

คู่มือเรียนรายวิชา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
ตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

เพิ่มเติม



ม.4 เล่ม 2

โดย
สำราญ พุกขสุทร

กศ.บ. เกียรตินิยมอันดับ 1 (เคมี)

กศ.บ. (เคมี)

Cert. in Teaching & Learning in Hi-Ed. and

Research Supervision (University of Sydney, Australia)

สรุปเนื้อหาสำคัญ

- โมลและสูตรเคมี
- สารละลาย
- ปริมาณสัมพันธ์

ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้

ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย

ปี 2518-ปัจจุบัน ครบทุกเนื้อหา

พร้อมเฉลยครบถ้วน



คู่มือเรียนรายวิชา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
เพิ่มเติม ตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)



เคมี

ม.4 เล่ม 2

โดย **สำราญ พุกขสุณทร**

กศ.บ. เกียรตินิยมอันดับ 1 (เคมี)

กศ.บ. (เคมี)

Cert. in Teaching & Learning in Hi-Ed. and

Research Supervision (University of Sydney, Australia)

สรุปเนื้อหาสำคัญ

- โมลและสูตรเคมี
- สารละลาย
- ปริมาณสัมพันธ์

ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้

ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย

ปี 2518-ปัจจุบัน ครบทุกเนื้อหา

พร้อมเฉลยครบถ้วน



คู่มือสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

เคมี ม.4 เล่ม 2

ผู้เรียบเรียง สํารานฎ พฤกษ์สุนทร

บรรณาธิการ	อรศรี โรจน์พจนรัตน์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ (ศิลปกรรม)	อมรศักดิ์ บุญเรือง
หัวหน้าฝ่ายศิลป์	อุไรพรรณ บุญเรือง
เรียงพิมพ์	ปิยนันท์ รักพูนแก้ว
รูปเล่ม	อุไรพรรณ บุญเรือง
พิสูจน์อักษร	พิรุณณิชา ไบสุวรรณ
รองปก	สิทธิินันท์ สกุลชัยสิริวิช
ปก	อมรศักดิ์ บุญเรือง



หนังสือเล่มนี้พิมพ์ด้วย กระดาษรีไซเคิล 100%
กระดาษจากไม้ปลูก ไม่รบกวนไม้ธรรมชาติ



จัดพิมพ์ : บริษัท สำนักพิมพ์ พ.ศ. พัฒนา จำกัด

12 หม่อมแพ้วแยก 3 ถนนพระราม 6 (ซอย 41) แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400

โทร : 0-2279-6222 (อัตโนมัติ 15 คู่สาย)

โทรสาร : 0-2279-6203-4

พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์เพิ่มทรัพย์การพิมพ์

117/22 หมู่ 5 ซอยบางไผ่พัฒนา ถนนนครอินทร์ ตำบลบางไผ่ อำเภอมะนัง จังหวัดนันทบุรี 11000

ผู้พิมพ์ : ผู้โฆษณา

นายธนวัฒน์ สุขมงคลกุล

หนังสือเคมี ม. 4 เล่ม 2 ที่จัดทำขึ้นใหม่นี้ ผู้เขียนได้จัดทำตามสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และผู้เขียนได้เรียบเรียงเนื้อหาตามแนวหนังสือเรียนของ สสวท. ปี 2560 แต่เนื้อหาละเอียดกว่า เพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาแต่ละเรื่องได้ดียิ่งขึ้น ในส่วนที่เป็นข้อสอบแต่ละบทมีทั้ง ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้ และข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 ถึงปัจจุบัน พร้อมเฉลยละเอียด



ก่อนเรียบเรียงหนังสือเล่มนี้ ผู้เรียบเรียงได้วิเคราะห์ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยในปีที่ผ่านมา เพื่อให้นักเรียนควรมีความรู้เรื่องใดมากน้อยแค่ไหน จะได้เป็นแนวทางในการเรียบเรียงครั้งนี้ ดังนั้นเนื้อหาบางตอนหรือบางเรื่องจึงละเอียดกว่าในหนังสือเรียนของ สสวท. ทั้งนี้ก็เพื่อให้สอดคล้องกับข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยที่ผู้เขียนได้วิเคราะห์มานั่นเอง ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยของแต่ละปี ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้ก็แยกไว้ท้ายบทเพื่อให้นักเรียนได้เห็นแนวทางข้อสอบได้ง่ายเพื่อประโยชน์ในการสอบครั้งต่อไป ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้ส่วนหนึ่งได้แปลมาจากตำราต่างประเทศที่เคยมีในข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย ข้อสอบโอลิมปิก และอีกส่วนหนึ่งสร้างขึ้นเพื่อให้ครอบคลุมเนื้อหาละเอียดทุกแง่มุม การเฉลยข้อสอบแต่ละชุดเฉลยให้อย่างละเอียด เพื่อให้นักเรียนได้รู้วิธีคิดหรือเหตุผลของการตอบแต่ละข้อ นอกจากนั้นในส่วนที่เป็นข้อสอบคำนวณยังได้แทรกเทคนิคคิดลัดไว้ให้ด้วย

ผู้เขียนจึงหวังอย่างยิ่งว่านักเรียนหรือผู้ที่สนใจคงได้รับประโยชน์จากหนังสือเล่มนี้มากพอสมควร อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้รับประโยชน์จากหนังสือเล่มนี้อย่างแท้จริง นักเรียนควรทำข้อสอบทุกข้อด้วยตนเองก่อนที่จะดูเฉลย หากนักเรียนสงสัยหรือมีปัญหาอะไร สามารถสอบถามได้ที่บริษัทสำนักพิมพ์ พ.ศ.พัฒนา จำกัด

ด้วยความปรารถนาดี

(สำราญ พุกษ์สุนทร)

สารบัญ

หน้า

บทที่ 4 โมลและสูตรเคมี	1
4.1 มวลอะตอม	1
4.1.1 การคำนวณหามวลอะตอมจากการเปรียบเทียบ	2
4.1.2 การคำนวณหามวลอะตอมจากปฏิกิริยาเคมีของธาตุ	3
4.1.3 การหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุจากมวลอะตอมและปริมาณของไอโซโทป	4
4.2 ขนาดของโมเลกุล	8
4.3 มวลโมเลกุล	11
4.4 โมล	14
4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลโมเลกุลกับจำนวนโมลอะตอม	15
4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับมวลของสาร	17
4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับปริมาตรของแก๊ส	19
4.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมล อนุภาค มวลและปริมาตร	22
4.4.5 การคำนวณเกี่ยวกับเรื่องโมล	23
4.5 สูตรเคมี	33
4.5.1 การหาสูตรเอมพิริคัล	35
4.5.2 การหาสูตรโมเลกุล	36
4.5.3 การคำนวณหามวลเป็นร้อยละจากสูตร	39

สารบัญ

หน้า

ข้อสอบชุดที่ 1 ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้บทที่ 4 โมลและสูตรเคมี 42

เฉลยละเอียดข้อสอบชุดที่ 1 ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้บทที่ 4 โมลและสูตรเคมี 51

ข้อสอบชุดที่ 2 ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 ถึงปัจจุบันบทที่ 4 โมลและสูตรเคมี 78

เฉลยละเอียดข้อสอบชุดที่ 2 ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 ถึงปัจจุบันบทที่ 4 โมลและสูตรเคมี 95

บทที่ 5 สารละลาย 131

5.1 ความเข้มข้นของสารละลาย 131

5.2 การเตรียมสารละลาย 139

5.2.1 การเตรียมสารละลายโดยการละลายตัวละลาย

ในตัวทำละลาย 139

5.2.2 การเตรียมสารละลายโดยการนำสารละลายเดิม

มาทำให้เจือจางลง 142

5.2.3 การเตรียมสารละลายโดยการผสมสารละลายเดิม

ที่มีความเข้มข้นต่างกันเข้าด้วยกัน 143

5.2.4 การคำนวณเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลาย 143

5.2.5 การคำนวณเกี่ยวกับการเปลี่ยนหน่วยจากร้อยละเป็นโมล

ต่อลูกบาศก์เดซิเมตร 153

สารบัญ

หน้า

5.2.6	สมบัติบางประการของสารละลาย	155
5.2.6.1	จุดเดือดของสารละลาย	155
5.2.6.2	จุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็งของสารละลาย	157
5.2.6.3	สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย	158
5.2.6.4	สมบัติเกี่ยวกับความดันไอและความดันออสโมติกของสารละลาย	170
ข้อสอบชุดที่ 1 ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้บทที่ 5 สารละลาย		172
เฉลยละเอียดข้อสอบชุดที่ 1 ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้บทที่ 5 สารละลาย		178
ข้อสอบชุดที่ 2 ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 ถึงปัจจุบันบทที่ 5 สารละลาย		190
เฉลยละเอียดข้อสอบชุดที่ 2 ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 ถึงปัจจุบันบทที่ 5 สารละลาย		202
บทที่ 6 ปริมาณสัมพันธ์		222
6.1	ปฏิกิริยาเคมี	222
6.2	มวลของสารในปฏิกิริยาเคมี	223
6.2.1	ระบบกับการเปลี่ยนแปลง	223
6.2.2	กฎทรงมวล	225
6.2.3	กฎสัดส่วนคงที่	227
6.3	ปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมี	230

สารบัญ

หน้า

6.3.1 กฎของเกย์-ลูสแซก	230
6.3.2 กฎของอาโวกาโดร	231
6.3.3 การหาสูตรโมเลกุลของแก๊สจากปฏิกิริยาเคมี	233
6.4 สมการเคมี	234
6.4.1 หลักในการเขียนสมการเคมี	234
6.4.2 สมการเคมีที่ควรทราบ	235
6.4.3 การดุลสมการเคมี	238
6.4.4 ประเภทของสมการเคมี	240
6.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารในสมการเคมี	241
6.4.6 การคำนวณเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารในสมการเคมี	243
6.4.6.1 การคำนวณหาปริมาณสารจากสมการเคมีที่มีมากกว่าหนึ่งสมการ	248
6.4.6.2 สารกำหนดปริมาณ	251
6.4.6.3 ผลได้ตามทฤษฎีและผลได้จริง	254
6.4.6.4 สมการเคมีกับการหามวลอะตอมและมวลโมเลกุล	255
6.4.6.5 การคำนวณหาสูตรโมเลกุลของแก๊สโดยอาศัยสมการเคมี	256

สารบัญ

หน้า

ข้อสอบชุดที่ 1 ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้ระดับที่ 6 ปริมาณสัมพันธ์	258
เฉลยละเอียดข้อสอบชุดที่ 1 ข้อสอบตามจุดประสงค์การเรียนรู้ระดับที่ 6 ปริมาณสัมพันธ์	269
ข้อสอบชุดที่ 2 ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 ถึงปัจจุบันบทที่ 6 ปริมาณสัมพันธ์	291
เฉลยละเอียดข้อสอบชุดที่ 2 ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 ถึงปัจจุบันบทที่ 6 ปริมาณสัมพันธ์	322
บรรณานุกรม	376



บทที่ 4 โมลและสูตรเคมี

มวลและน้ำหนักของสาร

มวลของสาร คือ ปริมาณที่ขึ้นอยู่กับเนื้อของสาร ซึ่งมีค่าคงที่เสมอไม่ว่าจะอยู่ที่ใดก็ตาม

น้ำหนักของสาร คือ แรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อมวลของวัตถุ วัตถุที่มีมวลมากน้ำหนักก็จะมาก วัตถุที่มีมวลน้อยน้ำหนักก็จะน้อย นั่นคือน้ำหนักของสารแปรผันโดยตรงกับมวลของสาร น้ำหนักมีค่าไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปตามสถานที่ เช่น เมื่อชั่งวัตถุที่เชิงเขาวัตถุจะหนักกว่าเมื่อชั่งบนยอดเขา โดยปกติน้ำหนักของสารบนพื้นโลกมีค่าใกล้เคียงกับมวลของสารนั้น ดังนั้นในทางปฏิบัติเราวัดมวลของสารโดยการชั่ง ด้วยเหตุนี้คำว่ามวลและน้ำหนักใช้แทนกันได้ ยกเว้นบางกรณีที่ใช้คำว่าน้ำหนักแทนแล้วทำให้ความหมายผิดไป

4.1 มวลอะตอม (Atomic mass)

เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กมากและมีมวลน้อยมากจนไม่สามารถชั่งได้ ดังนั้นเมื่อต้องการทราบมวลอะตอมของธาตุใดจึงใช้วิธีการเปรียบเทียบ โดยพิจารณาว่าอะตอมของธาตุหนึ่งมีมวลน้อยกว่าหรือมากกว่าอะตอมของอีกธาตุหนึ่งซึ่งเป็นตัวมาตรฐานที่เท่า มวลของอะตอมที่ได้จากการเปรียบเทียบนี้เรียกว่า **มวลอะตอมของธาตุ** ดอลตันเสนอให้ใช้ไฮโดรเจนเป็นมาตรฐาน เพราะไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาที่สุดคือ 1 อะตอมมีมวลประมาณเท่ากับ $1.66 \times 10^{-24} \text{g}$ และกำหนดให้ไฮโดรเจน 1 อะตอมซึ่งมีมวลประมาณ $1.66 \times 10^{-24} \text{g}$ มีมวลเป็น 1 หน่วย หรือ 1 amu (amu = atomic mass unit)

$$\therefore \text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\text{มวลของไฮโดรเจน 1 อะตอม}}$$

กรณีนี้มวลอะตอมของธาตุคือตัวเลขที่แสดงให้ทราบว่าธาตุใด ๆ อะตอมมีมวลเป็นกี่เท่าของมวลไฮโดรเจน 1 อะตอม เช่น แคลเซียม (Ca) มีมวลอะตอม 40 หมายความว่า แคลเซียม 1 อะตอม มีมวลเป็น 40 เท่าของมวลของไฮโดรเจน 1 อะตอม

