

제 2 장 열역학 제 1법칙

2-1 열역학 제 1 법칙(the first law of thermodynamics)

열역학의 기초 법칙으로써 에너지 보존의 원리(principle of conservation of energy)가 성립함을 나타낸 것으로 열은 에너지의 한 형태로서 열과 일은 서로 변환할 수 있다. 즉 열과 일 사이에 일정한 비례관계가 있다.

◎ Joule의 실험(1848년)

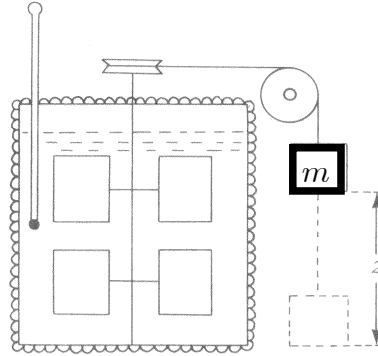


그림 2-1 줄의 실험장치

추가 낙하하면서하는 일 W 와 교반에 의하여 생기는 열량 Q

$$\begin{aligned} W &= mgz \\ Q &= m_w C \Delta T \end{aligned} \quad (2-1)$$

Joule은 실험을 통하여 다음 관계식이 성립되고 열의 일당량을 구하였다.

$$\begin{aligned} Q &= [kcal] \\ W &= [kg_fm] \end{aligned} \quad (2-2)$$

A : 일의 열당량(thermal equivalent of work)

$$A = \frac{1}{426.79} \text{ kcal/kg_fm} \doteq \frac{1}{427} \text{ kcal/kg_fm}$$

J : 열의 일당량(mechanical equivalent of heat)

$$J = 426.79 \text{ kg_fm/kcal} \doteq 427 \text{ kg_fm/kcal} \doteq 4.186 \text{ kJ/kcal}$$

SI단위에서는 일과 열의 단위가 동일한 단위 주울[J]을 사용함으로 $A = J = 1$ 이다.

$$Q = [kJ]$$

◎ (perpetual motion machine of first kind)

외부로부터 에너지를 받지 않고 계속해서 일을 발생시키는 기계를 말하며, 제작이 불가능하다. 즉, 열역학 제1법칙을 위배하므로 실현불가능 하다.

2-2 내부에너지 (internal energy) : U

물체가 갖는 역학적에너지와 무관하게 압력과 온도 등에 의해 그 자신의 내부에 보유하는 에너지.
계의 에너지 = 내부에너지 + 역학적에너지 (운동에너지+ 위치에너지)

비내부에너지(specific internal energy) : u

단위 질량당 내부에너지

$$u = \frac{U}{m} [kJ] \quad (2-3)$$

2-3 엔탈피(enthalpy) 또는 열역학적 포텐셜(thermodynamic potential) : H

정상유동상태(어느 한 점에서 시간에 관계없이 물리량 즉 온도, 압력, 속도등이 일정한 유동)의 유체가 갖는 에너지.

엔탈피 = 내부에너지 + 유동일(flow work)

$$H = \quad + \quad [kJ] \quad (2-4)$$

비엔탈피(specific enthalpy) : h

단위 질량당 엔탈피

$$h = \frac{H}{m} = u + pv [kJ/kg] \quad (2-5)$$

2-4 에너지 식

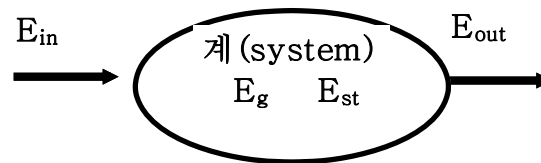


그림 2-2 에너지 식

$$\dot{E}_{in} (+ \dot{E}_g) = \dot{E}_{out} + \dot{E}_{st} \quad (2-6)$$

◎ 일과 열의 부호

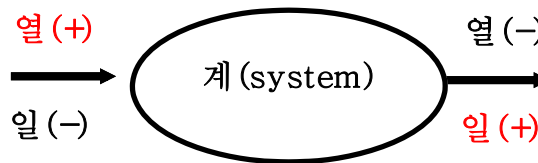
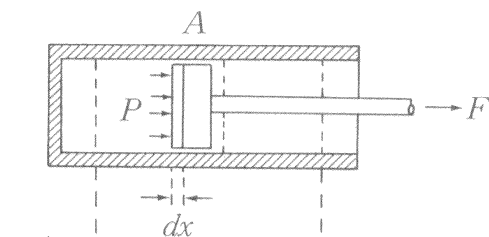


