

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมอย่างง่ายจากการแทนที่น้ำด้วยแก๊สไฮโดรเจน

Development of A Simple Method for Determination of Aluminium Using Water Replacement by Hydrogen Gas

จันทรา บุญขาว และ ศศิธร มั่นเจริญ*

Jantra Boonkhaow and Sasithorn Muncharoen*

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University

*e-mail: muncharoen@go.buu.ac.th โทรศัพท์: 081-949-3166

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอะลูมิเนียมโดยอาศัยการแทนที่น้ำด้วยแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งใช้อุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง และสามารถหาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นชุดทดลองต้นแบบสำหรับนักเรียนในการเรียนการสอนเรื่อง “การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่าง ๆ สำหรับวิธีที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์ และความยาวของสายยางนำแก๊ส และลักษณะเฉพาะทางการวิเคราะห์ จากผลการศึกษาภายใต้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมพบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงในการวิเคราะห์มีค่าอยู่ระหว่าง 10-30 มิลลิกรัม สมการมาตรฐานคือ $y = 1.5079x - 1.8504$ ($r^2 = 0.9993$) ค่าขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) มีค่าเท่ากับ 1.78 และ 2.70 มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้หาปริมาณของอะลูมิเนียมในตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้กับวิธีมาตรฐาน (SEM/EDX) พบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของอะลูมิเนียมในตัวอย่างที่วิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

คำสำคัญ : อะลูมิเนียม การเกิดแก๊สไฮโดรเจน การแทนที่น้ำ การวิเคราะห์ปริมาณ อะลูมิเนียมฟอยล์

Abstract

In this work, a method for quantitative analysis of aluminium using water replacement by hydrogen gas created from the reaction between aluminum and sodium hydroxide solution was developed. In addition, simple glassware was used in the developed method in order to apply as a prototype experimental setup for student learning of “quantitative analysis”. Herein, the optimum conditions of sodium hydroxide concentration, volume of water in the beaker and length of tubing and analytical characteristics were investigated. Under the optimum conditions, the results showed that the linearity was in the range of 10 - 30 mg with the standard equation of $y = 1.5079x - 1.8504$ ($r^2 = 0.9993$). Limit of detection (LOD) and Limit of quantitation (LOQ) were 1.78 and 2.70 mg, respectively. Furthermore, the proposed method was successfully applied for determination of aluminium in commercial aluminium foils. The proposed method was validated against SEM/EDX as a standard method. The paired t-test showed that the results of the both methods were not significantly different at 95% confidence ($P > 0.05$).

Keywords : aluminium, hydrogen gas generation, water replacement, quantitative analysis, aluminium foil

1. บทนำ

“การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” จัดเป็นศาสตร์ที่สำคัญทางด้านเคมี ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ อาทิ การควบคุมคุณภาพสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณของสารกันเสียในอาหารแปรรูป (Iwakoshi *et al.*, 2019; Oliveira Arias *et al.*, 2019; Park *et al.*, 2018) การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในแก๊สโซฮอล์ (Muncharoen *et al.*, 2009) และการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารทะเล (Noordiana *et al.*, 2011) เป็นต้น นอกจากนี้ การวิเคราะห์เชิงปริมาณสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการป้องกัน และเฝ้าระวังอันตรายที่จะเกิดขึ้นต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม เช่น การวิเคราะห์ปรอทในเครื่องสำอาง (Liu *et al.*, 2013) สารหนูในข้าว (Costa *et al.*, 2015) โลหะหนักในอาหารและสิ่งแวดล้อม (Soylak and Aydin, 2011) เป็นต้น และจากการศึกษาในรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่าโลหะเป็นหนึ่งในปัจจัยที่นิยมศึกษาในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ทั้งนี้เพราะอันตรายที่รุนแรงต่อสิ่งมีชีวิตหากมีปริมาณของโลหะที่มากเกินไป ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้การวิเคราะห์ปริมาณโลหะได้รับความสนใจอย่างมากตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน

“อะลูมิเนียม” เป็นหนึ่งในโลหะที่มนุษย์สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้เพราะอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อน มีความแข็งแรง และมีน้ำหนักเบา เป็นต้น (Soni *et al.*, 2001) จึงนิยมนำไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรมอย่างมาก เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องบิน เครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนเครื่องประดับ ใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนผสมในเม็ดงานขัดพื้นผิว อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร และเครื่องดื่ม (Khanhuathon *et al.*, 2015; Sahu and Hiremath, 2017; Seruga *et al.*, 1994; Supian *et al.*, 2013) เป็นต้น นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังไม่มีผลอันตรายต่อร่างกายอย่างเฉียบพลันเมื่อได้รับการสัมผัส แต่อย่างไรก็ตามอะลูมิเนียมก็ยังมีความเป็นพิษ ซึ่งการร่างกายของมนุษย์ได้รับอะลูมิเนียมสะสมเป็นระยะเวลานาน อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกาย เช่น ไตวายเฉียบพลัน โรครกระดูก สมองเสียม และโรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น (Fathi *et al.*, 2011; Rodrigues *et al.*, 2005; Saiyed and Yokel, 2005) ซึ่งหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้ร่างกายของมนุษย์ได้รับปริมาณของอะลูมิเนียมเพิ่มสูงขึ้นนั้นคือ การได้รับปริมาณของอะลูมิเนียมที่ปนเปื้อนในอาหารที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมิเนียม หรือมีส่วนผสมของอะลูมิเนียมเป็นระยะเวลานานพอสมควร เช่น ผลไม้กระป๋อง อะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil) และอาหารกระป๋อง เป็นต้น (Seruga *et al.*, 1994; Siriangkawut *et al.*, 2013) โดยทั่วไปเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะมีหลากหลายเทคนิค เช่น เทคนิคอินดักทีฟลีคัลปีเปลลาสมาอะตอมมิคมิสชันสเปกโทรเมตรี (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry: ICP-AES) (Scancar *et al.*, 2004) อิเล็กโตรเทอร์มอลอะตอมมิคแอฟซอร์พชันสเปกโทรเมตรี (Electrothermal atomic absorption spectrometry: ETAAS) (Saiyed and Yokel, 2005) เทคนิคแกรไฟต์เฟออร์เนซอะตอมมิค แอฟซอร์พชันสเปกโทรเมตรี (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry: GF-AAS) (Lopez *et al.*, 2002; Pourghazi *et al.*, 2017) และเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมตรี (UV-Visible spectrophotometry: UV-Vis) (Huseyinli *et al.*, 2009; Fathi *et al.*, 2011; Supian *et al.*, 2013) เป็นต้น ซึ่งเทคนิคดังกล่าวข้างต้นนั้นจะให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้อง และมีความแม่นยำที่สูง แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ เนื่องจากมีความซับซ้อนของเครื่องมือ ค่าใช้จ่ายสำหรับการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง อีกทั้งบางเทคนิคยังมีการใช้สารเคมีที่ค่อนข้างอันตราย จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เพื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเรียนการสอนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (high school students) หรือชั้นปีที่ 1 ในระดับปริญญาตรี (first-year students) นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดการเรียนการสอนเรื่อง “การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” สำหรับนักเรียนหรือนิสิตนักศึกษานั้น ส่วนใหญ่เป็นเพียงการสอนที่มีการอธิบายหน้าชั้นเรียน มุ่งเน้นในเรื่องการคำนวณ และการทำแบบฝึกหัดจากหนังสือ หรือใบกิจกรรมเท่านั้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้นักเรียนไม่เข้าใจในบทเรียนอย่างถ่องแท้ ทั้งนี้เพราะนักเรียนขาดความสนใจ และความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผลการเรียนในวิชาเคมีขั้นสูงต่อไปได้

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะพัฒนาวิธีการทดลองต้นแบบสำหรับการเรียนการสอนเรื่อง “การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมต้นแบบนี้ อาศัย

