

전산 평형열역학 강의계획

1. 개론 (1-2주)

2. Ch 3. (3-4주): 엔트로피

3. Ch 5. (5 주): 깁스에너지

4. Ch 6. (6-7주): 상태방정식

5. Ch 9. (9-12주): 순수물질의 상평형

6. Ch 10. (13-14주): 혼합물질의 상평형

Ch. 3.

엔탈피 와 엔트로피

Carnot cycle

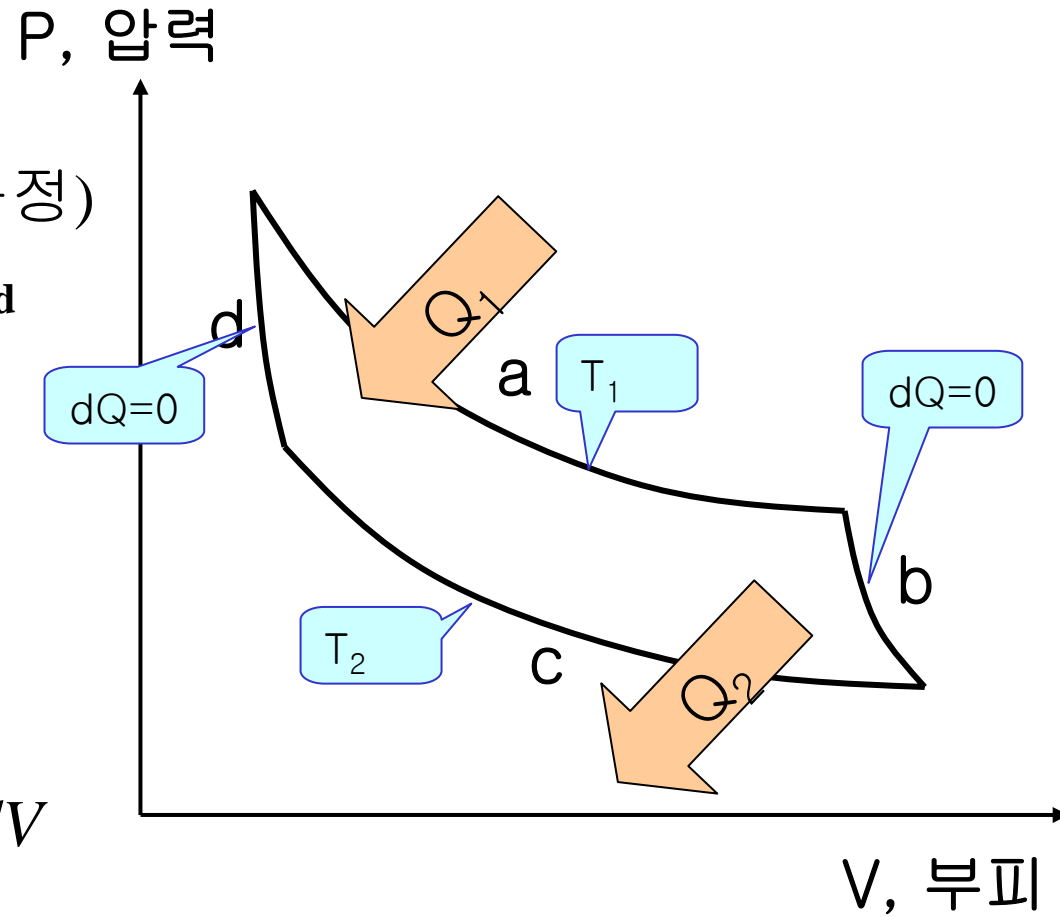
Entire entropy change (가역과정)

$$\begin{aligned}\Delta S &= \Delta S_a + \Delta S_b + \Delta S_c + \Delta S_d \\ &= Q_1/T_1 - Q_2/T_2 = 0\end{aligned}$$

