
การเชื่อมโยงของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน
ในอุตสาหกรรมโลหการ :
กรณีศึกษาการใช้ของเสียจากโรงประกอบโลหกรรมสังกะสี
เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับโรงประกอบโลหกรรมตะกั่ว

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

การเชื่อมโยงของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน
ในอุตสาหกรรมโลหการ :
กรณีศึกษาการใช้ของเสียจากโรงประกอบโลหกรรมสังกะสี
เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับโรงประกอบโลหกรรมตะกั่ว

ฉวีวรรณ จันทร์ณร
กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน

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, กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน.

การเชื่อมโยงของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในอุตสาหกรรมโลหการ :

กรณีศึกษาการใช้ของเสียจากโรงประกอบโลหะกรรมสังกะสีเป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับ
โรงประกอบโลหะกรรมตะกั่ว/

โดย ฉวีวรรณ จันทร์ณร, กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน. กรุงเทพฯ :

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2561.

39 หน้า : ภาพประกอบ : ตาราง ; 30 ซม.

รายงานวิชาการ

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมผลิตโลหะตะกั่วในประเทศไทย มีการพัฒนามานานกว่า 30 ปี โดยเริ่มต้นจากการถลุงแร่ตะกั่วจากแหล่งแร่ในประเทศเพื่อนำไปใช้ผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ แต่ด้วยข้อจำกัดของแหล่งแร่ที่มีอยู่อย่างจำกัด ปัจจุบันจึงต้องอาศัยกระบวนการรีไซเคิลตะกั่วจากซากแบตเตอรี่รถยนต์ใช้งานแล้วเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม ด้วยปริมาณความต้องการใช้โลหะตะกั่วที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้การหมุนเวียนซากแบตเตอรี่ใช้แล้วในประเทศมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการผลิตของอุตสาหกรรมโลหะตะกั่ว และจำเป็นต้องแสวงหาแหล่งวัตถุดิบทดแทนอื่น ๆ มาใช้ในการผลิต ซึ่งจากการสำรวจและศึกษาข้อมูลการผลิตของอุตสาหกรรมโลหการประเภทอื่น ๆ ในประเทศ พบว่า มีการใช้โลหะตะกั่วในกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีบริสุทธิ์ด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะมีของเสียที่เป็นเศษผงหรือฝุ่นที่มีโลหะตะกั่วเป็นองค์ประกอบเกิดขึ้นจำนวนมาก ดังนั้นจึงทดลองนำของเสียจากกระบวนการผลิตสังกะสีที่มีโลหะตะกั่วนี้ กลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนให้กับอุตสาหกรรมการผลิตตะกั่ว ทั้งนี้จากการทดลอง พบว่า วัตถุดิบชนิดนี้สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบทางเลือกในอุตสาหกรรมรีไซเคิลโลหะตะกั่ว โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมกระบวนการผลิต ทำให้สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียดังกล่าวได้มากกว่า 40% ซึ่งจะเป็นเหตุผลจูงใจสำหรับการขยายผลเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต ดังนั้นการศึกษานี้ นอกจากจะช่วยให้ผู้ประกอบการมีทางเลือกในการใช้วัตถุดิบทดแทนซากแบตเตอรี่ใช้แล้ว อีกทั้งยังเป็นการหมุนเวียนของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องนำไปจัดการด้วยวิธีฝังกลบและช่วยลดต้นทุนการผลิตให้กับผู้ประกอบการได้อีกด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ของการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ต่อภารกิจของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่	2
2. การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตและสภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบและของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตโลหะสังกะสีและตะกั่ว	4
2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตโลหะสังกะสีและตะกั่ว	4
2.2 สภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบและของเสียที่เกิดจากการผลิตโลหะสังกะสีและตะกั่ว	5
3. เทคโนโลยีการนำของเสียเป้าหมายจากกระบวนการผลิตสังกะสีมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตตะกั่ว	10
3.1 ของเสียเป้าหมายจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี	10
3.2 เทคโนโลยีการผลิตโลหะตะกั่ว	12
3.3 เทคโนโลยีการนำผงตะกั่วจากกระบวนการผลิตสังกะสีมาใช้ผลิตตะกั่ว	19
4. การศึกษาทดลองและผลที่ได้	20
4.1 การศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ	20
4.2 การศึกษาทดลองในระดับโรงงานต้นแบบ	22
5. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์	28
5.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์	28
6. สรุปผลที่ได้จากการศึกษาและข้อเสนอแนะ	30
6.1 สรุปผลที่ได้จากการศึกษา	30
6.2 ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม	32

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ข้อมูลการผลิตโลหะสังกะสี ระหว่างปี 2557-2560	4
2.2 รายชื่อบริษัทผู้ผลิตโลหะตะกั่ว	5
2.3 ข้อมูลการผลิตโลหะตะกั่วของประเทศไทย ระหว่างปี 2557-2560	5
2.4 แหล่งกำเนิดและวิธีการจัดการ ของเสียอุตสาหกรรมที่เกิดจากผลิตโลหะตะกั่ว	9
3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงตะกั่ว	11
3.2 องค์ประกอบของเศษแบตเตอรี่ใช้แล้ว	16
4.1 อัตราส่วนของวัตถุดิบ	21
4.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	25
4.3 ผลผลิตที่ได้จากการทดลอง	26
4.4 โลหะที่ได้จากการหลอมถลุง	26
5.1 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์	28
5.2 ผลวิเคราะห์โลหะเงินที่มีอยู่ในตัวอย่าง	29

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตข้าวแอนด์โนดสำหรับแยกโลหะสังกะสีบริสุทธิ์ด้วยกระแสไฟฟ้า	7
3.1 แผนภาพขั้นตอนในการแยกโลหะสังกะสีจากสินแร่และของเสียที่เกิดขึ้น	10
3.2 ขั้นตอนการเกิดผงตะกั่ว	11
3.3 ขั้นตอนการกลั่นแร่ซีรัสไซด์	12
3.4 SO ₂ Scrubber	14
3.5 ขั้นตอนการกลั่นแร่ตะกั่วซัลไฟด์	15
3.6 เศษแบตเตอรี่ใช้แล้ว	16
3.7 ขั้นตอนการกลั่นตะกั่วจากซากแบตเตอรี่ใช้แล้ว	18
4.1 ผงตะกั่ว	20
4.2 CaO-FeO-SiO ₂ equilibrium phase	21
4.3 ขั้นตอนการศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ	22
4.4 ผลการศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ	22
4.5 เหล็กออกไซด์ (FeO)	23
4.6 ปูนขาว (CaO)	23
4.7 ททราย (SiO ₂)	23
4.8 ถ่านหินแอนทราไซด์	24
4.9 Short Rotary Furnace	24
4.10 เครื่องจักรอุปกรณ์สำหรับผสม	25
4.11 ภาพขณะสำหรับรองรับโลหะหลอมเหลว	25
4.12 การนำวัตถุดิบทั้งหมดใส่ลงไปเตาหลอม	26
4.13 ขั้นตอนการศึกษาทดลองในระดับโรงงานต้นแบบ	27

บทที่ 1

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วย หลักการและเหตุผล วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา และประโยชน์ของการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 หลักการและเหตุผล

อุตสาหกรรมโลหการ นับเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ทำหน้าที่ผลิตโลหะสำหรับใช้วัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ เครื่องจักรกล และบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น สำหรับอุตสาหกรรมโลหการของประเทศไทย มีอุปสรรคที่สำคัญในปัจจุบันคือกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ โดยเฉพาะทรัพยากรธรรมชาติจำพวกแร่โลหะต่าง ๆ ดังนั้นผู้ประกอบการภายในประเทศ จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ และหันมาใช้วัตถุดิบทดแทนต่าง ๆ ได้แก่ เศษโลหะและของเสียที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ เพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดได้

อุตสาหกรรมผลิตโลหะตะกั่วในประเทศไทย มีการผลิตมาเป็นเวลานานกว่า 30 ปี โดยเริ่มแรกเป็นการถลุงแร่ตะกั่วจากแหล่งแร่ในประเทศเพื่อผลิตโลหะตะกั่ว ซึ่งมีการใช้งานส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 90 สำหรับผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ แต่ด้วยปริมาณแร่ตะกั่วที่มีจำกัด ทำให้เหมืองแร่ตะกั่วต้องหยุดการประกอบการทั้งหมด ผู้ประกอบการผลิตโลหะตะกั่วในปัจจุบันจึงต้องอาศัยกระบวนการรีไซเคิลตะกั่วจากซากแบตเตอรี่รถยนต์ใช้งานแล้ว สำหรับใช้วัตถุดิบหลักในการผลิต อย่างไรก็ตาม ด้วยปริมาณความต้องการใช้โลหะตะกั่วที่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการขยายตัวของอุตสาหกรรมยานยนต์ ทำให้การหมุนเวียนซากแบตเตอรี่ใช้แล้วในประเทศมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการผลิตของอุตสาหกรรมโลหะตะกั่ว และจำเป็นต้องแสวงหาแหล่งวัตถุดิบทดแทนอื่น ๆ มาใช้ในการผลิต โดยที่ผ่านมาผู้ประกอบการก็จะใช้ของเสียภายในโรงงานที่ยังมีโลหะตะกั่วหลงเหลืออยู่ เช่น ผงตะกั่วที่เก็บได้จากกระบวนบำบัดอากาศ ตะกรันตะกั่วจากเตาหลอม และเศษโลหะตะกั่วในกระบวนการหล่อโลหะตะกั่วแท่ง กลับมาใช้ผสมกับวัตถุดิบเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต แต่ก็ยังไม่เพียงพออยู่ดี

จากการสำรวจและศึกษาข้อมูลการผลิตของอุตสาหกรรมโลหการประเภทอื่น ๆ ในประเทศ พบว่ามีการใช้โลหะตะกั่วในกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) โดยจะใช้เป็นขั้วไฟฟ้า (ขั้วบวกหรือแอโนด) สำหรับกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีบริสุทธิ์ด้วยกระแสไฟฟ้า และเนื่องจากบริษัทผาแดงฯ เป็นผู้ผลิตโลหะสังกะสีรายใหญ่ในภูมิภาคอาเซียนที่มีกำลังการผลิตโลหะสังกะสีแคดโทดปริมาณ 100,000 ตันต่อปี ทำให้มีการใช้โลหะตะกั่วจำนวนมาก และในขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าที่ทำจากตะกั่วก็จะมีของเสียที่เป็นเศษผงหรือฝุ่นที่มีโลหะตะกั่วเป็นองค์ประกอบเกิดขึ้นจำนวนมาก ดังนั้นผู้ศึกษาจึงมีแนวความคิดที่จะนำของเสียจากกระบวนการผลิตสังกะสีที่มีโลหะตะกั่วนี้ กลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนให้กับอุตสาหกรรมการผลิตตะกั่ว ซึ่งจะช่วยให้ผู้ประกอบการมีทางเลือกในการใช้วัตถุดิบทดแทนซากแบตเตอรี่ใช้แล้ว อีกทั้งยังเป็นการหมุนเวียนของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องนำไปจัดการด้วยวิธีฝังกลบและช่วยลดต้นทุนการผลิตให้กับผู้ประกอบการได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อการวิเคราะห์สภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบ และของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบโลหกรรม
- 2) เพื่อนำเสนอเทคโนโลยีการนำของเสียจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตตะกั่ว

3) เพื่อวิเคราะห์ ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษา สำรวจ วิเคราะห์ข้อมูลการผลิตของโรงประกอบโลหะกรรมเป้าหมายและศึกษาสภาพปัญหาเรื่องบริหารจัดการวัตถุดิบและของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบโลหะกรรม
- 2) ศึกษาข้อมูลเทคโนโลยีการนำของเสียจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตโลหะตะกั่ว
- 3) ศึกษาทดลองเทคโนโลยีการนำของเสียจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตโลหะตะกั่วทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและโรงงานต้นแบบ
- 4) วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์
- 5) สรุปผลในการทดลองและข้อเสนอแนะ

