การพัฒนาวิธีตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำด้วยชุดตรวจวัดเพอร์ไลต์-โรดามีน บี ไฮดราไซด์

Development of mercury ions determining method in water using perlite - Rhodamine B hydrazide kit

อรนวล หาญเม่ง
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Oranual Hanmeng
Thepsatri Rajabhat University, Thailand
E-mail : oranual.h@lawasri.tru.ac.th

****

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำด้วยวิธีการหยดสารละลายที่ใช้งานง่ายและราคาไม่แพง ได้จากการพัฒนาหินเพอร์ไลต์ซึ่งเป็นทรัพยากรในท้องถิ่นจังหวัดลพบุรี เป็นงานวิจัยที่นำไปสู่การแก้ปัญหาความเสื่อมโทรมทางสภาวะแวดล้อมทางน้ำที่เกิดจากการตกค้างของโลหะหนักปรอท โดยการนำหินเพอร์ไลต์มาผูกติดสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำ สรุปผลการวิจัย พบว่า การพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทนี้ ใช้หินเพอร์ไลต์ 0.1 กรัมต่อการวัด 1 ตัวอย่าง สามารถพัฒนาเป็นชุดตรวจวัดได้ ราคาโดยประมาณ 4.75 บาท ต่อ การวัด 1 ตัวอย่าง เมื่อมีการตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำด้วยวิธีการหยดสารละลาย สามารถสังเกตการเปลี่ยนสีของชุดตรวจวัดได้ในทันที โดยเกิดการเปลี่ยนสีจากผงสีขาวขุ่นเป็นสีชมพู นอกจากนี้การทดสอบพบว่า ความเข้มข้นสีของชุดตรวจวัดที่เปลี่ยนแปลงแปรผันตรงกับปริมาณไอออนปรอทที่เพิ่มขึ้น ตรวจวัดปรอทได้ในช่วงความเข้มข้น 4.0 – 16.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถยืนยันการตรวจวัดไอออนปรอทภายใต้แสงยูวีได้ พบว่าเกิดการเปลี่ยนสีจากผงสีม่วงเป็นสีส้มสว่างเมื่อนำชุดตรวจวัดไปหยดด้วยสารละลายไอออนปรอท

คำสำคัญ : เพอร์ไลต์; โรดามีน บี ไฮดราไซด์; ชุดตรวจวัดไอออนปรอท

* วันที่รับบทความ : 22 มิถุนายน 2567; วันแก้ไขบทความ 4 กรกฎาคม 2567; วันตอบรับบทความ : 6 กรกฎาคม 2567
Received: June 22 2027; Revised: July 4 2024; Accepted: July 6 2024

Abstract

The objective of research was to develop a mercury ion determining kit in water using a water dripping, which was easy and inexpensive. The kit obtained from the development of perlite, which was a local resource in Lop Buri Province. This research led to solving water pollution problem because of the residue of mercury heavy metal. Perlite based rhodamine B hydrazide was used as a tool for measuring mercury ions in water. The results provided that 0.1 gram of perlite was used to measure 1 sample. When it can be developed into the kit, the price was calculated at 4.75 baht per 1 sample. The kit resulted the color change when mercury solutions were dripped immediately, that changed from white solids to pink solids in the present of mercury ions. Moreover, the kit provided the mercury detection was tested in the concentration range of 4.0 - 16.0 milligrams per liter and was confirmed the mercury ions detection under UV light, which was found that a color change from purple to bright orange in the present of mercury ions.

Keywords: Perlite; Rhodamine B hydrazide; Mercury ion test kit

บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการพึ่งพาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตมากขึ้น การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อตอบสนองความต้องการ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านความสวยความงาม ทางด้านการแพทย์ รวมถึงทางด้านสิ่งอุปโภคบริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมด้านอาหารมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ การตอบสนองความต้องการเหล่านี้จึงเป็นโอกาสให้โรงงานอุตสาหกรรมขยายจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งในกระบวนการผลิตต่างๆ นั้น มักมีการใช้สารเคมีในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งอยู่เสมอและสารเคมีที่เหลืออยู่หรือของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตนี้อาจตกค้างจนเป็นพิษต่อคนและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำที่มักประสบปัญหาเกี่ยวกับการตกค้างของไอออนโลหะหนัก ตัวอย่างเช่น ปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม เป็นต้น การปนเปื้อนของไอออนปรอท (Hg^{2+}) ในสิ่งแวดล้อมถือได้ว่าเป็นอันตรายอย่างยิ่งโดยเฉพาะเมื่อมีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ เพราะจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำสามารถเปลี่ยนไอออนปรอทให้อยู่ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี (CH_3Hg^+) ซึ่งสามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและสะสมอยู่ร่างกายมนุษย์ได้ง่าย มักก่อให้เกิดโรคมินามาตะซึ่งเป็นความผิดปกติของ

ระบบประสาทและสมองและปัจจุบันปรอทก็มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการอุตสาหกรรมหลายประเภท มีการนำมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตหรือถูกนำไปใช้เป็นส่วนผสมในหลายภาคส่วน อาทิเช่น การผลิตหลอดไฟ พีวีซี สีทาอาคาร ถ่านไฟฉายหรือแบตเตอรี่ ผลิตเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ หรือใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตกระดาษ พลาสติก ในด้านของอุตสาหกรรมความงามที่เริ่มได้รับความแพร่หลายก็มักใช้โลหะปรอทเป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง และครีมบำรุงผิวเพื่อความขาวใส โดยกากของเสีย

จากอุตสาหกรรมดังกล่าวอาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต หรือไม่สามารถย่อยสลายได้เองในกระบวนการทางธรรมชาติ หากมีการกำจัดกากของเสียอย่างผิดวิธีอาจส่งผลให้เกิดการสะสมอยู่ในดินและแหล่งน้ำธรรมชาติได้

