บทที่7

กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบปิด
The first Law of Thermodynamics for Closed System

7.1 กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ หลักการคงตัวของพลังงาน(Conservation of Energy)

“พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปหรือถูกถ่ายโอนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ หรือทำลายให้สูญสลายได้ ”

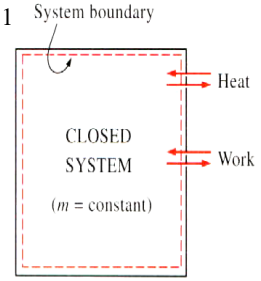
สำหรับระบบปิดที่มีมวลคงที่ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

(พลังงานที่เข้าสู่ระบบ) – (พลังงานที่ออกจากระบบ) = (พลังงานรวมในระบบที่เปลี่ยนไป) .....(7.1.1)

จากสมการ (7.1.1) พลังงานรวมในระบบประกอบขึ้นจาก

- microscopic form คือพลังงานภายใน
- macroscopic form ซึ่งได้แก่ พลังงานศักย์และพลังงานจลน์

ส่วนพลังงานที่ถ่ายโอนเข้า-ออกจากระบบของระบบปิดมีได้ 2 รูป คือ ความร้อน (heat) และงาน(work) ดังแสดงในรูป 7.1



รูปที่ 7.1แสดงการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างระบบปิดกับสิ่งแวดล้อม

กฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์ สำหรับระบบปิดสามารถเขียนได้เป็น

$$Q - W = \Delta E = E_2 - E_1 \quad (kJ) \qquad \text{.....(7.1.2)}$$

โดยที่

Q=ความร้อนสุทธิที่ผ่านเข้าออกขอบเขตของระบบ=$\sum Q_{in}-\sum Q_{out}$

W=งานสุทธิที่เกิดขึ้นทุกรูปแบบ=$\sum W_{out}-\sum W_{in}$

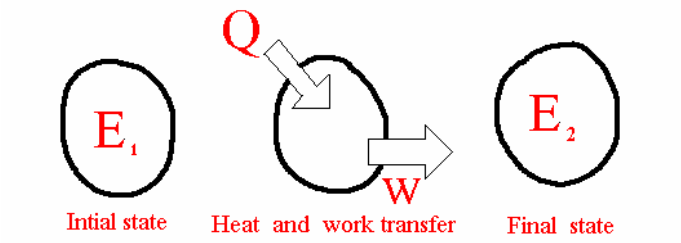
ΔE=การเปลี่ยนแปลงพลังงานรวมของระบบ=E_2-E_1

ในที่นี้ $$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \qquad \text{.....(7.1.3)}$$

ΔU=การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของระบบ = $\mathbf{m(u_2-u_1)}$

ΔKE=การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของระบบ = $\mathbf{m\,(v_2^2-v_1^2)/2}$

Δ PE=การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ของระบบ = $\mathbf{mg(z_2-z_1)}$



รูปที่ 7.2 การแลกเปลี่ยนงานและความร้อนระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อมทำให้พลังงานรวมของระบบเปลี่ยนไป

ดังนั้นจากสมการที่ (7.1.2) และ (7.1.3) จะได้

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \qquad \text{.....(7.1.4)}$$

สามารถเขียนกฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์ สำหรับระบบปิดให้อยู่ในรูปสมการต่อหน่วยมวลได้เป็น

$$q - w = \Delta u + \Delta ke + \Delta pe \ldots\ldots (kJ/kg) \qquad \text{.....(7.1.5)}$$

เนื่องจากมีการพิจารณางานเป็น 2 ลักษณะ คืองานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของระบบกับงานอื่นๆ ที่นอกเหนือจากงานแบบแรก ดังนั้นจะได้

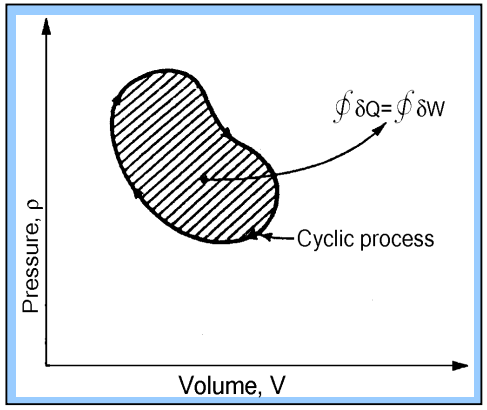
$$W = W_b + W_{other} \qquad \text{.....(7.1.6)}$$

