สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและการปรับเสถียรกากตะกอนในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

T040049

นางสาวพัชรา สวัสดิเวทิน
นายกฤษกร เจียมจำรัสศิลป์
นางสาววิวัฒฒนา สุนทรเลิศวณิช

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 40049
วัน, เดือน, ปี 24 ก.ค. 2544
.b.....
.i.....
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Heavy Metal by Chemical Precipitation and Stabilization of Sludge from COD Analysis Wastewater

Miss Phatchara Sawasdiwethin

Mr. Krissakorn Jeamjumrussin

Miss Wiwattana Soontornlaerdwanich

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

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและการปรับเสถียรกากตะกอนในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

นักศึกษา นางสาวพัชรา สวัสดิเวทิน

นายกฤษกร เจียมจำรัสศิลป

นางสาววิวัฒฒนา สุนทรเลิศวณิช

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

---------- หัวหน้าภาควิชาเคมี

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

---------- ประธานกรรมการ

(รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

---------- กรรมการ

(อาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย)

---------- กรรมการ

(อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์)

ลิขสิทธิ์ของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานพิเศษ	การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและการปรับเสถียรกากตะกอนในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี
นักศึกษา	นางสาวพัชรา สวัสดิเวทิน
	นายกฤษกร เจียมจำรัสศิลป
	นางสาววิวัฒฒนา สุนทรเลิศวณิช
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

การศึกษาการกำจัดโลหะหนักโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและการปรับเสถียรกากตะกอนในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีมีขั้นตอนในการศึกษา 4 ขั้นตอน คือ (1) การสำรวจและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น (2) การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งซีโอดีโดยใช้สารเคมีในการตกตะกอน (3) การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการคงสภาพของกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียและ (4) การศึกษาและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งซีโอดี

ผลการวิเคราะห์น้ำเสียซีโอดีของห้องปฏิบัติการสำหรับการตกตะกอนด้วยสารเคมีได้ใช้สารเคมี 4 ชุดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ การตกตะกอนด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 7 ทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 1 วัน พบว่าปริมาณโลหะโครเมียม เหล็ก และเงินที่เหลือในน้ำเท่ากับ ไม่สามารถตรวจวัดได้ 0.51 และ 0.88 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพของการกำจัดได้ร้อยละ 100.00 99.92 และ 99.74 ตามลำดับ ลักษณะของตะกอนมีน้ำหนัก จมตัวได้ดี สำหรับการศึกษาผลของตัวแปรซึ่งได้แก่ พีเอช อุณหภูมิและร้อยละของความชื้นที่มีผลต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน พบว่า ณ อุณหภูมิและร้อยละของความชื้นคงที่ ค่าพีเอชที่มีผลต่อค่าการละลายสูงที่สุดและน้อยที่สุดคือ 4 และ 7 ตามลำดับ ณ ร้อยละความชื้นและพีเอชคงที่ ค่าการละลายลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และ ณ อุณหภูมิและพีเอชคงที่ ค่าการละลายลดลงเมื่อร้อยละความชื้นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัดด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่พีเอช 7 คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 9.34 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Removal of Heavy Metal by Chemical Precipitation and Stabilization of Sludge from COD Analysis Wastewater
Author	Miss Phatchara Sawasdiwethin
	Mr. Krissakorn Jeamjumrussin
	Miss Wiwattana Soontornlaerdwanich
Advisor	Miss Glinsukol Suwannarat
Major Program	Environment Resource Chemistry
Academic year	2000

Abstract

Study on the removal of heavy metal by chemical precipitation and stabilization of sludge from COD wastewater was composed of 4 parts, namely (I) surveying and collection primary data, (II) studying and comparing the removal efficiencies of precipitation of heavy metal by using chemicals, (III) studying effect of parameters on stabilization of sludge and (IV) studying and comparing wastewater treatment cost analysis

Analysis of wastewater from COD analysis in laboratory. Chemical precipitation was performed using 4 sets of chemicals, namely sodium hydroxide, sodium sulfide and sodium hydroxide, sodium hydrogen sulfide and sodium hydroxide, sodium thiosulfate and sodium hydroxide. The optimum condition for metals precipitation was obtained in the test set using 2.0 times of stoichiometry contents of sodium thiosulfate and sodium hydroxide with adjusted pH 7, a retention time of 1 day. The residual contents of chromium, iron and silver in treated water were non detected, 0.51 and 0.88 mg/l, respectively. The sludge had weighed, good sinking . Effect of parameters, namely pH, temperature and %moisture on stabilization of sludge, at temperature and %moisture constants, maximum and minimum of solubility were pH 4 and 7, respectively. At %moisture and pH constant, solubility decreased when temperature increased and at temperature and pH constant, solubility decreased when %moisture decreased

The cost of chemical used for precipitation, using 2.0 times of stoichiometry contents of sodium thiosulfate at pH 7, was calculated to be 9.34 Bath per litre of treated wastewater.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น ข้อชี้แนะต่างๆ ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ในการแก้ปัญหาจากอาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงงานพิเศษในครั้งนี้ทุกท่านที่กรุณาเสนอแนะและแก้ไขเพิ่มเติม ทำให้โครงงานพิเศษมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่กรุณาติดต่อเรื่องน้ำเสียที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ และให้คำปรึกษาตลอดจนการแก้ไขปัญหาตลอดมา

ขอขอบคุณพี่สุนันทา บัวกลั่นหอม เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการบริษัท เทสท์เทค จำกัด ที่คอยช่วยเหลือในด้านการเก็บรวบรวมน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ช่วยเหลือในด้านการเก็บรวบรวมน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีที่ใช้ในการทดลอง

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ให้ความรัก ความห่วงใย คอยช่วยเหลือในด้านปัจจัยต่าง ๆ รวมทั้งให้กำลังใจตลอดมา

ผู้จัดทำ

นางสาวพัชรา สวัสดิเวทิน

นายกฤษกร เจียมจำรัสศิลป

นางสาววิวัฒนา สุนทรเลิศวณิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	**4**
2.1 น้ำเสีย	4
2.2 หลักการและกระบวนการบำบัดน้ำเสีย	6
2.3 การบำบัดทางเคมี	8
2.4 การตกตะกอนทางเคมี	15
2.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการละลาย	22
2.6 การละลายของตะกอนชนิดไฮดรอกไซด์ของโลหะ	26
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	**32**
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	32
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	33
3.3 การดำเนินการทดลอง	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	**40**
4.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น	40
4.2 การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยใช้สารเคมีในการตกตะกอน	42
4.3 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความคงสภาพ (Stabilization) ของกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยใช้วิธีตกตะกอนทางเคมี 67

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ **69**

5.1 สรุปผลการทดลอง 69

5.2 ข้อเสนอแนะ 70

เอกสารอ้างอิง **71**

ภาคผนวก **73**

ภาคผนวก ก ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) 74

ภาคผนวก ข หลักการในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี 78

ภาคผนวก ค หลักการในการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ 83

ภาคผนวก ง การทดสอบจาร์เทสต์ 86

ภาคผนวก จ การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 88

ภาคผนวก ฉ การคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละการทดลอง 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยารีดักชันในการบำบัดของเสีย 12

ตารางที่ 2.2 การบำบัดสารอนินทรีย์เคมีด้วยการไฮโดรไลซิส 14

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์เทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ 18

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่างๆ 20

ตารางที่ 2.5 สารเคมีบางชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย 21

ตารางที่ 2.6 ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดมลสารออกจากน้ำเสียด้วยสารเคมีต่างๆ 22

ตารางที่ 2.7 ปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนของมลสาร 1 กิโลกรัม 23

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีของห้องปฏิบัติการ 40

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ซีโอดีแบบเปิด 41

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยเริ่มต้นที่ทำการตรวจวัดของห้องปฏิบัติการ 41

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอชตั้งแต่ 6-11 44

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการตกตะกอนโลหะ (ก) โครเมียม (ข) เหล็ก และ(ค) เงิน ด้วยโซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 47

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการตกตะกอนโลหะ (ก) โครเมียม (ข) เหล็ก และ(ค) เงิน ด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 53

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการตกตะกอนโลหะ (ก) โครเมียม (ข) เหล็ก และ(ค) เงิน ด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 59

ตารางที่ 4.8 สรุปสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง 63

ตารางที่ 4.9 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนเมื่ออุณหภูมิและร้อยละความชื้นคงที่ 64

ตารางที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนเมื่อพีเอชและร้อยละความชื้นคงที่ 65

ตารางที่ 4.11 ผลของร้อยละความชื้นที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนเมื่ออุณหภูมิและพีเอชคงที่ 65

ตารางที่ 4.12 ราคาสารเคมี 67

ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง 1 ลิตร 67

ตารางภาคผนวก จ 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 หลักการจัดการควบคุมมลภาวะทางน้ำ 5

รูปที่ 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นกรดหรือด่าง 9

รูปที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่ค่าพีเอชต่างๆ 10

รูปที่ 2.4 กระบวนการแยกสารด้วยไฟฟ้า 13

รูปที่ 2.5 ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ 16

รูปที่ 2.6 ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ 17

รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง 35

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วย NaOH 36

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วย Na_2S และ NaOH 37

รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วย NaHS และ NaOH 38

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วย $Na_2S_2O_3$ และ NaOH 39

รูปที่ 4.1 การตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11 43

รูปที่ 4.2 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11 44

รูปที่ 4.3 การตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11 46

รูปที่ 4.4 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 48

รูปที่ 4.5 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 49

รูปที่ 4.6 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 49

รูปที่ 4.7 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50

รูปที่ 4.8 การตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11 52

รูปที่ 4.9 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น6 – 11ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 54

รูปที่ 4.10 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 55

รูปที่ 4.11 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 56
รูปที่ 4.13 การตกตะกอนด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11 58
รูปที่ 4.14 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 60
รูปที่ 4.15 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 61
รูปที่ 4.16 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 61
รูปที่ 4.17 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 62
รูปที่ 4.18 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนเมื่ออุณหภูมิและร้อยละความชื้นคงที่ 66
รูปที่ 4.19 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนเมื่อร้อยละความชื้นและพีเอชคงที่ 66
รูปที่ 4.20 ผลของร้อยละความชื้นที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนเมื่ออุณหภูมิและพีเอชคงที่ 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันภาวะมลพิษทางน้ำเป็นปัญหาที่รุนแรง ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างมากมาย ทำให้มีการออกฎหมายเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยแหล่งกำเนิดน้ำทิ้งอาจมาจากโรงงานอุตสาหกรรม อาคาร บ้านเรือนหรือโรงแรม เป็นต้น แต่ไม่มีการกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยมลพิษที่ส่งผลกระทบได้รุนแรงกว่า ซึ่งในความเป็นจริงพบว่าในห้องปฏิบัติการจะมีการวิเคราะห์ทดสอบทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมีและชีวภาพ ล้วนก่อให้เกิดมลพิษทั้งสิ้น หากยังไม่มีการควบคุมและการจัดการที่ถูกต้องอาจส่งผลกระทบที่รุนแรงได้ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีการวิเคราะห์ทดสอบโดยใช้สารโลหะหนักในปริมาณมาก จะทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการออกซิเจนในน้ำ โดยใช้สารเคมีในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ หรือที่เรียกว่า ซีโอดี (COD) ซึ่งมีการใช้สารเคมีที่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก เช่น เมอร์คิวริกซัลเฟต ($HgSO_4$) โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) และเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$)

น้ำทิ้งที่เกิดจากการวิเคราะห์เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะเกิดการตกค้างของโลหะหนักในน้ำและกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยการถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นจึงควรมีการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ และที่สำคัญควรมีการทดสอบความคงสภาพของกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียก่อนนำไปกำจัดหรือฝังกลบต่อไป เพื่อลดปัญหาการละลายของสารพิษในกากตะกอน อันจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ในการทดลองนี้จะเป็นการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี อันได้แก่ โครเมียม เหล็ก และเงิน โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี ซึ่งจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียวและโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารเคมี 3 ชนิดคือ โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$), โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) พร้อมกับการแปรค่าปริมาณสารเคมีและพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอน จากนั้นศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความคงสภาพ (Stabilization) ของกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย อันได้แก่ พีเอช อุณหภูมิและร้อยละความชื้น ตลอดจนเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยคำนึงถึงราคาสารเคมี และปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

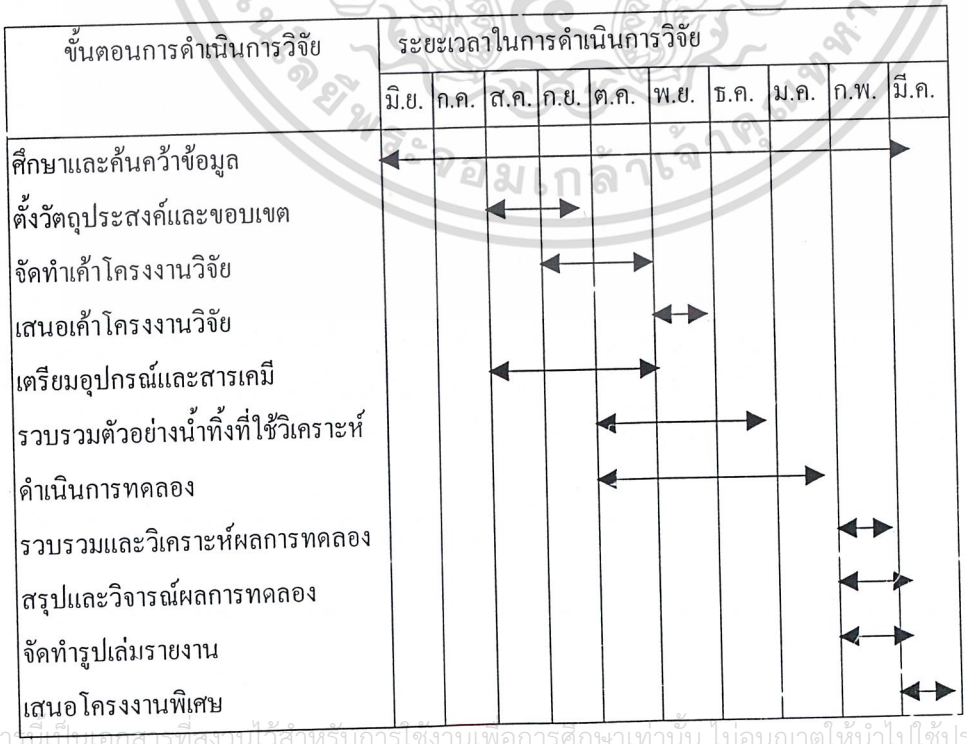
1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยใช้สารเคมีในการตกตะกอน
2. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความคงสภาพ (Stabilization) ของกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย
3. ศึกษาและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี อันได้แก่ โครเมียม เหล็กและเงินโดยใช้สารเคมีในการตกตะกอน ซึ่งทำการแปรค่าชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้และค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน
2. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความคงสภาพ (Stabilization) ของกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย อันได้แก่ พีเอช อุณหภูมิและร้อยละความชื้น
3. ศึกษาและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ ค่าซีโอดีโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี โดยคำนึงถึงราคาสารเคมีและปริมาณที่เหมาะสมที่สุด ตลอดจนสามารถนำไปใช้ได้สำหรับห้องปฏิบัติการจริง

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีในห้องปฏิบัติการให้ได้มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ
2. พัฒนากระบวนการปรับการคงสภาพของกากตะกอน เพื่อลดปัญหาการรั่วซึมและการละลายของกากตะกอนหลังการฝังกลบ
3. สามารถนำวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีไปใช้ในห้องปฏิบัติการจริง โดยคำนึงถึงด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 น้ำเสีย

2.1.1 ประเภทและกำเนิดน้ำเสีย

น้ำเป็นสารที่กล่าวได้ว่ามีประโยชน์ต่อมนุษยชาติมากมาย ซึ่งอาจแบ่งตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่ เป็นน้ำอุปโภคบริโภคในครัวเรือน น้ำใช้ในอุตสาหกรรมและน้ำใช้ในภาคเกษตรกรรม ดังนั้นจึงมีน้ำเสียปล่อยทิ้งออกมาจากกิจกรรมดังกล่าว น้ำเสียแบ่งประเภทตามแหล่งกำเนิดน้ำเสียได้ดังนี้

- น้ำเสียชุมชน (Domestic) หรืออาจเรียกได้ว่า น้ำโสโครก (Sewage) เป็นน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากชุมชน ซึ่งมาจากกิจกรรมต่างๆ เช่น จากบ้านเรือน ภัตตาคาร อาคารพาณิชย์ โรงพยาบาล เป็นต้น น้ำเสียประเภทนี้มีปริมาณสารอินทรีย์เจือจาง ซึ่งองค์ประกอบในน้ำเสียได้แก่ อุจจาระ ปัสสาวะ สบู่ ผง ซักฟอก เศษอาหาร เป็นต้น

- น้ำเสียเกษตรกรรม (Agriculture) เป็นน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากพื้นที่เพาะปลูก และพื้นที่เลี้ยงสัตว์ ในส่วนของพื้นที่เพาะปลูกจะอยู่กระจัดกระจาย องค์ประกอบสารมลพิษในน้ำทิ้งนี้ประกอบด้วย สารเคมีปุ๋ย ยาฆ่าแมลงและวัชพืช และดินทราย ส่วนน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์จะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ซึ่งมาจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์และอาหารที่เหลือ

- น้ำเสียอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) หรืออาจเรียกว่า Trade Waste ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมจะมีองค์ประกอบที่มีความแปรผันมากซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม เช่นน้ำเสียจากโรงงานสุราจะมีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะมีสารโลหะหนักและมีค่า pH ต่ำ เป็นต้น

2.1.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในน้ำเสีย รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียตลอดจนวิธีการควบคุมดูแลการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจะขึ้นกับระบบบำบัดน้ำเสียเป็นสำคัญ ดรรชนีสำคัญที่ใช้กำหนดแสดงลักษณะสมบัติน้ำเสียมีดังนี้

- ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นค่าแสดงความเข้มข้นอนุภาคไฮโดรเจน (H^{1}) ในน้ำ ค่า pH นี้มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียและมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ ตัวอย่าง น้ำเสียจากโรงงานอาหารมักมีค่า pH เป็นกลาง และน้ำเสียจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิกส์และโรงงานชุบโลหะมีค่า pH เป็นกรด คือ ต่ำกว่า 7

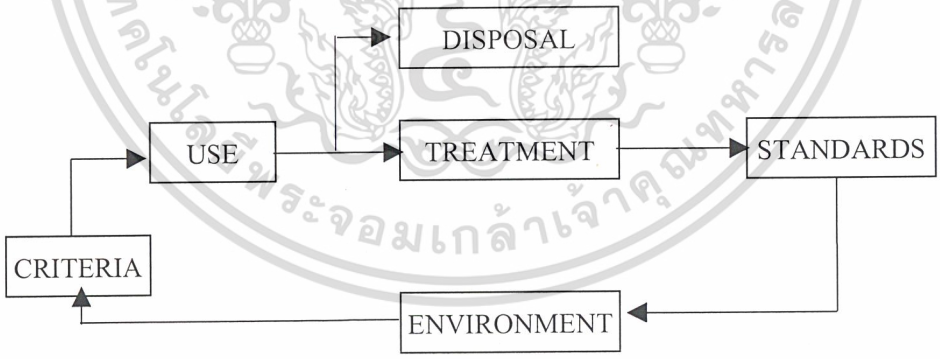
- ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (Organic Content) สารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย อาจอยู่ในรูปสารละลาย (Dissolved) สารแขวนลอย (Suspended) และของแข็ง (Solids) สารอินทรีย์เหล่านี้อาจแบ่งเป็นสารที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (Biodegradable) และย่อยสลายไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Nonbiodegradable) การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์ในน้ำเสียมักไม่นิยมวิเคราะห์สารอินทรีย์สารใดสารหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล โปรตีน เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียโดยทั่วไปมักประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายประเภท ดังนั้นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณสารอินทรีย์จึงนิยมวัดหาปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์และปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการสันดาปสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

2.1.3 การควบคุมมลภาวะทางน้ำและมาตรฐานน้ำทิ้ง

ในการจัดการควบคุมมลภาวะทางน้ำ มีหลักการดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยพิจารณาว่าในแต่ละลุ่มน้ำว่าต้องการใช้ประโยชน์อย่างไร เช่น เพื่อเป็นแหล่งน้ำดิบ ผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ในการเกษตร เพื่อใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น แล้วจัดทำคุณภาพในแหล่งน้ำนั้น (Criteria) มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนั้นอาจมีหลายมาตรฐานตามวัตถุประสงค์การใช้น้ำ ในส่วนของน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆจำเป็นต้องกำหนดให้มีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งลงสู่ลำน้ำ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้ง (Effluent Standards) เพื่อใช้ทางปฏิบัติ ในการตรวจสอบมาตรฐานน้ำทิ้งจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณสารมลพิษสูงสุดที่ลำน้ำนั้นสามารถรองรับได้ โดยไม่ก่อผลกระทบต่อมาตรฐานคุณภาพน้ำในลำน้ำนั้น แต่ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปมักจะกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งประเภทต่างๆออกมา ดังแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งเป็นมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (ฉบับที่ 3 , พ.ศ.2539)



รูปที่ 2.1 หลักการจัดการควบคุมมลภาวะทางน้ำ (ดร.สุเมธ,2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการและกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

เนื่องจากน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีลักษณะสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต อาจมีความเข้มข้นสูงหรืออาจเจือจางและอาจประกอบด้วยสารอินทรีย์และหรือสารอนินทรีย์ จึงทำให้วิธีบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติน้ำเสียนั้น การกำจัดน้ำเสียอาจแบ่งเป็น 2 วิธีหลัก คือ การกำจัดน้ำเสียและการบำบัดน้ำเสีย

2.2.1 การกำจัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

การกำจัดน้ำเสียอุสาหกรรม ตรงกับคำว่า Disposal คือ การขจัดน้ำเสียให้หมดไปดังนั้นจึงไม่มีน้ำปล่อยทิ้งออกมาอีก (zero discharge) ซึ่งได้แก่ วิธีต่าง ๆ ดังนี้

- การเผา (Incineration) เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง เช่น การเผาน้ำกากส่าของโรงงานสุรา ข้อดี คือ ได้พลังงาน แต่ข้อเสียมีหลายประการ เช่น ราคาอุปกรณ์สูงมาก ค่าใช้จ่ายสูงมาก และเกิดปัญหามลภาวะทางอากาศ ซึ่งเกิดจากเถ้าจากเตาเผา

- การทำปุ๋ยหมัก (Composting) เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง แต่จะมีข้อเสียคือ ต้องมีมาตรการป้องกันน้ำเสียที่ไหลออกจากพื้นที่ทำปุ๋ยหมัก วัสดุที่ได้มีคุณค่าทางปุ๋ยต่ำและมีค่าใช้จ่ายสูง ในประเทศไทยมีการใช้น้ำกากส่าผสมกับชานอ้อยในการทำปุ๋ยหมัก

- การตากแห้ง (Land Drying) เป็นการกักน้ำเสียในพื้นที่กว้างเพียงพอจนทำให้อัตราระเหยและอัตราซึมของน้ำเสียลงดินสูงกว่าอัตราสูบเข้าของน้ำเสีย ซึ่งจะทำให้น้ำเสียแห้งในพื้นที่ตากแห้งและมีการประยุกต์ใช้กับน้ำกากส่าและน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังบางแห่ง ข้อดีคือเป็นวิธีที่ง่าย แต่ก็มีข้อเสียหลายประการ เช่น ต้องการพื้นที่มาก ไม่สามารถปฏิบัติในช่วงฤดูฝน อาจมีผลกระทบต่อพื้นดินและเสี่ยงต่อการล้นของน้ำเสีย

- การปล่อยทิ้งทะเล (Sea disposal) เป็นวิธีการที่กล่าวได้ว่าไม่ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์วิทยาอย่างมาก โดยเฉพาะในทะเลปิดและไม่ลึกมากนัก ดังนั้นจึงไม่นิยมนำมาปฏิบัติในปัจจุบัน

- การสูบลงบ่อน้ำบาดาล (Deep well injection) เป็นการสูบน้ำเสียลงใต้ดินแต่เป็นวิธีที่ไม่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ เพราะก่อปัญหาต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน

- การใช้โดยตรงกับพื้นดิน (Land Application) เหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และต้องไม่มีสารที่ก่ออันตรายด้วย รวมทั้งสีและกลิ่นจะต้องไม่มีและไม่ก่อปัญหา ซึ่งทำให้วิธีการนี้โดยทั่วไปไม่สามารถนำมาปฏิบัติได้

- การใช้เป็นน้ำชลประทาน (Irrigation) เป็นการนำน้ำเสียไปใช้เพื่อการชลประทาน โดยน้ำเสียที่เหมาะสมจะต้องมีความเข้มข้นสารอินทรีย์ไม่สูงและไม่มีสารพิษ อาจเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมาแล้ว ซึ่งถือเป็นวิธีการที่เหมาะสมวิธีหนึ่งที่ควรนำมาพิจารณาในการคัดเลือกรูปแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้นและเพียงพอที่จะปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ก่อผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งรับน้ำธรรมชาติ การบำบัดนี้เป็นการลดสารมลพิษ (Pollutants) ในน้ำเสียให้ต่ำลง โดยผ่านกระบวนการบำบัดต่างๆซึ่งจะกล่าวต่อไป ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะต่ำกว่าวิธีกำจัดน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียจะประกอบด้วยหลายขั้นตอนเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดให้ต่ำสุด วิธีการบำบัดน้ำเสียอาจแบ่งตามลักษณะขั้นตอนลำดับการบำบัดได้ดังนี้

- **การบำบัดเบื้องต้น (Pretreatment)** เป็นการบำบัดเพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนผ่านเข้าสู่ขั้นตอนอื่นเพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียสูงและไม่ก่อปัญหาต่อระบบ การบำบัดเบื้องต้น ได้แก่ การแยกกากของแข็ง (Screening) การแยกตะกอนเม็ดทราย (Grit removal) การแยกน้ำมัน (Oil & Grease Removal) การเติมอากาศเบื้องต้น (Preaeration) การปรับน้ำเสียให้คงที่ (Equalization) การเติมสารอาหาร (Nutrient addition) และการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้เป็นกลาง (Neutralization)

- **การบำบัดขั้นต้น (Primary treatment)** เป็นการลดมลสารให้ต่ำลงโดยวิธีที่ประหยัด เช่น การตกตะกอน (Primary Sedimentation) การตกตะกอนเคมี (Chemical Precipitation) การกรอง (Filtration) การแยกโดยลอย (Flotation) และการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic fermentation)

- **การบำบัดขั้นสอง (Secondary Treatment)** น้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว ยังมีปริมาณสารอินทรีย์สูงอยู่จำเป็นต้องผ่านการบำบัดขั้นสอง ซึ่งได้แก่ ระบบบำบัดแบบชีววิทยา โดยทั่วไปเป็นแบบใช้ออกซิเจน (หรืออากาศ)

