

การพัฒนาเซนเซอร์สีอย่างง่ายสำหรับการตรวจวัด

ไอออนโลหะทองแดงและเหล็ก

DEVELOPMENT OF A SIMPLE COLORIMETRIC SENSOR FOR THE DETECTION OF COPPER AND IRON METAL IONS

เกวลี ชอบธรรม และ ชลดา เดชาเกียรติไกรธีรการณวงศ์*

Kaewalee Chobtam, and Chonlada Dechakiatkrai, Theerakarunwong*

สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University

*corresponding author e-mail: chonlada.d@nsru.ac.th

(Received: 10 March 2022; Revised: 30 May 2022; Accepted: 2 June 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดไอออนโลหะทองแดงและเหล็กในระดับไมโครลิตรด้วยสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน ซึ่งใช้เป็นอินดิเคเตอร์ธรรมชาติ โดยอาศัยหลักการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอนโทไซยานินกับไอออนโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงและสามารถมองเห็นการเปลี่ยนสีของสารละลายได้ด้วยตาเปล่า จากผลการศึกษาพบว่า น้ำเป็นสารสกัดดอกอัญชันที่มีค่าการดูดกลืนแสงคงตัวมากกว่าสารสกัดแอลกอฮอล์ โดยสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันเมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะทองแดงและเหล็กมีการเปลี่ยนสีชัดเจนที่สุดเมื่อใช้บัฟเฟอร์อะซิเตตความเข้มข้นร้อยละ 0.01 ที่ค่าพีเอช 6 เพราะทำให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินมีจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าการดูดกลืนแสงเลื่อนไปในช่วงที่มีความยาวคลื่นลดลง และมีการเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นม่วงเนื่องจากเกิดเป็นไอออนบวกของฟลาโวลีเนียม การเติมไอออนบวกของกลุ่มไดวาเลนต์ ยกเว้นกลุ่มคาร์บอเนตที่ส่งผลต่อการรบกวนสีของการตรวจวัดเพียงเล็กน้อย ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเซนเซอร์ในระบบสารละลายสอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี นอกจากนี้เมื่อนำสภาวะที่ดีที่สุดจากเซนเซอร์ในระบบสารละลายไปพัฒนาเป็นเซนเซอร์ตรวจวัดโลหะโดยใช้ฐานเป็นกระดาษเคลือบบนกระดาษกรอง พบว่า ให้ผลการวิเคราะห์ไอออนโลหะทองแดงและเหล็กสอดคล้องกับเซนเซอร์ตรวจวัดโลหะทองแดงและเหล็กแบบสารละลาย โดยสามารถตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า นอกจากนี้เซนเซอร์ตรวจวัดไอออนโลหะทองแดงและเหล็กที่พัฒนาขึ้นยังประหยัดเวลา ลดต้นทุนในการวิเคราะห์และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: เซนเซอร์ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสี อัญชัน ไอออนโลหะ แอนโทไซยานิน

Abstract

This research was to develop a micro-scale sensor for Cu and Fe metal ions determination by using extracted anthocyanins in butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) which is used as a natural indicator based on the interaction between anthocyanin and metal ions to form a complex compound, caused a change in the absorbance by naked-eye detected color change. From the results, butterfly pea extracted had maintained the stability of absorption spectra by water solvent more than alcohol solvent. Anthocyanin extracted from butterfly pea reacted with Cu and Fe metal ions showed the most clearly change in color under 0.01% acetate buffer at pH 6 due to the number of protons increased in anthocyanin structure. As a result, the absorbance was shifted to the lower wavelength and the color changed from dark blue to purple since the flavylium cation was formed. The addition of divalent metal ion group except carbonate ion showed small interference with the color of detection. The quantitative analysis results by using the solution sensor system agreed well with the atomic absorption spectrometry (AAS) analysis. In addition, the optimum conditions obtained from the solution system were applied to a paper-based sensor coated on the filter paper. It was found that the results of Cu and Fe metals ions analysis were consistent with the solution sensor with naked-eye detection. Moreover, the developed Cu and Fe metal ions sensor would save time, cost-effectiveness and environmental friendliness.

Keywords: Colorimetric sensor, Butterfly pea, Metal ion, Anthocyanin

บทนำ

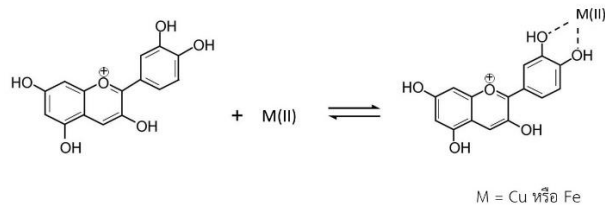
ปัจจุบันปัญหาการปนเปื้อนของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม เป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่หลายฝ่ายต่างให้ความสำคัญและตระหนักถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง หรือผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชากร โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางน้ำ (Water pollution) ซึ่งเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ปัจจุบัน พบว่า เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหามลพิษอื่นๆ ที่ผ่านมาพบว่าแหล่งน้ำที่สำคัญของประเทศมีการปนเปื้อนสารมลพิษ ไม่ว่าจะเป็นสารมลพิษอินทรีย์ สารมลพิษอนินทรีย์ โลหะหนัก และอื่นๆ เนื่องมาจากสาเหตุหลายประการทั้งในรูปสารมลพิษปฐมภูมิหรือทุติยภูมิกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ และการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมต่อไป

การปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำเกิดจากสาเหตุสองประการ คือ โลหะที่เกิดจากกระบวนการสลายตัวทางธรรมชาติ เช่น การผุพัง การสึกกร่อนของแร่โลหะต่างๆ และการปนเปื้อนโลหะที่เกิดจากการทำกิจกรรมของมนุษย์ เช่น อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้โลหะหนักเป็นวัตถุดิบ น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยโลหะหนักเป็นสารที่มีความคงตัวสูง ทำให้ไม่สามารถสลายตัวด้วยกระบวนการธรรมชาติ และส่งผลให้เกิดการสะสมของตะกอนบางส่วนในดิน หากมีการสะสมของโลหะหนักมากอาจกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นพืชน้ำ หรือสิ่งมีชีวิตในน้ำตามลำดับชั้นของห่วงโซ่อาหาร (Bioaccumulation in tropic level) โดยหากมนุษย์รับประทานสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก เมื่อมีปริมาณโลหะหนักสะสมในร่างกายเป็นเวลานานและมีปริมาณมากเกินไป จะส่งผลต่อความผิดปกติทางด้านร่างกายในกลุ่มอาการ Wilson' Diseases ซึ่งผู้ป่วยไม่สามารถควบคุมกล้ามเนื้อได้ นอกจากนี้โลหะหนักยังสามารถทำลายระบบอวัยวะภายในร่างกาย ได้แก่ ระบบประสาท สมอง กล้ามเนื้อ และอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ (ชมภู และคณะ, 2561)

