

## แผนการสอนสัปดาห์ที่ 4

หน่วยเรียนที่ 2 ปริมาณสัมพันธ์

บทเรียนที่ 2.2 สมการเคมี

จำนวนชั่วโมง 3

จุดประสงค์การสอน (จุดประสงค์ทั่วไป)

1. เพื่อให้เข้าใจสมการเคมี

ผลการเรียนรู้ (จุดประสงค์เฉพาะ)

1. บอกประเภทสมการเคมี
2. อธิบายการดุลสมการเคมี
3. คำนวณเกี่ยวกับสารกำหนดปริมาณ
4. คำนวณเกี่ยวกับผลผลิตร้อยละ

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. การบรรยาย
2. กิจกรรม

สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

เอกสารประกอบการสอน

เอกสาร powerpoint

[http://web.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=137](http://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=137)

<http://facebook.com/chemographics>

<http://slideshare.net/woravith>

การวัดผล

1. การสอบย่อย/การสอบกลางภาค/การสอบปลายภาค
2. การประเมินจากผลงานที่มอบหมาย/กิจกรรม

## หน่วยเรียนที่ 2 ปริมาณสัมพันธ์

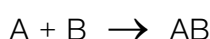
### บทเรียนที่ 2.2 สมการเคมี

#### 2.2.1 ประเภทสมการเคมี

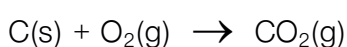
ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเกิดกลไกที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่การแบ่งชนิดของปฏิกิริยาเคมี โดยอาศัยหลัก 2 ประการคือ

1) ปฏิกิริยาเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงสูตรเคมีของสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น

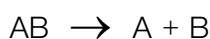
1.1) ปฏิกิริยาการรวมตัว (combination reaction) เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากสารตั้งต้นสองชนิดมารวมตัวกันได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว รูปแบบทั่วไปของสมการเคมี คือ



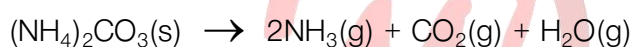
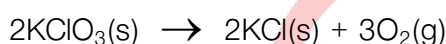
ตัวอย่างเช่น  $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$



1.2) ปฏิกิริยาการสลายตัว (decomposition reaction) เป็นปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นชนิดเดียวสลายตัวเป็นสารผลิตภัณฑ์สองชนิดขึ้นไป รูปแบบทั่วไปของสมการเคมี คือ

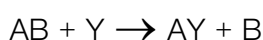


ตัวอย่างเช่น  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

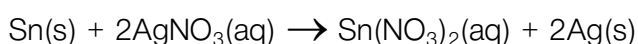
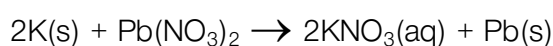


1.3) ปฏิกิริยาการแทนที่ (substitution reaction หรือ replacement reaction) เป็นปฏิกิริยาที่ธาตุชนิดหนึ่งเข้าไปแทนที่ธาตุหนึ่งในสารประกอบ ทำให้เปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

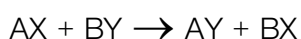
1.3.1) ปฏิกิริยาการแทนที่ครั้งเดียว (single replacement reaction) รูปแบบทั่วไปของสมการเคมี คือ



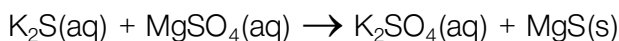
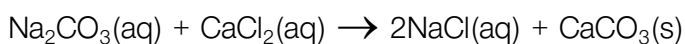
ตัวอย่างเช่น  $\text{Zn}(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{ZnCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$



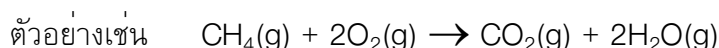
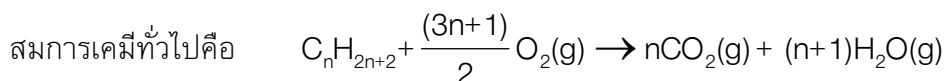
1.3.2) ปฏิกิริยาการแทนที่สองครั้ง (double replacement reaction) หรือปฏิกิริยาแลกเปลี่ยน (exchange reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากสารประกอบสองชนิดมาทำปฏิกิริยากัน แล้วเกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมหรือกลุ่มอะตอมซึ่งกันและกัน ได้เป็นสารประกอบใหม่เกิดขึ้น รูปแบบทั่วไปของสมการเคมีคือ



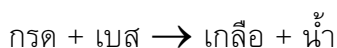
ปฏิกิริยาการแทนที่สองครั้งที่เกิดตะกอน เรียกว่า ปฏิกิริยาการตกตะกอน (precipitation reaction) เมื่อเกิดการแทนที่แล้วทำให้เกิดสารที่ไม่ละลายน้ำ



1.4) ปฏิกิริยาสันดาปหรือการเผาไหม้ (combustion reaction) เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างสารประกอบกับออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) โดยจะคายความร้อนหรือให้แสงสว่าง รูปแบบทั่วไปของ



