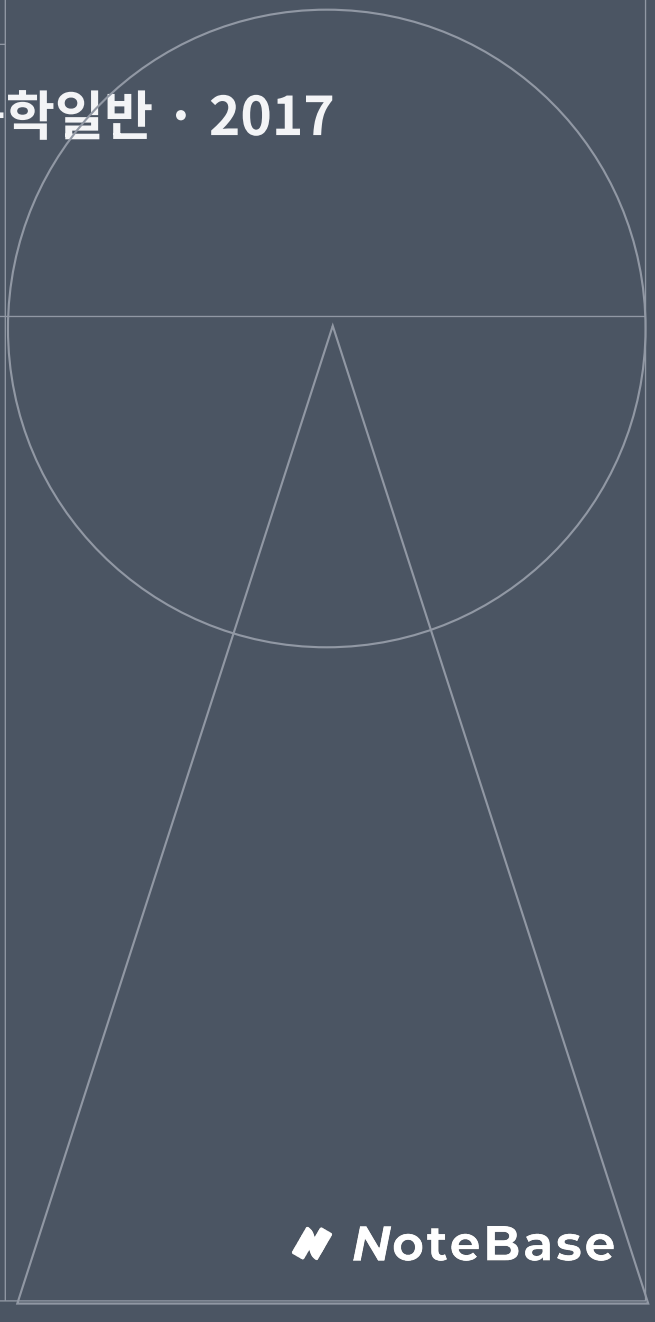
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2017



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2017

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2017

문 1. 상온에서 10 kg인 톱밥을 건조오븐에서 5시간 동안 완전 건조 후 무게를 측정하였더니 7.5 kg이었다. 건조 전 중량기준으로 계산한 톱밥의 함수율[%]은?

① 10

② 25

③ 50

④ 75

정답 2번

간단한 해설

건조로 제거된 수분은 10 − 7.5 = 2.5 kg이다. 이를 **건조 전 총질량 10 kg**에 대한 백분율로 나타내면 함수율은 25%이다.

계산 과정

건조 전 중량기준의 함수율은 수분 질량이 **수분을 포함한 건조 전 총질량**에서 차지하는 비율이다. 따라서 분모에는 완전 건조 후 질량이 아니라 건조 전 질량인 10 kg을 사용한다.

완전 건조 후 남은 7.5 kg은 수분이 제거된 고형분의 질량이다. 건조 전후의 질량 차이가 제거된 수분의 질량이므로, 수분 질량은 10 − 7.5 = 2.5 kg이다.

함수율은 수분 질량건조 전 총질량 × 100으로 계산한다. 값을 대입하면 $\frac{2.5}{10} \times 100 = 25\%$이며, 이는 선택지 ②의 25에 해당한다.

NoteBase

문 2. 2 mol %의 에테인(ethane)이 포함된 가스가 20 °C, 15 atm에서 물과 접해 있다. 헨리(Henry)의 법칙이 적용 가능할 때 물에 용해된 에테인의 몰분율은? (단, 헨리 상수는 2.5×10^4 atm/mole fraction으로 가정한다)

① 1.2×10^{-5}

② 2.4×10^{-5}

③ 3.6×10^{-5}

④ 6.0×10^{-5}

정답 1번

간단한 해설

헨리 법칙에 사용하는 압력은 **에테인의 분압**이다. 기체 중 몰분율 0.02에 전체 압력 15 atm을 곱한 0.30 atm을 헨리 상수로 나누면, 물에 용해된 에테인의 몰분율은 1.2×10^{-5}이다.

계산 과정

헨리 법칙 적용: 일정 온도에서 기체와 액체가 평형을 이루고 헨리 법칙이 적용되면, 기체 성분의 분압은 액체 속 그 성분의 몰분율에 비례한다. 에테인의 분압을 p, 물에 용해된 에테인의 몰분율을 x, 헨리 상수를 H라 하면 $p = Hx$이다. 주어진 20 °C에서 $H = 2.5 \times 10^4$ atm/mole fraction을 사용한다.

에테인의 분압: 기체 중 에테인의 조성 2 mol %는 몰분율 $y = \frac{2}{100} = 0.02$를 뜻한다. 전체 압력을 P라 하면 $p = yP$이므로, 에테인의 분압은 $0.02 \times 15 = 0.30$ atm이다. 액체에 용해되는 에테인과 대응하는 압력은 **에테인의 분압 0.30 atm**이다.

액체 속 에테인의 몰분율: $x = \frac{p}{H}$에 값을 대입하면 $x = \frac{0.30}{2.5 \times 10^4} = 1.2 \times 10^{-5}$이다. 분압과 헨리 상수의 압력 단위를 atm으로 맞추었으므로 결과는 액체 속 몰분율이며, 몰분율은 무차원이다.