ต่อมานักเคมีชาวเบลเยียม ชื่อ J.S. Stas ได้ใช้ออกซิเจนเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ เนื่องจากออกซิเจน 1 อะตอมมีมวล 16 หน่วย หรือ 16 เท่าของไฮโดรเจน 1 อะตอม แต่มาตรฐานต้องมีมวล 1 หน่วย ดังนั้นเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

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

กรณีนี้ มวลอะตอมคือ ตัวเลขที่แสดงให้ทราบว่าธาตุใด ๆ 1 อะตอมมีมวลเป็นกี่เท่าของ $\frac{1}{16}$ มวลของ ออกซิเจน 1 อะตอม เช่น แคลเซียมมีมวลอะตอม 40 หมายความว่า แคลเซียม 1 อะตอมมีมวลเป็น 40 เท่าของ $\frac{1}{16}$ มวลของออกซิเจน 1 อะตอม

ในปี ค.ศ. 1961 (พ.ศ. 2504) นักวิทยาศาสตร์ได้ตกลงให้ใช้ C - 12 หรือ ^{12}C ซึ่งเป็นไอโซโทปที่มีปริมาณมากที่สุดในธรรมชาติของคาร์บอนเป็นมาตรฐาน โดยกำหนดให้ C - 12 มีมวลเท่ากับ 12 หน่วย หรือ 12 amu. 1 หน่วยมาตรฐานจึงมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{12}$ มวลของ C - 12, 1 อะตอม ดังนั้นมวลอะตอมของธาตุในปัจจุบันเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของ C - 12, 1 อะตอม}}$$

มวลอะตอมจึงเป็นเพียงตัวเลข (ไม่มีหน่วย) ที่บอกให้ทราบว่า ธาตุใด ๆ 1 อะตอม มีมวลเป็นกี่เท่าของ $\frac{1}{12}$ มวลของ C - 12, 1 อะตอม เนื่องจาก $\frac{1}{12}$ มวลของ C - 12, 1 อะตอม = 1.66×10^{-24} กรัม หรือ 1 amu = 1.66×10^{-24} กรัม ดังนั้น

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

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

ข้อสังเกต มวลอะตอมเป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย ส่วนมวลของธาตุ 1 อะตอมมีหน่วย (กรัมหรือกิโลกรัม) เพราะมวลของธาตุ 1 อะตอมเป็นมวลที่แท้จริง

ตัวอย่างเช่น แคลเซียม (Ca) มีมวลอะตอม = 40 หมายความว่า

แคลเซียม 1 อะตอมมีมวลเป็น 40 เท่าของ $\frac{1}{12}$ มวลของ C - 12, 1 อะตอม

เนื่องจาก $\frac{1}{12}$ มวลของ C - 12, 1 อะตอม = 1.66×10^{-24} กรัม

ดังนั้น แคลเซียม 1 อะตอม มีมวล = $40 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม

4.1.1 การคำนวณหามวลอะตอมจากการเปรียบเทียบ

ตัวอย่างที่ 1 ธาตุ A 2 อะตอมมีมวล 4.19×10^{-22} กรัม มวลอะตอมของธาตุ A มีค่าเท่าใด

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{มวลอะตอมของธาตุ A} &= \frac{\text{มวลของธาตุ A 1 อะตอม}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของ C - 12, 1 อะตอม}} \\ &= \frac{4.19 \times 10^{-22} \text{ กรัม}}{2} = \frac{2.095 \times 10^{-22} \text{ กรัม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}} = 126.20 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{มวลอะตอมของธาตุ A} = 126.20$$

ตัวอย่างที่ 2 ธาตุยูเรเนียม (U) มีมวลอะตอม = 238 ธาตุยูเรเนียม 5 อะตอมหนักกี่กรัม

วิธีทำ มวลของ U 1 อะตอม = มวลอะตอมของธาตุ U $\times 1.66 \times 10^{-24}$ g

$$\text{มวลของ U 1 อะตอม} = 238 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}$$

$$\therefore \text{มวลของ U 5 อะตอม} = 238 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 5 = 1.98 \times 10^{-21} \text{ กรัม}$$

ตัวอย่างที่ 3 ธาตุ X 2 อะตอมมีมวลเป็น 4 เท่าของธาตุออกซิเจน (O) 3 อะตอม ถ้าธาตุออกซิเจนมีมวลอะตอมเท่ากับ 16 จงคำนวณหามวลอะตอมและมวล 1 อะตอมของธาตุ X

วิธีทำ ธาตุออกซิเจน 1 อะตอม มีมวล = 16 amu

$$\text{ธาตุออกซิเจน 3 อะตอม มีมวล} = 16 \times 3 = 48 \text{ amu}$$

เนื่องจากธาตุ X 2 อะตอม มีมวลเป็น 4 เท่าของธาตุออกซิเจน 3 อะตอม ดังนั้น

$$\text{ธาตุ X 2 อะตอมมีมวล} = 48 \times 4 = 192 \text{ amu}$$

$$\text{ถ้าธาตุ X 1 อะตอมมีมวล} = \frac{192}{2} = 96 \text{ amu}$$

$$\therefore \text{ธาตุ X มีมวลอะตอม} = 96$$

$$\text{และธาตุ X 1 อะตอมมีมวล} = 96 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} = 1.59 \times 10^{-22} \text{ กรัม}$$

ตัวอย่างที่ 4 ธาตุ A มีมวลอะตอม = x และธาตุ A 1 อะตอมมีมวล = y กรัม ธาตุ B 1 อะตอมมีมวล = z กรัม ธาตุ B มีมวลอะตอมเท่าใด

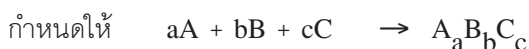
$$\frac{\text{มวลอะตอมของธาตุ A}}{\text{มวลอะตอมของธาตุ B}} = \frac{\text{มวลของธาตุ A 1 อะตอม}}{\text{มวลของธาตุ B 1 อะตอม}}$$

$$\frac{x}{\text{มวลอะตอมของธาตุ B}} = \frac{y}{z}$$

$$\therefore \text{มวลอะตอมของธาตุ B} = \frac{xz}{y}$$

4.1.2 การคำนวณหามวลอะตอมจากปฏิกิริยาเคมีของธาตุ

ถ้าธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปทำปฏิกิริยากันแล้วได้สารประกอบเพียงชนิดเดียว ถ้าทราบมวลของธาตุที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน และทราบมวลอะตอมของธาตุหนึ่งสามารถคำนวณหามวลอะตอมของธาตุอื่น ๆ ได้



ถ้า W_A , W_B และ W_C คือ มวลของ A, B และ C ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน

M_A , M_B และ M_C คือ มวลอะตอมของ A, B และ C ตามลำดับ

a, b, และ c คือตัวเลขที่แสดงจำนวนอะตอมของ A, B และ C ที่ทำปฏิกิริยากันเป็นสารประกอบ

เช่นเมื่อทราบมวลอะตอมของธาตุ B สามารถคำนวณหามวลอะตอมของธาตุอื่น ๆ ได้ดังนี้

ก. ถ้าทราบมวลอะตอมของธาตุ B คำนวณหามวลอะตอมของธาตุ C โดยใช้สูตรดังนี้

$$\frac{W_C}{W_B} = \frac{M_C}{M_B} \times \frac{c}{b}$$

ข. ถ้าทราบมวลอะตอมของธาตุ B คำนวณหามวลอะตอมของธาตุ A โดยใช้สูตรดังนี้

$$\frac{W_A}{W_B} = \frac{M_A}{M_B} \times \frac{a}{b}$$

ตัวอย่างที่ 1 ธาตุ Xหนัก 17.73 กรัม ทำปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนเกิดออกไซด์ XO 25.73 กรัม มวลอะตอมของ X เป็นเท่าใด (มวลอะตอมของ O = 16)

วิธีทำ

$$\frac{W_X}{W_O} = \frac{M_X}{M_O} \times \frac{1}{1}$$

$$W_X = 17.73 \text{ กรัม}$$

$$W_O = 25.73 - 17.73 = 8 \text{ กรัม}$$

$$M_O = 16$$

$$\text{แทนค่าในสูตร} \quad \frac{17.73}{8} = \frac{M_X}{16} \Rightarrow M_X = \frac{17.73}{8} \times 16 = 35.46$$

$$\therefore \text{มวลอะตอมของธาตุ X} = 35.46$$

ตัวอย่างที่ 2 นักเรียนผู้หนึ่งนำ XCl_2 22.2 กรัม มาแยกออกเป็นโลหะ X และแก๊สคลอรีนด้วยวิธีทางไฟฟ้า มวลของโลหะ X ที่ได้ = 8 กรัม ถ้ามวลอะตอมของคลอรีน = 35.5 มวลอะตอมของโลหะ X เป็นเท่าใด

วิธีทำ

$$\frac{W_X}{W_{\text{Cl}}} = \frac{M_X}{M_{\text{Cl}}} \times \frac{1}{2}$$

$$W_X = 8 \text{ กรัม}$$

$$W_{\text{Cl}} = 22.2 - 8 = 14.2 \text{ กรัม}$$

$$M_{\text{Cl}} = 35.5$$

แทนค่าในสูตร

$$\frac{8}{14.2} = \frac{M_X}{35.5} \times \frac{1}{2} \Rightarrow M_X = \frac{8 \times 35.5 \times 2}{14.2} = 40$$

$$\therefore \text{มวลอะตอมของโลหะ X} = 40$$

4.1.3 การหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุจากมวลอะตอมและปริมาณของไอโซโทป

เนื่องจากธาตุส่วนใหญ่ในธรรมชาติมีมากกว่าหนึ่งไอโซโทป แต่ละไอโซโทปมีมวลและปริมาณไม่เท่ากัน ดังนั้นการที่จะพิจารณาว่าธาตุแต่ละชนิดมีมวลอะตอมเท่าใดจึงต้องใช้ค่ามวลอะตอมเฉลี่ย หรือเรียกสั้น ๆ ว่า มวลอะตอม

ธาตุ	ไอโซโทป	มวลอะตอมของไอโซโทป	ปริมาณไอโซโทป (%)	มวลอะตอมเฉลี่ย
คาร์บอน	$^{12}_6\text{C}$	12.000	98.89	12.011
	$^{13}_6\text{C}$	13.003	1.11	
นีออน	$^{20}_{10}\text{Ne}$	19.992	90.51	20.179
	$^{21}_{10}\text{Ne}$	20.994	0.27	
	$^{22}_{10}\text{Ne}$	21.991	9.22	
แมกนีเซียม	$^{24}_{12}\text{Mg}$	23.99	78.70	24.31
	$^{25}_{12}\text{Mg}$	24.99	10.13	
	$^{26}_{12}\text{Mg}$	25.98	11.17	

ตารางที่ 4.1 แสดงมวลอะตอมเฉลี่ยและปริมาณไอโซโทปของธาตุบางชนิดในธรรมชาติ

ข้อสังเกต มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุต่าง ๆ จะมีค่าใกล้เคียงกับมวลอะตอมของไอโซโทปที่มีมากที่สุด
ในธรรมชาติ

การคำนวณหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ

สามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ

- ใช้วิธีเทียบเป็นขั้น ๆ
- ใช้สูตร

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ย} = \frac{\sum (\text{มวลของแต่ละไอโซโทป} \times \text{เปอร์เซ็นต์ในธรรมชาติ})}{\sum = \text{ผลรวม}}$$

สูตรนี้ใช้คำนวณหา

- มวลอะตอมเฉลี่ย
- มวลของไอโซโทปใดไอโซโทปหนึ่ง
- เปอร์เซ็นต์ของไอโซโทปในธรรมชาติ

ตัวอย่างที่ 1 ออกซิเจนในธรรมชาติประกอบด้วย 3 ไอโซโทป คือ $^{16}_8\text{O}$ (99.759%) มีมวล = 15.9949
 $^{17}_8\text{O}$ (0.037%) มีมวล = 16.9991 $^{18}_8\text{O}$ (0.204%) มีมวล = 17.9991 ตามลำดับ จงคำนวณหา
 มวลอะตอมเฉลี่ยของออกซิเจน

วิธีทำที่ 1 หามวลทั้งหมดของออกซิเจน 100 อะตอม ได้ดังนี้

ใน 100 อะตอมประกอบด้วย $^{16}_8\text{O}$ = 99.759 อะตอม

$$\begin{aligned}
 {}^{17}_8\text{O} &= 0.037 \text{ อะตอม และ } {}^{18}_8\text{O} &= 0.204 \text{ อะตอม} \\
 \text{มวลของออกซิเจน 100 อะตอม} &= (99.759 \times 15.9949) + (0.037 \times 16.9991) \\
 &+ (0.204 \times 17.9991) \\
 &= 1599.94 \\
 \therefore \text{มวลอะตอมเฉลี่ยของออกซิเจน} &= \frac{1599.94}{100} = 15.9994
 \end{aligned}$$

วิธีทำที่ 2 มวลอะตอมเฉลี่ย = $\Sigma \left(\frac{\text{มวลของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ ในธรรมชาติ}}{100} \right)$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{15.9949 \times 99.759}{100} \right) + \left(\frac{16.9991 \times 0.037}{100} \right) + \left(\frac{17.9991 \times 0.204}{100} \right) \\
 &= 15.9994
 \end{aligned}$$

หรือคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

มวลอะตอมเฉลี่ย = มวลอะตอมค่าน้อยที่สุด + ค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมที่เพิ่มขึ้นจากมวลอะตอมค่าน้อยที่สุด
โดยค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมที่เพิ่มขึ้นจากมวลอะตอมค่าน้อยที่สุด

$$= \frac{\Sigma(\text{มวลอะตอมที่มีค่ามาก} - \text{มวลอะตอมค่าน้อยที่สุด}) \times \% \text{ ของไอโซโทปที่มีมวลอะตอมมาก}}{100}$$

