



소재열역학 HW1 20220318 윤정현

2.1  $C_V = \frac{3}{2}R$ ,  $T_1 = 300K$ ,  $V_1 = 15L$ ,  $P_1 = 15\text{atm}$ ,  $P_2 = 10\text{atm}$

i) reversible isothermal expansion

a)  $P_1 V_1 = P_2 V_2$  ( $\because PV = nRT$  일정)

$15\text{atm} \cdot 15L = 10\text{atm} \cdot V_2$

$\therefore V_2 = \frac{15\text{atm} \cdot 15L}{10\text{atm}} = 22.5L$

b)  $W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

$P_1 V_1 = nRT_1 \Rightarrow n = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{15 \times 15}{0.0820 \times 300} = 9.14 \text{ mol}$

$W = 9.14 \text{ mol} \times 0.0820 \text{ atm} \cdot L / \text{mol} \cdot K \times 300K \times \ln\left(\frac{22.5L}{15L}\right)$   
 $= 91.2 \text{ atm} \cdot L = 91.2 \times 101.325 \text{ J} = 9240 \text{ J}$  ( $\because 1\text{atm} \cdot L = 101.325 \text{ J}$ )

c)  $\Delta U = q - w = 0$  ( $\because$  isothermal)

$q = w = 9240 \text{ J}$

d)  $\Delta U = 0$  ( $\because$  isothermal  $\Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = nC_V \Delta T = 0$ )

e)  $\Delta H = nC_p \Delta T = 0$

ii) reversible adiabatic expansion

a)  $P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$ ,  $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{5}{3}$

$15\text{atm} \cdot 15L^{5/3} = 10\text{atm} \cdot V_2^{5/3}$

$V_2^{5/3} = \frac{3}{2} \cdot 15^{5/3} \therefore V_2 = 19.1L$

b)  $q = 0 \Rightarrow \Delta U = q - w = -w$

$w = -\Delta U = -nC_V \Delta T = -9.14 \text{ mol} \times \frac{3}{2}R \times (T_2 - T_1)$

$T_2 = \frac{P_2 V_2}{nR} = \frac{10\text{atm} \times 19.1L}{9.14 \times 0.082} = 255K$

$\therefore w = -9.14 \times \frac{3}{2} \times 0.082 \times (255 - 300)$   
 $= 50.6 \text{ atm} \cdot L = 50.6 \times 101.325 \text{ J} = 5127 \text{ J}$

c)  $q = 0$  ( $\because$  adiabatic)

d)  $\Delta U = -w = -5127 \text{ J}$

e)  $\Delta H = nC_p \Delta T = 9.14 \text{ mol} \times \frac{5}{2} \times 0.082 \text{ atm} \cdot L / \text{mol} \cdot K \times (255 - 300)K$   
 $= -84.3 \text{ atm} \cdot L = -84.3 \times 101.325 \text{ J} = -8543 \text{ J}$

2.2

a)  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$  에서  $P_2 = P_1$ ,  $V_2 = 2V_1$  이므로,  $T_2 = 2T_1$   
 $\therefore T_1 = 273\text{K}$ ,  $P_1 = 1\text{atm}$ ,  $V_1 = 22.4\text{L} \rightarrow T_2 = 546\text{K}$ ,  $P = 1\text{atm}$ ,  $V = 44.8\text{L}$   
 $\therefore 273\text{K}$ ,  $1\text{atm}$ 에서  $1\text{mol}$ 의 monatomic ideal gas의 부피이므로

$$\Delta U = nC_V \Delta T = 1\text{mol} \times \frac{3}{2} \times 8.314\text{J/mol}\cdot\text{K} \times (546 - 273)\text{K} = 3404.58\text{J}$$

$$W = P\Delta V = 1\text{atm} \times (44.8 - 22.4)\text{L} = 22.4\text{atm}\cdot\text{L} = 22.4\text{atm}\cdot\text{L} \times 101.325\left(\frac{\text{J}}{\text{atm}\cdot\text{L}}\right) = 2269.68\text{J}$$

$$\Delta U = Q - W \quad \therefore Q = \Delta U + W = 3404.58\text{J} + 2269.68\text{J} = 5674.26\text{J}$$

b)  $\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3}$  에서  $V_2 = V_3$ ,  $P_3 = 2P_2$  이므로  $T_3 = 2T_2$   
 $\therefore 546\text{K}$ ,  $1\text{atm}$ 에서  $1\text{mol}$ 의 monatomic ideal gas의 부피이므로

