

การสังเคราะห์ฟิล์มคาร์บอกซีฟลูออเรสซินเพื่อตรวจวัดปริมาณไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ในสารละลายด้วยกระบวนการโซล-เจลร่วมกับเทคนิคการจุ่มเคลือบ

สุนิศา จิตสุนทรชัยกุล^{1*}, อังทินี กิตติโรชิต², อนุวัฒน์ หัสดี³

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอัจฉริยะ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

³สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author email: Sunisa.ji@bsru.ac.th

ได้รับบทความ: 24 มกราคม 2567

ได้รับบทความแก้ไข: 4 มีนาคม 2567

ยอมรับตีพิมพ์: 24 มีนาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อสังเคราะห์ฟิล์มตรวจวัดปริมาณไอออนของทองแดงที่เตรียมขึ้นในความเข้มข้น 1×10^{-8} โมลาร์ ถึง 1×10^{-3} โมลาร์ ด้วยฟิล์มคาร์บอกซีฟลูออเรสซิน (Carboxyfluorescein, CF) ด้วยกระบวนการโซล-เจลร่วมกับเทคนิคการจุ่มเคลือบทดสอบด้วยหลักการดูดกลืนของแสงในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 1100 นาโนเมตร จากเครื่องยูวีวิสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis spectrophotometer) พบว่าฟิล์มคาร์บอกซีฟลูออเรสซินสามารถตรวจสอบความเข้มข้นของไอออนของทองแดงในช่วงการดูดกลืนระหว่าง 487 นาโนเมตร ถึง 491 นาโนเมตร โดยแสดงความเป็นเชิงเส้นด้วยสมการ $y = 0.0009 \ln(x) + 0.1283$; $R^2 = 0.97$ เมื่อ x คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไอออนของทองแดงในหน่วยโมลาร์ y คือ ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มตรวจวัดคาร์บอกซีฟลูออเรสซินที่ความยาวคลื่น ~ 490 นาโนเมตร ดังนั้นฟิล์มคาร์บอกซีฟลูออเรสซินที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถนำไปตรวจวัดปริมาณไอออนของทองแดงได้

คำสำคัญ: คาร์บอกซีฟลูออเรสซิน / โซล-เจล / ทองแดง

The Synthesized of carboxyfluorescein films for detect quantification of Cu^{2+} ion in solution via sol-gel method and dip-coating technique.

Sunisa Jitsoonthonchaiyakul^{1*}, Aungtinee Kittiravechote², Anuwat Hassadee³

¹Smart Technology Program, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

²General Science Program, Faculty of Education,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

³Physics Program, Faculty of Education,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

*Corresponding author email: Sunisa.ji@bsru.ac.th

Received: 24 January 2024

Revised: 4 March 2024

Accepted: 24 March 2024

Abstract

This research for synthesize film examining the concentration of copper ions (Cu^{2+}) prepared in the range of 1×10^{-8} to 1×10^{-3} molar using Carboxyfluorescein (CF) film via the sol-gel process combined with dip-coating technique. The testing was performed based on the principle of light absorption in the range of 400 to 1100 nanometer from a UV-vis spectrophotometer. The results showed that the Carboxyfluorescein film was able to detect the concentration of copper ions in the absorption range between 487 to 491 nanometer. The relationship was linearly expressed by the equation $y = 0.0009 \ln(x) + 0.1283$; $R^2 = 0.97$, where x is the concentration of copper ions in molar unit, and y is the light absorption value of the Carboxyfluorescein film at an approximate wavelength of 490 nanometer. Therefore, the synthesized Carboxyfluorescein film can be utilized for quantifying the concentration of copper ions.