โดยทั่วไปการตรวจวัดไอออนโลหะหนักในน้ำสามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง เช่น Flame Photometry Atomic Absorption Spectrometry (AAS) (ต้องชนะ สกุลเกียรติปัญญา, 2562) หรือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectro metry (ICP-MS) (กานติมา สิทธิ์เหล่าถาวร และ รพีพร สุคนธปฏิภาค, 2567) เป็นต้นแต่การใช้เครื่องมือเหล่านี้มักมีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนย้ายและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2567. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2567) วิธีการหนึ่งที่ใช้สำหรับตรวจวัดไอออนโลหะหนักที่ได้รับความสนใจและถูกพัฒนาขึ้นอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือการใช้ชุดทดสอบ (test kit) เนื่องจากเคลื่อนย้ายสะดวก พกพาง่าย และสามารถนำไปใช้ที่บริเวณหน้างานจริงได้ ไม่จำเป็นต้องนำไปทำในห้องปฏิบัติการ

การพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทนั้นโดยหลักการคือ การการนำตัวกลางของแข็งที่จับต้องได้มาผูกติดกับสารที่ทำหน้าที่ตรวจวัดไอออนปรอท สารนั้นถือว่าเป็นระบบโครงสร้างโมเลกุล (molecular system) ที่สามารถเหนี่ยวนำให้ทำงานได้โดยการใช้แสงเป็นตัวกระตุ้น กล่าวอีกนัยหนึ่งคือเมื่อมีการตรวจวัดไอออนโลหะจะเกิดการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ขึ้น แต่สารบางชนิดมีความพิเศษมากว่านั้น กล่าวคือ เมื่อมีการตรวจวัดไอออนปรอทแล้วสามารถเรืองแสงฟลูออเรสเซ็นต์ได้ และสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีด้วยตาเปล่าได้ด้วย (Li Q. and Zhou Y., 2023. Udhayakumari D., 2022. Li L. et al., 2022. Shuai H. et al., 2021. Nguyen T. H. et al., 2019.) ซึ่งการใช้สารเหล่านี้ทำให้สามารถตรวจวัดไอออนปรอทได้รวดเร็วและจำเพาะเจาะจง เห็นได้จากการใช้สารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ตามงานวิจัยของ Kraithong S. et al. (2016: 10401) เป็นทางเลือกที่ดีวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การทดสอบในสารละลายก็ไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งานในการลงพื้นที่จริงหรืองานภาคสนาม การพัฒนาวิธีตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำที่สามารถใช้งานได้ง่าย รวดเร็ว และราคาไม่แพง จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

ในงานวิจัยนี้สนใจเพิ่มมูลค่าทรัพยากรในท้องถิ่น ได้แก่ หินเพอร์ไลต์ (Perlite) ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟเนื้อแก้ว (นิคม จึงอยู่สุข, 2531: 133) ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) ค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 75.2 (เสาวนีย์ เสียมไหม, 2551: 45) พบได้ในบริเวณอำเภอสระโบสถ์ จังหวัดลพบุรี มีราคาไม่แพง เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมนำไปผสมดิน ทำให้ดินโปร่งร่วนซุย และยังช่วยในการเก็บกักความชื้น ธาตุอาหาร รวมทั้งช่วยในเรื่องของการระบายน้ำในดินได้ด้วย นอกจากนี้มีการนำเพอร์ไลต์ไปใช้อุตสาหกรรมก่อสร้างประมาณ 70% ของปริมาณที่ผลิตได้ทั่วโลก เนื่องจากคุณสมบัติที่น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ มีความพรุนสูง ทนไฟ และมีความแข็งแรง ราคาของเพอร์ไลต์คุณภาพสูงก่อนการเผาที่ 650 บาทต่อตัน (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน, 2567) หรือประมาณ 0.65 บาทต่อกิโลกรัม เท่านั้น ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุที่มี

ราคาถูกหาได้ง่าย ประกอบกับสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ สามารถเตรียมได้ง่ายภายใน 1 ขั้นตอนจากสีย้อมพื้นฐานชนิด โรดามีน บี ราคาประมาณ 900 บาท ต่อ 25 กรัม (เทียบจากราคาโรดามีน บี มาตรฐาน ณ วันที่ 17 มิถุนายน 2567) เมื่อพัฒนาเป็นชุดตรวจวัดแล้วจะได้ชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำที่มีราคาที่ถูกกว่าชุดตรวจวัดที่มีขายในปัจจุบัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำจากหินเพอร์ไลต์ที่เป็นทรัพยากรในท้องถิ่นจังหวัดลพบุรี โดยการนำหินเพอร์ไลต์มาผูกติดกับสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ที่มีความสามารถในการตรวจวัดไอออนปรอท ทำให้ได้ชุดตรวจวัดที่ใช้งานง่าย พกพาสะดวก ราคาถูก และถือเป็นการเพิ่มมูลค่าทรัพยากรในท้องถิ่นจังหวัดลพบุรีได้วิธีหนึ่ง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำด้วยวิธีการหยดสารละลายที่ใช้งานง่ายและราคาไม่แพง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจวัดไอออนปรอทของหินเพอร์ไลต์-โรดามีน บี ไฮดราไซด์
3. เพื่อเพิ่มมูลค่าหินเพอร์ไลต์ในท้องถิ่นจังหวัดลพบุรี