หลักการการแทนที่น้ำด้วยแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Chaitiamwong, 2007) เพื่อสามารถนำวิธีการทดลองต้นแบบนี้ไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอน สร้างความกระตือรือร้น ความสนุกสนานในการเรียนรู้ และยังแสดงให้เห็นว่าวิธีการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจริง (อะลูมิเนียมฟอยล์) ได้อีกด้วย

2. วิธีการศึกษา

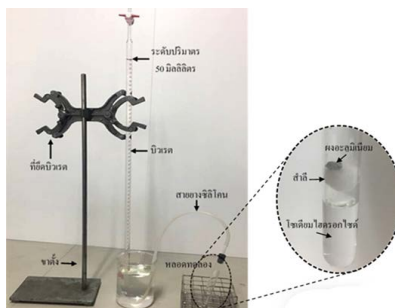
2.1 สารเคมีและอุปกรณ์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัทศึกษาภัณฑ์พาณิชย์ ใช้สำหรับทำปฏิกิริยากับผงอะลูมิเนียม (aluminium powder) เกรดวิเคราะห์ จาก HiMedia ประเทศอินเดีย ผงเหล็ก (Iron powder: Fe) ผงทองแดง (Copper powder: Cu) ลวดแมกนีเซียม (Magnesium ribbon: Mg) แผ่นตะกั่ว (Lead sheet: Pb) และแผ่นสังกะสี (Zinc plate: Zn) ใช้สำหรับการศึกษาสารรบกวน (interference study) ส่วนตัวอย่างจริงที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ อะลูมิเนียมฟอยล์ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองนี้ได้แก่ บิวเรต (burette) ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขาตั้ง และที่ยึดบิวเรตต์ (burette clamp) หลอดทดลองขนาดกลาง เพื่อบรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สาลี พาราฟิล์ม ไม้บรรทัด นาฬิกาจับเวลา จุกยาง และสายยางนำแก๊สขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) รุ่น MS Semi-Micro และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด/เอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX) รุ่น LEO 1450VP จากบริษัทเมเทเลอร์-โทเลโด จำกัด และบริษัท CARL ZEISS จำกัด ตามลำดับ

2.2 วิธีการทดลอง

จัดอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 1 เติมน้ำประปาลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ระดับน้ำอยู่ที่ 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นคว่ำบิวเรตและยึดบิวเรตให้ลอยอยู่เหนือบีกเกอร์ แล้วเลื่อนบิวเรตให้มาครอบปลายของหลอดแก้วนำแก๊ส (ที่ไม่ได้ต่อกับจุกยาง) เปิดก๊อกบิวเรตเพื่อดูดน้ำประปาจากบีกเกอร์ขึ้นไปในบิวเรตให้อยู่ที่ขีด 50.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นบรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในหลอดทดลอง ใส่สาลีขนาดพอเหมาะ ใช้แท่งแก้วดันสาลีให้อยู่เหนือสารละลาย ซึ่งผงอะลูมิเนียม (10 - 30 มิลลิกรัม) บันทึกรน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นเทผงอะลูมิเนียมลงบนสาลี (ภาพที่ 1 (ภาพขยาย)) นำจุกยางที่ต่อกับหลอดแก้วนำแก๊ส มาปิดหลอดทดลองให้แน่นแล้วพันด้วยพาราฟิล์ม เพื่อป้องกันแก๊สรั่ว เย้าหลอดทดลองให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สัมผัสกับผงอะลูมิเนียมบนสาลี และเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา (ไม่เห็นฟองแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้น) บันทึกรปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนและน้ำหนักเฉลี่ยของผงอะลูมิเนียม



ภาพที่ 1 การจัดอุปกรณ์และ (ภาพขยาย) หลอดทดลองที่บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สาลี และผงอะลูมิเนียมก่อนทำการทดลอง

การศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำอ้อยปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ แก๊สไฮโดรเจน (สมการที่ 1) (Chavanasporn *et al.*, 2011) ซึ่งปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นสามารถหาได้โดยการแทนที่น้ำ

