

การใช้น้ำต่างที่ใช่แล้วจากอุตสาหกรรมดำในกระบวนการ
ตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมการหลอมแบตเตอรี่เก่า



นายพรคพงษ์ ศรีประเสริฐ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-7152-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USING SPENT ALKALINE FROM BLACK OXIDE COATING INDUSTRY FOR LEAD
PRECIPITATION PROCESS OF WASTE WATER FROM STORAGE BATTERY
RECYCLING INDUSTRY



Mr. Pakpong Sreeprasert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-7152-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้น้ำค้างที่ไ้แล้วจากอุตสาหกรรมนมดำในกระบวนการ
ตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมการหลอมแบตเตอรี่เก่า
โดย นายพรคพงษ์ ศรีประเสริฐ
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ติเรก ลาวัลย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เชมรัฐ ไชยสถาปนธ์)

พรรคพงษ์ ศรีประเสริฐ : การใช้น้ำค้างที่ใช้อยู่แล้วจากอุตสาหกรรมดำในกระบวนการตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมการหลอมแบตเตอรี่เก่า (USING SPENT ALKALINE FROM BLACK OXIDE COATING INDUSTRY FOR LEAD PRECIPITATION PROCESS OF WASTEWATER FROM STORAGE BATTERY RECYCLING INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์, จำนวนหน้า 164 หน้า. ISBN 974-17-7152-5.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางในการใช้น้ำค้างที่ใช้อยู่แล้ว (spent alkaline) จากอุตสาหกรรมดำในกระบวนการตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมการหลอมแบตเตอรี่เก่า โดยเปรียบเทียบกับสารตกตะกอนอีก 2 ชนิด ได้แก่ NaOH และ Na_2CO_3

การประเมินแหล่งที่มาและอัตราการเกิดของน้ำเสียตะกั่วจากโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า พบว่า มีน้ำเสียที่ต้องบำบัด 40 ลบ.ม./วัน คิดเป็นอัตราส่วนต่อผลิตภัณฑ์ตะกั่วแห้งเท่ากับ 1.9 ลิตร / ตะกั่วแห้ง 1 กก. อัตราการเกิดน้ำค้างที่ใช้อยู่แล้วของอุตสาหกรรมดำ คือ 42 ลิตร / วัน คิดเป็นอัตราส่วนต่อผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าเท่ากับ 0.06 ลิตร / ชิ้นงาน 1 กก.

การกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อใช้ NaOH เป็นสารตกตะกอน พบว่าค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8.5 – 10.5 การใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนได้ดีที่ความเข้มข้น 2 มก./ล. สามารถกำจัดตะกั่วในรูปตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมด เท่ากับ 100 และ 99.57% ตามลำดับ มีปริมาณตะกั่วในตะกอนอบแห้ง 24% ค่าใช้จ่ายในการบำบัดคือ 197 บาท / น้ำเสีย 1 ลบ.ม. เมื่อตกตะกอนด้วยน้ำค้างที่ใช้อยู่แล้ว (spent alkaline) พบว่าค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8.5 – 10.5 การใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนได้ดีที่ความเข้มข้น 1.8 มก./ล. สามารถกำจัดตะกั่วในรูปตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมด เท่ากับ 100 และ 99.22% ตามลำดับ มีปริมาณตะกั่วในตะกอนอบแห้ง 21% ค่าใช้จ่ายในการบำบัดคือ 0.28 – 9.05 บาท / น้ำเสีย 1 ลบ.ม. ส่วนเมื่อใช้ Na_2CO_3 เป็นสารตกตะกอน พบว่าค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8.5 – 10.0 การใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้น 0.6 มก./ล. ไม่ช่วยให้ตะกอนจับตัวเป็นฟลอค แต่ช่วยลดความขุ่นได้ และสามารถกำจัดตะกั่วในรูปตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมด เท่ากับ 88.81 และ 98.77% ตามลำดับ มีปริมาณตะกั่วในตะกอนอบแห้ง 14% ค่าใช้จ่ายในการบำบัดคือ 168.75 – 168.85 บาท / น้ำเสีย 1 ลบ.ม.

จากการทดลองพบว่า การตกตะกอนด้วยน้ำค้างที่ใช้อยู่แล้ว (spent alkaline) ให้ประสิทธิภาพดีในการบำบัดตะกั่วในรูปตะกั่วละลาย ตะกั่วทั้งหมดและความขุ่น ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาใช้น้ำค้างที่ใช้อยู่แล้ว (spent alkaline) จากอุตสาหกรรมดำมาใช้บำบัดตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วแห้งจากแบตเตอรี่เก่าได้ หากมีการแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างทั้งสองโรงงาน (waste exchange) จะช่วยให้โรงงานลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำค้างที่ใช้อยู่แล้ว (spent alkaline) จากเดิมคิดเป็นเงิน 4,679 บาท/ลบ.ม. เหลือเป็นเงิน 0 - 929 บาท/ลบ.ม. และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียของโรงงานหลอมตะกั่วแห้งจากแบตเตอรี่เก่าจากเดิมเป็นเงิน 197 บาท/ลบ.ม. เหลือเป็นเงิน 0.28 - 9.05 บาท/ลบ.ม.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470426721 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: SPENT ALKALINE / BLACK OXIDE COATING / LEAD / PRECIPITATION /
STORAGE BATTERY

PAKPONG SREEPRASERT : USING SPENT ALKALINE FROM BLACK OXIDE COATING
INDUSTRY FOR LEADPRECIPITATION PROCESS OF WASTEWATER FROM STORAGE
BATTERY RECYCLING INDUSTRY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THARES SRISATIT,
Ph.D., 164 pp. ISBN 974-17-7152-5.

The objective of this research is to study the use of spent alkaline from black oxide coating industry for lead precipitation process of wastewater from storage battery recycling industry compare with 2 type of precipitant, NaOH and Na_2CO_3

The source and generation rate of wastewater from storage battery recycling industry that shown the storage battery recycling industry have wastewater 40 cu.m./day. The ratio of wastewater and product in process is 1.9 litre/ 1 kg. ingot of lead. The spent alkaline from black oxide coating is 42 litre/day, ratio of spent alkaline and black coating iron product is 0.06 litre/ 1 kg. of product.

The lead removal from chemical precipitation process that use NaOH to precipitate substance is appropriate pH at 8.5 - 10.5, and using anionic polymer to increase precipitation capacity shown it best concentration is 2 mg/l, it can remove lead solution and total lead 100 and 99.57%, respectively. , and there are 24% of lead in dry solid sludge. The budget for treatment is 197 baht/1 cu.m. of wastewater. To use spent alkaline, that shown the appropriate pH at 8.5- 10.5, and use anionic polymer to increase precipitation capacity shown it best concentration is 1.8 mg/l, it can remove lead solution and total lead 100 and 99.22%, respectively. , and there are 21% of lead in dry solid sludge . The budget for treatment is about 0.28 – 9.05 baht/1 cu.m. of wastewater. To use Na_2CO_3 , that shown the appropriate pH at 8.5- 10.0, and using anionic polymer concentration is 0.6 mg/l it not increase the precipitation efficiency but it can reduce the turbidity, it can remove lead solution and total lead 88.81 and 98.77%, respectively. , and there are 14% of lead in dry solid sludge. The budget for treatment is about 168.75 – 168.85 baht/1 cu.m. of wastewater

From the experimental, spent alkaline from black oxide coating industry is possible to use to precipitate dissolve lead and total lead and reduce turbidity. So, it possible to use spent alkaline for removal the lead contaminated in wastewater from storage battery recycling industry. In the case of waste exchange between two industry. It can reduce the cost for spent alkaline disposal to 0 - 929 baht/cu.m.(from 4,679 baht/cu.m.) and reduce the cost of wastewater precipitation process from storage battery recycling industry to 0.28 – 9.05 baht /cu.m. (from 197 baht/cu.m.)

Department Environmental Engineering Student's signature.....

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2547

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ฐาพร ศรีสติย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความอนุเคราะห์ ชี้แนะ ส่งเสริม และสนับสนุนทุกสิ่งอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการจัดทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิจัยตลอดมาจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านอันได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ อาจารย์ ดร.เชมรัฐ โอสถาพันธ์ และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้คำปรึกษา และความรู้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผอ.สมศักดิ์ สุวดีภิกะ ผู้อำนวยการสำนักทะเบียนโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่กรุณาอนุเคราะห์ในการติดต่อ ประสานงานและเอื้อเฟื้อข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณภจจิณ สารไพศา ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับน้ำค้างที่ใช่แล้วและการติดต่อ ประสานงานต่างๆในบริษัท เอส.ดับบลิว.แอนด์ ซันส์ จำกัด

ขอขอบคุณบริษัท เบอร์กโฮเมทัล จำกัด และ บริษัท เอส.ดับบลิว.แอนด์ ซันส์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้น้ำเสียตะกั่วและ น้ำค้างที่ใช่แล้ว ในการนำมาทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณอนุรักษ์ วิไล บริษัท วอเตอร์ ดีท็อกเตอร์ จำกัด และคุณธวัชชัย ลีลาวรรณิช ห้างหุ้นส่วนจำกัด ลีวัฒนา เคมีคอล ที่กรุณาเอื้อเฟื้อเพื่อโพลีเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณครูปฏิบัติการประจำห้องทดลองทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำการทดลองในงานวิจัยด้วยดีเสมอมา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือในเรื่องการติดต่อ ประสานงาน

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนบางส่วนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ พี่สุเจนี๋ คุษเสงี่ยม รวมถึง เจ ฝ่าย บีต จอย แนน เกตุ ญัฐ ต่าย กาญจน์ อนุช และพี่ๆน้องๆทุกคนในห้องปฏิบัติการมูลฝอย หน่วยวิจัยการจัดการกากอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดีอันเป็นประโยชน์ในงานวิจัย

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา – มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้การอบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจ และชี้แนะหนทาง ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	4
2.1 ตะกั่ว.....	4
2.1.1 สมบัติทางกายภาพ	4
2.1.2 สมบัติทางเคมี	4
2.1.3 ประโยชน์ของตะกั่ว	6
2.1.4 ความเป็นพิษของตะกั่ว.....	7
2.1.5 ค่ามาตรฐานของตะกั่วที่ยอมรับได้ในน้ำประปาต่างๆ	9
2.1.6 ตะกั่วในน้ำเสีย.....	9
2.2 การผลิตตะกั่วแท่งจากการหลอมแบตเตอรี่เก่า	12
2.2.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว	12
2.2.2 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่รถยนต์	14
2.2.3 กรรมวิธีการถลุงหลอมตะกั่วของโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า	15
2.3 การผลิตตะกั่วแท่งจากการหลอมแบตเตอรี่เก่า โรงงานจังหวัดสระบุรี	18
2.3.1 กระบวนการผลิตตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่า	18
2.3.2 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่า	20

หน้า

2.4 การรวมด่างฟิวไลต์ของโรงงานจังหวัดนครราชสีมา	24
2.4.1 กระบวนการรวมด่างฟิวไลต์	24
2.4.2 น้ำเสียจากกระบวนการรวมด่างฟิวไลต์	26
2.5 กระบวนการต่างๆ ในการกำจัดโลหะหนัก.....	20
2.5.1 การตกผลึกทางเคมี.....	27
2.5.2 โคแอกกูเลชัน, ฟลอคคูเลชัน.....	27
2.5.3 การแลกเปลี่ยนไอออน	28
2.5.4 ออกซิเดชันและรีดักชัน	28
2.5.5 รีเวิร์สออสโมซิส.....	29
2.5.6 การระเหย.....	29
2.5.7 อิเล็กโตรไดอะไลซิส	29
2.5.8 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า	29
2.5.9 การดูดซับ.....	29
2.5.10 การบำบัดโดยจุลินทรีย์	30
2.6 การตกผลึกทางเคมี.....	30
2.6.1 Hydroxide precipitation	31
2.6.2 Carbonate precipatation	32
2.6.3 Sulfide precipatation	33
2.6.4 Xanthate precipatation	34
2.6.5 Combined precipatation	35
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	41
3.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	41
3.2 วิธีการทดลอง.....	41
3.3 พารามิเตอร์	48
3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	48
3.5 วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์	49

บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์.....	51
4.1 ประเมินอัตราการใช้น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสียของโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจาก แบตเตอรี่เก่าและโรงงานรอมดำเทียบกับผลิตภัณฑ์	51
4.1.1 โรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี	51
4.1.2 โรงงานรอมดำผิวโลหะ จังหวัดนครราชสีมา	54
4.2 การวิเคราะห์ลักษณะและสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียตะกั่วและน้ำค้างที่ใช้แล้ว	56
4.2.1 น้ำเสียตะกั่วโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี	56
4.2.2 น้ำค้างที่ใช้แล้วจากโรงงานรอมดำ (spent alkaline) จังหวัดนครราชสีมา	57
4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี เมื่อใช้ NaOH, น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) และ Na_2CO_3 เป็นสารตกตะกอน	58
4.3.1 pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่ว	58
4.3.2 ปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่ว	65
4.4 การกำจัดตะกั่วในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับสารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด	69
4.4.1 ตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลิเมอร์ 3 ชนิด	69
4.4.2 ตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลิเมอร์ 3 ชนิด	75
4.4.3 ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ 3 ชนิด	81
4.4.4 เปรียบเทียบการตกตะกอนตะกั่วด้วย NaOH, Spent alkaline, Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ	87
4.5 ระยะเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline, Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ	90
4.5.1 ตกตะกอนด้วย NaOH	90
4.5.2 ตกตะกอนด้วย Spent alkaline	91
4.5.3 ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3	92
4.6 สรุปสภาวะที่เหมาะสม	93
4.7 การวิเคราะห์ตะกอนแห้ง	94
4.7.1 ตะกอนอบแห้งจากการตกตะกอนด้วย NaOH และ NaOH ร่วมกับ โพลิเมอร์ประจุลบ	94

4.7.2 ตะกอนอบแห้งจากการตกตะกอนด้วย Spent alkaline และ Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	96
4.7.3 ตะกอนอบแห้งจากการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	98
4.8 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีของโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่า	99
4.9 เปรียบเทียบการบำบัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3	102
4.10 การใช้น้ำค้างที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมนมดำเพื่อบำบัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีของน้ำเสียอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า	103
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	107
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	109
รายการอ้างอิง.....	110
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก รายละเอียดน้ำค้างที่ใช้แล้วและน้ำยารมดำของโรงงานนมดำผิวโลหะ ...	115
ภาคผนวก ข การหาความเข้มข้น	125
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง.....	129
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ตะกอนอบแห้งด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction	144
ภาคผนวก จ กฎหมายต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	151
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	164

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ขนาดอนุภาคของสารตะกั่วรูปแบบต่างๆ ในน้ำ	6
ตารางที่ 2.2 อาชีพที่บุคคลมีโอกาสได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย	8
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานการปนเปื้อนของตะกั่วในน้ำประเภทต่างๆ	9
ตารางที่ 2.4 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท.....	10
ตารางที่ 2.5 ปริมาณโลหะละลายบางชนิดในน้ำเสียอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วแท่ง จากแบตเตอรี่เก่า	23
ตารางที่ 2.6 ปริมาณโลหะละลายในน้ำเสียประเภทต่างๆ ของโรงงานหลอมตะกั่วแท่ง จากแบตเตอรี่เก่า	24
ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์	33
ตารางที่ 2.8 สรุปรายงานการกำจัดตะกั่วและประสิทธิภาพ.....	39
ตารางที่ 3.1 หัวข้อที่ใช้เปรียบเทียบ.....	47
ตารางที่ 3.2 วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในการวิจัย.....	50
ตารางที่ 4.1 บัญชีวัสดุที่ใช้ในการผลิตตะกั่วแท่ง.....	53
ตารางที่ 4.2 บัญชีผลิตภัณฑ์และวัสดุพลอยได้.....	53
ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี	56
ตารางที่ 4.4 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของน้ำต่างที่ใช้แล้วจากโรงงานรรมดำ จังหวัดนครราชสีมา..	57
ตารางที่ 4.5 สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอน ทางเคมี	94
ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของตะกอนแห้ง	95
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบการบำบัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อตกตะกอน ด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na ₂ CO ₃	102
ตารางที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสียของแต่ละโรงงาน	105

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แบตเตอรี่สะสมตะกั่ว	13
รูปที่ 2.2	ขั้นตอนการผลิตตะกั่วแท่งโดยใช้การหลอมแบบใช้หินปูน โรงงานหลอมตะกั่วแท่ง จากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี	19
รูปที่ 2.3	แหล่งกำเนิดของน้ำเสียและระบบการใช้น้ำหมุนเวียนของโรงงานหลอมตะกั่วแท่ง จากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี	22
รูปที่ 2.4	ขั้นตอนการรรมดำโลหะของโรงงานอุตสาหกรรมรรมดำ จังหวัดนครราชสีมา	25
รูปที่ 2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลาย กับ ความสามารถในการละลายของ ไฮดรอกไซด์ และ โลหะซัลไฟด์.....	32
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการหาช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกั่ว.....	43
รูปที่ 3.2	การตกตะกอนตะกั่วโดยใช้สารตกตะกอนร่วมกับสารช่วยตกตะกอน.....	46
รูปที่ 4.1	ปริมาณการใช้น้ำหมุนเวียนและปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต.....	52
รูปที่ 4.2	ปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณน้ำเสีย และปริมาณน้ำต่างที่ใช้แล้วของโรงงานรรมดำ.....	55
รูปที่ 4.3	ปริมาณตะกั่วละลายที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย NaOH.....	58
รูปที่ 4.4	ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย NaOH.....	58
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ของ pH และความสามารถในการละลายของสารประกอบ ไฮดรอกไซด์บางชนิดในน้ำ	60
รูปที่ 4.6	ปริมาณตะกั่วละลายในน้ำเสียที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย Spent alkaline.....	60
รูปที่ 4.7	ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย Spent alkaline.....	60
รูปที่ 4.8	ปริมาณตะกั่วละลายที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย Na ₂ CO ₃	62
รูปที่ 4.9	ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย Na ₂ CO ₃	62
รูปที่ 4.10	ความสามารถในการละลายของสารประกอบตะกั่วบางชนิดในน้ำเสีย	58
รูปที่ 4.11	ความสัมพันธ์ของคาร์บอนไดออกไซด์และความสามารถในการละลายของ สารประกอบคาร์บอนตบางชนิดในน้ำเสีย	63

รูปที่ 4.12 ปริมาณตะกั่วละลายที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3	64
รูปที่ 4.13 ปริมาณของแข็งที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3	64
รูปที่ 4.14 เส้นโค้งไตเตรชันของ NaOH 0.5 N กับน้ำเสีย 1 ลิตร	65
รูปที่ 4.15 เส้นโค้งไตเตรชันของ spent alkaline 0.495 N กับน้ำเสีย 1 ลิตร.	66
รูปที่ 4.16 เส้นโค้งไตเตรชันของ Na_2CO_3 2 N กับน้ำเสียตะกั่ว 1 ลิตร.	67
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณสารตกตะกอนเมื่อปรับ pH ด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3	68
รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก	70
รูปที่ 4.19 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก.....	70
รูปที่ 4.20 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก.....	70
รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบ	71
รูปที่ 4.22 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ.....	72
รูปที่ 4.23 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ.....	72
รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ไร้ประจุ	73
รูปที่ 4.25 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ.....	74
รูปที่ 4.26 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ.....	74
รูปที่ 4.27 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก	75
รูปที่ 4.28 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ ประจุบวก.....	76

รูปที่ 4.29 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก.....	76
รูปที่ 4.30 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	77
รูปที่ 4.31 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ.....	78
รูปที่ 4.32 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ.....	78
รูปที่ 4.33 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ	79
รูปที่ 4.34 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ.....	80
รูปที่ 4.35 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ.....	80
รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก	81
รูปที่ 4.37 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก.....	82
รูปที่ 4.38 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก.....	82
รูปที่ 4.39 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	83
รูปที่ 4.40 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ.....	84
รูปที่ 4.41 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ.....	84
รูปที่ 4.42 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ	85
รูปที่ 4.43 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ.....	86
รูปที่ 4.44 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ.....	86

รูปที่ 4.45 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	88
รูปที่ 4.46 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	88
รูปที่ 4.47 ลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline, Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	89
รูปที่ 4.48 ปริมาณตะกอนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline, Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	90
รูปที่ 4.49 ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH และ NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	90
รูปที่ 4.50 ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline และ Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	91
รูปที่ 4.51 ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	92
รูปที่ 4.52 การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline, Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	93
รูปที่ 4.53 ลักษณะตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH และ NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	94
รูปที่ 4.54 ลักษณะตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline และ Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	96
รูปที่ 4.55 ลักษณะตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันประเทศไทยซึ่งกำลังฟื้นตัวจากปัญหาสภาพเศรษฐกิจ (พ.ศ.2540) มีการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างกว้างขวางเพื่อเพิ่มผลผลิตและสร้างรายได้ให้กับประเทศมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดปัญหาของเสียและปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในบำบัดของเสียเหล่านี้ โดยเฉพาะหากของเสียดังกล่าวจัดเป็นของเสียอันตราย (Hazardous Waste) ทางโรงงานยิ่งต้องให้ความสำคัญอย่างมากในการบำบัด เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดทางกฎหมายและการรักษาสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมหลอมตะกั่วแบ่งจากแบตเตอรี่เก่าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่เกิดของเสียอันตราย น้ำเสียจากกระบวนการการผลิตมีตะกั่วละลายปนอยู่สูง วิธีการบำบัดที่นิยมใช้คือ การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) โดยการปรับ pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อเปลี่ยนรูปจากตะกั่วที่ละลายน้ำให้เป็นตะกั่วที่ไม่ละลายน้ำ แล้วจึงแยกตะกอนตะกั่วออกจากน้ำเพื่อนำไปบำบัดต่อไป สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับ pH ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซดาแอช (Na_2CO_3) และปูนขาว (Lime , $\text{Ca}(\text{OH})_2$) เป็นต้น

อุตสาหกรรมรมดำโลหะ เป็นอุตสาหกรรมที่มีของเสียอันตรายเช่นกัน ซึ่งเกิดจากกระบวนการการล้างผิวชิ้นงาน ที่มักจะเป็นด่างที่มีค่า pH สูง การบำบัดทำโดยการทำให้เป็นกลาง (Neutralization) โดยใช้กรดปรับ pH ให้เป็นกลาง จากลักษณะของของเสียอันตราย ที่เกิดจากอุตสาหกรรมทั้งสองชนิด พบว่ามีแนวโน้มที่จะสามารถนำน้ำต่างที่ใช้แล้ว (Spent alkaline) จากอุตสาหกรรมรมดำโลหะมาใช้ปรับ pH เพื่อตกตะกอนตะกั่วจากน้ำเสียอุตสาหกรรมหลอมแบตเตอรี่เก่าได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำต่างที่ใช้แล้ว จากอุตสาหกรรมรมดำโลหะมาใช้เป็นสารปรับ pH เพื่อตกตะกอนตะกั่วจากน้ำเสีย ของอุตสาหกรรมหลอมแบตเตอรี่เก่า โดยศึกษาสถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของกระบวนการตกตะกอนทางเคมี และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการ เพื่อส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนของเสีย

(Waste exchange) ระหว่างทั้งสองโรงงาน ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณการเกิดน้ำค้างที่ใช้อย่างไรจากอุตสาหกรรมนมดำ และปริมาณน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า

1.2.2 เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วโดยใช้ด่างที่ใช้อย่างไรเป็นสารปรับ pH ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมี

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้ด่างที่ใช้อย่างไรเทียบกับสารเคมีอื่นๆ เป็นสารปรับ pH ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมี

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการแลกเปลี่ยนของเสีย (Waste exchange) ระหว่างโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่าและโรงงานนมดำมิวโลหะ

1.3.2 น้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วที่ใช้ในการวิจัย เป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี

1.3.3 น้ำด่างที่ใช้อย่างไร (Spent alkaline) ที่ใช้ในการวิจัย เป็นด่างที่ใช้อย่างไรจากโรงงานนมดำมิวโลหะ จ.นครราชสีมา

1.3.4 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้ด่างที่ใช้อย่างไร โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซดาแอช เป็นสารตกตะกอน

1.3.5 ศึกษาแบบการตกตะกอนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสีย ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อใช้ด่างที่ใช้อย่างไร โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซดาแอช เป็นสารตกตะกอน

1.3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีระหว่างน้ำด่างที่ใช้อย่างไร โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซดาแอช เป็นสารตกตะกอน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

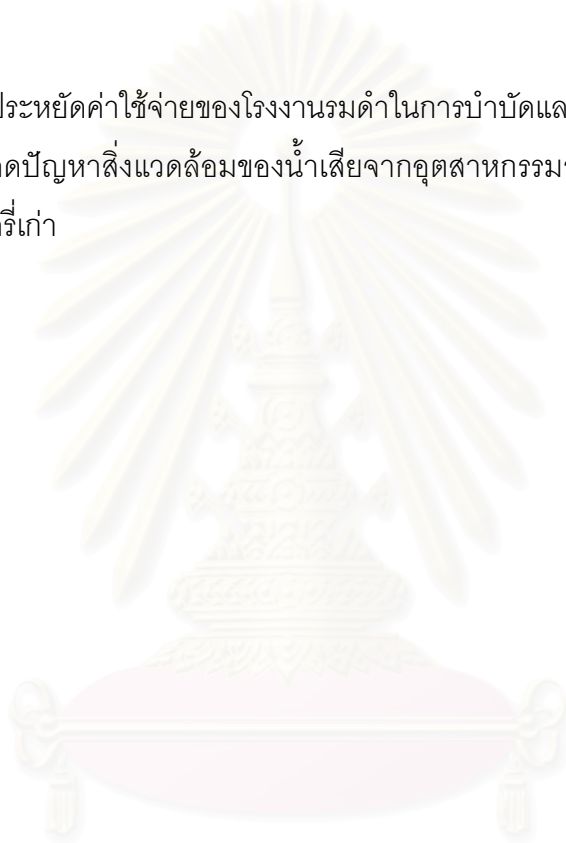
1.4.1 ทราบปริมาณการเกิดน้ำค้างที่ไข้แล้วจากอุตสาหกรรมนมดำ และปริมาณน้ำเสียจากอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า

1.4.2 สามารถนำน้ำค้างที่ไข้แล้วจากอุตสาหกรรมนมดำมาใช้ตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า

1.4.3 ประหยัดค่าใช้จ่ายของโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่าในการนำน้ำค้างใหม่มาใช้

1.4.4 ประหยัดค่าใช้จ่ายของโรงงานนมดำในการบำบัดและทำลายฤทธิ์น้ำค้างที่ไข้แล้ว

1.4.5 ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมนมดำและอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 ตะกั่ว

2.1.1 สมบัติทางกายภาพ

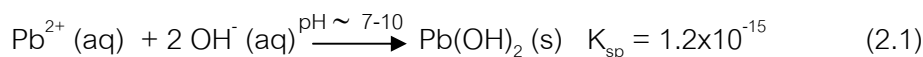
ตะกั่วเป็นธาตุแทรนซิชัน (TRANSITION ELEMENTS) ในตารางธาตุ (PERIODIC TABLE) พบกระจายอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ ส่วนมากอยู่ในสินแร่กาลีนา (GALENA, PbS) เซอร์ไซต์ (CERUSSITE, $PbCO_3$) และแองกลีไซต์ (ANGLESITE, $PbSO_4$) โดยปนอยู่ในหินอัคนีบางชนิด ในลักษณะของสารประกอบซัลไฟด์ ตะกั่วจัดเป็นโลหะหนัก มีความถ่วงจำเพาะ 11.34 จุดหลอมเหลว $327.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ และจุดเดือด $1,751\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตะกั่วเมื่อบริสุทธิ์จะมีลักษณะด้าน และมีสีเทาแก่ รอยตัดและผิวบนจะเป็นสีเทาฟ้า เป็นโลหะที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน มีความหล่อลื่นในตัวเอง เป็นโลหะอ่อนที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถตัด รีด หรือตีได้ง่าย ขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน ผสมกับโลหะต่างๆ ได้หลายชนิด สารประกอบตะกั่ว ส่วนมากไม่ละลายน้ำ โดยทั่วไปจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่ออกไซด์ของตะกั่วจะมีสีเหลืองหรือสีส้ม ไดออกไซด์จะมีสีเทาหรือสีดำ ตะกั่วอาจอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ได้ ซึ่งสารประกอบตะกั่วอินทรีย์บางอย่างสามารถละลายน้ำได้ (Rochow และ Abel, 1973)

2.1.2 สมบัติทางเคมี

ตะกั่ว เป็นโลหะหนัก (Heavy Metal) หมู่ 4A ในตารางธาตุ มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 207 กรัม/โมล ตะกั่วที่พบในธรรมชาติซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบของตะกั่ว มักจะมีค่าเลขออกซิเดชันเป็น +2 และ +4 แต่ที่พบโดยทั่วไปและมีความเสถียรมักจะเป็น +2 มากกว่า

ตะกั่วในรูปของละลายและหรือตะกอน ที่มีปนเปื้อนอยู่ในน้ำนั้น มีปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญๆ เกี่ยวข้อง ดังนี้ คือ

Pb^{2+} ในสารละลายที่เป็นด่างที่มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ไม่สูงมากเกินไปนัก ตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} จะสามารถตกตะกอนเป็นของแข็งสีขาวได้เป็น $Pb(OH)_2$ ดังสมการ (2.1)

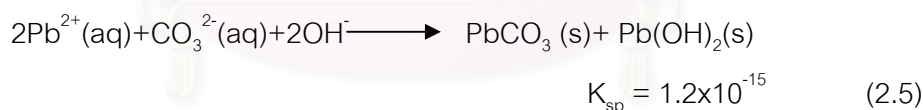
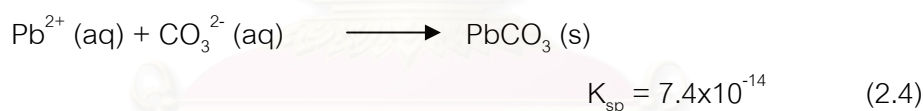


$\text{Pb}(\text{OH})_2$ ที่เกิดขึ้นนี้จัดว่าเป็นสารที่มีสมบัติในการละลายได้ทั้งในด่างและในกรด (Amphoteric hydroxide) ดังสมการ (2.2) และ (2.3)

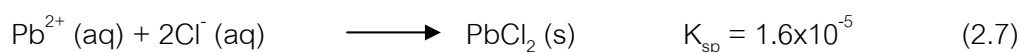


ตะกั่วละลายน้ำ พบว่า อาจจะมีอยู่ในรูปฟอร์มที่แตกต่างกันได้ คือ Pb^{2+} , $\text{Pb}(\text{OH})^{+}$, $\text{Pb}(\text{OH})_2$, $\text{Pb}(\text{OH})_3^{-}$ หรือ $\text{Pb}(\text{OH})_4^{2-}$ โดยจะมีอัตราส่วนที่ต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลาย ถ้า $\text{pH} < 6$ ตะกั่วในสารละลายส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ Pb^{2+} และถ้า pH สูงกว่า 7 จนถึง 10 ตะกั่วจะเริ่มตกตะกอนได้ดี จนถึงค่า pH ประมาณ 11 ตะกั่วที่ตกตะกอนจะสามารถละลายได้และละลายได้ดีมากขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้นกว่านั้นอีก

Pb^{2+} ในสารละลายน้ำที่มีคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) อยู่ด้วย ก็จะสามารถตกตะกอนในรูป PbCO_3 ได้ด้วย ดังสมการ



Pb^{2+} ในสารละลายกรดเจือจาง (HCl dil.) ที่มีคลอไรด์ไอออน (Cl^{-}) อยู่ด้วยในปริมาณที่ไม่สูงมากนัก ก็จะสามารถตกตะกอนได้เป็น PbCl_2 แต่ถ้าสารละลายกรดเกลือมีความเข้มข้นสูงมากขึ้นคือมากเกินไป ก็จะทำให้ตะกอน PbCl_2 ที่เกิดขึ้น ละลายได้เป็น $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ ดังสมการ



ตะกั่วที่พบในน้ำรูปแบบต่างๆ นั้น มีความสัมพันธ์กับขนาดอนุภาค ดังแสดงในตารางที่

2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดอนุภาคของสารตะกั่วรูปแบบต่างๆ ในน้ำ

Size	← 1 mm. — 10 mm. — 100 mm. — 1000 mm.						
	Soluble			Colloidal		Particulate	
Metal Species	Free metal ions	Inorganic ionpairs, Oragnaic chelates	Organic Complex	Metal species bound to high molecular weight organic material	Metal species adsorbed on colids	Metal incorporated with organic particles and remain of living organisms	Mineral solid, Metal adsorbed on solids, Precipitates and co-precipitation
Example	Pb ²⁺	PbHCO ₃ ⁺ Pb-EDTA	Pb-fulvic acid	Pb-humic acid	Pb-Fe (OH) ₃ Pb-MnO ₂	Pb-organic solid	Pb-Clay PbCO ₃ (s)

ที่มา : Harrison และ Laxen (1981)

2.1.3 ประโยชน์ของตะกั่ว

- ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสี เช่น สีแดง (red lead; PbO) สีเหลืองส้ม (Lead chromate; PbCrO₄) และสีขาว (lead carbonate; PbCO₃)
- ใช้ในอุตสาหกรรมการทำหม้อแบตเตอรี่และโลหะหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าต่างๆ โดยเฉพาะการผลิตแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ คิดเป็นร้อยละประมาณ 60 ของตะกั่วที่ผลิตได้ทั้งหมดทั่วโลก (กรมทรัพยากรธรณี, 2544)
- ใช้เป็นเครื่องกำบังป้องกันอันตรายจากรังสี ในอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการทางด้านรังสีและนิวเคลียร์
 - ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมกระจก และเครื่องเคลือบบางชนิด
 - ใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืชบางชนิด
 - ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตหมึกพิมพ์
 - สารเตตระเอทิลเลด (tetraethyllead:Pb(C₂H₅)₄) ใช้เป็นตัวผสมเติมในน้ำมันเบนซินพลังสูง ในอัตรา 3 กรัมต่อแกลลอน เพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบขึ้น (antiknock) แต่ปัจจุบัน

หลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยเลิกใช้แล้ว เพราะสารดังกล่าวเมื่อเผาแล้วตะกั่วจะกลายเป็นไอปะปนอยู่ในอากาศ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

- ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมทำท่อน้ำต่างๆ ตลอดจนทำพีวีซี
- ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาวุธและกระสุนปืนต่างๆ
- ใช้ในอุตสาหกรรมผสมโลหะต่างๆ เช่น ตะกั่วผสมดีบุก เป็นโลหะบัดกรี (solder)

ตะกั่วผสมพลวง เป็นโลหะตัวพิมพ์ (type metal) ตะกั่วผสมบิสมัท ดีบุก และแคดเมียม เป็นโลหะผสมที่เรียกว่า Wood's alloy เป็นต้น

2.1.4 ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วจัดว่าเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษและอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ หากสิ่งมีชีวิตได้รับการสะสมเข้าไปในร่างกายจนเกินขีดความสามารถที่ร่างกายจะทนทานได้ ซึ่งความเป็นพิษของตะกั่วนั้นจะมาจากสารหลัก 2 ประเภท คือ

- 1) ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่ ตะกั่วผสมดีบุกที่ใช้ทำลวดเชื่อมบัดกรีโลหะ ลูกปืน ท่อ ตะกั่ว สายเคเบิล สีทาบ้าน สีทาโลหะกันสนิม หมึกพิมพ์ และใช้ผสมกระเบื้องเครื่องเคลือบหรือเซรามิคเพื่อให้เกิดความเงางามและผิวเรียบ นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมการถลุงและการแต่งแร่ โลหะตะกั่วก็ทำให้มีสารตะกั่วตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งในดิน น้ำ และอากาศ เช่น เศษละอองฝุ่นผงตะกั่วในอากาศ ตะกั่วในรูปของไอออน (Pb^{2+}) ที่ละลายในน้ำ ตะกั่วออกไซด์ (PbO) ตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) ตะกั่วคาร์บอเนต ($PbCO_3$) ที่ตกตะกอนในดิน เป็นต้น
- 2) ตะกั่วอินทรีย์ เป็นสารประกอบตะกั่วในน้ำมัน เช่น สารเตตระเอทิลเลด ($Pb(C_2H_5)_4$) ที่ใช้เป็นสารกันน็อค เพื่อป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ในเวลาทำงาน ตะกั่วอินทรีย์เป็นสารระเหยได้ง่ายและคงตัวอยู่เป็นไอในอากาศ เมื่ออยู่ในสถานะของเหลวจะสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ หากถูกเผาไหม้ในเครื่องยนต์จะถูกเปลี่ยนเป็นตะกั่วอินทรีย์ในสภาพของอนุภาคปนออกมากับไอเสียของยานยนต์ และเข้าสู่ร่างกายโดยทางหายใจ หากอนุภาคของตะกั่วจากท่อไอเสียตกลงบนอาหารที่อยู่ริมถนน สารตะกั่วก็จะเข้าสู่ร่างกายได้โดยผ่านระบบทางเดินอาหาร

การได้รับสารตะกั่วสะสมเข้าสู่ร่างกาย อาจทำให้เกิดพิษเฉียบพลันและเรื้อรังต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย พิษเรื้อรังของตะกั่วจะค่อยๆ แสดงอาการออกมา หลังจากได้รับสารตะกั่ว

ที่ละน้อย เข้าสู่ของเหลวในร่างกายและค่อยๆ สะสมในร่างกาย จนกระทั่งถึงระยะเวลาหนึ่ง จึงแสดงอาการออกมา ส่วนมากเกิดกับบุคคลที่มีอาชีพที่สัมผัสกับสารตะกั่ว (ตารางที่ 2.2) และกับชุมชนบริเวณที่มีการปนเปื้อนตะกั่วในสิ่งแวดล้อม เช่น บริเวณเหมืองหรือโรงแต่งแร่ตะกั่ว เป็นต้น ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ไปจับกับเม็ดเลือดแดงแทนที่เหล็ก (Fe^{+2}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็น ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง (Anaemia) ทำให้ปริมาณเหล็กในน้ำเหลืองเพิ่มขึ้นผิดปกติ ตะกั่วบางส่วนจะเข้าไปแทนที่แคลเซียม (Ca^{+2}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นในการสร้างกระดูกและฟัน ทำให้มีอาการปวดตามข้อกระดูก และหักง่าย ถ้าไปสะสมที่รากฟัน ทำให้เห็นเป็นสีม่วง หรือสีดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่า เส้นตะกั่ว (Lead line) ฟันหลุดง่าย นอกจากนี้ยังสะสมในไขมัน สมองระบบประสาท ระบบน้ำเหลือง ตับและไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ

- อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดอาการปวดท้อง น้ำหนักลด เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก
- อาการพิษทางประสาทและสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ เกิดอาการประสาทหลอน ซึม ไม่รู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้

