

การทดลองที่ 1

การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีวิกเตอร์ เมเยอร์

วัตถุประสงค์

- 1.1 หาน้ำหนักโมเลกุลของเบนซีนด้วยวิธีวิกเตอร์ เมเยอร์
- 1.2 เปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของสารที่คำนวณได้จากสมการก๊าซอุดมคติกับสมการวานเดอร์วาลส์

ทฤษฎี

การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีวิกเตอร์-เมเยอร์นั้นทำได้โดยให้ความร้อนกับของเหลวที่ระเหยได้ (volatile liquid) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือดจะเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซ (ไอของสาร) และเก็บก๊าซโดยการแทนที่น้ำ จากนั้นวัดความสูงของน้ำในหลอดเก็บก๊าซ ปริมาตรของก๊าซที่แทนที่น้ำและอุณหภูมิห้อง แล้วคำนวณหาความดันของก๊าซที่เกิดขึ้น นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของของเหลวได้

กฎก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas Law)

กฎก๊าซอุดมคติได้จากการรวมกฎของบอยล์และกฎของชาร์ลส์เข้าด้วยกัน ซึ่งจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร (variable) คือ ปริมาตร ความดันและอุณหภูมิดังนี้

กฎของบอยล์ ที่อุณหภูมิคงที่ ความสัมพันธ์ของปริมาตรกับความดันเป็นดังนี้

$$V \propto \frac{1}{P} \dots\dots\dots(1.1)$$

กฎของชาร์ลส์ ที่ความดันคงที่ ความสัมพันธ์ของปริมาตรกับอุณหภูมิ คือ

$$V \propto T \dots\dots\dots(1.2)$$

เมื่อรวมความสัมพันธ์ของกฎทั้งสองจะได้ผลลัพธ์คือ

$$V \propto \frac{T}{P} \dots\dots\dots (1.3)$$

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

จัดเรียงสมการใหม่

$$\frac{PV}{T} = k \dots\dots\dots (1.4)$$

k เป็นค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซ ถ้าใช้ก๊าซอุดมคติ 1 โมล จะได้ค่า k เท่ากับ 62.06 ลูกบาศก์เซนติเมตร บรรยากาศต่อองศาเคลวิน ค่าที่ได้นี้คือค่าคงที่ของก๊าซ (gas constant) ซึ่งใช้สัญลักษณ์ R แทน จะได้สมการใหม่คือ

$$\frac{PV}{T} = R \dots\dots\dots(1.5)$$

การทดลองที่ 1

แต่ถ้าก๊าซอุดมคติที่นำมาศึกษามีจำนวนมากกว่าหนึ่งโมลแล้ว เราสามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$\frac{PV}{T} = nR$$

$$PV = nRT \dots\dots\dots(1.6)$$

- เมื่อ
- P = ความดันของก๊าซ
 - V = ปริมาตรของก๊าซซึ่งเท่ากับปริมาตรของภาชนะที่บรรจุก๊าซนั้น
 - n = จำนวนโมลของก๊าซ
 - R = ค่าคงที่ของก๊าซ
 - T = อุณหภูมิของก๊าซ

สมการ (1.6) คือสมการของก๊าซอุดมคติ ซึ่งสามารถนำมาหาน้ำหนักโมเลกุลของสารได้โดยแทนค่า $n = w/M$ แล้วจัดเรียงสมการใหม่จะได้

$$M = \frac{wRT}{PV} \dots\dots\dots(1.7)$$

- เมื่อ
- w = น้ำหนักของสารระเหย
 - M = น้ำหนักโมเลกุลของสาร

สมการวานเดอร์วาลส์ (The vander Waals Equation)

ก๊าซอุดมคติถูกกำหนดไว้ว่าโมเลกุลของก๊าซเป็นจุดและไม่มีแรงระหว่างโมเลกุลที่กระทำต่อกัน แต่ก๊าซจริงจะถือว่าข้อกำหนดดังกล่าวใช้ไม่ได้ เพราะว่าโมเลกุลของก๊าซมีขนาดแน่นอนและมีแรงระหว่างโมเลกุล คือแรงวานเดอร์วาลส์ ดังนั้น ขนาดและแรงกระทำระหว่างโมเลกุลจึงเป็นสมบัติจำเพาะสำหรับก๊าซแต่ละชนิด ฉะนั้น สมการสถานะสำหรับก๊าซจริงจึงได้ระบุสมบัติจำเพาะของก๊าซแต่ละชนิดไว้ด้วย

