

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ขอบเขตของเทอร์โมไดนามิกส์ (The Scope of Thermodynamics)

Thermodynamics หมายถึง เรื่องที่เกี่ยวกับพลังงานความร้อน หรือพลังงานที่พัฒนามาจากความร้อน ซึ่งเป็นความหมายเริ่มแรกที่ได้มาจากการวิเคราะห์เครื่องจักรไอน้ำ

ในแง่วิทยาศาสตร์ปัจจุบัน Thermodynamics จะเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูป (transformation) ของพลังงานทุกชนิดจากรูปหนึ่งไปเป็นรูปอื่น

วิชานี้จะเกี่ยวข้องกับสาขาวิศวกรรมเคมีในแง่ของการหา heat และ work ที่ต้องใช้ในกระบวนการทางกายภาพ (physical processes) และกระบวนการทางเคมี (chemical processes) และการหาเงื่อนไขภาวะสมดุลย์ (equilibrium conditions) สำหรับ chemical reaction และการถ่ายเทมวลเคมีระหว่าง phases แต่อย่างไรก็ตาม Thermodynamics ไม่สามารถทำให้เราคำนวณอัตรา (rates) ของขบวนการทางกายภาพหรือเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการจริงได้

1.2 มิติและหน่วย (Dimensions and Units)

หน่วยในที่นี้จะกล่าวถึงระบบ 2 ระบบ ซึ่งปัจจุบันยังนิยมใช้อยู่คือ

1. International System of Units (หรือ SI ซึ่งย่อจาก System International)
2. English engineering System (หรือย่อว่า FPS)

หน่วยต่างๆ ที่จำเป็นในการเรียนเนื้อหาวิชานี้ สรุปในตารางดังต่อไปนี้

	SI	FPS
1. Mass	kg mole (=g-mole)	lb lb-mole
2. length	m	ft
3. time	s	s
4. Pressure	Pa (= N/m ²) 1 bar = 1x10 ⁵ Pa 1 atm = 1.0132x10 ⁵ Pa	psi (= lb _f /in ²)
5. Force	N (= kg-m/s ²)	lb _f $\left(= 32.174 \frac{\text{lb} - \text{ft}}{\text{s}^2}\right)$
6. Temperature	°C, K	°F, R
7. Power	watt (= J/s)	ft-lb _f /s (1 hp = 550 ft-lb _f /s)

	SI	FPS
8. g (acceleration of gravity)	9.81 m/s^2	32.174 ft/s^2
9. g_c (Newton's law proportionality factor)	$1 \frac{\text{m.kg}}{(\text{N.s}^2)}$	$\frac{\text{ft} - \text{lb}}{\text{lb}_f . \text{s}^2}$
10. Work, energy	$\text{J} (= \text{N.m})$	ft-lb_f
11. Heat	J	Btu.

โดยที่ g_c จะเป็น factor ที่ใช้เปลี่ยนจาก lb_f เป็น lb-ft/s^2 หรือจาก lb-ft/s^2 เป็น lb_f หรือ
ใช้เปลี่ยน mass ให้เป็น force (N, lb_f) หรือ force เป็น mass นั้นเอง
 g ใช้เพื่อเปลี่ยนหน่วยน้ำหนักเป็นแรง เช่น kg เป็น N (จากสูตร $F = mg$)

1.3 แรง (Force)

จาก Newton's second law นิยามว่า

$$F = m \frac{g}{g_c}$$

เมื่อ g = local acceleration of gravity

g_c = Newton's law proportional factor

ปกติแล้วคำว่า weight กับ force จะหมายถึงอันเดียวกัน แต่ในการชั่งน้ำหนักทั่วๆ ไป
มักจะใช้หน่วย mass แทน weight

ตัวอย่างที่ 1.1 นักอวกาศชั่งน้ำหนักได้ 730 N ในเมือง Houston, Texas, ซึ่งมี local
acceleration of gravity คือ $g = 9.792 \text{ m/s}^2$ ให้หา mass ของนักบินอวกาศ และเขาจะหนัก
เท่าไรถ้าเขาชั่งน้ำหนักในพระจันทร์ (moon) ที่มี $g = 1.67 \text{ m/s}^2$

