

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมขิงค์ออกไซค์จากกากของเสียกระบวนการหลอมสังกะสี



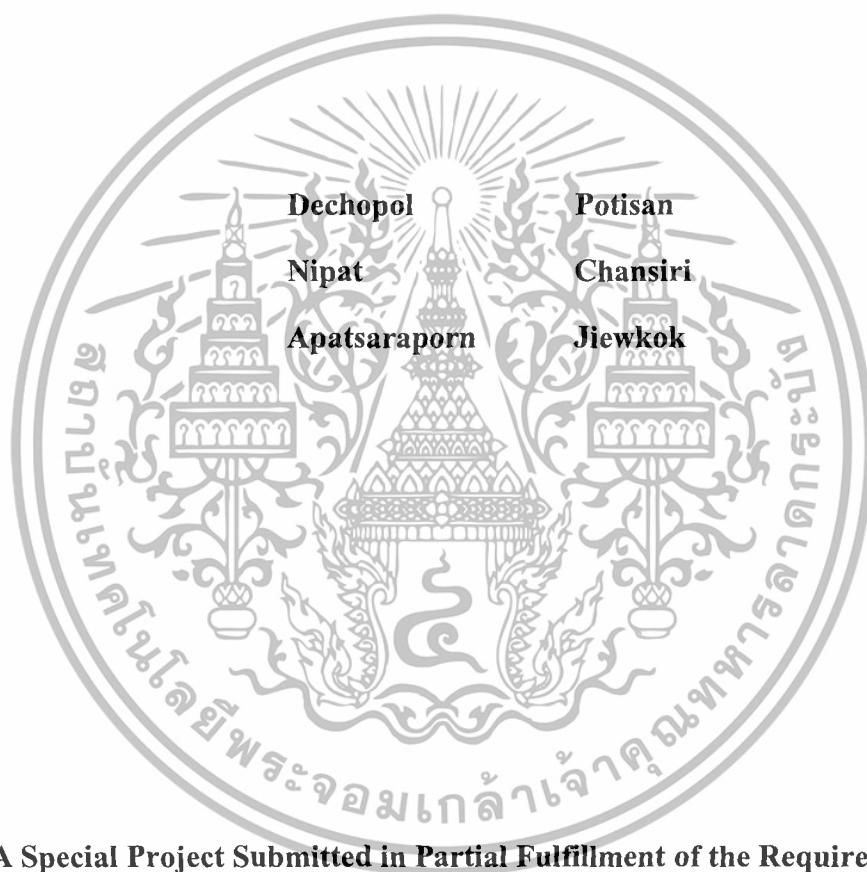
T107882



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation of Zinc Oxide from Zinc Smelting Waste



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

Department of Chemistry

Faculty of Science




King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การเตรียมชิงค้อออกไซด์จากกากของเสียกระบวนการหลอมสังกะสี
นักศึกษา นายเดโชพล โปธิสาร
 นายนิวัฒน์ จันทร์ศิริ
 นางสาวอภัสราภรณ์ เจียวก๊ก
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2550
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์	
กรรมการ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	



(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การเตรียมซิงค์ออกไซด์จากกากของเสียกระบวนการหลอมสังกะสี	
นักศึกษา	นายเดโชพล	โพธิสาร
	นายนิพัฒน์	จันทร์ศิริ
	นางสาวอภัสราภรณ์	เจียวก๊ก
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.เพชฌัญชัย ไชยสิทธิ์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการนำกากของเสียจากโรงงานหลอมสังกะสีมาใช้ประโยชน์โดยเตรียมเป็นซิงค์ออกไซด์ ในการศึกษาแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน คือ 1.) การละลายกากของเสียด้วยกรด 2.) การตกตะกอนสิ่งเจือปนในรูปของตะกอนซัลไฟด์ 3.) การตกตะกอนสิ่งเจือปนในรูปของตะกอนไฮดรอกไซด์ 4.) การเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 100-300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 5.) ทดสอบสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) และหาขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) 6.) ทดสอบสมบัติของซิงค์ออกไซด์ตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2 ผลจากการทดลอง พบว่ากรดที่เหมาะสมในการละลายกากของเสีย คือ กรดไนตริกเข้มข้น 6 โมลาร์และสามารถกำจัดสิ่งเจือปนในรูปเลดซัลไฟด์ (PbS) ได้ 92.80-93.98 % คอปเปอร์ซัลไฟด์ (CuS) 94.12-100% และแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) 100 % จากที่มีอยู่เดิม สำหรับสิ่งเจือปนในรูปเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) สามารถกำจัดได้ 88.46-91.43% จากที่มีอยู่เดิม จากผลการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ด้วย SEM พบว่าขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์อยู่ในช่วง 200-1000 นาโนเมตร มีรูปร่างเป็นทรงหกเหลี่ยม (Hexagonal) และผลการทดสอบสมบัติของซิงค์ออกไซด์ตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2 พบว่า เเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ในช่วง 0.05-0.09 % แคดเมียม 0 % เเปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้อยู่ในช่วง 99.25-99.71 % และเปอร์เซ็นต์สารที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.05-0.08 % ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2 ส่วนตะกั่วอยู่ในช่วง 0-0.11 % ซึ่งพบว่าไม่ผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก.221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2

คำสำคัญ : ซิงค์ออกไซด์, แคลไซน์, การตกตะกอนซัลไฟด์, การตกตะกอนไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preparation of Zinc Oxide from Zinc Smelting Waste	
Name	Dechopol	Potisan
	Nipat	Chansiri
	Apatsaraporn	Jiewkok
Department	Chemistry	
Program	Environmental Resource Chemistry	
Academic Year	2007	
Special Project Adviser	Asst. Prof. Krongkaw	Tippayasak
Special Project co-adviser	Asst. Prof. Dr. Phachernchai	Chaiyasit

ABSTRACT

The Zn-smelting waste utilization was the objective of this project. Zinc Oxide (ZnO) was produced from Zn-waste as the following step ; 1.) waste dissolution by acid 2.) Sulfide precipitation 3.) Hydroxide precipitation 4.) Calcine at 100-300 °C for 1 hour 5.) ZnO characterization their qualities and quantities by X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF), Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) and Scanning Electron Microscope (SEM). 6.) The product properties also compared with the TIS 221-2541 degree 2. The results showed that Nitric acid 6 M was suitable to use as a solvent. The impurities were removed 92.80-93.98 %, 94.12-100 % and 100 % in form of Lead sulfide (PbS), Copper sulfide (CuS) and Cadmium sulfide (CdS), respectively and confirmed their concentration by AAS. Ferric Hydroxide (Fe(OH)₃) was precipitated 88.46-91.43 %. From SEM, the ZnO particle size were in range 200-1000 nm. with hexagonal shape. The obtained ZnO properties were met the standard criteria in 4 parameters as the following ; moisture 0.05-0.09 %, Cadmium (Cd) 0 %, ZnO 99.25-99.71 % and water soluble 0.05-0.08 %. While Lead (Pb) had content 0-0.11 % and over the TIS 221-2541 degree 2 limit.

Keyword ; Zinc Oxide, Calcine, Sulfide precipitation, Hydroxide precipitation,

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้จัดโครงการพิเศษนี้จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผ.ศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความกรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษาและคำแนะนำและดูแลเอาใจใส่ตลอดจนตรวจสอบ ดิชมผลงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผ.ศ.ดร. เผด็จชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำพร้อมกับให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่คอยให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกจนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอขอบคุณไม่ได้ถ้าไม่ได้รับความกำลังใจและแรงบัลดาลใจจากบิดา มารดา อันมีค่ามากมาย มหาศาลจนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จ ตลอดจนบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ทางผู้จัดทำโครงการนี้ใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายเดโชพล

นายนิพัฒน์

นางสาวอภัสราภรณ์

โพธิสาร

จันทร์ศิริ

เจียวก๊ก

มีนาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำย่อและสัญลักษณ์	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 สังกะสี	4
2.1.1 ข้อมูลทั่วไป	4
2.1.2 ประวัติของสังกะสี	4
2.1.3 แร่สังกะสี	8
2.1.4 สังกะสีทั่วโลก	12
2.1.5 สังกะสีในประเทศไทย	14
2.1.6 สินแร่และกรรมวิธีถลุงแร่สังกะสี	24
2.1.7 ประโยชน์ของสังกะสี	25
2.1.8 พิษของสังกะสี	28
2.2 ชิงค์ออกไซด์	29
2.2.1 ข้อมูลทั่วไป	29
2.2.2 ประวัติของชิงค์ออกไซด์	30
2.2.3 กระบวนการผลิตชิงค์ออกไซด์	31
2.2.4 สมบัติของชิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม	32
2.2.5 ประโยชน์ของชิงค์ออกไซด์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 กระบวนการหลอมสังกะสี	37
2.3.1 สังกะสีที่ใช้หลอม (Grades of Zinc)	37
2.3.2 อุณหภูมิของเตาหลอมสังกะสี	38
2.3.3 ของเสียจากกระบวนการหลอมสังกะสี	38
2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการละลาย	39
2.5 การแยกสารโดยการตกตะกอนทางเคมี	40
2.5.1 การตกตะกอนโลหะซัลไฟด์ (Sulfide precipitation)	41
2.5.2 การตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ (Hydroxide precipitation)	43
2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีโดยการไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอ (EDTA)	45
2.6.1 การไทเทรตซิงค์ไอออนกับสารละลายอีดีทีเอ	49
2.6.2 อินดิเคเตอร์ที่ใช้สำหรับการไทเทรตโดยใช้อีดีทีเอ	49
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	51
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	57
3.2 สารเคมี	57
3.3 แหล่งที่มาของตัวอย่าง	58
3.4 วิธีการทดลอง	58
3.4.1 การสุ่มตัวอย่างกากของเสีย	58
3.4.2 การหาค่าประกอบในกากของเสีย	58
3.4.3 การแยกสังกะสีออกจากกากของเสีย	59
3.4.4 การเตรียมซิงค์ออกไซด์	60
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การวิเคราะห์หาค่าประกอบในกากของเสีย	62
4.2 การแยกสังกะสีออกจากกากของเสีย	62
4.2.1 การทดสอบการละลายของสารตัวอย่างด้วยกรด	64
4.2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3 การตกตะกอนซัลไฟด์เพื่อแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม ออกจากกากของเสีย	67
4.2.4 การตกตะกอนไฮดรอกไซด์เพื่อแยกเหล็กออกจากกากของเสีย	68
4.3 การเตรียมซิงค์ออกไซด์	69
4.3.1 การตกตะกอนในรูปซิงค์ไฮดรอกไซด์	69
4.3.2 การเผาแคลไซน์	70
4.3.2.1 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	78
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	86
ภาคผนวก ข การเตรียมสารละลายเคมี	91
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของสังกะสีและสารประกอบสังกะสี	7
2.2 แร่สังกะสีที่สำคัญ	8
2.3 แหล่งทรัพยากรแร่สังกะสีในโลก	12
2.4 ผู้ผลิตแร่สังกะสีในโลก	13
2.5 การผลิตแร่สังกะสี	17
2.6 มูลค่าและสัดส่วนร้อยละของแร่สังกะสีต่อผลผลิตแร่ในประเทศไทย	17
2.7 สมบัติของแร่สังกะสีจากแหล่งเขาผาแดง อ.แม่สอด จ.ตาก	19
2.8 ปริมาณการผลิต การบริโภค การนำเข้า และการส่งออกโลหะสังกะสีระหว่างปี 2543-2547	22
2.9 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม	32
2.10 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ตามมาตรฐานอังกฤษ	32
2.11 สมบัติของโลหะสังกะสีเกรดต่างๆ ในทางการค้าตามมาตรฐาน ASTM	38
2.12 ค่าคงที่ผลคูณการละลาย (K_{sp}) ของโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์	39
2.13 ค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับอิตีทีเอ	47
2.14 ความเสถียรของสารประกอบเชิงซ้อน M-EDTA ในสารละลายที่มีพีเอชต่างๆ	48
4.1 องค์ประกอบในกากของเสีย	63
4.2 การละลายของสารตัวอย่างด้วยกรด	64
4.3 เปรอร์เซนต์โดยน้ำหนักของตะกอนซัลไฟด์โดยเฉลี่ยที่วัดจากเครื่อง AAS	67
4.4 เปรอร์เซนต์โดยน้ำหนักของตะกอนไฮดรอกไซด์โดยเฉลี่ยที่วัดจากเครื่อง AAS	68
4.5 ปริมาณของโลหะบางชนิดในสารตัวอย่างและที่กำจัดออกโดยการตกตะกอนในรูปตะกอนซัลไฟด์และตะกอนไฮดรอกไซด์โดยร้อยละเทียบกับสารตัวอย่างเริ่มต้น	69
4.6 องค์ประกอบในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์	70
4.7 % recovery ของตัวอย่าง SA และ SB	72
4.8 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้เทียบกับเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ชั้นคุณภาพ 2	73
4.9 ปริมาณคลอไรด์ (Cl) โดยเฉลี่ยในตัวอย่างกากของเสียและตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.20 องค์ประกอบธาตุที่สำคัญในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF (ตัวอย่าง SB)	127
ค.21 องค์ประกอบธาตุที่สำคัญในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF (ตัวอย่าง Std.)	127
ค.22 ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS	128
ค.23 ปริมาณทองแดงในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS	129
ค.24 ปริมาณเหล็กในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS	130
ค.25 ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS	131
ค.26 ปริมาณสังกะสีในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS	132
ค.27 % recovery ของตัวอย่าง SA และ SB	134
ค.28 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้	137
ค.29 ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายซิงค์ซัลเฟต เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอ	139
ค.30 ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายซิงค์ออกไซด์	139
ค.31 เปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการไทเทรตด้วยสารละลายอีดีทีเอ	139
ค.32 เปอร์เซ็นต์สารที่ละลายน้ำ	141
ค.33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารที่หายไปหลังล้างตะกอน	143
ค.34 ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายซิงค์ซัลเฟต เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอ	145
ค.35 ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายซิงค์ออกไซด์	145
ค.36 เปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการไทเทรตด้วยสารละลายอีดีทีเอ	145
ค.37 เปอร์เซ็นต์สารที่ละลายน้ำหลังล้างตะกอน	146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเกิดแบบ Massive Sulfide	10
2.2 ประเทศผู้ผลิตแร่สังกะสีรายใหญ่ของโลก	12
2.3 แผนที่แสดงแหล่งแร่สังกะสีในประเทศไทย	15
2.4 ผลิตภัณฑ์โลหะสังกะสี	16
2.5 กราฟแสดงมูลค่าผลผลิตแร่ 5 อันดับแรกของประเทศไทยในปี 2548 และ 2549	18
2.6 กราฟแสดงมูลค่าผลผลิตแร่ของประเทศไทยในปี 2549	18
2.7 การใช้สังกะสีในประเทศไทย	21
2.8 ปริมาณการผลิต การบริโภค การนำเข้า และการส่งออกโลหะสังกะสีระหว่างปี 2543-2547	22
2.9 โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์	30
2.10 ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์	41
2.11 ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์	44
2.12 สูตรโครงสร้างของอีดีทีเอ	45
2.13 โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อน M-EDTA	46
2.14 ค่าพีเอชต่ำสุดที่สามารถไทเทรตโลหะชนิดต่าง ๆ ด้วยอีดีทีเออย่างมีประสิทธิภาพ	48
2.15 สูตรโครงสร้างของเอริโอโครมแบล็กที (Eriochrome Black T)	49
4.1 ลักษณะของตัวอย่างกากของเสียจากบริษัท นวกัทธุรกิจ จำกัด	62
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่ละลายต่อกรดชนิดต่าง ๆ	65
4.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่ไม่ละลาย	66
4.4 ขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	77
ค.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)	95
ค.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของทองแดง (ppm)	97
ค.3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของเหล็ก (ppm)	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.4 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของแคดเมียม (ppm)	99
ค.5 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของสังกะสี (ppm)	100
ค.6 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)	110
ค.7 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของทองแดง (ppm)	114
ค.8 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของแคดเมียม (ppm)	116
ค.9 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของสังกะสี (ppm)	118
ค.10 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของเหล็ก (ppm)	120

คำย่อและสัญลักษณ์

AAS	Atomic Absorption Spectrophotometer
Absorbance	ค่าดูดกลืนแสง
CdS	แคดเมียมซัลไฟด์
CuS	คอปเปอร์ซัลไฟด์
EDTA	เอทิลีน ไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด
Fe(OH) ₃	เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์
g	กรัม
M	โมลาร์
mg	มิลลิกรัม
mL	มิลลิลิตร
PbS	เลดซัลไฟด์
ppm	มิลลิกรัมต่อลิตร
SEM	Scanning Electron Microscope
XRF	X-Ray Fluorescence Spectrometer
Zn	สังกะสี
ZnO	ซิงค์ออกไซด์
Zn(OH) ₂	ซิงค์ไฮดรอกไซด์
%	เปอร์เซ็นต์
°C	องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

จากการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว การพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมถึงการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้ภาคอุตสาหกรรมต้องเพิ่มอัตราการผลิตสินค้าและผลิตภัณฑ์ให้เพียงพอกับความต้องการอุปโภคและบริโภคของประชากรที่เพิ่มขึ้น จากกระบวนการผลิตทำให้เกิดของเสียต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรม ถ้าหากมีกระบวนการกำจัดที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้งทางดิน น้ำ และอากาศ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีวิธีการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม ซึ่งในแนวทางการจัดการของเสียที่ใช้ คือ การนำของเสียจากกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ใหม่ และในปัจจุบันพบว่า มีการนำของเสียไปใช้ประโยชน์ใหม่ร้อยละ 40 ของปริมาณการบริโภคผลิตภัณฑ์ และของเสียที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตยังมีอัตราการนำเข้ามาใช้สูงอยู่ ซึ่งหากมีการรวบรวมของเสียในประเทศมาแปรรูปใช้ใหม่ก็จะทำให้ปัญหาการนำเข้าวัตถุดิบลดลงได้ โดยสังกะสีก็เป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่มีความต้องการใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

จากข้อมูลปี 2548 ของ International Lead and Zinc Study Group : ILZSG พบว่าทั่วโลกมีอัตราการใช้สังกะสีประมาณ 10.5 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 จากปีที่ผ่านมา และจากข้อมูลการผลิตแร่สังกะสีในประเทศไทยปี 2540 มีปริมาณการผลิตแร่สังกะสี 91,132 เมตริกตัน และในปี 2541 ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 114.1 เป็นปริมาณ 195,122 เมตริกตัน ซึ่งมีมูลค่าถึง 1,508 ล้านบาท โดยปัญหาที่สำคัญของการผลิตสังกะสีของประเทศไทย คือ แหล่งแร่ซิงค์ซิติเกตที่เหมืองแม่สอด มีปริมาณแร่ลดลงและปริมาณแร่ที่มีคุณภาพเนื้อโลหะสังกะสีเพียงร้อยละ 5-10 ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นตามลำดับ ต้องมีการนำเข้าสินแร่จากต่างประเทศและต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อสามารถใช้แร่ซิงค์ซิติเกตและซิงค์ซัลไฟด์ร่วมกันในการผลิต นอกจากนี้ยังต้องนำเข้าโลหะสังกะสีจากประเทศต่าง ๆ เช่น ออสเตรเลีย เบลเยียม จีน เกาหลี ญี่ปุ่น และประเทศในกลุ่มอาเซียน โดยปี 2547 ประเทศไทยมีการนำเข้าโลหะสังกะสี 43,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,000 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2546 ที่มีการนำเข้า 34,000 ตัน มูลค่า 1,220 ล้านบาท หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 และ 54 ตามลำดับ (สลิลา, 2547) โดยเฉพาะซิงค์ออกไซด์ซึ่งมีความสำคัญในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิงค์ออกไซด์ได้มีประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรม โดยนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอย่างมากที่สุดคือ ประมาณร้อยละ 50 ของซิงค์ออกไซด์ทั้งหมด ตามด้วยอุตสาหกรรมสีและเซรามิก ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระจกย สारหล่อลื่นและกาว ใช้สังกะสีเพียงเล็กน้อยในแต่ละปีอุตสาหกรรมเหล่านี้สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศหลายพันล้านบาท ความต้องการบริโภคสินค้าอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมยางรถยนต์ มีความต้องการเพิ่มมากขึ้นทุกปี อุตสาหกรรมสี ก็เติบโตเร็วมากเนื่องจากประชากรเพิ่มขึ้นความต้องการใช้สีก็เพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว เมื่ออุตสาหกรรมที่กล่าวมาข้างต้นมีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น ความต้องการซิงค์ออกไซด์ก็เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าซิงค์ออกไซด์มีบทบาทต่อการเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมในหลาย ๆ ประเภท

นอกจากการใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมแล้ว ซิงค์ออกไซด์ยังเป็นส่วนประกอบในการผลิตเครื่องสำอาง อาหารเสริมสุขภาพ อาหารสัตว์ ปุ๋ยสำหรับบำรุงพืช การกำจัดแก๊สพิษ การบำบัดน้ำเสีย ล่าสุดได้มีการพัฒนาสมบัติทางด้านไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การผลิตสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เซลล์รับแสงอาทิตย์ (Solar cell) การถอดแบบไมโครฟิล์ม การพิมพ์สีสัมผัส (Colour contact prints) เป็นต้น ซิงค์ออกไซด์ นอกจากจะมีประโยชน์ในตัวเองแล้ว ยังใช้เป็นสารเริ่มต้นสำหรับอุตสาหกรรมสารประกอบสังกะสีเกือบทุกชนิด และสารประกอบสังกะสีเหล่านี้ก็สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้มากมาย เช่นเดียวกัน

รพีพรและคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาการกำจัดโลหะหนักสังกะสีด้วยวิธีการตกตะกอน โดยใช้หินปูนธรรมชาติเปรียบเทียบกับปูนขาวแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตกตะกอนของโลหะหนักสังกะสี คือ พีเอชที่เปลี่ยนแปลงไป โดยช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของโลหะหนักสังกะสีในรูปของซิงค์ไฮดรอกไซด์ $[Zn(OH)_2]$ คือ พีเอชในช่วง 8-10

จินดา (2548) ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาสมบัติของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยกระบวนการตกตะกอนโดยใช้ซิงค์อะซิเตต $(Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O)$ เป็นสารตั้งต้นและตกตะกอนด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องคือที่พีเอช 8.5 และอุณหภูมิในการเผาแคลไซน์ 100-300 องศาเซลเซียส ซึ่งอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ได้จะมีรูปร่างกลมเหลี่ยมและมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 20-50 นาโนเมตร

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำกากของเสียจากโรงงานหลอมสังกะสีมาเตรียมเป็นสารประกอบสังกะสีเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตซิงค์ออกไซด์ โดยการตกตะกอนสังกะสีในรูปของ $Zn(OH)_2$ เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 100-300 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ซิงค์ออกไซด์และทดสอบสมบัติของซิงค์ออกไซด์ทางกายและปริมาณด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์

(XRF) และเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสืบค้นข้อมูลงานวิจัยในอดีตยังไม่มีงานวิจัยใด ที่นำกากของเสียจากโรงงานหลอมสังกะสีมาใช้ประโยชน์ในรูปของซิงค์ออกไซด์ ซึ่งซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียแล้วยังเป็นการลดต้นทุนของวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ซิงค์ออกไซด์ และลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าสู่สารเคมีและการกำจัดกากของเสียจากกระบวนการผลิตได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1. เพื่อนำกากของเสียจากกระบวนการหลอมสังกะสีมาใช้ประโยชน์และลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม โดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังนี้

- เพื่อศึกษาองค์ประกอบในกากของเสียจากกระบวนการหลอมสังกะสี
- เพื่อแยกสังกะสีออกจากกากของเสียที่มาจากกระบวนการหลอมสังกะสี
- เพื่อนำสังกะสีที่ได้มาเตรียมเป็นซิงค์ออกไซด์ในระดับปฏิบัติการ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทั้งหมดในกากของเสียจากกระบวนการหลอมสังกะสีโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF) และเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)
- 1.3.2 ศึกษาการแยกโลหะหนักปนเปื้อนออกจากกากของเสียที่มาจากกระบวนการหลอมสังกะสีด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีในรูปตะกอนซัลไฟด์และตะกอนไฮดรอกไซด์
- 1.3.3 ศึกษาการเตรียมซิงค์ออกไซด์ด้วยการตกตะกอนในรูปซิงค์ไฮดรอกไซด์แล้วนำไปเผาแคลไซน์ที่ อุณหภูมิ 100-300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและทดสอบองค์ประกอบของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF) ปริมาณของสังกะสีด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) และหาขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)
- 1.3.4 ศึกษาสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้โดยการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นไทเทรตหาเปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ด้วยสารละลายอีดีทีเอและเปอร์เซ็นต์ของสารที่ละลายน้ำ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนำกากของเสียจากกระบวนการหลอมสังกะสีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของเสียมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นต่อไปได้
- 1.4.2 สามารถเตรียมซิงค์ออกไซด์ขึ้นได้เอง ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ ของประเทศ เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าสู่สารเคมี

1.4.3 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียจากกระบวนการหลอมสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สังกะสี

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป (กัมพล, 2545)

สังกะสีเป็นโลหะที่อยู่ในหมู่เดียวกับปรอทและแคดเมียม มีเลขมวล 65.38 เลขอะตอม 30 ความถ่วงจำเพาะ 7.14 จุดหลอมเหลว 419 องศาเซลเซียส มีจุดเดือด 907 องศาเซลเซียส หลอมเหลวง่าย กลิ้งไสเข้ารูปง่าย สีขาว ทนทานต่อการเกิดสนิม ปกติเป็นโลหะที่มีความแข็งแต่เปราะจึงไม่สามารถตัดให้โค้งงอตามรูปร่างที่ต้องการ ได้ สมบัติต่างๆ ของสังกะสี แสดงไว้ดังตารางที่ 2.1

2.1.2 ประวัติของสังกะสี (Elvers and Hawkins, 1999)

ก่อนปี ค.ศ. 1500 ประเทศจีนและอินเดียได้รู้จักโลหะสังกะสี ถึงแม้ว่าจะยังไม่เป็นที่รู้จักอย่างชัดเจน โดยผลิตภัณฑ์แรกที่น่าสังกะสีมาใช้ก็คือ การทำเหรียญซึ่งจะประกอบด้วยสังกะสีถึง 99 % ในช่วงราชวงศ์หมิง (ปี ค.ศ. 1368-1644) และได้ตีพิมพ์ลงในหนังสือในปี ค.ศ. 1637 ซึ่งบรรยายถึงการผลิตที่มีการควบคุมการหลอมเหลวและการเชื่อมพนักภาชนะบรรจุ ส่วนในประเทศอินเดียก็ยังคงมีการค้นพบการเค้นระบบโดยควบคุมการหลอมเหลวของสังกะสี ในเมือง Sawai Madhopur (Rajasthan) ได้ยืนยันว่ามีผลิตภัณฑ์ของสังกะสีมาก่อน ปี ค.ศ. 1300 โรมัน, กรีก และฝั่งตะวันตกของโลก จะรู้จักเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากทองเหลือง ซึ่งมีการใช้มาก่อน ปี ค.ศ. 800 โดยนำมาใช้ทำเป็นเครื่องประดับ แต่ก็ยังไม่มีใครรู้จักโลหะสังกะสีอย่างชัดเจน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากทองเหลืองจะทำโดยการหลอมแร่ทองแดงหรือโลหะทองแดงกับสินแร่สังกะสีที่ชื่อว่า สมิทโซไนต์ (Smithsonite) ซึ่งวิธีได้ใช้กันมาจนกระทั่งปี ค.ศ. 1800 จึงได้มีการพัฒนาการหลอมทองเหลืองขึ้นซึ่งได้ค้นพบแหล่งพื้นที่ของการสะสมแร่สมิทโซไนต์ในหลายๆ พื้นที่ เช่น ในเมือง Luttich, Aachen และ Carinthia ในประเทศเยอรมันตะวันตก

คำว่า “สังกะสี” ได้ปรากฏการเขียนในครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1500 อย่างไรก็ตาม รากศัพท์ของคำนี้ก็ไม่มีที่มาอย่างชัดเจน ซึ่งส่วนใหญ่ได้สันนิษฐานกันว่าน่าจะมาจากภาษาของโรมันที่ชื่อว่า *Zinke* (แปลว่า ซิงค์ของหวี) ซึ่งได้มาจาก *Zacke* (แปลว่า เหลี่ยมแหลมของยอดเขา) โดยสังเกตจากการปรากฏเหลี่ยมแหลมของแร่หรือการสะสมในเตาหลอม นอกจากนี้อาจสันนิษฐานมาจากภาษาของชาวเปอร์เซียที่ชื่อว่า *seng* (แปลว่า ก้อนหิน) ในช่วงปี ค.ศ. 1495-1555 GEORGIUS AGRICOLA ได้บรรยายเกี่ยวกับการค้นพบวัตถุที่มีปริมาณมากในทางตะวันออกของเทือกเขาแอลป์ เรียกว่า ซิงค์ (Zinc) โดยเรียกตามคนในพื้นที่และเขาได้ตั้งชื่อว่า *Conterfey* ซึ่งเป็นวัตถุที่มีสีขาวและจะมีการสะสมในเตาหลอมระหว่างการหลอมของแร่ *Rammelsberg* โดยประกอบด้วยโลหะสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของโลหะผสมสังกะสี มีรายละเอียดที่บันทึกปรากฏชัดเจนครั้งแรกในทวีปยุโรป และเมื่อมีสังกะสีปรากฏขึ้นในอินเดียและจีน ก็ได้มีการสร้างความสัมพันธ์ทางการค้ากับหลาย ๆ ประเทศในทวีปเอเชียตะวันออก ในปี ค.ศ. 1595 LIBAVIUS ได้ค้นพบตัวอย่างของสังกะสีใน ตะวันออกของประเทศอินเดีย โดยได้มีการนำเข้ามาจากประเทศฮอลแลนด์และได้เรียกว่า Calaem แต่อย่างไรก็ตาม สังกะสีกับเงินจะไม่สามารถแยกแยะได้เนื่องจากเป็นวัตถุที่คล้ายกันในชื่อ Cadmia โดยได้จากการขุดจากผนังของเตาเผา เมื่อมีการหลอมแร่ Rammelsberg ในเทือกเขาฮาร์ซ (Harz) อีกทั้งยังมีส่วนประกอบของทองแดงและเงิน

ในปี ค.ศ. 1617 LOHNEYSS ได้อธิบายถึงกระบวนการและได้จำแนกโลหะสังกะสีหรือ Conterfey ชนิดนี้ไว้อย่างละเอียดโดย AGRICOLA ใช้วิธีเดียวกับโลหะทอง ส่วนในปี ค.ศ. 1700 และ ปี ค.ศ. 1718 KUNKEL และ STAHL ได้พิจารณาถึงแร่สมิทโซไนต์ที่เติมเข้าไปในโลหะผสม ของทองแดงระหว่างการทำผลิตภัณฑ์ทองเหลือง ในปี ค.ศ. 1721 HENKEL ได้ทำผลิตภัณฑ์สังกะสี จากแร่สมิทโซไนต์ ทางตอนเหนือของเมือง Silesia โดยใช้กระบวนการหนึ่ง ซึ่งเขาได้เก็บเป็น ความลับ ในปี ค.ศ. 1746 ที่กรุง Berlin ประเทศเยอรมัน MARGGRAF ได้ทำการผลิตสังกะสีจาก การกลั่นแร่สมิทโซไนต์ ใน Sealed vessel ซึ่งเขาได้อธิบายถึงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ของเขา ไว้อย่างละเอียด ด้วยเหตุนี้จึงมีการสร้างทฤษฎีพื้นฐานของการผลิตสังกะสี

ก่อนปี ค.ศ. 1720 อุตสาหกรรมการผลิตสังกะสีครั้งแรกเกิดขึ้นในประเทศอังกฤษ โดยใช้กระบวนการนำร่องขนาดใหญ่ ซึ่งพื้นฐานเหล่านี้นำมาใช้เป็นความรู้ในวิธีการผลิตสังกะสี และได้แพร่กระจายมายังทวีปเอเชียตะวันออก ต่อมาในปี ค.ศ. 1743 CHAMPION ได้นำกระบวนการเหล่านี้มาปรับใช้จากการผลิตทองเหลืองไปเป็นการผลิตสังกะสีโดยการกลั่น และเพื่อนำมาใช้ในการหลอมสังกะสีครั้งแรกที่เมือง Bristol โดยมีองค์ประกอบของสังกะสี มากกว่า 200 ตัน และยังนำกระบวนการนี้ไปผลิตสังกะสีจากสินแร่ซัลไฟด์ (Sulfide) หลังจากการ อบรมในขั้นต้น โดยในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตสังกะสีในประเทศอังกฤษอยู่ในเมือง Bristol และ เมือง Swansea ในปี ค.ศ. 1746 ยุโรปได้ทำซิงค์ซัลไฟด์ให้บริสุทธิ์เพื่อผลิตโลหะสังกะสี และ ระหว่างปี ค.ศ. 1750-1850 ดร. Raulin ชาวฝรั่งเศส พบธาตุสังกะสีในร่างกายสิ่งมีชีวิต และพบว่า ร่างกายของมนุษย์ต้องการ ธาตุสังกะสี จากการค้นพบครั้งแรกนั้นทำให้เราทราบว่า ธาตุสังกะสีเป็น สารที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งภายหลังในปี ค.ศ. 1965-1990 ได้มีรายงานทางการแพทย์ยืนยันถึง การเป็น โรคขาดธาตุสังกะสี และบ่งชี้ว่าสังกะสีเป็นหนึ่งในสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย โดย สังกะสีมีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ คือ

1. เป็นองค์ประกอบสำคัญในเอ็นไซม์หลายชนิดในร่างกายมนุษย์
2. ช่วยในการเจริญเติบโต และระบบต่าง ๆ ของร่างกาย
3. สำคัญมากต่อการพัฒนาเซลล์สมอง
4. ถ้าขาดสังกะสีจะทำให้การรับรสและความอยากอาหารลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. มีผลต่ออวัยวะเพศและการทำงานของระบบสืบพันธุ์
6. ส่งเสริมสุขภาพผิวและช่วยในการรักษาความผิดปกติของผิวหนัง
7. ส่งเสริมการทำงานของระบบคุ้มกันของร่างกาย

อุตสาหกรรมการผลิตสังกะสีในประเทศเยอรมัน RUBERG ได้ค้นพบวิธีการหลอมโลหะสังกะสีเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1798 โดยใช้กระบวนการ Horizontal retort ซึ่งเขาได้พัฒนาขึ้นมาเองและสร้างที่ Wessola ทางตอนเหนือของเมือง Silesia ซึ่งวัตถุดิบเริ่มแรกที่ถูกนำมาใช้คือ Zinc galmei ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตตะกั่วและเงิน ต่อมาภายหลังได้กลายมาเป็นการผลิตสังกะสีโดยตรงจากสินแร่สมิทโซไนต์ โดยใช้การหลอมแร่แบบง่าย ๆ แต่ถ้าจะใช้กระบวนการที่สิ้นเปลืองจะใช้สินแร่ซิงค์เบลนด์ (Zinc blende) ซึ่งขั้นแรกจะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบออกซิเจนโดยการอบหลังจากการพัฒนานี้เกิดขึ้น ทำให้มีกระบวนการหลอมในรูปแบบใหม่ ๆ ขึ้นมาในเมือง Silesia ซึ่งเป็นสถานที่ที่ใกล้แหล่งสะสมของตะกอนแร่และในพื้นที่รอบ ๆ ของเมือง Luttich ประเทศเบลเยียมและเมือง Aachen ประเทศเยอรมัน ในปี ค.ศ. 1840 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ค้นพบตะกอนแร่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ จึงทำให้มีอุตสาหกรรมผลิตสังกะสีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในปี ค.ศ. 1907 ประเทศเยอรมัน ซึ่งได้มีการผลิตตะกั่วมาเป็นระยะเวลายาวนานของโลกนั้นก็ได้นำมาผลิตสังกะสีแทน โดยที่แร่เริ่มมีคุณภาพที่ดีขึ้นอันเนื่องมาจากการนำการแยกประเภทของแร่และนำวิธีการลอยตัวมาใช้ในปี ค.ศ. 1920 ในปัจจุบัน มีการผลิตสังกะสีโดยวิธีการแยกด้วยไฟฟ้าซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Consolidated Mining & Smelting ในเมือง Trail ประเทศแคนาดา และบริษัท Anaconda Copper ในเมือง Montana ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นการนำแร่มาละลายด้วยกรดซัลฟิวริก ทำให้สามารถแยกโลหะสังกะสีออกมาได้สังกะสีมีความบริสุทธิ์สูง

การพัฒนาที่สำคัญในการผลิตสังกะสีเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1930 บริษัท New Jersey ในเมือง Palmerton ประเทศอังกฤษ ได้ใช้ Singer vertical retort แทนการใช้ Horizontal retort ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่องและได้สังกะสีที่บริสุทธิ์สูงประมาณ 99.5 % จากข้อมูลทางสถิติของการผลิตสังกะสีทั่วโลกเมื่อย้อนกลับ ไป 100 ปี พบว่า การผลิตสังกะสีสามารถผลิตได้ 472,000 ตัน และในปี ค.ศ. 1913 สามารถผลิตสังกะสีได้ 1,000,000 ตัน ซึ่งในยุคแรกจะใช้สังกะสีในการผลิตทองเหลืองเพื่อใช้ในการทำเครื่องประดับ เครื่องใช้ในครัวเรือนและเหรียญ การแยกสังกะสีเป็นกระบวนการแรกในอุตสาหกรรมนาร่อง ในปี ค.ศ. 1800 โดย GEISS และต่อมาในช่วงปี ค.ศ. 1805-1875 เขาก็ได้สร้างเตาหลอมสังกะสีขึ้น ประโยชน์ของสังกะสีจัดเป็นตัวต้านทานการกัดกร่อนที่ดี โดยจะใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์พวกเหล็กกล้า การบดสังกะสีจะทำที่อุณหภูมิ 100-150 องศาเซลเซียส ซึ่งถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1805 และโรงบดสังกะสีถูกสร้างครั้งแรกในประเทศเบลเยียม ในปี ค.ศ. 1812 โดย DONY และถูกสร้างในเมือง Silesia ในปี ค.ศ. 1812

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติของสังกะสีและสารประกอบสังกะสี (ที่มา : <http://www.wikipedia.org/>, 2007.)

