

การพัฒนาเครื่องตรวจวัดไอออนโลหะหนักภาคสนามอัตโนมัติโดยใช้แอนโทไซยานินเป็นอินดิเคเตอร์
ร่วมกับการประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัว

Development of an Automated Field Heavy Metal Ion Detector Using Anthocyanin
as an Indicator with Embedded System Integration

ศิธรรัตน์ สมประสงค์^{1*} พัทธราภา จันทร์ถอด¹

ธนวัฒน์ ทับไธสง¹ สุกัญญา กิ่งกลาง¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารณราชวิทยาลัย มุกดาหาร, อำเภอเมืองมุกดาหาร, จังหวัดมุกดาหาร 49000, ประเทศไทย

*อีเมลล์: 06352@pccm.ac.th

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของไอออนโลหะในแหล่งน้ำเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน การพัฒนาวิธีตรวจวัดที่มีต้นทุนต่ำ สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว และเหมาะสมสำหรับการใช้งานภาคสนามจึงมีความสำคัญ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องตรวจวัดไอออนโลหะหนักภาคสนามอัตโนมัติโดยใช้แอนโทไซยานินเป็นอินดิเคเตอร์ร่วมกับการประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัว ศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอินทนิล (*Lagerstroemia speciosa*) และการตอบสนองต่อไอออนโลหะ จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ Cr^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} และ Pb^{2+} ในช่วง pH 1–13 โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีและสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (UV-1800) พัฒนาระบบตรวจวัดวิเคราะห์ค่าสี RGB โดยใช้เซนเซอร์ TCS3200 RGB color sensor เก็บข้อมูลผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ประมวลผลแบบคลาวด์เพื่อคำนวณความเข้มข้นของไอออนโลหะ ประเมินสมรรถนะของวิธีวิเคราะห์โดยศึกษาความเป็นเส้นตรงจากสมการมาตรฐาน และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับเทคนิค UV-Vis spectrophotometry เพื่อประเมินความถูกต้องด้วยสถิติ Paired-samples t-test และศึกษาความสามารถในการเลือกจำเพาะ ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดจากดอกอินทนิลมีปริมาณแอนโทไซยานินรวม (Total anthocyanin content) เท่ากับ 1.81 mg CGE/100g of FW มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) ที่ 550 นาโนเมตร ในช่วง pH 1–7 สารสกัดเกิดการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจนเมื่อเกิดสารเชิงซ้อนกับ Fe^{2+} , Fe^{3+} และ Cr^{3+} ระบบตรวจวัดเชิงสีที่พัฒนาให้สมการมาตรฐานที่มีความเป็นเส้นตรงสูง ($R^2 > 0.990$) ภายใต้ความเข้มแสง 20, 30, 60 และ 70 lux ผลการตรวจวัดปริมาณไอออนโลหะ Fe^{2+} , Fe^{3+} และ Cr^{3+} ในน้ำตัวอย่างพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.01$) กับเทคนิค UV-Vis spectrophotometry การศึกษาความสามารถในการเลือกจำเพาะพบว่า Mn^{2+} และ SO_4^{2-} ไม่รบกวนการตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.01$) ขณะที่ Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Cl^- , NO_3^- และ CO_3^{2-} ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ระบบที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนรวมทั้งสิ้น 990 บาทต่อชุด ซึ่งมีศักยภาพสำหรับการตรวจติดตามคุณภาพน้ำภาคสนาม และเป็นต้นแบบของแพลตฟอร์มตรวจวัดเชิงสีดิจิทัลจากธรรมชาติสำหรับงานวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: แอนโทไซยานิน, ดอกอินทนิล, การวิเคราะห์เชิงสีดิจิทัล, การตรวจวัดไอออนโลหะ, ระบบสมองกลฝังตัว

บทนำ

การปนเปื้อนของโลหะหนักจากอุตสาหกรรมในแหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน การพัฒนาวิธีตรวจวัดต้นทุนต่ำ รวดเร็วและเหมาะสมสำหรับใช้งานภาคสนามจึงมีความสำคัญ แม้ปัจจุบันจะมีเทคนิคมาตรฐาน เช่น

Spectroscopy หรือ Voltammetry แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องเครื่องมือที่ซับซ้อน ราคาสูง ละต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ การตรวจวัดเชิงสี (Colorimetry) เป็นวิธีที่ง่าย โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีระหว่างไอออนโลหะหนักกับสารอินทรีย์ในสภาวะ pH ที่จำเพาะซึ่งแอนโทไซยานินจากธรรมชาติสามารถทำหน้าที่