ระเบียบวิธีวิจัย

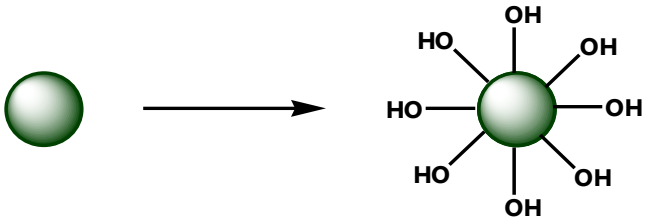
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาวิธีการตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำ ซึ่งถือเป็นปัญหามลพิษทางน้ำที่สำคัญในปัจจุบัน ดังนั้นการการพัฒนาชุดทดสอบที่มีประสิทธิภาพ ราคาไม่แพง ใช้งานง่ายจึงเป็นสิ่งที่หน้าสนใจ การสร้างชุดทดสอบโดยการนำเพอร์ไลต์มาผูกติดกับสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดไอออนปรอท เพื่อพัฒนาให้สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น สามารถแบ่งขั้นตอนของการดำเนินงานที่สำคัญเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : การศึกษาและค้นคว้าผลิตภัณฑ์ตรวจวัดไอออนปรอท พบว่าไม่ปรากฏการใช้หินเพอร์ไลต์เป็นตัวกลางของแข็ง แต่จากการค้นคว้างานวิจัยเพิ่มเติมพบว่ามีนักวิจัยบางกลุ่มได้ศึกษาการพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทและไอออนชนิดอื่นลงบนตัวกลางต่าง ๆ เช่น กระจก ซิลิกา และซิลิกาเจล เป็นต้น (He C. et al., 2009. Wu D. et al., 2012. Praikaew P. et al., 2015. Kim H. et al., 2016.) ซึ่งตัวกลางเหล่านี้มักมีราคาค่อนข้างสูง ส่งผลให้การนำไปสร้างชุดตรวจวัดจะมีราคาสูงตามไปด้วย โดยชุดตรวจวัดไอออนปรอทที่พบได้ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้สำหรับตรวจวัดไอออนปรอทในเครื่องสำอาง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : ราคาทดสอบปรอทที่มีขายในท้องตลาด (สำรวจ ณ วันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2567)

วิธีการตรวจวัด	**ราคา (บาท/1 ตัวอย่างทดสอบ)**
1. ชุดทดสอบปรอทในเครื่องสำอางมาตรฐาน (ใช้ตรวจหาสารประกอบปรอทในเครื่องสำอาง ประเภท ครีม โลชั่น เจล และเซรั่ม ปริมาณ 10 ตัวอย่างทดสอบ/กล่อง)	48
2. ชุดตรวจสารปรอทในเครื่องสำอางฟอกผิวขาว (1 ขวด สามารถใช้ทดสอบได้ 20 ครั้ง โดยใช้ตัวอย่างเครื่องสำอาง 0.2 กรัม และ ใช้เวลาทดสอบ 1 นาที)	25
3. ชุดทดสอบเครื่องสำอาง 4 in 1 (ใช้ตรวจหาสารอันตราย 4 ตัวในชุดเดียว ได้แก่ สเตียรอยด์ ปรอท ไฮโดรควิโนน และกรดเรทิโนอิก ในเครื่องสำอาง ประเภท ครีม โลชั่น เจล และเซรั่ม ปริมาณ 5 ตัวอย่าง/กล่อง)	256.8
4. ชุดทดสอบปรอทแอมโมเนียในเครื่องสำอาง (เป็นชุดทดสอบเบื้องต้นสำหรับทดสอบสารห้ามใช้ปรอทแอมโมเนียในครีมทาหน้า ปริมาณ 20 ตัวอย่าง/กล่อง)	53
5. วิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง Flame - AAS	600
6. วิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง ICP-MS	600

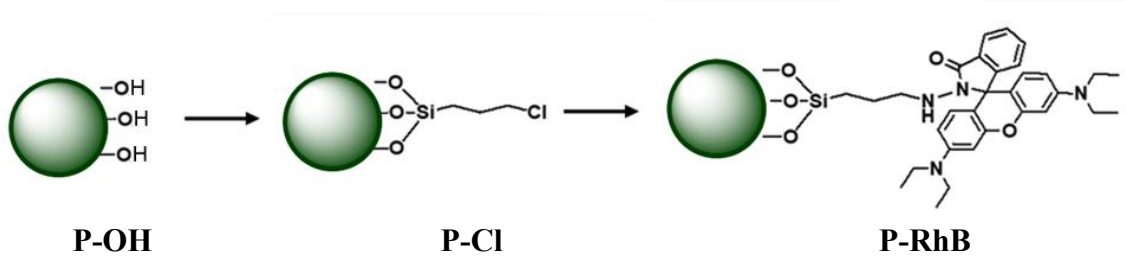
ขั้นตอนที่ 2 : การเตรียมสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์และการเตรียมเพอร์ไลต์ก่อนการผูกติดสารตรวจวัด ในกระบวนการเตรียมสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ สามารถทำได้ตามวิธีการของ Kraithong et al. (2016: 10401) โดยใช้สีย้อมพื้นฐานชนิด โรดามีน บี ปริมาณ 0.2 กรัม (ราคาประมาณ 7.2 บาท) ทำปฏิกิริยากับไฮดราซีน 0.5 มิลลิลิตร (ราคาประมาณ 1.5 บาท) ภายในขั้นตอนเดียว ส่วนการเตรียมเพอร์ไลต์นั้น เพื่อให้พื้นผิวเหมาะแก่การนำไปทำปฏิกิริยาเคมีแบบง่ายตามรูปที่ 1



แผนภาพที่ 1 การเตรียมเพอร์ไลต์

การเตรียมเพอร์ไลต์เริ่มจากการนำเพอร์ไลต์ มาทำการบดและร่อนเพื่อคัดแยกขนาด ให้มีขนาดเล็กกว่า 100 เมช จากนั้นจึงนำเพอร์ไลต์ที่ได้มาปรับผิวให้เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) โดยการสลายพันธะของซิลิกาในหินเพอร์ไลต์ ตามรูปที่ 1 จะได้เป็นหินเพอร์ไลต์ที่พร้อมใช้งาน (P-OH) โดยใช้วิธีการล้างพื้นผิวของหินเพอร์ไลต์ด้วยสารละลายปิรันยา (Mahony T. F. and Morris M. A., 2021. Saengdee et al., 2015: 134) เริ่มจากนำเพอร์ไลต์ ปริมาณ 0.2 กรัม (ราคาประมาณ 0.0013 บาท) แช่ในสารละลายปิรันยา (กรดซัลฟิวริกเข้มข้น: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตรต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปกรองและล้างด้วยน้ำสะอาด นำหินเพอร์ไลต์ P-OH ที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 3 : การผูกติดหินเพอร์ไลต์ด้วยสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ทำได้ใน 2 ขั้นตอนย่อย โดยทุกขั้นตอนย่อยจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาทาเคมีชนิดปฏิกิริยาการแทนที่ (Roos G. and Roos C., 2015) ตามรูปที่ 2