แทนค่า มวลอะตอมเฉลี่ยของออกซิเจน

$$\begin{aligned}
 &= 15.9949 + \frac{(16.9991 - 15.9949) \times 0.037}{100} + \frac{(17.9991 - 15.9949) \times 0.204}{100} \\
 &= 15.9949 + 0.00037 + 0.00408 = 15.9994
 \end{aligned}$$

วิธีนี้มีข้อดีตรงที่คำนวณเลขได้ง่ายกว่า และสามารถคิดเลขโดยประมาณได้

ตัวอย่างที่ 2 คาร์บอนมีไอโซโทป 2 ชนิด คือ ${}^{12}\text{C}$ และ ${}^{13}\text{C}$ มีค่ามวลอะตอมเฉลี่ย 12.01113 ${}^{12}\text{C}$ มีในธรรมชาติ 98.89% มีมวลอะตอม 12.00 ${}^{13}\text{C}$ มีในธรรมชาติ 1.11% จงคำนวณหามวลอะตอมของ ${}^{13}\text{C}$

วิธีทำ สมมติให้มวลอะตอมของ ${}^{13}\text{C} = x$

จากสูตร

$$\begin{aligned}
 \text{มวลอะตอมเฉลี่ย} &= \Sigma \left(\frac{\text{มวลของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ ในธรรมชาติ}}{100} \right) \\
 12.01113 &= \left(\frac{12.000 \times 98.89}{100} \right) + \left(\frac{x \times 1.11}{100} \right) \\
 12.01113 &= 11.8668 + 0.0111x \\
 0.0111x &= 12.01113 - 11.8668 = 0.14433 \\
 x &= \frac{0.14433}{0.0111} = 13.003
 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{มวลอะตอมของ } {}^{13}\text{C} = 13.003$$

หรือคำนวณได้ดังนี้ สมมติว่า ^{13}C มีมวลอะตอม = x

ค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมที่เพิ่มขึ้นจากมวลอะตอมค่าน้อยที่สุด(มวลอะตอมเฉลี่ย-มวลอะตอมค่าน้อยสุด)

$$= \frac{\sum (\text{มวลอะตอมที่มีค่ามาก} - \text{มวลอะตอมค่าน้อยสุด}) \times \% \text{ของไอโซโทปที่มีมวลมาก}}{100}$$

$$\text{แทนค่า} \quad 12.01113 - 12.00000 = \frac{(x - 12.0000) \times 1.11}{100}$$

$$1.113 = 1.11x - 13.32 \Rightarrow 1.11x = 14.433 \Rightarrow x = \frac{14.433}{1.11} = 13.003$$

$$\therefore ^{13}\text{C} \text{ มีมวลอะตอม} = 13.003$$

ตัวอย่างที่ 3 ธาตุคลอรีนในธรรมชาติมี 2 ไอโซโทปคือ ^{35}Cl และ ^{37}Cl มีมวลเท่ากับ 34.969 amu. และ 36.956 amu. ตามลำดับ และมีมวลอะตอมเฉลี่ย = 35.45 จงคำนวณหาว่ามี ^{35}Cl และ ^{37}Cl อย่างละกี่เปอร์เซ็นต์ในธรรมชาติ

วิธีทำ สมมติให้มี ^{35}Cl ในธรรมชาติ = x%

$$\therefore \text{มี } ^{37}\text{Cl} \text{ ในธรรมชาติ} = 100 - x\%$$

จากสูตร

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

$$35.45 = \left(\frac{34.969 \times x}{100} \right) + \left(\frac{36.956 \times 100 - x}{100} \right)$$

$$= 0.34969x + 36.956 - 0.36956x$$

$$0.36956x - 0.34969x = 36.956 - 35.45$$

$$0.01987x = 1.506$$

$$x = \frac{1.506}{0.01987} = 75.79\%$$

$$\therefore \text{มี } ^{35}\text{Cl} \text{ ในธรรมชาติ} = 75.79\%$$

$$\text{มี } ^{37}\text{Cl} \text{ ในธรรมชาติ} = 100 - 75.79 = 24.21\%$$

หรือคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้ สมมติว่ามี $^{37}\text{Cl} = A\%$ มี $^{35}\text{Cl} = 100 - A\%$

ค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมที่เพิ่มขึ้นจากมวลอะตอมค่าน้อยสุด(มวลอะตอมเฉลี่ย-มวลอะตอมค่าน้อยสุด)

$$= \frac{\sum (\text{มวลอะตอมที่มีค่ามาก} - \text{มวลอะตอมค่าน้อยสุด}) \times \% \text{ของไอโซโทปที่มีมวลอะตอมมาก}}{100}$$

$$\text{แทนค่า} \quad 35.45 - 34.969 = \frac{(36.956 - 34.969)A}{100}$$

$$48.1 = 1.987A \Rightarrow A = \frac{48.1}{1.987} = 24.21\%$$

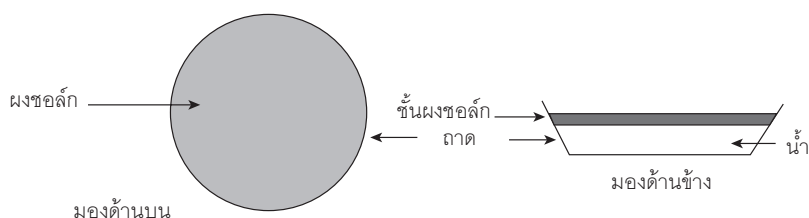
$$\therefore \text{มี } ^{37}\text{Cl} \text{ ในธรรมชาติ} = 24.21\%$$

$$\text{และมี } ^{35}\text{Cl} \text{ ในธรรมชาติ} = 100 - 24.21 = 75.79\%$$

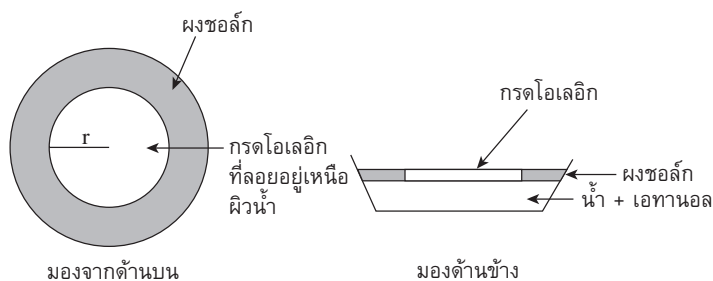
4.2 ขนาดของโมเลกุล

โมเลกุล คือ อนุภาคที่เล็กที่สุดของสารซึ่งสามารถดำรงตัวอยู่เป็นอิสระได้และแสดงสมบัติของสารได้ครบถ้วน โมเลกุลส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอะตอมมากกว่า 1 อะตอม เช่น ไฮโดรเจน (H_2) น้ำ (H_2O) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ฯลฯ ยกเว้นธาตุเฉื่อย 1 โมเลกุล ประกอบด้วย 1 อะตอม (He Ne Ar Kr Xe และ Rn) ดังนั้นส่วนใหญ่โมเลกุลจึงมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของอะตอม แต่อย่างไรก็ตามโมเลกุลก็ยังมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นโมเลกุลได้ แม้ว่าจะใช้เครื่องมือใด ๆ ช่วย ดังนั้นจึงไม่สามารถชั่งหามวลโมเลกุลได้ อย่างไรก็ตามขนาดของโมเลกุลเราอาจคำนวณหาค่าโดยประมาณได้จากผลการทดลอง หลักการหาขนาดโมเลกุลโดยประมาณ คือ สารที่ต้องการหาขนาดโมเลกุลต้องไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายที่ละลายน้ำได้ (ถ้าใช้น้ำในการทดลอง) เช่น กรดโอเลอิก กรดสเตียริก ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในเอทานอลหรือเมทานอลซึ่งละลายน้ำได้ จึงสามารถหาขนาดโมเลกุลของกรดโอเลอิก และของกรดสเตียริกได้ ตัวอย่างการหาขนาดโมเลกุลของสาร เช่น

ถ้าต้องการหาขนาดโมเลกุลของกรดโอเลอิก ก็ทำการทดลองโดยละลายกรดโอเลอิกในเอทานอลเข้มข้นประมาณร้อยละ 1 โดยปริมาตร (เพื่อให้มีกรดโอเลอิกน้อยๆ) นำสารละลายกรดโอเลอิกในเอทานอลดังกล่าวหยดลงในน้ำที่บรรจุในภาชนะที่มีผงซอล์กลอยอยู่เหนือน้ำ 1 หยด เอทานอลจะละลายลงในน้ำหมด ส่วนกรดโอเลอิกไม่ละลายน้ำ จะลอยอยู่เหนือน้ำและแผ่ออกเป็นชั้นบางมาก ๆ มีลักษณะเป็นวงกลม (อาจเว้า ๆ แหว่ง ๆ) มีความหนาสม่ำเสมอ วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นกรดโอเลอิกที่ลอยอยู่เหนือน้ำ (ชั้นกรดโอเลอิกที่ลอยอยู่เหนือน้ำ ทราบว่าเป็นชั้นบางมาก เพราะในสารละลาย 1 หยดมีกรดโอเลอิกเพียง 1 ใน 100 ของ 1 หยด ซึ่งน้อยมาก แต่แผ่ออกเป็นวงกว้าง)



รูปที่ 4.1 แสดงการโรยผงซอล์กบนผิวน้ำ



รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อหยดสารละลายกรดโอเลอิกในน้ำที่มีผงซอล์กลอยอยู่เหนือน้ำ กรดโอเลอิกที่ลอยอยู่เหนือน้ำเป็นรูปทรงกระบอก

เมื่อทดลองเรียบร้อยแล้วนำผลการทดลองมาคำนวณตามลำดับขั้นดังนี้

- หาปริมาตรของสารละลายกรดโอเลอิกในเอทานอล 1 หยด
- หาปริมาตรของกรดโอเลอิกในสารละลาย 1 หยด
- หาความหนาของชั้นกรดโอเลอิกโดยใช้สูตร $V = \pi r^2 h$

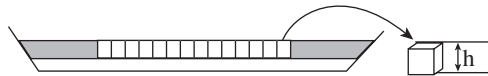
$$\therefore h = \frac{V}{\pi r^2} \text{ เพราะกรดโอเลอิกที่ลอยอยู่เหนือน้ำมีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอก}$$

V = ปริมาตรของกรดโอเลอิกทั้งหมดที่ลอยอยู่เหนือน้ำ

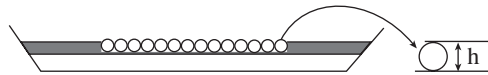
r = รัศมีของวงกลมของกรดโอเลอิกที่ลอยอยู่เหนือน้ำ

h = ความหนาของชั้นกรดโอเลอิก

- สมมติรูปร่างโมเลกุลของกรดโอเลอิกแล้วคำนวณปริมาตรของโมเลกุล (ขนาดโมเลกุล) เช่น ถ้าสมมติว่าโมเลกุลกรดโอเลอิก มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ใช้สูตร ปริมาตร (V) = (ด้าน)³ ถ้าโมเลกุลกรดโอเลอิกเรียงเป็นชั้นเดียวบนผิวน้ำ h คือ ความยาวแต่ละด้านของรูปลูกบาศก์ ดังนั้น $V = h^3$



ถ้าสมมติโมเลกุลกรดโอเลอิก มีรูปร่างเป็นทรงกลมใช้สูตรปริมาตร (V) = $\frac{4}{3} \pi r^3$ ถ้าโมเลกุลของกรดโอเลอิกเรียงเป็นชั้นเดียวบนผิวน้ำ h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม ดังนั้น $r = \frac{h}{2}$



$$\therefore V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{h}{2} \right)^3$$

ตัวอย่างการหาขนาดโมเลกุล

ตัวอย่างที่ 1 เมื่อนำสารละลายกรดโอเลอิกในเอทานอลซึ่งเข้มข้น 1% โดยปริมาตร หยดในน้ำที่มีผงซอร์บิลลอยอยู่ 1 หยด พบว่าเกิดแผ่นฟิล์มแผ่ออกไปมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 cm สมมติว่าโมเลกุลของกรดโอเลอิกมีรูปร่างเป็นลูกบาศก์และเรียงเป็นชั้นเดียวของผิวน้ำ และสารละลายกรดนี้ 50 หยดมีปริมาตร 1 cm³ จงคำนวณหาขนาดของโมเลกุลกรดโอเลอิก

วิธีทำ เพราะว่าเอทานอลละลายน้ำ ส่วนกรดโอเลอิกไม่ละลายน้ำ ดังนั้นแผ่นฟิล์มที่ลอยน้ำเป็นของกรดโอเลอิก

- คำนวณหาปริมาตรของสารละลายกรดโอเลอิกในเอทานอล 1 หยด

$$\text{สารละลายกรดโอเลอิก 50 หยด} = 1 \text{ cm}^3$$

$$\text{สารละลายกรดโอเลอิก 1 หยด} = \frac{1}{50} \text{ cm}^3$$

- คำนวณหาปริมาตรของกรดโอเลอิกในสารละลาย 1 หยด

$\therefore$ สารละลายกรดโอเลอิกเข้มข้น 1% โดยปริมาตร

$$\text{ดังนั้นสารละลายกรดโอเลอิก 100 cm}^3 \text{ มีกรดโอเลอิก} = 1 \text{ cm}^3$$

$$\text{สารละลายกรดโอเลอิก } \frac{1}{50} \text{ cm}^3 \text{ มีกรดโอเลอิก} = \frac{1}{50} \times \frac{1}{100} \text{ cm}^3$$

$$\therefore \text{ปริมาตรของกรดโอเลอิกในสารละลาย 1 หยด} = 2.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$$