1.4 ประโยชน์ของการศึกษา

- 1) เป็นประโยชน์กับผู้ประกอบการเนื่องจากการทดลองที่เลือกของเสียเป็นกรณีศึกษาโดยกระบวนการผลิตต้นแบบที่ได้จากการศึกษานี้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้และสร้างแรงจูงใจให้เกิดการลงทุนในเชิงพาณิชย์ได้
- 2) ผู้ประกอบการสามารถนำกระบวนการผลิตไปขยายผลในเชิงพาณิชย์ทันที เนื่องจากกรณีศึกษาได้ทดลองกับวัตถุดิบที่มีในประเทศและเสนอเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนและลงทุนไม่สูง
- 3) ต้นแบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการนำของเสียประเภทอื่น ๆ มาเป็นวัตถุดิบทดแทนให้กับโรงประกอบโลหะกรรม
- 4) ผู้ที่เกี่ยวข้องได้พัฒนาความรู้ด้านเทคโนโลยีโลหวิทยา รวมทั้งการบริหารจัดการวัตถุดิบ และของเสียในอุตสาหกรรมโลหกรรม
- 5) ผู้ประกอบการเกิดแรงจูงใจในการเชื่อมโยงวัตถุดิบและของเสียต่าง ๆ ในโรงงานของตนกับกลุ่มผู้ประกอบการเดียวกัน เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าที่สุด
- 6) หน่วยงานภาครัฐในการจัดการของเสียอุตสาหกรรมและการจัดหาวัตถุดิบให้แก่ผู้ประกอบการโลหะกรรมที่นับวันจะลดน้อยลง หน่วยงานภาครัฐใช้ข้อมูลในการกำหนดนโยบาย 3 R (Reduce Reuse Recycle) เพื่ออนุรักษ์และใช้ประโยชน์ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

1.5 ประโยชน์ต่อภารกิจของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

- 1) ช่วยพัฒนาบุคลากรของภาครัฐในด้านการวิชาการ ด้านการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ ด้านการคิดวิเคราะห์ และด้านการกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรม
- 2) ได้รับทราบข้อมูลและสภาพปัญหาที่ผู้ประกอบการประสบอยู่จริง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการประกอบธุรกิจในปัจจุบัน ดังนั้นจึงสามารถช่วยแก้ไขปัญหาให้แก่ผู้ประกอบการได้อย่างตรงจุด
- 3) เป็นการต่อยอดองค์ความรู้และสามารถเชื่อมโยงผลงานวิจัยอื่น ๆ ของกรมฯ ที่เคยศึกษาไว้ในอดีตมาใช้ในการพัฒนาผู้ประกอบการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนเป็นการนำข้อมูลการศึกษาในภาคทฤษฎีมาผลักดันให้เกิดการใช้งานจริงในเชิงปฏิบัติ หรือที่เรียกว่า “จากห้องสู่ห้าง”
- 4) สามารถช่วยสร้างเครือข่ายความร่วมมือของภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมโลหกรรมในการบริหารจัดการวัตถุดิบและการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงาน ซึ่งจะช่วยสร้างความมั่นคงด้านวัตถุดิบและช่วยลดของเสียที่ต้องส่งไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบให้หมดไป (Zero waste to landfill)

5) สามารถกำหนดแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมที่มีความยั่งยืน ซึ่งอาศัยความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน โดยมีเป้าหมายมุ่งสู่การประกอบการที่มีการปรับปรุงเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง เสริมสร้างความเข้มแข็งของคลัสเตอร์ และที่สำคัญมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน

บทที่ 2

การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตและสภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบ และของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตโลหะสังกะสีและตะกั่ว

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วย การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตโลหะสังกะสีและตะกั่ว สภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบและของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตโลหะสังกะสีและตะกั่ว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตโลหะสังกะสีและตะกั่ว

2.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตโลหะสังกะสี

ผู้ประกอบการผลิตโลหะสังกะสีในประเทศไทยมีเพียงรายเดียวคือ บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีกำลังการผลิตโลหะสังกะสีบริสุทธิ์และโลหะสังกะสีผสมประมาณ 105,000 ตันต่อปี และ 40,000 ตันต่อปี ตามลำดับ โรงงานผลิตสังกะสีของบริษัทฯ มี 2 แห่ง ได้แก่ โรงงานผลิตสังกะสีแคลโซไน จังหวัดระยอง และโรงงานถลุงสังกะสี จังหวัดตาก โดยแต่เดิมการผลิตสังกะสีจะใช้แร่สังกะสีซิลิเกตที่ได้จากเหมืองแม่สอดจังหวัดตากเท่านั้น แต่จากการที่ปริมาณสำรองของแร่สังกะสีลดลงทำให้ต้องนำเข้าแร่สังกะสีซิลไฟด์จากต่างประเทศเข้ามาเพิ่มเติม โดยจะส่งแร่สังกะสีซิลไฟด์ไปผ่านกระบวนการย่างแร่ก่อนที่โรงงานผลิตสังกะสีแคลโซไน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบในรูปสังกะสีออกไซด์หรือแคลโซไนรวมทั้งได้ผลิตภัณฑ์พลอยได้เป็นกรดกำมะถันเข้มข้นอีกด้วย ในส่วนของโรงงานถลุงสังกะสีจะใช้แร่สังกะสีซิลิเกตร่วมกับสังกะสีแคลโซไน ผ่านกระบวนการสกัดด้วยสารละลายเคมีแล้วนำไปแยกโลหะสังกะสีด้วยกระแสไฟฟ้า จนได้โลหะสังกะสีบริสุทธิ์ร้อยละ 99.995 นอกจากนี้บริษัทฯ ยังได้ก่อสร้างโรงงานแต่งแร่สังกะสีซิลิเกตคุณภาพต่ำในบริเวณเหมืองแม่สอด จังหวัดตาก เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับแร่จากร้อยละ 3-12 เป็นร้อยละ 20-30 ก่อนส่งไปใช้เป็นวัตถุดิบในการถลุงโลหะสังกะสีต่อไป

ข้อมูลการผลิตโลหะสังกะสีของประเทศไทยในปี 2560 พบว่า มีการผลิตโลหะสังกะสีแท่งบริสุทธิ์จำนวน 79,346 ตัน และมีการผลิตโลหะสังกะสีผสมจำนวน 36,405 ตัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยส่วนใหญ่จะจำหน่ายภายในประเทศ และมีบางส่วนที่ส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ สำหรับการใช้งานโลหะสังกะสีในประเทศ มีประมาณ 100,000 ตันต่อปี ทำให้ต้องมีการนำเข้าโลหะสังกะสีจากต่างประเทศเพิ่มเติม โดยคู่ค้ารายใหญ่ที่นำเข้าได้แก่ ออสเตรเลีย จีน และเกาหลีใต้ ซึ่งโลหะสังกะสีส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี การก่อสร้าง เครื่องจักรกล ผลิตภัณฑ์ทองเหลือง การหล่อ แม่พิมพ์ ท่อ ลวด และอุปกรณ์ข้อต่อต่าง ๆ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลการผลิตโลหะสังกะสี ระหว่างปี 2557-2560

หน่วย : เมตริกตัน

รายการ	2557	2558	2559	2560
ปริมาณการผลิตโลหะสังกะสีแท่ง	70,171	74,028	77,489	79,346
ปริมาณการผลิตโลหะสังกะสีผสม	31,207	34,032	40,205	36,405

(ที่มา : สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่)

2.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตโลหะตะกั่ว

ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตโลหะตะกั่วในประเทศไทยมีจำนวน 7 ราย มีกำลังการผลิตรวม 108,000 ตันต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยทั้งหมดใช้เศษแบตเตอรี่ภายในประเทศเป็นวัตถุดิบหลัก ผลิตภัณฑ์ที่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมตะกั่วสามารถผลิตได้ ได้แก่ โลหะตะกั่วบริสุทธิ์ ตะกั่วผสมพลวง และตะกั่วผสมแคลเซียม ซึ่งกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดจะส่งไปจำหน่ายให้กับอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ภายในประเทศ

ในปี 2560 ประเทศไทยมีการผลิตโลหะตะกั่วจำนวน 95,261 ตัน ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.3 ในขณะที่มีปริมาณความต้องการใช้โลหะตะกั่วประมาณ 150,000 ตัน โดยการใช้งานหลักจะอยู่ที่อุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตแบตเตอรี่ ดังนั้นประเทศไทยจึงต้องพึ่งพาการนำเข้าโลหะตะกั่วจากต่างประเทศไทยเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 2.2 รายชื่อบริษัทผู้ผลิตโลหะตะกั่ว

บริษัท	ที่ตั้ง	กำลังการผลิต (ตันต่อปี)
1. บริษัท ปัญญารักษา จำกัด	กาญจนบุรี	14,000
2. บริษัท ไทย-ไชน่านันเฟอร์เมทัล อินเทอร์เน็ตชั่นแนล จำกัด	นครสวรรค์	14,000
3. บริษัท เบอร์กโฮล์ เมทัลส์ จำกัด	สระบุรี	14,500
4. ห้างหุ้นส่วนจำกัด เลียงฮวดหล่อหลอมโลหะ	สมุทรปราการ	7,000
5. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วงศ์ตระกูลโลหะกิจ	นครปฐม	13,500
6. บริษัท ไทย นันเฟอร์ส เมทัล จำกัด	ฉะเชิงเทรา	31,000
7. บริษัท อุตสาหกรรมหลอมโลหะไทย จำกัด	ราชบุรี	14,000
รวม		108,000

(ที่มา : สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2560))

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลการผลิตโลหะตะกั่วของประเทศไทย ระหว่างปี 2557-2560

หน่วย : เมตริกตัน

รายการ	2557	2558	2559	2560
ปริมาณการผลิตโลหะตะกั่ว	99,536	93,151	97,308	95,261

(ที่มา : สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่)

2.2 สภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบและของเสียที่เกิดจากการผลิตโลหะสังกะสีและตะกั่ว

2.2.1 สภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบและของเสียที่เกิดจากการผลิตโลหะสังกะสี

1) สภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบของอุตสาหกรรมการผลิตโลหะสังกะสี

ผู้ประกอบการที่ผลิตโลหะสังกะสีมีเพียงบริษัท ฝาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ผลิตโลหะสังกะสีรายเดียวของประเทศ มีปัญหาที่สำคัญในเรื่องวัตถุดิบเนื่องจากปริมาณสำรองของแหล่งแร่สังกะสีในประเทศก็มีจำนวนลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้น บริษัทจึงต้องเร่งแก้ไขปัญหาดังกล่าวมาโดยตลอด ซึ่งที่ผ่านมาได้ทดลองนำหางแร่มาใช้ประโยชน์ และสามารถก่อสร้างโรงงานลอยแร่สังกะสีที่เหมืองแม่สอดเพื่อนำแร่

