แผนบริหารประจำบทที่ 6

1) หัวข้อเนื้อหาประจำบท

1. มวลอะตอม (Atomic mass)
2. มวลโมเลกุล (Molecular weight) หรือ มวลสูตร (Formular weight)
3. โมล (Mole)
4. การหามวลเป็นร้อยละจากสูตร
5. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารในสมการเคมี
6. บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟี
7. สรุป
8. แบบฝึกหัดท้ายบท
9. เอกสารอ้างอิง

2) วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายมวลอะตอมและมวลโมเลกุลได้
2. เขียนสูตรเคมีและคำนวณหาสูตรโมเลกุลได้
3. บอกความหมายของโมลและหาความสัมพันธ์ของโมลกับจำนวนอนุภาค น้ำหนัก และปริมาตรได้
4. คำนวณหาร้อยละองค์ประกอบของสารระกอบได้
5. ระบุสารกำหนดปริมาณ และคำนวณปริมาณสารในสมการเคมีได้

3) วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. บรรยายและอธิบายโดยใช้สไลด์ และวิดีโอประกอบการสอน
2. แบ่งกลุ่มย่อยเพื่ออธิบายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นโจทย์และกรณีศึกษา
3. บทปฏิบัติการประจำบทที่ เรื่อง การกลั่น (Distillation)
4. ทำแบบฝึกหัด และเขียนรายงานการปฏิบัติการทดลองประจำบทปฏิบัติการที่ 5

4) สื่อการเรียนการสอน

1. สไลด์และวิดีโอประกอบการสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยาย
3. วัสดุ อุปกรณ์วิทยาศาสตร์บทปฏิบัติการประจำบทที่ 5
4. แบบฝึกหัด

5) การวัดและการประเมินผล

1. ให้คะแนนการเข้าชั้นเรียน
2. สังเกตจากความสนใจและการตอบคำถาม
2. สังเกตจากการปฏิบัติการทดลอง
3. ตรวจสอบจากแบบฝึกหัดท้ายบท

บทที่ 6
ปริมาณสัมพันธ์

ปริมาณสัมพันธ์ เป็น การศึกษาความสัมพันธ์ทางด้านปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี เมื่อนำสารชนิดใดมาทำปฏิกิริยากันแล้ว จึงมีความจำเป็นต้องระบุปริมาณสาร ซึ่งสารมีสถานะที่แตกต่างกัน มาจากคำในภาษากรีก 2 คำ คือ stoicheion แปลว่า ธาตุ กับ metron แปลว่า การวัด ได้แก่ โมล มวล จำนวนอนุภาค (อะตอม โมเลกุล ไอออน) และปริมาตรของแก๊สที่ STP ในแต่ละหน่วยมีความสัมพันธ์กัน และมีความจำเป็นที่ต้องรู้สูตรโมเลกุลของสารนอกจากนี้สูตรโมเลกุลทำให้สามารถหาร้อยละของธาตุที่เป็นองค์ประกอบได้ ในการนำสารตั้งต้นมาทำปฏิกิริยากันเมื่อคำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาย่อมมีประโยชน์ต่อการคาดคะเนปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีหากไม่คำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นที่จะใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่แน่นอนอาจทำให้ใช้สารตั้งต้นมากเกินความจำเป็น ซึ่งส่งผลให้สารบางตัวเหลือหลังจากเกิดปฏิกิริยาได้นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้นได้อีกด้วย ในบทนี้จะเป็นการศึกษามวลอะตอมที่นำไปสู่การหามวลโมเลกุลซึ่งเป็นผลรวมของทุกมวลอะตอมทั้งหมดในโมเลกุลและสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของแต่ละองค์ประกอบที่มีอยู่ในสูตรโมเลกุล รวมถึงการเขียนสมการเคมีที่แสดงถึงสิ่งที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมี สมการเคมีต้องเขียนสมการที่ดุลแล้ว โดยมีจำนวนของแต่ละชนิดอะตอมของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นตัวเลขจำนวนเท่ากัน

จากความรู้ในเรื่องสมการเคมีที่เรียนเพิ่มขึ้นนั้น จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างมวลของปฏิกิริยาเคมีได้ เพื่อที่จะทำนายผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้น และรู้ถึงปริมาณของสารตั้งต้นที่ต้องใช้และผลผลิตของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วยและสุดท้ายจะทำให้ทราบถึงปริมาณผลผลิตที่แท้จริงจากปฏิกิริยาว่ามักจะมีค่าที่น้อยกว่าค่าทางทฤษฎี

6.1 มวลอะตอม (Atomic mass)

มวลอะตอมขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอน โปรตอนและนิวตรอนที่มีอยู่ในอะตอมเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก จึงทำให้ไม่สามารถชั่งน้ำหนักของหนึ่งอะตอมได้แต่สามารถวัดมวลของอะตอมหนึ่งอะตอมได้ โดยในขั้นตอนแรกต้องกำหนดให้ค่ามวลของหนึ่งอะตอมของธาตุที่ทราบค่าแน่นอนเป็นค่ามาตรฐานก่อน (Raymond Chang, 2017)

ดังนั้น มวลอะตอม หมายถึง ตัวเลขที่แสดงว่า ธาตุนั้น 1 อะตอม หนักเป็นกี่เท่าของสารมาตรฐาน 1 อะตอม ดังสูตรที่แสดง

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\text{มวลของธาตุมาตรฐาน 1 อะตอม}}$$

เริ่มแรก จอห์น ดอลตัน (John Dalton) เสนอให้ใช้อะตอมไฮโดรเจน (H) เป็นธาตุมาตรฐานในการเปรียบเทียบเพื่อหามวลอะตอมของธาตุอื่นๆ เพราะ H เป็นธาตุที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด เพื่อหามวลอะตอมของธาตุจากสมการที่ 6.1 จะได้ว่า

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\text{มวลของธาตุไฮโดรเจน 1 อะตอม}}$$

ในเวลาต่อมาพบว่า มวลอะตอมของธาตุต่างๆ ที่ใช้ H เป็นธาตุมาตรฐานเปรียบเทียบ มีค่าตัวเลขไม่ใกล้เคียงกับจำนวนเต็ม ธาตุบางชนิดต้องหามวลอะตอมโดยวิธีอ้อม เพราะธาตุเหล่านั้นไม่สามารถรวมตัวกับ H ได้โดยตรง (วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2558) นักเคมีจึงได้เสนอให้ใช้ออกซิเจนเป็นมาตรฐานแทนไฮโดรเจน เนื่องจากธาตุออกซิเจนมีปริมาณมากในธรรมชาติอีกทั้งอยู่เป็นอิสระในบรรยากาศและสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ ดังนั้นมวลอะตอมของธาตุคือ ตัวเลขที่แสดงว่าธาตุนั้น 1 อะตอม หนักเป็นกี่เท่าของ 1/16 มวลของออกซิเจน 1 อะตอม (สุเทพ เทียนวรรณ, 2554) ดังสูตรที่แสดง

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\text{1/16 มวลของธาตุออกซิเจน 1 อะตอม}}$$

แต่เนื่องจาก O ในธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป คือ ^{16}O ^{17}O และ ^{18}O จึงทำให้เกิดความสับสนในการเปรียบเทียบกันระหว่างนักฟิสิกส์และนักเคมี ซึ่งก็คือนักเคมีใช้มวลเฉลี่ยของออกซิเจนทั้ง 3 ตัว แต่นักฟิสิกส์ใช้มวลของ ^{16}O เพียงอย่างเดียว ดังนั้นในปี 1961 นักวิทยาศาสตร์ได้ร่วมตกลงในที่ประชุมนานาชาติให้ใช้ ^{12}C ซึ่งเป็นไอโซโทปที่มีปริมาณมากที่สุดในธรรมชาติเป็นธาตุมาตรฐานในการเปรียบเทียบ ดังสูตรที่แสดง

