

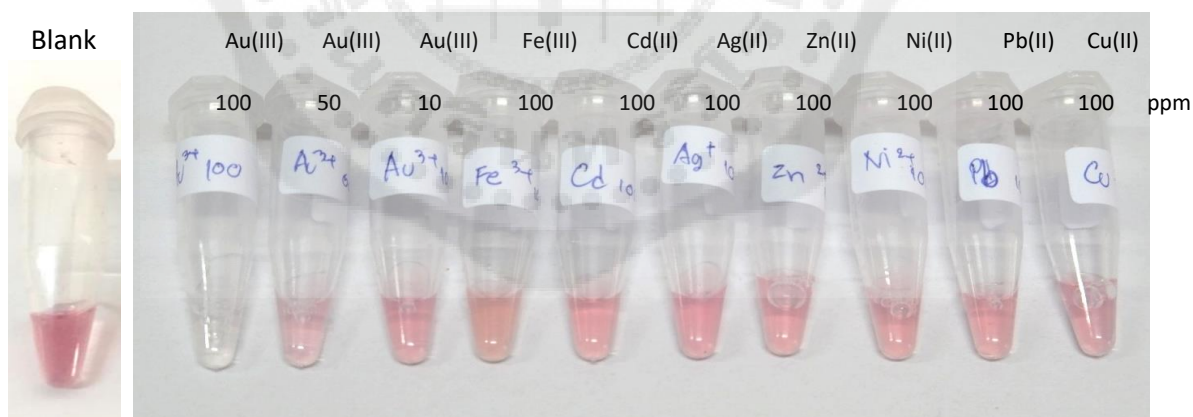
ตาราง 3 สภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณ Au(III)

Solution	Concentration	Volume(μ L)
CTAB	20 mM	40
AuNPs	0.01%	100
Std Au(III)	1-100 ppm	20

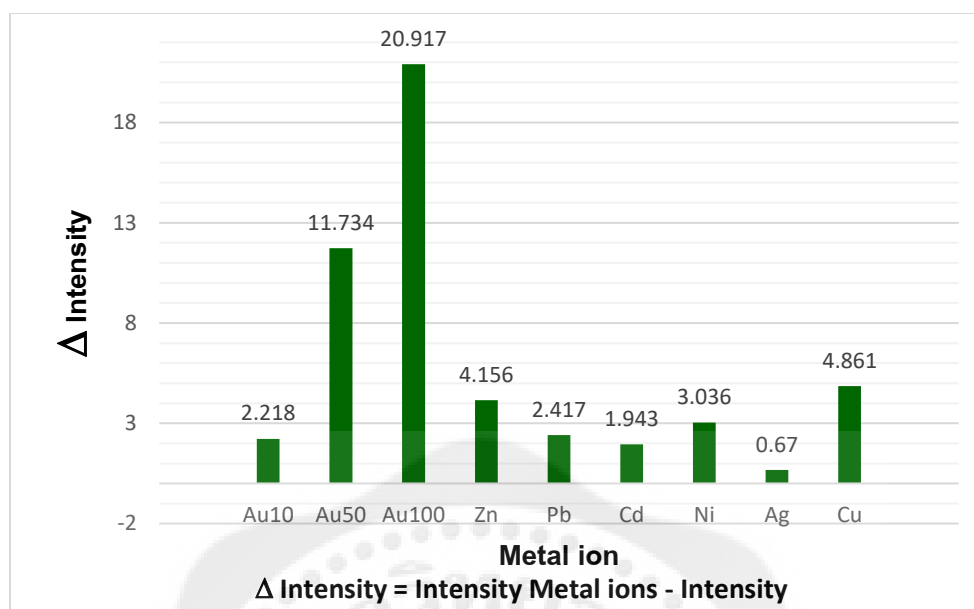
ตอนที่ 3 ผลการศึกษาการรบกวนการวิเคราะห์ของโลหะไอออนอื่น ๆ ต่อน้ำยาที่ใช้ตรวจวัดปริมาณ Au(III)

3.1 ผลการศึกษาการรบกวนจากไอออนต่าง ๆ ต่อการวิเคราะห์ Au(III)

จากการทดลองศึกษาการรบกวนของไอออนต่าง ๆ ต่อการวิเคราะห์ ผู้วิจัยทำการทดลองโดยลำดับแรกนำสารละลายของโลหะไอออนชนิดต่าง ๆ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นที่ละชนิดด้วยสภาวะที่เหมาะสมต่าง ๆ ตามที่ได้ทำการศึกษาก่อนหน้านี้ ได้ผลการทดลองดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 27 การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายน้ำยาเมื่อใช้วิเคราะห์โลหะไอออนชนิดต่าง ๆ



ภาพประกอบ 28 กราฟแสดงค่าความเข้มสีของการวิเคราะห์โลหะไอออนชนิดต่าง ๆ

จากการทดลองวิเคราะห์โลหะไอออนชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสัญญาณของโลหะไอออนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ 10 ppm Au (III), 50 ppm Au(III), 100 ppm Au(III), 100 ppm Zn(II), 100 ppm Pb(II), 100 ppm Cd(II), 100 ppm Ni(II), 100 ppm Ag(I) และ 100 ppm Cu(II) ซึ่งให้การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายน้ำยาที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าแสดงดังภาพประกอบ 26 จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายน้ำยา เมื่อใช้วิเคราะห์ Au(III), Zn(II), Pb(II), Cd(II), Ni(II), Ag(I) และ Cu(II) ที่ความเข้มข้น 100 ppm เท่ากัน เฉพาะ Au(III) เท่านั้นให้การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายชัดเจนที่สุด และเมื่อนำสารละลายที่เปลี่ยนแปลงสีนี้ไปวัดความเข้มสี จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มสีกับการตรวจวิเคราะห์โลหะไอออนชนิดต่าง ๆ แสดงดังภาพประกอบ 27 พบว่าการวิเคราะห์ 100 ppm Au(III) เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดคือให้ความเข้มสีที่ 20.92 รองลงมาคือ 50 ppm Au(III) ให้ความเข้มสีที่เปลี่ยนแปลงอยู่ที่ 11.73 และที่การวิเคราะห์ 10 Au(III), 100 ppm Zn(II), 100 ppm Pb(II), 100 ppm Cd(II), 100 ppm Ni(II), 100 ppm Ag(I) และ 100 ppm Cu(II) ให้ความเข้มสีอยู่ที่ 2.22, 4.16, 2.42, 1.94, 3.04, 0.67, 4.86 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า แม้ที่การวิเคราะห์ 10 ppm Au(III) จะให้ความเข้มสีที่เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า หรือใกล้เคียงกับการใช้วิเคราะห์โลหะไอออนชนิดอื่น แต่ในที่นี้ปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ของ Au(III) กับ

โลหะไอออนชนิดอื่น ๆ ต่างกัน 10 เท่า จึงสรุปได้ว่าวิธีที่พัฒนาในการวิจัยนี้ มีความจำเพาะเจาะจงต่อการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ Au(III)

3.2 ผลการศึกษาการรบกวนของโลหะไอออนชนิดต่าง ๆ เมื่อผสมอยู่ในสารละลาย

Au(III)

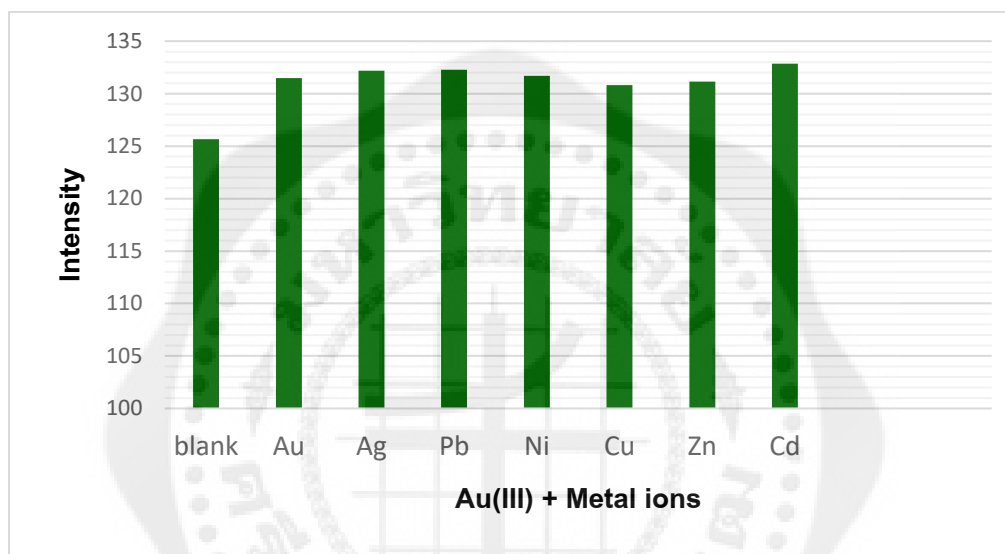
จากการทดลองศึกษาการรบกวนการวิเคราะห์ของโลหะไอออนชนิดต่าง ๆ เมื่อผสมอยู่ในสารละลาย ผู้วิจัยทำการทดลองเตรียมสารละลายผสมระหว่าง Au(III) กับ โลหะไอออนชนิดต่าง ๆ จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีที่พัฒนาจากงานวิจัยนี้ ให้ผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายน้ำยาแสดงดังภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 29 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายเมื่อวิเคราะห์โลหะไอออนชนิดต่าง ๆ ที่ผสมอยู่ใน Au(III)

