

การตกตะกอนปรอทซัลไฟด์จากน้ำเสียสังเคราะห์และสมบัติของก้อนซีเมนต์
ที่มีปรอทซัลไฟด์เจือปน



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49279
วัน, เดือน, ปี 1.8 ก.พ. 2547

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Mercury Sulfide Precipitation from Synthetic Wastewater
and Mercury Sulfide Cement Waste Properties**



**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 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การตกตะกอนโปรทซัลไฟด์จากน้ำเสียสังเคราะห์และสมบัติของก้อนซีเมนต์ที่มีโปรทซัลไฟด์เจือปน
นักศึกษา นางสาวกุสุมา เอกสารโรจน์
 นางสาวพัฒนรัชดา ทองขาว
 นางสาวสิรินุช วชิรวัชรินทร์
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ยุพา ตันทวี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.คณิตา ตั้งคณาภิรักษ์	
กรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการ อาจารย์ยุพา ตันทวี	



(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การตกตะกอนโปรทซัลไฟด์จากน้ำเสียสังเคราะห์และสมบัติของก้อนซีเมนต์ที่มีโปรทซัลไฟด์เจือปน
นักศึกษา	นางสาวกฤษมา เอกสารโธจน์ นางสาวพัฒนรัชดา ทองขาว นางสาวสิรินุช วชิรวัชรินทร์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2545
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ยุพา ตันทวี

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ทำการศึกษาวิธีการกำจัดปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการตกตะกอนซัลไฟด์และนำตะกอนโปรทซัลไฟด์ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนจะสามารถกำจัดปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรให้มีความเข้มข้นเหลือ 1.549 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพในการตกตะกอนเท่ากับ 98.45% สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรทซัลไฟด์มีค่าพีเอชเท่ากับ 11 ปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้เป็น 1.11 เท่าของความต้องการทางทฤษฎีและเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนเท่ากับ 30 นาที จากนั้นนำตะกอนโปรทซัลไฟด์ที่ได้ไปทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ให้มีอัตราส่วนผสมตะกอนโปรทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานเป็น 0.25 และ 0.50 ที่ระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน สำหรับก้อนซีเมนต์ที่มีโปรทซัลไฟด์เจือปน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตะกอนโปรทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง แต่สมบัติการชะละลาย ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าพีเอช และความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนผสมตะกอนโปรทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานทั้งสองค่า คือ 0.25 และ 0.50 ให้ผลการศึกษาที่ดีและผ่านเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

คำสำคัญ : การตกตะกอนซัลไฟด์, โปรทซัลไฟด์, การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์, ค่ากำลังรับแรงอัด และสมบัติการชะละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Mercury Sulfide Precipitation from Synthetic Wastewater and Mercury Sulfide Cement Waste Properties

Name Miss Kusuma Eaksarod
Miss Pattida Thongkaow
Miss Sirinuch Vachiravatcharin

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2002

Special Project Advisor Mrs. Yupa Tantawee

Abstract

This project studied on removal of mercury from synthetic wastewater by sulfide precipitation and stabilization of mercuric sulfide by using cement solidification process. Optimum condition can remove mercury from 100 ppm to 1.549 ppm and 98.45% efficiency at pH 11, sodium sulfide dosage 1.11 times of theoretical dosage and settling time 30 minutes. After that the precipitate of mercuric sulfide (HgS) was solidified by portland cement. The ratio of mercuric sulfide to cement are 0.25 and 0.50 at 7 days of curing time. For cement waste properties, the compressive strength is slightly decrease as mercuric sulfide to cement ratio increase; while conductivity, pH and mercury concentration of leachate are increase. Both ratios were effective results compared with standard of cement waste properties set by Department of Industry.

Key words : sulfide precipitation, mercuric sulfide, solidification process, compressive strength, cement waste properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ทางผู้วิจัยโครงการพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ยุพา ตันทวี อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์ และดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และเงินทุนในการทำโครงการพิเศษ

สุดท้ายขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน รวมทั้งบิดามารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

กุสุมา เอกสารโรจน์

พัฒนัธิดา ทองขาว

สิรินุช วชิรวัชรินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สมบัติของโลหะปรอท	4
2.2 ปฏิริยาเคมีของปรอท	5
2.3 การตกตะกอนทางเคมี	8
2.4 เทคนิคการวิเคราะห์โดยการตกตะกอน	10
2.5 การตกตะกอนโลหะปรอท	12
2.6 การกำจัดของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน	19
2.6.1 กระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์	20
2.6.2 การทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์	26
2.6.3 ปูนซีเมนต์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อน	33
2.7.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	34
2.7.2 การทดสอบการชะละลาย	35
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย	41
3.2 อุปกรณ์และสารเคมี	42
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	43
3.3.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการตกตะกอนซัลไฟด์	43
3.3.2 ศึกษาการทำลายฤทธิ์ปรอทโดยการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์	46
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการตกตะกอนซัลไฟด์	48
4.2 การศึกษาการทำลายฤทธิ์ปรอทโดยการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์	54
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	ญ
ภาคผนวก ก. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์และการคำนวณปริมาณโซเดียมซัลไฟด์	ฎ
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลองการศึกษาสถานะการตกตะกอนซัลไฟด์	ฑ
ภาคผนวก ค. ส่วนผสมที่ใช้ในการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์	ด
ภาคผนวก ง. ข้อมูลผลการทดลองการศึกษาการทำลายฤทธิ์ปรอทโดยการทำเป็นก้อน	ต
ภาคผนวก จ. การวิเคราะห์ปรอทโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	ถ
ภาคผนวก ฉ. ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว	น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของปรอทที่อุณหภูมิห้อง	4
2.2 แสดงค่า K_{sp} ของเกลือปรอทที่ละลายน้ำได้น้อย	12
2.3 แสดงความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์เทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์	14
2.4 แสดงการเปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่างๆ	18
2.5 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน	22
2.6 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการและข้อดีข้อเสียของการกำจัดของเสียโดยวิธีทำให้เป็นก้อน	23
2.7 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา	28
2.8 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา	29
2.9 แสดงคุณสมบัติที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยวิธี Sealosafe	33
2.10 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบการชะละลาย (Extraction Test Procedures)	35
4.1 แสดงผลการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่ค่าพีเอชต่างๆ	48
4.2 แสดงผลการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่ปริมาณไฮดรอกไซด์ไฟต์ต่างกัน	50
4.3 แสดงผลการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่เวลาตกตะกอนต่างๆ	52
4.4 แสดงผลการทดสอบกำลังแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์เจือปน	54
4.5 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่ค่าพีเอชต่างๆ	9
2.2 แสดงความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์	13
2.3 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ และโลหะไฮดรอกไซด์ที่ค่าพีเอชต่างๆ	16
2.4 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย	19
2.5 แสดงปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในซีเมนต์	30
2.6 แสดงโครงสร้างของซีเมนต์ Paste	32
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทและค่าพีเอช	49
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนและค่าพีเอช	49
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทและจำนวนเท่า ของปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ทางทฤษฎี	51
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนและจำนวนเท่า ของปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ทางทฤษฎี	51
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทและเวลาการตกตะกอน	53
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนและเวลาการตกตะกอน	53
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและสัดส่วนผสม ตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน	55
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและสัดส่วนผสม ตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน	56
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าและสัดส่วนผสม ตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน	57
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดด่างและสัดส่วนผสม ตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน	58
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทและสัดส่วนผสม ตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

(°C)	องศาเซลเซียส
%	เปอร์เซ็นต์
<	น้อยกว่า
≤	น้อยกว่าหรือเท่ากับ
≥	มากกว่าหรือเท่ากับ
:	ต่อ
W / C	อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์
A / V	อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร
Meq / g	มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม
ppm	ส่วนในล้านส่วน
μm	ไมโครเมตร
mS / cm	มิลลิซีเมนต์ / เซนติเมตร
ชม.	ชั่วโมง
มม.	มิลลิเมตร
มด.	มิลลิลิตร
ชม.	เซนติเมตร
มก. / ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
ก. / ต.	กรัมต่อลิตร
กก. / ตร.ชม.	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
ลบ.ชม.	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ชม. / วินาที	เซนติเมตรต่อวินาที
ตัน / ลบ.ม.	ตันต่อลูกบาศก์เมตร
U.S.EPA	United State Environmental Protection Agency
ASTM	American Society for Testing and Material
AAS	Atomic Absorption Spectrophotometer
ND	Non-detecable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

การปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น ปรอท ตะกั่ว โครเมียม ในสิ่งแวดล้อมนั้นนับเป็นปัญหาที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อมีการเจริญเติบโตทางภาคอุตสาหกรรมก็จะทำให้โอกาสที่โลหะหนักซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตนั้นตกค้างและปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น นอกจากนี้ ทางห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ก็ประสบกับปัญหาของเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ด้วยเช่นกัน เนื่องจากนำมาใช้ในวิชาปฏิบัติการเคมีต่างๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการจัดการกับน้ำเสียเหล่านี้ ดังนั้นจึงควรศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการจัดการน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน เพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้

ตามธรรมชาติแล้วปรอทจะอยู่ในรูปของแร่ซินนาบาร์ (Cinnabar , HgS) มีสีแดงและไม่ละลายน้ำ ปรอทเป็นโลหะหนักที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายทาง ได้แก่ การทำถ่านไฟฉาย แบบอัลคาไลน์ การนำมาทำเทอร์โมมิเตอร์และบาร์อมิเตอร์ ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยาซักแห้งเป็นตัวคะตะไลซ์ในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ และเมื่อปรอทเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์จะมีพิษอย่างร้ายแรงจึงนำมาทำยาปราบศัตรูพืชและฆ่าเชื้อโรค เป็นต้น อย่างไรก็ตามปรอทก็ยังมีความเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างยิ่ง

ตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2506 ชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งของอ่าวมินามาตะ ประเทศญี่ปุ่น ป่วยด้วยอาการที่คล้ายคลึงกัน คือ เกิดอาการผิดปกติของร่างกายเริ่มด้วยมือและใบหน้า มีอาการบวมและเจ็บปวด สายตามัว เกิดอาการเหน็บชาตามร่างกายบางส่วน อาจเป็นอัมพาต ความจำเสื่อมและถึงแก่ความตายได้ จากการศึกษาในระยยะเวลานั้นพบว่าโรคที่มีอาการดังกล่าวนี้ มีสาเหตุมาจากสารประกอบของปรอทคือ เมอร์คิวริกคลอไรด์ (HgCl₂) ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกพีวีซี เกิดการรั่วไหลลงในอ่าวทำให้เกิดการปนเปื้อนในปลา เมื่อชาวบ้านนำไปรับประทานจึงได้รับสารปรอทสะสมอยู่ในร่างกาย เกิดความเจ็บป่วยและเสียชีวิตในที่สุด เรียกโรคนี้ว่า โรคมินามาตะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเหตุการณ์ที่ได้กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าปรอทนั้นเป็นพิษและอันตรายอย่างยิ่งต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการจัดการที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อไป

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาการกำจัดปรอทด้วยวิธีต่างๆ มากมาย เช่น การดูดซับ การแลกเปลี่ยนประจุ และการตกตะกอนทางเคมี เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิธีการกำจัดปรอทที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการตกตะกอนให้อยู่ในรูปปรอทซัลไฟด์ (HgS) และนำตะกอนปรอทซัลไฟด์นี้ไปทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการตกตะกอนซัลไฟด์
- 2) เพื่อศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักปรอท โดยนำตะกอนปรอทซัลไฟด์ไปทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์
- 3) เพื่อศึกษาสมบัติของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์เจือปน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยศึกษาการบำบัดน้ำเสียปรอทสังเคราะห์โดยการตกตะกอนซัลไฟด์และนำตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่ได้นำไปทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

- 1) ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการตกตะกอนซัลไฟด์คือ ค่าพีเอช, ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) และเวลาที่ใช้ในการตกตะกอน
- 2) ศึกษาสมบัติของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์ ในอัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ 0.25 และ 0.50 ได้แก่ กำลังรับแรงอัดและสมบัติของน้ำสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทำให้ทราบสถานะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีปรอท โดยการตกตะกอนซัลไฟด์
- 2) ทำให้ทราบถึงความสามารถในการทำลายฤทธิ์ตะกอนปรอทซัลไฟด์จากการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยการพิจารณาจากสมบัติของก้อนซีเมนต์ที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม
- 3) สามารถนำผลการศึกษาใช้เป็นแนวทางสำหรับการบำบัดน้ำเสียปรอท จากห้องปฏิบัติการเคมีต่อไป

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย											
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล												
2. ตั้งวัตถุประสงค์และขอบเขต												
3. จัดทำเค้าโครงงานวิจัย												
4. เสนอเค้าโครงงานวิจัย												
5. เตรียมอุปกรณ์และสารเคมี												
6. ดำเนินการทดลอง												
7. รวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลอง												
8. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง												
9. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม												
10. จัดทำรายงานโครงการพิเศษ												
11. เตรียมเสนอโครงการพิเศษ												
12. เสนอโครงการพิเศษ												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 สมบัติของโลหะปรอท (ชั้ววัฒน์ และพิมล , 2525)

ปรอท (Mercury, Hg)

ปรอทบริสุทธิ์จะมีสถานะเป็นของเหลว มีความแวววาวตามสมบัติของโลหะ โดยปกติจะไม่เกาะติดกับวัตถุ เช่น กระจกเบื้องปูพื้น สามารถกลิ้งไปมาได้อย่างรวดเร็วบนพื้นเรียบเมื่อมีแรงมากระทบและจะแตกกระจายเป็นชิ้นเล็กๆ ได้อย่างง่ายดาย ยากแก่การรวมตัวอีกครั้ง คุณสมบัติเป็นดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของปรอทที่อุณหภูมิห้อง

มวลอะตอม	200.7
ความถ่วงจำเพาะ	13.545
จุดหลอมเหลว	-38.87° C
จุดเดือด	356.9° C
ความดันไอ (ที่ 25° C)	0.000024

จากคุณสมบัติในเรื่องความถ่วงจำเพาะของปรอทที่มีค่าสูงมาก ทำให้จัดอยู่ในประเภทของโลหะหนัก ปรอทสามารถเกิดโลหะเจือกับโลหะอื่นๆ เช่น ทองแดง (Cu), เงิน (Ag), ทองคำ (Au) และโลหะอัลคาไลด์ เช่น โซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) โลหะเจือที่ได้เรียกว่า อะมัลกัม (Amalgum) สารประกอบของปรอทมีเลขออกซิเดชันได้ทั้ง 2 ค่า คือ เลขออกซิเดชัน (+1) เรียกว่า เมอร์คิวรัส (Mercurous) เช่น Hg_2Cl_2 และเลขออกซิเดชัน (+2) เรียกว่า เมอร์คิวริก (Mercuric) เช่น HgCl_2 อย่างไรก็ตาม สารประกอบเมอร์คิวรัส มี Hg 2 อะตอมคู่กันเสมอ เรียกว่า การเกิดเป็น ไดเมอร์ (Dimer) ดังนั้นเมื่อสารเมอร์คิวรัสละลายน้ำ อีออนจะเป็นคู่เสมอ คือ Hg_2^{2+} และจะไม่พบอีออนของปรอทในรูป Hg^+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปฏิกิริยาเคมีของปรอท (สุรางค์, 2538)

สารประกอบของปรอทมี 2 ประเภทคือ เมอร์คิวรัสและเมอร์คิวริก ซึ่งอาจถือได้ว่ามาจากออกไซด์ของ Hg_2O และ HgO ปฏิกิริยาของเมอร์คิวรัสและเมอร์คิวริกแสดงได้ดังนี้

2.2.1 ปฏิกิริยาของเมอร์คิวรัสไอออน (Hg_2^{2+})

เมอร์คิวรัสไอออนในรูปของสารละลายเมอร์คิวรัสไนเตรต ($\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$) สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ : เกิดตะกอนดำของเมอร์คิวริกซัลไฟด์ (HgS) และ Hg ขึ้นทันที



- 2) กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง : เกิดตะกอนขาวของเมอร์คิวริกคลอไรด์ (Hg_2Cl_2)

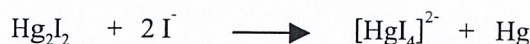


ตะกอน Hg_2Cl_2 นี้ไม่ละลายในน้ำร้อนหรือกรดเจือจางที่เย็นแต่ละลายได้ในกรดกัดทอง (HNO_3) เนื่องจากเปลี่ยนไปเป็นเมอร์คิวริกคลอไรด์

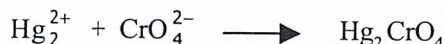
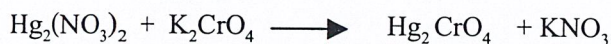
ถ้าเทสารละลายแอมโมเนียรดลงบนตะกอน Hg_2Cl_2 ตะกอนจะเปลี่ยนเป็นสีดำเนื่องจากเกิดเป็นอะมิโน-เมอร์คิวริกคลอไรด์และผงละเอียดของปรอท (สีดำ)

ของผสมสีดำนี้ละลายได้ในกรดกัดทองเนื่องจากเกิดเป็นเมอร์คิวริกคลอไรด์

- 3) สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ : เกิดตะกอนสีเขียวอมเหลืองของเมอร์คิวรัสไอโอไดด์ Hg_2I_2 เมื่อมีริเอเจนต์มากพอจะได้โพแทสเซียมเมอร์คิวไร-ไอโอไดด์ $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ ละลายอยู่ในสารละลายและได้ผงละเอียดสีดำของ Hg

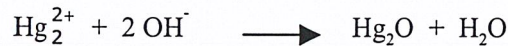


- 4) สารละลายโพแทสเซียมโครเมต : ได้ตะกอนสีน้ำตาลของเมอร์คิวรัสโครเมต (Hg_2CrO_4) ในสารละลายที่เย็น เมื่อต้มให้เดือดจะได้ตะกอนมีลักษณะเป็นผลึกและมีสีแดง

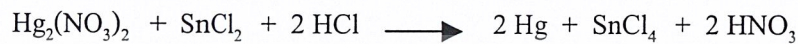


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ : ได้ตะกอนสีดำของเมอร์คิวรัสออกไซด์ (Hg_2O) ซึ่งไม่ละลายในรีเอเจนต์ที่มากพอ



6) สารละลายสแตนนัสคลอไรด์ : ได้ผงละเอียดสีเทาของ Hg เมื่อมีรีเอเจนต์ที่มากพอ



2.2.2 ปฏิกิริยาของเมอร์คิวริกไอออน (Hg^{2+})

เมอร์คิวริกไอออนในรูปของสารเมอร์คิวริกคลอไรด์ HgCl_2 มีความเป็นพิษมาก และเมื่ออยู่ในรูป HgCl_2 นี้ สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ : ตอนแรกได้ตะกอนขาวแล้วเปลี่ยนเป็นเหลือง น้ำตาลและดำ ของเมอร์คิวริกซัลไฟด์ (HgS) ในกรณีทั่วไป ถ้ามี H_2S มากพอจะได้ตะกอนสีดำของเมอร์คิวริกซัลไฟด์ ส่วนตะกอนขาวคือเมอร์คิวริกคลอโรซัลไฟด์ $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$ (หรือ $\text{HgCl}_2 \times 2 \text{HgS}$) ซึ่งละลายตัวได้ด้วย H_2S



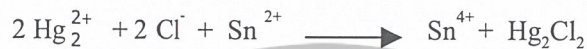
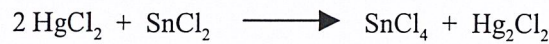
เมอร์คิวริกซัลไฟด์ไม่ละลายในน้ำ ในกรดไนตริกเจือจางที่ร้อน ในสารละลายแอลคาไลด์ไฮดรอกไซด์ (NaOH) และในแอมโมเนียมซัลไฟด์ชนิดไม่มีสี แต่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์และทำให้กลับตกตะกอนได้อีกโดยการเติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ เมอร์คิวริกซัลไฟด์ ละลายได้ดีในกรดกำถองหรือในของผสมของสารละลายไฮโปคลอไรต์กับกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง



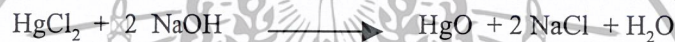
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2) สารละลายสแตนนัสคลอไรด์ : ได้ตะกอนขาวของเมอร์คิวรัสคลอไรด์ก่อน แล้วถูกรีดิวซ์ด้วยรีเอเจนต์ที่มากพอให้เป็นโลหะปรอทสีเทาดำ