ที่ผ่านมามีการตรวจวัดโลหะหนักเทคนิคที่มีการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ เช่น เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy; AAS) และเทคนิคอินดักทีฟคัปเปิลพลาสมาสเปกโทรสโกปี (Inductive Coupled Plasma Spectroscopy; ICP) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักได้แม่นยำ แต่มีขั้นตอนการใช้งานซับซ้อน มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างหลายขั้นตอน ประกอบกับต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้เครื่องมือดังกล่าวมีราคาและค่าบำรุงรักษาสูง (แก้วกมล และศักดิ์สิทธิ์, 2558) ดังนั้นหากมีพัฒนาวิธีการตรวจวัดโลหะหนักโดยใช้สารสกัดจากธรรมชาติเป็นเซนเซอร์ที่มีค่าความถูกต้องสูง จะทำให้เป็นการประยุกต์ใช้องค์ความรู้มาเสริมแนวทางในการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากปัญหาดังต้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาการตรวจวัดโลหะหนักโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีโดยนำพื้นฐานของเคมีสีเขียว (Green chemistry) มาประยุกต์ใช้ควบคู่กับการพัฒนาอุปกรณ์การทดลองให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมี และสามารถพกพาได้ โดยการใช้สารสกัดจากธรรมชาติ (Natural extract) ที่มีคุณสมบัติเป็นอินดิเคเตอร์ธรรมชาติ โดยในงานวิจัยนี้สนใจการใช้รงควัตถุกลุ่มแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) จากดอกอัญชัน มาใช้เป็นตัวตรวจวัดไอออนโลหะทองแดงและเหล็กประจุสองที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอนโทไซยานิน ซึ่งทำหน้าที่เป็นลิแกนด์กับโลหะซึ่งทำหน้าที่เป็นอะตอมกลางในการรับคู่อิเล็กตรอนจากลิแกนด์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ดังภาพที่ 1 (เกศินี และศศิธร 2019; รวิวรรณ และคณะ, 2560; วรางคณา, ภรติพย์ และวรเชษฐ์ 2563; สุนนทา และคณะ, 2016; Haq, Aghajamali & Hassanzadeh, 2021; Li et al., 2019; Pina et al., 2012; Pina, 2014) โดยงานวิจัยนี้ศึกษาการตรวจวัดไอออนโลหะทองแดง เหล็ก และโลหะผสม ซึ่งต่างจากงานของ

Kahodee et al. (2018) ที่ศึกษาการตรวจวัดโลหะเพียงชนิดเดียว งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของสารสกัด ค่าความเป็นกรด-ด่างของบัฟเฟอร์และผลของไอออนรบกวน จากนั้นนำผลที่ได้จากการศึกษาไปทดสอบความถูกต้องเทียบกับเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบที่สามารถนำไปต่อยอดองค์ความรู้ต่อไปได้



ภาพที่ 1 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอนโทไซยานินกับไอออนโลหะ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์และสารเคมี ได้แก่ คอปเปอร์ซัลเฟต เหล็กซัลเฟต แคลเซียมไนเตรท โซเดียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมซัลเฟต 95%เอทานอล (สารเคมีทุกชนิดเป็นเกรดวิเคราะห์จากบริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ประเทศไทย เครื่องยู่วี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo รุ่น Evolution 201 เครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น PinAAcle 900T บริษัท PerkinElmer ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ Copper และ Iron Lumina Hollow Cathode Lamp ความยาวคลื่น 327.4 nm และ 248.8 nm ตามลำดับ

2. การศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดดอกอัญชัน

นำดอกอัญชันแห้งปริมาณ 20 กรัม มาสกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 และน้ำ โดยใช้ปริมาตรตัวทำละลายชนิดละ 50 มิลลิลิตร สกัดสารเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองสารสกัดที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เก็บสารสกัดไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 3–5 °C และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ในช่วงความยาวคลื่น 400–800 นาโนเมตร ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3. การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดไอออนโลหะ

ใส่สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 3 4 5 และ 6 ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ลงในภาตหลุม ปริมาตรหลุมละ 1000 ไมโครลิตร หยดสารละลาย Cu(II) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ลงในภาตหลุมที่มีบัฟเฟอร์ โดยใช้น้ำกลั่นปริมาตร 300 ไมโครลิตร เป็นชุดควบคุม

จากนั้นหยดสารสกัดจากอัญชันที่ใช้น้ำเป็นสารสกัด ปริมาตร 50 ไมโครลิตร สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

4. การศึกษาความเข้มข้นของบัพเฟอร์ต่อการตรวจวัดไอออนโลหะ

ใส่สารละลายบัพเฟอร์พีเอช 6 ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 โมลต่อลิตร ลงในภาชนะหลอด ปริมาตรหลอดละ 1000 ไมโครลิตร จากนั้นหยดสารละลาย Cu(II) และ Fe(II) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ลงในภาชนะหลอดที่มีบัพเฟอร์พีเอช 6 โดยใช้น้ำกลั่น ปริมาตร 300 ไมโครลิตร เป็นชุดควบคุม จากนั้นหยดสารสกัดจากอัญชัน ปริมาตร 50 ไมโครลิตร สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

5. การศึกษาผลของตัวรบกวนต่อการตรวจวัดไอออนโลหะ

การศึกษาคผลของตัวรบกวน จะแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ดังนี้

5.1 ชุดการทดลองที่ 1 การศึกษาตัวรบกวนต่อการตรวจวัดสารละลาย Cu(II)

ใส่สารละลายบัพเฟอร์พีเอช 6 ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ลงในภาชนะหลอด ปริมาตรหลอดละ 1000 ไมโครลิตร หยดสารละลาย Cu(II) ความเข้มข้น 5×10^{-5} 8×10^{-5} 1×10^{-4} 3×10^{-4} 5×10^{-4} 8×10^{-4} 1×10^{-3} 3×10^{-3} และ 5×10^{-3} โมลต่อลิตร ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ในการทดลองนี้ มีชุดการทดลอง 5 ชุด โดยชุดที่ 1 เป็นชุดควบคุม ใช้น้ำกลั่นแทนไอออนรบกวน ชุดที่ 2–5 หยดไอออนรบกวนที่ต้องการศึกษา 4 ชนิด ได้แก่ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ MgSO_4 KCl และ Na_2CO_3 ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงไปในแต่ละชุด ตามลำดับ และหยดสารสกัดจากอัญชัน ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ทั้ง 5 ชุดการทดลอง สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย เปรียบเทียบกับชุดควบคุม ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