เป็นลิแกนด์เปลี่ยนสีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า งานวิจัยนี้จึงสนใจใช้แอนโทไซยานินจากดอกอินทนิลเนื่องจากเข้าถึงง่ายและยังมีการศึกษาน้อย อย่างไรก็ตาม การสังเกตด้วยตาเปล่ามีข้อจำกัดด้านการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ส่วนเทคนิค Digital image colorimetry (RGB) มักประสบปัญหาแสงแวดล้อมที่ไม่คงที่ ปัจจุบันจึงมีการนำระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) มาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์

การศึกษานี้จึงมุ่งศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอินทนิลในการตรวจวัดไอออนโลหะหนัก 10 ชนิด (Cr^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} และ Pb^{2+}) เพื่อพัฒนาเป็นเครื่องตรวจวัดในระบบปิด โดยใช้เซนเซอร์วัดค่าสี RGB ร่วมกับบอร์ด ESP32 ส่งข้อมูลไปยัง Google Apps Script เพื่อคำนวณปริมาณโลหะหนักจากกราฟมาตรฐานและแสดงผลผ่าน Google Sheet ได้ทันที พร้อมทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดกับเครื่อง Spectrophotometer UV-1800 ชุดตรวจวัดภาคสนามอัตโนมัตินี้ช่วยเพิ่มความสะดวกในการวิเคราะห์ปริมาณ มีขนาดเล็ก พกพาง่าย ไม่ต้องต่อสายไฟ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้สารสกัดธรรมชาติและลดการใช้สารเคมี ส่งผลให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

วิธีการดำเนินงาน

ตอนที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพแอนโทไซยานินจากสารสกัดดอกอินทนิล 1.1) เตรียมสารสกัดดอกอินทนิลด้วยน้ำปราศจากไอออน 1.2) ศึกษาการดูดกลืนแสงช่วง 450–700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer UV-1800 เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสงที่สภาวะ pH ต่าง ๆ 1.3) วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินรวม (Total Anthocyanin Content) ด้วยวิธี pH differential (Shafazila, Pat, & Lee, 2010) โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 และ 700 นาโนเมตร ที่สภาวะ pH 1 และ 5 มาคำนวณตามสมการที่ (1)

$$\text{TA content} = \frac{(A \times Mw \times \text{dilution factor} \times 100)}{\epsilon}$$

จากนั้นคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินรวม (TA) ในหน่วย mg CGE/100 g FW โดยแทนค่าการดูดกลืนแสง (A) จากสมการที่ (1) ลงในสมการที่ (2)

$$\text{TA content} = \frac{(A \times Mw \times \text{dilution factor} \times 100)}{\epsilon}$$

1.4) การทดสอบปฏิกิริยากับโลหะหนัก หยดไอออนโลหะ 10 ชนิด ได้แก่ Cr^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} และ Pb^{2+} (เข้มข้น 200 mg/L) ลงในสารสกัดที่ปรับค่า pH ต่างกัน แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลง พร้อมศึกษาความไวของการเปลี่ยนสีในช่วงความเข้มข้น 0.1–200 mg/L

ตอนที่ 2 การพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนโลหะหนักภาคสนามอัตโนมัติ 2.1) ออกแบบตัวเครื่องและระบบสมองกลฝังตัว ประกอบด้วยแท่นทดสอบแบบถอดได้ เซนเซอร์วัดค่าสี RGB แหล่งกำเนิดแสงภายใน และบอร์ด ESP32 2.2) ศึกษาผลของความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ติดตั้งในชุดตรวจ 2.3) นำค่าความเข้มสี RGB ที่วัดได้มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มสีและความเข้มข้นของไอออนโลหะหนัก

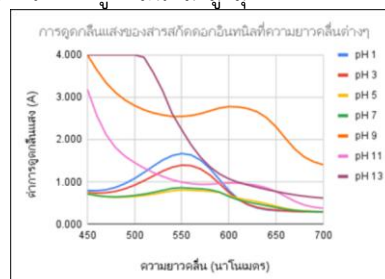
ตอนที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดไอออนโลหะหนักภาคสนามอัตโนมัติ โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ 5 ตัวอย่าง มาวัดปริมาณไอออนโลหะหนักด้วย 2 วิธีคือ 1) เครื่องตรวจวัดไอออนโลหะหนักภาคสนามอัตโนมัติ 2) วิธีสเปกโทรสโกปีโดยเครื่อง Spectrophotometer UV-1800 และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับสถิติ t-test

