การศึกษาวิธีการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุจิตรา ศรีสุวรรณ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

สิงหาคม 2558

การศึกษาวิธีการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุจิตรา ศรีสุวรรณ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

สิงหาคม 2558

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาวิธีการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

บทคัดย่อ

ของ

สุจิตรา ศรีสุวรรณ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

สิงหาคม 2558

สุจิตรา ศรีสุวรรณ์. (2558). *การศึกษาวิธีการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก*. ปริญญานิพนธ์ วท.ม.(เคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ดร. สุจิตรา ศรีสังข์.

อุตสาหกรรมการผลิตโลหะมีค่า มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ การลดต้นทุนการผลิตจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญ จึงได้มีการนำโลหะจากผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพ เช่น ขยะจากวัสดุเหลือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ผงขัดจากการขัดโลหะ หรือตัวอย่างที่เป็นของเหลว เช่น น้ำล้างชิ้นงานจากโรงงานชุบ และน้ำเสียจากกระบวนการผลิต กลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากในตัวอย่างเหล่านี้อาจมีโลหะมีค่าบางชนิด เช่น ทองคำ เงิน แพลเลเดียม แพลทินัม หลงเหลืออยู่ ดังนั้นเมื่อโลหะมีค่าเหล่านี้ถูกแยกออกด้วยกระบวนการต่างๆ น้ำเสียหลังจากกระบวนการดังกล่าว อาจมีไอออนของโลหะมีค่าบางชนิดหลงเหลืออยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะทองแดง ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม โดยศึกษาถึงกระบวนการที่เหมาะสมที่ใช้ในการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียเปรียบเทียบระหว่างการใช้กระบวนการซีเมนเตชันและกระบวนการรีดักชัน วิเคราะห์ร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ไอออน ร้อยละการคืนกลับของโลหะทองแดง และร้อยละความบริสุทธิ์ที่ได้จากทั้ง 2 กระบวนการ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการซีเมนเตชันสำหรับการวิเคราะห์สารมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟต คือ ที่ pH ของสารละลายเท่ากับ 1 ระยะเวลา 16-18 ชั่วโมง ปริมาณอะลูมินัม เป็น 1 เท่าของปริมาณโลหะทองแดงในสารละลาย โดยชนิดของอะลูมินัมที่เหมาะสม คือ อะลูมินัมแบบแผ่น ให้ค่าร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ ร้อยละการคืนกลับของโลหะทองแดง และร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 96.83 ± 1.09, 74.4 ± 2.73 และ 92.39% ตามลำดับ สำหรับกระบวนการรีดักชันพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการรีดักชันสำหรับการวิเคราะห์สารมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟต คือ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที อัตราส่วนระหว่างสารละลายตัวอย่างและตัวรีดิวซ์ เป็น 1:1 โดยมีไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสม และมีค่าร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ ร้อยละการคืนกลับของโลหะทองแดง และร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 98.33±0.01, 80.93±1.36 และ 80.83% ตามลำดับ ในด้านของความคุ้มค่าในการลงทุนพบว่ากระบวนการซีเมนเตชันใช้ต้นทุนในการลงทุนที่ต่ำกว่ากระบวนการรีดักชัน ดังนั้นกระบวนการซีเมนเตชันจึงเหมาะที่จะใช้ในการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมมากกว่ากระบวนการรีดักชัน ข้อมูลจากงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการพิจารณากระบวนการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการที่จะสามารถนำไปขยายผลเชิงพาณิชย์ต่อไป

STUDY ON COPPER RECOVERY METHOD FROM REFINING WASTEWATER FOR SMALL INDUSTRY

AN ABSTRACT

BY

SUJITRA SRISUWAN

Presented in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Master of Science Degree in Chemistry

at Srinakharinwirot University

August 2015

Sujitra Srisuwan. (2015). *study on copper recovery method from refining wastewater for small industry.* Master thesis. M.Sc. (Chemistry). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee. Dr. Sujitra Srisung.

The industry of precious metal refining is important to national economy. The reducing cost of production is one important choice for metal products deteriorating such as scraps, sweeps in jewellery, or solution e.g. plating solution and industrial wastewater. In fact, the samples have some precious metals, gold(Au), silver(Ag), palladium(Pd), platinum(Pt) when the metals in these samples were separated by various processes. The waste solution from the refining precious metals processes mainly contained copper ion. This research aims to study the process for recovery copper from the industrial wastewater. The optimal processes for copper recovery from solution were compared between the cementation and the chemical reduction processes and applied to real waste solution. The main experimental factors were taken in to consideration that affect the removal of Cu^{2+}, recovery of $Cu_{(s)}$ and purity. The results showed the optimal condition for cementation: pH 1, time 16-18 hrs. , ratio of Cu^{2+} : Al = 1:1 and type of aluminum is Al plate. The removal of Cu^{2+}, the percentage of recoveries and purity from cementation process are 96.83 ± 1.09, 74.4 ± 2.73 and 92.39% respectively. For the chemical reduction, the results showed the optimal condition for chemical reduction: temperature 80 °C, time 60 minutes, ratio of Cu^{2+}:reducing agent = 1:1 and hydrazine as the reducing agent, the removal of Cu^{2+}, the percentage of recoveries and purity are 98.33 ± 0.01, 80.93 ± 1.36 and 80.83% respectively. In terms of value for the investment, it was found that the cost of cementation is lower than the chemical reduction. So, the cementation is appropriate to be used to separate the copper from the wastewater of industrial plants. The data from this research will be considered to decide on the appropriate and effective processes for treating wastewater from small industries, which will be useful to the trader are able to commercial expand.

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยประเภททุนการศึกษาเพื่อทำปริญญานิพนธ์

จาก

บัณฑิตวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2558

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาวิธีการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ของ

สุจิตรา ศรีสุวรรณ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่..... เดือน.....พ.ศ. 2558

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.สุจิตรา ศรีสังข์)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แพน ทองเรือง)

.....กรรมการ

(ดร. จิตาภา สำราญจิตต์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบรูณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.สุจิตรา ศรีสังข์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่องต่างๆ ช่วยแก้ไขปัญหาในการทำงานวิจัย ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยและการเขียนปริญญานิพนธ์นี้แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี อีกทั้งทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ ได้เรียนรู้และเห็นคุณค่าของงานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แพน ทองเรือง ประธานกรรมการในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ดร.จิตาภา สำราญจิตต์ และ ดร.เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์ กรรมการควบคุมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนะข้อบกพร่อง เพื่อให้ปริญญานิพนธ์นี้มีความสมบรูณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ให้ความเมตตา เอาใจใส่และให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่คอยให้การสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้แนะนำ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยตลอดการศึกษาและการทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณทุกๆท่านไว้ ณ โอกาสนี้

คุณค่าของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณต่อครอบครัวของผู้วิจัย ที่มอบความรัก ความเอาใจใส่ และสนับสนุนในทุกๆด้าน ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในครั้งนี้

สุจิตรา ศรีสุวรรณ์

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
	ความสำคัญของงานวิจัย	3
	ขอบเขตของโครงการวิจัย	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	5
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	6
	เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะ	6
	การสกัดแยกโลหะด้วยเทคโนโลยีโลหะวิทยา	10
	ทองแดง	19
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	27
	อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	27
	กระบวนการแยกโลหะทองแดง	28
	การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดง	35
	เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้กระบวนการซีเมนเตชันกับกระบวนการรีดักชัน	37
4	**ผลการวิจัย**	39
	กระบวนการแยกโลหะทองแดง	39
	ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและร้อยละของความบริสุทธิ์ของการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการซีเมนเตชัน	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	(ต่อ)	
	ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและร้อยละของความบริสุทธิ์ของการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการรีดักชัน.....	45
	เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้กระบวนการซีเมนเตชันกับกระบวนการรีดักชัน.....	52
5	**สรุปผล อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ**.....	55
บรรณานุกรม.....		58
ภาคผนวก.....		63
ประวัติย่อผู้วิจัย.....		68

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของกระบวนการสกัดแยกโลหะด้วยเทคโนโลยีโลหะวิทยา	18
2	สมบัติทางกายภาพของทองแดง	19
3	แสดงอัตราส่วนของสารละลายมาตรฐานของโลหะผสม	29
4	ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการตกตะกอนโดยใช้กระบวนการซีเมนเตชัน	31
5	ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการตกตะกอนโดยใช้กระบวนการรีดักชัน	33
6	การกำหนดสภาวะของเครื่อง	35
7	ร้อยละกำจัดคอปเปอร์ออกจากสารละลายและร้อยละการคืนกลับของผงโลหะทองแดง	43
8	แสดงเปอร์เซ็นความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงที่ได้จากกระบวนการซีเมนเตชันโดยใช้เทคนิค FAAS และ ED-XRF	44
9	แสดงเปอร์เซ็นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายที่อุณหภูมิต่างๆ	46
10	แสดงเปอร์เซ็นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายที่เวลาต่างๆ	47
11	แสดงเปอร์เซ็นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายที่อัตราส่วนต่างๆ	47
12	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายและร้อยละการคืนกลับของโลหะทองแดงที่ได้จากกระบวนการรีดักชัน	48
13	แสดงเปอร์เซ็นความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงที่ได้จากกระบวนการรีดักชันโดยเปรียบเทียบระหว่าง 3 ตัวรีดิวซ์	48
14	แสดงเปอร์เซ็นความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงที่ได้โดยเทคนิค FAAS และ ED-XRF จากกระบวนการรีดักชันโดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์	49
15	แสดงผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์โดยใช้เทคนิค Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS) และ Energy Dispersive X-ray Fluorescence (ED-XRF)	50

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
16	แสดงร้อยละความบริสุทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES, ED-XRF และ FAAS.....	51
17	เปรียบเทียบต้นทุนการแยกทองแดงด้วยกระบวนการซีเมนเตชันและรีดักชัน…….....	52

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1 กระบวนการเผาที่ผสมผสานระหว่างวิธีโลหะวิทยาความร้อนสูงกับกระบวนการไพโรไลซิสของตัวอย่างซากแผ่นวงจรพิมพ์..... 14

2 การแยกโลหะโดยใช้ความร้อนของแร่โลหะดีบุกออกไซด์และแร่ตะกั่วออกไซด์..... 15

3 ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเพื่อการแยกทองแดงออกจากสารละลายโดยกระบวนการ Electrowinning……... 16

4 ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเพื่อการแยกทองแดงออกจากขั้วบวกโดยกระบวนการ Electrorefining…… 17

5 การนำโลหะทองแดงไปใช้ประโยชน์..... 20

6 Experimental apparatus. A, electrical motor; B, gear box; C, mechanical vibrator; D, Teflon isolated stem; E, perforated zinc disc; F, test column; G, wooden base; H, Teflonsleeve..... 22

7 Apparatus. (1) Motor (2) Shaft (3) Plexiglass container (4) Liquid level (5) Baffle (6) Rotating packed impeller (7) Zinc Raschig rings..... 26

8 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรตกับค่าการดูดกลืนแสง..... 36

9 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสม..... 40

10 การศึกษาผลของระยะเวลาที่เหมาะสม..... 41

11 การศึกษาผลของปริมาณที่เหมาะสมของอะลูมินัม..... 42

12 การศึกษาผลของโลหะรบกวน..... 43

13 ผลของชนิดของตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสม..... 45

14 อะลูมินัมแบบทรงกลม……... 63

15 อะลูมินัมแบบเศษ..... 63

16 อะลูมินัมแบบแผ่น..... 63

17 น้ำเสียตัวอย่าง..... 64

18 เครื่องกรองน้ำปราศจากไอออน..... 64

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

19 เครื่องวัด pH..... 64

20 เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง..... 65

21 เครื่องวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของโลหะ โดยใช้หลักการ ED-XRF..... 65

22 อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Perkin Elmer
รุ่น AAnalyst 300..... 65

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาของเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการใช้โลหะ เช่น อุตสาหกรรมการชุบเคลือบผิวโลหะ อุตสาหกรรมยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ก่อสร้าง อัญมณี เครื่องจักรกล เครื่องใช้ในบ้าน โทรคมนาคม เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ออนไลน์) อุตสาหกรรมเหล่านี้ต่างก็มีการใช้โลหะเป็นองค์กอบ ตัวอย่างโลหะที่มีความสำคัญของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการใช้โลหะ ตัวอย่างเช่น การผลิตสินค้ากลุ่มอัญมณีเครื่องประดับ ซึ่งเป็นสินค้าอุตสาหกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ โลหะมีค่าต่างๆ เช่น ทองคำ เงิน จัดเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตเครื่องประดับ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้โลหะทองแดงเป็นองค์ประกอบหลักในการเป็นสื่อนำไฟฟ้า ดังนั้น เพื่อให้ได้สินค้าที่ดี มีคุณภาพ อุตสาหกรรมการผลิตโลหะดังกล่าวจึงมีความสำคัญ

ในอุตสาหกรรมการผลิตโลหะ เพื่อทำให้เกิดกระบวนการเพิ่มศักยภาพของผลิตภัณฑ์ หรือลดต้นทุนการผลิต จึงเกิดอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการนำโลหะกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจัดเป็นอุตสาหกรรมการผลิตโลหะจากผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมคุณภาพแล้ว ตัวอย่างที่มีโลหะที่สามารถนำโลหะกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น ขยะที่เป็น เศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม ผงขัดจากการขัดโลหะ เช่น เครื่องประดับที่ทำจากทอง เงิน และตัวอย่างที่เป็นสารละลาย เช่น น้ำล้างชิ้นงาน จากโรงงานชุบ และน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ซึ่งอาจมีโลหะมีค่าบางชนิดหลงเหลืออยู่ เช่น ทองคำ เงิน แพลเลเดียม แพลทินัม ซึ่งโลหะมีค่าเหล่านี้สามารถสกัดแยกออกไปแล้วด้วยวิธีการตกตะกอน (Bernardis; et al. 2005: 205-217.) ซึ่งมีวิธีการที่มีต้นทุนในการลงทุนไม่สูงมาก เหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ในปัจจุบันพบว่า ของเสียจากแหล่งต่างๆ เช่น ขยะอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนอะไหล่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ฯลฯ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกวัน ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชากรและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำของเสียเหล่านี้ ซึ่งเป็นของเสียที่มีมูลค่าเนื่องด้วยมีองค์ประกอบเป็นโลหะซึ่งหากสามารถนำโลหะที่เป็นองค์ประกอบกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากจะทำให้ของเสียเหล่านั้นมี

มูลค่าเพิ่มแล้วยังช่วยช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้น การนำของเสียเหล่านี้ มาแยกเอาส่วนที่เป็นโลหะมีค่าออก ผ่านกระบวนการสกัดในรูปแบบต่างๆ ทำให้ได้โลหะที่มีความบริสุทธิ์ นอกจากจะเป็นการช่วยลดขยะของเสียลงแล้ว ก็ยังจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขยะเหล่านั้น

กระบวนการสกัดที่เหมาะสมมีส่วนสำคัญในการแยกสกัดโลหะ ซึ่งจากข้อมูลเทคโนโลยีการแยกโลหะนั้นสามารถ แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ การแยกโดยใช้สารเคมี หรือโลหะวิทยาสารละลาย หรือโลหะวิทยาเคมี (Hydrometallurgy) การแยกโดยใช้ความร้อน หรือโลหะวิทยาความร้อนหรือการถลุงด้วยความร้อนสูง (Pyrometallurgy) และ การแยกโดยใช้กระบวนการทางไฟฟ้า หรือโลหะวิทยาไฟฟ้าเคมี (Electrometallurgy) (Cui; & Zhang; 2008: 228-256) ในการสกัดโลหะ เมื่อโลหะถูกแยกออกไปแล้วด้วยกระบวนการต่างๆ น้ำเสียหลังจากกระบวนการแยกโลหะมีค่าดังกล่าวออกแล้ว ซึ่งจะอยู่ในรูปของสารละลายกรดกัดทองที่ผ่านการใช้แล้ว จะกลายเป็นน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของโลหะหนักเป็นจำนวนมาก ด้วยความจำเป็นทางด้านการรักษาสิ่งแวดล้อม และข้อกำหนดของราชการทำให้ต้องส่งน้ำเสียให้บริษัทที่รับจัดการของเสียไปบำบัดก่อนปล่อยทิ้ง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของทางโรงงานแยกโลหะมีค่าแล้ว ยังพบว่าในสารละลายกรดกัดทองที่ผ่านการใช้แล้วในกระบวนการดังกล่าวยังคงมีไอออนของโลหะมีค่าชนิดอื่นๆหลงเหลืออยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะทองแดง

เนื่องจากโลหะทองแดงเป็นโลหะทีมีคุณสมบัติที่สามารถเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ และสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี ทนทานต่อการผุกร่อน และสามารถนำมาแปรขึ้นรูปได้ง่าย จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้โลหะทองแดงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมในด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีปริมาณการใช้ทองแดงมากที่สุดคือประมาณ 50% ของปริมาณการใช้ทองแดงในอุตสาหกรรมทั้งหมด ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทองแดงเป็นวัตถุดิบ เช่น สายไฟ แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องมือสื่อสาร เป็นต้น ส่วนอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล เช่น วาวล์ที่ใช้ในโรงงาน เครื่องทำความร้อนและระบบทำความเย็น ตลอดจนนำไปใช้ในการผลิตชิ้นส่วนทางรถยนต์ ลวดไฟฟ้า เหรียญ เป็นต้น (กองนโยบายอุตสาหกรรม รายสาขา1. 2544: ออนไลน์)

ซึ่งในปัจจุบันน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ยังมีโลหะทองแดงอยู่นั้น ต้องนำไปบำบัด ซึ่งน้ำเสียเหล่านั้นยังคงมีมูลค่าสูงควรที่จะมีการแยกเอาโลหะทองแดงออกมาก่อนที่จะนำไปบำบัด แต่เนื่องจากเทคโนโลยีการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพ ยังมีข้อมูลน้อยมากในประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทย มีเพียงโรงงานที่เป็นของต่างชาติดำเนินการ

คัดแยกเบื้องต้นเท่านั้นจากนั้นส่งไปเข้าโรงงานรีไซเคิลเพื่อแยกสกัดโลหะในประเทศตนเอง หรืออาจมีโรงงานแยกในประเทศไทยแต่ใช้เทคโนโลยีขั้นต่ำ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตจากควันพิษและสารเคมี

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ทำได้โดยการใช้กระบวนการทางเคมีไฟฟ้า(electrometallurgy) หรือการใช้กระบวนการโลหะวิทยาเคมี (hydrometallurgy) ร่วมกับกระบวนการสกัด การดูดติดผิว การตกตะกอนและการแทนที่ด้วยโลหะ เป็นต้น วิเคราะห์ความบริสุทธิ์และร้อยละของการคืนกลับของโลหะทองแดง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้จะเป็นพื้นฐานเพื่อศึกษาข้อมูลความแตกต่างระหว่างแต่ละกระบวนการและนำสู่การใช้พิจารณาเพื่อการตัดสินใจเลือกกระบวนการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยจะต้องพิจารณาถึงปัญหาของมลพิษทางอากาศ ต้นทุนหรือของเสียหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ ซึ่งจะต้องได้รับการจัดการอย่างถูกวิธี เนื่องจากสารเคมีบางชนิดที่ใช้ในกระบวนการเป็นสารอันตราย ดังนั้น การเลือกรูปแบบของกระบวนการจึงควรเลือกให้มีความเหมาะสมกับขนาดและแหล่งทรัพยากรที่มีของตนเองก็จะเป็นประโยชน์กับผู้ประกอบการ ที่สามารถนำไปขยายผลในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาสภาวะและวิธีที่เหมาะสมในการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแยกโลหะทองแดงในแต่ละวิธี โดยศึกษาความบริสุทธิ์และร้อยละของการคืนกลับ

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้กระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

2. ประเมินประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการ และความคุ้มค่าในการลงทุน

ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษากระบวนการนำโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากน้ำเสียตัวอย่างเป็นน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการแยกเอาโลหะมีค่าบางชนิดออกไปแล้ว ซึ่งมีโลหะทองแดงเหลืออยู่ในปริมาณที่มาก นอกจากนี้ก็อาจมีโลหะชนิดอื่นๆปนอยู่ด้วย

2. วิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะในน้ำเสียตัวอย่างที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม(บริษัทสุนทรรีไฟน์เนอร์) โดยใช้เทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะที่วิเคราะห์ได้ให้เป็นตัวอย่างน้ำเสีย

4. ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแยกสกัดโลหะทองแดง

5. วิเคราะห์ร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ด้วยเทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS)

6. วิเคราะห์ความบริสุทธิ์(%Purity) ของโลหะทองแดงที่ได้โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS) , Inductively coupled plasma spectroscopy (ICP) และ Energy Dispersive X-ray Fluorescence (ED-XRF)

7. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการ ซึ่งอาจนำไปสู่การประเมินค่าใช้จ่าย ความคุ้มค่าในการลงทุนของแต่ละวิธีในการคืนกลับของโลหะทองแดง

นิยามศัพท์เฉพาะ

1.ทองแดง (Copper) หมายถึง โลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีสูตรทางเคมี คือ Cu มีเลขอะตอม 29 น้ำหนักอะตอม 63.54 เลขออกซิเดชันมี 2 ค่า คือ +1 และ +2 จุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1083 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่อุณหภูมิ 2739 องศาเซลเซียส และมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 8.9

2.น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน น้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน และให้หมายรวมถึงน้ำเสียจากกิจกรรมอื่นๆในโรงงาน

3. โลหะวิทยาสารละลายหรือโลหะวิทยาเคมี (Hydrometallurgy) หมายถึง การใช้กรดหรือสารที่มีความสามารถในการละลายโลหะที่ต้องการ เพื่อละลายโลหะนั้นๆ ออกมาจากวัตถุดิบที่เป็นของแข็ง

4. **โลหะวิทยาความร้อนหรือการถลุงด้วยความร้อนสูง** (Pyrometallurgy) หมายถึง กระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง (มากกว่า 1000 องศาเซลเซียส) ในการทำให้โลหะที่มีในตัวอย่างหลอมละลาย

5. **โลหะวิทยาไฟฟ้าเคมี** (Electrometallurgy) หมายถึง การแยกโลหะจากสารละลายโดยการใช้กระแสไฟฟ้า(Electrolysis)

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะ
2. การสกัดแยกโลหะด้วยเทคโนโลยีโลหะวิทยา
3. ทองแดง
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะ

1.1 เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) (แม้น อมรสิทธิ์; และคนอื่นๆ. 2534: 345-351)

เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุ ใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆได้ถึง 67 ธาตุ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ เป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่น มีสภาพไวสูงและเป็นเทคนิคที่มีความเฉพาะดีมาก

ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี อาศัยหลักการที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. อะตอมของธาตุทุกชนิดสามารถดูดกลืนแสงได้
2. ธาตุแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น (wavelength) เฉพาะ เช่น สารละลายตัวอย่างมีนิกเกิลละลายอยู่กับตะกั่วและทองแดง เมื่อนำไปผ่านแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะของนิกเกิล อะตอมของนิกเกิลเท่านั้นที่จะดูดกลืนแสงได้ ส่วนอะตอมของตะกั่วและทองแดงจะไม่ดูดกลืนแสงนั้น
3. ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่นนั้นจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมของธาตุนั้นและเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของธาตุที่ดูดกลืนแสงนั้น

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี จะต้องทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระ ในการทำให้สารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระนั้นต้องใช้พลังงานรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (vaporization) เมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะกับอะตอมอิสระนั้นๆ อะตอมอิสระนั้นจะเกิดการดูดกลืนแสงแล้วทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นซึ่งปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนเข้าไปจะแปรตามความเข้มข้นของสาร

เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี

1. Flame Atomization Technique เป็นเทคนิคที่ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (flame)

2. Flameless Technique หรือ Non-Flame Atomization Technique เป็นเทคนิคที่ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆกัน และใช้เวลาต่างๆกัน

3. Hydride Generation Technique เป็นเทคนิคที่ทำให้ธาตุแตกตัวในบรรยากาศโดยปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวของธาตุเหล่านั้นกับออกซิเจน ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่ายๆที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดร์ดแล้วให้ไฮไดร์ดผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจนหรืออาจใช้วิธีไฮไดร์ดผ่านเข้าไปในหลอดที่ทำด้วย quartz แล้วเผาหลอดด้วยเปลวไฟ จะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb

4. Cold Vapor Generation Techinque เป็นเทคนิคที่เหมาะที่จะใช้วิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนเป็นไอได้ง่ายๆ เช่น การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อย

ในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ต้องเลือกให้เหมาะสมกับความต้องการและวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยคำนึงถึงองค์ประกอบหลายๆอย่าง เช่น ความรวดเร็วของการวิเคราะห์ ความยากง่าย ความเข้มข้น สมบัติทางเคมีและกายภาพของสารที่จะวิเคราะห์ ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิค Flame Atomization ในการวิเคราะห์ปริมาณของทองแดงเนื่องจากสารตัวอย่างนั้นมีความเข้มข้นสูง ซึ่งเทคนิค Flame Atomization สามารถวัดค่าความบริสุทธิ์ของโลหะได้ถึงระดับ ppm (part per million) อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่ไม่ยุ่งยาก ผู้ทำการวิเคราะห์ไม่ต้องใช้ความชำนาญมากนัก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่นๆ โดยค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะอยู่ที่การเตรียมสารตัวอย่างให้เป็นสารละลาย ส่วนค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องมือมีน้อย และยังให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์ดีเยี่ยมอีกด้วย

1.2 **เทคนิคอินดักทีฟคัฟเพิลพลาสมาอิมิสชันสเปกโตรสโกปี** (Inductive Coupled Plasma Emission Spectroscopy, ICP-OES)

เทคนิค ICP เป็นเทคนิคที่มีข้อดีที่เด่นกว่าเทคนิค AAS อย่างเห็นได้ชัด คือ สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ทีละหลายๆธาตุพร้อมกัน การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP สารละลายตัวอย่างจะถูกทำให้แตกตัวเป็นอะตอมอิสระโดยใช้ plasma ใน ICP torch โดยสารละลายตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนให้เป็นละอองฝอย (Aerosol) โดยกระบวนการ nebulization แล้วถูกพาเข้าไปยังพลาสมาซึ่งเป็นส่วนที่มีพลังงานสูง สารตัวอย่างเมื่อได้รับพลังงานสูงจะเกิดการสลายตัวเป็นอะตอมและอะตอมจะถูกกระตุ้นไปยังสถานะกระตุ้น อะตอมหรือไอออนที่ถูกกระตุ้นจะเปล่งแสงออกมามีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งจะคายแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะ วัดสัญญาณและคำนวณเปลี่ยนเป็นค่าความเข้มข้นออกมา (ศิริรัตน์ พันธ์เรือง. 2557: 53)

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณด้วยเทคนิคนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีสภาพไวสูง ทำการวิเคราะห์ได้รวดเร็ว และสามารถวิเคราะห์ได้ขณะเดียวกันอาจถึง 73 ธาตุทั้งโลหะและอโลหะ

ในการทำคุณภาพวิเคราะห์นั้นสามารถทำได้ง่ายๆ โดยการเปรียบเทียบ spectra lines ที่ได้จากตัวอย่างกับ spectra ของ standard ซึ่งมีโปรแกรม software computer อยู่แล้ว จะทำให้เราทราบได้ว่าตัวอย่างมีธาตุอะไรบ้าง สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณให้ระวังการเตรียมสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน การทดลองและเครื่องมือจะต้องควบคุมให้พอดี ตามสภาวะที่เหมาะสมของธาตุที่ต้องการจะวิเคราะห์

สารจะถูกเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นด้วยกระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้สารเปล่งแสงหรือสเปกตรัมออกมา ในช่วงยูวี-วิซิเบิล และมีลักษณะเฉพาะตัว โดยการวัดความเข้ม

แสงที่ปล่อยออก (emission) มาจากธาตุที่วิเคราะห์นั้น โดยทั่วไปการวัดอิมิสชันนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ (แม้น อมรสิทธิ์; และคนอื่นๆ. 2534: 453)

1.เครื่องสเปกโทรมิเตอร์จะทำหน้าที่ scan ที่ความยาวคลื่นในช่วงแคบๆ ของสเปกตรัม เพื่อหาความเข้มข้นสูงสุดที่จะวัด หรือใช้ “peak search” หรือ “wavelength optimization”

2.ใช้วิธีตั้งสเปกโทรมิเตอร์วัดอิมิสชันที่ความยาวคลื่นที่กำหนดให้

1.3 หลักการของเทคนิคเอกซ์-เรย์ ฟลูออเรสเซนต์ สเปกโทรสโคปี (X-Ray Fluorescence, XRF) (แม้น อมรสิทธิ์; และคนอื่นๆ. 2534: 489-490)

เทคนิคเอกซ์-เรย์ เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุโดย การศึกษาการเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสสาร ทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น เกิดการเปล่งแสงบางชนิด (emission) การดูดกลืน (absorption) การกระเจิง (scattering) หรือเกิดการเลี้ยวเบน (diffraction) เป็นต้นปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นลักษณะเฉพาะ (characteristic) ของแต่ละสาร ซึ่งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ทางเคมีได้ คือ

1. วิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุต่างๆในสารตัวอย่างได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ

2. ใช้ศึกษาหาโครงสร้างผลึก (crystal structure) โดยใช้เทคนิคทาง X-Ray diffraction

3. ใช้ศึกษาหาโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic structure) ที่เกี่ยวกับพันธะเคมี

นอกจากนี้ X-Ray ยังมีสมบัติที่สำคัญ และได้ถูกนำมาใช้ มี 4 แบบ คือ

1. ด้าน Radiography เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ ในทางอุตสาหกรรมได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น โลหะ เพื่อดูจุดพกพร่องของการหล่อโลหะ เช่น ดูรอยแยก ช่องว่างในโลหะ เป็นต้น โดยไม่มีการทำลายสารตัวอย่าง ซึ่งวิธีที่ทำง่ายๆคือ ผ่านรังสีเอ็กซ์เข้าไปในวัสดุที่ต้องการทดสอบ แล้วบันทึกรังสีที่ผ่านออกมาบนแผ่นฟิล์มหรือจอฟลูออเรสเซนต์ เหมือนกับทางการแพทย์ที่ตรวจการหักของกระดูก

2. ด้านผลึกวิทยา (X-Ray crystallography) เป็นเทคนิคที่ใช้สมบัติเอกซ์เรย์เกี่ยวกับความยาวคลื่น ตำแหน่ง และความเข้มของ X-Ray ที่เลี้ยวเบนไป (diffracted) ด้วยผลึกแข็ง ทำให้ทราบข้อมูลในโครงสร้างของผลึก องค์ประกอบ ขนาดของอนุภาค การจัดตัวของอะตอมในผลึก เป็นต้น

3. การนำ X-Ray fluorescence มาใช้ในงานวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ โดยสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ และเป็นแบบไม่ต้องทำลายสารตัวอย่าง

(non-destructive) ทำได้โดยยิงรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานสูงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้เกิด X-ray ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพได้ และความเข้มของ X-ray ที่เกิดขึ้นใช้หาปริมาณของสารได้

4. การนำ X-ray มาใช้ในทางการแพทย์ โดยใช้เป็นรังสีบำบัด (Radiotherapy) เนื่องจากคุณสมบัติของ X-ray สามารถทำลายเซลล์ได้หรือฆ่าสิ่งมีชีวิตได้ จึงนำมาใช้รักษาโรคมะเร็ง

เทคนิค X-Ray Fluorescence ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้น คือ รังสีเอกซ์จากแหล่งผลิต เกิดอันตร-กิริยากับอิเล็กตรอนชั้นใน (core electron, K-shell หรือ L-shell หรือ M-shell)ในสารตัวอย่าง อิเล็กตรอนเหล่านี้จะหลุดออกไป แล้วอิเล็กตรอนจาก shell นอกๆ จะเข้ามาแทนที่ ทำให้ X-Ray Fluorescence เกิดขึ้นซึ่งมีลักษณะเฉพาะสามารถบ่งชี้ด้วยระดับพลังงาน (keV) หรือความยาวคลื่น (wavelength) ทำให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุที่มีในตัวอย่างได้ (แม้น อมรสิทธิ์; และคนอื่นๆ. 2534: 81)

สำหรับในงานวิจัยเครื่องเอกซ์-เรย์ที่ใช้ เป็นเครื่องเอกซ์-เรย์สำหรับตรวจสอบความบริสุทธิ์ของโลหะมีค่า เช่น ทองคำ เครื่องมือนี้อาศัยหลักการของ X-ray fluorescence ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยการยิงรังสีเอ็กซ์จากหลอดเอ็กซ์เรย์เข้าไปบนผิวของทองคำที่ต้องการจะวิเคราะห์ ซึ่งจะมีการถ่ายเทพลังงานให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอมของธาตุชนิดต่างๆทำให้มีการคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีระดับพลังงานเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิดทำให้สามารถตรวจวัดได้ข้อมูลออกมารู้ถึงปริมาณเปอร์เซ็น (%) ธาตุของแต่ละชนิด วิธีนี้มีข้อดี คือ รู้ผลเร็ว สามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายๆชนิดพร้อมๆกัน ไม่ทำลายชิ้นงาน แต่ก็มีข้อเสีย คือ เครื่องมีราคาแพงมาก ความไวของการตรวจวัดไม่สูงมากนัก ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่อง และการเลือกใช้สารมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบเครื่องมือเป็นหลัก และวิเคราะห์ได้เฉพาะที่พื้นผิว เท่านั้นมีความลึกไม่เกิน 10-100 ไมโครเมตร

2. การสกัดแยกโลหะด้วยเทคโนโลยีโลหะวิทยา

เทคโนโลยีโลหะวิทยา แบ่งออกเป็น3กลุ่มใหญ่ๆ คือ โลหะวิทยาสารละลายหรือโลหะวิทยาเคมี (Hydrometallurgy) โลหะวิทยาความร้อนหรือการถลุงด้วยความร้อนสูง (Pyrometallurgy) และโลหะวิทยาไฟฟ้าเคมี (Electrometallurgy)

2.1 โลหะวิทยาสารละลายหรือโลหะวิทยาเคมี (Hydrometallurgy)

กระบวนการนี้บางครั้งเรียกว่า การชะละลาย (leaching) เป็นการละลายโลหะต่างๆออกมาจากตัวอย่างที่เป็นของแข็งด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม ตามชนิดของโลหะ เช่น กรดไนตริกสามารถละลายโลหะทองแดง โลหะเงิน ได้ดี หรือกรดกัดทองซึ่งเป็นกรดที่ผสมระหว่างกรดไนตริกและไฮโดรคลอริก เป็นกรดที่ใช้ในการละลายโลหะทองคำ เป็นต้น

กระบวนการ Hydrometallurgy ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1) การล้าง (Washing) เป็นการล้างกำจัดสิ่งเจือปน ได้แก่ คลอรีนและฟลูออรีนออกให้มากที่สุด

2) การชะ (Leaching) เป็นการละลายโลหะที่ต้องการสกัดออกมาจากตัวอย่างให้อยู่ในสารละลายด้วยตัวทำละลายกรดหรือด่าง ขั้นตอนนี้รวมไปถึงการกำจัดโลหะหนักด้วย ขบวนการนี้สามารถทำในถังกวน หรือถังกวนความดัน

3) การเพิ่มความเข้มข้นและทำให้บริสุทธิ์ (Solution Concentration and Purification) เป็นการทำให้สารละลายที่มีโลหะที่ต้องการสกัดละลายอยู่เข้มข้นสูงขึ้นหรือทำให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น

4) การแยกโลหะคืนกลับจากสารละลาย (Metal Recovery) การสกัดโลหะออกจากสารละลาย อาจใช้ร่วมกับวิธีตกตะกอน (รีดิวซ์) ด้วยสารเคมี (precipitation or chemical reduction) หรือใช้ร่วมกับกระบวนการแทนที่ด้วยโลหะ (cementation)

2.1.1 กระบวนการตกตะกอน (รีดิวซ์) ด้วยสารเคมี (Chemical precipitation or chemical reduction)

โลหะที่มีในตัวอย่างที่ถูกละลายให้อยู่ในรูปของสารละลาย จะถูกทำให้อยู่ในรูปที่เป็นโลหะของแข็ง โดยใช้ตัวรีดิวซ์ เช่น โซเดียมโบรโรไฮไดร์ด ($NaBH_4$) ไฮดราซีน (N_2H_4) และ ฟอมาลดีไฮด์ จะทำให้ได้โลหะนั้นๆในรูปที่เป็นของแข็ง กระบวนการนี้จะคล้ายกับการตกตะกอนทางเคมี(chemical precipitation) โลหะไอออนในสารละลายที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมีจะเกิดเป็นตะกอนของโลหะออกไซด์ แต่ถ้าใช้กระบวนการตกตะกอน(รีดิวซ์) ด้วยสารเคมี (chemical reduction) จะได้โลหะของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างเช่น การนำทองคำกลับคืนมาจากสารละลายทองคลอไรด์ โดยเติมสาร reducing agent เช่น โซเดียมซัลไฟต์ โพแทสเซียมซัลไฟต์ หรืออาจเป็นสารเคมีอื่นๆ เช่นเฟอรัสซัลเฟต

สารเหล่านี้จะทำให้ทองคำเกิดการแยกตัวออกมาจากสารละลาย และได้โลหะที่เป็นของแข็งออกมาใช้งานต่อไป (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2551?: 5)