ตารางที่ 2.2 อาชีพที่บุคคลมีโอกาสได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย

อาชีพที่มีโอกาสได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย	
โอกาสได้รับตะกั่วสูง	โอกาสได้รับตะกั่วปานกลาง
เหมืองตะกั่ว (ระดับปฏิบัติการ)	เหมืองตะกั่ว (ระดับเจ้าหน้าที่ทั่วไป)
หลอมตะกั่ว	ทำสายไฟ
หลอมโลหะที่ทาสีกันสนิม	ประกอบเครื่องเสียงวิทยุโทรทัศน์
ตัดโลหะจากเรือเก่า	โรงงานลูกปืน
โรงงานแบตเตอรี่	ซ่อมเครื่องยนต์
โรงงานสีที่มีตะกั่วผสมอยู่	ประกอบรถยนต์

พิษของตะกั่วอาจเกิดจากการกินอาหารหรือน้ำที่มีตะกั่วเจือปน รวมทั้งการหายใจเอาอากาศที่มีตะกั่ว เช่น คาร์บอนหรือ ฝุ่นร่างกายคนเราสามารถขับตะกั่วออกไปได้ หากได้รับตะกั่วทั้งหมดไม่เกิน 0.3-0.4 มก./วัน (กองตรวจโรงงาน,2537) มีรายงานว่าพบพิษของตะกั่วจากการดื่มน้ำที่มีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำช่วง 0.04-1 มก./ล. หรือมากกว่า (สำนักงานบริการเทคโนโลยีและสาธารณสุข ม.มหิดล, 2539) ในขณะที่ความเข้มข้นประมาณ 0.1 มก./ล. ก็มีพิษ

ต่อปลาแล้ว พิษของตะกั่วแบบเฉียบพลันมีอยู่หลายอาการ เช่น อ่อนเพลีย คลื่นไส้ วิงเวียน การกระตุกของกล้ามเนื้อ ฯลฯ สำหรับพิษเรื้อรังที่สำคัญ ได้แก่ โรคโลหิตจาง เนื่องจากตะกั่วไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง นอกจากนี้ยังมีผลต่อระบบประสาทด้วย

2.1.5 ค่ามาตรฐานของตะกั่วที่ยอมรับได้ในน้ำประเภทต่างๆ

ตะกั่วเป็นโลหะที่ไม่จำเป็นในขบวนการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอย่างโลหะอื่นๆ เช่น โซเดียม แคลเซียม หรือเหล็ก จึงมีการกำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนของตะกั่วในน้ำดื่ม น้ำใช้ และน้ำประเภทต่างๆ เพื่อป้องกันและเพื่อความปลอดภัยของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมไว้ตารางที่

2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานการปนเปื้อนของตะกั่วในน้ำประเภทต่างๆ

มาตรฐาน	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ปริมาณตะกั่ว (mg/L)
มาตรฐานน้ำทะเล ¹⁾	0.05
มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ ²⁾	0.05*
มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ³⁾	0.05
มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ⁴⁾	0.2

หมายเหตุ :

- 1) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ.2537) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง
- 2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 (พ.ศ.2521) เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ และเป็นเกณฑ์อนุโลมสูงสุด*
- 3) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ลงวันที่ 20 มกราคม 2537
- 4) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539)

มาตรฐานยุโรป กำหนดค่าสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ถึง 0.3 มก./ล. หลังจากสัมผัสกับท่อตะกั่ว 16 ซม. ส่วน EPA กำหนดมาตรฐานไว้ที่ 0.05 มก./ล. (อุดร จารุรัตน์, 2537)

2.1.6 ตะกั่วในน้ำเสีย

ตะกั่วเป็นสารมลภาวะที่ไม่สลายตัวเองตามธรรมชาติ และเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยการชะล้างตะกั่วที่ตกค้างจากการใช้งาน หรือจากกิจกรรมอุตสาหกรรมที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากตะกั่วมีคุณสมบัติเหมาะในการใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ในกิจกรรมแบตเตอรี่ ใช้ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบ ทำสี Һุ่มสายเคเบิล การบัดกรี ทำตัวพิมพ์ ทั่อน้ำ ลูกปืน แผ่นตะกั่ว ใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตแก้ว พลาสติก เซรามิก แผ่นเหล็กอบสังกะสี และโลหะผสมนานาชนิด ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 2.4

การละลายของตะกั่วในน้ำเสีย มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย แต่ความรู้ทางเคมีของตะกั่วในน้ำเสียมีการศึกษากันน้อย ส่วนใหญ่อ้างอิงจากการศึกษาเคมีของตะกั่วในน้ำธรรมชาติ หรือน้ำกลั่นบริสุทธิ์ จากการศึกษาของ Naylor และ Dague (1975) พบว่า พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการละลายของตะกั่วในน้ำ คือความเป็นด่าง ความกระด้าง และพีเอช ซึ่งพารามิเตอร์แต่ละตัวมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน กล่าวคือ อัตราส่วนของความเป็นด่าง ซึ่งอยู่ในรูป คาร์บอเนต – ไบคาร์บอเนต – ไฮดรอกไซด์ มีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช ความกระด้างก็มีความสัมพันธ์กับความเป็นด่างและพีเอช เช่นเดียวกัน

ตาราง 2.4 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท (Patterson, 1985)

ประเภทโรงงาน	ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
* การผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วอยู่ในสถานะ อนุภาคแขวนลอย	5 – 48
สารละลาย.	0.5 – 25
** การผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วอยู่ในสถานะ อนุภาคแขวนลอย	0.4 – 66.5
สารละลาย	2.6 – 5.1
*** การผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วอยู่ในสถานะ อนุภาคแขวนลอย	40.3 – 319.4
สารละลาย	11.7
การชุบโลหะ	2 – 140
การผลิตหลอดโทรทัศน์	380 – 400

ตาราง 2.4 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท (Patterson, 1985)
(ต่อ)

ประเภทโรงงาน	ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
การผลิตตัวพิมพ์	45
การผลิตแก้ว	1.1 – 10.0
การเคลือบเครื่องลายคราม	0.47 – 1.39
การทำเหมืองแร่	29 – 170
การผลิตวัตถุระเบิด	94.6
การกลั่นน้ำมัน	1.65
ตะกั่วอินทรีย์	0.43 – 100
ตะกั่วอนินทรีย์	2.9
การกลั่นน้ำมัน	0.018 – 0.098
การผลิตสี	6.5
การผลิตเหล็กกล้า	
การหล่อโลหะ	126.7 – 144.8
การผลิตวงแหวนลูกสูบ	66.1 – 84.9

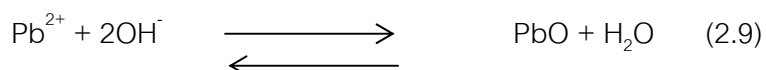
* IIT Research Institute c 8213 – 2 (1972)

** 29th Annual Purdue Industrial Waste Conference, West Lafayette, IN (May 1974)

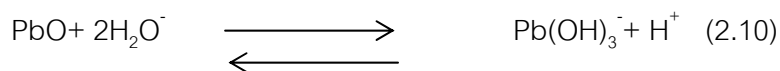
*** Proceedings of the 4th Conference on Advance Pollution Control for the Metal Finishing Industry. USEPA 600/9 – 82 – 022 (December 1982)

ผลของพีเอช

การละลายของตะกั่วในสารละลายขึ้นอยู่กับ พีเอช ที่พีเอชน้อยกว่า 8 ตะกั่วอยู่ในรูปสารละลาย พีเอช 8-11 ตะกั่วจะตกตะกอนเป็นตะกั่วออกไซด์ ดังสมการ



เนื่องจากคุณสมบัติตามธรรมชาติของตะกั่วออกไซด์ จะละลายในสารละลายที่มีพีเอชมากกว่า 11 ดังสมการ

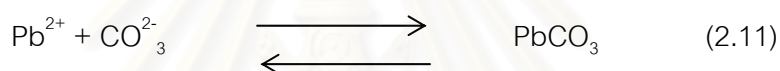


ผลของความกระด้าง

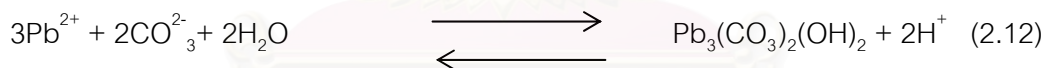
การละลายของตะกั่ว ถูกกำหนดโดยผลของความกระด้าง ในการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวที่ pH 10.5 ที่ pH นี้ ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วออกไซด์ ไอออนลบจากความกระด้างที่เกิดจากแคลเซียม และแมกนีเซียมผลเล็กน้อยต่อการละลายของตะกั่ว

ผลของความเป็นด่าง

ในน้ำที่มีตะกั่วและคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าการละลายของตะกั่วขึ้นอยู่กับ pH และความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออน ที่ pH น้อยกว่า 5 ตะกั่วจะอยู่ในรูปสารละลาย ที่ pH 5-8.5 ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนต ดังสมการ



ที่ pH 8.5-12.5 ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วออกไซด์ดังสมการที่ 2.11 หรือ อาจจะตกตะกอนในรูป basic lead carbonate ดังสมการ



ที่ pH > 12.5 ตะกั่วจะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วออกไซด์ ตามสมการที่ 2.12

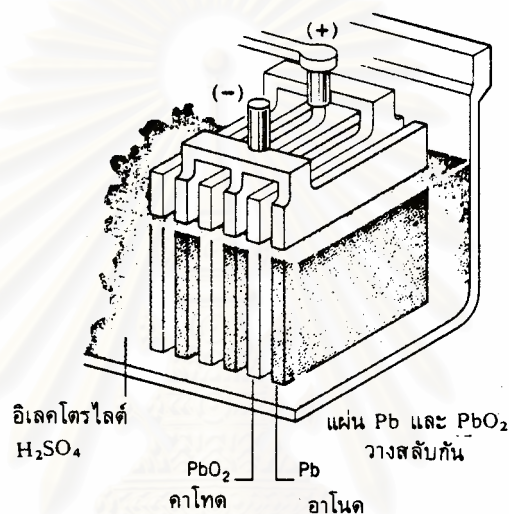
2.2 การผลิตตะกั่วแห่งจากการหลอมแบตเตอรี่เก่า

2.2.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว

แบตเตอรี่ตะกั่ว (Lead storage battery) เป็นเซลล์สะสมพลังงานไฟฟ้าที่สำคัญที่สุด ใช้ทั่วไปในรถยนต์ และเรียกทั่วไปว่าแบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่ทั่วไปจ่ายไฟ 6 V หรือ 12 V ขึ้นกับจำนวนเซลล์ย่อยที่ใช้เป็นองค์ประกอบ ภายในแบตเตอรี่มีเซลล์ย่อยหลายๆ เซลล์ต่อเข้าด้วยกันเป็นชุด ดังแสดงในรูป 2.1

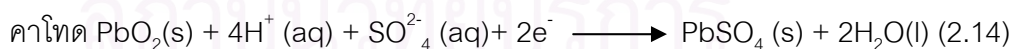
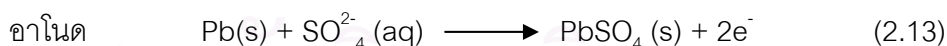
แต่ละเซลล์ย่อยมีแผ่นตะกั่ว (Pb) เป็นอาโนด และมีแผ่นเลด IV ออกไซด์ (PbO_2) เป็นคาโทด ขั้วไฟฟ้าเหล่านี้จุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟริก ซึ่งมีความเข้มข้นประมาณ 30% โดยน้ำหนัก (เมื่อแบตเตอรี่มีประจุไฟเต็ม) แต่ละเซลล์ย่อยให้ไฟ 2 V ดังนั้นแบตเตอรี่ 12 V จึงมีเซลล์ย่อย 6 เซลล์ต่อเข้าด้วยกันเป็นชุด

แผนผังเซลล์ของเซลล์สะสมตะกั่ว คือ

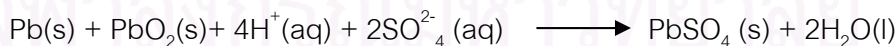


รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่สะสมตะกั่ว (ชัยวัฒน์, 2530)

เมื่อต่อให้ครบวงจร แบตเตอรี่จะจ่ายไฟ ปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้น คือ



และปฏิกิริยาสุทธิ คือ



$$\mathcal{E}_{\text{cell}} = 2.0 \text{ V}$$

แบตเตอรี่ตะกั่วสามารถประจุไฟได้โดยใช้กระแสจากภายนอกที่มีโวลเตจสูงกว่า โวลเตจของแบตเตอรี่นั้นเล็กน้อย สมการ 2.13 และ 2.14 จะย้อนกลับ สำหรับรถยนต์ แบตเตอรี่จะประจุไฟอยู่ตลอดเวลาโดยเจนเนอเรเตอร์ (generator) หรืออัลเทอร์เนเตอร์ (alternator) ของรถยนต์

ถ้าแบตเตอรี่นั้นเสื่อมคุณภาพมาก อาจประจุไฟโดยใช้เครื่องประจุไฟฟ้า (battery charger) เนื่องจากแบตเตอรี่ตะกั่วนี้สามารถประจุไฟฟ้า จึงเรียกว่าเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell)

วิธีที่สะดวกวิธีหนึ่งเพื่อตรวจสอบว่าแบตเตอรี่นั้นจ่ายไฟฟ้าแล้วมากน้อยเพียงใด คือ การวัดความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะของสารละลายกรดซัลฟิวริก จากสมการ 2.13 และ 2.14 จะเห็นได้ว่าเมื่อแบตเตอรี่จ่ายไฟ H_2SO_4 จะถูกใช้ไป ดังนั้นความถ่วงจำเพาะของสารละลายย่อมลดลงด้วย โดยปกติถ้าแบตเตอรี่จ่ายไฟ H_2SO_4 ถูกใช้ไป ดังนั้นความถ่วงจำเพาะของสารละลายย่อมลดลงด้วย โดยปกติถ้าแบตเตอรี่มีประจุไฟเต็มสารละลาย H_2SO_4 มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.275

2.2.2 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่รถยนต์

เมื่อพูดถึงแบตเตอรี่ ย่อมหมายถึงแหล่งที่สะสมพลังงานในรูปเคมีแล้วจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าออกไปใช้งานเป็นกระแสตรง แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ (SLI, Starting and Ignition Battery) เป็นแบตเตอรี่น้ำชนิดกรด - ตะกั่ว ใช้งานเป็นต้นกำลังในการติดเครื่องยนต์ เรือยนต์ จุดไฟแสงสว่าง จุดหัวเทียน ฯลฯ (ไสว โลงจนะศุภฤกษ์, 2539) แบตเตอรี่รถยนต์มีส่วนประกอบหลักได้แก่

- เปลือก** เปลือกแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ เปลือก (Case) พลาสติก ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกชนิด Polypropylene สามารถนำกลับมาใช้หมุนเวียนใหม่ได้ เปลือกอีกชนิดได้แก่ เปลือกยางแข็งหรือเปลือกดำ (Hard rubber) เปลือกชนิดนี้มีปัญหาในการกำจัด และยังมีปัญหาอันตรายจากสารที่ใช้เติมแต่งในเปลือกยาง (Filler material) เช่น Asbestos fibers
- แผ่นธาตุ** (Electrodes) แผ่นธาตุบวก (Positive electrodes) และแผ่นธาตุลบ (Negative electrodes) มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ โครม (grid) ทำด้วยอัลลอยด์โลหะตะกั่วผสมพลวง และเพสต์ (Paste) ซึ่งเป็นส่วนผสมของตะกั่วออกไซด์ กรดกำมะถัน น้ำ และสารปรุงแต่งของแบตเตอรี่แต่ละชนิด แผ่นธาตุที่จุ่มในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นกรดกำมะถัน เมื่อเกิดการถ่ายเทประจุ จะเปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$)

แผ่นกั้น (Separator)	เพื่อที่จะกั้นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบออกจากกัน จำเป็นต้องมีแผ่นกั้นที่มี ความพรุนที่ให้สาร Electrolyte ไหลผ่านได้ แผ่นกั้นที่ใช้สำหรับแบตเตอรี่ ทั่วไป ได้แก่ PVC cellulose, กระดาษใยแก้ว, Micro porous polyethylene ส่วนประกอบของแผ่นกั้น เมื่อถูกเผาไหม้ในเตาหลอมจะเกิด ปฏิกิริยาเป็นสารพิษที่เป็นสารประกอบของคลอรีน เช่น ไดออกซิน และ สารพิษอินทรีย์ ปนอยู่ในก๊าซที่ออกจากเตาหลอม
น้ำยาอีเลคโตรไลท์	เป็นกรดกำมะถันเข้มข้นประมาณ 10-15% ภายหลังจากฟอร์มมิง (Forming) และใช้งาน กรดกำมะถันทำปฏิกิริยากับตะกั่วออกไซด์เป็น ตะกั่วซัลเฟต ความเข้มข้นลดลงเหลือประมาณ 3-5%

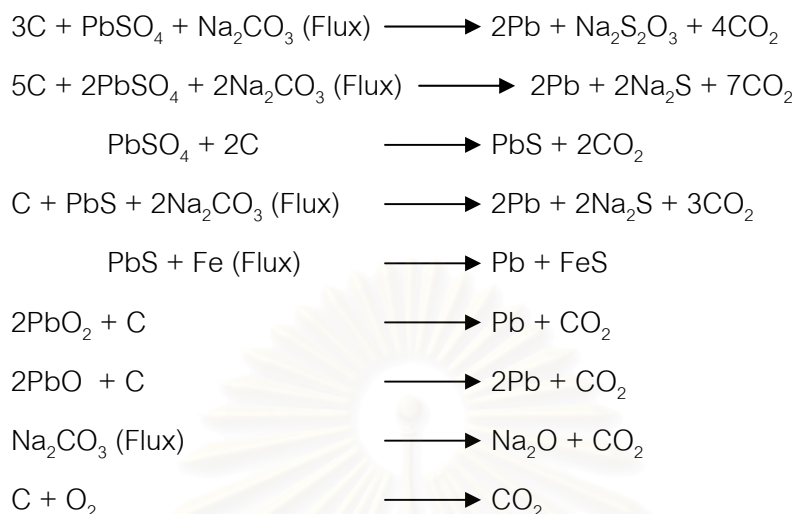
นอกจากส่วนประกอบหลักดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีส่วนประกอบอื่นซึ่งอาจแตกต่างกันไปบ้าง เช่น ขั้วทองแดงสำหรับแบตเตอรี่บางยี่ห้อ จุกฝาพลาสติก เป็นต้น

2.2.3 กรรมวิธีการถลุงหลอมตะกั่วของโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า

1) การหลอมดิบหรือการหลอมแบบไม่ใช้ฟลักซ์ (Flux) เป็นการหลอมโดยใช้
วัตถุดิบทั้งหมดหลอมละลายทำปฏิกิริยากับคาร์บอนหรือถ่านโค้กโดยตรง วิธีการคือ ทำการผสม
แผ่นธาตุกับถ่านโค้กลงในเตาถลุง ซึ่งอาจเป็นเตาอิฐก่อรูปสี่เหลี่ยมในแนวตั้ง หรือเตารูปวงกลม ที่
เรียกกันว่าเตาตั้งหรือการใช้ถ่านน้ำมันขนาด 200 ลิตร ข้างในอาจบุด้วยอิฐทนไฟ (ซึ่งการใช้ถ่าน
น้ำมันเป็นเตาถลุงเป็นวิธีการของโรงหลอมเถื่อนนิยมใช้กัน ดังเช่น โรงหลอมเถื่อนที่ทำให้วัวตายที่
จังหวัดราชบุรี เนื่องจากลงทุนต่ำและทำลายหรือเคลื่อนย้ายหลบหนีได้ง่าย) ทำการรอกันเตาด้วย
ถ่านโค้ก เจาะรูบริเวณก้นเตาเพื่อเป็นช่องลมเป่าเติมอากาศและเป็นช่องให้ตะกั่วที่หลอมเหลวไหล
ออกมา จุดไฟให้ถ่านโค้กติดไฟ ถ่านคาร์บอนจะทำปฏิกิริยา Reduction กับตะกั่วออกไซด์ได้ตะกั่ว
และตะกั่วซัลเฟตได้ตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) ตะกั่วที่หลอมเหลวจะไหลออกจากรูที่เจาะไว้ลงสู่ก้นบ่อ
ของเตา ทำการดักตะกั่วมาพักไว้ในกระทะบนเตาอังโล่ (กระทะแบบเดียวกับที่ใช้ผัดกับข้าวใน
ครัวเรือน) เพื่ออุ่นข้างเตา ก่อนตักลงแบบหล่อที่ต้องการ การหลอมแบบนี้มีประสิทธิภาพต่ำ ตะกั่ว
หลุดรอดเจือปนในก๊าซเสียจากเตาและกากตะกั่วสูงมาก รวมกันประมาณ 30 – 50%
ส่วนประกอบของก๊าซที่ออกจากเตาจะมีทั้งตะกั่วออกไซด์ ตะกั่วคลอไรด์ ตะกั่วซัลไฟด์ ก๊าซ
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคลอรีน และสารประกอบของคลอรีน เป็นต้น

2) การหลอมแบบการใช้โซดาแอช หรือ Na_2CO_3 เป็นการหลอมโดยใช้สาร
โซเดียมคาร์บอเนตเป็นฟลักซ์ ช่วยในการดึงซัลเฟอร์ออกจากตะกั่วและลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการ

หลอมโดยอาจมีการเติมเศษเหล็กลงไปด้วย สัดส่วนของโซดาแอช เหล็ก และถ่านโค้ก จะปรับให้เหมาะสมกับอุณหภูมิที่ใช้หลอม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ส่วนปฏิกิริยาเห็นได้ว่า โซเดียมคาร์บอเนตจะรีดิวซ์ตะกั่วซัลไฟด์ให้เป็นตะกั่วและให้สารขึ้นกลาง (intermediate compound) ของเกลือโซเดียมหลายชนิด ส่วนใหญ่จะเป็น Na_2S และ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ โดยอาจมี Na_2SO_4 และ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$ เจือปนอยู่ด้วย การเติมโซดาแอชอาจช่วยในการลดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ออกจากเตาหลอมให้ลดต่ำลงได้ถึง 200 ppm

ปฏิกิริยาของเหล็กที่เติมลงไปจะเป็นเช่นเดียวกับโซดาแอช โดยจะรีดิวซ์ตะกั่วซัลไฟด์ให้เป็นตะกั่ว สัดส่วนของเหล็กที่เติมลงไปจะต้องปรับให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการหลอมเหลวและเกิดกากตะกั่วที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุด Eutectic

กากตะกั่วที่เกิดขึ้นในการหลอมด้วยโซดาแอชประกอบด้วยเกลือซัลไฟด์และออกไซด์ของโซเดียมเหล็ก และตะกั่ว และอาจมีส่วนประกอบของ Silica, Alumina และออกไซด์ของโลหะอื่นๆ เจือปนอยู่ด้วย รวมทั้งถ่านคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด กากตะกั่วสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่า โซเดียมแมท (Sodium sulphide containing matte) ประกอบด้วย Na_2S 25-50%, FeS 35-50% อีกส่วนหนึ่งเป็นกากตะกั่วของออกไซด์ (Slag) ประกอบด้วย Na_2O และ SiO_2

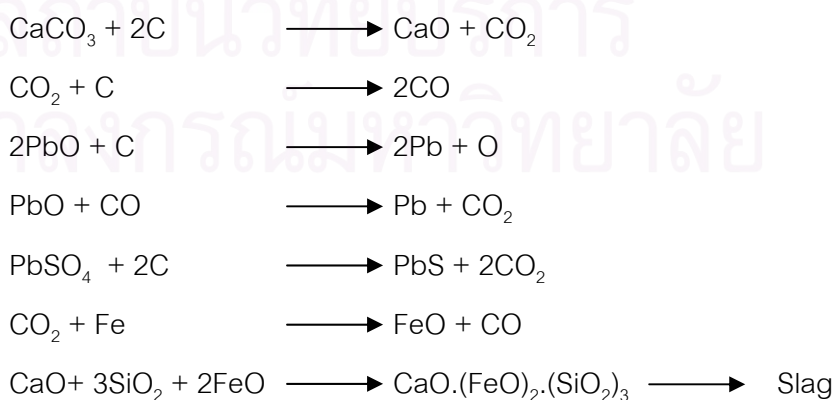
ทั้งโซเดียมแมทและกากตะกั่ว (Slag) จะอยู่รวมกันเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่แยกชั้น (Phase) ให้เห็นอย่างชัดเจน สารประกอบทั้งหมดของกากตะกั่วส่วนใหญ่เป็นสารที่ละลายน้ำ

ได้ดีและมีคุณสมบัติเป็นสารดูดความชื้น (Hydrosopic) ดังนั้นกากตะกอนที่ได้จึงไม่อยู่ตัวและทำปฏิกิริยากับความชื้นและออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็น NaOH และ SO₂ ขึ้นได้อีก

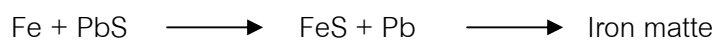
เนื่องจากคุณสมบัติของกากตะกอนชนิดนี้ละลายน้ำได้ดีและมีตะกั่วเจือปนสูงประเทศต่างๆ ทั่วโลกจึงจัดให้กากตะกอนชนิดนี้เป็นกากสารพิษหรือกากสารอันตราย (Toxic or Hazard waste) ที่ต้องมีวิธีบำบัดเป็นพิเศษที่ประกอบที่ละลายน้ำได้ออกจากกากตะกอน วิธีการแยกเอาส่วนประกอบที่เป็นตะกั่วและทำให้เสถียรหรือทำลายฤทธิ์ก่อนแล้วจึงทำให้อยู่ในสภาพเป็นของแข็ง (Solidification) และนำไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบที่ออกแบบสำหรับกากตะกอนชนิดนี้ (Specically designed landfill site)

3) การหลอมแบบการใช้หินปูน (CaCO₃) เนื่องจากปัญหาทางด้านกฎหมายควบคุมกากตะกอนที่เข้มงวดและวิธีการกำจัดกากตะกอนโซดาสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง จึงได้มีการคิดวิธีการหลอมโดยการสร้างกากตะกอนให้อยู่ในรูปของ Calcium-Silicate matrix โดยการควบคุมส่วนผสมของปูนขาว (CaO) ททราย (SiO₂) และเหล็ก (FeO) และปรับอุณหภูมิการหลอมเหลวที่เหมาะสม ซึ่งจะให้กากตะกอนที่มีคุณสมบัติคล้ายหินปูน มีลักษณะแข็งทนทานต่อการชะล้างกัดกร่อนของน้ำได้ดี (สุรพัทธ์, 2542)

ปฏิบัติการหลอมแบบนี้แตกต่างกันไปตามแต่เทคโนโลยีของแต่ละประเทศที่ใช้หรือคิดค้นพัฒนาขึ้น เช่น เทคโนโลยีกระบวนการหลอมแบบ Kaldo process ในประเทศสวีเดน เทคโนโลยีการหลอมแบบ QSL ในประเทศเยอรมัน หรือเทคโนโลยีการหลอมแบบ Kivet process ในประเทศรัสเซีย เป็นต้น แต่โดยหลักใหญ่แล้วปฏิบัติการพื้นฐาน น่าจะเป็นดังนี้

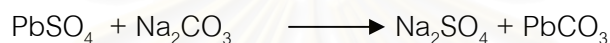


สำหรับการกำจัดซัลไฟด์ในตะกั่ว มีวิธีการกำจัดหลายวิธีแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น การใช้เหล็กทำปฏิกิริยากับตะกั่วซัลไฟด์เพื่อสร้าง Iron matte เพียงอย่างเดียว ปฏิกิริยาเป็นดังนี้

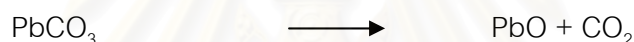


กรณีนี้ Iron matte จะแยกเป็นชั้น (Phase) ออกจาก Slag ให้เห็นอย่างชัดเจน

ตัวอย่างวิธีอื่นที่ใช้ได้แก่ การใช้สารละลายของโซดาแอชทำปฏิกิริยากับตะกั่วซัลไฟด์ในถังปฏิกริยาก่อนกำจัดซัลเฟอร์และเปลี่ยนให้เป็นตะกั่วคาร์บอเนตก่อนจึงนำเข้าเตาหลอม ปฏิกิริยาเป็นดังนี้



และเมื่อนำ PbCO_3 เข้าเตาหลอม ปฏิกิริยา เป็นดังนี้

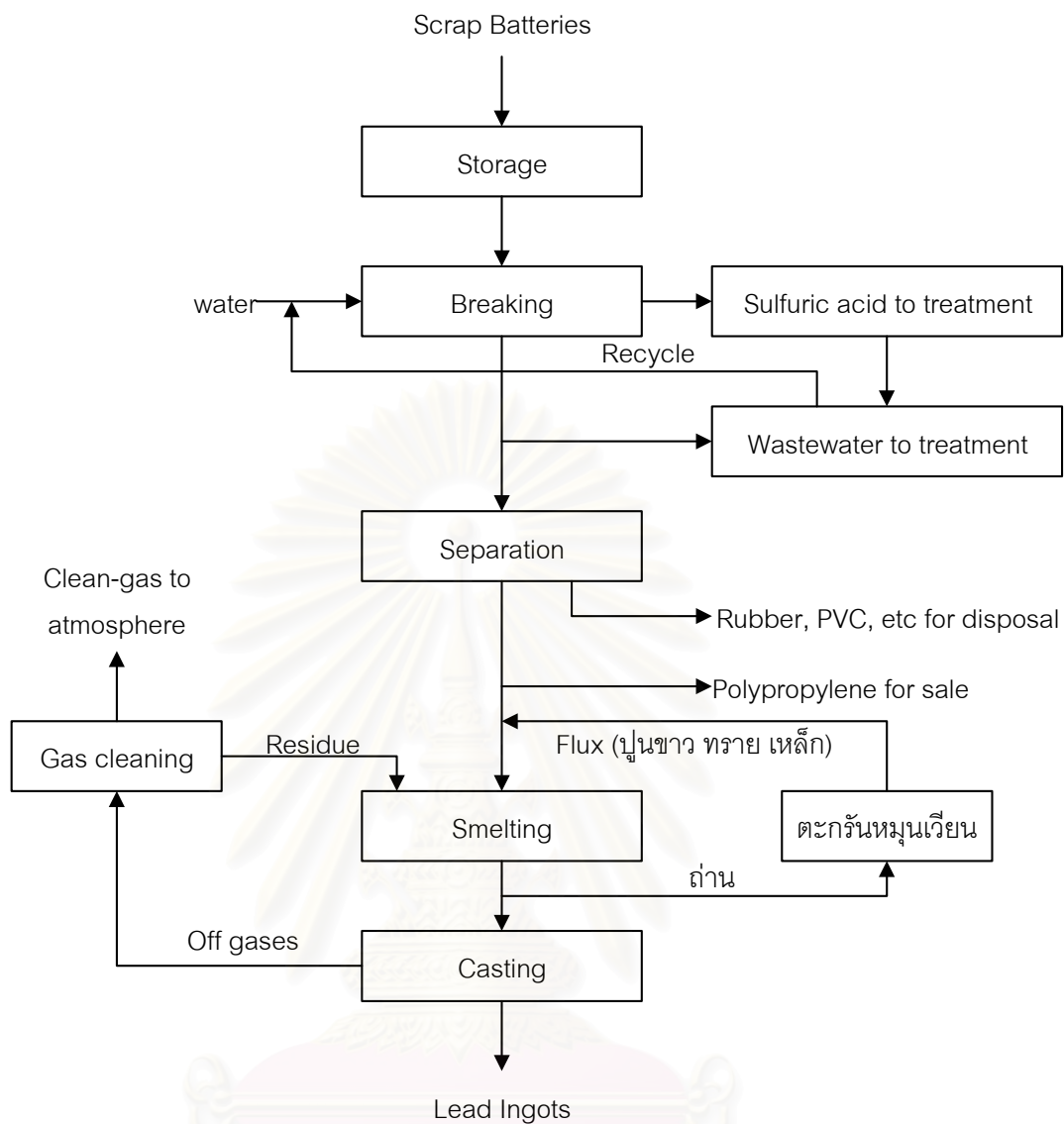


การหลอมแบบนี้จะไม่มีปัญหาทั้งการเกิด Iron matte และ Sodium matte แต่จะเกิดกากตะกั่ว (Slag) เพียงอย่างเดียว รวมทั้งได้ Na_2SO_4 เป็นผลพลอยได้

2.3 การผลิตตะกั่วแท่งจากการหลอมแบตเตอรีเก่า โรงงานจังหวัดสระบุรี

2.3.1 กระบวนการผลิตตะกั่วแท่งจากแบตเตอรีเก่า

โรงงานหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรีเก่า จังหวัดสระบุรี ใช้วิธีการหลอมตะกั่วโดยใช้การหลอมแบบการใช้หิน ปูน ททราย และเหล็กเป็นฟลักซ์ (รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 2.2.3 ข้อ 3) โดยมีกระบวนการการผลิตดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตตะกั่วแท่งโดยใช้การหลอมแบบใช้หินปูน

โรงงานหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Scrap Batteries: แบตเตอรี่เก่าที่เสื่อมสภาพแล้วจากแหล่งรับซื้อต่างๆ จะถูกขนส่งโดยรถบรรทุก

Storage : แบตเตอรี่เก่าจะถูกลำเลียงโดยสายพานลำเลียงเข้าสู่เครื่องผ่าบดหม้อแบตเตอรี่

Breaking and Separation : แบตเตอรี่จะถูกผ่าด้วยเครื่องผ่าซึ่งเป็นเลื่อยวงเดือนแยกแผ่นธาตุและเปลือกหม้อแบตเตอรี่ออกจากกัน แผ่นธาตุจะถูกบดเพื่อนำไปหลอมในเตาหลอม เปลือกหม้อแบตเตอรี่จะถูกบดเพื่อนำไปจำหน่ายเป็นพลาสติกกรีซไคลต่อไป โดยตลอดการทำงานจะต้องมีการฉีดน้ำหล่อเครื่องจักร และสายพานลำเลียงตลอดเวลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อล้างน้ำกรดที่หลงเหลืออยู่ในหม้อแบตเตอรี่ เพื่อหล่อเย็นใบเลื่อยและเครื่องบด และเพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองขณะทำงาน

Smelting : แผ่นธาตุและเศษตะกั่วจะถูกนำไปหลอมในเตาหลอมโดยมีการเติมปูนขาว ททรายและเหล็กเพื่อใช้เป็นฟลักซ์ในการหลอม

Casting : ตะกั่วเหลวจากเตาหลอมจะถูกเทใส่แบบหล่อเพื่อหล่อเป็นตะกั่วแท่ง

Leak Ignots : ตะกั่วแท่งจะถูกหีบห่อเพื่อส่งจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์

2.3.2 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่า

น้ำเสียของโรงงานหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่าโรงงานจังหวัดสระบุรี มีแหล่งกำเนิดจากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการผลิตดังนี้

- น้ำเสียที่เกิดจากการใช้เครื่องผ่าบดและล้างหม้อแบตเตอรี่ เป็นน้ำที่ใช้เพื่อล้างน้ำกรดที่หลงเหลืออยู่ในหม้อแบตเตอรี่และเพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองขณะทำงาน มีลักษณะเป็นกรดเนื่องจากมีการปนเปื้อนของน้ำกรดและน้ำยาอิลิกโตรไลต์จากหม้อแบตเตอรี่ มีของแข็งแขวนลอย เช่น เศษฝุ่นตะกั่วจากแผ่นธาตุ เศษฝุ่นพลาสติกจากเปลือกหม้อแบตเตอรี่ ปะปนอยู่ในน้ำเสีย

- น้ำเสียจากการทำความสะอาดพื้นอาคารและเครื่องจักรในผ่าบดหม้อแบตเตอรี่ มีลักษณะเป็นกรดและมีของแข็งแขวนลอยปะปนอยู่ เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำกรดและฝุ่นละอองต่างๆ บนพื้นอาคาร

- น้ำเสียจากการทำความสะอาดพื้นรถบรรทุกและล้อรถบรรทุกที่ออกจากโรงงาน มีลักษณะเป็นกรดและมีของแข็งแขวนลอยปะปนอยู่ เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำกรดและฝุ่นละอองที่พื้นและล้อรถบรรทุก

- น้ำเสียจากการทำความสะอาดพื้นอาคารโรงหลอมและเตาถลุงเพื่อลดอุณหภูมิและควบคุมการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในอาคารโรงหลอม

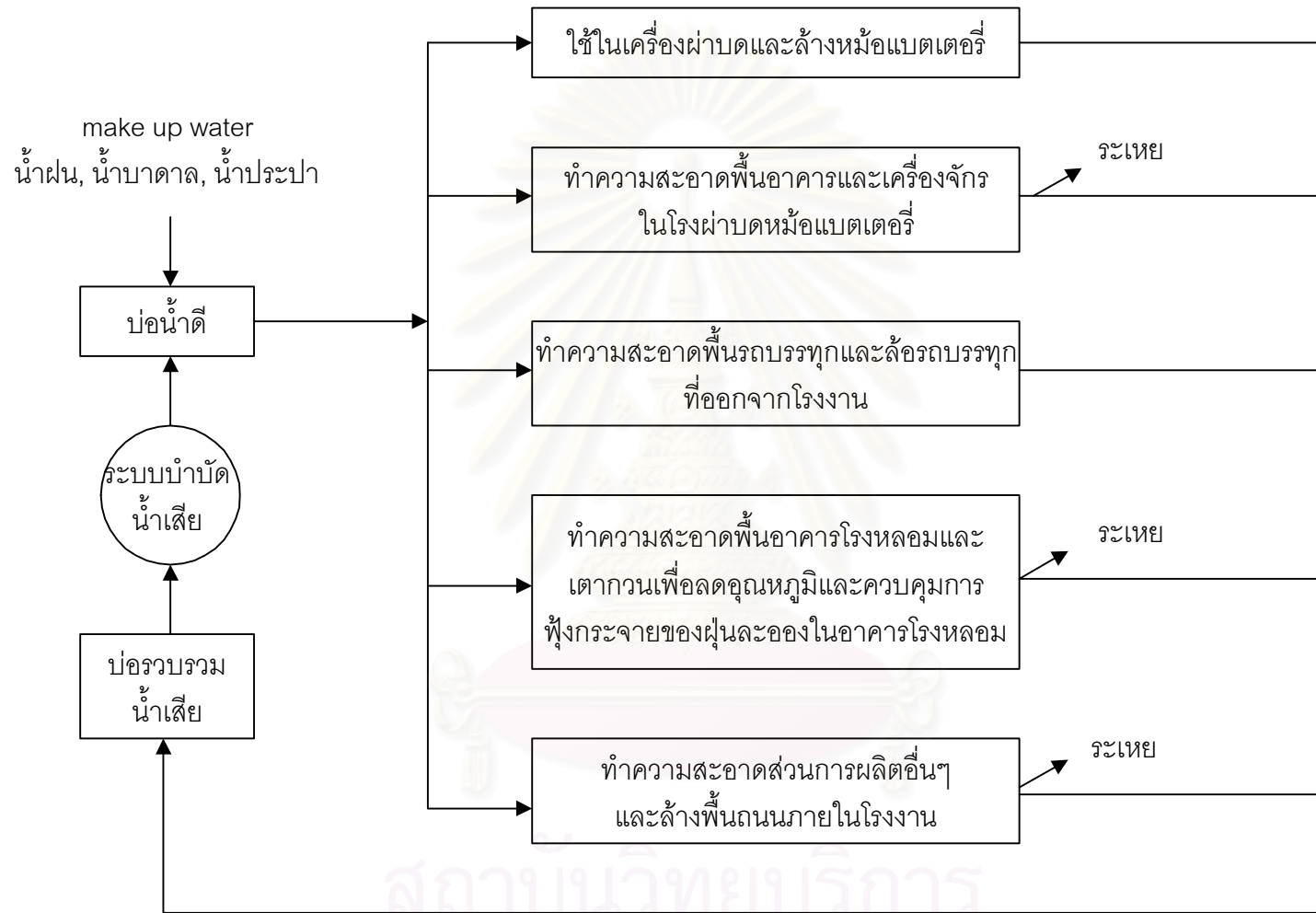
- น้ำเสียจากการทำความสะอาดส่วนการผลิตอื่นๆ และล้างพื้นถนนภายในอาคาร

