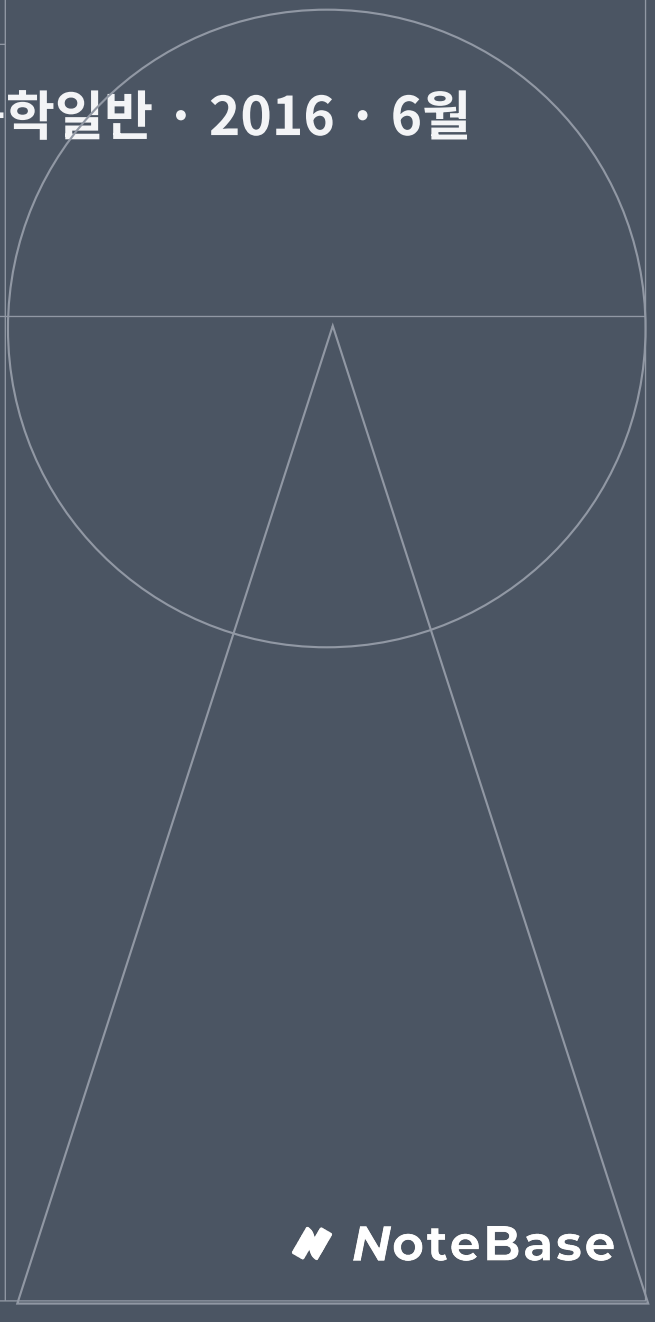
기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 화학공학일반 · 2016 · 6월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 화학공학일반 · 2016 · 6월

공무원/서울시/9급 · 화학공학일반 · 2016 · 6월

문 1. 다음 중 기체상수 R의 단위로 가장 옳지 않은 것은?

① $kg \cdot m \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$

② $L \cdot atm \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$

③ $cal \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$

④ $lb_f \cdot ft \cdot R^{-1} \cdot lbmol^{-1}$

정답 1번

간단한 해설

기체상수의 단위는 **에너지를 물질량과 절대온도의 곱으로 나눈 차원**이어야 한다. ①의 $kg \cdot m$은 에너지 단위가 아니며, 에너지의 SI 기본단위 표현은 $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$이다.

공통 해설

이상기체 상태방정식 $PV = nRT$에서 P는 압력, V는 부피, n은 물질량, T는 절대온도이다. 따라서 $R = \frac{PV}{nT}$이며, 압력과 부피의 곱은 힘과 길이의 곱과 같아 에너지 차원을 갖는다. 기체상수의 단위는 **에너지 단위를 물질량 단위와 절대온도 단위의 곱으로 나눈 형태**이다.

$L \cdot atm$은 부피와 압력의 곱이고, cal은 에너지 단위이다. 또한 lb_f는 힘의 단위이므로 $lb_f \cdot ft$도 에너지 단위이다. 여기에 물질량 단위인 mol 또는 lbmol과 절대온도 단위인 K 또는 R을 분모에 쓰면 기체상수의 단위가 된다. 이때 ④의 R은 **절대온도 척도인 랭킨**을 뜻한다. 따라서 이들 단위는 모두 같은 차원 조건을 충족한다.

반면 $kg \cdot m$은 질량과 길이의 곱으로, 에너지 차원이 아니다. 에너지는 힘과 길이의 곱이므로 $1J = 1kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$이다. 따라서 기체상수의 SI 기본단위 표현은 $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$로 고쳐야 한다.

NoteBase

문 2. 아래는 회분식반응기에서 일어나는 반응이다. 만일 반응기 내에 100mol의 A가 공급되어, 최종 생성물로서 10mol의 A와 160mol의 B 및 10mol의 C가 생성되었다고 할 때, 다음 중 옳은 것은?

$A \rightarrow 2B$ (원하는 반응), $A \rightarrow C$ (부반응)

① A의 전화율은 0.8이다.

② B의 수율은 90%이다.

③ C에 대한 B의 선택도는 16molB/molC이다.

④ 원하는 반응의 반응진행도(extent of reaction)는 90mol이다.

정답 3번

간단한 해설

C에 대한 B의 선택도는 **생성된 B와 C의 몰수 비**이다. 따라서 $\frac{160}{10} = 16$으로, C 1 mol당 B 16 mol이 생성되었다는 뜻이다.

선지별 해설

① X: 전화율은 공급한 A 중 반응으로 소모된 A의 비율이다. A는 100 mol에서 10 mol로 줄었으므로 총 90 mol이 반응하였다. 따라서 $X_A = \frac{100-10}{100} = 0.9$이다. 여기에는 **원하는 반응과 부반응으로 소모된 A가 모두 포함**된다.

② X: 공급한 A를 기준으로 한 B의 수율은 실제 B 생성량을 이론적으로 가능한 최대 B 생성량으로 나눈 값이다. $A \rightarrow 2B$이므로 A 100 mol이 모두 원하는 반응에 쓰이면 B는 200 mol 생성된다. 따라서 $Y_B = \frac{160}{200} \times 100\% = 80\%$이다. **A의 전화율 90%와 B의 수율 80%는 다르다**. 반응한 A 중 일부가 C 생성에 쓰였기 때문이다.

③ O: C에 대한 B의 선택도는 원하는 생성물 B의 생성 몰수를 부생성물 C의 생성 몰수로 나눈 값이다. 따라서 $S_{B/C} = \frac{160}{10} = 16$이며, 단위는 molB/molC이다. 이 선택도는 **두 생성물의 실제 몰수 비**이므로 B의 반응식 계수 2로 나누지 않는다.