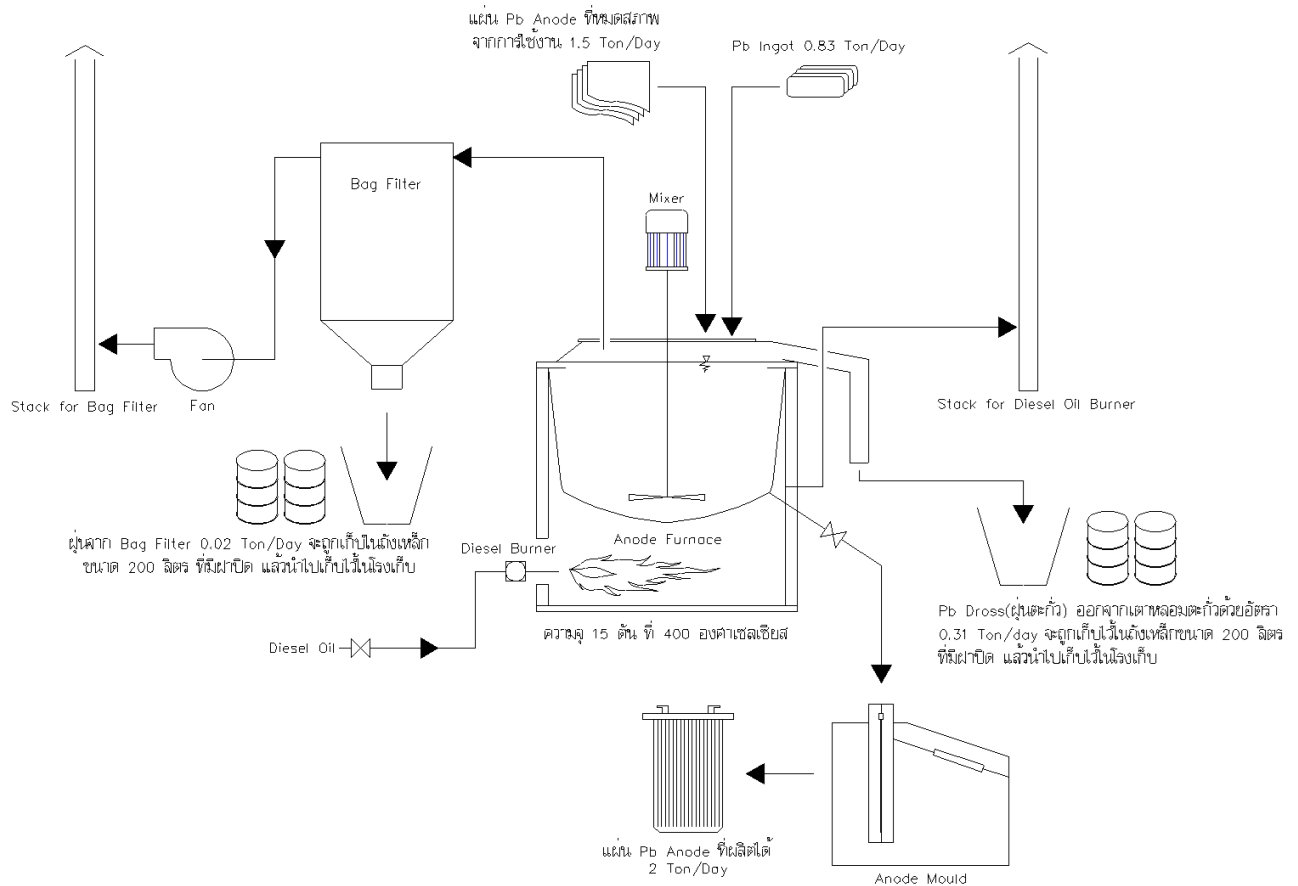
สังกะสีคุณภาพต่ำมาใช้ให้เกิดคุณค่าในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ ยังมีปัญหาอื่นที่ส่งผลกระทบต่อการประกอบธุรกิจ เช่น ต้นทุนค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้น รวมทั้งต้นทุนค่าขนส่งวัตถุดิบทั้งทางบกและทางเรือที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นภาระให้กับบริษัทมาก เนื่องจากในกระบวนการผลิตบริษัทฯ จำเป็นต้องขนส่งวัตถุดิบจากจังหวัดระยองไปยังโรงงานถลุงที่จังหวัดตากปริมาณมากทุกวันสำหรับในอนาคตรัฐฯ มีแผนสำรวจหาแหล่งแร่แห่งใหม่เพื่อรองรับปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเพื่อนำวัตถุดิบทดแทนชนิดอื่นๆ มาใช้ในการผลิตโลหะสังกะสี เช่น ฝุ่นที่ได้จากโรงงานเหล็กซึ่งมีสังกะสีเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20

2) การบริหารจัดการของเสียที่เกิดจากการผลิตโลหะสังกะสี

ในกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี มีของเสียที่เกิดขึ้นทั้งในด้านอากาศเสีย ฝุ่น น้ำเสีย และกากแร่ ซึ่งในของเสียเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตอื่น ๆ ได้ เช่น

— ฝุ่นจากกระบวนการหลอมและหล่อสังกะสี จะมีฝุ่นที่อยู่ในรูปออกไซด์ของสังกะสี ตะกรันสังกะสีที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบสามารถนำมาบดในหม้อบดตะกรันสังกะสี แล้วได้เป็นฝุ่นสังกะสี ซึ่งของเสียเหล่านี้สามารถนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการสกัดแร่สังกะสีได้

— ฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการหลอมและหล่อขี้ไฟฟ้า ที่เป็นแผ่นขี้บวหรือแผ่นอาโนด (Anode casting) ในกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีบริสุทธิ์ด้วยกระแสไฟฟ้า เมื่อใช้ไปจะเกิดการสึกหรอและชำรุดและจะต้องนำมาหลอมใหม่ ดังนั้น ที่เตาหลอมแผ่นอาโนด จะได้ฝุ่นที่มีองค์ประกอบหลักเป็นโลหะตะกั่ว เรียกว่าผงตะกั่ว (Lead Dross) โดยแต่ละปี จะมีปริมาณ 150 – 200 ตันต่อปี ซึ่งฝุ่นดังกล่าวนี้ อาจนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนร่วมกับเศษแบตเตอรี่ใช้แล้วในกระบวนการผลิตตะกั่ว เพื่อหลอมใหม่เป็นโลหะตะกั่วแท่ง (Lead Ingot) โดยกระบวนการผลิตขี้แอโนดสำหรับแยกโลหะสังกะสีบริสุทธิ์ด้วยกระแสไฟฟ้างดแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตขั้วแอโนดสำหรับแยกโลหะสังกะสีบริสุทธิ์ด้วยกระแสไฟฟ้า

(ที่มา : บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน))

2.2.2 สภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบและของเสียที่เกิดจากการผลิตโลหะตะกั่ว

1) สภาพปัญหาในการบริหารจัดการวัตถุดิบ

ปัญหาของอุตสาหกรรมการผลิตตะกั่วที่สำคัญคือ การขาดแคลนวัตถุดิบ โดยแหล่งแร่ตะกั่วในประเทศไทยที่มีศักยภาพในการพัฒนาเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ ซึ่งไม่สามารถประกอบกิจการเหมืองแร่ได้ ทำให้ผู้ประกอบการผลิตโลหะตะกั่วที่เคยใช้แร่ตะกั่วเป็นวัตถุดิบต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตให้สามารถรองรับวัตถุดิบอื่น เช่น เศษแบตเตอรี่ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเศษแบตเตอรี่ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญของผู้ประกอบการผลิตโลหะตะกั่วในปัจจุบันก็ประสบปัญหาการขาดแคลนเช่นกัน เนื่องจากปริมาณการหมุนเวียนเศษแบตเตอรี่รถยนต์ใช้แล้วไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ผลิตตะกั่วในประเทศ ส่วนหนึ่งเกิดจากปัญหาด้านการบริหารและจัดเก็บเศษแบตเตอรี่ที่ไม่เป็นระบบ อีกทั้งประเทศไทยยังไม่มีนโยบายอนุญาตให้นำเข้าเศษแบตเตอรี่จากต่างประเทศตามข้อตกลงในอนุสัญญาบาเซล ดังนั้น แม้ปริมาณการบริโภคโลหะตะกั่วของไทยจะมีมากเพียงใด กลุ่มผู้ประกอบการก็ไม่สามารถดำเนินการผลิตได้เต็มกำลังการผลิตที่มีอยู่ นอกจากอุปสรรคในเรื่องวัตถุดิบแล้ว ผู้ประกอบการในประเทศยังต้องเผชิญกับปัญหาด้านเทคโนโลยีการผลิตด้วย เนื่องจากโลหะตะกั่วบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.95 แต่การใช้งานในปัจจุบันต้องการโลหะตะกั่วที่มีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99.99

เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตแบตเตอรี่ชนิดที่ไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ทำให้ในแต่ละปีประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าโลหะตะกั่วที่มีความบริสุทธิ์สูงจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก

2) การบริหารจัดการของเสียที่เกิดจากการผลิตโลหะตะกั่ว

ในปัจจุบันมีการประกาศกฎหมาย ระเบียบ และข้อบังคับต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อบริหารจัดการควบคุมกากอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ โรงงานที่ผลิตโลหะตะกั่วก็อยู่ภายใต้การควบคุมนี้ด้วย จึงจำเป็นต้องพัฒนาและกำหนดวิธีเพื่อให้สามารถควบคุมการเกิด การจัดเก็บเคลื่อนย้าย และการกำจัดให้เป็นไปตามที่กฎหมายได้กำหนดไว้

ของเสียที่เกิดขึ้นหรือกากอุตสาหกรรมจากการประกอบโลหะกรรมผลิตโลหะตะกั่ว ตามที่กำหนดไว้ในภาคผนวกที่ 2 ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548 ภายในโรงงาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

— ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตตะกั่ว เป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการหลอมถลุงแผ่นธาตุ การทำความสะอาดโลหะตะกั่ว ซึ่งในแต่ละขั้นตอนก็จะเกิดของเสียที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งบางส่วนสามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตได้ และบางส่วนจำเป็นต้องส่งให้บริษัทเอกชนเป็นผู้ดำเนินการกำจัดโดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย

— ของเสียที่เกิดจากสนับสนุนกระบวนการผลิตตะกั่ว ได้แก่ ขยะที่เกิดจากการซ่อมบำรุง ระบบบำบัดน้ำเสีย ห้องวิเคราะห์ อาคารสำนักงาน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นกระดาษกรองสารเคมีจากห้องวิเคราะห์ เศษวัสดุจากการซ่อมบำรุงเครื่องจักร ฝาปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น เนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นจำพวกนี้ สามารถกำจัดได้ด้วยการเผาไหม้ในเตาหลอมตะกั่วที่อุณหภูมิสูง จึงไม่จำเป็นต้องส่งออกไปกำจัด หรือนำออกไปทิ้งร่วมกับขยะตามพื้นที่สาธารณะ

โดยโรงงานประกอบโลหะกรรมผลิตโลหะตะกั่วมีหน้าที่ในการจัดการของเสียอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นภายในโรงงาน ดังนี้

— การครอบครองของเสีย

ต้องไม่เก็บกองของเสียอุตสาหกรรมไว้ในโรงงานเกิน 90 วัน หากเกินกว่าระยะเวลาที่กำหนดไว้จะต้องขออนุญาต ตามแบบ สก. 1 ในกรณีที่ของเสียเป็นของเสียอันตรายจำเป็นต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง ระบบเอกสารกำกับกากของเสียอันตราย พ.ศ. 2547

— การควบคุมดูแล

ต้องจัดทำ แผนการป้องกันอุบัติเหตุเพื่อรองรับเหตุฉุกเฉิน ในกรณีเกิดเหตุรั่วไหล อัคคีภัย การระเบิด ตลอดจนเหตุที่คาดไม่ถึง และต้องจัดการแยกจัดเก็บของเสียไว้ในสถานที่ที่เหมาะสม ปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญแก่สิ่งแวดล้อมและชุมชน โรงงานต้องจัดให้มีผู้ควบคุมดูแลระบบป้องกันสิ่งแวดล้อม ให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำหนดชนิดและขนาดโรงงานฯ พ.ศ. 2545 และฝึกอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องด้วย

— การนำของเสียออกไปบำบัด/กำจัดนอกโรงงาน

กากอุตสาหกรรมจะต้องถูกขออนุญาตนำออกนอกบริเวณโรงงาน โดยใช้แบบ สก. 2 ซึ่งของเสียอันตรายจะต้องใช้บริการ ผู้รับบำบัดกำจัด และผู้ขนส่ง ที่ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น