5.2 ชุดการทดลองที่ 2 การศึกษาตัวรบกวนต่อการตรวจวัดสารละลาย Fe(II)

ทดลองเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 แต่เปลี่ยนจากสารละลาย Cu(II) เป็น Fe(II)

6. การศึกษาการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

การศึกษากการวิเคราะห์ไอออนโลหะเชิงปริมาณทำโดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ดังนี้

6.1 ชุดการทดลองที่ 1 การศึกษาการวิเคราะห์สารละลาย Cu(II) เชิงปริมาณ

ใส่สารละลายบัพเฟอร์พีเอช 6 ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ลงในภาชนะหลอด 10 หลุม ปริมาตรหลอดละ 1000 ไมโครลิตร โดยหลอดที่ 1 ใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม และหลอดที่ 2–10 หยดสารละลาย Cu(II) ที่มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 5×10^{-5} 8×10^{-5} 1×10^{-4} 3×10^{-4} 5×10^{-4} 8×10^{-4} 1×10^{-3} 3×10^{-3} และ 5×10^{-3} โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 ไมโครลิตร จากนั้นหยดสารสกัดจากอัญชัน ปริมาตร 50 ไมโครลิตร สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนไปในแต่ละความเข้มข้นของ Cu(II) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

6.2 ชุดการทดลองที่ 2 การศึกษาการวิเคราะห์สารละลาย Fe(II) เติงปริมาณ
ทดลองเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 แต่เปลี่ยนจากสารละลาย Cu(II) เป็น Fe(II)

7. การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างน้ำจากน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ น้ำจากทุ่งนา และน้ำจากสระบริเวณทุ่งนา
ในเขตพลาสดิกที่มีการรักษาสภาพน้ำตัวอย่างด้วยกรดไนตริก โดยน้ำตัวอย่างจาก 3 แหล่ง
มีลักษณะใส ไม่มีสี และมีตะกอนเล็กน้อย จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
และเตรียมน้ำตัวอย่างสังเคราะห์โดยใช้น้ำกลั่นที่เติมสารละลาย Cu(II), Fe(II) และสารละลาย
ผลัม Cu(II) และ Fe(II) ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 5×10^{-3} โมลต่อลิตร ใส่สารละลายบัฟเฟอร์
อะซิเตตพีเอช 6 ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ลงในภาดหลุม ปริมาตรหลุมละ 1,000 ไมโครลิตร
เติมน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และน้ำตัวอย่างจริง จำนวน 6 ตัวอย่าง ปริมาตร 300 ไมโครลิตร จากนั้น
หยดสารสกัดจากดอกอัญชัน ปริมาตร 50 ไมโครลิตร สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย
เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน และเปรียบเทียบความเข้มข้นกับผลการทดลอง
ที่ได้จาก AAS ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

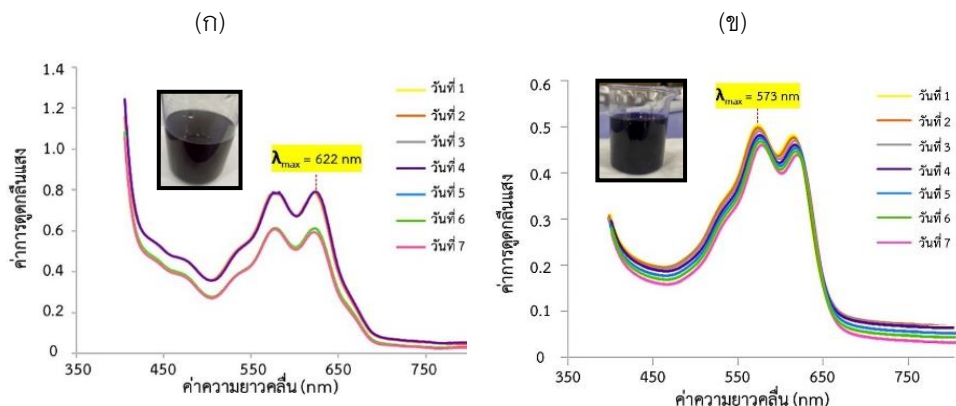
8. การตรวจวัดไอออนโลหะแบบใช้กระดาษกรองเคลือบด้วยสารสกัดจากดอกอัญชัน

นำกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 มาเจาะด้วยที่เจาะกระดาษ เส้นผ่านศูนย์กลาง
0.5 มิลลิเมตร นำไปล้างด้วยน้ำกลั่น และอบที่อุณหภูมิ 60°C จนมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นแบ่ง
ชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ 1 นำกระดาษกรองมาแช่ในสารละลาย
บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ที่ค่าพีเอช 6 เป็นเวลา 5 นาที และชุดการทดลองที่ 2 นำ
กระดาษกรองมาแช่ในสารสกัดจากดอกอัญชันกับสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร
ที่ค่าพีเอช 6 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำกระดาษกรองวางบนกระดาษฟิคา รอจนแห้งสนิท เก็บ
ใส่ถุงซิปลิชาแล้วเก็บไว้ในที่แห้งและมีด สังเกตการเปลี่ยนสีของกระดาษกรอง ก่อนนำไปทดสอบ
ผลของไอออนรบกวนการตรวจวัด Cu(II) และ Fe(II) ที่ความเข้มข้น 5×10^{-3} โมลต่อลิตร และทดสอบ
การตรวจวัดโลหะหนักในน้ำสังเคราะห์และน้ำตัวอย่าง สังเกตการเปลี่ยนสีของกระดาษกรอง
เทียบกับการทดสอบในสารละลายจากสารสกัดจากดอกอัญชัน โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ผลการวิจัย

1. การศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดดอกอัญชัน

การศึกษาชนิดของตัวทำละลายและความคงตัวของแอนโทไซยานิน พบว่า เมื่อใช้ เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นสารสกัด พบว่า แอนโทไซยานินจากดอกอัญชันมีสีน้ำเงินเข้มอมม่วง และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 622 nm ดังภาพที่ 2(ก) ส่วนสกัดแอนโทไซยานิน จากดอกอัญชันที่ใช้น้ำเป็นสารสกัดมีสีน้ำเงิน และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 573 nm ดังภาพที่ 2(ข) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เกศินี และศศิธร (2019) และสัมพันธ์กับผลการทดลองของ Rawdkuen et al. (2020) ที่ศึกษาพืชที่มีผลต่อการสกัด และเมื่อศึกษาความคงตัวของสารสกัด ที่ได้จากตัวทำละลาย 2 ชนิด พบว่า เมื่อครบ 7 วัน สารสกัดแอนโทไซยานินที่สกัดด้วยน้ำยังมีสีน้ำเงินคงตัวและมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดใกล้เคียงกับสารสกัดที่สกัดได้ในวันที่ 1 ซึ่งต่างจาก สารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันที่สกัดโดยใช้แอลกอฮอล์ที่เมื่อครบ 7 วัน พบว่า มีสีจางลง และมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้น้ำกลั่นเป็นสารสกัด

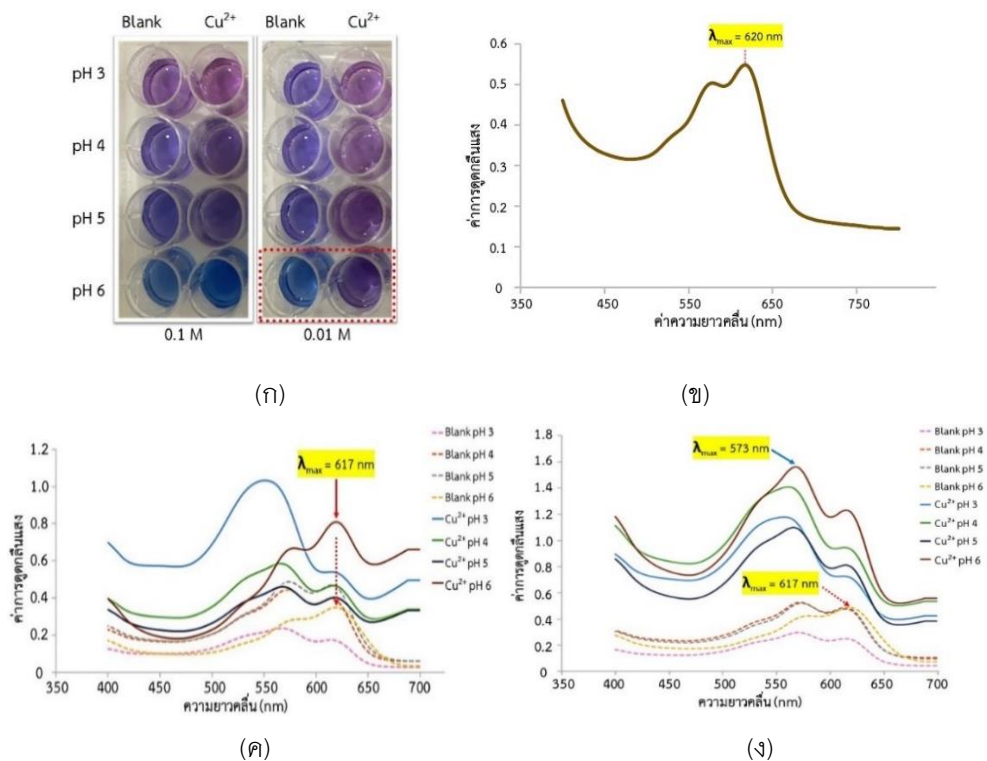


ภาพที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงและลักษณะของสารสกัดแอนโทไซยานิน เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลาย (ก) เอทานอล และ (ข) น้ำ

2. การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของบัฟเฟอร์อะซิเตตที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดไอออนโลหะ

สารสกัดแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนสีในช่วงพีเอชที่เป็นกรด จากภาพที่ 3(ก) เมื่อใช้ ความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร พีเอช 3 ในการตรวจวัด สารละลาย Cu(II) พบว่า สารสกัดอัญชันเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีม่วงอมชมพู และช่วงพีเอช 4 และ พีเอช 5 มีการเปลี่ยนสีจากม่วงอมน้ำเงินเป็นม่วง และที่พีเอช 6 ได้สีน้ำเงินคงเดิม ในขณะที่เมื่อใช้ บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ทุกช่วงพีเอชมีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจน คือ ช่วงพีเอช 3-5 เปลี่ยนจากสีม่วงอมน้ำเงินเป็นม่วง และพีเอช 6 เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วง เมื่อศึกษา

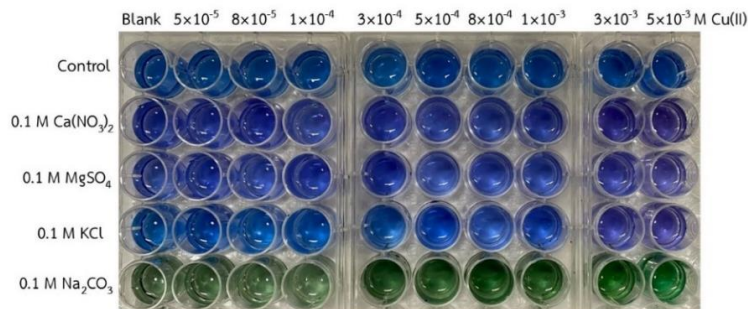
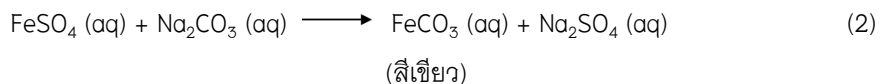
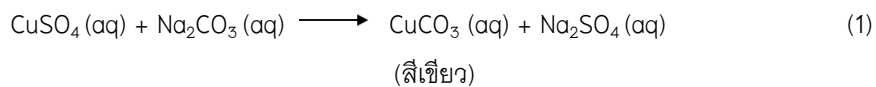
ค่าการดูดกลืนแสงของ Fe(II) เมื่อใช้บัฟเฟอร์อะซิเตดที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร พีเอช 6 พบว่า Fe(II) มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 620 nm ดังภาพที่ 3(ข) และเมื่อศึกษา ค่าการดูดกลืนแสงที่พีเอชต่างๆ ของ Cu(II) เมื่อใช้บัฟเฟอร์อะซิเตดที่มีความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 โมลต่อลิตร ทำปฏิกิริยากับสารสกัดอัญชัน พบว่า เมื่อใช้บัฟเฟอร์อะซิเตดความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร สารละลาย Cu(II) มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 617 nm ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้น้ำ เป็นชุดควบคุม ดังภาพที่ 3(ค) และเมื่อใช้บัฟเฟอร์อะซิเตดความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร พบว่า สารละลาย Cu(II) มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเลื่อนไปในช่วงความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น จาก 573 nm เป็น 617 nm ดังภาพที่ 3(ง) ซึ่งทำให้สีของสารสกัดอัญชันมีการเปลี่ยนอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 3(ก) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้บัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ที่ค่าพีเอช 6 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจวัดต่อไป