เจซี.วานเดอร์วาลส์ ได้เสนอสมการสถานะสำหรับก๊าซจริงทั่ว ๆ ไปไว้ดังนี้

$$\left(P + \frac{n^2a}{V^2}\right) (V-nb) = nRT \dots\dots\dots(1.8)$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่ ซึ่งมีค่าจำเพาะสำหรับก๊าซหนึ่ง ๆ และมีค่าเป็นบวก สำหรับเทอม n^2a/V^2 และเทอม nb เราสามารถอธิบายได้ว่า ในสภาพที่เป็นก๊าซจริง ความดันที่วัดได้จะคลาดเคลื่อนไปจากที่นำจะเป็นในสภาพก๊าซอุดมคติคือน้อยไปเท่ากับ n^2a/V^2 ส่วนปริมาตรของภาชนะก็ผิดไปจากสภาพก๊าซอุดมคติ คือมากขึ้นไปเท่ากับ nb

พิจารณา 1 โมลของก๊าซ สมการวานเดอร์วาลส์จะเปลี่ยนมาเป็น

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right) (\bar{V}-b) = RT \dots\dots\dots(1.9)$$

การทดลองที่ 1

$$\begin{aligned}\text{เมื่อ } \bar{V} &= \text{ปริมาตรต่อโมล (molar volume)} \\ &= V/n\end{aligned}$$

จัดเรียงสมการเสียใหม่จะได้ว่า

$$P\bar{V} - bP + \frac{a}{\bar{V}} - \frac{ab}{\bar{V}^2} = RT$$

เมื่อแทนค่า $1/\bar{V}$ ในเทอมสามด้วย P/RT และเทอมที่สี่ของสมการคือ ab/\bar{V}^2 มีค่าน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้ เราจะได้สมการใหม่คือ

$$P\bar{V} = RT - P\left(\frac{a}{RT} - b\right) \dots\dots\dots(1.10)$$

จากสมการ (1.10) ถ้าทราบค่าคงที่ a , b , อุณหภูมิและความดันของก๊าซจากการทดลอง เราสามารถคำนวณหาค่าปริมาตรต่อโมล (\bar{V}) ของก๊าซได้

จากค่า \bar{V} สามารถคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของสารได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{เนื่องจาก } \bar{V} &= \frac{V}{n} \\ \frac{\bar{V}}{V} &= \frac{1}{n} \\ &= \frac{M}{w} \\ \therefore M &= \frac{\bar{V}w}{V} \dots\dots\dots(1.11)\end{aligned}$$

เมื่อแทนค่า w , \bar{V} และ V ในสมการ (1.11) สามารถคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของสารได้

การทดลองที่ 1

ตารางที่ 1.1 ค่าคงที่ a และ b ของก๊าซต่างๆ

| สาร | a (ลบ.เดซิเมตร) ² -บรรยากาศ/(โมล) ² | b ลบ.เดซิเมตร/โมล |
|-------------------------------|--|----------------------|
| He | 0.0341 | 0.0237 |
| Ar | 2.32 | 0.0398 |
| Ne | 0.2107 | 0.0171 |
| H ₂ | 0.244 | 0.0266 |
| N ₂ | 1.39 | 0.0391 |
| O ₂ | 1.36 | 0.0318 |
| Cl ₂ | 6.49 | 0.0562 |
| CO | 1.49 | 0.0399 |
| CO ₂ | 3.59 | 0.0427 |
| CH ₄ | 2.25 | 0.0428 |
| SO ₂ | 6.71 | 0.0564 |
| H ₂ O | 5.46 | 0.0305 |
| NH ₃ | 4.17 | 0.0371 |
| CH ₃ OH | 9.52 | 0.0670 |
| CH ₃ COOH | 17.59 | 0.1068 |
| C ₆ H ₆ | 18.00 | 0.1154 |