따라서, $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$

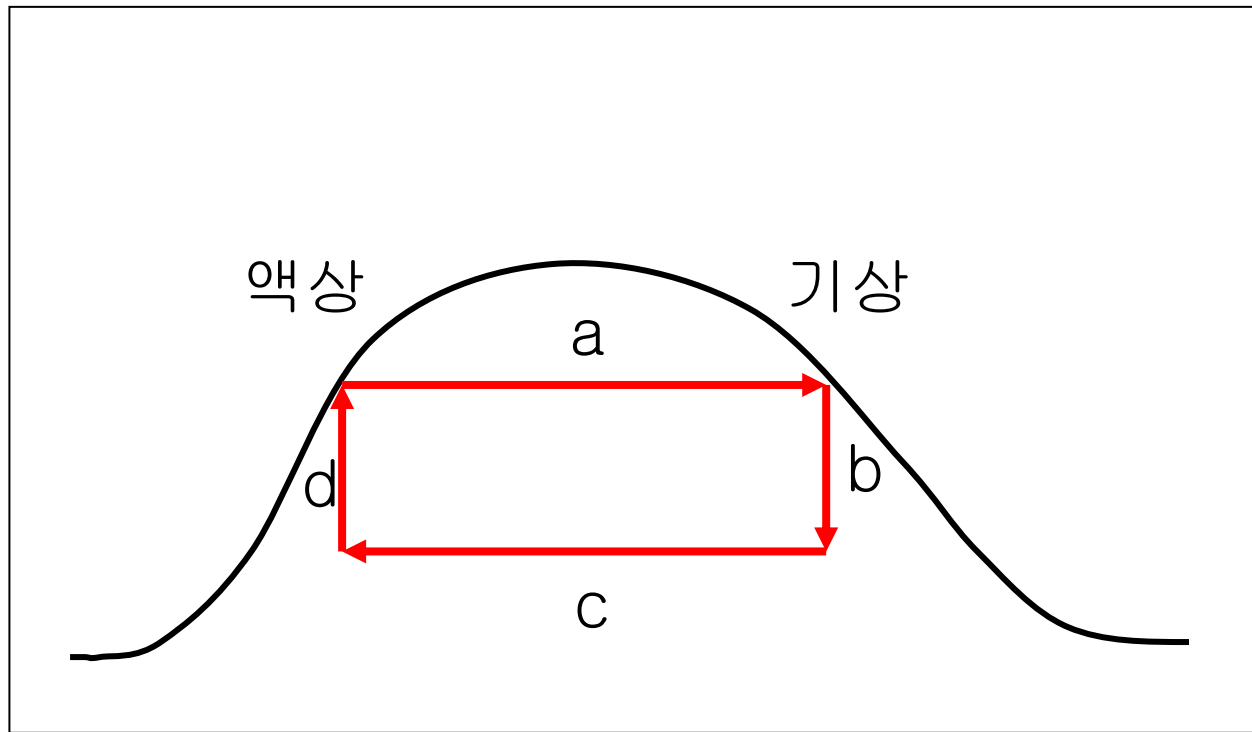
$$W = Q_1 - Q_2 = \int_{V_1}^{V_2} PdV - \int_{V_3}^{V_4} PdV$$