แผนภาพที่ 2 การผูกติดหินเพอร์ไลต์ด้วยสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์

การผูกติดหินเพอร์ไลต์ด้วยสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ในขั้นแรกเป็นการทำปฏิกิริยาของหินเพอร์ไลต์ P-OH 0.2 กรัม กับสารตัวเชื่อม 3-คลอโรโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน 0.2 มิลลิลิตร (ราคาประมาณ 0.8 บาท) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นหินเพอร์ไลต์ P-Cl ส่วนในขั้นที่สองเป็นการนำหินเพอร์ไลต์ P-Cl ไปทำปฏิกิริยาอีกครั้งกับ

สารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นหินเพอร์ไลต์ที่ผูกติดสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ (P-RhB) เรียบร้อยแล้ว ซึ่งหินเพอร์ไลต์ P-RhB นี้ จะถูกนำไปพัฒนาเป็นชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำต่อไป โดยเมื่อคำนวณต้นทุนเฉพาะหินเพอร์ไลต์ ตัวเชื่อม และสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ได้เท่ากับ 9.5013 บาท ต่อปริมาณหินเพอร์ไลต์ P-RhB จำนวนโดยประมาณ 0.2 กรัม (สามารถนำไปใช้งานจริงได้เท่ากับ 2 ครั้ง ครั้งละ 0.1 กรัม คิดเป็นเงินโดยประมาณ เท่ากับ 4.75 บาท)

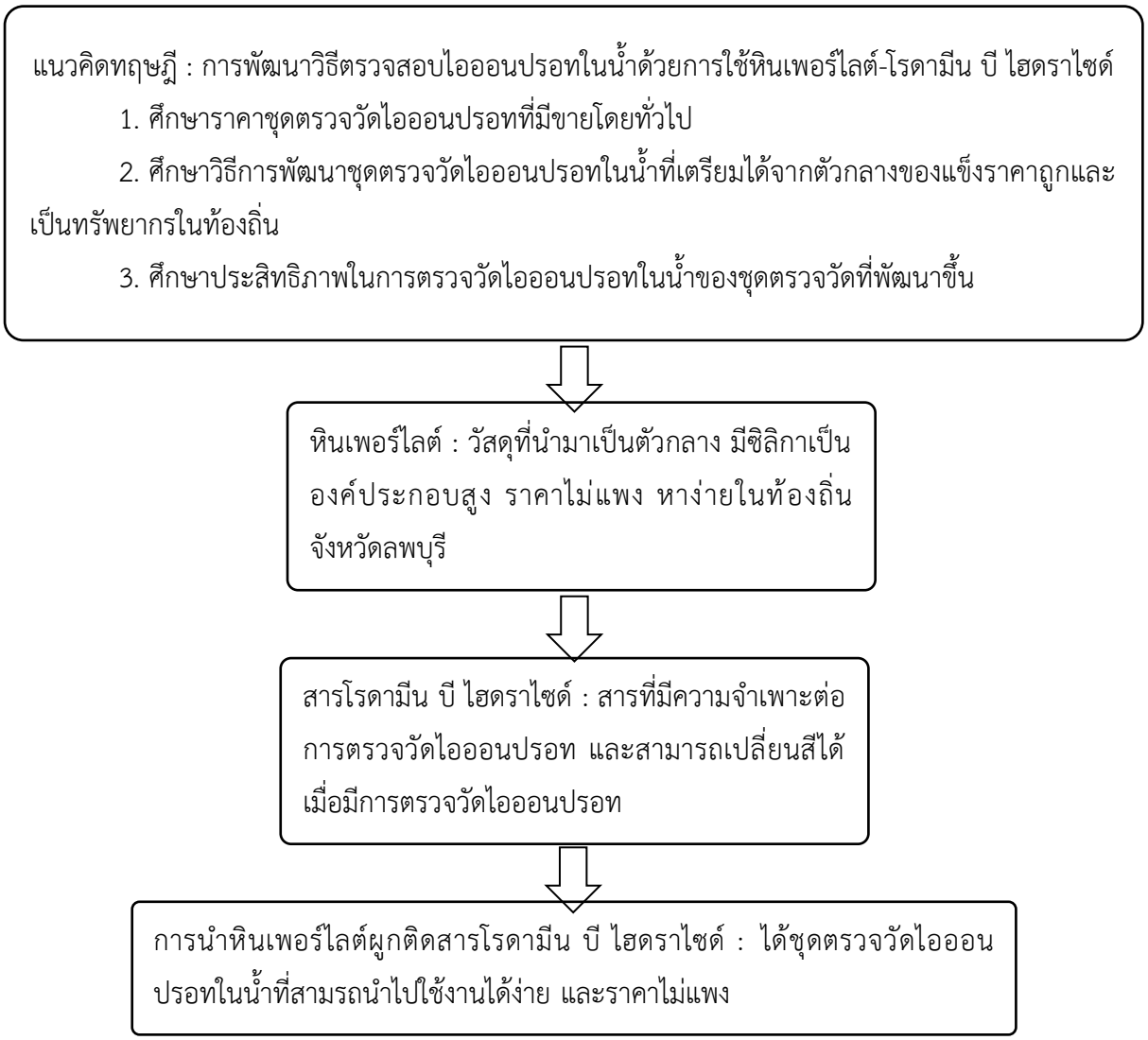
ขั้นตอนที่ 4 : การทดสอบความสามารถในการตรวจวัดไอออนปรอทของหินเพอร์ไลต์ P-RhB สารมารถทำได้โดยการสังเกตการเปลี่ยนสีของหินเพอร์ไลต์ P-RhB เมื่อตรวจวัดไอออนปรอทได้ในภาชนะที่เตรียมไว้ โดยทุกภาชนะจะมีหินเพอร์ไลต์ P-RhB บรรจุอยู่ ปริมาณ 0.1 กรัม เมื่อหยดสารละลายไอออนปรอทในน้ำที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงในภาชนะที่ 1-5 ตามตารางที่ 2 ชุดตรวจวัดไอออนปรอทที่พัฒนาขึ้นจะเปลี่ยนสีจากผงสีขาวขุ่นเป็นสีชมพู โดยสีชมพูที่ได้จะเข้มขึ้นตามปริมาณไอออนปรอทที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 : แสดงปริมาณการหยดสารละลายไอออนปรอทในน้ำบน P-RhB