3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ : ตอนแรกจะได้สีน้ำตาลแดงของเบสิกคลอไรด์ และถ้ามีเบสมากพอจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองของเมอร์คิวริกออกไซด์



4) สารละลายแอมโมเนีย : ได้ตะกอนสีขาวของอะมิโนเมอร์คิวริกคลอไรด์ ($\text{Hg}(\text{NH}_2)\text{Cl}$) ซึ่งทำให้ระเหยเป็นไอได้โดยไม่หลอมเหลว

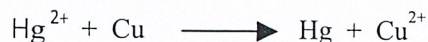


ตะกอน $\text{Hg}(\text{NH}_2)\text{Cl}$ ละลายได้ในสารละลายแอมโมเนียที่เกินพอมากๆ และในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์

5) สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ : ได้ตะกอนแดง (ตอนแรกเหลือง) ของเมอร์คิวริกไอโอไดด์ (HgI_2) ซึ่งละลายได้ในรีเอเจนต์ที่มากพอ เนื่องจากเกิดเป็นเกลือคอมเพล็กซ์โพแทสเซียมเมอร์คิวโร-ไอโอไดด์ ($\text{K}_2[\text{HgI}_4]$)



6) ทองแดง : เมื่อเอาแผ่นทองแดงที่สุกปลั่งและสะอาด (ถ้าจำเป็นให้ขัดด้วยกระดาษทรายหรือจุ่มล้างใน HNO_3 เข้มข้น) จุ่มลงในสารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์จะมีปรอทมาเกาะที่ผิว ทำให้เป็นสีเทา เมื่อขัดจะขึ้นเงาคูกล้ายเงิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะปรอทได้มีการนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมและวงการต่างๆอย่างแพร่หลาย ดังต่อไปนี้ (ชัยวัฒน์ และพิมล , 2525)

1. ใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์ และบาโรมิเตอร์
2. ใช้ทำให้เกิดโลหะเจือกับโลหะอื่นๆ เช่น Ag และ Sn ในงานทันตแพทย์ได้นำอะมัลกัมไปใช้ในการอุดฟัน
3. ผสมกับ Na เกิดโลหะเจือ Na-Hg ซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีมาก สำหรับการรีดักชัน
4. เป็นตัวกะตะไลต์ในการผลิตไว้นิลกลอไรด์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกพีวีซี
5. สารประกอบปรอททั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ใช้เป็นยาปราบศัตรูพืชและฆ่าเชื้อรา
6. ทำถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์ (Alkaline)
7. สกัดทองคำจากแร่ทองคำโดยการเกิดอะมัลกัมกับทองคำ
8. ทำตะเกียง ที่เรียกว่า ตะเกียงไฮปรอท (Mercury Vapor Lamp)
9. ใช้เป็นคาโทดในกระบวนการเตรียมโซดาไฟ
10. ใช้ในเครื่องมือเพื่อทำให้เกิดสุญญากาศ
11. ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ เพื่อป้องกันไม่ให้กระดาษยุ่ยง่าย
12. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยาซักแห้ง

2.3 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

การตกตะกอนทางเคมีเป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารที่ละลายได้ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายโดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การตกตะกอนโดยทั่วๆไปจะใช้เพื่อลดความกระด้างของน้ำโดยเอาแคลเซียมและแมกนีเซียมออก ในการบำบัดของเสียอันตรายกระบวนการนี้สามารถนำไปใช้เพื่อกำจัดโลหะอันตรายออกจากน้ำเสีย

โลหะหนักที่ไม่พึงปรารถนาในน้ำเสียมักจะอยู่ในรูปของสารละลายทำให้ไม่สามารถกำจัดออกจากน้ำได้ด้วยวิธีการตกตะกอนหรือกรองเพียงอย่างเดียวแต่การกำจัดโลหะหนักจำเป็นจะต้องทำให้เกิดการตกตะกอน (Precipitation) ก่อน จากนั้นจึงทำให้ตะกอนรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอค (floc) เพื่อให้สามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนและวิธีการกรอง โลหะหนักแต่ละชนิดจะตกตะกอนที่พีเอชแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับไอออนของโลหะนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

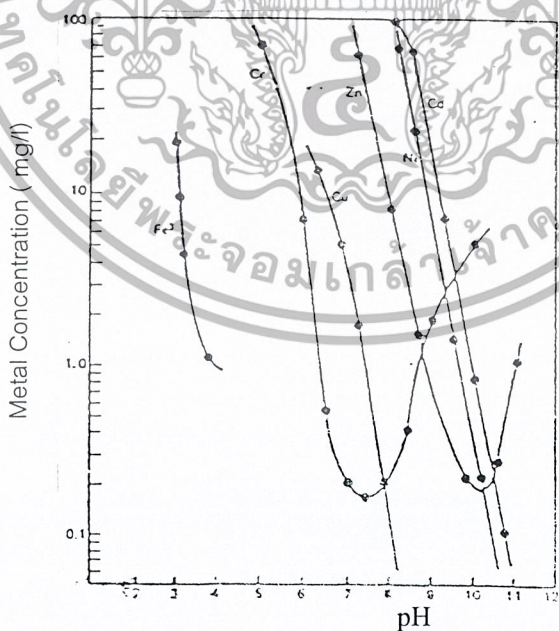
ตัวเลือกของสารทำปฏิกิริยาที่ต้องพิจารณาเป็นเรื่องแรก คือ สามารถตกตะกอนโลหะหนัก เรื่องที่สองคือ การละลายเมื่อตกตะกอน ตะกอนที่ได้ต้องไม่ละลายกลับคืนและโลหะนั้นจะแยกออกจากน้ำ การละลายจะมีผลกับอุณหภูมิ ในโลหะหนักบางชนิดสามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง จะแยกโลหะออกได้ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำโลหะหนักจะสามารถตกตะกอนแยกออกมา ดังนั้น อุณหภูมิจะมีอิทธิพลในการที่จะเลือกวิธีในการบำบัด

สภาพที่มีประจุของโลหะก็มีความสำคัญในกระบวนการตกตะกอน ตัวอย่างเช่น Fe^{2+} จะมีความสามารถในการละลายได้มากกว่า Fe^{3+} ดังนั้นการบำบัดด้วยวิธีตกตะกอนนี้ก็ต้องใช้สารออกซิไดซ์เปลี่ยน Fe^{2+} ให้เป็น Fe^{3+} ก่อน เช่นเดียวกับ Cr^{6+} ละลายน้ำได้มากกว่า Cr^{3+} จึงจำเป็นต้องลดประจุก่อนแล้วเอาออกในรูป Cr^{3+} ดังนั้นสิ่งที่ต้องพิจารณาอีกข้อหนึ่งคือ รูปของสารประกอบไอออนเชิงซ้อนในน้ำเสีย เช่น แอมโมเนียฟลูออไรด์หรือไซยาไนด์ เหล็กสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนพวกเฟอโรไซยาไนด์ไอออน ซึ่งสามารถละลายน้ำได้และเหลืออยู่ในรูปสารเชิงซ้อนเล็กน้อยที่สามารถตกตะกอนโดยสารเคมีได้

ในการตกตะกอนซัลไฟด์ ประสิทธิภาพของการตกตะกอนของโลหะหนักจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของซัลไฟด์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือ โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($NaHS$) การเพิ่มของสารละลายซัลไฟด์จะต้องมีการควบคุมเพราะอาจเกิดก๊าซพิษได้ คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพจึงควรมีการควบคุมอย่างดี การลดอันตรายให้เหลือน้อยที่สุดโดยการใช้ค้างช่วย ดังนั้นในการควบคุมการบำบัดแบบนี้จะต้องปรับปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาให้เหมาะสม (Optimum dose) เพราะถ้าใช้ปริมาณมากเกินไปจะทำให้ขุ่นและทำให้พีเอชเป็นค่าต่างมาก ต้องใช้กรดเพื่อปรับพีเอชลงมาให้เป็นกลางก่อนจะปล่อยทิ้งไป (ธงชัย, 2525)



รูปที่ 2.1 แสดงความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่ค่าพีเอชต่างๆ (USEPA, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เทคนิคการวิเคราะห์โดยการตกตะกอน (สุรางค์, 2538)

เทคนิคการวิเคราะห์โดยการตกตะกอนเป็นวิธีการทำให้ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณแยกตัวออกมาจากสารตัวอย่างโดยการตกตะกอนออกมา ตะกอนนั้นจะต้องละลายได้น้อยที่สุด จนเมื่อผ่านขบวนการต่างๆ คือ กรอง ล้าง และชั่ง จะต้องไม่มีตะกอนของธาตุหรือสารประกอบนั้นปรากฏในสารละลายที่ใช้ล้างเหลืออยู่เลย ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้สารที่ทำให้ตกตะกอน (Precipitant หรือ Precipitating Agent) ให้ดีเพื่อให้ได้ตะกอนที่เหมาะสม สารที่ทำให้ตกตะกอนที่ใช้กันอยู่มีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ อย่างไรก็ตามก็ไม่ได้หมายความว่าตะกอนที่ไม่ละลายในสารละลายเลยจะไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แบบแกรวิเมตริก สิ่งสำคัญคือ ต้องพิจารณาหาคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดทั้งของตะกอนและระบบ ที่จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด

คุณสมบัติเหล่านี้เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วย การแยกสารออกมาในรูปตะกอน แล้วชั่งน้ำหนัก มีรายละเอียดดังนี้

- 1) เตรียมสารตัวอย่าง รวมถึงการชั่งและละลายสารตัวอย่างให้อยู่ในรูปสารละลาย
- 2) ทำการตกตะกอน แยกเอาสารที่ต้องการวิเคราะห์ออกมาจากสารตัวอย่าง
- 3) กรองและล้างตะกอน
- 4) ทำให้ตะกอนแห้ง หรือ เผาตะกอน
- 5) ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ แล้วคำนวณหาผลการวิเคราะห์

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ดังกล่าว ทำให้สามารถพิจารณาหาคุณสมบัติของตะกอนและระบบที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หึ่งปริมาณแบบตกตะกอนได้ดังนี้

1. ความสามารถในการละลาย (Solubility) จะต้องมามีค่าต่ำคือ ตะกอนต้องไม่ละลายในสารละลาย เพื่อให้เกิดการตกตะกอนสมบูรณ์และไม่เกิดการสูญเสียขณะกรองและล้างตะกอน โดยเฉพาะหากสารที่ต้องการวิเคราะห์มีปริมาณน้อยมากในสารตัวอย่างและต้องการผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องสูงจะต้องระมัดระวัง ค่าความสามารถในการละลายให้มีค่าต่ำสุดในทางปฏิบัติ นั้นยินยอมให้มีสารที่ต้องการวิเคราะห์เหลือค้างอยู่ในสารละลายได้น้อยที่สุด คือ ไม่มากกว่า 0.1 มิลลิกรัม

2. ความบริสุทธิ์ของตะกอน (Purity) จะต้องมามีค่าสูง ปราศจากสิ่งปลอมปนต่างๆ ถ้ามีสิ่งปลอมปนกับตะกอน ก็ต้องสามารถขจัดออกได้หมดในขั้นตอนการล้างตะกอนหลังการกรองหรืออบตะกอนหลังการล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความยากง่ายในการกรองตะกอน (Filterability) คือการแยกตะกอนออกจากสารละลายด้วยการกรองควรทำได้ง่ายและรวดเร็ว ตะกอนจะต้องมีอนุภาคที่ใหญ่ หากอนุภาคมีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้กรองยุ่งยาก ขนาดอนุภาคนี้นี้จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะเมื่อทำการล้างตะกอน ดังนั้นจึงควรเลือกให้สารล้างตะกอนที่ไม่มีผลต่อการละลายของตะกอน

4. องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ของตะกอนจะต้องถูกต้องแน่นอนหรือต้องสามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบแน่นอนได้โดยการเผาหรือวิธีการทางเคมีง่ายๆ เช่น การระเหยด้วยของเหลวที่เหมาะสม เช่น การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กและแมกนีเซียมในสารตัวอย่างทำได้โดยการให้ตกตะกอนในรูปของแอมโมเนียมแมกนีเซียมฟอสเฟต ($Mg(NH_4)PO_4 \cdot xH_2O$) จากนั้นให้เผาตะกอนในรูปของไพโรฟอสเฟต ($Mg_2P_2O_7$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีองค์ประกอบที่แน่นอนเพราะในทางปฏิบัติตะกอนที่ต้องการวิเคราะห์ควรเป็นตะกอนที่ปราศจากน้ำและไม่ทำปฏิกิริยาที่บรรยากาศ

5. คุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความเสถียรของตะกอน การไม่ดูดความชื้น หรือไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศ การเป็นตะกอนหนักคือมีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งมีผลทำให้ตะกอนรวมตัวกันได้ดี ทำให้ชั่งหาน้ำหนักได้แน่นอน เป็นต้น

ปัญหา คือ หากตะกอนเป็นอนุภาคขนาดเล็ก กระจายอยู่ทั่วไปในสารละลาย ในสภาพที่เรียกว่า คอลลอยด์ (Colloid) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เหล่านี้จับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ตกตะกอนออกมาจากสารละลายแล้วกรองได้ดี นอกจากนั้น การล้างตะกอนด้วยของเหลวหรือสารละลายบางชนิดก็เป็นปัญหาสำคัญเพราะจะต้องเลือกใช้ให้ถูกไม่ให้เกิดการละลายของตะกอนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงควรศึกษาเรื่องคอลลอยด์ให้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้นการตกตะกอนที่เหมาะสม ควรจะคำนึงถึง

1. การเลือกใช้สารทำให้ตกตะกอน ควรเลือกใช้ให้เกิดจำเพาะเจาะจงเฉพาะกับสารที่ต้องการวิเคราะห์เท่านั้น ไม่ควรมีตะกอนของสารอื่น ในสารตัวอย่างเกิดร่วมด้วย
2. การจัดสถานะการวิเคราะห์ขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ได้ตะกอนที่เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ มีความบริสุทธิ์สูง

2.5 การตกตะกอนโลหะปรอท (ยูฟา, 2545)

เป็นวิธีกำจัดโลหะในน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย หลักการ คือ เติมสารเคมีที่สามารถรวมกับโลหะหนัก แล้วเกิดเกลือที่ละลายน้ำได้ไม่ดี ทำให้อิออนรวมกันกลายเป็นของแข็งและแยกตัวออกมาจากน้ำเสีย

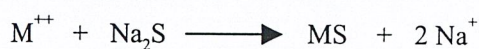
ปรอทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ ส่วนมากจะมีปรอทปนเปื้อนอยู่ด้วย วิธีการกำจัดที่ให้ผลดี คือ การตกตะกอนซัลไฟด์ เนื่องจากมีค่าผลคูณการละลาย (K_{sp}) ต่ำมาก นอกจากนี้อาจตกตะกอนในรูปของปรอทไฮดรอกไซด์ และยังวิธีอื่นที่ใช้ในการกำจัดปรอทอีก ได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุและการดูดซับ

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า K_{sp} ของเกลือปรอทที่ละลายน้ำได้น้อย

สารประกอบ	สูตร	ค่า K_{sp}
เมอร์คิวรี (I) คลอไรด์	$HgCl_2$	1.1×10^{-18}
เมอร์คิวรี (I) ซัลไฟด์	Hg_2S	1×10^{-47}
เมอร์คิวรี (II) ซัลไฟด์	HgS	3×10^{-52}
เมอร์คิวรี (II) คาร์บอเนต	$HgCO_3$	7.9×10^{-7}
เมอร์คิวรี (II) ไฮดรอกไซด์	$Hg(OH)_2$	2×10^{-24}

2.5.1 การตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

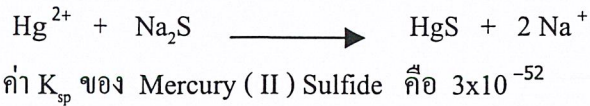
เป็นการตกตะกอนที่มีประโยชน์มาก เป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกจากการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ แสดงในรูปที่ 2.2 โลหะซัลไฟด์มีความสามารถในการละลายต่ำกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ ดังตารางที่ 2.3 โลหะซัลไฟด์ไม่มีคุณสมบัติแอมโฟเทอริก โดยกระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการรวมอิออนโลหะหนักด้วยซัลไฟด์อิออน สมการแสดงปฏิกิริยาของโลหะหมู่ 2 กับ Na_2S ดังนี้ คือ



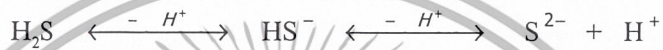
สารประกอบซัลไฟด์ของโลหะหลายชนิดมีค่า K_{sp} ต่ำ โดยเฉพาะปรอทจึงสามารถบำบัดน้ำเสียให้มีระดับความเข้มข้นของโลหะต่ำลงได้มาก สารเคมีที่ใช้ตกตะกอน ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Na₂S) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งละลายน้ำได้น้อย ปฏิกริยาเป็นดังนี้

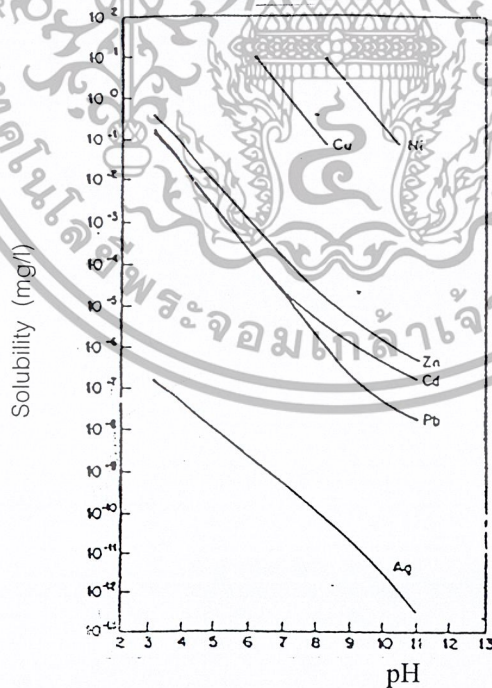


ในการตกตะกอนอาจเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) จึงควรทำการบำบัดที่ pH มากกว่า 8 เพื่อให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์ไอออนหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนซึ่งไม่มีกลิ่น ดังสมการ



ตะกอนโลหะซัลไฟด์ทั่วไป เป็นตะกอนละเอียดแขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย การแยกออกจากน้ำเสียอาจต้องใช้สารสร้างตะกอนรวม (Coagulant) นอกจากนี้ปริมาณซัลไฟด์ไอออนในน้ำที่ผ่านการกำจัดโลหะแล้วอาจมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง

แหล่งของซัลไฟด์ที่ใช้คือ โซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S) หรือ โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งละลายได้เล็กน้อย



รูปที่ 2.2 แสดงความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ (Freeman , 1989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์เทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ (Talbot, 1984)

ไอออนโลหะหนัก	ความสามารถในการละลาย (mg/l)	
	โลหะไฮดรอกไซด์	โลหะซัลไฟด์
Cadmium (Cd ⁺⁺)	2.3x10 ⁻⁵	6.7x10 ⁻¹⁰
Chromium (Cr ⁺⁺⁺)	8.4x10 ⁻⁴	ไม่ตกตะกอน
Cobalt (Co ⁺⁺)	2.2x10 ⁻¹	1.0x10 ⁻⁸
Copper (Cu ⁺⁺)	2.2x10 ⁻²	5.8x10 ⁻¹⁸
Iron (Fe ⁺⁺)	8.9x10 ⁻¹	3.4x10 ⁻⁵
Lead (Pb ⁺⁺)	2.1	3.8x10 ⁻⁹
Manganese (Mn ⁺⁺)	1.2	2.1x10 ⁻³
Mercury (Hg ⁺⁺)	3.9x10 ⁻⁴	9.0x10 ⁻²⁰
Nickel (Ni ⁺⁺)	6.9x10 ⁻³	6.9x10 ⁻⁸
Silver (Ag ⁺)	13.3	7.4x10 ⁻¹²
Tin (Sn ⁺⁺)	1.1x10 ⁻⁴	3.8x10 ⁻⁸
Zinc (Zn ⁺⁺)	1.1	2.3x10 ⁻⁷

