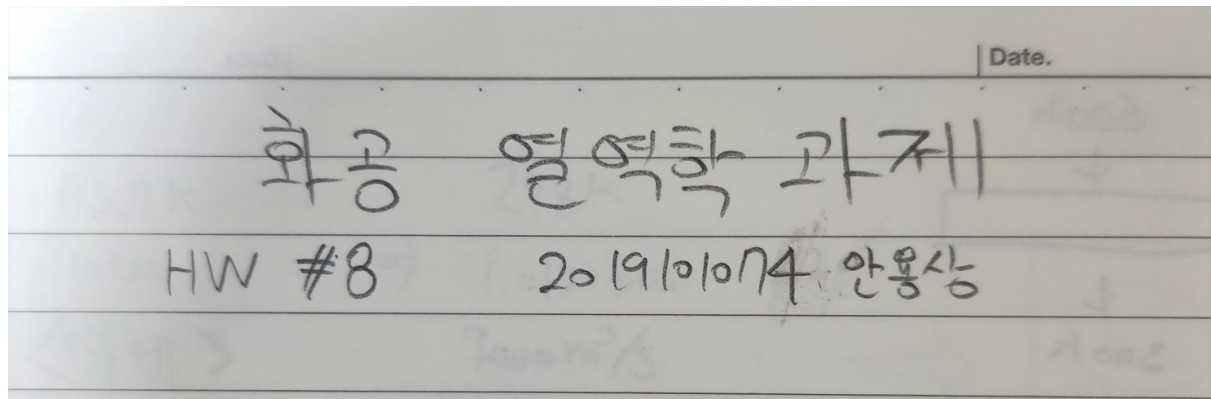


화공열역학 과제 #8



$$5.3 \text{ (a)} \quad \dot{W} = -95000 \text{ kW} = -95000 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$\Delta U = 0 = Q_H + Q_C + W$$

$$\textcircled{1} \quad Q_C = -W - Q_H$$

$$\textcircled{2} \quad Q_H = Q_C \times \frac{T_H}{T_C} = -\frac{5}{2} Q_C \quad \left(\because \Delta S_{\text{tot}} = -\frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_C}{T_C} = 0 \right)$$

$$Q_C = -W - \left(-\frac{5}{2} Q_C\right)$$

$$\frac{3}{2} Q_C = W \Rightarrow \text{1초당 가열로 흡수한 } Q_C = \frac{2}{3} W = \frac{2}{3} \times (-95000) \text{ kJ} = -63333 \text{ kJ}$$

$$\therefore \dot{Q}_C = -63333 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$\therefore \dot{Q}_H = -\frac{5}{2} \dot{Q}_C = 158333 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$\text{(b)} \quad \eta = 0.35$$

$$\eta = 0.35 = \frac{-W}{Q_H} = \frac{95000 \text{ kJ}}{Q_H}$$

$$Q_H = \frac{95000}{0.35} = 271428 \text{ kJ} \Rightarrow \dot{Q}_H = 271428 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$\rightarrow \dot{Q}_C = -(\dot{Q}_H + \dot{W}) = -(271428 - 95000) = -176428 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

5.6

① Carnot에서

$$\frac{Q_H}{T_H} = -\frac{Q_C}{T_C} \text{ 이고 } W = -Q_H - Q_C \text{ 이다.}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{+Q_H + Q_C}{Q_H} = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H} \text{ 이다.}$$

이때 $\frac{T_C}{T_H}$ 가 작아져야 η 이 커진다

따라서 T_C 가 고정되고 T_H 가 커져야 한다

② 실제기관에서

$$W = -Q_H - Q_C \text{ 이고 } \Delta S_{\text{total}} = \frac{-Q_H}{T_H} - \frac{Q_C}{T_C} \geq 0 \text{ 이다.}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_C}{Q_H} \leq \frac{-T_C}{T_H}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} \leq 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

ΔS_{total} 이 어떠한 양의 K 로 지정이된 일변조건 경우라고 가정하자

$$K = -\frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_C}{T_C} \text{ 이다. 이때 등식이 성립하기 위해서는}$$

① T_C 가 고정되고 T_H 가 증가하는 경우 T_H 가 증가하는 비율만큼 Q_H 가 증가해야 한다

② T_H 가 고정되고 T_C 가 증가하는 경우 반대로 T_C 가 증가할수록 $|Q_C|$ 가 증가해야 한다

①의 경우에 $\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ 에서 Q_H 가 증가해 $\left| \frac{Q_C}{Q_H} \right|$ 값이 작아지고

결과적으로 η 이 커지게 된다.

②의 경우는 η 이 작아진다. 따라서 실제기관에서도 T_C 가 고정되고 T_H 가 커져야 한다.