Keywords: Carboxyfluorescein / sol-gel / copper

บทนำ

ไอออนของโลหะหนักเป็นสารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เสี่ยงต่อการพัฒนาเป็นโรคต่าง ๆ ตามมา [2] โดยไอออนของโลหะหนักที่ผู้วิจัยทำการตรวจวัดคือ ไอออนของทองแดง ซึ่งไอออนของทองแดงสามารถพบได้ในแม่น้ำลำคลองเป็นผลมาจากโรงงานอุตสาหกรรม คริวเรือน การเกษตร รวมไปถึงการใช้ชีวิตประจำวันจากการรับประทานอาหารจำพวกอาหารทะเล เครื่องดื่มบางชนิด เป็นต้น [8] หากร่างกายมีไอออนของทองแดงสะสมมากกว่า 100 มิลลิกรัม จะส่งผลให้เกิดอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร อาเจียน เม็ดเลือดแดงแตกตัว ทำลายตับ ส่งผลต่อการเป็นโรคตับแข็ง สำหรับในแหล่งน้ำหากมีปริมาณไอออนของทองแดงมากกว่า 0.1 ต่อล้านส่วน (ppm) จะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ [13] วิธีการตรวจวัดไอออนของโลหะหนักในปัจจุบันที่นิยมใช้สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้ เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรสโคปี (Atomic Absorption Spectrometer (AAS)) [1, 9] เครื่องอินดักทีฟพลาสมาออปติคัลอิมิสชันสเปกโตรมิเตอร์ (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)) เครื่องอินดักทีฟพลาสมาแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)) [4, 11] เครื่องมือเหล่านี้มีความแม่นยำสูง แต่มีข้อจำกัดในการสอบเทียบ การดูแลเครื่องมือ ราคาสูง ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญในการวัดวิเคราะห์ [5] ซึ่งแตกต่างจากเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่เป็นเครื่องมือที่มีกันอย่างแพร่หลายในห้องปฏิบัติการทดลอง สามารถนำมาประยุกต์สู่การตรวจวัดปริมาณและสิ่งต่าง ๆ ได้

การสร้างฟิล์มตรวจวัดเป็นอีกหนึ่งวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยการสร้างฟิล์มตรวจวัดสามารถเลือกกระบวนการสร้างที่เหมาะสมกับงานวิจัย ในงานวิจัยนี้ได้การสังเคราะห์ฟิล์มตรวจวัดด้วยกระบวนการจุ่มเคลือบ [7] กระบวนการโซล-เจล [3] ซึ่งกระบวนการทั้งสองกระบวนการมีความสะดวกสังเคราะห์ได้ง่ายในอุณหภูมิห้อง สามารถเลือกสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ได้หลากหลาย สามารถควบคุมความหนาของฟิล์มตรวจวัดได้จากการกำหนดความเร็วในการจุ่มเคลือบ ทำให้ได้ฟิล์มตรวจวัดที่ได้สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารประกอบคาร์บอกซีฟลูออเรสเซินเนื่องจากเป็นสารเคมีที่มีการดูดกลืนอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น ตอบสนองต่อค่าความเป็นกรด-เบสได้ดี ไม่เป็นพิษต่อร่างกายเนื่องจากมีงานวิจัยนำมาใช้ในการตรวจวัด ติดตามเซลล์ภายในร่างกาย ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัดในแหล่งน้ำจึงไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระบบแวดล้อม และยังสามารถนำฟิล์มตรวจวัดที่ได้ประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องมือตรวจวัดภาคสนามจากการใช้ไดโอดเปล่งแสงและโฟโตไดโอด [6] ได้อีกด้วย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่สร้างฟิล์มตรวจวัดไอออนของทองแดงด้วยกระบวนการโซล-เจล โดยใช้สารเตตระเอทิลออร์โทซิลิเกตเป็นสารตั้งต้นในการสร้างฟิล์มและใช้สารประกอบคาร์บอกซีฟลูออเรสซินเป็นอินดิเคเตอร์ในการตรวจวัดไอออนของทองแดงผ่านกระบวนการจุ่มเคลือบ เพื่อให้ได้ฟิล์มตรวจวัดที่สามารถเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง และสร้างกราฟมาตรฐานในการตรวจวัดปริมาณไอออนของทองแดง เพื่อเป็นแนวทางการตรวจวัดไอออนของโลหะหนักแบบภาคสนาม

