ข้อมูลเสริม (Supplementary Data)

การสาธิตทดลอง

เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ

จุฑามาศ มะลิลา[1] สุภาพ ตาเมือง[2] ปุริม จารุจำรัส[2]

มะลิวรรณ อมตธงไชย[2] และเสนอ ชัยรัมย์ [2*]

[1] หลักสูตรวิทยาศาสตร์ศึกษา และ [2] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

*E-mail: sanoe.c@ubu.ac.th

การสาธิตทดลอง

เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ

วัตถุประสงค์

การทดลองนี้ต้องการศึกษา สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ

คำชี้แจง

ให้ผู้ทำการทดลองเตรียมและดำเนินวิธีการทดลองดังรายละเอียดต่อไปนี้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับแต่ละกลุ่ม

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับแต่ละกลุ่มและส่วนรวมแสดงดังภาพที่ S1

1. สีผสมอาหาร (Food dye) (1 ห่อ)
2. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 mL (3 ใบ)
3. ขวดกลมก้นแบน (Round bottom flask) ขนาด 500 mL (1 ใบ)
4. กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100 mL (1 กระบอก)
5. ฝาพลาสติก (Plastic vial) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm (3 ชิ้น)
6. ปิเปตต์ (Pipette) ขนาด 1 mL พร้อมลูกยาง (1 ชุด)
7. ช้อนพลาสติกตักสารเคมี (Plastic spatula) (1 อัน)
8. คีมคีบ (Forceps) (1 อัน)
9. บีกเกอร์ (Beaker) (ขนาด 50 mL 1 ใบ, ขนาด 150 mL 1 ใบ)
10. จานเพาะเชื้อ (Petri dish) (1 ใบ)
11. กระดาษชำระ (Cleaning tissue)) (1 ม้วน)
12. กระจกนาฬิกา (Wash glass) (1 ใบ)
13. ชุดนำแก๊ส (Gas outlet set) (1 ชุด)

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับส่วนรวม

1. แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2)
2. น้ำกลั่น (Distilled H_2O)
3. เครื่องชั่ง (Electronic balance)
4. พาราฟิล์ม (Parafilm)
5. ค้อน (Hammer)
6. บารอมิเตอร์ (Barometer)

ภาพที่ S1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช่ในการทดลอง

วิธีการทดลอง

การสาธิตทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ปิเปตต์น้ำกลั่น (Distilled H_2O) ปริมาตร 0.05 mL ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 mL ดังภาพที่ S2

ภาพที่ S2 ปิเปตต์น้ำในปริมาตรที่กำหนดใส่ขวดรูปชมพู่

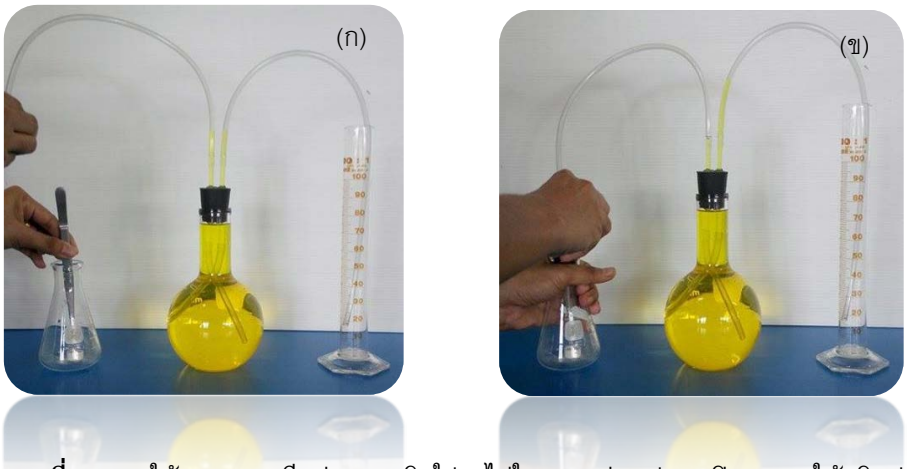
2. ตวงน้ำกลั่นใส่ในบิกเกอร์ปริมาตร 500 ml ใส่สีผสมอาหารเล็กน้อย คนให้ละลาย แล้วเทใส่ขวดกลมก้นแบน จากนั้นจัดอุปกรณ์โดยอาศัยการแทนที่แก๊สด้วยน้ำ ดังภาพที่ S3