계산한 몰분율 1.2×10^{-5}는 ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 3. 액체상태의 물과 벤젠이 층 분리되어 있고 두 성분은 모두 기-액 평형을 이루고 있다. 물과 벤젠을 제외한 다른 성분은 없다고 가정할 때 자유도(degree of freedom)의 수는?

① 0

② 1

③ 2

④ 3

정답 2번

간단한 해설

층 분리된 두 액체상과 두 성분이 함께 섞인 하나의 기체상이 있으므로 **2성분·3상 평형**이다. 깁스의 상률에 따라 자유도는 2 - 3 + 2 = 1이다.

계산 과정

성분 수: 물과 벤젠만 존재하고 화학반응이 없는 계이므로 독립 성분 수 C는 2이다.

상 수: 층 분리된 물과 벤젠은 각각 별개의 액체상을 이룬다. 물의 증기와 벤젠의 증기는 **서로 섞여 하나의 기체상**을 이루므로, 액체상 2개와 기체상 1개를 합한 상의 수 P는 3이다.

상률 적용: 자유도 F는 상의 수를 유지하면서 독립적으로 정할 수 있는 온도·압력·조성 등 세기변수의 수이다. 화학반응이 없는 평형계에서 온도와 압력을 미리 고정하지 않았으므로 깁스의 상률 $F = C - P + 2$를 적용한다. 따라서 $F = 2 - 3 + 2 = 1$이다. 이는 세 상이 공존하는 동안 독립적으로 정할 수 있는 세기변수가 하나라는 뜻이며, 자유도에는 단위가 없다.

계산된 자유도 1은 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 4. 가격이 2억 원인 장치의 수명은 10년이고, 폐장치의 예상가격(salvage value)은 2천만 원이다. 정액법(straight-line method)으로 계산할 때, 이 장치의 5년 후 장부가격(book value)은?

① 9천만 원

② 1억 원

③ 1억 1천만 원

④ 1억 2천만 원

정답 3번

간단한 해설

정액법은 취득가격에서 **잔존가치를 뺀 금액**을 수명 동안 매년 같은 금액으로 상각한다. 연간 감가상각비가 1,800만 원이므로 5년 후 장부가격은 1억 1천만 원이다.

계산 과정

조건과 기준: 취득가격 P는 20,000만 원, 잔존가치 S는 2,000만 원, 수명 n은 10년이다. 잔존가치는 수명이 끝났을 때 예상되는 장치의 가치이다. 정액법에서는 취득가격 전부가 아니라 **취득가격에서 잔존가치를 뺀 금액**을 수명에 걸쳐 균등하게 상각한다.

연간 감가상각비: 매년 같은 금액을 상각하므로 연간 감가상각비 D는 $D = \frac{P - S}{n}$이다. 금액을 만 원 단위로 대입하면 $D = \frac{20{,}000 - 2{,}000}{10} = 1{,}800$이므로 매년 장부가격이 1,800만 원씩 감소한다.

5년간 누적 감가상각액: 1,800만 원 × 5 = 9,000만 원이다. 이는 5년 후 남아 있는 가치가 아니라 **5년 동안 상각한 금액의 합계**이다.

5년 후 장부가격: 장부가격은 취득가격에서 누적 감가상각액을 뺀 금액이다. 따라서 20,000만 원 − 9,000만 원 = 11,000만 원, 즉 1억 1천만 원으로 ③에 해당한다.

NoteBase

문 5. 유량계에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 벤추리미터(venturi meter)는 오리피스미터(orifice meter)보다 압력손실이 크다.

② 로터미터(rotameter)는 유체가 흐르는 유로의 면적이 유량에 따라 변하도록 되어 있다.

③ 피토관(pitot tube)은 국부 유속을 측정할 수 있는 장치이다.

④ 자력식 유량계(magnetic meter)는 패러데이 전자기유도(electromagnetic induction) 법칙을 이용하는 장치이다.

정답 1번

간단한 해설

벤추리미터는 유로가 서서히 넓어지는 부분에서 압력을 회복하므로 오리피스미터보다 **영구 압력손실이 작다**. ①의 '크다'는 '작다'로 고쳐야 한다.

선지별 해설

① X: 벤추리미터는 유로를 점차 좁혔다가 다시 서서히 넓히는 구조이다. 좁은 목 부분에서 유속이 증가하고 압력이 낮아지지만, 이후 확대부에서 유속이 감소하면서 압력이 상당 부분 회복된다. 반면 오리피스미터는 작은 구멍을 통과한 흐름의 급격한 변화와 박리로 에너지 손실이 크다. 따라서 벤추리미터는 오리피스미터보다 **영구 압력손실이 작다**. 유량 측정에 이용하는 두 지점의 압력차와 장치 통과 후 회복되지 않고 남는 압력손실은 구별해야 한다.

② O: 로터미터는 위로 갈수록 넓어지는 관 안에 부자를 넣은 **면적식 유량계**이다. 유체가 아래에서 위로 흐를 때 유량이 증가하면 부자가 상승하여 부자와 관벽 사이의 유로 면적이 커진다. 부자에 작용하는 항력과 부력의 합이 중력과 균형을 이루는 위치에서 멈추므로, 그 높이를 눈금으로 읽어 유량을 구한다.

③ O: 피토관은 흐름을 정면으로 받는 입구에서 유체를 정지시켜 정체압을 측정한다. 이 정체압과 별도로 측정한 정압의 차이를 이용하여 **측정 위치의 국부 유속**을 구한다. 따라서 관 전체의 평균 유속을 직접 측정하는 장치와 구별된다.

④ O: 자력식 유량계는 **패러데이 전자기유도 법칙**을 이용한다. 전기전도성이 있는 유체가 자기장을 가로질러 흐르면 전극 사이에 유도기전력이 발생한다. 자기장과 전극 간격이 일정할 때 이 전압은 유속에 비례하므로, 측정한 전압에서 유속을 구하고 관의 단면적을 이용하여 체적유량을 구한다.

NoteBase

문 6. 정지유체(still fluid) 중에서 낙하하는 입자의 운동에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 정지유체 중에서 낙하하는 입자에는 중력, 부력, 항력의 세 가지 힘이 작용한다.

② 입자가 용기의 경계 및 다른 입자로부터 충분히 떨어져 있어서 그 낙하가 영향을 받지 않을 때 자유침강이라 한다.

