

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินจากใบสะเดาด้วยวิธีเคมีสีเขียว
เพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจหาปริมาณตะกั่ว
Green Synthesis of Silver Nanoparticles from Neem Leaves
for the Detection of Lead

ณิกานต์ พนมรักษ์ นันทน์ภัส ทองตะกุก

โกสินทร์ ทีปักษ์พันธ์ ศศิธร ณ ระนอง

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย ต.รัง อ.เมือง จ.ตรัง 92000

²คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/5 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อหย่าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

*E-mail : 06347@pcshstrg.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ทำให้มีการปนเปื้อนของตะกั่ว (Pb^{2+}) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในชุมชนงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน (AgNPs) จากใบสะเดาซึ่งมีสารฟลักซ์เคมีที่สามารถใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว เพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องมือตรวจวิเคราะห์ตะกั่ว (Pb^{2+}) เบื้องต้นที่มีต้นทุนต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากการศึกษา พบว่าสามารถสังเคราะห์ AgNPs จากใบสะเดาได้ และอนุภาคที่ได้มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 450 nm เมื่อศึกษาความจำเพาะในการจับกับสารละลายมาตรฐานของโลหะชนิดต่าง ๆ ได้แก่ Mn^{2+} , Co^{2+} , B^{3+} , Ga^{3+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} และ Pb^{2+} พบว่า AgNPs จะเกิดตะกอนและเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นเมื่อเติม Ba^{2+} หรือ Pb^{2+} แสดงว่า AgNPs ไม่มีความจำเพาะต่อโลหะเพียงชนิดเดียว เนื่องจาก Pb^{2+} มักพบในการปนเปื้อนมาก จึงถูกใช้เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดเชิงสีระหว่าง AgNPs กับ Pb^{2+} พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือเวลา 5 นาที ที่อัตราส่วน 2:1 เมื่อนำ AgNPs ตรวจวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} ในช่วงความเข้มข้น 0.01–10000 ppm โดยการถ่ายภาพและคำนวณค่า Grayscale เพื่อการตรวจวัดเชิงสี พบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรง 250–3000 ppm โดยมีขีดจำกัดการตรวจพบ (LOD) เท่ากับ 480.358 ppm และขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 1601.193 ppm สำหรับตัวอย่างจริง เมื่อนำวิธีนี้ไปวิเคราะห์น้ำประปาที่มี Pb^{2+} เข้มข้น 1000 และ 2000 ppm พบว่าร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) อยู่ที่ 89.6% และ 115% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

คำสำคัญ: ชีวเคมี, พอลิเมอร์, เคมี, พลังงานทดแทน

บทนำ

การขยายตัวของภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมส่งผลให้มีการปล่อยน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีและโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำ ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำอย่างกว้างขวาง แม้โลหะบางชนิด เช่น สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) จะเป็นธาตุจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต แต่เมื่อมีความเข้มข้นสูงก็อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ขณะที่โลหะหนักบางชนิด เช่น ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) และโครเมียม (Cr) เป็นสารพิษที่ย่อยสลายไม่ได้

สามารถสะสมในร่างกายและส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ระบบสืบพันธุ์ และพัฒนาการของสมอง โดยเฉพาะในเด็ก และหญิงมีครรภ์ (Tchounwou et al., 2012)

ในปัจจุบันจะมีเทคนิคตรวจวิเคราะห์โลหะหนักที่มีความแม่นยำสูง เช่น Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) และ ICP-MS แต่เครื่องมือเหล่านี้มีราคาสูง ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ และไม่เหมาะสมสำหรับใช้งานในพื้นที่ห่างไกล (Li et al., 2015) ดังนั้น เทคนิคการ

ตรวจวัดเชิงสเปกโตรสโกปีของอนุภาคนาโน เช่น อนุภาคทอง (AuNPs) และอนุภาคเงิน (AgNPs) จึงได้รับความสนใจจากการอาศัยการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ Surface Plasmon Resonance (SPR) ทำให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนสีได้ด้วยตาเปล่า (Elumalai et al., 2010)