④ X: 반응진행도는 각 성분의 반응에 따른 몰수 변화를 해당 반응식의 화학양론계수로 나눈 값이다. 원하는 반응 $A \rightarrow 2B$에서 B의 계수는 2이고, B는 이 반응에서만 생성된다. 따라서 원하는 반응의 진행도는 $\xi_1 = \frac{160}{2} = 80$mol이다. 부반응 $A \rightarrow C$의 진행도는 10 mol이다. **전체 A 소모량 90 mol**은 두 반응에서 소모된 양 80 + 10 = 90 mol을 합한 것이며, 원하는 반응만의 진행도가 아니다.

NoteBase

문 3. 반응식이 $2NOCl \rightarrow 2NO + Cl_2$인 2차 반응에서, 반응속도상수가 0.01L/mol·s이고 NOCl의 초기 농도가 0.02mol/L라면, 20분 후 NOCl의 농도(mol/L)는 얼마인가? (단, 소수점 넷째자리에서 반올림한다.)

① 0.008mol/L

② 0.010mol/L

③ 0.012mol/L

④ 0.016mol/L

정답 4번

간단한 해설

2차 반응에서는 **농도의 역수가 시간에 따라 선형적으로 증가**한다. 20분을 1200초로 환산하여 적분속도식에 대입하면 NOCl의 농도는 약 0.016129 mol/L이며, 소수점 넷째 자리에서 반올림하면 0.016 mol/L이다.

계산 과정

조건과 단위: NOCl의 농도를 C, 초기 농도를 C_0로 두면 $C_0 = 0.02$ mol/L이고, 속도상수 k는 0.01 L/(mol·s)이다. 속도상수의 시간 단위가 초이므로 **20분 = 1200초**로 환산한다.

적용할 관계: NOCl에 대한 2차 반응이므로 소모속도는 농도의 제곱에 비례하며, 주어진 속도상수를 적용한 속도식은 $-\frac{dC}{dt} = kC^2$이다. 이를 초기 농도에서 시간 t의 농도까지 적분하면 $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + kt$가 된다. 즉, **농도 자체가 아니라 농도의 역수**가 시간에 따라 일정한 비율로 증가한다.

수치 대입: 초기 농도의 역수는 $\frac{1}{C_0} = \frac{1}{0.02} = 50$ L/mol이다. 1200초 동안 농도 역수의 증가량은 $kt = 0.01 \cdot 1200 = 12$ L/mol이므로, $\frac{1}{C} = 50 + 12 = 62$ L/mol이다.

농도와 반올림: 위 값의 역수를 취하면 $C = \frac{1}{62} \approx 0.016129$ mol/L이다. 소수점 넷째 자리의 숫자가 1이므로 반올림한 농도는 0.016 mol/L이며, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 4. 다음 <보기>에서 농도에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고르면?

<보기>
가. 몰농도는 용액 1L에 녹아 있는 용질의 mol수로, 온도에 따라 달라진다.
나. 몰랄농도는 용매 1kg에 녹아 있는 용질의 mol수이다.
다. 노르말농도는 용액 1L에 녹아 있는 용질의 당량수로 나타낸다.
라. ppm은 십억분율로 극미량 성분의 농도에 사용된다.

① 가, 나, 다
② 가, 다, 라
③ 나, 다, 라
④ 가, 나, 다, 라

정답 1번

간단한 해설

ppm은 **백만분율**이며, 십억분율은 **ppb**이다. 몰농도와 노르말농도는 용액의 부피를, 몰랄농도는 용매의 질량을 기준으로 나타낸다.

보기별 해설

가. O: 몰농도는 **용액 1 L당 용질의 몰수**이며 단위는 mol/L이다. 용질의 양이 같아도 온도가 변하면 용액의 부피가 달라질 수 있으므로 몰농도도 달라진다.

나. O: 몰랄농도는 **용매 1 kg당 용질의 몰수**이며 단위는 mol/kg이다. 기준이 용액 전체의 질량이 아니라 용매의 질량이라는 점에 주의한다. 용질과 용매의 양이 일정하면 질량은 온도에 따라 변하지 않으므로 몰랄농도도 변하지 않는다.

다. O: 노르말농도는 용액 1 L당 용질의 당량수이며 단위는 eq/L이다. 당량은 산·염기 반응에서는 주고받는 수소 이온, 산화·환원 반응에서는 주고받는 전자를 기준으로 정한 반응량이다. 몰수 자체가 아니라 **해당 반응의 당량수**를 기준으로 한다는 점에서 몰농도와 구별된다.

라. X: ppm은 십억분율이 아니라 **백만분율**이다. 예를 들어 질량 기준 1 ppm은 용액 1 kg에 용질 1 mg이 들어 있는 농도이다. 십억분율을 나타내는 표기는 ppb이다.

옳은 보기는 가, 나, 다이므로 이 조합을 제시한 ①에 해당한다.

NoteBase

문 5. NH_3를 생산하기 위해 20gmol의 H_2 기체와 10gmol의 N_2 기체를 반응기에 공급하였다. 반응 전화율이 30%일 경우, 반응기에서 배출되는 NH_3, H_2, N_2 기체 질량(g)의 총 합은 얼마인가? (단, 원자량은 N=14, H=1이다.)

① 180g

② 320g

③ 550g

④ 710g

정답 2번

간단한 해설

배출되는 생성물과 미반응 기체를 모두 합하면 **질량 보존**에 따라 공급한 기체의 총질량과 같다. 전화율 30%는 조성만 바꾸므로 총질량은 $20 \times 2 + 10 \times 28 = 320$ g이다.

계산 과정

1. 총질량 수지: 암모니아 합성 반응은 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$이다. 반응 전후에 각 원자의 수가 보존되므로 **성분별 몰수는 변해도 총질량은 보존된다**. 전화율이 30%이면 반응물 일부가 미반응 상태로 남지만, 문제는 생성된 암모니아와 남은 수소·질소의 질량을 모두 더하므로 공급한 기체의 총질량을 계산하면 된다.

