สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดโครเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการ โดยวิธีรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน และกระบวนการเฟอร์ไรท์

T049257

นางสาวจันทพร สุนทรเลิศวณิช
นางสาวสายสุนีย์ จำรัส
นางสาวสิรินันท์ กันศิริ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....49257
วัน, เดือน, ปี.....18 ก.พ. 2547
.b.....
.i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Chromium and Lead from Laboratory Wastewater by Reduction-Precipitation and Ferrite Process

Miss Chantaporn Soontornlaerdwanich

Miss Saysunee Jumrat

Miss Sirinun Kansiri

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

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การกำจัดโครเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการ โดยวิธีรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน และกระบวนการเฟอร์ไรท์

นักศึกษา นางสาวจันทพร สุนทรเลิศวณิช

นางสาวสายสุนีย์ จำรัส

นางสาวสิรินันท์ กันศิริ

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ยุพา ตันทวี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	.....
กรรมการ	ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	.....
กรรมการ	อาจารย์ยุพา ตันทวี	.....

.....

(รศ. ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานพิเศษ	การกำจัดโครเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการโดยวิธีรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน และกระบวนการเฟอร์ไรท์
นักศึกษา	นางสาวจันทพร สุนทรเลิศวณิช
	นางสาวสายสุนีย์ จำรัส
	นางสาวสิรินันท์ กันศิริ
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2545
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ยุพา ตันทวี

บทคัดย่อ

การศึกษาการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการที่มีโครเมียมและตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เข้มข้น 2,330 และ46มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยวิธีรีดักชัน–พรีซิพิเตชันและกระบวนการเฟอร์ไรท์ ปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับรีดิวส์โครเมียม(VI)เป็นโครเมียม(III) คือ 2.5 และ 1.0 เท่าทางทฤษฎีสำหรับเฟอร์รัสซัลเฟตและโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ตามลำดับ จากนั้นตกตะกอนโลหะโดยเลือกใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการรีดิวส์และตกตะกอนที่ให้ผลการบำบัดดีที่สุด คือ ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 8.5 โดยสามารถลดปริมาณโครเมียมและตะกั่วในน้ำทิ้งเหลือ 0.027 และ 0.041 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ให้ผลการบำบัดที่ดีที่สุดที่อัตราส่วนโมล $Cr/FeSO_4.7H_2O$เป็น 8.889×10^{-4} เวลาพ่นอากาศ 60 นาที ปริมาณโครเมียมและตะกั่วที่เหลือเป็น0.031และ0.121 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการบำบัดทุกกระบวนการผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งและมีบระสิทธิภาพการบำบัดมากกว่าร้อยละ 99

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพบว่าค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการบำบัดโดยวิธีรีดักชัน–พรีซิพิเตชันด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 8.5มีราคาถูกกว่าการบำบัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ซึ่งต้องเสียค่าพลังงานที่ใช้สำหรับการให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส แต่ตะกอนที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์สามารถแยกได้ง่ายโดยใช้แม่เหล็ก

คำสำคัญ : การรีดิวส์โครเมียม(VI), การตกตะกอนไฮดรอกไซด์, กระบวนการเฟอร์ไรท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Removal of Chromium and Lead From Laboratory Wastewater by Reduction-Precipitation and Ferrite Process
Name	Miss Chantaporn Soontornlaerdwanich
	Miss Saysunee Jumrat
	Miss Sirinun Kansiri
Department	Chemistry
Program	Environment Resource Chemistry
Academic year	2002
Special Project Advisor	Mrs. Yupa Tantawee

ABSTRACT

Study on the removal of heavy metals from laboratory wastewater contained chromium (VI)and lead(II) 2,330 and 46 mg/l, respectively by reduction-precipitation and ferrite process. First experiment, chromium(VI) was reduced to chromium(III) by using ferrous sulfate and sodium metabisulfite at amount of 2.5 and 1.0 times of theoritical dosage, respectively. After that chromium(III) and lead (II) were precipitated with two chemicals sodium hydroxide and magnesium hydroxide. The best treatment for reducing and precipitation were using ferrous sulfate and sodium hydroxide with adjusted pH 8.5. This method could reduced chromium and lead to 0.027 and 0.041 mg/l, respectively. Next experiment, wastewater was treated by ferrite process ,the best treatment by using $Cr/FeSO_4.7H_2O$ mole ratio of 8.889×10^{-4} and aerated time 60 minutes. This method could reduced chromium and lead to 0.031 and 0.121 mg/l, respectively. Both experiments gave good results, it could treat both metals to very low concentration and more than 99 % removal efficiency.

The cost of reduction-precipitation process by using ferrous sulfate and sodium hydroxide was lower chemicals cost than ferrite process but ferrite process needed energy for heating up to $70^{\circ}C$ and easy to separate the precipitate by magnet.

Key words : reduction of chromium(VI), hydroxide precipitation, ferrite process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนการดูแล เอาใจใส่ ในการแก้ปัญหาจาก อาจารย์ยุพา ตันทวี ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงงานพิเศษในครั้งนี้ทุกท่าน ที่กรุณาเสนอแนะ และแก้ไขเพิ่มเติมทำให้โครงงานพิเศษนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณพี่ๆเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ตึกคณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้ความรู้และความช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณพี่สุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการณุเคมี ตึกคณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้ตวามรู้และความช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆที่ทำการทดลองเรื่อง สมดุลเคมี และช่วยเก็บรวบรวมน้ำเสียไว้เป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ๆและน้องๆที่ให้ความรัก ความห่วงใย คอยช่วยเหลือในด้านปัจจัยต่างๆ รวมทั้งให้กำลังใจตลอดมา

ผู้จัดทำ

นางสาวจันทพร สุนทรเลิศวณิช

นางสาวสายสุณีย์ จำรัส

นางสาวสิรินันท์ กันศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 โลหะหนัก	5
2.1.1 ตะกั่ว	5
2.1.2 โครเมียม	13
2.2 การจัดการของเสียอันตราย	18
2.3 การบำบัดทางเคมี	20
2.3.1 การทำให้เป็นกลาง	20
2.3.2 การตกผลึกทางเคมีของโลหะหนัก	21
2.3.2.1 ประเภทของการตกผลึก	25
2.3.3 การสร้างตะกอนและการรวมตะกอน	33
2.3.4 การออกซิเดชัน รีดักชัน	34
2.3.5 อิเลคโตรไลซีส	39
2.3.6 ไฮโดรไลซีส	39
2.3.7 การสกัดและการชะละลายทางเคมี	40
2.3.8 การแลกเปลี่ยนประจุ	40
2.4 กระบวนการเฟอร์ไรท์	42
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	55
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	55
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	56
3.3 การดำเนินการทดลอง	57
3.3.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย	57
3.3.2 แผนการทดลอง	57
บทที่ 4 ผลการทดลอง	64
4.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น	64
4.2 การศึกษาลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีซึ่งมีโครเมียมและตะกั่วเป็นองค์ประกอบ	64
4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียมและตะกั่วเป็นองค์ประกอบ ด้วยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพริเตชัน (Reduction-Precipitation Process)	65
4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม (Cr^{6+}) และตะกั่ว (Pb^{2+}) ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ (Ferrite Process)	72
4.5 การศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสีย	81
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	84
5.1 สรุปผลการทดลอง	84
5.2 ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารอ้างอิง	86
ภาคผนวก ก	88
ภาคผนวก ข	92
ภาคผนวก ค	95
ภาคผนวก ง	97
ภาคผนวก จ	100
ภาคผนวก ฉ	102
ภาคผนวก ช	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ซ 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของโลหะตะกั่วและสารประกอบตะกั่ว 6

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อดีและข้อเสียของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 31

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดมลสารออกจากน้ำเสียด้วยสารเคมี 32

ตารางที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันในการบำบัดน้ำเสีย 35

ตารางที่ 2.5 แสดงการบำบัดสารอนินทรีย์ เคมีด้วยการไฮโดรไลซิส 40

ตารางที่ 2.6 แสดงไอออนโลหะที่สร้างเฟอร์ไรท์ 44

ตารางที่ 2.7 แสดงการจำแนกน้ำเสียสำหรับกระบวนการเฟอร์ไรท์ 45

ตารางที่ 2.8 แสดงข้อดีของกระบวนการเฟอร์ไรท์ 48

ตารางที่ 2.9 แสดงข้อเสียของกระบวนการเฟอร์ไรท์และวิธีการแก้ไข 48

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียม(VI)ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 65

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียมโดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตและการตกตะกอนโครเมียม(III)และตะกั่ว(II)ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 67

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียมโดยใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์และการตกตะกอนโครเมียม(III)และตะกั่ว(II)ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 68

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียมโดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตและการตกตะกอนโครเมียม(III)และตะกั่ว(II)ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 70

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียมโดยใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์และการตกตะกอนโครเมียม(III)และตะกั่ว(II)ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 71

ตารางที่ 4.6 ตารางสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก ในแต่ละชุดการทดลองสำหรับกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราส่วนโมลของ $Cr/FeSO_4.7H_2$ 73

ตารางที่ 4.8 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยใช้ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 5.333×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ $Cr/FeSO_4.7H_2O$ 74

ตารางที่ 4.9 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยใช้ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 2.667×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ $Cr/FeSO_4.7H_2O$ 75

ตารางที่ 4.10 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยใช้ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 1.778×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ $Cr/FeSO_4.7H_2O$ 76

ตารางที่ 4.11 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยใช้ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 1.333×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ $Cr/FeSO_4.7H_2O$ 77

ตารางที่ 4.12 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยใช้ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 1.067×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ $Cr/FeSO_4.7H_2O$ 78

ตารางที่ 4.13 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยใช้ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 8.889×10^{-4} อัตราส่วนโมลของ $Cr/FeSO_4.7H_2O$ 79

ตารางที่ 4.14 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยใช้ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 7.619×10^{-4} อัตราส่วนโมลของ $Cr/FeSO_4.7H_2O$ 80

ตารางที่ 4.15 ราคาสารเคมี 82

ตารางที่ 4.16 แสดงเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละสภาวะการทดลอง 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการจัดการของเสียอันตราย 18
รูปที่ 2.2 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นกรดหรือด่าง 21
รูปที่ 2.3 แสดงช่วงพีเอชสำหรับการกำจัดโครเมียมประจุบวกสาม 22
รูปที่ 2.4 แสดงความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่พีเอชต่างๆ 23
รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความสามารถในการละลายน้ำ ของโลหะหนักต่างๆ 24
รูปที่ 2.6 แสดงกราฟแสดงความสามารถในการละลายน้ำของโลหะไฮดรอกไซด์ 26
รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการแยกสลายทางไฟฟ้า 39
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ spinel 42
รูปที่ 2.9 แสดงสภาพสำหรับเกิดเฟอร์ไรท์ 43
รูปที่ 2.10 แสดงแผนภาพการกำจัดโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์ 45
รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพกระบวนการเฟอร์ไรท์ 46
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจาก การกำจัดโดยทำการรีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎีและ ตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 67
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจาก การกำจัดโดยทำการรีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทาง ทฤษฎีและ ตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 68
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจาก การกำจัดโดยทำการรีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎีและ ตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 70
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจาก การกำจัดโดยทำการรีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทาง ทฤษฎีและ ตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการพ่นอากาศ กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ เหลือจากการกำจัด โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 5.333×10^{-3} 74

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการพ่นอากาศ กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัด โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 2.667×10^{-3} 75

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการพ่นอากาศ กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัด โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O_1$ เป็น 1.778×10^{-3} 76

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการพ่นอากาศ กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัด โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 1.333×10^{-3} 77

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการพ่นอากาศ กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัด โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 1.067×10^{-3} 78

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการพ่นอากาศ กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัด โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 8.889×10^{-4} 79

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการพ่นอากาศ กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัด โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 7.619×10^{-4} 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันภาวะมลพิษทางด้านต่างๆในประเทศไทยเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก มีกฎหมายที่บัญญัติขึ้นมาเพื่อควบคุมปริมาณมลพิษที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญนั้นมีสาเหตุหลักมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีขึ้นอย่างกว้างขวาง ทำให้เกิดวัตถุมีพิษอย่างมาก ปัญหาที่เห็นได้ชัดอย่างหนึ่งจากโรงงานอุตสาหกรรมคือ ภาวะมลพิษทางน้ำ ได้มีกฎหมายเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยแหล่งกำเนิดน้ำทิ้งอาจมาจากโรงงานอุตสาหกรรม อาคารบ้านเรือน หรือโรงแรม เป็นต้น แต่ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ เนื่องจากมลพิษที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมส่งผลกระทบรุนแรงกว่า ในความเป็นจริงจะพบว่า ห้องปฏิบัติการจะมีการวิเคราะห์ทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ซึ่งล้วนก่อให้เกิดมลพิษหากยังไม่มีการควบคุมและการจัดการที่ถูกต้องอาจส่งผลกระทบที่รุนแรงได้ในอนาคต โดยเฉพาะหากมีการวิเคราะห์ ทดสอบ โดยใช้สารเคมีที่ประกอบด้วยโลหะหนักในปริมาณมาก ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำสาธารณะที่จะรองรับน้ำทิ้ง ซึ่งโลหะหนักเป็นปัญหาสำหรับมนุษย์และสัตว์ โดยส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ทางเดินอาหาร กล้ามเนื้อและอื่นๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการทบทวนสถานการณ์ของสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสารพิษนี้

น้ำทิ้งที่เกิดจากการวิเคราะห์ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จะเกิดการตกค้างของโลหะหนักในน้ำและกระจายสู่สิ่งแวดล้อม โดยถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร จึงควรหาหนทางในการบำบัดโลหะหนักในน้ำ และกระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร จึงควรหาหนทางในการบำบัดโลหะหนักเหล่านี้ โดยอาศัยหลักเกณฑ์ วิธีการทำลายฤทธิ์ การกำจัดทิ้ง หรือการฝังกลบสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้ว การบำบัดของเสียโลหะหนักมีหลายวิธี ทั้งทางด้านเคมี และด้านกายภาพ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะโครเมียม และตะกั่วในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยวิธีการตกตะกอน และกระบวนการเฟอร์ไรท์ ในการตกตะกอนใช้เฟอร์รัสซัลเฟตและโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์เป็นตัวรีดิวส์โครเมียมบวกหกเป็นโครเมียมบวกสาม ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์พร้อมกับการแปรค่าปริมาณสารเคมี ค่าพีเอช ในการตกตะกอน สำหรับกระบวนการเฟอร์ไรท์ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต มีอากาศเป็นตัวออกซิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดส์โดยแปรค่าปริมาณสารและเวลาในการพ่นอากาศ ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง เพื่อให้สามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียชนิดเดียวกันหรือน้ำเสียต่างชนิดจากห้องปฏิบัติการ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน และกระบวนการเฟอร์ไรท์
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการรีดักชันโครเมียม
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนโครเมียมและตะกั่วในรูปไฮดรอกไซด์
4. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียมและตะกั่วในรูปไฮดรอกไซด์
5. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเฟอร์ไรท์
6. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการกำจัดโครเมียมและตะกั่วด้วยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน และกระบวนการเฟอร์ไรท์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน โดยแปรค่า
   - ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตและโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์สำหรับกระบวนการรีดักชันโครเมียม เป็น 1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เท่าของปริมาณที่ต้องใช้ตามทฤษฎี
   - พีเอชในการตกตะกอนที่ 7.5,8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ11.0
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการเฟอร์ไรท์ โดยแปรค่า
   - ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเป็น 1.87, 3.74, 5.61, 7.48, 9.34, 11.21 และ13.08 กรัม
   - เวลาในการพ่นอากาศที่ 15, 30, 60 และ 120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2545							2546			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
- ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล	←	—	—	—	—	—	—	—	—	→	
- ตั้งวัตถุประสงค์และขอบเขต			↔	↔							
- จัดทำเค้าโครงงานวิจัย			↔	—	→						
- เสนอเค้าโครงงานวิจัย				↔	→						
- วางแผนการทดลอง		↔	—	—	—	→					
- เตรียมอุปกรณ์และสารเคมี				↔	—	→					
- รวบรวมตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้วิเคราะห์			↔	—	→						
- ดำเนินการทดลอง	←	—	—	—	—	—	—	—	—	→	
- รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง						↔	—	—	—	—	→
- สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง										↔	
- จัดทำรูปเล่มรายงาน									↔	—	→
- เตรียมเสนอเค้าโครงงานพิเศษ										↔	
- เสนอโครงงานพิเศษ											↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ด้วยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน และกระบวนการเฟอร์ไรท์
2. สามารถประเมินประสิทธิภาพสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดโลหะโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ด้วยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน และกระบวนการเฟอร์ไรท์
3. สามารถประเมินและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดโลหะโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ด้วยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน และกระบวนการเฟอร์ไรท์
4. สามารถนำวิธีการและสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะโครเมียมและตะกั่วจากห้องปฏิบัติการเคมีไปใช้ในการปฏิบัติจริง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท ทองแดง นิกเกิล เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้น ปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ โลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและความร้อนดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญ คือ สามารถรวมตัวกับสารอื่น เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ

ความเป็นพิษของโลหะเป็นผลเนื่องมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่างๆ กัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย โลหะเหล่านี้ปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศ และผลิตทางการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และมีผลกระทบต่อเมตาโบลิซึมของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

2.1.1 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วมีเลขอะตอม 82 เป็นธาตุที่ 5 ของหมู่ IVAในตารางธาตุจัดเป็นโลหะ น้ำหนักอะตอม 207.19 จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นเท่ากับ11.34 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส เลขออกซิเดชันสามัญ +2 , +4 โครงสร้างผลึกเป็น face-centered cubic

การค้นพบ

ตะกั่วเป็นโลหะหนึ่งที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่สมัยโบราณ มีหลักฐานยืนยันว่ามนุษย์รู้จักนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่ 4,000 ปีก่อนคริสตศักราช

ตะกั่วมีสัญลักษณ์ Pb จากชื่อละติน plumbum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางกายภาพ

เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะทั่วไป ตะกั่วมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างต่ำและมีจุดเดือดสูงพอสมควร ตะกั่วบริสุทธิ์เป็นโลหะหนัก มีสีเทา จัดเป็นโลหะค่อนข้างอ่อนมีแรงเทนไซล์ (tensile strength) ต่ำ จึงไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักมากๆ อย่างไรก็ตามความอ่อนของตะกั่วมีประโยชน์ในแง่ที่โลหะนี้สามารถนำไปแปรรูปได้ง่าย

โลหะตะกั่วสามารถตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ แต่ดึงเป็นเส้นได้ไม่ค่อยดีนัก และมีความสามารถในการนำไฟฟ้าไม่ดี สมบัติทางกายภาพทั่วไปของตะกั่วและสารประกอบตะกั่วแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางภายภาพของโลหะตะกั่ว และสารประกอบตะกั่ว (Patty, 1962)

สารประกอบของตะกั่ว	จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$)	จุดเดือด ($^{\circ}C$)	คุณสมบัติการละลายน้ำ
โลหะตะกั่ว	327.4	1,525	ไม่ละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็น ละลายในกรดอะซิติค และ HNO_3
เลดอะซิเตท (แอนไฮดรัส)	280		443 กรัมต่อลิตร ละลายได้ในน้ำเย็น และ 2212 กรัมต่อลิตรละลายได้ในน้ำร้อน
เลดอาซาเนต (ยาฆ่าแมลง)			ละลายได้ในน้ำร้อน กรด และด่าง ไม่ละลายในน้ำเย็น
โมโน ได เมทา และออโธ เลดเอไซด์	ระเบิดที่ 350		0.23 กรัมต่อลิตร ละลายได้น้ำเย็น 0.9 กรัมต่อลิตร ละลายได้ในน้ำร้อน และละลายในอะซิติค
เลดโบรไมด์	373	9.16	4.55 กรัมต่อลิตร ละลายได้ในน้ำเย็น 47.1 กรัมต่อลิตรละลายได้ในน้ำร้อน กรด และด่าง
เลดคาร์บอเนต (ตะกั่วขาว)	สลายตัว		ไม่ละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็นละลายในกรด และด่าง
เลดคลอไรด์	501	954	6.73 กรัมต่อลิตร ละลายได้ในน้ำเย็น 33.4 กรัมต่อลิตร ละลายได้ในน้ำร้อน กรด และด่าง
เลดโครเมต (โครมเหลือง)	844	สลายตัว	0.0005 กรัมต่อลิตร ละลายได้ในน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางภายภาพของโลหะตะกั่ว และสารประกอบตะกั่ว (Patty, 1962) (ต่อ)

สารประกอบของตะกั่ว	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	คุณสมบัติการละลายน้ำ
			ละลายในกรด และด่าง ยกเว้นในกรดอะซิติค
เลดฟลูออไรด์	855	1,290	0.64 กรัมต่อลิตร ละลายได้ในน้ำเย็น ละลายใน HNO_3 และ H_2SO_4 ไม่ละลายในด่าง
เลดไนเตรต	สลายตัวที่ 470	สลายตัว	388 กรัมต่อลิตร ละลายได้ในน้ำเย็น 1,388 กรัมต่อลิตร
เลดซีควิออกไซด์	สลายตัวที่ 360	สลายตัว	ละลายได้ในน้ำร้อน กรด และด่าง ละลายในกรดและด่าง ไม่ละลายในน้ำเย็น สลายตัวในน้ำร้อน
เลดออกไซด์ (ตะกั่วแดง)	สลายตัวที่ 500		ละลายในกรด ไม่ละลายในน้ำร้อน น้ำเย็น และด่าง
เลดโมโนออกไซด์	888		0.017 กรัมต่อลิตร ละลายได้ในน้ำเย็น ละลายในด่าง
เลดซับออกไซด์	สลายตัว		ละลายในกรดและด่าง ไม่ละลายในน้ำเย็น
เลดไดออกไซด์ (เพอร์รอกไซด์)	สลายตัวที่ 290		ละลายในกรดและด่าง ไม่ละลายในน้ำเย็นและน้ำร้อน
เลดซิลิเกต (กระจกผิวเรียบ)	766		ละลายในด่าง สลายตัวในกรด ไม่ละลายในน้ำเย็น
เลดซัลเฟต	1,170	0.0028	0.0056 กรัมต่อลิตรละลายได้ในน้ำเย็น ละลายในกรด ยกเว้นในกรดอะซิติก
เลดซัลเฟต (เดิม)	977	0.0044	ละลายในกรด H_2SO_4
เลดซัลไฟด์	1,114		ละลายในกรด ไม่ละลายในด่าง และน้ำเย็น (ตามธรรมชาติ)
เลดเตตระเอทิล	-130	200	ไม่ละลายในกรด ด่าง น้ำเย็น และน้ำเย็น
เลดเตตระเมทิล	-27.5	110	ไม่ละลายในกรด ด่าง น้ำร้อน และน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางเคมี

โลหะตะกั่วเป็นโลหะที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยานัก สามารถทนต่อการผุกร่อนได้ดีที่สุดโลหะหนึ่ง เมื่อเกิดสารประกอบตะกั่วในสารประกอบทั่วไปมีเลขออกซิเดชัน +2 และ +4 สมบัติทางเคมีของตะกั่วมีดังนี้

1. สามารถละลายในกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกได้น้อยมาก จนถือได้ว่าไม่ละลายก็ได้เพราะเกิด $PbSO_4$ และ $PbCl_2$ ไปเคลือบผิว ทำหน้าที่ขัดขวางการละลายหรือการเกิดปฏิกิริยาต่อไป

2. สามารถละลาย (หรือออกซิไดส์) ในกรดไนตริก โดยสามารถละลายในกรดไนตริกเจือจางเร็วกว่ากรดไนตริกที่เข้มข้น

3. ตะกั่วเป็นโลหะ amphoteric นอกจากจะเกิดเกลือ plumbous (Pb^{2+}) และ plumbic (Pb^{4+}) แล้วยังเกิดสารประกอบ plumoite และ plumbate ด้วย

4. ภายใต้อากาศชื้น ผิวของตะกั่วจะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ (tamish) เพราะเกิด PbO ไปเคลือบที่ผิว

5. ภายใต้บรรยากาศแห้ง หรือในน้ำที่ปราศจากออกซิเจน โลหะตะกั่วสามารถคงอยู่ได้อย่างเสถียร

6. ตะกั่วในสถานะหลอมเหลวสามารถออกซิไดส์เป็น PbO ถ้าให้อุณหภูมิสูงขึ้นคือที่ 430 องศาเซลเซียส PbO จะค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็น Pb_3O_4 ซึ่งมีสีแดง ถ้าให้ความร้อนต่อไปอีก 550 องศาเซลเซียส Pb_3O_4 จะสลายให้ PbO และ O_2

7. ตะกั่วสามารถเกิดออกไซด์อื่นๆ ได้แก่ Pb_2O_3 และเลดออกไซด์ (PbO) ซึ่งสลายตัวที่ 630 องศาเซลเซียส เป็น PbO และ O_2

8. กรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก ซิตริก ทาร์ทาริก สามารถละลายตะกั่วได้อย่างช้าๆ

การใช้ประโยชน์

ตะกั่วจัดเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมและมีเพียงไม่กี่โลหะเท่านั้นที่มีปริมาณการใช้มากกว่าตะกั่ว โลหะเหล่านี้ได้แก่ เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และอะลูมิเนียม (Al) ทั่วโลกใช้ตะกั่วประมาณ 3 ล้านตัน ตะกั่วใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ และใช้ในรูปเตตระเอทิลเลดซึ่งใช้เติมใส่น้ำมันเพื่อเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างประโยชน์ที่สำคัญของตะกั่วมีดังนี้

1. ใช้ในการสังเคราะห์สารเตตระเอทิลเลต หรือ TEL ซึ่งเป็นสารที่ใช้เติมใส่แก๊สโซลีน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนของแก๊สโซลีน สาร TEL เตรียมจากเอทิลคลอไรด์และโลหะเจือของตะกั่ว สาร TEL มีความเป็นพิษอย่างแรง ดังนั้นแก๊สโซลีนที่มีการเติม TEL จึงมักเติมสี เพื่อเป็นการเตือนในตัว

เมื่อเผาไหม้แก๊สโซลีนที่มีการเติม TEL สารนี้จะถูกออกซิไดส์เป็นเลดออกไซด์ (PbO) ซึ่งเมื่อเกิดแล้วจะถูกรีดิวส์ทันทีเป็นโลหะตะกั่วไปเกาะอยู่ในเสื้อสูบของเครื่องยนต์ เพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงต้องมีการเติมสารโบรไมด์หรือคลอไรด์อินทรีย์ลงไปในแก๊สโซลีนด้วย ซึ่งสารที่เติมใส่ทั่วไปได้แก่ เอทิลีน ไดโบรไมด์ และเอทิลีนไดคลอไรด์ แก๊สโซลีนที่มีสารทั้งสองนี้อยู่ด้วย เมื่อเกิดการเผาไหม้ ตะกั่วของ TEL จะเปลี่ยนไปเป็น $PbCl_2$ และ $PbBr_2$ ซึ่งเป็นสารเสถียรและระเหยง่าย และถูกขับออกจากเครื่องยนต์ออกมาสู่สิ่งแวดล้อมทางท่อไอเสีย

แก๊สโซลีนซุปเปอร์ที่ใช้ทั่วไปเติม TEL ประมาณร้อยละ 0.05 โดยปริมาตรหรือตะกั่วประมาณ 3 กรัมต่อแก๊สโซลีน 1 แกลลอน (1 แกลลอนประมาณ 3.7 ลิตร) ซึ่งเป็นปริมาณที่มากทีเดียว และพิจารณาจากปริมาณแก๊สโซลีนที่ใช้ในแต่ละวันจะเห็นว่าสารประกอบของตะกั่วปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในแต่ละวันเป็นปริมาณมหาศาล

2. ใช้ในแบตเตอรี่ แบตเตอรี่รถยนต์ที่ใช้ทั่วไปเป็นเซลล์กัลวานิกใช้โลหะตะกั่วเป็นอาโนดและออกไซด์ของโลหะตะกั่ว (PbO_2) เป็นคาโทด เนื่องจากอุตสาหกรรมแบตเตอรี่รถยนต์เป็นแหล่งที่มีการใช้ตะกั่วในปริมาณมหาศาลแหล่งหนึ่ง

3. การใช้งานอื่นๆ ได้แก่ ใช้งานบัดกรี ทำโลหะเจือ ใช้ในการทำท่อในอุตสาหกรรมเคมี เช่น อุตสาหกรรมผลิตกรดซัลฟูริก กระสุนปืน

การแพร่กระจายของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม

การผลิตสารตะกั่วจำแนกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ ตะกั่วปฐมภูมิ และตะกั่วทุติยภูมิ ประเภทแรกเป็นการผลิตตะกั่วจากการถลุงแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกาลีน่า (PbS) แล้วหลอมให้บริสุทธิ์ ส่วนประเภทหลังเป็นการหลอมเศษตะกั่วส่วนใหญ่ได้แก่ แบตเตอรี่ แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ในการผลิตตะกั่วทั้งสองประเภทนั้นทำให้เกิดปัญหา การปนเปื้อนสารตะกั่วในสภาวะแวดล้อม ทั้งดิน น้ำ และอากาศ นอกจากนี้ยังมีผลต่อเนื่องไปยังประชาชนผู้ที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียงอีกด้วย

สารตะกั่วที่ผลิตได้นำไปใช้ในการทำแบตเตอรี่เป็นหลัก นอกจากนั้นจะใช้ในการทำตะกั่วแอลกิลเพื่อผสมในน้ำมันเบนซินเป็นสาร antiknock ทำสายเคเบิล และผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น สี ยา ปราบศัตรูพืช ตะกั่วอาร์เซเนท ตลอดจนการทำโลหะผสมต่างๆ น้ำมันตะกั่วอินทรีย์ คือตะกั่วเตตระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกิล ได้แก่ ตะกั่วเตตระเมทิล ตะกั่วเตตระเอทิล และ ตะกั่วแอลกิลไตรเอทิลผสม คือ ตะกั่วไดเมทิล และตะกั่วไดเอทิล

ส่วนใหญ่ใช้ตะกั่วแอลกิล คือ ตะกั่วเตตระเอทิล และ ตะกั่วเตตระเมทิล เป็นสารผสมในน้ำมันรถยนต์ สารประกอบตะกั่วอินทรีย์ทั้งสองเป็นของเหลว ไม่มีสี และระเหยกลายเป็นไอ ได้น้อยกว่า น้ำมัน จุดเดือดของตะกั่วเตตระเมทิลเป็น 110 องศาเซลเซียส และตะกั่วเตตระเอทิล เป็น 200 องศาเซลเซียส แต่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันมีจุดเดือด ตั้งแต่ 20-200 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อน้ำมันรถยนต์ระเหยเป็นไอ จะทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วอินทรีย์ทั้งสองในน้ำมันสูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ตะกั่วแตกตัวที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำกว่าจุดเดือด หรือแตกตัวด้วยแสง UV หรือเมื่อมีสารประกอบฮาโลเจน กรด หรือสารออกซิไดส์ต่างๆ ซึ่งความเข้มข้นต่ำมากในบรรยากาศ

