การสาธิตทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ

จุฑามาศ มะลิลา[1] สุภาพ ตาเมือง[2] มะลิวรรณ อมตธงไชย[2]
ปุริม จารุจำรัส[2] และเสนอ ชัยรัมย์[2*]

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตร์ศึกษา และ [2]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190
[*]E-mail: sanoe.c@ubu.ac.th

รับบทความ: 2 กันยายน 2558 ยอมรับตีพิมพ์: 12 พฤศจิกายน 2558

บทคัดย่อ

บทความวิจัยการทดลองในชั้นเรียนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการนำเสนอครูผู้สอนเคมีด้วยการสาธิตทดลองอย่างง่าย เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ ในการศึกษาในครั้งนี้ กำหนดให้น้ำหนักของแคลเซียมคาร์ไบด์คงที่ จากนั้นเพิ่มปริมาตรน้ำปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ และวัดปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นโดยอาศัยการแทนที่น้ำ การสาธิตทดลองนี้สามารถนำไปสาธิตนักเรียนในหัวข้อสารกำหนดปริมาณในห้องปฏิบัติการเคมีได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การสาธิตทดลอง สารกำหนดปริมาณ แคลเซียมคาร์ไบด์ น้ำ ระดับมัธยมศึกษา

Experimental Demonstration of Limiting Reagent Using the Reaction between Calcium Carbide and Water

Juthamas Malila[1], Suparb Tamuang[2], Maliwan Amatatongchai[2], Purim Jarujamrus[2] and Sanoe Chairam[2*]

[1]Program of Science Education, and [2]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

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

Received: 2 September 2015 Accepted: 12 November 2015

Abstract

This laboratory classroom research aimed to provide chemistry teachers with a simple experimental demonstration of limiting reagent using the reaction between calcium carbide and water. In this study, the amount of calcium carbide was fixed, while the volume of water was gradually increased. Then, the volume of acetylene gas generated from the reaction was measured by the displacement of water. This experimental demonstration can be used to demonstrate students the concept of limiting reagent in chemistry laboratory.

Keywords: Experimental demonstration, Limiting reagent, Calcium carbide, Water, Secondary level

บทนำ

สารกำหนดปริมาณ (limiting reagent) เป็นหัวข้อหนึ่งที่อยู่ในปริมาณสัมพันธ์ (stoichiometry) ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณของสารและสมการเคมี ในปฏิกิริยาเคมีหนึ่ง สารที่เข้าทำปฏิกิริยาแบบไม่พอดีกัน ปฏิกิริยาเคมีจะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่งถูกใช้หมด สารที่หมดก่อนนี้จะเป็นตัวกำหนดปริมาณของสารผลิตภัณฑ์แต่ละตัวที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ความรู้เกี่ยวกับสารกำหนดปริมาณมีความสำคัญอย่างมากต่อการคำนวณทางเคมี เช่น คำนวณหาผลได้ตามทฤษฎี คำนวณหาผลได้ร้อยละ คำนวณหาปริมาณสารและพลังงานที่เกี่ยวข้องในสมการเคมี (Ministry of Education MOE, 2011)

แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) หรือถ่านแก๊ส เป็นสารประกอบอนินทรีย์ชนิดหนึ่ง เนื้อสารมีลักษณะเป็นของแข็งสีเทา เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (H_2O) จะได้แก๊สอะเซทิลีน (acetylene, C_2H_2) เป็นสารผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถจุดไฟติดและให้แสงสว่าง ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำมีประ-

โยชน์ต่องานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ระดับนานาชาติอย่างมาก เช่น การผลิตแก๊สอะเซทิลีนจากปฏิกิริยาคู่ควบ(coupling reaction) (Chuentragool et al., 2011) การผลิตแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) สำหรับเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาการทำไบโอดีเซล (biodiesel) (Chen et al., 2012) และการผลิตแก๊สอะเซทิลีนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) (Moo, 2014)

