

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในผลไม้กระป๋อง
ด้วยเทคนิคไฟฟ้าเรณูเชิงลพัทธ์สแอนด์โนดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี



T107823



มท.
๒๑๓๕๘
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107823
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b...12011849
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

**Simultaneous Determination of Zinc, Cadmium, Lead and Copper in
Canned Fruits by Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry**

Miss.Hathaichanok Singprapan

Miss.Ummara kruarodwong



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Major in Industrial Chemistry-Analytical Instrumentation

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

โครงการพิเศษเรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในผลไม้
 กรองด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอมโวนิกสทริปปิง โวลแทมเมทรี

นักศึกษา นางสาวหทัยชนก สิงห์ประพันธ์ 46050441
 นางสาวอมรา เครื่องรอดวงศ์ 46050791

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อรุณี กงศักดิ์ไพศาล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. พรทิพย์ ศัพท์อนันต์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้ โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการ อ. สุจินต์ ตันติพิสิฏกุล	
กรรมการ รศ.อรุณี กงศักดิ์ไพศาล	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โครงการพิเศษ	การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในผลไม้ กระป๋องด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี	
นักศึกษา	นางสาวหทัยชนก สิงห์ประพันธ์	รหัสนักศึกษา 46050441
	นางสาวอมรา เครือรอดวงศ์	รหัสนักศึกษา 46050442
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์	
ปีการศึกษา	2549	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์	

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในผลไม้กระป๋องตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายด้วยวิธี wet digestion ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดส์ ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที วิเคราะห์ปริมาณด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี โดยเทคนิคการเติมสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.5 M และสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตต 0.5 M pH 4.6 โดยป้อนศักย์ไฟฟ้าคงที่ที่ -1100 mV เป็นเวลา 60 วินาที และทิ้งให้สมดุล 10 วินาที วัดกระแสไฟฟ้าของพีคที่ศักย์ครึ่งเซลล์ ($E_{1/2}$) ของ Zn (-980 mV) Cd (-610 mV) Pb (-410 mV) และ Cu (-170 mV) ทำการวิเคราะห์ที่ 2 วันต่างกัน สามารถวัดเชิงปริมาณ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นของกราฟการเติมสารมาตรฐานที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.9995 สำหรับการวิเคราะห์ด้วยผลไม้กระป๋อง พบว่า % recovery สังกะสี อยู่ในช่วง 86.16 – 92.88 แคดเมียม อยู่ในช่วง 94.80 – 98.93 ตะกั่ว อยู่ในช่วง 94.81 – 99.17 และทองแดง อยู่ในช่วง 87.96 – 95.32 ผลการวิเคราะห์ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (โดยใช้ Horwitz equation ค่า Horrat < 2) ผลการศึกษา แสดงว่า วิธีการวิเคราะห์นี้เป็นวิธีที่มีสภาพไว และความเที่ยงสูง เหมาะสมกับงานควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋องในอุตสาหกรรม

Special Project Title	Simultaneous Determination of Zinc, Cadmium, Lead and Copper in Canned Fruits by Differentialpulse Anodic Stripping Voltammetry.	
Name	Miss.Hathaichanok Singprapan	46050441
	Miss.Ummara kruarodwong	46050442
Department	Chemistry	
Program	Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation	
Academic Year	2006	
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Arunee Kongsakphaisal	
Special Project co – advisor	Ajan Porntip Supthaanun	

ABSTRACT

The determination of zinc, cadmium, lead and copper in canned fruits has been studied. Fruits were digested by wet digestion with concentrated sulfuric acid and hydrogenperoxide as oxidizing agent, heated to 100° C level at 20 minutes. To determine the digested sample by differential pulse anodic stripping voltammetric method with three concentration of standard addition technique, using 1.5 M. potassium chloride and 0.5 M. sodium acetate pH 4.6 as electrolyte solution, deposition potential -1100 mV, deposition time 60 s, equilibration time 10 s and peak potential as $E_{1/2}$ were -980 mV, -610 mV, -410 mV and -170 mV for Zinc, cadmium, lead and copper, respectively. The reproducibility of two days analysis, recovery experiment were found to be quantitative. The correlation coefficient of standard addition curve were 0.9995 in canned fruits, % recovery of Zn, Cd, Pb and Cu in fruits were 86.16 – 92.88, 94.80 – 99.50, 94.81 – 99.49, and 87.96 – 95.32, respectively. The results accepted of standard deviation test for % RSD (Horwitz equation; Horrat < 2) . The studies indicated that the method used provides a sensitive , selective and reproducible, and adequate quantitative determination for simultaneous determination of these elements in the canned fruits industry as a quality control tool.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล รวมทั้ง ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อ. พรทิพย์ ศัพท์อนันต์ กรรมการสอบที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะ แก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คุณสุภัทร บานเย็น ที่กรุณาให้ความรู้ในการใช้เครื่อง VA Trace Analyzer และมอบความกรุณา ความเมตตาในทุกๆ เรื่อง เพื่อให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อนสาขาเคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอมอบให้กับบิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์อันมีค่าซึ่งต่อการดำรงชีวิตทั้งในปัจจุบันและอนาคต

นางสาวหทัยชนก สิงห์ประพันธ์
นางสาวอมรา เกร็ดรอดวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	น
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 โลหะหนัก.....	3
2.1.1 สังกะสี.....	3
2.1.2 แคดเมียม.....	4
2.1.3 ตะกั่ว.....	4
2.1.4 ทองแดง.....	4
2.2 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี.....	5
2.2.1 โวลแทมเมทรี.....	5
2.2.2 สทริปปิงโวลแทมเมทรี.....	5
2.2.3 แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี.....	6
2.2.4 สัญญาณกระตุ้นแบบพัลส์.....	12
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	14
3.1 สารเคมี.....	14
3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย.....	14
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การดำเนินการวิจัย.....	15
3.4.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์.....	15
3.4.1.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ 3.0 M.....	15
3.4.1.2 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท 3.0 M.....	15
3.4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสม 100 ppm.....	15
3.4.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง.....	15
3.4.3.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่างด้วยวิธี UV – digestion.....	16
3.4.3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างด้วยวิธี wet – digestion.....	16
3.4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์.....	17
3.4.4.1 การศึกษาความเข้มข้นบัฟเฟอร์ที่เหมาะสม.....	18
3.4.4.2 การศึกษา deposition time ที่เหมาะสม.....	18
3.4.4.3 การศึกษาวิธีและสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยตัวอย่าง.....	19
3.4.5 การตรวจวัดปริมาณสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดงในตัวอย่างด้วยวิธีแอดโนติกสทริปปิง โวลแทมเมทรี (DPASV) ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน.....	19
3.4.5.1 เทคนิคการเติมสารละลายมาตรฐาน (standard addition).....	19
3.4.5.2 การศึกษาขีดจำกัดของการวัด (Detection limit) และขีดจำกัดเชิงปริมาณ (Detection quantitation).....	19
3.4.5.3 การศึกษาความถูกต้อง (Accuracy).....	19
3.4.5.4 การทดสอบความเที่ยง (Precision).....	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	21
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์.....	21
4.1.1 ศึกษาความเข้มข้นบัฟเฟอร์ที่เหมาะสม.....	21
4.1.2 การศึกษา deposite time ที่เหมาะสม.....	22
4.2 การศึกษาวิธีและสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยตัวอย่าง.....	24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดงในผลไม้กระป๋อง ตัวอย่างด้วยวิธีแอดโนติกสทริปปิงโวลเทมเมทรีร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน	
4.3.1 การศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์	33
4.3.1.1 ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation)	33
4.3.1.2 ปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง) ใน ผลไม้กระป๋องตัวอย่างที่วิเคราะห์ด้วย DPASV	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการย่อยตัวอย่าง	49
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐานของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่ได้จากการย่อยตัวอย่างในสถานะต่างๆ ...	72
ภาคผนวก ค ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลไม้กระป๋องตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet - digestion ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 20 นาที	89
ภาคผนวก ง ศึกษา deposit time ที่เหมาะสม	105
ภาคผนวก จ ศึกษาวิธีและสถานะที่เหมาะสมในการย่อยตัวอย่าง	121
ภาคผนวก ฉ การศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์	124

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงสถานะที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างเฉพาะส่วนน้ำด้วยวิธี UV – digestion	16
3.2 แสดงสถานะที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างทั้งเนื้อและส่วนน้ำด้วยวิธี Open air – digestion	17
3.3 สถานะเบื้องต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอนดริกสทริปปิงโวลแทมเมตรีร่วมกับ เทคนิคการเติมสารมาตรฐาน	17
3.4 สถานะที่ใช้ในการศึกษาความเข้มข้นของบัพเฟอร์	18
3.5 สถานะที่ใช้ในการศึกษา deposition time	18
4.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้เมื่อเติม โพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ 0.5 mL ในสารละลายมาตรฐานผสม 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL	21
4.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้เมื่อเติม โซเดียมอะซิเตตที่มีความเข้มข้นต่างๆ 0.5 mL ผสมกับ โพแทสเซียมคลอไรด์ 3.0 M 0.5 mL ในสารละลายมาตรฐานผสม 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL	23
4.3 แสดง deposite time ในช่วง 30 – 1000 วินาที ที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากสาร มาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL	31
4.4 แสดงปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่วิเคราะห์ได้จากเนื้อเยื่อตัวอย่าง (คิดจากสารละลาย ตัวอย่าง 1 mL เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายบัพเฟอร์ 1 mL) โดยใช้วิธีการย่อยแบบ wet – digestion	32
4.5 แสดงค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection) และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิง ปริมาณ (Limit of quantitation) ของวิธีการวิเคราะห์ ที่คำนวณได้จากกรมมาตรฐาน	33
4.6 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการ ย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3).....	36
4.7 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการ ย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3).....	37
4.8 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อลิ้นจี่ (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 g เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายบัพเฟอร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3).....	38

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่ง (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 mL เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายบัพเฟอร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ($n=3$).....	39
4.10 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อลำไย (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 g เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายบัพเฟอร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ($n=3$).....	40
4.11 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 mL เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายบัพเฟอร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ($n=3$).....	41
4.12 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน	42
4.13 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน.....	43
4.14 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างทั้งกระป๋อง โดยแยกเป็นจากตัวอย่างส่วนเนื้อ 145 g และส่วนน้ำเชื่อม 175 mL.....	44
ก.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	50
ก.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.30 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลจค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H ₂ SO ₄ ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 300°C เป็นเวลา 10 นาที.....	64
ก.31 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลจค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H ₂ SO ₄ ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 300°C เป็นเวลา 10 นาที.....	65
ก.32 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลจค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H ₂ SO ₄ ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 300°C เป็นเวลา 10 นาที.....	65
ก.33 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลจค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที.....	66
ก.34 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลจค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที.....	66
ก.35 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลจค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที.....	67
ก.36 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลจค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที.....	67
ก.37 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลจค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที.....	68
ก.38 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลจค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที.....	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.39 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลงค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที.....	69
ก.40 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลงค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 90 นาที.....	69
ก.41 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลงค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที.....	70
ก.42 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลงค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที.....	70
ก.43 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลงค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที.....	71
ก.44 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลงค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที.....	71
ข.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลงค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H ₂ SO ₄ ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที.....	73
ข.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลงค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H ₂ SO ₄ ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที.....	73
ข.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I _S) และแบลงค์ (I _B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H ₂ SO ₄ ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที.....	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	74
ข.5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	76
ข.6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	76
ข.7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	77
ข.8 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	77
ข.9 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1.	79
ข.10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2.	80
ข.11 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1.	81
ข.12 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2.	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.13 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนัก ทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1.....	83
ข.14 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนัก ทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2.....	84
ข.15 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนัก ทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1.....	84
ข.16 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนัก ทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2.....	85
ข.17 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนัก ทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ reproducibility).....	85
ข.18 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนัก ทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ reproducibility).....	86
ข.19 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1.....	87
ข.20 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2.....	87
ข.21 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1....	88
ข.22 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2....	88
ค.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	90
ค.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที..	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	91
ค.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	91
ค.5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	93
ค.6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	93
ค.7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	94
ค.8 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	94
ค.9 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1.....	96
ค.10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2.....	97
ค.11 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2.....	98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.12 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้ง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2.....	99
ค.13 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1.....	100
ค.14 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2.....	100
ค.15 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1.....	101
ค.16 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2.....	101
ค.17 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ reproducibility).....	102
ค.18 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ reproducibility).....	102
ค.19 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1...103	103
ค.20 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2...103	103
ค.21 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1...104	104
ค.22 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2....104	104
ง.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลด์ค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที.....	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	106
ง.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	107
ง.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	107
ง.5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	109
ง.6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	109
ง.7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	110
ง.8 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที.	110
ง.9 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1.	112
ง.10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2.	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.11 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2.....	114
ง.12 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2.....	115
ง.13 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1.....	116
ง.14 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2.....	116
ง.15 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1.....	117
ง.16 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2.....	117
ง.17 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ reproducibility).....	118
ง.18 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ reproducibility).....	118
ง.19 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1...	119
ง.20 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2....	119
ง.21 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1....	120
ง.22 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2...	120

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้อิเล็กทรอนิกส์ (n = 3) ที่ความเข้มข้นต่างๆ 0.5 mL ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL.....	123
ฉ.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้ deposition time (n = 3) ตั้งแต่ 30 - 300 วินาที ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL.....	126
ฉ.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้ deposition time (n = 3) ตั้งแต่ 30 - 300 วินาที ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL.....	127
ฉ.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้ deposition time (n = 3) ตั้งแต่ 360 - 1000 วินาที ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL.....	128
ฉ.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้ deposition time (n = 3) ตั้งแต่ 360 - 1000 วินาที ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL.....	129
ช.1 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H ₂ SO ₄ ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน(n=3) ชุดที่ 1.....	132
ช.2 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H ₂ SO ₄ ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน(n=3) ชุดที่ 2.....	132
ที่ ช.3 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 mL ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H ₂ SO ₄ ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3) ชุดที่ 1.....	133
ช.4 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 mL ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H ₂ SO ₄ ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3) ชุดที่ 2.....	133

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ช.5 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 145 g ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3) ชุดที่ 1.....	133
ช.6 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 145 g ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3) ชุดที่ 2.....	134
ช.7 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 175 mL ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3) ชุดที่ 1.....	134
ช.8 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 175 mL ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3) ชุดที่ 2.....	134
ช.9 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อซึ่งคิดจากตัวอย่าง 145 g ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน.....	135
ช.10 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 175 mL ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน.....	135

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงขั้นตอนวิธีการ และเคอร์ฟกระแสศักย์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์โดยเทคนิคแอนโอดิกสทริปปิง โวลแทมเมตรี	8
2.2 แสดงภาพขั้วแบบโหมคร่วม (muti-mode electrode) จากบริษัทเมท โครห์ม	12
2.3 แสดงหลักของความเลือกเฉพาะและการตรวจวัด โลหะหนักทั้ง 3 ชนิดพร้อมกันด้วยวิธี us ASV โดย A คือ DC polarogram ของ Pb, Cd and Zn (each 10^{-3} mol/L) ใน 0.1 mol/L KCl ; B Stripping voltammogram ของ Pb, Cd and Zn (each 10^{-5}) ใน 0.1 mol/L KCl ภายหลังการแอดคิวิตูเมทที่ศักย์ไฟฟ้าที่ต่างกัน ; a E_{acc}^1 (Pb); b E_{acc}^2 (Pb, Cd) c E_{acc}^3 (Pb, Cd, Zn)	13
4.1 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้เมื่อเติมโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ 0.5 mL ในสารละลายมาตรฐานผสม 100 ppm 0.1 mL	22
4.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานผสมและ deposit time (n = 3) ที่ใช้ในช่วง 30 – 1000 วินาที.....	23
4.3 แสดงช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ของ deposit time ที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เข้าใกล้ 1 มากที่สุด (n = 3).....	24
4.4 แสดงโวลแทมโมแกรมของตัวอย่างที่วัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ด้วยวิธีแอนโอดิกสทริปปิง โวลแทมเมตรีร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน.....	25
4.5 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อเงาะที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที.....	25
4.6 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อเงาะ ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 40 นาที.....	26
4.7 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อเงาะที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 200°C เป็นเวลา 10 นาที.....	26
4.8 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อเงาะที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 300°C เป็นเวลา 10 นาที.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที.....	27
4.10 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 40 นาที.....	28
4.11 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อม ที่ผ่านการย่อยด้วย วิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 200°C เป็นเวลา 10 นาที.....	28
4.12 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 300°C เป็นเวลา 10 นาที.....	29
4.13 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที.....	29
4.14 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 90 นาที.....	30
4.15 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที.....	30
4.16 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ 1=สังกะสี, 2=แคดเมียม, 3=ตะกั่ว, 4=ทองแดง ที่วัดได้จากตัวอย่างส่วนเนื้อที่บรรจุใน 1 กระป๋อง (145 g).....	44
4.17 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ 1=สังกะสี, 2=แคดเมียม, 3=ตะกั่ว, 4=ทองแดง ที่วัดได้จากตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่บรรจุใน 1 กระป๋อง (175 mL).....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.1 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อเงาะที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1.....	75
ข.2 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อเงาะที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2.....	75
ข.3 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1.....	78
ข.4 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2.....	78
ค.1 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1.....	92
ค.2 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2.....	92
ค.3 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1.....	95

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
<p>ก.4 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2.</p>	95
<p>ง.1 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อลำไยที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1.....</p>	108
<p>ง.2 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อลำไยที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2.....</p>	108
<p>ง.3 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1.</p>	111
<p>ง.4 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อย ด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2.</p>	111

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่ผลไม้นิเวศเกษตร (กระป๋อง) อาทิ เงาะกระป๋อง ลิ้นจี่กระป๋อง สับปะรดกระป๋อง และลำไยกระป๋อง อาจมีสารปนเปื้อนจำพวกโลหะหนัก ซึ่งในโครงการพิเศษนี้ได้มุ่งเน้นไปยังโลหะหนัก 4 ชนิด คือ สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) ซึ่งโลหะเหล่านี้ อาจมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่นดิน น้ำหรืออากาศบริเวณแหล่งเพาะปลูก หรืออีกทางหนึ่ง อาจมาจากการที่โลหะที่ใช้เคลือบกระป๋องละลายออกมาปนเปื้อนอันเนื่องมาจากความเป็นกรดในผลไม้กระป๋อง โลหะหนักเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ ดังนั้นจุดนี้จึงถือเป็นประเด็นสำคัญในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง เพื่อให้ทราบว่าในผลไม้กระป๋องแต่ละกระป๋องมีปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดอยู่ในปริมาณที่มากหรือน้อยเพียงใด ผู้บริโภคจะได้ใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการเลือกรับประทานเพื่อให้ได้รับโลหะหนักเหล่านี้เข้าไปในร่างกายในปริมาณที่ไม่มากเกินไปจนก่อให้เกิดอันตราย และเพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วจึงเลือกใช้เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี (DPASV) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถทำการตรวจวัดโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์ได้พร้อมกันทั้งหมดในครั้งเดียว ในตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้วเพียงตัวอย่างเดียว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในผลไม้กระป๋องด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การวิเคราะห์หาปริมาณของสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในผลไม้กระป๋องด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรีมีขอบเขตการวิจัยดังต่อไปนี้

1.3.1 ศึกษาความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 2 ชนิด ในช่วงความเข้มข้น 0.0 - 3.0 M และ deposit time ที่ 30 - 1000 วินาที เพื่อให้ได้ช่วงที่ทำให้เป็นเส้นตรง

1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างโดยใช้วิธีในการย่อยเพียง 2 วิธี คือวิธี UV-digestion (เฉพาะส่วนที่เป็นน้ำเชื่อม) และวิธี wet - digestion (ใช้ย่อยทั้งส่วนที่เป็นส่วนเนื้อน้ำหรือน้ำเชื่อม)

1.3.3 วิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนัก 4 ตัว คือ สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในเงาะกระป๋องในน้ำเชื่อม ด้วยเทคนิคลิฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโอดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถใช้เทคนิค DPASV เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ที่มีปริมาณต่ำในผลไม้กระป๋องได้

1.4.2 สามารถที่จะทราบได้ถึงปริมาณการบริโภคผลไม้กระป๋องที่เหมาะสม โดยที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย

1.4.3 สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยไปใช้ในการพิจารณาเลือกรับประทานผลไม้กระป๋องได้

1.4.4 สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในอาหารกระป๋องชนิดอื่นๆ ต่อไปได้



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม / ลบ.ซม. มีความสำคัญในงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก จึงมักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่นน้ำ ดิน หรืออากาศ และอาจมีการปนเปื้อนเข้าสู่อาหาร หรือพืชผักที่เพาะปลูกอยู่ในบริเวณที่มีโลหะหนักปะปนอยู่ โลหะชนิดนี้สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งการรับประทาน และการสูดดม ซึ่งอาจมีคุณ และโทษที่ต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ และในที่นี้มีการบรรยายถึงโลหะหนัก 4 ตัว คือ สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ดังต่อไปนี้

2.1.1 สังกะสี

สังกะสี จัดเป็นเกลือแร่ส่วนน้อยที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย ในบรรดาเกลือแร่ส่วนน้อยด้วยกัน สังกะสีจะพบในร่างกายมากเป็นอันดับสองรองจากเหล็ก มักพบในอาหารที่มีโปรตีนสูง รวมทั้งผักและผลไม้ เช่น สับปะรด เป็นต้น สำหรับปริมาณที่แนะนำต่อวันมีดังนี้คือ

ทารก	3-5 เดือน	3 มิลลิกรัม
	6-11 เดือน	5 มิลลิกรัม
เด็ก	1-9 ปี	10 มิลลิกรัม
อายุ	10 ปีขึ้นไป	15 มิลลิกรัม
หญิงมีครรภ์		20 มิลลิกรัม
หญิงให้นมบุตร		25 มิลลิกรัม

ผลของการขาดอาจทำให้เสื่อมสมรรถภาพทางเพศ ล้าจะขาดการรู้รสอาหาร ต่อมลูกหมากโต มีจุดขาวๆที่เล็บ เชื่องซึม เหนื่อยง่าย ผมหร่วง มีขี้รังแคมากโลหิตจาง การไหลเวียนของเลือดไม่ดี หลอดเลือดแข็ง กระดูกพรุน เด็กมีร่างกายเตี้ย แคระ เป็นต้น แต่หากบริโภคสังกะสีซัลเฟต ประมาณ 2 กรัม หรือมากกว่า ทำให้เกิดพิษอย่างเฉียบพลัน มีอาการผิดปกติในระบบทางเดินอาหาร อาเจียน ถ้าได้รับวันละ 18.5 - 25 มิลลิกรัม ทำให้ระดับทองแดงในเลือดต่ำ (hypocytosis) เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็กกว่าปกติ (microcytosis) และเม็ดเลือดขาวชนิด neutrophil น้อยกว่าปกติ (neutropenia)

2.1.2 แคลเมียม

แคลเมียม มักพบเป็นไอออนอยู่ในสิ่งแวดล้อม ทั้งในอากาศ น้ำ ดิน รวมทั้งอาหาร โดยเฉพาะในพืช เพราะพืชสามารถดูดซึมแคลเมียมไว้ได้ดีกว่าโลหะชนิดอื่นๆ ดังนั้นในผลไม้ที่นำมาทำเป็นผลไม้ในภาชนะบรรจุ เช่น ถั่วงอกกระป๋อง และสับปะรดกระป๋อง ก็อาจมีการปนเปื้อนของแคลเมียม นอกจากนี้ แคลเมียมยังสามารถละลายได้ทั้งในกรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ ดังนั้นในผลไม้กระป๋องซึ่งมีความเป็นกรดก็อาจมีแคลเมียมเจือปน เนื่องจากในผลไม้กระป๋องซึ่งมีความเป็นกรดอาจละลายแคลเมียมที่ใช้อย่างระมัดระวัง

ปริมาณของแคลเมียม มากกว่า 300 มิลลิกรัม อาจทำให้คนรับประทานเสียชีวิตได้ แต่ปริมาณต่ำสุด 10 มิลลิกรัมจะทำให้มีอาการพิษของแคลเมียมแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดศีรษะ ปวดกล้ามเนื้อ มีน้ำลายไหล ปวดท้อง ช็อค (Shock) ใจและตับถูกทำลาย เป็นต้น

2.1.3 ตะกั่ว

การได้รับสารตะกั่วหรือสารประกอบตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย อาจก่อให้เกิดอาการเป็นพิษตามระบบต่างๆ ขึ้นได้ สามารถเข้าสู่ร่างกายคนได้สองทาง คือ ทางการหายใจและการกิน การหายใจรับฝุ่นละออง, ไอระเหย หรือควันตะกั่ว เป็นทางเข้าสู่ร่างกายที่พบได้บ่อยในผู้ประกอบอาชีพลัทธิผสมตะกั่ว เช่น คนงานที่ทำงานในโรงงานหลอมตะกั่ว โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานผลิตสี เป็นต้น การกินเป็นทางที่ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายที่สำคัญที่สุดในเด็ก เนื่องจากเด็กที่พฤติกรรมกรอเก็บของเข้าปากบ่อยๆ เช่น สะเก็ดสี การอมของเล่นที่มีตะกั่วผสม นอกจากนี้ตะกั่วยังอาจปนเปื้อนมากับอาหาร น้ำดื่ม หรือจากแหล่งต่างๆ รวมทั้งการใช้ภาชนะที่มีตะกั่วเจือปนสำหรับใส่อาหารและเครื่องดื่ม ผู้ที่ได้รับตะกั่วเป็นปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น มักมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน และปวดท้องอย่างรุนแรง รวมทั้งมีอาการทางระบบประสาท ชัก หมดสติ และมีอาการทางสมอง (acute lead encephalopathy) ซึ่งพบได้ในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ ส่วนใหญ่ระดับตะกั่วในเลือดมักสูงกว่า 100 ไมโครกรัม/เดซิลิตร แต่ก็มีรายงานอาการดังกล่าวในผู้ที่มีระดับตะกั่ว 70 ไมโครกรัม/เดซิลิตร เช่นกัน และในผู้ที่ได้รับสารตะกั่วในระดับต่ำกว่าที่ก่อให้เกิดอาการเฉียบพลันเป็นระยะเวลานาน มักก่อให้เกิดอาการเป็นพิษเรื้อรัง ซึ่งมีอาการตามระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบประสาททั้งส่วนกลางและส่วนรอบ (central and peripheral nervous system) ระบบทางเดินอาหาร, ระบบการสร้างเม็ดเลือด และระบบไต

2.1.4 ทองแดง

ทองแดงจัดอยู่ในกลุ่มเกลือแร่ส่วนน้อย และร่างกายต้องการเพียงเล็กน้อย แต่จะพบตามเนื้อหนังทุกแห่งในร่างกาย ซึ่งมีความสำคัญจะขาดเสียไม่ได้ แหล่งที่พบที่มากที่สุดคือ ตับ หอยนางรม อาหารทะเล และผลไม้เปลือกแข็ง เมล็ดพืช ถั่วที่ยังไม่ขจัดสี นอกจากนี้ยังพบน้ำดื่ม ผักใบเขียว และในทั้งผลไม้

ทั้งแห้งและสด โดยเฉพาะปลูกที่ๆ ดินซึ่งมีเกลือแร่ทองแดงอุดม เป็นต้น สำหรับปริมาณที่แนะนำต่อวัน มีดังนี้คือ

ทารก	3-5 เดือน	0.5-0.7 มิลลิกรัม
	6-11 เดือน	0.7-1.0 มิลลิกรัม
เด็ก	1-6 ปี	1.0-2.0 มิลลิกรัม
	7-9 ปี	2.0-2.5 มิลลิกรัม
อายุ	10 ปีขึ้นไป	2.0-3.0 มิลลิกรัม

สำหรับผลของการขาดไม่เพียงพอมัก ถ้าพบมักพบในเด็กทารกที่คลอดก่อนกำหนด มีน้ำหนักแรกคลอดต่ำกว่า 1500 กรัม และเลี้ยงด้วยนมวัวอย่างเดียว อาการที่พบคือ ระดับทองแดงในเลือดต่ำ (hypocupremia) ควบคู่ไปกับโลหิตจาง เนื่องจากขาดเหล็ก (iron-deficiency anemia) พบมีลักษณะแข็งและขดเป็นเกลียว สีผมและสีผิวจาง ขวมน้ำ อาการของการขาดจะรวมทั้ง การอ่อนเพลีย การหายใจผิดปกติเป็นแผลที่ผิวหนัง เป็นต้น ผลการได้รับในปริมาณที่มากเกินไปไม่ค่อยพบเช่นกัน เนื่องจากการดูดซึมและการเก็บของทองแดงในร่างกายน้อยมาก ในขณะที่ส่วนใหญ่ถูกขับออกจากร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามพิษของการมีทองแดงอยู่มาก ก็อาจปรากฏขึ้น ได้ถ้าบริโภคมากกว่า 30 เท่าของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคเป็นระยะเวลานานและอาจพบได้ใน โรค Wilson's disease ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากพันธุกรรมซึ่งไม่ค่อยพบบ่อยนัก

2.2 คิฟเฟอร์เนเชิลพัลส์แอนดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี

2.2.1 โวลแทมเมทรี

โวลแทมเมทรีเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีที่เกี่ยวข้องกับการให้ศักย์ไฟฟ้าที่ควบคุมได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกแก่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ศักย์ไฟฟ้าที่ให้นี้ทำให้ขั้ว working electrode (WE) มีศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้สารบางชนิดที่อยู่ในสารละลายรอบ WE สามารถเกิดปฏิกิริยาถ่ายเทอิเล็กตรอน (electron transfer reaction) บนผิวของขั้วไฟฟ้าได้ นั่นคือ มีการให้ หรือ รับ อิเล็กตรอนที่ WE ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน WE กระแสที่เกิดขึ้นนี้จะถูกตรวจวัดโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอก ซึ่งขนาดของกระแสมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารที่เกิดปฏิกิริยา

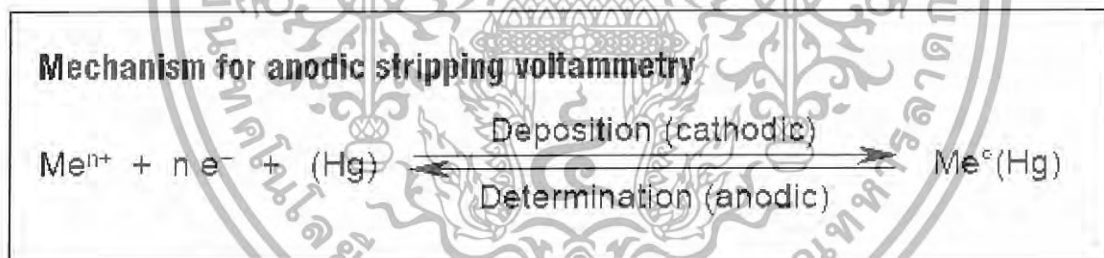
2.2.2 สทริปปิงโวลแทมเมทรี

สทริปปิงโวลแทมเมทรี เป็นเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์สปีชีส์หรือโลหะที่มีในปริมาณน้อย ความไวและความเลือกเฉพาะขึ้นอยู่กับวิธีการยึดเกาะที่ขั้ว

ฟ้าก่อนถูกตรวจวัด นอกจากนี้การ accumulation และการตรวจวัดยังเป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้