ด้วยเหตุนี้ คณะวิจัยจึงสนใจสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) จากใบสะเดา ซึ่งอุดมด้วยสารฟลาโวนอยด์ที่สามารถทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ในการสังเคราะห์ AgNPs (Ahmed et al., 2016) โดย AgNPs สามารถเกิดการเปลี่ยนสีและตกตะกอนเมื่อจับกับโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) รวมทั้งมีรายงานว่าสามารถดูดซับ Pb(II) ได้สูงถึง 93.5% ที่ pH 7 และอุณหภูมิ 303 K (Vinayagam et al., 2021) จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นวิธีตรวจวัดโลหะหนักที่มีต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย และสามารถประยุกต์ใช้ในระดับชุมชนได้

วิธีการดำเนินงาน

2.1. การเตรียมสารสกัดจากใบสะเดา

เก็บตัวอย่างใบสะเดาแก่ที่หั่นละเอียด 5 กรัม เติมน้ำปราศจากไอออน 200 มิลลิลิตร แล้วต้มบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง กรองสารสกัดผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วกรองอีกครั้งด้วย Nylon Syringe filter นำสารสกัดที่ได้จากการกรองไปใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน

2.2. การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs)

เตรียมสารละลาย AgNO_3 ที่มีความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 100 nm ใส่ปิเก็ตเตอร์ ตั้งบนเครื่องกวนแม่เหล็ก เติมน้ำปราศจากไอออนจากชั้นที่ 2.3.1 ลงที่ละหยดจนครบ 2 ml ตั้งทิ้งไว้ให้คนอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีส้ม ยืนยันการเกิดอนุภาคนาโนเงิน (AgNPs)

2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของอนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

อนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ที่ได้จากการทดลอง 2.3.2 จะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Visible Spectrophotometry โดยจะทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 220 -1000 nm ด้วยคิวเวตมาตรฐานกว้าง 1 เซนติเมตร ปริมาตร 2 mL เพื่อศึกษาการดูดกลืนแสงของ AgNPs ที่สังเคราะห์จากใบสะเดา

2.4 ศึกษาความจำเพาะกับโลหะหนัก

เตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะที่คาดว่า อาจรบกวนปฏิกิริยา ได้แก่ B^{3+} , Ba^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Pb^{2+} , Ga^{3+} และ Co^{2+} ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm ทดสอบกับสารสกัดซิลเวอร์นาโนที่เตรียมได้ ในอัตราส่วน 1:1 ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที เขย่าให้เข้ากันด้วย Vortex mixer สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและบันทึกภาพ

2.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของ AgNPs และ Pb^{2+}

ศึกษาสภาวะและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสกัดซิลเวอร์นาโนและใบสะเดา โดยนำว่าวัดค่าสี RGB ที่จุดพิกัดอ้างอิงหนึ่งภายใต้กล่องควบคุมแสงดังรูปที่ 1 เพื่อคำนวณค่า Grayscale จากสูตร $\text{Grayscale} = 0.299R + 0.587G + 0.114B$ เพื่อนำมาพิจารณาปัจจัยที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบกับค่า

Grayscale



ภาพที่ 1 กล่องควบคุมแสง

2.5.1 ศึกษาระยะเวลาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

ของ AgNPs และ Pb^{2+} นำสารสกัดซิลเวอร์นาโนมาทดสอบกับเหล็ก (II) ไนเตรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) ที่ 1:1 ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที 5 นาที 10 นาที 15 นาที 30 นาที แล้วถ่ายภาพบันทึกค่าสี RGB ภายใต้กล่องความเข้มแสง 100, 500, 750, 1000, 5000 ppm ควบคุมแสง นำค่าที่ได้มา

ใช้ในการคำนวณค่า Gray scale เพื่อสร้างกราฟแสดงแนวโน้มเปรียบเทียบระยะเวลาที่เหมาะสม

2.5.2 ศึกษาอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมระหว่าง AgNPs และ Pb²⁺ น้ำสารสกัดซิลเวอร์นาโนมาทดสอบกับเหล็ก (II) ไนเตรต (Pb₂(NO₃)) ความเข้มข้น 500 - 10000 ppm ในอัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 2:1 ทั้งนี้เป็นเวลาที่เหมาะสม แล้วถ่ายภาพบันทึกค่าสี RGB ภายใต้กล้องควบคุมแสง นำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณค่า Grayscale เพื่อสร้างกราฟแสดงแนวโน้มเปรียบเทียบหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