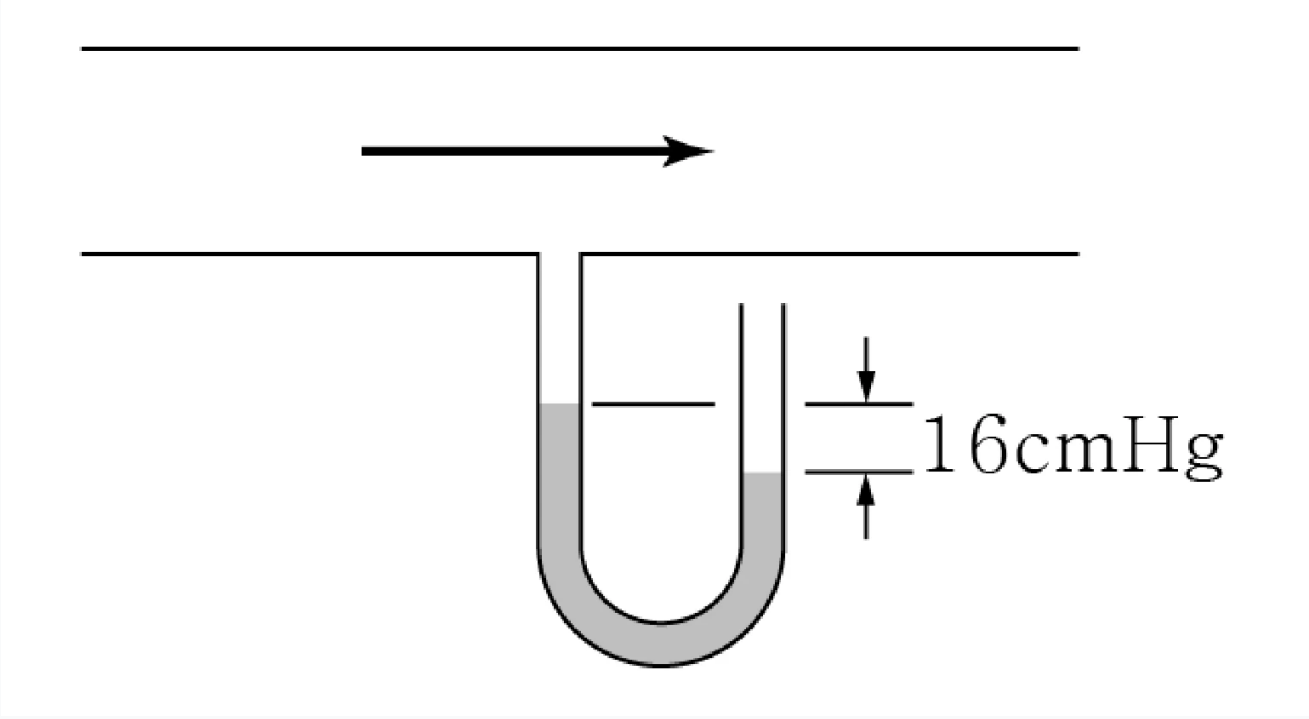
2. 몰질량: gmol은 mol과 같은 물질량 단위이다. 원자량이 H = 1, N = 14이므로 H_2의 몰질량은 $2 \times 1 = 2$ g/mol, N_2의 몰질량은 $2 \times 14 = 28$ g/mol이다.

3. 공급 질량: 질량은 물질량에 몰질량을 곱해 구한다. 수소 20 gmol의 질량은 $20 \times 2 = 40$ g이고, 질소 10 gmol의 질량은 $10 \times 28 = 280$ g이다.

4. 배출 총질량: 공급 총질량과 같으므로 $40 + 280 = 320$ g이며, 이는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 6. 아래와 같이 관 내에 유체가 흐르고 있을 때 열린 마노미터는 16cmHg를 가리키고 있다. 관내 유체의 절대압력(cmHg)을 구하면? (단, 대기압은 1atm이다.)



① 16cmHg

② 60cmHg

③ 84cmHg

④ 92cmHg

정답 2번

간단한 해설

관에 연결된 쪽의 수은면이 대기 쪽보다 높으므로 관내 압력은 **대기압보다 16 cmHg 낮다**. 대기압 1 atm은 76 cmHg이므로 절대압력은 76 − 16 = 60 cmHg이다.

NoteBase

계산 과정

액면차의 해석: 관내 유체의 액주에 따른 압력 변화는 무시하고 마노미터의 수은면 높이 차로 압력차를 구한다. 그림에서 관에 연결된 왼쪽 수은면이 대기에 열린 오른쪽 수은면보다 높다. 압력이 더 큰 쪽이 수은을 아래로 밀어내므로 **대기압이 관내 압력보다 크다**. 높이 차 16 cm에 해당하는 압력차는 16 cmHg이다.

압력 관계: 정지한 수은에서는 아래로 내려갈수록 압력이 증가하고, 연결된 수은의 같은 높이에서는 압력이 같다. 왼쪽 수은면에서 오른쪽 수은면 높이까지 내려가면 압력이 16 cmHg만큼 증가하여 대기압과 같아진다. 대기압을 p_{atm}, 관내 절대압력을 p_{abs}라 하면 $p_{\text{atm}} = p_{\text{abs}} + 16\text{cmHg}$이다. 즉, 16 cmHg는 절대압력 자체가 아니라 **대기압에 비해 부족한 압력**이다.

절대압력 계산: 절대압력은 완전 진공을 기준으로 한 압력이다. 대기압 1 atm = 76 cmHg에서 압력차를 빼면 관내 절대압력은 76 − 16 = 60 cmHg이다. 이는 ②의 60 cmHg에 해당한다.

NoteBase

문 7. 관직경이 2mm, 운동 점도(kinematic viscosity)가 0.1cm^2/s, Reynolds수가 2000일 때 유체의 부피유량(cm^3/s)을 구하면? (단, π=3으로 계산한다.)

① 3cm^3/s
② 30cm^3/s
③ 300cm^3/s
④ 3000cm^3/s

정답 2번

간단한 해설

Reynolds수로 구한 **관내 평균 유속**에 관의 단면적을 곱하면 부피유량이 된다. 지름 2 mm를 0.2 cm로 환산하면 평균 유속은 1000 cm/s, 단면적은 0.03 cm^{2}이므로 부피유량은 **30 cm^3/s**이다.

계산 과정

단위 통일: 관의 지름을 D, 운동 점도를 v, 관내 평균 유속을 v, 부피유량을 Q라 하자. 운동 점도가 0.1 cm^2/s로 주어졌으므로 **지름도 cm로 환산**하여 D = 2 mm = 0.2 cm를 사용한다.

평균 유속: 원형 관의 Reynolds수는 $\mathrm{Re} = \frac{vD}{\nu}$이다. 운동 점도가 주어졌으므로 밀도를 별도로 구할 필요 없이 이 관계를 적용한다. 이를 유속에 대해 정리하면 $v = \frac{\mathrm{Re}\nu}{D}$이고, 수치를 대입하면 $v = \frac{2000 \times 0.1}{0.2} = 1000\mathrm{cm/s}$이다. 이 값은 관 단면 전체에 대한 평균 유속이다.

부피유량: 원형 관의 단면적은 $A = \frac{\pi D^2}{4}$이다. 주어진 π = 3을 적용하면 $A = \frac{3 \times (0.2)^2}{4} = 0.03\mathrm{cm}^2$이다.
부피유량은 **평균 유속과 단면적의 곱**이므로 $Q = vA = 1000 \times 0.03 = 30\mathrm{cm}^3/\mathrm{s}$이다.

따라서 구한 부피유량 30 cm^3/s는 ②에 해당한다.