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\text{1/12 มวลคาร์บอน C-12 1 อะตอม}}$$

จากผลการทดลองพบว่า 1/12 มวลคาร์บอน C-12 1 อะตอม (1 amu) เท่ากับ 1.66×10^{-24} กรัม มวลอะตอมจึงเป็นเพียงตัวเลข (ไม่มีหน่วย) ที่บอกให้ทราบว่าธาตุใดๆ 1 อะตอม มีน้ำหนักเป็นกี่เท่าของ 1/12 เท่าของน้ำหนัก ^{12}C จำนวน 1 อะตอม แต่เพื่อเป็นเกียรติแก่ จอห์น ดอลตันผู้พบทฤษฎีอะตอม จึงเปลี่ยนหน่วย amu เป็นดอลตัน (D) ดังแสดง

$$1\text{D (1 amu)} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}$$

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}}$$

ตัวอย่างที่ 6.1 โซเดียม 1 อะตอม มีมวล $23 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม จะมีมวลอะตอมเท่าไหร่

วิธีทำ

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}}$$

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{23 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}}$$

$$= 23$$

ตัวอย่างที่ 6.2 ทังสเตนมีมวลอะตอม 183.84 amu จงหาน้ำหนักเป็นกรัมของทังสเตน 25 อะตอม

วิธีทำ

ทังสเตน 1 อะตอม มีมวล = 183.84 amu

ทังสเตน 25 อะตอม มีมวล = 183.84×25 amu

= 4.596×10^{3} amu

เปลี่ยน amu เป็น กรัม

มวล 1 amu = 1.66×10^{-24} กรัม

ถ้ามวล 4.596×10^{3} amu = 7.629×10^{-21} กรัม

เมื่อลองพิจารณาค่ามวลอะตอมคาร์บอนในตารางธาตุ จะเห็นว่าไม่ใช่ค่า 12.00 amu แต่เป็น 12.01 amu เหตุที่มีค่าต่างไปจากนี้ เนื่องจากว่าธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีได้หลายไอโซโทปด้วยกัน (รวมทั้งคาร์บอนด้วย) นั่นหมายความว่า เมื่อเราวัดมวลอะตอมของธาตุหนึ่งๆจะต้องบอกเป็นค่ามวลเฉลี่ยของธาตุทุกๆไอโซโทปที่มีอยู่ในธรรมชาติ (Raymond Chang, 2017) ซึ่งมวลอะตอมเฉลี่ยสามารถหาได้จากสมการที่ 6.2

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ย} = \frac{\sum(\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \text{\% ในธรรมชาติ}}{100}$$

ตัวอย่างที่ 6.3 โบรอนถูกใช้ในกระบวนการผลิตเซรามิกและพอลิเมอร์ เช่น ไฟเบอร์กลาส และยังถูกใช้เป็นตัวจับนิวตรอนในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ มวลอะตอมไอโซโทปที่เสถียรของ ^{10}B (19.80%) และ ^{11}B (80.20%) คือ 10.0129 amu และ 11.0093 amu ตามลำดับ จงคำนวณหามวลอะตอมเฉลี่ยของโบรอน

วิธีทำ

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ย B} = \frac{\sum(\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป X \%ในธรรมชาติ})}{100}$$

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ย B} = \frac{(0.1980)(10.0129\ \text{amu}) + (0.8020)(11.0093\text{amu})}{100}$$

$$= 10.8129\ \text{amu}$$

ตัวอย่าง 6.4 ธาตุ A มี 3 ไอโซโทป ดังนี้

^{20}A มวลไอโซโทป 20.5 จำนวน 85 % ^{22}A มวลไอโซโทป 22.1 จำนวน 12 %

^{24}A มวลไอโซโทป 24.3 จำนวน 3 % จงหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ A

วิธีทำ

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ย B} = \frac{\sum(\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป X \%ในธรรมชาติ})}{100}$$

$$= \frac{(85 \times 20.5) + (12 \times 22.1) + (3 \times 24.3)}{100}$$

$$= 20.806$$

6.2 มวลโมเลกุล (Molecular weight) หรือ มวลสูตร (Formular weight)

เป็นมวลเปรียบเทียบที่แสดงว่า สาร 1 โมเลกุล หนักกี่เท่าของมวลอะตอมของ C-12 1 อะตอม ดังสูตรที่แสดง หรือเป็นมวลที่ได้จากผลรวมของมวลอะตอมของแต่ละธาตุในโมเลกุลหรือหน่วยสูตรนั้น นิยมเรียกว่า “น้ำหนักโมเลกุล” หรือน้ำหนักสูตร

$$\text{มวลโมเลกุลของสาร} = \frac{\text{มวลของสาร 1 โมเลกุล}}{\text{1/12 มวลของ C – 12 1 อะตอม}}$$

$$\text{มวลโมเลกุลของสาร} = \frac{\text{มวลของสาร 1 โมเลกุล}}{1.66 \times 10^{-24}\ \text{กรัม}}$$

ตัวอย่างที่ 6.5 CO_2 มีมวล 1 โมเลกุล เท่ากับ 44 × 1.66 × 10^{-24} กรัม ดังนั้น มวลโมเลกุล ได้จากผลหารระหว่างมวล 1 โมเลกุลกับมวลมาตรฐาน

CO_2 มีมวลโมเลกุล เท่ากับ 44 กรัมต่อโมล หรืออาจกล่าวได้ว่า มวลโมเลกุลของสาร หาได้จากผลรวมของมวลอะตอมของธาตุทั้งหมดในโมเลกุล เช่น CO_2 ประกอบด้วย คาร์บอน (มวลอะตอม = 12) 1 อะตอม และออกซิเจน (มวลอะตอม = 16) 2 อะตอม

ดังนั้น มวลโมเลกุล คือ (12 x 1) + (16 x 2) มีค่าเท่ากับ 44

โมเลกุลหนึ่งๆ นิยมเขียนเป็นหมู่สัญลักษณ์ของธาตุที่เขียนรวมกัน ประกอบด้วยอะตอมของธาตุใดบ้าง อย่างละกี่อะตอม เรียกว่า “สูตรเคมี (chemical formula)” เช่น สูตรเคมีของมีเทน คือ CH_4 ประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และไฮโดรเจน 4 อะตอม

1) สูตรเอมพิริคัล (empirical formular) หรืออาจเรียกว่า สูตรอย่างง่าย เป็นสูตรที่แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมของธาตุที่รวมกันเป็นสารประกอบ โดยจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับสารนั้นมีธาตุใดเป็นองค์ประกอบ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของธาตุทั้งหมดที่มีอยู่เป็นอย่างไร ธาตุเหล่านั้นมีมวลอะตอมเท่าไหร่ (บุหลัน คุ้มไพทูลย์, 2560)

ตัวอย่างที่ 6.6 จงคำนวณหาสูตรเอมพิริคัลของสารประกอบที่มีเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ Fe และ O เท่ากับ 72.4% และ 27.6% ตามลาดับ

วิธีทำ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก Fe : O = 74.4 : 27.6

