

## บทที่ 8

### ปริมาณสารสัมพันธ์

ปริมาณสารสัมพันธ์ เป็นเนื้อหาเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์สาร การหาความสัมพันธ์ของสารจากสมการเคมี ฯลฯ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์สารในระดับสูง ทั้งนี้เพราะการเรียนการสอนวิชาเฉพาะ เช่น วิชาเคมี ส่วนใหญ่จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ในระดับอุดมศึกษา จึงควรมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐาน เพื่อนำไปสู่การศึกษาเกี่ยวกับเคมีวิเคราะห์ ซึ่งสาระนี้อยู่ในหนังสือเรียนและคู่มือครูสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมเคมีเล่ม 2 และ 3 ตามลำดับ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2546-2547) และเทคนิคทางเคมี (ประเสริฐ ศรีไพโรจน์, 2539)

### ความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวลอะตอมและมวลโมเลกุล

เนื่องจากสารต่างๆประกอบด้วยอะตอมหรือโมเลกุลที่มีสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งจะแตกต่างจากสารอื่นๆ โดยอะตอมหรือโมเลกุลของสารต่างชนิดกันก็จะมีมวลไม่เท่ากัน แต่เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กการวัดหามวลอะตอมของธาตุจึงทำได้ยาก ดอลตันจึงเสนอให้ใช้วิธีการเปรียบเทียบ โดยดอลตันเสนอให้ใช้ธาตุไฮโดรเจนซึ่งมีมวลน้อยที่สุดเป็นธาตุมาตรฐานในการเปรียบเทียบ ดังนี้

ให้ธาตุไฮโดรเจน 1 อะตอมมีมวล 1 หน่วย ตัวเลขที่ได้จากการเปรียบเทียบมวลของธาตุ 1 อะตอมกับมวลของธาตุมาตรฐาน 1 อะตอม เรียกว่ามวลอะตอมของธาตุ

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\text{มวลของ H 1 อะตอม}}$$

เนื่องจากธาตุออกซิเจนอยู่เป็นอิสระในบรรยากาศและทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นได้ง่าย จึงมีผู้เสนอให้ใช้ธาตุออกซิเจนแทนธาตุไฮโดรเจน และเนื่องจากออกซิเจน 1 อะตอมมีมวลเป็น 16 เท่าของไฮโดรเจน จึงได้สูตรการคำนวณ ดังนี้

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

แต่ธาตุในธรรมชาติมีหลายธาตุที่มีหลายไอโซโทป เช่น ธาตุออกซิเจน ธาตุคาร์บอน ฯลฯ ดังนั้นในการคำนวณหามวลอะตอมของธาตุจึงเป็นค่าเฉลี่ยจากค่ามวลอะตอมและปริมาณของแต่ละไอโซโทปที่มีอยู่ในธรรมชาติ ต่อมานักวิทยาศาสตร์ตกลงใช้ธาตุคาร์บอน - 12 ( $^{12}\text{C}$ ) เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบมวล โดยให้  $^{12}\text{C}$  จำนวน 1 อะตอมมีมวล 12 หน่วยมวลอะตอม ดังนั้น 1 หน่วยมวลอะตอมจึงมีค่าเท่ากับ  $1/12$  มวลของ  $^{12}\text{C}$  จำนวน 1 อะตอมหรือมีค่าเท่ากับ  $1.66 \times 10^{-24}$  กรัม

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (กรัม)}}{1/12 \text{ มวลของ } ^{12}\text{C} \text{ 1 อะตอม (กรัม)}} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (กรัม)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (กรัม)}}$$

**หมายเหตุ** เนื่องจากมวลอะตอมของธาตุเป็นค่าเปรียบเทียบจึงไม่มีหน่วย

โมเลกุลของสาร หมายถึง อนุภาคขนาดเล็กที่สารสามารถอยู่ได้อย่างอิสระและแสดงสมบัติเฉพาะตัวของสารนั้นๆได้ สามารถหามวลโมเลกุลของสารได้ 2 วิธี ดังนี้