③ 입자가 서로 충돌하지는 않아도 한 입자의 운동이 다른 입자들에 의해 영향을 받을 때 간섭침강이라 한다.

④ 간섭침강에서의 항력계수는 자유침강에서의 항력계수보다 작다.

정답 4번

간단한 해설

④의 '항력계수가 더 작다'는 관계가 반대이다. 간섭침강에서는 주변 입자로 인해 침강 저항이 증가하므로 항력계수가 자유침강보다 **크고**, 침강속도는 감소한다.

선지별 해설

① O: 중력은 아래쪽으로, 부력과 항력은 낙하를 방해하는 위쪽으로 작용한다. 유체가 처음 정지해 있어도 입자가 낙하하면 **입자와 유체 사이에 상대운동**이 생기므로 항력이 발생한다.

② O: 자유침강은 입자가 **용기 벽과 다른 입자의 영향을 받지 않고** 낙하하는 상태이다. 입자 사이와 입자·용기 벽 사이의 거리가 충분히 멀어야 이러한 조건에 가까워진다.

③ O: 간섭침강에서는 주변 입자가 만드는 유체 흐름이 한 입자의 운동에 영향을 준다. 따라서 **입자끼리 직접 충돌하지 않아도** 유체를 통한 상호작용만으로 간섭침강이 일어날 수 있다.

④ X: 간섭침강에서는 입자들이 내려가며 밀어낸 유체의 상승 흐름과 주변 입자의 영향으로 침강 저항이 증가한다. 따라서 항력계수는 자유침강보다 **크다**로 고쳐야 한다. 이러한 저항 증가로 같은 입자의 침강속도는 자유침강 때보다 작아진다.

NoteBase

문 7. 온도가 일정하게 유지되고 있는 지름 10 cm인 구형(sphere) 열원이 두께가 15 cm이고 열전도도가 0.5 W/m°C인 단열재로 덮여있다. 정상상태에서 전도에 의한 열흐름 속도가 30 W이고, 단열재 외부 표면 온도가 25°C로 일정하게 유지될 때 열원과 접하고 있는 단열재 내부 표면의 온도[°C]는? (단, π=3으로 가정한다)

① 70

② 80

③ 90

④ 100

정답 4번

간단한 해설

구형 단열재의 전도 열저항은 2.5 °C/W이므로, 30 W의 열이 흐를 때 내외 표면의 **온도 차는 75°C**이다. 내부 표면은 외부 표면보다 뜨거우므로 내부 표면 온도는 25 + 75 = 100°C이다.

계산 과정

1. 반지름과 주어진 값: 열원의 지름이 10 cm이므로 단열재의 내부 반지름은 $r_i = 0.05\text{m}$이다. 외부 반지름은 **내부 반지름에 단열재 두께를 더한 값**이므로 5 + 15 = 20 cm, 즉 $r_o = 0.20\text{m}$이다. 열전도도 k는 0.5 W/(m·°C), 열전달률 Q는 30 W, 외부 표면 온도는 $T_o = 25°\text{C}$이다.

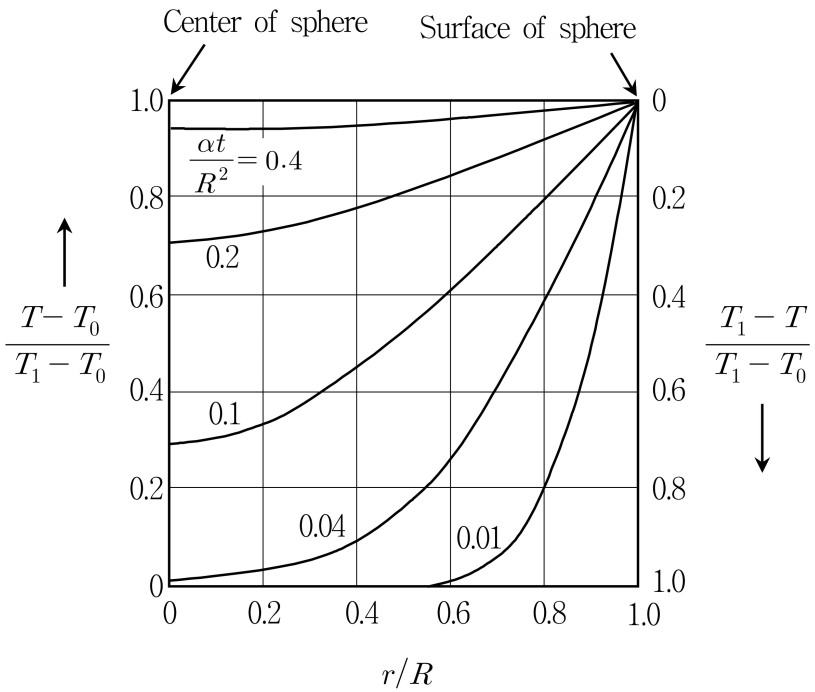
2. 구형 단열재의 전도식: 내부 표면 온도를 T_i, 전도 열저항을 R이라 하면 $Q = \frac{T_i - T_o}{R}$이다. 단열재 내부에서 열이 발생하지 않는 정상상태의 방사 방향 전도에서는 각 반지름을 통과하는 열전달률이 같다. 다만 **열이 통과하는 면적이 반지름에 따라 달라지므로**, 구면적 $A = 4\pi r^2$을 반영한 열저항 $R = \frac{1}{4\pi k}\left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_o}\right)$을 사용한다.

3. 열저항 계산: 반지름을 m 단위로 대입하면 $\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_o} = \frac{1}{0.05} - \frac{1}{0.20} = 15$이며 단위는 m^{-1}이다. 주어진 π = 3을 적용하면 $R = \frac{15}{4 \cdot 3 \cdot 0.5} = 2.5$ °C/W이다. 이는 열이 1 W 흐를 때 단열재의 내외 표면 사이에 2.5°C의 온도 차가 필요하다는 뜻이다.

4. 내부 표면 온도: 전도식에서 $T_i - T_o = QR$이므로 온도 차는 $30 \times 2.5 = 75°\text{C}$이다. 열원에서 바깥쪽으로 열이 흐르므로 **내부 표면 온도가 외부 표면 온도보다 높다**. 따라서 $T_i = T_o + QR$에 따라 내부 표면 온도는 25 + 75 = 100°C이며, ④의 100에 해당한다.

