



บทสรุปผู้บริหาร (Executive summary)

ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษราคาถูกโดยอาศัยการเร่งปฏิกิริยารีดักชันของอนุภาคเงินนาโนสำหรับการตรวจวัดสารปรอทที่อยู่ในแหล่งน้ำ

Development of paper-based microfluidic as a low-cost device using reductive catalytic activity of silver nanoparticles (AgNPs) for mercury (II) ions detection in water

ได้รับอนุมัติจัดสรรงบประมาณ ประจำปี 2557 จำนวนเงิน 299,200 บาท
ระยะเวลาในการดำเนินงาน 1 ปี 6 เดือน เริ่มทำการวิจัยเมื่อ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 31 มีนาคม 2558

รายนามหัวหน้าโครงการวิจัยและผู้ร่วมดำเนินการวิจัย

1) ดร. ปุริม จารุจรัส 2) ผศ.ดร. มะลิวรรณ อมตธงไชย 3) นาย รัฐพล มีลาภสม

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจวัดทางสี (colorimetry) ที่มีความจำเพาะ (selectivity) ต่อปรอท (II) ไอออนในแหล่งน้ำแบบง่าย รวดเร็ว และแม่นยำบนระบบสารละลายโดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-visible spectroscopy) ที่อาศัยการติดตามการลดลงของอนุภาคเงินนาโน (Silver Nanoparticles, AgNPs) ที่ไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิว AgNPs ที่ไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิวที่สังเคราะห์ง่าย มีความเสถียรสูง และมีความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ได้ศึกษาผลของคอปเปอร์ (II) ไอออนในการเพิ่มความไว (sensitivity) ของการตรวจวัดในระบบสารละลายที่พัฒนาขึ้นนี้ ในส่วนที่สองได้ประยุกต์ใช้บนระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ (microfluidic paper-based analytical device, μ PAD) ด้วยเทคนิคการพิมพ์ (printing) สำหรับการตรวจวัดทางสีของปรอท (II) ไอออนในที่มีระดับต่ำในตัวอย่างน้ำ โดยอาศัยการติดตามการลดลงของอนุภาคเงินนาโนเช่นเดียวกับระบบสารละลาย โดยใช้สารเคมีและสารตัวอย่างปริมาณน้อยมาก และมีความง่าย รวดเร็วในการวิเคราะห์ มีความจำเพาะเจาะจง (selectivity) ต่อปรอท (II) ไอออนมากกว่าโลหะไอออนชนิดอื่น และแม่นยำสูง (precision) อีกทั้ง μ PAD ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณโดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีที่บันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลโดยใช้กล่องควบคุมแสงที่ประดิษฐ์เองแบบง่ายและราคาถูก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาการตรวจวัดทางสีที่มีความจำเพาะต่อปรอท (II) ไอออนในแหล่งน้ำแบบง่ายและรวดเร็วโดยอาศัยการติดตามการลดลงของอนุภาคเงินนาโน (AgNPs) ที่ไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิวบนระบบสารละลายและประยุกต์ใช้บนอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ ในส่วนแรกบนระบบสารละลาย AgNPs ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 8.3 ± 1.4 นาโนเมตรด้วยการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของ AgNPs ที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิวจะมีค่าลดลงและมีแนวโน้มเลื่อนไปทางความยาวคลื่นสีน้ำเงินเมื่อความเข้มข้นของปรอท (II) ไอออนมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ag(0) ซึ่งเปลี่ยน Ag(0) ไปเป็น Ag(I) ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า AgNPs ถูกออกซิไดซ์โดยปรอท(II) ทำให้ AgNPs มีขนาดอนุภาคที่เล็กลงและยังเกิดปฏิกิริยารีดักชันของ Hg(II) ซึ่งเปลี่ยน Hg(II) ไปเป็น Hg(0) และถูกดูดซับบนผิวหน้าของ AgNPs ส่งผลให้ประจุลบของโมเลกุลของซีเตรตที่ล้อมรอบ AgNPs มีเสถียรภาพและความหนาแน่นลดลงส่งผลให้ขนาดของ AgNPs มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยกราฟมาตรฐานในการใช้ออนุภาคเงินนาโนในการตรวจวัดทางสีของปรอท (II) จะตอบสนองแบบเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.5-7 ppm ($r^2=0.995$) มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 0.06 ppm ($SD_{blank}/slope$ ของกราฟมาตรฐาน) มีความแม่นยำในการตรวจวัด (RSD, $n = 4$) ในช่วง 3.24-4.53 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พบว่าการใช้คอปเปอร์ (II) ไอออนในระบบที่สร้างขึ้นสามารถช่วยเพิ่มความไวของการตรวจวัด ทำให้มีขีดจำกัดต่ำสุดเท่ากับ 0.008 ppm ในส่วนที่สองได้ประยุกต์ใช้บนอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ (μ PADs) ที่สร้างด้วยเทคนิคการพิมพ์ (printing) พบว่าบริเวณตรวจวัดของ μ PADs (3.0 มม.) ซึ่งมีการเคลือบ AgNPs ไว้จะมีค่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นปรอทในระบบที่มีการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลและกล้องควบคุมแสงคงที่ที่ประดิษฐ์เอง μ PADs ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถหาปริมาณของปรอทได้ในเวลาอันสั้นรวมทั้งใช้สารเคมีและสารตัวอย่างปริมาณน้อย (2 μ L) ได้กราฟมาตรฐานมีค่าในช่วง 0.05-7 ppm ($r^2=0.998$) มี LOD เท่ากับ 0.001 ppm ($SD_{blank}/slope$ ของกราฟมาตรฐาน) มีความแม่นยำที่ดี และยังมี ความจำเพาะกับปรอท (II) ไอออนมากกว่าโลหะชนิดอื่นๆ นอกจากนี้การรื้อยะการได้กลับคืนมา ในตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และ SRM1641d (ปรอทในน้ำ) อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และมีความแม่นยำในการตรวจวัดที่ดี (RSD) อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษสำหรับตรวจวัดทางสีของปรอทโดยอาศัยการติดตามการลดลงของอนุภาคเงินนาโนที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว มีความจำเพาะเจาะจงในการตรวจหาปริมาณปรอทที่มีปริมาณต่ำในตัวอย่างน้ำ