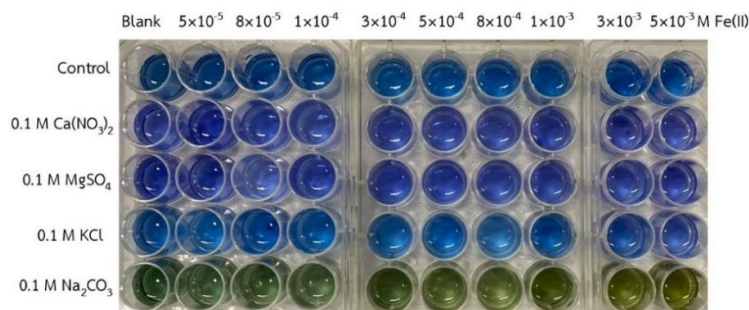
ภาพที่ 3 (ก) สีของสารสกัดแอนโทไซยานินเมื่อเกิดปฏิกิริยากับ Cu(II) เมื่อใช้บัฟเฟอร์ 0.1 และ 0.01 โมลต่อลิตร (ข) ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแอนโทไซยานิน เมื่อเกิดปฏิกิริยากับ Fe(II) และ (ค) (ง) ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแอนโทไซยานิน เมื่อเกิดปฏิกิริยากับ Cu(II) เมื่อใช้สารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 โมลต่อลิตร ตามลำดับ

3. การศึกษาผลของตัวรบกวนต่อการตรวจวัดไอออนโลหะ

จากการศึกษาผลของตัวรบกวน พบว่า ไอออนรบกวน $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_4 และ KCl มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเพียงเล็กน้อย โดยมีการเปลี่ยนสีในโทนสีน้ำเงินเข้ม น้ำเงินอ่อน และม่วง ดังภาพที่ 4(ก)–(ข) เมื่อนำไปตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่น พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงความยาวคลื่น 350 nm ซึ่งต่างจากไอออนรบกวน Na_2CO_3 ที่เมื่อทำปฏิกิริยากับ $\text{Cu}(\text{II})$ และ $\text{Fe}(\text{II})$ แล้วเกิดเป็นสีเขียวทุกความเข้มข้น และมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 nm ดังภาพที่ 5(ก)–(ข) เนื่องจากเกิดผลิตภัณฑ์เป็น CuCO_3 และ FeCO_3 ซึ่ง $\text{Cu}(\text{II})$ และ $\text{Fe}(\text{II})$ เป็นธาตุที่มีสีเขียวปนฟ้าและสีเขียว ตามลำดับ และมีสมการที่เกี่ยวข้อง ดังสมการที่ 1 – 2

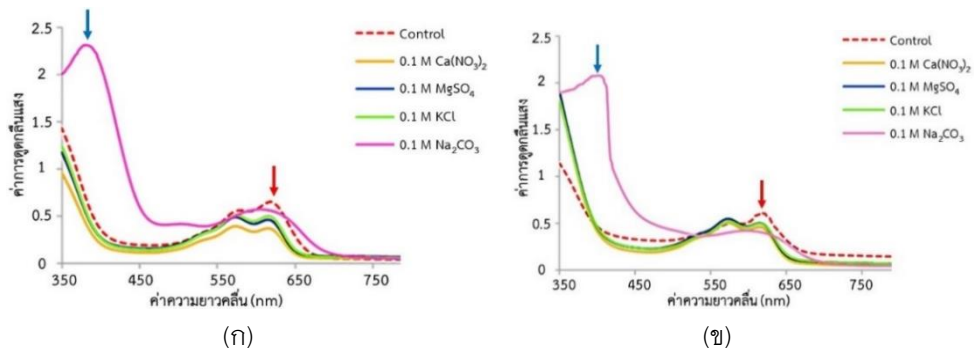


(ก)



(ข)

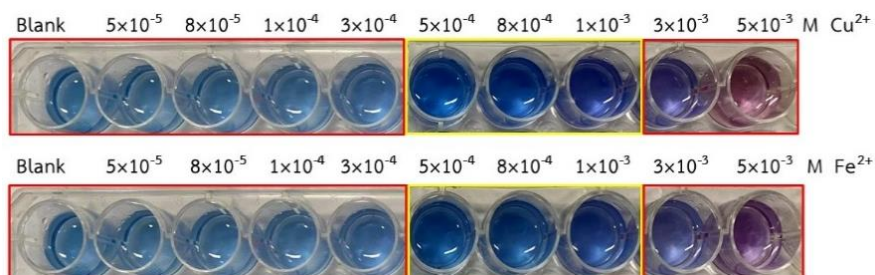
ภาพที่ 4 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอนโทไซยานินและไอออนรบกวนกับ (ก) $\text{Cu}(\text{II})$ และ (ข) $\text{Fe}(\text{II})$



ภาพที่ 5 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของ (ก) Cu(II) และ (ข) Fe(II) เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะ
รบกวนชนิดต่างๆ ที่มีความเข้มข้น 5×10^{-3} โมลต่อลิตร

4. การศึกษาการวิเคราะห์ไอออนโลหะเชิงปริมาณ

การศึกษาค่าความเข้มข้นของ Cu(II) และ Fe(II) โดยการวิเคราะห์เชิงปริมาณ พบว่า
สีของสารสกัดแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน 3 ช่วง ได้แก่ ที่ความเข้มข้นของโลหะ
น้อยกว่า 5×10^{-4} โมลต่อลิตร สารสกัดมีสีน้ำเงินอ่อน ที่ความเข้มข้นในช่วง 5×10^{-4} – 1×10^{-3} โมล
ต่อลิตร สารสกัดมีสีน้ำเงิน และในช่วงความเข้มข้นมากกว่า 1×10^{-3} โมลต่อลิตร สารสกัดมีสีม่วง
ดังภาพที่ 6 และตารางที่ 1



ภาพที่ 6 ช่วงความเข้มข้นของ Cu(II) และ Fe(II) ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

ตารางที่ 1 ผลของการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดที่มีต่อความเข้มข้นของ Cu(II) และ Fe(II)

ความเข้มข้น (โมลต่อลิตร)	สีของสารสกัด
$< 5 \times 10^{-4}$	น้ำเงินอ่อน
$5 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	น้ำเงิน
$> 1 \times 10^{-3}$	ม่วง