ตอนที่ 4 การศึกษาผลการรบกวนของไอออนต่อประสิทธิภาพการตรวจวัด 4.1) วัดปริมาณไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่างทั้ง 5 ด้วยเครื่องตรวจวัดภาคสนามอัตโนมัติ โดยหยดไอออนรบกวนขณะตรวจวัดได้แก่ ไอออนประจุบวก (Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} เข้มข้น 100 mg/L) และไอออนประจุลบ (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , CO_3^{2-} เข้มข้น 500 mg/L) 4.2) เปรียบเทียบปริมาณ Cr^{3+} , Fe^{2+} และ Fe^{3+} ก่อนและหลังหยดไอออนรบกวนด้วยสถิติ t-test

ผลและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแอนโทไซยานินจากสารสกัดดอกอินทนิล

1.1) ผลการหาค่าดูดกลืนแสงสูงสุด

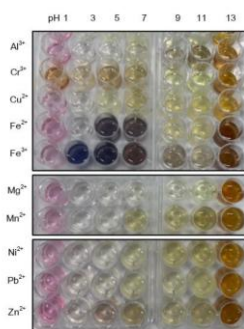


ภาพที่ 1 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดดอกอินทนิลที่ pH 1–13 ในช่วงความยาวคลื่น 450–700

nm สารสกัดดอกอินทนิลที่สภาวะ pH 1 – 7 มีค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด $\lambda_{\max} = 550$ นาโนเมตร ในขณะที่สารสกัดดอกอินทนิลที่สภาวะ pH > 7 มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด $\lambda_{\max} > 550$ นาโนเมตร

1.2) ผลการวิเคราะห์ Total anthocyanin content จากสารสกัดดอกอินทนิลสารสกัดดอกอินทนิลมีค่าการดูดกลืนแสง (A) เท่ากับ 0.542 ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณตามสมการที่ (1) และ (2) จะได้ปริมาณแอนโทไซยานินรวม (TAC) เท่ากับ 1.81 mg CGE/100g FW

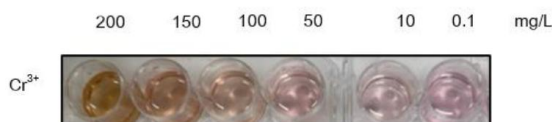
1.3) ผลการศึกษาสีของสารสกัดดอกอินทนิลในการทดสอบไอออนโลหะ ดังภาพที่ 10 สารสกัดดอกอินทนิลไม่เปลี่ยนสีกับ Al^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{3+} , Ni^{2+} และ Pb^{2+} แต่จะเปลี่ยนสีกับ Cr^{3+} (สีส้มที่ pH 1), Fe^{3+} (สีน้ำเงินที่ pH 3 และม่วงอมน้ำตาลที่ pH 5–7), Fe^{2+} (สีม่วงอมน้ำตาลที่ pH 5–7) และ Zn^{2+} (สีชมพูที่ pH 5)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดดอกอินทนิลเมื่อทดสอบไอออนโลหะ

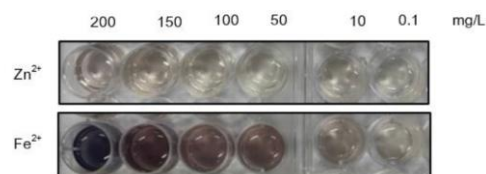
ผลการทดสอบสารสกัดดอกอินทนิลแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) ทดสอบในสภาวะกรด (Cr^{3+} , Zn^{2+}) 2) ทดสอบในสภาวะกรด-กลาง (Fe^{2+} , Fe^{3+}) และ 3) ไม่สามารถทดสอบได้ (Al^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{3+} , Ni^{2+} , Pb^{2+})

1.4) ผลการศึกษาสีของสารสกัดดอกอินทนิลในการทดสอบกับไอออนโลหะที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อทำการทดสอบไอออนโลหะ Cr^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} และ Zn^{2+} ที่ความเข้มข้น ความเข้มข้น 0.1 – 200 mg/L ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 11-13