น้ำเสียทั้งหมดจะไหลลงสู่รางรับน้ำเสียเข้าสู่บ่อรวบรวมน้ำเสียเพื่อสูบส่งไปบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

น้ำเสียจากโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า มีสภาพเป็นกรด โดยมีสารแขวนลอยของโลหะตะกั่วและสารแขวนลอยอื่นๆ เช่น เศษพลาสติก ฟุ้ง ทราาย เจือปนอยู่เป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปโรงงานหลอมตะกั่วต่างจากแบตเตอรี่เก่า จะไม่มีการระบายน้ำทิ้งที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงงานออกนอกโรงงานสู่แหล่งน้ำสาธารณะ วิธีการที่นิยมใช้คือ การบำบัดน้ำเสียแล้วนำกลับมาหมุนเวียนใช้ภายในโรงงานและกำจัดน้ำเสียส่วนเกินทิ้ง โดยวิธีการระเหย (Evaporation) ตะกอนและทราายกรองจากระบบบำบัดน้ำเสียจะถูกนำกลับมาหลอมเป็นผลิตภัณฑ์ได้อีก โดยไม่ทิ้งออกนอกโรงงาน ขณะเดียวกันก็มีการเติมน้ำใหม่ (Make up water) เข้าไปในระบบน้ำหมุนเวียน เพื่อให้ น้ำที่ใช้หมุนเวียนมีความสดใหม่ สะอาด พอเพียงที่จะนำไปใช้งานชะล้างอุปกรณ์ได้โดยไม่เกิดคราบตะกอนของตะกั่วบนอุปกรณ์

แหล่งกำเนิดของน้ำเสียและระบบการใช้น้ำหมุนเวียนของโรงงานหลอมตะกั่วต่างจากแบตเตอรี่เก่า โรงงานจังหวัดสระบุรี แสดงในรูปที่ 2.3

น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วต่างจากแบตเตอรี่เก่าจะมีลักษณะเบื้องต้นแตกต่างกันไปในแต่ละโรงงาน ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและวัตถุดิบที่ใช้ แต่โดยทั่วไปมักจะมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ มีความเป็นกรดสูงเนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ในหม้อแบตเตอรี่ ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดซัลฟูริก และมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่มาก ตารางที่ 2.5 และ 2.6 แสดงปริมาณโลหะละลายบางชนิดในน้ำเสียอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วต่างจากแบตเตอรี่เก่า



รูปที่ 2.3 แหล่งกำเนิดของน้ำเสียและระบบการใช้น้ำหมุนเวียนของโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากเบตเตอรีเก่า จังหวัดสระบุรี

ตารางที่ 2.5 ปริมาณโลหะละลายบางชนิดในน้ำเสียอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วแห่ง
จากแบตเตอรีเก่า

โลหะ	ปริมาณโลหะละลาย (มก./ล.)			
	Krishnan (1993)	Santhana S. (2003)*	Sivadechathep J. (1981)**	มาตรฐานกรมโรงงาน อุตสาหกรรม (2539)***
As	0.01	-	-	0.25
Cd	0.01	0.0163	-	0.03
Cr (total)	0.43	0.1263	-	0.5
Cr ⁺⁶	ND	-	-	-
Cu	0.43	-	-	2.0
Pb	14	3.843	6.73	0.2
Ni	0.31	2.156	-	1.0
Ag	0.01	-	-	None
Zn	1.1	2.669	-	5.0
pH	1.5	1.4	0.9	5.5-9.0

* โรงงานผลิตตะกั่วแห่งจากแบตเตอรีเก่า จังหวัดราชบุรี

** โรงงานผลิตตะกั่วแห่งจากแบตเตอรีเก่า จังหวัดสระบุรี

*** มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3
(พ.ศ.2539) (รายละเอียดดังภาคผนวก ง.)

- ไม่ได้ทำการตรวจวัด

ND ตรวจไม่พบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 ปริมาณโลหะละลายในน้ำเสียประเภทต่างๆ ของโรงงานหลอมตะกั่วแห่ง
จากแบตเตอรีเก่า จังหวัดสระบุรี

โลหะ	ปริมาณโลหะละลาย (มก./ล.)		
	น้ำยาลีเลคโตรไลต์ ในหม้อแบตเตอรี	น้ำล้างพื้นโรงงาน	น้ำล้างเครื่องผ้าหม้อ แบตเตอรี
As	0.0054 – 0.134	0.0023 – 0.003	0.0047 – 0.007
Cd	0.085 – 3.18	0.079 – 0.723	0.012 – 0.298
Cr (total)	0.259 – 6.764	0.017 – 0.052	0.298 – 2.724
Cu	-	-	1.426 – 2.101
Pb	0.377 – 10.550	2.081 – 4.167	0.802 – 15.29
Ni	0.950 – 5.489	0.047 – 0.119	0.315 – 2.862
Ag	-	-	0.030 – 0.045
Zn	1.697 – 59.10	0.321 – 1.436	3.028 – 7.384
pH	0.4 – 1.2	2.9 – 5.7	1.2 – 1.7

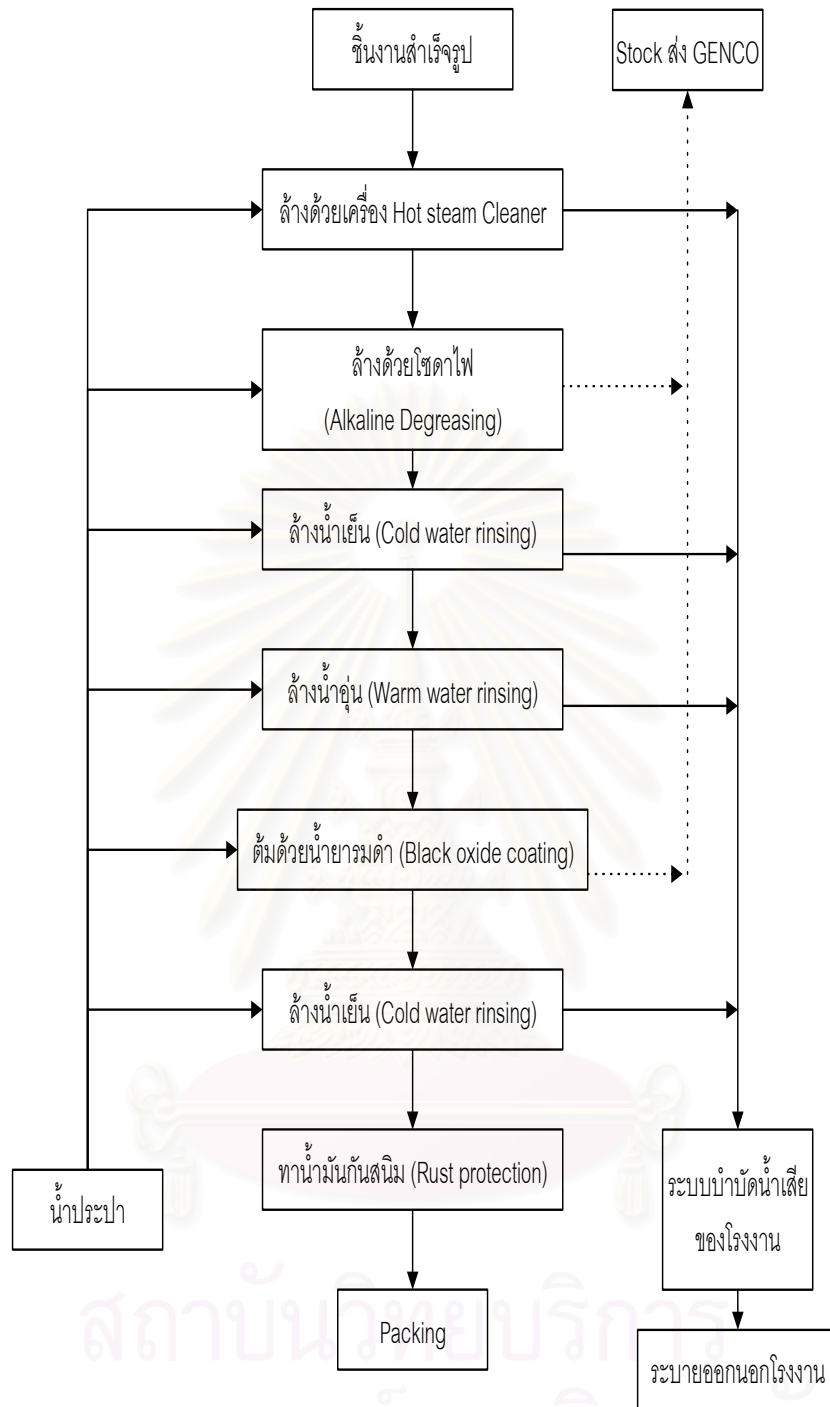
ที่มา : รายงานข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของโรงงานแสดงต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม
เดือนมกราคม พ.ศ.2546

2.4 การรรมดำผิวโลหะของโรงงานจังหวัดนครราชสีมา

2.4.1 กระบวนการการรรมดำโลหะ

กระบวนการรรมดำโลหะของโรงงานอุตสาหกรรมรรมดำโลหะ จังหวัดนครราชสีมา
มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2.4

- Raw work pieces** คือ ชิ้นงานสำเร็จรูปที่ต้องการจะรรมดำผิว ซึ่งผ่านการกลึงไสขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว
- Hot steam cleaner** คือ การล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยไอน้ำในเครื่อง Hot steam vapor
- Alkaline degreasing** คือ ขั้นตอนการกำจัดความสกปรกในรูปฝุ่น ไขมัน หรือรอยขีดข่วนที่ผิวชิ้นงาน โดยการต้มชิ้นงานในสารละลายโซดาไฟเข้มข้นที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C นาน 30 นาที และต้องคอยเติมน้ำแทนส่วนที่ระเหยไปเพื่อให้ชิ้นงานจมน้ำได้ตลอดเวลา



หมายเหตุ :

- หมายถึง น้ำประปา และน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต
- - - - - หมายถึง น้ำด่างที่ใช้แล้ว (Spent alkaline)

รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการรมดำโลหะของโรงงานอุตสาหกรรมรมดำโลหะ จังหวัดนครราชสีมา

Water rinsing	หลังจากจุ่มชิ้นงานในถังน้ำยาเคมีในเวลาที่เหมาะสมแล้วนำชิ้นงานขึ้นมาล้างทำความสะอาดโดยใช้น้ำสะอาด
Black oxide coating	คือ ขั้นตอนการรมดำผิวชิ้นงานโดยการต้มชิ้นงาน ในน้ำยา รมดำ SUGICUT™ CS-58Y ซึ่งเป็นด่างเข้มข้น ที่อุณหภูมิ ประมาณ 185 °C นาน 2-3 ชั่วโมง และต้องคอยเติมน้ำแทน ส่วนที่ระเหยไปเพื่อให้ชิ้นงานจมอยู่ในน้ำยาเคมีตลอดเวลา
Rust protection	การป้องกันผิวชิ้นงานจากการเกิดสนิมก่อนหีบห่อ โดยการขลิมน้ำมันกันสนิมที่ผิวชิ้นงาน
Packing	การบรรจุหีบห่อชิ้นงานที่ผ่านการรมดำแล้วเพื่อเตรียมส่งจำหน่าย

2.4.2 น้ำเสียจากกระบวนการรมดำผิวโลหะ

น้ำเสียจากการรมดำผิวโลหะ โรงงานรมดำ จังหวัดนครราชสีมา มีน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 คือ

1) **น้ำเสียทั่วไป** เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานจากกระบวนการผลิตในขั้นตอน Hot steam cleaner และ Water rinsing มีลักษณะเป็นด่าง เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำด่างมีไขมันจากน้ำมันหล่อลื่นบนผิวชิ้นงานปนอยู่เล็กน้อย น้ำเสียจะถูกบำบัดโดยการปรับ pH ให้เป็นกลาง (Neutralization) แล้วจึงระบายออกนอกโรงงาน

2) **น้ำด่างที่ใช้แล้ว (Spent alkaline)** เป็นส่วนผสมของน้ำด่างโซดาไฟจากขั้นตอน Alkaline degreasing และน้ำด่างจากน้ำยาต้มรมดำ SUGICUT™ CS-58Y ในขั้นตอน Black oxide coating มีลักษณะเป็นของเหลวข้นเหนียว มีความเป็นด่างสูง และถูกจำแนกเป็นของเสียอันตราย (Hazardous Waste) ปัจจุบันทางโรงงานได้ทำสัญญาจ้างบริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (GENCO) ให้เป็นผู้บำบัดและทำลายฤทธิ์

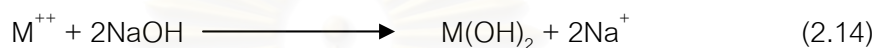
2.5 กระบวนการต่างๆ ในการกำจัดโลหะหนัก

กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียนั้นมีอยู่หลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นกับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ดังนี้คือ คุณลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการ พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการบำบัด และความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้

2.5.1 การตกผลึกทางเคมี (Chemical Precipitation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มานานแล้ว ทำโดยการเติมสารเคมีลงไปลงในน้ำเสียเพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ ซึ่งการตกตะกอนผลึกด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 วิธีคือการตกผลึกไฮดรอกไซด์ (Hydroxide precipitation) และการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์ (Sulfide precipitation)

การตกผลึกไฮดรอกไซด์ จัดเป็นการตกตะกอนแบบดั้งเดิมโดยเติมสารเคมีคือ ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกิดปฏิกิริยาตามสมการที่ 2.14



โดย M^{++} คือโลหะไอออน

การตกผลึกไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดคือโลหะไฮดรอกไซด์จะมีคุณสมบัติกึ่ง (Amphoteric Property) คือจะไม่สามารถตกตะกอนที่พีเอชใดพีเอชหนึ่ง แต่จะตกตะกอนเป็นช่วงพีเอชกว้าง โดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 8-11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้สามารถจะละลายกลับมาได้อีกถ้าค่าพีเอชเปลี่ยนจากค่าที่ตกตะกอนผลึก

การตกผลึกซัลไฟด์มักจะใช้ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ในการทำให้เกิดตะกอน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาตามสมการ 2.15



โดย M^{++} คือโลหะไอออน

ข้อดีของการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์ คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์นี้มีข้อจำกัด คือ เรื่องของกลิ่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไป จึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้น โดยบำบัดนำเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง (จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์, 2539)

2.5.2 โคแอกกูเลชัน, ฟล็อกคูเลชัน (Coagulation/Flocculation)

เป็นกระบวนการที่รู้จักกันดีว่าสามารถจับโลหะหนักจากสารละลายได้โดยที่ Coagulation ใช้หลักการกระตุ้นประจุไฟฟ้าบนอนุภาค ส่วน Flocculation ใช้หลักการกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้ทำให้อนุภาคจับตัวกันเป็นก้อน โดยสารเคมีที่ใช้กับกระบวนการ Coagulation ส่วนใหญ่คือ Ferric Sulfate หรือ Alum ซึ่งโลหะที่กำจัดได้จะเป็นพวกตะกั่ว แคดเมียมและโครเมียม โดยในการกำจัดแคดเมียมใช้ช่วง pH ที่ 8.5-11.3 จะมีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 98 ถ้าใช้ Alum ต้องคำนึงถึงความขุ่นของน้ำทิ้งด้วย แต่ถ้าเป็นการกำจัดตะกั่วการใช้ Ferric Sulfate จะมีประสิทธิภาพร้อยละ 97 ส่วนการใช้ Alum จะมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 80-90 แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า pH ของน้ำทิ้งด้วย

2.5.3 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนี้ จะสามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดซับโดยเรซิน (Resin) ไม่เท่ากัน ซึ่งการแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติและชนิดสังเคราะห์ จะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงข้าม ซึ่งไอออนที่มีประจุตรงข้ามนี้เป็นไอออนที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกจะเรียกว่าแคตไอออนเอ็กซ์เชนเจอร์ (Cation exchanger) และถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบจะเรียกว่าแอนไอออนเอ็กซ์เชนเจอร์ (Anion exchanger) วิธีการนี้จะเหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า

2.5.4 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

วิธีนี้เป็นวิธีการทางเคมีที่นิยมใช้กันมากในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆ เจือปนอยู่ โดยในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับสารประกอบที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดออกซิเดชันได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรต์ เปอร์แมงกานेट โครเมตและไนเตรต ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดรีดักชัน ได้แก่ ไอร์ออน (II) ซัลเฟต ไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครเมต ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 3 จึงต้องเติมกรดซัลฟูริกไปด้วย จากนั้นจึงเติมปูนไลม์ลงไปเพื่อตกตะกอนอีกชั้นหนึ่ง การควบคุมระบบบำบัดแบบนี้ค่าพีเอชมีความสำคัญมาก จะต้องมีความพอเหมาะปฏิกิริยาจึงจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์

2.5.5 รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)

วิธีนี้เป็นกระบวนการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลส อะซีเตต และโพลีเอมีด ซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน Semipermeable Membrane เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น วิธีนี้ต้องใช้แรงดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ ดังนั้นแผ่นเมมเบรนที่ใช้ต้องทนต่อแรงดันสูงและต้องมีการบำบัดชั้นต้นโดยการปรับค่าพีเอช แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออกและกรองสารแขวนลอยออกก่อนเพื่อป้องกันแผ่นเมมเบรนอุดตัน วิธีนี้เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า น้ำเสียจากการสร้างภาพ

2.5.6 การระเหย (Evaporation)

เป็นวิธีที่ง่ายที่ใช้ในการทำให้สารเคมียังมีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยมีทั้งระเหยที่บรรยากาศธรรมดา และการระเหยภายใต้สุญญากาศ วิธีการบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงเท่านั้น ข้อเสียของวิธีนี้คือต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

2.5.7 อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

เป็นการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าตรงร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เฉพาะเจาะจงสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของวิธีการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย และน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและดำเนินการสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

2.5.8 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

วิธีนี้เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทดและเกิดก๊าซออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

2.5.9 การดูดติดผิว (Adsorption)

วิธีนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดมลพิษสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล สารดูดติดผิวที่นิยมใช้ในระบบบำบัดคือถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็น

พิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากที่สุด รูพรุนหรือโพรงมีขนาดตั้งแต่ 20 \AA ถึง $20,000 \text{ \AA}$ การสังเคราะห์คาร์บอนชนิดนี้กระทำได้โดยการไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบเสียก่อน จากนั้นจึงเผาวัตถุดิบที่แห้งให้เป็นถ่าน (Carbonization) ที่อุณหภูมิประมาณ $400 - 600$ องศาเซลเซียส คาร์บอนที่ได้ยังมีอำนาจการดูดติดผิวต่ำ เนื่องจากโพรงภายในคาร์บอนยังมี Tar อุดตันอยู่ คาร์บอนนี้จึงต้องเผาที่อุณหภูมิประมาณ $750-950$ องศาเซลเซียส ภายใต้ความชื้นที่เหมาะสมเพื่อไล่ Tar ออกให้หมด (ขั้นตอนนี้เรียกว่า Activation) จึงจะได้แอคติเวตเต็ดคาร์บอน เทคโนโลยีปัจจุบันสามารถทำให้ได้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนหนัก 1 กรัม มีพื้นที่ผิวประมาณ $600-1,000$ ตารางเมตร (มันซิน ตันทูลเวศม์, 2538) กระบวนการนี้สามารถนำมาใช้กำจัดโลหะหนักได้เช่น ถ่านคาร์บอนแบบเกร็ดสามารถกำจัดปรอทและเงินได้หมดและสามารถลดความเข้มข้นของโลหะอื่นๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดง เป็นต้น จนเหลือถึงระดับที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม โดยไอออนโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ Adsorbate เรียกว่า Absorbent

2.5.10 การบำบัดโดยจุลินทรีย์ (Biological Treatment)

เป็นการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักเช่น จากกระบวนการ Activated Sludge พบว่าสามารถกำจัดโลหะหนักเช่น ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโครเมียมได้อย่างใดอย่างหนึ่ง ในเงื่อนไขที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6 การตกผลึกทางเคมี

กระบวนการตกผลึกทางเคมีจัดว่าเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะเจือปน ซึ่งใช้ร่วมกับวิธีออกซิเดชัน/รีดักชัน แต่การตกตะกอนทางเคมียังมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

- ต้องใช้ปริมาณสารเคมีตามค่าสตอยชิโอเมตริก
- เกิดสลัดจ์ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบสูง
- กรณีต้องการลดมลสารของน้ำออกให้อยู่ในระดับหนึ่งในด้านของมลสารที่เข้าระบบ จะต้องใช้การตกตะกอนทางเคมี 2 ขั้น (two stage precipitation)
- ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับน้ำเสียที่มีอัตราไหลต่ำหรือไหลเป็นพักๆ
- ประสิทธิภาพในการตกตะกอนร่วม (coprecipitation) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสิ่งเจือปน และพื้นที่ของผิวฟล็อกชั้นต้น (primary floc)

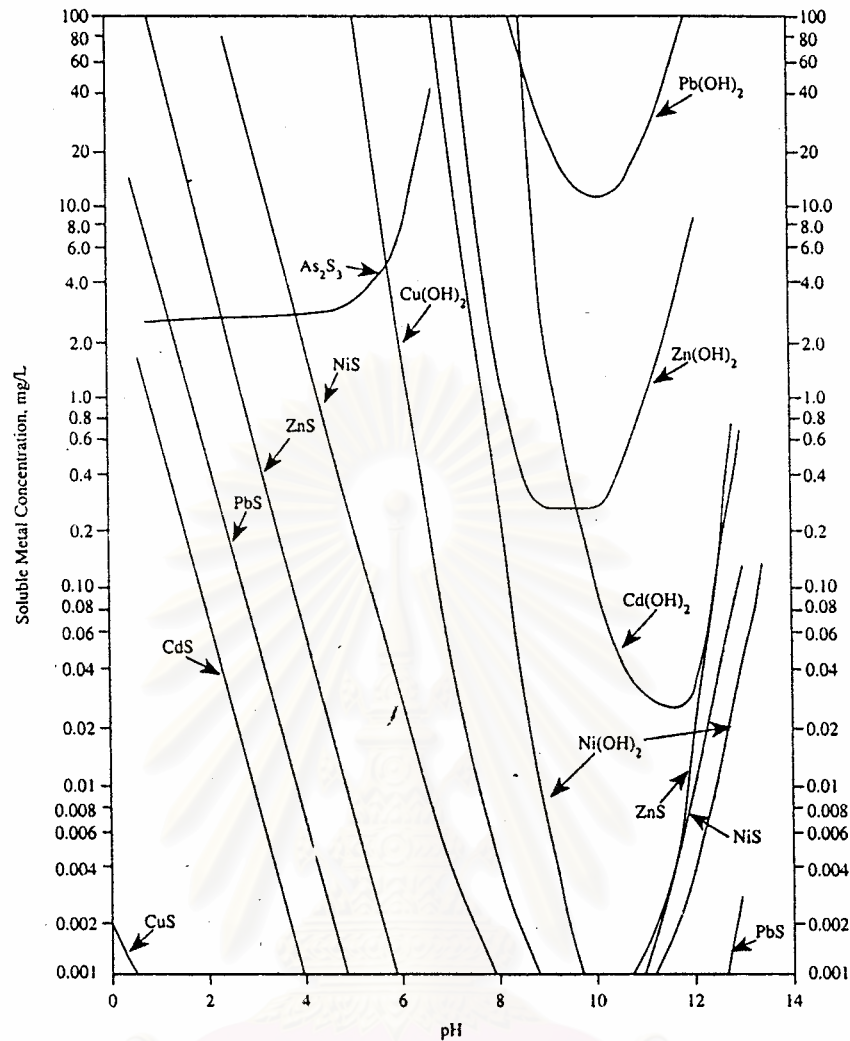
การตกตะกอนทางเคมีเป็นปรากฏการณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากมีการเหนี่ยวนำให้เกิดสภาวะอิ่มตัวเกินพอ (supersaturation) โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ nucleation, crystal growth และ flocculation (Snoeyink และ Jenkins, 1980) การตกตะกอนทางเคมีจะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดไอออนที่ละลายน้ำโดยเฉพาะโลหะหนัก เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน และสามารถใช้ในการบำบัดขั้นต้นเพื่อกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียก่อนการย่อยสลายประกอบอินทรีย์ที่เป็นพิษ (Clifford และ คณะ, 1986)

เทคนิคการตกตะกอนทางเคมีแบ่งได้เป็น 5 ประเภท พื้นฐานที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลาย ได้แก่ (William , 1994)

- Hydroxide precipitation
- Carbonate precipitation
- Sulfide precipitation
- Xanthate precipitation
- Combined precipitation

2.6.1 Hydroxide Precipitation

ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกโดยการเติมสารที่เป็นด่าง เช่น โซดาไฟหรือปูนขาว เพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียให้ถึงจุดที่มีความสามารถในการละลายต่ำสุด โดยทั่วไปความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ในสารละลายจะลดลงเมื่อปรับพีเอชเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง (isoelectric point) หลังจากนั้นโลหะจะกลับมามีความสามารถในการละลายได้อีก เพราะกลายเป็น amphoteric ดังแสดงในรูปที่ 2.5 อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายได้ต่ำสุดทางทฤษฎีจะแตกต่างอย่างมากกับทางปฏิบัติเพราะอิทธิพลของ complexing agents, อุณหภูมิ และค่า ionic strength โลหะที่ตกตะกอนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์แล้วสามารถกำจัดออกได้โดยรวมตะกอนและปล่อยให้ตกตะกอน/กรอง การตกตะกอนทางเคมีจะขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการละลาย (K_{sp}) ของโลหะไฮดรอกไซด์, ค่า K_f ของโลหะไฮดรอกไซด์ และค่า K ของ complex agents เช่น EDTA, NTA, citrate, tartrate, gluconic acid, cyanide, ammonia เป็นต้น ส่วนประสิทธิภาพในการแยกของแข็งของเหลวในระบบจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด ความหนาแน่นของโลหะไฮดรอกไซด์ เทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายต่ำ และควบคุมได้ง่ายด้วยค่าพีเอช



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลาย กับ ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ และ โลหะซัลไฟด์ (William, 1994)

2.6.2 Carbonate Precipitation

การตกตะกอนด้วยคาร์บอเนตสามารถทำได้โดยการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) ซึ่งข้อได้เปรียบของเทคนิคนี้เมื่อเทียบกับการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ คือ

- จุดที่เหมาะสมในการบำบัดอยู่ที่สภาวะพีเอชต่ำกว่า
- โลหะที่ตกตะกอนมีความหนาแน่นกว่าของเหลว ซึ่งทำให้ง่ายต่อการแยกของแข็งออก
- คุณลักษณะในการดึงน้ำออกจากสลัดจ์ทำได้ดีกว่า

2.6.3 Sulfide Precipitation

การตกตะกอนด้วยซัลไฟด์ พบว่าให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ไฮดรอกไซด์ในการกำจัดโลหะหนักออกจากรน้ำเสียอุตสาหกรรม ข้อดีและข้อจำกัดของการตกตะกอนทั้ง 2 วิธีแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์

Hydroxide precipitation	Sulfide precipitation
<p>ข้อดี</p> <ul style="list-style-type: none"> - ง่ายต่อการควบคุมด้วยพีเอช - การทำงานของระบบค่อนข้างง่าย - ค่าสารเคมีถูก (ปูนขาว) <p>ข้อจำกัด</p> <ul style="list-style-type: none"> - ตะกอนไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มที่จะสามารถละลายกลับได้ ถ้าพีเอชสารละลายเปลี่ยนไป - การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหลายชนิดปนกันจะให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดี - กรณีน้ำเสียมี chelating agents จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะลดลง - ไม่สามารถกำจัด Cr (VI) ได้ - โซดาไฟ จะรบกวนการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ - ดึงน้ำออกจากสลัดจ์ทำได้ยาก เนื่องจากโครงสร้างของอนุภาคแบบ amorphous - ที่พีเอช < 6 จะเกิดโลหะไฮดรอกไซด์ได้น้อย - ไม่เหมาะที่จะใช้กับน้ำเสียที่มีอัตราการไหลสูง และมีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลง - เวลาที่ใช้เริ่มเดินและหยุดระบบจะนานกว่ากระบวนการ packed-bed และเมมเบรน 	<p>ข้อดี</p> <ul style="list-style-type: none"> - สามารถใช้กำจัดโลหะที่พีเอช 2-3 ได้ - ต้องการเวลากักน้ำในถังปฏิกิริยาน้อย เนื่องจากมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง - สลัดจ์ซัลไฟด์ที่มีคุณสมบัติดีกว่าในแง่ thickening และ dewatering - อิทธิพลของ chelating agents ต่อการตกตะกอนโลหะซัลไฟด์มีน้อย - ปริมาณสลัดจ์โลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อย และง่ายต่อการดึงน้ำออก - สามารถเลือกกำจัดโลหะที่ต้องการ และ recovery ส่วนที่เหลือได้ <p>ข้อจำกัด</p> <ul style="list-style-type: none"> - ทำให้เกิดก๊าซ H₂S - ปัญหาความเป็นพิษของซัลไฟด์ - กระบวนการค่อนข้างซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนด้วยซัลไฟด์แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ soluble sulfide precipitation (SSP) และ insoluble sulfide precipitation (ISP) ซึ่งจะแตกต่างกันตรงที่ไอออนซัลไฟด์ กระบวนการ SSP จะใช้ซัลไฟด์ในรูปสารละลายซัลไฟด์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ (NaHS) และควบคุมการเติมสารละลายซัลไฟด์ด้วยวิธี feedback control loop โดยใช้ ion electrodes ทำงานได้ทั้งแบบ batch และแบบต่อเนื่อง

ในกระบวนการ ISP เฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ที่ละลายน้ำได้น้อยในรูป slurry จะถูกเติมลงในน้ำเสียซึ่งจะให้ไอออนซัลไฟด์ที่ต้องการสำหรับตกตะกอนโลหะหนัก เนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้น้อยกว่าเฟอร์รัสซัลไฟด์ ฉะนั้นจึงสามารถตกตะกอนเป็นโลหะซัลไฟด์ ในทางปฏิบัติ FeS จะเตรียมจากการผสมระหว่าง FeSO_4 และ NaHS ซึ่งข้อดีของกระบวนการ ISP คือไม่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และยังสามารถรีดิวซ์ Cr^{+6} เป็น Cr^{+3} แต่ข้อเสียก็คือ ต้องใช้สารเคมีในปริมาณที่มากกว่าสโตยซิโอมेटริกและเกิดสลัดจ์จำนวนมากเพราะเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ อัตราการเติมเฟอร์รัสซัลไฟด์ได้จากการทำจาร์เทสต์ ซึ่งตามธรรมดาจะใช้ปริมาณ 2-4 เท่าของสโตยซิโอมेटริกทำให้สิ้นเปลืองค่าสารเคมีจำนวนมากและเกิดสลัดจ์มากด้วย

ในกระบวนการ SSP ความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่สูงจะก่อให้เกิดการตกตะกอนโลหะซัลไฟด์อย่างรวดเร็ว (high nucleation rates) ทำให้เกิดอนุภาคที่เล็กละเอียดและอนุภาคแขวนลอยซึ่งตกตะกอนและกรองได้ยาก ในกรณีที่มี chelating agents จะทำการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ไม่ได้ถึงแม้จะปรับพีเอชสูงขึ้นก็ตาม แต่สามารถกำจัดโลหะหนักได้ด้วยการตกตะกอนซัลไฟด์แทน กรณีที่ไม่มี chelating agents โลหะไฮดรอกไซด์จะเกิดขึ้นเล็กน้อยที่พีเอชต่ำกว่า 6 ส่วนโลหะซัลไฟด์สามารถเกิดได้ที่ช่วงพีเอชกว้างมากตั้งแต่ 2 ถึง 12 เนื่องจากโลหะซัลไฟด์ละลายน้ำได้น้อยกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ และเกิดสภาพ amphoteric น้อยกว่าด้วย นอกจากนี้จะเกิดสลัดจ์โลหะซัลไฟด์น้อยและดิ่งน้ำออกได้ง่ายกว่า

2.6.4 Xanthate Precipitation

ในการบำบัดด้วยแซนเธต โลหะที่เป็นตัวปนเปื้อนจะแลกเปลี่ยนกับไอออนโซเดียมของแซนเธตแล้วฟอร์มตัวในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ตามสมการที่ 2.16 หรือ 2.17



แซนเธตเป็นสารประกอบ sulfonated organic ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุระหว่างโลหะหนักในสารละลายและแทนที่ด้วย Na หรือ Mg การแยก metal xanthates ออกจากของเหลวทำได้โดยการปล่อยให้ตกตะกอนแล้วกรองออก ซึ่งเมื่อเทียบกับการบำบัดน้ำเสียด้วยไฮดรอกไซด์จะมีข้อดีกว่า คือ

- ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะสูงกว่า
- ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช
- ช่วยทำให้การดึงน้ำออกจากสลัดจ์ดีขึ้น
- สามารถเลือกกำจัดโลหะที่ต้องการได้

2.6.5 Combined Precipitation

เป็นระบบที่ใช้การตกตะกอนแต่ละประเภทร่วมกันเช่น McAnally และคณะ (1984) ได้ศึกษาการใช้ซัลไฟด์ชนิดละลายน้ำและคาร์บอเนตเพื่อรีดิวซ์นิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ จากผล jar test พบว่า พีเอชที่เหมาะสมสำหรับกำจัดนิกเกิลเท่ากับ 11 และใช้อัตราส่วน S : Ni เป็น 2 และ CO_3 : Ni เท่ากับ 20 (โดยน้ำหนัก) จะได้ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือ 0.1 มก./ล. ซึ่งคาดว่ากลไกการกำจัดนิกเกิลเกิดจากการตกตะกอนร่วม (coprecipitation)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อัญชลี เจตน์สัมฤทธิ์ (2536) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึก ในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด ทำการศึกษาที่ระดับความเข้มข้นตะกั่ว 200, 100, 50, 10, 5 มก./ล. สภาวะที่ทำการศึกษา คือ พีเอช และความสูงของทราย สารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช คือ โซดาแอช ทำการศึกษาที่พีเอช 7.5-9.5 และความสูงของทราย โดยใช้ทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.85 – 1.20 มม. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 1.5 เท่า ของความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะเสมือนของไหล

พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว คือ พีเอช 9.5 และความสูงของทราย 2.0 ม. ที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 200, 100 และ 50 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดในรูปตะกั่วทั้งหมดเท่ากับ 4.50, 58.89 และ 67.96% และในรูปตะกั่วละลาย ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้น คือ 99.64, 99.11 และ 98.88% ตามลำดับ ส่วนตะกั่วความเข้มข้น 10 และ 5 มก./ล. สภาวะเหมาะสมที่มีผลต่อการกำจัดมากที่สุด คือ พีเอช ส่วนความสูงของทรายมีผลต่อการเพิ่มการกำจัดน้อยมาก

มณีรัตน์ อังค์วรรณดี (2542) ศึกษาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ โดยการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ในรูปของสารละลายที่เป็นผง (SBH) ความเข้มข้น 1.2% ของ NaBH_4 ใน 4% ของ NaOH กำจัดโลหะหนักที่ละลายในน้ำเสีย 4 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียจากการชุบทองแดง น้ำเสียจากการชุบนิกเกิลและน้ำเสียจากการชุบโครเมียม ซึ่งเป็นน้ำเสียจริงที่ได้จากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

พบว่า การบำบัดน้ำเสียจากการชุบทองแดงที่มีความเข้มข้น 550 มก./ล. ทำได้โดยการปรับพีเอชของน้ำเสียด้วยด่างให้มีพีเอชอยู่ในช่วง 4 ถึง 5 แล้วจึงเติม NaHSO_3 5 เท่าของทองแดง และเติม SBH จนได้พีเอชสุดท้ายประมาณ 7 จะสามารถกำจัดทองแดงทั้งหมดได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง นอกจากนี้การใช้ปูนขาวปรับพีเอช จะมีผลให้ทองแดงทั้งหมดที่เหลือในน้ำต่ำกว่า 1 มก./ล. ได้

น้ำเสียจากการชุบนิกเกิลที่มีความเข้มข้น 380 มก./ล. ให้ปรับพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 8.5 ด้วยด่าง แล้วจึงเติม NaHSO_3 0.5 เท่าของนิกเกิล และเติม SBH จนได้พีเอชสุดท้ายประมาณ 9 จะสามารถกำจัดนิกเกิลละลายได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

น้ำเสียจากการชุบโครเมียม มีความเข้มข้นโครเมียม นิกเกิล ทองแดง และสังกะสี เท่ากับ 1460 180 145 และ 90 มก./ล. ตามลำดับ การบำบัดขั้นแรกให้ทำปฏิกิริยากับ NaHSO_3 3 เท่าของโครเมียม หลังจากนั้นปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 8 ด้วยด่าง เติม SBH ให้ได้พีเอชสุดท้ายประมาณ 9 จะสามารถกำจัดโลหะหนักทุกชนิดที่ละลายในน้ำได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

เยาวนุช สุจริตธรรม (2536) ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการตกตะกอนผลึกโครเมียม จากน้ำเสียฟอกหนังโดยใช้สารเคมีประเภทต่าง 3 ชนิด คือ แมกนีเซียมออกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และปูนขาวซึ่งจะใช้ร่วมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และสารรวมตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีเมอร์ประจุลบ บวก และไร้ประจุ ในการศึกษานี้ได้ใช้น้ำฟอกโครม 2 ชนิด คือ มีและไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม

พบว่า การตกตะกอนผลึกโครเมียมโดยใช้น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม ใช้สารตกตะกอนผลึกน้อยกว่า และไม่ต้องใช้สารรวมตะกอน เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก แมกนีเซียมออกไซด์อ่อนใช้ 2 เท่า โซเดียมคาร์บอเนตใช้ 2 เท่า และแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวใช้อัตราส่วน 0.5 ต่อ 0.8 เท่า ส่วนน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียม ปริมาณสารตกตะกอนผลึกที่ใช้ คือ แมกนีเซียมออกไซด์ใช้ 4 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก แมกนีเซียมออกไซด์อ่อนใช้ 4 เท่า โซเดียมคาร์บอเนตใช้ 3 เท่า และแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 1 เท่า

ประสิทธิภาพในการตกตะกอนผลึกโครเมียม โดยใช้สารตกตะกอนผลึกทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน คือ 98-100 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณตะกอนผลึกไม่เท่ากัน โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้ โซเดียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว และแมกนีเซียมออกไซด์

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด (2537) ศึกษาวางแผนการจัดการกากของเสียจากโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ใช้แล้ว โดยการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยปูนขาว เพื่อทำเสถียรกากตะกั่วก่อน แล้วจึงนำไปฝังกลบ โดยกากตะกั่วที่ใช้การศึกษาเป็นกากตะกั่วจากการหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่าของโรงงาน เล้าไทยเจริญ จังหวัดราชบุรี

ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้ จากการวิเคราะห์หองค์ประกอบของกากของเสีย พบว่ามีปริมาณตะกั่วอยู่ถึง 69.6% พลวง 2.18% เหล็ก 0.54% ซิลิกอน 1.99% อลูมิเนียม 0.21% และส่วนประกอบอื่น ๆ อีก 25.48% ในกรณีนี้จากการศึกษาได้ใช้วิธีการทำลายฤทธิ์ของตะกั่วด้วยการใช้ปูนขาวและน้ำผสมกับกากของเสียในอัตราส่วน 1 : 1 และนำไปผสมภายในโมที่ใช้ผสมคอนกรีตขนาด 1.5 ลบ.ม. ควบคุมให้ค่า pH ของของผสมมีค่าประมาณ 11 เพื่อให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ ตกตะกอนลงมาเป็นก้อนแข็งแล้วนำไปฝังกลบ มีการติดตามตรวจสอบผลการดำเนินงานสถานที่ฝังกากตลอดเวลา โดยจัดสร้างบ่อสังเกตการณ์เพื่อตรวจสอบลักษณะสมบัติของน้ำใต้ดินใน 2 บริเวณ คือ เหนือน้ำก่อนที่น้ำบาดาลไหลผ่านสถานที่ฝังกลบ และบริเวณทำให้น้ำบาดาลไหลผ่านที่ฝังกลบแล้วที่ความลึก 6.2 เมตร จากระดับผิวดิน โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 2 ครั้งต่อปี โดยปริมาณสูงสุดของตะกั่วที่เกิดขึ้นในน้ำใต้ดินมีค่าตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม คือ ไม่เกิน 5 mg/l.

