บทที่ 6

คุณสมบัติและสมการสภาวะของแก๊สจินตภาพ

Properties and Equation of State of Ideal Gas

6.1 สมการสภาวะของแก๊สจินตภาพ (The Ideal Gas Equation of State)

Ideal Gas *: แก๊สจินตภาพ*

แก๊สที่อยู่ภายใต้สภาวะที่มีความดันต่ำแต่มีอุณหภูมิสูง (สูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต) มีพฤติกรรมที่เป็นไปตามสมการสภาวะของแก๊สจินตภาพ

$$Pv = RT \qquad \text{.....(6.1.1)}$$

เมื่อ : R = *Gas Constant (ค่าคงที่ของแก๊ส) ; Table A-1*
P = *Absolute Pressure (ความดันสัมบูรณ์)*
T = *Absolute Temperature (อุณหภูมิสัมบูรณ์)*
v = *Specific Volume (ปริมาตรจำเพาะ)*

6.2 ค่าคงที่ของแก๊ส (Gas Constant)

ค่าคงที่ของแก๊สแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน คำนวณได้จาก

$$R = R_u / M \qquad \text{.....(6.2.1)}$$

เมื่อ R_u = *Universal Gas Constant* **(ค่าคงที่แก๊สสากล)มีค่าเท่ากันสำหรับแก๊สทุกชนิด**

R_u = 8.314 [kJ/kmol.K]
= 8.314 [kPa.m^3 / kmol.K]
= 1545 [ft.lbf / lbmol.R]

M = **น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส**

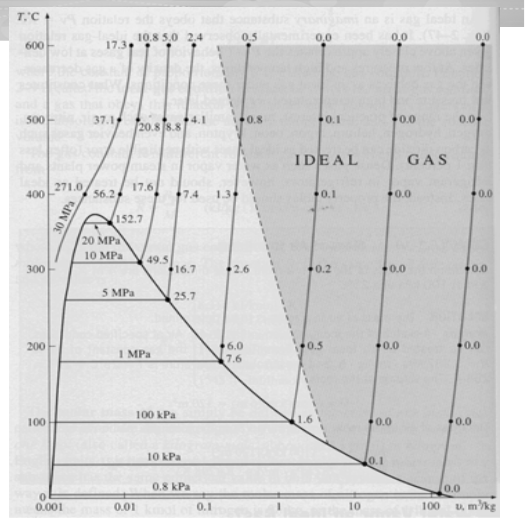
จาก $V = m.v$ ⟶ $PV = mRT$ .....(6.2.2)

$m = M.N$ ⟶ $PV = NR_uT$ หรือ $Pv = R_uT$ .....(6.2.3)

ที่ความดันและอุณหภูมิปกติมี gas หลายชนิดที่อาจพิจารณาให้เป็น Ideal Gas ได้ เช่น อากาศ, ไนโตรเจน, คาร์บอนไดออกไซด์, ไฮโดรเจน, ฮีเลียม, อาร์กอน, นีออน และสามารถใช้สมการสภาวะของแก๊สจินตภาพในการคำนวณหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆได้ โดยเกิดการคลาดเคลื่อนน้อยมาก ส่วน ไอน้ำ หรือ ไอของสารทำความเย็น ในสภาวะใช้งานปกติ ไม่อาจพิจารณาให้เป็น Ideal Gas จึงจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการเปิดตารางคุณสมบัติในการหาค่าคุณสมบัติของสารนั้น ๆ หรือใช้ Correction Factor เข้าช่วยในการคำนวณ

6.3 แก๊สจริง (Real Gas)

- ในความเป็นจริง gas จริงจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างจาก Ideal Gas จากการคำนวณและทดลองพบว่า ที่ P < 10 kPa จะเกิดความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1 % แต่เมื่อมีความดันสูงขึ้นค่าความผิดพลาดจะมากขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ไม่สามารถยอมรับได้ โดยเฉพาะที่บริเวณใกล้เส้นอิ่มตัว
- ในการพิจารณาว่า gas ใด สามารถตั้งสมมติฐานให้เป็น Ideal gas นั้น และสามารถใช้สมการสภาวะของ Ideal gas ในการคำนวณหาคุณสมบัติต่าง ๆนั้น มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้ (6.4 & 6.5)



รูปที่ 6.1 แผนภาพ T-v แสดงสถานะของ Ideal Gas

6.4 แฟคเตอร์การอัดตัว (Compressibility Factor)

❖ **Compressibility Factor, Z**

$$Z = Pv / RT \quad \text{หรือ} \quad Pv = ZRT \qquad \text{.....(6.4.1)}$$

$$Z = v_{actual} / v_{ideal} \qquad \text{.....(6.4.2)}$$

เมื่อ

$$v_{ideal} = RT / P \qquad \text{.....(6.4.3)}$$

❖ สำหรับ **Ideal Gas : $Z = 1$**

❖ **Real Gas : $Z \neq 1$**

6.5 สภาวะวิกฤต (Critical Condition)