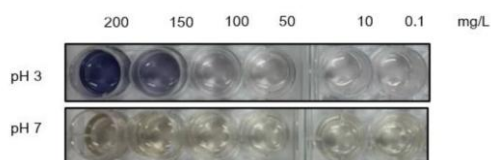


ภาพที่ 3 สีของสารสกัดดอกอินทนิลเมื่อทดสอบไอออน

โลหะ Cr^{3+} ที่ pH 1



ภาพที่ 4 สีของสารสกัดดอกอินทนิลเมื่อทดสอบไอออนโลหะ Zn^{2+} และ Fe^{2+} ที่ pH 5

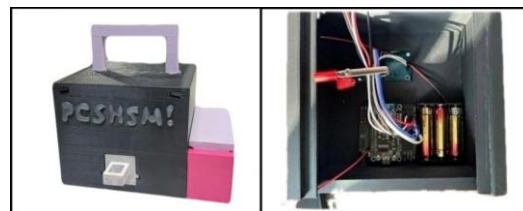


ภาพที่ 5 สีของสารสกัดดอกอินทนิลเมื่อทดสอบไอออนโลหะ Fe^{3+} ที่ pH 3 และ 7

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนโลหะหนักภาคสนามอัตโนมัติ

2.1) ผลการศึกษาผลของความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ติดตั้งในชุดตรวจการศึกษาความเข้มแสง (10–100 ลักซ์) ในชุดตรวจพบว่า แสงที่ให้กราฟมาตรฐานที่มีค่า $R^2 > 0.990$ ในแต่ละสารละลาย คือ Fe^{3+} ที่ 20 ลักซ์ (ช่องสี G และ B), Fe^{2+} ที่ 60 ลักซ์ (ช่องสี R) และ 70 ลักซ์ (ช่องสี R, G, B) และ Cr^{3+} ที่ 20 ลักซ์ (ช่องสี R)

2.2) ผลการออกแบบระบบสมองกลฝังตัวสำหรับวัดค่าความเข้มสีของสารละลายเมื่อทดสอบไอออนโลหะหนักด้วยสารสกัดจากดอกอินทนิล



ภาพที่ 6 ชุดตรวจวัดไอออนโลหะหนักอัตโนมัติภายนอกและภายใน

ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไอออนโลหะหนักระหว่างการตรวจวัดด้วยชุดตรวจวัดไอออนโลหะหนักภาคสนามอัตโนมัติกับวิธีสเปกโทรสโกปี ด้วยสถิติ t-test

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณ Fe^{2+} ระหว่างชุดตรวจวัดภาคสนามอัตโนมัติกับวิธีสเปกโทรสโกปีด้วย t-test (mg/L)

ตัวอย่าง	ปริมาณจาก ชุดตรวจ	ปริมาณจากวิธี สเปกโทรสโกปี	t	p-value
sample 1	10.16	10.21	2.511	0.033
sample 2	27.43	27.41	-2.449	0.035
sample 3	29.55	29.28	-0.336	0.377
sample 4	13.00	13.23	1.627	0.089
sample 5	11.45	11.34	-2.034	0.055

ปริมาณของ Fe^{2+} ที่ตรวจวัดในน้ำตัวอย่างจากชุดตรวจวัดและวิธีสเปกโทรสโกปี ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณ Fe^{3+} ระหว่างชุดตรวจวัดภาคสนามอัตโนมัติกับวิธีสเปกโทรสโกปีด้วย t-test (mg/L)

ตัวอย่าง	ปริมาณจาก ชุดตรวจ	ปริมาณจากวิธี สเปกโทรสโกปี	t	p-value
sample 1	22.10	22.02	-2.760	0.260
sample 2	7.90	7.78	-4.550	0.099
sample 3	13.46	13.23	-2.114	0.051
sample 4	5.43	5.06	-2.473	0.034
sample 5	8.52	8.17	-2.432	0.0360

ปริมาณของ Fe^{3+} ที่ตรวจวัดในน้ำตัวอย่างจากชุดตรวจวัดและวิธีสเปกโทรสโกปี ไม่แตกต่างกัน

ตอนที่ 4 ผลการรบกวนของไอออนต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักด้วยชุดตรวจภาคสนามอัตโนมัติ กลุ่มที่ไม่มีผลรบกวนอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.01$) ไอออนประจุบวก Mn^{2+} และไอออนประจุลบ SO_4^{2-} ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าที่วัดได้กลุ่มที่มีผลรบกวนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ไอออนประจุบวก Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} ส่งผลให้ค่าปริมาณโลหะวิเคราะห์คลาดเคลื่อนเช่นเดียวกับไอออนประจุลบอย่าง Cl^- , NO_3^- และ CO_3^{2-}