วิธีทำ จาก Newton's law

$$F = m \frac{g}{g_c}$$

$$\therefore m = F \frac{g_c}{g} = \frac{730 \text{ N} (1 \text{ m.kg} / \text{N.s}^2)}{(9.792 \text{ m/s}^2)} = 74.55 \text{ kg}$$

ถ้าเขาชั่งน้ำหนักในพระจันทร์ เขาจะหนัก

$$F_{\text{moon}} = m \frac{g_{\text{moon}}}{g_c} = \frac{(74.55\text{kg})(1.67\text{ m/s}^2)}{(1\text{m.kg}/(\text{N.s}^2))}$$

$$= 124.5 \text{ N}$$

สำหรับหน่วยอังกฤษ (English Engineering System) ถ้าต้องการคำนวณก็คำนวณได้ในทำนองเดียวกัน

1.4 อุณหภูมิ (Temperature)

ใน SI system หน่วยของอุณหภูมิคือ K (ย่อจาก Kelvin) และจะเขียนตัวแปรเป็นสัญลักษณ์ T หรือหน่วย °C (ย่อจาก Celsius) ซึ่งจะเขียนสัญลักษณ์เป็น t

ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ t คือ

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$$

ใน English Engineering system จะใช้หน่วย R (Rankine) และ °F (Fahrenheit) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$t(^{\circ}\text{F}) = T(\text{R}) - 459.67$$

การเปลี่ยนหน่วยจาก °C เป็น °F หาจาก

$$t(^{\circ}\text{F}) = 1.8 t(^{\circ}\text{C}) + 32$$

การเปลี่ยนหน่วยจาก K เป็น R

$$T(\text{R}) = 1.8 T(\text{K})$$

ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลต่างๆ แสดงในรูปต่อไปนี้

รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเซลเซียสต่างๆ

Absolute Zero จะอ้างอิงโดยใช้ ideal gas เป็น thermometric fluid

1.5 ปริมาตร (Volume)

ปริมาตรของสารจะเหมือน mass คือจะขึ้นกับปริมาณของสารนั้น

Specific หรือ molar volume ซึ่งนิยามเป็นปริมาตรต่อหน่วย mass หรือต่อหน่วย mole จะไม่ขึ้นกับปริมาณของสารนั้น

Density ρ จะเป็นส่วนกลับของ specific หรือ molar volume ($= 1/v$)

1.6 ความดัน (Pressure)

นิยามว่าเป็นแรงตั้งฉากที่ของไหลกระทำต่อหน่วยพื้นที่ผิว มีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pascal หรือ Pa ถ้าเป็นหน่วย FPS จะมีหน่วยเป็น psi ดังนั้น

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{Ag_c} = \frac{g}{g_c} \rho h$$

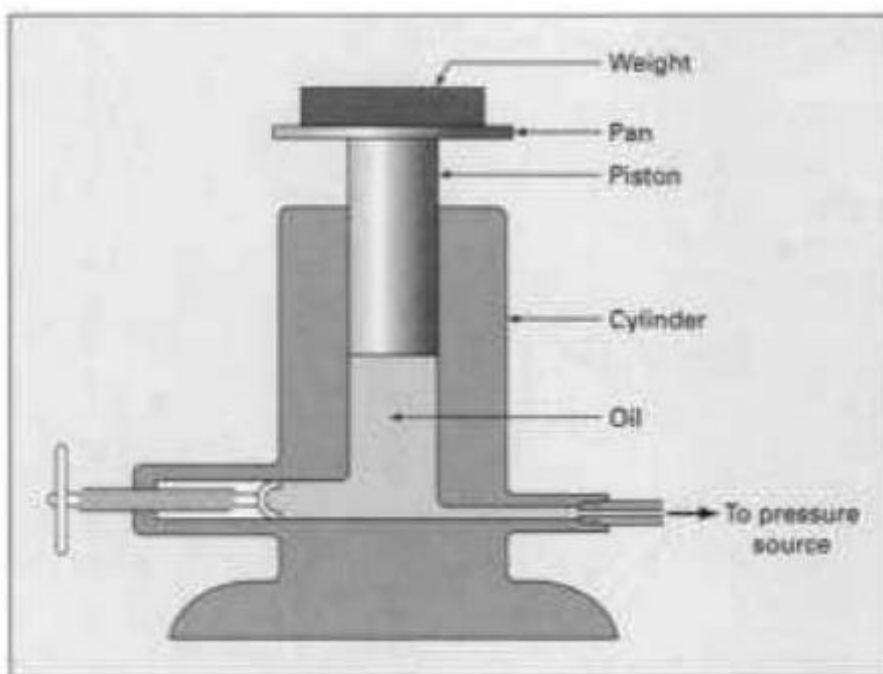
เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดขวาง (cross-sectional area)