โดยประเภท กระบวนการเกิด และวิธีการจัดการของเสียอุตสาหกรรมที่เกิดจากการประกอบโลหะกรรมผลิตโลหะตะกั่ว ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แหล่งกำเนิดและวิธีการจัดการ ของเสียอุตสาหกรรมที่เกิดจากผลิตโลหะตะกั่ว

ลำดับ	กระบวนการผลิต	ของเสียที่เกิดขึ้น	วิธีการจัดการ
1	การแยกส่วนประกอบของหม้อแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ	- พลาสติก - กรดกำมะถัน	- ส่งขายให้โรงหล่อหลอมพลาสติก - บำบัดทำลายฤทธิ์กรดด้วยสารละลายต่าง
2	การหลอม ถลุงแผ่นธาตุแบตเตอรี่	- กากตะกรัน - ฝุ่นจากการหลอม	- ส่งกำจัดด้วยวิธีฝังกลบอย่างปลอดภัย - นำกลับมาหลอมซ้ำ
3	การทำความสะอาดโลหะตะกั่ว	- กากตะกั่ว - โลหะผสมจากการกำจัดโลหะเงิน	- นำกลับมาหลอมซ้ำ - นำกลับมาหลอมซ้ำ

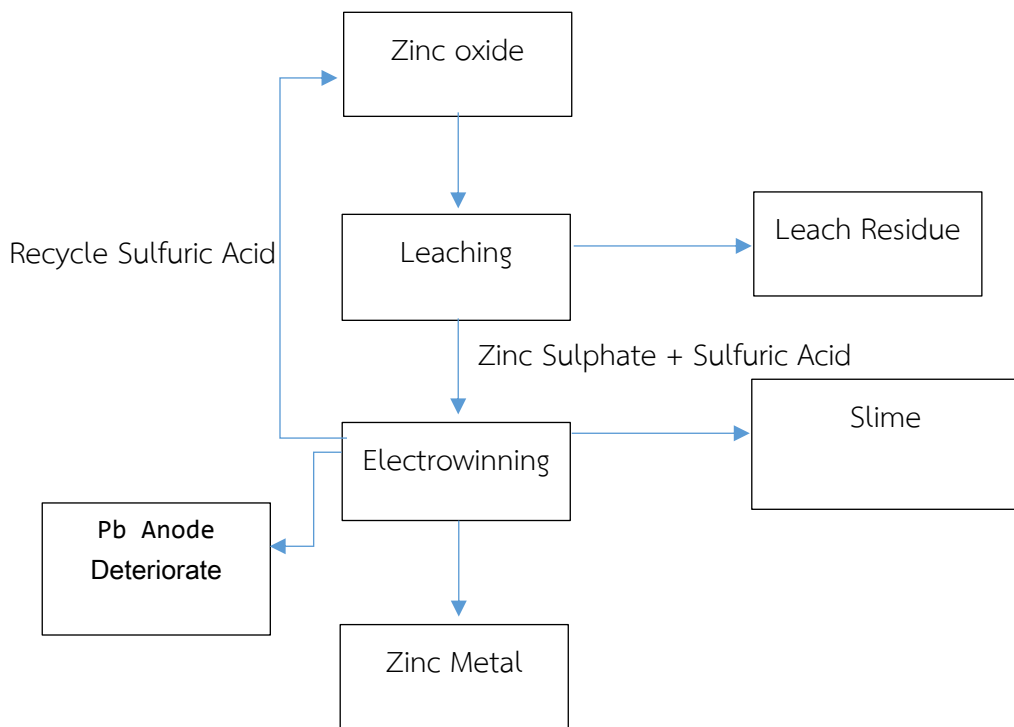
บทที่ 3

เทคโนโลยีการนำของเสียเป้าหมายจากกระบวนการผลิตสังกะสีมาใช้เป็นวัตถุดิบ สำหรับการผลิตตะกั่ว

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยของเสียเป้าหมายจากการผลิตโลหะสังกะสี เทคโนโลยีการผลิตโลหะตะกั่ว เทคโนโลยีการนำของเสียเป้าหมาย ได้แก่ ผงตะกั่วจากกระบวนการผลิตสังกะสีมาใช้ในกระบวนการผลิตตะกั่ว โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ของเสียเป้าหมายจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี

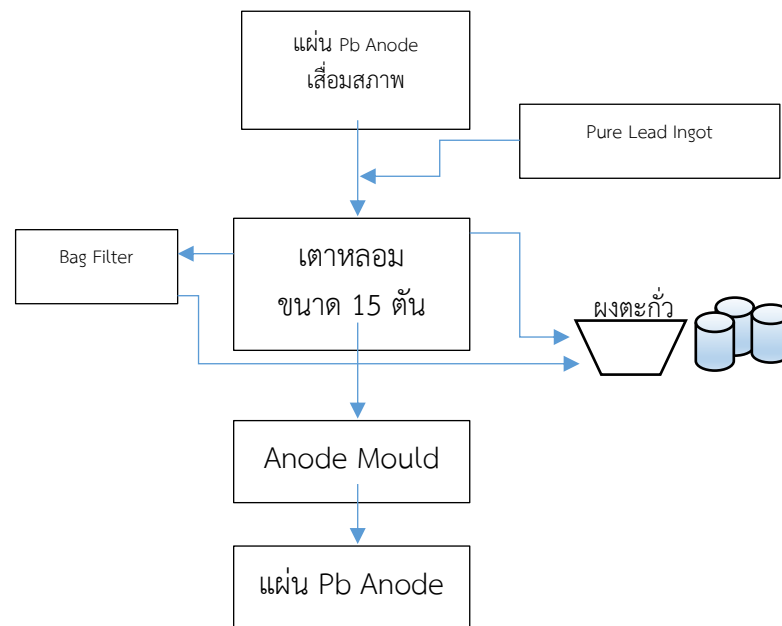
กระบวนการที่ใช้ในการผลิตโลหะสังกะสีด้วยไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning จะใช้ในการแยกโลหะสังกะสีออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า จะทำให้โลหะสังกะสีที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง (High purity metal) โดยแผนภาพขั้นตอนในการแยกโลหะสังกะสีจากสินแร่และของเสียที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนในการแยกโลหะสังกะสีจากสินแร่และของเสียที่เกิดขึ้น

กระบวนการผลิตโลหะสังกะสีด้วยไฟฟ้าเคมีแบบ Electrowinning จะใช้ขั้วบวกเป็นโลหะตะกั่วผสมเงินและขั้วลบเป็นโลหะอะลูมิเนียม เมื่อใช้งานในกระบวนการดังกล่าวเป็นระยะเวลาหนึ่ง ขั้วบวกจะเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการสึกกร่อนจนทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ จึงต้องมีการนำกลับมาใช้ใหม่โดยการหลอม โดยเริ่มจากการนำแผ่นขั้วบวกที่เป็นตะกั่วมาหลอมรวมกับโลหะตะกั่วบริสุทธิ์ (Pure Lead) และทำการหลอมที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในเตาหลอมแบบปิดขนาด 15 ตัน จนโลหะตะกั่วหลอมละลายรวมกัน ใช้ปั๊มสุบโลหะหลอมเหลวมาหล่อขึ้นรูปเป็นแผ่นขั้วบวกหนักประมาณ 200 กิโลกรัม และนำกลับเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ทั้งนี้ ในกระบวนการหลอมดังกล่าวจะเกิดของเสียเนื่องจากในบริเวณ

ส่วนผิวดตะกั่วที่สัมผัสกับอากาศจะเกิดเป็นสารประกอบตะกั่วออกไซด์ หรือที่เป็นลักษณะของผิวดตะกั่ว (Pb Dross) ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ โดยจะถูกแยกออกจากเตาหลอมและ นำไปเก็บรวบรวมเพื่อส่งไปกำจัดต่อไป ผิวดตะกั่วอีกส่วนหนึ่งจะมาจากกระบวนการบำบัดผิวดตะกั่วที่เกิดจากการหลอม โดยใช้อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag Filter) ดักจับและเก็บรวบรวมเช่นเดียวกับฝุ่นผิวดตะกั่วที่เกิดจากเตาหลอม จะเกิดประมาณ 0.02 ตันต่อวัน โดยขั้นตอนในการเกิดผิวดตะกั่วซึ่งเป็นของเสียในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตโลหะสังกะสี ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเกิดผิวดตะกั่ว

เมื่อนำผิวดตะกั่วที่เกิดขึ้นไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีโลหะตะกั่วประมาณร้อยละ 80 และมีโลหะเงินร้อยละ 0.36 ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผิวดตะกั่ว

element	% w/w
Lead	80.20
Silver	0.360
Copper	0.001
Arsenic	0.003
Antimony	0.003

3.2 เทคโนโลยีการผลิตโลหะตะกั่ว

วิธีการผลิตตะกั่วจากสินแร่และซากแบตเตอรี่ มีรายละเอียดดังนี้

1) วิธีการถลุงแร่ซิงค์ไซด์

สินแร่ตะกั่วซิงค์ไซด์ (PbCO_3) เป็นสินแร่ที่ไม่มีกำมะถันหรือมีน้อยมาก โดยมีขั้นตอนที่สำคัญดังแสดงในรูปที่ 3.3 และมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