$$\therefore T_2 = 546\text{K}$$
,  $P_2 = 1\text{atm}$ ,  $V_2 = 44.8\text{L} \rightarrow T_3 = 1092\text{K}$ ,  $P_3 = 2\text{atm}$ ,  $V_3 = 44.8\text{L}$

$$\Delta U = nC_V \Delta T = 1\text{mol} \times \frac{3}{2} \times 8.314\text{J/mol}\cdot\text{K} \times (1092 - 546)\text{K} = 6809\text{J}$$

$$W = \int P dV = 0 \quad (\because \Delta V = 0) \quad Q = \Delta U + W = \Delta U = 6809\text{J}$$

$$\therefore Q = 6809\text{J}, W = 0$$

c)  $T_3 = 1092\text{K}$ ,  $P_3 = 2\text{atm}$ ,  $V_3 = 44.8\text{L} \rightarrow T_4 = 273\text{K}$ ,  $P_4 = 1\text{atm}$ ,  $V_4 = 22.4\text{L}$

$$W = \int P dV = \int_{44.8}^{22.4} 6.643 \times 10^{-4} V^2 + 0.6667 dV$$

$$= \left[ \frac{1}{3} \times 6.643 \times 10^{-4} V^3 + 0.6667 V \right]_{44.8}^{22.4} = -32.36\text{atm}\cdot\text{L}$$

$$= -32.36\text{atm}\cdot\text{L} \times 101.325 \frac{\text{J}}{\text{atm}\cdot\text{L}} = -3278.4\text{J}$$

$$\Delta U = nC_V \Delta T = 1\text{mol} \times \frac{3}{2} \times 8.314\text{J/mol}\cdot\text{K} \times (273 - 1092)\text{K}$$

$$= -10213.7\text{J}$$

$$\therefore Q = \Delta U + W = -10213.7\text{J} - 3278.4\text{J} = -13492.1\text{J}$$

$$W = -3278.4\text{J}$$

$$\text{total } Q = 5674.26\text{J} + 6809\text{J} - 13492.1\text{J} = -1009\text{J}$$

$$\text{total } W = 2269.68\text{J} + 0 - 3278.4\text{J} = -1009\text{J}$$

3.1  $P_1 = 10 \text{ atm}$   $T_1 = 300 \text{ K}$   $n = 1 \text{ mol}$   $V_1 = \frac{nRT_1}{P_1} = 2.46 \text{ L}$

a)  $P_2 = 5 \text{ atm}$   $T_2 = 300 \text{ K}$   $V_2 = \frac{nRT_2}{P_2} = 4.92 \text{ L}$

$$\Delta U = q - w = 0 \quad (\because \Delta U = nC_v \Delta T, \Delta T = 0)$$

$$\therefore q = w = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= \frac{q}{T} = \frac{nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}{T} = nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \\ &= 1 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \times \ln\left(\frac{4.92 \text{ L}}{2.46 \text{ L}}\right) = 5.76 \text{ J/K} \end{aligned}$$

b) 단열  $\Rightarrow q = 0$ ,  $P_2 = 5 \text{ atm}$

$$\Delta S = \int \frac{\delta q_{rev}}{T} = 0 \quad (\because q = 0 \text{ 이면 } \delta q = 0)$$

c)  $V_2 = V_1 = 2.46 \text{ L}$   $P_2 = 5 \text{ atm}$

$$\Delta U = q - w = q_U = nC_v \Delta T \quad (\because \text{등적과정}) \therefore \delta q_U = nC_v dT$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{nR} = \frac{5 \times 2.46}{0.082} = 150 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= \int_{T_1}^{T_2} \frac{\delta q_U}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{T} nC_v dT = nC_v \ln \frac{T_2}{T_1} \\ &= n \cdot \frac{3}{2} R \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{3}{2} \times 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \times 1 \text{ mol} \times \ln\left(\frac{150}{300}\right) \\ &= -8.64 \text{ J/K} \end{aligned}$$