NoteBase

문 8. 반경(R)이 10 cm인 고체 구(sphere)를 뜨거운 용액에 넣었을 때, 비정상상태에서의 구 내부 온도분포를 다음 그래프를 이용하여 구하고자 한다. 여기서, α는 열확산도(thermal diffusivity), T_0는 고체 구의 초기 온도, T_1은 뜨거운 용액의 온도, T는 임의의 시간에서 구 내부의 온도, r은 고체 구 중심으로부터의 거리[cm], t는 경과시간[s]을 나타낸다. 고체 구의 중심($r = 0$) 온도가 93.5 °C에 도달할 때 걸리는 시간(t)은? (단, $\alpha = 20\ \mathrm{cm^2/s}$, $T_0 = 50\ ^\circ\mathrm{C}$, $T_1 = 200\ ^\circ\mathrm{C}$이고, 용액의 온도변화는 무시하며 구의 표면온도는 용액의 온도와 같다고 가정한다)



① 0.1 s

② 0.5 s

③ 1 s

④ 2 s

정답 2번

간단한 해설

구 중심의 온도상승 비율은 0.29로, 그래프에서 **무차원 시간이 0.1인 곡선**에 해당한다. 이를 반경과 열확산도로 실제 시간으로 환산하면 0.5 s이다.

NoteBase

계산 과정

온도비 계산: 구의 표면온도는 용액과 같은 200 °C로 일정하다. 그래프의 왼쪽 세로축 $\frac{T-T_0}{T_1-T_0}$는 초기 온도에서 표면온도까지의 전체 온도차 중 **실제로 상승한 온도차의 비율**이다. 중심온도 93.5 °C를 대입하면 $\frac{93.5-50}{200-50}=0.29$이다.

그래프 판독: 가로축은 r/R이므로 구 중심은 **가로축 값이 0인 왼쪽 끝**이다. 이 위치에서 왼쪽 세로축 값 0.29를 지나는 곡선의 표시는 $\frac{\alpha t}{R^2}=0.1$이다. 곡선에 표시된 0.1은 초 단위의 시간이 아니라 열확산도와 반경을 반영한 무차원 시간이다.

시간 환산: $\frac{\alpha t}{R^2}=0.1$을 시간에 대해 정리하면 $t=\frac{0.1R^2}{\alpha}$이다. 반경 10 cm와 열확산도 20 cm^2/s를 대입하면 $t=\frac{0.1\times 10^2}{20}=0.5s$이다. 길이를 cm로 통일했으므로 추가 단위 변환은 필요 없고, 반경의 제곱을 열확산도로 나누면 시간 단위 s가 남는다.

따라서 구 중심이 93.5 °C에 도달하는 시간은 0.5 s로, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 9. 복사(radiation)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 흑체(black body)는 주어진 온도에서 최대의 방사율(emissivity)을 가진다.

② 정반사(specular reflection)가 일어나는 물체 표면에서 반사율은 거의 1이며, 흡수율은 0에 가깝다.

③ 불투명 고체의 반사율과 흡수율의 합은 1이다.

④ 회색체(gray body)는 파장에 따라 단색광 방사율이 변한다.

정답 4번

간단한 해설

회색체는 같은 온도에서 **단색광 방사율이 파장에 관계없이 일정한** 물체이다. 따라서 ④의 '파장에 따라 단색광 방사율이 변한다'는 설명은 회색체의 정의와 반대이다.

선지별 해설

① O: 방사율은 물체가 내는 복사에너지를 같은 온도의 흑체가 내는 복사에너지와 비교한 비이다. 흑체는 주어진 온도에서 가능한 최대의 복사에너지를 방출하므로 **방사율이 1**이며, 실제 물체의 방사율은 이를 넘지 않는다.

② O: 연마된 금속처럼 **반사성이 큰 매끈한 표면을 대표로 삼은 근사적 설명**이다. 정반사는 입사각과 반사각이 같은 반사이다. 반사성이 큰 불투명 표면에서는 입사 복사에너지의 대부분이 반사되므로 반사율은 1에 가깝고 흡수율은 0에 가깝다. 다만 정반사는 반사 방향에 관한 특성이므로, 정반사가 일어난다는 사실만으로 모든 재료의 반사율이 1에 가깝다고 일반화할 수는 없다.

③ O: 입사 복사에너지는 흡수·반사·투과되는 부분으로 나뉘므로, 흡수율 α, 반사율 ρ, 투과율 τ 사이에는 $\alpha + \rho + \tau = 1$이 성립한다. 불투명 고체는 복사에너지를 **투과시키지 않으므로** $\tau = 0$이며, 반사율과 흡수율의 합은 1이다.

④ X: 회색체는 주어진 온도에서 **단색광 방사율이 파장에 무관하게 일정한** 물체이다. 단색광 방사율은 특정 파장에서 물체가 내는 복사에너지를 같은 온도의 흑체가 그 파장에서 내는 복사에너지로 나눈 비이다. 회색체에서는 이 비가 파장에 따라 변하지 않으므로, '파장에 따라 단색광 방사율이 변한다'를 '파장에 관계없이 단색광 방사율이 일정하다'로 고쳐야 한다.

NoteBase

문 10. 비중이 1.0이고 점도가 4cP인 유체를 내경이 8cm인 파이프를 통해 20cm/s의 유속으로 흘릴 때 Reynolds 수(Re)는?

① 40

② 800

③ 4,000

④ 8,000

정답 3번

간단한 해설

관내 유동의 Reynolds 수는 $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$로 구한다. **4 cP = 0.004 Pa·s**로 환산하여 주어진 밀도·유속·내경을 대입하면 4,000이다.

계산 과정

비중은 물의 밀도에 대한 유체 밀도의 비이다. 물의 밀도를 1,000 kg/m^{3}로 두면, 비중 1.0인 유체의 밀도는 ρ = 1,000 kg/m^{3}이다. 주어진 점도는 **점성계수 μ**이며, 1 cP = 0.001 Pa·s이므로 μ = 0.004 Pa·s이다.

내경과 유속도 SI 단위로 맞추면 D = 0.08 m, v = 0.20 m/s이다. 원형 관의 Reynolds 수에서 특성 길이는 **관의 내경**이므로 8 cm를 그대로 내경으로 사용한다.