ตะกั่วอินทรีย์ในน้ำมันเบนซินแตกตัวระหว่างการสันดาปในเครื่องยนต์ และกลายรูปเป็นตะกั่วอนินทรีย์และ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ของตะกั่ว ซึ่งใช้ในน้ำมันรถยนต์ออกสู่บรรยากาศทางท่อไอเสีย ในรูปสารประกอบตะกั่วอนินทรีย์ ปริมาณตะกั่วจะเพิ่มมากขึ้นในขณะขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูง และจะลดน้อยลงเมื่อรถเดินเครื่องอยู่กับที่ หรือเมื่อไปๆ หยุดๆ มีเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไอตะกั่วเตตระแอลกิลส่วนที่เหลือ 20-25 เปอร์เซ็นต์ ยังคงค้างอยู่ในท่อไอเสียและน้ำมันหล่อลื่น ไอระเหยของน้ำมันจากถังน้ำมันรถยนต์และคาร์บูเรเตอร์ ตลอดจนไอเสียจากเสื้อสูบ มีไอตะกั่วเตตระแอลกิล ตะกั่วอนินทรีย์ซึ่งระบายออกจากท่อไอเสียนี้อยู่ในรูปของอนุภาคมลสาร ส่วนตะกั่วเตตระแอลกิล อยู่ในรูปไอ มีเป็นส่วนน้อยจะถูกดูดซับติดกับอนุภาคมลสาร จะแยกตะกั่วอนินทรีย์ออกได้ด้วยการกรองตัวอย่างอากาศ ไอเสียจากรถยนต์ในชั้นต้นมีตะกั่วในรูปของฮาไลด์ แล้วเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบของตะกั่วออกไซด์ ซัลเฟต และคาร์บอเนต เมื่อทิ้งช่วงไว้นาน ดังนั้นการฟุ้งกระจายของสารประกอบตะกั่วอนินทรีย์จากรถยนต์ ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคมลสาร กล่าวคือ อนุภาคมลสารขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนจะตกลงสู่พื้น และลอยฟุ้งอยู่ในบรรยากาศไม่ได้นาน ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอน จะถูกกักอยู่ในช่องจมูก และหลอดลมในส่วนลำคอ และอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน จะเข้าสู่ระบบหายใจส่วนล่าง รวมทั้งส่วนต่างๆ ของปอด

ความเป็นพิษ

ตะกั่วเป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการกล่าวคือ ไม่มีส่วนที่เกี่ยวข้องระบบเผาผลาญอาหาร ยิ่งไปกว่านั้นตะกั่วยังเป็นพิษต่อร่างกายอย่างรุนแรง ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วเข้าไปในปริมาณสูง โดยปกติร่างกายของคนเราสามารถทนต่อตะกั่วในปริมาณสูงพอสมควร มีการวิจัยพบว่าคนทั่วไปมีตะกั่วในเลือด 0.25 ppm ไม่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างใด แต่ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณมากในทันทีทันใดเช่นในเลือดมีตะกั่วมากกว่า 0.8 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน เช่นเกิดอาการปวดท้องอย่างแรง อุจจาระมีสีดำ (เกิดจาก PbS ในอุจจาระ) เกิดอาการช็อค ตื่นเต้นง่าย ความจำเสื่อม และทำอันตรายต่อไต อาการพิษตะกั่วอย่างฉับพลันมักเกิดในคนงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วในกระบวนการผลิต เช่น โรงงานสังเคราะห์เตตระเอทิลเลด โรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น แต่สำหรับคนทั่วไปพิษของตะกั่วที่เกิดขึ้น เป็นแบบสะสมกล่าวคือร่างกายรับตะกั่วหรือสารประกอบตะกั่วเข้าไปทีละน้อย แต่มากกว่าที่ร่างกายจะสามารถขับถ่ายออกไปได้

สาเหตุการเกิดอาการพิษตะกั่ว

เนื่องจากตะกั่วสามารถป้องกันการเกิดฮีโมโกลบินของร่างกายโดยไปขัดขวางการสังเคราะห์ตัวที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตฮีโมโกลบิน เรียกว่า porphyrin นอกจากนี้แล้วยังสามารถขัดขวางการทำงานของเอนไซม์บางชนิดที่มีหมู่ –SH อยู่ด้วย เช่น โคเอนไซม์ A ทำให้ร่างกายเกิดอาการเป็นพิษผิดปกติดังกล่าวมาแล้ว

อาการต่างๆ ที่แสดงออกในขั้นเริ่มต้น ถ้าไม่รีบทำการรักษาอย่างเร่งด่วน อาจกลายเป็นอาการเรื้อรังหรืออาจเป็นโรคต่างๆ ได้เช่น โรคโลหิตจาง โรคไตพิการ โรคเยื่อบุสมองอักเสบ และยังสามารถสะสมในกระดูกได้อีกด้วย

จะเห็นได้ว่าพิษของตะกั่วมีอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอย่างมาก จึงควรมีการป้องกันไม่ให้ตะกั่วแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม

ตะกั่วที่เจือปนอยู่ในอากาศอาจแพร่กระจายสู่สิ่งมีชีวิตได้ 2 ทาง ทางตรงโดยการสูดหายใจหรือกินอาหารที่มีตะกั่วเจือปนเข้าไป ส่วนทางอ้อมนั้นตะกั่วจะเข้ารบกวนหรืออันตรายต่อสิ่งมีชีวิตโดยผ่านห่วงโซ่อาหาร ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกขับออกมาได้ช้ามาก ส่วนใหญ่จะถูกจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดงหมุนเวียนไปตามกระแสเลือด กระจายไปทั่วร่างกายสู่เนื้อเยื่อส่วนต่างๆ โดยจะสะสมอยู่ในไตในความเข้มข้นที่สูงสุด รองลงมาคือตับหลังจากนั้นชั่วระยะเวลาหนึ่งก็จะแพร่กระจายอีกครั้งหนึ่ง โดยไปยึดเกาะอยู่ในกระดูกเป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ในฟันและผม ตะกั่วเมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะมีผลรบกวนและเป็นอันตรายต่อระบบภายในร่างกายสิ่งมีชีวิตหลายระบบคือ

1. <u>ระบบการสร้างเม็ดเลือด</u> พิษตะกั่วทำให้เกิดโรคโลหิตจางโดยมีผลไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่สังเคราะห์ฮีม (heme) ทำให้ระดับฮีโมโกลบินลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบประสาท ตะกั่วมีพิษทำลายระบบประสาท ทำให้เกิดอาการเฉื่อยชา เมื่อยล้าง่าย เป็นอัมพาต ข้อมือข้อเท้าตก วิงเวียนศีรษะ กล้ามเนื้อทำงานไม่สัมพันธ์กัน ปวดหัวนอนไม่หลับ หงุดหงิด มึนงง และอาการชัก

3. ไต ตะกั่วจะทำความเสียหายแก่ท่อไต ทำให้มีการซับกรดอะมิโน น้ำตาลและฟอสเฟต ออกมากับปัสสาวะมากผิดปกติ ทั้งนี้เนื่องจากตะกั่วรวมตัวกับโปรตีนของเซลล์ภายในไตทำให้หลอดไตทำงานผิดปกติ

นอกจากนี้ตะกั่วยังมีผลต่อการทำงานของตับ หัวใจ และเส้นเลือด และยังเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย

ตะกั่วในน้ำเสีย

ตะกั่วเป็นสารที่ไม่สลายตัวเองตามธรรมชาติ และเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโดยการชะล้างตะกั่วซึ่งตกค้างจากการใช้งาน หรือจากกิจกรรมอุตสาหกรรมที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากตะกั่วมีสมบัติเหมาะในการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ในกิจกรรมแบตเตอรี่ ใช้ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบ ทำสี หุ้มสายเคเบิ้ล การบัดกรี ทำตัวพิมพ์ท่อน้ำ ลูกปืน แผ่นตะกั่ว ใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตแก้ว พลาสติก เซรามิก แผ่นเหล็ก อาบสังกะสี และโลหะผสมนานาชนิด

การละลายของตะกั่วในน้ำเสีย มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย โดยพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการละลายของตะกั่วในน้ำ คือ ความเป็นด่าง ความกระด้าง และค่าพีเอช ซึ่งพารามิเตอร์แต่ละตัวมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน กล่าวคือ อัตราส่วนความเป็นด่าง ซึ่งอยู่ในรูปคาร์บอเนต-ไบคาร์บอเนต-ไฮดรอกไซด์ มีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช และความกระด้างก็มีความสัมพันธ์กับความเป็นด่างและค่าพีเอชเช่นเดียวกัน

ผลของค่าพีเอช

การละลายของตะกั่วในสารละลายขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ที่พีเอชน้อยกว่า 8 ตะกั่วจะอยู่ในรูปสารละลาย และที่พีเอช 9-10 ตะกั่วจะตกตะกอนเป็นตะกั่วไฮดรอกไซด์ ดังสมการ

$$Pb^{2+}(aq) + 2OH^{-} \rightarrow Pb(OH)_2(s) + H_2O \qquad (2\text{-}1)$$

เนื่องจากคุณสมบัติตามธรรมชาติของตะกั่วไฮดรอกไซด์จะละลายในสารละลายที่มีพีเอชมากกว่า 10 ดังสมการ

$$Pb(OH)_2 + 2H_2O \rightarrow Pb(OH)_3 + H^{+} \qquad (2\text{-}2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความกระด้าง

การละลายของตะกั่ว ขึ้นอยู่กับความกระด้าง ในการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวที่พีเอช 10.5 ที่ พีเอช นี้ ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์

ผลของความเป็นด่าง

ในน้ำที่มีตะกั่วและคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าการละลายของตะกั่วขึ้นอยู่กับ ค่าพีเอชและความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออน ที่พีเอชน้อยกว่า 5 ตะกั่วจะอยู่ในรูปสารละลาย และที่พีเอช 5-8.5 ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนต ดังสมการ

$$Pb^{2+}(aq) + CO_3^{2-} \longrightarrow PbCO_3(s) \qquad (2\text{-}3)$$

ที่พีเอช 8.5-12.5 ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ หรืออาจจะตกตะกอนในรูป basic lead carbonate ดังสมการ

$$3\,Pb^{2+} + 2\,CO_3^{2-} + 2H_2O \longrightarrow Pb(CO_3)_2(OH)_2 + 2H^+ \qquad (2\text{-}4)$$

ที่ พีเอช 12.5 ตะกั่วจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วออกไซด์

2.1.2 โครเมียม (Cr)

โครเมียม (Cr) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 เกิดตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์หรือสินแร่ Chrome iron ($FeOCr_2O_3$) มีอยู่ประมาณ 0.037 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกโลก ทั่วทั้งโลกจะมีความเข้มข้นของโครเมียมในดินอยู่ในช่วงตั้งแต่ปริมาณน้อยมากๆจนถึง 24 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเข้มข้นในบรรยากาศจะมีอยู่ในช่วง 0.001-0.007 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Sitting, 1976)

เลขออกซิเดชันของโครเมียมมีตั้งแต่ –2 ถึง +6 (Hamilton และ Wetterhahn, 1988)

- โครเมียม (-2 ถึง 0) พบมาในคาร์บอนิล และสารประกอบโลหะอินทรีย์
- Hexacarbonylchromium (0) ($Cr(CO)_6$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว คงตัวในอากาศและไม่ละลายน้ำ
- โครเมียม (+2) เป็นตัวรีดิวส์ที่แรง และถูกออกซิไดส์เป็นโครเมียม (+3) โดยอากาศ
- โครเมียม (+3) เป็นเวเลนซีที่เสถียร เป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ ในสภาวะกรด $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ และในสภาวะด่าง $[Cr(OH)(H_2O)_5]^{2+}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โครเมียม (+6) พบมากในธรรมชาติพอๆ กับ (+3) แต่พบในรูปของสารประกอบที่มีออกซิเจน (oxo species) ตัวอย่างเช่น

- โครเมียม (+6) ออกไซด์ (กรดโครมิก : CrO_3)
- โครมิลคลอไรด์ (CrO_2C1_2)
- คลอโรโครเมต (CrO_3C1)
- โครเมต (CrO_4^{2-})
- ไดโครเมต ($Cr_2O_7^{2-}$)

เมื่อไดโครเมตละลายน้ำ จะได้โครเมต ดังสมการ

$$Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2CrO_4^{2-} + 2H^+ \qquad (2\text{-}5)$$

โครเมียม (+6) เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมาก ภายใต้สภาวะกรด (พีเอช 0)

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O \qquad (2\text{-}6)$$

ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้มีการนำโครเมียมมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก รงควัตถุ สีทา สีย้อม สารยึดอายุไม้ สารป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ การชุบโครเมียม และการฟอกหนัง เป็นต้น (Papp, 1985) นอกจากนี้ ยังมีการเติมสารประกอบโครเมียมลงในน้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันการกัดกร่อน อุตสาหกรรมการชุบเพลทโลหะและการประดิษฐ์ส่วนประกอบรถยนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำโลหะมาชุบโครเมียมมากที่สุด

ความเป็นพิษของโครเมียม

โครเมียมหรือสารประกอบของโครเมียม ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฝุ่นและควัน ซึ่งจะเข้าสู่ร่างกายได้โดย

1. <u>ทางจมูก</u> โดยการสูดหายใจเอาผงและควันของกรดโครมิก ซึ่งส่วนใหญ่จะตกค้างบริเวณจมูกและทำอันตรายแก่กระดูกอ่อนที่กั้นระหว่างจมูกและอาจเข้าไปถึงปอด ซึ่งทำให้เกิดมะเร็งขึ้นได้

2. <u>ทางผิวหนัง</u> คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับโครเมียมจะได้รับฝุ่นละอองหรือควันของโครเมียมจะเกิดปฏิกิริยาต่อผิวหนังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครเมียมเมื่อดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดอาการเป็นพิษดังนี้

1. แผลจากโครเมียมจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มเป็นรอยถลอกที่ผิวหนังและจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือตามข้อที่นิ้วมือหรือหลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลมของค่อนข้างเรียบ บุ๋มลึกลงไป ปกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรหรือเล็กกว่าซึ่งจะมองดูคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู ถึงแม้ว่าแผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันมากเวลากลางคืน ต่อไปอาจเกิดการติดเชื้อขึ้นและอาจทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียงซึ่งอาจทำให้ต้องตัดนิ้วทั้ง ฝุ่นละอองเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหลังตาหรือที่ปลายจมูกซึ่งอาจทำให้เกิดแผลขึ้นได้ใกล้เคียงกัน

2. ผิวหนังอักเสบ บริเวณที่อาจเกิดการอักเสบ ได้แก่ มือ แขน ขา ใบหน้า และหน้าอก อาจเกิดเมื่อสัมผัสโครเมียมมาแล้ว 6 เดือน ในรายที่รุนแรงใบหน้าจะมีสีแดงเข้มและบวม ส่วนที่อักเสบจะคันมากและอาจเจ็บแสบด้วย

3. ผนังกั้นในโพรงจมูกอาจถูกเจาะทะลุ คนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับโครเมียมที่ได้รับควันกรดโครมิกหรือฝุ่นละอองของโครเมียมเป็นประจำจะทำให้ผนังกั้นในรูจมูกถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุนี้จะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด จะรู้ตัวก็ต่อเมื่อมีเสียงฮู้อี้หรือดั้งจมูกบี้แบนลง

4. มะเร็งปอดอาจเกิดกับผู้ที่สูดเอาโครเมียมเข้าสู่ร่างกายอยู่เป็นประจำและเป็นเวลานาน ซึ่งจะเป็นอันตรายอย่างมาก

มาตรฐานของโครเมียมที่กำหนด ที่ปลอดภัยต่อคนงานที่ทำงานวันละ 7-8 ชั่วโมง หรือสัปดาห์ละ 40-42 ชั่วโมง

1. งานที่ต้องทำเกี่ยวข้องกับควันของกรดโครมิก จะต้องมีได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร

2. งานที่ต้องทำเกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองของโครเมียมจะต้องมีได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร

โครเมียม (+6) เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในระบบนิเวศน์ ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโครเมียม (+6) ปะปนอยู่ ควรจะได้รับการบำบัดก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำต่างๆ เพื่อลดผลกระทบที่จะมีต่อระบบนิเวศน์ตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียก่อนจะนำปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

1. การกำจัดโครเมียมออกจากน้ำโดยวิธีทางเคมี และทางฟิสิกส์

มีหลายเทคนิคที่นำมาประยุกต์เพื่อใช้กำจัดโครเมียมออกจากน้ำ ดังนี้

1.1 การรีดักชัน

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งเทคนิคการบำบัดโดยวิธีนี้ คือ จะต้องลดพีเอชของน้ำเสียให้เป็น 3.0 หรือต่ำกว่า ด้วยกรดซัลฟูริก แล้วเปลี่ยนโครเมียม (+6) ไปเป็น โครเมียม (+3) โดยใช้สารเคมี (reducing agent) ยกตัวอย่างเช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมไบซัลไฟต์ หรือเฟอร์รัสซัลเฟต แล้วกำจัดโครเมียม (+3) ออกไปโดยทำให้ตกตะกอนด้วยปูนขาว

การรีดิวส์โครเมียม (+6) นี้จะไม่ได้ผล 100เปอร์เซ็นต์ โดยจำนวนของโครเมียม (+6) ที่ไม่ถูกรีดิวส์จะขึ้นกับเวลาที่ทำปฏิกิริยา พีเอชของของผสม ความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีที่ใช้ปกติที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.2 การแลกเปลี่ยนประจุ

จะใช้การแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange) ในการกำจัดโครเมียม (+3) และจะใช้การแลกเปลี่ยนประจุลบ (anion exchange) ในการกำจัดโครเมียม (+6) เพราะน้ำเสียในอุตสาหกรรมมักจะพบโครเมียม (+6) ในรูปของโครเมต เมื่อเรซินที่แลกเปลี่ยนประจุลบอิ่มตัวแล้ว ก็จะทำการรีเจเนอเรต (ปกติใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์) เพื่อชะเอาโครเมตออกมา โซเดียมโครเมตอาจนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เพื่อนำกรดโครมิกกลับมาใช้ใหม่ หรือไม่ก็นำไปกำจัดโดยรีดิวส์ให้เป็นโครเมียม (+3) แล้วตกตะกอนด้วยปูนขาว วิธีบำบัดวิธีนี้ทำให้สามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนทางเศรษฐกิจ

1.3 การระเหย

นำน้ำที่มีโครเมียมปนเปื้อนมาผ่านกระบวนการระเหยเอาน้ำออก จากนั้นก็นำไอน้ำไปผ่านการหล่อเย็นเพื่อนำไปใช้ได้อีก วิธีนี้นิยมใช้กับการบำบัดน้ำหล่อเย็น

1.4 การตกตะกอนด้วยสารเคมี

ตกตะกอนโครเมียม (+3) โดยใช้สารเคมี เช่น แบเรียมคาร์บอเนต ปูนขาว และโซดาไฟ ตะกอนที่ได้จะถูกนำไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1.5 สารสกัดด้วยตัวทำละลาย

นำสารสกัดแม่พิมพ์ที่ใช้แล้ว(มีกรดโครมิกเป็นองค์ประกอบ) มาทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อแยกเอากรดโครมิกออกจากสารอื่น และนำกลับไปใช้ได้อีก ตัวทำละลายที่ใช้ ได้แก่ อะซีโตน

1.6 รีเวิร์สออสโมซิส

นำน้ำเสียที่มีโครเมียม (+6) มาผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นขึ้นก่อน แล้วไปผ่านกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส ทำให้ได้น้ำอ่อนที่มีอิออนของไดโครเมต ซึ่งสามารถนำไปหมุนเวียนใช้ใหม่ได้

2. การกำจัดโครเมียมด้วยวิธีทางชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียมีหลายประเภท เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา และสาหร่าย

ลักษณะการใช้มี 2 แบบ คือ

2.1 <u>ในรูป active cell</u>

กลไกในการดูดซับ อาศัยกลไกการนำสารเข้าสู่เซลล์และกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์

2.2 <u>ในรูป inactive cell</u>

อาศัยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดกับหมู่ functional ขององค์ประกอบของผนังเซลล์ โครงสร้างโดยทั่วไปของผนังเซลล์ยีสต์และราเป็นแบบ multilaminated microfibrilla โครงสร้างหลักมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นพอลิแซคคาไรด์ สำหรับ *Saccharomyces spp.* อยู่ในกลุ่ม Hemiascomycetes จะมีโครงสร้างหลักเป็น mannan-β-glucan และมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน, ไขมันและรงควัตถุ

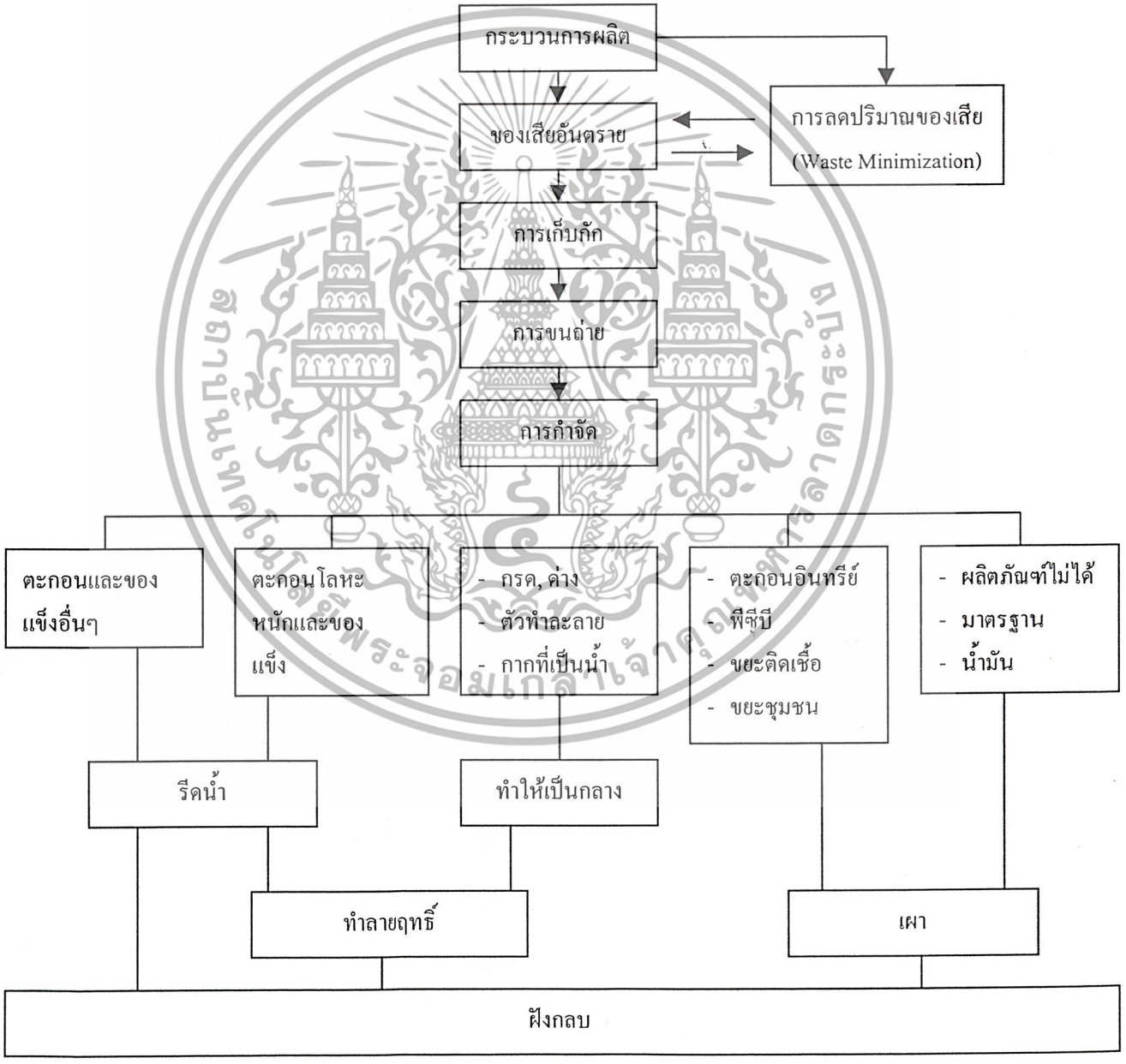
การที่มี phosphodiester group และ carbonyl group ในโปรตีนและไขมัน ยังทำให้ผนังเซลล์มีความเป็นประจุ สามารถดึงดูดโมเลกุลที่มีประจุนั้นได้ ได้มีการศึกษาผนังเซลล์ของยีสต์ *S. cereviseae* ที่ผ่านการ dehydration-rehydration แล้วพบว่าที่ผนังเซลล์จะมีแขนงของ manna protein ทำให้ผนังเซลล์มี electronegatity เพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับโลหะประจุบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

49257

2.2 การจัดการของเสียอันตราย

ปัญหาในการจัดการของเสียอันตรายในปัจจุบัน มีสาเหตุมาจากการที่มักไม่มีการแยกของเสียอันตรายออกจากของเสียส่วนอื่น และมีการจัดการกันเองภายในโรงงาน โดยไม่มีการควบคุมในเรื่องความปลอดภัย เช่นใช้วิธีกองไว้ (Open Dumping) หรือเผาในที่แจ้ง (Open burning) ซึ่งทำให้ของเสียอันตรายสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย การจัดการของเสียอันตรายมีแสดงในรูปที่ 2.1 การลดปริมาณของเสีย โดยเฉพาะของเสียอันตรายนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่ออนุรักษ์สภาพแวดล้อมและป้องกันอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งมีชีวิต



รูปที่ 2.1 การจัดการของเสียอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในการจัดการของเสียอันตรายมีแนวทางในการทำกว้างๆ อยู่ 4 ขั้นตอน อันประกอบด้วย

- แหล่งกำเนิด (waste generation) อันเป็นที่เกิดของ ของเสียอันตราย หากทราบประเภท ชนิดความเป็นพิษ และอันตรายของของเสียนั้น ย่อมสามารถดำเนินการได้ง่าย เช่น การคัดแยก การจัดเก็บ การขนส่ง การทำลาย ณ สถานที่กำจัด (On-Site treatment or disposal) หากไม่ทราบลักษณะสมบัติหรือความเป็นมาย่อมเป็นการยากที่จะจัดการได้

- การนำกลับไปใช้ใหม่ (recovery หรือ Recycling) เป็นกระบวนการที่สามารถนำของเสียอันตรายกลับไปใช้ใหม่ตามความเหมาะสมของคุณภาพ ปริมาณ และความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าของของเสียที่ไม่ต้องการ ดังนั้นขั้นตอนนี้ผู้จัดการต้องรับทราบข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในการดำเนินการที่ทำให้เกิดของเสียขึ้น ซึ่งอาจจะต้องใช้การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Information Exchange) เช่น การแลกเปลี่ยนตัวทำละลาย หรือ การฟื้นฟูน้ำมันเก่าที่ใช้แล้ว ให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำ

- การบำบัด (treatment) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนแปลง ปรับปรุง คุณสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมี ของ ของเสีย อันตราย ให้ลดความรุนแรงของอันตรายลดลง หรืออาจจะหมดฤทธิ์ได้ อยู่ในสภาพที่ง่ายต่อการจัดการซึ่งวิธีบำบัดสามารถ ทำได้หลายวิธี เช่นการเผา การปรับเสถียร กากตะกอน การบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งการบำบัดจะเหลือกากตะกอน หรือเศษของเสียอันตราย จำเป็นต้องดำเนินการต่อไปอีกขั้นตอนหนึ่ง

- การกำจัด (Disposal) เป็นขั้นตอนสุดท้าย ของการจัดการของเสียอันตรายที่จะต้องกำจัดของเสียในรูปแบบต่างๆ ให้หมดไปหรือไปอยู่ในรูปที่ปลอดภัย ไม่ก่อความเดือดร้อนอีกต่อไป เช่น ในหลุมฝังกลบของเสียอันตราย (Secure landfill) ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

สำหรับในการกำจัดของเสียอันตรายที่เป็นการทำลายที่ไม่ถูกต้อง ได้แก่

- การทิ้งในทะเลโดยการบรรจุใส่เรือแล้วไปทิ้งที่กลางทะเล
- การเผาในเตาเผากลางทะเล โดยใช้วิธีการเผาในเรือเพื่อการกระจายมลภาวะ วิธีการนี้ไม่เป็นที่ยอมรับ หากมีปริมาณของเสียจำนวนมาก จะส่งผลกระทบต่อผู้อยู่บนฝั่งพื้นดินได้
- การนำส่งออกนอกประเทศ แล้วไปทิ้ง ณ ประเทศที่ด้อยพัฒนาหรือประเทศที่กำลังพัฒนา เป็นต้น ซึ่งเป็นการย้ายที่ของของเสีย ดังเหตุการณ์ที่ท่าเรือคลองเตย ที่ปรากฏของเสียจากประเทศอื่นจำนวนมาก จนทางรัฐต้องทำการขนไปกำจัดเอง
- การทิ้งหรือถ่ายเทลงในหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน หรือตามท่อระบายน้ำเสีย หรือการปล่อยระบายออกสู่บรรยากาศ หรือระบายลงสู่แม่น้ำ ทะเลต่างๆ โดยไม่ผ่านการทำลายฤทธิ์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ในการกำจัดของเสียอันตรายที่ดีและเหมาะสม ควรที่จะมีการทำลายฤทธิ์ หรือลดสภาพความรุนแรงของของเสียอันตรายก่อน แล้วจึงนำไปฝังกลบรวมกันไว้ ณ สถานที่ที่ปลอดภัยที่สุด

ในขณะที่เป้าหมายของการลดของเสียให้น้อยที่สุด เป็นสิ่งที่ต้องการ และมีความจำเป็นมาก แต่โรงงานอุตสาหกรรมยังคงปล่อยของเสียที่ยากต่อการบำบัด และทำลายออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นเหตุให้มีอันตรายเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมได้ วิธีการบำบัดมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การบำบัดทางเคมี ฟิสิกส์ หรือชีววิทยา ในบางกระบวนการบำบัดอาจใช้ประโยชน์จากของเสียที่เกิดขึ้น โดยนำกลับมาใช้อีก และช่วยลดปริมาณของเสียได้อีกด้วย ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.3 การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment)

