거리 변화에 비해 화살표 길이가 크게 달라지므로 전단속도가 가장 크다. 전단응력의 크기는 $|\tau| = \mu_{app}\dot{\gamma}$로 나타내며, 여기서 μ_{app}는 겉보기 점도이다. 주어진 전단농후 조건에서는 **전단속도가 커질수록 겉보기 점도도 증가**하므로 C의 전단응력이 가장 크다.

A: 위쪽 벽면에서 유속은 0이지만, 벽에서 떨어지면 유속이 증가한다. 따라서 **벽면의 유속이 0이어도 속도 변화율은 0이 아니다**. 그림에서 A 부근의 세로 거리당 유속 변화는 C 부근보다 작고 B 부근보다 크므로, 전단응력도 두 위치 사이의 크기를 갖는다.

B: 화살표 길이가 가장 길어 유속이 최대인 위치이다. 이 지점에서는 속도분포 곡선의 접선이 세로 방향이며, 세로 위치가 조금 달라져도 유속은 거의 변하지 않는다. 즉 **유속은 최대이지만 속도 변화율은 0**이므로, $\dot{\gamma} = 0$이고 전단응력도 0으로 가장 작다.

NoteBase

문 8. 화학공정의 경제성을 평가할 때 비용을 크게 자본비용(capital cost)과 운전비용(operating cost)으로 나눌 수 있다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 자본비용은 공정을 만드는 데 드는 초기 투자비용이다.

② 자본비용에는 열교환기, 반응기, 컴퓨터 등을 사거나 만드는 비용이 포함된다.

③ 운전비용에는 원료, 유체의 이송, 가열 및 냉각 등에 관계된 비용이 포함된다.

④ 운전비용의 경우 주로 공정운전의 초기단계에 반영된다.

정답 4번

간단한 해설

운전비용은 원료와 에너지 등을 사용하면서 **공정 운전 기간에 걸쳐 반복적으로 발생**한다. 공정을 처음 구축할 때 주로 투입되는 비용은 자본비용이다.

선지별 해설

① O: 자본비용은 생산에 필요한 공정과 설비를 갖추기 위한 **초기 투자비용**이다. 공장을 건설하고 설비를 설치하는 등 공정을 가동할 기반을 마련하는 데 투입된다.

② O: 열교환기와 반응기는 생산설비이고, 공정의 감시·제어 등에 사용하는 컴퓨터도 공정 구축에 필요한 장비이다. 이들 장비를 **구입하거나 제작하는 비용**은 자본비용에 포함된다.

③ O: 원료는 생산 과정에서 소비되며, 유체를 이송하는 펌프를 구동하거나 공정을 가열·냉각하려면 전력, 증기, 냉각수 등이 필요하다. 이러한 **원료 및 유틸리티 사용 비용**은 공정을 가동하는 데 드는 운전비용이다.

④ X: 운전비용은 공정운전의 초기단계에 주로 반영되는 비용이 아니라, **운전 기간에 걸쳐 계속 발생하는 비용**이다. 초기 가동 이후에도 생산을 계속하면 원료와 에너지를 지속적으로 사용하므로 운전비용이 발생한다. 초기 투자 중심의 자본비용과 구별해야 한다.

NoteBase

문 9. 뉴턴유체의 점도에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 액체의 점도는 온도가 증가하면 감소한다.
ㄴ. 기체의 점도는 온도가 증가하면 감소한다.
ㄷ. 점도 1mPa · sec = 10cP이다.
ㄹ. 다른 조건이 동일하다면 점도가 증가할수록 전단응력이 증가한다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄱ, ㄹ
④ ㄴ, ㄷ

정답 3번

간단한 해설

액체는 온도가 높아지면 분자들이 서로의 구속을 벗어나 이동하기 쉬워져 **점도가 감소한다**. 뉴턴유체의 전단응력은 점도와 속도기울기의 곱이므로, **속도기울기가 같을 때** 점도가 클수록 전단응력이 크다.