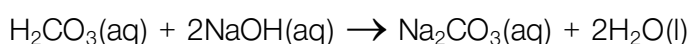
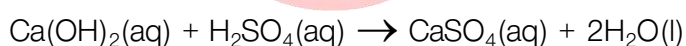
1.5) ปฏิกิริยาสะเทิน (neutralization reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากที่กรดทำปฏิกิริยากับเบสแล้วได้เป็นเกลือกับน้ำ เช่น กรด  $\text{HCl}$  ทำปฏิกิริยากับ  $\text{NaOH}$  ได้เกลือ  $\text{NaCl}$  กับ  $\text{H}_2\text{O}$  รูปแบบทั่วไปของสมการเคมี คือ



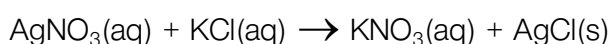
2) ปฏิกิริยาเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสาร แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ

2.1) ปฏิกิริยาเคมีที่ไม่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (non-redox reaction) คือปฏิกิริยาเคมีที่มีการสลับเปลี่ยนไอออนแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุ ได้แก่

2.1.1) ปฏิกิริยาของสารละลายกรดกับเบส เกิดเป็นเกลือกับน้ำ ดังสมการ



2.1.2) ปฏิกิริยาการเกิดตะกอน เช่น

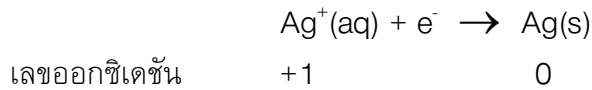


2.2) ปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน หรือเรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) คือปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นโดยมีอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งถ่ายโอนไปยังอีกสารหนึ่ง มีผลทำให้เลขออกซิเดชันของอะตอมในสารเหล่านั้นมีค่าเปลี่ยนไป ปฏิกิริยารีดอกซ์ ประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยาย่อยคือ

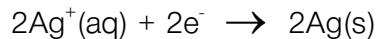
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) คือปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน สารที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เรียกสารที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันว่า สารถูกออกซิไดซ์ (oxidized agent) เช่น



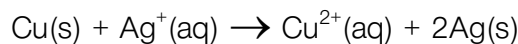
ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) คือปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน สารที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จะมีเลขออกซิเดชันลดลง เรียกสารที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันว่า สารถูกรีดิวซ์ (reduced agent) เช่น



สมการเคมีที่เขียนในปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่าครึ่งปฏิกิริยา ซึ่งปฏิกิริยาถ่ายเทอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ต่อเมื่อต้องนำครึ่งปฏิกิริยาทั้งสองมารวมกัน โดยจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดการถ่ายเทของทั้งสองปฏิกิริยาต้องเท่ากัน ดังนั้น



เมื่อเขียนเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ได้ตั้งสมการ



Cu เป็นสารถูกออกซิไดซ์ เนื่องจากการปฏิกิริยาออกซิเดชัน (เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น)

$\text{Ag}^+$  เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) คือสารที่ให้อิเล็กตรอนอีกฝ่ายหนึ่ง (จะเป็นตัวเพิ่มเลขออกซิเดชันให้กับอีกฝ่ายหนึ่ง)

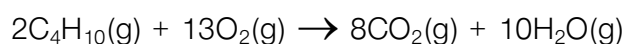
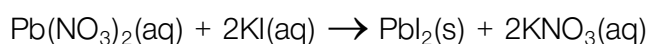
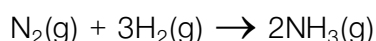
$\text{Ag}^+$  เป็นสารถูกรีดิวซ์ เนื่องจากการปฏิกิริยารีดักชัน (เลขออกซิเดชันลดลง)

Cu เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) คือสารรับอิเล็กตรอนจากอีกฝ่ายหนึ่ง (จะเป็นตัวลดเลขออกซิเดชันของอีกฝ่ายหนึ่ง)

### การเขียนสมการเคมี

การเขียนสมการเคมีสามารถเขียนได้ 2 แบบ คือ

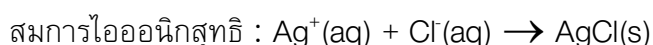
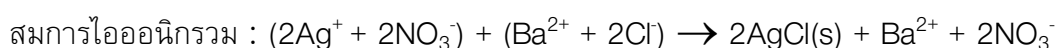
1) สมการแบบโมเลกุล (molecular equation) คือสมการเคมีที่แสดงสูตรเคมีของสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมีเป็นสูตรโมเลกุล โดยต้องเขียนทุกธาตุที่อยู่ในสูตรเคมีไว้ในสมการเคมี เช่น