ธาตุ/สารประกอบ	สังกะสี	ซิงค์ออกไซด์	ซิงค์ซัลเฟต	ซิงค์ไนเตรต	ซิงค์คลอไรด์	ซิงค์อะซิเตต
ชื่อเคมีทั่วไป	Zinc	Zinc Oxide	Zinc sulfate	Zinc nitrate	Zinc chloride	Zinc acetate
สูตรโมเลกุล	Zn	ZnO	ZnSO ₄ ZnSO ₄ ·7H ₂ O	Zn(NO ₃) ₂ Zn(NO ₃) ₂ ·6(H ₂ O)	ZnCl ₂	Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O
น.น. โมเลกุล (g/mol)	65.18	81.38	161.454 (ZnSO ₄) 287.5 (ZnSO ₄ ·7H ₂ O)	189.36 [Zn(NO ₃) ₂] 297 [Zn(NO ₃) ₂ ·6(H ₂ O)]	136.3	219.50 (dihydrate) 183.48 (anhydrous)
ลักษณะทางกายภาพ	ของแข็ง สีขาวปน น้ำเงินหรือเทาปนฟ้า	ผงละเอียดสีขาวนวล	ของแข็ง ผลึก สีขาว ไม่มีกลิ่น	ของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น	ผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น	ของแข็งสีขาว
จุดเดือด (°C)	907	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	36.4	756	เกิดการสลายตัว
จุดหลอมเหลว (°C)	420	1975 ± 25	500	105	275	สลายตัวที่อุณหภูมิ 200
ความสามารถในการ ละลายน้ำ ที่ 25 °C (g/100 ml)	ไม่มีข้อมูล	ละลายได้เล็กน้อย	166	1.843	432	43
ความหนาแน่น (g/cm ³) (bulk density)	7.13	5.43-5.70	2.907	2.065	2.065	ไม่มีข้อมูล

2.1.3 แร่สังกะสี (ปริญญา, 2546)

แร่สังกะสี (Zinc Mineral) เป็นแร่โลหะชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ โดยมีธาตุสังกะสีเป็นหลัก ธาตุสังกะสีมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ทั้งคน สัตว์ และพืช เมื่อนำแร่สังกะสีมาถลุงจะได้โลหะที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย จึงนับเป็นแร่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง

แร่สังกะสีที่สำคัญมี 7 ชนิด แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แร่สังกะสีที่สำคัญ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2550)

ชื่อ	สูตรเคมี	ส่วนประกอบทางเคมี	สมบัติทางกายภาพ	
			ความแข็ง	ความถ่วงจำเพาะ
1. แร่ซิงค์ซัลไฟด์ หรือแร่สฟาเลอไรต์ (Sphalerite) หรือซิงค์เบลนด์ (Zinc blende)	ZnS	Zn 67.00 % S 33.00 %	3.50-4.00	3.90-4.10
2. แร่ซิงค์คาร์บอเนตหรือแร่สมิทโซไนต์ (Smithsonite)	ZnCO ₃	ZnO 64.80 % CO ₂ 35.20 %	4.00-4.50	4.30-4.45
3. แร่เฮมิมอร์ไฟต์ (Hemimorphite) หรือ Calamine	Zn ₄ (Si ₂ O ₇)(OH) ₂ .H ₂ O	ZnO 67.50 % SiO ₂ 25.00 % H ₂ O 7.50 %	4.50-5.00	3.40-3.50
4. แร่ไฮโดรซิงค์ไคต์ (Hydrozincite)	2Zn CO ₃ .3Zn(OH) ₂	ZnO 74.12 % CO ₂ 16.04 % H ₂ O 9.85 %	2.00-2.50	3.60-3.80
5. แร่ซิงค์ไคต์ (Zincite)	ZnO	Zn 80.30 % O 19.70 %	4.00	5.68
6. แร่แฟรงคลินไคต์ (Franklinite)	(Fe, Zn, Mn)(Fe, Mn) ₂ O ₄ ที่สำคัญคือ ZnFe ₂ O ₄	Zn 15.00- 20.00 %	6.00	5.15
7. แร่วิลเลไมต์ (Willemite)	Zn ₂ SiO ₄	ZnO 73.00 % SiO ₂ 27.00 %	5.50	3.90-4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การกำเนิดของแร่สังกะสี (ปริญญา, 2546)

การกำเนิดของแหล่งแร่สังกะสี มักจะมีแคดเมียมอยู่ด้วย และมักจะมีแร่ตะกั่วซึ่งเป็นแร่มีค่าทางเศรษฐกิจเกิดร่วมด้วย ลักษณะการกำเนิดของแร่สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภท คือ

1. การกระจายของแร่สฟาเลอไรต์ในชั้นแผ่นหิน (Disseminated sphalerite in shales) มักเกิดร่วมกับทองแดงในหินดินดานที่เรียกว่า Kupferschiefer type แต่ส่วนมากการกำเนิดแบบนี้มักไม่ค่อยมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

2. การกระจาย การรวมกลุ่ม และการแข็งตัวของแร่สฟาเลอไรต์ในหินทราย, หินควอทซ์ และชั้นแผ่นหิน (Dissemination, knots, and concretion of sphalerite in sandstone, quartzite and shale) ในแหล่งกำเนิดแบบนี้มักมีแร่กาไลนา ทองแดง และเหล็กซัลไฟด์เกิดร่วมอยู่ด้วย

3. ช่วงของการแพร่กระจาย การแทนที่ตะกอน เส้นทางการแทนที่ตะกอนของแร่สฟาเลอไรต์ในชั้นหินปูนซึ่งเป็นผลมาจากการแทนที่โดยแร่โคโลไมต์และแร่ซิลิกา (Zone of disseminated sphalerite, veins of sphalerite, replacement deposits of sphalerite etc. carbonate rocks which often show the effects of dolomitization and silicification) การกำเนิดแบบนี้รู้จักกันในแบบของ “Mississippi Valley type” มักจะมีปริมาณของแร่ตะกั่ว-ทองแดงมากพอสมควร และแร่เงินเป็นปริมาณน้อย

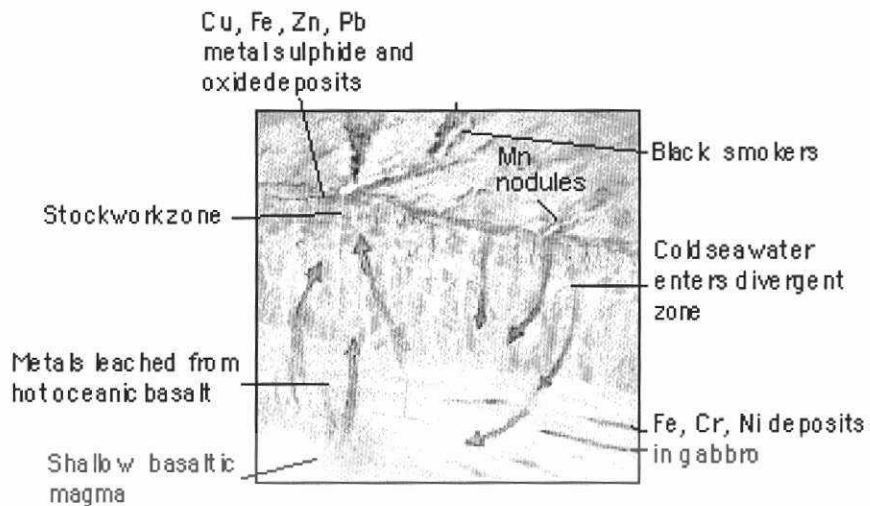
4. การแปรสภาพโดยการแทนที่ (Skarn – type Zinc deposits) ในแหล่งกำเนิดแบบนี้มักมีแร่ตะกั่ว ทองแดง เงิน และทองคำเกิดร่วมอยู่ด้วย

5. การสะสมของแร่แฟรงคลินไนต์ วิลเลไมต์และซิงไคต์ (Franklinite–Willemite–Zincite deposits) การกำเนิดของกลุ่มแร่เหล่านี้ อาจมีกำเนิดตามแบบที่ 4 คือ แบบ Skarn-type deposits ซึ่งเดิมที่คิดว่ามีกำเนิดแบบ Pyrometamorphic deposits แร่ที่มักเกิดร่วมอยู่ด้วยนอกเหนือจากแร่ 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้วคือพวก Zinc–Silicates, Manganese– Silicates, Axinite, scapolite, Calcite, Garnet, Rhodochrosite, Fluorite, Sphalerite, Galena, Arsenopyrite, Chacopyrite and Loellingite. การกำเนิดแบบที่ Franklin Furnance และ Sterling Hill, New Jersey เกิดอยู่ใน Crystalline limestone และหินหยาบของ Precambrian (Grenville)

6. การแทนที่และการสะสมของสายแร่สฟาเลอไรต์ในชั้นของหินชนิดต่าง ๆ (Vein and replacement deposits of sphalerite in various type of rocks) แร่ที่มักเกิดร่วมอยู่ในแหล่งกำเนิดนี้มักประกอบด้วยแร่กาไลนา เหล็ก ทองแดง และเงินซัลไฟด์ อาจมีแร่แบไรต์เป็นกากแร่ (gangue mineral)

7. การทับถมของแร่ซัลไฟด์เป็นส่วนใหญ่ (Massive sulfide deposits) ประกอบด้วยแร่สฟาเลอไรต์ (sphalerite) เหล็ก ทองแดง และเงินซัลไฟด์ ในบางแห่งอาจมีแร่แบไรต์เป็นแร่ที่มีค่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 รูปการเกิดแบบ Massive Sulfide (ปริญา, 2546)

แร่สังกะสีที่พบมากที่สุดในโลก ได้แก่ แร่สฟาเลอไรต์ (ZnS) ส่วนในประเทศไทยจะพบแร่สังกะสีในภาคเหนือและภาคตะวันตก ซึ่งเป็นแร่สังกะสีชนิดซิลิเกต คาร์บอนเนตและออกไซด์ ในรูปของแร่เอมิอไฟต์ ($Zn_3(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot H_2O$), สมิทโซไนต์ ($ZnCO_3$) และซิงไคต์ (ZnO) ตามลำดับ

- การแพร่กระจายของสังกะสีบนเปลือกโลก (ปริญา, 2546)

1) สังกะสีในหินอัคนี (Igneous Rock)

สังกะสีที่เกิดอยู่ในหินอัคนีจะมีอยู่ในรูปของซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) นอกจากนี้ สังกะสียังสามารถเกิดร่วมกับแร่จำพวกเหล็ก-แมกนีเซียม (Ferro-Magnesium) โดยสังกะสีจะไปแทนที่ไอออนของ Fe^{2+} และ Mg^{2+} ในแร่เหล่านั้น แร่ที่สำคัญที่สุดของสังกะสี คือ ซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) แร่พวกนี้จะเกิดอยู่เป็นเม็ดเล็ก ๆ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการลำดับส่วนหนืด (Magmatic differentiation) ในขณะที่หินหนืด (Magma) ยังร้อนและหลอมเหลวอยู่โดยการแยกช่วงของซัลไฟด์ (Sulfide phase) ออกจากช่วงของซิลิเกต (Silicate phase) ในระยะแรกเริ่มของการแยกตัวนี้ ปริมาณของสังกะสีในหินหนืด (Magma) มีอยู่น้อยมาก บางส่วนของสังกะสีจะแยกตัวออกมาพร้อมกับพวกซัลไฟด์ (Sulfide) และรวมตัวเป็นซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) ในระยะหลังของการแยกตัว ปริมาณของสังกะสีในหินอัคนีมีค่าระหว่าง 30–130 ppm ซึ่งขึ้นอยู่กับหินชนิดต่าง ๆ คือ ใน Ultrabasic rock ประมาณ 50 ppm Basic rock ประมาณ 105 ppm ในแกรนิตประมาณ 60 ppm และใน Syenite ประมาณ 130 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สังกะสีในหินชั้น (Sedimentary rock)

การแพร่กระจายของสังกะสีในหินชั้นมีค่าแตกต่างกันมากตามลักษณะของหิน ปริมาณของสังกะสีในหินดินดานและหินทราย มีค่าใกล้เคียงกับในหินอัคนีในแผ่นหิน (Shale) และในดินเหนียว (Clay) บางแห่ง มีค่าของสังกะสีอยู่สูงมาก เนื่องจากสังกะสีจะถูกดูดเอาไว้ด้วยดินเหนียว (Clay) เข้าไปอยู่ในโครงสร้างของแร่จำพวกดินเหนียว (Clay) ปริมาณของสังกะสีในหินดินดานเฉลี่ยประมาณ 95 ppm ในหินทรายประมาณ 16 ppm และในหินพวกคาร์บอเนต (Carbonate) ประมาณ 20 ppm ส่วนในดินตะกอนในท้องทะเลลึก จะมีปริมาณของสังกะสีสูงประมาณ 165 ppm โดยสังกะสีจะถูกดูดด้วยแร่ ดินเหนียว (Clay) และบางที่ก็ตกตะกอนรวมอยู่กับแร่พวกลิโมนาइट (Limonite) ส่วนในดินทั่ว ๆ ไปจะมีสังกะสีอยู่ตั้งแต่ 10–300 ppm โดยเฉลี่ยประมาณ 50 ppm

3) สังกะสีในหินแปร (Metemorphic rock)

ในขณะที่หินเปลี่ยนสภาพเป็นหินแปรโดยวิธีการใด ๆ ก็ตาม ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการผันกลับ (Retromorphic Transformation) ทำให้เกิดแร่พวกไบโอไทต์ (Biotite) และฮอร์นเบลนด์ (Hornblend) ซึ่งจะทำให้สังกะสี (Zn), ตะกั่ว (Pb), แมงกานีส (Mn), เหล็ก (Fe) และไททานเนียม (Ti) แยกตัวออกจากหินเดิมและจะรวมตัวเป็นแร่ใหม่เกิดแร่จำพวกเฮเทอร์โรไทต์ (Heterotite), กานไนท์ (Gahnite) และแฟรงคลินาइट (Franklinite) ขึ้น

4) สังกะสีในน้ำทะเล

สังกะสีจะละลายปนอยู่ในน้ำในลักษณะของซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ในขณะที่เกิดการผุกร่อนของหิน สารประกอบเหล่านี้จะถูกพัดพาไปทั้งน้ำบนผิวโลกและน้ำใต้ดินบางส่วนจะพัดพาไปสู่ทะเล ซึ่งสังกะสีที่อยู่ในทะเลจะอยู่ในลักษณะของซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) หรือ ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) นี้จะเกิดการรวมตัวกับคาร์บอเนต (Carbonate) เกิดเป็นแร่สมิทโซไนต์ขึ้น ส่วนในบริเวณทะเลลึก ๆ ซึ่งมีซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) อยู่สูงก็จะเกิดเป็นซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) นอกจากนี้ ปริมาณของสังกะสีจะมีอยู่ค่อนข้างสูงในบริเวณแหล่งฟอสเฟต ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกระบวนการอินทรีย์ (Organic process) ปริมาณของสังกะสีในน้ำทะเลเฉลี่ยประมาณ 0.10 ppm ในน้ำจืดจะมีค่าประมาณ 0.001–0.2 ppm

5) ชีวเคมีของสังกะสี (Biochemistry of Zinc)

สังกะสีผสมอยู่ในพืช เนื่องจากพืชต่างๆ ดูดเอาแร่ธาตุจากดินขึ้นไป สังกะสีเป็นตัวช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้ามีปริมาณมากก็จะเป็นพิษต่อพืช ในบางครั้งพืชจะรวบรวมเอาสังกะสีเอาไว้เป็นจำนวนมากซึ่งมีพืชอยู่ชนิดหนึ่งเรียกว่า Thaspi Calaminate นอกจากนี้ ยังพบสังกะสีอยู่เป็นจำนวนมากในสัตว์ ได้แก่ หอยนางรม (Oyster)

2.1.4 สังกะสีทั่วโลก

- แหล่งแร่สังกะสีในโลก

ตารางที่ 2.3 แหล่งทรัพยากรแร่สังกะสีในโลก (Mineral Commodity Summaries, 2004)

แหล่งทรัพยากรแร่สังกะสีในโลก	
ประเทศ	ปริมาณ (พันตัน)
ออสเตรเลีย	80,000
แคนาดา	31,000
จีน	92,000
คาซัคสถาน	35,000
เม็กซิโก	25,000
เปรู	20,000
สหรัฐอเมริกา	90,000
ประเทศอื่นๆ	87,000
ทั่วโลก	460,000

- ปริมาณการผลิตแร่สังกะสีในโลก



รูปที่ 2.2 ประเทศผู้ผลิตแร่สังกะสีรายใหญ่ของโลก (www.mapsofworld.com, 1999-2003)

ประเทศผู้ผลิตแร่สังกะสีรายใหญ่ของโลก ได้แก่ ออสเตรเลีย อังกฤษ ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา เม็กซิโก เปรู อาร์เจนตินา จีน ญี่ปุ่น บัลแกเรีย คาซัคสถาน โรมาเนีย และแคนาดา (ontario)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ผู้ผลิตแร่สังกะสีในโลก (World Mineral Production, 1999-2003)

ผู้ผลิตแร่สังกะสีในโลก			
ประเทศ	ผลผลิตแร่สังกะสี (พันตัน)		
	2001	2002	2003
ออสเตรเลีย	1,517	1,469	1,479
แคนาดา	1,065	916	788
จีน	1,693	1,624	1,800
อินเดีย	215	262	318
ไอร์แลนด์	298	277	419
คาซัคสถาน	345	392	393
เม็กซิโก	429	446	414
เปรู	1,057	1,222	1,373
สหรัฐอเมริกา	842	780	738
ประเทศอื่นๆ	1,639	1,512	1,478
ทั่วโลก	9,100	8,900	9,200

- ปริมาณการใช้สังกะสีในโลก

จากการประชุมกลุ่มศึกษาตะกั่วและสังกะสีระหว่างประเทศ (International Lead and Zinc Study Group: ILZSG) ซึ่งไทยเป็นสมาชิก ณ กรุงลอนดอน สหราชอาณาจักร ระหว่างวันที่ 26-28 ตุลาคม 2548 สำหรับการใช้น้ำสังกะสีในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปี 2548 มีการใช้ประมาณ 10.5 ล้านตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 โดยเป็นผลสืบเนื่องจากจีนซึ่งเป็นผู้บริโภคหลัก มีโครงการก่อสร้างและสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ รวมทั้งการใช้น้ำเพิ่มขึ้นในอินเดียและเกาหลีในปี 2549 ผลผลิตทั้งโลหะตะกั่วและโลหะสังกะสีจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณร้อยละ 3.5 โดยเกิดจากการขยายการผลิตของจีน อินเดีย และแคนาดา

2.1.5 สังกะสีในประเทศไทย

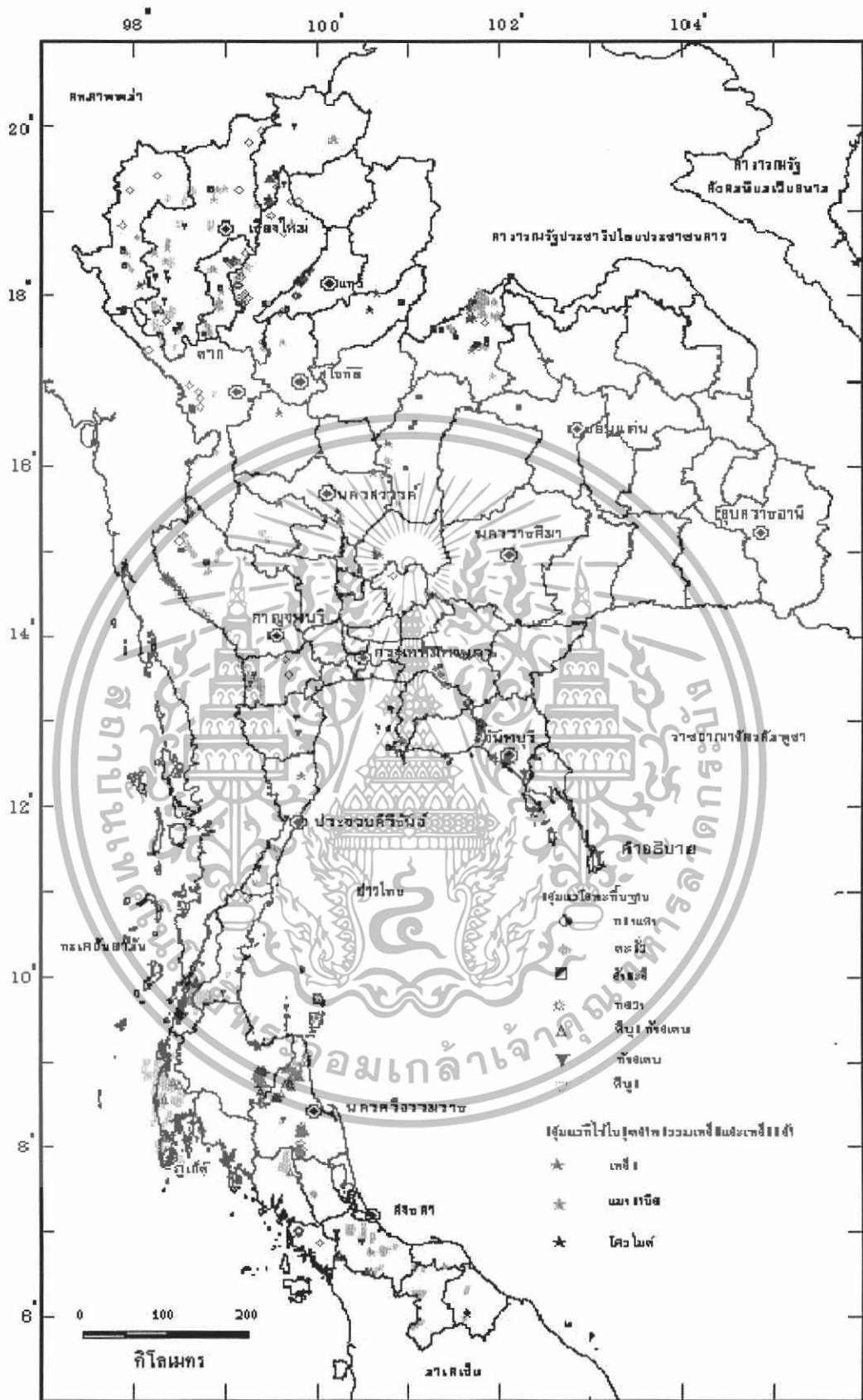
- แหล่งแร่สังกะสีในประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)

ประเทศไทย พบแหล่งแร่สังกะสีที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ได้แก่เหมืองแร่บริษัทตากไมนิ่งจำกัด และบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) นอกจากนี้ยังพบที่อำเภอกงหรา จังหวัดพัทลุง จังหวัดกาญจนบุรี แพร่ สงขลา และลำพูน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3

- การผลิตแร่สังกะสีในประเทศไทย (สลิลา, 2547)

การทำเหมืองแร่สังกะสีในปัจจุบันที่สำคัญคือ บริเวณผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตากของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด ก่อนการทำเหมืองได้ประเมินปริมาณสำรองแร่สังกะสีไว้ประมาณ 4.5 ล้านเมตริกตัน และได้ทำการก่อสร้างโรงถลุงแร่สังกะสีตั้งแต่ปี 2527 ในระยะแรกทำการผลิตเฉพาะโลหะสังกะสีแท่ง (Zinc Ingot) ในระยะต่อมาได้เพิ่มการผลิตโลหะสังกะสีผสม (Zinc alloy) การถลุงแร่สังกะสีเป็นกระบวนการถลุงแร่สังกะสีชนิดซิงคิตมาจากแหล่งแร่แม่สอด จังหวัดตาก เหมืองแม่สอดได้เปิดเหมืองมาเป็นที่ 15 ผลิตแร่สังกะสีได้ทั้งสิ้นประมาณ 4.4 ล้านเมตริกตันที่มีเนื้อโลหะสังกะสีเฉลี่ยร้อยละ 22 ปัจจุบันความสมบูรณ์ของแร่ลดลงมีเนื้อโลหะในแร่ประมาณร้อยละ 10 ปริมาณแร่สำรองลดลงเหลือประมาณ 370,000-400,000 ตัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการนำเข้าแร่จากต่างประเทศ มีทั้งแร่ซิงคิตและแร่ซิงคัลไฟด์ บริษัทฯ ได้ปรับเปลี่ยนกระบวนการถลุงแร่ใหม่ให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ โดยลงทุนสร้างโรงย่างแร่หรือโรงงานแคลไซน์ในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมผาแดง ตำบลมาตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ด้วยกำลังการผลิตสังกะสีแคลไซน์ 150,000 ตันต่อปี และได้ปรับเปลี่ยนกระบวนการถลุงแร่ในบางขั้นตอนของโรงถลุงสังกะสี จังหวัดตากด้วย

โรงงานผลิตแคลไซน์ ใช้แร่ซิงคัลไฟด์ที่นำเข้าจากต่างประเทศผ่านกระบวนการย่างแร่ ทำให้แร่ซิงคัลไฟด์เปลี่ยนไป ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลไซน์ (ZnO และ $ZnO \cdot Fe_2O_3$) ซึ่งจะถูกส่งไปเป็นวัตถุดิบในกระบวนการถลุงโลหะที่โรงงานในจังหวัดตาก นอกจากนี้ยังได้ก๊าซเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการ สามารถนำไปผลิตกรดกำมะถันต่อไป



รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงแหล่งแร่สังกะสีในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นใดเป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตแร่สังกะสีในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2540 มีปริมาณการผลิต 91,132 เมตริกตัน และในปี พ.ศ. 2541 ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 114.1 เป็นปริมาณ 195,122 เมตริกตัน มูลค่า 1,508 ล้านบาท (รายละเอียดปรากฏตามตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 การผลิตแร่สังกะสี (แสงเพชร, 2540)

ปี	ปริมาณ (เมตริกตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2538	135,198	711.9
2539	181,233	976.9
2540	91,132	581.4
2541	195,122	1,508

จากข้อมูลมูลค่าผลผลิตแร่ของประเทศไทยในปี 2548 และ 2549

- ในปี 2548 มีการผลิตแร่จำนวน 39 ชนิด มีมูลค่าทั้งสิ้น 35,355,708.094 บาท
- ในปี 2549 มีการผลิตแร่จำนวน 41 ชนิด มีมูลค่าทั้งสิ้น 39,479,972.865 บาท

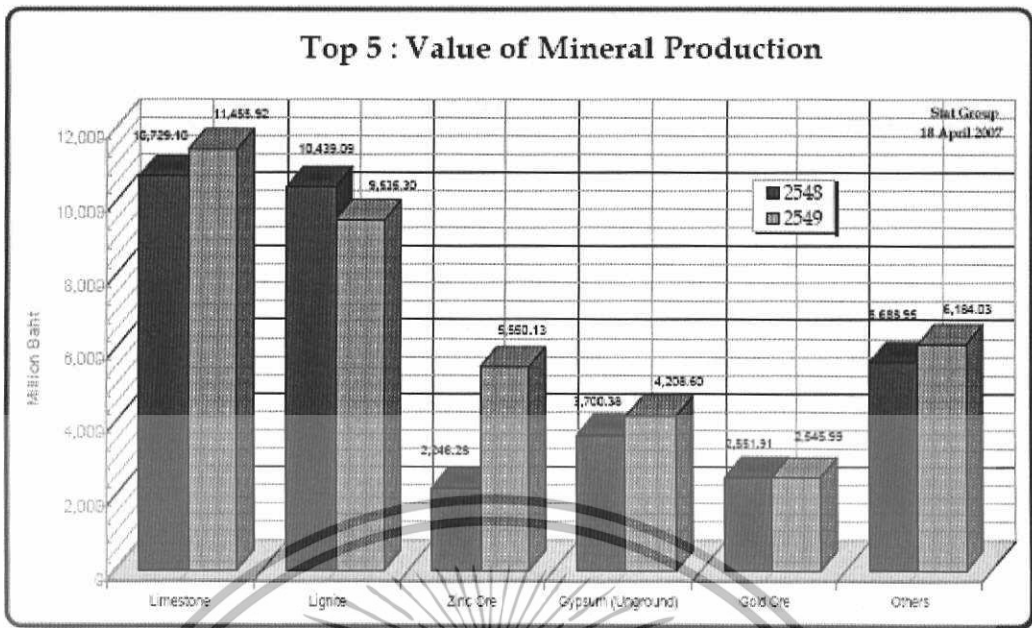
ซึ่งพบว่าแร่สังกะสีมีมูลค่าผลผลิตแร่เป็นอันดับ 3 รองจากหินปูนและลิกไนต์ โดยมีมูลค่าและสัดส่วนร้อยละของผลผลิตแร่ในประเทศไทย ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 มูลค่าและสัดส่วนร้อยละของแร่สังกะสีต่อผลผลิตแร่ในประเทศไทย (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2549)

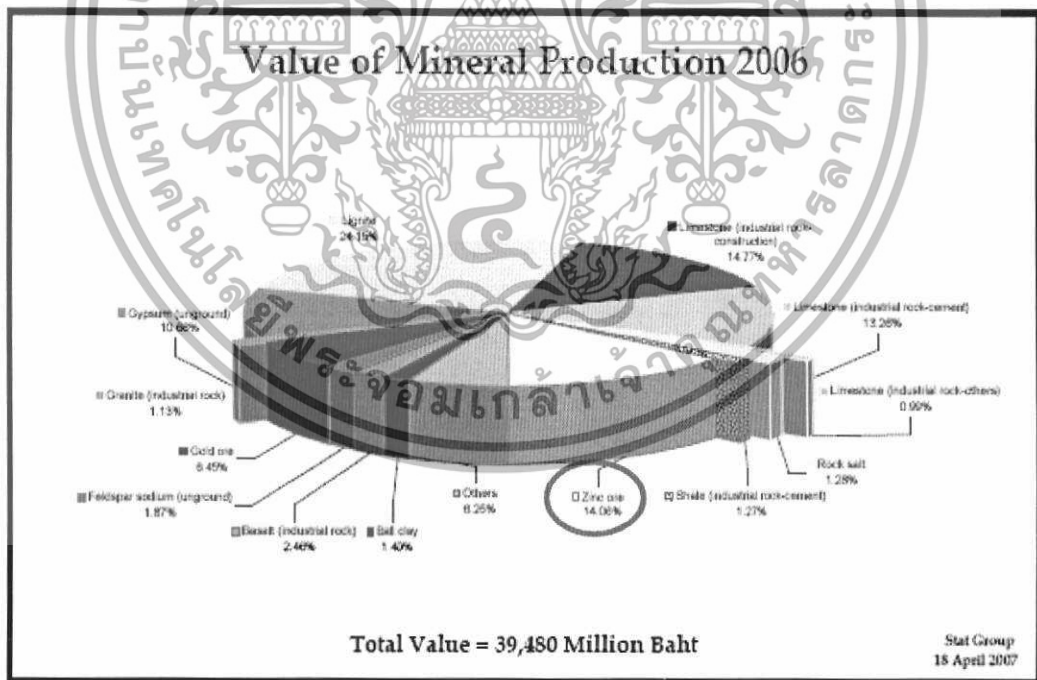
ปี 2548		ปี 2549	
มูลค่า (บาท)	เปอร์เซ็นต์	มูลค่า (บาท)	เปอร์เซ็นต์
2,246,283,529	6.35	5,550,128,920	14.06

107882

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงมูลค่าผลผลิตแร่ 5 อันดับแรกของประเทศไทยในปี 2548 และ 2549 (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2549)



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงมูลค่าผลผลิตแร่ของประเทศไทยในปี 2549 (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมบัติของแร่สังกะสีและโลหะสังกะสีที่ผลิตในประเทศไทย

ตัวอย่างแร่สังกะสีจากแหล่งเขาผาแดง อ.แม่สอด จ.ตาก

ตารางที่ 2.7 สมบัติของแร่สังกะสีจากแหล่ง เขาผาแดง อ.แม่สอด จ.ตาก
(กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2550)

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (%)
สังกะสี (Zn)	47.56
ตะกั่ว (Pb)	0.12
ทองแดง (Cu)	0.02
พลวง (Sb)	0.11
เหล็ก (Fe)	1.16
ซิลิกา (SiO ₂)	1.17
แคดเมียม (Cd)	0.05
แมงกานีส (Mn)	0.57
นิกเกิล (Ni)	0.02
โคบอลต์ (Co)	0.05
แมกนีเซียม (Mg)	0.05

โลหะสังกะสีผลิตโดย บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด

Zinc : Special High Grade

สังกะสี (Zn) : 99.99 %

- การผลิตโลหะสังกะสีในประเทศไทย

ในปี 2547 บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ผู้ผลิตโลหะสังกะสีรายเดียวของประเทศไทย มีการผลิตโลหะสังกะสี 115,500 ตัน แบ่งเป็นโลหะสังกะสีแท่งบริสุทธิ์ 68,800 ตัน และโลหะสังกะสีผสม 46,700 ตัน รวมมูลค่าการผลิต 4,620 ล้านบาท ปริมาณการผลิตลดลงจากปี 2546 ซึ่งมีการผลิต 116,400 ตัน เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่สัดส่วนของการผลิตโลหะสังกะสีผสมเพิ่มขึ้นเนื่องจากราคาดีกว่า บริษัทฯ จึงมีนโยบายมุ่งเน้นเป็น การจำหน่ายผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม บริษัทฯ ทำการถลุงโลหะจากสินแร่โดยใช้แร่ซิงค์ซิลิเกต (ความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 21-23) จากเหมืองของบริษัทฯ จากเหมืองอื่นในประเทศ และจากการนำเข้าผสมกับแร่เปอร์เซ็นต์ต่ำที่ผ่านกระบวนการลอยแร่ (ปรับความบริสุทธิ์จากร้อยละ 7 เป็นร้อยละ 32) และสังกะสีเคลือบที่ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการนำหัวแร่ซิงค์ซัลไฟด์ (ความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 60) มาผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนให้เป็นซิงค์ออกไซด์โดยโรงงานซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดระยอง สัดส่วนแร่นำเข้าต่อแร่ในประเทศเป็น 54:46 โดยนำเข้าแร่ซิงค์ซัลไฟด์จากเวียดนามและลาว และหัวแร่ซิงค์ซัลไฟด์จากออสเตรเลียและอเมริกาใต้ นอกจากนี้ยังมีการนำเข้าโลหะจากจีนมาหลอมใหม่ในการผลิตโลหะสังกะสีผสมอีกด้วย

- ปริมาณการใช้สังกะสีในประเทศไทย

โลหะที่ผลิตได้ในประเทศจำหน่ายในประเทศร้อยละ 71 ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม ความต้องการใช้โลหะสังกะสีในประเทศเพิ่มขึ้นทุกปี ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ได้แก่ อุตสาหกรรมเหล็กชุบสังกะสี อุตสาหกรรมหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน อุตสาหกรรมผลิตทองเหลือง และอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ เป็นต้น ในปี 2547 มีปริมาณการบริโภคในประเทศ 141,000 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2546 ซึ่งมีปริมาณการบริโภค 126,000 ตัน คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 จึงมีการนำเข้าโลหะสังกะสีจากต่างประเทศ ส่วนปริมาณการใช้สังกะสีในประเทศไทยในอุตสาหกรรมอื่น ๆ แสดงในรูปที่ 2.7

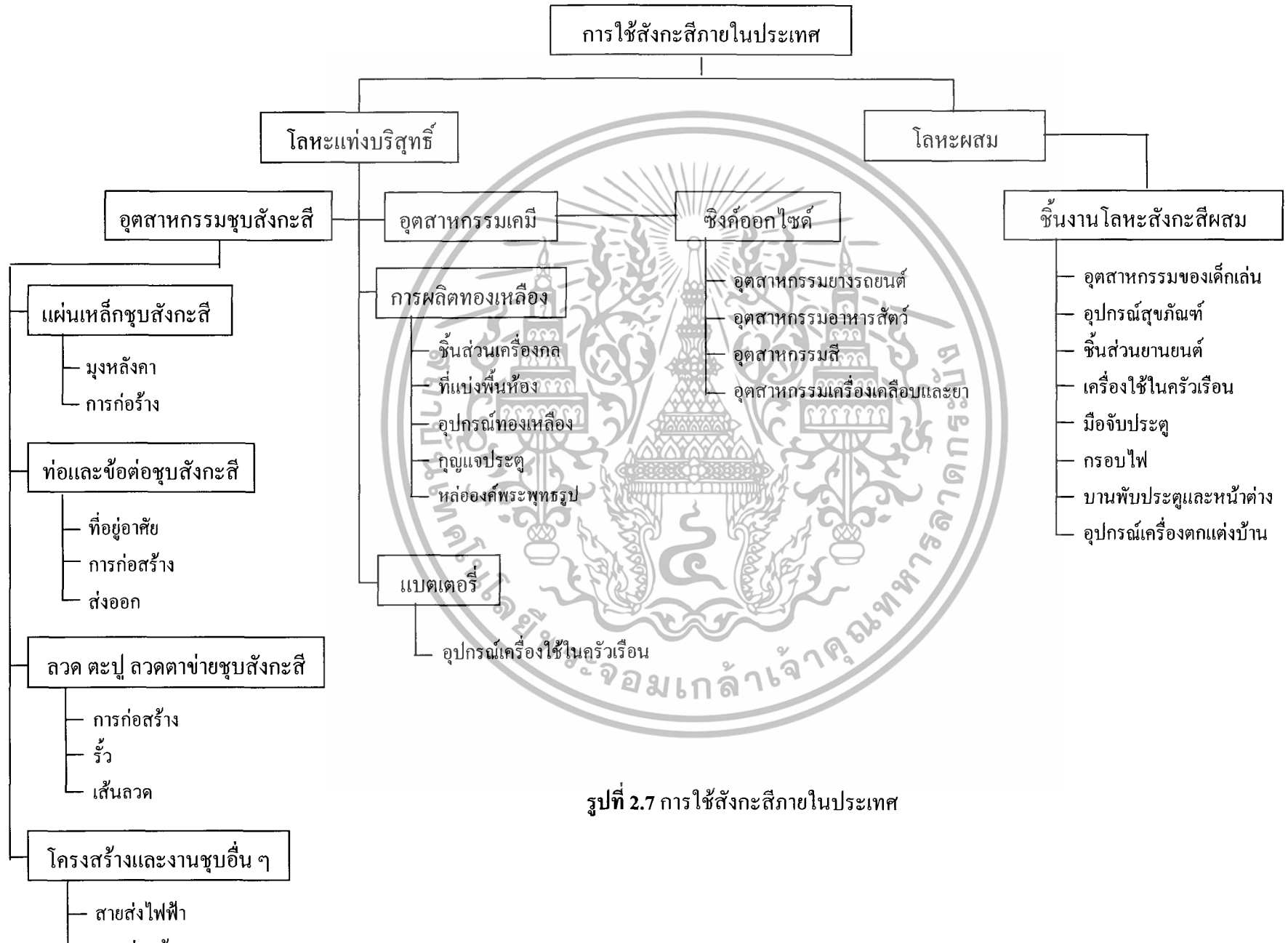
- การนำเข้าโลหะสังกะสีในประเทศไทย

มีการนำเข้าโลหะสังกะสีและผลิตภัณฑ์โลหะผสมสังกะสีชนิดที่ไม่มีการผลิตในประเทศ เนื่องจากปริมาณความต้องการใช้มีไม่มากนัก ส่วนใหญ่นำเข้าในรูปโลหะสังกะสีและสังกะสีผสม สังกะสีผงและเกล็ดลวดสังกะสี สังกะสีแผ่น สังกะสีเปลว ลวด หลอดท่อและอุปกรณ์ข้อต่อ มีการนำเข้าโลหะสังกะสีจากประเทศต่าง ๆ เช่น ออสเตรเลีย เบลเยียม จีน เกาหลีใต้ ญี่ปุ่น และประเทศในกลุ่มอาเซียน ปริมาณการนำเข้าในปี 2547 ประเทศไทยมีการนำเข้าโลหะสังกะสี 43,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,000 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2546 ที่มีการนำเข้า 34,000 ตัน มูลค่า 1,220 ล้านบาท หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 และ 54 ตามลำดับ ส่วนมากนำเข้าจากประเทศจีน ออสเตรเลีย และเกาหลีใต้ ในสัดส่วนร้อยละ 48, 13 และ 11 ของปริมาณการนำเข้าทั้งหมด

- การส่งออกโลหะสังกะสีในประเทศไทย

การส่งออกในปี 2547 มีการส่งออก 17,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 767 ล้านบาท ลดลงจากปี 2546 ซึ่งมีการส่งออก 24,000 ตัน มูลค่า 897 ล้านบาท หรือลดลงร้อยละ 29 และ 14 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณความต้องการใช้โลหะสังกะสีในประเทศสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในประเทศจึงจำหน่ายให้ผู้บริโภคในประเทศเพิ่มขึ้น ตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ ฮองกง ไต้หวัน จีน อินโดนีเซีย และเวียดนาม นอกจากการส่งออกในรูปผลิตภัณฑ์โลหะสังกะสีและโลหะผสมสังกะสีแล้วยังส่งออกในรูปสังกะสีผงและเกล็ด สังกะสีแผ่น หลอดท่อและอุปกรณ์ข้อต่อ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

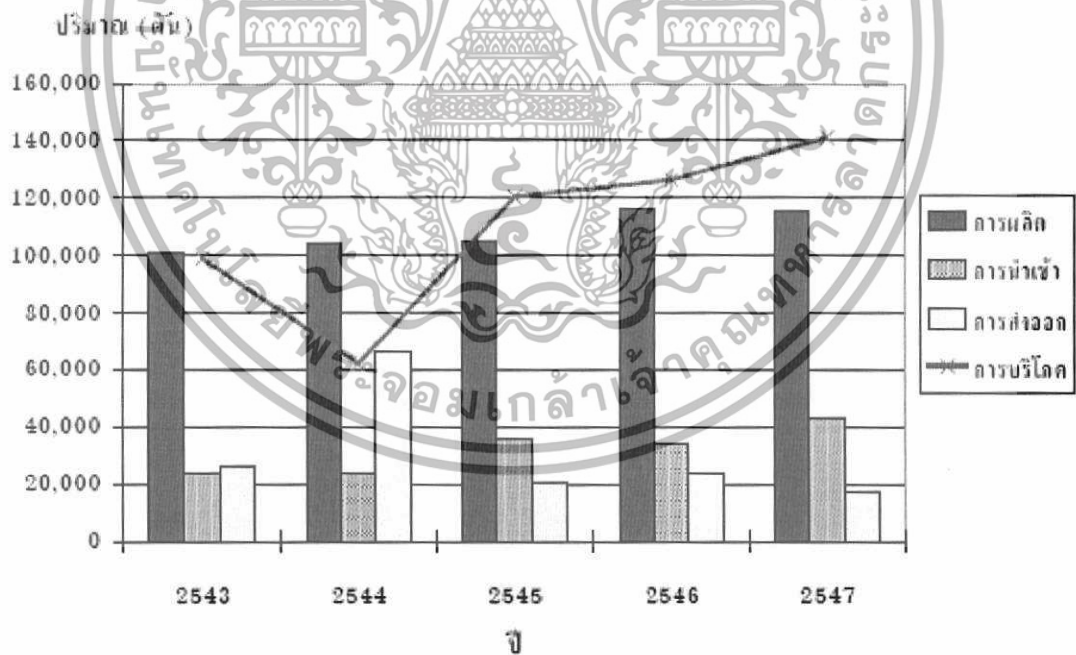


รูปที่ 2.7 การใช้สังกะสีภายในประเทศ

ปริมาณการผลิต การบริโภค การนำเข้า และการส่งออกโลหะสังกะสี ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2547 แสดงได้ดังตารางที่ 2.8 และรูปที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ปริมาณการผลิต การบริโภค การนำเข้า และการส่งออกโลหะสังกะสี ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2547 (สถิติ, 2547)