Reynolds 수는 관성력과 점성력의 상대적 크기를 나타내며, 관내 유동에서는 $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$이다. 값을 대입하면 $Re = \frac{1{,}000 \cdot 0.20 \cdot 0.08}{0.004} = 4{,}000$이다. 분자와 분모의 단위가 소거되므로 Reynolds 수는 무차원수이다.

계산한 Reynolds 수 4,000은 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 11. 액－액 추출에 사용되는 장치가 아닌 것은?

① 혼합침강기(mixer-settler)

② 맥동탑(pulse column)

③ 충전탑(packed column)

④ 이동상 추출기(moving-bed extractor)

정답 4번

간단한 해설

이동상 추출기는 고체 원료를 이동시키면서 액체 용매로 성분을 녹여 내는 **고–액 추출 장치**이다. 액–액 추출은 서로 분리되는 두 액체 사이에서 용질을 이동시키는 조작이다.

공통 해설

추출 장치는 **접촉하는 두 상이 무엇인지**로 구분한다. 액–액 추출에서는 서로 완전히 섞이지 않아 두 상을 이루는 액체 원료와 용매를 접촉시킨다. 용질이 두 액체에 분배되는 성질을 이용하여 용매 쪽으로 이동하게 한 뒤, 두 액체상을 분리한다.

혼합침강기, 맥동탑, 충전탑은 모두 이러한 두 액체상의 접촉에 사용할 수 있다. 혼합침강기는 두 액체를 혼합한 뒤 침강시켜 분리하고, 맥동탑은 주기적인 유체의 진동으로 두 액체의 접촉을 촉진한다. 충전탑은 충전물을 넣은 탑 안에서 두 액체를 접촉시킨다.

이동상 추출기는 이동하는 고체층에 액체 용매를 접촉시켜 고체 원료에 들어 있는 가용성 성분을 녹여 낸다. 따라서 접촉 대상이 **고체와 액체**인 고–액 추출, 즉 침출에 쓰이는 장치이므로 액–액 추출 장치에 해당하지 않는다.

NoteBase

문 12. Prandtl 수(Pr)는 이동현상에서 전달되는 두 물리량의 확산도(diffusivity) 비교에 유용한 무차원수 중의 하나이다. Pr가 1보다 클 때의 확산도를 비교한 것으로 옳은 것은?

① 열 확산도(thermal diffusivity)가 물질 확산도(mass diffusivity)보다 크다.

② 물질 확산도가 열 확산도보다 크다.

③ 열 확산도가 운동량 확산도(momentum diffusivity)보다 크다.

④ 운동량 확산도가 열 확산도보다 크다.

정답 4번

간단한 해설

Prandtl 수는 운동량 확산도를 열 확산도로 나눈 값인 $\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$이다. 따라서 Pr가 1보다 크면 **운동량 확산도가 열 확산도보다 크다**.

공통 해설

Prandtl 수는 **운동량 확산도와 열 확산도의 비**로, $\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$로 정의한다. 여기서 ν는 운동량 확산도, α는 열 확산도이다. 운동량 확산도는 유체 내부의 속도 차이가 확산으로 완화되는 정도를, 열 확산도는 온도 차이가 확산으로 완화되는 정도를 나타낸다.

두 확산도는 양수이므로 $\mathrm{Pr} > 1$이면 $\nu > \alpha$이다. 즉, **운동량 확산도가 열 확산도보다 크다**. 열 확산도가 운동량 확산도보다 크다는 관계는 이 조건과 반대이다.

물질 확산도는 Prandtl 수의 정의에 포함되지 않는다. 따라서 **Pr가 1보다 크다는 조건만으로는** 열 확산도와 물질 확산도 중 어느 것이 더 큰지 판단할 수 없다.

NoteBase

문 13. 벤젠 70 mol%, 톨루엔 30 mol%의 혼합액이 100 mol/h의 유량으로 증류탑에 공급된다. 이 혼합액이 벤젠 90 mol%인 탑상제품(top product)과 10 mol%의 탑저제품(bottom product)으로 분리될 때 탑상제품의 유량[mol/h]은?

① 25

② 50

③ 75

④ 82

정답 3번

간단한 해설

증류에서는 **전체 유량과 벤젠의 몰유량이 각각 보존**된다. 공급액의 벤젠 70 mol/h를 탑상·탑저제품의 벤젠으로 나누어 물질수지를 세우면 탑상제품 유량은 75 mol/h이다.

계산 과정

유량과 조성: 탑상제품 유량을 D, 탑저제품 유량을 B라 하고 단위는 모두 mol/h로 둔다. 벤젠의 몰분율은 공급액 0.70, 탑상제품 0.90, 탑저제품 0.10이다. 정상상태에서 축적이 없고 반응 없이 분리되므로 전체 및 벤젠 성분에 대해 유입량과 유출량이 같다.

전체 물질수지: 공급 유량 100 mol/h가 두 제품으로 나뉘므로 $D + B = 100$이다. 따라서 $B = 100 - D$로 나타낼 수 있다.

벤젠 성분수지: **각 유량에 벤젠의 몰분율을 곱하면 벤젠의 몰유량**이 된다. 공급되는 벤젠은 $100 \times 0.70 = 70$ mol/h이므로 $70 = 0.90D + 0.10B$이다.

탑상제품 유량: $B = 100 - D$를 벤젠 성분수지에 대입하면 $70 = 0.90D + 0.10(100 - D)$, 즉 $60 = 0.80D$이다. 따라서 $D = \frac{60}{0.80} = 75$ mol/h이며, ③의 75에 해당한다.

NoteBase

문 14. 고체 수평면과 평행으로 흐르는 액체의 유속(u)이 수평면으로부터 y인 위치에서 $u[\mathrm{m/s}] = 10y - y^2$의 분포로 흐르고 있다. 액체의 점도가 0.0015 Pa·s이고 뉴턴의 점성법칙을 따른다고 가정할 때, 평면 위(y=0)에서 액체의 전단응력[Pa]은?

① 0.008

② 0.015

③ 0.042

④ 0.058

정답 2번

간단한 해설

뉴턴 유체의 전단응력은 점도와 **벽면에서의 속도기울기**를 곱해 구한다. 주어진 유속 분포의 벽면 속도기울기는 $10\mathrm{s}^{-1}$이므로 전단응력은 0.015 Pa이다.