สมการแบบโมเลกุลที่สมบูรณ์จะต้องดุลให้จำนวนอะตอมทางซ้ายและทางขวาเท่ากัน

2) สมการแบบไอออนิก (ionic equation) คือสมการเคมีที่แสดงเป็นไอออน (ไอออนบวกและไอออนลบ) เฉพาะที่เกี่ยวข้องหรือที่เกิดปฏิกิริยาเคมีเท่านั้น แต่ถ้าเขียนไอออนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมี เรียกว่า สมการไอออนิกรวม (total ionic equation) แต่ถ้าเขียนเฉพาะไอออนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเรียกว่า สมการไอออนิกสุทธิ (net ionic equation) เช่น

ปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{AgNO}_3$  และ  $\text{BaCl}_2$  จะได้  $\text{AgCl}$  กับ  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  เขียนสมการแบบไอออนิก ดังนี้



การเขียนสมการแบบไอออนิกที่สมบูรณ์จะต้องดุลทั้งจำนวนอะตอมและประจุไอออนให้เท่ากันทั้งสองข้างด้วย หลักในการเขียนสมการแบบไอออนิกที่พอสรุปเป็นแนวทางพื้นฐานได้คือ

- สารที่เป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ (strong electrolyte) แตกตัวได้มาก ให้เขียนเป็นไอออน (ไอออนบวกและไอออนลบ) เช่น NaOH เขียนได้เป็น  $\text{Na}^+$  และ  $\text{OH}^-$

- สารที่เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน (weak electrolyte) แตกตัวได้น้อย ให้เขียนเป็นโมเลกุล เช่น  $\text{CH}_3\text{COOH}$

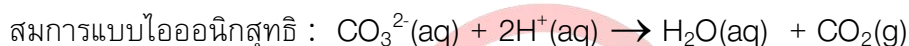
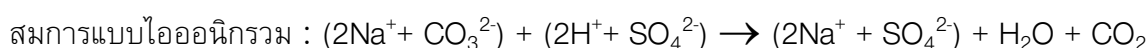
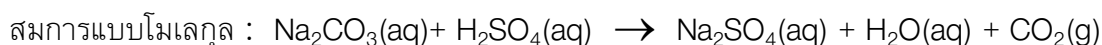
- สารที่ไม่เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ (non-electrolyte) ให้เขียนเป็นโมเลกุล

- สารที่ไม่ละลายน้ำ (สถานะของแข็ง) และสารในสถานะแก๊ส ให้เขียนเป็นโมเลกุล

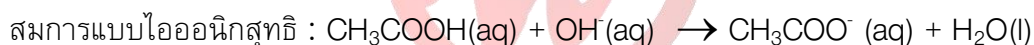
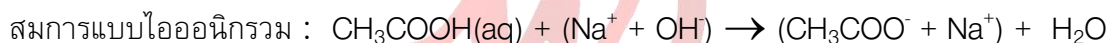
- สมการไอออนิกสุทธิ ให้เขียนเฉพาะสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเท่านั้น โดยละเว้นไอออนที่อยู่ในรูปเดียวกันทั้งทางซ้ายและทางขวาของสมการ

- สมการที่สมบูรณ์จะต้องดุลทั้งจำนวนอะตอมและประจุไฟฟ้า

ตัวอย่างสมการแบบไอออนิก เปรียบเทียบกับสมการแบบโมเลกุล

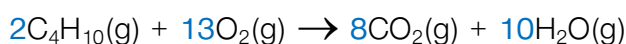
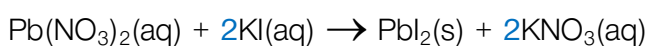
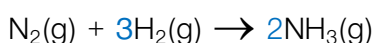


หรือ



## 2.2.2 การดุลสมการเคมี

สมการเคมีนอกจากจะบอกชนิดของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์แล้ว ส่วนที่สำคัญของสมการเคมีคือเลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมล (mole coefficient) ที่แสดงหน้าสูตรเคมีเพื่อบอกความสัมพันธ์เชิงโมลระหว่างสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ เช่น



เลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมลของแต่ละปฏิกิริยาจะเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่ได้มาจากการดุลสมการเคมี มีความหมายเป็นจำนวนเท่าของสารนั้น

การดุลสมการเคมี (chemical balance) คือการเติมตัวเลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมลหน้าสูตรเคมี เพื่อให้จำนวนอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันทั้งสองข้างสมการเท่ากัน

ขั้นตอนการดุลสมการเคมีไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว ส่วนใหญ่ต้องอาศัยการสังเกตและทดลองเติมตัวเลขสัมประสิทธิ์จำนวนโมล อย่างไรก็ตาม แนวทางในการดุลสมการเคมี พอสรุปดังนี้

1) เขียนปฏิกิริยา (เขียนสูตรเคมีที่ถูกต้อง) โดยระบุสารตั้งต้นทั้งหมดไว้ด้านซ้ายและสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมดไว้ทางขวาของลูกศร