ในการเปรียบเทียบกับการทำงานของโพลารोगราฟิโดยทั่วไป การตรวจวัดโดยใช้สทริปปิงโวลแทมเมตรีจะมีความไวมากกว่า 10^3 - 10^5 เท่า ดังนั้นขีดจำกัดในการวัด (detection limits) จึงอยู่ระหว่าง 10^{-9} - 10^{-11} โมล/ลิตร และในบางกรณีอาจวัดได้ต่ำถึง 10^{-12} โมล/ลิตร นั้นหมายความว่าวิธีสทริปปิงจัดเป็นกลุ่มวิธีการวิเคราะห์ที่มีความไวมากที่สุด เนื่องจากมีความเหนือชั้นในการวิเคราะห์โลหะที่มีในปริมาณน้อยโดยให้ค่าการวัดที่มีความถูกต้อง ทั้งการ accumulation และการตรวจวัดที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าเดียวกันโดยไม่จำเป็นต้องจะต้องเปลี่ยนเซลล์ นั้นหมายความว่า การเกิดความผิดพลาดอย่างมีระบบ (systematic errors) จากการปนเปื้อน หรือการระเหยสามารถรักษาไว้ให้อยู่ในระดับต่ำได้

Accumulation มักเกิดขึ้นเสมอที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ (E_{acc} , accumulation potential) ที่ขั้วหยดปรอทอยู่หนึ่ง ขั้วฟิล์มปรอท ขั้วกราไฟต์ หรือขั้วโลหะมีตระกูล และใช้ในการควบคุมช่วงเวลา (t_{acc} , accumulation time) โลหะที่ต้องการตรวจวัดจะเสียดเกาะที่ขั้วด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งโลหะเหล่านี้ต้องละลายในปรอท หรือสามารถดูดซับเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ ขณะที่โลหะที่ยึดเกาะเคลื่อนออกจากขั้วไฟฟ้า ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการวัดใช้กระบวนการออกซิเดชัน หรือรีดักชัน แล้วกลับไปสู่ขั้นตอน accumulation ในรูปแบบดั้งเดิม เรียกว่า โวลแทมเมตรีแบบผันกลับ (inverse voltammetry)



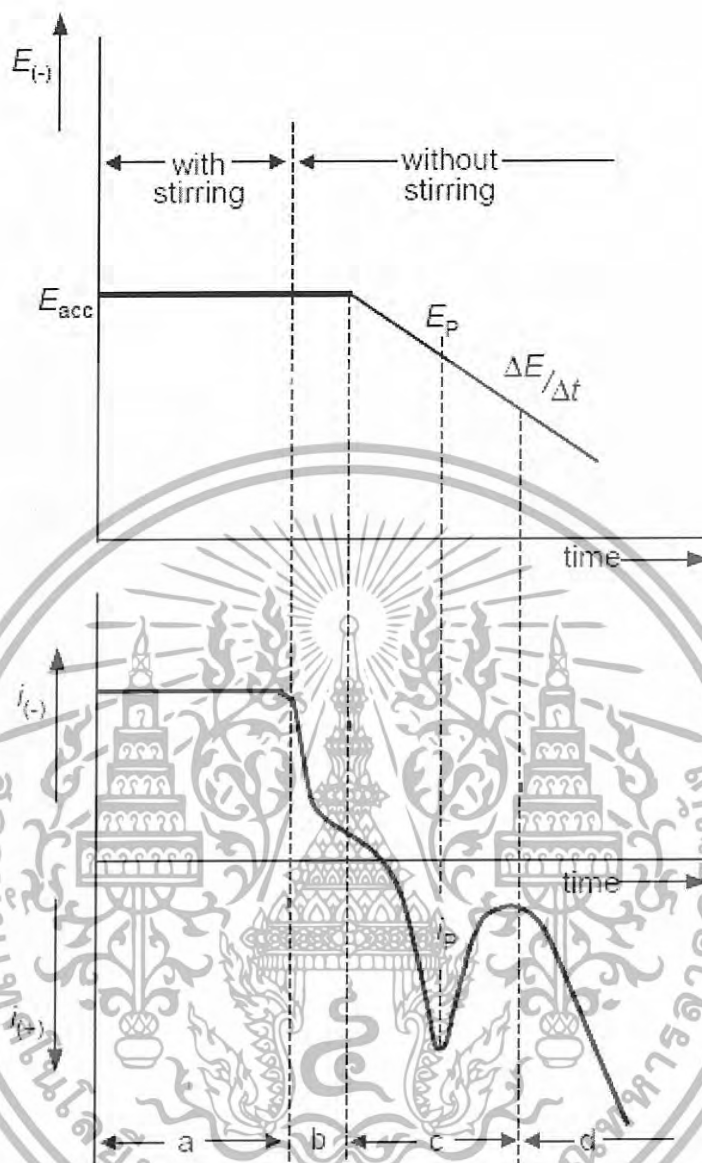
เพื่อที่จะจำแนกวิธีนี้ออกจากวิธีอื่นๆ ฉะนั้นในการตรวจวัดจึงไม่วัดผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชัน แต่จะวัดผลิตภัณฑ์ที่ยึดเกาะที่ขั้วไฟฟ้าที่เกิดจากกระบวนการรีดักชัน เรียกวิธีนี้ว่า แอโนดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรี (ASV) นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นๆ ที่เป็นที่ยอมรับอีก เช่น แคโทดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรี (CSV) แอ็ดซอพท์ฟสทริปปิงโวลแทมเมตรี (AdSV) เป็นต้น

2.2.3 แอโนดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรี

แอโนดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรี (ASV) สามารถใช้ในการตรวจวัดได้กับโลหะทุกตัวที่สามารถละลายได้ในปรอทด้วยการเกิดเป็นอะมัลกัม หรือที่สามารถเกิดการยึดเกาะที่ขั้วคาร์บอนหรือขั้วโลหะมีตระกูล สำหรับขั้นตอนในการตรวจวัดด้วย ASV แสดงดังรูปที่ 2.1

ส่วน a คือ accumulation time ในส่วนนี้โลหะที่ต้องการตรวจวัดจะเกาะติดอยู่ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ พร้อมกับสารละลายตัวอย่างถูกคนอย่างต่อเนื่อง การยึดเกาะมักเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์เสมอ ดังนั้นสภาวะทำงานต้องถูกควบคุมอย่างดีหากมีการวัดซ้ำ accumulation time ประกอบด้วย accumulation potential, ขนาด, รูปร่าง และตำแหน่งการจัดวางแท่งปั่นกววน, ความเร็วรอบการคน (rotation), ปริมาตรตัวอย่าง และผิวหน้าอิเล็กโทรด (ผิวหน้าของหยดปรอท หรือฟิล์ม) ส่วน b คือ rest period ในระหว่างที่สารละลายตัวอย่างไม่มีการคน กระแสแคโทดิกจะลดลงเนื่องจากเนื่องจากขาดการพา โลหะที่ต้องการที่มีอยู่ในปริมาณน้อยจากส่วนที่ไม่ถูกคนจะเข้าไปเกาะที่ขั้วไฟฟ้า ช่วงนี้ต้องมีการควบคุมเป็นอย่างดี ในส่วนนี้สารละลายจะไม่มี การคนอีกต่อไป และโลหะที่ยึดเกาะจะกระจายตัวอย่างดีในหยดปรอท ซึ่งใช้เวลา 5 - 30 วินาที เป็นอย่างมาก ส่วน c ในรูปที่ 2.1 ถูกกำหนดโดยอัตราการเปลี่ยนแปลงศักย์ (potential scan rate) ($\Delta E / \Delta t = const.$) ซึ่งเป็นอัตราคงที่ที่ใช้ในการบันทึกกระแสของโลหะแต่ละตัว การวัดสัญญาณของกระแสอดคลิ้น (peak current i_p) ในส่วน d ช่วงเวลาที่กระแสแคโทดิกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกระแสแอโนดิกเพื่อการละลายของขั้วไฟฟ้าปรอท





รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนวิธีการ และเคอร์ฟกระแสศักย์ไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์โดยเทคนิคแอโนดิกสทริปปิงโวลแทมเมตรี

ตามสมการที่ 1 accumulation เช่น ปริมาณของโลหะที่ยึดเกาะขั้วไฟฟ้าด้วยกระแสแคโทดิก หรือความเข้มข้นของโลหะในอะนัลลิท ขึ้นอยู่กับกระแสอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis current i_{acc}), accumulation duration และ ปริมาตรของหยดปรอท หรือฟิล์มปรอท

Amount of cathodically accumulated metal in the amalgam

$$C_{Me^o(Hg)} = \frac{i_{acc} \cdot t_{acc}}{V_{Hg} \cdot n \cdot F} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$C_{Me^o(Hg)}$ = ความเข้มข้นของโลหะในอะมัลกัม

i_{acc} = กระแสสะสม

t_{acc} = เวลาการเกิดสะสม

n = จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดรีดักชันของ analyte

F = ค่าคงที่ฟาราเดย์

V_{Hg} = ปริมาตรของ HMD

$$V_{Hg} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$

หรือฟิล์มปรอท

$$V_{Hg} = A_F \cdot \varrho$$

r = รัศมีของหยดปรอท

A_F = พื้นที่ผิวของฟิล์มปรอท

ϱ = ความหนาของฟิล์มปรอท

กระแสอิเล็กโทรไลซิสถูกตรวจวัดโดยการเคลื่อนที่ของโลหะที่ต้องการและศักย์ไฟฟ้าที่เกิด accumulation สำหรับ accumulation อัตราสูง ควรจะคนสารละลาย และ accumulation potential ควรอยู่ในช่วงกระแสเนื่องจากการแพร่ (diffusion current) โพลาริแกรมกระแสตรง (direct current polarograms) หรือศักย์ครึ่งคลื่น (half-wave potentials) หรือศักย์ยอดพีค (peak potentials) สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางได้ ตามกฎหัวแม่มือ (thumb rule) สามารถอธิบายถึง accumulation potential ได้ว่าควรอยู่ในช่วงที่มากกว่าด้านลบของศักย์ครึ่งคลื่น 200 - 400 มิลลิโวลต์

การเคลื่อนที่ของโลหะไปยังผิวหน้าอิเล็กโทรดเกิดขึ้นได้โดยการแพร่ และการพาธา สารละลายถูกคนระหว่างการเกิด accumulation ในวิธีนี้ไม่เพียงแต่สภาวะของการแพร่เท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อกระแสอิเล็กโทรไลซิส แต่สภาวะไฮโดรไดนามิกที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บิวเลนซ์ (laminar and turbulent flow) ก็มีอิทธิพลร่วมด้วยเช่นกัน เมื่อมีความเร็วรอบการคนสูง หรือเมื่อใช้

ขั้วไฟฟ้าแบบหมุนได้ (rotating electrode) ที่ความเร็วรอบการคนคงที่ หรือขนาดของการเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะที่ยึดเกาะอยู่ที่ขั้วแคโทดจะเป็นสัดส่วนกับทั้ง accumulation time และความเข้มข้นของโลหะในสารละลายตัวอย่าง

accumulation time ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง และต้องเลือกให้อยู่ในช่วงที่สัญญาณการวัดยังคงเป็นมีความเส้นตรงตลอดช่วงของความเข้มข้นที่สูงเท่าที่จะเป็นไปได้ การยึดเกาะที่ขั้วไฟฟ้านั้นมักไม่มีความสมบูรณ์ ที่ขั้วไฟฟ้าโวลแทมเมตริก แต่จะเกิดได้อย่างสมบูรณ์เมื่อขั้วไฟฟ้าทำงานร่วมกับตัวอย่างปริมาณน้อย (< 0.1 มิลลิลิตร) และใช้เวลานานในการอิเล็กโทรไลซิสภายใต้สภาวะทำงานปกติจะใช้สารละลายตัวอย่างที่ 5 - 20 มิลลิลิตร และใช้การ accumulation ที่ขั้วหยดปรอทที่มีผิวหน้าเพียงไม่กี่ลูกบาศก์เมตร ประมาณ 1 นาที่ แต่ก็เพียง 1 ใน 10 เปอร์เซนต์เท่านั้นที่ยึดเกาะอยู่ที่ขั้วไฟฟ้า

การวัดใน ASV อยู่บนพื้นฐานของการละลายโลหะออกจากขั้วไฟฟ้าเนื่องจากกระแสแอโนดิก กระบวนการนี้ดำเนินการตามวิธีทางโวลแทมเมตริก และมีการสร้างกระแสแยกออกฝึก เมื่อใช้ขั้วหยดปรอทแบบแขวนตัว (HMDE) จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงศักย์ และรัศมีของหยดปรอท r^2 (สมการที่ 2)

Peak current in an anodic stripping voltammogram using a HMDE

$$i_p = k \cdot n^{3/2} \cdot D_{Me^o(Hg)}^{1/2} \cdot c_{Me^o(Hg)} \cdot v^{1/2} \cdot r^2 \cdot t_{acc} \dots\dots\dots(2)$$

i_p = กระแสฝึก

k = ค่าคงที่

n = จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดออกซิเดชันของ analyte

$D_{Me^o(Hg)}^{1/2}$ = สัมประสิทธิ์การกระจายของโลหะในอะมัลกัม

$c_{Me^o(Hg)}$ = ความเข้มข้นของโลหะในอะมัลกัม

v = อัตราการสแกน

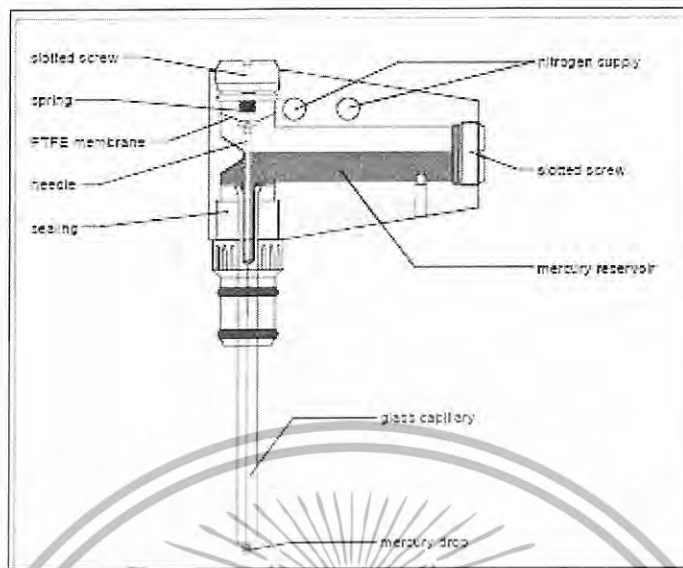
r = รัศมีของหยดปรอท

t_{acc} = เวลาการเกิดสะสม

สมการที่ 2 ใช้ในการหากระแสแยกออกฝึกเมื่อใช้ขั้วปรอทชนิดฟิล์มบาง (TMFE) สังเกตได้ว่ากระแสแยกออกฝึกนี้เป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลง (scan rate) และพื้นที่ผิวหน้า A_f ของฟิล์มปรอท จากทั้ง 2 กรณีกระแสแยกออกฝึกต่างก็ขึ้นอยู่กับ accumulation time t_{acc} และยังเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโลหะ $c_{Me^o(Hg)}$ ในอะมัลกัม และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของโลหะในสารละลายตัวอย่าง

โดยทั่วไป การวัดใน ASV โดยใช้ขั้วฟิล์มปรอทจะมีความไวสูงกว่าขั้วหยดปรอท และฟิสิกส์ที่ได้ยังแคบกว่าอีกด้วย ดังนั้นฟิสิกส์เชิงจิงแยกออกได้ดีกว่า เหตุผลสำหรับ ขั้วชนิดฟิล์มนี้มีผิวหน้าที่มากกว่า ดังนั้นจึงมีการถ่ายโอนมวลได้มากกว่าที่ accumulation rate เดียวกัน เงื่อนไข ขั้วขนาดสำหรับความไวของการวัดทางโวลแทมเมตริกไม่เพียงแต่ในเรื่องของขนาดผิวหน้าขั้วไฟฟ้าเท่านั้น แต่ยังรวมถึงความพยายามที่จะทำให้โลหะที่ยึดเกาะที่ขั้วไฟฟ้ากระจายตัวได้ด้วยตัวเองอย่างเป็นระเบียบในปรอท การวัดด้วยขั้วฟิล์มปรอทจะให้กระแสของสัญญาณที่สูง และมีรูปร่างฟิสิกส์ที่แคบกว่า แต่ก็ให้กระแสภูมิหลัง (background currents) ก่อนข้างสูง ด้วยผลที่ดีเช่นกัน (ด้วยกระแสภูมิหลังที่ต่ำกว่า) สามารถใช้การวัดด้วยขั้วหยดปรอท ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า และหยดปรอทที่มีขนาดเล็กมาก เช่น ขั้วแบบโหมคร่วม (multi-mode electrode) จากบริษัทเมทาโรทรม์ ดังรูปที่ 2.2 ข้อดีของหยดปรอทขนาดเล็ก (คล้ายกับชนิดฟิล์ม) คือมีพื้นที่ของการแพร่ค่อนข้างน้อย จึงทำให้ในขณะที่เกิดการละลายด้วยกระแสแอโนดิกนั้น โลหะสามารถแพร่เข้าสู่ผิวหน้าเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนได้อย่างรวดเร็ว หยดปรอทนั้นใช้ได้ง่ายและสามารถวัดซ้ำใหม่ได้อีก โดยหยดปรอทออกโดยการเคาะ (tapping) ฉะนั้นขั้วหยดปรอทจึงถูกนำมาใช้บ่อยครั้งมากกว่าขั้วฟิล์มปรอท

เคอร์ฟระหว่างกระแสและศักย์ไฟฟ้าสามารถบันทึกได้ในทุกๆ วิธีการวัดทางโวลแทมเมตริก ซึ่งวิธีการทำงานสามารถสังเกตได้จากคำย่อจากพยัญชนะตัวแรกของ โหมดที่ใช้ในการสแกน (scan mode or scan wave modulation) ตัวอย่างเช่น DCASV คือ แอโนดิกสทริปปิงโวลแทมเมตริโดยใช้โวลแทมเมตริกกระแสตรง (direct current anodic stripping voltammetry) และ DPASV คือ แอโนดิกสทริปปิงโวลแทมเมตริโดยใช้โวลแทมเมตริแบบดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ (differential pulse anodic stripping voltammetry) ในการวิเคราะห์ด้วย ASV ภายหลังจากเกิด amalgam accumulation มักมีการบันทึกผลในโหมดของ DP หรือ SW (DPASV or SWASV) เป็นหลัก ภายใต้อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ช้าเท่ากันวิธีการนี้โดยทั่วไปแล้วจะมีความไวมากกว่า DC แต่ DCASV ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ได้ดีในหลายกรณี เพื่อเป็นการจำกัดการรบกวนจากปฏิกิริยาที่ไม่สามารถผันกลับได้ ศักย์ยอดฟิสิกส์ของเทคนิคสทริปปิงโวลแทมเมตริเหมือนกับศักย์ครึ่งคลื่นของเทคนิคโพลารोगราฟิค ซึ่งทั้งชนิดของ accumulation และ accumulation rate ต่างก็ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณของโลหะที่ต้องการตรวจวัด ส่วนศักย์ยอดฟิสิกส์ขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงเท่านั้นเมื่อใช้ TMFE เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ในกรณีนี้ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์มด้วย ดังนั้นศักย์ครึ่งคลื่นอาจมีขนาดที่มากกว่าการวัดโดยใช้ HMDE ในกรณีของกระบวนการที่สามารถผันกลับได้จะมี i_p ที่มากกว่าด้านบวกของศักย์ครึ่งคลื่น $E_{1/2}$ เท่ากับ $28.5/n$ mV และกระบวนการที่ใช้กระแสแอโนดิกจะมี i_p ที่มากกว่าด้านลบของศักย์ครึ่งคลื่น $E_{1/2}$ เท่ากับ $28.5/n$ mV เช่นกัน ดังภาพที่ 3 อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ครึ่งคลื่น และศักย์ยอดฟิสิกส์ที่ใช้ในการวัดตะกั่วในตัวอย่างที่มีแคดเมียมและสังกะสี ที่แสดงให้เห็นถึงความเลือกเฉพาะของการวัดด้วย ASV ที่สามารถควบคุมผ่าน accumulation potential



รูปที่ 2.2 แสดงภาพขั้วแบบโหมคร่วม (multi-mode electrode) จากบริษัทเมท โครห์ม

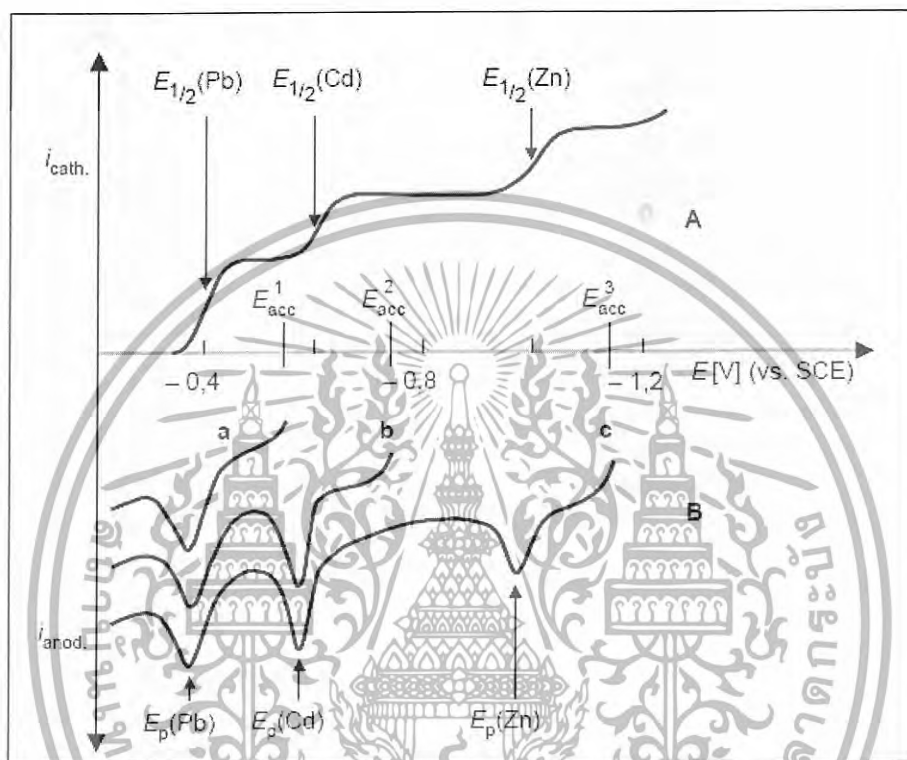
การใช้เทคนิค ASV ร่วมกับขั้วปรอทเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน (HDME, TMFE) จัดเป็นเทคนิคเบื้องต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่มีอยู่ในปริมาณน้อย คือ ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม แอนติโมนี ดีบุก สังกะสี บิสมัท อินเดียม แมงกานีส และ เทลเลียม และมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับวิเคราะห์สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในสารละลายตัวอย่าง แต่การวิเคราะห์ผิวหน้าน้ำ (แม่น้ำ หรือน้ำในทะเลสาบ) น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน และ โรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงตัวอย่างชีวภาพ เช่น ยูรีน จะให้ผลที่ถูกต้องเมื่อตัวอย่างอินทรีย์ถูกย่อยสลายด้วยวิธีโฟโตไลซิส หรือไมโครเวฟ (UV-photolysis or microwave digestion) โดยมีขั้นตอนการทำงานที่ต่างกันแต่จะใช้วิธีการฉายแสงและมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นออกซิไดซิงเอเจนต์เหมือนกัน สำหรับตัวอย่างที่เป็นน้ำดื่ม และน้ำทะเลไม่จำเป็นที่จะต้องเตรียมตัวอย่างก่อนการตรวจวัด ด้วยวิธีโฟโตไลซิส ไม่เพียงแต่ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์เท่านั้น แต่ยังมี ความสำคัญต่อโลหะหนักเชิงซ้อนทั้งเสถียรและไม่เสถียรในแหล่งน้ำธรรมชาติอีกด้วย

2.2.4 สัญญาณกระตุ้นแบบพัลส์

สัญญาณกระตุ้นแบบพัลส์ ประกอบด้วย สแควร์-เวฟ (SW), พัลส์ปกติ (NP) และดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ (DP) ซึ่งในที่นี่ได้บรรยายไว้เฉพาะวิธี DP เท่านั้น

DP เป็นวิธีพัลส์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในเครื่องมือระบบดิจิทัลสัญญาณการกระตุ้นมีลักษณะที่เป็นพัลส์ขั้นบันไดที่มีการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าขึ้นไปทีละขั้น (potential step, ΔE_{step}) และแต่ละขั้นก็เพิ่มศักย์ไฟฟ้าคงที่ (pulse amplitude ΔE_A) ให้กับพัลส์แต่ละพัลส์ ภาพที่ 6B แสดงการวัดด้วยเทคนิค DP พร้อมทั้งแสดงเคอร์ฟ กระแสที่ถูกวัดทั้งสองกระแสที่แต่ละหยดปรอท คือก่อนหน้าและ

สิ้นสุดพัลส์แต่ละพัลส์ (pulse time t_p) ผลต่างระหว่างกระแสที่วัดได้ (Δi) ถูกพล็อตเทียบกับศักย์ไฟฟ้าให้เป็นเคอร์ฟอกมา ซึ่ง Δi จะมีค่าสูงสุดเมื่อศักย์หยุดอยู่ในช่วงของศักย์ครึ่งคลื่น การให้สัญญาณแบบ DP นั้นมีความไวมากกว่าเมื่อเทียบกับสัญญาณกระตุ้นแบบพัลส์ปกติ



รูปที่ 2.3 แสดงหลักของความเลือกเฉพาะและการตรวจวัดโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดพร้อมกันด้วยวิธี us ASV โดย A คือ DC polarogram ของ Pb, Cd and Zn (each 10^{-3} mol/L) ใน 0.1 mol/L KCl ; B Stripping voltammogram ของ Pb, Cd and Zn (each 10^{-5}) ใน 0.1 mol/L KCl ภายหลังจากการแอดคิวมูลที่ ศักย์ไฟฟ้าที่ต่างกัน ; a E_{acc}^1 (Pb); b E_{acc}^2 (Pb, Cd) c E_{acc}^3 (Pb, Cd, Zn)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. โฟแทสเซียมคลอไรด์เกรดวิเคราะห์ (Ajex Fincehem, NZ)
2. โซเดียมอะซีเตทไฮเดรทเกรดวิเคราะห์ (Ajex Fincehem, NZ)
3. สารมาตรฐานสต็อกซิงค์ (II) ไนเตรท 1000 ppm (Fisher Scientific, UK)
4. สารมาตรฐานสต็อกแคดเมียม (II) ไนเตรท 1000 ppm (CARLO ERBA, Italy)
5. สารมาตรฐานสต็อกลิตรียม (II) ไนเตรท 1000 ppm (Fisher Scientific, UK)
6. สารมาตรฐานสต็อกคอปเปอร์ (II) ไนเตรท 1000 ppm (Ajex Fincehem, NZ)
7. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 69% (Merck Damstadt, Germany)
8. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (Merck Damstadt, Germany)
9. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% (CARLO ERBA, Italy)
10. น้ำกลั่นปราศจากไอออน Milli-Q (Milford, MA, USA)

3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

1. เงาน้ำจืด ลำไยกระป๋องอย่างละ 5 กระป๋อง ที่สุ่มเก็บจากวันผลิตในล็อตเดียวกันทั้งหมด

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. METROHM 746 Trace Analyzer ใช้ร่วมกับ Capillary hanging mercury drop electrode (HMDE) และ Lenseis LY 1600 Model recorder มีขดลวดแพลทินัมเป็น counter electrode และ Ag/AgCl เป็น reference electrode
2. เครื่องย่อยสลายด้วยยูวี (705 UV – digester)
3. เครื่องวัด pH (713 pH meter)
4. บีกเกอร์ขนาด 100 mL
5. ขวดวัดปริมาตรขนาด 10, 25, และ 100 mL พร้อมฝาปิด
6. ขวดรูปกรวยขนาด 25 mL
7. ปิเปตขนาด 1 mL พร้อมจุกยาง
8. ไมโครปิเปตขนาด 100 μ L
9. แท่งแก้วคนสาร

10. กระบอกตวงขนาด 10, 50 mL
11. หลอดหยดพร้อมจุกยาง
12. ซ้อนตักสาร
13. เครื่องปั่นมูลินีเก็ทซ์

หมายเหตุ - เครื่องแก้วทุกชนิดควรรีนส์ด้วยกรดไนตริกเจือจาง ตามด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน เพื่อกำจัดไอออนที่ตกค้างในภาชนะ

3.4 การดำเนินการวิจัย

สารละลายทุกชนิดที่เตรียมขึ้นเพื่อการวิเคราะห์ ใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionization water) ที่ผลิตจากเครื่อง Milli-Q (Milford, MA, USA)

3.4.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

3.4.1.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ 3.0 M

ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 22.3650 g ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 mL

3.4.1.2 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท 3.0 M

ชั่งโซเดียมอะซิเตท ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot\text{H}_2\text{O}$) 40.8240 g ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 mL

3.4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสม 100 ppm

ปิเปตสารมาตรฐานสต็อก 1000 ppm ของสังกะสี, แคลเซียม, ตะกั่ว และทองแดงอย่างละ 1 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.4.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ผลไม้กระป๋องแต่ละตัวอย่าง (ทั้ง 5 กระป๋อง) มาแยกส่วนน้ำและเนื้อออกจากกัน จากนั้นนำส่วนเนื้อไปหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบ เมื่อแห้งให้นำมาบดให้ละเอียด แล้วเก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะพลาสติกที่ปิดสนิท หากยังไม่ใช้ในทันทีให้นำตัวอย่างไปเก็บไว้ในตู้เย็น

3.4.3.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่างด้วยวิธี UV - digestion

เปิดตัวอย่างส่วนน้ำ 1.0 mL ใส่ในหลอด UV - tube เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 98% (Conc.HCl) 100 μ L และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% v/v (H_2O_2) 10 μ L แล้วนำไปย่อยด้วยเครื่อง UV - digestion ตามสภาวะในตารางที่ 3.1 จากนั้นถ่ายตัวอย่างที่ย่อยแล้วลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ทิ้งให้เย็น (หรือหล่อเย็น) แล้วเก็บสารละลายตัวอย่างที่ได้ในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีน เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างเฉพาะส่วนน้ำด้วยวิธี UV - digestion

ตัวอย่างผลไม้ กระป๋อง	อัตราการไหลของน้ำ ในเครื่องหล่อเย็น	อุณหภูมิ	เวลา (นาที)
ส่วนน้ำ	350 mL/min	90 °C	60, 90 และ 120
ส่วนเนื้อ	-	-	-

3.4.3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างด้วยวิธี wet - digestion

3.4.3.2.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่างส่วนเนื้อ

ชั่งตัวอย่างส่วนเนื้อ 1.0 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 mL เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) 6 mL ได้สารละลายสีน้ำตาลดำแล้วนำไปให้ความร้อนตามตารางที่ 3.2 เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดให้เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จนกว่าจะได้สารละลายใส ให้ความร้อนต่อสักครู่จึงหยุดให้ความร้อน จากนั้นถ่ายตัวอย่างที่ย่อยแล้วลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ทิ้งให้เย็น (หรือหล่อเย็น) แล้วเก็บสารละลายตัวอย่างที่ได้ในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีน เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไปด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน

3.4.3.2.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม

เปิดส่วนน้ำเชื่อมมา 1 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 mL เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) 6 mL ได้สารละลายสีน้ำตาลดำแล้วนำไปให้ความร้อนตามตารางที่ 3.2 เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดให้เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จนกว่าจะได้สารละลายใส ให้ความร้อนต่อสักครู่จึงหยุดให้ความร้อน จากนั้นถ่ายตัวอย่างที่ย่อยแล้วลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ทิ้งให้เย็น (หรือหล่อเย็น) แล้วเก็บสารละลายตัวอย่างที่ได้ในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีน เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไปด้วย DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน

ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างทั้งเนื้อและส่วนน้ำด้วยวิธี wet - digestion

ตัวอย่างผลไม้กระป๋อง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
ส่วนน้ำ	100	20 และ 40
	200	10
	300	10
ส่วนเนื้อ	100	20 และ 40
	200	10
	300	10