2.3.6 การตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของวิธี

2.6.1 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง
 เตรียมสารละลาย (Pb(NO₃)₂) ที่ความเข้มข้น 0.01 - 10,000 ppm ทดสอบกับสารสกัดซิลเวอร์นาโนในอัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2.3.5 แล้วถ่ายภาพบันทึกค่าสี RGB ภายใต้กล้องควบคุมแสง นำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณค่า Grayscale เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่า Gray scale แสดงค่าสมการเส้นตรงและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) ใกล้ 1.000

2.6.2 ศึกษาขีดจำกัดในการตรวจวัดของแผ่นทดสอบแบบกระดาษ

ขีดจำกัดการตรวจพบ คือความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ในตัวอย่างที่สามารถตรวจวัดได้ (Shrivastava et al., 2011) โดยเปิดน้ำปราศจากไอออนและสารสกัดซิลเวอร์นาโนตามอัตราส่วนที่เหมาะสม ทั้งนี้เป็นเวลาที่เหมาะสม ทำซ้ำจำนวน 5 ครั้ง เพื่อนำไปหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.6.3 ศึกษาปริมาณตะกั่วของตัวอย่างน้ำและเปรียบเทียบผลเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว
 เตรียม (PbCl₂) ที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่างน้ำประปาที่ 1000 และ 2000 ppm จากนั้นนำมาศึกษาความแม่นยำ โดยคำนวณสูตรเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน (% Recovery) แล้วถ่ายภาพผ่านกล้องควบคุมแสงเพื่อวัดค่าสี RGB เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน จากสูตร ร้อยละ

การคืนกลับรายงานเป็นร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) โดยให้เกณฑ์การยอมรับ

(% recovery) อยู่ในช่วง 80-120 %

(%recovery) = Cu × 100 / Cs

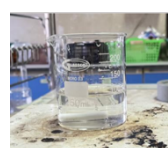
เมื่อ Cu = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่วัดได้จากการวิเคราะห์

Cs = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไปในการตัวอย่าง

ผลและอภิปรายผล

3.1 อนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) และคุณสมบัติของอนุภาคซิลเวอร์นาโน

เมื่อนำสารละลาย AgNO₃ เข้มข้น 10 mM ปริมาตร 100 ml มาสังเคราะห์ AgNPs โดยวิธีเคมีสีเขียวด้วยสารสกัดจากใบสะเดา 0.25 g/ml พบว่าเมื่อทำการหยดสารสกัดใบสะเดาปริมาตร 2 ml ที่ละลายลงในสารละลาย AgNO₃ จะเกิดปฏิกิริยาซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของสารละลาย AgNO₃ จากสารละลายสีใสเป็นสีเหลือง และเมื่อทำการเติมสารสกัดใบสะเดาจนหมดและคนสารละลายต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ AgNPs ที่มีสีส้มเหลืองดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ก) และ 2.1 (ข) อนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ที่สังเคราะห์ได้จะถูกนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องยูวี - วิชเป็ลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-700 nm ภาพที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของ AgNPs ซึ่งพบว่า AgNPs มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 450 nm

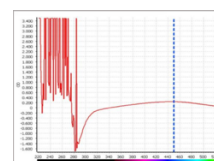


(ก)



(ข)

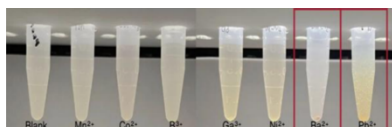
ภาพที่ 2.1 (ก) สีของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO₃) เมื่อหยดสารสกัดใบสะเดาทันที (ข) สีของสารสกัดที่มีซิลเวอร์นาโน หลังหยดสารสกัดใบสะเดา ทั้งนี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 2.2 สเปกตรัมการดูดกลืนของ AgNPs

3.2 การทดสอบการจับของ AgNPs กับโลหะชนิดต่างๆ

เมื่อนำอนุภาคนาโนเงิน (AgNPs) มาทดสอบเบื้องต้นเพื่อศึกษาความจำเพาะในการจับกับสารละลายมาตรฐานของโลหะชนิดต่าง ๆ คือ B^{3+} , Ba^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Pb^{2+} , Ga^{3+} และ Co^{2+} ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm พบว่า Ba^{2+} , Pb^{2+} สามารถทำให้ AgNPs มีการตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่น ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งแสดงว่า AgNPs ไม่มีความจำเพาะเจาะจงต่อการจับกับโลหะ