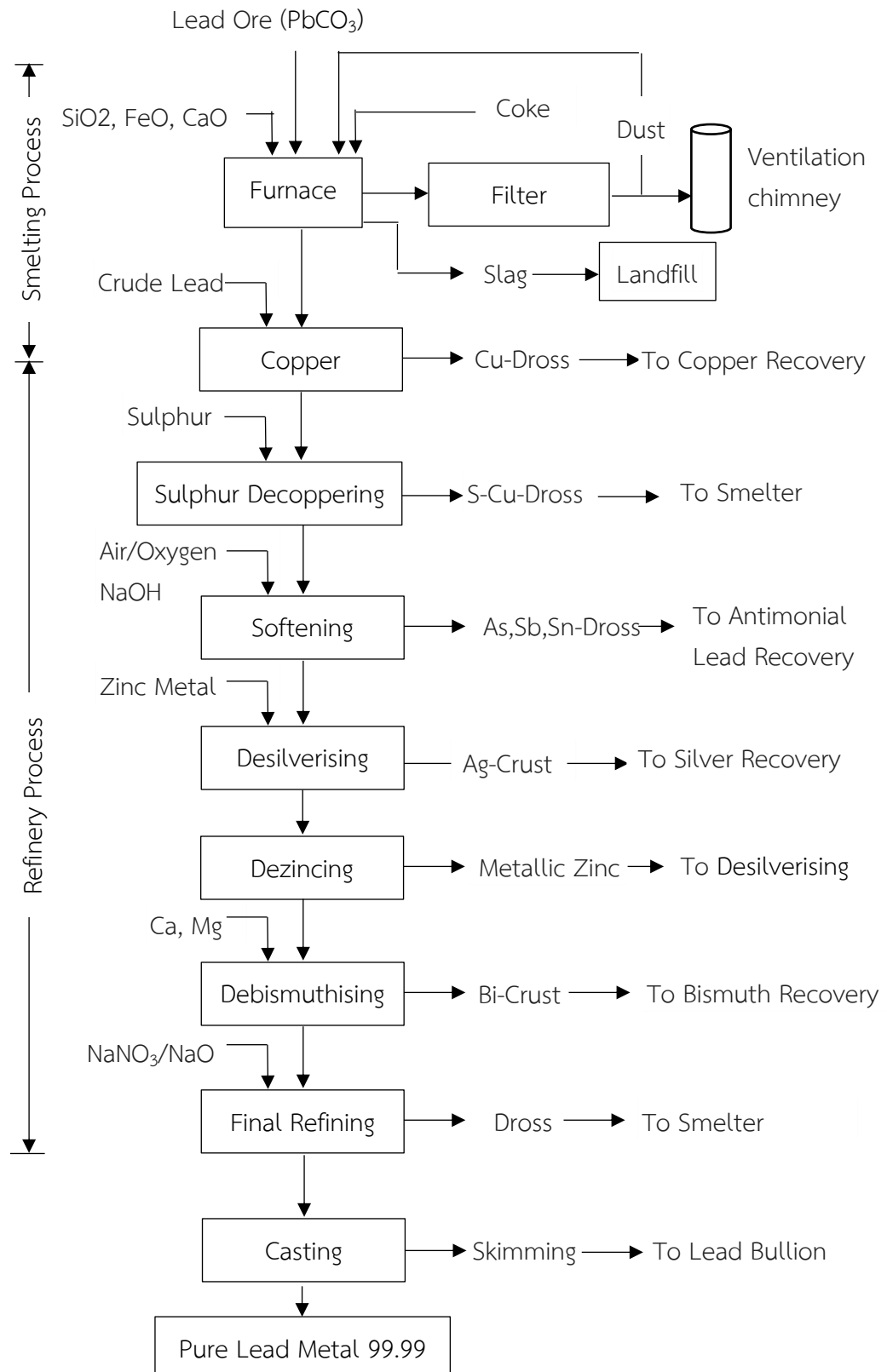
— การหลอมถลุง (Smelting) เริ่มจากนำเอาวัตถุดิบที่ประกอบด้วยแร่ซึ่งผ่านการแต่งแร่ด้วยการลอยแร่ (Floatation) ที่มีเปอร์เซ็นต์ตะกั่วไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 ผสมรวมกับฝุ่นจากระบบดักฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag filter) ที่มีตะกั่วปนอยู่ ททราย ปูนขาว เหล็กออกไซด์ และถ่านโค้ก มาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อป้อนเข้าเตาหลอมถลุงตะกั่วแบบหมุน (Short Rotary Furnace) โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียสและเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 1,200 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมินั้นเป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง อุณหภูมิในการถลุงจะต้องควบคุมไม่ให้สูงถึงจุดเดือดของตะกั่ว (1,749 องศาเซลเซียส) เพราะจะทำให้ตะกั่วระเหยเป็นไอ ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายคนหากสูดดมเข้าไป เมื่อตะกั่วหลอมละลายและแยกตัวจมอยู่ข้างล่างและใช้ตะกรันอันประกอบด้วยซิลิกา เหล็ก ปูนขาว และถ่าน จะแยกตัวลอยอยู่ข้างบน ตะกรันตะกั่วนี้จะตักไปทิ้งหรือนำไปผ่านวิธีการอย่างอื่นต่อไปหากยังมีโลหะที่มีค่าปะปนอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ในเชิงพาณิชย์ ตะกั่วเหลวจะถูกปล่อยให้ไหลออกจากเตาถลุงลงในภาชนะที่เตรียมไว้เพื่อร่อนนำไปผ่านขั้นตอนที่ 2 คือ การทำให้สะอาดต่อไป

— การทำโลหะตะกั่วให้สะอาด (Refining) เนื่องจากโลหะตะกั่วที่ได้จากการถลุงอาจมีโลหะมลทินบางชนิดปนอยู่ในปริมาณที่เกินกว่ากำหนดไว้ในมาตรฐาน คือ ทองแดง สารหนู พลวง ดีบุก และเงิน การกำจัดโลหะมลทินมีขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

(1) นำโลหะตะกั่วหลอมเหลวที่ได้จากการหลอมถลุงมาไว้ในกระทะเหล็กหรือเตาอนขนาดเล็ก จากนั้น ควบคุมให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมตัวของโลหะตะกั่วเล็กน้อย เพื่อให้โอกาสทองแดงและโลหะมลทินอื่นที่มีจุดหลอมตัวค่อนข้างสูงแข็งตัวเป็นฝ้าและกากโลหะแยกออกจากโลหะตะกั่วหลอมเหลว โลหะทองแดงเล็กน้อยที่ยังเหลือค้างอยู่ในโลหะตะกั่วหลอมเหลวจะถูกกำจัดโดยให้ทำปฏิกิริยาเคมีกับผงกำมะถันกลายเป็น Dross ซึ่งสามารถแยกออกจากโลหะตะกั่วหลอมเหลวได้

(2) สารหนู พลวง และดีบุก จะถูกกำจัดออกจากโลหะตะกั่วหลอมเหลวโดยการฟั่นลมหรือทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเกลือโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการเติมออกซิเจนให้แก่โลหะตะกั่วหลอมเหลว โลหะมลทินทั้ง 3 ชนิดนี้ จะถูกออกซิไดซ์เป็น Dross เนื่องจากออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่าตะกั่ว

(3) ในขั้นตอนสุดท้าย โลหะตะกั่วมักมีโลหะเงินปนอยู่ด้วยเสมอ การแยกโลหะเงินออกจากโลหะตะกั่วหลอมเหลวโดยการกวนด้วยโลหะสังกะสี โดยสังกะสีและเงินจะจับตัวกันเป็นโลหะที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าโลหะตะกั่วหลอมเหลว จึงลอยขึ้นมาอยู่บนผิวหน้าและถูกตักแยกออกได้ง่าย โลหะซึ่งประกอบด้วยตะกั่ว สังกะสี และเงินหรือที่เรียกว่า Ag Crust หรือ Rich - Skim จะถูกนำออกไปหลอมในเตาหลอม (Tea - Pot) เพื่อหลอมเอาตะกั่วออก พร้อมทั้งแยกสังกะสี เงิน และตะกั่วบางส่วนให้จับตัวกันในรูปโลหะผสม หลังจากนั้นนำโลหะผสมไปทำการกลั่น (Distillation Furnace) เพื่อกลั่นสังกะสีออกจากโลหะผสมตะกั่ว สังกะสี และเงิน จะได้โลหะผสมตะกั่ว-เงิน สังกะสีจะนำกลับมาใช้งาน ส่วนโลหะผสมตะกั่ว-เงิน จะถูกหลอม (Cupellation Furnace) เพื่อผลิตเป็นโลหะเงินร้อยละ 97 โดยโลหะตะกั่วหลอมเหลวที่สะอาดได้มาตรฐานจะถูกหล่อเป็นแท่ง และพร้อมที่จะถูกนำไปใช้งานหรือจำหน่ายต่อไป

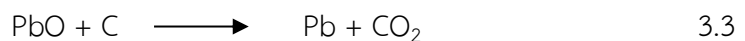
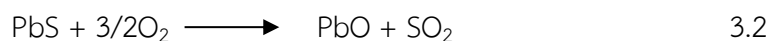


รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการถลุงแร่ซีรไซด์

2) วิธีการถลุงแร่ตะกั่วซัลไฟด์

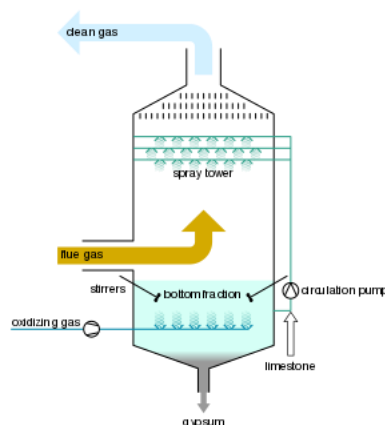
การหลอมถลุงแร่ตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) ด้วยเตาถลุงแบบเตานอน (Short Rotary Furnace) มีรายละเอียดดังนี้

— นำแร่ PbS และฝุ่นจากระบบดักฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag filter) มาผสมเข้าด้วยกัน ก่อนป้อนเข้า Drier ด้วยสายพานลำเลียงเพื่อย่างแร่ให้แห้งสนิท แร่ที่แห้งแล้วถูกคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนเพื่อเอาแร่เม็ดหยาบออก แร่ที่แห้งและละเอียดดีแล้วจะถูกส่งไปหลอมถลุงด้วยเตาถลุงแบบหมุน (Rotary Furnace) โดยการถลุงแบบ Flash Smelting โดยการใช้อากาศแรงอัดสูงลำเลียงแร่ผ่าน Concentrate Lance ซึ่งที่ปลายจะมีหัวพ่นเป็นตัวทำให้เกิดการผสมกันของแร่และก๊าซออกซิเจนตามอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นจะบรรจุถ่านหินและฟลักซ์ (Fluxes) เข้าไปในเตา ภายในเตาจะเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญ ดังสมการที่ 3.1, 3.2 และ 3.3



ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งออกไปทางท่อก๊าซร้อนซึ่งจะถูกส่งไปยัง SO_2 Scrubber ดังแสดงรูปที่ 3.5 เพื่อกำจัดก๊าซ SO_2 โดยใช้การพ่นน้ำปูนขาวที่เตรียมไว้ ซึ่งมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 1 - 6 และ pH ประมาณ 13 เพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และน้ำปูนขาว ภายใน SO_2 Scrubber ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยมีชั้นพ่นน้ำปูนขาวจำนวน 3 ชั้น เมื่อทำปฏิกิริยากันจะเกิดเป็นยิปซัมตกลงมาด้านล่างของ SO_2 Scrubber ก๊าซที่ผ่านกระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้ว จะมีความเข้มข้นของก๊าซ SO_2 ไม่เกิน 500 ppm สำหรับยิปซัมที่ได้จากระบบบำบัดจะส่งไปจัดการด้วยวิธีการฝังกลบต่อไป

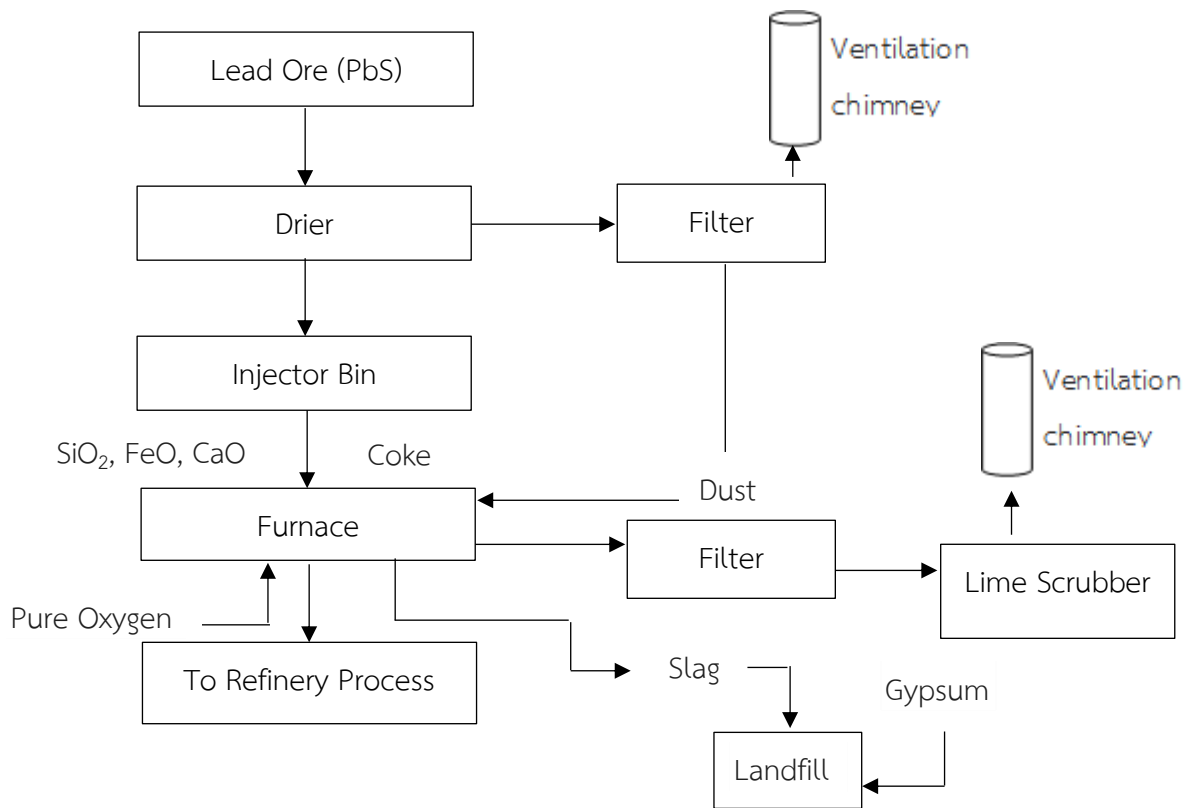
ในกระบวนการถลุง นอกจากเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้ว ยังเกิดฝุ่นซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็น ZnO และ PbSO_4 โดยจะถูกดักจับได้ด้วยอุปกรณ์แบบถุงกรอง (Bag Filter) และอุปกรณ์จับฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator: ESP) ก๊าซ SO_2 ที่ผ่านระบบดักฝุ่นจะมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.4 SO_2 Scrubber

(ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Flue-gas_desulfurization)

การหลอมถลุงแร่ตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) มีขั้นตอนที่สำคัญทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3.5

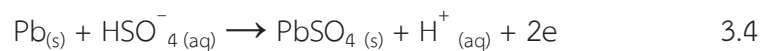


รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการถลุงแร่ตะกั่วซัลไฟด์

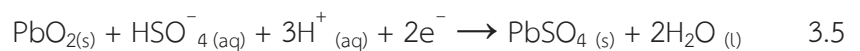
3) วิธีการถลุงตะกั่วจากเศษแบตเตอรี่ใช้แล้ว

การผลิตโลหะตะกั่วส่วนใหญ่ในประเทศ จะเป็นการรีไซเคิลเศษแบตเตอรี่ใช้แล้ว (Battery Scrap) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยใช้กระบวนการหลอมถลุงด้วยความร้อน เนื่องจากในแบตเตอรี่จะมีส่วนประกอบที่เป็นสารประกอบออกไซด์และสารประกอบซัลเฟตที่เกิดจากปฏิกิริยาในแบตเตอรี่ ดังนี้

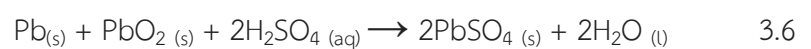
ปฏิกิริยาที่ขั้วลบดังสมการที่ 3.4



ปฏิกิริยาที่ขั้วบวกดังสมการที่ 3.5



ปฏิกิริยาทั้งหมดดังสมการที่ 3.6





รูป 3.6 เศษแบตเตอรี่ใช้แล้ว

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

เมื่อแบตเตอรี่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพ จะมีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของเศษแบตเตอรี่ใช้แล้ว

Component	(% by Weight)
Metallic lead	17
Lead sulphate + Lead oxide	50
Plastic	5
Acid	24
Residuals (ebonite อื่น ๆ)	4
Total	100

จากตารางดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าเศษแบตเตอรี่ใช้แล้ว จะประกอบด้วยตะกั่วประมาณร้อยละ 67 และในจำนวนนี้เป็นโลหะถึงร้อยละ 17 ส่วนตะกั่วที่เหลือจะอยู่ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ คือ สารประกอบซัลเฟต (PbSO_4) และสารประกอบออกไซด์ (PbO_2) โดยจะต้องผ่านเข้าสู่กระบวนการหลอมถลุงเพื่อให้สารประกอบของตะกั่วในรูปต่าง ๆ กลับไปเป็นโลหะตะกั่วทั้งหมด โดยมีขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1) นำแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วมาแยกเอาส่วนอื่น ๆ ออกไปให้เหลือเพียงแผ่นธาตุซึ่งประกอบด้วยแผ่นกริดที่เป็นโลหะตะกั่ว ส่วนผงที่เป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) เมื่อผ่านการใช้งานแล้วจะกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (PbSO_4) เกือบทั้งหมด โดยวัตถุประสงค์หลักของการหลอมถลุงที่สำคัญ มีส่วนต่อการอบการหลอมถลุง ดังนี้

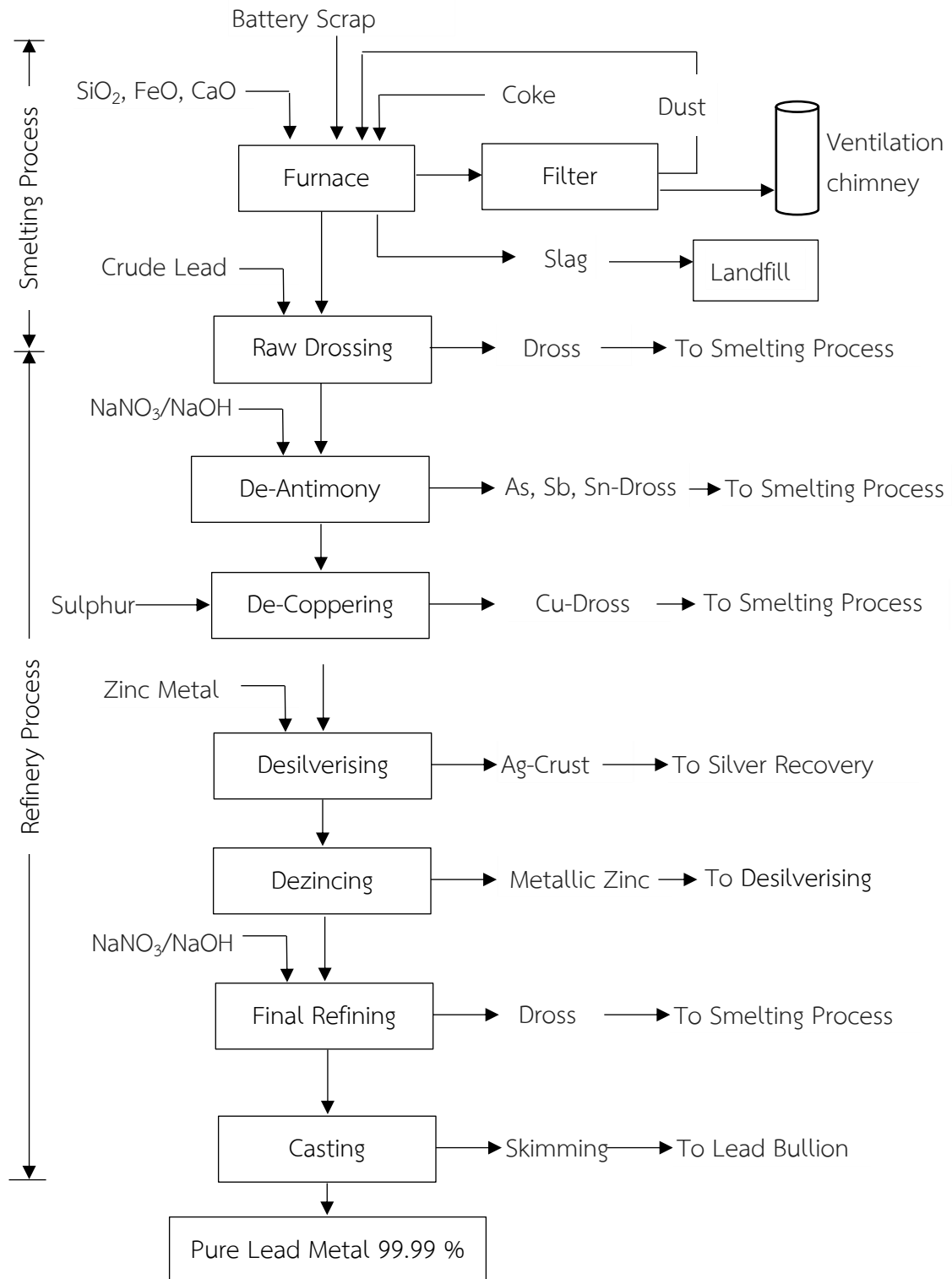
- แผ่นธาตุแบตเตอรี่ที่แยกเปลือกออกแล้ว ประมาณ 4,500 - 5,000 กิโลกรัม
- Recycle dross ประมาณ 500 - 600 กิโลกรัม
- Flue dust ประมาณ 500 - 600 กิโลกรัม
- Iron scrap (FeO) ประมาณ 200 - 300 กิโลกรัม
- Recycle slag ประมาณ 200 - 300 กิโลกรัม
- White sand (Silicate, SiO_2) ประมาณ 250 - 400 กิโลกรัม

— ปูน (CaO)	ประมาณ	300 - 400 กิโลกรัม
— ถ่านหิน ชนิด Anthracite	ประมาณ	250 - 300 กิโลกรัม
— ถ่านโค้ก (Coke)	ประมาณ	100 - 200 กิโลกรัม

รวมน้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ประมาณ 6,800 – 8,100 กิโลกรัม

2) บรรจุวัตถุดิบเข้าเตาหลอม ทำการถลุงหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 – 1,300 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ตะกรันเกิดขึ้นในรูปของ Calcium Silicate Matrix ที่มีสัดส่วนของ CaO – FeO – SiO₂ ที่เหมาะสม ทำให้มีคุณสมบัติเป็นของแข็งที่เสถียร ไม่ถูกกัดกร่อนและไม่ละลายน้ำ ขณะที่ทำการถลุงหลอมเตาถลุงจะหมุนรอบตัวเองอย่างช้า ๆ ในอัตราประมาณ 15 นาที ต่อรอบ เพื่อให้แผ่นธาตุและส่วนผสมได้สัมผัสความร้อนอย่างทั่วถึง และการทำปฏิกิริยาเคมีของวัตถุดิบเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ได้น้ำตะกั่วและกากตะกรันที่หลอมเหลว ระยะเวลาการถลุงหลอมใน 1 รอบ จะใช้เวลาประมาณ 6 – 8 ชั่วโมง

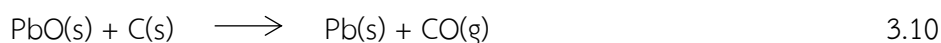
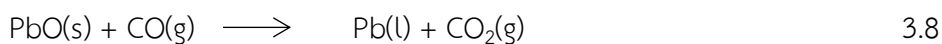
3) เมื่อได้โลหะตะกั่วหลอมเหลวแล้ว จะไปผ่านขั้นตอนการทำโลหะตะกั่วให้สะอาด (Refining) ซึ่งโลหะตะกั่วจากการถลุง อาจมีโลหะมลทินบางชนิดปนอยู่ในปริมาณที่เกินกว่ากำหนดไว้ในมาตรฐาน เช่น ทองแดง สารหนู พลวง ดีบุก และเงิน เป็นต้น จึงต้องกำจัดออกด้วยการผสมสารเคมีเข้าไปในน้ำโลหะหลอมเหลวเพื่อทำปฏิกิริยากับสารมลทินแล้วเกิดเป็น Dross ลอยขึ้นมาอยู่ที่ผิวของน้ำโลหะหลอมเหลว ทำให้สามารถตักออกได้ง่าย จากนั้นโลหะตะกั่วหลอมเหลวที่สะอาดได้มาตรฐานจะถูกหล่อเป็นแท่ง และพร้อมที่จะถูกนำไปใช้งานหรือจำหน่ายต่อไป โดยขั้นตอนทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการถลุงตะกั่วจากซากแบตเตอรี่ใช้แล้ว