เป็นกระบวนการที่ใช้ปฏิกิริยาการเปลี่ยนลักษณะสมบัติของน้ำเสียให้มีอันตรายน้อยลง ซึ่งมีหลายวิธีการให้เลือกที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้จะใช้วิธีการใดจึงจะเหมาะสมสำหรับการบำบัดจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ดังนี้ คือ คุณลักษณะของน้ำเสียก่อนการบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการ พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัดทั้งหมด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และการตรวจสอบคุณภาพ ความยากง่ายในการเดินระบบ และความปลอดภัย ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ สามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้คือ

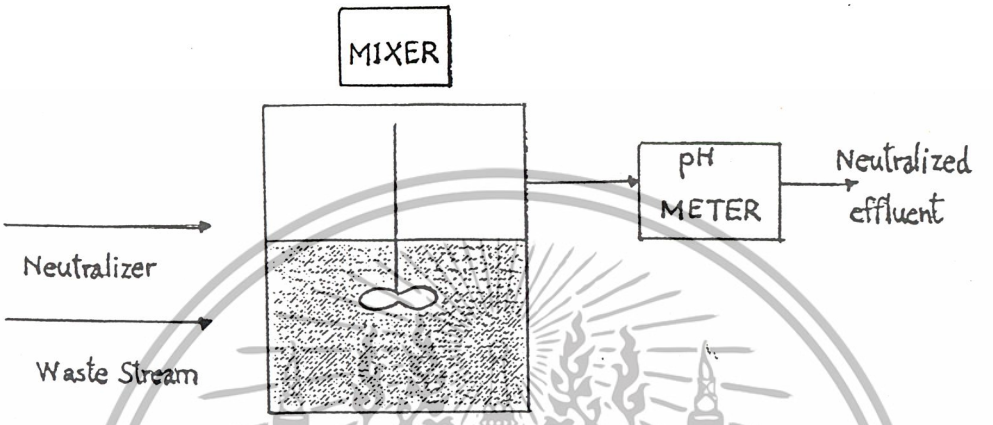
2.3.1 การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)

โดยทั่วไป น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมักไม่เป็นกลาง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเคมีผลิตกรดหรือด่าง ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานประเภทนี้ จะมีสารอนินทรีย์ปะปนอยู่ จะใช้การทำให้เป็นกลางโดยการปรับพีเอชด้วยกรด หรือด่างแล้วแต่กรณี ซึ่งสามารถปล่อยลงสู่แหล่งสาธารณะได้โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5-9 ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม (ธงชัย, 2525)

น้ำเสียที่เป็นกรดจะใช้ปูนขาว (CaO) โซดาไฟ (NaOH) หรือโซดาแอช (Na_2CO_3) ในการทำให้เป็นกลาง ปูนขาวจะมีข้อดีที่ราคาถูกกว่าตัวอื่นๆ และทำให้เกิดตะกอนของสารบางชนิดด้วย แต่มีข้อเสียคือ อาจทำให้เกิดตะกรันในเส้นท่อได้ ถ้าใช้ปูนขาวในรูปของสารละลายในขณะใช้งาน จะต้องมีการกวนตลอดเวลา เพื่อให้ปูนขาวละลายได้ดีและไม่ตกตะกอนอยู่ก้นถัง น้ำเสียที่เป็นด่าง ทำให้เป็นกลางด้ายกรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) หรือกรดไฮโดรคลิกริก (HCI) หรือด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)(Freeman, 1989) ระบบของการปรับค่าพีเอชนั้น จะประกอบด้วยถังผสม (Mixing Tank) เพื่อทำหน้าที่ผสมกรดหรือด่างให้เข้ากับน้ำเสียอย่างสมบูรณ์ที่สุด ดังนั้นผู้ควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมจะต้องคอยวัดค่าพีเอชเป็นระยะๆ หรือถ้าจะให้สะดวก ก็ควรใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ (pH Monitor) ซึ่งจะคอยควบคุมค่าพีเอชให้ได้ตามที่ต้อง (ธงชัย, 2525) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นกรดหรือด่าง

2.3.2 การตกผลึกทางเคมีของโลหะหนัก

การตกผลึกทางเคมี โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1. การตกผลึกเนื่องจากการเติมสารเคมีเพื่อทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่ละลายในน้ำ เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยลง ในการกำจัดโลหะหนักก็อาจใช้หลักการนี้ได้เช่นกัน เช่น ในการกำจัดสังกะสีละลายน้ำ (Zn^{2+}) จะต้องเติมโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ซึ่งละลายน้ำได้ดี เกิดปฏิกิริยาได้สารประกอบซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) ซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก ดังสมการ

$$Zn^{2+} + S^{2-} \text{-------}> ZnS\ (Solids) \qquad (2\text{-}7)$$

2. การตกผลึกเนื่องจากการเปลี่ยนสมดุลของการละลาย (Solubility equillibrium) ในการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีนี้ ทำโดยการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชให้มีค่าการละลายต่ำลง และโลหะส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปตะกอน สามารถจมตัวได้ดี เช่น ในการกำจัดสังกะสีนั้น สามารถตกผลึกในรูปไฮดรอกไซด์ได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Zn^{2+} + 2OH^{-} \text{-------}\rightarrow Zn(OH)_2 \qquad (2\text{-}8)$$

ที่สภาวะสมดุลค่าความสามารถในการละลายของสารประกอบ $Zn(OH)_2$ หาได้ ดังสมการ

$$K_{sp} = [Zn^{2+}][OH^{-}]^2 \qquad (2\text{-}9)$$

$$= 4.5 \times 10^{-17} \text{ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส}$$

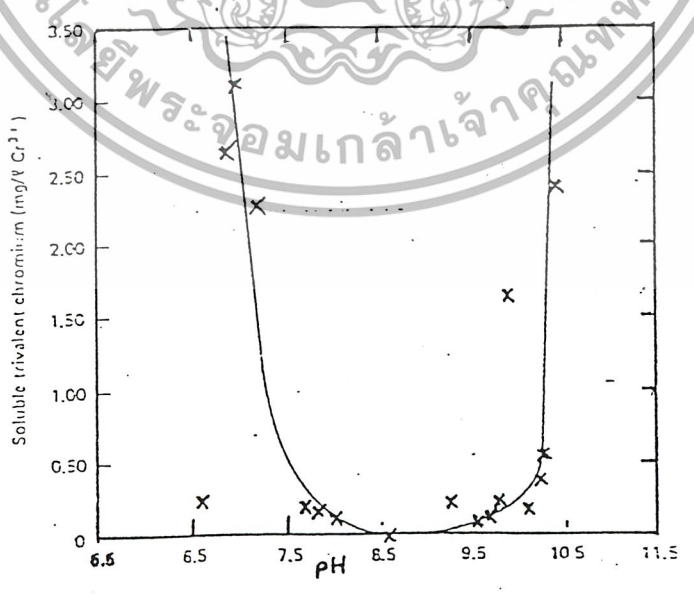
จะเห็นว่า ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์จะมีผลต่อความเข้มข้นของสังกะสีละลายโดยตรง คือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ (โดยการเพิ่มพีเอช) จะทำให้เกิดความลดความเข้มข้นของสังกะสีละลายเพื่อรักษาสมดุล ความสามารถในการละลายของโลหะที่พีเอชต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.3 ถึงรูปที่ 2.5 ค่าความสามารถในการละลายของสารประกอบโลหะแสดงในภาคผนวก ข.

สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับพีเอช ได้แก่ ปูนขาว และโซดาไฟ

ปูนขาว (CaO) เป็นสารเคมีที่มีราคาถูก และละลายน้ำได้น้อย นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการตกผลึกในรูปหินปูน จะทำให้เกิดตะกอนสูง

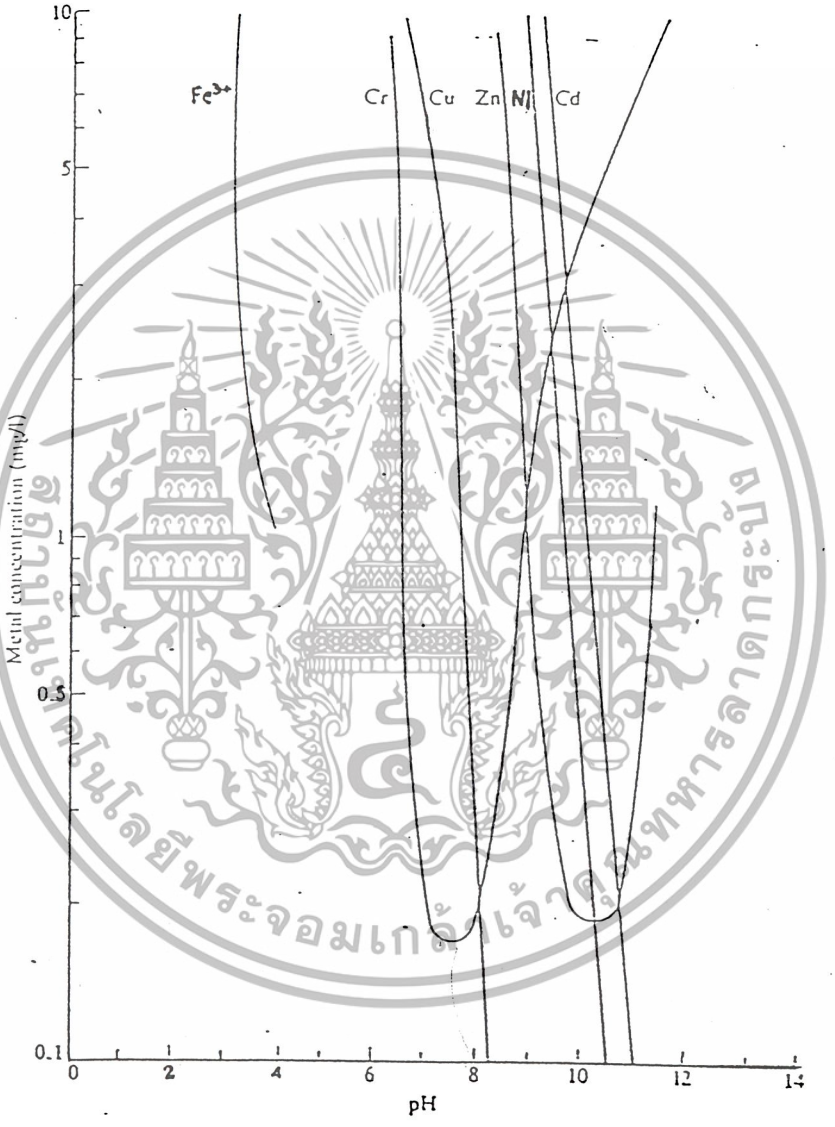
โซดาไฟ (NaOH) เป็นสารเคมีราคาแพงกว่าปูนขาว เกิดอันตรายง่ายกว่าปูนขาว การใช้งานจะใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าปูนขาว เกิดตะกอนน้อยกว่า

3. การตกผลึกเนื่องจากการเปลี่ยนอุณหภูมิ จะเป็นการลดค่าความสามารถในการละลาย (Ksp) ให้น้อยลง วิธีนี้ไม่เหมาะสมในการใช้กำจัดโลหะหนัก



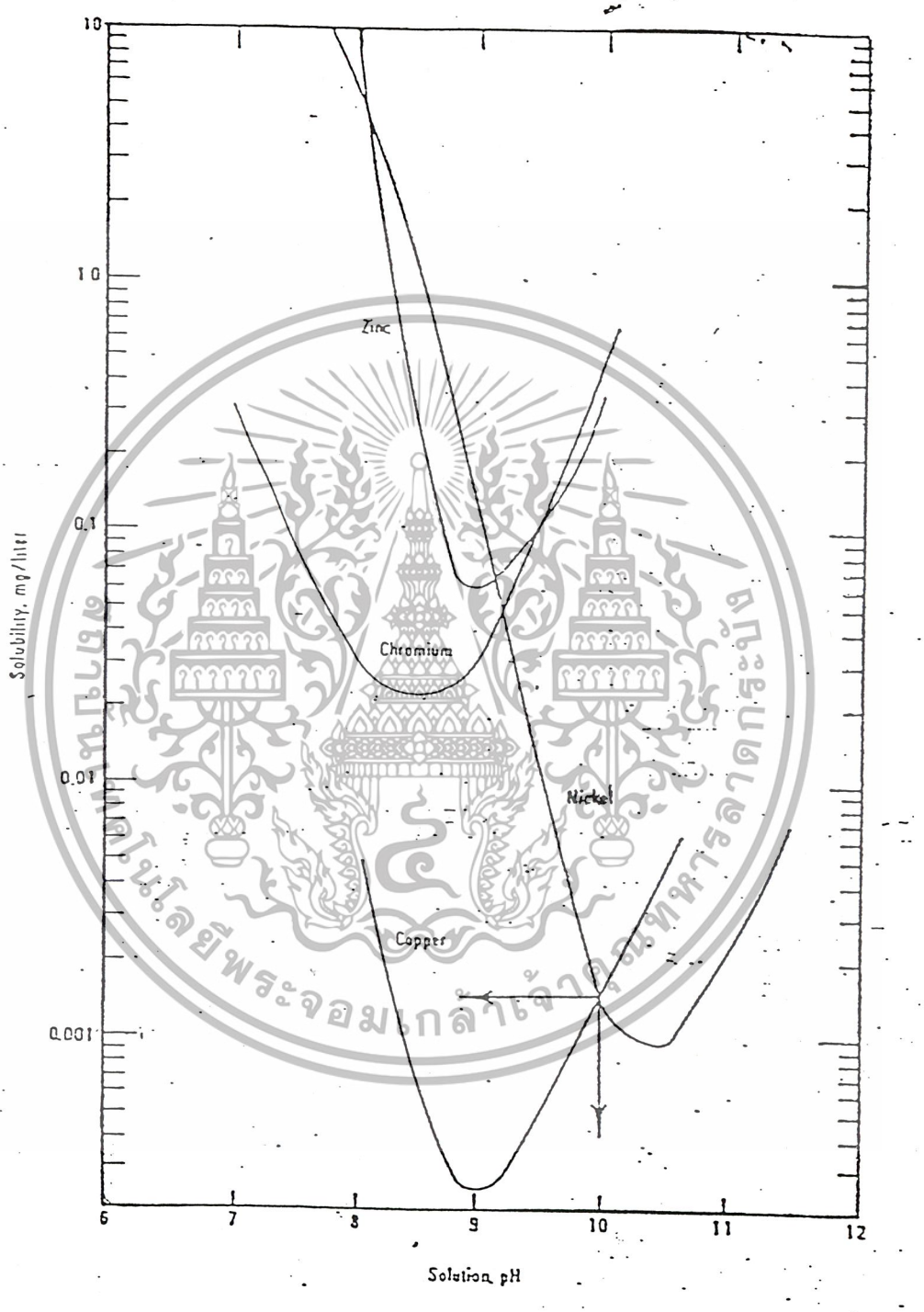
รูปที่ 2.3 ช่วงพีเอชสำหรับการกำจัดโครเมียมประจุบวกสาม (Benefield และคณะ, 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่พีเอชต่างๆ (Ecklenfelder, 1989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความสามารถในการละลายน้ำของโลหะหนักต่างๆ (มั่นสิน, 2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 ประเภทของการตกตะกอนผลึก

Went (1989) ได้แบ่งประเภทการตกตะกอนผลึกไว้ใน Hazardous Waste Management โดยแบ่งตามรูปแบบของตะกอนได้ดังนี้

1. การตกตะกอนผลึกในรูปของไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation)

การตกตะกอนผลึกในรูปของไฮดรอกไซด์ เป็นการตกตะกอนผลึกโดยใช้สารเคมี ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการโดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมี

$$M^{++} + Ca(OH)_2 \longrightarrow M(OH)_2 + Ca^{++} \quad (2\text{-}10)$$

หรือ

$$M^{++} + 2NaOH \longrightarrow M(OH)_2 + 2Na^{++} \quad (2\text{-}11)$$

โดยที่ M^{++} คือ โลหะไอออน

ช่วงพีเอชที่ใช้ในการตะตะกอนผลึกของไฮดรอกไซด์อยู่ในช่วง 8-11 ซึ่ง โลหะส่วนใหญ่ตกตะกอนผลึกได้ดี การตกตะกอนผลึกของโลหะในรูปของตะกอนไฮดรอกไซด์แต่ละช่วงพีเอชแสดงดังรูปที่ 2.6

ความสามารถในการตกตะกอนผลึกของไฮดรอกไซด์ ขึ้นอยู่กับความสามารถของการละลายของโลหะ สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน พีเอชที่ใช้ และสารอื่นๆ ซึ่งสามารถขัดขวางการตกตะกอนผลึกได้ตามทฤษฎีแล้ว ความเข้มข้นของโลหะหลังจากผ่านการตกตะกอนผลึกด้วย ไฮดรอกไซด์จะมีความเข้มข้นน้อยกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรในบางครั้งอาจต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ได้ รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ โลหะไฮดรอกไซด์ จะเป็นพวกแอมโฟเทอริก (amphoteric) เช่นที่พีเอชสูง และต่ำกว่าสามารถเพิ่มการละลาย และจุดของการละลายต่ำสุด (พีเอชเหมาะสมสำหรับการตกตะกอน) เกิดที่พีเอชค่าหนึ่งสำหรับทุกโลหะ ที่พีเอชหนึ่งความสามารถการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ตัวหนึ่งอาจสูงกว่าโลหะหนักตัวอื่น ในเกือบทุกกรณีค่าพีเอชที่ใช้ในการทำจาร์เทส (Jar test) จะอยู่ระหว่าง 9-11 สำหรับน้ำทิ้งที่มีโลหะหลายชนิดปนกันอยู่ อาจมีระยะการตกตะกอนผลึกของโลหะแต่ละชนิดด้วยพีเอชแตกต่างกัน การที่จะควบคุมโลหะทุกออกจากน้ำเสียจนได้ระดับที่เราต้องการ อาจใช้การตกตะกอนผลึกอื่นที่อาจเป็นไปได้

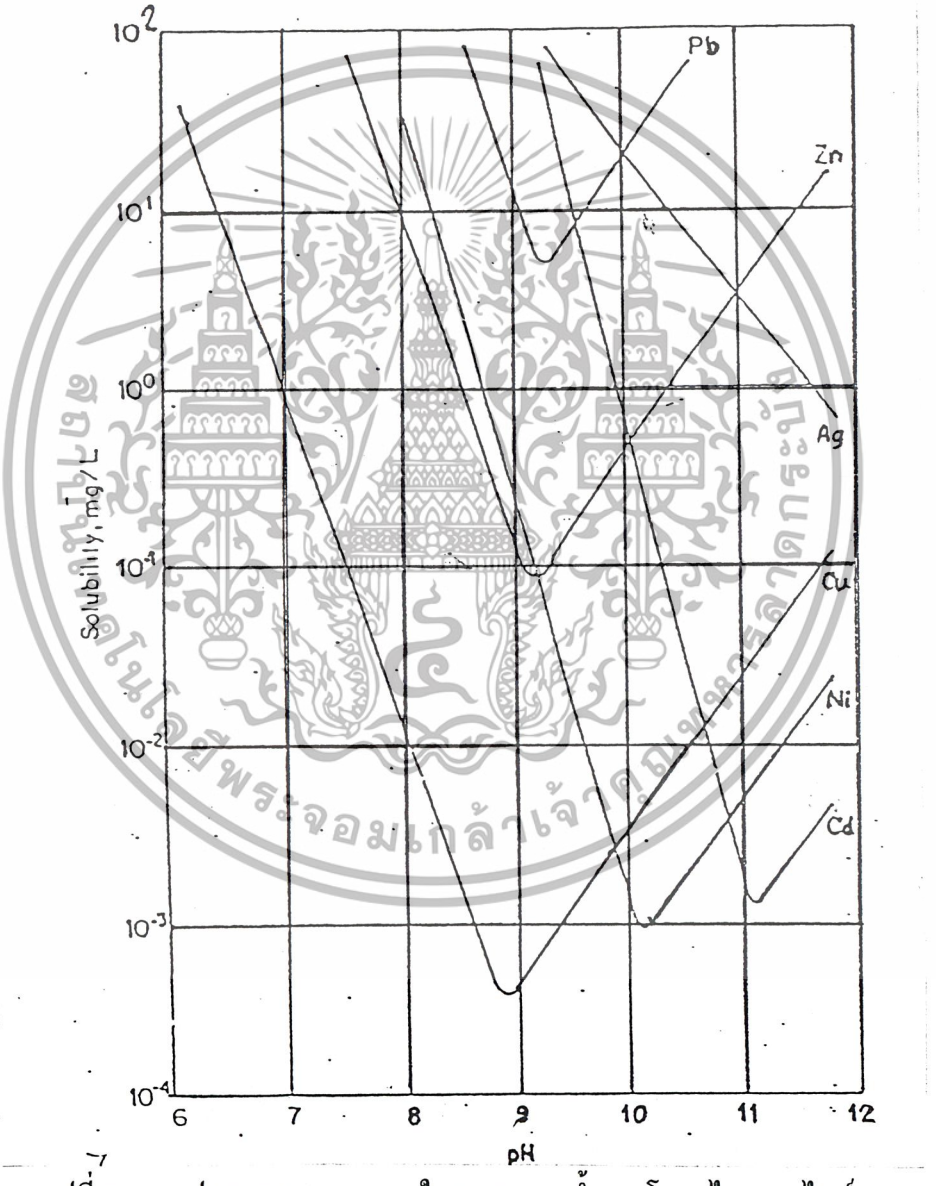
การตกตะกอนโครเมียมเป็นโครมิกไฮดรอกไซด์ จะต้องทำโครเมียมให้อยู่ในรูปประจุ+3 ก่อน เพราะโครเมียมประจุ+6ไม่สามารถถูกกำจัดได้โดยตรงด้วยการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ การบำบัดเริ่มต้นเพื่อเปลี่ยนโครเมียมประจุ+6ไปเป็น+3โดยให้ค่าพีเอชต่ำประมาณ 2-3 และใส่รีดิวซิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอเจนต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โซเดียมเมตาไบซัลเฟต ($Na_2S_2O_5$) กระบวนการปฏิกิริยามีดังนี้

$$3SO_2 + 3H_2O \longrightarrow 3H_2SO_3 \quad (2\text{-}12)$$

$$3H_2SO_3 + H_2Cr_2O_7 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 4H_2O \quad (2\text{-}13)$$



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสามารถในการละลายน้ำของโลหะไฮดรอกไซด์

ที่มา : พวงรัตน์ (2537) อ้างจาก Palmork (1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตกตะกอนผลึกในรูปของซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

การตกตะกอนผลึกในรูปของซัลไฟด์ เป็นการตกตะกอนผลึกโดยใช้สารเคมี ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ (NaHS) ซึ่งต้องละลายน้ำได้ดี และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะตกตะกอนผลึกเป็นดังนี้

$$M^{++} + FeS \longrightarrow MS + Fe^{++} \qquad (2\text{-}14)$$

โลหะซัลไฟด์มีความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ โลหะซัลไฟด์จึงไม่อยู่ในรูปแอมโฟเทอริก (amphotheric) และนอกจากนี้ โลหะบางชนิดเช่น โครเมียม สามารถนำมาตกตะกอนผลึกได้เลย โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการรีดักชัน ดังสมการ

$$Cr_2O_7^{-2} + 2FeS + 7H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_2 + 2Cr(OH)_3 + 2S + 2OH^- \qquad (2\text{-}15)$$

ข้อเสียสำหรับการตกตะกอนในรูปซัลไฟด์คือ การเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งในขณะทำการทดลองต้องควบคุม ให้มีพีเอชมีค่ามากกว่า 8 เพื่อป้องกันแก๊สที่เกิดขึ้น ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีซัลไฟด์หลงเหลืออยู่ในน้ำ ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายจึงต้องมีการบำบัดเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

3. การตกตะกอนผลึกในรูปของคาร์บอเนต (Carbonate Precipitation)

ในการตกตะกอนผลึกของโลหะเช่น แคดเมียม และตะกั่ว การตกตะกอนผลึกในรูปของคาร์บอเนตให้ผลดีกว่าการตกตะกอนผลึกในรูปของไฮดรอกไซด์ เนื่องจากสามารถทำได้ในพีเอชต่ำกว่า ในการตกตะกอนผลึกรูปคาร์บอเนตของแคดเมียม และตะกั่วเกิดขึ้นที่พีเอชประมาณ 7.8-8.5 ในขณะที่การตกตะกอนผลึกในรูปของไฮดรอกไซด์ ต้องควบคุมพีเอชประมาณ 10 หรือมากกว่านั้น

สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนผลึกได้แก่ โซดาแอช หรือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ซึ่งเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$Na_2CO_3 + M^{++} \longrightarrow MCO_3 + 2Na^+ \qquad (2\text{-}16)$$

กระบวนการนี้เหมาะสมกับโลหะบางชนิดเท่านั้น เช่น แคดเมียม และตะกั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตกตะกอนผลึกในรูปของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride Precipitation)

สารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์ เป็นสารเคมีที่ใช้ในการรีดิวส์ ใช้ในการตกตะกอนโลหะหนัก ให้อยู่ในรูปโลหะที่ไม่ละลายน้ำ ปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่าพีเอช อธิบายได้ดังสมการ

$$4M^{++} + NaBH_4 + 2H_2O \longrightarrow NaBO_2 + 4M + 8H^+ \quad (2\text{-}17)$$

$$4M^{++} + NaBH_4 + 8OH^- \longrightarrow NaBO_2 + 4M + 6H_2O \quad (2\text{-}18)$$

สารเคมีที่เหมาะสม คือ ช่วงพีเอช 8-11 ถ้าพีเอชต่ำกว่า 8 ต้องเพิ่มโบโรไอไดรด์ ทำให้เกิดการละลายน้ำ ถ้าพีเอชมากกว่า 11 ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง การตกตะกอนผลึกชนิดนี้ใช้ในการกำจัดโลหะจากสารละลายในน้ำเสีย โดยเฉพาะโลหะหนัก ปรอท นิกเกิล ทองแดง ซิลเวอร์ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีการตกตะกอนผลึกในรูปไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนผลึกในรูปไฮดรอกไซด์ สามารถอธิบายได้โดยการใช้ทฤษฎีพื้นฐานทางเคมี โดยการตกตะกอนผลึกขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ ทำให้ทราบพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอนอย่างคร่าวๆ

ให้ M^{++} แทน โลหะไอออน

จาก $[M^{n+}][OH^-]^n = Ksp$ (2-19)

โดยที่ Ksp แทน ความสามารถในการละลายของโลหะที่เกิดตะกอน

$[OH^-]^n$ แทน โมลาริตีของไฮดรอกไซด์ไอออน

$[M^{n+}]$ แทน โมลาริตีของโลหะอิออน ในหน่วย มก./ล

เมื่อแทนค่า log ลงไปในสมการ (2-19) จะได้ว่า

$\log[M^n] + n \log[OH^-] = \log Ksp$ (2-20)

จากคำจำกัดความของพีเอชว่า

$\log[OH^-] = pOH$ (2-21)

$\log[H^+] = pH$ (2-22)

และที่อุณหภูมิ 25 °C

$pH + pOH = 14$ (2-23)

จากสมการที่ (2-20) เมื่อแทนค่าจะได้ว่า

$\log[M^n] + n\,pOH = \log Ksp$ (2-24)

หรือ

$pOH = 1/n \log Ksp - 1/n \log M^{n+}$ (2-25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเทอมของพีเอชจะได้ว่า

$$\log[M^{n+}] + n\,(14\text{-}pH) = \log Ksp \qquad (2\text{-}26)$$

หรือ

$$-pH = 1/n\ \log Ksp - 14 - 1/n\ \log M^{n+} \qquad (2\text{-}27)$$

$$pH = 14 + 1/n\ \log M^{n+} - 1/n\ \log Ksp \qquad (2\text{-}28)$$

จากสมการ (2-28) ถ้าทราบความสามารถในการแตกตัวของโลหะ M^{n+} และความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ จะสามารถทราบค่าพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอนได้อย่างคร่าวๆ

การตกตะกอนผลึกของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (hydrate lime , $Ca(OH)_2$)

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารเคมีที่ใช้กันมากในการตกตะกอนผลึก ความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย ทำให้เกิดตะกอนผลึกในรูปหินปูน การเก็บรักษาจึงค่อนข้างยุ่งยาก การป้อนปูนขาวผลึกน้ำจะต้องให้ในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (slurry) ข้อดีในการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ คือ มีราคาถูก

2 . โซเดียมไฮดรอกไซด์ (caustic soda , NaOH)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการตกตะกอนผลึก เนื่องจากการทำปฏิกิริยาเป็นไปโดยง่าย และสามารถทำปฏิกิริยาได้รวดเร็วกว่าปูนขาว แต่จะมีราคาแพงมากกว่า การเก็บรักษาทำได้ง่ายแต่ต้องไม่ให้ได้รับความร้อน

ข้อดีและข้อเสียของการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์แสดงดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อดีและข้อเสียของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์

	ปูนขาว	โซเดียมไฮดรอกไซด์
ข้อดี	1. ราคาถูก	1. ทำปฏิกิริยาได้ดีกว่า 2. การนำมาใช้งานสะดวกกว่า 3. เกิดตะกอนน้อย
ข้อเสีย	1. การเตรียมสารยุ่งยากกว่า 2. ค่าใช้จ่ายในการป้อนสารเคมีมีราคาสูงกว่า 3. ถ้าน้ำเสียมีปริมาณซัลเฟตสูงจะเกิดตะกอนมาก 4. เกิดตะกอนมาก	1. ราคาแพง 2. เสียค่าใช้จ่ายในการทำให้ตะกอนแห้งมากกว่า 3. ตะกอนกลับมาละลายในน้ำได้อีก

ที่มา : พวงรัตน์ (2537)

การเกิดการตกตะกอนผลึกให้ได้ดีต้องพิจารณาค่าพีเอช หลังจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้ว โดยทั่วไปต้องมีค่าพีเอชสูงกว่า 7 จึงจะได้ผลดี ตารางที่ 2.3 แสดงค่าพีเอชที่เหมาะสมและชนิดสารเคมีที่เติมผสมลงไปเพื่อกำจัดหรือแยกมลสารออกจากน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดมลสารออกจากน้ำเสียด้วยสารเคมีต่างๆ

มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย	สารเคมีที่เติมผสมลงไป	ค่าพีเอชที่เหมาะสม	สารเคมีที่ตกตะกอนได้
อลูมิเนียม (Aluminium)	ปูนขาว	5	$Al(OH)_3$
อาร์เซนิค (Arsenic)	เฟอร์ริกคลอไรด์	8	$AsCl_2$
บาเรียม (Barium)	โซเดียมซัลเฟต	10	$BaSO_4$
แคดเมียม (Cadmium)	ปูนขาว	9-12	$Cd(OH)_2$
โครมิก (Chromic)	ปูนขาว	8-9.5	$Cr(OH)_2$
คูปริก (Cupric)	ปูนขาว	9-10	$Cu(OH)_2$
เหล็ก (Ferric)	ปูนขาว	7	$Fe(OH)_2$
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	ปูนขาว	12	CaF_2
แมงกานีส (manganese)	ปูนขาว	10	$Mn(OH)_2$
ปรอท (Mercury)	โซเดียมซัลไฟด์	8.5	HgS
นิกเกิล (Nickel)	ปูนขาว	10	$Ni(OH)_2$
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	เฟอร์ริกคลอไรด์	7	$FePO_4$
พลัมบิก (Plumbic)	ปูนขาว	6-10	$Pb(OH)_2$
ซิลิเนียม (Selenium)	โซเดียมซัลไฟด์	6.5	SeS_2
เงิน (Silver)	โซเดียมคลอไรด์	8	AgCl
สแตนนิค (Stannic)	ปูนขาว	4-4.5	$Sn(OH)_2$
สังกะสี (Zinc)	ปูนขาว	5-6	$Zn(OH)_2$

ที่มา : เกรียงศักดิ์ (2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การสร้างตะกอนและการรวมตะกอน (Coagulation and Flocculation)

ในน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยขนาดใหญ่ อาจตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำด้วยน้ำหนักของอนุภาคเอง ส่วนอนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียต่างก็มีประจุไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นประจุชนิดใด ขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคนั้นๆ เมื่อแต่ละอนุภาคซึ่งต่างก็มีประจุที่เหมือนกันแขวนลอยอยู่จะมีแรงผลักที่เกิดจากประจุในน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคนั้นอยู่ทำให้ไม่สามารถรวมตัวได้เป็นอนุภาคใหญ่ จึงไม่สามารถแยกตัวออกจากน้ำเสียได้ด้วยน้ำหนักของอนุภาคเองเช่นกัน การที่จะทำให้อนุภาคเหล่านั้นรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักพอที่จะสามารถจมตัวได้ วิธีดังกล่าวนี้ที่ใช้โดยทั่วไป คือ การเติมสารเคมี เพื่อไปเป็นตัวประสานให้อนุภาคขนาดเล็กมาจับรวมตัวกัน หรือถ้าในบางกรณีที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์นั้นจับตัวกัน ทำให้อนุภาคเล็กๆจับตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ด้วยสารเคมีนี้ เรียกว่า *เคมิคัลโคแอกกูเลชั่น* (Chemical Coagulation) สารเคมีที่ใช้เรียกว่า *โคแอกกูแลนต์ หรือ ฟล้อคคูแลนต์* (Coagulant or Flocculant) สารที่รู้จักกันดีและนิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ สารส้ม(Alum) ปูนไลม์และไอออน(III)คลอไรด์ (ธงชัย,2525)

ในการทำเคมิคัลโคแอกกูเลชั่น เมื่อเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสีย จะต้องทำให้สารเคมีผสมไปในน้ำเสียอย่างรวดเร็วทันทีโดยการกวน เพื่อให้เกิดการสลายตัวและกระจายไปได้ทั่วในน้ำเสีย เมื่อเกิดอนุภาคเล็กๆลักษณะเหนียวหยุ่นขึ้นซึ่งเรียกว่า ฟล้อค (Floc) ที่มองเห็นได้ชัด จะต้องเปลี่ยนจากการกวนอย่างรวดเร็วมาเป็นการกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ฟล้อคที่เกิดขึ้นเกิดการสลายและให้ฟล้อคมีโอกาสได้จับตัวกับอนุภาคขนาดเล็กหรืออนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสะเทินประจุที่ล้อมรอบแล้วกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักพอที่จะแยกหรือจมตัวออกจากน้ำทิ้งได้ โดยทั่วไปเวลาที่ใช้ในการกวนอย่างรวดเร็วประมาณ 1-3 นาที และเวลาที่ใช้ในการกวนอย่างช้าประมาณ 12-30 นาที การใช้สารเคมีในการทำให้อนุภาคเหล่านี้รวมตัวกันได้ผลดีที่สุด จะต้องมีการควบคุมค่าความเป็นด่างโดยทั่วไปใช้วัดค่าพีเอช ค่าพีเอชสำหรับสารเคมีที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ชนิดหนึ่งๆมีค่าแตกต่างกันออกไป เช่น สารส้มมีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5-6.5 ถ้าในน้ำเสียมีค่าพีเอชไม่อยู่ในพิกัดดังกล่าว ให้ปรับจนได้ค่าพิกัดแล้วจึงเติมสารส้มลงไป ในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กมากและอนุภาคคอลลอยด์ ด้วยวิธีนี้จึงจำเป็นจะต้องศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการโดยวิธีการที่เรียกว่า จาร์เทสต์ (Jar Test) เพื่อหาค่าความเป็นด่าง พีเอช และปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการกำจัดได้ประสิทธิภาพสูงสุด (มั่นสิน, 2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาของโพลิเมอร์อินทรีย์ เพื่อใช้ในการสร้างตะกอนและสารรวมตะกอนเรียกว่า *โพลิอิเลคโตรไลต์* (Polyelectrolyte) โพลิอิเลคโตรไลต์เป็นโพลิเมอร์อินทรีย์ขนาดใหญ่ละลายน้ำได้ยาก เป็นอิออนธรรมชาติและเป็นสารช่วยให้เกิดตะกอนเม็ดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนได้เร็วขึ้น

- มีแบบประจุบวก ลบ และไร้ประจุ
- มักนิยมใช้แบบประจุลบสำหรับกระบวนการทำให้ใส แต่จะใช้แบบประจุบวกสำหรับกระบวนการรีดน้ำออกจากสลัดจ์ (Sludge)
- ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วง 0.5-2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ละลายน้ำยาก มีความหนืดสูง อาจไม่สะดวกต่อการใช้งานในบางโรงงานที่ไม่มีอุปกรณ์เติมสารเคมี (Feeder) วิธีการทำให้ละลาย คือต้องละลายในน้ำอุ่นและกวนอย่างช้าๆทำเป็นสารละลายเริ่มต้น (Stock Solution) เข้มข้นประมาณ 0.2-2 เปอร์เซ็นต์ แล้วค่อยสูบไปใช้งานต่อไป
- มีอายุการใช้งานด้วย ถ้าอยู่ในรูปผงมีอายุการใช้งานไม่เกิน 1 ปี ถ้าผสมเป็นสารละลายจะใช้งานได้ไม่เกิน 1-2 สัปดาห์

2.3.4 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

เป็นวิธีการทางเคมีที่ใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆเจือปนอยู่ ดังในตารางที่ 2.4 ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับสารที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดออกซิเดชันได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน ไฮโปรคลอไรต์ เปอร์มังกานีส โครเมตและไนเตรท ส่วนสารเคมีทำให้เกิดรีดักชันได้แก่ ไอออน(II) ซัลเฟต โซเดียมเมตาไบซัลเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการรีดักชัน คือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่มีสารประกอบโครเมตหรือกรดโครมิคละลายปนอยู่ การบำบัดใช้ไอออน(II) ซัลเฟต ไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครเมต ปฏิกิริยานี้เกิดที่พีเอชต่ำกว่า 3 จึงต้องเติมกรดซัลฟิวริกลงไปด้วย จากนั้นจึงเติมปูนไลม์ลงไปเพื่อตกตะกอนอีกขั้นหนึ่ง การควบคุมวิธีการบำบัดแบบนี้ค่าพีเอชมีความสำคัญมาก จะต้องปรับค่าพีเอชให้พอเหมาะ ปฏิกิริยาจึงจะเกิดขึ้นสมบูรณ์ หรือถ้าใช้ไฮโปรคลอไรต์ หรือปูนไลม์มากเกินไป พีเอชจะเป็นด่างสูง ต้องใช้กรดปรับพีเอชลงมาให้เป็นกลางก่อนที่จะปล่อยทิ้งไปการวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะที่ต้องการกำจัดก่อน หรือหลังการบำบัดจะเป็นการช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการบำบัดหรือปฏิกิริยาเคมีว่าเกิดขึ้นสมบูรณ์เพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันในการบำบัดของเสีย (Manahan,1993)

Waste Substance	Reaction with Oxidant or Reductant
Oxidation of Organics	
- Organic matter , $\{CH_2O\}$	$\{CH_2O\} + 2\{O\} \longrightarrow CO_2H_2O$
- Aldehyde	$CH_3CHO + \{O\} \longrightarrow CH_3COOH(acid)$
Oxidation of Inorganics	
- Cyanide	$2CN^- + 5\,OCl^- + H_2O \longrightarrow N_2 + 2HCO_3^- + 5Cl^-$
- Iron(II)	$4Fe^{2+} + O_2 + 10H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H^+$
- Sulfur dioxide	$2SO_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4$
Reduction of Inorganics	
- Chromate	$2CrO_4^{2-} + 3SO_2 + 4H^+ \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 2H_2O$
- Permanganate	$MnO_4^- + 3\,Fe^{2+} + 7H_2O \longrightarrow MnO_2(s) + 3Fe(OH)_3(s) + 5H^+$

{O} สัญลักษณ์นี้ใช้แทนแหล่งที่ให้ออกซิเจนในออกซิไดซิงเอเจนต์

2.3.4.1 การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation)

ก. หลักการ

การเกิดออกซิเดชันทางเคมี เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียอิเลคตรอนของอะตอม กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้ จึงเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาพของมลสารที่อยู่ในน้ำจากประเภทที่มีพิษมากไปเป็นมลสารมีพิษน้อยหรือไม่มี ดังสมการ

สภาพมีพิษมาก $\longrightarrow$ สภาพมีพิษน้อย

$$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^- \qquad (2\text{-}29)$$

ข. สารพิษที่สามารถถูกกำจัดด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี

สารพิษที่มีในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆมีหลายชนิด แต่สารพิษที่สามารถถูกกำจัดด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี ได้แก่ โลหะสังกะสี ไซยาไนด์ เฟอรัส ซัลไฟด์ ซัลไฟต์ แมงกานีส ฟีนอล เอไมด์และกรดฮิวมิก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสารพิษด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี

ในการเลือกชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสารพิษด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี มีข้อควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพของการกำจัดสารพิษ
2. ราคาของสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสารพิษ
3. ความยากง่ายในการจัดเตรียมสารเคมี
4. ประสบการณ์ของผู้ควบคุมระบบกำจัดสารพิษ
5. ลักษณะของน้ำเสียที่ต้องการกำจัดสารพิษ เช่น พีเอช ปริมาณของแข็งแขวนลอยและความกระด้าง เป็นต้น

สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสารพิษดังกล่าวข้างต้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่สารเคมีที่เหมาะสมกับข้อควรพิจารณาข้างต้นมีดังนี้

1. อากาศหรือออกซิเจน
2. โอโซน
3. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)
4. คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2)

ง. สมการเคมีที่เกิดขึ้นจากการกำจัดสารพิษด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี

ในการเลือกสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสารพิษด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี จำเป็นต้องเข้าใจถึงสมการเคมีที่เกิดขึ้นดังนี้คือ

1. ใช้คลอรีน (Cl_2) ในการกำจัดสาร Fe^{2+}

$$2\,Fe^{2+} + Cl_2 \rightleftharpoons 2Fe^{3+} + 2Cl^- \qquad (2\text{-}30)$$

2. ใช้ไอโอดีน (I_2) ในการกำจัดสาร S^{2-}

$$S^{2-} + I_2 \rightleftharpoons 2I^- + S \qquad (2\text{-}31)$$

3. ใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ในการกำจัดสารอินทรีย์ของ HCHO

$$3HCHO + 4KMnO_4 \rightleftharpoons 4MnO_2 + 2K_2CO_3 + CO_2 + 3H_2O \qquad (2\text{-}32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ในการกำจัดสารไฮโดรเจนซัลไฟด์

$$4KMnO_4 + 3H_2S \rightleftharpoons 2K_2SO_4 + S + 3MnO + MnO_2 + 3H_2O \qquad (2\text{-}33)$$

2.3.4.2 การเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical Reduction)

ก. หลักการ

การเกิดรีดักชันทางเคมี เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มอิเลคตรอนของอะตอม กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้ เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาพของมลสารที่อยู่ในน้ำจากมลสารประเภทมีพิษมากไปเป็นมลสารที่มีพิษน้อยหรือไม่มีดังสมการ

สภาพมีพิษมาก $\longrightarrow$ สภาพมีพิษน้อย

$$Cr^{6+} + 3e^- \longrightarrow Cr^{3+} \qquad (2\text{-}34)$$

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu \qquad (2\text{-}35)$$

โครเมียมที่ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งจะอยู่ในรูปโครเมียม (VI) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดโครเมียม (VI) เสียก่อน ทั้งนี้โดยกำจัดโครเมียม (VI) ด้วยปฏิกิริยารีดักชันให้ค่าพีเอชของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 2-3 ด้วยกรดซัลฟูริก เพื่อให้โครเมียม (VI) เปลี่ยนอยู่ในรูปโครเมียม (III)

การรีดิวส์โครเมียม (VI)ไปเป็นโครเมียม (III) ประสิทธิภาพการรีดิวส์เกิดไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะยังมีโครเมียม (VI) บางส่วนตกค้างอยู่ ซึ่งการตกค้างโครเมียม (VI)ที่เหลืออยู่นั้นขึ้นอยู่กับ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา ค่าพีเอช และชนิดของสารรีดิวส์อีกด้วย

ข. สารพิษที่สามารถถูกกำจัดด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี

สารพิษที่มีในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆมีหลายชนิด แต่สารพิษที่สามารถถูกกำจัดด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี ได้แก่ โครเมียม ทองแดง ปรอท และเงินเป็นต้น

ค. สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสารพิษด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี

ในการเลือกชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสารพิษด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีจะมีข้อควรพิจารณาเหมือนกับการกำจัดสารพิษด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี ตัวอย่างสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อกำจัดมลสารในน้ำเสีย ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นิยมใช้เพราะราคาถูก แต่พบว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ เนื่องจากเป็นแก๊สพิษซึ่งสามารถรั่วซึมออกมาสู่ภายนอกได้ เมื่อใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารรีดิวส์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดซัลฟิวรัส (H_2SO_3) จึงไม่จำเป็นต้องเติมกรดอีก ดังสมการ

$$4SO_2 + H_2O \longrightarrow 4H_2SO_3 \qquad (2\text{-}36)$$

$$3H_2SO_3 + 2H_2CrO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 5H_2O \qquad (2\text{-}37)$$

2. สารประกอบซัลไฟท์ เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถรั่วไหลออกมาได้ จึงมีการใช้สารประกอบซัลไฟท์แทน ที่นิยมใช้คือ

- โซเดียมไบซัลไฟท์ (Na_2SO_3)
- โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ($NaHSO_3$)
- โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์

การใช้สารประกอบซัลไฟท์เป็นสารรีดิวส์จะทำให้เกิดด่างขึ้น ฉะนั้นจึงต้องเติมกรดเพื่อปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 2-3 ดังนั้นปฏิกิริยารีดักชันระหว่างโครเมียมกับสารประกอบซัลไฟท์และกรดซัลฟิวริกเป็นดังสมการ

$$2H_2CrO_4 + 3Na_2SO_3 + 3H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3Na_2SO_4 + 5H_2O \qquad (2\text{-}38)$$

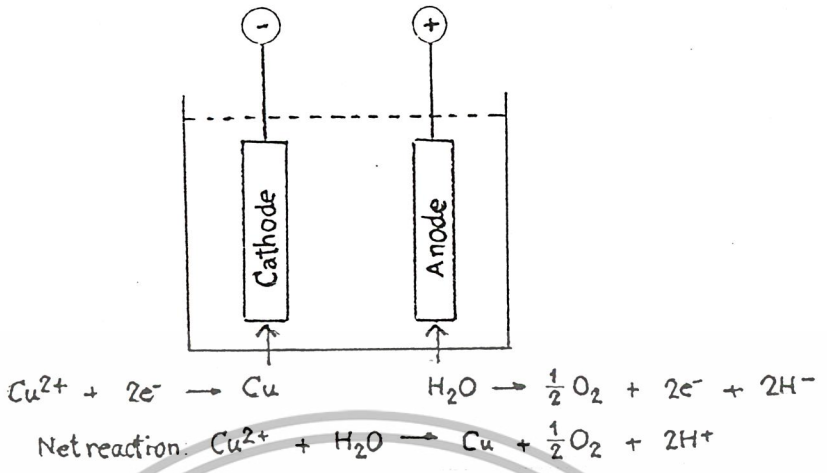
$$4H_2CrO_4 + 6NaHSO_3 + 3H_2SO_4 \longrightarrow 2Cr_2(SO_4)_3 + 3Na_2SO_4 + 10H_2O \qquad (2\text{-}39)$$

$$4H_2CrO_4 + 3Na_2S_2O_5 + 3H_2SO_4 \longrightarrow 2Cr_2(SO_4)_3 + 3Na_2SO_4 + 7H_2O \qquad (2\text{-}40)$$

3. เฟอรัสซัลเฟต อยู่ในรูปของแข็ง หรืออาจเตรียมเป็นสารละลายก่อนใช้รีดิวส์โครเมียม (VI) โดยใช้ร่วมกับกรดซัลฟิวริกที่พีเอช 2-3 แต่การใช้เฟอรัสซัลเฟตจะทำให้เกิดตะกอนมากกว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือสารประกอบซัลไฟท์ เนื่องจากเหล็ก (II) จะถูกออกซิไดส์เป็นเหล็ก (III) เมื่อทำปฏิกิริยากับโครเมียม (VI) และกรดซัลฟิวริก ดังสมการ

$$2H_2CrO_4 + 6FeSO_4 + 6H_2SO_4 \longrightarrow 3Fe_2(SO_4)_3 + Cr_2(SO_4)_3 + 8H_2O \qquad (2\text{-}41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า

(Manahan , 1993)

2.3.5 อิเลคโตรไลซิส (Electrolysis)

จากรูปที่ 2.7 อิเลคโตรไลซิสเป็นกระบวนการแยกสารด้วยไฟฟ้า โดยที่ขั้วลบของแบตเตอรี่ถูกลดอิเลคตรอนและอีกขั้วให้อิเลคตรอนเป็นขั้วบวกของแบตเตอรี่โดยจะมีการรวมอิเลคตรอนที่นี่ ในของเสียอันตราย (Hazardous Waste) มีการใช้การแยกสารด้วยไฟฟ้ากันอย่างมาก เช่น แคดเมียม(Cd) ทองแดง(Cu) ทองคำ(Au) ตะกั่ว(Pb) เงิน(Ag) และสังกะสี(Zn) ในกรณีที่โลหะมีสารประกอบพวกไซยาไนด์เป็นองค์ประกอบจะนำกลับโดยวิธีการแยกสลายด้วยไฟฟ้าค่อนข้างยาก เพราะสารมีความซับซ้อนมาก เช่น $Ni(CN)_4^{2-}$ (Manahan , 1993)

2.3.6 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาด้วยน้ำ ซึ่งสามารถบำบัดสารเคมีอินทรีย์โดยไฮโดรไลซิส ประกอบด้วยโลหะที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ เช่น โลหะคาร์ไบด์ ไฮไดรด์ เอไมด์ แอลโตซายด์ และเฮไลด์ (Manahan , 1993) ตัวอย่างการบำบัดดังตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงการบำบัดสารอนินทรีย์เคมีด้วยการไฮโดรไลซิส (Manahan , 1993)

Class of Chemical	Reaction with Water
Active metals (calcium)	$Ca + 2H_2O \longrightarrow H_2 + Ca(OH)_2$
Hydrides (sodium aluminum hydride)	$NaAlH_4 + 4H_2O \longrightarrow 4H_2 + NaOH + Al(OH)_3$
Carbides (calcium carbide)	$CaC_2 + 2H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2$
Amides (sodium amide)	$NaNH_2 + H_2O \longrightarrow NaOH + NH_3$
Halides (silicon tetrachloride)	$SiCl_4 + 2H_2O \longrightarrow SiO_2 + 4HCl$
Alkoxides (sodium ethoxide)	$NaOC_2H_5 + H_2O \longrightarrow NaOH + C_2H_5OH$

2.3.7 การสกัดและการชะละลายทางเคมี (Chemical Extraction and Leaching)

การสกัดและการชะละลายทางเคมีในการบำบัดของเสียอันตรายโดยปฏิกิริยาเคมี ใช้ตัวทำละลาย (Solvent) การละลายของเกลือโลหะหนักน้อยมาก สามารถสกัดโดยปฏิกิริยาของไอออนประจุลบด้วยไฮโดรเจนไอออนแสดงได้ดังนี้

$$PbCO_3 + H^+ \longrightarrow Pb^{2+} + HCO_3^- \qquad (2\text{-}42)$$

เบสถูกสกัดด้วยกรด เช่น เอมีน และอะนีลีนถูกสกัดด้วยกรด ถ้ามีไซยาไนด์หรือซัลไฟด์ควรจะหลีกเลี่ยงเพื่อป้องกันการเกิดไฮโดรเจนไซยาไนด์หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์

ไอออนโลหะหนักปนเปื้อนในดิน จะใช้การตกตะกอนร่วมในรูปสารที่ไม่ละลายน้ำของเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ตามลำดับ ออกไซด์พวกนี้สามารถละลายโดยรีดิวซิงเอเจนต์ (Reducing Agent) เช่น สารละลายโซเดียมไดไธโอเนตซิเตรท หรือไฮดรอกซิลลามีน ผลที่ได้คือ สารละลายเฟอรัสไอออน แมงกานีสไอออน และปล่อยไอออนของโลหะหนัก เช่น แคดเมียมไอออน หรือนิกเกิลไอออนละลายอยู่ในน้ำ

2.3.8 การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange)

เทคนิคนี้อาจจะอาศัยเรซิน (Rasin) เป็นตัวแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลายกับไอออนที่ผิวเรซินที่ใช้เป็นแคทไอออนเอกเชนจ์เรซิน (Cation Exchange Resin) เป็นพวกกรดอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Organic Acid) ซึ่งอาจจะเป็นกรดซัลโฟนิคหรือกรดคาร์บอกซิลิก (Sulfonic or Carboxylic Acid) วิธีนี้เหมาะสำหรับกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงชุบไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้ข้อจำกัดกับชนิดของน้ำเสีย คือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซินเพื่อความมีประสิทธิภาพสูงสุด

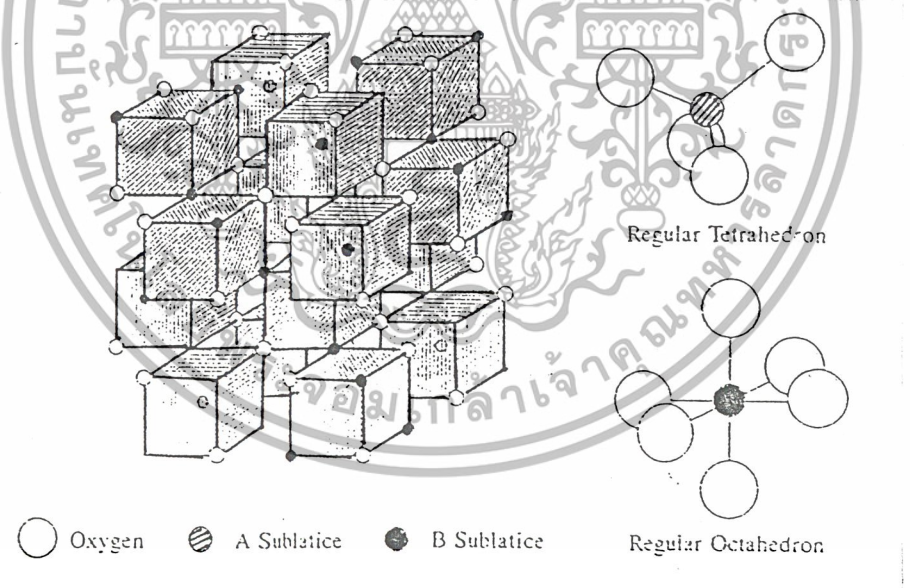
วิธีการทำให้ตกตะกอนและวิธีออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นวิธีใช้กันมากในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียในประเทศไทย กล่าวคือในกรณีที่มีโลหะหนักหลายชนิดปนอยู่ด้วยกันในน้ำเสีย การตกตะกอนโลหะหนักพร้อมๆกันหลายๆชนิดด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีนั้นจำเป็นจะต้องปรับค่าความเป็นกรด-เบส ให้ต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของโลหะหนัก ซึ่งจะต้องมีการแยกประเภทของโลหะหนักออกมากำจัดทีละชนิดซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในทางปฏิบัติ นอกจากนั้นยังมีข้อเสียเกี่ยวกับการตกตะกอนที่เกิดได้ช้าและไม่สามารถแยกตะกอนกับน้ำที่จะทิ้งได้เด็ดขาด กล่าวคืออาจจะมีตะกอนบางส่วนไหลกลับไปกับน้ำ หรือละลายกลับไปในน้ำที่จะปล่อยออกสู่ท่อระบายน้ำและข้อเสียสุดท้ายซึ่งเป็นส่วนที่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาต่อไปกับสิ่งแวดล้อมในอนาคตอย่างแน่นอนคือ ตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนซึ่งสามารถละลายได้ในค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปทิ้งในถังขยะหรือนำไปฝังในดินที่ไม่เหมาะสม อันจะก่อให้เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อมต่อไปได้อีก โดยถ้าพื้นที่ที่ฝังเป็นพื้นที่ลุ่ม (โดยเฉพาะในกรุงเทพฯ) ก็จะก่อให้เกิดปัญหากระทบต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน ยิ่งถ้าจุดที่ฝังนั้นน้ำสามารถท่วมได้ ก็จะเป็นการแพร่กระจายสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมออกไปได้ง่าย นั่นคือ การเลือกที่ดินในการฝังกากโลหะหนักนั้นจะต้องพิจารณาอย่างดีในเงื่อนไขที่ว่า เมื่อฝังแล้วจะต้องไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีก ซึ่งใช้งบประมาณในส่วนนี้มาก เพื่อแก้ไขปัญหานี้อาจจะกระทำได้ 2 ทาง คือส่งเสริมการวิจัยให้มีการนำเอาโลหะหนักกลับไปใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือหาวิธีการกำจัดโลหะหนักให้อยู่ในรูปที่คงตัวในธรรมชาติเพื่อไม่ให้กลับมากระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระบวนการเฟอร์ไรท์

น้ำเสียจากการทดลองที่มีสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ประกอบด้วยโลหะหนักที่มีอันตรายหลายชนิดอยู่ในรูปต่าง ๆ กระบวนการเฟอร์ไรท์เป็นวิธีการแรกที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย กระบวนการนี้ทำได้โดยการเติมเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ลงในน้ำเสียออกซิเดชันด้วยออกซิเจนในอากาศ เกิดเฟอร์ไรท์ซึ่งเป็นออกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำและแยกโดยการตกตะกอน ตะกอนที่ได้เป็น ferromagnetic สามารถแยกออกโดยใช้แม่เหล็กและนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ มหาวิทยาลัยหลายแห่งในญี่ปุ่นใช้กระบวนการนี้สำหรับกำจัดน้ำเสียที่มีสารอนินทรีย์ เนื่องจากตะกอนเฟอร์ไรท์สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุแม่เหล็ก

เฟอร์ไรท์ มี spinel structure ของระบบ tetragonal และเป็นผลึกเชิงซ้อนของเหล็กออกไซด์และออกไซด์ของโลหะ divalent (M) มีสูตรทางเคมีเป็น MFe_2O_4 หรือ $MO\ Fe_2O_3$ นอกจากนั้นโลหะที่มีประจุ uni- , tri- หรือ teravalent สามารถอยู่ในโครงผลึกของเฟอร์ไรท์ โครงสร้างผลึก spinel ของ ferrite ประกอบด้วย 2 sublattice ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ spinel
แบบ A เป็น tetrahedron ถูกล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจน 4 อะตอม
แบบ B เป็น tetrahedron ถูกล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจน 6 อะตอม
(Korenega และคณะ,1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Fe(OH)_2$ ตกตะกอนได้โดยเติม NaOH ในสารละลาย Fe^{2+} และ triiron tetraoxide (Fe_3O_4) เกิดจากการออกซิเดชัน $Fe(OH)_2$ ด้วยอากาศ

$$Fe^{2+} + 2\ OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2 \longrightarrow Fe_3O_4 \qquad (2\text{-}43)$$

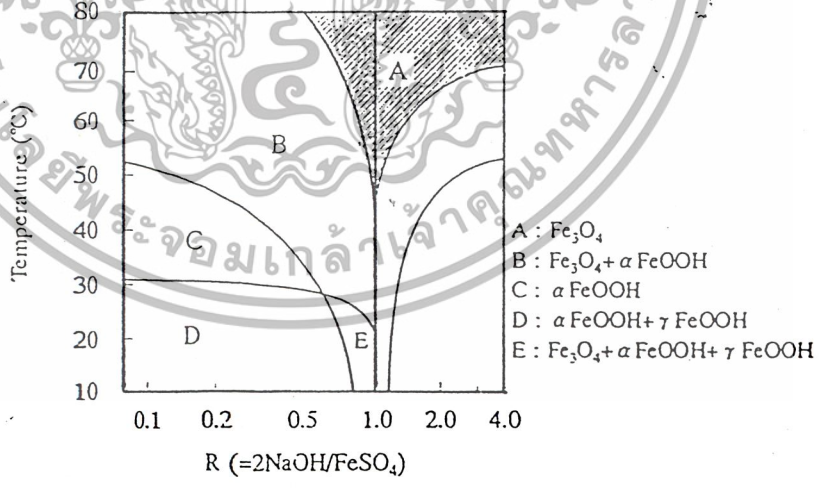
ถ้าในสารละลายมี M^{2+}

$$(3\text{-}x)\ Fe^{2+} + xM^{2+} + 6OH \longrightarrow MxFe_{3-x}(OH)_6 \longrightarrow Mx\ Fe_{3-x}\ O_4 \qquad (2\text{-}44)$$

มีตะกอนไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นในรูป intermedia ตามสมการด้านบน หลังจากสิ้นสุดการเกิดไฮดรอกไซด์ การออกซิเดชันและการเกิดผลึก ออกไซด์เชิงซ้อนของ black ferrite ที่มีโครงสร้างแบบ spinel เกิดขึ้น ซึ่งโลหะจะรวมตัวจับอยู่ในโครงผลึกเฟอร์ไรท์อย่างแข็งแรง ทำให้ละลายน้ำได้ยาก

