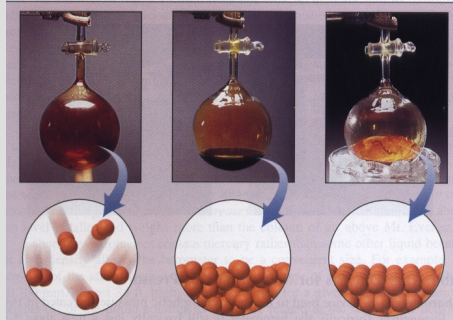


## หน่วยที่ 5

### แก๊ส ของเหลว สารละลาย และของแข็ง

1



แก๊ส (Gas) ของเหลว (Liquid) ของแข็ง (Solid)

### 5.1 แก๊ส

5.1.1 การวัดปริมาตร อุณหภูมิ ความดัน

5.1.2 กฎของแก๊ส

5.1.3 ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

5.1.4 พฤติกรรมของแก๊สจริง

#### จุดประสงค์การสอน

1. อธิบายเรื่องการวัดปริมาตร อุณหภูมิและความดัน
2. อธิบายกฎของแก๊ส
3. อธิบายทฤษฎีจลน์ของแก๊ส
4. อธิบายพฤติกรรมของแก๊สจริง

2

### 5.1 แก๊ส

แก๊ส ประกอบด้วยอนุภาคที่เคลื่อนไหวยาวรวดเร็วตลอดเวลา และไม่เป็นระเบียบ แต่ละอนุภาคอยู่ห่างกันมาก จนอาจถือว่าไม่มีอันตรกิริยาต่อกัน

#### ประเภทของแก๊ส

1. แก๊สอุดมคติ (ideal gas) : แก๊สที่มีสมบัติเป็นไปตามกฎต่าง ๆ ของแก๊สอุดมคติ ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะใดก็ตาม
2. แก๊สจริง (real gas) : แก๊สที่ไม่เป็นไปตามกฎของแก๊สอุดมคติ บางสภาวะอาจมีสมบัติใกล้เคียงแก๊สอุดมคติได้ ณ สภาวะอุณหภูมิสูงมากๆ และความดันต่ำมากๆ

3

#### สมบัติของแก๊ส

1. มีปริมาตรและรูปร่างตามภาชนะบรรจุ
2. อุณหภูมิและความดันมีผลต่อสมบัติของแก๊ส
3. แก๊สสามารถผสมกันได้ในทุกอัตราส่วน
4. โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทุกทิศทุกทางอย่างไม่เป็นระเบียบและเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง



#### 5.1.1 การวัดปริมาตร อุณหภูมิ ความดัน

##### 5.1.1.1 การวัดปริมาตรของแก๊ส

ปริมาตรของแก๊สพิจารณาจากภาชนะที่บรรจุ เนื่องจากอนุภาคของแก๊สมีการเคลื่อนที่พุ่งกระจายและเคลื่อนที่ตลอดเวลา หน่วยปริมาตรของแก๊ส ได้แก่ มิลลิลิตร (ml), ลิตร (l), ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm<sup>3</sup>), ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm<sup>3</sup>)

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$$

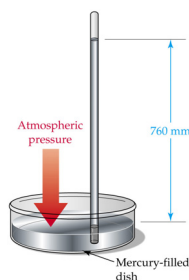
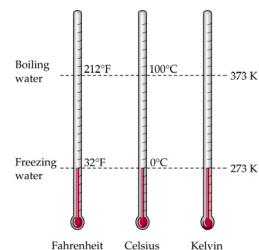
$$1,000 \text{ ml} = 1,000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ l}$$

4

### 5.1.1.2 การวัดอุณหภูมิของแก๊ส

อุณหภูมิของแก๊สสามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ ในการคำนวณเกี่ยวกับแก๊ส จะใช้อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน หรือมาตราส่วนอุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature scale) ความสัมพันธ์ระหว่างมาตราส่วนองศาเซลเซียสและเคลวิน

$$T(K) = 273 + t(^{\circ}C)$$



5

- หน่วยของความดันที่นิยมใช้ได้แก่ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (pounds per square inch, psi) นิวตันต่อตารางเมตร (N/m<sup>2</sup>) ความดันบรรยากาศ (atmosphere, atm) ทอร์ (torr)

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} \\ = 760 \text{ torr}$$

- ความดันบรรยากาศเฉลี่ย ณ ระดับน้ำทะเลที่ทำให้ลำปรอทใน barometer สูง 760 mm Hg ที่ 0°C เรียกว่า ความดันมาตรฐาน ซึ่งเท่ากับ 1 บรรยากาศ (1 atm)
- อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (Standard Temperature and Pressure, STP) คือ อุณหภูมิมาตรฐานที่ 0 °C หรือ 273 K และที่ความดันมาตรฐาน 1 บรรยากาศ