5-1

113.7k 298k
 1atm \Rightarrow 1.013bar
 <액체> 9000m³/s
 <기체>

LNG에 MW 17인 IQ (in 1.013bar)
 LNG의 증발잠열 113.7k에서 512. kJ/kg



T=303k

$$pV = nRT$$

$$\dot{n} = \frac{\dot{m}}{MW} = \frac{p\dot{V}}{RT}, \quad \dot{m} = MW \times \frac{p\dot{V}}{RT}$$

$$\dot{m} = 17 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1.013 \text{ bar} \times 9000 \text{ m}^3/\text{s}}{8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_H} = 0.6248$$

62.48% 가 일로 전환 mas

37.52% 가 LNG에

$$= 17 \times 1.013 \times 9000 \times \frac{1}{8.314} \times \frac{1}{298} \times \frac{\text{g}}{\text{J}} \times \frac{\text{m}^3 \cdot \text{bar}}{\text{s}}$$

$$|Q_H| = |Q_C| \times \frac{100}{37.52}$$

$$W = \frac{62.48}{100} \times |Q_H|$$

$$\left(\left[\frac{\text{g}}{\text{J}} \times \frac{\text{m}^3 \cdot \text{bar}}{\text{s}} = \frac{5 \times 8}{\text{kg} \cdot \text{m}^2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000} \times \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 10^5 \times \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \right)$$

$$= \left[100 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m} = 6257.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

1초를 가. $m = 6257.5 \text{ kg}$ 이 113.7k에서 512. kJ/kg 의 잠열을 극복하고 증발

이때 Q_c 는 $Q_c = 6257.5 \times 512 = -3203840 \text{ kJ}$, $\dot{Q}_c = -3203.8 \text{ MW}$

$$Q_H = \frac{3203.8}{37.52} \times 100 = 8534.255 \text{ MW}$$

$$W = \frac{62.48}{100} \times -8534.255 = 5332.203 \text{ MW}$$

따라서 가능한 최대 동력은 5332.203 MW 이다.

$$5.9 \quad V = 0.06 \text{ m}^3 \quad dV = 0$$

500K	(I _g)
1 bar	
$C_V = \frac{5}{2}R$	

(a)

$$\leftarrow Q = 15000 \text{ J}$$

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

$$dU = dQ + dW \\ = dQ$$

$$\Delta U = Q = 15000 \text{ J} = C_V \Delta T \times n$$

$$\Delta T = 15000 \times \frac{2}{5} \times \frac{1}{8.314} \times n \text{ (K)}$$

$$\left[PV = nRT, n = \frac{PV}{RT}, n = \frac{1 \times 0.06}{8.314 \times 500} \times \frac{\text{mol} \cdot \text{bar} \cdot \text{m}^3}{\text{J}} \times \frac{10^5 \text{ Pa}}{\text{bar}} \times \frac{\text{J}}{\text{Pa} \cdot \text{m}^3} \right] \\ = 1.443 \text{ mol}$$

$$\therefore \Delta T = 500 \text{ K}$$

$$\Delta S = \int \frac{1}{T} \times dQ = \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{T} \times C_V dT = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} \\ = \frac{5}{2} R \times \ln \frac{1000}{500} = \frac{5}{2} \times 8.314 \times \ln 2 \\ = 14.4 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \\ \Delta S \cdot n = 14.4 \times 1.443 = 20.79 \text{ J/K}$$

5.12 $\Delta S = \int_{d_1}^{d_2} \frac{1}{T} dQ$

$dU = dQ + dW \Rightarrow dQ = dU - dW = C_V^{fg} dT + P dV$

$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V^{fg}}{T} dT + \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{T} P dV$

$= \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V^{fg}}{T} dT + \int_{V_1}^{V_2} \frac{R}{V} dV$

$= \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V^{fg}}{T} dT + R \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

$\frac{\Delta S}{R} = \Delta S \div R = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V^{fg}}{RT} dT + \ln \frac{V_2}{V_1}$

5.14 T_H

$T_C (C_c^+)$

$dS = \left(\frac{dQ}{T}\right)_{rev} \quad \Delta U = 0 = Q_H + Q_C + W$

$\Delta S_{tot} = 0 = \frac{Q_H}{T_H} - \int \frac{1}{T} dQ$

$\int \frac{1}{T} dQ = \int \frac{1}{T} C_T^c dT \times (-1) = C_T^c \ln \frac{T_C}{T_0} \times (-1)$

$0 = \frac{Q_H}{T_H} + C_T^c \ln \frac{T_C}{T_0}$

$Q_H = T_H C_T^c \ln \frac{T_C}{T_0}$

$Q_C = -C_T^c (T_C - T_0)$

① $W = C_T^c (T_H \ln \frac{T_C}{T_0} - (T_C - T_0))$

② $W = C_T^c (T_H \ln \frac{T_H}{T_0} - (T_H - T_0))$

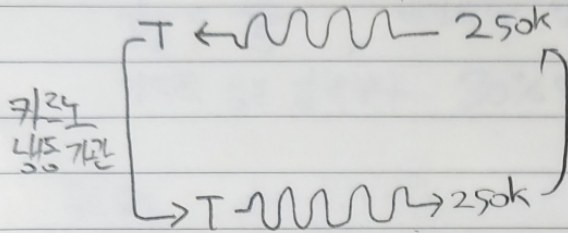
morning

5.17

고온

600k

$\downarrow Q_H$



카르노
사이클

$\downarrow Q_C$

저온

300k

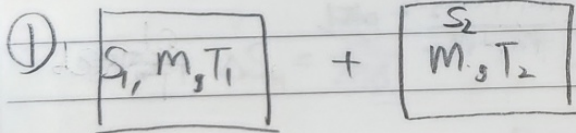
여기서 기판에 전달된 열 (열부하) 은 Q_H

제거된 열은 Q_C

따라서 $\frac{Q_C}{Q_H}$ 을 구하는 것 Carnot 기판에서 $\frac{Q_C}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H} = 0.5$

$$\frac{Q_C}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H} = \frac{300}{600} = 0.5$$