3.3 เทคโนโลยีการนำผงตะกั่วจากกระบวนการผลิตสังกะสีมาใช้ผลิตตะกั่ว

ของเสียจากกระบวนการสกัดโลหะสังกะสีบริสุทธิ์ด้วยกระแสไฟฟ้า ได้แก่ ผงตะกั่วจากขั้นตอนการหลอมขี้ไฟฟ้าแอโนด (Pb anode) และจากระบบบำบัดฝุ่นของเตาหลอมขี้ไฟฟ้า ซึ่งผงตะกั่วดังกล่าวจะอยู่ในรูปของตะกั่วออกไซด์ โดยมีองค์ประกอบของตะกั่วประมาณร้อยละ 80 ดังนั้น จึงสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตโลหะตะกั่วได้ด้วยการหลอมถลุง โดยนำผงตะกั่วไปหลอมถลุงที่อุณหภูมิประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส ร่วมกับฟลักซ์หรือสารเคมีต่าง ๆ เช่น เหล็กออกไซด์ (FeO) ปูนขาว (CaO) และทราย (SiO₂) ซึ่งจะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากตะกั่วออกไซด์ รวมถึงสารมลทินอื่น ๆ ออกไป และเหลือเป็นโลหะตะกั่วที่มีความบริสุทธิ์สูง อย่างไรก็ตาม กระบวนการรีไซเคิลตะกั่วจากผงตะกั่วนี้จะต้องศึกษาเรื่องความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ด้วย เนื่องจากอาจต้องปรับปรุงหรือติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อให้รองรับวัตถุดิบชนิดใหม่นี้ ซึ่งอาจจะมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการหลอมถลุงดังสมการที่ 3.7 – 3.10



บทที่ 4

การศึกษาทดลองและผลที่ได้

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยการศึกษาทดลองเพื่อแยกโลหะตะกั่วจากผงตะกั่ว โดยใช้วิธีการด้านโลหวิทยาความร้อนในระดับห้องปฏิบัติการ และการศึกษาทดลองในระดับโรงงานต้นแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

ผงตะกั่วจากขั้นตอนการหลอมขั้วไฟฟ้าแอโนด (Pb anode) มีองค์ประกอบของตะกั่วประมาณร้อยละ 80 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการทางด้านโลหวิทยาความร้อนด้วยการนำผงตะกั่วไปหลอมถลุงที่อุณหภูมิประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส ร่วมกับฟลักซ์หรือสารเคมีต่าง ๆ เช่น เหล็กออกไซด์ (FeO) ปูนขาว (CaO) และทราย (SiO₂) ซึ่งจะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากตะกั่วออกไซด์ รวมถึงสารมลทินอื่น ๆ ออกไป และเหลือเป็นโลหะตะกั่วที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยการศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.1 ผงตะกั่ว

— วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

- (1) ผงตะกั่ว
- (2) เหล็กออกไซด์ (FeO)
- (3) ปูนขาว (CaO)
- (4) ทราย (SiO₂)
- (5) ถ่านหิน

— อุปกรณ์ที่ใช้

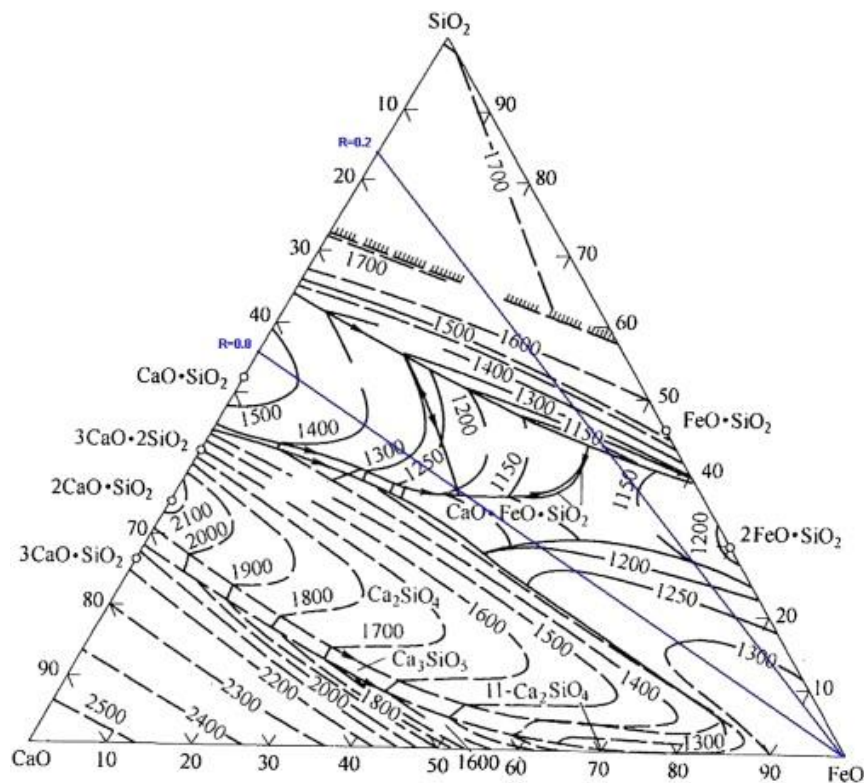
- (1) เตาหลอมแบบ Muffle Furnace
- (2) เباءโลหะทำจากเหล็ก

— วิธีการทดลองและผลที่ได้

ผสมวัตถุดิบซึ่งได้แก่ ผงตะกั่ว เหล็กออกไซด์ (FeO) ปูนขาว (CaO) และทราย (SiO₂) โดยใช้ อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นนำไปใส่ในเตาโลหะที่เตรียมไว้สำหรับเตาไฟฟ้า Muffle Furnace อุณหภูมิ 800 – 1,200 องศาเซลเซียส เพื่อให้กากตะกั่วหรือสแลกเกิดการหลอมเหลวตามเฟสไดอะแกรม CaO-FeO-SiO₂ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ทำการหลอมถลุงจนกว่าวัตถุดิบจะหลอมกลายเป็นโลหะตะกั่วและสแลก โดยสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.3 โดยผลที่ได้จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการหลอมถลุงที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง จะสามารถหลอมถลุงวัตถุดิบได้อย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ข้อมูลที่ได้ดังกล่าวในการขยายผลการศึกษาทดลองในระดับโรงงานต้นแบบต่อไป

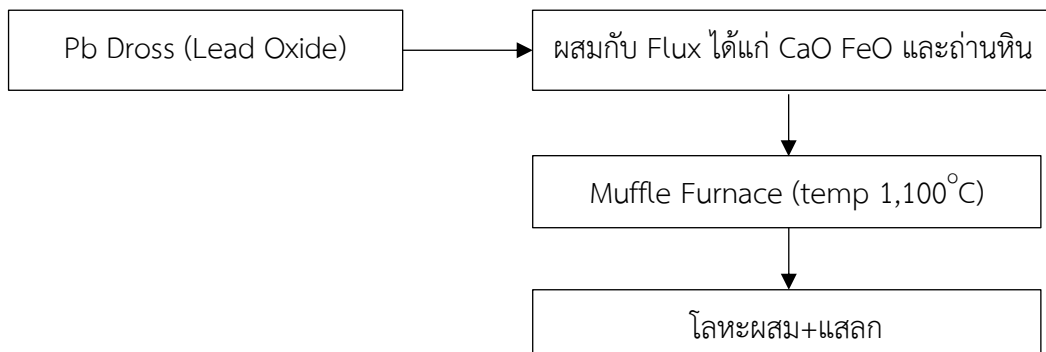
ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนของวัตถุดิบ

ผงตะกั่ว (กรัม)	ส่วนผสม (กรัม)			
	ถ่านหิน	เหล็กออกไซด์	ปูนขาว	ทราย
13	0.55	0.50	0.20	0.12



รูปที่ 4.2 CaO-FeO-SiO₂ equilibrium phase

(ที่มา : Fathi Habashi, 1997)



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.4 ผลการศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

4.2 การศึกษาทดลองในระดับโรงงานต้นแบบ

เมื่อได้ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ (Lab scale) แล้ว ผู้วิจัยจึงได้ขยายผลการศึกษาเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีในระดับโรงงานต้นแบบ โดยทดลองในเตาของโรงงานหลอมตะกั่วจากเศษแบตเตอรี่ใช้แล้วแห่งหนึ่ง จำนวน 2 การทดลอง ใช้ผงตะกั่วครั้งละประมาณ 10 ตัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

— วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

- (1) ผงตะกั่ว
- (2) เหล็กออกไซด์ (FeO) ดังแสดงในรูปที่ 4.5
- (3) ปูนขาว (CaO) ดังแสดงในรูปที่ 4.6
- (4) ททราย (SiO₂) ดังแสดงในรูปที่ 4.7
- (5) ถ่านหินแอนทราไซต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.5 เหล็กออกไซด์ (FeO)



รูปที่ 4.6 ปูนขาว (CaO)



รูปที่ 4.7 ททราย (SiO₂)



รูปที่ 4.8 ถ่านหินแอนทราไซด์

— อุปกรณ์ที่ใช้

- (1) เตาหลอมแบบ Short Rotary Furnace มีรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตร ยาว 4 เมตร หมุนตามแนวนอน มี Burner อยู่ด้านหลัง โดยใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ลักษณะการป้อนวัตถุดิบจากทางฝาหน้า และมีรูสำหรับเทโลหะหลอมเหลวออกหลังการหลอมทุกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.9
- (2) เครื่องจักรอุปกรณ์สำหรับผสม และป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เตาหลอม ดังแสดงในรูปที่ 4.10
- (3) ภาชนะสำหรับรองรับโลหะหลอมเหลวหลังจากการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.9 Short Rotary Furnace



รูปที่ 4.10 เครื่องจักรอุปกรณ์สำหรับผสม



รูปที่ 4.11 ภาชนะสำหรับรองรับโลหะหลอมเหลว

— วิธีการทดลองและผลที่ได้

เริ่มต้นด้วยจัดเก็บตัวอย่างผงตะกั่วเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี จากนั้น ผสมวัตถุดิบซึ่งได้แก่ ผงตะกั่ว เหล็กออกไซด์ (FeO) ปูนขาว (CaO) และทราย (SiO_2) โดยใช้อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 4.2 ก่อนจะนำวัตถุดิบทั้งหมดใส่ลงไปในเตาหลอม ใช้อุณหภูมิประมาณ 1,200 – 1,300 องศาเซลเซียส และเวลา 5-8 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับ การหลอมของผงตะกั่ว) ดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยวิธีการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.13 ผลที่ได้พบว่า ได้โลหะตะกั่วจำนวน 10.330 และ 8.045 ตัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณโลหะตะกั่วในผงตะกั่วที่วิเคราะห์ไว้ (ประมาณร้อยละ 80) โลหะตะกั่วที่ได้มีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 4.4 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า เทคโนโลยีการใช้ผงตะกั่วที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตโลหะสังกะสีเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตโลหะตะกั่วมีความเป็นไปได้ในระดับโรงงานต้นแบบ

ตารางที่ 4.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

Batch	ผงตะกั่ว (ตัน)	ส่วนผสม (ตัน)			
		ถ่านหิน	เหล็กออกไซด์	ปูนขาว	ทราย
1	13.087	0.55	0.50	0.20	0.12
2	10.850	0.55	0.50	0.20	0.12

