

การทดลองที่ 6

ปฏิกิริยาระหว่างโลหะเหล็กกับสารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต

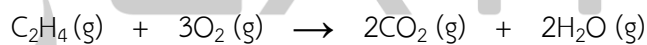
(The reaction between Iron metal and Copper(II) sulfate solution)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการทำปฏิกิริยาเคมี
2. เพื่อฝึกทักษะการทดลองปฏิกิริยาเคมีตามปริมาณสารสัมพันธ์

หลักการ

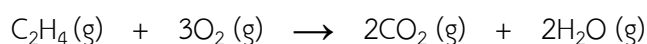
สมการเคมี (Chemical equation) คือการแสดงสัญลักษณ์และอัตราส่วนที่เข้าทำปฏิกิริยากัน สมการเคมีจำเป็นต้องทราบถึงชนิดของสารตั้งต้น (Reactants) และอัตราส่วนที่เข้าทำปฏิกิริยากันพอดี นอกจากนี้สมการเคมีช่วยให้ทราบถึงจำนวนอนุภาคและโมลที่เข้าทำปฏิกิริยาแล้วทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ (Products) ซึ่งในการเตรียมสารประกอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการ จำเป็นที่จะต้องทราบถึงความสัมพันธ์เชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับสารที่เข้าทำปฏิกิริยาในปริมาณต่างๆ ที่เรียกว่า ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) โดยทั่วไปสมการเคมีจะใช้สัญลักษณ์ของธาตุต่างๆ ที่มีลูกศรชี้จากด้านซ้ายที่เป็นสารตั้งต้นไปทางด้านขวาของสมการซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ ดังตัวอย่าง ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเอทิลีน (C_2H_4) ในอากาศ [1, 2]



ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) คือความสัมพันธ์ระหว่างมวลหรือน้ำหนักของธาตุต่างๆ ของสารประกอบในปฏิกิริยาเคมี ปริมาณสารสัมพันธ์มีประโยชน์ในแง่ของการคาดคะเนปริมาณของสารที่ต้องใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งปริมาณของผลิตภัณฑ์จะถูกกำหนดโดยสารที่เข้าทำปฏิกิริยาที่หมดไปก่อนเรียกว่า สารกำหนดปริมาณ (Limiting reagent) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองเรียกว่า ผลผลิตจริง (Actual yield) โดยปกติผลผลิตที่ได้มักมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield) อาจเนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ หรือปฏิกิริยายังดำเนินไปไม่สมบูรณ์ จึงมีค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของปฏิกิริยาคือผลผลิตร้อยละ (Percentage yield; %yield) ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 6.1 [3, 4, 5]

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

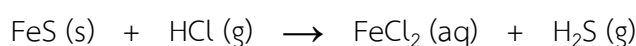
ตัวอย่างการคำนวณหาผลผลิตร้อยละของปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเอทิลีน (C₂H₄) ในอากาศตามสมการ



ถ้าใช้ C₂H₄ 1.93 กรัม ทำปฏิกิริยากับ O₂ 5.92 กรัม ในที่นี้ O₂ จะเป็นสารกำหนดปริมาณและผลิตภัณฑ์ CO₂ ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ 5.43 กรัม ซึ่งเป็นค่าผลผลิตตามทฤษฎีถ้าในการทำปฏิกิริยาจริงๆ ได้ CO₂ เพียง 3.48 กรัม ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของ C₂H₄ เกิด CO ขึ้นได้บางส่วน ผลผลิตร้อยละของ CO₂ 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 FeCl₂ 9 กรัม และมีมวลโมเลกุล 127 g/mol

วิธีทำ

1) ดุลสมการเคมี



จะเห็นว่า FeS 1 โมล ทำปฏิกิริยากับ HCl 2 โมล

2) หาปริมาณสารตั้งต้น

จากสูตรทั่วไป

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

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

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

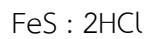
ดังนั้น ปริมาณสารตั้งต้นของ FeS เท่ากับ 0.5 mol

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

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

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

	FeS (s)	+ 2HCl (g)	→	FeCl ₂ (aq)	+ H ₂ 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) หาร้อยละผลผลิต (Percentage yield) เมื่อทำการทดลองได้ FeCl_2 9 กรัม
 จากสารกำหนดปริมาณจะเห็นได้ว่ามี FeCl_2 เกิดขึ้น 0.1 mol ฉะนั้นจะมี FeCl_2 เกิดขึ้น