โซเดียมโบรโรไฮไดร์ด ($NaBH_4$) ถูกนำมาใช้ในการรีดิวซ์โลหะทองแดงและโคบอลต์ ซึ่งมีสมการการเกิดปฏิกิริยา ดังแสดง

$$M^{m+} + BH_4^- + H_2O \longrightarrow M^0 + B(OH)_3 + H_2$$

เมื่อ M คือ โลหะ เช่น ทองแดง

ไฮดราซีน (N_2H_4) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการคืนกลับมาของโลหะมีค่าจากน้ำเสีย โลหะไอออนในสารละลายจะถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูปโลหะของแข็งทันที มีสมการการเกิดปฏิกิริยาดังแสดง

$$M^{m+} + N_2H_4 \longrightarrow M^0 + N_2 + H^+$$

ที่มา: Paul Chen;& Lim. (2002: 363-70)

2.1.2 **กระบวนการแทนที่ด้วยโลหะ** (Cemetation)

หลักการของ cementation คือ การเติมโลหะที่มีค่า electronegativity ต่ำกว่าโลหะที่ละลายอยู่ในสารละลาย แล้วจะเกิดการแลกเปลี่ยนกัน โลหะที่ละลายในสารละลายจะตกออกมาในรูปของโลหะ (ปราโมทย์ ภูพานทอง. 2537: 18)

กระบวนการซีเมนเตชันเป็นกระบวนการทางเคมีที่สำคัญที่ใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อทำให้เกิดตะกอนของโลหะคืนกลับมาจากสารละลาย ปฏิกิริยาของกระบวนการซีเมนเตชัน จะเป็นการแทนที่กันของโลหะหรือการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโลหะไอออนในสารละลาย (noble metal ions) กับโลหะของแข็งที่เติมลงไป (active metal) โดยโลหะของแข็งนั้น มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ต้องเป็นโลหะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี และในกระบวนการซีเมนเตชันนั้นจะไม่มีการให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกเข้าไปปฏิกิริยาซีเมนเตชันมีสมการการเกิดปฏิกิริยา ดังแสดง

$$nA^{a+} + mB^0 \longrightarrow nA^0 + mB^{b+}$$

เมื่อ n, m คือ ค่าสัมประสิทธิ์

A, B คือ noble metal และ active metal ตามลำดับ

a+, b+ คือ อิเล็กตรอนวงนอกสุดของ noble metal และ active metal ตามลำดับ

ที่มา: Demirkiran;& Kumkul. (2011: 2778-2782)

2.2. โลหะวิทยาความร้อนหรือการถลุงด้วยความร้อนสูง (Pyrometallurgy)

กระบวนการนี้เป็นถลุงโลหะโดยใช้ความร้อนและการเผาด้วยเตาไฟฟ้าชนิดแท่งที่มีความร้อนสูง(Heater furnace) หรือการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction furnace) ใช้เชื้อเพลิงเป็น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ หรือ ถ่านโค๊ก อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้วัตถุดิบตัวอย่างหลอมละลายอยู่ในช่วง 800-1200 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ อาจมีการเติมสาร เช่น โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) บอแรกซ์ (Borax) และ โปแตสเซียมไนเตรท (KNO_3) เพื่อทำให้หลอมโลหะได้ง่ายและเกิดการแยกตัวระหว่างโลหะกับสารปนเปื้อนได้ง่ายขึ้น

กระบวนการ Pyrometallurgy ประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ ดังต่อไปนี้

1) การทำให้แห้ง (Drying) เป็นการไล่ความชื้นและน้ำที่ติดมากับเศษเหล็กก่อนป้อนสู่เตาหลอม โดยการให้ความร้อนกับโลหะจนความร้อนสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ ซึ่งทำให้ความชื้นถูกแยกออกจากโลหะ

2) แคลซิเนชิง (Calcining) เป็นการเผาเพื่อให้เกิดการสลายตัวของสารประกอบในวัสดุบางชนิดที่สลายตัวได้เมื่อได้รับความร้อน เช่น สารประกอบคาร์บอเนต สารประกอบออกไซด์

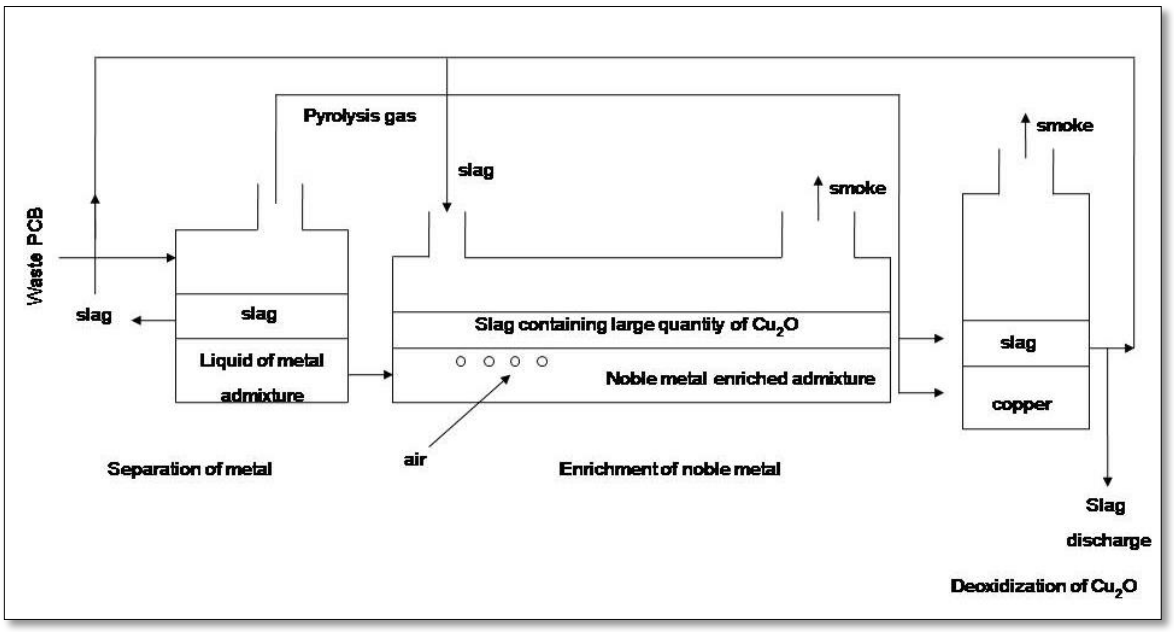
3) การย่างแร่ (Roasting) เป็นการเผาให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างก๊าซและของแข็ง ซึ่งจะกำจัดซัลไฟด์ในรูปซัลเฟอร์ออกไซด์ในรูปแบบต่างๆ

4) การถลุง (Smelting) เป็นการถลุงเพื่อให้เกิดเฟสหลอมเหลวอย่างน้อย 1 เฟสในส่วนผสม ซึ่งใช้ลดธาตุเหล็ก แต่ทองแดง ตะกั่วและดีบุกก็จะถูกหลอมเหลวด้วย

5) การแปรสภาพ (Refining) เป็นการเพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับโลหะที่ถลุงได้

ตัวอย่างการหลอมเศษซากวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ อุณหภูมิที่ใช้จะมีค่าสูงกว่า 1000 องศา-เซลเซียส กระบวนการเริ่มจากพลาสติกจะเกิดการเผาไหม้และสลายตัวไปเป็นแก๊ส ส่วนโลหะบางชนิด เช่น ตะกั่ว สังกะสี เหล็ก และสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น ออกไซด์ของอะลูมินาและซิลิกา จะเกิดการแยกตัว

ออกมากลายเป็นชั้นของตะกรัน (slag) ลอยอยู่บนผิวหน้าของโลหะหลอมเหลว ส่วนด้านล่างของเตาหลอมจะเป็นบริเวณของโลหะหลอมเหลวซึ่งจะมีองค์ประกอบหลักเป็นโลหะทองแดงและมีองค์ประกอบรองเป็นโลหะมีค่าอื่นๆ เช่น ทอง เงิน ละลายอยู่

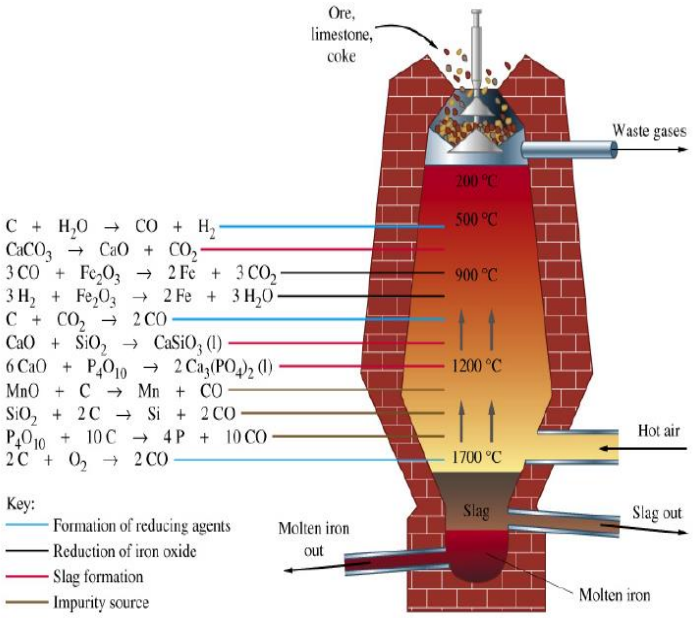


ภาพประกอบ 1 กระบวนการเผาที่ผสมผสานระหว่างวิธีโลหะวิทยาความร้อนสูงกับกระบวนการไพโร-ไลซิสของตัวอย่างซากแผ่นวงจรพิมพ์

ที่มา: เปรมฤดี กาญจนปิยะ, และคณะ. (2554: 28-35).

การเผาแบบไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการสลายตัวของสารด้วยความร้อนในสภาวะไร้อากาศ (ไม่มีออกซิเจน)ในช่วงอุณหภูมิ 500-800 องศาเซลเซียส โดยเกิดการแตกตัวของโมเลกุลในองค์ประกอบ จากสายโมเลกุลยาวไปเป็นสายโมเลกุลที่สั้นลง โดยทั่วไปจะได้ผลิตภัณฑ์หลัก 3 ชนิด ได้แก่ แก๊ส (คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน) ของเหลว (สารละลายอินทรีย์และน้ำมันดิน) และของแข็ง (ถ่านไม้) ซึ่งสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่นำไปเผาและวิธีการให้ความร้อน

ในกรณีของสินแร่เมื่อใช้ความร้อนในการหลอมและเผา ถ้ามีสารประกอบโลหะออกไซด์ เมื่อถูกหลอมกับตัวรีดิวซ์ เช่น คาร์บอน (จากถ่านโค๊กหรือถ่านหิน) สามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับสารประกอบโลหะออกไซด์ เกิดการรวมตัวกับแก๊สออกซิเจน ได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพประกอบ 2 การแยกโลหะโดยใช้ความร้อนของแร่โลหะดีบุกออกไซด์และแร่ตะกั่วออกไซด์

$$2SnO + C \xrightarrow{\Delta} 2Sn + CO_2$$

$$2PbO + C \xrightarrow{\Delta} 2Pb + CO_2$$

ที่มา: โลหะที่สำคัญและประโยชน์. (ม.ป.ป: ออนไลน์).

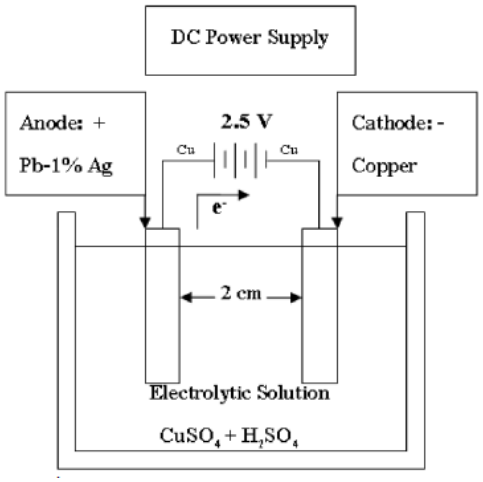
2.3 โลหะวิทยาไฟฟ้าเคมี (Electrometallurgy)

กระบวนการนี้ประกอบด้วย เซลล์ไฟฟ้า (Electrolytic cell) ที่มีแผ่นขั้วบวก (Anode) และแผ่นขั้วลบ (Cathode) วางเรียงสลับกันไป มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (Rectifier) เพื่อเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง หลักการของกระบวนการนี้ คือ ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วบวกและขั้วลบที่จุ่มในสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้า (Electrolyte) ไอออนของโลหะที่แตกตัวอยู่ในสารละลายจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าเกิดไปโลหะของแข็งเกาะอยู่ที่ขั้วไฟฟ้า

โลหะวิทยาไฟฟ้าเคมีนี้จะมี 2 วิธี ได้แก่ Electro-winning เป็นวิธีที่ใช้สำหรับแยกสกัดโลหะออกจากสารละลาย ส่วนอีกวิธีหนึ่ง คือ Electro-refining เป็นวิธีที่ใช้สำหรับทำให้โลหะบริสุทธิ์

2.3.1 **กระบวนการ** Electro-winning

เป็นวิธีที่ใช้สำหรับแยกสกัดโลหะออกจากสารละลาย โดยจะใช้ขั้วบวกเป็นโลหะที่ไม่สามารถละลายในสารละลายได้เช่น Stainless steel (แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม) Platinized titanium หรือโลหะผสมของ Pb-1% Ag Alloy ส่วนขั้วลบจะเป็นโลหะชนิดเดียวกับโลหะที่ต้องการจะให้แยกออกจากสารละลายแล้วมาเกาะติดที่ขั้วนี้หรืออาจเป็นโลหะคนละชนิดกันก็ได้ ซึ่งเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังระบบแล้วโลหะที่ต้องการสกัดออกจากสารละลายจะเคลื่อนที่มาเกาะที่ขั้วลบ ดังนั้น electro-winning จะถูกนำมาใช้กับสารละลายที่มีโลหะที่ต้องการละลายอยู่ในกรณีของการแยกทองคำออกจากสารละลายอาจเลือกใช้ขั้วบวกที่ทำจาก Stainless steel, Graphite หรือ Titanium ส่วนขั้วลบอาจเป็น Stainless steel หรือ Porous graphite ส่วนกรณีของการแยกทองแดงออกจากสารละลายที่เกิดจากการใช้กรดซัลฟิวริกเป็นสารชะละลายอาจใช้ขั้วบวกเป็น Pb-1% Ag Alloy ขั้วลบเป็นทองแดงบริสุทธิ์ ในกรณีที่ใช้กรดไนตริกเป็นสารชะละลายอาจใช้ขั้วบวกเป็น Platinized titanium ขั้วลบเป็น Stainless steel เป็นต้น ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเพื่อการแยกทองแดงออกจากสารละลาย (Electro-winning)

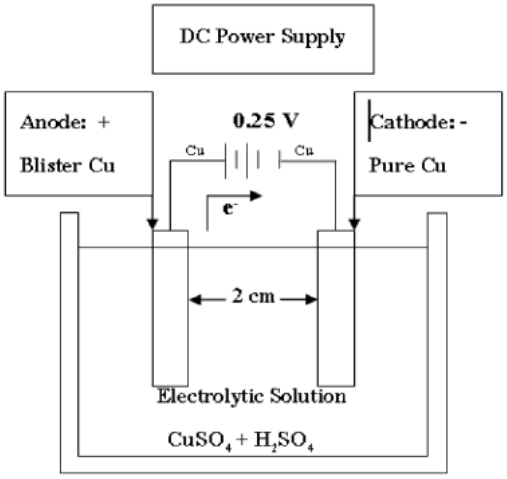


ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเพื่อการแยกทองแดงออกจากสารละลายโดยกระบวนการ Electrowinning

ที่มา: กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2551?: 10. ออนไลน์).

2.3.2 **กระบวนการ** Electro-refining

เป็นวิธีที่ขั้วบวกจะเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับโลหะในสารละลาย มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการแยกโลหะที่ต้องการออกมาจากแท่งขั้วบวก โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าแล้วโลหะจากขั้วบวกจะละลายลงในสารละลาย จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน ทำให้โลหะนั้นเคลื่อนที่ไปเกาะที่ขั้วลบ ซึ่งขั้วลบจะเป็นโลหะชนิดเดียวกับโลหะที่ต้องการแยกหรืออาจเป็นโลหะคนละชนิดกันก็ได้ ดังนั้น electro-refining จะถูกนำมาใช้เมื่อโลหะที่ได้จากการสกัดขั้นต้นยังเป็นของแข็งที่มีความบริสุทธิ์ไม่เพียงพอ หรืออาจถูกนำมาใช้ต่อจากกระบวนการทางความร้อนที่นำโลหะมาหลอมเทเป็นแท่ง จากนั้นจึงนำแท่งโลหะที่มีโลหะหลายชนิดปะปนกันนั้นมาเป็นขั้วบวกของเซลล์ไฟฟ้าในกระบวนการนี้การเลือกใช้โลหะในการทำขั้วไฟฟ้า เช่น กรณีการแยกทองคำอาจใช้ขั้วบวกที่มีทองคำเป็นองค์ประกอบ ส่วนกรณีการแยกทองแดงอาจใช้ขั้วบวกเป็นทองแดงเป็นองค์ประกอบเช่นกัน ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเพื่อการแยกทองแดงออกจากขั้วบวก (electro-refining)



ภาพประกอบ 4 ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเพื่อการแยกทองแดงออกจากขั้วบวกโดยกระบวนการ Electrorefining

ที่มา: กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2551?: 11-12. ออนไลน์).

การแยกโลหะโดยใช้กระบวนการทางเคมีไฟฟ้า มักใช้ในขั้นตอนของการทำโลหะให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ข้อดีของกระบวนการนี้คือ ไม่มีปัญหาเรื่องฝุ่น เสียง และมลพิษทางอากาศอื่นๆ ในระหว่างการทำงาน แต่จะมีปัญหาของเสียที่จะเกิดขึ้นภายหลังจากกระบวนการสิ้นสุดลง ของเสียดังกล่าวมักมีสถานะเป็นของเหลวและกากตะกอนที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักและสารเคมีอันตราย ซึ่งต้องได้รับการกำจัดต่อไปอย่างถูกวิธี แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ก็เป็นกระบวนการที่ต้องใช้ต้นทุนในการลงทุนที่ค่อนข้างสูง

ตาราง 1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของกระบวนการสกัดแยกโลหะด้วยเทคโนโลยีโลหะวิทยา

กระบวนการ	ข้อดี	ข้อเสีย
โลหะวิทยาความร้อนหรือการถลุงด้วยความร้อนสูง (pyrometallogical)	-ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วใช้ระยะเวลาไม่นาน	-ใช้อุณหภูมิสูง -สิ้นเปลืองพลังงาน -ปลดปล่อยแก๊สพิษออกสู่บรรยากาศ เช่น SO_2 , CO -ใช้ต้นทุนสูง
โลหะวิทยาไฟฟ้าเคมี (electrometallogical)	-ได้โลหะที่มีความบริสุทธิ์สูง -ไม่มีปัญหาฝุ่น เสียง และมลพิษอากาศ	-ใช้พลังงานมาก -ใช้ระยะเวลานาน -ใช้ต้นทุนสูง -ของเสียมีสถานะเป็นของเหลวและกากตะกอนที่มีการปนเปื้อนโลหะและสารเคมีอันตราย
โลหะวิทยาสารละลายหรือโลหะวิทยาเคมี (hydrometallogical)	-ได้โลหะที่มีความบริสุทธิ์และมีความจำเพาะต่อชนิดของโลหะที่ต้องการสกัด -ใช้อุณหภูมิต่ำกว่ากระบวนการที่ใช้ความร้อนในการถลุงโลหะ (pyrometallogical) -ใช้ต้นทุนไม่สูงมาก	-อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำกว่ากระบวนการที่ใช้ความร้อนในการถลุงโลหะ (pyrometallogical) -ของเสียมีความเป็นพิษเนื่องจากมีความเป็นกรด-เบสสูง

ที่มา: กมลพร อยู่สบาย. (2555: ออนไลน์).