6

### 5.1.2 กฎของแก๊ส

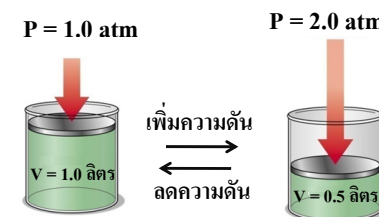
กฎของแก๊ส (Gas laws) เป็นกฎที่ใช้สำหรับอธิบายสมบัติต่าง ๆ ของแก๊ส ได้แก่ ปริมาตร อุณหภูมิ และความดัน ของแก๊สนั้น ๆ กฎของแก๊สได้แก่

1. กฎของบอยล์ (Boyles' law)
2. กฎของชาร์ล (Charles' law)
3. กฎเกย์ลูสแซค (Gay-Lussac's law)
4. กฎของแก๊สสมบูรณ์แบบ (Ideal gas law)

7

### 5.1.2.1 กฎของบอยล์ (Boyles' law)

กฎของบอยล์ คือ เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน



$$V_{\text{gas}} \propto \frac{1}{P}$$

$$V = k \left( \frac{1}{P} \right)$$

$$PV = k_1$$

เมื่อ  $V$  = ปริมาตรของแก๊ส  
 $P$  = ความดันของแก๊ส  
 $k$  = ค่าคงที่

8

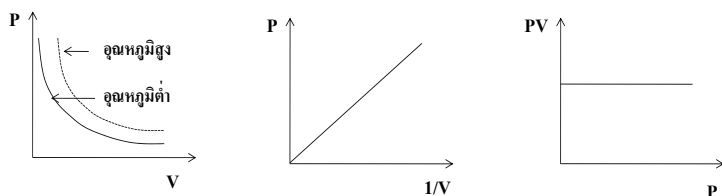
เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรเปลี่ยนแปลงด้วย

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$P_1$  และ  $V_1$  คือ ความดันและปริมาตรที่สภาวะที่หนึ่ง

$P_2$  และ  $V_2$  คือ ความดันและปริมาตรที่สภาวะที่สอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิ (K)



9

Ex. ก๊าซ  $N_2$  จำนวน  $10.0 \text{ dm}^3$  ที่  $25^\circ\text{C}$  อ่านค่าความดันได้  $0.40 \text{ atm}$

ก. ถ้าเพิ่มความดันเป็น  $2.0 \text{ atm}$  จะมีปริมาตรเป็นเท่าใด? (สมมติก๊าซขยายตัวโดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง)

ข. ถ้าลดปริมาตรของภาชนะให้เหลือ  $5.0 \text{ dm}^3$  ที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  เท่าเดิมจะวัดความดันได้เท่าใด?

Ex. ก๊าซ He จำนวนหนึ่งอยู่ในถังปิดที่  $20^\circ\text{C}$  วัดความดันได้  $400 \text{ mmHg}$ . ถ้านำก๊าซ He ทั้งหมดมาใส่ในถังอีกใบหนึ่งขนาด  $20 \text{ dm}^3$  ปรากฏว่าเหลือ  $150 \text{ mmHg}$ . ถังที่บรรจุก๊าซใน ตอนแรกมีปริมาตรเท่าใด

10

ตัวอย่างที่ 5.1 แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร  $400 \text{ cm}^3$  ภายใต้อุณหภูมิ  $0.8 \text{ atm}$  ที่อุณหภูมิคงที่ ถ้าความดันเพิ่มขึ้นเป็น  $1 \text{ atm}$  แก๊สนี้จะมีปริมาตรเท่าใด

วิธีทำ

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$(0.8 \text{ atm})(400 \text{ cm}^3) = (1 \text{ atm}) V_2$$

$$V_2 = 320 \text{ cm}^3$$

$$V_1 =$$

$$V_2 =$$

$$P_1 =$$

$$P_2 =$$

ตอบ ความดันเพิ่มขึ้นเป็น  $1 \text{ atm}$  แก๊สนี้จะมีปริมาตร  $320 \text{ cm}^3$

11

ตัวอย่างที่ 5.2 ที่ความดัน  $0.15 \text{ atm}$  ลูกโป่งซึ่งมีแก๊สออกซิเจนอยู่ภายในมีปริมาตร  $2.5 \text{ ลิตร}$  ถ้าลูกโป่งนี้มีปริมาตรเปลี่ยนเป็น  $0.8 \text{ ลิตร}$  ลูกโป่งใบนี้จะมีความดันเท่าใด