รายการ	ปริมาณ (ตัน)					
	ปี	2543	2544	2545	2546	2547
การผลิต		101,100	104,300	104,800	116,400	115,500
การนำเข้า		23,832	24,049	35,980	34,029	42,702
การส่งออก		26,062	66,191	20,334	24,044	17,139
การบริโภค		98,870	62,158	120,446	126,385	141,063



รูปที่ 2.8 ปริมาณการผลิต การบริโภค การนำเข้า และการส่งออกโลหะสังกะสี ระหว่างปีพ.ศ. 2543-2547 (สถิติ, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัญหาและอุปสรรคของการผลิตสังกะสีของประเทศไทย

ปัญหาที่สำคัญของการผลิตสังกะสีของประเทศไทย คือ แหล่งแร่ซิงค์ซิติเกด ที่เหมืองแม่สออด มีปริมาณแร่ลดลงและปริมาณแร่ที่มีคุณภาพเนื้อโลหะสังกะสีมีเพียงร้อยละ 5-10 ส่งผลกระทบต่อดัชนีทุนการผลิตที่สูงขึ้นตามลำดับ ต้องมีการนำเข้าสินแร่จากต่างประเทศและต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อสามารถใช้แร่ซิงค์ซิติเกดและซิงค์ซัลไฟด์ร่วมกันในการผลิต

- แนวโน้มการผลิตโลหะสังกะสีในประเทศไทย

ถึงแม้ว่าในปี 2547 บริษัทฯ ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ผู้ผลิตโลหะสังกะสีของประเทศไทยได้รายงานผลการดำเนินงานที่ดีขึ้นมาก โดยมีรายได้และกำไรจากการดำเนินงานเพิ่มขึ้นจากปี 2546 ซึ่งเป็นผลจากราคาโลหะสังกะสีโลกที่ได้ปรับสูงขึ้น ประกอบกับปริมาณความต้องการใช้โลหะสังกะสีภายในประเทศมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเหล็กชุบสังกะสีและอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อีกทั้งโครงการโรงลอยแร่ที่เหมืองแม่สออดของบริษัทฯ ได้ดำเนินการแล้วเสร็จและมีการผลิตเต็มกำลังส่งผลให้บริษัทฯ สามารถนำแร่สังกะสีที่มีคุณภาพต่ำที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดคุณค่าเชิงพาณิชย์และลดสัดส่วนการนำเข้าแร่จากต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม บริษัทฯ ประสบปัญหาและอุปสรรคจากปัจจัยต่าง ๆ และจะยังส่งผลต่อเนื่องในปี 2548 อาทิ การขาดแคลนแหล่งแร่ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะหัวแร่ซิงค์ซัลไฟด์ บริษัทฯ จึงต้องลดปริมาณการผลิตสังกะสีแคดไซนลง นอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากต้นทุนค่าขนส่งทั้งทางเรือและทางบกที่เพิ่มสูงขึ้น ต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ปรับราคาสูงขึ้น รวมทั้งการลดอัตราภาษีนำเข้าโลหะสังกะสีตามนโยบายการค้าเสรีของภาครัฐซึ่งเป็นปัจจัยภายในประเทศที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแข่งขัน (ผาแดงอินดัสทรี ออนไลน์, 2548)

แนวโน้มการบริโภคโลหะสังกะสีของประเทศไทยสูงขึ้นตามอัตราการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ในขณะที่ผู้ผลิตดำเนินการผลิตเต็มกำลังของเครื่องจักรและอุปกรณ์แล้ว ประกอบกับมีข้อจำกัดอันเนื่องมาจากปัญหาและอุปสรรคหลายประการดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ผลผลิตจึงไม่เพียงพอต่อความต้องการของประเทศ ส่งผลให้ยังคงต้องพึ่งพาการนำเข้า อย่างไรก็ตามผู้ผลิตโลหะสังกะสี ได้ดำเนินการเจาะสำรวจแร่เพิ่มเติมในบริเวณใกล้เคียง และพื้นที่เดิม แต่มีระดับความลึกเพิ่มขึ้น พบสินแร่สังกะสีที่มีศักยภาพและคุณภาพเนื้อโลหะสังกะสีในแร่สูงมีการยื่นขอประทานบัตรเพื่อทำเหมืองเพิ่มขึ้นพร้อมกันได้ทำการสำรวจแร่ในต่างประเทศ เช่น การสำรวจแร่ที่สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สหภาพเมียนมาร์พบปริมาณและศักยภาพแร่สูงพร้อมที่จะลงทุนดำเนินการทำเหมืองแร่ในโอกาสต่อไป สำหรับแนวทางกลยุทธ์ทางการตลาด ผู้ผลิตมีนโยบายที่จะผลิตโลหะสังกะสีผสมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีมูลค่าเพิ่มสูงกว่า ส่วนการส่งออกคาดว่าจะมีปริมาณลดลงเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะถูกใช้ภายในประเทศมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 สังกะสีและกรรมวิธีถลุงแร่สังกะสี (กัมปนาทและคณะ, 2548)

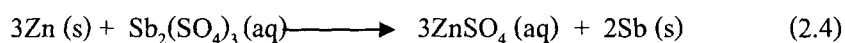
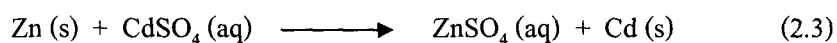
แร่สังกะสีที่มีความสำคัญทางอุตสาหกรรม ได้แก่ ชิงค์ซัลไฟด์หรือที่เรียกกันว่า แร่ซิงค์เบลนด์ (Zinc blende) หรือแร่สฟาเลอไรต์ (Sphalerite) เป็นแร่ที่มีหลายสี คือ เหลือง น้ำตาลหรือดำ นอกจากนี้ยังมีแร่ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) หรือที่เรียกว่า แร่ซิงค์ไคต์ (Zincite) และแร่ซิงค์คาร์บอเนต (ZnCO₃) หรือที่เรียกว่า แร่สมิทโซไนต์ (Smithsonite) แต่แร่สองชนิดหลังนี้พบน้อยจึงไม่ค่อยนำมาใช้

การถลุงแร่ซิงค์เบลนด์ (Zinc blende) จะเริ่มโดยนำแร่มาแยกเพื่อเอาแร่ที่ไม่ต้องการออกไป จากนั้นนำเอาแร่ไปบดให้เป็นก้อนเล็ก ๆ และนำไปเผาในเตา Reverberatory Furnace เพื่อเปลี่ยนแร่ซิงค์ซัลไฟด์ให้เป็นซิงค์ออกไซด์หรือที่เรียกว่า กระบวนการย่างแร่ (Roasting) แล้วจึงนำไปเผาเพื่อไล่ออกซิเจนออกอีกครั้งโดยใช้ถ่านหินหรือถ่านโค้กเป็นตัวดึงออกซิเจน (Reducer) การเผาเพื่อไล่ออกซิเจนนี้จะต้องใช้อุณหภูมิสูงเกินกว่า 930 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้โลหะสังกะสีที่เป็นไอผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นแยกเอาโลหะสังกะสีออกได้โดยผ่านไอของสังกะสีกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าห้องเย็น (Cooling chambers) ซึ่งสังกะสีจะกลั่นตัวเป็นของเหลว ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่กลั่นตัวเป็นแก๊ส ซึ่งสามารถแยกตัวออกต่างหากได้ ดังสมการ



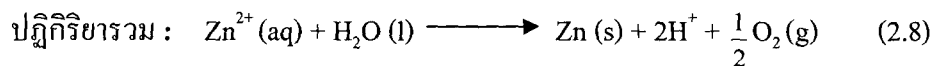
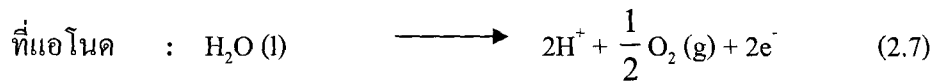
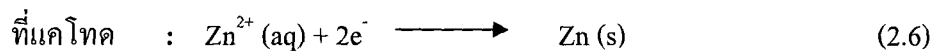
สังกะสีที่ได้นี้จะเหลวในแบบทำเป็นแท่งเรียกว่า แท่งสังกะสี ซึ่งมีความบริสุทธิ์ 98 % เมื่อต้องการทำสังกะสีให้บริสุทธิ์มากขึ้นไปอีกจะต้องนำเอาแท่งสังกะสีไปกลั่นใหม่อีกครั้งโดยการควบคุมอุณหภูมิให้แน่นอนก็จะได้สังกะสีที่มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้นอาจทำได้ถึง 99.99 %

การทำสังกะสีบริสุทธิ์โดยใช้การแยกด้วยกระแสไฟฟ้าก็ทำได้เช่นกัน โดยเริ่มตั้งแต่เอาแร่ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการย่างแร่ (Roasting) มาละลายในกรดกำมะถันจะได้สารละลายซิงค์ซัลเฟต (Zinc Sulfate) ซึ่งจะใช้เป็น electrolyte จากนั้นปรับใช้เป็นกลางด้วยหินปูนหรือปูนขาว แล้วกรองแยกกากแร่ออกจะได้สารละลายซิงค์ซัลเฟต (ZnSO₄) และโลหะแคดเมียม (Cd), พลวง (Sb) และ ทองแดง (Cu) จะตกตะกอนอยู่ที่ก้นภาชนะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



จากปฏิกิริยาพบว่าโลหะสังกะสีเกาะอยู่ที่ขั้วแคโทดและแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ส่วนในสารละลายจะมีกรดซัลฟิวริกเกิดขึ้น ซึ่งสามารถนำกลับไปใช้ทำปฏิกิริยากับแร่สังกะสีได้อีก และความบริสุทธิ์ของสังกะสีที่จะได้ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$)

2.1.7 ประโยชน์ของสังกะสี (ปริญญญา, 2546)

2.1.7.1 ประโยชน์สังกะสีต่อร่างกาย

สังกะสีสมบัติช่วยสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายให้อยู่ในระดับปกติ สร้างเซลล์ผิวหนังที่ตายแล้วให้เกิดขึ้นใหม่ ช่วยป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ต และถนอมผิวมิให้เหี่ยวย่นง่าย ทำให้แผลหายเร็ว และช่วยกระตุ้นสมองให้ทำงานดีขึ้น เด็กที่ได้รับธาตุสังกะสีอย่างพอเพียง จะช่วยให้มีความจำดี โตเร็ว สุขภาพแข็งแรง ธาตุสังกะสีพบมากในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ปลา ข้าว เมล็ดธัญพืช เนยและผักสีเขียว

2.1.7.2 ประโยชน์สังกะสีทางด้านอุตสาหกรรม

1) ด้านการก่อสร้าง

ตลาดใหญ่ของวัสดุเหล็กชุบสังกะสีคือ ด้านการก่อสร้าง ในการชุบเหล็กด้วยสังกะสีใช้สังกะสีมากถึง 90 % ของสังกะสีทั้งหมดที่ใช้เพื่อป้องกันเหล็กกล้าโครงสร้าง รางน้ำ ฯลฯ แผ่นเหล็กชุบสังกะสีใช้ทำทำมาตรฐานสำหรับระบบปรับอากาศ ระบายอากาศ และระบบให้ความร้อน ใช้เป็นรางและท่อในงานสายไฟฟ้าและท่อสายโทรศัพท์ในตึกขนาดใหญ่

2) สีฝุ่น

สังกะสีเติบโตเพิ่มขึ้น เป็นส่วนสำคัญเป็นสีพื้นและป้องกันเหล็กกล้าโครงสร้างอย่างสมบูรณ์ ปริมาณซิงค์ออกไซด์เพียงเล็กน้อยใช้ในการผลิตสีน้ำมัน ทองเหลืองและบรอนซ์ และโลหะที่มีสังกะสีเป็นส่วนผสมก็ใช้กันมากในด้านก่อสร้างสถาปัตยกรรม ทำประตู หน้าต่าง กรอบรางและประตูน้ำ สังกะสีรีดเป็นแผ่นบางใช้ทำรางน้ำฝน ท่อน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ด้านอุตสาหกรรมขนส่ง

ใช้สังกะสีในรูปแบบของแผ่นเหล็กชุบสังกะสี โลหะผสมหล่อแบบแม่พิมพ์ทองเหลืองและซิงค์ออกไซด์สำหรับหล่อแบบแม่พิมพ์ใช้ในส่วนประกอบของรถยนต์เช่น คาร์บูเรเตอร์ กลอนมือจับ และอื่นๆ ซิงค์ออกไซด์ใช้ในการผลิตยาง ซึ่งปรากฏว่ายางรถยนต์ใช้ยางมากที่สุด เครื่องบินเรือใหญ่ เรือเล็ก รถประจำทาง รถบรรทุก รถลาก รถจักรยาน ตู้รถไฟบรรทุกสินค้าและการขนส่งสายพานใช้สังกะสีประมาณ 12 % ของสังกะสีที่ใช้ในการขนส่งในสภาพเคลือบผิวแผ่นเหล็กหล่อแบบแม่พิมพ์และประเภทยาง

4) ด้านไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นเครื่องใช้ในบ้าน สำนักงาน คิดเป็น 11% ของการใช้สังกะสีทั้งหมด โดยใช้ในรูปผลิตภัณฑ์หล่อชุบด้วยสังกะสี ชิ้นส่วนสังกะสีหล่อแบบแม่พิมพ์ สังกะสีแผ่นบาง และซิงค์ออกไซด์

5) ด้านเครื่องจักรกล

ครอบคลุมถึงเครื่องจักรกลทางการเกษตร การสร้างทาง เครื่องขุด เครื่องบรรจุและอุปกรณ์กลในโรงงาน โดยใช้สังกะสี 9 % ของทั้งหมด

2.1.7.3 ด้านอื่นๆ

1) การชุบสังกะสี

มีการใช้สังกะสีชุบผิวเหล็กในผลิตภัณฑ์หลายอย่างเช่น แผ่นเหล็กชุบสังกะสี ท่อ ลวดและลวดสลิง อุปกรณ์ข้อต่อ และอื่น ๆ สาเหตุที่นิยมใช้สังกะสีเคลือบเพราะว่าสังกะสีมีสมบัติต้านการกัดกร่อนเป็นแอนโนดมากกว่าเหล็ก จึงผุกร่อนง่ายกว่า ดังนั้น เหล็กและเหล็กกล้าที่มีประโยชน์มากมายใช้ในการก่อสร้าง เมื่อชุบผิวด้วยสังกะสี แม้จะเกิดช่องว่างจากการชุบ แต่สังกะสีจะผุกร่อนไปก่อน จึงช่วยชะลอเหล็กให้มีอายุการใช้งานยาวนานออกไป นอกจากนี้การชุบผิวเหล็กด้วยสังกะสีเป็นวิธีสิ้นเปลืองน้อยกว่าวิธีอื่นในการป้องกันสนิม

2) การหล่อแบบแม่พิมพ์

ทุกหนแห่งไม่ว่าจะมองไปทางใดในบ้าน ที่ทำงาน โรงงาน แม้กระทั่งถนนหนทาง จะพบการใช้ประโยชน์จากสังกะสีหล่อแม่พิมพ์เพราะสังกะสีมีความจุในการหลอมตัวที่ต่ำ ทำให้ค่าใช้จ่ายต่อการกลึงไส ตกแต่งง่ายและสะดวกอีกด้วย

3) การผลิตทองเหลือง

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ปริมาณการใช้สังกะสีแท่งเพื่อผลิตทองเหลืองสำหรับปลอกกระสุนปืนเล็กเพิ่มสูงขึ้นเป็นอันดับหนึ่ง ปัจจุบันผลิตสังกะสีแท่งเพื่อผลิตทองเหลืองเป็นอันดับสาม ส่วนใหญ่ใช้เป็นส่วนประกอบยานยนต์

4) สังกะสีรีด

สังกะสีรีดมีสังกะสี 99.80 % หรือมากกว่า ถ้ามีเหล็กสูงสุดถึง 0.014 % จะให้สมบัติดั่งเย็นที่ตี ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ใช้สังกะสีรีดได้แก่ ปลอกแบตเตอรี่ งานสะท้อนแสงไฟแฟลช ฟิล์ม เครื่องสำอาง เป็นต้น สังกะสีพีดที่มีความบริสุทธิ์น้อยคือ มีตะกั่ว แคดเมียมและเหล็กสูง ใช้ทำด้านข้างและส่วนล่างของแบตเตอรี่แห้ง ป้ายเลขที่บ้านและป้ายชื่อ สังกะสีแผ่นทางการค้า ใช้ทำบล็อกพิมพ์ ท่อออร์แกน ปลอกแบตเตอรี่แห้ง และแผ่นพิมพ์ออฟเซต โดยมีสมบัติด้านแรงดึงเพียงพอ ไม่บิด เหนียว

5) สังกะสีฝุ่น

สังกะสีฝุ่นใช้ในการผลิตสารเคมีที่ใช้ในการพิมพ์และย้อมสิ่งทอ เป็นตัวตกตะกอนทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว เงิน ทองคำ และอื่น ๆ จากสารละลายทำไม้ขีดไฟ ก๊าซน้ำมันเตา สังกะสีสนิม สังกะสีฝุ่นผสมกับอะลูมิเนียมผงใช้แก่น้ำกระด้าง ใช้เป็นสารผลิตคอนกรีตทำให้ได้รูปทรงใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยเป็นสารเร่งการคายไฮโดรเจนในการทำสบู่จากจีฟี่พาราฟินและเป็นจุดเริ่มต้นในการเร่งการเกิดสารไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้สังกะสีผงยังใช้ทำดอกไม้ไฟ ทำน้ำตาลให้บริสุทธิ์และรักษาผิวกระดาษ

6) สารเคมี

6.1) ซิงค์คลอไรด์ : สามารถละลายออกซิเจน ได้ออกซิคลอไรด์ จึงใช้ในการผลิตซีเมนต์และการเตรียมสารอุดฟันในทางทันตกรรมเป็นสารเชื้อ (flux) ทางโลหะกรรมและการบัดกรีใช้ผลิตแบตเตอรี่แห้ง ยาน้ำเชื้อรา ขุบสังกะสี และกลั่นน้ำมัน

6.2) ซิงค์ออกไซด์ : ทำแม่สี เซรามิก เครื่องสำอาง และยา เมื่อใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นแม่สีทำให้ได้แม่สีมีคุณภาพดีกว่าที่ทำจากตะกั่วขาว รวมทั้งไม่เป็นพิษ ไม่เปลี่ยนสี เพราะไม่เกิดปฏิกิริยากับสารประกอบซัลไฟด์

6.3) ซิงค์ซัลเฟต : ใช้ในการผลิตเส้นใยเรยอน ทางการเกษตรใช้เพิ่มปริมาณสังกะสีในดินให้พืช

6.4) ซิงค์ซัลไฟด์ : มีดัชนีหักเหสูงและเรืองแสง ใช้ทำสีลิโทโป ($60\% \text{ZnS} + 40\% \text{BaSO}_4$) ซึ่งเป็นแม่สีมีคุณภาพดีกว่าซิงค์ออกไซด์ และตะกั่วขาวไม่เป็นอันตรายและเปลี่ยนสี แม้จะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากการที่ซิงค์ซัลไฟด์เรืองแสงจึงใช้ในจอภาพเอกซเรย์และหน้าปัดนาฬิกา นอกจากนี้ โลหะสังกะสี 11 % ใช้ในกิจการจีปาละที่สำคัญ คือ ใช้เป็นแท่งแอโนดเพื่อป้องกันตัวเรือท่อ และโครงเหล็กที่อยู่ใต้น้ำจากการกัดกร่อน ปริมาณสังกะสีน้อย ๆ ใช้ในโลหะอะลูมิเนียมและแมกนีเซียมผสมในกรรมวิธีแยกเงินจากตะกั่ว แยกทองคำ และทำให้สังกะสีอิเล็กโทรไลต์บริสุทธิ์ ยังใช้สังกะสีทำโลหะบัดกรีเพราะสังกะสีแทรกซึมเข้าไปตามขอบเกรน จึงให้กำลังยึดดี ลวดสังกะสีใช้ในระบบห้ามล้อ เนื่องจากด้านการสึกหรอสูงทำให้ลูกห้ามล้อสึกน้อยลง และเพิ่มอายุการใช้งาน ลวดสังกะสีมีการนำความร้อนดีเยี่ยม จึงกระจายความร้อนจากผิวหน้าเสียดทานได้เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 พิษของสังกะสี (สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดพิษณุโลก, 2550)

สังกะสีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ได้แก่

1. ทางเดินหายใจ สังกะสีที่เข้าสู่ทางเดินหายใจมักอยู่ในรูปฟุ้งหรือไอ ซึ่งเกิดขึ้นจากงานเชื่อม บัดกรี โลหะ ตัดโลหะที่เคลือบด้วยสังกะสี งานหลอมและหล่อทองแดง เป็นต้น และฟุ้งของซิงค์คลอไรด์
2. การสัมผัสทางผิวหนัง
3. ทางเดินอาหาร

สาเหตุและปัจจัยที่เสี่ยงต่อการเกิดโรค

บุคคลที่เสี่ยงต่อการเกิดโรค ได้แก่ ผู้ที่ประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการผลิต งานโลหะ งานเชื่อม บัดกรี โลหะ ตัดโลหะที่เคลือบด้วยสังกะสี งานหลอมและหล่อทองแดง และงานสังกะสีดังกล่าวย่อมเสี่ยงต่อการแพ้พิษสังกะสีได้

อาการ

โรคจากการแพ้พิษสังกะสี ที่พบบ่อยๆ มี 3 ประเภท ได้แก่ การแพ้พิษซิงค์ออกไซด์ การแพ้พิษซิงค์คลอไรด์และการแพ้พิษซิงค์โครเมต

1. การแพ้พิษซิงค์ออกไซด์

อาการเฉพาะที่ เมื่อผิวหนังสัมผัสกับซิงค์ออกไซด์จะทำให้รูขุมขนของต่อมไขมันถูกอุดตัน ทำให้กลายเป็นตุ่มใสๆ ขึ้นมา มีอาการคันมาก เมื่อเกาจะอักเสบ และกลายเป็นตุ่มหนองได้ อาการทั่วไป การสูดหายใจเอาฟุ้งของสังกะสีเข้าไป ทำให้เกิดอาการแบบไข้หวัดใหญ่เริ่มด้วยอาการคลื่นไส้ ปวดศีรษะ ไอ เหนื่อย เหงื่อออก รู้สึกกระสอกระสางของโลหะ ซึ่งมักเกิดขึ้น 4-12 ชั่วโมง หลังการสัมผัส ตามมาด้วยการมีไข้สูง เหงื่อออกและหนาวสั่น อาการดังกล่าวจะหายปกติภายใน 1-2 วัน เมื่อเริ่มกลับเข้ามาทำงานก็จะเป็นอย่างนี้ แต่อาการจะไม่รุนแรงเท่ากับครั้งที่สัมผัส ผู้ปฏิบัติงานจะมีความต้านทานต่อโรคนี้นั้นเป็นช่วงระยะสั้นๆ ผู้ปฏิบัติงานที่หยุดงานไป 1-2 วัน ในวันสุดท้ายสุดสัปดาห์ แล้วกลับมาทำงานใหม่ในวันจันทร์ ก็จะเกิดอาการอีกแต่ความรุนแรงจะลดลงเรื่อยๆ จึงเรียกชื่อโรคนี้นี้ว่า “โรคไข้วันจันทร์” (Monday fever) หรือ “โรคไข้พิษโลหะ” (Metal fume fever)

2. การแพ้พิษซิงค์คลอไรด์

อาการเฉพาะที่ ซิงค์คลอไรด์มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรง การสัมผัสทางผิวหนังทำให้ผิวหนังเกิดบาดแผลได้ การสัมผัสซิงค์คลอไรด์บริเวณตา เชื้ออนุฝิวจุมก คอ หลอดลม ปอด ทำให้เกิดอาการกัดกร่อน และระคายเคืองในความรุนแรงต่างกัน ในรายที่เป็นรุนแรงทำให้ปอดบวมมีน้ำคั่งในปอดถึงแก่ความตายได้ การกินเข้าไปจะกัดกร่อนบริเวณทางเดินอาหารส่วนต้น ได้แก่ หลอดอาหารและกระเพาะอาหาร ทำให้มีอาการอักเสบและปวดอย่างรุนแรง เมื่อหายแล้วทำให้ทางเดินอาหารตีบตันได้ อาการทั่วไป มีอาการคล้ายเป็นหวัด ไข้สูง ปวดเมื่อยตามกล้ามเนื้อ อาการดังกล่าวมักหายไปได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหยุดการสัมผัสสังกะสี

3. การแพ้พิษซิงค์โครเมต

เชื่อว่าซิงค์โครเมตเป็นสารก่อมะเร็งในคน การรักษาโดยทั่วไปไม่มีการรักษาเฉพาะส่วนใหญ่ใช้วิธีการรักษาแบบประคับประคองตามอาการเท่านั้น

การป้องกัน

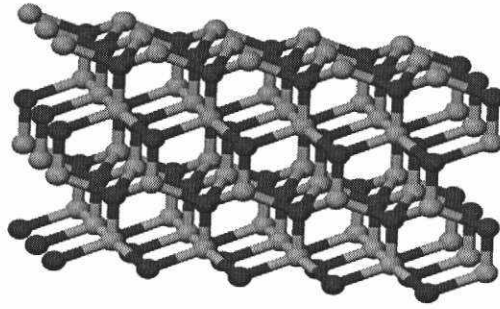
บริเวณที่มีสังกะสีเปลี่ยนสภาพเป็นฟุ้ง ควรจะได้รับการดูแลเอาใจใส่เรื่องการถ่ายเทอากาศหรือการดูดฟุ้งของสังกะสี ณ แหล่งกำเนิดออกไปยังที่กำจัด บุคคลที่สัมผัสควรจะได้รับการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับโรคแพ้พิษโลหะ หรือสวมใส่อุปกรณ์ที่มีอากาศหายใจหรือหน้ากากป้องกันการสูดหายใจเอาฟุ้งเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนั้นบุคคลที่สัมผัสฟุ้งของซิงค์คลอไรด์ ควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายอื่น ๆ ด้วย เช่น เสื้อผ้า แวนตา และที่ครอบหน้ากันสารเคมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากการหายใจเอาซิงค์คลอไรด์เข้าสู่ร่างกาย

2.2 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

2.2.1 ข้อมูลทั่วไป (สอิ่ง, 2539)

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวนวล ละลายน้ำได้น้อยมาก มีความเป็นเบสเล็กน้อย มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูปหกเหลี่ยม ดังรูปที่ 2.9 เมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิถึง 500 องศาเซลเซียส สีจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและจะกลับเป็นสีเดิมอีกเมื่อเย็นลง ซิงค์ออกไซด์มีสมบัติที่ดีหลายประการ คือ มีขนาดอนุภาคที่เล็กมากประมาณ 0.1-0.3 ไมครอน อนุภาคเรียงตัวหนาแน่นจึงทึบแสง สามารถป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ได้ มีความจุความร้อนสูง จุดหลอมเหลวสูง สัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ การนำความร้อนสูง สามารถกระทำให้ความร้อนต้านทานต่อไฟฟ้าได้ จากสมบัติข้อนี้จึงได้มีการนำเอาซิงค์ออกไซด์มาผลิตเป็นสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้ยังเป็นสารแอมโฟเทอริก (Amphoteric) คือ สามารถละลายได้ทั้งในกรดและเบส ทำปฏิกิริยาได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ดังนั้น ซิงค์ออกไซด์จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดและเบส ส่วนสมบัติอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์

(<http://www.wikipedia.org/>, 2007)

2.2.2 ประวัติของซิงค์ออกไซด์ (วารสารนาโนเทคโนโลยี, 2549)

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นที่รู้จักในนาม คาลาไมต์ (Calamite) ซึ่งเป็นภาษาอียิปต์โบราณ โดยเป็นแร่ธาตุจากสินแร่สมิทโซไนต์ (Smithsonite) ซึ่งมีองค์ประกอบ คือ ZnO มนุษย์รู้จักใช้ซิงค์ออกไซด์มายาวนาน โดยใช้ในการรักษาโรคตั้งแต่ในยุคอียิปต์โบราณในประเทศจีนเริ่มมีการใช้ในปี ค.ศ.1596 พบว่ามีหนังสือยาจีนชื่อ เบ็น เซา กัง มู เขียนโดย ชิน เซิน ตี ได้บันทึกถึงการใช้หินลูกก้าง โดยเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปจะกลายเป็นซิงค์ออกไซด์ถูกนำมาใช้รักษาโรคผิวหนัง โรคตาและโรคฟัน ในปี ค.ศ. 1750-1850 ซิงค์ออกไซด์เริ่มนำมาใช้เป็นยารักษาโรคในประเทศที่เจริญแล้ว เช่น ยุโรป จากนั้นจึงมีงานวิจัยและการศึกษาเกี่ยวกับซิงค์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น

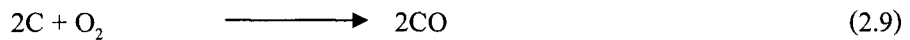
จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1774 Paracelsus ได้ค้นพบประวัติศาสตร์สมัยใหม่ของซิงค์ออกไซด์ที่เริ่มปรากฏอย่างชัดเจนมากขึ้น โดยเฉพาะราวกลางคริสต์ศตวรรษที่ 18 แต่การผลิตในสมัยนั้นยังคงเป็นแค่ในระดับห้องทดลอง ต่อมาปี ค.ศ.1840 Leclair ชาวฝรั่งเศสเริ่มผลิตซิงค์ออกไซด์ในระดับอุตสาหกรรมเป็นคนแรก ผลิตโดยการเผาสังกะสีในสภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการผลิตแบบฝรั่งเศส (French Process) ในปี ค.ศ.1852 บริษัท The New Jersey Zinc Company ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลิตซิงค์ออกไซด์ขึ้นบ้างแต่ได้พัฒนากระบวนการผลิตขึ้นมาใหม่โดยการหลอมแร่สังกะสีกับถ่านหินในเตาพิเศษ โดยเฉพาะซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการผลิตแบบอเมริกัน (American Process) ต่อมาในปี ค.ศ.1893 บริษัทนี้ได้ผลิตซิงค์ออกไซด์จากโลหะสังกะสีโดยตรงบ้าง โดยใช้ความรู้พื้นฐานทั้งกระบวนการผลิตแบบฝรั่งเศส (French Process) และ กระบวนการผลิตแบบอเมริกัน (American Process) จากการพัฒนากระบวนการผลิตใหม่นี้ ทำให้สามารถผลิตซิงค์ออกไซด์ที่มีหลายขนาดหลายรูปร่าง และมีการเคลือบผิว (Surface treatment และ Fatty acid เช่น Stearic acid) เพื่อเพิ่มสมบัติในการกระจายให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 กระบวนการผลิตซิงค์ออกไซด์ (สอิ่ง, 2539)

ซิงค์ออกไซด์แบ่งการผลิตเป็นวิธีใหญ่ ๆ ได้ 3 วิธี คือ

1. กระบวนการผลิตแบบอเมริกัน (American Process) เป็นกระบวนการผลิตจากแร่สังกะสีโดยตรง (Direct type) โดยการนำแร่สังกะสี (Zinc ore) มาทำการรีดิวซ์และออกซิเดชันด้วยถ่านโค้ก ปฏิกิริยาเคมีมีดังนี้



2. กระบวนการผลิตแบบฝรั่งเศส (French Process) เป็นกระบวนการผลิตโดยทางอ้อม (indirect type) โดยการนำโลหะสังกะสี (Metallic zinc) ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.9 มาผ่านกระบวนการหลอม ดังนั้น ซิงค์ออกไซด์ที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จึงมีความบริสุทธิ์สูง ปฏิกิริยาเกิด ดังนี้



3. กระบวนการผลิตแบบขั้นที่สอง (Secondary Zinc Oxide Type)

3.1 ผลิตจากปฏิกิริยาเคมี ซิงค์ออกไซด์อาจเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตสารเคมีตัวอื่น ๆ ดังนั้นสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์จึงแตกต่างกันไปบ้างตามแหล่งของวัตถุดิบและชนิดของปฏิกิริยา

3.2 ผลิตจากการถลุงเศษโลหะสังกะสีที่มีความบริสุทธิ์น้อย ความบริสุทธิ์ของซิงค์ออกไซด์ที่ได้จึงขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบที่ใช้ประเภทและเกรดของซิงค์ออกไซด์แบ่งตามกระบวนการผลิตและขนาดอนุภาคได้ 3 ประเภท ซิงค์ออกไซด์ที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตแบบฝรั่งเศส (French Process) ยังแบ่งตามความขาวสว่างและความหนาแน่นหรือที่เรียกว่าซีล (Seal) ได้ 3 เกรด คือ

1. White Seal ซิงค์ออกไซด์เกรดนี้จะมีสีขาวสว่างมากที่สุด ความหนาแน่นต่ำสุด
2. Green Seal ซิงค์ออกไซด์เกรดนี้จะมีสีขาวสว่างรองลงมา ความหนาแน่นปานกลาง
3. Red Seal ซิงค์ออกไซด์เกรดนี้จะมีสีขาวสว่างน้อยที่สุด ความหนาแน่นสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541)

ซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

- ชั้นคุณภาพ 1 ซึ่งเหมาะกับอุตสาหกรรมสีและเซรามิก
- ชั้นคุณภาพ 2 ซึ่งเหมาะกับอุตสาหกรรมยาง

ลักษณะทั่วไป ต้องเป็นผงละเอียดสีขาว ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ ส่วนสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.9 การทดสอบให้ปฏิบัติตาม JIS K 1410 -1962

ตารางที่ 2.9 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (JIS K 1410 -1962)

สมบัติของซิงค์ออกไซด์	เกณฑ์ที่กำหนด (%)	
	ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไม่น้อยกว่า	99.50	99.00
ความชื้น ไม่เกิน	0.10	0.10
สารที่ละลายน้ำ ไม่เกิน	0.10	0.10
ตะกั่ว ไม่เกิน	0.01	0.10
แคดเมียม ไม่เกิน	0.002	0.01
ส่วนที่ค้างบนแรง 45 ไมโครเมตร ไม่เกิน	0.10	0.10

ตารางที่ 2.10 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ตามมาตรฐานอังกฤษ (British Standard for Zinc Oxide (ZnO) : BS 254 : 1952)

สมบัติของซิงค์ออกไซด์	%	
	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ต่ำสุด	99.00	95.00
ตะกั่วออกไซด์ (PbO) สูงสุด	0.30	3.00
สารที่ละลายได้ในน้ำ (Matter soluble in water) สูงสุด	0.50	1.00
สารที่ระเหิดได้ที่ 98°C – 102°C (Volatile matter at 98°C – 102°C) สูงสุด	0.50	0.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ประโยชน์ของซิงค์ออกไซด์ (สอชิง, 2539)

1) ด้านอุตสาหกรรม

1.1 ยาง

การผลิตยางจะต้องนำเอายางมาทำปฏิกิริยากับกำมะถัน (Vulcanization) เพื่อให้ยางแข็งและเหนียวขึ้น มีความทนทานมากยิ่งขึ้น ปฏิกิริยาเกิดขึ้นยากหรือเกิดไม่สมบูรณ์ถ้าหากไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งที่ดีสำหรับปฏิกิริยานี้ โดยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน Zn-accelerator เร่งให้เกิด Sulfur Crosslinks ในโมเลกุลยางเร็วขึ้นจนปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ใช้เป็นตัวเติม (Filler) อีก เพื่อปรับปรุงการนำความร้อนและการทนทานต่อแสงแดดได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ผลึกภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ (Vulcanize process) เมื่อทิ้งไว้นานจะมีการสลายตัว ปล่อยกรดออกมา เรียกว่า aging ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ซิงค์ออกไซด์สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น โดยการทำปฏิกิริยากับกรดที่ปล่อยออกมา

อุตสาหกรรมยางเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ซิงค์ออกไซด์มากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 50 ของซิงค์ออกไซด์ทั้งหมด ปริมาณที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 3-5 ส่วนต่อยางร้อยละ ในอนาคตคาดว่าจะมีการใช้งานมากขึ้นตามปริมาณการผลิตรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นทุกปี

1.2 สี

ในการผลิตสีจะใช้ปริมาณซิงค์ออกไซด์มากรองลงมาจากอุตสาหกรรมยาง โดยทำหน้าที่เป็นรงควัตถุสีขาว (White pigment) ปรับปรุงลักษณะการไหลให้ดีขึ้น คือ ลื่นและเรียบ ไรต่อแสงยืดอายุการเคลือบให้นานขึ้น โดยป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ตและทำปฏิกิริยากับกรดที่เกิดจากการสลายตัวของวัตถุประสาน (Binder) ให้เป็นกลาง ซิงค์ออกไซด์ชนิดที่มีตะกั่วปนอยู่ด้วย จะทำให้สีทนต่อ สม ฟ้า อากาศได้ดีกว่า แต่ไม่ไวต่อแสงและสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทาเร็ว นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังสามารถฆ่าเชื้อราได้อีกด้วย

อุตสาหกรรมสีแบ่งออกเป็นสีเคลือบภายนอก สีรองพื้น โลหะ สีเคลือบภายใน ส่วนแต่ใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนผสมทั้งสิ้น ปริมาณที่ใช้อาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ ต้องการให้ทำหน้าที่อะไร ตัวอย่างเช่น ใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบ โลหะเพื่อป้องกันการกัดกร่อนและเพิ่มความเสถียร ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความเป็นกรด-เบส ปริมาณที่ใช้ประมาณร้อยละ 0.5-4.0 โดยน้ำหนัก ผสมในสีเคลือบโลหะที่มี การดูดกลืนรังสีต่ำและแผ่รังสีออกมาสูง ปริมาณที่ใช้ประมาณร้อยละ 50-90 โดยน้ำหนัก

1.3 เซรามิกและแก้ว

จัดเป็นตลาดที่สำคัญของซิงค์ออกไซด์ โดยอยู่อันดับ 3 รองจาก อุตสาหกรรมยางและอุตสาหกรรมสี ผลึกภัณฑ์เซรามิกต่าง ๆ และแก้ว ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.1) แก้ว ในการผลิตแก้ว ซิงค์ออกไซด์ช่วยลดเวลาหลอมให้สั้นลง ลดความหนืด เพิ่มความต้านทานต่อสารเคมีและดัชนีหักเห ลดอุณหภูมิจุดอ่อนตัว เพิ่มความยืดหยุ่น ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัว ลดการแตกร้าวเนื่องจากเครื่องจักรและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของแก้ว เช่น แก้วสำหรับผลิตเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือแก้ว ทนความร้อน ใช้ซิงค์ออกไซด์ประมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ส่วนแก้วที่ทนต่อการกัดแก้ว (HF) ใช้ซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

1.3.2) สารเคลือบ สารเคลือบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องดินเผา นั้นมักจะมีซิงค์ออกไซด์ผสมอยู่ด้วย ซิงค์ออกไซด์ช่วยเพิ่มการหลอมละลาย (Fluxing agent) ลดการขยายตัว เพิ่มความเป็นมันเงา ความขาว ความยืดหยุ่น ช่วยให้สีสุกใสยิ่งขึ้น ป้องกันการเกิดรอยร่อนหยักเป็นชั้นๆ ซิงค์ออกไซด์จะเกิดเป็นซิงค์ซัลไฟด์ในเคลือบผลึก ทำให้เกิดลวดลายผลึกขณะเย็นตัวลง ผลิตภัณฑ์เครื่องดินเผาชนิดนี้จะมีลวดลายสวยงาม แปลกตา ราคาแพง ได้แก่ แจกัน เครื่องประดับของตกแต่งต่างๆ เป็นต้น

1.3.3) โลหะเคลือบ ซิงค์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทโลหะเคลือบ ทำหน้าที่เหมือนกับในสารเคลือบ โลหะที่ใช้จะเป็นพวกเหล็กและอะลูมิเนียม ตัวอย่างเช่น เครื่องสุขภัณฑ์ อ่างอาบน้ำ เครื่องซักผ้า ตู้เย็น เป็นต้น

1.4 สิ่งทอ

ได้มีการใช้ประโยชน์ของซิงค์ออกไซด์มานานแล้ว เพราะความขาวโดยธรรมชาติและความสามารถเข้ากันได้ดีกับเส้นใย ไม่ว่าจะเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์ ใช้ในกระบวนการปั่นด้าย การย้อมสี และการขัดผิวขั้นสุดท้าย หน้าที่ของซิงค์ออกไซด์ คือ

1.4.1) เป็น Fixing agent โดยรวมตัวกับ Surface-active agent เกิดเป็น Zn-acetate หรือ Zn-formate ช่วยให้สีติดเส้นใยดีขึ้น

1.4.2) อนุพันธ์ของซิงค์ออกไซด์โดยเฉพาะซิงค์คลอไรด์ใช้เติมลงไปในผ้า เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราเป็นจุดต่างๆ และการเน่าเสียซึ่งเกิดจากเชื้อราและแบคทีเรีย