- **การบำบัดขั้นสาม (Tertiary Treatment)** น้ำเสียบางประเภทเมื่อผ่านการบำบัดทั้งสองขั้นแล้วยังมีสี มีสารอาหารเสริมสูง มีความขุ่นสูงหรือมีโลหะหนักอยู่สูง จึงจำเป็นต้องบำบัดขั้นที่สาม ซึ่งได้แก่ Coagulation,Activated Carbon,Ion exchange,Membrane Filtration เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการกำจัดกากตะกอนอีกด้วยและการฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

นอกจากนี้ในการบำบัดน้ำเสียอาจแบ่งตามวิธีการที่ใช้ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- **การบำบัดน้ำเสียวิธีเคมี (Chemical Treatment)** คือ การขจัดมลสารออกจากน้ำเสียโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี เช่น Chemical precipitation,Chemical Oxidation,Chemical Coagulation และ Ion Exchange เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูง มักนิยมใช้ในการกำจัดโลหะหนัก แต่จะไม่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

- **การบำบัดน้ำเสียวิธีฟิสิกส์ (Physical Treatment)** เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ เช่น Screening,Filtration,Sedimentation,Flotation,Centrifugation,Adsorption, Evaporation,Drying.Flocculation,Electrodialysis,Reverse Osmosis เป็นต้น การบำบัดน้ำเสียโดยวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิสิกส์ดังกล่าวมาแล้วบางวิธีง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำเช่น Screening , Sedimentation บางวิธีมีประสิทธิภาพสูง แต่ค่าใช้จ่ายสูงมาก เช่น Reverse Osmosis , Evaporation เป็นต้น

- **การบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา (Biological Treatment)** อาจแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลักๆ คือ Anaerobic Treatment ซึ่งเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนและแบบ Aerobic Treatment ซึ่งต้องการออกซิเจน วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยานิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเคมีหรือฟิสิกส์

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดโดยวิธีเคมี จึงขอกล่าวเฉพาะทฤษฎีวิธีการบำบัดโดยวิธีเคมี

2.3 การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment)

การบำบัดทางเคมีเป็นกระบวนการที่ใช้ปฏิกิริยาการเปลี่ยนลักษณะสมบัติของน้ำเสียให้มีอันตรายน้อยลง มีประโยชน์ใช้ส่งเสริมการนำกลับมาใช้อีกของสารอันตราย การบำบัดทางเคมีถือเป็นวิธีการจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะ (landfill) ถึงแม้ว่าวิธีการฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะเป็นวิธีเก่าแก่และมีราคาถูกกว่าการบำบัดด้วยสารเคมี อีกทั้งในปัจจุบันการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะนั้นมีราคาสูงขึ้นและทางกฎหมายมีการเข้มงวดในเรื่องของการนำของเสียไปฝังกลบมากขึ้น ทำให้การบำบัดทางเคมีได้รับการยอมรับในทางปฏิบัติกันมากกว่า ซึ่งวิธีการบำบัดทางเคมีจะมีหลายวิธีการให้เลือกที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้จะเลือกใช้วิธีการใดจึงจะเหมาะสมสำหรับการบำบัดคุณภาพน้ำที่ต้องการ พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัดทั้งหมด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และการตรวจสอบคุณภาพ ความยากง่ายในการเดินระบบและความปลอดภัย ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้คือ

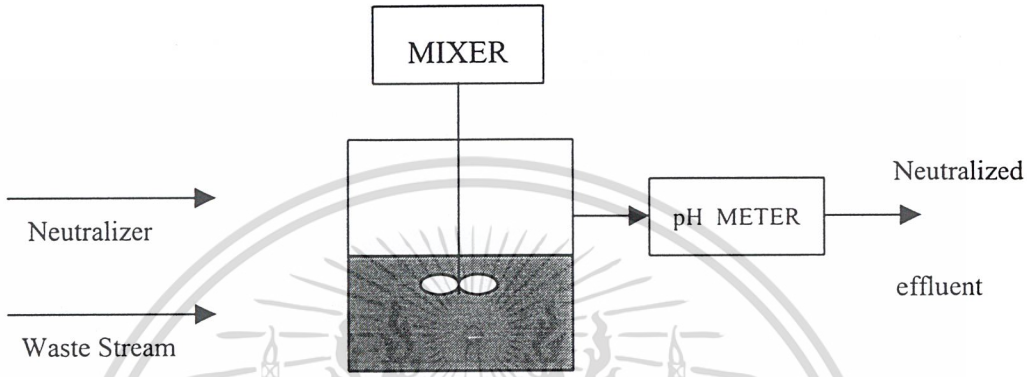
2.3.1 การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)

โดยทั่วไปน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะไม่เป็นกลาง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเคมีผลิตกรดหรือด่าง ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานประเภทนี้จะมีสารอนินทรีย์ปะปนอยู่ จะใช้การทำให้เป็นกลางโดยการปรับพีเอชด้วยกรดหรือด่างแล้วแต่กรณีซึ่งจะสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5.5-9.0 ตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (ฉบับที่ 3 , พ.ศ.2539)

น้ำเสียที่เป็นกรดจะใช้ปูนขาว ($Ca(OH)_2$) โซดาไฟ (NaOH) หรือโซดาแอช (Na_2CO_3) ในการทำให้เป็นกลาง ปูนขาวจะมีข้อดีตรงราคาถูกกว่าด่างตัวอื่นๆและทำให้เกิดตะกอนของสารบางชนิดด้วย แต่มีข้อเสียคือ อาจเกิดตะกรันในเส้นท่อได้ ถ้าใช้ปูนขาวในรูปของสารละลายในขณะใช้งานจะต้องมีการกวนตลอดเวลา เพื่อให้ปูนขาวละลายได้ดีและไม่ตกตะกอนอยู่ก้นถัง น้ำเสียที่เป็นด่างจะทำให้เป็นกลางด้วยกรดแก่ เช่น กรดซัลฟุริก(H_2SO_4) หรือกรดไฮโดรคลอริก(HCl) หรือด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Freeman,1989) ระบบของการปรับค่าพีเอชนั้นจะประกอบด้วยถังผสม (mixing tank) เพื่อทำหน้าที่ผสมกรดหรือด่างให้เข้ากับน้ำเสียอย่างสมบูรณ์ที่สุด ดังนั้นผู้ควบคุมจะต้องคอยวัดค่าพีเอชเป็นระยะๆ หรือถ้าจะให้สะดวกก็ควรใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (pH monitor) ซึ่งจะควบคุมค่าพีเอชให้ได้ตามต้องการ (ธงชัย, 2525) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นกรดหรือด่าง

2.3.2 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

โลหะหนักที่ไม่พึงปรารถนาในน้ำเสียมักจะอยู่ในรูปของสารละลาย ทำให้ไม่สามารถกำจัดออกจากน้ำได้ด้วยวิธีการตกตะกอนหรือกรองเพียงอย่างเดียว แต่การกำจัดโลหะหนักจำเป็นจะต้องทำให้เกิดการตกตะกอน (precipitaion) ก่อน จากนั้นจึงทำให้ตะกอนรวมกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอค (floc) เพื่อให้สามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนและวิธีการกรอง โลหะหนักแต่ละชนิดจะตกตะกอนที่พีเอชแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอิออนของโลหะนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

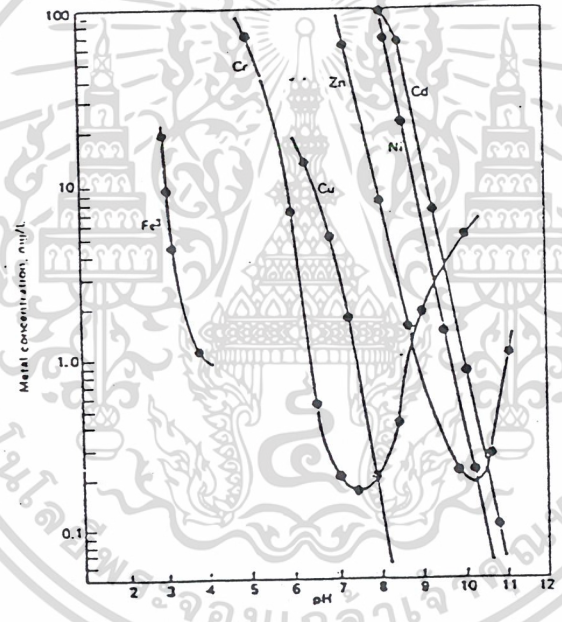
ตัวเลือกของสารทำปฏิกิริยาที่ต้องพิจารณาเป็นเรื่องแรก คือ สามารถตกตะกอนโลหะหนัก เรื่องที่สอง คือ การละลาย เมื่อตกตะกอน ตะกอนที่ได้ต้องไม่ละลายกลับคืนและโลหะนั้นจะแยกออกจากน้ำ การละลายจะมีผลกับอุณหภูมิ ในโลหะหนักบางชนิดสามารถละลายได้ที่อุณหภูมิสูงจะแยกโลหะหนักออกได้ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำโลหะหนักจะสามารถตกตะกอนแยกออกมา ดังนั้นอุณหภูมิจะมีอิทธิพลในการที่จะเลือกวิธีการในการบำบัด

สภาพที่มีประจุของโลหะก็มีความสำคัญในกระบวนการตกตะกอน ตัวอย่างเช่น Fe^{2+} จะมีความสามารถในการละลายได้มากกว่า Fe^{3+} ดังนั้นการบำบัดด้วยวิธีตกตะกอนนี้ก็จะต้องใช้สารออกซิไดซ์เปลี่ยน Fe^{2+} ให้เป็น Fe^{3+} ก่อนเช่นเดียวกับ Cr^{6+} ละลายน้ำได้มากกว่า Cr^{3+} จึงจำเป็นต้องลดประจุก่อนแล้วเอาออกในรูป Cr^{3+} ดังนั้นสิ่งที่ต้องพิจารณาอีกข้อหนึ่งคือ รูปของสารประกอบอิออนเชิงซ้อนในน้ำเสีย เช่น แอมโมเนียฟลูออไรด์ หรือไซยาไนด์ เหล็กสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนพวกเฟอโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซยาไนด์อิออน ซึ่งสามารถละลายน้ำได้และเหลืออยู่ในรูปสารเชิงซ้อนเล็กน้อยที่สามารถตกตะกอนโดยสารเคมีได้

ประสิทธิภาพของการตกตะกอนของโลหะหนักจะสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของซัลไฟด์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) การเพิ่มของสารละลายซัลไฟด์จะต้องมีการควบคุมเนื่องจากอาจจะเกิดแก๊สพิษได้ คือ ในระหว่างการตกตะกอนซัลไฟด์จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงควรมีการควบคุมอย่างดี การลดอันตรายให้เหลือน้อยที่สุดโดยการใช้ด่างช่วย ดังนั้นในการควบคุมการบำบัดแบบนี้จะต้องปรับปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาให้เหมาะสม (optimum dose) เพราะถ้าใช้ปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ขุ่นและทำให้พีเอชเป็นด่างมาก ต้องใช้กรดเพื่อปรับพีเอชลงมาให้เป็นกลางก่อนจะปล่อยทิ้ง หรือต้องนำไปบำบัดด้วยวิธีอื่นต่อไป (ธงชัย, 2525)



รูปที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่ค่าพีเอชต่างๆ (Lanouette , 1997)

2.3.3 การสร้างตะกอนและการรวมตะกอน (Coagulation and Flocculation)

ในน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยขนาดใหญ่ อาจตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำ แต่อนุภาคที่มีน้ำหนักเบามาก ไม่สามารถจมตัวได้ด้วยน้ำหนักของอนุภาคเอง ส่วนอนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียต่างก็มีประจุไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นประจุชนิดใดขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคนั้นๆ เมื่อแต่ละอนุภาคซึ่งต่างก็มีประจุที่เหมือนกันแขวนลอยอยู่ ก็จะมีแรงผลักที่เกิดจากประจุในน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคนั้นอยู่ทำให้ไม่สามารถรวมตัวกันได้เป็นอนุภาคใหญ่ ทำให้ไม่สามารถแยกตัวออกจากน้ำเสียได้ด้วยน้ำหนักของอนุภาคเองเช่นกัน การที่จะทำให้อนุภาคขนาดเล็กที่มีน้ำหนักเบามากและอนุภาคคอลลอยด์แยกตัวออกจากน้ำเสียได้ จะต้องมีวิธีการที่ทำให้อนุภาคเหล่านี้รวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่มีน้ำหนักพอที่จะสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จมตัวได้ วิธีการดังกล่าวนี้ที่ใช้โดยทั่วไป คือ การเติมสารเคมีเพื่อไปเป็นตัวประสานให้อนุภาคขนาดเล็กมากจับตัวกัน หรือถ้าในบางกรณีที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ สารเคมีที่เติมลงไปจะเป็นชนิดที่ทำลายประจุที่ล้อมรอบอนุภาคทำให้แรงผลักหายไปแล้วสารเคมีชนิดนั้น (หรือในบางกรณีอาจใช้สารเคมีอีกชนิดหนึ่ง) จะเป็นตัวประสานให้อนุภาคคอลลอยด์นั้นจับตัวกัน การทำให้อนุภาคเล็กๆ จับตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ด้วยสารเคมีนี้เรียกว่า เคมิคัลโคแอกกูเลชั่น (chemical coagulation) สารเคมีที่ใช้เรียกว่า โคแอกกูแลนต์หรือฟลอคคูแลนต์ (coagulant or flocculant) สารที่รู้จักกันดีและนิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ สารส้ม (alum) ปูนไลม์และไอร์ออน(III)คลอไรด์ (ธงชัย,2525)

ในการทำเคมิคัลโคแอกกูเลชั่น เมื่อเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสีย จะต้องทำให้สารเคมีผสมไปในน้ำเสียอย่างรวดเร็วทันทีโดยการกวน เพื่อให้เกิดการสลายตัวและการกระจายไปได้ทั่วในน้ำเสีย เมื่อเกิดอนุภาคเล็กๆ ลักษณะเหนียวหยุ่นขึ้นซึ่งเรียกว่า ฟลอค (floc) ที่มองเห็นได้ชัดจะต้องเปลี่ยนจากการกวนอย่างรวดเร็วมาเป็นการกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ฟลอคที่เกิดขึ้นแตกสลาย และเพื่อให้ฟลอคที่เกิดขึ้นมีโอกาสได้จับตัวกับอนุภาคขนาดเล็กหรืออนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสะเทินประจุที่ล้อมรอบแล้ว กลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักพอที่จะแยกหรือจมตัวออกจากน้ำทิ้งได้ โดยทั่วไปเวลาที่ใช้ในการกวนอย่างรวดเร็วประมาณ 1-3 นาที และเวลาในการกวนอย่างช้าประมาณ 12-40 นาที การใช้สารเคมีในการทำให้อนุภาคเหล่านี้รวมตัวกันได้ผลดีที่สุด จะต้องมีการควบคุมค่าความเป็นด่าง โดยทั่วไปใช้วัดจากค่าพีเอช ค่าพีเอชสำหรับสารเคมีที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ชนิดหนึ่งๆมีค่าแตกต่างกันไปเช่นสารส้มมีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.0-6.5 ถ้าในน้ำเสียมีค่าพีเอชไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวให้ปรับจนค่าอยู่ในช่วงแล้วจึงเติมสารส้มลงไป ในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กมากและอนุภาคคอลลอยด์ ด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการโดยวิธีที่เรียกว่า จาร์เทสต์ (Jar Test) เพื่อหาค่าความเป็นด่าง พีเอชและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการกำจัดให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด (มั่นสิน,2534)

การพัฒนาของโพลิเมอร์อินทรีย์ เพื่อใช้เป็นสารสร้างตะกอนและสารรวมตะกอนจะเรียกว่าโพลิอิเลคโตรไลด์ (polyelectrolyte) โพลิอิเลคโตรไลด์เป็นโพลิเมอร์อินทรีย์ขนาดใหญ่ละลายน้ำได้ เป็นอิออนธรรมชาติ และเป็นสารช่วยให้เกิดตะกอนเม็ดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนได้เร็วขึ้น

- มีแบบประจุบวก , ลบและไร้ประจุ
- มักนิยมใช้แบบประจุลบ สำหรับกระบวนการทำให้น้ำใส แต่จะใช้แบบประจุบวกสำหรับกระบวนการรีดน้ำออกจากสลัดจ์ (sludge)
- ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วง 0.5-2.0 มก./ล.
- ละลายน้ำยาก มีความหนืดสูง อาจไม่สะดวกต่อการใช้งาน ในบางโรงงานที่ไม่มีอุปกรณ์เติมสารเคมี (feeder) วิธีการที่ให้ละลาย คือ ต้องละลายในน้ำอุ่น และกวนอย่างช้าๆ ทำเป็นสารละลายเริ่มต้น (stock solution) เข้มข้นประมาณ 0.2-2.0 % แล้วค่อยสูบไปใช้งานต่อไป
- มีอายุการใช้งานด้วย ถ้าอยู่ในรูปผงมีอายุใช้งานไม่เกิน 1 ปี ถ้าผสมเป็นสารละลายจะใช้งานได้ไม่เกิน 1-2 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

เป็นวิธีการทางเคมีที่ใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆเจือปนอยู่ ดังในตารางที่ 2.1 ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อให้ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับสารที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดออกซิเดชัน ได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรต์ เปอร์มังกาเนต โครเมตและไนเตรท ส่วนสารเคมีทำให้เกิดรีดักชัน ได้แก่ ไอร์ออน(II)ซัลเฟต โซเดียมเมตาไบซัลเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการรีดักชัน คือ การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่มีสารประกอบโครเมตหรือกรดโครมิคละลายปนอยู่ การบำบัดใช้ไอร์ออน(II)ซัลเฟตไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครเมต ปฏิกิริยานี้เกิดที่พีเอชต่ำกว่า 3.0 จึงต้องเติมกรดซัลฟุริกไปด้วย จากนั้นจึงเติมปูนไลม์ลงไปเพื่อตกตะกอนอีกขั้นหนึ่ง การควบคุมวิธีการบำบัดแบบนี้ค่าพีเอชมีความสำคัญมาก จะต้องปรับค่าพีเอชให้ได้ค่าพอเหมาะ ปฏิกิริยาจึงเกิดขึ้นได้สมบูรณ์หรือถ้าใช้ไฮโปคลอไรต์หรือปูนไลม์มากเกินไปพีเอชจะเป็นด่างสูง ต้องใช้กรดปรับพีเอชลงมาให้เป็นกลางก่อนที่จะปล่อยทิ้งไป การวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะหนักที่ต้องการกำจัดก่อนหรือหลังการบำบัด จะเป็นการช่วยทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการบำบัดหรือปฏิกิริยาเคมีว่าเกิดขึ้นสมบูรณ์เพียงใด (ธงชัย,2525)

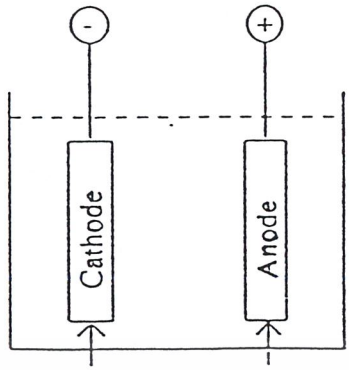
ตารางที่ 2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยารีดักชันในการบำบัดของเสีย (Manahan,1993)

Waste Substance	Reacton with Oxidant or Reductant
Oxidation of Organics	
Organic matter , $[CH_2O]$	$[CH_2O] + 2[O]^a \longrightarrow CO_2 + H_2O$
Aldehyde	$CH_3CHO + [O] \longrightarrow CH_3COOH$ (acid)
Oxidation of Inorganics	
Cyanide	$2CN^- + 5OCl^- + H_2O \longrightarrow N_2 + 2HCO_3^- + 5Cl^-$
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	$MnO_4^- + 3Fe^{2+} + 7H_2O \longrightarrow MnO_2(s) + 3Fe(OH)_3(s) + 5H^+$

[O] สัญลักษณ์นี้ใช้แทนแหล่งที่ให้ออกซิเจนในออกซิไดซ์ซิงเอเจนต์

a แทนค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ $\qquad$ $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^- + 2H^+$

Net reaction: $Cu^{2+} + H_2O \rightarrow Cu + \frac{1}{2}O_2 + 2H^+$

รูปที่ 2.4 กระบวนการแยกสารด้วยไฟฟ้า (Manahan , 1993)

2.3.5 อิเลคโตรไลซิส (Electrolysis)

จากรูปที่ 2.4 อิเลคโตรไลซิส เป็นกระบวนการแยกสารด้วยไฟฟ้า โดยที่ขั้วลบของแบตเตอรี่ถูกลดอิเลคตรอนและอีกขั้วให้อิเลคตรอนเป็นขั้วบวกของแบตเตอรี่และจะมีการรวมตัวกับออกซิเจนที่นี่ ในของเสียอันตราย (hazardous waste) มีการใช้การแยกสารด้วยไฟฟ้ากันอย่างมาก เช่น แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ทองคำ (Au) ตะกั่ว (Pb) เงิน (Ag) และสังกะสี (Zn) ในกรณีที่โลหะมีสารประกอบพวกไซยาไนด์เป็นองค์ประกอบจะนำกลับโดยวิธีการแยกสารด้วยไฟฟ้าค่อนข้างยาก เพราะสารมีความซับซ้อนมาก เช่น $Ni(CN)_4^{2-}$ (Manahan , 1993)

2.3.6 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาด้วยน้ำ ซึ่งสามารถบำบัดสารเคมีอินทรีย์โดยไฮโดรไลซิส ประกอบด้วยโลหะที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ เช่น โลหะคาร์ไบด์ ไฮไดรด์ เอไมด์ แอลโตซายด์ และเฮไลด์ (Manahan.1993) ตัวอย่างการบำบัดแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การบำบัดสารอนินทรีย์เคมีด้วยการไฮโดรไลซิส (Manahan,1993)

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

2.3.7 การสกัดและการชะละลายทางเคมี (Chemical Extraction and Leaching)

การสกัดและการชะละลายทางเคมีในการบำบัดของเสียอันตราย โดยปฏิกิริยาทางเคมีด้วยสารทำละลาย (solvent) การละลายของเกลือโลหะหนักน้อยมากสามารถสกัดโดยปฏิกิริยาของอิออนประจุลบด้วยไฮโดรเจนอิออนแสดงได้ดังนี้

$$PbCO_3 + H^+ \rightarrow Pb^{2-} + HCO_3^-$$

เบสถูกสกัดด้วยกรด เช่น เอมีนและอะนิลีนถูกสกัดด้วยกรด ถ้ามีไซยาไนด์หรือซัลไฟด์ควรจะหลีกเลี่ยง เพื่อป้องกันการเกิดไฮโดรเจนไซยาไนด์ หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์

อิออนโลหะหนักปนเปื้อนในดิน จะใช้การตกตะกอนร่วมในรูปสารที่ไม่ละลายน้ำของเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ตามลำดับ ออกไซด์พวกนี้สามารถละลาย โดยรีดิวซิงเอเจนท์ (reducing agent) เช่น สารละลายโซเดียมไดไธโอเนต / ซิเตรท หรือไฮดรอกไซลามีน ผลที่ได้ คือ สารละลายเฟอรัสอิออนและแมงกานีสอิออน และจะปล่อยอิออนของโลหะหนัก เช่น แคดเมียมอิออนหรือนิกเกิลอิออน ออกมาละลายอยู่ในน้ำ

2.3.8 การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange)

เทคนิคนี้จะอาศัยเรซิน (resin) เป็นตัวแยกโลหะหนักออกจากสารละลายโดยทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิออนในสารละลายกับอิออนบนผิวเรซิน เรซินที่ใช้เป็นแคทอิออนเอกเชนจ์ เรซิน (cation exchange resin) เป็นพวกกรดอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble organic acid) ซึ่งอาจจะเป็นกรดซัลโฟนิคหรือกรดคาร์บอกซิลิก (sulfonic or carboxylic acid) วิธีการนี้จะเหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดกับชนิดของน้ำเสีย คือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อความมีประสิทธิภาพสูงสุด (Manahan,1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) (Freeman,1989)

การตกตะกอนทางเคมี เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารที่ละลายได้ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายโดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การตกตะกอนโดยทั่วๆ ไป จะใช้เพื่อลดความกระด้างของน้ำโดยเอาแคลเซียมและแมกนีเซียมอิออนออก ในการบำบัดของเสียอันตรายกระบวนการนี้สามารถนำไปใช้เพื่อกำจัดโลหะอันตรายออกจากน้ำเสีย

2.4.1 การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipition)

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์จะใช้ตัวตกตะกอน คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือปูนขาว และโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ โดยเอาโลหะออกจากน้ำในรูปโลหะไฮดรอกไซด์ โดยมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นตามสมการนี้

$$M^{++} + 2NaOH \longrightarrow M(OH)_2 + 2Na^{+}$$

ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าเท่าใด ในการตกตะกอนไฮดรอกไซด์จะขึ้นอยู่กับ

- ปริมาณโลหะที่มีอยู่ในน้ำ
- ชนิดของสารตกตะกอนที่ใช้
- สภาวะที่เกิดปฏิกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าพีเอช
- สารอื่นๆ ที่มีอยู่และตัวที่ยับยั้งการตกตะกอน

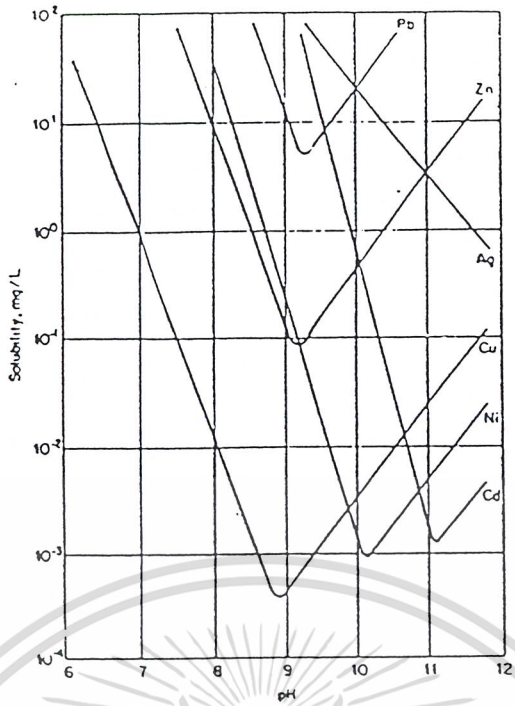
ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำที่บำบัดแล้วมีค่าต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และในบางครั้งอาจต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ โลหะไฮดรอกไซด์จะเป็นพวกแอมโฟเทอริค (amphoteric) เช่น ที่พีเอชสูงและต่ำกว่าสามารถเพิ่มการละลายและจุดของการละลายต่ำสุด (พีเอชเหมาะสมสำหรับการตกตะกอน) เกิดที่พีเอชต่างค่าสำหรับทุกโลหะ ที่พีเอชหนึ่งซึ่งความสามารถการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์หนึ่งอาจสูงกว่าโลหะหนักอื่น ในเกือบทุกกรณีค่าพีเอชที่ใช้ในการทำจาร์เทสต์ (Jar Test) จะอยู่ระหว่าง 9 – 11 สำหรับน้ำทิ้งที่มีโลหะหลายๆ ชนิดปนกันอยู่ อาจจะมีระยะการตกตะกอนของโลหะ แต่ละชนิดด้วยพีเอชแตกต่างกัน การที่จะควบคุมโลหะทุกตัวออกจากน้ำเสียจนได้ระดับที่เราต้องการ อาจใช้การตกตะกอนอื่นที่อาจเป็นไปได้