ภาพที่ 3 แสดงการตกตะกอนของ AgNPs เมื่อเติมสารละลายมาตรฐานจากโลหะชนิดต่างๆ

การตกตะกอนของ AgNPs เมื่อมีการเติมสารละลายมาตรฐาน $PbCl_2$ อาจมาจาก AgNPs ที่ได้จากการสังเคราะห์ ทำให้โมเลกุลซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ เช่น คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล จับ Pb^{2+} มีผลให้เกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็วและเห็นได้ชัดแสดงดังภาพที่ 4 อย่างไรก็ตามยังมีตัวรบกวนอื่นที่อาจส่งผลให้เกิดการตกตะกอนนี้เนื่องจาก $PbCl_2$ เป็นสารที่มีความสามารถในการละลายต่ำ มีค่า K_{sp} ประมาณ 1.6×10^{-5} ที่ 25 องศาเซลเซียส ให้ Pb^{2+} และ Cl^- ส่วนเกินอาจปรากฏเป็นตะกอนสีขาวขุ่น หรือแม้ AgNPs จะอยู่ในรูป A^0 อย่างไรก็ตาม AgNPs อาจเกิด Surface Oxidation ให้ Ag^+ ที่อาจทำปฏิกิริยากับ Cl^- เกิด $AgCl$ สีขาวขุ่นได้เช่นกัน



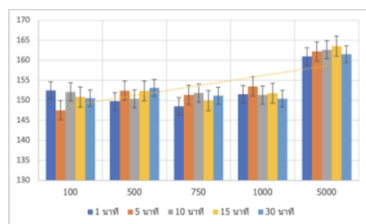
ภาพที่ 4 แสดงการจับกันของ AgNPs และ Pb^{2+}

3.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของสารสกัดซิลเวอร์นาโน (AgNPs) กับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักตะกั่ว

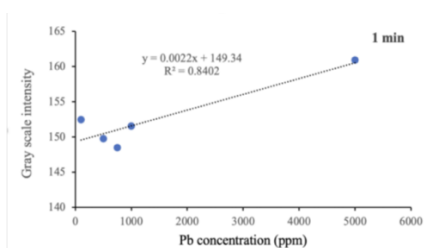
3.3.1 การหาระยะเวลาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาของ AgNPs และ สารละลายมาตรฐาน Pb^{2+}

การจับกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์นาโนและโลหะตะกั่วจะทำให้เกิดการตกตะกอนจนมีสีขาวขุ่นซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ดังนั้นในการศึกษาด้วยวิธีการตรวจวัดเชิงสีนี้ จึงจะทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสกัดที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์นาโน (AgNPs) และสารละลายมาตรฐานโลหะตะกั่ว (Pb^{2+}) โดยการศึกษาเวลาที่ใช้จับกันที่ 1, 5, 15, 30 นาทีและ 1 ชั่วโมง แล้วพิจารณาแนวโน้มความเป็นเส้นตรงที่เหมาะสมจากค่า Gray scale เทียบกับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

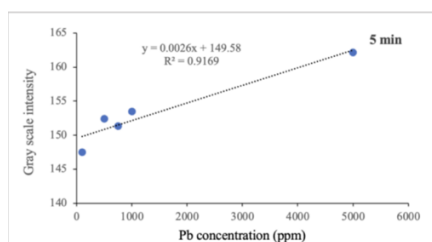
ภาพที่ 5 แสดงค่า Gray scale ของ AgNPs เมื่อมีการเติม Pb^{2+} ที่ความเข้มข้น 100, 500, 750, 1000 และ 5000 ppm และภาพที่ 6 แสดงกราฟเส้นตรงเมื่อมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน โดยที่ระยะเวลา 1 นาทีมีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0022x + 149.34$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8402 ที่ระยะเวลา 5 นาทีมีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0026x + 149.58$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.9169 ที่ระยะเวลา 10 นาทีมีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0025x + 150.04$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.9453 ที่ระยะเวลา 15 นาทีมีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0027x + 149.67$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.9512 ที่ระยะเวลา 30 นาทีมีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0022x + 150.04$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.9121 ดังแสดงในภาพที่ 3.6 (ก), 3.6 (ข), 3.6 (ค), 3.6 (ง), 3.6 (จ) ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกันหรือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยระยะเวลา 15 นาทีมีแนวโน้มกราฟที่มีความชันสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเวลาที่สั้นกว่าจะทำให้เทคนิควิเคราะห์มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าและมีเวลาในการวิเคราะห์สั้น ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการจับกันของ AgNPs และสารละลายมาตรฐานโลหะ Pb^{2+} จะทำการทดสอบที่ 5 นาที