ในการวิจัยทางการศึกษาระดับนานาชาติมีการใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบคาร์บอเนตกับกรดเพื่อการสาธิตทดลองในปฏิบัติการเคมีอย่างมากมายเนื่องจากทำการทดลองได้ง่าย เช่น สารกำหนดปริมาณ (Artdej and Thongpanchang, 2008; Nyasulu et al., 2009) ค่าคงที่ของแก๊ส (Proksa and Tóthová, 2006) นอกจากนี้แล้ว ปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไนไตรต์ ($NaNO_2$) กับกรดซัลฟามิก (H_3NSO_3) (Yu, 2010) เป็นปฏิกิริยาหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการสาธิตทดลองด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับชาติ Makaratat (2014) ได้ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสานเพื่อทำคอนกรีตที่มีความสามารถในการเทสูง ส่วนการวิจัยทางการศึกษาระดับชาตินั้น ยังไม่มีการนำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์มาใช้ในการเรียนการสอนในวิชาเคมี ดังนั้นในบทความการทดลองในชั้นเรียนนี้ ผู้วิจัยต้องการนำเสนอการสาธิตทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ เมื่อแคลเซียมคาร์ไบด์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้แก๊สอะเซทิลีนเป็นสารผลิตภัณฑ์ การทดลองนี้เป็นการสาธิตทดลองหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ในการสอนเรื่องสารกำหนดปริมาณในระดับมัธยมศึกษาได้เป็นอย่างดี

สารเคมีและอุปกรณ์

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสาธิตทดลองมีดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 1)

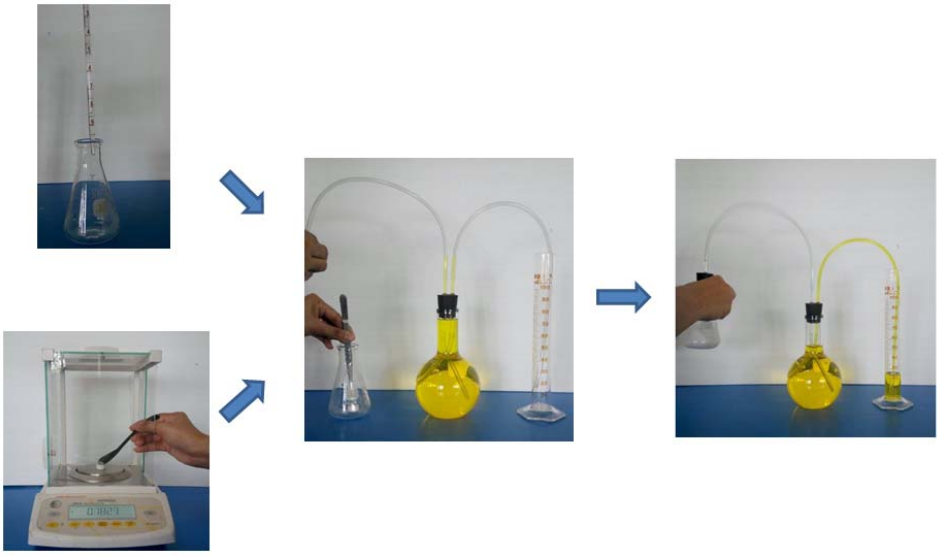
- แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2)
- น้ำกลั่น (distilled H_2O)
- สีผสมอาหาร (food dye)
- กระดาษชำระ (cleaning tissue)
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 mL
- ขวดกลมก้นแบน (round bottom flask) ขนาด 500 mL
  กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 100 mL
- ฝาพลาสติก (plastic vial) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm
- ปิเปตต์ (pipette)
  ลูกยาง (rubber bulb)
- ช้อนพลาสติกตักสารเคมี (plastic spatula)
- คีมคีบ (forceps)
- บีกเกอร์ (beaker)
- จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
- กระดาษชำระ (cleaning tissue)
- กระจกนาฬิกา (wash glass)
- ชุดนำแก๊ส (gas outlet set)
- เครื่องชั่ง (electronic balance) ความละเอียด 4 ตำแหน่ง
- พาราฟิล์ม (parafilm)
- ค้อน (hammer)
- บารอมิเตอร์ (barometer)

วิธีการทดลอง

การสาธิตทดลอง เรื่อง สารกำหนดปริมาณ โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 2) ปิเปตต์น้ำกลั่นปริมาตร 0.1 mL ถ่ายลงในรูปชมพู่ขนาด 125 mL และชั่งแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) 0.15 g ในฝาพลาสติก (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) จากนั้นปิดด้วยกระจกนาฬิกาเพื่อป้องกันการสัมผัสกับความชื้นในอากาศ จากนั้นใช้คีมคีบฝาพลาสติกที่มี CaC_2 วางลงไปในขวดรูปชมพู่ (*ระวัง! อย่าให้สารทั้ง 2 ชนิดสัมผัสกันก่อน*) ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยจุก

ภาพที่ 1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการสาธิตทดลองสำหรับปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) กับน้ำ (H_2O)

ยางของชุดนำแก๊สที่เชื่อมต่ออยู่กับขวดก้นกลม จากนั้นพันจุกยางด้วยแผ่นพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการรั่วของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ขั้นตอนสุดท้ายเขย่าขวดรูปชมพู่เพื่อให้ CaC_2 ทำปฏิกิริยา