การตกตะกอนโครเมียมเป็นโครมิกไฮดรอกไซด์ จะต้องทำโครเมียมให้อยู่ในรูปประจุ +3 ก่อน เพราะโครเมียมประจุ +6 ไม่สามารถถูกกำจัดได้โดยตรงด้วยการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ การบำบัดเริ่มต้นเมื่อเปลี่ยนโครเมียมประจุ +6 ไปเป็น +3 โดยใช้พีเอชต่ำประมาณ 2.3 และใส่รีดิวซิงเอเจนท์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โซเดียมไบซัลไฟด์ ($Na_2S_2O_5$) โซเดียมเมตาซัลไฟด์และเฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) กระบวนการปฏิกิริยามีดังนี้

$$3SO_2 + 3H_2O \longrightarrow 3H_2SO_3$$

$$3H_2SO_3 + H_2Cr_2O_7 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 4H_2O$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ (Freeman ,1989)

2.4.2 การตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

เป็นการตกตะกอนที่มีประโยชน์มาก เป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกจากการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ แสดงในรูปที่ 2.6 โลหะซัลไฟด์ มีความสามารถในการละลายต่ำกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ ดังตารางที่ 3โลหะซัลไฟด์ไม่มีคุณสมบัติแอมโฟเทอริค และโครเมียมประจุ+6สามารถตกตะกอนด้วยกระบวนการนี้ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการรีดักชัน กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการรวมอิออนโลหะหนักด้วยซัลไฟด์เรดิคอล มีแผนภาพแสดงปฏิกิริยาของโลหะหมู่ 2 กับ Na_2S ดังนี้คือ

$$M^{++} + Na_2S \rightarrow MS + 2Na^{+}$$

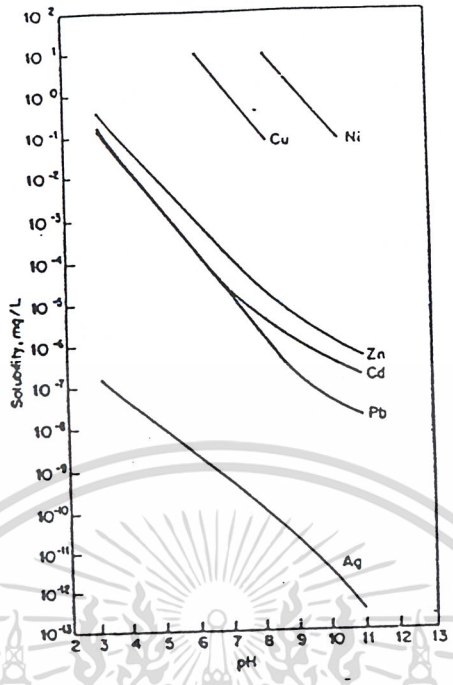
สามารถกำจัดโครเมียมออกได้ โดยไม่ต้องผ่านปฏิกิริยารีดักชัน ได้ตะกอนโครมิกไฮดรอกไซด์ ดังสมการนี้คือ

$$Cr_2O_7^{-} + 2FeS + 7H_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 2Cr(OH)_3 + 2S + 2OH^{-}$$

แหล่งของซัลไฟด์ที่ใช้ คือ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอรัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งละลายได้เล็กน้อย ข้อเสียของการตกตะกอนซัลไฟด์ คือ จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงควรทำพีเอชให้มากกว่า 8 เพื่อป้องกันไฮโดรเจนซัลไฟด์ ข้อเสียอีกข้อคือจะมีปริมาณซัลไฟด์อิออนมากเกินไปในน้ำที่จะปล่อยออก ซึ่งทำให้ต้องมีการบำบัดในขั้นสุดท้ายก่อนปล่อยน้ำทิ้งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.6 ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ (Freeman,1989)

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์เทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ (Talbot,1984)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40049

2.4.3 การตกตะกอนคาร์บอเนต (Carbonate Precipitation)

สำหรับโลหะบางตัว เช่น แคดเมียมและตะกั่ว การตกตะกอนคาร์บอเนตทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นโลหะหนักต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ที่พีเอชต่ำกว่าและสามารถกรองตะกอนได้มากกว่า โดยเปรียบเทียบกับการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม และตะกั่วที่พีเอช 10 หรือมากกว่ากับการตกตะกอนคาร์บอเนตที่พีเอช 7.5-8.5 การตกตะกอนโลหะใช้โซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอช ดังสมการ

$$Na_2CO_3 + M^{++} \rightarrow MCO_3 + 2Na$$

กระบวนการนี้ไม่เหมาะสมกับโลหะทุกชนิด Paterson et al.(1984) บ่งชี้ว่าคุณภาพน้ำที่ปล่อยออกมาไม่ต่างกับน้ำที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ ในการปรับพีเอชหรือปริมาณตะกอนจะมากกว่าการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ในโลหะสังกะสีและนิกเกิล

2.4.4 การตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride Precipitation)

โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นรีดิวซิงเอเจนท์ สามารถใช้ตกตะกอนโลหะได้ปฏิกิริยาที่เกิดจะขึ้นกับค่าพีเอช แสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$4M^{++} + NaBH_4 + 2H_2O \rightarrow NaBO_2 + 4M + 8H^+$$

$$4M^{++} + NaBH_4 + 8OH^- \rightarrow NaBO_2 + 4M + 6H_2O$$

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

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

สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละประเภทจะใช้ปริมาณที่แตกต่างกัน รวมถึงราคาของแต่ละสารจะมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่างๆ (Talbot,1984)

การตกตะกอน	ไฮดรอกไซด์	ซัลไฟด์	คาร์บอเนต	โบโรไฮไดรด์
ข้อดี	1. ราคาถูก	1.โลหะซัลไฟด์มีค่าการละลายน้ำต่ำ 2.ตกตะกอนCr^{6+}โดยไม่ต้องผ่านรีดักชัน 3.ตกตะกอนพวก chelating agent ได้ 4.เอาน้ำออกจากตะกอนได้มากกว่าไฮดรอกไซด์	1.เมื่อใช้กับCd และ Pb ทำปฏิกิริยาที่ pH ต่ำกว่าไฮดรอกไซด์ 2.สามารถกรองตะกอนได้มากกว่า	1.ใช้กับการนำกลับของโลหะ 2.ตกตะกอนน้อยกว่าไฮดรอกไซด์
ข้อเสีย	1.มีคุณสมบัติกึ่งโลหะไฮดรอก-ไซด์ละลายกลับได้เมื่อ pH เปลี่ยน 2.เกิดตะกอนมาก 3.ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีพวก chelating agent ได้	1.เกิดแก๊สH_2S 2.มีอิออนของซัลไฟด์เกิดขึ้น 3.โลหะซัลไฟด์อยู่ในรูปคอลลอยด์	1.ใช้กับโลหะได้ไม่ทุกชนิด 2.เกิดตะกอนมากกว่าไฮดรอกไซด์	1.ใช้ได้กับช่วงpH สั้นคือที่ 8-11 เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตารางที่ 2.5 จะแสดงถึงสารเคมีบางชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 2.5 สารเคมีบางชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (ดร.เกรียงศักดิ์,2539)

สารเคมี	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนาแน่น(กก./ลบ.ม.)	
		ชนิดแห้ง	ชนิดของเหลว
สารส้ม($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)	666.7	961-1201	1249-1281
Ferric Chloride ($FeCl_3$)	162.1	-	1346-1490
Ferric Sulfate ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$)	454	-	1121-1153
Ferrous Sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)	278	993-1057	-
Lime($Ca(OH)_2$)	56 ของ CaO	561-801	-

ในการเกิดการตกตะกอนต่างๆให้ได้ดีต้องพิจารณาค่า pH หลังจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้ว โดยทั่วไปต้องมี pH สูงกว่า 7 จึงจะได้ผลดี ตารางที่ 2.6 แสดงค่า pH ที่เหมาะสมและชนิดสารเคมีที่เติมผสมลงไปเพื่อกำจัดหรือแยกมลสารออกจากน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดมลสารออกจากน้ำเสียด้วยสารเคมีต่างๆ (ดร.เกรียงศักดิ์,2539)

มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย	สารเคมีที่เติมผสมลงไป	ค่าpHที่เหมาะสม	สารเคมีที่ตกตะกอนได้
Aluminum	Lime	5	$Al(OH)_3$
Arsenic	Ferric chloride	8	$AsCl_2$
Barium	Sodium sulfate	10	$BaSO_4$
Cadmium	Lime	9.5-12	$Cd(OH)_2$
Chromic	Lime	8.0-9.5	$Cr(OH)_2$
Cupric	Lime	9-10	$Cu(OH)_2$
Ferric	Lime	7	$Fe(OH)_3$
Fluoride	Lime	12	CaF_2
Manganese	Lime	10	$Mn(OH)_2$
Mercury	Sodium sulfide	8.5	HgS
Nickel	Lime	10	$Ni(OH)_2$
Phosphorus	Ferric chloride	7	$FePO_4$
Plumbic	Lime	6-10	$Pb(OH)_2$
Selenium	Sodium sulfide	6.5	SeS_2
Silver	Sodium chloride	8	AgCl
Stannic	Lime	4-4.5	$Sn(OH)_2$
Zinc	Lime	5-6	$Zn(OH)_2$

นอกจากนี้ในตารางที่ 2.7 ยังแสดงถึงปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนของมลสารหนึ่งกิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนของมลสาร 1 กิโลกรัม (ดร.เกรียงศักดิ์,2539)

สารเคมี	ปริมาณสารเคมีที่ใช้(กิโลกรัม)					
	มลสารต่างๆ (1กิโลกรัมของแต่ละมลสาร)					
	Cr^{+3}	Cu^{+2}	Fe^{+2}	Fe^{+3}	Ni^{+2}	Zn^{+2}
Calcium Oxide(CaO)	1.62	0.88	1.00	1.50	0.96	0.86
Lime($Ca(OH)_2$	2.13	1.16	1.34	2.01	1.26	1.14
Sodium Hydroxide (NaOH)	2.31	1.26	1.44	2.16	1.36	1.22
Sodium Carbonate(Na_2CO_3)	3.07	1.68	1.90	2.85	1.81	1.62
Magnesium Oxide(MgO)	1.17	0.63	0.73	1.10	0.69	0.62
Magnesium Hydroxide ($Mg(OH)_2$)	1.69	0.92	1.05	1.58	1.00	0.90

2.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการละลาย

การคงสภาพของโลหะในตะกอนพิจารณาได้จากการละลายของตะกอนภายหลังการตกตะกอนแล้ว ถ้าโลหะสามารถละลายได้ใหม่จำนวนมากถือว่าตะกอนของโลหะนั้นมีความเสถียรน้อย ดังนั้นในส่วนต่อไปจะกล่าวถึงทฤษฎีในส่วนของการละลาย

ตะกอนที่เป็นสารไอออนิกเมื่อละลายเป็นสารละลายแล้ว ตะกอนส่วนที่ละลายอยู่ในสารละลายพบว่าส่วนใหญ่จะแตกตัวเป็นแคตไอออนและแอนไอออนหมด ไม่อยู่ในรูปของโมเลกุล ตะกอนของสารไอออนิกน้อยชนิดที่ไม่เป็นไปตามนี้ แคตไอออนและแอนไอออนที่เกิดจากการละลายตะกอนในสารละลายจนอิ่มตัวจะอยู่ในสมดุลกับตะกอนที่เป็นของแข็งซึ่งสัมผัสกับสารละลายอยู่ตลอดเวลา

การละลายของตะกอนนั้น ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของการละลาย (Ksp) ของตะกอน ค่านี้เป็นค่าผลคูณของความเข้มข้นเป็น $mole/dm^3$ ของไอออนทั้งสองที่เป็นองค์ประกอบของตะกอน ณ ที่สารละลายอยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยตะกอนนั้นๆ ค่านี้จะผันแปรไปตามอุณหภูมิ

สำหรับตะกอนที่มีสูตร A_mB_n เมื่อละลายเป็นสารละลายอิ่มตัว สมดุลที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายและของแข็งจะเป็น

$$A_mB_n(s) \leftrightarrow mA^{n+}(aq) + nB^{m-}(aq)$$

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

$[A^{n+}],[B^{m-}]$ เป็นความเข้มข้นที่อิ่มตัวของ A^{n-} และ B^{m-} ในสารละลาย ตามลำดับ เช่น ในกรณีของ Ag_2CrO_4ละลายในน้ำจนเป็นสารละลายอิ่มตัวจะได้

$$Ag_2CrO_4(s) \leftrightarrow 2Ag^{+}(aq) + CrO_4^{2-}(aq)$$

$$Ksp = [Ag^{-}]^2[CrO_4^{2-}]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิคงที่ ถ้าสารละลายอยู่ในสภาพอิ่มตัว คือในสารละลายมีไอออนทั้งสองนี้ละลายอยู่และอยู่ในสมดุลกับตะกอนของ Ag_2CrO_4 โดยไม่คำนึงว่าในสารละลายนั้นจะมีไอออนอื่นๆ ละลายร่วมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ตามจะได้

$$[Ag^+]^2 [CrO_4^{2-}] = Ksp = \text{ค่าคงที่เสมอ}$$

2.5.1 การละลายของตะกอนในน้ำบริสุทธิ์

การละลายของสารในตัวทำละลาย จะแสดงในรูปของความเข้มข้นของสารนั้นในสารละลายซึ่งเกิดจากสารนั้นละลายในตัวทำละลายดังกล่าวจนอิ่มตัว การละลายของสารถ้าไม่ระบุตัวทำละลายเป็นสารใดจะหมายถึงตัวทำละลายเป็นน้ำบริสุทธิ์ ในการคำนวณโดยทั่วไปการละลายของสารจะแสดงในหน่วยของจำนวนโมลของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 dm^3 (mol/dm^3)

การแบ่งชนิดของสารไอออนิกตามเกณฑ์การละลายในน้ำได้เป็น 3 แบบ คือ แบบแรกได้แก่ สารที่ละลายน้ำได้ดี (Soluble) ความเข้มข้นของสารเหล่านี้ในสารละลายอิ่มตัวมีค่าสูง Ksp มีค่าสูง เช่น สารไอออนิกของโลหะหมู่ 1 ในตารางธาตุ เช่น $NaCl, K_2SO_4$ เป็นต้น แบบที่สองเป็นสารไอออนิกที่ละลายได้เล็กน้อย (Slightly Soluble) ตัวอย่างเช่น $CaSO_4$, Ag_2SO_4 และ $PbCl_2$ เป็นต้น สำหรับแบบสุดท้าย คือ สารที่ไม่ละลาย (Insoluble) แต่ในความเป็นจริงสารแบบสุดท้ายนี้ก็ยังมีส่วนที่ละลายในน้ำได้แต่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นที่อิ่มตัวของสารเหล่านี้นับว่าห่างไกลไปจากสารไอออนิกที่ละลายได้น้อยมาก สารสองแบบสุดท้ายจะเป็นสารที่เรียกว่า "ตะกอน" ซึ่งมีค่า Ksp ค่อนข้างต่ำ

2.5.2 การละลายของตะกอนในสารละลายที่มีไอออนที่เป็นองค์ประกอบของตะกอนละลายอยู่ (ผลของไอออน , Common Ion Effect)

ในสารละลายที่ปราศจากสารอื่นรบกวน การละลาย $Ba(IO_3)_2$ จะไม่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากสมดุลเคมีข้างล่างนี้ไม่ถูกรบกวน

$$Ba(IO_3)_2(s) \leftrightarrow Ba^{2+} + 2IO_3^-(aq)$$

แต่ถ้านำตะกอน $Ba(IO_3)$ ไปละลายในสารละลายที่มี Ba^{2+} หรือ IO_3^- หรือทั้งสองไอออนละลายอยู่ เช่น ใช้สารละลาย $Ba(NO_3)_2$ หรือ KIO_3 เป็นตัวทำละลาย Ba^{2+} หรือ IO_3^- ในสารละลายจะมีผลทำให้การละลายของ $Ba(IO_3)_2$ ลดน้อยลง ตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์ (Lechaterlier) Ba^{2+} หรือ IO_3^- จะไปผลักดันทำให้สมดุลเปลี่ยนแปลงจากขวาไปซ้าย ซึ่งมีผลทำให้การละลายของ $Ba(IO_3)_2$ มีค่าน้อยกว่าที่ละลายในน้ำ

2.5.3 อิทธิพลของสมดุลเคมีต่างๆ ที่มีผลต่อการละลายของตะกอน

การละลายของตะกอน จะเพิ่มขึ้นในสารละลายที่มีไอออนหรือโมเลกุลของสารอื่นละลายอยู่ สารเหล่านี้อาจทำปฏิกิริยากับไอออนใดไอออนหนึ่งซึ่งเป็นองค์ประกอบของตะกอนหรืออาจทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของตะกอน เช่น ตะกอน $BaSO_4$ จะละลายได้ดีขึ้นเมื่อละลายในสารละลายที่มีกรดแก่ละลายอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$BaSO_4\,(s) \leftrightarrow Ba^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq)$$

$$SO_4^{2-}\,(aq) + H_3O^+ \leftrightarrow HSO_4^-\,(aq) + H_2O$$

ตะกอน AgCl ละลายได้ดีขึ้นในน้ำแอมโมเนีย

$$AgCl\,(s) \leftrightarrow Ag^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$$

$$Ag^+\,(aq) + 2NH_3\,(aq) \leftrightarrow Ag(NH_3)_2^+\,(aq)$$

ตะกอน AgCl ละลายได้ดีขึ้นในสารละลายที่มี Cl^- มีความเข้มข้นสูง

$$AgCl(s) + Cl^-\,(aq) \leftrightarrow AgCl_2^-\,(aq)$$

ในกรณีทั่วๆไป ถ้าให้ตะกอนที่ละลายได้ยากในน้ำมีสูตรเป็น AB โมเลกุล บางโมเลกุลจะละลายลงไปในสารละลายและแตกตัวเป็นอิออน A และ B เพื่อความสะดวกจะไม่ระบุอิออนทั้งสอง

$$AB\,(s) \leftrightarrow A\,(aq) + B\,(aq)$$

ในสารละลายที่มี C และ D ละลายอยู่ซึ่งทำปฏิกิริยากับไอออน A และ B ได้ เกิดสาร AC และ BD ดังนี้

$$AB\,(s) \leftrightarrow A\,(aq) + B\,(aq)$$

$$A\,(aq) + C\,(aq) \rightleftarrows AC\,(aq)$$

$$B\,(aq) + D\,(aq) \rightleftarrows BD\,(aq)$$

การเกิดปฏิกิริยาแบบนี้มีผลทำให้สมดุลเคมีเปลี่ยนแปลงไปตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์ มีผลทำให้การละลายของ AB ในสารละลายเพิ่มขึ้น

2.5.4 ผลของ pH ต่อการละลายของตะกอน

การละลายของตะกอนส่วนใหญ่จะถูกกระทบกระเทือนโดยความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนในสารละลาย เนื่องจากแคตไอออนซึ่งเป็นองค์ประกอบของตะกอนจะแสดงความเป็นกรดอ่อนและเบสอ่อนตามลำดับในสารละลาย ตัวอย่างเช่น ตะกอนของ $BaSO_4$ และ CaF_2 จะละลายในสารละลายที่เป็นกรดได้ดีกว่าในน้ำ เนื่องจากแคตไอออนของตะกอนทั้งสองนี้เมื่อละลายอยู่ในสารละลายจะแสดงสมบัติเป็นเบสดังนี้

$$BaSO_4\,(s) \leftrightarrow Ba^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq)$$

$$SO_4^{2-}\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \leftrightarrow HSO_4^-\,(aq) + H_2O\,(l)$$

$$CaF_2(s) \leftrightarrow Ca^{2+}\,(aq) + 2F^-\,(aq)$$

$$2F^-\,(aq) + 2H_3O^+\,(aq) \leftrightarrow 2HF\,(aq) + 2H_2O\,(l)$$

ข้อสังเกต แอนไอออนที่แสดงสมบัติเป็นเบสได้นั้นจะเป็นแอนไอออนที่เป็นองค์ประกอบของกรดอ่อน การละลายของตะกอนแบบนี้จะละลายได้ดีขึ้นในสารละลายที่เป็นกรด ในทางตรงกันข้ามแคตไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางชนิดที่เป็นองค์ประกอบของตะกอน จะแสดงสมบัติกรดเมื่อละลายอยู่ในสารละลาย เช่น บิสมัทไอโอไดด์ละลายในน้ำได้ดีกว่าในสารละลายกรด

$$BiI_3\,(s) \leftrightarrow Bi^{3+}\,(aq) + 3I^-\,(aq)$$

$$Bi^{3+}(aq) + 2H_2O\,(l) \leftrightarrow BiOH^{2+}(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

เมื่อเติมกรดลงไปในสารละลายจะทำให้ BiI_3 กลายไปเป็น Bi^{3+} มากขึ้น และมีผลทำให้สมดุลแรกถูกผลักไปทางซ้ายมือมากขึ้น จึงทำให้การละลายของ BiI_3 ลดน้อยลง

2.5.5 ผลกระทบต่อการละลายตะกอนเนื่องจากตัวถูกละลายที่ไม่แตกตัว

โดยทั่วไปแล้วการคำนวณการละลายของตะกอนจากค่าผลคูณการละลายนั้น ถือว่าโมเลกุลของตัวถูกละลายส่วนที่ละลายในสารละลายจะแตกตัวเป็นไอออนหมด ไม่มีโมเลกุลที่ไม่แตกตัวเหลืออยู่ในสารละลาย สำหรับตะกอนของสารบางชนิดมิได้เป็นไปตามนั้นเนื่องจากโมเลกุลของตะกอนที่ละลายอยู่ในสารละลายแตกตัวเป็นไอออนไม่หมด ตัวอย่างเช่น มีการพบว่าสารละลายอิ่มตัวของ Calcium sulfate ประกอบด้วยโมเลกุลของ calcium sulfate ปนกับ Ca^{2+} และ SO_4^{2-} สมดุลเคมีในสารละลายเป็นดังนี้

$$CaSO_4(s) \leftrightarrow CaSO_4(aq)$$

$$CaSO_4(aq) \leftrightarrow Ca^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

ค่าคงที่สมดุลอันแรกได้มาจาก

$$K = \frac{[\,CaSO_4\,(aq)\,]}{[\,CaSO_4\,(s)\,]}$$

$[CaSO_4\,(aq)\,]$ หมายถึง ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ไม่แตกตัวในสารละลายอิ่มตัว

$[\,CaSO_4\,(s)\,]$ หมายถึง ความเข้มข้นของสารที่อยู่ในวัฏภาคของแข็ง ซึ่งมีค่าคงที่

$$[\,CaSO_4(aq)\,] = K[\,CaSO_4(s)\,] = Ks$$

ค่า Ks นี้จะผันแปรไปตามอุณหภูมิและไม่ขึ้นอยู่กับ $[Ca^{2+}]$ หรือ $[SO_4^{2-}]$ ค่าคงที่ของการแตกตัวของโมเลกุลของตะกอนในสารละลายหาได้ดังนี้

$$Kd = \frac{[Ca^{2+}]\,[SO_4^{2-}]}{[CaSO_4(aq)\,]}$$

ค่าคงที่ของผลคูณของการละลายหาได้ดังนี้

$$[Ca^{2+}]\,[SO_4^{2-}] = Ks \times Kd + Ksp$$

2.5.6 ผลการเกิดสารเชิงซ้อนที่มีต่อการละลายของตะกอน

การละลายของตะกอนอาจจะถูกทำให้มีค่ามากขึ้น ถ้าในสารละลายนั้นมีไอออนหรือโมเลกุลที่สามารถเกิดสารเชิงซ้อนที่ละลายได้กับแคตไอออนหรือแอนไอออนซึ่งเป็นองค์ประกอบของตะกอน ตัวอย่างเช่น ตะกอนของ $Al(OH)_3$ ในสารละลายที่มี F^- ละลายอยู่ Al^{3+} จะรวมกับ F^- ทำให้เกิด AlF_6^{3-} ซึ่งละลายได้ในน้ำ และทำให้การละลายของ $Al(OH)_3$ ในสารละลายมีค่ามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Al(OH)_3(s) \leftrightarrow Al^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$$

$$Al^{3+}(aq) + 6F^- \leftrightarrow AlF_6^{3-}(aq)$$

ตะกอนบางชนิดมีแนวโน้มที่จะรวมกับไอออนซึ่งเป็นองค์ประกอบร่วมของตะกอนแล้วกลายเป็นไอออนเชิงซ้อนที่มีขนาดใหญ่กว่าและละลายได้ เช่น เกลือคลอไรด์ของเงิน และตะกั่ว

$$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \leftrightarrow AgCl(s)$$

$$AgCl(s) + Cl^-(aq) \leftrightarrow AgCl_2^-(aq)$$

$$AgCl_2^-(aq) + Cl^-(aq) \leftrightarrow AgCl_3^{2-}(aq)$$

ตะกอนของ Lead chloride จะทำให้เกิด $PbCl_3^-$ และ $PbCl_4^{2-}$ นอกจากนี้ยังมีตะกอนพวกไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียมและสังกะสี ไฮดรอกไซด์ของโลหะทั้งสองนี้จะละลายได้มากขึ้นในสารละลายที่เป็นเบสแก่ เนื่องจากเกิดไอออนเชิงซ้อนที่ละลายได้ของโลหะทั้งสอง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$Al(OH)_3(s) + OH^-(aq) \leftrightarrow Al(OH)_4^-(aq)$$

$$Zn(OH)_2(s) + OH^-(aq) \leftrightarrow Zn(OH)_4^{2-}(aq)$$

2.6 การละลายของตะกอนชนิดไฮดรอกไซด์ของโลหะ (ศุภชัย,2536)