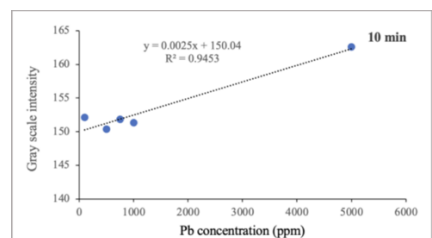
ภาพที่ 5 แสดงค่า Gray scale ของ AgNPs เมื่อทำการเติมสารละลายมาตรฐาน Pb^{2+} และตรวจวัดที่เวลา 1, 5, 15 และ 30 นาที



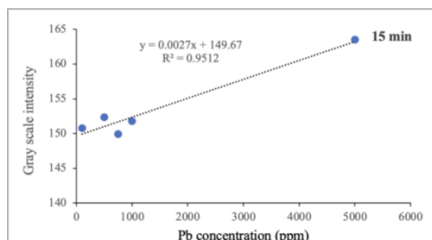
(ก)



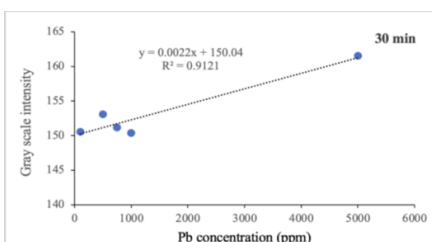
(ข)



(ค)



(ง)

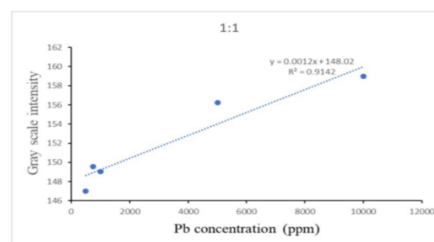


(จ)

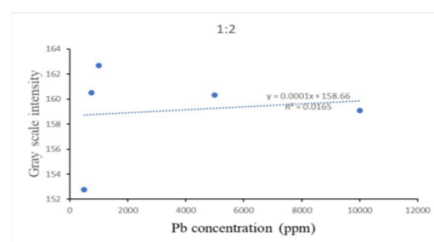
ภาพที่ 6 (ก) กราฟเส้นตรงเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 นาที (ข) กราฟเส้นตรงเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที (ค) กราฟเส้นตรงเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที (ง) กราฟเส้นตรงเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที (จ) กราฟเส้นตรงเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

3.3.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของ AgNPs และสารละลายมาตรฐานโลหะ Pb^{2+}

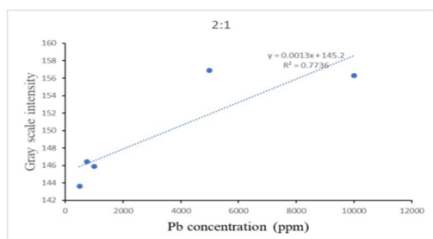
เมื่อทำการศึกษาอัตราส่วนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสกัดที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) และสารละลายมาตรฐานโลหะตะกั่ว (Pb^{2+}) โดยการศึกษ้อัตราส่วน AgNPs : Pb^{2+} ที่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 2:1 แล้วพิจารณาแนวโน้มความเป็นเส้นตรงของค่า Gray scale ที่เหมาะสมเทียบกับอัตราส่วนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ดังภาพที่ 7 แสดงกราฟเส้นตรงเมื่อมีอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน Gray scale ของ AgNPs เมื่อมีการเติม Pb^{2+} ที่ความเข้มข้น 500, 750, 1000, 5000 และ 10000 ppm โดยที่อัตราส่วน 1:1 มีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0013x + 141.08$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.9 ที่อัตราส่วน 1:2 มีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0001x + 158.66$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.0165 ที่อัตราส่วน 2:1 มีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0013x + 145.2$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.7736 ที่ ดังแสดงในภาพที่ 7 (ก), 7 (ข), 7 (ค) ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการจับกันของ AgNPs และ Pb^{2+} จะทำการทดสอบคืออัตราส่วน 2:1



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 7 (ก) กราฟเส้นตรงเมื่อมีอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยาเป็น 1:1(ข) กราฟเส้นตรงเมื่อมีอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยาเป็น 1:2 (ค) กราฟเส้นตรงเมื่อมีอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยาเป็น 2:1