เมื่อแทนงานดังกล่าวในสมการข้อที่หนึ่งฯ จะได้

$$Q - (W_b + W_{other}) = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \qquad \text{.....(7.1.7)}$$

7.2 กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์กับระบบที่ทำงานเป็นวัฏจักร

ระบบประกอบไปด้วยกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์หลายๆกระบวนการ โดยผลสุดท้ายจะกลับมาที่สภาวะเริ่มต้นอีกครั้งทำให้ระดับพลังงานของระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสภาวะของระบบ

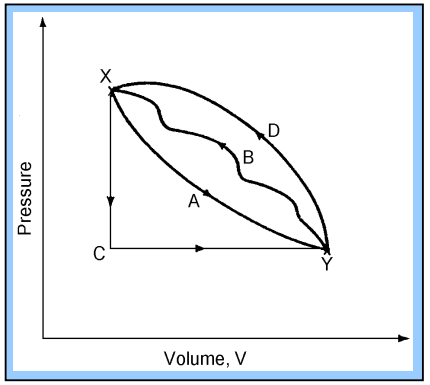


รูปที่ 7.3 P-V diagram ของระบบที่ทำงานเป็นวัฏจักร

$$\oint \delta Q = \oint \delta w \qquad \text{.....(7.2.1)}$$

7.3 พลังงานภายใน (Internal Energy) กับกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบปิด

พลังงานภายในของระบบหรือวัตถุเป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัตถุและขึ้นอยู่กับสภาวะของระบบ



รูปที่ 7.4 P-V diagram ของระบบปิดที่ทำงานเป็นวัฏจักร

พิจารณาระบบที่ความเร็วมีค่าน้อยมาก และมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงน้อยจนไม่ต้องนำมาพิจารณา

Path X-A-Y

$$Q_A = \oint_{XAY} \delta Q \qquad W_A = \oint_{XAY} \delta W$$

Path Y-B-X

$$Q_B = \oint_{YBX} \delta Q \qquad W_B = \oint_{YBX} \delta W$$

$$\oint \delta Q = \oint \delta W \qquad \text{.....(7.3.1)}$$

$$Q_A + Q_B = W_A + W_B$$

$$Q_A - W_A = W_B - Q_B$$

$$\oint_{XAY} \delta Q - \oint_{XAY} \delta W = \oint_{YBX} \delta W - \oint_{YBX} \delta Q$$

$$\oint_{XAY} (\delta Q - \delta W) = \oint_{YBX} (\delta W - \delta Q)$$

$$\oint_{XAY} (\delta Q - \delta W) = \oint_{XBY} (\delta Q - \delta W)$$

$$\int_1^2 (\delta Q - \delta W) = \int_1^2 dU$$

$$(\delta Q - \delta W) = dU$$

$$Q_{12} - W_{12} = \Delta U = U_2 - U_1 \qquad \text{.....(7.3.2)}$$

สมการกฎข้อที่ 1 สำหรับระบบปิด ที่ไม่คิดค่าการเปลี่ยนแปลงพ.จลน์ และ พ.ศักย์

7.4 เอนธาลปีกับกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบปิด

$$\mathbf{H = U + PV.....(kJ)} \qquad \text{.....(7.4.1)}$$

เอนธาลปีเป็นคุณสมบัติอิงมวล และมีเอนธาลปีจำเพาะเป็น

$$\mathbf{h = u + Pv.....(kJ/kg)} \qquad \text{.....(7.4.2)}$$

พิจารณาระบบปิดที่มีกระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบความดันคงที่ โดยการสมดุลเป็นช่วง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ สมการคือ

$$W_{12} = \int_1^2 PdV = P(V_2 - V_1) = P_2V_2 - P_1V_1$$

$$Q_{12} = U_2 - U_1 + W_{12} = U_2 - U_1 + P_2V_2 - P_1V_1$$

$$= (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1) = H_2 - H_1 = \Delta H$$

$$Q_{12} = \Delta H \qquad \text{.....(7.4.3)}$$

สำหรับกระบวนการความดันคงที่ของระบบปิด

7.5 ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) กับกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบปิด

ความร้อนจำเพาะของสารที่มีปริมาตรคงที่ $C_v = \left[\frac{\partial u}{\partial T}\right]_v$ .....(7.5.1)

ความร้อนจำเพาะของสารที่มีความดันคงที่ $C_P = \left[\frac{\partial h}{\partial T}\right]_P$ .....(7.5.2)

7.5.1 ระบบปิดที่มีกระบวนการปริมาตรคงที่

.....(7.5.3)

$$\delta q - \delta w = du$$
$$\because \delta w = P\,dv^{0} = 0$$
$$\delta q = du = C_v dT$$
$$q_{12} = \Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 C_v dT$$
$$q_{12} = \Delta u \cong C_{v,av}(T_2 - T_1)$$