3. คำนวณหาความหนาของชั้นกรดโอเลอิก (h)

$$\text{ความหนาของชั้นกรด (h)} = \frac{\text{ปริมาตรของกรด}}{\text{พื้นที่ของกรด}} = \frac{\text{ปริมาตรของกรด (V)}}{\pi^2}$$

$$= \frac{2.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^3}{\frac{22}{7} \times \left(\frac{16}{2}\right)^2 \text{ cm}^2}$$

$$= 9.94 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

$$\text{ปริมาตรของโมเลกุล} = (\text{ความหนาของชั้นกรด})^3$$

$$= (9.94 \times 10^{-7} \text{ cm})^3$$

$$\therefore \text{โมเลกุลของกรดโอเลอิกมีปริมาตร} = 9.82 \times 10^{-19} \text{ cm}^3$$

ถ้ารูปร่างของโมเลกุลเป็นรูปทรงกลม คำนวณได้ดังนี้

$$\text{ปริมาตรของโมเลกุล} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$r = \frac{h}{2} \text{ เมื่อ } h \text{ คือความหนาของชั้นกรดซึ่งเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม}$$

$$\therefore r = \frac{9.94 \times 10^{-7}}{2} = 4.97 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

$$\text{ปริมาตรของโมเลกุล} = \frac{4}{3} \times \frac{22}{7} \times (4.97 \times 10^{-7})^3 \text{ cm}^3$$

$$= 5.14 \times 10^{-19} \text{ cm}^3$$

$$\therefore \text{โมเลกุลของกรดโอเลอิกมีปริมาตร} = 5.14 \times 10^{-19} \text{ cm}^3$$

** ขนาดโมเลกุลของกรดโอเลอิกที่คำนวณได้จะใหญ่กว่าความเป็นจริง เพราะผลการทดลองคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เนื่องจาก

1. ในชั้นกรดโอเลอิกโมเลกุลของกรดโอเลอิกไม่ได้เรียงตัวเพียงชั้นเดียว ความหนาของชั้นจึงไม่ใช่ความหนาของโมเลกุลเพียงโมเลกุลเดียว (ข้อนี้ทำให้ผลการคำนวณผิดพลาดมากที่สุด)
2. การกำหนดรูปร่างของโมเลกุลของกรดโอเลอิกเป็นรูปลูกบาศก์หรือทรงกลมก็ผิดจากความจริงเพราะโมเลกุลของกรดโอเลอิกไม่ได้มีรูปร่างเป็นรูปลูกบาศก์ หรือรูปทรงกลม
3. ความผิดพลาดที่เกิดจากการเตรียมสารละลายกรด การวัดปริมาตรของกรดและการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น ถ้าค่าที่ได้คลาดเคลื่อนการคำนวณก็ผิดพลาดได้

ตัวอย่างที่ 2 โมเลกุลของสาร A มีปริมาตรเท่ากับ $5.29 \times 10^{-22} \text{ cm}^3$ ถ้าสาร A มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.89 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จงคำนวณหามวลของสาร A 1 โมเลกุล

วิธีทำ

$$\text{ความหนาแน่นของสาร} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}}$$

$$\text{ความหนาแน่นของสาร A} = \frac{\text{มวลของสาร A n โมเลกุล}}{\text{ปริมาตรของสาร A n โมเลกุล}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{มวลของสาร A 1 โมเลกุล}}{\text{ปริมาตรของสาร A 1 โมเลกุล}} \\
 \text{มวลของสาร A 1 โมเลกุล} &= \text{ความหนาแน่นของสาร A} \times \text{ปริมาตรของสาร A 1 โมเลกุล} \\
 &= 0.89 \times 5.29 \times 10^{-22} = 4.7 \times 10^{-22} \text{ กรัม} \\
 \therefore \text{สาร A 1 โมเลกุลมีมวล} &= 4.7 \times 10^{-22} \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

4.3 มวลโมเลกุล (Molecular mass)

เนื่องจากโมเลกุลของสารต่างๆ มีขนาดเล็กมาก ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะชั่งได้รวมทั้งไม่สะดวกในการนำไปใช้จึงนิยมใช้ค่าเปรียบเทียบกับมวลอะตอม โดยเปรียบเทียบกับมวลเป็นกึ่งเท่าของมาตรฐานในปัจจุบันใช้ C - 12 เป็นมาตรฐานโดยถือว่า $\frac{1}{12}$ มวลของ C - 12, 1 อะตอมเท่ากับ 1 หน่วยมาตรฐาน ดังนั้นมวลโมเลกุลจึงหมายถึง ตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าสารใด ๆ 1 โมเลกุลมีมวลเป็นกึ่งเท่าของ $\frac{1}{12}$ มวลของ C - 12, 1 อะตอม หรือเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{มวลโมเลกุลของสาร} = \frac{\text{มวลของสาร 1 โมเลกุล}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของ C - 12, 1 อะตอม}}$$

หรือ

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

ข้อควรจำ มวลโมเลกุลเป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย ส่วนมวลของสาร 1 โมเลกุลมีหน่วยและมีความสัมพันธ์กันดังนี้

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

ตัวอย่างเช่น น้ำ (H_2O) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 18 หมายความว่า

- น้ำ 1 โมเลกุลมีมวลเป็น 18 เท่าของ $\frac{1}{12}$ มวลของ C - 12, 1 อะตอม
- น้ำ 1 โมเลกุลมีมวลเท่ากับ 18 amu
- น้ำ 1 โมเลกุลมีมวลเท่ากับ $18 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} = 2.988 \times 10^{-23} \text{ กรัม}$

สารประกอบ	สูตรเคมี	มวลโมเลกุล	มวลของ 1 โมเลกุล (กรัม)
คาร์บอนไดออกไซด์	CO_2	44	$44 \times 1.66 \times 10^{-24}$
น้ำตาลกลูโคส	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	180	$180 \times 1.66 \times 10^{-24}$
กรดซัลฟิวริก	H_2SO_4	98	$98 \times 1.66 \times 10^{-24}$
โพรเพน	C_3H_8	44	$44 \times 1.66 \times 10^{-24}$
น้ำตาลซูโครส	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	342	$342 \times 1.66 \times 10^{-24}$

ตารางที่ 4.2 แสดงมวลโมเลกุลและมวลของ 1 โมเลกุลของสารบางชนิด

ตัวอย่างการคำนวณเรื่องมวลโมเลกุล

ก. การคำนวณหามวลโมเลกุลโดยการเปรียบเทียบ

ตัวอย่างที่ 1 สาร A 10 โมเลกุลมีมวลเท่ากับ 2.656×10^{-21} กรัม มวลโมเลกุลของสาร A มีค่าเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{สาร A 10 โมเลกุลมีมวล} &= 2.656 \times 10^{-21} \text{ กรัม} \\ \text{สาร A 1 โมเลกุลมีมวล} &= \frac{2.656 \times 10^{-21}}{10} = 2.656 \times 10^{-22} \text{ กรัม} \\ \therefore \text{สาร A มีมวลโมเลกุล} &= \frac{2.656 \times 10^{-22}}{1.66 \times 10^{-24}} = 160 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2 สาร X 5 โมเลกุลมีมวลเป็น 3 เท่าของสาร Y 1 โมเลกุล ถ้าสาร Y มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 58 จงคำนวณหามวลโมเลกุลและมวล 1 โมเลกุลของสาร X

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{สาร Y 1 โมเลกุลมีมวล} &= 58 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{สาร X 5 โมเลกุลมีมวล} &= 58 \times 3 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{สาร X 1 โมเลกุลมีมวล} &= \frac{58 \times 3}{5} \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ &= 34.8 \times 1.66 \times 10^{-24} = 5.78 \times 10^{-23} \text{ กรัม} \\ \therefore \text{สาร X 1 โมเลกุลมีมวล} &= 5.78 \times 10^{-23} \text{ กรัม} \\ \therefore \text{มวลโมเลกุลของสาร X} &= \frac{\text{มวลของสาร X 1 โมเลกุล}}{1.66 \times 10^{-24}} \\ \therefore \text{มวลโมเลกุลของสาร X} &= \frac{34.8 \times 1.66 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} = 34.8 \end{aligned}$$

ข. การคำนวณหามวลโมเลกุลจากมวลอะตอม เนื่องจากมวลอะตอมและมวลโมเลกุลเป็นค่าเปรียบเทียบที่ได้จากมาตรฐานเดียวกัน ดังนั้น

มวลโมเลกุลของสารใดๆ = ผลบวกของมวลอะตอมของธาตุทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ

ตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณหามวลโมเลกุลของกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ถ้ามวลอะตอมของธาตุต่างๆ เป็นดังนี้

$$\text{H} = 1, \text{S} = 32, \text{O} = 16$$

วิธีทำ

กรด H_2SO_4 1 โมเลกุลประกอบด้วย H 2 อะตอม S 1 อะตอม และ O 4 อะตอม

$$\begin{aligned}\therefore \text{มวลโมเลกุลของกรดซัลฟิวริก } (\text{H}_2\text{SO}_4) &= (1 \times 2) + (32 \times 1) + (16 \times 4) \\ &= 98\end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2 จงคำนวณหามวลโมเลกุล และมวลของ 1 โมเลกุลของกรดโอเลอิก ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$) (ถ้ามวลอะตอมของ C = 12, H = 1, O = 16)

วิธีทำ

กรดโอเลอิก 1 โมเลกุล ประกอบด้วย C 18 อะตอม, H 34 อะตอม และ O 2 อะตอม

$$\begin{aligned}\therefore \text{มวลโมเลกุลของกรดโอเลอิก} &= (12 \times 18) + (1 \times 34) + (16 \times 2) \\ &= 282\end{aligned}$$

$$\text{และกรดโอเลอิก 1 โมเลกุลมีมวล} = 282 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}$$

$$= 4.68 \times 10^{-22} \text{ กรัม}$$

ตัวอย่างที่ 3 จงคำนวณหาจำนวนโมเลกุลในน้ำตาลซูโคส ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) จำนวน 513 กรัม (กำหนด มวลอะตอมดังนี้ C = 12, H = 1, O = 16)

วิธีทำ

$$\begin{aligned}\text{มวลโมเลกุลของน้ำตาลซูโคส } (\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) &= (12 \times 12) + (1 \times 22) + (16 \times 11) \\ &= 342\end{aligned}$$

$$\therefore \text{น้ำตาลซูโคส 1 โมเลกุลมีมวล} = 342 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำตาลซูโคส } 342 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม มีจำนวนโมเลกุล} = 1 \text{ โมเลกุล}$$

$$\begin{aligned}\text{ถ้าน้ำตาลซูโคส 513 กรัม มีจำนวนโมเลกุล} &= \frac{513}{342 \times 1.66 \times 10^{-24}} \text{ โมเลกุล} \\ &= 9.04 \times 10^{23} \text{ โมเลกุล}\end{aligned}$$

$$\therefore \text{น้ำตาลซูโคสจำนวน 513 กรัม} = 9.04 \times 10^{23} \text{ โมเลกุล}$$

ตัวอย่างที่ 4 น้ำตาลกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) จำนวน 3.01×10^{24} โมเลกุล มีมวลกี่กรัม (กำหนด มวลอะตอมของธาตุ C = 12, H = 1, O = 16)

วิธีทำ

$$\text{กลูโคส } (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \text{ มีมวลโมเลกุล} = (12 \times 6) + (1 \times 12) + (16 \times 6) = 180$$

$$\text{กลูโคส 1 โมเลกุลมีมวล} = 180 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{ถ้ากลูโคส } 3.01 \times 10^{24} \text{ โมเลกุลมีมวล} &= 180 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 3.01 \times 10^{24} \text{ g} \\ &= 899.39 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

$$\therefore \text{น้ำตาลกลูโคส } (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) 3.01 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล มีมวล} = 899.39 \text{ g}$$

4.4 โมล (Mole)

การบอกปริมาณสิ่งของในชีวิตประจำวัน นอกจากจะบอกเป็นหน่วยน้ำหนัก เช่น กรัม กิโลกรัม หรือ หน่วยปริมาตร เช่น ลูกบาศก์เซนติเมตร ลิตร แล้วยังมีการบอกเป็นหน่วยที่แสดงจำนวนของสิ่งของอีกด้วย หน่วยแสดงจำนวนที่พบบ่อย ได้แก่ โหล (สิ่งของจำนวน 12 ชิ้น) เช่น ดินสอ 1 โหล แก้วน้ำ 1 โหล เป็นต้น หรือก๊วต (สิ่งของจำนวน 144 ชิ้น)

การบอกปริมาณสารในวิชาเคมีก็เช่นเดียวกัน นอกจากจะบอกเป็นหน่วยน้ำหนักหรือหน่วยปริมาตรแล้วยังมีหน่วยแสดงจำนวนอนุภาคของสารอีกด้วย เนื่องจากสารทั้งหลายประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก การใช้หน่วยที่แสดงถึงจำนวนสารเพียงเล็กน้อย เช่น โหล จึงไม่มีประโยชน์ในทางปฏิบัติ ดังนั้นการกำหนดหน่วยเพื่อแสดงจำนวนอนุภาคของสารจึงต้องใช้หน่วยใหญ่ที่แทนอนุภาคของสารจำนวนมาก นักเคมีได้กำหนดหน่วยที่ใช้บอกจำนวนอนุภาคของสารขึ้นเรียกว่า **โมล (mole)** และ ใช้สัญลักษณ์เป็น **mol**