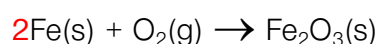
2) ดุลสมการเคมีโดยลองเติมตัวเลขสัมประสิทธิ์หน้าสูตรเคมีที่จะทำให้จำนวนอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันทั้งสองข้างของสมการเท่ากัน โดยเริ่มจาก

- ดุลอะตอมที่ไม่ใช่ H หรือ O ก่อน
- ดุลอะตอมธาตุที่เป็นโลหะแล้วตามด้วยอะตอมธาตุที่เป็นอโลหะ
- ดุลอะตอมธาตุ H หรือ O

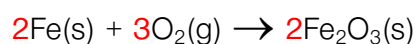
3) ตรวจสอบการเคมีที่ได้ดุลแล้ว จำนวนของอะตอมชนิดเดียวกันเท่ากันทั้งสองข้างสมการ

ตัวอย่าง 2.16 การดุลสมการเคมี  $\text{Fe(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$

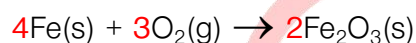
วิธีคิด ดุลที่อะตอมที่ไม่ใช่ H และ O ก่อน คือ Fe ซึ่งด้านซ้ายมี 1 อะตอม ด้านขวามี 2 อะตอม ดังนั้นต้องใส่เลขสัมประสิทธิ์ด้านซ้ายเป็น 2



ดุล O ซึ่งด้านซ้ายมี 2 ส่วนด้านขวามี 3 ให้เติม 3 หน้า  $\text{O}_2$  และเติม 2 หน้า  $\text{Fe}_2\text{O}_3$



แต่จะพบว่า Fe ไม่เท่ากัน ให้เพิ่ม Fe ให้เป็น 4 อะตอม



ตัวอย่าง 2.17 การดุลสมการเคมี  $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{O}_2$

วิธีคิด ดุลที่อะตอมที่ไม่ใช่ H และ O ก่อน นั่นคือ Na  $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{O}_2$

ดุลอะตอม H (กรณีอะตอมถูกดุลแล้ว)  $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{O}_2$

ดุลอะตอม O  $\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{O}_2$

พบว่า H ทั้งสองข้างไม่เท่ากัน ดุลอีกครั้ง  $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{NaOH} + \text{O}_2$

ตัวอย่าง 2.18 การดุลสมการ  $\text{Al}_4\text{C}_3 + \text{F}_2 \rightarrow \text{AlF}_3 + \text{CF}_4$




วิธีคิด ดุลอะตอม Al  $\text{Al}_4\text{C}_3 + \text{F}_2 \rightarrow 4\text{AlF}_3 + \text{CF}_4$

ดุลอะตอม F  $\text{Al}_4\text{C}_3 + 2\text{F}_2 \rightarrow 4\text{AlF}_3 + \text{CF}_4$

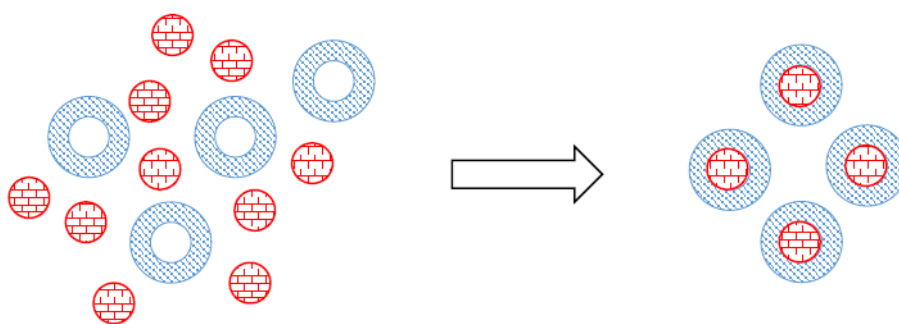
ดุลอะตอม C  $\text{Al}_4\text{C}_3 + 6\text{F}_2 \rightarrow 4\text{AlF}_3 + 3\text{CF}_4$

### 2.2.3 สารกำหนดปริมาณ

การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีสารตั้งต้นตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ถ้าสารตั้งต้นแต่ละชนิดมีปริมาณเท่ากันจะทำให้ปฏิกิริยากันหมดพอดี การคำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะสามารถคำนวณจากสารตั้งต้นตัวใดก็ได้ แต่ถ้าสารตั้งต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยากันมีปริมาณไม่เท่ากัน สารที่มีปริมาณน้อยกว่าจะถูกใช้หมดก่อนในการทำปฏิกิริยา สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดเท่ากับปริมาณสารตั้งต้นที่ถูกใช้หมดก่อน เรียกสารตั้งต้นที่ถูกใช้หมดก่อน ซึ่งเป็นตัวกำหนดปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นตามสมการเคมีว่า สารกำหนดปริมาณ (limiting agent)