2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

2.3.1 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 ความเข้มข้น คือ 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการทดลองทำนองเดียวกับวิธีการทดลอง (ข้อ 2.2) โดยชั่งอะลูมิเนียมหนัก 10 - 30 มิลลิกรัม พร้อมจับเวลาตั้งแต่เริ่มทำปฏิกิริยาจนกระทั่งสิ้นสุดปฏิกิริยา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อพิจารณาความเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และระยะเวลาเฉลี่ยในการทำปฏิกิริยาต่อครั้ง

2.3.2 ปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์

ปริมาตรที่เหมาะสมของน้ำในบีกเกอร์ ศึกษาโดยใช้ปริมาตรที่แตกต่างกัน คือ 400, 450, 500 และ 550 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการทดลอง (ข้อ 2.2) โดยชั่งอะลูมิเนียมหนัก 30 มิลลิกรัม ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร บันทึกความสูงของน้ำในบีกเกอร์ก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยา

2.3.3 ความยาวของสายยางนำแก๊ส

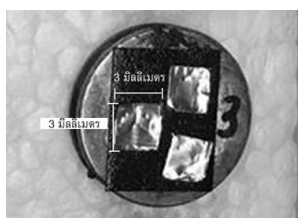
ความยาวของสายยางนำแก๊สที่เหมาะสม ศึกษาโดยใช้สายยางนำแก๊สขนาด 5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่พอดีกับท่อแก้วนำแก๊ส ที่มีความยาวแตกต่างกัน คือ 30, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการทดลอง (ข้อ 2.2) โดยชั่งอะลูมิเนียมหนัก 15 มิลลิกรัม ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมจับเวลาตั้งแต่เริ่มทำปฏิกิริยาจนกระทั่งสิ้นสุดปฏิกิริยา บันทึกปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น และระยะเวลาเฉลี่ยในการทำทดลองต่อครั้ง

2.4 การศึกษาสารรบกวน

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลรบกวนของโลหะต่าง ๆ ที่มีต่อการเกิดแก๊สไฮโดรเจน และโลหะที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ผงเหล็ก ผงทองแดง แผ่นตะกั่ว ลวดแมกนีเซียม และแผ่นสังกะสี โดยทำการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างผงอะลูมิเนียม (20 มิลลิกรัม) และโลหะต่าง ๆ ดังกล่าว ที่อัตราส่วนต่างกัน ดังนี้ 1:1, 1:2, 1: 5, 1:7 และ 1:10 ตามลำดับ ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.2 โดยชั่งอะลูมิเนียมหนัก 20 มิลลิกรัม และโลหะต่าง ๆ ที่ละชนิดตามอัตราส่วนข้างต้น ลงในหลอดทดลอง ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน ดังสมการที่ 2 (Chaitiamwong, 2007)

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = (\bar{x} - \mu) / \mu \times 100 \quad \text{----- (2)}$$

โดยกำหนดให้ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง และ μ คือ ค่าจริง



ภาพที่ 2 การติดตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด/เอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX)

2.5 การเตรียมตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น

การทดลองนี้ได้ใช้ตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ทำการทดลองโดยตัดตัวอย่างให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดตัวอย่างละ 20 มิลลิกรัม จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการทดลอง (ข้อ 2.2) บันทึกปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น แล้วนำไปคำนวณหาหน้าหนักของอะลูมิเนียมในตัวอย่าง นอกจากนี้ได้นำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นไปเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด/เอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการศึกษานี้ และจากภาพที่ 2 แสดงการติดตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ลงบนเทปกาวยาวสองหน้าติดบน stub เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมด้วยวิธีมาตรฐาน (SEM/EDX)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

