

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่
ที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและ
การเหมืองแร่เพื่อเป็นแนวทางในการ Recycle โลหะ
จากของเสียที่มีศักยภาพ : กรณีศึกษาทองคำและสังกะสี

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่
ที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและ
การเหมืองแร่เพื่อเป็นแนวทางในการ Recycle โลหะ
จากของเสียที่มีศักยภาพ : กรณีศึกษาทองคำและสังกะสี

ฉวีวรรณ จันท์เณร
ศรากร อักษรแก้ว

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

อธิบดีกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

นายวิษณุ ทับเที่ยง

จัดพิมพ์โดย กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ (662) 202 3608 โทรสาร (662) 202 3609

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2561
จำนวน 20 เล่ม

ข้อมูลการลงรายการบรรณานุกรม

ฉวีวรรณ จันทร์ณร, ศรากร อักษรแก้ว.

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่ที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของกรม
อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เพื่อเป็นแนวทางในการ Recycle โลหะจากของเสียที่มี
ศักยภาพ : กรณีศึกษาทองคำและสังกะสี /

โดย ฉวีวรรณ จันทร์ณร, ศรากร อักษรแก้ว. กรุงเทพฯ :

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2561.

68 หน้า : ภาพประกอบ : ตาราง ; 30 ซม.

รายงานวิชาการ

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิตโลหะทองคำและสังกะสีจากแร่ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมโลหการที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาความเป็นไปได้ในการรีไซเคิลโลหะจากของเสียที่มีศักยภาพในการนำมาเป็นแหล่งวัตถุดิบทดแทนแร่ธรรมชาติ โดยเฉพาะของเสียที่มีทองคำและสังกะสีเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีการผลิตโลหะดังกล่าวในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า มีความเป็นไปได้ในการรีไซเคิลโลหะทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตทองคำจากแร่ ได้แก่ กระบวนการชะละลายทองคำด้วยไซยาไนด์ กระบวนการแยกทองคำออกจากสารละลายด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning ในส่วนการรีไซเคิลโลหะสังกะสีจากฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตสังกะสีจากแร่ ได้แก่ กระบวนการชะละลายสังกะสีด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก กระบวนการทำสารละลายสังกะสีให้บริสุทธิ์แบบ Cementation Process กระบวนการแยกสังกะสีออกจากสารละลายด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จะเป็นแนวทางที่สำคัญในการศึกษาวิจัยในเชิงลึกสำหรับนักวิจัย นักวิชาการ และผู้ที่สนใจที่จะนำไปใช้ในการศึกษาทดลองขยายผลเทคโนโลยีรีไซเคิลโลหะเป้าหมายในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) และโรงงานต้นแบบ (Pilot Scale) ต่อไปในอนาคต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	๒
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ของการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ต่อภารกิจของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่	3
2. คุณสมบัติและประโยชน์ของโลหะทองคำและสังกะสี	4
2.1 คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของโลหะทองคำ	4
2.2 คุณสมบัติและประโยชน์ของโลหะสังกะสี	6
3. กระบวนการโลหวิทยาเพื่อการแยกสกัดโลหะจากแร่	12
3.1 กระบวนการโลหวิทยาสารละลาย	12
3.2 กระบวนการโลหวิทยาความร้อน	12
3.3 กระบวนการโลหวิทยาไฟฟ้า	14
4. กระบวนการผลิตโลหะทองคำและสังกะสีจากสินแร่	16
4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับแร่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะทองคำ	16
4.2 กระบวนการผลิตโลหะทองคำจากสินแร่	18
4.3 เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตโลหะทองคำ	26
4.4 ข้อมูลเกี่ยวกับแร่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะสังกะสี	26
4.5 กระบวนการผลิตโลหะสังกะสีจากสินแร่	28
4.6 เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี	37
5. การรีไซเคิลโลหะทองคำและสังกะสี โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตโลหะจากแร่	40
5.1 ของเสียที่มีศักยภาพในการนำมารีไซเคิลทองคำ	40
5.2 การจัดการและเทคโนโลยีรีไซเคิลเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศ	42
5.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตทองคำจากสินแร่เพื่อการรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการ	43
5.4 ของเสียที่มีศักยภาพในการนำมารีไซเคิลสังกะสี	50
5.5 การจัดการและเทคโนโลยีรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อนในประเทศ	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.6 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตสังกะสีจากสินแร่เพื่อการรีไซเคิลฝุ่นสังกะสี ที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน และการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยี ในระดับห้องปฏิบัติการ	52
6. สรุปผลที่ได้จากการศึกษาและข้อเสนอแนะ	58
6.1 สรุปผลที่ได้จากการศึกษา	58
6.2 ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	59

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ชนิดคุณภาพ และส่วนผสมทางเคมีของโลหะสังกะสีแท่งตาม ASTM	8
5.1 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน	51

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 ทองคำ	4
2.2 สังกะสี	7
2.3 การชุบเคลือบผิวเหล็กด้วยสังกะสี	9
2.4 การใช้ประโยชน์ทองเหลือง	10
2.5 โลหะสังกะสีผสม	11
2.6 สังกะสีออกไซด์	11
3.1 เตาถลุงโลหะ	12
3.2 Ellingham Diagram	13
3.3 Phase Diagram ระหว่างโลหะทองแดงและดีบุก	14
3.4 กระบวนการ Electro-refining ของโลหะทองแดง	15
4.1 แผนผังแสดงขั้นตอนและกระบวนการผลิตโลหะทองคำ	19
4.2 เครื่องบด Jaw Crusher	20
4.3 พื้นที่กองเก็บสินแร่หยาบ	20
4.4 เครื่อง Semi Autogeneous Grinding (SAG) Mill	21
4.5 ถังแช่สินแร่ในสารละลายไซยาไนด์	23
4.6 การแยกโลหะทองคำออกจากสารละลายโดยใช้กรรมวิธีทางไฟฟ้าเคมี	24
4.7 การหลอมโลหะทองคำ	25
4.8 โลหะทองคำผสมเงิน (Dore)	25
4.9 ธรณีวิทยา บริเวณแหล่งแร่สังกะสี อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก	27
4.10 การลอยแร่ (Froth floatation)	29
4.11 กระบวนการย่างแร่	30
4.12 กระบวนการที่ใช้ในการผลิตสังกะสีของบริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด	30
4.13 แร่สังกะสีซิลิเกต	31
4.14 ถังจัดเก็บแคลไซน์	31
4.15 ถังตกตะกอน	32
4.16 เครื่องกรองแบบสายพาน (Belt Filter)	33
4.17 เซลล์ไฟฟ้าเคมี	35
4.18 Zinc Cathode	35
4.19 กระบวนการหลอมและการหล่อโลหะสังกะสี	36
4.20 Zinc Ingot	37
4.21 Wet Scrubber	37
4.22 Bag Filter	38
4.23 Wet Scrubber	39
5.1 เศษซากทองรูปพรรณ	41
5.2 เศษซากซีพียู	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
5.3 เศษซากคอนกรีตเตอร์	42
5.4 เศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	43
5.5 สารละลายสำหรับใช้ในการชะละลายทองคำ	45
5.6 กระบวนการชะละลายทองคำจากเศษซากซีพียู	45
5.7 เศษซากซีพียูที่ผ่านกระบวนการชะละลายทองคำ	46
5.8 สารละลายไซยาไนด์ที่มีทองคำละลายอยู่	47
5.9 การแยกทองออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมี	47
5.10 การชะละลายฝอยเหล็กออกจากทอง	48
5.11 ผงทองที่มีเหล็กเจือปนในปริมาณน้อย	49
5.12 การเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำด้วยกระบวนการโลหวิทยาความร้อน	49
5.13 การเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำด้วยกระบวนการโลหวิทยาสารละลาย	50
5.14 ทองคำได้จากการเพิ่มความบริสุทธิ์	50
5.15 ฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน	51
5.16 การชะละลายสังกะสีจากฝุ่น	53
5.17 สารละลายสังกะสี	53
5.18 การแทนที่ด้วยโลหะ	55
5.19 ตะกอนที่ได้จากการแทนที่ด้วยโลหะ	55
5.20 การแยกสังกะสีออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมี	56
5.21 โลหะสังกะสีที่ขั้วลบ	57
5.22 ก้อนโลหะสังกะสี	57

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วย หลักการและเหตุผล วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา และประโยชน์ของการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 หลักการและเหตุผล

อุตสาหกรรมการถลุงแร่ทองคำและสังกะสีเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมโลหการที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาและเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันของประเทศ เนื่องจากโลหะทองคำและสังกะสีถือเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญ เช่น อุตสาหกรรมการชุบเคลือบผิวโลหะ อุตสาหกรรมเครื่องประดับ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม แร่ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่สำคัญของอุตสาหกรรมการถลุงแร่ทองคำและสังกะสีมีแนวโน้มขาดแคลนเพิ่มขึ้นจากปริมาณสำรองแร่ที่ลดลง รวมทั้งกระแสการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงขึ้น ทำให้การขยายพื้นที่ทำเหมืองแร่ในหลายประเทศรวมถึงประเทศไทย เป็นไปได้ยาก ซึ่งในอดีตที่ผ่านมา ประเทศไทยมีโรงถลุงแร่สังกะสีแห่งแรกในเอเชียอาคเนย์ และเป็นโรงถลุงแร่สังกะสีที่ใช้เทคโนโลยีแยกสกัดสังกะสีด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Zinc Refinery) ขนาดใหญ่แห่งเดียวในโลกได้แก่ บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) โดยเริ่มผลิตโลหะสังกะสีตั้งแต่ปี 2527 และโลหะสังกะสีผสมในปี 2531 แต่ในปัจจุบันบริษัทฯ ได้หยุดประกอบกิจการแล้ว เนื่องจากแหล่งแร่สังกะสีที่มีศักยภาพในเชิงพาณิชย์ที่อำเภอแม่สอดและแหล่งอื่น ๆ ในประเทศได้ถูกใช้ในการผลิตไปหมดแล้ว นอกจากนี้ โรงงานถลุงแร่ทองคำด้วยไซยาไนด์ในประเทศไทย ได้แก่ บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน) ได้หยุดประกอบกิจการเช่นเดียวกันในปี 2560 เนื่องจากมีกลุ่มผู้ต่อต้านและผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำ ซึ่งมีความเห็นว่าการทำเหมืองแร่ทองคำโดยการใช้สารไซยาไนด์อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนผู้อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงโรงงานถลุงแร่ทองคำอย่างรุนแรง ทำให้รัฐบาลต้องมีคำสั่งยุติการประกอบกิจการของบริษัทผู้ประกอบกิจการถลุงแร่ทองคำดังกล่าว การหยุดประกอบกิจการของโรงงานถลุงแร่ทองคำและสังกะสีอาจส่งผลกระทบต่อประเทศไทยอาจขาดแคลนโลหะทองคำและสังกะสีซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญ ทำให้ประเทศไทยต้องมีการนำเข้าโลหะดังกล่าวจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น และเกิดความไม่มั่นคงในด้านวัตถุดิบของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) ในฐานะที่เป็นหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่กำกับและดูแลโรงงานประกอบโลหกรรมที่เกี่ยวข้อง อาทิ โรงงานถลุงแร่ทองคำและสังกะสี จึงทำให้มีความรู้ความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการประกอบโลหกรรมซึ่งมีพื้นฐานมาจากเทคโนโลยีด้านโลหวิทยา ได้แก่ โลหวิทยาความร้อน (Pyrometallurgy) โลหวิทยาเคมี (Hydrometallurgy) และโลหวิทยาไฟฟ้า (Electrometallurgy) และมีภารกิจที่สำคัญในการจัดหาแหล่งวัตถุดิบสำหรับใช้ภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโลหะที่เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมในประเทศ ดังนั้น กพร. จึงได้ดำเนินการจัดหาแหล่งวัตถุดิบทดแทนการใช้แร่จากธรรมชาติโดยการรีไซเคิลของเสีย เพื่อแยกสกัดแร่และโลหะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่สำหรับเป็นแหล่งทรัพยากรทดแทนของประเทศ นอกเหนือจากแหล่งทรัพยากรจากธรรมชาติ

การรีไซเคิลของเสียเพื่อแยกสกัดแร่และโลหะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ รวมถึงแปรรูปเป็นพลังงานทดแทน หรือที่เรียกกันในหลายประเทศว่า “การทำเหมืองแร่ในเมือง (Urban Mining)” เป็นแนวทางที่ประเทศที่พัฒนาแล้วได้ให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยถือเป็นนโยบายสำคัญและเร่งด่วนในการลดการใช้

ทรัพยากรธรรมชาติ แก้ไขปัญหาโลกร้อน และที่สำคัญเพื่อสร้างความมั่นคงทางวัตถุดิบในอนาคตให้แก่ภาคอุตสาหกรรมของประเทศ

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการได้นำเทคโนโลยีการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่ที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของ กพร. มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาความเป็นไปได้ในการรีไซเคิลโลหะจากของเสียที่มีศักยภาพในการนำมาเป็นแหล่งวัตถุดิบทดแทนแร่ธรรมชาติ โดยเฉพาะทองคำและสังกะสี และข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จะเป็นแนวทางที่สำคัญในการศึกษาวิจัยในเชิงลึกสำหรับนักวิจัย นักวิชาการและผู้สนใจที่จะนำไปใช้ในการศึกษาทดลองขยายผลเทคโนโลยีรีไซเคิลโลหะเป้าหมายในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) และโรงงานต้นแบบ (Pilot Scale) ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่ที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของ กพร. โดยเฉพาะการผลิตทองคำและสังกะสีจากสินแร่มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาความเป็นไปได้ในการรีไซเคิลโลหะจากของเสียเป้าหมายที่มีศักยภาพในการนำมาเป็นแหล่งวัตถุดิบทดแทนแร่ธรรมชาติ
- 2) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีการผลิตโลหะดังกล่าวในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) จากของเสียเป้าหมายที่มีศักยภาพในการนำมาเป็นแหล่งวัตถุดิบทดแทนแร่ธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาและสำรวจข้อมูลเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่ ได้แก่ ทองคำ สังกะสี และข้อมูลของเสียที่มีศักยภาพในการนำมารีไซเคิล เพื่อแยกสกัดโลหะเป้าหมายดังกล่าว ทั้งในส่วนข้อมูลปฐมภูมิ ที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจและข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง
- 2) จัดทำข้อมูลเทคโนโลยีการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลที่สำคัญ ดังนี้
 - ข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับโลหะเป้าหมาย เช่น คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น
 - ข้อมูลเกี่ยวกับแร่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะเป้าหมาย
 - เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่
 - เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโลหะเป้าหมายดังกล่าว
- 3) จัดทำข้อมูลเกี่ยวกับของเสียที่มีศักยภาพในการนำมารีไซเคิลซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญดังนี้
 - ข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับของเสีย เช่น แหล่งกำเนิด และการจัดการในปัจจุบัน เป็นต้น
 - องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี
 - เทคโนโลยีสำหรับใช้รีไซเคิลของเสียในประเทศ (หากมี)
- 4) ศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีรีไซเคิลโลหะทองคำและสังกะสีในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) จากของเสียที่มีศักยภาพในการนำมาเป็นแหล่งวัตถุดิบทดแทนแร่ธรรมชาติ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตโลหะจากแร่ที่รวบรวมข้อมูลไว้
- 5) สรุปผลและจัดทำเป็นข้อเสนอแนะ

1.4 ประโยชน์ของการศึกษา

- 1) เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและเสริมสร้างความรู้ สำหรับนักวิจัย นักวิชาการและผู้สนใจนำไปใช้ในการศึกษาทดลองขยายผลเทคโนโลยีรีไซเคิลโลหะเป้าหมายในระดับห้องปฏิบัติการและโรงงานต้นแบบ

2) เป็นข้อมูลให้นักลงทุน ผู้ประกอบการรวมถึงผู้สนใจนำไปประยุกต์ใช้ในการประกอบการ/ลงทุน/ดำเนินธุรกิจเชิงพาณิชย์

1.5 ประโยชน์ต่อภารกิจของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

1) เป็นข้อมูลสนับสนุนภารกิจด้านการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีรีไซเคิล เพื่อพัฒนาของเสียเป็นแหล่งทรัพยากรทดแทนของ กพร. โดยการศึกษาวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการและโรงงานต้นแบบ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลของเสีย เพื่อแยกสกัดแร่และโลหะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ สำหรับเป็นแหล่งทรัพยากรทดแทนของประเทศ

2) เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและเสริมสร้างความรู้ความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีโลหวิทยา ได้แก่ โลหวิทยาความร้อน (Pyrometallurgy) โลหวิทยาเคมี (Hyrometallurgy) และโลหวิทยาไฟฟ้า (Electrometallurgy) สำหรับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของ กพร.

บทที่ 2

คุณสมบัติและประโยชน์ของโลหะทองคำและสังกะสี

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยคุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของโลหะทองคำและสังกะสี โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของโลหะทองคำ

2.1.1 คุณสมบัติของโลหะทองคำ

ทองคำเป็นโลหะชนิดแรกที่มีการนำมาใช้ประโยชน์เมื่อประมาณ 8,000 ปีมาแล้ว สัญลักษณ์ทางเคมีของทองคำคือ Au ซึ่งมาจากภาษาละตินว่า Aurum ที่มีความหมายถึงแสงสว่างแห่งรุ่งอรุณ ทองคำเป็นแร่ที่ประกอบด้วยธาตุชนิดเดียวหรือสามารถปรากฏพบในสภาพบริสุทธิ์โดยธรรมชาติ (Native gold) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จึงมีกระบวนการแยกสกัดของจากแร่ที่ไม่ยุ่งยาก บางครั้งอาจพบก้อนโลหะทองคำในธรรมชาติขนาดใหญ่ซึ่งสามารถนำไปหลอมเพื่อใช้งานได้ทันที ด้วยจุดเด่นด้านสีสันทที่สวยงามมีความเหนียวสามารถดึงเป็นเส้นลวดหรือตีแผ่เป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ทำให้การใช้ประโยชน์ของทองคำจะเน้นไปทางด้านการผลิตเครื่องประดับต่าง ๆ โดยคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่สำคัญของโลหะทองคำ มีดังนี้ (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน (2551))



รูปที่ 2.1 ทองคำ

(ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Gold>)

— น้ำหนักอะตอม	196.97 กรัมต่อโมล
— ระบบผลึก	FCC
— ความหนาแน่น (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	19.3 g.cm ⁻³
— จุดหลอมเหลว	1,064 องศาเซลเซียส
— จุดเดือด	2,856 องศาเซลเซียส
— ความต้านทานไฟฟ้า (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	22.14 nΩ.m
— สัมประสิทธิ์การขยายตัว (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	14.2 μm.m ⁻¹ .K-150
— ค่าโมดูลัสของยัง	78 GPa

2.1.2 การใช้ประโยชน์ของโลหะทองคำ

ทองคำมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี มีความเหนียว สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีความต้านทานการกัดกร่อน และเป็นธาตุเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารใด ๆ ในอุณหภูมิปกติ จึงทำให้ทองคำมีความงามไม่หมองอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้ทองคำยังเป็นธาตุที่หายากและมีความคงทนไม่แปรสภาพแม้เวลาจะผ่านไปนานเท่าใด จึงถูกนำมาเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนซื้อขายเชิงพาณิชย์และเป็นปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการแสดงฐานะ ความมั่งคั่ง รวมถึงใช้เป็นทุนสำรองสำหรับแต่ละประเทศในการเจรจาทำธุรกรรมต่าง ๆ นอกเหนือจากการใช้งานหลักในการทำเครื่องประดับและของตกแต่งแล้ว โลหะทองคำยังมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อีกมากมาย ดังนี้

- 1) ใช้เป็นส่วนประกอบในลวดตัวนำของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบแผงวงจรควบคุมที่ทำหน้าที่ประมวลผลหรือส่งข้อมูลในระบบสัญญาณขนาดเล็ก โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วในการประมวลผลสูง
- 2) ใช้เคลือบอุปกรณ์ไฟฟ้าของดาวเทียมเพื่อป้องกันรังสีคอสมิก และการเผาไหม้ของดวงอาทิตย์ เพราะทองคำมีคุณสมบัติการสะท้อนแสงที่ดีและมีความทนทานต่อการกัดกร่อน
- 3) ใช้ในงานด้านทันตกรรม โดยมีการนำทองคำมาใช้ในการครอบฟันหรือการเหลื่อมทองและการทำฟันปลอม เนื่องจากทองคำมีความคงทนต่อการกัดกร่อน
- 4) ทองคำถูกนำมาใช้ผสมในไอออนของแสงเลเซอร์ เพื่อเป็นตัวควบคุมปรับความชัดเจนของโฟกัสในการผ่าตัดเซลล์มะเร็งด้วยการยิงเลเซอร์ โดยจะเลือกทำลายเฉพาะเซลล์มะเร็งและไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับร่างกายมนุษย์
- 5) ใช้เคลือบกระจกเครื่องบินในห้องนักบินเพื่อป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ และช่วยรักษาอุณหภูมิภายในห้องนักบิน กำจัดเมฆหมอกที่อาจบดบังทัศนวิสัยในการมองเห็นของนักบิน
- 6) ใช้เป็นตัวเคลือบระบบตรวจวัดปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องตรวจวัดความชื้น ซึ่งมีส่วนสำคัญในการป้องกันการเน่าเสียของอาหาร เนื่องจากทองคำไม่ทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศที่เป็นสภาพที่เหมาะสมของการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตจำพวกเห็ดและรา
- 7) ใช้เป็นตัวเคลือบที่กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนได้ดี ทำให้การวัดอุณหภูมิเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำ

โดยเกรดของทองคำที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ สามารถแบ่งได้ตามปริมาณส่วนผสมของทองและโลหะผสมอื่น ๆ อาทิ ทองแดง เงิน สังกะสี เป็นต้น หรือที่เรียกกันว่า “Karat” โดยทองคำที่มีความบริสุทธิ์สูงที่สุดจะมีขนาด 24 Karat และจะมีปริมาณ Karat ต่ำลง เมื่อมีโลหะอื่นมาผสม (Alloying Element) ในอัตราส่วนที่มากขึ้น เช่น ทองคำ 14 Karat จะมีปริมาณทองคำในอัตราส่วน 58% และ Alloying Element อีก 42% เป็นต้น นอกจากนี้ ปริมาณและชนิดของ Alloying Element ที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพของทองคำ สามารถสรุปได้ตามชนิดของทองคำ ดังนี้