ไฮดรอกไซด์ของโลหะไดวาเลนท์ (divalent metal ion,M^{2+}) เมื่อละลายในน้ำสมดุลเคมีที่เกิดขึ้นคือ

$$M(OH)_2(s) \leftrightarrow M^{2-}(aq) + 2OH^-(aq) \quad (1)$$

$$2H_2O(l) \leftrightarrow H_3O^+(aq) + OH^-(aq) \quad (2)$$

สมการพีชคณิตจากค่าคงที่ของสมดุล

$$[M^{2+}][OH^-]^2 = Ksp \quad (3)$$

$$[H_3O^+][OH^-] = Kw \quad (4)$$

การละลายของตะกอน $M(OH)_2 = [M^{2+}]$

สมการดุลโดยประจุ

$$2[M^{2+}] + [H_3O^+] = [OH^-] \quad (5)$$

การคำนวณหาการละลายของตะกอน $M(OH)_2$ แบ่งออกเป็น 2 กรณี

- สำหรับ $M(OH)_2$ ที่ละลายได้พอสมควรจนทำให้ OH^- ในสารละลายมีค่าแตกต่างไปจาก H_3O^- มาก คือ $[OH] >> [H_3o^+]$ จากสมการ (5) จะได้

$$2[M^{2+}] = [OH^-]$$

แทนค่านี้ในสมการ (3) จะได้

$$[M^{2+}] = (Ksp/4)^{1/3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับ $M(OH)_2$ ที่ละลายได้น้อยมาก จน OH^- ที่มาจากการแตกตัวของตะกอนไม่ทำให้ OH^- ที่มาจากการแตกตัวของน้ำไม่กระทบกระเทือนเลย จะได้

$$[H_3O^+] = [OH^-] = 1.00 \times 10^{-7}$$

การละลายของตะกอน $M(OH)_2$ คำนวณได้จากสมการ (3) จะได้

$$\text{การละลายของ } M(OH)_2 = [M^{2+}] = \frac{Ksp}{[OH^-]^2}$$

$$= \frac{Ksp}{(1.0 \times 10^{-7})^2}$$

ถ้าการละลายของ $M(OH)_2$ ไม่เป็นไปตามทั้ง 2 แบบ คือ OH^- ที่มาจากตะกอนมีค่าไม่แตกต่างไปมากจากค่า OH^- ที่มาจากการแตกตัวของน้ำ การคำนวณการละลายของตะกอนจะต้องคำนวณโดยใช้สมการ (3) , (4) และ (5)

ตัวอย่าง การคำนวณการละลายของ $Zr(OH)_4$ ซึ่งมีค่า $Ksp = 1.0 \times 10^{-52}$

สมดุลเคมี

$$Zr(OH)_4(s) \leftrightarrow Zr^{4-}(aq) + 4OH^-(aq)$$

$$2H_2O(l) \leftrightarrow H_3O^-(aq) + OH^-(aq)$$

สมการพีชคณิตจากค่าคงที่ของสมดุล

$$[Zr^{4-}][OH^-]^4 = 1.00 \times 10^{-52} \quad (6)$$

$$[H_3O^-][OH^-] = 1.00 \times 10^{-14} \quad (7)$$

การละลายของ $Zr(OH)_4 = [Zr^{4+}]$

สมการดุลโดยประจุ

$$4[Zr^{4+}] + [H_3O^-] = [OH^-]$$

สมมุติให้ $Zr(OH)_4$ ละลายได้ดีมาก จนทำให้ OH^- ในสารละลายมีมากเป็นผลให้

$$[H_3O^+] << [OH^-] \text{ หรือ } [H_3O^+] << 4[Zr^{4+}]$$

จากสมการ (7)

$$4[Zr^{4+}] = [OH^-]$$

แทนค่าในสมการ (5)

$$[Zr^{4+}](4[Zr^{4+}])^4 = 1.0 \times 10^{-52}$$

$$[Zr^{4-}] = \frac{(1.0 \times 10^{-52})^{1/5}}{(4^4)^{1/5}} = 1.31 \times 10^{-11}$$

$$[OH^-] = 4 \times 1.31 \times 10^{-11} = 5.24 \times 10^{-11}$$

$$[H_3O^-] = \frac{1.00 \times 10^{-14}}{5.24 \times 10^{-11}} = 1.9 \times 10^{-4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่า การสมมุติ $[H_3O^+] << [OH^-]$ หรือ $[H_3O^+] << 4[Zr^{4+}]$ เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นจึงสมมุติให้ $[H_3O^+] >> 4[Zr^{4+}]$ นั่นหมายความว่า OH^- ที่มาจากการละลายของตะกอนน้อยมากจนไม่กระทบกระเทือน OH^- ที่เกิดจากน้ำ จะได้

$$[H_3O^+] = [OH^-] = 1.00 \times 10^{-7}$$

จากสมการ (6)

$$[Zr^{4+}] = \frac{1.0 \times 10^{-52}}{(1.0 \times 10^{-7})^4}$$

$$= 1.0 \times 10^{-24}$$

ตรวจสอบการสมมติ $[H_3O^+] >> 4[Zr^{4+}]$ จริงหรือไม่

$$1.0 \times 10^{-7} >> 4 \times 1.0 \times 10^{-24}$$

ดังนั้นการสมมุติ $[H_3O^+] >> 4[Zr^{4+}]$ เป็นไปได้

การละลาย $Zr(OH)_4 = 1.0 \times 10^{-24}$ mol/dm^3

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การบำบัดกากตะกอนด้วยปูนขาว

ในอดีตได้มีการบำบัดกากตะกอนด้วยปูนขาว (Lime) ก่อนที่จะนำไปเทตามพื้น มีการตรวจสอบด้วยการทดลองในห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างของกากตะกอนขั้นแรก (Primary sludge) และกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) มาบำบัดด้วยของผสมปูนขาว (Lime slurry) ในระดับ 10-20 % โดยปริมาตรของแข็งแห้ง โดยทั่วไปการเติมปูนขาว 15 % ก็เพียงพอในการที่จะรักษาระดับของ pH = 11 ได้เป็นเวลา 21 วัน และเชื้อโรคต่างๆ ก็จะถูกทำลายภายหลังจากที่ตะกอนสัมผัสกับปูนขาวเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง pH =10 การใช้ปูนขาวจะทำให้เกิดเป็นตะกอนและมีคุณสมบัติในการกำจัดน้ำออกได้ดีขึ้น ผลผลิตที่ได้จะมีกลิ่นของแอมโมเนียซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่เหม็น ข้อจำกัดของกากตะกอนที่บำบัดด้วยซองผสมปูนขาวนี้จะถูกนำไปเทบนพื้นดินได้ในอัตรา 30 ม.^{3}/เอเคอร์ และผลลัพธ์ต่อมาไม่มีผลกระทบเสียหายแต่อย่างใด (Adam,1979)

2.7.2 กระบวนการบำบัดกากตะกอนด้วยกรด

ในการบำบัดกากตะกอนนั้นบางวิธีก็ใช้ระบบบำบัดด้วยกรรมวิธีทางชีวภาพ (Biological treatment) ซึ่งอาจจะต้องอาศัยระยะเวลา จึงมีการวิจัยโดยการทำให้กากตะกอนมีความคงสภาพด้วยวิธีทางเคมี (Chemical stabilization) โดยมีการศึกษากระบวนการบำบัดด้วยกรดซึ่งใช้กับกากตะกอนเหลือทิ้งที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากบ้านเรือน จากการศึกษาพบว่า การทำให้กากตะกอนมีสภาพเป็นกรด (pH = 2.0-2.5) ด้วยกรดซัลฟุริกนั้นจะทำให้มีการกำจัดน้ำออกและแปรสภาพเป็นแร่ธาตุอินทรีย์สารของชีวมวลได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้มีการลดลงของกากตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็ง กระบวนการบำบัดด้วยกรดที่มีประสิทธิภาพและง่ายนี้เป็นวิธีหนึ่งในการย่อยสลายกากตะกอนที่ได้จากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม (Meunier,1996)

2.7.3 แนวทางในการประมาณความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์และออกไซด์ในน้ำ (A Practical Guide for Determining the Solubility of Metal Hydroxides and Oxides in Water) (Dyer,1998)

การตอบสนองที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของความเป็นพิษของโลหะ กฎข้อบังคับใหม่ๆ และกฎข้อบังคับที่เข้มงวดมากขึ้นนั้นเป็นแรงผลักดัน ให้ภาคอุตสาหกรรมมีความเข้าใจกันมากขึ้นในเรื่องความเป็นพิษของโลหะที่มีต่อสิ่งแวดล้อม รายงานนี้ได้เสนอแนวทางในการประมาณความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์และออกไซด์ (Aqueous system) จึงได้มีการทำ Equilibrium Chemical software จาก OLI systems , Inc . มาใช้ในการทำนายการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ / ออกไซด์ในน้ำเมื่อเป็นฟังก์ชันกับค่า pH ผลที่ได้จะเป็นแผนภาพแสดงการละลายโลหะทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย solubility curve สำหรับโลหะไฮดรอกไซด์ / ออกไซด์ 12 ชนิด โดยเส้นกราฟนั้นอาศัย thermodynamic database และ literature solubility data ในกรณีส่วนมากเส้นกราฟจะเป็น ค่าการละลายในรูปผลึกที่มีความเสถียรน้อยหรือรูป amorphous ของโลหะไฮดรอกไซด์หรือออกไซด์ซึ่งจะเป็นชนิดที่มีอยู่ในโรงงานอุสาหกรรมซึ่งระยะเวลาที่เป็นส่วนของแข็งปกติจะต่ำสุด เส้นกราฟการละลายใช้พิจารณาได้ดีเช่นเดียวกับ solubility bond ซึ่งสามารถแผ่ขยายออกไปถึงอันดับของเส้นที่ทำนาย (Order of magnitude) ทั้งบนสุดและต่ำสุด

ข้อมูลการละลายสำหรับโลหะไฮดรอกไซด์และออกไซด์สามารถที่จะหาได้จากแหล่งต่างๆ อย่างไรก็ตามการตรวจดูอย่างระมัดระวังของข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า พวกนี้ไม่สอดคล้องกับการละลายน้ำของโลหะออกไซด์หรือออกไซด์บางส่วน ในบางกรณีความแตกต่างคือ Order of magnitude ความแตกต่างนี้เกิดขึ้นจาก ความแตกต่างทางด้านวิธีการทดลองที่ใช้เพื่อรวบรวมข้อมูล , การเปลี่ยนแปรของขนาด และรูปผลึกของส่วนของแข็ง , อุณหภูมิขณะทำการทดลอง , ค่า pH , ระยะเวลา , ความสามารถในการวิเคราะห์และเทคนิคทางด้านการคำนวณ สาเหตุง่ายๆ อย่างหนึ่งของความไม่ถูกต้องคือ การใช้ข้อมูลการละลายที่อาศัยการมีของแข็งที่เป็นผลึกสูงๆ ซึ่งอาจจะเหมาะสมสำหรับนักธรณีวิทยาแต่ไม่เหมาะสมสำหรับวิศวกรที่จะอธิบายสมดุลได้เด่นชัด หลังจากที่เข้าสู่สมดุลเป็นเวลาหลายชั่วโมงด้วยตะกอนซึ่งไม่มีรูปร่างที่แน่นอน (amorphous) หรือตะกอนเสถียรเกิน (metastable) ซึ่งมีความสำคัญในการที่จะเข้าใจว่าการละลายของโลหะจะแปรไปตามค่า pH หรือกล่าวได้ว่ายังไม่เพียงพอในการที่จะรู้ถึงค่าผลการละลาย (Ksp) ของเกลือโลหะ

แนวทางในการปฏิบัติได้มีการจัดทำขึ้นเพื่อประมาณการละลายของโลหะในน้ำจากเทคนิคกระบวนการทางวิศวกรรม (Process engineering perspective) และยังได้เน้นถึงข้อควรระวังซึ่งอาจจะต้องปฏิบัติเมื่อการประมาณการละลายต่ำสุดนั้นจะสามารถทำให้เสร็จผ่านการตกตะกอนที่มีลักษณะเป็นด่าง (Alkaline) ในอุตสาหกรรม รายงานนี้จะแสดงแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เมื่อข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การละลายของข้อมูลเก่าๆ และความเข้าใจในหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถที่จะนำไปใช้ในการประเมินการละลายของโลหะในน้ำบริสุทธิ์ แผนภาพการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ / ออกไซด์ ทั้งหมดได้นำเสนอไว้เพื่อช่วยในการตัดสินใจแก่วิศวกร

Hydrolysis ของโลหะแคตไอออน

พฤติกรรมของโลหะในการละลายจะถูกควบคุมโดยลักษณะเฉพาะทางเคมี คือ ชนิดของโมเลกุล ไอออนที่คงรูป ถ้ามีลิแกนด์ที่ไม่ซับซ้อนกว่าไฮดรอกไซด์ไอออนซึ่งเป็นฟังก์ชันกับค่า pH สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้สามารถที่จะเป็นแคตไอออน (เช่น $M(OH)_{z-1}^{+}$) , โมเลกุลที่เป็นกลาง (เช่น $M(OH)_{z+1}^{-}$) เมื่อ z คือ เลขออกซิเดชันของโลหะ สารประกอบเชิงซ้อน mononuclear , polynuclear นั้นจะประกอบด้วยอะตอมของโลหะมากกว่า 1 (เช่น $M(OH)_{xz-1}^{2+}$) , โมเลกุลที่เป็นกลาง เช่น $M(OH)_z(aq)$ หรือแอนไอออนเช่น $M(OH)_{z+1}^{-}$ เมื่อ z คือ เลขออกซิเดชันของโลหะ สารประกอบเชิงซ้อน mononuclear , polynuclear นั้นจะประกอบด้วยอะตอมของโลหะมากกว่า 1 (เช่น $M_x(OH)_{xz-2}^{+2}$) ซึ่งสามารถอยู่ในรูปนี้ได้ในบางกรณี ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทั้งหมดเหล่านี้มีความสำคัญใน aqueous chemistry และความสามารถในการละลายของโลหะในน้ำด้วย

การไฮโดรซิสแคตไอออนของโลหะได้มีการศึกษามาเป็นเวลาหลายปี Baes (ขณิษฐา,2539) และ Mesmer (ขณิษฐา,2539) ได้เสนอการอภิปรายในเรื่องชนิดของปฏิกิริยาที่พบเห็นในการไฮโดรซิสแคตไอออนของโลหะ ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาต่างๆ เหล่านี้ รายละเอียดของสมดุลสำหรับปฏิกิริยาแต่ละปฏิกิริยา และผลของค่า pH ที่มีผลต่อการละลาย Stumm (ขณิษฐา,2539) Margoon (ขณิษฐา,2539), Snoeyink (ขณิษฐา,2539) และ Jenkins (ขณิษฐา,2539) ก็ให้ความเห็นเช่นเดียวกันว่า หลักทางเคมีและเทอร์โมไดนามิกส์ของไฮโดรไลซิสไอออนของโลหะ

ถ้าความเข้มข้นของไอออนของโลหะนั้นต่ำพอที่จะไม่เกิดการตกตะกอนเมื่อ pH สูงขึ้น การเพิ่มของลิแกนด์ OH^- ให้กับแคตไอออนของโลหะเดี่ยวๆ M , เกิดขึ้นเป็นขั้นๆ จนทั้งหมดเป็น 3 หรือ 4 สำหรับแคตไอออนของโลหะที่เป็น divalent และ trivalent

$$M^{z+} \rightarrow MOH^{(z-1)+} \rightarrow M(OH)_2^{(z-2)+} \rightarrow M(OH)_3^{(z-3)+} \rightarrow M(OH)_4^{(z-4)+} \quad (1)$$

ปฏิกิริยาการเกิดของ mononuclear เหล่านี้เขียนเป็น

$$M^{z+} + yOH^- \leftrightarrow M(OH)y^{(z-y)+} \quad (2)$$

โดยที่ y คือ จำนวนกลุ่มของ OH^- ลิแกนด์ที่สร้างพันธะกับแคตไอออนของโลหะ ในเทอมของการเกิดทั้งหมดหรือค่า stability constant , βy ในสารละลายที่เจือจางมากๆ สมดุลสำหรับปฏิกิริยาที่ (2) คือ

$$\beta y = \frac{\{ M(OH)^{(z-y)+} \}}{\{M^{z+}\} \{OH^-\}} \quad (3)$$

ค่าในวงเล็บ { } คือ ค่า activity ของแต่ละตัวซึ่ง activity จะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละตัวในหน่วย molar (mol/kgH_2O) และ activity coefficient ของมัน (γl) ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความแรงของไอออน (ionic strength) ขนาด ion และประจุไอออน (z) Stumm (ขณิษฐา,2539) , Morgan (ขณิษฐา,2539) และ Zemaitis (ขณิษฐา,2539) ได้เสนอการอภิปรายว่าจะประมาณ activity coefficients สำหรับชนิดของไอออน (ionic species) สำหรับสารละลายเจือจางมากๆ (เหมือนกับ ionic strength เข้าใกล้ศูนย์) activity ของแต่ละตัวจะประมาณว่าเท่ากับความเข้มข้นของมันในหน่วย molar

$$\{M^{Z+}\} \quad = \quad \sim [m^{Z+}]$$

ปฏิกิริยาสมดุลอื่นๆที่ใช้ได้ คือ การแตกตัวของโลหะไฮดรอกไซด์ เขียนได้เป็น

$$M(OH)z(s) \leftrightarrow M^{z+} + zOH^- \qquad (4)$$

ปฏิกิริยานี้ใช้หา $[M^{z+}]$ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องนำไปใช้ในสมการที่ (3) เพื่อคำนวณค่า activity ของสารประกอบเชิงซ้อนไฮดรอกไซด์ (hydroxide complexes) ในสารละลายสำหรับโลหะออกไซด์นั้นปฏิกิริยาการแตกตัวสามารถเขียนได้เป็น

$$MO_{z/2}(s) \quad + \quad Z/2H_2O \quad \leftrightarrow \quad M^{z+} + zOH^- \qquad (5)$$

ค่าสมดุลสำหรับสมการที่ (4) และ (5) เขียนได้เป็น

$$Ksp \quad = \quad [M^{z+}][OH^-]^z \qquad (6)$$

โดยที่ Ksp คือ ค่าความสามารถในการละลายของไฮดรอกไซด์หรือออกไซด์ของของแข็ง ค่า activity ของน้ำ(H_2O)ที่ไม่ได้แสดงไว้ในสมการที่ (6) เพราะว่าประมาณค่าเป็น 1.0 ในระบบที่เจือจาง

สำหรับพวก polynuclear , $M_x(OH)_y^{(xz-y)+}$ ได้มีการระบุและบอกลักษณะโครงสร้างสำหรับจำนวนของโลหะในสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูงกว่า เช่น $[M^{z+}]$ จะประมาณได้ 10^{-4} ถึง 10^{-3} molal อย่างไรก็ตาม Baes (ขณิษฐา,2539) และ Mesmer (ขณิษฐา,2539) ได้แสดงว่ากราฟแสดงการละลายสำหรับ Cr(III) และ Pb(II) เท่านั้นที่มีความเป็นไปได้ที่จะได้รับผลกระทบต่อการประเมินค่าโดยสารประกอบเชิงซ้อน poynuclear สำหรับโลหะที่มี valence IV หรือน้อยกว่า พวก polynuclear โดยปกติจะเป็น cation และช่วยให้เส้นกราฟอยู่ในช่วง pH ต่ำสุดเท่านั้น และมีการละลายสูงสุด ในการศึกษานี้สำหรับหลายๆเหตุผลนั้น พวก polynuclear จะถูกสมมุติว่าตัวส่งเสริมไม่มีความสำคัญต่อการละลายโลหะในช่วงเวลาของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ประการแรก สัดส่วนของ polynuclear complexes ประการที่ 2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสำหรับ polynuclear species ช้าเมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาของ mononuclear species โดยเฉพาะที่อุณหภูมิในการปฏิบัติงานต่ำ ประการที่ 3 เมื่อพิจารณาผลกระทบของโลหะต่อสิ่งแวดล้อม ถูกดูดซับบนของแข็งได้สูงและความสามารถในการละลายของ polynuclear complexes ต่ำโดยทั่วไปจะละเว้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. $KMnO_4$ เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB SCAN
2. Sulfamic acid เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB SCAN
3. Ag_2SO_4 เกรดวิเคราะห์ บริษัท ITALMAR (THAILAND)
4. Conc. H_2SO_4 เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB SCAN
5. Ferroin indicator solution เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB SCAN
6. $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 .6H_2O$ (FAS) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
7. $K_2Cr_2O_7$ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
8. KI เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
9. I_2 เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
10. $Na_2 S_2O_3$ 0.1N เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
11. น้ำแป้ง
12. NaOH เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
13. $Zn(C_2H_3O_3)_2 .2H_2O$ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
14. NaOH 6 N เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
15. Conc. HNO_3 เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
16. Na_2S เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
17. NaHS เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
18. $Na_2 S_2O_3$ เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
19. สารละลายมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก โครเมียม เงิน และเหล็ก เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ปิเปต (pipette)
2. บิวเรต (burette)
3. บีกเกอร์ (beaker)
4. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)
5. กระบอกตวง (measuring cylinder)
6. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
7. ปากคีบ (forceps)
8. ตัวหนีบยึด (clamp)
9. หลอดหยด (dropper)
10. ช้อนตักสาร (spatula)
11. แท่งแก้วคน (glass rod)
12. กรวยแก้ว (glass funnel)
13. ตู้ดูดควัน (hood)
14. เตาไฟฟ้า (hot plate)
15. เดซิกเคเตอร์ (desicator)
16. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
17. เครื่องควบแน่น (condenser)
18. กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
19. ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิ (oven)
20. ถ้วยระเหย (evaporating bowl)
21. เครื่องจาร์เทสต์ (Jar test apparatus)
22. ขวดก้นกลม (round bottom flask)
23. ชุดกรองบุชเนอร์ (Buchner filter)
24. เครื่องดูดสูญญากาศ (vacuum pump)
25. อุปกรณ์รีฟลักซ์ (reflux apparatus)
26. เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer)
27. เครื่องชั่งสารแบบละเอียด (analytical balance) ยี่ห้อ SWISS QUALITY รุ่น PRECISA 205A
28. เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic Absorption Spectrophotometer) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น 760

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น พิจารณาในแง่ของ

1. แหล่งที่มาของน้ำทิ้งที่นำมาทำการทดลอง
2. วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ซีโอดี

3.3.2 การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยใช้สารเคมีในการตกตะกอน

1. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีมารวบรวมไว้
2. นำน้ำตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักเริ่มต้น ได้แก่ โครเมียม เหล็กและเงิน ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
3. ทดสอบการตกตะกอนของโลหะหนัก โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว และโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารเคมี 3 ชนิด ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์,โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไธโอซัลเฟตโดยทำการแปรค่าปริมาณสารเคมีที่ใช้ตามปริมาณเท่าทางทฤษฎี คือ 0.5,1.0,2.0 และ 3.0 เท่า ตามลำดับและค่าพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอน คือ 6,7,8,9,10 และ 11 ตามลำดับ
4. ใช้เครื่องจาร์เทสต์กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที นาน 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที นาน 40 นาที
5. ตั้งทิ้งไว้ให้ตะกอนจมตัว แยกน้ำออกจากตะกอนแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลือในน้ำ

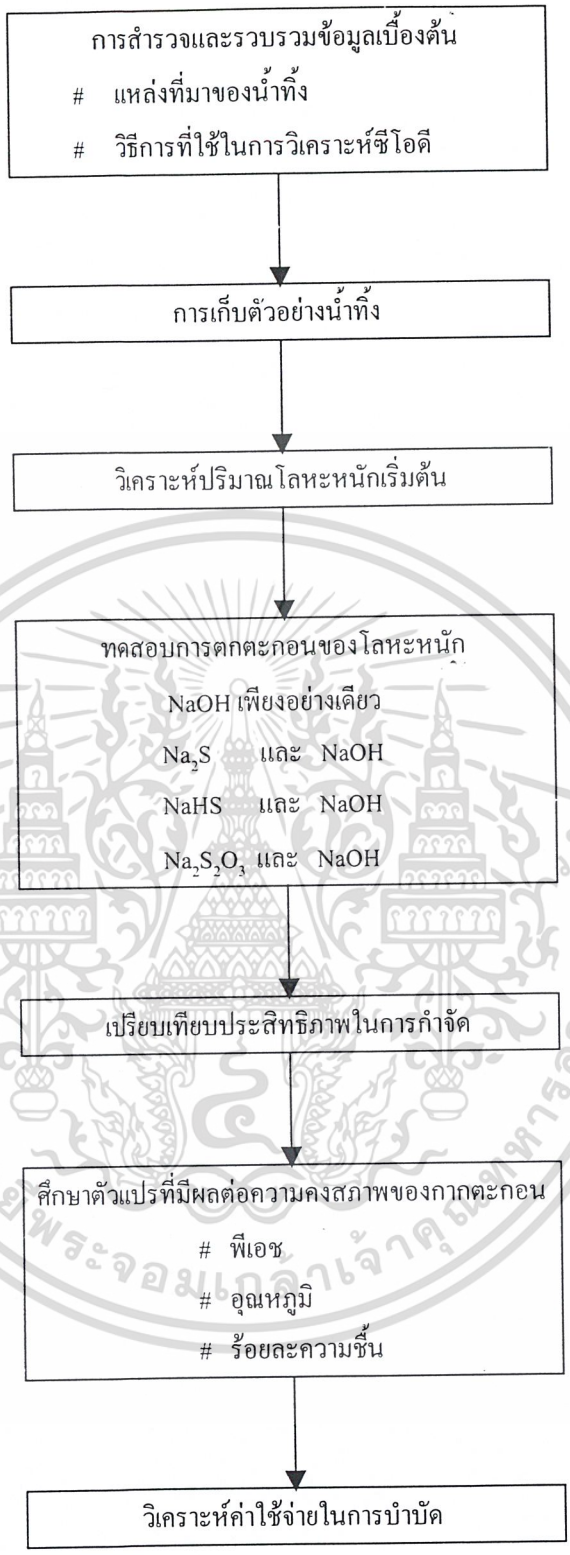
3.3.3 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความคงสภาพ (Stabilization) ของกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย

1. นำตะกอนที่ได้จากการบำบัดข้างต้นมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด โดยดำเนินการวิเคราะห์ตาม Standard Practice for Nitric Acid Digestion of Solid Waste(ASTM No.D 5198-92)
2. ศึกษาผลของการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน โดยทำการแปรค่าสภาวะต่างๆ ของกากตะกอน ได้แก่ พีเอช คือ 4,5,6,7,8 และ 9 ตามลำดับ อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิห้อง , 65 องศาเซลเซียส ,85 องศาเซลเซียส และ 105 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และร้อยละความชื้น คือ 75 ± 5 ,55 ± 5 ,35 ± 5 และ 15 ± 5 ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ละลายอยู่ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