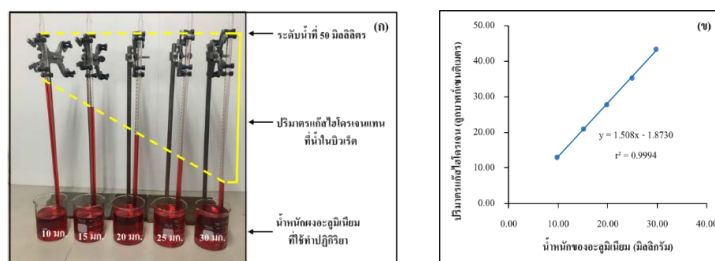
จากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ แก๊สไฮโดรเจน (สมการที่ (1)) และจากสมการที่ (1) อะลูมิเนียม คือสารที่ต้องการวิเคราะห์ (analyte) และแก๊สไฮโดรเจนเป็นสารผลิตภัณฑ์ (product) ซึ่งถ้าหากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณมากเกินไป ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับปริมาณของอะลูมิเนียมหรือที่เรียกว่า สารกำหนดปริมาณ (limiting agent) ตามหลักการของปริมาณสารสัมพันธ์ (Sripirojna, 2004) นอกจากนี้หากพิจารณาจำนวนโมลของแก๊สที่เกิดขึ้น จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาตรของแก๊สดังสมการของแก๊สในอุดมคติ (ideal gas) (สมการที่ 3)

$$PV = nRT \quad \text{----- (3)}$$

ดังนั้นหากเราทราบปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้นที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊สดังนั้น และสำหรับในการทดลองนี้ อุณหภูมิขณะทำการทดลองคงที่ (29 องศาเซลเซียส) ส่วนความดันนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิ ความดันบรรยากาศ ความดันไอน้ำอิ่มตัว และความดันเนื่องจากความสูงของระดับน้ำในบิวเรต เป็นต้น แต่ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองนี้ได้สร้างกราฟมาตรฐาน จึงทำให้ปัจจัยเหล่านี้รวมอยู่ในสมการเส้นตรงแล้ว ดังสมการที่ 4

$$V = k \cdot g \quad \text{----- (4)}$$

โดยกำหนดให้ V คือ ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น; g คือ น้ำหนักของอะลูมิเนียมหรือตัวอย่าง และ k คือ ค่าคงที่

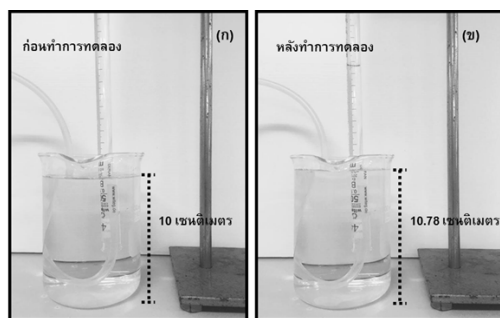


ภาพที่ 3 ภาพถ่าย (ก) และกราฟ (ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเมื่อผงอะลูมิเนียมน้ำหนักแตกต่างกันทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์

ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงสามารถพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอะลูมิเนียมจากปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากสมการที่ 1 มาประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้หลักการของปริมาณสารสัมพันธ์และการวิเคราะห์เชิงปริมาณควบคู่กันไปด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่าเมื่อน้ำหนักของอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจน

ที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของปริมาณสารสัมพันธ์ นอกจากนี้พบว่าวิธีการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้ หากครูผู้สอนต้องการแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับหลักการได้ชัดเจนมากขึ้น สามารถจัดชุดการทดลองสาธิตที่มีการใช้น้ำหนักของผงอะลูมิเนียมที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3 (ก)) เพื่อแสดงให้เห็นนักเรียนเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงระหว่างน้ำหนักของสารตั้งต้น และปริมาตรของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นตามสมการที่ 1 ได้ด้วย และเมื่อนำผลการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนและน้ำหนักผงอะลูมิเนียม (กราฟมาตรฐาน) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมพอยล์ตัวอย่างได้ ดังภาพที่ 3 (ข)

ปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์ สำหรับน้ำในบีกเกอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ น้ำประปา ทั้งนี้เพราะน้ำในบีกเกอร์ไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง และยังสามารถหาได้ง่าย ราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกลั่น ซึ่งในการศึกษาปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์จะมีผลต่อระดับความสูงของน้ำในบีกเกอร์หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลงแล้ว จากผลการทดลองพบว่า เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาระดับน้ำในบีกเกอร์จะเพิ่มสูงขึ้น และในการศึกษานี้เลือกน้ำประปาในบีกเกอร์ที่ปริมาตรเท่ากับ 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปริมาตรน้ำในบีกเกอร์หลังสิ้นสุดปฏิกิริยาไม่มากเกินไป ซึ่งหากมากเกินไปอาจทำให้ล้นออกข้างนอกบีกเกอร์ได้ นอกจากนี้บีกเกอร์ขนาด 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ยังมีขนาดใหญ่พอเหมาะที่ง่ายต่อการนำสายยางนำแก๊สเข้าใส่ในบิวเรตอีกด้วย และจากภาพที่ 4 แสดงภาพถ่ายการวัดระดับความสูงของน้ำในบีกเกอร์ก่อนและหลังทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการวัดความสูงของระดับน้ำประปาในบีกเกอร์ปริมาตร 550 มิลลิลิตร ก่อน (ก) และหลัง (ข) การทำปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

หมายเหตุ * ผงอะลูมิเนียมหนัก 30 มิลลิกรัม และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์

ความยาวของสายยางนำแก๊ส เนื่องจากความยาวของสายยางนำแก๊สไม่ส่งผลต่อปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามหลักของปริมาณสารสัมพันธ์ แต่อาจส่งผลกระทบต่อระยะเวลาเฉลี่ยในการทำการทดลอง และความสะดวกในการทำการทดลอง ดังนั้นจากผลการศึกษาความยาวที่เหมาะสมของสายยางนำแก๊ส พบว่าระยะเวลาในการทำการทดลองจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความยาวของสายยางนำแก๊สเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงการจัดอุปกรณ์ พบว่าสายยางนำแก๊สที่มีความยาวเท่ากับ 30-40 เซนติเมตรนั้นสั้นเกินไป ทำให้สายยางหลุดออกจากปลายบิวเรตได้ง่าย ซึ่งไม่สะดวกในการทำการทดลอง และหากนักเรียนทำการทดลองอาจทำให้ทำการทดลองล่าช้า เพราะจะต้องจัดอุปกรณ์ใหม่อีกครั้ง อีกทั้งยังทำให้การเขย่าหลอดทดลองไม่สะดวกอีกด้วย ในขณะที่สายยางนำแก๊สยาว 60 เซนติเมตร พบว่ามีความยาวที่มากเกินไป ทำให้สิ้นเปลือง อีกทั้งยังมีผลต่อการจัดเก็บอุปกรณ์อีกด้วย และจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สายยางนำแก๊สที่มีความยาวเท่ากับ 50 เซนติเมตร เป็นความยาวที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป

3.2 คุณลักษณะเฉพาะทางการวิเคราะห์ (analytical characteristics)

ทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสม นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน พบว่ามีสมการเส้นตรงคือ $y = 1.5079x - 1.8504$ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9993 (ภาพที่ 3 (ข)) และเมื่อนำมาคำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจวัด (3SD) และค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (10SD) พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.78 และ

3.03 มิลลิกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำ โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ 1: ความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำในวันเดียวกัน (intra-day) และชนิดที่ 2: ความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำระหว่างวัน (inter-day) จากการศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำที่ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมหนัก 20 มิลลิกรัม พบว่ามีค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (%RSD; $n = 5$) เท่ากับ 0.54 และ 0.71 ตามลำดับ

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่างอะลูมิเนียมพอยล์

การศึกษากการหาปริมาณของอะลูมิเนียมในตัวอย่างอะลูมิเนียมพอยล์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดโดยอาศัยการแทนที่น้ำของแก๊สไฮโดรเจน (วิธีที่พัฒนาขึ้น) ตัวอย่างที่นำมาศึกษาทั้งหมด 5 ตัวอย่าง โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่างอะลูมิเนียมพอยล์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ได้นำไปศึกษาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด/เอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ด้วยการนำมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าที (paired t -test method) และจากผลการศึกษาพบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของอะลูมิเนียมในตัวอย่างที่วิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี วิธีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) (Somnam, 2014)