3.4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

เนื่องมาจากมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในหลายสภาวะ ดังนั้นจึงได้กำหนดขอบเขตของสภาวะการใช้งานในเบื้องต้นขึ้นมาเพื่อยึดเป็นหลักในการศึกษาสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะเบื้องต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอมโวนิกสทริปปิง โวลแทมเมตรีร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน

Working electrode	HDME
Stirrer speed	200 rpm
Mode	DP
Purge time	300 s
Pulse amplitude	50 mV
Deposition potential	-1150 mV
Deposition time	60 s
Equilibration time	10 s
Start potential	-1150 mV
End potential	1150 mV
Voltage step	6 mV
Voltage step time	0.15 s
Sweep rate	50 mV/s
Peak potential (Zn)	-980 mV
Peak potential (Cd)	-610 mV
Peak potential (Pb)	-410 mV
Peak potential (Cu)	-170 mV

3.4.4.1 การศึกษาความเข้มข้นบัฟเฟอร์ที่เหมาะสม

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ และโซเดียมอะซิเตทโดยเจือจางจากข้อ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2 ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่เตรียมได้ลงในโพลาริกราฟิเซลล์ที่มีน้ำกลั่น 20 mL เติมสารละลายมาตรฐานผสมลงไป 0.01 mL แล้วตรวจวัดสัญญาณของกระแสไฟฟ้าเทียบกับความเข้มข้น เมื่อศึกษาจนครบทุกความเข้มข้นแล้วจึงเปลี่ยนมาศึกษาสารละลายโซเดียมอะซิเตท โดยใช้สภาวะเดิมเพียงแต่เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ถูกเลือกให้เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมลงไปผสมกับสารละลายโซเดียมอะซิเตทที่มีความเข้มข้นต่างๆ ดังตารางแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาความเข้มข้นของบัฟเฟอร์

สารละลายบัฟเฟอร์	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (mL)	ปริมาตรสารละลายมาตรฐานผสม (mL)
โพแทสเซียมคลอไรด์ pH 4.6	0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0	0.5	0.01
โซเดียมอะซิเตท pH 4.6	0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0	0.5	0.01

3.4.4.2 การศึกษา deposition time ที่เหมาะสม

เติมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมอย่างละ 0.5 mL ในโพลาริกราฟิเซลล์ที่มีน้ำกลั่น 20 mL แล้วเติมสารละลายมาตรฐานผสมลงไป 0.01 mL แล้วตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าเทียบกับ deposition time ที่เวลาต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 เพื่อหาช่วงความเป็นเส้นตรงและเลือก deposition time ที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.5 สภาวะที่ใช้ในการศึกษา deposition time

สารละลายมาตรฐานผสม	สารละลายบัฟเฟอร์	Deposition time (s)
Zn, Cd, Pb และ Cu อย่างละ 100 ppm	0.5 mL KCl + 0.5 mL CH ₃ COONa ที่ความเข้มข้นที่ เหมาะสมจากข้อ 3.4.4.1	30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 720 และ 1000

3.4.4.3 การศึกษาวิธีและสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยตัวอย่าง

นำตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.3.1 และ 3.4.3.2 มาทำการตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหาวิธีและสภาวะในการย่อยที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยเทียบจากปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่วัดได้ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ที่ดีที่สุด

3.4.5 การตรวจวัดปริมาณสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดงในตัวอย่างด้วยวิธีแอนโอดิกสท

รีปิงโวลแทมเมทรี (DPASV) ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน

ย่อยผลไม้มักรับรองตัวอย่างด้วยวิธีและสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.4.4 แล้วนำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้วมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสทรีปิงโวลแทมเมทรี โดยใช้วิธีการเติมสารมาตรฐานตัวอย่าง

3.4.5.1 เทคนิคการเติมสารละลายมาตรฐาน (standard addition)

เติมตัวอย่าง 1.0 mL ลงในโพลีโพรไพลีนเซลล์ที่มีน้ำกลั่น 20 mL และบัฟเฟอร์อย่างละ 0.5 mL เริ่มวัดกระแสไฟฟ้าครั้งที่ 1 เมื่อการวัดเสร็จสิ้นให้เติมสารละลายมาตรฐานผสมเข้มข้น 100 ppm จำนวน 0.01 mL ลงไปในเซลล์เดิมแล้ววัดกระแสไฟฟ้าครั้งที่ 2 เมื่อวัดเสร็จสิ้นให้เติมสารมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm จำนวน 0.01 mL ลงในเซลล์เดิมอีกครั้งแล้ววัดกระแสไฟฟ้าเป็นครั้งที่ 3 เมื่อวัดกระแสไฟฟ้าจนครบ 3 ครั้ง แล้วนำผลของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

3.4.5.2 การศึกษาขีดจำกัดของการวัด (Detection limit) และขีดจำกัดเชิงปริมาณ (Detection quantitation)

การศึกษาระดับขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Detection limit) เป็นการศึกษาระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดของโลหะหนักที่ตรวจวัดได้ และขีดจำกัดเชิงปริมาณ (Detection quantitation) คือปริมาณต่ำสุดของโลหะหนักที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยอาศัยข้อมูลในกราฟมาตรฐาน

3.4.5.3 การศึกษาความถูกต้อง (Accuracy)

ตรวจวิเคราะห์ spiked sample ที่มีระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานผสมเท่ากับ 0, 0.0454 และ 0.0908 ppm ซึ่งผ่านการย่อยด้วยวิธีและสภาวะที่เหมาะสม ความเข้มข้นละ 6 ซ้ำ แล้วคำนวณหาค่า %recovery ของวิธีวิเคราะห์

3.4.5.4 การทดสอบความเที่ยง (Precision)

ตรวจวิเคราะห์ spiked sample ที่มีระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานผสมเท่ากับ 0, 0.0454 และ 0.0908 ppm ซึ่งผ่านการย่อยด้วยวิธีและสภาวะที่เหมาะสม ความเข้มข้นละ 6 ซ้ำ แล้วคำนวณหา RSD_R (repeatability) และ RSD_r (reproducibility) ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่า RSD ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ Horwitz equation (ค่า Horrat ที่คำนวณได้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 จึงถือเป็นค่าของความเที่ยงที่สามารถยอมรับได้)



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

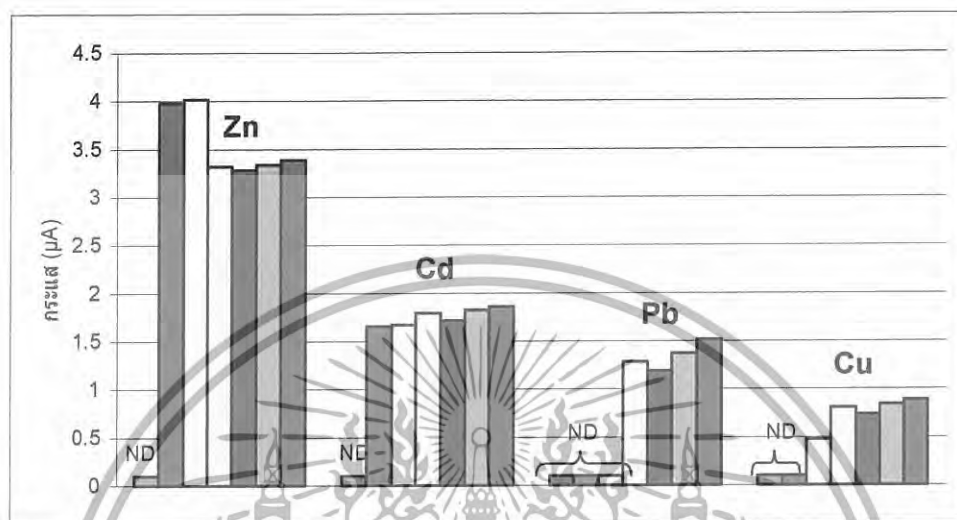
4.1.1 ศึกษาความเข้มข้นอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม

จากการศึกษาความเข้มข้นอิเล็กโทรไลต์ คือ โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 0.0 - 3.0 M ที่มีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด คือ สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าหากไม่มีการเติมโพแทสเซียมคลอไรด์ลงไปจะไม่สามารถตรวจวัดสัญญาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดได้ สำหรับที่ระดับความเข้มข้น 0.5 M พบว่าและไม่สามารถตรวจวัดสัญญาณของตะกั่วและทองแดงได้ สำหรับที่ระดับความเข้มข้น 1.0 M พบว่าไม่สามารถตรวจวัดสัญญาณของตะกั่วได้ ส่วนสัญญาณของทองแดงที่วัดได้ก็มีค่าที่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของระดับความเข้มข้นอื่นๆ และสำหรับที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1.5 - 3.0 M นั้นสามารถตรวจวัดสัญญาณของโลหะหนักได้ครบทั้ง 4 ชนิด และมีสัญญาณที่สูงพอๆกัน และเพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงแสดงเป็นกราฟแท่งเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดได้เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ในระดับต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้เมื่อเติมโพแทสเซียมคลอไรด์ ($n = 3$) ที่ความเข้มข้นต่างๆ 0.5 mL ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL (แสดงการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในภาคผนวก ข.2)

KCl (M)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (μA)			
	Zn	Cd	Pb	Cu
0.0	ND	ND	ND	ND
0.5	3.978 \pm 0.002	1.654 \pm 0.004	ND	ND
1.0	4.017 \pm 0.002	1.674 \pm 0.002	ND	0.480 \pm 0.000
1.5	3.318 \pm 0.003	1.789 \pm 0.002	1.284 \pm 0.002	0.813 \pm 0.000
2.0	3.277 \pm 0.002	1.713 \pm 0.002	1.188 \pm 0.001	0.736 \pm 0.000
2.5	3.337 \pm 0.002	1.825 \pm 0.002	1.377 \pm 0.002	0.845 \pm 0.002
3.0	3.384 \pm 0.003	1.857 \pm 0.002	1.515 \pm 0.003	0.885 \pm 0.002

ดังนั้น ระดับความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์โพแทสเซียมคลอไรด์ที่ควรนำมาใช้ก็คือ 1.5 M เนื่องจากสามารถตรวจวัดสัญญาณของโลหะหนักได้ครบทั้ง 4 ชนิด และให้สัญญาณที่วัดได้สูง และไม่เป็นการสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้เมื่อเติม โพแทสเซียมคลอไรด์ ($n = 3$) ที่ความเข้มข้นต่างๆ 0.5 mL ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm. 0.1 mL โดยกำหนดให้ █ แทน 0.0 M █ แทน 0.5 M █ แทน 1.0 M █ แทน 1.5 M █ แทน 2.0 M █ แทน 2.5 M █ แทน 3.0 M

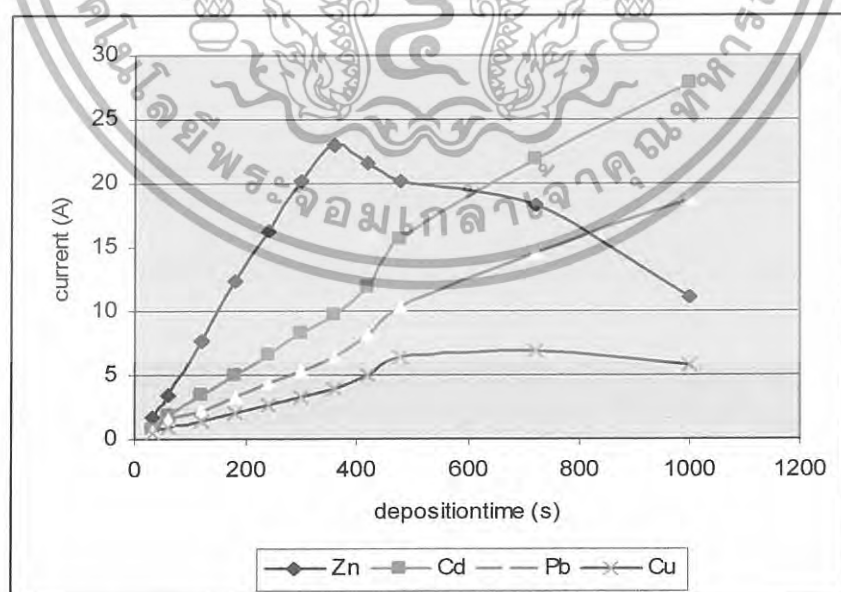
4.1.2 การศึกษา deposit time ที่เหมาะสม

จากการศึกษา deposit time ในช่วงเวลา 30 - 1000 วินาที ดังแสดงตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อใช้ เวลาในการ deposit มากขึ้น กระแสที่อ่านได้ก็จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ สำหรับแคดเมียม ตะกั่ว และ ทองแดง แต่เมื่อใช้เวลาในการ deposit ประมาณ 420 จนถึง 1000 วินาที มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากสารละลายมาตรฐานสังกะสีค่อยๆ ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.3

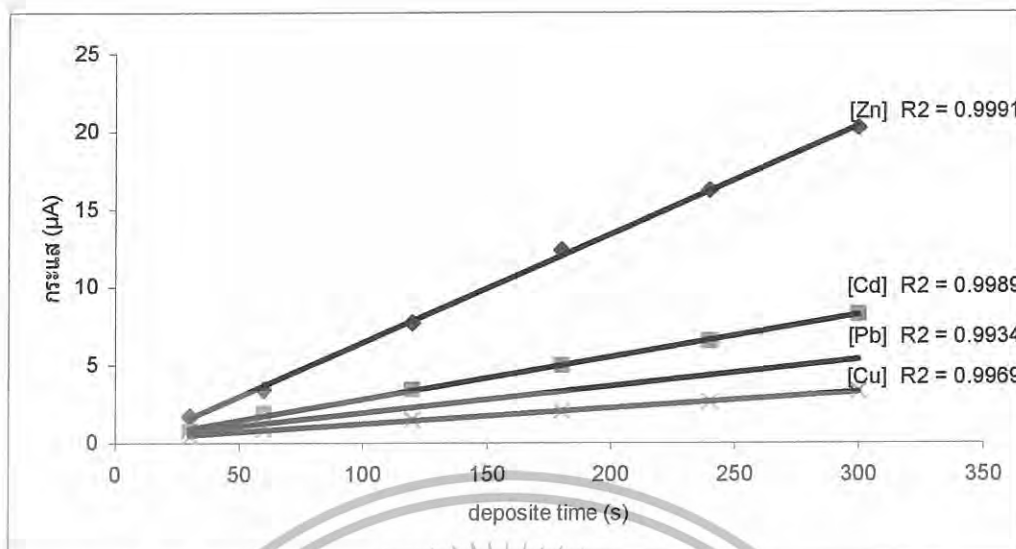
จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าที่ deposit time ในช่วง 30 - 300 วินาที เป็นช่วงที่มีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เข้าใกล้ 1 มากที่สุด ดังนั้นจากการผลศึกษา deposit time ในเบื้องต้นถือว่าเวลาในการ deposit ที่ 300 วินาที ถือเป็นเวลาที่มีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากมีสัญญาณที่สูงมาก แต่ในที่นี้เลือกใช้ที่ 60 วินาที เพราะไม่เป็นการสิ้นเปลืองเวลาในการวิเคราะห์ และหากเลือกใช้เวลาในการ deposit ที่ 30 วินาที จะได้สัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่น้อยเกินไปซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสภาพไว (sensitivity) นั่นคือทำให้มีสภาพไวต่ำ

ตารางที่ 4.2 แสดง deposit time ($n = 3$) ในช่วง 30 - 1000 วินาที ที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL (แสดงการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในภาคผนวก ข.3)

Deposition time (s)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (μA)			
	Zn	Cd	Pb	Cu
30	1.694 \pm 0.031	0.753 \pm 0.002	0.554 \pm 0.002	0.421 \pm 0.002
60	3.381 \pm 0.002	1.856 \pm 0.002	1.513 \pm 0.002	0.885 \pm 0.002
120	7.696 \pm 0.001	3.386 \pm 0.001	2.263 \pm 0.001	1.472 \pm 0.001
180	12.354 \pm 0.001	4.946 \pm 0.001	3.262 \pm 0.001	1.997 \pm 0.001
240	16.185 \pm 0.001	6.553 \pm 0.001	4.298 \pm 0.001	2.634 \pm 0.001
300	20.216 \pm 0.001	8.212 \pm 0.001	5.375 \pm 0.011	3.313 \pm 0.001
360	22.918 \pm 0.001	9.761 \pm 0.001	6.336 \pm 0.001	3.886 \pm 0.001
420	21.495 \pm 0.002	11.876 \pm 0.001	8.097 \pm 0.002	4.958 \pm 0.001
480	20.095 \pm 0.001	15.594 \pm 0.001	10.343 \pm 0.002	6.385 \pm 0.001
720	18.226 \pm 0.001	21.821 \pm 0.001	14.582 \pm 0.001	6.918 \pm 0.001
1000	11.026 \pm 0.001	27.812 \pm 0.001	18.712 \pm 0.001	5.852 \pm 0.001



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานผสมและ deposit time ($n = 3$) ที่ใช้ใน ช่วง 30 – 1000 วินาที

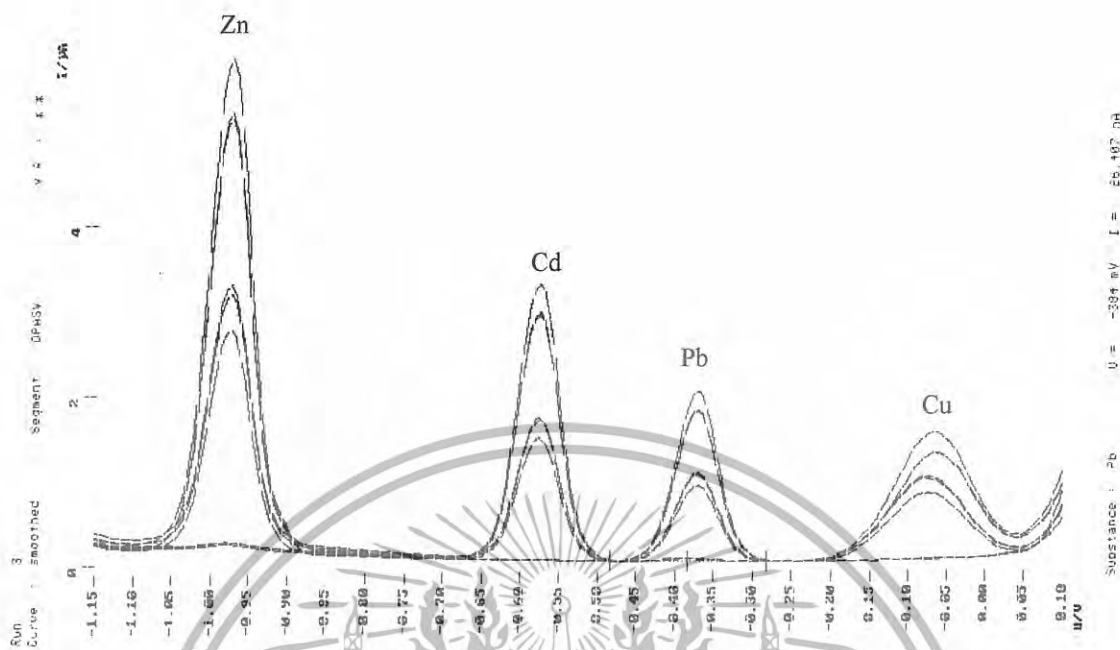


รูปที่ 4.3 แสดงช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ของ deposit time ที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดคลื่นใจ (R^2) เข้าใกล้ 1 มากที่สุด ($n = 3$)

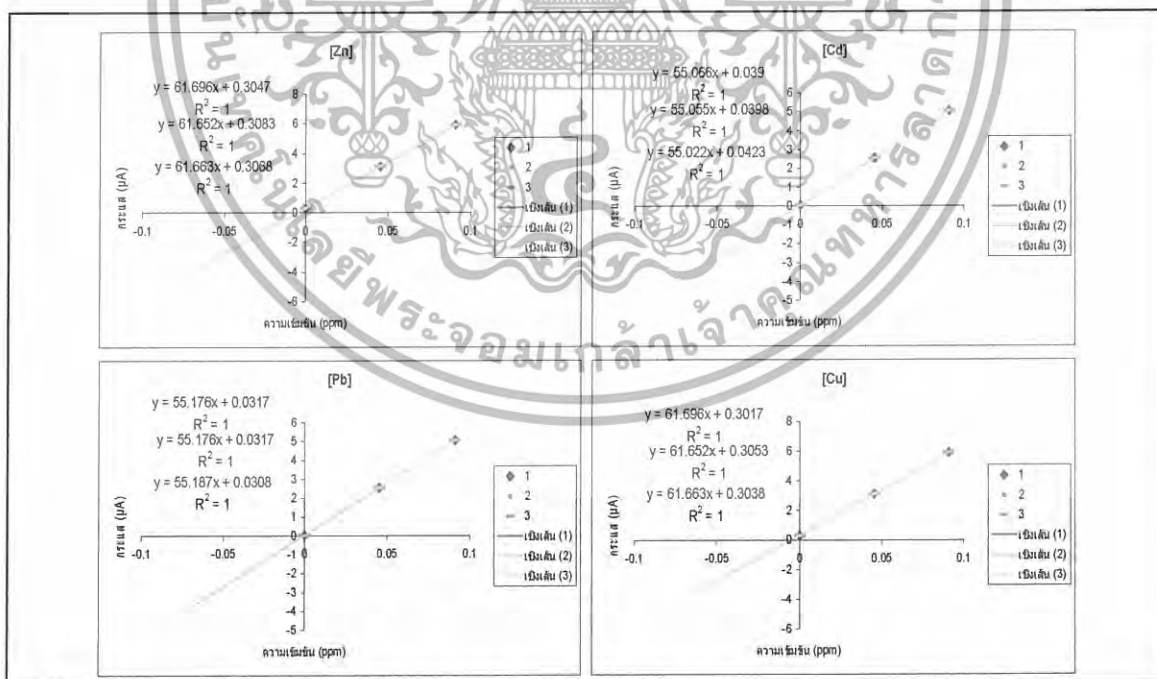
4.2 การศึกษาวิธีและสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยตัวอย่าง

จากศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยผลไม้กระป๋อง (ในที่นี้ใช้เงาะกระป๋อง) โดยเลือกใช้วิธีการย่อย 2 วิธี คือวิธี UV-digestion และวิธี wet-digestion ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่าหากย่อยเนื้อผลไม้ตัวอย่างด้วยวิธี wet-digestion โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวย่อยสลาย แล้วให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ได้โวลแทมโมแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.4 จะทำให้สามารถตรวจวัดสัญญาณของกระแสไฟฟ้าจากโลหะหนักในตัวอย่างได้สูงกว่าที่สภาวะอื่นดังแสดงในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 – 4.12

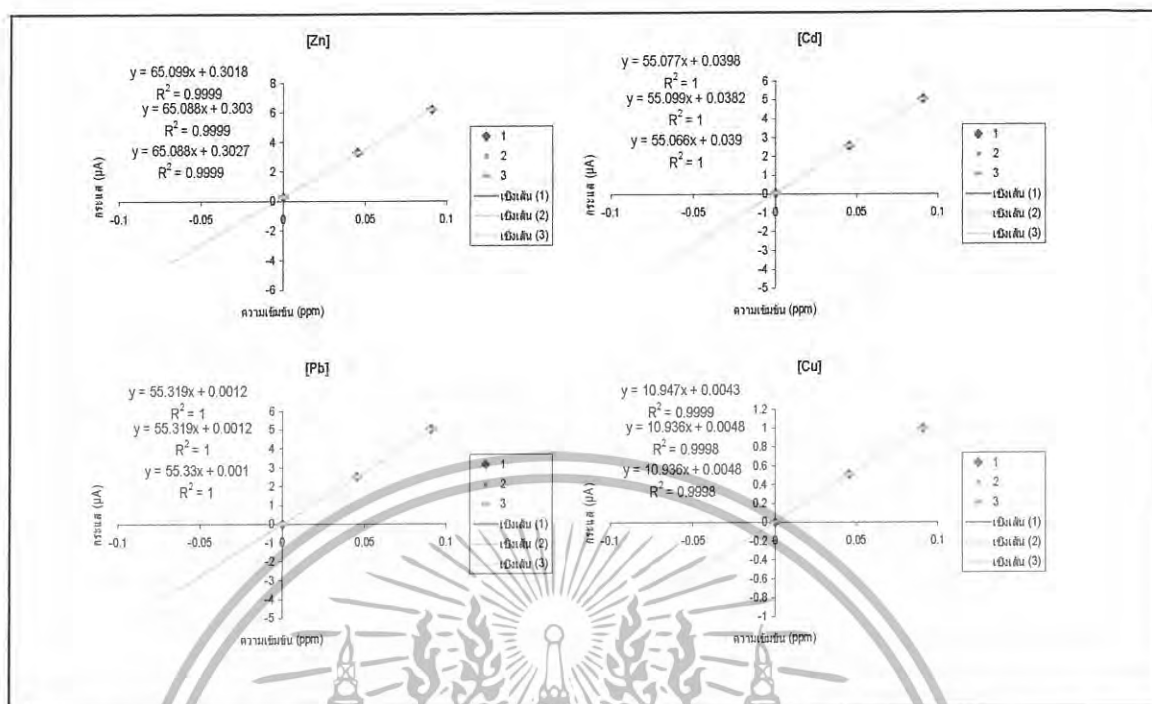
แต่เนื่องจากการเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์โพแทสเซียมคลอไรด์ลงไปเพียงตัวเดียวนั้นทำให้ที่ได้กราฟระหว่างศักย์กับกระแสไฟฟ้านั้นไม่มีความสมมาตร และมีการตรวจวัดแบบกระจัดกระจาย ดังนั้นจึงได้ทดลองเติมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตตลงไปที่ความเข้มข้น 0.5 M 0.5 mL พบว่าได้โวลแทมโมแกรมที่ชัดเจน สมมาตรและมีการตรวจวัดที่เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น ดังนั้นนับจากจุดนี้เป็นต้นไปในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารอิเล็กโทรไลต์โพแทสเซียมคลอไรด์ 1.5 M 0.5 mL ผสมกับละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตต 0.5 M 0.5 mL



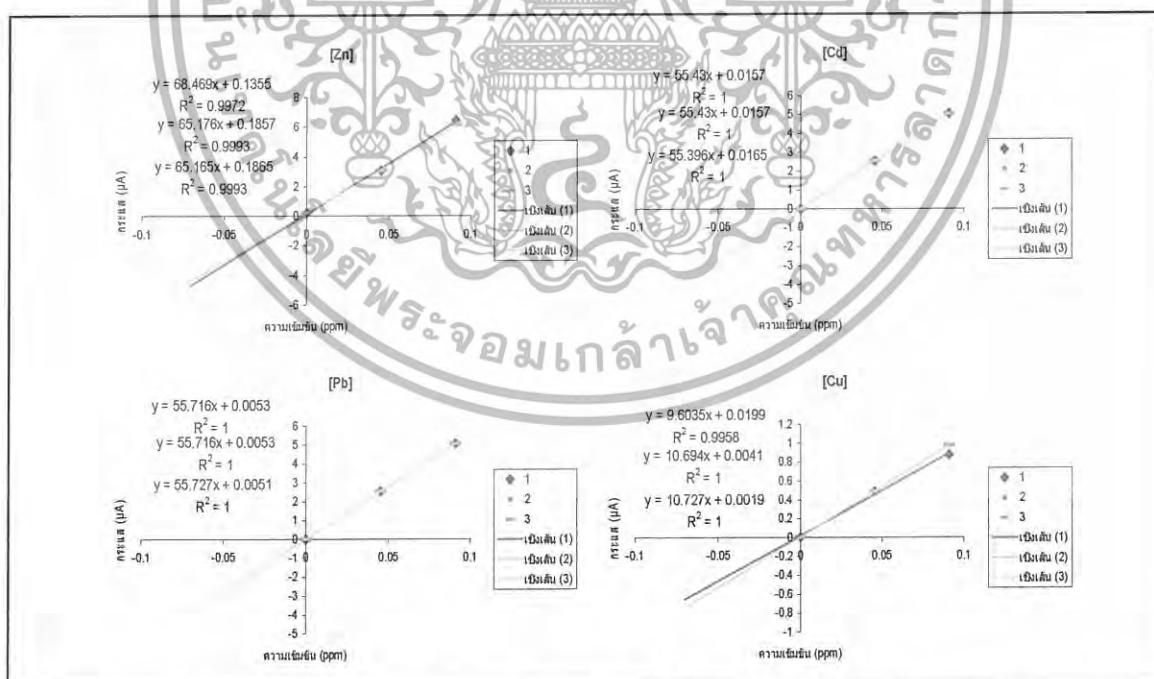
รูปที่ 4.4 แสดง โวลเทมโมแกรมของตัวอย่างที่วัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ด้วยวิธีแอนโอดิกสทริปปิง โวลเทมเมทรีร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน



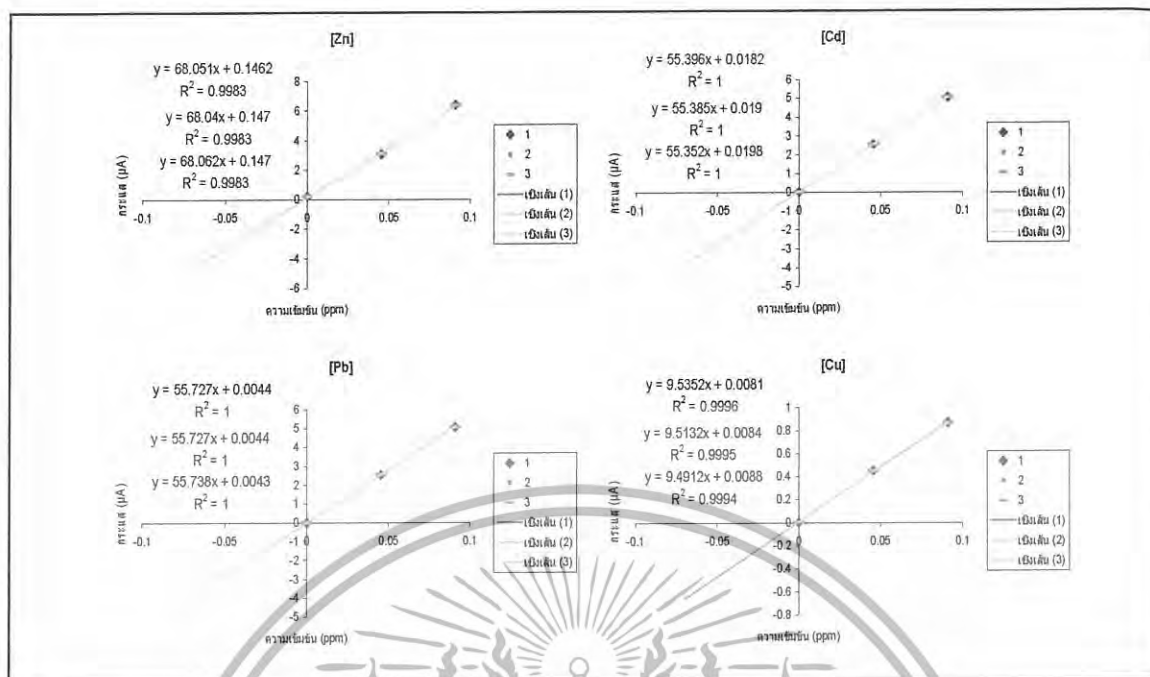
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้องาที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H₂SO₄ ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที



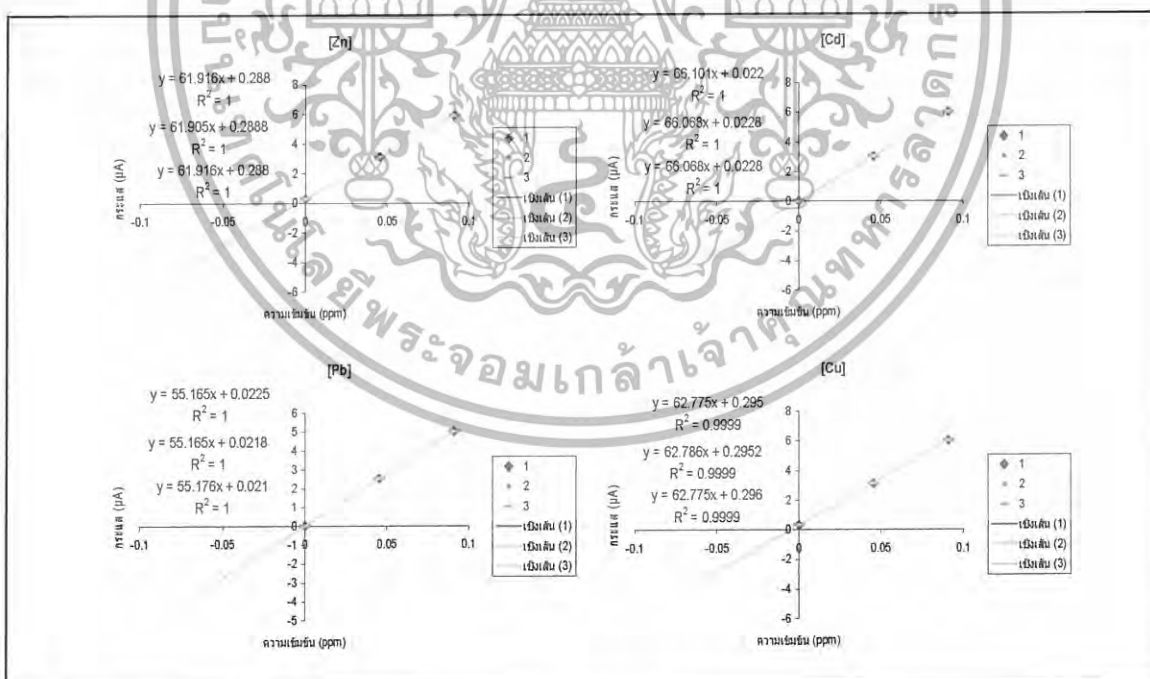
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้องาที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 40 นาที



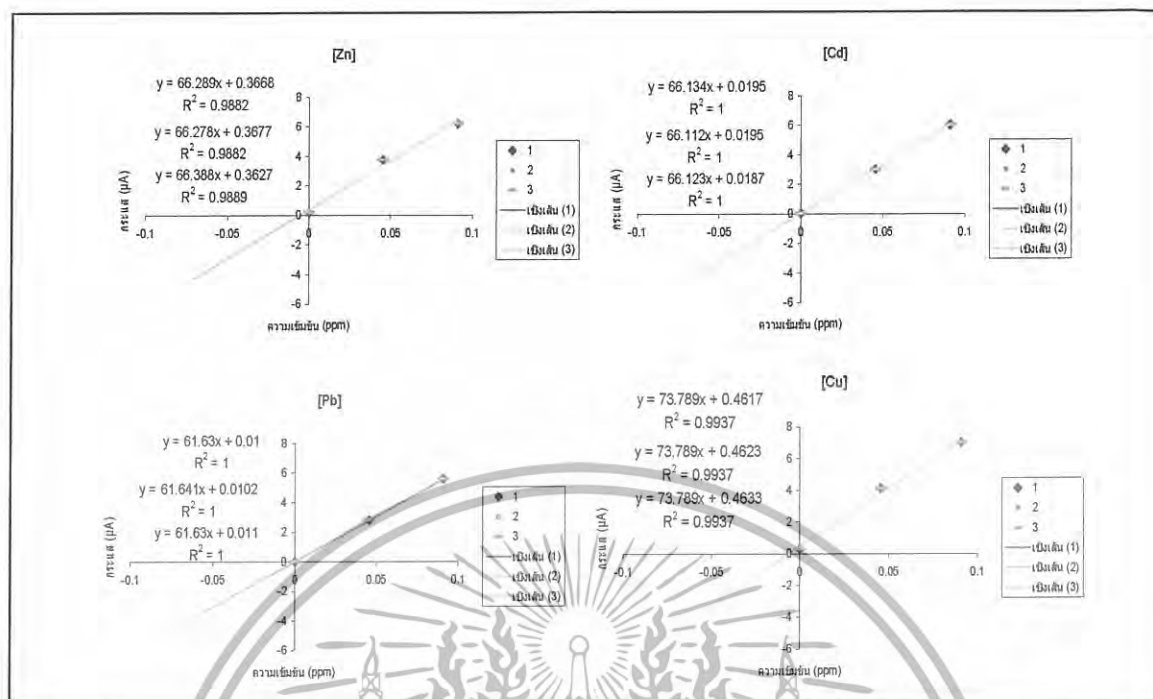
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้องาที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 200°C เป็นเวลา 10 นาที



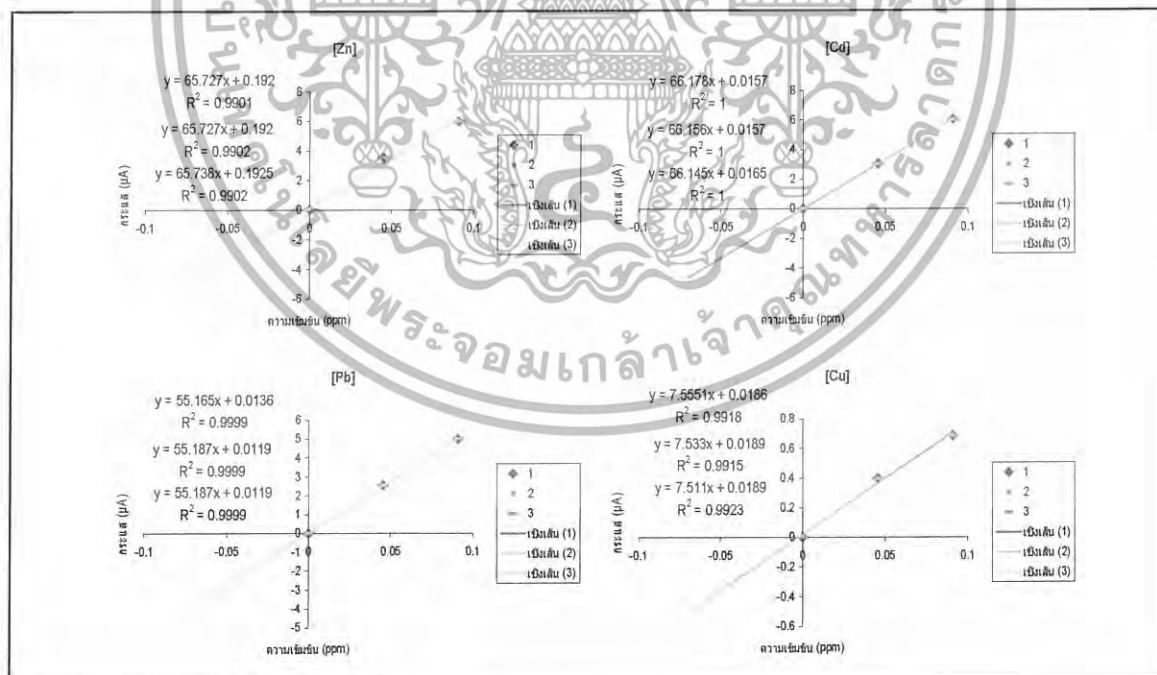
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 µL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้องาที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 300°C เป็นเวลา 10 นาที



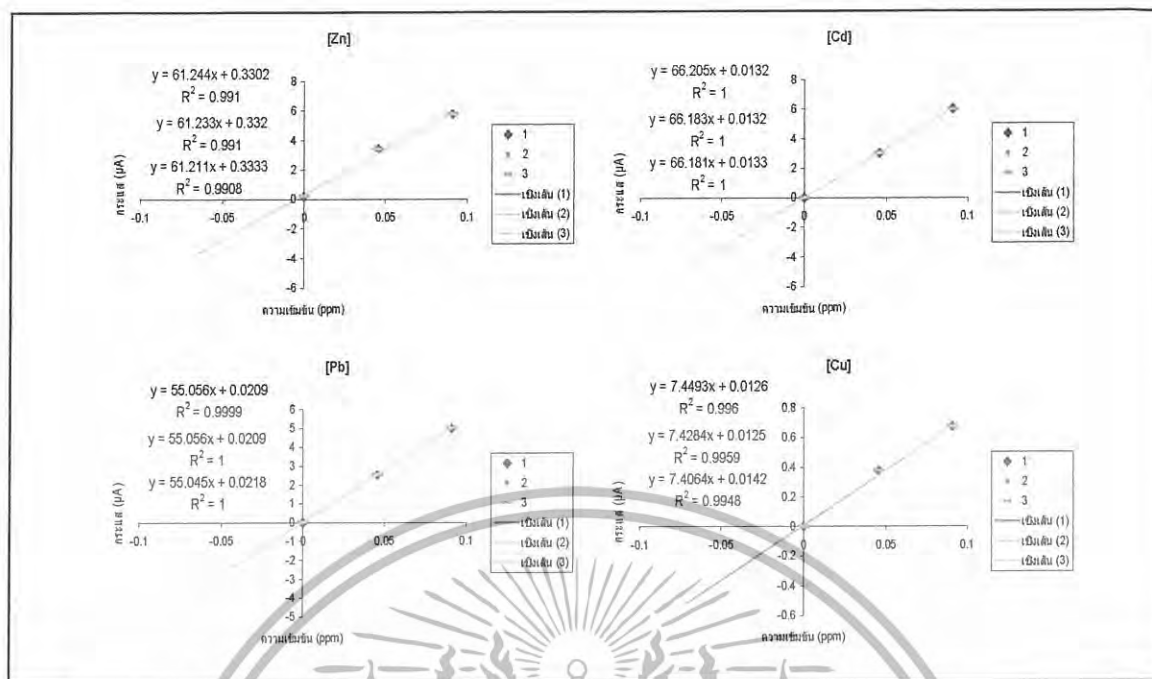
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 µL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที



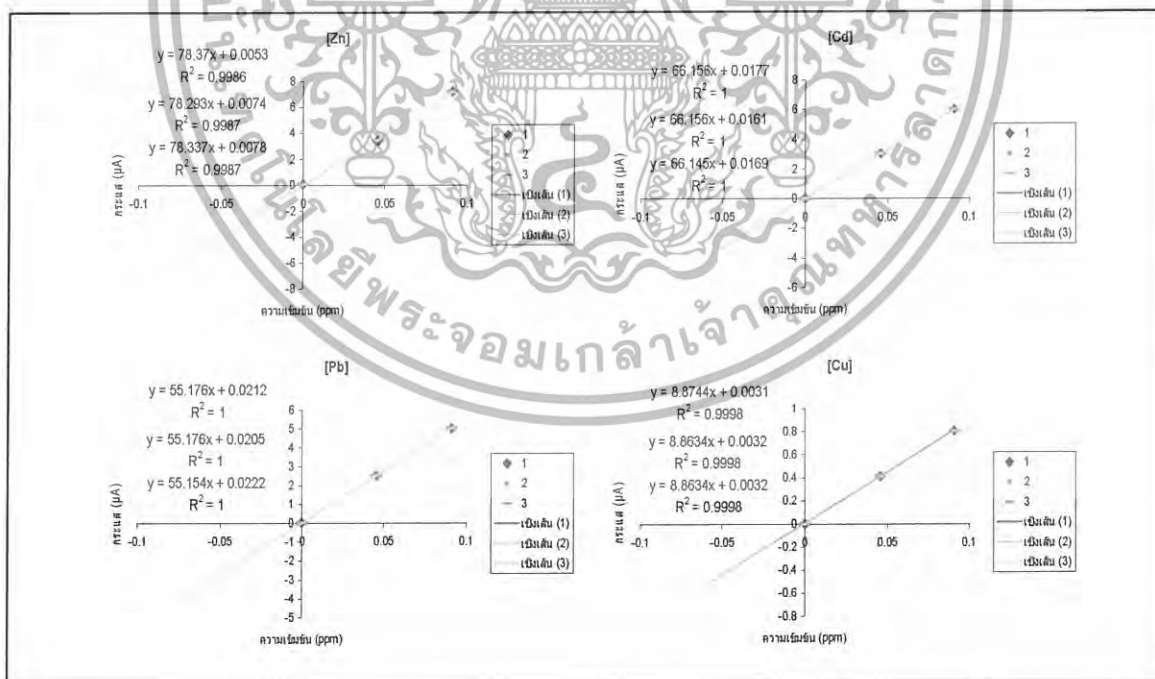
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 40 นาที



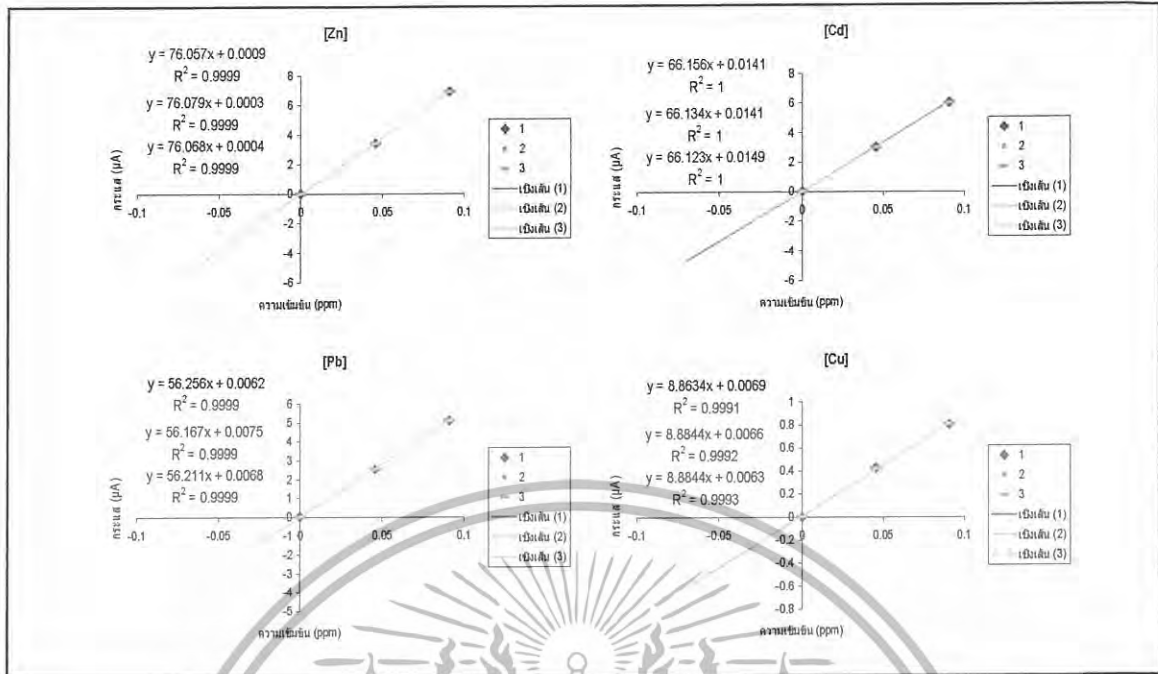
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 200°C เป็นเวลา 10 นาที



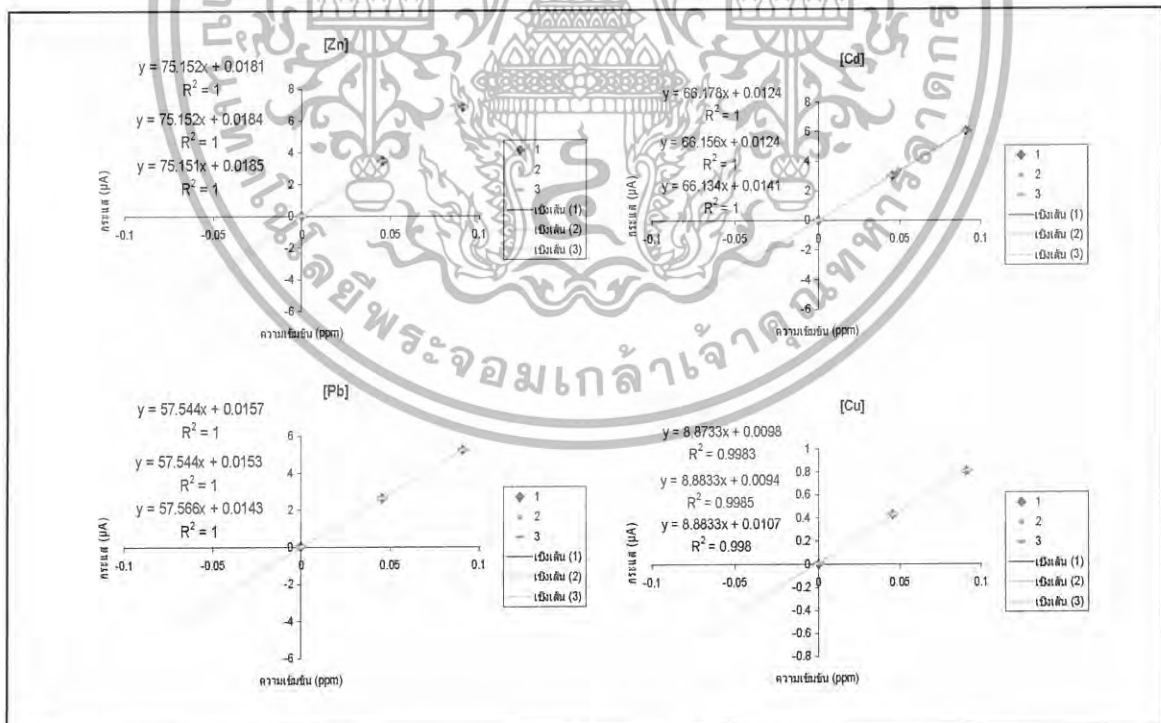
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 300°C เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 90 นาที



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสม อย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่วิเคราะห์ได้จากเนื้อเงาะตัวอย่าง (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 mL เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลาย บัฟเฟอร์ 1 mL) โดยใช้วิธีการย่อยแบบ wet - digestion (n = 3) ซึ่งคำนวณได้จากกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.5 - 4.8

สถานะที่ใช้ใน		ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)			
การย่อยตัวอย่าง		Zn	Cd	Pb	Cu
Wet - digestion	H ₂ SO ₄ 100°C 20 นาที	4.970±0.031	0.733±0.032	0.569±0.009	4.92±0.031
	H ₂ SO ₄ 100°C 40 นาที	4.650±0.011	0.708±0.015	0.021±0.002	0.424±0.027
	H ₂ SO ₄ 200°C 10 นาที	2.560±0.051	0.288±0.008	0.094±0.002	0.878±1.040
	H ₂ SO ₄ 300°C 10 นาที	2.160±0.007	0.343±0.015	0.078±0.001	0.887±0.039

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่วิเคราะห์ได้จากส่วนของน้ำเชื่อมตัวอย่าง (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 mL เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับ สารละลายบัฟเฟอร์ 1 mL) โดยใช้วิธีการย่อยแบบ wet – digestion และ UV - digestion (n = 3) ซึ่งคำนวณได้จากกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.9 - 4.12

สถานะที่ใช้ใน		ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)			
การย่อยตัวอย่าง		Zn	Cd	Pb	Cu
Wet - digestion	H ₂ SO ₄ 100°C 20 นาที	4.660±0.008	0.341±0.007	0.395±0.014	4.700±0.009
	H ₂ SO ₄ 100°C 40 นาที	5.510±0.045	0.291±0.007	0.169±0.009	6.270±0.011
	H ₂ SO ₄ 200°C 10 นาที	2.920±0.004	0.241±0.007	0.226±0.018	2.500±0.030
	H ₂ SO ₄ 300°C 10 นาที	5.420±0.027	0.200±0.001	0.385±0.009	1.760±0.133
	HCl 90°C 60 นาที	0.087±0.017	0.255±0.012	0.386±0.016	0.357±0.007
UV - digestion	HCl 90°C 90 นาที	0.007±0.004	0.217±0.007	0.122±0.012	0.743±0.035
	HCl 90°C 120 นาที	0.244±0.003	0.196±0.015	0.262±0.013	1.120±0.075

4.3.1 การศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์

4.3.1.1 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection) และขีดจำกัดของการ

ตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation) ของผลไม้กระป๋องตัวอย่างทั้งส่วนของเนื้อและส่วนของน้ำเชื่อมให้ผลดังตารางที่ 4.5 พบว่ามีขีดจำกัดของการตรวจพบ และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณต่ำมากในระดับ ppb

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection) และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation) ของวิธีการวิเคราะห์ ที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน

ตัวอย่าง	โลหะหนัก	ส่วนเนื้อ (ng/g)		ส่วนน้ำเชื่อม (ng/L)	
		LOD	LOQ	LOD	LOQ
เงาะกระป๋อง ในน้ำเชื่อม	Zn	0.912	3.01	1.18	3.90
	Cd	0.091	0.300	0.165	0.545
	Pb	0.230	0.759	34.800	115
	Cu	0.912	3.01	67.200	222
ลิ้นจี่กระป๋อง ในน้ำเชื่อม	Zn	0.597	1.97	1.32	4.34
	Cd	0.209	0.688	59.800	197
	Pb	0.144	0.475	0.933	3.08
	Cu	1.27	4.19	5.20	17.2
ลำไยกระป๋อง ในน้ำเชื่อม	Zn	1.46	4.83	0.153	0.505
	Cd	49.800	164	0.078	0.257
	Pb	0.926	3.05	0.189	0.624
	Cu	4.90	16.2	1.59	5.24

ตัวอย่างการคำนวณ

แสดงการคำนวณค่า $S_{y/x}$ ของสังกะสีในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี

wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

x_i (ppm)	y_i (μA)	$y_{i \text{ เฉลี่ย}}$ (μA)	\hat{y}_i (μA)	$(y_i - \hat{y}_i)^2$	$\Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2$	$S_{y/x}$
0	0.297				0.000352	0.018761
	0.301	0.299	0.3047	0.0000324		
	0.299					
0.0454	3.121				0.000352	0.018761
	3.122	3.121667	3.105698	0.000255		
	3.122					
0.0908	5.899				0.000352	0.018761
	5.899	5.898667	5.906697	0.0000644		
	5.898					

แสดงการคำนวณค่า $S_{y/x}$ ของสังกะสีในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โดยคิดจากระดับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 0 ppm

ค่า $\hat{y} = mx + c$ จากกราฟมาตรฐานรูปที่ ข.1 [Zn] No.1 มีสมการเส้นตรง $y = 61.696x + 0.3047$ แทน x ด้วย $x_i = 0$ จะได้ $\hat{y} = (61.696)(0) + 0.3047 = 0.3047$

$$s_{y/x} = \sqrt{\frac{\Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{0.000352}{3-2}} = 0.018761$$

$$LOD = \frac{3s_{y/x}}{\text{slope}} = \frac{(3)0.018761}{61.696} = 0.000912 \mu\text{g/g} = 0.912 \text{ ng/g}$$

$$LOQ = 3.3LOD = 3.3 \times 0.000912 = 0.0030096 \mu\text{g/g} = 3.0096 \text{ ng/g}$$

4.3.1.2 ปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง) ในผลไม้กระป๋องตัวอย่างที่วิเคราะห์ด้วย DPASV

จากการตรวจวัดผลไม้มันกระป๋องตัวอย่างด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 (คิดจากตัวอย่าง 1 กรัม) พบว่ามี recovery เฉลี่ยอยู่ในช่วง 91.82 - 99.50 และมี %RSD ที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐานเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากมีค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection) และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation) ของวิธีการวิเคราะห์ที่ต่ำในระดับ ppm พร้อมทั้งมีความแม่นยำ และความเที่ยงตรงสูง



ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อเยื่อพืชซึ่งคิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 g เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายภายในเฟลอร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ($n=3$)

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสารมาตรฐาน (ppb)	การย่อยครั้งที่ 1			การย่อยครั้งที่ 2		
		ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery	ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery
Zn	0.0	4.97±0.031	0.626		4.68±0.007	0.151	
	45.4	45.6±0.008	0.018	91.99	45.8±0.005	0.011	92.58
	90.8	90.7±0.004	0.005		90.6±0.003	0.004	
Cd	0.0	0.733±0.0316	4.31		0.658±0.006	0.983	
	45.4	45.4±0.0124	0.027	98.78	45.4±0.006	0.014	98.93
	90.8	90.8±0.007	0.007		90.8±0.004	0.005	
Pb	0.0	0.569±0.009	1.67		0.506±0.012	2.37	
	45.4	45.5±0.004	0.009	99.11	45.4±0.009	0.021	99.17
	90.8	90.8±0.001	0.001		90.8±0.005	0.005	
Cu	0.0	4.92±0.031	0.632		5.26±0.180	3.41	
	45.4	45.6±0.008	0.018	92.07	46.8±0.183	0.391	92.53
	90.8	90.7±0.004	0.005		90.3±0.169	0.187	

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่งส่วนน้ำเชื่อมซึ่ง (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 mL เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายยาบัพเฟอร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3)

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสารมาตรฐาน (ppb)	การย่อยครั้งที่ 1			การย่อยครั้งที่ 2		
		ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery	ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery
Zn	0.0	4.66±0.008	0.170		4.41±0.008	0.188	
	45.4	45.7±0.003	0.006	92.57	45.6±0.006	0.014	92.88
	90.8	90.6±0.002	0.002		90.7±0.003	0.003	
Cd	0.0	0.341±0.007	2.08		0.307±0.000	0.019	
	45.4	45.4±0.003	0.006	99.43	45.4±0.000	0.00002	99.50
	90.8	90.8±0.001	0.002		90.8±0.000	0.00002	
Pb	0.0	0.395±0.014	3.46		0.310±0.002	0.665	
	45.4	45.5±0.012	0.027	99.41	45.4±0.003	0.007	99.49
	90.8	90.8±0.007	0.007		90.8±0.002	0.002	
Cu	0.0	4.71±0.009	0.183		4.75±0.019	0.408	
	45.4	45.0±0.003	0.006	91.89	45.0±0.019	0.041	91.82
	90.8	91.0±0.002	0.002		91.0±0.009	0.010	

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่งส่วนเนื้อดินที่ (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 g เท็จจากในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายยาฟฟเฟอร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H₂SO₄ ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3)

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสารมาตรฐาน (ppb)	การย่อยครั้งที่ 1			การย่อยครั้งที่ 2		
		ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery	ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery
Zn	0.0	6.07±0.005	0.079		6.05±0.007	0.110	
	45.4	45.2±0.012	0.026	87.91	45.3±0.007	0.015	86.16
	90.8	90.9±0.005	0.006		90.9±0.003	0.003	
Cd	0.0	0.851±0.009	0.999		0.812±0.008	0.932	
	45.4	45.3±0.003	0.007	96.51	45.4±0.007	0.016	94.51
	90.8	90.8±0.002	0.002		90.8±0.003	0.003	
Pb	0.0	0.630±0.008	1.34		0.613±0.012	1.97	
	45.4	45.4±0.003	0.007	96.95	45.4±0.009	0.021	94.84
	90.8	90.8±0.002	0.002		90.8±0.005	0.005	
Cu	0.0	3.34±2.40	0.718		5.40±0.012	0.229	
	45.4	47.2±2.66	5.62	95.32	46.7±0.006	0.013	88.27
	90.8	92.3±2.87	3.11		90.2±0.003	0.003	

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่ง (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 mL เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายยาบีเฟออร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H₂SO₄ ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV

ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3)

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสารมาตรฐาน (ppb)	การย่อยครั้งที่ 1			การย่อยครั้งที่ 2		
		ความเข้มข้น _{เฉลี่ย} (ppb)	%RSD	%recovery	ความเข้มข้น _{เฉลี่ย} (ppb)	%RSD	%recovery
Zn	0.0	5.39±0.081	1.51		5.11±0.003	0.065	
	45.4	45.5±0.053	0.115	89.24	45.3±0.005	0.011	87.69
	90.8	90.8±0.027	0.030		90.8±0.003	0.004	
Cd	0.0	0.333±0.000	0.019		0.316±0.008	2.49	
	45.4	45.4±0.000	0.00002	97.40	45.4±0.003	0.008	95.34
	90.8	90.8±0.000	0.00002		90.8±0.001	0.0009	
Pb	0.0	0.450±0.009	1.91		0.375±0.011	2.80	
	45.4	45.5±0.016	0.036	97.25	45.4±0.000	0.00	95.22
	90.8	90.8±0.008	0.009		90.8±0.000	0.00	
Cu	0.0	4.77±0.009	0.193		4.76±0.005	0.107	
	45.4	45.0±0.000	0.000	89.81	45.0±0.009	0.020	87.96
	90.8	91.0±0.000	0.000		91.2±0.005	0.005	

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่งส่วนเนื้อถ้ำ (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 g เจือจางในน้ำ 20 mL ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H₂SO₄ ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3)

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสารมาตรฐาน (ppb)	การย่อยครั้งที่ 1			การย่อยครั้งที่ 2		
		ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery	ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery
Zn	0.0	4.97±0.005	0.109		4.67±0.002	0.050	
	45.4	45.6±0.038	0.084	90.00	45.8±0.003	0.006	88.73
	90.8	90.6±0.078	0.086		90.6±0.002	0.002	
Cd	0.0	0.769±0.000	0.000		0.663±0.002	0.318	
	45.4	45.4±0.000	0.000	96.67	45.4±0.008	0.019	94.80
	90.8	90.8±0.000	0.000		90.8±0.008	0.009	
Pb	0.0	0.620±0.016	2.51		0.628±0.016	2.55	
	45.4	45.4±0.006	0.014	96.97	45.4±0.016	0.034	94.81
	90.8	90.8±0.003	0.003		90.8±0.007	0.008	
Cu	0.0	4.89±0.004	0.092		5.50±0.005	0.095	
	45.4	45.7±0.008	0.018	90.18	46.6±0.012	0.025	88.09
	90.8	90.7±0.004	0.005		90.2±0.005	0.006	

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (คิดจากสารละลายตัวอย่าง 1 mL เจือจางในน้ำ 20 mL ผลพบกับสารละลายบัพฟเฟอร์ 1 mL) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H₂SO₄ ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3)

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสารมาตรฐาน (ppb)	การย่อยครั้งที่ 1			การย่อยครั้งที่ 2		
		ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery	ความเข้มข้น (ppb)	%RSD	%recovery
Zn	0.0	5.54±0.085	1.54		5.20±0.086	1.65	
	45.4	45.4±0.032	0.070	88.91	45.3±0.027	0.060	87.51
	90.8	90.8±0.016	0.017		90.9±0.001	0.015	
Cd	0.0	0.359±0.000	0.019		0.371±0.000	0.019	
	45.4	45.4±0.000	0.00002	97.35	45.4±0.000	0.00003	95.23
	90.8	90.8±0.000	0.00002		90.8±0.000	0.00002	
Pb	0.0	0.461±0.006	1.36		0.385±0.001	0.260	
	45.4	45.5±0.001	0.032	97.23	45.4±0.004	0.009	95.20
	90.8	90.8±0.006	0.007		90.8±0.001	0.001	
Cu	0.0	4.76±0.001	0.029		4.74±0.013	0.273	
	45.4	45.0±0.003	0.006	89.83	45.0±0.006	0.014	88.01
	90.8	91.0±0.002	0.002		91.0±0.003	0.003	