1. เปรียบเทียบมวลของสารนั้น 1 โมเลกุล กับมวลของธาตุมาตรฐาน 1 อะตอม ดังนี้  

$$\text{มวลโมเลกุลของสาร A} = \frac{\text{มวลของสาร A 1 โมเลกุล (กรัม)}}{1/12 \text{ มวลของ } ^{12}\text{C} \text{ 1 อะตอม (กรัม)}} = \frac{\text{มวลของสาร A 1 โมเลกุล (กรัม)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (กรัม)}}$$

2. กรณีที่ทราบสูตรโมเลกุลของสารประกอบว่า 1 โมเลกุลของสารนั้นประกอบด้วยธาตุใดบ้าง ธาตุละกี่อะตอมสามารถหามวลโมเลกุลได้ โดยหาผลรวมของธาตุเหล่านั้น ซึ่งวิธีนี้จะใช้หาสูตรโมเลกุลของสารประกอบโคเวเลนต์ได้ แต่ถ้าเป็นสารประกอบไอออนิก ซึ่งไม่อยู่ในรูปโมเลกุล สูตรของสารประกอบประเภทนี้เป็นสูตรที่แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของไอออนที่ประกอบกันเป็นสารเท่านั้น ดังนั้นในการคำนวณหามวลโมเลกุลของสารประกอบไอออนิกจึงหมายถึงการคำนวณหาผลรวมของสูตรเอมพิริคัล หรือมวลสูตร

การบอกปริมาณของสารบอกได้โดยใช้หน่วยต่างๆเช่น มวล , ปริมาตร , โมล , จำนวนอนุภาค เป็นต้น

โมล (mole) ใช้สัญลักษณ์ mol หมายถึง ปริมาณสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับจำนวนอะตอมของ  $^{12}\text{C}$  ที่มีมวล 12 กรัม

สาร 1 โมล เป็นปริมาณสารที่มีจำนวนอนุภาค  $6.02 \times 10^{23}$  อนุภาค เนื่องจากจำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  เรียกว่า เลขอาโวกาโดร ดังนั้น สาร 1 โมลจึงมีจำนวนอนุภาคเท่ากับเลขอาโวกาโดร

เนื่องจากธาตุที่มีจำนวนอะตอม  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม จะมีค่ามวลเป็นกรัมเท่ากับมวลอะตอม ดังนั้นธาตุใดๆที่มีปริมาณ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอมหรือ 1 โมล จะมีมวลเป็นกรัมเท่ากับมวลอะตอมของธาตุนั้น และในทำนองเดียวกันถ้าสารนั้นเป็นโมเลกุลจะสรุปได้ว่า สารใดๆ 1 โมล หรือ  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล จะมีมวลเป็นกรัมเท่ากับมวลโมเลกุลของสารนั้น

ในกรณีที่เป็นแก๊สจะบอกปริมาณสารในหน่วยของปริมาตร เนื่องจากปริมาตรของแก๊สสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิและความดัน ดังนั้นการบอกปริมาณของแก๊สต้องระบุอุณหภูมิและความดันที่วัดปริมาตรด้วย ในภาวะมาตรฐาน(Standard Temperature and Pressure ย่อว่า STP) นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดให้มีอุณหภูมิเท่ากับศูนย์องศาเซลเซียส และมีความดันเท่ากับ 1 บรรยากาศ

ปริมาณ 1 โมลของแก๊สใดๆมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลูกบาศก์เดซิเมตร หรือ 22.4 ลิตร ที่STP จากความสัมพันธ์ข้างต้นแสดงว่าปริมาณสารที่มีหน่วยเป็นโมลสามารถเปลี่ยนปริมาณสารเป็นหน่วยอื่นๆได้ เช่น จำนวนอนุภาค(อะตอม หรือ โมเลกุล) มวล และปริมาตรของแก๊สที่ STP ดังนี้

$$n = \frac{g}{M} = \frac{vd}{M} = \frac{x}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{V \text{ แก๊สที่ STP}}{22.4}$$

$n$  = จำนวนโมลของสาร (mol)  $g$  = มวลของสารเป็นกรัม (g)

$M$  = มวลอะตอมหรือมวลโมเลกุล  $v$  = ปริมาตรของสาร ( $\text{cm}^3$ )

$x$  = จำนวนอนุภาค (จำนวนอะตอมหรือจำนวนโมเลกุล)