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการทดลองต้นแบบสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมโดยอาศัยหลักการการแทนที่น้ำของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยมีสภาวะที่เหมาะสมดังนี้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 โมลาร์ ปริมาตรน้ำในบีกเกอร์ 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ขนาดบีกเกอร์ 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร) และความยาวสายยางนำแก๊สที่ 50 เซนติเมตร จากวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าวิธีการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้เป็นวิธีการทดลองต้นแบบสำหรับการเรียนการสอนเรื่อง “การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” ผ่านการทดลองที่ทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน ตลอดจนการวิเคราะห์ปริมาณด้วยอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการและราคาไม่แพง อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้กับโรงเรียนที่ขาดแคลนทุนทรัพย์ ทำให้นักเรียนได้เข้าใจในหลักการของปริมาณสารสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของอะลูมิเนียมและปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ด้วยการเห็นภาพปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดจากการทดลองซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี รวมทั้งสร้างความกระตือรือร้น ความสนุกสนานในการเรียนรู้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการทดลองจากภาควิชาเคมี และศูนย์กล้องจุลทรรศน์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอขอบคุณคณะผู้บริหารและครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนบึงคำวิทวิทยาคม จังหวัดยโสธร ที่ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนแก่ผู้ทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- Chaitiamwong, S. 2007. *Analytical Chemistry Laboratory*. Chulalongkorn University Printing House, Bangkok. (in Thai)
- Chavanasorn, W., C. Randorn, and K. Thampanishvong. 2011. *An Analysis of Hydrogen Generation from Recyclable Aluminium Cans*. Journal of Environmental Management. 7(1): 43-58.
- Costa, B.E.D.S., N.M.M. Coelho and L.M. Coelho. 2015. *Determination of arsenic species in rice samples using CPE and ETAAS*. Food Chemistry. 178(1): 89-95.
- Cutima K. 2018. *General Chemistry 2*. 14th ed. Chulalongkorn University Printing House, Bangkok. (in Thai)

- Fathi, M.R., N. Pourreza and Z. Ardan. 2011. **Determination of aluminium in food samples after preconcentration as aluminon complex on microcrystalline naphthalene by spectrophotometry.** Química Nova. 34(3): 404-407.
- Huseyinli, A.A., R. Alievaa, S. Hacıyevaa and T. Guray. 2009. **Spectrophotometric determination of aluminium and indium with 2,2,3,4-tetrahydroxy-3,5-disulphoazobenzene.** Journal of Hazardous Materials. 163(1): 1001-1007.
- Iron and steel Institute of Thailand. 2015. **Aluminium.** <http://iiu.isit.or.th/th/reports/InDepth%20Research%20Report/download.aspx?Content.pdf>. Accessed 1 May 2018.
- Iwakoshi, K., Y. Shiozawa, Y. Yamajima, I. Baba, K. Monma, C. Kobayashi and T. Sasamoto. 2019. **Determination of nine preservatives in processed foods using a modified QuEChERS extraction and quantified by HPLC-PDA.** Food Additives & Contaminants: Part A. 36(7): 1020-1031.
- Khanhuathon, Y., W. Siriangkhawut, P. Chantiratikul and K. Grudpan. 2015. **Spectrophotometric method for determination of aluminium content in water and beverage samples employing flow-batch sequential injection system.** Journal of Food Composition and Analysis. 41(1): 45-53.
- Liu, S., P. Zhang, H. Liu, W. Wang, and K. Lian. 2013. **Determination of trace mercury in cosmetics by suspension-sampling hydride generation atomic fluorescence spectrometry.** Asian Journal of Chemistry. 25(13): 7315-7318.
- Lopez, F.F., C. Cabrera, M.L. Lorenzo and M.C. Lopez. 2002. **Aluminium content of drinking waters, fruit juices and soft drinks: contribution to dietary intake.** The Science of the Total Environment. 292(1): 205-213.
- Muncharoen, S., J. Sitanurak, W. Tiyapongpattana, N. Choengchan, N. Ratanawimarnwong, S. Motomizu, P. Wilairat and D. Nacapricha. 2009. **Quality control of gasohol using a micro-unit for membraneless gas diffusion.** Microchim Acta. 164(1): 203-210.
- Noordiana, N., A.B. Fatimah and Y. C. B. Farhana. 2011. **Formaldehyde content and quality characteristics of selected fish and seafood from wet markets.** International Food Research Journal. 18(1): 125-136.
- Oliveira Arias, de J.L., R.B. Rocha, A.L.Q.S. Santos, L.C. Marube, L. Kupski, S.S. Caldas and E.G. Prime. 2019. **Fast and simple method of simultaneous preservative determination in different processed foods by QuEChERS and HPLC-UV: Method development, survey and estimate of daily intake.** Food Chemistry. 293(1): 112-119.
- Park, J., S. Choi, D. Oh and J-H. Mah. 2017. **Simultaneous and rapid analysis of chemical preservatives in processed animal products by ultra-performance liquid chromatography.** Food Sci Biotechnol. 27(1): 291-298.
- Pourghazi, K., M.D. Diva and S. Karimi. 2017. **Extraction, Preconcentration and Spectrometric Determination of Al (III) and Cr (III) Ions using Modified MnFe_2O_4 Nanoparticles as an Efficient Adsorbent.** Nanochem Res. 2(2): 223-229.