วัสดุและวิธีการ

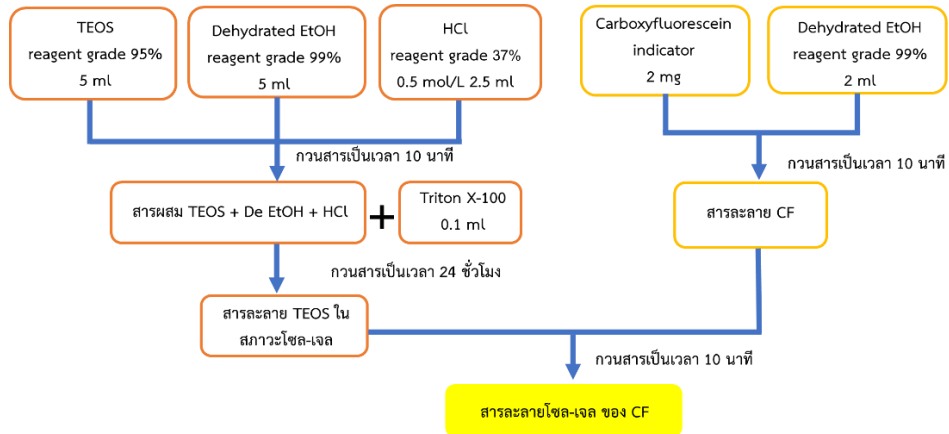
1. สารเคมี

สารประกอบคาร์บอกซีฟลูออเรสซิน (Carboxyfluorescein indicator, CF) ความบริสุทธิ์ 95% เตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (Tetraethyorthosilicate, TEOS) ความบริสุทธิ์ 95% (Sigma–Aldrich) ดีไฮเดรตเอทิลแอลกอฮอล์ (Dehydrated ethyl alcohol, C₂H₅OH) ความบริสุทธิ์ 99% (Macrons tm chemical) เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol, C₂H₅OH) ความบริสุทธิ์ 95% (J.T. Baker) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ความบริสุทธิ์ 37% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) (QReC) ไทรตัน เอ็กซ์-100 (Triton X-100) และคอปเปอร์คลอไรด์ (Copper (II) chloride, CuCl₂) (Sigma–Aldrich)

2. กระบวนการเตรียมฟิล์มคาร์บอกซีฟลูออเรสซิน (CF)

2.1 การเตรียมสาร CF ด้วยวิธีโซล –เจล

นำสาร TEOS : Dehydrated EtOH : HCl ในอัตราส่วน 1:1:0.5 ในปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันนาน 10 นาที จากนั้นเติม Triton x-100 ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร กวนสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารนาน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้สารละลายอยู่ในสถานะโซล-เจล จากนั้นเติมสารละลายสีย้อมเรืองแสงคาร์บอกซีฟลูออเรสซิน (CF) ที่ละลายในตัวทำละลาย Dehydrated EtOH (ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม : 1 มิลลิลิตร) โดยใช้อัตราส่วนของสารละลาย TEOS : สารละลาย CF ในอัตราส่วน 5:1 โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากันนาน 10 นาที จะได้สารละลายของ CF ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ไตอะแกรมขั้นตอนการเตรียมสารละลายโซล-เจลของ CF

2.2 การขึ้นรูปฟิล์ม CF ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ

นำกระจกสไลด์มาตัดให้มีขนาด 1.8 เซนติเมตร x 3.2 เซนติเมตร ทำความสะอาดด้วยน้ำสบู่และทำการแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาล้างด้วยเอทานอลและน้ำ DI เป่าให้แห้ง จากนั้นทำการจุ่มเคลือบด้วยเครื่องจุ่มเคลือบโดยให้กระจกสไลด์แช่ในสารละลายโซล-เจลของ CF นาน 1 นาที เพื่อให้สารละลายโซล-เจลของ CF มีการยึดเกาะติดกับตัวของกระจกสไลด์ ดึงกระจกสไลด์ขึ้นด้วยอัตราเร็วคงที่ 2.3 เซนติเมตรต่อนาทีสำหรับทุก ๆ การจุ่มเคลือบ เพื่อให้ฟิล์มที่ตรวจวัดที่ได้มีความหนาเดียวกัน ทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนแห้งจะได้ฟิล์ม CF พร้อมนำไปใช้งาน