ภาชนะ	**ไอออนปรอท เข้มข้น** 1x10-4 M (ไมโครลิตร)	**น้ำปราศจากไอออน** (ไมโครลิตร)	**ความเข้มข้นไอออนปรอทที่คำนวณได้** (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	0	50.00	0
2	10.00	40.00	4.0
3	20.00	30.00	8.0
4	30.00	20.00	12.0
5	40.00	10.00	16.0

กรอบแนวคิดในการวิจัย

กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้แสดงดังแผนภาพที่ 1 ซึ่งได้อ้างอิงอยู่บนพื้นฐานของการนำปฏิกิริยาเคมีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำ จากตัวกลางของแข็งเป็นหินเพอร์ไลต์ผูกติดกับสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ที่มีความจำเพาะต่อการตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำ ทั้งนี้วัสดุและสารเคมีที่ใช้ต้องมีราคาไม่แพง และหาได้ง่ายในท้องถิ่น เพื่อที่จะนำไปพัฒนาสำหรับการใช้งานภาคสนาม (ราคาถูก สะดวกในการพกพาและใช้งานง่าย) ได้ต่อไป



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

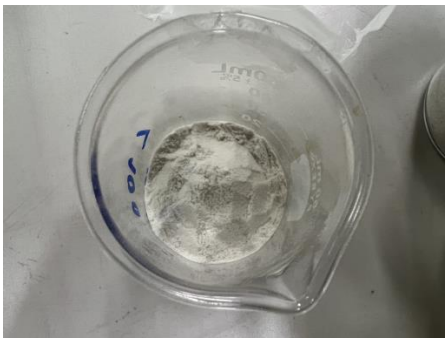
ผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำด้วยวิธีการหยดสารละลายที่ใช้งานง่ายและราคาไม่แพง พบว่า การนำหินเพอร์ไลต์ตัวอย่างตามรูปที่ 3ก มาบดมาบดละเอียดและคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อน ตามรูปที่ 3ข-ค ได้หินเพอร์ไลต์ขนาดเล็กกว่า 100 เมช ตามรูปที่ 3ง ในปริมาณร้อยละ 100 ของน้ำหนักเริ่มต้น (quantitative yield)

ก) หินเพอร์ไลต์ก่อนบดละเอียด

ข) หินเพอร์ไลต์หลังบดละเอียด

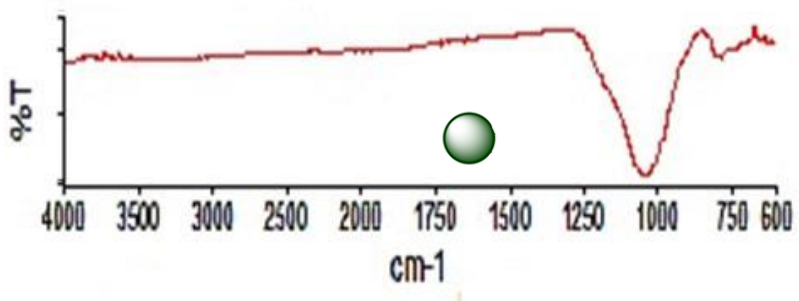
ค) การคัดขนาดหินเพอร์ไลต์ด้วยตะแกรงร่อน



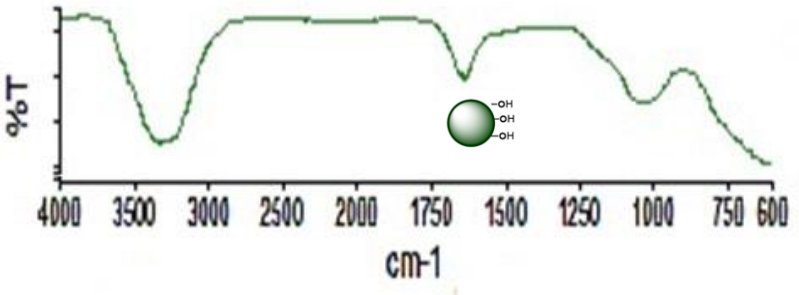
ง) หินเพอร์ไลต์ขนาดเล็กกว่า 100 เมช

แผนภาพที่ 3 ตัวอย่างหินเพอร์ไลต์สำหรับงานวิจัย

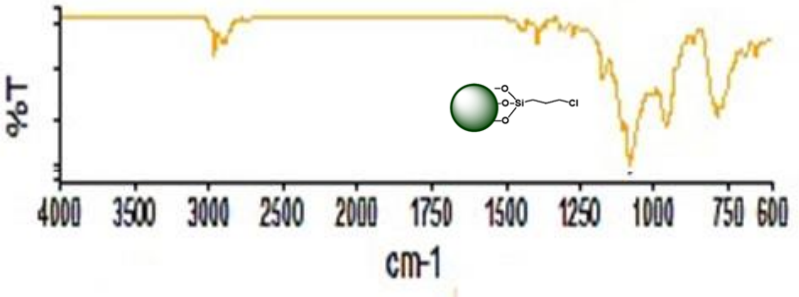
เมื่อนำหินเพอร์ไลต์ขนาดเล็กกว่า 100 เมช มาผูกติดสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดไอออนปรอทอย่างจำเพาะเจาะจงแล้ว การยืนยันว่าหินเพอร์ไลต์นั้นได้ผูกติดกับสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ สารมารถทำได้โดยอาศัยเทคนิคทางเคมี คือ อินฟาเรดสเปกโทรสโกปี (infrared หรือ IR spectroscopy) ซึ่งได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4 ดังนี้