보기별 해설

ㄱ. O: 액체에서는 분자 사이의 응집력이 점성에 큰 영향을 미친다. 온도가 올라가면 분자들이 서로의 구속을 벗어나 이동하기 쉬워지므로, 일반적으로 액체의 점도는 **온도가 증가할수록 감소한다**.

ㄴ. X: 기체의 점성은 분자의 운동에 따른 층 사이의 운동량 전달과 관련된다. 온도가 올라가면 분자 운동이 활발해져 운동량 전달이 커지므로, 기체의 점도는 일반적으로 **온도가 증가할수록 증가한다**. 따라서 액체와 기체의 온도에 따른 점도 변화를 구별해야 한다.

ㄷ. X: 점도의 단위인 푸아즈(P)는 1 P = 0.1 Pa·s이고, 센티푸아즈(cP)는 그 1/100이다. 따라서 1 cP = 0.001 Pa·s이며, 1 mPa·s 역시 0.001 Pa·s이다. 올바른 환산은 **1 mPa·s = 1 cP**이므로, 보기의 10 cP는 1 cP로 고쳐야 한다.

ㄹ. O: 뉴턴유체는 전단응력과 속도기울기가 비례하는 유체이며, 그 비례상수가 점도이다. 전단응력의 크기를 τ, 점도를 μ, 흐름에 수직인 방향의 속도기울기 크기를 $\left|\frac{du}{dy}\right|$라 하면 $\tau = \mu\left|\frac{du}{dy}\right|$이다. 따라서 다른 조건, 특히 **속도기울기가 동일하면** 점도가 증가할수록 전단응력이 증가한다.

옳은 보기는 ㄱ과 ㄹ이며, 이 조합은 ③의 ㄱ, ㄹ에 해당한다.

NoteBase

문 10. 닫힌계에서 이상기체 1 mol에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$)

① 단열공정에서 $\frac{dT}{T} = -(\gamma - 1)\frac{dV}{V}$이다.

② 단열공정에서 $C_P dT = -PdV$이다.

③ 등온공정에서 기체 압력이 P_1에서 P_2로 변화할 때, $Q = RT\ln\frac{P_2}{P_1}$이다.

④ 등온공정에서 기체 부피가 V_1에서 V_2로 변화할 때, $Q = RT\ln\frac{V_1}{V_2}$이다.

정답 1번

간단한 해설

가역 단열공정에서는 열 출입이 없어 기체가 한 일이 내부에너지 감소로 이어진다. 이상기체 1 mol에 대해 $C_V dT = -PdV$에 $PV = RT$와 $R/C_V = \gamma - 1$을 대입하면 **온도와 부피의 변화 관계** $\frac{dT}{T} = -(\gamma - 1)\frac{dV}{V}$를 얻는다.

선지별 해설

열량 Q는 계가 흡수할 때 양수, 일 W는 계가 외부에 할 때 양수로 두면 열역학 제1법칙은 $dU = \delta Q - \delta W$이다. C_P, C_V는 각각 몰 정압열용량과 몰 정적열용량이다. 아래의 부피일 관계 $\delta W = PdV$와 열량식은 부피일만 있는 가역과정을 기준으로 적용한다. **단열 조건만으로 가역성이 보장되지는 않는다.**

① O: 단열공정에서는 $\delta Q = 0$이므로 가역적인 부피 변화에 대해 $dU = -PdV$이다. 이상기체 1 mol의 내부에너지 변화는 $dU = C_V dT$이고 $P = RT/V$이므로 $C_V dT = -RT\frac{dV}{V}$이다. 이를 정리하면 $\frac{dT}{T} = -\frac{R}{C_V}\frac{dV}{V}$이다. 이상기체의 열용량 관계 $C_P - C_V = R$에서 $R/C_V = \gamma - 1$이므로 선지의 식이 성립한다. 이는 단열팽창 시 외부에 일을 하여 **부피는 증가하고 온도는 낮아지는** 관계를 나타낸다.