ความดันอาจจะแสดงในรูปความสูงของของเหลวใน column ซึ่งใช้เป็นหลักในการวัดความดันแบบมาโนมิเตอร์ (manometer)

หน่วยอื่นๆ ของความดันที่อาจพบคือ torr ($= 133.322 \text{ Pa}$), bar และ atm

Gauge pressure เป็นค่าที่อ่านจากเครื่องวัดความดัน ซึ่งเป็นความดันแตกต่างของความดันของระบบกับความดันบรรยากาศที่อยู่รอบข้าง ฉะนั้น **Absolute pressure** (ความดันสมบูรณ์จริง) จะเท่ากับ gauge pressure บวกกับ barometric pressure (หรือความดันบรรยากาศ)

ตัวอย่างที่ 1.3 Dead weight gauge มีก้านสูบ (piston) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm ในการวัดความดันต้องใช้มวล (รวมของก้านสูบและจานรับด้วย) 6.14 kg เพื่อทำให้เกิดสมดุล ถ้า local acceleration gravity = 9.62 m/s^2 ค่าความดันที่กำลังวัดมีค่าเท่าไร และถ้า barometric pressure เท่ากับ 748 (torr) ค่า absolute pressure จะเป็นเท่าไร



รูปที่ 1.2 Dead weight gauge

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{Gauge pressure} &= \frac{F}{A} = \frac{(6.14)(9.82)}{\frac{1}{4}\pi(1)^2} \\ &= 76.77 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{ค่า Absolute pressure} = 76.77 + (748)(0.013332) = 86.76 \text{ N/cm}^2$$

$$\text{หรือ} = 867.4 \text{ kPa}$$

ตัวอย่างที่ 1.4 ที่ 24°C manometer ที่ใช้ปรอทอ่านได้ 60.5 cm ค่า $g = 9.784 \text{ m/s}^2$ ค่าความสูงที่อ่านได้จะเท่ากับ ความดันเท่าไร

วิธีทำ จาก $P = \frac{\rho}{\rho_c} \rho h$

ที่ 27°C ค่า ρ ของปรอท = 13.53 g/cm^3

$$\therefore P = \frac{(9.784 \text{ m/s}^2)}{\frac{1 \text{ m.kg}}{\text{N.s}^2}} (13.53 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) (0.605 \text{ m})$$

$$= 80083 \text{ N/m}^2 = 80.09 \text{ kPa}$$

1.7 งาน (Work)

งานจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ นิยามว่า

$$dW = Fdl \quad (1.1)$$

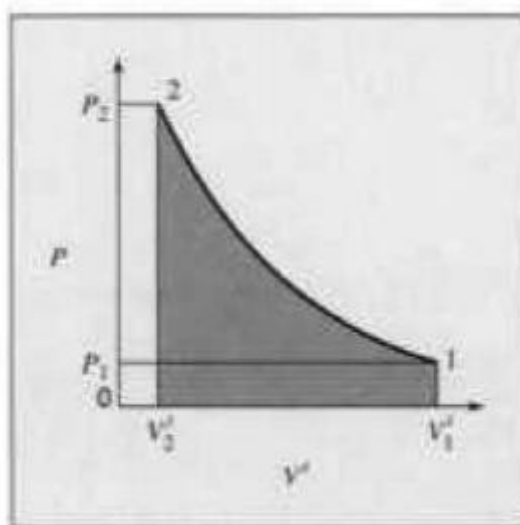
เมื่อ F เป็นแรงที่กระทำในทิศทางการเคลื่อนที่ เมื่ออินทิเกรตจะได้ค่า W