3.3.4 การศึกษาและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

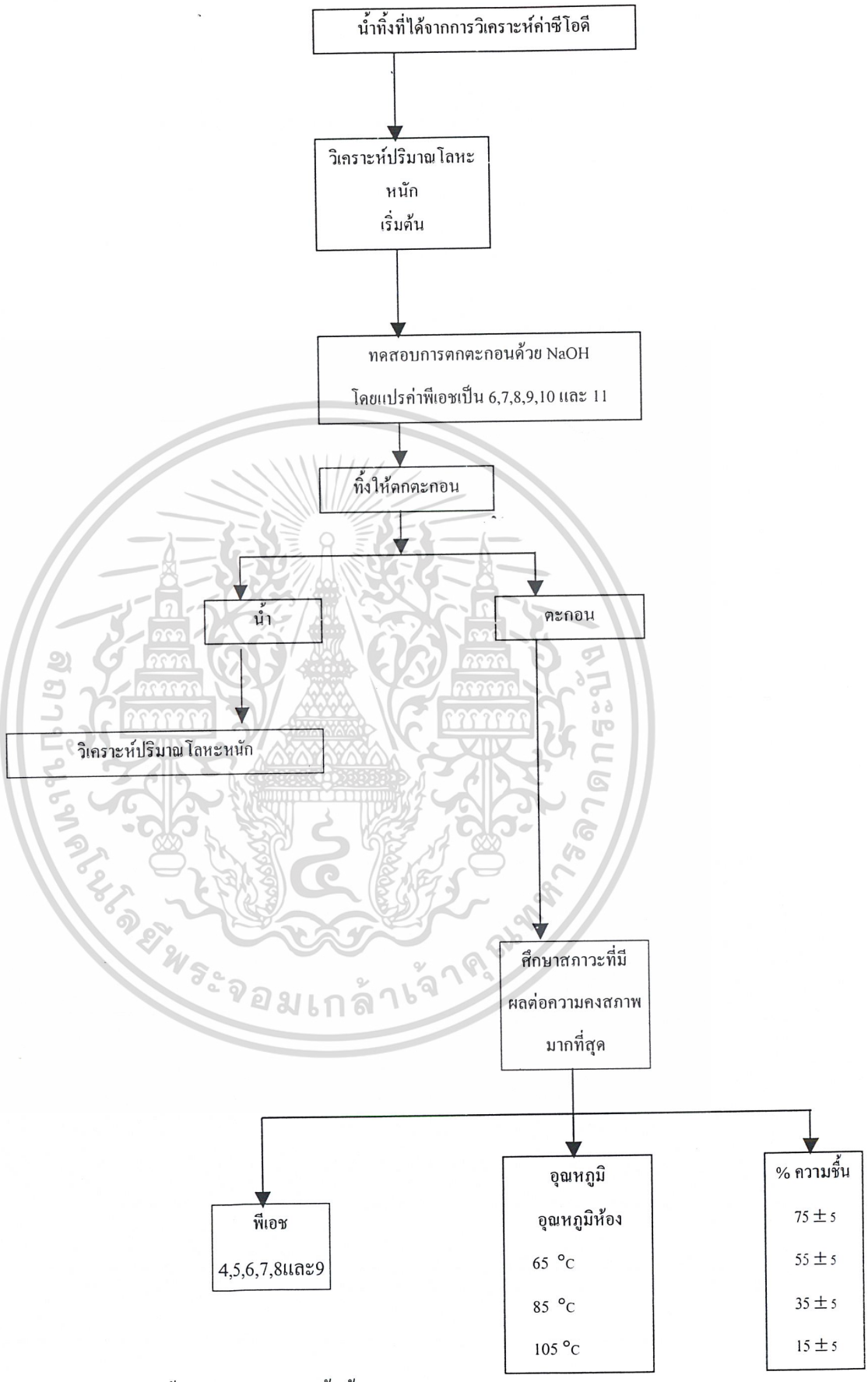
คำนึงถึงราคาสารเคมีและปริมาณที่เหมาะสมที่สุด ตลอดจนสามารถนำไปใช้ได้สำหรับห้องปฏิบัติการจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



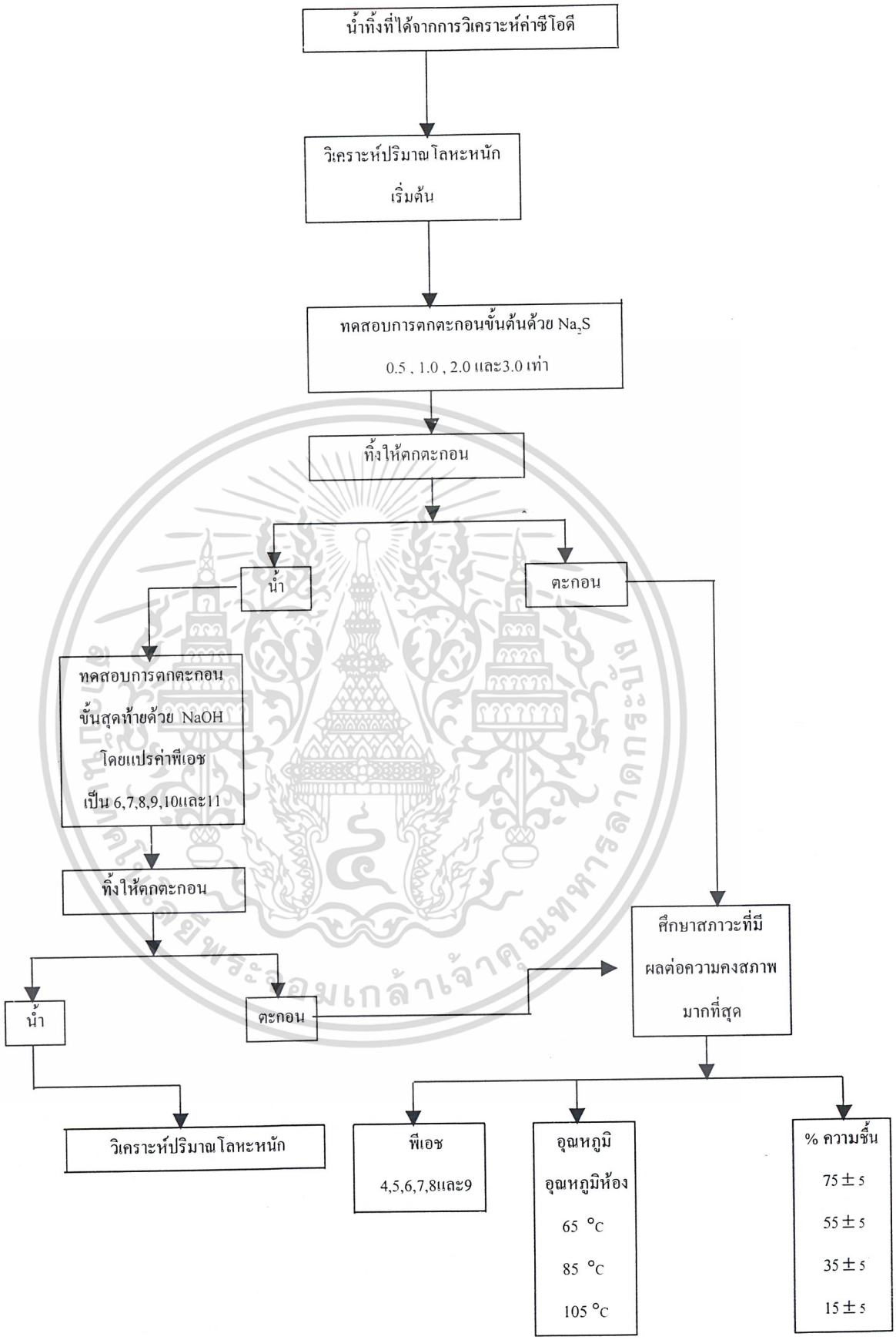
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



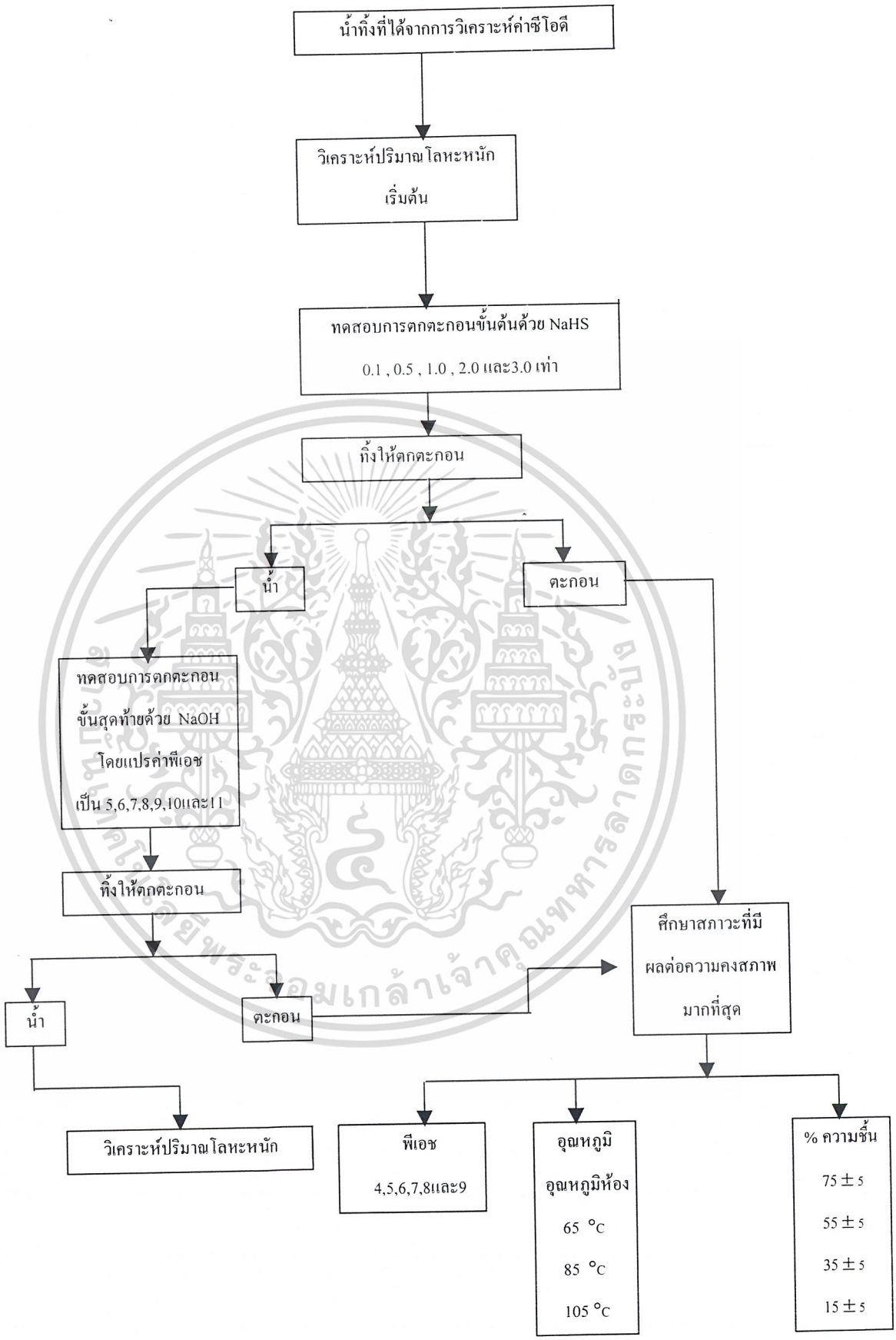
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วย NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



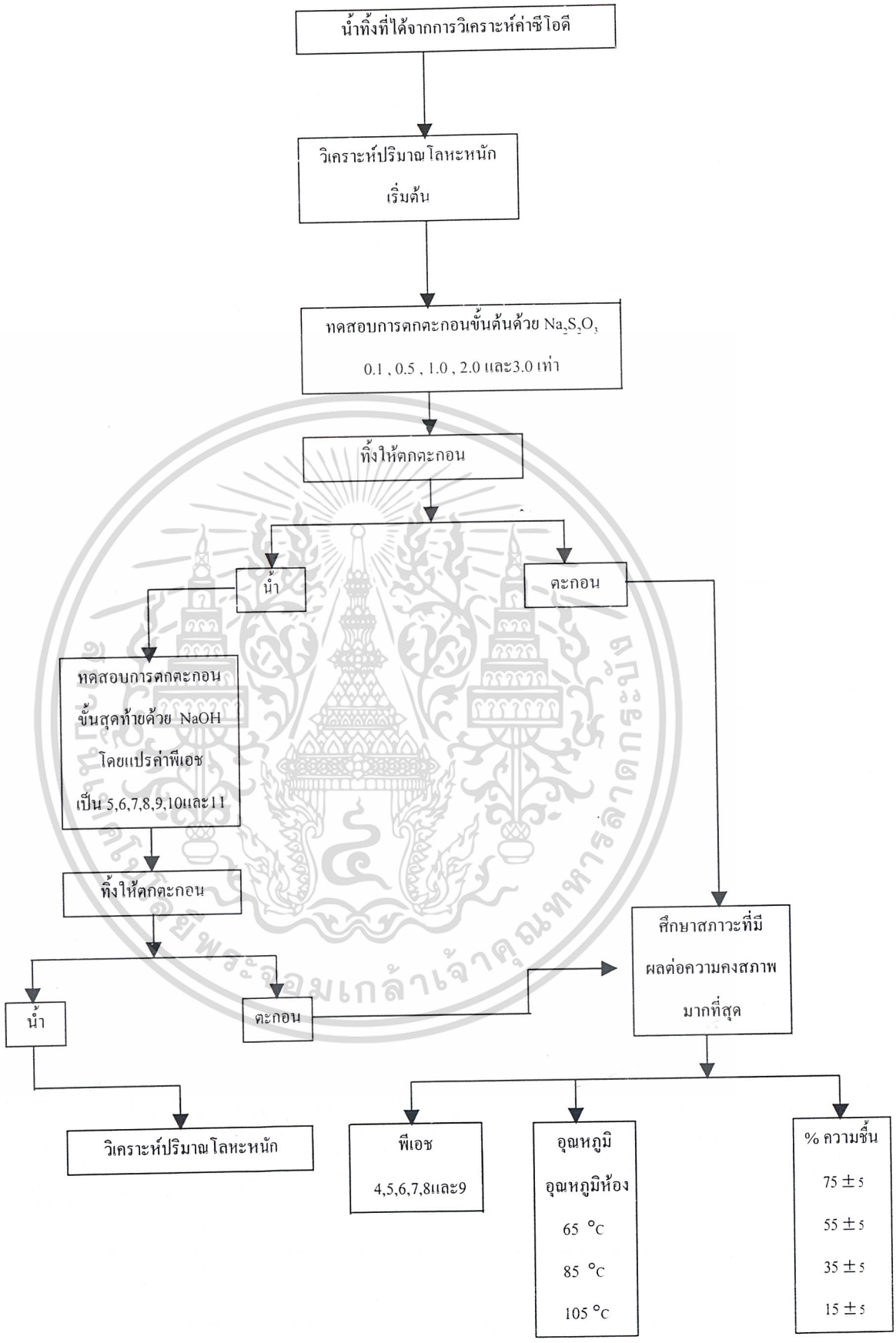
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วย Na_2S และ NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วย NaHS และ NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการบำบัดน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วย $Na_2S_2O_3$ และ NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

4.1.1 แหล่งที่มาของน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง

แหล่งที่มาของน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองนั้นได้มาจากห้องปฏิบัติการทั้งหมด 2 แห่ง คือ ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และห้องปฏิบัติการของบริษัท เทสท์เทค จำกัด ซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่ได้จากการทดลองหาค่าความต้องการออกซิเจนในน้ำโดยใช้สารเคมีในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ หรือที่เรียกว่า ซีโอดี

4.1.2 วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี เป็นไปตามวิธีมาตรฐาน (standard methods) คือ วิธีการรีฟลักซ์แบบเปิด (open reflux method) ซึ่งจะมีจำนวนตัวอย่างน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีของห้องปฏิบัติการ

รายชื่อห้องปฏิบัติการ	วิธีการวิเคราะห์	จำนวนตัวอย่างเฉลี่ยต่อเดือน	การบำบัดน้ำเสีย
1. ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	แบบเปิด	4	ไม่มี
2. บริษัท เทสท์เทค จำกัด	แบบเปิด	200-300	ไม่มี

จากวิธีวิเคราะห์ซีโอดีแบบเปิด จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากวิธีการดังกล่าวมีค่าที่ต่างกันด้วย ทั้งนี้สามารถดูวิธีการวิเคราะห์ได้จากภาคผนวก ข. ในวิธีการแบบเปิด จะได้น้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละตัวอย่าง ประมาณ 150-300 มิลลิลิตร ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความสกปรกของน้ำเสียที่นำมาทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยจะใส่ปริมาณของน้ำที่จะนำมาทำการวิเคราะห์กับปริมาณสารเคมีที่แตกต่าง ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ซีโอดีแบบเปิด (กรรณิการ์, 2535)

Sample size (ml)	0.25 N Standard dichromate (ml)	Conc.H_2SO_4 with Ag_2SO_4 (ml)	$HgSO_4$ g.	Normality of $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$	Final volume before titration (ml)
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียซีโอดีจะมีสีฟ้าอมเขียว ลักษณะสารละลายใสมีความเป็นกรดสูงมาก เนื่องจากในการทดลองหาค่าซีโอดีมีการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น เพื่อใช้ออกซิไดส์สารอินทรีย์ ปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ โครเมียม เหล็กและเงิน จะมีค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยเริ่มต้นที่ทำการตรวจวัดของห้องปฏิบัติการ

รายชื่อห้องปฏิบัติการ	ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	Cr	Fe	Ag
1. ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	276.50	595.00	560.75
2. บริษัท เทสท์เทค จำกัด	392.00	615.90	340.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยใช้สารเคมีในการตกตะกอน

เนื่องจากในการทำวิจัยนี้ วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด 3 ชนิด แต่มาตรฐานน้ำทิ้งกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานของโครเมียมเท่านั้น ส่วนเหล็กและเงินไม่ได้กำหนดเป็นมาตรฐาน ดังนั้นในการเลือกพิจารณาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม จะดูปริมาณสารเคมีที่สามารถกำจัดโครเมียมให้ได้ตามมาตรฐาน คือไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเหล็กและเงินนั้นจะให้เหลือปริมาณอยู่ในน้ำไม่เกิน 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก)

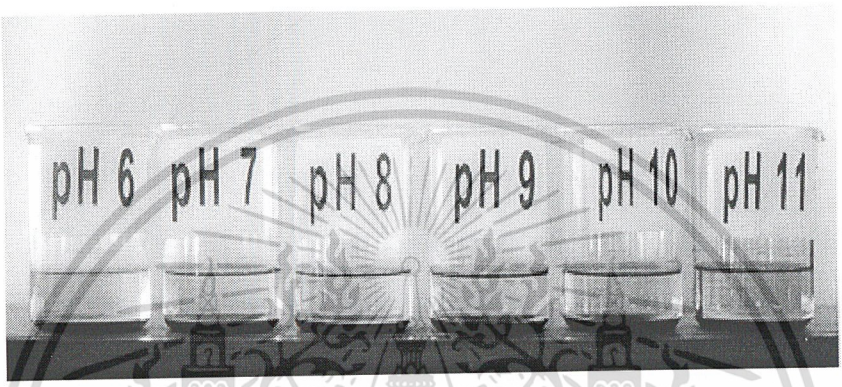
4.2.1 การทดสอบการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในการตกตะกอน เมื่อปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11 ตั้งทิ้งให้ตะกอนจมตัว แยกน้ำออกจากตะกอน แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักที่เหลือในน้ำ ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์แสดงดังตารางที่ 4.4 ตามทฤษฎีการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อโลหะหนักรวมตัวกับไฮดรอกไซด์ไอออน จะได้โลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพวกแอมโฟเทอริกคือ ที่ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงไปอาจทำให้มีความสามารถในการละลายเปลี่ยนไปด้วย

เมื่อพิจารณาการกำจัดโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11 พบว่าสามารถกำจัดเหล็กได้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ส่วนเงินสามารถกำจัดได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดที่พีเอช 8-10 เท่านั้น และไม่สามารถกำจัดโครเมียมให้มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดทุกค่าพีเอช ดังนั้น จึงเลือกค่าพีเอช 9 โดยสามารถกำจัดโครเมียม เหล็ก และเงินได้เท่ากับ 16.9, 0.66 และไม่สามารถตรวจวัดได้ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ร้อยละ 95.69, 99.89 และ100.00 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าไม่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนไฮดรอกไซด์โลหะหนักได้ทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากโลหะไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งจะทำให้การตกตะกอนโลหะหลายชนิดเป็นไปได้ยากในการในการที่จะได้ปริมาณโลหะหนักที่เหลือให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด แม้ว่าประสิทธิภาพโลหะหนักในแต่ละชนิดจะสูง จึงจำเป็นจะต้องมีสารอื่นมาช่วยในการตกตะกอนต่อไปอีก

ส่วนลักษณะของตะกอนที่ได้จะมีน้ำหนักเบา สีน้ำตาลเข้ม จมตัวได้ดี การแยกตะกอนออกจากน้ำใสกระทำได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



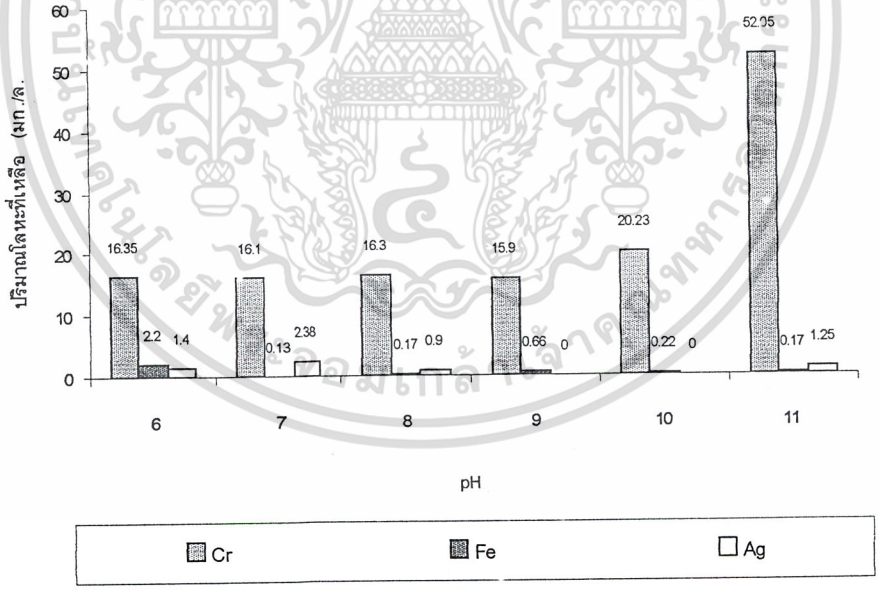
รูปที่ 4.1 การตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอชตั้งแต่ 6-11

พีเอช	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด					
	โครเมียม		เหล็ก		เงิน	
	มก./ล.	%	มก./ล.	%	มก./ล.	%
6	16.35	95.83	0.20	99.97	1.40	99.59
7	16.10	95.89	0.13	99.98	2.38	99.30
8	16.30	95.84	0.17	99.97	0.90	99.34
9	16.90	95.69	0.66	99.89	ND	100.00
10	20.22	94.84	0.22	99.96	ND	100.00
11	52.05	86.72	0.17	99.97	1.25	99.63

หมายเหตุ ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดสอบการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์

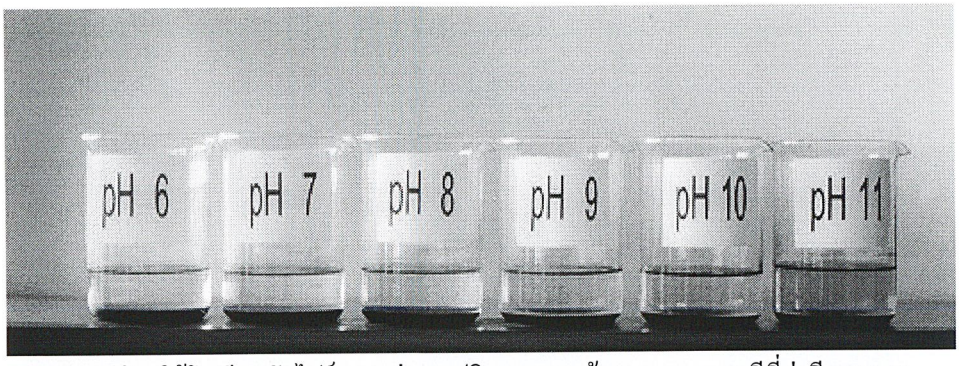
ในการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ โดยเติมสารเป็นจำนวนเท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีดังนี้คือ 0.5, 1.0, 2.0 และ3.0 เท่า ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นกรัมของโซเดียมซัลไฟด์จะได้เท่ากับ 0.0779, 0.1556, 0.3118 และ 0.4676 กรัมต่อน้ำทิ้ง 250 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6 ถึง 11 ตั้งทิ้งให้ตะกอนจมตัว แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักที่เหลือในน้ำ ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังตารางที่ 4.5

เมื่อพิจารณาการกำจัดโลหะหนักด้วยโซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าที่ปริมาณของโซเดียมซัลไฟด์เป็น 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี จะไม่สามารถกำจัดโลหะหนักให้เหลือในน้ำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดได้ เมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมซัลไฟด์เป็น 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พบว่าสามารถกำจัดเงินที่พีเอช 10 และ 11 ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (0.03 และ 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ส่วนโลหะโครเมียมและเหล็ก ไม่สามารถกำจัดให้ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด เมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมซัลไฟด์เป็น 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พบว่าสามารถกำจัดเงินที่พีเอช 8, 9 และ11 ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (1.00, 0.88 และ 0.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ส่วนโลหะโครเมียมและเหล็ก ไม่สามารถกำจัดให้ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด และเมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมซัลไฟด์เป็น 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พบว่าสามารถกำจัดโครเมียมให้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดที่ พีเอช 6, 7 และ 8 (ไม่สามารถตรวจวัดได้ที่พีเอชทั้งสาม) และสามารถกำจัดเงินให้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ที่พีเอช 7, 8, 9 และ10 (1.00, 0.92, 0.85 และ 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ส่วนโลหะโครเมียมและเหล็ก ไม่สามารถกำจัดให้ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด

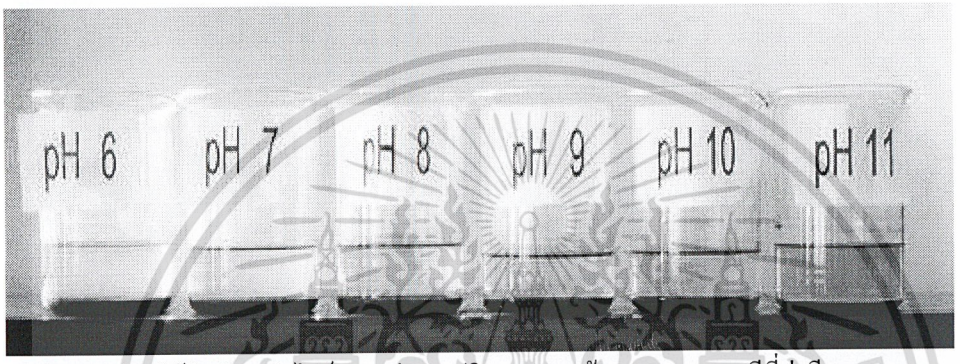
ดังนั้น จึงเลือกใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เป็น 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 7 จะสามารถกำจัดโลหะหนักให้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดได้ 2 ชนิดคือ โครเมียมและเงิน (ไม่สามารถตรวจวัดได้ และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ส่วนเหล็กจะสามารถกำจัดได้เกินมาตรฐานที่กำหนด ปริมาณโครเมียม เหล็กและเงินที่เหลือในน้ำเท่ากับ ไม่สามารถตรวจวัดได้ , 8.12 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้เท่ากับร้อยละ 100, 98.63 และ 99.82 ตามลำดับ และลักษณะของตะกอนที่ได้มีน้ำหนักเบา สีน้ำตาลเข้ม จมตัวได้ดี การแยกตะกอนออกจากน้ำใสกระทำได้ยากค่อนข้างยาก สำหรับการทดลองนี้ เป็นการตกตะกอนซัลไฟด์ จึงทำให้มีปริมาณของซัลไฟด์ไอออนที่เหลือในน้ำ กรณีที่มีซัลไฟด์ไอออนเกิน 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องทำการบำบัดซัลไฟด์ก่อนปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ในกรณีนี้จะมีปริมาณซัลไฟด์เหลือเท่ากับ 1.58 มิลลิกรัมต่อลิตร (โดยวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ไอออน แสดงในภาคผนวก ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

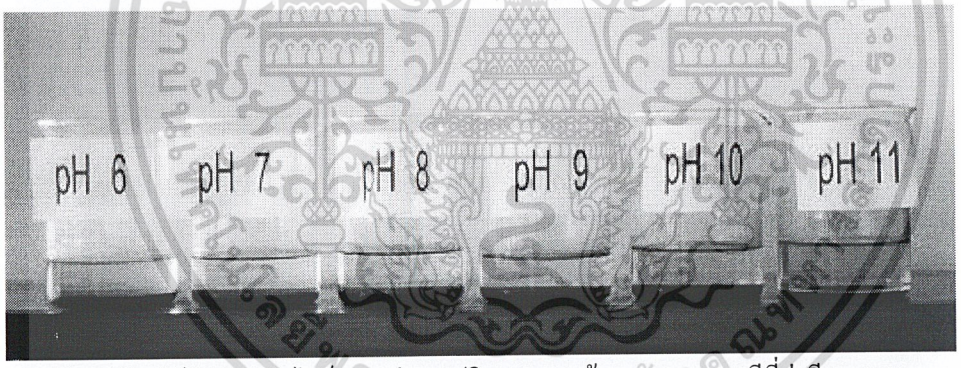
การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11



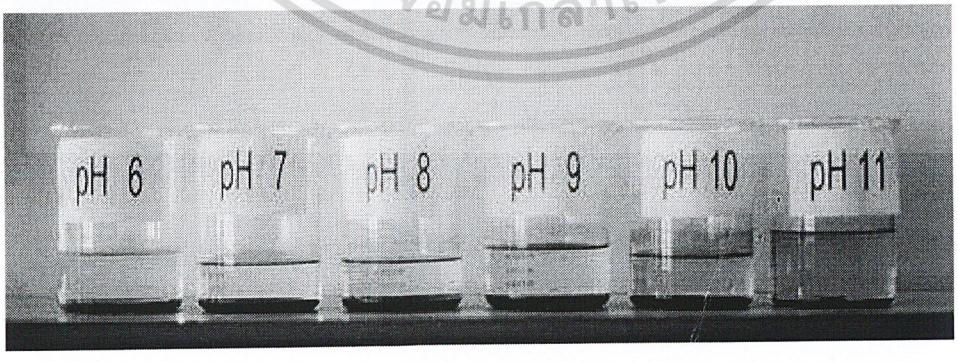
การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11



การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11



การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11



รูปที่ 4.3 การตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการตกตะกอนโลหะ (ก) โครเมียม (ข) เหล็ก และ(ค) เงิน ด้วยโซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์

(ก) โครเมียม

พีเอช	ปริมาณโครเมียมที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด							
	0.5 เท่า		1.0 เท่า		2.0 เท่า		3.0 เท่า	
	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)
6	29.35	89.39	32.13	88.38	38.05	86.24	ND	100.00
7	26.30	90.49	29.85	89.20	37.75	86.35	ND	100.00
8	28.10	89.84	33.05	88.05	38.10	86.22	ND	100.00
9	27.30	90.13	38.40	86.11	40.20	85.46	7.13	97.42
10	53.50	80.65	52.65	80.96	42.05	84.79	2.50	99.10
11	100.78	63.55	121.03	56.23	131.38	52.49	103.75	62.48

หมายเหตุ ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

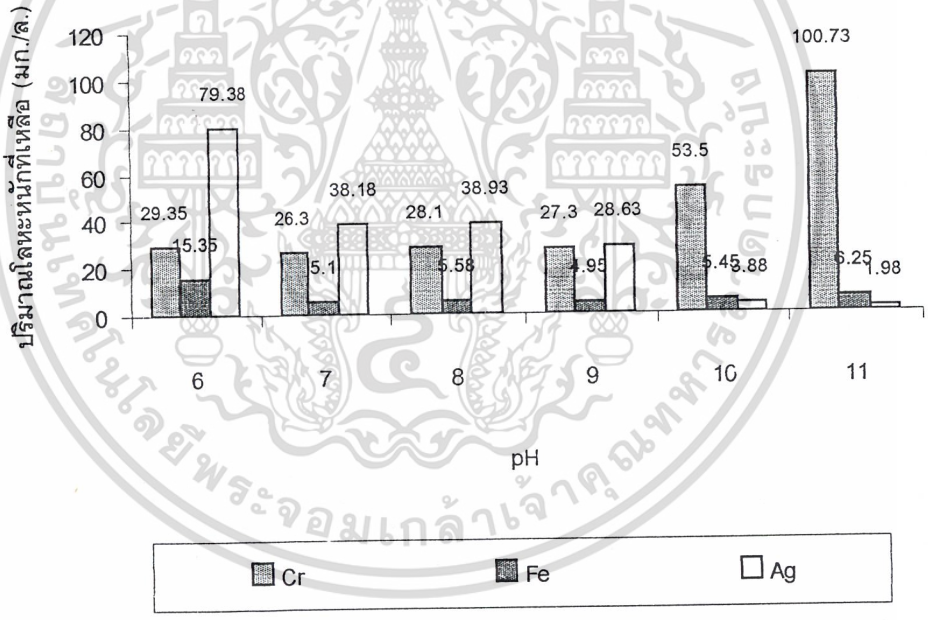
(ข) เหล็ก

พีเอช	ปริมาณเหล็กที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด							
	0.5 เท่า		1.0 เท่า		2.0 เท่า		3.0 เท่า	
	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)
6	15.35	97.42	9.15	98.46	7.43	98.75	8.08	98.64
7	5.10	99.14	6.75	98.87	7.20	98.79	8.13	98.63
8	5.58	99.06	7.85	98.68	7.55	98.73	8.80	98.52
9	4.95	99.17	8.38	98.59	9.48	98.41	8.85	98.51
10	5.45	99.08	8.30	98.61	8.40	98.59	8.93	98.50
11	6.25	98.95	5.38	99.10	7.63	98.72	14.35	97.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

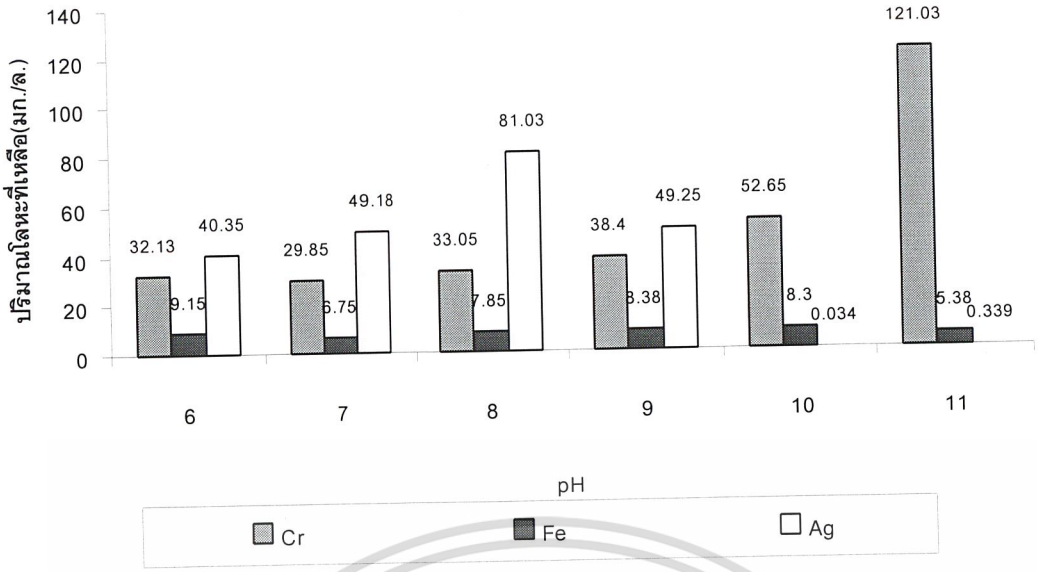
(ก) เงิน

พีเอช	ปริมาณเงินที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด							
	0.5 เท่า		1.0 เท่า		2.0 เท่า		3.0 เท่า	
	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)
6	79.38	85.84	40.35	92.80	46.15	91.77	2.10	99.62
7	38.18	93.19	49.18	91.23	22.63	95.97	1.00	99.82
8	38.93	93.06	81.03	85.55	1.00	99.82	0.93	99.84
9	28.63	94.90	49.25	91.22	0.88	99.84	0.85	99.85
10	3.88	99.31	0.03	99.99	1.18	99.79	0.80	99.86
11	1.98	99.65	0.34	99.94	0.68	99.88	4.93	99.12

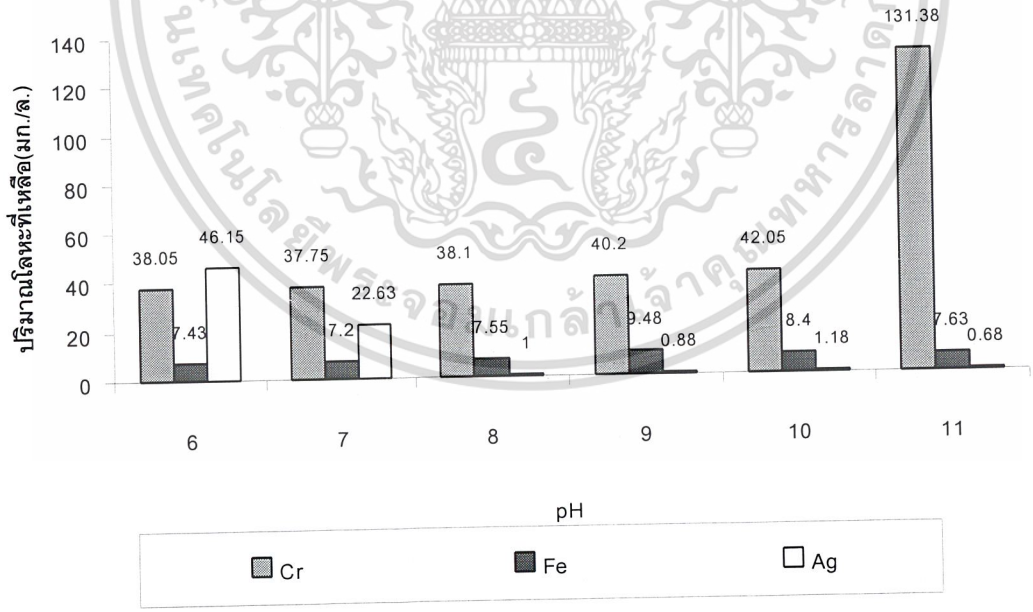


รูปที่ 4.4 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

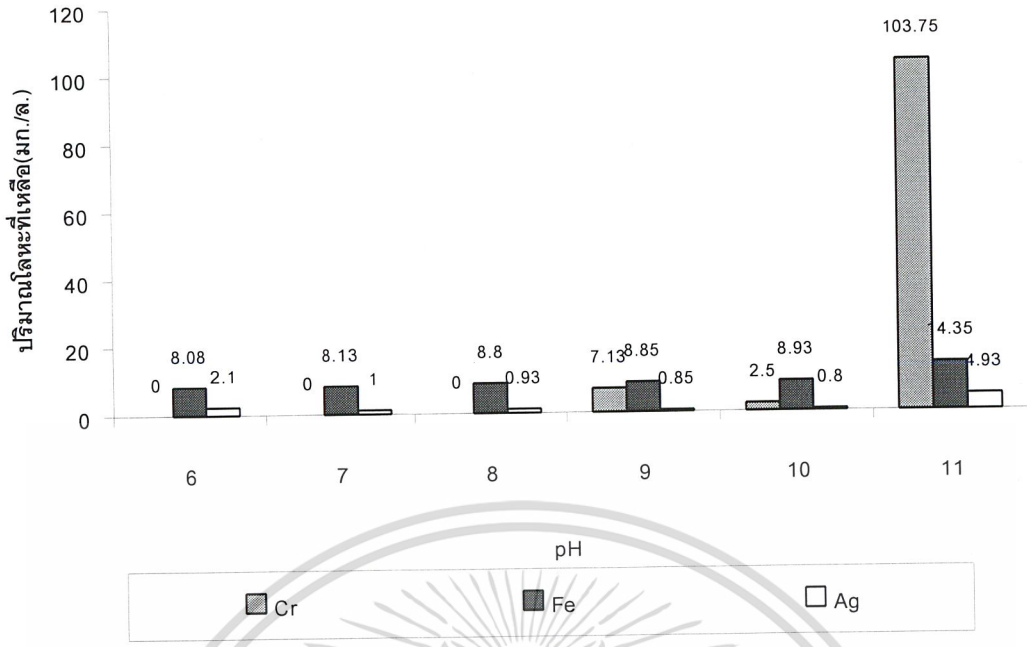


รูปที่ 4.5 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.6 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์

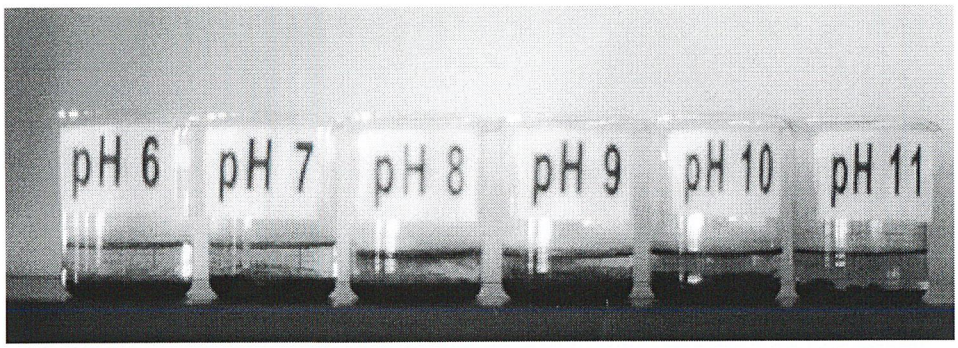
ในการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเติมสารเป็นจำนวนเท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีดังนี้คือ 0.5, 1.0, 2.0 และ3.0 ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นกรัมของโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์จะได้เท่ากับ 0.0146 , 0.0292 , 0.0583 และ 0.0875 กรัมต่อน้ำทิ้ง 250 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6 ถึง 11 ตั้งทิ้งให้ตะกอนจมตัว แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักที่เหลือในน้ำ ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังตารางที่ 4.6

เมื่อพิจารณาการกำจัดโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าที่ปริมาณของโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น0.5,1.0,2.0 และ3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี จะสามารถกำจัดเงินให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดได้ที่พีเอช 6, 7, 8, 9, 10 และ11 ส่วนโลหะโครเมียมและเหล็ก ไม่สามารถกำจัดให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดได้เช่นเดียวกัน

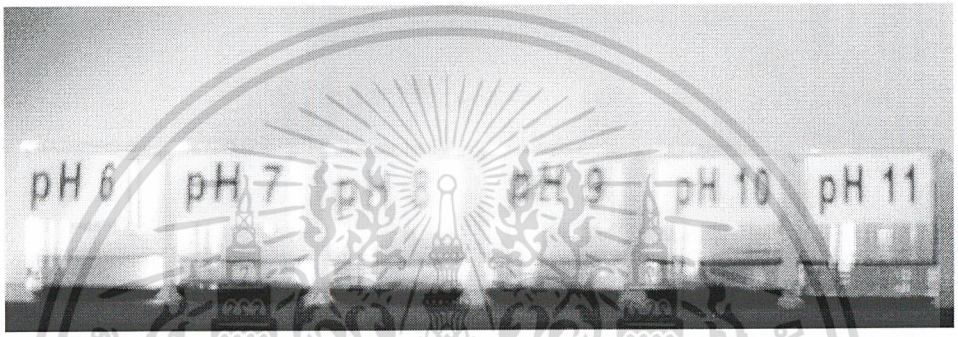
ดังนั้น เลือกใช้ปริมาณโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 7 จะสามารถกำจัดโลหะเงินได้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (0.51มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่ไม่สามารถกำจัดโครเมียมและเหล็กให้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ปริมาณโครเมียม เหล็ก และเงินที่เหลือในน้ำเท่ากับ 11.75, 11.12 และ 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้เท่ากับร้อยละ 97.00, 98.19 และ 99.85ตามลำดับ และลักษณะของตะกอนที่ได้มีน้ำหนักเบา สีน้ำตาลเข้ม จมตัวได้ดี การแยกตะกอนออกจากน้ำใสกระทำได้ยากค่อนข้างยาก สำหรับการทดลองนี้ เป็นการตกตะกอนซัลไฟด์ จึงทำให้มีปริมาณของซัลไฟด์ไอออนที่เหลือในน้ำ กรณีที่มีซัลไฟด์ไอออนเกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องทำการบำบัดซัลไฟด์ก่อนปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ในกรณีนี้จะมีปริมาณซัลไฟด์เหลือเท่ากับ 1.32 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 3.0 เท่า ของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11

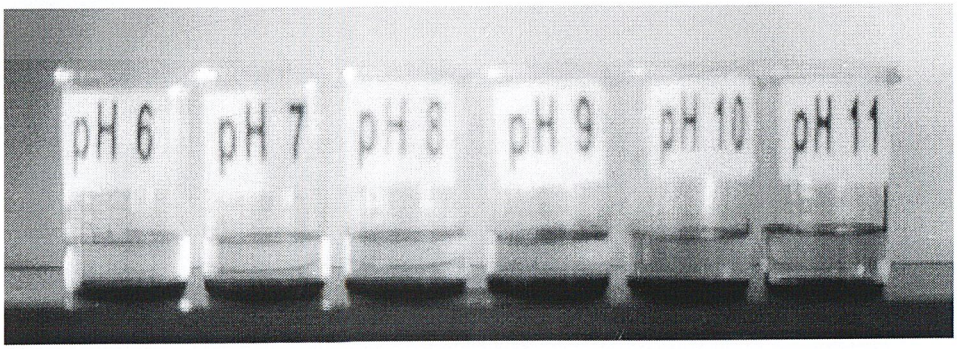


การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11



การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11

การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางหฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11



รูปที่ 4.8 การตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการตกตะกอนโลหะ (ก) โครเมียม (ข) เหล็ก และ(ค) เงิน ด้วยโซเดียม-ไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์

(ก) โครเมียม

พีเอช	ปริมาณโครเมียมที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด							
	0.5 เท่า		1.0 เท่า		2.0 เท่า		3.0 เท่า	
	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)
6	12.50	96.81	28.65	92.69	12.98	96.69	14.35	96.34
7	11.75	97.00	16.86	95.70	14.08	96.41	15.03	96.17
8	19.35	95.06	13.60	96.53	14.28	96.41	15.78	95.72
9	33.38	91.43	14.60	96.28	17.23	95.61	18.13	95.38
10	40.80	89.59	24.20	93.83	17.25	95.60	25.00	93.62
11	101.35	74.15	86.88	77.84	70.70	81.96	127.7	67.42

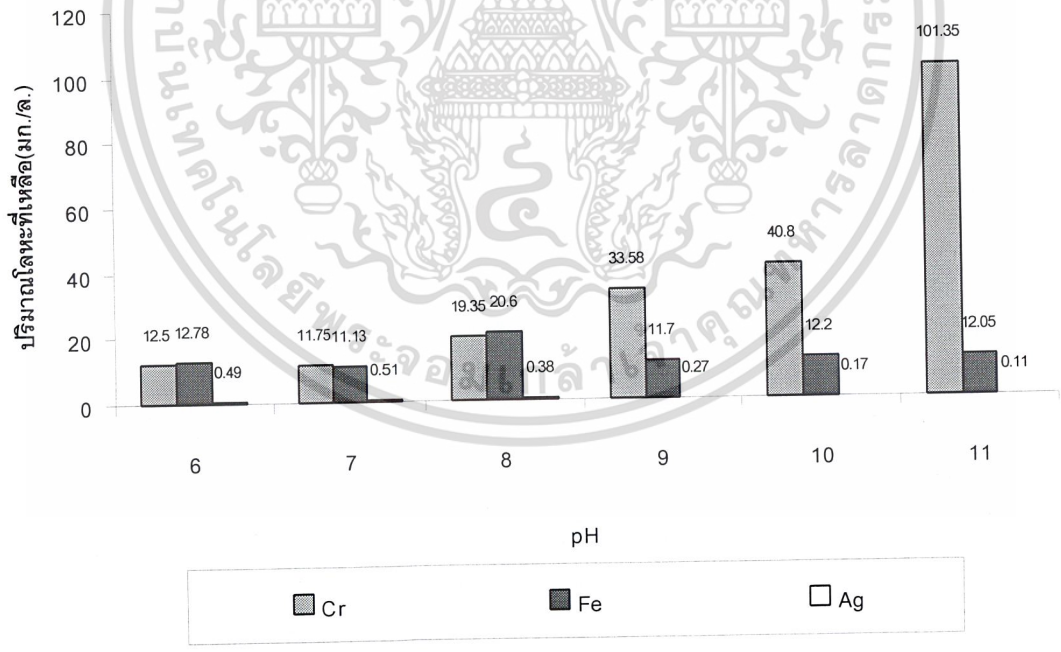
(ข) เหล็ก

พีเอช	ปริมาณเหล็กที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด							
	0.5 เท่า		1.0 เท่า		2.0 เท่า		3.0 เท่า	
	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)
6	12.78	97.93	56.38	90.85	12.88	97.91	11.83	98.08
7	11.13	98.19	26.23	95.74	11.40	98.15	12.15	98.03
8	20.60	96.66	12.10	98.04	12.78	97.92	12.28	98.01
9	11.70	98.10	14.25	97.69	11.23	98.18	12.83	97.92
10	12.20	98.02	9.98	98.38	12.08	98.04	13.55	97.80
11	12.05	98.04	11.43	98.14	11.50	98.13	13.35	97.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

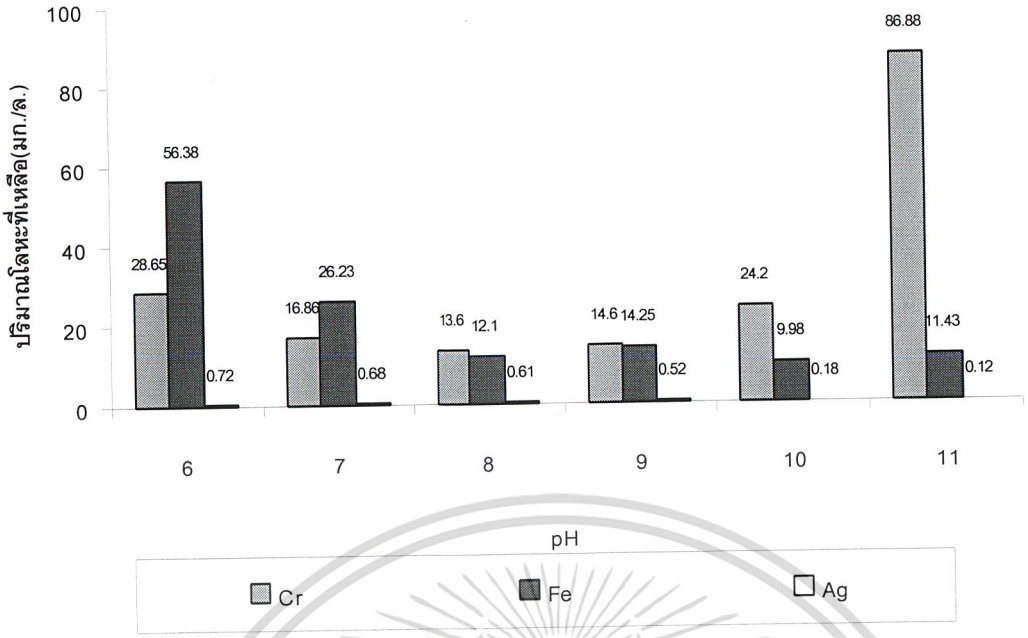
(ค) เงิน

พีเอช	ปริมาณเงินที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด							
	0.5 เท่า		1.0 เท่า		2.0 เท่า		3.0 เท่า	
	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)
6	0.49	99.86	0.72	99.79	0.58	99.83	0.78	99.77
7	0.51	99.85	0.68	99.80	0.45	99.87	0.57	99.83
8	0.38	99.89	0.61	99.82	0.73	99.79	0.09	99.97
9	0.27	99.92	0.53	99.84	0.01	99.99	0.07	99.98
10	0.17	99.95	0.18	99.95	0.00	100.00	0.09	99.98
11	0.11	99.97	0.12	99.96	0.00	100.00	0.06	99.98