② X: 이상기체의 내부에너지 변화에 대응하는 것은 **정압열용량이 아니라 정적열용량**이다. 따라서 가역 단열공정의 식은 $C_V dT = -PdV$로 고쳐야 한다. 정압열용량은 이상기체의 엔탈피 변화 $dH = C_P dT$에 쓰인다. 정적열용량이라는 명칭과 달리 $dU = C_V dT$는 이상기체라면 부피가 변하는 과정에서도 성립한다.

③ X: 이상기체의 등온공정에서는 온도가 일정하여 내부에너지 변화가 0이므로 $Q = W$이다. 가역과정에서 $P = RT/V$를 적분하면 $Q = RT\ln\frac{V_2}{V_1}$이다. 등온 상태방정식 $P_1V_1 = P_2V_2$에 따라 $V_2/V_1 = P_1/P_2$이므로 압력으로 나타낸 식은 $Q = RT\ln\frac{P_1}{P_2}$이다. 선지는 **로그 안의 압력비를 거꾸로** 썼다.

④ X: 가역 등온공정에서 흡수 열량은 $Q = RT\ln\frac{V_2}{V_1}$이므로 선지의 부피비를 뒤집어야 한다. 등온팽창에서는 기체가 외부에 일을 하면서 온도를 유지하려면 **열을 흡수해야 한다**. 이때 $V_2 > V_1$이므로 올바른 식은 양수가 되지만, 선지의 식은 음수가 되어 열의 이동 방향이 반대로 나타난다.

NoteBase

문 11. 면적이 $100\ \mathrm{cm}^2$인 피스톤에 연결된 스프링의 스프링 상수가 $50\ \mathrm{N \cdot cm}^{-1}$이다. 어떤 탱크에 피스톤을 연결하였더니 스프링의 길이가 5 cm 변화하였다면, 이 탱크의 게이지(gauge) 압력[kPa]은? (단, 피스톤이 대기에 노출되어 있을 때, 스프링 길이 변화는 없다.)

① 0.25

② 2.5

③ 25

④ 250

정답 3번

간단한 해설

게이지압력은 **스프링의 탄성력을 피스톤 면적으로 나눈 값**이다. 탄성력 250 N이 면적 100 cm^2에 작용하므로 게이지압력은 25 kPa이다.

계산 과정

게이지압력 P_g는 탱크 압력과 대기압의 차이이다. 대기에 노출되었을 때 스프링의 길이 변화가 없으므로, 연결 후 생긴 탄성력은 **대기압을 초과하는 압력에 의한 힘**과 평형을 이룬다. 피스톤 면적을 A, 스프링 상수를 k, 길이 변화량을 x라 하면 $P_g A = kx$이다.

스프링의 탄성력: 후크의 법칙 $F = kx$를 적용한다. k = 50 N/cm, x = 5 cm이므로 F = 50 × 5 = 250 N이다. 이 값은 압력 차이가 피스톤에 가하는 힘의 크기이다.

면적의 단위 환산: 압력을 Pa로 구하려면 힘은 N, 면적은 m^2로 맞춘다. 1 cm^2 = 0.0001 m^2이므로 A = 100 cm^2 = 0.01 m^2이다. 길이 단위가 제곱되므로 **면적의 환산 계수도 제곱**해야 한다.

게이지압력 계산: $P_g = \frac{F}{A} = \frac{250}{0.01} = 25{,}000\ \mathrm{Pa}$이다. 1 kPa = 1,000 Pa이므로 게이지압력은 25 kPa이며, ③의 25에 해당한다.

NoteBase

문 12. 고체 분쇄의 기본 원리에 해당하지 않는 것은?