วิธีทำ

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$(0.15 \text{ atm}) \times (2.5 \text{ l}) = P_2 \times (0.8 \text{ l})$$

$$P_2 = 0.47 \text{ atm}$$

$$V_1 =$$

$$V_2 =$$

$$P_1 =$$

$$P_2 =$$

ตอบ ลูกโป่งใบนี้จะมีความดันเท่ากับ  $0.47 \text{ atm}$

12

### 5.1.2.2 กฎของชาร์ล (Charles' law)

กฎของชาร์ล เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ (K)



$$V \propto T$$

เมื่อ

$V$  = ปริมาตรของแก๊ส

$T$  = อุณหภูมิของแก๊ส

$k$  = ค่าคงที่

$$V = k(T)$$

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

13

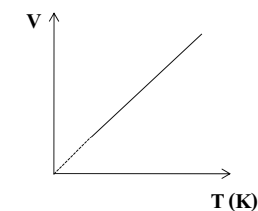
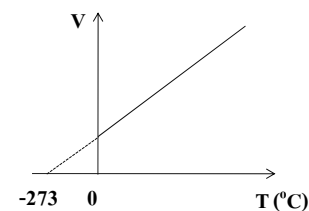
เมื่อปริมาตรเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงด้วย

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

$V_1$  และ  $T_1$  คือ ปริมาตรและอุณหภูมิที่สภาวะที่หนึ่ง

$V_2$  และ  $T_2$  คือ ปริมาตรและอุณหภูมิที่สภาวะที่สอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิ



14

ตัวอย่างที่ 5.3 แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร  $79.5 \text{ cm}^3$  ที่อุณหภูมิ  $45^\circ\text{C}$  แก๊สจะมีปริมาตรเท่าใดที่อุณหภูมิ  $0^\circ\text{C}$

วิธีทำ

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

$$\frac{79.5 \text{ cm}^3}{318 \text{ K}} = \frac{V_2}{273 \text{ K}}$$

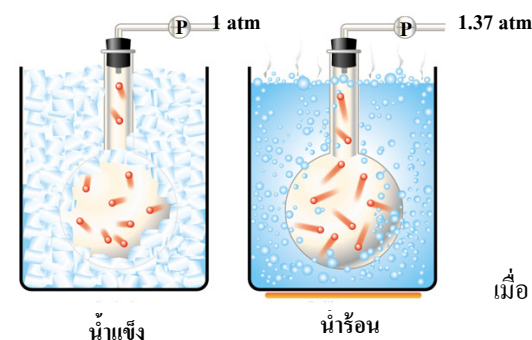
$$V_2 = 68.3 \text{ cm}^3$$

ตอบ แก๊สจะมีปริมาตร  $68.3 \text{ cm}^3$  ที่อุณหภูมิ  $0^\circ\text{C}$

15

### 5.1.2.3 กฎเกย์ลุสแซค (Gay-Lussac's law)

“เมื่อปริมาตรและปริมาณสารคงที่ ความดันของแก๊สจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน)”



$$P \propto T$$

$$P = kT$$

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

เมื่อ

$P$  = ความดันของแก๊ส

$T$  = อุณหภูมิของแก๊ส

$k$  = ค่าคงที่

16

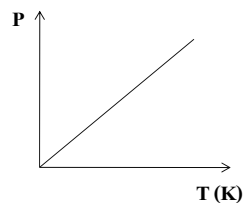
เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงด้วย

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$P_1$  และ  $T_1$  คือ ความดันและอุณหภูมิที่สถานะที่หนึ่ง

$P_2$  และ  $T_2$  คือ ความดันและอุณหภูมิที่สถานะที่สอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิ



17

**ตัวอย่างที่ 5.4** เมื่อบรรจุแก๊สลงในภาชนะขนาด 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ  $0^\circ\text{C}$  พบว่ามีความดัน 2.0 atm อยากทราบว่า ที่อุณหภูมิเท่าใด ( $^\circ\text{C}$ ) จึงจะทำให้แก๊สในภาชนะนี้มีความดัน 2.5 atm

วิธีทำ

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{2.0 \text{ atm}}{273 \text{ K}} = \frac{2.5 \text{ atm}}{T_2}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \\ P_2 &= \\ T_1 &= \\ T_2 &= \end{aligned}$$

$$T_2 = 341 \text{ K} \text{ หรือ } 341 - 273 = 68^\circ\text{C}$$

**ตอบ** อุณหภูมิ  $68^\circ\text{C}$  จะทำให้แก๊สในภาชนะนี้มีความดัน 2.50 atm

18

#### 5.1.2.4 สมมติฐานของอโวกาโดร (Avogadro's hypothesis)

ในปี ค.ศ. 1811 ออเมเดโอ ออโวกาโดร ได้ศึกษาปริมาตรของแก๊สที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนอนุภาคของแก๊ส จึงได้ตั้งสมมติฐานขึ้นดังนี้ “แก๊สที่มีปริมาตรเท่ากัน ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน จะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน” จำนวนโมเลกุลในหนึ่งโมล เรียกว่าเลขอโวกาโดร (Avogadro's number) มีค่าเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล

$$V \propto n$$

$$1 \text{ mol} = 6.02 \times 10^{23} \text{ molecule}$$

$$V = k n$$

$$n = \text{mol}$$

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

19

เรียกสมการนี้ว่า กฎของแก๊สอุดมคติ (Ideal gas law) ซึ่งสมการนี้แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสามคือความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ โดยพิจารณาที่จำนวนโมลของแก๊สถ้าให้แก๊สจำนวน  $n_1$  โมล เปลี่ยนเป็น  $n_2$  โมล ความดันของแก๊สเปลี่ยนจาก  $P_1$  เป็น  $P_2$  ปริมาตรของแก๊สเปลี่ยนจาก  $V_1$  เป็น  $V_2$  และอุณหภูมิของแก๊สเปลี่ยนจาก  $T_1$  เป็น  $T_2$  จะได้

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

แต่ถ้าแก๊สมีจำนวนโมลคงที่ ( $n_1 = n_2$ ) จะได้

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

20

Ex. โพแทสเซียมคลอเรต ( $\text{KClO}_3$ ) สลายตัวให้แก๊สออกซิเจน ปริมาตร 25.2 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสและความดัน 672 มิลลิเมตรปรอท จงคำนวณหาปริมาตรของแก๊สออกซิเจนในหน่วยมิลลิลิตร เมื่ออุณหภูมิของแก๊สที่เกิดขึ้นเปลี่ยนเป็น 45 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 672 มิลลิเมตรปรอท

Ex. น้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ถูกฉีดเข้าไปในกระบอกฉีดยาจนได้ปริมาตร 3.80 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียสและความดัน 741 มิลลิเมตรปรอท อยากทราบว่าอุณหภูมิของแก๊สเป็นเท่าใดในหน่วยองศาเซลเซียสเมื่อกดกระบอกฉีดยาให้มีปริมาตร 1.01 มิลลิลิตรและความดัน เท่ากับ 9.25 atm

21

#### 5.1.2.5 กฎของแก๊สสมบูรณ์แบบ

จากกฎของ บอยล์ กฎของชาร์ลส์ และกฎของอะโวกาโดรใช้ภายใต้คนละสภาวะสามารถรวมเข้าด้วยกันได้ดังนี้

$$PV = nRT$$

เมื่อ  $P$  = ความดันของแก๊ส (atm)

$V$  = ปริมาตรของแก๊ส (L)

$T$  = อุณหภูมิของแก๊ส (K)

$n$  = จำนวนโมลของแก๊ส (mol)

$R$  = ค่าคงที่ของแก๊ส = 0.0821 L. atm/mol. K

22

Ex. น้ำจำนวน 1 กรัม ระเหยกลายเป็นไอในภาชนะขนาด 10 ลิตร ความดันของน้ำจะเป็นเท่าใดเมื่อการระเหยเป็นไอสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 200 C

Ex. บอลลูกหนึ่งบรรจุแก๊สฮีเลียม (He)หนัก 30 กิโลกรัม บอลลูกนี้จะมีปริมาตรเท่าใด ถ้าความดันของแก๊สฮีเลียมเป็น 1.15 atm ณ อุณหภูมิ 20 C

23

ตัวอย่างที่ 5.5 ถังบรรจุจะต้องมีปริมาตรกี่ลิตร จึงจะสามารถบรรจุแก๊ส 1 โมล ที่ STP

วิธีทำ

แก๊ส 1 โมล ที่ STP หมายถึง ที่ความดัน 1 atm และอุณหภูมิ 273 K

$$PV = nRT$$

$$(1 \text{ atm}) V = (1 \text{ mol})(0.0821 \text{ L. atm/mol. K})(273 \text{ K})$$

$$V = 22.4 \text{ ลิตร}$$

ตอบ ถังใบนี้จะต้องมีปริมาตร 22.4 ลิตร

24

ตัวอย่างที่ 5.6 ยางรถยนต์ถูกเติมลมจนมีความดัน 150 atm ที่ 15 °C หลังจากขับไปได้ 100 km อุณหภูมิภายในยางเพิ่มเป็น 50 °C จงหาความดันภายในยางที่อุณหภูมิ 50 °C