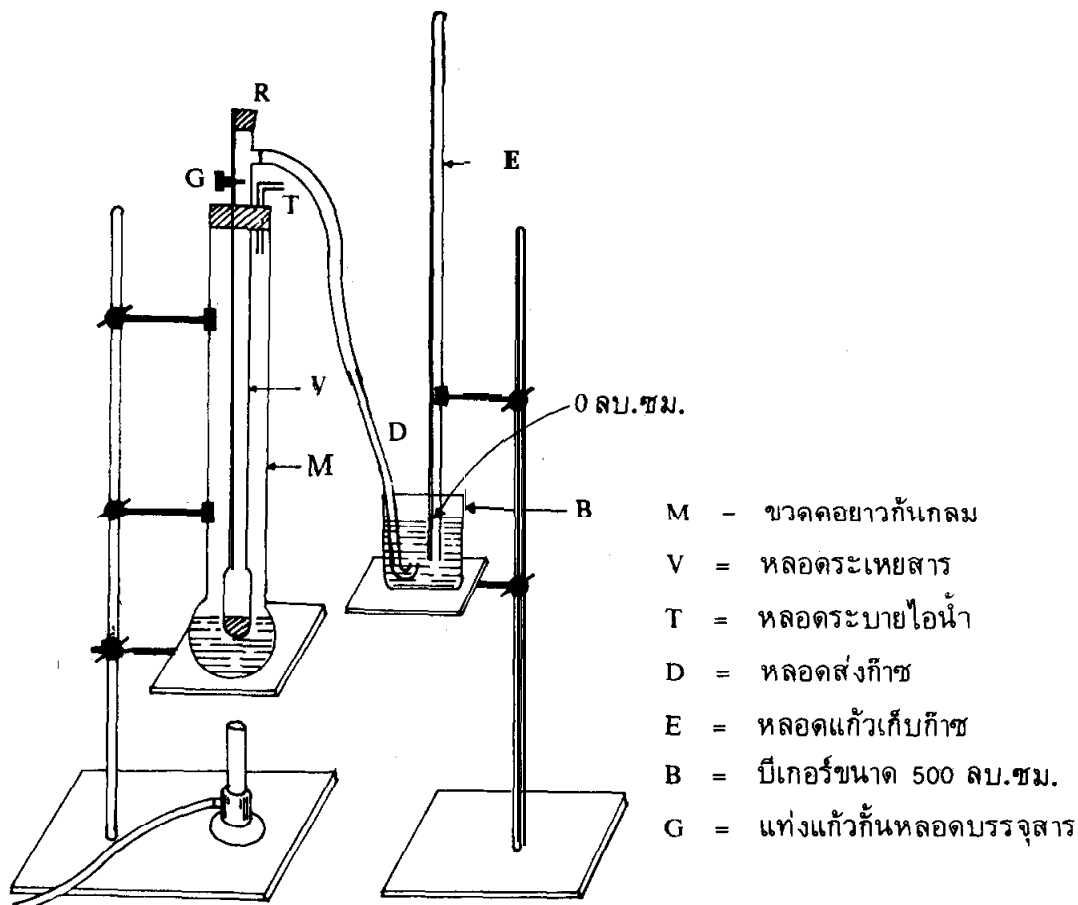
อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์หลัก

- 1.1 ชุดเครื่องมือวิกเตอร์-เมเยอร์ 1 ชุด
- 1.2 บีเกอร์ขนาด 50 ลบ.ซม. 1 ใบ
- 1.3 หลอดหยด 1 อัน
- 1.4 ด้ายยาวประมาณ 3 ฟุต 1 เส้น

การทดลองที่ 1
สารเคมี เบนซีน
วิธีการทดลอง

1.1 จัดตั้งอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงการจัดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

1.2 เติมน้ำลงในขวดแก้วก้นกลม (M) ประมาณครึ่งของกระเปาะพร้อมทั้งใส่เศษกระเบื้องประมาณ 4-8 ชิ้น

1.3 ถ้าหลอดแก้วระเหยสาร (V) สกปรกให้ล้างด้วยอะซีโตนหรือ 95 เปอร์เซ็นต์เอธิลแอลกอฮอล์ แล้วทำให้แห้ง จากนั้นเติมทรายแห้งลงไปเล็กน้อย

1.4 ประกอบหลอด V เข้ากับขวด M ดังรูป (1.1)

1.5 นำหลอดเก็บก๊าซ E มาบรรจุน้ำให้เต็ม แล้วคว่ำลงในบีเกอร์ B ขนาด 500 ลบ.ซม. ซึ่งมีน้ำอยู่ประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของบีเกอร์ จากนั้นปรับระดับศูนย์ของหลอด E

การทดลองที่ 1

ให้อยู่ที่ผิวหน้า

1.6 ต่อหลอดแก้วน้ำก๊าซ D เข้ากับหลอด V ด้วยสายยาง โดยให้ปลายหลอด D จุ่มอยู่ในน้ำนอกหลอดเก็บก๊าซ E