สรุปผล

สารสกัดดอกอินทนิล (ปริมาณแอนโทไซยานินรวม 1.81 mg CGE/100g FW) มีสีม่วงที่ pH 1–7 ($\lambda_{max} = 550$ nm) โดยจะเปลี่ยนสีเฉพาะเมื่อทำปฏิกิริยากับ Cr^{3+} (pH 1), Fe^{2+} (pH 5) และ Fe^{3+} (pH 3) แต่ไม่เปลี่ยนสีเมื่อทดสอบกับ Al^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{3+} , Ni^{2+} และ Pb^{2+} ชุดตรวจวัดมีต้นทุน 990 บาท ให้กราฟมาตรฐานที่มีความเป็นเส้นตรงสูง ($R^2 > 0.990$) ในสภาวะดังนี้ Fe^{3+} ที่ความเข้มข้น 20 ลักซ์ (ช่อง G, B) และ 30 ลักซ์ (ช่อง B), Fe^{2+} ที่ 60 ลักซ์ (ช่อง R) และ 70 ลักซ์ (ช่อง R, G, B) ส่วน Cr^{3+} ที่ 20 ลักซ์ (ช่อง R) ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{2+} , Fe^{3+} และ Cr^{3+} ในน้ำตัวอย่างด้วยชุดตรวจ ไม่แตกต่างจากวิธีสเปกโทรสโกปีอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.01$) สำหรับการศึกษาไอออนรบกวนพบว่า Mn^{2+} และ SO_4^{2-} ไม่มีผลรบกวนการตรวจวัด แต่ Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Cl^- , NO_3^- และ CO_3^{2-} มีผลรบกวนอย่างมีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณครูธนพัฒน์ ทับโธสง และคุณครูสุกัญญา กิ่งกลาง ครูที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้คำปรึกษาขอขอบคุณผู้บริหารและคณะครูโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย มุกดาหาร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือและขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ที่เป็นกำลังใจสำคัญเสมอมา

บรรณานุกรม

เกวลี ขอบธรรม และชลดา เดชาเกียรติไกร ชีรการณวงศ์. (2565). การพัฒนาเซนเซอร์สีอย่างง่ายสำหรับการตรวจวัดไอออนโลหะทองแดงและเหล็ก. PSRU Journal of Science and Technology. 7(2): 14–29.



- รวีวรรณ วัฒนายน, ชูรายา สะตาปอ, บิสมิ ยามา, สาธุ
มา สมานหมาน และปิยาภรณ์ วังศิริกุล.
(2560). การตรวจวัดไอออนเหล็กโดยใช้แอนโท
ไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง. วารสาร
มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์. 9(2): 97–
103.
- สินีนากู ภูมิศรี และศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. (2558). การ
หาปริมาณแอนโทไซยานินและผลของไอออน
อะลูมิเนียมต่อเสถียรภาพของน้ำเฝ้า. วารสาร
วิจัย มข. (บศ.). 15(1): 41–51.
- สุนันทา ข้องสาย, ปวีณา ปรวัณกุล, รุ่งนภา พิมเสน,
เน่งน้อย แสงเสน่ห์ และนงเยาว์ เทพยา.
(2559). การตรวจวัดอะลูมิเนียมไอออนอย่าง
ง่ายด้วยเทคนิคการสังเกตด้วยตาเปล่า โดยใช้
สารสกัดจากดอกชบาแดง. วารสารวิชา
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. 35(1):
92–102.
- อรุษา เขาวนลิขิต. (2554). การสกัดและวิธีการวิเคราะห์
แอนโทไซยานิน. วารสารมหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี). 3(6): 26–36.
- Ion, T., Violeta, N., & Mira, I. (2011).
Determination of Tin in Canned Foods
by Inductively Coupled Plasma-Mass
Spectrometry. Polish Journal of
Environmental Studies. 21: 741–754.
- Khaoodee, W., Aeungmaitrepirom, W., & Tuntulani,
T. (2014). Effectively simultaneous
naked-eye detection of Cu(II), Pb(II),
Al(III) and Fe(III) using cyanidin extracted
from red cabbage as chelating agent.
Spectrochimica Acta Part A: Molecular
and Biomolecular Spectroscopy. 126:
98–104.
- Shafazila, T. S., Pat, M. L., & Lee, K. (2010).
Radical scavenging activities of extract
and solvent-solvent partition fractions
from Dendrobium Sonia 'Red Bom'
flower. In Proceeding of International
Conference on Science and Social
Research. 762–765. Malaysia: Universiti
Teknologi MARA.