1) Yellow, Green, and Red Gold

Yellow, Green, and Red Gold ประกอบไปด้วย Gold, Silver และ Copper เป็นส่วนผสมหลักเป็นโลหะทองคำผสมที่นิยมมาใช้ในการทำเครื่องประดับ มีคุณสมบัติเด่นในการ Casting, Rolling, Drawing นอกจากนี้ ยังมีการเติม Alloying Element อื่นๆ เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติ Castability, Deoxidiser, Grain refiner ได้แก่

— Zinc (Zn) เพื่อเปลี่ยนโลหะทองคำผสมที่ต้องการให้เป็นสี Reddish yellow หรือ Dark yellow และยังเพิ่มคุณสมบัติด้าน Castability, workability, Form-filling ลด Surface roughness, reaction with investment นอกจากนี้ การเติม Zn จะช่วยลดการเกิด Oxide film ในขณะหลอม ซึ่ง Oxide film อาจส่งผลให้เกิด Defect ในชิ้นงานได้

— Cadmium (Cd) เพื่อเปลี่ยนโลหะทองคำผสมที่ต้องการให้เป็นสี dark green ส่วนใหญ่จะเติม Cd ประมาณ 4% ลงไปในทองคำ 18 K ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า Cd นิยมใช้เป็น Alloying Element ในการผลิตโลหะทองคำผสมสำหรับใช้เป็น Solders

— Silicon (Si) การเติม Si จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติใกล้เคียงกับการเติม Zn ได้แก่ คุณสมบัติด้าน Cast-ability, workability, Form-filling ลด Surface roughness, reaction with investment

— Iridium (Ir) การเติม Iridium ประมาณ 0.005% ใน Yellow Gold 18 K จะช่วยทำ Grain refining ทำให้คุณสมบัติทางกลเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติม Iridium มากเกินไป จะทำให้เกิด Defects เนื่องจากการ Segregation ของ Iridium

— Cobalt (Co) การเติม Cobalt จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้าน Hardness เป็นหลัก

— โลหะอื่น ๆ อาทิ Titanium, Rare earth metal, Calcium และ Barium ซึ่งส่วนใหญ่จะเติมในปริมาณเล็กน้อยเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้าน hardness และ Strength เป็นหลัก

2) White Gold

White Gold มี Alloying Element ที่สำคัญ ได้แก่ Nickel (Ni) และ Palladium (Pd) โดย Ni จะเพิ่มคุณสมบัติด้าน Hardness แต่การทำ Formability สามารถทำได้ยาก จึงต้องทำกระบวนการ Annealing ก่อนทำการ Formability ในส่วนของ Pd จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้าน Ductility และ Cold working properties อย่างไรก็ตาม การเติม Pd จะทำให้ Liquidus temperature และ Density เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Pd จัดเป็นโลหะที่มีราคาสูง

3) Purple Gold

Purple Gold มี Alloying Element ที่สำคัญ ได้แก่ Aluminum (Al) ซึ่งการเติม Al จะทำให้โลหะผสมที่ได้มีความเปราะสูง ไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยวิธีปกติทั่วไป

4) Blue Gold

Blue Gold มี Alloying Element ที่สำคัญ ได้แก่ Fe, In, และ Ga

2.2 คุณสมบัติและประโยชน์ของโลหะสังกะสี

2.2.1 คุณสมบัติของโลหะสังกะสี

สังกะสีเป็นโลหะสีขาวปนน้ำเงิน (Bluish-white) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 มีจุดหลอมเหลว 419 องศาเซลเซียส สามารถรวมกับออกซิเจนได้ง่ายเกิดเป็นสังกะสีออกไซด์ โดยปกติสังกะสีเป็นโลหะอ่อนที่อุณหภูมิปกติ สามารถตัดได้ด้วยมีด แต่สังกะสีมีความเหนียวน้อยมากเพราะมีระบบผลึกเป็นรูปหกเหลี่ยม ทำให้มีลักษณะเปราะ อัตราการยืดตัวน้อยแม้จะมีความบริสุทธิ์สูงก็ตาม สังกะสีมีคุณสมบัติด้านทานการกัดกร่อนได้ดีในบรรยากาศทั่วไป จึงนิยมใช้เป็นโลหะสำหรับเคลือบแผ่นเหล็กป้องกันการเกิดสนิม ซึ่งสามารถเคลือบได้หลายวิธี เช่น โดยการจุ่มร้อนในอ่างสังกะสี (Hot Dip Galvanizing Process) เคลือบโดยใช้ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Process) และโดยการพ่น (Spraying Process) เป็นต้น โดยคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่สำคัญของโลหะสังกะสี มีดังนี้ (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน (2551))



รูปที่ 2.2 สังกะสี

(ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Zinc>)

— มีความถ่วงจำเพาะ (ที่ 25 องศาเซลเซียส)		7.131 g/cm ³
— จุดหลอมเหลว		419.46 องศาเซลเซียส
— จุดเดือดกลายเป็นไอ		906 องศาเซลเซียส
— อัตราการหดตัวในขณะเปลี่ยนสถานะ		-
— จากของเหลวเป็นของแข็ง		3.2%
— หมายเลขอะตอม		30
— มิตติของแลตทิส KN		a=2.6594, c=4.937
— วาเลนซ์		2
— ความดันไอที่จุดหลอมเหลว		4.41 (mm)
— ความตึงผิวที่ 450 องศาเซลเซียส		755 (dyne/cm)
— ความร้อนจำเพาะที่ 20 องศาเซลเซียส		0.0915 (cal/g/องศาเซลเซียส)
— การนำไฟฟ้า % IACS		28.27
— ความต้านทานทางไฟฟ้า		5.916 u.cm
— สี		ขาว
— ความเค้นแรงดึง	ในสภาพหล่อ	62 N/mm ²
	ภายหลังการรีด	152 N/mm ²
— ความเค้นจุดคราก	ในสภาพหล่อ	11 N/mm ²
	ภายหลังการรีด	30 N/mm ²
— อัตรายืดตัว	ในสภาพหล่อ	2%
	ภายหลังการรีด	9%
— ความแข็ง	ในสภาพหล่อ	31 HB
	ภายหลังการรีด	31 HB
— ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength)		ต่ำมาก

จากคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและเชิงกลจะพบว่าสังกะสีมีความแข็งแรงและความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติในกลุ่มของโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ แต่สังกะสีมีความเหนียวน้อยทำให้ไม่ทนต่อแรงกระแทก (Resistance to impact) และโดยเฉพาะกับสังกะสีที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการรีดร้อน (200 องศาเซลเซียส) คุณสมบัติเชิงกลตามทิศทางช่องการขึ้นรูปทิศทางตั้งฉากกับการขึ้นรูปจะแตกต่างกันมาก (anisotropy) และข้อเสียอีกประการหนึ่งของสังกะสี คือ มีคุณสมบัติต้านทานความคืบต่ำ (Low creep strength) สังกะสีภายหลังการขึ้นรูปสามารถให้อุณหภูมิโลหะที่วางตัวหรือเรียงตัวใหม่ (Recrystallize) ได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิปกติเล็กน้อย โดยปกติสังกะสีสามารถยึดได้ดีเมื่อใช้แรงกระทำช้า ๆ แต่ถ้ากระทำในลักษณะทันทีทันใดสังกะสีจะแตกขาดได้ง่ายเนื่องจากสังกะสีมีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้สังกะสีมีคุณสมบัติทางด้านหล่อหลอมที่ดี โดยเฉพาะการหล่อด้วยการฉีดเข้าแบบหล่อโลหะ (Die casting) แต่การใช้งานมีขอบเขตจะใช้งานที่อุณหภูมิสูงไม่ได้เพราะความแข็งแรงจะลดลงถึงประมาณร้อยละ 30 เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส โดยโลหะสังกะสีมีอยู่ 3 ชนิด ตาม American Society for Testing and Materials หรือที่เรียกกันย่อ ๆ ว่า ASTM ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดคุณภาพ และส่วนผสมทางเคมีของโลหะสังกะสีแห่งตาม ASTM

ชนิดคุณภาพ	ตะกั่วสูงสุด	เหล็กสูงสุด	แคดเมียมสูงสุด	สังกะสีต่ำสุด
1. Special High Grade	0.003	0.003	0.003	99.990
2. High Grade	0.03	0.02	0.02	99.90
3. Prime Western	1.4	0.05	0.20	98.0

2.2.2 การใช้ประโยชน์ของโลหะสังกะสี

การใช้ประโยชน์โลหะสังกะสีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเด่นของสังกะสีที่สอดคล้องกับลักษณะงานต้องการนำไปใช้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) อุตสาหกรรมชุบเคลือบผิวโลหะ

การชุบเคลือบด้วยสังกะสีเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและการผุกร่อนของเหล็กได้เริ่มใช้ในท้องตลาดระหว่างคริสต์ทศวรรษ 1740 (พ.ศ.2283-2292) ในประเทศฝรั่งเศส และเป็นที่นิยมใช้จนถึงปัจจุบัน สังกะสีที่ผลิตได้ทั้งหมดในโลกประมาณร้อยละ 50 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมชุบเคลือบผิวโลหะ โดยเฉพาะการชุบเคลือบผิวเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยผิวเหล็กที่ผ่านการชุบเคลือบด้วยสังกะสีมีกลไกการป้องกันการผุกร่อนที่สำคัญ ดังนี้

— ขั้นแรก สังกะสีที่เคลือบไว้จะทำหน้าที่ป้องกันผิวเหล็กไม่ให้สัมผัสกับอากาศ และหากสังกะสีที่เคลือบผิวเกิดรอยขีดข่วนหรือผุกร่อนจนถึงผิวเหล็กแล้ว สังกะสีจะทำหน้าที่ป้องกันเหล็กผุกร่อนในขั้นตอนที่สองต่อไป

— ขั้นที่สอง หากสังกะสีที่เคลือบผิวเกิดรอยขีดข่วนหรือผุกร่อนจนถึงผิวเหล็ก โลหะสังกะสีซึ่งมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Activity) สูงกว่าเหล็ก หรือสังกะสีมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนดีกว่าเหล็ก จึงทำหน้าที่เป็นขั้วบวก (Anode) ทำให้สังกะสีเกิดการผุกร่อนแทนเหล็ก ส่งผลให้ผิวเหล็กไม่ผุกร่อนแม้ผิวเหล็กจะสัมผัสกับอากาศ

ทั้งนี้ ความหนาของการเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เคลือบสังกะสีอื่น ๆ ยกเว้นแผ่นเหล็กกล้า (Sheet) จะกำหนดเป็นออนซ์/ตารางฟุตของผิวที่เคลือบ แต่สำหรับแผ่นเหล็กกล้าจะกำหนดเป็นออนซ์/ตารางฟุต

ของแผ่นเหล็กกล้าซึ่งมี 2 หน้า ดังนั้น จำนวนออนซ์/ตารางฟุตที่เท่ากัน สังกะสีที่เคลือบอยู่บนผลิตภัณฑ์อื่น จึงหนาเป็นสองเท่าของสังกะสีที่เคลือบแผ่นเหล็กกล้า โดยปกติการเคลือบสังกะสีแผ่นเหล็กกล้าจะมีน้ำหนัก ระหว่าง 1.25 ออนซ์/ตารางฟุต สำหรับแผ่นเหล็กกล้าเบอร์ 20 ตามความหนามาตรฐานของสหรัฐฯ (0.0375 นิ้ว) 2.75 ออนซ์/ตารางฟุต สำหรับแผ่นเหล็กกล้า เบอร์ 8 (0.172 นิ้ว) ส่วนการเคลือบผลิตภัณฑ์ อื่นจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2.3 ออนซ์/ตารางฟุต กว่าครึ่งของแผ่นเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีใช้ในอุตสาหกรรม ก่อสร้าง นอกจากนี้ การชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสียังใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ผลิตภัณฑ์สำหรับงาน ก่อสร้างอื่น ๆ อาทิ ท่อสายไฟ ท่อน้ำ ลวดตากผ้า ลวดหนาม ตะปู ฯลฯ



รูปที่ 2.3 การชุบเคลือบผิวเหล็กด้วยสังกะสี

(ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Hot-dip_galvanization)

2) อุตสาหกรรมการผลิตทองเหลือง (Brass)

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี และอาจมีโลหะอื่นผสมเพื่อให้คุณสมบัติ เหมาะสมตามลักษณะการใช้งาน ทองเหลืองถูกใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง และอื่น ๆ ทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สังกะสีที่ผลิตได้ทั้งหมดในโลกประมาณร้อยละ 20 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าว โดยทองเหลืองสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท ดังนี้

- ทองเหลืองอ่อน (Wrought Brasses) เป็นทองเหลืองซึ่งสามารถนำไปรีดดึงหรือตีเป็นแผ่น ในขณะที่เย็นและร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ ทองเหลืองประเภทนี้มีส่วนผสมของโลหะสังกะสี ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 40

- ทองเหลืองสำหรับหล่อ (Cast Brasses) ทองเหลืองสำหรับหล่อเป็นโลหะผสมเพื่อหล่อทำ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะมีคุณสมบัติเด่นในด้านการทนการผุกร่อนและเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี รวมทั้งมีผิวลื่นเหมาะสม เป็นผิวของอุปกรณ์แข็งสำหรับใช้ในชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ทองเหลืองสำหรับหล่อจะมีส่วนผสมทางเคมี ต่างจากทองเหลืองอ่อน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่ทำให้สามารถรีดดึงหรือตีแผ่ขณะร้อนและเย็น จึงทำให้สามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีได้ โลหะทองเหลืองสำหรับหล่อจะต้องมีการ ควบคุมความแข็งแรงเหมาะสมให้สอดคล้องตามลักษณะการใช้งาน ทั้งนี้ ทองเหลืองสำหรับหล่อมักมีโลหะมลทินได้สูงกว่า

ทองเหลืองอ่อน โลหะทองเหลืองสำหรับหล่อที่สำคัญที่สุด คือ Red Brass (มีส่วนผสม 85% Cu, 5% Zn และ 5% Pb)



รูปที่ 2.4 การใช้ประโยชน์ทองเหลือง
(ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Brass>)

3) อุตสาหกรรมการผลิตโลหะสังกะสีผสม (Zinc Alloy)

จุดเด่นที่สำคัญของโลหะสังกะสีผสม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ได้แก่ จุดหลอมเหลวต่ำ จึงทำให้มีความสามารถในการหล่อขึ้นรูปได้ง่ายในอุณหภูมิต่ำ โดยมีโลหะที่เป็นส่วนผสมที่สำคัญรองจากสังกะสีคือ อลูมิเนียม มีปริมาณร้อยละ 3.5-4.3 โดยน้ำหนัก โลหะที่ใช้ผสมที่มีความสำคัญรองลงมาจากอลูมิเนียม คือ ทองแดง ซึ่งตามปกติจะมีส่วนผสมระหว่างร้อยละ 0.25-0.75 โดยน้ำหนัก การผสมทองแดงจะทำให้เพิ่มคุณสมบัติด้านความเหนียวและความแข็งแรงของโลหะสังกะสีผสม นอกจากนี้ โลหะแมกนีเซียม เป็นหนึ่งในโลหะผสมที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติด้านความต้านทานการผุกร่อน ซึ่งจะมีส่วนผสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.03-0.08 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยโลหะสังกะสีผสมที่สำคัญ ได้แก่ ชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์ อาทิ คาร์บูเรเตอร์ มิเตอร์วัดความเร็ว ปั๊มเบนซิน (fuel pump) มือเตอร์เครื่องปิดน้ำฝน มือดึงประตู (door handles) และเครื่องตกแต่งภายในรถยนต์ เป็นต้น โดยสังกะสีที่ผลิตได้ทั้งหมดในโลกประมาณร้อยละ 15 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าว



รูปที่ 2.5 โลหะสังกะสีผสม

(ที่มา : <https://www.leekeegroup.com/zinc/>)

4) อุตสาหกรรมอื่น ๆ

อุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่นิยมนำสังกะสีไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิต ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตเคมีภัณฑ์ โดยเคมีภัณฑ์ที่สำคัญคือ สังกะสีออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 สังกะสีซัลเฟต และ สังกะสีคลอไรด์ ซึ่งทั้งหมดเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำคัญที่ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ อุตสาหกรรมสีเคลือบเซรามิกส์ เป็นต้น โดยสังกะสีที่ผลิตได้ทั้งหมดในโลกประมาณร้อยละ 7 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าว



รูปที่ 2.6 สังกะสีออกไซด์

(ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Zinc_oxide)

บทที่ 3

กระบวนการโลหวิทยาเพื่อการแยกสกัดโลหะจากแร่

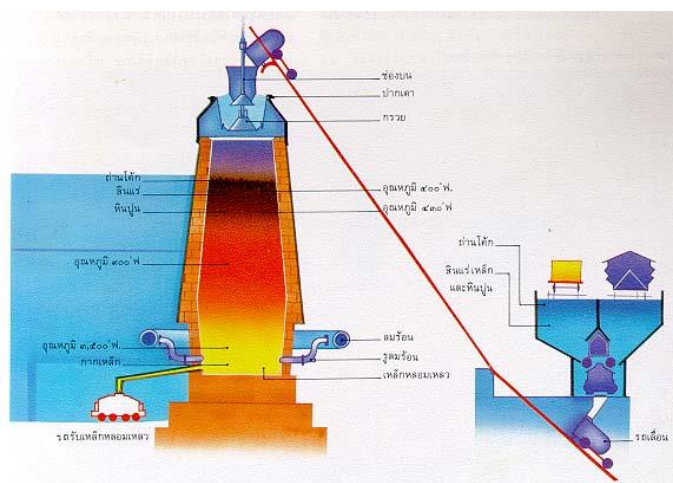
เนื้อหาในบทนี้มีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโลหวิทยาเพื่อการแยกสกัดโลหะจากแร่ หรือที่เรียกกันว่า Extractive Metallurgy โดยเป็นกระบวนการแยกโลหะหรือสารประกอบของโลหะจากสินแร่ ด้วยองค์ความรู้ทางด้านโลหวิทยาที่เกี่ยวข้อง โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กระบวนการที่สำคัญ ดังนี้ (ธีรวัธ ตันนุกิจ (2558))

3.1 กระบวนการโลหวิทยาสารละลาย

กระบวนการโลหวิทยาสารละลาย (Hydrometallurgical Process) เป็นกระบวนการทางเคมี ซึ่งใช้สารเคมีในการละลายองค์ประกอบที่ต้องการโดยเฉพาะโลหะต่าง ๆ ออกจากวัตถุหรือมลทินหรือสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการด้วยสารละลายที่เหมาะสมด้วยการชะละลาย (Leaching) เช่น กรดซัลฟูริก กรดไนตริก เป็นต้น แล้วนำสารละลายที่มีโลหะละลายอยู่มาแยกออกจากสารละลาย โดยอาจใช้วิธีตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Precipitation) หรือวิธีแทนที่ด้วยโลหะ (Metal Replacement) หรือใช้กระบวนการโลหวิทยาไฟฟ้า (Electrometallurgical Process) โดยส่วนใหญ่กระบวนการโลหวิทยาสารละลายถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกสกัดโลหะหลายชนิดจากสินแร่ เช่น ทองคำ สังกะสี และยูเรเนียม เป็นต้น ข้อดีของกระบวนการนี้คือมีต้นทุนด้านพลังงานที่ต่ำ แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือต้องมีระบบการจัดการของเสียที่เป็นสารละลายเคมีที่มีประสิทธิภาพ

3.2 กระบวนการโลหวิทยาความร้อน

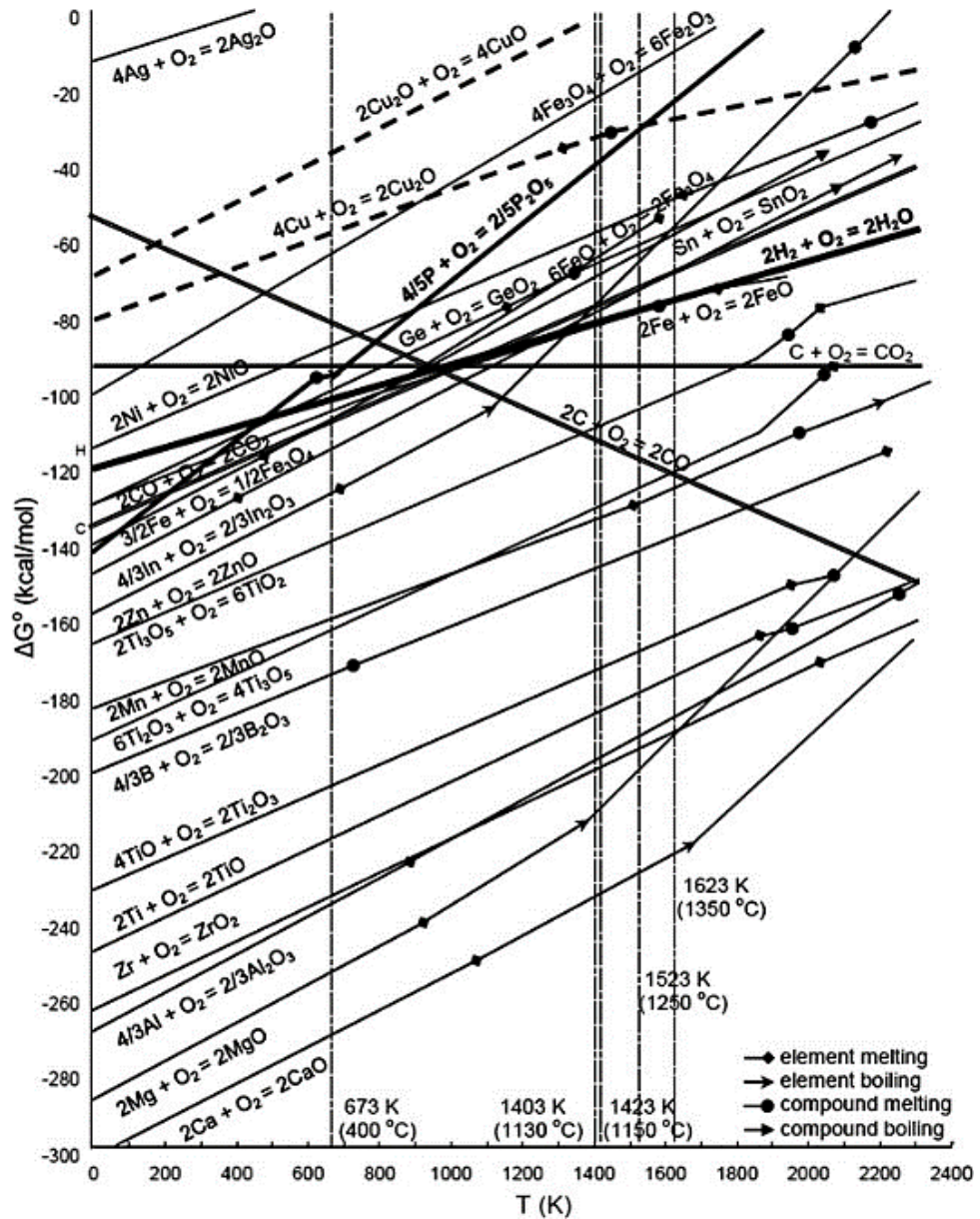
กระบวนการโลหวิทยาความร้อน (Pyrometallurgical Process) เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาเพื่อแยกมลทินหรือสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออกจากองค์ประกอบที่ต้องการโดยใช้เตาถลุงที่ใช้ไฟฟ้า น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ ถ่านโค้ก หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ เป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยเติมฟลักซ์ (Flux) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ช่วยให้องค์ประกอบที่ต้องการโดยเฉพาะโลหะรวมตัวกัน และแยกมลทินหรือสิ่งเจือปนออกในรูปของสแลก ซึ่งโดยทั่วไป ฟลักซ์จะมีส่วนผสมของตัวเพิ่มและลดออกซิเจน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) บอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) ถ่านไม้ เป็นต้น