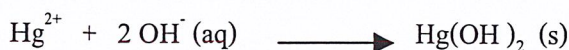
2.5.2 การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation)

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์จะใช้ตัวตกตะกอนโดยเอาโลหะหนักออกจากน้ำในรูปโลหะไฮดรอกไซด์ โดยมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นตามสมการ



ทำได้โดยการเติมสารละลายที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์ลงไปในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักปรอทเพื่อให้เกิดการตกตะกอน โดยสารที่นิยมใช้มากที่สุดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂), แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)₂) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะให้ไอออนลบ คือ ไฮดรอกไซด์ (OH⁻) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



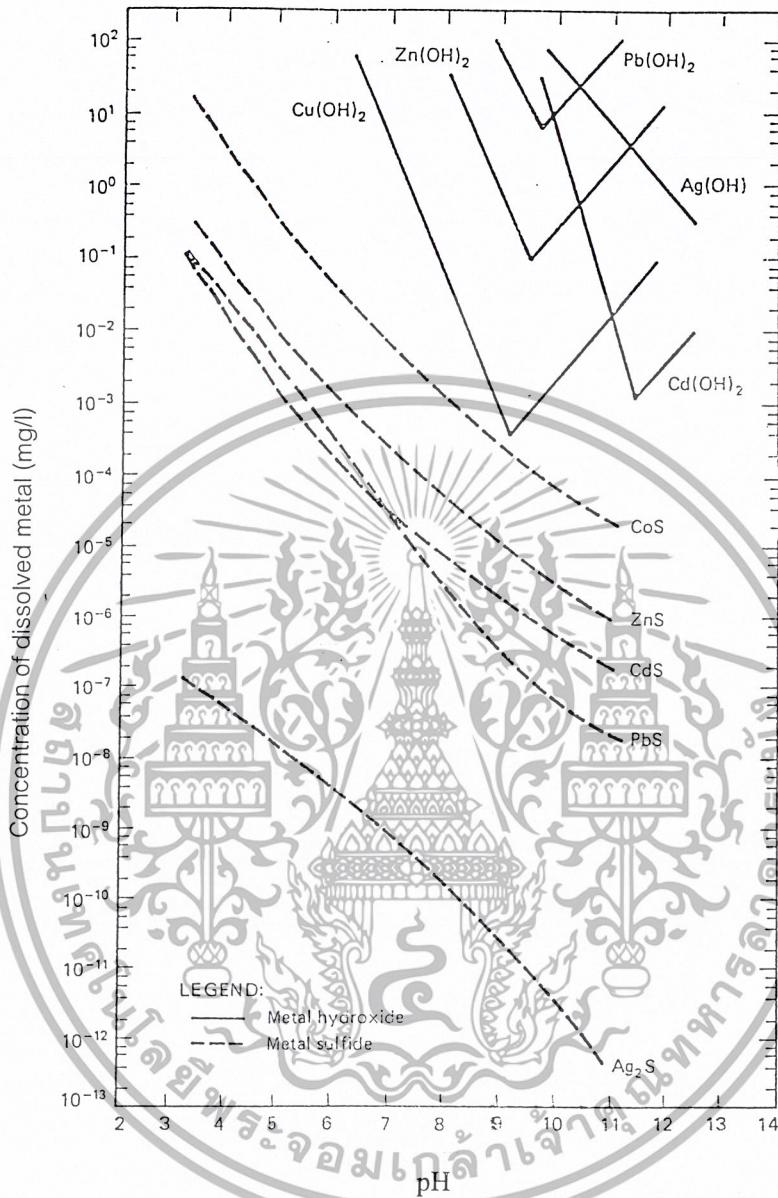
ค่า K_{sp} ของ Mercury Hydroxide ($\text{Hg}(\text{OH})_2$) คือ 2×10^{-24}

ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ผ่านการกำจัดจะมีค่าเท่าใดในการตกตะกอนไฮดรอกไซด์จะขึ้นอยู่กับ

- ปริมาณโลหะที่มีอยู่ในน้ำ
- ชนิดของสารตกตะกอนที่ใช้
- สภาพที่เกิดปฏิกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าพีเอช
- สารอื่นๆที่มีอยู่และค่าที่ยับยั้งการตกตะกอน

ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกโดยการเติมสารที่เป็นด่าง เช่น โซดาไฟหรือปูนขาว เพื่อปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้ถึงจุดที่โลหะมีความสามารถในการละลายต่ำสุด โดยทั่วไปความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ในสารละลายจะลดลงเมื่อปรับพีเอชเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีประจุสุทธิเป็นศูนย์ซึ่งเรียกว่าไอโซอิเล็กตริก (Isoelectric point) หลังจากนั้นโลหะจะกลับมาละลายได้อีกเพราะกลายเป็นแอมโฟเทอริก (Amphoteric) อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายได้ต่ำสุดทางทฤษฎีจะแตกต่างอย่างมากกับทางปฏิบัติเพราะอิทธิพลของสารประกอบเชิงซ้อน (Complex agents), อุณหภูมิและค่าความแรงของพันธะ (Ionic strength) โลหะที่ตกตะกอนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์แล้วสามารถกำจัดออกได้โดยการรวมตะกอนและปล่อยให้ตกตะกอนหรือกรอง การตกตะกอนจะขึ้นกับค่าความสามารถในการละลาย (K_{sp}) ของโลหะไฮดรอกไซด์ ค่า K_{f} ของโลหะไฮดรอกไซด์และค่า K ของสารประกอบเชิงซ้อน เช่น EDTA, NTA, Citrate, Tartrate, Gluconic acid, Cyanide, Ammonia เป็นต้น ส่วนประสิทธิภาพในการแยกของแข็งและของเหลวในระบบจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด ความหนาแน่นของโลหะไฮดรอกไซด์ เทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายต่ำ และควบคุมได้ง่ายด้วยค่าพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

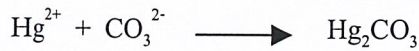


รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์และโลหะไฮดรอกไซด์ที่ค่าพีเอชต่างๆ (USEPA, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การตกตะกอนคาร์บอเนต (Carbonate Precipitation)

การทำให้เกิดการตกตะกอนของปรอทโดยการเติมสารที่มีคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) เช่น โซดาแอช (Na_2CO_3) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับปรอทในน้ำเสีย ดังนี้



ค่า K_{sp} ของ Mercury (II) Carbonate คือ 7.9×10^{-7}

สำหรับโลหะบางตัว เช่น แคดเมียมและตะกั่ว การตกตะกอนคาร์บอเนตทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นโลหะหนักต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของแคดเมียมและตะกั่วที่พีเอช 10 หรือมากกว่ากับการตกตะกอนคาร์บอเนตที่พีเอช 7.5-8.5 การตกตะกอนโลหะใช้โซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอช ดังสมการ



Paterson ; *et al.* (1984) บ่งชี้ว่าคุณภาพน้ำที่ปล่อยออกมาไม่ต่างกับน้ำที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ ในการปรับพีเอชหรือปริมาณตะกอนจะมากกว่าการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ในโลหะสังกะสีและนิกเกิล

2.5.4 การตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride Precipitation)

โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นรีดิวซิงเอเจนท์ สามารถใช้ตกตะกอนโลหะได้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับค่าพีเอช แสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้



กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพสูง ในช่วงพีเอช 8-11 ที่พีเอชต่ำกว่า 8 การใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ปริมาณเพิ่มขึ้น โดยการไฮโดรไลซิสของโบโรไฮไดรด์ ขณะที่พีเอชมากกว่า 11 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง พีเอชที่เหมาะสมถูกกำหนด โดยการทดสอบความสมดุลการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์กับระยะเวลาทำปฏิกิริยาและคุณภาพน้ำที่ปล่อย

การตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดรด์มีประโยชน์ สำหรับการนำกลับโลหะจากน้ำเสียและการเอาตะกั่ว ปรอท นิกเกิล ทองแดง แคดเมียมและโลหะมีค่า เช่น ทอง เงิน แพลตตินัม ออกจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปริมาณตะกอนลดลง 50 % หรือมากกว่า การศึกษาพบว่าสำหรับโซเดียมโบโรไฮไดรด์มีตะกอนน้อยกว่าการตกตะกอนปูนขาว โซเดียมโบโรไฮไดรด์สามารถนำมาช่วยเป็นตัวกระตุ้นหรือสารละลายของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในโซดาไฟ (Freeman , 1989)

ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่างๆ (Talbot,1984)

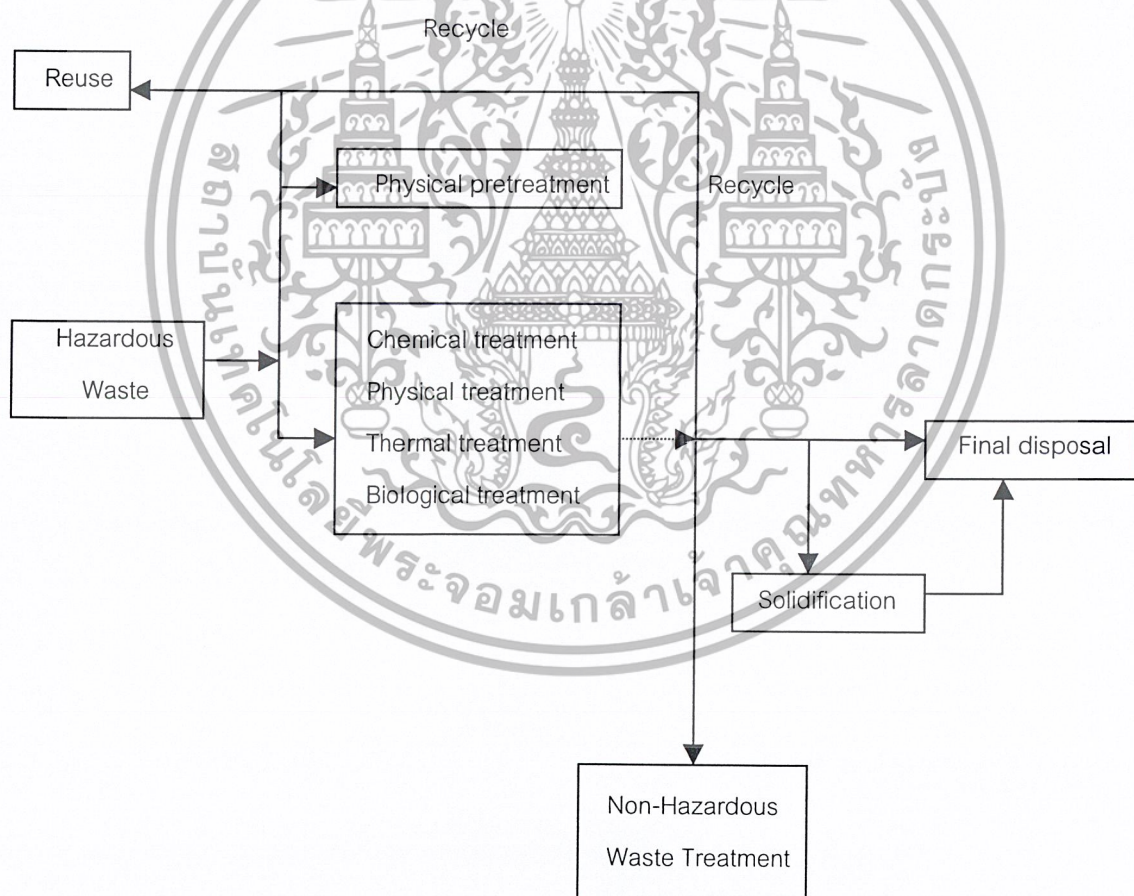
การตกตะกอน	ไฮดรอกไซด์	ซัลไฟด์	คาร์บอเนต	โบโรไฮไดรด์
ข้อดี	1. ราคาถูก	1. โลหะซัลไฟด์มีค่าการละลายน้ำต่ำ 2. ตกตะกอน Cr^{6+} โดยไม่ต้องผ่านการรีดักชัน 3. ตกตะกอนพวก chelating agent ได้ 4. เอน้ำออกจากตะกอน ได้มากกว่าไฮดรอกไซด์	1. เมื่อใช้กับ Cd และ Pb ทำปฏิกิริยาที่ pH ต่ำกว่าไฮดรอกไซด์ 2. สามารถกรองตะกอนได้มากกว่า	1. ใช้กับการนำกลับของโลหะ 2. ตกตะกอนน้อยกว่าไฮดรอกไซด์
ข้อเสีย	1. มีคุณสมบัติกึ่งโลหะไฮดรอกไซด์ละลายกลับได้เมื่อ pH เปลี่ยน 2. เกิดตะกอนมาก 3. ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีพวก chelating agent ได้	1. เกิดแก๊ส H_2S 2. มีไอออนของซัลไฟด์เกิดขึ้น 3. โลหะซัลไฟด์อยู่ในรูปคอลลอยด์	1. ใช้กับโลหะได้ไม่ทุกชนิด 2. เกิดตะกอนมากกว่าไฮดรอกไซด์	1. ใช้ได้กับช่วง pH สั้น คือที่ 8-11 เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การกำจัดของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน (Solidification of Hazardous Waste)

การบำบัดและการกำจัดของเสียอันตราย

ขั้นตอนและกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายประกอบด้วย กระบวนการบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) กระบวนการบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) กระบวนการบำบัดด้วยความร้อน (Thermal Treatment) และกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) รวมถึงการทำให้เป็นก้อน (Solidification) และการกำจัดขั้นสุดท้าย (Final Disposal) แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย (Tsai and Hsu , 1958)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1. กระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์ (Solidification and Stabilization)

กระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์ เป็นวิธีการที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการละลายของสารเคมีที่เป็นของเสียอันตรายและการปนเปื้อนของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมทำให้สารต่างๆ ถูกยึดไว้และไม่สามารถแสดงคุณสมบัติทางเคมีออกมาได้ โดยการทำให้เป็นก้อน คือ กิจกรรมซึ่งทำให้สารที่กระจัดกระจาย ตะกอน หรือองค์ประกอบของสารเหล่านี้ถูกนำมารวมกันเพื่อทำให้เกิดเป็นมวลแข็งตัวเป็นเนื้อเดียวกัน มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้น้อยและมีโครงสร้างที่มั่นคงแข็งแรง โดยกำหนดหลักสำคัญ 4 ข้อ ในการบำบัดของเสียอันตรายดังนี้

1. ปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของของเสียให้เหมาะสมในการเคลื่อนย้ายของเสีย
2. การลดพื้นที่ผิวของของเสียเพื่อป้องกันหรือลดการสูญเสียมลพิษ
3. การจำกัดการละลายของสารมลพิษที่อยู่ในของเสีย
4. การกำจัดสารมลพิษออกจากของเสีย

การทำให้เป็นก้อนเป็นกระบวนการบำบัดของเสียอันตรายเพื่อจำกัดความเป็นพิษของของเสีย โดยทั่วไป ของเสียอันตรายจะถูกยึดติดด้วยกระบวนการทางเคมี หรือทำให้ยึดติดทางกายภาพโดยการผสมสารเคมีบางชนิดลงไป ซึ่งวิธีการทำลายฤทธิ์ดังกล่าวนี้ถูกออกแบบมาเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของของเสียเกี่ยวกับการขนส่ง การเคลื่อนย้าย การลดพื้นที่ผิวของของเสีย และจำกัดการปนเปื้อนของสารมลพิษที่ปล่อยออกมาจากของเสีย

ในระยะแรกนั้นกระบวนการทำให้เป็นก้อน ได้ถูกพัฒนาขึ้น สำหรับของเสียที่เป็นสารกัมมันตภาพรังสีที่ไม่ว่องไว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของของเสียให้สามารถขนย้ายไปยังสถานที่กำจัดได้ และได้มีการเลือกกระบวนการในการบรรจุ วัสดุเก็บของเสียกัมมันตภาพรังสีในระยะยาวที่มีคุณสมบัติแข็งตัวได้ที่ถูกตั้งชื่อว่าจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้ (Thomson, 1979)

1. ลดศักยภาพสำหรับการแผ่รังสี
2. ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้
3. เก็บบรรจุของเสียในรูปที่ไม่สามารถถูกละลายได้

วัสดุที่มีคุณสมบัติตรงตามต้องการดังกล่าวคือ ปูนซีเมนต์ผสม เรซิน แก้ว Bituminous Material และ Urea Formaldehyde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้เป็นก้อนของของเสี้ยอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม จะแตกต่างจากของเสี้ยวที่มีกัมมันตภาพรังสี เนื่องจากของเสี้ยอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีปริมาณมาก มีความเป็นพิษปานกลาง และมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ (Bahadir ;et.al. 1987)

กระบวนการทำให้เป็นก้อนสำหรับโลหะหนักประกอบด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. Cement Based Techniques
2. Lime Based Techniques (Pozzolanic)
3. Thermoplastic Techniques (Bitumen , Parafin and Polyethylene)
4. Organic Polymer
5. Surface Encapsulation
6. Self – Cement Techniques
7. Glassification and Production of Synthetic Minerals or Ceramic

การเลือกวิธีการบำบัดของเสี้ยดังกล่าวควรเลือกให้เหมาะสมกับของเสี้ยประเภทนั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของของเสี้ยและคุณสมบัติเฉพาะของของเสี้ย สำหรับตะกอนโลหะหนักนั้นสามารถจะกำจัดได้ทั้ง 7 วิธี แสดงดังตารางที่ 2.5

เทคนิคการทำให้เป็นก้อนแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ Porus Systems และระบบ Monolithic Systems ซึ่งแตกต่างกันที่ความสามารถทนทานต่อน้ำ ซึ่งวิธีการ Cement Based Techniques และ Lime Based Techniques จัดเป็นระบบ Porus Systems ซึ่งอาจมีการถูกละลายให้สารต่าง ๆ ออกมาได้ โดยวัสดุแข็งตัวที่ใช้เป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ คือ ฝุ่นซีเมนต์จากเตา ซิลิเกตที่สามารถละลายน้ำ ถ้ำลอย จี้โลหะจากเตาหลอม ปูนขาว Bituminus Asphalt และสารพอลิเมอร์ ส่วนระบบ Monolithic Systems จะสามารถป้องกันการซึมแพร่ของน้ำได้

ตารางที่ 2.5 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน (Rijal, 1990)

กระบวนการทำให้เป็นก้อน (Solidification)	รายละเอียด
1. Cement Based Techniques	ของเสียจะถูกผสมลงในซีเมนต์ น้ำและส่วนผสมอื่น ๆ และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์
2. Lime Based Techniques (Pozzolanic)	ของเสียจะถูกผสมกับปูนขาวและวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็น โปซโซลาน เช่น เถ้าลอย ผงซีเมนต์ที่เตาเผา เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำ นำมาผสมน้ำแล้วปล่อยให้แห้งตัว
3. Thermoplastic Techniques (Bitumen , Parafin and Polyethylene)	นำของเสียมาทำให้แห้ง โดยให้ความร้อนแล้วผสมให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกที่ร้อน เช่น Bitumen Parafin หรือ Polyethylene ปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัวและแข็งตัว
4. Organic Polymer	ของเสียในชั้นแรกจะถูกผสมกับสารพอลิเมอร์ (Gelling Agents Urea Formaldehyde) และเติมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมให้เข้ากันก่อนที่สารพอลิเมอร์จะแข็งตัว
5. Surface Encapsulation	ของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวกันแน่นแล้วเคลือบผิวภายนอกของของเสียที่ถูกบดอัดด้วยสารเหนียว เช่น polyethylene หรือ organic resins
6. Self – Cement Techniques	สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลไฟต์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมได้แก่ การกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถนำมาใช้ผสมกับตะกอนของเสียเพื่อให้แข็งตัว โดยวัสดุที่ได้จะมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและสามารถให้น้ำซึมผ่านได้น้อย
7. Glassification and Production of Synthetic Minerals or Ceramics	สารที่เป็นอันตรายมาก เช่น กากสารกัมมันตภาพรังสี สามารถจะนำมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้กลายเป็นส่วนผสมของแก้วหรือ Synthetic Silicate Mineral เพื่อป้องกันไม่ให้สารอันตรายนี้ถูกชะละลายด้วยน้ำ สามารถนำไปกำจัดต่อไปโดยไม่ต้องมีขบวนการหุ้มหรือบรรจุเป็นครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกระบวนการทำให้เป็นก้อนทั้ง 7 วิธีมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการและข้อดีข้อเสียของการกำจัดของเสียโดยวิธีทำให้เป็นก้อน (Shukow ;et.al. 1982)