3. การทดสอบไอออนของทองแดง (Cu²⁺) ด้วยฟิล์ม CF

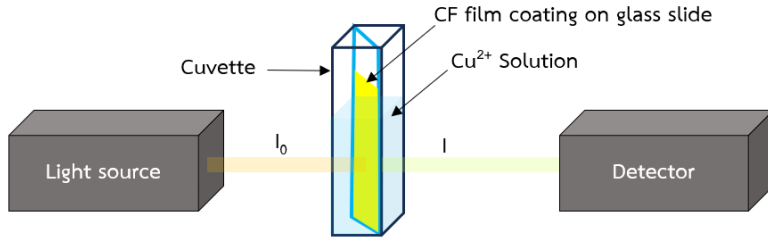
3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไอออนของทองแดง

เตรียมสารละลาย CuCl₂ ที่ละลายในน้ำ DI ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ในปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นทำการลดความเข้มข้นของสารละลายให้เป็น 1x10⁻⁸ โมลาร์ ถึง 1x10⁻³ โมลาร์ ด้วยกระบวนการทำให้เจือจาง (dilution) เพื่อเป็นสารละลายมาตรฐานในการทดสอบปริมาณไอออนของทองแดงที่อยู่ในสารละลาย

3.2 การติดตั้งฟิล์ม CF ในเครื่อง UV-vis spectrophotometer

ทำการทดสอบโดยการวัดการตอบสนองของฟิล์ม CF โดยใช้เครื่อง UV-vis spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-1800 ในโหมดการวัดคลื่นแสงของสารละลาย CuCl₂ ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยมีฟิล์ม CF วางตัวทำมุม 45° กับแหล่งกำเนิดแสง

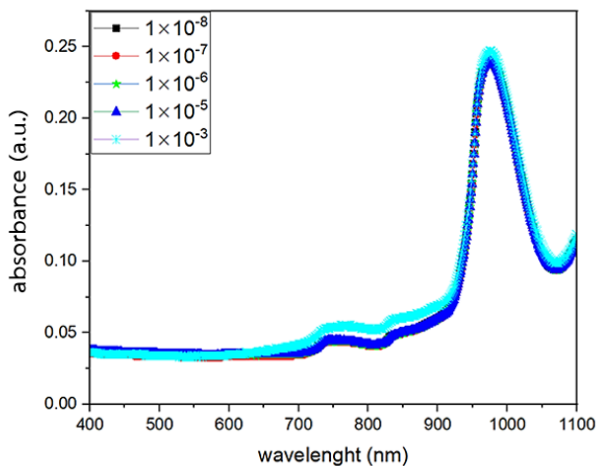
ในช่วงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร – 1100 นาโนเมตร ดังภาพที่ 2 ทำการทดสอบซ้ำ จำนวน 5 รอบ