แนวคิดเกี่ยวกับสารกำหนดปริมาณแสดงดังภาพที่ 2.5 เมื่อสัญลักษณ์รูวงกลมกลวง  และวงกลมทึบ  เป็นสารตั้งต้นที่มีปริมาณไม่เท่ากัน โดยให้เกิดผลิตภัณฑ์  (อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1:1) จะเห็นว่าในระบบมีวงกลมกลวงน้อยกว่า และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมากที่สุดเท่ากับปริมาณวงกลมกลวงที่อยู่ในระบบ ส่วนวงกลมทึบจะเหลือในระบบหลังเกิดปฏิกิริยา

ปริมาณสารของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเปรียบเทียบหาสารกำหนดปริมาณจะต้องพิจารณาจากจำนวนโมลของสารเท่านั้น



ภาพที่ 2.6 แสดงแนวคิดของสารกำหนดปริมาณ

ในการพิจารณาสารกำหนดปริมาณในสมการเคมี อาจจำแนกเป็น 2 แบบคือ

1) อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นเท่ากัน

ในกรณีที่อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นเท่ากัน เช่น 1:1, 2:2 หรือ 3:3 เป็นต้น เมื่อคำนวณหาจำนวนโมลของสารตั้งต้นแต่ละตัวจากน้ำหนัก จำนวนอนุภาค หรือปริมาตรของแก๊สได้แล้วสามารถเทียบจากจำนวนโมล สารตั้งต้นตัวใดมีจำนวนโมลน้อยกว่า สารนั้นเป็นสารกำหนดปริมาณ

ตัวอย่าง 2.19 สังกะสี (Zn) และกำมะถัน (S) ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสังกะสีซัลไฟด์ (ZnS) ซึ่งเป็นสารเรืองแสงในการเคลือบผิวด้านในของหลอดโทรทัศน์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



ถ้าใช้ Zn 20.0 กรัมและ S 10.0 กรัม จงหาว่า

- ก) สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ
- ข) สารใดเหลือ เหลือเท่าใดกี่กรัม
- ค) เกิด ZnS หนักกี่กรัม

วิธีคิด คำนวณจำนวนโมลของ Zn 20.0 กรัม  $\text{molZn} = \frac{20.0 \text{ g}}{65.4 \text{ g/mol}} = 0.306 \text{ mol}$

คำนวณจำนวนโมลของ S 10.0 กรัม  $\text{molS} = \frac{10.0 \text{ g}}{32.0 \text{ g/mol}} = 0.311 \text{ mol}$

ก) จากสมการ Zn 1 โมล ทำปฏิกิริยากับ S 1 โมล (อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นเท่ากัน คือ 1:1)

ดังนั้น Zn มีจำนวนโมลน้อยกว่า จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

ข) สารที่เหลือคือ S เนื่องจากมีปริมาณจำนวนโมลมากกว่า

$$\text{S จะเหลือ} = 0.311 - 0.306 = 0.005 \text{ mol}$$

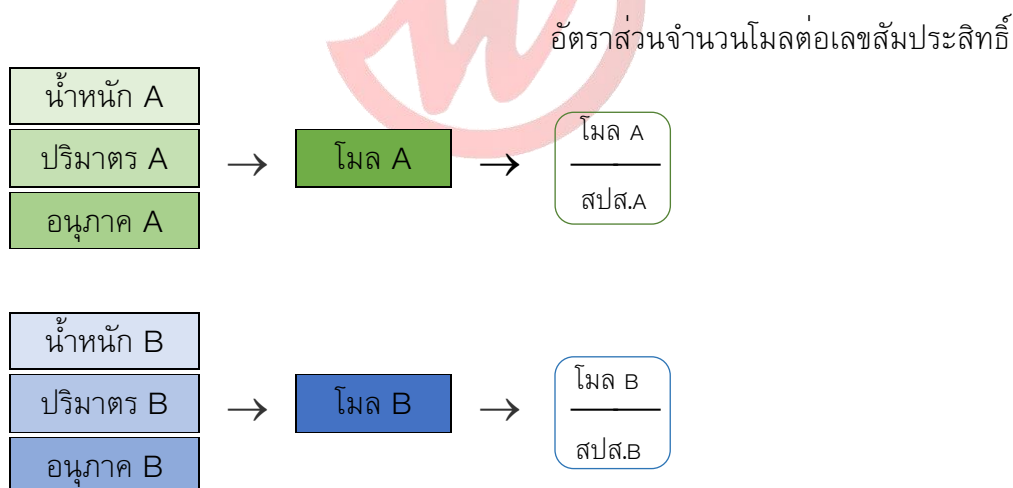
$$\text{คิดเป็นกรัมของ S ที่เหลือ} = (0.005 \text{ mol})(32.0 \text{ g/mol}) = 0.160 \text{ g}$$

ค) เกิดผลิตภัณฑ์ ZnS = 0.306 mol เนื่องจากอัตราส่วนจำนวนโมลของ Zn:ZnS เป็น 1:1

$$\text{คิดเป็นกรัมของ ZnS} = (0.306 \text{ mol})(97.4 \text{ g/mol}) = 29.8 \text{ g}$$