อัตราส่วนโดยจำนวนอะตอมของ Fe : O $= \frac{74.4}{55.8} : \frac{27.6}{15.9}$

$= 1.33 : 1.72$

ทำให้เป็นอัตราส่วนที่เป็นเลขจำนวนน้อย ๆ โดยการหารตลอดด้วยจำนวนเลขที่น้อยที่สุด คือ 1.33

$= \frac{1.33}{1.33} : \frac{1.72}{1.33}$

$= 1 : 1.29$

ทำให้เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม จำได้ว่า $= 1 \times 3 : 1.29 \times 3$

= 3 : 3.87 (ปัดขึ้นเป็น 4)

= 3 : 4

จะได้ว่า สูตรเอมพิริคัล คือ Fe_3O_4

2) สูตรโมเลกุล (molecular formular) เป็นสูตรเคมีที่แสดงว่าสาร 1 โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของธาตุใดบ้าง อย่างละกี่อะตอม ซึ่งในการหาสูตรโมเลกุล เราจำเป็นต้องทราบสูตรเอมพิริคัลและมวลโมเลกุลของสารนั้นก่อน แล้วจึงทำการหาค่า n และสูตรโมเลกุล (บุหลัน คุ้มไพทูลย์, 2560) จากความสัมพันธ์

มวลโมเลกุล	=	(มวลของสูตรเอมพิริคัล) $\times$ n
สูตรโมเลกุล	=	$(\text{สูตรเอมพิริคัล})_n$

เมื่อ n เท่ากับ จำนวนเต็ม ($n \in N$)

ตัวอย่างที่ 6.7 จงหาสูตรโมเลกุลของสารประกอบที่มีสถานะแก๊สชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยอะตอม C 85.7% และ H = 14.3% และมีปริมาตร 1 ลิตร ที่ STP หนัก 2.5 กรัม

วิธีทำ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก C : H = 85.7 : 14.3

อัตราส่วนโดยจำนวนอะตอมของ C : H $= \frac{85.7}{12} : \frac{14.3}{1}$

$= 7.14 : 14.3$

ทำให้เป็นอัตราส่วนที่เป็นเลขจำนวนน้อย ๆ โดยการหารตลอดด้วยจำนวนเลขที่น้อยที่สุด คือ 7.14

$= \frac{7.14}{7.14} : \frac{14.3}{7.14}$

$= 1 : 2$

จะได้ว่า สูตรเอมพิริคัลของสารนี้คือ CH_2

สูตรโมเลกุลเป็น $(CH2)_n$ และมวลโฒเลกุล = (มวลของสูตรเอมพิริคัล) $\times$ n

คำนวณหามวลโมเลกุลของสารประกอบนี้ หาได้จาก แก๊สนี้มีปริมาตร 1 ลิตร ที่ STP หนัก 2.5 กรัม

$$\frac{g}{M_w} = \frac{V}{22.4}$$

$$\frac{25}{M_w} = \frac{1}{22.4}$$

มวลโมเลกุล (Mw) เท่ากับ 56

ดังนั้น หา n ได้จาก มวลโมเลกุล = (มวลของสูตรเอมพิริคัล) x n

แทนค่า 56 = ((12 x 1) + (1 x 2)) x n; n = 4

สามารถหาสูตรโมเลกุลของสารประกอบได้ นั่นคือ $(CH_2)_4$ เท่ากับ C_4H_8

สำหรับการบอกปริมาณของสาร นิยมใช้เป็นหน่วยโมล (mole) ซึ่งหมายถึงปริมาณของสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับจำนวนอะตอมของ จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า C-12 จำนวน 1 อะตอม มีมวล 12 x 1.66 x 10^{-24} กรัม ดังนั้น จึงสามารถคำนวณหาจำนวนอะตอมของ C-12 ที่มีมวล 12 กรัมได้ โดยปริมาณของสารจะมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 6.02 x 10^{23} (เลขอาโวกาโดร) คิดเป็นปริมาณ 1 โมล

6.3 โมล (Mole)

โมล ใช้สัญลักษณ์ mol หรือ n คือหน่วยที่ใช้ในการบอกปริมาณสารที่ อาเมเดโอ อาโวกาโดร นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี (พ.ศ. 2319 – 2399) เป็นผู้กำหนดขึ้น กล่าวว่า สารใดๆ จำนวน 1 โมล ประกอบด้วยอนุภาคของสารนั้นๆ จำนวน 6.02 x 10^{23} อนุภาค จึงเรียกตัวเลขดังกล่าวว่า “เลขอาโวกาโดร (Avogadro’s number)” สารใด ๆ จำนวน 1 โมลจะมีน้ำหนักเป็นกรัมเท่ากับมวลโมเลกุล หรือมวลอะตอม หรือมวลสูตรของสารเหล่านั้น (โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล, 2556) เช่น

คาร์บอน-12 ที่มีมวลอะตอม 12 กรัม มีจำนวนอนุภาค 6.02 x 10^{23} อะตอม

หรือเรียกว่า กรัมโมเลกุล หรือ กรัม/โมล ซึ่งสามารถแจกแจงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

1) จำนวนโมลกับอนุภาคของสาร

สารใด ๆ 1 โมล มีจำนวนอนุภาค (อะตอม โมเลกุล ไอออน อิเล็กตรอน โปรตอน นิวตรอน หรืออื่นๆ) เท่ากับเลขอาโวกาโดร (6.02 x 10^{23}) ดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของสารกับเลขอาโวกาโดร

สาร	จำนวนโมล	จำนวนอนุภาค
Na	1	6.02 x 10^{23} อะตอม
K	1	6.02 x 10^{23} อะตอม
O_2	1	จำนวนโมเลกุล = 6.02 x 10^{23} โมเลกุล จำนวนอะตอม = 2 x 6.02 x 10^{23} อะตอม = 1.204 x 10^{24} อะตอม
O_3	1	จำนวนโมเลกุล = 6.02 x 10^{23} โมเลกุล จำนวนอะตอม = 3 x 6.02 x 10^{23} อะตอม = 1.806 x 10^{24} อะตอม
K^+	1	6.02 x 10^{23} ไอออน
Na^+	0.5	1/2 x 6.02 x 10^{23} ไอออน 3.01 x 10^{23} ไอออน

หรือ คำนวณจากสมการ

$$\text{จำนวนโมล} = \frac{\text{จำนวนอนุภาค}}{\text{เลขอาโวกาโดร}}$$

$$n = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$

ตัวอย่างที่ 6.8 ธาตุซัลเฟอร์ (Sulfur, S) จำนวน 1.2×10^{24} อะตอม มีค่ากี่โมล

วิธีทำ ใช้ความสัมพันธ์ของเลขอาโวกาโดรและจำนวนอนุภาค

ธาตุซัลเฟอร์ 6.02×10^{23} อะตอม เท่ากับ 1 โมล

ถ้าธาตุซัลเฟอร์ 1.2×10^{24} อะตอม เท่ากับ $\frac{1 \times 1.2 \times 10^{24}}{6.02 \times 10^{23}}$ โมล

2) จำนวนโมลกับมวลของสาร

เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับปริมาณของสารอีกรูปแบบหนึ่งคือ จำนวนโมลกับมวลของสาร ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้กล่าวได้ว่า “สารใดๆ จำนวน 1 โมล จะมีน้ำหนักเป็นกรัมเท่ากับมวลอะตอมหรือมวลโมเลกุล หรือมวลสูตรของสารนั้นๆ” ดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างความสัมพันธ์จำนวนโมลกับมวลของสาร