NoteBase

문 8. 물의 높이가 항상 일정하게 유지되는 저수조에 구멍을 뚫었을 때, 그 구멍에서 유출되는 물의 유속(V)과 수면으로부터 구멍까지의 거리(Z)와의 관계를 바르게 나타낸 것은? (단, 압력차 및 마찰손실은 없다고 가정한다.)

① V는 $Z^{\frac{1}{2}}$에 비례한다.

② V는 Z^2에 비례한다.

③ V는 $\ln Z$에 비례한다.

④ V는 Z와 관계없이 일정하다.

정답 1번

간단한 해설

압력차와 마찰손실이 없으면 수면과 구멍 사이의 위치에너지 차이가 유출수의 운동에너지로 전환된다. 토리첼리의 법칙 $V = \sqrt{2gZ}$에 따라 유속은 깊이 Z의 **제곱근에 비례**한다.

공통 해설

수면에서 구멍까지의 수직거리 Z는 물이 유출되면서 잃는 위치에너지를 결정한다. 저수조 수면의 유속을 무시하는 통상적인 저수조 모형에서, 수면과 유출구 사이에 베르누이 방정식을 적용한다. 문제에서 **압력차와 마찰손실이 없으므로** 위치에너지의 감소분이 유출수의 운동에너지 증가분과 같다.

단위 질량당 위치에너지 감소분은 gZ, 운동에너지 증가분은 $\frac{V^2}{2}$이므로 $gZ = \frac{V^2}{2}$이다. 여기서 g는 중력가속도이며, 유출속력은 양수이므로 $V = \sqrt{2gZ}$를 얻는다. 이것이 토리첼리의 법칙이다.

중력가속도 g가 일정하므로 $\sqrt{2g}$는 비례상수이다. 따라서 유속 V는 **깊이 Z의 제곱근에 비례**하며, 그 관계는 $V \propto Z^{\frac{1}{2}}$이다.

NoteBase

문 9. 다음 <보기>에서 열교환기에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고르면?

<보기>
가. 두 유체 간의 열교환으로 가열, 냉각, 응축 조작을 하는 장치이다.
나. 열교환기의 주된 열전달 방식에는 대류와 전도가 있으며, 전도는 고체벽 각 면의 유체 경계층에서 일어난다.
다. 열교환 효율 향상을 위해 유체의 유속을 조절할 수 있다.
라. 흐름 배열은 병류와 향류가 있으며, 향류의 열교환 효율이 더 높다.

① 가, 다
② 나, 다
③ 가, 다, 라
④ 나, 다, 라

정답 3번

간단한 해설

나에서는 열전달 방식이 일어나는 위치를 혼동했다. 벽으로 분리된 열교환기에서 **유체와 벽 사이에서는 대류**로, **고체벽 내부에서는 전도**로 열이 전달된다.

NoteBase

보기별 해설

가. O: 열교환기는 온도가 다른 두 유체 사이에서 열을 전달하는 장치이다. 고온 유체는 열을 잃어 냉각되고 저온 유체는 열을 받아 가열된다. 증기에서 **응축잠열을 제거**하여 액체로 만드는 응축기도 열교환기에 해당한다.

나. X: 고체벽으로 분리된 열교환기에서는 고온 유체에서 벽으로, 벽에서 저온 유체로 열이 전달되는 과정을 대류로 다루며, 벽 두께 방향으로 열이 이동하는 과정은 전도이다. 따라서 '전도는 고체벽 각 면의 유체 경계층에서 일어난다'는 부분은 **'전도는 고체벽 내부에서 일어난다'**로 고쳐야 한다. 열전달 경로는 고온 유체 → 대류 → 고체벽 → 전도 → 고체벽 반대 면 → 대류 → 저온 유체로 이어진다.

다. O: 유체의 유속은 대류 열전달계수에 영향을 준다. 유속을 높여 난류 혼합이 활발해지면 열경계층의 열저항이 줄어 **대류 열전달이 촉진**될 수 있다. 따라서 유속 조절로 열교환 성능을 개선할 수 있으며, 실제 운전에서는 유속 증가에 따른 압력손실과 펌프 동력도 함께 고려한다.

라. O: 병류는 두 유체가 같은 방향으로, 향류는 서로 반대 방향으로 흐르는 배열이다. 병류는 입구에서 온도차가 크지만 출구로 갈수록 두 유체의 온도가 가까워져 열전달 구동력이 작아진다. 향류는 열교환기 전체에 걸쳐 온도차를 더 고르게 유지한다. 두 유체의 입구 온도·유량과 전열면적·총괄열전달계수가 같은 일반적인 현열 열교환 조건에서는 **향류의 열교환 유효도가 더 높다**. 여기서 유효도는 주어진 입구 조건에서 가능한 최대 열전달량에 대한 실제 열전달량의 비율이다.

옳은 보기는 가, 다, 라이며, 이 조합은 ③에 해당한다.

NoteBase

문 10. 이중관 열교환기의 내부관에 원유가 흐르면서 90°F에서 200°F로 가열된다. 외부관에서는 등유가 향류흐름형태로 흐르면서 400°F에서 110°F로 냉각된다. 열전달속도가 180,000Btu/hr, 열전달 면적이 23ft^{2}인 경우 총괄열전달계수(Btu/hr·ft^2·°F)는 얼마인가? (단, 장치 내에서 총괄열전달계수와 비열은 일정하다고 가정하며, ln10=2.3으로 계산한다.)

① 1

② 10

③ 100

④ 1000

정답 3번

간단한 해설

향류 열교환기의 양 끝 온도차는 200°F와 20°F이므로 **로그평균온도차**는 약 78.26°F이다. 이를 열전달 관계식에 적용하면 총괄열전달계수는 **100 Btu/(hr·ft^2·°F)**이다.

계산 과정

1. 양 끝의 온도차: 향류에서는 두 유체가 반대 방향으로 흐르므로 **한 유체의 입구와 다른 유체의 출구**를 짝지어 온도차를 구한다. 등유 입구와 원유 출구가 만나는 끝에서는 400 − 200 = 200°F이고, 등유 출구와 원유 입구가 만나는 끝에서는 110 − 90 = 20°F이다. 이 두 온도차를 각각 ΔT_1, ΔT_2로 둔다.

2. 로그평균온도차: 열교환기 안에서 두 유체 사이의 온도차가 위치에 따라 달라지므로, 총괄열전달계수와 비열이 일정한 주어진 조건에서는 **로그평균온도차**를 사용한다. 그 식은 $\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$이다. 양 끝 온도차의 비가 $\frac{200}{20} = 10$이므로, $\Delta T_{lm} = \frac{200-20}{\ln 10} = \frac{180}{2.3}$ °F이다. 이는 열교환기 전체의 열전달을 계산할 때 쓰는 평균 온도차이며, 약 78.26°F이다.