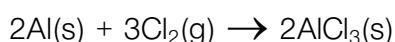
2) อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นไม่เท่ากัน

กรณีที่อัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นไม่เท่ากัน การคำนวณหาจำนวนโมลอย่างเดียวไม่สามารถบอกสารกำหนดปริมาณได้ วิธีการอย่างง่าย เมื่อคำนวณจำนวนโมลแล้วให้หาอัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของสารตั้งต้นแต่ละตัว โดยนำจำนวนโมลหารด้วยตัวเลขสัมประสิทธิ์ (ตัวเลขหน้าสูตรเคมีในสมการที่ดุลแล้ว) สารที่มีอัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์น้อยกว่า สารนั้นเป็นสารกำหนดปริมาณ แนวคิดดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แนวคิดการหาสารกำหนดปริมาณในกรณีที่สารตั้งต้นมีสัมประสิทธิ์จำนวนโมลไม่เท่ากัน

ตัวอย่าง 2.20 ปฏิกิริยาระหว่าง Al 6.0 mol กับแก๊ส Cl<sub>2</sub> 6.0 mol ดังสมการ



จงหา ก) สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ

ข) เกิด AlCl<sub>3</sub> ขึ้นกี่กรัมเมื่อปฏิกิริยาสมบูรณ์

วิธีคิด ก) หาสารกำหนดปริมาณ

ขั้นที่ 1 ไม่ต้องหาจำนวนโมลของ Al และ Cl<sub>2</sub> เนื่องจากโจทย์กำหนดมาให้แล้ว



ขั้นที่ 2 หาอัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์

$$\text{Al} = \frac{6.0 \text{ mol}}{2} = 3.0 \text{ mol} \quad \text{และ} \quad \text{Cl}_2 = \frac{6.0 \text{ mol}}{3} = 2.0 \text{ mol}$$

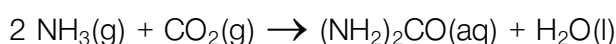
ดังนั้น  $\text{Cl}_2$  เป็นสารกำหนดปริมาณ เนื่องจากมีจำนวนโมลน้อยกว่า

ข) โมล  $\text{AlCl}_3$  ที่เกิดขึ้น พิจารณาจากสมการเคมี คือ อัตราส่วนจำนวนโมลของ  $\text{Cl}_2$  กับ  $\text{AlCl}_3$  เป็น 3:2 หมายความว่า  $\text{Cl}_2$  3 mol เกิดผลิตภัณฑ์  $\text{AlCl}_3$  2 mol

$$\text{ดังนั้น ถ้าใช้ } \text{Cl}_2 \text{ 6 mol จะเกิด } \text{AlCl}_3 = \frac{(2 \text{ mol} \times 6 \text{ mol})}{3 \text{ mol}} = 4 \text{ mol}$$

$$\text{คำนวณกรัม } \text{AlCl}_3 = (4 \text{ mol})(133.5 \text{ g/mol}) = 534 \text{ g}$$

ตัวอย่าง 2.21 ปุ๋ยยูเรีย  $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$  สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแก๊ส  $\text{NH}_3$  กับแก๊ส  $\text{CO}_2$  ดังสมการ



ถ้าในกระบวนการผลิตยูเรียใช้  $\text{NH}_3$  700 กรัมผสมกับ  $\text{CO}_2$  1,000 กรัม จงหา

ก) สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ

ข)  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  เกิดขึ้นมากที่สุดกี่กรัม

ค) หลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุดลง สารที่เหลือจะเหลือกี่กรัม

วิธีคิด

ขั้นที่ 1 คำนวณจำนวนโมลของ  $\text{NH}_3$  และ  $\text{CO}_2$

$$\text{mol NH}_3 = \frac{700 \text{ g}}{17.0 \text{ g/mol}} = 41.2$$

$$\text{mol CO}_2 = \frac{1,000 \text{ g}}{44.0 \text{ g/mol}} = 22.7$$

ขั้นที่ 2 พิจารณาสารกำหนดปริมาณ ซึ่งจะเห็นว่าสัมประสิทธิ์จำนวนโมลของแต่ละสารไม่เท่ากัน ดังนั้นต้องเทียบจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ จะได้

$$\text{อัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของ } \text{NH}_3 = \frac{41.18}{2} = 20.6$$

$$\text{อัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของ } \text{CO}_2 = \frac{22.73}{1} = 22.7$$

ก) ดังนั้น  $\text{NH}_3$  เป็นสารกำหนดปริมาณ เนื่องจากมีจำนวนโมลน้อยกว่า

ขั้นที่ 3 จากปฏิกิริยา  $\text{NH}_3$  2 mol เกิด  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  1 mol

$$\text{NH}_3 \text{ 41.18 mol เกิด } (\text{NH}_2)_2\text{CO} = \frac{1 \times 41.18}{2} = 20.6 \text{ mol}$$