계산 과정

1. 뉴턴의 점성법칙 적용: 평면과 평행하게 흐르는 뉴턴 유체의 전단응력은 $\tau = \mu\frac{du}{dy}$이다. 여기서 μ는 점도, du/dy는 평면에 수직인 방향으로 유속이 변하는 비율이다. 주어진 점도는 0.0015 Pa·s이며, **유속 자체가 아니라 속도기울기**를 곱해야 한다.

2. 벽면의 속도기울기 계산: 유속 분포 $u = 10y - y^2$를 y에 대해 미분하면 $\frac{du}{dy} = 10 - 2y$이다. 벽면인 y = 0을 대입하면 $\left.\frac{du}{dy}\right|_{y=0} = 10\mathrm{s}^{-1}$이다. 벽면에서 유속은 0이지만, **속도기울기는 0이 아니므로** 전단응력이 발생한다.

3. 전단응력 계산: 벽면 속도기울기에 점도를 곱하면 $\tau = 0.0015 \cdot 10 = 0.015\mathrm{Pa}$이다. 점도의 단위 Pa·s와 속도기울기의 단위 s^{-1}을 곱하므로 결과의 단위는 Pa가 된다.

따라서 평면 위에서의 전단응력은 0.015 Pa이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 15. 흡착에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고른 것은?

ㄱ. 흡착을 이용한 분리는 주로 분자량, 분자모양, 분자극성 등의 차이 또는 기공과 분자간의 크기차를 이용한다.
ㄴ. 화학흡착은 흡착제와 흡착분자간 반데르발스(Van der Waals) 힘 등의 비교적 약한 인력을 가진 가역적인 현상이다.
ㄷ. 흡착제의 요건으로 높은 선택성, 큰 표면적, 내구성 및 내마모성 등이 요구된다.
ㄹ. 랭뮈어(Langmuir) 흡착등온선(adsorption isotherm)은 비가역적 흡착을 설명하는 식이다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄹ
④ ㄷ, ㄹ

정답 2번

간단한 해설

ㄴ의 약한 반데르발스 힘에 의한 가역적 흡착은 **물리흡착**의 설명이다. 랭뮈어 흡착등온선도 비가역적 흡착이 아니라 **흡착과 탈착이 평형을 이루는 단분자층 흡착**을 설명한다.

NoteBase

보기별 해설

ㄱ. O: 흡착 분리는 성분마다 흡착제에 붙는 정도나 기공에 들어갈 수 있는 정도가 다르다는 점을 이용한다. 분자량·분자모양·분자극성의 차이는 흡착제와의 상호작용이나 기공 접근성에 영향을 준다. 특히 기공 입구보다 큰 분자는 들어가기 어려우므로, **기공과 분자의 크기 차이**를 이용한 분리도 가능하다.

ㄴ. X: 반데르발스 힘처럼 비교적 약한 분자 간 인력에 의해 일어나며 일반적으로 가역적인 것은 **물리흡착**이다. 화학흡착은 흡착제 표면과 흡착분자 사이에 화학결합이 형성되는 현상으로, 물리흡착보다 결합이 강하고 탈착이 어려운 경우가 많다. 따라서 선지의 '화학흡착'을 '물리흡착'으로 고쳐야 한다.

ㄷ. O: 높은 선택성은 혼합물 중 원하는 성분을 우선적으로 흡착하게 하므로 분리 성능을 높인다. 큰 표면적은 **분자가 접근할 수 있는 흡착 자리**를 많이 확보하는 데 유리하다. 내구성과 내마모성은 반복 사용과 유체 흐름 속에서 흡착제가 부서지거나 마모되는 것을 줄여 성능을 유지하는 데 필요하다.

ㄹ. X: 랭뮈어 흡착등온선은 일정한 온도에서 균일한 흡착 자리에 단분자층이 형성되고, 흡착된 분자 사이의 상호작용이 없다고 가정하는 평형 모형이다. 분자가 표면에 붙는 흡착과 표면에서 떨어지는 탈착이 함께 일어나며, 평형에서는 **흡착속도와 탈착속도가 같다**. 따라서 '비가역적 흡착'이 아니라 '흡착과 탈착의 동적 평형에 있는 단분자층 흡착'을 설명하는 식이다.

옳은 보기는 ㄱ과 ㄷ이며, 이 조합은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 16. 개방된 대형 물탱크에 물이 20 m 높이로 들어있다. 물탱크의 바닥에 면적이 2 cm^2인 노즐이 설치되어 있다. 이 노즐을 통한 물의 초기 배출 유량[L/s]은? (단, 모든 마찰 손실은 무시하며, 중력가속도는 10 m/s^2로 가정한다)

① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 4번

간단한 해설

수면과 노즐 출구 사이의 높이 차 20 m가 물의 운동에너지로 바뀌므로 배출 속도는 20 m/s이다. 여기에 **노즐 단면적을 곱하면 체적 유량**이 되어 초기 배출 유량은 4 L/s이다.

계산 과정

배출 속도: 개방된 탱크의 수면과 노즐 출구는 모두 대기압을 받는다. 탱크가 대형이므로 **수면의 하강 속도는 노즐의 배출 속도에 비해 무시**할 수 있다. 마찰 손실도 없으므로 두 지점 사이의 베르누이식은 $gh = \frac{v^2}{2}$로 정리된다. 여기서 h는 수면과 노즐 사이의 높이 차, g는 중력가속도, v는 노즐의 배출 속도이다. 초기 높이 h = 20 m와 g = 10 m/s^2를 대입하면 $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 20} = 20 \text{m/s}$이다.

단면적 환산: 노즐 면적 A = 2 cm^2를 속도와 같은 길이 단위로 맞춘다. $1\text{cm}^2 = 10^{-4}\text{m}^2$이므로 $A = 2 \times 10^{-4}\text{m}^2$이다. 면적은 길이를 제곱한 양이므로 **길이 환산계수도 제곱**해야 한다.

