

## การทดลองที่ 6

### ปฏิกิริยาระหว่างโลหะเหล็กกับสารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต (The reaction of Iron metal and Copper(II) sulfate solution)

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการทำปฏิกิริยาเคมี
2. เพื่อฝึกทักษะการทดลองปฏิกิริยาเคมีตามปริมาณสารสัมพันธ์

#### หลักการ

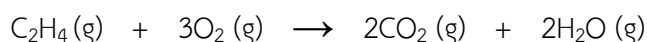
สมการเคมี (Chemical Equation) คือการแสดงสัญลักษณ์และอัตราส่วนที่เข้าทำปฏิกิริยากัน สมการเคมีจำเป็นต้องทราบถึงชนิดของสารตั้งต้น (Reactants) และอัตราส่วนที่เข้าทำปฏิกิริยากันพอดี นอกจากนี้สมการเคมีช่วยให้ทราบถึงจำนวนอนุภาคและโมลที่เข้าทำปฏิกิริยา แล้วทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ (Products) ซึ่งในการเตรียมสารประกอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการ จำเป็นที่จะต้องทราบถึงความสัมพันธ์เชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับสารที่เข้าทำปฏิกิริยาในปริมาณต่างๆ ที่เรียกว่า ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) โดยทั่วไปสมการเคมีจะใช้สัญลักษณ์แทนของธาตุต่างๆ มีลูกศรที่ชี้จากด้านซ้ายไปทางด้านขวาของสมการ เพื่อป้องกันว่าสารตั้งต้นทางด้านซ้ายมือ ทำปฏิกิริยาเกิดสารใหม่ขึ้นมาเรียกว่าผลิตภัณฑ์ทางด้านขวามือ ดังตัวอย่างปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเอทิลีน ( $C_2H_4$ ) ในอากาศ [1, 2]



ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) คือความสัมพันธ์ระหว่างมวลหรือน้ำหนักของธาตุต่างๆ ของสารประกอบในปฏิกิริยาเคมี ปริมาณสารสัมพันธ์มีประโยชน์ในแง่ของการคาดคะเนปริมาณของสารที่ต้องใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งปริมาณของผลิตภัณฑ์จะถูกกำหนดโดยสารที่เข้าทำปฏิกิริยาที่หมดไปก่อน เรียกว่า สารกำหนดปริมาณ (Limiting agent) ในการทดลองเพื่อหาปริมาณของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองเรียกว่า ผลผลิตจริง (Actual yield) โดยปกติผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield) อาจเนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ หรือปฏิกิริยายังดำเนินไปไม่สมบูรณ์ จึงมีค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของปฏิกิริยา คือผลผลิตร้อยละ (Percentage yield; %yield) ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 6.1 [3, 4, 5]

$$\text{Percentage yield} = \frac{\text{Actual yield}}{\text{Theoretical yield}} \times 100 \quad (6.1)$$

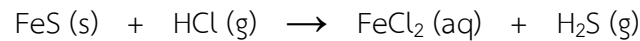
ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเอทิลีน ( $C_2H_4$ ) ในอากาศตามสมการ



ถ้าใช้  $C_2H_4$  1.93 กรัม ทำปฏิกิริยากับ  $O_2$  5.92 กรัม ในที่นี้  $O_2$  จะเป็นสารกำหนดปริมาณและผลิตภัณฑ์  $CO_2$  ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ 5.43 กรัม ซึ่งเป็นค่าผลผลิตตามทฤษฎีถ้าในการทำปฏิกิริยาจริงๆ ได้  $CO_2$  เพียง 3.48 กรัม ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของ  $C_2H_4$  เกิด  $CO$  ขึ้นได้บางส่วน ผลผลิตร้อยละของ  $CO_2$  จะเป็นเท่าไร

$$\text{ผลผลิตร้อยละของ } CO_2 = \frac{3.48 \text{ g}}{5.43 \text{ g}} \times 100 = 64.1\%$$

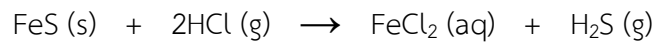
ตัวอย่างเช่น นำไอร์ออน (II) ซัลไฟด์ (FeS) 44 กรัม ทำปฏิกิริยากับ HCl เข้มข้น 1 mol/L ปริมาตร 200 mL ดังสมการ



จงคำนวณหาสารกำหนดปริมาณ (Limiting agent) และร้อยละผลผลิต (Percentage yield) เมื่อทำการทดลองได้ FeCl<sub>2</sub> 9 กรัม และมีมวลโมเลกุล 127 g/mol