คำนวณ mol  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  ให้เป็นกรัม เมื่อมวลโมเลกุลของ  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  เท่ากับ 60.0 g/mol

$$\text{g}(\text{NH}_2)_2\text{CO} = (20.6 \text{ mol})(60.0 \text{ g/mol}) = 1,235.4 \text{ g}$$

ข) ดังนั้นน้ำหนักของ  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1,235.4 กรัม

คำนวณโดยวิธีแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

$$\text{g}(\text{NH}_2)_2\text{CO} = (700 \text{ g NH}_3) \left( \frac{1 \text{ mol NH}_3}{17.0 \text{ g NH}_3} \right) \left( \frac{1 \text{ mol}(\text{NH}_2)_2\text{CO}}{2 \text{ mol NH}_3} \right) \left( \frac{60.0 \text{ g}(\text{NH}_2)_2\text{CO}}{1 \text{ mol}(\text{NH}_2)_2\text{CO}} \right) = 1,235.4 \text{ g}$$

ค) สารที่เหลือคือ  $\text{CO}_2$

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{CO}_2 \text{ ที่เหลือ} = 22.7 - 20.6 = 2.1 \text{ mol}$$

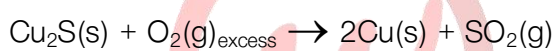
$$\text{คำนวณกรัม } \text{CO}_2 \text{ ที่เหลือ} = (2.1 \text{ mol})(44.0 \text{ g/mol}) = 92.4 \text{ g}$$

## 2.2.4 ผลผลิตร้อยละ

การคำนวณหาผลผลิตที่เกิดขึ้นตามสมการเคมีโดยกำหนดให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ไม่มีการสูญหายใดๆ เกิดขึ้น เรียกว่า ผลผลิตตามทฤษฎี (theoretical yield) ส่วนผลผลิตที่ได้จากการทดลอง เรียกว่า ผลผลิตจริง (actual yield) โดยทั่วไปการรายงานผลผลิตจริงจะเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ตามทฤษฎีในรูปร้อยละ เรียกว่า ผลผลิตร้อยละ (%yield) ดังนี้

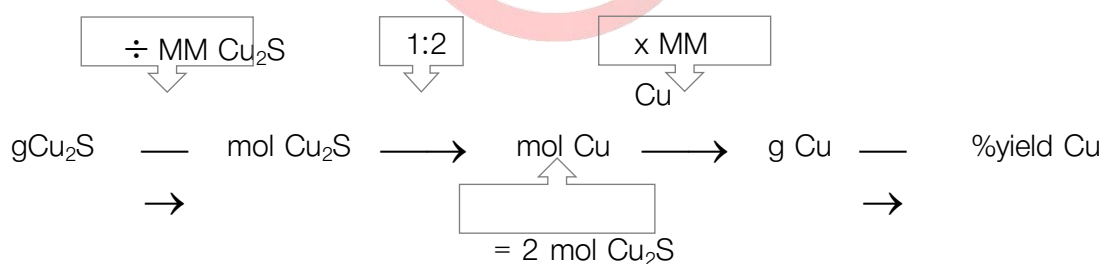
$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

ตัวอย่าง 2.22 จงหาปริมาณผลผลิตตามทฤษฎีของ Cu ที่ได้จากการแยก  $\text{Cu}_2\text{S}$  จำนวน 1,000 กรัม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



ถ้าผลการทดลองได้ทองแดง (Cu) 712.5 กรัม จงคำนวณหาผลผลิตร้อยละ

วิธีคิด แนวคิดการคำนวณหาผลผลิตตามทฤษฎี



คำนวณผลผลิตตามทฤษฎี

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{Cu}_2\text{S} = \frac{1,000 \text{ g}}{159 \text{ g/mol}} = 6.29 \text{ mol}$$

$$\text{จำนวนโมล Cu ที่เกิดขึ้น} = 2 \times 6.29 = 12.6 \text{ mol}$$

$$\text{คิดเป็นกรัม Cu} = (12.6 \text{ mol})(63.5 \text{ g/mol}) = 800.1 \text{ g}$$

ดังนั้น ผลผลิตตามทฤษฎีที่ควรเตรียม Cu ได้เท่ากับ 800.1 กรัม แต่ผลผลิตจริงได้ 712.5 กรัม  
คำนวณผลผลิตร้อยละ ได้เป็น

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \left( \frac{712.5 \text{ g}}{800.1 \text{ g}} \right) \times 100 = 89.1\%$$