ภาพที่ 2 การติดตั้งฟิล์ม CF ในเครื่อง UV-vis spectrophotometer

ผลการศึกษา

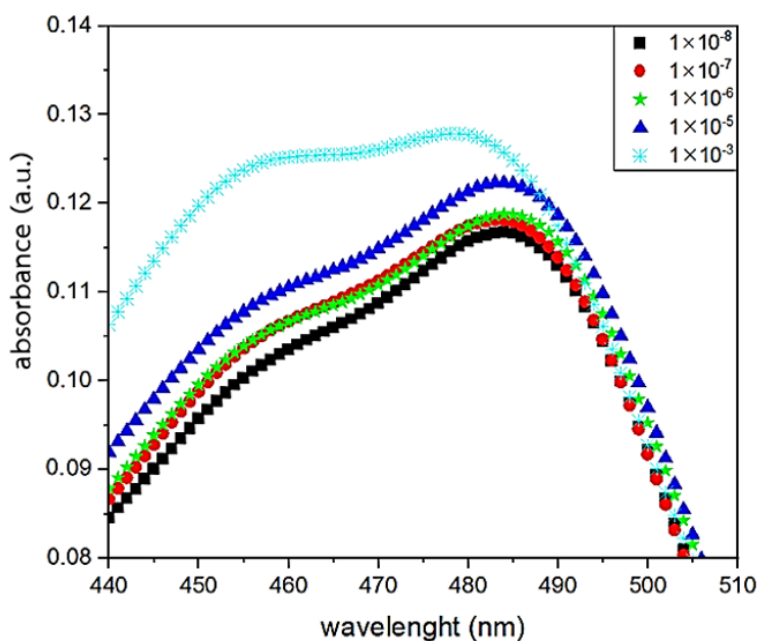
1. ผลการวิเคราะห์ของสารละลายมาตรฐานไอออนของทองแดง การตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไอออนของทองแดง ที่ความเข้มข้น 10^{-8} โมลาร์ ถึง 10^{-3} โมลาร์ โดยใช้หลักการดูดกลืนแสงของเครื่อง UV-vis spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ถึง 1100 นาโนเมตร แสดงดังภาพ 3



ภาพที่ 3 การดูดกลืนแสงของสารละลายไอออนของทองแดงที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

จากภาพที่ 3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไอออนของทองแดงที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนของเครื่อง UV-spectrometer ช่วงความยาวคลื่น 400 – 1100 นาโนเมตร ไม่สามารถแยกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนของทองแดงได้ เนื่องจากการซ้อนทับกันของกราฟแต่ละความเข้มข้นของ

ไอออนของทองแดง ดังนั้นจึงได้นำฟิล์มคาร์บอกซีฟลูออเรสซิน (CF) มาร่วมในการตรวจวัด เพื่อแยกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของไอออนของทองแดง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การดูดกลืนแสงของสารละลายไอออนของทองแดง ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับฟิล์ม CF ในช่วงความยาวคลื่น 440 – 510 นาโนเมตร

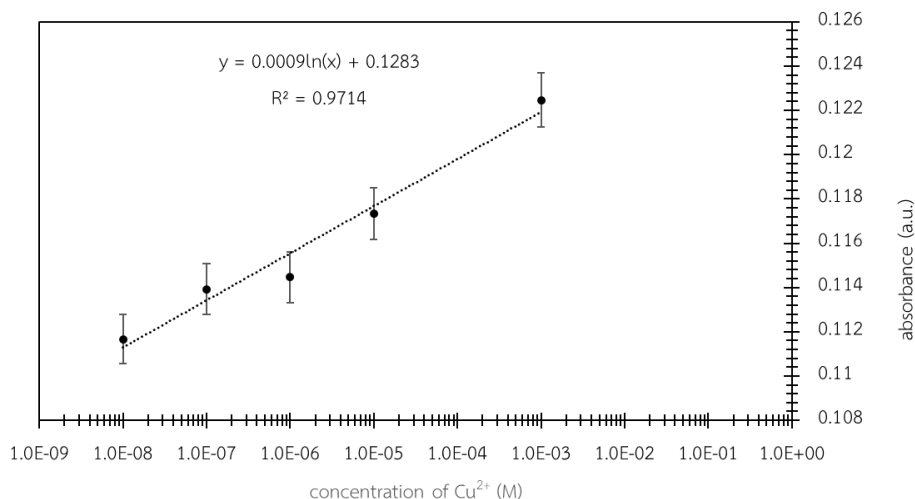
เมื่อนำฟิล์ม CF มาร่วมการตรวจวัดพบว่าการดูดกลืนของแสงเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร – 500 นาโนเมตรของทุกความเข้มข้นของสารมาตรฐานไอออนของทองแดง และมีความแตกต่างกันของค่าการดูดกลืนของสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เนื่องจากอิทธิพลของการดูดกลืนแสงเฉพาะตัวของฟิล์ม CF จากนั้นจึงพิจารณาข้อมูลในช่วง 440 นาโนเมตร – 510 นาโนเมตร จากการพิจารณาการดูดกลืนแสงของสารละลายไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับฟิล์ม CF ในช่วงความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร – 510 นาโนเมตร พบว่าฟิล์ม CF สามารถแยกความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนของทองแดงได้อย่างชัดเจน และมีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่ความเข้มข้น 1×10^{-3} โมลาร์ เนื่องจากมีความเข้มข้นของไอออนของทองแดงสูงที่สุดจึงส่งผลต่อการดูดกลืนมากที่สุด โดยค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนของทองแดงแปรผันโดยตรงกับค่าการดูดกลืนแสงจากฟิล์ม CF ที่ร่วมทดสอบที่ความ