โมล เป็นหน่วยที่ใช้แทนอนุภาคของสารจำนวน 6.02×10^{23} อนุภาคและเรียกจำนวนนี้ว่า **เลขอาโวกาโดร** ดังนั้นนิยามของโมลจึงเป็นดังนี้

1. **โมลของสารใด ๆ** หมายถึง ปริมาณของสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาคหรือเท่ากับ เลขอาโวกาโดร นั่นคือ

สาร 1 โมล มี 6.02×10^{23} อนุภาค

สาร 2 โมล มี $6.02 \times 10^{23} \times 2$ อนุภาค

สาร 5 โมล มี $6.02 \times 10^{23} \times 5$ อนุภาค

สาร 0.1 โมล มี $6.02 \times 10^{23} \times 0.1$ อนุภาค

สาร 0.5 โมล มี $6.02 \times 10^{23} \times 0.5$ อนุภาค

ข้อสังเกต ปริมาณสารจำนวน 1 โมล มีจำนวนอนุภาคมามากมายมหาศาล เช่น ในการนับเมล็ดข้าวสาร ถ้านับครั้งละ 2 เมล็ดต่อ 1 วินาที จะต้องใช้เวลาในการนับนานถึงประมาณ 10^{16} ปี ดังนั้นสารใดจำนวน 1 โมล ชั่งได้เสมอ เช่น อิเล็กตรอนซึ่งมีขนาดเล็กที่สุด มีมวล = 9.1×10^{-28} g ซึ่งชั่งไม่ได้ แต่ถ้าอิเล็กตรอน 1 โมล จะมีมวล = $9.1 \times 10^{-28} \times 6.02 \times 10^{23} = 5.48 \times 10^{-4}$ g ซึ่งสามารถชั่งได้โดยใช้เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 10^{-4} g



รูป 4.3 แสดงการนับเมล็ดข้าวสารจำนวน 1 โมล

หมายเหตุ ตามนิยามของหน่วยเอสไอ สาร 1 โมล หมายถึง ปริมาณของสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับจำนวนอะตอมที่มีอยู่ในคาร์บอน-12 ที่มีมวล 0.012 กิโลกรัม (12 กรัม) (คาร์บอน-12 จำนวน 0.012 กิโลกรัม มี 6.02×10^{23} อะตอม)

อนุภาค หมายถึง โมเลกุล อะตอม ไอออน อิเล็กตรอน ฯลฯ ดังนั้นในการบอกปริมาณของสารเป็นโมล จึงต้องระบุชนิดของอนุภาคด้วย

ถ้าอนุภาคคือ โมเลกุล เรียกว่า **โมลโมเลกุล** เช่น แก๊สไฮโดรเจน (H_2) 1 โมลโมเลกุล มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ 6.02×10^{23} โมเลกุล

ถ้าอนุภาคคืออะตอม เรียกว่า **โมลอะตอม** เช่น สังกะสี (Zn) 1 โมลอะตอมมีจำนวนอะตอมเท่ากับ 6.02×10^{23} อะตอม

ถ้าอนุภาคคือไอออน เรียกว่า **โมลไอออน** เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) 1 โมลไอออน มีจำนวนไอออนเท่ากับ 6.02×10^{23} ไอออน (ไอออนหมายถึงอะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบถ้ามีประจุบวกเรียก ไอออนบวก เช่น Ca^{2+} NH_4^+ ถ้ามีประจุลบเรียกไอออนลบ เช่น SO_4^{2-} O^{2-} ฯลฯ)

ถ้าอนุภาคคืออิเล็กตรอน เรียกว่า **โมลอิเล็กตรอน** 1 โมลอิเล็กตรอน หมายถึง จำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับ 6.02×10^{23} อิเล็กตรอน

โดยปกติการบอกปริมาณของสารเป็นโมลมักไม่ระบุชนิดของอนุภาค แต่จะใช้คำว่าโมลเพียงอย่างเดียว ซึ่งผู้เรียนจะต้องรู้ว่าเป็นโมลประเภทใด

ในกรณีที่ป็นธาตุซึ่งมักเป็นโลหะ ชนิดของอนุภาคจะหมายถึง อะตอม เช่น โซเดียม(Na) สังกะสี(Zn) ทองแดง(Cu) ฯลฯ ยกเว้นธาตุที่มีโมเลกุล ซึ่งประกอบด้วย 2 อะตอมขึ้นไป ชนิดของอนุภาคจะหมายถึง โมเลกุล เช่น ไฮโดรเจน(H_2) ออกซิเจน(O_2) คลอรีน(Cl_2) ไนโตรเจน(N_2) ฟลูออรีน(F_2) โบรมีน(Br_2) ไอโอดีน(I_2) (ยกเว้นระบุว่าเป็นอะตอม) ในกรณีที่ป็นสารประกอบชนิดของอนุภาคหมายถึงโมเลกุล เช่น น้ำ(H_2O) แอมโมเนีย(NH_3) เป็นต้น ตัวอย่างการพิจารณาเกี่ยวกับชนิดของอนุภาค เช่น

แก๊สออกซิเจน (O_2) 1 โมล หมายถึง 1 โมลโมเลกุล มีออกซิเจน 6.02×10^{23} โมเลกุล

ออกซิเจนอะตอม (O) 1 โมล หมายถึง 1 โมลอะตอม มีออกซิเจน 6.02×10^{23} อะตอม

แก๊สแอมโมเนีย (NH_3) 1 โมล หมายถึง 1 โมลโมเลกุล มีแอมโมเนีย 6.02×10^{23} โมเลกุล

โซเดียม (Na) 1 โมล หมายถึง 1 โมลอะตอม มีโซเดียม 6.02×10^{23} อะตอม

แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) 1 โมล หมายถึง 1 โมลไอออน มีแอมโมเนียมไอออน 6.02×10^{23} ไอออน

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลโมเลกุลกับจำนวนโมลอะตอม

การหาจำนวนโมลอะตอมเมื่อทราบจำนวนโมลโมเลกุล ให้ใช้วิธีพิจารณาว่าใน 1 โมเลกุลของสารนั้นประกอบด้วยธาตุอะไรร้อยละกี่อะตอม ถ้าใน 1 โมเลกุลของสารใดๆ มีจำนวนอะตอมทั้งหมดกี่อะตอมและมีธาตุแต่ละชนิดกี่อะตอม 1 โมลโมเลกุลของสารนั้นก็จะมีจำนวนโมลอะตอมทั้งหมดและมีจำนวนโมลอะตอมของธาตุแต่ละชนิดเท่านั้นด้วย หรือตัวเลขที่แสดงจำนวนอะตอมใน 1 โมเลกุลจะแสดงจำนวนโมลอะตอมใน 1 โมลโมเลกุลด้วย แต่ตัวเลขที่ค่าเท่ากันนั้นมีความหมายต่างกัน

ตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณหาจำนวนโมลอะตอมรวมและจำนวนโมลอะตอมของแต่ละธาตุในกลูโคส

($C_6H_{12}O_6$) จำนวน 1 โมลโมเลกุล

วิธีทำ กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) 1 โมลโมเลกุลประกอบด้วย

C = 6 อะตอม H = 12 อะตอม O = 6 อะตอม

และมีจำนวนอะตอมทั้งหมด = $6 + 12 + 6 = 24$ อะตอม ดังนั้น

กลูโคส 1 โมลโมเลกุล ประกอบด้วย

คาร์บอน (C) = 6 โมลอะตอม

ไฮโดรเจน (H) = 12 โมลอะตอม

ออกซิเจน (O) = 6 โมลอะตอม

และมีจำนวนโมลอะตอมทั้งหมด = $6 + 12 + 6 = 24$ โมลอะตอม

ข้อควรจำ อย่าลืมนำตัวเลขที่มีค่าเท่ากันนั้นมีความหมายต่างกัน คือ โมลอะตอมมีค่ามากกว่าอะตอม

6.02×10^{23} เท่า เช่น คาร์บอน 6 โมลอะตอมมี $6 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม

ตัวอย่างที่ 2 ถ้ามีคาเฟอีน ($C_8H_{10}N_4O_2$) อยู่ 0.5 โมลจงคำนวณหาสิ่งต่อไปนี้

1. จำนวนโมลอะตอมทั้งหมด
2. จำนวนโมลอะตอมของธาตุแต่ละชนิด
3. จำนวนโมเลกุลและจำนวนอะตอม
4. จำนวนอะตอมของธาตุไฮโดรเจน

วิธีทำ (1) $C_8H_{10}N_4O_2$ 1 โมลโมเลกุล = $8 + 10 + 4 + 2 = 24$ โมลอะตอม

ถ้า $C_8H_{10}N_4O_2$ 0.5 โมลโมเลกุล = $24 \times 0.5 = 12$ โมลอะตอม

(2) มีธาตุคาร์บอน (C) = $8 \times 0.5 = 4$ โมลอะตอม

มีธาตุไฮโดรเจน (H) = $10 \times 0.5 = 5$ โมลอะตอม

มีธาตุไนโตรเจน (N) = $4 \times 0.5 = 2$ โมลอะตอม

มีธาตุออกซิเจน (O) = $2 \times 0.5 = 1$ โมลอะตอม

(3) $C_8H_{10}N_4O_2$ 1 โมลโมเลกุลมีจำนวนโมเลกุล = 6.02×10^{23} โมเลกุล

$C_8H_{10}N_4O_2$ 0.5 โมลโมเลกุลมีจำนวนโมเลกุล = $6.02 \times 10^{23} \times 0.5$ โมเลกุล

= 3.01×10^{23} โมเลกุล

และมีจำนวนอะตอม = 12 โมลอะตอม

= $12 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม

= 7.22×10^{24} อะตอม

(4) $C_8H_{10}N_4O_2$ 0.5 โมลมีธาตุไฮโดรเจน (H) = 5 โมลอะตอม

= $5 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม

= 3.01×10^{24} อะตอม

ตัวอย่างที่ 3 เอทานอล (C_2H_6O) จำนวน 5 โมล มีจำนวนอนุภาคมูลฐานอย่างละเท่าไร กำหนดสัญลักษณ์นิวเคลียร์ให้ดังนี้ ($^{12}_6C$, 1_1H , $^{16}_8O$)

วิธีทำ C_2H_6O 5 โมลโมเลกุลประกอบด้วย

$$C = 5 \times 2 = 10 \text{ โมลอะตอม} = 10 \times 6.02 \times 10^{23} = 6.02 \times 10^{24} \text{ อะตอม}$$

$$H = 5 \times 6 = 30 \text{ โมลอะตอม} = 30 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.806 \times 10^{25} \text{ อะตอม}$$

$$O = 5 \times 1 = 5 \text{ โมลอะตอม} = 5 \times 6.02 \times 10^{23} = 3.01 \times 10^{24} \text{ อะตอม}$$

$$C \ 6.02 \times 10^{24} \text{ อะตอม มีจำนวนโปรตอน} = 6.02 \times 10^{24} \times 6 = 3.612 \times 10^{25} \text{ โปรตอน}$$

$$\text{มีจำนวนอิเล็กตรอน} = 6.02 \times 10^{24} \times 6 = 3.612 \times 10^{25} \text{ อิเล็กตรอน}$$

$$\text{และมีจำนวนนิวตรอน} = 6.02 \times 10^{23} \times (12-6) = 3.612 \times 10^{25} \text{ นิวตรอน}$$

$$H \ 1.806 \times 10^{25} \text{ อะตอม มีจำนวนโปรตอน} = 1.806 \times 10^{25} \times 1 = 1.806 \times 10^{25} \text{ โปรตอน}$$

$$\text{มีจำนวนอิเล็กตรอน} = 1.806 \times 10^{25} \times 1 = 1.806 \times 10^{25} \text{ อิเล็กตรอน}$$

$$\text{และ มีจำนวนนิวตรอน} = 1.806 \times 10^{25} \times (1-1) = 0 \text{ นิวตรอน}$$

$$O \ 3.01 \times 10^{24} \text{ อะตอม มีจำนวนโปรตอน} = 3.01 \times 10^{24} \times 8 = 2.408 \times 10^{25} \text{ โปรตอน}$$

$$\text{มีจำนวนอิเล็กตรอน} = 3.01 \times 10^{24} \times 8 = 2.408 \times 10^{25} \text{ อิเล็กตรอน}$$

$$\text{และมีจำนวนนิวตรอน} = 3.01 \times 10^{24} \times (16-8) = 2.408 \times 10^{25} \text{ นิวตรอน}$$

$$\begin{aligned} \therefore C_2H_6O \ 5 \text{ โมล มีจำนวนโปรตอน} &= 3.612 \times 10^{25} + 1.806 \times 10^{25} + 2.408 \times 10^{25} \\ &= 7.826 \times 10^{25} \text{ โปรตอน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มีจำนวนอิเล็กตรอน} &= 3.612 \times 10^{25} + 1.806 \times 10^{25} + 2.408 \times 10^{25} \\ &= 7.826 \times 10^{25} \text{ อิเล็กตรอน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และมีจำนวนนิวตรอน} &= 3.612 \times 10^{25} + 0 + 2.408 \times 10^{25} \\ &= 6.02 \times 10^{25} \text{ นิวตรอน} \end{aligned}$$

4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลกับมวลของสาร

สารใดๆ จำนวน 6.02×10^{23} อนุภาคหรือ 1 โมล จะมีมวลเท่ากับมวลโมเลกุล (ถ้าเป็นโมเลกุล) หรือมวลอะตอม (ถ้าเป็นอะตอม) หรือมวลไอออน (ถ้าเป็นไอออน) ที่มีหน่วยเป็นกรัม

หรือสารใดๆ จำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล (1 โมลโมเลกุล) จะมีมวลเท่ากับมวลโมเลกุลที่มีหน่วยเป็นกรัม