จากการพิจารณาพบว่า เมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายน้ำยาด้วยตาเปล่า เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ Au(III) เพียงอย่างเดียว กับการวิเคราะห์สารละลายผสมระหว่าง ไอออนชนิดต่าง ๆ กับ Au(III) ให้ผลการเปลี่ยนแปลงสีที่ไม่ต่างกัน จากนั้นนำสารละลายที่เปลี่ยนแปลงสีนี้ไปวัดค่าความเข้มข้น และวิเคราะห์ผลโดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น กับโลหะ ไอออนที่ทำการวิเคราะห์ ดังภาพประกอบ 29 พบว่าค่าความเข้มข้นของการวิเคราะห์สารละลาย Au(III) เพียงอย่างเดียว กับสารละลายผสมระหว่าง Au(III) กับ Ag(I), Au(III) กับ Pb(II), Au(III) กับ Ni(II), Au(III) กับ Cu(III), Au(III) กับ Zn(II) และ Au(III) กับ Cd(II) ให้ค่าความเข้มข้น คือ 131.48, 132.18, 132.28, 131.70, 130.80, 131.15 และ 132.87 ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าภายใต้สภาวะการวิเคราะห์ที่

เหมือนกัน การวิเคราะห์ Au(III) เพียงอย่างเดียว และการวิเคราะห์สารละลายผสมระหว่าง Au(III) กับ ไอออนชนิดต่าง ๆ ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสีที่ไม่แตกต่างกัน คือค่าความแตกต่างกันไม่เกิน ± 5 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณการตรวจวัด Au(III) เพียงอย่างเดียว (EURACHEM Guide. 1998) จึงสรุปได้ว่าวิธีที่ได้ทำการพัฒนาในครั้งนี้ มีความจำเพาะเจาะจง และสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณ Au(III) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสี กับโลหะไอออนที่ทำการวิเคราะห์

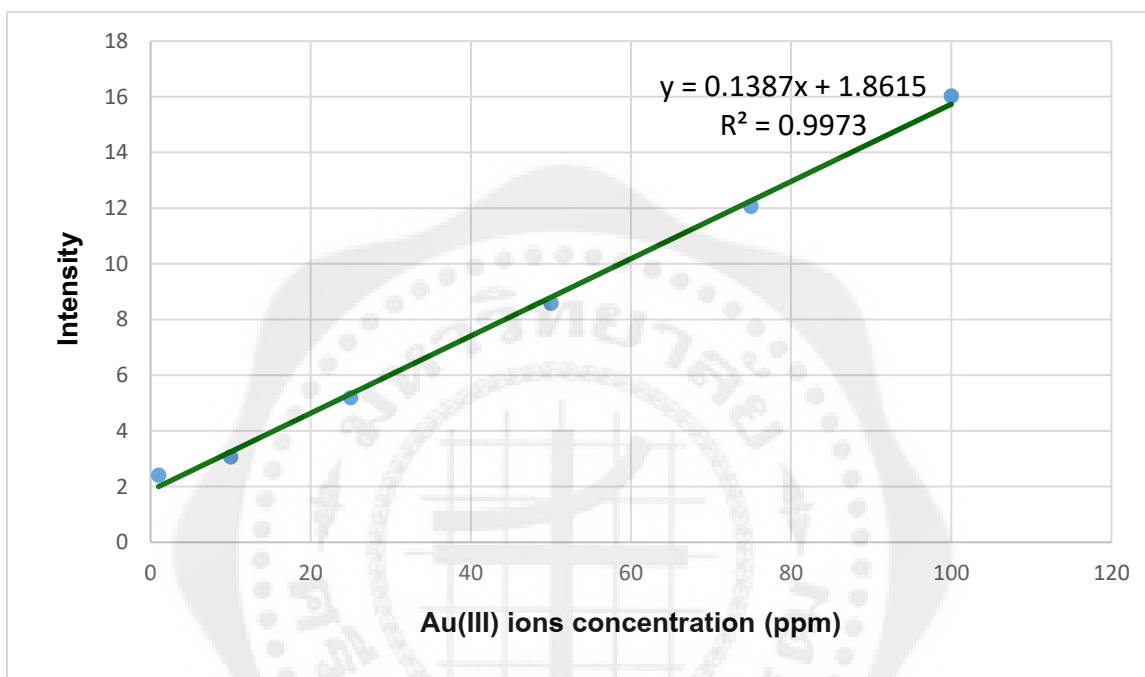
ตอนที่ 4 ผลการศึกษาความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์

ผลการศึกษาความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์ Au(III) ด้วยวิธีการวัดทางสีโดยใช้สารละลายผสมระหว่าง AuNPs และ CTAB แสดงดังต่อไปนี้

4.1 กราฟมาตรฐาน Au(III)

เมื่อทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองทั้งระบบ จึงได้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงความเข้มข้น 1 – 100 ppm เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณ Au(III) ในตัวอย่างน้ำยาชุบทอง (Gold-refining waste solutions) ซึ่งหลังจากวิเคราะห์สารมาตรฐาน Au(III) ด้วยวิธีที่พัฒนา แล้วนำมาสร้างกราฟมาตรฐานของ Au(III) โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

ค่าความเข้มข้นและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Au(III) แสดงในภาพประกอบ 30 พบว่ากราฟมาตรฐานให้สมการเส้นตรงคือ $y = 0.1387x + 1.8615$ และให้ค่า $R^2 = 0.9973$ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 อยู่ในระดับที่มีความถูกต้องและยอมรับได้ตามข้อกำหนด (EURACHEM Guide. 1998)



ภาพประกอบ 31 กราฟมาตรฐาน Au(III)

4.2 ผลการศึกษาความไวของวิธีการวิเคราะห์ (Sensitivity)

ผู้วิจัยทำการทดลองโดยการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายแบลงค์ (Blank) ของตัวอย่าง (Sample blank) 10 ครั้ง และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD) จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า LOD และ LOQ ได้ค่าเท่ากับ 0.5 ppm และ 1 ppm ตามลำดับ

4.3 ผลการศึกษาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ (Accuracy)

การคำนวณหาค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) เปรียบเทียบวิธีที่พัฒนามกับวิธีมาตรฐาน ในที่นี้คือ อินดักทีฟรี คอปเปิล พลาสมา ออฟติคอล อิมิชชัน สเปคโตรเมตรี (Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer; ICP-OES) แสดงผลการทดลองดังตาราง 4

ตาราง 4 ค่าร้อยละการคืนกลับของวิธีที่พัฒนา และวิธีมาตรฐาน

Sample	Added	Founded	Founded	Recovery (%) (ICP)	Recovery (%) (This method)
		ICP-OES (ppm)	This method (ppm)		
Pink gold 1	0	57.260	56.848		
Pink gold 2	5	62.318	62.238	99.965	107.80
Pink gold 3	10	67.209	65.312	99.924	84.64
Yellow gold 1	0	50.075	50.075		
Yellow gold 2	5	55.328	55.328	100.459	105.06
Yellow gold 3	10	60.380	59.494	100.508	94.19
Flash gold 1	0	59.860	60.351		
Flash gold 2	5	64.241	65.263	99.045	98.24
Flash gold 3	10	70.636	68.820	107.76	84.69

จากการพิจารณาเปรียบเทียบค่าร้อยละการคืนกลับของวิธีที่พัฒนามกับวิธีมาตรฐาน พบว่าทั้งสองวิธีให้ค่าการคืนกลับของการวิเคราะห์ในทุก ๆ ตัวอย่าง ที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละการคืนกลับ (Mean recovery) อยู่ในช่วงระหว่าง 80 – 110 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนด (AOAC Peer-Verified Methods Program. 1998)

ตอนที่ 5 ผลการประยุกต์ใช้วิธีการตรวจวัดไอออนทองคำ AU(III) กับตัวอย่างน้ำยาชุบทอง (Gold-refining waste solution)