วิธีทำ

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

เมื่อ  $V_1 = V_2$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{150 \text{ atm}}{288 \text{ K}} = \frac{P_2}{323}$$

$$P_2 = 168 \text{ atm}$$

ตอบ ความดันภายในยางที่อุณหภูมิ 50 °C คือ 168 atm

25

ตัวอย่างที่ 5.7 แก๊สสมบูรณ์แบบชนิดหนึ่ง 0.533 กรัม มีปริมาตร 0.25 ลิตร ที่ความดัน 0.80 atm และอุณหภูมิ 25 °C จงคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของแก๊สนี้

วิธีทำ

$$PV = nRT \quad ; \quad n = g/MW$$

$$PV = \frac{g}{MW} \cdot RT$$

$$MW = \frac{g \cdot RT}{V \cdot P}$$

$$= \frac{(0.533 \text{ g}) (0.0821 \text{ l atm/mol K}) (25 + 273 \text{ K})}{(0.25 \text{ l}) (0.80 \text{ atm})}$$

$$= 65.2 \text{ g/mol}$$

ตอบ น้ำหนักโมเลกุลของแก๊สนี้เท่ากับ 65.2 g/mol

26

### 5.1.3 ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

ใช้อธิบายพฤติกรรมของแก๊สในระดับโมเลกุลเพื่ออธิบายความหมายของกฎและตัวแปรต่าง ๆ โดยอาศัยสมมติฐาน ดังต่อไปนี้

1. แก๊สประกอบด้วยอนุภาคจำนวนมากที่มีขนาดเล็กมาก จนถือได้ว่าอนุภาคแก๊สไม่มีปริมาตรเมื่อเทียบกับขนาดภาชนะที่บรรจุ
2. แก๊สประกอบด้วยโมเลกุลที่มีขนาดเล็กมากอยู่ห่างกันและไม่มีแรงยึดเหนี่ยว
3. แต่ละโมเลกุลเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงอยู่ตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วคงที่ จนกระทั่งชนกันเองหรือชนผนังภาชนะจึงจะเปลี่ยนทิศทางและอาจเปลี่ยนอัตราเร็วด้วย เมื่ออุณหภูมิคงที่อัตราเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊สชนิดหนึ่ง ๆ จะคงที่
4. โมเลกุลของแก๊สชนกันเองหรือชนกับผนังภาชนะจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานให้แก่กัน แต่พลังงานรวมของระบบมีค่าคงที่ เรียกว่า *การชนแบบยืดหยุ่น (elastic)*
5. อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุลของแก๊สแต่ละโมเลกุลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากัน แต่จะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน โดยที่พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน

27

#### 5.1.3.1 การแจกแจงความเร็วของโมเลกุลของแก๊ส

การคำนวณโอกาสที่จะพบโมเลกุลที่มีความเร็วอยู่ในช่วงหนึ่งที่อุณหภูมิคงที่

1. ความเร็วเฉลี่ย (average speed :  $\bar{V}$ )

$$\bar{V} = 0.92 \sqrt{\frac{3RT}{M}} = MW \quad R = 8.314 \text{ J/mol K}$$

2. ความเร็วที่มีจำนวนโมเลกุลมากที่สุด (most probable speed :  $V_{mp}$ )

$$V_{mp} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

3. รากที่สองของความเร็วกกำลังสองเฉลี่ย (root mean square speed :  $V_{rms}$ )

$$V_{rms} = \sqrt{\bar{V}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

28

ตัวอย่างที่ 5.8 จงคำนวณค่า  $V_{rms}$  และความเร็วเฉลี่ย ( $\bar{V}$ ) ของแก๊สไฮโดรเจน 1 โมเลกุล ที่ 25° C ( $H = 1 \text{ g/mol}$ ;  $H_2 = 2 \text{ g/mol} = 0.002 \text{ kg/mol}$ )

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 v_{rms} &= \sqrt{(3RT/M)} && 1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \\
 &= \sqrt{[(3 \times 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (273 + 25) \text{ K}] / 0.002 \text{ kg mol}^{-1}} \\
 &= 1927 \text{ m s}^{-1} \\
 \bar{V} &= 0.92 \sqrt{\frac{3RT}{M}} && R = 0.0821 \text{ l atm / mol K} \\
 & && = 8.314 \text{ J / mol K} \\
 &= 0.92 \times 1927 \\
 &= 1773 \text{ m s}^{-1}
 \end{aligned}$$

29

### 5.1.3.2 ความดันย่อยของดาลตัน (Dalton's law of partial pressure)

กฎของดาลตัน เป็นกฎที่เกี่ยวกับแก๊สผสม ซึ่งกล่าวไว้ว่า "เมื่อมีแก๊สตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ผสมอยู่ในภาชนะเดียวกันโดยไม่ทำปฏิกิริยา ความดันของแก๊สผสม ( $P_T$ ) เท่ากับผลรวมของความดันย่อย (partial pressure) ของแก๊สแต่ละตัว โดยแก๊สแต่ละตัวและแก๊สผสมต้องมีปริมาตรและอุณหภูมิเดียวกัน

