

O-P23

การวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำโดยเทคนิคโฟลอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

นพมาศ เขาแก้ว และเฉลิมพร ทองพูน*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

*Corresponding author email; cthongpoon@gmail.com

บทคัดย่อ

การใช้เทคนิคโฟลอินเจกชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี สำหรับตรวจวัดปริมาณอะลูมิเนียม ในตัวอย่างน้ำ โดยใช้สารอะลิซาริน เป็นรีเอเจนต์ ซึ่งอะลิซาริน เป็นสารประกอบกลุ่มแอนทราควิโนน เมื่อทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียม จะได้สารประกอบสีแดงซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 490 นาโนเมตร วิธีนี้ทำได้โดยการฉีดสารละลายตัวอย่างประมาณ 300 ไมโครลิตร เข้าสู่กระแสตัวพา ซึ่งประกอบด้วยรีเอเจนต์ที่เป็นอะลิซารินเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ และใช้บัฟเฟอร์อะซิเตตเข้มข้น 0.005 โมลาร์ พีเอช 4.5 เป็นสารตัวพา ที่อัตราการไหล 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อสารตัวอย่างถูกพาเข้าสู่โฟลรูเซลล์ สัญญาณจะถูกบันทึกออกมาเป็นฟังก์ชันของเวลา ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษามลของอัตราการไหล ความเข้มข้นของรีเอเจนต์ ความเข้มข้นของสารตัวพา ความยาวของมิกซิงคอยล์ และปริมาตรของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ วิธีนี้มีความไวในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม ช่วงที่ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 1-10 พีพีเอ็ม ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.093 พีพีเอ็ม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม โดยฉีดทั้งหมด 11 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 0.617 เปอร์เซ็นต์ สามารถตรวจวัดได้ 45 ตัวอย่างต่อชั่วโมง วิธีนี้ถูกพัฒนาเพื่อวิเคราะห์อะลูมิเนียมในตัวอย่างน้ำ ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ง่าย ประหยัด สะดวก รวดเร็ว และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะใช้ปริมาณสารตัวพา สารรีเอเจนต์และสารเคมีประมาณ 3.7 มิลลิลิตร ต่อการวิเคราะห์ตัวอย่างหนึ่งตัวอย่าง

คำสำคัญ: เทคนิคโฟลอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี อะลิซาริน อะลูมิเนียม

Flow Injection Spectrophotometric Determination of Aluminium in Water

Noppamas Khaokaew and Chalernporn Thongpoon*

Faculty of science and technology Pibulson Rajabhat University

*Corresponding author email; cthongpoon@gmail.com

Abstract

A flow injection (FIA) spectrophotometric method was developed for the determination of aluminium in water samples. The alizarin red S reagent belongs to anthraquinone compounds which could be reacted with Al^{3+} to form reddish complexes had maximum absorption wavelength at 490 nm. The FIA method was carried out by injecting a 300 μ l of samples solution into the streams containing 1.0 mM alizarin red S reagent and 0.005 M acetate buffer pH 4.5 with appropriate flow rates 2.8 ml/min. As soon as the sample zone reached the flow thorough cell, the FIA signal was recorded as a function of time. Effects of reagent concentration, carrier concentration, flow rates, mixing coil lengths and sample injected volume were also investigated. A sensitive method for determination of aluminium in concentration range of 1-10 ppm, with detection limit of 0.093 ppm was achieved. Relative standard deviation of 0.617% was obtained for the determination of 5 ppm Al^{3+} (n=11). Sample throughput was 45 h^{-1} for 3.7 ml of carrier

and reagent solution per injection. The developed method was successfully applied to water samples. The method is simple, fast, economical and could be classified as a green analytical method.