1.4.3) ทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มน้ำหนัก หรือตัวเติม ทำให้ผ้านุ่มมีน้ำหนักและ ทนต่อน้ำ

1.4.4) เป็นส่วนผสมสำคัญของสารกันน้ำ (Water proofing agent) สารกันไฟ (Flame proofing agent) โดยผสมกับ Chlorinated wax หรือ Resin เมื่อถูกเผาซิงค์ออกไซด์จะแตกออกเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดเป็นซิงค์ออกไซด์ที่สามารถป้องกันไฟได้

1.5 สารหล่อลื่น

ใช้น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil) และจาระบี (Grease) ทำหน้าที่เป็นรังกวตดู ตัวเติม และสารเคมี เพื่อปรับปรุงการหล่อลื่นให้ดีขึ้น ป้องกันการกัดกร่อน ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของจาระบีและเป็นตัวทำลายกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 เคมี

ตลาดของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมเคมีกำลังเพิ่มขึ้นเพราะว่าซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ในกระบวนการผลิตสารเคมีหลายปฏิกิริยา เช่น Alkylation, Oxidation, Dehydrogenation และ Hydrogenation เป็นต้น การผลิตเมทานอลก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซิงค์ออกไซด์นอกจากจะมีประโยชน์มากมายในตัวเองแล้วยังเป็นสารเริ่มต้นในการผลิตสารประกอบสังกะสีตัวอื่น เช่น $ZnCrO_4$, $ZnSO_4$, $ZnCl_2$, $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, Zinc resinate และ Zinc stearate เป็นต้น

2) ด้านเกษตรกรรม

สังกะสีเป็นธาตุที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่า คน สัตว์ หรือพืช สังกะสีจะก่อตัวกับเอนไซม์เป็น Metallo-enzyme ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมของร่างกายหลายชนิด เช่น เร่งปฏิกิริยาสร้างเซลล์ใหม่ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนในร่างกาย ถ้าขาดสังกะสีจะมีอาการผิดปกติมากมายหลายประการ ทำให้เจริญเติบโตช้า ตัวเล็ก ระบบการทำงานของตับและม้ามผิดปกติ ไม่มีการพัฒนาทางเพศ เกิดโรคผิวหนังง่าย แผลหายช้า เมื่ออาหาร

คนที่ขาดสังกะสีต้องกินอาหารที่มีธาตุสังกะสีสูง เช่น อาหารทะเล พืชสีเขียว ถ้าหากยังไม่เพียงพอ ต้องกินธาตุสังกะสีเสริม องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ประกาศว่า ในผู้ใหญ่ปกติต้องการธาตุสังกะสี 15 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้หญิงที่กำลังตั้งครรภ์ต้องการเพิ่มอีกเท่าตัว ซิงค์ออกไซด์ใช้เติมในอาหารเสริมสุขภาพ เพื่อเป็นแหล่งธาตุสังกะสี

ซิงค์ออกไซด์ใช้เติมลงในอาหารสัตว์เพื่อป้องกันการขาดธาตุสังกะสี นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังมีบทบาทที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ธาตุสังกะสีแก่พืช พืชที่ขาดธาตุสังกะสีจะมีลักษณะผิดปกติ คือ มีใบน้อย ใบเป็นจุดต่างๆ โตช้าและให้ผลผลิตน้อย ลักษณะการนำไปใช้จะทำให้อยู่ในรูปสารละลายแล้วพ่นไปบนใบ แต่ปัจจุบันได้พัฒนาลักษณะการใช้ให้ได้ผลมากยิ่งขึ้น โดยการเติมลงในปุ๋ย

3) ด้านเภสัชกรรม

การนำเอาซิงค์ออกไซด์มาใช้ประโยชน์ทางด้านนี้ยังมีน้อย แต่พอสรุปหน้าที่ได้ดังนี้

3.1 เป็นสารดับกลิ่นตัว (Mild deodorant) โดยทำปฏิกิริยากับเหงื่อที่ออกมาหลังจากที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้เป็นระดับนาโน ซึ่งอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์สามารถระงับกลิ่นตัวด้วยกลไกต่อไปนี้

- นาโนซิงค์ออกไซด์สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ทั้งกับสารที่เป็นกรดและเบส สามารถกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์โดยการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับโมเลกุลของแอมโมเนียจากร่างกายหรือสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ป้องกันการก่อตัวของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยนาโนซิงค์ออกไซด์ จะทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลไทออล ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นกลายเป็นซิงค์ซัลไฟด์

- ป้องกันการหมักของโปรตีนซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้น

3.2 เป็นส่วนผสมของน้ำยาแก้ผดผื่นคัน (Calamine lotion) และในยาหลายชนิด โดยที่ซิงค์ออกไซด์เป็นยาสมานแผล ลดการอักเสบ และยับยั้งแบคทีเรียได้ดี นำมาใช้เป็นยาสมานผิวและรักษาโรคติดเชื้อที่ผิวหนังบางชนิด เช่น โรคเรื้อนกว้าง โรคผิวหนังเป็นตุ่มพุพองจากเชื้อแบคทีเรีย โรคกลากเกลื้อน ฝี อาการคันตามผิวหนัง และผิวระคายเคือง โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 10-20 นาโนเมตร จากการสังเกตภายใต้กล้องกำลังขยายสูงพบว่า มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียด มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาว และไม่เปลี่ยนสี

3.3 เป็นส่วนผสมของสารต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial) ซึ่งสามารถทนต่อความร้อนและลมฟ้าอากาศได้ในช่วงอุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส

3.4 ทำหน้าที่เป็นสารฆ่าเชื้อ (Fungicide) ในสารสำหรับเคลือบอุปกรณ์เก็บอากาศ

4) ด้านเครื่องสำอาง

ด้วยสมบัติพิเศษที่ดีหลายประการของซิงค์ออกไซด์ จึงได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเครื่องสำอางหลายชนิดต่างๆ เช่น แป้งฝุ่นทาหน้า แป้งน้ำ ลิปสติก น้ำยาทาเล็บ เป็นต้น โดยทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้แป้งติดหน้า เรียบเนียนสวย ทำให้กลิ่นหอมของน้ำหอมติดทนนานเป็นตัวเติมในเครื่องสำอางแต่งหน้า ปริมาณที่ใช้ร้อยละ 13-15 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังใช้เป็นส่วนผสมของรงควัตถุป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ตที่นำมาผลิตเป็นเครื่องสำอาง โดยเคลือบที่ผิวของอนุภาคสารอนินทรีย์ตัวอื่น ทำหน้าที่ป้องกันแสง UV ซึ่งมีความปลอดภัยและอ่อนโยนต่อร่างกาย โดยได้รับการยืนยันจาก Food and Drug Administration (FDA) ว่าเป็น 1 ใน 2 ชนิดของสารกันแดดที่เป็นส่วนผสมในประเภทผลิตภัณฑ์ดูแลผิว ซึ่งสามารถป้องกันได้ทั้ง UVA และ UVB แต่อนุภาคปกติของซิงค์ออกไซด์จะมีสีขาวเมื่อนำมาทาลงบนผิว ดังนั้น ซิงค์ออกไซด์จึงไม่นิยมนำมาใช้ในการเป็นครีมหรือผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผิว อย่างไรก็ตาม นาโนซิงค์ออกไซด์ได้รับการทดสอบโดย Australia Commonwealth Science & Industrial Research Organization (CSIRO) พบว่า นาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมของครีมหรือโลชั่นกันแดดจะให้สัมผัสนุ่มลื่น โปร่งใส และไม่มีสีหลังจากที่ทาลงผิว นาโนซิงค์ออกไซด์จึงเหมาะสมที่จะนำมาผสมเป็นสารกันแดดในเครื่องสำอาง นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังควบคุมความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์ให้เป็นกลาง คือ จากพีเอช 9-11 มาเป็นพีเอช 5.5-7.5 ซึ่งมีความเป็นกรด-เบส ช่วงนี้เหมาะสมสำหรับผิวคน ซิงค์ออกไซด์ใช้สำหรับเครื่องสำอางนี้ต้องเป็นผงละเอียดมาก ความบริสุทธิ์สูง ไม่มีโลหะหนักที่เป็นพิษเจือปน เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู แมงกานีส เป็นต้น

5) ด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ กำลังเป็นปัญหาที่เป็นบ่อนทำลายสุขภาพจิตของคนในสังคมเมือง เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าด้านอุตสาหกรรมมีมากขึ้น จำนวนโรงงานมีมากขึ้น ปริมาณของเสียที่เป็นพิษจึงเพิ่มมากขึ้นทุกวัน ดังนั้น เราจำเป็นต้องหาทางกำจัดสารพิษเหล่านี้ให้ลดน้อยลงไป

มลภาวะทางอากาศเกิดจากในอากาศมีแก๊สพิษปนอยู่มากเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด แก๊สพิษเหล่านี้ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) เป็นต้น ซึ่งแก๊สออกไซด์ได้เข้ามามีส่วนช่วยกำจัดแก๊สพิษเหล่านี้ โดยทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับด้วยปฏิกิริยาดังนี้



นอกจากนี้ ซึ่งแก๊สออกไซด์ยังทำหน้าที่เป็น Solid oxidation catalyst ในกระบวนการกำจัดน้ำเสียได้อีกด้วย

2.3 กระบวนการหลอมสังกะสี

2.3.1 สังกะสีที่ใช้หลอม (Grades of Zinc) (คำริ, 2525)

สังกะสีที่มีความเหมาะสมที่จะใช้ คือ Prime Western ซึ่งมีสังกะสี 98 % เป็นอย่างน้อย การใช้สังกะสีให้มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับสมบัติของสังกะสี ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 สมบัติของโลหะสังกะสีเกรดต่าง ๆ ในทางการค้าตามมาตรฐาน ASTM

(Compositions of the commercial grades of zinc metal established by ASTM : B6-70 approved 1973) (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2550)

เกรด	องค์ประกอบ (%)			
	ตะกั่ว (สูงสุด)	เหล็ก (สูงสุด)	แคดเมียม	สังกะสี (ต่ำสุด)
Special High Grade* (SHG)	0.003	0.003	0.003	99.990
High Grade (HG)	0.07	0.02	0.03	99.90
Intermediate	0.20	0.03	0.40	99.50
Brass Special**	0.60	0.03	0.50	99.00
Prime Western (PW)	1.60	0.05	0.50	98.00

หมายเหตุ * : ใน Special High Grade ควรจะมีดีบุกไม่เกิน 0.001%

** : เมื่อมีการนำไปใช้ในการผลิต rolled zinc or brass ควรจะมีอะลูมิเนียมไม่เกิน 0.0005%

2.3.2 คุณสมบัติของเตาหลอมสังกะสี

คุณสมบัติของเตาหลอมสังกะสีควรอยู่ระหว่าง 435-465 องศาเซลเซียส และที่ใช้งานกันเป็น ส่วนมาก คือ 450 องศาเซลเซียส

2.3.3 ขอบเสียจากกระบวนการหลอมสังกะสี

ขอบเสียจากกระบวนการหลอมสังกะสีจะเป็นเถ้าที่ได้จากเครื่องดักฝุ่นเหนือเตาหลอมสังกะสีและเถ้าที่ลอยเป็นฝ้าอยู่บริเวณผิวหน้าของเตาหลอมสังกะสี ซึ่งส่วนประกอบของเถ้าจะประกอบด้วยสังกะสี 60-85 % และสารประกอบอื่น ๆ 15-40 % ดังนั้นการที่จะนำของเสียจากกระบวนการหลอมสังกะสีมาใช้ให้เป็นประโยชน์โดยเตรียมเป็นซิงค์ออกไซด์จึงจำเป็นต้องกำจัดสารประกอบอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในกากของเสีย ซึ่งในที่นี้จะใช้วิธีตกตะกอนทางเคมีและสมบัติการละลายของสารที่จะต้องควบคุมสภาวะให้เหมาะสม เพื่อที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาเป็นสังกะสีเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการละลาย (พัชราและคณะ, 2543)

การคงสภาพของโลหะในตะกอนพิจารณาได้จากการละลายของตะกอนภายหลังการตกตะกอนแล้ว ถ้าโลหะสามารถละลายได้ใหม่จำนวนมากถือว่าตะกอนของโลหะนั้นมีความเสถียรน้อย ตะกอนที่เป็นสารไอออนิกเมื่อละลายเป็นสารละลายแล้ว ตะกอนส่วนที่ละลายอยู่ในสารละลายพบว่าส่วนใหญ่จะแตกตัวเป็นแคทไอออนและแอนไอออนหมด ไม่อยู่ในรูปของโมเลกุล ตะกอนของสารไอออนิกน้อยชนิดที่ไม่เป็นไปตามนี้ แคทไอออนและแอนไอออนที่เกิดจากการละลายตะกอนในสารละลายอิมิตัวจะอยู่ในสมดุลกับตะกอนที่เป็นของแข็งซึ่งสัมผัสกับสารละลายตลอดเวลา

การละลายของตะกอนนั้นขึ้นอยู่กับค่าคงที่ผลคูณของการละลาย (K_{sp}) ของตะกอน ค่านี้เป็นผลคูณของความเข้มข้นเป็น โมลาร์ของไอออนทั้งสองที่เป็นองค์ประกอบของตะกอน ณ ที่สารละลายอยู่ในสภาวะอิมิตัวด้วยตะกอนนั้นๆ ค่านี้จะแปรผันไปตามอุณหภูมิ ค่าคงที่ของการละลาย (K_{sp}) ของเกลือโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์ แสดงดังตารางที่ 2.12

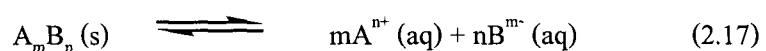
ตารางที่ 2.12 ค่าคงที่ผลคูณการละลาย (K_{sp}) ของโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์

ไอออนโลหะหนัก	ค่าคงที่ผลคูณการละลาย (K_{sp} ที่ 25 องศาเซลเซียส)	
	โลหะไฮดรอกไซด์*	โลหะซัลไฟด์**
แคดเมียม (Cd^{2+})	2.5×10^{-14}	5.1×10^{-29}
ทองแดง (Cu^{2+})	2.2×10^{-20}	6.0×10^{-42}
เหล็ก (Fe^{3+})	4.0×10^{-38}	6.0×10^{-19}
ตะกั่ว (Pb^{2+})	1.2×10^{-15}	3.4×10^{-28}
สังกะสี (Zn^{2+})	1.2×10^{-17}	5.1×10^{-26}

หมายเหตุ * : <http://cwx.prenhall.com/petrucci/medialib/aqueous3.html>, 2007

** : พรทิพย์, 2533

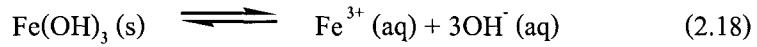
สำหรับตะกอนที่มีสูตร A_mB_n เมื่อละลายเป็นสารละลายอิมิตัว สมดุลที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายและของแข็งจะเป็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_{sp} = [A^{n+}]^m[B^{m-}]^n$$

เมื่อ $[A^{n+}], [B^{m-}]$ เป็นความเข้มข้นที่อิ่มตัวของ A^{n+} และ B^{m-} ในสารละลายตามลำดับ เช่น ในกรณีของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ละลายในน้ำจนเป็นสารละลายอิ่มตัว ไม่สามารถละลาย $Fe(OH)_3$ ได้เพิ่มขึ้น จะเกิดสมดุลดังสมการ



$$K_{sp} = [Fe^{3+}][OH^-]^3$$

ที่อุณหภูมิคงที่ ถ้าสารละลายอยู่ในสภาพที่อิ่มตัว คือ ในสารละลายมีไอออนทั้งสองนี้ ละลายอยู่และอยู่ในสมดุลกับตะกอนของ $Fe(OH)_3$ โดยไม่คำนึงว่าในสารละลายนั้นจะมีไอออน อื่นๆ ละลายรวมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ตามจะได้

$$K_{sp} = [Fe^{3+}][OH^-]^3 = K_{sp} = \text{ค่าคงที่เสมอที่อุณหภูมิคงที่}$$

จากตารางที่ 2.12 จะเห็นได้ว่า ค่าคงที่ผลคูณการละลายของ $Fe(OH)_3$ มีค่าเท่ากับ 4.0×10^{-38} โมลาร์ ซึ่งหมายความว่า ความเข้มข้นของ Fe^{3+} และ OH^- ในสารละลายคูณกันมีค่าเท่ากับ 4.0×10^{-38} โมลาร์ ถ้าผลคูณความเข้มข้นของไอออนในสารละลายมีค่าเกินกว่าค่าคงที่ผลคูณการละลาย (K_{sp}) Fe^{3+} จะรวมตัวกับ OH^- ตกตะกอนเป็น $Fe(OH)_3$ ถ้ามีการเติมสารประกอบที่แตกตัวให้ OH^- เช่น แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ลงไป จะทำให้ความเข้มข้นของ OH^- เพิ่มมากขึ้น สมดุลจะมีการปรับตัวเลื่อนมาทางซ้ายเกิด $Fe(OH)_3$ มากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในสารละลาย ลดต่ำลง มีประโยชน์ในการตกตะกอนเพื่อกำจัดเหล็กออกไปได้

2.5 การแยกสารโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (จารูวรรณ, 2534)

สารละลายใด ๆ ที่มีไอออนหลายชนิดที่ปนอยู่ เราสามารถแยกไอออนแต่ละชนิดออกจากกันได้โดยอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. อาศัยสมบัติเฉพาะของสารตกตะกอน (precipitant) เช่น ในสารละลายผสมที่ประกอบด้วย Ag^+ และ Ba^{2+} เมื่อเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) ที่มีปริมาณมากพอ พบว่า Ag^+ สามารถเกิดตะกอนเป็น $AgCl$ ได้ ส่วน Ba^{2+} ยังคงอยู่ในสารละลายนั้น จะเห็นว่าสามารถแยก Ag^+ ออกจาก Ba^{2+} ได้โดยใช้ $NaCl$ เป็นสารตกตะกอน

2. อาศัยค่าคงที่ผลคูณของการละลาย (solubility product constant, K_{sp}) ของตะกอน และความเข้มข้นของไอออนที่ตกตะกอน โดยที่ในสารละลายผสมมีไอออนหลายชนิดที่ต่างก็สามารถตกตะกอนได้กับตัวตกตะกอนชนิดเดียวกัน แต่ตะกอนซึ่งตะกอนของไอออนเหล่านี้มีค่า

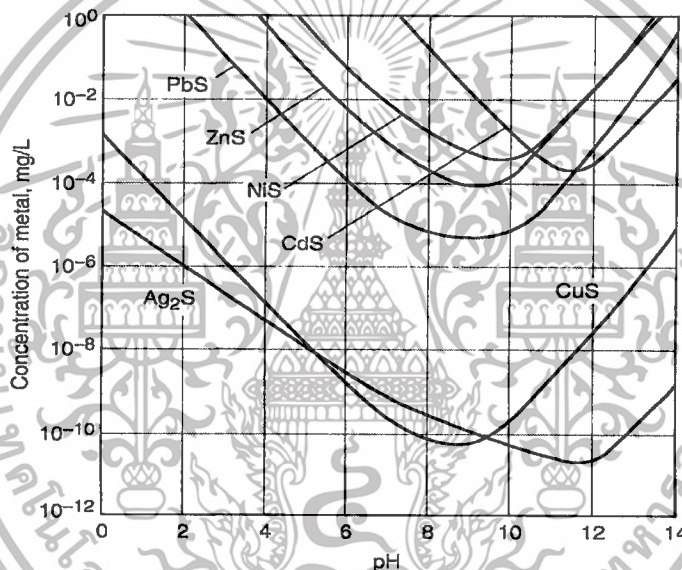
K_{sp} ต่างกัน ถ้าไอออนของตะกอนตัวใดมีค่า K_{sp} ต่ำ ไอออนตัวนั้นต้องการสารตกตะกอน แยกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนน้อยและจะเกิดตะกอนได้ก่อน เราสามารถที่จะแยกไอออนนั้นในรูปตะกอนออกจากไอออนตัวอื่น ๆ ได้

3. อาศัยการควบคุมพีเอชของสารละลายให้มีพีเอชที่เหมาะสม ก็สามารถแยกไอออนออกจากกันได้ เพราะการควบคุมพีเอชทำให้ความเข้มข้นของตัวตกตะกอนเหมาะสมสำหรับการตกตะกอนไอออนของโลหะต่างๆ ได้

2.5.1 การตกตะกอนโลหะซัลไฟด์ (Sulfide precipitation)

การตกตะกอนโลหะซัลไฟด์ เป็นการตกตะกอนที่มีประโยชน์มาก ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ (Metcalf & Eddy, 2004)

โลหะซัลไฟด์ไม่มีสมบัติแอมโฟเทอริก ซึ่งกระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารวมของไอออนโลหะหนักด้วยซัลไฟด์เรดิคัล สมการแสดงปฏิกิริยาของโลหะหมู่ 2 กับ S^{2-} ดังสมการที่ 2.19



แหล่งของซัลไฟด์ที่นิยมใช้กัน คือ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($NaHS$) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) แต่ในการทดลองนี้จะใช้วิธีการตกตะกอนซัลไฟด์ด้วยแก๊ส

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.1 การตกตะกอนด้วยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (พรทิพย์, 2533)

แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นรีเอเจนต์ที่ใช้กันทั่วไปในการตกตะกอนซัลไฟด์ แก๊สนี้มีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่า และมีพิษมาก จึงไม่ควรจะหายใจเอาแก๊สนี้เข้าไปเป็นเวลานาน ๆ

แก๊ส H_2S ที่นำมาใช้อาจจะได้มาจากแหล่งต่างๆ หลายวิธีด้วยกัน แต่ในที่นี้จะแนะนำการใช้ H_2S จากสารละลายไทโอแอเซตทาไมด์ (thioacetamide) สารละลายไทโอแอเซตทาไมด์ในเมื่ออยู่ในน้ำจะค่อนข้างอยู่ตัว และไฮโดรไลซ์ได้ช้าที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บไว้ในขวดที่มีจุกปิดได้หลายเดือน โดยไม่เกิด H_2S แต่จะมีกำมะถันเกิดขึ้นเล็กน้อย สารละลายไทโอแอเซตทาไมด์นี้จะไฮโดรไลซ์ได้ดีขึ้น เมื่อมีอุณหภูมิสูงประมาณ 70-90 องศาเซลเซียส ดังนั้น เมื่อต้องการให้เกิดแก๊ส H_2S จะต้องต้มสารละลายไทโอแอเซตทาไมด์ให้เดือดไม่ต่ำกว่า 5 นาทีเสมอ การไฮโดรไลซ์ในสารละลายเบสจะเกิดได้เร็วกว่าในสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ดังสมการต่อไปนี้

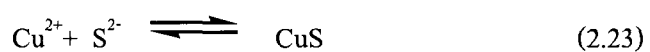


เมื่อต้องการตกตะกอนซัลไฟด์ ให้ใส่สารละลายไทโอแอเซตทาไมด์ลงในสารละลายที่จะตกตะกอนโดยตรง แล้วนำไปต้มให้เดือดไม่ต่ำกว่า 5 นาที

- การตกตะกอนซัลไฟด์ของตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม

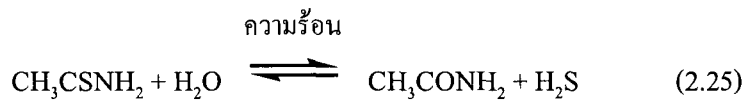
ตะกอนซัลไฟด์ (S^{2-}) ของเลดซัลไฟด์ (PbS) สีดำ คอปเปอร์ซัลไฟด์ (CuS) สีดำ และแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) สีเหลือง จะตกตะกอนได้เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนประมาณ 0.3 โมลาร์ ซึ่งตะกอนของซัลไฟด์เหล่านี้มีค่าผลคูณการละลาย (K_{sp}) ต่ำมาก ดังตารางที่ 2.12

การแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม จะใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารละลายเฉพาะหมู่ ซึ่งจะได้ตะกอนซัลไฟด์ดังสมการต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

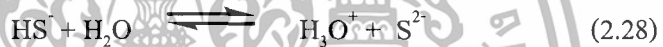
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มาจากการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของไทโอแอสเซตทามาไมด์ (CH_3CSNH_2) ขณะที่ร้อนดังนี้



ถ้ามีกรดจะเกิดปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



จากปฏิกิริยาที่ 2.25 และ 2.26 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะเกิดการไอออนไนเซชันได้ ซัลไฟด์ไอออนดังสมการต่อไปนี้



จากสมการที่ 2.27 และ 2.28 พบว่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนเข้ามาเกี่ยวข้องในสารละลายด้วย ซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน คือ ถ้าในสารละลายมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนมาก ปริมาณของซัลไฟด์ไอออนก็จะลดลงตามผลของไอออนร่วม เพราะสมการจะเลื่อนไปทางซ้ายมือ ดังนั้น จึงต้องทำสารละลายมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนประมาณ 0.3 โมลาร์ เหตุที่ไม่ทำให้สารละลายมีความเป็นกรดน้อยกว่า 0.3 โมลาร์ หรือทำให้สารละลายเป็นด่างเลยนั้นก็เนื่องจากแคตไอออนอื่นๆ จะตกตะกอนซัลไฟด์ได้ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออนสูง เช่น ซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) เฟอริกไอออน (Fe^{3+}) เป็นต้น

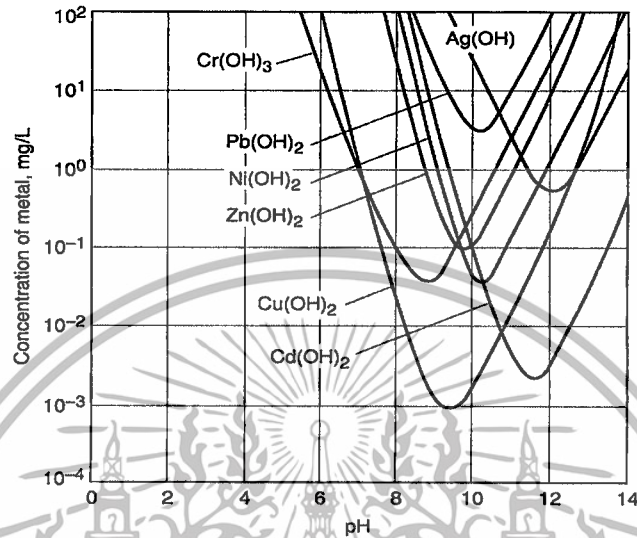
2.5.2 การตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ (Hydroxide precipitation)

การตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากโลหะหลายชนิดสามารถรวมกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ได้สารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีค่าการละลายต่ำ โดยในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกโดยการเติมสารที่เป็นเบส เพื่อปรับพีเอชของสารละลายให้ถึงจุดที่โลหะหนักมีความสามารถในการละลายต่ำสุด ดังสมการที่ 2.29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปความสามารถในการละลายโลหะไฮดรอกไซด์ในสารละลายจะลดลงเมื่อปรับให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง (Isoelectric point) หลังจากนั้น โลหะจะกลับมามีความสามารถละลายได้อีกเพราะกลายเป็นสารที่มีสมบัติเป็นไปได้ทั้งกรดและเบส (Amphoteric) ดังแสดงในรูป 2.11



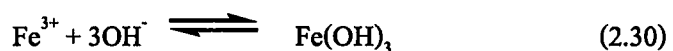
รูปที่ 2.11 ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ (Metcalf & Eddy, 2004)

ในการตกตะกอนไฮดรอกไซด์เกือบทุกกรณี ค่าพีเอชจะอยู่ระหว่าง 9-11 อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ ความสามารถในการละลายได้อาจไม่เป็นไปตามทฤษฎีเพราะอิทธิพลของสารที่เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complexing agent), อุณหภูมิและค่าความแรงของไอออน (Ionic strength) ของโลหะที่จะตกตะกอน

- การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของเหล็กและสังกะสี

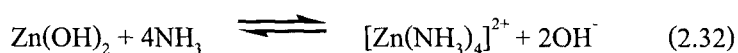
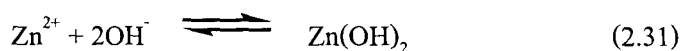
การตกตะกอนของไฮดรอกไซด์จะใช้แอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ในแอมโมเนียมคลอไรด์ เช่น เฟอริกไอออนจะตกตะกอนเป็นเฟอริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ได้ตะกอนเป็นสีน้ำตาลแดง สำหรับค่าคงที่ผลคูณการละลาย (Solubility product constant, K_{sp}) เป็นไปตามตารางที่ 2.12

จากตารางที่ 2.12 จะเห็นได้ว่า ค่าคงที่ผลคูณการละลาย (K_{sp}) ของเฟอริกไฮดรอกไซด์ต่ำกว่าซิงค์ไฮดรอกไซด์มาก ดังนั้นแสดงว่า เกิดตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ดี เมื่อเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ลงไปในสารละลาย ดังสมการที่ 2.30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

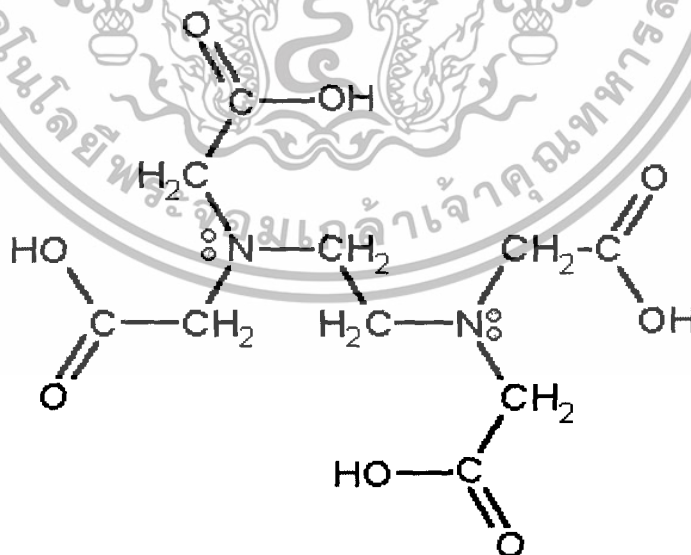
ในขณะที่เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ลงไป ชิงค์ไอออนสามารถเกิดตะกอนเป็นซิงค์ไฮดรอกไซด์ ($Zn(OH)_2$) ได้เหมือนกัน แต่เมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จนเป็นค่ามากเกินพอ ตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์จะละลายเป็นสารละลายใสของไอออนเชิงซ้อนเทตระแอมมินซิงค์ (II) ไอออนดังสมการที่ 2.31-2.32



ในการตกตะกอนของซิงค์ไฮดรอกไซด์สามารถตกตะกอนได้โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยที่ซิงค์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เกิดเป็นซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 9 ซึ่งมีความสามารถในการละลายต่ำสุดและเกิดเป็นตะกอนสีขาว ดังสมการที่ 2.31

2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีโดยการไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอ (EDTA) (จารุวรรณ, 2534)

อีดีทีเอ (EDTA) มีชื่อเต็มว่า เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด (Ethylene Diamine Tetraacetic Acid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทกรดอะมิโนโพลีคาร์บอกซิลิกที่มีคุณภาพเป็นกรดอ่อน มีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 สูตร โครงสร้างของอีดีทีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป เรามักจะเขียน อิติทีเอ แทนด้วยสูตร H_4Y ซึ่งสามารถให้โปรตอนได้ 4 ตัว H_4Y มีค่าคงที่ของการแตกตัวดังนี้ $pK_1 = 2.0$, $pK_2 = 2.7$, $pK_3 = 6.2$ และ $pK_4 = 10.3$ ดังนั้น โปรตอน 2 ตัวแรกจะหลุดได้ง่ายกว่าโปรตอนที่เหลือ 2 ตัว อิติทีเอจึงมักแสดงความเป็นกรดแบบไดเบสิก (dibasic acid)

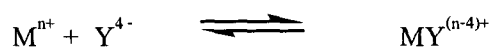
อิติทีเอสามารถใช้เป็นไทแทนต์ในการไทเทรตโลหะหลายตัวได้ดีเพราะ

1. เมื่ออิติทีเอแตกตัวให้คาร์บอนไปทั้งหมด 4 ตัว จะทำให้ อิติทีเอ เกิดมีคู่อิเล็กตรอนอิสระ 6 คู่ สามารถเกิดพันธะชนิดโคออร์ดิเนตกับโลหะได้ดี ได้อิเล็กตรอน 2 คู่ มาจากไนโตรเจนและอีก 4 คู่ มาจากออกซิเจน เราจึงถือว่า อิติทีเอ เป็นลิแกนด์ชนิดเฮกซะเดนเทลิแกนด์ (Hexadentate ligand) ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหลายตัวในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งโครงสร้างของสารเชิงซ้อนของโลหะ M^{2+} กับ EDTA ที่เกิดขึ้น จะมีรูปร่างเป็นออกตะฮีดรัล (octahedral) และเป็นวง ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อน M-EDTA

2. ค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับอิติทีเอ มีค่าสูงมาก ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับอิติทีเอหรือค่าคงที่เสถียรของสารประกอบ คือ K_{MY} ของไอออนของโลหะต่างๆ ที่มีอิติทีเอเป็นลิแกนด์ ค่านี้เกี่ยวกับความเข้มข้นของ Y^{4-} ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

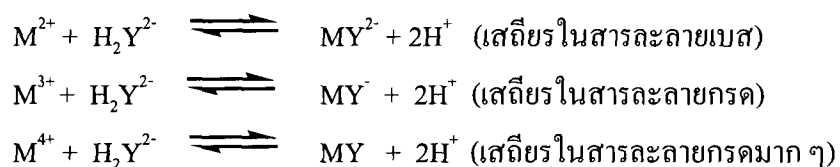
$$K_{MY} = \frac{[MY^{(n-4)+}]}{[M^{n+}][Y^{4-}]} \quad (2.33)$$

ค่า K_{MY} ของสารเชิงซ้อน M-EDTA นับว่ามีความสำคัญต่อการทำปฏิกิริยาของโลหะไอออนกับอีดีทีเอ จะเกิดขึ้นสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าค่า K_{MY} สูงมาก ปฏิกิริยาระหว่างโลหะไอออนนั้นกับอีดีทีเอจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์มากกว่าปฏิกิริยาที่มีค่า K_{MY} น้อย ซึ่งค่า K_{MY} ของสารประกอบเชิงซ้อนต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 ค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับอีดีทีเอ

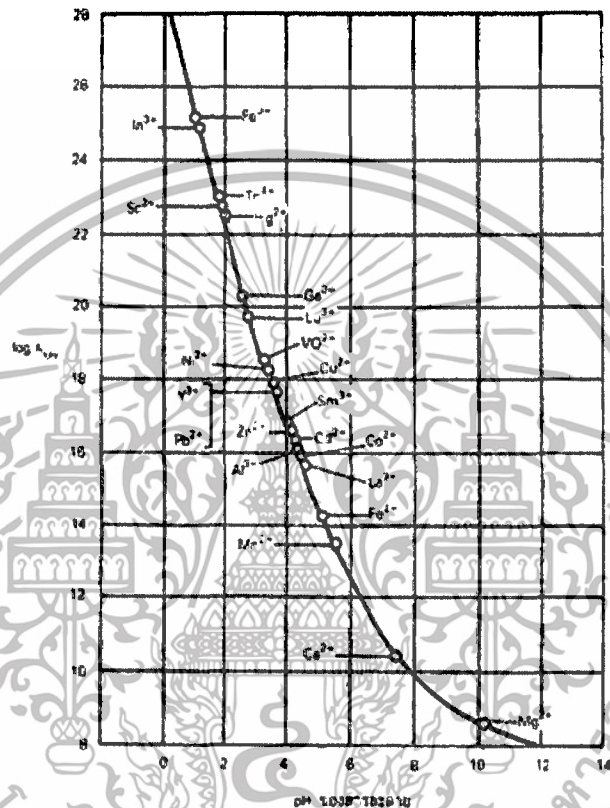
แคตไอออน	K_{MY}	$\log K_{MY}$	แคตไอออน	K_{MY}	$\log K_{MY}$
Ag^+	$2.1 \cdot 10^7$	7.32	Cu^{2+}	$6.3 \cdot 10^{18}$	18.80
Mg^{2+}	$4.9 \cdot 10^8$	8.69	Zn^{2+}	$3.2 \cdot 10^{16}$	16.50
Ca^{2+}	$5.0 \cdot 10^{10}$	10.70	Cd^{2+}	$2.9 \cdot 10^{16}$	16.46
Sr^{2+}	$4.3 \cdot 10^8$	8.63	Hg^{2+}	$6.3 \cdot 10^{21}$	21.80
Ba^{2+}	$5.6 \cdot 10^7$	7.76	Pb^{2+}	$1.1 \cdot 10^{18}$	18.04
Mn^{2+}	$6.2 \cdot 10^{13}$	13.79	Al^{3+}	$1.3 \cdot 10^{16}$	16.13
Fe^{2+}	$2.1 \cdot 10^{14}$	14.33	Fe^{2+}	$1.3 \cdot 10^{25}$	25.10
Co^{2+}	$2.0 \cdot 10^{16}$	16.31	V^{3+}	$7.9 \cdot 10^{25}$	25.90
Ni^{2+}	$4.2 \cdot 10^{18}$	18.62	Th^{4+}	$1.6 \cdot 10^{23}$	23.20

3. สารละลายมาตรฐานอีดีทีเอสามารถเตรียมได้ง่ายและถูกต้องโดยปกติอีดีทีเอ จะเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการไทเทรต จึงต้องใช้เกลือไดโซเดียม (disodium salt) ของอีดีทีเอ ($Na_2H_2Y \cdot 2H_2O$) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี ในการใช้สารนี้เป็นสารปฐมภูมิ เรามักอบสารนี้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลาหลายวัน และอีดีทีเอสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้หลายตัวโดยไม่เกี่ยวข้องกับความประจุของโลหะเลย พบว่าโลหะที่มีค่าออกซิเดชันนับเบอร์ต่างกัน เมื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอีดีทีเอแล้วจะเสถียรในสถานะที่สารละลายมี พีเอช ต่างกันดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความอยู่ตัวหรือความเสถียรของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลาย ซึ่งแบ่งได้กว้างๆ คือ ถ้าเป็นโลหะที่มีประจุ 2+ ส่วนใหญ่จะเสถียรในพีเอชที่เป็นเบส ถ้าเป็นโลหะที่มีประจุ 3+ ส่วนใหญ่จะเสถียรในพีเอชที่เป็นกรดน้อยแต่ถ้ามีประจุ 4+ ส่วนใหญ่จะเสถียรในพีเอชที่เป็นกรดมาก ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งพีเอชต่ำสุดที่สารประกอบเชิงซ้อนจะเสถียรอยู่ได้แสดงในตารางที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ค่าพีเอชต่ำสุดที่สามารถไทเทรตโลหะชนิดต่างๆ ด้วยอีดีทีเออย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.14 ความเสถียรของสารประกอบเชิงซ้อน M-EDTA ในสารละลายที่มีพีเอชต่างๆ

พีเอชต่ำสุดที่สารประกอบเชิงซ้อนจะเสถียรอยู่ได้	ชนิดของไอออนที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอีดีทีเอและเสถียรอยู่ในสารละลาย
1-3	$Zr^{4+}, Hf^{4+}, Th^{4+}, Bi^{3+}, Fe^{3+}$
4-6	$Pb^{2+}, Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Al^{3+}, Cd^{2+}, Sn^{2+}, Zn^{2+}$
8-10	$Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}, Mg^{2+}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการไทเทรตไอออนของโลหะกับอีดีทีเอ นอกจากขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายและค่า K_f และยังขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลายและความเข้มข้นของตัวเกิดคอมเพลกซ์ช่วยอีกด้วย

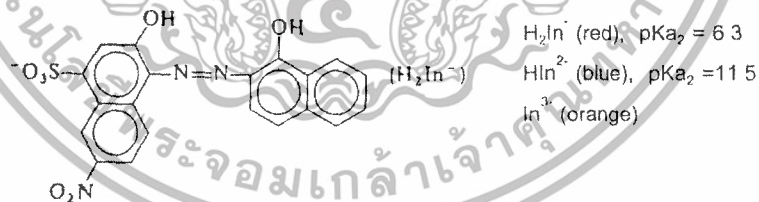
2.6.1 การไทเทรตซิงค์ไอออนกับสารละลายอีดีทีเอ

การไทเทรตหาปริมาณสังกะสีโดยการใช้สารละลายอีดีทีเอ จำเป็นต้องเติมลิแกนด์ตัวอื่นลงไป ในสารละลายของซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) เพื่อป้องกันไม่ให้ไอออนเกิดตะกอนก่อนที่จะไทเทรตกับอีดีทีเอลิแกนด์ที่เติมลงไป คือ แอมโมเนียม (NH_3) และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ที่มีปริมาณมาก ๆ (เพื่อเป็นบัฟเฟอร์) โดยที่แอมโมเนียม (NH_3) จะเป็นตัวป้องกันมิให้ซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) เกิดตะกอนของซิงค์ไฮดรอกไซด์ ($Zn(OH)_2$) ทั้งนี้เพราะจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเทพระแอมีนซิงค์ไอออน ($Zn(NH_3)_4^{2+}$) ขึ้นแทน แล้วจึงไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอ

2.6.2 อินดิเคเตอร์ที่ใช้สำหรับการไทเทรตโดยใช้สารละลายอีดีทีเอ

อินดิเคเตอร์ที่ใช้ส่วนมากได้แก่ เอริโอโครมแบลคที (Eriochrome Black T) ซึ่งสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงกับไอออนของโลหะ ได้มากกว่า 24 ตัว แต่จะมีโลหะไม่กี่ตัวที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์เสถียรที่ยูติได้

เอริโอโครมแบลคที (Eriochrome Black T) มีชื่อทางเคมีว่า Sodium 1-(1-hydroxy 2-naphthylazo) 6-nitro 2-naphthol 4-sulphonate เขียนย่อเป็น Na_2HIn ไฮโดรเจน 2 อะตอมมาจากหมู่ฟีนอลิก (phenolic group) มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 สูตรโครงสร้างของเอริโอโครมแบลคที (Eriochrome Black T)

อินดิเคเตอร์ชนิดนี้ เมื่ออยู่ในสารละลายจะประกอบด้วย H_2In^- สีของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงไปตาม พีเอช ของสารละลาย เช่น ถ้า พีเอช ของสารละลายต่ำกว่า 5.5 สารละลายจะมีสีแดงเนื่องจากไอออน H_2In^- ถ้าพีเอชของสารละลายอยู่ระหว่าง 7-11 สารละลายจะมีน้ำเงินเนื่องจากไอออนของ HIn^{2-} แต่ถ้าสารละลายมีพีเอชสูงกว่า 11 สารละลายจะมีสีส้มแกมเหลืองเนื่องจากไอออนของ In^{3-} สำหรับการไทเทรตระหว่างโลหะไอออนกับอีดีทีเอส่วนใหญ่จะทำใน

สารละลายที่มีพีเอช 10-11 ดังนั้น อินดิเคเตอร์ชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับการไทเทรตหาปริมาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุมัติจากสำนักพิมพ์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยในประเทศไทย

จารุวรรณ (2534) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมซิงค์คาร์บอเนตจากแร่สังกะสีเพื่อใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้แร่สังกะสีที่ผ่านการบดจำนวน 5 กรัม ละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น จำนวน 35 มิลลิลิตร แยกเหล็กที่ปนเปื้อนอยู่โดยการตกตะกอนในรูปเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ที่ค่าพีเอชประมาณ 5-6 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น แล้วตกตะกอนซิงค์คาร์บอเนตที่พีเอชประมาณ 8 ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มากเกินไป กรองตะกอนและอบที่อุณหภูมิประมาณ 90-95 องศาเซลเซียส จะได้ซิงค์คาร์บอเนต 58 % วิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของซิงค์คาร์บอเนตโดยการไทเทรตด้วยสารละลายไอโอดีทีเอจะได้ซิงค์คาร์บอเนต 99.63 % ผลวิเคราะห์หาโลหะปริมาณน้อย เช่น เหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF) และเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บ-ชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) พบว่ามีเหล็ก 0.0014 % แมงกานีส 0.0320 % ตะกั่ว 0.1493 % ตามลำดับ

ธีรพันธุ์ (2542) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์ของการละลายสังกะสีจากฝุ่นเตาไฟฟ้าด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วยอัตราการกวน, ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ตั้งแต่ 1.0 ถึง 4.0 โมลาร์, อุณหภูมิตั้งแต่ 32-95 องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์ของแข็งเท่ากับ 0.2, 10 และ 20 % โดยผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอัตราเร็วของการละลายสังกะสีจากฝุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 1 โมลาร์ จนถึง 3 โมลาร์ และจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อไปอีก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของความหนืดที่เพิ่มขึ้น ทำให้การแพร่ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แพร่ไปทำปฏิกิริยากับสังกะสีทำได้ยากขึ้น ทำให้การละลายลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์สูง ๆ อันดับปฏิกิริยาซึ่งหาโดยใช้อัตราเร็วเริ่มต้นมีค่า 0.76 ที่ 60 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราเร็วของการละลายสังกะสีจะเพิ่มขึ้น และกลไกการเกิดปฏิกิริยาถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาเคมี โดยมีค่าพลังงานการกระตุ้นปรากฏ (Apparent Activation Energy) ประมาณ 10.78 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนอัตราเร็วในการกวนไม่มีผลต่ออัตราการละลายของสังกะสี นอกจากนี้เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของแข็งในสารละลาย อัตราเร็วในการละลายของสังกะสีจะลดลง

สกนธ์และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ในสารละลายสังกะสีที่สกัดจากหางแร่ที่ได้จากการล้างสินแร่ซิงค์ซัลไฟด์ด้วยน้ำ โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ 2 แบบ คือ แบบผงที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 18.82 ไมครอน และพื้นที่ผิว (Langmuir) $1639 \text{ m}^2/\text{g}$ และแบบเม็ดที่มีขนาดอนุภาค 0.42-1.70 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 14.25 ไมครอน และพื้นที่ผิว (Langmuir)

$1080 \text{ m}^2/\text{g}$ การศึกษาในเบื้องต้นถึงชนิดของสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายในสารละลายสังกะสีพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบ อินทรีย์จำนวนหนึ่งที่มีหมู่ฟังก์ชัน Hydroxyl และ Carbonyl และสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในทางแร่ น่าจะเป็นสารกลุ่ม Humic acid หรือ Humates

รพีพรและคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาการกำจัดโลหะหนักสังกะสีด้วยวิธีการตกตะกอน โดยหาประสิทธิภาพในการตกตะกอนโลหะสังกะสีด้วยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test) โดยใช้หินปูนธรรมชาติ เปรียบเทียบกับปูนขาว แคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสังกะสีของปูนขาว ดีกว่าหินปูนธรรมชาติทั้ง 3 ยุค ซึ่งสังกะสีจะตกตะกอนที่ระดับพีเอช 9-11 ถ้าพีเอชมากกว่า 11 สังกะสีจะละลายกลับอีกครั้ง ดังนั้น ปูนขาวจึงเป็นทั้งสารตกตะกอนและสารปรับพีเอช ส่วนหินปูนธรรมชาติสามารถกำจัดโลหะหนักสังกะสีได้ที่พีเอช 6-7 ทำให้หินปูนธรรมชาติเป็นแค่สารตกตะกอน ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตกตะกอนของโลหะหนักสังกะสีคือ พีเอช ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีผลทำให้สารละลายสังกะสีที่อยู่ในรูปของ $ZnCl$, $ZnSO_4$ หรือ $ZnCO_3$ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของตะกอน $Zn(OH)_2$ และช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของโลหะหนักสังกะสี คือ พีเอช ในช่วง 8-10

ภัทรนฤน (2547) ได้ทำการสังเคราะห์และการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยโลหะแตรนซิชัน โดยนำผงนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาเจือด้วยแลนทานัม โดยวิธีอิมเพริกเนชัน นำสารละลายของแลนทานัมในเตรตเฮกซะไฮเดรตผสมกับผงนาโนซิงค์ออกไซด์ นำสารที่ได้ไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปหาลักษณะเฉพาะโดยใช้การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer, XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy, TEM) ผลการทดลองจากการวิเคราะห์โดยทุกวิธีสอดคล้องกัน พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแลนทานัมในปริมาณที่มากกว่าจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านแลนทานัมออกไซด์ซึ่งอยู่ที่รอยต่อเกรนของซิงค์ออกไซด์จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวยับยั้งการเติบโตของเกรนซิงค์ออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่าเมื่อเทียบกับซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เนื่องจากใช้อุณหภูมิและช่วงเวลาในการเผาที่น้อยกว่า

จินดา (2548) ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาสมบัติของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยกระบวนการตกตะกอน โดยใช้ซิงค์อะซิเตทเป็นสารตั้งต้นและตกตะกอนด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จากการวิเคราะห์สารประกอบของวัสดุทั้งโลหะและอโลหะที่มีโครงสร้างเป็นผลึก (X-Ray Diffractometer, XRD) และการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันทางโครงสร้างของสารอินทรีย์ (Fourier Transform Infrared, FT-IR) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องคือที่ พีเอช 8.5 ด้วยอัตราไหลของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการตกตะกอนเท่ากับ 1 มิลลิลิตร/นาทีก และอุณหภูมิในการเผาแคลไซน์ 100-300 องศาเซลเซียส ซึ่งอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ได้จะมีรูปร่างหกเหลี่ยม และมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 20-50 นาโนเมตร

ณัฐพิราและคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาและประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ของนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยศึกษากระบวนการที่ใช้ในการสังเคราะห์, ขั้นตอนการผลิต, รูปแบบและโครงสร้างต่าง ๆ ของนาโนซิงค์ออกไซด์ และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังศึกษาถึงข้อดีข้อเสียที่เกิดขึ้นจากการนำนาโนซิงค์ออกไซด์ไปใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่านาโนเมตร จากการศึกษาวัฏจักรชีวิตของวิธีการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Organochemical route เปรียบเทียบกับ Precursor process พบว่าการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้วิธี Organochemical route ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่าวิธี Precursor process จากการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น พบว่าการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Precursor process มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตนาโนซิงค์ออกไซด์มากกว่าวิธี Organochemical route เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า สำหรับกระบวนการผลิตนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี Organochemical route นั้น ถ้าต้องการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ควรเปลี่ยนสารตั้งต้นจาก Ethylene glycol เป็นสารอื่นเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ

พิบูลย์และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาเส้นสวดนาโนของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองและเส้นสวดนาโนของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่มีทองสังเคราะห์ได้โดยวิธีการออกซิเดชัน และใช้สร้างเป็นเซนเซอร์เอทานอล เพื่อศึกษาสมบัติการตรวจจับไอเอทานอล สมบัติการตรวจจับไอเอทานอลศึกษาได้จากการวัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนในอากาศและในเอทานอลกับความเข้มข้นของเอทานอลที่ 50, 100, 200, 500, 1000 และ 2000 ppm และอุณหภูมิทำงาน 180-280 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เซนเซอร์ทั้งสองชนิดได้ค่าสภาพไวที่สูงที่สุด และสภาพไวของเซนเซอร์ที่เจือด้วยทอง 5% พบว่ามีสภาพไวที่สูงกว่าเซนเซอร์ที่ไม่ได้เจือด้วยความเข้มข้น 2000 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศุภกรและคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาเส้นใยนาโนและแท่งนาโนซิลิกอนออกไซด์ ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการระเหยส่วนผสมระหว่างผงซิงค์ออกไซด์และแกรไฟต์ อัตราส่วน 1:4 ด้วยความร้อนอุณหภูมิตั้งที่ 1000 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนและก๊าซออกซิเจน จากการตรวจสอบคุณลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเครื่องเอ็กซ์เรย์ เอ็นเนอร์ยีดิสเพอร์ซิฟ (Energy Dispersive Spectrometer, EDS) พบเส้นใยนาโนและแท่งนาโนของซิลิกอนออกไซด์ปรากฏอยู่บนฐานรองแผ่นซิลิกอน

2.7.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

Wozniak and Huang (1982) ได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการละลายโลหะชนิดต่าง ๆ จากตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก โดยการวิจัยพบว่าความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชและอัตราส่วนของสารละลายกับตะกอนลดลง และเวลาเพิ่มขึ้น โดยส่วนมากจะละลายได้ทันทีที่เติมกรดลงไป ซึ่งแสดงว่าโลหะเหล่านี้จะอยู่ในตะกอนในรูปของสารประกอบอินทรีย์ที่มีแรงยึดเหนี่ยวของพันธะน้อยกว่าสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบเชิงซ้อน ดังนั้น จึงสามารถละลายได้ง่ายกว่า อัตราการละลายของโลหะยังขึ้นอยู่กับสมบัติเฉพาะของโลหะนั้น ๆ โดยพบว่าสังกะสีจะมีอัตราการละลายเร็วกว่าโลหะชนิดอื่น ๆ ซึ่งได้แก่ ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม ที่ทุก ๆ พีเอช นอกจากนี้ผู้วิจัยยังสรุปได้ว่า สภาวะของการละลายที่เหมาะสมอยู่ที่พีเอชระหว่าง 1.5-2 ความเข้มข้นของแข็งในตะกอนน้อยกว่า 1 % และระยะเวลาในการละลาย 12 ชั่วโมง

Ried (1988) ได้ทำการศึกษาการละลายของโลหะหนักออกจากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Activated Sludge) โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดของกรด ค่าพีเอชและปริมาณกรดที่ใช้ จากการศึกษาพบว่า กรดอินทรีย์ (Organic acid) จะละลายโลหะหนักได้น้อยกว่ากรดเกลือ (Mineral acid) และกรดเกลือชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl), กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดไนตริก (HNO_3) ให้ผลในการละลายสังกะสีไม่ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า การละลายจะไม่เกิดขึ้น ถ้าพีเอช สูงกว่า 4 โดยนิกเกิล สังกะสี และแคดเมียม จะละลายได้มากถึง 80-95 % ที่พีเอชเท่ากับ 1 และปริมาณกรดที่ใช้จะขึ้นกับปริมาณของแข็งในตะกอน โดยถ้าตะกอนมีส่วนที่เป็นของแข็งมากหรือมีส่วนที่เป็นน้ำอยู่น้อย ปริมาณกรดที่ต้องใช้ ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของตะกอนแห้งจะมีค่าน้อย

Legiec et al. (1989) ได้ศึกษาการนำโลหะหนักออกจากถ้ำชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการเผาไหม้ของเสียชุมชน (Municipal Solid Waste) โดยสกัดโลหะออกจากถ้ำด้วยกรดไฮโดรคลอริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นจึงกำจัดโลหะออกจากสารละลายด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุมัติจากสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุมัติจากสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุมัติจากสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

(Electrochemical Method) โดยขั้นตอนการสกัดพบว่าอัตราการละลายโลหะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช เวลาและชนิดของเถ้า โดยค่าพีเอชของการละลายที่ดีจะอยู่ในช่วง 1-3

Cruells et al. (1992) ได้ศึกษาอัตราเร็วในการละลายสังกะสีจากฝุ่นเตาอาร์กไฟฟ้าด้วย สารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.1-2 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 18-51 องศาเซลเซียส พบว่าสังกะสี ประมาณ 75 % อยู่ในรูปที่ทำปฏิกิริยาได้ดี ในขณะที่สังกะสีที่เหลือจะอยู่ในรูปของซิงค์เฟอร์ไรด์ โดยอัตราเร็วของสังกะสีที่ไวต่อปฏิกิริยาจะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ แต่อัตราเร็วของการละลายเหล็ก จะขึ้นกับอุณหภูมิ นอกจากนี้ผู้ทำการวิจัยยังสรุปว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการละลาย คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและเปอร์เซ็นต์ของแข็ง เท่ากับ 10 % โดยจะได้เปอร์เซ็นต์การละลายสังกะสีเฉลี่ยประมาณ 80 % และเหล็ก 40 %

Abdel et al. (1999) ได้ทำการศึกษาด้านพลศาสตร์ของการละลายสินแร่ที่ประกอบไปด้วย ซิงค์ซัลไฟด์ด้วยกรดซัลฟิวริก โดยกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างปริมาณหางแร่กับกรดมีค่าคงที่ใน อัตราส่วน 1: 20 กรัมต่อมิลลิลิตร จากการศึกษาพบว่าอนุภาคขนาดเล็กจะละลายเร็วกว่าอนุภาค ขนาดใหญ่, อุณหภูมิสูงจะละลายได้ดีกว่าอุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นกรดยิ่งสูงการละลายจะยิ่งเร็ว นอกจากนี้ ยังพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการละลาย คือ ขนาดของอนุภาคเท่ากับ -200 ถึง 270 mesh, อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 10 % ซึ่งที่สภาวะนี้การ ละลายจะเกิดขึ้นถึง 94 % ภายในเวลา 180 นาที นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่าขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้น ของผลิตภัณฑ์เป็นขั้นตอนที่ควบคุมปฏิกิริยา โดยค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 3.2 กิโลแคลอรีต่อโมล

Lee et al. (2003) ได้ทำการศึกษาการเติบโตของเส้นลวดนาโนของซิงค์ออกไซด์บน ซิลิกอน (100) โดยผลึกเดี่ยว ๆ ของเส้นลวดนาโนของซิงค์ออกไซด์ถูกนำมาทำให้เจริญเติบโตบน ซิลิกอน (100) ด้วยกระบวนการทำให้กลายเป็นไอ-ของเหลว-ของแข็ง (Vapour-Liquid-Solid, VLS) ในช่วงอุณหภูมิ 850-950 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีก๊าซเฉื่อย การเติบโตแบบ VLS ของ เส้นลวดนาโนของซิงค์ออกไซด์จะมีการแสดงลักษณะที่ละเอียดโดยใช้การวิเคราะห์การเลี้ยวเบน ของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer, XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด (Field Emission Scanning Electron Microscopy, FESEM), X-Ray photoelectron spectroscopy (XPS), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM), การวิเคราะห์ การกระจายพลังงานของเอ็กซ์เรย์ (Energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX) และ Photoluminescence Spectrophotometer (PLS) ซึ่งผลจากการศึกษา พบว่า การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD จะปรากฏออกมาในรูปของเส้นลวดนาโนของซิงค์ออกไซด์ซึ่งมีโครงสร้างเป็นรูปหกเหลี่ยม

ด้วยการเติบโตที่กำหนดทิศทางได้ดี การวิเคราะห์ส่วนประกอบโดย EDX จะเห็นจำนวนเล็ก ๆ ของ ๖
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นลวดนาโนของซิงค์ออกไซด์อยู่บนซิลิกอน เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์จะปรากฏรูปร่างภายนอกของเส้นลวดนาโนของซิงค์ออกไซด์บนซิลิกอน(100) มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 60-100 นาโนเมตรและความยาวประมาณ 1-3 ไมโครเมตร เมื่อปล่อยแสงอัลตราไวโอเล็ตจะสังเกตเห็นเส้นลวดนาโนของซิงค์ออกไซด์ที่ชัดเจนโดย Photoluminescence Spectra ความยาวคลื่น 318 นาโนเมตร

Siddheswaran et al. (2006) ได้ทำการศึกษาการเตรียมและวิเคราะห์ลักษณะเส้นใยนาโนของซิงค์ออกไซด์ (ZnO nanofiber) โดยใช้เทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้า (electrospinning) โดยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าของเส้นใยนาโนสังกะสีได้มาจากกระบวนการเผาแคลไซน์ (calcinating) ของ PVA/Zinc Acetate ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของอะตอมแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยซิงค์ออกไซด์ในช่วง 100-200 นาโนเมตร วิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยจะใช้โดยเทคนิคสเปกโทรสโกปีฟูเรียร์-ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR), การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Thermogravimetric Analysis/Differential Thermal Analysis, TGA/DTA), และ XRD ในการศึกษา ซึ่งผลจากการศึกษาของ XRD จะแสดงโครงสร้างของผลึกและรูปร่างของเส้นใยโดยจะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้เผาแคลไซน์ (calcination)

Gupta et al. (2006) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์และวิเคราะห์ลักษณะของซิงค์ออกไซด์นาโนและก้อนผลึกขนาดที่ต่างกัน (ระดับไมโครถึงนาโน) ของซิงค์ออกไซด์ได้จากการใช้เทคนิคการสังเคราะห์ที่ต่างกัน ผลึกขนาดไมโครเมตรได้จากตกจากการเผาซิงค์ออกไซด์ด้วย DiO_3 , B_2O_3 และ V_2O_5 โดยการเตรียมผลึกนาโนเตรียมได้จากซิงค์อะซิเตตและเอทานอลที่บริสุทธิ์แล้วนำไปวิเคราะห์การยืนยันโครงสร้างผลึก ZnS ของ ZnO phosphor โดยใช้การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ใช้ในการเตรียมตัวอย่างในการบันทึกขนาดอนุภาคของตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่ต่างกัน ซึ่งผลที่ได้สามารถคำนวณความแตกต่างได้ 7.8 นาโนเมตร ถึง 3 นาโนเมตร โดยการสังเคราะห์ผลึกไมโครและนาโนของซิงค์ออกไซด์จะถูกกระตุ้นโดยใช้แสงเลเซอร์ของไนโตรเจน การลดลงของกราฟจะขึ้นกับความแตกต่างของพารามิเตอร์ เช่น สภาวะกระตุ้นเวลาช่วง 190 ns-25.30 μs ความถี่การดักจับ 0.14 eV-0.27 eV และการลดลงของค่าคงที่ระหว่าง 0.56-0.72

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ยี่ห้อ Bruker AG Thailand รุ่น Siemens SRS3400
- 3.1.2 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA-680
- 3.1.3 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1455 VP
- 3.1.4 เครื่องกรองระบบสุญญากาศ ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-169 vacuum-system
- 3.1.5 เครื่องพีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Denver instrument model 250
- 3.1.6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Precisa รุ่น 205A
- 3.1.7 เตาเผา รุ่น 6000 บริษัท Thermolyne
- 3.1.8 ตู้อบเครื่องแก้วและสารเคมี
- 3.1.9 อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 3.1.10 กระดาษสำหรับกรองตะกอนละเอียด ยี่ห้อ ADVANTEC ชนิด 5C 70 มม. บริษัท Toyo Roshi Kaisha
- 3.1.11 ขวดพลาสติก

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 ซิงค์ออกไซด์ที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน (ZnO) เกรดวิเคราะห์ บริษัท APS Ajax Finechem
- 3.2.2 สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Mallinckrodt Chemicals
- 3.2.3 สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent
- 3.2.4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent
- 3.2.5 สารละลายกรดไนตริก (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent
- 3.2.6 สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent
- 3.2.7 ไทโอแอสเซตทามาไมด์ ($CH_3(CSNH_2)$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent
- 3.2.8 แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent
- 3.2.9 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent

3.2.11 ไดโซเดียมเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติกแอซิด ($\text{Na}_2\text{EDTA}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เกรดปฏิบัติการ
บริษัท CARLO BEBA Reagent

3.2.12 ซิงค์ซัลเฟต ($\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent

3.2.13 อินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบล็ค ที (Eriochrom black T) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO
BEBA Reagent

3.2.14 ซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO BEBA Reagent

3.3 แหล่งที่มาของตัวอย่าง

กากของเสียจากบริษัท นวภัทรกิจ จำกัด ที่อยู่ 310 หมู่ 1 ถนนยุทธศาสตร์ ต.หนองไผ่แก้ว อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี 20226 ซึ่งเป็นโรงงานหลอมสังกะสี โดยใช้เศษโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการถลุงมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีแท่ง (Zinc Ingot) ส่วนกากของเสียที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างไม่การทดลอง มี 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่าง A ได้มาจากเก้าอี้ที่ได้จากเครื่องดักฝุ่นเหนือเตาหลอมสังกะสีและตัวอย่าง B ได้มาจากเก้าอี้ที่ลอยเป็นฝ้ายอยู่เหนือเตาหลอมสังกะสี

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การสุ่มตัวอย่างกากของเสีย

เนื่องจากตัวอย่างที่ได้มาทั้ง 2 ตัวอย่าง มีขนาดอนุภาคที่หลากหลายและเพื่อความมั่นใจว่าตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นตัวแทนของตัวอย่างที่แท้จริง จึงได้ทำการนำตัวอย่างมาเทลงบนกระดาษขาว ทำการเกลี่ยเพื่อกระจายตัวอย่างให้ทั่ว จากนั้นจับมุมกระดาษทั้ง 4 ด้าน รวมเข้าหากันทั้ง 4 มุม เป็นจำนวน 5 ครั้งในแต่ละตัวอย่างเพื่อให้เกิดการคลุกเคล้าตัวอย่างให้กระจายตัวสม่ำเสมอ และทำการสุ่มตัวอย่างขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลองในลำดับต่อไป

3.4.2 การหาล่องประกอบในกากของเสีย

- เปรอร์เซนต์ความชื้น

1. ชั่งตัวอย่างกากของเสียมา 10 กรัมด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. นำตัวอย่างกากของเสียไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนักที่เหลือ นำไปหาเปอร์เซนต์ความชื้น

- องค์ประกอบของธาตุที่เป็นโลหะหนักที่สำคัญ

นำตัวอย่างกากของเสียไปวิเคราะห์หาล่องประกอบของธาตุที่เป็นโลหะหนักที่สำคัญด้วยเครื่อง XRF และวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเครื่อง AAS (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การแยกสังกะสีออกจากกากของเสีย

3.4.3.1 การทดสอบการละลายของตัวอย่างด้วยกรด

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง คือ กรด 4 ชนิด ได้แก่ กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก เข้มข้น 6 โมลาร์ ทำการทดสอบโดย

1. ชั่งตัวอย่าง A ประมาณ 1 กรัมด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จำนวน 12

ตัวอย่าง

2. ตัวอย่างที่ 1-3 ทดสอบกรดซัลฟิวริก 4-6 ทดสอบกรดไนตริก 5-9 ทดสอบกรดไฮโดรคลอริก และ 10-12 ทดสอบกรดอะซิติก โดยเติมปริมาณกรดต่อน้ำหนักตัวอย่างเป็น 6 มิลลิลิตร : 1 กรัม

3. คนตัวอย่างให้ละลายด้วยแท่งแก้ว จากนั้นนำสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักของกระดาษกรองหลังกรอง

4. คำนวมน้ำหนักของตัวอย่างที่ไม่ละลาย ส่วนตัวอย่าง B และสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ ทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน

3.4.3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองมี 5 ตัวอย่าง ได้แก่

- ตัวอย่าง A จากตัวอย่างกากของเสีย A
 ตัวอย่าง B จากตัวอย่างกากของเสีย B
 ตัวอย่าง SA คือ Spiked Sample A โดยใช้อัตราส่วนกากของเสีย A ต่อสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ 99 % เป็น 1:1 โดยน้ำหนัก
 ตัวอย่าง SB คือ Spiked Sample B โดยใช้อัตราส่วนกากของเสีย B ต่อสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ 99 % เป็น 1:1 โดยน้ำหนัก
 ตัวอย่าง Std. จากสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ 99 %

ชั่งตัวอย่างมา 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 6 โมลาร์ ในอัตราส่วนปริมาณกรดต่อน้ำหนักตัวอย่างเป็น 6 มิลลิลิตร : 1 กรัม คนตัวอย่างให้ละลาย กรองสารละลายด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เก็บสารละลายที่ได้ไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

3.4.3.3 การตกตะกอนในรูปซัลไฟด์เพื่อแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมออกจากกากของเสีย

1. นำสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.3.2 มาเติมสารละลายไทโอแอสเซตาไมด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 18 มิลลิลิตร นำไปอุ่นในเครื่องให้ความร้อน (hot plate) ให้เดือดนาน 5 นาที ถ้าเกิดตะกอนแสดงว่าเป็นตะกอนซัลไฟด์ของตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกรองตะกอน

2. นำสารละลายที่ได้มาเติมสารละลายไทโอแอสเซตาไมด์เข้มข้น 1 โมลาร์อีก 9 มิลลิลิตรแล้วอุ่นเพื่อให้แน่ใจว่าตะกั่ว ทองแดงและแคดเมียม ตกตะกอนหมด (ถ้าเกิดตะกอนก็นำไปกรองอีกครั้ง)

3. นำตะกอนที่ได้ไปอบให้แห้ง ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมด้วยเครื่อง AAS (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.1) ส่วนสารละลายที่ได้เก็บไว้ทดลองในลำดับต่อไป

3.4.3.4 การตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์เพื่อแยกเหล็กออกจากกากของเสีย

1. นำสารละลายจากข้อ 3.4.3.3 มาเติมได้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เหลืออยู่ออกไปให้หมดพร้อมกับให้สารละลายลดเหลือปริมาณครึ่งหนึ่ง (ถ้ามีตะกอนให้กรองทิ้งออกไป)

2. เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 2 โมลาร์ จำนวน 30 มิลลิลิตร แล้วตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์โดยใช้แอมโมเนียไฮดรอกไซด์เข้มข้นไปที่ละหยด ถ้าสารละลายมีเหล็ก (III) อยู่จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) สำหรับสังกะสีจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเทตระแอมมีนซิงค์ (II) ไอออน

3. ถ้าเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) อย่างสมบูรณ์แล้วให้นำไปกรองตะกอนออก แยกสารละลายที่ได้เก็บไว้ทดลองในลำดับต่อไป

4. นำตะกอนที่ได้ไปอบให้แห้งเพื่อชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของเหล็กด้วยเครื่อง AAS ส่วนสารละลายที่ได้นำไปใช้ในการทดลองในลำดับต่อไป

3.4.4 การเตรียมซิงค์ออกไซด์

3.4.4.1 การตกตะกอนในรูปซิงค์ไฮดรอกไซด์

1. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3.4.3.4 มาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ให้พีเอชของสารละลายประมาณ 9 ถ้ามีซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) จะได้ตะกอนสีขาวของซิงค์ไฮดรอกไซด์ ($Zn(OH)_2$)

2. กรองตะกอนที่ได้ด้วยกระดาษสำหรับกรองตะกอนละเอียด นำตะกอนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนเพื่อใช้ในการทดลองลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.2 การเผาแคลไซน์และทดสอบสมบัติของซิงค์ออกไซด์

1. นำตะกอนที่ได้จากข้อ 3.4.4.1 มาเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 100-300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

2. นำตะกอนที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่อง XRF ทดสอบ ปริมาณของสังกะสีและธาตุที่เป็นโลหะหนักที่สำคัญด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทร- โฟโตมิเตอร์ (AAS) และศึกษาสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.2) ดังนี้

- เปรอร์เซ็นต์ความชื้น
- การไทเทรตหาเปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ด้วยสารละลายอีดีทีเอ
- เปรอร์เซ็นต์ของสารที่ละลายน้ำ
- หาดูอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียม ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์หาลักษณ์ประกอบในกากของเสี่ย

กากของเสี่ยจากบริษัท นวภัทรกิจ จำกัด ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.3 พบว่า ลักษณะของตัวอย่าง A เป็นผงละเอียดสีเทาเข้ม เนื้อค่อนข้างร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน ลักษณะของตัวอย่าง B เป็นผงสีน้ำตาลปนเทา ขนาดอนุภาคมีทั้งละเอียดและหยาบปนกัน ดังรูปที่ 4.1 ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ของสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ตามข้อ 3.4.1-3.4.2 แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะของตัวอย่างกากของเสี่ยจากบริษัท นวภัทรกิจ จำกัด

(ก) ตัวอย่าง A

(ข) ตัวอย่าง B

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบในกากของเสีย (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.1)

ตัวอย่าง	ธาตุที่เป็นโลหะหนักที่สำคัญ	ปริมาณโดยเฉลี่ย* (%)	% by weight โดยเฉลี่ย**	เปอร์เซ็นต์ความชื้น***
A	ตะกั่ว (Pb)	0.76 ± 0.06	0.83 ± 0.19	0.31 ± 0.11
	ทองแดง (Cu)	0.18 ± 0.02	0.19 ± 0.04	
	เหล็ก (Fe)	0.14 ± 0.12	0.26 ± 0.04	
	แคดเมียม (Cd)	0	0.004	
	สังกะสี (Zn)	78.07 ± 0.06	78.88 ± 2.11	
B	ตะกั่ว (Pb)	1.52 ± 0.60	1.25 ± 0.17	0.62 ± 0.12
	ทองแดง (Cu)	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.03	
	เหล็ก (Fe)	0.14 ± 0.23	0.35 ± 0.08	
	แคดเมียม (Cd)	0	0.004	
	สังกะสี (Zn)	76.77 ± 0.57	77.09 ± 1.44	
Std.	ทองแดง (Cu)	0.08 ± 0.07	0.11 ± 0.02	-
	สังกะสี (Zn)	79.37 ± 0.06	79.81 ± 1.71	

หมายเหตุ * : วิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF)

ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 3

** : วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 3

*** : ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 3

จากผลการทดลองดังที่ตาราง 4.1 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่าง A และ B มีเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำ คือ 0.31 % และ 0.62 % ตามลำดับ ดังนั้นความชื้นที่วัดได้จึงน่าจะมาจากตัวอย่างกากของเสียดูความชื้นในบรรยากาศมากกว่า ซึ่งเมื่อนำความชื้นที่วัดได้มาคิดจากน้ำหนักของตัวอย่างกากของเสียที่ชั่งมาตอนแรก ถือได้ว่าความชื้นเพียงเท่านี้ไม่มีผลกับปริมาณเนื้อของตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

ส่วนองค์ประกอบธาตุโลหะหนักที่สำคัญ ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) แคดเมียม (Cd) และสังกะสี (Zn) จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ พบว่ามีปริมาณของสังกะสีในตัวอย่าง A และ B มากที่สุด คือ 78.07 % และ 76.77 % ตามลำดับ และในสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ 99 % (Std.) มีสังกะสี 79.37 % ส่วนธาตุโลหะหนักอื่น ๆ พบว่า

มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับสังกะสี โดยสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ พบว่ามีทองแดงอยู่ 0.08 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเครื่อง AAS พบว่ามีปริมาณของสังกะสีในตัวอย่าง A และ B มากที่สุด คือ 78.88 % และ 77.09 % ตามลำดับ และในสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ (ZnO) 99 % มีสังกะสี 79.81% ส่วนธาตุโลหะหนักอื่น ๆ ก็พบว่ามีปริมาณไปในทิศทางเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF และจากการวิเคราะห์แคดเมียมด้วยเครื่อง XRF และ AAS พบว่ามีปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างน้อยมาก แต่ในการทดลองก็จำเป็นที่จะต้องกำจัดธาตุโลหะหนักเหล่านี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนในการเตรียมซิงค์ออกไซด์

4.2 การแยกสังกะสีออกจากกากของเสีย

4.2.1 การทดสอบการละลายของสารตัวอย่างด้วยกรด

จากการทดสอบการละลายของสารตัวอย่างด้วยกรด 4 ชนิด ตามวิธีการทดลองตามข้อ 3.4.3.1 ได้ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และแสดงผลของเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่ละลายต่อกรดชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 4.2 (รายละเอียดคั่งภาคผนวก ก.21)

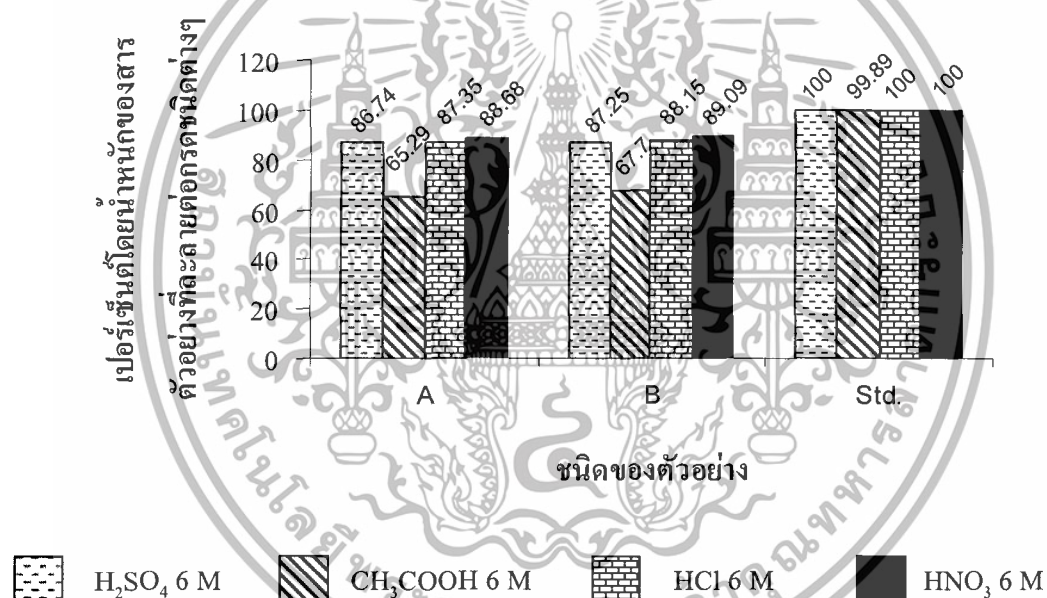
ตารางที่ 4.2 แสดงการละลายของสารตัวอย่างด้วยกรด

กรดที่ใช้	ตัวอย่าง	ลักษณะการละลาย
H ₂ SO ₄	A	สามารถละลายได้และเกิดฟองก๊าซในตอนแรกเริ่ม เกิดควัน สารละลายเป็นสีดำและค่อย ๆ ใส มีกากของเสียเหลืออยู่
	B	สามารถละลายได้และเกิดฟองก๊าซในตอนแรกเริ่ม เกิดควันเล็กน้อย สารละลายเป็นสีดำในเริ่มแรกและค่อย ๆ ใส มีกากของเสียเหลืออยู่
	Std.	สามารถละลายได้ไม่มีตัวอย่างเหลืออยู่ ได้เป็นสารละลายใส ไม่มีสี
CH ₃ COOH	A	สามารถละลายได้สารละลายเป็นสีดำในเริ่มแรกและค่อย ๆ ใส มีกากของเสียเหลืออยู่ค่อนข้างเยอะ
	B	สามารถละลายได้สารละลายเป็นสีดำในเริ่มแรกและค่อย ๆ ใส มีกากของเสียเหลืออยู่ค่อนข้างเยอะ
	Std.	สามารถละลายได้ไม่มีตัวอย่างเหลืออยู่ ได้เป็นสารละลายใส ไม่มีสี
HCl	A	สามารถละลายได้และเกิดฟองก๊าซในตอนแรกเริ่ม เกิดควันเล็กน้อย สารละลายเป็นสีดำในเริ่มแรกและค่อย ๆ ใส มีกากของเสียเหลืออยู่
	B	สามารถละลายได้และเกิดฟองก๊าซในตอนแรกเริ่ม เกิดควันเล็กน้อย สารละลายเป็นสีดำในเริ่มแรกและค่อย ๆ ใส มีกากของเสียเหลืออยู่
	Std.	สามารถละลายได้ไม่มีตัวอย่างเหลืออยู่ ได้เป็นสารละลายใส ไม่มีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงการละลายของสารตัวอย่างด้วยกรด (ต่อ)

กรดที่ใช้	ตัวอย่าง	ลักษณะการละลาย
HNO ₃	A	สามารถละลายได้และเกิดฟองก๊าซในตอนแรกเริ่ม เกิดควันเล็กน้อย สารละลายเป็นสีดำในเริ่มแรกและค่อย ๆ ใส มีกากของเสียเหลืออยู่เล็กน้อย
	B	สามารถละลายได้และเกิดฟองก๊าซในตอนแรกเริ่ม เกิดควันเล็กน้อย สารละลายเป็นสีดำในเริ่มแรกและค่อย ๆ ใส มีกากของเสียเหลืออยู่เล็กน้อย
	Std.	สามารถละลายได้ไม่มีตัวอย่างเหลืออยู่ ได้เป็นสารละลายใส ไม่มีสี



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่ละลายต่อกรดชนิดต่าง ๆ

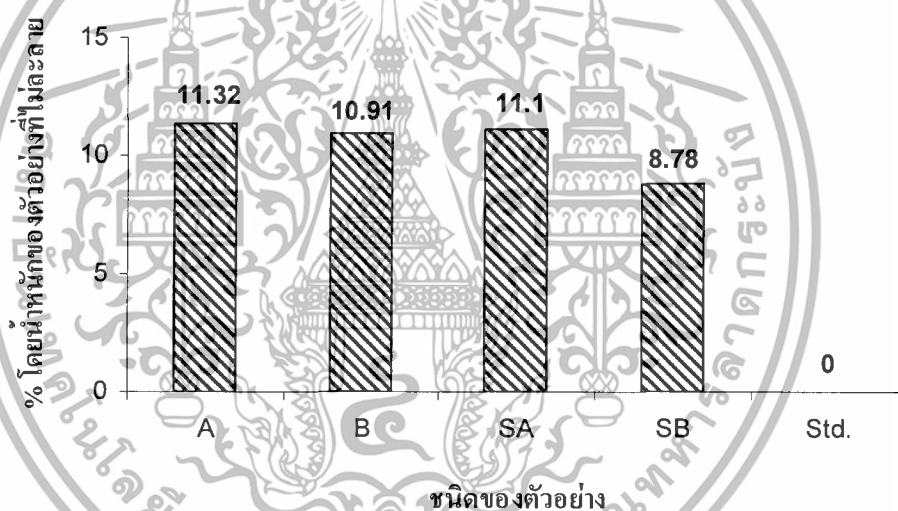
จากตารางที่ 4.2 และจากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก และกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 6 โมลาร์ สามารถละลายสารตัวอย่าง A และสารตัวอย่าง B ได้ดี เมื่อทำการเติมกรดลงไปจะได้สารละลายเป็นสีดำในเริ่มแรกและค่อย ๆ ใส มีกากของเสียเหลืออยู่เล็กน้อย ส่วนการละลายของสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์พบว่ากรดทั้ง 4 ชนิดมีความสามารถในการละลายที่ดีและใกล้เคียงกัน แต่ในทางกลับกันกรดอะซิติกจะละลายตัวอย่าง A และ B ได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรดทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากความเป็นกรดที่อ่อนเกินไปและตัวอย่างกากของเสียจากกระบวนการแยกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอมสังกะสีไม่ได้ประกอบด้วยซิงค์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว อาจเกิดสารประกอบของสังกะสีในรูปอื่นด้วย จึงไม่ได้เลือกใช้กรดอะซิติกในการทดลอง