ถ้าแก๊ส A B และ C อยู่รวมกันในภาชนะเดียวเป็นแก๊สผสม

วิธีที่ 1

ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิด คือ เมื่อ  $P_A$  และ  $X_A$  = ความดันและเศษส่วนโมลของสาร A

$$P_A = X_A P_T$$

$P_B$  และ  $X_B$  = ความดันและเศษส่วนโมลของสาร B

$$P_B = X_B P_T$$

$P_C$  และ  $X_C$  = ความดันและเศษส่วนโมลของสาร C

$$P_C = X_C P_T$$

$P_T$  = ความดันของแก๊สผสม

ดังนั้น ความดันแก๊สผสม คือ

$$P_T = P_A + P_B + P_C$$

30

วิธีที่ 2

จากกฎของบอยล์

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$P_1$  = ความดันเดิมของแก๊ส

$P_2$  = ความดันใหม่ของแก๊ส

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2}$$

$V_1$  = ปริมาตรเดิมของแก๊ส

$V_2$  = ปริมาตรใหม่ของแก๊ส

วิธีที่ 3

$$PV = nRT$$

$P$  = ความดัน

$V$  = ปริมาตร

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

$n$  = จำนวนโมล

$T$  = อุณหภูมิ (K)

$R = 0.0821 \text{ l} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

31

Ex. จงคำนวณหาความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดและความดันรวมของ แก๊สไฮโดรเจน 2 โมล ,แก๊สออกซิเจน 4 โมล และแก๊สฮีเลียม 6 โมล ในถังปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

EX.จงคำนวณความดันย่อยของแก๊สผสมในหน่วยทอร์ (torr) ของแก๊ส ไฮโดรเจน 6 กรัม แก๊สออกซิเจน 32 กรัม และแก๊สไนโตรเจน 56 กรัม ที่มีความดัน 750 ทอร์

32



**ตัวอย่างที่ 5.9** อากาศประกอบด้วย  $N_2$  0.78 โมล  $O_2$  0.21 โมล และ Ar 0.01 โมล โดยมีความดันรวม 1.0 atm จงหาความดันย่อยของแก๊สทั้งสามชนิด

**วิธีทำ**

$$n_T = 0.78 + 0.21 + 0.01 = 1.00 \text{ mole}$$

$$\text{จาก } P_A = X_A P_T$$

$$\text{ดังนั้น } P_{N_2} = \frac{0.78}{1.00} \times (1.00 \text{ atm}) = 0.78 \text{ atm}$$

$$P_{O_2} = \frac{0.21}{1.00} \times (1.00 \text{ atm}) = 0.21 \text{ atm}$$

$$P_{Ar} = \frac{0.01}{1.00} \times (1.00 \text{ atm}) = 0.01 \text{ atm}$$

**ตอบ** ความดันย่อยของ  $N_2$   $O_2$  Ar คือ 0.78, 0.21 และ 0.01 atm ตามลำดับ

33

**ตัวอย่างที่ 5.10** เมื่อนำแก๊ส  $N_2$  จำนวน  $200 \text{ cm}^3$  ที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  ความดัน 250 torr มาผสมกับแก๊ส  $O_2$  ที่มีปริมาตร  $350 \text{ cm}^3$  อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  และความดัน 300 torr ในภาชนะที่มีปริมาตร  $300 \text{ cm}^3$  จงหาความดันรวมของแก๊สผสม

**วิธีทำ** สำหรับ  $N_2$ :  $V_1 = 200 \text{ cm}^3$   $P_1 = 250 \text{ torr}$

$$V = 300 \text{ cm}^3 \quad P_{N_2} = ?$$

$$P_{N_2} = \frac{P_1 V_1}{V_{\text{รวม}}} = \frac{(250 \text{ torr})(200 \text{ cm}^3)}{(300 \text{ cm}^3)} = 167 \text{ torr}$$

$$P_{O_2} = \frac{(300 \text{ torr})(350 \text{ cm}^3)}{(300 \text{ cm}^3)} = 350 \text{ torr}$$

$$\text{ตอบ จะได้ } P_T = P_{N_2} + P_{O_2} = 167 + 350 = 517 \text{ torr}$$

34

### 5.1.3.3 กฎการแพร่ของเกรแฮม (Graham's Law of effusion)

กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม “ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันอัตราการแพร่ผ่านของแก๊สจะเป็นสัดส่วนผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุลหรือความหนาแน่น”

$$R = \sqrt{\frac{1}{M}} = \sqrt{\frac{1}{d}}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