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
1. Cement Based Techniques	Chemical Fixation/Solidification	แบบแห้งหรือเปียก(โดยทั่วไปเหมาะกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์)	-วัสดุที่ใช้มีราคาถูก -มีความทนทานต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงทางเคมี -กำจัดของเสียจำพวกโลหะหนักได้ดี -เป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอย่างดีแล้ว -วัสดุที่ใช้ผสมมีราคาถูก	-ของเสียที่เป็นสารอินทรีย์บางชนิดจะทำลายการแข็งตัวของซีเมนต์ -ซีเมนต์และของเสียที่แข็งตัวแล้วถูกชะล้างได้ในสถานะที่มีค่า pH ต่ำ -เพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสียและเพิ่มค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการฝังกลบ
2. Lime Based Techniques	Chemical Fixation/Solidification	แบบแห้งหรือเปียก (โดยทั่วไปเหมาะกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์)	-เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างดีแล้ว -การใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสม เป็นการกำจัดของเสีย 2 ชนิดโดยขบวนการเดียว	-เหมือนกับกระบวนการประเภท Cement Based

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการและข้อดีข้อเสียของการกำจัดของเสียโดยวิธีทำให้เป็นก้อน (Shukow ;et.al. 1982) (ต่อ)

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
3. Thermoplastic Techniques	Physical Fixation	แบบแห้ง (เหมาะสำหรับสารอินทรีย์)	-สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีได้ดี -สารละลายที่ชะล้างมีผลต่อผลิตภัณฑ์น้อยมาก	-ต้องการเครื่องมือที่มีราคาแพงและแรงงานที่มีความชำนาญ -ของเสียชนิดเปียกจะลดประสิทธิภาพของกระบวนการ -ไม่สามารถใช้กำจัดสารพวก Strong Oxidant , Dehydrated Salts
4. Organic Polymer	Physical Fixation	แบบแห้งหรือเปียก (สารอินทรีย์ที่เป็นพิษ)	-ใช้สารปริมาณน้อยในการทำให้เกิด Polymer's matrix -ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง -ผลิตภัณฑ์ที่ได้ป้องกันน้ำได้ดี	-ของเสียจะถูกยึดไว้ในพอลิเมอร์อย่างหลวม ๆ -สารที่มีค่า pH ต่ำ จะทำให้โลหะละลายออกมาได้มากขึ้น -การย่อยสลายทางชีวภาพของสารพอลิเมอร์บางชนิดทำให้เกิดปัญหาในการฝังกลบ
5. Surface Encapsulation	Chemical Containment	แบบแห้งหรือแบบเปียก	-ไม่มีการชะล้างของเสียออกมาเมื่อสารที่ห่อหุ้มอยู่ไม่ถูกทำลาย -ค่าใช้จ่ายในรอบการทำงานต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ	-การชะล้างของเสียจะเกิดขึ้นหากสารที่หุ้มถูกทำลาย -ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่ต้องกำจัดของเสียจำนวนมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการและข้อดีข้อเสียของการกำจัดของเสียโดยวิธีทำให้เป็นก้อน (Shukow ; et.al. 1982) (ต่อ)

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
6. Self – Cement Techniques	Chemical Fixation	แบบแห้งหรือเปียก	-กระบวนการนี้ต้องการสารเติมในส่วนผสมซีเมนต์ ซึ่งจะช่วยให้ซีเมนต์แข็งตัวเร็วมาก	-สารอินทรีย์บางชนิดจะทำลายการแข็งตัวของซีเมนต์ -ส่วนผสมของซีเมนต์และของเสียที่ไม่ได้มีการห่อหุ้มสามารถถูกย่อยสลายและถูกชะล้างได้ภายใต้สถานะที่มีค่า pH ต่ำ
7. Glassification and Production of Synthetic Minerals or Ceramics	Physical Fixation	แบบแห้ง	-ของเสียที่ถูกหลอมด้วยแก้วจะถูกชะล้างออกมาได้น้อยมาก -การบรรจุหรือห่อหุ้มอยู่ในแกนซีดี -ใช้วัสดุที่มีราคาถูก	-อุณหภูมิสูงอาจทำให้ของเสียอื่นระเหยออกมา -ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากสำหรับการให้ความร้อนอุปกรณ์ และต้องการผู้ชำนาญงานเฉพาะ -ค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียทุกชนิดสูงมาก ยกเว้นสารกัมมันตภาพรังสีและสารที่มีพิษมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ (Cement Based Technique)

กระบวนการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ ประกอบด้วยการผสมของเสี้ยวปูนซีเมนต์ และสารอื่นที่เติมลงไปได้แก่ เถ้าลอย ซิลิกาเกต ซัลไฟด์ ฯลฯ โลหะหนักหลายชนิดในของเสี้ยวจะถูกเปลี่ยนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ และโลหะซิลิเกตซึ่งไม่ละลายน้ำ ในสภาพแวดล้อมซึ่งมีความเป็นด่างสูงมากในปูนซีเมนต์และจะถูกจับไว้ให้อยู่ภายในรูพรุนของส่วนผสมปูนซีเมนต์ (Bishop,1988) สรุปรูปข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดี

1. สารที่เติมในส่วนผสมมีเพียงพอสำหรับอัตราส่วนที่ใช้
2. เทคนิคการผสมปูนซีเมนต์และการกำจัด ได้มีการพัฒนามาอย่างดีแล้ว
3. วิธีการนี้จะสามารถทนต่อสารเคมีได้หลายชนิดในตะกอนของแข็ง ได้เป็นอย่างดี
4. เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการมีอยู่แล้ว
5. ความแข็งแรงและความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแข็งตัวสามารถปรับได้ โดยการควบคุมปริมาณปูนซีเมนต์ที่เติมลงในของเสี้ยว
6. วัสดุที่ใช้มีราคาถูก

ข้อเสีย

1. ไม่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์บางชนิดซึ่งจะทำลายกลไกการแข็งตัวของซีเมนต์
2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถถูกชะละลายได้ในสภาวะที่เป็นกรด
3. การเพิ่มน้ำหนักของของเสี้ยวโดยการหล่อตัวด้วยซีเมนต์ จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพื่อนำของเสี้ยวไปกำจัดเพิ่มมากขึ้น

2.6.3 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ (Cement) หมายถึง วัสดุยึดเกาะที่สามารถเกิดพันธะกับชิ้นส่วนหรืออนุภาคของสารที่เป็นของแข็งในสัดส่วนที่เหมาะสม (Soroka, 1979) การให้คำจำกัดความนี้เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางของวัสดุหลายชนิด แต่วัตถุประสงค์ในเชิงวิศวกรรมและการก่อสร้างต้องการปูนซีเมนต์ที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcareous Cement) หรือปูนขาวเป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งโดยทั่วไปปูนซีเมนต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปูนซีเมนต์ที่ไม่สามารถก่อตัวหรือแข็งตัวในน้ำหรือไม่เสถียรในน้ำเรียกว่า Non-Hydraulic Cement
2. ปูนซีเมนต์ที่สามารถก่อตัวหรือแข็งตัวในน้ำและให้ผลิตภัณฑ์ของแข็ง ซึ่งเสถียรในน้ำ เรียกว่า Hydraulic Cement

เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการวิจัยนี้เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) โดยปูนซีเมนต์ที่เลือกใช้คือ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland Cement) คือ วัสดุซีเมนต์ซึ่งได้มาจากการผสมกันระหว่างสารที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตหรือวัสดุปูนขาวทนทานอื่นๆ เข้ากับสารที่ประกอบด้วยดินเหนียว (Argillaceous) และ/หรือ วัสดุอื่น ๆ เช่น ซิลิกา อะลูมินา หรือ เหล็กออกไซด์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นไปตามต้องการ จากนั้นทำการเผาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและรวมตัวกันเป็นสารประกอบ ได้ปูนซีเมนต์หรือปูนเม็ด (Clinker) แล้วจึงลดอุณหภูมิให้เหมาะสม (Clinker Temperature) โดยการตั้งทิ้งไว้หรือใช้เครื่องทำให้เย็น (Clinker Cooler) จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด (Grinding) ให้สามารถผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 200 ได้หมด

2.6.3.1 ประเภทของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

จำนวนเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบพื้นฐานแต่ละชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการผลิต ทำให้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์มีลักษณะแตกต่างกันแบ่งได้ 5 ประเภทดังนี้

1. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement)
2. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement)
3. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งแรงเร็ว (High – Early Strength Portland Cement)
4. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Low – Heat Portland Cement)
5. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate – Resistant Portland Cement)

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) หรือบางครั้งเรียกว่า ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์มาตรฐาน (Standard Portland Cement) เนื่องจากปูนซีเมนต์ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานเพื่อจะได้ทราบถึงความแตกต่างของปูนซีเมนต์อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นภายหลัง โดยปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานทั่วไปที่ไม่ต้องการความพิเศษ ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคเศียรเดียว ตราเพชร ตราพญานาค 7 เศียร และตราปลาฉลาม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.2 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา

ปูนซีเมนต์ที่ผลิตเสร็จแล้วจะต้องมีคุณภาพสม่ำเสมอและเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา ดังตารางที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.7 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (วินิต, 2529 ; พิภพ, 2532)

คุณสมบัติทางเคมี	มาตรฐาน	ตราเพชร*
ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂) สูงสุด (%)	5.00	21.25
ปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃) สูงสุด (%)		5.77
ปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) สูงสุด (%)	2.50	3.13
ปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) สูงสุด (%)	3.00	1.08
ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃) สูงสุด (%)	3.00	
- มี 3CaO.Al ₂ O ₃ 8% หรือน้อยกว่า	0.75	-
- มี 3CaO.Al ₂ O ₃ มากกว่า 8%		2.36
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition) สูงสุด (%)		0.71
กากที่ไม่ละลายในด่าง (Insoluble Residue) สูงสุด (%)		0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (วินิต ,2529 ; พิภพ , 2532)

คุณสมบัติทางกายภาพ	มาตรฐาน	ตราเพชร*
1. ความละเอียด (Fineness) พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface) ตร.ชม./ก. (เลือกวิธีทดสอบได้)		
1.1 ทดสอบด้วยเทอร์บิดิเมเตอร์ (Turbidimeter Test , Wagner)		
- ค่าเฉลี่ยต่ำสุด ตร.ชม./ก.	1,600	3,000
- ค่าเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่ง ตร.ชม./ก.	1,500	2,800
1.2 ทดสอบด้วยแอร์เพอมีอะบิลิตี (Air Permeability Test, Blaine)		
- ค่าเฉลี่ยต่ำสุด ตร.ชม./ก.	2,800	-
- ค่าเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่ง ตร.ชม./ก.	2,600	-
2. ความอยู่ตัว (Soundness) การขยายตัวโดยวิธีออโตคลีฟ (Autoclave Expansion) สูงสุด (%)	0.80	0.10
3. ระยะเวลาก่อตัว (Time of Setting) (เลือกวิธีทดสอบได้)		
3.1 ทดสอบแบบกิลโมร์ (Gillmore Test)		
- การก่อตัวระยะต้น (Initial Test) ไม่น้อยกว่า (นาทีก)	60	
- การก่อตัวระยะปลาย (Final Test) ไม่มากกว่า (นาทีก)	10	
3.2 ทดสอบแบบไวแคต (Vicat Test)		
- การเริ่มก่อตัว ไม่น้อยกว่า (นาทีก)	45	120
4. ปริมาณอากาศในมอร์ต้า (Air Content of Mortar) เมื่อเตรียมและทดสอบตามวิธีมาตรฐาน โดยปริมาตรสูงสุดไม่มากกว่า (%)		
5. กำลังรับแรงอัด(Compressive Strength)	12	
กำลังรับแรงอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้า(Mortar Cube)ซึ่งประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน และทรายมาตรฐานที่ร่อนได้ขนาด (Graded Standard Sand) 2.75 ส่วน โดยน้ำหนัก เตรียมและทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ต้องเท่ากับหรือมากกว่าค่าที่กำหนดตามเกณฑ์ข้างล่างนี้		
1 วันในอากาศชื้น 2 วันในน้ำ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)		
1 วันในอากาศชื้น 6 วันในน้ำ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	85	170
1 วันในอากาศชื้น 27 วันในน้ำ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	150	250
6. การก่อตัวผิดปกติ (False Set) ระยะจมสุดท้าย (Final Peretration) สูงสุด (%)	245	360
	50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.3 ปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ

การเติมน้ำในปูนซีเมนต์ผงจะทำให้เกิดปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ส่วนผสมในช่วงนี้ว่า ซีเมนต์ Paste ซึ่งในช่วงเวลา 2 – 3 นาที หลังจากเติมน้ำจะเกิดผลึกคล้ายเข็มของแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตไฮดรต โดยจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เรียกการทำให้ซีเมนต์ Paste แข็งตัว (Stiffening) นี้ว่า การคกตัว (Setting) และเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 2 – 3 ชั่วโมง จะเริ่มเกิดผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์ขนาดใหญ่ และแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต (C – S – H) ขนาดเล็ก โดยมีน้ำกระจายเข้าไปในโครงผลึกและรอบ ๆ เรียกว่า การยึด (Hardening) แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ Paste จะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการยึด



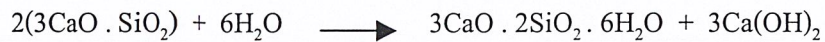
รูปที่ 2.5 แสดงปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในซีเมนต์ (Saroka, 1979)

โดยปฏิกริยาทางเคมีระหว่างซีเมนต์กับน้ำที่เกิดขึ้น เรียกว่า ไฮเดรชัน (Hydration) ยังผลให้เกิดความเหนียวแน่นและเกาะแน่นกับวัสดุผสม ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยา เรียกว่า Heat of Hydration วัตถุประสงค์ต่อกรรมของปูนซีเมนต์ ซึ่งบางส่วนจะหนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนจะยังคงอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูงจะทำให้คอนกรีตเสียความแข็งแรงและเกิดหน่วยแรงต่างๆ ภายในเนื้อคอนกรีต เป็นผลให้คอนกรีตแตกร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C₃S)



2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (C₂S)



3) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C₂A)



4) ไตรแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C₄AF)



จากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ จะก่อให้เกิดสภาพต่างในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีความสามารถในการทำให้ซีเมนต์เป็นกลางโดยการตกตะกอนแคลเซียมซิลิเกตที่ไม่ละลายในรูปของแม่พิมพ์ซีเมนต์ เมื่อความเข้มข้นแคลเซียมมากกว่า 100 มก./ล. และพีเอชมากกว่า 11 ซึ่งซีเมนต์ Paste ที่มีความเป็นด่างสูงด้วยผิวซิลิกาและออกซีไฮดรอกไซด์สามารถพบได้ในสิ่งแวดล้อม สำหรับการตกตะกอนโลหะที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือด่าง และปฏิกิริยาการดูดซับ (Adsorption) เชิงซ้อน พบว่าโลหะหนักจะถูกดูดซับบนผิวซิลิกาและเหล็กออกซีไฮดรอกไซด์ โดยแคลเซียมซิลิเกตมีความสามารถในการดูดซับโลหะสูง แต่ซีเมนต์ Paste อาจไม่ก่อตัวเป็นสารประกอบเนื่องจากการไม่ละลายของปูนขาวและอลูมินาบางส่วน ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ กับน้ำในธรรมชาติ แต่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกับสารละลายกรด กลไกคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของแร่ที่มีความเข้มข้นของซิลิกาอยู่มากในสิ่งแวดล้อมในวัสดุที่เป็นซีเมนต์อื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน คือ เกิดปฏิกิริยาล้าลึงกัน แต่จะมีความแตกต่างในส่วนประกอบ ทำให้ Stoichiometry ของผลิตภัณฑ์มีหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำหนีออกจากซีเมนต์ Paste หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มตัวจึงเป็นวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีตที่สำคัญ เวลาที่ใช้เพื่อให้การทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำเป็นไปอย่างสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสมชนิดของปูนซีเมนต์ ความละเอียดของปูนซีเมนต์ และอุณหภูมิโดยรอบ แต่ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหนัก จะขึ้นอยู่กับทำให้ น้ำจากภายนอกด้วย

จากการศึกษาของ พัตรยศและ โภคิน (2542) พบว่าระยะเวลาบ่มตัวมีผลต่อ โครงสร้างการแข็งตัวของซีเมนต์ เพราะเมื่อเพิ่มระยะเวลาบ่มตัวก่อนซีเมนต์จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.6.3.4 ช่องว่างของซีเมนต์ Paste

ซีเมนต์ Paste ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจะประกอบด้วยน้ำ รูพรุน ซึ่งสามารถแยกได้เป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจนคือรูพรุนเจล (Gel Pores) และรูพรุนขนาดเล็ก (Capillary Pores) แสดงดังรูปที่ 2.6 โดยรูพรุนเจลเกิดขึ้นในรูปของอนุภาคนาโนคอลลอยด์ มีลักษณะเป็นรูพรุนประมาณ 28% ของปริมาณน้ำเริ่มต้น ส่วนปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนเจล จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เริ่มต้น และระดับของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับซีเมนต์



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของซีเมนต์ Paste (Saroka, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อน

ในการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อนนั้น ก้อนของเสียจะได้รับการปรับปรุงให้มีโครงสร้างที่แข็งแรงและมั่นคง ช่วยลดพื้นที่ผิวและเป็นการจำกัดการละลายของสารที่เป็นอันตราย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานสำหรับการปฏิบัติงานในการบำบัดของเสีย โดยกำหนดให้มีการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength), ค่าการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) และค่าการชะละลาย (Leachability) แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยวิธี Sealosafe (Sollars and Perry, 1989)

Characteristic	Requirement	Comparative values
Permeability (28 days)	$\geq 1 * 10^{-7}$ m/s	Sand : $1 * 10^{-4}$ - $5 * 10^{-5}$ m/s Silt : $1 * 10^{-6}$ - $1 * 10^{-7}$ m/s Concrete : $1 * 10^{-8}$ m/s
Compressive strength (28 day)	≤ 0.34 MN/m ²	Concrete : 30 MN/m ² Mortar : 20 MN/m ² Grouts : 0.5 - 4 MN/m ²
Leachate Quality **	pH 8-11 COD < 280 g/m ³ Total CN < 1 g/m ³ Total Sulphide < 5 g/m ³ Total Phenol < 5 g/m ³ NH ₃ < 40 g/m ³ Toxic heavy metals : Zn < 10 g/m ³ , Hg < 0.5 g/m ³ ; Others (inc. Cd , Cr , Cu , Ni , Pb , V, Ba, Co, Mb, Sn, As, Se, Sb) : < 5 g/m ³ total pesticides < 0.1 g/m ³	n.a. n.a. n.a. n.a. n.a. n.a. n.a.