สภาวะในการเกิดเฟอร์ไรท์ คือ

- อุณหภูมิสำหรับการออกซิเดชัน
- อัตราส่วนอากาศ
- เศษส่วนโมล (R)ของอัลคาไลน์ต่อเกลือเฟอร์รัส
- พีเอช



รูปที่ 2.9 แสดงสภาพสำหรับการเกิดเฟอร์ไรท์

(ที่มา : Kiyama ,1974)

Black Fe_3O_4 กับ ferromagnetism เกิดขึ้นในบริเวณ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพสำหรับการเกิดเฟอร์ไรท์ คือ

R = 1

pH = 9 – 10

T = 65 – 70 องศาเซลเซียส

เฟอร์ไรท์จะประกอบด้วยไอออนของโลหะหนักที่ฟอร์มตัวภายใต้สภาวะเดียวกันนี้ ในบริเวณอื่นนั้นเกิดออกซีไฮดรอกไซด์ที่มีสีเหลืองและน้ำตาล กับ สารประกอบของเหล็กที่มีสมบัติไม่เป็นแม่เหล็ก ซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2.6 แสดงไอออนของโลหะต่าง ๆ ที่สร้างเฟอร์ไรท์กับไอออนของเหล็ก

เป้าหมายของกระบวนการเฟอร์ไรท์ คือโลหะหนักที่เป็นพิษหลายชนิด (เช่น ทองแดง, ตะกั่ว, เหล็ก, นิกเกิล, โครเมียม, แคดเมียม, แมงกานิส และปรอท) ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำเสีย อย่างไรก็ตามสำหรับปรอทไม่สามารถกำจัดโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์

ตารางที่ 2.6 ไอออนโลหะที่สร้างเฟอร์ไรท์ (Korenega และคณะ,1994)

เวเลนซ์	ไอออนโลหะ
I	Li Cu Ag
II	Mg Ca Mn Fe Co Ni Cu Zn Cd Sn
III	Al Ti V Cr Mn Fe Ga Rh In Sb
VI	Ti V Mn Ge Sn Mo W
V	V As Sb
VI	Mo W Cr

ระบบการจัดการน้ำเสีย

น้ำเสียจากมหาวิทยาลัยไม่ได้มีเฉพาะโลหะหนักเท่านั้น จำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะกำจัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์

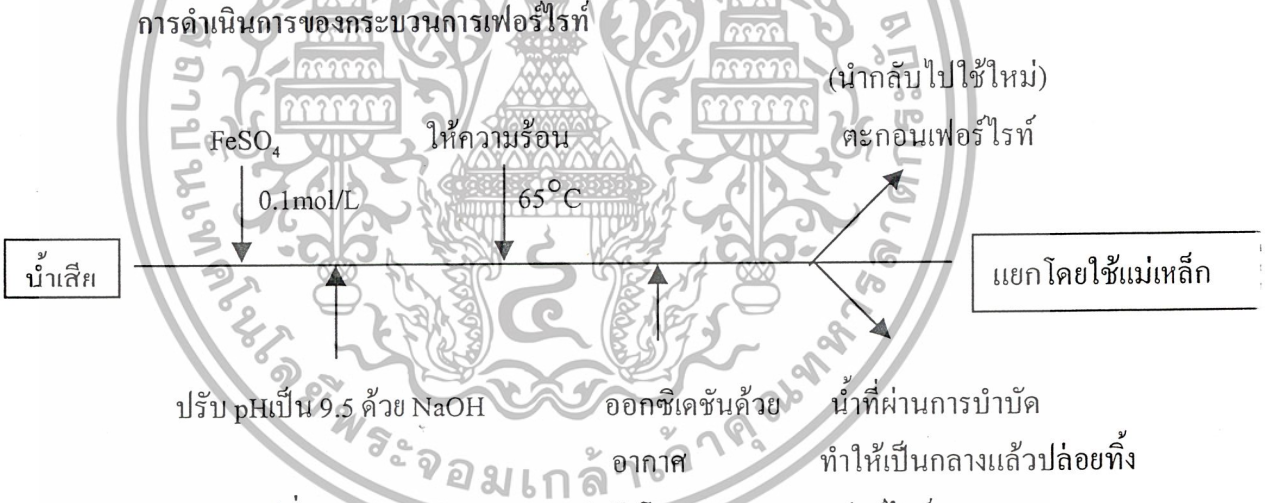
การที่น้ำเสียมีสารประกอบที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน การปล่อยน้ำเสียทิ้งจะเกิดความยุ่งยาก ดังนั้นในการกำจัดน้ำเสียจึงจำเป็นต้องแบ่งน้ำเสียออกเป็นหมวดหมู่ตามแหล่งที่ปล่อยน้ำเสียออกมา

การจำแนกประเภทของน้ำเสียจากกิจกรรมการวิจัยและการทดลองในมหาวิทยาลัยจัดเป็นหมวดหมู่ในตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 การจำแนกน้ำเสียสำหรับกระบวนการเฟอร์ไรท์ (Korenega และคณะ,1994)

ประเภท	Object	หมายเหตุ(remarks)
1. ปรอท	ปรอทอนินทรีย์และปรอทอินทรีย์	ยกเว้นโลหะปรอท อะมัลกัม
2. ไซยาไนด์	free cyanide	ยกเว้นไซยาไนด์อินทรีย์ สารเชิงซ้อน
3. ฟลูออไรด์	ฟลูออไรด์	
4. ฟอสเฟต	ฟอสเฟต	
5. โลหะหนัก	โลหะหนักและของผสมกรดโครมิก	ยกเว้นสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์
6. กรด	HCl H_2SO_4 HNO_3และอื่นๆ	ไม่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ
7. เบส	NaOH K_2CO_3	ไม่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ

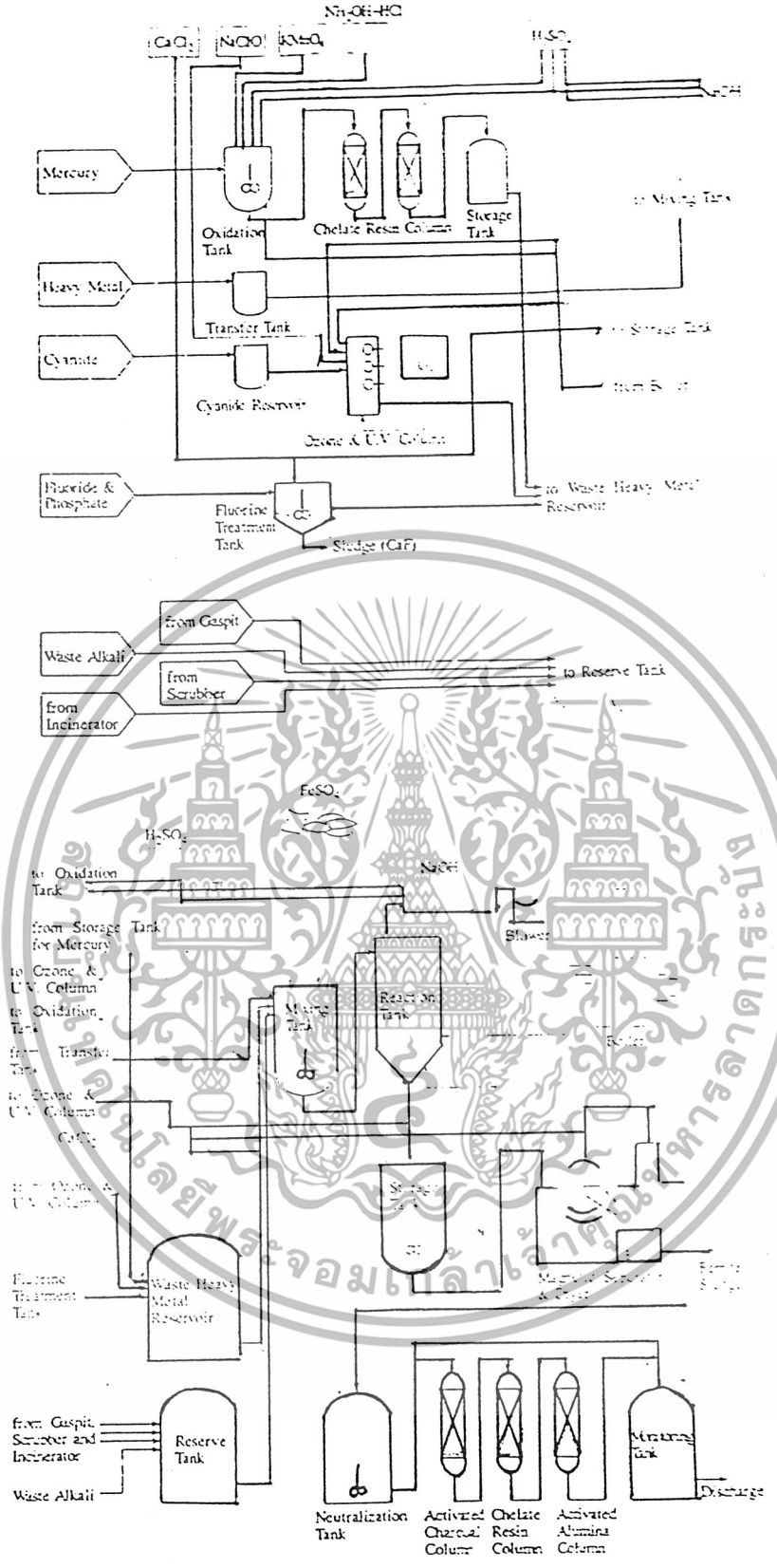


รูปที่ 2.10 แสดงแผนภาพการกำจัดโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์

(Korenega และคณะ,1994)

เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ และไอออนของโลหะหนักจะตกตะกอนที่พีเอช 9.5 – 10.5 โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในสารละลายของเฟอร์รัสไอออน หลังการออกซิเดชันเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ด้วยอากาศที่อุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส เฟอร์ไรท์ที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนและมีสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก (ferromagnetic) ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำเสียที่บำบัดแล้ว โดยใช้การแยกด้วยแม่เหล็ก ตะกอนของเฟอร์ไรท์สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ส่วนน้ำที่บำบัดแล้วจะถูกทำให้เป็นกลางและปล่อยทิ้ง รูปที่ 2.11 แสดงการกำจัดโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แผนภาพแสดงกระบวนการเฟอร์ไรท์

(Korenega และคณะ,1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการเดินระบบอัตโนมัติโดยใช้ตัวควบคุมและ sensors จะควบคุมระดับน้ำในถัง พีเอช ของถังกวนผสม ถังปฏิกิริยาและถังปรับเสถียร อุณหภูมิและค่า ORP ในถังปฏิกิริยา ตรวจสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์

การเตรียมการ

การกำจัดน้ำเสียโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์หลังจากการจัดการนำปรอทไซยาไนด์ ฟลูออไรด์ และฟอสเฟตออกก่อนจะทำได้ง่าย ก่อนการกำจัดโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์จำเป็นต้องมีการทดสอบอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้เกิดเฟอร์ไรท์ที่คุณภาพไม่ดีขึ้นภายใต้สภาวะเดียวกัน ถ้าไม่สามารถทำได้น้ำเสียถูกจัดการดังนี้ คือ

1. เติม $KMnO_4$ หรือ $FeSO_4$ ปริมาณมาก
2. ทำการกวนผสมที่อัตราส่วนของสารที่รบกวนกับปฏิกิริยาเฟอร์ไรท์น้อย ๆ
3. กำจัดสารรบกวน
4. การเพิ่มอุณหภูมิและพีเอชของปฏิกิริยาเฟอร์ไรท์

ปฏิกิริยาเฟอร์ไรท์

เตรียมน้ำเสียที่พีเอช 9.5 – 10.5 โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอุปกรณ์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นน้ำเสียจะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเกิดเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ขึ้นตลอด มีอนุภาคของเฟอร์ไรท์ตกตะกอนระหว่างช่วงเวลาของปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

การแยกแม่เหล็ก

ใช้แม่เหล็กแยกตะกอนเฟอร์ไรท์ออกจาก ferrite slurry ตะกอนที่ได้มีน้ำประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำตะกอนไปรีดด้วย filter press และใช้พอลิเมอร์ช่วย จะมีน้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนสุดท้าย

หลังจากใช้แม่เหล็กแยกแล้ว น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะถูกปรับพีเอช ให้เป็น 7 ด้วยกรดซัลฟูริก วิเคราะห์ทางเคมี ถ้าอยู่ในระดับที่ปลอดภัย สามารถปล่อยน้ำทิ้งได้ ถ้าผลไม่ดี ต้องนำน้ำไปบำบัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์อีกครั้ง ถ้าพบเฉพาะปรอท จะใช้ chelate resin หรือ active carbon กำจัดออกแล้วปล่อยน้ำทิ้งได้ถ้าอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเฟอร์ไรท์เป็นวิธีการที่มีข้อดีหลายประการ แสดงในตารางที่ 2.8 แต่ก็ไม่สมบูรณ์แบบโดยมีข้อเสียหลายประการ แสดงในตารางที่ 2.9 และวิธีการที่เหมาะสมสำหรับแก้ไขข้อเสียที่เกิดแสดงในตารางที่ 2.9 เช่นกัน

ตารางที่ 2.8 ข้อดีของกระบวนการเฟอร์ไรท์ (Korenega และคณะ,1994)

	ลักษณะเด่น	โดยทั่วไป
ปฏิกิริยา	เกิดปฏิกิริยาโดยไม่ต้องรีดิวส์ Cr^{6+}	เป็นการตกตะกอนร่วมพร้อมกับการรีดิวส์ด้วย $FeSO_4$
การแยก	แยกตะกอนออกด้วยแรงแม่เหล็ก	ตะกอนสารแม่เหล็ก
ตะกอน	จัดการโดยการฝังที่และการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในหลายๆทาง	ได้ออกไซด์ที่เป็นของแข็งเสถียร มีความถ่วงจำเพาะ ความเป็นแม่เหล็ก การดูดซึม ความคงทน

ตารางที่ 2.9 ข้อเสียของกระบวนการเฟอร์ไรท์และวิธีการแก้ไข (Korenega และคณะ,1994)

ข้อเสีย	วิธีการแก้ไข
น้ำเสียที่ยากสำหรับการจัดการด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์	
- มีปรอท ไซยาไนด์ ฟลูออไรด์ และฟอสเฟต - โลหะอินทรีย์ สารอินทรีย์เชิงซ้อน และสารประกอบอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง	- ใช้ chelate resin NaOCl หรือ $CaCl_2$ จัดการน้ำเสียก่อนกระบวนการเฟอร์ไรท์ - ดักจับโลหะหนักโดยการล้าง นำไปเผาไหม้ได้ก๊าซออกมา
กระบวนการกำจัด	
- ใช้ เป็นสารสำหรับการกำจัด - การให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยา	- เป็นของเสียหรือวัสดุราคาถูกจากอุตสาหกรรมการทำเหมือง - เพิ่ม boiler ตัวเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำตะกอนเฟอร์ไรท์กลับมาใช้ประโยชน์และนำกลับมาใช้ซ้ำ

ตะกอนเฟอร์ไรท์ทั้งหมดที่ได้จากการจัดการในมหาวิทยาลัยของญี่ปุ่น ตั้งแต่ปี คศ.1975 มีประมาณ 30 ตันต่อปี ตะกอนที่ได้มีน้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ตะกอนเฟอร์ไรท์เป็นของเสียที่ถูกผลิตขึ้นจากอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมเคมี สามารถนำตะกอนเฟอร์ไรท์มาใช้ซ้ำในหลาย ๆ ทาง โดยเฉพาะการนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับระบบนำทางแม่เหล็ก การซึมซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแถบกว้าง และการหยุดการสั่นสะเทือน

คุณลักษณะเด่นของกระบวนการเฟอร์ไรท์

กระบวนการเฟอร์ไรท์ได้ถูกนำไปใช้ในการกำจัดโลหะหนัก ที่มีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการวิจัยหลาย ๆ แหล่ง เนื่องจากกระบวนการนี้ มีลักษณะที่ดีกว่าวิธีอื่น ดังนี้

1. ตะกอนเฟอร์ไรท์ที่ได้จะมีสีดำ มีน้ำหนักสูงและไม่ละลายน้ำ ทำให้สามารถกรองแยกออกจากสารละลายได้ง่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้สามารถแยกออกได้ด้วยเครื่องแยกแบบแม่เหล็ก (Magnetic Separator)

2. ของแข็งที่แขวนลอย (Suspended Solids) สามารถกำจัดออกได้ด้วย ในเช่นเดียวกันกับการกำจัดโลหะหนัก

3. สาร $FeSO_4.7H_2O$ ที่ใช้กำจัดโลหะหนักในกระบวนการเฟอร์ไรท์นี้ เป็นสารที่มีราคาถูกและเป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็กและชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

4. กระบวนการเฟอร์ไรท์สามารถกำจัดโลหะหนักที่ปนกันอยู่หลายชนิด ในน้ำเสียได้พร้อม ๆ กัน

5. กระบวนการเฟอร์ไรท์สามารถกำจัดโลหะหนักปริมาณมากที่อยู่ในน้ำเสียได้เกือบหมด กล่าวคือกระบวนการนี้ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูง

6. ตะกอนเฟอร์ไรท์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้อีก โดยอาจจะใช้เป็นไมโครเวฟแอบซอร์บเบอร์หรือวัสดุอื่นที่ใช้ในการสื่อสาร หรือจะนำมาผลิตเป็นแท่งแม่เหล็กเป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของกระบวนการเฟอร์ไรท์นี้จะลดลงเล็กน้อย เมื่อสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำบางชนิดร่วมอยู่ด้วย เช่น Methylisobutylketone (MIBK) มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป หรือ Organic Carboxylic หรือ Alkyl Amine หรือ Alphatic Alkyl Polyles แต่สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำบางชนิดก็ไม่มีผลเลย เช่น เอทานอล ถึงแม้จะมีความเข้มข้นถึง 10 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกของแข็งออกจากน้ำทิ้ง

หลังจากที่โลหะหนักที่ละลายน้ำถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแข็งแล้ว จำเป็นต้องมีการแยกออกก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยการปล่อยให้ตกตะกอนและการกรอง

การตกตะกอน (Sedimentation) ตะกอนที่เกิดนั้นเป็นสารประกอบของโลหะหนักซึ่งเป็นตะกอนเคมีที่มีความสามารถในการตกตะกอนดีอยู่แล้ว โดยความสามารถในการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับขนาดของตะกอน ความหนืดของน้ำ อุณหภูมิ ความหนาแน่นของตะกอนและน้ำ

การกรอง (Filtration) หลังจากที่ปล่อยให้ตะกอนของโลหะหนักตกตะกอนแล้ว จะยังคงมีตะกอนโลหะหนักบางส่วนที่มีขนาดเล็ก สามารถแขวนลอยในน้ำ และจะออกไปพร้อมกับน้ำทิ้ง อาจทำให้คุณภาพของน้ำทิ้งเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงจำเป็นต้องมีการกรองเอาของแข็งที่แขวนลอยนี้ออก เกณฑ์ในการแบ่งประเภทของการกรองมีหลายอย่าง เช่น ชนิดของการไหล ชนิดและจำนวนของสารกรอง อัตราการกรอง ฯลฯ ในที่นี้จะถือเอาอัตราการกรองเป็นเกณฑ์ในการแบ่งโดยแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ซึ่งใช้ทรายเป็นสารกรอง คือการกรองทรายเร็ว (Rapid sand filtration) และการกรองทรายช้า (Slow sand filtration)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nilson (1971) ได้ศึกษาการบำบัดตะกั่วโดยการนำสารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับตะกั่วแล้วได้เกลือตะกั่วที่ละลายน้ำได้น้อย ซึ่งได้ใช้การตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) ตะกั่วจะตกตะกอนออกมาแยกทางน้ำทิ้งได้ โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนได้ดีที่สุด จะอยู่ในช่วง 9 – 10

Kiyama (1978) ได้ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบเฟอร์ไรท์ โดยการทดลองผสมโลหะหนักที่เป็นไดวาเลนท์ปนกับเกลือเฟอร์รัสซัลเฟต โลหะหนักดังกล่าวได้แก่ แมงกานีส แมกนีเซียม และโคบอลท์ โดยผสมเกลือเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 .7H_2O$) และเกลือแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4 .5H_2O$) กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ค่าความเป็นกรด-เบส ระหว่าง 9 – 10 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างของสารประกอบเฟอร์ไรท์ที่ได้เป็นแบบสไปเนล (spinel) อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กอีกด้วย นอกจากนี้ยังทำการทดลองใช้กระบวนการเฟอร์ไรท์กับเกลือแมงกานีสซัลเฟต และจากผลการทดลองนี้ยังสรุปต่อไปอีกว่า เงื่อนไขการเกิดสารเฟอร์โรแมกเนติกเป็นเงื่อนไขเดียวกับการเกิดสารแมกเนไตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Brantner และ Cichon (1986) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนัก หลายชนิดด้วยกัน รวมทั้งตะกั่วด้วย โดยทำการทดลองเปรียบเทียบการกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ด้วยวิธีการตกตะกอน 3 รูปแบบ คือ

1) การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ โดยการเติมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งการตกตะกอนจะเกิดได้ดีที่ช่วง พีเอช 10
2) การตกตะกอนคาร์บอเนต โดยการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) ในปริมาณ 650 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งการตกตะกอนจะเกิดได้ดีที่ช่วง พีเอช 8.3 – 8.7
3) การตกตะกอนซัลไฟด์ จะทำการเติมเฟอร์รัสซัลไฟด์ ในปริมาณ 130 มิลลิกรัมต่อลิตร และเกิดการตกตะกอนที่ช่วง พีเอช8.0 – 8.5

ซึ่งพบว่า การตกตะกอนในรูปคาร์บอเนตและซัลไฟด์สามารถลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียได้มากที่สุด โดยมีปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วต่ำกว่า 0.1 ppm ในขณะที่การตกตะกอนไฮดรอกไซด์มีปริมาณตะกั่วเหลืออยู่ 0.2 ppm นอกจากนี้ยังได้ทำการกรองและวัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่อยู่ในตะกอนแต่ละชนิดหลังการบำบัด พบว่า ค่า TS ในตะกอนไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และซัลไฟด์ คือ 2.6, 9.1 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Sano and Nakama (1986) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยโลหะหนักโดยใช้เกลือเฟอร์รัสที่สัดส่วน 2 – 100 เท่า เมื่อเทียบกับโมลโลหะหนักทุกตัวในน้ำเสีย ใช้สารละลายด่างปรับพีเอชเป็น 8 ทำการออกซิไดซ์เฟอร์รัสช้า ๆ จะได้ตะกอนแม่เหล็ก ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำเสีย 2 ลิตร ที่มี Cu^{2+} Zn^{2+} Pb^{2+} อย่างละ 50 ส่วนในล้านส่วน ผสมกับ $FeSO_4$ 0.2 โมล แล้วปรับค่าความเป็นกรด-เบสที่ 10 ทำการกวนนาน 4 ชั่วโมง พร้อมกับการเติมออกซิเจนในอัตรา 17 โมลต่อนาที ทำการแยกตะกอนเฟอร์ไรท์ออกมาและนำส่วนใสไปวิเคราะห์หาโลหะหนักพบว่ายังมี Cu 0.05, Zn 0.03, Pb 0.01 ส่วนในล้านส่วน

พรสวัสดิ์ (2529) ได้ทำการศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสามารถตกตะกอนตะกั่วได้ดีที่ช่วงพีเอช 9.4–10.4 โซเดียมซัลไฟด์ สามารถตกตะกอนตะกั่วได้ดีที่ช่วง พีเอช 7.6 – 10.8 และโซเดียมคาร์บอเนต สามารถตกตะกอนตะกั่วได้ดีที่ช่วง พีเอช 7.0 – 10.3 และพบว่า โซเดียมคาร์บอเนตมีราคาแพงและการตกตะกอนเกิดช้าทำให้ต้องเสียค่าลงทุนในการสร้างถังตกตะกอน และโซเดียมซัลไฟด์ตกตะกอนได้เร็วแต่มีกลิ่นรบกวนจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งอาจเกิดอันตรายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มงคล (2532) ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแผ่นเหล็กอาบสังกะสี โดยน้ำเสียแบ่งได้เป็นน้ำร้อนล้าง น้ำเย็นล้าง น้ำหล่อเย็น กรดโครมิกที่ใช้แล้ว สารละลายกรดและสารละลายด่างเข้มข้น โดยศึกษาและเปรียบเทียบ การบำบัดน้ำเสียรวมและน้ำเสียแยกโดยวิธีทางเคมีและฟิสิกส์ การทดลองใช้โซดาไฟ ปูนขาว และสารโพลิเมอร์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักได้แก่ สังกะสี และโครเมียม เปรียบเทียบการใช้โซเดียมเมตาซัลไฟท์ และเฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวส์โครเมียม (VI) ให้เป็นโครเมียม (III) พบว่า การใช้ปูนขาวให้ประสิทธิภาพการกำจัดสังกะสีในน้ำเสียรวมและน้ำหล่อเย็นสูงกว่าโซดาไฟโดยมีพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 9.5 การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ให้ประสิทธิภาพการรีดิวซ์โครเมียม (VI) ในกรดโครมิคสูงกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต โดยโครเมียม (VI) ถูกรีดิวซ์หมด เมื่อใช้ความเข้มข้น 1.75 เท่าของค่าทางทฤษฎี ในขณะที่การใช้เฟอร์รัสซัลเฟตที่ความเข้มข้น 2.0 เท่าของค่าทางทฤษฎี ยังมีโครเมียม (VI) เหลือเท่ากับ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้ปูนขาวให้ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ผ่านการรีดิวส์สูงกว่าโซดาไฟโดยมีค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 8.5 แต่การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์และปูนขาวที่สภาวะที่เหมาะสมยังไม่สามารถกำจัดโครเมียมในกรดโครมิคได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.5มิลลิกรัมต่อลิตร จำเป็นต้องมีการกรองทรายซ้ำจึงจะสามารถกำจัดได้ตามมาตรฐาน การใช้สารโพลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 0.2 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำหล่อเย็นและน้ำเสียรวม แต่ไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดกรดโครมิค เมื่อเปรียบเทียบค่าบำบัดน้ำเสียพบว่าการให้ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม ในการควบคุมของกระทรวงอุตสาหกรรมบำบัดน้ำเสียรวมจาก น้ำร้อนล้าง น้ำเย็นล้าง น้ำหล่อเย็น และกรดโครมิก เสียค่าบำบัดต่ำสุด การแยกบำบัดน้ำหล่อเย็น จากน้ำร้อนล้าง และแยกบำบัดกรดโครมิก โดยโรงงานเป็นผู้บำบัดเองเสียค่าบำบัดสูงกว่า และการบำบัดน้ำเสียรวมจากน้ำร้อนล้าง น้ำเย็นล้าง น้ำหล่อเย็น และการแยกบำบัดกรดโครมิก โดยโรงงานเป็นผู้บำบัดเองเสียค่าบำบัดแพงสุด

Tamura, Tu และคณะ (1991) ศึกษาความเสถียรของ Fe_3O_4 ที่เคลือบบนอิออนโลหะหนักในกระบวนการเฟอร์ไรท์ ปฏิกิริยาการเกิดเฟอร์ไรท์ในสารละลายเกิดจากการจับอิออนโลหะหนักและการออกซิไดซ์ Fe(II) ที่อยู่รอบ ๆ อิออนโลหะหนักเกิดเป็นอนุภาคเฟอร์ไรท์ เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาได้ Fe_3O_4 เคลือบอยู่บนอนุภาคโลหะหนักการเกิดปฏิกิริยาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การเติมสารละลายเหล็กลงในน้ำเสีย
2. การเป่าอากาศเพื่อทำให้เกิดออกซิเดชันได้สารประกอบเคลือบอยู่บนอิออนโลหะหนัก

วิธีนี้สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยอิออนฟลูโอไรด์หรือดินที่มีอิออนแคดเมี่ยม หลังการบำบัดแล้วได้เฟอร์ไรท์ที่เสถียรมา เนื่องจากในสภาพธรรมชาติ ไม่สามารถชะล้างอิออนโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาจากตะกอนเฟอร์ไรท์

ดรุณี (2535) ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลในน้ำเสียโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์ พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมคือ ค่าความเป็นกรด-เบส 10 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-เบส 11 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส สำหรับนิกเกิลคือ ค่าความเป็นกรด-เบส 10 – 11 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลพร้อม ๆ กันคือ ค่าความเป็นกรด-เบส 10 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโมลที่เหมาะสมคือ $Cr^{3+}/Iron_{total} = 14.85 * 10^{-3}$, $Ni^{2+} / Iron_{total} = 13.5 * 10^{-3}$ ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลเป็น 100% อัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำเสียโรงชุบโลหะที่ไม่มีไซยาไนต์คือ $Cr^{3+} /Iron_{total} = 2.51 * 10^{-3}$, $Ni^{2+} / Iron_{total} = 1.4 * 10^{-3}$ อัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำเสียโรงชุบโลหะที่มีไซยาไนต์คือ $Cr^{3+} /Iron_{total} = 1.8 * 10^{-3}$, $Ni^{2+} / Iron_{total} = 0.76 * 10^{-3}$ เมื่อทดสอบความเสถียรของการตะกอนเฟอร์ไรท์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะที่ไม่มีไซยาไนต์ โดยวิธี leaching test ในเวลา 6 – 24 ชั่วโมง พบว่าตะกอนมีความเสถียรที่ ค่าความเป็นกรด-เบส 3 – 5.8

ดร.เพ็ชรพร และคณะ (2537) การบำบัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทดลองใช้ โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ กำจัดโครเมียม (VI) ให้เป็นโครเมียม (III) พบว่าช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 9 – 11 แต่ที่ดีที่สุดคือ 9.0 จะได้น้ำใส (effluent) ได้ตามมาตรฐานน้ำเสีย แต่ต้องผ่านการกรองอีกครั้งหนึ่ง

การกำจัดโลหะสังกะสี ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ช่วงพีเอช คือ 9 – 11 แต่ที่ดีที่สุดคือ 9.0 เช่นเดียวกันจะได้น้ำใสที่ใสโดยไม่ต้องกรอง

การกำจัดโลหะทองแดง นิเกิล และสังกะสี อยู่ร่วมกัน จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ช่วงพีเอช 9 – 11 แต่ที่เหมาะที่สุดคือ 9.0 แต่ต้องผ่านการกรองก่อนเช่นเดียวกัน แต่หากต้องการใช้สารละลายปูนขาวในการกำจัดควรใช้พีเอชในช่วง 9.56 – 11 หรือที่ 9.5 โดยไม่ต้องผ่านการกรอง