5. การประยุกต์วิธีการตรวจวัดในน้ำตัวอย่างจริงเทียบความถูกต้องกับเทคนิค AAS

ผลการศึกษาพบว่า สารสกัดอัญชันมีการเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นม่วงที่ความเข้มข้นของ Cu(II) เท่ากับ 5×10^{-3} โมลต่อลิตร และได้ผลเช่นเดียวกันเมื่อทดสอบด้วย Fe(II) และโลหะผสม ดังตารางที่ 2 แสดงปริมาณของ Cu(II) และ Fe(II) ที่วิเคราะห์ได้ในน้ำตัวอย่าง เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำตัวอย่างจริง พบว่า ไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีสารสกัดจากดอกอัญชัน เพราะความเข้มข้นต่ำกว่า 5.0×10^{-4} โมลต่อลิตร และเมื่อทำการตรวจวัดน้ำตัวอย่างด้วยเทคนิค AAS พบว่า ความเข้มข้นของโลหะทั้ง 2 ชนิดมีค่าต่ำกว่า 5.0×10^{-4} โมลต่อลิตร

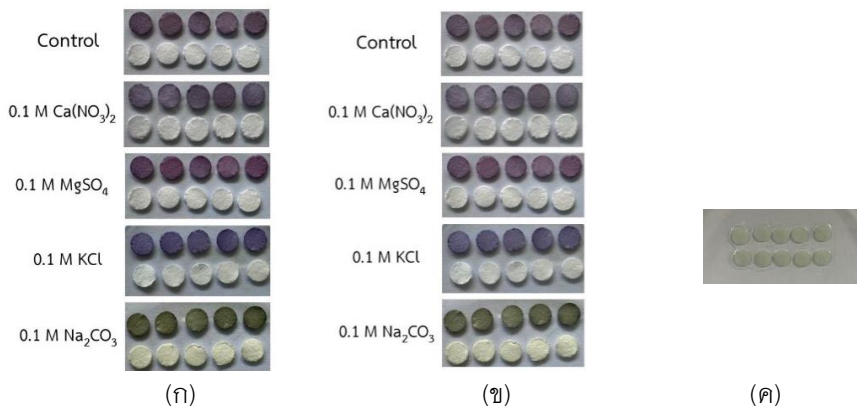
ตารางที่ 2 ปริมาณของ Cu(II) และ Fe(II) ที่วิเคราะห์ในน้ำตัวอย่างจากเทคนิค AAS และสารสกัดดอกอัญชันในระบบสารละลาย

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของโลหะ (M)		ความเข้มข้นของโลหะ (M)	
	AAS		เมื่อเกิดปฏิกิริยากับสารละลายแอนโทไซยานิน	
	Cu ²⁺	Fe ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺
1	4.6×10^{-5}	5.4×10^{-7}	$< 5.0 \times 10^{-4}$	$< 5.0 \times 10^{-4}$
2	5.0×10^{-5}	2.8×10^{-5}	$< 5.0 \times 10^{-4}$	$< 5.0 \times 10^{-4}$
3	6.2×10^{-5}	5.2×10^{-5}	$< 5.0 \times 10^{-4}$	$< 5.0 \times 10^{-4}$
4	5.4×10^{-5}	4.4×10^{-5}	$< 5.0 \times 10^{-4}$	$< 5.0 \times 10^{-4}$
5	2.4×10^{-5}	8.4×10^{-7}	$< 5.0 \times 10^{-4}$	$< 5.0 \times 10^{-4}$
6	2.6×10^{-5}	2.9×10^{-6}	$< 5.0 \times 10^{-4}$	$< 5.0 \times 10^{-4}$

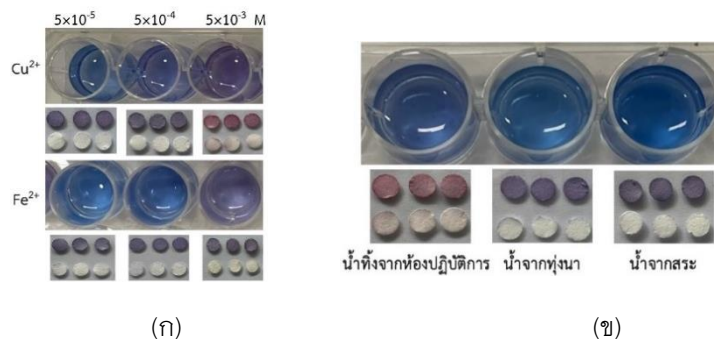
6. การตรวจวัดไอออนโลหะแบบใช้กระดาษกรองเคลือบด้วยสารสกัดจากอัญชัน

การประยุกต์ใช้สารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันที่เคลือบบนกระดาษกรองสำหรับการตรวจวัด Cu(II) และ Fe(II) เมื่อถูกรบกวนด้วยไอออนชนิดต่าง ๆ พบว่า ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับผลที่ได้เมื่อใช้สารสกัดดอกอัญชันตรวจวัดโลหะ Cu(II) และ Fe(II) ในสารละลาย กล่าวคือ ไอออนรบกวนทุกชนิดที่ใช้ทดสอบ ยกเว้นกลุ่มคาร์บอเนต เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในช่วงโทนสีน้ำเงิน-ม่วง ดังภาพที่ 7(ก)-(ข) เมื่อนำกระดาษกรองที่เคลือบด้วยแอนโทไซยานินไปตรวจวัด Cu(II) และ Fe(II) ที่ช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองที่ไม่มีการเคลือบสารสกัดดอกอัญชันแต่เคลือบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ที่ค่าพีเอช 6 โดยมีน้ำกลั่นเป็นชุดการทดลองควบคุม พบว่า ได้ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดสอบเมื่อใช้สารสกัดดอกอัญชันในรูปของสารละลาย ทั้งนี้ของสารละลายในส่วนของโลหะรบกวน Na₂CO₃ เมื่อทดสอบกับเซนเซอร์ชนิดกระดาษจะแสดงผลเป็นสีเขียวอ่อนเช่นเดียวกับผลการทดลองในระบบ

สารละลาย แต่ได้สีเขียวน้อยกว่าในระบบสารละลาย คาดว่าน่าจะเกิดจากเมทริกซ์ที่อยู่ในกระดาด ทำให้ลักษณะสีมีความเข้มลดลง ดังภาพที่ 7 (ค) และเมื่อนำไปเทียบปริมาณโดยการเทียบสีพบว่า โลหะมีความเข้มข้นน้อยกว่า 5×10^{-4} โมลต่อลิตร และเมื่อนำไปตรวจวัดโลหะ Cu(II) และ Fe(II) ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และน้ำตัวอย่างจริง ดังภาพที่ 8(ก) และภาพที่ 8(ข) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในลักษณะสารละลาย ดังนั้นสามารถนำชุดตรวจแบบสารเคลือบบนกระดาดกรองไปใช้ในงานภาคสนามได้