จากตารางเมื่อบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อนแล้ว จะต้องมีค่าการซึมผ่านของน้ำ ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าการชะละลายผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 การทดสอบกำลังแรงอัดของซีเมนต์ (Compressive Strength)

กำลังอัดของคอนกรีต

สมบัติของคอนกรีตที่ยังอยู่ในสภาพเหลวมีความสำคัญในขณะก่อสร้างเท่านั้น แต่สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งในทางปฏิบัติสมบัติของคอนกรีตทั้งสองลักษณะจะมีผลต่อกันและกัน การที่จะให้ได้สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วดี จะต้องมาจากการเลือกสัดส่วนผสมเพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว มีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งาน

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1) กำลังมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยขึ้นกับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) และ Degree of Hydration ซึ่งอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง

การเปลี่ยนแปลงสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดและ ปริมาณ กำลังลักษณะผิวขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่างๆ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก

2) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม

แรงยึดเหนี่ยวขึ้นกับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวมและลักษณะทางเคมี คือ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่างๆ นอกจากนี้ทิศทางการหล่อและทิศทางการให้น้ำหนักก็มีผลต่อกำลังแรงอัดเช่นกัน เนื่องจากจะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้าต่ำลง

3) กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

สำหรับกำลังของมอร์ต้าที่กำหนดความสามารถต้านแรงคอนกรีตจะขึ้นกับกำลังของหิน และแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า ซึ่งเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในหินขนาดใหญ่จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้าลดลง เนื่องจากเกิดน้ำในหินได้มากขึ้น และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลาง ขนาดของมวลรวมจะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง รวมทั้งการเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมก็ทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นด้วย

2.7.2 การทดสอบการชะละลาย (Leaching Tests)

การทดสอบการชะละลาย แบ่งออกได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์คุณภาพของสารที่ต้องการทดสอบ โดยใช้ปริมาณสารตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวอย่าง และเครื่องมือที่ใช้แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.10 สรุปและเปรียบเทียบวิธีการทดสอบการชะละลายแบบต่างๆ

ตารางที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบการชะละลาย (Extraction Test Procedures) (Perker and Webster, 1981)

การทดสอบการชะละลาย	Standard Leaching Test	(U.S.EPA) Toxicant Extraction Procedure	ASTM Method A	Extraction Procedure
1. ปริมาณตัวอย่างสาร	28.6 กรัมสารตัวอย่าง (ส่วนที่เป็นของแข็ง)	ไม่ระบุน้ำหนักค่าสุด	350 กรัม	น้ำหนักอย่างน้อย 100 กรัม (0.5% ของแข็ง)
2. การเตรียมตัวอย่างสาร	แยกของเหลวโดยใช้ 0.45 μm Pressure Filtration	แยกของเหลวโดยวิธี Centrifugation หรือ Filtration		บดจนมีขนาด 9.5 มม.
3. อัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง	10:1 ถึง 7:1	10:1 (เริ่มต้น 8:1)	4:1	20:1 (เริ่มต้นที่ 16:1)
4. สารที่ใช้ทดสอบการชะละลาย	Buffered Acetic Acid หรือน้ำกลั่น	Acetic Acid หรือ Sodium Hydroxide	ASTM Type IV Water	0.5 N Acetic Acid 4 มก./ล. ของสารตัวอย่าง
5. การควบคุม pH		4.9 – 5.2	ไม่กำหนด	4.8 – 5.2
6. ภาชนะที่ใช้ทดสอบ	ภาชนะปิด	ไม่กำหนด	ขวดปากกว้าง (ปิดฝา)	เครื่องกวนหรือเครื่องมือที่เทียบเท่า
7. วิธีการผสมและระยะเวลาการทดสอบ	Rotating Shaker 24 ชั่วโมง	Mechanical Stirring 24 ชั่วโมง	Reciprocating Shaker 48 ชั่วโมง	เครื่องกวนต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบการชะละลาย (Extraction Test Procedures) (Perker and Webster , 1981) (ต่อ)

การทดสอบ การชะละลาย	Standard Leaching Test	(U.S.EPA) Toxicant Extraction Procedure	ASTM Method A	Extraction Procedure
8. การแยกของ เหลวและของแข็ง	กรองผ่านกระดาษ กรองใยแก้ว ขนาด 0.45 μm	Centrifugation หรือ กรองผ่านกระดาษ กรองขนาด 0.45 μm	กรองผ่าน กระดาษกรอง ขนาด 0.45 μm โดยใช้ เครื่องกรอง แบบความดัน หรือแบบ สุญญากาศ	กรองผ่านกระดาษ กรองขนาด 0.45 μm

วิธีการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ Batch Tests และ Column Tests

- Batch Tests เป็นการทดสอบการชะละลายที่ให้ตัวอย่างสารสัมผัสกับของเหลวที่ใช้ในการชะละลาย (Extracton Solution) ในภาชนะอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ
- Column Tests นั้นจะทำการทดสอบในคอลัมน์ซึ่งบรรจุสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบจนแน่นและป้อนสารที่ใช้ในการทดสอบผ่านคอลัมน์อย่างต่อเนื่อง

ปัจจุบันมีการออกแบบเครื่องมือสำหรับ Batch Tests ซึ่งใช้กับการทดสอบการชะละลายของของเสียก่อนที่จะนำไปกำจัด โดยการฝังกลบ

วิธี Toxicant Extraction Procedure (TEP) เป็นวิธีที่ใช้บังคับ กำหนดโดย U.S.EPA (1980) ต่อมาได้มีการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการเป็นวิธี Extraction Procedure (EP) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ดังนั้นรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศไทย วิธีการทดสอบการชะละลายของของเสียอันตรายที่ผ่านการบำบัดแล้วคือวิธีการสกัด (Extraction Procedure) ซึ่งกำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ.2531) ดังมีรายละเอียดของขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. บดตัวอย่างสิ่งปฏิกูลให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดของสิ่งปฏิกูลระหว่าง 0.5 – 5 มิลลิเมตร
2. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1หนัก 50 กรัม ใส่ในตัวทำละลาย ซึ่งประกอบด้วย น้ำกลั่นผสมกับกรดไฮโดรคลอริก จนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 5.8 – 6.3 ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 10 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างสิ่งปฏิกูล
3. เขย่าบนเครื่องเขย่า (Agitator) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องเขย่า 200 รอบ/นาที ที่ช่วงกว้างของการเขย่า 5 เซนติเมตร
4. กรองสารละลายโดยใช้กระดาษใยแก้วขนาดใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลางของรู 1 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสารมลพิษต่างๆ ตามวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้ง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดวิธีการทำลายสิ่งปฏิกูลและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน มีคุณสมบัติดังนี้

- น้ำซึมผ่านได้ในอัตราต่ำกว่า $1 * 10^{-6}$ ซม./วินาที
- รับแรงอัด (compressive strength) ได้ไม่น้อยกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.04 ตันต่อลูกบาศก์เมตร
- มีลักษณะแข็งคล้ายหิน ไม่ไหม้ไฟ ไม่มีกลิ่น

เมื่อนำมาทดสอบการชะละลายด้วยวิธีการสกัดสาร (Extracton Procedure) และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดแล้ว ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจะมีค่าใดค่าหนึ่งต่อไปนี้

Arsenic	ไม่เกิน	5	มก./ล.
Cadmium	ไม่เกิน	1	มก./ล.
Chromium	ไม่เกิน	5	มก./ล.
Lead	ไม่เกิน	5	มก./ล.
Mercury	ไม่เกิน	0.2	มก./ล.
Nickel	ไม่เกิน	1	มก./ล.
Zinc	ไม่เกิน	1	มก./ล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทำลายฤทธิ์ของกากตะกอนที่มีสารปรอทปนเปื้อน กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2531) ได้กำหนดวิธีการไว้ คือ การนำกากตะกอนผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เกิดเป็นปรอทซัลไฟด์ (HgS) แล้วจึงทำให้เป็นก้อนโดยผสมกับปูนซีเมนต์ หรืออาจจะทำการเติมสารตัวเติม (Additives) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและลดอัตราการซึมของสารพิษ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัตรยศ และโกลิน (2542) ทำการศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก 4 ชนิดโดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ในการศึกษาใช้โลหะหนักไนเตรทและโลหะหนักไนเตรทผสมทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล, สังกะสี, ตะกั่ว และแคดเมียม เพื่อหาสัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม โดยแปรค่าเป็น 0.00, 0.25 และ 0.50 ระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ยกเว้นสังกะสีที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย จึงเลือกใช้สัดส่วน 0.25 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม และศึกษาผลของระยะเวลาบ่มตัวต่อค่ากำลังรับแรงอัด พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาบ่มตัวเป็น 1, 3, 7, 14 และ 28 วันทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งทุกค่าของระยะเวลาบ่มตัวมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

กนกพร และอรรณวิทย์ (2542) ทำการศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก 4 ชนิดโดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ จากการทดสอบคุณสมบัติการชะละลาย โดยศึกษาสัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสานและระยะเวลาบ่มตัวที่เหมาะสม โลหะหนักที่ศึกษา คือ นิกเกิล, โครเมียม และสังกะสี จากการทดสอบพบว่า การเพิ่มสัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสานจะมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า และความเข้มข้นโลหะหนักเพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม คือ 0.25 และระยะเวลาบ่มตัวมีผลทำให้ค่าความสามารถในการชะละลายของโลหะหนักลดลงที่สัดส่วนผสม 0.25 ระยะเวลาบ่มตัว 7 14 และ 28 วัน มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วันจะให้ค่าการชะละลายน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B.M. Kim (1981) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนโดยใช้แคลเซียมซัลไฟด์ โลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ได้แก่ แคลเมียม ทองแดง ตะกั่ว เงิน สังกะสี นิกเกิล และ โครเมียม ทำการทดลองดังนี้

1) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์และศึกษาผลของคีเลตติงเอเจนต์ (Na_2EDTA) ที่มีผลต่อการกำจัดโลหะหนักโดยวิธีการตกตะกอนซัลไฟด์และไฮดรอกไซด์ สำหรับการตกตะกอนซัลไฟด์ทำได้โดยเติมปูนขาวเพื่อให้มีค่าพีเอชเท่ากับ 7 เติมน้ำละลายแคลเซียมซัลไฟด์ 0.1 M ทำให้น้ำเสียมีค่าพีเอชเท่ากับ 9 เติมน้ำเกลือเหล็กโครไมด์ช่วยในการรวมตะกอน ปั่นกวนและทิ้งให้ตกตะกอน นำไปกรองเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยและนำของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก สำหรับการศึกษาผลของคีเลตติงเอเจนต์จะทำโดยเติมลงไปในช่วงตอนสุดท้าย

2) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงาน โดยวิธีการตกตะกอนซัลไฟด์และไฮดรอกไซด์

จากการทดลองพบว่า การตกตะกอนซัลไฟด์มีประสิทธิภาพมากในการกำจัดโลหะหนัก เช่น แคลเมียม ทองแดง ตะกั่ว เงิน และสังกะสี แต่โลหะบางชนิด เช่น นิกเกิล พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยกว่าวิธีการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ และในการตกตะกอนซัลไฟด์ ถ้าใช้ซัลไฟด์มากเกินไปจะทำให้เกิดการตกตะกอนยาก จึงต้องเติมน้ำช่วยตกตะกอนก่อนการสร้างตะกอนรวม สำหรับผลของคีเลตติงเอเจนต์ พบว่าเมื่อใช้ในการทดลองจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักลดลงและในการตกตะกอนซัลไฟด์สามารถควบคุมปริมาณแคลเซียมซัลไฟด์จากค่าพีเอช

Cheeseman ; et al. (1993) ศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์โดยการทำให้เป็นก้อนซึ่งตะกอนในการทดลองได้มาจากการตกตะกอน 3 แบบ คือ จากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10 M , สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์มี ปริมาณ แคลเมียม ทองแดง นิกเกิล และโครเมียม เมื่อได้ตะกอนโลหะหนักแล้วนำมาทำให้เป็นก้อนโดยใช้สัดส่วนการผสมดังนี้ คือ ใช้ตะกอนโลหะหนัก 35 % ปูนซีเมนต์ 15 % เถ้าลอย 15 % และน้ำ 35 % โดยน้ำหนัก นำมาผสมกันแล้วหล่อในกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร เสร็จแล้วนำไปบ่ม 28 วัน และ นำไปทดสอบการชะละลายต่อไป ได้ผลการทดลอง ดังนี้ อัตราการถูกชะละลายของโลหะหนักแปรผันไปตามชนิดของโลหะหนัก และวิธีการทดสอบการชะละลาย ดังนั้น จึงยากต่อการเปรียบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ของผลจาก

การบำบัดโดยใช้ไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ และซัลไฟด์ เป็นตัวตกตะกอน และพบว่าการชะละลายของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะหนักชนิดหนึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับโลหะหนักชนิดอื่นๆ ทั้งนี้พบว่าตะกอนซลิเกด เป็นวิธีที่มีอัตราการชะละลายของโลหะหนัก (ยกเว้นปรอท) ออกมาต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าตะกอนซลิเกด นี้เมื่อทำให้เป็นก้อนจะทนต่อกรดได้มาก แต่ตะกอนซลิเกดจะเก็บกักโลหะได้ต่ำที่สุด สำหรับตะกอนปรอทถ้าใช้ซัลไฟด์จะทำให้มีความเสถียรมากกว่าไฮดรอกไซด์ หรือ ซลิเกด

Shively ; et.al. (1986) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนัก 4 ชนิด คือ อาร์เซนิก แคลเมียม โครเมียมและตะกั่วโดยการทำให้เป็นก้อน จากนั้นจึงทดสอบกำลังแรงอัด (Compressive Strength) และการชะละลาย (Leaching Tests) ของโลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ผสมกัน จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ที่ระยะเวลาการบ่มตัว 14 วัน พบว่า เมื่อใช้อาร์เซนิก และแคลเมียมในการกำจัดโดยการทำให้เป็นก้อน จะทำให้กำลังแรงอัดของแท่งซีเมนต์ลดลง ทั้งกรณีที่ใช้ค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 และ 1.0 ของเสียผสมจะลดค่ากำลังรับแรงอัด เฉพาะค่า W/C 0.5 ส่วนโครเมียมและตะกั่วจะไม่มีผลต่อกำลังแรงอัด สำหรับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของโลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดผสมกัน พบว่า ความเข้มข้นของน้ำสกัดโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA ทั้งกรณีที่ใช้ W/C 0.5 และ 1.0 โดยค่าความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำสกัดจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่ม W/C จาก 0.5 เป็น 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดวัดปริมาตร
2. บีกเกอร์
3. กระบอกตวง
4. ปิเปต
5. ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่างพร้อมฝา
6. เครื่องจาร์เทสต์ (Jar Test)
7. กระจกทรง
8. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
9. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH Meter)
10. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)
11. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conduct Meter)
12. เครื่องเขย่า (Horizontal shaker)
13. ตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช
14. เครื่องชั่งขนาด 100 กรัม
15. เครื่องผสมปูนซีเมนต์ (Mixer)
16. แบบหล่อขนาด 5 x 5 x 5 ลบ.ซม.

วัสดุและสารเคมี

1. เมอร์คิวริกคลอไรด์ ($HgCl_2$) เกรดวิเคราะห์
2. โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เกรดวิเคราะห์
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เกรดวิเคราะห์
4. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์
5. น้ำกลั่น
6. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
7. ทราาย (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช)
8. น้ำประปา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาการบำบัดน้ำเสียประเภทสังเคราะห์โดยการตกตะกอนซัลไฟด์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียประเภทสังเคราะห์โดยการตกตะกอนซัลไฟด์

3.3.1.1 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์

น้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 100 มก./ล. ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ

ปรับค่า pH ด้วย NaOH 10% ให้มีค่า 8, 9, 10, 11, 12 และ 13

เติม Na_2S 0.022 กรัม (ปริมาณความต้องการทางทฤษฎี 0.74 เท่า)

ใช้เครื่อง Jar test ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที

ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

วิเคราะห์ปริมาณปรอท
ด้วยเครื่อง AAS

หาน้ำหนักตะกอน

3.3.1.2 ศึกษาปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์

น้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 100 มก./ล. ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ



ปรับค่า pH ด้วย NaOH 10% ให้มีค่าที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.1.1



เติม Na_2S ปริมาณ 0.37, 0.74, 1.11 และ 1.48 เท่าตามความต้องการทางทฤษฎี

ใช้เครื่อง Jar test ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที



ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที



กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ



วิเคราะห์ปริมาณปรอท

ด้วยเครื่อง AAS

หาน้ำหนักตะกอน

3.3.1.3 ศึกษาเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรทซัลไฟด์

น้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 100 มก./ล. ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 6 ใบ

↓
ปรับค่า pH ด้วย NaOH 10% ให้มีค่าที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.1.1

↓
เติม Na_2S ในปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.1.2

↓
ใช้เครื่อง Jar test ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที

↓
ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที

↓
กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

↓
วิเคราะห์ปริมาณโปรท
ด้วยเครื่อง AAS

↓
หาน้ำหนักตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ศึกษาความสามารถในการทำละลายฤทธิ์ปรอทโดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

1. ชั่งวัสดุที่ใช้ในการหล่อซีเมนต์ ตามมาตรฐานของ ASTM C109-86 ในแบบหล่อขนาด 5x5x5 ลบ.ซม. ใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : น้ำ : ทราย เท่ากับ 1 : 0.5 : 2 และใช้สัดส่วนผสมตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0, 0.25, 0.5 ตามลำดับใช้ตัวอย่างครั้งละ 2 ตัวอย่าง

2. ผสมซีเมนต์และสัดส่วนผสมอื่นๆ ในเครื่องผสม (Mixer) จนเข้ากันดี

3. เทซีเมนต์ที่ผสมแล้วลงในแบบหล่อมอร์ตาร์ ภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 วินาที หลังจากผสมเสร็จการหล่อจะแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกจะหนาประมาณ 1 นิ้ว (หรือ 25 มิลลิเมตร) ใช้ Tamper กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดย 8 ครั้งแรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลัง ให้ใช้แรงกระทุ้งพอประมาณและเท่ากันโดยตลอด ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที เติมนอร์ตาร์ครั้งที่ 2 ให้เลยขอบแบบหล่อเล็กน้อยและใช้มือป้องขณะกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก เมื่อเสร็จแล้วให้ใช้เกรียงปาดมอร์ตาร์ส่วนที่เกินออกในลักษณะคล้ายเลื่อย

4. หลังจากหล่อเสร็จให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันที และถอดแบบในเวลา 24 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างต่อจนครบ 7 วัน โดยใช้ผ้ากระสอบชุมน้ำคลุมทับ นำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัดและการชะละลายโดยใช้วิธีสกัดสาร (Extraction Procedure) ตามมาตรฐานการทดสอบการชะละลายโลหะหนักของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

การทดสอบกำลังรับแรงอัด

นำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยเครื่อง Test Machine ด้วยวิธีการ ดังนี้

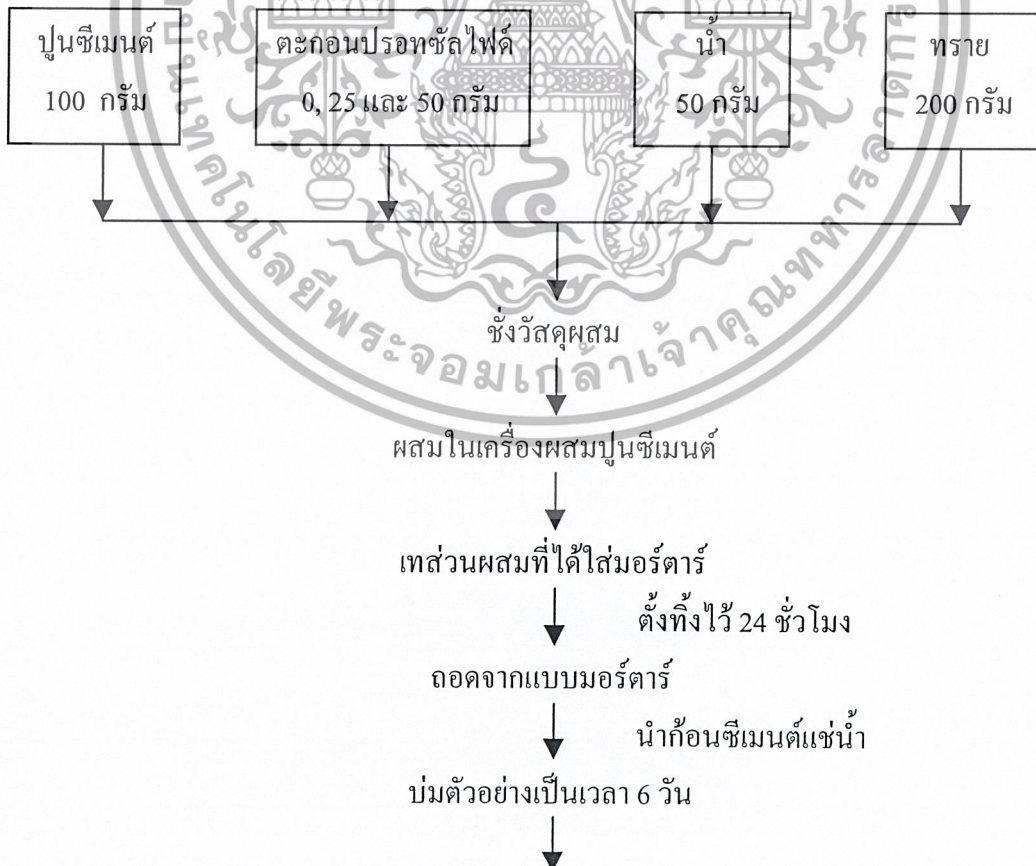
1. นำก้อนตัวอย่างที่จะทดสอบชั่งน้ำหนักเพื่อกำหนดความหนาแน่นโดยหารด้วยปริมาตรของก้อนตัวอย่าง
2. วัดพื้นที่หน้าตัดที่จะให้แรงกดโดยใช้ด้านที่สัมผัสกับแบบหล่อ
3. เช็ดผิวหน้าทั้งสองด้าน
4. ใช้แรงกดทับแท่งตัวอย่างในเวลา 20-80 วินาที โดยผิวหน้าของเครื่องมือทั้งสองด้านที่สัมผัสกับก้อนตัวอย่างจะต้องเรียบ และ ตัวอย่างจะต้องอยู่ในแนวศูนย์กลางของเครื่อง

