

Date.

화학공학 열역학 HW#09

안용상 2019101074

5.31

 T_F

$$\downarrow |Q_F| = |Q| = 1000 \text{ kJ}$$

 T

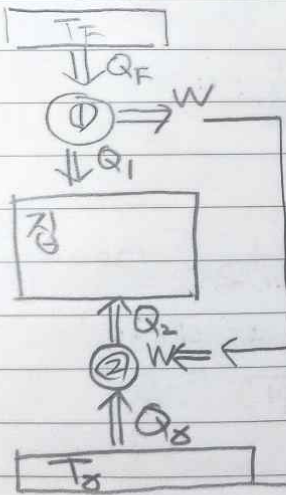
와 같이 해도 되지만 이를 절약하기 위하여

바깥 외부를 열원으로 바꾸는 발상 전환을 한다.

이때 외부 T_F 는 T 보다 온도가 낮으므로, 자연스럽게 열을 전달받기는 어렵다. 그래서 일을 기해줘야 하고, 물을 기해줌으로써 T_F 로부터 열을 더 빼앗아 집으로 그 열을 공급할 수 있다.

그렇다면 그 일을 어디서 구해올 것인가 문제인데, 이는 T_F 로 인한 Q_F 를 이용해 작동하며 일부 열을 방출하고 나머지는 일을 생성하는 기관을 통해 구해볼 수 있다.

그 일을 재사용해서 T_F 인 외부 열원에서 열 Q_F 를 빼앗아 집안으로 들인다.

이때 집에 필요한 $|Q| = 1000 \text{ kJ}$ 이며

$$|Q_1| + |Q_2| = |Q| = 1000 \text{ kJ}$$

$$\text{열기관 ①의 } \Delta U = \Delta S_{\text{계}} = \Delta T = \Delta V = \Delta P = \Delta H = 0 \text{ 이므로}$$

$$|Q_F| = |W| + |Q_1| \text{ 이며}$$

$$\text{열기관 ②의 } \Delta U = 0 \text{ 이므로}$$

$$|Q_3| + |W| = |Q_2| \text{ 이다}$$

이때 두 식을 더하면

$$|Q_F| + |Q_3| = |Q_1| + |Q_2| = 1000 \text{ kJ}$$

즉 $|Q_F|$ 로만 1000 kJ를 얻으려 하면외부와 합쳐서 $|Q_F| + |Q_3|$ 로 1000 kJ를 만들어 낸다.이때 열기관 ①과 ②의 $\Delta S_{\text{계}}$ 는 각각 모두 0 이므로각 열기관 과정에 대해서 해당 $\Delta S_{\text{외부}}$ 와 $\Delta S_{\text{내부}}$ 를 $\Delta S_{\text{외부 ①}}, \Delta S_{\text{외부 ②}}, \Delta S_{\text{외부 ③}}, \Delta S_{\text{외부 ④}}$ 라고 하면

$$\Delta S_{\text{외부 ①}} = \Delta S_{\text{외부 ②}} \geq 0 \quad \Delta S_{\text{외부 ③}} = \Delta S_{\text{외부 ④}} \geq 0 \text{ 이다.}$$

$$\text{이때 } \Delta S_{\text{전체}} = \frac{-|Q_F|}{T_F} + \frac{|Q_1|}{T} \geq 0 \text{이다}$$

$$\Delta S_{\text{전체}} = \frac{-|Q_8|}{T_8} + \frac{|Q_2|}{T} \geq 0 \text{이다}$$

$$\frac{-|Q_F|}{T_F} + \frac{|Q_8|}{T_8} + \frac{1}{T}(|Q_1| + |Q_2|) \geq 0$$

$$\frac{|Q_F|}{T_F} + \frac{|Q_8|}{T_8} \leq \frac{1}{T}(|Q_1| + |Q_2|)$$

$$|Q_8| = 1000 - |Q_F| \text{ 이므로}$$

$$\frac{|Q_F|}{T_F} + \frac{-|Q_F|}{T_8} + \frac{1000}{T_8} \leq \frac{1}{T}(|Q_1| + |Q_2|)$$

$$|Q_F| \left(\frac{1}{T_F} - \frac{1}{T_8} \right) \leq \frac{1000}{T} - \frac{1000}{T_8}$$

$$|Q_F| \geq \frac{\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_8} \right) \times 1000}{\left(\frac{1}{T_F} - \frac{1}{T_8} \right)} = \frac{+ \left(\frac{1}{295} - \frac{1}{265} \right) \times 1000}{\left(\frac{1}{810} - \frac{1}{265} \right)}$$

$$= 151.143 \text{ kJ}$$

$$\therefore |Q_F| \geq 151.143 \text{ kJ 이다.}$$

이때 두 열기관 모두 카르노기관일때 가능하다.