① 충격

② 압축

③ 마찰

④ 용해

정답 4번

간단한 해설

분쇄는 **기계적 힘으로 고체를 작은 입자로 쪼개는** 조작이다. **용해**는 고체가 용매에 녹는 현상이므로 고체 분쇄의 기본 원리에 해당하지 않는다.

선지별 해설

① O: 충격은 고체에 순간적으로 큰 힘을 가해 깨뜨리는 원리이다. 망치로 고체를 때릴 때처럼 **충돌로 전달되는 힘**을 이용해 입자를 부순다.

② O: 압축은 고체를 양쪽에서 눌러 깨뜨리는 원리이다. 두 면 사이에 놓인 입자에 **누르는 힘**을 가하면 입자가 견딜 수 있는 한계를 넘어 파괴된다.

③ O: 마찰은 입자끼리 또는 입자와 분쇄 장치의 표면이 서로 비벼지면서 고체를 작게 만드는 원리이다. **표면을 문질러 마모시키는 작용**으로 작은 입자가 생긴다.

④ X: 용해는 고체가 용매에 녹아 분자나 이온 수준으로 분산되는 현상이다. **기계적 힘으로 고체 입자를 깨뜨리는 분쇄와 구별**되며, 분쇄의 기본 원리에는 충격·압축·마찰 등이 해당한다.

NoteBase

문 13. 80 wt%의 수분을 함유하고 있는 물질 100 kg을 20 wt%의 수분이 포함되도록 건조할 때 수분의 증발량[kg]은?

① 64

② 75

③ 76

④ 80

정답 2번

간단한 해설

건조 중에는 **수분을 제외한 고형분 20 kg이 보존**된다. 건조 후 고형분이 전체 질량의 80%이므로 전체 질량은 25 kg이고, 줄어든 질량 75 kg이 증발한 수분이다.

계산 과정

처음의 수분과 고형분: wt%는 전체 물질의 질량에 대한 해당 성분의 질량 백분율이다. 처음 수분은 $100 \times 0.80 = 80$ kg이고, 수분을 제외한 고형분은 $100 - 80 = 20$ kg이다. 건조에서 수분만 증발하므로 **고형분의 질량은 20 kg으로 일정**하다.

건조 후 전체 질량과 수분: 건조 후 수분 20 wt%는 **건조 후 전체 질량을 기준**으로 한다. 건조 후 전체 질량을 M kg이라 하면 고형분은 전체의 80%이므로 $0.80M = 20$이다. 따라서 $M = \frac{20}{0.80} = 25$이고, 건조 후 전체 질량은 25 kg이다. 이 중 남아 있는 수분은 $25 \times 0.20 = 5$ kg이다.

수분의 증발량: 처음 수분에서 남은 수분을 빼면 $80 - 5 = 75$ kg이다. 이는 전체 질량 감소량 $100 - 25 = 75$ kg과 같으며, ②의 75에 해당한다.

NoteBase

문 14. 복사열전달에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 방사율(emissivity)은 같은 온도에서 흑체가 방사한 에너지에 대한 실제 표면에서 방사된 에너지의 비율로 정의된다.

② 열복사의 파장범위는 1000 μm보다 큰 파장 영역에 존재한다.

③ 흑체는 표면에 입사되는 모든 복사를 흡수하며, 가장 많은 복사에너지를 방출한다.

④ 두 물체 간의 복사열전달량은 온도 차이뿐만 아니라 각 물체의 절대 온도에도 의존한다.

정답 2번

간단한 해설

열전달에서 주로 다루는 열복사의 파장 범위는 대략 **0.1~1000 μm**이다. 이를 '1000 μm보다 큰 파장 영역'으로 한정한 설명은 잘못이다.

선지별 해설

① O: 방사율은 **같은 온도의 흑체를 기준**으로 실제 표면이 복사에너지를 얼마나 방출하는지 나타내는 비율이다. 같은 면적과 시간에 대해 실제 표면의 방사에너지를 흑체의 방사에너지로 나누며, 그 값은 0 이상 1 이하이다.