การทดสอบการชะละลาย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม , 2531)

1. บดก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดระหว่าง 0.5 - 5 มม.
2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว 50 กรัม ใส่ในถ้วยทำละลายซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมกับกรดไฮโดรคลอริกจนมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ระหว่าง 5.8 ถึง 6.3 ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 10 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของสารตัวอย่าง
3. เขย่าตัวอย่างบนเครื่องเขย่า (Shaker) เป็นเวลา 6 ชั่วโมงโดยใช้เครื่องเขย่าความเร็ว 200 รอบต่อนาที
4. กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู 1 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโคหะปรอท

แสดงอัตราส่วนของวัสดุซีเมนต์และขั้นตอนการหล่อซีเมนต์

อัตราส่วนผสม: ปูนซีเมนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียปรอทสังเคราะห์โดยการตกตะกอนซัลไฟด์

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียปรอทสังเคราะห์ โดยการตกตะกอนให้อยู่ในรูปปรอทซัลไฟด์ ทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน ได้แก่ ค่าพีเอช, ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ และเวลาดตกตะกอน

4.1.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์

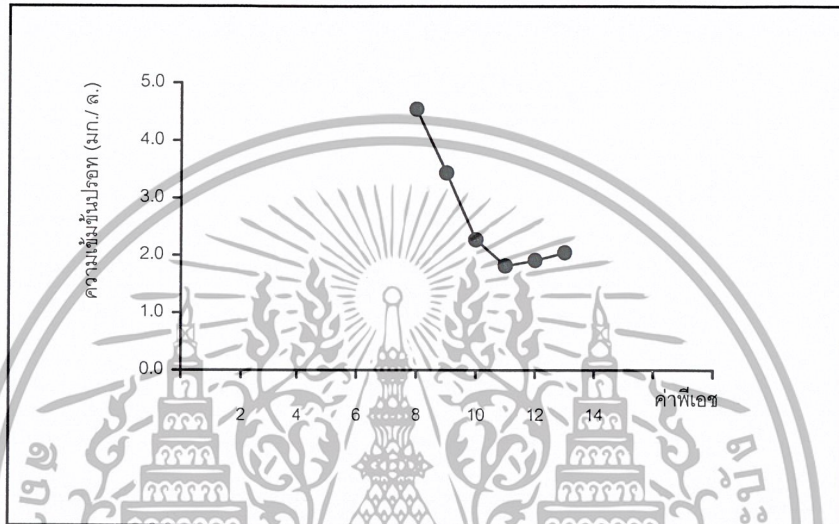
ในการทดลองทำการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ ใช้สารละลายที่มีปรอท (Hg^{2+}) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชให้มีค่า 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ จากนั้นเติมโซเดียมซัลไฟด์ 0.022 กรัมและทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณปรอทที่เหลือในน้ำเสีย ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่ค่าพีเอชต่างๆ

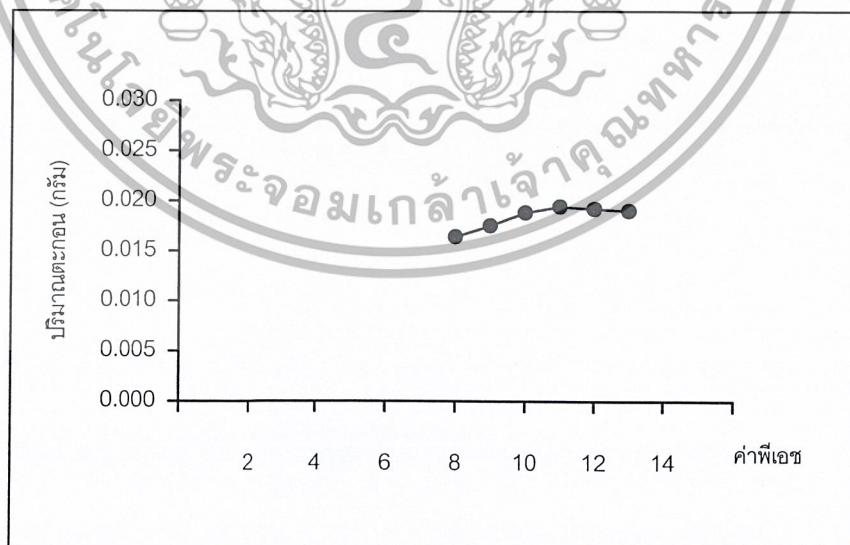
ค่าพีเอช	ความเข้มข้นปรอท (มก./ล.)	ปริมาณตะกอน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การตกตะกอน
8	4.554	0.0164	95.46
9	3.433	0.0175	96.57
10	2.272	0.0188	97.93
11	1.816	0.0194	98.18
12	1.912	0.0192	98.09
13	2.048	0.0190	97.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลพบว่า เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นค่าความเข้มข้นของปรอทจะลดต่ำลงจนถึงที่ค่าพีเอช 11 ซึ่งมีความเข้มข้นปรอทเป็น 1.816 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นพบว่า การละลายจะลดลงทำให้มีปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าพีเอช 11 เกิดตะกอนได้มากที่สุด ดังนั้นค่าพีเอช 11 จึงเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนซัลไฟด์ แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทและค่าพีเอช



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนและค่าพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

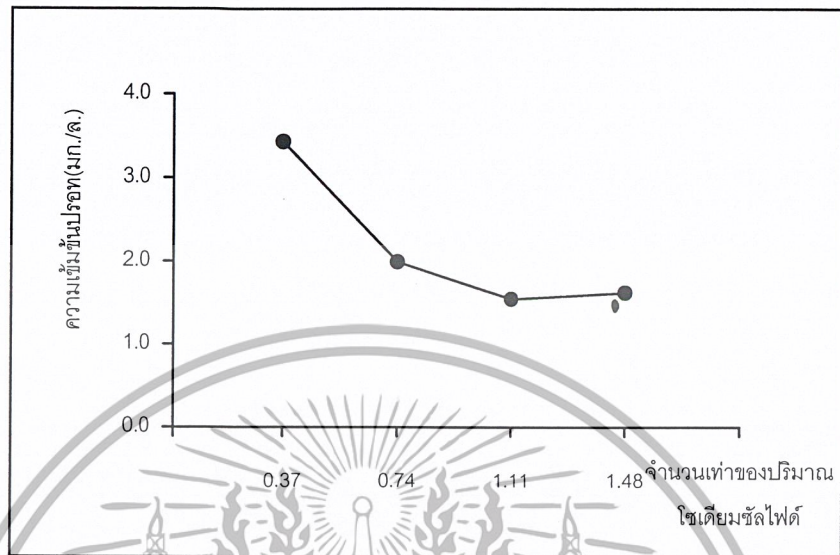
4.1.2 การศึกษาปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์

ในการทดลองปรับค่าพีเอชของสารละลายให้มีค่าพีเอช 11 โดยเติมสารโซเดียมซัลไฟด์เป็นจำนวนเท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีคือ 0.37, 0.74, 1.11 และ 1.48 เท่าตามลำดับ เมื่อคิดปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ต่อน้ำตัวอย่าง 250 มิลลิลิตรในหน่วยกรัม จะได้เท่ากับ 0.0111, 0.0221, 0.0332 และ 0.0442 กรัม ตามลำดับ ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณปรอทที่เหลือในน้ำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

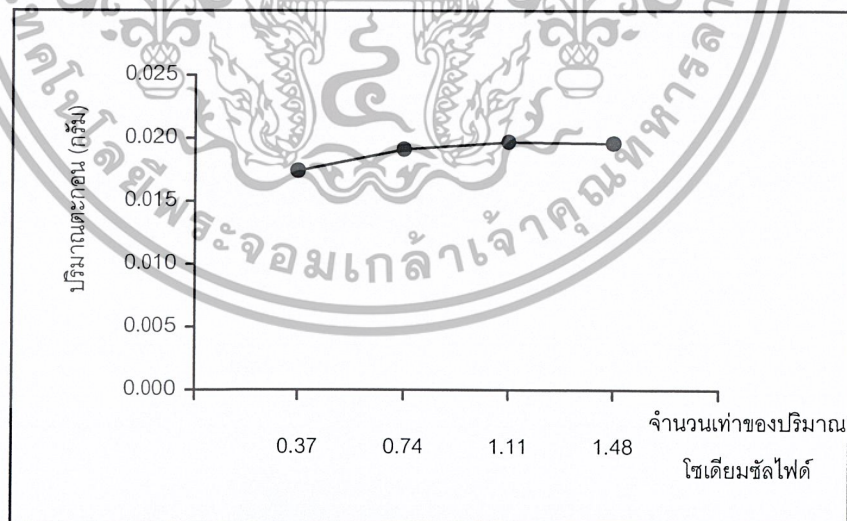
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ต่างกัน

ปริมาณความต้องการทางทฤษฎี	ความเข้มข้นปรอท (มก./ล.)	ปริมาณตะกอน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การตกตะกอน
0.37 เท่า	3.431	0.0174	96.57
0.74 เท่า	1.992	0.0191	98.01
1.11 เท่า	1.543	0.0197	98.46
1.48 เท่า	1.623	0.0196	98.38

จากข้อมูลพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมซัลไฟด์จาก 0.37 เท่าเป็น 0.74 เท่าทำให้ความเข้มข้นปรอทที่เหลือในน้ำมีค่าลดลงและมีปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนที่อัตราส่วน 0.74, 1.11 และ 1.48 เท่าของปริมาณความต้องการโซเดียมซัลไฟด์ทางทฤษฎีจะมีความเข้มข้นปรอทที่เหลือในน้ำและปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน แต่ที่ปริมาณ 1.11 เท่าจะพบว่าความเข้มข้นปรอทในน้ำมีค่าน้อยที่สุดและมีปริมาณตะกอนมากที่สุด ดังนั้นจำนวนเท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี 1.11 เท่าหรือคิดเป็น 0.0332 กรัมของโซเดียมซัลไฟด์ในน้ำตัวอย่าง 250 มิลลิลิตรเป็นค่าที่เหมาะสมในการตกตะกอนซัลไฟด์ แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทและจำนวนเท่าของปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ทางทฤษฎี



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนและจำนวนเท่าของปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

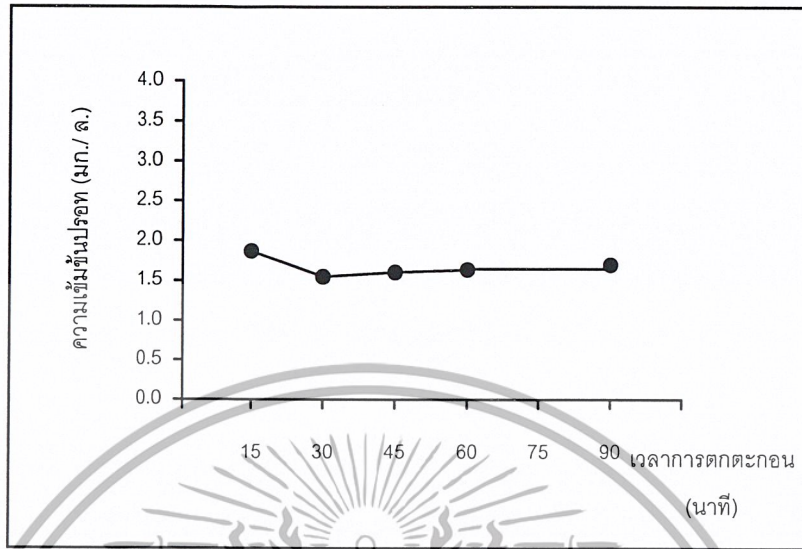
4.1.3 การศึกษาเวลาดกตะกอนที่ใช้ในการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์

ในการทดลองทำการปรับค่าพีเอชของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 11 โดยเติมปริมาณ โซเดียมซัลไฟด์ 1.11 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีซึ่งคิดเป็น 0.0332 กรัมของโซเดียมซัลไฟด์ในน้ำตัวอย่าง 250 มิลลิลิตร ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณปรอทที่เหลือในน้ำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

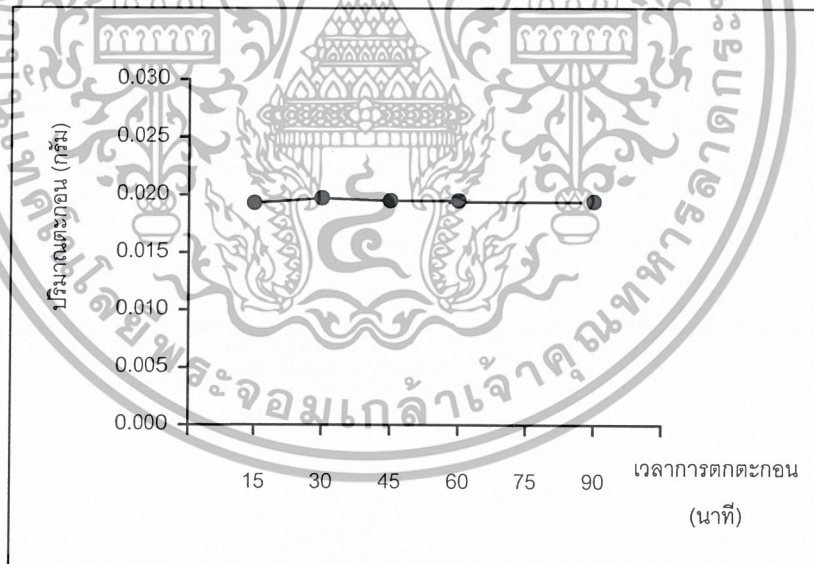
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่เวลาดกตะกอนต่าง ๆ

เวลาการตกตะกอน (นาที)	ความเข้มข้นปรอท (มก./ล.)	ปริมาณตะกอน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การตกตะกอน
15	1.865	0.0193	98.14
30	1.549	0.0197	98.45
45	1.604	0.0195	98.40
60	1.634	0.0195	98.37
90	1.695	0.0194	98.31

จากข้อมูลพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการตกตะกอนเป็น 30 นาที ความเข้มข้นปรอทที่เหลือในน้ำมีค่าลดลงและมีปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาการตกตะกอนให้มากกว่า 30 นาที ความเข้มข้นปรอทที่เหลือและปริมาณตะกอนจะมีค่าใกล้เคียงกับที่เวลาดกตะกอน 30 นาที แสดงว่าเวลาการตกตะกอนไม่มีผลต่อการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์มากนัก อาจเป็นเพราะตะกอนปรอทซัลไฟด์เป็นตะกอนหนักจึงทำให้จมตัวได้เร็ว ดังนั้นเวลาการตกตะกอน 30 นาที จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการตกตะกอนซัลไฟด์ แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทและเวลาการตกตะกอน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนและเวลาการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยการทำให้เป็นก้อน

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ซึ่งศึกษาผลของสัดส่วนตะกอนปรอทซัลไฟด์โดยแปรค่าสัดส่วนผสมของปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานเป็น 0.00, 0.25 และ 0.50 ใช้ระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน จากนั้นนำตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่เป็นก้อนซีเมนต์ไปทดสอบสมบัติกำลังรับแรงอัดและการชะละลายโดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนของประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม

4.2.1 การศึกษาสมบัติกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่น

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่ทำให้เป็นก้อนเมื่อสัดส่วนผสมของตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานเป็น 0.00, 0.25 และ 0.50 ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์เจือปน

สัดส่วนผสมของตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)
0.00	202.20	2.02
0.25	167.40	2.12
0.50	125.10	2.29

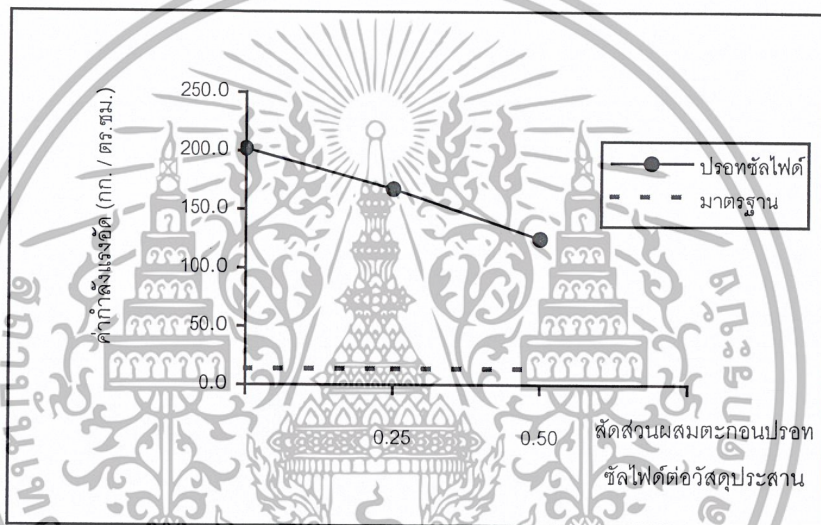
หมายเหตุ : เกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่า 14 กก./ตร.ซม. และความหนาแน่นมีค่าสูงกว่า 1.04 ตัน / ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กำลังรับแรงอัด

จากข้อมูลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์เจือปน พบว่าก้อนซีเมนต์ที่ไม่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด คือ 202.20 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมตะกอนปรอทซัลไฟด์เป็น 0.25 และ 0.50 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงเป็น 167.40 และ 125.10 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ 14 กก./ตร.ซม. แสดงดังรูปที่ 4.7



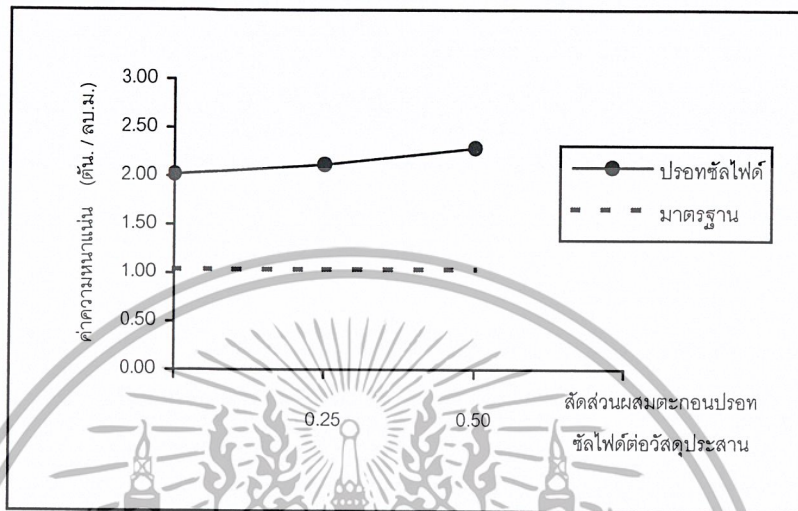
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและสัดส่วนผสมตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน

2. ความหนาแน่น

จากผลการทดสอบความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์เจือปน พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนผสมตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น โดยก้อนซีเมนต์ที่ไม่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์เจือปนมีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด คือ 2.02 ตัน/ลบ.ม. และที่สัดส่วนผสมตะกอนปรอทซัลไฟด์ 0.25 และ 0.50 มีความหนาแน่นเป็น 2.12 และ 2.29 ตัน/ลบ.ม. ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นจากการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ 1.04 ตัน / ลบ.ม. แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและสัดส่วนผสมตะกอนปรอทชัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน

4.2.2 การศึกษาสมบัติการชะละลาย

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรดต่าง และค่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัด เมื่อมีตะกอนปรอทชัลไฟด์ผสมในสัดส่วน 0.00, 0.25 และ 0.50 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 : แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย

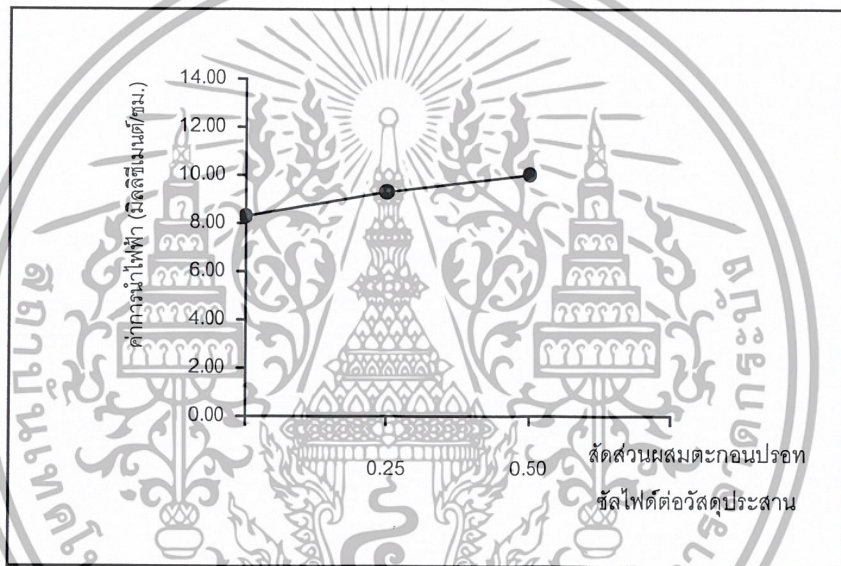
สัดส่วนผสมของตะกอนปรอท ชัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน	ค่าการนำไฟฟ้า (mS / cm)	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	ความเข้มข้นปรอท (มก. / ล.)
0.00	8.30	10.52	ND
0.25	9.31	11.57	0.0159
0.50	10.02	12.54	0.0251

หมายเหตุ : เกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนมีปริมาณปรอทในน้ำสกัดไม่เกิน 0.2 มก. / ล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าจะแสดงถึงปริมาณของสารที่ละลายในน้ำสกัด จากผลการทดลองค่าการนำไฟฟ้าของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกอนโปรทซัลไฟด์เจือปน พบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนผสมตะกอนโปรทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนผสมตะกอนโปรทซัลไฟด์ 0.00, 0.25 และ 0.50 มีค่าการนำไฟฟ้าเป็น 8.30, 9.31 และ 10.02 มิลลิวินาที/เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.9

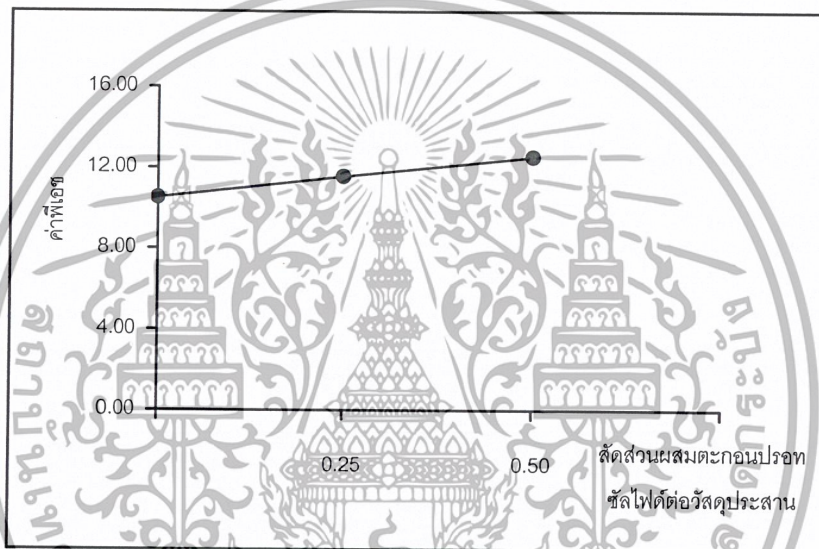


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าและสัดส่วนผสมตะกอนโปรทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

จากข้อมูลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดด่างของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์เจือปนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่สัดส่วนตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน 0.00, 0.25 และ 0.50 มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 10.52, 11.57 และ 12.54 ตามลำดับ เนื่องจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์กับน้ำซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรดด่างที่ได้มีค่าสูง แสดงดังรูปที่ 4.10

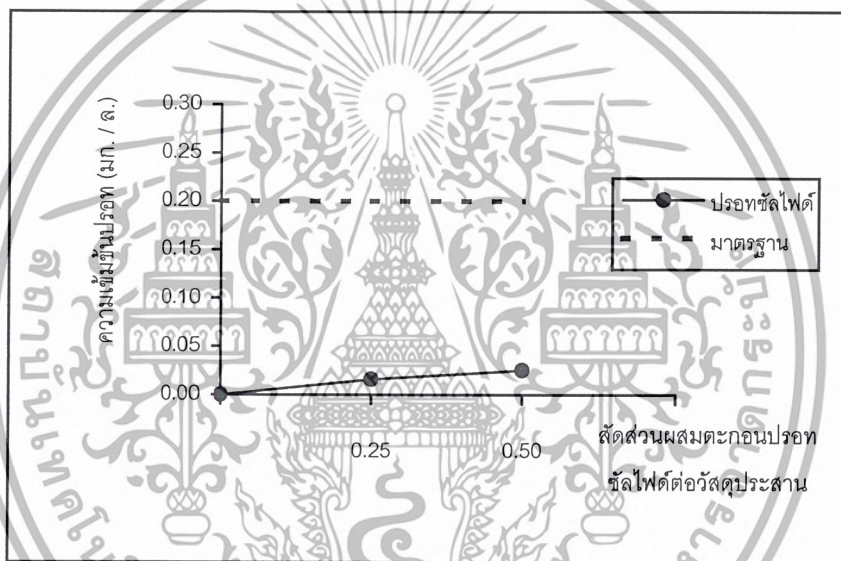


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดด่างและสัดส่วนผสมตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน

3. ความเข้มข้นปรอท

จากผลการทดลองความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัดที่ชะละลายจากก้อนซีเมนต์ที่มีตะกอนปรอทซัลไฟด์เจือปน พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานทำให้ความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนผสมตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน 0.25 และ 0.50 มีความเข้มข้นปรอทเท่ากับ 0.0159 และ 0.0251 มก./ล. ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นปรอทจากการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน คือ 0.2 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทและสัดส่วนผสมตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรทซัลไฟด์และนำตะกอนโปรทซัลไฟด์ไปทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและทดสอบประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรทซัลไฟด์ พบว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 11 ปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์เป็น 1.1 เท่าของความต้องการทางทฤษฎี และเวลาในการตกตะกอนเท่ากับ 30 นาที ประสิทธิภาพในการตกตะกอนเท่ากับ 98.45%
2. การศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยการทำให้เป็นก้อน ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่น พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนตะกอนโปรทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานทำให้มีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนผสมทั้งสองสัดส่วนคือ 0.25 และ 0.50 ให้ผลที่ดีและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
3. การศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยการทำให้เป็นก้อน ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดสอบการชะละลาย พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนตะกอนโปรทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานทำให้มีค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดเพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนผสมทั้งสองสัดส่วนคือ 0.25 และ 0.50 ให้ผลที่ดีและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาเป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนซัลไฟด์ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ดังนั้นจึงควรศึกษาโดยใช้น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการโดยตรง
2. ควรศึกษาหาวิธีการบำบัดน้ำเสียปรอทให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้วิธีการอื่นๆร่วม
3. ในการศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยการทำให้เป็นก้อน ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยเปลี่ยนวัสดุประสานเป็นวัสดุอื่นๆ
4. ในการปฏิบัติงานกับโลหะหนักทุกครั้งจะต้องมีการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น อาจทำได้โดยการสวมเสื้อปฏิบัติการ การสวมถุงมือ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2531. ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บ
ทำลายฤทธิ์ กำจัด ฟุ้งหึ่ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (ฉบับที่
1) พ.ศ. 2531. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กนกพร และอรรถวิทย์ ชัยวรรณธรรม. 2542. การศึกษาสมบัติการชะละลายของซีเมนต์ที่มีโลหะ
หนักเจือปนในปริมาณสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่ง
แวดล้อม ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นฤมิตร คินิมาน . 2538. การนำตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำซีโอดีให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์
และเถ้าลอยลิกไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยวัฒน์ เจนวณิชย์ และพิมล เรียงวัฒนา. 2525. เคมีสภาวะแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.
ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525. คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พิภพ สุนทรสมย์. 2532. วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
มันสิน ตันกุลเวศม์. 2525. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- ยุพา ตันทวี. 2545. การตกตะกอนโลหะหนักปรอท. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชามลพิษ
ทางน้ำ. ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วินิจ ช่อวิเชียร. 2529. คอนกรีตเทคโนโลยี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรางค์ อนุกุล. 2538. ปฏิบัติการเคมีคุณภาพวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3 : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- อนุวัฒน์ ปูนพันธ์ฉาย. 2539. การทำตะกอนโลหะหนักซัลไฟด์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์และเถ้า
ลอยลิกไนต์เป็นตัวประสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- APHA. 1995. **Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater**. 19th
Edition. APHA. Washington. DC.

Bishop , P.L. 1988. Leaching of Inorganic Hazardous Constituents from Stabilized/Solidified

เอกสารนี้เป็นเอกสาร Hazardous Wastes, Hazardous Waste & Hazardous Material. 5 หน้า 129-143 ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- B.M.Kim . 1981. Treatment of Metal Containing wastewater with Calcium Sulfide. **The American Institute of Chemical Engineers .**
- Chang , C.L. 1989. **Solidification of Heavy Metals Using Cement and Rice Husk Ash.** Thesis No.EV-89-15 Asian Institute of Technology . Bangkok , Thailand .
- Cheeseman , C.R. et al. 1993. Heavy Metal Leaching from Hydroxide , Sulphide and Silicate Stabilised/Solidified Wastes. **Waste Management.** 13 No.8 : 545-552.
- D.Bhattacharyya , A.B. Jumawan and G.Sun. 1981. Precipitation of Heavy Metals with Sodium Sulfide : Bench-scale and Full-scale Experimental results. **The American Institute of Chemical Engineers.**
- F.Albert Cotton and Geoffrey Wilkinson , F.R.S. 1972. **Advanced Inorganic Chemistry.** Third Edition : John Wiley & Sons, Inc.
- Freeman , H.M. 1989. **Handbook of Hazardous waste treatment and Disposal .** USA : McGraw Hill Book.
- Rijal , S.P. 1990. **Solidification of Laboratory Wastes Using Cementitious Binders ,** Thesis No. EV-90-20 . Asian Institute of Technology. Bangkok Thailand.
- Shievely , W. , Bishop , P. , Gress , D. and Brown , T. 1986. Leaching Tests of Heavy Metals Stabilized with Portland Cement. **Journal WPCF 58 .** : 33-41
- Shin,H.S. and Sujiwattana,P. 1988. Factors Affecting Solidification of Hazardous Materials. **Hazardous Waste Detection , Control , Treatment : 1549-1560**
- Takashi Korenaga, Hiroshi Tsukube, Sumio Shinoda and Isei Nakanura. 1994. **Hazardous Waste Control in Research and Education.** USA.
- Talbot , R.S. 1984. **Process for Removal of heavy metals from aqueous solution.** US.Patent. No. 4,432,880



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การเตรียมน้ำเสียปรอทสังเคราะห์ จำนวนปริมาณโซเดียมซัลไฟด์และการหาน้ำหนักตะกอน

1. การเตรียมน้ำเสียปรอทสังเคราะห์ 100 มิลลิกรัม/ลิตร

- สารละลายปรอทความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

ซึ่งเมอคิวริกคลอไรด์ (HgCl_2) 1.354 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เดิมกรดไนตริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

- น้ำเสียปรอทสังเคราะห์ 100 มิลลิกรัม/ลิตร

เจือจางสารละลายปรอทความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตมา 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

2. ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการตกตะกอน

(1) ค่าความต้องการทางทฤษฎี

ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปรอท (Hg^{2+}) 100 มิลลิกรัม/ลิตร



HgCl_2 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 1 โมล

Hg^{2+} 200.59 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 240.18 กรัม

Hg^{2+} 0.1 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ $\frac{240.18}{200.59}$ กรัม

= 0.1197 กรัม

ดังนั้นต้องใช้ $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 0.1197 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตร

(2) ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ต้องการทางทฤษฎีคิดต่อน้ำตัวอย่าง 250 มิลลิลิตร

0.0111 กรัม = 0.37 เท่า

0.0221 กรัม = 0.74 เท่า

0.0332 กรัม = 1.11 เท่า

0.0442 กรัม = 1.48 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการหาน้ำหนักตะกอนปรอทซัลไฟด์

1. ชั่งน้ำหนักกระดวยกรอง บันทึกค่าที่ได้
2. กรองน้ำตัวอย่างที่มีตะกอนด้วยกระดวยกรองเบอร์ 42
3. เก็บน้ำใสที่กรองได้ไปวิเคราะห์ปริมาณปรอทที่เหลือด้วยเครื่อง AAS
4. นำกระดวยกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ทิ้งกระดวยกรองให้เย็นโดยใส่ในเคสซิเคเตอร์
6. ชั่งน้ำหนักกระดวยกรองที่มีตะกอน บันทึกค่าที่ได้

น้ำหนักตะกอน = (น้ำหนักกระดวยกรอง + น้ำหนักตะกอน) - น้ำหนักกระดวยกรอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ข้อมูลผลการทดลอง

ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์

ตารางที่ ข.1 แสดงผลความเข้มข้นปรอทที่เหลือจากการตกตะกอนซัลไฟด์ที่ค่าพีเอชต่างๆ

pH	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	เฉลี่ย
8	4.501	4.788	4.247	4.589	4.602	4.536	4.544
9	3.408	3.389	3.304	3.663	3.324	3.511	3.433
10	2.245	2.384	2.106	2.206	2.284	2.404	2.272
11	1.883	1.698	1.804	1.863	1.744	1.901	1.816
12	1.914	1.958	2.014	1.867	1.932	1.787	1.912
13	2.057	2.114	1.986	2.089	2.141	1.899	2.048

ตารางที่ ข.2 แสดงผลปริมาณตะกอนจากการตกตะกอนซัลไฟด์ที่ค่าพีเอชต่างๆ

pH	ปริมาณตะกอนที่เกิด (กรัม)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	เฉลี่ย
8	0.0164	0.0162	0.0165	0.0164	0.0163	0.0164	0.0164
9	0.0174	0.0176	0.0177	0.0172	0.0176	0.0173	0.0175
10	0.0189	0.0187	0.0190	0.0188	0.0188	0.0186	0.0188
11	0.0194	0.0196	0.0193	0.0194	0.0195	0.0190	0.0194
12	0.0191	0.0190	0.0189	0.0195	0.0191	0.0197	0.0192
13	0.0189	0.0189	0.0191	0.0189	0.0188	0.0194	0.0190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์

ตารางที่ ข.3 แสดงผลความเข้มข้นปรอทจากการตกตะกอนซัลไฟด์ที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ต่างกัน

ปริมาณ โซเดียมซัลไฟด์ (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	เฉลี่ย
0.0111	3.678	3.248	3.411	3.486	3.404	3.356	3.431
0.0221	1.984	1.876	1.943	2.016	2.184	1.950	1.992
0.0332	1.548	1.402	1.524	1.506	1.688	1.589	1.543
0.0442	1.664	1.486	1.678	1.591	1.624	1.697	1.623

ตารางที่ ข.4 แสดงผลปริมาณตะกอนจากการตกตะกอนซัลไฟด์ที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ต่างกัน

ปริมาณ โซเดียมซัลไฟด์ (กรัม)	ปริมาณตะกอนที่เกิด (กรัม)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	เฉลี่ย
0.0111	0.0172	0.0175	0.0173	0.0173	0.0174	0.0175	0.0174
0.0221	0.0191	0.0193	0.0191	0.0189	0.0190	0.0191	0.0191
0.0332	0.0197	0.0200	0.0197	0.0198	0.0196	0.0196	0.0197
0.0442	0.0196	0.0199	0.0195	0.0197	0.0195	0.0195	0.0196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรทซัลไฟด์

ตารางที่ ข.5 แสดงผลความเข้มข้นโปรทที่เหลือจากการตกตะกอนซัลไฟด์ที่เวลาตกตะกอนต่างๆ

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นโปรทที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	เฉลี่ย
15	1.884	1.965	1.802	1.847	1.788	1.902	1.865
30	1.567	1.508	1.675	1.421	1.526	1.594	1.549
45	1.589	1.676	1.548	1.570	1.649	1.592	1.604
60	1.646	1.602	1.734	1.627	1.574	1.618	1.634
90	1.677	1.752	1.640	1.811	1.623	1.669	1.695

ตารางที่ ข.6 แสดงผลปริมาณตะกอนโปรทซัลไฟด์ที่เวลาตกตะกอนต่างๆ

เวลา (นาทีก)	ปริมาณตะกอนที่เกิด (กรัม)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	เฉลี่ย
15	0.0194	0.0190	0.0195	0.0194	0.0196	0.0190	0.0193
30	0.0196	0.0197	0.0194	0.0199	0.0197	0.0196	0.0197
45	0.0196	0.0193	0.0197	0.0196	0.0194	0.0196	0.0195
60	0.0194	0.0195	0.0193	0.0195	0.0196	0.0195	0.0195
90	0.0194	0.0193	0.0195	0.0192	0.0195	0.0194	0.0194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ส่วนผสมโดยน้ำหนักขององค์ประกอบต่างๆที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อน

ตารางที่ ค.1 : ส่วนผสม โดยน้ำหนักขององค์ประกอบต่างๆที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนสำหรับโลหะหนัก

องค์ประกอบ	ส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม) *		
	สัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน		
	0.00	0.25	0.50
ตะกอนปรอทซัลไฟด์	-	25	50
ปูนซีเมนต์	100	100	100
ทราย	200	200	200
น้ำ	50	50	50

* สำหรับการหล่อซีเมนต์ขนาด 5x5x5 ตร.ซม. จำนวน 1 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยการทำให้เป็นก้อน

ตารางที่ ง.1 : คุณสมบัติกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่สกัดส่วนต่างๆ (ที่ระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน)

สัดส่วนตะกอนปรอท ซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
0.00	199.40	205.00	202.20	2.05	1.99	2.02
0.25	162.80	172.00	167.40	2.09	2.14	2.12
0.50	131.60	118.60	125.10	2.20	2.38	2.29

ตารางที่ ง.2 คุณสมบัติค่าการนำไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลายที่สกัดส่วนผสมต่างๆ (ที่ระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน)

สัดส่วนตะกอนปรอท ซัลไฟด์ต่อวัสดุประสาน	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)			อุณหภูมิ (°C)		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
0.00	8.14	8.46	8.30	26.70	26.70	26.70
0.25	9.33	9.29	9.31	27.15	27.20	27.18
0.50	10.48	9.56	10.02	27.85	27.10	27.48

ตารางที่ ง.3 คุณสมบัติค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และความเข้มข้นปรอทของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลายที่สกัดส่วนผสมต่างๆ (ที่ระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน)

สัดส่วน โลหะหนัก ต่อวัสดุประสาน	ค่าความเป็นกรดด่าง			ความเข้มข้นปรอท (มก./ลิตร)		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
0.00	10.52	10.48	10.52	ND	ND	ND
0.25	11.89	11.25	11.57	0.0146	0.0172	0.0159
0.50	12.46	12.62	12.54	0.0247	0.0255	0.0251

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์ปรอทโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

การวิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี นิยมใช้ในการหาปริมาณของโลหะหนักโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของอะตอมของสารที่เราต้องการวิเคราะห์ ซึ่งปกติในการทำให้เกิดอะตอมจะใช้เปลวไฟ แต่สำหรับปรอทจะใช้เทคนิค Hydride Generation โดยจะทำสารที่จะวิเคราะห์ เกิดเป็นไอของสารนั้นโดยไม่ใช้เปลวไฟ

หลักการทํางาน

กระบวนการทำให้เป็นไอจะเป็นการเพิ่มการตอบสนองของเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสำหรับการวัดปรอทและโลหะไฮไดรด์ (As, Bi, Sb, Se, Sn และ Te) วิธีการทำให้สารที่วิเคราะห์อยู่ในรูปไฮไดรด์นั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