Eckenfelder (2000) ได้กล่าวถึงการกำจัดตะกั่ว โดยการทำให้ตกตะกอนว่า ตะกั่วจะตกตะกอนอย่างมีประสิทธิภาพในรูปตะกั่วคาร์บอเนต สารเคมีที่ใช้ คือ โซดาแอช ซึ่งจะพบความเข้มข้นของตะกั่วที่ละลายอยู่ในน้ำที่เพียง 0.01 – 0.03 mg/l ที่ pH 9.0 – 9.5 นอกจากนี้ก็ยังมี การตกตะกอน โดยการใส่ปูนขาวที่ pH 11.5 ซึ่งจะมีความเข้มข้นของตะกั่วเหลืออยู่ 0.019 – 0.2 mg/l และการตกตะกอนในรูปตะกั่วซัลไฟด์โดยการใช้โซเดียมซัลไฟด์ที่ pH 7.5 – 8.5

Patterson (1985) ศึกษาการตกตะกอนผลึกในน้ำเสียในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์และตะกั่วคาร์บอเนตพบว่า การเกิดตะกอนของตะกั่วขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอเนต ที่มีอยู่หรือที่เติมลงไป ในน้ำเสียและพีเอช น้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรด โดยทั่วไปจะมีคาร์บอเนตในปริมาณต่ำ และจะเกิดการตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ ถ้าไม่มีการเติมคาร์บอเนตลงไป ตะกั่วคาร์บอเนตจะ

ตกตะกอนได้มากกว่าตะกั่วไฮดรอกไซด์ ที่ pH ในช่วงกลาง ตะกั่วคาร์บอเนต จะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายมากกว่า ตะกั่วไฮดรอกไซด์ ปริมาณคาร์บอเนตที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของ ตะกั่วคาร์บอเนต คือ 200 mg/l as CaCO₃ ปริมาณคาร์บอเนตที่มากกว่านี้ หรือ pH > 9 จะทำให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนลดลง อย่างไรก็ตาม pH ที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของ ตะกั่วคาร์บอเนต คือ pH 7.5 – 9.0 ค่า pH ที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของตะกั่วไฮดรอกไซด์ จากการคำนวณค่าการละลายทางทฤษฎีและข้อมูลจากการบำบัดชี้ให้เห็นว่า ในการที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกั่วไฮดรอกไซด์ ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จะเกิดขึ้นที่ pH 10 ช่วง pH ที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของตะกั่วไฮดรอกไซด์อยู่ในช่วงที่แคบอย่างเห็นได้ชัด และประสิทธิภาพในการเกิดตะกอนไฮดรอกไซด์จะลดลงอย่างรวดเร็วที่ pH มากกว่า 10 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดตะกั่ว โดยการทำให้ตกตะกอนคือค่าการละลายของตะกั่ว (LEAD SOLUBILITY) และความสามารถในการตกตะกอนของตะกั่ว ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 2.8

Peter และคณะ (1985) ศึกษาการตกตะกอนไฮดรอกไซด์เพื่อกำจัด Cu, Fe, Ni, Cr และ Pb ออกจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดจะดีขึ้นเมื่อใช้ปูนขาวหรือโซดาแอช ร่วมกับการเติมซัลเฟตหรือซัลไฟด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบทองแดง / เหล็ก และได้ศึกษาถึงอิทธิพลของ complexing agents ในน้ำเสีย พบว่ามีผลให้เกิดการยับยั้งการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์

Patterson และคณะ (1977) พบว่า การกำจัด Ni และ Zn ด้วยการตกตะกอนคาร์บอเนตไม่มีประโยชน์เมื่อเทียบกับการใช้ไฮดรอกไซด์ นั่นคือ ไม่ได้ช่วยให้สลัดจ์มีความหนาแน่นขึ้นหรือกรองออกได้ดีกว่า แต่จะมีผลดีกับกำจัด Cd และ Pb พบว่าความเข้มข้นของ Cd ที่เหลือเมื่อบำบัดที่พีเอช 2 ค่า การใช้คาร์บอเนตจะให้ความเข้มข้นที่เหลือต่ำกว่าการใช้ไฮดรอกไซด์ ส่วนการกำจัด Pb ที่ประสิทธิภาพเท่ากันจะต้องใช้พีเอชเท่ากับ 10.5 สำหรับ Pb(OH)₂ แต่ใช้พีเอช 7.5 สำหรับ PbCO₃ นอกจากนี้ PbCO₃ เป็นตะกอนที่แน่นซึ่งช่วยการกรองให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับ Pb(OH)₂

ตารางที่ 2.8 สรุปรายงานการกำจัดตะกั่วและประสิทธิภาพ (Patterson , 1985)

Treatment Process	Treatment pH	Lead concentration (mg/l)		Removal (%)
		Initial	Final	
Ion exchange	5.0-5.2	0.1	0.001	90
Ion exchange*	-	0.055	0.0015	97.3
	-	126.7-144.8	0.020-0.053	99.9-
Lime-sedimentation	8.3	11.7	0.27	97.7
	7.1	0.91	0.19	79.1
	8.2	1.2	0.15	87.5
	-	30	1	96-
	-	6.5	0.1	98.5
	-	0.31	0.1	97-
Lime-5-hr sedimentation	7.7	98	39	40
Lime-30-hr sedimentation	6.8	-	0.48	-
Caustic-1-hr Sedimentation	5.5	-	1.6	
Caustic-24-hr Sedimentation	7.0	-	0.04	
Ammonium hydroxide	7.8	-	23.9	
Lime-ferric sulfate+ Sedimentation+	10.0	5.0	0.25	95
Filtration			0.029	99.4
Lime-Sedimentation+ Filtration	11.5	5.0	0.20	96
	9.5	0.9-4.6	0.11-0.21	-
	9.5	0.9-4.6	0.10-0.17	-
Caustic-soda ash*	9.0-9.5	5.0	0.01-0.03	99-
Sodium carbonate+ filtration*	6.4-8.7	10.2-70.0	0.2-3.6	82-99-
Sodium carbonate+ filtration*	7.2-7.5	3.0-5.0	0.2-0.6	83-93
Ferric sulfate+ Sedimentation+	6.0	5.0	0.25	95
filtration*	6.0	5.0	0.03	99.4
Ferrous sulfate+ sedimentation	10.4-10.8	45	1.7	96.2

* pilot plants

Peter และ Ku (1985) ศึกษากระบวนการตกตะกอน Cu, Ni, Cr และ Zn จากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงของโรงงานชุบโลหะด้วยไฮดรอกไซด์และซัลไฟด์ เมื่อใช้ปริมาณซัลไฟด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของ Cu, Cr และ Zn ที่เหลือลดลง ในขณะที่ความเข้มข้น Ni เพิ่มขึ้น เพราะฟอร์มตัวเป็นฟลอคขนาดเล็ก ที่พีเอชเท่ากับ 10 การบำบัดด้วยซัลไฟด์จะสามารถกำจัด Zn, Cu, Cr และ Ni ได้มากกว่า 97, 98, 55 และ 83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเติมซัลไฟด์ในปริมาณที่ต่ำกว่าสโตยชิโอเมตริกนอกจากจะทำให้ความเข้มข้นโลหะเหลือน้อยแล้ว ยังช่วยลดการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และปัญหาความเป็นพิษของซัลไฟด์

Moo และ คณะ (1997) ศึกษาการกำจัดตะกั่วจากอุตสาหกรรมการผลิตลูกปืน โดยใช้กระดองปู ช่วยในกระบวนการดูดซับทางชีวภาพพร้อมกับการตกผลึกทางเคมี พบว่าการเติมกระดองปู จะช่วยลดช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการตกผลึกตะกั่ว จากช่วง pH 8.5 – 11.0 ให้เหลืออยู่ในช่วง 5.5 – 11.0 โดยผลจาก CaCO_3 ในกระดองปูพบว่า $-\text{NHCOCH}_3$ และ CO_3 มีผลช่วยในการดูดซับตะกั่ว การกำจัดตะกั่วเกิดจากปัจจัยหลัก คือ การดูดซับตะกั่วโดย CaCO_3 ในกระดองปู จากนั้นจะเกิดการตกผลึกของ $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ และ PbCO_3 ผลึกขนาดเล็กของสารประกอบตะกั่วที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับด้วยไคตินบริเวณพื้นผิวของกระดองปู

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

- ขั้นตอนที่ 1) ศึกษาอัตราการใช้น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสียและอัตราการเกิดน้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) เทียบกับผลิตภัณท์ (unit generation rate) ของอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรีเก่าและอุตสาหกรรมรมดำ
- ขั้นตอนที่ 2) ศึกษาสมบัติและลักษณะเบื้องต้นของน้ำเสียตะกั่ว และ น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline)
- ขั้นตอนที่ 3) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) และโซดาแอช (Na_2CO_3) เป็นสารตกตะกอน
- ขั้นตอนที่ 4) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) และโซดาแอช (Na_2CO_3) เป็นสารตกตะกอน ร่วมกับสารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด
- ขั้นตอนที่ 5) เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซดาแอช (Na_2CO_3) น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) เป็นสารตกตะกอน

3.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาอัตราการใช้น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสีย และอัตราการเกิดน้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) เทียบผลิตภัณท์ (unit generation rate) ของอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรีเก่าและอุตสาหกรรมรมดำ โดยประเมินอัตราต่างๆ ตามกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงานโดย

- โรงงานรมดำผิวโลหะ ใช้แบบสำรวจและแบบสอบถาม ระยะเวลา 6 วัน ในช่วงวันที่ 11 - 16 พฤษภาคม พ.ศ.2546
- โรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรีเก่า ใช้ข้อมูลต่างๆ ที่ทางโรงงานรายงานผลต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม เดือนมกราคม พ.ศ.2546

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาสมบัติและลักษณะเบื้องต้นของน้ำเสียตะกัว และ น้ำค้างที่ใช้แล้ว

(spent alkaline)

ทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียตะกัวและ น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) ดังนี้

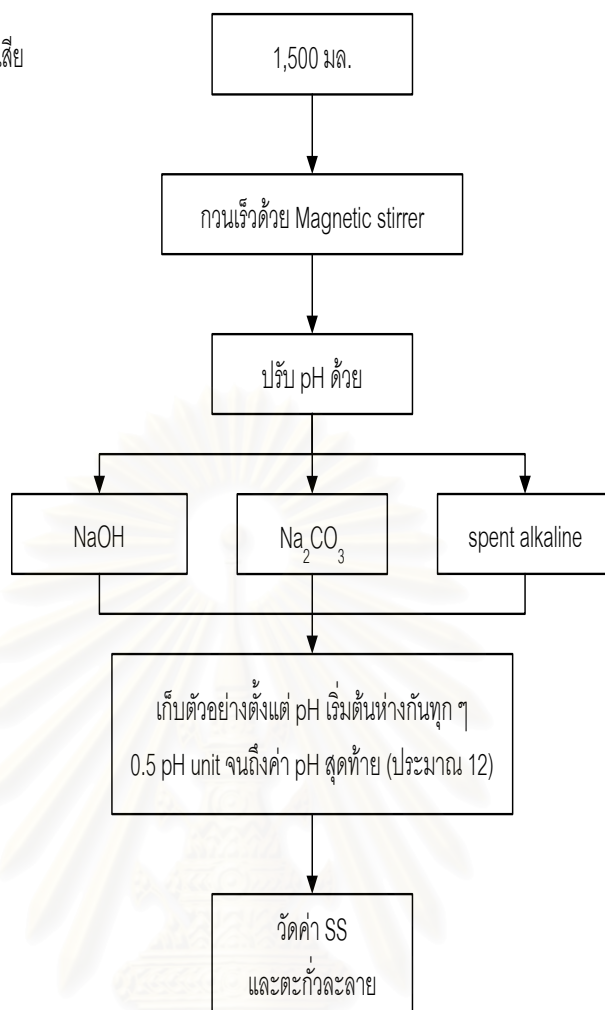
- pH, ORP, ของแข็งแขวนลอย (SS)
- ปริมาณโลหะละลายและโลหะทั้งหมด ได้แก่ As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, และ Pb

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกัวด้วยกระบวนการ ตกตะกอนทางเคมี โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) และโซดาแอช (Na_2CO_3) เป็นสารปรับตกตะกอน

การทดลองที่ 3.1 การหาช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกัวด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี

- 1) เตรียมน้ำเสียตะกัวปริมาณ 1,500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2000 มล. กวนเร็วบนเครื่องกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) วัดค่า pH เริ่มต้น
 - 2) ค่อยๆปรับ pH ของน้ำเสียตั้งแต่ ค่า pH ต่ำจนได้ค่า pH สูงทำประมาณ 12 ด้วยสารละลาย NaOH
 - 3) เก็บตัวอย่างน้ำตั้งแต่ค่า pH เริ่มต้น ห่างกันทุก ๆ 0.5 pH unit ได้แก่ค่า pH ในช่วง 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 , 11.0, 11.5, 12 ปริมาณตัวอย่างละ 25 มล.
 - 4) นำตัวอย่างที่ได้กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C แล้วจึงรักษาสภาพโลหะหนักที่ละลายด้วยกรดไนตริก นำไปวัดค่าตะกัวละลาย และ SS
 - 5) ทำการทดลองตั้งแต่ ข้อ 1) ถึง 4) โดยเปลี่ยนสารปรับ pH จากสารละลาย NaOH เป็นสารละลายน้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) และสารละลาย Na_2CO_3 แทน
 - 6) หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ตะกัวละลายและ SS พล็อตกราฟอัตราการละลายของตะกัวที่ค่า pH ต่างๆ กำหนดช่วงค่า pH ที่มีค่าตะกัวละลายต่ำสุดของสารปรับ pH แต่ละชนิด
- ขั้นตอนการทดลองแสดงในรูปที่ 3.1

ตัวอย่างน้ำเสีย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการหาช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 3.2 ปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี

- 1) นำน้ำเสียตะกั่วปริมาณ 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ 1,000 มล. กวนเร็วบนเครื่องกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
- 2) ปรับ pH ของน้ำเสียโดยการไตเตรตด้วยสารละลาย NaOH 0.5 โมล/ลิตร
- 3) บันทึกปริมาณสารละลาย NaOH ที่ใช้เทียบกับค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป
- 4) ทำการทดลองข้างต้นใหม่ โดยเปลี่ยนสารปรับ pH น้ำเสียตะกั่วจากสารละลาย NaOH เป็นสารละลายน้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) เจือจาง 1:25 และสารละลาย Na_2CO_3 1.0 โมล/ลิตร แทน
- 5) นำค่าปริมาณสารละลายที่บันทึกได้ จากข้อ 3) คำนวณเป็นหน่วยของน้ำหนักสมมูลพล็อตกราฟเส้นโค้งไตเตรชันเทียบกับค่า pH ในช่วงต่างๆ
- 6) กำหนดปริมาณสารตกตะกอนที่ทำให้ได้ค่า pH ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.1 ในหน่วยของน้ำหนักสมมูล

ขั้นตอนที่ 4 การกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Na_2CO_3 และ น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) ร่วมกับสารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีเมอร์ประจุบวก โพลีเมอร์ประจุลบ และโพลีเมอร์ไร้ประจุ

การทดลองที่ 4.1 สารช่วยตกตะกอนและปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี

- 1) นำน้ำเสียปริมาณ 3,500 มล. ใส่ในภาชนะขนาด 4,500 มล. กวนเร็วบนเครื่องกวนแม่เหล็ก
- 2) เติมสารละลาย NaOH ตามปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.2 ซึ่งจะทำให้ pH อยู่ในช่วงที่มีปริมาณตะกั่วละลายต่ำสุดที่ได้จากการทดลองที่ 3.1
- 3) แบ่งน้ำเสียปริมาณ 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มล. จำนวน 7 ใบ นำบีกเกอร์แต่ละใบตั้งบนเครื่อง Jar Test
- 4) เติมสารรวมตะกอนโพลีเมอร์ประจุบวกลงในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. ตามลำดับ
- 5) กวนเร็ว 100 รอบ/นาที นาน 1 นาที จากนั้นกวนช้า 40 รอบ/นาที นาน 20 นาที
- 6) ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เทน้ำใสส่วนบนจากแต่ละบีกเกอร์ปริมาณ 200 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มล. นำไปกวนเร็วบนเครื่องกวนแม่เหล็ก

7) เก็บตัวอย่างปริมาณ 50 มล. นำไปวัดค่าความขุ่น เก็บตัวอย่างปริมาณ 50 มล. กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.42 นำไปวัดค่าตะกั่วละลาย เก็บตัวอย่างปริมาณ 50 มล. นำไปย่อยด้วยวิธี Nitric digestion เพื่อวัดค่าตะกั่วทั้งหมด

8) นำค่าความขุ่นตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมดที่ได้จากข้อ 7) พล็อตกราฟเทียบความสัมพันธ์กับปริมาณโพลิเมอร์ประจุบวกที่ใช้

9) คำนวณค่าประสิทธิภาพในการบำบัดในรูปตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมด ระบุปริมาณโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารช่วยตกตะกอน

10) ทำการทดลองข้างต้นใหม่จากข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนสารตกตะกอนในข้อ 2) จาก NaOH เป็น Na_2CO_3 และ น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) แทนตามลำดับ

11) ทำการทดลองข้างต้นใหม่จากข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนสารช่วยตกตะกอนในข้อ 4) จากโพลิเมอร์ประจุบวก เป็นโพลิเมอร์ประจุลบและโพลิเมอร์ไร้ประจุตามลำดับ ขั้นตอนในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.2

การทดลองที่ 4.2 เวลาตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับสารช่วยตกตะกอน

1) นำน้ำเสีย 1,000 มล. ใส่ในบีกเกอร์ 2,000 มล. กวนเร็วบนเครื่องกวนแม่เหล็ก

2) เติมสารละลาย NaOH ตามปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.2 ซึ่งจะทำให้ pH อยู่ในช่วงที่มีปริมาณตะกั่วละลายต่ำสุดที่ได้จากการทดลองที่ 3.1

3) กวนเร็ว

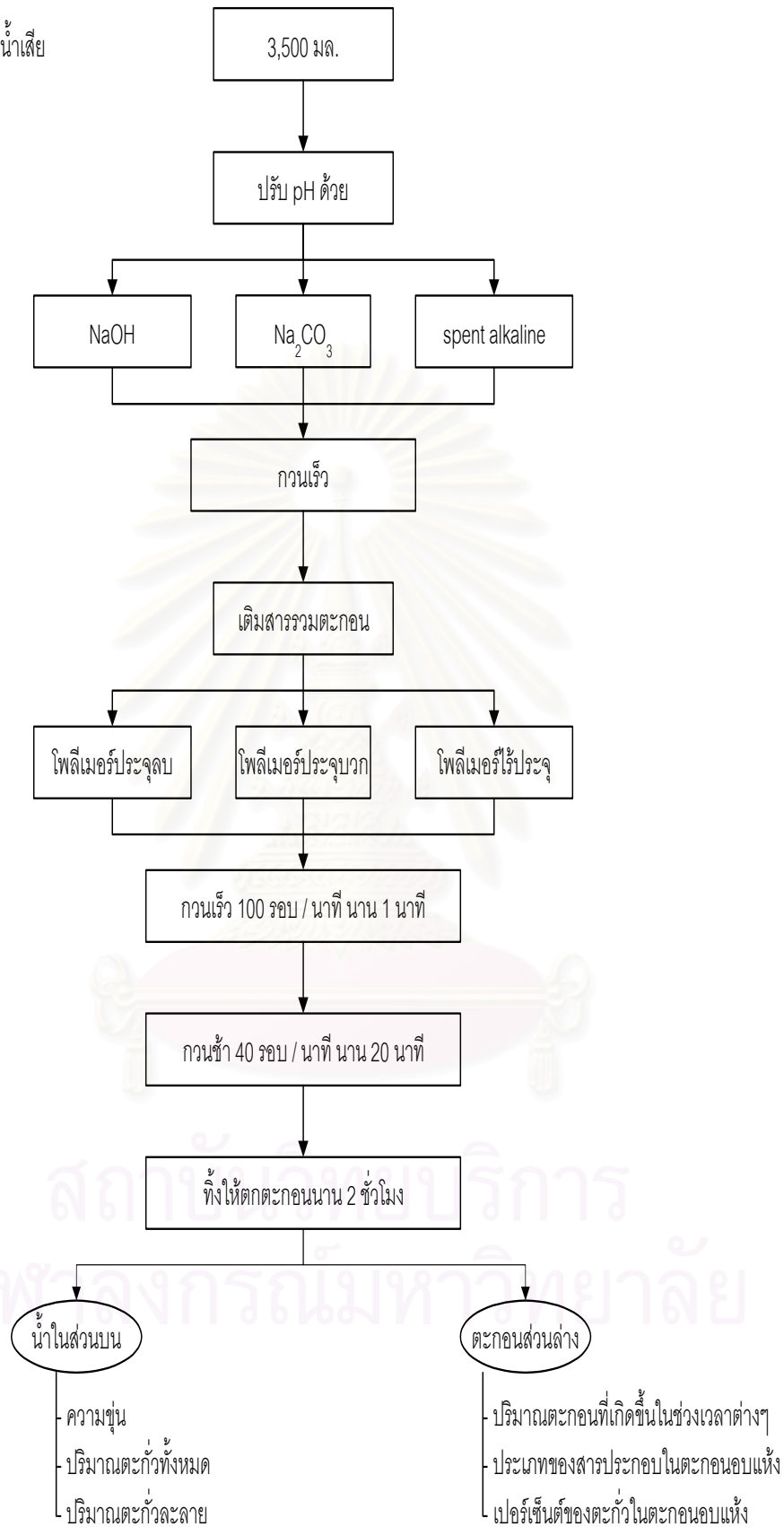
4) นำบีกเกอร์ตั้งบนเครื่อง Jar Test เติมโพลิเมอร์ที่เหมาะสมให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1 กวนเร็ว 100 รอบ/นาที นาน 20 นาที

5) เทน้ำเสียใส่กรวยตกตะกอน (Imhoff cone) ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 4 ชั่วโมง จดบันทึกปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ โดย

- บันทึกทุกๆ 1 นาที ในช่วง 20 นาทีแรก
- บันทึกทุกๆ 5 นาที จนครบ 60 นาที
- บันทึกทุกๆ 10 นาที จนครบ 2 ชั่วโมง
- บันทึกทุกๆ 20 นาที จนครบ 3 ชั่วโมง
- บันทึกทุกๆ 30 นาที จนครบ 4 ชั่วโมง

6) นำข้อมูลที่ได้พล็อตกราฟปริมาณตะกอนจมตัวเทียบกับเวลาของการตกตะกอน (Sedimentation pattern) ระบุระยะเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสม

ตัวอย่างน้ำเสีย



รูปที่ 3.2 การตกตะกอนตะกั่วโดยใช้สารตกตะกอนร่วมกับสารช่วยตกตะกอน

7) ทำการทดลองข้างต้นใหม่จากข้อ 1) ถึง 6) โดยเปลี่ยนสารตกตะกอนจาก NaOH เป็น Na_2CO_3 และ น้ำด่างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) ตามลำดับ

การทดลองที่ 4.3 วิเคราะห์ตะกอนอบแห้ง

- 1) นำตะกอนจุ่มตัวที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 4.2 กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.42
- 2) นำตะกอนที่ค้างบนกระดาษกรอง ใส่ในถ้วยกระเบื้องอบแห้ง นำไปอบในตู้อบ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซ้ำมคืน
- 3) นำตะกอนอบแห้งส่วนหนึ่งไปวัดองค์ประกอบด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)
- 4) ชั่งตะกอนอบแห้งส่วนหนึ่งประมาณ 0.2 กรัม นำตะกอนไปย่อยด้วยวิธี Nitric digestion เพื่อวัดค่าปริมาณตะกั่วในตะกอน คำนวณปริมาณตะกั่วในตะกอนอบแห้ง คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ในหน่วยของน้ำหนักตะกั่ว/น้ำหนักตะกอนอบแห้ง

ขั้นตอนที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) น้ำด่างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) และโซดาแอช (Na_2CO_3) เป็นสารตกตะกอน หัวข้อที่ใช้เปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 หัวข้อที่ใช้เปรียบเทียบ

หัวข้อ	NaOH	Spent alkaline	Na_2CO_3
1. pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน			
2. โออาร์พี (mV)			
3. พีเอชสุดท้ายหลังบำบัด			
4. ตะกั่วละลายที่เหลือในน้ำส่วนบน (มก./ล.)			
5. ตะกั่วทั้งหมดที่เหลือในน้ำส่วนบน (มก./ล.)			
6. ปริมาณโพลีเมอร์ที่ใช้ (มก./ล.)			
- ประจุลบ			
- ประจุบวก			
- ไร้ประจุ			
7. ปริมาตรตะกอนที่เวลา 60 นาที (มล./มล. ของน้ำเสีย)			

ตารางที่ 3.1 หัวข้อที่ใช้เปรียบเทียบ (ต่อ)

หัวข้อ	NaOH	Spent alkaline	Na ₂ CO ₃
8. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)			
9. ของแข็งแขวนลอยในน้ำส่วนบน (มก./ล.)			
10. ชนิดของตะกอนที่เกิดขึ้นจากการวัดด้วย XRD			
11. เปอร์เซ็นต์ของโลหะในตะกอนอบแห้ง			
12. ค่าใช้จ่าย (คิดต่อปริมาตรน้ำเสีย 1 ลบ.ม.)			
- ค่าสารเคมี			
- ค่าขนส่ง			
- รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด			

3.3 พารามิเตอร์

1) ตัวแปรต้น

- pH
- สารตกตะกอน ได้แก่ NaOH, Spent alkaline, Na₂CO₃
- ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุบวก โพลีเมอร์ประจุลบ โพลีเมอร์ไร้ประจุ
- เวลา
- น้ำหนักตะกอนอบแห้ง

2) ตัวแปรตาม

- ปริมาณตะกั่วละลาย
- ของแข็งแขวนลอย
- ปริมาณสารตกตะกอน
- ปริมาณตะกั่วทั้งหมด
- ความขุ่น
- ปริมาณตะกอนจมตัว
- เปอร์เซ็นต์ของโลหะหนักในตะกอนอบแห้ง

3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เตรียมจาก NaOH ชนิด Anhydrous pellet minimum assay > 97%

- 2) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (โซดาแอช, Na_2CO_3) เตรียมจาก Na_2CO_3 ชนิด Coarse powder, Assay 99.8 – 100.2% โดยอบ Na_2CO_3 ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาชั่งเพื่อเตรียมเป็นสารละลาย
- 3) กรดไฮโดรคลอริก เตรียมจาก HCl conc 37%, density 1.186
- 4) กรดไนตริก เตรียมจาก HNO_3 conc 65%, density 1.40
- 5) น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) เป็นน้ำค้างที่ใช้แล้วจากโรงงานนมดำ จังหวัดนครราชสีมา เป็นส่วนผสมของน้ำค้างโซดาไฟและน้ำยารมดำ SUGICUT™ CS-58Y (รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 2.4.2) เก็บตัวอย่างด้วยวิธี grab sampling วันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ.2546
- 6) น้ำเสียตะกั่ว เป็นน้ำเสียจากโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี เก็บตัวอย่างจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของโรงงาน ซึ่งเป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตจากทุกส่วนของโรงงาน (รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 2.3.2) เก็บตัวอย่างด้วยวิธี grab sampling วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ.2546
- 7) สารช่วยตกตะกอน (Coagulant aid)
 - โพลีเมอร์ประจุบวก WATERFLOC™ 5803 ชนิด high molecular weight, high charge density Cationic polyelectrolyte มีช่วง pH ในการใช้งาน 2-12 มวลโมเลกุลมากกว่า 14 ล้าน ความเข้มข้นที่ควรใช้ 1-2% ชั่ง WATERFLOC™ 5803 แห่ง ทำเป็นสารละลายเข้มข้น 0.1% เตรียมไว้เป็น Stock solution
 - โพลีเมอร์ประจุบวก WATERFLOC™ 5304 ชนิด high molecular weight, high charge density Anionic polyelectrolyte มีช่วง pH ในการใช้งาน 2-12 มวลโมเลกุลมากกว่า 14 ล้าน ความเข้มข้นที่ควรใช้ 1-2% ชั่ง WATERFLOC™ 5304 แห่ง ทำเป็นสารละลายเข้มข้น 0.1% เตรียมไว้เป็น Stock solution
 - โพลีเมอร์ไร้ประจุ Ciba™ MAGNAFLOC™ 333 ชนิด high molecular weight, มีช่วง pH ในการใช้งาน 6-12 มวลโมเลกุลมากกว่า 16 ล้าน ความเข้มข้นที่ควรใช้ 0.5-5% ชั่ง Ciba™ MAGNAFLOC™ 333 แห่ง ทำเป็นสารละลายเข้มข้น 0.1% เตรียมไว้เป็น Stock solution

3.5 วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการวิจัย

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
pH	glass electrode measurement ด้วย pH meter ยี่ห้อ DKK รุ่น PHL-20
ORP (mV)	glass electrode measurement ด้วย pH meter ยี่ห้อ CONSORT รุ่น C830
ความขุ่น (NTU)	ASTM:D1889-94 ด้วย turbidmeter HACH model 2100 A
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	gravimetric
ปริมาณตะกอนจมน้ำ (มก./มล)	ตั้งทิ้งให้ตกตะกอนใน Imhoff Cone ขนาด 1000 มล.
เปอร์เซ็นต์ของโลหะหนักในตะกอนอบแห้ง	digest ตะกอนอบแห้งตาม ASTM:D4698-92 procedure B วัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
ประเภทของสารประกอบโลหะหนักในตะกอนอบแห้ง	ASTM:D934-80 practice B diffractometer วัดด้วยเครื่อง X-Ray Diffracton
โลหะหนักทั้งหมดในน้ำเสีย	digest ตัวอย่างตาม ASTM:D1971-91 practice B วัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
โลหะละลายในน้ำเสีย	กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C หรือ Whatman เบอร์ 42 แล้ว digest ตัวอย่างตาม ASTM :D1971-91 practice B วัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
โลหะหนักได้แก่	
- AS	ASTM:D2972-93 test method C
- Cd	ASTM:D3597-95 test method A
- Cr	ASTM:D1687-92 test method B
- Cu	ASTM:D1688-95 test method A
- Fe	ASTM:D1068-90 test method A
- Hg	ASTM:D3223-91
- Ni	ASTM:D1886-94 test method A
- Pb	ASTM:D3559-95 test method A

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 ประเมินอัตราการใช้น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสียของโรงงานหลอมตะกั่วแท่งจาก แบตเตอรี่เก่าและโรงงานรรมดำเทียบกับผลิตภัณท์ (unit generation rate)

4.1.1 โรงงานหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี

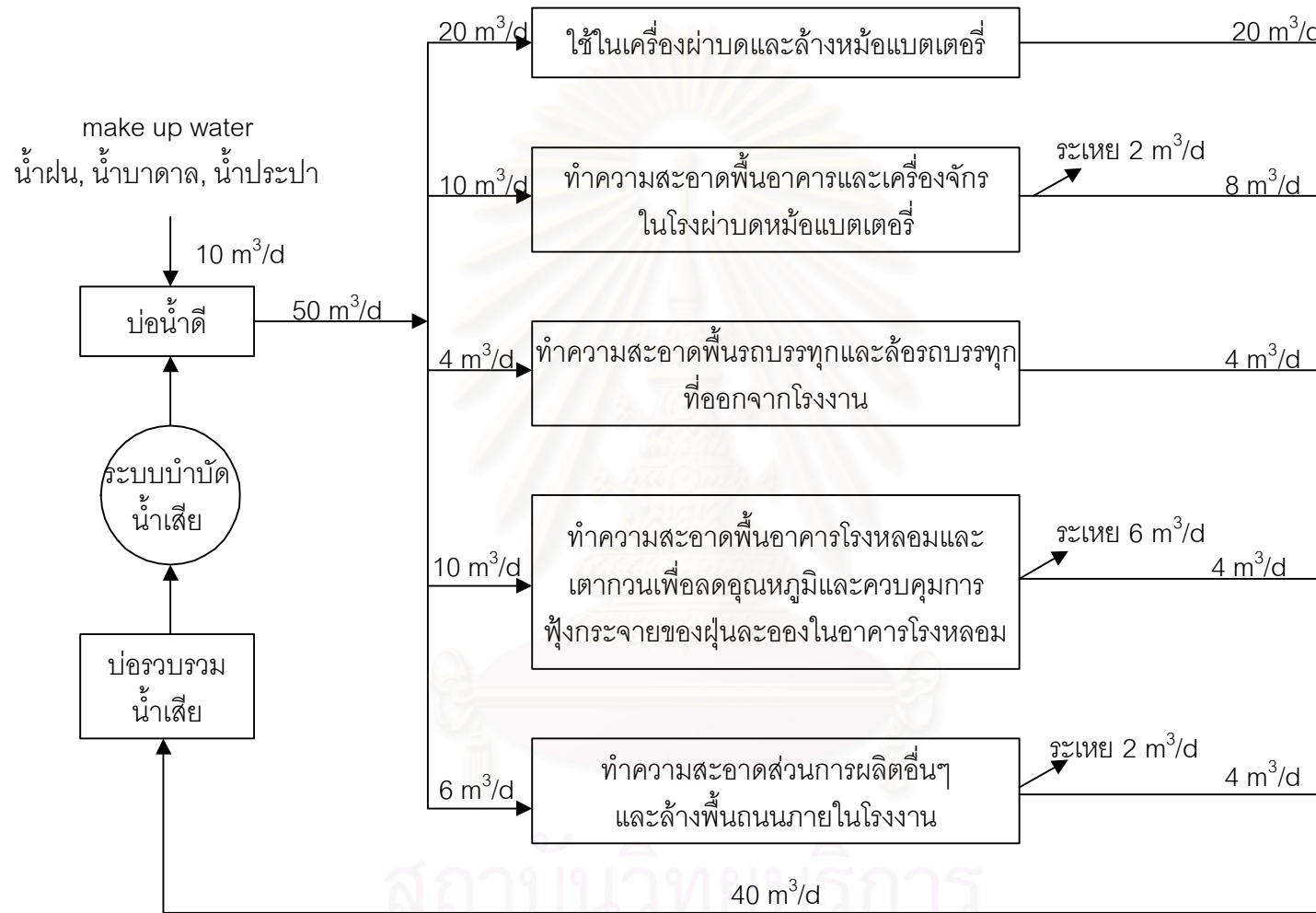
ผลการประเมินอัตราการใช้น้ำ และอัตราการเกิดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ
การผลิตในส่วนต่าง ๆ ของโรงงานหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี โดยใช้ข้อมูล
จากรายงานด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งแสดงต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมเดือนมกราคม พ.ศ.2546 แสดง
ในรูปที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1 สรุปอัตราการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นของโรงงานได้ดังนี้

- | | |
|--|----------------|
| - ปริมาณน้ำที่ต้องใช้หมุนเวียนในกระบวนการต่างๆ ของโรงงานวัดได้เฉลี่ย | 50 ลบ.ม. / วัน |
| - ปริมาณน้ำที่ต้องบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียวัดได้เฉลี่ย | 40 ลบ.ม. / วัน |
| - ปริมาณน้ำที่ต้องเติมเพิ่ม (make up water) วัดได้เฉลี่ย | 10 ลบ.ม. / วัน |
| - ดังนั้นปริมาณน้ำที่ถูกระเหยไปจากระบบคือ | 10 ลบ.ม. / วัน |

บัญชีวัตถุดิบ ผลิตภัณท์และวัตถุดิบพลอยได้ในการผลิตตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่า
ของโรงงาน แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่มา : รายงานด้านสิ่งแวดล้อมของโรงงานแสดงต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม เดือนมกราคม พ.ศ.2546

รูปที่ 4.1 ปริมาณการใช้น้ำหมุนเวียนและปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4.1 บัญชีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตะกั่วแท่งจากการหลอมแบดเตอรีเก่า

ลำดับที่	วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต	ปริมาณการใช้เฉลี่ยต่อวัน
1	เศษตะกั่ว, แผ่นธาตุตะกั่วที่ได้จากแบดเตอรีเก่า, ฝุ่นตะกั่วจากโรงกรองอากาศของโรงงาน, ตะกอนตะกั่วจากระบบบำบัดน้ำเสีย และขี้ตะกั่วตะกั่ว	39,000 ก.ก.
2	ถ่านหิน	680 ก.ก.
3	เศษเหล็กและเหล็กอ็อกไซด์	4,700 ก.ก.
4	ทรายและหินปูน	1,200 ก.ก.
5	โซเดียมไฮดรอกไซด์	200 ก.ก.
6	แร่ไฟไรต์	20 ก.ก.
7	กำมะถัน	6 ก.ก.
8	น้ำมันเชื้อเพลิง	5,000 ก.ก.
9	กระแสไฟฟ้า	6,000 ก.ก. วัตต์

ที่มา : รายงานผลประกอบการของโรงงานแสดงต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม

เดือนมกราคม พ.ศ.2546

ตารางที่ 4.2 บัญชีผลิตภัณฑ์และวัตถุพลอยได้

ลำดับที่	ชนิดผลิตภัณฑ์และวัตถุพลอยได้	ปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อวัน
1	โลหะตะกั่วอ่อนและโลหะตะกั่วผสม	21,000 ก.ก.
2	พลาสติกกรีไซเคิล	9,000 ก.ก.