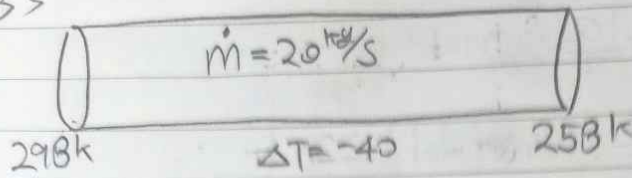
대안적인 $|Q_F|$ 를 통해 가장 많은 바퀴로 W 를 뽑아내며, 그 W 를 이용해 Q_8 를 이용해 $|Q_2|$ 를 뽑아낼 수 있게 해준다.

$$|W| = |Q_2| - |Q_8| \quad |Q_8| = |Q_2| - |W|$$

$$|Q_2| \geq \frac{|Q_8|}{T_8} \times T + T \Delta S_{\text{전체}} = \frac{|Q_2|}{T_8} \times T - \frac{|W|}{T_8} \times T + T \Delta S_{\text{전체}}$$

$$|W| = T \Delta S_{\text{전체}} \quad |Q_2| = \frac{T \Delta S_{\text{전체}} - \frac{T}{T_8} |W|}{\left(1 - \frac{T}{T_8} \right)}$$

5.33



에너지수지식

$$\frac{d(U\dot{m})_cv}{dt} + \Delta \left[\left(H + \frac{1}{2}u^2 + gz \right) \dot{m} \right] = \dot{Q} + \dot{W}$$

$$\Rightarrow \Delta H = Q + W$$

$$\Delta H = \dot{Q} \Delta T = -40 \times 3.5 = -140 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

엔트로피수지식

$$\frac{d(S\dot{m})_cv}{dt} + \Delta(S\dot{m})_{ss} - \sum \frac{\dot{Q}_j}{T_{s,j}} = \dot{S}_G \geq 0$$

$$\Delta S_{\text{계}} - \frac{Q_{\text{계}}}{T_{\text{외부}}} = S_G \geq 0$$

$$dQ = dH - Vdp$$

$$\Delta S_{\text{계}} = \int \frac{dQ_{\text{계}}}{T_{\text{계}}} = \int \frac{dH}{T} - \int \frac{V}{T} dp$$

$$= \int \frac{\dot{Q}}{T} dT = \dot{Q} \ln \frac{T}{T_0} = 3.5 \times \ln \frac{258}{298}$$

$$W_{\text{ideal}} = -Q_{\text{계}} + \Delta H$$

$$= -T_{\text{외부}} \times \Delta S_{\text{계}} + \Delta H$$

$$W_S = \dot{m} \times \frac{W_{\text{ideal}}}{0.27} = \frac{-303 \times 3.5 \times \ln \frac{258}{298} - 140}{0.27} \times 20$$

$$= 952 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

5.36

$$\frac{d(Sm)_{cv}}{dt} + \Delta(Sm)_{fs} - \sum_{s,j} \frac{\dot{Q}_j}{T_{s,j}} = \dot{S}_G \geq 0$$

⇒ 단원계는 입,출구의 물질수가 0이니 $\Delta(Sm)_{fs} = 0$

$$\frac{d(Sm)_{cv}}{dt} - \sum_{s,j} \frac{\dot{Q}_j}{T_{s,j}} = \dot{S}_G \geq 0 \text{ 이고}$$

m은 일정하므로

$$\frac{m d(S_{cv})}{dt} - \sum_{s,j} \frac{\dot{Q}_j}{T_{s,j}} = \dot{S}_G \geq 0 \text{ 이고}$$

$$= \frac{dS_{total}}{dt} \geq 0 \text{ 이다.}$$

$$\frac{m d(S_{cv})}{dt} - \sum_{s,j} \frac{dQ}{T_{s,j}} \times \frac{1}{dt} = \frac{dS_{total}}{dt} \geq 0 \text{ 이고}$$

m은 4개 이를 단위량에 대한 식으로 바꾸면

$$\frac{d(S_{cv})}{dt} - \sum_{s,j} \frac{dQ}{T_{s,j}} \times \frac{1}{dt} = \frac{dS_{total}}{dt} \geq 0$$