$$\text{열효율}(\eta) = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$



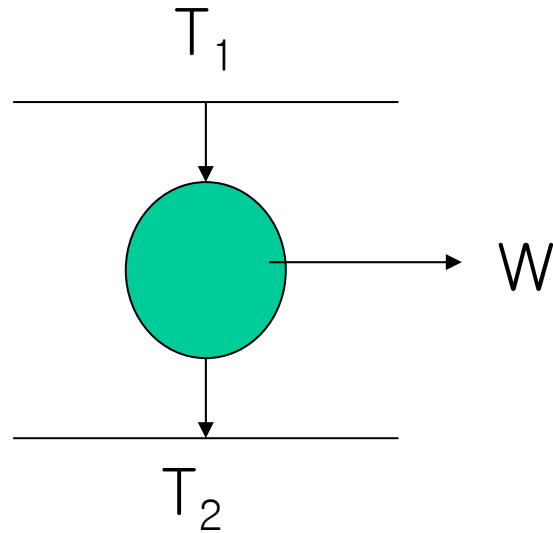
Carnot cycle 의 엔트로피 도표

온도, T



엔트로피, S

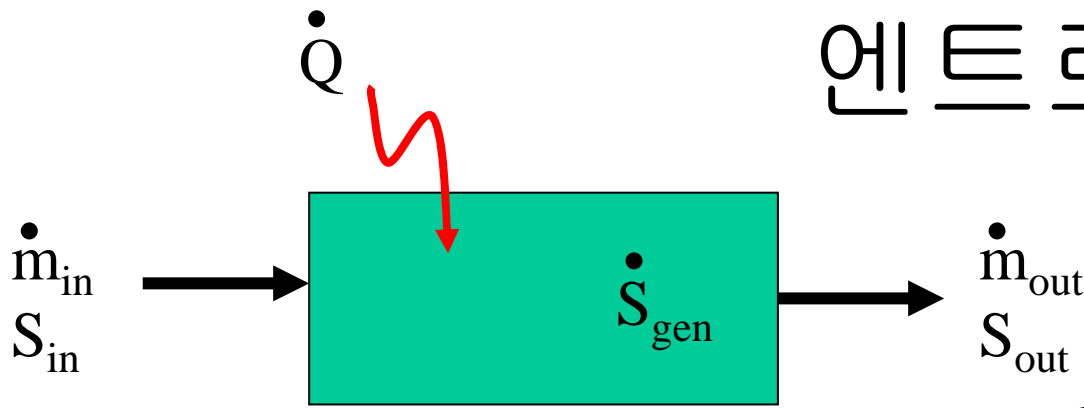
Carnot engine



예제: $T_1=600\text{K}$, $T_2=400\text{K}$
 $\eta = ?$

$$\text{열효율}(\eta) = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

엔트로피 수지



비가역과정에 의한
엔트로피 생성

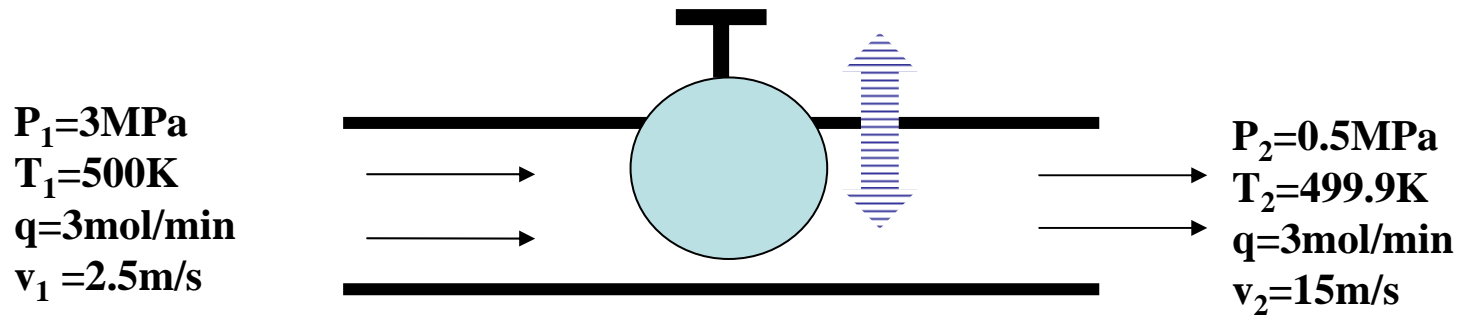
$$\frac{dS}{dt} = S_{in}\dot{m}_{in} - S_{out}\dot{m}_{out} + \frac{\dot{Q}}{T_{sys}} + \dot{S}_{gen}$$

$$0 = S_{in}\dot{m}_{in} - S_{out}\dot{m}_{out} + \frac{\dot{Q}}{T_{sys}} + \dot{S}_{gen}$$

$$\Delta\dot{S} = \frac{\dot{Q}}{T_{sys}} + \dot{S}_{gen}$$

연습문제 3.9 (138쪽)

문제: 이상기체 $M_w=28.8\text{g/mol}$, $C_p=7R/2$, $T_1=500\text{K}$, $P_1=3\text{MPa}$, $q=3\text{mol/min}$ 정상상태에서 밸브의 조름부분을 지나 $P_2=0.5\text{MPa}$ 로 되었을 때, 엔트로피 생성속도 ($\Delta\dot{S}$, $\frac{J}{K \cdot \text{min}}$) 는?



$$0 = S_1 \dot{m}_1 - S_2 \dot{m}_2 + \cancel{\frac{\dot{Q}}{T}} + \dot{S}_{gen}$$

$$\dot{S}_{gen} = \dot{m}(S_2 - S_1)$$

이 열린계의 엔트로피변화는 등온 감압 혹은 등온 팽창에 의한 엔트로피 증가로 간주할 수 있다.