ภาพที่ S3 การจัดอุปกรณ์การทดลองโดยอาศัยการแทนที่แก๊สด้วยน้ำ

3. ชั่งสาร CaC_2 จำนวน 0.15 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้) ในฝาพลาสติกบันทึกน้ำหนัก แล้ววางใส่จานเพาะเชื้อและปิดด้วยกระจกนาฬิกาทันที เพื่อป้องกันการสัมผัสกับความชื้นในอากาศ (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) ดังภาพที่ S4

ภาพที่ S4 ชั่งแคลเซียมคาร์ไบด์

4. ใช้ Forceps คีบฝาพลาสติกที่มีสาร CaC_2 0.15 กรัม จากนั้น หย่อนฝาที่บรรจุ CaC_2 ลงไปในขวดรูปชมพู่ ระวัง! อย่าให้ CaC_2 ทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อน จากนั้น ปิดจุกและตรวจสอบรอยต่อให้แนบสนิท ดังภาพที่ S5



ภาพที่ S5 (ก) ใช้ Forceps คีบฝาพลาสติกใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่ (ข) ปิดจุกยางให้สนิทก่อนเริ่มทดลอง

5. เริ่มปฏิกิริยาโดยเขย่าขวดรูปชมพู่เพื่อให้ CaC_2 ทำปฏิกิริยากับน้ำ (เขย่าอย่างระมัดระวัง ไม่ให้เกิดการรั่วซึมของแก๊ส) จนสารทั้งสองทำปฏิกิริยากันจนหมด โดยสังเกตได้จากปริมาตรน้ำในกระบอกตวงไม่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ S6

ภาพที่ S6 เขย่าขวดรูปชมพู่เพื่อให้สารทำปฏิกิริยากัน

6. อ่านปริมาตรน้ำที่ได้จากกระบอกตวง และบันทึกปริมาตรไว้ และอ่านอุณหภูมิห้องขณะทดลอง และอ่านค่าความดัน (atm) จากเครื่องบารอมิเตอร์ (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย)

7. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1-6 แต่เปลี่ยนปริมาตรน้ำเป็น 0.1, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35 และ 0.4 mL ตามลำดับ แต่ทุกปริมาตรของน้ำทำการทดลอง 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

ข้อเสนอแนะ

ลักษณะเนื้อของสารแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นก้อนสีเทาขนาดใหญ่ ควรใช้ค้อนทุบให้มีขนาดที่เล็กลงเพื่อง่ายต่อการชั่งให้ได้ปริมาณที่ต้องการ และควรบรรจุในภาชนะที่มิดชิดไม่ให้สัมผัสกับความชื้นในอากาศทันที เพราะแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นสารที่ว่องไวต่อน้ำ เมื่อชั่งน้ำหนักที่ต้องการได้แล้ว ให้รีบปิดด้วยกระจกนาฬิกาทันทีป้องกันการสัมผัสกับน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในอากาศ ในระหว่างที่ทำการทดลอง อุณหภูมิและความดันเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการขยายตัวของแก๊สที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ฉะนั้น ในการทดลองแต่ละครั้ง ครู/นักเรียนควรทำการทดลองภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันคงที่ นอกจากนี้ขณะที่ทำการทดลอง ควรใช้อุปกรณ์อย่างระมัดระวัง ไม่ควรทดลองใกล้วัสดุ เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่ทำให้เกิดเชื้อเพลิงได้ เพราะอาจจะทำให้เกิดการลุกไหม้และเป็นอันตรายแก่ผู้ทำการทดลองได้

ผลการทดลอง

ผลการทดลองจากปฏิกิริยาระหว่างปริมาตรน้ำ (H_2O) กับปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้น้ำหนักของแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) แสดงได้ดังตารางที่ S1

ตารางที่ S1 ผลการทดลองจากปฏิกิริยาระหว่างปริมาตรน้ำ (H_2O) กับปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้น้ำหนักของแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2)