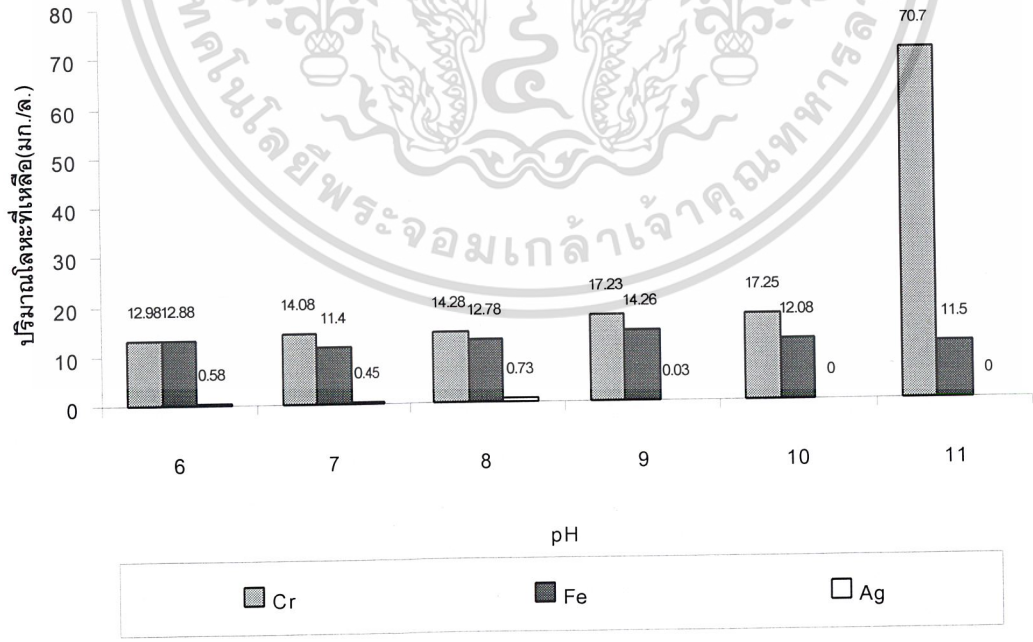


รูปที่ 4.9 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

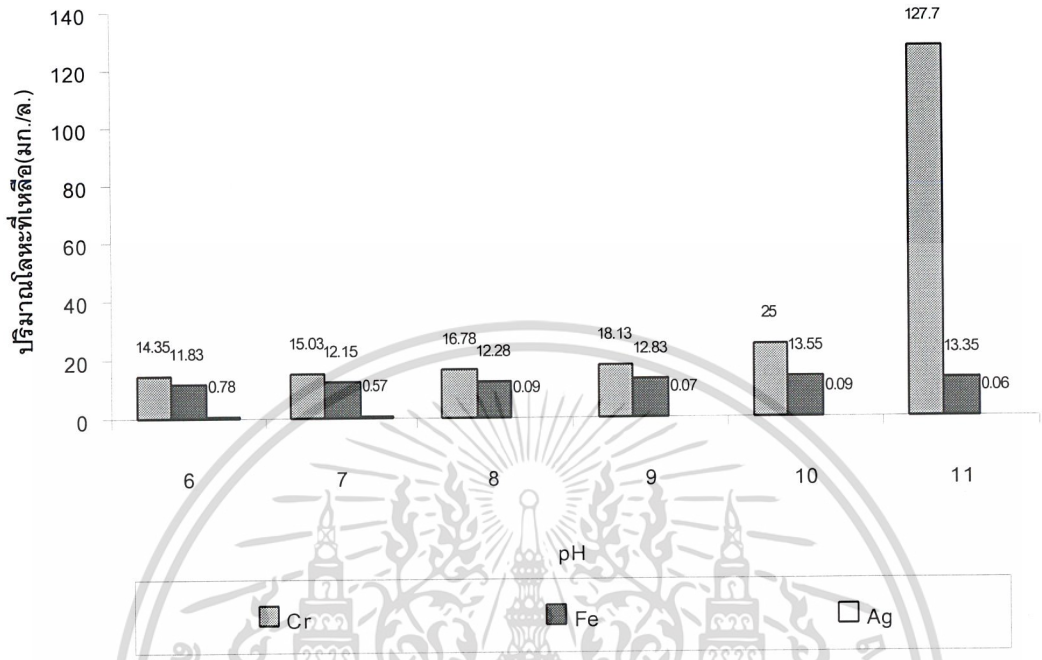


รูปที่ 4.10 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.11 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 <u>การทดสอบการตกตะกอนด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์</u>

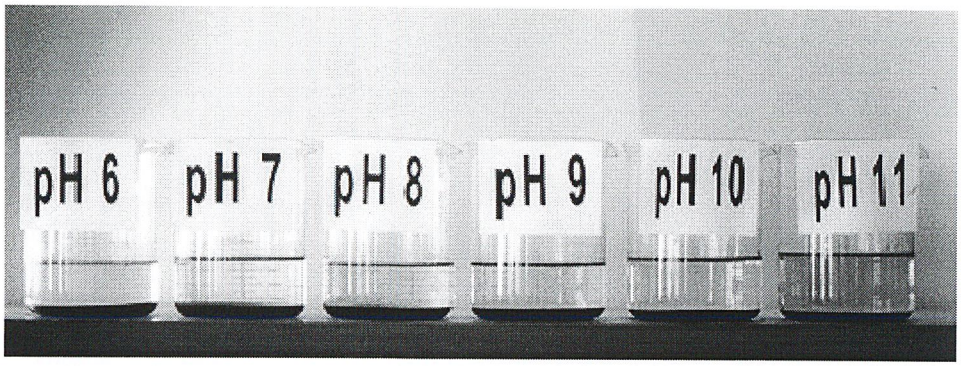
ในการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยเติมสารเป็นจำนวนเท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีดังนี้คือ 0.5,1.0,2.0 และ 3.0 ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นกรัมของโซเดียมไธโอซัลเฟต จะได้เท่ากับ 0.0488,0.0977,0.1953 และ 0.2930 กรัมต่อน้ำทิ้ง 250 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6 ถึง 11 ตั้งทิ้งให้ตะกอนจมตัวแล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักที่เหลือในน้ำผลการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังตารางที่ 4.7

เมื่อพิจารณาการกำจัดโลหะหนักด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าที่ปริมาณของโซเดียมไธโอซัลเฟตเป็น 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีจะไม่สามารถกำจัดเงินให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดตั้งแต่พีเอช 6 ถึง 11 ส่วนการกำจัดเหล็ก พบว่าที่พีเอช 7,8, 9,10และ11สามารถกำจัดได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (0.67,0.68,0.68,0.57และ0.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ)และที่พีเอช 6,7,8,9และ10จะสามารถกำจัดโครเมียมได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (ไม่สามารถตรวจวัดได้ทั้งหมด) เมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมไธโอซัลเฟตเป็น 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พบว่าสามารถกำจัดเหล็กได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดทุกค่าพีเอช (0.70,0.63,0.58,0.79,0.59และ0.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ส่วนโครเมียมสามารถกำจัดได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่พีเอช 6,7,8,9และ10 (ไม่สามารถตรวจวัดได้ทั้งหมด) และที่พีเอช 9 และ 11 สามารถกำจัดเงินได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐาน (0.90 และ 0.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) เมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมไธโอซัลเฟตเป็น 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พบว่าสามารถกำจัดเหล็กได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานทุกค่าพีเอช (0.48,0.51,0.62,0.58,0.70 และ 0.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ส่วนโครเมียมจะสามารถกำจัดได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่พีเอช 6, 7, 8, และ 9 (ไม่สามารถตรวจวัดได้ทั้งหมด) และที่พีเอช 7, 8, 9,10 และ 11 สามารถกำจัดเงินได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐาน (0.88,0.98,0.90,0.93 และ 0.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) และเมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมไธโอซัลเฟตเป็น 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พบว่าสามารถกำจัดเหล็กได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานทุกค่าพีเอช (0.51,0.60,0.50,0.51,0.62 และ 0.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ส่วนโครเมียมจะสามารถกำจัดได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่พีเอช 6, 7, 8, 9 และ 10 (ไม่สามารถตรวจวัดได้ทั้งหมด) และที่พีเอช 10 สามารถกำจัดเงินได้ค่าตามมาตรฐาน(1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตเป็น 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 7 จะสามารถกำจัดโครเมียม, เหล็ก และเงินให้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดได้ดังนี้ ไม่สามารถตรวจวัดได้, 0.51 และ 0.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม, เหล็ก และเงินได้เท่ากับร้อยละ 100.00, 99.92 และ 99.74 ตามลำดับ และลักษณะของตะกอนที่ได้มีน้ำหนักมาก สีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ จมตัวได้ดีที่สุดและสามารถแยกตะกอนออกจากน้ำใสกระทำได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

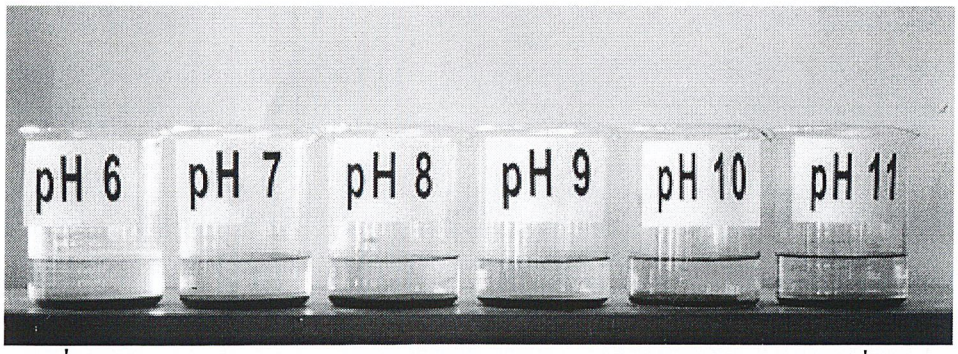
การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11



การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11

การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต 1.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11

การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่ค่าพีเอช 6-11



รูปที่ 4.13 การตกตะกอนด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 6-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการตกตะกอนโลหะ (ก) โครเมียม (ข) เหล็ก และ(ค) เงิน ด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์

(ก) โครเมียม

พีเอช	ปริมาณโครเมียมที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด							
	0.5 เท่า		1.0 เท่า		2.0 เท่า		3.0 เท่า	
	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)
6	ND	100.00	ND	100.00	ND	100.00	ND	100.00
7	ND	100.00	ND	100.00	ND	100.00	ND	100.00
8	ND	100.00	ND	100.00	ND	100.00	ND	100.00
9	ND	100.00	ND	100.00	ND	100.00	ND	100.00
10	ND	100.00	ND	100.00	51.83	86.78	ND	100.00
11	108.5	72.32	13.73	96.50	25.55	93.48	115.5	70.54

หมายเหตุ ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

(ข) เหล็ก

พีเอช	ปริมาณเหล็กที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด							
	0.5 เท่า		1.0 เท่า		2.0 เท่า		3.0 เท่า	
	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)
6	1.12	99.82	0.70	99.89	0.48	99.92	0..51	99.92
7	0.67	99.89	0.63	99.90	0.51	99.92	0.60	99.90
8	0.68	99.89	0.58	99.91	0.62	99.90	0.50	99.92
9	0.68	99.89	0.79	99.87	0.58	99.91	0.51	99.92
10	0.57	99.91	0.59	99.9	0.70	99.89	0.62	99.90
11	0.54	99.91	0.54	99.91	0.53	99.91	0.63	99.90

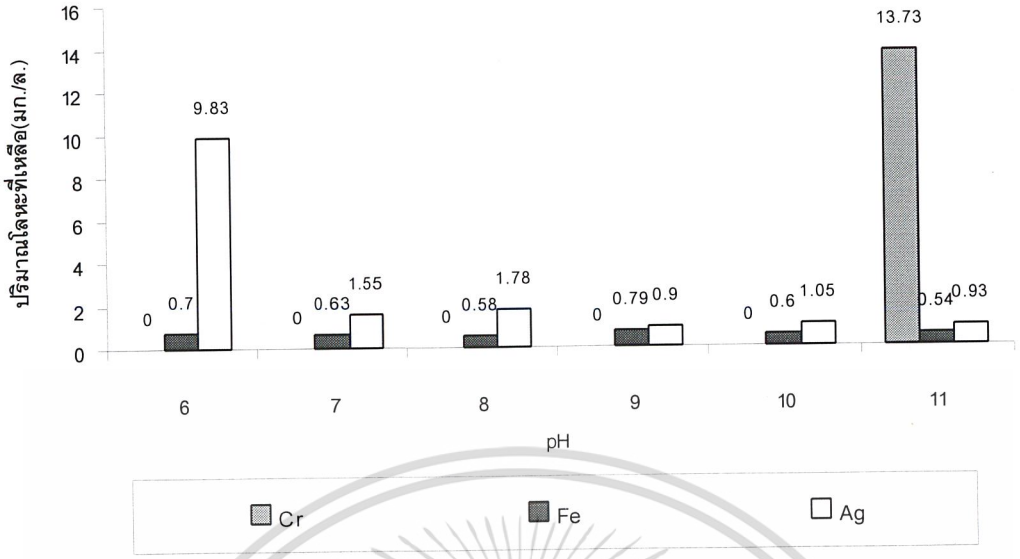
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) เงิน

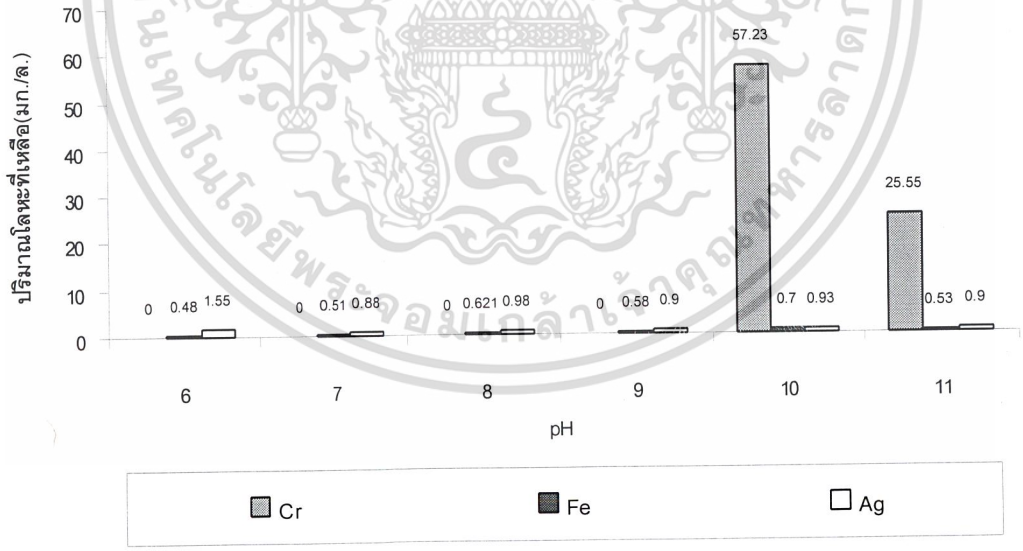
พีเอช	ปริมาณเงินที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด							
	0.5 เท่า		1.0 เท่า		2.0 เท่า		3.0 เท่า	
	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)	(มก./ล.)	(%)
6	3.03	99.11	9.83	97.11	1.55	99.54	1.33	99.61
7	1.55	99.54	1.55	99.54	0.88	99.74	1.10	99.68
8	1.13	99.67	1.78	99.48	0.98	99.71	1.15	99.66
9	1.03	99.70	0.90	99.74	0.90	99.74	1.03	99.70
10	1.10	99.68	1.05	99.69	0.93	99.73	1.00	99.71
11	1.10	99.68	0.93	99.73	0.90	99.74	1.23	99.64

รูปที่ 4.14 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

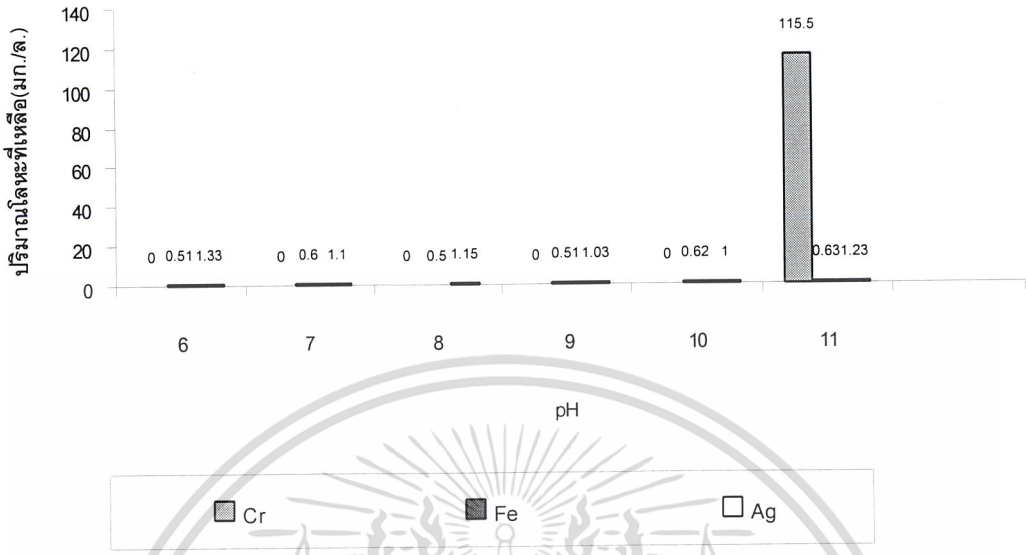


รูปที่ 4.15 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต 1.0 เท่าของ
ปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.16 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต 2.0 เท่าของ
ปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ผลการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีและปรับพีเอชเป็น 6 – 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 สรุปสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง

ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน	จำนวนเท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี	พีเอช	ลักษณะของตะกอน
NaOH	-	9	มีน้ำหนักเบา สีน้ำตาลเข้ม จมตัวได้ดี การแยกตะกอนออกจากน้ำใสกระทำได้ยาก
Na_2S + NaOH	3.0	7	มีน้ำหนักเบา สีน้ำตาลเข้ม จมตัวได้ดี การแยกตะกอนออกจากน้ำใสกระทำได้ค่อนข้างยาก
NaHS + NaOH	0.5	7	มีน้ำหนักเบา สีน้ำตาลเข้ม จมตัวได้ดี การแยกตะกอนออกจากน้ำใสกระทำได้ค่อนข้างยาก
$Na_2S_2O_3$+ NaOH	2.0	7	มีน้ำหนักมาก สีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ จมตัวได้ดี การแยกตะกอนออกจากน้ำใสกระทำได้ง่าย

ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด					
	โครเมียม		เหล็ก		เงิน	
	มก./ล.	%	มก./ล.	%	มก./ล.	%
NaOH	16.900	95.69	0.662	99.89	ND	100.00
Na_2S + NaOH	ND	100.00	8.125	98.63	1.000	99.82
NaHS + NaOH	11.750	97.00	11.125	98.19	0.512	99.85
$Na_2S_2O_3$+ NaOH	ND	100.00	0.513	99.92	0.875	99.74

หมายเหตุ ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความคงสภาพ (Stabilization) ของกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

เมื่อนำตะกอนที่ได้จากการทดลองมาผสมกัน แล้วนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนักทั้งหมดเริ่มต้นในกากตะกอน และทำการศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน อันได้แก่ พีเอช อุณหภูมิและร้อยละความชื้น จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ละลายอยู่ ผลการทดลองตัวแปรที่มีผลต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน พบว่า ณ อุณหภูมิและร้อยละของความชื้นคงที่ ค่าพีเอชที่มีผลต่อค่าการละลายสูงสุดและน้อยที่สุดคือ 4 และ 7 ตามลำดับ, ณ ร้อยละความชื้นคงที่ ค่าการละลายลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และ ณ อุณหภูมิคงที่ ค่าการละลายลดลงเมื่อร้อยละความชื้นลดลง แสดงดังตารางที่ 4.9 ถึง 4.11

ตารางที่ 4.9 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน เมื่ออุณหภูมิและร้อยละความชื้นคงที่

พีเอช	โลหะหนักทั้งหมดที่เหลือในกากตะกอน(มิลลิกรัม/ลิตร)	% Solubility
4	246.6	29.78
5	267.2	23.92
6	295.4	15.89
7	323.1	8.00
8	266.5	24.12
9	304.5	13.32

หมายเหตุ ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดเริ่มต้นในกากตะกอน เท่ากับ 351.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน เมื่อพีเอชและร้อยละความชื้นคงที่

อุณหภูมิ (°C)	โลหะหนักทั้งหมดที่เหลือในกากตะกอน(มิลลิกรัม/ลิตร)	% Solubility
ห้อง	253.4	27.85
65	269.1	23.38
85	275.1	21.67
105	299.4	14.75

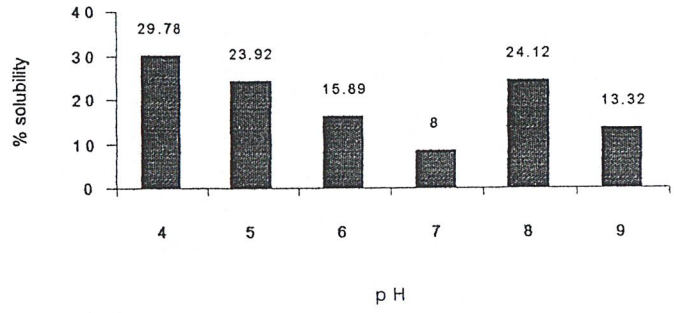
หมายเหตุ ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดเริ่มต้นในกากตะกอน เท่ากับ 351.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.11 ผลของร้อยละความชื้นที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน เมื่ออุณหภูมิและพีเอชคงที่

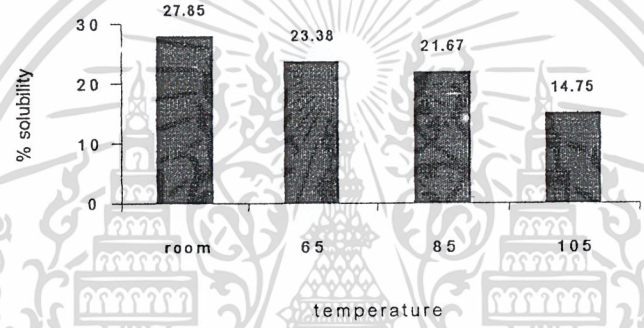
ร้อยละความชื้น	โลหะหนักทั้งหมดที่เหลือในกากตะกอน(มิลลิกรัม/ลิตร)	% Solubility
75±5	248.1	29.36
55±5	251.0	28.53
35±5	278.4	20.73
15±5	289.8	17.48

หมายเหตุ ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดเริ่มต้นในกากตะกอน เท่ากับ 351.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

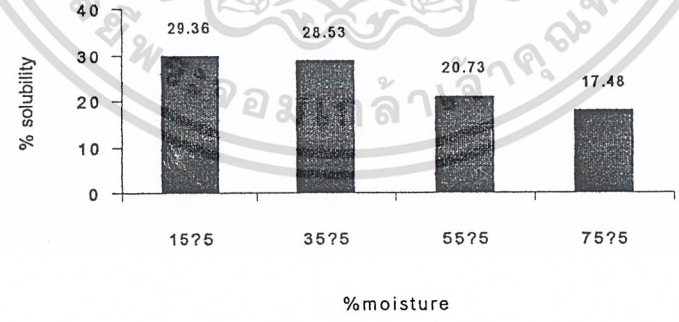
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน เมื่ออุณหภูมิและร้อยละความชื้นคงที่



รูปที่ 4.19 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน เมื่อพีเอชและร้อยละความชื้นคงที่



รูปที่ 4.20 ผลของร้อยละความชื้นที่มีต่อการละลายของโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน เมื่ออุณหภูมิและพีเอชคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยใช้วิธีตกตะกอนทางเคมี

จากผลการทดลองที่มีความเหมาะสมนำมาทำการศึกษาค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีและการบำบัดกากตะกอน โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

4.4.1 <u>คำนวณค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง</u>

จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองจะใช้สารเคมีปริมาณที่แตกต่างกัน จากนั้นนำมาคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในแต่ละการทดลองที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งสารเคมีแต่ละชนิดที่นำมาการทดลองมีราคา ดังตารางที่ 4.12 จากนั้นนำปริมาณสารเคมีที่ใช้มาคำนวณค่าใช้จ่าย ดังตารางที่ 4.13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการตกตะกอนด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตปริมาณ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี ที่พีเอช 7 จะเสียค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีน้อยที่สุดคือ 9.34 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร ส่วนการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณ 3.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี ที่พีเอช 7 จะเสียค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีมากที่สุดคือ 15.48 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

ตารางที่ 4.12 ราคาสารเคมี

สารเคมี	เกรด	ราคา (บาทต่อกิโลกรัม)
NaOH	Commercial	30
Na_2S	Commercial	3,200
NaHS	Commercial	3,600
$Na_2S_2O_3$	Commercial	440

ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง 1 ลิตร

การทดลอง	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ทั้งหมด (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
NaOH ที่พีเอช 9	0.3153	9.46
Na_2S 3.0 เท่า ที่พีเอช 7	0.3182	15.48
NaHS 0.5 เท่า ที่พีเอช 7	0.3164	9.70
$Na_2S_2O_3$ 2.0 เท่า ที่พีเอช 7	0.3008	9.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการตกตะกอนด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตปริมาณ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี แล้วปรับพีเอชเป็น 7 จะมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก

1. สามารถกำจัดโลหะหนักได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง
2. ค่าใช้จ่ายที่ใช้มีราคาถูกที่สุด
3. วิธีการทดลองมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เพราะขั้นตอนการทดลองจะเติมสารเคมีตามปริมาณที่ต้องการแล้วกวนและทิ้งให้ตกตะกอนในครั้งเดียว
4. ไม่มีปริมาณของซัลไฟด์ไอออนเกิดขึ้น จึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่อ ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

แม้ว่าการทดลองการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 9 จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยรองลงมา แต่ปริมาณของโครเมียมที่เหลือมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง จึงไม่พิจารณาวิธีการนี้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี แต่จะพิจารณาวิธีการตกตะกอนด้วยซัลไฟด์ ซึ่งจะทำให้น้ำทิ้งหลังการบำบัดได้มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยการตกตะกอนด้วยสารเคมีทั้งหมด4ชุดคือโซเดียมไฮดรอกไซด์,โซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์, โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์,โซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการตกตะกอนโลหะหนักในแต่ละชุดมีค่าที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักได้ค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ โซเดียมไธโอซัลเฟตปริมาณ 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี และปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 7 เนื่องจากมีปริมาณโครเมียม เหล็กและเงินที่เหลือจากการบำบัดเท่ากับ ไม่สามารถตรวจวัดได้, 0.51 และ 0.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ร้อยละ 100.00, 99.92 และ 99.74 ตามลำดับ และลักษณะของตะกอนที่ได้จากการบำบัดมีน้ำหนัก สามารถจมตัวได้ดี สีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ และการแยกตะกอนออกจากน้ำใสกระทำได้ง่ายกว่าการทดลองชุดอื่นๆ

2. ผลการศึกษาของตัวแปรที่มีผลต่อความคงสภาพของกากตะกอน สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 พีเอชในกากตะกอนมีผลต่อความสามารถในการละลายของโลหะหนักสูงที่สุดและต่ำที่สุด คือ 4 และ 7 ตามลำดับ เนื่องจาก สมดุลของการละลาย คือ โลหะหนักจะละลายออกมามากที่สุดเมื่อมีค่าพีเอชที่ต่ำหรือเป็นกรด แต่จะละลายได้น้อยลงเมื่อมีค่าพีเอชที่สูงขึ้น ดังทฤษฎีผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการละลายของตะกอน

2.2 อุณหภูมิในการตกตะกอนมีผลต่อการละลายของโลหะหนัก โดยที่อุณหภูมิสูง ตะกอนจะมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น อยู่ในสภาวะที่มีความเสถียรขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

2.3 ร้อยละความชื้นในกากตะกอนมีผลต่อความสามารถในการละลายของโลหะหนัก โดยที่ร้อยละความชื้นสูง กากตะกอนจะอยู่ห่างกัน เนื่องมากจากมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ ทำให้มีการยึดเกาะเป็นไปอย่างหลวม ๆ แต่เมื่อร้อยละความชื้นลดลง กากตะกอนจะมีโอกาสอยู่ใกล้ชิดมากขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการละลายของโลหะหนักลดลง

3. ค่าใช้จ่ายในด้านสารเคมีของการใช้โซเดียมไธโอซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 2 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎีที่พีเอช 7 คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 9.34 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองควรใช้โพลิเมอร์เป็นตัวโคแอกกูแลนท์ เพื่อช่วยในการจมตัวของกากตะกอนให้เร็วขึ้นเป็นการลดระยะเวลาในการทดลอง

2. การป้องกันการละลายของโลหะหนักออกจากกากตะกอนสามารถทำได้ โดยทิ้งให้ตกตะกอนจากการบำบัดทางเคมีเป็นระยะเวลานานพอสมควร เพื่อให้ตะกอนมีความเสถียรเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นนำมากำจัดน้ำออกให้มากที่สุดแล้วทำการอบเพื่อไล่ความชื้นให้กากตะกอนมีความชื้นน้อยที่สุดก่อนทำการบำบัดต่อไป เพื่อให้ตะกอนมีความสามารถในการละลายลดลง ซึ่งช่วยลดปัญหาการรั่วซึมของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

3. ควรศึกษากระบวนการการนำกลับของโลหะหนัก เช่น เงิน เพื่อนำกลับมาใช้เป็นสารเคมีในห้องปฏิบัติการต่อไป และเพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ

4. การหาค่าการละลายอาจหาได้จากสารละลายใสแทนตะกอน ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกกว่า

5. ควรนำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง มาดำเนินการทดสอบความคงสภาพ เพื่อจะได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น

6. ควรนำผลการทดลองที่ได้ไปทดลองในระดับสากลที่ใหญ่ขึ้น เพื่อสำหรับนำไปใช้กับการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ สิริสิงห. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บริษัทประยูรวงศ์ จำกัด,2525.