3. 총괄열전달계수: 열전달속도를 q, 열전달 면적을 A, 총괄열전달계수를 U라 하면 $q = UA\Delta T_{lm}$이다. 따라서 $U = \frac{q}{A\Delta T_{lm}}$에 q = 180,000 Btu/hr, A = 23 ft^{2}와 앞서 구한 로그평균온도차를 넣는다. 중간값을 반올림하지 않고 계산하면 $U = \frac{180{,}000 \cdot 2.3}{23 \cdot 180} = 100$이다. 따라서 총괄열전달계수는 100 Btu/(hr·ft^2·°F)이며, ③의 100과 일치한다.

NoteBase

문 11. 상률(phase rule)을 적용할 때, 다음 평형계의 자유도가 가장 작은 경우는?

① 얼음과 물의 혼합물

② 응축수와 평형상태에 있는 습한 공기(건조공기는 한 개의 성분으로 간주한다.)

③ 총 4가지 성분의 탄화수소 기-액 혼합물

④ 단일 반응 $H_2 + Br_2 \rightleftarrows 2HBr$이 평형에 도달하여 H_2, Br_2 및 HBr 가스가 혼합되어 있는 계

정답 1번

간단한 해설

얼음과 물은 **같은 H_2O 성분의 두 상**이므로 상률에 따라 자유도는 1이다. 두 상이 평형을 유지하려면 온도와 압력을 서로 독립적으로 정할 수 없고, 하나를 정하면 다른 하나가 결정된다.

선지별 해설

자유도 F는 평형을 이루는 상들을 유지하면서 독립적으로 정할 수 있는 온도·압력·조성 등의 강도변수 수이다. 온도와 압력이 미리 고정되지 않은 평형계에는 깁스 상률 $F = C - P + 2$를 적용한다. 여기서 C는 독립 성분 수, P는 상의 수이다. 독립 반응이 있으면 화학종 수 S에서 독립 반응 수 R을 빼서 $C = S - R$로 센다.

① 얼음과 물의 혼합물: 얼음과 물은 상태만 다를 뿐 모두 H_2O이므로 **성분은 1개, 상은 고체와 액체의 2개**이다. 따라서 F = 1 − 2 + 2 = 1이다. 압력을 정하면 두 상이 공존하는 온도가 결정되므로 독립적으로 정할 수 있는 변수는 하나이다.

② 응축수와 평형상태에 있는 습한 공기: 문제의 조건에 따라 건조공기를 한 성분으로 세고, 물을 다른 성분으로 세므로 C = 2이다. 습한 공기는 건조공기와 수증기가 섞인 하나의 기체상이고, 응축수는 액체상이므로 P = 2이다. 따라서 F = 2 − 2 + 2 = 2이다.

③ 4성분 탄화수소 기-액 혼합물: 성분 수는 C = 4이고, 기체상과 액체상이 공존하므로 P = 2이다. 한 상에 여러 성분이 섞여 있어도 **성분마다 별도의 상으로 세지 않는다**. 따라서 F = 4 − 2 + 2 = 4이다.

④ $H_2 \cdot Br_2 \cdot$HBr의 반응 평형계: 화학종은 3개이지만 독립 반응이 하나이므로 독립 성분 수는 C = 3 − 1 = 2이다. 세 기체는 하나의 기체상으로 섞여 있으므로 P = 1이다. 따라서 F = 2 − 1 + 2 = 3이다. 반응 평형은 조성 사이에 관계를 부여하므로 **화학종 수 3을 그대로 독립 성분 수로 쓰면 안 된다**.

자유도는 ① 1, ② 2, ③ 4, ④ 3이므로, 가장 작은 계는 ①의 얼음과 물의 혼합물이다.

NoteBase

문 12. 초기 균일 온도 80℃, 반지름이 1cm인 유리구슬을 0℃의 얼음물에 넣은 후, 5분 후에 구슬의 평균 온도가 20℃까지 떨어졌다. 만일 이 유리구슬의 반지름이 2cm로 커지면 동일한 조건 하에서 구슬의 평균 온도가 80℃에서 20℃까지 떨어지는데 걸리는 시간은? (이때 Bi값은 무한대라고 가정한다.)

① 5분

② 10분

③ 20분

④ 40분

정답 3번

간단한 해설

Bi값이 무한대인 구의 냉각에서는 같은 평균 온도에 도달하는 시간이 **반지름의 제곱에 비례**한다. 반지름이 1 cm에서 2 cm로 커지면 필요한 시간은 4배가 되어 20분이다.

계산 과정

냉각 조건: $Bi \to \infty$이면 표면과 얼음물 사이의 열저항을 내부 전도 열저항에 비해 무시할 수 있어, 구슬 표면은 얼음물 온도인 0℃로 유지된다고 본다. 구슬 내부에는 온도 차이가 생기므로 **구슬 전체의 온도를 균일하게 보는 집중용량법은 적용하지 않는다**.

평균 온도의 비교: 초기 온도를 T_i, 얼음물 온도를 T_∞, 구슬의 평균 온도를 $\overline{T}$라 하면 목표 무차원 평균 온도는 $\frac{\overline{T}-T_\infty}{T_i-T_\infty}=\frac{20-0}{80-0}=\frac{1}{4}$이다. 두 구슬 모두 초기 온도와 얼음물 온도가 같으므로 같은 무차원 평균 온도까지 냉각하는 상황이다.

시간과 반지름의 관계: 반지름을 R, 시간을 t, 유리의 열확산계수를 α라 하면 푸리에수는 $Fo=\frac{\alpha t}{R^2}$이다. 같은 구 형상과 동일한 Bi 조건에서 무차원 평균 온도는 푸리에수로 결정된다. 따라서 목표 평균 온도가 같으면 **두 구슬의 푸리에수도 같아야 한다**. 같은 재질이므로 열확산계수도 같아 $\frac{t_2}{t_1}=\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$이 성립한다.

수치 대입: t_1=5 분, $R_1=1\text{cm}$, $R_2=2\text{cm}$를 대입하면 t_2=5×≤ft((2)/(1))^2=20 분이다. 반지름 비에서는 길이 단위가 소거되므로 cm를 그대로 사용할 수 있다. 필요한 냉각 시간은 20분으로, ③에 해당한다.

NoteBase

문 13. 평판으로의 층류 열전달의 경우, 다음 중 국부 Nu수(Nu_x)를 바르게 표현한 식은 무엇인가? (단, h_x: 국부 열전달계수, k: 열전도도, x: 평판 입구로부터 임의의 거리, y: x지점에서의 열경계층 두께)

① $Nu_x = h_x y/k$

② $Nu_x = k/h_x y$

③ $Nu_x = y/x$

④ $Nu_x = x/y$

정답 4번

간단한 해설

국부 Nu수의 정의는 $Nu_x = h_x x/k$이다. 열경계층 안의 온도분포를 **선형으로 근사**하면 $h_x \approx k/y$이므로, 국부 Nu수는 **평판 입구로부터의 거리와 열경계층 두께의 비**인 x/y로 나타낸다.