สารที่กำหนด	มวลอะตอมหรือมวลโมเลกุลหรือมวลสูตร	จำนวนโมล	น้ำหนัก (กรัม)
Na	23	1	23 กรัม หรือ 23 กรัม/โมล หรือ 23 g/mol
Cl_2	71	1	71 กรัม หรือ 71 กรัม/โมล หรือ 71 g/mol
NaCl	58.5	1	58.5 กรัม หรือ 58.5 กรัม/โมล หรือ 58.5 g/mol

หรือใช้สูตร

$$\text{จำนวนโมล} = \frac{\text{น้ำหนักของสารนั้น}}{\text{มวลอะตอม หรือ มวลโมเลกุล}}$$

$$n = \frac{W}{M_w}$$

โดย n คือ จำนวนโมล

W คือ มวลของสาร (กรัม)

M_w คือ มวลโมเลกุลของสารนั้น

ตัวอย่างที่ 6.9 Al 40.5 กรัม จะมีกี่โมล และมีกี่อะตอม (Al มีมวลอะตอมเท่ากับ 27)

วิธีทำ มวลอะตอมของ Al เท่ากับ 27 หมายความว่า

Al หนัก 27 กรัม = 1 โมล

ถ้า Al หนัก 40.5 กรัม = $\frac{1 \times 40.5}{27}$ = 1.5 โมล

หรือ $n = \frac{W}{M_w} = \frac{40.5}{27} = 1.5$ โมล

Al 1 โมล มีจำนวนอะตอม = 6.02×10^{23} อะตอม

Al 1.5 โมล มีจำนวนอะตอม = $1.5 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม

= 9.03×10^{23} อะตอม

3) จำนวนโมลกับปริมาตรของแก๊ส

เป็นความสัมพันธ์ของโมลกับแก๊สทุกชนิด กล่าวว่า "แก๊สใดๆ 1 โมล มีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร หรือลูกบาศก์เดซิเมตร ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (Standard Temperature and Pressure, STP) ซึ่งอุณหภูมิมาตรฐานคือ 0 องศาเซลเซียม (°C) หรือ 273 เคลวิน (K) ลัความดันมาตรฐานคือ 1 บรรยากาศ (atmosphere, atm) ดังความสัมพันธ์

$$\text{จำนวนโมล} = \frac{\text{ปริมาตร}}{22.4}$$

ตัวอย่างที่ 6.10 แก๊สออกซิเจน (O_2) จำนวน 4.80 ลิตร มีออกซิเจนอะตอมกี่อะตอม (O มีมวลอะตอมเท่ากับ 16)

วิธีทำ จากความสัมพันธ์แก๊สทุกชนิดจำนวน 1 โมล มีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร

แก๊ส O_2 22.4 ลิตร = 1 โมล = $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม

ถ้าแก๊ส O_2 4.80 ลิตร = $\frac{2 \times 6.02 \times 10^{23} \times 4.80}{22.4}$ อะตอม

= 2.58×10^{23} อะตอม

จากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมล มวล อนุภาค และปริมาตรที่ STP ของแก๊ส สามารถสรุปได้ดังนี้

ธาตุในสภาพอะตอม

$$\text{จำนวนโมล} = \frac{\text{มวล (กรัม)}}{\text{มวลอะตอม}} = \frac{\text{จำนวนอะตอม}}{6.02 \times 10^{23}}$$

ธาตุหรือสารประกอบในสภาพโมเลกุล

$$\text{จำนวนโมล} = \frac{\text{มวล (กรัม)}}{\text{มวลโมเลกุล}} = \frac{\text{จำนวนโมเลกุล}}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{\text{ปริมาตรแก๊สที่ STP}}{\text{22.4 (ลิตร)}}$$

เขียนแทนด้วยสูตร

$$n = \frac{W}{M_w} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{V_{STP}}{22.4}$$

ตัวอย่างที่ 6.11 ถ้ามีแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) หนัก 15.35 กรัม จงคำนวณหา

(ก) จำนวนโมล (ข) จำนวนโมเลกุล (ค) ปริมาตรที่ STP

วิธีทำ มวลโมเลกุลของแก๊สแอมโนเนีย เท่ากับ (14 x 1) + (1 x 3) = 17

(ก) จำนวนโมลของแอมโมเนีย = $\frac{15.35}{}$ = 0.90 โมล

(ข) 1 โมลของแอมโมเนีย มีจำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล

0.9 โมลของแอมโมเนีย มีจำนวนโมเลกุล = $\frac{0.9 \times 6.02 \times 10^{23}}{1}$ โมเลกุล

= 5.42×10^{23}

(ค) ที่ STP 1 โมลของแอมโมเนีย มีปริมาตร = 22.4 ลิตร

0.90 โมลของแอมโมเนีย มีปริมาตร = $\frac{0.90 \times 22.4}{1}$

= 20.16 ลิตร

6.4 การหามวลเป็นร้อยละจากสูตร

มวลโมเลกุล (molecular mass) บางครั้งเรียกว่า น้ำหนักในโมเลกุล เป็นผลรวมของมวลอะตอม ทุกอะตอมที่มีอยู่ในโมเลกุล (Raymond chang, 2017) เช่น โมเลกุลของ H_2O จะได้ว่า 2 (มวลอะตอมของ H) + มวลอะตอมของ O หรือ

$$2(1.008 \text{ amu}) + 16.00 \text{ amu} = 18.02 \text{ amu}$$

จากสูตรของสารประกอบที่บอกจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยของสารประกอบ สามารถคำนวณร้อยละของมวลในสารประกอบที่แต่ละธาตุมีอยู่ได้

การหามวลเป็นร้อยละจากสูตรมีขั้นตอนดังนี้ (สุเทพ เทียนวรรณ, 2554)

1) ต้องทราบมวลอะตอมของธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบในสารนั้น

2) ต้องทราบสูตรแล้วหามวลโมเลกุล

3) เทียบมวลกับธาตุต่างๆ 100 หน่วยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่ 6.12 กรดฟอสฟอริก (H3PO4) ไม่มีสี เป็นของเหลวข้น ใช้ในการซักล้าง เป็นปุ๋ย ใช้ในยาสีฟันเครื่องดื่มผสมคาร์บอเนต จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบโดยมวลของ H P และ O ของสารประกอบนี้

วิธีทำ มวลโมเลกุลของ H3PO4 คือ 97.99 g ร้อยละโดยมวลของแต่ละธาตุใน H3PO4 สามารถคำนวณได้ดังนี้

ร้อยละของ H = $\frac{3 \times 1.008 \times 100}{97.99}$ = 3.086

ร้อยละของ P = $\frac{30.970 \times 100}{97.99}$ = 31.61

ร้อยละของ O = $\frac{4 \times 16 \times 100}{97.99}$ = 65.31

6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารในสมการเคมี

สมการเคมี เป็นสิ่งที่เขียนแทนปฏิกิริยาเคมี ซึ่งบอกให้ทราบชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา (reactant) และชนิดของสารผลิตภัณฑ์ (product) ที่เกิดขึ้น จากสมการเคมีที่ดุลแล้วสามารถแสดงให้ทราบถึงสิ่งต่างๆ (สุเทพ เทียนวรรณ, 2554) ดังนี้

1) จำนวนโมล

2) มวล

3) ปริมาตรที่ STP ในกรณีที่เป็นแก๊ส

ในการคำนวณปริมาณของสารในสมการเคมี มีหลักดังนี้

1) เขียนสมการให้ถูกต้องและทำสมการให้ดุล

2) แสดงความหมายปริมาณสารจากสมการตามโจทย์บอกและโจทย์ถามสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องไม่ควรนำมาพิจารณา