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน

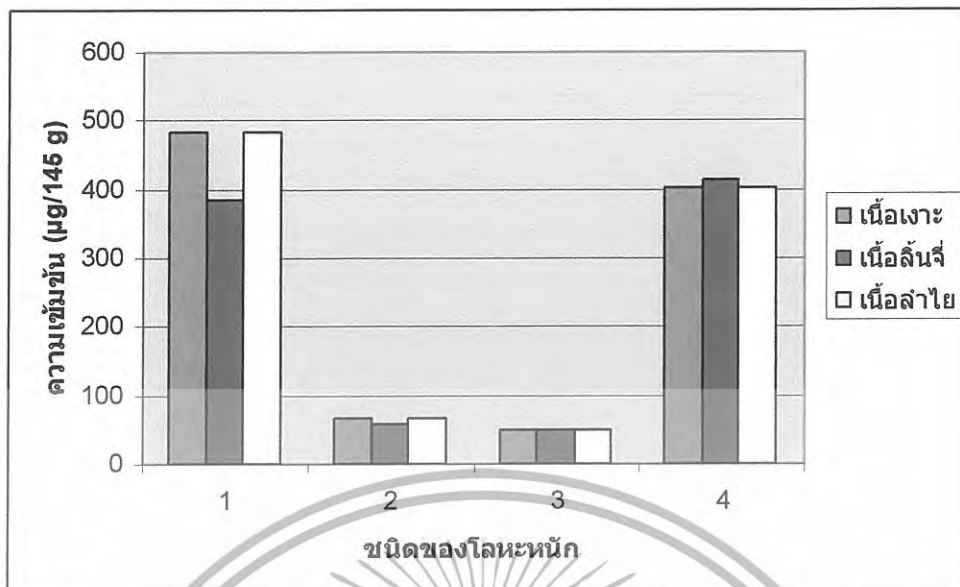
ตัวอย่าง	โลหะหนัก	ปริมาณในส่วนของเนื้อ (mg/kg) (n=3)	
		การย่อยครั้งที่ 1	การย่อยครั้งที่ 2
เงาะกระป๋องในน้ำเชื่อม	Zn	2.7344±0.0171	2.7517±0.0050
	Cd	0.4033±0.0175	0.4120±0.0095
	Pb	0.3131±0.0054	0.2834±0.0041
	Cu	2.7077±0.0172	2.2680±0.0042
ลิ้นจี่กระป๋องในน้ำเชื่อม	Zn	3.3394±0.0026	3.3248±0.0037
	Cd	0.4680±0.0047	0.4466±0.0042
	Pb	0.3465±0.0046	0.3369±0.0066
	Cu	1.8380±1.3198	2.9722±0.0068
ลำไยกระป๋องในน้ำเชื่อม	Zn	2.7330±0.0030	2.5693±0.0013
	Cd	0.4228±0.0000	0.3645±0.0012
	Pb	0.3408±0.0086	0.3453±0.0088
	Cu	2.6921±0.0025	3.0271±0.0029

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน

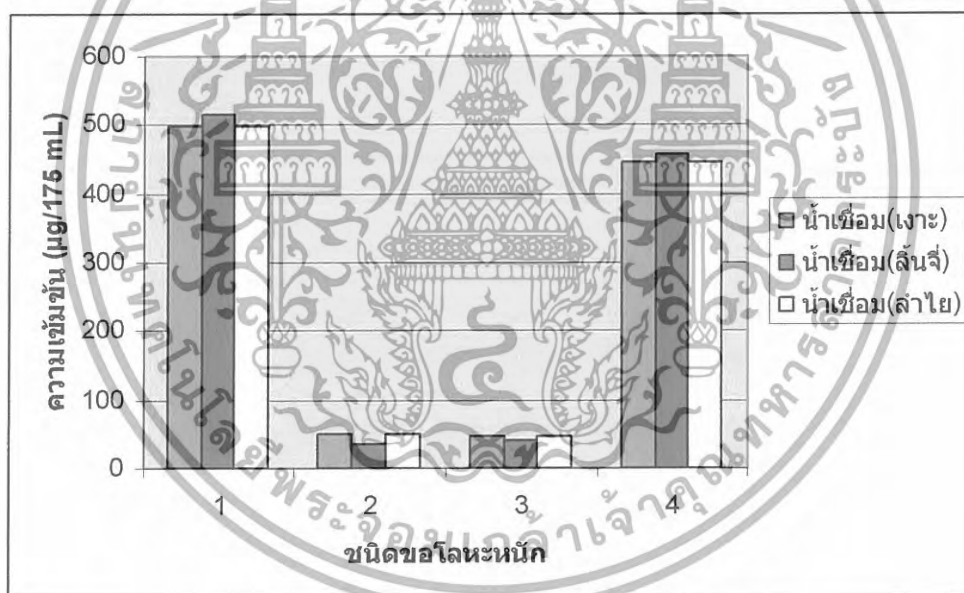
ตัวอย่าง	โลหะหนัก	ปริมาณในส่วนของน้ำเชื่อม (mg/L) (n=3)	
		การย่อยครั้งที่ 1	การย่อยครั้งที่ 2
เงาะกระป๋อง ในน้ำเชื่อม	Zn	2.5606±0.0044	2.5606±0.0044
	Cd	0.1876±0.0038	0.1910±0.0121
	Pb	0.2171±0.0074	0.2160±0.0113
	Cu	2.5879±0.0047	2.5901±0.0037
ลิ้นจี่กระป๋อง ในน้ำเชื่อม	Zn	2.9669±0.0447	2.8096±0.0018
	Cd	0.1831±0.0000	0.1740±0.0043
	Pb	0.2478±0.0047	0.2060±0.0058
	Cu	2.6212±0.0051	2.6187±0.0028
ลำไยกระป๋อง ในน้ำเชื่อม	Zn	3.0455±0.0468	2.8625±0.0473
	Cd	0.1973±0.0000	0.2041±0.0000
	Pb	0.2534±0.0035	0.2120±0.0006
	Cu	2.6162±0.0007	2.6053±0.0071

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างทั้งกระป๋อง โดยแยกเป็นจากตัวอย่างส่วนเนื้อ 145 g และส่วนน้ำเชื่อม 175 mL

ตัวอย่าง	โลหะหนัก	ปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด	
		ส่วนเนื้อเงาะ (μg)	ส่วนน้ำเชื่อม (μg)
เงาะกระป๋องในน้ำเชื่อม	Zn	483.1530 \pm 1.4946	498.2395 \pm 23.2633
	Cd	66.3050 \pm 2.1948	48.5732 \pm 23.3745
	Pb	49.5474 \pm 0.9787	45.7117 \pm 4.6507
	Cu	403.2394 \pm 39.2247	445.3709 \pm 19.5923
ลีนจี้กระป๋องในน้ำเชื่อม	Zn	384.4172 \pm 16.7938	516.9480 \pm 22.6379
	Cd	57.0845 \pm 5.9764	35.1205 \pm 0.8368
	Pb	49.7434 \pm 0.4668	40.7282 \pm 5.1255
	Cu	414.6436 \pm 34.3508	456.8879 \pm 1.3485
ลำไยกระป๋องในน้ำเชื่อม	Zn	483.1530 \pm 1.4946	498.2395 \pm 23.2633
	Cd	66.3050 \pm 2.1948	48.5732 \pm 23.3745
	Pb	49.5474 \pm 0.9787	45.7117 \pm 4.6507
	Cu	403.2394 \pm 39.2247	445.3709 \pm 19.5923



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ 1=ตังกะสี, 2=แคดเมียม, 3=ตะกั่ว, 4=ทองแดง ที่วัดได้จากตัวอย่างส่วนเนื้อที่บรรจุใน 1 กระป๋อง (145 g)



รูปที่ 4.17 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดคือ 1=ตังกะสี, 2=แคดเมียม, 3=ตะกั่ว, 4=ทองแดง ที่วัดได้จากตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่บรรจุใน 1 กระป๋อง (175 mL)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนัก 4 ชนิด คือ สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และ ทองแดง ในผลไม้กระป๋องตัวอย่างทั้งส่วนเนื้อผลไม้ และส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยสลายด้วยวิธี wet digestion ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวย่อยสลาย และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดส์ แล้วให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธีดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอโนดิกสทริปปิงโวลแทนเมทรีร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ ผสมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์โพแทสเซียมคลอไรด์และสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตต pH 4.6 โดยป้อนศักย์ไฟฟ้าคงที่ที่ -1100 mV เป็นเวลา 60 วินาที และทิ้งให้สมมูล 10 วินาที วัดกระแสไฟฟ้าของพีกที่ศักย์ครึ่งเซลล์ ($E_{1/2}$) ของ Zn (-980 mV) Cd (-610 mV) Pb (-410 mV) และ Cu (-170 mV) ทำการวิเคราะห์ที่ 2 วันต่างกัน สามารถวัดเชิงปริมาณ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นของกราฟการเติมสารมาตรฐานที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.9995 สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างผลไม้กระป๋อง พบว่า % recovery สังกะสี อยู่ในช่วง 86.16 – 92.88 แคดเมียม อยู่ในช่วง 94.80 – 98.93 ตะกั่ว อยู่ในช่วง 94.81 – 99.17 และทองแดง อยู่ในช่วง 87.96 – 95.32 ผลการวิเคราะห์ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (โดยใช้ Horwitz equation ค่า Horrat < 2) ผลการศึกษา แสดงว่า วิธีการวิเคราะห์นี้เป็นวิธีที่มีสภาพไว และความเที่ยงสูง เหมาะสมกับงานควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋องในอุตสาหกรรมและสำหรับปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่วิเคราะห์ได้ในผลไม้กระป๋องในน้ำเชื่อม ถือเป็นปริมาณที่ต่ำมากในระดับ ppm ต่อ 1 กระป๋อง สำหรับเงาะกระป๋อง ส่วนเนื้อไม้มีสังกะสี 2.7344 ± 0.0171 mg/kg, แคดเมียม 0.4033 ± 0.0175 mg/kg, ตะกั่ว 0.3131 ± 0.0054 mg/kg, ทองแดง 2.7077 ± 0.0172 mg/kg ส่วนน้ำเชื่อมมีสังกะสี 2.5606 ± 0.0044 mg/kg, แคดเมียม 0.1876 ± 0.0038 mg/kg, ตะกั่ว 0.2171 ± 0.0074 mg/kg, ทองแดง 2.5879 ± 0.0047 mg/kg สำหรับลิ้นจี่ กระป๋องส่วนเนื้อไม้มีสังกะสี 3.3394 ± 0.0026 mg/kg, แคดเมียม 0.4680 ± 0.0047 mg/kg, ตะกั่ว 0.3465 ± 0.0046 mg/kg, ทองแดง 1.8380 ± 1.3198 mg/kg ส่วนน้ำเชื่อมมีสังกะสี 2.9669 ± 0.0447 mg/kg, แคดเมียม 0.1831 ± 0.0000 mg/kg, ตะกั่ว 0.2478 ± 0.0047 mg/kg, ทองแดง 2.6212 ± 0.0051 mg/kg สำหรับลำไยกระป๋องส่วนเนื้อไม้มีสังกะสี 2.7330 ± 0.0030 mg/kg, แคดเมียม 0.4228 ± 0.0000 mg/kg, ตะกั่ว 0.3408 ± 0.0086 mg/kg, ทองแดง 2.6921 ± 0.0025 mg/kg ส่วนน้ำเชื่อมมีสังกะสี 3.0455 ± 0.0468 mg/kg, แคดเมียม 0.1973 ± 0.0000 mg/kg, ตะกั่ว 0.2534 ± 0.0035 mg/kg, ทองแดง 2.6162 ± 0.0007 mg/kg ซึ่งถือว่ายังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับสถานะที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างอินที่จริงแล้วควรใช้การย่อยแบบ microwave digestion เนื่องจากเป็นการย่อยแบบปิดที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ทำการย่อย และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการย่อยแบบ wet digestion ที่ใช้กรดซัลฟิวริก

และหากเป็นไปได้ ควรที่จะศึกษาเกี่ยวกับผลของเวลาที่เปลี่ยนไป (1, 3, 6 และ 12 เดือน เป็นต้น) ต่อปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างผลไม้กระป๋องว่ามีปริมาณที่เพิ่มขึ้นหรือไม่ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค



บรรณานุกรม

- กองการศึกษาเคมี กรมวิทยาศาสตร์. (2544, กันยายน). **การตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีการวิเคราะห์ทดสอบ (Method Validation)**. เอกสารประกอบการฝึกอบรมของศูนย์ฝึกอบรมและพัฒนาเทคนิคทางวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์บริการ
- คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. [ม.ป.ป.]. **วิตามินและเกลือแร่**. ค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2550, จาก <http://www.geocities.com/vitandimin.htm>
- ประกาย บริบูรณ์. (2541). **รายงานการทดสอบประสิทธิภาพห้องปฏิบัติการวิเคราะห์โลหะตะกั่วและแคดเมียม ในอาหารของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข
- รัตยา รัตนพลทวีชัย, วชิรานี วงศ์ก้อม และ รศ.ดร. ลีณา สุนทรสุข. (2547). **การวิเคราะห์ยาอิริโทรมัยซินสเตรทโดยวิธีทางสเปกโตรโฟโตเมตรี**. ค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2549, จาก http://www.irpus.org/project_reward_list.php?p_cat_id=4&p_year=2547
- Metrohm. [n.d.]. **Determination of lead, cadmium and copper in foodstuffs, waste water and sewage sludge by anodic stripping voltammetry after digestion**, (113/2 e), Retrived November 20, 2006, from <http://www.metrohm.com/applications/lit/industries/water.htm>
- Univ.-Prof. Dr. Günter (2001). **Introduction to Polarography and Voltammetry** (Metrohm, Trans.) Switzerland: Metrohm
- Univ.-Prof. Dr. Günter (2001). **Practical Voltammetry** (Metrohm, Trans.) Switzerland: Metrohm



ตาราง ก.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจด์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Zn	0	0.421	0.124	0.297	0.401	0.124	0.277
		0.425	0.124	0.301	0.402	0.124	0.278
		0.423	0.124	0.299	0.402	0.124	0.278
	0.0454	3.245	0.124	3.121	3.241	0.124	3.117
		3.246	0.124	3.122	3.241	0.124	3.117
		3.246	0.124	3.122	3.241	0.124	3.117
	0.0908	6.023	0.124	5.899	6.011	0.124	5.887
		6.023	0.124	5.899	6.011	0.124	5.887
		6.022	0.124	5.898	6.012	0.124	5.888

ตาราง ก.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจด์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cd	0	0.042	0.003	0.039	0.039	0.003	0.036
		0.043	0.003	0.04	0.039	0.003	0.036
		0.046	0.003	0.043	0.038	0.003	0.035
	0.0454	2.542	0.003	2.539	2.531	0.003	2.528
		2.542	0.003	2.539	2.531	0.003	2.528
		2.542	0.003	2.539	2.532	0.003	2.529
	0.0908	5.042	0.003	5.039	5.021	0.003	5.018
		5.042	0.003	5.039	5.021	0.003	5.018
		5.042	0.003	5.039	5.022	0.003	5.019

ตาราง ก.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.032	0.002	0.03	0.03	0.002	0.028
		0.032	0.002	0.03	0.03	0.002	0.028
		0.031	0.002	0.029	0.029	0.002	0.027
	0.0454	2.542	0.002	2.54	2.532	0.002	2.53
		2.542	0.002	2.54	2.531	0.002	2.529
		2.542	0.002	2.54	2.531	0.002	2.529
	0.0908	5.042	0.002	5.04	5.031	0.002	5.029
		5.042	0.002	5.04	5.032	0.002	5.03
		5.042	0.002	5.04	5.032	0.002	5.03

ตาราง ก.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.297	0.003	0.294	0.285	0.003	0.282
		0.301	0.003	0.298	0.286	0.003	0.283
		0.299	0.003	0.296	0.286	0.003	0.283
	0.0454	3.121	0.003	3.118	3.119	0.003	3.116
		3.122	0.003	3.119	3.118	0.003	3.115
		3.122	0.003	3.119	3.117	0.003	3.114
	0.0908	5.899	0.003	5.896	5.722	0.003	5.719
		5.899	0.003	5.896	5.721	0.003	5.718
		5.898	0.003	5.895	5.721	0.003	5.718

ตาราง ก.5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 40 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 40 min		
		I (μA)		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$
Zn	0	0.411	0.124	0.287
		0.412	0.124	0.288
		0.412	0.124	0.288
	0.0454	3.411	0.124	3.287
		3.412	0.124	3.288
		3.411	0.124	3.287
	0.0908	6.322	0.124	6.198
		6.322	0.124	6.198
		6.322	0.124	6.198

ตาราง ก.6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 40 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 40 min		
		I (μA)		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cd	0	0.044	0.003	0.041
		0.042	0.003	0.039
		0.042	0.003	0.039
	0.0454	2.541	0.003	2.538
		2.541	0.003	2.538
		2.542	0.003	2.539
	0.0908	5.045	0.003	5.042
		5.045	0.003	5.042
		5.042	0.003	5.039

ตาราง ก.7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 40 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 40 min		
		I (μA)		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$
Pb	0	0.038	0.035	0.003
		0.038	0.035	0.003
		0.038	0.035	0.003
	0.0454	2.544	0.035	2.509
		2.544	0.035	2.509
		2.544	0.035	2.509
	0.0908	5.061	0.035	5.026
		5.061	0.035	5.026
		5.062	0.035	5.027

ตาราง ก.8 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 40 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 40 min		
		I (μA)		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cu	0	0.004	0.003	0.001
		0.004	0.003	0.001
		0.004	0.003	0.001
	0.0454	0.511	0.003	0.508
		0.512	0.003	0.509
		0.512	0.003	0.509
0.0908	0.998	0.003	0.995	
	0.997	0.003	0.994	
	0.997	0.003	0.994	

ตาราง ก.9 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $200^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 200°C 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.255	0.024	0.231
		0.255	0.024	0.231
		0.256	0.024	0.232
	0.0454	3.077	0.024	3.053
		3.078	0.024	3.054
		3.078	0.024	3.054
	0.0908	6.472	0.024	6.448
		6.173	0.024	6.149
		6.173	0.024	6.149

ตาราง ก.10 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $200^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 200°C 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.012	0.0005	0.0115
		0.012	0.0005	0.0115
		0.012	0.0005	0.0115
	0.0454	2.541	0.0005	2.5405
		2.541	0.0005	2.5405
		2.542	0.0005	2.5415
	0.0908	5.045	0.0005	5.0445
		5.045	0.0005	5.0445
		5.042	0.0005	5.0415

ตาราง ก.11 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $200^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $200^\circ C$ 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.002	0.0009	0.0011
		0.002	0.0009	0.0011
		0.002	0.0009	0.0011
	0.0454	2.544	0.0009	2.5431
		2.544	0.0009	2.5431
		2.544	0.0009	2.5431
	0.0908	5.061	0.0009	5.0601
		5.061	0.0009	5.0601
		5.062	0.0009	5.0611

ตาราง ก.12 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $200^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $200^\circ C$ 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.004	0.0004	0.0036
		0.005	0.0004	0.0046
		0.003	0.0004	0.0026
	0.0454	0.489	0.0004	0.4886
		0.489	0.0004	0.4886
		0.488	0.0004	0.4876
0.0908	0.876	0.0004	0.8756	
	0.976	0.0004	0.9756	
	0.977	0.0004	0.9766	

ตาราง ก.13 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $300^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $300^\circ C$ 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.244	0.024	0.22
		0.245	0.024	0.221
		0.245	0.024	0.221
	0.0454	3.112	0.024	3.088
		3.112	0.024	3.088
		3.113	0.024	3.089
	0.0908	6.423	0.024	6.399
		6.423	0.024	6.399
		6.425	0.024	6.401

ตาราง ก.14 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลงค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $300^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $300^\circ C$ 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.015	0.0005	0.0145
		0.016	0.0005	0.0155
		0.016	0.0005	0.0155
	0.0454	2.541	0.0005	2.5405
		2.541	0.0005	2.5405
		2.542	0.0005	2.5415
0.0908	5.045	0.0005	5.0445	
	5.045	0.0005	5.0445	
	5.042	0.0005	5.0415	

ตาราง ก.15 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $300^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $300^\circ C$ 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.001	0.0009	0.0001
		0.001	0.0009	0.0001
		0.001	0.0009	0.0001
	0.0454	2.544	0.0009	2.5431
		2.544	0.0009	2.5431
		2.544	0.0009	2.5431
	0.0908	5.061	0.0009	5.0601
		5.061	0.0009	5.0601
		5.062	0.0009	5.0611

ตาราง ก.16 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $300^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $300^\circ C$ 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.0032	0.0004	0.0028
		0.0032	0.0004	0.0028
		0.0032	0.0004	0.0028
	0.0454	0.452	0.0004	0.4516
		0.452	0.0004	0.4516
		0.452	0.0004	0.4516
0.0908	0.869	0.0004	0.8686	
	0.867	0.0004	0.8666	
	0.865	0.0004	0.8646	

ตาราง ก.17 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.402	0.124	0.278	0.391	0.124	0.267
		0.403	0.124	0.279	0.391	0.124	0.267
		0.402	0.124	0.278	0.392	0.124	0.268
	0.0454	3.243	0.124	3.119	3.224	0.124	3.1
		3.243	0.124	3.119	3.225	0.124	3.101
		3.243	0.124	3.119	3.225	0.124	3.101
	0.0908	6.024	0.124	5.9	6.021	0.124	5.897
		6.024	0.124	5.9	6.021	0.124	5.897
		6.024	0.124	5.9	6.022	0.124	5.898

ตาราง ก.18 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.025	0.003	0.022	0.023	0.003	0.02
		0.026	0.003	0.023	0.023	0.003	0.02
		0.026	0.003	0.023	0.023	0.003	0.02
	0.0454	3.026	0.003	3.023	3.025	0.003	3.022
		3.025	0.003	3.022	3.024	0.003	3.021
		3.025	0.003	3.022	3.024	0.003	3.021
	0.0908	6.027	0.003	6.024	6.025	0.003	6.022
		6.025	0.003	6.022	6.023	0.003	6.02
		6.025	0.003	6.022	6.023	0.003	6.02

ตาราง ก.19 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจด์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.032	0.012	0.02	0.029	0.012	0.017
		0.032	0.012	0.02	0.029	0.012	0.017
		0.031	0.012	0.019	0.029	0.012	0.017
	0.0454	2.544	0.012	2.532	2.532	0.012	2.52
		2.542	0.012	2.53	2.532	0.012	2.52
		2.542	0.012	2.53	2.533	0.012	2.521
	0.0908	5.041	0.012	5.029	5.035	0.012	5.023
		5.041	0.012	5.029	5.035	0.012	5.023
		5.041	0.012	5.029	5.036	0.012	5.024

ตาราง ก.20 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจด์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.311	0.003	0.308	0.315	0.003	0.312
		0.311	0.003	0.308	0.315	0.003	0.312
		0.312	0.003	0.309	0.312	0.003	0.309
	0.0454	3.122	0.003	3.119	3.125	0.003	3.122
		3.123	0.003	3.12	3.125	0.003	3.122
		3.123	0.003	3.12	3.126	0.003	3.123
	0.0908	6.011	0.003	6.008	6.015	0.003	6.012
		6.012	0.003	6.009	6.015	0.003	6.012
		6.012	0.003	6.009	6.014	0.003	6.011

ตาราง ก.21 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 40 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 40 min		
		I (μA)		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$
Zn	0	0.301	0.124	0.177
		0.302	0.124	0.178
		0.302	0.124	0.508
	0.0454	3.88	0.124	3.756
		3.88	0.124	3.756
		3.87	0.124	3.746
	0.0908	6.32	0.124	6.196
		6.32	0.124	6.196
		6.33	0.124	6.206

ตาราง ก.22 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 40 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 40 min		
		I (μA)		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cd	0	0.022	0.003	0.019
		0.022	0.003	0.019
		0.021	0.003	0.018
	0.0454	3.026	0.003	3.023
		3.025	0.003	3.022
		3.025	0.003	3.022
0.0908	6.027	0.003	6.024	
	6.025	0.003	6.022	
	6.025	0.003	6.022	

ตาราง ก.23 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 40 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 40 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.015	0.012	0.003
		0.015	0.012	0.003
		0.016	0.012	0.004
	0.0454	2.834	0.012	2.822
		2.835	0.012	2.823
		2.835	0.012	2.823
	0.0908	5.611	0.012	5.599
		5.612	0.012	5.6
		5.612	0.012	5.6

ตาราง ก.24 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 40 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 40 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.311	0.003	0.308
		0.311	0.003	0.308
		0.312	0.003	0.309
	0.0454	4.122	0.003	4.119
		4.124	0.003	4.121
		4.125	0.003	4.122
	0.0908	7.011	0.003	7.008
		7.011	0.003	7.008
		7.012	0.003	7.009

ตาราง ก.25 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 40 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 40 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.044	0.024	0.02
		0.045	0.024	0.021
		0.045	0.024	0.021
	0.0454	3.544	0.024	3.52
		3.542	0.024	3.518
		3.544	0.024	3.52
	0.0908	6.012	0.024	5.988
		6.013	0.024	5.989
		6.014	0.024	5.99

ตาราง ก.26 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $200^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $200^\circ C$ 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
0	0	0.015	0.0005	0.0145
		0.015	0.0005	0.0145
		0.016	0.0005	0.0155
0.0454	0.0454	3.023	0.0005	3.0225
		3.022	0.0005	3.0215
		3.022	0.0005	3.0215
0.0908	0.0908	6.024	0.0005	6.0235
		6.022	0.0005	6.0215
		6.022	0.0005	6.0215

ตาราง ก.27 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $200^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 200°C 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.002	0.0009	0.0011
		0.001	0.0009	0.0001
		0.001	0.0009	0.0001
	0.0454	2.544	0.0009	2.5431
		2.542	0.0009	2.5411
		2.542	0.0009	2.5411
		5.011	0.0009	5.0101
		5.012	0.0009	5.0111
		5.012	0.0009	5.0111
	0.0908	5.011	0.0009	5.0101
		5.012	0.0009	5.0111
		5.012	0.0009	5.0111

ตาราง ก.28 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $200^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 200°C 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.001	0.0004	0.0006
		0.001	0.0004	0.0006
		0.002	0.0004	0.0016
	0.0454	0.398	0.0004	0.3976
		0.398	0.0004	0.3976
		0.395	0.0004	0.3946
0.0908	0.687	0.0004	0.6866	
	0.685	0.0004	0.6846	
	0.684	0.0004	0.6836	

ตาราง ก.29 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $300^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $300^\circ C$ 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.201	0.024	0.177
		0.203	0.024	0.179
		0.203	0.024	0.179
	0.0454	3.441	0.024	3.417
		3.442	0.024	3.418
		3.445	0.024	3.421
	0.0908	5.762	0.024	5.738
		5.763	0.024	5.739
		5.761	0.024	5.737

ตาราง ก.30 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $300^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $300^\circ C$ 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.0121	0.0005	0.0116
		0.0121	0.0005	0.0116
		0.0123	0.0005	0.0118
	0.0454	3.0225	0.0005	3.022
		3.0215	0.0005	3.021
		3.0215	0.0005	3.021
0.0908	6.0235	0.0005	6.023	
	6.0215	0.0005	6.021	
	6.0215	0.0005	6.021	

ตาราง ก.31 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $300^{\circ}C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 300°C 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.011	0.0009	0.0101
		0.012	0.0009	0.0111
		0.013	0.0009	0.0121
	0.0454	2.5431	0.0009	2.5422
		2.5411	0.0009	2.5402
		2.5411	0.0009	2.5402
	0.0908	5.0101	0.0009	5.0092
		5.0111	0.0009	5.0102
		5.0111	0.0009	5.0102

ตาราง ก.32 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $300^{\circ}C$ เป็นเวลา 10 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 300°C 10 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.0006	0.0004	0.0002
		0.0005	0.0004	0.0001
		0.0005	0.0004	0.0001
	0.0454	0.376	0.0004	0.3756
		0.375	0.0004	0.3746
		0.379	0.0004	0.3786
0.0908	0.677	0.0004	0.6766	
	0.675	0.0004	0.6746	
	0.673	0.0004	0.6726	

ตาราง ก.33 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 60 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.082	0.0004	0.0816
		0.083	0.0004	0.0826
		0.083	0.0004	0.0826
	0.0454	3.411	0.0004	3.4106
		3.412	0.0004	3.4116
		3.415	0.0004	3.4146
	0.0908	7.198	0.0004	7.1976
		7.192	0.0004	7.1916
		7.196	0.0004	7.1956

ตาราง ก.34 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 60 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.017	0.0001	0.0169
		0.015	0.0001	0.0149
		0.016	0.0001	0.0159
0.0454	3.023	0.0001	3.0229	
	3.022	0.0001	3.0219	
	3.022	0.0001	3.0219	
0.0908	6.024	0.0001	6.0239	
	6.022	0.0001	6.0219	
	6.022	0.0001	6.0219	

ตาราง ก.35 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 60 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.019	0.0005	0.0185
		0.019	0.0005	0.0185
		0.021	0.0005	0.0205
	0.0454	2.532	0.0005	2.5315
		2.53	0.0005	2.5295
		2.53	0.0005	2.5295
	0.0908	5.029	0.0005	5.0285
		5.029	0.0005	5.0285
		5.029	0.0005	5.0285

ตาราง ก.36 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงชนิดที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 60 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.0002	0.0001	0.0001
		0.0002	0.0001	0.0001
		0.0002	0.0001	0.0001
	0.0454	0.412	0.0001	0.4119
		0.412	0.0001	0.4119
		0.412	0.0001	0.4119
0.0908	0.806	0.0001	0.8059	
	0.805	0.0001	0.8049	
	0.805	0.0001	0.8049	

ตาราง ก.37 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลนด์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 90 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.016	0.0004	0.0156
		0.015	0.0004	0.0146
		0.016	0.0004	0.0156
	0.0454	3.425	0.0004	3.4246
		3.426	0.0004	3.4256
		3.424	0.0004	3.4236
	0.0908	6.922	0.0004	6.9216
		6.923	0.0004	6.9226
		6.923	0.0004	6.9226

ตาราง ก.38 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลนด์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 90 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.017	0.0001	0.0169
		0.017	0.0001	0.0169
		0.018	0.0001	0.0179
0.0454	3.012	0.0001	3.0119	
	3.011	0.0001	3.0109	
	3.011	0.0001	3.0109	
0.0908	6.024	0.0001	6.0239	
	6.022	0.0001	6.0219	
	6.022	0.0001	6.0219	

ตาราง ก.39 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 60 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 90 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.021	0.0005	0.0205
		0.022	0.0005	0.0215
		0.022	0.0005	0.0215
	0.0454	2.532	0.0005	2.5315
		2.53	0.0005	2.5295
		2.53	0.0005	2.5295
	0.0908	5.129	0.0005	5.1285
		5.122	0.0005	5.1215
		5.126	0.0005	5.1255

ตาราง ก.40 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 90 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 90 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.0002	0.0001	0.0001
		0.0003	0.0001	0.0002
		0.0003	0.0001	0.0002
	0.0454	0.423	0.0001	0.4229
		0.423	0.0001	0.4229
		0.422	0.0001	0.4219
0.0908	0.805	0.0001	0.8049	
	0.807	0.0001	0.8069	
	0.807	0.0001	0.8069	

ตาราง ก.41 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากสังกะสีที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 120 min		
		I (μA)		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$
Zn	0	0.0082	0.0004	0.0078
		0.0082	0.0004	0.0078
		0.0083	0.0004	0.0079
	0.0454	3.451	0.0004	3.4506
		3.452	0.0004	3.4516
		3.452	0.0004	3.4516
	0.0908	6.832	0.0004	6.8316
		6.832	0.0004	6.8316
		6.832	0.0004	6.8316

ตาราง ก.42 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแคดเมียมที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 120 min		
		I (μA)		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cd	0	0.015	0.0001	0.0149
		0.015	0.0001	0.0149
		0.017	0.0001	0.0169
	0.0454	3.012	0.0001	3.0119
		3.011	0.0001	3.0109
		3.011	0.0001	3.0109
0.0908	6.024	0.0001	6.0239	
	6.022	0.0001	6.0219	
	6.022	0.0001	6.0219	

ตาราง ก.43 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตะกั่วที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 120 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.019	0.0005	0.0185
		0.019	0.0005	0.0185
		0.018	0.0005	0.0175
	0.0454	2.623	0.0005	2.6225
		2.622	0.0005	2.6215
		2.622	0.0005	2.6215
	0.0908	5.244	0.0005	5.2435
		5.244	0.0005	5.2435
		5.245	0.0005	5.2445

ตาราง ก.44 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากทองแดงที่วัดได้จาก สารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี UV digestion โดยใช้ HCl ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 90°C เป็นเวลา 120 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	HCl 90°C 120 min		
		I (μA)		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$
0	0	0.0003	0.0001	0.0002
		0.0004	0.0001	0.0003
		0.0004	0.0001	0.0003
0.0454	0.0454	0.432	0.0001	0.4319
		0.431	0.0001	0.4309
		0.435	0.0001	0.4349
0.0908	0.0908	0.806	0.0001	0.8059
		0.807	0.0001	0.8069
		0.807	0.0001	0.8069