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

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

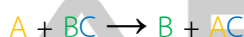
ดังนั้น จะมี FeCl_2 เกิดขึ้น 12.7 กรัม

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

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

ดังนั้น ร้อยละผลผลิตของ FeCl_2 เท่ากับ 70.86

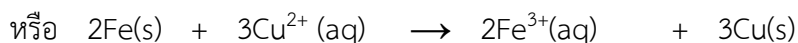
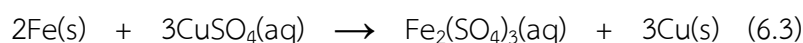
ในการทดลองนี้จะเป็นการใช้หลักปริมาณสารสัมพันธ์เพื่อให้ได้สมการที่เหมาะสมระหว่างปฏิกิริยาของโลหะเหล็กและสารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต เมื่อปฏิกิริยาเริ่มต้นการก่อตัวของโลหะทองแดงซึ่งตกตะกอนเป็นผงสีแดงส้มอย่างชัดเจน ปฏิกิริยานี้เป็นหนึ่งในตัวอย่างของปฏิกิริยาการแทนที่ครั้งเดียว (Single substitution) กล่าวคือองค์ประกอบหนึ่ง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



หรือ



โดยทั่วไปรูปแบบของ Fe มีสองรูปแบบคือ Fe^{2+} (Ferrous) และ Fe^{3+} (Ferric) โดยหลักปริมาณสัมพันธ์จะเกี่ยวข้องกับจำนวนโมลของสารที่ทำปฏิกิริยากัน คือโลหะเหล็ก (Fe) กับสารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต (CuSO_4) ดังนั้นถ้าในปฏิกิริยาเกิด Fe^{2+} ปฏิกิริยาจะสอดคล้องกับสมการที่ 6.2 แต่ถ้าเป็น Fe^{3+} ปฏิกิริยาจะสอดคล้องกับสมการที่ 6.3 ดังนี้



การคำนวณหาปริมาณเหล็กทำได้โดยอาศัยการเติมสารละลาย 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)

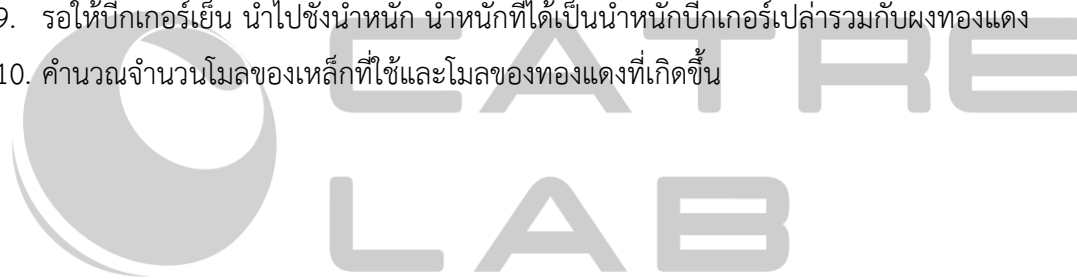
สารเคมี

1. ผงเหล็กบริสุทธิ์ (Iron powder)
2. แอซีโตน (Acetone)
3. สารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต เข้มข้น 1M (1M CuSO_4)



วิธีการทดลอง

1. ชั่งบีกเกอร์ 100 mL จดน้ำหนักบีกเกอร์เปล่า
2. ชั่งผงเหล็ก 1.00 g (± 0.01 g) ใส่ลงในบีกเกอร์ที่ชั่งน้ำหนักจากข้อ 1
3. ตวงสารละลาย CuSO_4 1M ปริมาตร 30 mL (ใช้กระบอกตวง) รินลงในบีกเกอร์เปล่าขนาด 100 mL แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้าจนสารละลายเกือบเดือด
4. ค่อยๆ เทสารละลาย CuSO_4 ที่ร้อนลงในบีกเกอร์ที่มีผงเหล็กจากข้อ 2 กวนสารละลาย 2-3 นาที ปกป้องให้สารละลายเย็นตัวลง
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	48.5488.g
น้ำหนักผงเหล็ก	1.0103.g
น้ำหนักปิกเกอร์ + ผงทองแดง	49.6754.g
ความเข้มข้นสารละลาย CuSO ₄	1.mol/L ปริมาตร.30.mL
น้ำหนักผงทองแดง	1.1266.g (ผลผลิตจริง; Actual yield)
จำนวนโมลผงเหล็ก	0.0181.mol
จำนวนโมลผงทองแดง	0.0074.mol

วิธีการคำนวณ

กำหนดให้

- มวลโมเลกุลของ Fe = 55.85 g/mol
- มวลโมเลกุลของ CuSO₄ = 159.61 g/mol
- มวลโมเลกุลของ Cu = 63.546 g/mol

การคำนวณหาสารกำหนดปริมาณ (Limiting agent)

ดุลสมการเคมี



จำนวนโมลของสารตั้งต้น

$$\text{mol Fe} = \frac{\text{g of Fe}}{\text{Mw of Fe}}$$
$$\text{mol Fe} = \frac{1.0103 \text{ g}}{55.85 \text{ g/mol}}$$

ดังนั้น จำนวนโมลสารตั้งต้นของ Fe เท่ากับ 0.0180 mol

$$\text{mol CuSO}_4 = \frac{\text{CV}}{1000}$$
$$\text{mol CuSO}_4 = \frac{1 \text{ mol/L} \times 30 \text{ mL}}{1000 \text{ mL/L}}$$

ดังนั้น จำนวนโมลสารตั้งต้นของ HCl เท่ากับ 0.030 mol

หาสารกำหนดปริมาณ (Limiting agent)

$$\begin{array}{c} \text{Fe} : \text{CuSO}_4 \\ \hline \frac{\text{mol Fe}}{1} : \frac{\text{mol CuSO}_4}{1} \\ \hline \frac{0.018}{1} : \frac{0.030}{1} \\ \hline 0.018 : 0.030 \end{array}$$

ดังนั้น สารกำหนดปริมาณ (Limiting agent) คือ Fe

	Fe (s)	+	CuSO ₄ (aq)	→	FeSO ₄ (aq)	+	Cu (s)
ตั้งต้น	0.018		0.03		0		0
ใช้ไป	0.018		0.018		0.018		0.018
เหลือ	0		0.012		0.018		0.018

จะเห็นได้ว่ามี CuSO₄ เหลือ 0.012 mol ฉะนั้นจะมี CuSO₄ เหลือ



$$n = \frac{g}{Mw}$$
$$0.012 \text{ mol} = \frac{g}{159.61 \text{ g/mol}}$$

ดังนั้น จะมี CuSO₄ เหลือ 1.92 กรัม

การคำนวณผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield)

จากสารกำหนดปริมาณจะเห็นได้ว่ามี Cu เกิดขึ้น 0.018 mol ฉะนั้นจะมี Cu เกิดขึ้น

$$n = \frac{g}{Mw}$$
$$0.018 \text{ mol} = \frac{g}{63.546 \text{ g/mol}}$$

ดังนั้น ควรมี Cu เกิดขึ้นตามทฤษฎี 1.1438 กรัม

การคำนวณผลผลิตร้อยละ (%yield)

จากการทำการทดลอง (Actual yield) ได้ Cu 1.1266 กรัม

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

$$\text{Percentage yield} = \frac{1.1266}{1.1438} \times 100$$

ดังนั้น ร้อยละผลผลิตของ FeCl₂ เท่ากับ 98.5%

การคำนวณความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%Error)

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

$$\% \text{Error} = \frac{1.1266 - 1.1438}{1.1438} \times 100$$

ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เท่ากับ 1.5%

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองปฏิกิริยาระหว่างโลหะเหล็ก (Fe) กับสารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต (CuSO₄) เพื่อศึกษาปฏิกิริยาเคมีตามหลักปริมาณสารสัมพันธ์ ในการทำปฏิกิริยานี้ใช้สารละลายทองแดง (II) ซัลเฟตเป็น Excess reagent หรือที่มากเกินไป และใช้โลหะเหล็กเป็น Limiting agent หรือสารกำหนดปริมาณ

จากการคำนวณตามทฤษฎี (Theoretical yield) ควรได้ปริมาณทองแดงที่ได้มาจากผงโลหะเหล็กบริสุทธิ์ (97%) จะมีปริมาณประมาณ 1.1438 กรัม แต่จากการทดลองเราพบว่าปริมาณทองแดง (Cu) ที่ได้จริงอยู่ที่ 1.1266 กรัม ซึ่งคิดเป็นผลผลิตร้อยละ 98.5 และมีความคลาดเคลื่อน ±1.5%

ในกระบวนการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ทองแดง (Cu) พบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้จริง (Actual yield) มีค่าน้อยกว่าผลผลิตตามทฤษฎีที่คาดคะเนไว้ เหตุผลที่ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตจริงมีค่าน้อยกว่าอาจเกิดจากสิ่งต่างๆ อาทิ การเกิดประการอื่นที่ไม่ใช่การสังเคราะห์ เช่น การให้ความร้อนของสารละลายทองแดง (II) ซัลเฟตไม่เพียงพอ การเดือดมากเกินไป หรือความสะอาดของสารปนเปื้อนที่ติดผนังทองแดงไม่ถูกกำจัดอย่างละเอียด ทั้งนี้ผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้ อาจทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ และส่งผลให้ปริมาณผลผลิตจริงมีค่าน้อยกว่าผลผลิตตามทฤษฎีที่คาดคะเนไว้

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. [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] ชูлікานต์ สายเนตร, ปริมาณสัมพันธ์, บุรีรัมย์: สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, 2016.
- [6] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, “ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry),” ตำราเคมีสำหรับวิศวกร, กรุงเทพฯ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2559, p. 66.