Keywords: Flow injection (FIA), Alizarin red S-, Aluminium

บทนำ

อะลูมิเนียม (Aluminum) มีการสะสมและแพร่กระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติทั้งใน ดิน น้ำ และอาหาร ส่วนใหญ่แล้วอะลูมิเนียมจะเข้าสู่ร่างกายผ่านทางอาหาร น้ำดื่ม เครื่องดื่ม ยา เครื่องสำอาง และการใช้เครื่องครัว อะลูมิเนียมในการประกอบอาหาร ถึงแม้ว่าอะลูมิเนียมจะไม่เป็นพิษต่อร่างกายโดยตรงแต่อะลูมิเนียมเป็นสารประกอบโลหะหนักซึ่งสามารถสะสมภายในร่างกาย และอาจก่อให้เกิดโรคเช่น โรคสมองเสื่อม กระดูกเสื่อม เป็นพิษต่อระบบประสาท ทำให้เกิดความผิดปกติของหลอดเลือด ในชีวิตประจำวัน การสะสมของอะลูมิเนียมมีปริมาณมากขึ้นจากการใช้ยาลดกรด การบริโภคสารปรุงแต่งอาหาร การดื่มน้ำ การบริโภคอาหารที่ปรุงจากเครื่องครัวอะลูมิเนียม และการสูดดมฝุ่นละออง^[1] ตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization;WHO) อนุญาตให้มีปริมาณอะลูมิเนียมปนเปื้อนในน้ำดื่มเพียง 0.2 mgL^{-1} เท่านั้น^[2] ได้มีรายงานของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ พิษณุโลก ตรวจพบการปนเปื้อนอะลูมิเนียมในน้ำดื่มในพื้นที่น้ำท่วมในจังหวัดพิษณุโลกในช่วงความเข้มข้น $0.06\text{--}0.42 \text{ mgL}^{-1}$ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของคนในชุมชนนั้นๆ^[3]

เทคนิคการวิเคราะห์อะลูมิเนียมที่นิยมใช้คือ flame/electrothermal atomic spectrometry (ICP-AES) วิเคราะห์ควบคู่ไปกับ plasma-mass spectrometry (ICPMS) การใช้ไฟฟ้ากระแสตรง plasma - atomic emission spectrometry (DCP-AES) และการวิเคราะห์ด้วยการกระตุ้นนิวตรอน (neutron) ซึ่งวิธีเหล่านี้ค่อนข้างมีค่าใช้จ่ายสูงต้องมีต้นทุนในการดำเนินงาน ในปัจจุบันมีวิธีใหม่ๆที่สามารถลดต้นทุนในการวิเคราะห์ สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว และใช้สารเคมีน้อยลงโดยใช้เทคนิคโฟลวอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ มีต้นทุนในการทดลองไม่สูงมาก และสามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วโดยพื้นฐานเทคนิคโฟลวอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี จะมี spectrophotometric หรือ fluorimetric เป็น detection ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ สเปกโตรโฟโตเมตรี ในการตรวจวัด ซึ่งสามารถใช้งานได้ สะดวก ง่าย และมีอยู่ในห้องปฏิบัติการทางเคมีทั่วไป โดยเลือกใช้ อะลิซาริน เป็นรีเอเจนต์ ซึ่งเมื่อ อะลิซาริน ทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียม เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีแดง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะแสดงคุณภาพน้ำที่ทำการวิเคราะห์ในแหล่งชุมชนนั้นๆ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์กับการเลือกอุปกรณ์และบริโภคน้ำอีกด้วย^{[2]-[4]}

เครื่องมือ

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Shimadzu รุ่น UV-1601
2. เเพอร์ิสตอลติกปั๊ม 2 ช่อง Ismatec Reglo
3. เครื่องคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์เครื่องแก้ว

ขวดวัดปริมาตร ปีกเกอร์ หลอดทดลอง แท่งแก้วคนสาร ปิเปต กระจกบดวง ลูกยาง ขวดเก็บสาร

สารเคมี

1. Aluminium chloride hydrated, $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 82.03 \text{ g/mol}$
2. Alizarin red s, $\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Na}_2\text{O}_7\text{S} = 241.43 \text{ g/mol}$
3. Sodium acetate anhydrous, $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2 = 82.03 \text{ g/mol}$
4. Acetic acid (glacial), $\text{CH}_3\text{COOH} = 60.05 \text{ g/mol}$

