ใบความรู้ที่ 1 เรื่อง สมบัติของแก๊ส กฎของบอยล์ และกฎของชาร์ล

สมบัติทั่วไปของก๊าซได้แก่

1. ก๊าซมีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ บรรจุในภาชนะใดก็จะมีรูปร่างและปริมาตรตามภาชนะนั้น เช่น ถ้าบรรจุในภาชนะทรงกลมขนาด 1 ลิตร ก๊าซจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม มีปริมาตร 1 ลิตร เพราะก๊าซมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค (โมเลกุลหรืออะตอม) น้อยมาก จึงทำให้อนุภาคของก๊าซสามารถเคลื่อนที่ได้หรือแพร่กระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ

2. ก๊าซสามารถแพร่ได้ และแพร่ได้เร็วเพราะก๊าซมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค (โมเลกุล) น้อยกว่าของเหลวและของแข็ง

3. ก๊าซต่าง ๆ ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเมื่อนำมาใส่ภาชนะเดียวกัน ก๊าซแต่ละชนิดก็จะฟุ้งกระจายผสมกันอย่างสมบูรณ์ทุกส่วน นั่นคือส่วนผสมของก๊าซเป็นสารเนื้อเดียว หรือเป็นสารละลาย (Solution)

4. ปริมาตรของก๊าซขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน และจำนวนโมล ดังนั้นเมื่อบอกปริมาตรของก๊าซจะต้องบอกอุณหภูมิ ความดันและจำนวนโมลด้วย เช่น ก๊าซออกซิเจน 1 โมล มีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่อุณหภูมิ 0 °C ความดัน 1 บรรยากาศ (STP.)

ปริมาตร อุณหภูมิ และความดัน

การวัดปริมาตรของก๊าซ เนื่องจากก๊าซบรรจุในภาชนะใดก็ฟุ้งกระจายเต็มภาชนะนั้น ดังนั้นปริมาตรของก๊าซจึงมักหมายถึง ปริมาตรของภาชนะที่บรรจุก๊าซนั้น หน่วยของปริมาตรที่นิยมใช้คือ ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) หรือ ลิตร (lit) หรือ ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) (1 dm^3= 1 lit = 1,000 cm^3)

อุณหภูมิ (Temperature) เป็นปริมาตรส่วนที่ใช้บอกระดับความร้อน – เย็น ของสาร แต่อุณหภูมิไม่ได้บอกให้ทราบถึงปริมาณความร้อนของสาร กล่าวคือ สารที่มีอุณหภูมิเท่ากันแสดงว่ามีระดับความร้อนเท่ากัน แต่อาจจะมีปริมาณความร้อนเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิคือ เทอร์โมมิเตอร์ ไพโรมิเตอร์ และเทอร์โมคัพเปิล แต่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์

การวัดอุณหภูมิของก๊าซ การวัดอุณหภูมิมาตราส่วนที่ใช้มีหลายแบบ คือ เซลเซียส เคลวิน ฟาเรนไฮต์ โรเมอร์และแรงกิน แต่การวัดอุณหภูมิของก๊าซส่วนใหญ่ใช้ มาตราส่วนเคลวิน (Kelvin Scale) หรือเรียกว่า มาตราส่วนสัมบูรณ์ (Absolute temperature scale) สัญลักษณ์ K และ องศาเซลเซียส สัญลักษณ์ °C อุณหภูมิเคลวินและองศาเซลเซียสมีความสัมพันธ์กันดังนี้

อุณหภูมิเคลวิน = องศาเซลเซียส + 273.15

เช่น 27 องศาเซลเซียส (27°C) เท่ากับ 300.15 K หาได้ดังนี้

อุณหภูมิเคลวิน = 27 + 273.15 = 300.15

หมายเหตุ เพื่อความสะดวกในการคำนวณจะใช้ 273 (ค่าโดยประมาณ) แทน 273.15 การวัดอุณหภูมิของก๊าซส่วนใหญ่ใช้อุณหภูมิเคลวิน เพราะปริมาตรของก๊าซแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิเคลวิน

ความดัน (Pressure) หมายถึง แรงที่กระทำต่อหน่วยของพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงนั้น เนื่องจาก ความดันของก๊าซชนผนังภาชนะ เพราะฉะนั้นความดันของก๊าซคือแรงที่โมเลกุลของก๊าซกระทำต่อผนังต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภาชนะ และความดันของก๊าซมีค่าเท่ากันหมดไม่ว่าจะวัดส่วนใดของภาชนะ

การวัดความดันของก๊าซ หน่วยที่ใช้วัดความดัน ได้แก่ บรรยากาศ มิลลิเมตรปรอท นิวตันต่อตารางเมตร ไดน์ต่อตารางเซนติเมตร ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บาร์ ทอร์ สำหรับหน่วยเอสไอ ใช้ปาสคาล (Pascal) ใช้สัญลักษณ์ Pa และหน่วยต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันดังนี้

1 บรรยากาศ = 760 มิลลิเมตรปรอท

= 760 ทอร์ (Torr)

= 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว (lb/in^2)

= 1.01325×10^5 ปาสคาล (Pa)

= 1.01325×10^5 นิวตัน/ตารางเมตร (Nm^{-2})

= 1.01325 บาร์ (Bar)

ประเภทของก๊าซ

เพื่อความสะดวกในการศึกษาสมบัติของก๊าซ นักวิทยาศาสตร์จึงได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. **ก๊าซในอุดมคติหรือก๊าซสมบูรณ์แบบ (Ideal gas or Perfect gas)**

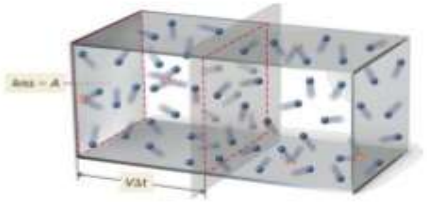
หมายถึง ก๊าซที่อยู่ภาวะใด ๆ ก็ตาม (ไม่ว่าความดันหรืออุณหภูมิใด ๆ) จะมีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎต่าง ๆ ของก๊าซในอุดมคติ เช่น กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์ลูสแซก กฎรวมของก๊าซ เป็นต้น และยังมีสมบัติเป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของก๊าซครบทุกข้อด้วย

2. **ก๊าซจริง (Real gas)** หมายถึง ก๊าซที่มีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามกฎต่าง ๆ ของก๊าซในอุดมคติ และทฤษฎีจลน์ของก๊าซที่ภาวะปกติ แต่ในภาวะที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ และความดันต่ำมาก ๆ ก๊าซจริงจะมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับก๊าซในอุดมคติ

ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

1. แก๊สประกอบด้วยโมเลกุลเป็นจำนวนมาก โมเลกุลเหล่านี้จะอยู่ห่างกันมาก และไม่มีแรงกระทำต่อกัน สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

2. โมเลกุลของแก๊สมีมวลแต่มีขนาดเล็กมากถือว่ามีปริมาตรเป็นศูนย์ เมื่อเทียบกับปริมาตรทั้งหมดของแก๊ส



ภาพที่ 4.2 อนุภาคแก๊สอุดมคติมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของภาชนะ
ที่มา : http://www.docstoc.com

3. โมเลกุลของแก๊สจะเคลื่อนที่อย่างเป็นอิสระเป็นเส้นตรงตลอดเวลา และเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบในทุกทิศทาง ด้วยความเร็วเฉลี่ยคงที่

4. โมเลกุลของแก๊สชนกันเองหรือชนกับภาชนะแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ คือเมื่อชนกันแล้วไม่มีการสูญเสียพลังงานจลน์รวม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานรูปอื่น แต่มีการถ่ายเทพลังงานจลน์ระหว่างโมเลกุลได้

ภาพที่ 4.3 การชนของโมเลกุลแก๊ส
ที่มา : Malone, 2001, p. 254

5. ความดันของแก๊สเกิดจากการที่โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่ไปชนกับภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้น ถ้าความถี่ของการชนสูงแก๊สจะมีความดันมาก