ยาวคลื่น λ 490 นาโนเมตร ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 5 รอบดังตารางที่ 1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xia H, et al[15] ที่ได้นำสารประกอบคาร์บอกซีฟลูออเรสซินตรวจวัดไอออนของทองแดงที่เกาะอยู่กับกรดอะมิโน

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเข้มข้นของไอออนของทองแดง ความยาวคลื่น และค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มตรวจวัด

Concentration (M)	Wavelength (nm)	Absorbance (a.u.)
1×10^{-3}	487	$0.12247 \pm 1.22 \times 10^{-3}$
1×10^{-5}	491	$0.11733 \pm 1.17 \times 10^{-3}$
1×10^{-6}	491	$0.11447 \pm 1.14 \times 10^{-3}$
1×10^{-7}	490	$0.11393 \pm 1.13 \times 10^{-3}$
1×10^{-8}	491	$0.11167 \pm 1.11 \times 10^{-3}$

เมื่อนำผลของค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 487 นาโนเมตร - 491 นาโนเมตร เทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนของทองแดงแบบความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยกำหนดค่าการดูดกลืนสารละลายมาตรฐานไอออนของทองแดงในแนวแกน y และ ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนของทองแดงแบบ logarithmic scale ในแนวแกน x ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟมาตรฐานในการตรวจวัดปริมาณไอออนของทองแดง โดยใช้ฟิล์มตรวจวัดที่สร้างขึ้น

จากการหาความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่า ได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$y = 0.0009\ln(x) + 0.1283 \quad (1)$$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนของแสง

x คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอออนของทองแดง ในหน่วยโมลาร์

โดยสมการที่ 1 มีค่า $R^2 = 0.9714$ ดังนั้นหากต้องการนำฟิล์มตรวจวัดไปใช้งานในการตรวจวัดความเข้มข้นไอออนของทองแดง สามารถทำการอ่านค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-spectrometer ที่มีฟิล์ม CF ร่วมในตรวจวัดนำค่าการดูดกลืนของแสงแทนกลับลงในสมการที่ 1 แก่สมการเพื่อทำการหาค่าความเข้มข้นของสารละลายที่คาดว่าจะมีการเจือปนของไอออนของทองแดงนั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wen T, et al [14] ที่ทำการทดสอบปริมาณไอออนของทองแดงตั้งแต่ 0 – 1.6 ไมโครโมลาร์ใน DNA ร่วมกับสารประกอบอื่น ๆ และสารละลายคาร์บอกซีฟลูออเรสซินโดยได้สมการเป็น $(F_0-F)/F_0 = 0.4054C + 0.1334$ และค่า $R = 0.9997$ และจากผลการทดลองในภาพที่ 5 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องวัดภาคสนามของ สิริลักษณ์ เพ็ชรรัตน์และคณะ [6] โดยการปรับเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงเป็นไดโอดสีน้ำเงิน ทำการอ่านค่าการดูดกลืนนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับภาพที่ 5 เพื่อหาความเข้มข้นไอออนของทองแดงในน้ำในการตรวจวัดภาคสนามได้