연습문제 3.9 (138쪽)

$$\begin{aligned}\dot{S}_{gen} &= \dot{m}(S_2 - S_1) \\ &= -\dot{m} \left(\int \frac{V}{T} dP \right) \\ &= -\dot{m} \left(R \ln \frac{P_2}{P_1} \right)\end{aligned}$$

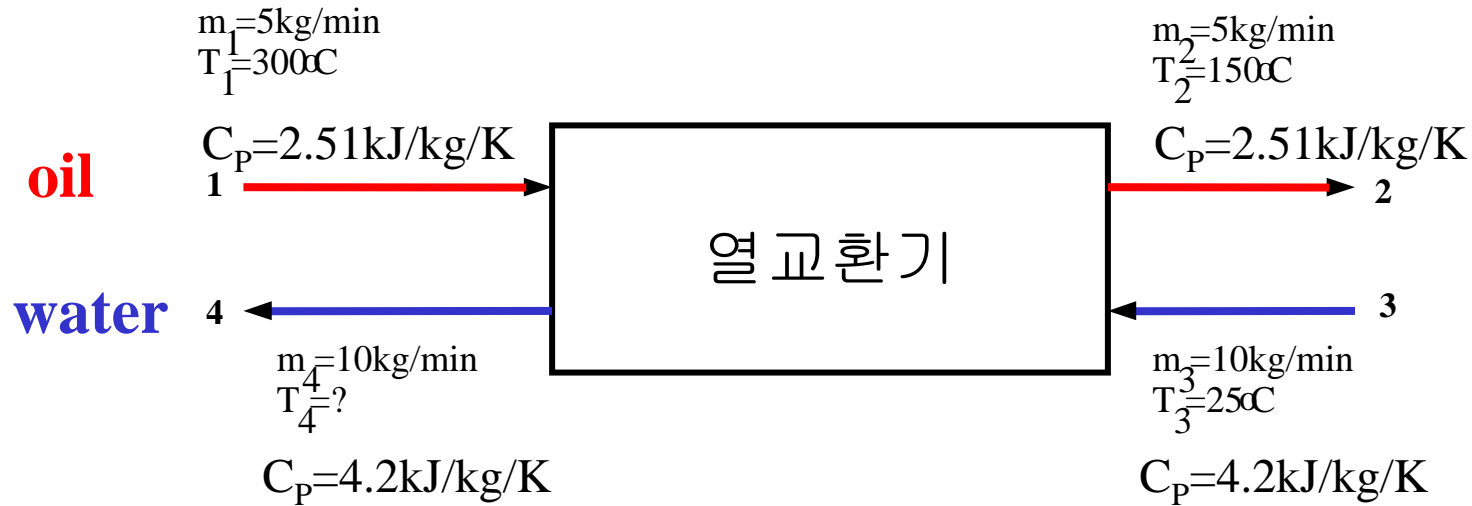
$$= -3 \frac{\text{mol}}{\text{min}} \cdot 8.314 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \ln \frac{0.5}{3} = 44.69 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{min}}$$

$$dU = dQ - PdV = 0$$

$$dQ = PdV = -VdP$$

$$dS = dQ/T = -V/T dP$$

예제 3.12 열교환기의 엔트로피1



a) 냉각수 유출온도는?

$$\Delta H_{oil} \dot{m}_{oil} + \Delta H_{water} \dot{m}_{water} = 0$$

$$5 \times 2.51 \times (T_2 - T_1) + 10 \times 4.2 \times (T_4 - T_3) = 0$$

$$T_4 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

예제 3.12 열교환기의 엔트로피2

$$0 = S_1 \dot{m}_1 - S_2 \dot{m}_2 + \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen}$$

$$\dot{m}(S_2 - S_1) = \frac{\dot{Q}}{T}$$

$$\dot{Q} = \Delta \dot{H} = \dot{m} \int C_p dT$$

$$\dot{m}(S_2 - S_1) = \dot{m} C_p \int \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

예제 3.12 열교환기의 엔트로피3

(b) 엔트로피 변화량?