ตารางที่ 4.3 ผลผลิตที่ได้จากการทดลอง

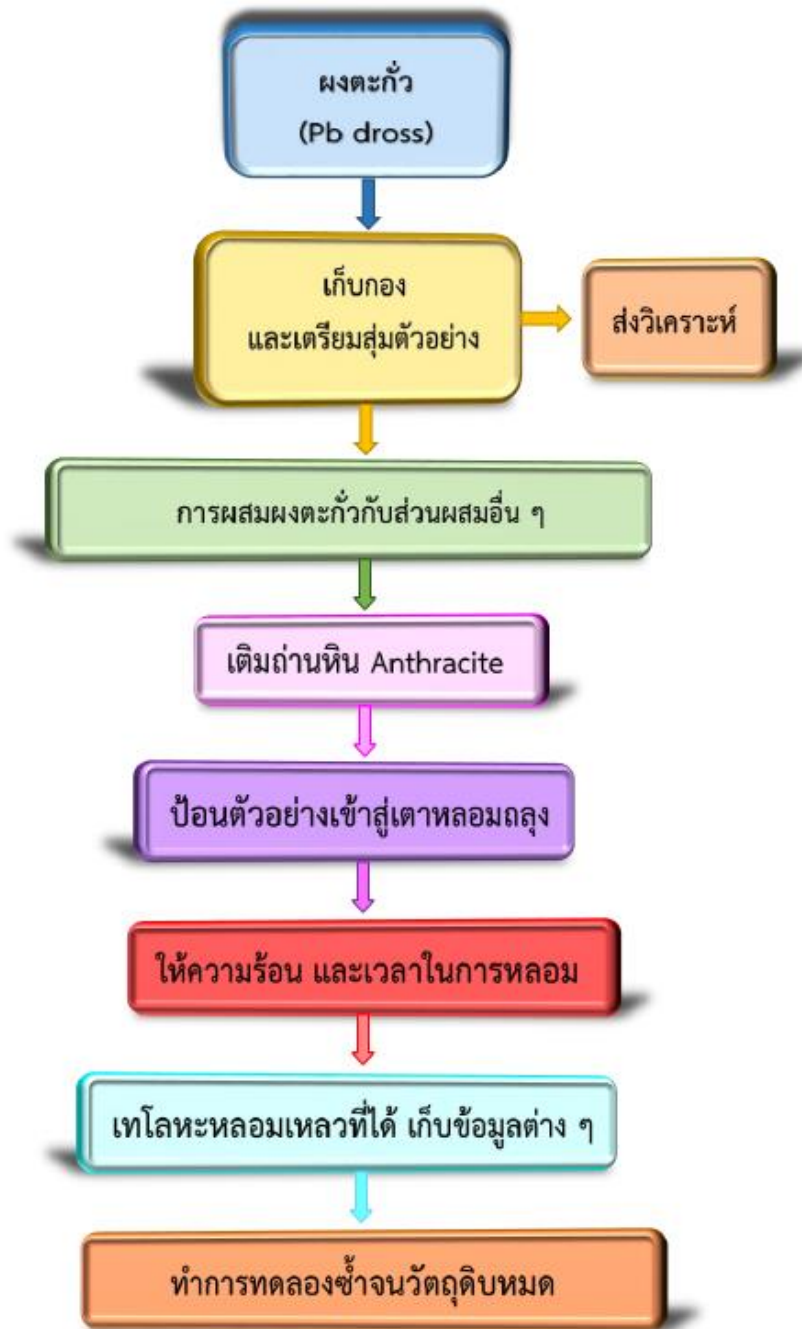
Batch	โลหะตะกั่ว (ตัน)	ฝุ่น (ตัน)	Slag (ton)
1	10.330	1.470	3.235

ตารางที่ 4.4 โลหะที่ได้จากการหลอมถลุง

Element	% (w/w)
Lead (Pb)	Balance
Silver (Ag)	0.295
Copper (Cu)	0.001
Arsenic (As)	0.003
Antimony (Sb)	0.003



รูปที่ 4.12 การนำวัตถุดิบทั้งหมดใส่ลงไปในเตาหลอม



รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการศึกษาทดลองในระดับโรงงานต้นแบบ

บทที่ 5

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์

การวิเคราะห์ต้นทุนจะประเมินจากข้อมูลปริมาณผงตะกั่ว (Pb dross) จำนวน 133.587 ตัน ที่เป็นของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานถลุงสังกะสีในช่วง 1 ปี และตั้งสมมุติฐานว่าสามารถนำเข้าไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับกระบวนการผลิตจริงของโรงงานหลอมตะกั่วจากเศษแบตเตอรี่ใช้แล้ว โดยผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์เบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์

รายการ	ปริมาณ	ราคา	รวม (บาท)
วัตถุดิบ (ton)			
ผงตะกั่ว (Pb dross)	135.000	40,000 bath/ton	5,400,000
ส่วนผสมที่ใช้ (ton)			
ถ่านหิน (Anthracite)	6.250	7,000 bath/ton	43,750
กากเหล็ก (Iron scrap)	2.000	3,000 bath/ton	6,000
ปูนขาว (Lime)	0.800	2,500 bath/ton	2,000
ทราย (Sand)	0.480	500 bath/ton	240
พลังงาน			
น้ำมันเตา (Oil C) Liter	7,867	12 bath/Liter	94,404
เวลา,ไฟฟ้า (hr.)	68:10	833 bath/hr.	56,783
ของเสียที่เกิดขึ้น			
กากตะกั่ว (Slag)	6.145	4,000 bath/ton	24,580
ต้นทุนในการผลิตโลหะตะกั่ว			5,627,757
ผลผลิตที่เกิดขึ้น (ton)			
โลหะตะกั่ว	108.000	85,000 bath/ton	9,180,000
กำไร			3,552,243

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ สามารถสรุปได้ว่า หากนำผงตะกั่วมาผ่านกระบวนการหลอมถลุงเพื่อผลิตโลหะตะกั่วจะสามารถสร้างรายได้ต่อปีประมาณ 9.18 ล้านบาท โดยที่ใช้เงินลงทุน 5.63 ล้านบาท และมีกำไร 3.55 ล้านบาท ทั้งนี้ หากใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เดิมที่มีอยู่ของโรงงานหลอมตะกั่วจากเศษแบตเตอรี่ใช้แล้ว จะสามารถนำผงตะกั่วดังกล่าวมาทำการผลิตได้ทันที หากได้รับการอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

นอกจากนี้ ในผงตะกั่วเหล่านี้ยังมีโลหะเงินผสมอยู่ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 5.2 หากมีการนำมาผ่านกระบวนการแยกโลหะเงินออกจากตะกั่ว จะทำให้มีมูลค่าเพิ่มประมาณ 7.34 ล้านบาท อย่างไรก็ตามในการหลอมผงตะกั่วด้วยวิธีนี้ จะได้โลหะเงินกลับคืนมา 0.319 ตัน คิดเป็นมูลค่า 5.53 ล้านบาท

ตารางที่ 5.2 ผลวิเคราะห์โลหะเงินที่มีอยู่ในตัวอย่าง

รายการ	ปริมาณวัตถุดิบ (ton)	ผลวิเคราะห์ Ag (%w/w)	ปริมาณโลหะเงิน (ton)
ผงตะกั่ว (Pb dross)	135	0.314	0.424
โลหะตะกั่วที่ได้	108	0.295	0.319
% Recovery			75.24

บทที่ 6

สรุปผลที่ได้การศึกษาและข้อเสนอแนะ

บทนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยสรุปผลและข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาทั้งหมด โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 สรุปผลการศึกษา

ผลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ประเทศไทยมีการผลิตโลหะตะกั่วโดยเฉลี่ย 95,000 ตัน ในขณะที่มีปริมาณความต้องการใช้โลหะตะกั่วประมาณ 150,000 ตัน โดยการใช้งานหลักจะอยู่ที่อุตสาหกรรมยานยนต์ เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตแบตเตอรี่ ดังนั้นประเทศไทยจึงต้องพึ่งพาการนำเข้าโลหะตะกั่วจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก

2) ในปัจจุบันเศษแบตเตอรี่ใช้แล้วซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญของผู้ประกอบการผลิตโลหะตะกั่วในปัจจุบันก็ประสบปัญหาการขาดแคลน เนื่องจากปริมาณการหมุนเวียนเศษแบตเตอรี่รถยนต์ใช้แล้วไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ผลิตตะกั่วในประเทศ ส่วนหนึ่งเกิดจากปัญหาด้านการบริหารและจัดเก็บเศษแบตเตอรี่ที่ไม่เป็นระบบ อีกทั้งประเทศไทยยังไม่มีนโยบายอนุญาตให้นำเข้าเศษแบตเตอรี่จากต่างประเทศตามข้อตกลงในอนุสัญญาบาเซล

3) ฝุ่นตะกั่วที่เกิดจากกระบวนการหลอมและหล่อตัวไฟฟ้า ที่เป็นแผ่นขั้วบวกหรือแผ่นแอโนด (Anode casting) ในกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีบริสุทธิ์ด้วยกระแสไฟฟ้า มีปริมาณ 150 – 200 ตันต่อปี

4) ผลที่ได้จากการศึกษาทดลองทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและโรงงานต้นแบบโดยใช้กระบวนการด้านโลหวิทยาความร้อน พบว่าสามารถหลอมถลุงเพื่อแยกโลหะตะกั่วออกจากฝุ่นตะกั่วได้เกือบทั้งหมด โดยใช้วัตถุดิบที่สำคัญ ได้แก่ ผงตะกั่ว เหล็กออกไซด์ (FeO) ปูนขาว (CaO) และทราย (SiO₂) ใช้อุณหภูมิประมาณ 1,200 – 1,300 องศาเซลเซียส เวลา 5-8 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับกระบวนการหลอมของผงตะกั่ว) ทำให้ฝุ่นตะกั่วสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนร่วมกับเศษแบตเตอรี่ใช้แล้วในกระบวนการผลิตตะกั่วเพื่อหลอมใหม่เป็นโลหะตะกั่วแท่ง (Lead Ingot)

5) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ สามารถสรุปได้ว่า หากนำผงตะกั่วมาผ่านกระบวนการหลอมถลุงเพื่อผลิตโลหะตะกั่วจะสามารถสร้างรายได้ต่อปีประมาณ 9.18 ล้านบาท โดยที่ใช้เงินลงทุน 5.63 ล้านบาท และมีกำไร 3.55 ล้านบาท ทั้งนี้ หากใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เดิมที่มีอยู่ของโรงงานหลอมตะกั่วจากเศษแบตเตอรี่เก่า จะสามารถนำผงตะกั่วดังกล่าวมาทำการผลิตได้ทันที หากได้รับการอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ ในผงตะกั่วเหล่านี้ยังมีโลหะเงินผสมอยู่ด้วย หากมีการนำมาผ่านกระบวนการแยกโลหะเงินออกจากตะกั่ว จะทำให้มีมูลค่าเพิ่มประมาณ 7.34 ล้านบาท อย่างไรก็ตาม ในการหลอมผงตะกั่วด้วยวิธีนี้ จะได้โลหะเงินกลับคืนมา 0.319 ตัน คิดเป็นมูลค่า 5.53 ล้านบาท

6) การนำฝุ่นสังกะสีซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตสังกะสี มาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนให้กับอุตสาหกรรมการผลิตตะกั่ว จะช่วยให้ผู้ประกอบการผลิตตะกั่วมีทางเลือกในการใช้วัตถุดิบทดแทนจากแบตเตอรี่ใช้แล้ว อีกทั้งยังเป็นการหมุนเวียนของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องนำไปจัดการด้วยวิธีฝังกลบ และช่วยลดต้นทุนการผลิตให้กับผู้ประกอบการได้อีกด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) เพื่อให้อุตสาหกรรมการผลิตโลหะตะกั่วในประเทศไทยมีความยั่งยืน ควรมีการศึกษาแหล่งวัตถุดิบทางเลือกเศษแบตเตอรี่เก่าอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะของเสียที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ อาทิ ซากจอโทรทัศน์แบบ CRT

2) การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์เบื้องต้นของการศึกษาในครั้งนี้ ยังไม่รวมถึงต้นทุนของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เดิมที่มีอยู่ของโรงงานที่เข้าร่วมดำเนินการทดลอง ดังนั้น หากต้องการศึกษาต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ทั้งหมด ต้องมีการพิจารณาด้านทุนในส่วนนี้เพิ่มเติมด้วย

บรรณานุกรม

กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน (2551), โลหะกับการพัฒนาประเทศ (ตะกั่ว), 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)

นรมน อินทรานนท์, การเดินทางของตะกั่วในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด, หน่วยวิจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

Fathi Habashi, Handbook of Extractive Metallurgy, Volume 2, 1997

J.J.Moore, Chemical Metallurgy, Second edition, 1990