6. ที่อุหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดจะมีพลังงานเฉลี่ยเท่ากัน และแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน

ข้อควรจำ แก๊สที่มีสมบัติสอดคล้องกับทฤษฎีจลน์เรียกว่าแก๊สสมบูรณ์ แก๊สในธรรมชาติจะมีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สสมบูรณ์เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความดันต่ำและอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก๊สเฉื่อยจะมีสมบัติสอดคล้องกับทฤษฎีจลน์ของแก๊สมากกว่าแก๊สชนิดอื่น ๆ

การใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายสมบัติของแก๊ส

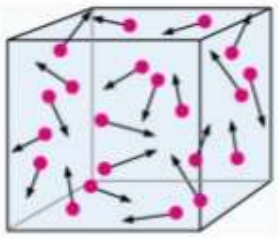
ทฤษฎีจลน์อธิบายปริมาตรของแก๊ส

โมเลกุลของก๊าซมีขนาดเล็กมาก อยู่ห่างกันและมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมากจนถือได้ว่าไม่มีเลย ดังนั้นเมื่อบรรจุก๊าซไว้ในภาชนะใดก็ตามโมเลกุลของก๊าซจะเคลื่อนที่ไปทั่วทั้งภาชนะได้อย่างอิสระจนถือได้ว่าโมเลกุลของก๊าซอยู่เต็มภาชนะเสมอ ก๊าซจึงมีปริมาตรไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปริมาตรของภาชนะ

ภาพที่ 4.4 โมเลกุลของก๊าซมีขนาดเล็กมาก
ที่มา : Hassell and Stasko, 2007, p. 432

ทฤษฎีจลน์อธิบายความดันของแก๊ส

โมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่ตลอดเวลาอย่างอิสระโดยมีทิศทางไม่แน่นอน จึงอาจจะชนกันเองบ้าง ชนกับผนังภาชนะบ้าง การชนกันเองของโมเลกุลของก๊าซจะไม่เกิดความดัน แต่การที่โมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่ชนผนังของภาชนะทำให้เกิดแรงดัน ผลรวมของแรงดันทั้งหมด ที่มีต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ก็คือความดันของก๊าซนั่นเอง



ภาพที่ 4.5 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลแก๊ส
ที่มา : http://www.myfirstbrain.com

1. กฎของบอยล์ (Boyle's Law) กฎของบอยล์ กล่าวว่า " **เมื่ออุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของก๊าซใด ๆ ที่มีมวลคงที่จะแปรผกผันกับความดันของก๊าซนั้น ๆ** "

$$V \propto \frac{1}{P} \quad \text{(เมื่อมวลและอุณหภูมิคงที่)}$$

$$V = \frac{k}{P}$$

$$PV = k$$

เมื่อ V = ปริมาตรของก๊าซ T = อุณหภูมิของก๊าซ

P = ความดันของก๊าซ k = ค่าคงที่

จากสมการ $PV = k$ จึงกล่าวได้ว่าเมื่ออุณหภูมิและมวลของก๊าซคงที่ ผลคูณของความดันกับปริมาตรของก๊าซใด ๆ จะมีค่าคงที่เสมอ จากกฎของบอยล์ ถ้าความดันของก๊าซเปลี่ยนจาก P_1 เป็น P_2 ปริมาตรของก๊าซก็จะเปลี่ยนจาก V_1 เป็น V_2 ผลคูณของความดันกับปริมาตรที่ภาวะทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน และมีค่าคงที่

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

ใช้คำนวณเมื่ออุณหภูมิและมวลของก๊าซคงที่

ตัวอย่างการคำนวณเรื่องกฎของบอยล์

ตัวอย่างที่ 1 ก๊าซจำนวนหนึ่งมีปริมาตร 250 cm^3 เมื่อความดัน 750 มิลลิเมตรปรอท ถ้าเปลี่ยนความดันเป็น 560 มิลลิเมตรปรอท โดยให้อุณหภูมิคงที่แล้วปริมาตรของก๊าซจะเป็นเท่าไร