ในทางวิศวกรรมงานที่สำคัญคืองานที่เกิดจากการเปลี่ยนปริมาตรของของไหล (fluid) พิจารณาการอัดและขยายตัวในลูกสูบ สมการที่ (1.1) จะเปลี่ยนเป็น

$$dW = PdV \quad (1.2)$$

$$\text{หรือ } W = \int_{V_1}^{V_2} PdV \quad (1.3)$$

Work ชนิดนี้สามารถแสดงในรูป PV diagram คือ



รูปที่ 1.3 PV diagram

1.8 พลังงาน (Energy)

สมการความสัมพันธ์ของ energy ต่าง ๆ มักจะมาจากนิยามของงาน

Kinetic Energy

เมื่อวัตถุมีมวล m ถูกขับให้เคลื่อนที่จากความเร็ว u_1 ไป u_2 ในแนวระดับเดียวกัน ฉะนั้นงานที่ต้องใช้คือ

$$W = \frac{mu_2^2}{2g_c} - \frac{mu_1^2}{2g_c} = \Delta \left(\frac{mu^2}{2g_c} \right) \quad (1.4)$$

ซึ่งจะได้นิยามของพลังงานจลน์คือ

$$E_k = \frac{mu^2}{2g_c} \quad (1.5)$$

Potential Energy

ถ้าวัตถุมีมวล m ถูกยกจากระดับ z_1 ไป z_2 งานที่ต้องการยกคือ

$$W = mz_2 \frac{g}{g_c} - mz_1 \frac{g}{g_c} = \Delta \left(mz \frac{g}{g_c} \right) \quad (1.6)$$

และเราจะได้นิยามของพลังงานศักย์ คือ

$$E_p = mz \frac{g}{g_c} \quad (1.7)$$

กรณีวัตถุตกมาจากที่สูง โดยหลักการอนุรักษ์พลังงานแล้ว (กรณีนี้ไม่มี W ให้หรือรับออกมา) วัตถุจะเพิ่ม Kinetic energy และจะลด Potential energy เราเขียนสมการได้

$$\Delta E_K + \Delta E_p = 0$$

หรือ

$$\frac{mu_i^2}{2g_c} - \frac{mu_1^2}{2g_c} + mz_2 \frac{g}{g_c} - mz_1 \frac{g}{g_c} = 0$$

Work เราถือเป็นพลังงานรูปหนึ่ง แต่เป็นพลังงานไม่สะสมอยู่ในวัตถุ เป็นเพียงพลังงานส่งผ่าน (transit) เมื่อมีงานเกิดขึ้น มันจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นทันที

เมื่อมี Work กระทำจะหมายถึงงานที่ surrounding กระทำต่อ system หรือมีงานที่ system กระทำต่อ surrounding โดยจะมี energy ส่งผ่านระหว่าง system กับ surrounding ในรูปของ Work

ในการทำงานเดียวกัน Heat ก็เหมือน Work คือเป็นพลังงานที่ส่งผ่านระหว่างการเปลี่ยนรูป ไม่สามารถเก็บในวัตถุได้

Internal Energy

เป็นพลังงานที่สะสมใน atoms หรือโมเลกุลประกอบด้วย

- kinetic energy อยู่ในรูปการเคลื่อนที่ของโมเลกุลการหมุนและการสั่น (vibration)
- potential energy อยู่ในรูปแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลหรืออะตอม

การเพิ่มความร้อนเข้าวัตถุจะทำให้เพิ่ม molecule activity ทำให้ internal energy เพิ่มขึ้น

1.9 ความร้อน (Heat)

Heat เป็นพลังงานที่มีคุณสมบัติที่จะไหลจากอุณหภูมิสูงไปต่ำ ฉะนั้นอัตราของการถ่ายเทความร้อน จากวัตถุหนึ่งไปวัตถุหนึ่งจะขึ้นกับอุณหภูมิ ในทาง thermodynamics จะถือว่า heat ไม่สามารถเก็บในวัตถุได้ จะเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างถ่ายเทพลังงานจากวัตถุหนึ่งไปวัตถุหนึ่งหรือจาก system ไป surrounding ปริมาณจะบอกเป็นหน่วย calorie หรือ Btu หรือ Joule

เมื่อ heat ถูกถ่ายเทเข้าวัตถุ พลังงานจะถูกเก็บในรูปของ kinetic และ potential energy ของ atoms และ molecules