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 เพื่อบ่งบอกว่าสารตั้งต้นทางด้านซ้ายมือ ทำปฏิกิริยาเกิดสารใหม่ขึ้นมาเรียกว่าผลิตภัณฑ์ทางด้านขวามือ ดังตัวอย่างปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเอทิลีน (C_2H_4) ในอากาศ [1, 2]

$$C_2H_4\,(g) \;+\; 3O_2\,(g) \longrightarrow 2CO_2\,(g) \;+\; 2H_2O\,(g)$$

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

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

ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเอทิลีน (C_2H_4) ในอากาศตามสมการ

$$C_2H_4\,(g) \quad + \quad 3O_2\,(g) \quad \longrightarrow \quad 2CO_2\,(g) \quad + \quad 2H_2O\,(g)$$

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

$$FeS\,(s) \quad + \quad HCl\,(g) \quad \longrightarrow \quad FeCl_2\,(aq) \quad + \quad H_2S\,(g)$$

จงคำนวณหาสารกำหนดปริมาณ (Limiting agent) และร้อยละผลผลิต (Percentage yield) เมื่อทำการทดลองได้ $FeCl_2$ 9 กรัม และมีมวลโมเลกุล 127 g/mol

วิธีทำ

1) ดุลสมการเคมี

$$FeS\,(s) \quad + \quad 2HCl\,(g) \quad \longrightarrow \quad FeCl_2\,(aq) \quad + \quad H_2S\,(g)$$

จะเห็นว่า FeS 1 โมล ทำปฏิกิริยากับ HCl 2โมล

2) หาปริมาณสารตั้งต้น

จากสูตรทั่วไป

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

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

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

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)

$$\text{FeS} : 2\text{HCl}$$

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

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

$$0.5 : 0.1$$

ทำการพิจารณาว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ และสารใดเป็นสารเหลือ

	FeS (s)	+ 2HCl (g)	⟶ $FeCl_2$ (aq)	+ H_2S (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

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

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

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]

$$A + BC \longrightarrow B + AC$$

หรือ

$$A + BC \longrightarrow C + BA$$

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

สมการที่ 6.2; $Fe(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow FeSO_4(aq) + Cu(s)$

หรือ $Fe(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Fe^{2+}(aq) + Cu(s)$

สมการที่ 6.3; $2Fe(s) + 3CuSO_4(aq) \longrightarrow Fe_2(SO_4)_3(aq) + 3Cu(s)$

หรือ $2Fe(s) + 3Cu^{2+}(aq) \longrightarrow 2Fe^{3+}(aq) + 3Cu(s)$

การคำนวณปริมาณเหล็กโดยอาศัยการเติมสารละลาย $CuSO_4$ ที่มากเกินพอ (Excess reagent) หลังจากเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ปริมาณทองแดงที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์เชิงโมลกับเหล็ก ตามสมการเคมีข้างต้น

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 100 mL
2. กระจกนาฬิกา
3. กระบอกตวงขนาด 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 ปล่อยให้สารละลายเย็นตัวลง
5. ค่อยๆ รินส่วนที่เป็นสารละลายทิ้ง (ระวังอย่าให้ผงทองแดงหลุดออกมาด้วย)
6. เติมน้ำกลั่น 10 mL กวนสารละลาย เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่ติดกับผงทองแดง แล้วค่อยๆ รินสารละลายทิ้ง (ระวังอย่าให้ผงทองแดงหลุดออกมาด้วย) (ทำขั้นตอนนี้ 2 รอบ)
7. เติมแอซีโตน 5 mL กวนสารละลายและตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที ค่อยๆ รินแอซีโตนทิ้ง (ระวังอย่าให้ผงทองแดงหลุดออกมาด้วย)
8. ให้ความร้อนอ่อนๆ เพื่อระเหยของเหลว (ใช้ช้อนตักสารช่วยกระจายผงทองแดงให้ความร้อนทั่วถึง) จนกระทั่งผงทองแดงแห้ง
9. รอให้บีกเกอร์เย็น นำไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักบีกเกอร์เปล่ารวมกับผงทองแดง
10. คำนวณจำนวนโมลของเหล็กที่ใช้และโมลของทองแดงที่เกิดขึ้น

<u>รายงานผลการทดลองที่ 6 ปฏิกิริยาระหว่างโลหะเหล็กกับสารละลายทองแดง (II) ซัลเฟต</u>

<u>(The reaction of Iron metal and Copper(II) sulfate solution)</u>

น้ำหนักบีกเกอร์เปล่า .....g

น้ำหนักผงเหล็ก .....g

น้ำหนักบีกเกอร์ + ผงทองแดง .....g

ความเข้มข้นสารละลาย $CuSO_4$ .....mol/L ปริมาตร.....mL

น้ำหนักผงทองแดง .....g (ผลผลิตจริง; Actual yield)

จำนวนโมลผงเหล็ก .....mol

จำนวนโมลผงทองแดง .....mol

วิธีการคำนวณ

กำหนดให้

- มวลโมเลกุลของ Fe = 55.85 g/mol
- มวลโมเลกุลของ $CuSO_4$ = 159.61 g/mol
- มวลโมเลกุลของ Cu = 63.546 g/mol

การคำนวณหาสารกำหนดปริมาณ (Limiting agent)

ดุลสมการเคมี

$$Fe\ (s) + CuSO_4\ (aq) \longrightarrow FeSO_4\ (aq) + Cu\ (s)$$

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)

$$Fe : CuSO_4$$

ดังนั้น สารกำหนดปริมาณ (Limiting agent) คือ Fe

	$Fe\ (s)$	+	$CuSO_4\ (aq)$	$\longrightarrow$	$FeSO_4\ (aq)$	+	$Cu\ (s)$
ตั้งต้น							
ใช้ไป							
เหลือ							

จะเห็นได้ว่ามี $CuSO_4$ เหลือ ..... mol ฉะนั้นจะมี $CuSO_4$ เหลือ

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

ดังนั้น จะมี $CuSO_4$ เหลือ .....กรัม

การคำนวณผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield)

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

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

ดังนั้น ควรมี 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 $FeCl_2$ เท่ากับ.....%

การคำนวณความคาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%Error)

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

ดังนั้น ความคาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เท่ากับ .....%

<u>สรุปและวิจารณ์ผลการรทดลอง</u>

.....

.....

.....

.....

.....

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 เกื้อกูล, “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 เกื้อกูล, “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] ชุลีกานต์ สายเนตร, ปริมาณสัมพันธ์, บุรีรัมย์: สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, 2016.

[6] ผู้ชาวยศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, “ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry),” *ตำราเคมีสำหรับวิศวกร*, กรุงเทพ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2559, p. 66.