$V$  = ปริมาตรของแก๊สที่ STP เท่านั้น (ลิตร)  $d$  = ความหนาแน่นของสาร ( $\text{g/cm}^3$ )

## ความเข้มข้นของสารละลาย

สารละลาย คือ สารเนื้อเดียวที่ประกอบด้วยตัวทำละลายและตัวละลาย โดยตัวละลายจะมีเพียง 1 ชนิดหรือมากกว่า 1 ชนิดก็ได้ และแต่ละชนิดไม่จำเป็นต้องมีปริมาณที่เท่ากัน ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นไม่เท่ากัน เราสามารถบอกปริมาณของตัวละลายที่ละลายอยู่ในสารละลายได้ด้วยความเข้มข้นของสารละลาย ดังนี้ ร้อยละ , ส่วนในล้านส่วน , โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร , โมลต่อกิโลกรัมหรือเศษส่วนโมล

การเตรียมสารละลายทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. เตรียมจากสารบริสุทธิ์ โดยนำสารบริสุทธิ์มาละลายในตัวทำละลายโดยตรง
2. นำสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงมาทำให้เป็นสารละลายเจือจาง ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับปริมาตรของสารละลายเดิมและสารละลายที่เตรียมได้ ดังนี้

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$M_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายก่อนทำให้เจือจาง ( $\text{mol/dm}^3$ )

$M_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายหลังทำให้เจือจาง ( $\text{mol/dm}^3$ )

$V_1$  = ปริมาตรของสารละลายก่อนทำให้เจือจาง ( $\text{dm}^3$ )

$V_2$  = ปริมาตรของสารละลายหลังทำให้เจือจาง ( $\text{dm}^3$ )

สารละลายมาตรฐาน หมายถึง สารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมสารละลายให้เจือจางได้

การเตรียมสารละลายจากสารบริสุทธิ์ จะต้องชั่งสารให้ถูกต้อง จึงจะได้ความเข้มข้นของสารละลายที่ถูกต้องแม่นยำ แต่ถ้าสารนั้นชั่งยาก เพราะสารอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นองค์ประกอบในบรรยากาศ การเตรียมความเข้มข้นของสารนี้ทำได้โดยนำสารละลายของสารชนิดนี้ที่ทราบปริมาตรแน่นอนมาไทเทรต หรือทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานอีกชนิดหนึ่ง หรือที่เรียกว่าสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ เมื่อทราบปริมาตรและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิแล้ว สามารถคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายที่เตรียมขึ้นได้ การเตรียมแบบนี้เป็นการเทียบมาตรฐาน เราเรียกสารละลายที่ผ่านการเทียบมาตรฐานว่าสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายอื่นๆที่ไม่ทราบความเข้มข้นได้

**ความเข้มข้นของสารละลาย** สามารถบอกได้หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

- **ค่าร้อยละ** หน่วยนี้บอกให้ทราบว่า มีตัวถูกละลายอยู่เท่าใดในสารละลายร้อยละส่วนสามารถพิจารณาได้ทั้งในกรณีที่ตัวถูกละลายและตัวทำละลายมีสถานะแตกต่างกัน และมีสถานะเหมือนกัน จำแนกได้ 3 แบบ

1. ร้อยละโดยมวล มวลร้อยละมีค่าเท่ากับ มวลของตัวละลายหารด้วยมวลของสารละลายคูณด้วยร้อย (ใช้ได้ทั้งกรณีที่ตัวถูกละลายมีสถานะเป็นของแข็งพิจารณาในหน่วยกรัม หรือของเหลวพิจารณาในหน่วยกรัม)

2. ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตรมีค่าเท่ากับ ปริมาตรของเหลวหารด้วยปริมาตรรวมของสารละลายคูณด้วยร้อย (ใช้ในกรณีที่ตัวถูกละลายและตัวทำละลายเป็นของเหลว หรือแก๊ส)

3. ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรมีค่าเท่ากับ มวลของตัวละลายหารด้วยปริมาตรของสารละลายคูณด้วยร้อย (กรณีนี้ตัวถูกละลายอยู่สถานะใดก็ตามจะพิจารณาในหน่วยน้ำหนัก เช่น กรัม กิโลกรัม ส่วนสารละลายจะพิจารณาในหน่วยปริมาตร เช่น ลูกบาศก์เซนติเมตร( $\text{cm}^3$ ) ลูกบาศก์เดซิเมตร( $\text{dm}^3$ )