ธาตุใดๆ จำนวน 6.02×10^{23} อะตอม (1 โมลอะตอม) จะมีมวลเท่ากับมวลอะตอมที่มีหน่วยเป็นกรัม และ ไอออนใดๆ จำนวน 6.02×10^{23} ไอออน (1 โมลไอออน) จะมีมวลเท่ากับมวลไอออนที่มีหน่วยเป็นกรัม

สาร 1 โมลโมเลกุลมีมวล = มวลโมเลกุล (กรัม)

สาร 1 โมลอะตอมมีมวล = มวลอะตอม (กรัม)

สาร 1 โมลไอออนมีมวล = มวลไอออน (กรัม)

ตัวอย่าง

(1) น้ำ (H_2O) มีมวลโมเลกุล = 18 ดังนั้น น้ำ 1 โมลโมเลกุล (6.02×10^{23} โมเลกุล) มีมวล = 18 กรัม

(2) น้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทราย ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) มีมวลโมเลกุล = 342 ดังนั้น น้ำตาลซูโครส 1 โมลโมเลกุล (6.02×10^{23} โมเลกุล) มีมวล = 342 กรัม

(3) โซเดียม (Na) มีมวลอะตอม = 23 ดังนั้นโซเดียม 1 โมลอะตอม (6.02×10^{23} อะตอม) มีมวล = 23 กรัม

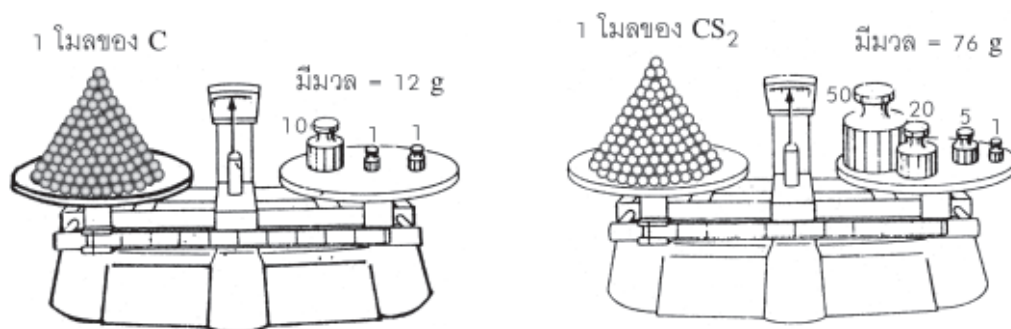
(4) เหล็ก (Fe) มีมวลอะตอม = 55.8 ดังนั้นเหล็ก 1 โมลอะตอม (6.02×10^{23} อะตอม) มีมวล = 55.8 กรัม

(5) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) มีมวลไอออน = 96 ดังนั้น ซัลเฟตไอออน 1 โมลไอออน มีมวล = 96 กรัม

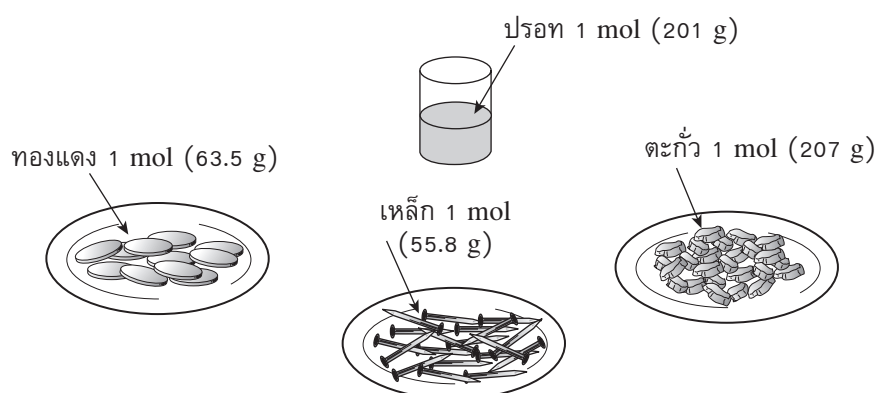
ข้อควรจำ

สารใด ๆ ที่มีจำนวนโมลเท่ากัน จะมีจำนวนอนุภาคเท่ากันเสมอ แต่มีมวลไม่เท่ากัน ดังตัวอย่างข้างล่าง

H	1 โมลอะตอม มีมวล 1 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค (อะตอม)
N	1 โมลอะตอม มีมวล 14 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค (อะตอม)
O	1 โมลอะตอม มีมวล 16 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค (อะตอม)
Cu	1 โมลอะตอม มีมวล 63.5 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค (อะตอม)
H_2	1 โมลโมเลกุลมีมวล 2 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค(โมเลกุล)
N_2	1 โมลโมเลกุล มีมวล 28 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค(โมเลกุล)
O_2	1 โมลโมเลกุล มีมวล 32 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค(โมเลกุล)
H_2O	1 โมลโมเลกุล มีมวล 18 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค(โมเลกุล)
H_2SO_4	1 โมลโมเลกุล มีมวล 98 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค(โมเลกุล)
Cl^-	1 โมลไอออน มีมวล 35.5 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค(ไอออน)
SO_4^{2-}	1 โมลไอออน มีมวล 96 กรัม มีจำนวนอนุภาค	=	6.02×10^{23} อนุภาค (ไอออน)



รูปที่ 4.4 แสดงมวลของ C และของ CS_2 จำนวน 1 โมล



รูปที่ 4.5 ทองแดง เหล็ก ตะเก้ว และโปรตอนจำนวน 1 โมล ซึ่งต่างก็มีจำนวนอะตอม เท่ากับ 6.02×10^{23} อะตอมแต่มีมวลต่างกัน

4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับปริมาตรของแก๊ส

เนื่องจากปริมาตรของแก๊สเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดัน ดังนั้น เมื่อต้องการเปรียบเทียบปริมาตรของแก๊สต่างๆ จึงต้องมีการกำหนดอุณหภูมิและความดันเพื่อเป็นมาตรฐาน นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดให้ใช้อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (273 เคลวิน) และความดัน 1 บรรยากาศ (760 มิลลิเมตรปรอท) เป็นภาวะมาตรฐาน เรียกว่า **อุณหภูมิ และความดันมาตรฐาน** (Standard Temperature and Pressure) หรือเรียกย่อๆ ว่า STP

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมล และปริมาตรของแก๊สที่ STP และพบว่า

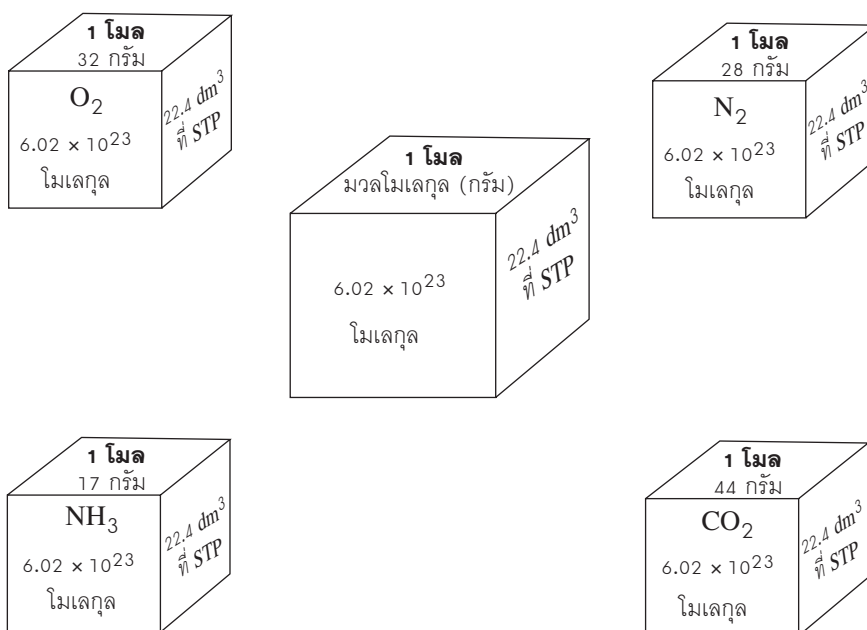
“แก๊สใดๆ จำนวน 1 โมล จะมีปริมาตร 22.4 ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) ที่ STP. หรือปริมาตรต่อโมลของแก๊สใดๆ เท่ากับ $22.4 dm^3$ ที่ STP”

แก๊ส	มวลของแก๊ส 1 โมล (กรัม)	มวลของแก๊ส 1 dm ³ (กรัม)	ปริมาตรต่อโมลของแก๊สที่ STP (dm ³)
O ₂	32.00	1.43	$32.00 \div 1.43 = 22.4$
N ₂	28.02	1.25	$28.02 \div 1.25 = 22.4$
H ₂	2.016	0.0899	$2.016 \div 0.0899 = 22.4$
HCl	36.46	1.63	$36.46 \div 1.63 = 22.4$
CO ₂	44.01	1.965	$44.01 \div 1.965 = 22.4$

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลจากการทดลองหาปริมาตรต่อโมลของแก๊สบางชนิดที่ STP

นอกจากภาวะ STP แล้วที่ภาวะอื่นๆ แก๊สทุกชนิดที่มีจำนวนโมลเท่ากันซึ่งอยู่ภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกันจะมีปริมาตรเท่ากัน แต่ไม่ใช่ 22.4 dm³ เช่น ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ แก๊สไฮโดรเจน (H₂) แก๊สออกซิเจน (O₂) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และแก๊สอื่นๆ จำนวน 1 โมล จะมีปริมาตร เท่ากับ 24.45 dm³ เป็นต้น

ข้อสังเกต แก๊สหรือไอของสารใดๆ เท่านั้นที่ 1 โมลมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 dm³ ที่ STP จะนำไปใช้กับของเหลวหรือของแข็งไม่ได้



รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณต่างๆ ของแก๊สจำนวน 1 โมล

สรุปความหมาย 1 โมลของสารใด ๆ

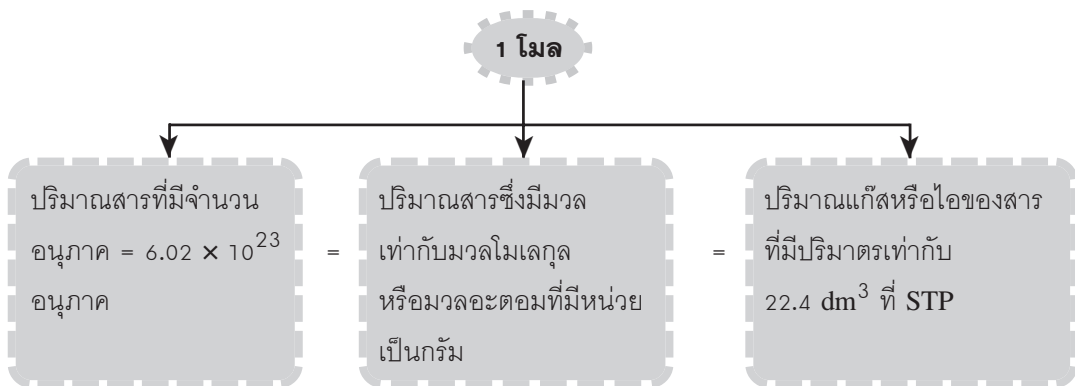
หนึ่งโมล ของสารใด ๆ หมายถึง

1. ปริมาณสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาค
2. ปริมาณสารที่มีมวลเท่ากับมวลอะตอม (ถ้าเป็นอะตอม) หรือมวลโมเลกุล (ถ้าเป็นโมเลกุล) หน่วยเป็นกรัม
3. ปริมาณสาร (แก๊สหรือไอเท่านั้น) มีปริมาตรเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP

จากข้อสรุปทั้ง 3 ข้อ ทำให้สรุปต่อไปได้ดังนี้

4. สารจำนวน 6.02×10^{23} อนุภาคมีมวลเท่ากับมวลอะตอม หรือมวลโมเลกุลที่มีหน่วยเป็นกรัม เช่น H_2 6.02×10^{23} โมเลกุล มีมวลเท่ากับ 2 กรัม (H_2 มีมวลโมเลกุล = 2)
5. สารซึ่งเป็นแก๊สหรือไอจำนวน 6.02×10^{23} อนุภาคมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP เช่น แก๊สออกซิเจน (O_2) จำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล มีปริมาตรเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP
6. ปริมาณสารซึ่งเป็นแก๊สหรือไอที่มีมวลเท่ากับมวลโมเลกุลที่มีหน่วยเป็นกรัมมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP เช่น แก๊สไนโตรเจน (N_2) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 28 ดังนั้นแก๊สไนโตรเจน 28 กรัม มีปริมาตรเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP

หรือ 1 โมลของสารสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้



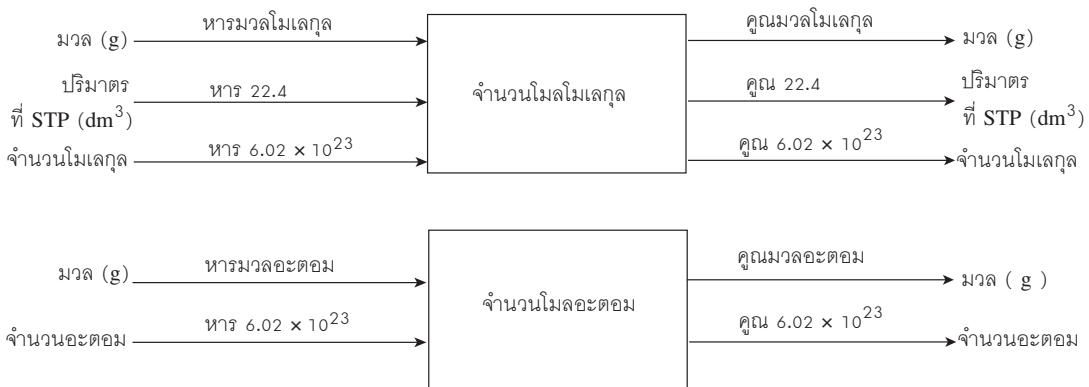
ตัวอย่างความสัมพันธ์ตามแผนภาพ เช่น

แก๊ส CO_2 มีมวลโมเลกุล = 44 ดังนั้น

- (1) CO_2 1 โมล มีจำนวนโมเลกุล = 6.02×10^{23} โมเลกุล
- (2) CO_2 1 โมล มีมวล = 44 กรัม
- (3) CO_2 1 โมล มีปริมาตร = 22.4 dm^3 ที่ STP
- (4) CO_2 6.02×10^{23} โมเลกุลมีมวล = 44 กรัม
- (5) CO_2 6.02×10^{23} โมเลกุลมีปริมาตร = 22.4 dm^3 ที่ STP
- (6) CO_2 22.4 dm^3 ที่ STP มีมวล = 44 กรัม