เมื่อ  $R_1$  และ  $R_2$  = อัตราการแพร่ของแก๊สที่ 1 และ 2

$M_1$  และ  $M_2$  = มวลโมเลกุลของแก๊สที่ 1 และ 2

$d_1$  และ  $d_2$  = ความหนาแน่นของแก๊สที่ 1 และ 2

35

**ตัวอย่างที่ 5.11** แก๊ส A มีมวลโมเลกุล 36 และ แก๊ส B มีมวลโมเลกุล 9 ถ้าแก๊ส A เคลื่อนที่ได้ระยะทาง 24 เซนติเมตร แก๊ส B จะเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่าใด

**วิธีทำ**

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

$$\frac{24}{R_B} = \sqrt{\frac{9}{36}}$$

$$R_B = 48 \text{ cm}$$

**ตอบ** แก๊ส B จะเคลื่อนที่ได้ระยะ 48 cm

36

Ex. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แพร่ได้เร็วกว่าแก๊สชนิดหนึ่ง 2.13 เท่า แก๊สชนิดนี้มีมวลโมเลกุลเท่าใด

37

ตัวอย่างที่ 5.12 แก๊ส  $\text{NH}_3$  กับ  $\text{CO}_2$  ตัวใดจะแพร่ได้เร็วกว่า โดยให้เปรียบเทียบอัตราการแพร่ผ่าน (M ของ  $\text{NH}_3$  และ  $\text{CO}_2$  เท่ากับ 17 และ 44 ตามลำดับ)

วิธีทำ

$$\frac{R_{\text{NH}_3}}{R_{\text{CO}_2}} = \sqrt{\frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{NH}_3}}} = \sqrt{(44/17)} = 1.6$$

$$R_{\text{NH}_3} = 1.6 R_{\text{CO}_2}$$

ตอบ แสดงว่า แอมโมเนียมีอัตราแพร่ผ่าน(รู)ได้เร็วเป็น 1.6 เท่าของ  $\text{CO}_2$

38

#### 5.1.4 พฤติกรรมของแก๊สจริง

แก๊สอุดมคติมีพฤติกรรมตามสมการ  $PV = nRT$  แต่แก๊สจริงมีพฤติกรรมเหมือนหรือใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติ ที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำเท่านั้น พฤติกรรมจะผิดจากกฎของแก๊สอุดมคติไปมาก เจ.ดี.แวนเดอร์วาลส์ (J.D. van der Waals) ได้พิจารณาแก้ไขปรับปรุงสมการที่ใช้กับแก๊สอุดมคตินำมาใช้กับแก๊สจริงได้ดังนี้

สาเหตุที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบน

1. เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์
2. ปริมาตรของโมเลกุลเมื่อรวมกันมีค่ามากจนไม่สามารถตัดทิ้งได้

$$\left( P + \frac{an^2}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่ ที่เป็นค่าเฉพาะสำหรับแก๊สแต่ละชนิด

39

ตัวอย่างที่ 5.13 จงคำนวณความดันของแก๊สไนโตรเจน 1.5 mol ซึ่งมีปริมาตร 15 ลิตร เมื่อแก๊สนี้มีพฤติกรรมเป็นแก๊สจริง ที่  $100^\circ\text{C}$  ( $a = 1.361 \text{ atm L}^2 \text{ mol}^{-2}$ ) ( $b = 0.0385 \text{ L mol}^{-1}$ )

วิธีทำ

$$\left( P + \frac{an^2}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

$$P = \frac{nRT}{(V - nb)} - \frac{an^2}{V^2}$$

$$P = \frac{(1.5 \text{ mol})(0.0821 \text{ L atm/mol.K})(373 \text{ K})}{(15 \text{ L}) - (1.5 \text{ mol})(0.0385 \text{ L/mol})} - \frac{(1.361 \text{ atm L}^2/\text{mol}^2) (1.5^2 \text{ mol}^2)}{(15 \text{ L})^2}$$