วิจารณ์

จากผลการทดสอบการดูดกลืนแสงของฟิล์ม CF ที่สร้างขึ้นกับค่าความเข้มข้นของไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) พบว่าการดูดกลืนที่เกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่น ความยาวคลื่นที่ใช้ในการพิจารณาประมาณ 490 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Massou S, et al [12] ที่ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอกซีฟลูออเรสซินที่ส่งผลต่อการเรืองแสง พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารเรืองแสงเป็นส่วนโดยตรงกับการตรวจวัดค่าการเรืองแสง ดังนั้นในการทดลองจึงสามารถเพิ่มความเข้มข้นของสารเรืองแสงได้ ในขณะที่การดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 745 นาโนเมตรเป็นช่วงการดูดกลืนของสารละลายไอออนของทองแดง แต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างของความเข้มข้นได้ ดังนั้นการสร้างฟิล์มตรวจวัดนี้จึงทำให้สามารถวัดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไอออนของทองแดงได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Guo L, et al [10] ทำการตรวจวัดปริมาณไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้น 0, 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์ โดยการสังเคราะห์กระดาษทดสอบจากเซลลูโลสอะซิโตะอะซิเตท ผลการทดลองพบว่าสีของแผ่นทดสอบเปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของปริมาณไอออนโลหะหนัก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiang H, et al [11] อาศัยหลักการดูดกลืนแสงช่วง UV ของสารที่ทำปฏิกิริยากับทองแดงที่ความเข้มข้น 0–600 ไมโครโมลาร์ และปรอท โดยได้กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการหาความเข้มข้นเทียบกับอัตราส่วนการดูดกลืนแสง โดยพบว่าวิธีการนี้ตอบสนองได้ดีในช่วงการวัดที่ความเข้มข้น 10 – 100 ไมโครโมลาร์ สอดคล้องกับ วรางคณา เขาคีและคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดไอออนของทองแดงในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 ร่วมกับสารประกอบและไซยานิดินที่ได้จากการสกัดกะหล่ำปลีสีม่วง ผลการทดลองพบว่าสามารถตรวจวัดไอออนของทองแดงในช่วงความเข้มข้น 4 ไมโครโมลาร์ขึ้นไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xia H, et al [15] ได้นำสารประกอบคาร์บอกซีฟลูออเรสซินตรวจวัดไอออนของทองแดงที่เกาะอยู่กับกรดอะมิโน พบว่าสามารถใช้สารประกอบคาร์บอกซีฟลูออเรสซินร่วมในการแยกแยะกรดอะมิโนที่มีไอออนของทองแดงมายึดจับได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wen T, et al [14] ที่ได้ทำการสร้างกราฟในการตรวจวัดหาปริมาณไอออนของทองแดงที่เกาะอยู่กับกรดอะมิโน โดยทดสอบร่วมกับสารประกอบคาร์บอกซีฟลูออเรสซิน

สรุป

ฟิล์มตรวจวัดคาร์บอกซีฟลูออเรสซิน (CF) ที่เตรียมด้วยกระบวนการโซล-เจล ร่วมกับเทคนิคการจุ่มเคลือบ นำมาทดสอบร่วมกับเครื่องยูวีวิส-สเปกโตรโฟโตมิเตอร์สามารถนำมาใช้งานในการตรวจวัดปริมาณไอออนของทองแดงได้ ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 1×10^{-3}