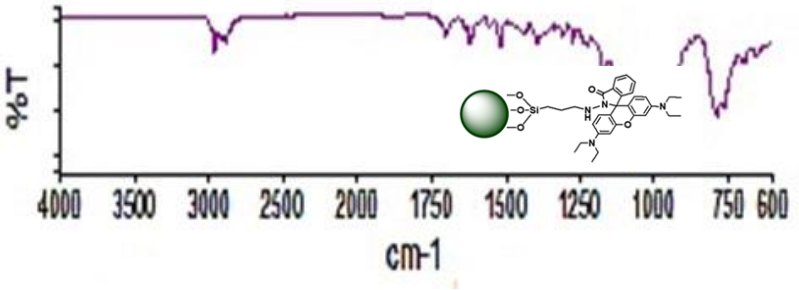
ก) กราฟอินฟาเรดสเปกโทรสโกปีของหินเพอร์ไลต์ขนาดเล็กกว่า 100 เมช



ข) กราฟอินฟาเรดสเปกโทรสโกปีของหินเพอร์ไลต์ P-OH



ค) กราฟอินฟาเรดสเปกโทรสโกปีของหินเพอร์ไลต์ P-Cl



ง) กราฟอินฟาเรดสเปกโทรสโกปีของหินเพอร์ไลต์ P-RhB

แผนภาพที่ 4 กราฟผลการทดลองด้วยเทคนิคอินฟาเรดสเปกโทรสโกปี

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ตามรูปที่ 4 พบว่า หินเพอร์ไลต์ขนาดเล็กกว่า 100 เมช แสดงลักษณะสัญญาณตามกราฟรูปที่ 4ก เมื่อล้างหินเพอร์ไลต์ด้วยสารละลายปรับยาจะได้หินเพอร์ไลต์ P–OH แสดงลักษณะสัญญาณตามกราฟรูปที่ 4ข สังเกตได้จากการเกิดเป็นพีคฐานกว้าง (board band) ขึ้นใหม่ ที่เลขคลื่นประมาณ 3,600 cm-1 ซึ่งเป็นตำแหน่งสัญญาณเฉพาะของหมู่ไฮดรอกซิล จากนั้นนำหินเพอร์ไลต์ P–OH ไปต่อด้วยตัวเชื่อมจะเกิดหินเพอร์ไลต์ P–Cl แสดงลักษณะสัญญาณตามกราฟรูปที่ 4ค สังเกตเห็นพีคสัญญาณเฉพาะของหมู่ไฮดรอกซิลหายไป และเกิดพีคสัญญาณของสารตัวเชื่อม ที่เลขคลื่นในช่วง 1,300-1,500 cm-1 และ 2,700-2,900 cm-1 ขั้นสุดท้าย เมื่อนำหินเพอร์ไลต์ P–Cl ไปผูกติดกับสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ จะเกิดหินเพอร์ไลต์ P–RhB แสดงลักษณะสัญญาณตามกราฟรูปที่ 4ง สังเกตเห็นพีคสัญญาณเฉพาะของหมู่คาร์บอนิล (C=O) ขึ้นที่เลขคลื่นในช่วง 1,500-1,700 cm-1 ซึ่งลักษณะของหินเพอร์ไลต์ที่ได้จากการเตรียมแต่ละขั้นตอนแสดงได้ดังรูปที่ 5

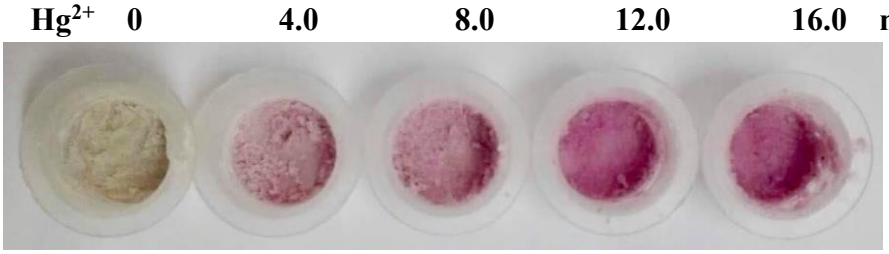
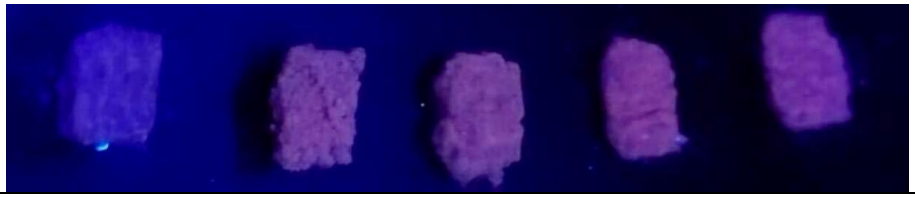
ก) หินเพอร์ไลต์ P-OH ข) หินเพอร์ไลต์ P-Cl ค) หินเพอร์ไลต์ P-RhB

แผนภาพที่ 5 หินเพอร์ไลต์ที่ได้จากการขั้นตอนการผูกติดสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์