รูปที่ 3.1 เตาถลุงโลหะ

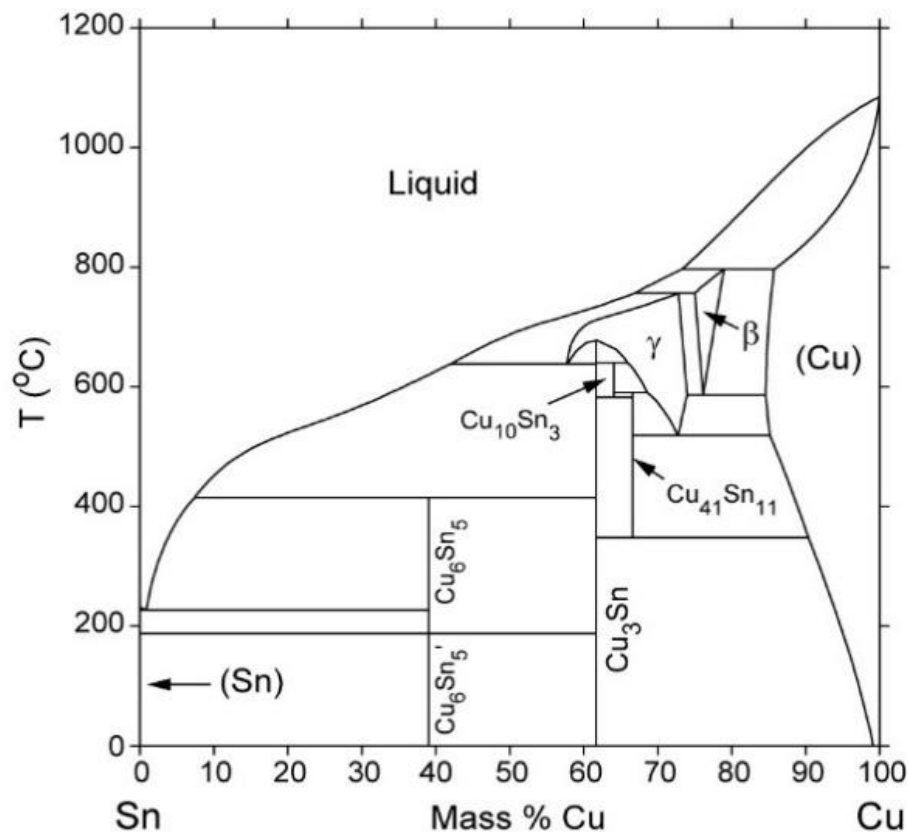
(ที่มา : www.kanchanapisek.or.th)

โดยส่วนใหญ่กระบวนการโลหวิทยาความร้อนถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกสกัดโลหะหลายจากสินแร่ โดยเฉพาะทองแดง ซิลิกอน ตะกั่ว และดีบุก โดยทฤษฎีที่มีความสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาประยุกต์ในกระบวนการดังกล่าว ได้แก่ Ellingham Diagram และ Phase Diagram ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 Ellingham Diagram

(ที่มา : <http://www.slideshare.net/vatanseverrecep/Ellingham-diagram>)



รูปที่ 3.3 Phase Diagram ระหว่างโลหะทองแดงและดีบุก
(ที่มา : <http://www.metallurgy.nist.gov>)

3.3 กระบวนการโลหวิทยาไฟฟ้า

กระบวนการโลหวิทยาไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่ใช้ไฟฟ้าเคมีในการแยกสกัดโลหะที่ต้องการออกจากสารละลาย โดยใช้เซลล์ไฟฟ้า (Electrolytic Cell) ที่มีขั้วบวก (Anode) และขั้วลบ (Cathode) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรง (Rectifier) โดยเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วบวกและขั้วลบที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ของโลหะที่ต้องการแยกสกัด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของไอออนโลหะในสารละลาย โดยกระบวนการโลหวิทยาไฟฟ้าที่สำคัญ มี 2 วิธี ได้แก่

1) Electro-Winning เป็นวิธีที่ใช้สำหรับแยกสกัดโลหะที่ต้องการซึ่งละลายอยู่ในสารละลาย โดยใช้ขั้วบวกเป็นโลหะที่ไม่ละลายในสารละลาย เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลาย ไอออนโลหะที่ต้องการแยกสกัดจากสารละลายจะไปเกาะที่ขั้วลบ

2) Electro-Refining เป็นวิธีที่ใช้สำหรับทำให้โลหะบริสุทธิ์ โดยใช้ขั้วบวกที่เป็นแท่งโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีโลหะชนิดเดียวกันกับขั้วบวก เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า โลหะที่ต้องการแยกสกัดในขั้วบวกจะละลายลงในสารละลาย แล้วไอออนโลหะนั้นจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ โดยหากมีการควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โลหะปนเปื้อนจะไม่ไปเกาะที่ขั้วลบ อาจละลายอยู่ในสารละลายหรือตกตะกอนเป็น Anode Slime โดยกระบวนการ Electro-Refining ของโลหะทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กระบวนการ Electro-refining ของโลหะทองแดง
(ที่มา : <http://www.copperalliance.org.uk>)

บทที่ 4

กระบวนการผลิตโลหะทองคำและสังกะสีจากสินแร่

เนื้อหาในบทนี้มีรายละเอียดเกี่ยวกับแร่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะทองคำและสังกะสี กระบวนการผลิตโลหะทองคำและสังกะสีจากสินแร่ รวมถึงเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโลหะทองคำและสังกะสีจากสินแร่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับแร่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะทองคำ

4.1.1 ลักษณะธรณีวิทยาสินแร่ทองคำในประเทศไทย

แหล่งแร่ทองคำที่ใช้ในการทำเหมืองแร่ทองคำในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีการกำเนิดแบบสายแร่อุณหภูมิต่ำ (180-250 องศาเซลเซียส) ที่เรียกว่า “Epithermal Gold Mineralization” โดยแร่ทองคำเกิดร่วมกับสายแร่ควอตซ์-อาดูลาเรีย (Quartz - Adularia) ซึ่งมีแร่กำมะถันเกิดร่วมในปริมาณต่ำ (Low Sulfidation Quartz-Adularia Style) หินภูเขาไฟ (Volcanic rock) และหินเถ้าภูเขาไฟ (Pyroclastic rock) ถูกแปรสภาพด้วยขบวนการเติมน้ำแร่ซิลิกา (Silicification) การแปรสภาพของหินในลักษณะอื่นมีบ้างแต่ไม่มากนัก ได้แก่ Clay-Hematite Alteration, Chlorite Alteration และ Sericite-Carbonate Alteration

การเกิดแหล่งแร่ทองคำแบบอุณหภูมิต่ำ เริ่มจากการที่น้ำจากแหล่งใกล้ผิวโลกได้ไหลลงไปในระดับลึกตามแนวรอยแตกหรือรอยเลื่อนของหิน เมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนใต้ผิวโลก ได้แก่ มวลหินอัคนีที่ยังไม่เย็นตัว น้ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและไหลกลับขึ้นสู่ผิวโลก ขณะเดียวกันก็ชะละลายทองคำซึ่งมีอยู่ในหินท้องที่ขึ้นมาสะสมตัวอยู่ตามรอยแตกหรือรอยเลื่อนของหินดังกล่าว และเมื่อน้ำไหลย้อนกลับขึ้นมาใกล้ผิวโลก อุณหภูมิจะลดต่ำลง จะเกิดการไหลย้อนกลับลงไปได้ผิวโลกอีกครั้งหนึ่งและชะละลายทองคำอีกครั้ง การเช่นนี้จะเกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำอีก (Convection Cell) จนเกิดมีสายแร่ทองคำที่มีความสมบูรณ์สะสมตัวอยู่ในรอยแตกหรือรอยเลื่อนของหิน

การกำเนิดของแหล่งแร่ทองคำในพื้นที่การทำเหมืองทองคำของบริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน) ก็เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน โดยเริ่มจากขบวนการแปรสภาพของเนื้อหิน (Pervasive Alteration) โดยน้ำแร่ซิลิกา (Silica) และแร่อาดูลาเรีย (Adularia) ต่อมาเกิดมีรอยเลื่อนและรอยแตกของหินขึ้น อันเป็นช่องทางให้น้ำแร่ร้อน (Epithermal Fluid) จากระดับลึกนำพาทองคำและเงินเข้ามาสะสมตัว ลักษณะที่ปรากฏในสายแร่ ได้แก่ ลักษณะแนวแถบในการสะสมตัว (Crustiform Banded Veins) และลักษณะของหินกรวดเหลี่ยมซึ่งเกิดจากรอยเลื่อนของหินซึ่งถูกประสานด้วยแร่ (Breccias with Hydrothermal Matrix) จนเกิดสายแร่ลักษณะร่างแห (Extensive Stockwork Systems) ลักษณะทางแร่วิทยาพบว่าในสายแร่ประกอบด้วยแร่ Jasper, Quartz และ Chalcedony, Calcite, Ferro Dolomite และ Adularia ซึ่งมีทั้งชนิดเม็ดละเอียด และชนิดที่เป็นผลึกรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน และแร่ Manganese Rich Carbonate ในปริมาณเล็กน้อย ปริมาณแร่ซัลไฟด์ที่เกิดรวมมีอยู่ประมาณร้อยละ 1-2 แร่ซัลไฟด์ซึ่งปรากฏอยู่ในสายแร่ดังกล่าวมักเกิดเป็นแร่ฝังประอยู่ในสายแร่ Quartz - Adularia และอยู่ในรูปของแร่ไพไรต์ (Pyrite) ประมาณร้อยละ 98 ส่วนที่เหลือเป็นแร่สังกะสีซัลไฟด์ (Sphalerite) และแร่ทองแดงซัลไฟด์ (Chalcopyrite)

จากการศึกษาพบว่าแร่ทองคำส่วนใหญ่ของบริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน) เกิดอยู่ในรูปของทองคำอิสระ และมีทองคำผสมกับเงิน (Electrum) ซึ่งฝังอยู่ในแร่ควอตซ์ และแร่คาร์บอนเนต ในบริเวณตามขอบและตามรอยแตกของเม็ดแร่ซัลไฟด์ มีบ้างที่พบเป็นทองคำที่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมครอน และฝังอยู่ในแร่ซัลไฟด์ ส่วนเงินนอกจากที่เกิดในลักษณะที่เป็น Electrum แล้ว ยังเกิดในรูปของ Ag_2S และ Ag_2Se ลักษณะที่พบใน Electrum ทองคำจะเกิดเป็นแกนอยู่ตรงกลาง ส่วนเงินจะมีความสมบูรณ์สูงตามผิวของ

Electrum อัตราส่วนระหว่างทองคำ : เงิน โดยเฉลี่ยประมาณ 1:8 ทองคำปรากฏอยู่ในแนวโครงสร้างของหินที่มีความกว้างประมาณ 100-200 เมตร ขนาดของสายแร่มีความกว้างตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตรจนถึงหลายสิบเมตร แต่จะมีความสมบูรณ์สูงมาก (Bonanza grade) ในบริเวณที่สายแร่ถูกบีบให้มีขนาดกว้างเพียง 1-2 เมตร โดยแหล่งแร่บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน) ที่พบ มีลักษณะการวางตัวของมวลสินแร่ซึ่งแบ่งออกเป็นมวลย่อย ๆ ได้ดังนี้

1) มวลสินแร่ C

มวลสินแร่ C ประกอบไปด้วยทองคำที่เกิดอยู่ในแร่ภาค Gangue Minerals จำพวกแร่ควอตซ์ (Quartz) แร่คาร์บอเนต (Carbonate) แร่อาดูลาเรีย (Adularia) และหินกรวดเหลี่ยมที่เกิดจากรอยเลื่อนของหิน (Fault Breccias) มวลสินแร่ปรากฏอยู่ในแนวโครงสร้างที่มีแนวระดับยาวประมาณ 650 เมตร วางตัวในแนวทิศประมาณเหนือ-ใต้และทำมุมเอียงเทประมาณ 45 องศา กับแนวราบไปทางทิศตะวันตก ส่วนของมวลสินแร่ที่อยู่ในระดับตื้นที่สุดอยู่ทางด้านทิศตะวันออก โดยที่ไม่มีส่วนที่โผล่พ้นผิวดิน (Outcrop) ปรากฏให้เห็น ส่วนของมวลสินแร่ C ที่มีศักยภาพทำเหมือง ได้แก่ ส่วนที่อยู่ในระดับผิวดินลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 150 เมตร จากระดับผิวดิน

2) มวลสินแร่ H และ มวลสินแร่ H-West

มวลสินแร่ H เป็นมวลสินแร่ที่ไม่มีส่วนโผล่พ้นผิวดินเช่นเดียวกับมวลสินแร่ C สินแร่ดังกล่าวถูกพบจากการเจาะสำรวจเพื่อติดตามค่าผิดปกติทางธรณีเคมีของทองคำ (Gold Geochemical Anomaly) ซึ่งได้จากการสำรวจธรณีเคมีโดยการเก็บตัวอย่างดิน พื้นที่ซึ่งแสดงค่าความผิดปกติของธาตุทองคำดังกล่าวนี้ปรากฏอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของมวลสินแร่ C ในลักษณะเป็นแนวแคบ ๆ ยาวประมาณ 2,500 เมตร วางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ตอนเหนือของแนวดังกล่าวตัดเข้ากับส่วนเหนือของมวลสินแร่ C มวลสินแร่ H มีลักษณะเป็นสายแร่ทองคำที่เกิดร่วมกับแร่ภาค (Gangue minerals) จำพวกแร่ควอตซ์ (Quartz), แร่คาร์บอเนต (Carbonate) และแร่อาดูลาเรีย (Adularia) ซึ่งแทรกอยู่ตามโครงสร้างรอยแตกและรอยเลื่อนของหินภูเขาไฟเช่นเดียวกับมวลสินแร่ C มวลสินแร่ H วางตัวในแนวประมาณทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนของมวลสินแร่ที่อยู่ทางด้านทิศตะวันออกทำมุมเอียงเทค่อนข้างชันกับแนวระดับ ในส่วนที่อยู่ถัดไปทางด้านทิศตะวันตก มุมเอียงเทดังกล่าวจะค่อย ๆ ลดน้อยลงจนเกือบเป็นแนวราบ มวลสินแร่ H-West มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับมวลสินแร่ C และ H แต่ความสมบูรณ์ของแร่ทองคำต่ำกว่า ลักษณะการวางตัวของมวลสินแร่ H-West มีแนวระดับยาวประมาณ 150 เมตร วางตัวในแนวประมาณตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และมีมุมเอียงเทประมาณ 45 องศาไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้โดยประมาณ มวลสินแร่ C ที่มีศักยภาพทำเหมือง ได้แก่ ส่วนที่ปรากฏอยู่ตั้งแต่ระดับผิวดินลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 45 เมตร

3) มวลสินแร่ D

มวลสินแร่ D มีองค์ประกอบและความสมบูรณ์ของทองคำใกล้เคียงกับมวลสินแร่ C แต่แตกต่างกันตรงที่การวางตัว โดยมวลสินแร่ D มีการวางตัวในแนวประมาณเหนือ-ใต้ ค่อนไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ยาวประมาณ 550 เมตร มีมุมเอียงเทอยู่ในแนวตั้ง มวลสินแร่ C ที่มีศักยภาพทำเหมือง ได้แก่ ส่วนที่ปรากฏอยู่ตั้งแต่ระดับผิวดินลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 70 เมตร

4) มวลสินแร่ S

มวลสินแร่ S มีความสมบูรณ์ของทองคำต่ำกว่ามวลสินแร่ CH เล็กน้อย ลักษณะการวางตัวของมวลสินแร่ S มีแนวระดับยาวประมาณ 150 เมตร ซึ่งวางตัวในแนวทิศประมาณ เหนือ-ใต้ และมีมุมเอียงเท

ในแนวดิ่งโดยประมาณ มวลสินแร่ S ที่มีศักยภาพทำเหมือง ได้แก่ ส่วนที่ปรากฏอยู่ตั้งแต่ระดับผิวดินลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 55 เมตร

5) มวลสินแร่ A และมวลสินแร่ A-East (Ae)

มวลสินแร่ A พบในบริเวณที่เป็นตัวเขาหม้อเกือบทั้งหมด ส่วนมวลสินแร่ A-East พบอยู่บริเวณเชิงเขาด้านตะวันออกเฉียงใต้ของเขาม้อ การวางตัวของแนวสินแร่อยู่ในแนวเกือบเหนือ-ใต้ (ประมาณ 10 องศา) และทำมุมเอียงเทประมาณ 70-80 องศา ไปทางทิศตะวันตก ความสมบูรณ์แร่ทองคำเฉลี่ย 1.8 กรัมต่อตัน มวลสินแร่ A ที่มีศักยภาพทำเหมือง ได้แก่ ส่วนที่ปรากฏอยู่ตั้งแต่ระดับผิวดินลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 106 เมตร

6) มวลสินแร่ K-West (Kw)

มวลสินแร่ K-West พบอยู่บริเวณที่ราบด้านตะวันตกเฉียงเหนือของเขาม้อ โดยมีการวางตัวของมวลสินแร่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ประมาณ 45 องศา) และทำมุมเอียงเทไปทางทิศตะวันตก 40-50 องศา ซึ่งโดยแท้จริงแล้วมวลสินแร่ Kw ก็คือส่วนปลายทางด้านทิศเหนือของมวลสินแร่ C ของหมู่เหมืองแร่ทองคำชาติริ ความสมบูรณ์แร่ทองคำเฉลี่ย 2.6 กรัมต่อตัน มวลสินแร่ Kw ที่มีศักยภาพทำเหมือง ได้แก่ ส่วนที่ปรากฏอยู่ตั้งแต่ระดับผิวดินลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 60 เมตร

7) มวลสินแร่ K-East (Ke)

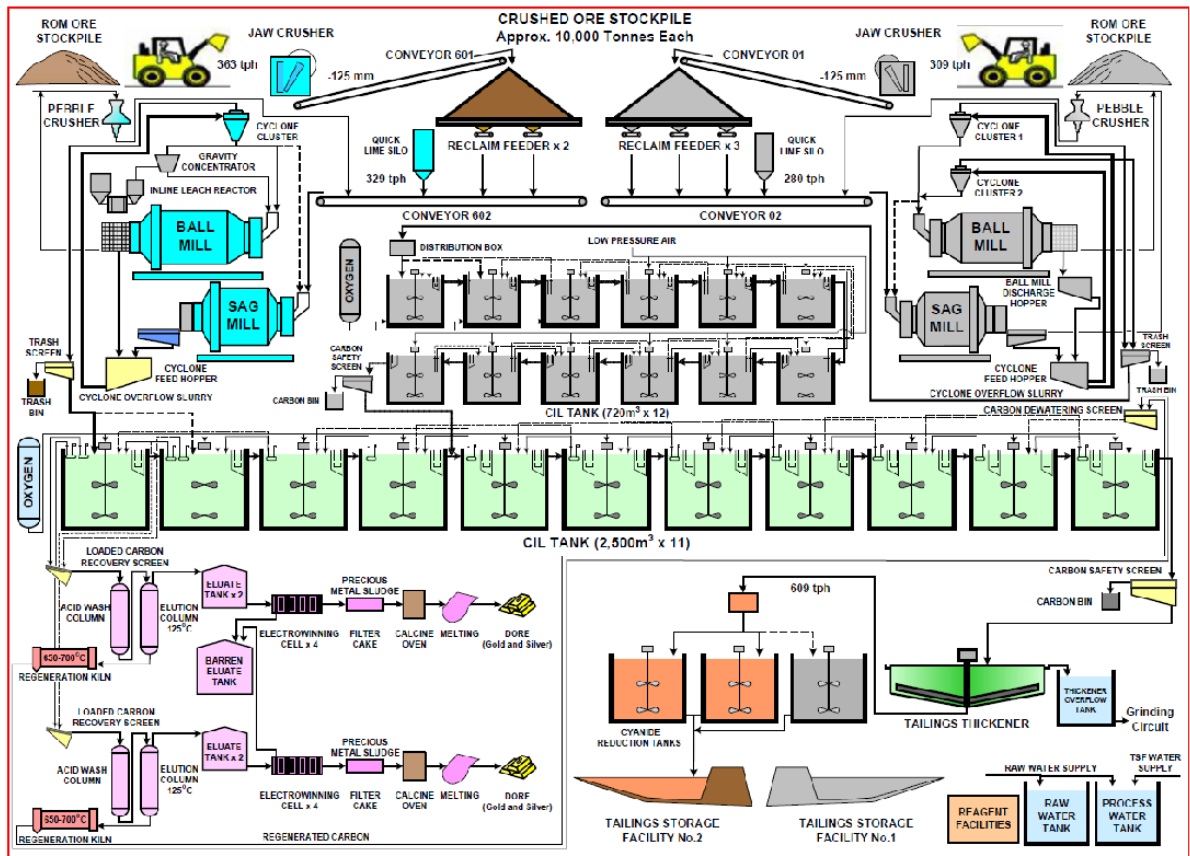
มวลสินแร่ Ke พบอยู่บริเวณที่ราบด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเขาม้อ โดยมีการวางตัวของสินแร่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (ประมาณ 330 องศา) และทำมุมเอียงเทไปทางทิศตะวันออกประมาณ 40-50 องศา ความสมบูรณ์แร่ทองคำเฉลี่ย 1.9 กรัมต่อตัน มวลสินแร่ Ke ที่มีศักยภาพทำเหมือง ได้แก่ ส่วนที่ปรากฏอยู่ตั้งแต่ระดับผิวดินลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 70 เมตร