② X: 열전달에서 주로 다루는 열복사의 파장 범위는 대략 **0.1~1000 μm**로, 자외선의 일부와 가시광선 및 적외선 영역을 포함한다. 따라서 '1000 μm보다 큰 파장 영역'은 '대략 0.1~1000 μm의 파장 영역'으로 고쳐야 한다. 이는 공학적으로 주로 다루는 범위이며, 열복사가 이 범위 밖에서는 전혀 발생하지 않는다는 뜻은 아니다.

③ O: 흑체는 파장과 입사 방향에 관계없이 입사하는 복사를 모두 흡수하는 이상적인 물체이다. 또한 **같은 온도에서 단위면적당 방사에너지가 최대**이며, 방사율은 1이다. 따라서 완전한 흡수체인 동시에 가장 이상적인 방사체이다.

④ O: 복사에 의한 방출은 절대온도의 네제곱에 비례하므로, 순복사열전달은 **두 절대온도의 네제곱 차**에 의존한다. 예를 들어 서로 마주 보는 넓은 두 흑체 평판 사이에서 단위면적당 순복사열전달률은 $q = \sigma(T_1^4 - T_2^4)$ 이다. 여기서 T_1, T_2는 K 단위의 절대온도이고, σ는 슈테판·볼츠만 상수이다. 온도 차가 같더라도 두 물체의 절대온도가 높아지면 네제곱 차가 커지므로 복사열전달률도 커진다.

NoteBase

문 15. 고정 고체층(고정상) 침출(leaching)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 고체는 추출이 끝날 때까지 탱크 내에 고정된다.

② 일반적으로 맞흐름(향류) 조작을 한다.

③ 불투과성 고체인 경우에 사용한다.

④ 휘발성 용매를 사용하는 경우, 밀폐된 공간에서 가압하에 조작한다.

정답 3번

간단한 해설

고정 고체층 침출은 용매가 고체층을 통과하면서 가용성 성분을 녹여 내는 방식이므로 **투과성이 있는 고체층**에 적합하다. 불투과성 고체층은 용매의 흐름을 막아 충분한 접촉을 어렵게 한다.

선지별 해설

① O: 고체를 탱크에 채워 두고 용매를 통과시켜 가용성 성분을 추출한다. 추출이 끝날 때까지 **고체층은 탱크 안에 고정**되어 있고, 용매와 추출액이 이동한다.

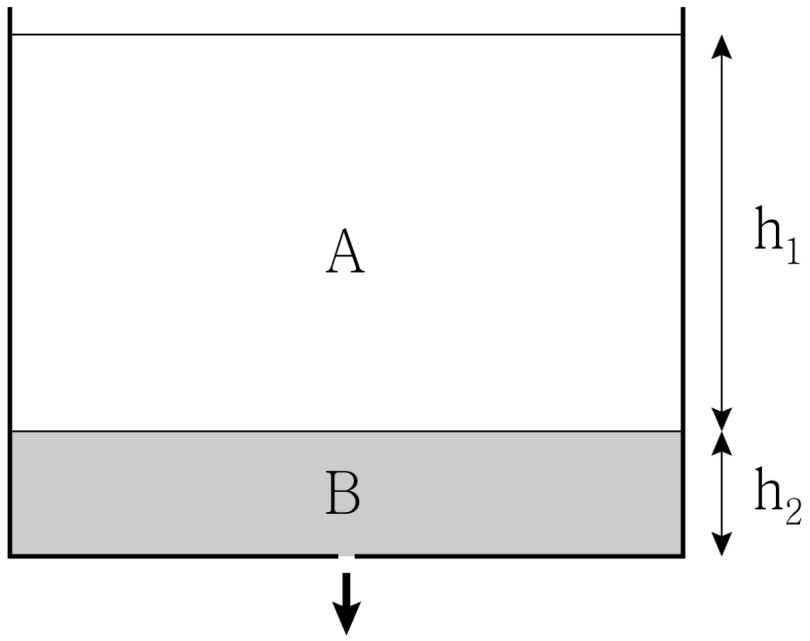
② O: 여러 탱크를 직렬로 연결하여 **새 용매는 추출이 많이 진행된 고체부터 접촉**하게 하고, 이어서 덜 추출된 고체가 있는 탱크를 지나도록 한다. 고체가 탱크 사이를 직접 이동하는 것은 아니며, 고체의 투입·배출에 맞추어 용매의 유입·유출 탱크를 바꾸어 향류 조작을 유지한다.