วิธีทำ

1) ดุลสมการเคมี



จะเห็นว่า FeS 1 โมล ทำปฏิกิริยากับ HCl 2 โมล

2) หาปริมาณสารตั้งต้น

จากสูตรทั่วไป

$$n = \frac{g}{Mw}$$

$$\text{mol FeS} = \frac{g \text{ of FeS}}{Mw \text{ of FeS}}$$

$$\text{mol FeS} = \frac{44 \text{ g}}{88 \text{ g/mol}}$$

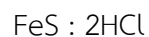
ดังนั้น ปริมาณสารตั้งต้นของ FeS เท่ากับ 0.5 mol

$$\text{mol HCl} = \frac{CV}{1000}$$

$$\text{mol HCl} = \frac{1 \text{ mol/L} \times 200 \text{ mL}}{1000 \text{ mL/L}}$$

ดังนั้น ปริมาณสารตั้งต้นของ HCl เท่ากับ 0.2 mol

3) หาสารกำหนดปริมาณ (Limiting agent)



$$\frac{\text{mol FeS}}{1} : \frac{\text{mol HCl}}{2}$$

$$\frac{0.5}{1} : \frac{0.2}{2}$$

$$0.5 : 0.1$$

ทำการพิจารณาว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ และสารใดเป็นสารเหลือ

	$\text{FeS (s)}$	+	$2\text{HCl (g)}$	$\longrightarrow$	$\text{FeCl}_2 \text{ (aq)}$	+	$\text{H}_2\text{S (g)}$
ตั้งต้น	0.5		0.2		0		0
ใช้ไป	0.1		0.2		0.1		0.1
เหลือ	0.4		0		0.1		0.1

ดังนั้น สารกำหนดปริมาณ (Limiting agent) คือ HCl และมี FeS เป็นสารเหลือ 0.4 mol

$$n = \frac{g}{Mw}$$

$$0.4 \text{ mol} = \frac{g}{88 \text{ g/mol}}$$

ดังนั้น จะมี FeS เหลือ 35.2 กรัม

4) ทาร้อยละผลผลิต (Percentage yield) เมื่อทำการทดลองได้  $\text{FeCl}_2$  9 กรัม จากสารกำหนดปริมาณจะเห็นได้ว่ามี  $\text{FeCl}_2$  เกิดขึ้น 0.1 mol ฉะนั้นจะมี  $\text{FeCl}_2$  เกิดขึ้น

$$n = \frac{g}{Mw}$$

$$0.1 \text{ mol} = \frac{g}{127 \text{ g/mol}}$$

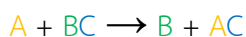
ดังนั้น จะมี  $\text{FeCl}_2$  เกิดขึ้น 12.7 กรัม

$$\text{Percentage yield} = \frac{\text{Actual yield}}{\text{Theoretical yield}} \times 100$$

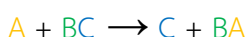
$$\text{Percentage yield} = \frac{9.0}{12.7} \times 100$$

ดังนั้น ร้อยละผลผลิตของ  $\text{FeCl}_2$  เท่ากับ 70.86

ในการทดลองนี้จะใช้หลักปริมาณสารสัมพันธ์เพื่อให้ได้สมการที่เหมาะสมระหว่างปฏิกิริยาของโลหะเหล็กและสารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต เมื่อปฏิกิริยาเริ่มต้นการก่อตัวของโลหะทองแดงซึ่งตกตะกอนเป็นผงสีแดงส้มอย่างชัดเจน ปฏิกิริยานี้เป็นหนึ่งในตัวอย่างของปฏิกิริยาการแทนที่ครั้งเดียว (Single substitution) กล่าวคือองค์ประกอบหนึ่ง แทนที่ด้วยองค์ประกอบอื่น โดยมีรูปแบบของสมการทั่วไปคือ [6]

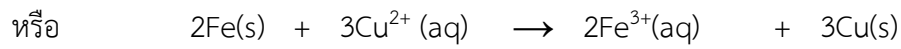
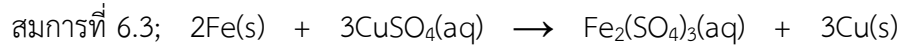
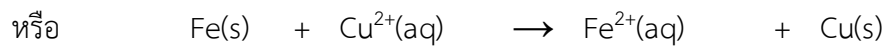
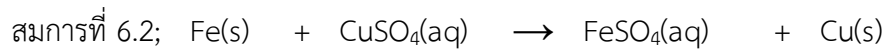


หรือ



โดยทั่วไปรูปแบบของ Fe มีสองรูปแบบคือ  $\text{Fe}^{2+}$  (Ferrous) และ  $\text{Fe}^{3+}$  (Ferric) โดยหลักปริมาณสัมพันธ์จะเกี่ยวข้องกับจำนวนโมลของสารที่ทำปฏิกิริยากัน คือโลหะเหล็ก (Fe) กับสารละลายทองแดง (II)

ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) ดังนั้นถ้าในปฏิกิริยาเกิด  $\text{Fe}^{2+}$  ปฏิกิริยาจะสอดคล้องกับสมการที่ 6.2 แต่ถ้าเป็น  $\text{Fe}^{3+}$  ปฏิกิริยาจะสอดคล้องกับสมการที่ 6.3 ดังนี้



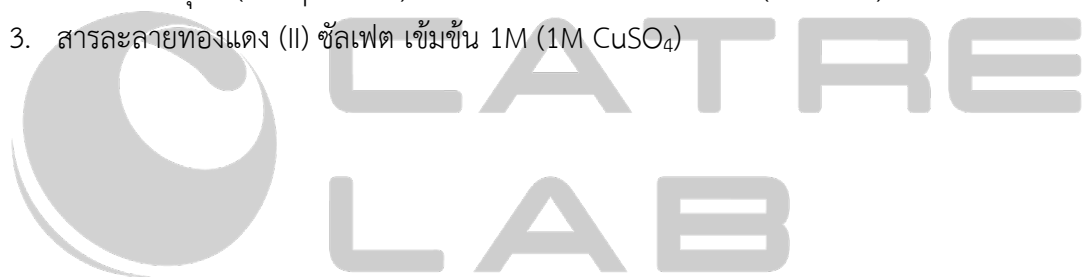
การคำนวณปริมาณเหล็กโดยอาศัยการเติมสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ที่มากเกินไป (Excess reagent) หลังจากเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ปริมาณทองแดงที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์เชิงโมลกับเหล็ก ตามสมการเคมีข้างต้น

### อุปกรณ์

1. ปีกเกอร์ขนาด 100 mL
2. กระจกนาฬิกา
3. กระจกตวงขนาด 50 mL
4. แท่งแก้วคนสาร
5. เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hotplate stirrer)

### สารเคมี

1. ผงเหล็กบริสุทธิ์ (Iron powder)
2. แอซีโตน (Acetone)
3. สารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต เข้มข้น 1M ( $1\text{M CuSO}_4$ )



## วิธีการทดลอง

1. ชั่งบีกเกอร์ 100 mL จดน้ำหนักบีกเกอร์เปล่า
2. ชั่งผงเหล็ก 1.00 g (ห้ามเกิน 1.01 g) ใส่ลงในบีกเกอร์ที่ชั่งน้ำหนักจากข้อ 1
3. ตวงสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  1M ปริมาตร 30 mL (ใช้กระบอกตวง) รินลงในบีกเกอร์อีกใบหนึ่ง นำไปให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้าจนสารละลายเกือบเดือด
4. ค่อยๆ เทสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ที่ร้อนลงในบีกเกอร์ที่มีผงเหล็กจากข้อ 2 กวนสารละลาย 2-3 นาที ปลอ่ยให้สารละลายเย็นตัวลง
5. ค่อยๆ รินส่วนที่เป็นสารละลายทิ้ง (ระวังอย่าให้ผงทองแดงหลุดออกมาด้วย)
6. เติมน้ำกลั่น 10 mL กวนสารละลาย เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่ติดกับผงทองแดง แล้วค่อยๆ รินสารละลายทิ้ง (ระวังอย่าให้ผงทองแดงหลุดออกมาด้วย) (ทำขั้นตอนนี้ 2 รอบ)
7. เติมแอสซิโตน 5 mL กวนสารละลายและตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที ค่อยๆ รินแอสซิโตนทิ้ง (ระวังอย่าให้ผงทองแดงหลุดออกมาด้วย)
8. ให้ความร้อนอ่อนๆ เพื่อระเหยของเหลว (ใช้ช้อนตักสารช่วยกระจายผงทองแดงให้ความร้อนทั่วถึง จนกระทั่งผงทองแดงแห้ง)
9. รอให้บีกเกอร์เย็น นำไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักบีกเกอร์เปล่ารวมกับผงทองแดง
10. คำนวณจำนวนโมลของเหล็กที่ใช้และโมลของทองแดงที่เกิดขึ้น



รายงานผลการทดลองที่ 6 ปฏิกริยาระหว่างโลหะเหล็กกับสารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต  
(The reaction of Iron metal and Copper(II) sulfate solution)