- oil:

$$dS_{oil} = \frac{dQ}{T} = \frac{dH}{T} = \frac{C_p dT}{T}$$

$$\Delta S_{oil} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p dT}{T} \cong C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = 2.51 \times \ln \frac{423.15K}{573.15K} = -0.7616 kJ / kg / K$$

- water:

$$dS_{water} = \frac{dQ}{T} = \frac{dH}{T} = \frac{C_p dT}{T}$$

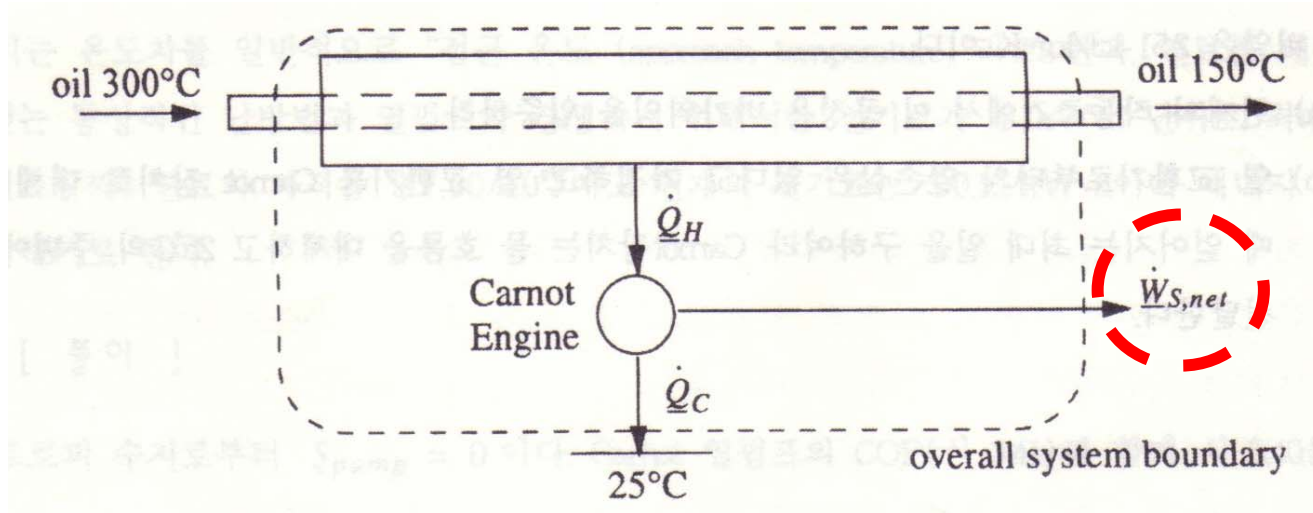
$$\Delta S_{water} = \int_{T_3}^{T_4} \frac{C_p dT}{T} \cong C_p \ln \frac{T_4}{T_3} = 4.2 \times \ln \frac{343.15K}{298.15K} = 0.5881 kJ / kg / K$$

- total enthalpy 변화속도:

$$\dot{\Delta S}_{total} = \dot{m}_{oil} \Delta S_{oil} + \dot{m}_{water} \Delta S_{water} = 5 \times (-0.762) + 10 \times 0.588 = 2.07 kJ / K / min$$

예제 3.12 열교환기의 엔트로피4

(c) Carnot 엔진으로 대체할 때 얻는 일은?



