
Ch. 6 열역학 제2법칙의 공식화

- Contents

6.1 열역학적 온도

6.2 엔트로피

6.3 실제과정의 해석

6.4 생성엔트로피

6.1 열역학적 온도

1. Carnot 사이클의 열효율과 온도함수

① Carnot 사이클 A의 효율, $\eta_A = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = F(t_1, t_2)$

② Carnot 사이클 B의 효율, $\eta_B = 1 - \frac{Q_3}{Q_2} = F(t_2, t_3)$

③ Carnot 사이클 C의 효율, $\eta_C = 1 - \frac{Q_3}{Q_1} = F(t_1, t_3)$

2. 관계식

① Carnot 사이클 A와 B의 효율, $\frac{Q_2}{Q_1} \frac{Q_3}{Q_2} = \frac{Q_3}{Q_1} = f(t_1, t_2) \cdot f(t_2, t_3)$

② Carnot 사이클 C의 효율, $\frac{Q_3}{Q_1} = f(t_1, t_3)$

③ $f(t_1, t_3) = f(t_1, t_2) \cdot f(t_2, t_3)$
 $f(t_2, t_3) = \frac{f(t_1, t_3)}{f(t_1, t_2)}$

$$\frac{Q_3}{Q_2} = f(t_2, t_3) = \frac{\phi(t_3)}{\phi(t_2)}$$

3. 임의의 온도 t 와 기준온도 t_0 사이에서 작동하는 Carnot 사이클

① 효율, $\eta = 1 - \frac{Q_0}{Q} = F(t_0, t), \frac{Q_0}{Q} = \frac{\Phi(t_0)}{\Phi(t)}$

② Φ 는 임의의 온도 t 에 대한 임의의 함수, $T = C\Phi(t)$: 열역학적 온도

③ 열량과 열역학적 온도의 관계, $\frac{Q_0}{Q} = \frac{T_0}{T}, T = T_0 \frac{Q}{Q_0}$

④ 온도계로서의 Carnot 사이클

➤ 기준점, $T_0=273.16$ 으로 할 때

➤ $T = 273.16 \frac{Q}{Q_3}$

4. 이상기체를 매체로 하는 Carnot 사이클

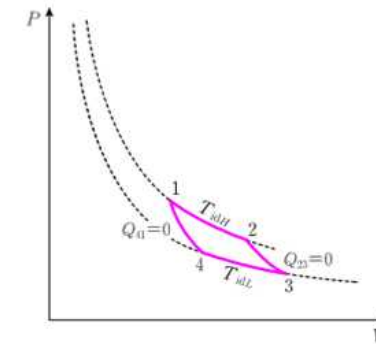
- ① 이상기체온도 T_{idH} 와 T_{idL} 사이에서 작동하는 Carnot 사이클

$$\text{과정 1-2: } q_H = \int_1^2 Pdv = RT_{idH} \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (1)$$

$$\text{과정 2-3: } T_{idH} v_2^{k-1} = T_{idL} v_3^{k-1} \quad (2)$$

$$\text{과정 3-4: } q_L = RT_{idL} \ln \frac{v_3}{v_4} \quad (3)$$

$$\text{과정 4-1: } T_{idH} v_1^{k-1} = T_{idL} v_4^{k-1} \quad (4)$$



- ② 식(2)와 식(4)로부터 $\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_3}{v_4}$

- ③ Carnot 사이클 효율, $\frac{q_L}{q_H} = \frac{T_{idL}}{T_{idH}}, \quad \eta_C = 1 - \frac{T_{idL}}{T_{idH}}$
-

6.2 엔트로피

1. 이상적인 과정으로 이루어진 Carnot 사이클의 열효율

$$\textcircled{1} \quad \eta_C = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}, \quad \frac{Q_H}{T_H} = \frac{Q_L}{T_L}, \quad \frac{Q_H}{T_H} + \frac{(-Q_L)}{T_L} = 0$$

② 이상적인 사이클을 사이여러 개의 미소한 n개의 사이클 합으로 해석할 경우

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_{Hi}}{T_{Hi}} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_{Li}}{T_{Li}} = 0$$

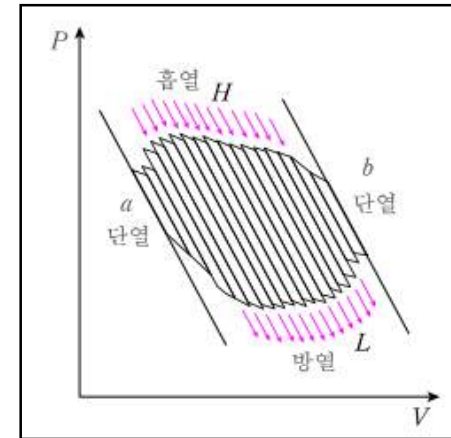
③ 미소사이클의 수 n을 무한히 많게 할 경우

$$\int_H \frac{\delta Q_H}{T_H} + \int_L \frac{\delta Q_L}{T_L} = 0, \quad \oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{id} = 0$$

2. 완전미분량, $\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{id} = 0 = \oint dS$

$$\textcircled{1} \quad dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{id}, \quad dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_R$$

$$\textcircled{2} \quad S_2 - S_1 = \int_1^2 dS = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{id}$$



6.3 실제과정의 해석

1. 이상적인 열기관과 실제열기관의 해석비교

$$\textcircled{1} \quad \eta_{\text{id}} = \frac{W_{\text{id}}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_{\text{idL}}}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H} > \eta_P = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$
$$Q_{\text{idL}} < Q_L$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{Q_H}{T_H} + \frac{(-Q_{\text{idL}})}{T_L} = 0, \quad \frac{Q_H}{T_H} + \frac{(-Q_L)}{T_L} < 0$$

③ 실제열기관에서 여러 개의 열원이 있는 경우

$$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} < 0, \quad \oint \frac{\delta Q}{T} < 0$$

④ Clausius 부등식 $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$

6.4 생성엔트로피

1. 실제과정과 이상과정으로 이루어진 사이클[실제과정(1-A-2)-이상과정(2-B-1)]

$$\textcircled{1} \quad \oint_{1A2B1} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1A}^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_P + \int_{2B}^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{id} \leq 0$$

$$\int_{1A}^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_P + \int_2^1 dS \leq 0$$

$$\textcircled{2} \quad \int_{1A}^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_P \leq \int_1^2 dS = S_2 - S_1$$

$$\textcircled{3} \quad dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

$$\textcircled{4} \quad dS = \frac{\delta Q}{T} + \delta \theta \quad (\delta \theta \geq 0)$$
$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \theta \quad (\theta \geq 0)$$

, 여기서 $\delta \theta$ 와 θ 는 생성엔트로피임.