จากการศึกษาข้อดี-ข้อเสียของกระบวนการแยกสกัดโลหะดังกล่าวพบว่า กระบวนการที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กคือกระบวนการแยกโลหะด้วยน้ำ (hydrometallogical) ซึ่งได้อธิบายไป

เมื่อข้างต้น และกระบวนการที่มีความเป็นไปได้ที่จะศึกษามากที่สุดคือ กระบวนการซีเมนเตชัน และกระบวนการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี ซึ่งมีเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังจะกล่าวในหัวข้อถัดๆไป

3. ทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะอ่อน มีสีส้ม เป็นหนึ่งในโลหะแรกๆที่นำมาใช้ ในสมัยโบราณได้มีการนำทองแดงมาใช้ประโยชน์ไม่น้อยกว่า 7000 ปีแล้ว ชื่อโลหะมาจากภาษาลาตินว่า cuprum หมายถึง “โลหะของไซปรัส” ซึ่งเป็นเกาะหนึ่งในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน สถานที่ซึ่งชาวโรมันมีเหมืองทองแดงขนาดใหญ่ (Brian Knapp. 2552: 6) ทองแดงจัดเป็นโลหะทรานซิชันอยู่ในหมู่ 11 มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Cu มีคุณสมบัติเด่น คือ การนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี รองจากทองคำและเงิน ทนต่อการผุกร่อน แข็งแรง สามารถตีแผ่เป็นแผ่นบาง ๆ หรือดึงเป็นเส้นได้ สมบัติทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 2

ตาราง 2 สมบัติทางกายภาพของทองแดง

สมบัติ	Cu
เลขอะตอม	29
มวลอะตอม	63.546 g/mol
ความหนาแน่น	8.96 g/cm.^{3} ที่ใกล้ 25 °C
จุดหลอมเหลว	1084.6 °C
จุดเดือด	2567 °C
ความร้อนของการหลอมเหลว	13.26 kJ/mol
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	300.4 kJ/mol
โครงร่างผลึก	สี่เหลี่ยมลูกบาศก์
เลขออกซิเดชัน	2, 1

ที่มา : หิริหัทยา เพชรมั่ง. (2554).

ประโยชน์ของโลหะทองแดง

1. ทองแดงมีคุณสมบัติเด่น คือ สามารถนำไฟฟ้าได้ดี จึงนำมาใช้ทำลวดส่งกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ

2. ด้วยคุณสมบัติที่สามารถต้านการกัดกร่อนได้ดี แม้ในสภาวะกัดกร่อนรุนแรง เช่น น้ำทะเล ทำให้ทองแดงมาถูกนำมาใช้ทำ ท่อ วาล์ว หรือข้อต่อต่างๆในโรงกลั่นน้ำจากน้ำทะเล

3. ในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีการใช้ทองแดงเป็นส่วนประกอบ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องบิน เรือเดินสมุทร หัวจักรรถไฟ อุปกรณ์สวิตซ์และสัญญาณต่างๆ

4. ทองแดงเป็นส่วนผสมสำคัญ ของโลหะผสมหลายชนิด เช่น ทองเหลือง (ทองแดงผสมกับสังกะสี) สำริด (ทองแดงผสมกับดีบุก) โมเนล (ทองแดง นิกเกิล เหล็ก และแมงกานีส) รวมทั้งยังใช้ผสมในเงินและทอง เพื่อเพิ่มความแข็งของโลหะมีค่าเหล่านั้น สำหรับใช้ทำเครื่องประดับและเหรียญตราต่างๆ

ภาพประกอบ 5 การนำโลหะทองแดงไปใช้ประโยชน์

ที่มา: กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน. (2554: ออนไลน์).

อุตสาหกรรมทองแดงของประเทศไทย

เนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตโลหะทองแดงของประเทศไทยเพิ่งได้รับการพัฒนามาเป็นเวลาไม่นานนัก อุปสรรคที่สำคัญในการประกอบการจึงเป็นปัญหาด้านเทคโนโลยีและกระบวนการผลิตเป็นส่วนใหญ่ โดยผู้ประกอบการขาดบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญทำให้ต้องปรับปรุงการผลิตในขั้นตอนต่างๆ มาโดยตลอดและอาจต้องใช้เวลาอีกพอสมควรเพื่อปรับเปลี่ยนเทคนิคจนสามารถดำเนินการได้เต็มกำลังการผลิต

สำหรับอุตสาหกรรมในประเทศที่มีความต้องการใช้โลหะทองแดงเป็นวัตถุดิบ ได้แก่ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องใช้ในครัวเรือน ท่อทองแดงในอุปกรณ์ทำความเย็น ตลอดจนอุตสาหกรรมการผลิตทองเหลือง เป็นต้น ราคาโลหะทองแดงในประเทศก็มีการปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นดังเช่นโลหะชนิดอื่นๆ โดยราคาเฉลี่ยของปี 2550 อยู่ที่กิโลกรัมละ 270 บาท

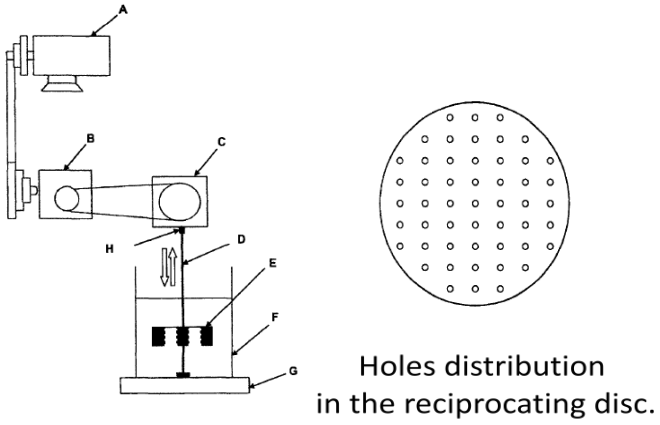
สำหรับอุตสาหกรรมแยกสกัดโลหะมีค่า ผลิตโลหะมีค่าในกลุ่มโลหะมีตระกูล เช่น ทอง เงิน และโลหะในกลุ่มแพลทินัม ซึ่งโลหะมีค่าสามารถแบ่งได้เป็น 3 เกรด โดยแบ่งเป็น H(เกรดสูง) M (เกรดกลาง) และ L (เกรดต่ำ) เช่น ซากที่อยู่ในเกรดต่ำจะมีปริมาณโลหะในกลุ่มแพลทินัม (platinum group metals: PGMs)ต่ำ ทองแดงจัดอยู่ในโลหะมีค่าประเภท L ซึ่งจะพบมากในตัวอย่างที่เป็นซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ลวดชุบงาน เป็นต้น โดยในอุตสาหกรรมผลิตโลหะมีค่า ทองแดงจะเป็นผลผลิตที่เหลือจากการกระบวนการแยกสกัดโลหะมีค่าอื่นๆออกไปแล้ว ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายที่เป็นกรดสูง จึงมีความจำเป็นที่ต้องส่งไปบำบัดยังโรงงานที่รับบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง นำไปสู่การศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่ต้องการที่จะผลิตโลหะทองแดง จากตัวอย่างน้ำเสียเนื่องจากเป็นตัวอย่างที่มีโลหะทองแดงอยู่ในปริมาณที่มาก ซึ่งจะนำไปการเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ต่อไป

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคืนกลับของโลหะทองแดงจากน้ำเสีย มีดังนี้

ปี พ.ศ. 2551 นภาพร อรุณเกียรติก้อง และ ปราโมทย์ ภูพานทอง (นภาพร อรุณเกียรติก้อง; และ ปราโมทย์ ภูพานทอง. 2551) นำเสนอต้นแบบการแยกสกัดโลหะทองแดงจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยในขั้นแรกแผงวงจรจะถูกนำมาลอกผิวเคลือบออกโดยใช้ NaOH จากนั้นละลายทองแดงออกจากแผงวงจรโดยใช้ H_2SO_4 ร่วมกับ H_2O_2 จะได้สารละลายของทองแดงซัลเฟตซึ่งเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ นำมาแยกโลหะทองแดงออกโดยใช้กระบวนการทางเคมีไฟฟ้า โดยวัตถุดิบ 1000 กิโลกรัม จะสามารถแยกโลหะทองแดงออกมาได้ประมาณ 100 กิโลกรัม เมื่อคำนวณต้นทุนวัตถุดิบ สารเคมี และพลังงานไฟฟ้า คิดเป็นมูลค่าเพิ่มถึง 190 %

ในปี ค.ศ.2004 A.H. E1-Shazly และคณะ (Shazly; et al. 2004: 127-133) ศึกษาการคืนกลับของทองแดงจากน้ำเสีย โดยใช้กระบวนการซีเมนเตชันด้วยเครื่องมือ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 6



ภาพประกอบ 6 Experimental apparatus. A, electrical motor; B, gear box; C, mechanical vibrator; D, Teflon isolated stem; E, perforated zinc disc; F, test column; G, wooden base; H, Teflon sleeve.

ที่มา: Shazly; et al. (2004: 127-133).

แผ่นสังกะสีที่มีรูพรุน ถูกวางเรียงในภายในคอลัมน์ ซึ่งสามารถเกิดการสั่นขึ้น-ลง ได้ ศึกษาผลของแอมพลิจูดและความถี่ของการสั่นซึ่งจะมีผลต่ออัตราการเกิด mass transfer ศึกษาผลของ vibration intensity (cm/s) ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการเกิด mass transfer เช่นกัน และศึกษาผลของความเข้มข้น

เริ่มต้นของคอปเปอร์ไอออนในสารละลาย ผลของอุณหภูมิ เส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นสังกะสี และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่เจาะในแผ่นสังกะสี ผลการทดลองวิเคราะห์ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออนที่เหลือในสารละลายโดยเมื่อถึงเวลาที่กำหนดดูดสารละลายตัวอย่างออกมา 5 ml วิเคราะห์ด้วย iodometry ผลของ mass transfer คำนวณจากสมการ $V_s\ lnC_0 / C = Kat$ พบว่าอัตราการเกิด mass transfer สูงขึ้นอาจมาจากการสั่นของแผ่นสังกะสี การเพิ่มประสิทธิภาพของ mass transfer ขึ้นกับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดิสก์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูในแผ่นดิสก์และแผ่นดิสก์ที่มีขนาดใหญ่ทำให้การเกิด mass transfer เกิดได้ช้านอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ก็มีผลต่อให้การเกิด mass transfer สูงขึ้น

ในปี ค.ศ.2007 Changa และคณะ (Changa; et al. 2007: 49-56) ศึกษาการกำจัดคีเลตคอปเปอร์ออกจากสารละลายที่สกัดได้จากกากตะกอนของจากแผงวงจร โดยใช้กระบวนการซีเมนเตชันด้วยผงเหล็ก ในการทดลองทำการสกัดคอปเปอร์ออกจากกากตะกอนโดยใช้ EDTA และ DTPA จะได้เป็นสารประกอบของ Cu-EDTA และ Cu-DTPA วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะไอออนในสารละลายด้วย ICP-OES จากนั้นนำสารละลายใส่ส่วนบนมาปรับ pH และเติมผงเหล็ก จะเกิดตะกอนของทองแดงเกิดขึ้น ศึกษาอัตราส่วนของผงเหล็กและโลหะไอออนในสารละลาย วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของตะกอนทองแดงที่ได้ด้วยเทคนิค XRD และ SEM ส่วนที่เป็นสารละลายที่เหลืออยู่ก็จะเป็นส่วนของ Chelates ferric solution ก็จะทำการคืนกลับมาเป็นสารละลาย EDTA หรือ DTPA โดยการเติม NaOH และกรองเอาตะกอนของ $Fe(OH)_3$ ออกจะได้สารละลายของ $EDTA^{4-}$ or $DTPA^{5-}$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคืนกลับมาของโลหะทองแดงโดยใช้กระบวนการซีเมนเตชันมีดังนี้

ในปี ค.ศ.2005 Fouad และ Abdel Basir (Fouad; & Abdel Basir. 2005: 127 – 134) ศึกษาการคืนกลับของทองแดงจากสารละลายที่ใช้แล้วของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือสารละลายที่แยกโลหะมีค่าอื่นๆออกไปแล้ว โดยใช้กระบวนการซีเมนเตชันซึ่งมีเหล็กพันเป็นเกลียวอยู่กับแท่งแม่เหล็กเป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนกับทองแดงในสารละลาย ศึกษาผลของระยะเวลา อุณหภูมิ พีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายทองแดง และปริมาณของเหล็กจากนั้นวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของทองแดงที่ได้โดยใช้เทคนิค X-Ray Diffraction และวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างโดยใช้เทคนิค Scanning Electron Microscope จากผลการศึกษา พบว่า ตะกอนทองแดงที่ได้จากกระบวนการซีเมนเตชันข้างต้นมีรูปร่าง

เป็น nanocubes ขนาดประมาณ 200 nm มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99% ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที พีเอชเท่ากับ 2 ปริมาณเหล็กเป็น 1 เท่าของปริมาณทองแดง และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายทองแดงอยู่ที่ 20 กรัมต่อลิตร ซึ่งกลไกของการเกิดตะกอนทองแดงเกิดขึ้นผ่าน 2 กระบวนการคือ 1. ไอออนของทองแดงในสารละลายถูกแอดซอร์บที่ผิวหน้าของเหล็ก และ 2. เกิดกระบวนการซีเมนต์เตชันของทองแดง ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของทองแดงในสารละลายแลกกับเหล็กที่พันเป็นเกลียวบนแท่งแม่เหล็ก

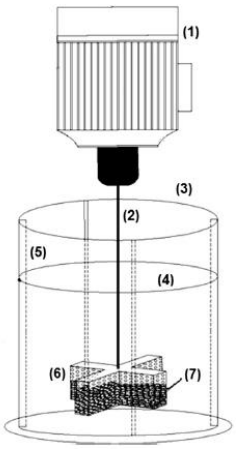
ในปี ค.ศ.2005 Karavasteva (Karavasteva. 2005: 149-152) การศึกษาด้านจลนพลศาสตร์และศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของทองแดง จากกระบวนการซีเมนเตชันของทองแดง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้สังกะสี เหล็ก และอะลูมินัม ผลการทดลองด้านจลนพลศาสตร์พบว่าเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 1 และโลหะที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด ได้แก่ สังกะสี เหล็ก และอะลูมินัม ตามลำดับ เปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาของทองแดงโดยใช้เทคนิค SEM เมื่อการใช้โลหะแต่ละชนิดพบว่า การใช้เหล็กทองแดงที่ได้จากกระบวนการซีเมนเตชันจะมีสีน้ำตาลแดง ให้ผลึกที่สมบรูณ์ที่สุดและมีความละเอียดมาก มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร การใช้สังกะสี ทองแดงที่ได้จะมีสีดำ ลักษณะเป็นรูพรุนสูง และการใช้อะลูมินัม ทองแดงที่ได้จะมีสีแดง ลักษณะผลึกเป็นทรงกลม แต่ไม่ค่อยสมบรูณ์มีขนาดตั้งแต่ 1-4 ไมโครเมตร

ในปี ค.ศ.2009 Farahmand และคณะ (Farahmand; et al. 2009: 81-85) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและจลนพลศาสตร์ของกระบวนการซีเมนเตชันของตะกั่ว ในขั้นของการกำจัดสังกะสีจะมีตะกั่วละลายปนอยู่จึงต้องกำจัดตะกั่วออก ซึ่งในส่วนนี้จะกำจัดตะกั่วโดยใช้ผงอะลูมินัม ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง ได้แก่ ผลของปริมาณของผงอะลูมินัม ระยะเวลา อุณหภูมิ และขนาดอนุภาคของผงอะลูมินัม นอกจากนี้ยังมีการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของตะกั่วที่ได้หลังจากกระบวนการซีเมนเตชันโดยใช้เทคนิค SEM ผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่ตะกั่วสามารถคืนกลับมาได้ประมาณ 95 % คือ ปริมาณAl เป็น1.5 เท่าของปริมาณตะกั่ว ขนาดอนุภาคของผงอะลูมินัม เท่ากับ -125+88 ไมโครเมตร อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วในการกวน 110 รอบต่อวินาที และระยะเวลาเท่ากับ 90 นาที ซึ่งจะได้ตะกั่วที่มีความบริสุทธิ์ถึง 98.43% และมีความเป็นรูพรุนสูง จลนพลศาสตร์ของการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาถูกควบคุมโดยกระบวนการทางเคมีเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-50 องศาเซลเซียส

ในปี ค.ศ.2011 Demirkiran และ Kunkul (Demirkiran; & Kunkul. 2011: 2778-2782) ศึกษาการใช้กระบวนการซีเมนเตชันในการคืนกลับมาของโลหะทองแดงจากสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต โดยใช้อะลูมินัมซึ่งมาจากอะลูมินัมฟอยล์ ปริมาณที่ใช้คือ 1.5 เท่าของปริมาณทองแดง ศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต อุณหภูมิ ความเร็วในการกวน และพีเอช โดยศึกษาถึงจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1

ในปี ค.ศ.2011 Ahmed และคณะ (Ahmed; et al. 2011: 62-66) ศึกษากระบวนการซีเมนต์เตชันของทองแดงในสารละลายของซัลเฟตซึ่งมีโลหะอื่นผสมอยู่ด้วย ได้แก่ สังกะสี และ โครเมียม โดยใช้ผงสังกะสี ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ พีเอชของสารละลาย อัตราส่วนของทองแดงและผงสังกะสี ระยะเวลาในการเขย่า ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง และอุณหภูมิ ผลการทดลองพบว่า ทองแดงมีร้อยละของการคืนกลับประมาณ 99% พีเอชที่เหมาะสม เท่ากับ 2 อัตราส่วนของสารละลายทองแดงต่อผงสังกะสี เป็น 0.05 ระยะเวลาในการเขย่า เท่ากับ 30 นาที ศึกษาด้านจลนพลศาสตร์พบว่าเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 1 นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังมีขั้นตอนที่ทำให้ทองแดงที่ได้จากกระบวนการซีเมนต์เตชันมีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น โดยการใช้ 0.5 M H_2SO_4 และ 0.1 M Na_2CO_3 ซึ่งทำให้ทองแดงมีความบริสุทธิ์เพิ่มจาก 99.2% เป็น 99.9%

ปี ค.ศ.2011 Abdel-Aziz (Abdel-Aziz. 2011: 161-167) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของกระบวนการซีเมนต์เตชันของทองแดงในน้ำเสียที่ประกอบสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตและแอลกอฮอล์ โดยใช้ Zinc Raschig rings ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของคอปเปอร์ซัลเฟต ความเร็วในการกวน อุณหภูมิ และผลของแอลกอฮอล์(เมทานอล เอทานอล และบิวทานอล) ซึ่งแอลกอฮอล์จะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาซีเมนต์เตชัน โดยแอลกอฮอล์ที่มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาซีเมนเตชันจะลดลงมากที่สุด คือ บิวทานอล เอทานอล และ เมทานอล ตามลำดับ สำหรับผลของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 20-40 องศาเซลเซียส ทำให้จลนพลศาสตร์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาซีเมนชันเพิ่มขึ้น และเป็นกระบวนการถูกความคุมโดยกระบวนการแพร่



ภาพประกอบ 7 Apparatus. (1) Motor (2) Shaft (3) Plexiglass container (4) Liquid level (5) Baffle (6) Rotating packed impeller (7) Zinc Raschig rings.