Chu และคณะ (1999) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดตะกั่ว โดยใช้ Recycle alum sludge (RAS) ในกระบวนการตกตะกอน ทำการวิจัยโดยใช้ Fresh alum 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่ลงไปในน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่วร่วมกับ กระบวนการกำจัดตะกั่ว จะเกิดตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ร่วมกับการตกตะกอนของ Alum sludge ในสภาวะที่เป็นเบส คือแนะนำในช่วง พีเอช 11.6 และจะทำการรีไซเคิล alum ซึ่งพบว่า การกำจัดตะกั่ว จะเพิ่มขึ้นจาก 79 เปอร์เซ็นต์ เป็น 96-98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ หลังจากที่มีการรีไซเคิล alum sludge เป็นปริมาณ 100-180 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าลดปริมาณ Fresh alum ลงเป็น 12.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีปริมาณของ RAS สูงสุดที่ 175 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI 5
2. โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ($Na_2S_2O_5$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB SCAN
4. แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท UNILAB (AJECT)
5. กรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
6. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB SCAN
7. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท FISHER CHEMICALS
8. โครเมียมไตรออกไซด์ (CrO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
9. ตะกั่วไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
10. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
11. น้ำปราศจากไอออน (น้ำ DI)
12. น้ำแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. กระบอกตวง (measuring cylinder)
2. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
3. หลอดหยด (dropper)
4. บิวเรต (burette)
5. ปิเปต (pipette)
6. บีกเกอร์ (beaker)
7. ช้อนตักสาร (spatula)
8. ตู้ดูดควัน (hood)
9. เครื่องวัดความนำไฟฟ้า
10. กระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ WHAT MAN
11. แท่งแก้วคน (glass funnel)
12. ขวดโพลีโพพิลีน
13. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
14. เครื่องดูดสูญญากาศ (vacuum pump)
15. ชุดกรองบุชเนอร์ (Buchner filter)
16. เตาไฟฟ้า (hot plate)
17. ปากคีบ (forceps)
18. เดซิกเคเตอร์ (desicator)
19. กระจกนาฬิกา
20. ตัวหนีบยึด (clamp)
21. กรวยกรอง (glass funnel)
22. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (oven)
23. ถ้วยระเหย (evaporating bowl)
24. เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer)
25. แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar)
26. เครื่องชั่งสารแบบละเอียด (analytical balance) ยี่ห้อ SWISS QUALITY รุ่น PRECISA 205A
27. เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic Absorption Spectrophotometer) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น 760

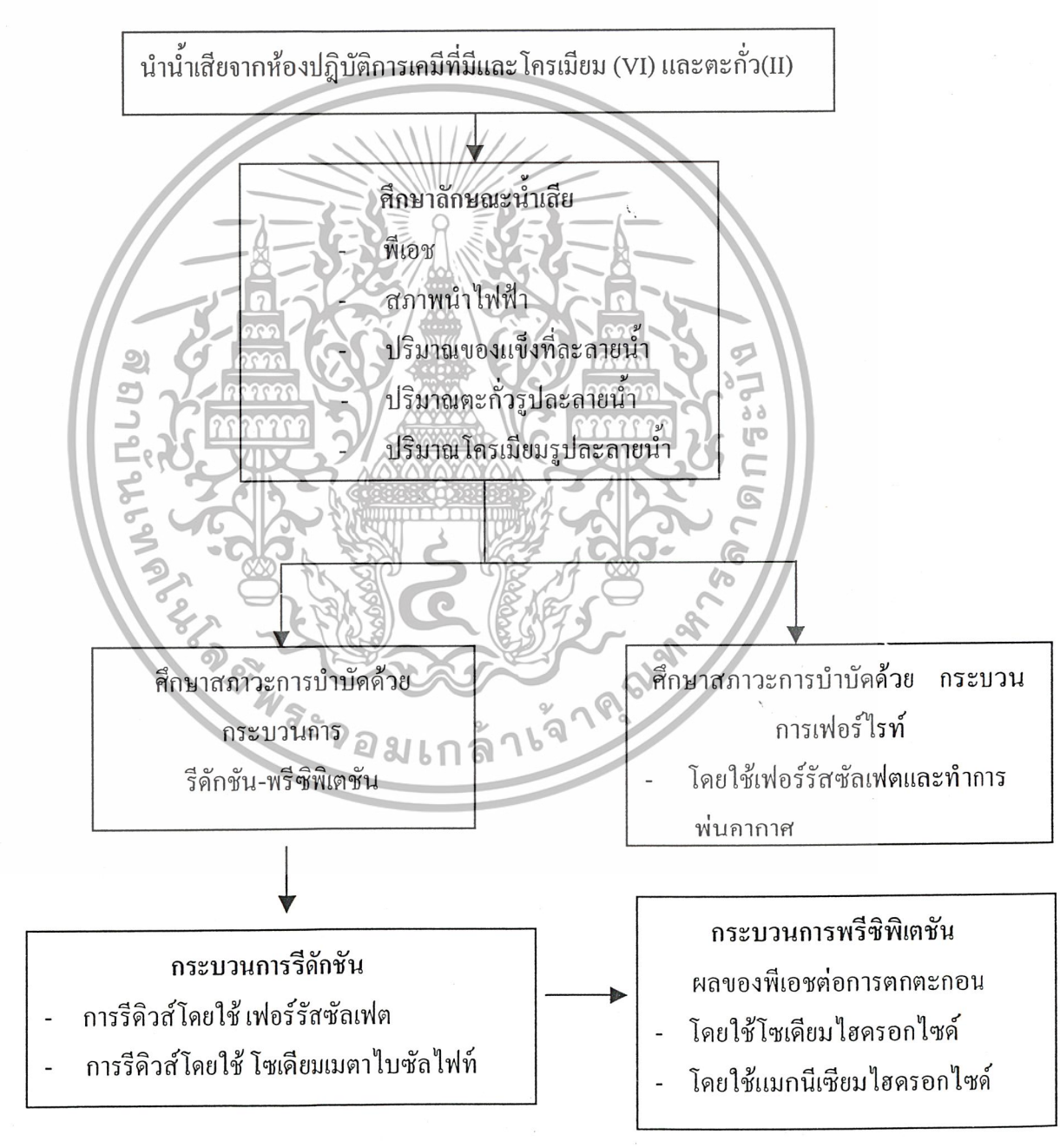
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1. แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้นำมาจากการทดลอง เรื่อง สมดุลเคมี ผสมกับน้ำยาทำความสะอาดเครื่องแก้ว (cleaning solution) ที่ใช้แล้ว จากห้องปฏิบัติการเคมี ตึกเรียนรวม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.2. แผนการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การศึกษาลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีซึ่งมีโครเมียม(VI) และตะกั่ว(II) เป็นองค์ประกอบ

นำตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการมาทำการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์1 เพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าดังต่อไปนี้ คือ

3.3.3.1. ค่าพีเอช (pH)

นำน้ำเสียตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร นำมาวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.3.3.2. ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)

นำน้ำเสียตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร นำมาวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดความนำไฟฟ้า โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.3.3.3. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolve Solids, TDS)

วิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก

3.3.3.4. ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วรูปละลายน้ำ

วิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก

3.3.3.5. ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมรูปละลายน้ำ

วิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม(VI) และตะกั่ว(II)ด้วยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน(Reduction-Precipitration Process)

3.3.4.1. กระบวนการรีดักชัน (Reduction Process)

3.3.4.1.1. การรีดิวส์โครเมียม (VI) ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSo_4.7H_2O$)

ใส่น้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว 100 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

↓

ปรับพีเอชเป็น 2.0 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 โมลาร์

↓

เติมเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เท่าทางทฤษฎี (ภาคผนวก ค)

↓

ปั่นกวน 1 ชั่วโมง

ทดสอบน้ำเสียตัวอย่างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์และน้ำแป้ง

↓

บันทึกสีของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์

3.3.4.1.2. การรีดิวส์โครเมียม (VI) ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ($Na_2S_2O_5$)

ใส่น้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว 100 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

↓

ปรับพีเอชเป็น 2.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 โมลาร์

↓

เติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0,1.5,2.0,2.5 และ 3.0 เท่าทางทฤษฎี (ภาคผนวก ค)

↓

ปั่นกวน 1 ชั่วโมง

ทดสอบน้ำเสียตัวอย่างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์และน้ำแป้ง

↓

บันทึกสีของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์

หมายเหตุ : ในการทดสอบน้ำเสียตัวอย่างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์และน้ำแป้ง ถ้าสารละลายมีโครเมียม(VI) จะออกซิไดส์ไอโอไดด์ให้เป็นไอโอดีน ซึ่งให้สีน้ำเงิน กับน้ำแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2. กระบวนการทำให้ตกตะกอน (Precipitation Process)

3.3.4.2.1. ผลของพีเอชต่อการตกตะกอน

1. การตกตะกอนโครเมียม (III) และตะกั่ว (II) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

- รีดิวส์โดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟต

นำน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว 100 มิลลิลิตรรีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่เหมาะสม จากข้อ 3.3.4.1.1.และ 3.3.4.1.2. ตามลำดับ ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

↓

ปรับพีเอชเป็น 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

↓

ปล่อยให้ตกตะกอนตลอดคืน(15 ชั่วโมง)

↓

กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

ของเหลว ตะกอน

- วิเคราะห์หาโครเมียม และตะกั่ว
- บันทึกผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รีดิวส์โดยใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์

นำน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว 100 มิลลิลิตรรีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ในปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.1.1.และ 3.3.4.1.2. ตามลำดับ ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

↓

ปรับพีเอชเป็น 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

↓

ปล่อยให้ตกตะกอนตลอดคืน(15 ชั่วโมง)

↓

กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

ของเหลว

- วิเคราะห์หาโครเมียม และตะกั่ว
- บันทึกผลที่ได้

ตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตกตะกอนโครเมียม (III) และตะกั่ว (II) ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

- รีดิวส์โดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟต

นำน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว 100 มิลลิลิตรรีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่เหมาะสม จากข้อ 3.3.4.1.1.และ 3.3.4.1.2. ตามลำดับ ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

↓

ปรับพีเอชเป็น 7.5, 8.0, 8.5, 9.0,9.5,10.0,10.5 และ11.0 ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

↓

ปล่อยให้ตกตะกอนตลอดคืน (15 ชั่วโมง)

↓

กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

ของเหลว — ตะกอน

- วิเคราะห์หาโครเมียม และตะกั่ว
- บันทึกผลที่ได้

- รีดิวส์โดยใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์

นำน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว 100 มิลลิลิตรรีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ในปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.1.1.และ 3.3.4.1.2. ตามลำดับ ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

↓

ปรับพีเอชเป็น 7.5, 8.0, 8.5, 9.0,9.5,10.0,10.5 และ11.0 ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

↓

ปล่อยให้ตกตะกอนตลอดคืน (15 ชั่วโมง)

↓

กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

ของเหลว — ตะกอน

- วิเคราะห์หาโครเมียม และตะกั่ว
- บันทึกผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม (VI) และตะกั่ว (II) ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ (Ferrite Process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

4.1.1 แหล่งที่มาของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

แหล่งที่มาของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมาจากห้องปฏิบัติการทางเคมี ตึกเรียนรวมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ได้จากการทดลองเรื่องสมดุลเคมี และน้ำยาล้างเครื่องแก้ว(cleaning solution)ที่ใช้แล้ว

4.2 การศึกษาลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีซึ่งมีโครเมียม(VI) และตะกั่ว(II)เป็นองค์ประกอบ

นำน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมาทำการกรองเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำเสีย เท่ากับ 0.88

4.2.2 ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสีย เท่ากับ 60.07 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร

4.2.3 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolve Solids; TDS)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด เท่ากับ 6,168.5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

4.2.4 ค่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในรูปละลายน้ำ

ความเข้มข้นของตะกั่วที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 46 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ค่าปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในรูปละลายน้ำ

ความเข้มข้นของโครเมียมที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 2,330 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม(VI) และตะกั่ว(II) เป็นองค์ประกอบ ด้วยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพริเตชัน (Reduction-Precipitation Process)

4.3.1 กระบวนการรีดักชัน (Reduction Process)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียม (VI) ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ($Na_2S_2O_5$)

ปริมาณสาร (จำนวนเท่าทางทฤษฎี)	สีของ KIภายหลังจากการหยดน้ำเสียตัวอย่าง	
	$FeSO_4.7H_2O$	$Na_2S_2O_5$
1.0	สีดำ	ใสไม่มีสี
1.5	สีดำ	ใสไม่มีสี
2.0	สีดำ	ใสไม่มีสี
2.5	ใสไม่มีสี	ใสไม่มีสี
3.0	ใสไม่มีสี	ใสไม่มีสี

4.3.1.1 การรีดิวส์โครเมียม (VI) ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองพบว่า เฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี ไม่ทำให้สีของโพแทสเซียมไอโอไดด์เปลี่ยนไป นั่นคือโครเมียมบวกหกถูกรีดิวส์เป็นโครเมียม(III)หมด

4.3.1.2 การรีดิวส์โครเมียม (VI) ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ($Na_2S_2O_5$)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองพบว่า โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎีไม่ทำให้สีของโพแทสเซียมไอโอไดด์เปลี่ยนไป นั่นคือโครเมียม(VI)ถูกรีดิวส์เป็นโครเมียม (III)หมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 กระบวนการทำให้ตกตะกอน (Precipitation Process)

4.3.2.1 การตกตะกอนโครเมียม (III) และตะกั่ว (II) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

การศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม(III)และตะกั่วในน้ำเสีย โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ นำน้ำเสียที่ได้จากการรีดิวส์โครเมียม(VI) ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี มาทำการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการแปรค่าพีเอชที่ 7.5-11.0 ตั้งทิ้งให้ตกตะกอนทั้งคืน (ประมาณ 15 ชั่วโมง) กรองแยกส่วนน้ำออกจากตะกอน แล้วนำไปวิเคราะห์หาโครเมียมและตะกั่วที่เหลือในน้ำ ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์แสดงดังตารางที่ 4.2 กับรูปที่ 4.1 สำหรับการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวส์และตารางที่ 4.3 กับรูปที่ 4.2สำหรับการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ในการรีดิวส์

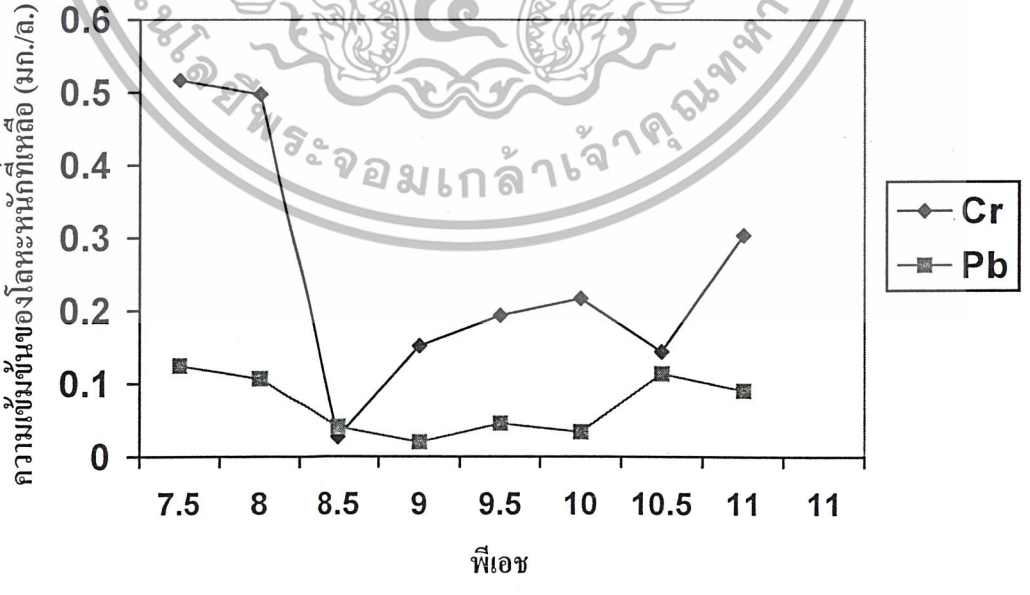
เมื่อพิจารณาการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวรีดิวส์ และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการตกตะกอน ที่พีเอช 7.5 -11.0 พบว่าสามารถกำจัดโครเมียมได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ พีเอช 8.0-11.0 และสามารถกำจัดตะกั่วได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ทุกพีเอช โดยเลือกค่าพีเอชที่ 8.5 เนื่องจากสามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วได้ดีที่สุด ซึ่งโครเมียมและตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย คือ 0.027 และ 0.041 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ ร้อยละ ~100.00 และ 99.91 ตามลำดับ

การกำจัดโลหะหนักโดยใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์เป็นตัวรีดิวส์ และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอนที่พีเอช 7.5-11.0 พบว่าสามารถกำจัดโครเมียมได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ พีเอช 8.5-11.0 และสามารถกำจัดตะกั่วได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่พีเอช 9.0-10.5 โดยเลือกค่าพีเอชที่ 9.5 เนื่องจากสามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วได้ดีที่สุด ซึ่งโครเมียมและตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย คือ 0.194 และ 0.051 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ ร้อยละ 99.99 และ 99.89 ตามลำดับ พบว่า ในการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตรีดิวส์โครเมียม(VI) และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอนที่พีเอช 8.5 สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียให้เหลือปริมาณน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.2 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียมโดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตและการตกตะกอนโครเมียม (III) และตะกั่ว (II) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)	
	โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว
7.5	0.517	0.125	99.98	99.73
8.0	0.498	0.107	99.98	99.77
8.5	0.027	0.041	~100.00	99.91
9.0	0.152	0.020	99.99	99.96
9.5	0.194	0.046	99.99	99.90
10.0	0.217	0.034	99.99	99.93
10.5	0.144	0.114	99.99	99.75
11.0	0.304	0.091	99.99	99.80

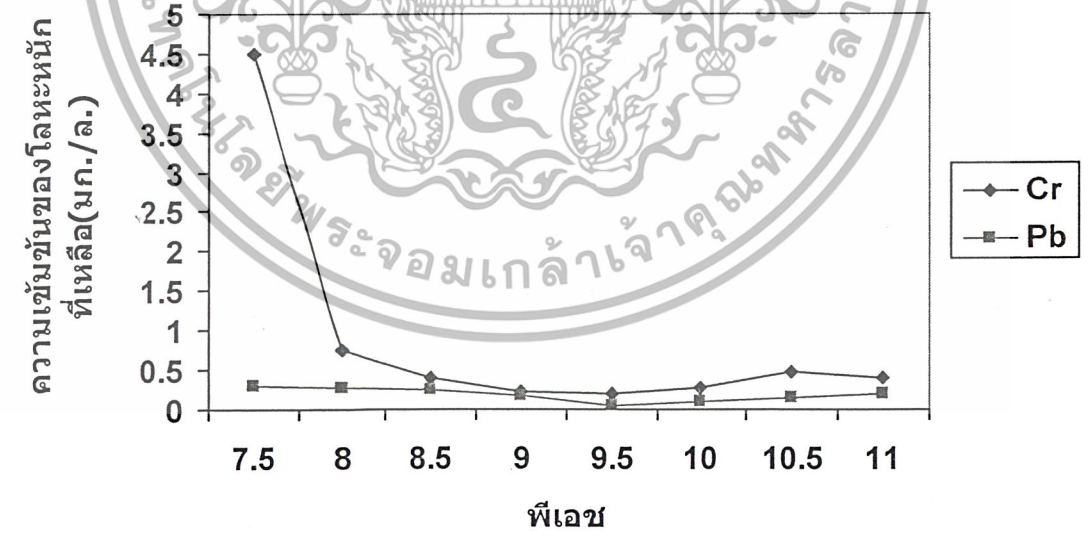


รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยทำการรีดิวส์ด้วย $FeSO_4.7H_2O$ ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนด้วย NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียมโดยใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์และการตกตะกอนโครเมียม (III) และตะกั่ว (II) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)	
	โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว
7.5	4.504	0.307	99.81	99.33
8.0	0.751	0.274	99.97	99.40
8.5	0.394	0.244	99.98	99.47
9.0	0.227	0.172	99.99	99.63
9.5	0.194	0.051	~100.00	99.89
10.0	0.276	0.089	99.99	99.81
10.5	0.483	0.147	99.98	99.68
11.0	0.402	0.204	99.98	99.56



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยทำการรีดิวส์ด้วยด้วย $Na_2S_2O_5$ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนด้วย NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 การตกตะกอนโครเมียม (III) และตะกั่ว (II) ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์แสดงดังตารางที่ 4.4 กับรูปที่ 4.3 สำหรับการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตในการรีดิวส์และตารางที่ 4.5 กับรูปที่ 4.4 สำหรับการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ในการรีดิวส์

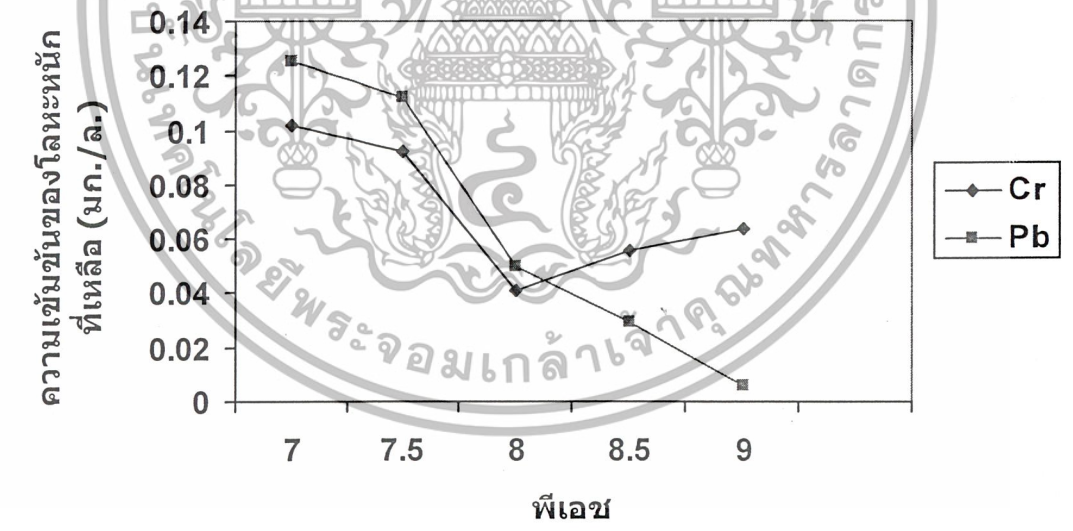
เมื่อพิจารณาการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวรีดิวส์ และใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ในการตกตะกอน ที่พีเอช 7.0-9.0 พบว่าสามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน คือ 0.5 ,0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับโดยเลือกค่าพีเอชที่ 8.0 เนื่องจากสามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วได้ดีที่สุด ซึ่งโครเมียมและตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย คือ 0.041 และ 0.050 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ ร้อยละ ~100.00 และ 99.89 ตามลำดับ

การกำจัดโลหะหนักโดยใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์เป็นตัวรีดิวส์ และใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอน ที่พีเอช 7.0-9.0 พบว่าสามารถกำจัดโครเมียมได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานคือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ พีเอช 8.5-9.0 และสามารถกำจัดตะกั่วได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน คือ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยเลือกค่าพีเอชที่ 9.0 เนื่องจากสามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วได้ดีที่สุด ซึ่งโครเมียมและตะกั่วที่เหลือในน้ำเสีย คือ 0.032 และ 0.026 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ ร้อยละ ~100.00 และ 99.94 ตามลำดับ พบว่า ในการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์รีดิวส์โครเมียม(VI) และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอน ที่พีเอช 9.0 สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียให้เหลือปริมาณน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียมโดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตและการตกตะกอนโครเมียม (III) และตะกั่ว (II) ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)	
	โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว
7.0	0.102	0.125	~100.00	99.73
7.5	0.092	0.112	~100.00	99.76
8.0	0.041	0.050	~100.00	99.89
8.5	0.056	0.029	~100.00	99.94
9.0	0.064	0.006	~100.00	99.99

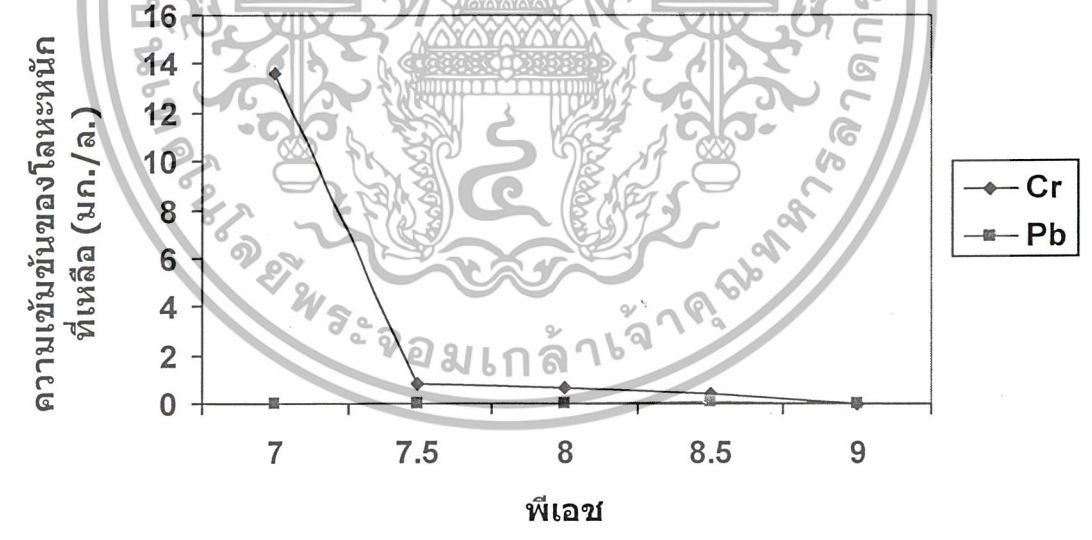


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยทำการรีดิวส์ด้วย $FeSO_4.7H_2O$ ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนด้วย $Mg(OH)_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการรีดิวส์โครเมียมโดยใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์และการตกตะกอนโครเมียม (III) และตะกั่ว (II) ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)	
	โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว
7.0	13.652	0.030	99.41	99.93
7.5	0.855	0.020	99.96	99.96
8.0	0.647	0.013	99.97	99.97
8.5	0.436	0.062	99.98	99.87
9.0	0.032	0.026	~100.00	99.94



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยทำการรีดิวส์ด้วย $Na_2S_2O_5$ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนด้วย $Mg(OH)_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก ในแต่ละชุดการทดลองสำหรับกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน

ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการรีดิวส์และตกตะกอน	ปริมาณของสารที่ใช้รีดิวส์ (จำนวนเท่าทางทฤษฎี)	พีเอช	ความเข้มข้นโลหะหนักที่เหลือ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)	
			โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว
$FeSO_4.7H_2O + NaOH$	2.5	8.5	0.027	0.041	~100.0	99.91
$FeSO_4.7H_2O + Mg(OH)_2$	2.5	8.0	0.041	0.050	~100.0	99.89
$Na_2S_2O_5 + NaOH$	1.0	9.5	0.194	0.051	~100.0	99.89
$Na_2S_2O_5 + Mg(OH)_2$	1.0	9.0	0.032	0.026	~100.0	99.94

4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม (VI) และตะกั่ว (II) ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ (Ferrite Process)

การคำนวณอัตราส่วนโมล โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$A = 4.2774 \times 10^{-3}\ Y/X$$

เมื่อ A คือ อัตราส่วนโมลของ $Cr / FeSO_4.7H_2O$

X คือ ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นกรัมที่เติมลงในสารละลายเริ่มต้น

Y คือ ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายเริ่มต้นเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมและตะกั่ว โดยทำการแปรค่าปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเป็น 1.87, 3.74, 5.61, 7.48, 9.34, 11.21และ13.08 กรัม

อัตราส่วนโมลของสารแสดงดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$

ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต (กรัม)	อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$
1.8688	5.333×10^{-3}
3.7375	2.667×10^{-3}
5.6062	1.778×10^{-3}
7.4750	1.333×10^{-3}
9.3437	1.067×10^{-3}
11.2125	8.889×10^{-4}
13.0813	7.619×10^{-4}

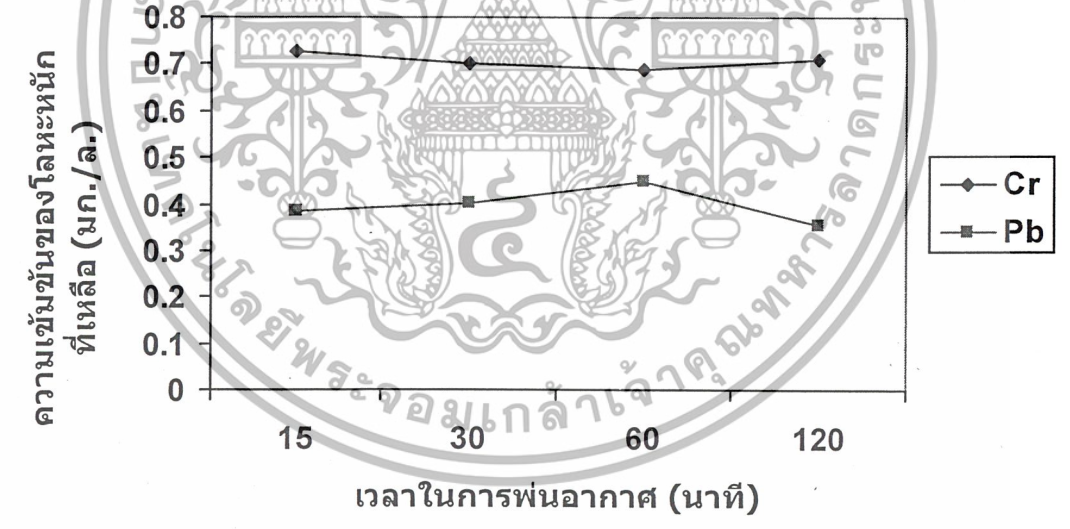
เติมเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำเสียตัวอย่าง ปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปปรับพีเอชให้เป็น 10 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับอุณหภูมิน้ำเสียเป็น 70 ± 5 จากนั้นนำไปพ่นอากาศโดยแปรค่าเวลาในการพ่นอากาศเป็น 15, 30, 60, และ 120 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนตลอดคืน (ประมาณ 15 ชั่วโมง) กรองแล้วนำส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมและตะกั่วที่เหลือ บันทึกลักษณะตะกอนที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 - 4.14 และรูปที่ 4.5-4.11