กับน้ำจนกระทั่งสารทั้งสองทำปฏิกิริยากันอย่างสมบูรณ์ บันทึกปริมาตรแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ที่เกิดขึ้นจากการแทนที่น้ำ ให้ทำการทดลองเช่นเดิมดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่เพิ่มปริมาตรน้ำที่ใช้มากขึ้น ครั้งละ 0.05 mL สำหรับการทดลองแต่ละจุดทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) กับน้ำ (H_2O) ปฏิกิริยานี้สามารถทำการทดลองได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัย เราสามารถเขียนสมการเคมีได้ดังนี้

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

จากสมการเคมี เพื่อให้ง่ายต่อการทดลอง กำหนดให้ใช้น้ำหนักของแคลเซียมคาร์ไบด์คงที่ทำปฏิกิริยากับน้ำที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา แก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถวัดปริมาตรโดยอาศัยการแทนที่น้ำ เพื่อส่งเสริมการมองเห็น เราสามารถละลายสีผสมอาหารลงไปในน้ำได้! (Artdej and Thongpanchang, 2008)

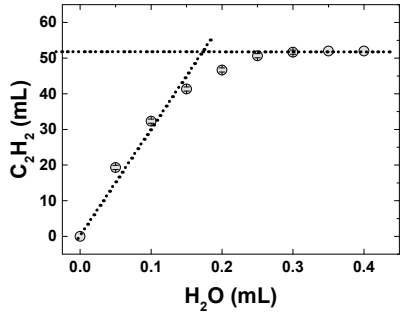
เมื่อแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) ทำปฏิกิริยากับน้ำ (H_2O) จะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) เมื่อดุลสมการเคมีแล้ว อัตราส่วนโมลระหว่าง CaC_2 ต่อ H_2O เป็น 1:2 ปริมาณสารที่เกี่ยวข้องในสมการตามทฤษฎีดังกล่าว (ตาราง 1) มีดังนี้

ตาราง 1 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 เราสามารถติดตามสารผลิตภัณฑ์จากวัดปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำในขวดก้นกลม จากนั้นวัดปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยกระบอกตวง ในการทดลองแต่ละครั้ง แก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำจะเคลื่อนที่ไปตามชุดนำแก๊สซึ่งอาศัยการแทนที่น้ำในขวดกลมก้น และวัดปริมาตรของน้ำด้วยกระบอกตวง ปริมาตรน้ำที่ออกมาจะเป็นปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้น จากนั้นนำผลการทดลองมาสร้างกราฟระหว่างปริมาตรของน้ำที่ใช้กับกับปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้น (ภาพที่ 3) เมื่อกำหนดให้น้ำหนักของแคลเซียมคาร์ไบด์คงที่ ผลการทดลอง พบว่า ปริมาตรแก๊สอะเซทิลีนที่วัดได้ในช่วงแรกเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และเริ่มคงที่เมื่อใช้ปริมาตรของน้ำที่ประมาณ 0.25 mL ผลการทดลองในช่วงนี้อธิบายได้ว่า ปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นจะขึ้นตรงต่อปริมาตรของน้ำ แสดงว่า น้ำเป็นสารกำหนดปริมาณ ส่วนแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นสารมากเกินพอที่ กล่าวคือ มีแคลเซียมคาร์ไบด์บางส่วนที่เหลือจากปฏิกิริยา เมื่อทำการทดลองต่อไปโดยเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้น พบว่า ปริมาตร

ของเกิดแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นไม่เปลี่ยนแปลงและมีค่าคงที่ที่ 52.0 mL การทดลองในช่วงนี้อธิบายได้ว่า ปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นจะขึ้นตรงต่อแคลเซียมคาร์ไบด์ ดังนั้น แคลเซียมคาร์ไบด์จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ ในขณะที่น้ำเป็นสารที่มากเกินพอแทน กล่าวคือ มีน้ำบางส่วนที่เหลือจากปฏิกิริยา ผลการทดลองอยู่ในข้อมูลเสริม (supplementary data) จุดสมดุลของปฏิกิริยาหรือจุดที่สารสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน สามารถหาได้จากจุดตัดของกราฟที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความชัน จากภาพที่ 3 ปริมาตรของน้ำเท่ากับ 0.18 mL เป็นจุดที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับแคลเซียมคาร์ไบด์ 0.15 g ทั้งนี้ในการทดลองแต่ละครั้ง ครู/นักเรียนสามารถใช้สมการของแก๊สสมบูรณ์ PV = nRT เพื่อทำนายปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีนที่จะเกิดขึ้นได้ เมื่อทราบอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่ทำการทดลอง เมื่อ R เป็นค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 0.08206 L atm mol^{-1} K^{-1}