ภาคผนวก ข

แสดงสัญญาณที่วัดได้จากเงากระป๋องตัวอย่าง

ตาราง ข.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Zn	0	0.421	0.124	0.297	0.401	0.124	0.277
		0.425	0.124	0.301	0.402	0.124	0.278
		0.423	0.124	0.299	0.402	0.124	0.278
	0.0454	3.245	0.124	3.121	3.241	0.124	3.117
		3.246	0.124	3.122	3.241	0.124	3.117
		3.246	0.124	3.122	3.241	0.124	3.117
	0.0908	6.023	0.124	5.899	6.011	0.124	5.887
		6.023	0.124	5.899	6.011	0.124	5.887
		6.022	0.124	5.898	6.012	0.124	5.888

ตาราง ข.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

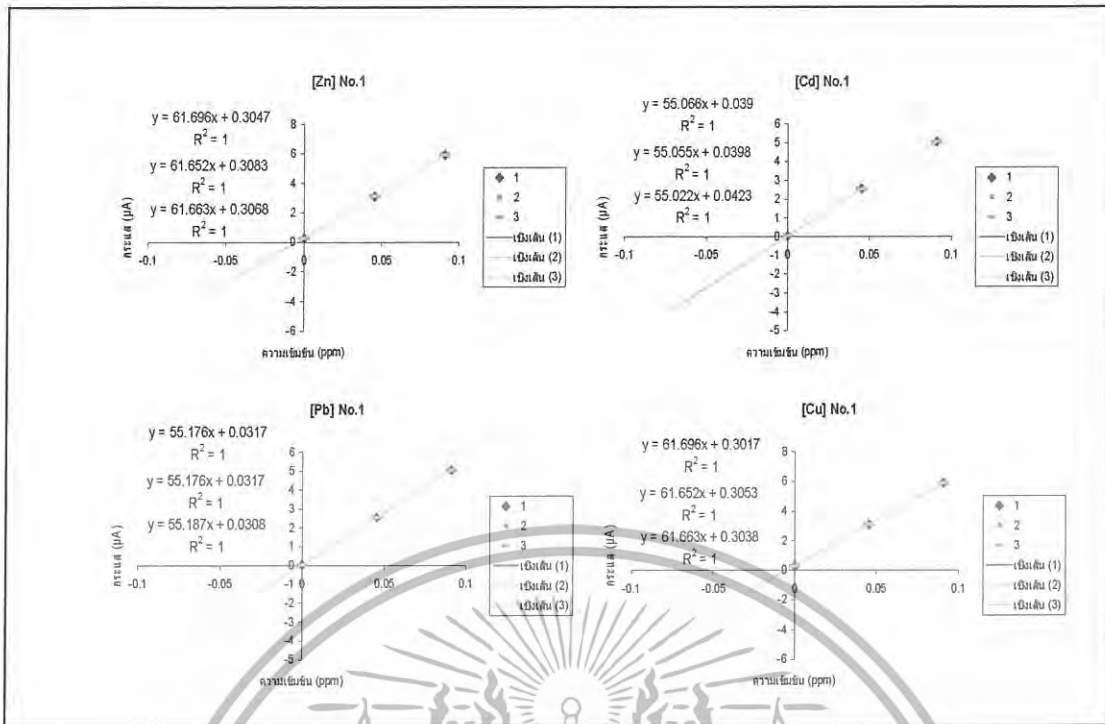
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cd	0	0.042	0.003	0.039	0.039	0.003	0.036
		0.043	0.003	0.04	0.039	0.003	0.036
		0.046	0.003	0.043	0.038	0.003	0.035
	0.0454	2.542	0.003	2.539	2.531	0.003	2.528
		2.542	0.003	2.539	2.531	0.003	2.528
		2.542	0.003	2.539	2.532	0.003	2.529
	0.0908	5.042	0.003	5.039	5.021	0.003	5.018
		5.042	0.003	5.039	5.021	0.003	5.018
		5.042	0.003	5.039	5.022	0.003	5.019

ตาราง ข.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

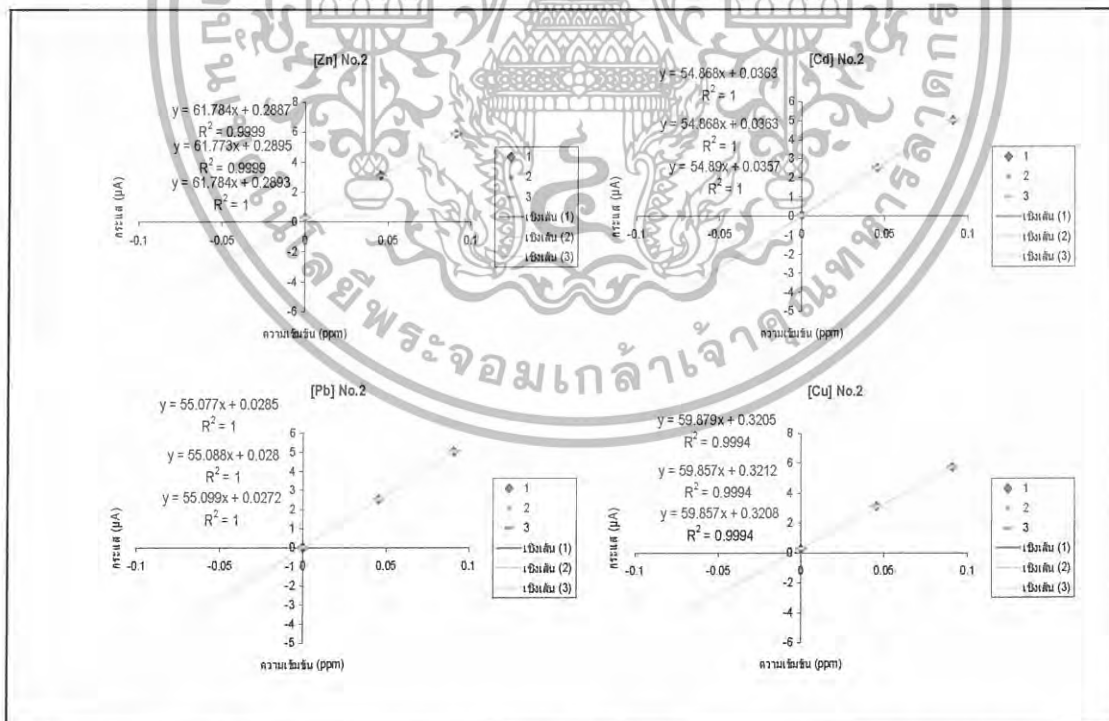
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 100°C 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Pb	0	0.032	0.002	0.03	0.03	0.002	0.028
		0.032	0.002	0.03	0.03	0.002	0.028
		0.031	0.002	0.029	0.029	0.002	0.027
	0.0454	2.542	0.002	2.54	2.532	0.002	2.53
		2.542	0.002	2.54	2.531	0.002	2.529
		2.542	0.002	2.54	2.531	0.002	2.529
	0.0908	5.042	0.002	5.04	5.031	0.002	5.029
		5.042	0.002	5.04	5.032	0.002	5.03
		5.042	0.002	5.04	5.032	0.002	5.03

ตาราง ข.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 100°C 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cu	0	0.297	0.003	0.294	0.285	0.003	0.282
		0.301	0.003	0.298	0.286	0.003	0.283
		0.299	0.003	0.296	0.286	0.003	0.283
	0.0454	3.121	0.003	3.118	3.119	0.003	3.116
		3.122	0.003	3.119	3.118	0.003	3.115
		3.122	0.003	3.119	3.117	0.003	3.114
0.0908	5.899	0.003	5.896	5.722	0.003	5.719	
	5.899	0.003	5.896	5.721	0.003	5.718	
	5.898	0.003	5.895	5.721	0.003	5.718	



รูปที่ ข.1 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อเงาะที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1



รูปที่ ข.2 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อเงาะที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2

ตาราง ข.5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.402	0.124	0.278	0.391	0.124	0.267
		0.403	0.124	0.279	0.391	0.124	0.267
		0.402	0.124	0.278	0.392	0.124	0.268
	0.0454	3.243	0.124	3.119	3.224	0.124	3.1
		3.243	0.124	3.119	3.225	0.124	3.101
		3.243	0.124	3.119	3.225	0.124	3.101
	0.0908	6.024	0.124	5.9	6.021	0.124	5.897
		6.024	0.124	5.9	6.021	0.124	5.897
		6.024	0.124	5.9	6.022	0.124	5.898

ตาราง ข.6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

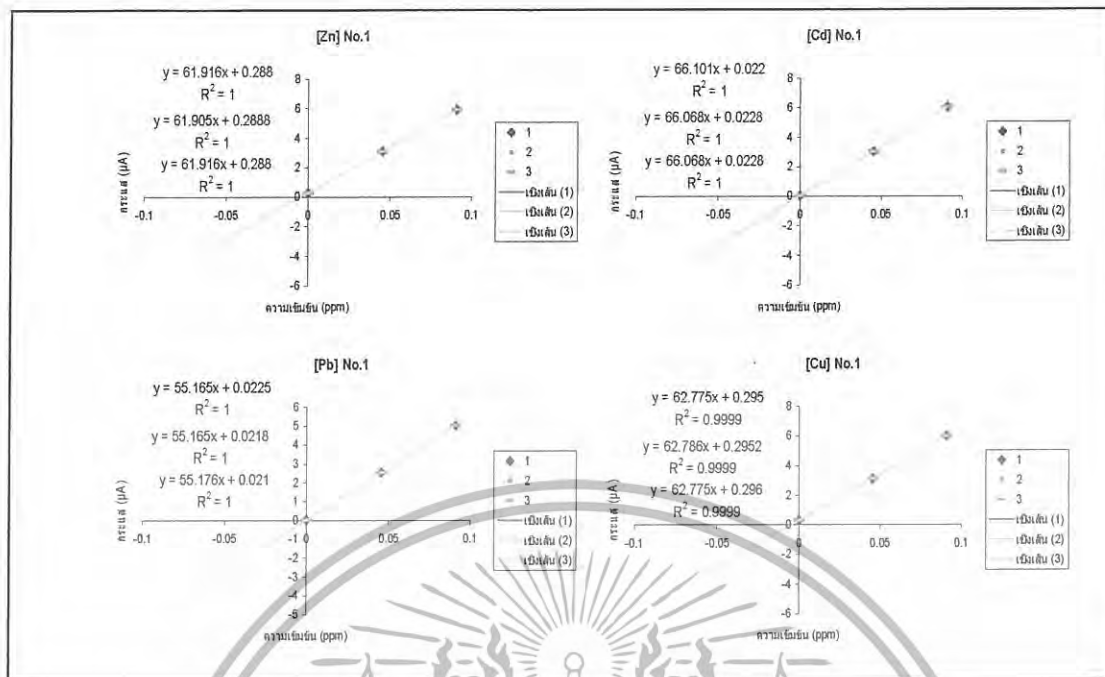
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.022	0.003	0.019	0.022	0.003	0.019
		0.022	0.003	0.019	0.022	0.003	0.019
		0.021	0.003	0.018	0.021	0.003	0.018
	0.0454	3.026	0.003	3.023	3.026	0.003	3.023
		3.025	0.003	3.022	3.025	0.003	3.022
		3.025	0.003	3.022	3.025	0.003	3.022
	0.0908	6.027	0.003	6.024	6.027	0.003	6.024
		6.025	0.003	6.022	6.025	0.003	6.022
		6.025	0.003	6.022	6.025	0.003	6.022

ตาราง ข.7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

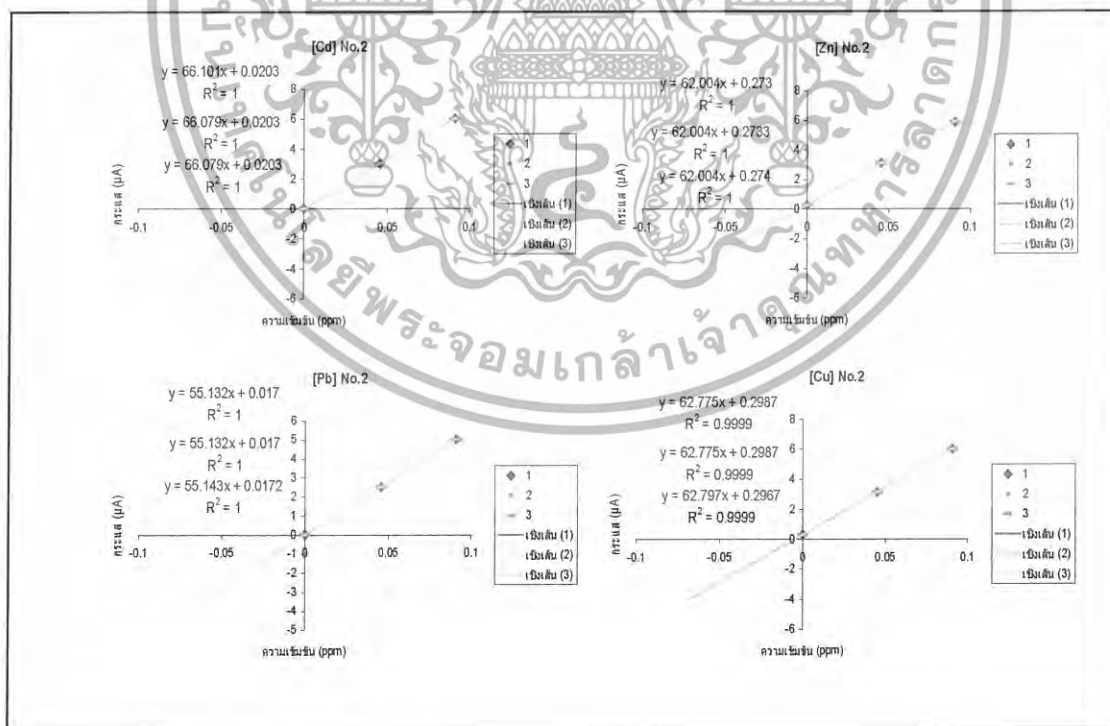
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 100°C 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.015	0.012	0.003	0.015	0.012	0.003
		0.015	0.012	0.003	0.015	0.012	0.003
		0.016	0.012	0.004	0.016	0.012	0.004
	0.0454	2.834	0.012	2.822	2.834	0.012	2.822
		2.835	0.012	2.823	2.835	0.012	2.823
		2.835	0.012	2.823	2.835	0.012	2.823
	0.0908	5.611	0.012	5.599	5.611	0.012	5.599
		5.612	0.012	5.6	5.612	0.012	5.6
		5.612	0.012	5.6	5.612	0.012	5.6

ตาราง ข.8 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 100°C 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.311	0.003	0.308	0.311	0.003	0.308
		0.311	0.003	0.308	0.311	0.003	0.308
		0.312	0.003	0.309	0.312	0.003	0.309
	0.0454	4.122	0.003	4.119	4.122	0.003	4.119
		4.124	0.003	4.121	4.124	0.003	4.121
		4.125	0.003	4.122	4.125	0.003	4.122
	0.0908	7.011	0.003	7.008	7.011	0.003	7.008
		7.011	0.003	7.008	7.011	0.003	7.008
		7.012	0.003	7.009	7.012	0.003	7.009



รูปที่ ข.3 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1



รูปที่ ข.4 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2

ตารางที่ ข.9 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppm)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.004939	0.005001	0.004975	0.004972	3.11E-05
	0.0454	0.045648	0.045638	0.045655	0.045647	8.14E-06
	0.0908	0.090675	0.090682	0.090673	0.090677	4.24E-06
Cd	0	0.000708	0.000723	0.000769	0.000733	3.16E-05
	0.0454	0.0454	0.045395	0.045376	0.04539	1.24E-05
	0.0908	0.0908	0.090804	0.090813	0.090806	6.51E-06
Pb	0	0.000575	0.000575	0.000558	0.000569	9.48E-06
	0.0454	0.04546	0.04546	0.045467	0.045462	4.18E-06
	0.0908	0.09077	0.09077	0.090768	0.090769	1.03E-06
Cu	0	0.00489	0.004952	0.004927	0.004923	3.11E-05
	0.0454	0.045648	0.045638	0.045655	0.045647	8.14E-06
	0.0908	0.090675	0.090682	0.090673	0.090677	4.24E-06

1. ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของสังกะสีเมื่อเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm ครั้งที่ 1 (ใช้สมการจากกราฟมาตรฐานรูปที่ ข.1 [Zn] No. 1; $y = 61.784x + 0.2887$ เพื่อหาจุดตัดแกน $x =$ ความเข้มข้นของสังกะสี)

$$y = 61.784x + 0.2887$$

แทน y ด้วย 0.297 ในตาราง ข.1 จะได้ $y = 61.784(0.297) + 0.2887$

เพราะฉะนั้น $x = 0.004939$ ppm

การคำนวณความเข้มข้นในครั้งที่ 2 และ 3 ให้ใช้สมการ $y = 61.784x + 0.2887$ และ $y = 61.784x + 0.2887$ ตามลำดับ สำหรับที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานระดับอื่นก็สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับตัวอย่างในข้างต้น

2. ตัวอย่างการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสังกะสีเมื่อเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm

$$SD = \sqrt{\frac{(0.004939 - 0.004972)^2 + (0.005001 - 0.004972)^2 + (0.004975 - 0.004972)^2}{3-1}} = 3.11E-05$$

สำหรับที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานระดับอื่นก็สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับตัวอย่างในข้าง.....

ตารางที่ ข.10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppm)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.004994	0.005012	0.005003	0.005003	9.00E-06
	0.0454	0.045627	0.045627	0.045643	0.045632	9.36E-06
	0.0908	0.090687	0.090686	0.090678	0.090684	4.68E-06
Cd	0	0.000739	0.000739	0.000769	0.000749	1.71E-05
	0.0454	0.045351	0.045351	0.045376	0.045359	1.46E-05
	0.0908	0.090824	0.090824	0.090813	0.09082	6.34E-06
Pb	0	0.000511	0.000511	0.000524	0.000515	7.30E-06
	0.0454	0.045377	0.045377	0.045364	0.045373	7.30E-06
	0.0908	0.090813	0.090813	0.090819	0.090815	3.13E-06
Cu	0	0.004115	0.004129	0.004127	0.004124	7.69E-06
	0.0454	0.043937	0.043932	0.043925	0.043932	5.96E-06
	0.0908	0.09153	0.091534	0.091536	0.091533	2.61E-06

ตารางที่ ข.11 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล
100°C เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะ หนัก	สารมาตรฐาน ที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppm)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.004651	0.004665	0.004651	0.004656	7.94E-06
	0.0454	0.045723	0.045718	0.045723	0.045722	2.77E-06
	0.0908	0.090639	0.090642	0.090639	0.09064	1.84E-06
Cd	0	0.000333	0.000345	0.000345	0.000341	7.09E-06
	0.0454	0.0454	0.045396	0.045396	0.045397	2.64E-06
	0.0908	0.0908	0.090803	0.090803	0.090802	1.72E-06
Pb	0	0.000408	0.000395	0.000381	0.000395	1.37E-05
	0.0454	0.045493	0.045467	0.045473	0.045478	1.37E-05
	0.0908	0.09076	0.090768	0.090764	0.090764	3.88E-06
Cu	0	0.004699	0.004702	0.004715	0.004705	8.60E-06
	0.0454	0.044986	0.044991	0.044986	0.044988	2.81E-06
	0.0908	0.091008	0.091004	0.091008	0.091006	1.85E-06

ตารางที่ ข.12 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppm)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.004651	0.004665	0.004651	0.004656	7.94E-06
	0.0454	0.045723	0.045718	0.045723	0.045722	2.77E-06
	0.0908	0.090639	0.090642	0.090639	0.09064	1.84E-06
Cd	0	0.000322	0.00036	0.00036	0.000348	2.20E-05
	0.0454	0.045381	0.045396	0.045396	0.045391	8.71E-06
	0.0908	0.090811	0.090803	0.090803	0.090806	4.42E-06
Pb	0	0.000371	0.000412	0.000395	0.000393	2.02E-05
	0.0454	0.045455	0.04546	0.045467	0.045461	6.37E-06
	0.0908	0.090773	0.090769	0.090768	0.09077	2.80E-06
Cu	0	0.004715	0.004711	0.004702	0.00471	6.55E-06
	0.0454	0.044986	0.044981	0.044966	0.044978	1.08E-05
	0.0908	0.091008	0.091011	0.091019	0.091012	5.72E-06

ตารางที่ ข.13 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	$\%RSD_{\text{experimented}}$	$\%RSD_{\text{predicted}}$	<i>Horrat</i>
Zn	0	6.26E-01	2.35E+00	2.67E-01
	0.0454	1.78E-02	1.68E+00	1.06E-02
	0.0908	4.68E-03	1.52E+00	3.09E-03
Cd	0	4.31E+00	3.13E+00	1.38E+00
	0.0454	2.73E-02	1.68E+00	1.62E-02
	0.0908	7.17E-03	1.52E+00	4.73E-03
Pb	0	1.67E+00	3.25E+00	5.12E-01
	0.0454	9.20E-03	1.68E+00	5.47E-03
	0.0908	1.13E-03	1.52E+00	7.49E-04
Cu	0	6.32E-01	2.35E+00	2.69E-01
	0.0454	1.78E-02	1.68E+00	1.06E-02
	0.0908	4.68E-03	1.52E+00	3.09E-03

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณ $\%RSD$ ของสังกะสีจากการย่อยตัวอย่างส่วนเนื้อด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที (เมื่อเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm)

1.1 การคำนวณ $\%RSD_{\text{experimented}}$ ที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm แทน $SD = 0.004972$

และแทน $\bar{X} = 3.11E-05$ ที่ได้จากตาราง ข.9 จะได้ว่า

$$\%RSD = \frac{0.004972}{0.0000311} \times 100$$

$$\%RSD = 6.26E-01$$

1.2 การคำนวณ $\%RSD_{\text{predicted}}$ ที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm แทน $C = (0)10^{-6}$ จะได้ว่า

$$\%RSD_{\text{predicted}} = 1.66 \times 2^{1-0.5 \log 0}$$

$$\%RSD_{\text{predicted}} = 2.35$$

2. การหาค่า *Horrat* ของสังกะสีจากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที (เมื่อเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm)

$$Horrat = \frac{6.26E-01}{2.35} = 2.67E-01$$

สำหรับที่ระดับอื่นๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณในข้างต้น

ตารางที่ ข.14 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	6.26E-01	2.35E+00	2.67E-01
	0.0454	1.78E-02	1.68E+00	1.06E-02
	0.0908	4.68E-03	1.52E+00	3.09E-03
Cd	0	4.31E+00	3.13E+00	1.38E+00
	0.0454	2.73E-02	1.68E+00	1.62E-02
	0.0908	7.17E-03	1.52E+00	4.73E-03
Pb	0	1.67E+00	3.25E+00	5.12E-01
	0.0454	9.20E-03	1.68E+00	5.47E-03
	0.0908	1.13E-03	1.52E+00	7.49E-04
Cu	0	6.32E-01	2.35E+00	2.69E-01
	0.0454	1.78E-02	1.68E+00	1.06E-02
	0.0908	4.68E-03	1.52E+00	3.09E-03

ตารางที่ ข.15 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	1.70E-01	2.37E+00	7.20E-02
	0.0454	6.06E-03	1.68E+00	3.61E-03
	0.0908	2.03E-03	1.52E+00	1.34E-03
Cd	0	2.08E+00	3.51E+00	5.92E-01
	0.0454	5.81E-03	1.68E+00	3.45E-03
	0.0908	1.89E-03	1.52E+00	1.25E-03
Pb	0	3.46E+00	3.44E+00	1.01E+00
	0.0454	3.02E-02	1.68E+00	1.80E-02
	0.0908	4.27E-03	1.52E+00	2.82E-03
Cu	0	6.24E-03	1.68E+00	3.70E-03
	0.0454	2.03E-03	1.51E+00	1.34E-03
	0.0908	1.70E-01	2.37E+00	7.20E-02

ตารางที่ ข.16 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	1.70E-01	2.37E+00	7.20E-02
	0.0454	6.06E-03	1.68E+00	3.61E-03
	0.0908	2.03E-03	1.52E+00	1.34E-03
Cd	0	6.33E+00	3.50E+00	1.81E+00
	0.0454	1.92E-02	1.68E+00	1.14E-02
	0.0908	4.87E-03	1.52E+00	3.21E-03
Pb	0	5.13E+00	3.44E+00	1.49E+00
	0.0454	1.40E-02	1.68E+00	8.33E-03
	0.0908	3.09E-03	1.52E+00	2.04E-03
Cu	0	2.39E-02	1.68E+00	1.42E-02
	0.0454	6.29E-03	1.51E+00	4.15E-03
	0.0908	1.70E-01	2.37E+00	7.20E-02

ตารางที่ ข.17 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ reproducibility)

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	4.45E-01	3.55E+01	1.25E-02
	0.0454	2.26E-02	2.55E+01	8.87E-04
	0.0908	5.46E-03	2.30E+01	2.38E-04
Cd	0	1.50E+00	4.73E+01	3.16E-02
	0.0454	4.81E-02	2.55E+01	1.89E-03
	0.0908	1.13E-02	2.30E+01	4.93E-04
Pb	0	7.04E+00	4.96E+01	1.42E-01
	0.0454	1.40E-01	2.55E+01	5.48E-03
	0.0908	3.60E-02	2.30E+01	1.57E-03
Cu	0	1.25E+01	3.61E+01	3.47E-01
	0.0454	2.71E+00	2.55E+01	1.06E-01
	0.0908	6.65E-01	2.29E+01	2.90E-02

ตารางที่ ข.18 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ reproducibility)

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	0.00E+00	3.59E+01	0.00E+00
	0.0454	0.00E+00	2.55E+01	0.00E+00
	0.0908	0.00E+00	2.30E+01	0.00E+00
Cd	0	1.36E+00	5.31E+01	2.57E-02
	0.0454	1.02E-02	2.55E+01	4.02E-04
	0.0908	2.73E-03	2.30E+01	1.19E-04
Pb	0	3.26E-01	5.21E+01	6.27E-03
	0.0454	2.67E-02	2.55E+01	1.05E-03
	0.0908	4.84E-03	2.30E+01	2.11E-04
Cu	0	6.35E-02	3.58E+01	1.77E-03
	0.0454	1.58E-02	2.55E+01	6.18E-04
	0.0908	4.53E-03	2.30E+01	1.97E-04

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณ %RSD ของสังกะสีจากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H₂SO₄ และให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที (เมื่อเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm)

1.1 การคำนวณ %RSD_{experimented} ที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm

หา $\bar{X} = \frac{X_1 + X_2}{2}$ จากตารางที่ ข.9 แทน $X_1 = 0.004972$ และจากตารางที่ ข.10 แทน $X_2 = 0.005003$

เพราะฉะนั้นจะได้ $\bar{X} = 0.0049875$

$$SD = \sqrt{\frac{(0.004972 - 0.0049875)^2 + (0.005003 - 0.0049875)^2}{2 - 1}} = 0$$

$$\%RSD = \frac{0}{0.0049875} \times 100 = 0$$

1.2 การคำนวณ %RSD_{predicted} ที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm แทน $C = (0)10^{-6}$ จะได้ว่า

$$\%RSD_{predicted} = 2^{1-0.5 \log 0}$$

$$\%RSD_{predicted} = 3.59E + 01$$

2. การหาค่า *Horrat* ของสังกะสีจากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H₂SO₄ และให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที (เมื่อเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm)

$$Horrat = \frac{0}{35.9} = 0$$

ที่ระดับอื่นๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณในข้างต้น

ตารางที่ ข.19 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recoveryเฉลี่ย
Zn	0.0454	89.66803	89.51051	89.60171	89.59342	91.99
	0.0908	94.42347	94.36225	94.38113	94.38895	
Cd	0.0454	98.44014	98.3958	98.25465	98.36353	98.78
	0.0908	99.22014	99.20796	99.16738	99.1985	
Pb	0.0454	98.86665	98.86665	98.91878	98.88402	99.11
	0.0908	99.33371	99.33371	99.34984	99.33909	
Cu	0.0454	89.77513	89.6177	89.70887	89.70057	92.07
	0.0908	94.47703	94.41584	94.43471	94.44253	

ตัวอย่างการคำนวณ

1. %recovery ของสังกะสีในตัวอย่างส่วนเนื้อเมื่อมีการเติมสารมาตรฐานผสมที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm

โดยใช้ข้อมูลจากตาราง ข.9

$$\%recovery_1 = \frac{0.045648 - 0.004939}{0.0454} \times 100 = 89.66803$$

สำหรับที่ระดับอื่นๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณในข้างต้น

ตารางที่ ข.20 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recoveryเฉลี่ย
Zn	0.0454	89.50001	89.4605	89.51598	89.49216	91.93
	0.0908	94.37501	94.3551	94.35613	94.36208	
Cd	0.0454	98.26414	98.26414	98.25465	98.26098	98.73
	0.0908	99.21214	99.21214	99.16738	99.19722	
Pb	0.0454	98.82391	98.82391	98.76824	98.80535	99.13
	0.0908	99.45215	99.45215	99.44419	99.4495	
Cu	0.0454	87.71472	87.67119	87.66228	87.68273	91.97
	0.0908	96.27271	96.26075	96.26522	96.26623	

ตารางที่ ข.21 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เดิม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recoveryเฉลี่ย
Zn	0.0454	90.46646	90.42561	90.46646	90.45285	92.57
	0.0908	94.69985	94.68822	94.69985	94.69597	
Cd	0.0454	99.26739	99.2303	99.2303	99.24266	99.43
	0.0908	99.63394	99.6237	99.6237	99.62711	
Pb	0.0454	99.30702	99.27766	99.32174	99.30214	99.41
	0.0908	99.50667	99.52921	99.5413	99.52572	
Cu	0.0454	88.73731	88.74281	88.70222	88.72745	91.89
	0.0908	95.05313	95.047	95.03559	95.04524	

ตารางที่ ข.22 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เดิม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recoveryเฉลี่ย
Zn	0.0454	90.46646	90.42561	90.46646	90.45285	92.57
	0.0908	94.69985	94.68822	94.69985	94.69597	
Cd	0.0454	99.2474	99.19665	99.19665	99.21357	99.42
	0.0908	99.65727	99.60686	99.60686	99.62366	
Pb	0.0454	99.30194	99.22557	99.27766	99.26839	99.40
	0.0908	99.56137	99.51311	99.52921	99.53456	
Cu	0.0454	88.70222	88.70071	88.68518	88.69604	91.87
	0.0908	95.03559	95.0435	95.06192	95.047	



ตาราง ก.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 100°C 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Zn	0	0.499	0.124	0.375	0.495	0.124	0.371
		0.498	0.124	0.374	0.495	0.124	0.371
		0.498	0.124	0.374	0.496	0.124	0.372
	0.0454	3.245	0.124	3.121	3.241	0.124	3.117
		3.246	0.124	3.122	3.241	0.124	3.117
		3.246	0.124	3.122	3.241	0.124	3.117
	0.0908	6.023	0.124	5.899	6.011	0.124	5.887
		6.023	0.124	5.899	6.011	0.124	5.887
		6.022	0.124	5.898	6.012	0.124	5.888