1.7 จุดตะเกียงบนเส้นให้ความร้อนกับน้ำในขวดแก้ว M จนเดือดสม่ำเสมอ เพื่อให้ไอล้ออากาศภายในหลอด V ออกให้หมด โดยสังเกตที่ปลายหลอด D ไม่มีฟองอากาศผุดขึ้นมาอีก แสดงว่าเครื่องมือพร้อมที่จะใส่สารทดลอง

1.8 บรรจุเบนซีนประมาณ 90-120 มิลลิกรัมในหลอดแก้วบรรจุสาร S พร้อมผูกด้วยที่คอดหลอด แล้วหย่อนหลอด S ให้ค้างอยู่ที่ตำแหน่ง G พร้อมทั้งรีบปิดจุกที่ตำแหน่ง R

1.9 สังเกตที่ปลายหลอด D อีกครั้ง ถ้ายังมีฟองอากาศผุดขึ้นมาอีก ให้รอจนกว่าจะหมดฟองอากาศ ถึงนำปลายหลอด D สอดไว้ใต้หลอด E จากนั้นปล่อยให้หลอด S ตกลงไปที่ก้นกระเปาะ V ที่มีทรายแห้งรองรับอยู่

1.10 เมื่อเบนซีนได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือดจะเปลี่ยนสถานะมาเป็นก๊าซ (ไอลของสาร) และเก็บก๊าซเบนซีนโดยการแทนที่น้ำในหลอด E

1.11 ระดับน้ำในหลอด E จะลดลงเรื่อย ๆ จนคงที่ที่ระดับหนึ่ง แสดงว่าก๊าซเบนซีนถูกไล่ออกมาจากหลอด V จนหมด

1.12 ยกปลายหลอด D ให้อยู่นอกบีเกอร์ B ก่อนดับตะเกียงบนเส้น

1.13 ปรับให้ขีดศูนย์ของหลอด E อยู่ตรงระดับผิวหน้าในบีเกอร์ B จากนั้นวัดความสูงของน้ำและปริมาตรของก๊าซเบนซีนในหลอด E

1.14 บันทึกอุณหภูมิและความดันห้องที่ทำการทดลอง

1.15 ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

หมายเหตุ

เมื่อทำการทดลองเสร็จ ก่อนส่งอุปกรณ์คืนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ นักศึกษาไม่ต้องล้างหลอดระเหย V ด้วยน้ำ เพราะว่าหากหลอด V เปียกน้ำจะทำให้นักศึกษากรูฟัดไปต้องเสียเวลาในการทำให้หลอด V แห้งเสียก่อน

การทดลองที่ 1

การวิเคราะห์ผล

ตอน ก. กำหนดความดันของก๊าซเบนซีนในหลอดเก็บก๊าซ E

เนื่องจากความดันบรรยากาศกับความดันของก๊าซเบนซีนที่ได้จากการแทนที่น้ำในหลอด E มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\text{ความดันบรรยากาศ} = \text{ความดันของก๊าซ} + \text{ความดันเนื่องจากลำน้ำสูง } H$$
$$P_{\text{atm}} = P_{\text{benzene}} + \frac{H}{d_{\text{Hg}}}$$

หรือ $P_{\text{benzene}} = P_{\text{atm}} - \frac{H}{d_{\text{Hg}}}$ (1.12)

เมื่อ P_{benzene} = ความดันของก๊าซเบนซีน ในหน่วย มม.ปรอท

P_{atm} = ความดันบรรยากาศ ในหน่วย มม.ปรอท

H = ความสูงของน้ำในหลอดเก็บก๊าซ E ในหน่วย มม

d_{Hg} = ความหนาแน่นของปรอท ในหน่วยกรัมต่อ ลบ.ซม

แทนค่า P_{atm} , H และ d_{Hg} ลงในสมการ (1.12) สามารถคำนวณความดันของก๊าซเบนซีนได้ จากนั้นเปลี่ยนหน่วยความดันให้อยู่ในรูปบรรยากาศ