$$P = 3.06 \text{ atm}$$

ตอบ ความดันของแก๊สไนโตรเจนคือ 3.06 atm

40

### แบบฝึกหัดท้ายบท

คำสั่ง ข้อ 1-5 จงเลือกข้อที่ถูกต้องที่สุด และข้อ 6-10 จงแสดงวิธีทำ

- แก๊สชนิดหนึ่งปริมาตร  $400 \text{ cm}^3$  มีความดัน  $0.92 \text{ atm}$  และ อุณหภูมิ  $21^\circ\text{C}$  จงหาปริมาตรแก๊สนี้ ที่ความดัน  $1.5 \text{ atm}$  และ อุณหภูมิ  $21^\circ\text{C}$   
 ก.  $245 \text{ cm}^3$                       ข.  $400 \text{ cm}^3$                       ค.  $515 \text{ cm}^3$                       ง.  $652 \text{ cm}^3$
- ออกซิเจนมีปริมาตร 2.7 ลิตร ที่ความดัน  $600 \text{ mmHg}$  และอุณหภูมิ  $33^\circ\text{C}$  จะมีปริมาตรเท่าไรที่สภาวะมาตรฐาน (STP)  
 ก. 1.6 ลิตร                      ข. 1.9 ลิตร                      ค. 2.8 ลิตร                      ง. 2.4 ลิตร
- แก๊สหนึ่งประกอบด้วยแก๊ส  $\text{C}_3\text{H}_8$  44 กรัม และ แก๊ส  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  29 กรัม ถ้าความดันรวมของแก๊สเท่ากับ  $1.8 \text{ atm}$  ความดันย่อยของแก๊ส  $\text{C}_3\text{H}_8$  เป็นเท่าไร (น้ำหนักอะตอมของ  $\text{H} = 1$ ,  $\text{C} = 12$ )  
 ก.  $0.8 \text{ atm}$                       ข.  $0.9 \text{ atm}$                       ค.  $1.0 \text{ atm}$                       ง.  $1.2 \text{ atm}$

41

4. สมการที่ใช้กับแก๊สจริงคือสมการในข้อใด

$$\begin{array}{ll} \text{ก.} & \left(P - \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \\ \text{ข.} & \left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V + nb) = nRT \\ \text{ค.} & \left(P - \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V + nb) = nRT \\ \text{ง.} & \left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \end{array}$$

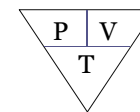
- แก๊ส  $\text{O}_2$  มีอัตราการแพร่ผ่าน (effusion) เป็นอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการแพร่ผ่านของแก๊ส  $\text{CO}_2$  (น้ำหนักอะตอมของ  $\text{C} = 12$ ,  $\text{O} = 16$ )  
 ก. แก๊ส  $\text{O}_2$  แพร่ได้เร็วกว่าแก๊ส  $\text{CO}_2$  1.2 เท่า  
 ข. แก๊ส  $\text{O}_2$  แพร่ได้เร็วกว่าแก๊ส  $\text{CO}_2$  1.4 เท่า  
 ค. แก๊ส  $\text{CO}_2$  แพร่ได้เร็วกว่าแก๊ส  $\text{O}_2$  1.2 เท่า  
 ง. แก๊ส  $\text{CO}_2$  แพร่ได้เร็วกว่าแก๊ส  $\text{O}_2$  1.4 เท่า

42

- เมื่อบรรจุแก๊สลงในภาชนะขนาด 10 ลิตร พบว่ามีความดัน  $2.00 \text{ atm}$  อยากทราบว่า ที่ปริมาตรเท่าใดจึงจะมีความดัน  $2.50 \text{ atm}$
- จงคำนวณโมลของแก๊สสมบูรณ์แบบชนิดหนึ่ง ซึ่งมีปริมาตร  $0.452 \text{ L}$  ที่  $87^\circ\text{C}$  และที่ความดัน  $0.620 \text{ atm}$
- จงคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของแก๊สสมบูรณ์แบบชนิดหนึ่ง ซึ่งมีปริมาตร  $500 \text{ cm}^3$  มีน้ำหนัก  $0.326 \text{ g}$  ที่  $100^\circ\text{C}$  และที่ความดัน  $380 \text{ torr}$
- จงคำนวณค่า  $v_{\text{rms}}$  และความเร็วเฉลี่ย ของแก๊สออกซิเจน 1 โมเลกุล ที่  $25^\circ\text{C}$
- นำแก๊ส  $\text{N}_2$   $200 \text{ cm}^3$  ที่  $25^\circ\text{C}$  ความดัน  $250 \text{ torr}$  และ  $\text{O}_2$   $350 \text{ cm}^3$  ที่  $25^\circ\text{C}$  ความดัน  $300 \text{ torr}$  มาผสมในภาชนะปริมาตร  $300 \text{ cm}^3$  จงหาความดันรวมของแก๊สผสมที่  $25^\circ\text{C}$

43

### 1. กฎของแก๊ส



• STP คือ อุณหภูมิมาตรฐานที่  $0^\circ\text{C}$  และที่ความดันมาตรฐาน 1 บรรยากาศ

$$PV = nRT \quad R = 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$$

### 2. ความเร็วของโมเลกุลของแก๊ส

$$\bar{V} = 0.92 \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

44

3. ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิด คือ

$$P_A = X_A P_T$$

$$P_B = X_B P_T$$

$$P_C = X_C P_T$$

ดังนั้น ความดันแก๊สผสม คือ

$$P_T = P_A + P_B + P_C$$

4. กฎการแพร่ของเกรแฮม

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

5. พฤติกรรมของแก๊สจริง

$$\left( P + \frac{an^2}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$