초기 체적 유량: 단위 시간에 노즐을 통과하는 부피는 단면적과 배출 속도의 곱이므로 $Q = Av$이다. 따라서 $Q = (2 \times 10^{-4}) \cdot 20 = 4 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$이다. 1 m^3 = 1,000 L이므로 초기 배출 유량은 4 L/s이며, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 공업용 반응기에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 반회분 반응기(semi-batch reactor)와 연속 교반탱크 반응기(continuous stirred tank reactor, CSTR)는 주로 액상반응에 사용된다.

② 반회분 반응기는 기체가 액체를 통하여 기포를 만들면서 연속적으로 통과하는 2상 반응에서도 사용이 가능하다.

③ 반응기 부피당 전화율은 연속 교반탱크 반응기가 관형 반응기(tubular reactor)보다 크다.

④ 관형 반응기는 반응기 내의 온도조절이 어려우며, 발열반응의 경우 국소 고온점(hot spot)이 생길 수 있다.

정답 3번

간단한 해설

③의 'CSTR가 관형 반응기보다 크다'는 전화율 관계를 반대로 설명한 것이다. 같은 공급·온도 조건에서 반응물 농도가 높을수록 반응속도가 커지는 일반적인 반응은, 같은 부피의 **관형 반응기에서 전화율이 더 높다**.

선지별 해설

① O: 반회분 반응기와 CSTR는 주로 액상반응에 사용된다. 탱크 안의 액체를 **교반하여 혼합과 열전달을 촉진**할 수 있기 때문이다. 반회분 반응기는 일부 반응물을 먼저 넣고 다른 반응물을 운전 중 공급하는 방식이며, CSTR는 반응물을 연속 공급하면서 반응 혼합물도 연속 배출하는 방식이다.

② O: 액체를 탱크에 넣어 둔 채 기체를 기포 형태로 연속 공급하고, 반응하지 않은 기체를 배출하는 운전이 가능하다. 이때 **액체는 회분식으로, 기체는 연속식으로** 취급되므로 기체·액체 2상 반응도 반회분 방식으로 수행할 수 있다.

③ X: 전화율은 공급한 반응물 중 반응한 비율이다. 동일한 공급·온도 조건에서 반응물 농도가 높을수록 속도가 커지는 일반적인 등온반응을 비교하면, 같은 부피의 **관형 반응기가 CSTR보다 높은 전화율**을 낸다. CSTR는 완전혼합으로 탱크 전체의 반응물 농도가 출구의 낮은 농도와 같아진다. 반면 이상적인 관형 반응기인 PFR는 흐름 방향의 역혼합이 없어 입구 부근의 높은 반응물 농도를 활용하므로, 반응기 전체의 평균 반응속도가 더 크다. 같은 전화율을 얻는 데 필요한 부피도 관형 반응기가 더 작다. 이 비교는 반응속도의 농도 의존성과 온도 조건에 따라 달라질 수 있으므로 모든 반응에 무조건 적용하는 법칙은 아니다.

④ O: 관형 반응기는 교반탱크처럼 내부 전체가 균일하게 혼합되지 않아 위치에 따른 온도 차이를 제어하기 어렵다. 발열반응에서 특정 구간의 **발열량이 제거되는 열량보다 크면** 그 부분의 온도가 높아질 수 있다. 이렇게 국소적으로 온도가 높은 영역을 고온점(hot spot)이라고 한다.

NoteBase

문 18. 연속 분별증류탑(continuous fractionating column)에서 메탄올 수용액을 원료로 하여 메탄올 몰분율이 0.7인 탑상제품을 얻었다. 환류비(reflux ratio)가 3일 때 정류부(rectifying section)의 조작선을 나타내는 식은?

① $y_{n+1} = 0.75x_n + 0.175$

② $y_{n+1} = 0.75x_n - 0.175$

③ $y_{n+1} = -0.75x_n + 0.175$

④ $y_{n+1} = 0.75x_n + 0.75$

정답 1번

간단한 해설

정류부 조작선은 환류비 R와 탑상제품의 메탄올 몰분율 x_D로 결정된다. $R = 3$, $x_D = 0.7$을 적용하면 **기울기 0.75, 절편 0.175**인 $y_{n+1} = 0.75x_n + 0.175$가 된다.

계산 과정

조건과 변수: 탑상제품의 메탄올 몰분율은 $x_D = 0.7$, 환류비는 $R = 3$이다. x_n은 n단에서 내려오는 액체의 메탄올 몰분율, y_{n+1}은 그 아래 n+1단에서 올라오는 증기의 메탄올 몰분율이다. 환류 액체, 상승 증기, 탑상제품의 몰유량을 각각 L, V, D로 둔다. 몰분율과 환류비는 모두 무차원이다.

조작선의 유도: 정상상태에서 정류부의 액체·증기 몰유량이 각각 일정하다고 보는 표준 모형을 적용한다. 정류부 상단을 포함한 전체 물질수지는 $V = L + D$, 메탄올 성분수지는 $Vy_{n+1} = Lx_n + Dx_D$이다. 환류비는 **환류 액체 몰유량을 탑상제품 몰유량으로 나눈 값**이므로 $R = \frac{L}{D}$이다. 따라서 $L = RD$, $V = (R+1)D$를 성분수지에 대입하면 $y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1}$을 얻는다.

기울기와 절편 계산: 기울기는 $\frac{R}{R+1} = \frac{3}{3+1} = 0.75$이고, 절편은 $\frac{x_D}{R+1} = \frac{0.7}{3+1} = 0.175$이다. 기울기는 상승 증기 몰유량에 대한 환류 액체 몰유량의 비이고, 절편은 탑상제품으로 빠져나가는 메탄올의 영향을 나타낸다.

따라서 정류부 조작선은 $y_{n+1} = 0.75x_n + 0.175$이며, ①의 식과 일치한다.

NoteBase

문 19. A와 B의 2성분계 혼합물(binary mixture)에서 성분 A의 확산이 성분 B의 몰유량(molar flow)과 양이 같으면서 반대방향이 되어 알짜 몰유량(net molar flow)이 없는 경우로 해석될 수 있는 단위조작 공정은?

① 흡착(adsorption)

② 흡수(absorption)

③ 정류(rectification)

④ 추출(extraction)

정답 3번

간단한 해설

정류에서는 한 성분이 증발하고 다른 성분이 응축하면서 서로 반대방향으로 이동한다. 두 성분의 몰증발잠열이 거의 같은 등의 조건에서는 이동하는 몰수가 같아져, 알짜 몰유량이 0인 **등몰상호확산**으로 해석할 수 있다.