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่ได้พบว่า ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ 11.2125 กรัม อัตราส่วนโมล 8.889×10^{-4} เวลาในการพ่นอากาศ 60 นาที สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วเหลือ 0.031 และ 0.121 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ร้อยละ ~100.00 และ 99.74 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการในการกำจัดโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 5.333×10^{-3}

อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$	เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มก/ล.)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)		สีของตะกอนที่ได้
		โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว	
5.333×10^{-3}	15	0.728	0.385	99.97	99.16	น้ำตาล
	30	0.703	0.402	99.97	99.13	น้ำตาล
	60	0.689	0.449	99.97	99.02	น้ำตาล
	120	0.711	0.357	99.97	99.22	น้ำตาล

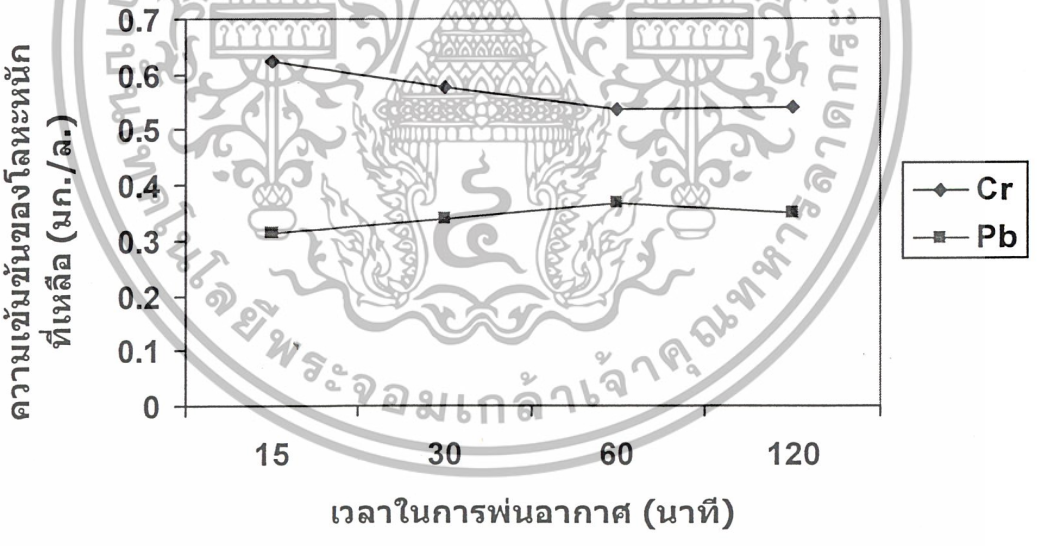


รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการพ่นอากาศกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยใช้ $FeSO_4.7H_2O$ 5.333×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 2.667×10^{-3}

อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$	เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)		สีของตะกอนที่ได้
		โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว	
2.667×10^{-3}	15	0.623	0.314	99.97	99.32	ดำ
	30	0.578	0.340	99.98	99.26	ดำ
	60	0.539	0.368	99.98	99.20	ดำ
	120	0.542	0.351	99.98	99.24	ดำ

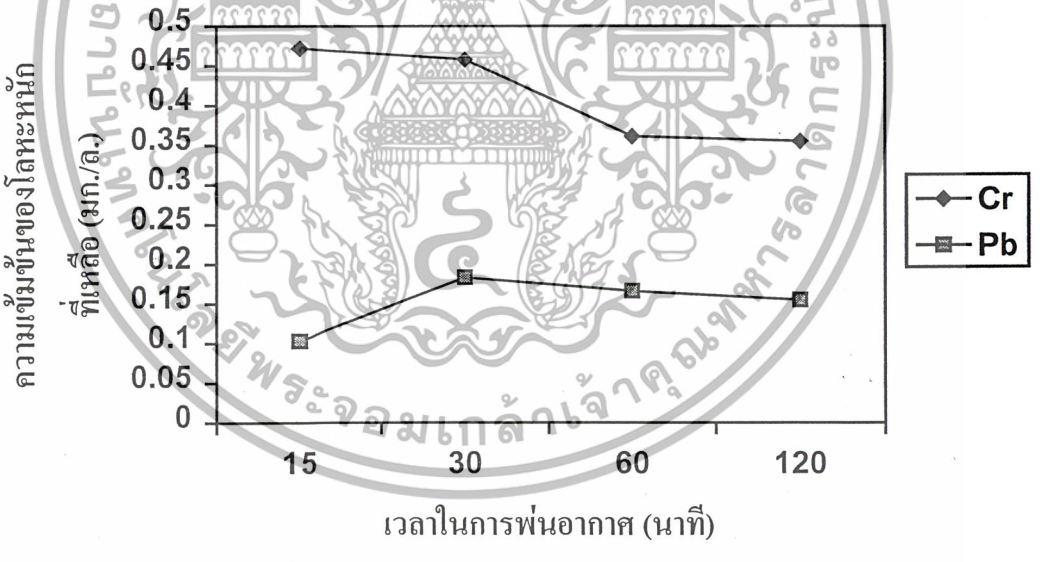


รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการพ่นอากาศกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยใช้ $FeSO_4.7H_2O$ 2.667×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 1.778×10^{-3}

อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$	เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)		สีของตะกอนที่ได้
		โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว	
1.778×10^{-3}	15	0.472	0.103	99.98	99.78	ดำ
	30	0.458	0.183	99.98	99.60	ดำ
	60	0.361	0.166	99.98	99.64	ดำ
	120	0.355	0.155	99.99	99.66	ดำ

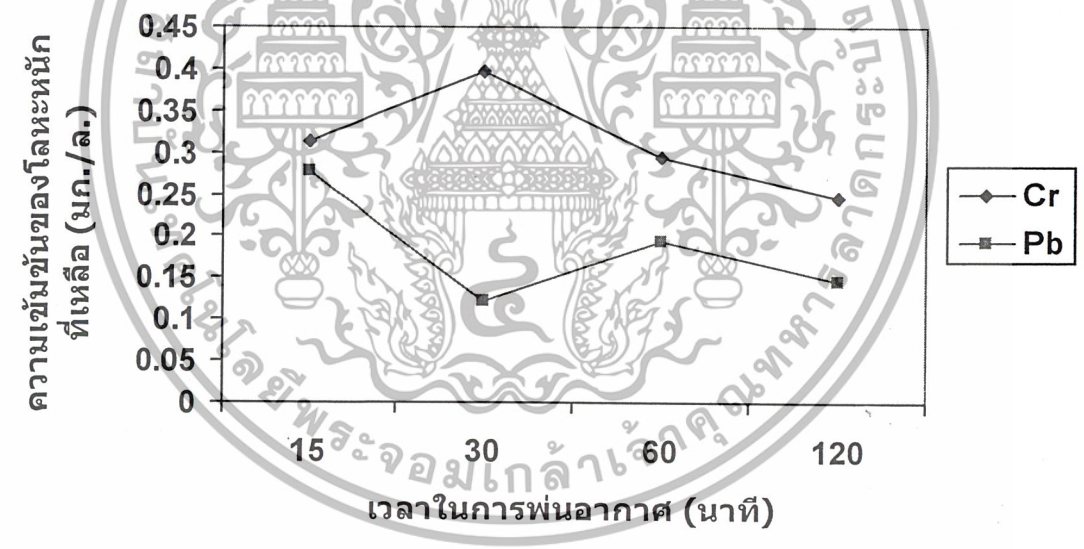


รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการพ่นอากาศกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยใช้ $FeSO_4.7H_2O$ 1.778×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 1.333×10^{-3}

อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$	เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)		สีของตะกอนที่ได้
		โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว	
1.333×10^{-3}	15	0.314	0.278	99.99	99.40	ดำ
	30	0.398	0.122	99.98	99.73	ดำ
	60	0.295	0.193	99.99	99.58	ดำ
	120	0.247	0.146	99.99	99.68	ดำ

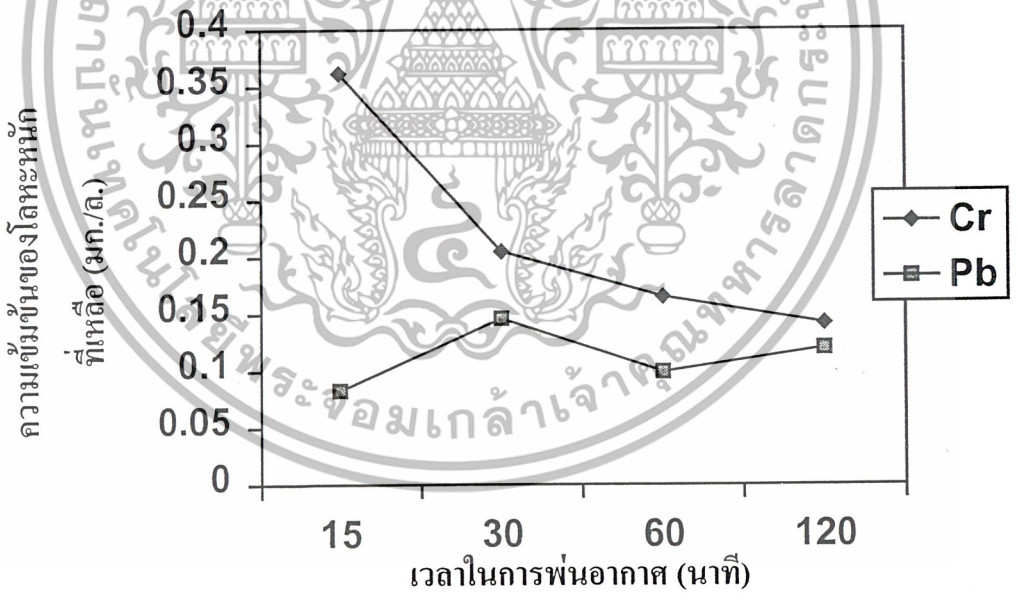


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการพ่นอากาศกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยใช้ $FeSO_4.7H_2O$ 1.333×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 1.067×10^{-3}

อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$	เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)		สีของตะกอนที่ได้
		โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว	
1.067×10^{-3}	15	0.362	0.083	99.98	~100.0	ดำ
	30	0.205	0.146	99.99	99.68	ดำ
	60	0.165	0.099	99.99	99.78	ดำ
	120	0.142	0.120	99.99	99.74	ดำ

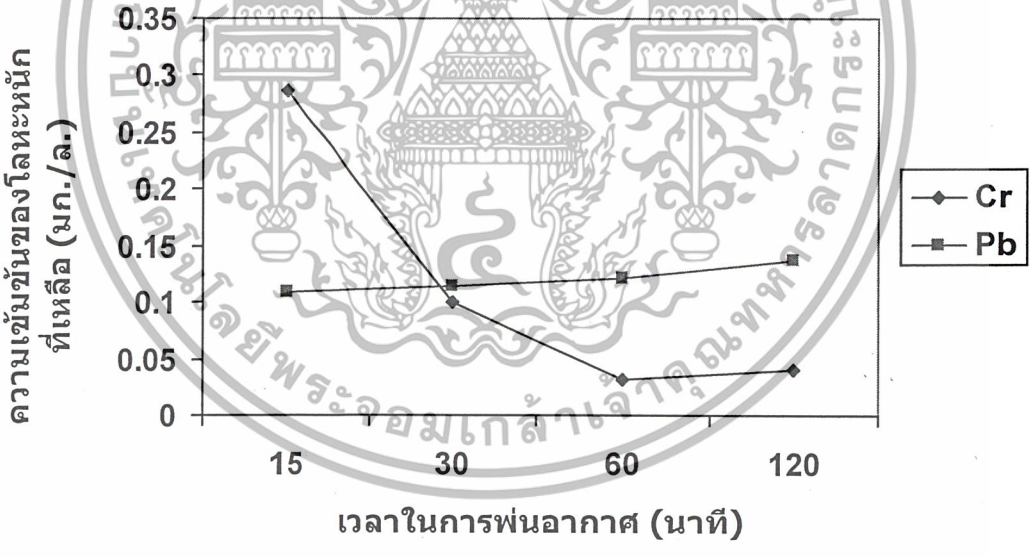


รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการพ่นอากาศกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยใช้ $FeSO_4.7H_2O$ 1.067×10^{-3} อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 8.889×10^{-4}

อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$	เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)		สีของตะกอนที่ได้
		โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว	
8.889×10^{-4}	15	0.286	0.109	99.99	99.76	ดำ
	30	0.101	0.114	~100.00	99.75	ดำ
	60	0.031	0.121	~100.00	99.74	ดำ
	120	0.040	0.137	~100.00	99.70	ดำ

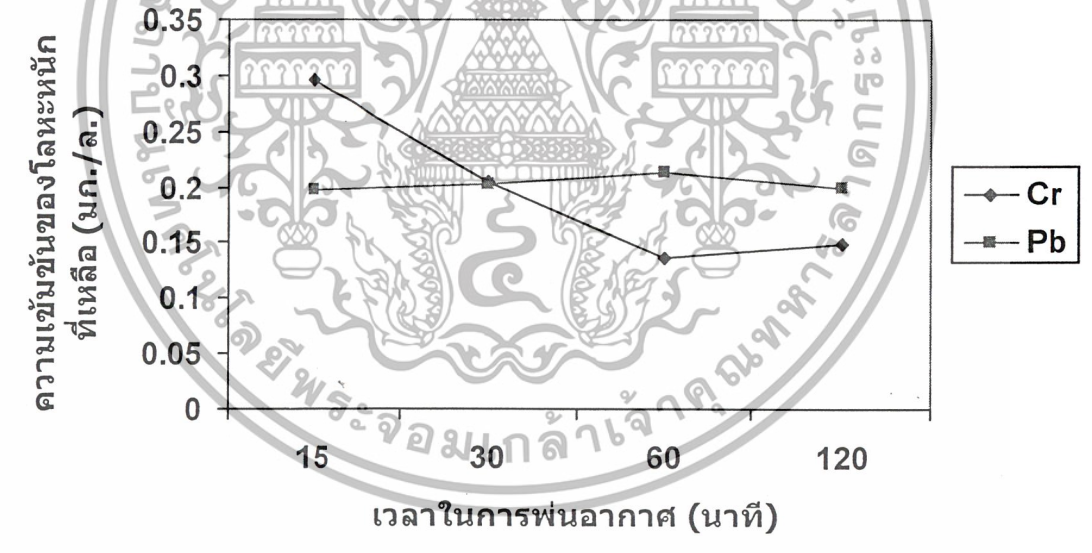


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการพ่นอากาศกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยใช้ $FeSO_4.7H_2O$ 8.889 $\times$ 10^{-4} อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยอัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 7.619×10^{-4}

อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$	เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)		สีของตะกอนที่ได้
		โครเมียม	ตะกั่ว	โครเมียม	ตะกั่ว	
7.619×10^{-4}	15	0.297	0.198	99.99	99.57	ดำ
	30	0.204	0.203	99.99	99.56	ดำ
	60	0.136	0.214	99.99	99.53	ดำ
	120	0.149	0.200	99.99	99.57	ดำ



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการพ่นอากาศกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการกำจัดโดยใช้ $FeSO_4.7H_2O$ 7.619×10^{-4} อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

ตะกอนสีดำที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์ เมื่อนำมาทดสอบความเป็นแม่เหล็กโดยคนตะกอนให้กระจายตัวแล้วนำแท่นแม่เหล็กมารองก้นบีกเกอร์ พบว่า ตะกอนจะเกิดการตกตัวอย่างรวดเร็ว (ประมาณ 1-2 นาที) เนื่องจากแรงดึงดูดของแม่เหล็ก แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของตะกอน สำหรับตะกอนสีน้ำตาล พบว่า ตะกอนจะเกิดการตกตัวอย่างช้าๆตามแรงโน้มถ่วงของโลก เนื่องจากไม่มีสมบัติความเป็นแม่เหล็ก

4.5 การศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสีย

จากการทดลองในกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน แบ่งเป็น 4 แบบคือ

1. การรีดิวส์โครเมียม(VI) ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต แล้วตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนที่พีเอช 8.0 สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วให้เหลือในน้ำเสียต่ำกว่าค่ามาตรฐานแต่สภาวะที่สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วได้ดีที่สุดคือ ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนที่พีเอช 8.5

2. การรีดิวส์โครเมียม(VI) ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ แล้วตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนที่พีเอช 9.0 สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วให้เหลือในน้ำเสียต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แต่สภาวะที่สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วได้ดีที่สุดคือ ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนที่พีเอช 9.5

3. การรีดิวส์โครเมียม(VI) ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต แล้วตกตะกอนโดยใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนที่พีเอช 7.0 สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วให้เหลือในน้ำเสียต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แต่สภาวะที่สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วได้ดีที่สุดคือ ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนที่พีเอช 8.0

4. การรีดิวส์โครเมียม(VI) ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ แล้วตกตะกอนโดยใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนที่พีเอช 8.5 สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วให้เหลือในน้ำเสียต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แต่สภาวะที่สามารถกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครเมียมและตะกั่วได้ดีที่สุดคือ ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนที่พีเอช 9.0

จากการทดลองในกระบวนการเฟอร์ไรท์

สภาวะที่สามารถกำจัดให้โครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน คือ ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 5.6062 กรัม ปรับพีเอชน้ำเสียตัวอย่างเป็น 10 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พ่นอากาศเป็นเวลา 60 นาที แต่สภาวะที่สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วได้ดีที่สุดคือ ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 11.2125 หรือ อัตราส่วนโมล 8.889 $\times$ 10^{-4} ปรับพีเอชน้ำเสียตัวอย่างเป็น 10 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พ่นอากาศเป็นเวลา 60 นาที

ราคาสารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.15 และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแต่ละกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.16

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานปริมาณโครเมียมและตะกั่วสำหรับน้ำทิ้ง คือ 0.5 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ราคาสารเคมี

สารเคมี	เกรด	ราคา (บาท ต่อกิโลกรัม)
$FeSO_4.7H_2O$	Analytical	1,020
$Na_2S_2O_5$	Analytical	450
NaOH	Analytical	640
$Mg(OH)_2$	Analytical	220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละสภาวะการทดลอง

กระบวนการกำจัดโลหะหนัก	ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และเหลือปริมาณโลหะหนักน้อยที่สุด (บาท ต่อลิตร)	ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานโดยใช้ปริมาณสารเคมีน้อยที่สุด (บาท ต่อลิตร)
รีดักชัน-พรีซิพิเตชัน ($FeSO_4.7H_2O/NaOH$)	109.709	109.489
รีดักชัน-พรีซิพิเตชัน ($Na_2S_2O_5/NaOH$)	8.727	8.155
รีดักชัน-พรีซิพิเตชัน ($FeSO_4.7H_2O/Mg(OH)_2$)	162.326	115.386
รีดักชัน-พรีซิพิเตชัน ($Na_2S_2O_5/Mg(OH)_2$)	68.379	27.32
กระบวนการเฟอร์ไรท์	132.180	69.389

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ได้จากห้องปฏิบัติการเคมี โดยกระบวนการรีดักชันและกระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมี มีทั้งหมด 4 ชุด คือ ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เฟอร์รัสซัลเฟตร่วมกับแมกนีเซียมไฮดรอกซ์ และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ร่วมกับแมกนีเซียมไฮดรอกซ์ พบว่าการรีดิวส์และตกตะกอนโลหะหนักในแต่ละชุดมีค่าที่ดีที่สุดในการกำจัดโลหะหนักให้ได้ค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งคือ ปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ในการรีดิวส์โครเมียม (VI) 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี และปรับพีเอชด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 9.0 เนื่องจากมีปริมาณโครเมียมและตะกั่วที่เหลือจากการบำบัดเท่ากับ 0.032 และ0.026 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ร้อยละ ~100.00 และ 99.94 ตามลำดับ

2. ผลการศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ได้จากห้องปฏิบัติการเคมี โดยกระบวนการเฟอร์ไรท์ พบว่า การกระบวนการในแต่ละชุดมีค่าที่ดีที่สุดในการกำจัดโลหะหนักให้ได้ค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งคือ ปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 11.2125 กรัม หรืออัตราส่วนโมล 8.889×10^{-4} ปรับพีเอชปีน 10.0 และพ่นอากาศเป็นเวลา 60 นาที เนื่องจากมีปริมาณโครเมียมและตะกั่วที่เหลือจากการบำบัดเท่ากับ 0.031 และ0.121 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ร้อยละ~100.00 และ 99.74ตามลำดับ

3. ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสีย โดยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชันและกระบวนการเฟอร์ไรท์ พบว่าการกำจัดโดยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่ากระบวนการเฟอร์ไรท์ โดยใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ในการรีดิวส์ปริมาณ 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและใช้โซเดียมไฮดรอกไฮด์ปรับพีเอชในการตกตะกอนที่ 9.0 จะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้อยที่สุด คือ 8.155 บาท ต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สภาวะที่แนะนำให้ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียมและตะกั่วเป็นองค์ประกอบคือ ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 1.0 เท่าทางทฤษฎี สำหรับรีดิวส์โครเมียม(VI) เป็นโครเมียม(III) และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอนที่พีเอช 9.0 เนื่องจากเป็นสภาวะที่สามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วในน้ำทิ้งให้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดและเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองสำหรับกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน ควรมีการนำโพลิเมอร์ที่ใช้เป็นตัวรวมตะกอนมาใช้ เพื่อช่วยในการจมตัวของตะกอนให้เร็วขึ้น เป็นการลดเวลาในการตกตะกอน

2. ภาชนะที่ใช้ในการบรรจุส่วนใสของน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์ควรทำการแช่ในกรดเพื่อกำจัดโลหะหนักที่อาจตกค้าง ทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผิดพลาด

3. ควรมีการศึกษาทดลองนำตะกอนที่ได้จากกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน ไปบำบัดต่อ

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนสำหรับกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชันและกระบวนการเฟอร์ไรท์

5. ควรมีการศึกษาทดลองนำตะกอนที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์กลับมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากตะกอนเฟอร์ไรท์มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กสูง

6. ควรนำข้อมูลผลการทดลองที่ได้ ไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียที่มีโครเมียมและตะกั่วเป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2522. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2513) และฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2522) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน.** กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ.

กฤษกร เจียมจำรัสศิลป และคณะ. 2543. **การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและการปรับเสถียรกากตะกอนในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี.** รายงานการวิจัย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

การะเกต อมรรัตนเกียรติ และเกรียงศักดิ์ เลิศประภามงคล. 2538. **การดูดซับโครเมียม(+6)ในน้ำเสียโดยยีสต์.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 3.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย(สวสท). 2540. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์.

ชานัตตา สื่อสิน และอดิศักดิ์ อัญชลิสังกาศ. 2543. **การลดปริมาตรน้ำเสียโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการและการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เชาวนีย์ ยงไสว และคณะ. 2540. **การดูดซับโครเมียม(+6)ในน้ำเสียโดยใช้ยีสต์ขนมปัง.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ดรุณี รัตนสุบรรณ. 2530. **ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลในน้ำเสียด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดรุณี รัตนสุบรรณ. 2531. การกำจัดโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์. **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.** 15(1).

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน. 2535. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรสวัสดิ์ มหาโชคเลิศวัฒนา. 2529. **การบำบัดตะกั่วจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่.** วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวสน์. 2540. **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัชพร และคณะ. 2543. **การศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศนิชา คงสุวรรณ และคณะ. 2540. **การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สาโรช บุญยกิจสมบัติ. 2536. **การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าขนาดกลางและเล็ก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Brantner, K.A. and C.chon, E.J. 1986. Heavy Metal Removal : Comparison of Alternative Precipitation Process. **J.Water Poll. Control Fed.** 49(12): 43-50.

Chu, W. 1999. Lead Removal by Recycled Alum Sludge. **Wat. Res.** 33(13): 3019-3025.

Hamilton, J.W. and Watterhahn, K.E. 1988. Chromium. In: **Handbook on Toxicity of Inorganic Compoynds**, pp. 240-241. Seiler, H.G. And Sigel, H., eds. U.S.A: Macel Dekker Inc.

Kiyama, M. 1973. Condition of The Formation of Fe_3O_4 by The Air Oxidation of $Fe(OH)_2$ Suspension. **Bull. Of The Chemical Society of Japan.** 47(7): 1946-1950.

Papp, J.F. 1985. Bureau of Mines Bulletin 675. US Government Printing Office.

Patty, F.A. 1962. **Industrial Hygiene and Toxicology,** pp.1052-1058. 2nd. New York: Interscience Publishers.

Sano, M. And Nakama, H. 1986. Treatment of Wastewater Containing Heavy Metal. In: **Chemical Abstract.** 104(Abstract No. 64204B).

Sitting, M. 1976. **Toxic Metal Pollution Control and Worker Protection.** USA.: Noyes Data Corporation.

Takashi K. etal. 1994. **Hazardous Waste Control in Research and Education.** Lewis Publishers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การตรวจลักษณะน้ำทิ้งทางเคมี

1. พีเอช (pH)

หลักการหาค่าพีเอชด้วยมาตรพีเอชโดยทั่วๆไป

1. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งอิเลคโทรดให้สะอาด ใช้กระดาษชนิดเนื้อละเอียดซับน้ำให้แห้ง
2. ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องมือนั้นๆ โดยจุ่มอิเลคโทรดลงในสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าของน้ำทิ้งตัวอย่างที่จะวัด
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเลคโทรดอีกครั้ง ซับน้ำให้แห้ง
4. วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ (ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาหาค่าต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิของสารละลายมาตรฐานในข้อ 2)

<u>หมายเหตุ</u> รายละเอียดนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วนี้ จะอ่านได้ในคู่มือประจำเครื่อง

2. สภาพนำไฟฟ้าจำเพาะ (Conductivity, K) สภาพนำไฟฟ้า (Conductance, G)

วิธีการวัด

1. หาความคงที่ของเซลล์ (cell constant)

ล้างเซลล์การนำไฟฟ้าด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร อย่างน้อยสองครั้ง ปรับอุณหภูมิของเครื่องให้เท่ากับอุณหภูมิของสารละลายที่อุณหภูมิไม่ต่างกว่า ± 0.1 องศาเซลเซียส วัดความต้านทานของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ และจดอุณหภูมิไว้

$$C = \frac{0.001413R_{KCl}}{1 + 0.0200(t-25)}$$

เมื่อ C = ความคงที่ของเซลล์ มีหน่วยเป็น ซม.$^{-1}$ ที่ t องศาเซลเซียส

R = ความต้านทานของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตรที่วัดได้ มีหน่วยเป็นโอห์ม

t = อุณหภูมิของสารละลาย เป็นองศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดความนำไฟฟ้าจำเพาะ

ล้างเซลล์ 1-2 ครั้ง ด้วยตัวอย่างน้ำที่จะหาค่า ปรับอุณหภูมิสุดท้ายของตัวอย่างน้ำให้เท่ากับอุณหภูมิของสารละลาย (25 $\pm$ 0.1 องศาเซลเซียส) ให้มีอุณหภูมิไม่ต่างกว่า 0.1 องศาเซลเซียส วัดความต้านทานของตัวอย่างและจดอุณหภูมิไว้

$$G = \frac{1{,}000{,}000C}{R/[1 + 0.0200(t-25)]}$$

เมื่อ G = การนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร

C = ความคงที่ของเซลล์ ที่หาได้จากข้อ1

R = ความต้านทานของตัวอย่างน้ำที่วัดได้ มีหน่วยเป็น โอห์ม

t = อุณหภูมิ เป็นองศาเซลเซียส

ในกรณีที่เครื่องมือวัดได้แต่ค่าการนำไฟฟ้า (conductance, G) เมื่อจะคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะให้แทนค่า R ด้วย $\frac{1}{\text{ค่าการนำไฟฟ้า}}$ ซึ่งค่าความนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นซีเมนส์-ซม.

3. ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด หรือทีดีเอส (Total Dissolved Solids, TDS)

วิธีวิเคราะห์

1. กรองของแข็งที่สามารถกรองได้ออกทิ้ง หรือใช้น้ำส่วนที่ได้จากการกรอง (filtrate) ที่เหลือจากการหาปริมาณของแข็งแขวนลอย

2. ชั่งจานระเหยที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นลงในโถทำแห้งมาแล้ว จนได้น้ำหนักคงที่ สมมติเป็น A มิลลิกรัม

3. ตวงน้ำส่วนที่ได้จากการกรอง 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร(ปริมาตรของตัวอย่างน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของจานระเหย) ใส่ในจานระเหย

4. นำไปตั้งบนเครื่องอังน้ำให้น้ำระเหยจนแห้ง

5. นำจานระเหยที่แห้งไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส อบจนแห้ง 1 ชั่วโมง

6. ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งจนถึงอุณหภูมิห้อง

7. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำซ้ำในข้อ 5,6,7 อีกครั้ง จนชั่งจานระเหยได้น้ำหนักคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมติว่าเป็น B มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด หรือ ทีดีเอส มก./ลบ.ดม.} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น(B-A)}\times 1{,}000}{\text{ลบ.ซม.ตัวอย่างน้ำ}}$$

4. โครเมียม (Chromium)

วิธี Atomic Absorption Spectrophotometric

ก. หลักการ

การวิเคราะห์โครเมียมด้วยวิธีนี้ เปลวไฟที่เกิดจากก๊าซผสมระหว่างอากาศและอะเซทิลีนจะให้พลังงานที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรี (Atomization) เพื่อให้ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร

ข. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
2. เครื่องแก้วอื่นๆ

ค. สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากโครเมียม
   - ใช้น้ำนี้สำหรับเตรียมน้ำยาเคมี สารละลายมาตรฐานและการเจือจากตัวอย่าง
2. กรดไนตริกเข้มข้น
3. สารละลายสต็อกโครเมียมเข้มข้น (Stock Chromium Solution)
   - ละลายโครเมียมไตรออกไซด์ (CrO_3) จำนวน 0.1923 กรัม ในน้ำกลั่นจนละลายหมด ทำให้เป็นกรดด้วยการเติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

สารละลายโครเมียมนี้ 1 มิลลิลิตร = โครเมียม 100 ไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารละลายโครเมียมเข้มข้นปานกลาง (Intermediate Chromium Solution)

- ดูดสารละลายโครเมียมเข้มข้นจากข้อ 3 จำนวน 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

สารละลายโครเมียมนี้ 1 มิลลิลิตร = โครเมียม 10 ไมโครกรัม

ง. วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับต้องการวัดในรูปโครเมียมทั้งหมด รูปละลายน้ำหรือแขวนลอย ถ้าต้องการวัดในรูปละลายน้ำต้องกรองตัวอย่างก่อน แล้วจึงนำตัวอย่างไปย่อยด้วยกรดไนตริกอย่างเดียวหรือไนตริก-ซัลฟิวริก ตัวอย่างควรเติม H_2O_2 30 เปอร์เซ็นต์จำนวน 1 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร

2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน เตรียมสารละลายมาตรฐานตามช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม อย่างน้อย 4 ความเข้มข้น เช่น 0.2 , 0.4 , 0.6 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเติมกรดไนตริกเข้มข้น 0.15 มิลลิลิตร ต่อสารละลายมาตรฐาน 100 มิลลิลิตร สำหรับแบลงค์ ใช้น้ำกลั่นที่ปราศจากโครเมียมที่เติมกรดไนตริกเข้มข้น 1.5 มิลลิลิตรต่อ 1,000 มิลลิลิตร

3. เตรียมเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำกราฟมาตรฐานแล้วนำตัวอย่างไปวัด

5. ตะกั่ว (Lead)

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทำเช่นเดียวกับโครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงความสามารถในการละลายของสารประกอบโลหะและความสัมพันธ์ของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (Benefield และคณะ, 1982)

Table of common chemicals used to treat water.