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดสามารถละลายได้ในกรดทั้ง 4 ชนิดใกล้เคียงกัน แต่ในการทดลองจะเลือกใช้กรดไนตริก เข้มข้น 6 โมลาร์ เนื่องจาก มีเปอร์เซ็นต์การละลายที่ดีกว่ากรดอื่น ๆ เล็กน้อย และจากงานวิจัยของจารุวรรณ (2534) ก็ใช้กรดไนตริกในการละลายแร่สังกะสีเช่นเดียวกัน

4.2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

จากการทดลองตามข้อ 3.4.3.2 เมื่อชั่งตัวอย่างมาตัวอย่างละ 5 กรัม ละลายด้วยกรดไนตริก เข้มข้น 6 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรกรดต่อน้ำหนักตัวอย่างเป็น 6 มิลลิลิตร : 1 กรัม จะเหลือตัวอย่างที่ไม่ละลาย ได้ผลดังรูปที่ 4.3 (รายละเอียดดังภาคผนวก ค.2.2)



รูปที่ 4.3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่ไม่ละลาย

จากการทดลองในการที่จะต้องละลายตัวอย่างด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 6 โมลาร์ ก่อนก็เพื่อที่จะสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนเป็นตัวอื่น ๆ ที่ไม่ละลายในกรด โดยที่สังกะสีซึ่งละลายในกรดยังคงอยู่ในสารละลาย ซึ่งจากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่ไม่ละลายในตัวอย่าง A มากที่สุด เท่ากับ 11.32 % รองลงมาคือตัวอย่าง B เท่ากับ 10.91 % ส่วนสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ละลายได้หมด ดังนั้น เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่ไม่ละลายในตัวอย่าง SA และ SB จึงเกิดจากสิ่งปนเปื้อนในตัวอย่าง A และ B สำหรับสารมาตรฐานที่ Spike ลงไปในตัวอย่าง SA และ SB ถือว่าละลายได้หมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การตกตะกอนซัลไฟด์เพื่อแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมออกจากกากของเสีย

เนื่องจากในตัวอย่างกากของเสียมีสารปนเปื้อนจำพวกตะกั่ว และทองแดงอยู่ ส่วนแคดเมียมซึ่งวิเคราะห์ไม่เจอด้วยเครื่อง XRF เพราะสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ในระดับ 0.01–100 % ส่วนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS พบในปริมาณน้อยมาก แต่ในแร่สังกะสีโดยทั่วไปมักจะมีธาตุแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ด้วย ดังนั้นเพื่อความมั่นใจจึงจะต้องกำจัดแคดเมียมออกด้วย โดยใช้วิธีการตกตะกอนในรูปของตะกอนซัลไฟด์ จากการทดลองดังข้อ 3.4.3.3 ได้ตะกอนสีดำของเลดซัลไฟด์ และคอปเปอร์ซัลไฟด์ ส่วนแคดเมียมซัลไฟด์มีลักษณะเป็นตะกอนสีเหลือง ส่วนสารมาตรฐานได้ตะกอนสีดำของคอปเปอร์ซัลไฟด์เล็กน้อย จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณของสารปนเปื้อนด้วยเครื่อง AAS ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.3 (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.2.3)

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตะกอนซัลไฟด์โดยเฉลี่ยที่วัดจากเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตะกอนซัลไฟด์โดยเฉลี่ย* (%)			
	ตะกั่ว (Pb)	ทองแดง (Cu)	แคดเมียม (Cd)	สังกะสี (Zn)
A	0.78 ± 0.10	0.18 ± 0.03	0.004	0.001
B	1.16 ± 0.13	0.16 ± 0.04	0.004	0
SA	0.45 ± 0.09	0.11 ± 0.02	0.002	0
SB	0.59 ± 0.14	0.09 ± 0.03	0.002	0.001
Std.	0	0.11 ± 0.03	0	0.001

หมายเหตุ * : ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 7

เมื่อเติมสารละลายไทโอแอสเซตาไมด์ในสารละลายตัวอย่าง แล้วไปอุ่นให้เดือดจะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซัลไฟด์ไอออนที่เกิดขึ้นจะจับกับเลดไอออน คอปเปอร์ไอออน และแคดเมียมไอออน (ดังสมการที่ 2.22-2.24) ส่วนซิงค์ไอออนจะไม่ตกตะกอนร่วม เนื่องจากค่าผลคูณการละลาย (K_{sp}) ของซิงค์ซัลไฟด์มีค่าสูงกว่า จากตารางที่ 4.3 ในตัวอย่าง A, B, SA และ SB สามารถกำจัดตะกั่วจากสารตัวอย่างตั้งต้นได้ 0.78 % 1.16 % 0.45 % และ 0.59 % ตามลำดับ กำจัดทองแดงจากสารตัวอย่างตั้งต้นได้ 0.18 % 0.16 % 0.11 % และ 0.09 % ตามลำดับ และในสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์สามารถกำจัดทองแดงจากสารตัวอย่างตั้งต้นได้ 0.11 % ส่วนแคดเมียมในตัวอย่าง A, B, SA, SB สามารถกำจัดจากสารตัวอย่างตั้งต้นได้ 0.004 % 0.004 % 0.002 % และ 0.001 % ตามลำดับ ผลการตรวจสอบปริมาณสังกะสีในตะกอนซัลไฟด์ยืนยันได้ว่าสังกะสีไม่ได้เกิดการตกตะกอนซัลไฟด์ร่วมกับแคดไอออนตัวอื่น ๆ ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่ามีปริมาณสังกะสีในตะกอนไม่ถึง 0.01 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การตกตะกอนไฮดรอกไซด์เพื่อแยกเหล็กออกจากกากของเสีย

หลังจากแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมแล้ว จะทำการแยกเหล็กออกจากตัวอย่างกากของเสีย โดยตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ดังการทดลองข้อ 3.4.4.1 ได้ตะกอนสีน้ำตาลแดงของเฟอริกไฮดรอกไซด์ ส่วนสารมาตรฐานได้สารละลายใส ไม่ตกตะกอน จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณของเหล็กด้วยเครื่อง AAS ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.4 (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.2.4)

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของตะกอนไฮดรอกไซด์โดยเฉลี่ยที่วัดจากเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของตะกอนไฮดรอกไซด์โดยเฉลี่ย* (%)	
	เหล็ก (Fe)	สังกะสี (Zn)
A	0.23 ± 0.05	0.001
B	0.32 ± 0.06	0.002
SA	0.17 ± 0.05	0.001
SB	0.22 ± 0.05	0.001

หมายเหตุ * : ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 7

ในการตกตะกอนเหล็กจะทำการตกตะกอนโดยใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งซิงค์ไอออนสามารถเกิดตะกอนเป็นซิงค์ไฮดรอกไซด์ได้เหมือนกัน ดังนั้นจึงต้องเติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์และเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จนเป็นด่างมากเกินไป เพื่อให้ตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์ละลายเป็นสารละลายเชิงซ้อนเทตระเอมีนซิงค์(II)ไอออน ส่วนเหล็กจะตกตะกอนในรูปของเฟอริกไฮดรอกไซด์ (สมการ 2.30-2.32)

จากตารางที่ 4.4 ในตัวอย่าง A, B, SA และ SB สามารถกำจัดเหล็กจากสารตัวอย่างตั้งต้นได้ 0.23 % 0.32 % 0.17 % และ 0.22 % ตามลำดับ และผลการตรวจสอบปริมาณสังกะสีในตะกอนไฮดรอกไซด์ยืนยันได้ว่าสังกะสีไม่ได้ตกตะกอนไฮดรอกไซด์ร่วมกับเฟอริกไอออน จากตารางจะเห็นว่าไม่มีปริมาณสังกะสีในตะกอนไม่ถึง 0.01 %

ตารางที่ 4.5 ปริมาณของโลหะบางชนิดในสารตัวอย่างและที่กำจัดออกโดยการตกตะกอนในรูปตะกอนซัลไฟด์และตะกอนไฮดรอกไซด์โดยร้อยละเทียบกับสารตัวอย่างเริ่มต้น

สาร	ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตั้งต้น*(%)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่กำจัดออก** (%)	% removal
Pb	A	0.83	0.78	93.98
	B	1.25	1.16	92.80
Cu	A	0.19	0.18	94.74
	B	0.17	0.16	94.12
	Std.	0.11	0.11	100
Cd	A	0.004	0.004	100
	B	0.004	0.004	100
Fe	A	0.26	0.23	88.46
	B	0.35	0.32	91.43

หมายเหตุ * : วิเคราะห์โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ;
ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 3

** : วิเคราะห์โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ;
ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 7

จากข้อ 4.2.3 และ 4.2.4 สามารถสรุปค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดได้ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจากการทดลองสามารถกำจัดตะกั่วได้ในช่วง 92.80-93.98 % กำจัดทองแดงได้ในช่วง 94.12-100 % กำจัดแคดเมียมได้ 100 % และกำจัดเหล็กได้ในช่วง 88.46-91.43 %

4.3 การเตรียมซิงค์ออกไซด์

4.3.1 การตกตะกอนในรูปซิงค์ไฮดรอกไซด์

เมื่อตกตะกอนตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม และเหล็กออกจากตัวอย่างแล้ว สารละลายที่ได้จะเหลือเฉพาะสังกะสีอยู่ จากนั้นนำสารละลายมาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้พีเอชของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายประมาณ 9 ซึ่งเป็นช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนสังกะสี โดยสังกะสีที่อยู่ในสารละลายจะตกตะกอนในรูปของซิงค์ไฮดรอกไซด์ได้เป็นตะกอนสีขาว

4.3.2 การเผาแคลไซน์

ตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่ได้ นำมาเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 100-300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ซิงค์ออกไซด์และนำตะกอนที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุและสารประกอบที่สำคัญด้วยเครื่อง XRF และทดสอบปริมาณด้วยเครื่อง AAS ได้ผลแสดงไว้ดังตารางที่ 4.6 (รายละเอียดดังภาคผนวก ค.3)

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์

ตัวอย่าง	ธาตุและสารประกอบที่สำคัญ	เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย*	% by weight โดยเฉลี่ย**
A	ตะกั่ว (Pb)	0.05 ± 0.06	0.08 ± 0.07
	ทองแดง (Cu)	0	0.01 ± 0.01
	เหล็ก (Fe)	0.03 ± 0.05	0.03 ± 0.02
	แคดเมียม (Cd)	0	0
	สังกะสี (Zn)	73.17 ± 0.42	73.54 ± 1.36
	ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	91.18 ± 0.52	-
B	ตะกั่ว (Pb)	0.09 ± 0.04	0.11 ± 0.02
	ทองแดง (Cu)	0	0.01 ± 0.01
	เหล็ก (Fe)	0.02 ± 0.04	0.02 ± 0.02
	แคดเมียม (Cd)	0	0
	สังกะสี (Zn)	72.27 ± 0.29	72.41 ± 1.37
	ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	90.06 ± 0.36	-
SA	ตะกั่ว (Pb)	0.03 ± 0.05	0.03 ± 0.02
	ทองแดง (Cu)	0	0
	เหล็ก (Fe)	0.02 ± 0.04	0.01 ± 0.01
	แคดเมียม (Cd)	0	0
	สังกะสี (Zn)	73.34 ± 0.57	74.04 ± 0.79
	ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	91.40 ± 0.71	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ธาตุและสารประกอบที่สำคัญ	เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย*	% by weight โดยเฉลี่ย**
SB	ตะกั่ว (Pb)	0.04 ± 0.06	0.09 ± 0.05
	ทองแดง (Cu)	0	0.01 ± 0.01
	เหล็ก (Fe)	0	0
	แคดเมียม (Cd)	0	0
	สังกะสี (Zn)	73.11 ± 0.62	73.22 ± 2.32
	ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	91.11 ± 0.78	-
Std.	ตะกั่ว (Pb)	0	0
	ทองแดง (Cu)	0	0
	เหล็ก (Fe)	0	0
	แคดเมียม (Cd)	0	0
	สังกะสี (Zn)	74.43 ± 0.54	74.91 ± 0.86
	ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	92.75 ± 0.67	-

หมายเหตุ *: วิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF) ;
ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 7

** : วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ;
ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 3

จากตารางที่ 4.6 แสดงองค์ประกอบในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ พบว่าเปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยของตะกั่วซึ่งไม่ได้วิเคราะห์ตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2 ที่ใช้การวิเคราะห์โดยวิธี Gravimetric Method เนื่องจากปัจจัยจำกัดทางด้านสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ แต่ผลจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเครื่อง XRF ในตัวอย่าง A, B, SA และ SB มีค่าผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2 ซึ่งกำหนดค่าของตะกั่วว่าต้องไม่เกิน 0.1 % ส่วนการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเครื่อง AAS ในตัวอย่าง B พบว่ามีปริมาณตะกั่วเกินเกณฑ์ข้อกำหนดคือ 0.11 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแคดเมียมตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2 ซึ่งกำหนดค่าของแคดเมียมว่าต้องไม่เกิน 0.01 % โดยใช้วิธี Gravimetric Method แต่จากการทดลองใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF และ AAS เนื่องจากปัจจัยจำกัดทางด้านสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ พบว่าไม่เจอแคดเมียมในซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ จึงถือว่าผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนด

จากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง XRF พบว่าในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้มีเปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ที่ต่ำ เนื่องจากในซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้มีคลอไรด์ปนเปื้อนที่ค่อนข้างสูง ดังตารางที่ 4.9

และจากการทดลองในตัวอย่าง SA และ SB ได้ทำการ Spike สารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ 99 % โดยใช้อัตราส่วนตัวอย่างกากของเสียต่อสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ 99 % เป็นสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก จึงจำเป็นต้องหา % recovery ของสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไป ผลดังตารางที่ 4.7 (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.3)

ตารางที่ 4.7 % recovery ของตัวอย่าง SA และ SB

ตัวอย่าง	ปริมาณของสังกะสีตามทฤษฎี (g)*	ปริมาณของสังกะสีที่วัดได้ (g)**	% recovery
SA	3.7454 ± 0.05	3.6860 ± 0.08	98.41 ± 1.60
SB	3.7373 ± 0.06	3.6701 ± 0.08	98.20 ± 1.64

หมายเหตุ * : ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 7

** : ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 7

ผลจากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าในตัวอย่าง SA และ SB มี % recovery เท่ากับ 98.41 % และ 98.20 % ตามลำดับ แสดงว่าสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ 99 % ที่ spike ลงในตัวอย่างกากของเสีย A และ B มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียในระหว่างการทดลองเพียงประมาณ 2 % เท่านั้น

4.3.2.1 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้

จากผลการสังเกตลักษณะซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้พบว่ามีลักษณะเป็นผงสีขาว เนื้อละเอียด ส่วนผลการทดสอบสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ตามวิธีดังภาคผนวก ก แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้เทียบกับเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ชั้นคุณภาพ 2

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น โดยเฉลี่ย*	เปอร์เซ็นต์ ซิงค์ออกไซด์ โดยเฉลี่ย**	เปอร์เซ็นต์ สารที่ละลายน้ำ โดยเฉลี่ย***
A	0.05 ± 0.03	91.35 ± 4.52	6.80 ± 0.63
B	0.09 ± 0.01	92.65 ± 4.52	7.25 ± 0.27
SA	0.07 ± 0.03	93.23 ± 4.52	6.09 ± 0.14
SB	0.07 ± 0.03	91.58 ± 4.52	7.58 ± 0.19
Std.	0.09 ± 0.01	93.56 ± 4.52	6.02 ± 0.19
มอก. 221-2541 ZnO ชั้นคุณภาพ 2	ไม่เกิน 0.10	ไม่น้อยกว่า 99.00	ไม่เกิน 0.10

หมายเหตุ * : วิเคราะห์ตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ชั้นคุณภาพ 2 ; ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 7

** : วิเคราะห์โดยไทเทรตกับสารละลายอิดีทีเอ ; ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 3

*** : วิเคราะห์ตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ชั้นคุณภาพ 2 ; ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 3

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยของตัวอย่างทุกตัวที่เตรียมได้มีค่าผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2 ซึ่งกำหนดค่าของเปอร์เซ็นต์ความชื้นว่าต้องไม่เกิน 0.1 %

ส่วนเปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์จากการไทเทรตด้วยสารละลายอิดีทีเอซึ่งไม่ได้ใช้วิธีวิเคราะห์ตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ชั้นคุณภาพ 2 เนื่องจากปัจจัยจำกัดในด้านสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจากผลการทดลองในตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด พบว่าเปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ไม่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2 ซึ่งกำหนดค่าของเปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ว่าต้องไม่ต่ำกว่า 99 %

ส่วนผลการทดลองสารที่ละลายน้ำ พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ในชั้นคุณภาพ 2 ซึ่งอาจเกิดจากสารประกอบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่มาจากขั้นตอนการเติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ ในการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟอริกไฮดรอกไซด์ และการตกตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้คลอไรด์ไอออนจับตัวกับโซเดียมไอออนเป็นโมเลกุลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีขนาดเล็กซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยตะกอนของซิงค์ไฮดรอกไซด์เมื่อตกตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์อย่างรวดเร็ว ประกอบกับเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นสารอนินทรีย์ เมื่อนำตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่ได้ไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิประมาณ 100-300 องศาเซลเซียส เกลือโซเดียมคลอไรด์ก็จะไม่ระเหยออกไปหมด ดังตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าปริมาณคลอไรด์ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง XRF ในกากของเสีย A และ B มีปริมาณคลอไรด์เพียง 0.69 % และ 1.64 % ตามลำดับ แต่เมื่อนำซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากตัวอย่าง A และ B มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF ในขั้นตอนสุดท้าย พบว่ามีปริมาณของคลอไรด์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งทำให้เมื่อนำซิงค์ออกไซด์ไปทดสอบการละลายน้ำทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของสารที่ละลายน้ำค่อนข้างสูงเพราะเกลือโซเดียมคลอไรด์มีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี

ตารางที่ 4.9 ปริมาณคลอไรด์(CI)โดยเฉลี่ยในตัวอย่่างกากของเสียและตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้

ตัวอย่าง	CI* (%)
กากของเสีย A	0.69 ± 0.03
กากของเสีย B	1.64 ± 0.12
ซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากตัวอย่าง A	6.86 ± 0.24
ซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากตัวอย่าง B	7.73 ± 0.20
ซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากตัวอย่าง SA	6.41 ± 0.28
ซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากตัวอย่าง SB	7.46 ± 0.21
ซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากตัวอย่าง Std.	6.17 ± 0.23

หมายเหตุ * : จากการวิเคราะห์ด้วย XRF ;

กากของเสีย n เท่ากับ 3 และ ซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ n เท่ากับ 7

จากปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นในการทดลอง จึงได้ทำการทดลองเพิ่มในขั้นตอนของการล้างตะกอนของซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ และทดสอบปริมาณของคลอไรด์ในน้ำที่ผ่านการล้างตะกอนโดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรด ทำการล้างตะกอนจนในน้ำที่ผ่านการล้างตะกอนไม่เหลือคลอไรด์อยู่ ผลจากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารที่หายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังล้างตะกอนในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ A, B, SA, SB และ Std. เป็น 6.89, 7.87, 6.52, 7.58 และ 6.21 % ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอรีนในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง XRF ดังผลในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารที่หายไปหลังล้างตะกอน (รายละเอียดคังภาคผนวก ก.3.2)

ตัวอย่างซิงค์ออกไซด์	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารที่หายไปหลังล้างตะกอน (%)*
A	6.89 ± 0.59
B	7.87 ± 0.93
SA	6.52 ± 1.67
SB	7.58 ± 0.55
Std.	6.21 ± 1.29

หมายเหตุ * : ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 3

เมื่อนำตะกอนที่ผ่านการล้างและทดสอบปริมาณคลอรีนมาทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซนต์ของสารที่ละลายน้ำตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ชั้นคุณภาพ 2 และทดสอบเปอร์เซนต์ซิงค์ออกไซด์โดยไทเทรตกับสารละลายอิตีทีเออีกครั้ง พบว่าในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการล้างตะกอนมีเปอร์เซนต์สารที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.05-0.08 % ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ชั้นคุณภาพ 2 ซึ่งกำหนดค่าของเปอร์เซนต์ของสารที่ละลายน้ำว่าต้องไม่เกิน 0.1 % ส่วนเปอร์เซนต์ซิงค์ออกไซด์อยู่ในช่วง 99.25-99.71 % ก็ผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ชั้นคุณภาพ 2 ซึ่งกำหนดค่าเปอร์เซนต์ของซิงค์ออกไซด์ไม่น้อยกว่า 99.00 % เช่นเดียวกัน

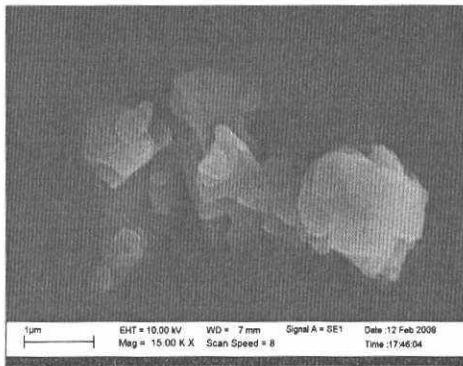
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 เปอร์เซนต์สารที่ละลายน้ำและเปอร์เซนต์ซิงค์ออกไซด์หลังล้างตะกอน (รายละเอียด
 คังภาคผนวก ก.3.2)

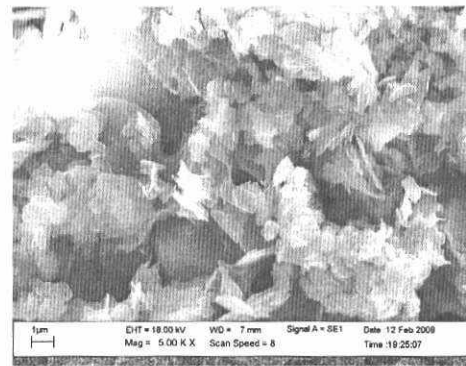
ตัวอย่างซิงค์ออกไซด์	เปอร์เซนต์สารที่ละลายน้ำ หลังล้างตะกอน (%)*	เปอร์เซนต์ซิงค์ออกไซด์ หลังล้างตะกอน (%)*
A	0.05 ± 0.03	99.40 ± 4.59
B	0.08 ± 0.02	99.25 ± 4.59
SA	0.05 ± 0.04	99.62 ± 4.59
SB	0.07 ± 0.05	99.52 ± 4.59
Std.	0.06 ± 0.03	99.71 ± 4.59

หมายเหตุ * : ค่าโดยเฉลี่ย n เท่ากับ 3

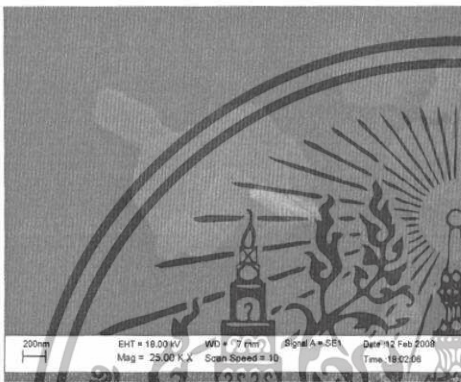
และจากเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541)
 ชั้นคุณภาพ 2 กำหนดเปอร์เซนต์ของส่วนที่ค้างบนแร่ 45 ไมโครเมตรไม่เกิน 0.1 % ดังตารางที่
 2.9 แต่จากการทดลองไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากปัจจัยจำกัดทางด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการ
 วิเคราะห์ แต่จากการหาขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM
 ซึ่งทำการสุ่มตัวอย่างมา 2 ตัวอย่าง (รายละเอียดคังภาคผนวก ก.2) ได้ผลดังรูปที่ 4.4



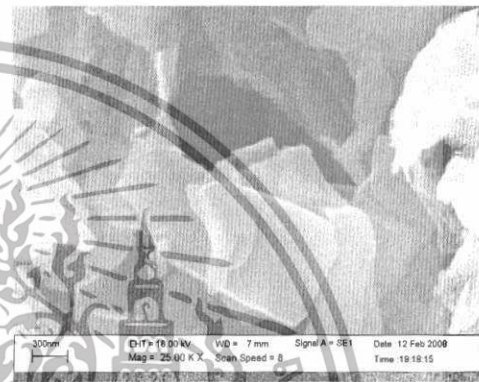
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.4 ขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

(ก) และ (ข) อนุภาคของซิงค์ออกไซด์ในตัวอย่างที่ 1

(ค) และ (ง) อนุภาคของซิงค์ออกไซด์ในตัวอย่างที่ 2

จากรูปจะเห็นได้ว่าในตัวอย่างที่ 1 และ 2 ขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์มีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ คือ อยู่ในช่วง 200 ถึง 1000 นาโนเมตร และมีรูปร่างเป็นทรงหกเหลี่ยม (Hexagonal) แต่จากงานวิจัยของจินดา (2548) ที่ใช้ช่วงอุณหภูมิในการเผาเคลือบใน ช่วงเดียวกันคือ 100-300 องศาเซลเซียส แต่ใช้อัตราไหลของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการตกตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1 มิลลิลิตร/นาที พบว่ามีขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์เท่ากับ 20-50 นาโนเมตร ซึ่งต่างจากการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้ที่ตกตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์อย่างรวดเร็ว โดยไม่ได้ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายไฮดรอกไซด์ ดังนั้นอัตราการไหลของสารละลายไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการตกตะกอนไฮดรอกไซด์จึงมีผลต่อขนาดและรูปร่างอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบในกากของเสียบ

จากการสังเกตมีลักษณะของตัวอย่างกากของเสียบ พบว่า ตัวอย่าง A เป็นผงละเอียดสีเทาดำ เนื้อค่อนข้างร่วน และตัวอย่าง B เป็นผงสีน้ำตาลปนเทา ขนาดอนุภาคมีทั้งละเอียดและหยาบปนกัน ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่าง A และ B คือ 0.31 % และ 0.62 % ตามลำดับ โดยพบว่าเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำ แสดงว่าตัวอย่างดูดความชื้นในบรรยากาศได้น้อย

ส่วนองค์ประกอบธาตุโลหะหนักที่สำคัญในตัวอย่างกากของเสียบที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF พบว่ามีปริมาณของสังกะสีในตัวอย่าง A และ B มากที่สุด คือ 78.07 % และ 76.77 % ตามลำดับ และการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS พบว่ามีปริมาณของสังกะสีในตัวอย่าง A และ B คือ 78.88 % และ 77.09 % ตามลำดับ ส่วนธาตุโลหะหนักอื่น ๆ จากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีพบว่ามีปริมาณน้อยมาก โดยเฉพาะแคดเมียม

5.1.2 การแยกสังกะสีออกจากกากของเสียบ

จากการทดสอบกรดที่เหมาะสมในการละลายตัวอย่างกากของเสียบเพื่อที่จะสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนตัวอื่น ๆ ที่ไม่ละลายในกรดพบว่ากรดไนตริกเข้มข้น 6 โมลาร์ เหมาะสมที่สุด โดยที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่ไม่ละลายในตัวอย่าง A มากที่สุด เท่ากับ 11.32 % รองลงมาคือตัวอย่าง B เท่ากับ 10.91 % ส่วนสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ ละลายได้หมด

เมื่อนำตัวอย่างสารละลายที่เตรียม ได้มาแยกสังกะสี โดยการตกตะกอนโลหะหนักปนเปื้อน ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ในรูปของตะกอนซัลไฟด์ และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS พบว่าสามารถกำจัดตะกั่วได้ 92.80-93.98 % ทองแดงได้ 94.12-100 % และแคดเมียมได้ 100 % จากที่มีอยู่เดิม ส่วนเหล็กจะตกตะกอนในรูปตะกอนไฮดรอกไซด์ ซึ่งสามารถกำจัดเหล็กได้ 88.46-91.43 % จากที่มีอยู่เดิม และ % recovery ของสารมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ 99 % ที่ spike ลงในตัวอย่างมีค่าประมาณ 98 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การทดสอบสมบัติของซิงค์ออกไซด์

เมื่อนำสารละลายที่ผ่านการแยกโลหะหนักปนเปื้อนออกไปแล้วมาทำการตกตะกอน สังกะสีจะได้ตะกอนสีขาวของซิงค์ไฮดรอกไซด์ และเมื่อนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 100-300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ซิงค์ออกไซด์ และศึกษาสมบัติของซิงค์ออกไซด์ ที่เตรียมได้ ได้ผลดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้

สมบัติของซิงค์ออกไซด์	เกณฑ์ที่กำหนด ชั้นคุณภาพ 2 (%)	ซิงค์ออกไซด์ ที่เตรียมได้ (%)	ซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ หลังล้างตะกอน (%)
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไม่น้อยกว่า	99.00	91.35-93.56 *	99.25-99.71*
ความชื้น ไม่เกิน	0.10	0.05-0.09**	-
สารที่ละลายน้ำ ไม่เกิน	0.10	6.02-7.58**	0.05-0.08**
ตะกั่ว ไม่เกิน	0.10	0-0.11***	-
แคดเมียม ไม่เกิน	0.01	0***	-

หมายเหตุ * : วิเคราะห์โดยไทเทรตด้วยสารละลายยอดีทไอ

** : วิเคราะห์ตามเกณฑ์ข้อกำหนดสมบัติของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรม (มอก. 221-2541) ชั้นคุณภาพ 2

*** : วิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

และจากการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง SEM พบว่าขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์อยู่ในช่วง 200 ถึง 1000 นาโนเมตร และมีรูปร่างเป็นทรงหกเหลี่ยม (Hexagonal)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการตกตะกอนซัลไฟด์ด้วยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เมื่อเติมสารละลายไทโอแอเซตทาไมด์จะต้องต้มสารละลายไทโอแอเซตทาไมด์ให้เดือดไม่ต่ำกว่า 5 นาทีเสมอ เพราะความร้อนจะทำให้สารละลายไทโอแอเซตทาไมด์สลายตัวให้ H_2S ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะหนักทำให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์

5.2.2 ในการตกตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์จะต้องเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จนเป็นด่างมากเกินไป เพื่อให้ตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์ละลายได้สารละลายไอของสารประกอบเชิงซ้อนททระแอมมีนซิงค์ (II) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการตกตะกอนร่วมกับเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์

5.2.3 ในการตกตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์ จะต้องล้างตะกอนด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของซิงค์ที่เตรียมได้น้อยกว่าความเป็นจริง

5.2.4 หากต้องการซิงค์ออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรจะต้องใช้สารละลายไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำ ควบคุมอัตราไหลของสารละลายไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์อย่างช้า ๆ และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแคลไซน์ที่เหมาะสมเพื่อจะทำให้อนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีขนาดเล็กลง

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. 2548. **ทรัพยากรแร่ตะกั่ว-สังกะสี**. [Online]. Available :
http://www.dmr.go.th/knowledge/Thai_mineral/min5_1_3.htm .
- กัมพล กุศลเพิ่มพูน. 2545. **การกำจัดสังกะสีในน้ำผิวดินโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยปูนขาวและแมกนีเซียมคาร์บอเนต**. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กัมปนาท แผ้วชำนาญ, จักรพันธ์ โคมัยกุล, ชีรวัฒน์ มธุรส, พชร พิฆาตไพรี, วัชรวิวัฒน์ มหามิตร, สุภวรรณ พัฒนาสุนย์, จุฑาทิพย์ สีเนหะ, วรรัตน์ วีระมงคลเลิศพรพรรณ ถนัดคำ. 2548. **อุตสาหกรรมแร่สังกะสีและแคดเมียม**. [Online]. Available : http://www.kkw.ac.th/stuweb/6_9/group1/zinc&cadmium.html.
- จารุวรรณ ดิษเจริญ. 2534. **การเตรียมซิงค์คาร์บอเนตจากแร่สังกะสีเพื่อใช้ในการงานด้านอิเล็กทรอนิกส์**. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จินดา ศิริตา. 2548. **การสังเคราะห์และการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์**. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ณัฐพิรา เนตรสว่าง, ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ และ สุรเทพ เขียวหอม. 2548. **การศึกษาวัฏจักรชีวิตของนาโนซิงค์ออกไซด์และการนำไปใช้ประโยชน์**. หน้า NA10-1 – NA10-5 ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15. กรุงเทพฯ
- คำริ สุโจชนัง. 2525. **สนเทศสาร : การหุบสังกะสีให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กองสนเทศวิทยาาสตร์และเทคโนโลยี.
- ธีรพันธุ์ พิมพ์ทอง. 2542. **กัเนตักส์ของการละลายสังกะสีจากฝุ่นเตาอาร์กไฟฟ้าด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์**. วิทยานิพนธ์ปรินญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรินญา พัฒนเดช. 2546. **ครบเครื่องเรื่องสังกะสี**. [Online]. Available :
<http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/Zinc1/index.html>.
- พรทิพย์ ศัพทอนันต์. 2533. **ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์**. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 33-46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พัชรา สวัสดิเวทิน, กฤษกร เจียมจรัสศิลป์, วิวัฒนา สุนทรเลิศวิช. 2543. การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและการปรับเสถียรภาคตะกอนในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี. โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 15-31.
- พิบูลย์ หม่อมงเขย, ผ่องศรี มังกรทอง, นิกม มังกรทอง, สุภาพ ชูพันธ์. 2548. เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองโดยวิธีการออกซิเดชันเพื่อใช้เป็นเซนเซอร์เอทานอล. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภัทรันถน วรจิตติพล. 2547. การสังเคราะห์และการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยโลหะแทรนซิชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รพีพร แสงโสมวงศ์, วุฒิ โอศิริสกุล, ตุลวิทย์ สถาปนจารุ. 2547. การฟื้นฟูน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนจากสังกะสีด้วยวิธีการตกตะกอนโดยหินปูนธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภกร ภู่เกิด, อุดม ทิพรราช, สุพล ส้าราวญ. 2548. การสังเคราะห์เส้นใยนาโนและแผ่นนาโนซิลิกอนออกไซด์โดยการกระตุ้นด้วยคาร์บอน. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (Nanotec) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2549. **Nanotechnology with Healthy**. [Online]. Available : http://www.nanotec.or.th/th/doc/88n8zQFC3nanotec_info_feb_2006.pdf.
- สกนซ์ บุญชูหนึ่ง, เอกพจน์ เทศนิเวศ, วีระชน แสนพรหม, ภควรรณ หนองขุนสาร, ธรณินทร์ ไชยเรืองศรี, สุวลักษณ์ ทองดีมา, กัญญา เตมีย, นพดล ยศทวี, สุวิทย์ เอื้อวงษ์กุล. 2545. การกำจัดสารประกอบอินทรีย์ในสารละลายสังกะสีด้วยถ่านกัมมันต์. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สลิลดา ขรรขงสวัสดิ์. 2548. ภาวะการประกอบโลหกรรมของประเทศ ปี 2547. [Online]. Available : <http://www.dpim.go.th/dt/ppper/000001118211058.pdf>.
- สอิ่ง จักขุศิลา. 2539. “ประโยชน์ของสังกะสีออกไซด์”. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 43(139). หน้า 6-10
- สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดพิษณุโลก. 2550. เอกสารโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. [Online]. Available : [http://203.157.45.69/group/noc/EnvOcc\(dpc9\)](http://203.157.45.69/group/noc/EnvOcc(dpc9)).
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2541. ซิงค์ออกไซด์สำหรับอุตสาหกรรมทั่วไป. มอก. 221 กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำนักพัฒนาและส่งเสริม สำนักวิชาการแร่ ศูนย์สารสนเทศอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
2550. **คุณลักษณะของแร่ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายแร่ในตลาดแร่.**
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. หน้า 252-259
- สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2548-2549. **การผลิตแร่**
สังกะสีภายในประเทศ. [Online]. Available: <http://www.dpim.go.th/dtpper/000001175155904.pdf>.
- สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2548. **ผลประชุมกลุ่ม**
ศึกษาตะกั่วและสังกะสีระหว่างประเทศ (International Lead and Zinc Study Group:
ILZSG). [Online]. Available : <http://www.dpim.go.th/ppr/title.php?tid=000001131346464>
- แสงเพชร บุคชาดา. 2540. **สังกะสี (Zinc).** [Online]. เข้าถึงได้จาก <http://cpairat.tripod.com/Zinc.htm>.
- Abdel – Aal, E.K. 1999. **Kinetic of Sulfuric Acid Leaching of Low – grade Zinc Silicate Ore.**
Hydrometallurgy. 55(1) : 247-254.
- Cruells, M., Roca, A. and Nunez, C. 1992. **Electric Arc Furnace Flue Dusts : Characterization**
and Leaching with Sulfuric Acid. *Hydrometallurgy.* 31(1) : 213-231
- Elvers, B and Hawkins, S. 1999. **Encyclopedia of Industrial Chemistry.** Vol A.28 : 506-528
- Gupta, A., Bhatti, H.S., Kumar, D., Verma, N.K and Tando, R.P. 2006. **Nano and bulk crystal of**
Zno : Synthesis and characterization. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructers.*
1(1) : 1-9.
- Japanese Standards Association. **Japanese Industrial Standard ; Zinc White (Zinc Oxide).**
JIS K 1410-1962.
- Lee, C.Y., Tseng, T.Y. and Lin, P. 2003. **Growth of Zinc oxide Nanowires on Silicon (100).**
Tamkang Journal of Science and Engineering. 6(2) : 127-132.
- Legiec, I.A., Hayes, C.A., and Kosson, D.S. 1989. **Continuous Recovery of Heavy Metals from**
MSW Incinerator Ashes. *Environmental Process.* 8(1) : 212-216.
- Metcalf & Eddy. 2004. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse.** 4th ed. New York :
McGraw - Hill Companies, Inc.
- Mineral Commodity Summaries. 2004. **World Zinc Resources.** [Online].
Available : <http://www.mapsofworld.com/minerals/world-zinc-producers.html>.
- Prentice-Hall, Inc. 2007. **General Chemistry : solubility product constants.** [Online].
Available : <http://cwx.prenhall.com/petrucci/medialib/aqueous3.html>
- Ried M. 1988. **Heavy metal Removal from sewage sludge : Practical experiences with Acid**
treatment. *Pretreatment in Chemical Water and Wastewater Treatment.* : 327-334

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Siddheswaran,P., Sankar,R., Ramesh Babu,M., Rathnakumari,M., Jayavel,R., Murugakoothan,P and Sureshkumar,P. 2006. **Preparation and characterization of ZnO nanofiber electrospinning.** Cryst. Res. Technol. 41(5) : 446-449.

Wikimedia Foundation, Inc. 2007. **Encyclopedia of Zinc compound.** [Online].

Available : <http://www.wikipedia.org/>.

World Mineral Production. 1999-2003. **World Zinc Producers.** [Online].

Available : <http://www.mapsofworld.com/minerals/world-zinc-producers.html>.