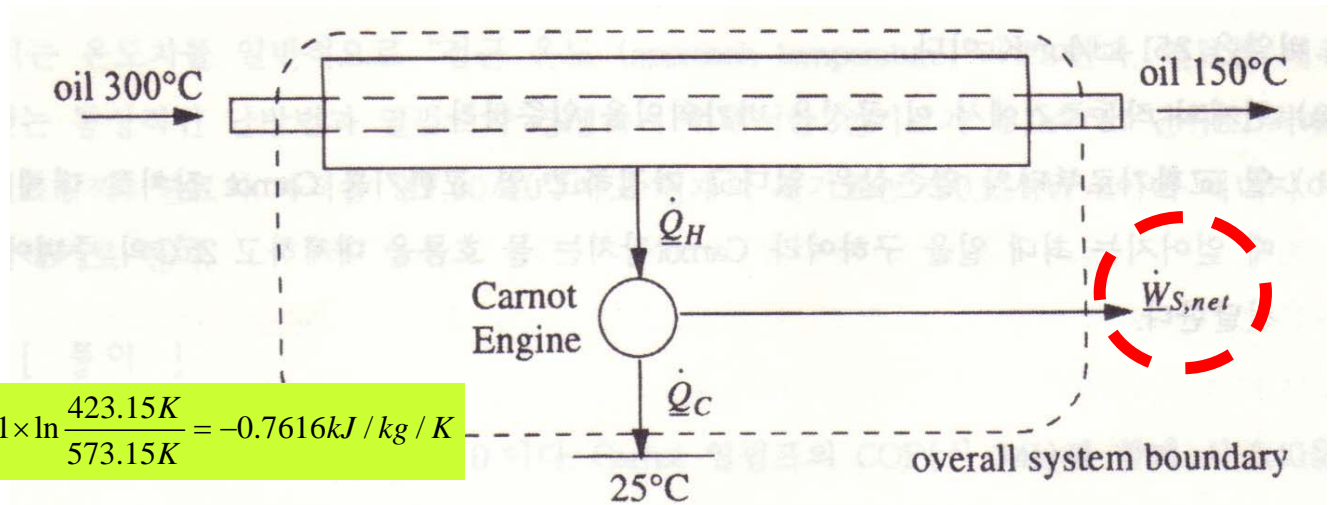
1) 카르노트 엔진 닫힌계 에너지 수지식

$$\dot{Q}_H - \dot{Q}_C - \dot{W}_s = 0 \Rightarrow \dot{Q}_H = \dot{m}_{oil} C_{P,oil} (T_2 - T_1)$$

2) 카르노트 엔진 닫힌계 엔트로피 수지식

$$\Delta \dot{S}_H - \frac{\dot{Q}_C}{T} = 0 \Rightarrow \Delta \dot{S}_H = \dot{m}_{oil} \cdot \Delta S_{oil}$$

예제 3.12 열교환기의 엔트로피5



$$\Delta S_{oil} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p dT}{T} \cong C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = 2.51 \times \ln \frac{423.15K}{573.15K} = -0.7616 kJ / kg / K$$

1) 카르노트 엔진 닫힌계 에너지 수지식

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_C + \dot{W}_s \Rightarrow \dot{Q}_H = \dot{m}_{oil} C_{P,oil} (T_2 - T_1) = 5 \cdot 2.52 \cdot (300 - 150)$$

$$1882.5 kJ / \text{min} = \dot{Q}_C + \dot{W}_s$$

2) 카르노트 엔진 닫힌계 엔트로피 수지식

$$\Delta \dot{S}_H - \frac{\dot{Q}_C}{T} = 0 \Rightarrow 0.7616 kJ / kg / K \cdot 5 kg / \text{min} = \frac{\dot{Q}_C}{298.15K}$$

$$\dot{Q}_C = 1135 kJ / \text{min}$$

과제 2 (3장)

- 3. 13: (a) and (b)

- 3. 28:

- (a) 물과 유기물의 흐름에 대한 각각의 에너지 수지식을 세우시오.
- (b) 이 열교환기 공정에 대한 엔트로피수지식을 세우시오. 그리고 생성되는 엔트로피는 없고, 정상상태로 가정하여 공급되는 열량을 계산하시오.
- (c) 이 열교환기 공정의 전체 에너지수지식을 세우고, 정상상태에서 외부로 나갈수 있는 최대 일을 계산하시오.
- (d) 유기물의 유량과 온도가 그대로 유지되고, 물의 유입온도와 유량도 그대로 유지된다. 하지만, 물의 유출온도는 모른다. 이공정에서 열전달이 없으며, 단지 가역과정으로 대체하면, 얻어지는 최대일은 얼마인가?
- (e) 가역과정에서 얻는 일의 양과 비가역과정에서 얻는 일을 비교하여 설명하시오.

