

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานประมาณแผ่นดินที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2557 ทำให้สามารถทำวิจัยชิ้นนี้ได้สำเร็จ ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย อีกทั้งขอบคุณผู้ร่วมวิจัย และนักศึกษาทุกท่านที่ได้ทำงานวิจัยอย่างเต็มที่ ทำให้งานวิจัยประสบความสำเร็จด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร (Executive summary)	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
<b>บทที่ 2 การตรวจเอกสาร</b>	<b>7</b>
2.1 เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณปรอท (mercury measurement)	7
2.1.1 แบบใช้เครื่องมือขั้นสูง	7
2.1.2 แบบไม่ใช้เครื่องมือขั้นสูง	8
2.1.2.1 การใช้อนุภาคโลหะนาโนในการตรวจวัดทางสี (metal nanoparticles(NPs)-based colorimetric sensors)	8
2.1.2.2 ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ (microfluidic paper-based analytical device, $\mu$ PAD)	10
<b>บทที่ 3 การทดลอง</b>	<b>17</b>
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	17
3.2 สารเคมี	19
3.3 วิธีการทดลอง	20
3.3.1 การเตรียมสารเคมี	20
3.3.2 การเตรียมสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่ไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิว (Unmodified silver nanoparticles; AgNPs)	21
3.3.3 การตรวจวัดทางสีของปรอท (II) ไอออนแบบง่ายและรวดเร็วโดยอาศัย การติดตามการลดลงของอนุภาคเงินนาโน (AgNPs) ที่ไม่ถูกปรับปรุง พื้นผิวโดยใช้เทคนิคออปติคัลสเปกโตรสโกปี (UV-Vis spectroscopy)	22
3.3.4 การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดทางสีของปรอท (II) ที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ ประดิษฐ์มาจากกระดาษแบบสองชั้น (double layer microfluidic paper-based analytical device, double layer $\mu$ PAD)	23
3.3.5 การตรวจวัดทางสีของปรอท (II) ไอออนแบบง่ายและรวดเร็วโดยอาศัยการ ติดตามการลดลงของอนุภาคเงินนาโน (AgNPs) ที่ไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิวบน อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษแบบ สองชั้น (double layer microfluidic paper-based analytical device, double layer $\mu$ PAD) ด้วยเทคนิคการพิมพ์ (printing technique)	24

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	25
4.1. การตรวจวัดทางสีของปรอท (II) ไอออนแบบง่ายและรวดเร็วโดยอาศัยการติดตามการลดลงของอนุภาคเงินนาโน (AgNPs) ที่ไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้เทคนิค อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-Vis spectroscopy)	25
4.1.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์การสังเคราะห์ AgNPs ที่ไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิว	25
4.1.2 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของ AgNPs ที่มีผลต่อการดูดกลืนพลาสมอนสูงสุดของ AgNPs เพื่อการตรวจวัดทางสีของปรอท (II)	29
4.1.3 การศึกษาผลของ pH ที่มีผลต่อการดูดกลืนพลาสมอนสูงสุดของ AgNPs เพื่อการตรวจวัดทางสีของปรอท (II)	30
4.1.4 การศึกษาช่วงการตอบสนองแบบเป็นเส้นตรง (linear range) ในการตรวจวัดทางสีของปรอท (II) และความเที่ยงตรง (precision)	32
4.1.5 การศึกษาผลของคอปเปอร์ (II) เพื่อเพิ่มความไวในการตรวจวัดทางสีของปรอท (II)	37
4.1.6 การศึกษาผลของตัวรบกวน (interferences)	40
4.1.7 การศึกษาร้อยละของการได้กลับคืนมา (recovery) ในตัวอย่างน้ำและการสอบเทียบ (Method validation) กับเทคนิคมาตรฐาน	41
4.2. การตรวจวัดทางสีของปรอท (II) ไอออนแบบง่ายและรวดเร็วโดยอาศัยการติดตามการลดลงของอนุภาคเงินนาโน (AgNPs) ที่ไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษแบบสองชั้น (double layer microfluidic paper-based analytical device, double layer $\mu$ PAD) โดยใช้เทคนิคการพิมพ์ (printing technique)	43
4.2.1 การศึกษาชนิดของกระดาษที่ใช้สร้างอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษแบบสองชั้น (double layer microfluidic paper-based analytical device, double layer $\mu$ PAD)	43
4.2.2 การศึกษาหาปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสมและความจุสูงสุดที่ใช้บนอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษแบบสองชั้น (double layer microfluidic paper-based analytical device, double layer $\mu$ PAD)	44
4.2.3 การศึกษาการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษแบบสองชั้น (double layer microfluidic paper-based analytical device, double layer $\mu$ PAD) ด้วยเทคนิค AKD-inkjet printing	45

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.4 การศึกษาเทคนิคในการอ่านผลในข้อมูลเชิงปริมาณบนอุปกรณ์ตรวจวัด ที่ใช้ระบบของไหลจุลภาคที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษแบบสองชั้น (double layer microfluidic paper-based analytical device, double layer $\mu$ PAD) ด้วยโปรแกรม ImageJ และกลไกของปฏิกิริยาบน กระดาษ	46
4.2.5 การศึกษาผลของขนาดและจำนวนของอนุภาคเงินนาโน (AgNPs) ที่ไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิวที่จำเพาะต่อการวิเคราะห์หาปริมาณปรอท(II)	51
4.2.6 การศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์และความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้น	53
4.2.6.1 ช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity range), ขีดจำกัดต่ำสุด ของการตรวจวัด (Limit of detection; LOD) และความแม่นยำ ของการตรวจวัด (%RSD)	53
4.2.6.2 การศึกษาความจำเพาะเจาะจง (Selectivity)	57
4.2.7 การวิเคราะห์หาปริมาณปรอท(II) ในตัวอย่างจริง	63
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	65
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	66
<b>ภาคผนวก</b>	70