공통 해설

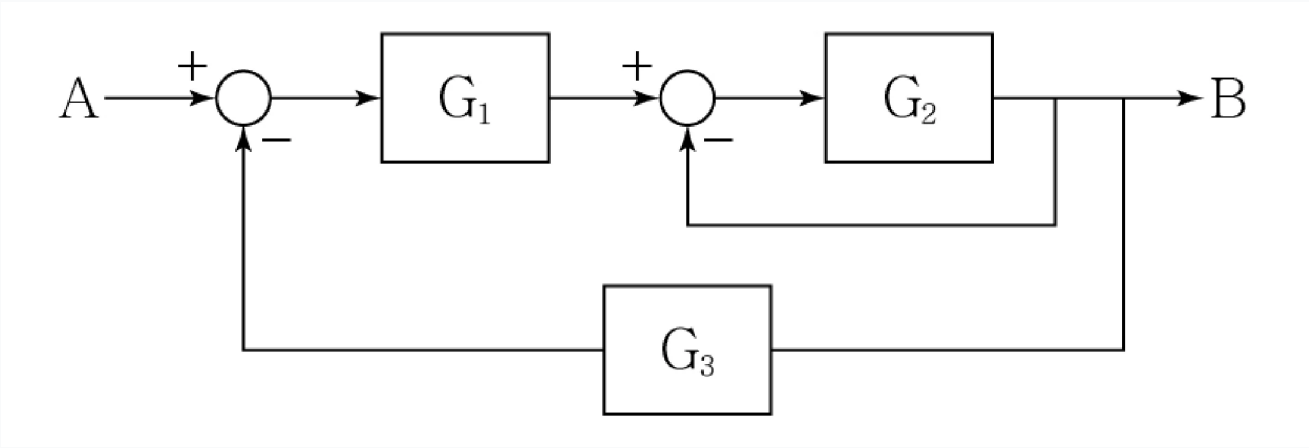
국부 Nu수는 위치 x에서의 열전달계수를 무차원화한 값으로, $Nu_x = h_x x/k$로 정의한다. 이때 **기준 길이는 평판 입구로부터의 거리 x**이며, 열경계층 두께 y가 아니다. 따라서 열전달계수에 y를 곱한 $h_x y/k$나 그 역수는 이 문항의 국부 Nu수 정의에 맞지 않는다.

벽면과 경계층 밖 유체의 온도차 크기를 ΔT, 열유속 크기를 q''라 하면 $q'' = h_x \Delta T$이다. 열경계층 안에서 온도가 두께 y에 걸쳐 선형으로 변한다고 근사하면, 푸리에 법칙에 따라 $q'' \approx k\Delta T/y$이다. 두 식을 비교하면 $h_x \approx k/y$를 얻는다. 같은 온도차에서 경계층이 얇을수록 온도기울기가 커져 열전달계수가 커진다는 뜻이다.

이를 국부 Nu수의 정의에 적용하면 $Nu_x \approx x/y$이다. 분자는 **평판을 따라 잰 거리**, 분모는 **열이 전달되는 경계층의 두께**이므로 y/x로 뒤집지 않는다. 선지의 $Nu_x = x/y$는 이 단순화된 관계를 나타낸다. 다만 일반적인 온도분포에서는 벽면의 실제 온도기울기를 사용해야 하므로, 이 식을 모든 층류 열경계층에 성립하는 엄밀한 등식으로 보아서는 안 된다.

NoteBase

문 14. 다음의 블록선도에서 입력 A에 대한 출력 B의 전달함수로 옳은 것은?



① $\frac{G_1G_2}{1+G_2+G_1G_2G_3}$
② $\frac{G_2}{1+G_1G_2+G_1G_2G_3}$
③ $\frac{G_1G_2}{1+G_1G_2G_3}$
④ $\frac{G_2}{1+G_1G_2G_3}$

정답 1번

간단한 해설

출력 B가 두 합산점에 **음의 되먹임**으로 들어가므로, 분모에는 안쪽 경로의 G_2와 바깥쪽 경로의 $G_1G_2G_3$가 모두 포함된다. 전체 전달함수는 $\frac{B}{A}=\frac{G_1G_2}{1+G_2+G_1G_2G_3}$이다.

계산 과정

1. 첫 번째 합산점: 전달함수는 입력에 대한 출력의 비 B/A이다. 첫 번째 합산점에서는 입력 A에서 G_3를 거쳐 돌아온 신호를 뺀다. 이 합산점의 출력을 e라고 두면 $e=A-G_3B$이고, G_1을 통과한 신호는 G_1e이다.

2. 두 번째 합산점: G_2 뒤에서 갈라진 출력 B가 **별도 블록 없이 음의 입력으로 돌아온다**. 따라서 두 번째 합산점의 출력은 G_1e-B이며, 이를 G_2에 통과시키면 $B=G_2(G_1e-B)$가 된다.

3. 전체 전달함수: e를 대입하면 $B=G_1G_2A-(G_1G_2G_3+G_2)B$이다. 출력 B가 포함된 항을 한쪽으로 모으면 $(1+G_2+G_1G_2G_3)B=G_1G_2A$가 된다. 두 되먹임 항이 모두 음의 부호였으므로, 이항한 뒤에는 **분모에서 두 항이 모두 더해진다**.

따라서 $\frac{B}{A}=\frac{G_1G_2}{1+G_2+G_1G_2G_3}$이며, ①의 식과 일치한다.

NoteBase

문 15. 환경오염 방지를 위해 2mol% 아세톤과 98mol% 공기가 포함되어 있는 화학공장의 배출가스를 아세톤 제거용 흡수탑에 통과시킨다. 흡수탑은 1.0×10^5 Pa, 25℃에서 물을 향류로 흘려보내 아세톤을 제거한다. 이때, 2mol% 아세톤을 함유한 배출가스와 평형을 이룬 수용액상에서의 아세톤의 몰분율은? (단, 아세톤이 녹아 들어가는 수용액과 배출가스 간 아세톤 분포는 Raoult과 Dalton법칙이 적용되며, 25℃에서 아세톤의 증기압은 5.0×10^4 Pa이다.)

① 0.002

② 0.004

③ 0.02

④ 0.04

정답 4번

간단한 해설

기체 속 아세톤의 분압은 2,000 Pa이다. 이를 25℃에서의 순수 아세톤 증기압으로 나누면 **수용액 속 아세톤의 몰분율**은 $\frac{2,000}{5.0\times10^4}=0.04$이다.

계산 과정

주어진 조건: 기체 속 아세톤의 몰분율을 y_A, 수용액 속 아세톤의 몰분율을 x_A라 하자. 2 mol%는 기체 전체 몰수 중 아세톤이 차지하는 비율이므로 $y_A=0.02$이다. 총압은 $P=1.0\times10^5$Pa이며, 25℃에서 순수 아세톤의 증기압은 $P_A^{sat}=5.0\times10^4$Pa이다.