- **โมลาริตี(โมล ต่อ ลูกบาศก์เดซิเมตร)** คือ จำนวนโมลของตัวถูกละลายหารด้วยปริมาตรลูกบาศก์เดซิเมตรของสารละลาย หน่วยนี้ทำให้ทราบว่า มีตัวถูกละลายกี่โมลที่ละลายอยู่

ในสารละลายปริมาตร 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ในระบบ SI เขียนสัญลักษณ์เป็น  $\text{mol/dm}^3$  บางคนเรียกหน่วยนี้ว่าโมลาร์ (molar) หมายถึง โมลต่อลิตร เพราะ  $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ ลิตร}$  ใช้สัญลักษณ์ M

- **โมแลลรี(โมล ต่อ กิโลกรัม)** คือ จำนวนโมลของตัวถูกละลายหารด้วยกิโลกรัมของตัวทำละลาย หน่วยนี้ทำให้ทราบว่าตัวถูกละลายอยู่ที่โมลในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัมหรือ 1,000 กรัม ใช้สัญลักษณ์ m สามารถเรียกอีกอย่างว่า โมแลล (molal)

- **เศษส่วนโมล** เป็นหน่วยความเข้มข้นชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถพิจารณาได้ทั้งจากตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย ถ้ามีตัวถูกละลายตัวเดียวละลายในตัวทำละลาย ผลรวมของเศษส่วนโมลของตัวถูกละลาย และเศษส่วนโมลของตัวทำละลายจะต้องมีค่าเท่ากับ 1

เศษส่วนโมลของตัวถูกละลาย คือ จำนวนโมลของตัวละลายหารด้วยผลรวมจำนวนโมลของตัวถูกละลาย และจำนวนโมลของตัวทำละลาย

เศษส่วนโมลของตัวทำละลาย คือ จำนวนโมลของตัวทำละลายหารด้วยผลรวมจำนวนโมลของตัวถูกละลาย และจำนวนโมลของตัวทำละลาย

- **เศษส่วน** เป็นหน่วยความเข้มข้นที่ใช้กับสารอันตราย เช่น สารมลพิษต่างๆ หน่วยที่นิยมใช้มีสัญลักษณ์และความหมายดังนี้

**ppm** แทน หน่วยต่อล้าน เช่น 1 ส่วนในล้านส่วน  $1/10^6$  หรือ  $10^{-6}$

**ppb** แทน หน่วยต่อพันล้าน เช่น 1 ส่วนในพันล้านส่วน  $1/10^9$  หรือ  $10^{-9}$

- **นอร์มาลิตี** คือ จำนวนสมมูลของตัวถูกละลายหารด้วยจำนวนลูกบาศก์เดซิเมตรของสารละลาย ใช้สัญลักษณ์ N

การพิจารณาจำนวนสมมูลของตัวถูกละลาย สามารถคำนวณหาได้จากจำนวนกรัมของตัวถูกละลายหารด้วยมวลสมมูลของตัวถูกละลาย

มวลสมมูล คือ มวลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาพอดีกัน โดยการรวมกับสารอื่นหรือการเข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนอะตอม หรือไฮโดรเจนไอออน 1 โมล การหามวลสมมูลจะพิจารณาจากสมการเคมีที่ดุลอย่างถูกต้อง

นอร์มาลิตี กับโมลาร์ มีความสัมพันธ์กัน โดย นอร์มาลิตี มีค่าเท่ากับ จำนวนโมลคูณกับโมลาร์ ( $N = n \times M$ ;  $N =$  นอร์มาลิตี,  $n =$  จำนวนโมล,  $M =$  โมลาร์) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ทั้งสารที่เป็นกรดและเบส ดังนี้

กรณีที่สารประกอบเป็นกรด n จะเป็นจำนวนโมลของไฮโดรเจนไอออนที่สารประกอบนั้น 1 โมล ให้ได้

กรณีที่สารประกอบเป็นเบส n จะเป็นจำนวนโมลที่สารประกอบจำพวกเบสสามารถทำปฏิกิริยาได้พอดีกับโมลของไฮโดรเจนไอออน