การวิจัยครั้งนี้เป็น 3 ส่วน โดยแต่ละส่วนมีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาสัดส่วนตัวทำละลายที่เหมาะสมในการละลายสารอะลิซาริน

ซึ่งอะลิซาริน 20 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร จำนวน 11 หลอด เติมสารผสม
เอทานอล ต่อหน้า ในอัตราส่วน 10:0 9:1 8:2 7:3 6:4 5:5 4:6 3:7 2:8 1: 0:10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
ตามลำดับ ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล
สเปกโตรโฟโตเมตรี

ส่วนที่ 2 ศึกษาการออกแบบระบบฟลออโรเจเนชันสเปกโตรโฟโตเมตรีเพื่อวิเคราะห์อะลูมิเนียม

กำหนดให้ mixing coil 100 เซนติเมตร, อัตราการไหล 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ค่าการดูดกลืนแสง 480 นาโนเมตร ความเข้มข้นของอะลิซาริน 1 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของอะลูมิเนียม 20 40 และ 60 พีพีเอ็ม อะซิเตทบัฟเฟอร์ 1 โมลาร์ pH 4.5

ระบบที่ 1 กำหนดให้ น้ำ เป็นกระแสน้ำและอะลิซารินเป็นรีโอเจนต์ จากนั้นทำการฉีดอะลูมิเนียมเข้าสู่ระบบโพลีอินเจคชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

ระบบที่ 2 กำหนดให้ อะซิเตทบัฟเฟอร์ เป็นกระแสดั้วพาและอะลิซาริน เป็นรีเอเจนต์ จากนั้นทำการฉีด
อะลิมีเนียมเข้าสู่ระบบโพลินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

ระบบที่ 3 กำหนดให้ อะลิซาริน เป็นกระแสตัวพาและน้ำ เป็นรีโอเจนต์ จากนั้นทำการฉีดอะลูมิเนียมเข้าสู่ระบบโพลีอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

ระบบที่ 4 กำหนดให้ อะลิซาริน เป็นกระแสตัวพาและอะซิเตทบัฟเฟอร์ เป็นรีเอเจนต์ จากนั้นทำการฉีด อะลูมิเนียมเข้าสู่ระบบโฟลอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ

ตารางที่1 งานวิจัยที่วิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยเทคนิคต่างๆ

เทคนิคที่ใช้	ตัวอย่าง	การเตรียมตัวอย่าง	Linear range	LOD	LOQ	References
Flow injection spectrophotometry	ใบชา	แช่ในน้ำ 100 mL ต้ม 100 องศา นาน 1 ชั่วโมง	0.1-1 mg ⁻¹ L	0.05 mgL ⁻¹	ไม่ระบุ	Tontrong& Jakmunee 2012
Reverse flow injection spectrophotometric	น้ำปะปา	ย่อยด้วยกรดไนตริกโดยเติมกรดไนตริก 12.5 mL ต่อ น้ำ 250 mL	0.02-0.50 mgL ⁻¹	0.007 mgL ⁻¹	0.024mgL ⁻¹	Norfun& Liawraungrath 2010
spectrophotometry	น้ำปะปา	ย่อยด้วยกรดไนตริก ความเข้มข้น 3 M 8 mL ต่อน้ำ 250 mL นาน 1 ชั่วโมง	4-400 ngmL ⁻¹	0.14 ngmL ⁻¹	ไม่ระบุ	Shokrollahi& Ghaedi 2007

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ และช่วงที่ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

พารามิเตอร์	ช่วงที่ทำการศึกษา
ความเข้มข้น อะลิซาริน	0.1, 0.5, 1, 2, 4, 10 mM
ความเข้มข้น อะซิเทรทบัฟเฟอร์	0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 M

พารามิเตอร์	ช่วงที่ทำการศึกษา
pH ของ อะซิเตทบัฟเฟอร์	pH 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5
ความยาว Mixing coil	25, 50, 100, 150, 200, 250 cm
Sameplimg loop	50, 100, 200, 300, 400, 500 μ L
อัตราการไหลของสาร	1.4, 2.8, 5.4, 7.9, 13 mL/min
ความยาวคลื่น	450, 460, 470, 480, 490, 500 nm

2. ศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ฉีดสารมาตรฐานอะลูมิเนียมที่มีความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 พีพีเอ็ม เข้าไปในระบบโพลีอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

3. ศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

ฉีดสารมาตรฐานอะลูมิเนียมที่มีความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม จำนวน 11 ครั้ง เข้าสู่ระบบโพลีอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี จากนั้นนำ ค่าสัญญาณ ที่ได้มาคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

4. ศึกษาค่าความถูกต้อง (accuracy) ของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

ฉีดสารมาตรฐานอะลูมิเนียมที่มีความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม จำนวน 11 ครั้ง เข้าสู่ระบบโพลีอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์} = \frac{\text{ค่าที่วัดได้} - \text{ค่าที่แท้จริง} \times 100}{\text{ค่าที่แท้จริง}}$$

$$\text{ค่าความถูกต้องสัมพัทธ์} = \frac{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้} \times 100}{\text{ค่าที่แท้จริง}}$$

5. ศึกษาขีดต่ำสุดของการวิเคราะห์ LOD และ LOQ

ฉีด sameple blank จำนวน 3 ครั้ง เข้าไปในระบบโพลีอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี จากนั้นนำ ค่าสัญญาณที่ได้ มาคำนวณหาค่า LOD และ LOQ ได้จากสูตร

$$\text{LOD} = \text{ค่าเฉลี่ยของ sample blank} + 3\text{SD}$$

$$\text{LOQ} = \text{ค่าเฉลี่ยของ sample blank} + 10\text{SD}$$

6. ศึกษา % การคืนกลับ

การศึกษา % การคืนกลับของเทคนิคโพลีอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ในการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียม ทำการวิเคราะห์โดยการเติมสารมาตรฐานอะลูมิเนียม ที่ 3 ความเข้มข้นคือ 1 3 และ 5 พีพีเอ็ม ปริมาตร 0.25 0.75 และ 1.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบด้วยน้ำตัวอย่างที่ได้ทำการเก็บสำหรับการวิเคราะห์และนำไปฉีดเข้าสู่ระบบโพลีอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี เพื่อวิเคราะห์ผล

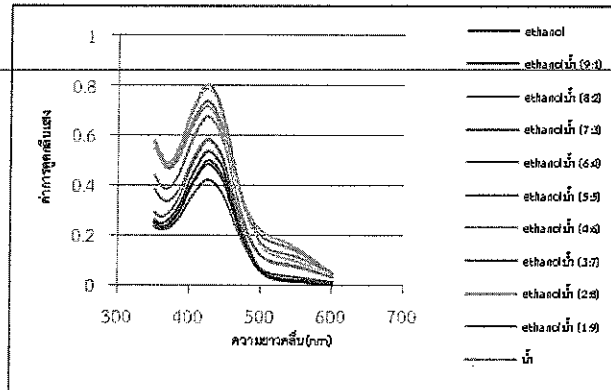
7. การวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียม ด้วยเทคนิคโพลีอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

การวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียม ในตัวอย่างน้ำดื่ม ที่ผ่านการทำให้ใสด้วยสารส้ม โดยทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง โดยฉีด 3 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่างเข้าสู่ระบบโพลีอินเจกชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ในสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้ ฉีดสารที่ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ในกระแสดั้วพาที่เป็น อะซิเตทบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์ พีเอช 4.5 และ อะลิซาริน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ เป็นรีเอเจนต์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที สารทั้งหมดทำปฏิกิริยาใน mixing coil 150 เซนติเมตร ก่อนเข้าการตรวจวัด ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในการตรวจวัด โดยเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ 490 นาโนเมตรจากนั้นบันทึกผลการทดลอง

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสัดส่วนตัวทำละลายที่เหมาะสมในการละลายสารอะลิซาริน