기체 속 아세톤의 분압: Dalton 법칙에 따라 성분의 분압은 **기체 몰분율과 총압의 곱**이다. 따라서 $p_A=y_AP$에 주어진 값을 대입하면 $p_A=0.02\times(1.0\times10^5)=2.0\times10^3$Pa이다. 이는 기체 전체 압력 중 아세톤이 기여하는 압력이다.

평형 수용액의 몰분율: 문제에서 Raoult 법칙이 적용된다고 했으므로, 기체와 액체가 평형일 때 $p_A=x_AP_A^{sat}$이다. 즉, 아세톤의 분압은 **액체 몰분율과 순수 아세톤 증기압의 곱**으로도 나타낸다. 따라서 $x_A=\frac{p_A}{P_A^{sat}}$이고, $x_A=\frac{2.0\times10^3}{5.0\times10^4}=0.04$이다.

수용액 속 아세톤의 몰분율은 단위가 없는 0.04, 즉 4 mol%이며 ④에 해당한다.

NoteBase

문 16. 다음 <보기>에서 여과(filtration) 조작에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고르면?

<보기>
가. 여과는 유체 중의 부유입자(고체)를 다공성 매체를 통해 물리적으로 분리하는 조작이다.
나. 가압여과는 감압조작으로 여과하고 연속화가 쉽다.
다. 진공여과는 고압에서 상류 측을 가압하는 여과법이며, 여과 저항이 큰 물질에 응용된다.
라. 중력여과는 여과 저항이 비교적 작은 경우에 중력만으로 여과한다.
마. 원심여과는 여재를 통하여 흘러가는 힘으로 원심력을 이용한 방법이다.

① 가, 나, 다
② 가, 라, 마
③ 가, 다, 마
④ 다, 라, 마

정답 2번

간단한 해설

가압여과는 **상류 측을 가압**하고, 진공여과는 **하류 측을 감압**하여 여재 양쪽에 압력차를 만든다. 나와 다는 이 두 방식의 특징을 서로 바꾸어 설명했다.

NoteBase

보기별 해설

가. O: 여과는 **다공성 여재를 이용한 물리적 분리**이다. 유체를 여재에 통과시키면 부유 고체 입자는 여재에 포집되고 유체는 통과하므로 고체와 유체가 분리된다.

나. X: 가압여과는 감압이 아니라 **여재 상류 측의 압력을 높이는 방식**이다. 하류 측을 감압하는 것은 진공여과이며, 회전식 진공여과기는 여과와 고체 배출을 이어서 수행하므로 연속 운전에 적합하다. 가압여과의 연속 운전이 불가능한 것은 아니지만, '감압조작으로 여과하고 연속화가 쉽다'는 설명은 대표적인 진공여과의 특징에 해당한다.

다. X: 진공여과는 상류 측을 고압으로 만드는 방식이 아니라 **여재 하류 측을 대기압보다 낮게 유지하는 방식**이다. 진공여과는 만들 수 있는 압력차에 한계가 있으므로, 여과 저항이 큰 물질에는 더 큰 압력차를 줄 수 있는 가압여과가 적합하다. 따라서 보기의 설명은 가압여과에 해당한다.

라. O: 중력여과는 액체의 무게로 생기는 압력차를 이용하여 여과한다. 별도로 가압하거나 진공을 만들지 않으므로, **여과 저항이 비교적 작은 경우**에 적합하다. 저항이 크면 중력만으로 충분한 여과속도를 얻기 어렵다.

마. O: 원심여과는 회전으로 생기는 **원심력을 여과의 구동력**으로 이용한다. 유체는 여재를 통과하여 배출되고 고체 입자는 여재에 남으므로, 원심력을 이용하더라도 여재를 통한 여과라는 점은 같다.

옳은 보기는 가, 라, 마이므로 ②의 조합과 일치한다.

NoteBase

문 17. 벤젠 45mol%, 톨루엔 55mol%인 원료를 증류하여 분리하고자 한다. 분리하여 얻고자 하는 벤젠의 농도가 95mol%일 때, 원료가 끓는점(bubble point)에서 공급이 되는 경우에 최소 환류비는? (단, 벤젠 45mol%와 평형에 있는 증기의 벤젠 조성은 70mol%로 가정한다.)

① 0.5

② 1.0

③ 1.5

④ 2.0

정답 2번

간단한 해설

원료가 **포화액체**로 공급되므로 최소 환류 상태의 정류부 조작선은 평형점 (0.45, 0.70)을 지난다. 이 조작선의 기울기는 0.5이며, 이를 환류비로 환산하면 **최소 환류비는 1.0**이다.

계산 과정

벤젠의 몰분율을 기준으로 원료 조성은 $x_F = 0.45$, 탑정 제품 조성은 $x_D = 0.95$, 원료와 평형인 증기의 조성은 $y_F^* = 0.70$이다. 환류비는 탑으로 되돌리는 액체의 몰유량 L을 탑정 제품의 몰유량 D로 나눈 $R = \frac{L}{D}$이며, 무차원이다.

원료가 끓는점에서 공급되므로 **포화액체 조건인 q = 1**이다. 따라서 원료 공급선은 $x = x_F = 0.45$인 수직선이고, 평형곡선과의 교점은 (0.45, 0.70)이다. 최소 환류 상태에서는 정류부 조작선이 이 평형점을 지나 핀치가 생긴다. 이 점에서 평형곡선과 조작선 사이의 조성 차이가 0이 되어 필요한 이론단수가 무한대로 커지는 한계 상태이다.

정류부 조작선은 $y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$이므로 대각선 위의 점 (0.95, 0.95)을 지난다. 이 점과 핀치점 (0.45, 0.70)을 연결하면 최소 환류 상태의 기울기는 $m_{\min} = \frac{0.95 - 0.70}{0.95 - 0.45} = 0.5$이다. 이 값은 **환류비 자체가 아니라 조작선의 기울기**이다.

기울기와 환류비의 관계는 $m_{\min} = \frac{R_{\min}}{R_{\min}+1}$이다. 이를 환류비에 대해 정리하면 $R_{\min} = \frac{m_{\min}}{1 - m_{\min}}$이고, 수치를 대입하면 $R_{\min} = \frac{0.5}{1 - 0.5} = 1.0$이다. 따라서 최소 환류비는 무차원 값 1.0으로, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 18. 다음 중 습도에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 불포화 상태인 습한 공기를 냉각시킬 때, 수증기압이 포화 증기압과 같아지는 온도가 이슬점이다.

② 건조공기 1kg에 포함되어 있는 수증기량(kg)을 절대습도라고 한다.

③ 공기 중의 수증기압과 그 온도에서의 포화수증기압의 비를 상대습도라고 한다.

④ 건조공기 1mol에 포함되어 있는 수증기몰수(mol)의 백분율을 퍼센트습도라고 한다.