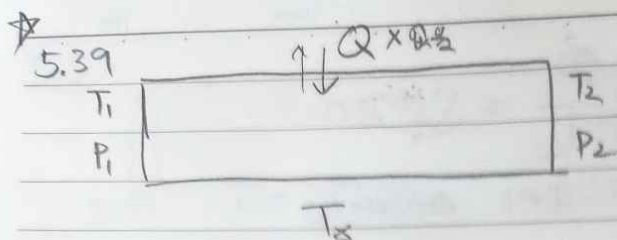
이때 이를 적분하면

$$\frac{d(S_{cv})}{dt} \Rightarrow \Delta S_{계} - \sum_{s,j} \frac{dQ}{T_{s,j}} \text{ 는 외부저장소의 온도변의 외부저장소에}$$

전달된 dQ에기인한 전체 외부의 $\Delta S_{외부}$ 가 된다.

$$\frac{dS_{total}}{dt} \Rightarrow \Delta S_{total} \text{ 이되므로}$$

$$\Delta S_{계} + \Delta S_{외부} = \Delta S_{total} \geq 0 \text{ 이된다.}$$



$$\frac{d(mu_{\text{rev}})}{dt} + \Delta \left[\left(H + \frac{1}{2} u^2 + gz \right) \dot{m} \right] = \dot{Q} + \dot{W}$$

$$\Delta H = Q + W \quad \text{이때} \quad \Delta H = W$$

Q는 단열이므로

$$\Delta H = C_p \Delta T = C_p (T_2 - T_1) = W$$

∴ 아래 나오는 문제들에 대해

해줄일은 $W_s = C_p (T_2 - T_1)$ 으로 구한다.

$$\Delta S - \frac{Q_{\text{rev}}}{T_{\text{외부}}} = 0 \quad \dots \text{이성적인 } W_{\text{ideal}} \text{ 계산을 위해서}$$

가역과정 $\Delta S_{\text{total}} = 0$ 을 가정

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T_{\text{외부}}} \Rightarrow Q_{\text{rev}} = \Delta S \times T_{\text{외부}}$$

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{\text{rev}}}{T_{\text{rev}}} = \int \frac{1}{T_{\text{rev}}} dH - \int \frac{V}{T} dP = C_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0}$$

$$\therefore \Delta H = Q + W$$

$$W_{\text{ideal}} = \Delta H - Q = C_p (T_2 - T_1) - Q_{\text{rev}}$$

$$= C_p (T_2 - T_1) - \Delta S \times T_{\text{외부}}$$

$$= C_p (T_2 - T_1) + \left(R \ln \frac{P}{P_0} - C_p \ln \frac{T}{T_0} \right) T_8 \quad \text{로 구하면 된다.}$$

$$W_{\text{loss}} = W_s - W_{\text{ideal}} = \left(C_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0} \right) T_8 \quad \text{로 구하면 된다.}$$

계산의 편의를 위해 W_{ideal} 은 W_{loss} 와 W_s 를 각각 구하고

$W_s - W_{\text{loss}}$ 를 계산함으로써 얻어낸다.

(b) गीदा 34

$$T_1 = 450 \quad T_2 = 376 \text{ K} \quad \frac{C_p}{R} = 4 \quad 0.1 \text{ B 3}$$

$$P_1 = 5 \text{ bar} \quad P_2 = 2 \text{ bar}$$

$$W_s = 4R(376 - 450) = -2460 \text{ J/mol}$$

$$W_{\text{loss}} = 300 \times \left(4R \ln \frac{376}{450} - R \ln \frac{2}{5} \right) = 493 \text{ J/mol}$$

$$W_{\text{ideal}} = W_s - W_{\text{loss}} = -2953 \text{ J/mol}$$

(d) गीदा 34

$$T_1 = 475 \text{ K} \quad T_2 = 372 \text{ K} \quad \frac{C_p}{R} = \frac{9}{2}$$