Chemical	*Common Name*	*Typical Species*	*Equiv. Weight*	*Bulk Density lb/cu ft or lb/gal*	*Approx. pH 1% Solution*	*Solubility*
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	Alum	Lump—17% Al_2O_3 Liquid—8.5% Al_2O_3	100(a)	60 11	3.4	4.2 lb/gal @ 60°F
Bentonitic clay	Bentonite	—	—	60	—	Insoluble
$CaCO_3$	Limestone	96% $CaCO_3$	50	80	9	Insoluble
$Ca(OH)_2$	Hydrated lime Slaked lime	96% $Ca(OH)_2$	40(b)	40	12	Insoluble
$Ca(OCl)_2 \cdot 4H_2O$	HTH	70% Cl_2	103	55	6-8	3% @ 60°F
CaO	Burned lime, Quicklime	96% CaO	20(c)	60	12	Slake @ 10-20%
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Gypsum	98% Gypsum	86(d)	55	5-6	Insoluble
Cl_2	Chlorine	Gas—99.8% Cl_2	35.5	gas	—	0.07 lb/gal @ 60°F
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Blue vitriol	98% Pure	124(e)	75	5-6	2 lb/gal @ 60°F
$CaO \cdot MgO$	Dolomitic lime	56-40% MgO	67(a)	40	12.4	Insoluble
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Ferric chloride	Lump—20% Fe Liquid—20% Fe	91.6(f)	70 13	3-4	15% @ 60°F
$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$	Ferric sulfate	18.5% Fe	51.5(f)	70	3-4	30% @ 60°F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of common chemicals used to treat water (Cont'd)

Chemical	*Common Name*	*Typical Specs*	*Equiv. Weight*	*Bulk Density lb/cu ft or lb/gal*	*Approx. pH 1% Solution*	*Solubility*
Ferrous sulfate $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Copperas	20% Fe	139(1)	70	3-4	1 lb/gal @ 60°F
Hydrochloric acid HCl	Muriatic acid	30% HCl 20° Baume	120(1)	9.6	1-2	35% @ 60°F
Sodium aluminate $NaAlO_2$	Aluminate	Flake—46% Al_2O_3 Liquid—26% Al_2O_3	100(1)	50 13	11-12	40% @ 60°F
Sodium chloride NaCl	Rock salt, Salt	98% Pure	58.5	60	6-8	2.6 lb/gal @ 60°F
Sodium carbonate Na_2CO_3	Soda ash	98% Pure 58% Na_2O	53	60	11	1.5 lb/gal @ 60°F
Sodium hydroxide NaOH	Caustic, Lye	Flake—99% NaOH Liquid—50-70%	40	65 12	12.8	70% @ 60°F
Sodium phosphate Na_2HPO_4	Disodium phosphate	49% P_2O_5	47.3	55	9	20% @ 60°F
Sodium metaphosphate $NaPO_3$	Hexametaphosphate	66% P_2O_5	34	47	5-6	1 lb/gal @ 60°F
Sulfuric acid	Oil of vitriol	94-96% 66° Baume	50(1)	15	1-2	Infinite

(1) Effective equivalent weight of commercial product.
(2) Effective equivalent weight based on $Ca(OH)_2$ content.

Source:
Water: The Universal Solvent, Edited by Frank N. Kemmer, Nalco Chemical Company, Oak Brook, IL (1977).

Table of solubility product constants at 25 °C.

Anion	*Equilibrium Reaction*	K_{sp}
Carbonates		
$MgCO_3$	$MgCO_{3(s)} = Mg^{2+} + CO_3^{2-}$	4.0×10^{-5}
$NiCO_3$	$NiCO_{3(s)} = Ni^{2+} + CO_3^{2-}$	1.4×10^{-7}
$CaCO_3$	$CaCO_{3(s)} = Ca^{2+} + CO_3^{2-}$	4.7×10^{-9}
$MnCO_3$	$MnCO_{3(s)} = Mn^{2+} + CO_3^{2-}$	4.0×10^{-10}
$CuCO_3$	$CuCO_{3(s)} = Cu^{2+} + CO_3^{2-}$	2.5×10^{-10}
$FeCO_3$	$FeCO_{3(s)} = Fe^{2+} + CO_3^{2-}$	2.0×10^{-11}
$ZnCO_3$	$ZnCO_{3(s)} = Zn^{2+} + CO_3^{2-}$	3.0×10^{-11}
$CdCO_3$	$CdCO_{3(s)} = Cd^{2+} + CO_3^{2-}$	5.2×10^{-12}
$PbCO_3$	$PbCO_{3(s)} = Pb^{2+} + CO_3^{2-}$	1.5×10^{-13}
Chromate		
$CaCrO_4$	$CaCrO_{4(s)} = Ca^{2+} + CrO_4^{2-}$	7.1×10^{-4}
$PbCrO_4$	$PbCrO_{4(s)} = Pb^{2+} + CrO_4^{2-}$	1.8×10^{-14}
Fluoride		
MgF_2	$MgF_{2(s)} = Mg^{2+} + 2F^-$	8×10^{-8}
CaF_2	$CaF_{2(s)} = Ca^{2+} + 2F^-$	1.7×10^{-10}
Hydroxide		
$Mg(OH)_2$	$Mg(OH)_{2(s)} = Mg^{2+} + 2OH^-$	6.9×10^{-12}
$Mn(OH)_2$	$Mn(OH)_{2(s)} = Mn^{2+} + 2OH^-$	2.0×10^{-13}
$Cd(OH)_2$	$Cd(OH)_{2(s)} = Cd^{2+} + 2OH^-$	2.0×10^{-14}
$Pb(OH)_2$	$Pb(OH)_{2(s)} = Pb^{2+} + 2OH^-$	4.2×10^{-15}
$Fe(OH)_2$	$Fe(OH)_{2(s)} = Fe^{2+} + 2OH^-$	1.8×10^{-15}
$Ni(OH)_2$	$Ni(OH)_{2(s)} = Ni^{2+} + 2OH^-$	1.6×10^{-16}
$Zn(OH)_2$	$Zn(OH)_{2(s)} = Zn^{2+} + 2OH^-$	4.5×10^{-17}
$Cu(OH)_2$	$Cu(OH)_{2(s)} = Cu^{2+} + 2OH^-$	1.6×10^{-19}
$Cr(OH)_3$	$Cr(OH)_{3(s)} = Cr^{3+} + 3OH^-$	6.7×10^{-31}
$Al(OH)_3$	$Al(OH)_{3(s)} = Al^{3+} + 3OH^-$	5.0×10^{-33}
$Fe(OH)_3$	$Fe(OH)_{3(s)} = Fe^{3+} + 3OH^-$	6.0×10^{-38}
Phosphate		
$MgNH_4PO_4$	$MgNH_4PO_{4(s)} = Mg^{2+} + NH_4^+ + PO_4^{3-}$	2.5×10^{-13}
$AlPO_4$	$AlPO_{4(s)} = Al^{3+} + PO_4^{3-}$	6.3×10^{-19}
$Mn_3(PO_4)_2$	$Mn_3(PO_4)_{2(s)} = 3Mn^{2+} + 2PO_4^{3-}$	1.0×10^{-22}
$Ca_3(PO_4)_2$	$Ca_3(PO_4)_{2(s)} = 3Ca^{2+} + 2PO_4^{3-}$	1.3×10^{-32}
$Mg_3(PO_4)_2$	$Mg_3(PO_4)_{2(s)} = 3Mg^{2+} + 2PO_4^{3-}$	10^{-32}
$Pb_3(PO_4)_2$	$Pb_3(PO_4)_{2(s)} = 3Pb^{2+} + 2PO_4^{3-}$	1.0×10^{-32}
Sulfate		
$CaSO_4$	$CaSO_{4(s)} = Ca^{2+} + SO_4^{2-}$	2.5×10^{-5}
$PbSO_4$	$PbSO_{4(s)} = Pb^{2+} + SO_4^{2-}$	1.3×10^{-8}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การบำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่ว (Patterson , 1985)

ตารางสรุปวิธีการและประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว (Patterson , 1985)

Treatment Process	Treatment pH	Lead Concentration (mg/l)	
		Initial	Final
Ion Exchange	5.0-5.2	0.1	0.01
Ion Exchange[M]	-	0.055	0.0015
	-	126.7-144.8	0.020-0.053
Lime + sedimentation	8.3	11.7	0.27
	7.1	0.91	0.19
	8.2	1.2	0.15
	-	30	1
	-	6.5	0.1
	-	0.31	0.1
Lime + 8-hr sedimentation	7.7	98	39
Lime + 30-hr sedimentation	6.8	-	0.48
Caustic + 1-hr sedimentation	5.5	-	1.6
Caustic + 24-hr sedimentation	7.0	-	0.04
Ammonium hydroxide	7.8	-	23.9
Lime + ferric sulfate +	10.0	5.0	0.25
sedimentation – filtration[M]			0.029
Lime + sedimentation +	11.5	5.0	0.20
filtration[M]			0.019
	9.5	0.9-4.6	0.11-0.21
	9.5	0.9-4.6	0.10-0.17
Caustic + soda ash[M]	9.0-9.5	5.0	0.01-0.03
Sodium carbonate + filtration[M]	6.4-8.7	10.2-70.0	0.2-3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sodium phosphate – filtration[M]	7.2-7.5	3.0-5.0	0.2-0.6
Ferric sulphate – sedimentation	6.0	5.0	0.25
- filtration[M]	6.0	5.0	0.03
Ferrous – sedimentation	10.4-10.8	45	1.7

[M] Pilot-plant results.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
มาตรฐานของน้ำเสีย

มลภาวะที่อนุญาต

คุณภาพของน้ำเสียที่จะปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำได้ ขึ้นอยู่กับการใช้น้ำที่จะมีขึ้นในภายหลัง การใช้น้ำได้นำมาใช้เป็นเครื่องวัดมลภาวะที่จะอนุญาตให้ได้มีดังนี้

1. ภาวะธรรมชาติ
2. น้ำดื่ม
3. การสงวนปลา
4. ความปลอดภัยในการใช้ในการเกษตร เช่น เลี้ยงสัตว์และการชลประทาน
5. อุตสาหกรรม
6. การพักผ่อนหย่อนใจ
7. การปราศจากความน่ารังเกียจ
8. การใช้ในการพาณิชย์ เช่น การเดินเรือ

หลักในการพิจารณาของมาตรฐานที่จะอนุญาตให้ปริมาณมลภาวะลงสู่แหล่งน้ำได้ ขึ้นอยู่กับอนามัย ความงดงามและเศรษฐกิจ สิ่งเหล่านี้ต้องพิจารณาไปพร้อมกัน เช่นว่าประชาชนชุมชนขนาดเล็กแหล่งหนึ่ง ส่วนใหญ่ทำงานในโรงงานแห่งหนึ่งที่ปล่อยน้ำเสียลงสู่ลำน้ำที่ไหลผ่านชุมชนนั้น ทำให้เกิดมลภาวะในน้ำนั้น ถ้าจะพิจารณาในแง่ของภาวะธรรมชาติ ก็ต้องให้ปิดโรงงานนั้น ซึ่งทำให้เกิดความเดือดร้อนในการทำมาหากินของประชาชนในชุมชนนั้น

นอกจากการพิจารณาจากการใช้น้ำในแหล่งน้ำ มาตรฐานมลภาวะที่จะอนุญาตได้บางแห่งกำหนดปริมาณจำกัดของความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ออกซิเจนละลาย (DO) และความขุ่น (Turbidity) ของน้ำที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานน้ำเสียของกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2513) และฉบับที่ 11 (พ.ศ.2522)
ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2512
เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน
ข้อ 22 ห้ามมิให้ระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน เว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างให้มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ค่าของความเป็นกรด ด่าง (pH value) ระหว่าง 5-9
2. ค่าของเปอร์มังกาเนต ไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. สารที่ละลายได้ (Dissolved solid) รวมกันไม่มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ซัลไฟด์ คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ไซยาไนด์ คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. โลหะหนัก มีค่าดังนี้
   6.1 สังกะสี ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.2 โครเมียม ไม่มากกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.3 อาร์เซนิก ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.4 ทองแดง ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.5 ปรอท ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.6 แคดเมียม ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.7 บาเรียม ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.8 เซเลเนียม ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.9 ตะกั่ว ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.10นิกเกิล ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
   6.11แมงกานีส ไม่มากกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. น้ำมันทา ไม่มีเลย
8. น้ำมันและไขมัน ไม่มากกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
9. ฟอร์มัลดีไฮด์ ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
10. ฟีนอลและหรือครีโซลส์ ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. คลอรีนอิสระ ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
12. ยาฆ่าแมลง สารกัมมันตรังสี ไม่มีเลย
13. ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 8 ถึง 1 ต่อ 150 สารที่เจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 30 ส่วนใน 1,000,000 ส่วน ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 151 ถึง 1 ต่อ 300 สารที่เจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 60 ส่วนใน 1,000,000 ส่วน ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 301 ถึง 1 ต่อ 500 สารที่เจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 150 ส่วนใน 1,000,000 ส่วน
14. ค่าของบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ภูมิประเทศ หรือลักษณะการระบายตามที่พนักงานเจ้าหน้าที่เห็นสมควร แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
15. อุณหภูมิของน้ำทิ้งที่ระบายลงสู่สาธารณะ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
16. สีหรือกลิ่นของน้ำทิ้ง เมื่อระบายลงสู่ลำน้ำสาธารณะแล้ว ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

การคำนวณปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์

ปริมาณโครเมียมในน้ำเสียตัวอย่างเป็น 2,330 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1. ปริมาณโครเมียมในน้ำเสียตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร มีโครเมียม 2.33 กรัม

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร มีโครเมียม $(2.33 \times 100)/1000 = 0.233$ กรัม

2. ปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ที่ใช้

$$4K_2CrO_4 + 3Na_2S_2O_5 + 7H_2SO_4 \longrightarrow 2Cr_2(SO_4)_3 + 3Na_2SO_4 + 4K_2SO_4 + 7H_2O$$

K_2CrO_4 4 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $Na_2S_2O_5$ 3 โมล

Cr 4×51.996 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $Na_2S_2O_5$ 3×190.0995 กรัม

Cr 0.233 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $Na_2S_2O_5$ $(3 \times 190.0995 \times 0.233)/(4 \times 51.996)$

$= 0.6389$ กรัม

การคำนวณปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต

ปริมาณโครเมียมในน้ำเสียตัวอย่างเป็น 2,330 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1. ปริมาณโครเมียมในน้ำเสียตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร มีโครเมียม 2.33 กรัม

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร มีโครเมียม $(2.33 \times 100)/1000 = 0.233$ กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้

$$2K_2CrO_4 + 6FeSO_4.7H_2O + 8H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3Fe_2(SO_4)_3 + 2K_2SO_4 + 50H_2O$$

K_2CrO_4 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $FeSO_4.7H_2O$ 3 โมล

Cr 1×51.996 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $FeSO_4.7H_2O$ 3×278.02 กรัม

Cr 0.233 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $FeSO_4.7H_2O$ $(3 \times 278.02 \times 0.233)/(1 \times 51.996)$

$= 3.7375$ กรัม

ตารางแสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการรีดิวส์โครเมียม ต่อน้ำเสียตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร

จำนวนเท่าทางทฤษฎี	$FeSO_4.7H_2O$ (กรัม)	$Na_2S_2O_5$ (กรัม)
1.0	3.7375	0.6389
1.5	5.6062	0.9584
2.0	7.4750	1.2778
2.5	9.3437	1.5973
3.0	11.2125	1.9167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ที่มีโครเมียมและตะกั่วเป็นองค์ประกอบ

1. ค่าพีเอช (pH)

ครั้งที่	พีเอช (pH)
1	0.89
2	0.87
3	0.87
	0.877

2. ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ครั้งที่	ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ms/cm)
1	60.2
2	60.0
3	60.0
	60.07

3. ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolve Solids; TDS)

ครั้งที่	น้ำหนักของจานระเหย (mg)		
	ก่อนชั่ง	หลังชั่ง	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น
1	58,288.6	59,492.2	1,203.6
2	66,811.6	67,477.4	665.8
3	66,232.5	68,064.2	1,831.7
			1,233.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (mg/dm^3) = $\frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น(B-A)}\times 1{,}000}{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตรตัวอย่างน้ำเสีย}}$

= $\frac{1{,}233.7 \times 1{,}000}{200}$

นั่นคือ ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด = 6,168.5 mg/dm^3

4. ค่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วรูปละลายน้ำ

ครั้งที่	ความเข้มข้น (มก./ล.)
1	50.051
2	43.594
3	44.379
	46.008

ความเข้มข้นของตะกั่วที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 46 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. ค่าปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมรูปละลายน้ำ

ครั้งที่	ความเข้มข้น (มก./ล.)
1	2,287.723
2	2,314.521
3	2,387.771
	2,330.005

ความเข้มข้นของโครเมียมที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 2,330 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช
ผลที่ได้จากการทดลองการกำจัดโลหะโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ด้วยกระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน และกระบวนการเฟอร์ไรท์

1. กระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน (Reduction-Precipitration Process)

1.1 รีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎีและตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	โครเมียม			ตะกั่ว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
7.5	0.562	0.472	0.517	0.094	0.156	0.125
8.0	0.226	0.770	0.498	0.095	0.119	0.107
8.5	0.030	0.024	0.027	0.071	0.011	0.041
9.0	0.097	0.207	0.152	0.025	0.015	0.020
9.5	0.117	0.271	0.194	0.048	0.044	0.046
10.0	0.303	0.131	0.217	0.041	0.027	0.034
10.5	0.181	0.107	0.144	0.178	0.050	0.114
11.0	0.247	0.361	0.304	0.104	0.078	0.091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 รีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี และตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	โครเมียม			ตะกั่ว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
7.5	5.271	3.737	4.504	0.359	0.255	0.307
8.0	0.565	0.937	0.751	0.323	0.225	0.274
8.5	0.218	0.570	0.394	0.156	0.332	0.244
9.0	0.185	0.269	0.227	0.140	0.204	0.172
9.5	0.123	0.265	0.194	0.053	0.049	0.051
10.0	0.361	0.191	0.276	0.102	0.076	0.089
10.5	0.224	0.742	0.483	0.137	0.157	0.147
11.0	0.284	0.520	0.402	0.241	0.167	0.204

1.3 รีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎีและตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	โครเมียม			ตะกั่ว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
7.0	0.086	0.118	0.102	0.116	0.134	0.125
7.5	0.089	0.095	0.092	0.157	0.067	0.112
8.0	0.051	0.031	0.041	0.068	0.032	0.050
8.5	0.061	0.051	0.056	0.039	0.019	0.029
9.0	0.068	0.060	0.064	0.009	0.003	0.006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 รีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎีและตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	โครเมียม			ตะกั่ว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
7.0	9.277	18.027	13.652	0.041	0.019	0.030
7.5	1.071	0.639	0.855	0.013	0.027	0.020
8.0	0.778	0.516	0.647	0.015	0.011	0.013
8.5	0.364	0.508	0.436	0.065	0.059	0.062
9.0	0.045	0.019	0.032	0.044	0.008	0.026

2. กระบวนการเฟอร์ไรท์ (Ferrite Process)

2.1 อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 5.333×10^{-3}

เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	โครเมียม			ตะกั่ว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
15	0.528	0.928	0.728	0.263	0.507	0.385
30	0.550	0.856	0.703	0.390	0.414	0.402
60	0.513	0.865	0.689	0.370	0.528	0.449
120	0.714	0.708	0.711	0.210	0.504	0.357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 2.667×10^{-3}

เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	โครเมียม			ตะกั่ว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
15	0.758	0.488	0.623	0.405	0.223	0.314
30	0.531	0.625	0.578	0.297	0.383	0.340
60	0.682	0.396	0.539	0.364	0.372	0.368
120	0.643	0.441	0.542	0.388	0.314	0.351

2.3 อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 1.778×10^{-3}

เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	โครเมียม	ตะกั่ว
15	0.472	0.103
30	0.458	0.183
60	0.361	0.166
120	0.355	0.155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 1.333×10^{-3}

เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	โครเมียม			ตะกั่ว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
15	0.291	0.337	0.314	0.197	0.359	0.278
30	0.362	0.434	0.398	0.157	0.087	0.122
60	0.374	0.216	0.295	0.206	0.180	0.193
120	0.286	0.208	0.247	0.187	0.105	0.146

2.5 อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 1.067×10^{-3}

เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	โครเมียม	ตะกั่ว
15	0.362	0.083
30	0.205	0.146
60	0.165	0.099
120	0.142	0.120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 8.889×10^{-4}

เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	โครเมียม			ตะกั่ว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
15	0.302	0.270	0.286	0.094	0.124	0.109
30	0.151	0.051	0.101	0.126	0.102	0.114
60	0.038	0.024	0.031	0.140	0.102	0.121
120	0.058	0.022	0.040	0.115	0.159	0.137

2.7 อัตราส่วนโมลของ Cr / $FeSO_4.7H_2O$ เป็น 7.619×10^{-4}

เวลาในการพ่นอากาศ (นาที)	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	โครเมียม			ตะกั่ว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
15	0.403	0.191	0.297	0.211	0.185	0.198
30	0.147	0.261	0.204	0.206	0.200	0.203
60	0.211	0.061	0.136	0.280	0.148	0.214
120	0.194	0.104	0.149	0.204	0.196	0.200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ
การคำนวณค่าใช้จ่ายในการทดลอง

การคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละการทดลองจากสภาวะที่สามารถกำจัดได้ดีที่สุด และสภาวะที่ใช้สารเคมีน้อยที่สุด สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

กระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิเตชัน

สภาวะที่สามารถกำจัดได้ดีที่สุดในแต่ละชุดการทดลอง

1. การรีดิวส์โครเมียมด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต และตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎีในการรีดิวส์โครเมียม และปรับพีเอชเป็น 8.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 109.709 บาทต่อลิตร

รีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 9.3437 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต $(9.3437 \times 1000)/100 = 93.437$ กรัม

เฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม มีราคา 560 บาท

เฟอร์รัสซัลเฟต 93.437 กรัม มีราคา $(560 \times 93.437)/500 = 104.649$ บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 8.5

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.3 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ $(2.3 \times 1000)/100 = 23$ กรัม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 220 บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 23 กรัม มีราคา $(220 \times 23)/1000 = 5.06$ บาท

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = 104.649 + 5.06 = 109.709 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การรีดิวส์โครเมียมด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ และตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎีในการรีดิวส์โครเมียม และปรับพีเอชเป็น 9.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 8.727 บาทต่อลิตร

รีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 0.6389 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้ โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ $(0.6389 \times 1000)/100 = 6.389$ กรัม

โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 1000 กรัม มีราคา 450 บาท

โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 6.389 กรัม มีราคา $(450 \times 6.389)/1000 = 2.875$ บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับพีเอชเป็น 9.5

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.66 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ $(2.66 \times 1000)/100 = 26.6$ กรัม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 220 บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 26.6 กรัม มีราคา $(220 \times 26.6)/1000 = 5.852$ บาท

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = $2.875 + 5.852 = 8.727$ บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การรีดิวส์โครเมียมด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต และตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎีในการรีดิวส์โครเมียม และปรับพีเอชเป็น 8.0 ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 162.326 บาทต่อลิตร

รีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 9.3437 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต $(9.3437 \times 1000)/100 = 93.437$ **กรัม**

เฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม มีราคา 560 บาท

เฟอร์รัสซัลเฟต 93.437 กรัม มีราคา $(560 \times 93.437)/500 = 104.649$ **บาท**

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ปรับพีเอชเป็น 8.0

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 9.0121 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ $(9.0121 \times 1000)/100$

$= 90.121$ กรัม

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 640 บาท

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 90.121 กรัม มีราคา $(640 \times 90.121)/1000 = 57.677$ **บาท**

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = $104.649 + 57.677 = 162.326$ **บาท**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การรีดิวส์โครเมียมด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ และตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎีในการรีดิวส์โครเมียม และปรับพีเอชเป็น 9.0 ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 68.379 บาทต่อลิตร

รีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 0.6389 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้ โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ $(0.6389 \times 1000)/100 = 6.389$ กรัม

โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 1000 กรัม มีราคา 450 บาท

โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 6.389 กรัม มีราคา $(450 \times 6.389)/1000 = 2.875$ บาท

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 9.0

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 10.235 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ $(10.235 \times 1000)/100 = 102.35$ กรัม

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 640 บาท

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 102.35 กรัม มีราคา $(640 \times 102.35)/1000 = 65.504$ บาท

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = $2.875 + 65.504 = 68.379$ บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ใช้สารเคมีน้อยที่สุดในแต่ละชุดการทดลอง

1. การรีดิวส์โครเมียมด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต และตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎีในการรีดิวส์โครเมียม และปรับพีเอชเป็น 8.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 109.489 บาทต่อลิตร

รีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 9.3437 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต $(9.3437 \times 1000)/100 = 93.437$ กรัม

เฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม มีราคา 560 บาท

เฟอร์รัสซัลเฟต 93.437 กรัม มีราคา $(560 \times 93.437)/500 = 104.649$ บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 8.0

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.2 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ $(2.2 \times 1000)/100 = 22$ กรัม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 220 บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 22 กรัม มีราคา $(220 \times 22)/1000 = 4.84$ บาท

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = $104.649 + 4.84 = 109.489$ บาท

2. การรีดิวส์โครเมียมด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ และตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎีในการรีดิวส์โครเมียม และปรับพีเอชเป็น 9.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 8.155 บาทต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 0.6389 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้ โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ $(0.6389 \times 1000)/100 = 6.389$ กรัม

โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 1000 กรัม มีราคา 450 บาท

โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 6.389 กรัม มีราคา $(450 \times 6.389)/1000 = 2.875$ บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 9.0

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.4 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ $(2.4 \times 1000)/100 = 24$ กรัม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 220 บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 24 กรัม มีราคา $(220 \times 24)/1000 = 5.28$ บาท

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = 2.875 + 5.28 = 8.155 บาท

3. การรีดิวส์โครเมียมด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต และตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎีในการรีดิวส์โครเมียม และปรับพีเอชเป็น 7.0 ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 115.386 บาทต่อลิตร

รีดิวส์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 2.5 เท่าทางทฤษฎี

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 9.3437 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต $(9.3437 \times 1000)/100 = 93.437$ กรัม

เฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม มีราคา 560 บาท

เฟอร์รัสซัลเฟต 93.437 กรัม มีราคา $(560 \times 93.437)/500 = 104.649$ บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 7.0

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 1.6777 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ $(1.6777 \times 1000)/100$ $= 16.777$ กรัม

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 640 บาท

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 16.777 กรัม มีราคา $(640 \times 16.777)/1000 = 10.737$ บาท

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = 104.649 + 10.737 = 115.386 บาท

3. การรีดิวส์โครเมียมด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ และตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎีในการรีดิวส์โครเมียม และปรับพีเอชเป็น 8.5 ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 27.32 บาทต่อลิตร

รีดิวส์ด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ปริมาณ 1.0 เท่าทางทฤษฎี

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 0.6389 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้ โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ $(0.6389 \times 1000)/100 = 6.389$ กรัม

โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 1000 กรัม มีราคา 450 บาท

โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 6.389 กรัม มีราคา $(450 \times 6.389)/1000 = 2.875$ บาท

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 8.5

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 3.8195 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ $(3.8195 \times 1000)/100$ $= 38.195$ กรัม

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 640 บาท

แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 38.195 กรัม มีราคา $(640 \times 38.195)/1000 = 24.445$ บาท

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = 2.875 + 24.445 = 27.32 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเฟอร์ไรท์

สภาวะที่สามารถกำจัดได้ดีที่สุดในแต่ละชุดการทดลอง

ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 11.2125 กรัม หรือ อัตราส่วนโมลของ Cr^{3+} / $Iron_{total}$ = 8.889×10^{-4} ทำการปรับพีเอชเป็น 10 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับอุณหภูมิน้ำเสียตัวอย่างเป็น 70 ± 5 องศาเซลเซียส พ่นอากาศเป็นเวลา 60 นาที ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 132.18 บาทต่อลิตร

ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 11.2125 กรัม

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 11.2125 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต $(11.2125 \times 1000)/100 = 112.125$ กรัม

เฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม มีราคา 560 บาท

เฟอร์รัสซัลเฟต 112.125 กรัม มีราคา $(560 \times 112.125)/500 = 125.580$ บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 10.0

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.0 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ $(3.0 \times 1000)/100 = 30$ กรัม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 220 บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม มีราคา $(220 \times 30)/1000 = 6.60$ บาท

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = 125.580 + 6.60 = 132.180 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ใช้สารเคมีน้อยที่สุดในแต่ละชุดการทดลอง

ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 5.6062 กรัม หรือ อัตราส่วนโมลของ Cr^{3+} / $Iron_{total}$ = 1.778×10^{-3} ทำการปรับพีเอชเป็น 10 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับอุณหภูมิน้ำเสียตัวอย่างเป็น 70 ± 5 องศาเซลเซียส พ่นอากาศเป็นเวลา 60 นาที ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 69.389 บาทต่อลิตร

ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตปริมาณ 5.6062 กรัม

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 5.6062 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต $(5.6062 \times 1000)/100 = 56.062$ **กรัม**

เฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม มีราคา 560 บาท

เฟอร์รัสซัลเฟต 56.062 กรัม มีราคา $(560 \times 56.062)/500 = 62.789$ **บาท**

โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 10.0

น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.0 กรัม

น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ $(3.0 \times 1000)/100 = 30$ **กรัม**

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา 220 บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม มีราคา $(220 \times 30)/1000 = 6.60$ **บาท**

ค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ = $62.789 + 6.60 = 68.389$ **บาท**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้