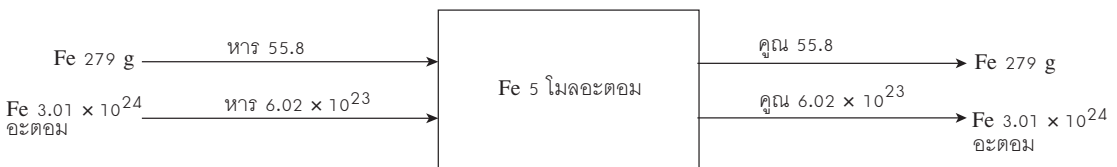
4.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมล อนุภาค มวลและปริมาตร

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมล อนุภาค มวลและปริมาตร สรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้

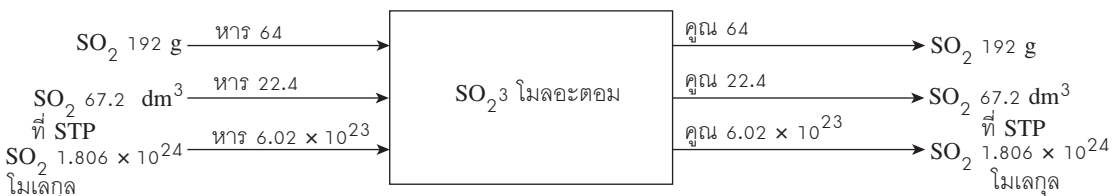


รูปที่ 4.7 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมล อนุภาค มวลและปริมาตร

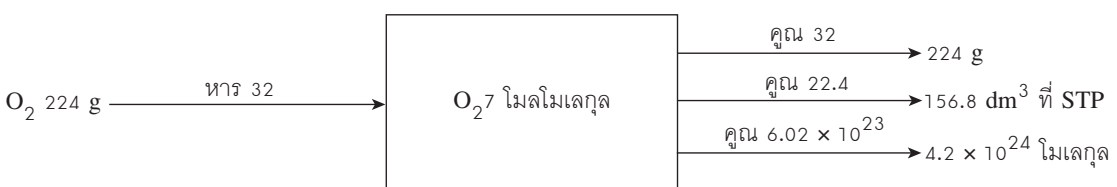
ตัวอย่างที่ 1 เหล็กมีมวลอะตอม = 55.8 ถ้าเริ่มจาก Fe 279 g หรือ 3.01×10^{24} อะตอมเขียนแผนภาพได้ดังนี้



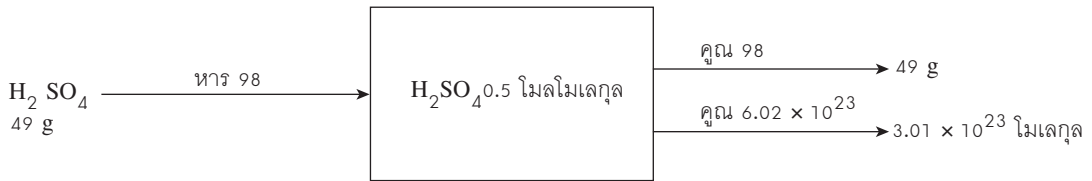
ตัวอย่างที่ 2 แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) มีมวลโมเลกุล = 64 ถ้าเริ่มจาก SO_2 192 g หรือ 67.2 dm^3 หรือ 1.806×10^{24} โมเลกุลเขียนแผนภาพ ได้ดังนี้



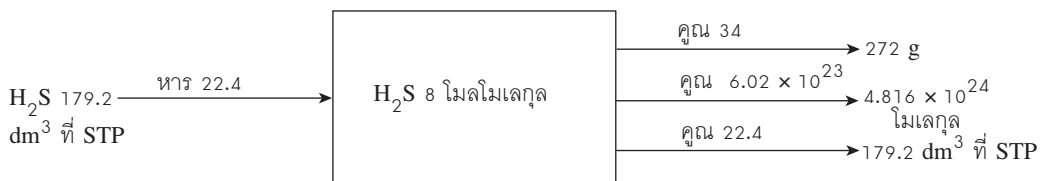
ตัวอย่างที่ 3 แก๊สออกซิเจน (O_2) มีมวลโมเลกุล = 32 ถ้าเริ่มจาก O_2 224 g เขียนแผนภาพได้ดังนี้



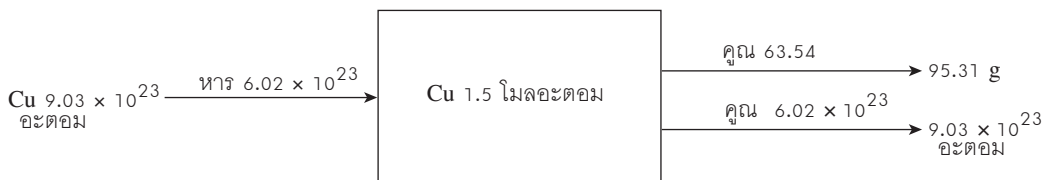
ตัวอย่างที่ 4 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) มีมวลโมเลกุล = 98 ถ้าเริ่มจาก H_2SO_4 49 g เขียนแผนภาพได้ดังนี้



ตัวอย่างที่ 5 แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) มีมวลโมเลกุล = 34 ถ้าเริ่มจาก H_2S 179.2 dm³ ที่ STP เขียนแผนภาพได้ดังนี้



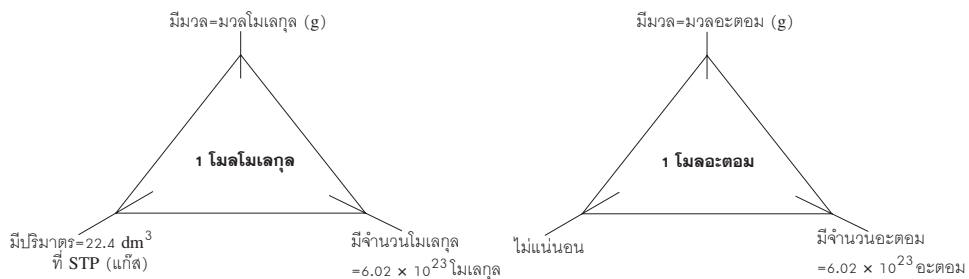
ตัวอย่างที่ 6 ทองแดง (Cu) มีมวลอะตอม 63.54 ถ้าเริ่มจาก Cu 9.03×10^{23} อะตอม เขียนแผนภาพได้ดังนี้



4.4.5 การคำนวณเกี่ยวกับเรื่องโมล

ในการคำนวณเกี่ยวกับเรื่องโมล สามารถคำนวณได้ 2 วิธีดังนี้

1. **ใช้วิธีเทียบเป็นขั้นๆ** ถ้านักเรียนยังมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องโมลไม่ดีพอให้นักเรียนเทียบจากแผนภาพสรุปเรื่องโมล ดังนี้



** ตรงมุมล่างซ้ายของ 1 โมลอะตอมไม่ระบุปริมาตรไว้เพราะธาตุที่ไม่มีโมเลกุลที่ภาวะ STP มักอยู่ในรูปของแข็งจึงมีปริมาตรไม่แน่นอน

2. ใช้สูตรคิดลัด ดังนี้

$$n = \frac{g}{M} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{V}{22.4}$$

เมื่อ n = จำนวนโมล

g = มวลของสารมีหน่วยเป็นกรัม

M = มวลโมเลกุลหรือมวลอะตอมของสาร

N = จำนวนอนุภาค (โมเลกุล, อะตอม, ไอออน) ของสาร

V = ปริมาตรของแก๊สหรือไอของสารที่ STP มีหน่วยเป็น dm^3 หรือลิตร

การใช้สูตรดังกล่าวจะเลือกใช้เพียงคู่เดียวเท่านั้นจะใช้คู่ใดขึ้นอยู่กับข้อมูลที่โจทย์กำหนดและต้องการทราบ
เช่น

- ถ้าทราบมวลเป็นกรัมของสาร แล้วต้องการหาจำนวนโมล ใช้สูตร $n = \frac{g}{M}$
- ถ้าทราบปริมาตรที่ STP แล้วต้องการทราบมวลเป็นกรัมใช้สูตร $\frac{V}{22.4} = \frac{g}{M}$
- ถ้าทราบมวลเป็นกรัมแล้วต้องการหาจำนวนโมเลกุล ใช้สูตร $\frac{N}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{g}{M}$
- ถ้าทราบปริมาตรที่ STP แล้วต้องการหาจำนวนโมล ใช้สูตร $n = \frac{V}{22.4}$

กรณีที่โจทย์กำหนดปริมาณของสารชนิดหนึ่งแล้วให้คำนวณหาปริมาณของสารอีกชนิดหนึ่งให้ใช้สูตร
สัดส่วนโมล เช่น ถ้าสารประกอบคือ A_xB_y ตัวอย่างสูตรสัดส่วนโมล เช่น

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{x}{y}, \quad \frac{n_B}{n_A} = \frac{y}{x}, \quad \frac{n_A}{n_{A_xB_y}} = \frac{x}{1}, \quad \frac{n_{A_xB_y}}{n_B} = \frac{1}{y}$$

เป็นต้น จากนั้นเปลี่ยนจาก n เป็น $\frac{g}{M}$ หรือ $\frac{V}{22.4}$ หรือ $\frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$

ข้อควรจำ

- สารใดที่มีจำนวนโมล (n) เท่ากัน จะมีจำนวนอนุภาค (N) และปริมาตร (V) ที่ภาวะเดียวกันเท่ากัน แต่มีมวล (g) ไม่เท่ากัน หรือสารใดๆ ที่มี N และ V เท่ากันจะมี n เท่ากันด้วย
- สารใดๆ ที่มีมวล (g) เท่ากันจะมี N , n และ V ไม่เท่ากัน แต่สารใดๆ ที่มีมวล (g) ไม่เท่ากันอาจมี N , n หรือ V เท่ากันหรือไม่ก็ได้

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 ถ้ามีแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) 51 กรัม จงคำนวณหา

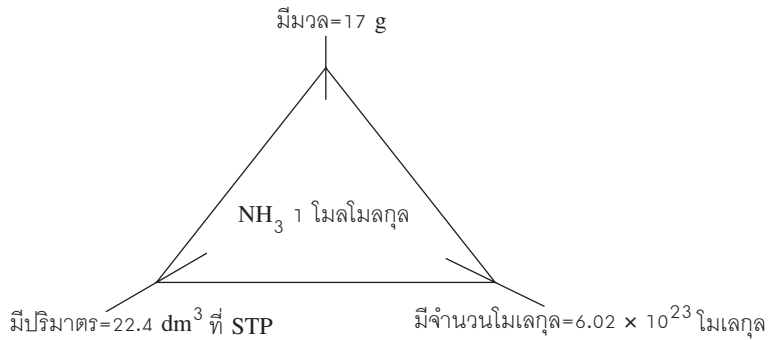
ก. จำนวนโมลโมเลกุล

ข. จำนวนโมเลกุล

ค. ปริมาตรที่ STP

(กำหนดมวลอะตอมของ $H = 1$ $N = 14$)

วิธีทำ 1 NH_3 มีมวลโมเลกุล = $14 + 1 \times 3 = 17$



ก. จากแผนภาพ

$$\begin{aligned} \text{แก๊ส NH}_3 \text{ 17 กรัม มีจำนวนโมล} &= 1 \text{ โมลโมเลกุล} \\ \text{แก๊ส NH}_3 \text{ 51 กรัม มีจำนวนโมล} &= \frac{51}{17} = 3 \text{ โมลโมเลกุล} \\ \therefore \text{แก๊ส NH}_3 \text{ 51 กรัม มีจำนวนโมล} &= 3 \text{ โมลโมเลกุล} \end{aligned}$$

ข. จากแผนภาพ

$$\begin{aligned} \text{แก๊ส NH}_3 \text{ 17 กรัม มีจำนวนโมเลกุล} &= 6.02 \times 10^{23} \text{ โมเลกุล} \\ \text{ถ้าแก๊ส NH}_3 \text{ 51 กรัม มีจำนวนโมเลกุล} &= \frac{6.02 \times 10^{23} \times 51}{17} \text{ โมเลกุล} \\ &= 1.806 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล} \\ \therefore \text{แก๊ส NH}_3 \text{ 51 กรัม มีจำนวนโมเลกุล} &= 1.806 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล} \end{aligned}$$

ค. จากแผนภาพ

$$\begin{aligned} \text{แก๊ส NH}_3 \text{ 17 กรัม มีปริมาตร} &= 22.4 \text{ dm}^3 \text{ ที่ STP.} \\ \text{ถ้าแก๊ส NH}_3 \text{ 51 กรัม มีปริมาตร} &= \frac{22.4 \times 51}{17} = 67.2 \text{ dm}^3 \text{ ที่ STP} \\ \therefore \text{แก๊ส NH}_3 \text{ 51 กรัม มีปริมาตร} &= 67.2 \text{ dm}^3 \text{ ที่ STP.} \end{aligned}$$

วิธีทำ 2 ก) $n = \frac{g}{M} = \frac{51}{17} = 3 \text{ โมลโมเลกุล}$

$\therefore \text{แก๊ส NH}_3 \text{ 51 กรัม มีจำนวนโมล} = 3 \text{ โมลโมเลกุล}$

$$\begin{aligned} \text{ข) } \frac{g}{M} &= \frac{N}{6.02 \times 10^{23}} \\ \frac{51}{17} &= \frac{N}{6.02 \times 10^{23}} \\ N &= \frac{51}{17} \times 6.02 \times 10^{23} = 1.806 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล} \end{aligned}$$

$\therefore \text{แก๊ส NH}_3 \text{ 51 กรัม มีจำนวนโมเลกุล} = 1.806 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล}$

$$\begin{aligned} \text{ค)} \quad \frac{V}{22.4} &= \frac{g}{M} \\ \frac{V}{22.4} &= \frac{51}{17} \\ V &= \frac{51}{17} \times 22.4 = 67.2 \text{ dm}^3 \text{ ที่ STP.} \end{aligned}$$

∴ แก๊ส NH_3 51 กรัม มีปริมาตร = 67.2 dm^3 ที่ STP.