3) คำนวณตามที่โจทย์ต้องการ

ตัวอย่างที่ 6.13 ในการรับประทานอาหารเข้าสู่ร่างกาย อาหารจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงด้วยเอนไซม์บางชนิด เพื่อที่ร่างกายนั้นจะสามารถที่จะทำการดูดซึมได้ สมการทั่วไปสำหรับกระบวนการที่ซับซ้อนและแสดงถึงกระบวนการสลายตัวของกลูโคสนั้นแสดงดังสมการต่อไปนี้

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ ----------> $6CO_2 + 6H_2O$

ถ้ากลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) 856 กรัม จะเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กี่กรัม (CO_2)

วิธีทำ <u>ขั้นที่ 1</u> ดุลสมการ จากสมการพบว่าเป็นสมการที่ดุลแล้ว

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ ----------> $6CO_2 + 6H_2O$

<u>ขั้นที่ 2</u> หาจำนวนโมลของ $C_6H_{12}O_6$

$$n = \frac{w}{M_w}$$

$$n = \frac{856}{180.2}$$

n = 4.75 กรัม

ขั้นที่ 3 จากสมการทำให้สามารถหาจำนวนโมลของ CO_2

$$4.75 \text{ mol } C_6H_{12}O_6 \times \frac{6 \text{ mol } CO_2}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6} = 28.50 \text{ mol CO2}$$

ขั้นที่ 4 จำนวนกรัมของ CO_2 ที่เกิดขึ้นในการคำนวณขั้นสุดท้ายคือ

$$28.50 \text{ mol } CO_2 \times \frac{44 \text{ g } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} = 1.25 \times 10^3 \text{ g CO2}$$

6.6 การคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์

ปริมาณของสารกำหนดปริมาณที่มีอยู่ตอนเริ่มต้นปฏิกิริยาเป็นตัว วัดค่าผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี ของปฏิกิริยานั่นคือ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการที่สารกำหนดปริมาณทั้งหมดทำปฏิกิริยาเป็นค่าผลผลิตสูงสุดที่ได้ ในทางปฏิบัติปริมาณที่แท้จริงหรือปริมาณของผลผลิตที่เกิดขึ้นจริงๆ จากปฏิกิริยามักมีค่าน้อยกว่าทางทฤษฎีเสมอ ด้วยเหตุผลหลายประการ สำหรับผลต่างระหว่างค่าที่แท้จริงและค่าทางทฤษฎี เช่น หลายปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่อาจยากที่จะแยกเอาสารผลิตภัณฑ์ต่างๆ ออกมาจากตัวกลาง (เช่น น้ำ) บางปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อนในมุมมองที่ว่าสารผลิตภัณฑ์อาจจะทำปฏิกิริยาต่อกับตัวมันเองได้หรือกับสารตั้งต้นเพื่อเกิดเป็นสารตัวอื่นๆ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเพิ่มเติมนี้จะลดผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาแรกลง (Raymond Chang, 2017)

การวัดประสิทธิภาพของแต่ละปฏิกิริยา นักเคมีจะต้องหาค่าร้อยละผลผลิต เพื่ออธิบายสัดส่วนระหว่างค่าผลผลิตที่แท้จริงเทียบกับค่าผลผลิตทางทฤษฎี ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ผลผลิตร้อยละ(\%yield)} = \frac{\text{ผลผลิตที่แท้จริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

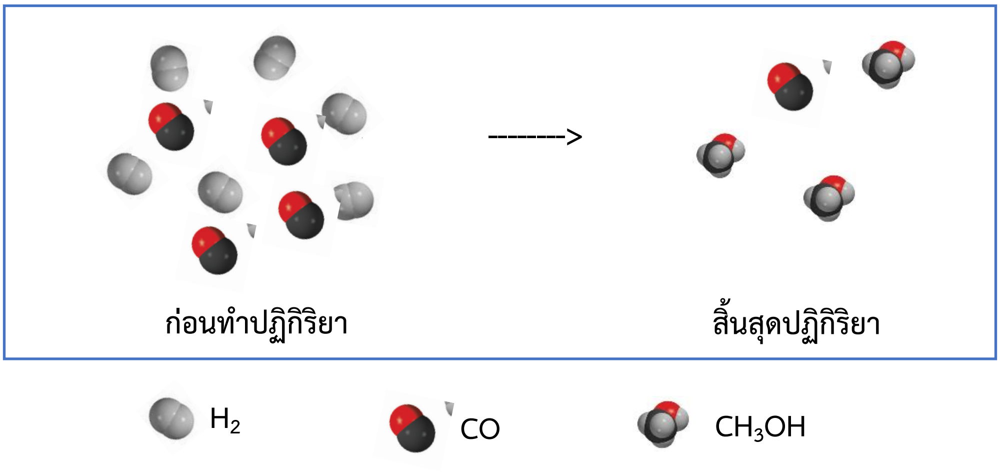
ซึ่งค่าร้อยละผลผลิตอาจจะอยู่ในช่วงร้อยละ 1-100 ซึ่งนักเคมีมีความพยายามที่จะทำให้ได้ผลผลิตมากที่สุดในปฏิกิริยา และปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าร้อยละผลผลิตคือค่าอุณหภูมิและความดัน

1) สารกำหนดปริมาณ

การเข้าทำปฏิกิริยาของสารจะมีอัตราส่วนโมลต่อโมลที่คงที่แน่นอนตามกฎสัดส่วนคงที่ ซึ่งมีข้อสรุปว่า สารประกอบแต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่รวมกันเป็นสารประกอบคงที่เสมอ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ม.ป.ป.) แต่ถ้าสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อนสารอื่น จึงเป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาหนึ่งสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ตามปฏิกิริยาเคมีนั้นได้มากที่สุดเท่าใด เรียกสารที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อนนี้ว่า สารกำหนดปริมาณ (limiting reagent) ตัวอย่างเช่น

$$CO(g) + 2H_2(g) \text{ ----------> } CH_3OH(g)$$

จะเห็นได้ว่า CO 1 โมล ทำปฏิกิริยากับ H_2 2 โมล เกิด CH_3OH ขึ้น 1 โมล ปฏิกิริยาการเกิด CH_3OH แสดงดังภาพที่ 6.1



รูปที่ 6.1 สารกำหนดปริมาณของปฏิกิริยาเคมีการเกิดเมทานอล

ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, 2010

ถ้าเริ่มต้นปฏิกิริยามี H_2 6 โมเลกุล และ CO 4 โมเลกุล เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา H_2 จะต้องถูกใช้หมดก่อน และ CO ถูกใช้อย่างมากที่สุด 3 โมเลกุล และคงเหลือ 1 โมเลกุล ดังนั้น H_2 จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

ตัวอย่างที่ 6.14 ปฏิกิริยาการเกิดยูเรีย ($(NH_2)_2CO$) สามารถเตรียมได้จาก

$$2NH_3(g) + CO(g) \text{ ----------> } (NH_2)_2CO(aq) + H_2O(l)$$

ในกระบวนการผลิตยูเรียจะเกิดขึ้นกี่กรัม เมื่อใช้ NH_3 จำนวน 637.2 กรัม ทำปฏิกิริยากับ CO_2 จำนวน 1142 กรัม จงหาสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ สารใดเหลือและเหลือกี่กรัม

วิธีทำ NH_3 จำนวน 637.2 กรัม $= \dfrac{637.2 \text{ g}}{17 \text{ g/ mol}} =$ 37.48 โมล