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม

พารามิเตอร์	สภาวะที่ทดลอง	สภาวะที่เหมาะสม
1. เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาของสารสกัด AgNPs และสารละลายมาตรฐานโลหะ Pb2+	1, 5, 10, 15, 30 นาที	5 นาที
2. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาของสารสกัด AgNPs และสารละลายมาตรฐานโลหะ Pb2+	1:1, 1:2 และ 2:1	2:1

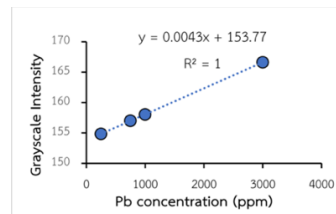
3.4 ลักษณะเฉพาะวิธี

3.4.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของการตรวจวัด Pb2+ โดยใช้ AgNPs ในเบื้องต้นจะสังเกตการเปลี่ยนสีโดยใช้สารละลายมาตรฐานของ Pb2+ ที่ความเข้มข้น 0.01-10,000 ppm AgNPs จะเริ่มตกตะกอนที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 500 ppm และตกตะกอนอย่างเห็นได้ชัดที่ความเข้มข้น 3000 ppm

เมื่อทำการถ่ายภาพตรวจค่า RGB แล้วแปลงเป็นค่า Grayscale พบว่าเมื่อเติม Pb2+ ค่า Grayscale จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเมื่อทำการพล็อตกราฟค่า Grayscale ต่อความเข้มข้นของ Pb2+ จะได้กราฟเส้นตรง โดยมีช่วงความเป็นเส้นตรงตั้งแต่ 250 – 3000 ppm และ

มีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0043x + 153.77$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) เท่ากับ 1 ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กราฟมาตรฐานศึกษาค่า Grayscale เมื่อเติมสารละลายมาตรฐาน Pb2+ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารสกัด AgNPs

3.4.2 ขีดจำกัดการตรวจพบ

จากกราฟมาตรฐานซึ่งพลอตระหว่างค่า Grayscale และความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน Pb2+ สามารถนำมาคำนวณขีดจำกัดการตรวจพบ (limit of detection, LOD) ซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำสุดหรือน้อยที่สุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ในตัวอย่างที่สามารถตรวจวัดได้โดยพิจารณาได้จากอัตราส่วนระหว่างสามเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานบนจุดตัดแกน y ต่อความชันของกราฟมาตรฐาน

$$LOD = 3Sa/b$$

ซึ่งจากการคำนวณพบว่าขีดจำกัดของการตรวจพบของเทคนิคการตรวจวัดเชิงสีที่พัฒนาขึ้นเท่ากับ 480.358 ppm

3.4.3 ขีดจำกัดการตรวจวัด

สำหรับขีดต่ำสุดสำหรับการตรวจวัด (limit of quantification, LOQ) ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ในตัวอย่างที่สามารถหาปริมาณได้สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วน ระหว่างสิบเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานบนจุดตัดแกน y ต่อความชันของกราฟมาตรฐาน

$$LOQ = 10Sa/b$$

ซึ่งจากการคำนวณพบว่าขีดจำกัดของการตรวจวัดของเทคนิคการตรวจวัดเชิงสีที่พัฒนาขึ้นเท่ากับ 1601.193 ppm

3.4.4 การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างน้ำเพื่อทดสอบความแม่นยำ

เมื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำประปาจำนวน 5 ตัวอย่างจากพื้นที่ต่าง ๆ ในจังหวัดสงขลา แล้วนำมาศึกษาความแม่นยำ (accuracy) ของเทคนิควิเคราะห์โดยการเติมสารละลายมาตรฐานของ Pb^{2+} เพื่อให้ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 1000 และ 2000 ppm เมื่อคำนวณความเข้มข้นที่ได้เปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์กับความเข้มข้นที่เติมจะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) ของการวิเคราะห์น้ำประปา

ความเข้มข้น (ppm)	ความเข้มข้นที่ตรวจพบ (ppm)	%Recovery
1000	1180.9	115.0
2000	1823.1	89.6

จากตารางที่ 2 พบว่าร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) ของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำประปาอยู่ในช่วง 89.5-115% และมี % Recovery อยู่ในช่วง 80-120 % ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามเทคนิคการตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นยังมีข้อจำกัดในเรื่องความเข้มของตัวอย่างน้ำ