정답 4번

간단한 해설

④의 건조공기 1mol당 수증기 몰수는 몰습도를 나타낸다. 퍼센트습도는 실제 절대습도를 **같은 온도·압력에서의 포화 절대습도**로 나눈 뒤 100을 곱한 값이다.

선지별 해설

① O: 불포화 습공기를 일정한 압력에서 수증기의 출입 없이 냉각하면, 응축이 시작되기 전까지 수증기 분압은 일정하지만 포화수증기압은 낮아진다. 두 압력이 같아져 **처음 포화 상태에 도달하는 온도**가 이슬점이며, 이보다 더 냉각하면 수증기가 응축한다.

② O: 화학공학에서 절대습도는 **건조공기 1kg당 수증기의 질량**이다. 건조공기는 습공기에서 수증기를 제외한 공기를 뜻하며, 절대습도의 단위는 kg 수증기/kg 건조공기이다.

③ O: 상대습도는 실제 수증기 분압을 **같은 온도의 포화수증기압**으로 나눈 비이다. 수증기 분압을 p_v, 포화수증기압을 p_s라 하면 그 비는 $\frac{p_v}{p_s}$이며, 백분율로 표시할 때는 100을 곱한다. 포화 상태에서는 상대습도가 100%이다.

④ X: 건조공기 1mol당 수증기의 몰수는 **몰습도**이며, 그 몰비에 단순히 100을 곱한 값은 퍼센트습도가 아니다. 퍼센트습도는 실제 절대습도가 같은 온도·압력에서의 포화 절대습도에 비해 얼마나 되는지를 나타낸다. 실제 절대습도를 H, 포화 절대습도를 H_s라 하면 퍼센트습도는 $100 \cdot \frac{H}{H_s}$로 표시하며 단위는 %이다. 즉, 실제 절대습도와 **포화 상태의 절대습도**를 비교해야 한다.

NoteBase

문 19. 다음 <보기>에서 운동량 전달에 사용되는 무차원 변수에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고르면?

<보기>
가. Reynolds수 (Re) = 관성력/점성력
나. Euler수 (Eu) = 압력/관성력
다. Froude수 (Fr) = 관성력/표면장력
라. Weber수 (We) = 관성력/압축력

① 가
② 가, 나
③ 가, 나, 다
④ 가, 나, 다, 라

정답 2번

간단한 해설

Reynolds수는 **관성력과 점성력의 비**를, Euler수는 **압력에 의한 힘과 관성력의 비**를 나타낸다.

보기별 해설

무차원수는 유동에서 서로 다른 힘의 상대적 크기를 비교하는 데 쓰인다. 아래 식에서 ρ는 밀도, U는 대표 속도, L은 대표 길이, μ는 점성계수, Δp는 압력 차, g는 중력가속도, σ는 표면장력계수이다.

가. O: Reynolds수는 $\mathrm{Re} = \frac{\rho U L}{\mu}$이며, **관성력과 점성력의 비**이다. 값이 클수록 점성력에 비해 관성력의 영향이 크다.

나. O: Euler수는 $\mathrm{Eu} = \frac{\Delta p}{\rho U^2}$이며, **압력에 의한 힘과 관성력의 비**를 나타낸다. 보기의 '압력'은 압력에 의한 힘의 효과를 뜻한다. 같은 면적에 작용하는 두 힘을 비교하면 면적이 약분되어 압력 차를 관성에 의한 대표 압력 ρU^2으로 나눈 식이 된다.

다. X: Froude수는 표면장력이 아니라 **중력과 관성력의 상대적 크기**를 나타낸다. 통상 $\mathrm{Fr} = \frac{U}{\sqrt{gL}}$로 정의하며, 그 제곱 $\mathrm{Fr}^2 = \frac{U^2}{gL}$이 관성력과 중력의 비이다. 자유표면이 있는 유동에서 중력의 영향을 판단할 때 사용한다.

라. X: Weber수는 압축력이 아니라 **표면장력에 의한 힘과 관성력의 관계**를 나타낸다. $\mathrm{We} = \frac{\rho U^2 L}{\sigma}$로 정의되며, 관성력을 표면장력에 의한 힘으로 나눈 비이다. 액적이나 기포처럼 계면의 변형이 중요한 유동에서 사용한다.

옳은 보기는 가, 나이며, 이 조합은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 20. 아래의 표준상태 엔탈피 값을 이용하여 <보기> 반응의 표준상태 엔탈피 (kJ/mol)를 구하면?

$4Cu(s) + O_2(g) \rightarrow 2Cu_2O(s) \quad \Delta H^\circ = -333.4 kJ/mol$
$Cu(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CuO(s) \quad \Delta H^\circ = -155.2 kJ/mol$
<보기>
$2Cu_2O(s) + O_2(g) \rightarrow 4CuO(s)$

① 143.7kJ/mol
② 287.4kJ/mol
③ −143.7kJ/mol
④ −287.4kJ/mol

정답 4번

간단한 해설

헤스의 법칙에 따라 **두 번째 반응의 4배에서 첫 번째 반응을 빼면** <보기>의 반응이 된다. 반응 엔탈피도 같은 방식으로 합산하므로 −620.8 + 333.4 = −287.4 kJ/mol이다.

계산 과정

엔탈피는 상태함수이므로, 출발 상태와 최종 상태가 같으면 반응 경로가 달라도 엔탈피 변화는 같다. 따라서 주어진 두 반응을 조합하여 <보기>의 반응을 만들고, 반응 엔탈피도 같은 방식으로 합산하는 헤스의 법칙을 적용한다. 여기서 엔탈피 값은 각 반응식에 적힌 계수대로 반응이 진행할 때를 기준으로 한다.

첫 번째 반응을 역으로 바꾼다. <보기>에서는 $Cu_2O(s)$가 반응물이므로 첫 번째 반응을 뒤집으면 $2Cu_2O(s) \rightarrow 4Cu(s) + O_2(g)$가 된다. **반응을 역으로 바꾸면 엔탈피의 부호가 바뀌므로** 이 반응의 엔탈피는 +333.4 kJ/mol이다.

두 번째 반응을 4배 한다. <보기>에서 생성되는 $CuO(s)$의 계수가 4이므로 $4Cu(s) + 2O_2(g) \rightarrow 4CuO(s)$로 만든다. **반응식의 계수를 4배 하면 엔탈피도 4배**가 되어, $4 \times (-155.2) = -620.8$ kJ/mol이다.

변형한 두 반응을 더한다. 양변의 $4Cu(s)$를 소거하고, 산소는 반응물 쪽의 2 mol에서 생성물 쪽의 1 mol을 소거하면 반응물 쪽에 1 mol이 남는다. 따라서 $2Cu_2O(s) + O_2(g) \rightarrow 4CuO(s)$가 되어 <보기>와 일치한다. 이때 표준상태 반응 엔탈피는 $\Delta H^\circ = +333.4 - 620.8 = -287.4$ kJ/mol이며, ④의 값에 해당한다.

NoteBase