③ X: 고정 고체층 침출은 용매가 고체층의 공극을 따라 흐를 수 있는 **투과성 고체층**에 적합하다. 불투과성 고체층에서는 용매의 통과와 내부 접촉이 어려우므로, '불투과성 고체인 경우에 사용한다'는 설명은 투과성이 있는 고체층에 사용한다는 내용으로 고쳐야 한다.

④ O: 휘발성 용매를 사용할 때에는 **밀폐된 용기에서 가압**하여 용매의 기화를 억제하고 액체 상태로 접촉하게 한다. 밀폐는 용매 증기가 외부로 빠져나가 손실되는 것도 줄인다.

NoteBase

문 16. 개방된 원통형 탱크에 비압축성 물질 A와 물질 B가 있다. B의 밀도는 A의 밀도의 20배이고, B는 바닥 배출구를 통해 배출된다. A의 높이(h_1)가 10 m, B의 높이(h_2)가 1 m일 때, 정상상태에서 B의 배출 유속[$m \cdot s^{-1}$]은? (단, 모든 마찰과 A의 하강속도는 무시하며, A의 수면과 B의 배출구에서 대기압은 같고, 중력가속도는 10 $m \cdot s^{-2}$이다.)



① 3

② $\sqrt{30}$

③ $\sqrt{180}$

④ $\sqrt{220}$

정답 2번

간단한 해설

A층이 가하는 압력을 **B의 밀도로 환산한 수두**는 0.5 m이므로, B층 높이까지 포함한 유효 수두는 1.5 m이다. 마찰이 없으므로 이 수두가 속도수두로 전환되어 배출 유속은 $\sqrt{30}$ $m \cdot s^{-1}$이다.

NoteBase

계산 과정

조건과 변수: 그림에서 A층은 B층 위에 있고, 배출구는 B층 바닥에 있다. A와 B의 밀도를 각각 ρ_A, ρ_B라 하면 $\rho_B = 20\rho_A$이고, 높이는 $h_1 = 10\ \mathrm{m}$, $h_2 = 1\ \mathrm{m}$이다. 배출 유속을 v, 대기압을 p_a라 한다. A의 하강속도를 무시하므로 A–B 경계면의 속도도 무시한다.

경계면 압력: A의 수면에는 대기압이 작용하며, A층을 따라 아래로 내려가면 압력이 증가한다. 따라서 A–B 경계면 압력 p_i는 $p_i = p_a + \rho_A g h_1$이다. 이 압력은 **A층의 밀도와 높이**로 결정된다.

유효 수두: 정상상태의 비압축성 B에 대해 경계면과 배출구 사이에 베르누이식을 적용한다. 마찰이 없고 경계면 속도를 무시하므로 $\frac{v^2}{2g} = \frac{p_i - p_a}{\rho_B g} + h_2$이다. 왼쪽은 속도수두이고, 오른쪽은 경계면의 압력수두와 배출구까지의 높이 차를 합한 값이다. 압력수두를 구할 때는 **배출되는 B의 밀도**로 나누므로, $\frac{p_i - p_a}{\rho_B g} = \frac{\rho_A}{\rho_B} h_1 = \frac{10}{20} = 0.5\ \mathrm{m}$이다. 따라서 유효 수두는 0.5 + 1 = 1.5 m이다.