การทดลองที่	ปริมาตรของน้ำ (cm^3)	น้ำหนักของ CaC_2 (g)				ปริมาตรของ C_2H_2 (cm^3)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	0.00	0.1501	0.1503	0.1506	0.1503	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.05	0.1500	0.1505	0.1507	0.1504	19	20	19	19.33
3	0.10	0.1502	0.1508	0.1503	0.1504	33	32	32	32.33
4	0.15	0.1510	0.1500	0.1505	0.1505	42	41	41	41.33
5	0.20	0.1506	0.1503	0.1501	0.1503	47	46	47	46.67
6	0.25	0.1504	0.1510	0.1508	0.1507	51	51	50	50.67
7	0.30	0.1509	0.1505	0.1506	0.1507	51	52	52	51.67
8	0.35	0.1500	0.1508	0.1503	0.1504	52	52	52	52
9	0.40	0.1508	0.1502	0.1505	0.1505	52	52	52	52

ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) กับน้ำ (H_2O) สามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้

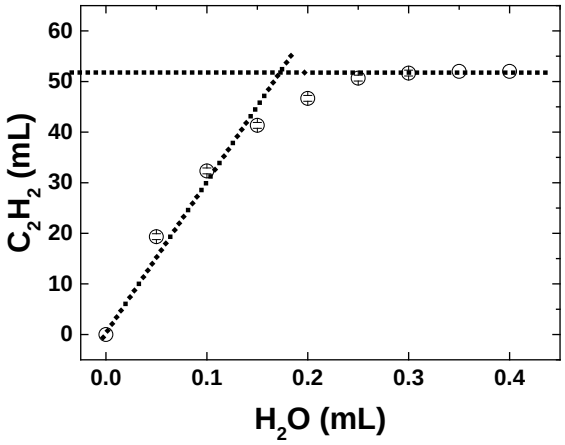
$$CaC_2(s) + 2H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(aq) + C_2H_2(g)$$

จากสมการ จะเห็นได้ว่า เมื่อแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำ (H_2O) จะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) เมื่อดุลสมการเคมีแล้ว ปริมาณสารที่เกี่ยวข้องในสมการตามทฤษฎีดังกล่าวมีดังนี้ (ตารางที่ S2)

ตารางที่ S2 ปริมาณสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำตามทฤษฎี

	CaC_2	H_2O	$Ca(OH)_2$	C_2H_2
จำนวนโมล (โมล)	1	2	1	1
อนุภาค (โมเลกุล)	6.02×10^{23}	12.04×10^{23}	6.02×10^{23}	6.02×10^{23}
น้ำหนัก (กรัม)	64.1	36.0	74.1	26.0

จากการทดลอง เราสามารถเห็นปริมาตรของสารผลิตภัณฑ์(ปริมาตรแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้น) โดยการแทนที่น้ำในกระบอกตวง ในการทดลองแต่ละครั้ง แก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำจะเคลื่อนที่ไปตามชุดนำแก๊สซึ่งอาศัยการแทนที่น้ำในขวดกลมก้นแบน และจะดันให้น้ำในขวดกลมก้นแบนไหลไปที่กระบอกตวง ปริมาตรน้ำที่ไหลออกมาอยู่ที่กระบอกตวงจะเป็นปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้น จากนั้น นำผลการทดลองมาสร้างกราฟระหว่างปริมาตรของน้ำที่ใช้กับกับปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้น (ภาพที่ S7) เมื่อกำหนดให้น้ำหนักของแคลเซียมคาร์ไบด์คงที่ (0.15 g)



ภาพที่ S7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำ (H_2O) กับปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้น้ำหนักของแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) จำนวน 0.15 g

ผลการทดลอง พบว่า ปริมาตรแก๊สอะเซทิลีนที่วัดได้ในช่วงแรกเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มคงที่เมื่อใช้ปริมาตรของน้ำที่ประมาณ 0.25 mL ผลการทดลองในช่วงแรกอธิบายได้ว่า ปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับปริมาตรของน้ำ เพราะฉะนั้นน้ำจึงเป็นสารกำหนดปริมาณ ส่วนแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นสารที่มากเกินพอ กล่าวคือ มีแคลเซียมคาร์ไบด์บางส่วนที่เหลือจากปฏิกิริยา เมื่อทำการทดลองต่อไปโดยเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้น พบว่า ปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นไม่เปลี่ยนแปลง และมีค่าคงที่ที่ 52.0 mL การทดลองในช่วงหลังนี้อธิบายได้ว่า ปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับแคลเซียมคาร์ไบด์ ดังนั้น แคลเซียมคาร์ไบด์จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ ในขณะที่น้ำเป็นสารที่มากเกินพอแทน กล่าวคือ จะมีน้ำบางส่วนที่เหลือจากปฏิกิริยา จุดสมดุลของปฏิกิริยาหรือจุดที่สารสองตัวทำปฏิกิริยาพอดีกัน สามารถหาได้จากจุดตัดของกราฟที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความชัน จากภาพที่ 3 ปริมาตรของน้ำเท่ากับ 0.18 mL เป็นจุดที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับแคลเซียมคาร์ไบด์ 0.15 g ทั้งนี้ ในการทดลองแต่ละครั้ง ครู/นักเรียนสามารถใช้สมการ PV = nRT ของแก๊สสมบูรณ์เพื่อทำนายปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่จะเกิดขึ้นได้ เมื่อทราบอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่ทำการทดลอง เมื่อ R เป็นค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 0.08206 $L.atm.mol^{-1}.K^{-1}$