CO_2 จำนวน 1142 กรัม $= \dfrac{1142 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} =$ 25.95 โมล

พิจารณาจากสมการจะเห็นได้ว่า NH_3 2 mol ทาปฏิกิริยาพอดีกับ CO_2 1 mol

ดังนั้น NH_3 37.48 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $CO_2 = \dfrac{37.48}{2} =$ 18.74 โมล

แต่มี CO_2 อยู่ 25.95 โมล ดังนั้น CO_2 มากเกินพอ และจะมี CO_2 ที่เหลือจากปฏิกิริยา

25.95 - 18.74 = 7.21 โมล หรือ 7.21 (โมล) x 44 (กรัม/โมล) = 317.24 กรัม

ส่วน NH_3 เป็นสารกำหนดปริมาณ

จากสมการ NH_3 2 โมล เตรียม $(NH_2)_2CO$ ได้ 1 โมล

เพราะฉะนั้น NH_3 37.48 โมล เตรียม $(NH_2)_2CO$ ได้ $= \frac{1 \times 37.48}{2} = 18.74$ โมล

หรือ เตรียม $(NH_2)_2CO$ ได้ = 18.74 โมล x 60 (กรัม/โมล) = 1124.4 กรัม

6.7 บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟี

บทปฏิบัติการที่ 6

การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟี

วัตถุประสงค์

1.สามารถอธิบายหลักการทางโครมาโตกราฟีกระดาษ (Paper chromatography)

2.สามารถทำการวิเคราะห์และแยกสารผสมโดยวิธีทางโครมาโตกราฟีได้

หลักการ

โครมาโตกราฟีเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารผสมให้เป็นสารที่บริสุทธิ์ โดยอาศัยหลักการกระจายตัว (Distribution) ของสารในเฟสคงที่ (Stationary Phase) และเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) โดยพบว่าสารแต่ละชนิดมีความสามารถในการแยกที่แตกตางกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับ (Adsorbtion) ที่แตกต่างกัน โดยพบว่าประสิทธิภาพของการแยกสารขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ (Adsorbent) และตัวชะ (Eluent)

ตัวดูดซับ (Adsorbent) ตัวดูดซับแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับสารไว้บนพื้นผิวได้ต่างกัน ตัวดูดซับมีขั้วสามารถดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีกว่าสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นสารไม่มีขั้วจึงถูกชะออกมาก่อนสารมีขั้ว ตัวดูดซับที่นิยมใช้คือ Alumina ใช้แยกสารที่เป็นเบส Silica gel ใช้แยกสารได้เกือบทุกชนิดโดยเฉพาะสารที่เป็นกรดเป็นกลางหรือเป็นเบสอ่อนและยังมีตัวดูดซับอื่นๆ เช่น Calcium carbonate, Activated carbon, Tlorisil, Sucrose, Starch, และ Icing sugar

ตัวชะ (Eluent) ทำหน้าที่ละลายสารออกจาก Stationary Phase ตัวชะมีความสามารถในการชะสารด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ตัวชะที่มีขั้วสูงจะพาสารเกือบทุกชนิดเคลื่อนที่ไปได้เร็ว ในขณะที่ตัวชะที่มีขั้วต่ำจะพาสารที่ถูกดูดซับน้อยออกมาก่อน ดังนั้นในการเลือกตัวชะที่เหมาะสมกับชนิดของตัวดูดซับและประเภทของสารที่ต้องการแยกจะทำให้ความสามารถในการแยกสารบริสุทธิ์มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพบว่าในการเพิ่มขั้ว (polarity) ของตัวชะนั้นจะต้องค่อยๆเพิ่มหรือมีการเปลี่ยนแปลง polarity อย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแยกของ stationary phase ในคอลัมน์เกิดขึ้น (ดังตาราง 6.3 และ 6.4)

ตาราง 6.3 ความสามารถในการถูกชะของสารที่ต้องการแยกโดยแบ่งตาม Functional group

Alkanes

Alkenes

Ethers

Halogenated Hydrocarbons

Move more slowly

Aromatic Hydrocarbon

Aldehydes and Ketones

Esters

Alcohols

Amines

Carboxylic acids

Increasing Polarity

Move more slowly

ตารางที่ 6.4 ความสามารถในการชะโดยเรียงลำดับความมีขั้วของตัวชะจากน้อยไปมาก

Alkanes (Hexane, Petroleum ether

Toluene

Halogenated Hydrocarbons (CH_2Cl_2)

Diethyl Ether

Ethyl Acetate

Acetone

Alcohols

Acetic Acids

Increasing Polarity

More Powerful eluents

ประเภทของโครมาโตกราฟี ชนิดของเทคนิคทางโครมาโตกราฟีที่นำมาประยุกต์ใช้ในทางเคมีอินทีย์อย่างแพร่หลายมีหลายชนิด แต่สามารถจำแนกตามความนิยมในการใช้งานได้ดังนี้

1.โครมาโตกราฟี แบบแผ่นบาง (Thin Layer Chromatography or TLC)

2.โครมาโตกราฟี แบบคอลัมน์ (Column Chromatography)

3.โครมาโตกราฟี แบบกระดาษ (Paper Chromatography)

โครมาโตกราฟี แบบแผ่นบาง (Thin Layer Chromatography or TLC) เป็นโครมาโตกราฟี แบบของแข็ง-ของแข็ง โดยใช้ alumina หรือ silica gel เป็น stationary phase เคลือบเป็นแผ่นบางๆ หนา

ประมาณ 0.25-1.00 mm บนกระจกหรือบนแผ่น aluminum และใช้ตัวทำละลายเป็น mobile phase ในโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบางนี้ของเหลวเคลื่อนตัวผ่าน stationary phase ขึ้นในแนวตั้ง โครมาโตกราฟีแบบแผ่นบางนี้มีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพแบบง่ายและใช้สารในการวิเคราะห์ปริมาณน้อย แต่ก็มีข้อเสียคือใช้ในการแยกสารปริมาณมากๆ ไม่ดีนัก

ค่า Rate of Flow (Rf) เป็นค่าเฉพาะตัวของสาร ทั้งนี้ค่า Rf นี้ จะใช้ในการเปรียบเทียบได้ ก็ต่อเมื่อระบบของเฟสเคลื่อนที่และระบบคงที่ที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน ความหนาของตัวดูดซับมีความหนาเท่ากัน ความเข้มข้นและปริมาณของสารที่ใช้ในการตรวจสอบควรเท่ากัน นอกจากนี้ อุณหภูมิที่ทำการทดลองแต่ละครั้งควรเป็นออุณหภูมิเดียวกันเท่ากันในการทดลอง

ค่า Rf เป็นค่าระยะทางที่สารเคลื่อนตัวไปหารด้วยระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ไปได้

$$Rf = \frac{\text{ระยะทางที่สารที่เคลื่อนที่}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่}}$$

โครมาโตกราฟี แบบคอลัมน์ (**Column Chromatography)** เป็นการใช้ของแข็งเป็น Stationary phase บรรจุลงในคอลัมน์แก้วและให้ mobile phase ที่เป็นของเหลวเคลื่อนตัวผ่าน stationary phase โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง โดยเรียกการทำการแยกแบบนี้ว่า Gravity Column Chromatography ถ้าหากของเหลวเคลื่อนตัวผ่าน stationary phase โดยอาศัยแรงดันอากาศภายนอก (External pressure) จะเรียกว่าFlash Column Chromatography

อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสารที่ต้องการแยกออกจาก column ขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวดูดซับกับสารที่ต้องการแยกโดยสารที่มีแรงยึดเหนี่ยวกับตัวดูดซับมากจะเคลื่อนที่ออกมาจาก column ช้า ในทางตรงกันข้ามสารที่มีแรงยึดเหนี่ยวกับตัวดูดซับน้อยจะเคลื่อนที่ออกมาจาก Column เร็ว นอกจากนี้ ขนาดของ column และปริมาณของตัวดูดซับที่เหมาะสมกับปริมาณของสารที่ต้องการแยก มีผลต่อความสามารถในการแยกสารให้บริสุทธิ์ (Column Efficiency) โดยทั่วไปปริมาณของตัวดูดซับควรมีปริมาณ 25-30 เท่าของปริมาณของสารที่ต้องการแยก และ column ควรมีความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของ column ประมาณ 8:1

โครมาโตกราฟีแบบกระดาษ (Paper Chromatography) โครมาโตกราฟีแบบกระดาษหรือเรียกตามเฟสที่เกี่ยวข้องได้ว่า liquid-liquid chromatography เป็นโครมาโตกราฟีที่นิยมใช้แยกหรือตรวจสอบสารโพลาร์ โดยใช้สารปริมาณน้อย สารดังกล่าวได้แก่ กรดอะมิโน (amino acid) สารประกอบคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ใช้กระดาษเซลลูโลสซึ่งมีน้ำแทรกอยู่เป็น Stationary phase และมีตัวทำละลายที่มีขั้วเหมาะสมทำหน้าที่เป็น mobile phase เมื่อต้องการแยกสารใดเพื่อศึกษาก็จุดสารผสมที่จะต้องการจะศึกษา (โดยเตรียมให้เป็นสารละลายก่อน) ลงบนแผ่นกระดาษเซลลูโลส แล้วนำไปจุ่มในตัว

ทำละลายที่ทำหน้าที่เป็น mobile phase ก็จะได้โครมาโตแกรม (chromatogram) ของจุดของสารต่างๆ บนกระดาษ

การทดลอง

อุปกรณ์

1. กระดาษกรอง
2. หลอดทดลอง
3. กระดาษอะลูมิเนียมฟลอยด์
4. Developing Jar หรือ หลอดทดลองขนาด 1.5 x 1.0 cm.
5. ปากกาเมจิเขียนแผ่นทึบ
6. ปากคีบ (Forceps)

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. เอทานอล

วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้เป็นการแยกสีออกจากหมึกปากกาเขียนแผ่นทึบโดยใช้กระดาษกรอง โดยในการทดลองเบื้องต้น จะต้องทำการหาระบบตัวทำละลายที่เหมาะสม

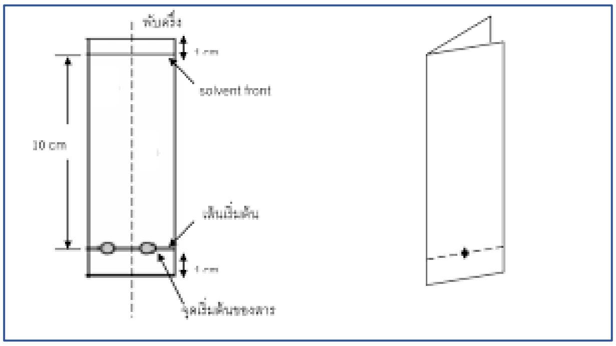
1.เตรียมอัตราส่วนขงสารละลายที่จะใช้ในการทดลองดังตารางที่ 6.5

สารละลาย	**ปริมาตรสารละลาย (ml)**		**อัตราส่วน**
	H_2O	Ethanol	
1	0	10	0% H_2O
2	2	8	20% H_2O
3	4	6	40% H_2O
4	6	4	60% H_2O
5	8	2	80% H_2O
6	10	0	100% H_2O

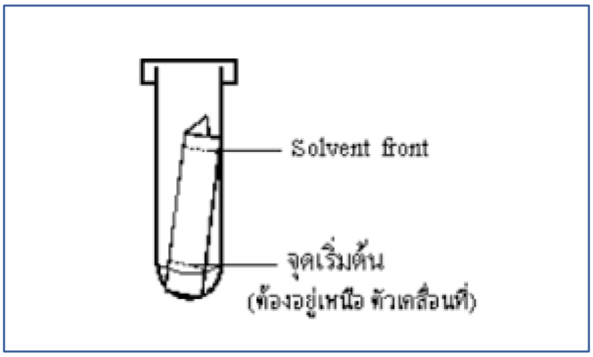
2. เตรียมอัตราส่วนของตัวทำละลายที่ต้องการตามข้อ 1 และเทใส่ลงในหลอดทดลอง โดยให้ความสูงของตัวทำละลายในหลอดทดลองประมาณ 0.5 เซนติเมตร

3. นำกระดาษกรองขนาดประมาณครึ่งหนึ่งของหลอดทดลองใส่ภายในหลอดทดลอง แล้วปิดหลอดทดลอง ด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟลอยด์ ทิ้งไว้จนกระทั่งตัวทำละลายอิ่มตัวในหลอดทดลอง (โดยสังเกตจากการเคลื่อนที่ของสารละลายบนกระดาษกรอง)

4. ตัดกระดาษกรองเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว 9.0 เซนติเมตร กว้าง 2.0 เซนติเมตร โดยประมาณใช้ดินสอขีดเส้นตรงขนานกับขอบกระดาษโดยให้อยู่ห่างจากขอบล่าง 1.0 เซนติเมตร (จุดเริ่มต้น) และอยู่ห่างจากขอบบน 1.0 เซนติเมตร (จุด solvent front) พับกระดาษครึ่งตามยาวให้กระดาษถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ใช้ปากกาเขียนแผ่นทึบจุดที่เส้นเริ่มต้นส่วนละ 1 จุด โดยให้ทั้ง 2 จุด มีสี่เหลี่ยมเหมือนกัน ทั้งนี้เมื่อพับกระดาษแล้วจดสาระอยู่ด้านนอกสุด ดังรูป



5. ใส่กระดาษกรองนี้ลงในหลอดทดลองที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นปล่อยให้ตัวทำละลายเคลื่อนที่จนถึงเส้น solvent front



6. นำแผ่นกระดาษกรองออกจากหลอดทดลอง แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วทำเครื่องหมายด้วยดินสอจนที่เห็นจุดสีเกิดขึ้น

7. คำนวณหาค่า R, ของสารที่แยกได้ ค่า Rf เป็นค่าเฉพาะตัวของสารและค่า Rf นี้จะมีค่าคงที่และใช้ในการเปรียบเทียบได้นั้น ก็ต่อเมื่อระบบของตัวทำละลายคงที่ ตัวดูดซับที่ใช้เป็นชนิดเดียวกันความหนาของตัวดูดซับที่มีความหนาเท่ากัน ปริมาณของสารที่ Spot ควรเท่ากัน และอุณหภูมิที่เท่ากันในการทดลอง

8. ทำการทดลองซ้ำ (ข้อ 1-7) โดยทำการเปลี่ยนอัตราส่วนของตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำ เปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละอัตราส่วนว่าให้ผลการแยกแตกต่างกันอย่างไร

รายงานบทปฏิบัติการที่ 6

การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟี

หมู่ที่..........วิชาเอก..คณะ..

ทำการทดลองวัน....................ที่.........เดือน..........................พ.ศ. ....เวลา ....

ชื่ออาจารย์ผู้ควบคุมการทดลอง...

ผู้ทำการทดลอง ....รหัสนักศึกษา ....