8) มวลสินแร่ Q-East (Qe) และมวลสินแร่ Q-West (Qw)

มวลสินแร่ Q พบอยู่ในพื้นที่ที่ราบด้านทิศเหนือของเขาม้อ มีลักษณะการวางตัวของมวลสินแร่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (ประมาณ 325 องศา) และทำมุมเอียงเทไปทางทิศตะวันตกประมาณ 30-45 องศา มวลสินแร่ที่พบอาจแยกออกจากกันเป็น 2 มวลย่อย ๆ ซึ่งวางตัวในแนวขนานกัน จึงให้ชื่อเป็นมวลสินแร่ Q-East และ Q-West โดยมีความสมบูรณ์ของแร่ทองคำเฉลี่ย 1.5 กรัมต่อตันและ 1.7 กรัมต่อตัน ตามลำดับ ส่วนของมวลสินแร่ที่ทำเหมืองได้โดยคุ้มทุนในขณะนี้ ได้แก่ มวลสินแร่ Q ที่มีศักยภาพทำเหมือง ได้แก่ ส่วนที่ปรากฏอยู่ตั้งแต่ระดับผิวดินลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 57 และ 106 เมตร

4.2 กระบวนการผลิตโลหะทองคำจากสินแร่

กระบวนการผลิตโลหะทองคำจากสินแร่ของ บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน) จะใช้วิธีทางด้านโลหวิทยาสารละลาย โดยใช้ไซยาไนด์เป็นสารละลายทองคำออกจากสินแร่ จากนั้นจากเป็นการดูดซับทองคำโดยใช้ Activated Carbon (ถ่านกัมมันต์) และนำมาชะละลายใหม่โดยใช้สารละลายไซยาไนด์เพื่อนำไปผ่านกระบวนการแยกทองคำออกจากสารละลายโดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี โดยกระบวนการผลิตโลหะทองคำจากสินแร่ทั้งหมดของบริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และมีรายละเอียดที่สำคัญ ดังนี้



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงขั้นตอนและกระบวนการผลิตโลหะทองคำ
(ที่มา : บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน))

4.2.1 กระบวนการบดหยาบ (Primary Crushing Process)

รถบรรทุกสินแร่จะขนสินแร่ทองคำมากองรวมไว้ในที่เก็บกองสินแร่ (ROM Stockpile) หรือเทลงในยังรับแร่โดยตรง ยังรับแร่ (Ore Bin) ได้รับการออกแบบให้สามารถรับแร่ได้ทั้งจากรถบรรทุกดัมพ์และจากรถตักล้อยาง (Front End Loader หรือ Wheel Loader) หลังจากนั้น Apron Feeder ที่อยู่ใต้ยังรับสินแร่จะลำเลียงสินแร่ไปยังตะแกรงคัดขนาด (Static Grizzly) สินแร่ที่มีขนาดก้อนโตกว่า 100 มม. จะค้างบนตะแกรงและตกลงไปในเครื่องบด Jaw Crusher ซึ่งมีขนาดปากโม้ 1,200 x 1,100 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เพื่อบดให้สินแร่มีขนาดเล็กลง ส่วนสินแร่ก้อนเล็กที่ลอดผ่านตะแกรงจะตกลงไปในสายพานลำเลียง (Discharge Conveyor) รวมเข้ากับสินแร่ที่ถูกบดย่อยแล้ว และจะถูกลำเลียงไปกองเก็บไว้ที่กองสินแร่หยาบ สินแร่ที่ผ่านการบดหยาบอย่างน้อยร้อยละ 80 จะมีขนาดเล็กกว่า 95 มม.



รูปที่ 4.2 เครื่องบด Jaw Crusher
(ที่มา : บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน))

4.2.2 กระบวนการกองเก็บสินแร่หยาบและการขนย้าย (Crush Ore Stockpile and Reclaim Process)

พื้นที่กองเก็บสินแร่หยาบดังแสดงในรูปที่ 4.3 สามารถรองรับสินแร่ที่ผ่านการบดหยาบได้สูงสุด เพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องบดละเอียดได้เป็นระยะเวลานานต่อเนื่องถึงประมาณ 6 ชั่วโมง สินแร่กองนี้จะถูกทยอยลำเลียงไปยังเครื่องบดย่อยชิ้นละเอียดอย่างต่อเนื่องโดยใช้ Apron Feeder จำนวน 2 ชุดร่วมกับระบบสายพาน ในระหว่างที่สินแร่หยาบอยู่บนสายพานลำเลียงจะมีการเติมปูนขาว (Lime) ลงไปในสินแร่ เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง



รูปที่ 4.3 พื้นที่กองเก็บสินแร่หยาบ
(ที่มา : บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน))

4.2.3 กระบวนการบดละเอียดและการคัดขนาด (Grinding and Classification Process)

การบดละเอียดสินแร่จะเป็นการบดย่อยในระบบเปียกเพื่อป้องกันฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการบด โดยขั้นแรก จะทำการบดด้วยเครื่อง Semi Autogeneous Grinding (SAG) Mill ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เพื่อให้ได้ขนาด น้อยกว่า 75 ไมครอนหรือ 200 mesh หลังจากนั้น สินแร่ที่ยังมีขนาดมากกว่า 75 ไมครอน จะถูกส่งไปบด ด้วยเครื่อง Ball Mill เพื่อทำการบดละเอียดอีกครั้ง โดยสินแร่ที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว จะถูกส่งไปยัง เครื่องคัดขนาดแบบ Hydro cyclone เพื่อทำการคัดขนาดสินแร่ที่ได้จากการบดให้มีขนาดตามต้องการ

กระบวนการบดละเอียดจะเริ่มต้นด้วยการที่สินแร่บดหยาบจากที่กองเก็บจะถูกลำเลียงด้วยระบบ สายพานไปยังเครื่องบด SAG Mill ระหว่างที่สินแร่อยู่บนสายพานลำเลียงก็จะถูกเติมปูนขาวลงไปเพื่อปรับ สภาพความเป็นกรด-ด่าง จากนั้นก็จะถูกผสมกับน้ำแล้วป้อนเข้าสู่ SAG Mill สินแร่ที่ผ่านการบดด้วย SAG Mill จะมีความละเอียดน้อยกว่า 75 ไมครอน จากนั้นสินแร่ที่ผ่านการบดจะถูกผสมกับน้ำจนเป็น Slurry แล้วถูกปั๊มขึ้นไปยังเครื่องคัดขนาดแบบ Hydrocyclones ส่วนสินแร่ใน SAG Mill ที่ยังมีขนาดมากกว่า 75 ไมครอนจะถูกส่งไปยัง Ball Mill เพื่อบดจนให้สินแร่มีความละเอียดน้อยกว่า 75 ไมครอน แล้วจะถูกผสม กับน้ำจนเป็น Slurry แล้วถูกปั๊มขึ้นไปยังเครื่องคัดขนาด Hydrocyclones เช่นเดียวกัน สินแร่ในส่วนที่เป็น Overflow ของ Hydrocyclone (มากกว่าร้อยละ 80 เล็กกว่า 75 ไมครอนหรือประมาณ 200 mesh) จะถูกปล่อยให้ไหลไปตามแรงโน้มถ่วงลงไป Trash Screen ส่วนที่ผ่านตะแกรงจะถูกปล่อยลงสู่ถังแช่ สารละลายไซยาไนด์ (CIL tank) ส่วนที่ค้างตะแกรงซึ่งได้แก่วัสดุแปลกปลอมจะถูกส่งไปรวมกับกากที่เหลือ จากกระบวนการประกอบโลหกรรมที่ยังรับ และจะถูกส่งไปทิ้งในบ่อกักเก็บกากโลหกรรมต่อไป ส่วนสินแร่ ในส่วนที่เป็น Underflow ของ Hydrocyclone จะถูกปล่อยให้ไหลไปตามแรงโน้มถ่วงและป้อนกลับเข้าสู่ Ball Mill อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 4.4 เครื่อง Semi Autogeneous Grinding (SAG) Mill
(ที่มา : บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน))

4.2.4 กระบวนการชะละลาย (Leaching Process) และดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Carbon-In-Leach (CIL) Process)

ถังชะละลายสินแร่ในสารละลายไซยาไนด์จะถูกสร้างขึ้นด้วยเหล็กทรงวงแหวน (Ring Beams) และติดตั้งอยู่บนพื้นคอนกรีตซึ่งมีความลาดชันเอียงเพื่อยังบ่อพัก บริเวณพื้นที่ถังชะละลายจะล้อมรอบไปด้วยคันเชื่อมคอนกรีต หากมีการรั่วไหลของสารละลายเคมีในระบบขึ้น สารละลายเคมีเหล่านั้นก็จะไหลไปรวมกันในบ่อพัก และจะถูกสูบกลับเข้าสู่ระบบหรือถูกส่งไปกรองเอาเม็ดถ่านออกมา แล้วสารละลายส่วนที่เหลือก็จะถูกส่งไปเข้าสู่กระบวนการกำจัดสารละลายไซยาไนด์ (Cyanide Destruction) ก่อนที่จะถูกส่งไปกักเก็บไว้ในบ่อกักเก็บกากโลหะกรรมต่อไป

กระบวนการชะละลายและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เริ่มต้นจากการเตรียมสารละลายไซยาไนด์เพื่อปรับความเข้มข้นก่อนปล่อยลงสู่ถังชะละลายสินแร่ด้วยระบบท่อ โดยความเข้มข้นของไซยาไนด์ในกระบวนการชะละลายจะถูกควบคุมให้อยู่ที่ระดับ 500 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ส่วนปูนขาว (Quicklime) ซึ่งถูกเติมมาในสินแร่หยาบ จะช่วยให้สารละลายไซยาไนด์ในถังมีสภาพความเป็นด่างสูงขึ้น ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมประมาณ 10.3 ที่ค่า pH ดังกล่าวจะช่วยควบคุมให้สารละลายไซยาไนด์ในถังไม่เกิดเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นก๊าซไซยาไนด์ขึ้น ลดการเป็นอันตรายต่อสุขภาพคนงาน และช่วยให้สารละลายมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการชะละลายทองคำและเงินออกจากสินแร่ โดยกระบวนการชะละลายทองคำด้วยสารละลายไซยาไนด์ (Cyanidation) เป็นไปตามสมการเคมีที่ 4.1 (Simo Keskinen (2013))



กระบวนการชะละลายและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จะประกอบไปด้วยถังชะละลายสินแร่ในสารละลายไซยาไนด์ (CIL Tank) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งติดตั้งในแนวขนานกัน แต่ละถังจะมีท่อต่อเชื่อมถึงกัน สินแร่ปนสารละลายไซยาไนด์หรือที่เรียกว่า Slurry (38% solid w/w pulp density) จะไหลด้วยแรงโน้มถ่วงไปสู่ถังอื่น ๆ จนถึงที่สุดท้ายตามลำดับ ในแต่ละช่องทางการไหลของ Slurry ในแต่ละถังจะมีตะแกรงคอยกกันไม่ให้เม็ดถ่านกัมมันต์เล็ดลอดออกจากกระบวนการดูดซับ นอกจากนี้ ในแต่ละถังจะมีใบพัด (Agitator) เพื่อคอยกวนให้สินแร่สัมผัสกับสารละลายไซยาไนด์อย่างทั่วถึงและเพื่อไม่ให้เกิดการตกตะกอนและอัดตัวแน่น

ในกระบวนการ CIL จะใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับทองคำที่ถูกชะล้างออกมาอยู่ในสารละลายไซยาไนด์ ถ่านจะถูกป้อนลงในถังชะละลายสุดท้ายที่ปริมาณเฉลี่ย 10 กรัม ต่อสารละลาย 1 ลิตร จากนั้นเม็ดถ่านจะไหลย้อนทิศทางกับการไหลของสารละลายด้วยแรงดันลมไปสู่ถังถัดไปตามลำดับ กระบวนการเช่นนี้จะเกิดขึ้นซ้ำในลักษณะเดียวกันจนกระทั่งถ่านไปอยู่ในถังชะละลายแรก ในขณะที่เม็ดถ่านไหลผ่าน Slurry จากถังสุดท้ายมาจนถึงถังแรก ก็จะถูกดูดซับทองคำไว้มากขึ้น ซึ่งถ่านจะถูกปล่อยอยู่ในระบบการชะละลายเป็นระยะเวลานานประมาณ 7-8 วัน จากนั้นก็จะถูกกรองแยกออกจากสารละลาย แล้วนำไปเข้าสู่กระบวนการแยกเอาโลหะทองออกจากถ่านในขั้นตอนต่อไป

สารละลายที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในถังสุดท้ายจะถูกผ่านไปยังตะแกรงเพื่อกรองเอาเม็ดถ่านที่อาจเล็ดลอดผ่านตะแกรงออกมาได้ จากนั้นสารละลายดังกล่าวจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการกำจัดสารไซยาไนด์ (Cyanide Destruction) ให้มีเหลืออยู่ในระดับไม่เกิน 20 ส่วนในล้านส่วน และถูกส่งไปยังถังปรับสภาพความเป็นกรดต่างด้วยการเติมกรดซัลฟูริกเพื่อให้เหล็กไซยาไนด์เกิดการตกตะกอนก่อนที่จะส่งไปกักเก็บไว้ในบ่อกักเก็บกากโลหะกรรม



รูปที่ 4.5 ถังแช่สินแร่ในสารละลายไซยาไนด์
(ที่มา : บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน))

4.2.5 กระบวนการชะละลายทองคำออกจากถ่านกัมมันต์

ถ่านที่ได้จากกระบวนการดูดซับทองคำจะถูกนำมารวมไว้ในถังเหล็กทรงกระบอกซึ่งภายในกรุด้วยแผ่นยาง สารละลายกรดเกลือ (HCL) ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 3 จะถูกปั๊มเข้าทางด้านล่างของถังเหล็ก ที่บรรจุเม็ดถ่านไว้แล้วปล่อยให้ไหลออกทางด้านล่างของถังเหล็ก โดยใช้เวลาในกระบวนการประมาณ 30 นาที มีวัตถุประสงค์เพื่อชะละลายสิ่งเจือปนซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบคาร์บอนออกจากถ่าน กระบวนการดังกล่าวนี้ นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชะละลายทองคำออกจากถ่านแล้ว ยังจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับทองคำของถ่านเมื่อมีการนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการดูดซับอีกด้วย หลังจากผ่านการล้างด้วยกรดเกลือแล้ว จะเป็นการล้างด้วยน้ำ น้ำที่ใช้ล้างถ่านและสารละลายกรดที่ใช้แล้วจะถูกปล่อยตรงไปยังถังรับกากโลหะกรรม ส่วนถ่านที่ผ่านการล้างจะถูกส่งไปยังกระบวนการชะละลายทองคำออกจากถ่านต่อไป

ในส่วนกระบวนการชะละลายทองคำออกจากถ่านจะใช้ถังทรงกระบอกซึ่งทำด้วยเหล็กสแตนเลส ในกระบวนการดังกล่าว สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และสารละลายโซเดียมไซยาไนด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 จะถูกปั๊มเข้าไปผสมกันไว้ในถัง จากนั้นจะถูกทำให้ร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส และปั๊มเข้าไปทางด้านใต้ถังทรงกระบอกที่มีถ่านบรรจุอยู่เพื่อชะละลายทองคำออกจากถ่าน ภายหลังจากกระบวนการเสร็จสิ้น จะทำการปั๊มน้ำร้อนที่มีปริมาตร 6 เท่าของสารละลายผสมเข้าไปในภาชนะทรงกระบอกเพื่อล้างถ่านให้สะอาด จากนั้น สารละลายที่ได้ซึ่งมีโลหะทองคำละลายอยู่ จะถูกปรับส่วนผสมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนที่จะนำสารละลายดังกล่าวไปผ่านกระบวนการแยกโลหะทองคำออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning ทั้งนี้ ถ่านที่ถูกชะละลายเอาทองคำออกไปแล้ว จะถูกนำไปผ่านความร้อนเพื่อให้กลับมีความสามารถในการดูดซับทองคำได้อีก

4.2.6 กระบวนการแยกโลหะทองคำออกจากสารละลายโดยใช้กรรมวิธีทางไฟฟ้าเคมี

สารละลายที่ได้จากกระบวนการชะละลายทองคำออกจากถ่านกัมมันต์จะถูกนำไปผ่านกระบวนการแยกโลหะทองคำออกจากสารละลายโดยใช้กรรมวิธีทางไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นกระแสตรงผ่านขั้วไฟฟ้าขั้วบวก (Anodes) ซึ่งทำด้วยแท่งเหล็กสเตนเลส และขั้วไฟฟ้าขั้วลบ ซึ่งทำด้วยแผ่นฟลอยเหล็กที่ติดตั้งอยู่ภายใน Electrowinning Cell ซึ่งทำด้วยวัสดุ Polypropylene ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยโลหะทองคำจะไปเกาะที่แผ่นฟลอยเหล็กซึ่งเป็นขั้วลบมากขึ้นตามลำดับ

ในกระบวนการ Electrowinning จะใช้เวลาจนกระทั่งมีทองคำเหลืออยู่ในสารละลายในระดับที่ต่ำ ซึ่งการตรวจสอบปริมาณทองคำและเงินที่เหลืออยู่ในสารละลายสามารถทำได้โดยการนำตัวอย่างสารละลายดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี จากนั้นสารละลายที่มีทองคำอยู่ในระดับที่ต่ำมากก็จะถูกนำไปผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เพื่อให้ถ่านดูดซับทองคำที่ยังมีหลงเหลืออยู่ออกจากสารละลาย

เมื่อกระบวนการแยกทองคำออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมีสิ้นสุดลง จะได้ผงทองคำที่มีลักษณะคล้ายโคลนพอกอยู่บนแผ่นฟลอยเหล็กที่เป็นขั้วลบ โดยผงทองจะถูกฉีดล้างออกด้วยน้ำและจะถูกนำไปผ่านกระบวนการหลอมเป็นก้อนโลหะทองคำในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 4.6 การแยกโลหะทองคำออกจากสารละลายโดยใช้กรรมวิธีทางไฟฟ้าเคมี
(ที่มา : บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน))

4.2.7 กระบวนการหลอมโลหะทองคำ

ผงทองที่ได้จากกระบวนการไฟฟ้าเคมีอาจมีโลหะอื่นร่วมอยู่ด้วย โดยเฉพาะโลหะเงินขึ้นอยู่กับสินแร่ที่เป็นวัตถุดิบ และโลหะหรือสารปนเปื้อนอื่น ๆ ร่วมอยู่ด้วย ทำให้ผงทองที่ได้มีความบริสุทธิ์ที่ไม่สูงมากนัก จึงต้องนำไปผ่านกระบวนการหลอมรวมกับ Flux เพื่อให้สิ่งเจือปนแยกตัวออกจากทองคำเหลือเป็นโลหะผสมระหว่างทองคำและเงิน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยหากเป็นแท่งโลหะผสมเงินจะมีชื่อเรียกในทางการค้าว่า Dore' ดังแสดงในรูปที่ 4.8 แท่งโลหะผสมดังกล่าวนี้จะถูกส่งไปทำให้บริสุทธิ์ (Refining) ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้เป็นโลหะทองคำบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 และโลหะเงินร้อยละ 99.95 เพื่อจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 4.7 การหลอมโลหะทองคำ
(ที่มา : บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน))

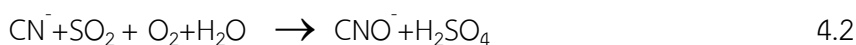


รูปที่ 4.8 โลหะทองคำผสมเงิน (Dore)
(ที่มา : บริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน))

4.3 เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตโลหะทองคำ

มลพิษหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตโลหะทองคำส่วนใหญ่จะเป็นน้ำเสียจากกระบวนการแต่งแร่ พร้อมกับกากโลหะกรรม โดยของเสียดังกล่าวจะถูกนำไปผ่านกระบวนการกำจัดสารไซยาไนด์ ก่อนที่จะส่งทางท่อไปกักเก็บไว้ในบ่อกักเก็บกากโลหะกรรม ในปัจจุบันมีวิธีการที่ใช้ในการกำจัดสารไซยาไนด์หลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและได้รับการยอมรับทั่วไป ได้แก่ วิธีการ INCO SO₂/Air

ในการกำจัดสารไซยาไนด์ที่ตกค้างในของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตโลหะทองคำด้วยวิธีการ INCO SO₂/Air ของเสียหรือกากโลหะกรรม ซึ่งมีสารไซยาไนด์เจือปนอยู่ประมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะถูกส่งไปยังระบบกำจัด/บำบัดสารไซยาไนด์และสารประกอบไซยาไนด์ โดยไซยาไนด์หรือสารประกอบไซยาไนด์จะถูกออกซิไดซ์จากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium Metabisulphite) ทองแดงซัลเฟต (Copper Sulphate) และก๊าซออกซิเจน เพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบไซยาเนตที่มีความเสถียรมากกว่าไซยาไนด์ (Stable Cyanide- CNO⁻) ดังสมการที่ 4.2 (Terry I. Mudder และคณะ)



ในกระบวนการดังกล่าว หากมีโลหะเหล็กและทองแดงละลายอยู่ในสารละลายไซยาไนด์ อาจเกิดเป็นตะกอนเกลือของเหล็กไซยาไนด์ (Ferrocyanide Salt) หรือสารประกอบเหล็ก-ทองแดงไซยาไนด์ (Ferrocopper Cyanide Complex) ที่สามารถละลายน้ำได้

กระบวนการกำจัดสารไซยาไนด์ด้วยวิธีดังกล่าว สามารถลดปริมาณสารไซยาไนด์ในกากโลหะกรรมให้เหลือไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนที่จะถูกส่งไปกักเก็บไว้ในบ่อกักเก็บกากโลหะกรรม ความเข้มข้นของสารไซยาไนด์ที่อยู่ในกากโลหะกรรมในระดับดังกล่าวนี้เป็นค่ามาตรฐานที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไป เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาจบริโภคสารดังกล่าวโดยไม่ตั้งใจ นอกจากนี้ เมื่อสารไซยาไนด์ที่อยู่ในกากโลหะกรรมกระทบกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงแดด จะเกิดการสลายตัวและจะลดปริมาณลง