~ การใช้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างสารที่ต้องการวิเคราะห์ในสารละลายซึ่งมีสภาพที่เป็นกรดกับสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ เกิดเป็นก๊าซไฮไดรด์

~ การใช้สารละลายสแตนนัสคลอไรด์ (SnCl_2) โดยการเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ลงในตัวอย่าง สารละลายที่ได้จะทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดสแตนนัสคลอไรด์ เกิดเป็นก๊าซไฮไดรด์

ก๊าซไฮไดรด์ที่เกิดจากทั้ง 2 วิธีนี้ จะไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูงๆ และถูกแยกออกจากของเหลวไอของก๊าซไฮไดรด์จะถูกนำพาโดยก๊าซเฉื่อย (ไนโตรเจนหรืออาร์กอน) ไปยังหลอดที่ให้ความร้อน (Heated Quartz Tube) อะตอมของสารที่จะวิเคราะห์จะถูกดูดกลืนแสงซึ่งวัดได้ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน

ในกรณีของการวิเคราะห์ปรอท (Hg) เมื่อปรอททำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์หรือสแตนนัสคลอไรด์ในสภาวะกรดจะผลิตอะตอมของไอปรอทได้โดยตรง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้เปลวไฟ ไอปรอทจะถูกส่งไปยัง closed flow through cell และทำการวิเคราะห์ตามปกติ การวิเคราะห์ปรอทโดยใช้ สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) จะมีสถานะของเครื่องดังนี้

Wavelength	253.7 nm.
Bandpass	0.5 nm.
Lamp current	4.0 mA.
Flame condition	NO flame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ปรอท

1. สารละลายสต็อกปรอท

ปีเปตสารละลายปรอทเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร มา 0.1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1% ให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

2. สารละลายมาตรฐานปรอท

ปีเปตสารละลายสต็อกปรอทมา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1% ให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ

3. สารละลาย Reducing Agent

ชั่งสารโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) และสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) อย่างละ 3 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น

5. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1%

การทำงานของระบบ Hydride Generation

เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ในส่วนของการผลิตก๊าซไฮไดรด์ใช้เครื่อง HG 3000 ซึ่งเป็นระบบที่มีการไหลของไฮโดรเจนอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่จ.1 แสดงถึง Peristaltic pump ทำหน้าที่ปั๊มตัวอย่างและรีเอเจนต์สู่ท่อผสม

สารละลายจะไหลผ่านขดลวดบริเวณที่เกิดโลหะไฮไดรด์ไปสู่ส่วนที่แยกก๊าซออกจากของเหลว บริเวณนี้ไอของก๊าซไฮไดรด์จะไปพร้อมกับก๊าซตัวพา จากนั้นก๊าซไฮไดรด์จะไปยัง Fused Quartz Absorption Cell ที่อยู่บน Burner และให้ความร้อนโดย Air-Acetylene Flame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.๑ HG3000 Schematic Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม



เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์
กำจัด ฟัง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

(ฉบับที่ ๑) พ.ศ. ๒๕๓๑

ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๒๕ (พ.ศ. ๒๕๓๑) ลงวันที่ ๓ สิงหาคม ๒๕๓๑ ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๒๑ เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน ซึ่งกำหนดให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานดำเนินการเกี่ยวกับการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยต้องแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับชนิด ปริมาณ ลักษณะ คุณสมบัติ และสถานที่เก็บสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้น ๆ พร้อมทั้งวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์ กำจัด ฟัง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งตามหลักเกณฑ์แนวทางปฏิบัติและวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

ดังนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมดังกล่าว กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงวางระเบียบและวิธีการแจ้งรายละเอียดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานที่มีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เก็บสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วดังกล่าวภายในหรือภายนอกโรงงานให้ห่างจากที่ชุมชนหรือแหล่งน้ำสาธารณะ โดยใช้วิธีการเก็บที่มีดชิด ปลอดภัย และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสาธารณสุขหรือผู้อยู่อาศัยใกล้เคียง

ข้อ ๒ ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานตามข้อ ๑ ทำลายฤทธิ์และ/หรือทำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วให้เป็นก้อนก่อนนำไปทิ้งหรือฝังด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๑ วิธีการทำลายสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเฉพาะประเภท

ประเภทสิ่งปนื้อก	วิธีการทำลายฤทธิ์
๒.๑.๑ กากตะกอนที่มีสารปรอทปนื้อก	นำกากตะกอนมาผสมกับสารละลายทำให้เป็นดั่งปกติโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นปรอทซัลไฟด์ (HgS) แล้วจึงทำให้เป็นก้อน (Solidification) ด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเติม (additives) ผสมลงไปด้วย
๒.๑.๒ กากจากการผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีสารปนื้อก	นำกากที่อาจต้องผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนเพื่อช่วยให้ทำปฏิกิริยาทางเคมีได้ทั่วถึงมาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นปรอทซัลไฟด์ (HgS) แล้วจึงทำให้เป็นก้อน (Solidification) ด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเติม (additives) ผสมลงไปด้วย
๒.๑.๓ กากตะกอน หรือฝุ่นที่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม, โครเมียม, ตะกั่ว, แมงกานีส เป็นต้น	ใช้สารละลายด่าง เช่น ปูนขาว หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผสมกับกากตะกอนให้ทั่วกันจนสารโลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบของเกลือไฮดรอกไซด์ที่มีค่าพีเอช (pH) ของของผสมประมาณ ๑๑ แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง ในกรณีที่เป็นกากตะกอนหรือฝุ่นที่ปนื้อกด้วยแคดเมียม (Cd) จะต้องทำให้เป็นก้อนต่อด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์
๒.๑.๔ กากตะกอนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มียาฆ่าแมลง, ยากำจัดศัตรูพืช หรือยากำจัดเชื้อราปนื้อก	เติมสารละลายด่าง เช่น ปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในปริมาณที่สามารถจะทำลายพิษด้วยตัวยาแต่ละชนิดได้หมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๒ สิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (Solidification) จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

๒.๒.๑ นำซึมผ่านได้ในอัตราต่ำกว่า 1×10^{-6} ซม./วินาที

๒.๒.๒ รับแรงอัด (compressive strength) ได้ไม่น้อยกว่า ๑๔ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

๒.๒.๓ มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า ๑.๐๔ ตันต่อลูกบาศก์เมตร

๒.๒.๔ มีลักษณะแข็งคล้ายหิน ไม่ไหม้ไฟ ไม่มีกลิ่น

๒.๓ ในกรณีที่ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานตามข้อ ๑ ประสงค์จะใช้วิธีการทำลายฤทธิ์และ/หรือทำให้เป็นก้อนด้วยวิธีอื่นนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในประกาศฉบับนี้ จะต้องแจ้งรายละเอียดพร้อมด้วยเหตุผลให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมพิจารณาอนุญาตเป็นราย ๆ ไป

ข้อ ๓ ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานตามข้อ ๑ ซึ่งตั้งโรงงานอยู่ในจังหวัด กรุงเทพมหานคร, สมุทรปราการ, ปทุมธานี, นนทบุรี, นครปฐม, ราชบุรี และสมุทรสาคร ทั้งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามวิธีการและ ณ สถานที่ซึ่งกำหนดไว้ดังต่อไปนี้

๓.๑ ลักษณะที่ตั้งของสถานที่ฝัง (landfill)

๓.๑.๑ สถานที่ฝังดินจะต้องมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่เหมาะสม โดยต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งแร่อยู่ข้างใต้ ไม่มีรอยแตก หรือเป็นโพรงของหินชั้นล่าง มีความหนาของชั้นดินระหว่างฐานของสถานที่ฝังกับระดับน้ำใต้ดินพอสมควร และมีระดับน้ำใต้ดินต่ำ

๓.๑.๒ ไม่เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำหรือมีน้ำท่วมถึง ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำท่วม และไม่ติดต่อกับหรืออยู่ใกล้กับแม่น้ำ ลำคลอง หรือแหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์ได้

๓.๑.๓ อยู่ห่างจากพื้นที่ใช้ประโยชน์ของราษฎรและชุมชน ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการหกหล่น ฟุ้งกระจาย ปัญหาการจราจรระหว่างการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วรวมทั้งปัญหาเรื่องฝุ่น และเสียงที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน

๓.๑.๔ มีเนื้อที่กว้างขวางพอที่จะใช้ฝังได้นานตั้งแต่ ๕ ปีขึ้นไป

๓.๒ การออกแบบสถานที่ฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

หลุมที่จะใช้ฝัง ต้องได้รับการเตรียมการไว้ดังต่อไปนี้คือ

๓.๒.๑ ต้องทำการบุด้านล่างและด้านข้างโดยรอบของหลุมที่จะใช้ฝัง (landfill) ด้วยวัสดุกันซึม (liner) เพื่อป้องกันการซึมผ่านของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกสู่ น้ำใต้ดินหรือน้ำผิวดินที่อยู่ใกล้เคียง โดยวัสดุกันซึมนี้ต้องมีความแข็งแรง และหนาเพียงพอที่จะทนต่อการรับน้ำหนักและแรงดันที่จะเกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งวัสดุกันซึมดังกล่าวอาจจะเป็นวัสดุที่สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นเพื่อใช้งานโดยเฉพาะหรือเป็นวัสดุที่มีอยู่เองตามธรรมชาติ เช่น ดินเหนียว ที่ยอมให้อัตราการซึมผ่านของน้ำ (permeability) ได้ไม่เกินกว่า 1×10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที (ประมาณ ๐.๑ ฟุตต่อปี) หรืออาจจะใช้วัสดุกันซึมทั้งสองประเภทประกอบกันก็ได้

๓.๒.๒ ระดับก้นหลุมของสถานที่ฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจะต้องอยู่สูงจากระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า ๕ ฟุต

๓.๒.๓ ต้องมีระบบรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในหลุมที่ใช้ฝังและมีระบบบำบัดน้ำเสียหรือนำน้ำเสีย (leachate) ที่เกิดขึ้นออกไปบำบัดที่อื่น

๓.๒.๔ เมื่อเลิกใช้หลุมที่ฝังแล้ว ให้ทำการปิดหลุมชั้นสุดท้ายด้วยวัสดุกันซึม เพื่อป้องกันการซึมของน้ำหรือของเหลวอื่น ๆ เข้าสู่หลุมฝัง แล้วปูทับด้วยดินอีกชั้นหนึ่ง พร้อมทั้งปลูกพืชคลุมดิน เพื่อลดความรุนแรงของการพังทลายของดินอันเนื่องจากฝนและลม พร้อมทั้งจัดให้มีระบบระบายน้ำฝนหรือน้ำที่จะไหลบ่าผ่าน ให้ออกจากบริเวณหลุมฝังได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสม

๓.๒.๕ ในกรณีที่ใช้ดินเหนียวปูเป็นวัสดุกันซึม ดินเหนียวต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า ๖๐ เซนติเมตร โดยทำการบดอัดดินเหนียวให้แน่นที่ระดับความหนา ๓๐ เซนติเมตร และ ๖๐ เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับกรณีที่ใช้วัสดุอื่นเป็นวัสดุกันซึม หรือจะต้องมีการจัดการเป็นพิเศษจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นกรณี ๆ ไป

๓.๒.๖ วัสดุกันซึมที่ใช้ปิดหลุมฝังจะต้องเป็นวัสดุชนิดและความหนาเดียวกับวัสดุกันซึมชั้นล่างส่วนชั้นดินปลูกพืชคอนบนต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า ๑๕๐ เซนติเมตร และระหว่างชั้นทั้งสองนี้อาจจะจัดให้มีชั้นทรายเพื่อเป็นมาตรการเสริมในการระบายน้ำออกจากส่วนบนของบริเวณที่ใช้ฝังกากให้เร็วยิ่งขึ้นก็ได้

๓.๒.๗ พืชที่ปลูกคลุมดินจะต้องเป็นพืชประเภทรากสั้น หรือมีเอกสารที่พิสูจน์ได้ว่าความยาวที่สุดของรากจะยาวนานน้อยกว่า ๑๕๐ เซนติเมตร

๓.๒.๘ ต้องจัดสร้างบ่อสังเกตการณ์เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะของน้ำใต้ดินในบริเวณใกล้เคียงตามขนาดและจำนวนที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ เพื่อตรวจสอบติดตามผลการดำเนินงานสถานที่ฝัง ตลอดช่วงเวลาที่ใช้งานอยู่ และน้ำใต้ดินจะต้องมีคุณลักษณะไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ชนิดของสาร</u>	<u>ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)</u>
อาร์เซนิก	๐.๐๕
แคดเมียม	๐.๐๕
โครเมียม	๐.๐๕
ตะกั่ว	๐.๐๕
ปรอท	๐.๐๐๑
นิกเกิล	๐.๐๕

<u>ชนิดของสาร</u>	<u>ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)</u>
แมงกานีส	๐.๓
ทองแดง	๑.๐
สังกะสี	๕.๐

๓.๓ การดำเนินการฝัง ต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

๓.๓.๑ จัดบันทึกและรายงานเกี่ยวกับรายละเอียดในการดำเนินการโดย
แจ้งชนิด/ประเภท ปริมาณ และวิธีการฝัง รวมทั้งฝังการจัดแบ่งการทิ้งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้
แล้วในแต่ละบริเวณ (cell) ของหลุม เก็บไว้เป็นหลักฐานพร้อมที่จะให้กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ตรวจสอบได้ทุกเมื่อ

๓.๓.๒ ต้องแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบทันทีในกรณีเกิดเหตุ
ฉุกเฉินหรืออุบัติเหตุเกี่ยวกับการรั่วไหลของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว และจะต้องแก้ไขเหตุฉุกเฉิน
หรืออุบัติเหตุนั้นให้พ้นจากภาวะอันตรายตามวิธีการและภายในระยะเวลาที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

๓.๓.๓ เมื่อเลิกใช้บริเวณฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วในบางส่วน
(cell) เป็นการชั่วคราว ต้องจัดให้มีการปิดคลุมด้วยดินเหนียว หรือปิดคลุมด้วยดินแล้วปลูกหญ้ากัน
การฟุ้งกระจายหรือปิดคลุมด้วยวัสดุกันซึมอื่นๆและจัดระบบระบายน้ำออกจากพื้นที่นั้นให้เพียงพอ

๓.๓.๔ การฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทที่อาจทำปฏิกิริยา
เคมีรุนแรงต่อกัน (incompatible waste) ไว้ในสถานที่แห่งเดียวกัน จะต้องจัดให้มีมาตรการป้องกัน
มิให้เกิดการสัมผัสหรือการผสมรวมตัวกันซึ่งอาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีรุนแรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓.๓.๕ ในกรณีที่ต้องฝังสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเหลว จะต้องบรรจุของเหลวนั้นไว้ในภาชนะที่คงทนต่อการกัดกร่อน และมีฝาปิดมิดชิด และจะต้องบุรอบ ๆ ภาชนะบรรจุด้วยสารดูดซับ (absorbent) อีกชั้นหนึ่ง

๓.๔ การตรวจสอบติดตามผลและการบำบัด

๓.๔.๑ ให้ตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินที่เก็บจากบ่อสังเกตการณ์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มดำเนินการฝังระหว่างดำเนินการฝังและหลังจากปิดการฝังขั้นสุดท้าย โดยเก็บตัวอย่างน้ำก่อนทำการฝังอย่างน้อย ๒ ครั้งเพื่อจัดบันทึกสำหรับใช้เปรียบเทียบและถ้าหากผลการตรวจสอบพบว่าคุณลักษณะของน้ำใต้ดินเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้จะต้องทำการแก้ไขโดยทันทีพร้อมทั้งแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบ

๓.๔.๒ ให้ตรวจสอบคุณลักษณะของน้ำเสียในบ่อรวบรวมทุกครั้งก่อนปล่อยทิ้งไป ถ้าพบว่ามีคุณสมบัติเกินกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมจะต้องทำการบำบัดจนมีคุณลักษณะเป็นไปตามมาตรฐานนั้นเสียก่อน

ข้อ ๔ ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการ โรงงานตามข้อ ๑ ที่ตั้งโรงงานอยู่ในเขตอื่นนอกเหนือจากที่กล่าวไว้ในข้อ ๓ ทำการทิ้งสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วด้วยวิธีการและ ณ สถานที่ที่เหมาะสมและปลอดภัยเป็นไปตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขทางวิชาการ ทั้งนี้ให้แจ้งรายละเอียดวิธีการและสถานที่ทิ้งดังกล่าวให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมพิจารณาความเหมาะสมเป็นราย ๆ ไป

ข้อ ๕ ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการ โรงงานตามข้อ ๑ ทำการเคลื่อนย้ายและขนส่งสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

๕.๑ ยานพาหนะที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายและขนส่ง ต้องบรรจุทุกสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วได้อย่างมิดชิด ไม่มีการรั่วไหล ตกหล่นหรือฟุ้งกระจายได้

๕.๒ ห้ามมิให้เคลื่อนย้ายและขนส่งสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทที่อาจทำปฏิกิริยาเคมีรุนแรงต่อกัน รวมไปถึงในยานพาหนะเดียวกัน โดยไม่มีมาตรการป้องกันการเกิดปฏิกิริยารุนแรงดังกล่าว

๕.๓ ชนิดของภาชนะบรรจุสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วสำหรับการเคลื่อนย้ายและขนส่ง จะต้องเหมาะสมกับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ๆ

๕.๔ จัดให้มีมาตรการเพื่อความปลอดภัยในการขนส่ง รวมทั้งมาตรการแก้ไขเหตุฉุกเฉินในกรณีเกิดอุบัติเหตุหรือหกล้มในระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งอย่างเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ ๖ วิธีการสกัดสาร (Extraction Procedure) และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำสกัด ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

๖.๑ บดตัวอย่างสิ่งปฏิภูมให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดของสิ่งปฏิภูมระหว่าง ๐.๕ มิลลิเมตร ถึง ๕ มิลลิเมตร

๖.๒ นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ ๖.๑หนัก ๕๐ กรัม ใส่ในตัวทำละลายซึ่งประกอบด้วย น้ำกลั่นผสมกับกรดไฮโดรคลอริก จนมีความเป็นกรดค่าระหว่าง ๕.๘ ถึง ๖.๓ ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น ๑๐ เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างสิ่งปฏิภูม

๖.๓ เขย่าบนเครื่องเขย่า (Agitator) เป็นเวลา ๖ ชั่วโมง โดยใช้เครื่องเขย่าชนิด ๒๐๐ รอบ/นาที ที่ช่วงกว้างของการเขย่า ๕ เซนติเมตร

๖.๔ กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรองใยแก้ว ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู ๑ ไมครอน

๖.๕ นำของเหลวที่ได้ ไปวิเคราะห์หาค่าสารมลพิษต่าง ๆ ตามวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้ง

ข้อ ๗ การแจ้งรายละเอียดมาตรการกำจัดสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

๗.๑ ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานตามข้อ ๑ ส่งเอกสารดังต่อไปนี้แนบมาพร้อมแบบแจ้งรายละเอียดมาตรการกำจัดสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วของโรงงาน

- แผนที่แสดงที่ตั้งโรงงาน บริเวณกำจัดสิ่งปฏิภูมและสถานที่ทิ้ง ผังภาค
- แผนการดำเนินงาน เช่น วิธีการเก็บ วิธีการและเส้นทางขนส่ง วิธีการทำลายฤทธิ์ วิธีการทิ้งหรือฝัง ตลอดจนการจดบันทึกและติดตามผล

- แผนการแก้ไขเหตุฉุกเฉินและมาตรการรักษาความปลอดภัยในการขนส่ง

๗.๒ ให้แจ้งรายละเอียดตามข้อ ๗.๑ ภายใน ๕๐ วัน หลังจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๒๕ (พ.ศ. ๒๕๓๑) มีผลใช้บังคับ และทุกครั้งเมื่อมีการยื่นคำขอต่ออายุใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน ตามมาตรา ๑๗ หรือเมื่อยื่นคำขอรับใบอนุญาตขยายโรงงานตามมาตรา ๒๑ แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๑๒

๗.๓ การแจ้งรายละเอียดดังกล่าว ให้ใช้แบบตามที่กำหนดไว้ท้ายประกาศนี้ ประกาศ ณ วันที่ ๓๐ กันยายน พ.ศ. ๒๕๓๑

พิศาล คงสำราญ

(นายพิศาล คงสำราญ)

อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้