Worniak, D.J. and Huang, J.C.Y. 1982. **Variable Affecting Metal Removal from Sludge.**

Joul.Water Poll. Control. 54(1) : 1574-1580.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่เป็นโลหะหนักที่สำคัญในกากของเสียด้วยเครื่อง AAS

1. การย่อยตัวอย่างกากของเสีย

1.1 การย่อยตัวอย่างสำหรับวัดปริมาณ ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียมและเหล็ก

1.1.1 ชั่งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B มาอย่างละ 0.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้นจำนวนเล็กน้อยจนตัวอย่างละลายหมด

1.1.2 ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นอีกเล็กน้อยใส่ลงในขวด แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดบอกปริมาตร

1.1.3 กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร เก็บสารละลายเอาไว้ในขวดพลาสติก

1.1.4 นำสารละลายมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิก-แอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วคำนวณหาปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และเหล็กในหน่วย ppm และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.2 การย่อยตัวอย่างสำหรับวัดปริมาณสังกะสี

1.2.1 บีบสารละลายจากข้อ 1.1.2 มาจำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดบอกปริมาตร

1.2.2 กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร เก็บสารละลายเอาไว้ในขวดพลาสติก

1.2.3 นำสารละลายมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิก-แอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วคำนวณหาปริมาณสังกะสีหน่วย ppm และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2. การย่อยแบบเปียก (wet digestion)

2.1 การเตรียมกรดสำหรับการย่อย

สารละลายกรดที่ใช้ในการย่อยกระดาษกรอง คือ 5.55% HNO_3 / 16.75% HCl ทำการเตรียมสารละลายกรด โดยเติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ตามด้วยกรด HNO_3 55.5 มิลลิลิตร และกรด HCl 167.5 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การย่อยกระดาษกรองสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และทองแดงในตะกอนซัลไฟด์

2.2.1 ทำการตัดกระดาษกรองให้มีขนาดเล็ก ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.2.2 นำกรดที่เตรียมตั้งชั้นตอนข้างต้น (HNO_3 / HCl) มา 10 มิลลิลิตร เติมลงไป
ในบีกเกอร์โดยกระจายให้ทั่วทั้งแผ่นกระดาษกรอง

2.2.3 ทำการย่อยภายในตู้ดูดควัน โดยนำบีกเกอร์ที่บรรจุกรดและกระดาษกรองวางบน hot plate ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ทิ้งไว้ให้เกิดกระบวนการย่อยเป็นเวลา 30 นาที (ระวังอย่าทำการย่อยนานจนกรดแห้ง) แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

2.2.4 ใช้น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ล้างผนังบีกเกอร์และกระจกนาฬิกา โดยในบีกเกอร์ยังคงมีกระดาษกรองอยู่ แล้วทิ้งไว้ 30 นาที

2.2.5 เทสารละลายที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.2.6 ปิเปตสารละลายจากข้อ 2.2.5 มาจำนวน 2 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดบอกปริมาตร

2.2.7 กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร เก็บสารละลายเอาไว้

2.2.8 นำสารละลายมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิก-
แอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วคำนวณหาปริมาณสังกะสีหน่วย ppm และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.3 การย่อยกระดาษกรองสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตะกอนไฮดรอกไซด์

2.3.1 ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1-2.2.4

2.3.2 เทสารละลายที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.3.3 ปิเปตสารละลายจากข้อ 2.2.5 มาจำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร

2.3.4 กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร เก็บสารละลายเอาไว้

2.3.5 นำสารละลายมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิก-
แอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วคำนวณหาปริมาณเหล็กในหน่วย ppm และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ก.2 การวิเคราะห์สมบัติของซิงค์ออกไซด์

1. เปอร์เซ็นต์ความชื้น (JIS K 1410-1962)

1.1 นำถ้วยครุชชีเบิลไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก

1.2 ชั่งตัวอย่างซิงค์ออกไซด์มาประมาณ 1-3 กรัม ลงในถ้วยครุชชีเบิล นำไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้จากสูตรดังนี้

$$A = \frac{B}{S} \times 100$$

เมื่อ	A	=	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)
	B	=	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
	S	=	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

2. ปริมาณสังกะสีในซิงค์ออกไซด์โดยการไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอ (จารูวรรณ, 2534)

2.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 โมลาร์

2.1.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานซิงค์ซัลเฟตเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จำนวน 25 มิลลิลิตรลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร

2.1.2 เติมสารละลาย Buffer pH 10 ลงไปจำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน และเติมเอริโอโครมแบลค ที ลงไป 0.2 กรัม เป็นอินดิเคเตอร์

2.1.3 นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตด้วยสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จนถึงจุดยุติเปลี่ยนจากสีม่วงแดงไปเป็นสีน้ำเงิน

2.1.4 ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ไป แล้วคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอจากสูตรดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_1 และ C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายซิงค์ซัลเฟตและอีดีทีเอ (โมลาร์)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทดลอง

2.2.1 ชั่งตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้มาประมาณ 1.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวนเล็กน้อย คนสารละลายให้เข้ากัน ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

2.2.2 ปีเปตสารละลายมาจำนวน 25 มิลลิลิตร ลงในรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Buffer pH 10 ลงไปจำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน และเติมเอริโอโครมแบลค ที ลงไป 0.2 กรัม เป็นอินดิเคเตอร์

2.2.3 นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตด้วยสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จนถึงจุดยุติเปลี่ยนจากสีม่วงแดงไปเป็นสีน้ำเงิน

2.2.4 ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ไปแล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3. สารที่ละลายน้ำ (JIS K 1410-1962)

3.1 ชั่งตัวอย่างซิงค์ออกไซด์มาประมาณ 5 กรัมลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.2 เติมน้ำกลั่นลงไปจำนวน 200 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดประมาณ 5 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.3 ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

3.4 ทำการกรองสารละลาย นำสารละลายที่ผ่านการกรอง 50 มิลลิลิตรเททิ้งไป แล้วนำสารละลายที่ผ่านการกรองอีกจำนวน 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง นำไประเหยจนแห้งบนเครื่องอังไอน้ำ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.5 ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

3.6 ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์สารที่ละลายน้ำได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$H = \frac{I}{S \times \frac{100}{250}} \times 100$$

เมื่อ	H	=	เปอร์เซ็นต์ของสารที่ละลายน้ำ (%)
	I	=	น้ำหนักของแข็งที่เหลือ (กรัม)
	S	=	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียมและเหล็ก

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1.1

5. สังกะสี

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1.2

6. ขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

(Scanning Electron Microscope : SEM)

ทำการสุ่มตัวอย่างตัวอย่างมา 2 ตัวอย่าง จากตัวอย่างผสมของ A, B, SA, SB และ Std. เพื่อความมั่นใจว่าตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นตัวแทนของตัวอย่างที่แท้จริง จึงได้ทำการนำตัวอย่างทั้ง 5 มาเทลงบนกระดาษขาว ทำการเกลี่ยเพื่อกระจายตัวอย่างให้ทั่ว จากนั้นจับมุมกระดาษทั้ง 4 ด้าน พับกลับไปมาทั้ง 4 มุม เป็นจำนวน 5 ครั้ง และทำการสุ่มตัวอย่างมา 2 ตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง SEM



ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายเคมี

1. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 6 โมลาร์ (6 M HNO_3) ตวงสารละลายกรดไนตริกเข้มข้นมาจำนวน 104 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
2. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 6 โมลาร์ ($6\text{ M H}_2\text{SO}_4$) ตวงสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นมาจำนวน 83 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์ (6 M HCl) ตวงสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น มาจำนวน 125 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
4. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 6 โมลาร์ ($6\text{ M CH}_3\text{COOH}$) ตวงสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น มาจำนวน 143 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ (1 M HCl) ตวงสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมาจำนวน 20 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
6. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ($2\text{ M NH}_4\text{Cl}$) ชั่งแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนมาจำนวน 10.7 กรัม สารละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
7. สารละลายไทโอเอเซตไมด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ($1\text{ M CH}_3(\text{CSNH}_2)$) ชั่งไทโอเอเซตไมด์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนมาจำนวน 18.75 กรัม สารละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
8. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ (1 M NaOH) ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนมาจำนวน 4 กรัม สารละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. สารละลายมาตรฐานซิงค์ซัลเฟตเข้มข้น 0.01 โมลาร์ (0.01 M $ZnSO_4$) ซั่งซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) มา 0.2875 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นเล็กน้อยจนหมดพอดี ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นอีกเล็กน้อยใส่ลงในขวด แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดบอกริมาตร

10. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (0.1 N $AgNO_3$) ซั่งซิลเวอร์ไนเตรท มา 16.9910 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นจำนวน 100 มิลลิลิตร จนหมดพอดี ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นอีกเล็กน้อยใส่ลงในขวดแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดบอกริมาตร

11. สารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 โมลาร์ (0.01 M EDTA) ซั่งเกลือไดโซเดียมอีดีทีเอที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนมาจำนวน 3.72 กรัม สารละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร

12. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 ซั่งแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนมาจำนวน 17.5 กรัม สารละลายด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นจำนวน 142 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร

13. อินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที ซั่งเอริโอโครมแบลคทีชนิดรีเอเจนต์เกรดมา 0.15 กรัม ผสมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์จำนวน 100 กรัม ผสมให้เข้ากันและเก็บไว้ในขวดสีชาที่มีฝาปิด

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ค.1 การหาค่าประกอบในกากของเสีย

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักถ้วย (g)	น้ำหนักตัวอย่าง+ถ้วย ก่อนอบ (g)	น้ำหนักสาร ก่อนอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่าง+ถ้วย หลังอบ (g)	น้ำหนักสาร หลังอบ (g)	% ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	S.D.
A	1	1.3583	11.3674	10.0091	11.3247	9.9664	0.43	0.31	0.11
	2	1.2324	11.2227	9.9903	11.1928	9.9604	0.30		
	3	1.1252	11.1284	10.0032	11.1070	9.9818	0.21		
B	1	1.2162	11.2107	9.9945	11.1611	9.9449	0.50	0.62	0.12
	2	1.2150	11.2137	9.9987	11.1507	9.9357	0.63		
	3	1.3369	11.3466	10.0097	11.2743	9.9365	0.73		

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%) = $\frac{\text{น้ำหนักสารก่อนอบ (g)} - \text{น้ำหนักสารหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักสารก่อนอบ (g)}} \times 100$

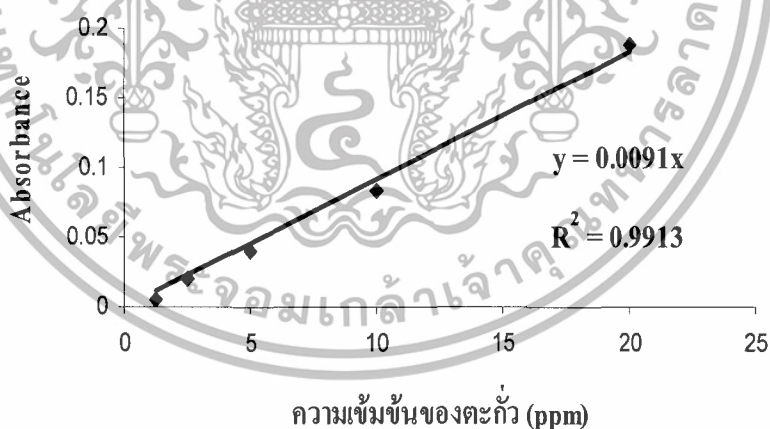
ตารางที่ ก.2 องค์ประกอบธาตุที่สำคัญในกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF

ตัวอย่าง	ธาตุที่เจอ (%)	ครั้งที่			เฉลี่ย (%)	S.D.
		1	2	3		
A	O	19.20	19.40	19.30	19.30	0.10
	Cl	0.72	0.70	0.66	0.69	0.03
	Fe	0	0.22	0.21	0.14	0.12
	Cu	0.16	0.20	0.17	0.18	0.02
	Zn	78.10	78.10	78.00	78.07	0.06
	Pb	0.71	0.82	0.76	0.76	0.06
B	O	18.80	18.90	19.00	18.90	0.10
	Cl	1.53	1.76	1.62	1.64	0.12
	Fe	0	0	0.41	0.14	0.23
	Cu	0.18	0.16	0.15	0.16	0.01
	Zn	76.30	77.40	76.60	76.77	0.57
	Pb	2.19	1.32	1.05	1.52	0.60
Std.	O	19.90	20.00	20.00	19.97	0.06
	Cu	0.13	0	0.10	0.08	0.07
	Zn	79.30	79.40	79.40	79.37	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.5000	0.057	6.26	0.63		
	2	0.5004	0.079	8.68	0.87	0.83	0.19
	3	0.5001	0.091	10.00	1.00		
B	1	0.4998	0.098	10.77	1.08		
	2	0.5006	0.115	12.64	1.26	1.25	0.17
	3	0.5011	0.129	14.18	1.41		
Std.	1	0.5002	0	0	0		
	2	0.5010	0	0	0	0	0
	3	0.4997	0	0	0		



รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ในตัวอย่าง A ครั้งที่ 1

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ (ppm)

จากกราฟมาตรฐานของตะกั่ว ได้สมการ ดังนี้

$$Y = 0.0091 x \quad (1)$$

แทนค่า Y ด้วยค่า Absorbance ของตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.057 ในสมการที่ (1)

จะได้

$$x = \frac{0.057}{0.0091}$$

$$x = 6.26$$

∴ ตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของตะกั่ว เท่ากับ 6.26 ppm

2. หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในกากของเสีย

จากข้างต้น ตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของตะกั่ว 6.26 ppm

หมายความว่า

ในสารละลาย	1000	mL	มีตะกั่วอยู่	6.26	mg
ถ้าสารละลาย	500	mL	มีตะกั่วอยู่	$\frac{6.26 \times 500}{1000}$	= 3.13 mg

แต่น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นที่ซึ่งมา เท่ากับ 0.5000 g ดังนั้น

คิดหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในกากของเสียได้เท่ากับ

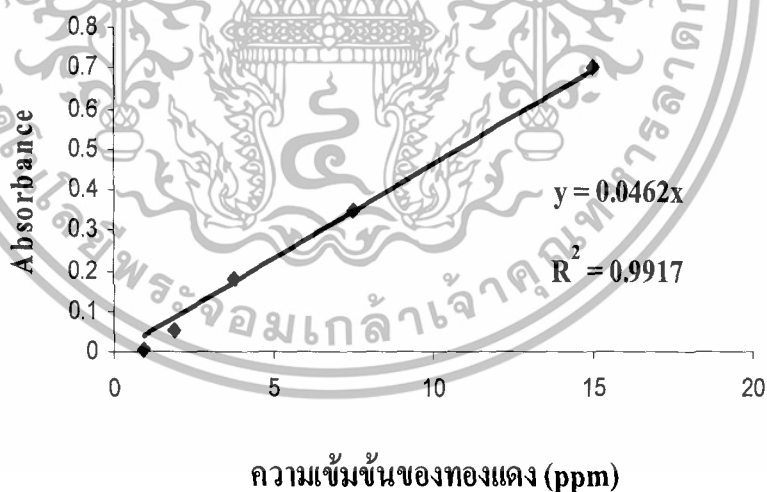
$$\% \text{ by weight} = \frac{3.13 \times 100}{0.5 \times 1000} = 0.63 \%$$

**** ส่วนตัวอื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ปริมาณทองแดงในตัวอย่างกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.5000	0.104	2.25	0.23	0.19	0.04
	2	0.5004	0.086	1.86	0.19		
	3	0.5001	0.071	1.54	0.15		
B	1	0.4998	0.063	1.36	0.14	0.17	0.03
	2	0.5006	0.092	1.99	0.20		
	3	0.5011	0.081	1.75	0.17		
Std.	1	0.5002	0.053	1.15	0.11	0.11	0.02
	2	0.5010	0.058	1.26	0.13		
	3	0.4997	0.043	0.93	0.09		



รูปที่ ค.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance
กับความเข้มข้นของทองแดง (ppm)

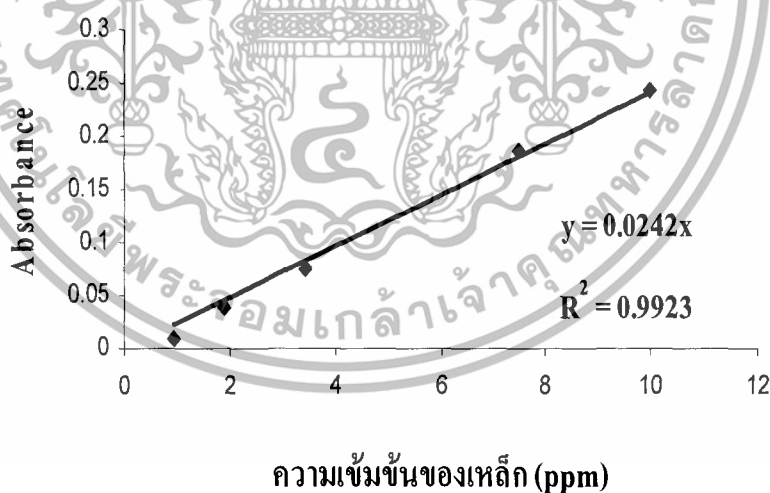
** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วใน

กากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ปริมาณเหล็กในตัวอย่างกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.5000	0.054	2.23	0.22	0.26	0.04
	2	0.5004	0.062	2.56	0.26		
	3	0.5001	0.072	2.98	0.30		
B	1	0.4998	0.084	3.47	0.35	0.35	0.08
	2	0.5006	0.103	4.26	0.43		
	3	0.5011	0.064	2.64	0.26		
Std.	1	0.5002	0	0	0	0	0
	2	0.5010	0	0	0		
	3	0.4997	0	0	0		



รูปที่ ค.3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของเหล็ก (ppm)

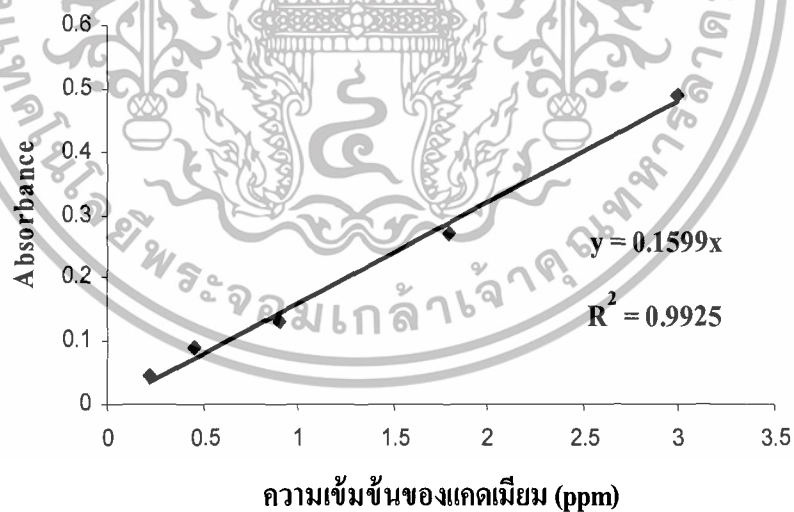
** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วใน

กากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.5000	0.003	0.02	0.002	0.004	0
	2	0.5004	0.012	0.08	0.007		
	3	0.5001	0.005	0.03	0.003		
B	1	0.4998	0.008	0.05	0.005	0.004	0
	2	0.5006	0.005	0.03	0.003		
	3	0.5011	0.006	0.04	0.004		
Std.	1	0.5002	0	0	0	0	0
	2	0.5010	0	0	0		
	3	0.4997	0	0	0		



รูปที่ ค.4 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของแคดเมียม (ppm)

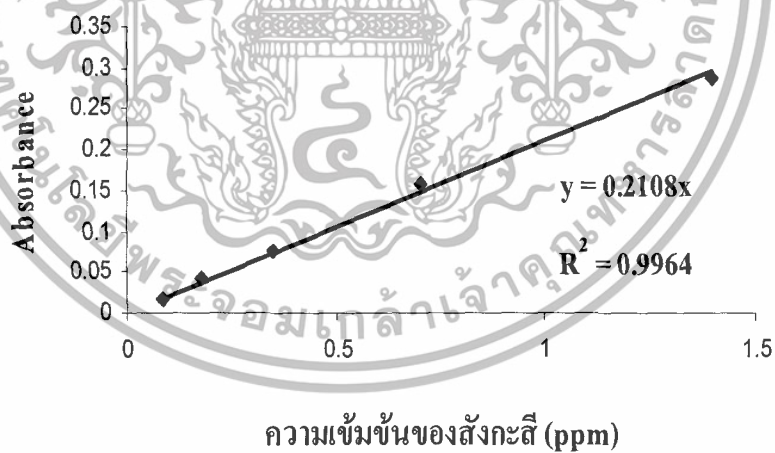
** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วใน

กากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ปริมาณสังกะสีในตัวอย่างกากของเสี่ยจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.5000	0.162	0.77	76.85	78.88	2.11
	2	0.5004	0.171	0.81	81.05		
	3	0.5001	0.166	0.79	78.73		
B	1	0.4998	0.159	0.75	75.46	77.09	1.44
	2	0.5006	0.165	0.78	78.18		
	3	0.5011	0.164	0.78	77.63		
Std.	1	0.5002	0.17	0.81	80.61	79.81	1.71
	2	0.5010	0.171	0.81	80.96		
	3	0.4997	0.164	0.78	77.85		



รูปที่ ค.5 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance
กับความเข้มข้นของสังกะสี (ppm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของสังกะสีในกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ในตัวอย่าง A ครั้งที่ 1

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ (ppm)

จากกราฟมาตรฐานของสังกะสี ได้สมการ ดังนี้

$$Y = 0.2108 x \quad (2)$$

แทนค่า Y ด้วยค่า Absorbance ของตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.162 ในสมการที่ (2)

จะได้

$$x = \frac{0.162}{0.2108}$$

$$x = 0.77$$

∴ ตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของสังกะสี เท่ากับ 0.77 ppm

2. หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของสังกะสีในกากของเสีย

จากข้างต้น ตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของสังกะสี 0.77 ppm

หมายความว่า

ในสารละลาย	1000	mL	มีสังกะสีอยู่	0.77	mg
ถ้าสารละลาย	500	mL	มีสังกะสีอยู่	$\frac{0.77 \times 500}{1000}$	= 0.38 mg

แต่ 0.38 mg ที่ได้ คือสารละลาย 1 mL ที่บีบมาจากสารละลายตั้งต้น 1000 mL ดังนั้น

สารละลาย	1	mL	มีสังกะสีอยู่	0.38	mg
ถ้าสารละลาย	1000	mL	มีสังกะสีอยู่	$\frac{0.38 \times 1000}{1}$	= 384 mg

แต่น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นที่ชั่งมา เท่ากับ 0.5000 g ดังนั้น

คิดหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในกากของเสียได้เท่ากับ

$$\% \text{ by weight} = \frac{384 \times 100}{0.5 \times 1000} = 76.85 \%$$

**** ส่วนตัวอื่น ๆ จำนวนในลักษณะเดียวกัน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 การแยกสังกะสีออกจากกากของเสีย

ค.2.1 การทดสอบการละลายของตัวอย่างด้วยกรด

ตารางที่ ค.8 การทดสอบการละลายของตัวอย่างด้วยกรด

กรดที่ใช้	ลำดับที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักของกระดาษกรองก่อนการกรอง (g)	น้ำหนักของกระดาษกรองหลังการกรอง (g)	กากที่เหลือ (g)	น้ำหนักตัวอย่างที่ละลาย (g)	% โดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
H ₂ SO ₄	A1	1.0003	0.4623	0.5978	0.1355	0.8648	86.45	86.74	0.41
	A2	1.0005	0.4553	0.5833	0.1280	0.8725	87.21		
	A3	1.0007	0.4578	0.5922	0.1344	0.8663	86.57		
	B1	1.0019	0.4459	0.5754	0.1295	0.8724	87.07	87.25	0.17
	B2	1.0036	0.4584	0.5847	0.1263	0.8773	87.42		
	B3	1.0009	0.4699	0.5974	0.1275	0.8734	87.26		
	Std.1	1.0007	0.5373	0.5373	0	1.0007	100	100	0
	Std.2	1.0002	0.5426	0.5426	0	1.0002	100		
	Std.3	1.0012	0.5302	0.5302	0	1.0012	100		

ตารางที่ ค.8 การทดสอบการละลายของตัวอย่างด้วยกรด (ต่อ)

กรดที่ใช้	ลำดับที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักของกระดาษกรองก่อนการกรอง (g)	น้ำหนักของกระดาษกรองหลังการกรอง (g)	กากที่เหลือ (g)	น้ำหนักตัวอย่างที่ละลาย (g)	% โดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
CH ₃ COOH	A1	1.0009	0.5768	0.9256	0.3488	0.6521	65.15	65.29	1.01
	A2	1.0003	0.5756	0.9321	0.3565	0.6438	64.36		
	A3	1.0012	0.5896	0.9264	0.3368	0.6644	66.36		
	B1	1.0003	0.4452	0.7654	0.3202	0.6801	67.99	67.7	1.18
	B2	1.0011	0.4988	0.8351	0.3363	0.6648	66.41		
	B3	1.0056	0.4741	0.7887	0.3146	0.6910	68.72		
	Std.1	1.0005	0.4771	0.4785	0.0014	0.9991	99.86	99.9	0.05
	Std.2	1.0008	0.4998	0.5003	0.0005	1.0003	99.95		
	Std.3	1.0017	0.5099	0.5111	0.0012	1.0005	99.88		

ตารางที่ ค.8 การทดสอบการละลายของตัวอย่างด้วยกรด (ต่อ)

กรดที่ใช้	ลำดับที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักของกระดาษกรองก่อนการกรอง (g)	น้ำหนักของกระดาษกรองหลังการกรอง (g)	กากที่เหลือ (g)	น้ำหนักตัวอย่างที่ละลาย (g)	% โดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
HCl	A1	1.0007	0.4635	0.5865	0.123	0.8777	87.71	87.35	1.26
	A2	1.0008	0.4856	0.6262	0.1406	0.8602	85.95		
	A3	1.0086	0.4695	0.5865	0.1170	0.8916	88.40		
	B1	1.0002	0.4342	0.5535	0.1193	0.8809	88.07	88.15	0.90
	B2	1.0004	0.4225	0.5497	0.1272	0.8732	87.29		
	B3	1.0009	0.4456	0.5548	0.1092	0.8917	89.09		
	Std.1	1.0013	0.4742	0.4742	0	1.0013	100	100	0
	Std.2	1.0005	0.4836	0.4836	0	1.0005	100		
	Std.3	1.0015	0.4999	0.4999	0	1.0015	100		

ตารางที่ ค.8 การทดสอบการละลายของตัวอย่างด้วยกรด (ต่อ)

กรดที่ใช้	ลำดับที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักของกระดามกรองก่อนการกรอง (g)	น้ำหนักของกระดามกรองหลังการกรอง (g)	กากที่เหลือ (g)	น้ำหนักตัวอย่างที่ละลาย (g)	% โดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
HNO ₃	A1	1.0016	0.5132	0.6256	0.1124	0.8892	88.78	88.68	0.21
	A2	1.0003	0.4786	0.5942	0.1156	0.8847	88.44		
	A3	1.0008	0.4702	0.5822	0.1120	0.8888	88.81		
	B1	1.0013	0.4524	0.5689	0.1165	0.8848	88.37	89.09	0.72
	B2	1.0011	0.4619	0.5709	0.1090	0.8921	89.11		
	B3	1.0016	0.4596	0.5618	0.1022	0.8994	89.79		
	Std.1	1.0017	0.5521	0.5521	0	1.0017	100	100	0
	Std.2	1.0003	0.5407	0.5407	0	1.0003	100		
	Std.3	1.0012	0.5471	0.5471	0	1.0012	100		

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของการละลายตัวอย่าง (%) = $\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ละลาย (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$

ค.2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ตารางที่ ค.9 ส่วนที่ไม่ละลายในการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักส่วนที่ไม่ละลาย (g)	ส่วนที่ไม่ละลาย (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	5.0000	0.4968	9.94	11.32	1.89
	2	5.0547	0.5125	10.14		
	3	5.0391	0.4645	9.22		
	4	5.0120	0.5334	10.64		
	5	5.0225	0.5812	11.57		
	6	5.0827	0.7252	14.27		
	7	5.0157	0.6756	13.47		
B	1	5.0389	0.3801	9.94	10.91	2.67
	2	5.0683	0.4803	9.48		
	3	5.0596	0.4464	8.82		
	4	5.0192	0.5086	10.13		
	5	5.0301	0.4946	9.83		
	6	5.2319	0.8734	16.69		
	7	5.1333	0.5907	11.51		

ตารางที่ ค.9 ส่วนที่ไม่ละลายในการเตรียมสารละลายตัวอย่าง (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักสารมาตรฐาน (g)	น้ำหนักรวม (g)	น้ำหนักส่วนที่ไม่ละลาย (g)	ส่วนที่ไม่ละลาย (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
SA	1	2.5243	2.4995	5.0238	0.3716	7.40	10.11	1.44
	2	2.4998	2.5332	5.0330	0.4914	9.76		
	3	2.6498	2.5172	5.1670	0.5528	10.70		
	4	2.5385	2.4657	5.0042	0.5742	11.47		
	5	2.5033	2.5095	5.0128	0.4745	9.47		
	6	2.6653	2.5084	5.1737	0.6022	11.64		
	7	2.5947	2.5203	5.1150	0.5282	10.33		
SB	1	2.5538	2.4952	5.0490	0.2737	5.42	8.78	1.94
	2	2.5031	2.5638	5.0669	0.5008	9.88		
	3	2.5115	2.5165	5.0280	0.4623	9.19		
	4	2.5469	2.5007	5.0476	0.4595	9.10		
	5	2.5362	2.5056	5.0418	0.4518	8.96		
	6	2.7506	2.5095	5.2601	0.6087	11.57		
	7	2.6590	2.5207	5.1797	0.3810	7.36		

ตารางที่ ค.9 ส่วนที่ไม่ละลายในการเตรียมสารละลายตัวอย่าง (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักส่วนที่ไม่ละลาย (g)	ส่วนที่ไม่ละลาย (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
Std.	1	5.0052	0	0	0	0
	2	5.0061	0	0		
	3	5.0083	0	0		
	4	5.0014	0	0		
	5	5.0086	0	0		
	6	5.0226	0	0		
	7	5.0974	0	0		

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์ส่วนที่ไม่ละลาย (%) = $\frac{\text{น้ำหนักของส่วนที่ไม่ละลาย (g)}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (g)}} \times 100$

ก.2.3 การตกตะกอนเพื่อแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมออกจากกากของเสีย

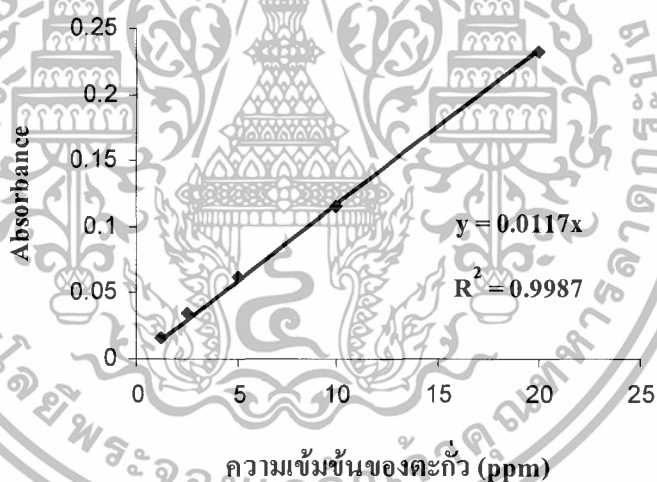
ตารางที่ ก.10 ปริมาณตะกั่วที่แยกออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	5.0000	0.203	17.35	0.87	0.78	0.10
	2	5.0547	0.162	13.85	0.68		
	3	5.0391	0.196	16.75	0.83		
	4	5.0120	0.169	14.44	0.72		
	5	5.0225	0.220	18.80	0.94		
	6	5.0827	0.155	13.25	0.65		
	7	5.0157	0.184	15.73	0.78		
B	1	5.0389	0.285	24.36	1.21	1.16	0.13
	2	5.0683	0.264	22.56	1.11		
	3	5.0596	0.222	18.97	0.94		
	4	5.0192	0.303	25.90	1.29		
	5	5.0301	0.311	26.58	1.32		
	6	5.2319	0.279	23.85	1.16		
	7	5.1333	0.262	22.39	1.09		
SA	1	5.0238	0.096	8.21	0.41	0.45	0.09
	2	5.0330	0.135	11.54	0.57		
	3	5.1670	0.089	7.61	0.37		
	4	5.0042	0.108	9.23	0.46		
	5	5.0128	0.076	6.50	0.32		
	6	5.1737	0.118	10.09	0.49		
	7	5.1150	0.121	10.34	0.51		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ปริมาณตะกั่วที่แยกออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
SB	1	5.0490	0.169	14.44	0.72	0.59	0.14
	2	5.0669	0.091	7.78	0.38		
	3	5.0280	0.182	15.56	0.77		
	4	5.0476	0.103	8.80	0.44		
	5	5.0418	0.140	11.97	0.59		
	6	5.2601	0.155	13.25	0.63		
	7	5.1797	0.148	12.65	0.61		



รูปที่ ค.6 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance
กับความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในการตกตะกอนเพื่อแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ในตัวอย่าง A ครั้งที่ 1

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ (ppm)

จากกราฟมาตรฐานของตะกั่ว ได้สมการ ดังนี้

$$Y = 0.0117 x \quad (3)$$

แทนค่า Y ด้วยค่า Absorbance ของตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.203 ในสมการที่ (3)

จะได้

$$x = \frac{0.203}{0.0117}$$

$$x = 17.35$$

∴ ตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของตะกั่ว เท่ากับ 17.35 ppm

2. หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในการตกตะกอนเพื่อแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมออกจากกากของเสีย จากข้างต้น ตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของตะกั่ว 17.35 ppm

หมายความว่า

ในสารละลาย	1000	mL	มีตะกั่วอยู่	17.35	mg
ถ้าสารละลาย	100	mL	มีตะกั่วอยู่	$\frac{17.35 \times 100}{1000}$	= 1.74 mg

แต่ 1.74 mg ที่ได้ คือสารละลาย 2 mL ที่ปีปมาจากสารละลายตั้งต้น 50 mL ดังนั้น

สารละลาย	2	mL	มีตะกั่วอยู่	1.74	mg
ถ้าสารละลาย	50	mL	มีตะกั่วอยู่	$\frac{1.74 \times 50}{2}$	= 43.38 mg

แต่น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นที่ชั่งมา เท่ากับ 5.0000 g ดังนั้น

คิดหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในกากของเสียได้เท่ากับ

$$\% \text{ by weight} = \frac{43.38 \times 100}{5 \times 1000} = 0.87 \%$$

**** ส่วนตัวอื่น ๆ จำนวนในลักษณะเดียวกัน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 ปริมาณทองแดงที่แยกออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

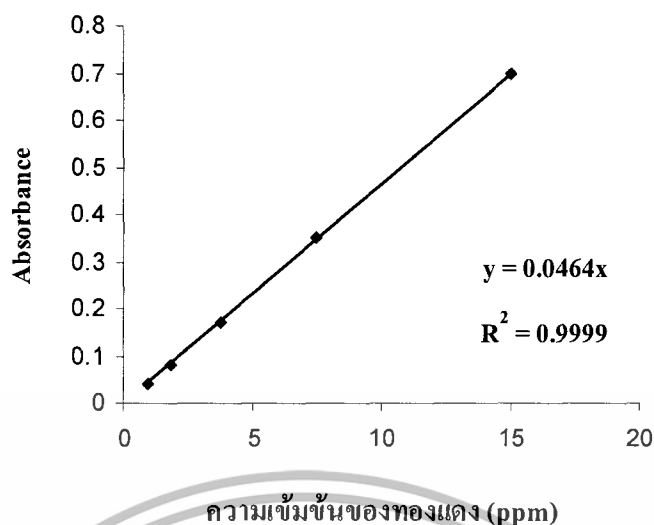
ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	5.0000	0.183	3.90	0.20	0.18	0.03
	2	5.0547	0.168	3.58	0.18		
	3	5.0391	0.207	4.41	0.22		
	4	5.0120	0.154	3.28	0.16		
	5	5.0225	0.145	3.09	0.15		
	6	5.0827	0.132	2.81	0.14		
	7	5.0157	0.212	4.52	0.23		
B	1	5.0389	0.150	3.20	0.16	0.16	0.04
	2	5.0683	0.143	3.05	0.15		
	3	5.0596	0.162	3.45	0.17		
	4	5.0192	0.144	3.07	0.15		
	5	5.0301	0.223	4.75	0.24		
	6	5.2319	0.107	2.28	0.11		
	7	5.1333	0.156	3.33	0.16		
SA	1	5.0238	0.125	2.67	0.13	0.11	0.02
	2	5.0330	0.110	2.35	0.12		
	3	5.1670	0.083	1.77	0.09		
	4	5.0042	0.109	2.32	0.12		
	5	5.0128	0.114	2.43	0.12		
	6	5.1737	0.122	2.60	0.13		
	7	5.1150	0.079	1.68	0.08		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ปริมาณทองแดงที่แยกออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
SB	1	5.0490	0.099	2.11	0.10	0.09	0.03
	2	5.0669	0.064	1.36	0.07		
	3	5.0280	0.106	2.26	0.11		
	4	5.0476	0.047	1.00	0.05		
	5	5.0418	0.121	2.58	0.13		
	6	5.2601	0.084	1.79	0.09		
	7	5.1797	0.085	1.81	0.09		
Std.	1	5.0052	0.108	2.30	0.12	0.11	0.03
	2	5.0061	0.085	1.81	0.09		
	3	5.0083	0.126	2.69	0.13		
	4	5.0014	0.145	3.09	0.15		
	5	5.0086	0.063	1.34	0.07		
	6	5.0226	0.097	2.07	0.10		
	7	5.0974	0.102	2.17	0.11		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของทองแดง (ppm)

** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในการตกตะกอนเพื่อแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมออกจากกากของเสีย

ตารางที่ ค.12 ปริมาณแคดเมียมที่แยกออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

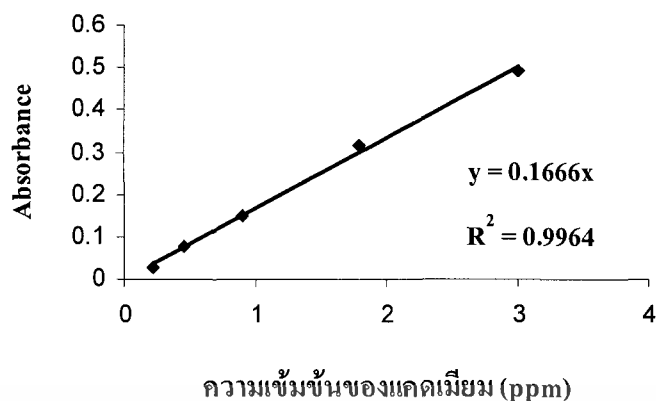
ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสารเริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	5.0000	0.013	0.08	0.004	0.004	0
	2	5.0547	0.005	0.03	0.001		
	3	5.0391	0.017	0.10	0.005		
	4	5.0120	0.021	0.13	0.006		
	5	5.0225	0.008	0.05	0.002		
	6	5.0827	0.013	0.08	0.004		
	7	5.0157	0.015	0.09	0.004		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 ปริมาณแคดเมียมที่แยกออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
B	1	5.0389	0.014	0.08	0.004	0.004	0
	2	5.0683	0.006	0.04	0.002		
	3	5.0596	0.011	0.07	0.003		
	4	5.0192	0.023	0.14	0.007		
	5	5.0301	0.012	0.07	0.004		
	6	5.2319	0.007	0.04	0.002		
	7	5.1333	0.018	0.11	0.005		
SA	1	5.0238	0.002	0.01	0.001	0.002	0
	2	5.0330	0.007	0.04	0.002		
	3	5.1670	0.008	0.05	0.002		
	4	5.0042	0.003	0.02	0.001		
	5	5.0128	0.006	0.04	0.002		
	6	5.1737	0.011	0.07	0.003		
	7	5.1150	0.012	0.07	0.004		
SB	1	5.0490	0.007	0.04	0.002	0.002	0
	2	5.0669	0.005	0.03	0.001		
	3	5.0280	0.012	0.07	0.004		
	4	5.0476	0.005	0.03	0.001		
	5	5.0418	0.014	0.08	0.004		
	6	5.2601	0.008	0.05	0.002		
	7	5.1797	0.002	0.01	0.001		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.8 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของแคดเมียม (ppm)

** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในการตกตะกอนเพื่อแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมออกจากกากของเสีย

ตารางที่ ค.13 ปริมาณสิ่งก่อกวนที่ตกตะกอนร่วมกับตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสารเริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	5.0000	0.004	0.02	0.001	0.001	0
	2	5.0547	0.001	0	0		
	3	5.0391	0	0	0		
	4	5.0120	0.002	0.01	0		
	5	5.0225	0.003	0.01	0.001		
	6	5.0827	0.009	0.04	0.002		
	7	5.0157	0	0	0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

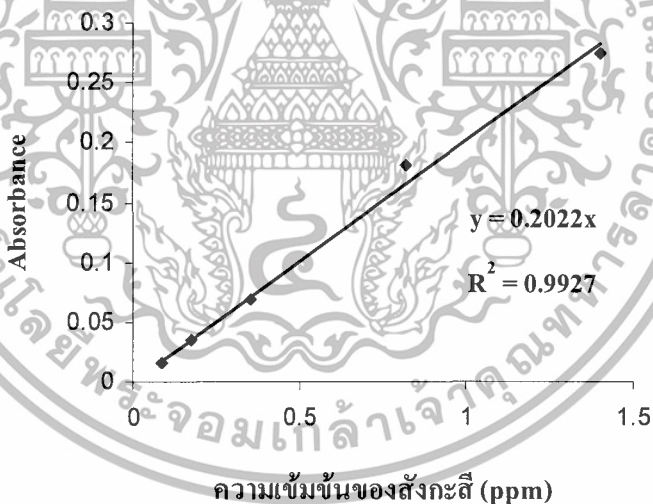
ตารางที่ ค.13 ปริมาณสังกะสีที่ตกตะกอนร่วมกับตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมจากการวิเคราะห์
ด้วยเครื่อง AAS (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
B	1	5.0389	0.008	0.04	0.002	0	0
	2	5.0683	0	0	0		
	3	5.0596	0	0	0		
	4	5.0192	0	0	0		
	5	5.0301	0.001	0	0		
	6	5.2319	0.001	0	0		
	7	5.1333	0.004	0.02	0.001		
SA	1	5.0238	0	0	0	0	0
	2	5.0330	0.006	0.03	0.001		
	3	5.1670	0.001	0	0		
	4	5.0042	0.002	0.01	0		
	5	5.0128	0.004	0.02	0.001		
	6	5.1737	0	0	0		
	7	5.1150	0	0	0		
SB	1	5.0490	0	0	0	0.001	0
	2	5.0669	0	0	0		
	3	5.0280	0.005	0.02	0.001		
	4	5.0476	0.007	0.03	0.002		
	5	5.0418	0	0	0		
	6	5.2601	0.005	0.02	0.001		
	7	5.1797	0.001	0	0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 ปริมาณสังกะสีที่ตกตะกอนร่วมกับตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมจากการวิเคราะห์
ด้วยเครื่อง AAS (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
Std.	1	5.0052	0	0	0	0.001	0
	2	5.0061	0.005	0.11	0.005		
	3	5.0083	0	0	0		
	4	5.0014	0	0	0		
	5	5.0086	0.003	0.06	0.003		
	6	5.0226	0	0	0		
	7	5.0974	0	0	0		