ที่มา: Abdel-Aziz. (2011: 161-167).

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคืนกลับมาของโลหะทองแดงโดยใช้กระบวนการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี มีดังนี้

ในปี ค.ศ. 2006 Songping และ Shuyuan (Songping; & Shuyuan. 2006: 2438-2442) เป็นการศึกษาการเตรียมทองแดงให้มีอนุภาคขนาดไมโครเมตร โดยใช้กระบวนการทางเคมี ในการทดลองสารละลายทองแดงซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ให้ตกตะกอนเป็นทองแดงโดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าถ้าต้องการให้ได้ขนาดอนุภาคของตะกอนทองแดงที่มีขนาดเล็กจะต้องมีการเติม Dispersion agent ซึ่ง dispersion agent มีคุณสมบัติ คือ จะกระจายตัวอยู่ระหว่างรอยต่อของชั้นของเหลว-ของแข็ง และจะช่วยขัดขวางการรวมตัวกันของอนุภาค ทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็ก

ในปี ค.ศ. 2014 Tavakoli และคณะ (Tavakoli; et al. 2014: 14-20) เป็นการศึกษาการเตรียมทองแดง (CuI) ที่มีอนุภาคขนาดไมโครและนาโนเมตร โดยใช้กลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งข้อดีของการใช้กลูโคส คือ เป็นตัวรีดิวซ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากการใช้กลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์ ทำให้ได้ CuI ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นนาโนเนื่องจากผลของโครงสร้างของกลูโคสซึ่งมีความเกะกะ สิ่งแวดล้อม นอกจากใช้กลูโคสแล้วยังมีการเปรียบเทียบตัวรีดิวซ์อื่นๆ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) โพแทสเซียมโบรโรไฮ-ไดรด์ (KBH_4) และไฮดราซีน (N_2H_4) วิเคราะห์ลักษณะของทองแดง (CuI) โดยเทคนิค X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), photoluminescence spectroscopy, X-ray energy dispersive spectroscopy (EDS) และ Fourier transformed infrared (FT-IR) spectroscopy พบว่า CuI มีรูปร่างเป็น cubic เมื่อใช้กลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย
2. กระบวนการแยกโลหะทองแดง
    2.1 การเตรียมตัวอย่าง
    2.2 การแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการซีเมนเตชัน
    2.3 การแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการรีดักชัน
3. วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดง
4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้กระบวนการซีเมนเตชันกับกระบวนการรีดักชัน

1. เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1.1 เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น AAnalyst 300
- Inductively coupled plasma spectroscopy (ICP-OES) ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ
- Energy Dispersive X-ray Fluorescence(ED-XRF) ที่บริษัท สุนทรรีไฟท์เนอร์ จำกัด
- เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น 827 pH Lab จากบริษัท Metrohm Autolab
- แท่งแม่เหล็กกวนสาร จากบริษัท Cowie
- เตาไฟฟ้า (Hot plate) จากบริษัท Fisher scientific
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น AB104-S จากบริษัท Mettler toledo

1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- กรดไนตริก (Nitric acid; HNO_3) จากบริษัท QReC
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl) จากบริษัท RCI Labscan
- กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4) จากบริษัท Carlo Erba Reagents
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) จากบริษัท Carlo Erba Reagents
- สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรต (Copper nitrate; $CuNO_3$)

จากบริษัท Ajax Finechem

- คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper (II) Sulfate; $CuSO_4.5H_2O$)

จากบริษัท Carlo Erba Reagents

- นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel (II) chloride; $NiCl_2.6H_2O$) จากบริษัท Carlo Erba Reagents
- สังกะสีซัลเฟต (Zinc sulphate; $ZnSO_4.7H_2O$) จากบริษัท GPR
- อะลูมินัมฟอยด์ (Aluminum foil; Al) จากบริษัท เทอริเนกซ์สยาม
- แอมโมเนียมคลอไรด์(Ammonium chloride; NH_4Cl) จากบริษัท QReC
- แอมโมเนีย(Ammonia solution; NH_3) จากบริษัท Carlo Erba Reagents
- ไฮดราซีน(Hydrazine hydrate; $NH_2NH_2.H_2O$) จากบริษัท Carlo Erba Reagents
- กลูโคส (Glucose; $C_6H_{12}O_6$)
- ซูโครส (Sucose; $C_{12}H_{22}O_{11}$)
- สารตัวอย่าง : น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม จากบริษัท สุนทรรีไฟน์เนอร์

2. กระบวนการแยกโลหะทองแดง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

2.1.1 การเตรียมตัวอย่างสารละลายมาตรฐานทองแดง

สารมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟต Copper (II) sulfate ($CuSO_4.5H_2O$) โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 2000, 3000 และ 4000 ppm ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับ pH ให้ได้ pH ที่เหมาะสมด้วย 1 M NaOH หรือ HNO_3 จากนั้นวิเคราะห์ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายทองแดงที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS)

2.1.2 การเตรียมตัวอย่างสารละลายมาตรฐานของโลหะผสมทองแดง นิกเกิลและสังกะสีที่อัตราส่วนต่าง ๆ

สารมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$) สารมาตรฐานนิกเกิลนิกเกิลคลอไรด์ ($NiCl_2.6H_2O$) และสารมาตรฐานสังกะสีซัลเฟต ($ZnSO_4.7H_2O$) โดยแต่ละสารละลายเตรียมที่ความเข้มข้น 4000 ppm ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับ pH ให้เหมาะสม ด้วย 1 M NaOH หรือ HNO_3 จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะผสมที่อัตราส่วนต่างๆกัน ดังตารางที่ 1 ก่อนนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS)

ตาราง 3 แสดงอัตราส่วนของสารละลายมาตรฐานของโลหะผสม

สารละลายมาตรฐานของโลหะผสม	อัตราส่วนโดยปริมาตร (v/v)
ทองแดง+นิกเกิล	95 : 5, 80 : 20
ทองแดง+สังกะสี	95 : 5, 80 : 20
ทองแดง+นิกเกิล+สังกะสี	90 : 5 : 5

2.1.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

2.1.3.1 วิเคราะห์โลหะองค์ประกอบ

ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้จากบริษัท สุนทรรีไฟน์เนอร์ จำกัด ถูกนำมากรองและวิเคราะห์โลหะที่เป็นองค์ประกอบในน้ำเสียตัวอย่างด้วยโดยใช้เทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS) และเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

2.1.3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

เตรียมตัวอย่างน้ำเสียโดยนำน้ำเสียมากรอง ปิเปตตัวอย่างน้ำเสียที่กรองแล้วมา 10 มิลลิลิตรเจือจางและปรับปริมาตรน้ำเสียตัวอย่างให้มีปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น และปรับ pH ของน้ำเสียตัวอย่างด้วย 1 M NaOH หรือ HNO_3 ให้ได้ pH ที่เหมาะสมจากนั้นวิเคราะห์ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายทองแดงที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS)

2.2. กระบวนการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการซีเมนเตชัน

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟต 25 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับ pH ด้วย 1 M NaOH หรือ HNO_3 ให้มีสภาวะที่เหมาะสม ดังตารางที่ 4

2. เตรียมตัวตกตะกอน โดยตัวตกตะกอนที่ใช้ คือ Metallic Aluminum เตรียมได้จากแผ่นอะลูมินัมฟอยล์โดยเตรียมตัวตกตะกอนที่มีลักษณะต่างๆกัน ดังตารางที่ 4

3. เติมตัวตกตะกอน อะลูมินัม ลงไปในสารละลายตัวอย่าง อัตราส่วนแสดงในตารางที่ 4

4. ตั้งทิ้งไว้ จับเวลา ที่เวลาต่างกัน ดังตารางที่ 4 โดยเมื่อเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนกันระหว่างสารละลายทองแดงในตัวอย่างกับอะลูมินัม จะเริ่มเกิดตะกอนของทองแดงขึ้นบนอะลูมินัม และตกเป็นตะกอนสีแดงออกมา หากสารละลายตัวอย่างเริ่มเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นไม่มีสี นั่นแสดงว่าอาจไม่มีทองแดงเหลืออยู่ในสารละลาย

5. วิเคราะห์ความเข้มข้นของทองแดงที่เหลือในสารละลายโดยใช้เทคนิค atomic absorption spectroscopy (AAS)

6. ตะกอนทองแดงที่ได้ นำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละการกลับคืน

7. สำหรับชิ้นอะลูมินัม ถูกนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง เพื่อเอาตะกอนทองแดงบางส่วนที่ติดอยู่บนอะลูมินัมออก (ถ้ามี) จากนั้นกรองตะกอนทองแดงที่ได้และทิ้งไว้ให้แห้ง

8. วิเคราะห์ปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่บนอะลูมินัม โดยการนำอะลูมินัมไปละลายด้วยกรดกัดทอง($HCl:HNO_3$ อัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร) เจือจางสารละลายที่ได้ จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณทองแดงโดยใช้ Atomic absorption spectroscopy (AAS)

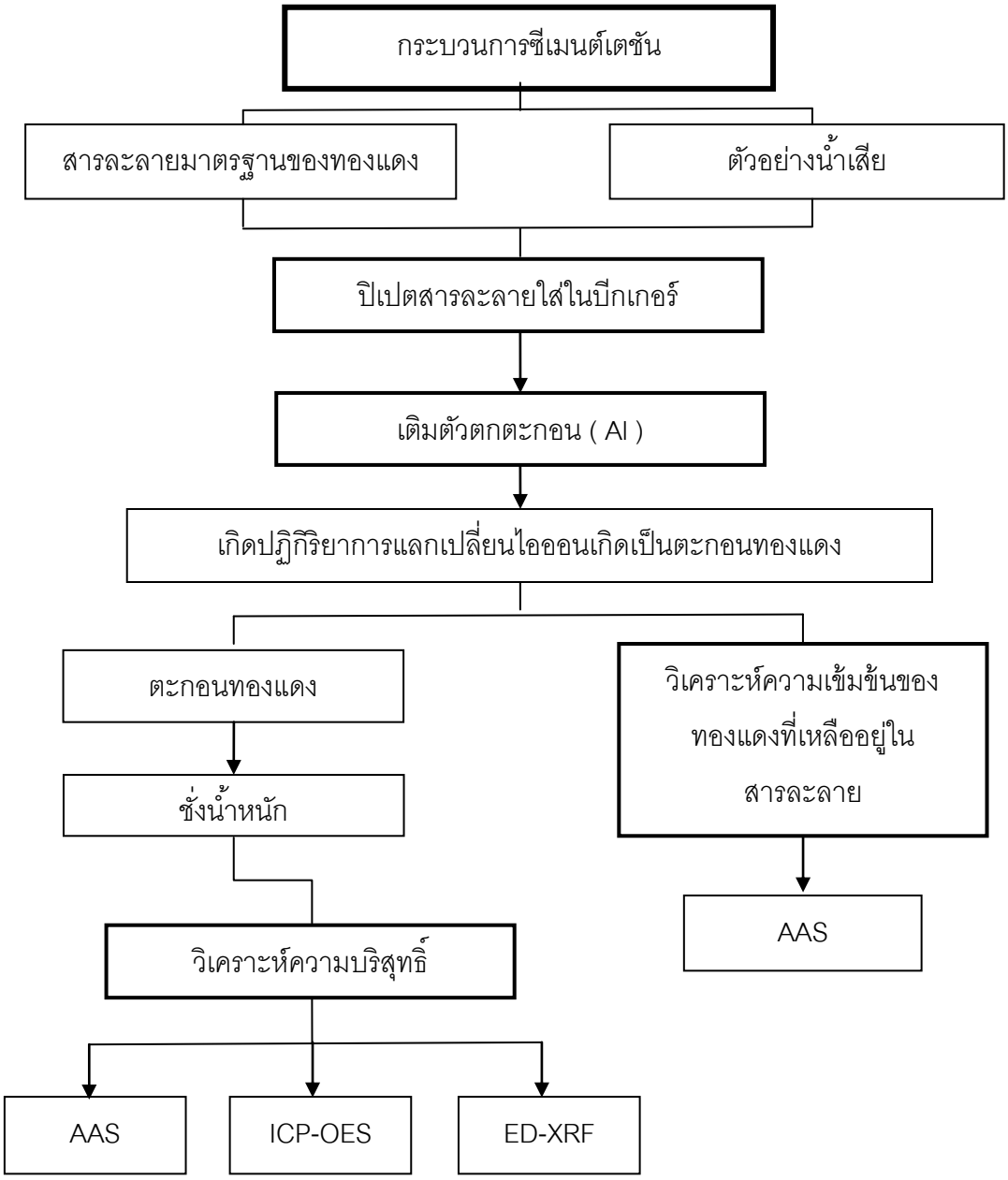
9. วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของตะกอนทองแดงที่ได้โดยใช้เทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS), Inductive Coupled Plasma Emission Spectroscopy (ICP-OES) และ Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF)

10. สำหรับสารละลายมาตรฐานของโลหะผสมและสารละลายตัวอย่าง ทำการทดลองเช่นเดียวกัน

ตาราง 4 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการตกตะกอนโดยใช้กระบวนการซีเมนเตชัน

ปัจจัยที่ศึกษา	สภาวะ
ผลของ pH	1 - 3
ผลของระยะเวลาในการตกตะกอน	0 – 24 ชม.
ผลของชนิดของอะลูมินัม	เม็ด เศษ แผ่น
ผลปริมาณของ Aluminum	0.5 – 5 เท่าของน้ำหนักทองแดง
ผลของโลหะชนิดอื่นๆ	Ni^{2+}, Zn^{2+}

ภาพรวมการทดลองกระบวนการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการซีเมนต์เตชัน



ที่มา: ดัดแปลงมาจาก: N. DEMIRKiRAN& A. KUNKUL. (2011: 2778-2782)

2.3 กระบวนการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมโดยใช้ กระบวนการรีดักชัน

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟต 25 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ใส่แท่งแม่เหล็กกวน และนำไปวางบนเตาไฟฟ้า

2. ค่อยๆเติม 28% ของสารละลายแอมโมเนีย 7 มิลลิลิตร + แอมโมเนียมคลอไรด์ 0. 15 กรัม ลงในสารละลายตัวอย่างพร้อมกวนตลอดเวลา สารละลายจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีน้ำเงินเข้ม

3. เตรียมตัวรีดิวซ์ชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังตาราง 5

4. เติมตัวรีดิวซ์ลงไปอย่างช้าๆ จนสารละลายเริ่มเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเข้มเป็นสีน้ำตาล

5. จากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5 จนเริ่มเกิดตะกอนทองแดงแยกออกมา

6. วิเคราะห์ความเข้มข้นของทองแดงที่เหลือในสารละลายโดยใช้เทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS)

7. กรองและเก็บตะกอนทองแดง ทิ้งตะกอนทองแดงให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละของการกลับคืน

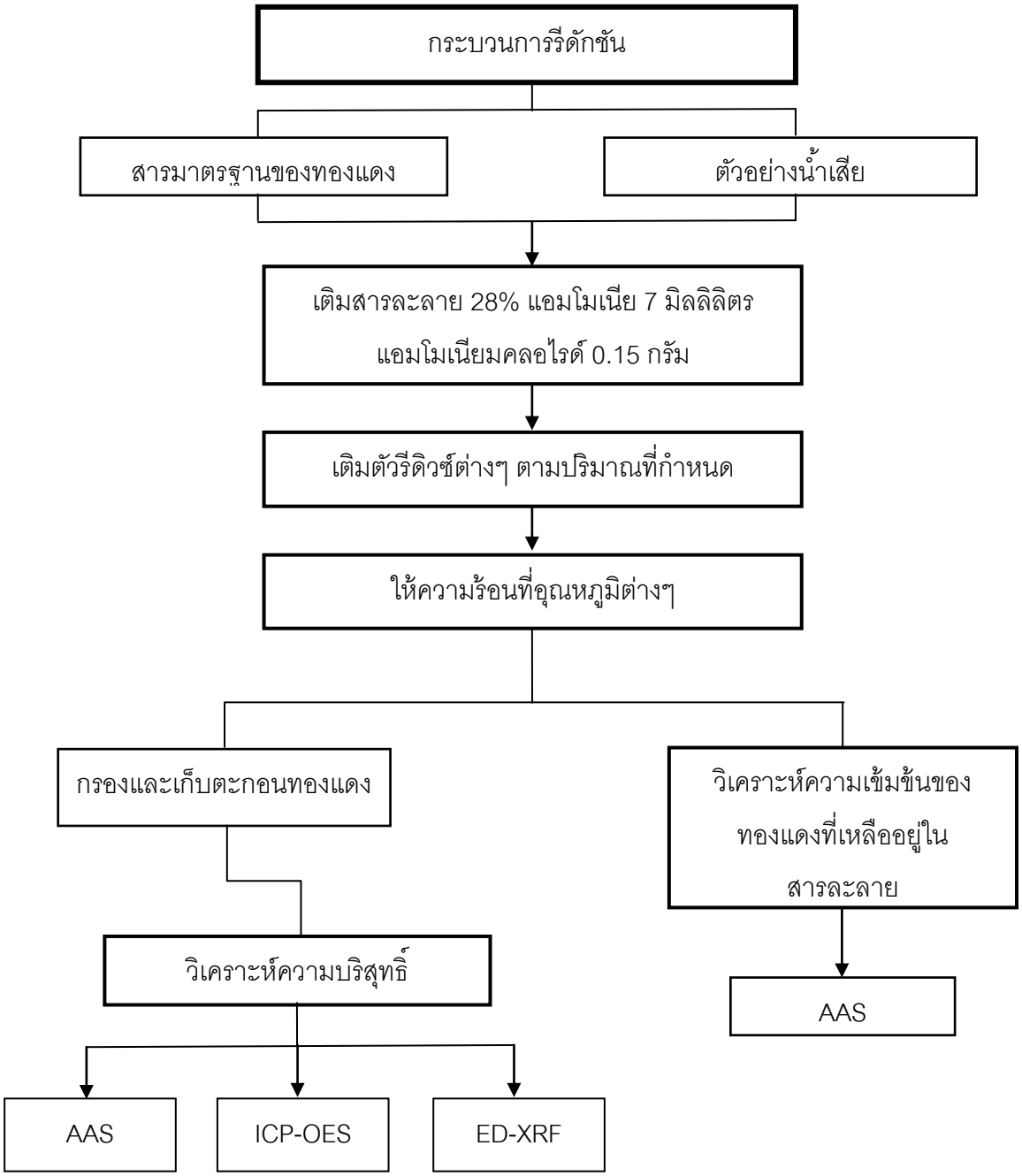
8. วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของตะกอนทองแดงที่ได้โดยใช้เทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS), Inductive Coupled Plasma Emission Spectroscopy (ICP-OES) และ X-Ray Fluorescence (ED-XRF)