ตัวอย่าง 2.23 จากสมการ  $4\text{NH}_3(\text{aq}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  เมื่อ  $\text{NH}_3$  80 กรัม ทำปฏิกิริยากับ  $\text{O}_2$  200 กรัม ได้  $\text{NO}$  เกิดขึ้น 84 กรัม จงคำนวณหาผลผลิตร้อยละ  
วิธีคิด หาว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ โดยคำนวณจำนวนโมลของ  $\text{NH}_3$  และ  $\text{O}_2$

$$\text{molNH}_3 = \frac{80 \text{ g}}{17.0 \text{ g/mol}} = 4.7$$

$$\text{molO}_2 = \frac{200 \text{ g}}{32.0 \text{ g/mol}} = 6.25$$

เนื่องจากสัมประสิทธิ์สารตั้งต้นไม่เท่ากัน ต้องหาอัตราส่วนจำนวนโมล/เลขสัมประสิทธิ์ จะได้

$$\text{อัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของ NH}_3 = \frac{4.7}{4} = 1.18$$

$$\text{อัตราส่วนจำนวนโมลต่อเลขสัมประสิทธิ์ของ O}_2 = \frac{6.25}{5} = 1.25$$

ดังนั้น  $\text{NH}_3$  มีจำนวนโมลน้อยกว่า จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

ในปฏิกิริยานี้มีผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด แต่โจทย์บอกผลผลิตจริงของ  $\text{NO}$  มาเท่ากับ 84 กรัม ดังนั้นต้องหาผลผลิตทางทฤษฎีของ  $\text{NO}$

จากปฏิกิริยาพบว่าอัตราส่วนจำนวนโมลของ  $\text{NH}_3$  และ  $\text{NO}$  เป็น 4:4 (คือ 1:1)

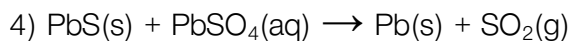
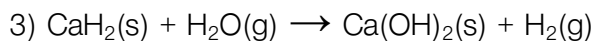
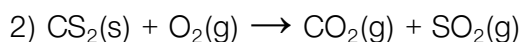
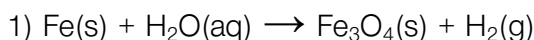
ดังนั้นจะเกิด  $\text{NO}$  เท่ากับ  $\text{NH}_3$  ที่ใช้ไป = 4.7 mol

คิดเป็นกรัม  $\text{NO} = (4.7 \text{ mol})(30 \text{ g/mol}) = 141 \text{ g}$  ซึ่งคือ ผลผลิตตามทฤษฎี

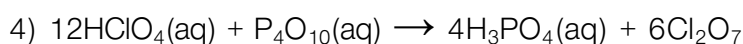
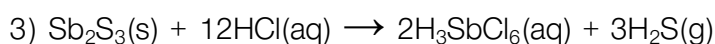
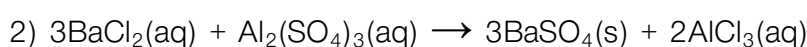
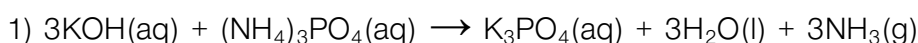
$$\text{ดังนั้น ผลผลิตร้อยละของ NO} = \left( \frac{84}{141} \right) \times 100 = 59.6\%$$

## แบบฝึกหัด

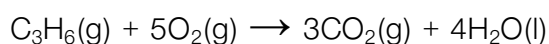
## 1. จงดุลสมการเคมี



2. จากปฏิกิริยาที่กำหนดให้ สมมติสารตั้งต้นทุกตัวมีปริมาณ 20 กรัมเท่ากันและปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์จงแสดงว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ

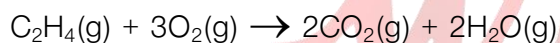


3. ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของโพรเพน ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ) ในแก๊สออกซิเจนเป็นดังนี้



ถ้าทำการเผา  $\text{C}_3\text{H}_6$  25.0 กรัม ในออกซิเจน 20.0 กรัม สารใดจะเป็นสารกำหนดปริมาณและจงคำนวณปริมาณมากที่สุดของ  $\text{CO}_2$  เป็นกรัม

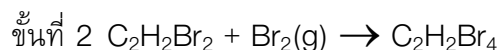
4. อะซีลีน ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) หนัก 1.90 กรัมเผาไหม้กับแก๊ส  $\text{O}_2$  หนัก 5.90 กรัม ดังสมการ



1) เกิด  $\text{CO}_2$  มากที่สุดกี่กรัม

2) ถ้าเกิด  $\text{CO}_2$  3.48 กรัม จงคำนวณผลผลิตร้อยละของ  $\text{CO}_2$

5. เอทิลีน ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) ทำปฏิกิริยากับ  $\text{Br}_2$  2 โมเลกุลเกิด  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$  โดยเกิดปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนดังนี้



ถ้าผสม  $\text{C}_2\text{H}_2$  5.00 g เข้ากับ  $\text{Br}_2$  40.0 กรัม จะเกิด  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_2$  และ  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$  กี่กรัม เมื่อปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์