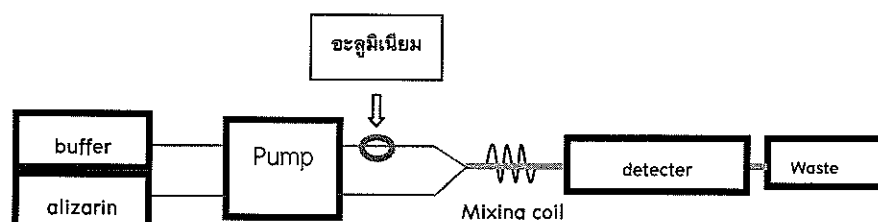
ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการละลายอะลิซาริน คือ อัตราส่วน เอทานอลต่อน้ำ ที่ 3 ต่อ 7 มิลลิตร ซึ่งให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 3



รูปที่ 1 ผลการศึกษาสัดส่วนตัวทำละลายที่เหมาะสมในการละลายสารอะลิซาริน

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาสัดส่วนตัวทำละลายที่เหมาะสม

หลอด ที่	น้ำหนักอะลิซาริน	อัตราส่วนเอทานอล ต่อ น้ำ (mL)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	20 mg	10:0	0.4999
2	20 mg	9:1	0.5358
3	20 mg	8:2	0.5840
4	20 mg	7:3	0.4832
5	20 mg	6:4	0.4215
6	20 mg	5:5	0.5836
7	20 mg	4:6	0.6735
8	20 mg	3:7	0.8025
9	20 mg	2:8	0.7872
10	20 mg	1:9	0.7357
11	20 mg	0:10	0.7157



รูปที่ 2 แสดงการออกแบบระบบโฟลอินเจคชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ระบบที่ 2

2. ผลการออกแบบระบบโฟลอินเจคชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

ระบบที่เหมาะสมในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม คือ ระบบที่ 2 ซึ่งให้ค่า sensitivity สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2

3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

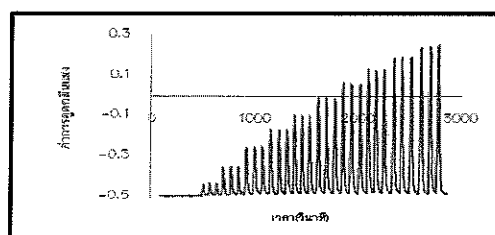
ตารางที่ 4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

parameters	ช่วงที่ทำการศึกษา	สภาวะที่ใช้
ความเข้มข้นของ Alizarin	0.1, 0.5, 1, 2, 4, 10 mM	1 mM
ความเข้มข้นของ acetate buffer	0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 M	0.005 M
pH ของ acetate buffer	pH 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5	pH 4.5
ความยาวของ mixing coil	25, 50, 100, 150, 200, 250 cm	150 cm
Injection volume	50, 100, 200, 300, 400, 500 μ L	300 μ L
อัตราการไหล	1.4, 2.8, 5.4, 7.9, 13 mL/min	2.8 mL/min
ความยาวคลื่น	450, 460, 470, 480, 490, 500 nm	490 nm

4. ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานและความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์

1. กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียม

สร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้อะลูมิเนียมความเข้มข้น 1 ถึง 10 พีพีเอ็ม ฉีดเข้าระบบโฟลอินเจคชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3 และตารางที่ 5

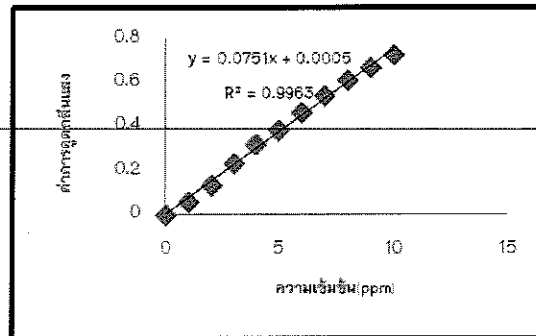


รูปที่ 3 FIA-grams ของสารมาตรฐานอะลูมิเนียม ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคโฟลอินเจคชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

ตารางที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานอะลูมิเนียม ที่ความยาวคลื่น 490 nm