9. สำหรับสารละลายมาตรฐานของโลหะผสมและสารละลายตัวอย่าง ทำการทดลองเช่นเดียวกัน

ตาราง 5 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการตกตะกอนโดยใช้กระบวนการรีดักชัน

ปัจจัยที่ศึกษา	สภาวะ
ผลของระยะเวลา	0-60 นาที
ผลของอุณหภูมิ	25-100 องศาเซลเซียส
ผลชนิดของตัวรีดิวซ์	ไฮดราซีน กลูโคส ซูโคส
อัตราส่วนของตัวรีดิวซ์	0.5 - 5 เท่าของปริมาณทองแดง

ภาพรวมการทดลองกระบวนการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการรีดักชัน



ที่มา: ดัดแปลงมาจาก: W. Songping; & M. Shuyuan. (2006: 2438-2442)

3. การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดง

3.1 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

3.1.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ตาราง 6 การกำหนดสภาวะของเครื่อง

ธาตุที่วิเคราะห์	Cu
Lamp setting wavelength	324.8 nm
Slit width	0.7 nm
Lamp current	15
Air : C_2H_2	11.6 : 1
Reading time	0.5 sec
Energy	74

ที่มา: PERKIN ELMER AA WinLab Analyst V.3.0 Instrument control software

3.1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

- สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ใน 0.5% HNO_3

- สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 9.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.96 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 0.5% HNO_3

- สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 4.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 9.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 0.5% HNO_3

- สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 4.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 0.5% HNO_3

- สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 0.5% HNO_3

- สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 0.5% HNO_3

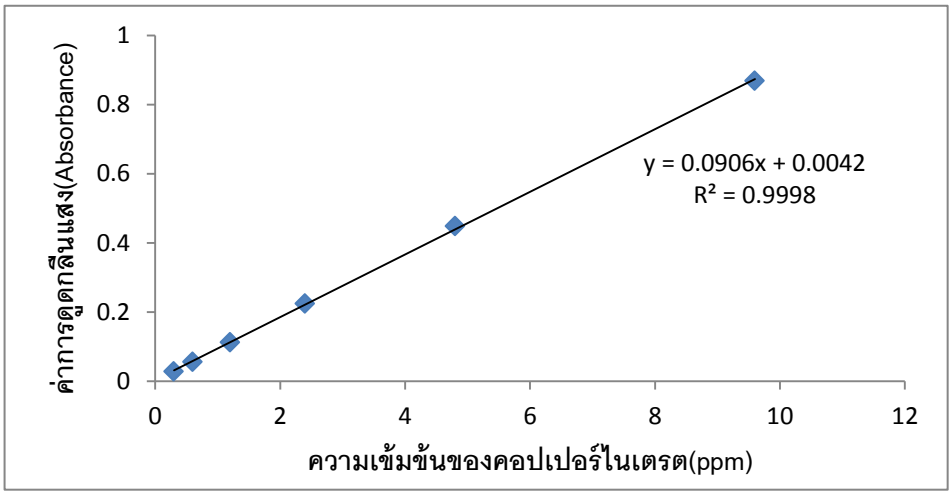
- สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 0.5% HNO_3

3.1.3 **การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความบริสุทธิ์**

สุ่มตะกอนทองแดงที่ได้ นำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เจือจางให้สารละลายอยู่ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน คำนวณความเข้มข้นทางทฤษฎีเทียบกับความเข้มข้นที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี คำนวณเปอร์เซ็นความบริสุทธิ์จาก

$$\text{เปอร์เซ็นความบริสุทธิ์} = \frac{\text{ความเข้มข้นจากการทดลอง}}{\text{ความเข้มข้นทางทฤษฎี}} \times 100$$

การหาความเข้มข้นของทองแดงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี คำนวณได้จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรต (แกน X) กับ ค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) ดังภาพประกอบ 8 โดยมีตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ คือ $Y = 0.0906X + 0.0042$ และมีค่า Coefficient of determination เท่ากับ $R^2 = 0.9998$ (Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง, X คือ ความเข้มข้น) จากนั้นแทนค่าการดูดกลืนแสง เพื่อหาความเข้มข้นของทองแดง (ppm)



ภาพประกอบ 8 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของคอปเปอร์ไนเตรตกับค่าการดูดกลืนแสง

3.1.4 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมาสเปกโทรเมตรี

ตัวอย่างตะกอนทองแดงถูกส่งไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ

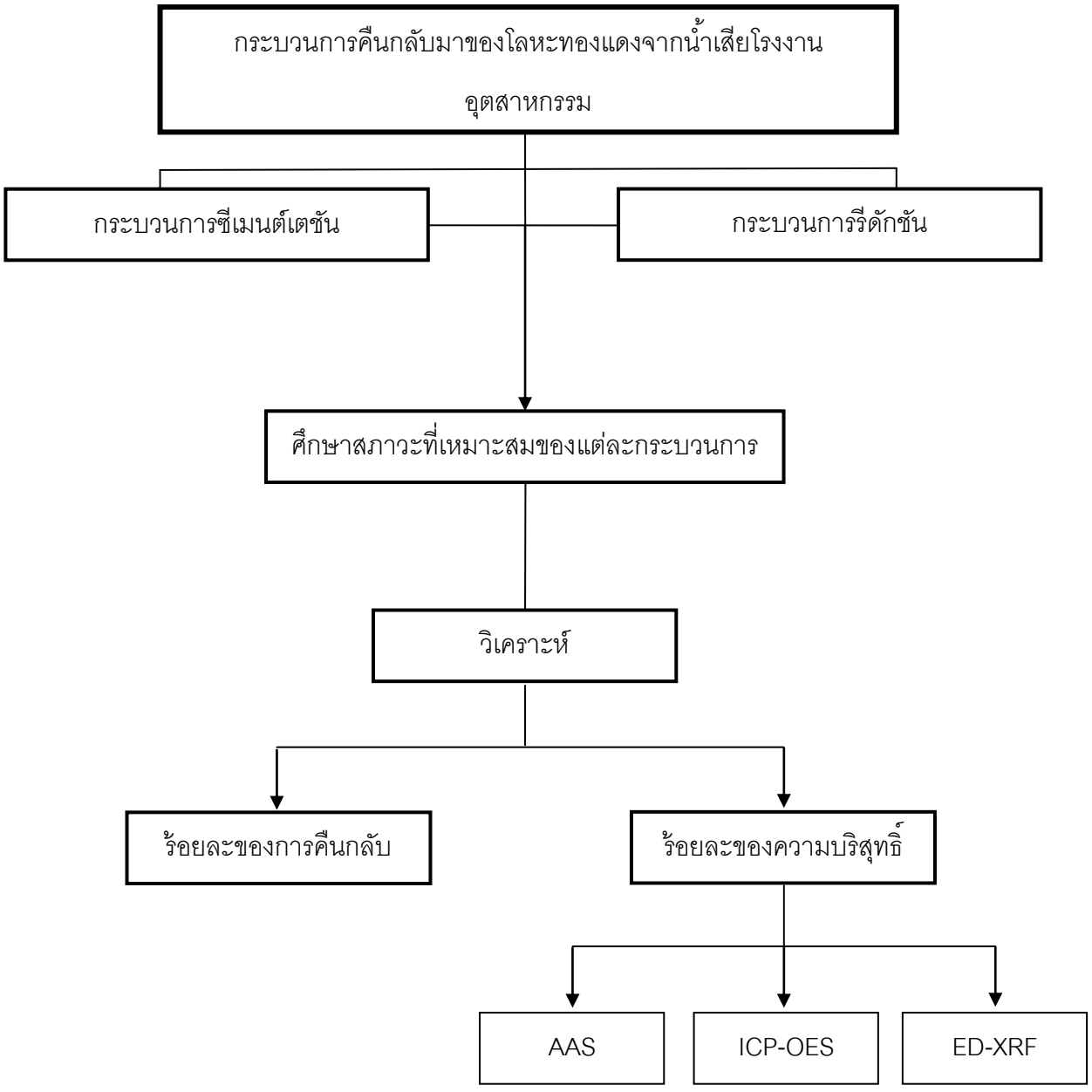
3.1.5 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Energy Dispersive X-ray Fluorescence(ED-XRF)

ตัวอย่างตะกอนทองแดง ถูกนำมาบดให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fisher X-ray Fluorescence ของบริษัท สุนทรรีไฟน์เนอร์

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้กระบวนการซีเมนเตชันกับกระบวนการรีดักชัน

จากการศึกษาการแยกสกัดโลหะทองแดง กระบวนการที่ได้ศึกษา ได้แก่ กระบวนการซีเมน-เตชันและกระบวนการรีดักชัน ผู้วิจัยต้องการศึกษาถึงประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการ โดยการเปรียบเทียบร้อยละการคืนกลับ (recovery, %) และร้อยละความบริสุทธิ์ (purity, %) ของการแยกโลหะทองแดงในแต่ละกระบวนการ และวิเคราะห์ถึงต้นทุนของการแยกสกัดโลหะทองแดงของแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะสามารถเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการที่จะสามารถเลือกพิจารณาให้เหมาะสมกับการลงทุน

ภาพรวมขั้นตอนการทดลอง



บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาวิธีการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้แสดงผลการทดลองดังนี้

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและร้อยละของความบริสุทธิ์ของการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการซีเมนเตชัน

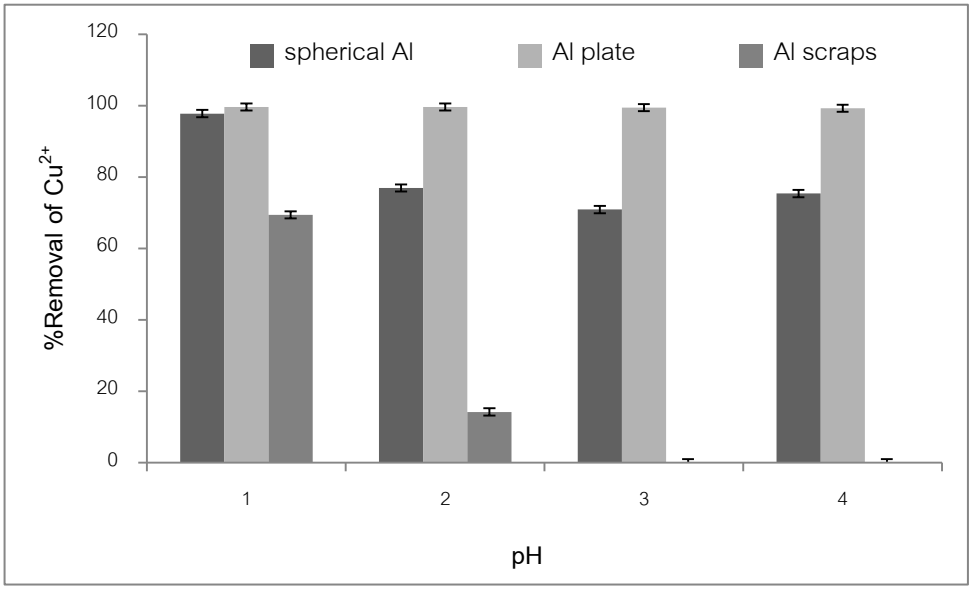
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและร้อยละของความบริสุทธิ์ของการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการรีดักชัน

3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้กระบวนการซีเมนเตชันกับกระบวนการรีดักชัน

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการซีเมนเตชัน

1.1 ผลของ pH และรูปร่างของอะลูมินัม

ในกระบวนการซีเมนเตชัน การศึกษาผลของ pH ในสารละลายเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยา ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยทำการศึกษาผลของ pH ที่ pH 1, 2, 3 และ 4 และศึกษารูปร่างของอะลูมินัมที่เหมาะสม เช่น อะลูมินัมแบบแผ่น แบบทรงกลม และเศษอะลูมินัม โดยศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ 4000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลา 18 ชั่วโมง ปริมาณอะลูมินัมเป็น 5 เท่าของปริมาณทองแดงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเริ่มต้น โดยผลการทดลองแสดงค่าร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ไอออน ดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสม

จากภาพประกอบ 9 พบว่าที่ pH ต่างๆ อะลูมินัมแบบแผ่นสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนออกจากสารละลายได้สูงสุดถึง 99% และอะลูมินัมแบบทรงกลมสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนได้ 97% ที่ pH 1 และกำจัดคอปเปอร์ไอออนได้ลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น ส่วนเศษอะลูมินัมกำจัดคอปเปอร์ไอออนได้ประมาณ 70% และ 14% ที่ pH 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อ pH สูงขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดคอปเปอร์ไอออนลดลง เนื่องจากการเกิดออกไซด์เคลือบที่ผิวโลหะสามารถยับยั้งการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนในกระบวนการซีเมนเตชัน และนอกจากนี้ pH ที่ไม่เหมาะสมยังมีผลต่อการเกิดคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ในสารละลาย โดยชั้นออกไซด์นี้สามารถกำจัดได้โดยการเพิ่มความเป็นกรดให้กับสารละลาย

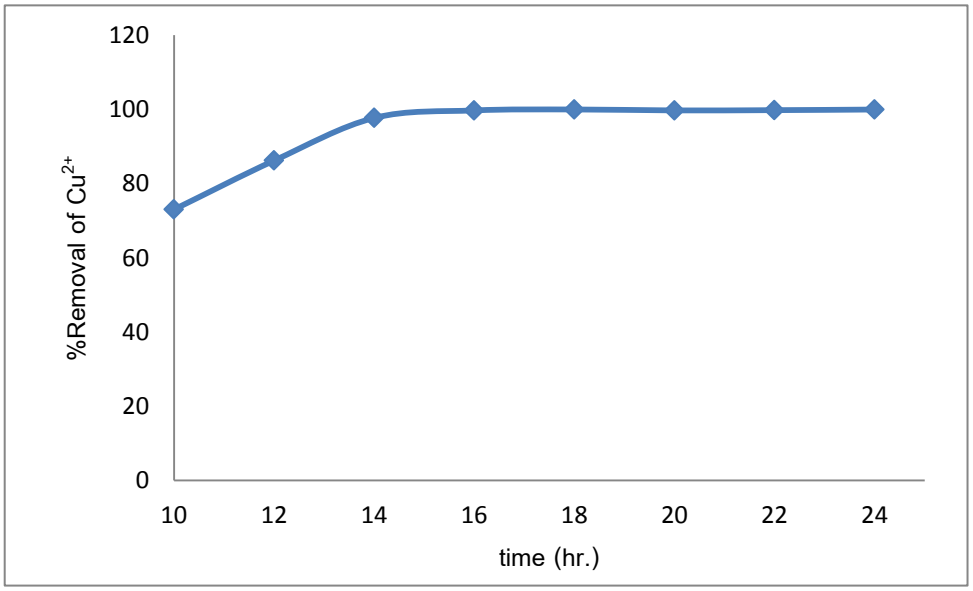
สำหรับผลรูปร่างของอะลูมินัมสามารถอธิบายได้จากผลของรูปร่างที่แตกต่างกันของอะลูมินัมจากร้อยละการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลาย จะเห็นว่าอะลูมินัมแบบแผ่น มีประสิทธิภาพในการกำจัดคอปเปอร์ไอออนไอออนได้ดีกว่าอะลูมินัมแบบทรงกลม เนื่องจากลักษณะของอะลูมินัมแบบแผ่น สามารถสัมผัสกับคอปเปอร์ไอออนในสารละลายได้อย่างทั่วถึง ส่วนอะลูมินัมแบบทรงกลม อะลูมินัมบางส่วนอยู่ภาพในทรงกลมซึ่งไม่สัมผัสกับสารละลาย จึงทำให้ประสิทธิภาพการของอะลูมินัมในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลง สำหรับอะลูมินัมแบบเศษอะลูมินัม พบว่าสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนจาก

สารละลายได้ดี แต่อย่างไรก็ตามพบว่า เศษอะลูมินัมซึ่งมีขนาดเล็กเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับคอปเปอร์ไอออน จนคอปเปอร์ไอออนในสารละลายเกิดเป็นตะกอนทองแดงจนหมด เศษอะลูมินัมยังคงปนอยู่กับตะกอนทองแดง ซึ่งไม่สามารถแยกออกจากตะกอนทองแดงได้ ทำให้ผลร้อยละความบริสุทธิ์ของทองแดงต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้

ดังนั้นสรุปได้ว่า ที่ pH 1 และอะลูมินัมแบบแผ่นสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายได้ดีที่สุด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สารละลายที่ pH 1 และอะลูมินัมที่ใช้เป็นแบบแผ่น ในการศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อกระบวนการซีเมนเตชันต่อไป

1.2 ผลของระยะเวลา

ศึกษาผลของระยะเวลาที่เหมาะสมของการเกิดกระบวนการซีเมนเตชันที่เวลา 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 และ 24 ชั่วโมง โดยศึกษาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของคอปเปอร์ไอออนเท่ากับ 4000 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของสารละลายเท่ากับ 1 ปริมาณอะลูมินัมเป็น 1 เท่าของปริมาณทองแดงในสารละลายคอปเปอร์ไอออน ชนิดของอะลูมินัมแบบแผ่น ผลการทดลองร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ไอออนแสดงดังภาพประกอบ 10

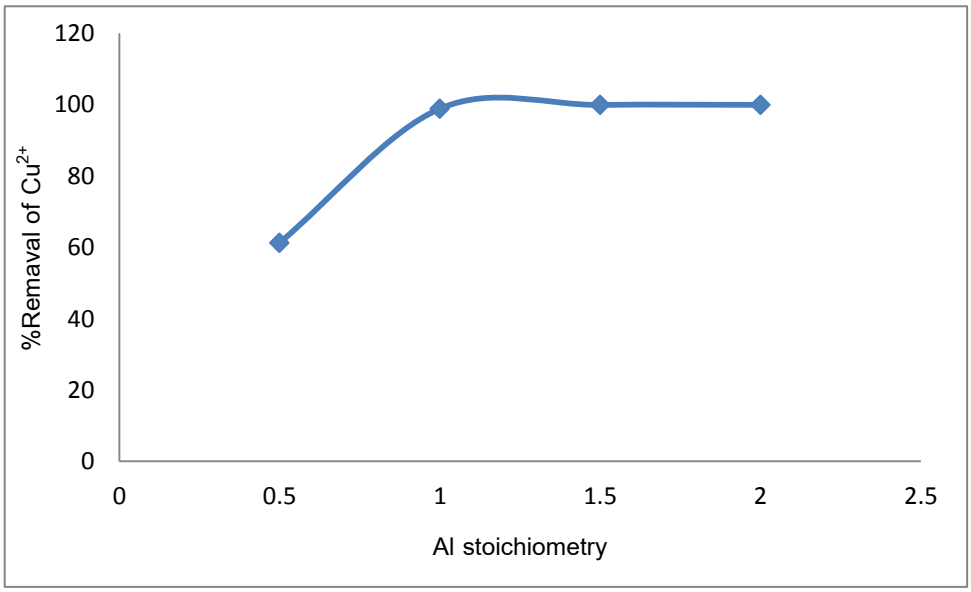


ภาพประกอบ 10 การศึกษาผลของระยะเวลาที่เหมาะสม

จากภาพประกอบ 10 จะเห็นว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนในสารละลายก็จะเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาที่เหมาะสม คือ ที่เวลา 16-18 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนออกจากสารละลายได้มากถึง 99%