ผู้วิจัยทำการศึกษาโดยการวิเคราะห์ Au(III) จากตัวอย่างน้ำยาชุบทอง ด้วยวิธีที่พัฒนาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน แสดงผลดังตาราง 5 จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปคำนวณค่าการทดสอบที (t-test) คือการทดสอบสมมุติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่มกับประชากร หรือเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่อาจมีความสัมพันธ์กันหรือเป็นอิสระต่อกันก็ผลการคำนวณพบว่า ค่า t-test เท่ากับ 0.122 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า t Critical two-tail คือเท่ากับ 2.12 และ ค่า P-value $[P(T \leq t) \text{ two-tail}]$ เท่ากับ 0.90 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่ายอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าวิธีที่พัฒนานี้ ให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากวิธีมาตรฐาน (ดร.ทิพย์สุดา จันทรแจ่มหล้า; 2018) (Online)

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำยาชุบทอง

Sample	ICP-OES (ppm)	This method (ppm)
Pink gold 1	57.260	56.848
Pink gold 2	62.318	62.238
Pink gold 3	67.209	65.312
Yellow gold 1	50.075	50.846
Yellow gold 2	55.328	55.046
Yellow gold 3	60.380	59.494
Flash gold 1	59.860	60.351
Flash gold 2	64.241	65.263
Flash gold 3	70.636	68.820

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยที่ทำการศึกษานี้ เกี่ยวข้องกับการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนทองคำ (Au(III)) โดยวิธีการวัดทางสีโดยใช้สารละลายอนุภาคแขวนลอยนาโนทองคำ (AuNPs) โดยในงานวิจัยจะแบ่งการวิเคราะห์ Au(III) เป็น 2 ส่วน คือการวิเคราะห์ Au(III) เบื้องต้นจากการสังเกตด้วยตาเปล่า และการวิเคราะห์หาปริมาณที่แน่นอนของ Au(III) ด้วยอุปกรณ์ฐานแผ่นใส

การวิเคราะห์ Au(III) เบื้องต้นจากการสังเกตด้วยตาเปล่า โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย AuNPs ได้สภาวะที่เหมาะสมดังต่อไปนี้ สารละลาย 5 mM CTAB ที่ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมกับ สารละลาย 0.01% AuNPs ที่ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และปริมาตรในการเติมลงไปของสารละลาย Au(III) หรือสารตัวอย่างที่ 20 ไมโครลิตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว ให้การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายที่ใช้ตรวจวิเคราะห์ Au(III) ในช่วงความเข้มข้น 10 – 200 ppm สารละลาย AuNPs เปลี่ยนจากสีแดงเป็นสารละลายใสไม่มีสี เมื่อมีความเข้มข้นของ Au(III) 10 – 100 ppm และเมื่อมีความเข้มข้นของ Au(III) มากกว่า 200 ppm สารละลายจะเปลี่ยนจากสารละลายสีแดงไปเป็นสีเหลือง ซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน เป็นข้อดีที่สามารถใช้คัดกรองปริมาณของ Au(III) ในสารตัวอย่างได้ในเบื้องต้น

จากการดำเนินงานวิจัยในตอนแรกนั้น การที่จะวิเคราะห์ปริมาณที่แน่นอนของ Au(III) ยังต้องอาศัยเครื่องยูวีวิสิเบิล ซึ่งยังเป็นไม่สะดวกในการที่จะทำการวิเคราะห์ภายนอกห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยจึงพยายามพัฒนานิธีเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว โดยอาศัยการวัดความเข้มสีของสารละลายบนอุปกรณ์ฐานแผ่นใส ในการประดิษฐ์อุปกรณ์ฐานแผ่นใสนั้น ผู้วิจัยทำการออกแบบอุปกรณ์ให้มีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และควบคุมทิศทางการไหลโดยใช้เทคนิคการพิมพ์ขึ้นลงบนแผ่นพลาสติกใส

เมื่อได้อุปกรณ์ฐานแผ่นใสแล้ว ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณที่แน่นอนของ Au(III) โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย AuNPs ได้สภาวะที่เหมาะสมคือ สารละลาย 20 mM CTAB ที่ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ผสมกับ สารละลาย 0.01% AuNPs ที่ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และสารละลาย Au(III) หรือสารตัวอย่างที่ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมกันในเกิดการ

เปลี่ยนแปลงสีในแอปเพนดอร์ฟ จากนั้นหยดลงบนอุปกรณ์ฐานแผ่นใส ถ่ายรูปโดยใช้กล้องดิจิทัล และนำไปวัดค่าความเข้มสีด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ)

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของความเข้มข้นของ Au(III) ที่ความสามารถตรวจวัดได้คือ 1 – 100 ppm โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9973 ซึ่งมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOD) เท่ากับ 1 ppm และวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้มีความจำเพาะเจาะจงในการใช้วิเคราะห์หาปริมาณ Au(III) ปราศจากการรบกวนการวิเคราะห์จากไอออนต่างๆ

การวิเคราะห์หาปริมาณ Au(III) ในตัวอย่างน้ำยาชุบทอง (Gold-refining waste solution) เมื่อทำการคำนวณหา % recovery อยู่ในช่วง 84.64 – 107.80 % จะเห็นได้ว่าเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ และทำการทดสอบเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ระหว่างวิธีที่พัฒนากับวิธีมาตรฐานโดยใช้เทคนิค Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES) การทดสอบความแตกต่างแบบจับคู่ (t-test) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ในการวิจัยการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ Au(III) โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย AuNPs สามารถตรวจคัดกรอง Au(III) ในเบื้องต้น ได้ด้วยตาเปล่า ทั้งยังสามารถตรวจหาปริมาณที่แน่นอนของ Au(III) ในปริมาณน้อยๆได้ ผ่านการวัดความเข้มสีบนอุปกรณ์ฐานแผ่นใส โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีความซับซ้อนและมีราคาแพง สามารถทำได้ภายนอกห้องปฏิบัติการ ทั้งยังเป็นวิธีที่มีความจำเพาะ มีความแม่นยำสูง สามารถตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ Au(III) ในตัวอย่างจริงได้อีกด้วย ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ Au(III) ที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้สามารถเทียบเท่ากับวิธีมาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบันได้

งานวิจัยในอนาคต

จากงานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่าการที่จะดูการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย AuNPs นั้น ยังต้องอาศัยการผสมสารละลายต่าง ๆ ภายในแอปเพนดอร์ฟก่อน แล้วจึงนำมาหยดลงบนอุปกรณ์ฐานแผ่นใสเพื่อวัดความเข้มสี ดังนั้นงานวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยเห็นว่า จะพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ที่สามารถทำได้ในขั้นตอนเดียว สามารถผสมสารลงบนอุปกรณ์ตรวจวัด และพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถวัดความเข้มสีบนอุปกรณ์ฐานแผ่นใสได้ในคราวเดียวกัน ซึ่งจะสามารถลดอุปกรณ์ ต้นทุนในการวิเคราะห์ ทั้งยังสะดวกและประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ได้อีกด้วย



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์. (2543). ทองคำโลหะที่มีคุณค่าไม่
 รู้จบ. สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2560, จาก <http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/gold/index.html>
- อภิวัฒน์ ชมภูสอ. (2556). โครงสร้างระดับนาโนของทอง: การสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ในการรักษา
 โรคมะเร็ง. *ว.วิทย. มข.* 41(4): 859–872.
- Amara Apilux; et al. (2010). Lab-On-Paper with Dual Electrochemical/Colorimetric Detection for
 Simultaneous Determination of Gold and Iron. *Analytical Chemistry*. 82: 1727–1732.
- Antonella Arena; et al. (2009, December 29). Flexible ethanol sensors on glossy paper
 substrates operating at room temperature. *Sensors and Actuators B*. 145: 488-494.
- AOAC Official Methods of Analysis. (2016). Guidelines for Standard Method Performance
 Requirements. *Appendix F*. p 9
- Catherine Housecroft; & Edwin Constable. (2006). Chemistry: an introduction to organic,
 inorganic and physical chemistry. *Pearson Education*. (1): 349–353.
- Erin M. Gross; et al. (2017). Electrochemiluminescence Detection in Paper-Based and Other
 Inexpensive Microfluidic Devices. In *CHEMELECTROCHEM*. (1): 1600.
- Faizan S. Syed. (2012). Recovery of gold from secondary sources. *Hydrometallurgy*. 116:
 30–51.
- Ganesan Sriram; et al. (2017). Paper-based microfluidic analytical for colorimetric detection of
 toxic ions. *Trends Analytical Chemistry*. Unpage.
- Gold Nanoparticle Properties. (2017). Cytodiagnostics. Retrieved August 29, 2017. From
<http://www.cytodiagnostics.com/store/pc/Gold-Nanoparticle-Properties-d2.htm>