ใบความรู้
ประกอบการสาธิตทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ

.....

เนื่องจากสารเข้าทำปฏิกิริยากันในอัตราส่วนโมลต่อโมลที่แน่นอน (กฎสัดส่วนคงที่) เช่น ไฮโดรเจน 2 โมล ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน 1 โมล เกิดน้ำขึ้น 2 โมล แต่ถ้าให้ ไฮโดรเจน 4 โมล ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน1 โมล ออกซิเจนจะต้องถูกใช้หมดก่อน และไฮโดรเจนจะถูกใช้ไปได้อย่างมากที่สุด 2 โมล และคงเหลือ 2 โมล สารที่มีปริมาณน้อยกว่าจึงเป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาหนึ่งสามารถเกิดผลได้อย่างมากที่สุดเท่าใด เราเรียกสารที่มีปริมาณน้อยนี้ว่า **สารกำหนดปริมาณ (limiting reactant)**

การสาธิตการทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ เป็นการหาปริมาณของแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) หรือที่ชาวบ้านเรียกว่าแก๊สบ่มกับน้ำ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามสมการที่ (1) สามารถหาปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นได้โดยอาศัยวิธีการแทนที่น้ำ การจัดชุดการสาธิตทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ โดยชุดการทดลองนี้สามารถปรับใช้กับการหาปริมาณสารอื่น ที่ใช้หลักการแทนที่แก๊สด้วยน้ำได้ เช่น การหาปริมาณ $NaHCO_3$ ในผงฟู การหาปริมาณ $CaCO_3$ ในเปลือกไข่และเปลือกหอย เป็นต้น

สมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) กับน้ำเป็นดังนี้

$$CaC_2\ (s) + 2H_2O\ (l) \longrightarrow Ca(OH)_2(aq) + C_2H_2(g) \quad \text{.....(1)}$$

ทั้งนี้ ในการคำนวณหาปริมาณของแก๊ส C_2H_2 ที่เกิดขึ้น โดยสมมุติให้ C_2H_2 ที่เกิดขึ้น มีพฤติกรรมเหมือนแก๊สในอุดมคติ จำนวนโมลของ C_2H_2 สามารถคำนวณหาได้จาก ideal gas law ดังสมการ (2)

$$PV = nRT \quad \text{.....(2)}$$

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 0.08206 $L.atm.mol^{-1}.K^{-1}$

T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (K) 25 °C = 273 K

ความดันในขวดปริมาตรจะมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างความดันบรรยากาศ (P_{atm}) กับความดันไอน้ำอิ่มตัว ($P_{น้ำ}$) ที่อุณหภูมิของน้ำ (ตารางที่ S3) ขณะทำการทดลอง (P_{gas})

$$P_{gas} = P_{atm} - P_{น้ำ} \quad \text{.....(3)}$$

P_{atm} อ่านค่าได้จากเครื่องบารอมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ

$P_{น้ำ}$ อ่านค่าได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ S3 ค่าความดันไอของน้ำ ($P_{น้ำ}$) ที่อุณหภูมิต่างๆ

T (°C)	$P_{น้ำ}$ (mmHg)	T (°C)	$P_{น้ำ}$ (mmHg)	T (°C)	$P_{น้ำ}$ (mmHg)
20	17.5	30	31.8	40	55.3
21	18.8	31	33.7	41	58.3
22	19.8	32	35.7	42	61.5
23	21.1	33	37.7	43	64.8
24	22.4	34	39.9	44	68.3
25	23.8	35	42.2	45	71.9
26	25.2	36	44.6	46	75.7
27	26.7	37	47.1	47	79.6
28	28.3	38	49.7	47	83.7
29	30.0	39	52.4	49	88.0