1.3 ผลของปริมาณที่เหมาะสมของอะลูมินัม

ในการศึกษาผลของปริมาณที่เหมาะสมของอะลูมินัมที่ใช้เป็นโลหะในการให้อิเล็กตรอนแก่คอปเปอร์ไอออนในสารละลายในกระบวนการซีเมนเตชัน ทำการศึกษาที่ปริมาณอะลูมินัม 0.5, 1, 1.5 และ 2 เท่าของปริมาณทองแดงในสารละลาย โดยศึกษาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายคอปเปอร์เท่ากับ 4000 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของสารละลายเท่ากับ 1 ระยะเวลา 18 ชั่วโมง ชนิดของอะลูมินัมแบบแผ่น ผลการทดลองร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ไอออน แสดงดังภาพประกอบ 11



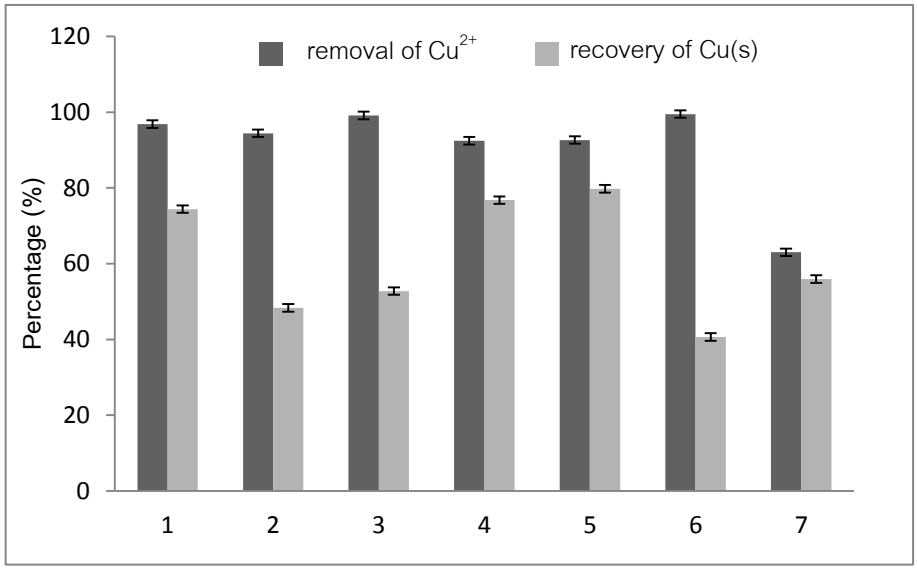
ภาพประกอบ 11 การศึกษาผลของปริมาณที่เหมาะสมของอะลูมินัม

จากภาพประกอบ 11 พบว่าการกำจัดคอปเปอร์ไอออนในสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะลูมินัมเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าที่ปริมาณอะลูมินัมเป็น 0.5 เท่าของปริมารทองแดง สามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนออกจากสารละลายได้ประมาณ 61% แต่เมื่อปริมาณของอะลูมินัมเพิ่มขึ้นเป็น 1, 1.5 และ 2 เท่าของปริมาณทองแดง พบว่าสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนออกจากสารละลายได้สูงถึง 99%

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกปริมาณอะลูมินัมที่เหมาะสม คือที่อะลูมินัมเป็น 1 เท่าของปริมาณทองแดง

1.4 ผลของโลหะรบกวนชนิดอื่น ๆ

เนื่องจากในน้ำเสียตัวอย่างอาจมีโลหะอื่นๆ ได้แก่ โลหะนิกเกิล และโลหะสังกะสี ดังนั้น การศึกษาผลของโลหะอื่นๆ ต่อกระบวนการซีเมนเตชันของคอปเปอร์จึงจำเป็น โดยได้ทำการศึกษาผลของโลหะรบกวนนิกเกิล และสังกะสี ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตาราง 3 ซึ่งมีสภาวะการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของคอปเปอร์ไอออนเท่ากับ 4000 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของสารละลายเท่ากับ 1 ระยะเวลา 18 ชั่วโมง ปริมาณอะลูมินัมเป็น 1 เท่าของปริมาณทองแดง ชนิดของอะลูมินัมแบบแผ่น ซึ่งผลการทดลองพบว่า โลหะนิกเกิลมีผลต่อการแยกโลหะคอปเปอร์ในกระบวนการซีเมนเตชันมากกว่าเมื่อเทียบกับการมีโลหะสังกะสีอยู่ในสารละลาย ทั้งนี้สามารถอธิบายได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (E^0) เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบค่า E^0 ของทองแดง นิกเกิลและสังกะสี พบว่าทองแดงมีค่า $E^0 = 0.34$ นิกเกิลมีค่า $E^0 = -0.26$ ส่วนสังกะสีมีค่า $E^0 = -0.76$ จะเห็นว่านิกเกิลมีค่า E^0 ใกล้เคียงกับค่า E^0 ของทองแดงมากกว่าสังกะสี จึงทำให้นิกเกิลเกิดการแย่งรับอิเล็กตรอนจากอะลูมินัมกับทองแดง ทำให้กระบวนการซีเมนเตชันของคอปเปอร์เกิดได้ไม่ดีนักหากมีโลหะนิกเกิลในสารละลาย ผลการทดลองร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ไอออน แสดงดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 การศึกษาผลของโลหะรบกวน

ตาราง 7 ร้อยละกำจัดคอปเปอร์ออกจากสารละลายและร้อยละการคืนกลับของผงโลหะทองแดง

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7
การกำจัดคอปเปอร์จากสารละลาย (%)	96.83 ± 1.09	94.42 ± 2.43	99.12 ± 0.13	92.42 ± 0.03	92.65 ± 1.69	99.49 ± 0.13	63.00 ± 0.73
ร้อยละการคืนกลับของทองแดง	74.4 ± 2.73	48.35 ± 3.66	52.74 ± 3.38	76.77 ± 0.04	79.75 ± 5.49	40.63 ± 0.94	55.94 ± 2.86

หมายเหตุ 1 แทน สารละลายทองแดง

2, 3 แทน สารละลายผสมระหว่างทองแดงและนิกเกิลในอัตราส่วน 95 : 5 และ 80 : 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ

4, 5 แทน สารละลายผสมระหว่างทองแดงและสังกะสีในอัตราส่วน 95 : 5 และ 80 : 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ

6 แทน สารละลายผสมระหว่างทองแดง นิกเกิลและสังกะสีในอัตราส่วน 90:5:5 โดยปริมาตร

7 แทน สารละลายตัวอย่าง

สรุปสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการซีเมนเตชัน คือ สารละลาย pH 1 ระยะเวลา 18 ชั่วโมง ปริมาณอะลูมินัมเป็น 1 เท่าของปริมาณทองแดง ชนิดของอะลูมินัมแบบแผ่น จะสามารถกำจัดคอปเปอร์ออกจากสารละลาย ได้ปริมาณผงโลหะทองแดง ดังผลแสดงในตาราง 7

1.5 ผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของผงทองแดงที่ได้จากกระบวนการซีเมนเตชัน

ตาราง 8 แสดงเปอร์เซ็นความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงที่ได้จากกระบวนการซีเมนเตชันโดยใช้เทคนิค FAAS และ ED-XRF

Technique	Percentage of copper purity (%)						
	1	2	3	4	5	6	7
FAAS	92.39	87.49	86.21	88.66	89.83	91.99	96.65
ED-XRF	97.21	90.78	90.13	91.18	90.51	92.44	93.46

หมายเหตุ 1-7 แทนสารละลายตามตาราง 7

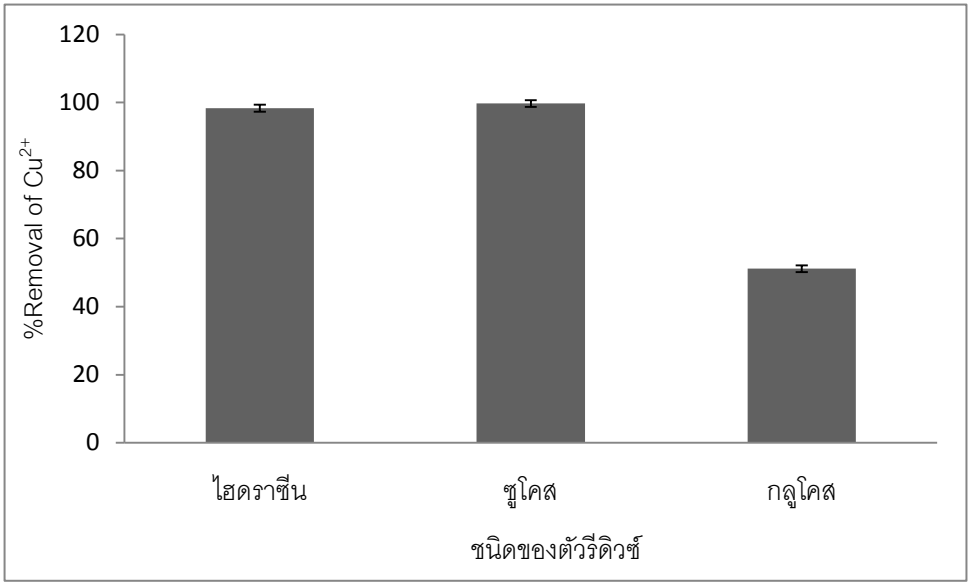
จากตาราง 8 แสดงผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของผงโลหะทองแดงที่ได้จากกระบวนการซีเมนเตชัน โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมดังที่สรุปไปก่อนหน้านี้ จากการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรีพบว่า ผงโลหะทองแดงที่ได้จากกระบวนการซีเมนเตชันมีความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 87-96% และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ED-XRF พบว่ามีความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 90-97% จะเห็นว่าการแยกทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการซีเมนเตชัน ซึ่งมีอะลูมินัมเป็นโลหะที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน จะได้ผงโลหะทองแดงที่มีความบริสุทธิ์สูง

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการรีดักชัน

2.1 ผลของชนิดของตัวรีดิวซ์

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวรีดิวซ์ 3 ชนิด ได้แก่ ไฮดราซีน ซูโครส และกลูโคส ในการรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนในสารละลาย ซึ่งพบว่าตัวรีดิวซ์ทั้ง 3 ชนิดสามารถรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนให้เกิดเป็นผงทองแดงได้ สำหรับซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ไม่จัดเป็นตัวรีดิวซ์ แต่ในสภาวะที่เป็นกรดจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจึงสามารถเป็นตัวรีดิวซ์ได้ จากผลการศึกษาร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ไอออน แสดงดังภาพประกอบ 13 โดย

มีสภาวะการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของคอปเปอร์ไอออนเท่ากับ 4000 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของสารละลายเท่ากับ 1 ปริมาณคอปเปอร์ไอออนต่อปริมาณตัวรีดิวซ์เป็น 1:1 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที



ภาพประกอบ 13 ผลของชนิดของตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสม

จากภาพประกอบ 13 จะพบว่าที่สภาวะเดียวกันไฮดราซีนและซูโครสสามารถรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนได้ดีซึ่งสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนในสารละลายได้ถึง 99% สำหรับกลูโคสที่เวลา 60 นาที สามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายได้ประมาณ 50% แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นก็จะสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนออกจากสารละลายได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามตัวรีดิวซ์ทั้ง 3 ชนิดให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของผงทองแดงได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับการใช้กระบวนการซีเมนเตชัน โดยผลการทดลองร้อยละของความบริสุทธิ์จะแสดงในหัวข้อผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดง

2.2 **ผลของอุณหภูมิ**

ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนในสารละลาย โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 25, 60, 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสทำการทดลองที่สภาวะเดียวกับกระบวนการซีเมนเตชัน คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของคอปเปอร์ไอออนเท่ากับ 4000 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของสารละลายเท่ากับ 1 ระยะเวลา 18 ชั่วโมงปริมาณคอปเปอร์ไอออนต่อปริมาณตัวรีดิวซ์เป็น 1:1 ผลการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสพบว่า ตัวรีดิวซ์ไฮดราซีน ซูโครส กลูโคส สามารถกำจัดคอป

เปอร์ไอออนออกจากสารละลายคิดเป็นร้อยละ 5.99 ± 0.015, 8.91±0.038 และ 14.73±0.024 ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก อุณหภูมิจึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

สำหรับผลของอุณหภูมิที่ 60, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ให้ผลการทดลองร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ไอออน แสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 แสดงเปอร์เซ็นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายที่อุณหภูมิต่างๆ

ชนิดของตัวรีดิวซ์	การกำจัดคอปเปอร์จากสารละลาย (%)		
อุณหภูมิ (°C)	60	80	90
ไฮดราซีน	77.93±0.12	98.39±0.05	97.95±0.01
ซูโครส	87.59±1.35	99.19±0.10	95.23±0.25
กลูโคส	10.00±0.58	24.95±0.28	94.81±0.03

จากตาราง 9 แสดงผลการทดลองที่ปริมาณคอปเปอร์ไอออนต่อปริมาณตัวรีดิวซ์เป็น 1:1 ระยะเวลา 60 นาที จะเห็นว่า อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนในสารละลายให้เกิดเป็นตะกอนทองแดงเป็นอย่างมาก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนออกจากสารละลายก็จะเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเป็นตัวช่วยในการเร่งปฏิกิริยา

2.3 ผลของระยะเวลา

ศึกษาผลของระยะเวลาที่เหมาะสมของตัวรีดิวซ์ทั้ง 3 ชนิดในการรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนในสารละลายให้เป็นผงโลหะทองแดง ผลการทดลองร้อยละของการกำจัดคอปเปอร์ไอออน แสดงดังตาราง 10

ตาราง 10 แสดงเปอร์เซ็นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายที่เวลาต่างๆ

ชนิดของตัวรีดิวซ์	การกำจัดคอปเปอร์จากสารละลาย (%)				
ระยะเวลา(นาที)	15	30	60	90	120
ไฮดราซีน	93.78±0.04	93.54±0.005	98.33±1.40	96.03±0.03	98.53±0.01
ซูโครส	99.25±0.14	99.66±0.16	99.50±0.33	99.48±0.11	98.17±0.24
กลูโคส	n/a	n/a	51.17±0.06	88.55±0.02	92.25±0.001

หมายเหตุ n/a หมายถึง ไม่เกิดการกำจัดคอปเปอร์ไอออนในสารละลาย

จากตาราง 10 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณคอปเปอร์ไอออนต่อปริมาณตัวรีดิวซ์เป็น 1:1 จะเห็นว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตัวรีดิวซ์ไฮดราซีนและซูโครสสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายได้เพิ่มขึ้นและสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายได้มากกว่า 90% ตั้งแต่เวลา 15 นาที สำหรับกลูโคส พบว่าสามารถกำจัดกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายได้ดีตั้งแต่เวลา 90 นาทีขึ้นไป

2.4 ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวรีดิวซ์

ศึกษาผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวรีดิวซ์ทั้ง 3 ชนิด โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณคอปเปอร์ไอออนต่อปริมาณตัวรีดิวซ์ในอัตราส่วน 1:0.5, 1:1 และ 1:5 ผลการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที แสดงดังตาราง 11

ตาราง 11 แสดงเปอร์เซ็นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายที่อัตราส่วนต่างๆ

ชนิดของตัวรีดิวซ์	การกำจัดคอปเปอร์จากสารละลาย (%)		
อัตราส่วน Cu^{2+} : Re a.	1 : 0.5	1 : 1	1 : 5
ไฮดราซีน	79.91±0.02	98.33±0.01	100.00±0.01
ซูโครส	69.75±0.01	99.50±0.33	96.63±0.01
กลูโคส	9.36±0.11	51.17±0.06	67.01±0.09

จากตาราง 11 จะเห็นว่า เมื่อปริมาณตัวรีดิวซ์เพิ่มขึ้นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายก็จะมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกปริมาณคอปเปอร์ไอออนต่อปริมาณตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสมในอัตราส่วน 1:1 เนื่องจากที่อัตราส่วน 1:1 สามารถรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนได้ใกล้เคียงกับที่ 1:5 สำหรับตัวรีดิวซ์ไฮดราซีน

ตาราง 12 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นการกำจัดคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายและร้อยละการคืนกลับของโลหะทองแดงที่ได้จากกระบวนการรีดักชัน

ชนิดของตัวรีดิวซ์	การกำจัดคอปเปอร์จากสารละลาย (%)	ร้อยละการคืนกลับของทองแดง
ไฮดราซีน	98.33±0.01	80.93±1.36
ซูโครส	99.50±0.33	111.6±0.03
กลูโคส	51.17±0.06	32.7±0.05

จากตาราง 12 ทำการทดลองภายใต้สภาวะ ปริมาณคอปเปอร์ไอออนต่อปริมาณตัวรีดิวซ์ในอัตราส่วน 1:1 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที โดยมี ไฮดราซีน ซูโครส และกลูโคส เป็นตัวรีดิวซ์ จะเห็นว่าซูโครสสามารถรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนออกจากสาระลายและได้ร้อยละการคืนกลับของทองแดงได้สูงที่สุด รองลงมาเป็นไฮดราซีน และกลูโคส แต่จากการวิเคราะห์ร้อยละของความ

บริสุทธิ์ซูโครส ซึ่งแสดงดังตาราง 13 จะเห็นว่าให้ร้อยละความบริสุทธิ์ต่ำกว่าไฮดราซีน ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการรีดักชันในงานวิจัยนี้ที่เลือก คือ pH ของสารละลายเท่ากับ 1 ปริมาณคอปเปอร์ไอออนต่อปริมาณตัวรีดิวซ์ในอัตราส่วน 1:1 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที โดยมี ไฮดราซีน เป็นตัวรีดิวซ์

2.5 ผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของผงทองแดงที่ได้จากกระบวนการรีดักชัน

ตาราง 13 แสดงเปอร์เซ็นความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงที่ได้จากกระบวนการรีดักชันโดยเปรียบเทียบระหว่าง 3 ตัวรีดิวซ์