- Guan Hua Chen; et al. (2014). Detection of Mercury (II) Ions Using Colorimetric Gold Nanoparticles on Paper-Based Analytical Devices. *Analytical Chemistry*. 86(14): 6843-6849.
- Hideaki Tokuyama; Eri Kitamura; & Yoshimi Seida. (2015). Detection of Au(III) ions using a poly (N,N-dimethylacrylamide)-coated QCM sensor. *Talanta*. 146: 507–509.
- I-Im S Lim; et al. (2008) Gold and Magnetic Oxide/Gold Core Shell Nanoparticles as Bio-Functional Nanoprobos. *Nanotechnology*. 19(30): p 305102.
- Jaclyn A. Adkins; et al. (2017). Colorimetric and Electrochemical Bacteria Detection Using Printed Paper- and Transparency-Based Analytic Devices. *Analytical Chemistry*. 89: 3613 – 3621.
- Jessica Rodríguez Fernández; et al. (2005). Spatially-directed oxidation of gold nanoparticles by Au(III)-CTAB complexes. *The Journal of Physical Chemistry B*. 109(30): 14257–14261.
- Jinshui Lui; et al. (2017). Preparation and use of Cu nanoclusters as Fluorescent probes to determine Au(III)ions. *Journal of Luminescence*. 185: 258–262.
- Jun Feng Zhang; et al. (2011). Recent progress in fluorescent and colorimetric chemosensors for detection of precious metal ions (silver, gold and platinum ions). *Chemical Society Reviews*. 40: 3416–3429.
- Lu Sun; Ping Chen; & Lie Lin. (2016). Enhanced Molecular Spectroscopy via Localized Surface Plasmon Resonance. *In Applications of Molecular Spectroscopy to Current Research in the Chemical and Biological Sciences*. Unpaged.
- Ming Dong; Ya W. Wang; & Yu Peng. (2010). Highly Selective Ratiometric Fluorescent Sensing for Hg²⁺ and Au³⁺, Respectively, in Aqueous Media. *Organic Letters*. 12(22): 5310–5313.

Paweena Duenchay; & Wijitar Dungchai. (2014). Paper-based Analytical Device. *Pathumwan Academic Journal*. 4(10): 37–47.

Shuo Wu; et al. (2017). Gold nanoparticles dissolution based colorimetric method for highly sensitive detection of organophosphate pesticides. *Sensors and Actuators B*. (238): 427-433.

SIGMA-ALDRICH. (2017). Gold Nanoparticles: Properties and Applications. Retrieved August 28, 2017. From <http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/materials-science/nanomaterials/gold-nanoparticles.html>

Siriwan Teepoo. (2012). Gold Nanoparticles: Synthesis and Applications for Chemical Analysis. *Journal of Science and Technology MSU*. (1): 237-245.

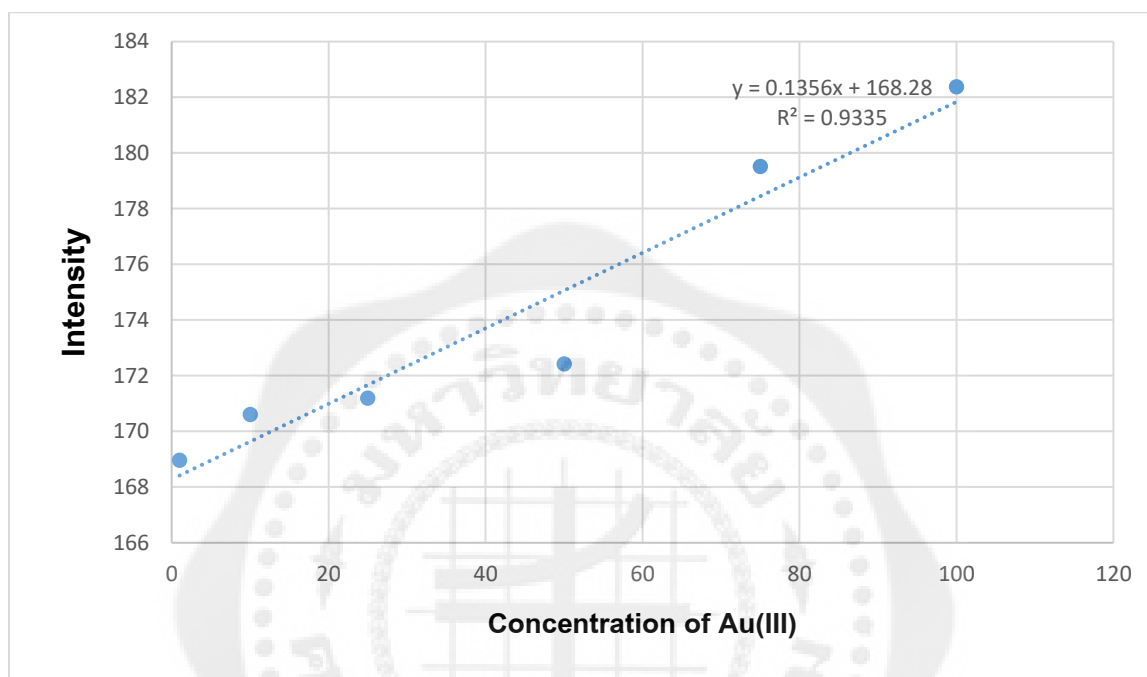
Sudkate Chaiyo; et al. (2015). Highly selective and sensitive paper-based colorimetric sensor using thiosulfate catalytic etching of silver nanoplates for trace determination of copper ions. *Analytica Chimica Acta*. 866: 75–83.

The Fitness for Purpose of Analytical Methods; A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topic. (1998). *EURACHEM Guide*. 1st.

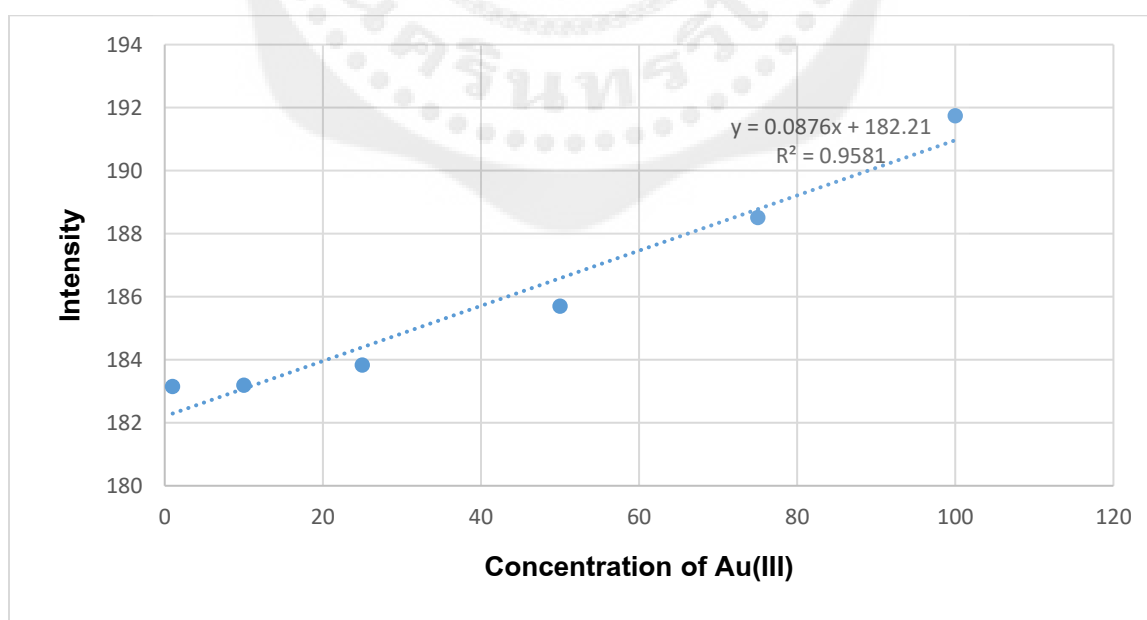
Wijitar Dungchai; Orawon Chailapakul; & Charles S. Henry. (2009). Electrochemical Detection for Paper-Based Microfluidics. *Analytical Chemistry*. 81: 5821-5826.