จากรูปที่ 5 จะสังเกตเห็นว่าหินเพอร์ไลต์ที่ได้จากการทดลองในแต่ละขั้นตอนมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวขุ่น ซึ่งหินเพอร์ไลต์ P-RhB สามารถพัฒนาเป็นชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำได้และการใช้งานนั้นสามารถหยดสารละลายไอออนปรอทในน้ำลงบนหินเพอร์ไลต์ P-RhB ได้โดยตรง

จากวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจวัดไอออนปรอทของหินเพอร์ไลต์-โรดามีน บี ไฮดราไซด์ พบว่า เมื่อหยดสารละลายไอออนปรอทในน้ำที่ความเข้มข้นในช่วง 4.0-16.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงบนหินเพอร์ไลต์ P-RhB จะเกิดการเปลี่ยนสีจากสีขาวขุ่นเป็นสีชมพูของหินเพอร์ไลต์ P-RhB ได้ในทันที โดยความเข้มของสีชมพูจะเพิ่มขึ้นเมื่อหยดสารละลายไอออนปรอทความเข้มข้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพในการเรืองแสงภายใต้แสงยูวีที่ความยาวคลื่น 336 nm พบว่า เกิดการเปลี่ยนสีจากม่วงเข้มเป็นการเรืองแสงสีส้ม ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 : ผลการศึกษาประสิทธิภาพการตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำของหินเพอร์ไลต์ P-RhB

การทดสอบและการสังเกต	**ผลการทดลอง**
ตาเปล่า	
ใต้แสงยูวี	

จากวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อเพิ่มมูลค่าหินเพอร์ไลต์ในท้องถิ่นจังหวัดลพบุรี พบว่า หินเพอร์ไลต์ ปริมาณ 0.2 กรัม คิดเป็นราคาประมาณ 0.0013 บาท นำมาผูกติดสารตัวเชื่อม 3-คลอโรโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน 0.2 มิลลิลิตร คิดเป็นราคาประมาณ 0.8 บาท จากนั้นนำโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ปริมาณ 0.2 กรัม คิดเป็นราคาประมาณ 8.7 บาท มาผูกติดในขั้นตอนสุดท้าย เมื่อคำนวณต้นทุนเฉพาะหินเพอร์ไลต์ ตัวเชื่อม และสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ได้เท่ากับ 9.5013 บาท ต่อปริมาณหินเพอร์ไลต์ P-RhB ที่เตรียมได้โดยประมาณ 0.2 กรัม ซึ่งสามารถนำไปใช้งานจริงได้เท่ากับ 2 ครั้ง ดังนั้นในการตรวจวัดไอออนปรอทคิดเป็นเงินโดยประมาณ เท่ากับ 4.75 บาท ต่อการวัด 1 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าสามารถพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทที่มีราคาไม่แพงจากหินเพอร์ไลต์ได้

อภิปรายผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำด้วยวิธีการหยดสารละลายที่ใช้งานง่ายและราคาไม่แพง พบว่า การนำหินเพอร์ไลต์มาผูกติดสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีใน 2 ขั้นตอน สามารถพัฒนาเป็นชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำได้ การใช้งานนั้นสามารถหยดสารละลายไอออนปรอทในน้ำลงบนหินเพอร์ไลต์ P-RhB ได้โดยตรง ถือได้ว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย กล่าวคือ ขั้นตอนการใช้งานไม่ยุ่งยาก อีกทั้งชุดตรวจวัดที่ได้นี้มีลักษณะเป็นของแข็งจึงสะดวกต่อการนำไปใช้งานภาคสนามหรือการลงพื้นที่จริง

จากวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจวัดไอออนปรอทของหินเพอร์ไลต์-โรดามีน บี ไฮดราไซด์ พบว่า เมื่อหยดสารละลายไอออนปรอทในน้ำที่ความเข้มในช่วง 4.0-16.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงบนหินเพอร์ไลต์ P-RhB จะเกิดการเปลี่ยนสีจากสีขาวขุ่นเป็นสีชมพู สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าในทันที เนื่องจากเมื่อสารโรดามีน บี ไฮดราไซด์ ตรวจจับปรอทแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างให้อยู่ในรูปที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงการมองเห็นได้ (Kraithong S. et al., 2016: 10401) ชุดตรวจวัดนี้สามารถทำงานได้ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพคล้ายกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง เทคนิค Flame-AAS และ ICP-MS นอกจากนี้ เมื่อนำชุดตรวจวัดไปทดสอบภายใต้แสงยูวี พบว่า เกิดการเรืองแสงสีส้มเมื่อหยดสารละลายไอออนปรอทในน้ำลงไป ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการสังเกตด้วยตาเปล่า แต่การทดสอบภายใต้แสงยูวีนั้น เห็นความเข้มขึ้นของแสงสีส้มไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามผลการทดสอบในที่นี้ถือได้ว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย และเป็นแนวโน้มที่ดีสำหรับการพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำจากหินเพอร์ไลต์-โรดามีน บี ไฮดราไซด์

จากวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อเพิ่มมูลค่าหินเพอร์ไลต์ในท้องถิ่นจังหวัดลพบุรี พบว่า หินเพอร์ไลต์ ปริมาณ 0.2 กรัม คิดเป็นราคาประมาณ 0.0013 บาท เมื่อพัฒนาเป็นชุดตรวจวัดทำให้ได้ชุดตรวจวัดที่มีราคาคิดเป็นเงินโดยประมาณ เท่ากับ 4.75 บาท ต่อ การวัด 1 ตัวอย่าง ถือได้ว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย กล่าวคือ หินเพอร์ไลต์เป็นทรัพยากรในท้องถิ่นจังหวัดลพบุรีที่มีราคาไม่แพง ส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในงานด้านการเกษตร เมื่อนำมาพัฒนาเป็นชุดตรวจวัดไอออนปรอทในน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งที่มักพบโลหะหนักตกค้างจากน้ำเสียตามโรงงานอุตสาหกรรม จึงถือเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยตรวจสอบปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมทางน้ำได้ อีกทั้งเป็นการนำหินเพอร์ไลต์มาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าของหินเพอร์ไลต์ได้อีกทางหนึ่ง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการพัฒนาชุดตรวจวัดไอออนปรอทให้อยู่ในรูปแบบการใช้แถบทดสอบ (strip test) ที่สะดวกต่อการนำไปใช้งานในภาคสนามมากยิ่งขึ้น