그림 2-3 일과 열의 부호

(1) 밀폐계 또는 폐쇄계 : 비유동과정

$$dq = du + dw \quad (2-7)$$

$$dw = pA dx = pdv \quad \text{이므로}$$



$$\begin{aligned} dq &= \quad + \\ &= \quad + \\ q &= \int_1^2 du + \int_1^2 Pdv = (u_2 - u_1) + \int_1^2 Pdv [kJ/kg] \end{aligned} \quad (2-8)$$

이를 열역학 제 1 기초식이라 하며, 이때의 일을 절대일 W 이라 한다.

(2) 개방계 : 유동과정

가정 : 관로의 한 점에서 흐름의 상태가 시간에 관계없이 일정한 정상유동과정.

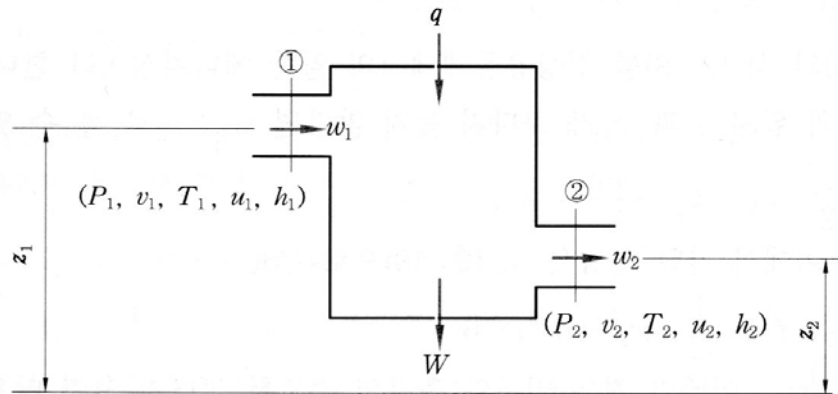


그림 2-4 유동계

유체가 계를 통과할 때 관련 에너지 형태

운동에너지: $\frac{\omega^2}{2}$, 위치에너지: gz , 내부에너지: u , 유동에너지: pv ,

$$\text{유입에너지} : e_1 = u_1 + p_1 v_1 + \frac{\omega_1^2}{2} + gz_1 \quad (2-9)$$

$$\text{유출에너지} : e_2 = u_2 + p_2 v_2 + \frac{\omega_2^2}{2} + gz_2 \quad (2-10)$$

따라서 에너지 보존법칙에 의해

$$e_1 + q = e_2 + w_t \text{ 이므로} \quad (2-11)$$

$$\begin{aligned} & + \quad + \quad + \frac{\omega_1^2}{2} + gz_1 + q \\ = & + \quad + \quad + \frac{\omega_2^2}{2} + gz_2 + w_t \end{aligned}$$

중력단위는

$$\begin{aligned} & u_1 + A p_1 v_1 + A \frac{\omega_1^2}{2g} + A z_1 + q \\ = & u_2 + A p_2 v_2 + A \frac{\omega_2^2}{2g} + A z_2 + A w_t \end{aligned} \quad (2-12)$$

또한, $h = u + pv$ 이므로

$$\begin{aligned} & + \quad + \quad + q = \quad + \quad + \quad + w_t \end{aligned} \quad (2-13)$$

윗 식을 정상유동의 일반 에너지 방정식이라 한다.

① 내부 에너지 무시: 베르누이 방정식(Bernoulli equation)

② 역학적 에너지 무시:

$$q = (h_2 - h_1) + w_t = (h_2 - h_1) - \int_1^2 v dp \quad (2-14)$$

$$\text{③ 단열유동}(q=0): w_t = -(h_2 - h_1) = h_1 - h_2 \quad (2-15)$$

◎ 단면 ①②가 매우 작다고 하면 엔탈피 정의에 의해

$$\begin{aligned} dh &= du + d(pv) = du + pdv + vdp \\ &= dq + vdp \end{aligned}$$

$$\therefore dq = dh - vdp$$

(2-16)

이는 식 (2-14)와 같게 된다. 즉

$$\begin{aligned} dq &= \quad + \\ &= \quad - \\ q &= \int_1^2 dh - \int_1^2 vdp = (h_2 - h_1) - \int_1^2 vdp \quad [\text{kJ/kg}] \end{aligned}$$

(2-17)

이를 열역학 제 2 기초식이라 하며 일을 공업일 W_t 이라 한다.