배출 유속: $v^2 = 2 \cdot 10 \cdot 1.5 = 30\ \mathrm{m^2 \cdot s^{-2}}$이므로, 유속의 양의 값을 취하면 $v = \sqrt{30}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$이다. 이는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 닫힌계에서 1 kg의 물이 120 °C의 일정 온도와 200 kPa의 일정 압력에서 모두 기화될 때 내부에너지 변화(ΔU)[kJ]는? (단, 모든 과정은 가역과정으로 과정 중 2700 kJ의 열이 가해지며, 이 조건에서 수증기의 비부피는 0.9 $m^3 \cdot kg^{-1}$이고, 물의 비부피는 매우 작아 무시한다)

① 180

② 2520

③ 2700

④ 2880

정답 2번

간단한 해설

공급된 열의 일부는 기화에 따른 **팽창일**로 외부에 전달된다. 팽창일이 180 kJ이므로 내부에너지 증가는 2700 − 180 = 2520 kJ이다.

계산 과정

에너지 수지: 닫힌계는 질량이 경계를 통과하지 않는 계이다. 운동·위치에너지 변화와 팽창 이외의 일을 무시하면 열역학 제1법칙은 $\Delta U = Q - W$이다. 여기서 Q는 계에 가해진 열, W는 계가 외부에 한 일이며, 가열되므로 Q = +2700 kJ이다. 기화는 상변화이므로 온도가 120 °C로 일정하다는 이유로 내부에너지 변화를 0으로 둘 수 없다.

부피 증가량: 비부피 v는 단위 질량당 부피이므로 전체 부피는 $V = mv$이다. 질량 1 kg이 모두 수증기가 되고 액체 물의 초기 부피를 무시하므로 $\Delta V \approx 1 \cdot 0.9 = 0.9 m^3$이다. 이는 기화하면서 늘어난 계의 부피이다.

팽창일: **일정 압력의 가역 팽창**에서는 경계에서의 압력이 계의 압력과 같으므로 $W = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P\Delta V$를 적용한다. 1 kPa·$m^3$ = 1 kJ이므로 W = 200 × 0.9 = 180 kJ이다. 부피가 증가하면서 계가 외부에 한 일이므로 W는 양수이다.

내부에너지 변화: 가해진 열에서 **외부에 한 팽창일을 뺀다**. 따라서 $\Delta U = 2700 - 180 = 2520 kJ$이며, 내부에너지가 2520 kJ 증가한다. 이는 ②의 2520에 해당한다.

NoteBase

문 18. 무차원 수에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① Schmidt수는 총온도구배에 대한 표면에서의 온도구배의 비율로 나타낸다.

② Prandtl수는 열확산도에 대한 운동량 확산도의 비율로 나타낸다.

③ Grashof수는 점성력에 대한 부력의 비율로 나타낸다.

④ Stanton수는 유체의 열용량에 대한 유체에 전달된 열의 비율로 나타낸다.

정답 1번

간단한 해설

Schmidt수는 **물질확산도에 대한 운동량 확산도의 비율**이다. ①의 온도구배 비율은 Schmidt수가 아니라 **Nusselt수**에 관한 설명이다.

선지별 해설

① X: Schmidt수는 물질전달에서 운동량과 물질의 확산을 비교하는 수로, $Sc = \frac{\nu}{D}$이다. 여기서 ν는 운동량 확산도인 동점도, D는 물질확산도이다. 선지의 '총온도구배에 대한 표면에서의 온도구배의 비율'은 **Nusselt수에 관한 설명**이다. Nusselt수는 표면의 실제 온도구배를 전체 온도차와 특성길이로 정한 기준 온도구배와 비교한 것으로, 대류 열전달의 크기를 나타낸다.