4.4 ข้อมูลเกี่ยวกับแร่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะสังกะสี

แร่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะสังกะสีสามารถจำแนกแหล่งแร่ตามลักษณะการเกิดออกได้ 2 ประเภท ได้แก่ แหล่งแร่ปฐมภูมิ (Primary deposit) และแหล่งแร่ทุติยภูมิ (Secondary deposit) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 แหล่งแร่ปฐมภูมิ

แหล่งแร่ปฐมภูมิส่วนใหญ่เป็นสินแร่ที่เป็นสารประกอบซัลไฟด์ ได้แก่ สังกะสีซัลไฟด์ โดยอาจมีแร่โลหะซัลไฟด์อื่นรวมอยู่ด้วย เช่น แร่ที่มีส่วนประกอบของธาตุแคดเมียม (Cd) พลวง (Sb) และเงิน (Ag) เป็นต้น แหล่งแร่สังกะสีปฐมภูมิที่พบในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด ดังนี้

1) แหล่งแร่ชนิดสายแร่ (Vein-type deposits) แหล่งแร่ชนิดนี้เกิดจากหินแกรนิตแทรกดันเข้าไปในหินข้างเคียง ทำให้เกิดของเหลวและก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงไหลแทรกเข้าไปในหินท้องที่ (country rocks) ตามแนวรอยเลื่อนรอยแตกและแนวชั้นหิน ทำให้โลหะต่าง ๆ ที่ผสมอยู่ในน้ำร้อนเกิดการสะสมตัวเป็นแร่โลหะตามช่องว่างในหิน (cavity filling)

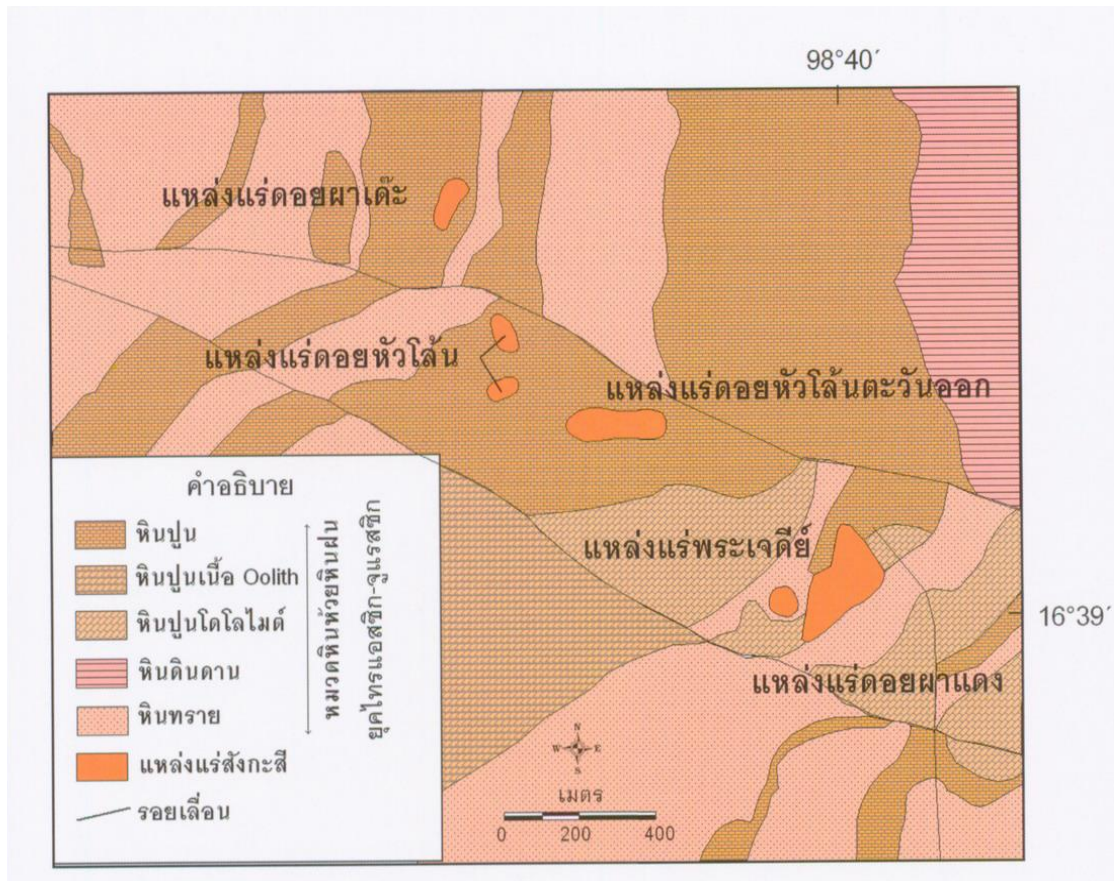
2) แหล่งแร่ชนิดเกิดแทนที่ในเนื้อหิน (replacement deposits) แหล่งแร่ชนิดนี้เกิดจากของเหลวที่เหลือจากการเย็นตัวของหินแกรนิตเข้าไปแทนที่ในเนื้อหินท้องที่ซึ่งมีลักษณะเป็นชั้น แร่ที่พบมักเป็นแร่ซัลไฟด์ที่มีโลหะผสมหลายชนิดปะปนกันโดยอาจจะมีเหล็ก ทองแดง และดีบุกรวมอยู่ด้วย

4.4.2 แหล่งแร่ทุติยภูมิ

แหล่งแร่ทุติยภูมิเกิดจากแหล่งแร่ปฐมภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากสารประกอบซิลิเกตเป็นสารประกอบออกไซด์ ซิลิเกต และคาร์บอเนต เนื่องจากเกิดแร่ซิลิเกตเกิดกระบวนการชะละลาย (leaching) และกระบวนการเพิ่มออกซิเจน (oxidizing) จากความชื้นและน้ำในธรรมชาติ

4.4.3 แหล่งแร่สังกะสีในพื้นที่จังหวัดตาก

แหล่งแร่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะสังกะสีของประเทศไทยพบมากในพื้นที่บริเวณจังหวัดตาก ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.9 ธรณีวิทยา บริเวณแหล่งแร่สังกะสี อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
(ที่มา : สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี)

1) แหล่งแร่ดอยผาแดง (Pa Daeng deposit) เป็นแหล่งแร่ชนิดทุติยภูมิแหล่งใหญ่ของโลก และถือได้ว่าใหญ่ที่สุดในทวีปเอเชียเท่าที่ได้ค้นพบ จากอดีตจนถึงในปัจจุบันได้มีการทำเหมืองแร่และโรงงานผลิตสังกะสีแบบครบวงจร โดยบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) โดยแร่สังกะสีมีทั้งชนิดที่เป็นแร่สังกะสีซิลิเกต คาร์บอเนต และออกไซด์ ตั้งอยู่ในเขต ต.พระธาตุ อ.แม่สอด จ.ตาก อยู่ห่างจาก อ.แม่สอด ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ประมาณ 11 กิโลเมตร เป็นแหล่งแร่สังกะสีที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย ถูกค้นพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2490 โดยคณะสำรวจ อาทิตย บริษัท สุมิตโม จำกัด บริษัท เนชั่นแนล เลด จำกัด บริษัท ไทยซิงค์ จำกัด จนในที่สุด บริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ได้เข้ามาดำเนินการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ในปี พ.ศ. 2524 โดยได้สร้างโรงงานผลิตสังกะสีอยู่ในเขต อ.เมือง จ.ตาก

ปริมาณแร่สำรองที่คำนวณได้ก่อนการทำเหมืองมีประมาณ 4.6 ล้านเมตริกตัน โดยมีค่าเฉลี่ยของสังกะสีอยู่ร้อยละ 28.9 และค่าเฉลี่ยของแคดเมียมอยู่ร้อยละ 0.17 ซึ่งปัจจุบันได้ดำเนินการทำเหมืองในส่วนของแร่เกรดสูงจนหมดแล้ว เหลือเพียงแร่เกรดต่ำ โดยบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ได้หยุดดำเนินการโรงงานผลิตสังกะสีไปแล้วในปัจจุบัน

2) แหล่งแร่ดอยผาเต๊ะ (Pa De deposit) เป็นแหล่งแร่ชนิดปฐมภูมิที่เป็นสังกะสีซัลไฟด์ร่วมกับแร่ตะกั่วซัลไฟด์ แหล่งแร่ดังกล่าวมีการทำเหมืองแร่โดยบริษัท ตาก ไมนิ่ง จำกัด

3) แหล่งแร่ดอยพระเจดีย์ (Pagoda deposit) เป็นแหล่งแร่ชนิดทุติยภูมิที่เป็นสังกะสีซิลิเกต เป็นแร่หลักแทรกอยู่ในหินทราย

4) แหล่งแร่ดอยหัวโล้น (Hua Lon deposit) เป็นแหล่งแร่ชนิดทุติยภูมิที่เป็นสังกะสีคาร์บอเนต เป็นแร่หลักอยู่ในหินปูน

5) แหล่งแร่ดอยหัวโล้นตะวันออก (HuaLon-East De-deposit) เป็นแหล่งแร่ชนิดทุติยภูมิที่เป็นสังกะสีคาร์บอเนตเกิดเป็นแร่หลักอยู่ในหินปูน

4.5 กระบวนการผลิตโลหะสังกะสีจากสินแร่

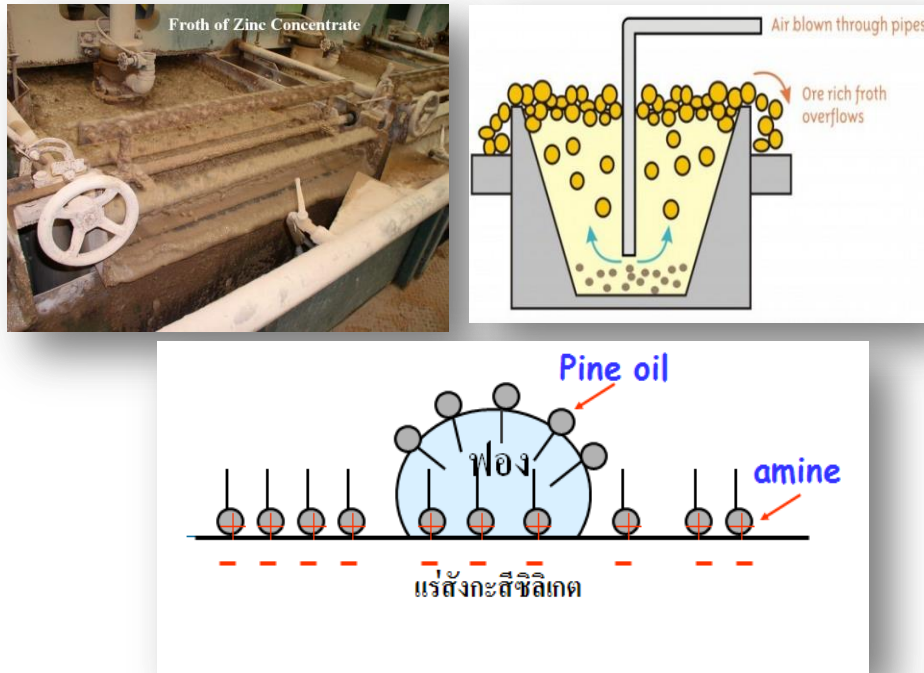
แร่สังกะสีที่พบทั่วไปในธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิที่เป็นสารประกอบซัลไฟด์ มีองค์ประกอบทางเคมีเป็น ZnS โดยถือเป็นแร่สังกะสีหลักในการผลิตเป็นโลหะสังกะสีของโลก นอกจากแร่ซัลไฟด์แล้ว ยังอาจพบแร่สังกะสีที่เป็นสังกะสีคาร์บอเนตซึ่งมีองค์ประกอบเป็น ZnCO_3 โดยพบมากที่ทวีปอเมริกาเหนือ และแร่สังกะสีที่สำคัญอีกชนิดคือแร่ซิลิเกตไฮเดรต มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $\text{Zn}_4\text{SiO}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ซึ่งเป็นแร่ที่สำคัญในการผลิตโลหะสังกะสีในประเทศไทย โดยกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีจากสินแร่มีกระบวนการที่สำคัญ ดังนี้

4.5.1 กระบวนการแต่งแร่สังกะสี

เนื่องจากสังกะสีที่อยู่ในแร่ทั่วไปในธรรมชาติจะมีปริมาณสังกะสีในแร่ที่ไม่สูงมากนัก จึงต้องนำมาผ่านกระบวนการแต่งแร่เพื่อเพิ่มปริมาณสังกะสีให้สูงขึ้น เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ของกระบวนการผลิต โดยกระบวนการแต่งแร่สังกะสี สามารถทำได้ดังนี้

1) การลอยแร่ (Froth floatation)

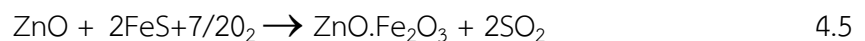
เป็นกระบวนการทางกายภาพเพื่อแยกเอาแร่สังกะสีซัลไฟด์หรือที่เรียกว่าสฟาเลอไรต์ออกจากสินแร่อื่น ๆ โดยใช้ของเหลวในการคัดแยก ได้แก่ น้ำ น้ำมัน เมื่อทำการเติมอากาศเข้าไปในแร่เปียก แร่สังกะสีซัลไฟด์จะถูกคัดแยกออกจากแร่ชนิดอื่น เนื่องจากแร่ซัลไฟด์มีคุณสมบัติเป็นสารไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงลอยสูงขึ้น ส่วนหางแร่และเศษแร่ หินทรายอื่น ๆ จะจมลงอยู่ด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 สังกะสีที่ได้ในขั้นตอนนี้เรียกว่า Zinc concentrate โดยจะมีสังกะสีร้อยละ 50 - 55 โดยน้ำหนัก



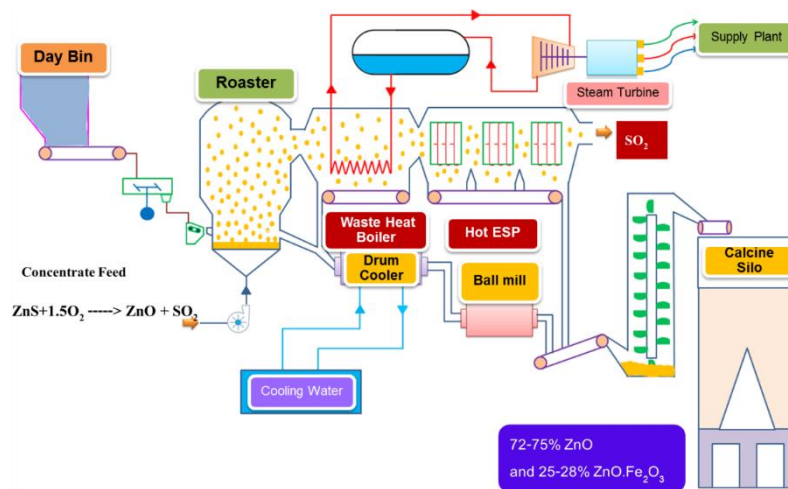
รูปที่ 4.10 การลอยแร่ (Froth floatation)
(ที่มา : บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

2) การย่างแร่ (Roasting)

แร่สังกะสีที่ได้จากกระบวนการลอยแร่จะถูกเรียกว่า Zinc concentrate โดยจะมีสังกะสีประมาณร้อยละ 50 – 55 ที่เหลืออีกเป็นแร่มลทินต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม Zinc concentrate ซึ่งเป็นสังกะสีซัลไฟด์ที่นำไปผลิตเป็นโลหะสังกะสีด้วยกระบวนการถลุงโลหวิทยาได้ยาก เนื่องจากสังกะสีซัลไฟด์ถูกละลายได้ยากในสภาวะกรดต่างทั่วไป ดังนั้น สังกะสีซัลไฟด์จะถูกนำไปย่างในเตาที่อุณหภูมิ 650 - 1,000 องศาเซลเซียสเพื่อเปลี่ยนสังกะสีซัลไฟด์ให้เป็นสังกะสีออกไซด์ที่สามารถละลายได้ง่ายในสารละลายกรดซัลฟูริก โดยแร่ที่ผ่านการย่างแล้วเรียกชื่อว่า Zinc Calcine มีสังกะสีอยู่ประมาณร้อยละ 65 และมีซิลเฟอร์ต่ำกว่าร้อยละ 2 โดยมีปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องที่อุณหภูมิมากกว่า 650 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



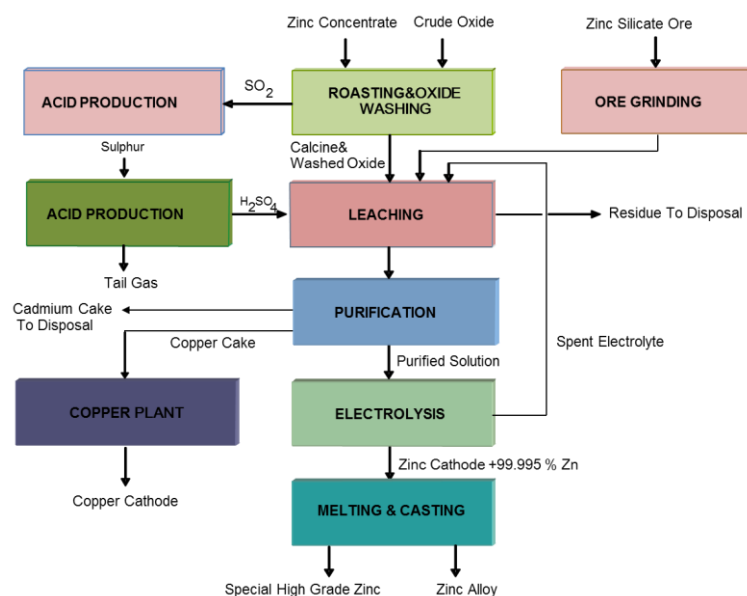
จากปฏิกิริยาเคมีดังกล่าว จะพบว่าปริมาณ Zinc Ferrite ($\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) ขึ้นกับปริมาณเหล็กในแร่ ซึ่ง Zinc ferrite เป็นสารประกอบของเหล็กที่ละลายในสารละลาย H_2SO_4 ได้ยาก นอกจากนี้ปริมาณกำมะถันที่เหลืออยู่เกือบทั้งหมดในแร่สังกะสีซัลไฟด์จะอยู่ในรูปของ SO_4^{2-} ในกระบวนการย่างแร่ (Roasting) จะนิยมใช้ Fluidized bed Roaster และใช้อุณหภูมิในการย่างแร่ประมาณ 950 องศาเซลเซียส เมื่อเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์จะทำให้อุณหภูมิในเตาเพิ่มขึ้นจนถึง 1,000 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการย่างแร่จะเป็นสารประกอบสังกะสีออกไซด์ (ZnO) อาจจะมี Sulfur เหลืออยู่บ้างแต่ไม่เกินร้อยละ 1 ส่วน SO_2 ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการจะถูกส่งไปยังโรงผลิตกรดกำมะถัน (Acid Plant) ต่อไป โดยกระบวนการย่างแร่ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



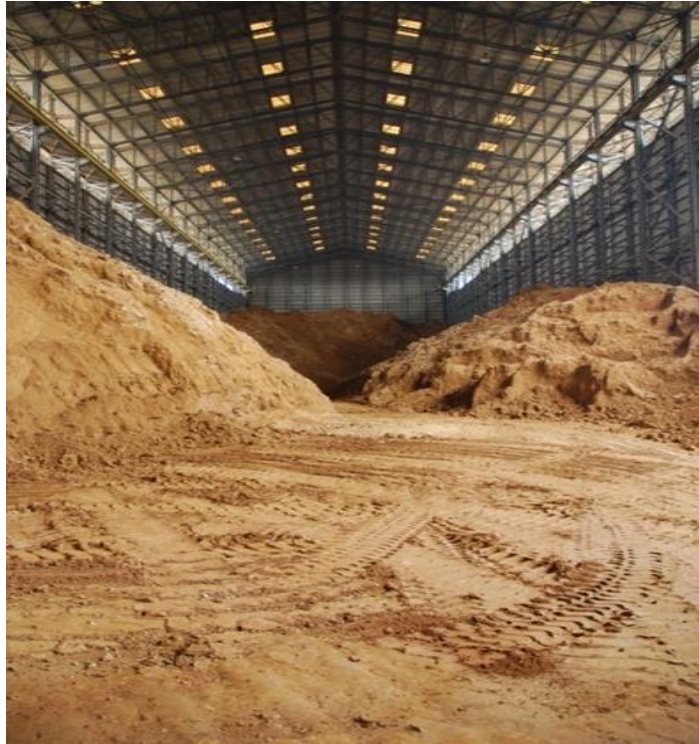
รูปที่ 4.11 กระบวนการย่างแร่
(ที่มา : บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

4.5.2 กระบวนการชะละลาย (Leaching Process)

หลังจากทำการย่างแร่จนได้สารประกอบสังกะสีออกไซด์ (ZnO) รวมถึงในกรณีที่มีแร่สังกะสีที่เป็นสังกะสีคาร์บอเนต จะสามารถนำไปผลิตเป็นโลหะสังกะสีได้ 2 วิธี คือ 1) โลหวิทยาความร้อน (pyrometallurgical process) และ 2) โลหวิทยาสารละลาย (Hydrometallurgy process) โดยการศึกษาในครั้งนี้ จะมุ่งเน้นด้านโลหวิทยาสารละลายเป็นหลักเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตสังกะสีของบริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยเริ่มต้นด้วยการชะละลายสังกะสีออกไซด์หรือสังกะสีซิลิเกตด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก โดยแร่สังกะสีซิลิเกตดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 กระบวนการที่ใช้ในการผลิตสังกะสีของบริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด
(ที่มา : บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))



รูปที่ 4.13 แร่สังกะสีซิลิเกต
(ที่มา : บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

สำหรับกระบวนการชะละลายสังกะสีของบริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด (มหาชน) มี 2 ขั้นตอน ได้แก่ การชะละลายสังกะสีที่อยู่ในรูปของแคลไซน์หรือสังกะสีออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ในกระบวนการ Neutral Leaching ซึ่งจะถูกจัดเก็บในถังดังแสดงในรูปที่ 4.14 และการชะละลายสังกะสีในรูปของสังกะสีเฟอร์ไรท์ (Zinc Ferrite, $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) ในกระบวนการ Hot Acid Leaching ส่วนการชะละลายสังกะสีจากแร่สังกะสีซิลิเกตมีขั้นตอนเดียว คือกระบวนการ Silicate Leaching โดยมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 4.14 ถังจัดเก็บแคลไซน์
(ที่มา : บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