2-5 절대일과 공업일

pV 선도(pV diagram) 또는 인디케이터 선도(indicator diagram) : 일정량의 가스에 대하여 압력 p 와 체적 V 를 양 축에 취하여 상태변화를 표시한 선도로써 면적은 일량을 나타냄

(1) **절대일(absolute work) 또는 팽창일(expansion work)** : W
밀폐계가 하는 일.

$$dw = Fdx = pA dx = pdv \quad (2-18)$$

$$dW = Fdx = pA dx = p dV$$

$$w_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 pdv \quad (\text{면적 } 1-2-V_1-1) \quad (2-19)$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 p dV \quad (\text{면적 } 1-2-V_1-1)$$

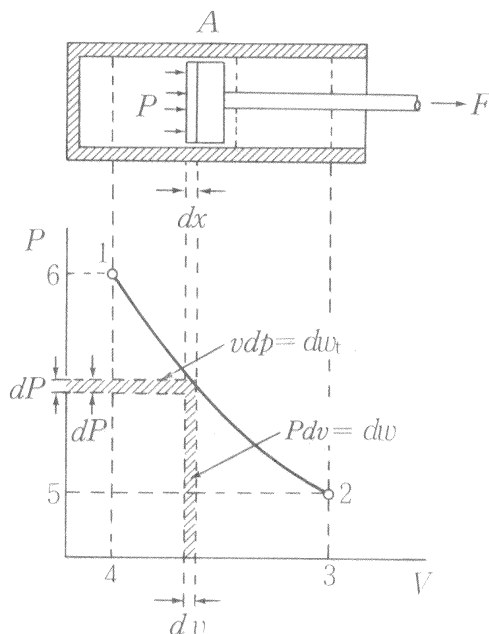


그림 2-5 pV 선도

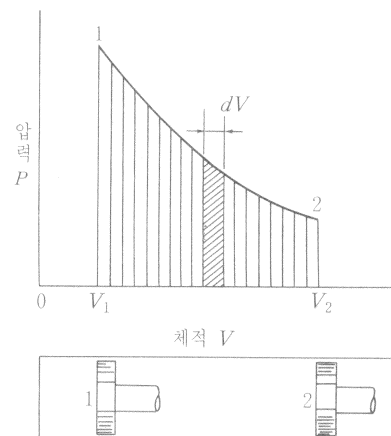


그림 2-6 절대일

(2) 공업일(technical work) 또는 압축일(compression work) : W_t

개방계가 하는 일

(예) 압축공기기관에서 압축공기가 하는 일

0→1 : 정압과정(팽창) $W_{0 \rightarrow 1} = P_1 V_1$: 면적($P_1 V_1$)

1→2 : 팽창과정 $W_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 P dV$: 면적($\int_1^2 P dV$)

2→0 : 정압과정(압축) $W_{2 \rightarrow 0} = P_2 V_2$: 면적($P_2 V_2$)

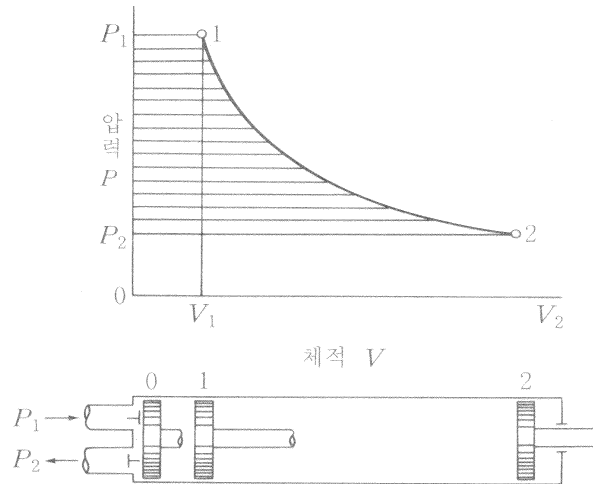


그림 2-7 공업일

따라서 공기가 외부에 대하여 한 일량

$$W_{0 \rightarrow 1} + W_{1 \rightarrow 2} - W_{2 \rightarrow 0} \\ = \text{면적}(P_1 V_1) + \text{면적}(\int_1^2 P dV) - \text{면적}(P_2 V_2)$$

$$\text{즉, } W_t = - \int_1^2 V dP = \int_2^1 V dP \quad (2-20)$$