ตาราง ก.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

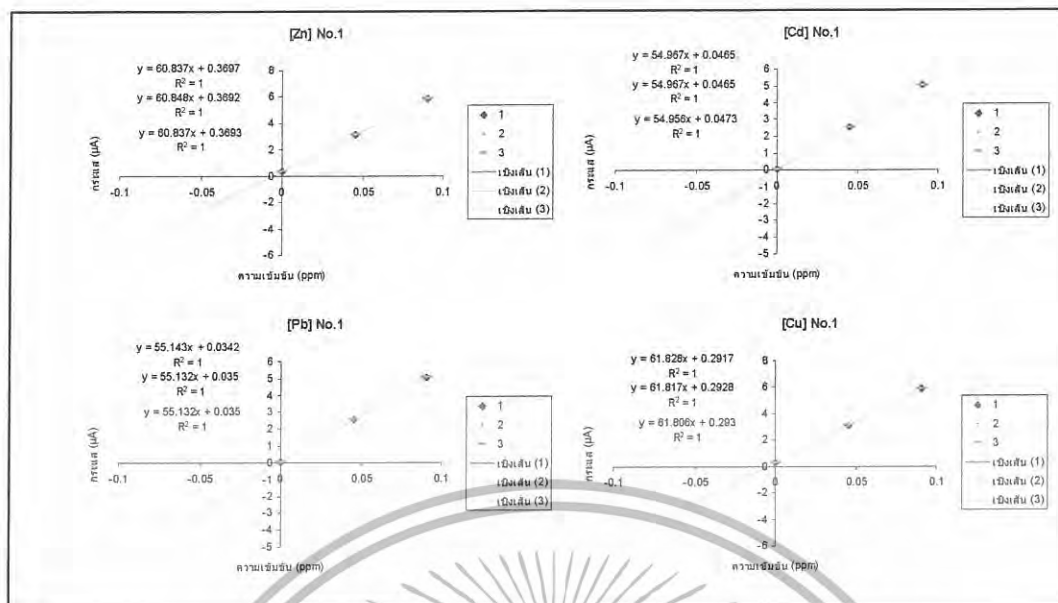
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 100°C 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cd	0	0.051	0.003	0.048	0.049	0.003	0.046
		0.051	0.003	0.048	0.049	0.003	0.046
		0.052	0.003	0.049	0.048	0.003	0.045
	0.0454	2.542	0.003	2.539	2.531	0.003	2.528
		2.542	0.003	2.539	2.531	0.003	2.528
		2.542	0.003	2.539	2.532	0.003	2.529
	0.0908	5.042	0.003	5.039	5.021	0.003	5.018
		5.042	0.003	5.039	5.021	0.003	5.018
		5.042	0.003	5.039	5.022	0.003	5.019

ตาราง ก.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบสจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

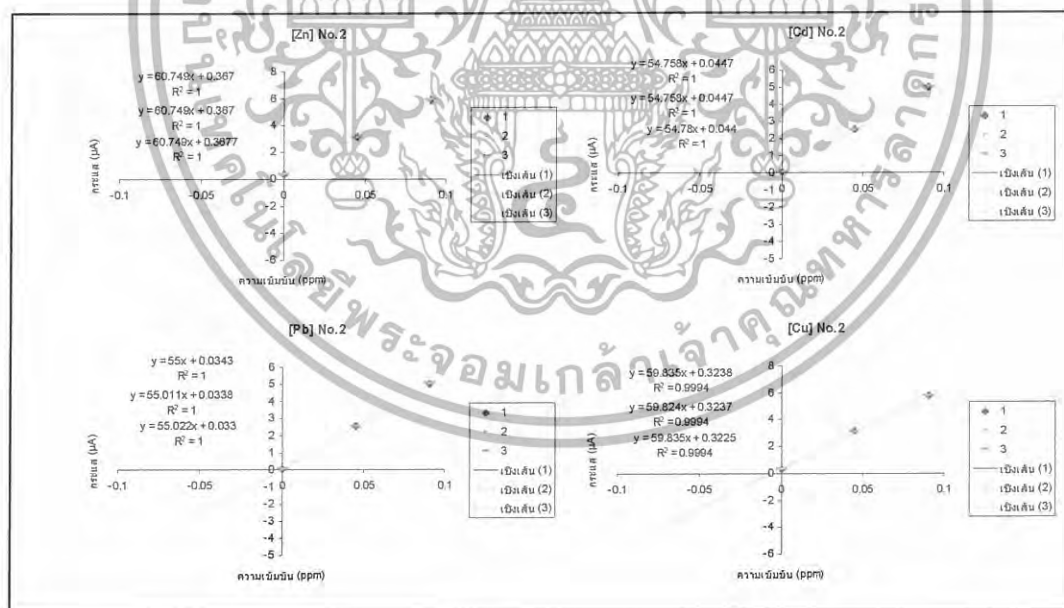
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Pb	0	0.035	0.002	0.033	0.037	0.002	0.035
		0.036	0.002	0.034	0.037	0.002	0.035
		0.036	0.002	0.034	0.036	0.002	0.034
	0.0454	2.542	0.002	2.54	2.532	0.002	2.53
		2.542	0.002	2.54	2.531	0.002	2.529
		2.542	0.002	2.54	2.531	0.002	2.529
	0.0908	5.042	0.002	5.04	5.031	0.002	5.029
		5.042	0.002	5.04	5.032	0.002	5.03
		5.042	0.002	5.04	5.032	0.002	5.03

ตาราง ก.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_s) และแบสจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cu	0	0.285	0.003	0.282	0.289	0.003	0.286
		0.286	0.003	0.283	0.289	0.003	0.286
		0.286	0.003	0.283	0.288	0.003	0.285
	0.0454	3.121	0.003	3.118	3.119	0.003	3.116
		3.122	0.003	3.119	3.118	0.003	3.115
		3.122	0.003	3.119	3.117	0.003	3.114
	0.0908	5.899	0.003	5.896	5.722	0.003	5.719
		5.899	0.003	5.896	5.721	0.003	5.718
		5.898	0.003	5.895	5.721	0.003	5.718



รูปที่ ค.1 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อดินที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1



รูปที่ ค.2 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อดินที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2

ตาราง ก.5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่าน การย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 100°C 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.45	0.124	0.326	0.44	0.124	0.316
		0.45	0.124	0.326	0.44	0.124	0.316
		0.46	0.124	0.336	0.44	0.124	0.316
	0.0454	3.243	0.124	3.119	3.224	0.124	3.1
		3.243	0.124	3.119	3.225	0.124	3.101
		3.243	0.124	3.119	3.225	0.124	3.101
	0.0908	6.024	0.124	5.9	6.021	0.124	5.897
		6.024	0.124	5.9	6.021	0.124	5.897
		6.024	0.124	5.9	6.022	0.124	5.898

ตาราง ก.6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่าน การย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

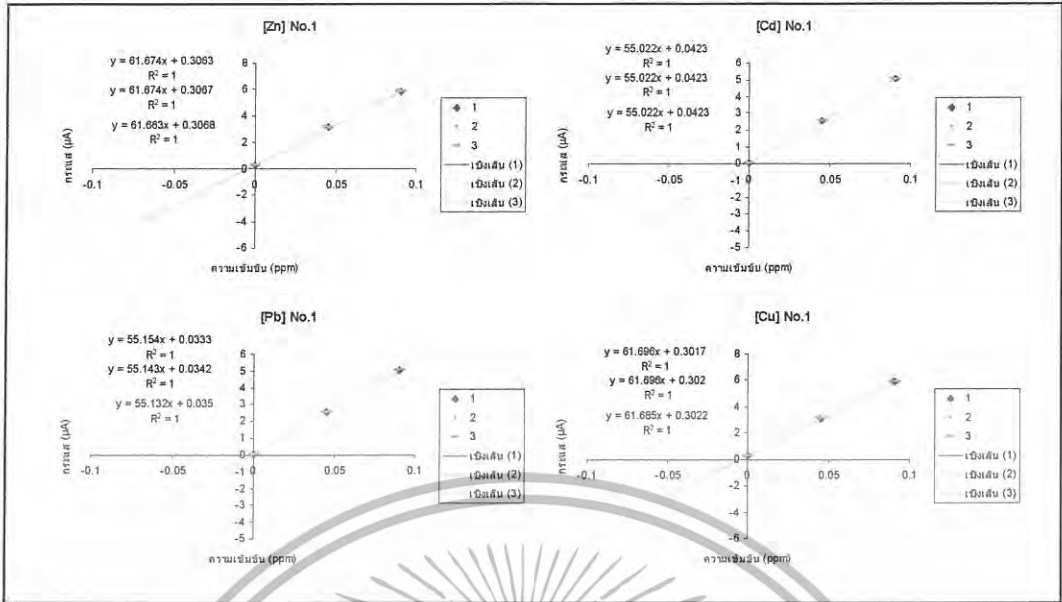
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 100°C 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.025	0.003	0.022	0.024	0.003	0.021
		0.025	0.003	0.022	0.024	0.003	0.021
		0.025	0.003	0.022	0.023	0.003	0.02
	0.0454	3.026	0.003	3.023	3.025	0.003	3.022
		3.025	0.003	3.022	3.024	0.003	3.021
		3.025	0.003	3.022	3.024	0.003	3.021
	0.0908	6.027	0.003	6.024	6.025	0.003	6.022
		6.025	0.003	6.022	6.023	0.003	6.02
		6.025	0.003	6.022	6.023	0.003	6.02

ตาราง ก.7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

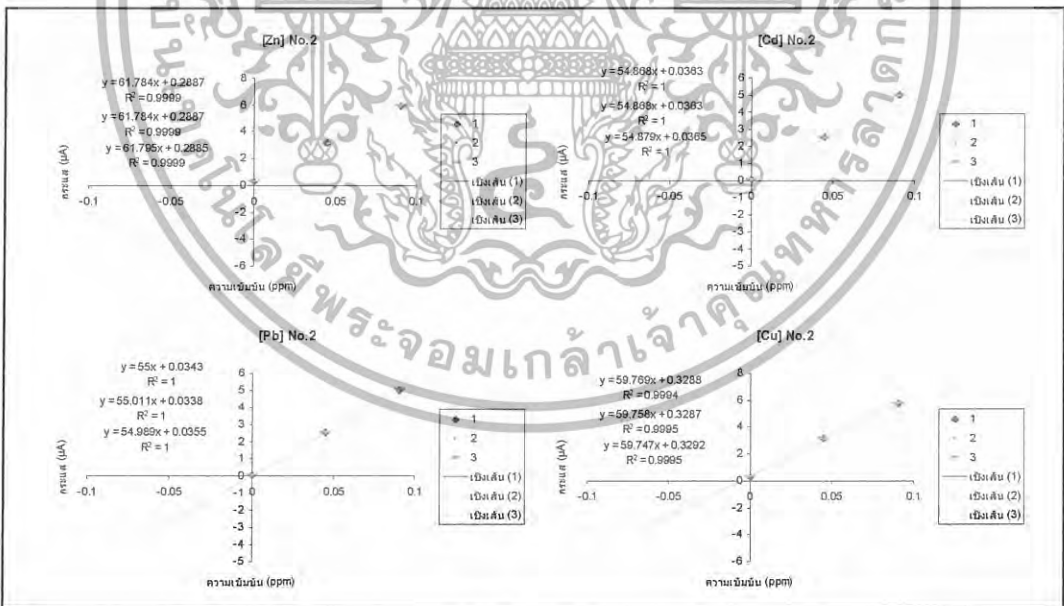
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.035	0.012	0.023	0.033	0.012	0.021
		0.035	0.012	0.023	0.033	0.012	0.021
		0.036	0.012	0.024	0.034	0.012	0.022
	0.0454	2.544	0.012	2.532	2.532	0.012	2.52
		2.542	0.012	2.53	2.532	0.012	2.52
		2.542	0.012	2.53	2.533	0.012	2.521
	0.0908	5.041	0.012	5.029	5.035	0.012	5.023
		5.041	0.012	5.029	5.035	0.012	5.023
		5.041	0.012	5.029	5.036	0.012	5.024

ตาราง ก.8 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.315	0.003	0.312	0.315	0.003	0.312
		0.316	0.003	0.313	0.315	0.003	0.312
		0.316	0.003	0.313	0.315	0.003	0.312
	0.0454	3.122	0.003	3.119	3.125	0.003	3.122
		3.123	0.003	3.12	3.125	0.003	3.122
		3.123	0.003	3.12	3.126	0.003	3.123
	0.0908	6.011	0.003	6.008	6.015	0.003	6.012
		6.012	0.003	6.009	6.015	0.003	6.012
		6.012	0.003	6.009	6.014	0.003	6.011



รูปที่ ค.3 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1



รูปที่ ค.4 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.9 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.006077	0.006068	0.00607	6.07	4.79E-06
	0.0454	0.045224	0.045241	0.045247	45.2	1.19E-05
	0.0908	0.090887	0.090879	0.090877	90.9	5.28E-06
Cd	0	0.000846	0.000846	0.000861	0.851	8.5E-06
	0.0454	0.045345	0.045345	0.04534	45.3	3.16E-06
	0.0908	0.090827	0.090827	0.090831	90.8	2.09E-06
Pb	0	0.00062	0.000635	0.000635	0.630	8.45E-06
	0.0454	0.045442	0.045436	0.045436	45.4	3.14E-06
	0.0908	0.090779	0.090782	0.090782	90.8	2.08E-06
Cu	0	0.004718	0.004737	0.00571	3.34	0.0024
	0.0454	0.045712	0.045719	0.050316	47.2	0.002656
	0.0908	0.090643	0.090642	0.095606	92.3	0.002866

ตารางที่ ก.10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.006041	0.006041	0.006053	6.05	6.65E-06
	0.0454	0.045268	0.045268	0.045257	45.3	6.65E-06
	0.0908	0.090866	0.090866	0.090871	90.9	2.85E-06
Cd	0	0.000816	0.000816	0.000803	0.812	7.57E-06
	0.0454	0.04535	0.04535	0.045363	45.4	7.4E-06
	0.0908	0.090823	0.090823	0.090818	90.8	3.14E-06
Pb	0	0.000624	0.000614	0.0006	0.613	1.2E-05
	0.0454	0.045376	0.045358	0.045364	45.4	9.32E-06
	0.0908	0.090813	0.090822	0.090818	90.8	4.59E-06
Cu	0	0.005412	0.005411	0.00539	5.40	1.24E-05
	0.0454	0.046665	0.046659	0.046653	46.7	5.86E-06
	0.0908	0.090168	0.090169	0.090173	90.2	2.57E-06

ตารางที่ ค.11 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้ง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เดิม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.005347	0.005347	0.005488	5.39	8.12E-05
	0.0454	0.045502	0.045502	0.045411	45.5	5.25E-05
	0.0908	0.090841	0.090841	0.090794	90.8	2.68E-05
Cd	0	0.000333	0.000333	0.000333	0.333	6.4E-08
	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	45.4	1.04E-08
	0.0908	0.0908	0.0908	0.0908	90.8	2.09E-08
Pb	0	0.000453	0.000441	0.000457	0.450	8.61E-06
	0.0454	0.045473	0.045449	0.045442	45.5	1.61E-05
	0.0908	0.090764	0.090777	0.090778	90.8	7.9E-06
Cu	0	0.004755	0.004771	0.004771	4.77	9.2E-06
	0.0454	0.044965	0.044965	0.044965	45.0	4.91E-18
	0.0908	0.091019	0.091019	0.091019	91.0	9.81E-18

ตารางที่ ก.12 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้ง ค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$
เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะ หนัก	สารมาตรฐาน ที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.005105	0.005112	0.005108	5.11	3.3E-06
	0.0454	0.04533	0.04534	0.045335	45.3	4.88E-06
	0.0908	0.090835	0.090829	0.090832	90.8	3.25E-06
Cd	0	0.000321	0.000321	0.000307	0.316	7.86E-06
	0.0454	0.045405	0.045405	0.045411	45.4	3.49E-06
	0.0908	0.090797	0.090797	0.090796	90.8	8.74E-07
Pb	0	0.000369	0.000369	0.000387	0.375	1.05E-05
	0.0454	0.045376	0.045376	0.045376	45.4	0
	0.0908	0.090813	0.090813	0.090813	90.8	0
Cu	0	0.004758	0.004758	0.004767	4.76	5.08E-06
	0.0454	0.044975	0.044975	0.044991	45.0	9.15E-06
	0.0908	0.091012	0.091012	0.091004	91.0	4.59E-06

ตารางที่ ก.13 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	0.078852	2.276722	0.034634
	0.0454	0.026214	1.682797	0.015578
	0.0908	0.005813	1.515058	0.003837
Cd	0	0.999248	3.06031	0.326518
	0.0454	0.006979	1.682203	0.004148
	0.0908	0.002303	1.51519	0.00152
Pb	0	1.341218	3.201954	0.418875
	0.0454	0.006917	1.681675	0.004113
	0.0908	0.002291	1.51531	0.001512
Cu	0	0.21223	2.490814	0.088543
	0.0454	0.056932	1.671813	0.012896
	0.0908	0.031122	1.511536	0.00245

ตารางที่ ก.14 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	0.110051	2.278222	0.048306
	0.0454	0.014697	1.682646	0.008735
	0.0908	0.003138	1.515093	0.002071
Cd	0	0.931939	3.081954	0.302386
	0.0454	0.01632	1.682141	0.009702
	0.0908	0.003459	1.515208	0.002283
Pb	0	1.965586	3.215447	0.611295
	0.0454	0.020538	1.682078	0.01221
	0.0908	0.00505	1.515217	0.003333
Cu	0	0.228588	2.316985	0.098658
	0.0454	0.01256	1.674978	0.007498
	0.0908	0.002849	1.51685	0.001878

ตารางที่ ค.15 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	$\%RSD_{\text{experimented}}$	$\%RSD_{\text{predicted}}$	<i>Horrat</i>
Zn	0	1.5057346	2.3176163	0.649691
	0.0454	0.115409	1.681489	0.068635
	0.0908	0.0295599	1.5151978	0.0195089
Cd	0	0.0192177	3.5245872	0.0054525
	0.0454	2.3E-05	1.6818872	1.368E-05
	0.0908	2.3E-05	1.5152606	1.518E-05
Pb	0	1.9107597	3.3677372	0.567372
	0.0454	0.0354699	1.6815844	0.0210931
	0.0908	0.0087001	1.5153293	0.0057414
Cu	0	0.1931153	2.3612316	0.0817858
	0.0454	1.091E-14	1.6843273	6.478E-15
	0.0908	1.078E-14	1.5147128	7.118E-15

ตารางที่ ค.16 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	$\%RSD_{\text{experimented}}$	$\%RSD_{\text{predicted}}$	<i>Horrat</i>
Zn	0	0.0645304	2.336699	0.0276161
	0.0454	0.0107662	1.6822524	0.0063999
	0.0908	0.0035823	1.5151808	0.0023643
Cd	0	2.4862562	3.5518445	0.6999902
	0.0454	0.0076969	1.6818506	0.0045765
	0.0908	0.0009625	1.5152695	0.0006352
Pb	0	2.7981435	3.462595	0.8081059
	0.0454	0.0354699	1.6820195	0.0210931
	0.0908	0.0087001	1.5152293	0.0057414
Cu	0	0.1067136	2.3615789	0.0451874
	0.0454	0.0203428	1.6842417	0.0120783
	0.0908	0.0050422	1.5147356	0.0033288

ตารางที่ ก.17 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ reproducibility)

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	0.3093497	34.50714	0.0089648
	0.0454	0.0423595	25.495782	0.0016614
	0.0908	0.0107069	22.955686	0.0004664
Cd	0	3.3101595	46.530095	0.0711402
	0.0454	0.0174049	25.487456	0.0006829
	0.0908	0.0054393	22.957561	0.0002369
Pb	0	1.9753006	48.615851	0.0406308
	0.0454	0.1123572	25.482975	0.0044091
	0.0908	0.0285581	22.958538	0.0012439
Cu	0	33.346417	36.242542	0.9200904
	0.0454	0.8885089	25.354396	0.0350436
	0.0908	1.648544	22.942051	0.0718569

ตารางที่ ก.18 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ reproducibility)

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	3.8513647	35.257699	0.1092347
	0.0454	0.2132442	25.482885	0.0083681
	0.0908	0.0052719	22.957414	0.0002296
Cd	0	3.6183473	53.606292	0.0674986
	0.0454	0.0102036	25.482862	0.0004004
	0.0908	0.0027593	22.958561	0.0001202
Pb	0	13.012606	51.706854	0.2516612
	0.0454	0.1215311	25.481846	0.0047693
	0.0908	0.0310249	22.958777	0.0013513
Cu	0	0.0690999	35.778867	0.0019313
	0.0454	0.0238738	25.519462	0.0009355
	0.0908	0.0070686	22.950367	0.000308

ตารางที่ ก.19 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recovery _{เฉลี่ย}
Zn	0.0454	86.227378	86.284188	86.292548	86.268038	87.912003
	0.0908	89.556738	89.557902	89.553266	89.555969	
Cd	0.0454	98.016359	98.016359	97.97185	98.001522	96.507393
	0.0908	95.017172	95.017172	95.005447	95.013263	
Pb	0.0454	98.726091	98.681866	98.681866	98.696608	96.946488
	0.0908	95.204135	95.192485	95.192485	95.196368	
Cu	0.0454	90.295972	90.269282	109.56976	96.71167	95.322742
	0.0908	90.734394	90.712959	100.35409	93.933814	

ตารางที่ ก.20 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recovery _{เฉลี่ย}
Zn	0.0454	82.757348	82.757348	82.708729	82.741142	86.155284
	0.0908	89.571744	89.571744	89.564791	89.569426	
Cd	0.0454	93.953865	93.953865	94.008562	93.972097	94.509541
	0.0908	95.044287	95.044287	95.05238	95.046985	
Pb	0.0454	94.415036	94.396157	94.438634	94.416609	94.835014
	0.0908	95.236632	95.25598	95.267643	95.253419	
Cu	0.0454	87.032589	87.020379	87.053744	87.035571	88.272835
	0.0908	89.499909	89.502244	89.528145	89.510099	

ตารางที่ ก.21 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recovery _{เฉลี่ย}
Zn	0.0454	88.446153	88.446153	87.936066	88.276124	89.244239
	0.0908	90.278242	90.278242	90.08058	90.212354	
Cd	0.0454	99.267394	99.26711	99.26711	99.267205	97.398924
	0.0908	95.530747	95.530592	95.530592	95.530644	
Pb	0.0454	99.161292	99.137321	99.085176	99.12793	97.252761
	0.0908	95.364865	95.39168	95.376234	95.377593	
Cu	0.0454	88.567808	88.532695	88.532695	88.544399	89.812296
	0.0908	91.091415	91.074582	91.074582	91.080193	

ตารางที่ ก.22 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recovery _{เฉลี่ย}
Zn	0.0454	84.861852	84.868717	84.867258	84.865943	87.693738
	0.0908	90.528078	90.514334	90.522186	90.521533	
Cd	0.0454	95.113874	95.113614	95.155249	95.127579	95.33601
	0.0908	95.540256	95.540104	95.552965	95.544442	
Pb	0.0454	94.95356	94.95356	94.915263	94.940794	95.220307
	0.0908	95.506209	95.506209	95.48704	95.499819	
Cu	0.0454	84.845246	84.845246	84.860116	84.850203	87.962852
	0.0908	91.081396	91.081396	91.06371	91.075501	



ตาราง ง.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.423	0.124	0.299	0.401	0.124	0.277
		0.423	0.124	0.299	0.401	0.124	0.277
		0.423	0.124	0.299	0.401	0.124	0.277
	0.0454	3.245	0.124	3.121	3.241	0.124	3.117
		3.246	0.124	3.122	3.241	0.124	3.117
		3.246	0.124	3.122	3.241	0.124	3.117
	0.0908	6.023	0.124	5.899	6.011	0.124	5.887
		6.023	0.124	5.899	6.011	0.124	5.887
		6.022	0.124	5.898	6.012	0.124	5.888

ตาราง ง.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

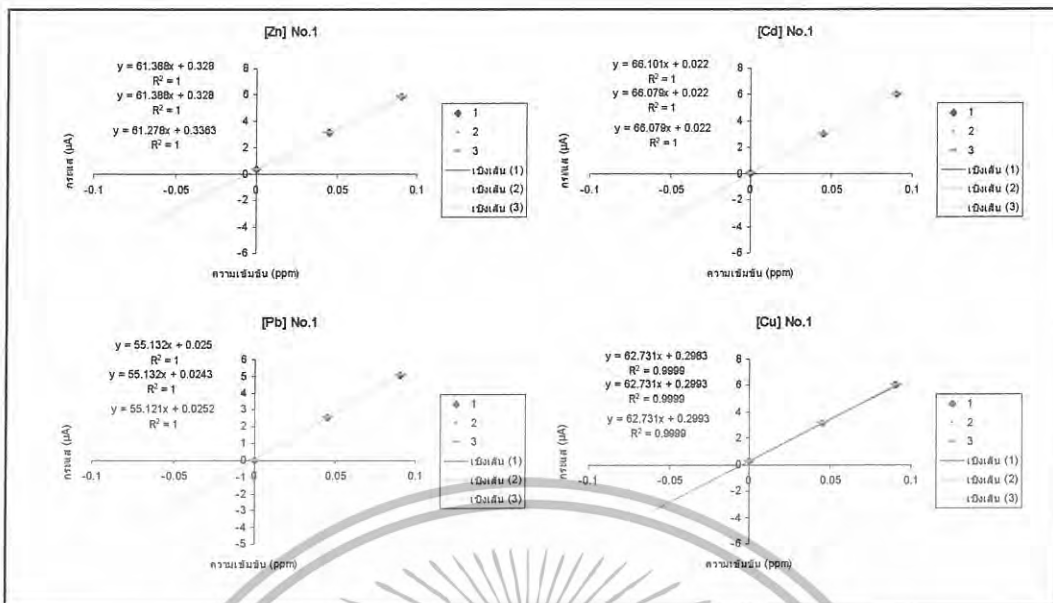
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.046	0.003	0.043	0.039	0.003	0.036
		0.046	0.003	0.043	0.039	0.003	0.036
		0.046	0.003	0.043	0.039	0.003	0.036
	0.0454	2.542	0.003	2.539	2.531	0.003	2.528
		2.542	0.003	2.539	2.531	0.003	2.528
		2.542	0.003	2.539	2.532	0.003	2.529
	0.0908	5.042	0.003	5.039	5.021	0.003	5.018
		5.042	0.003	5.039	5.021	0.003	5.018
		5.042	0.003	5.039	5.022	0.003	5.019

ตาราง ง.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

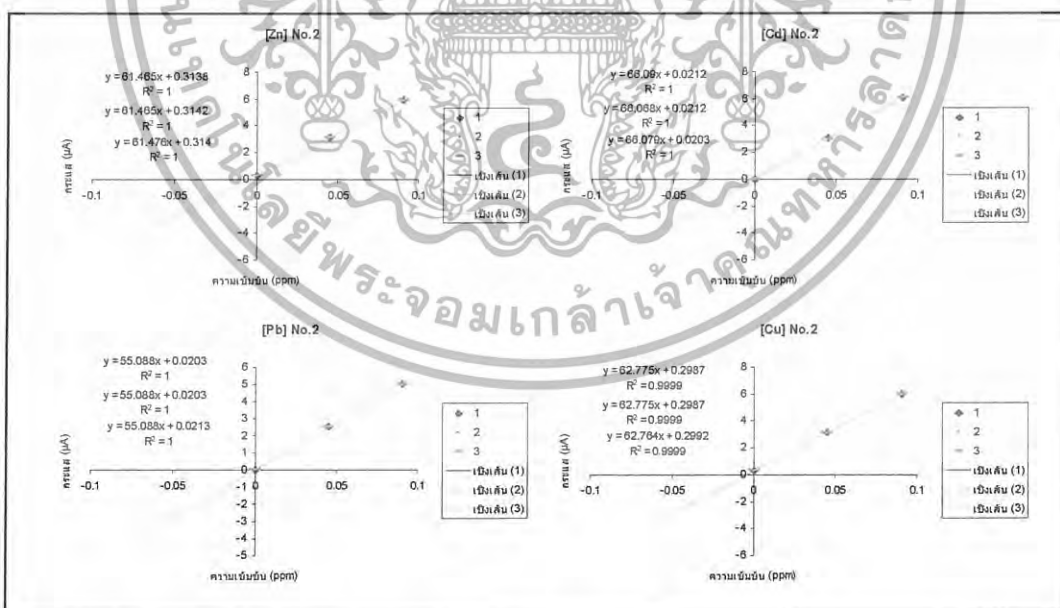
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เดิม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Pb	0	0.034	0.002	0.032	0.037	0.002	0.035
		0.035	0.002	0.033	0.037	0.002	0.035
		0.036	0.002	0.034	0.039	0.002	0.037
	0.0454	2.542	0.002	2.54	2.532	0.002	2.53
		2.542	0.002	2.54	2.531	0.002	2.529
		2.542	0.002	2.54	2.531	0.002	2.529
	0.0908	5.042	0.002	5.04	5.031	0.002	5.029
		5.042	0.002	5.04	5.032	0.002	5.03
		5.042	0.002	5.04	5.032	0.002	5.03

ตาราง ง.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนเนื้อ (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เดิม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cu	0	0.297	0.003	0.294	0.295	0.003	0.292
		0.297	0.003	0.294	0.295	0.003	0.292
		0.297	0.003	0.294	0.296	0.003	0.293
	0.0454	3.121	0.003	3.118	3.119	0.003	3.116
		3.122	0.003	3.119	3.118	0.003	3.115
		3.122	0.003	3.119	3.117	0.003	3.114
	0.0908	5.899	0.003	5.896	5.722	0.003	5.719
		5.899	0.003	5.896	5.721	0.003	5.718
		5.898	0.003	5.895	5.721	0.003	5.718



รูปที่ 1 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อลำไยที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1



รูปที่ 2 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μ L ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของเนื้อลำไยที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2

ตาราง ง.5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่าน การย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Zn	0	0.46	0.124	0.336	0.44	0.124	0.316
		0.46	0.124	0.336	0.45	0.124	0.326
		0.47	0.124	0.346	0.45	0.124	0.326
	0.0454	3.243	0.124	3.119	3.224	0.124	3.1
		3.243	0.124	3.119	3.225	0.124	3.101
		3.243	0.124	3.119	3.225	0.124	3.101
	0.0908	6.024	0.124	5.9	6.021	0.124	5.897
		6.024	0.124	5.9	6.021	0.124	5.897
		6.024	0.124	5.9	6.022	0.124	5.898

ตาราง ง.6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของแคดเมียมที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_S) และแบลจค์ (I_B) ที่ผ่าน การย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

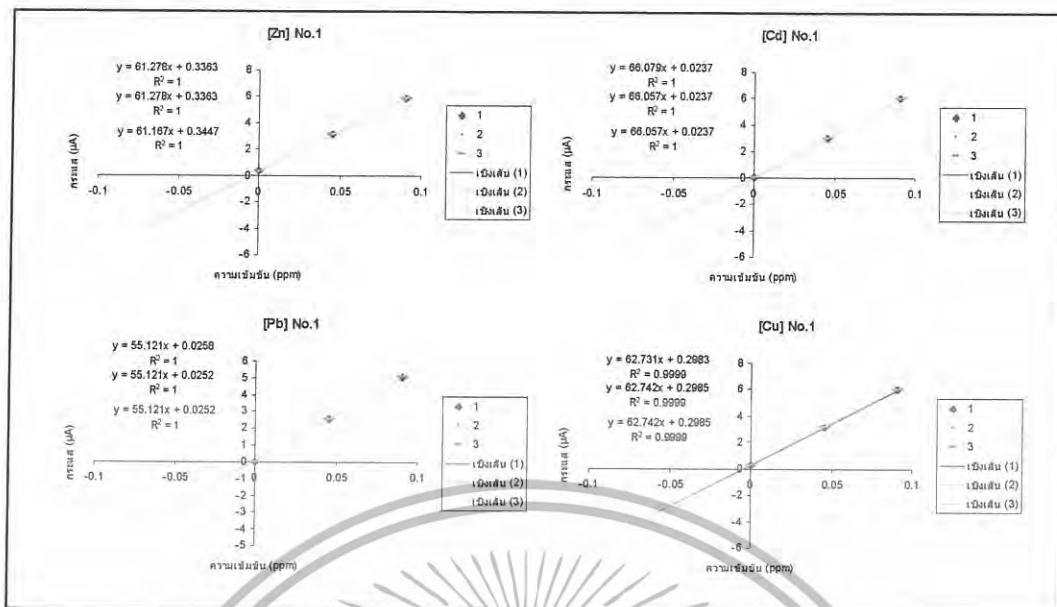
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_S	I_B	$I_S - I_B$	I_S	I_B	$I_S - I_B$
Cd	0	0.027	0.003	0.024	0.028	0.003	0.025
		0.027	0.003	0.024	0.028	0.003	0.025
		0.027	0.003	0.024	0.028	0.003	0.025
	0.0454	3.026	0.003	3.023	3.025	0.003	3.022
		3.025	0.003	3.022	3.024	0.003	3.021
		3.025	0.003	3.022	3.024	0.003	3.021
	0.0908	6.027	0.003	6.024	6.025	0.003	6.022
		6.025	0.003	6.022	6.023	0.003	6.02
		6.025	0.003	6.022	6.023	0.003	6.02