ตอน ข. กำหนดน้ำหนักโมเลกุลของเบนซีนโดยใช้สมการก๊าซอุดมคติ

เมื่อคำนวณความดันของก๊าซเบนซีนได้แล้วจากตอน ก. ให้นำมาแทนค่าในสมการ (1.7) จะได้น้ำหนักโมเลกุลของเบนซีน คือ

$$M = \frac{wRT}{PV}$$

ตอน ก. กำหนดน้ำหนักโมเลกุลของเบนซีนโดยใช้สมการวานเดอร์วาลส์

สมการวานเดอร์วาลส์ที่ใช้คำนวณน้ำหนักโมเลกุลของสารคือสมการ (1.10)

$$P\bar{V} = RT - P \left(\frac{a}{RT} - b \right)$$

แทนค่า P ที่ได้จากการคำนวณในตอน ก. ค่า a และ b ของก๊าซเบนซีนดูได้จากตารางที่(1.1) ส่วน T ได้จากอุณหภูมิห้อง เราสามารถคำนวณหาปริมาตรต่อโมล (\bar{V}) ของก๊าซเบนซีนได้ จากนั้นนำค่า (\bar{V}) มาแทนค่าในสมการ (1.11) จะได้น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซเบนซีนคือ

$$M = \frac{\bar{V}w}{\bar{V}}$$

การทดลองที่ 1

คำถาม

- 1.1 ให้พิสูจน์ความสัมพันธ์ของสมการ $P = P_{\text{atm}} - H/d_{\text{Hg}}$
- 1.2 จงอธิบายความแตกต่างระหว่างก๊าซอุดมคติกับก๊าซจริง
- 1.3 ในการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของเบนซีนจากการทดลองนั้น ควรคำนวณจากสมการก๊าซอุดมคติหรือสมการวานเดอร์วาลส์เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักโมเลกุลของเบนซีนถูกต้องเพราะเหตุใด

ใบรายการข้อมูลสำหรับการทดลองที่ 1
เรื่อง การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีวิกเตอร์ เมเยอร์

I
 1 รหัสประจำตัว.....
 2 รหัสประจำตัว.....
 3 รหัสประจำตัว.....
 กรู๊ป ตอนที่.....
 วันที่ทำการทดลอง.....
 อุณหภูมิห้อง..... องศาเซลเซียส ความดันห้อง..... นิ้วปรอท

| ข้อมูลในการทดลอง | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 |
|---|------------|------------|
| น้ำหนักของหลอดใส่สาร+ปีเกอร์ (กรัม) | | |
| น้ำหนักของหลอดใส่สาร+ปีเกอร์+น้ำหนักเบนซีน (กรัม) | | |
| น้ำหนักของเบนซีน (กรัม) | | |
| ปริมาตรของก๊าซเบนซีนที่แทนที่น้ำในหลอด E (ลบ.ซม.) | | |
| ความสูงของน้ำในหลอด E (มิลลิเมตร) | | |
| ความดันของก๊าซเบนซีน (มิลลิเมตรปรอท) | | |

| ครั้งที่ | น้ำหนักโมเลกุลของเบนซีน | |
|-----------|-------------------------|-----------------------|
| | จากสมการก๊าซอุดมคติ | จากสมการวานเดอร์วาลส์ |
| 1 | | |
| 2 | | |
| ค่าเฉลี่ย | | |

ใบรายการข้อมูลสำหรับการทดลองที่ 1
เรื่อง การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีวิกเตอร์ เมเยอร์

ชื่อนักศึกษา.....รหัสประจำตัว.....
 ผู้ร่วมงาน 1รหัสประจำตัว.....
 2รหัสประจำตัว.....
 กรู๊ป.....ตอนที่.....
 วันที่ทำการทดลอง.....
 อุณหภูมิห้อง.....องศาเซลเซียส ความดันห้อง.....น้ำปรอท

| ข้อมูลในการทดลอง | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 |
|---|------------|------------|
| น้ำหนักของหลอดใส่สาร+ปีเกอร์ (กรัม) | | |
| น้ำหนักของหลอดใส่สาร+ปีเกอร์+น้ำหนักเบนซีน (กรัม) | | |
| น้ำหนักของเบนซีน (กรัม) | | |
| ปริมาตรของก๊าซเบนซีนที่แทนที่น้ำในหลอด E (ลบ.ซม.) | | |
| ความสูงของน้ำในหลอด E (มิลลิเมตร) | | |
| ความดันของก๊าซเบนซีน (มิลลิเมตรปรอท) | | |

| ครั้งที่ | น้ำหนักโมเลกุลของเบนซีน | |
|-----------|-------------------------|-----------------------|
| | จากสมการก๊าซอุดมคติ | จากสมการวานเดอร์วาลส์ |
| 2 | | |
| ค่าเฉลี่ย | | |