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานอะลูมิเนียม	ABS			เฉลี่ย $\bar{x} \pm SD$
	1	2	3	
1	0.0554	0.0580	0.0529	0.0554 ± 0.0025
2	0.1324	0.1388	0.1350	0.1354 ± 0.0032
3	0.2298	0.2287	0.2355	0.2313 ± 0.00365
4	0.3177	0.3171	0.3156	0.3168 ± 0.0010
5	0.3858	0.3858	0.3872	0.3862 ± 0.0008
6	0.4693	0.4614	0.4643	0.4650 ± 0.0039
7	0.5451	0.5444	0.5370	0.5421 ± 0.0044
8	0.6095	0.6038	0.6112	0.6081 ± 0.0038
9	0.6667	0.6718	0.6700	0.6695 ± 0.0025
10	0.7211	0.7214	0.7297	0.7240 ± 0.0048

เมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของอะลูมิเนียม พบว่าได้กราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรง ในช่วงความเข้มข้น 1 ถึง 10 พีพีเอ็ม และมีค่า r^2 เท่ากับ 0.9963 แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์โคร์คูมินอยด์

2. ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานและความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์

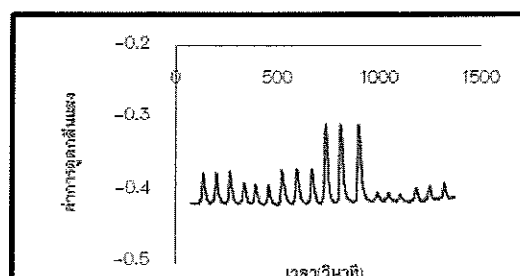
การศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ไม่ว่าจะเป็น ความถูกต้อง ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์และเปอร์เซ็นต์การกลับคืน โดยความผิดพลาดสัมพัทธ์ (relative error) ต้องไม่เกิน 10% ความถูกต้องสัมพัทธ์ (relative accuracy) ต้องอยู่ระหว่าง 90-110% ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (Precision) ในรูป %RSD ต้องน้อยกว่า 5% และค่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืนต้องอยู่ระหว่าง 95-115% จากการศึกษาพบว่าค่าต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานและความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์

Method vanidation	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Linear (mg/L)	1-10
r^2	0.9963
LOD (mg/l)	0.093
LOQ (mg/L)	0.307
Accuracy	
Relative error	0.93 %
Relative accuracy	99.07 %
Precision (% RSD)	0.62
% Recovery	
Sample +3 ppm	97.54
Sample +5 PPm	99.01

5. ผลการวิเคราะห์อะลูมิเนียมในตัวอย่างน้ำ

จากการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่างน้ำทั้ง 6 ตัวอย่าง ผลปรากฏทั้ง 6 ตัวอย่างมีอะลูมิเนียมปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.1114 - 0.5406 mg/L⁻¹ ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก โดยกำหนดให้มีอะลูมิเนียมปนเปื้อนในน้ำดื่มได้เพียง 0.2 mg/L⁻¹ ดังแสดงในรูปที่ 5 และ ตารางที่ 7



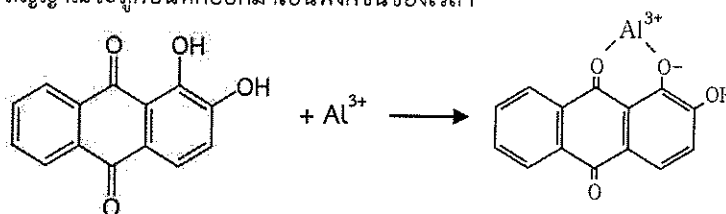
รูปที่ 5 FIA-grams การวิเคราะห์อะลูมิเนียมในตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์อะลูมิเนียมในตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย	ความเข้มข้นของอะลูมิเนียม mg/L^{-1}
1	0.0401	0.0406	0.54 ± 0.03
	0.0382		
	0.0435		
2	0.0288	0.0266	0.35 ± 0.03
	0.0275		
	0.0235		
3	0.0452	0.0459	0.61 ± 0.01
	0.0474		
	0.0452		
4	0.1057	0.1054	1.38 ± 0.01
	0.1033		
	0.1039		
5	0.0082	0.0083	0.11 ± 0.02
	0.0101		
	0.0068		
6	0.0170	0.0169	0.22 ± 0.03
	0.0139		
	0.0199		

สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาวิธีโฟลโอสันเจชันอะนาไลซิส เพื่อใช้ในการตรวจวัดอะลูมิเนียมไอออน โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเทคนิค โดยใช้อะลิซาริน เป็นรีเอเจนต์ ซึ่งอะลิซาริน เป็นสารประกอบกลุ่มแอนทราควิโนน เมื่อทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียม เกิดเป็นสารประกอบสีแดงซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด 490 นาโนเมตร และใช้บัฟเฟอร์อะซิเตด เข้มข้น 0.005 โมลาร์ พีเอช 4.5 เป็นสารตัวพา วิธีนี้ทำได้โดยการฉีดสารละลายตัวอย่างประมาณ 300 ไมโครลิตร เข้าสู่กระแสตัวพา ซึ่งประกอบด้วยรีเอเจนต์ที่เป็นอะลิซาริน เข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ และใช้บัฟเฟอร์อะซิเตด เข้มข้น 0.005 โมลาร์ พีเอช 4.5 เป็นสารตัวพา ที่อัตราการไหล 2.8 มิลลิลิตรต่อวินาที สารจะทำปฏิกิริยาภายใน มิกซิงคอยด์ ยาว 150 เซนติเมตร เมื่อสารตัวอย่างถูกพาเข้าสู่โฟลรูอเซลล์ และตรวจวัดโดยเครื่องสเปกโทโฟโตเมตริ สัญญาณจะถูกบันทึกออกมาเป็นฟังก์ชันของเวลา



อะลูมิเนียม

อะลิซาริน

รูปที่ 6 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมกับอะลิซาริน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอัตราการใช้ความเข้มข้นของรีเอเจนต์ ความเข้มข้นของสารตัวพา ความยาวของมิกซิงคอยล์ และปริมาตรของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม ช่วงที่ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 1-10 พีพีเอ็ม ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.093 พีพีเอ็ม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม โดยฉีดทั้งหมด 11 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 0.617 เปอร์เซ็นต์ สามารถตรวจวัดได้ 45 ตัวอย่างต่อชั่วโมง วิธีนี้ถูกพัฒนาเพื่อวิเคราะห์อะลูมิเนียมในตัวอย่างน้ำ ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ง่าย ประหยัด สะดวก รวดเร็ว และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะใช้ปริมาณสารตัวพา สารรีเอเจนต์และสารเคมีประมาณ 3.7 มิลลิลิตร ต่อการวิเคราะห์ตัวอย่างหนึ่งตัวอย่าง

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากการได้รับการสนับสนุนด้าน อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์ภายในศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากรที่ให้คำปรึกษา ไม่ว่าจะเป็นส่วนของสาขาวิชาเคมี สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์วิทยาศาสตร์ และ ทุกหน่วยงานที่มีส่วนช่วยสนับสนุนให้งานวิจัยลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

- TONTRONG, S., KHONYOUNG, S. & JAKMUNEE, J. (2010). Flow injection spectrophotometry using natural reagent from *Morinda citrifolia* root for determination of aluminium in tea. *Food Chemistry*, 132, 624-629.
- NORFUN, P., POJANAKAROON, T. & LIAWRAUNGRATH, S. 2010. Reverse flow injection spectrophotometric for determination of aluminium(III). *Talanta*, 82, 202-207.
- M. JAMALUDDIN AHMED *, J. H. 1995. Spectrophotometric determination of aluminium by morin. *Talanta*, 42, 1135-1142. SUMAIRAKHAN, TASNEEMG.KAZI, NIDAF.KOLACHI,JAMEELA.BAIGHASSANI.AFRIDI & FAHEEMSHAH 2011. A simple separation/preconcentration method for the determination of aluminum in drinking water and biological sample. *Desalination*, 281, 215-220.
- แมน อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. 2539. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ, กรุงเทพฯ, ชวนพิมพ์.
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2555. ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์พิษณุโลกเฝ้าระวังอะลูมิเนียมในน้ำดื่ม [ออนไลน์]