1) กระบวนการ Neutral leach

เป็นกระบวนการชะละลายสังกะสีที่อยู่ในรูปของสังกะสีออกไซด์จากสินแร่ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่มาจากการผสมระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์ใช้แล้วจากกระบวนการไฟฟ้าเคมี (Spent Electrolyte) กับกรดซัลฟูริกเข้มข้น (Fresh Acid) โดยจะต้องปรับความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีและกรดในสารละลายก่อน แล้วจึงเติมวัตถุติดที่เป็นแร่แคลไซต์ ควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการชะละลายให้เหมาะสม แล้วทำการแยกสารละลายและกากตะกอนที่เหลือจากการชะละลายด้วยถังตกตะกอน (Thickener) ดังแสดงในรูปที่ 4.15 สารละลายส่วนที่ใสคือ Neutral Solution จะถูกส่งไปในกระบวนการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ ในส่วนที่เป็นกากตะกอนซึ่งเรียกว่า Neutral Leach Cake จะส่งต่อไปยังกระบวนการ Hot Acid Leaching เพื่อแยกสังกะสีที่เหลืออยู่ในตะกอนต่อไป



รูปที่ 4.15 ถังตกตะกอน
(ที่มา : บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

2) กระบวนการ Hot Acid leach

ในกระบวนการย่างแร่สังกะสีซัลไฟด์ (ZnS) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 650 องศาเซลเซียส สังกะสีออกไซด์จะรวมตัวกับสารประกอบของเหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide) กลายเป็นสังกะสีเฟอร์ไรท์ (Zinc Ferrite , $\text{ZnO.Fe}_2\text{O}_3$) ที่ไม่สามารถชะละลายได้ในกระบวนการ Neutral Leaching ดังนั้น กากตะกอนที่เหลือจากกระบวนการ Neutral Leaching จะมีสังกะสีที่อยู่ในรูปของสังกะสีเฟอร์ไรท์ และสังกะสีออกไซด์ที่ยังไม่ละลายบางส่วน เพื่อลดการสูญเสียสังกะสีในกระบวนการผลิต จึงต้องนำกากตะกอนที่เหลือจากกระบวนการ Neutral Leaching มาผ่านกระบวนการ Hot Acid Leaching เพื่อแยกสังกะสีจากสารประกอบสังกะสีเฟอร์ไรท์ โดยเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกและอุณหภูมิในกระบวนการชะละลาย โดยสารละลายที่ได้จากกระบวนการนี้ซึ่งมีอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายกรดสูงจะถูกส่งไปยังกระบวนการ Silicate Leaching ต่อไป

3) กระบวนการ Silicate leach

ในการผลิตสังกะสีของบริษัท ฝาแดง อินดัสทรี จำกัด (มหาชน) จะมีการใช้วัตถุดิบที่เป็นแร่สังกะสีซิลิเกตในกระบวนการ Silicate Leaching โดยใช้สารละลายกรดที่เหลือจากกระบวนการ Hot Acid Leaching ผสมกับแร่สังกะสีซิลิเกตที่ผ่านการบดเปียกจากนั้นเติมสารละลายไฮโดรไลต์ใช้แล้วผสมกรดกำมะถันเข้มข้นในการควบคุมความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในกระบวนการชะละลาย สารละลายที่ได้จากกระบวนการนี้จะถูกส่งไปยังกระบวนการกำจัดเหล็กด้วยการตกตะกอน (Precipitation) ต่อไป

4.5.3 กระบวนการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ (Solution Purification Process)

การแยกสังกะสีออกจากสารละลายกรดซัลฟูริกด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning สารละลายที่มีสังกะสีละลายอยู่จะต้องมีความบริสุทธิ์สูงโดยมีโลหะอื่นละลายร่วมอยู่น้อยมาก เพื่อให้ได้โลหะสังกะสีที่มีความบริสุทธิ์สูง และมีประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้า (Current Efficiency) ที่ดี โดยกระบวนการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ (Solution Purification Process) ในกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี สามารถทำได้ดังนี้

1) กระบวนการตกตะกอนเหล็กแบบ Jarosite (Jarosite Precipitation Process)

ในขั้นตอน Hot Acid leach สังกะสีเฟอร์ไรต์ซึ่งละลายได้ดีในสภาพกรดเข้มข้นและอุณหภูมิสูง (Hot Acid Leaching) จะถูกชะละลายไปพร้อมกันกับเหล็ก สารละลายที่ได้จึงมีเหล็กละลายร่วมอยู่ด้วยในปริมาณสูง ดังนั้น จึงทำให้ต้องมีการกำจัดเหล็กออกจากสารละลายดังกล่าวก่อนนำไปรวมกับสารละลายส่วนใหญ่ที่ได้จากการชะละลายสังกะสีออกไซด์ โดยสารละลายดังกล่าวจะถูกส่งเข้าไปยังถังปฏิกิริยา โดยการควบคุม pH จากนั้นจะเติมสารละลาย NaOH ความเข้มข้นร้อยละ 50 และ MnO_2 ในปริมาณที่เพียงพอ เหล็กที่ละลายอยู่ในสารละลายจะตกตะกอนในรูป $\text{Na}_2[\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}]$ หรือที่เรียกว่า Jarosite นอกจากนี้ ในขั้นตอนดังกล่าวจะมีการเกิดขึ้นตลอดเวลา จึงต้องมีการเติม Basic Salt Slurry เพื่อจำกัดกรด และเพื่อควบคุม pH ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา เมื่อได้ตะกอน Jarosite แล้ว จะทำการกรองแยกตะกอนด้วยเครื่องกรองแบบสายพาน (Belt Filter) ดังแสดงในรูปที่ 4.16 เพื่อนำตะกอนที่ได้ดังกล่าวไป Treatment ส่วนสารละลายที่ได้จะถูกส่งกลับไปใช้ในกระบวนการ Natural Leaching อีกครั้ง เพื่อให้สารละลายมีความเข้มข้นของสังกะสีสูงขึ้น



รูปที่ 4.16 เครื่องกรองแบบสายพาน (Belt Filter)
(ที่มา : บริษัท ฝาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

2) กระบวนการแทนที่ด้วยโลหะ (Cementation Process)

สารละลายสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชะละลายจะมีสารมลทิน เช่น แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) ละลายร่วมกับสังกะสี จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดสารมลทินเหล่านี้ก่อนที่จะนำสารละลายที่ได้ไปแยกสังกะสีออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมี ในกระบวนการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการแทนที่ด้วยโลหะ สามารถทำได้โดยการเติมผงสังกะสี (Zinc Dust) ที่อุณหภูมิต่ำและที่อุณหภูมิสูง ดังนี้

— กระบวนการแทนที่โลหะที่อุณหภูมิต่ำ

กระบวนการแทนที่โลหะที่อุณหภูมิต่ำมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดแคดเมียมและทองแดงออกจากสารละลายสังกะสี สามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก สารละลายสังกะสีจะถูกปรับให้มีสภาพเป็นกรดเล็กน้อยที่ pH 3.8-4.0 และควบคุมอุณหภูมิที่ 60-65 องศาเซลเซียส ด้วยไอน้ำ จากนั้นจึงเติมผงสังกะสีลงไปในสารละลาย สังกะสีจะละลายลงไปในสารละลาย ส่วนทองแดงที่มีอยู่ในสารละลายจะตกตะกอนกลายเป็นผงโลหะทองแดง จากนั้นทำการกรองแยกเอากากตะกอนโลหะทองแดง (Copper Cake) ออกจากสารละลายด้วยเครื่องกรองแบบอัด โดยกากตะกอนโลหะทองแดงที่ได้ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปละลายด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางเพื่อผลิตเป็นสารละลาย CuSO_4 ไปใช้เป็นสารเคมีในขั้นตอนต่อไป และกากตะกอนโลหะทองแดงที่ได้จากกระบวนการนี้จะถูกนำไปผลิตเป็นโลหะทองแดง ด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี ส่วนสารละลายที่ผ่านการกรองจากเครื่องกรองจะถูกส่งเข้าขั้นตอนที่สอง โดยการเติมผงสังกะสีอีกครั้งเพื่อตกตะกอนแคดเมียมออกจากสารละลายกลายเป็นผงโลหะแคดเมียม จากนั้นจึงทำการกรองแยกเอากากตะกอนโลหะแคดเมียม (Cadmium Cake) ออกจากสารละลายด้วยเครื่องกรองแบบอัด แล้วจึงส่งไปละลายด้วยสารละลายกรดเจือจาง เพื่อแยกเอาส่วนที่เป็นสังกะสีกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต กากแคดเมียมที่ได้จะนำไปผสมกับซีเมนต์เพื่อให้ความแข็งแรง ก่อนนำไปฝังกลบในบ่อเก็บกากแคดเมียม สารละลายที่ผ่านขั้นตอนทั้ง 2 ขั้นตอน จะถูกส่งผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป

— กระบวนการแทนที่ด้วยโลหะที่อุณหภูมิสูง

กระบวนการแทนที่โลหะที่อุณหภูมิสูงมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดโคบอลต์ นิกเกิล แอนติโมนี และเจอร์มาเนียม ออกจากสารละลาย โดยการเติมผงสังกะสีร่วมกับสารละลาย CuSO_4 ที่อุณหภูมิสูง จากนั้นจึงกรองแยกเอาตะกอนและสารละลายออกจากกัน สารละลายที่ได้จะส่งไปยังกระบวนการแยกสังกะสีด้วยไฟฟ้าเคมีต่อไป

4.5.4 กระบวนการแยกสังกะสีจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning

ในกระบวนการนี้ สังกะสีจะถูกแยกออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมี โดยใช้เซลล์ไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยขั้วบวก (Anode) ทำจากโลหะผสมของตะกั่วและเงิน (Pb-Ag) และขั้วลบ (Cathode) ทำจากโลหะอลูมิเนียม (Al) วางสลับกัน ใช้สารละลายสังกะสีเป็นอิเล็กโทรไลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 สารละลายเริ่มต้นจะถูกลดอุณหภูมิด้วย Cooling Tower ก่อน แล้วจึงนำไปผสมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ใช้แล้วเพื่อปรับความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลาย จากนั้นจะถูกส่งไปลดอุณหภูมิของสารละลายอีกครั้ง ก่อนที่จะส่งกลับเข้าไปในบ่อเซลล์ เพื่อแยกสังกะสีออกจากสารละลายโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรง ไฟฟ้าจะผ่านจากขั้วบวกเข้าสู่สารละลายไปยังขั้วลบ โลหะสังกะสีจะมาเกาะที่แผ่นขั้วลบกลายเป็น Zinc Cathode ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และเกิดก๊าซออกซิเจนที่แผ่น Anode จากนั้นจะใช้ครันยกแผ่นสังกะสีขึ้นจากเซลล์ไฟฟ้า แล้วนำไปลอกสังกะสีออกด้วยเครื่องลอก (Stripping Machine) โลหะสังกะสีที่ได้จะถูกนำไปหลอมและหล่อเป็นก้อนสังกะสี (Zinc Ingot) ส่วนแผ่นขั้วลบที่ผ่านการลอก

สังกะสีแล้ว จะนำไปเข้าเครื่องขัดทำความสะอาดและตรวจข้อบกพร่องก่อนนำกลับไปใช้ใหม่ต่อไป สารละลายอิเล็กโทรไลต์ใช้แล้วส่วนหนึ่งจะใช้ผสมกับกรดเข้มข้นเพื่อใช้ในการชะละลายสังกะสีแคโทดอีกครั้ง



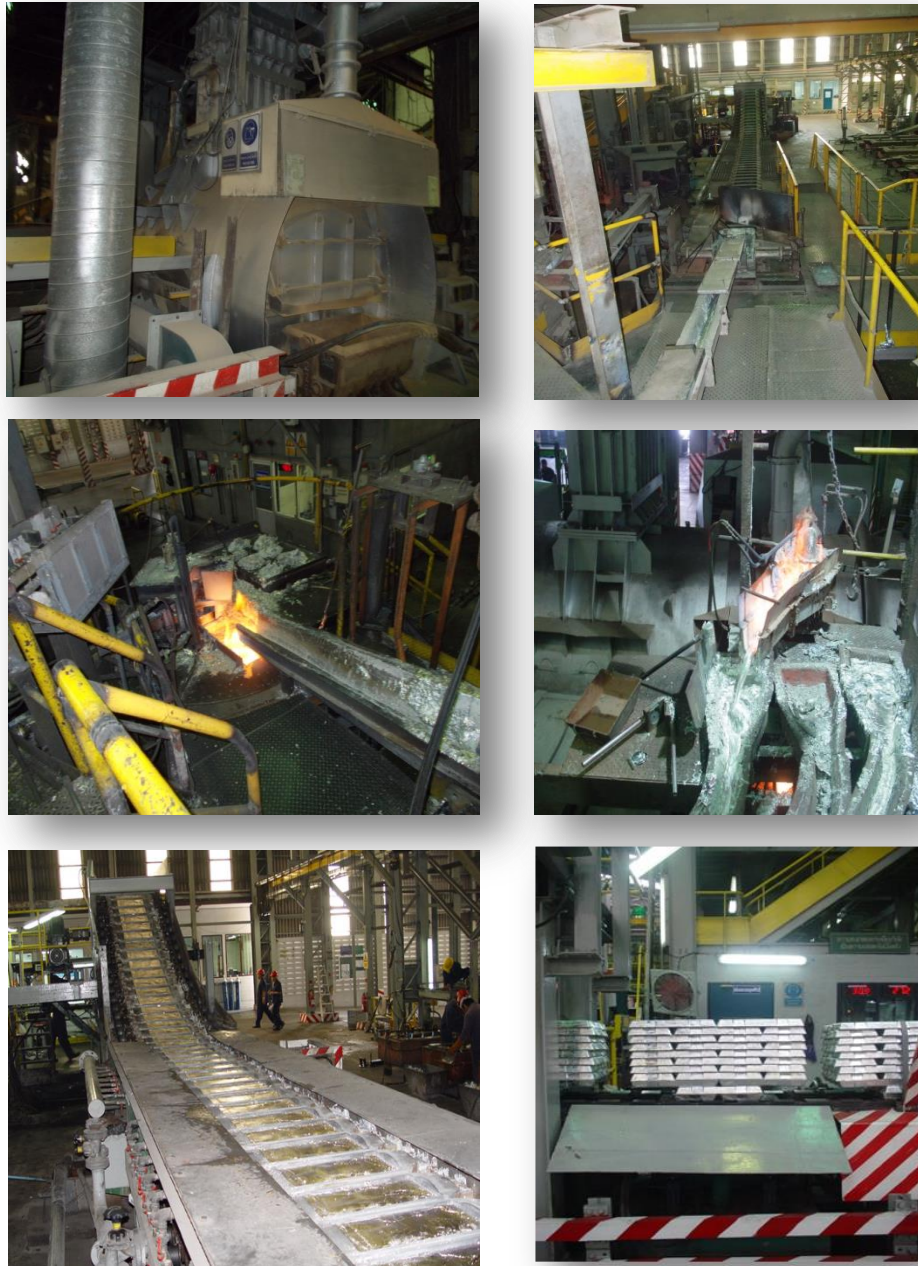
รูปที่ 4.17 เซลล์ไฟฟ้าเคมี
(ที่มา : บริษัท ฝาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))



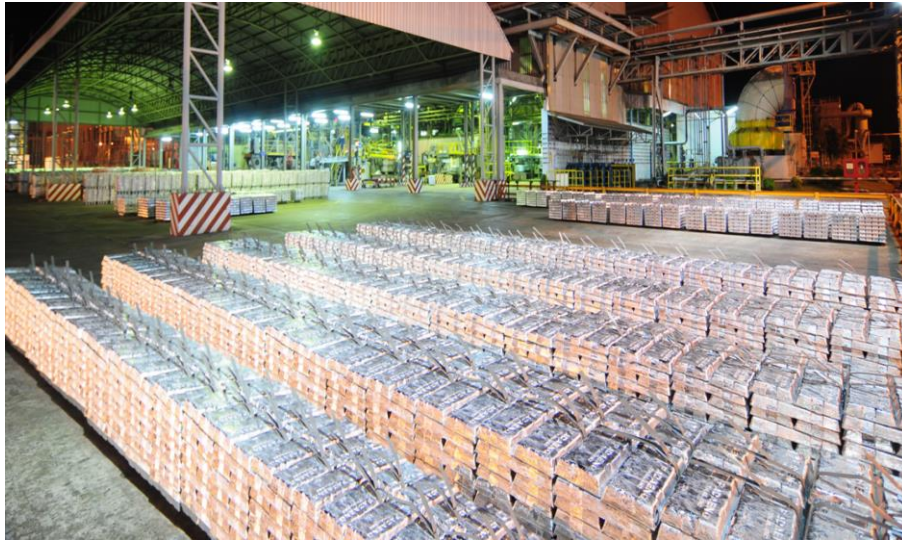
รูปที่ 4.18 Zinc Cathode
(ที่มา : บริษัท ฝาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

4.5.5 กระบวนการหลอมและการหล่อโลหะสังกะสี (Zinc Melting & Casting Process)

แผ่นโลหะสังกะสี (Zinc Cathode) ที่ได้จากการบวนการไฟฟ้าเคมี จะถูกนำไปหลอมในเตาไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Furnace) ดังแสดงรูป 4.19 อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเท่ากับ 460-490 องศาเซลเซียส น้ำโลหะสังกะสีจะไหลออกจากเตาหลอมผ่านรางเหล็กเพื่อเข้าสู่เบ้าเพื่อหล่อให้เป็นก้อนโลหะสังกะสี (Zinc Ingot) ดังแสดงในรูปที่ 4.20 โดยสังกะสีส่วนหนึ่งถูกนำไปผสมกับโลหะอื่น เช่น แมกนีเซียม และ อะลูมิเนียม เพื่อผลิตเป็นโลหะสังกะสีผสม หรือ Zinc Alloy นอกจากนี้ ได้มีการนำ Zinc Cathode บางส่วนไปผลิตเป็นผงสังกะสี (Zinc Dust) เพื่อใช้ในกระบวนการทำสารละลายให้บริสุทธิ์



รูปที่ 4.19 กระบวนการหลอมและการหล่อโลหะสังกะสี
(ที่มา : บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))



รูปที่ 4.20 Zinc Ingot

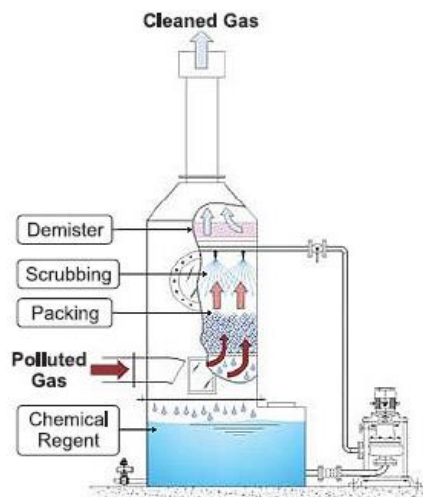
(ที่มา : บริษัท ฝาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

4.6 เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี

การควบคุมและบำบัดมลพิษหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี สามารถแบ่งได้ออกเป็นมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไอกรดซัลฟูริก (H_2SO_4 Mist) ฝุ่นจากกระบวนการหลอมสังกะสีและน้ำเสียที่มีความเป็นกรด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไอกรดซัลฟูริก (H_2SO_4 Mist)

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไอกรดกำมะถัน (H_2SO_4 Mist) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีส่วนใหญ่จะถูกนำกลับไปผลิตกรดซัลฟูริกสำหรับใช้ในกระบวนการชะละลายแร่สังกะสี ส่วนที่เหลือจะต้องถูกบำบัดด้วยอุปกรณ์ Wet Scrubber ดังแสดงในรูปที่ 4.21 โดยที่นิยมใช้เป็นแบบ Packed bed scrubber และสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดคือ สารละลายโซดาไฟหรือน้ำปูนขาว

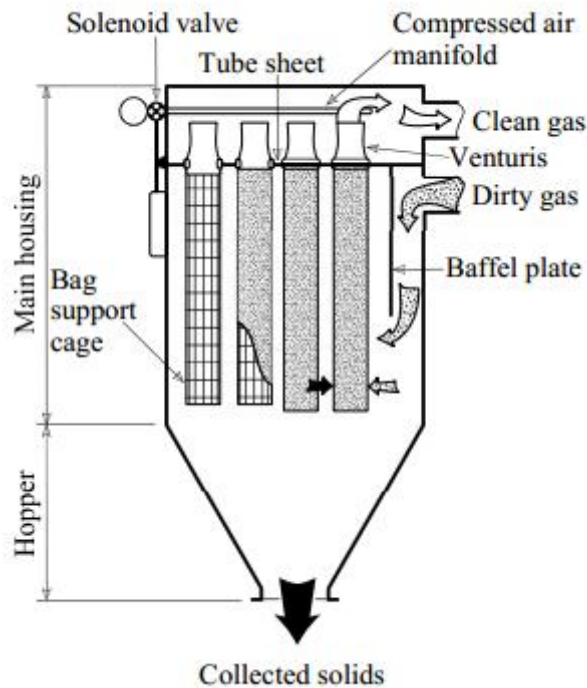


รูปที่ 4.21 Wet Scrubber

(ที่มา : <https://getec.en.ec21.com/Wet-Scrubber Air Pollution Treatment 68029566802973.html>)

2) ฝุ่นจากกระบวนการหลอมสังกะสี

ฝุ่นจากกระบวนการหลอมสังกะสีมีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางความร้อน โดยอาจมีองค์ประกอบของโลหะสังกะสีและโลหะอื่น ๆ รวมอยู่ด้วย ซึ่งอุปกรณ์ที่นิยมใช้ควบคุมมลพิษทางอากาศที่เป็นฝุ่น ได้แก่ Bag Filter ดังแสดงในรูปที่ 4.22

