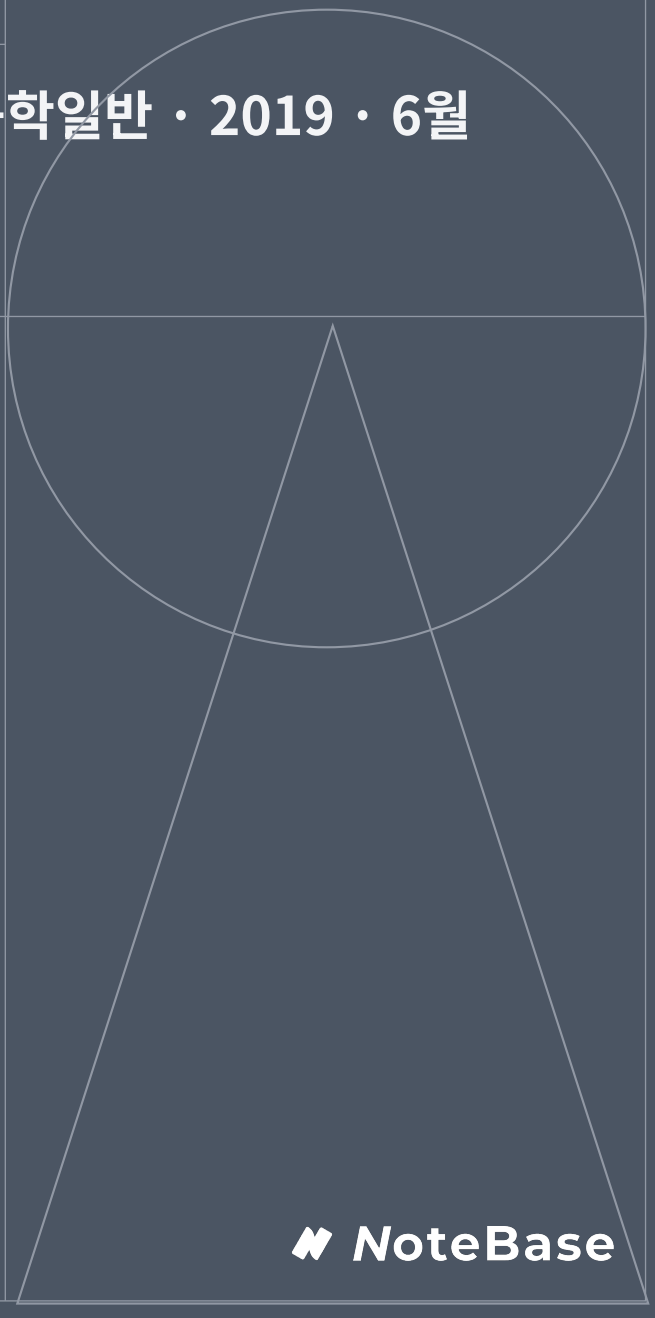
기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 화학공학일반 · 2019 · 6월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 화학공학일반 · 2019 · 6월

공무원/서울시/9급 · 화학공학일반 · 2019 · 6월

문 1. 1 bar, 100°C의 액상의 물이 같은 온도에서 수증기로 상태의 변화가 있을 때 엔탈피[kJ/kg] 변화량으로 가장 가까운 값은? [단, 1 bar, 100°C 물과 수증기의 포화상태에서의 비 내부에너지(internal energy)는 각각 420kJ/kg, 2,500kJ/kg이며 수증기는 이상기체(R=0.46J/g·K)로 간주한다.]

① 2,080

② 2,252

③ 2,126

④ 2,034

정답 2번

간단한 해설

기화할 때 엔탈피 변화에는 내부에너지 증가뿐 아니라 **부피 팽창에 따른 압력·부피 항의 증가**도 포함된다.
내부에너지 증가량 2,080 kJ/kg에 약 172 kJ/kg을 더하면 약 2,252 kJ/kg이다.

NoteBase

계산 과정

엔탈피 관계: 비엔탈피는 $h = u + pv$이다. 여기서 u는 비내부에너지, p는 압력, v는 단위 질량당 부피인 비체적이다. 액체와 수증기를 각각 아래첨자 l, g로 나타내면, 같은 압력 1 bar에서의 변화량은 $\Delta h = (u_g - u_l) + p(v_g - v_l)$이다. 따라서 **내부에너지 차이와 압력·부피 항의 변화**를 함께 계산한다.

내부에너지 증가량: 주어진 액체와 수증기의 비내부에너지를 빼면 $\Delta u = 2{,}500 - 420 = 2{,}080$kJ/kg이다. 이는 상태 변화에 따른 내부에너지 증가량이며, 구하려는 엔탈피 증가량과는 구별된다.

단위 환산: 이상기체식에는 **절대온도**를 사용하므로 100°C는 약 373 K이다. 주어진 비기체상수는 0.46 J/(g·K) = 0.46 kJ/(kg·K)이므로, 이 값을 그대로 사용하면 에너지의 질량 기준이 kJ/kg으로 맞춰진다.

압력·부피 항의 증가량: 수증기는 이상기체로 간주하므로 $pv_g = RT$이다. 액체의 비체적은 수증기에 비해 매우 작으므로 **액체의 압력·부피 항을 무시하는 근사**를 적용하면 $p(v_g - v_l) \approx RT$이다. 따라서 이 항의 증가량은 $0.46 \cdot 373 = 171.58$kJ/kg이며, 기화에 따른 팽창 효과가 반영된 값이다.

엔탈피 변화량: $\Delta h \approx 2{,}080 + 171.58 = 2{,}251.58$kJ/kg이다. 엔탈피는 증가하며, 가장 가까운 값은 ②의 2,252 kJ/kg이다.

NoteBase

문 2. 수소와 질소가 정상상태에서 각각 100mol/min의 같은 유량으로 <보기>와 같이 암모니아를 만드는 반응기에 공급된다. 반응기 밖으로 나오는 암모니아의 유량이 50mol/min이라면 반응기에서 배출되는 기체의 총 유량 [mol/min]은? (단, 조건 이외의 추가 유입물질과 유출물질은 없다.)

<보기>

$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$

① 200

② 150

③ 100

④ 50

정답 2번

간단한 해설

암모니아 50 mol/min을 만들 때 반응비에 따라 질소 25 mol/min과 수소 75 mol/min이 소비된다. 미반응 기체와 생성된 암모니아를 합한 **총 배출 유량은 150 mol/min**이다.