สารที่ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิต้องมีสมบัติดังนี้

1. ไม่ทำปฏิกิริยาหรือไม่ดูดซับสารในบรรยากาศ เช่น ไอน้ำ
2. มีความบริสุทธิ์สูง
3. มีมวลโมเลกุลหรือมวลสูตรสูง
4. ละลายในตัวทำละลายได้ดี
5. ไม่เป็นพิษ

สารละลายมีสมบัติแตกต่างจากสารบริสุทธิ์ที่เป็นตัวทำละลายโดยจะมีจุดเดือด จุดเยือกแข็งหรือจุดหลอมเหลวแตกต่างไปจากเดิม สารละลายที่มีตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ถ้ามีความเข้มข้นในหน่วยโมลต่อกิโลกรัม (โมแลล) เท่ากัน จะมีจุดเดือดหรือจุดเยือกแข็งเท่ากัน โดยที่ตัวละลายจะเป็นสารใดก็ได้ แต่ต้องเป็นสารที่ระเหยได้ยาก และไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออน แต่ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นต่างกัน แม้จะมีตัวทำละลายชนิดเดียวกัน แต่จุดเดือดและจุดหลอมเหลวก็จะไม่เท่ากัน

**หมายเหตุ** จุดหลอมเหลวและจุดเยือกแข็งของสารแต่ละชนิดเป็นอุณหภูมิเดียวกัน แต่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้าม จึงสามารถใช้เรียกแทนกันได้

ค่าคงที่ของการเพิ่มของจุดเดือด ( $K_b$ ) เป็นผลต่างระหว่างจุดเดือดของสารละลายที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อกิโลกรัม (โมแลล) กับจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์ซึ่งจะมีค่าคงที่

ค่าคงที่ของการลดของจุดเยือกแข็ง ( $K_f$ ) เป็นผลต่างระหว่างจุดหลอมเหลวของสารละลายที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อกิโลกรัม (โมแลล) กับจุดหลอมเหลวของตัวทำละลายบริสุทธิ์ซึ่งจะมีค่าคงที่

สมบัติของสารละลายที่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย เรียกว่า สมบัติคอลลิเกทีฟ (Colligative properties) มี 4 ประการ ดังนี้

1. การเพิ่มขึ้นของจุดเดือด :  $\Delta T_b = K_b m$
2. การลดลงของจุดเยือกแข็ง :  $\Delta T_f = K_f m$
3. การลดลงของความดันไอ
4. การเกิดความดันออสโมติก

$\Delta T_b$  = ผลต่างระหว่างจุดเดือดของสารละลายกับจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์

$\Delta T_f$  = ผลต่างระหว่างจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์กับจุดเยือกแข็งของสารละลาย

$K_b$  = ค่าคงที่ของการเพิ่มของจุดเดือด

$K_f$  = ค่าคงที่ของการลดของจุดเยือกแข็ง

$m$  = ความเข้มข้นของสารละลายเป็นโมลต่อกิโลกรัม (โมแลล)

สูตรเคมี หมายถึง กลุ่มสัญลักษณ์ของธาตุที่ใช้เขียนแทนธาตุ และสารประกอบมีหลายชนิด

1. สูตรเอมพิริคัลหรือสูตรอย่างง่าย หมายถึง สูตรที่แสดงถึงอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

2. สูตรโมเลกุล หมายถึง สูตรที่เขียนแสดงจำนวนอะตอมของธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่จริงใน 1 โมเลกุลของสาร

3. สูตรโครงสร้าง หมายถึง สูตรที่เขียนเพื่อแสดงการจัดเรียงอะตอมของธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่จริงใน 1 โมเลกุลของสารนั้น

การหามวลเป็นร้อยละของธาตุองค์ประกอบในสารประกอบสามารถหาได้โดยใช้สูตรโมเลกุลของสารและมวลอะตอมของธาตุองค์ประกอบ เขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละของธาตุ } X \text{ ในสารประกอบ} = \frac{\text{มวลของธาตุ } X}{\text{มวลของสารประกอบ}} \times 100$$