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. **ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) วันที่ 3 มกราคม 2539.** เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม,2539.

กฤษณา ชุติมา.**หลักเคมีทั่วไป เล่ม 2.**พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์.**การบำบัดน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์,2539.

ขณิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์.**การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธีการตกตะกอนผลึกทางเคมี.**วิทยานิพนธ์ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539.อัดสำเนา.

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

จริยา พลายแก้วและสุกัญญา มากมี.**ผลของตัวแปรที่มีผลต่อความคงสภาพของกากตะกอน.**รายงานการวิจัย ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2542. อัดสำเนา.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์.**คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2525.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์.**เคมีวิเคราะห์.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2536.

สุเมธ ชวเดช.**การบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2535.

อานอบ คันฑะชา.**การหาปริมาณโลหะหนักบางชนิดจากบ่อน้ำตื้นเขตชุมชนผู้มีรายได้น้อยภายในเขตเทศบาลเมืองสงขลา โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรสโกปี.**รายงานการวิจัยภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้,2538. อัดสำเนา.

Adam,J.,Westwood,T.",Utilization of sewage sludge on land paper and proceeding," **Water Research Centre.** 1979.

APHA,AWWA and WPCF.**Standard Method for the Examination of Water and Wastewater.**17th ed.,1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ecklen felder,W.W.Jr.**Industrial Water Pollution Control.**2 nd ed.USA : McGraw Hill Book,1989.

Freeman,H.M.**Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal.**USA : McGraw Hill Book,1989.

Lanouete,K.H.**Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering.**Chemical Engineering,1997.

Manahan,S.E.**Fundamentals of Environmental Chemistry.**USA,1993.

Metcalf and Eddy.**Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse.**3 rd ed. Singapore : McGraw Hill International,1991.

Stanley E.Manahan.**Fundamentals of Environmental Chemistry.**USA,1993.

Talbot,R.S.**Process for removal of heavy metals from aqueous solution.** US.Patent No. 4,432,880 (February 21),1984.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) วันที่ 3 มกราคม 2539

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5 – 9.0	pH Meter
ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	-ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000มก./ล. -น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity)เกิน 2,000มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ103-105^{0}c เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
สารแขวนลอย (Suspended Soilds)	ไม่เกิน 50 มก./ล.หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมหรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40^{0}c	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
สีหรือกลิ่น (Color or Odor)	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
ซัลไฟด์ (Sulfide as H_2S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine – Barbituric Acid
น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas Chromatography
ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand:BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล.หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20^0c เป็นเวลา 5วัน
ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล.หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน200มก./ล.	Kjeldahl
ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
โลหะหนัก (Heavy Metal)		
1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption
2. โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Spectrophotometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี
3. โครเมียมชนิดไตรวาเล้นท์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	Plasma Emission Spectroscopy ชนิด
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	Inductively Coupled Plasma :
5. แคดเมียม(Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	ICP
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
10. อาร์เซนิค (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Atomic Absorption Cold Vapour Technique

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข หลักการในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (มั่นสิน,2538)

ความสกปรกของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน รวมถึงโรงงานอุตสาหกรรมสามารถวัดได้จากปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเรียกวิธีการนี้ว่า COD (Chemical Oxygen Demand)

ในการหาค่าซีโอดีของน้ำสกปรก จะมีสารที่ใช้ในการเติมออกซิเจนอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต เซริคซัลเฟต โปตัสเซียมไอโอเดต และโปตัสเซียมไดโครเมต แต่ตัวที่นิยมใช้กันมาก เพราะให้ผลที่น่าเชื่อถือและแน่นอน คือ โปตัสเซียมไดโครเมต เหตุผลที่สำคัญคือ มีราคาถูก สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้มากชนิด จนเกือบสมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ รวมทั้งสามารถวัดปริมาณของไดโครเมตที่มากเกินพอได้ง่าย

หลักการในการหาค่าซีโอดี โดยวิธีรีฟลักซ์ทั้งแบบเปิดและแบบปิด จะใช้สารออกซิไดซิง-เอเจนท์ผสมกับกรดซัลฟุริกเข้มข้นและเติมซิลเวอร์ซัลเฟตลงไป เพื่อเป็นตัวเร่งให้สารถูกออกซิไดซ์ยากถูกออกซิไดซ์ได้เร็วขึ้น และใช้เมอร์คิวรีซัลเฟต เป็นตัวกำจัดการขัดขวางของพวกคลอไรด์จากนั้นเติมน้ำตัวอย่างนำไปรีฟลักซ์ เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง สารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิไดซิงเอเจนท์ และมีปริมาณออกซิไดซิงเอเจนท์เหลือจากการรีฟลักซ์ จะนำไปทำการติเตรทกับเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ทราบความเข้มข้นและปริมาณที่ใช้ ทำให้ทราบปริมาณของออกซิเจนจากสารออกซิไดซิง-เอเจนท์ที่ใช้ สามารถสรุปการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังสมการต่อไปนี้

สมการออกซิไดซ์สารอินทรีย์

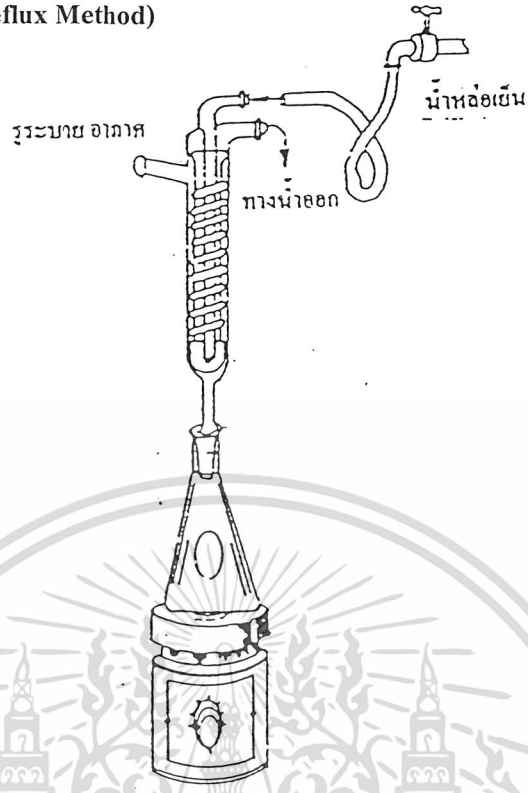
$$CHON + Cr_2O_7^{2-} + H^+ + Ag_2SO_4 + HgSO_4 \text{ ---} \rightarrow CO_2 + H_2O + NO^{3-} + Cr^{3-} + \text{excess}Cr_2O_7^{2-} + 2Ag^+ + 2SO_4^{2-} + Hg^{2+}$$

สมการในการไทเทรท

$$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \text{ ---} \rightarrow 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux Method)



รูปชุดกลั่นหาซีโอดีด้วยวิธีการรีฟลักซ์แบบเปิด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.ขวดเออร์เลนเมเยอร์ หรือขวดก้นแบนขนาดความจุ 250-500 มล. ปากขวดเป็นแบบ Ground-Glass Joint ขนาด 24/40 (ใช้เป็นขวดรีฟลักซ์)

2.เครื่องควบแน่นหรือคอนเดนเซอร์ซึ่งมี Jacket ขนาด 300 มม. และต่อได้พอดีกับขวดเออร์เลนเมเยอร์

3.เตาแผ่น (Hot plate) ซึ่งสามารถให้ความร้อนได้อย่างน้อย 1.4 วัตต์/ตร.ซม. ที่ผิวหน้าเตา

4.บิวเรต ขนาด 50 มล.

สารเคมี

1.สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.25 นอร์มัล

ละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หนัก 12.259 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมกรดซัลฟามิค 120 มก. ละลายให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มล. ในขวดตวง

2.กรดซัลฟุริคและซิลเวอร์ซัลเฟต

ชั่งซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟุริคเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.สารละลายเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1,10-PhenanthrolineMonohydrate $C_{12}H_8N_2.H_2O$) 1.485 กรัมและเฟอรัสซัลเฟต(Ferrous Sulfate,$FeSO_4.7H_2O$)695มิลลิกรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

4.สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มัล

ละลาย เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$) 19.6 กรัมนน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น 20 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เนื่องจากความเข้มข้นของเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตไม่คงที่และจะลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้นต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนทุกวันที่ใช้โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตดังนี้

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 5.0 มล. ใส่ขวดรูปกรวยเติมน้ำกลั่น 50 มล. แล้วค่อย ๆ เติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น 15 มล. ทิ้งให้เย็น ไตเตรทด้วยเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอีนเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเป็นสีน้ำตาลแดง จดปริมาตร FAS ที่ใช้

$$\text{ความเข้มข้นของ FAS, นอร์มัล (N)} = \frac{0.5 \times 0.25}{\text{มล. FAS ที่ใช้}}$$

5.เมอร์คิวริค ซัลเฟต (Mercuric sulfate,$HgSO_4$)

วิธีวิเคราะห์

1. เติมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ 10 มล.หรือใช้ตัวอย่างน้ำน้อยกว่าแต่เติมน้ำกลั่นให้เป็น 10 มล. ลงในขวดรีฟลักซ์ เติมเมอร์คิวริคซัลเฟต 0.2 กรัม ใส่ลูกแก้วขนาดจิ๋ว 5-6 เม็ด แล้วจึงสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 5.0 มล. เขย่าให้เข้ากัน

2. นำขวดรีฟลักซ์ในข้อ1ไปต่อกับเครื่องรีฟลักซ์เปิดน้ำหล่อเย็นเติมกรดซัลฟุริค - ซิลเวอร์ซัลเฟต 15 มล. ลงที่ปากคอนเดนเซอร์ ซึ่งกรดซัลเฟตจะไหลลงไปยังขวดรีฟลักซ์เอง เปิดไฟแล้วรีฟลักซ์เป็นเวลา 2 ชม. เมื่อครบ 2 ชม. นำขวดรีฟลักซ์ออก และทำให้เย็น

3. ทำแบลงค์พร้อมกับน้ำตัวอย่าง โดยใช้น้ำกลั่น 10 มล. ใช้สารเคมีต่างๆเหมือนกับตัวอย่างน้ำทำการรีฟลักซ์เช่นเดียวกับตัวอย่งทุกประการ

4. เมื่อรีฟลักซ์ครบ 2 ชม. แล้วปิดไฟ ทิ้งให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นลงที่ปากเครื่องรีฟลักซ์ 40 มล. เพื่อล้างไอสารภายในคอนเดนเซอร์ แล้วจึงปิดน้ำหล่อเย็น

5. นำขวดรีฟลักซ์มาไตเตรทหาปริมาณโปแตสเซียมไดโครเมตที่เหลือด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนีย-ซัลเฟต โดยใช้เฟอโรอีนประมาณ 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ ควรใช้ปริมาณอินดิเคเตอร์เท่าๆกันในทุกตัวอย่าง จุดยุติจะมีการเปลี่ยนแปลงจากเหลืองเป็นฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาล จดปริมาตร FAS ที่ใช้ไตเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี , มิลลิกรัม } O_2\text{/ลิตร} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{มล. ตัวอย่างที่ใช้}}$$

เมื่อ A = มล.ของFASที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์

B = มล.ของFASที่ใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของFAS , นอร์มัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค หลักการในการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์

จากการทดลองตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในกรณีที่เติมสารเคมีทั้งสองในปริมาณที่มากเกินพอ จะทำให้อิออนของซัลไฟด์ที่ทำปฏิกิริยาได้ไม่หมดเหลือในน้ำที่ปล่อยออก แต่ตามมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมมีประกาศกระทรวงฉบับที่ 12 ว่าให้ปล่อยน้ำที่มีอิออนของซัลไฟด์ได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดที่เหลืออยู่ในน้ำด้วยวิธีไอโอโดเมตริก

วิธีวิเคราะห์ซัลไฟด์แบบไอโอโดเมตริก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดบีโอดี
2. บิวเรตขนาด 50 มล.
3. ขวดรูปกรวย
4. กระดาษกรอง GF/C ขนาด 7 ซม.
5. กรวยบุคเนอร์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 ซม.
6. เครื่องดูดสูญญากาศ

สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริค เข้มข้น 6 นอร์มัล
2. สารละลายมาตรฐานไอโอดีน เข้มข้น 0.025 นอร์มัล

ละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์จำนวน 20-25 กรัม ในน้ำเล็กน้อยและเติมไอโอดีน 3.2 กรัม เขย่าให้ละลายแล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เทียบมาตรฐานกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์

3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล

เตรียมโดยเจือจางสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มล. ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มล. หรือใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน(Standardization) ด้วยสารละลายมาตรฐานไดโครเมต

4. น้ำแป้ง

ละลายแป้งมันสำปะหลัง 5 กรัม ในน้ำต้ม 800 มล. เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือด 2-3 นาที ตั้งค้างคืนใช้แต่น้ำใส เติมกรดซาลิไซลิค(Salicylic Acid) 1.25 กรัมต่อน้ำแป้ง 1 ลิตร

5. สารละลายสังกะสีอะเซเตด ($Zn(C_2H_3O_2)_2.2H_2O$) 220 กรัม ในน้ำกลั่น 870 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีวิเคราะห์

1. หยดสารละลายสังกะสีอะเซเตด 0.45 มล. ลงในขวดบีโอดีขนาด 300 มล. เติมตัวอย่างน้ำจำนวน 300 มล. หรือน้อยกว่า แล้วเติมน้ำกลั่นจนเป็น 300 มล. แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล 0.3 มล. ขณะนี้ขวดบีโอดีจะเต็มพอดีและปิดจุก โดยไม่ให้มีช่องว่างของอากาศอยู่ภายในขวด เขย่าขวดไปมาอย่างแรง จนกระทั่งเกิดการตกผลึกของสังกะสีซัลไฟด์ (ZnS) ภายในขวด ตั้งทิ้งไว้นาน 30 นาที เพื่อให้ผลึกเกิดการตกตะกอน
2. รินน้ำใส และกรองตะกอนผ่านกระดาษกรอง GF/C เก็บกระดาษกรองที่มีตะกอนไว้วิเคราะห์ต่อไป
3. ใส่กระดาษกรองที่มีตะกอนของสังกะสีซัลไฟด์ ในขวดรูปกรวยและเติมน้ำกลั่น 100 มล.
4. เติมกรดไฮโดรคลอริค 6 นอร์มัล จำนวน 2 มล. แล้วเติมสารละลายไอโอดีน 10 มล. เขย่าให้เข้ากัน ในขณะนี้ตัวอย่างน้ำควรมีสีเหลืองของไอโอดีน แต่ถ้าไม่มีสีเหลืองเกิดขึ้นให้เติมสารละลายไอโอดีอีก 5 มล. เพื่อให้มีสีเกิดขึ้น ถ้ายังไม่มีสีให้เติมสารละลายไอโอดีนจนกระทั่งมีสีเกิดขึ้นและจดปริมาณสารละลายไอโอดีนที่เติมทั้งหมด (สารละลายไอโอดีน 1 มล.เท่ากับซัลไฟด์ 0.04 มก.)
5. นำสารละลายในขวดรูปกรวยมาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์จนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป (จดปริมาตรที่ใช้ไทเทรต)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด , มก.}S^{2-}\text{/ลิตร} = \frac{[(A\times B)-(C\times D)]\times 16000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง(มล.)}}$$

โดยที่ A = ปริมาณ(มล.)ของสารละลายไอโอดีนที่ใช้

B = ความเข้มข้น(N) ของสารละลายไอโอดีน

C = ปริมาณ(มล.)ของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

D = ความเข้มข้น(N) ของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง การทดสอบจาร์เทสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบจาร์เทสต์ (Jar Test) (โกมล เชาวยุทธ และสุวิทย์,2534)

เป็นวิธีทดสอบหาปริมาณของสารสร้างตะกอน เพื่อให้ได้ปริมาณที่เหมาะสม และประหยัดที่สุดสำหรับคุณภาพน้ำนั้นๆในการลดความขุ่น

วิธีทำจาร์เทสต์

ในการทดลองต้องอาศัยเครื่องมือสำหรับกวนน้ำซึ่งประกอบด้วยใบพัด ซึ่งจะหมุนเป็นอิสระ มีปุ่มสำหรับปรับความเร็วของใบพัดให้มีความเร็ว 0 ถึง 120 รอบต่อนาทีได้ วิธีการมีดังนี้ คือ

1. นำบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร เติมน้ำดิบที่จะทำการทดสอบหาปริมาณสารสร้างตะกอน จำนวนบีกเกอร์ละ 2 ลิตร วางไว้ใต้ใบพัดปั่น
2. ใช้ปิเปตดูดสารสร้างตะกอนที่ทดสอบเติมลงในบีกเกอร์แต่ละใบ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ
3. หย่อนใบพัดลงในบีกเกอร์ แล้วสตาร์ทเครื่องปั่นโดยใช้ความเร็วเริ่มต้น 80-100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
4. ลดความเร็วรอบของใบพัดให้เป็น 30-40 รอบต่อนาที และปั่นต่อเป็นเวลา 15 นาที
5. สังเกตและบันทึกเวลาที่เริ่มเห็นตะกอนรวมตัวเป็นครั้งแรก
6. บันทึกสภาพของตะกอนที่เกิดว่าจมตัวกันดีแค่ไหน โดยไม่ฟุ้งกระจายตามแรงกวนของใบพัด
7. เมื่อครบ 15 นาที หยุดเครื่องแล้วยกใบพัดขึ้น ปล่อยให้ตะกอนตกลงก้นบีกเกอร์
8. บันทึกระยะเวลาที่ตะกอนตกลงสู่บีกเกอร์
9. ปล่อยให้ตะกอนตกลงเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำน้ำส่วนใสข้างบน(supermatant) ของบีกเกอร์แต่ละใบไปทำการตรวจวิเคราะห์ค่าความขุ่นที่เหลือ , ตรวจพีเอชและตรวจสีของน้ำ
10. บีกเกอร์ใบที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือใบที่บอกให้ทราบว่าบีกเกอร์ของสารสร้างตะกอนนั้นดีที่สุด และผลที่ได้คือ ปริมาณสารสร้างตะกอนที่จะเติมลงในถังกวนเร็วของขบวนการผลิตจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้

ปริมาณเงินในน้ำเสียเป็น 560.75 มิลลิกรัม/ลิตร

1. ค่าความต้องการทางทฤษฎี

$$Ag_2SO_4 + Na_2S \cdot 9H_2O \longrightarrow Ag_2S + Na_2SO_4 + 9\,H_2O$$

Ag_2SO_4	1	โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $Na_2S \cdot 9H_2O$	1	โมล
Ag	2×108	กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $Na_2S \cdot 9H_2O$	240.18	กรัม
Ag	1	กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $Na_2S \cdot 9H_2O$	$240.18/(2 \times 108)$	กรัม
			$= 1.1119$	กรัม

2. ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้

Ag	1	กรัม ใช้โซเดียมซัลไฟด์	1.1119	กรัม
Ag	0.56075	กรัม/ลิตร ใช้โซเดียมซัลไฟด์	1.1119×0.56075	กรัม/ลิตร
			$= 0.6235$	กรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาณโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้

ปริมาณเงินในน้ำเสียเป็น 340 มิลลิกรัม/ลิตร

1. ค่าความต้องการทางทฤษฎี

$$Ag_2SO_4 + NaHS \cdot H_2O \longrightarrow Ag_2S + NaHSO_4 + H_2O$$

Ag_2SO_4	1 โมล	ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $NaHS \cdot H_2O$	1	โมล
Ag	2×108 กรัม	ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $NaHS \cdot H_2O$	74.08	กรัม
Ag	1 กรัม	ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $NaHS \cdot H_2O$	$74.08/(2 \times 108)$	กรัม
		=	0.3430	กรัม

2. ปริมาณโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้

Ag	1 กรัม	ใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.3430	กรัม
Ag	0.340 กรัม/ลิตร	ใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.3430×0.340	กรัม/ลิตร
		=	0.1166	กรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

ปริมาณเงินในน้ำเสียเป็น 340 มิลลิกรัม/ลิตร

1. ค่าความต้องการทางทฤษฎี

$$Ag_2SO_4 + Na_2S_2O_3 . 5H_2O \longrightarrow Ag_2S_2O_3 + Na_2SO_4 + 5H_2O$$

Ag_2SO_4	1 โมล	ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $Na_2S_2O_3 . 5H_2O$	1	โมล
Ag	2×108 กรัม	ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $Na_2S_2O_3 . 5H_2O$	248.18	กรัม
Ag	1 กรัม	ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $Na_2S_2O_3 . 5H_2O$	$248.18/(2 \times 108)$	กรัม
			= 1.1490	กรัม

2. ปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

Ag	1 กรัม	ใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต	1.1490	กรัม
Ag	0.340 กรัม/ลิตร	ใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต	1.1490×0.340	กรัม/ลิตร
			= 0.3907	กรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก จ ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในแต่ละการทดลองต่อน้ำเสีย 250 มิลลิลิตร

รายชื่อห้องปฏิบัติการ	จำนวนเท่าทางทฤษฎี	Na_2S	NaHS	$Na_2S_2O_3$
1.ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	0.5	0.0779	-	-
	1.0	0.1556	-	-
	2.0	0.3118	-	-
	3.0	0.4676	-	-
2.บริษัท เทสท์เทค จำกัด	0.5	-	0.0146	0.0488
	1.0	-	0.0292	0.0977
	2.0	-	0.0583	0.1953
	3.0	-	0.0875	0.2930

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ การคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละการทดลองจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละชุดการทดลอง สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

1. การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างเดียว พบว่าสามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งและคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้สูงที่สุดคือการปรับพีเอชเป็น 9 ดังนั้นค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน มีค่าเท่ากับ 9.46 บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 9

น้ำเสีย 250 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	78.8275	กรัม
น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	(78.8275 × 1000)/250	กรัม
	= 315.31	กรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา	30	บาท
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 315.31 กรัม มีราคา	(30×315.31)/1000	บาท
	= 9.46	บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสามารถกำจัด โลหะหนักในน้ำทิ้งและคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้สูงที่สุดคือใช้โซเดียมซัลไฟด์ 3.0 เท่า ของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พีเอช 7 ดังนั้นค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน มีค่า บาท/น้ำเสีย 1 ลิตร

โซเดียมซัลไฟด์ 3.0 เท่า ของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี

น้ำเสีย 250 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมซัลไฟด์	0.4676	กรัม
น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมซัลไฟด์	(0.4676 × 1000)/250	กรัม
	= 1.8704	กรัม
โซเดียมซัลไฟด์ 1000 กรัม มีราคา	3200	บาท
โซเดียมซัลไฟด์ 1.8704 กรัม มีราคา	(3200×1.8704)/1000	บาท
	= 5.99	บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 7

น้ำเสีย 250 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	79.0750	กรัม
น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	(79.0750 × 1000)/250	กรัม
	= 316.30	กรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา	30	บาท
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 316.30 กรัม มีราคา	(30×315.31)/1000	บาท
	= 9.49	บาท

ดังนั้นค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีของการใช้โซเดียมซัลไฟด์ 3.0 เท่า ของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พีเอช 7 เท่ากับ 5.99 + 9.49 = 15.48 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งและคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้สูงที่สุดคือใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.5 เท่า ของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พีเอช 7 ดังนั้นค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน มีค่า 0.21 บาท/น้ำเสีย 1 ลิตร

โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.5 เท่า ของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี

น้ำเสีย 250 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.0146	กรัม
น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์	(0.0146 × 1000)/250	กรัม
	= 0.0584	กรัม
โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1000 กรัม มีราคา	3600	บาท
โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.0584 กรัม มีราคา	(3600×0.0584)/1000	บาท
	= 0.21	บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 7

น้ำเสีย 250 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	79.0750	กรัม
น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	(79.0750 × 1000)/250	กรัม
	= 316.30	กรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา	30	บาท
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 316.30 กรัม มีราคา	(30×315.31)/1000	บาท
	= 9.49	บาท

ดังนั้นค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีของการใช้ใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.5 เท่า ของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พีเอช 7 เท่ากับ 0.21 + 9.49 = 9.70 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไธโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งและคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้สูงที่สุดคือ ใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต 2.0 เท่าของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พีเอช 7 ดังนั้นค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน มีค่า 0.34 บาท/น้ำเสีย 1 ลิตร

โซเดียมไธโอซัลเฟต 2.0 เท่า ของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี

น้ำเสีย 250 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต	0.1953	กรัม
น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไธโอซัลเฟต	(0.1953 × 1000)/250	กรัม
	= 0.7812	กรัม
โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1000 กรัม มีราคา	440	บาท
โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.7812 กรัม มีราคา	(440×0.7814)/1000	บาท
	= 0.34	บาท

โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชเป็น 7

น้ำเสีย 250 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	75	กรัม
น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	(75 × 1000)/250	กรัม
	= 300	กรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม มีราคา	30	บาท
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 300 กรัม มีราคา	(30×300)/1000	บาท
	= 9.00	บาท

ดังนั้นค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีของการใช้ใช้โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.5 เท่า ของปริมาณความต้องการทางทฤษฎี พีเอช 7 เท่ากับ 0.34 + 9.00 = 9.34 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้