- Rodrigues, J.L., de C.S. Magalhaes and P.O. Luccas. 2005. **Flow injection spectrophotometric determination of Al in hemodialysis solutions.** Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 36(1): 1119-1123.
- Sahu, R.K. and S.S. Hiremath. 2017. **Synthesis of Aluminium Nanoparticles in A Water/Polyethylene Glycol Mixed Solvent using μ -EDM.** Materials Science and Engineering. 225(1): 1-8.
- Saiyed, S.M. and R. Yokel. 2005. **Aluminium content of some foods and food products in the USA, with aluminium food additives.** Food Additives and Contaminants. 22(3): 234-244.
- Scancar, J., V. Stibilj and R. Milacic. 2004. **Determination of aluminium in Slovenian foodstuffs and its leachability from aluminium-cookware.** Food Chemistry. 85: 151-157.
- Seruga, M., J. Grgi and M. Mandi. 1994. **Aluminium content of soft drinks from aluminium cans.** Z Lebensm Unters Forsch. 198(1): 313-316.
- Siriangkhwut, W., S. Tontrong and P. Chantiratikul. 2013. **Quantitation of aluminium content in waters and soft drinks by spectrophotometry using Eriochrome Cyanine R.** Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 4(3): 1154-1161.
- Somnam S. 2014. **Analytical Chemistry.** 1st ed. Chulalongkorn University Printing House, Bangkok. (in Thai).
- Soni, M.G., S.M. White, W.G. Flamm, and G.A. Burdock. 2001. **Safety Evaluation of Dietary Aluminum.** Regulatory Toxicology and Pharmacology. 33(1): 66-79.
- Soylak, M. and A. Aydin. 2011. **Determination of some heavy metals in food and environmental samples by flame atomic absorption spectrometry after coprecipitation.** Food and Chemical Toxicology. 49(1): 1242-1248.
- Supian, S.M., T.L. Ling, L.Y. Heng and K.F. Chong. 2013. **Quantitative determination of Al(III) ion by using Alizarin Red S including its microspheres optical sensing material.** Analytical Methods. 5(1): 2602-2609.
- Sripirojna, P. 2004. **Basic Chemistry 1.** 2nd ed. So.Pichit Printing Co.,Ltd, Bangkok. (in Thai)

(Received: 23/Sep/2019, Revised: 2/May/2020, Accepted: 9/May/2020)