ผู้ร่วมทำการทดลอง..รหัสนักศึกษา..........................

ผู้ร่วมทำการทดลอง..รหัสนักศึกษา..........................

ผลการทดลอง

ระยะที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ไปสูงสุด.......................................cm

สารละลาย	อัตราส่วน	ระยะกลาง	Rf ของสาร
1	0% H_2O	___________________	___________________
2	20% H2O	___________________	___________________
3	40% H_2O	___________________	___________________
4	60% H_2O	___________________	___________________
5	80% H_2O	___________________	___________________
6	100% H_2O	___________________	___________________-

วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล

....

....

....

....

ข้อเสนอแนะ

....

....

....

....

คำถาม

1. เครื่องควบแน่น (Condenser) ใช้ทำหน้าที่สำหรับการกลั่น และมีการทำงานอย่างไร

----

2. การกลั่นเพื่อแยกสารละลายผสมระหว่าง methylene chloride และน้ำ (จุดเดือด 39องศาเซลเซียส และ100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) นักศึกษาคิดว่าควรใช้วิธีกลั่นแบบธรรมดาหรือแบบลำดับส่วนเพื่อแยะสารผสมนี้และ เพราะเหตุผลใด

----

3. เหตุใดจึงต้องเติม Boiling chip

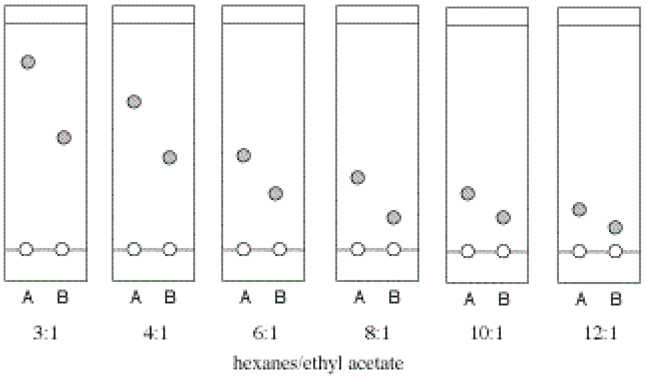
----

4. นักศึกษาสามารถทำการแยกเอทานอลกับน้ำ โดยวิธีการกลั่นแบบธรรมดาได้ 100 เปอร์เซ็นหรือไม่ เพราะเหตุใด

----

5. การกลั่นลำดับส่วนสามารถใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างไร

คำถาม หากคุณต้องการแยกสารประกอบ A จากสารประกอบ 8 โดยใช้โครมาโตกราฟี แบบคอลัมน์อยากทราบว่าระบบตัวชะใดที่ดีที่สุดในการชะสารประกอบ A และสารประกอบ 8 พร้อมทั้งให้เหตุผลในการเลือก ทั้งนี้โดยให้พิจารณาจากผลของ TLC ที่ได้จากการใช้ระบบเฟสเคลื่อนที่ระหว่าง hexane ต่อ ethyl acetate ในอัตราส่วนต่างๆ ดังรูป



6.8 สรุป

ปริมาณสัมพันธ์ เป็นความสัมพันธ์เชิงปริมาณขององค์ประกอบของสาร มวลอะตอม โมเลกุล สูตรเคมีของสาร และปฏิกิริยาเคมีหรือสมการเคมีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการคาดคะเนหรือคำนวณปริมาณสารที่ต้องใช้เป็นสารตั้งต้น เพื่อให้ได้ปริมาณสารผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ ยังสามารถอธิบายได้ว่า สารตั้งต้นใดหมดหรือสารตั้งต้นใดที่เหลือ และเหลือจำนวนเท่าใด ตลอดจนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยามีปริมาณมากที่สุดเท่าใด

6.9 แบบฝึกหัดท้ายบท

1. ธาตุ X 3 อะตอมมีมวลเป็น 2 เท่าของธาตุ C 5 อะตอม จงหามวลอะตอมของ X และมวลของ X 1 อะตอม (ถ้า C มีมวลอะตอม = 12)

2. ธาตุ B มี 2 ไอโซโทป ดังนี้ คือ ^{63}B และ ^{65}B พบว่ามวลอะตอมเฉลี่ย B เท่ากับ 64.2 จงหา % ของแต่ละไอโซโทป

3. สารประกอบชนิดหนึ่ง 100 โมเลกุล หนัก X กรัม และ C-12 10 อะตอมหนัก Y กรัม จงหามวลโมเลกุลของสารประกอบนี้

4. ถ้ามวลสูตร $KMnO_4$ = 158 จงคำนวณหามวลอะตอมของ Mn (โดย K = 39.1, O = 16)

5. จงแสดงวิธีคำนวณหาจำนวนโมลของสารต่อไปนี้

5.1 ธาตุโพแทสเซียม (K) จำนวน 7.77×10^{22} อะตอม

5.2 ไอโอดีนโมเลกุล (I2) จำนวน 5.34×10^{25} โมเลกุล

5.3 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) จำนวน 1.25×10^{21} โมเลกุล

6. ต้องชั่งธาตุ Fe มากี่กรัมจึงจะมีจำนวนอะตอมเท่ากับธาตุ C 45 กรัม (Fe มีมวลอะตอมเท่ากับ 56 และ C มีมวลอะตอมเท่ากับ 12)

7. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จำนวน 5 โมล จะมีมวลกี่กรัม

8. ถ้ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) หนัก 9.24 กรัม จงหา (กำหนดให้ C มีมวลอะตอมเท่ากับ 12 และ O มีมวลอะตอมเท่ากับ 16)

8.1 จำนวนโมลของแก๊ส CO_2

8.2 จำนวนโมเลกุลของแก๊ส CO2

8.3 จำนวนโมลของแต่ละธาตุในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนนี้

8.4 จำนวนอะตอมของแต่ละธาตุ

9. ถ้ามีแก๊สออกซิเจนหนัก 64.0 กรัม ที่ STP จะมีปริมาตรเท่าใด

10. คาร์ลโคไพไรต์ ($CuFeS_2$) เป็นแร่หลักของคอปเปอร์หนัก 3.71×10^3 กรัม จงคำนวณจำนวนกิโลกรัมของ Cu ในแร่คาร์ลโคโพไรต์นี้

11. จากสมการเคมี

$$2C(s) + O_2(g) \longrightarrow 2CO(g)$$

$$Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \longrightarrow 2Fe(s) + 3CO_2(g)$$

ถ้ามีแก๊ส O_2 อยู่ 560 กรัม แก๊ส Fe_2O_3 อยู่ 683.5 กรัม และ C อยู่ 1600 กรัม จงคำนวณหาน้ำหนักของเหล็กที่จะเตรียมได้

6.10 เอกสารอ้างอิง

Chang, R. (2010). **Chemistry**. (10^{th} ed.). New York: McGraw-Hill.

Raymond Chang.(2017). **เคมี1 chemistry 12/e**. แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์ แอลแอลซี: กรุงเพมหานคร.

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2558). **เคมีสำหรับวิศวกร**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

สุเทพ เทียนวรรณ. (2554). **เคมีทั่วไป (General Chemistry).** คณะวิทยาศาสตร์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

บุหลัน คุ้มไพฑูลย์. (2560). **เคมีทั่วไป (General chemistry).** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล. (2556). **ปริมาณสารสัมพันธ์.** สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2565. จาก https://is.gd/CYnorL

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (ม.ป.ป.). **พจนานุกรมศัพท์วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี (ESCIVOCAB)**. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2565 จาก https://escivocab.ipst.ac.th/search