รูปที่ ค.9 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance
กับความเข้มข้นของสังกะสี (ppm)

** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในการ
ตกตะกอนเพื่อแยกตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมออกจากกากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.4 การตกตะกอนเพื่อแยกเหล็กออกจากกากของเสีย

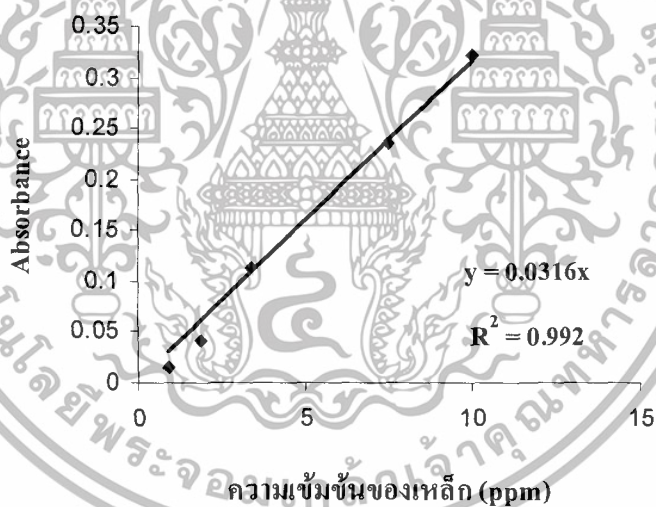
ตารางที่ ก.14 ปริมาณเหล็กที่แยกออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	5.0000	0.376	11.90	0.24	0.23	0.05
	2	5.0547	0.307	9.72	0.19		
	3	5.0391	0.487	15.41	0.31		
	4	5.0120	0.354	11.20	0.22		
	5	5.0225	0.423	13.39	0.27		
	6	5.0827	0.295	9.34	0.18		
	7	5.0157	0.287	9.08	0.18		
B	1	5.0389	0.647	20.47	0.41	0.32	0.06
	2	5.0683	0.515	16.30	0.32		
	3	5.0596	0.377	11.93	0.24		
	4	5.0192	0.459	14.53	0.29		
	5	5.0301	0.555	17.56	0.35		
	6	5.2319	0.484	15.32	0.29		
	7	5.1333	0.601	19.02	0.37		
SA	1	5.0238	0.323	10.22	0.20	0.17	0.05
	2	5.0330	0.177	5.60	0.11		
	3	5.1670	0.142	4.49	0.09		
	4	5.0042	0.247	7.82	0.16		
	5	5.0128	0.366	11.58	0.23		
	6	5.1737	0.335	10.60	0.20		
	7	5.1150	0.288	9.11	0.18		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 ปริมาณเหล็กที่แยกออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
SB	1	5.0490	0.424	13.42	0.27	0.22	0.05
	2	5.0669	0.408	12.91	0.25		
	3	5.0280	0.375	11.87	0.24		
	4	5.0476	0.392	12.41	0.25		
	5	5.0418	0.286	9.05	0.18		
	6	5.2601	0.192	6.08	0.12		
	7	5.1797	0.364	11.52	0.22		



รูปที่ ก.10 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของเหล็ก (ppm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของเหล็กในการตกตะกอนเพื่อแยกเหล็กออกจากกากของเสียจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ในตัวอย่าง A ครั้งที่ 1

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ (ppm)

จากกราฟมาตรฐานของเหล็ก ได้สมการ ดังนี้

$$Y = 0.0316 x \quad (4)$$

แทนค่า Y ด้วยค่า Absorbance ของตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.376 ในสมการที่ (4)

จะได้

$$x = \frac{0.376}{0.0316}$$

$$x = 11.90$$

∴ ตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของเหล็ก เท่ากับ 11.90 ppm

2. หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของเหล็กในการตกตะกอนเพื่อแยกเหล็กออกจากกากของเสียจากข้างต้น ตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของเหล็ก 11.90 ppm

หมายความว่า

ในสารละลาย	1000	mL	มีเหล็กอยู่	11.90	mg
ถ้าสารละลาย	100	mL	มีเหล็กอยู่	$\frac{11.90 \times 100}{1000}$	= 1.19 mg

แต่ 1.19 mg ที่ได้ คือสารละลาย 10 mL ที่ปีปมาจากสารละลายตั้งต้น 100 mL ดังนั้น

สารละลาย	10	mL	มีเหล็กอยู่	1.19	mg
ถ้าสารละลาย	100	mL	มีเหล็กอยู่	$\frac{1.19 \times 100}{10}$	= 11.90 mg

แต่น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นที่ชั่งมา เท่ากับ 5.0000 g ดังนั้น

คิดหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของเหล็กในกากของเสียได้เท่ากับ

$$\% \text{ by weight} = \frac{11.90 \times 100}{5 \times 1000} = 0.24 \%$$

**** ส่วนตัวอื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 ปริมาณสังกะสีที่ตกตะกอนร่วมกับเหล็กจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	5.0000	0.023	0.11	0.002	0.001	0
	2	5.0547	0.007	0.03	0.001		
	3	5.0391	0.006	0.03	0.001		
	4	5.0120	0.014	0.07	0.001		
	5	5.0225	0.013	0.06	0.001		
	6	5.0827	0.025	0.12	0.002		
	7	5.0157	0.018	0.09	0.002		
B	1	5.0389	0.009	0.04	0.001	0.002	0
	2	5.0683	0.012	0.06	0.001		
	3	5.0596	0.013	0.06	0.001		
	4	5.0192	0.027	0.13	0.003		
	5	5.0301	0.037	0.18	0.004		
	6	5.2319	0.009	0.04	0.001		
	7	5.1333	0.007	0.03	0.001		
SA	1	5.0238	0.011	0.05	0.001	0.001	0
	2	5.0330	0.003	0.01	0		
	3	5.1670	0.007	0.03	0.001		
	4	5.0042	0.017	0.08	0.002		
	5	5.0128	0.018	0.09	0.002		
	6	5.1737	0.012	0.06	0.001		
	7	5.1150	0.006	0.03	0.001		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 ปริมาณสังกะสีที่ตกตะกอนร่วมกับเหล็กจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น	ค่า Absorbance	ความเข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
		(g)					
SB	1	5.0490	0.025	0.12	0.002	0.001	0
	2	5.0669	0.004	0.02	0		
	3	5.0280	0.002	0.01	0		
	4	5.0476	0.016	0.08	0.002		
	5	5.0418	0.011	0.05	0.001		
	6	5.2601	0.002	0.01	0		
	7	5.1797	0.005	0.02	0		

หมายเหตุ กราฟมาตรฐานดังรูปที่ ค.9

** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของเหล็กในการตกตะกอนเพื่อแยกเหล็กออกจากกากของเสีย

ค.3 การเตรียมซิงค์ออกไซด์

ตารางที่ ค.16 น้ำหนักตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์และซิงค์ออกไซด์

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักตะกอน ซิงค์ไฮดรอกไซด์	น้ำหนักตะกอนซิงค์ออกไซด์ หลังเผาแคลไซต์
			(g)	(g)
A	1	5.0000	5.3603	5.1047
	2	5.0547	5.4111	4.9502
	3	5.0391	5.4081	5.0872
	4	5.0120	5.3841	5.0008
	5	5.0225	5.3641	5.0214
	6	5.0827	5.4145	5.1278
	7	5.0157	5.3507	4.9978

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.16 น้ำหนักตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์และซิงค์ออกไซด์ (ต่อ)

สาร	ครั้ง	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักตะกอน ซิงค์ไฮดรอกไซด์ (g)	น้ำหนักตะกอนซิงค์ออกไซด์ หลังเผาแคลไซต์ (g)
B	1	5.0389	5.4681	5.0981
	2	5.0683	5.4697	5.0111
	3	5.0596	5.4502	5.1246
	4	5.0192	5.3996	4.9881
	5	5.0301	5.4212	5.1033
	6	5.2319	5.6411	5.2127
	7	5.1333	5.5541	5.0014
SA	1	5.0238	5.3525	4.9951
	2	5.0330	5.3602	5.0202
	3	5.1670	5.4952	5.1403
	4	5.0042	5.3614	4.8722
	5	5.0128	5.3464	4.9984
	6	5.1737	5.5113	5.0195
	7	5.1150	5.4572	5.1328
SB	1	5.0490	5.4162	5.0009
	2	5.0669	5.4781	5.0211
	3	5.0280	5.3943	4.8803
	4	5.0476	5.4502	4.8869
	5	5.0418	5.4043	5.0364
	6	5.2601	5.6803	5.2648
	7	5.1797	5.5902	5.0507

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.16 น้ำหนักตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์และซิงค์ออกไซด์ (ต่อ)

สาร	ครั้ง	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักตะกอน ซิงค์ไฮดรอกไซด์ (g)	น้ำหนักตะกอนซิงค์ออกไซด์ หลังเผาแคลไซต์ (g)
Std.	1	5.0052	5.3052	4.8597
	2	5.0061	5.3201	5.1211
	3	5.0083	5.3057	4.9949
	4	5.0014	5.3001	5.0077
	5	5.0086	5.3501	5.0002
	6	5.0226	5.3621	4.8999
	7	5.0974	5.4272	5.0129

ก.3.1 องค์ประกอบในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้

ตารางที่ ก.17 องค์ประกอบธาตุที่สำคัญในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF (ตัวอย่าง A)

ตัวอย่าง A ครั้งที่	ธาตุ (%)					ZnO (%)
	O	Zn	Fe	Pb	Cl	
1	18.50	73.30	0.10	0	6.80	91.34
2	17.70	73.60	0	0	6.92	91.72
3	18.10	73.40	0	0	7.26	91.47
4	19.20	72.50	0	0.11	7.03	90.35
5	17.80	72.80	0	0.11	6.86	90.72
6	17.50	73.60	0	0.10	6.53	91.72
7	18.90	73.00	0.12	0	6.64	90.97
เฉลี่ย	18.24	73.17	0.03	0.05	6.86	91.18
S.D.	0.64	0.42	0.05	0.06	0.24	0.52

หมายเหตุ Cd และ Cu วิเคราะห์ไม่เจอด้วยเครื่อง XRF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 องค์ประกอบธาตุที่สำคัญในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วย
เครื่อง XRF (ตัวอย่าง B)

ตัวอย่าง B ครั้งที่	ธาตุ (%)					ZnO (%)
	O	Zn	Fe	Pb	Cl	
1	18.10	72.20	0	0.10	8.03	89.97
2	18.20	72.10	0.11	0.13	7.91	89.85
3	18.30	72.70	0	0.10	7.48	90.60
4	17.80	72.30	0	0.10	7.65	90.10
5	18.80	72.60	0	0	7.68	90.47
6	19.20	71.90	0	0.12	7.54	89.60
7	18.40	72.10	0	0.10	7.81	89.85
เฉลี่ย	18.40	72.27	0.02	0.09	7.73	90.06
S.D.	0.47	0.29	0.04	0.04	0.20	0.36

หมายเหตุ Cd และ Cu วิเคราะห์ไม่เจอด้วยเครื่อง XRF

ตารางที่ ก.19 องค์ประกอบธาตุที่สำคัญในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วย
เครื่อง XRF (ตัวอย่าง SA)

ตัวอย่าง SA ครั้งที่	ธาตุ (%)					ZnO (%)
	O	Zn	Fe	Pb	Cl	
1	18.70	74.10	0	0.10	6.21	92.34
2	18.40	73.20	0	0	6.46	91.22
3	18.00	74.10	0	0	5.95	92.34
4	18.20	73.30	0	0	6.79	91.34
5	18.80	72.60	0	0.11	6.32	90.47
6	19.20	72.90	0	0	6.51	90.84
7	18.20	73.20	0.12	0	6.64	91.22
เฉลี่ย	18.50	73.34	0.02	0.03	6.41	91.40
S.D.	0.42	0.57	0.04	0.05	0.28	0.71

หมายเหตุ Cd และ Cu วิเคราะห์ไม่เจอด้วยเครื่อง XRF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.20 องค์ประกอบธาตุที่สำคัญในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วย
เครื่อง XRF (ตัวอย่าง SB)

ตัวอย่าง SB ครั้งที่	ธาตุ (%)				ZnO (%)
	O	Zn	Pb	Cl	
1	18.20	73.90	0	7.38	92.09
2	16.90	73.60	0	7.58	91.72
3	18.20	73.40	0.10	7.23	91.47
4	18.30	72.80	0	7.52	90.72
5	18.30	73.40	0.10	7.20	91.47
6	18.40	72.20	0.11	7.81	89.97
7	18.10	72.50	0	7.50	90.35
เฉลี่ย	18.06	73.11	0.04	7.46	91.11
S.D.	0.52	0.62	0.06	0.21	0.78

หมายเหตุ Cd Cu และ Fe วิเคราะห์ไม่เจอด้วยเครื่อง XRF

ตารางที่ ก.21 องค์ประกอบธาตุที่สำคัญในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วย
เครื่อง XRF (ตัวอย่าง Std.)

ตัวอย่าง Std. ครั้งที่	ธาตุ (%)			ZnO (%)
	O	Zn	Cl	
1	19.00	74.10	5.90	92.34
2	18.50	73.90	6.26	92.09
3	17.90	74.60	6.00	92.96
4	18.00	75.10	6.05	93.59
5	17.60	74.00	6.58	92.22
6	18.80	74.10	6.32	92.34
7	17.60	75.20	6.11	93.71
เฉลี่ย	18.20	74.43	6.17	92.75
S.D.	0.57	0.54	0.23	0.67

หมายเหตุ Cd Cu และ Fe วิเคราะห์ไม่เจอด้วยเครื่อง XRF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.22 ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.4991	0	0	0	0.08	0.07
	2	0.5007	0.012	1.32	0.13		
	3	0.5001	0.009	1.00	0.10		
B	1	0.5000	0.008	0.88	0.09	0.11	0.02
	2	0.5014	0.010	1.10	0.11		
	3	0.4989	0.012	1.32	0.13		
SA	1	0.5003	0.003	0.33	0.03	0.03	0.02
	2	0.5012	0.004	0.44	0.04		
	3	0.5009	0	0	0		
SB	1	0.5002	0.004	0.44	0.04	0.09	0.05
	2	0.5011	0.013	1.43	0.14		
	3	0.4987	0.007	0.77	0.08		
Std.	1	0.4999	0	0	0	0	0
	2	0.5006	0	0	0		
	3	0.5004	0	0	0		

หมายเหตุ กราฟมาตรฐานดังรูปที่ ก.1

** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในกากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.23 ปริมาณทองแดงในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.4991	0.006	0.13	0.01	0.01	0.01
	2	0.5007	0.004	0.09	0.01		
	3	0.5001	0	0	0		
B	1	0.5000	0.006	0.13	0.01	0.01	0.01
	2	0.5014	0.001	0.02	0		
	3	0.4989	0	0	0		
SA	1	0.5003	0	0	0	0	0
	2	0.5012	0.003	0.06	0.01		
	3	0.5009	0	0	0		
SB	1	0.5002	0.006	0.13	0.01	0.01	0.01
	2	0.5011	0	0	0		
	3	0.4987	0.002	0.04	0		
Std.	1	0.4999	0	0	0	0	0
	2	0.5006	0	0	0		
	3	0.5004	0.001	0.02	0		

หมายเหตุ กราฟมาตรฐานดังรูปที่ ก.2

** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในกากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.24 ปริมาณเหล็กในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.4991	0.009	0.37	0.04	0.03	0.02
	2	0.5007	0.002	0.08	0.01		
	3	0.5001	0.012	0.50	0.05		
B	1	0.5000	0.004	0.17	0.02	0.02	0.02
	2	0.5014	0	0	0		
	3	0.4989	0.008	0.33	0.03		
SA	1	0.5003	0.004	0.17	0.02	0.01	0.01
	2	0.5012	0	0	0		
	3	0.5009	0.006	0.25	0.02		
SB	1	0.5002	0	0	0	0	0
	2	0.5011	0	0	0		
	3	0.4987	0	0	0		
Std.	1	0.4999	0	0	0	0	0
	2	0.5006	0	0	0		
	3	0.5004	0	0	0		

หมายเหตุ กราฟมาตรฐานดังรูปที่ ก.3

** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วในกากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.25 ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องAAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.4991	0	0	0	0	0
	2	0.5007	0	0	0		
	3	0.5001	0.001	0.01	0.001		
B	1	0.5000	0	0	0	0	0
	2	0.5014	0	0	0		
	3	0.4989	0	0	0		
SA	1	0.5003	0	0	0	0	0
	2	0.5012	0	0	0		
	3	0.5009	0	0	0		
SB	1	0.5002	0	0	0	0	0
	2	0.5011	0.001	0.01	0.001		
	3	0.4987	0	0	0		
Std.	1	0.4999	0	0	0	0	0
	2	0.5006	0	0	0		
	3	0.5004	0	0	0		

หมายเหตุ กราฟมาตรฐานดังรูปที่ ค.4

** การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของตะกั่วใน
กากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.26 ปริมาณสังกะสีในตัวอย่างซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร เริ่มต้น (g)	ค่า Absorbance	ความ เข้มข้น จากกราฟ (ppm)	เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	0.4991	0.157	0.74	74.61	73.54	1.36
	2	0.5007	0.152	0.72	72.01		
	3	0.5001	0.156	0.74	73.99		
B	1	0.5000	0.153	0.73	72.58	72.41	1.37
	2	0.5014	0.15	0.71	70.96		
	3	0.4989	0.155	0.74	73.69		
SA	1	0.5003	0.158	0.75	74.91	74.04	0.79
	2	0.5012	0.155	0.74	73.35		
	3	0.5009	0.156	0.74	73.87		
SB	1	0.5002	0.154	0.73	73.03	73.22	2.32
	2	0.5011	0.15	0.71	71.00		
	3	0.4987	0.159	0.75	75.62		
Std.	1	0.4999	0.159	0.75	75.44	74.91	0.86
	2	0.5006	0.156	0.74	73.92		
	3	0.5004	0.159	0.75	75.37		

หมายเหตุ กราฟมาตรฐานดังรูปที่ ก.1

**การคำนวณเช่นเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% by weight) ของสังกะสีในกากของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.27 % recovery ของตัวอย่าง SA และ SB

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง กากของเสีย (g)	น้ำหนัก สารมาตรฐาน ZnO 99 % (g)	น้ำหนักรวม (g)	น้ำหนักสาร หลังเผาแคลไซน์ (g)	% ZnO*	ปริมาณของสังกะสี ตามทฤษฎี (g)	ปริมาณของสังกะสี ที่วัดได้ (g)	% recovery
SA	1	2.5243	2.4995	5.0238	4.9951	92.34	3.7074	3.7014	99.84
	2	2.4998	2.5332	5.0330	5.0202	91.22	3.7145	3.6748	98.93
	3	2.6498	2.5172	5.1670	5.1403	92.34	3.8124	3.8090	99.91
	4	2.5385	2.4657	5.0042	4.8722	91.34	3.6926	3.5713	96.72
	5	2.5033	2.5095	5.0128	4.9984	90.47	3.6994	3.6288	98.09
	6	2.6653	2.5084	5.1737	5.0195	90.84	3.8172	3.6592	95.86
	7	2.5947	2.5203	5.1150	5.1328	91.22	3.7744	3.7572	99.55
					ค่าเฉลี่ย		3.7454	3.6860	98.41
					S.D.		0.05	0.08	1.60

* : วิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF

ตารางที่ ค.27 % recovery ของตัวอย่าง SA และ SB (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง กากของเสีย (g)	น้ำหนัก สารมาตรฐาน ZnO 99 % (g)	น้ำหนักรวม (g)	น้ำหนักสาร หลังเผาแคลไซน์ (g)	% ZnO*	ปริมาณของสังกะสี ตามทฤษฎี (g)	ปริมาณของสังกะสี ที่วัดได้ (g)	% recovery
SB	1	2.5538	2.4952	5.0490	5.0009	92.09	3.7028	3.6957	99.81
	2	2.5031	2.5638	5.0669	5.0211	91.72	3.7172	3.6955	99.42
	3	2.5115	2.5165	5.0280	4.8803	91.47	3.6881	3.5821	97.13
	4	2.5469	2.5007	5.0476	4.8869	90.72	3.7019	3.5577	96.10
	5	2.5362	2.5056	5.0418	5.0364	91.47	3.6978	3.6967	99.97
	6	2.7506	2.5095	5.2601	5.2648	89.97	3.8557	3.8012	98.59
	7	2.659	2.5207	5.1797	5.0507	90.35	3.7978	3.6618	96.42
						ค่าเฉลี่ย	3.7373	3.6701	98.20
						S.D.	0.06	0.08	1.64

* : วิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF

ตัวอย่างการคำนวณ

หาเปอร์เซ็นต์ recovery ในตัวอย่าง SA ครั้งที่ 1

- หาปริมาณ ZnO ในตัวอย่างตั้งต้น

ZnO ไม่บริสุทธิ์ 100 g มี ZnO จริง 92.34 g (ผลจากการวัด XRF ดังตารางที่ ค.27)

เมื่อ ZnO ได้จริง 4.9951 g (จากการเผาแคลไซต์) มี ZnO จริง $\frac{92.34}{100} \times 4.9951 = 4.6125$ g

∴ จากตัวอย่าง 5.0238 g (ซึ่งมาตอนแรก) ได้ ZnO เท่ากับ 4.6125 g

- หาปริมาณ Zn ในตัวอย่างตั้งต้น

เนื่องจาก ZnO มีมวลโมเลกุล 81 g/mol และ Zn มีมวลโมเลกุล 65 g/mol

จาก ZnO 81 g มี Zn 65 g

ถ้า ZnO 4.6125 g มี Zn $\frac{65}{81} \times 4.6125 = 3.7014$ g

∴ ตัวอย่าง 5.0238 g มี Zn 3.7014 g (ปริมาณ Zn ที่วิเคราะห์ได้)

- หาปริมาณ ZnO ในสารมาตรฐาน ZnO

ZnO ไม่บริสุทธิ์ 100 g มี ZnO จริง 92.75 g (ผลจากการวัด XRF ดังตารางที่ ค.21)

เมื่อ สารมาตรฐานที่ซ่งมา 2.4995 g (ดังตารางที่ ค.27) มี ZnO จริง $\frac{92.75}{100} \times 2.4995 = 2.3183$ g

∴ จากสารมาตรฐาน ZnO 2.4995 g (ซึ่งมาตอนแรก) ได้ ZnO เท่ากับ 2.3183 g

- หาปริมาณ Zn ในสารมาตรฐาน ZnO

จาก ZnO 81 g มี Zn 65 g

ถ้า ZnO 2.3183 g มี Zn $\frac{65}{81} \times 2.3183 = 1.8604$ g

∴ สารมาตรฐาน ZnO 2.3183 g มี Zn 1.8604 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาปริมาณ ZnO ในตัวอย่าง

ZnO ไม่บริสุทธิ์ 100 g มี ZnO จริง 91.18 g (ผลจากการวัด XRF ดังตารางที่ ค.17)

เมื่อ กากของเสียที่ชั่งมา 2.5243 g (ดังตารางที่ ค.27) มี ZnO จริง $\frac{91.18}{100} \times 2.5243 = 2.3017$ g

∴ จากกากของเสีย 2.5243 g (ชั่งมาตอนแรก) ได้ ZnO เท่ากับ 2.3017 g

- หาปริมาณ Zn ในตัวอย่าง

จาก ZnO 81 g มี Zn 65 g

ถ้า ZnO 2.3017 g มี Zn $\frac{65}{81} \times 2.3017 = 1.8470$ g

- ปริมาณ Zn ตามทฤษฎี

ปริมาณ Zn ตามทฤษฎี = ปริมาณ Zn ในตัวอย่าง + ปริมาณ Zn ในสารมาตรฐาน ZnO

$$= 1.8604 + 1.8470$$

$$= 3.7074 \text{ g}$$

- % recovery (% R)

$$\% R = (\text{ปริมาณ Zn จากการวิเคราะห์} \times 100) / \text{ปริมาณ Zn ตามทฤษฎี}$$

$$= \frac{3.7014 \times 100}{3.7074}$$

$$= 99.84 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.28 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ถ้วย (g)	น้ำหนัก สาร ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง+ ถ้วยก่อน อบ (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง+ ถ้วยหลัง อบ (g)	น้ำหนัก สาร หลังอบ (g)	% ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	S.D.
A	1	0.4791	2.0977	2.5768	2.5759	2.0968	0.05	0.05	0.03
	2	0.4778	2.0021	2.4799	2.4795	2.0017	0.02		
	3	0.5116	2.0685	2.5801	2.5788	2.0672	0.06		
	4	0.5160	2.0745	2.5905	2.5902	2.0742	0.01		
	5	0.5782	2.0537	2.6319	2.6304	2.0522	0.07		
	6	0.4456	2.0118	2.4574	2.4566	2.0110	0.04		
	7	0.4512	2.0502	2.5014	2.4998	2.0486	0.08		
B	1	0.4514	2.0501	2.5015	2.4998	2.0484	0.08	0.09	0.01
	2	0.4922	2.0000	2.4922	2.4908	1.9986	0.07		
	3	0.4310	2.0089	2.4399	2.4381	2.0071	0.09		
	4	0.4891	2.0596	2.5487	2.5471	2.0580	0.08		
	5	0.4124	2.0119	2.4243	2.4221	2.0097	0.11		
	6	0.4225	1.9994	2.4219	2.4204	1.9979	0.08		
	7	0.5432	2.0203	2.5635	2.5614	2.0182	0.10		
SA	1	0.4554	2.0033	2.4587	2.4575	2.0021	0.06	0.07	0.03
	2	0.4791	2.0728	2.5519	2.5499	2.0708	0.10		
	3	0.4885	2.0000	2.4885	2.4866	1.9981	0.10		
	4	0.4482	2.0520	2.5002	2.4991	2.0509	0.05		
	5	0.5088	2.0583	2.5671	2.5654	2.0566	0.08		
	6	0.5399	2.0750	2.6149	2.6128	2.0729	0.10		
	7	0.4544	2.0393	2.4937	2.4930	2.0386	0.03		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.28 เปอร์เซนต์ความชื้นในซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ถ้วย (g)	น้ำหนัก สาร ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง+ ถ้วยก่อน อบ (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง+ ถ้วยหลัง อบ (g)	น้ำหนัก สาร หลังอบ (g)	% ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	S.D.
SB	1	0.5294	2.0502	2.5796	2.5776	2.0482	0.10	0.07	0.03
	2	0.4975	2.0024	2.4999	2.4984	2.0009	0.07		
	3	0.4837	2.0624	2.5461	2.5454	2.0617	0.03		
	4	0.4520	2.0051	2.4571	2.4566	2.0046	0.02		
	5	0.5226	2.0160	2.5386	2.5374	2.0148	0.06		
	6	0.5245	2.0538	2.5783	2.5767	2.0522	0.08		
	7	0.5007	2.0673	2.5680	2.5662	2.0655	0.09		
Std.	1	0.4522	1.9973	2.4495	2.4477	1.9955	0.09	0.09	0.01
	2	0.4913	2.1447	2.6360	2.6341	2.1428	0.09		
	3	0.4449	2.0387	2.4836	2.4819	2.0370	0.08		
	4	0.4778	2.0638	2.5416	2.5400	2.0622	0.08		
	5	0.4415	2.0298	2.4713	2.4696	2.0281	0.08		
	6	0.5381	2.0060	2.5441	2.5421	2.0040	0.10		
	7	0.4972	2.0283	2.5255	2.5236	2.0264	0.09		

$$\text{หมายเหตุ} \quad \text{เปอร์เซนต์ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักสารก่อนอบ(g)} - \text{น้ำหนักสารหลังอบ(g)}}{\text{น้ำหนักสารก่อนอบ (g)}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.29 ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ
ซิงค์ซัลเฟตเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอ

สารละลาย $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (mL)	ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอ ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงของ จุดยุติ
	1	2	3	เฉลี่ย		
25	25.9	25.8	25.8	25.83	เอริโอโครมแบลค ที	สีแดงอุ่นเป็นน้ำเงิน

ตารางที่ ค.30 ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายซิงค์ออกไซด์

ตัวอย่าง	ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรต (mL)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
A	18.3	18.2	18.2	18.23
B	18.1	18.0	18.1	18.07
SA	17.9	17.9	17.8	17.87
SB	18.2	18.1	18.2	18.17
Std.	18.2	18.2	18.3	18.23

ตารางที่ ค.31 เปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ได้จากการไทเทรตด้วยสารละลายอีดีทีเอ

ตัวอย่าง	น.น. ZnO (g)	ปริมาณ ZnO ในตัวอย่าง (g)			ค่าเฉลี่ย	ZnO (%)	S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
A	1.5626	1.4326	1.4248	1.4248	1.4274	91.35	4.52
B	1.5266	1.4169	1.4091	1.4169	1.4144	92.65	4.52
SA	1.5002	1.4013	1.4013	1.3935	1.3987	93.23	4.52
SB	1.5529	1.4248	1.4169	1.4248	1.4222	91.58	4.52
Std.	1.5256	1.4248	1.4248	1.4326	1.4274	93.56	4.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซิงค์ออกไซด์ในตัวอย่าง

- หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอด้วยสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิซิงค์ซัลเฟต

$$\text{จากสูตร} \quad (CV)_{ZnSO_4} = (CV)_{EDTA}$$

$$0.0100(M) \times 25(mL) = C_{EDTA} \times 25.87(mL)$$

$$C_{EDTA} = 0.0097 M$$

ดังนั้น ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA คือ 0.0097 M

- การคำนวณหา % ZnO ของตัวอย่าง A

$$1 \text{ mL ของ } 0.0100 \text{ M EDTA มี Zn} = 6.538 \text{ mg}$$

$$1 \text{ mL ของ } 0.0097 \text{ M EDTA มี Zn} = \frac{0.0097(M) \times 6.538(mg)}{0.01(M)} = 6.3181 \text{ mg}$$

$$1 \text{ mL EDTA ทำปฏิกิริยากับ Zn} = 6.3181 \text{ mg}$$

$$18.23 \text{ mL EDTA ทำปฏิกิริยากับ Zn} = \frac{6.3181(mg) \times 18.23(ml)}{1(ml)} = 115.18 \text{ mg}$$

$$\text{สารละลาย ZnO } 25 \text{ mL มี Zn อยู่ } 115.18 \text{ mg}$$

$$\text{สารละลาย ZnO } 250 \text{ mL มี Zn อยู่ } \frac{115.18(mg) \times 250(ml)}{25(ml)} = 1151.79 \text{ mg}$$

$$\text{Zn } 65.38 \text{ g/mol มาจาก ZnO} = 81 \text{ g/mol}$$

$$\text{Zn } 1151.79 \text{ mg มาจาก ZnO} = \frac{1151.79(mg) \times 81(g/mol)}{65.38(g/mol)}$$

$$ZnO = 1427.4 \text{ mg}$$

$$ZnO = 1.4274 \text{ g}$$

$$\text{สารตัวอย่าง } 1.5626 \text{ g มี ZnO} = 1.4274 \text{ g}$$

$$\text{สารตัวอย่าง } 100 \text{ g มี ZnO} = \frac{1.4274(g) \times 100}{1.5626(g)}$$

$$ZnO = 91.35\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.32 เปอร์เซนต์สารที่ละลายน้ำ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักถ้วย กระเบื้อง (g)	น้ำหนักสาร (g)	น้ำหนักถ้วย+ สารก่อนอบ (g)	น้ำหนักถ้วย+ สารหลังอบ (g)	น้ำหนัก สารหลังอบ (g)	% สารที่ละลายน้ำ	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
A	1	59.1685	5.1668	64.3353	59.3229	0.1544	7.47	6.8	0.63
	2	62.1413	5.0126	67.1539	62.2755	0.1342	6.69		
	3	64.8565	5.0065	69.863	64.9812	0.1247	6.23		
B	1	61.2231	5.0982	66.3213	61.3711	0.148	7.26	7.25	0.27
	2	65.7779	5.0987	70.8766	65.9312	0.1533	7.52		
	3	62.1937	5.0821	67.2758	62.3354	0.1417	6.97		
SA	1	66.8798	5.1724	72.0522	67.0065	0.1267	6.12	6.09	0.14
	2	59.1701	5.1641	64.3342	59.2926	0.1225	5.93		
	3	61.3475	5.1687	66.5162	61.4758	0.1283	6.21		
SB	1	65.7758	5.1998	70.9756	65.9368	0.161	7.74	7.58	0.19
	2	61.2265	5.0855	66.312	61.3765	0.15	7.37		
	3	60.0003	5.0097	65.01	60.1529	0.1526	7.62		

ตารางที่ ค.32 เปรอร์เซ็นต์สารที่ละลายน้ำ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักถ้วย กระเบื้อง (g)	น้ำหนักสาร (g)	น้ำหนักถ้วย+ สารก่อนอบ (g)	น้ำหนักถ้วย+ สารหลังอบ (g)	น้ำหนัก สารหลังอบ (g)	% สารที่ละลายน้ำ	ค่าเฉลี่ย (%)	S.D.
Std.	1	62.1444	5.0021	67.1465	62.2689	0.1245	6.22	6.02	0.19
	2	66.8993	5.0019	71.9012	67.0161	0.1168	5.84		
	3	66.7518	5.0102	71.7620	66.8718	0.1200	5.99		

หมายเหตุ 1) น้ำหนักสารหลังอบ (g) = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (g) - (น้ำหนักถ้วย+สารหลังอบ) (g)

2) เปรอร์เซ็นต์สารที่ละลายน้ำ (%) = $\frac{\text{น้ำหนักของสารหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (g)}} \times 100$

ก.3.2 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้หลังล้างตะกอน

ตารางที่ ก.33 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารที่หายไปหลังล้างตะกอน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร (g)	น้ำหนักกระดาษกรอง ก่อนกรอง (g)	น้ำหนักกระดาษกรอง หลังกรอง (g)	น้ำหนักสาร หลังการล้าง (g)	น้ำหนักสาร ที่หายไป (g)	% by weight	เฉลี่ย	S.D.
A	1	2.5736	0.4680	2.8795	2.4115	0.1621	6.30	6.89	0.59
	2	2.5642	0.4760	2.8483	2.3723	0.1919	7.48		
	3	2.5312	0.4733	2.8302	2.3569	0.1743	6.89		
B	1	2.6052	0.4607	2.8488	2.3881	0.2171	8.33	7.87	0.93
	2	2.5441	0.4760	2.8471	2.3711	0.1730	6.80		
	3	2.6017	0.4751	2.8561	2.3810	0.2207	8.48		
SA	1	2.5858	0.4668	2.8386	2.3718	0.2140	8.28	6.52	1.67
	2	2.5674	0.4649	2.8704	2.4055	0.1619	6.31		
	3	2.5039	0.4655	2.8451	2.3796	0.1243	4.96		

หมายเหตุ เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (%) = $\frac{\text{น้ำหนักของสารที่หายไป (g)}}{\text{น้ำหนักของสาร (g)}} \times 100$

ตารางที่ ค.33 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารที่หายไปหลังล้างตะกอน (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร (g)	น้ำหนักกระดาษกรอง ก่อนกรอง (g)	น้ำหนักกระดาษกรอง หลังกรอง (g)	น้ำหนักสาร หลังการล้าง (g)	น้ำหนักสาร ที่หายไป (g)	% by weight	เฉลี่ย	S.D.
SB	1	2.5774	0.4758	2.8691	2.3933	0.1841	7.14	7.58	0.55
	2	2.5246	0.4812	2.7988	2.3176	0.2070	8.20		
	3	2.5174	0.4711	2.8023	2.3312	0.1862	7.40		
Std.	1	2.5810	0.4768	2.8644	2.3876	0.1934	7.49	6.21	1.29
	2	2.5421	0.4603	2.8443	2.3840	0.1581	6.22		
	3	2.5233	0.4725	2.8717	2.3992	0.1241	4.92		

หมายเหตุ เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (%) = $\frac{\text{น้ำหนักของสารที่หายไป (g)}}{\text{น้ำหนักของสาร (g)}} \times 100$

ตารางที่ ค.34 ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายมาตรฐานปรอทอมิ
ซิงค์ซัลเฟตเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอ

สารละลาย $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (mL)	ปริมาตรอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรต (mL)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงของ จุดยุติ
	1	2	3	เฉลี่ย		
25	25.4	25.5	25.5	25.47	เอริโอโครมแบลค ที	สีแดงจู่เป็นน้ำเงิน

ตารางที่ ค.35 ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายซิงค์ออกไซด์

ตัวอย่าง	ปริมาตรอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรต (mL)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
A	18.7	18.8	18.8	18.77
B	18.8	18.8	18.9	18.33
SA	18.8	18.8	18.9	18.83
SB	18.8	18.9	18.9	18.87
Std.	18.8	18.9	18.9	18.87

ตารางที่ ค.36 เปอร์เซนต์ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ได้จากการไทเทรตด้วยสารละลายอีดีทีเอ

ตัวอย่าง	น.น. ZnO (g)	ปริมาณ ZnO ในตัวอย่าง (g)			ค่าเฉลี่ย*	ZnO (%)	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
A	1.5012	1.4869	1.4949	1.4948	1.4922	99.40	4.59
B	1.5089	1.4949	1.4949	1.5028	1.4975	99.25	4.59
SA	1.5033	1.4949	1.4949	1.5028	1.4975	99.62	4.59
SB	1.5074	1.4949	1.5028	1.5028	1.5002	99.52	4.59
Std.	1.5045	1.4949	1.5028	1.5028	1.5002	99.71	4.59

หมายเหตุ * ; ค่ารวมเหมือนกับเปอร์เซนต์ซิงค์ออกไซด์ที่ยังไม่ผ่านการล้างตะกอน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.37 เปอร์เซนต์สารที่ละลายน้ำหลังล้างตะกอน

ตัวอย่าง	น้ำหนักถ้วย กระเบื้อง (g)	น้ำหนักสาร ตั้งต้น (g)	น้ำหนักด้วยกระเบื้อง + สารหลังอบ (g)	น้ำหนักสาร หลังอบ (g)	% สารที่ละลายน้ำ	เฉลี่ย	S.D.
A	59.1678	2.4115	59.1679	0.0001	0.01	0.05	0.03
	59.2013	2.3723	59.2018	0.0005	0.05		
	62.1288	2.3569	62.1295	0.0007	0.07		
B	65.7737	2.3881	65.7746	0.0009	0.09	0.08	0.02
	62.1120	2.3711	62.1126	0.0006	0.06		
	66.8695	2.3810	66.8702	0.0007	0.07		
SA	62.1338	2.3718	62.1339	0.0001	0.01	0.05	0.04
	62.1163	2.4055	62.1172	0.0009	0.09		
	65.7640	2.3796	65.7644	0.0004	0.04		

หมายเหตุ 1) น้ำหนักสารหลังอบ (g) = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (g) - (น้ำหนักถ้วย+สารหลังอบ) (g)

2) เปอร์เซนต์สารที่ละลายน้ำ (%) = $\frac{\text{น้ำหนักของสารหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (g)}} \times 100$

ตารางที่ ค.37 เปอร์เซนต์สารที่ละลายน้ำหลังล้างตะกอน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนักด้วย กระเบื้อง (g)	น้ำหนักสาร ตั้งต้น (g)	น้ำหนักด้วยกระเบื้อง + สารหลังอบ (g)	น้ำหนักสาร หลังอบ (g)	% สารที่ละลายน้ำ	เฉลี่ย	S.D.
SB	61.2359	2.3933	61.2368	0.0009	0.09	0.07	0.05
	65.7802	2.3176	65.7811	0.0009	0.09		
	59.2002	2.3312	59.2003	0.0001	0.01		
Std.	66.8777	2.3876	66.8785	0.0008	0.08	0.06	0.03
	59.1569	2.3840	59.1571	0.0002	0.02		
	59.1558	2.3992	59.1565	0.0007	0.07		

หมายเหตุ 1) น้ำหนักสารหลังอบ (g) = น้ำหนักด้วยกระเบื้อง (g) - (น้ำหนักด้วย+สารหลังอบ) (g)

2) เปอร์เซนต์สารที่ละลายน้ำ (%) = $\frac{\text{น้ำหนักของสารหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (g)}} \times 100$