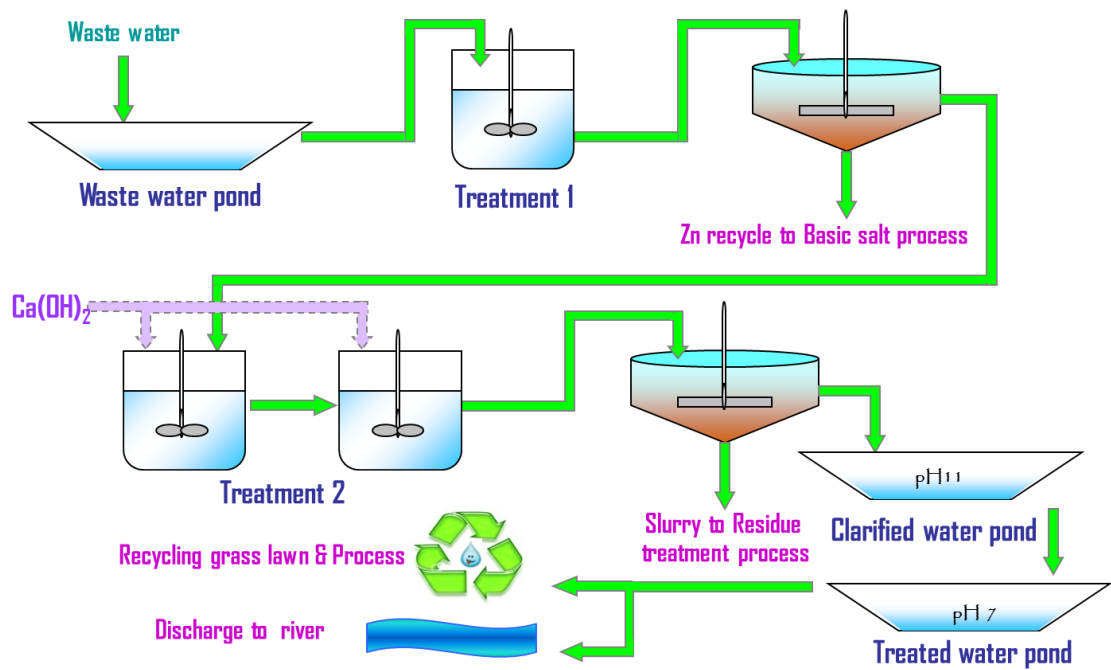


รูปที่ 4.22 Bag Filter

(ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Baghouse>)

3) น้ำเสียที่มีความเป็นกรด

น้ำเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี ส่วนใหญ่จะมีค่าความเป็นกรดเนื่องจากใช้กรดซัลฟิวริกในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังมีโลหะอื่น ๆ ละลายรวมอยู่ด้วย ดังนั้น วิธีการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว จึงเป็นการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 4.23 โดยการเติมสารเคมีที่เป็นด่าง เช่น ปูนขาว โซดาไฟ เป็นต้น เพื่อตกตะกอนโลหะหนักในน้ำเสีย และทำการแยกตะกอนน้ำเสียออกจากน้ำเสียด้วย Thickener หรือ Press filter โดยตะกอนน้ำเสียจะนำไปบำบัดรวมกับกากแร่ ส่วนน้ำจะนำไปปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิต รดน้ำต้นไม้หรือปล่อยลงสู่แม่น้ำต่อไป



รูปที่ 4.23 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี
(ที่มา : บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

บทที่ 5

การรีไซเคิลโลหะทองคำและสังกะสี โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตโลหะจากแร่

เนื้อหาในบทนี้ประกอบไปด้วยของเสียที่มีศักยภาพในการนำมารีไซเคิลทองคำและสังกะสี ซึ่งได้แก่ เศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และฝุ่นสังกะสีที่มาจากกระบวนการชุบร้อน (Hot-Dipped Galvanizing) และผลการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีรีไซเคิลโลหะทองคำและสังกะสี ในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) จากของเสียดังกล่าว โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตโลหะจากแร่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 ของเสียที่มีศักยภาพในการนำมารีไซเคิลทองคำ

5.1.1 ข้อมูลทั่วไป

เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยมีปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ อาทิ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ ตลอดจนเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ เพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขึ้นอย่างไม่หยุดยั้ง ทำให้ผู้บริโภคเกิดความสนใจในเทคโนโลยีสมัยใหม่อยู่เสมอ ส่งผลให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ทันสมัยกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างรวดเร็ว โดยขยะอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ล้วนประกอบด้วยองค์ประกอบที่เป็นโลหะสำคัญหลายชนิด เช่น ทองแดง เงิน ทองคำ เป็นต้น ซึ่งขยะดังกล่าวหากผ่านกระบวนการจัดการที่ไม่ถูกวิธี อาจส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรงได้ เช่น การเผาเพื่อแยกเอาโลหะที่หลงเหลือจากการเผา เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของขยะอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวแล้ว พบว่าหากมีการนำมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของขยะอิเล็กทรอนิกส์แล้ว ยังจะเป็นแนวทางในการหมุนเวียนโลหะซึ่งเป็นวัตถุดิบทางธรรมชาติที่นับวันจะลดน้อยลงกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ และสร้างความมั่นคงของวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุดังกล่าวเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิต

ทองคำถือเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่สำคัญในหลายอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมเครื่องประดับ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน ของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมเครื่องประดับที่มีทองคำเป็นองค์ประกอบสามารถนำมารีไซเคิลได้เกือบทั้งหมด เช่น เศษซากทองรูปพรรณ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 5.1 เนื่องจากเป็นของเสียที่มีมูลค่าสูงและมีผู้ประกอบการหลายรายที่สามารถรีไซเคิลได้ในประเทศ ดังนั้น ของเสียที่มีศักยภาพและเหมาะสมในการนำมารีไซเคิลทองคำ ได้แก่ เศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นของเสียทั้งจากภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากเป็นของเสียที่มีความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสม



รูปที่ 5.1 เศษซากทองรูปพรรณ
(ที่มา : <http://www.รับซื้อเครื่องเงิน.com>)

5.1.2 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี

ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้องการโลหะสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบหลายชนิด หนึ่งในโลหะที่สำคัญดังกล่าว ได้แก่ ทองคำ เนื่องจากทองคำจัดเป็นโลหะที่มีความเสถียรและนำไฟฟ้าได้ดี ดังนั้น เมื่อชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หมดอายุการใช้งาน ทำให้เศษซากชิ้นส่วนดังกล่าวมีองค์ประกอบของทองคำอยู่ด้วย โดยปริมาณของโลหะทองคำขึ้นอยู่กับชนิดของชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนที่มีปริมาณทองคำสูง ได้แก่ ซีพียู คอนเนคเตอร์ ดังแสดงในรูป 5.2 และ 5.3 โดยอาจมีปริมาณทองคำมากกว่า 1,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งถือว่าสูงมากเมื่อเทียบกับแร่ทองคำในธรรมชาติที่มีอยู่โดยเฉลี่ย 5-20 ppm เท่านั้น



รูปที่ 5.2 เศษซากซีพียู



รูปที่ 5.3 เศษซากคอนเนคเตอร์

ดังนั้น ของเสียที่มีศักยภาพในการนำมารีไซเคิลทองคำ ได้แก่ เศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีทองคำเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ การรีไซเคิลทองคำจากของเสียดังกล่าว นอกจากจะเป็นการหมุนเวียนทองคำซึ่งเป็นโลหะที่มีอยู่ในธรรมชาติอย่างจำกัดกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของเสีย ลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

5.2 การจัดการและเทคโนโลยีรีไซเคิลเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศ

ในปัจจุบันชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แล้วจะอยู่ในรูปของเศษซาก (Scrap) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญทั้งในส่วนของภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม โดยข้อมูลการจัดการเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) เศษชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากครัวเรือน หากอยู่ในรูปของเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ได้แก่ แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 5.4 ซึ่งมีโลหะทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะมีราคาซื้อขายประมาณ 50 – 80 บาทต่อกิโลกรัม โดยผู้รับซื้อจะทำการถอดชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดมากับแผ่นวงจรก่อนจะนำแผ่นวงจรที่ผ่านการถอดแยกชิ้นส่วนดังกล่าวไปผ่านกระบวนการบดย่อย เพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการแยกโลหะทองแดงออกจากพลาสติก เมื่อผ่านกระบวนการแยกพลาสติกโดยใช้กระบวนการคัดแยกทางกายภาพ จะได้ผงทองแดงที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบร้อยละ 90 ซึ่งมีมูลค่าประมาณ 150 บาทต่อกิโลกรัม เพื่อจำหน่ายไปยังต่างประเทศ ในส่วนของชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีโลหะทองคำปริมาณสูง ก็จะถูกคัดแยกออกจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำไปขายต่อให้กับผู้ประกอบการรีไซเคิลทองคำทั้งในและต่างประเทศ



รูปที่ 5.4 เศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
(ที่มา : <http://www.chiangmainews.co.th>)

2) เศษชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากภาคอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีองค์ประกอบของทองแดงร้อยละ 5 – 25 โดยน้ำหนักและโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็ผู้ก่อกำเนิดเศษซากดังกล่าวจะจำหน่ายให้กับผู้ประกอบการรีไซเคิลเพื่อนำไปผ่านกระบวนการคัดแยกโลหะทองแดง โดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกันดังที่กล่าวไว้ ในส่วนของชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีโลหะทองคำปริมาณสูง ก็จะถูกคัดแยกออกจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำไปขายต่อให้กับผู้ประกอบการรีไซเคิลทองคำทั้งในและต่างประเทศ

5.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตทองคำจากสินแร่เพื่อการรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการ

จากเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการผลิตทองคำจากสินแร่ ซึ่งจะเป็นกระบวนการทางด้านโลหวิทยาสารละลาย โดยใช้สารละลายไซยาไนด์เป็นสารชะละลายทองคำออกจากสินแร่ โดยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนที่สำคัญและการแนะนำไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ดังนี้

5.3.1 กระบวนการบดละเอียดและการคัดขนาดและการนำไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากสินแร่ทองคำในธรรมชาติซึ่งประกอบไปด้วยทองคำร่วมกับแร่อื่น ๆ เช่น ซิลิกา อะลูมินา เป็นต้น จึงต้องมีการบดละเอียดเพื่อให้ทองคำแยกออกจากแร่ดังกล่าวก่อนจะนำไปผ่านกระบวนการชะละลาย แต่ทองคำที่อยู่ในเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณผิวของชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น เนื่องจากทองคำจะถูกใช้ในชิ้นส่วนที่ต้องการบางบริเวณเท่านั้นเพื่อให้บริเวณดังกล่าวมีความเสถียรและนำไฟฟ้าได้ดี ดังนั้น กระบวนการแยกทองคำออกจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการบดละเอียดและการคัดขนาดดังเช่นการแยกทองคำจากสินแร่ธรรมชาติ

5.3.2 กระบวนการชะละลาย (Leaching) ทองคำจากสินแร่และการนำไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

กระบวนการชะละลายถือเป็นกระบวนการเริ่มต้นที่มีความสำคัญในการแยกสกัดทองคำออกจากสินแร่ โดยกระบวนการดังกล่าวจะใช้สารละลายเคมีที่สามารถละลายทองคำ เพื่อให้สามารถแยกทองคำออกจากสินแร่ในรูปของสารละลาย สารเคมีที่นิยมใช้ในการชะละลายทองคำ ได้แก่ โซยาไนต์ อย่างไรก็ตาม หากใช้โซยาไนต์เพียงอย่างเดียวในกระบวนการชะละลายจะส่งผลให้ใช้เวลานานในกระบวนการดังกล่าว จึงได้มีการใช้ออกซิเจนเพื่อเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น

ดังนั้น การควบคุมปริมาณออกซิเจนร่วมกับโซยาไนต์ จะสามารถเพิ่มอัตราการละลายโลหะทองคำได้ จึงพบว่าในกระบวนการละลายโลหะทองคำจากสินแร่ธรรมชาติด้วยสารโซยาไนต์มีการเติมอากาศลงไป ในสารละลายโซยาไนต์ อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวเหมาะสำหรับวัตถุดิบที่เป็นสินแร่ ซึ่งมีโลหะทองคำอยู่ปริมาณไม่มากนักหรือประมาณ 5 กรัมต่อตันแร่ เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำ มีความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ แต่อัตราการละลายทองคำก็ยังถือว่าไม่สูงมากนัก

ในส่วนของการประยุกต์ใช้กระบวนการชะละลายทองคำจากสินแร่ในการชะละลาย (Leaching) ทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อเทียบเศษซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีปริมาณโลหะทองคำค่อนข้างสูงที่มากกว่า 100 กรัมต่อตันวัตถุดิบแล้ว หากใช้วิธีการดังกล่าว จะใช้เวลานานในการละลายโลหะทองคำออกจากวัตถุดิบ ในปัจจุบัน จึงได้มีการพัฒนาน้ำยาลอกทองซึ่งมีความสามารถในการละลายทองออกจากเศษซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เร็วกว่าการใช้สารโซยาไนต์ร่วมกับออกซิเจน โดยได้มีการเติมสารบางชนิดเพื่อช่วยในการละลายโลหะทองคำร่วมกับสารโซยาไนต์ เช่น สารออกแซนิกส์ สารประกอบของตะกั่ว เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าน้ำยาลอกทองดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพสูงในการละลายโลหะทองคำจากเศษซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แต่ก็มีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องพึ่งพาการนำเข้าสารออกแซนิกส์จากต่างประเทศ ดังนั้น การใช้สารออกแซนิกส์ร่วมกับโซยาไนต์ในการละลายโลหะทองคำจึงเหมาะสมกับวัตถุดิบที่มีปริมาณโลหะทองคำเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ซึ่งได้แก่ ซากแผงวงจรและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีปริมาณโลหะทองคำโดยเฉลี่ยมากกว่า 100 ppm จึงจะมีความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์มากกว่าเมื่อเทียบกับการเติมอากาศแบบปกติทั่วไป

นอกจากนี้ การเพิ่มอัตราการละลายของทองในโซยาไนต์ยังสามารถทำได้โดยการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นหนึ่งในสารเคมีตั้งต้นที่สามารถให้กำเนิดออกซิเจนได้ ดังสมการที่ 5.1



ดังนั้น หากมีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับสารโซยาไนต์ ก็จะสามารถชะละลายทองคำได้ ดังสมการที่ 5.2 (F. Arslan และคณะ (2003))



ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารตั้งต้นที่สามารถให้ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนได้สูง ส่งผลให้อัตราการชะละลายทองคำสูงกว่าการเติมอากาศแบบปกติทั่วไป อย่างไรก็ตาม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารเคมีที่มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้น การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโซยาไนต์ในการละลายโลหะทองคำ จึงเหมาะสมกับสินแร่ที่มีโลหะทองคำหรือวัตถุดิบที่มีปริมาณโลหะทองคำเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงเช่นเดียวกับการใช้สารออกแซนิกส์ จึงจะมีความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ (ศรากร อักษรแก้ว (2559))

การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการชะละลายทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไซยาไนด์ มีรายละเอียดและขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

— วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

- (1) เศษซากซีพียู
- (2) โพแทสเซียมไซยาไนด์ เกรดการค้า
- (3) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50%
- (4) โซเดียมไฮดรอกไซด์
- (5) น้ำกลั่น

— อุปกรณ์ที่ใช้

- (1) ภาชนะทน กรด-ด่าง
- (2) อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น ถุงมือยาง หน้ากากป้องกันสารเคมี
- (3) ระบบดูดและบำบัดอากาศ

— วิธีการทดสอบ

- (1) เตรียมสารละลายสำหรับใช้ในการชะละลายทองคำ ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ที่ประกอบไปด้วยสารละลายโพแทสเซียมไซยาไนด์ปริมาณ 6 กรัมต่อลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 4 กรัมต่อลิตร น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 สารละลายสำหรับใช้ในการชะละลายทองคำ

- (2) นำเศษซากซีพียูที่เตรียมไว้ไปแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 กระบวนการชะละลายทองคำจากเศษซากซีพียู

จากนั้น เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จนกว่าจะเห็นทองคำละลายออกจากเศษซากซีพียู โดยสังเกตสีของโลหะทองคำ ทั้งนี้ เมื่อไม่มีสีของโลหะทองคำแล้ว ให้นำเศษซากซีพียูออกจากสารละลายโดยทันที เพื่อป้องกันโลหะอื่นละลายร่วมกับโลหะทองคำ และจะทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีอีกด้วย เศษซากซีพียูที่ผ่านกระบวนการชะละลายทองคำ ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 เศษซากซีพียูที่ผ่านกระบวนการชะละลายทองคำ

5.3.3 กระบวนการแยกทองคำออกจากสารละลายไซยาไนด์การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) การแยกด้วยไฟฟ้าเคมี และการนำไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ในกระบวนการแยกทองคำออกจากสารละลายที่ได้จากสินแร่ จะต้องนำสารละลายที่มีทองคำละลายอยู่ในผ่านกระบวนการดูดซับทองคำด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ก่อนจะนำถ่านที่มีทองคำดังกล่าวไปผ่านการชะละลายด้วยไซยาไนด์อีกครั้ง เพื่อให้สารละลายมีความเข้มข้นของทองคำเพิ่มสูงขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปผ่านกระบวนการแยกด้วยไฟฟ้าแบบอิเล็กโตรวินนิ่ง (Electrowinning) ได้ แต่สารละลายที่ได้จากการชะละลายเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความเข้มข้นของทองคำในปริมาณที่มากพอที่จะแยกด้วยไฟฟ้า จึงไม่จำเป็นต้องนำสารละลายที่ได้ไปผ่านกระบวนการดูดซับทองคำด้วยถ่านกัมมันต์ดังเช่นกระบวนการแยกทองคำออกจากสารละลายที่ได้จากสินแร่ ดังนั้น สารละลายที่ได้จากการชะละลายเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถนำไปผ่านกระบวนการแยกด้วยไฟฟ้าแบบอิเล็กโตรวินนิ่ง (Electrowinning) โดยการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการแยกทองคำออกจากสารละลายมีรายละเอียดและขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

— วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

- (1) สารละลายไซยาไนด์ที่มีทองคำละลายอยู่
- (2) เซลล์ไฟฟ้าที่ทำจากถังพลาสติกทนกรด-ด่าง
- (3) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับ-ตรง
- (4) ขั้วบวกทำจากสแตนเลส เกรด 304
- (5) ขั้วลบทำจากฝอยเหล็ก

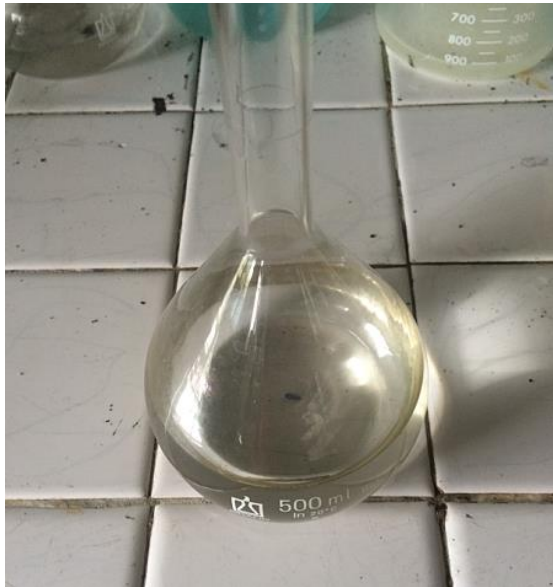
(6) กรดซัลฟูริกร้อยละ 98 เกรดการค้า

— อุปกรณ์ที่ใช้

- (1) ภาชนะทน กรด-ด่าง
- (2) อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น ถุงมือยาง หน้ากากป้องกันสารเคมี
- (3) ระบบดูดและบำบัดอากาศ

— วิธีการทดสอบ

(1) นำสารละลายไซยาไนด์ที่มีทองคำละลายอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 5.8 มาผ่านกระบวนการแยกทองออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมี โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ขั้วบวกเป็นแผ่นสแตนเลส ขั้วลบเป็นฝอยเหล็ก ในที่ซึ่งมีระบบดูดและบำบัดอากาศ ดังแสดงที่รูปที่ 5.9



รูปที่ 5.8 สารละลายไซยาไนด์ที่มีทองคำละลายอยู่



รูปที่ 5.9 การแยกทองออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมี

(2) เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าตรงประมาณ 4 โวลต์ จะเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วทั้งสอง โดยทองคำจะมาเกาะขั้วลบที่เป็นฝอยเหล็ก โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ ดังสมการที่ 5.4 และ 5.5 (ปราโมทย์ ภูพานทอง (2545))



ในส่วนของขั้วบวกจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังสมการที่ 5.6



จากนั้นนำฝอยเหล็กซึ่งมีทองคำอยู่ไปผ่านขั้นตอนต่อไป อย่างไรก็ตาม หากเป็นสารละลายที่ได้จากกระบวนการแยกทองคำจากสินแร่ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของทองคำต่ำ วัสดุที่ใช้ในการทำเป็นขั้วลบเพื่อแยกทองออกจากสารละลายจะใช้โลหะในกลุ่มสแตนเลส เนื่องจากสารละลายที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมีความเข้มข้นของทองคำต่ำ ทำให้เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลาย ทองคำจะไม่มาเกาะแน่นที่ขั้วลบ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นตะกอนจมลงในสารละลาย ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการแยกทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทองคำจะมาเกาะแน่นที่ขั้วลบที่เป็นฝอยเหล็ก โดยจะต้องนำฝอยเหล็กที่มีทองคำเกาะอยู่ดังกล่าวไปผ่านกระบวนการแยกทองคำออกจากฝอยเหล็กต่อไป

(3) นำฝอยเหล็กดังกล่าวมาล้างด้วยน้ำสะอาด ก่อนจะนำไปแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 10% โดยปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 5.10 ฝอยเหล็กจะทำปฏิกิริยากับกรดกลายเป็นสารละลาย เหลือแต่ผงทองที่มีเหล็กเจือปนในปริมาณน้อย ดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.10 การชะละลายฝอยเหล็กออกจากทอง



รูปที่ 5.11 ผงทองที่มีเหล็กเจือปนในปริมาณน้อย

5.3.4 กระบวนการหลอมทองคำที่ได้จากกระบวนการไฟฟ้าเคมีและการนำไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ผงทองที่ได้จากกระบวนการไฟฟ้าเคมีทั้งที่ได้จากกระบวนการแยกทองคำจากสินแร่และเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยังมีความบริสุทธิ์ที่ไม่สูงมากนัก เนื่องจากยังมีโลหะบางชนิดปนเปื้อนอยู่ในทองคำ เช่น เหล็ก ทองแดง เป็นต้น จึงต้องไปผ่านกระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ด้วยกระบวนการโลหวิทยาความร้อนหรือโลหวิทยาสารละลาย ดังนี้