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำ (H_2O) กับปริมาตรของแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้น้ำหนักของแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) จำนวน 0.15 g

สรุปผลการวิจัย

ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำจะได้สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแก๊สอะเซทิลีนเป็นผลิตภัณฑ์ แก๊สอะเซทิลีนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสามารถติดตามได้โดยอาศัยการแทนที่น้ำ ปฏิกิริยานี้ทำการทดลองได้ในโรงเรียนโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัย การทดลองนี้เป็นตัวอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาใช้อธิบายความสัมพันธ์เชิงปริมาณสารและคำนวณหาปริมาณสารที่เกี่ยวข้องในสมการเคมีได้เป็นอย่างดี นอกจากครูผู้สอนยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้การสาธิตทดลองนี้ในห้องปฏิบัติการของโรงเรียนได้แล้ว สารเคมีและอุปกรณ์การทดลองยังมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

แคลเซียมคาร์ไบด์เป็นสารที่ว่องไวต่อน้ำ ควรเก็บแคลเซียมคาร์ไบด์ในภาชนะที่มิดชิด เมื่อชั่งน้ำหนักที่ต้องการได้แล้ว ปิดด้วยกระจกนาฬิกาทันทีป้องกันการสัมผัสกับน้ำที่อยู่ในอากาศ ในระหว่างที่ทำการทดลอง อุณหภูมิและความดันเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการขยายตัวของแก๊สที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ดังนั้นในการทดลองแต่ละครั้ง ครู/นักเรียนควรทำการทดลองภายใต้ภาวะอุณหภูมิและความดันคงที่ นอกจากนี้ขณะที่ทำการทดลอง ควรหลีกเหลี่ยงการใช้อุปกรณ์ที่อาจทำให้เกิดประกายไฟ เนื่องจากแก๊สอะเซทิลีนที่รั่วจากชุดนำแก๊สเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่สามารถติดไฟได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษ

ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ระยะที่ 3 (พ.ศ. 2556-2561) จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

Artdej, R., and Thongpanchang, T. (2008). A Dramatic classroom demonstration of limiting reagent using the vinegar and sodium hydrogen carbonate reaction. **Journal of Chemical Education** 85(6): 1382–1384.

Chen, M.-Y., Wang, J.-X., Chen, K.-T., Wen, B.-Z., Lin, W.-C., and Chen, C.-C. (2012). Transesterification of soybean oil catalyzed by calcium hydroxide which obtained from hydrolysis reaction of calcium carbide. **Journal of the Chinese Chemical Society** 59(2): 170–175.

Chuentragool, P., Vongnam, K., Rashatasakhon, P., Sukwattanasinitt, M. (2011). Calcium carbide as a cost-effective starting material for symmetrical diarylethynes via Pd-catalyzed coupling reaction. **Tetrahedron** 67: 8177-8182.

Ministry of Education (MOE). (2011). **The Curriculum 2008**. Bangkok: Ministry of Education (in Thai).

Moo, J. G. S., Wang, H., and Pumera, M. (2014). Acetylene bubble-powered autonomous capsules: towards in situ fuel. **Chemical Communications** 50: 15849–15851.

Nattapong Makaratat. (2014). Use of calcium carbide residue-fly ash as binder to produce high workability concrete. **Journal of Industrial Technology** 10(3): 106–120. (in Thai).

Nyasulu, F., Paris, S., and Barlag, R. (2009). Wash bottle laboratory exercises: mass of $NaHCO_3$ in an alka-Seltzer tablet, molar mass of CO_2, and the ideal gas law constant. **Journal of Chemical Education** 86(7): 842–844.

Proksa, M., and Tóthová, A. (2006). Using balloons for a dramatic presentation of the acid–bicarbonate reaction. **Journal of Chemical Education** 83(10): 1471–1472.

Yu, A. (2010). Exploring the Ideal Gas Law through a Quantitative gasometric analysis of nitrogen produced by the reaction of sodium nitrite with sulfamic acid**.** **Journal of Chemical Education** 87(12): 1369–1371.

บทความนี้มีข้อมูลเสริม (supplementary data) อยู่บนเว็บไซต์ของวารสาร ได้แก่ การสาธิตการทดลอง และใบความรู้ประกอบการสาธิตการทดลอง