ที่มา : รายงานผลประกอบการของโรงงานแสดงต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม

เดือนมกราคม พ.ศ.2546

สรุป Unit generation rate ของโรงงานผลิตตะกั่วแท่งจากแบดเตอรีเก่า จ.สระบุรี เทียบกับผลิตภัณฑ์

- อัตราการใช้น้ำหมุนเวียนในกระบวนการต่าง ๆ ของโรงงาน ต่อผลิตภัณฑ์ คือ $50/21,000 = 0.0024 = 2.4$ ลิตร / ตะกั่วแท่ง 1 ก.ก.
- อัตราการเกิดน้ำเสียที่ต้องบำบัดต่อผลิตภัณฑ์ คือ $40 / 21,000 = 0.0019 = 1.9$ ลิตร / ตะกั่วแท่ง 1 ก.ก.

4.1.2 โรงงานนมดำฝิวโลหะ จังหวัดนครราชสีมา

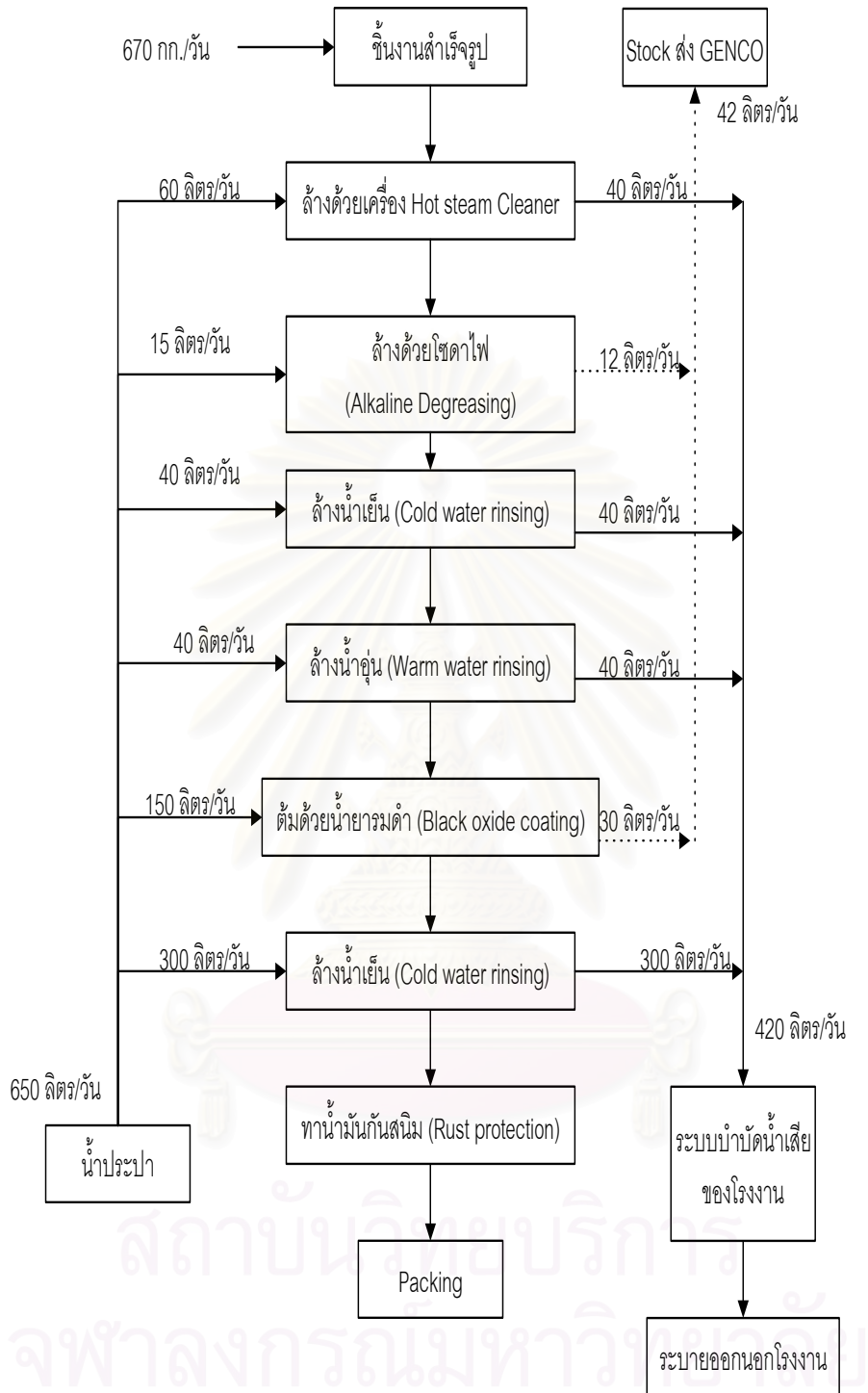
ผลการประเมินอัตราการใช้น้ำ และอัตราการเกิดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการการผลิตในส่วนต่าง ๆ ของโรงงานนมดำฝิวโลหะ จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้แบบสอบถามและแบบสำรวจในช่วงเวลา 6 วัน ระหว่างวันที่ 11 พฤษภาคม – 16 พฤษภาคม 2546 ผลของแบบสำรวจแสดงในภาคผนวก ก.1 แสดงในรูปที่ 4.2

จากรูปที่ 4.2 สรุปอัตราการใช้น้ำ ปริมาณน้ำเสีย และน้ำค้างที่ใช้แล้วของโรงงานได้ดังนี้

- ปริมาณน้ำดีที่ต้องใช้ในกระบวนการการผลิตวัดได้เฉลี่ย	605 ลิตร / วัน
- ปริมาณน้ำเสียที่ต้องบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียวัดได้เฉลี่ย	420 ลิตร / วัน
- ปริมาณน้ำค้างที่ใช้แล้วรวมกันวัดได้เฉลี่ย	42 ลิตร / วัน
- น้ำหนักชิ้นงานซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ คือ	670 ก.ก. / วัน

สรุป Unit generation rate ของโรงงานนมดำ จ.นครราชสีมา เทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ

1) ปริมาณน้ำดีที่ต้องใช้คือ	$605 / 670 = 0.91$ ลิตร / ชิ้นงาน 1 ก.ก.
2) ปริมาณน้ำเสียที่ต้องบำบัด	$420 / 670 = 0.63$ ลิตร / ชิ้นงาน 1 ก.ก.
3) ปริมาณน้ำค้างที่ใช้แล้ว	$42 / 670 = 0.06$ ลิตร / ชิ้นงาน 1 ก.ก.



หมายเหตุ :

- หมายถึง น้ำประปา และน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต
- หมายถึง น้ำค้างที่ใช้แล้ว (Spent alkaline)

รูปที่ 4.2 ปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณน้ำเสีย และปริมาณน้ำค้างที่ใช้แล้วของโรงงานรมดำ

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะและสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียตะกั่วและน้ำค้างที่ไขแล้ว

4.2.1 น้ำเสียตะกั่วโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี

พารามิเตอร์	ค่าที่ตรวจวัดได้	
1. pH	1.72	
2. ORP	335 มิลลิโวลท์	
3. ของแข็งแขวนลอย	373 มก./ล.	
4. ปริมาณโลหะหนัก	total	dissolved
- As	1.12 มก./ล.	1.04 มก./ล.
- Cd	0.22 มก./ล.	0.19 มก./ล.
- Cr	0.28 มก./ล.	0.17 มก./ล.
- Cu	2.23 มก./ล.	2.2 มก./ล.
- Fe	127.2 มก./ล.	122.6 มก./ล.
- Hg	ND	ND
- Ni	0.74 มก./ล.	0.59 มก./ล.
- Pb	187 มก./ล.	3.44 มก./ล.

หมายเหตุ : เก็บตัวอย่างน้ำวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ.2546

น้ำเสียจากโรงงานผลิตตะกั่วแห่งจากการหลอมแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี มีลักษณะสมบัติเบื้องต้น คือ มีความเป็นกรดสูง เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำกรดและน้ำยาอิเล็กทรอนิกส์ในหม้อแบตเตอรี่ มีค่า pH 1.72 มีของแข็งแขวนลอยปะปนอยู่บางส่วน ได้แก่ เศษฝุ่นทราย เศษฝุ่นตะกั่วและเศษฝุ่นพลาสติกจากหม้อแบตเตอรี่ มีค่าของแข็งแขวนลอย 373 มก./ล. มีตะกั่วทั้งหมด 187 มก./ล. มีตะกั่วละลาย 3.44 มก./ล.

4.2.2 น้ำด่างที่ใช้แล้วจากโรงงานนมดำ (Spent alkaline) จังหวัดนครราชสีมา

น้ำด่างที่ใช้แล้วสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นน้ำด่างที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมโรงงานนมดำเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเบื้องต้น แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของน้ำด่างที่ใช้แล้วจากโรงงานนมดำ จังหวัดนครราชสีมา

พารามิเตอร์	ค่าที่ตรวจวัดได้	
1. pH	12.98	
2. ORP	-346 มิลลิโวลท์	
3. ความเข้มข้น	12.38 N*	
4. ปริมาณโลหะหนัก	total	dissolved
- As	0.02 มก./ล.	0.02 มก./ล.
- Cd	ND	ND
- Cr	13.55 มก./ล.	12.24 มก./ล.
- Cu	0.56 มก./ล.	0.50 มก./ล.
- Fe	24.4 มก./ล.	19.4 มก./ล.
- Hg	ND	ND
- Ni	0.51 มก./ล.	0.49 มก./ล.
- Pb	0.28 มก./ล.	0.16 มก./ล.

หมายเหตุ : เก็บตัวอย่างน้ำด่างที่ใช้แล้ว เมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2546

* จากการไตเตรตด้วยกรด HCl

น้ำด่างที่ใช้แล้วเป็นส่วนผสมของสารละลาย NaOH และน้ำยารมดำ SUGICUT CS-58 Y ดังแสดงในหัวข้อที่ 2.4.2 มีลักษณะสมบัติเบื้องต้น คือ เป็นของเหลวขุ่นหนืด ความเป็นด่างสูง มีค่า pH เริ่มต้น 12.98 มีความเข้มข้น 12.38 N (จากการไตเตรตด้วยกรด HCl รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.1)

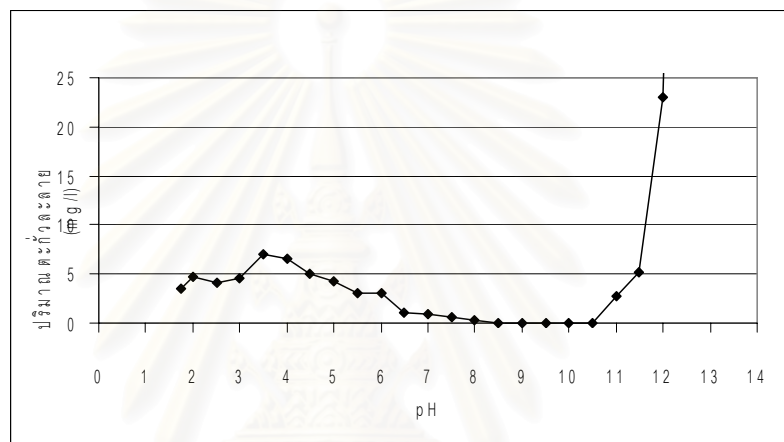
4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อใช้ NaOH , น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) และ Na_2CO_3 เป็นสารตกตะกอน

4.3.1 pH ที่เหมาะในการตกตะกอนตะกั่ว

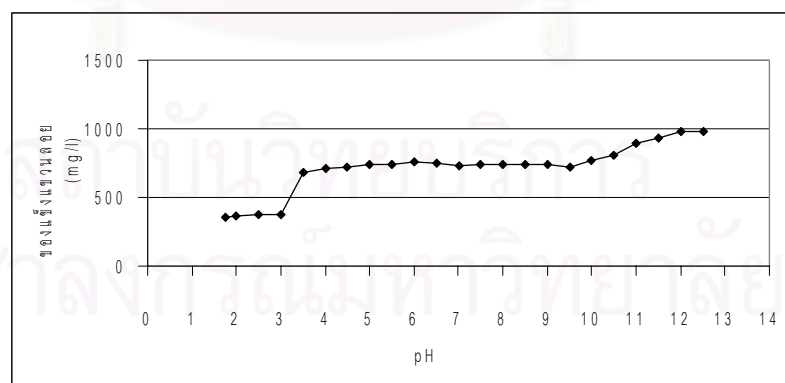
1) ตกตะกอนด้วย NaOH

ผลการทดลองเมื่อตกตะกอนตะกั่วด้วย NaOH แสดงในรูปที่ 4.3 และ

4.4



รูปที่ 4.3 ปริมาณตะกั่วละลายที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย NaOH



รูปที่ 4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย NaOH

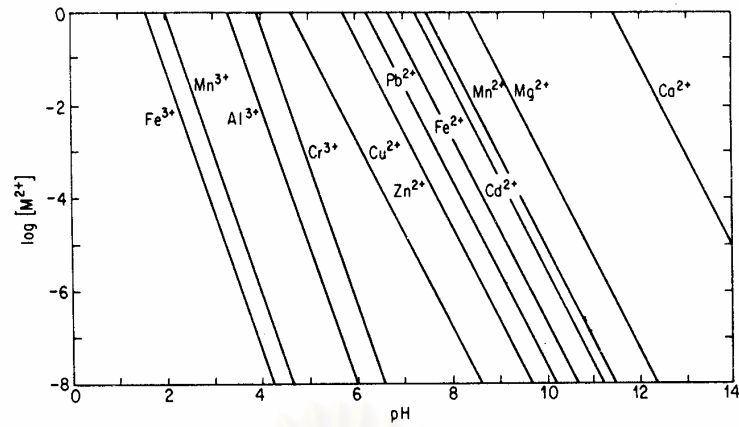
จากรูปที่ 4.3 น้ำเสียเริ่มต้นมีค่า pH 1.74 ปริมาณตะกั่วละลาย 3.45 มก./ล. เมื่อไตรเตรตด้วยสารละลาย NaOH pH มีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วง pH เริ่มต้นถึง pH 3.5 ปริมาณตะกั่วละลายมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 6.95 มก./ล.

เมื่อ pH มากกว่า 3.5 ปริมาณตะกั่วละลายเริ่มมีค่าลดลง โดยในช่วง pH 8.5 – 10.5 ปริมาณตะกั่วละลายลดลงต่ำสุด คือ 0 มก./ล. จากนั้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 10.5 ตะกั่วจะกลับมามีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งตามลักษณะของการเป็น amphoteric โดยปริมาณตะกั่วละลายที่ pH 12.0 และ 12.5 มีค่าสูงถึง 22.99 มก./ล. และ 107.81 มก./ล. ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปว่าช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วสำหรับน้ำเสียในงานวิจัยนี้ เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH คือค่า pH ในช่วง 8.5 – 10.5 โดยในช่วง pH ดังกล่าวในทางทฤษฎีตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$)

จากรูปที่ 4.4 น้ำเสียเริ่มต้นมีค่า pH 1.74 ของแข็งแขวนลอย 352 มก./ล. เมื่อ pH เพิ่มขึ้นในช่วง 1.74 – 3.0 ของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือ 352 มก./ล. ถึง 376 มก./ล. แต่ที่ pH 3.5 ของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นทันที เป็น 680 มก./ล. จากนั้นปริมาณของแข็งแขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงค่า pH 10 โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ pH 3.5 และ 10 มีค่า 680 มก./ล. และ 720 มก./ล. ตามลำดับ จากนั้นในช่วง pH 10.5 – 12.5 อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งแขวนลอยมีค่ามากขึ้นโดยปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ pH 10.5 และ 12.5 มีค่า 768 มก./ล. และ 980 มก./ล. ตามลำดับ

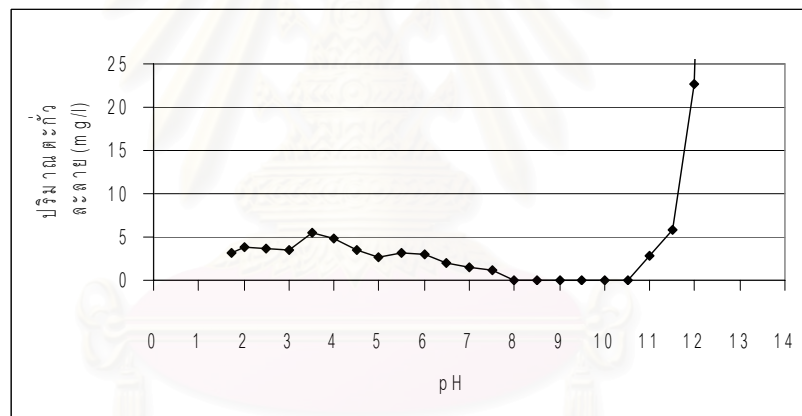
ปริมาณของแข็งแขวนลอยซึ่งเพิ่มขึ้นทันทีที่ pH 3.5 เป็นผลเนื่องจากการเกิดตะกอนของสารประกอบไฮดรอกไซด์กับไอออนประจุ +3 ในน้ำเสีย เช่น Fe^{3+} , Mn^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} ส่วนการเพิ่มขึ้นของของแข็งแขวนลอยในช่วง pH 10.5 – 12.5 เป็นผลเนื่องจากการเกิดตะกอนไฮดรอกไซด์กับไอออนประจุ +2 เช่น Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} ในน้ำเสียดังแสดงในรูปที่ 4.5



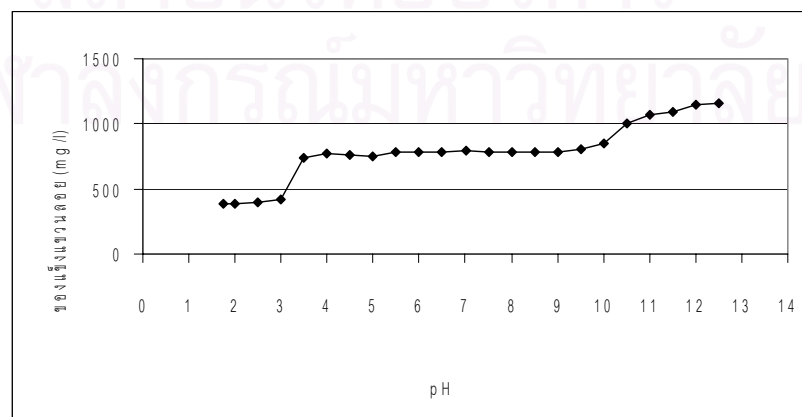
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของ pH และความสามารถในการละลายของสารประกอบไฮดรอกไซด์บางชนิดในน้ำ (Sawyer, 2003)

2) ตกตะกอนด้วย Spent alkaline

ผลการทดลองเมื่อตกตะกอนตะกั่วด้วย Spent alkaline ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 ปริมาณตะกั่วละลายที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย Spent alkaline



รูปที่ 4.7 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย Spent alkaline

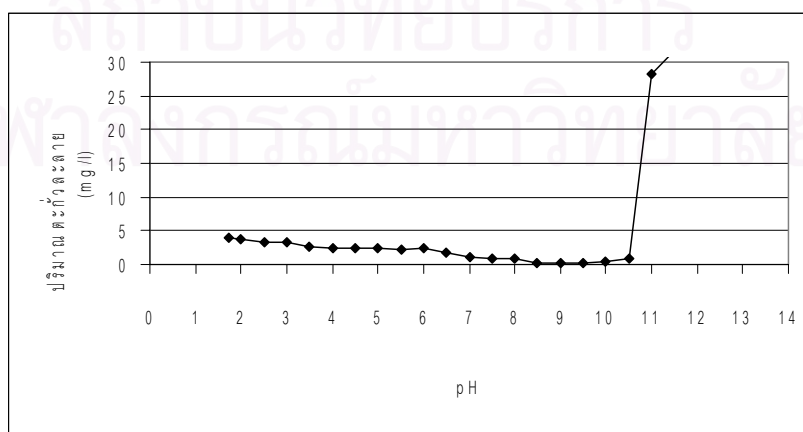
จากรูปที่ 4.6 น้ำเสียเริ่มต้นมีค่า pH 1.74 ปริมาณตะกั่วละลาย 3.12 มก./ล. เมื่อ ไตรเตรตด้วยสารละลาย Spent alkaline pH มีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วง pH เริ่มต้นถึง pH 3.5 ปริมาณ ตะกั่วละลายมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5.54 มก./ล. เมื่อ pH มากกว่า 3.5 ปริมาณตะกั่วละลายเริ่มมีค่า ลดลง โดยในช่วง pH 8.5 – 10.5 ปริมาณตะกั่วละลายลดลงต่ำสุด คือ 0 มก./ล. จากนั้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 10.5 ตะกั่วจะกลับมามีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งตามลักษณะของการเป็น amphoteric โดยปริมาณตะกั่วละลายที่ pH 12.0 และ 12.5 มีค่าสูงถึง 22.65 มก./ล. และ 109.02 มก./ล. ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปว่าช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วสำหรับน้ำเสียใน งานวิจัยนี้ เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline คือค่า pH ในช่วง 8.5 – 10.5

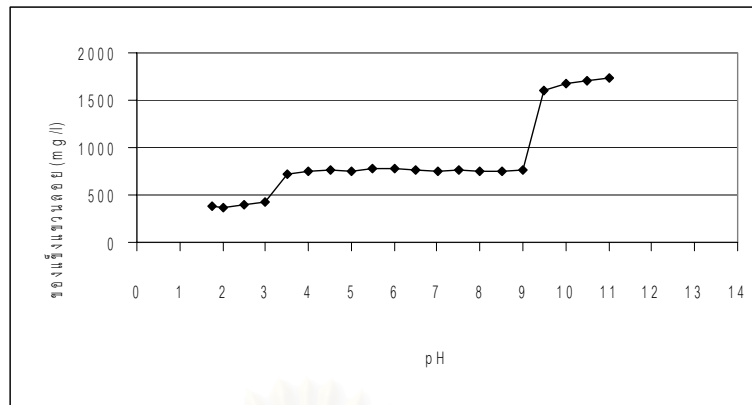
จากรูปที่ 4.7 น้ำเสียเริ่มต้นมีค่า pH 1.74 ของแข็งแขวนลอย 388 มก./ล. เมื่อ pH เพิ่มขึ้นในช่วง 1.74 – 3.0 ของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือ 388 มก./ล. ถึง 416 มก./ล. แต่ที่ pH 3.5 ของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นทันที เป็น 740 มก./ล. จากนั้นปริมาณของแข็ง แขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงค่า pH 10 โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ pH 3.5 และ 10 มีค่า 740 มก./ล. และ 852 มก./ล. ตามลำดับ จากนั้นในช่วง pH 10.5 – 12.5 อัตราการเพิ่มขึ้น ของของแข็งแขวนลอยมีค่ามากขึ้นโดยปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ pH 10.5 และ 12.5 มีค่า 1,000 มก./ล. และ 1,160 มก./ล. ตามลำดับ

3) ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3

ผลการทดลองเมื่อตกตะกอนตะกั่วด้วย Na_2CO_3 ได้ผลการทดลองดัง แสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9



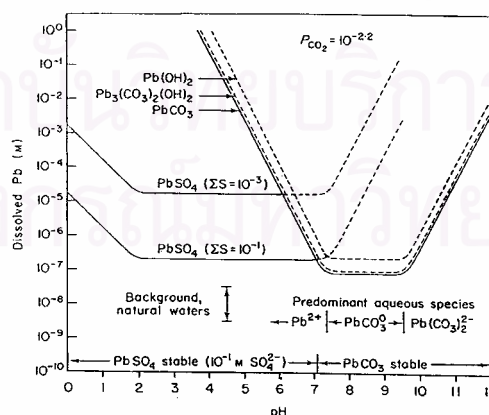
รูปที่ 4.8 ปริมาณตะกั่วละลายที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย Na_2CO_3



รูปที่ 4.9 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วยสารละลาย Na_2CO_3

จากรูปที่ 4.8 น้ำเสียเริ่มต้นมีค่า pH 1.74 ปริมาณตะกั่วละลาย 3.87 มก./ล. เมื่อไตร่ตรองด้วยสารละลาย Na_2CO_3 pH มีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วง pH 1.74 – 10.0 ปริมาณตะกั่วละลายมีค่าลดลง ปริมาณตะกั่วละลายที่ pH 1.74 และ 8.0 มีค่า 3.87 และ 0.93 มก./ล. ในช่วง pH 8.5 – 10.0 ปริมาณตะกั่วละลายลดลงต่ำสุด โดยปริมาณตะกั่วละลายมีค่า 0.21 – 0.48 มก./ล. ในช่วง pH ดังกล่าว จากนั้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 10.0 มก./ล. ตะกั่วละลายจะกลับมามีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งตามลักษณะของการเป็น amphoteric โดยปริมาณตะกั่วละลายที่ pH 11.0 และ 11.5 มีค่าสูงถึง 28.13 มก./ล. และ 97.78 มก./ล. ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปว่าช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วสำหรับน้ำเสียในงานวิจัยนี้ เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 คือค่า pH ในช่วง 8.5 – 10.0 โดยในช่วง pH ดังกล่าวในทางทฤษฎีตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนต (PbCO_3) ความสามารถในการละลายของ PbCO_3 แสดงในรูปที่ 4.10

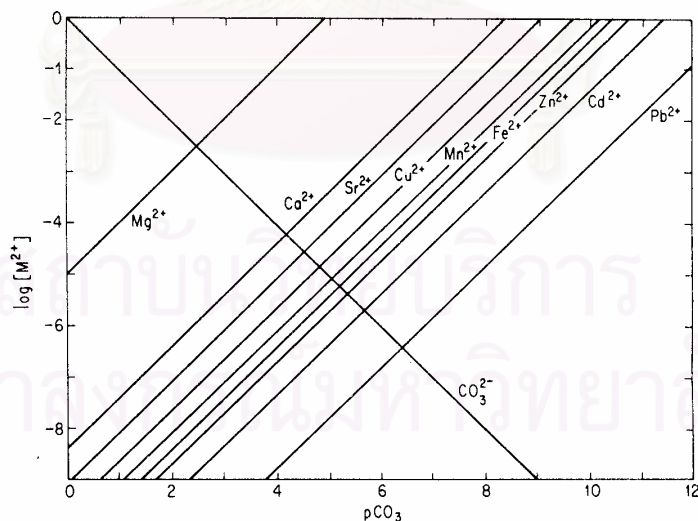


รูปที่ 4.10 ความสามารถในการละลายของสารประกอบตะกั่วบางชนิดในน้ำเสีย

(Rose และคณะ, 1979)

จากรูปที่ 4.9 น้ำเสียเริ่มต้นมีค่า pH 1.74 ของแข็งแขวนลอย 380 มก./ล. เมื่อ pH เพิ่มขึ้นในช่วง 1.74 – 3.0 ของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือ 380 มก./ล. ถึง 432 มก./ล. แต่ที่ pH 3.5 ของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นทันที เป็น 720 มก./ล. จากนั้นปริมาณของแข็งแขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงค่า pH 9.0 โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ pH 3.5 และ 9.0 มีค่า 720 มก./ล. และ 764 มก./ล. ตามลำดับ จากนั้นในช่วง pH 9.5 – 11.5 อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งแขวนลอยมีค่ามากขึ้นโดยปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ pH 9.5 และ 11.5 มีค่า 1,600 มก./ล. และ 1,747 มก./ล. ตามลำดับ

ของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นในช่วง pH 1.74 – 9.0 อาจเกิดเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์หรือสารประกอบคาร์บอเนต ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน ความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออน ความเข้มข้นของเกลือและโลหะในน้ำเสีย และค่าคงที่ของการละลาย, K_{sp} (Solubility product constant) หากความเข้มข้นของไอออนดังกล่าวสูงพอที่จะทำให้ผลคูณของการละลายมีค่ามากกว่า K_{sp} ก็จะทำให้เกิดการตกตะกอน การเติม Na_2CO_3 เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออน ดังนั้นตะกอนที่เกิดขึ้นจึงมีแนวโน้มที่จะเป็นสารประกอบคาร์บอเนต ซึ่งผลการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการของตะกอน จะแสดงต่อไปในหัวข้อ 4.7 ความสามารถในการละลายของสารประกอบคาร์บอเนตบางชนิดเทียบกับความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออน ดังแสดงในรูปที่ 4.11



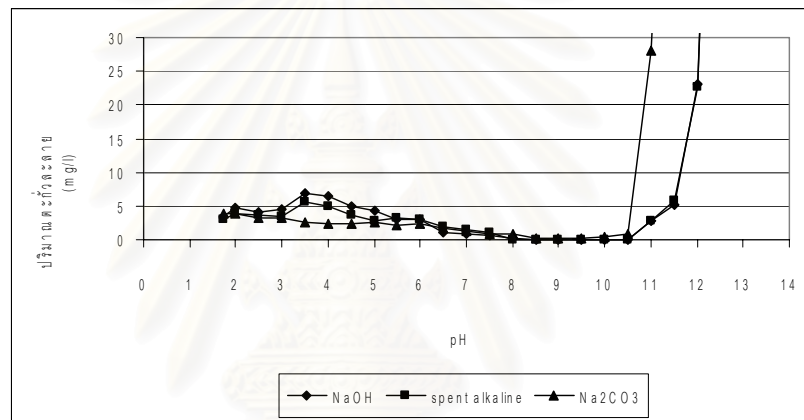
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของคาร์บอเนตไอออนและความสามารถในการละลายของสารประกอบคาร์บอเนตบางชนิดในน้ำเสีย (Sawyer, 2003)

จากรูป 4.11 ตะกั่วสามารถตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนต (PbCO_3) ได้ดีที่ความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออนต่ำๆ ($K_{sp}\text{PbCO}_3 = 7.4 \times 10^{-14}$) ส่วน Ca^{2+} และ Mg^{2+} ต้องมีความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออนสูง จึงจะสามารถตกตะกอนได้ในรูปคาร์บอเนต ($K_{sp}\text{CaCO}_3 = 1.0 \times 10^{-8}$, $K_{sp}\text{MgCO}_3 = 2.6 \times 10^{-5}$)

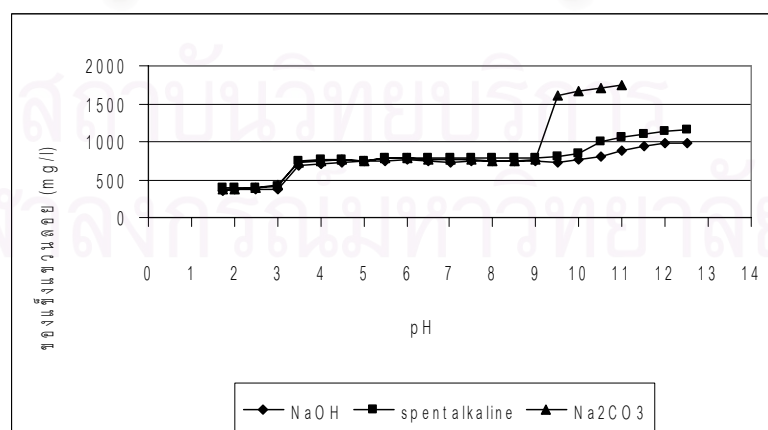
จากรูปที่ 4.9 เมื่อ pH เพิ่มขึ้น (คาร์บอเนตไอออน CO_3^{2-} เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติม Na_2CO_3) เป็น 9.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นทันที เป็น 1,600 มก./ล. จึงมีแนวโน้มที่จะเป็นสารประกอบคาร์บอเนต เช่น CaCO_3 และ MgCO_3

4) เปรียบเทียบการตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3

ปริมาณตะกั่วละลายและของแข็งแขวนลอยที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3 แสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.12 ปริมาณตะกั่วละลายที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3



รูปที่ 4.13

ปริมาณของแข็งที่ค่า pH ต่างๆ เมื่อปรับ pH ด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3

ปริมาณ

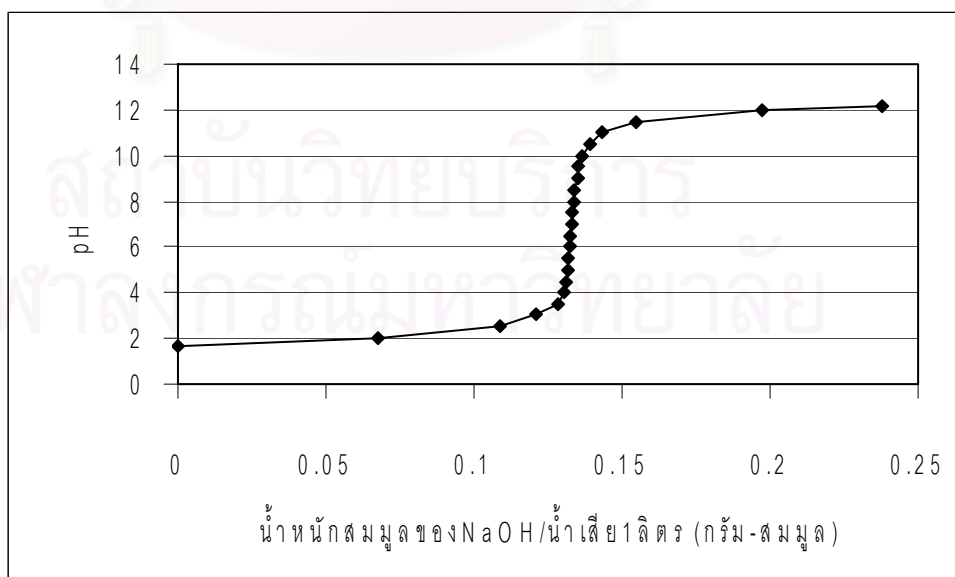
จากรูปที่ 4.12 พบว่าความสัมพันธ์ของ pH และปริมาณตะกั่วละลายเมื่อปรับ pH ด้วย NaOH และ Spent alkaline มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันมาก ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วด้วย NaOH และ Spent alkaline มีค่าเท่ากัน คือ pH ในช่วง 8.5 – 10.5 ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วด้วย Na_2CO_3 คือ 8.5 – 10.0 และจากรูป 4.13 ความสัมพันธ์ของ pH และปริมาณของแข็งแขวนลอยเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3 มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันในช่วง pH 1.74 – 9.0 ของแข็งแขวนลอยที่เกิดจากการตกตะกอนด้วย Spent alkaline มีค่าสูงกว่าการตกตะกอนด้วย NaOH และ Na_2CO_3 คาดว่าเป็นผลเนื่องจากการตกตะกอนของไฮดรอกไซด์บางชนิดที่ปนเปื้อนอยู่ใน Spent alkaline เมื่อ pH มากกว่า 9.0 ของแข็งแขวนลอยจากการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 มีค่ามากกว่าการตกตะกอนด้วย NaOH และ Spent alkaline เป็นผลเนื่องจากสารประกอบคาร์บอเนตดังที่ได้กล่าวมา

เป็นที่น่าสังเกตว่าความสัมพันธ์ของ pH และปริมาณตะกั่วละลายและของแข็งแขวนลอยเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH และ Spent alkaline มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันมาก ดังนั้น Spent alkaline จึงมีแนวโน้มที่จะเป็นต่างของสารประกอบไฮดรอกไซด์

4.3.2 ปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่ว

1) ใช้ NaOH เป็นสารปรับ pH

น้ำหนักสมมูลของ NaOH ในการไตเตรต แสดงในรูป 4.14



รูปที่ 4.14 เส้นโค้งไตเตรชันของ NaOH 0.5 N กับน้ำเสีย 1 ลิตร

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.1 พบว่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วด้วย NaOH ซึ่งจะทำให้มีปริมาณตะกั่วละลายต่ำสุดอยู่ในช่วง pH 8.5 – 10.5 และจากรูปที่ 4.14 พบว่า

ที่ pH 8.5

น้ำหนักสมมูลของ NaOH มีค่า 0.134 กรัม-สมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร

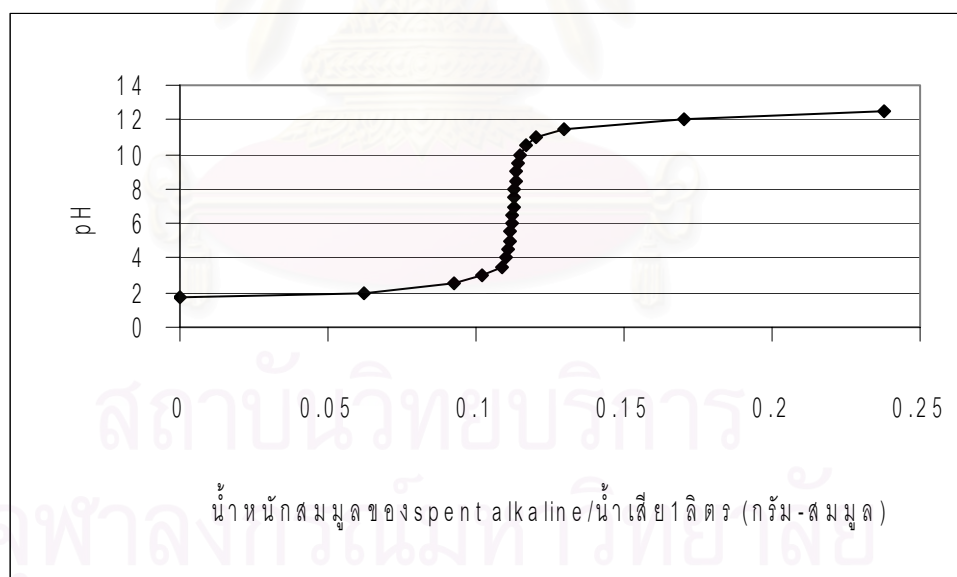
ที่ pH 10.5

น้ำหนักสมมูลของ NaOH มีค่า 0.139 กรัม-สมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร

ดังนั้นจึงสรุปว่า ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วมีค่า 0.134 – 0.139 กรัมสมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร

2) ใช้ Spent alkaline เป็นสารปรับ pH

น้ำหนักสมมูลของ Spent alkaline ในการไตเตรต แสดงในรูป 4.15



รูปที่ 4.15 เส้นโค้งไตเตรชันของ Spent alkaline 0.495 N กับน้ำเสีย 1 ลิตร

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.1 พบว่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วด้วย Spent alkaline ซึ่งจะทำให้มีปริมาณตะกั่วละลายต่ำสุดอยู่ในช่วง pH 8.5 – 10.5 และจากรูปที่ 4.15 พบว่า

ที่ pH 8.5

น้ำหนักสมมูลของ Spent alkaline มีค่า 0.113 กรัม-สมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร

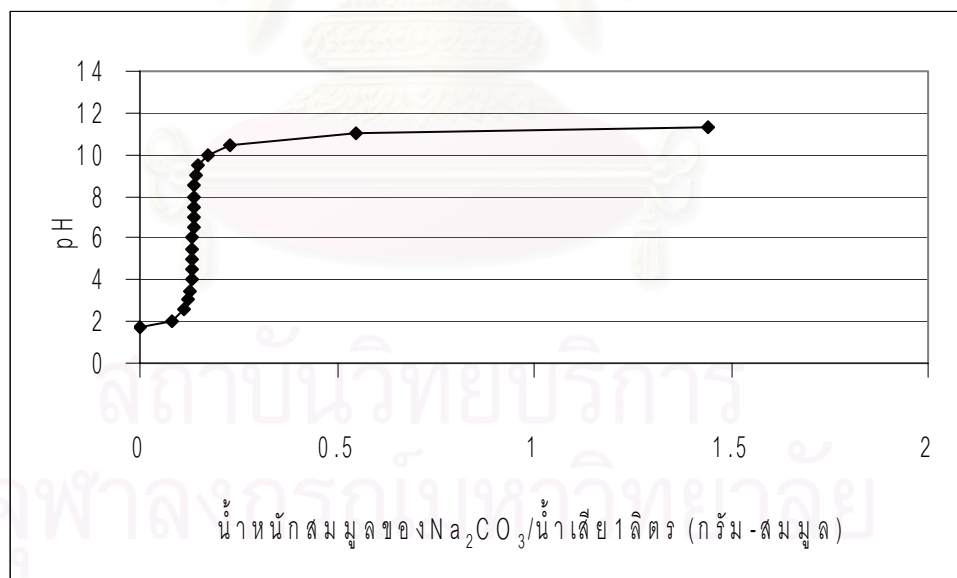
ที่ pH 10.5

น้ำหนักสมมูลของ Spent alkaline มีค่า 0.117 กรัม-สมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร

ดังนั้นจึงสรุปว่า ปริมาณ Spent alkaline ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วมีค่า 0.113 – 0.117 กรัมสมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร

3) ใช้ Na_2CO_3 เป็นสารปรับ pH

น้ำหนักสมมูลของ Na_2CO_3 ในการไตเตรต แสดงในรูป 4.16



รูปที่ 4.16 เส้นโค้งไตเตรชันของ Na_2CO_3 2 N กับน้ำเสีย 1 ลิตร

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.1 พบว่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วด้วย Na_2CO_3 ซึ่งจะทำให้มีปริมาณตะกั่วละลายต่ำสุดอยู่ในช่วง pH 8.5 – 10.0 และจากรูปที่ 4.16 พบว่า

ที่ pH 8.5

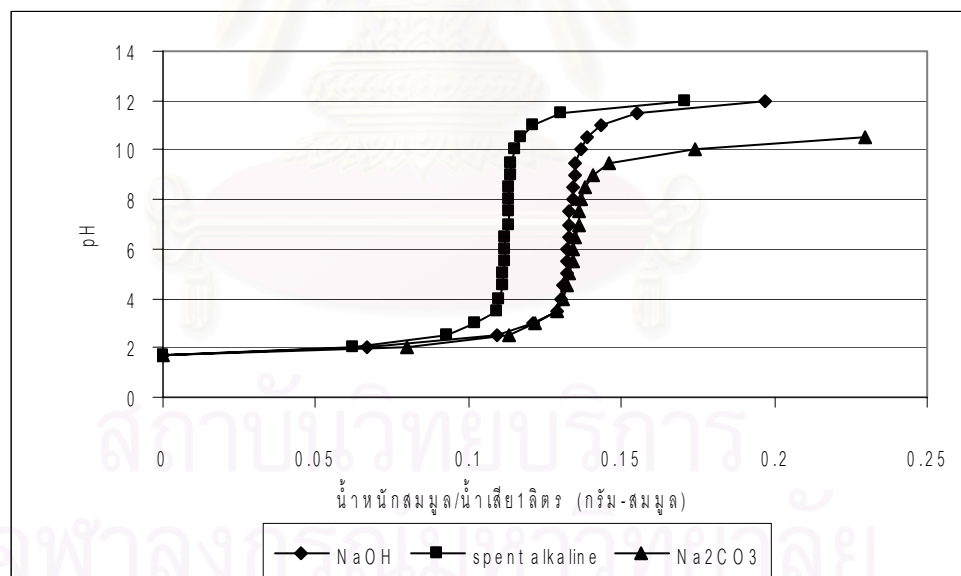
น้ำหนักสมมูลของ Na_2CO_3 มีค่า 0.138 กรัม-สมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร

ที่ pH 10.5

น้ำหนักสมมูลของ Na_2CO_3 มีค่า 0.174 กรัม-สมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร

ดังนั้นจึงสรุปว่า ปริมาณ Na_2CO_3 ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วมีค่า 0.138 – 0.174 กรัมสมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร

เปรียบเทียบปริมาณสารตกตะกอนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3 แสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณสารตกตะกอนเมื่อปรับ pH ด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3

จากรูปที่ 4.17 พบว่าน้ำหนักสมมูลในการปรับ pH ของ Spent alkaline มีค่าน้อยกว่าน้ำหนักสมมูลของ NaOH เล็กน้อย (ประมาณ 0.02 กรัม-สมมูล) ส่วนน้ำหนักสมมูลของ Na_2CO_3 มีค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักสมมูลของ NaOH ในช่วง pH 1.7 – 8.5 แต่เมื่อ pH สูงขึ้นมากกว่า 8.5 พบว่าต้องใช้ Na_2CO_3 ในอัตราส่วนที่มากขึ้นในการปรับ pH ซึ่งเป็นผลจากการเกิดสารประกอบคาร์บอเนตดังได้กล่าวมาในหัวข้อ 4.3.1

4.4 การกำจัดตะกั่วในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับสารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด

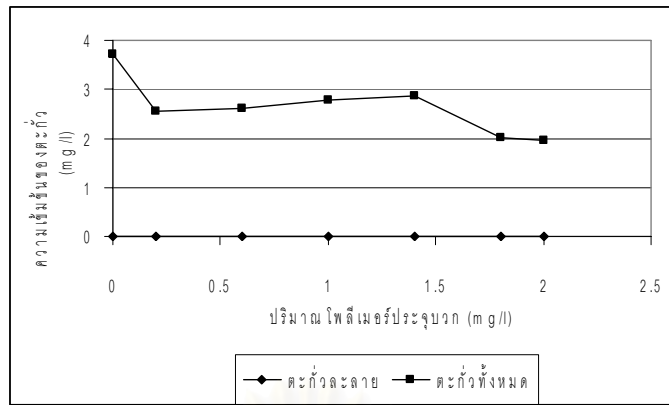
การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี แม้จะสามารถลดความเข้มข้นของโลหะละลายในน้ำเสียลงได้มากก็ตาม แต่ก็มักมีปัญหาในส่วนของ การแยกตะกอนของแข็งออกจากน้ำ เนื่องจากตะกอนของโลหะหนักที่เกิดขึ้นมีลักษณะเบาและฟุ้งกระจายตัวได้ง่าย ใช้เวลามากในการตกตะกอน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในหน่วยบำบัดต่อไป เช่น การกรอง การดูดซับ การแลกเปลี่ยนประจุลดลง

การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลองตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียด้วย NaOH, spent alkaline, Na_2CO_3 ร่วมกับสารช่วยตะกอน (coagulant aid) 3 ชนิด ได้แก่ โพลีเมอร์ประจุบวก โพลีเมอร์ประจุลบ และโพลีเมอร์ไร้ประจุ ได้ผลการทดลองดังนี้

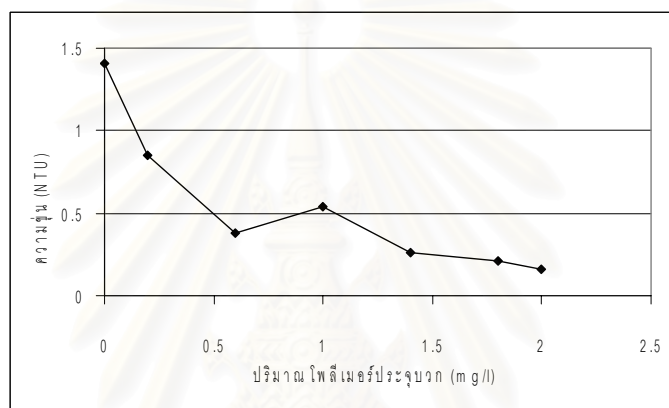
4.4.1 ตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ 3 ชนิด

1) ตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

ตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก



รูปที่ 4.19 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก



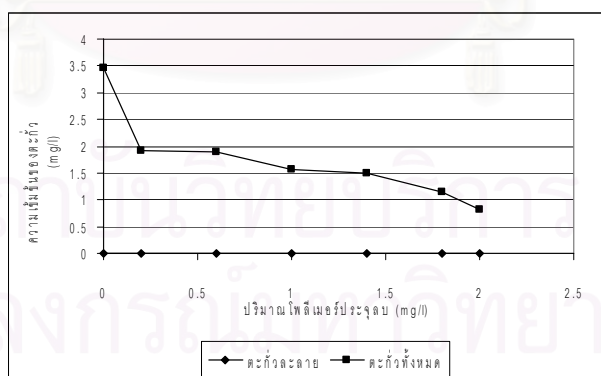
รูปที่ 4.20 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

จากรูปที่ 4.18 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวกเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. หลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียดังกล่าวลดลงเหลือ 0 มก./ล. ทุกค่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุบวก คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 100% ส่วนความเข้มข้นในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่า 3.71, 2.54, 2.61, 2.77, 2.86, 2.02 และ 1.94 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.02%, 98.64%, 98.60%, 98.51%, 98.47%, 98.92% และ 98.96%

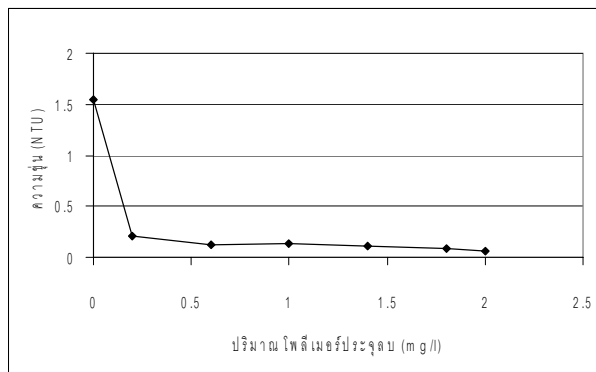
จากรูปที่ 4.19 ความขุ่นของน้ำเสียดังกล่าวหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 1.41, 0.85, 0.38, 0.54, 0.26, 0.21 และ 0.16 NTU ตามลำดับ จากกราฟพบว่าความขุ่นและปริมาณตะกั่วทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวก (0.0 – 2.0 มก./ล.) ที่เพิ่มขึ้น ตะกอนที่เกิดขึ้นมีสีส้มเข้มคล้ายสีสนิมเหล็ก มีลักษณะเป็นฝุ่นคอลลอยด์ละเอียด ตะกอนเบา ฟุ้งกระจายตัวได้ง่าย ไม่จับตัวกันเป็นฟล็อก กลไกรวมตะกอน คือ ใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging)

2) ตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

ตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียดังกล่าวเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบ



รูปที่ 4.22 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบ



รูปที่ 4.23 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

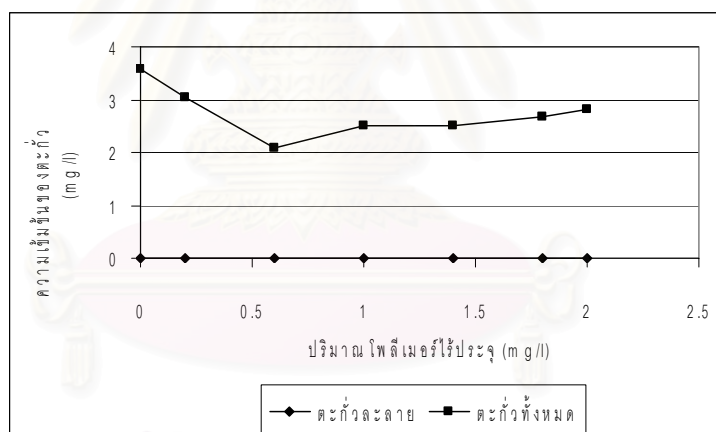
จากรูปที่ 4.21 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. หลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำใสส่วนบนในรูปตะกั่วละลายลดลงเหลือ 0 มก./ล. ทุกค่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 100% ส่วนความเข้มข้นในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่า 3.47, 1.92, 1.89, 1.57, 1.49, 1.16 และ 0.81 มก./ล. ตามลำดับ

คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.15%, 98.97%, 98.99%, 99.16%, 99.20%, 99.38% และ 99.57%

จากรูปที่ 4.22 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 1.54, 0.21, 0.12, 0.14, 0.11, 0.09 และ 0.06 NTU ตามลำดับ จากกราฟพบว่าความขุ่นและปริมาณตะกั่วทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบ (0.0 – 2.0 มก./ล) ที่เพิ่มขึ้น ตะกอนที่เกิดขึ้นมีสีส้มเข้มคล้ายสีสนิมเหล็ก ตะกอนมีลักษณะรวมตัวกันเป็นฟlocs ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ตกตะกอนได้ง่ายและฟุ้งกระจายน้อยลง กลไกการรวมตะกอน คือใช้โพลีเมอร์ประจุลบ เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (polymer bridging) ร่วมกับการดูดติดผิวของคอลลอยด์ เนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ ซึ่งแสดงว่าคอลลอยด์ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมีประจุเป็นบวก

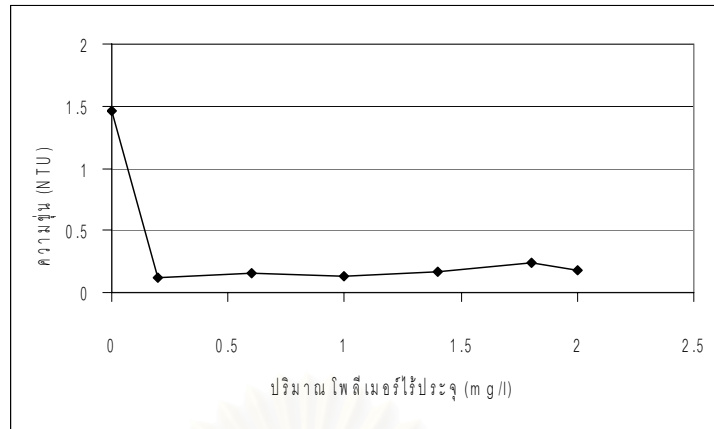
3) ตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ไร่ประจุ

ตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.24, 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ



รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสี้ยวส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ไร่ประจุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.25 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ไ้ประจุ



รูปที่ 4.26 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ไ้ประจุ

จากรูปที่ 4.24 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ไ้ประจุเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. หลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำใสส่วนบนในรูปตะกั่วละลายลดลงเหลือ 0 มก./ล. ทุกค่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์ไ้ประจุ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 100% ส่วนความเข้มข้นในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่า 3.59, 3.06, 2.09, 2.52, 2.50, 2.68 และ 2.83 มก./ล. ตามลำดับ

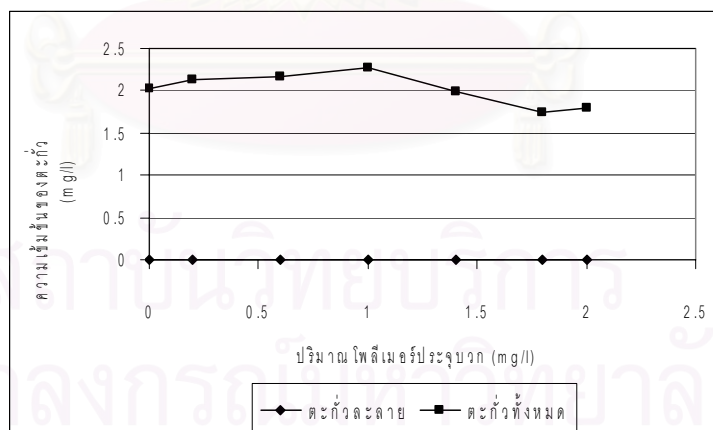
คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.08%, 98.37%, 98.88%, 98.65%, 98.66%, 98.57% และ 98.49%

จากรูปที่ 4.25 ความขุ่นของน้ำเสี้ยวส่วนบนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 1.46, 0.12, 0.15, 0.13, 0.17, 0.24 และ 0.18 NTU ตามลำดับ จากกราฟ พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดจะมีค่าลดลงต่ำสุดเมื่อใช้โพลีเมอร์ไร้ประจุ เท่ากับ 0.6 มก./ล. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณโพลีเมอร์ไร้ประจุที่เพิ่มขึ้น ความขุ่นมีค่าลดลงทันทีเมื่อใช้โพลีเมอร์ไร้ประจุเข้มข้น 0.2 มก./ล. จากนั้นความขุ่นจะมีค่าค่อนข้างคงที่เทียบกับปริมาณโพลีเมอร์ไร้ประจุที่เพิ่มขึ้น (0.2 – 2.0 มก./ล.) ตะกอนที่เกิดขึ้นมีสีส้มเข้มคล้ายสีสนิมเหล็ก มีลักษณะเป็นฝุ่น คอลลอยด์ละเอียด ตะกอนเบา ฟุ้งกระจายตัวได้ง่าย ไม่จับตัวกันเป็นฟlocs กลไกการรวมตะกอนคือ ใช้โพลีเมอร์ไร้ประจุเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging)

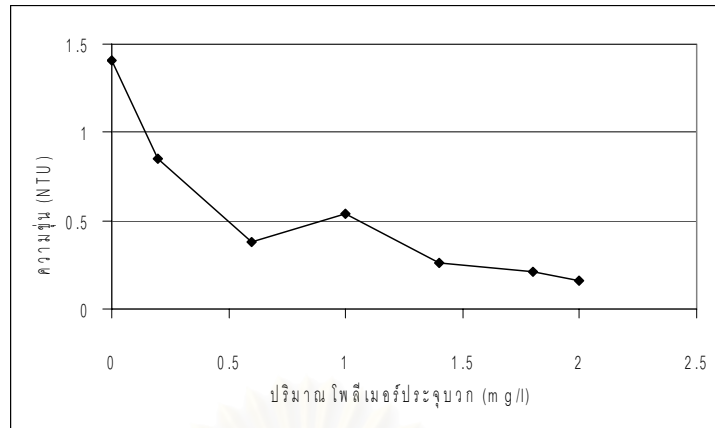
4.4.2 ตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ 3 ชนิด

1) ตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

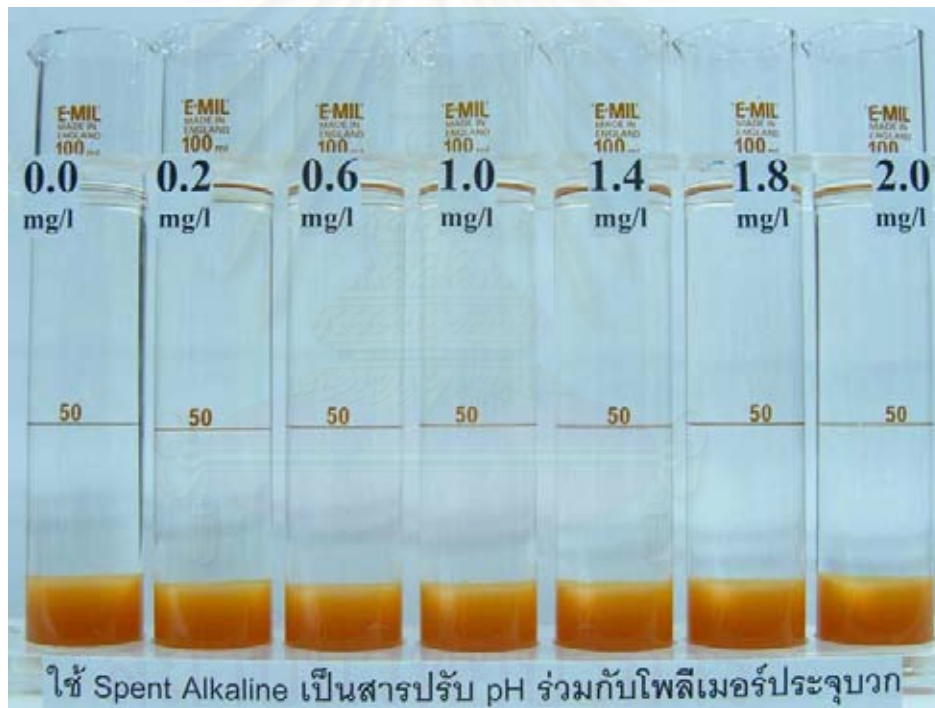
ตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ



รูปที่ 4.27 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสี้ยวส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก



รูปที่ 4.28 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก



รูปที่ 4.29 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

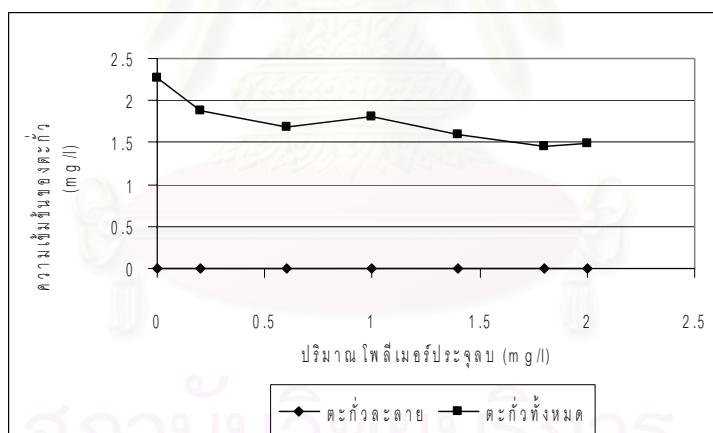
จากรูปที่ 4.27 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. หลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำใสส่วนบนในรูปตะกั่วละลายลดลงเหลือ 0 มก./ล. ทุกค่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุบวก คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ

100% ส่วนความเข้มข้นในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่า 2.03, 2.13, 2.17, 2.27, 1.98, 1.75 และ 1.79 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.91%, 98.86%, 98.84%, 98.79%, 98.94%, 99.07% และ 99.04%

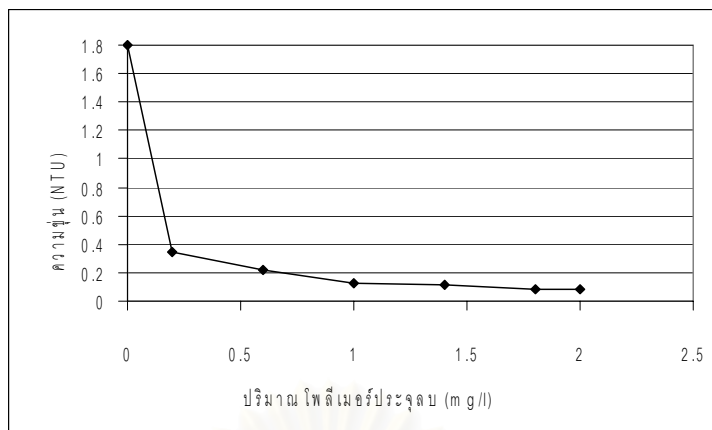
จากรูปที่ 4.28 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 1.62, 0.63, 0.48, 0.59, 0.31, 0.27 และ 0.18 NTU ตามลำดับ จากกราฟพบว่าความขุ่นและปริมาณตะกั่วทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบ (0.0 – 2.0 มก./ล) ที่เพิ่มขึ้น ตะกอนที่เกิดขึ้นมีสีส้มเข้มคล้ายสีสนิมเหล็ก มีลักษณะเป็นฝุ่นคอลลอยด์ละเอียด ตะกอนเบา ฟุ้งกระจายตัวได้ง่าย ไม่จับตัวกันเป็นฟlocs กลไกการรวมตะกอน คือ ใช้โพลีเมอร์ประจุลบเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging)

2) ตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

ตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.30, 4.31 และ 4.32 ตามลำดับ



รูปที่ 4.30 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ



รูปที่ 4.31 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบ



รูปที่ 4.32 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

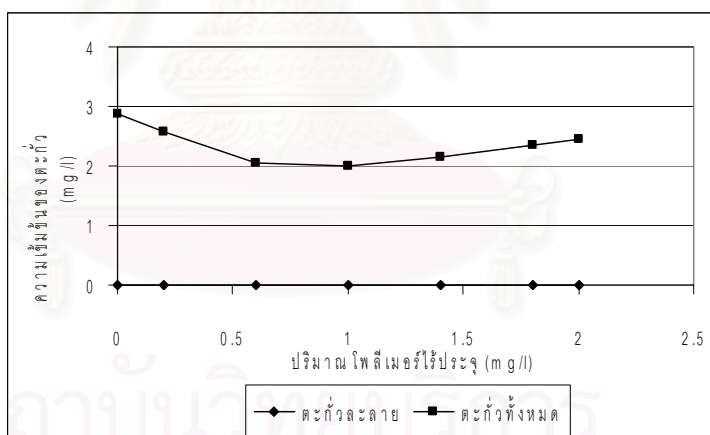
จากรูปที่ 4.30 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ ประจุลบเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. หลังทิ้งให้ ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำใสส่วนบนในรูปตะกั่วละลายลดลง เหลือ 0 มก./ล. ทุกค่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 100% ส่วนความเข้มข้นในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่า 2.26, 1.88, 1.69, 1.80, 1.59, 1.46 และ 1.47

มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.79%, 98.99%, 99.06%, 99.04%, 99.15%, 99.22% และ 99.21%

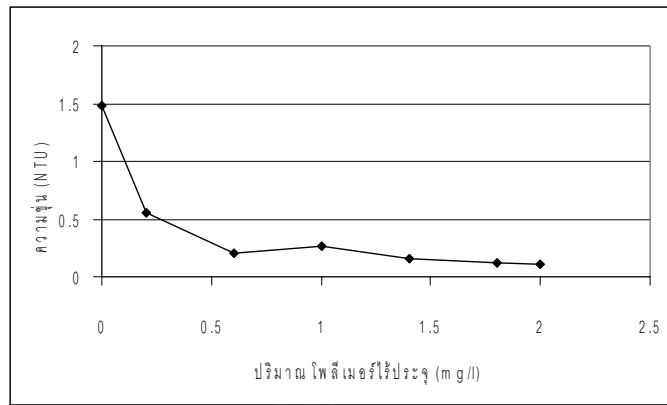
จากรูปที่ 4.31 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 1.80, 0.35, 0.22, 0.13, 0.11, 0.08 และ 0.08 NTU ตามลำดับ จากกราฟพบว่าความขุ่นและปริมาณตะกั่วทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบ (0.0 – 2.0 มก./ล) ที่เพิ่มขึ้น ตะกอนที่เกิดขึ้นมีสีส้มเข้มคล้ายสีสนิมเหล็ก ตะกอนมีลักษณะรวมตัวกันเป็นฟlocs ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ตกตะกอนได้ง่ายและฟุ้งกระจายน้อยลง กลไกการรวมตะกอนคือการใช้โพลีเมอร์ประจุลบ เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (polymer bridging) ร่วมกับการดูดติดผิวของคอลลอยด์ เนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ ซึ่งแสดงว่าคอลลอยด์ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมีประจุเป็นบวก

3) ตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ

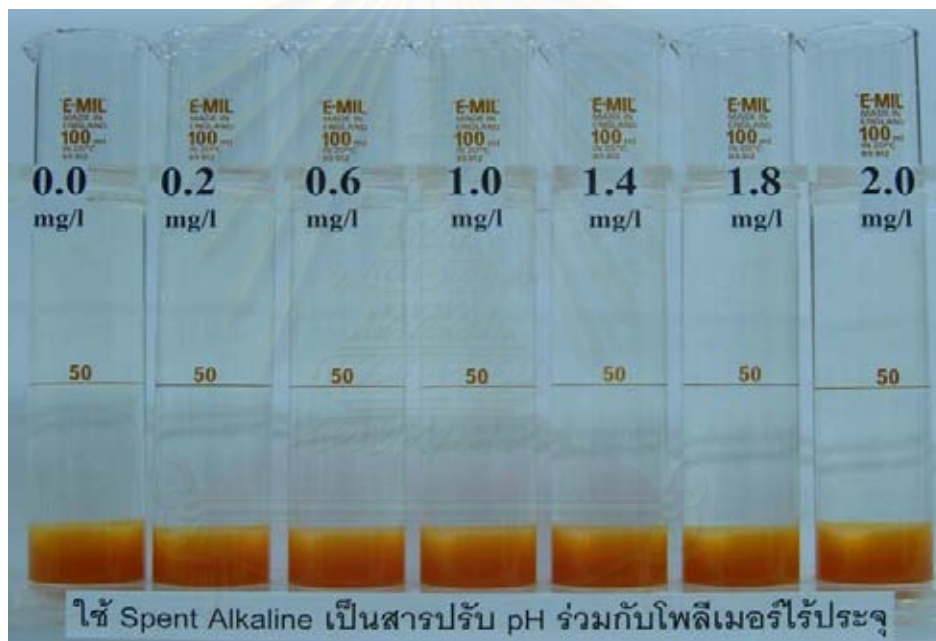
ตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.33, 4.34 และ 4.35 ตามลำดับ



รูปที่ 4.33 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสี้ยวส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุ



รูปที่ 4.34 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ไ้ประจุ



รูปที่ 4.35 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ไ้ประจุ

จากรูปที่ 4.33 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วย Spent Alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ไ้ประจุเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. หลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำใสส่วนบนในรูปตะกั่วละลายลดลงเหลือ 0 มก./ล. ทุกความเข้มข้นของโพลีเมอร์ไ้ประจุ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 100% ส่วนความเข้มข้นในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่า 2.87, 2.58, 2.04, 1.99, 2.14, 2.35

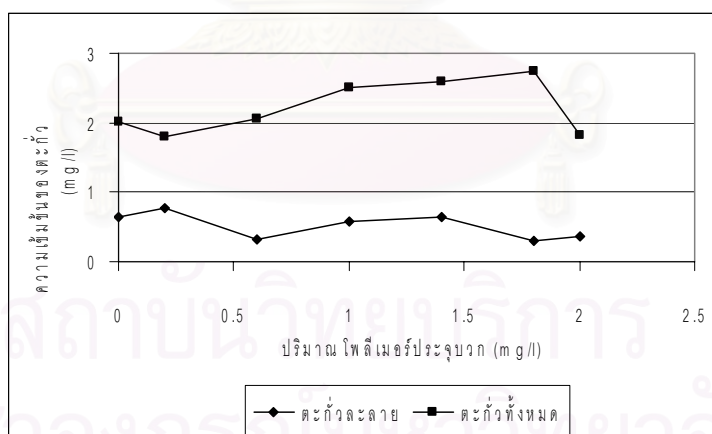
และ 2.46 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.46%, 98.62%, 98.94%, 98.93%, 98.85%, 98.75% และ 98.68%

จากรูปที่ 4.34 ความขุ่นของน้ำเสียส่วนบนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 1.48, 0.55, 0.21, 0.27, 0.16, 0.12 และ 0.11 NTU ตามลำดับ จากกราฟ พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดจะมีค่าลดลงต่ำสุดเมื่อใช้โพลิเมอร์ไ้ประจุ เท่ากับ 1.0 มก./ล. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณโพลิเมอร์ไ้ประจุที่เพิ่มขึ้น ความขุ่นมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลิเมอร์ไ้ประจุที่เพิ่มขึ้น ตะกอนที่เกิดขึ้นมีสีส้มเข้มคล้ายสีสนิมเหล็ก มีลักษณะเป็นฝุ่นคอลลอยด์ละเอียด ตะกอนเบา ฟุ้งกระจายตัวได้ง่าย ไม่จับตัวกันเป็นฟล็อก กลไกรวมตะกอน คือ ใช้โพลิเมอร์ไ้ประจุเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging)

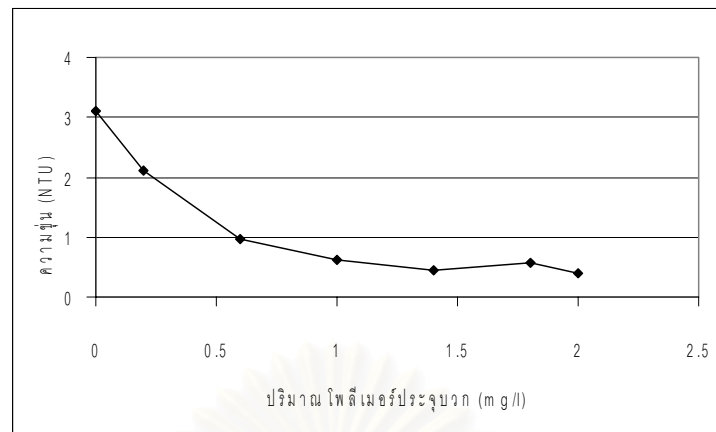
4.4.3 ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ 3 ชนิด

1) ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก

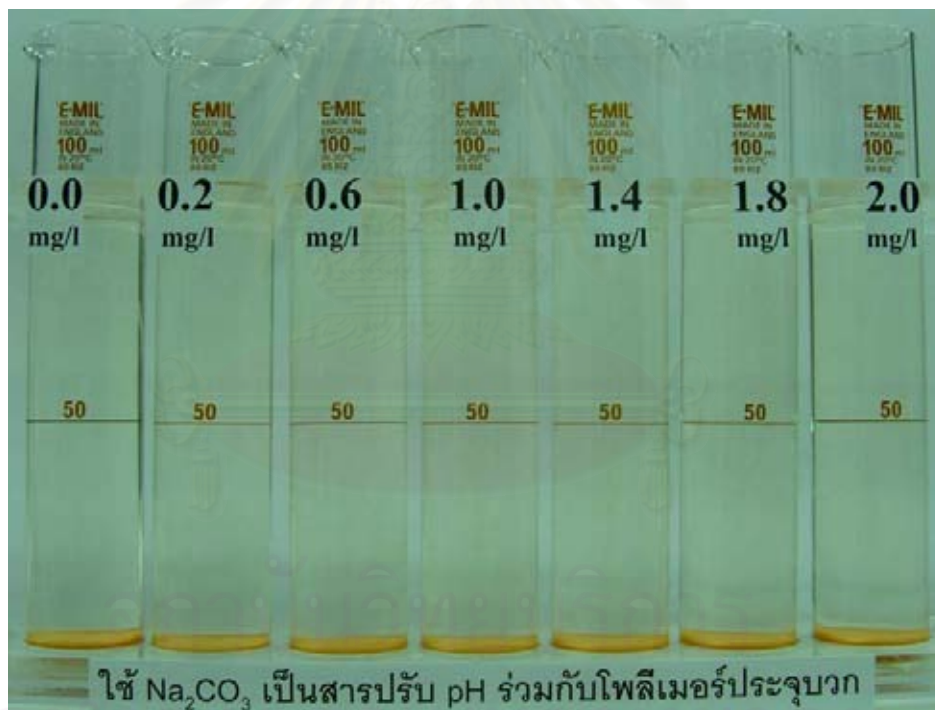
ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.36, 4.37 และ 4.38 ตามลำดับ



รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก



รูปที่ 4.37 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก



รูปที่ 4.38 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

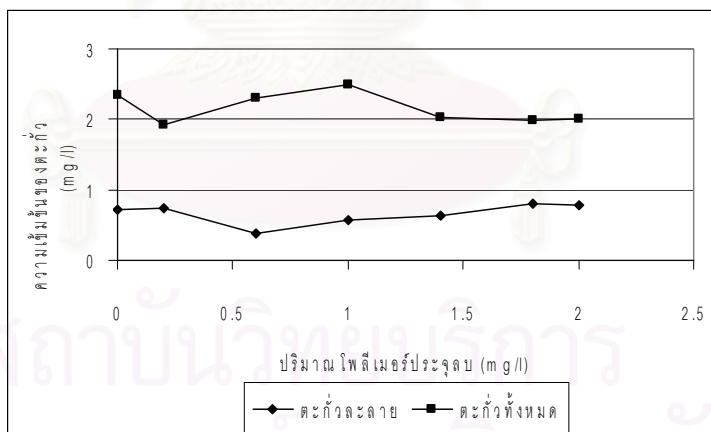
จากรูปที่ 4.36 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับ โพลีเมอร์ ประจุบวกเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. หลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำใสส่วนบนในรูปตะกั่วละลายลดลงเหลือ 0.65, 0.77,

0.33, 0.58, 0.64, 0.30 และ 0.36 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 81.22%, 77.84 %, 90.38%, 83.19%, 81.48%, 91.42% และ 89.91% ส่วนความเข้มข้นในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่า 2.02, 1.81, 2.06, 2.51, 2.60, 2.73 และ 1.83 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.92%, 99.03%, 98.89%, 98.66%, 98.61%, 98.54% และ 99.02%

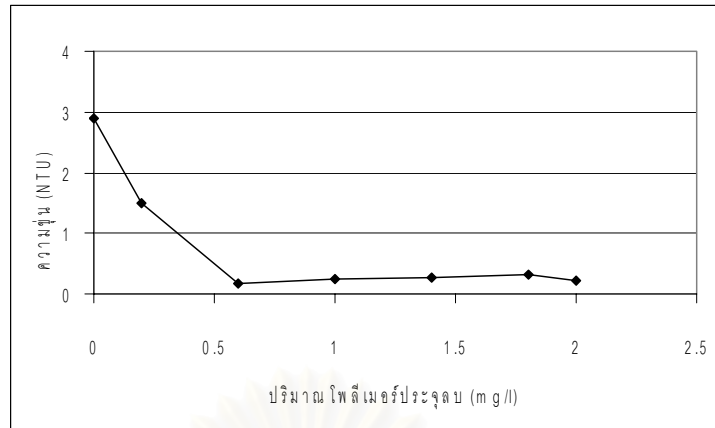
จากรูปที่ 4.37 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 3.11, 2.10, 0.96, 0.63, 0.44, 0.56 และ 0.39 NTU ตามลำดับ จากกราฟพบว่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เพิ่มขึ้นแต่ปริมาณตะกั่วละลายและปริมาณตะกั่วทั้งหมดไม่มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวก (0.0 – 2.0 มก./ล) ที่เพิ่มขึ้น ตะกอนมีลักษณะเป็นฝุ่นคอลลอยด์สีส้มอ่อน ตกตะกอนได้เร็ว ฟุ้งกระจายตัวน้อย แต่ไม่จับตัวรวมกันเป็นฟlocsขนาดใหญ่ กลไกการรวมตะกอน คือ ใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging)

2) ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

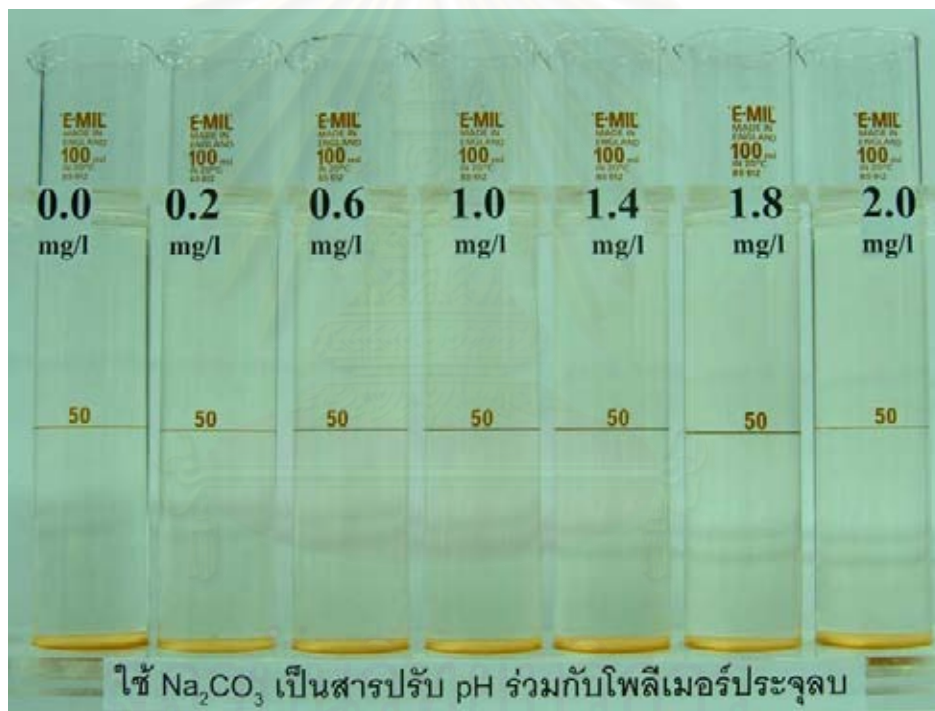
ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.39, 4.40 และ 4.41 ตามลำดับ



รูปที่ 4.39 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ



รูปที่ 4.40 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ



รูปที่ 4.41 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

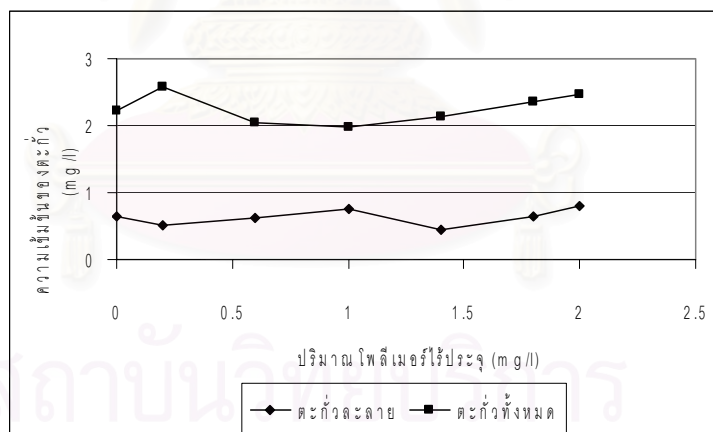
จากรูปที่ 4.39 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. หลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำใสส่วนบนในรูปตะกั่วละลายลดลงเหลือ 0.72, 0.73, 0.39, 0.57, 0.64, 0.81 และ 0.79 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 79.07%, 78.81

%, 88.81%, 83.43%, 81.48%, 76.51% และ 77.18% ส่วนความเข้มข้นในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่า 2.35, 1.91, 2.30, 2.48, 2.03, 1.99 และ 1.99 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด เท่ากับ 98.74%, 98.98%, 98.77%, 98.67%, 98.91%, 98.93% และ 98.93%

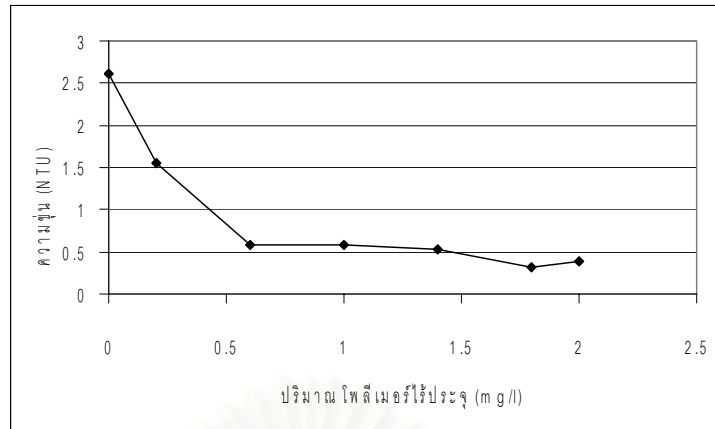
จากรูปที่ 4.40 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 2.89, 1.50, 0.18, 0.25, 0.28, 0.33 และ 0.22 NTU ตามลำดับ จากกราฟพบว่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เพิ่มขึ้นแต่ปริมาณตะกั่วละลายและปริมาณตะกั่วทั้งหมดไม่มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบ (0.0 – 2.0 มก./ล) ที่เพิ่มขึ้น ตะกอนมีลักษณะเป็นฝุ่นคอลลอยด์สีส้มอ่อน ตกตะกอนได้เร็ว ฟุ้งกระจายตัวน้อย แต่ไม่จับตัวรวมกันเป็นฟlocsขนาดใหญ่ กลไกการรวมตะกอน คือ ใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging)

3) ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ไร่ประจุ

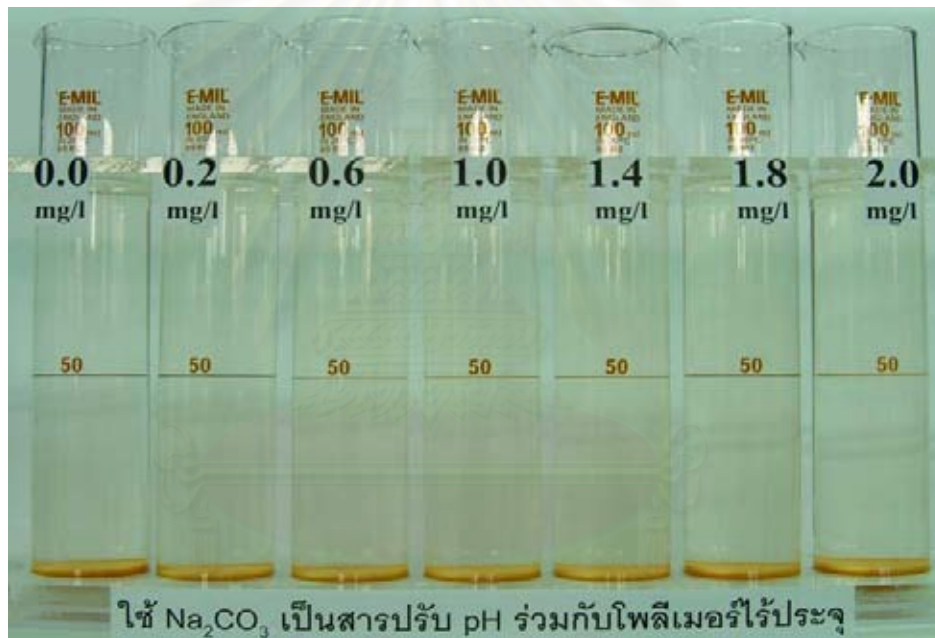
ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.42, 4.43 และ 4.44 ตามลำดับ



รูปที่ 4.42 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ไร่ประจุ



รูปที่ 4.43 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ไ้ประจุ



รูปที่ 4.44 ปริมาณตะกอนหลังตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ไ้ประจุ

จากรูปที่ 4.42 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ไ้ประจุเข้มข้น 0.0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ 2.0 มก./ล. หลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำใสส่วนบนในรูปตะกั่วละลายลดลงเหลือ 0.66, 0.51, 0.62, 0.75, 0.45, 0.64 และ 0.81 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 80.96%, 85.23%, 88.89%, 78.14%, 86.98%, 81.54% และ 76.57% ส่วนความเข้มข้นในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่า

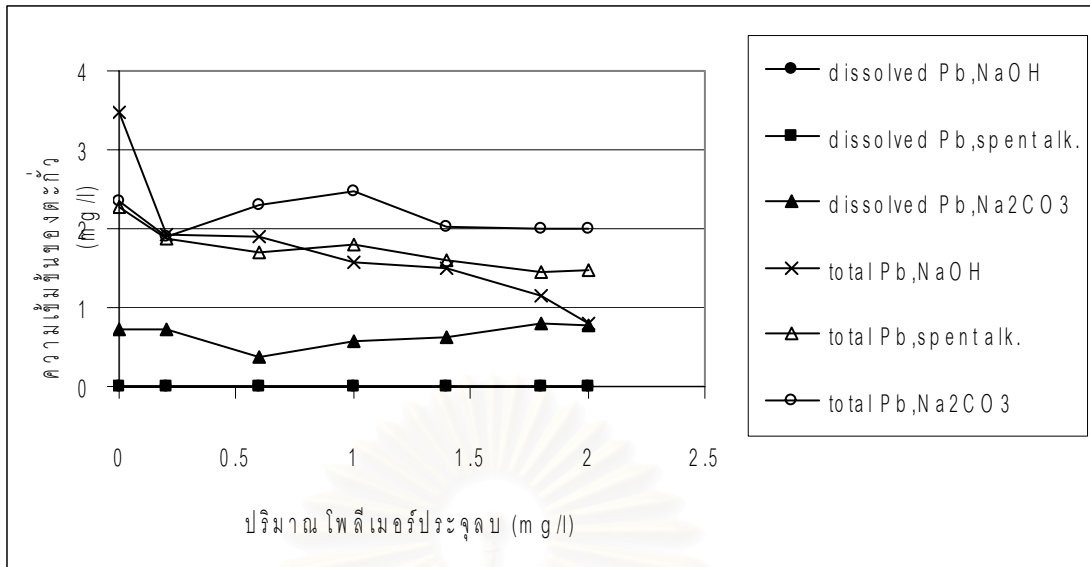
2.23, 2.58, 2.04, 1.99, 2.14, 2.35 และ 2.46 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.81%, 98.62%, 98.91%, 98.94%, 98.85%, 98.75% และ 98.68%

จากรูปที่ 4.43 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 2.61, 1.56, 0.58, 0.59, 0.53, 0.31 และ 0.39 NTU ตามลำดับ จากกราฟพบว่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลิเมอร์ไ้ประจุที่เพิ่มขึ้นแต่ปริมาณตะกั่วละลายและปริมาณตะกั่วทั้งหมดไม่มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณโพลิเมอร์ไ้ประจุ (0.0 – 2.0 มก./ล) ที่เพิ่มขึ้น ตะกอนมีลักษณะเป็นฝุ่นคอลลอยด์สีส้มอ่อน ตกตะกอนได้เร็ว ฟุ้งกระจายตัวน้อย แต่ไม่จับตัวรวมกันเป็นฟlocsขนาดใหญ่ กลไกการรวมตะกอน คือ ใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging)

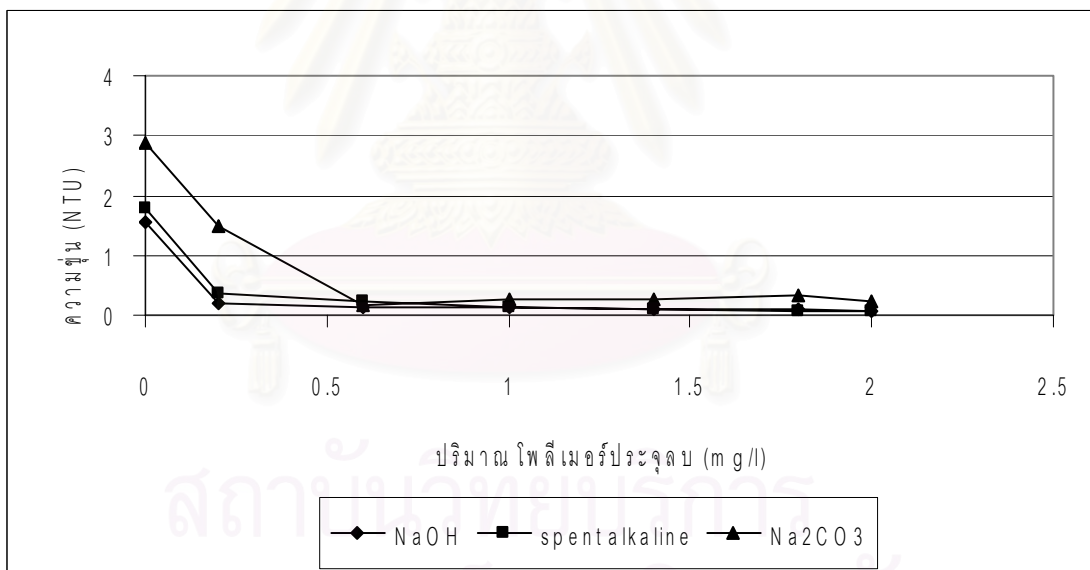
4.4.4 เปรียบเทียบการตกตะกอนตะกั่วด้วย NaOH, Spent alkaline, Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ

จากการทดลองที่ 4.4.1 ถึง 4.4.3 พบว่า การตกตะกอนด้วย NaOH และ Spent alkaline ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบให้ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วละลาย ตะกั่วทั้งหมด และความขุ่นสูงที่สุด เมื่อเทียบกับโพลิเมอร์ประจุบวกและโพลิเมอร์ไ้ประจุ นอกจากนั้นยังพบว่า ตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อตกตะกอนร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ มีลักษณะรวมตัวกันเป็นฟlocsขนาดใหญ่ จมตัวได้ง่ายและฟุ้งกระจายน้อย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ คือ ช่วยลดระยะเวลาการตกตะกอน และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตะกอนออกจากน้ำใส การตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ 3 ชนิดให้ประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมดใกล้เคียงกัน แต่การตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโพลิเมอร์ประจุบวกและโพลิเมอร์ไ้ประจุ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า โพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อเทียบกับโพลิเมอร์ประจุบวกและโพลิเมอร์ไ้ประจุ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ ดังแสดงในรูปที่ 4.45 และ 4.46



รูปที่ 4.45 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na₂CO₃ ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ



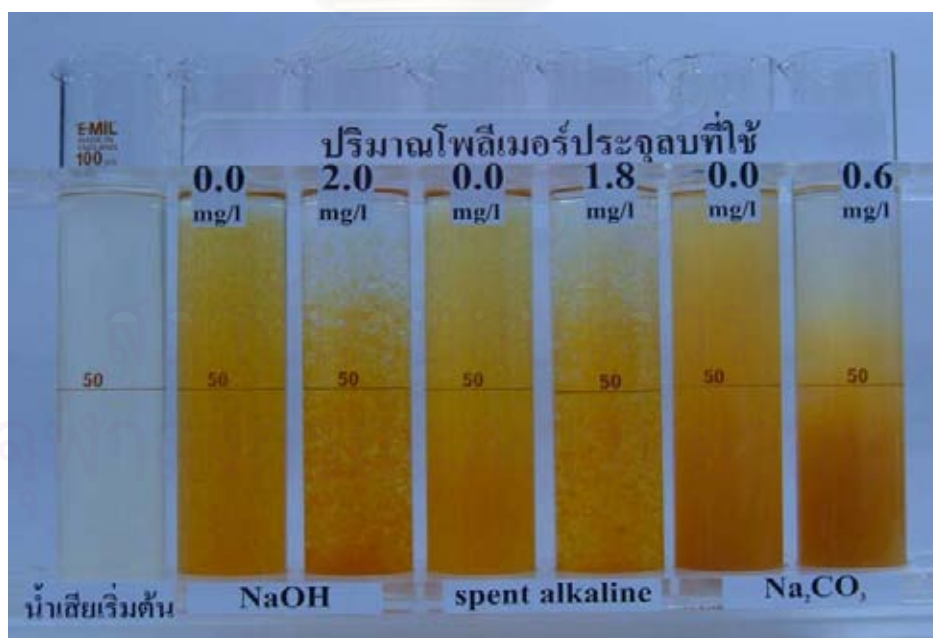
รูปที่ 4.46 ความขุ่นของน้ำใสส่วนบนเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na₂CO₃ ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

จากรูปที่ 4.45 และ 4.46 ปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนด้วย NaOH และ Spent alkaline มีค่าเท่ากับ 2.0 และ 1.8 มก./ล. ตามลำดับ เนื่องจากมีความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมดและความขุ่นต่ำสุด

สำหรับการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสม คือ 0.6 มก./ล. เนื่องจากให้ค่าความขุ่นต่ำสุด

เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเมื่อตกตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบความเข้มข้นที่เหมาะสมดังกล่าว พบว่า การตกตะกอนด้วย NaOH ให้ประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด ตะกั่วละลายและความขุ่นต่ำสุด (0.81 มก./ล. , 0 มก./ล. และ 0.06 NTU) การตกตะกอนด้วย Spent alkaline ให้ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วทั้งหมด ตะกั่วละลายและความขุ่น (1.46 มก./ล. , 0 มก./ล. และ 0.08 NTU) ใกล้เคียงกับ NaOH ส่วนการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่วต่ำสุด เนื่องจากมีความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด ตะกั่วละลายและความขุ่น (2.30 มก./ล. , 0.39 มก./ล. และ 0.18 NTU) สูงกว่าการตกตะกอนด้วย NaOH และ Spent alkaline

ลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นและปริมาณตะกอนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH , Spent alkaline และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ แสดงในรูปที่ 4.47 และ 4.48 ตามลำดับ



รูปที่ 4.47 ลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH , Spent alkaline, Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ



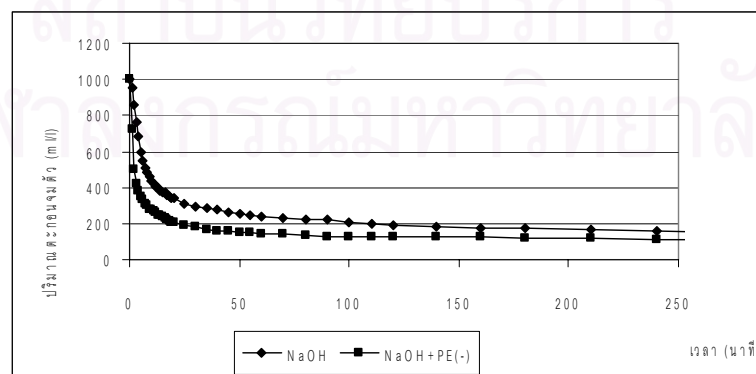
รูปที่ 4.48 ปริมาณตะกอนหลังทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline, Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

4.5 ระยะเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

4.5.1 ตกตะกอนด้วย NaOH

ปริมาณตะกอนจมน้ำ ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH แสดงในรูปที่

4.49



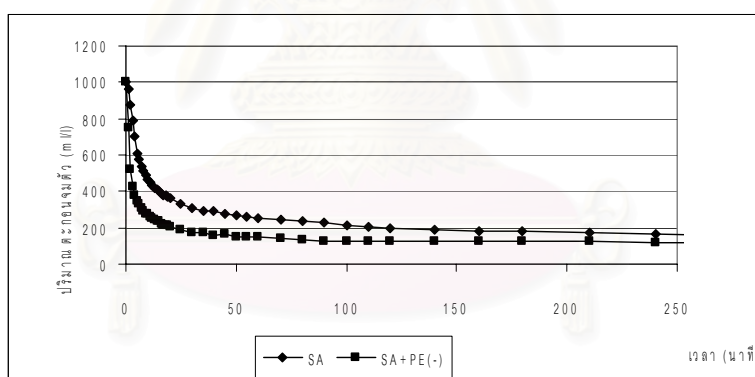
รูปที่ 4.49 ปริมาณตะกอนจมน้ำที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH และ NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

จากรูปที่ 4.49 พบว่าการใช้โพลีเมอร์ประจุลบมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน โดยตะกอนจะจมตัวเร็วมากในช่วง 10 นาทีแรก โดยปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นในช่วง 10 นาทีแรกเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH และ NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ มีค่า 440 และ 280 มล./ล. จากนั้นอัตราเร็วในการจมตัวของตะกอนจะเริ่มลดลง

ตะกอนจมตัว หลังจากตกตะกอนนาน 120 นาที ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับระยะเวลาในการตกตะกอนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปว่าระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนควรมีค่าไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ปริมาณตะกอนจมตัวเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH และ NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ณ เวลาตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 193 และ 126 มล./ล. ตามลำดับ

4.5.2 ตกตะกอนด้วย Spent alkaline

ปริมาณตะกอนจมตัว ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline แสดงในรูปที่ 4.50



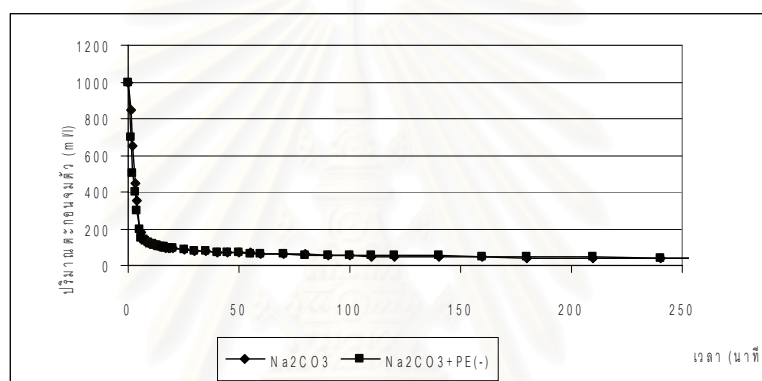
รูปที่ 4.50 ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline และ Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

จากรูปที่ 4.50 พบว่าการใช้โพลีเมอร์ประจุลบมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน โดยตะกอนจะจมตัวเร็วมากในช่วง 10 นาทีแรก โดยปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นในช่วง 10 นาทีแรกเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline และ Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ มีค่า 465 และ 275 มล./ล. จากนั้นอัตราเร็วในการจมตัวของตะกอนจะเริ่มลดลง

ตะกอนจมตัว หลังจากตกตะกอนนาน 120 นาที ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับระยะเวลาในการตกตะกอนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปว่าระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนควรมีค่าไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ปริมาณตะกอนจมตัวเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline และ Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ณ เวลาตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง มีค่า 201 และ 129 มล./ล. ตามลำดับ

4.5.3 ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3

ปริมาณตะกอนจมตัว ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 แสดงในรูปที่ 4.51

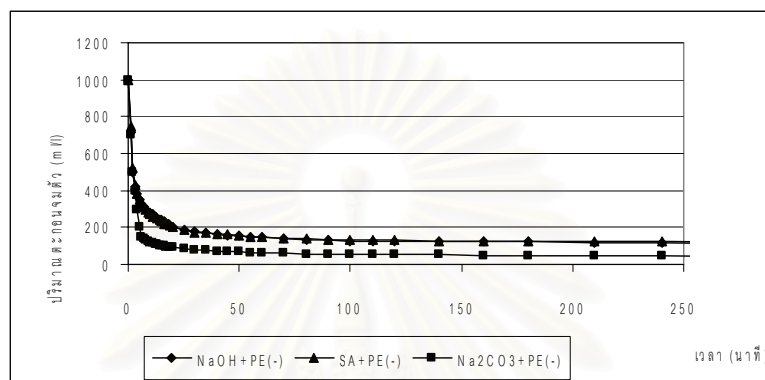


รูปที่ 4.51 ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

จากรูปที่ 4.51 พบว่าการใช้โพลีเมอร์ประจุลบไม่มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน โดยตะกอนจะจมตัวเร็วมากในช่วง 10 นาทีแรก โดยปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นในช่วง 10 นาทีแรกเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ มีค่า 120 มล./ล. เท่ากัน จากนั้นอัตราเร็วในการจมตัวของตะกอนจะเริ่มลดลง

ตะกอนจมตัว หลังจากตกตะกอนนาน 60 นาที ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับระยะเวลาในการตกตะกอนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปว่าระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนควรมีค่าไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง ปริมาณตะกอนจมตัวเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ณ เวลาตกตะกอนนาน 1 ชั่วโมง มีค่า 65 และ 63 มล./ล. ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบของการตกตะกอนโดยใช้สารตกตะกอน 3 ชนิด ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ดังแสดงในรูปที่ 4.52 พบว่า การตกตะกอนด้วย NaOH และ Spent alkaline มีรูปแบบการตกตะกอน ประสิทธิภาพการตกตะกอน ลักษณะของตะกอนและลักษณะของน้ำใส ส่วนบน รวมถึงปริมาณตะกอนที่จมตัวที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกันมาก ระยะเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสมเมื่อตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนทั้ง 2 ชนิด คือ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.52 การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na₂CO₃ ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

ส่วนการตกตะกอนด้วย Na₂CO₃ มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนสูงสุด เมื่อเทียบกับ NaOH และ Spent alkaline เนื่องจากใช้เวลาในการตกตะกอนและปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า และแม้ว่าการตกตะกอนด้วย Na₂CO₃ จะให้ประสิทธิภาพดีในเรื่องของการตกตะกอนก็ตาม แต่ก็มีปัญหาในเรื่องของความขุ่นและประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วในน้ำใส ส่วนบน ดังแสดงในหัวข้อ 4.4 ที่ผ่านมา

4.6 สรุปสถานะที่เหมาะสม

สรุปสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดตะกั่วในน้ำเสียโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบดเตอรีเก่า เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na₂CO₃ ด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี แสดงในตารางที่ 4.5

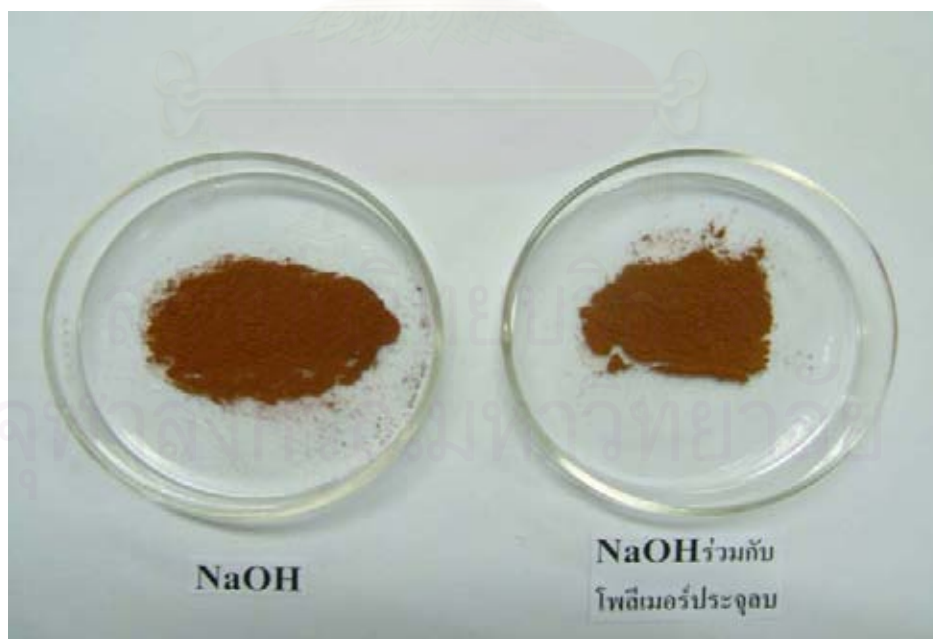
ตารางที่ 4.5 สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี

หัวข้อ	สารตกตะกอน		
	NaOH	Spent alkaline	Na ₂ CO ₃
1. pH ที่เหมาะสม	8.5 – 10.5	8.5 – 10.5	8.5 – 10.0
2. ปริมาณสารตกตะกอน น้ำหนักสมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร (กรัมสมมูล/น้ำเสีย 1 ลิตร)	0.134 – 0.139	0.113 – 0.117	0.138 – 0.174
3. ระยะเวลาจนเร็วทำปฏิกิริยา	5 นาที	5 นาที	5 นาที
4. สารช่วยตกตะกอน	โพลีเมอร์ประจุลบ	โพลีเมอร์ประจุลบ	โพลีเมอร์ประจุลบ
5. ความเข้มข้นของสารช่วยตกตะกอน	2.0 มก./ล.	1.8 มก./ล.	0.6 มก./ล.
6. ระยะเวลาในการตกตะกอน	2 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง

4.7 การวิเคราะห์ตะกอนอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์ตะกอนอบแห้ง แสดงในตารางที่ 4.6

4.7.1 ตะกอนอบแห้งจากการตกตะกอนด้วย NaOH และ NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ



รูปที่ 4.53 ลักษณะตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH และ NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของตะกอนอบแห้ง

ลำดับที่	ประเภทของตะกอน	ลักษณะของตะกอนอบแห้ง	องค์ประกอบของ ตะกอนอบแห้ง	เปอร์เซ็นต์ของโลหะในตะกอนอบแห้ง (w/w)	
				ตะกั่ว	เหล็ก
1	ตกตะกอนด้วย NaOH	สีน้ำตาลอมส้มเข้ม คล้ายสนิมเหล็ก	amorphous, Fe_4PbO_7	18%	12%
2	ตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบ	สีน้ำตาลอมส้มเข้ม คล้ายสนิมเหล็ก	amorphous, PbO	24%	14%
3	ตกตะกอนด้วย Spent alkaline	สีน้ำตาลอมส้มเข้ม คล้ายสนิมเหล็ก	amorphous, Fe_4PbO_7 , PbO	17%	12%
4	ตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ	สีน้ำตาลอมส้มเข้ม คล้ายสนิมเหล็ก	amorphous	21%	14%
5	ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3	สีส้มอ่อนคล้ายปูน	$CaCO_3$, $PbCO_3$	14%	10%
6	ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบ	สีส้มอ่อนคล้ายปูน	$CaCO_3$, $PbCO_3$	13%	8%

ตะกอนอบแห้งทั้งสองชนิดมีลักษณะเบื้องต้นคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.53 มีสีน้ำตาลอมส้มเข้ม องค์ประกอบส่วนใหญ่เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD (ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ค.) พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของตะกอนทั้งสองชนิดไม่มีการจัดเรียงตัวของผลึกเป็นรูปแบบที่แน่นอน (amorphous) การตกตะกอนด้วย NaOH ในช่วง pH 8.5 – 10.5 โลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนในรูปโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งโลหะไฮดรอกไซด์ส่วนใหญ่ เช่น $Pb(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ และ $Mn(OH)_3$ มักจะไม่มีการจัดเรียงตัวของผลึกเป็นรูปแบบที่แน่นอน (William 1994) นอกจากนี้ยังพบตะกั่วในรูปของสารประกอบเหล็ก (III) ออกไซด์ คือ Fe_4PbO_7 (Plumboferite) เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH และพบสารประกอบตะกั่วออกไซด์ คือ PbO (Litharge) เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

เปอร์เซ็นต์ของตะกั่วและเหล็กในตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH มีค่า 18% และ 12% ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์ตะกั่วและเหล็กในตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ มีค่า 24% และ 14% ซึ่งสูงกว่าการตกตะกอนด้วย NaOH เล็กน้อย เนื่องจากตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบมีปริมาณน้อยกว่าการตกตะกอนด้วย NaOH อย่างเดียว ทำให้ความเข้มข้นของเปอร์เซ็นต์โลหะหนักในตะกอนอบแห้งมีค่ามากกว่า

4.7.2 ตะกอนอบแห้งจากการตกตะกอนด้วย Spent alkaline และ Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ



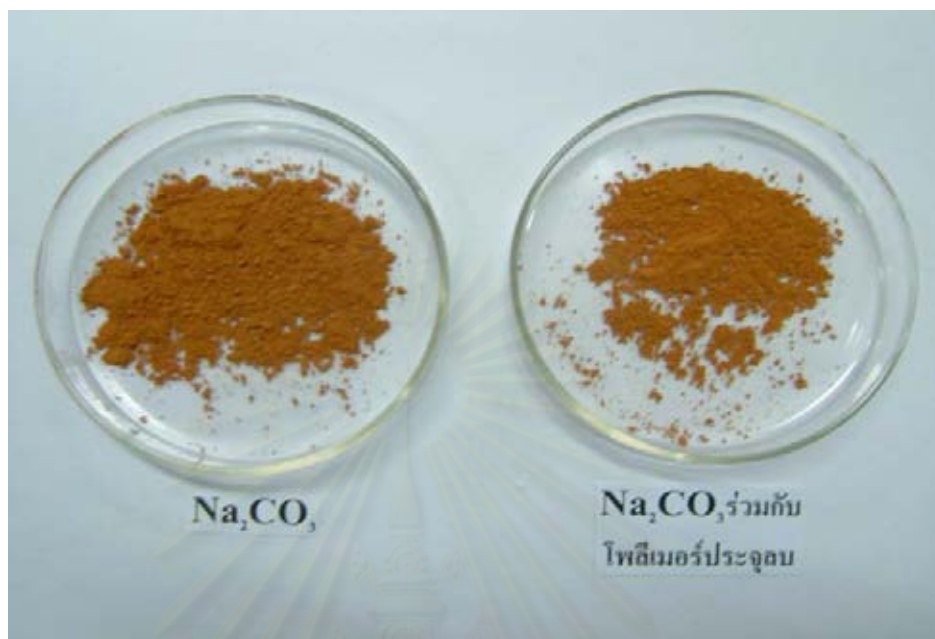
รูปที่ 4.54 ลักษณะตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline และ Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

ตะกอนอบแห้งทั้งสองชนิดมีลักษณะเบื้องต้นคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.54 มีสีน้ำตาลอมส้มเข้ม องค์ประกอบส่วนใหญ่เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD (ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ค.) พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของตะกอนทั้งสองชนิดไม่มีการจัดเรียงตัวของผลึกเป็นรูปแบบที่แน่นอน (amorphous) นอกจากนี้ยังพบตะกั่วในรูปของสารประกอบเหล็ก (III) ออกไซด์ คือ Fe_4PbO_7 (Plumboferite) และสารประกอบตะกั่วออกไซด์ คือ PbO (Litharge) เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

เปอร์เซ็นต์ของตะกั่วและเหล็กในตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline มีค่า 17% และ 12% ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์ตะกั่วและเหล็กในตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ มีค่า 21% และ 14% ซึ่งสูงกว่าการตกตะกอนด้วย Spent alkaline เล็กน้อย เนื่องจากตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบมีปริมาณน้อยกว่าการตกตะกอนด้วย Spent alkaline อย่างเดียว ทำให้ความเข้มข้นของเปอร์เซ็นต์โลหะหนักในตะกอนอบแห้งมีค่ามากกว่า

เป็นที่น่าสังเกตว่าลักษณะของตะกอนอบแห้งและเปอร์เซ็นต์ของโลหะในตะกอนอบแห้ง เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ มีความคล้ายคลึงกับตะกอนอบแห้งที่ได้จากการตกตะกอนด้วย NaOH และ NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบมาก ดังนั้นองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่เป็น amorphous จึงมีแนวโน้มที่จะเป็นสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์

4.7.3 ตะกอนอบแห้งจากการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ ประจุลบ



รูปที่ 4.55 ลักษณะตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3
ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

ตะกอนอบแห้งทั้งสองชนิดมีลักษณะเบื้องต้นคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.55 มีสีส้มอ่อน ร่วนคล้ายปูน องค์ประกอบส่วนใหญ่เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD (ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ค.) พบว่า มีการเรียงตัวเป็นรูปผลึกที่แน่นอน องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นหินปูน CaCO_3 (Calcite) และสารประกอบตะกั่วคาร์บอเนต PbCO_3 (Cerussite) เป็นผลมาจากไอออนประจุลบ +2 ในน้ำเสียทำปฏิกิริยากับ CO_3^{2-} ที่ได้จากการเติม Na_2CO_3 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.11 ในหัวข้อ 4.3.1 จึงมี CaCO_3 และ PbCO_3 เป็นองค์ประกอบหลักในตะกอนอบแห้ง

เปอร์เซ็นต์ของตะกั่วและเหล็กในตะกอนอบแห้งเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบมีค่า 14%, 10% และ 13%, 8% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ของโลหะในตะกอนอบแห้งจากการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 และ Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบมีค่าใกล้เคียงกันมากเนื่องจากโพลีเมอร์ประจุลบไม่มีส่วนช่วยในการรวมตะกอนเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3

4.8 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ของโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรีเก่า

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีมีค่าใช้จ่ายหลักดังนี้

- ก) ค่าสารเคมี
- ข) ค่าบำบัดตะกอน
- ค) ค่าขนส่ง
- ง) ค่าใช้จ่ายอื่นๆ

ก) ค่าสารเคมี สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ได้แก่ สารปรับ pH สารตกตะกอนและสารช่วยตกตะกอน การเปรียบเทียบค่าสารเคมีในงานวิจัยนี้ใช้สารตกตะกอน ได้แก่ NaOH, Spent alkaline และ Na_2CO_3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารปรับ pH ด้วย จากการทดลองที่ 4.4 สารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม คือ โพลิเมอร์ประจุลบ สารเคมีต่างๆ ที่ใช้มีราคาดังนี้

- NaOH เกรดการค้า บรรจุ 25 กก./ถุง ราคา	35	บาท/กก.
- Na_2CO_3 เกรดการค้า บรรจุ 25 กก./ถุง ราคา	18	บาท/กก.
- โพลิเมอร์ประจุลบ เกรดการค้าบรรจุ 15 กก./ถุง ราคา	155	บาท/กก.
- Spent alkaline	0	บาท/กก.