ตาราง ง.7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของตะกั่วที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_s) และแบลนด์ (I_B) ที่ผ่าน การย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

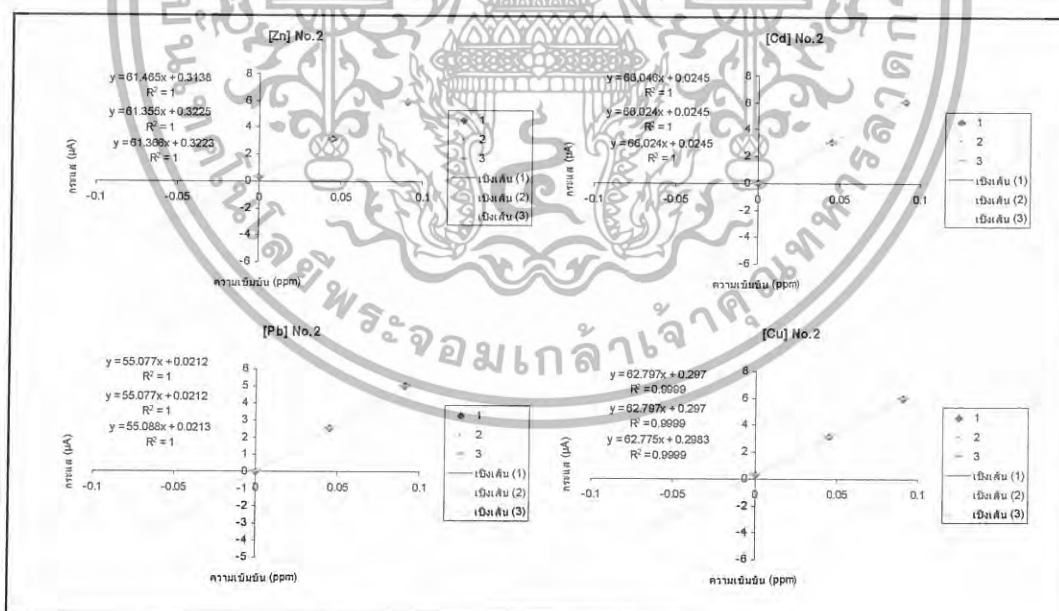
โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Pb	0	0.036	0.012	0.024	0.034	0.012	0.022
		0.036	0.012	0.024	0.034	0.012	0.022
		0.036	0.012	0.024	0.034	0.012	0.022
	0.0454	2.544	0.012	2.532	2.532	0.012	2.52
		2.542	0.012	2.53	2.532	0.012	2.52
		2.542	0.012	2.53	2.533	0.012	2.521
	0.0908	5.041	0.012	5.029	5.035	0.012	5.023
		5.041	0.012	5.029	5.035	0.012	5.023
		5.041	0.012	5.029	5.036	0.012	5.024

ตาราง ง.8 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของทองแดงที่วัดได้จากสารตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (I_s) และแบลนด์ (I_B) ที่ผ่าน การย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที

โลหะหนัก	สารมาตรฐานผสมที่เติม (ppm)	H_2SO_4 $100^\circ C$ 20 min					
		I (μA) ครั้งที่ 1			I (μA) ครั้งที่ 2		
		I_s	I_B	$I_s - I_B$	I_s	I_B	$I_s - I_B$
Cu	0	0.315	0.003	0.312	0.313	0.003	0.31
		0.315	0.003	0.312	0.313	0.003	0.31
		0.315	0.003	0.312	0.314	0.003	0.311
	0.0454	3.122	0.003	3.119	3.125	0.003	3.122
		3.123	0.003	3.12	3.125	0.003	3.122
		3.123	0.003	3.12	3.126	0.003	3.123
	0.0908	6.011	0.003	6.008	6.015	0.003	6.012
		6.012	0.003	6.009	6.015	0.003	6.012
		6.012	0.003	6.009	6.014	0.003	6.011



รูปที่ 3 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 1



รูปที่ 4 แสดงกราฟมาตรฐานของ Zn, Cd, Pb และ Cu ที่ได้จากเทคนิคการเติมสารมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.01 μL ลงในสารละลายตัวอย่างส่วนของน้ำเชื่อมที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที ครั้งที่ 2

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.0049664	0.0049657	0.0049754	4.97	5.43E-06
	0.0454	0.0456384	0.0455816	0.0456546	45.6	3.83E-05
	0.0908	0.0906816	0.090543	0.0906735	90.6	7.78E-05
Cd	0	0.0007688	0.0007688	0.0007688	0.769	1.33E-19
	0.0454	0.0453764	0.0453764	0.0453764	45.4	0.00E+00
	0.0908	0.0908128	0.0908128	0.0908128	90.8	0.00E+00
Pb	0	0.0006038	0.0006202	0.0006348	0.620	1.55E-05
	0.0454	0.0454491	0.0454419	0.0454364	45.4	6.37E-06
	0.0908	0.0907767	0.0907785	0.0907821	90.8	2.74E-06
Cu	0	0.0048901	0.004895	0.0048991	4.89	4.49E-06
	0.0454	0.045648	0.0456594	0.0456643	45.7	8.33E-06
	0.0908	0.0906752	0.0906704	0.0906671	90.7	4.10E-06

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อพร้อมทั้งค่า เบี่ยงเบน
มาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้
ความร้อนที่ระดับสเกล $100^\circ C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะ หนัก	สารมาตรฐาน ที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.0046727	0.0046727	0.0046687	4.67	2.35E-06
	0.0454	0.0457772	0.0457772	0.0457723	45.8	2.84E-06
	0.0908	0.0906108	0.0906108	0.0906141	90.6	1.90E-06
Cd	0	0.0006616	0.0006616	0.0006652	0.663	2.10E-06
	0.0454	0.0454126	0.0454126	0.0454272	45.4	8.42E-06
	0.0908	0.0907943	0.0907943	0.0908089	90.8	8.42E-06
Pb	0	0.0006236	0.0006144	0.0006456	0.628	1.60E-05
	0.0454	0.0453764	0.0453582	0.0453454	45.4	1.55E-05
	0.0908	0.0908127	0.0908218	0.0908273	90.8	7.34E-06
Cu	0	0.0055012	0.0055005	0.0055099	5.50	5.24E-06
	0.0454	0.0466329	0.0466264	0.0466099	46.6	1.19E-05
	0.0908	0.0901839	0.0901854	0.0901936	90.2	5.26E-06

ตารางที่ ง.11 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้ง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.0054881	0.0054881	0.0056354	5.54	8.50E-05
	0.0454	0.0454111	0.0454111	0.0453562	45.4	3.17E-05
	0.0908	0.0907944	0.0907944	0.0908218	90.8	1.58E-05
Cd	0	0.0003587	0.0003588	0.0003588	0.359	6.90E-08
	0.0454	0.0453896	0.0453896	0.0453896	45.4	1.25E-08
	0.0908	0.0908049	0.0908049	0.0908049	90.8	2.00E-08
Pb	0	0.0004681	0.0004572	0.0004572	0.461	6.28E-06
	0.0454	0.0454672	0.0454418	0.0454418	0.455	1.47E-05
	0.0908	0.0907676	0.0907785	0.0907785	90.8	6.28E-06
Cu	0	0.0047552	0.0047576	0.0047576	4.76	1.36E-06
	0.0454	0.044965	0.0449699	0.0449699	45.0	2.81E-06
	0.0908	0.0910188	0.0910156	0.0910156	91.0	1.85E-06

ตารางที่ ง.12 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมพร้อมทั้ง ค่า
เบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล
100°C เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะ หนัก	สารมาตรฐาน ที่เติม (ppm)	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ppb)				SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	0	0.0051053	0.0052563	0.0052521	5.20	8.60E-05
	0.0454	0.0453299	0.0452856	0.0452808	45.3	2.70E-05
	0.0908	0.0908354	0.0908565	0.0908598	90.9	1.32E-05
Cd	0	0.000371	0.0003711	0.0003711	0.371	7.14E-08
	0.0454	0.045385	0.045385	0.045385	45.4	1.34E-08
	0.0908	0.0908079	0.0908079	0.0908079	90.8	1.95E-08
Pb	0	0.0003849	0.0003849	0.0003867	0.385	1.00E-06
	0.0454	0.0453692	0.0453692	0.0453765	45.4	4.20E-06
	0.0908	0.0908147	0.0908147	0.0908129	90.8	1.04E-06
Cu	0	0.0047295	0.0047295	0.0047519	4.74	1.29E-05
	0.0454	0.0449862	0.0449862	0.0449972	45.0	6.34E-06
	0.0908	0.0910075	0.0910075	0.0910028	91.0	2.74E-06

ตารางที่ ง.13 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	0.1091915	2.34643	0.0465352
	0.0454	0.084051	1.6806382	0.0500114
	0.0908	0.0858223	1.5156822	0.0566229
Cd	0	1.727E-14	3.1073997	5.558E-15
	0.0454	0	1.68202	0
	0.0908	0	1.5152296	0
Pb	0	2.5091482	3.2099548	0.7816771
	0.0454	0.0140199	1.6816517	0.008337
	0.0908	0.0030236	1.5153141	0.0019953
Cu	0	0.0918142	2.3517683	0.0390405
	0.0454	0.018252	1.6804588	0.0108613
	0.0908	0.0045208	1.5155861	0.0029829

ตารางที่ ง.14 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	0.0502813	2.3683585	0.0212305
	0.0454	0.0061956	1.679804	0.0036883
	0.0908	0.002096	1.5157346	0.0013828
Cd	0	0.3175162	3.1775562	0.0999246
	0.0454	0.0185348	1.6817908	0.0110209
	0.0908	0.009271	1.5152638	0.0061184
Pb	0	2.549574	3.2035493	0.7958591
	0.0454	0.0342673	1.6821115	0.0203716
	0.0908	0.0080842	1.5152099	0.0053354
Cu	0	0.095133	2.3106134	0.0411722
	0.0454	0.0254361	1.6751723	0.0151842
	0.0908	0.0058278	1.5168057	0.0038421

ตารางที่ ง.15 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	1.5357385	2.3085144	0.6652497
	0.0454	0.0698543	1.6819286	0.0415323
	0.0908	0.0174445	1.5152527	0.0115126
Cd	0	0.0192241	3.4851462	0.005516
	0.0454	2.751E-05	1.6819463	1.636E-05
	0.0908	2.205E-05	1.5152493	1.455E-05
Pb	0	1.3638195	3.3562531	0.4063518
	0.0454	0.0322636	1.681608	0.0191862
	0.0908	0.0069232	1.5153248	0.0045688
Cu	0	0.028571	2.3619078	0.0120966
	0.0454	0.0062492	1.684309	0.0037102
	0.0908	0.0020342	1.5147182	0.001343

ตารางที่ ง.16 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของ โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ repeatability) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	1.6517064	2.3301407	0.7088441
	0.0454	0.0597099	1.6824536	0.0354898
	0.0908	0.0145314	1.5151347	0.0095908
Cd	0	0.0192337	3.4675143	0.0055468
	0.0454	2.946E-05	1.6819719	1.752E-05
	0.0908	2.143E-05	1.5152418	1.414E-05
Pb	0	0.2603601	3.4476191	0.0755188
	0.0454	0.0092614	1.6820465	0.005506
	0.0908	0.0011421	1.5152263	0.0007537
Cu	0	0.2726048	2.3633921	0.1153447
	0.0454	0.0140993	1.6841871	0.0083715
	0.0908	0.0030099	1.514745	0.0019871

ตารางที่ ง.17 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อ (สำหรับบ่งชี้ reproducibility)

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	4.3686464	35.715142	0.1223192
	0.0454	0.2332399	25.457889	0.0091618
	0.0908	0.0162246	22.965279	0.0007065
Cd	0	10.469445	47.59065	0.2199895
	0.0454	0.0640051	25.483415	0.0025116
	0.0908	0.0106182	22.958283	0.0004625
Pb	0	0.9383969	48.586968	0.0193138
	0.0454	0.1284216	25.483053	0.0050395
	0.0908	0.0323029	22.958515	0.001407
Cu	0	8.2844251	35.310561	0.2346161
	0.0454	1.4801563	25.421206	0.0582253
	0.0908	0.3778852	22.972651	0.0164493

ตารางที่ ง.18 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อม (สำหรับบ่งชี้ reproducibility)

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%RSD _{experimented}	%RSD _{predicted}	Horrat
Zn	0	4.3791438	35.138408	0.1246256
	0.0454	0.1466019	25.487742	0.0057519
	0.0908	0.0365936	22.95748	0.001594
Cd	0	2.3825623	52.670376	0.0452353
	0.0454	0.0071288	25.484229	0.0002797
	0.0908	0.002318	22.958265	0.000101
Pb	0	12.584598	51.509011	0.2443184
	0.0454	0.1225084	25.482229	0.0048076
	0.0908	0.0305585	22.95872	0.001331
Cu	0	0.2951424	35.797713	0.0082447
	0.0454	0.0340096	25.518909	0.0013327
	0.0908	0.0083179	22.950479	0.0003624

ตารางที่ ง.19 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recoveryเฉลี่ย
Zn	0.0454	89.585727	89.462319	89.601708	89.549918	90.003864
	0.0908	90.512368	90.366799	90.494265	90.457811	
Cd	0.0454	98.254651	98.254651	98.254651	98.254651	96.669027
	0.0908	95.083403	95.083403	95.083403	95.083403	
Pb	0.0454	98.778287	98.726091	98.681866	98.728748	96.967079
	0.0908	95.21961	95.204135	95.192485	95.20541	
Cu	0.0454	89.775132	89.789412	89.791141	89.785228	90.180993
	0.0908	90.586209	90.57594	90.568126	90.576758	

ตารางที่ ง.20 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนเนื้อที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recoveryเฉลี่ย
Zn	0.0454	86.71834	86.71834	86.716559	86.717746	88.734037
	0.0908	90.747737	90.747737	90.755507	90.750327	
Cd	0.0454	94.411474	94.411474	94.434545	94.419164	94.80004
	0.0908	95.177067	95.177067	95.188614	95.180916	
Pb	0.0454	94.415036	94.396157	94.303479	94.371558	94.806014
	0.0908	95.236632	95.25598	95.228799	95.24047	
Cu	0.0454	86.775718	86.763448	86.708801	86.749322	88.086266
	0.0908	89.422064	89.424388	89.423178	89.42321	

ตารางที่ ง.21 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 1

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recovery _{เฉลี่ย}
Zn	0.0454	87.936066	87.936066	87.490671	87.787601	88.912997
	0.0908	90.08058	90.08058	89.95402	90.038393	
Cd	0.0454	99.18711	99.186799	99.186799	99.186903	97.347507
	0.0908	95.50822	95.508057	95.508057	95.508111	
Pb	0.0454	99.117145	99.085176	99.085176	99.095832	97.232202
	0.0908	95.353245	95.376234	95.376234	95.368571	
Cu	0.0454	88.567808	88.573344	88.573344	88.571498	89.829499
	0.0908	91.091415	91.085543	91.085543	91.0875	

ตารางที่ ง.22 แสดงค่า% recovery ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี wet digestion โดยใช้ H_2SO_4 และให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที ชุดที่ 2

โลหะหนัก	สารมาตรฐานที่เติม (ppm)	%recovery 1	%recovery 2	%recovery 3	% recovery	% recovery _{เฉลี่ย}
Zn	0.0454	84.861852	84.450079	84.448693	84.586875	87.51307
	0.0908	90.528078	90.390914	90.398802	90.439265	
Cd	0.0454	94.966416	94.966106	94.966106	94.966209	95.232241
	0.0908	95.498382	95.498216	95.498216	95.498272	
Pb	0.0454	94.903575	94.903575	94.915263	94.907471	95.1985
	0.0908	95.490773	95.490773	95.48704	95.489529	
Cu	0.0454	84.929747	84.929747	84.90574	84.921745	88.009431
	0.0908	91.10666	91.10666	91.078032	91.097117	



จ.1 แสดงการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตารางที่ 4.1

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การหาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของสังกะสีที่ระดับความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 0.50 M

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{3.978 + 3.979 + 3.976}{3}$$

$$\bar{X} = 3.978$$

2. การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าของสังกะสีที่ระดับความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 0.50 M

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{(3.978 - 3.978)^2 + (3.979 - 3.978)^2 + (3.976 - 3.978)^2}{3-1}}$$

$$SD = 0.002$$

หมายเหตุ การรายงานค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยให้รายงานเป็นค่า $\bar{X} \pm SD$ นั่นคือ 3.978 ± 0.002 และที่ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในระดับอื่นๆ สามารถคำนวณได้จากสูตรในสมการ 1.1 และ 1.2 เช่นเดียวกัน

ตารางที่ จ.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้อิเล็กโทรไลต์ ($n = 3$) ที่ความเข้มข้นต่างๆ 0.5 mL ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL

[E]	Zn			Cd			Pb			Cu		
	I(μ A)	\bar{X}	SD	I(μ A)	\bar{X}	SD	I(μ A)	\bar{X}	SD	I(μ A)	\bar{X}	SD
0.00	ND			ND			ND			ND		
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ND			ND			ND			ND		
0.50	3.978			1.651			ND			ND		
	3.979	3.978	0.002	1.653	1.654	0.004	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3.976			1.659			ND			ND		
1.00	4.015			1.672			ND			0.480		
	4.017	4.017	0.002	1.674	1.674	0.002	ND	ND	ND	0.480	0.480	0.000
	4.018			1.675			ND			0.480		
1.50	3.315			1.787			1.282			0.813		
	3.318	3.318	0.003	1.788	1.789	0.002	1.284	1.284	0.002	0.813	0.813	0.000
	3.321			1.791			1.285			0.813		
2.00	3.275			1.711			1.188			0.736		
	3.276	3.277	0.002	1.715	1.713	0.002	1.188	1.188	0.001	0.736	0.736	0.000
	3.279			1.712			1.189			0.736		
2.50	3.338			1.826			1.376			0.844		
	3.339	3.337	0.002	1.825	1.825	0.002	1.377	1.377	0.002	0.844	0.845	0.002
	3.335			1.823			1.379			0.847		
3.00	3.381			1.856			1.515			0.884		
	3.385	3.384	0.003	1.859	1.857	0.002	1.517	1.515	0.003	0.885	0.885	0.002
	3.387			1.855			1.512			0.887		



ภาคผนวก ฉ
ศึกษา deposit time ที่เหมาะสม

จ.1 แสดงแสดงการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตารางที่ 4.2

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การหาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของสังกะสีเมื่อใช้ deposition time ที่ 30 วินาที

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{1.677 + 1.675 + 1.730}{3}$$

$$\bar{X} = 1.694$$

2. การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าของสังกะสีเมื่อใช้ deposition time ที่ 30 วินาที

$$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{(1.677 - 1.694)^2 + (1.675 - 1.694)^2 + (1.730 - 1.694)^2}{3-1}}$$

$$SD = 0.031$$

หมายเหตุ การรายงานค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยให้รายงานเป็นค่า $\bar{X} \pm SD$ นั่นคือ 1.694 ± 0.031 และที่ deposition time ระดับอื่นๆ สามารถคำนวณได้จากสูตรในสมการ 1.1 และ 1.2 เช่นเดียวกัน

ตารางที่ ๑.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ โลหะหนักที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้ deposition time ($n = 3$) ตั้งแต่ 30 - 300 วินาที ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL

Deposition time (s)	Zn			Cd		
	I(μ A)	\bar{X}	SD	I(μ A)	\bar{X}	SD
30	1.677	1.694	0.031	0.751	0.753	0.002
	1.675			0.753		
	1.730			0.754		
60	3.380	3.382	0.002	1.856	1.856	0.002
	3.381			1.857		
	3.384			1.854		
120	7.697	7.696	0.001	3.385	3.386	0.001
	7.695			3.386		
	7.697			3.386		
180	12.354	12.354	0.001	4.945	4.946	0.001
	12.354			4.946		
	12.355			4.946		
240	16.184	16.185	0.001	6.553	6.553	0.001
	16.185			6.553		
	16.185			6.552		
300	20.217	20.216	0.001	8.211	8.212	0.001
	20.215			8.212		
	20.215			8.212		

ตารางที่ ๑.๒ แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้ deposition time ($n = 3$) ตั้งแต่ 30 - 300 วินาที ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL

Deposition time (s)	Pb			Cu		
	I(μ A)	\bar{X}	SD	I(μ A)	\bar{X}	SD
30	0.552	0.554	0.002	0.419	0.421	0.002
	0.554			0.421		
	0.555			0.423		
60	1.515	1.513	0.002	0.884	0.885	0.002
	1.512			0.885		
	1.513			0.887		
120	2.262	2.263	0.001	1.473	1.472	0.001
	2.263			1.472		
	2.263			1.472		
180	3.261	3.262	0.001	1.996	1.997	0.001
	3.262			1.996		
	3.262			1.998		
240	4.298	4.298	0.001	2.633	2.634	0.001
	4.298			2.633		
	4.297			2.635		
300	5.368	5.375	0.011	3.313	3.313	0.001
	5.388			3.312		
	5.369			3.313		

ตารางที่ ๓.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้ deposition time ($n = 3$) ตั้งแต่ 360 - 1000 วินาที ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL

Deposition time (s)	Zn			Cd		
	I(μ A)	\bar{X}	SD	I(μ A)	\bar{X}	SD
360	22.917			9.761		
	22.918	22.918	0.001	9.761	9.761	0.001
	22.919			9.762		
420	21.494			11.877		
	21.495	21.495	0.002	11.875	11.876	0.001
	21.497			11.876		
480	20.094			15.594		
	20.095	20.095	0.001	15.594	15.594	0.001
	20.095			15.595		
720	18.225			21.821		
	18.226	18.226	0.001	21.821	21.821	0.001
	18.226			21.822		
1000	11.025			27.811		
	11.027	11.026	0.001	27.812	27.812	0.001
	11.027			27.812		

ตารางที่ ๓.๔ แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ โลหะหนักที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้ deposition time ($n = 3$) ตั้งแต่ 360 - 1000 วินาที ในสารละลายมาตรฐานผสมอย่างละ 100 ppm 0.1 mL ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 mL

Deposition time (s)	Pb			Cu		
	I(μ A)	\bar{X}	SD	I(μ A)	\bar{X}	SD
360	6.335	6.336	0.001	3.885	3.886	0.001
	6.335			3.886		
	6.337			3.887		
420	8.096	8.097	0.002	4.958	4.958	0.001
	8.096			4.958		
	8.099			4.959		
480	10.341	10.343	0.002	6.384	6.385	0.001
	10.343			6.385		
	10.345			6.385		
720	14.581	14.582	0.001	6.918	6.918	0.001
	14.582			6.918		
	14.582			6.917		
1000	18.711	18.712	0.001	5.851	5.852	0.001
	18.712			5.852		
	18.713			5.852		



ตัวอย่างการคำนวณปริมาณของสังกะสีในตัวอย่างส่วนเนื้อ

$$\text{ใช้หลัก } C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_2 = ความเข้มข้นที่วัดได้เมื่อใช้ตัวอย่าง 1 mL (ใช้ข้อมูลในตาราง ข.1)

V_2 = ปริมาตรรวมในโพลาริกราฟฟิคเซลล์

V_1 = ปริมาตรของตัวอย่างที่ถูกเติมลงในโพลาริกราฟฟิคเซลล์

เพราะฉะนั้นจะได้

ครั้งที่ 1

$$C_1(1) = 0.004939(22)$$

$$C_1 = 0.1087 \mu\text{g} / \text{mL}$$

สรุปได้ว่า ที่สารละลายตัวอย่าง 1 mL มีปริมาณของสังกะสีอยู่ 0.1087 μg

ถ้ามีสารละลายตัวอย่าง 25 mL มีปริมาณของสังกะสีอยู่ $(0.1087)(25) = 2.7165 \mu\text{g}$

นั่นคือตัวอย่าง 1 g มีความเข้มข้นของสังกะสี 2.7165 μg แต่สำหรับตัวอย่างส่วนเนื้อของทั้งกระป๋องมีน้ำหนัก 145 กรัม เพราะฉะนั้นจะมีความเข้มข้นของสังกะสีเท่ากับ

$$2.7165 \times 145 = 393.8853 \mu\text{g}$$

ครั้งที่ 2

$$C_1(1) = 0.005001(22)$$

$$C_1 = 0.1100 \mu\text{g} / \text{mL}$$

สรุปได้ว่า ที่สารละลายตัวอย่าง 1 mL มีปริมาณของสังกะสีอยู่ 0.1100 μg

ถ้ามีสารละลายตัวอย่าง 25 mL มีปริมาณของสังกะสีอยู่ $(0.1100)(25) = 2.7501 \mu\text{g}$

นั่นคือตัวอย่าง 1 g มีความเข้มข้นของสังกะสี 2.7501 μg แต่สำหรับตัวอย่างส่วนเนื้อของทั้งกระป๋องมีน้ำหนัก 145 กรัม เพราะฉะนั้นจะมีความเข้มข้นของสังกะสีเท่ากับ

$$2.7501 \times 145 = 398.8298 \mu\text{g}$$

ครั้งที่ 3

$$C_1(1) = 0.004975(22)$$

$$C_1 = 0.1095 \mu\text{g} / \text{mL}$$

สรุปได้ว่า ที่สารละลายตัวอย่าง 1 mL มีปริมาณของสังกะสีอยู่ 0.1095 μg

ถ้ามีสารละลายตัวอย่าง 25 mL มีปริมาณของสังกะสีอยู่ $(0.1095)(25) = 2.7363 \mu\text{g}$

นั่นคือตัวอย่าง 1 g มีความเข้มข้นของสังกะสี 2.7501 μg แต่สำหรับตัวอย่างส่วนเนื้อของทั้งกระป๋องมีน้ำหนัก 145 กรัม เพราะฉะนั้นจะมีความเข้มข้นของสังกะสีเท่ากับ

$$2.7363 \times 145 = 396.7563 \mu\text{g}$$

สำหรับปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดอื่นๆ ก็สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันกับการคำนวณในข้างต้น

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน($n=3$) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu\text{g/g}$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	2.7165	2.7506	2.7363	2.7344	0.0171
Cd	0.3894	0.3977	0.4230	0.4033	0.0175
Pb	0.3163	0.3163	0.3069	0.3131	0.0054
Cu	2.6895	2.7236	2.7099	2.7077	0.0172

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 กรัม ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน($n=3$) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu\text{g/g}$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	2.7467	2.7566	2.7517	2.7517	0.0050
Cd	0.4065	0.4065	0.4230	0.4120	0.0095
Pb	0.2811	0.2811	0.2882	0.2834	0.0041
Cu	2.2633	2.2710	2.2699	2.2680	0.0042

ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 mL ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu g/mL$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	2.5581	2.5658	2.5581	2.5606	0.0044
Cd	0.1832	0.1898	0.1898	0.1876	0.0038
Pb	0.2244	0.2173	0.2096	0.2171	0.0074
Cu	2.5845	2.5861	2.5933	2.5879	0.0047

ตารางที่ ข.4 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 1 mL ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu g/mL$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	2.5581	2.5658	2.5581	2.5606	0.0044
Cd	0.1771	0.1980	0.1980	0.1910	0.0121
Pb	0.2041	0.2266	0.2173	0.2160	0.0113
Cu	2.5933	2.5911	2.5861	2.5901	0.0037

ตารางที่ ข.5 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 145 g ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (n=3) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu g/145 g$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	393.8853	398.8298	396.7563	396.4904	2.4829
Cd	56.4630	57.6593	61.3278	58.4833	2.5349
Pb	45.8563	45.8563	44.5005	45.4043	0.7827
Cu	389.9775	394.9220	392.9283	392.6093	2.4876

ตารางที่ ข.6 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 145 g ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ($n=3$) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu g/175\text{ mL}$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	398.2715	399.7070	398.9893	398.9893	0.7178
Cd	58.9353	58.9353	61.3278	59.7328	1.3813
Pb	40.7523	40.7523	41.7890	41.0978	0.5986
Cu	328.1713	329.2878	329.1283	328.8624	0.6039

ตารางที่ ข.7 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 175 mL ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ($n=3$) ชุดที่ 1

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu g/145\text{ g}$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	447.6588	449.0063	447.6588	448.1079	0.7780
Cd	32.0513	33.2063	33.2063	32.8213	0.6668
Pb	39.2700	38.0188	36.6713	37.9867	1.2997
Cu	452.2788	452.5675	453.8188	452.8883	0.8186

ตารางที่ ข.8 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 175 mL ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน ($n=3$) ชุดที่ 2

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu g/175\text{ mL}$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	447.6588	449.0063	447.6588	448.1079	0.7780
Cd	30.9925	34.6500	34.6500	33.4308	2.1117
Pb	35.7088	39.6550	38.0188	37.7942	1.9827
Cu	453.8188	453.4338	452.5675	453.2733	0.6409

ตารางที่ ข.9 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนเนื้อซึ่งคิดจากตัวอย่าง 145 g ที่ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu g/145 g$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	396.0784	399.2684	397.8728	397.7398	1.5991
Cd	57.6991	58.2973	61.3278	59.1080	1.9454
Pb	43.3043	43.3043	43.1448	43.2511	0.0921
Cu	359.0744	362.1049	361.0283	360.7358	1.5363

ตารางที่ ข.10 ตารางแสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างส่วนน้ำเชื่อมซึ่งคิดจากตัวอย่าง 175 mL ผ่านการย่อยด้วยวิธี wet digestion ด้วย H_2SO_4 ที่ให้ความร้อนที่ระดับสเกล $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 นาที แล้วตรวจวัดด้วยวิธี DPASV ร่วมกับเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน

โลหะหนัก	ปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ ($\mu g/175 mL$)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Zn	447.6588	449.0063	447.6588	448.1079	0.7780
Cd	31.5219	33.9281	33.9281	33.1260	1.3892
Pb	37.4894	38.8369	37.3450	37.8904	0.8228
Cu	453.0488	453.0006	453.1931	453.0808	0.1002



ภาคผนวก ข
สูตรสำหรับการคำนวณ

จ.1 แสดงสูตรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad \text{สมการ 1.1}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{สมการ 1.2}$$

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \quad \text{สมการ 1.3}$$

$$\%recovery = \frac{[Sample_{spiked}] - [Sample_{blank}]}{[add]} \times 100 \quad \text{สมการ 1.4}$$

$$Horrat = \frac{\%RSD_{\text{experimented}}}{\%RSD_{\text{predicted}}} \quad \text{สมการ 1.5}$$

$$\%RSD_{\text{predicted}} = 2^{1-0.5 \log C} \quad \text{สมการ 1.6}$$

$$\%RSD_{\text{predicted}} = 1.66 \times 2^{1-0.5 \log C} \quad \text{สมการ 1.7}$$

$$LOD = \frac{3S_{y/x}}{\text{slope}} \quad \text{สมการ 1.8}$$

$$LOQ = 3.3LOD \quad \text{สมการ 1.9}$$

$$s_{y/x} = \sqrt{\frac{\Sigma(y_i - \hat{y})^2}{n-2}} \quad \text{สมการ 1.10}$$

หมายเหตุ 1. สมการ 1.6 ใช้สำหรับคำนวณ reproducibility

2. สมการ 1.7 ใช้สำหรับคำนวณ repeatability

3. $\hat{y} = mx + c$ (จากสมการเส้นตรง)