공통 해설

두 성분이 같은 몰수만큼 반대방향으로 이동하는 것을 **등몰상호확산**이라고 한다. 같은 기준 방향으로 표시한 A와 B의 몰유량을 각각 $\dot{n}_A$, $\dot{n}_B$라 하면 $\dot{n}_A = -\dot{n}_B$이고, 알짜 몰유량은 $\dot{n}_A + \dot{n}_B = 0$이다. 이는 각 성분의 이동이 없다는 뜻이 아니라, 서로 반대인 두 몰유량이 상쇄된다는 뜻이다.

정류는 증기와 액체를 접촉시켜 휘발성 차이로 성분을 분리하는 공정이다. A를 더 휘발성이 큰 성분이라고 놓으면 A는 액체에서 증기로, B는 증기에서 액체로 이동한다. **두 성분의 몰증발잠열이 거의 같고 열손실과 현열 교환을 무시**할 수 있으면, B 1 mol이 응축하면서 내놓는 열로 A 약 1 mol이 증발한다. 따라서 두 성분의 몰유량은 크기가 같고 방향이 반대가 되어, 정류의 물질전달을 문제의 등몰상호확산으로 근사할 수 있다.

흡착·흡수·추출에서 물질이 다른 상으로 이동한다는 사실만으로는 두 성분이 같은 몰수만큼 반대방향으로 이동하는 관계가 성립하지 않는다. 이 문항의 결정적인 기준은 단순한 상간 이동이 아니라, 정류에서의 증발·응축에 따른 등몰 교환이다.

NoteBase

문 20. 투석 막(dialysis membrane)을 사이에 두고 액체 B와 액체 C가 각각 흐르고, 성분 A가 투석 막을 통해 액체 B에서 액체 C로 전달된다. 다음의 자료와 같을 때, 물질전달 속도를 가장 크게 증가시킬 수 있는 방법은? (단, 투석 막의 두께 및 면적은 각각 200 μm 및 1 m^2이며, 액체 B와 액체 C에서 A의 농도는 각각 5.0 M 및 0.1 M로 일정하게 유지된다)

◯ 막에서의 성분 A의 유효확산계수: 1.0×10^{-9} m^2/s
◯ 액체 B쪽에서의 성분 A의 물질전달계수: 5.0×10^{-4} m/s
◯ 액체 C쪽에서의 성분 A의 물질전달계수: 2.0×10^{-4} m/s

① 액체 B의 유량을 4배로 증가시킨다.
② 막의 두께를 절반으로 줄인다.
③ 막에서의 성분 A의 유효확산계수를 절반으로 낮춘다.
④ 액체 C의 유량을 2배로 증가시킨다.

정답 2번

간단한 해설

막의 확산저항이 전체 물질전달저항의 대부분을 차지하므로, **막 두께를 절반으로 줄여 막 저항을 절반으로 낮추는 방법**이 가장 효과적이다. 면적과 농도차가 일정할 때 전체 저항이 207000 s/m에서 107000 s/m로 줄어 물질전달 속도는 약 1.93배가 된다.

NoteBase

선지별 해설

성분 A는 B쪽 액체 경계층, 막, C쪽 액체 경계층을 차례로 통과하므로 세 물질전달저항을 더한다. 각 저항은 $R_B = 1/k_B$, $R_m = \delta/D_{\text{eff}}$, $R_C = 1/k_C$이다. 여기서 k는 액체쪽 물질전달계수, δ는 막 두께, D_{eff}는 막 내 유효확산계수이다. 전체 저항을 $R = R_B + R_m + R_C$라 하면 몰 전달속도는 $\dot{n} = A_s \Delta C / R$이다. 막 면적 A_s는 1 m^2, 농도차 ΔC는 5.0 − 0.1 = 4.9 M로 일정하므로, **전체 저항이 작을수록 전달속도가 크다**.

처음의 저항: 막 두께를 $\delta = 2.0 \times 10^{-4}$ m로 환산하면, $R_m = \frac{2.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-9}} = 200000$ s/m이다. 액체쪽 저항은 $R_B = \frac{1}{5.0 \times 10^{-4}} = 2000$ s/m, $R_C = \frac{1}{2.0 \times 10^{-4}} = 5000$ s/m이다. 따라서 전체 저항은 2000 + 200000 + 5000 = 207000 s/m이며, 막 저항이 압도적으로 크다.

① 액체 B의 유량을 4배로 증가: 유량 증가로 B쪽 경계층 저항이 줄어들더라도 막 저항은 그대로 남는다. B쪽 저항 2000 s/m를 완전히 없애는 극한에서도 전체 저항은 205000 s/m이다. 따라서 속도 증가의 상한은 $\frac{207000}{205000} \approx 1.010$배에 불과하다. 유량이 4배가 된다고 전달속도가 4배가 되는 것은 아니다.

② 막 두께를 절반으로 감소: **막 저항은 두께에 비례**하므로 200000 s/m에서 100000 s/m로 줄어든다. 전체 저항은 2000 + 100000 + 5000 = 107000 s/m가 되고, 속도는 처음의 $\frac{207000}{107000} \approx 1.935$배가 되어 약 93.5% 증가한다.

③ 막 내 유효확산계수를 절반으로 감소: 막 저항은 **유효확산계수에 반비례**하므로 400000 s/m로 증가한다. 전체 저항은 2000 + 400000 + 5000 = 407000 s/m가 되어, 속도는 처음의 $\frac{207000}{407000} \approx 0.509$배로 오히려 감소한다.

④ 액체 C의 유량을 2배로 증가: C쪽 경계층 저항이 줄어드는 효과만 기대할 수 있다. C쪽 저항 5000 s/m를 완전히 없애는 극한에서도 전체 저항은 202000 s/m이며, 속도 증가의 상한은 $\frac{207000}{202000} \approx 1.025$배이다. 이 효과 역시 막 두께를 절반으로 줄일 때보다 훨씬 작다.

①과 ④는 해당 액체쪽 저항을 완전히 제거해도 속도 증가가 작고, ③은 속도를 감소시킨다. 전체 저항을 가장 크게 낮추어 전달속도를 가장 크게 증가시키는 방법은 ②의 막 두께 감소이다.

NoteBase