ภาพที่ 7 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอนโทไซยานินและไอออนรบกวนกับ (ก) Cu(II) (ข) Fe(II) ที่เคลือบบนกระดาดกรอง และ (ค) แสดงสีเขียวนบนกระดาดกรองเมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่างบัพเฟอร์และ Cu(II) (แถวบน) Fe(II) (แถวล่าง)



ภาพที่ 8 การตรวจวัดโลหะ Cu(II) และ Fe(II) ในน้ำ (ก) น้ำตัวอย่างสังเคราะห์ และ (ข) น้ำตัวอย่างจริง

อภิปรายผล

โครงสร้างของแอนโทไซยานินมีส่วนของประจุบวกของ Benzopyrylium ซึ่งให้สีแดง ม่วง น้ำเงิน และมีสีเหลืองบางส่วนที่เกิดจากโครงสร้างส่วน Benzo-2- และ -4-pyrone ซึ่งสามารถแตกตัวและละลายได้ในตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วสูง เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ และกรดไฮโดรคลอริก

(Chung et al., 2016) นอกจากนี้แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีชีวิต ดังนั้นสามารถเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วใกล้เคียงกันได้หลากหลาย เช่น แอลกอฮอล์ อะซิโตน คลอโรฟอร์ม และน้ำ เป็นต้น แอนโทไซยานิน ประกอบด้วย โครงสร้างส่วนของเกลียวอินทรีย์ Benzopyrylium cation benzo-2- และ -4-pyrone ทำให้เกิดสีแดงในช่วงพีเอช 0.8–6.5 เพราะมีโครงสร้างส่วนของ Benzopyrylium cation และเกิดสีม่วงในช่วงพีเอช 8.0–9.0 สีน้ำเงินในช่วงพีเอช 11.7 และสีเขียวในช่วงพีเอช 8.0–11.0 เนื่องจากการผสมสีน้ำเงินกับสีเหลืองในส่วนโครงสร้าง benzo-2- และ -4-pyrone (รวิวรรณ และคณะ, 2560; สุนันทา และคณะ, 2016; Haq, Aghajamali & Hassanzadeh, 2021; Li et al., 2019; Pina et al., 2012; Pina, 2014)

เมื่อศึกษาความคงตัวของสารสกัดที่ได้จากตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ น้ำและเอทานอล พบว่า เมื่อครบ 7 วัน สารสกัดแอนโทไซยานินที่สกัดด้วยน้ำยังมีสีน้ำเงินคงตัวและมีการดูดกลืนแสงสูงสุดใกล้เคียงกับสารสกัดที่สกัดได้ในวันที่ 1 ซึ่งต่างจากสารสกัดแอนโทไซยานินที่สกัดโดยใช้แอลกอฮอล์ ที่เมื่อครบ 7 วัน พบว่า มีสีจางลง และมีการดูดกลืนแสงลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแอนโทไซยานินที่สกัดได้อยู่ในรูปของเซลล์พืชมียสภาพขั้วสูงใกล้เคียงกับสภาพขั้วของน้ำ ดังนั้นเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจึงได้สารสกัดที่มีความคงตัวสูงกว่าแอลกอฮอล์ที่มีสภาพขั้วต่ำกว่าไซยานิดิน (เกศินี และศศิธร, 2019; Dangles & Fenger, 2018; Pina et al., 2012)

แอนโทไซยานินเป็นอินดิเคเตอร์ธรรมชาติที่มีโครงสร้างหลักเป็นแอนโทไซยานิดิน ซึ่งอยู่ในรูปของออกซิเนียมไอออนในสภาวะกรด และสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นควิโนนอยด์ในสภาวะเบสได้ ทำให้มีแอนโทไซยานินมีสีต่างกันเมื่อพีเอชเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ในสภาวะกรดมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 573 nm ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเลื่อนไปทางความยาวคลื่นลดลง (Blueshift) คาดว่าเกิดเป็นไอออนบวกของฟลาวิลเลียม (Flavylum cation) จากโครงสร้างส่วนคาร์บินอล ซูโดเบส (Carbinol pseudobase) ในทางตรงกันข้าม หากสารสกัดแอนโทไซยานินอยู่ในรูปเบสจะมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น (Redshift) เนื่องจากการเปลี่ยนรูปจากไอออนบวกของฟลาวิลเลียมเป็นเบสควิโนนอยด์ (Quinonoidal) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Tang et al. (2019) จากภาพที่ 2 พบว่า มีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 617 nm และผลการศึกษาช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไอออนทองแดงประจุสอง พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร สารสกัดมีการเปลี่ยนสีดังภาพที่ 2 โดยที่พีเอช 3 มีการเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีม่วงอมชมพู และช่วงพีเอช 4 และพีเอช 5 มีการเปลี่ยนจากม่วงอมน้ำเงินเป็นม่วง และที่พีเอช 6 ไม่มีการเปลี่ยนสี ยังได้สีน้ำเงินคงเดิม ในขณะที่เมื่อใช้บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ที่ทุกช่วงพีเอชมีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจน กล่าวคือ ช่วงพีเอช 3–5 มีการเปลี่ยนสีจากสีม่วงอมน้ำเงินเป็นม่วง และที่พีเอช 6 มีการเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วง การเปลี่ยนสีของสารสกัดแอนโทไซยานินอยู่ในรูปของสีแดงอมชมพู

เนื่องมาจากโครงสร้างของแอนโทไซยานินมีจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้น (Protonated form) ในขณะที่หากแอนโทไซยานินมีการสูญเสียโปรตอน (Deprotonation) จะทำให้เกิดเป็นสีม่วง (Dangles & Fenger, 2018; Haq, Aghajamali, & Hassanzadeh, 2021) ซึ่งทำให้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงมีลักษณะต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินที่พบว่า เมื่อเกิดอันตรกิริยากับไอออนของโลหะทองแดงที่ความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ 0.1 โมลต่อลิตร ที่ไม่มีการเปลี่ยนค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (617 nm) ในขณะที่เมื่อใช้บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 573 nm เป็น 617 nm นอกจากนี้สารละลายบัฟเฟอร์มีสมบัติในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช โดยความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์มีค่าเท่ากับผลรวมความเข้มข้นของคอนจูเกตเบสและความเข้มข้นของกรดก่อน ดังนั้นประสิทธิภาพการต้านในการเปลี่ยนแปลงพีเอชจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายบัฟเฟอร์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งในงานวิจัยพบว่า เมื่อใช้สารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้นสูงจะมีประสิทธิภาพในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายมากกว่าสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำ ดังนั้นเมื่อใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร จึงทำให้สารสกัดแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนสีเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลการวัดค่าความยาวคลื่นด้วยเทคนิค UV-Vis