ถึง 1×10^{-8} โมลาร์ โดยมีช่วงการดูดกลืนแสงตั้งแต่ 440 – 510 นาโนเมตร และมีการดูดกลืนแสงมากที่สุด \square 490 นาโนเมตร เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นไอออนของทองแดงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นโดยแกน y คือ ค่าการดูดกลืนของแสง, x คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอออนของทองแดง ในหน่วยโมลาร์ ได้สมการมาตรฐาน $y = 0.0009 \ln(x) + 0.1283$; $R^2 = 0.9714$ กราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการสร้างเซนเซอร์ตรวจวัดไอออนของโลหะหนักในน้ำแบบภาคสนามโดยใช้ไดโอดสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่นในช่วง 485 – 500 นาโนเมตร และโฟโตไดโอดเป็นตัวรับสัญญาณ ทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืน และนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ และสาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ เครื่องมือ UV-vis spectrophotometer และสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. จูติรัตน์ จารุวาระกุล. หลักการและการแก้ปัญหาเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ [อินเทอร์เน็ต]. 2548 [เข้าถึงเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2566]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.dpim.go.th/service/download>
2. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. Heavy metal/โลหะหนัก [อินเทอร์เน็ต]. มปป [เข้าถึงเมื่อ 10 มิถุนายน 2566]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2080/heavy-metal>
3. ภาสิต หงษ์ทอง. 2021. ผลของอุณหภูมิต่อการหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมโดยวิธีโซล-เจล [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต], จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. nrm. <https://www.nsm.or.th/nsm/index.php/th/node/6335>
4. วรารัตนา เขาคี, อัญศยา ยาวีระ, จักรพงษ์ ปนสุข. (2018). การเพิ่มประสิทธิภาพตรวจวัดไอออนทองแดงในน้ำโดยใช้วัสดุตัดแปรด้วยสารสกัดจากกะหล่ำปลีสีม่วง, การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 9, 1(9), 1127-39.

5. ศุภมาส ด้านวิทยาศาสตร์. แผ่นทดสอบไอออนโลหะหนักระดับ ppb [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 3 มีนาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก : https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/295_58.pdf
6. สิริลักษณ์ เพ็ชรรัตน์ และ หมุดตอเล็บ หนิสอ. การประยุกต์ใช้ไดโอดเปล่งแสงและโฟโตไดโอด เพื่อวัดค่า DOBI ของน้ำมันปาล์มดิบ. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 2564;21:1:242-53
7. Ashina A, Battula R.K, Chundi E.R.N, Sakthivel S, Veerappan G. Dip coated SnO₂ film as electron transport layer for low temperature processed planar perovskite solar cells. *Appl. Surf. Sci. Adv* 2021; 4.
8. Dana V, Iuliana P, Vlad A, Chiriac G, Fagadar C, Horia P, Eugenia C. F. Potentiometric detection and removal of copper using porphyrins. *Chemistry Central Journal* 2013;7:111.
9. Dongli Z, Mengliang Z, Luyang Z, Jinghui Z, Kang W, Dongdong Q, Yang Z, Yongzhong B, Jianzhuang J. Colorimetric and fluorescent on-off detection of Cu²⁺, Sn²⁺ and Zn²⁺ by a water-soluble porphyrin: Electronic absorption and emission study *Inorg. Chem* 2017;56:23:14533–39.
10. Guo L, Liu H, Peng F, Qi H. Efficient and portable cellulose-based colorimetric test paper for metal ion detection. *Carbohydrate Polymers* 2021;274:118635.
11. Jiang H, Tang D, Li N, Li J, Li Z, Han Q, Liu X, Zhu X. A novel chemosensor for the distinguishable detections of Cu²⁺ and Hg²⁺ by off-on fluorescence and ratiometric UV-visible absorption. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2021;250:119365
12. Massou S, Albigot R, Prats M. Carboxyfluorescein fluorescence experiments. *Biochemical Education* 2000;28:171-3.
13. Tang J. T, Song Y, Zhao F. P, Spinney S, Bernardes J. D, Tam K. C. Compressible cellulose nanofibril (CNF) based aerogels produced via a bio-inspired strategy for heavy metal ion and dye removal. *Carbohydrate Polymers* 2019;208:404–12.
14. Wen T, Li B. N, Luo Q. H. A turn-off fluorescent sensor for detecting Cu²⁺ based on fluorophore-labeled DNA and polyethyleneimine. *Sensors and Actuators B* 2014;192:673–9.

15. Xia H, Chen X, Chen X, Cheng J, Liu Y, Chen X, Zhang Q, Zou G. Chiral discrimination of amino acid enantiomers based on different interactions with Cu^{2+} . *Sensors and Actuators B* 2018;254:44-51.