จากการศึกษาพฤติกรรมของ gas โดยใช้ตัวแปรเป็น อุณหภูมิ และความดัน พบว่าที่ T และ P ค่าหนึ่ง gas ต่างชนิดกันจะแสดงพฤติกรรมแตกต่างกันแต่เมื่อแปลงรูปตัวแปรของอุณหภูมิและความดันโดยใช้ค่าที่สภาวะวิกฤต ให้อยู่ในรูปของตัวแปรใหม่ คือ ความดันลดรูป (P_R, Reduced Pressure) และ อุณหภูมิลดรูป (T_R, Reduced Temperature) gas ชนิดต่างๆเหล่านั้นจะแสดงพฤติกรรมเหมือนกัน

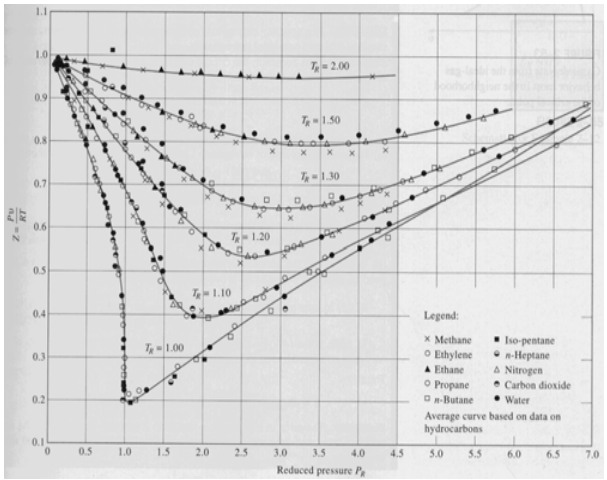
$$\mathbf{P_R = P / P_{CR}} \quad \textbf{หรือ} \quad \mathbf{T_R = T / T_{CR}} \qquad \text{.....(6.5.1)}$$

โดยการทดลองกับ gas หลายๆชนิด พบว่าที่ P_R และ T_R เดียวกันจะมี ค่า Z ค่าเดียวกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1.ที่ความดันต่ำมากๆ ($P_R << 1$) gas จะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับ Ideal gas โดยที่ค่าของอุณหภูมิจะมีค่าเท่าไรก็ได้

2.ที่อุณหภูมิสูง ($T_R > 2$) gas จะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับ Ideal gas (ยกเว้นเมื่อค่าของความดันมีค่าสูงมาก $P_R >> 1$

3.การเบี่ยงเบนไปจากพฤติกรรมของ Ideal gas เกิดขึ้นสูงสุดที่บริเวณจุดวิกฤต



รูปที่ 6.2 Generalized Compressibility Factor Chart
แผนภาพแสดงแฟคเตอร์ของการอัดตัว (z)

6.6 สมการสภาวะแบบอื่น ๆ (Other Equations of State)

สมการสภาวะของ Ideal Gas เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดของสมการสภาวะ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดในการใช้งานของ Ideal Gas Equation of State จึงมีการพัฒนาสภาวะรูปแบบอื่นๆที่ใช้ได้กับหลายสถานะ ที่อยู่ในรูปของ P - v - T สมการสภาวะดังกล่าวได้แก่

1. the van der Waals equation (ค.ศ. 1873)
2. Beattie - Bridgeman Equation of State (ค.ศ. 1928)

ค่าคงที่ต่างๆในสมการข้างบนจะแตกต่างกันไปสำหรับชนิดของสารตัวกลาง สามารถหาได้จาก Table A-29 a

สำหรับสมการนี้จะให้ค่าได้แม่นยำเมื่อ $\rho < 0.8\,\rho_{CR}$

เมื่อ ρ_{CR} = ความหนาแน่นของสารที่จุดวิกฤต

3. Benedict - Webb - Rubin Equation of State (1940)

มีพื้นฐานมาจากสมการของ Beattie - Bridgeman

4. Virial Equation of State

❖ เมื่อ; a(T), b(T), c(T), d(T),....are virial coefficients

❖ ได้จากการทดลองและวิธีทางกลศาสตร์สถิติ สังเกตว่าถ้าไม่มีเทอมของ virial coefficients สมการนี้จะเป็น สมการสภาวะของ Ideal Gas

❖ สมการสภาวะในรูปแบบต่างๆที่กล่าวถึงมานั้นจะใช้ในการหาคุณสมบัติของสารในสภาวะที่เป็น gas เท่านั้น