2. การพัฒนาชุดตรวจวัดควรมีการทดสอบเรื่องอายุการเก็บรักษาก่อนการนำไปใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัยสำนักเหมืองแร่และสัมปทาน. (2567). เพอร์ไลต์. *ออนไลน์*. สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2567. แหล่งที่มา: https://www1.dpim.go.th/ppr/title.php?tid=000001074149948

กานติมา สิทธิ์เหล่าถาวร และ รพีพร สุคนธปฏิภาค. (2567). การหาปริมาณสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่วในตัวอย่างสัตว์น้ำด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS). *ออนไลน์*. สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2567. แหล่งที่มา: https://scispec.co.th/app/TH/AN _Fisheries_As_Cd_ Hg_Pb_ICPMS.pdf

ต้องชนะ สกุลเกียรติปัญญา. (2562). *คู่มือวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเทคนิค Flame Atomic Absorption Spectroscopy*. งานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากลคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

นิคม จึงอยู่สุข. (2531). ประโยชน์ของหินภูเขาไฟเนื้อแก้วเพอร์ไลต์ในงานอุตสาหกรรม. *การประชุมเหมืองแร่ประจำปี 2531 (หน้า 133 – 140).* 17 - 19 สิงหาคม 2531. ห้องสมุดกรมทรัพยากรธรณี.

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. (2567). อัตราค่าบริการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่าง/ผลิตภัณฑ์. *ออนไลน์*. สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2567. แหล่งที่มา: https://cse.wu.ac.th/wp-content/uploads/2017/07/WU-1-5.pdf

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2567). อัตราค่าบริการประเภทงานวิเคราะห์ของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . *ออนไลน์*. สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2567. แหล่งที่มา: https://eric.chula.ac.th/documents/upload/20180222/927794fd2cb1938cb62b029fc3589371.pdf

เสาวนีย์ เสียมไหม. (2551). การศึกษาสมบัติหินเพอร์ไลต์ ตำบลมหาโพธิ์ อำเภอสระโบสถ์ จังหวัดลพบุรี. *การประชุมวิชาการธรณีวิทยา 2551 (หน้า 45 – 50).* 3 - 5 กันยายน 2551. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา. กรุงเทพมหานคร

He C., Zhu W., Xu Y., Chen T., & Qian X. (2009). Trace mercury (II) detection and separation in serum and water samples using a reusable bifunctional fluorescent sensor**.** *Analytica Chimica Acta*. 651 (2), 227-233.

Kim H., Ananda R. B., Jeong J., Angupillai S., Choi J. S., Nam J.-O., Lee C.-S., & Son Y.-A. (2016). A rhodamine scaffold immobilized onto mesoporous silica as a fluorescent probe for the detection of Fe (III) and applications in bio-imaging and microfluidic chips. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 224, 404-412.

Kraithong S., Damrongsak P., Suwatpipat K., Sirirak J., Swanglap P., & Wanichacheva N. (2016). Highly Hg^{2+}-sensitive and selective fluorescent sensors in aqueous solution and sensors encapsulated polymeric membrane. *RSC Advances*. 6, 10401-10411.

Li L., Wang J., Xu S., Li C., & Dong B. (2022). Recent progress in fluorescent probes for metal ion detection. *Frontiers in Chemistry*. 10, 875241.

Li Q., & Zhou Y. (2023). Recent advances in fluorescent materials for mercury (II) ion detection. *RSC Advances*. 13, 19429-19446.

Mahony T. F., & Morris M. A. (2021). Hydroxylation methods for mesoporous silica and their impact on surface functionalization. *Microporous and Mesoporous Materials*. 317, 110989.

Nguyen T. H., Sun T., & Grattan K. T. V. (2019). A turn-on fluorescence-based fibre optic sensor for the detection of mercury. *Sensors*. 19 (9), 2142.

Praikaew P., Duangdeetip T., Chimpalee N., Wainiphithapong C., Swanglap P., & Wanichacheva N. (2015). Colorimetric sensor for detection of Hg^{2+} in aqueous samples utilizing rhodamine B hydrazide-modified silica. *Materials Express*. 5 (4), 300-308.

Roos G., & Roos C. (2015). Chapter 7 - Functional Classes II, Reactions. *Organic Chemistry Concepts*. An EFL Approach, pp. 103-149.

Saengdee P., Chaisriratanakul W., Bunjongpru W., Sripumkhai W., Srisuwan A., Jeamsaksiri W., Hruanun C., Poyai A., & Promptmas C. (2015). Surface modification of silicon dioxide, silicon nitride and titanium oxynitride for lactate dehydrogenase immobilization. *Biosensors and Bioelectronics*. 67, 134-138.

Shuai H., Xiang C., Qian Le., Bin F., Xiaohui L., Jipeng D., Chang Z., Jiahui L., & Wenbin Z. (2021). Fluorescent sensors for detection of mercury: From small molecules to nanoprobes. *Dyes and Pigments*. 187, 109125.

Udhayakumari D. (2022). Review on fluorescent sensors-based environmentally related toxic mercury ion detection. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, Vol. 102, 451–476.

Wu D., Wang Z., Wu G., & Huang W. (2012). Chemosensory rhodamine-immobilized mesoporous silica material for extracting mercury ion in water with improved sensitivity. *Materials Chemistry and Physics*. 137 (1), 428-433.