$X$  หมายถึง ธาตุที่อยู่ในสารประกอบ

ถ้าเราทราบชนิดของธาตุ มวลเป็นกรัมของธาตุ และมวลอะตอมของธาตุองค์ประกอบ เราสามารถคำนวณหาอัตราส่วนจำนวนโมลของธาตุ เพื่อนำไปเขียนเป็นสูตรเอมพิริคัลได้ และสามารถนำสูตรเอมพิริคัล และมวลโมเลกุลของสารมาใช้คำนวณหาสูตรโมเลกุลของสารได้อีกด้วย

สมการเคมี เป็นสมการที่เขียนแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นโดยจะเขียนทั้งสูตรของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ สูตรของสารตั้งต้นจะไว้ทางซ้าย และเขียนลูกศรไว้ตรงกลางโดยให้หัวลูกศรชี้ไปที่ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ทางขวา

การดุลสมการ หมายถึง การนำตัวเลขที่เหมาะสมมาเติมหน้าสัญลักษณ์หรือสูตรของสารที่อยู่ในสมการเคมี ทั้งนี้เพื่อให้จำนวนอะตอมแต่ละธาตุในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากัน

ในการเขียนสมการเคมีจะต้องดุลสมการให้ถูกต้องทุกครั้ง เพื่อให้เป็นไปตามกฎทรงมวล แต่ในกรณีที่สมการเคมี 1 สมการสามารถดุลสมการได้มากกว่า 1 สมการ ถ้าตัดสินว่าสมการที่ดุลแล้วสมการใดถูกต้อง ให้พิจารณาจากผลการทดลอง และศึกษาจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้จริง ๆ สมการเคมีที่ดุลแล้วจะแสดงให้เห็นทราบถึง จำนวนโมล , มวล , จำนวนอนุภาค และปริมาตรที่ STP ในกรณีที่สารในปฏิกิริยานั้นมีสถานะเป็นแก๊ส

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารในปฏิกิริยาเคมีใดๆ จะต้องมีการกำหนดขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

1. ระบบ หมายถึง ส่วนที่อยู่ภายในขอบเขตของการศึกษา ซึ่งจะพิจารณารวมทั้งก่อนการเปลี่ยนแปลง และหลังการเปลี่ยนแปลง การกำหนดระบบขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการศึกษา

2. สิ่งแวดล้อม หมายถึง สิ่งที่อยู่นอกขอบเขตของการศึกษา เช่น ภาชนะ , เครื่องมือวัด ฯลฯ

3. ภาวะของระบบ หมายถึง สมบัติของสารและปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของระบบระบบแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. ระบบปิด เป็นระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานกับสิ่งแวดล้อมได้เพียงอย่างเดียว แต่มวลจะคงที่

2. ระบบเปิด เป็นระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งมวลและพลังงานกับสิ่งแวดล้อม

3. ระบบแยกตัวหรือระบบอิสระ เป็นระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งมวลและพลังงานกับสิ่งแวดล้อม

## กฎต่างๆในการศึกษาปริมาณสารสัมพันธ์

ลาวัวซีเอ ได้ตั้งกฎทรงมวลขึ้นมีใจความว่า “มวลรวมของสารก่อนเกิดปฏิกิริยาเท่ากับมวลรวมของสารหลังเกิดปฏิกิริยา” กฎนี้จะเกิดกับระบบปิดโดยไม่ขึ้นกับการเปิดหรือปิดภาชนะ

โจเซฟ เพราสต์ได้ตั้งกฎสัดส่วนคงที่ขึ้นมีใจความว่า “อัตราส่วนโดยมวลของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่รวมตัวกันเป็นสารประกอบจะมีค่าคงที่เสมอ”

โซเซฟ-ลุย เก-ลู ชัก ได้ตั้งกฎการรวมปริมาตรของแก๊ส หรือที่เรียกว่ากฎของเกย์-ลูสแซกขึ้นมีใจความว่า “ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของ



แก๊สที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวเลขจำนวนเต็มลงตัวน้อยๆ”

อาโวกาโดร ได้ตั้งกฎของอาโวกาโดรขึ้นมีใจความว่า “แก๊สใดๆที่มีปริมาตรเท่ากันวัดที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน จะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน”

กฎของเก-ลูส แซก และกฎของอาโวกาโดร สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการคำนวณหาปริมาตรของแก๊สที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา และใช้คำนวณหาสูตรโมเลกุลของแก๊สได้

เนื่องจากปริมาณของสารแต่ละชนิดในสมการเคมีมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้นสมการเคมีที่ดุลแล้ว จึงสามารถใช้คำนวณหามวล จำนวนอนุภาค โมล และปริมาตรของแก๊สที่ STP ได้

สารกำหนดปริมาณ คือ สารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อนสารอื่น สารนี้จะเป็นตัวกำหนดว่าจะเกิดผลิตภัณฑ์ตามปฏิกิริยาเคมีได้มากที่สุดจำนวนเท่าใด นั่นคือปริมาณผลิตภัณฑ์จะเกิดมากหรือน้อยขึ้นกับสารกำหนดปริมาณนั่นเอง เมื่อพิจารณาสมการเคมีที่ดุลแล้วสามารถคำนวณหาปริมาณของผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อทราบสารกำหนดปริมาณ จึงเรียกปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้จากสมการที่ดุลแล้วว่า **ผลได้ตามทฤษฎี** แต่ในความเป็นจริงหรือการปฏิบัติปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอาจน้อยกว่าที่คำนวณได้ เพราะเหตุผลหลายๆประการ เช่น การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ จึงเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจากการทดลองจริงๆว่า **ผลได้จริง** เมื่อเปรียบเทียบผลได้จริงกับผลได้ตามทฤษฎีเป็นร้อยละจะได้ **ผลได้ร้อยละ** ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ผลได้ร้อยละ} = \frac{\text{ผลได้จริง} \times 100}{\text{ผลได้ตามทฤษฎี}}$$

## การหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุล

**สูตรอย่างง่าย(สูตรเอมพิริคัล)** เป็นสูตรที่แสดงอัตราส่วนของอะตอมหรือโมลของอะตอมของธาตุที่สามารถรวมกันเป็นสารประกอบ การคำนวณสูตรอย่างง่ายให้หาจำนวนโมลของธาตุแต่ละธาตุ แล้วหารด้วยเลขโมลที่มีค่าน้อยที่สุด จะทำให้ได้เลขจำนวนเต็มลงตัวน้อยๆ นำเลขนี้มาเขียนอัตราส่วน จะได้สูตรอย่างง่ายตามอัตราส่วนที่เขียนได้

**สูตรโมเลกุล** เป็นจำนวนเท่าของสูตรอย่างง่ายมีวิธีคำนวณหาดังนี้

1. หาจากสูตรอย่างง่าย

$$\text{สูตรโมเลกุล} = (\text{สูตรอย่างง่าย})_n = \text{มวลโมเลกุล}$$

2. กรณีที่รู้มวลของสาร หาสูตรโมเลกุลได้โดยหาอัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

3. กรณีที่รู้ปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมี หาสูตรโมเลกุลได้โดยหาจำนวนโมลจากกฎเกย์ลุสแซกและกฎอาโวกาโดร

4. กรณีที่รู้หมู่ของธาตุ หาสูตรโมเลกุลได้โดยหาสูตรตามอัตราส่วนของธาตุในสารประกอบไอออนิก สารประกอบโคเวเลนต์

## สรุป

เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดจะอยู่ในรูปของสารประกอบ และสารประกอบแต่ละชนิดจะมีสูตรโมเลกุลแต่ต่างกัน ดังนั้นการจะใช้ธาตุหรือสารประกอบชนิดใดควรจะต้องศึกษาปริมาณให้พอเหมาะ ซึ่งสามารถวิเคราะห์คำนวณได้จากสมการแสดงปฏิกิริยาเคมี โดยมีกฎต่างๆที่ใช้ประกอบการพิจารณาและคำนวณหาปริมาณสารในสถานะที่แตกต่างกัน เช่น กฎทรงมวล กฎสัดส่วนคงที่ กฎเกย์ลุสแซก ฯลฯ เป็นต้น

## แบบฝึกหัด

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงบอกความหมายของสมบัติคอลลิเกทิฟ
2. จงยกตัวอย่างการหาสูตรโมเลกุลโดยใช้กฎเกย์ลุสแซกและกฎอาโวกาโดร
3. ระบบมีกี่ประเภทอะไรบ้างจงยกตัวอย่างประกอบ