การศึกษาลักษณะของไอออนรบกวนที่มีต่อการตรวจวัด Cu(II) และ Fe(II) เมื่อใช้สารสกัดอัญชันในรูปแบบของสารละลายรวมทั้งใช้ชุดทดสอบแบบกระดาษกรองที่เคลือบด้วยสารสกัดจากดอกอัญชัน พบว่า ไอออนบวกและไอออนลบของสารรบกวนแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงสีไม่ต่างกันเพราะอยู่ในช่วงสีน้ำเงินและม่วง ยกเว้นไอออนคาร์บอเนตที่เปลี่ยนเป็นสีเขียวอย่างชัดเจน โดยไอออนรบกวนชนิดต่างๆ เป็นไอออนที่สามารถพบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำทิ้งจากบ้านเรือน แหล่งน้ำที่ใกล้กับเกษตรกรรม และน้ำทิ้งในท้องปฏิบัติการเคมี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ไอออนเหล่านี้เป็นตัวแทนของไอออนรบกวน อย่างไรก็ตามสารสกัดอัญชันไม่สามารถแยกชนิดของโลหะ Cu(II) และ Fe(II) เมื่ออยู่ในลักษณะไอออนผสมได้ เนื่องจากมีสีใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากต้องการระบุชนิดของโลหะควรนำไปวิเคราะห์ต่อด้วยเทคนิค AAS

สรุปผลการวิจัย

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่พบในดอกอัญชันซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อนหรือเบสอ่อน โดยที่แอนโทไซยานินให้สีแดง สีม่วง และสีน้ำเงิน ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบส ของตัวทำละลาย และสามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดโลหะของไอออนได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้น้ำเป็นสารสกัดแอนโทไซยานิน เนื่องจากมีความเสถียรสูง โดยสารสกัดแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วงอย่างชัดเจนเมื่อใช้บัฟเฟอร์อะซิเตตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.01 ที่ค่าพีเอช 6 ซึ่งเกิดจากมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นลดลง

ส่วนผลของการเติมโออีออนรบกวนกลุ่มโดวาเลนตินั้นส่งผลต่อการรบกวนสีเพียงเล็กน้อย และพบว่า เมื่อนำชุดทดสอบในระบบสารละลายไปตรวจวัดโลหะเปรียบเทียบกับชุดทดสอบที่ใช้เป็นกระดาษเคลือบบนกระดาษกรอง พบว่า ผลการทดสอบทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกัน และมีค่าความถูกต้องเทียบเคียงกับเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรีเมื่อใช้เป็นวิธีมาตรฐาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ร่วมกับการใช้แถบสีวิเคราะห์ที่สามารถใช้เป็นอุปกรณ์ในระดับภาคสนามต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- เกตุณี เสาวงามจันทร์, และศศิธร มั่นเจริญ. (2019). การพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (III) โดยใช้สารสกัดแอนโทไซยานินจากธรรมชาติตรวจวัดด้วยสมาร์ตโฟน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(8), 1732–1738.
- แก้วมล มิตร์สีดา, และศักดิ์สิทธิ์ จันทน์ไทย. (2558). การหาปริมาณโลหะหนัก ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในน้ำเมาโดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี. *วารสารวิจัย มข. (บศ.)*, 15(1), 32–40.
- รวีวรรณ วัฒนพานิช, ชูรายา สะตาปอ, บิสมิ ยามา, สาธุมา สมานหมาน, และปิยาภรณ์ วังศิริกุล. (2560). การตรวจวัดไอออนเหล็กโดยใช้แอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 9(2), 97–103.
- วรจกณา เขาคี, ภรทิพย์ จางวาง, และวรเชษฐ์ วรณหลวง. (2563). การตรวจวัดไอออนทองแดงในน้ำโดยใช้กระดาษกรองดัดแปรด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรสีขา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(3), 984–996.
- สุนันทา ข้องสาย, ปวีณา ปรวัฒน์กุล, รุ่งนภา พิมพ์เสน, แฉ่งน้อย แสงเสนห์, และนงเยาว์ เทพยา. (2016). การตรวจวัดอะลูมิเนียมไอออนอย่างง่ายด้วยเทคนิคการสังเกตรีดด้วยตาเปล่าโดยใช้สารสกัดจากดอกชบาแดง. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 35(1), 92–102.
- Chung, C., Rojanasasithara, T., Mutilangi, W., & McClements, D.J. (2016). Enhancement of colour stability of anthocyanins in model beverages by gum arabic addition. *Food Chemistry*, 201, 14–22.
- Dangles, O., & Fenger, J.-A. (2018). The Chemical Reactivity of Anthocyanins and Its Consequences in Food Science and Nutrition. *Molecules*, 23, 1970.
- Haq, S.U., Aghajamali, M., & Hassanzadeh, H. (2021). Cost-effective and sensitive anthocyanin-based paper sensors for rapid ammonia detection in aqueous solutions. *RSC Advances*, 11, 24387–24397.

- Khaoodee, W., Wongkiti, R., & Madang, S. (2018). The application of using natural reagent extracted from purple sweet potato for naked-eye detection of copper in water samples. **Naresuan University Journal: Science and Technology**, **26**, 181–188.
- Pina, F. (2014). Chemical applications of anthocyanins and related compounds. A source of bioinspiration. J. Agric. **Food Chemistry**, **62**, 6885–6897.
- Pina, F., Melo, M.J., Laia, C.A.T., Parola, A.J., & Lima, J.C. (2012). Chemistry and applications of flavylium compounds: A handful of colours. **Chemistry Society Reviews**, **41**, 869–908.
- Rawdkuena, S., Fasehab, A., Benjakul, S., & Kaewprachu, P. (2020). Application of anthocyanin as a color indicator in gelatin films. **Food Bioscience**, **36**, 100603.
- Tang, B., He, Y., Liu, J., Zhang, J., Li, J. I., Zhou, J., Ye, Y., Wang, J., & Wang, X. (2019). Kinetic investigation into pH-dependent color of anthocyanin and its sensing performance. **Dyes and Pigments**, **170**, 107643.