$$P_1 = 7 \text{ bar} \quad P_2 = 1.5 \text{ bar}$$

$$W_s = \frac{9}{2}R(372 - 475) = -3854 \text{ J/mol}$$

$$W_{\text{loss}} = 300 \times R \left(\frac{9}{2} \ln \frac{372}{475} - \ln \frac{1.5}{7} \right) = 1099 \text{ J/mol}$$

$$W_{\text{ideal}} = W_s - W_{\text{loss}} = -4953 \text{ J/mol}$$

5.43

$T_H = 550 \text{ K}$
$T_1 = 350 \text{ K} \quad T_2 = 250 \text{ K}$

$$Q_1 = 50 \text{ kJ} \quad Q_2 = 100 \text{ kJ}$$

$$\Delta S_{\text{tot}} = -\frac{150}{350} + \frac{50}{350} + \frac{100}{250} = 0.270 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$W_{\text{lost}} = T_2 \Delta S_{\text{tot}} = 300 \times 0.27 = 81 \text{ kJ}$$

5.44 $\dot{W} = 750 \text{ MW}$ 

$$(a) \eta_{\text{max}} = 1 - \frac{293}{588} = 0.5017$$

$$\begin{aligned} \dot{W} = 750 \text{ MW} \quad |Q_H| = |Q_C| &\rightarrow |\dot{Q}_C| = |\dot{W}| \times \eta + |Q_H| \\ &= |\dot{W}| \times \eta + \frac{|\dot{W}|}{0.5017} \\ &= |\dot{W}| \times \left(\frac{1}{0.5017} - 1 \right) \\ &= 744.91 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$(b) \eta = \eta_{\text{max}} \times 0.6 = 0.5017 \times 0.6 = 0.30102$$

$$|\dot{Q}_H| = \frac{750 \text{ MW}}{0.30102} = 2491.53 \text{ MW}$$

$$|\dot{Q}_C| = \frac{750 \text{ MW}}{0.30102} - 750 \text{ MW} = 1741.53 \text{ MW}$$

$$\Delta H \cdot \dot{m} = C_p \Delta T \cdot \dot{m} = C_p \Delta T \cdot \rho \dot{V} = |\dot{Q}_C|$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{\dot{Q}_C}{C_p \rho \dot{V}} = 1741.53 \times \frac{1}{4.184 \cdot 1000 \cdot 165} \times \left(\frac{\text{MW}}{\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} \right) \times \frac{10^6 \text{ J}}{\text{MJ}} \times \frac{\text{kg}}{1000} \\ &= 2.9226 \text{ K} \quad \text{2.92°C} \end{aligned}$$

5.50 예제 11 A = 1.424 B = 14.394 $\times 10^{-3}$ C = -4.392 $\times 10^{-6}$

$$\Delta S_{\text{rev}} = R \int_{1103}^{308} \frac{C_p}{T^2} dT = R \int_{1103}^{308} \frac{A}{T} + B + CT dT$$

$$= \left[A R \ln \frac{308}{1103} + B(308 - 1103) + \frac{1}{2} C(308^2 - 1103^2) \right]$$

$$= -89.177 \text{ J/K}$$

$$\Delta H = Q + W = Q = R \int_{1103}^{308} \frac{C_p}{T} dT = R \left(A(308 - 1103) + \frac{1}{2} B(308^2 - 1103^2) + \frac{1}{3} C(308^3 - 1103^3) \right)$$

$$= -60554.85 \text{ J/mol}$$

$$\Delta S_{\text{rev}} - \sum \frac{Q_i}{T_{s,i}} = \Delta S_{\text{rev}} \geq 0$$

$$W_{\text{rev}} = \left(\Delta S_{\text{rev}} - \frac{Q}{T_s} \right) \times T_s$$

$$= T_s \Delta S_{\text{rev}} - Q = -89.177 \times 298 + 60554.85$$

$$= 33.803 \text{ kJ/mol}$$

아래 $\Delta S_{\text{rev}} - \frac{Q_c}{T_c} = 0$ $Q_c = T_c \times \Delta S_{\text{rev}} = -18.672 \text{ J/mol}$

$$Q_H = -Q_{\text{rev}} \quad W_{\text{HE}} = Q_H + Q_c = 33.803 \text{ kJ/mol}$$

위열기관에서 일한만큼 아래열기관으로 일의 비열기관 열기관에 의해
공을 수 받은 모든 일의 양이다.