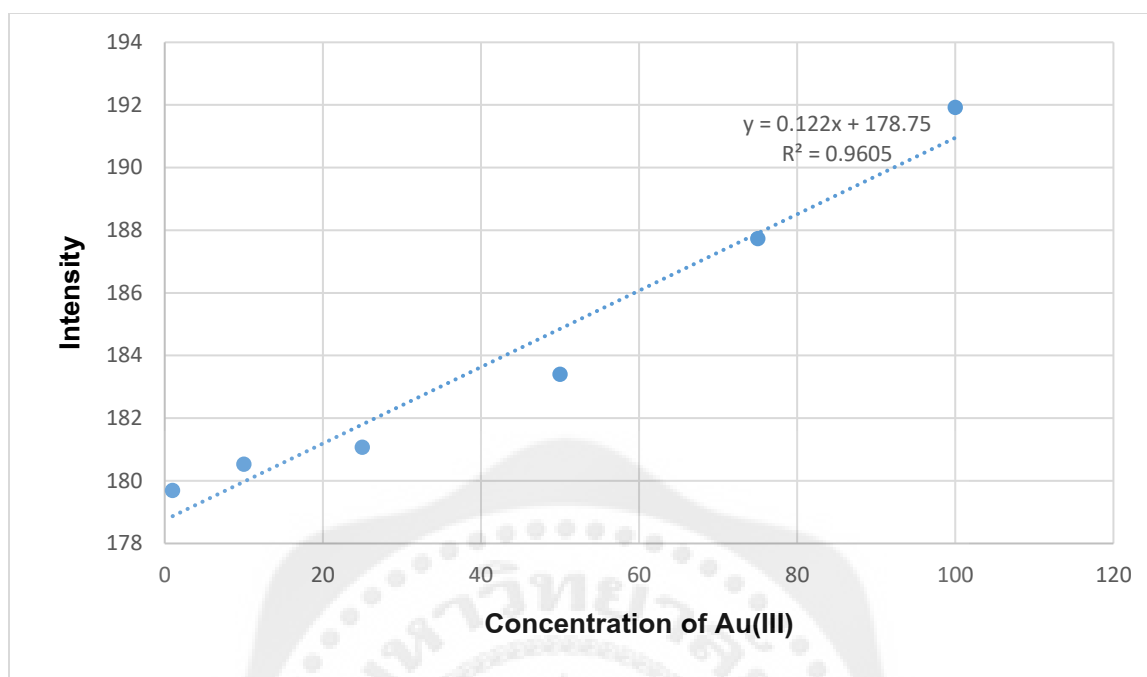
กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มสีกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Au(III) ในการศึกษา ปริมาตรที่เหมาะสมของการเติมสารละลาย 20 mM CTAB