คำสำคัญ: ปรอท(II)ไอออน อนุภาคเงินนาโน คอปเปอร์(II)ไอออน การตรวจวัดทางสี อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ

Abstract

In this work, selective colorimetry for simple and rapid detection of Hg(II) ions in water based on the monitoring of an unmodified silver nanoparticles (AgNPs) reduction were developed. The average diameter of synthesized AgNPs was 8.3 ± 1.4 nm which was characterized by transmission electron microscopy (TEM). The abrupt change in absorbance of the unmodified AgNPs was observed which progressively decreased and slightly shifted to the blue wavelength as the concentration of Hg(II) increased, indicating the oxidation of Ag(0) to Ag(I) occurred. It appears that the AgNPs were oxidized by Hg(II), resulting in disintegration of the AgNPs into smaller particles as well as mediating the reduction of Hg(II) to Hg(0) adsorbed onto the surface of AgNPs. The adsorption of Hg(0) resulted in the lack of sufficient charges on AgNPs surfaces due to the decrease in the surface coverage of negatively charged citrate molecules, which then led to enlargement of AgNPs. The calibration curve of this technique was demonstrated from 0.5-7 ppm ($r^2=0.995$), the limit of detection (LOD) was 0.06 ppm (SDblank/slope of calibration curve) with the precision (RSD, n=4) of 3.24-4.53. Interestingly, the results show a significant enhance in the Hg(II) analytical sensitivity when Cu (II) is doped onto the unmodified AgNPs, which improves the quantitative detection limit to 0.008 ppm. The second approach, the application on microfluidic paper-based analytical device (μ PAD) fabricated by printing technique was demonstrated. The increase of color intensity on the test area of μ PAD (3.0 mm) doped with AgNPs exposed to mercury was observed with a systematic response to mercury concentration obtained by apparatus consisted of a digital camera and a homemade black box with a constant light. The developed μ PAD was enabled to quantify of mercury using minute reagent and sample volumes (2 μ L). The calibration curve of this technique was demonstrated from 0.05-7 ppm ($r^2=0.998$) with detection limit of 0.001 ppm (SD blank/slope of calibration curve) and a good precision. In addition, greater selectivity towards Hg(II) compared with the other metal ions tested was observed. Furthermore, the percentage recoveries of spiked drinking water, tap water and SRM1641d (mercury in water) were in acceptable range with a good precision (RSD). The new μ PAD for determination of mercury utilizing color intensity analysis by monitoring of AgNPs reduction on μ PAD provides an alternative method for rapid, simple and selective determination of mercury at low levels in water samples.

Key words: Mercury (Hg(II)), Silver Nanoparticles (AgNPs), Copper (Cu(II)), Colorimetry, microfluidic paper-based analytical device (μ PAD)