② O: Prandtl수는 $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$로 정의한다. ν는 운동량 확산도이고 α는 열확산도이므로, **열확산도가 분모**에 온다. Schmidt수가 운동량과 물질의 확산을 비교한다면, Prandtl수는 운동량과 열의 확산을 비교한다.

③ O: Grashof수는 자연대류에서 **점성력에 대한 부력의 상대적 크기**를 나타낸다. 온도차로 생긴 밀도차는 부력을 일으켜 유체를 움직이고, 점성은 그 운동을 억제한다. 따라서 Grashof수는 자연대류를 일으키는 효과와 이를 억제하는 효과를 비교하는 척도이다.

④ O: Stanton수는 유체가 운반할 수 있는 열량에 비해 표면에서 유체로 전달되는 열량이 얼마나 큰지를 나타낸다. 대류 열전달계수를 h, 유체의 밀도를 ρ, 대표 유속을 u, 정압비열을 c_p라 하면 $St = \frac{h}{\rho u c_p}$이다. 표면과 유체의 온도차를 ΔT, 단위 면적·단위 시간당 전달열량인 열유속을 q″라 할 때 $q'' = h\Delta T$이므로, $St = \frac{q''}{\rho u c_p \Delta T}$로도 쓸 수 있다. 즉 선지의 열용량은 **흐르는 유체의 열 운반 능력**을 뜻하며, 같은 온도차를 기준으로 전달열량과 비교한 것이다.

NoteBase

문 19. 펌프에서 일어나는 공동화 현상을 피하기 위해 할 수 있는 것은?

① 펌프 전단에 있는 저장조를 더 높은 곳에 설치한다.

② 저장조에서 펌프로 유체를 보내는 파이프의 직경을 작게 한다.

③ 펌프의 임펠러 속도를 증가시킨다.

④ 유체의 온도를 높인다.

정답 1번

간단한 해설

저장조를 높이면 액면과 펌프 사이의 높이 차에 의한 압력이 커져 **펌프 흡입 측 압력**이 높아진다. 따라서 액체의 압력이 증기압 아래로 떨어져 기포가 생기는 공동화를 억제할 수 있다.

선지별 해설

공동화는 펌프 내부의 국부 압력이 액체의 증기압보다 낮아져 증기 기포가 생기고, 이 기포가 압력이 높은 곳으로 이동하여 급격히 붕괴하는 현상이다. 소음·진동과 임펠러 손상을 일으킬 수 있으므로 흡입 측 압력을 충분히 확보하고 압력 손실을 줄여야 한다.

① O: 다른 조건이 같을 때 펌프 전단의 저장조를 높이면 액면이 펌프보다 상대적으로 높아져 **높이 차에 의한 압력**이 커진다. 이에 따라 흡입 측 압력이 높아지고, 증기압을 초과하는 압력의 여유를 수두로 나타낸 가용 유효흡입수두(NPSH)가 증가하므로 공동화 방지에 도움이 된다.

② X: 같은 유량에서 흡입관의 직경을 줄이면 유속이 증가하고 마찰에 의한 압력 손실도 커져 펌프 흡입 측 압력이 낮아진다. 공동화를 방지하려면 흡입관의 **직경을 충분히 크게** 하여 유속과 압력 손실을 줄이는 것이 유리하다.

③ X: 임펠러의 회전속도를 높이면 입구 부근의 유속과 국부적인 압력 강하가 커지고, 일반적으로 펌프가 요구하는 유효흡입수두도 증가하여 공동화 위험이 커진다. 공동화 방지에는 운전 조건이 허용하는 범위에서 **회전속도를 낮추는** 것이 유리하다.

④ X: 액체의 온도가 높아지면 **증기압이 높아져** 같은 압력에서도 기화하기 쉬워진다. 따라서 온도를 높이는 것은 공동화 방지에 불리하며, 다른 조건이 같다면 유체의 온도를 낮추어 증기압을 낮추는 것이 유리하다.

NoteBase