น้ำหนักปิกเกอร์เปล่า .....g  
น้ำหนักผงเหล็ก .....g  
น้ำหนักปิกเกอร์ + ผงทองแดง .....g  
ความเข้มข้นสารละลาย CuSO<sub>4</sub> .....mol/L ปริมาตร.....mL  
น้ำหนักผงทองแดง .....g (ผลผลิตจริง; Actual yield)  
จำนวนโมลผงเหล็ก .....mol  
จำนวนโมลผงทองแดง .....mol

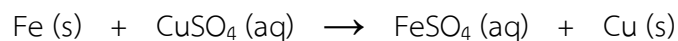
**วิธีการคำนวณ**

**กำหนดให้**

- มวลโมเลกุลของ Fe = 55.85 g/mol
- มวลโมเลกุลของ CuSO<sub>4</sub> = 159.61 g/mol
- มวลโมเลกุลของ Cu = 63.546 g/mol

**การคำนวณหาสารกำหนดปริมาณ (Limiting agent)**

**ดุลสมการเคมี**



จำนวนโมลของสารตั้งต้น

$$\text{mol Fe} = \frac{\text{g of Fe}}{\text{Mw of Fe}}$$

ดังนั้น จำนวนโมลสารตั้งต้นของ Fe เท่ากับ ..... mol

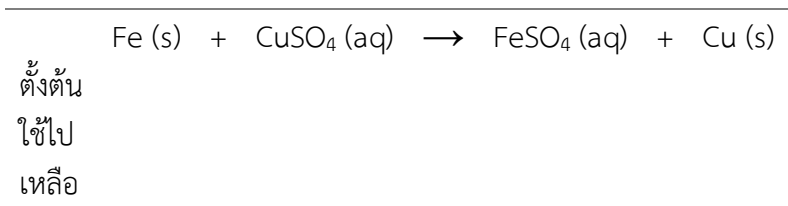
$$\text{mol CuSO}_4 = \frac{CV}{1000}$$

ดังนั้น จำนวนโมลสารตั้งต้นของ HCl เท่ากับ ..... mol

หาสารกำหนดปริมาณ (Limiting agent)



ดังนั้น สารกำหนดปริมาณ (Limiting agent) คือ Fe



จะเห็นได้ว่ามี  $\text{CuSO}_4$  เหลือ ..... mol ฉะนั้นจะมี  $\text{CuSO}_4$  เหลือ

$$n = \frac{g}{Mw}$$

ดังนั้น จะมี  $\text{CuSO}_4$  เหลือ ..... กรัม

**การคำนวณผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield)**

จากสารกำหนดปริมาณจะเห็นได้ว่ามี Cu เกิดขึ้น..... mol ฉะนั้นจะมี Cu เกิดขึ้น

$$n = \frac{g}{Mw}$$

ดังนั้น ควรจะมี Cu เกิดขึ้นตามทฤษฎี ..... กรัม

**การคำนวณผลผลิตร้อยละ (%yield)**

จากการทำการทดลอง (Actual yield) ได้ Cu .....กรัม

$$\text{Percentage yield} = \frac{\text{Actual yield}}{\text{Theoretical yield}} \times 100$$

ดังนั้น ร้อยละผลผลิตของ FeCl<sub>2</sub> เท่ากับ.....%

**การคำนวณความคาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%Error)**

$$\% \text{Error} = \frac{\text{Actual} - \text{Theory}}{\text{Theory}} \times 100$$

ดังนั้น ความคาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เท่ากับ .....%

**สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....



## อ้างอิง

- [1] สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ ม.มหิดล, “สมการเคมี,” สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ ม.มหิดล, [Online]. Available: [https://il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry1/mass\\_relationship/index\\_new003.htm](https://il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry1/mass_relationship/index_new003.htm). [Accessed 11 10 2023].
- [2] อนุสิษฐ์ เกื้อกุล, “ปฏิกิริยาเคมีและสมการเคมี,” คลังความรู้ SciMath, 5 6 2560. [Online]. Available: <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7172-2017-06-05-13-30-08>. [Accessed 11 10 2566].
- [3] อนุสิษฐ์ เกื้อกุล, “ปริมาณสารสัมพันธ์,” คลังความรู้ SciMath, 8 5 2560. [Online]. Available: <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7084-2017-05-28-02-52-54>. [Accessed 11 10 2566].
- [4] คลังข้อมูลวิชาการ BRU, “บทที่ 4 ปริมาณสารสัมพันธ์,” BRU, [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.bru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/5974/4.%20%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%A1%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%98%E0%B9%8C%2040%20p>. [Accessed 11 10 2023].
- [5] ชูลีกานต์ สายเนตร, ปริมาณสัมพันธ์, บุรีรัมย์: สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, 2016.
- [6] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, “ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry),” ตำราเคมีสำหรับวิศวกร, กรุงเทพฯ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2559, p. 66.