<u>โจทย์กำหนด</u> $V_1 = 250\ cm^3$, $P_1 = 750$ mmHg , $P_2 = 560$ mmHg

<u>โจทย์ถาม</u> $V_2 = ?$

วิธีทำ จากกฎของบอยล์ $P_1V_1 = P_2V_2$

แทนค่า $750 \times 250 = 560 \times V_2$

$$V_2 = \frac{750 \times 250}{560} = 334.82\ cm^3$$

ปริมาตรของก๊าซ ที่ความดัน 560 มิลลิเมตรปรอท เท่ากับ 334.82 cm^3 **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2 ก๊าซไนโตรเจนมีปริมาตร 15.00 ลิตร ที่ความดัน 2.00 บรรยากาศ เมื่อต้องการให้ก๊าซไนโตรเจนมีปริมาตร 2.50 ลิตร จะต้องใช้ความดันเท่าไร สมมุติว่า อุณหภูมิคงที่และก๊าซไนโตรเจนมีพฤติกรรมแบบก๊าซในอุดมคติ

<u>กำหนด</u> $V_1 = 15$ lit , $P_1 = 2$ atm , $V_2 = 2.5$ lit

<u>ถาม</u> $P_2 = ?$

วิธีทำ จากกฎของบอยล์ $P_1V_1 = P_2V_2$

แทนค่า $2 \times 15 = P_2 \times 2.5$

$$P_2 = \frac{2 \times 15}{2.5} = 12 \text{ atm}$$

เพราะฉะนั้น ต้องใช้ความดัน 12 บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนจึงจะมีปริมาตร 2.50 ลิตร **ตอบ**

2.กฎของชาร์ล (Charles ' Law)

กล่าวว่า“**เมื่อความดันคงที่ ปริมาตรของก๊าซใด ๆ ที่มีมวลคงที่จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน** ”

$V \propto T$ เมื่อ P และมวลของก๊าซคงที่

$V = kT$

$$\frac{V}{T} = k$$

ดังนั้น $$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \text{.....} = \frac{V_n}{T_n} = k$$

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ เมื่อความดันและมวลของก๊าซคงที่

ตัวอย่างที่ 3 ปริมาตรของก๊าซ A ที่ 0 ℃ เท่ากับ 450 cm^3 ปริมาตรของก๊าซ A จะเป็นเท่าไรที่ 20 ℃ ถ้าความดันคงที่

<u>กำหนด</u> $V_1 = 450\ cm^3$, $T_1 = 0\ ℃ = 273\ K$, $T_2 = 20\ ℃ = 293\ K$

<u>ถาม</u> $V_2 = ?$

วิธีทำ จากกฎของชาร์ล $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

แทนค่า $\frac{450}{273} = \frac{V_2}{293}$

$V_2 = \frac{450 \times 293}{273} = 482.97\ cm^3$

เพราะฉะนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 20 ℃ ปริมาตรของก๊าซเท่ากับ 482.97 cm^3 **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 4 กระบอกสูบอันหนึ่งบรรจุอากาศ 600 cm^3 ที่ 20 ℃ ต้องเพิ่มอุณหภูมิอีกเท่าใดอากาศจึงจะมีปริมาตรเท่ากับ 641 cm^3 ที่ความดันคงที่

<u>กำหนด</u> $V_1 = 600\ cm^3$, $T_1 = 20\ ℃ = 293\ K$, $V_2 = 641\ cm^3$

<u>ถาม</u> $T_2 = ?$

วิธีทำ จากกฎของชาร์ล $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

แทนค่า $\frac{600}{293} = \frac{641}{T_2}$

$T_2 = \frac{641 \times 293}{600} = 313\ K = 40\ ℃$

เพราะฉะนั้นเมื่อปริมาตรก๊าซเท่ากับ 641 cm^3 อุณหภูมิของก๊าซเท่ากับ 40 ℃