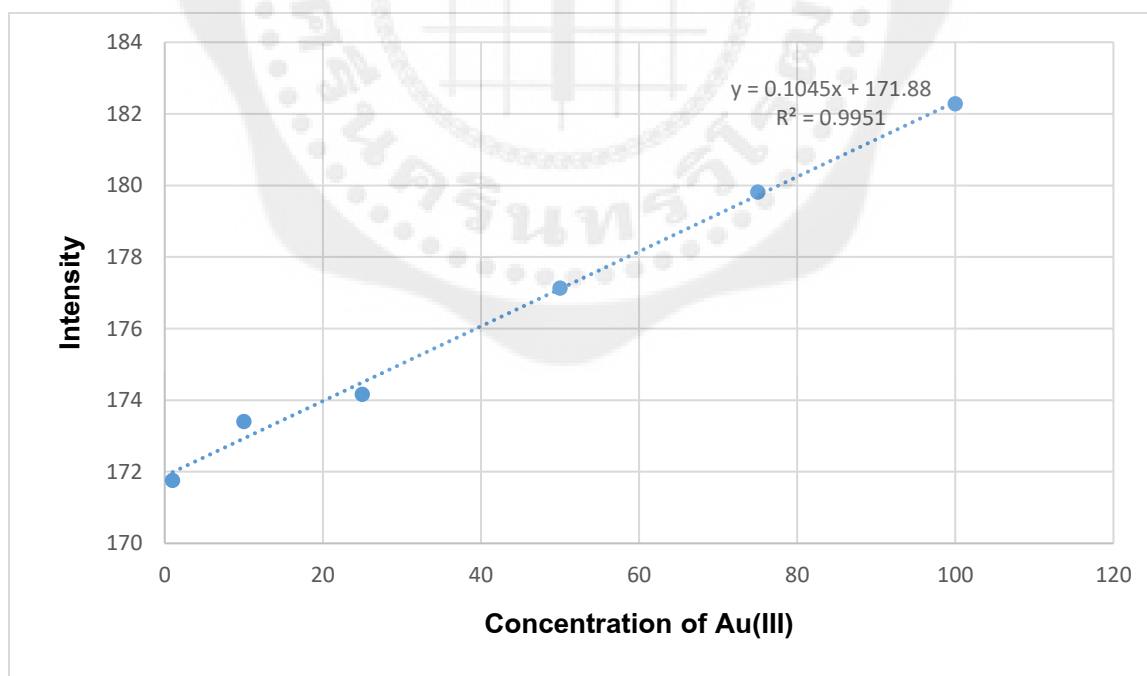
(1) 20 mM CTAB ปริมาตร 10 ไมโครลิตร



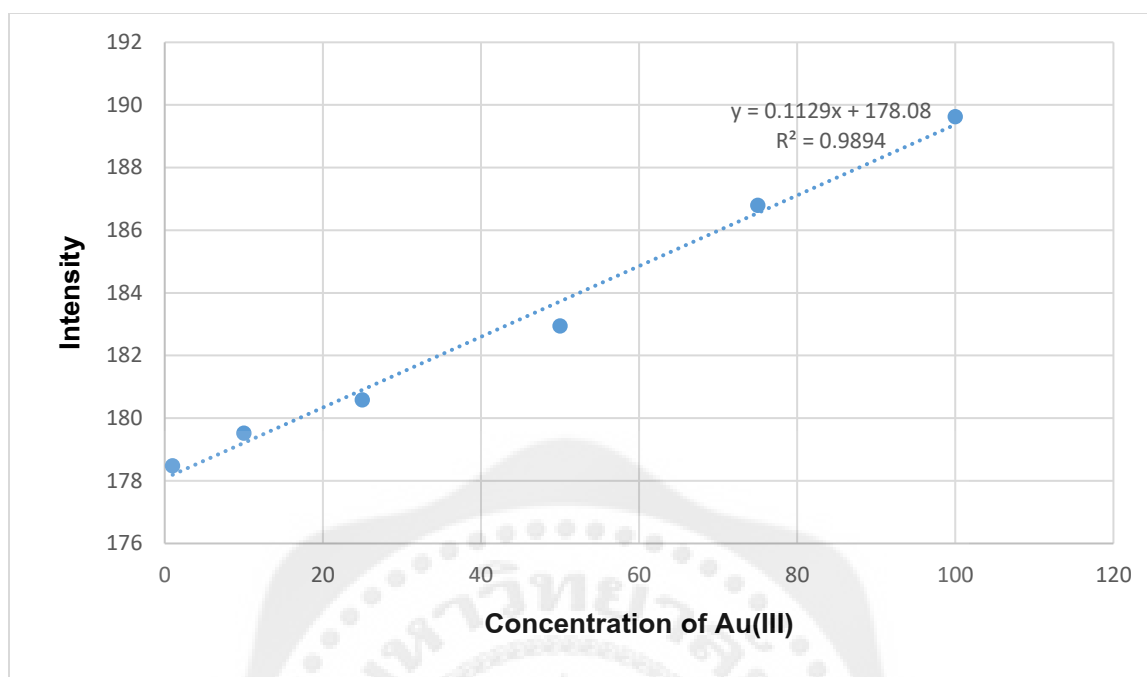
(2) 20 mM CTAB ปริมาตร 20 ไมโครลิตร



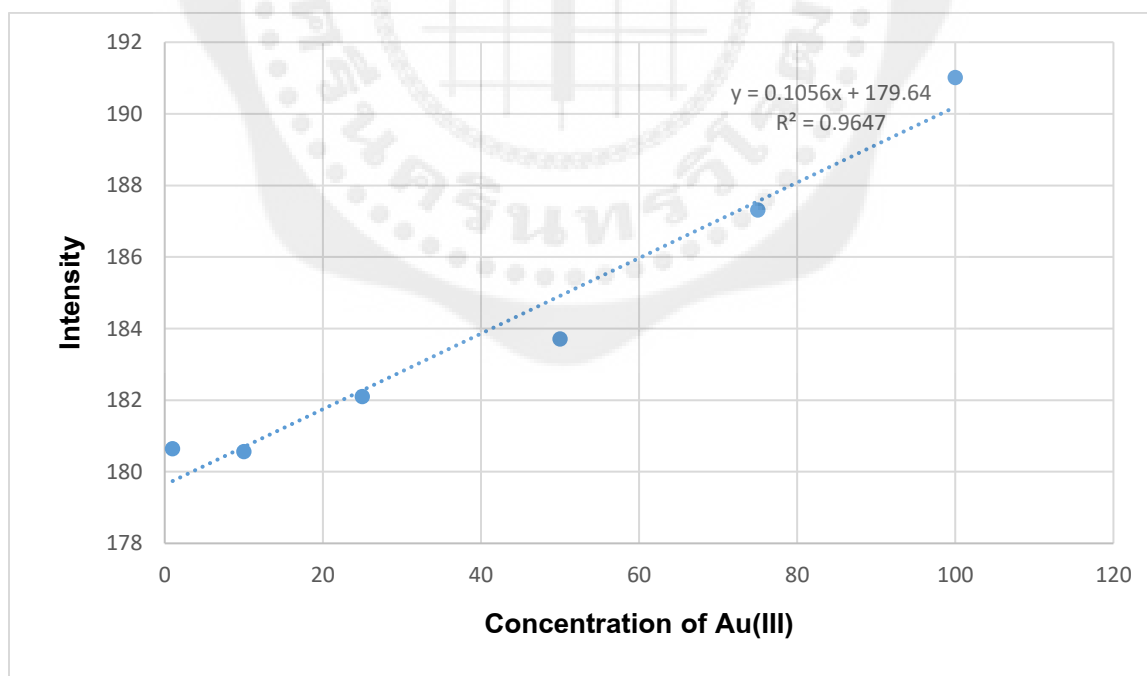
(3) 20 mM CTAB ปริมาตร 30 ไมโครลิตร



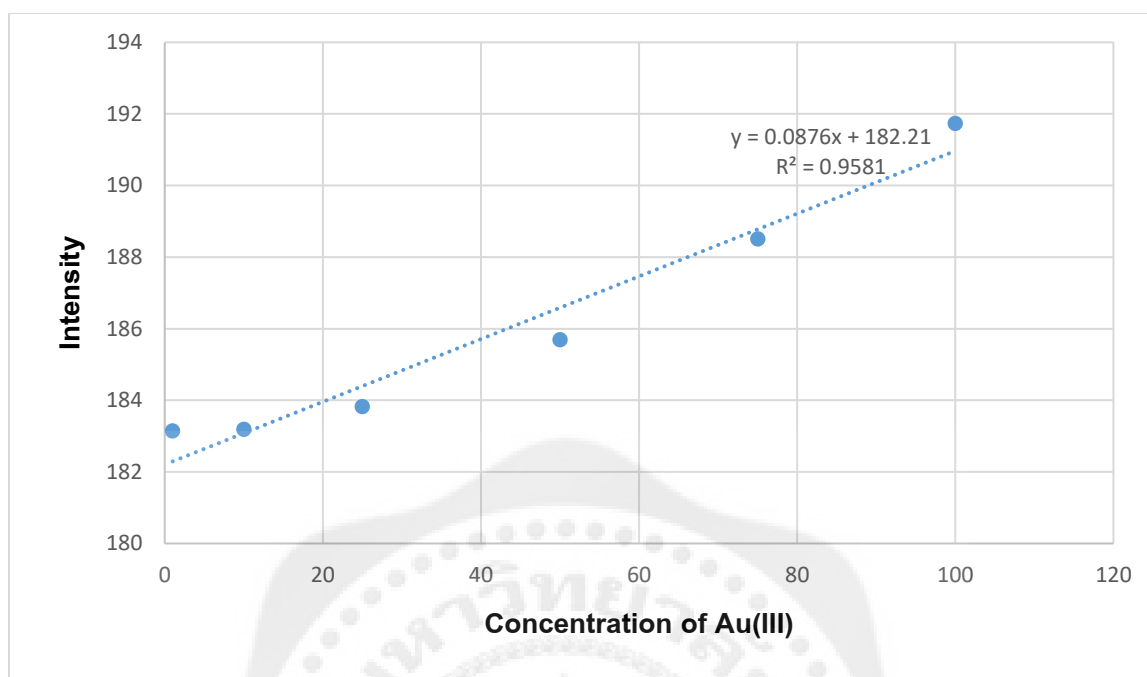
(4) 20 mM CTAB ปริมาตร 40 ไมโครลิตร



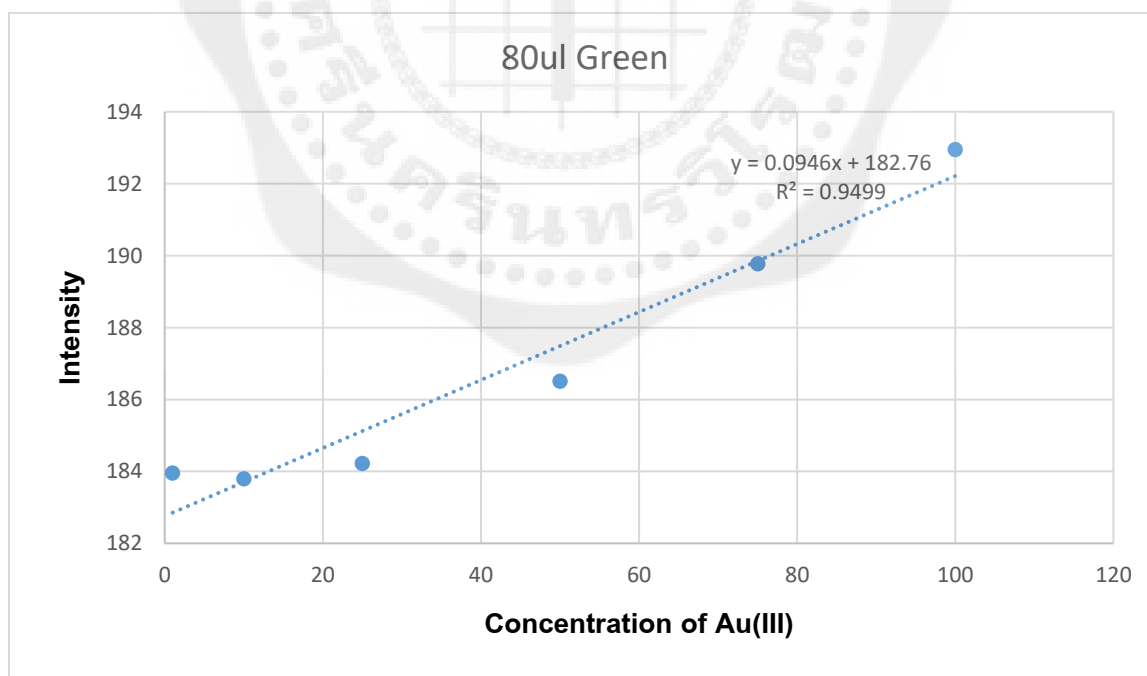
(5) 20 mM CTAB ปริมาตร 50 ไมโครลิตร



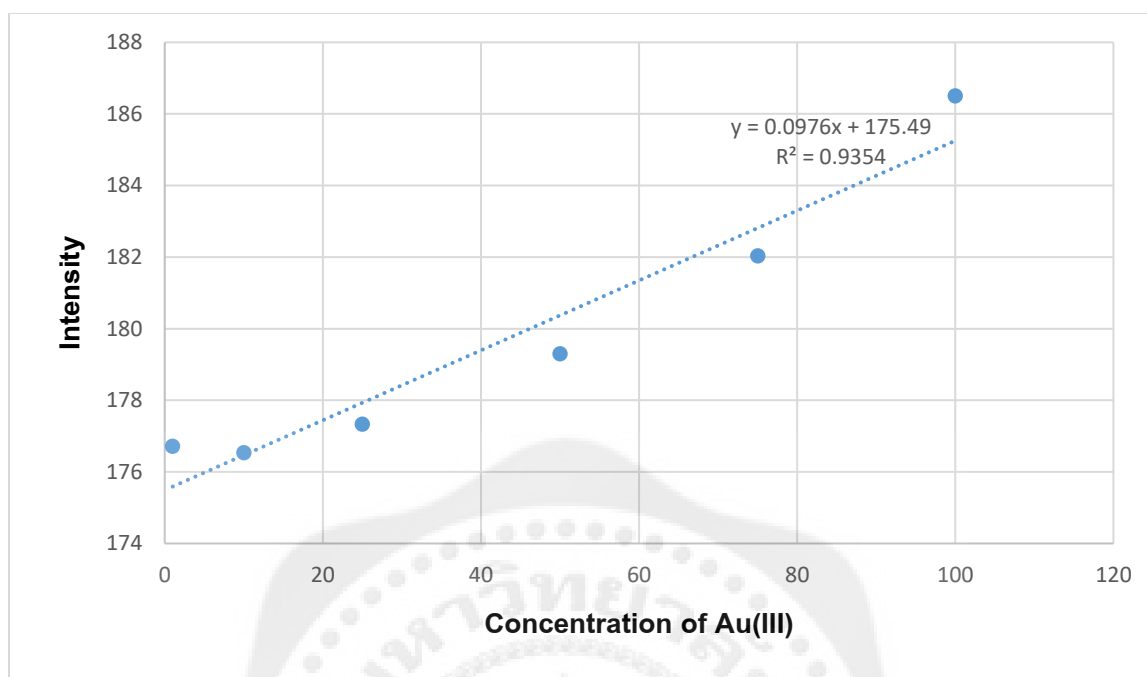
(6) 20 mM CTAB ปริมาตร 60 ไมโครลิตร



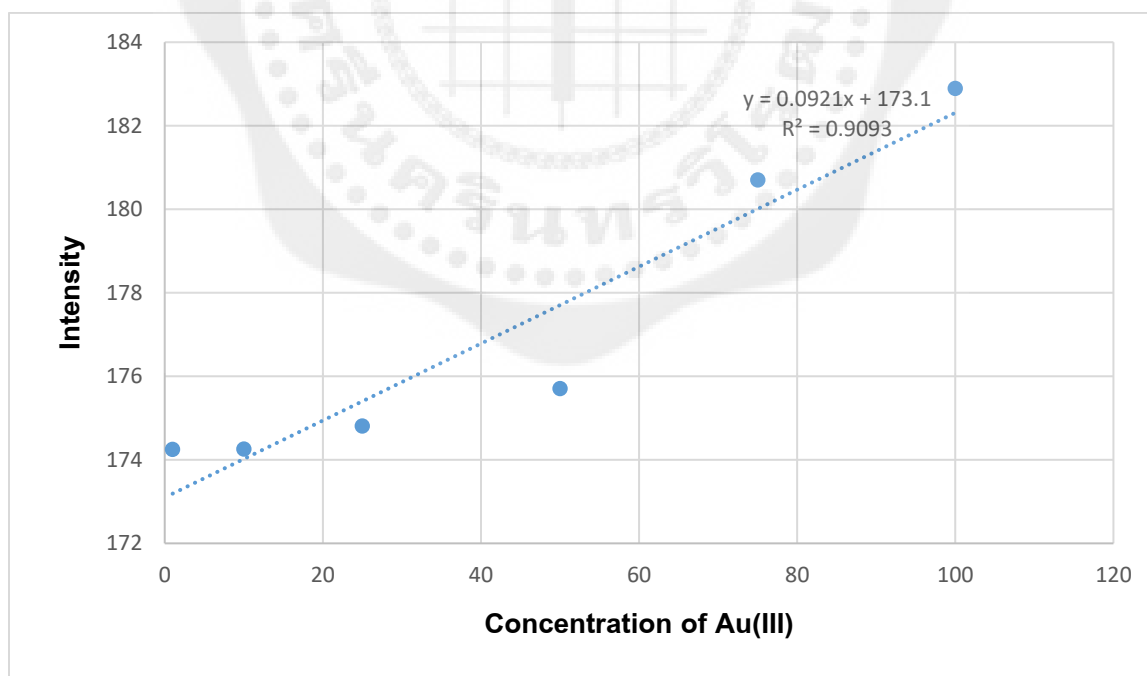
(7) 20 mM CTAB ปริมาตร 70 ไมโครลิตร



(8) 20 mM CTAB ปริมาตร 80 ไมโครลิตร

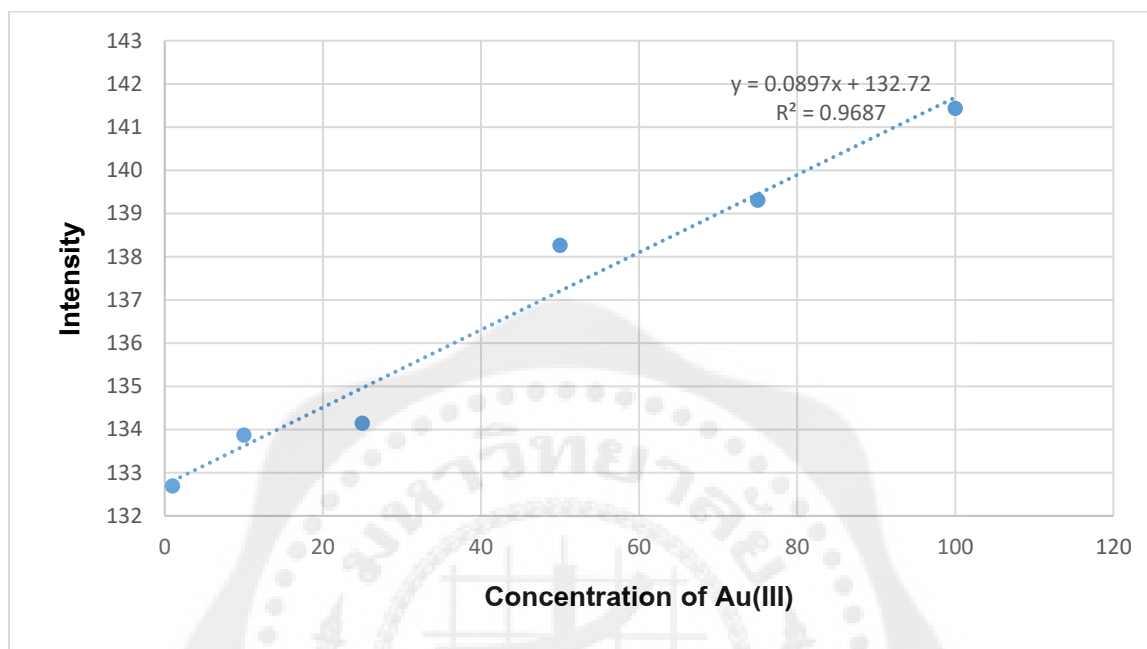


(9) 20 mM CTAB ปริมาตร 90 ไมโครลิตร

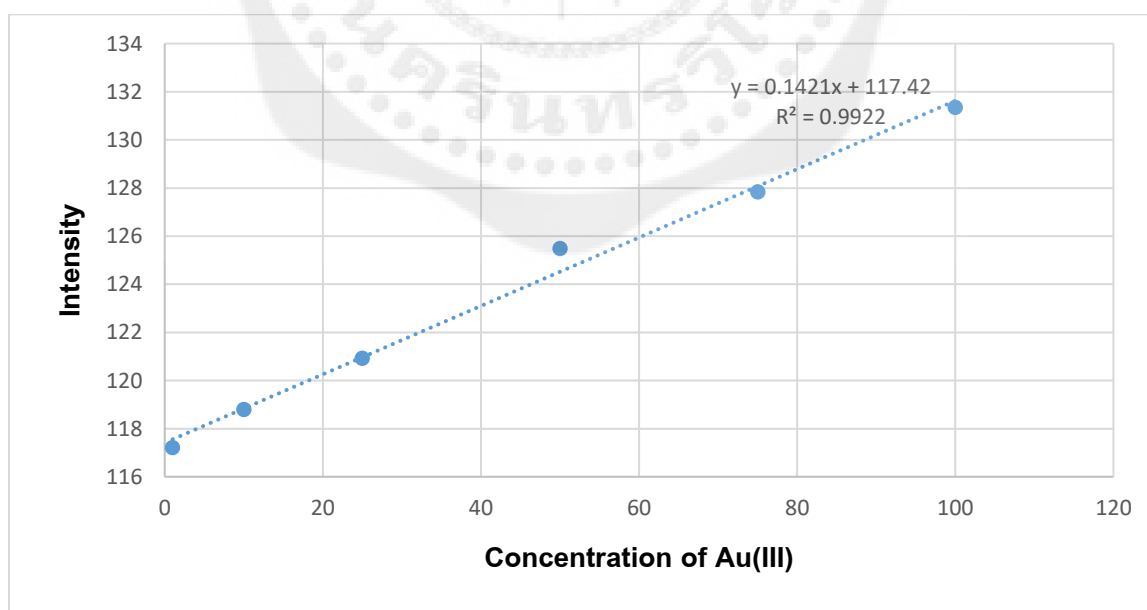


(10) 20 mM CTAB ปริมาตร 100 ไมโครลิตร

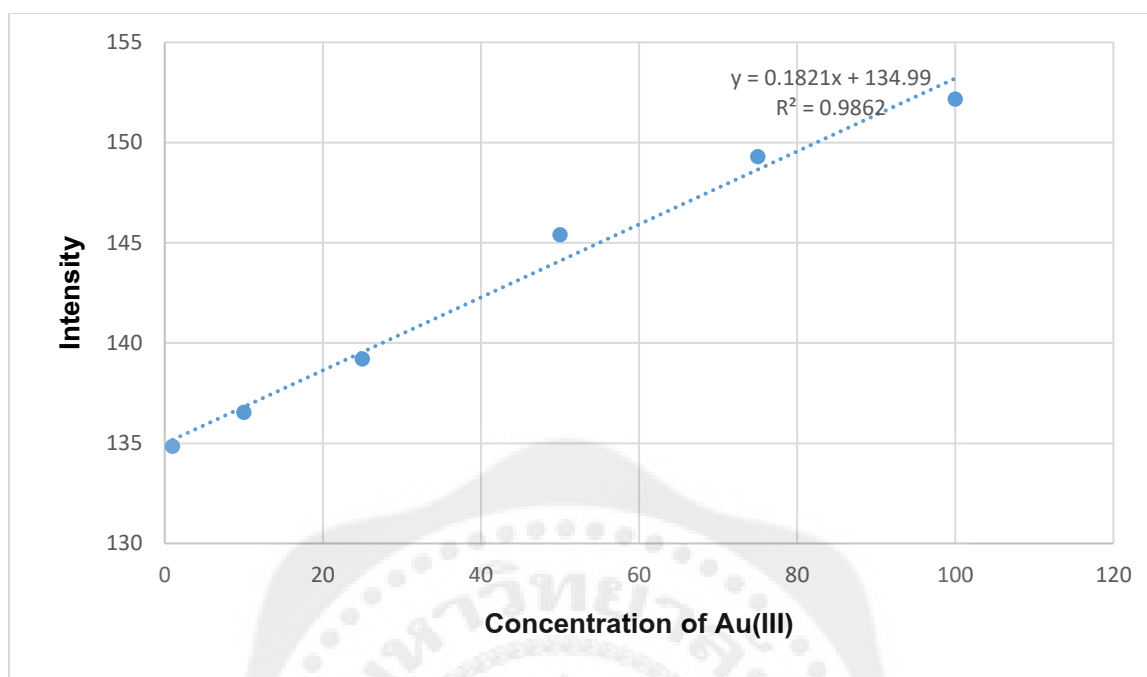
กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มสีกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Au(III) ในการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐาน Au(III) หรือสารตัวอย่าง



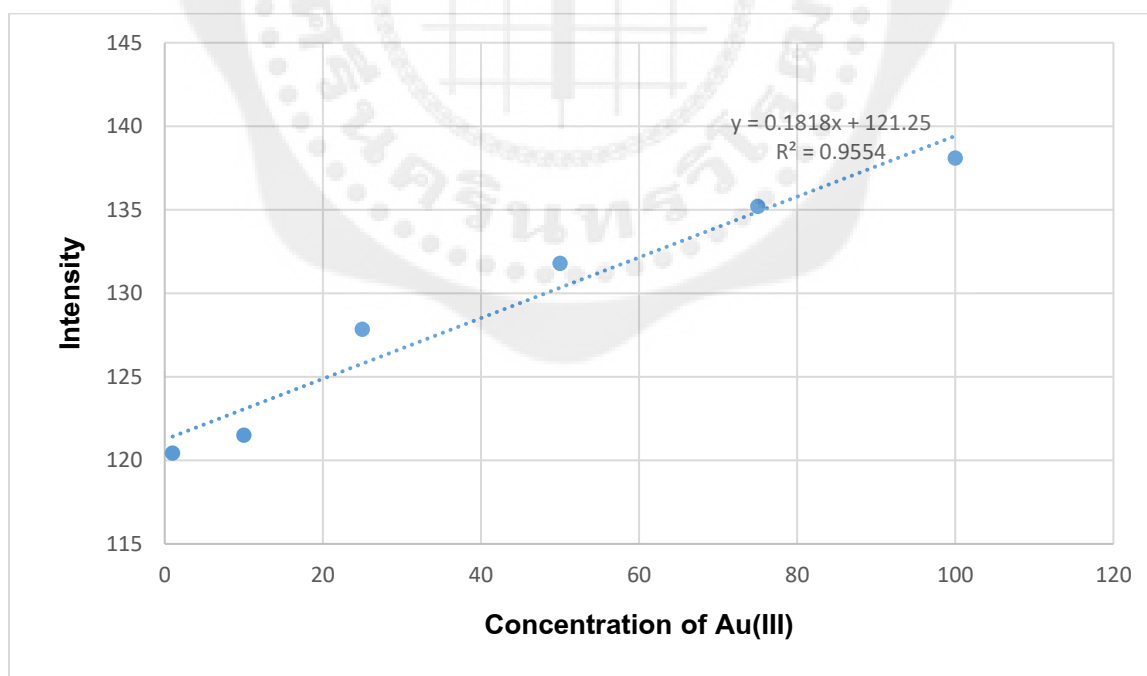
(1) สารละลายมาตรฐาน Au(III) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร



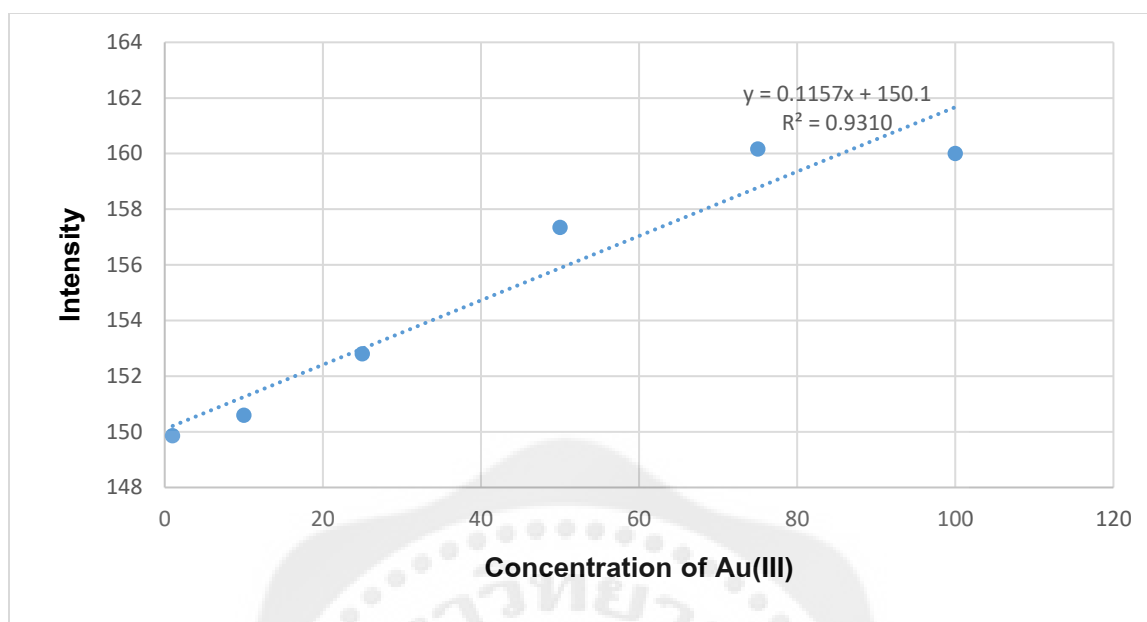
(2) สารละลายมาตรฐาน Au(III) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร



(3) สารละลายมาตรฐาน Au(III) ปริมาตร 30 ไมโครลิตร



(4) สารละลายมาตรฐาน Au(III) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร



(5) สารละลายมาตรฐาน Au(III) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร

ตาราง t – test ของการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนทองคำในตัวอย่างของวิธีที่พัฒนากับวิธีมาตรฐาน

	วิธีที่พัฒนา	วิธีมาตรฐาน ^a
Mean	60.46866667	60.81188889
Variance	31.92411175	38.81571486
Observations	9	9
Pooled Variance	35.36991331	
Hypothesized Mean		
Difference	0	
df	16	
t Stat	0.122423462	
P(T<=t) one-tail	0.452044085	
t Critical one-tail	1.745883676	
P(T<=t) two-tail	0.90408817	
t Critical two-tail	2.119905299	

^a Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES)



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาวศิริวิภา พรหมวิชัย
วันเดือนปีเกิด	22 กุมภาพันธ์ 2530
สถานที่เกิด	อ.เมืองขอนแก่น จ.ขอนแก่น
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	73 หมู่ที่ 9 บ.สระปทุม ต.หนองไผ่ อ.แก้งคร้อ จ.ชัยภูมิ 36150
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนแก้งคร้อวิทยา จ.ชัยภูมิ
พ.ศ. 2553	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) เคมี จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2557	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วท.ม.) เคมี จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2561	