ข้อสังเกต

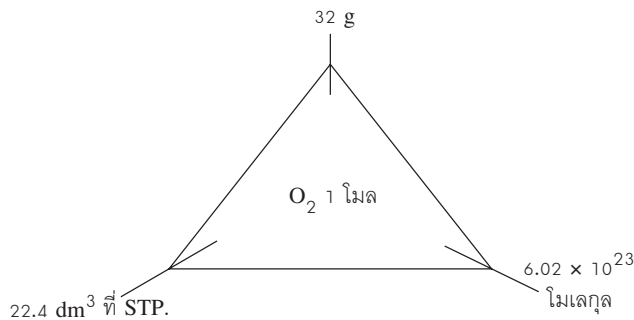
เมื่อนักเรียนทราบจำนวนโมลโมเลกุล นักเรียนไม่จำเป็นต้องเริ่มต้นใหม่

$$\begin{aligned} \text{แก๊ส } \text{NH}_3 \quad 51 \text{ กรัม} &= 3 \text{ โมลโมเลกุล} \\ &= 3 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.806 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล} \\ \text{หรือ} &= 3 \times 22.4 = 67.2 \text{ dm}^3 \text{ ที่ STP} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2 ถังใบหนึ่งมีปริมาตร 100 dm^3 เมื่อนำถังใบนี้บรรจุแก๊สออกซิเจน (O_2) จนเต็มถึงที่อุณหภูมิ 0°C ความดัน 76 เซนติเมตรปรอท ซึ่งได้ 1242.86 กรัม ถังใบนี้หนักกี่กรัม (O มีมวลอะตอม = 16)

วิธีทำ ภาวะที่ 0°C และ 76 เซนติเมตรปรอท (760 มิลลิเมตรปรอท) คือ ภาวะ STP.

$$\text{แก๊สออกซิเจน } (\text{O}_2) \text{ มีมวลโมเลกุล} = 16 \times 2 = 32$$



$$\begin{aligned} \text{แก๊ส } \text{O}_2 \quad 22.4 \text{ dm}^3 \text{ ที่ STP มีมวล} &= 32 \quad \text{กรัม} \\ \text{แก๊ส } \text{O}_2 \quad 100 \text{ dm}^3 \text{ ที่ STP มีมวล} &= \frac{32 \times 100}{22.4} \quad \text{กรัม} \\ &= 142.86 \quad \text{กรัม} \\ \therefore \text{ น้ำหนักของถังมีค่า} &= 1242.86 - 142.86 \quad \text{กรัม} \\ &= 1100 \quad \text{กรัม} \end{aligned}$$

การหามวลของ O_2 100 dm^3 อาจใช้สูตรดังนี้

$$\frac{g}{M} = \frac{V}{22.4} \Rightarrow \frac{g}{32} = \frac{100}{22.4}$$

$$g = \frac{100 \times 32}{22.4} = 142.86 \text{ กรัม}$$

ตัวอย่างที่ 3 ถ้ามีโพรพานอล (C_3H_8O) จำนวน 330 กรัม จงคำนวณหา

- ก. จำนวนโมลอะตอมของคาร์บอน (C) ข. จำนวนอะตอมของไฮโดรเจน (H)
ค. มวลของออกซิเจน (O)

(กำหนดมวลอะตอมของ H = 1 C = 12 และ O = 16)

วิธีทำ

ก) C_3H_8O มีมวลโมเลกุล = $(12 \times 3) + (1 \times 8) + (16 \times 1) = 60$

C_3H_8O 60 กรัม = 1 โมลโมเลกุล

ถ้า C_3H_8O 330 กรัม = $\frac{330}{60} = 5.5$ โมลโมเลกุล

หรือใช้สูตร $n = \frac{g}{M} \Rightarrow n = \frac{330}{60} = 5.5$ โมลโมเลกุล

C_3H_8O 1 โมลโมเลกุลมีธาตุคาร์บอน (C) = 3 โมลอะตอม

C_3H_8O 5.5 โมลโมเลกุลมีธาตุคาร์บอน (C) = 3×5.5 โมลอะตอม
= 16.5 โมลอะตอม

$\therefore C_3H_8O$ 330 กรัม มีธาตุคาร์บอน (C) = 16.5 โมลอะตอม

ข) C_3H_8O 1 โมลโมเลกุล มีธาตุไฮโดรเจน (H) = 8 โมลอะตอม

ถ้า C_3H_8O 5.5 โมลโมเลกุล มีธาตุไฮโดรเจน (H) = $8 \times 5.5 = 44$ โมลอะตอม

ไฮโดรเจน(H) 1 โมลอะตอม = 6.02×10^{23} อะตอม

ถ้าไฮโดรเจน (H) 44 โมลอะตอม = $6.02 \times 10^{23} \times 44$ อะตอม

= 2.65×10^{25} อะตอม

$\therefore C_3H_8O$ 330 กรัม มีธาตุไฮโดรเจน (H) = 2.65×10^{25} อะตอม

ค) C_3H_8O 1 โมลโมเลกุลมีธาตุออกซิเจน (O) = 1 โมลอะตอม

C_3H_8O 5.5 โมลโมเลกุลมีธาตุออกซิเจน (O) = 5.5 โมลอะตอม

ธาตุออกซิเจน (O) มีมวลอะตอม = 16

ธาตุออกซิเจน 1 โมลอะตอม มีมวล = 16 กรัม

ถ้าธาตุออกซิเจน 5.5 โมลอะตอม มีมวล = $16 \times 5.5 = 88$ กรัม

$\therefore C_3H_8O$ 330 กรัม มีธาตุออกซิเจน (O) = 88 กรัม

ตัวอย่างที่ 4 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) จำนวน 25 กรัมประกอบด้วย Ca^{2+} และ Cl^- อย่างละกี่ไอออน
(มวลอะตอมของ Ca = 40, Cl = 35.5)

วิธีทำ

$CaCl_2$ 1 โมล ประกอบด้วย Ca^{2+} 1 โมลไอออน และ Cl^- 2 โมลไอออน

$CaCl_2$ มีมวลสูตร (มวลโมเลกุล) = $40 + 35.5 \times 2 = 111$

$CaCl_2$ 111 กรัม มีจำนวนโมล = 1 โมล

$CaCl_2$ 25 กรัม มีจำนวนโมล = $\frac{25}{111} = 0.225$ โมล



จากสมการ

CaCl_2 1 โมลมี $\text{Ca}^{2+} = 1$ โมลไอออนและมี $\text{Cl}^- = 2$ โมลไอออน

ถ้า CaCl_2 0.225 โมลมี $\text{Ca}^{2+} = 0.225$ โมลไอออนและมี Cl^-

$$= 0.225 \times 2 \text{ โมลไอออน}$$

$$= 0.45 \text{ โมลไอออน}$$

$$\text{Ca}^{2+} 0.225 \text{ โมลไอออน} = 0.225 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.35 \times 10^{23} \text{ ไอออน}$$

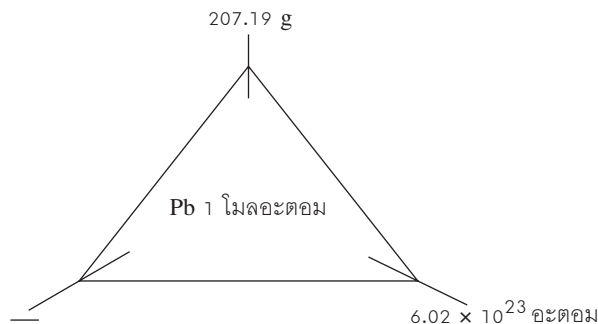
$$\text{Cl}^- 0.45 \text{ โมลไอออน} = 0.45 \times 6.02 \times 10^{23} = 2.71 \times 10^{23} \text{ ไอออน}$$

$$\therefore \text{CaCl}_2 25 \text{ กรัมประกอบด้วย } \text{Ca}^{2+} = 1.35 \times 10^{23} \text{ ไอออน}$$

$$\text{และ } \text{Cl}^- = 2.71 \times 10^{23} \text{ ไอออน}$$

ตัวอย่างที่ 5 กำหนดให้ตะกั่ว (Pb) มีความหนาแน่น 11.3 g/cm^3 จงคำนวณหาจำนวนอะตอมของตะกั่วใน 1 cm^3 (มวลอะตอมของ Pb = 207.19)

วิธีทำ ตะกั่วมีความหนาแน่น = 11.3 g/cm^3 แสดงว่าในตะกั่ว 1 cm^3 มีมวล = 11.3 กรัม



$$\text{ตะกั่ว } 207.19 \text{ กรัม มีจำนวนอะตอม} = 6.02 \times 10^{23} \text{ อะตอม}$$

$$\text{ถ้าตะกั่ว } 11.3 \text{ กรัม จะมีจำนวนอะตอม} = \frac{6.02 \times 10^{23} \times 11.3}{207.19} \text{ อะตอม}$$

$$= 3.28 \times 10^{22} \text{ อะตอม}$$

$$\therefore \text{จำนวนอะตอมของตะกั่วใน } 1 \text{ cm}^3 = 3.28 \times 10^{22} \text{ อะตอม}$$

$$\text{หรือใช้สูตร } \frac{\text{g}}{\text{M}} = \frac{\text{N}}{6.02 \times 10^{23}} \Rightarrow \frac{11.3}{207.19} = \frac{\text{N}}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$\text{N} = \frac{11.3 \times 6.02 \times 10^{23}}{207.19} = 3.28 \times 10^{22} \text{ อะตอม}$$

ตัวอย่างที่ 6 แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) $2,800 \text{ cm}^3$ ที่ STP มีกี่โมล

วิธีทำ แก๊ส SO_2 $2800 \text{ cm}^3 = \frac{2,800}{1,000} = 2.8 \text{ dm}^3$

$$\text{แก๊ส SO}_2 \text{ 22.4 dm}^3 \text{ ที่ STP} = 1 \text{ โมล}$$

$$\text{แก๊ส SO}_2 \text{ 2.8 dm}^3 \text{ ที่ STP} = \frac{2.8}{22.4} = 0.125 \text{ โมล}$$

$$\therefore \text{มีแก๊ส SO}_2 = 0.125 \text{ โมล}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือใช้สูตร } n &= \frac{V}{22.4} \\ &= \frac{2.8}{22.4} = 0.125 \text{ โมล} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 7 จงคำนวณหามวลของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จำนวน 1 dm³ ที่ STP (ถ้ากำหนดมวลอะตอมของ S = 32.064, H = 1.008)

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{S} \text{ มีมวลโมเลกุล} &= (1.008 \times 2) + 32.064 \\ &= 34.080 \end{aligned}$$

$$\text{แก๊ส H}_2\text{S 22.4 dm}^3 \text{ ที่ STP มีมวล} = 34.080 \text{ กรัม}$$

$$\text{แก๊ส H}_2\text{S 1 dm}^3 \text{ ที่ STP มีมวล} = \frac{34.080}{22.4} = 1.52 \text{ กรัม}$$

$$\therefore \text{มวลของ H}_2\text{S จำนวน 1 dm}^3 \text{ ที่ STP} = 1.52 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือใช้สูตร } \frac{\frac{g}{M}}{\frac{g}{34.080}} &= \frac{V}{22.4} \\ &= \frac{1}{22.4} \\ g &= \frac{34.080}{22.4} = 1.52 \text{ กรัม} \\ \therefore \text{มวลของ H}_2\text{S จำนวน 1 dm}^3 \text{ ที่ STP} &= 1.52 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 8 สารใดต่อไปนี้มีจำนวนอะตอมมากที่สุด

ก. N_2 14 กรัม

ข. H_2SO_4 24.5 กรัม

ค. SO_2 6.02×10^{23} โมเลกุล

ง. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 0.2 โมล

จ. CO 67.2 dm³ ที่ STP (กำหนดมวลอะตอมของ N = 14, H = 1, S = 32, O = 16, C = 12)

วิธีทำ

ก) N_2 มีมวลโมเลกุล = $14 \times 2 = 28$

N_2 14 กรัม = $\frac{14}{28} = 0.5$ โมลโมเลกุล

= 0.5×2 โมลอะตอม = 1.0 โมลอะตอม

= 6.02×10^{23} อะตอม

$\therefore \text{N}_2$ 14 กรัม มีจำนวนอะตอม = 6.02×10^{23} อะตอม