.....(7.5.4)

$C_{v,av}$ = ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของสารที่ปริมาตรคงที่ (ใช้ค่าที่อุณหภูมิเฉลี่ย)

$$C_{v,av} = C_{v_{@\frac{(T1+T2)}{2}}}$$

7.5.2 ระบบปิดที่มีกระบวนการความดันคงที่

$$h = u + Pv$$
$$dh = d(u+Pv) = du + Pdv + v\,dP^{0}$$
$$dh = du + Pdv = du + \delta w = \delta q$$
$$\therefore \delta q = dh = C_P dT$$
$$q_{12} = \int_1^2 C_P dT \cong C_{P,av}(T_2 - T_1)$$

.....(7.5.5)

$C_{P,av}$ = ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของสารที่ความดันคงที่ (ใช้ค่าที่อุณหภูมิเฉลี่ย)

$$C_{P,av} = C_{P_{@\frac{(T1+T2)}{2}}}$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง C_P และ C_v ของแก๊สจินตภาพ

$$Pv = RT \quad \text{.....(7.5.6)}$$
$$h = u + \boxed{Pv} = u + \boxed{RT}$$
$$dh = d(u+RT) = du + RdT$$
$$C_P dT = C_v dT + RdT$$

Note : ผลต่างของความร้อนจำเพาะทั้งสองเป็นค่าคงที่ และค่า C_P จะมีค่ามากกว่า C_v เสมอ เพราะค่า R เป็นค่าคงที่และเป็นบวกเสมอ

$$C_P - C_v = R \quad \text{.....(7.5.7)}$$

7.6 กระบวนการไม่ส่งผ่านความร้อนของแก๊สจินตภาพ (Isentropic Process of Ideal Gas)

สำหรับระบบปิดที่สารในระบบเป็นแก๊สจินตภาพ ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะผ่านกระบวนการไม่ส่งผ่านความร้อน $(\delta q=0)$

$$\delta q-\delta w=du \quad \text{.....(7.6.1)}$$

$$\cancel{\delta q}^{0}-\delta w=du$$

$$\delta w=-du$$

$$Pdv=-C_v dT$$

$$\frac{RT}{v}dv=-C_v dT$$

$$\frac{dv}{v}=-\frac{C_v}{RT}dT$$

$$\ln v=-\left[\frac{C_v}{R}\right]\ln T+\ln C$$

$$C=vT^{\left(\frac{C_v}{R}\right)}$$

$$\because C_P-C_v=R \quad \text{.....(7.6.2)}$$

เอา C_v หารตลอด; $\left[\frac{C_P}{C_v}\right]-1=\frac{R}{C_v}$

$$\left[\frac{C_P}{C_v}\right]=k \text{ ; (Isentropic Index)} \quad \text{.....(7.6.3)}$$

$$k-1=\frac{R}{C_v}$$

$$C=vT^{\left(\frac{C_v}{R}\right)}=vT^{\left(\frac{1}{k-1}\right)}$$

$$Tv^{(k-1)}=C \text{ ; } TV^{(k-1)}=C$$

$$Pv^k=C \text{ ; } PV^k=C \quad \text{.....(7.6.4)}$$

สมการที่ (7.6.4) คือสมการความสัมพันธ์ของคุณสมบัติเฉพาะกรณีที่สารในระบบปิดเป็นแก๊สจินตภาพ ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะผ่านกระบวนการไม่ส่งผ่านความร้อน

7.7 กฎข้อที่1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ในรูปสมการเชิงอัตรา

ส่วนสมการกฎข้อที่หนึ่งฯ ที่อยู่ในรูปอัตราการถ่ายโอนพลังงานสามารถหาได้โดยการหารสมการที่ (7.1.2)ด้วยช่วงเวลา (Δt) และเมื่อกำหนด $\Delta t \quad 0$ จะได้

$$\dot{Q}-\dot{W}=\frac{dE}{dT} \quad \text{.....(7.7.1)}$$

$\dot{W}$ อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานรวมของระบบ

$\dot{W}$ กำลัง

$\dot{Q}$ อัตราการถ่ายโอนความร้อน

ถ้าไม่คิดการเปลี่ยนแปลงของพ.จลน์และพ.ศักย์จะได้ดังสมการที่ 7.7.2

$$\dot{Q}-\dot{W}=\frac{dU}{dT}.....(kW) \quad \text{.....(7.7.2)}$$