Tecnique / Reducing agent	Percentage of copper purity (%)		
	Hydrazine	Sucose	Glucose
FAAS	79.24%	68.60%	33.85%

จากตาราง 13 เป็นการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของตัวอย่างทองแดงที่ได้จากสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์โดยการรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีน ซูโครส และกลูโคส ที่สภาวะ pH ของสารละลายเท่ากับ 1 ปริมาณคอปเปอร์ไอออนต่อปริมาณตัวรีดิวซ์ในอัตราส่วน 1:1 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที จะเห็นว่าการใช้ตัวรีดิวซ์ไฮดราซีนจะให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของทองแดงที่สูงกว่าการใช้ซูโครสและกลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ซูโครสและกลูโคสเมื่อทำปฏิกิริยาจะได้ Cu_2O โดยสามารถอธิบายได้จากสมการการเกิดปฏิกิริยาดังแสดง

$$2Cu^{2+} + H_2O + C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2Cu^{+} + 2H^{+} + C_6H_{12}O_7$$

Cu^{+1} is product of reduction

$$\downarrow$$

$$Cu_2O + 2H^{+}$$

Insoluble

สมการการเกิดปฏิกิริยาของคอปเปอร์ไอออนเมื่อมีกลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์

ที่มา: detection of glucose in urine.pdf.(ม.ป.ป.: ออนไลน์)

จากสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการรีดักชันที่ได้กล่าวสรุปไปในหัวข้อ 2.4 นำสภาวะดังกล่าวมาศึกษากับสารละลายตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ร้อยละของความบริสุทธิ์แสดงดังตาราง 14

ตาราง 14 แสดงเปอร์เซ็นความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงที่ได้โดยเทคนิค FAAS และ ED-XRF จากกระบวนการรีดักชันโดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์

Technique	Percentage of copper purity (%)						
	1	2	3	4	5	6	7
FAAS	79.24	66.21	58.09	64.41	54.13	57.01	65.75
ED-XRF	95.36	91.09	82.23	92.42	78.52	84.50	82.57

หมายเหตุ 1-7 แทนสารละลายตามตาราง 7

จากตาราง 14 พบว่าสารละลายทองแดงและสารละลายที่มีโลหะนิกเกิลและสังกะสีเป็นองค์ประกอบ เมื่อรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีน จะได้ผงโลหะทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 80% และ 57-66% ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี แต่สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ED-XRF พบว่าตัวอย่างทั้ง 7 ชนิด เมื่อถูกรีดิวซ์ได้ตะกอนทองแดงที่มีความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 78-95% จะเห็นว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ED-XRF ร้อยละของความบริสุทธิ์สูงกว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FAAS เนื่องจากเทคนิค ED-XRF ไม่มีการ detect ออกไซด์ในตัวอย่าง แต่อย่างไรก็ตามโลหะนิกเกิลและสังกะสี เมื่อมีปริมาณที่มากขึ้นก็พบว่าส่งผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของทองแดงที่ได้

3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้กระบวนการซีเมนเตชันกับกระบวนการรีดักชัน

3.1 เปรียบเทียบแสดงผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของทองแดงที่ได้จากทั้ง 2 กระบวนการ

ตาราง 15 แสดงผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์โดยใช้เทคนิค Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS) และ Energy Dispersive X-ray Fluorescence (ED-XRF)

sample	Percentage of copper purity (%)			
Method / Technique	Cementation		Chemical reduction	
	FAAS	ED-XRF	FAAS	ED-XRF
1	92.39	97.21	79.24	95.36
2	87.49	90.78	66.21	91.09
3	86.21	90.13	58.09	82.23
4	88.66	91.18	64.41	92.42
5	89.83	90.51	54.13	78.52
6	91.99	92.44	57.01	84.50
7	96.65	93.46	65.75	82.57

หมายเหตุ 1-7 แทนสารละลายตามตาราง 7

จากตาราง 15 จะเห็นว่ากระบวนการรีดักชันให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของทองแดงต่ำกว่ากระบวนการซีเมนเตชัน ซึ่งอาจเกิดจากการใช้ตัวรีดิวซ์ไฮดราซีนในการรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนในสารละลายให้เป็นผงทองแดงนั้น ผงทองแดงที่ได้จากการรีดิวซ์ด้วยตัวรีดิวซ์ดังกล่าวเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศได้ดีกว่าการใช้อะลูมินัมในกระบวนการซีเมนเตชัน และเหตุผลอีกประการ คือ

เนื่องจากไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงจึงอาจรีดิวซ์ไอออนของโลหะทุกชนิดในสารละลายได้หมด ซึ่งรีดิวซ์นิกเกิลและสังกะสีทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของทองแดงจึงความบริสุทธิ์ต่ำ

เพื่อที่จะยืนยันผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ผู้วิจัยได้ทำการส่งตัวอย่างบางส่วนไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมาสเปกโทรเมตรี (ICP-OES) ผลการทดลองแสดงดังตาราง 16

ตาราง 16 แสดงร้อยละความบริสุทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES, ED-XRF และ FAAS

Method / sample	Cementation method		Reduction method
	Standard sample	Real sample	Standard sample
ICP-OES	98.90%	99.94%	99.99%
ED-XRF	97.21%	94.10%	93.59%
FAAS	92.37%	96.65%	79.24%

ตาราง 16 วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของผงทองแดงที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองตอนที่ 1 และ 2 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์จะเห็นว่าการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ด้วยโดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรีมีความน่าเชื่อถือ

3.2 เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุน

ตาราง 17 เปรียบเทียบต้นทุนการแยกทองแดงด้วยกระบวนการซีเมนเตชันและรีดักชัน

กระบวนการ	รายการ	ปริมาณที่ใช้	ราคา
Cementation	อะลูมิเนียม ฟรอยด์	0.1 กรัม	0.156 บาท
ต้นทุนรวม			0.156 บาท / 25 มิลลิลิตร
Chemical Reduction	ไฮดราซีน 28% แอมโมเนีย	0.3 มิลลิลิตร 1 มิลลิลิตร	1.284 บาท 0.680 บาท
ต้นทุนรวม			1.964 บาท / 25 มิลลิลิตร

หมายเหตุ คิดเฉพาะค่าสารเคมี ไม่รวมค่าพลังงานไฟฟ้า

จากตาราง 17 เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนระหว่าง 2 กระบวนการ จะเห็นว่ากระบวนการซีเมนเตชันมีต้นทุนการลงทุนต่ำกว่ากระบวนการรีดักชัน อีกทั้งความบริสุทธิ์ของตะกอนทองแดงที่ได้ก็มีความบริสุทธิ์มากกว่า ดังนั้นกระบวนซีเมนเตชันจึงเป็นกระบวนการที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษากระบวนการแยกโลหะทองแดงจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการที่จะต้องส่งน้ำเสียดังกล่าวไปยังโรงงงานที่รับบำบัด อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ให้แก่อุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกกระบวนการที่เหมาะสมมา 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการซีเมนเตชัน และกระบวนการรีดักชัน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของทั้ง 2 กระบวนการ ศึกษาร้อยละของการคืนกลับและความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงที่ได้จากแต่ละกระบวนการ และทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้กระบวนการซีเมนเตชันและกระบวนการรีดักชัน

สรุปผล อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการแยกโลหะทองแดงจากเสียของโรงงานอุตสาหกรรม วิเคราะห์ร้อยละของการคืนกลับและความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดง สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการซีเมนเตชัน จากผลการศึกษาได้สภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

1.1 pH ของสารละลาย เท่ากับ 1

1.2 ระยะเวลา เท่ากับ 16-18 ชั่วโมง

1.3 ปริมาณอะลูมินัมที่เหมาะสม เท่ากับ 1 เท่าของปริมาณโลหะทองแดง

1.4 ชนิดของอะลูมินัมที่เหมาะสม ได้แก่ อะลูมินัมแบบแผ่น

จากสภาวะดังกล่าวได้ร้อยละการคืนกลับของโลหะทองแดง เท่ากับ 74.4 ± 2.73 และได้ร้อยละความบริสุทธ์ของโลหะทองแดงอยู่ในช่วง 86 - 96% โดยพบว่าโลหะนิกเกิลมีผลต่อการรบกวนการแยกโลหะทองแดงด้วยกระบวนการซีเมนเตชันซึ่งสามารถอธิบายได้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (E^0)

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการรีดักชัน จากผลการศึกษาได้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้

สำหรับ pH ของสารละลายจะใช้ที่ pH เท่ากับ 1 เช่นเดียวกับกระบวนการซีเมนเตชัน

2.1 ชนิดของตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสม ได้แก่ ไฮดราซีน

2.2 อุณหภูมิที่เหมาะสม เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส

2.3 ระยะเวลาที่เหมาะสม เท่ากับ 60 นาที

2.4 อัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวรีดิวซ์ เท่ากับ 1:1

จากสภาวะดังกล่าวได้ร้อยละการคืนกลับของโลหะทองแดง เท่ากับ 80.93±1.36และได้ร้อยละความบริสุทธ์ของโลหะทองแดง 79.24% โดยพบว่าไฮดราซีนอาจจะรีดิวซ์โลหะนิกเกิลและซิงค์ให้ตกตะกอนร่วมกับโลหะทองแดง เนื่องจากผลของความแรงของตัวรีดิวซ์ ซึ่งพบว่าร้อยละความบริสุทธิ์ที่ได้อยู่ในช่วง 54-66%

3. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้กระบวนการซีเมนเตชันและกระบวนการรีดักชัน

จากผลการทดลองพบว่า ทั้งสองกระบวนการสามารถกำจัดคอปเปอร์ไอออนออกจากสารละลายได้ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบผลร้อยละของความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงที่ได้จากทั้งสองกระบวนการจะเห็นว่า กระบวนการซีเมนเตชันให้ผลร้อยละความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงมากกว่า 90% เมื่อเทียบกับกระบวนการรีดักชันซึ่งได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงประมาณ 80% ส่วนการศึกษาในด้านความคุ้มทุน พบว่ากระบวนการซีเมนเตชันใช้ต้นทุนต่ำกว่ากระบวนการรีดักชัน

ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองในกระบวนการซีเมนเตชันโดยใช้อะลูมินัม เพื่อความคุ้มค่าในการลงทุน เมื่ออะลูมินัมทำปฏิกิริยากับคอปเปอร์ไอออนในสารละลายจนไม่เหลือคอปเปอร์ไอออนในสารละลายแล้ว อะลูมินัมที่ใช้ทำปฏิกิริยาไปแล้ว 1 ครั้ง อาจนำมาใช้ทำปฏิกิริยาอีกในครั้งต่อไปได้ แต่ประสิทธิภาพของการกำจัดคอปเปอร์ไอออนออกจากสารละลายอาจลดลง

2. ในกระบวนการซีเมนเตชัน นอกจากจะใช้โลหะอะลูมินัมแล้ว อาจใช้โลหะชนิดอื่นที่เป็นโลหะของแข็งและสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีแทนโลหะอะลูมินัมได้ เช่น เหล็ก หรือ ซิงค์ เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน. (2550?). *โลหะกับการพัฒนาประเทศ บทที่6 ทองแดง.* สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2557, จาก http://www.dpim.go.th/articles/article?catid=125&articleid=3269.

กมลพร อยู่สบาย. (2555). *ฝุ่นแดง.* สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2556, จาก https://www.scribd.com/doc/193207247/Zinc-Dust.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2554). *ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ.* พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

กองนโยบายอุตสาหกรรม รายสาขา1. (2544). *ภาวะอุตสาหกรรมทองแดงปี 2544*. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2555, จาก http://www.oie.go.th/academic/รายงายภาวะอุตสาหกรรมทองแดง 2544.

การวิเคราะห์กลูโคสในยูรีน(detection of glucose in urine). (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 9 มิถุนายน 2558, จาก http://chemistry.ewu.edu/jcorkill/chem163/163urineGLUCOSE.pdf

โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. (ม.ป.ป.). *สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ ๒ เรื่องที่ ๕ อุตสาหกรรม ประโยชน์และการใช้งานของโลหะ.* สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2557, จาก http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=2&chap=5&page=t2-5-infodetail08.html

เซียนโก, มิเชลล์. (2526). *เคมีวิทยา เล่ม 2: หลักทฤษฎีและสมบัติของสสาร.* แปลโดย ทองศุข พงศทัต. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

เทคโนโลยีการแยกสกัดโลหะมีค่าและโลหะพื้นฐานจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีการนำวัสดุเหลือใช้และกากของเสียมาใช้ประโยชน์. (2554?). *การนำโลหะจากเศษซากอิเล็กทรอนิกส์กลับมาใช้ใหม่*. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2555, จากwww.dpim.go.th/service/download?articleid=3498&F=6472.

ณัฐวุฒิ จันทรคง. (2553). *การประยุกต์ใช้กระบวนการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายในการนำกลับแพลตินัมออกจากน้ำเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมทอง.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเคมี). นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. ถ่ายเอกสาร.

นุจรินทร์ วะสุกัน. (2555). *โอกาสได้รับสัมผัสซิลเวอร์ทางผิวหนังจากผลิตภัณฑ์นาโนที่มีจำหน่ายในประเทศไทย*. ปริญญานิพนธ์ วท.ม.(เคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

นภาพร อรุณเกียรติก้อง; และ ปราโมทย์ ภูพานทอง. (2551). *ต้นแบบการแยกสกัดโลหะทองแดงจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์.* กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. สืบค้นเมื่อ 29 ตุลาคม 2555, จาก http://www.dpim.go.th/recycling/article?catid=228&articleid=3603.

แนพพ์, ไบรอัน. (2552). *โลหะแทรนซิชัน*. แปลโดย ลัดดาวัลย์ ผดุงทรัพย์และคณะ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่นส์.

ปราโมทย์ ภูพานทอง. (2537). *การแยกสกัดและการทำโลหะเงินและทองจาก scrap ให้บริสุทธิ์.* กองโลหะกรรม กรมทัพยากรธรณี. สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม 2556, จาก http://www.dpim.go.th/recycling/article?catid=228&articleid=3600

เปรมฤดี กาญจนปิยะ และคนอื่น ๆ. (2554). *e-waste เทคโนโลยีการจัดการซากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์.* สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2556, จาก www.nstda.or.th › eBook.

แม้น อมรสิทธิ์; และคนอื่น ๆ. (2535). *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์.

สุดเขต ไชโย. (2555). *การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ทองแดงและปรอทปริมาณน้อยโดยสทริปปิงโวลแทมเมตรี*. ปริญญานิพนธ์ วท.ม.(เคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

หิรัทยา เพชรมั่ง (2554). *เคมีอินทรีย์ 2*. พิมพ์ครั้งที่ 4. สงขลา: ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยทักษิณ.

Abdel-Aziz, M.H. (2011). Production of copper powder from wastewater containing $CuSO_4$ and alcoholic additives in a modified stirred tank reactor by cementation. *Hydrometallurgy*. 109: 161-167.

Ahmed, I.M.; et al. (2011). Cementation of copper from spent copper-pickle sulfate solution by zinc ash. *Hydrometallurgy*. 110: 62-66.

Bernardis, F.L.; et al. (2005). A review of methods of separation of the platinum-group metals through their chloro-complexes. *Reactive and Functional Polymers*. 65: 205-217.

Chang, F.; et al. (2007). Recovery of copper and chelating agents from sludge extracting solutions. *Separation and Purification Technology*. 53: 49-56.

Cui, J.;& Zhang, L. (2008). .Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. *Journal of Hazardous material*. 158: 228-256.

Demirkiran, N.;& KUNKUL, A. (2011). Recovering of copper with metallic aluminum. *Journal of Trans. Nonferrous Met. Soc*. 21: 2778-2782.

Demirkiran, N. (2013). Copper Cementation with Zinc Recovered from Spent Zinc-Carbon Batteries and Dissolution of Cement Copper in Hydrochloric Acid Solutions. *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 24: 8157- 8166

Farahmand, F.; et al. 2009. Optimization and kinetics of the cementation of lead with aluminum powder. *Hydrometallurgy*. 98: 81-85

Fouad, O.A.;& Abdel Basir, S.M. (2005). Cementation-induced recovery of self-assembled ultrafine copper powders from spent etching solutions of printed circuit boards. *Powder Technology*. 159: 127 – 134.

Karavasteva, M. (2005). Kinetics and deposit morphology of copper cementation onto zinc, iron and aluminium. *Hydrometallurgy*. 76: 149–152.

Mubarok, M. Z. (2010). LECTURE NOTES : MG – 4111 HYDRO-ELECTROMETALLURGY. Department of Metallurgical Engineering. Faculty of Mining and Petroleum Engineering (FTTM)- ITB.

Paul, C.J.;& Lim L.L. (2002). Key factors in chemical reduction by hydrazine for recovery of precious metals. *Chemosphere*. 49: 363-70

Shazly, A.H.E1.; et al. (2004). Recovery of copper from industrial waste solution by cementation on reciprocating perforated zinc disc. *Desalination*. 167 : 127-133.

Songping, W.;& Shuyuan, M. (2006). Preparation of micron size copper powder with chemical reduction method. *Materials Letters*. 60: 2438-2442.

Tavakoli, F.; et al. (2014). Application of glucose as a green capping agent and reductant to fabricate CuI micro/nanostructures. *Materials Research Bulletin*. 49: 14-20.

Thuesombat, P.; et al. (2014). Effect of silver nanoparticles on rice (*Oryza sativa* L. cv. *KDML 105*) seed germination and seeding growth. *Ecotoxicology and environmental safety*. 104: 302-309.

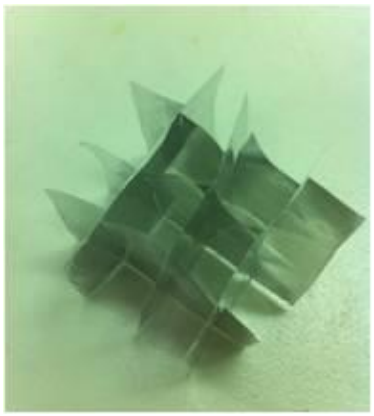
ภาคผนวก

ภาคผนวก

สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์

ภาพประกอบ 14 อะลูมินัมแบบทรงกลม

ภาพประกอบ 15 อะลูมินัมแบบเศษ



ภาพประกอบ 16 อะลูมินัมแบบแผ่น

ภาพประกอบ 17 น้ำเสียตัวอย่าง

ภาพประกอบ 18 เครื่องกรองน้ำปราศจากไอออน

ภาพประกอบ 19 เครื่องวัด pH

ภาพประกอบ 20 เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง

ภาพประกอบ 21 เครื่องวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของโลหะ โดยใช้หลักการ ED-XRF

ภาพประกอบ 22 อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น AAnalyst 300

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ สกุล	นางสาวสุจิตรา ศรีสุวรรณ์
วันเดือนปีเกิด	2 มิถุนายน 2532
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2551	มัธยมศึกษา 1 - 6 จากโรงเรียนศรียานุสรณ์ จังหวัดจันทบุรี
พ.ศ. 2555	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี
	จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2558	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี
	จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร