

การตรวจวัดอะลูมิเนียมไอออนอย่างง่ายด้วยเทคนิคการสังเกตด้วยตาเปล่า โดยใช้สารสกัดจากดอกชบาแดง

Simple Naked-eye Detection of Al^{3+} ion Using Flowers Extract of *Hibiscus rosa-sinensis* L.

สุนันตา ข้องสาย* ปวีณา ปรพัฒน์กุล** รุ่งนภา พิมเสน*** แנגน้อย แสงเสน่ห์***
และ นงเยาว์ เทพยา***

Sunanta Khongsai*, Paweena Porrawatkul**, Rungnapha Pimsen***,
Naengnoi Saengsane*** and Nongyao Teppaya***

บทคัดย่อ

ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดโลหะ Al^{3+} ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ด้วยเทคนิคการสังเกตด้วยตาเปล่าโดยใช้สารสกัดจากดอกชบาแดงเป็นตัวทำให้เกิดสารเชิงซ้อน ผลจากการศึกษาพบว่า Al^{3+} ไอออน สามารถเปลี่ยนสีของสารสกัดดอกชบาจากชมพูแดงเป็นม่วงอตราสีของการตรวจวัดโลหะต่อสารสกัดที่เหมาะสมคือปริมาตร 1:2 และพบว่าไอออนโลหะ แคตไอออน และแอนไอออนอื่นๆ ไม่มีผลรบกวนในการตรวจวัด สารสกัดจากดอกชบาแดงสามารถตรวจวัด Al^{3+} ที่ความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.1 ppm จากงานวิจัยนี้จะเห็นว่าสารสกัดจากดอกชบาแดงสามารถนำมาใช้ตรวจวัด Al^{3+} โดยใช้เทคนิคการสังเกตด้วยตาเปล่าได้ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ รวดเร็วและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การสังเกตด้วยตาเปล่า, ชบาแดง, อลูมิเนียม

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง e-mail: Ta045@hotmail.com

** อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
Corresponding author e-mail: paweena.n@gmail.com

*** อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Abstract

The determination of Al^{3+} ions at low concentration was developed using simple Naked-eye detection by colorimetric assay of *Hibiscus rosa-sinensis* L. flower extract as complexing agent. The result showed that the color of extracted flowers was changed from pink-red to purple when having Al^{3+} . The suitable detection between Al^{3+} solution and extracted flowers of *Hibiscus rosa-sinensis* L. was 1:2 ratio. The system of detection has no interference from other metal ions, cations and anions. The obtained flowers extract of *Hibiscus rosa-sinensis* L. could be employed for Al^{3+} detection at the lowest concentration of 0.1 ppm. As the results from this work, it can concluded that *Hibiscus rosa-sinensis* L. flower extract could detected Al^{3+} by naked-eye detection, which is the simple technique to analyze, rapid, convenient and environmental friendly technique.

Keywords: Naked-eye detection, Aluminum, *Hibiscus rosa-sinensis* L.

1. บทนำ

โลหะส่วนใหญ่มีผลกระทบต่อระบบชีวภาพ สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณน้อยซึ่งปกติจะมีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่า 1 mg/L (Wu, Huang & Du, 2009) ดังนั้นการตรวจวัดโลหะจึงมีความสำคัญเพราะโลหะกลุ่มนี้จะก่อให้เกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และระบบสิ่งแวดล้อมในปริมาณน้อยๆ ได้ (Barranguet, *et al.*, 2003) อะลูมิเนียมเป็นธาตุในคาบที่สองต่อจากธาตุเหล็กซึ่งมักจะอยู่ในรูปไอออนที่มีเลขออกซิเดชันเท่ากับสาม (Al^{3+}) ที่อยู่ในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์รวมถึงแหล่งน้ำในธรรมชาติ ถ้ามีปริมาณของอะลูมิเนียมไอออนบนพื้นผิวดิน และแหล่งน้ำมากจะส่งผลให้พืชล้มตาย (Delhaize & Ryan, 1995) ในปี ค.ศ.1997 องค์การอนามัยโลก หรือ WHO (World Health Organization) ได้กำหนดปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายในน้ำในสภาวะที่เป็นกลางอยู่ในช่วง 0.001 – 0.05 mg/L แต่ในน้ำที่มีสภาวะเป็นกรดหรือแหล่งน้ำที่มีสารอินทรีย์มากกำหนดให้มีอะลูมิเนียมอยู่ในช่วง 0.5 – 1 mg/L นอกจากนั้น WHO กำหนดไว้ว่าร่างกายจะได้รับอะลูมิเนียมต่อวันไม่เกิน 3 – 10 mg และไม่ควรเกิน 7 mg ต่อน้ำหนักตัว 1 Kg ซึ่งการบริโภคอะลูมิเนียมเข้าสู่ร่างกายโดยตรงจะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทที่เป็นสาเหตุให้เกิดโรคเช่น โรคพาร์กินสัน Parkinson's disease (PD) (Krejpcio & Wójciak, 2002) อัลไซเมอร์ Alzheimer's disease (AD) (Mendez-Aè, *et al.*, 2001) และโรคสมองอักเสบ (encephalopathy) (Viguier & Hulme, 2006) องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (The Environmental Protection Agency; EPA) ใช้เทคนิคต่างๆ ในการตรวจวัดปริมาณโลหะในน้ำดื่ม ได้แก่ Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy (ICP-ES), and X-ray fluorescence (Zietz, *et al.*, 2003) แม้ว่าวิธีดังกล่าวจะให้ค่าที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูง แต่เครื่องมือมีราคาแพง การเตรียมตัวอย่างซับซ้อน นอกจากนั้นต้องใช้นักวิเคราะห์ที่มีความชำนาญ

ในการใช้เครื่องมือ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคนิคสำหรับตรวจวัดโลหะโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือขั้นสูง ราคาถูก ง่ายและสะดวกในการตรวจวัด

ปัจจุบันมีการตรวจวัดโลหะโดยใช้เทคนิคการตรวจวัดสีด้วยเทคนิคการสังเกตด้วยตาเปล่า (Naked-eye method) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ รวดเร็ว และราคาถูก ไม่ต้องใช้เครื่องมือขั้นสูง โดยเฉพาะเทคนิคการสังเกตด้วยตาเปล่ายังไม่มีรายงานวิจัยมากนักในการศึกษาทั้งในเชิงปริมาณวิเคราะห์(Quantitative determination) ควบคู่กับคุณภาพวิเคราะห์(Qualitative determination) (Khaoodee, Aeungmaitrepirom & Tuntulani, 2014)

มีงานวิจัยที่ใช้เทคนิคดังกล่าวในการตรวจวัดโลหะไอออนของโลหะ เช่น งานวิจัยของ Orojloo และคนอื่นๆ (Orojloo & Amani, 2016) ตรวจวัดไอออนอะลูมิเนียม โดยใช้ 4-((2,4-dichlorophenyl)diazenyl)-2-(3-hydroxypropylimino)methylphenol ในตัวทำละลาย DMSO:H₂O ในอัตราส่วน 9:1 (Orojloo & Amani, 2016) จะเห็นว่ในงานวิจัยที่กล่าวมานั้นใช้ตัวตรวจวัดเป็นสารสังเคราะห์ และใช้ตัวทำละลายที่เป็นพิษ และมีงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดโลหะด้วยเทคนิค naked-eye โดยใช้สารสกัดจากธรรมชาติของ Khaoodee และคนอื่นๆ (Khaoodee, Aeungmaitrepirom & Tuntulani, 2014) ได้ศึกษาการตรวจวัดไอออนโลหะ Cu²⁺, Pb²⁺, Fe³⁺ และ Al³⁺ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณด้วยเทคนิค Naked-eye โดยใช้สารสกัดไซยานิดิน (Cyanidins) จากกะหล่ำปลีสีม่วงซึ่งสามารถตรวจวัดโลหะได้ในช่วงความเข้มข้นระดับไมโครโมลาร์ (μM) และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับเทคนิค ICP (Khaoodee, Aeungmaitrepirom & Tuntulani, 2014) และงานวิจัยของ Ukwueze และคนอื่นๆ (Ukwueze, Nwadinigwe & Okoye, 2009) ได้ศึกษาการตรวจวัดโลหะ Pb, Cd และ Cr โดยใช้ 5, 7-pentahydroxyflavylium ซึ่งได้จากการสารสกัดดอกชบา

จะเห็นว่าจากงานวิจัยดังกล่าวไม่ต้องใช้สารสังเคราะห์เป็นตัวตรวจวัดโลหะใช้สารสกัดจากพืชที่หาได้ง่าย และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการตรวจวัด Al³⁺ ด้วยเทคนิคการสังเกตด้วยตาเปล่า (Naked-eye detection) โดยใช้สารสกัดจากดอกชบาแดงที่พบในบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ตำบลท่าจั่ว อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช และได้มีการศึกษาเบื้องต้นแล้วว่าสารสกัดจากดอกชบาแดงมีความจำเพาะต่อ Al³⁺ ผู้วิจัยจึงจะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดและทดสอบประสิทธิภาพเชิงปริมาณวิเคราะห์

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 สารเคมี

อะลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl₃) น้ำกลั่น (Distillation water) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Concentration hydrochloric acid) ลวดแมกนีเซียม (Magnesium ribbon) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สารละลายของไอออน Co(NO₃)₂, MnSO₄·H₂O, ZnCl₂, CrCl₃·6H₂O, Pb(NO₃)₂, NaOH, Na₂SO₄, NaCO₃, KNO₃, NaF และ CaCl₂ จากบริษัท Fluka

2.2 เครื่องมือทางเคมี

UV-Visible Spectrophotometers (Thermo scientific), pH Meter (Proline), Fourier transform Infrared Spectrometer (Perkin Elmer (Spectrum one)/Bruker)

2.3 วิธีการวิจัย

2.3.1 การเตรียมสารสกัดจากดอกชบาแดง

เก็บตัวอย่างดอกชบาแดงจากบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ตำบลท่าจี้ อำเภอมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยนำดอกชบาแดงมาเฉพาะส่วนกลีบดอก ล้างน้ำให้สะอาดแล้วนำมาผึ่งลมให้แห้ง ซึ่งน้ำหนักกลีบดอกชบาแดงมา 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 80 mL นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่ออุณหภูมิคงที่นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง What man เบอร์ 1 จากนั้นนำสารสกัดดอกชบาแดงที่ได้มาระเหยน้ำออกโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary evaporator) เพื่อนำมาตรวจวัดอะลูมิเนียม (Al^{3+}) ด้วยเทคนิค Naked-eye detection

2.3.2 ศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดจากดอกชบาแดง

นำสารสกัดจากดอกชบาแดงมาทดสอบสารกลุ่มฟลาโวนอยด์โดยวิธี Shinoda (Shinoda's test) (Ravishankara, *et al.*, 2002) และนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ของดอกชบาแดงด้วยเทคนิค UV-Visible Spectrophotometry และ Fourier transform infrared spectroscopy

2.3.3 ศึกษาการตรวจวัดโลหะโดยเทคนิค Naked-eye Detection

2.3.3.1 หาพีเอชที่เหมาะสม โดยนำสารสกัดดอกชบาแดงความเข้มข้น 3,000 ppm มาหยดในภาตหลุมที่มี pH 1-13 และนำอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) ความเข้มข้น 100 ppm หยดในภาตหลุมจำนวน 2 หยด ตามลำดับ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นด้วยตาเปล่า เทียบกับสีของสารสกัด

2.3.3.2 ศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมในการตรวจวัดเพื่อหาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ โดยใช้ความเข้มข้นของสารสกัด 3,000 ppm กำหนดอัตราส่วนปริมาตรของสารสกัดดอกชบาแดง : ปริมาตรของสารละลายโลหะ Al^{3+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ และสังเกตความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายโลหะ Al^{3+} ที่มองเห็นการเปลี่ยนสีของสารสกัดด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า

2.3.3.3 ศึกษาสถานะของไอออนโลหะอื่นๆ และแคตไอออน แอนไอออนรบกวน โดยปิเปตต์สารสกัดจากดอกชบาแดงความเข้มข้น 3,000 ppm มา 1 mL ลงในคิวเวทจากนั้นเติมสารละลายอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) ความเข้มข้น 100 ppm และโลหะไอออนรบกวนต่างๆ ที่ความเข้มข้น 100 ppm 2 mL ผสมให้เข้ากันในคิวเวท หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 250 – 750 ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

2.3.4 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงปริมาณวิเคราะห์

ศึกษาสภาพไว (Sensitivity) และศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity) จากกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) โดยเตรียม Calibration curve ของโลหะ Al^{3+} ดังนี้

2.3.4.1 ผสมโลหะ Al^{3+} ความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 1.5 mL กับสารสกัดดอกชบาแดงความเข้มข้น 3,000 ppm ปริมาตร 1.5 mL (Total volume 3 mL) โดยปรับความ

เข้มข้นโลหะ Al^{3+} ใน 1.5 mL ให้ได้ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 15, 20, 25 และ 50 ppm ตามลำดับ

2.3.4.2 นำสารละลายที่เตรียมไว้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 580 nm โดยใช้สารสกัดจากดอกชบาแดงความเข้มข้น 3,000 ppm เป็น Blank เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของ Al^{3+}

2.3.4.3 นำผลค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานแล้วหาสภาพไอและช่วงความเป็นเส้นตรงจากกราฟ

2.3.5 ศึกษาขีดจำกัดการวิเคราะห์

เติมโลหะ Al^{3+} ปริมาตร 1.5 mL กับสารสกัดดอกชบาแดงความเข้มข้น 3,000 ppm ปริมาตร 1.5 mL (Total volume 3 mL) ลงในคิวเวท โดยปรับความเข้มข้นโลหะ Al^{3+} ใน 1.5 mL ให้ได้ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 15, 20, 25 และ 50 ppm นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 580 nm โดยใช้สารสกัดจากดอกชบาแดงความเข้มข้น 3,000 ppm เป็น Blank เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของโลหะ Al^{3+} นำค่าที่วัดได้ไปหาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และคำนวณค่าขีดจำกัดของการวิเคราะห์

2.3.6 ศึกษาความเที่ยงในการวิเคราะห์

2.3.6.1 เติมโลหะ Al^{3+} ความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 1.5 mL กับสารสกัดดอกชบาแดงความเข้มข้น 3,000 ppm ปริมาตร 1.5 mL (Total volume 3 mL) โดยปรับความเข้มข้นโลหะ Al^{3+} ใน 1.5 mL ให้ได้ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 15, 20, 25 และ 50 ppm

2.3.6.2 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 580 nm โดยใช้สารสกัดจากดอกชบาแดงความเข้มข้น 3,000 ppm เป็น Blank เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของโลหะ Al^{3+}

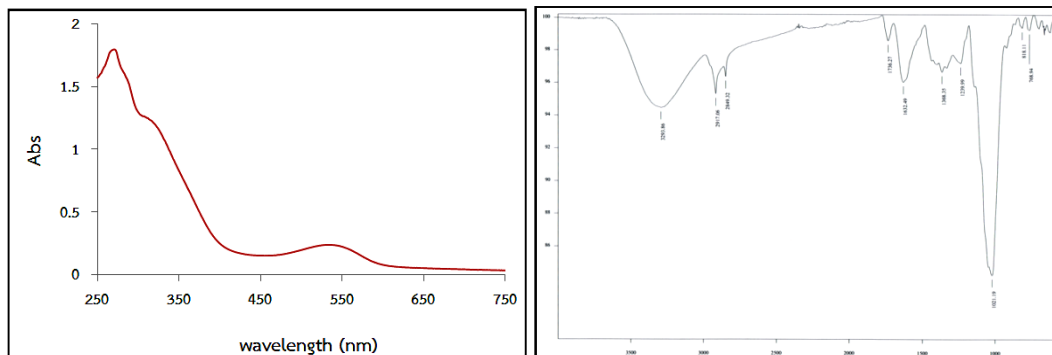
2.3.6.3 ทำซ้ำ 7 ครั้ง ที่แต่ละความเข้มข้นของโลหะ Al^{3+}

2.3.6.4 นำค่าที่วัดได้ไปหาค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และคำนวณค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดจากดอกชบาแดง

จากผลการตรวจสอบหาสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ในสารสกัดจากดอกชบาแดงด้วยวิธี Shinoda's test พบว่าสารสกัดจากดอกชบาแดงสามารถทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นและลวดแมกนีเซียมได้สารละลายสีส้ม-แดง แสดงให้เห็นว่ามีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ (Ravishankara, *et al.*, 2002) และยูวี-วิสิเบิลสเปกตรัมของสารสกัดจากดอกชบาแดงปรากฏแถบสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 250 – 400 nm แสดงดังภาพที่ 1(ก)ซึ่งคาดว่าเป็นแถบสเปกตรัมของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pedro ที่แสดงยูวี- วิสิเบิลสเปกตรัมของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ในช่วงความยาวคลื่น 300 – 550 nm (Pedro & Goncalo, 2012)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 1 (ก) ยูวี-วิสิเบิล สเปกตรัมของสารสกัดดอกขาแดง (ข) FTIR สเปกตรัมของสารสกัดดอกขาแดง

ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของสารสกัดจากดอกขาแดงโดยวิธี FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) แสดงดังภาพที่ 1(ข) สารสกัดจากดอกขาแดงแสดงหมู่ฟังก์ชันที่มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีในกลุ่มสารพลาไวโนอยด์ โดยเฉพาะสเปกตรัมของสารสกัดจากดอกขาแดงที่ปรากฏเลขคลื่นที่ 1021.9 cm^{-1} แสดงแถบการยืดของ C-C และ C-O ของ Polysaccharide เป็นลักษณะโครงสร้างของกลุ่มสารพลาไวโนอยด์ที่มักพบอยู่ร่วมกับน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) ที่ยืนยันจากผลงานวิจัยของ Melo และคนอื่นๆ (Melo, *et al.*, 2000) ข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลจาก FTIR สเปกตรัมและหมู่ฟังก์ชันของสารสกัดจากดอกขาแดง

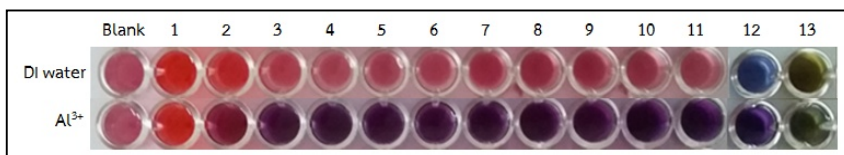
เลขคลื่นที่ปรากฏ (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน
3293.86	แถบการยืดของหมู่ O-H ของหมู่ carboxylic
2917.06, 2849.32	แถบการยืดของ C-H ของ alkanes
1736.27, 1632.49	แถบการยืดของ C=O
1239.99	แถบการยืดของ C-O
1021.19*	แถบการยืดของ C-C, C-O ของ Polysaccharide

3.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดโดยเทคนิค Naked-eye Detection

3.2.1 ผลการหาพีเอชที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

ผลการหา pH ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไอออนโลหะ Al^{3+} พบว่าเมื่อนำสารสกัดจากดอกขาแดงผสมกับสารละลายของไอออนโลหะ Al^{3+} ที่ pH 1-13 สารสกัดจะเปลี่ยนสีจากสีชมพูอมแดงเป็นสีม่วงอ่อน ในช่วง pH 3-11 เมื่อมีไอออนโลหะ Al^{3+} แสดงให้เห็นว่าช่วง pH ดังกล่าวเหมาะสำหรับนำมาวิเคราะห์ไอออนโลหะ Al^{3+} ในขณะที่ pH 1-2 สารสกัดจากดอกขาแดง

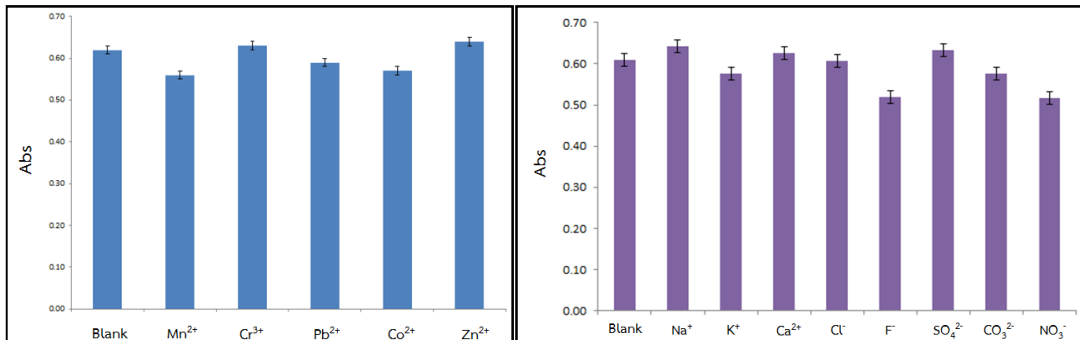
เปลี่ยนเป็นสีแดงและเปลี่ยนเป็นสีเขียวที่ pH 12-13 แสดงดังภาพที่ 2 ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่สภาวะ pH 7 ในการตรวจวัดเนื่องจากเป็นสภาวะที่เป็นกลางง่ายต่อการตรวจวัด



ภาพที่ 2 การตรวจวัด Al^{3+} ด้วยเทคนิค Naked-eye detection ที่ pH 1-13

3.2.2 ผลการทดสอบการรบกวนของโลหะอื่นๆ แคตไอออน และแอนไอออน

ผลการทดสอบการรบกวนของไอออนโลหะอื่นๆ ได้แก่ Mn^{2+} , Cr^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+} และ Zn^{2+} ความเข้มข้น 100 ppm พบว่าโลหะดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการวิเคราะห์โลหะ Al^{3+} พิจารณาได้จากการค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ทำปฏิกิริยากับ Al^{3+} เมื่อมีไอออนโลหะอื่นเข้าไปรบกวน แสดงดังภาพที่ 3(ก) เช่นเดียวกันกับผลการรบกวนของแคตไอออน และแอนไอออน ได้แก่ Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} และ NO_3^- จากแผนภูมิในภาพที่ 3(ข) ค่าการดูดกลืนแสงมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ยกเว้นไอออนของ F^- ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่มี Al^{3+} ลดลง เนื่องจาก F^- สามารถจับกับ Al^{3+} ได้เป็นสารประกอบ AlF_6^{3-} ให้สารละลายที่ใสไม่มีสี ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง (Khaodee, Aeungmaitrepirom & Tuntulani, 2014)



(ก)

(ข)

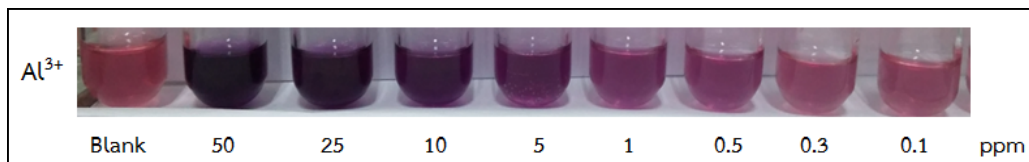
ภาพที่ 3 (ก) แผนภูมิแสดงค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีไอออนโลหะต่างๆ เป็นตัวรบกวน

(ข) แผนภูมิแสดงค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีแคตไอออนและแอนไอออนต่างๆ เป็นตัวรบกวน (Blank = สารสกัด + Al^{3+})

3.2.3 ผลการศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมในการตรวจวัด

ในการศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมในการตรวจวัดโลหะ Al^{3+} เพื่อหาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ด้วยเทคนิคการสังเกตด้วยตาเปล่า โดยใช้สารสกัดความเข้มข้น 3,000 ppm พบว่าที่อัตราส่วนปริมาตรของสารสกัด: ปริมาตรของโลหะที่ความเข้มข้น 3 ppm ที่เหมาะสมที่สุด

คือ 2 mL : 1 mL (ปริมาตรรวม 3 mL) ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดที่ความเข้มข้นของ Al^{3+} ต่ำสุด การเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดแสดงดังภาพที่ 4 กล่าวคือสารสกัดจากดอกขบาแดงจะเปลี่ยนสีจากสีแดงอมชมพูเป็นสีม่วงเมื่อมีโลหะ Al^{3+} และจะเปลี่ยนสีเป็นสีม่วงที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ 0.1 ppm

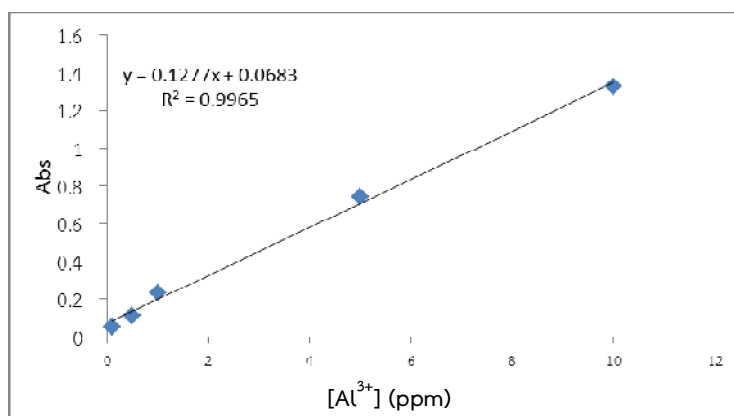


ภาพที่ 4 การเปลี่ยนสีของสารสกัดจากดอกขบาแดงเมื่อตรวจวัดโลหะ Al^{3+} ด้วยเทคนิค Naked-eye Detection ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงปริมาณวิเคราะห์

3.3.1 กราฟมาตรฐานของโลหะ Al^{3+}

เลือกวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ Al^{3+} ในช่วง 0.1 ถึง 10 ppm โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometers วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานโลหะ Al^{3+} ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1, 5 และ 10 ppm นำข้อมูลมาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟมาตรฐานของโลหะ Al^{3+} ที่ความเข้มข้น 0.1 – 10 ppm

จากภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Abs) กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะ Al^{3+} จากกราฟมาตรฐานจะได้สมการ $Y = 0.1277x + 0.0683$ และค่า $R^2 = 0.9965$ มีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะ Al^{3+} 0.1 ถึง 10 ppm

3.3.2 การหาขีดจำกัดของการตรวจวัด

ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) ที่หาได้ค่าความชัน (Slop) จากกราฟมาตรฐานและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่าง

ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) กับค่าความเข้มข้นของโลหะ Al^{3+} จะมีสมการเส้นตรงเป็น $Y = 0.1277x + 0.0683$ จากกราฟมาตรฐานพบว่า Slope = 0.1277 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.0044 ดังนั้น LOD ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.1033 ppm ซึ่งสอดคล้องจากผลการตรวจวัดด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า ที่เห็นการเปลี่ยนสีของสารสกัดดอกขบาแดงที่มี Al^{3+} ที่มีความเข้มข้นต่ำสุดที่ 0.1 ppm

3.4 LOD จากเทคนิค Naked-eye เปรียบเทียบผลวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูล LOD จากเทคนิค Naked-eye เปรียบเทียบผลวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากงานวิจัยของ วรารัตนา เขาคี ได้ตรวจพบโลหะ Al^{3+} ที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ คือ 50 μM แต่สำหรับงานวิจัยนี้สามารถตรวจวัดโลหะ Al^{3+} ที่ความเข้มข้นต่ำสุดได้ที่ 7.3 μM (0.1 ppm) ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 LOD จากเทคนิค Naked-eye เปรียบเทียบผลวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไอออนโลหะ	สีและช่วงความเข้มข้นที่เปลี่ยน	LOD	อ้างอิง
Al^{3+}	ม่วง - น้ำเงิน 50 – 100 μM	50 μM	Khaoodee, <i>et al.</i> , 2014
	ม่วง 37 – 5.3 μM	1 mg/L	งานวิจัยนี้
	ม่วงเข้ม > 5.3 μM	(37 μM)	

3.5 ผลการหาความเที่ยง

ทดสอบวัดค่าความเที่ยงของสารละลายโลหะ Al^{3+} ที่ความเข้มข้น 0.1, 1, 5, 10 และ 15 ppm (ทำซ้ำ 7 ครั้ง) ค่าความเที่ยงของสารละลายโลหะ Al^{3+} ที่เข้มข้น 0.1, 1, 5, 10 และ 15 ppm ให้ค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์เท่ากับ 7.16, 3.64, 1.65, 1.09 และ 1.04 ตามลำดับ แสดงว่ากระบวนการวิเคราะห์มีความเที่ยงที่ยอมรับได้ที่ความเข้มข้น 0.1, 1, 5, 10 และ 15 ppm ตามมาตรฐานขององค์กร AOAC

4. สรุปผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาการตรวจวัดโลหะ Al^{3+} โดยใช้สารสกัดจากดอกขบาแดงซึ่งมีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีความจำเพาะกับโลหะ Al^{3+} และสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า และสามารถตรวจวัดโลหะ Al^{3+} ได้ที่ความเข้มข้นต่ำสุด 0.1 ppm และไม่มีผลในการรบกวนต่อการวิเคราะห์จากไอออนของโลหะ แคลเซียม และแอนไอออนต่างๆ จะเห็นว่าการตรวจวัดโลหะ Al^{3+} โดยวิธีดังกล่าวนี้ง่ายต่อการวิเคราะห์ รวดเร็ว และราคาถูก ไม่ต้องใช้เครื่องมือขั้นสูงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ในโครงการเบญจวิจัย และขอขอบคุณ อาจารย์เบญจวรรณ นิลวงศ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับวิธีวิเคราะห์

6. เอกสารอ้างอิง

- Barranguet, C.; Van den Ende, F. P.; Rutgers, M.; Breure, A. M.; Greijdanus, M., Sinke, J. J. & Admiraal, W. (2003). Copper-induced modifications of the trophic relations in riverine algal-bacterial biofilms. **Environ. Toxicol. Chem.**, 22, 1340-1349.
- Delhaize, E. & Ryan, P. R. (1995). Aluminum Toxicity and Tolerance in Plants. **Plant Physiol**, 107, 315–321.
- DeRong, S.; YanFang, Z.; YuXiu, Z.; JinSong, N.; HaiYan, D. & XiaoFeng, S. (2013). Development of a new method for analyzing free aluminum ions (Al^{3+}) in seafood using HPLC-ICP-MS, **Chinese Science Bulletin**, 58, 4437-4442.
- Khaodee, W.; Aeungmaitrepirom, W. & Tuntulani, T. (2014). Effectively simultaneous naked-eye detection of Cu^{2+} , Pb^{2+} , Al^{3+} and Fe^{3+} using cyanidin extracted from red cabbage as chelating agent. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 126, 98–104.
- Melo, M.J.; Moura, S.; Roque, A.; Maestri, M. & Pina, F. (2000). Photochemistry of luteolinidin - "Write-lock-read-unlock-erase" with a natural compound. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, 135(1), 33-39.
- Mendez-Aè, E.; lvarez, R.; Soto-Otero, A.; Hermida-Ameijeiras, A.M.; Lopez-Real, J.L. & Labandeira-Garc, (2001). Effects of aluminum and zinc on the oxidative stress caused by 6-hydroxydopamine autoxidation: relevance for the pathogenesis of Parkinson's disease. **Biochim. Biophys. Acta**, 1586, 155–168.
- Orojloo, M. & Amani, S. (2016). Synthesis and Studies of Selective Chemosensor for Naked-Eye Detection of Anions and Cations Based on a New Schiff-Base Derivative, **Talanta**, 159, 292-299.
- Pedro, F. P. & Goncalo, C. J. (2012). **A Review of Spectroscopic Applications, Chapter 2**. Retrieved Sep 15, 2016, from <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/32937.pdf>
- Ravishankara, M.N.; Shrivastava, N.; Padh, H. & Rajani, M. (2002). Evaluation of antioxidant properties of root bark of *Hemidesmus indicus* R. Br. (Anantmul). **Phytomedicine**, 9, 153–160.

- Ukwueze, N.N.; Nwadinigwe, C.A.& Okoye, C. O. B. (2009). Potentials of 3, 31, 41, 5, 7-pentahydroxyflavylum of *Hibiscus rosa-sinensis* L. (*Malvaceae*) flowers as ligand in the quantitative determination of Pb, Cd and Cr, **Int. J. Phys. Sci.**, 4, 58–62.
- Viguier, R. F. H.& Hulme, A. N. (2006). A Sensitized Europium Complex Generated by Micromolar Concentrations of Copper(I): Toward the Detection of Copper(I) in Biology. **J. Am. Chem. Soc.**, 128, 11370-11371.
- WHO (1997) Aluminium. Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety. **Environmental Health Criteria**,107, 315–321.
- Wu, S. P.; Huang, R. Y. & Du, K. J. (2009). Colorimetric sensing of Cu^{2+} by 2-methyl-3-[(pyridin-2-ylmethyl)-amino]-1,4-naphthoquinone: Cu^{2+} -induced deprotonation of NH responsible for color changes. **Dalton Trans**, 24, 4735–4740.
- Zietz, B. P.; Dieter, H. H.; Lakomek, M.; Schneider, H.; Kebler-Gaedtke, B., & Dunkelberg, H. (2003). Epidemiological investigation on chronic copper toxicity to children exposed via the public drinking water supply. **Sci. Total Environ**, 302, 127-144.