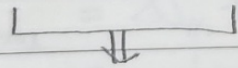
5.22 $m, T_1, m, T_2 \rightarrow$ 혼합 ($dQ, dP=0$), C_p 는 상수



$$dH = dQ$$

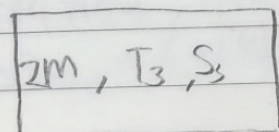
$$Q = \Delta H = C_p \Delta T$$

$$\frac{\Delta H_1}{m} + \frac{\Delta H_2}{m} = 0, C_p(T_3 - T_1) + C_p(T_3 - T_2) = 0$$



$$\therefore T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

같은 질량 같은 물질이므로



$$\Delta S_t = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$T_1 \rightarrow T_3$ 이 과정을 따르게 한다면
 $T_2 \rightarrow T_3$ 무방하다.

$$m \int \frac{1}{T} dQ, m \int \frac{1}{T} dQ_2$$

$$= m \times C_p \ln \frac{T_1 + T_2}{2T_1} + m \times C_p \ln \frac{T_1 + T_2}{2T_2}$$

$$= 2mC_p \ln \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right) + mC_p \left(\ln \frac{1}{T_1} + \ln \frac{1}{T_2} \right)$$

$$= 2mC_p \ln \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \times \left(\frac{1}{T_1 T_2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

morning glory

(2) m, C_p, T_1, T_2 는 모두 양수이고

$$\frac{T_1+T_2}{2(T_1T_2)^{\frac{1}{2}}} > 1 \text{ 이면 양수임이 증명됨}$$

$$T_1+T_2 > 2(T_1T_2)^{\frac{1}{2}}$$

$$T_1^2 + 2T_1T_2 + T_2^2 > 4T_1T_2$$

$$T_1^2 - 2T_1T_2 + T_2^2 > 0$$

($T_1 \neq T_2$ 라면)

$$(T_1 - T_2)^2 > 0$$

$T_1 - T_2$ 는 실수이고 제곱하면 항상 양수이므로

위 명제에 성립.

(3) 질량이 다르면?

m_1	T_1
-------	-------

m_2	T_2
-------	-------

m_1+m_2	T_3
-----------	-------

$$m_1 \times C_p (T_3 - T_1) + m_2 C_p (T_3 - T_2) = 0$$

$$m_1 T_3 - m_1 T_1 + m_2 T_3 - m_2 T_2 = 0$$

$$T_3 (m_1 + m_2) = m_1 T_1 + m_2 T_2$$

$$T_3 = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} \text{ 이다.}$$

$$\Delta S_e = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$$\Delta S_1 = m C_p \ln \frac{T_3}{T_1} = \Delta S_2 = m C_p \ln \frac{T_3}{T_2}$$

$$\Delta S_e = 2 m C_p \ln \left(\frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} \right) - m C_p (\ln T_1 + \ln T_2)$$

$$= 2 m C_p \ln \left(\frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} \times \left(\frac{1}{T_1 T_2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

5.26. Ig 1mol $dT=0$ 403K 유지

P. 2.5bar \rightarrow 6.5bar

$$\frac{P}{P_0} = \frac{13}{5}, \text{ 네가역적 압축}$$

가역적 등온 압축보다 30%만큼 더 많은 일이 요구.

등온압축 $dH = dU + dPV$
 $= dQ + VdP$

$$dQ = C_v dT - VdP = -VdP$$

$$= -\frac{RT}{P} dP \Rightarrow Q = -RT \ln \frac{P}{P_0} = -8.314 \times 403 \times \ln \frac{13}{5}$$

$$= -3201.48 \text{ J/mol}$$

$Q = -3201.48 \text{ J/mol}$ 을 방출.

$$\Delta U = C_v dT = Q + W = 0$$

$$W_{rev} = -Q = 3201.48 \text{ J/mol} \quad \text{즉 } 3201.48 \text{ J/mol의 일이 요구}$$

네가역적 경우 $W = W_{rev} \times 1.3 = 4162 \text{ J/mol}$

$$Q = -4162 \text{ J/mol}$$

이 기체의 엔트로피 $\Delta S_{ig} = \int \frac{dQ}{T} = \int \frac{C_v dT}{T} - \int \frac{P dP}{P} = -R \ln \frac{P}{P_0} = -7.9441 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

열저장조의 $\Delta S_H = \frac{Q}{298} = 13.4 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

$$\Delta S_{total} = \Delta S_H + \Delta S_{ig} = 6.056 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

여기서 기준이 1mol 이므로

$$\Delta S_{total} = 6.056 \text{ J/K}$$