
Ch. 4 열역학 제1법칙의 공식화

- Contents

- 4.1 열역학 제1법칙의 공식화

4.1 밀폐시스템에서 에너지 보존

● 열역학시스템의 상태변화는 항상 단열과정만으로 이루어지지 않으므로 단열과정과 단열과정이 아닌 경우에 시스템의 에너지관계식이 달라진다.

▶ 단열과정의 시스템 에너지 식

$$U_2 - U_1 + W_{ad12} = 0$$

▶ 단열과정이 아닌 경우의 시스템 에너지

$$Q_{12} = U_2 - U_1 + W_{12}$$

Q_{12} : 상태 1과 2사이에서 시스템으로 전달된 열

▶ 열의 부호는 시스템의 에너지가 증가할 때의 열전달량을 “+”로 정한다.

▶ 일과 열은 불완전 미분량이므로 미소한 상태변화과정에 대해

$$\delta Q = dU + \delta W$$

▶ 시스템의 운동에너지와 위치에너지를 포함해야 하는 경우 시스템 에너지 식

$$Q_{12} = E_2 - E_1 + W_{12}$$

$$\delta Q = dE + \delta W$$

● 시스템의 에너지관계식의 해석

$$\delta Q = dU + \delta W$$

- 1) 열을 정량적으로 정의하고 에너지보존을 의미
- 2) dU : 상태만의 함수, $\delta Q, \delta W$: 과정에 따라 값이 달라지는 불완전미분함수
두 상태 1-2 사이의 열량 표시: Q_{12} (O), $Q_2 - Q_1$ (X)

- 3) 시스템이 사이클과정을 수행하는 경우

$$\oint \delta Q = \oint dU + \oint \delta W$$

$$\oint dU = 0 \text{ 이므로}$$

$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

- 한 사이클 동안 시스템으로 주어진 순열은 시스템이 행한 순일의 양과 같다.

- 4) 열기관에서의 에너지 식

$$Q_H - Q_L = W_{net}, \quad \eta = \frac{W_{net}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

- 내부에너지

- $u = u(T, v), u = u(T, P)$ 또는 $u = u(P, v)$

- $du = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v dT + \left. \frac{\partial u}{\partial v} \right|_T dv$ $u_2 - u_1 = \int_1^2 \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v dT + \int_1^2 \left. \frac{\partial u}{\partial v} \right|_T dv$

- 이상기체의 경우 내부에너지가 온도만의 함수로 알려져 있다.

$$du = \frac{du}{dT} dT = C_v(T) dT$$

- 습증기의 내부에너지

- $u = (1-x)u_L + xu_V = u_L + xu_{L,V}$
 $= u_V - (1-x)u_{L,V}$

● 에너지식의 변환

1) 밀폐시스템의 에너지보존식

$$\delta q = du + Pdv$$

$$dh = du + d(Pv) = du + Pdv + vdP$$

$$\delta q = dh - vdP$$

2) 정압비열:

$$C_p = \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right)_P$$

3) 습증기의 엔탈피

$$\begin{aligned} h &= (1-x)h_L + xh_V = h_L + xh_{LV} \\ &= h_V - (1-x)h_{LV} \end{aligned}$$

- 이상기체의 내부에너지와 비열

1) 이상기체의 내부에너지는 온도만의 함수이므로

$$h = u(T) + Pv = u(T) + RT$$

2) 정적비열과 정압비열:

$$C_v = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v = \frac{du}{dT}$$

$$C_p = \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_p = \frac{dh}{dT}$$

$$\frac{dh}{dT} - \frac{du}{dT} = C_p - C_v = R$$

➤ 비열비: $k = C_p / C_v$

$$C_v = \frac{1}{k-1} R, \quad C_p = \frac{k}{k-1} R$$

3) 이상기체의 내부에너지와 엔탈피

$$u = \int_{T_o}^T C_v dT + u_o$$

$$h = \int_{T_o}^T C_p dT + h_o$$

$$h_o = u_o + P_o v_o = u_o + RT_o$$

● 단열과정 (adiabatic process)

- 1) 시스템에 일의 교환만이 있는 과정
- 2) 체적의 팽창과 압축만을 고려하는 단순시스템

$$\delta Q = dU + PdV = 0$$

$$dU = \left. \frac{\partial U}{\partial T} \right|_V dT + \left. \frac{\partial U}{\partial V} \right|_T dV$$

- 3) 단위질량의 시스템인 경우

$$\begin{aligned} du &= C_v dT \\ P &= RT/v \end{aligned}$$

$$C_v dT + \frac{RT}{v} dv = 0$$

$$C_v = \frac{1}{k-1} R, \quad C_p = \frac{k}{k-1} R \quad k = C_p / C_v$$

$$\begin{aligned} Pv^k &= C_2 \quad \text{또는} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k \\ TP^{-(k-1)/k} &= C_3 \quad \text{또는} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} \end{aligned}$$

- 폴리트로프 과정 (polytropic process)

- 1) 많은 실제과정에서 압력과 체적의 관계를 “ $PV^n = \text{일정}$ ”으로 표시할 수 있는 과정
- 2) 이상적인 폴리트로프 과정에서의 일

$$\begin{aligned} W_{12} &= \int_1^2 PdV = m \int_1^2 Pdv \\ &= mP_1 v_1^n \int_1^2 \frac{dv}{v^n} = \frac{mP_1 v_1^n (v_2^{1-n} - v_1^{1-n})}{1-n} \\ &= \frac{m(P_2 v_2 - P_1 v_1)}{1-n} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} \end{aligned}$$

- 3) 관계식

$$\begin{aligned} Pv^n &= C_1 && \text{또는 } P_2/P_1 = (v_1/v_2)^n \\ Tv^{n-1} &= C_2 && \text{또는 } T_2/T_1 = (v_2/v_1)^{1-n} \\ TP^{-(n-1)/n} &= C_3 && \text{또는 } T_2/T_1 = (P_2/P_1)^{(n-1)/n} \end{aligned}$$