1) กระบวนการโลหวิทยาความร้อน โดยการนำผงทองที่ได้มาผสมกับฟลักซ์ ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต คาร์บอน บอแรกซ์ โซเดียมไนเตรต แล้วนำไปหลอมถลุงที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดโลหะปนเปื้อนซึ่งจะถูกละลายแยกจากทองคำโดยฟลักซ์กลายเป็นสแลก ทำให้ทองคำที่ได้มีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 การเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำด้วยกระบวนการโลหวิทยาความร้อน

2) กระบวนการโลหวิทยาสารละลาย โดยการนำผงทองที่ได้มาชะละลายด้วยสารละลายเคมีที่สามารถละลายทองได้อย่างรวดเร็ว ได้แก่ กรดกัดทอง ซึ่งเกิดจากการผสมกันระหว่างกรดไนตริก น้ำ และกรดไฮโดรคลอริก ในอัตราส่วน 1:2:3 ทำให้ทองคำกลายเป็นโลหะอีกครั้ง โดยการตกตะกอนทองด้วยสารประกอบซัลไฟด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.13 กรองแยกผงทองออกจากกรดกัดทองแล้วนำไปหลอม จะทำให้ทองคำที่ได้มีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.13 การเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำด้วยกระบวนการโลหวิทยาสารละลาย



รูปที่ 5.14 ทองคำได้จากการเพิ่มความบริสุทธิ์

5.4 ของเสียที่มีศักยภาพในการนำมารีไซเคิลสังกะสี

5.4.1 ข้อมูลทั่วไป

สังกะสีเป็นหนึ่งในกลุ่มโลหะที่ไม่ใช่เหล็กที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากสังกะสีเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของอุตสาหกรรมที่สำคัญต่าง ๆ อาทิ อุตสาหกรรมการชุบเคลือบผิวโลหะเหล็ก อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ทองเหลือง อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมดังกล่าวจะมีของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เช่น ฝุ่นและกากตะกอนที่เกิดจากการหลอมหรือการชุบโลหะด้วยความร้อน เป็นต้น ซึ่งของเสียดังกล่าวมักมีสังกะสีเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต โดยส่วนใหญ่หากเป็นกระบวนการทางความร้อน ของเสียที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณสังกะสีสูงมากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เนื่องจากสังกะสีมีจุดเดือดต่ำที่ 900 องศาเซลเซียส ทำให้ในกระบวนการทางความร้อน สังกะสีจะเกิดการระเหยกกลายเป็นไอและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นฝุ่น โดยในการศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นการรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน (Hot-Dipped Galvanizing) ด้วยการนำมารีไซเคิลเพื่อแยกสกัดโลหะสังกะสี

5.4.2 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี

ฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน (Hot-Dipped Galvanizing) มีลักษณะเป็นผงขนาดเล็ก มีขนาดเฉลี่ย 50 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 5.15 และมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF หรือ X-ray Fluorescence Spectrometer จากผลการวิเคราะห์

ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ผุ่นสังกะสีประกอบด้วยธาตุสังกะสีร้อยละ 96.75 และมีธาตุอื่นเจือปนในปริมาณน้อย อาทิ คลอรีน เหล็ก ตะกั่ว ถึงแม้ว่าผุ่นดังกล่าวจะประกอบไปด้วยโลหะสังกะสีเป็นส่วนใหญ่ แต่ไม่สามารถนำไปใช้งานในรูปของโลหะได้ เนื่องจากผุ่นสังกะสีมีขนาดเล็ก หากโดนความร้อนจะทำให้เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้ง่าย



รูปที่ 5.15 ผุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน

ตารางที่ 5.1 องค์ประกอบทางเคมีของผุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก (wt%)
Zn	96.75
Cl	1.38
Fe	0.73
Pb	0.71
Si	0.15
Al	0.10
Ni	0.078
Cu	0.032
Ca	0.024
S	0.009
Mn	0.006

5.5 การจัดการและเทคโนโลยีรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อนในประเทศ

ในปัจจุบัน จากการลงพื้นที่สำรวจกับผู้ประกอบการรีไซเคิลในประเทศ พบว่ามีการรับฝุ่นสังกะสีดังกล่าวไปรีไซเคิล โดยส่วนใหญ่จะนำไปผลิตเป็นสารประกอบของสังกะสี เช่น สังกะสีออกไซด์ สังกะสีซัลเฟต เป็นต้น แต่ไม่พบว่ามีหรือนำมาผลิตเป็นโลหะสังกะสีแต่อย่างใด

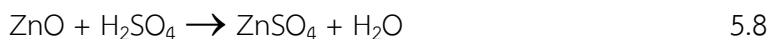
5.6 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตสังกะสีจากสินแร่เพื่อการรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน และการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการ

5.6.1 กระบวนการบดละเอียดและการคัดขนาดและการนำไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน

เนื่องจากกระบวนการผลิตสังกะสีจากสินแร่ ส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการด้านโลหวิทยาละลายเป็นหลัก โดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเป็นสารละลายสังกะสีออกจากสินแร่ ทำให้ต้องมีการบดสินแร่ละเอียด เพื่อให้สังกะสีสามารถละลายได้เร็วขึ้นในกระบวนการละลาย แต่ส่วนใหญ่ฝุ่นสังกะสีดังกล่าวมีลักษณะเป็นผงที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับการละลายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก จึงไม่จำเป็นต้องนำฝุ่นสังกะสีดังกล่าวไปผ่านกระบวนการบดละเอียดดังเช่นกระบวนการผลิตสังกะสีจากสินแร่

5.6.2 กระบวนการละลายสังกะสีจากสินแร่และการนำไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน

กระบวนการละลายสังกะสีจากสินแร่จะใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเป็นสารละลายสังกะสีออกจากสินแร่ เนื่องจากเป็นกรดที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับกรดชนิดอื่น และมีความสามารถละลายสังกะสีหรือสารประกอบของสังกะสีได้ดี ดังสมการที่ 5.7 และ 5.8



โดยความเข้มข้นของกรดที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสังกะสีที่มีในวัตถุดิบ ดังนั้น สามารถประยุกต์ใช้กระบวนการละลายสังกะสีจากสินแร่ในการรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน โดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเป็นสารละลายสังกะสีออกจากฝุ่นสังกะสี ความเข้มข้นของกรดประมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการของกระบวนการละลายสังกะสีจากฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน มีรายละเอียดและขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

— วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

- (1) ฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน
- (2) กรดซัลฟูริกร้อยละ 98 เกรดการค้า
- (3) น้ำกลั่น

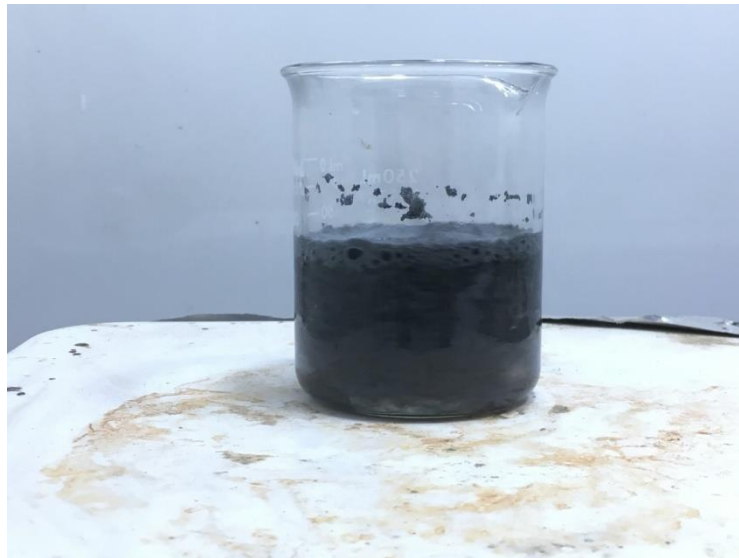
— อุปกรณ์ที่ใช้

- (1) ภาชนะทน กรด-ด่าง
- (2) อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น ถุงมือยาง หน้ากากป้องกันสารเคมี
- (3) ระบบดูดและบำบัดอากาศ

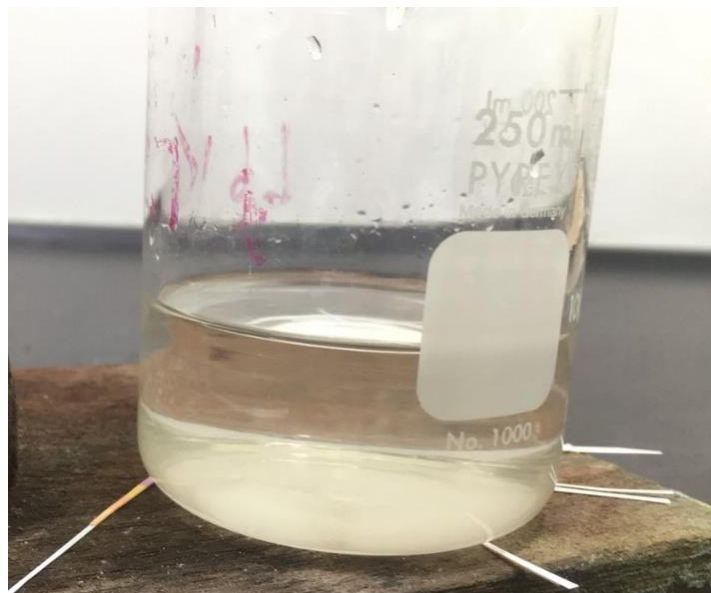
— วิธีการทดสอบ

(1) เตรียมสารละลายสำหรับชะละลายโดยผสมกรดซัลฟูริกกับน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นตามกำหนดที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร จำนวน 100 มิลลิลิตร

(2) นำฝุ่นสังกะสีปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงไปในสารละลายกรดซัลฟูริก เพื่อทำการชะละลายสังกะสีจากฝุ่น ดังแสดงในรูปที่ 5.16 เมื่อฝุ่นสังกะสีละลายจนหมด กรองแยกสารละลายออกจากของแข็งที่ไม่ละลาย จะได้สารละลายสังกะสีที่มีสีขาวใส และมีสีเหลืองเล็กน้อย มีค่า pH ประมาณ 4 ดังแสดงในรูป 5.17



รูปที่ 5.16 การชะละลายสังกะสีจากฝุ่น



รูปที่ 5.17 สารละลายสังกะสี

5.6.3 กระบวนการทำสารละลายสังกะสีให้บริสุทธิ์และการนำไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน

ในกระบวนการแยกสังกะสีออกจากสารละลายกรดซัลฟิวริกด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี สารละลายที่จะนำไปผ่านกระบวนการดังกล่าวจะต้องมีความบริสุทธิ์ โดยไม่มีหรือมีโลหะอื่น ๆ ละลายอยู่ในสารละลายในปริมาณน้อยมาก เนื่องจากหากมีโลหะอื่น ๆ เช่น ทองแดง เหล็ก เป็นต้น จะทำให้ความบริสุทธิ์ของโลหะสังกะสีที่ได้จากกระบวนการไฟฟ้าเคมีลดลง และทำให้ประสิทธิภาพในการแยกด้วยไฟฟ้าเคมีมีค่าต่ำ

กระบวนการทำสารละลายที่ได้จากการชะละลายสินแร่สังกะสีด้วยกรดซัลฟิวริกให้บริสุทธิ์ จะใช้กระบวนการที่สำคัญ ดังนี้

1) การตกตะกอนด้วยสารเคมี โดยการเติมสารเคมีเพื่อตกตะกอนโลหะหนักออกจากสารละลาย หรือที่เรียกว่า Jarosite Precipitation Process

2) การแทนที่ด้วยโลหะหรือที่เรียกว่า Cementation Process โดยการใช้ผงสังกะสีที่มีความบริสุทธิ์ละลายลงในสารละลายที่สถานะเหมาะสม สังกะสีจะละลายลงในสารละลาย ส่วนโลหะอื่น ๆ ที่ละลายอยู่ในสารละลาย เช่น ทองแดง เป็นต้น จะตกตะกอนแยกออกจากสารละลาย ดังสมการที่ 5.9 และ 5.10



ทั้งนี้ การนำกระบวนการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่เกิดขึ้นจากกระบวนการชุบเคลือบผิวโลหะเหล็ก จะใช้กระบวนการแทนที่ด้วยโลหะ เนื่องจากวัตถุดิบตั้งต้นที่เป็นฝุ่นสังกะสีมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่น้อยมาก จึงไม่จำเป็นต้องมีการตกตะกอนโลหะหนักออกจากสารละลาย การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการของกระบวนการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ มีรายละเอียดและขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

— วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

- (1) สารละลายที่ได้จากกระบวนการชะละลายฝุ่นสังกะสีด้วยกรดซัลฟิวริก
- (2) ผงสังกะสี
- (3) กรดซัลฟิวริกร้อยละ 98 เกรดการค้า

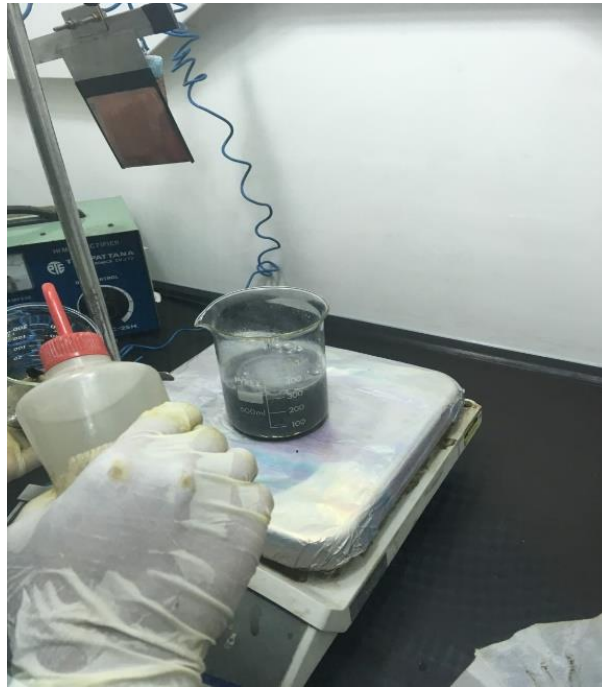
— อุปกรณ์ที่ใช้

- (1) ภาชนะทน กรด-ด่าง
- (2) อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น ถุงมือยาง หน้ากากป้องกันสารเคมี
- (3) ระบบดูดและบำบัดอากาศ
- (4) ระบบกวนสารละลาย

— วิธีการทดสอบ

(1) นำสารละลายที่ได้จากกระบวนการชะละลายฝุ่นสังกะสีด้วยกรดซัลฟิวริก ปริมาณ 100 มิลลิลิตร มาปรับค่าพีเอชให้อยู่ระหว่าง 1-2 จากนั้น เติมผงสังกะสีจำนวน 0.5 กรัม กวนสารละลายที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5.18

(2) สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย หากมีตะกอนเกิดขึ้นให้กรองแยกตะกอนออกจากสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 5.19 จะทำให้ได้สารละลายสังกะสีที่มีความบริสุทธิ์สูง



รูปที่ 5.18 การแทนที่ด้วยโลหะ



รูปที่ 5.19 ตะกอนที่ได้จากการแทนที่ด้วยโลหะ

5.6.4 กระบวนการแยกสังกะสีออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมีและการนำไปประยุกต์ใช้ในการรีไซเคิลฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน

การแยกสังกะสีออกจากสารละลายที่ได้จากการชะละลายสังกะสีจากสินแร่สามารถทำได้ โดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning โดยใช้ขั้วบวกเป็นโลหะที่ไม่ละลายหรือละลายได้น้อยในกรดซัลฟูริก ได้แก่ โลหะตะกั่ว ซึ่งอาจผสมโลหะอื่นเพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่ต้องการ เช่น ผสมโลหะเงินร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการนำไฟฟ้า เป็นต้น ขั้วลบเป็นโลหะในกลุ่มอะลูมิเนียมหรือสแตนเลส โดยจะเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญขึ้นที่ขั้วลบ ดังสมการที่ 5.11



ในส่วนของขั้วบวกจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังสมการที่ 5.12



ดังนั้น การแยกสังกะสีออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมีดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกสังกะสีออกจากสารละลายสังกะสีที่ได้จากการชะละลายฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน โดยการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการของการแยกสังกะสีออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมี มีรายละเอียดและขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

— **วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้**

- (1) สารละลายที่ได้จากกระบวนการทำสารละลายสังกะสีให้บริสุทธิ์
- (2) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับ-ตรง
- (3) ขั้วบวกทำจากโลหะตะกั่ว
- (4) ขั้วลบทำจากแสดนเลส

— **อุปกรณ์ที่ใช้**

- (1) ภาชนะทน กรด-ด่าง
- (2) อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น ถุงมือยาง หน้ากากป้องกันสารเคมี
- (3) ระบบดูดและบำบัดอากาศ

— **วิธีการทดสอบ**

- (1) นำสารละลายที่ได้จากกระบวนการทำสารละลายสังกะสีให้บริสุทธิ์จำนวน 1,000 มิลลิลิตร มาแยกสังกะสีออกจากสารละลายโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ขั้วบวกเป็นโลหะตะกั่ว ขั้วลบเป็นแสดนเลส ในที่มีระบบดูดและบำบัดอากาศ ดังแสดงที่รูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 การแยกสังกะสีออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าเคมี

- (2) เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ความต่างศักย์ประมาณ 3.5 โวลต์ โลหะสังกะสีจะมาเกาะที่ขั้วลบกลายเป็นโลหะสังกะสี ดังแสดงในรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 โลหะสังกะสีที่ขั้วลบ

(3) เมื่อนำสังกะสีที่ได้จากขั้วลบไปหลอมที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส จะได้ก้อนโลหะสังกะสี ดังแสดงในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 ก้อนโลหะสังกะสี

บทที่ 6

สรุปผลที่ได้จากการศึกษาและข้อเสนอแนะ

เนื้อหาในบทนี้ประกอบไปด้วยผลที่ได้จากการศึกษาและข้อเสนอแนะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 สรุปผลที่ได้จากการศึกษา

จากผลที่ได้จากการศึกษาและสำรวจข้อมูลเทคโนโลยีการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่ ได้แก่ ทองคำ สังกะสี และข้อมูลของเสียที่มีศักยภาพในการนำมารีไซเคิล รวมถึงการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีรีไซเคิลโลหะทองคำและสังกะสีในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) จากของเสียสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) การรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถนำเทคโนโลยีการผลิตโลหะทองคำจากแร่มาประยุกต์ใช้ ได้แก่ กระบวนการชะละลายทองคำด้วยไซยาไนด์ กระบวนการแยกทองคำออกจากสารละลายด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning
- 2) การรีไซเคิลสังกะสีจากฝุ่นสังกะสีที่ได้จากกระบวนการชุบร้อน สามารถนำเทคโนโลยีการผลิตโลหะสังกะสีจากแร่มาประยุกต์ใช้ ได้แก่ กระบวนการชะละลายสังกะสีด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก กระบวนการทำสารละลายสังกะสีให้บริสุทธิ์แบบ Cementation Process กระบวนการแยกสังกะสีออกจากสารละลายด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning
- 3) จากการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีรีไซเคิลโลหะทองคำและสังกะสีในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) พบว่า มีความเป็นไปได้ในการรีไซเคิลโลหะทองคำและสังกะสี โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตโลหะดังกล่าวจากแร่
- 4) ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จะเป็นแนวทางที่สำคัญในการศึกษาวิจัยในเชิงลึกสำหรับนักวิจัย นักวิชาการและผู้สนใจที่จะนำไปใช้ในการศึกษาทดลองขยายผลเทคโนโลยีรีไซเคิลโลหะเป้าหมายในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) และโรงงานต้นแบบ (Pilot Scale) ต่อไปในอนาคต

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาทั้งหมด ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- 1) การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาและสำรวจข้อมูลเทคโนโลยีการผลิตโลหะเป้าหมายจากแร่ มุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของเทคโนโลยีรีไซเคิลในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) จากของเสีย อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงการศึกษาทดลอง เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในกระบวนการดังกล่าว ดังนั้น เพื่อให้ครอบคลุมการศึกษาทดลองที่เกี่ยวข้องทั้งหมด จึงเห็นควรมีการศึกษาทดลองเรื่องดังกล่าวเพิ่มเติม
- 2) เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เช่น ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการ ผลการประเมินความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ เป็นต้น นอกจากการศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) แล้ว ควรขยายการทดลองขึ้นไปในระดับโรงงานต้นแบบ (Pilot Scale)

บรรณานุกรม

- กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน (2551), โลหะกับการพัฒนาประเทศ (ทองคำ), Available at:
www.dpim.go.th/articles/article?catid=125&articleid=3269 (Accessed: 10/07/2018)
- กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน (2551), โลหะกับการพัฒนาประเทศ (สังกะสี), Available at:
www.dpim.go.th/articles/article?catid=125&articleid=3269 (Accessed: 10/07/2018)
- ธีรารักษ์ ตันนุกิจ (2558), การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโลหวิทยาและแต่งแร่ เพื่อการออกแบบศูนย์เทคโนโลยีรีไซเคิล, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
- Simo Keskinen (2013), **Comparison of Cyanide and Thiosulphate Leaching for Gold Production**, Available at: <https://www.doria.fi/.../Comparison%20of%20Cyanide%20and%20Thios> (Accessed: 10/07/2018)
- Terry I. Mudder, Michael M. Botz, Adrian Smith, **Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes**, Available at: <http://dana6.free.fr/2%20SO2-Air%20cyanide%20oxydation.pdf> (Accessed: 10/07/2018)
- F. Arslan, D.Y. Ozdamar, M. Muduroglu (2013), **Cyanidation of Turkish gold-silver ore and the use of hydrogenperoxide**, Available at:
https://www.researchgate.net/publication/266351631_Cyanidation_of_Turkish_gold-silver_ore_and_the_use_of_hydrogen_peroxide (Accessed: 10/07/2018)
- ศรากร อักษรแก้ว (2559), การพัฒนาน้ำยาลอกทองที่มีส่วนผสมของไฮยาไนด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
- ปราโมทย์ ภูพานทอง (2545), การศึกษาผลของตัวแปรต่อการแยกทองจากสารละลายไฮยาไนด์ด้วยไฟฟ้า, กองโลหกรรม กรมทรัพยากรธรณี