계산 과정

물질수지와 반응비: 정상상태이므로 반응기 내부에 물질이 축적되지 않는다. 반응식은 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ 이므로 질소·수소의 소비량과 암모니아 생성량의 몰비는 1 : 3 : 2이다. 반응에서는 질량이 보존되지만 **총 몰수는 달라질 수 있으므로** 총 유입 몰유량을 그대로 총 유출 몰유량으로 둘 수 없다.

반응물 소비 유량: 암모니아는 유입되지 않으므로 출구의 50 mol/min이 반응으로 생성된 몰유량이다. 암모니아 2 mol당 질소 1 mol과 수소 3 mol이 소비되므로, 질소 소비 유량은 $50 \times \frac{1}{2} = 25$mol/min, 수소 소비 유량은 $50 \times \frac{3}{2} = 75$mol/min이다.

미반응 기체의 유출 유량: 각 반응물은 **유입 유량에서 소비 유량을 뺀 만큼** 배출된다. 질소는 100 − 25 = 75 mol/min, 수소는 100 − 75 = 25 mol/min이다.

총 배출 유량: 추가 유입·유출 물질이 없으므로 출구 기체는 미반응 질소, 미반응 수소, 생성된 암모니아로 구성된다. 총 유량은 75 + 25 + 50 = 150 mol/min이며, ②의 값에 해당한다.

NoteBase

문 3. 열역학에서 상태 함수(state function)가 아닌 것은?

① 일

② 엔탈피

③ 엔트로피

④ 내부에너지

정답 1번

간단한 해설

일은 처음 상태와 나중 상태가 같아도 **변화 경로에 따라 그 양이 달라질 수 있다**. 따라서 계의 상태만으로 값이 정해지는 상태 함수가 아니라 경로 함수이다.

공통 해설

상태 함수는 계의 상태가 정해지면 값이 정해지는 양이다. 따라서 그 변화량은 **처음 상태와 나중 상태만으로 결정**되며, 두 상태 사이에서 어떤 과정을 거쳤는지에는 의존하지 않는다. 엔탈피, 엔트로피, 내부에너지는 모두 이 기준에 해당하는 상태 함수이다.

일은 과정 중 계와 주위 사이에 전달되는 에너지로, **변화 경로에 의존**한다. 예를 들어 기체를 같은 처음 상태에서 같은 나중 상태로 압축하더라도, 과정 중 기체에 가하는 외부 압력이 어떻게 달라지는지에 따라 압축에 필요한 일이 달라질 수 있다. 그러므로 일은 상태 함수가 아닌 경로 함수이다.

NoteBase

문 4. 어떤 버너가 효율적인 완전 연소를 위해 50% 과잉공기로 운전하도록 설계되었다. 버너에 메탄(CH_4)을 30L/min의 유량으로 공급한다면 공급해야할 공기의 유량[L/min]은? (단, 공기 중 산소의 농도는 20mol%로 가정한다.)

① 450

② 300

③ 90

④ 60

정답 1번

간단한 해설

메탄의 완전 연소에는 메탄 부피의 2배에 해당하는 산소가 필요하므로 이론 공기량은 300 L/min이다. **50% 과잉공기**는 이론 공기량의 1.5배를 공급한다는 뜻이므로 실제 공기량은 450 L/min이다.

계산 과정

이론 산소량: 메탄의 완전 연소 반응식은 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$이다. 메탄 1 mol당 산소 2 mol이 필요하다. 기체를 같은 온도와 압력 기준으로 비교하면 부피비는 몰비와 같으므로, 메탄 30 L/min에 필요한 산소는 $30 \times 2 = 60$ L/min이다.

이론 공기량: 공기 중 산소의 몰분율 0.20은 같은 온도와 압력에서 부피분율과 같다. 따라서 필요한 산소 유량을 **산소의 분율로 나누면** 이론 공기량이 된다. 이론 공기량은 $\frac{60}{0.20} = 300$ L/min이다.

실제 공기량: 과잉공기율은 **이론 공기량을 기준으로 추가 공급하는 공기의 비율**이다. 50% 과잉공기이면 이론 공기량에 그 절반을 더하므로 실제 공기량은 $300 \times (1 + 0.50) = 450$ L/min이다.

따라서 공급해야 할 공기의 유량은 450 L/min으로, ①의 값에 해당한다.

NoteBase

문 5. 관 유동에서 Re(Reynolds number)가 1,600으로 계산되었다. Fanning 마찰계수(f_F)의 값은?

① $f_F = 0.000625$

② $f_F = 0.0025$

③ $f_F = 0.005$

④ $f_F = 0.01$

정답 4번

간단한 해설

Re = 1,600은 **층류 영역**이므로 Fanning 마찰계수 관계식 $f_F = \frac{16}{Re}$를 적용한다. 이를 계산하면 $f_F = 0.01$이며, 마찰계수는 단위가 없는 값이다.

계산 과정

주어진 Reynolds 수는 Re = 1,600으로 층류 영역에 해당한다. 통상적인 뉴턴 유체의 원형 관 유동을 전제로, 완전히 발달한 층류의 마찰계수 관계식을 사용한다.

층류에서 Fanning 마찰계수는 $f_F = \frac{16}{Re}$이다. 이 관계에서 마찰계수는 **Reynolds 수에 반비례**하므로, 주어진 Reynolds 수를 분모에 대입한다.

$f_F = \frac{16}{1,600} = 0.01$이다. Fanning 마찰계수는 무차원량이므로 별도의 단위를 붙이지 않는다. 계산한 값 0.01은 ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 6. 2성분계 혼합물을 상압에서 정류하고자 한다. 비점에서 정류탑에 공급되는 혼합 용액 중 휘발성 성분의 조성이 60mol%이고, 최소환류비가 0.8로 주어질 때 탑상 제품 중 휘발성 성분의 조성(x_D)은? (단, 휘발성 성분의 상대 휘발도는 2로 일정하다.)

① $x_D = 0.75$

② $x_D = 0.81$

③ $x_D = 0.87$

④ $x_D = 0.93$

정답 3번

간단한 해설

비점의 액체 공급에서는 **공급 조성에서의 기액 평형점**을 이용하여 최소환류비를 계산한다. 평형 증기의 휘발성 성분 몰분율은 0.75이며, 최소환류비 0.8을 적용하면 탑상 제품의 조성은 $x_D = 0.87$, 즉 87 mol%이다.

계산 과정

1. 공급 상태와 조성: 공급액의 휘발성 성분 몰분율은 $x_F = 0.60$, 상대 휘발도는 $\alpha = 2$이다. 비점에서 공급되는 액체는 **포화액체**이므로 열적 상태를 나타내는 값은 q = 1이고, 공급선인 q선은 $x = x_F$인 수직선이다.

2. 평형 증기 조성: 액체와 증기 중 휘발성 성분의 몰분율을 각각 x, y라 하면, 상대 휘발도가 일정한 2성분계의 평형 관계는 $y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$이다. 공급 조성에 대응하는 평형 증기 몰분율을 y_F^*라 두면 $y_F^* = \frac{2 \cdot 0.60}{1 + (2 - 1) \cdot 0.60} = 0.75$이다. 이 값은 **공급액과 평형을 이루는 증기의 조성**이며, 탑상 제품의 조성 자체가 아니다.

3. 최소환류비 관계: 환류비는 탑으로 되돌리는 액체와 탑상 제품의 몰유량 비이다. 전응축과 구간별 일정 몰유량을 가정하는 표준 정류 해석에서, 최소환류 상태의 농축부 조작선은 q선과 평형곡선의 교점인 **핀치점**을 지난다. 이 점에서는 조작선과 평형곡선 사이의 조성 차이가 없어져 필요한 이론단수가 무한대로 커진다. 포화액체 공급에서는 핀치점이 (x_F, y_F^*)이므로, 농축부 물질수지에서 $R_{\min} = \frac{x_D - y_F^*}{y_F^* - x_F}$를 얻는다.

4. 탑상 제품 조성 계산: 위 관계를 정리하면 $x_D = y_F^* + R_{\min}(y_F^* - x_F)$이다. 수치를 대입하면 $x_D = 0.75 + 0.8(0.75 - 0.60) = 0.87$이다. 따라서 탑상 제품 중 휘발성 성분은 87 mol%이며, ③의 $x_D = 0.87$과 일치한다.

NoteBase

문 7. 총압력 250kPa과 300K의 기체혼합물 1kmol에는 부피비로 20% CH_4, 30% C_2H_6 그리고 50% N_2를 포함하고 있다. 이들 기체의 절대속도는 모두 같은 방향 (x 방향)으로 각각 15m/s, −10m/s 그리고 −5m/s이다. 이 혼합기체의 몰평균 속도(molar average velocity)에 기준한 확산 플럭스 J_{CH_4} [mol/m^2·s]로 가장 옳은 것은? (단, 기체상수 $R = 8.31$ J/mol·K이다.)

① 351

② 301

③ 251

④ 201

정답 1번

간단한 해설

몰평균 속도는 각 성분의 속도를 **몰분율로 가중평균**한 −2.5 m/s이다. 메테인의 **몰평균 속도에 대한 상대속도**는 15 − (−2.5) = 17.5 m/s이므로, 메테인의 몰농도를 곱한 확산 플럭스는 약 351 mol/(m^2·s)이다.

계산 과정

1. 조성과 몰분율: 주어진 기체를 이상기체 혼합물로 취급하면 같은 온도·압력에서 부피비는 몰비와 같다. 따라서 1 kmol 중 메테인·에테인·질소는 각각 0.20, 0.30, 0.50 kmol이며, 몰분율은 $y_{CH_4} = 0.20$, $y_{C_2H_6} = 0.30$, $y_{N_2} = 0.50$이다.

2. 몰평균 속도: 몰평균 속도 v^*는 $v^* = \sum_i y_i v_i$로 구한다. 주어진 속도를 x축 성분으로 사용하며 **음의 부호를 그대로 반영**한다. 각 성분의 가중 기여는 $0.20 \times 15 = 3$ m/s, $0.30 \times (-10) = -3$ m/s, $0.50 \times (-5) = -2.5$ m/s이므로, $v^* = 3 - 3 - 2.5 = -2.5$ m/s이다. 혼합물의 몰평균 운동은 x축의 음의 방향이다.

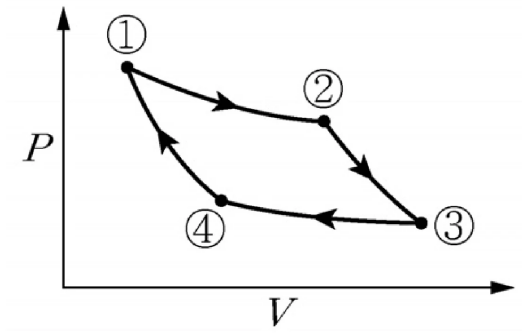
3. 메테인의 몰농도: 전체 몰농도 c는 이상기체 상태방정식에서 $c = \frac{P}{RT}$이다. R의 단위에 맞춰 압력을 250 kPa = 250000 Pa로 바꾸면, $c = \frac{250000}{8.31 \cdot 300} \approx 100.28$ mol/m^{3}이다. 메테인의 몰농도는 $c_{CH_4} = y_{CH_4} c \approx 20.06$ mol/m^{3}이다.

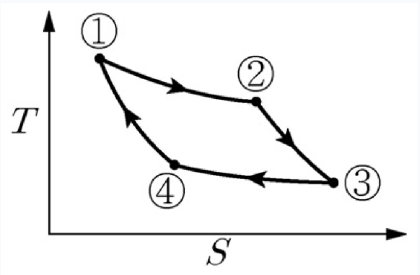
4. 확산 플럭스: 몰평균 속도에 기준한 확산 플럭스는 성분의 몰농도에 **성분 속도와 몰평균 속도의 차**를 곱한다. 즉, $J_{CH_4} = c_{CH_4}(v_{CH_4} - v^*)$이다. 메테인의 상대속도는 15 − (−2.5) = 17.5 m/s이므로, $J_{CH_4} \approx 20.06 \cdot 17.5 \approx 351$ mol/(m^2·s)이다. 양의 값은 몰평균 운동에 대해 x축의 양의 방향으로 확산한다는 뜻이며, 이 값은 ①의 351에 해당한다.

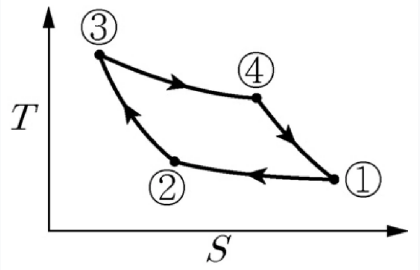
NoteBase

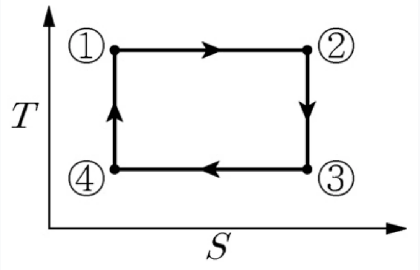
문 8. <보기>의 카르노(Carnot) 엔진 사이클의 PV 선도를 TS 선도로 바르게 나타낸 것은?

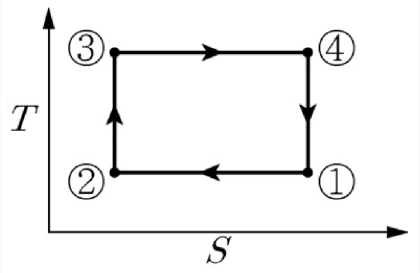
<보기>



① 

② 

③ 

④ 

정답 3번

NoteBase

간단한 해설

카르노 사이클의 **등온 과정은 수평선, 가역 단열 과정은 수직선**으로 나타난다. 고온에서 열을 흡수하는 ①→②는 오른쪽, 저온에서 열을 방출하는 ③→④는 왼쪽으로 진행하므로 TS 선도는 시계방향의 직사각형이 된다.

도식 해설

TS 선도는 세로축이 온도 T, 가로축이 엔트로피 S이다. 카르노 엔진 사이클은 두 등온 과정과 두 가역 단열 과정으로 이루어지므로, PV 선도의 곡선 모양을 그대로 옮기지 않고 각 과정에서 일정한 물리량을 기준으로 나타낸다.

①→②: 고온에서 열을 흡수하며 등온 팽창한다. 온도가 일정하고 열의 유입으로 엔트로피가 증가하므로, TS 선도에서는 **위쪽 수평선을 따라 오른쪽**으로 이동한다.

②→③: 가역 단열 팽창으로 온도가 낮아진다. 단열이면서 가역인 과정에서는 **엔트로피가 일정**하므로, 오른쪽 수직선을 따라 아래로 이동한다.

③→④: 저온에서 열을 방출하며 등온 압축한다. 온도가 일정하고 열의 방출로 엔트로피가 감소하므로, **아래쪽 수평선을 따라 왼쪽**으로 이동한다.

④→①: 가역 단열 압축으로 온도가 높아진다. 엔트로피는 일정하므로, 왼쪽 수직선을 따라 위로 이동하여 처음 상태로 돌아온다.

따라서 상태 ①은 왼쪽 위, ②는 오른쪽 위, ③은 오른쪽 아래, ④는 왼쪽 아래에 놓인다. 이 상태 배치와 화살표 방향을 나타낸 것이 선택지 ③이다. 선택지 ①·②의 곡선은 등온 과정의 수평선과 가역 단열 과정의 수직선을 나타내지 못한다. 선택지 ④는 직사각형이지만, **고온 상태 ①·②와 저온 상태 ③·④의 위치가 뒤바뀌어** 주어진 PV 선도와 맞지 않는다.

NoteBase

문 9. 전달함수가 $G(s)=\frac{1}{s^2+3s+9}$로 주어지는 2차 제어시스템의 비례상수(gain, K_c), 시간상수(time constant, τ)와 감쇠비(damping ratio, ξ)는?

① $K_c=\frac{1}{3},\ \tau=\frac{1}{9},\ \xi=\frac{1}{2}$
② $K_c=\frac{1}{9},\ \tau=\frac{1}{2},\ \xi=\frac{1}{3}$
③ $K_c=\frac{1}{3},\ \tau=\frac{1}{2},\ \xi=\frac{1}{9}$
④ $K_c=\frac{1}{9},\ \tau=\frac{1}{3},\ \xi=\frac{1}{2}$

정답 4번

간단한 해설

2차 시스템의 표준형과 비교하려면 **분모의 상수항을 1로 맞추어야 한다**. 분자와 분모를 9로 나누어 계수를 비교하면 $K_c=\frac{1}{9}$, $\tau=\frac{1}{3}$, $\xi=\frac{1}{2}$이다.

계산 과정

표준형 설정: 지연이 없는 2차 시스템의 전달함수는 $G(s)=\frac{K_c}{\tau^2 s^2+2\xi\tau s+1}$로 나타낸다. 여기서 K_c는 정상상태의 출력 변화량과 입력 변화량의 비인 이득, τ는 응답의 시간 척도를 나타내는 양의 시간상수, ξ는 무차원 감쇠비이다.

계수 비교 준비: 표준형은 **분모의 상수항이 1**이다. 따라서 주어진 전달함수의 분자와 분모를 모두 9로 나누면 $G(s)=\frac{\frac{1}{9}}{\frac{1}{9}s^2+\frac{1}{3}s+1}$이 된다. 분모만 나누면 원래 전달함수의 이득이 달라지므로 분자도 함께 나누어야 한다.

비례상수: 표준형의 분자와 비교하면 $K_c=\frac{1}{9}$이다. 이는 $s=0$을 대입한 $G(0)=\frac{1}{9}$과도 일치하며, 정상상태에서 입력 변화의 1/9만큼 출력이 변한다는 뜻이다.

시간상수: **이차항의 계수는 시간상수의 제곱**이므로 $\tau^2=\frac{1}{9}$이다. 시간상수는 양수이므로 $\tau=\sqrt{\frac{1}{9}}=\frac{1}{3}$이다.

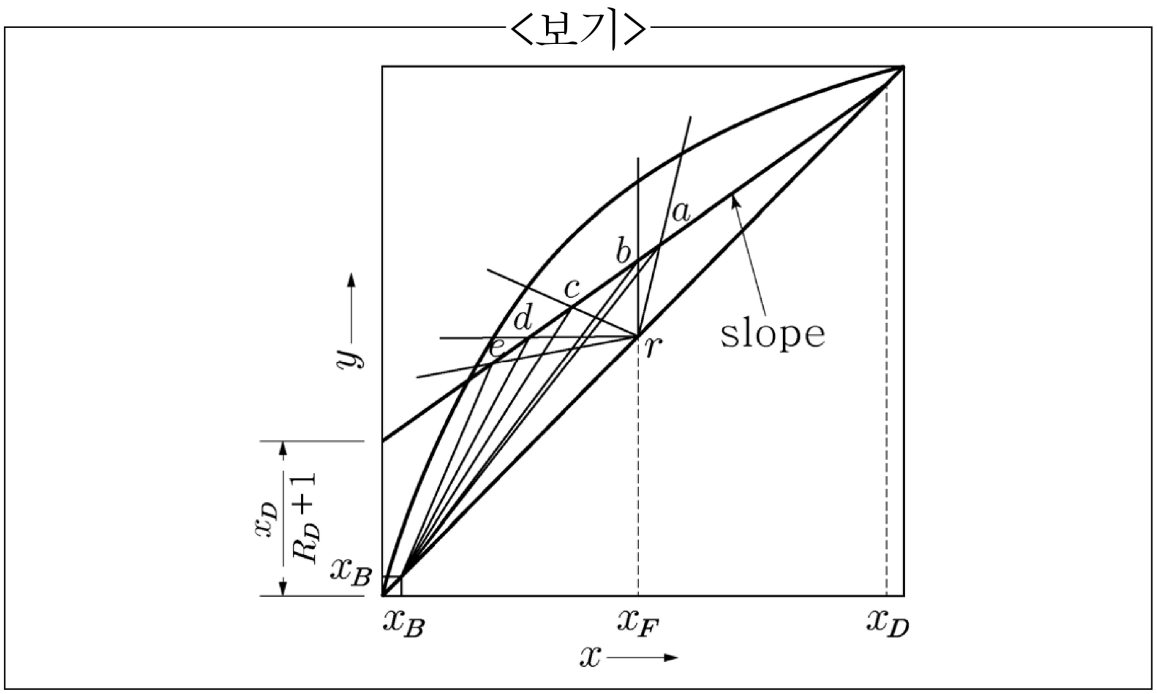
감쇠비: 일차항의 계수는 감쇠비 자체가 아니라 **감쇠비와 시간상수의 곱의 두 배**이다. 따라서 $2\xi\tau=\frac{1}{3}$에 $\tau=\frac{1}{3}$을 대입하면 $2\xi\cdot\frac{1}{3}=\frac{1}{3}$이므로 $\xi=\frac{1}{2}$이다.

계산한 $K_c=\frac{1}{9}$, $\tau=\frac{1}{3}$, $\xi=\frac{1}{2}$의 조합은 ④와 일치한다.

NoteBase

문 10. McCabe-Thiele 법으로 증류탑을 설계할 때, 이 탑의 어떤 단(n)에서 조작선의 식을 작도하였더니 <보기>와 같이 y 절편이 $\frac{x_D}{R_D+1}$이었다. 이 조작선의 기울기(slope)는? (단, R_D는 환류비이다.)

<보기>



① $\frac{R_D}{R_D+1}$
② $\frac{1}{R_D+1}$
③ $\frac{1}{R_D}$
④ 1

정답 1번

간단한 해설

이 조작선은 **농축부 조작선**으로, 대각선 위의 점 (x_D, x_D)를 지난다. 이 점과 주어진 y 절편을 이용하면 기울기는 $\frac{R_D}{R_D+1}$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 조작선 위의 두 점 확인: x와 y는 각각 액상과 기상의 저비점 성분 몰분율이며, x_D는 탑정 제품의 해당 성분 몰분율이다. 그림의 농축부 조작선은 대각선 $y = x$ 위의 점 (x_D, x_D)를 지난다. 주어진 y 절편을 b라 하면 $b = \frac{x_D}{R_D + 1}$이므로, 다른 한 점은 $(0, b)$이다.

2. 기울기 계산: 직선의 기울기는 **두 점 사이의 세로 변화량을 가로 변화량으로 나눈 값**이다. 따라서 $m = \frac{x_D - b}{x_D}$이다. 절편을 대입하고 정리하면 $m = 1 - \frac{1}{R_D + 1} = \frac{R_D}{R_D + 1}$이다.

3. 결과의 의미: 조작선의 기울기는 $\frac{R_D}{R_D + 1}$이며 ①의 식과 일치한다. 두 축이 모두 몰분율이므로 기울기는 무차원이다.

NoteBase

문 11. 90°C에서 80mol% 벤젠과 20mol% 톨루엔이 혼합된 이상 용액이 기-액 평형에 있다고 할 때, 기상에서 톨루엔의 몰분율은? (단, 90°C에서 벤젠과 톨루엔의 증기압은 각각 P^*_벤젠=900mmHg, P^*_톨루엔=400mmHg이다.)

① 0.1

② 0.3

③ 0.7

④ 0.9

정답 1번

간단한 해설

이상 용액에서 톨루엔의 분압은 액상 몰분율에 순수 톨루엔의 증기압을 곱한 값이다. 기상 몰분율은 **톨루엔 분압을 전체 증기압으로 나눈 값**이므로 $\frac{80}{800} = 0.1$이다.

계산 과정

액상 조성: 액상 몰분율을 x_i, 기상 몰분율을 y_i로 구분한다. 주어진 80mol% 벤젠과 20mol% 톨루엔은 **액상의 조성**이므로 $x_B = 0.8$, $x_T = 0.2$이다. 여기서 B는 벤젠, T는 톨루엔을 뜻한다.

성분별 분압: 이상 용액에는 라울의 법칙 $p_i = x_i P_i^*$를 적용한다. p_i는 성분 i의 분압이고, P_i^*는 같은 온도에서 순수 성분 i의 증기압이다. 따라서 90°C에서 벤젠의 분압은 $p_B = 0.8 \times 900 = 720$mmHg, 톨루엔의 분압은 $p_T = 0.2 \times 400 = 80$mmHg이다.

전체 증기압: 기상의 총압 P는 두 성분의 분압을 합한 값이다. 따라서 P = 720 + 80 = 800 mmHg이다. 이 값은 벤젠과 톨루엔이 함께 만드는 전체 증기의 압력이다.

기상 몰분율: 돌턴의 법칙에 따라 각 성분의 기상 몰분율은 **그 성분의 분압이 총압에서 차지하는 비율**이다. 따라서 $y_T = \frac{p_T}{P} = \frac{80}{800} = 0.1$이며, 이는 ①의 값이다. 톨루엔은 벤젠보다 순수 성분 증기압이 낮으므로 기상에서의 비율이 액상의 0.2보다 작다.

NoteBase

문 12. 뉴턴 유체(Newtonian fluid)가 단면적이 0.1m^{2}인 원통형 관을 통해 층류(laminar flow)로 흐르고 있다. 이 유체의 최대 유속(maximum velocity)이 6cm/s일 때, 부피 유량[cm^3/s]은?

① 300

② 600

③ 3,000

④ 6,000

정답 3번

간단한 해설

원형 관에서 충분히 발달한 뉴턴 유체의 층류에서는 **평균 유속이 최대 유속의 절반**이므로 3 cm/s이다. 단면적 0.1 m^{2}는 1,000 cm^{2}이므로 부피 유량은 3,000 cm^3/s이다.

계산 과정

평균 유속: 원형 관에서 충분히 발달한 정상 층류이며 벽면에서 미끄러짐이 없다고 가정한다. 뉴턴 유체의 유속 분포는 벽면에서 0, 관 중심에서 최댓값인 포물선 모양이다. 이 분포를 단면 전체에 걸쳐 평균하면 **평균 유속은 최대 유속의 절반**이 된다. 최대 유속을 $u_{\max}$, 평균 유속을 $\bar{u}$라 하면 $\bar{u} = \frac{u_{\max}}{2} = \frac{6}{2} = 3\text{cm/s}$이다.

단면적 환산: 요구하는 부피 유량의 단위가 cm^3/s이고 유속은 cm/s이므로 단면적 A를 cm^{2}로 맞춘다. 1 m = 100 cm이므로 **1 m^2 = 10,000 cm^2**이며, 0.1 m^2 = 1,000 cm^{2}이다.

부피 유량 계산: 부피 유량 Q는 단위 시간에 관의 단면을 통과하는 유체의 부피로, $Q = A\bar{u}$이다. 따라서 Q = 1,000 × 3 = 3,000 cm^3/s이다. 단면 전체의 유량을 구하므로 **최대 유속이 아니라 평균 유속**을 곱한다.

계산한 부피 유량 3,000 cm^3/s는 ③의 3,000에 해당한다.

NoteBase

문 13. <보기>와 같은 특징을 갖는 피드백제어기는?

<보기>
· 잔류편차(offset)를 0으로 만든다.
· 완만하고 긴 진동응답을 유발한다.
· 빠른 응답속도를 얻기 위해 비례이득(K_c)을 증가시키면 계는 더욱 진동하여 불안정해진다.

① 비례 제어기
② 비례-적분 제어기
③ 비례-미분 제어기
④ 비례-적분-미분 제어기

정답 2번

간단한 해설

적분동작은 편차를 시간에 따라 누적하여 잔류편차를 없애지만, 진동이 오래 이어지고 안정되는 데 시간이 걸릴 수 있다. 보기는 이러한 적분동작을 비례동작에 더한 **PI 제어기**의 전형적인 특징이다.

핵심 풀이

잔류편차 제거: 잔류편차는 과도응답이 끝난 뒤에도 설정값과 제어량 사이에 남는 차이이다. 적분동작은 이 편차를 시간에 따라 누적하므로, 작은 편차라도 계속 남아 있으면 조작량을 계속 바꾼다. 따라서 일정한 설정값과 외란 아래에서 폐루프가 안정되게 동작하면 **정상상태의 편차를 0으로** 만든다.

완만하고 긴 진동응답: 적분값에는 과거의 편차가 누적되어 있다. 제어량이 설정값을 지나 편차의 부호가 바뀌어도 기존 누적값은 즉시 없어지지 않고 반대 방향 편차에 의해 서서히 줄어든다. 이 때문에 조작이 과도하게 이어져 오버슈트가 생기고, 진동이 오래 지속되면서 정착시간이 길어질 수 있다.

비례이득 증가: 비례동작은 현재 편차에 비례해 조작량을 바꾼다. 비례이득 K_c를 키우면 같은 편차에도 더 크게 조작하여 초기 응답을 빠르게 할 수 있지만, 공정의 응답 지연 때문에 과도하게 보정할 수 있다. 보기처럼 이득을 지나치게 높이면 **진동이 커져 불안정**해질 수 있다.

제어기 구분: P와 PD 제어기에는 적분동작이 없으므로 잔류편차를 없애는 기능이 본래 포함되어 있지 않다. PI와 PID 제어기는 모두 적분동작을 포함하지만, PID는 편차의 변화율에 반응하는 미분동작을 더하여 진동과 오버슈트를 줄이는 데 활용한다. 보기는 적분동작으로 잔류편차를 제거하면서 미분동작에 의한 감쇠 보완은 없는 **비례-적분 제어기**의 전형적인 응답 특성을 설명한다. 실제 진동과 안정성은 공정 특성과 제어기 조정값에도 좌우된다.

NoteBase

문 14. Prandtl수(Pr)에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① Pr은 운동량확산계수에 대한 열확산계수의 비이다.

② Pr이 1보다 클 때 유체동역학적 층은 열경계 층보다 얇다.

③ 기체의 점도와 열확산계수는 온도에 따라 같은 율로 증가되기 때문에 기체의 Pr은 온도에 거의 무관하다.

④ 액상금속의 경우 기체나 액체에 비해 매우 높은 Pr을 갖는다.

정답 3번

간단한 해설

기체에서는 운동량확산계수인 동점도와 열확산계수의 온도 의존성이 비슷하여, 두 값의 비인 **Pr이 온도에 따라 크게 변하지 않는다**. 이는 두 물성이 전혀 변하지 않는다는 뜻이 아니라, 비슷한 비율로 변해 그 비가 거의 유지된다는 뜻이다.

선지별 해설

① X: Pr은 $\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$로 정의한다. ν는 운동량확산계수인 동점도, α는 열확산계수이다. 따라서 **열확산계수에 대한 운동량확산계수의 비**이며, 선지는 분자와 분모를 거꾸로 설명했다.

② X: Pr이 1보다 크면 $\nu > \alpha$이므로 열보다 운동량이 더 빠르게 확산된다. 평판 위에 속도경계층과 열경계층이 함께 발달하는 경우, 벽의 점성 영향이 온도 변화의 영향보다 더 멀리 퍼지므로 **유체동역학적 경계층이 열경계층보다 두껍다**.

③ O: 일반적인 기체의 Pr은 **온도에 거의 무관하다는 근사**가 성립한다. 열확산계수와 직접 비교하는 점성 물성은 동점도 ν이며, 기체에서는 두 확산계수가 온도에 따라 비슷한 비율로 증가하므로 그 비가 거의 유지된다. 점도 μ를 사용하면 $\mathrm{Pr} = \frac{\mu c_p}{k}$로도 나타낸다. 여기서 c_p는 정압비열, k는 열전도도이다. 정압비열의 변화가 작은 온도 범위에서는 기체의 점도와 열전도도가 비슷한 온도 의존성을 가지므로 같은 결론을 얻는다. 모든 온도에서 두 물성이 정확히 같은 비율로 변한다는 뜻은 아니다.

④ X: 액상금속은 열전도도가 커서 운동량확산에 비해 열확산이 매우 빠르다. 따라서 α가 ν보다 훨씬 커서 **Pr이 1보다 매우 작다**. 일반적인 기체나 비금속 액체보다 Pr이 높은 것이 아니라 매우 낮다.

NoteBase

문 15. 5질량(wt)%의 NaOH 수용액 100g을 20질량(wt)%의 수용액으로 만들려고 한다. 증발된 물의 양[mol]으로 가장 가까운 것은? (단, NaOH과 물의 몰질량은 각각 40g/mol과 18g/mol이다.)

① 75

② 25

③ 4.2

④ 1.4

정답 3번

간단한 해설

물을 증발시켜도 **NaOH의 질량 5 g은 일정**하다. 농도가 20 wt%가 되려면 수용액의 질량이 25 g이어야 하므로, 증발한 물 75 g을 몰수로 환산하면 약 **4.2 mol**이다.

계산 과정

1. NaOH의 질량: 질량 백분율은 수용액 전체 질량에 대한 용질 질량의 백분율이다. 5 wt% 수용액 100 g에 들어 있는 NaOH의 질량은 $100 \times \frac{5}{100} = 5\text{g}$이다. 이 농축 과정에서는 **물만 증발하고 NaOH의 질량은 보존**된다.

2. 농축 후 수용액의 질량: 20 wt%는 NaOH가 수용액 전체 질량의 20%라는 뜻이다. 농축 후 수용액의 질량을 m이라 하면 $\frac{5\text{g}}{m} = \frac{20}{100}$이므로, $m = \frac{5\text{g}}{0.20} = 25\text{g}$이다. 이 25 g은 **남은 물과 NaOH를 합한 질량**이다.

3. 증발한 물의 질량: 물만 빠져나갔으므로 수용액 전체 질량의 감소량이 곧 증발한 물의 질량이다. 따라서 100 − 25 = 75 g의 물이 증발하였다.

4. 증발한 물의 몰수: 몰수는 질량을 몰질량으로 나누어 구한다. **물의 몰질량 18 g/mol**을 적용하면 $n = \frac{75\text{g}}{18\text{g/mol}} \approx 4.17\text{mol}$이다. 이에 가장 가까운 값은 ③의 4.2 mol이다.

NoteBase

문 16. 기초반응(elementary reaction)인 $A \rightarrow B$ 반응을 연속 교반탱크반응기(CSTR)에서 진행하여 얻은 반응물 A의 전화율은 60%이다. 동일한 조건에서 같은 크기의 플러그흐름반응기(PFR)에서 진행할 경우, 반응물 A의 전환율은? (단, $e^{-1.5} = 0.223$으로 계산한다.)

① 22.3%

② 33.3%

③ 66.7%

④ 77.7%

정답 4번

간단한 해설

1차 반응에서 CSTR의 전환율 60%는 $k\tau = 1.5$임을 뜻한다. 같은 조건과 부피의 PFR에서는 **미반응 비율**이 $e^{-k\tau}$이므로, 전환율은 1 − 0.223 = 0.777, 즉 77.7%이다.

계산 과정

1. 반응 차수와 계산 조건: $A \rightarrow B$는 A 한 분자가 반응하는 기초반응이므로 **A에 대한 1차 반응**이다. 따라서 반응속도식은 $-r_A = kC_A$이다. 여기서 $-r_A$는 A의 소모속도, k는 속도상수, C_A는 A의 농도이다. 정상상태에서 온도와 부피유량이 일정한 이상반응기로 해석한다. 반응기 부피를 V, 유입 부피유량을 q라 하면 공간시간은 $\tau = V/q$이다. 동일한 운전 조건과 같은 부피이므로 두 반응기의 k와 τ는 각각 같다.

2. CSTR에서 공통 계산값 구하기: CSTR은 완전혼합되어 **반응기 내부 농도가 출구 농도와 같다**. 정상상태 물질수지에서 유입량과 유출량의 차이를 이 출구 농도에서의 반응 소모량과 같게 놓으면, 1차 반응의 전환율 X_C에 대해 $k\tau = \frac{X_C}{1 - X_C}$가 성립한다. 주어진 60%를 소수로 넣으면 $k\tau = \frac{0.60}{1 - 0.60} = 1.5$이다. 이 값은 속도상수와 공간시간의 곱이며 무차원이다.

3. PFR의 전환율 계산: PFR은 흐름 방향으로 혼합되지 않아 A의 농도가 입구에서 출구로 갈수록 감소한다. 따라서 각 위치의 농도에 따른 1차 반응속도를 적분하면 전환율 X_P에 대해 $X_P = 1 - e^{-k\tau}$를 얻는다. 여기서 $e^{-k\tau}$는 유입된 A 중 **반응하지 않고 남은 비율**이다. 앞서 구한 값을 대입하면 $X_P = 1 - e^{-1.5}$이며, 문제에서 준 값에 따라 1 − 0.223 = 0.777이다.

4. 선택지 연결: PFR에서 A의 전환율은 77.7%이므로 ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 비중이 1이고 점도가 1cP인 물이 내부 지름 2cm의 관 속을 1m/s의 속도로 흐를 때 Re(Reynolds number)는?

① 2

② 20

③ 2,000

④ 20,000

정답 4번

간단한 해설

레이놀즈수는 $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$로 구한다. **1 cP = 0.001 Pa·s**로 단위를 맞추어 대입하면 Re = 20,000이며, 단위가 없는 값이다.

계산 과정

레이놀즈수는 관성력과 점성력의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다. 원형 관 내 유동에서는 특성 길이로 **관의 내부 지름**을 사용하므로 $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$를 적용한다. 여기서 ρ는 밀도, v는 평균 유속, D는 내부 지름, μ는 점도이다.

비중은 기준이 되는 물의 밀도에 대한 밀도비이다. 기준 밀도를 1,000 kg/m^{3}로 사용하면 비중 1인 물의 밀도는 ρ = 1,000 kg/m^{3}이다. 유속은 v = 1 m/s, 내부 지름은 D = 2 cm = 0.02 m이고, 점도는 **μ = 1 cP = 0.001 Pa·s**로 환산한다.

모든 값을 SI 단위로 통일하여 대입하면 $Re = \frac{1{,}000 \cdot 1 \cdot 0.02}{0.001} = 20{,}000$이다. 분자의 밀도·속도·길이를 곱한 값과 분모의 점도는 단위가 같으므로 서로 소거된다.

따라서 레이놀즈수는 단위 없이 20,000이며, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 18. 열교환기에서 유체가 관다발에 직각으로 흐르는 흐름 형태는?

① 향류흐름

② 교차흐름

③ 병류흐름

④ 다중통과흐름

정답 2번

간단한 해설

관다발을 지나는 유체가 관의 축과 **직각으로 교차**하여 흐르는 형태를 교차흐름이라고 한다.

공통 해설

교차흐름은 열을 교환하는 두 유체의 흐름 방향이 **서로 직각을 이루는** 형태이다. 관 안의 유체는 관의 축을 따라 흐르고, 관 밖의 유체는 관다발을 90° 방향으로 가로질러 흐른다. 따라서 문제의 '관다발에 직각으로 흐르는' 조건은 교차흐름에 해당한다. 같은 방향이나 반대 방향으로 나란히 흐르는 경우와 구별되며, 이 문항의 분류 기준은 유체의 통과 횟수가 아니라 흐름 방향이다.

NoteBase

문 19. 높이 2m, 지름 2m인 원통형 탱크에 깊이 1m까지 물이 차 있다. 탱크 위에 지름 2cm의 관을 접속시켜서 평균 유속 1m/s로 들여보낸다면 탱크를 채우는 데 걸리는 시간은?

① 314초

② 31,400초

③ 3,140초

④ 10,000초

정답 4번

간단한 해설

채워야 할 물의 부피를 **관으로 들어오는 체적유량**으로 나누면 된다. 남은 부피는 $\pi \mathrm{m}^3$, 유입 체적유량은 $0.0001\pi \mathrm{m}^3/\mathrm{s}$이므로 필요한 시간은 10,000초이다.

계산 과정

추가로 채울 부피: 탱크의 반지름은 1 m이고, 물을 더 채워야 할 높이는 2 − 1 = 1 m이다. 원통의 부피는 밑면적과 높이의 곱이므로, **이미 차 있는 물을 제외한 부피**는 $V = \pi \times 1^2 \times 1 = \pi \mathrm{m}^3$이다.

유입 체적유량: 체적유량은 단위 시간에 들어오는 물의 부피이며, **관의 단면적과 평균 유속의 곱**으로 구한다. 관의 지름은 2 cm = 0.02 m이므로 반지름은 0.01 m이다. 관의 단면적은 $A = \pi(0.01)^2 = 0.0001\pi \mathrm{m}^2$이고, 평균 유속이 1 m/s이므로 $Q = A\bar{u} = 0.0001\pi \mathrm{m}^3/\mathrm{s}$이다.

채우는 시간: 물이 빠져나가지 않고 주어진 유속으로 계속 유입되면, 시간 동안 들어온 부피가 남은 탱크 부피와 같아진다. 따라서 $Qt = V$에서 $t = \frac{V}{Q} = \frac{\pi}{0.0001\pi} = 10{,}000\mathrm{s}$이다. 이는 ④의 10,000초에 해당한다.

NoteBase

문 20. 각 성분의 생성 Gibbs에너지(ΔG_f°)가 <보기>와 같다면 298K에서 메탄가스(CH_4)의 연소반응에 대한 반응 Gibbs에너지(reaction Gibbs energy, ΔG_r°) 및 이 반응의 자발성에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

<보기>

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$$

성분	$CH_4(g)$	$O_2(g)$	$CO_2(g)$	$H_2O(l)$
ΔG_f^o (kJ/mol)	−51	0	−394	−237

① ΔG_r° = −817kJ/mol, 자발적인 반응

② ΔG_r° = −817kJ/mol, 비자발적인 반응

③ ΔG_r° = 817kJ/mol, 자발적인 반응

④ ΔG_r° = 817kJ/mol, 비자발적인 반응

정답 1번

간단한 해설

반응식의 계수를 반영하여 **생성물의 생성 Gibbs에너지 합에서 반응물의 합을 빼면** 반응 Gibbs에너지는 −817 kJ/mol이다. 이 값이 음수이므로 298 K의 표준상태에서 메탄의 연소는 **열역학적으로 자발적**이다.

NoteBase

계산 과정

1. 반응식과 기준: 주어진 반응은 $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$이다. 표의 값은 각 물질 1 mol의 표준 생성 Gibbs에너지이므로, 반응식의 **화학양론 계수를 곱하여** 합산한다. 특히 생성되는 물은 액체이므로 $H_2O(l)$의 값 −237 kJ/mol을 사용한다.

2. 계산 원리: Gibbs에너지는 상태함수이므로 표준 반응 Gibbs에너지는 생성물의 표준 생성 Gibbs에너지 합에서 반응물의 합을 뺀 값이다. 이를 $\Delta G_r^\circ = \sum_i \nu_i \Delta G_{f,i}^\circ$로 나타낼 수 있다. 여기서 ν_i는 생성물에는 양수, 반응물에는 음수로 부여한 반응계수이다.

3. 반응 Gibbs에너지 계산: 생성물 쪽 합은 $-394 + 2 \times (-237) = -868$ kJ/mol이고, 반응물 쪽 합은 $-51 + 2 \times 0 = -51$ kJ/mol이다. 따라서 ΔG_r°는 $-868 - (-51) = -817$ kJ/mol이다. 이는 주어진 반응식대로 **메탄 1 mol이 연소할 때**의 값이다.

4. 자발성 판단: 일정한 온도와 압력에서 반응 Gibbs에너지가 음수이면 정반응이 열역학적으로 자발적이다. 여기서는 표준 반응 Gibbs에너지를 계산했으므로 **298 K의 표준상태에서** 정반응이 자발적이라고 판단한다. −817 kJ/mol과 자발적인 반응을 함께 제시한 ①에 해당한다.

NoteBase