$\hookrightarrow$  monatomic ideal gas

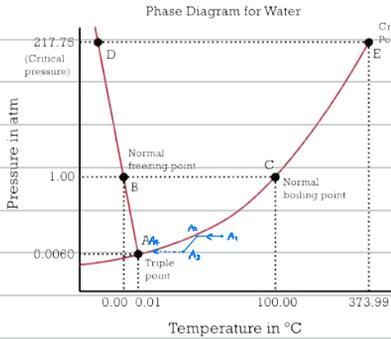
3.4  $\Delta H = \int dH = \int n C_p dT = \int_{298}^{1273} 50.79 + 1.97 \times 10^{-3} T - 4.92 \times 10^{-6} T^2 + 8.20 \times 10^8 T^{-3} \text{ J/mol} \cdot \text{K} dT$

$$\approx 42750 \text{ J}$$

$$\Delta S = \int \frac{dq}{T} = \int \frac{dH}{T} = \int_{298}^{1273} 50.79 \times T^{-1} + 1.97 \times 10^{-3} - 4.92 \times 10^{-6} T^{-3} + 8.20 \times 10^8 T^{-4} dT = 59.7 \text{ (J/K)}$$

$(\because \text{등압})$

$$\therefore \Delta H = 42747 \text{ J}, \Delta S = 59.7 \text{ J/K}$$



### < 에어컨의 경우 >

춥기때는 외부 온도가 차 내부 온도보다 낮으므로 김이 서린다

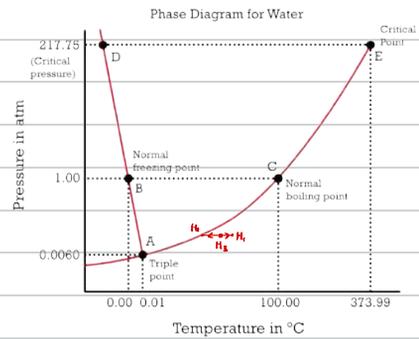
차 내부 온도에서 수증기압은  $A_1, H_1$  인 기체 상태로 존재한다.

그러나 창문의 낮은 온도에 의해 온도가 내려가면  $A_2, H_2$  상태가 되어 수증기가 액화하고, 김이 서리게 된다

만약 에어컨을 켜게 된다면 1. 온도가 내려가지만 2. 에어컨의 낮은 온도로 액화가 진행되고, 이에 따라 차내부의 수증기압이 낮아진  $A_3$  상태가 된다. 이는 불포화 상태이므로, 김서림이 사라진다. 만약 다시 포화상태가 된다면 이미 수증기압이 낮아진 상태에서 온도가 많이 내려간  $A_4$ 의 상태가 되어야 하므로 효과적인 김서림 제거 방법이라 할 수 있다.

반면 히터를 온 경우에는  $H_1, H_2$  개저는 에어컨과 동일하지만 온도만 올라가므로  $H_3$  상태가 된다. 이 또한 불포화 상태이므로 김이 사라지지만, 수증기압 자체가 내려가지 않았으므로 쉽게  $H_2$  상태로 되돌아갈 것이다.

따라서 더 효과적인 김서림 방법은 에어컨을 켜는 것이다.



### < 히터의 경우 >

6

그렇지 않다. 각  $j$ 의 원이 무작위로 운동하여 결과적으로 빈공간이 채워지고, 균일하게 섞이게 된다. 이는 확률적으로 가장 높은 상황이다. 기체 분자 자체는 특정한 force 없이 무작위하게 움직이지만, 진공인 공간에서 기체 분자가 이동할 수 없고, 진공이 아닌 공간에서 진공인 공간으로 기체 분자가 이동할 수 없기에 시간이 지나면 자연스럽게 진공인 공간이 제거되어 균일하게 섞이는 것이다. 즉, 기체들은 안정해지고, 가장 확률이 높은, 엔트로피가 증가하는 방향으로 움직이나 이는 기체 분자며 무작위적인 움직임에 의한 것이므로, 각  $j$ 의 입자들은 섞여야 한다는 운명으로 볼 수 있을 것이다.

7

6번 문제의 예시로 들어가면, 마시적인 관점에서 기체 분자 하나 하나는 무작위적이며 편차가 크다. 이는 곧 기체 분자 하나 하나의 입장에서 다시 처음 위치로 돌아올 수 있다는 의미이므로 가역적이다. 그러나 거시적인 관점에서 바라보았을 때 입자가 너무 많기에, 모든 입자가 처음에 위치로 돌아갈 확률은 0에 수렴한다. 가장 확률이 높은 상태로 수렴하여, 그 편차 또한 0에 수렴한다. 따라서 다른 상례가 나타나는 것이 사실상 불가능하므로 거시적인 관점에서는 비가역적이다.