สรุปผล

จากการศึกษาพบว่าสามารถสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ด้วยวิธีสังเคราะห์ทางเคมีสีเขียวโดยใช้ใบสะเดาเป็นตัวรีดิวซ์ โดย AgNPs มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 450 nm เมื่อศึกษาความจำเพาะต่อไอออนโลหะ B^{3+} , Ba^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Pb^{2+} , Ga^{3+} และ Co^{2+} พบว่าเกิดการตกตะกอนกับ Ba^{2+} และ Pb^{2+} จึงเลือก Pb^{2+} มาศึกษาต่อ เนื่องจากเป็นโลหะหนักที่พบได้บ่อยในสิ่งแวดล้อม การตรวจวัดอาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของ AgNPs โดยบันทึกค่าสี RGB และคำนวณเป็นค่า Grayscale ภายใต้กล้องควบคุมแสง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 5 นาที และอัตราส่วน AgNPs ต่อสารละลาย Pb^{2+} เท่ากับ 2:1 การศึกษาลักษณะเฉพาะวิธีพบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 250–

3000 ppm มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 480.358 และ 1601.193 ppm ตามลำดับ และสามารถสังเกตการเปลี่ยนสีด้วยตาเปล่าได้ชัดเจนที่ความเข้มข้น 3000 ppm เมื่อนำวิธีไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำประปาที่เติม Pb^{2+} ความเข้มข้น 1000 และ 2000 ppm ให้ค่าร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 89.6–115% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม วิธีที่พัฒนาขึ้นยังมีข้อจำกัดในการตรวจวัดตัวอย่างน้ำที่มีสีหรือมีความขุ่นสูง เนื่องจากอาจรบกวนการตรวจวัดเชิงสี

ข้อเสนอแนะ

การประยุกต์ใช้วิธีนี้ในตัวอย่างจริงยังมีข้อจำกัดจากสีของตัวอย่างอาจรบกวนการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสี ทำให้ผลการตรวจวัดคลาดเคลื่อน จึงเหมาะสำหรับตัวอย่างที่ไม่มีสีมากกว่า นอกจากนี้ การใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) คลอไรด์ ($PbCl_2$) อาจมีไอออนคลอไรด์ (Cl^-) เป็นตัวรบกวนการตกตะกอน จึงควรพิจารณาใช้สารละลายมาตรฐานชนิดอื่นที่มีความเสถียรและไม่เกิดปฏิกิริยากับอนุภาคซิลเวอร์นาโน อีกทั้งวิธีนี้สามารถวัดตะกั่วได้ดีในช่วงความเข้มข้นสูงจากการสังเกตการเกิดตะกอน แต่ในตัวอย่างจริงที่มีความเข้มข้นต่ำผลตรวจวัดได้ไม่ชัดเจน ดังนั้น ในอนาคตควรพัฒนาการปรับแต่งพื้นผิวของอนุภาคซิลเวอร์นาโนให้มีความจำเพาะต่อตะกั่วมากขึ้น เพื่อเพิ่มความไวและความแม่นยำในการตรวจวัดแม้ในตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ

กิตติประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของคุณครูศศิธร ณ ระนอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และผศ.ดร.โกสินทร์ ที่ปรึกษาพันธอาจารย์ที่ปรึกษาพิเศษ ที่กรุณาใช้เวลาให้ความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงการ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการ ขอขอบพระคุณกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรังและคณะศิลปศาสตรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยวิทยาเขตสงขลาที่เอื้อเฟื้อสถานที่วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณ



แม่และครอบครัวของผู้ทำโครงการผู้ซึ่งช่วยเหลือ
สนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมาจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

โกสินทร์ ทิปรักษ์พันธ์ และคณะ. (2560). การสังเคราะห์
อนุภาคนาโนเงินและการประยุกต์ใช้สำหรับการ
วิเคราะห์โลหะหนักโดยการตรวจวัดเชิงสี. คณะ
ศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ศรีวิชัย.

เวคิน หนูนางค์ และคณะ. (2568). อุปกรณ์การตรวจ
วิเคราะห์บนกระดาษสำหรับตรวจวัดกรดแ
ซิดิกในน้ำส้มสายชูหมักตาลโตนด. วารสาร
หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 16(1).

Verma, A., & Mehata, M. S. (2016). [Article title
incomplete]. *Journal of Radiation
Research and Applied Sciences*, 9, 109–
115.