ข) ค่าบำบัดตะกอน โดยทั่วไปตะกอนที่ได้จากกระบวนการตกตะกอนทางเคมีที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจะถูกจำแนกเป็นของเสียอันตราย ซึ่งต้องมีวิธีบำบัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ สำหรับโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรีเก่า อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี มีกระบวนการผลิตโดยการหลอมแบบใช้หินปูนและทราย ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3.1 ของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ได้แก่ ทรายกรอง และตะกอนที่ประกอบด้วย Pb, Fe และ CaCO_3 จะถูกนำไปหลอมรวมในเตาหลอมของโรงงาน ดังนั้นจึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ค) ค่าขนส่ง ราคาค่าขนส่งคิดแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- ค่าขนส่งสารเคมี ได้แก่ NaOH, Na_2CO_3 และโพลิเมอร์ประจุลบจากกรุงเทพมหานครไปอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ใช้อัตราค่าขนส่งขององค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์ (รสพ.) เดือนกุมภาพันธ์ 2548 คิดเป็นเงิน 3,640 บาท/เที่ยว (12 ตัน)

$$\text{ดังนั้นอัตราค่าขนส่งสารเคมีมีค่า } 303.33 \text{ บาท/ตัน} = 0.303 \text{ บาท/กก.}$$

- ค่าขนส่ง Spent alkaline ซึ่งถูกจำแนกเป็นของเสียอันตรายจากอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ไปอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี โดยใช้อัตราค่าขนส่งด้วยรถบรรทุกของเสียอันตรายประเภทของเหลว ของบริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (GENCO) เดือนกุมภาพันธ์ 2548 ในราคา 6,500 บาท/เที่ยว (7 ลบ.ม.)

$$\text{ดังนั้นอัตราค่าขนส่งสารเคมีมีค่า } 928.75 \text{ บาท/ลบ.ม.} = 0.909 \text{ บาท/ลิตร}$$

ง) ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าไฟฟ้าสำหรับปั๊ม มอเตอร์ใบกวน ค่าแรงงาน ค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะไม่ขอนำมาคำนวณในหัวข้อนี้ เนื่องจากแต่ละโรงงานมีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงไม่นำมารวมในการคำนวณในค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อใช้สารตกตะกอนแต่ละชนิด เมื่อกำหนดให้น้ำเสียมีปริมาณตะกั่วละลาย 3.44 มก./ล. มีราคา ดังนี้

- 1) ค่าใช้จ่ายเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH
การตกตะกอนน้ำเสียตะกั่ว 1 ลบ.ม.
จากการทดลองที่ 4.3.2 ที่ pH 10.5

$$\begin{aligned} \text{น้ำเสีย 1 ลิตร ต้องใช้ NaOH ในการไตเตรต} &= 0.139 \text{ กรัม-สมมูล} \\ \text{ดังนั้น น้ำเสีย 1 ลบ.ม. ต้องใช้ NaOH ในการไตเตรต} &= 139 \text{ กรัม-สมมูล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักสมมูลของ NaOH } 139 \text{ กรัม-สมมูล คิดเป็นน้ำหนักของ NaOH} \\ &= 139 \times (40/1) = 5,560 \text{ กรัม} \\ &= 5.56 \text{ กก.} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณโพลิเมอร์ประจุลบที่ใช้ คือ } 2.0 \text{ มก./ล.} = 2 \text{ ก./ลบ.ม.}$$

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย 1 ลบ.ม. คิดเป็นเงิน

$$\begin{aligned} &[5.56 \text{ กก.} \times (35 + 0.303) \text{ บาท/กก.}] + [0.002 \text{ กก.} \times (155 + 0.303) \text{ บาท/กก.}] \\ &= 199.6 \text{ บาท/ลบ.ม.} \\ &\approx 197 \text{ บาท/ลบ.ม.} \end{aligned}$$

2) ค่าใช้จ่ายเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline

การตกตะกอนน้ำเสียตะกั่ว 1 ลบ.ม.

กำหนดให้ Spent alkaline มีความเข้มข้น 12.38 N/ล.

จากการทดลองที่ 4.3.2 ที่ pH 10.5

น้ำเสีย 500 มล. ต้องใช้ Spent alkaline 0.495 N ในการไตเตรต ปริมาณ 118.1 มล.

ดังนั้น น้ำเสีย 1 ลบ.ม. ต้องใช้ Spent alkaline 0.495 N ในการไตเตรต ปริมาณ 236.2 ล.

ดังนั้น น้ำเสีย 1 ลบ.ม. ต้องใช้ Spent alkaline 12.38 N ในการไตเตรต ปริมาณ

$$= (0.495 \times 236.2)/12.38$$

$$= 9.44 \text{ ล.}$$

ปริมาณโพลิเมอร์ประจุลบที่ใช้คือ 1.8 มก./ล. = 1.8 ก./ลบ.ม.

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย 1 ลบ.ม. แบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1: กรณีโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่าขนส่ง spent alkaline เอง

$$[9.44 \text{ ล.} \times (0 + 0.93) \text{ บาท/ล.}] + [0.0018 \text{ กก.} \times (155 + 0.303) \text{ บาท/กก.}]$$

$$= 9.05 \text{ บาท./ลบ.ม.}$$

กรณีที่ 2: กรณีโรงงานรอมค้าขนส่ง spent alkaline ให้

$$[9.44 \text{ ล.} \times (0 + 0) \text{ บาท/ล.}] + [0.0018 \text{ กก.} \times (155 + 0.303) \text{ บาท/กก.}]$$

$$= 0.28 \text{ บาท./ลบ.ม.}$$

3) ค่าใช้จ่ายเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3

การตกตะกอนน้ำเสียตะกั่ว 1 ลบ.ม.

จากการทดลองที่ 4.3.2 ที่ pH 10.0

น้ำเสีย 1 ลิตร ต้องใช้ Na_2CO_3 ในการไตเตรต = 0.174 กรัม-สมมูลดังนั้น น้ำเสีย 1 ลบ.ม. ต้องใช้ Na_2CO_3 ในการไตเตรต = 174 กรัม-สมมูลน้ำหนักสมมูลของ Na_2CO_3 174 กรัม-สมมูล คิดเป็นน้ำหนักของ Na_2CO_3

$$= 174 \times (106/2) = 9,226 \text{ กรัม}$$

$$= 9.22 \text{ กก.}$$

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย 1 ลบ.ม. คิดเป็นเงิน

กรณีที่ 1: ไม่ใช้โพลิเมอร์ประจุลบ

$$[9.22 \text{ กก.} \times (18 + 0.303) \text{ บาท/กก.}]$$

$$= 168.75 \text{ บาท./ลบ.ม.}$$

กรณีนี้ที่ 2: ใช้โพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้น 0.6 มก./ล.

$$[9.22 \text{ กก.} \times (18 + 0.303) \text{ บาท/กก.}] + [0.0006 \text{ กก.} \times (155 + 0.303) \text{ บาท/กก.}]$$

$$= 168.85 \text{ บาท/ลบ.ม.}$$

4.9 เปรียบเทียบการบำบัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na₂CO₃

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการทดลองการบำบัดตะกั่วด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH, Spent alkaline และ Na₂CO₃

หัวข้อ	สารตกตะกอน		
	NaOH	Spent alkaline	Na ₂ CO ₃
1. pH ที่เหมาะสม	8.5 – 10.5	8.5 – 10.5	8.5 – 10.0
2. ระยะเวลาจนเร็วทำปฏิกิริยา	5 นาที	5 นาที	5 นาที
3. สารช่วยตกตะกอน	โพลีเมอร์ประจุลบ	โพลีเมอร์ประจุลบ	โพลีเมอร์ประจุลบ
4. ความเข้มข้นของสารช่วยตกตะกอน	2.0 มก./ล.	1.8 มก./ล.	0.6 มก./ล.
5. น้ำใสส่วนบน			
ความเข้มข้นของตะกั่วละลาย	0 มก./ล.	0 มก./ล.	0.39 มก./ล.
ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วละลาย	100%	100%	88.81%
ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด	0.81 มก./ล.	1.46 มก./ล.	2.30 มก./ล.
ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วทั้งหมด	99.57%	99.22%	98.77%
ของแข็งแขวนลอย	92.0 มก./ล.	73.3 มก./ล.	124 มก./ล.
ความขุ่น	0.06 NTU	0.08 NTU	0.18 NTU
6. ตะกอน			
ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน	2 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง
ปริมาณตะกอนจมน้ำที่ 60 นาที	145 มล./ล.	148 มล./ล.	63 มล./ล.
ปริมาณตะกอนจมน้ำที่ 120 นาที	126 มล./ล.	129 มล./ล.	52 มล./ล.
ลักษณะตะกอน	จับตัวเป็นฟล็อก	จับตัวเป็นฟล็อก	ไม่จับตัวเป็นฟล็อก
องค์ประกอบของตะกอนอบแห้ง	Amorphous, Fe ₄ PbO ₇ , PbO	Amorphous, Fe ₄ PbO ₇ , PbO	CaCO ₃ , Pb CO ₃
เปอร์เซ็นต์ตะกั่วในตะกอนอบแห้ง	24%	21%	14%
เปอร์เซ็นต์เหล็กในตะกอนอบแห้ง	14%	14%	10%
7. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย	197 บาท/ลบ.ม.	0.28 – 9.05 บาท/ลบ.ม.	168.75 – 168.85 บาท/ลบ.ม.

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 สรุปได้ว่า การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโรงงานหลอม ตะกั่วแห้งจากแบตเตอรี่เก่าด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีพบว่า การตกตะกอนด้วย NaOH ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดตะกั่วละลาย ตะกั่วทั้งหมดและความขุ่น แต่มีปัญหา ในทางปฏิบัติ เนื่องจากตะกอนที่ได้มีลักษณะเบาและฟุ้งกระจายตัวได้ง่าย การใช้โพลีเมอร์ประจุ ลบเป็นสารช่วยตกตะกอน สามารถลดปัญหาการฟุ้งกระจายตัวของตะกอนได้

การตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ให้ประสิทธิภาพต่ำสุดในการบำบัดตะกั่วละลาย ตะกั่ว ทั้งหมดและความขุ่น แม้การตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 จะมีข้อดีคือ มีปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นน้อย ตะกอนหนักตกตะกอนได้ง่ายและฟุ้งกระจายตัวน้อย แต่สำหรับโรงงานหลอมตะกั่วแห้งจาก แบตเตอรี่เก่าจะนำตะกอน และทรายกรองที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย ไปหลอมรวมในเตาหลอม เป็นผลิตภัณฑ์ตะกั่วแห้ง ดังนั้น จึงไม่พิจารณาเกี่ยวกับการบำบัดตะกอน นอกจากนี้ Na_2CO_3 ยังมีปัญหาในส่วนของ การเตรียมเป็นสารละลายเพื่อเป็น stock solution และ feed solution เนื่องจาก Na_2CO_3 ละลายน้ำได้ค่อนข้างน้อย และกลับมากดผลึกได้ง่าย ซึ่งอาจเกิดปัญหา ในทางปฏิบัติ เช่น การตกผลึกของ Na_2CO_3 ในระบบปั๊มหรือเส้นท่อ

การตกตะกอนด้วย spent alkaline ให้ประสิทธิภาพดีในการบำบัดตะกั่วละลาย ตะกั่ว ทั้งหมดและความขุ่นและเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการบำบัดพบว่า มีราคาถูกกว่าการตกตะกอน ด้วย NaOH และ Na_2CO_3 ประมาณ 20 เท่า การตกตะกอนด้วย spent alkaline ให้ ประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกับการตกตะกอนด้วย NaOH ดังนั้น จึงมีแนวโน้มที่จะ สามารถนำ spent alkaline มาใช้เป็นสารตกตะกอน แทน NaOH สำหรับโรงงานหลอมตะกั่ว แห้งจากแบตเตอรี่เก่าได้

4.10 การใช้น้ำค้างที่ไขแล้วจากอุตสาหกรรมนมดำเพื่อบำบัดตะกั่วด้วยกระบวนการ ตกตะกอนทางเคมีของน้ำเสียอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า

จากผลการทดลองที่ผ่านมาดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่ามีแนวโน้มที่จะสามารถนำ spent alkaline จากอุตสาหกรรมแบตเตอรี่เก่าได้ ดังนั้น หากมีการแลกเปลี่ยนของเสียระหว่าง ทั้งสองโรงงาน (waste exchange) จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนดังนี้

- 1) spent alkaline จากโรงงานนมดำ จังหวัดนครราชสีมา

ปัจจุบันโรงงานนมดำ จ.นครราชสีมา ได้ทำสัญญาว่าจ้างบำบัดและทำลายฤทธิ์ spnet alkaline กับบริษัทบริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (GENCO) ในอัตรา

- ค่าขนส่งด้วยรถบรรทุกของเสียอันตรายประเภทของเหลวจากจังหวัด นครราชสีมา ไปยังศูนย์บำบัดและทำลายฤทธิ์ของเสียอันตราย แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ ราคา 6,500 บาท / 1 เที่ยว (7 ลบ.ม.) คิดเป็นเงิน 928.57 บาท/ลบ.ม.
- ค่าบำบัดและทำลายฤทธิ์ spent alkaline ราคา 3,750 บาท / ลบ.ม.

ดังนั้นอัตราค่าบำบัด spent alkaline ต่อ 1 เที่ยวการขนส่งมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{ค่าขนส่ง} + \text{ค่าบำบัด} &= 6,500 + (7 \times 3,750) \text{ บาท} \\ &= 6,500 + 26,250 = 32,750 \text{ บาท/ เที่ยวการขนส่ง (7 ลบ.ม.)} \\ &= 4,678.57 \text{ บาท/ลบ.ม.} \end{aligned}$$

จากผลการประเมินอัตราการเกิด spent alkaline ในหัวข้อ 4.1 พบว่าอัตราการเกิด spent alkaline จากกระบวนการการผลิตของโรงงานนมดำเฉลี่ย 42 ลิตร / วัน ดังนั้น ระยะเวลาที่โรงงานนมดำต้องเก็บสต็อก spent alkaline ไว้ต่อ 1 เที่ยวการขนส่งมีระยะเวลาเท่ากับ

$$(7 \text{ ลบ.ม.} \times 1000 \text{ ลิตร / ลบ.ม.}) / 42 \text{ ลิตร} = 166.67 \text{ วัน}$$

กำหนดให้โรงงานนมดำทำงานเฉลี่ย 26 วัน / เดือน = $166.67 / 26 = 6.4$ เดือน

หากมีการแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างทั้งสองโรงงาน อัตราค่าบำบัด Spent alkaline จะมีค่าเท่ากับ

1.1) 928.57 บาท/ลบ.ม. (กรณีโรงงานนมดำขนส่ง spent alkaline ให้)

1.2) 0 บาท/ลบ.ม. (กรณีโรงงานหลอมแบดเตอรีขนส่ง spent alkaline เอง)

2) โรงงานแบดเตอรีแห่งจากแบดเตอรีเก่า

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.2 ที่ pH 10.5 พบว่า

ต้องใช้ spent alkaline 9.44 ลิตรเพื่อบำบัดน้ำเสียตะกั่ว 1 ลบ.ม.

ดังนั้น spent alkaline 7 ลบ.ม. (1 เที่ยวการขนส่ง) สามารถบำบัดน้ำเสียตะกั่วได้เท่ากับ

$$(7 \text{ ลบ.ม.} \times 1000 \text{ ลิตร / ลบ.ม.}) / 9.44 \text{ ลิตร} = 741.52 \text{ ลบ.ม.}$$

จากผลการประเมินอัตราการเกิดน้ำเสียในหัวข้อ 4.1 พบว่าโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบดเตอรีเก่ามีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตคิดเป็นอัตรา 40 ลบ.ม. / วัน

ดังนั้นการขนส่ง spent alkaline 1 เที่ยว สามารถบำบัดน้ำเสียของโรงงานหลอมแบดเตอรีได้เท่ากับ $(741.52 \text{ ลบ.ม.}) / 40 \text{ ลบ.ม. / วัน} = 18.5$ วัน

ปัจจุบันโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบดเตอรีเก่าบำบัดน้ำเสียของโรงงานด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ NaOH เป็นสารตกตะกอน

จากการประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดในหัวข้อ 4.8 พบว่า

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH มีราคา 197 บาท / น้ำเสีย 1 ลบ.ม.

หากมีการแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างสองโรงงาน ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียจะมีค่าเท่ากับ

2.1) 0.28 บาท/ลบ.ม. (กรณีโรงงานนมดำขนส่ง Spent alkaline ให้)

2.2) 9.05 บาท/ลบ.ม. (กรณีโรงงานหลอมแบตเตอรี่ขนส่ง Spent alkaline เอง)

หากมีการแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างทั้งสองโรงงาน ค่าใช้จ่ายที่ทั้งสองโรงงานสามารถประหยัดได้แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสียของแต่ละโรงงาน

โรงงาน	บำบัดด้วยระบบเดิมของโรงงาน	Waste exchange ระหว่างสองโรงงาน	ค่าใช้จ่ายที่ลดลงคิดเป็น
โรงงานนมดำ	บำบัด spent alkaline ในราคา 4,679 บาท/ลบ.ม.	บำบัด spent alkaline ในราคา 0 - 929 บาท/ลบ.ม.	80% – 100%
โรงงานหลอมแบตเตอรี่	ตกตะกอนด้วย NaOH ในราคา 197 บาท/ลบ.ม.	ตกตะกอนด้วย spent alkaline ในราคา 0.28 - 9.5 บาท/ลบ.ม.	95% – 99%

จากผลการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างสองโรงงาน พบว่า โรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่า เป็นโรงงานที่ต้องใช้สารตกตะกอนปริมาณมากเพื่อการบำบัดน้ำเสียในแต่ละวัน การใช้ spent alkaline จากโรงงานนมดำที่ต้องเก็บสต็อกไว้เป็นเวลา 6.4 เดือน สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานได้เพียง 18 วัน การแลกเปลี่ยนของเสียดังกล่าวสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัด spent alkaline ของโรงงานนมดำได้ 80% - 100% และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานตะกั่วแห่งจากแบตเตอรี่เก่าได้ 95% - 99% ซึ่งเป็นการได้ประโยชน์กับทั้งสองโรงงาน และหากพิจารณาในเชิงสิ่งแวดล้อม การแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างทั้งสองโรงงานจะเป็นการช่วยลดปริมาณของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสรุปว่า

การใช้น้ำต่างที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมนมดำ เพื่อตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม
หลอมตะกั่วแท่งจากเบตเตอรีเก่า มีความเหมาะสมและมีแนวโน้มใช้ได้จริงในเชิงปฏิบัติ จึงควรมี
การแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างทั้งสองโรงงานต่อไปในอนาคต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การใช้น้ำค้างที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมนมดำ เพื่อตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรม หลอมตะกั่วแห้งจากแบตเตอรี่เก่ามีแนวทางในการปฏิบัติ เริ่มจากการสำรวจแหล่งที่มาของน้ำเสีย และประเมินอัตราการเกิดน้ำเสียจากโรงงานทั้งสองแห่ง จากผลการสำรวจและประเมิน พบว่า โรงงานหลอมตะกั่วแห้งจากแบตเตอรี่เก่ามีอัตราการเกิดน้ำเสียจากกระบวนการต่างๆ ของการผลิตเฉลี่ย 40 ลบ.ม./วัน คิดเป็นอัตราต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Unit generation rate) เท่ากับ 1.9 ล./ตะกั่วแห้ง 1 กก. โรงงานนมดำมีอัตราการเกิดน้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) จากกระบวนการการผลิตเฉลี่ย 42 ล./วัน คิดเป็นอัตราต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Unit generation rate) เท่ากับ 0.06 ล./ชิ้นงานนมดำ 1 กก.

น้ำเสียตะกั่วที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียจากบ่อรวมน้ำเสียของโรงงานหลอมตะกั่วแห้งจากแบตเตอรี่เก่า จังหวัดสระบุรี ลักษณะเบื้องต้นคือ มีความเป็นกรดสูง เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำกรดและน้ำยาอีเลคโตรไลต์ในหม้อแบตเตอรี่ มีตะกอน เช่น เศษพลาสติก ฟุ่น ทราวย ปะปนอยู่ มีโลหะหลายชนิดปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย น้ำเสียมีค่า pH เริ่มต้น 1.69 – 1.75 ของแข็งแขวนลอย 373 มก./ล. ตะกั่วละลาย 3.44 มก./ล. ตะกั่วทั้งหมด 187 มก./ล.

น้ำค้างที่ใช้แล้ว (spent alkaline) เป็นส่วนผสมของสารละลายโซดาไฟ และน้ำยารมดำจากโรงงานนมดำ จังหวัดนครราชสีมา ลักษณะเบื้องต้นเป็นของเหลวสีเหลืองขุ่นหนืด มีความเป็นด่างสูง มีโลหะละลายปนอยู่ ค่า pH เริ่มต้น 12.5 – 13.0 ความเข้มข้น 12.38 N

การบำบัดน้ำเสียตะกั่วจากโรงงานหลอมตะกั่วแห้งจากแบตเตอรี่เก่าด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี เมื่อใช้สารตกตะกอน 3 ชนิด ได้ผลการทดลองดังนี้

- 1) ตกตะกอนด้วย NaOH การตกตะกอนด้วย NaOH มีช่วงค่า pH ที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 8.5 – 10.5 การตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้น 2.0 มก./ล. จะช่วยให้ตะกอนจับตัวเป็นฟลอคและตกตะกอนได้ง่าย ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอนคือ 2 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วในรูปตะกั่วละลายและตะกั่ว

ทั้งหมดมีค่า 0 มก./ล. และ 0.81 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด เท่ากับ 100% และ 99.57% ตามลำดับ มีปริมาณตะกั่วในตะกอนอบแห้ง 24% ค่าใช้จ่ายในการบำบัด คิดเป็นเงิน 197 บาท/ น้ำเสีย 1 ลบ.ม.

2) ตกตะกอนด้วย spent alkaline การตกตะกอนด้วย spent alkaline มีช่วง pH ที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 8.5 – 10.5 การตกตะกอนด้วย spent alkaline ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้น 1.8 มก./ล. จะช่วยให้ตะกอนจับตัวกันเป็นฟลอคและตกตะกอนได้ง่ายระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอนคือ 2 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วในรูปตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมดมีค่า 0 มก./ล. และ 1.46 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 100% และ 99.22% ตามลำดับ มีปริมาณตะกั่วในตะกอนอบแห้ง 21% ค่าใช้จ่ายในการบำบัดคิดเป็น 0.28 – 9.05 บาท/น้ำเสีย 1 ลบ.ม.

3) ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 การตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 มีช่วง pH ที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 8.5 – 10.0 ตะกอนที่ได้มีลักษณะหนักและตกตะกอนได้ง่าย การตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้น 0.6 มก./ล. ไม่ช่วยให้ตะกอนจับตัวเป็นฟลอค แต่ช่วยลดความขุ่นได้ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน คือ 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วในรูปตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมดมีค่า 0.39 มก./ล. และ 2.30 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 88.81% และ 98.77% ตามลำดับ มีปริมาณตะกั่วในตะกอนอบแห้ง 14% ค่าใช้จ่ายในการบำบัดคิดเป็นเงิน 168.75 - 168.85 บาท / น้ำเสีย 1 ลบ.ม.

จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่า การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่าด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี เมื่อตกตะกอนด้วย spent alkaline ให้ประสิทธิภาพดีในการบำบัดตะกั่วในรูปตะกั่วละลาย ตะกั่วทั้งหมดและความขุ่น ดังนั้น จึงมีแนวโน้มที่จะสามารถนำ spent alkaline จากอุตสาหกรรมมาใช้ในการบำบัดตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่าได้ หากมีการแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างทั้งสองโรงงาน (waste exchange) จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนคือ spent alkaline จากกระบวนการผลิตของโรงงานรูดำ 6.4 เดือน (7 ลบ.ม.) สามารถบำบัดน้ำเสียของโรงงานหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่าได้ 18 วัน จะช่วยให้โรงงานรูดำลดค่าใช้จ่ายในการบำบัด spent alkaline ได้เป็นเงิน 3,750 – 4,678 บาท/ลบ.ม. คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ลดลง 80% -100% และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานหลอมตะกั่วแท่งจากแบตเตอรี่เก่าได้เป็นเงิน 187.95 – 196.72 บาท/ลบ.ม. คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ลดลง 95% -100%

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ทดลองใช้น้ำต่างเก่า เพื่อกำจัดโลหะหนักชนิดอื่นในอุตสาหกรรมชนิดอื่นที่ต้องบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการผลึกทางเคมี
- 2) ใช้น้ำต่างเก่าในการเตรียมซีโอไลต์ด้วยเก้าลอยถ่านหินทดแทนการใช้ NaOH ใหม่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมทรัพยากรธรณี. (2544). “ตะกั่ว” .เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ.

กองตรวจโรงงาน. (2537). “การป้องกันอันตรายจากตะกั่ว” .เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการโรงงาน .

ฉบับ ก.ค. – ต.ค. 2537 .กระทรวงอุตสาหกรรม.

จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์. (2539) “การกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้ซีเมนต์ลอย”. วิทยานิพนธ์ปริญญา

มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย.

ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. (2530). หลักเคมี 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด.(2537) รายงานการศึกษาวางแผนการจัดการกาก

ของเสียจากโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่าที่ใช้แล้ว และออกแบบที่ฝังกลบ. บริษัท คอนซัล

แทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด.

มณีรัตน์ องค์กรธรณี. (2542) “การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยใช้โซเดียมโบ

โรไฮโดรด์”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตันฑุลเวศน์. (2538). วิศวกรรมการประปา เล่ม2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เยาวนุช สุจริตธรรม.(2536) “การตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังโดยการบำบัดด้วย

ต่าง”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต .ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

สุรพัทธ์ พันพานิชย์กุล. (2542) “การทำเสถียรกากตะกั่วจากโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า” .

วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

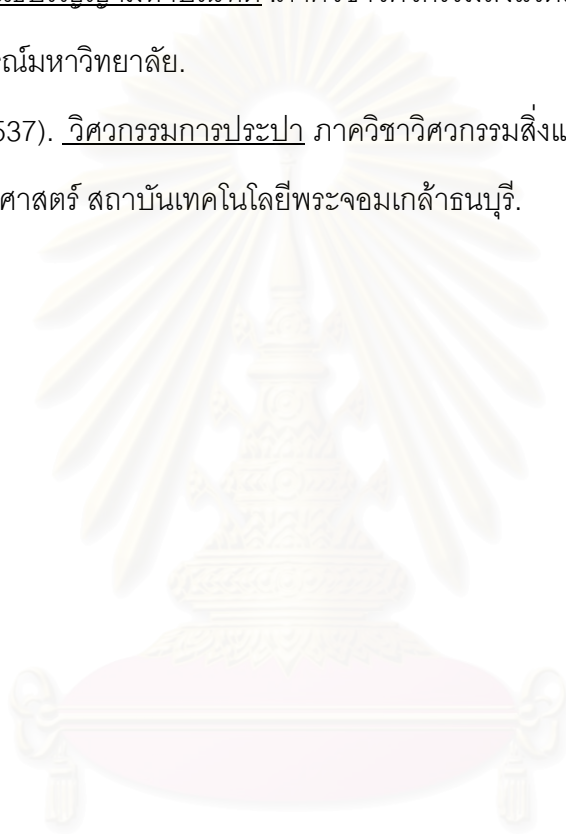
สำนักงานบริการเทคโนโลยีสารสนเทศฯ และสิ่งแวดล้อม. (2539) “ปัญหาสิ่งแวดล้อมในการหลอม

โลหะตะกั่ว”. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ไสว โฉมจนะศุภฤกษ์.(2539). “ปัญหาและแนวทางการแก้ไขมลพิษในการหลอมตะกั่ว จาก
 แบตเตอรี่เก่า”.เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการโรงงาน ฉบับ ก.พ. – พ.ค. 2539 . กระทรวง
 อุตสาหกรรม.

อัษฎชลี เจตน์สัมฤทธิ์. (2536). “การกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบค” .
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต .ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุดร จารุรัตน์. (2537). วิศวกรรมการประปา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
 วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.



สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

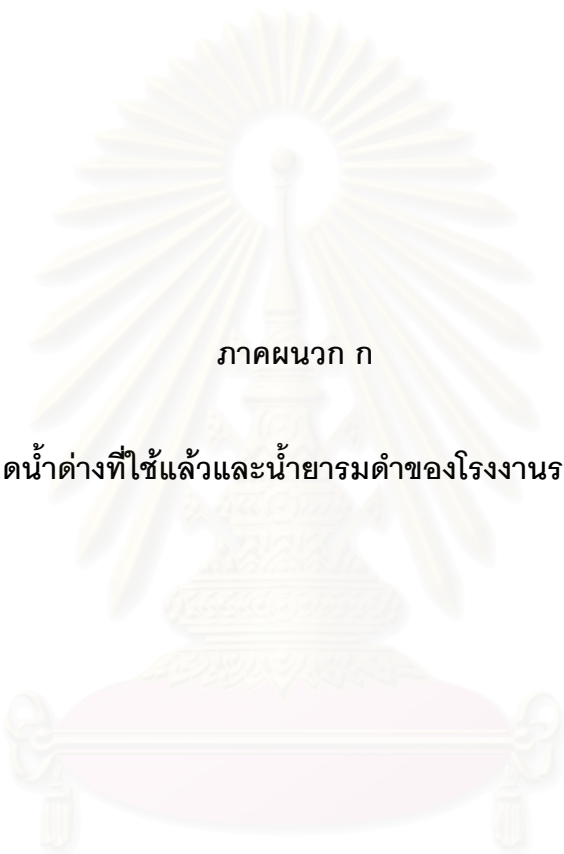
- American Society for Testing and Materials. (1996). "Water and Environmental Technology". Annual book of ASTM standard. Section 11 Vol.10.01 Water (I).
- American Society for Testing and Materials. (1996). "Water and Environmental Technology". Annual book of ASTM standard. Section 11 Vol.10.02 Water (II).
- Clifford D.S., Subramonian S. and Sorg T.J.. (1986). "Removing dissolved inorganic contaminant from water". Env. Sci. Tech. 20(11) : 1072 – 1080
- Eckenfelder W.Jr.. (2000). Industrial water pollution control. 3rd. New York : McGraw-Hill
- Harrison, R.M. and Laxen, D.P.H..(1981). Lead pollution : causes and control. London: Chapman and Hall.
- Krishman ER,Utrecht PW, Patkar AN, et al.. (1993). Recovery of metals from sludge and wastewater. NJ: Noyes Data.
- Mc Anally, S.L. , Benefield L. and Reed R.B. ,(1984). "Nickle removal from synthetic nickle plating waste water using sulfide and carbonate for precipitation and coprecipitation". Sep.Sci. Technology. 192(3) : 191-217.
- Moo Y.L. and Jong M.P. (1997). "Micro precipitation of lead on the surface of crab shell particles". Process Biochemistry No.8 : 671-677.
- Nayor L.M. and Dague R.R. .(1975) ."Simulation of lead removal by chemical treatment". J. AWWA. October 1975 : 560-565.
- Patterson J.W., Allen H.E. and Scala J.J.. (1977) . "Carbonate precipitation for heavy metal pollutants." J. Water Pollut. Control Fed. 49(12) : 2397 – 2410
- Patterson J.W. .(1985). Industrial Wastewater Treatment Technology. 2nd U.S. : Butterworth.
- Peter R.W. and Ku Y.. (1985). "Batch precipitation studies for heavy metal removal by sulfide precipitation." In AIChE Sympos. Series, Separation of Heavy Metal and Other Contaminants. 81(243) : 9-27.

- Peter R.W., and Ku Y., Bhattacharyya D. and Chen L.F.. (1985) "Evaluation of recent treatment techniques for removal of heavy metals from industrial wastewater". In AIChE Symposium Series, Separation of Heavy Metal and Other Contaminants, 81(243) : 165-203.
- Rochow E.G. and Abel E.W. (1973) The Chemisting of germanium,tin and lead. Oxford : Pergamon press.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E. and Webb, J.S..(1979). Geochemistry in Mineral Exploration. 2nd. ed. London.: Academic press, Inc.
- Sawyer, C., Mc Carty, P. and Parkin, G..(2003) Chemistry for Environmental Engineering and Science. Mc GrawHill 5th ed.
- Snoeyink V.L. and Jenkins D..(1980) . Water Chemistry. New York : John Wiley & Sons.
- Santhana S.(2003). Heavy Metals removal from secondary lead smelting plant wastewater by sulfide precipitation. M.Sc. Thesis in Environmental Technology, Bangkok; Faculty of Graduate Studies, Mahidol University.
- Sivadechathep J.(1981). Lead removal from wet-cell battery factory wastewater by chemical treatment.M.Sc. Thesis in Environmental Health, Bangkok; Faculty of Graduate Studies, Mahidol University.
- William C.A., ed.(1994). Innovation Site Remendation Technology Chemical Treatment. U.S. : American Academy of Environmental Engineers.



ภาคผนวก

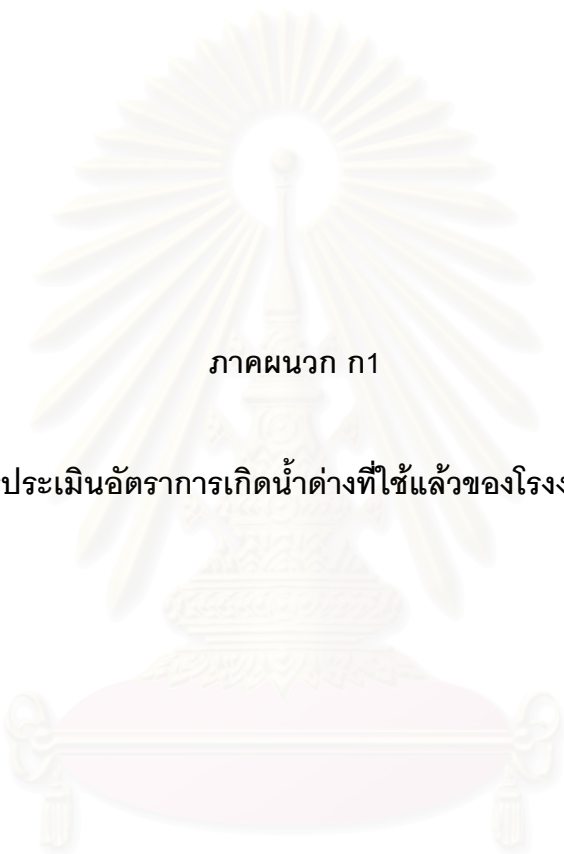
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

รายละเอียดน้ำต่างที่ใช้แล้วและน้ำอารมดำของโรงงานนมดำผิวโลหะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก1

ผลการประเมินอัตราการเกิดน้ำต่างที่ไข้แล้วของโรงงานนมดำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก. 1 ผลการประเมินอัตราการเกิดน้ำค้างที่ใช้แล้วของโรงงานนมดำ

กระบวนการผลิต	วันที่											
	11 พ.ค.46		12 พ.ค.46		13 พ.ค.46		14 พ.ค.46		15 พ.ค.46		16 พ.ค.46	
	ปริมาณ น้ำดีที่ใช้ (ลิตร)	ปริมาณ น้ำเสีย ที่เกิดขึ้น (ลิตร)	ปริมาณ น้ำดีที่ใช้ (ลิตร)	ปริมาณ น้ำเสีย ที่เกิดขึ้น (ลิตร)	ปริมาณ น้ำดีที่ใช้ (ลิตร)	ปริมาณ น้ำเสีย ที่เกิดขึ้น (ลิตร)	ปริมาณ น้ำดีที่ใช้ (ลิตร)	ปริมาณ น้ำเสีย ที่เกิดขึ้น (ลิตร)	ปริมาณ น้ำดีที่ใช้ (ลิตร)	ปริมาณ น้ำเสีย ที่เกิดขึ้น (ลิตร)	ปริมาณ น้ำดีที่ใช้ (ลิตร)	ปริมาณ น้ำเสีย ที่เกิดขึ้น (ลิตร)
Hot steam cleaner	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40
Alkaline cleaning	15	-	15	-	15	35	15	-	15	-	15	36
Cold water rinsing 1	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Warm water rinsing	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Blach oxide coating	100	-	150	-	200	90	100	-	150	-	200	90
Cold water rinsing 2	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
ผลิตภัณฑ์ขึ้นงานนมดำ	665.28 กก.		777.60 กก.		567.10 กก.		720.11 กก.		672.30 กก.		616.14 กก.	

1. เฉลี่ยปริมาณน้ำดีที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิต

1.1 ในเครื่อง Hot steam cleaner

$$= (60+60+60+60+60+60)/6 = 60 \text{ ลิตร/วัน}$$

1.2 Alkaline cleaning

$$= (15+15+15+15+15+15)/6 = 15 \text{ ลิตร/วัน}$$

1.3 Cold water rinsing 1

$$= (40+40+40+40+40+40)/6 = 40 \text{ ลิตร/วัน}$$

1.4 Warm water rinsing

$$= (40+40+40+40+40+40)/6 = 40 \text{ ลิตร/วัน}$$

1.5 Blach oxide coating

$$= (100+150+200+100+150+200)/6 = 150 \text{ ลิตร/วัน}$$

1.6 Cold water rinsing 2

$$= (300+300+300+300+300+300)/6 = 300 \text{ ลิตร/วัน}$$

2. ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

2.1 ในเครื่อง Hot steam cleaner

$$= (40+40+40+40+40+40)/6 = 40 \text{ ลิตร/วัน}$$

2.2 Alkaline cleaning

$$= (35+36)/6 = 11.83 \text{ ลิตร/วัน}$$

$$\approx 12 \text{ ลิตร/วัน}$$

2.3 Cold water rinsing 1

$$= (40+40+40+40+40+40)/6 = 40 \text{ ลิตร/วัน}$$

2.4 Warm water rinsing

$$= (40+40+40+40+40+40)/6 = 40 \text{ ลิตร/วัน}$$

2.5 Blach oxide coating

$$= (90+90)/6 = 30 \text{ ลิตร/วัน}$$

2.6 Cold water rinsing 2


$$= (300+300+300+300+300+300)/6 = 300 \text{ ลิตร/วัน}$$

3. ผลิตรกัณฑ์ชิ้นงานรมดำเฉลี่ยที่ได้จากกระบวนการผลิต

$$= (665.28+777.60+567.10+720.11+672.30+616.14)/6$$

$$= 669.76 \text{ กก./วัน}$$

$$\approx 670 \text{ กก./วัน}$$



ภาคผนวก ก2

Material Safety Data Sheet ของน้ำยารมดำ SUGICUT CS-58Y

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUGIMURA Chemical Industrial Co.,Ltd.

12-4 Chome Maruncuchi Nakaku Nagoya 460,Japan

TEL 052-211-6000 FAX 052-220-1665

SUGICUT CS-58Y

Surface-active Preparations (Expert and import Statistical Schedule:No.34.02)

Physical Properties

Physical State	Liquid
Apperance	Light Yellow
Flashing Poing COC	none
Specific Gravity (15/4 °c)	1.08
Viscosity (40 °c)	18.5 cSt

APPLICATIONS AND ADVANTAGES

Excellent working for Steel and cast iron.

Excellent lubricity and coolability.

Keeps machine clean and low-foaming

CONSTITUENTS

1. Alkanolamine
2. Corrosion Inhibitor
3. Anti microbial agent
4. Synthetic lubricants
5. Corrosion inhibitor for non ferrous metals
6. Water

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SUGIMURA CHEMICAL INDUSTRIAL CO.,LTD.

12-4 ICHOME, MARUNOUCHI, NAKAKU, NAGOYA, JAPAN

TELEPHONE 052 -211-6000

Item Number : EE – 012

N/D = Not Determined

N/A = Not Applicable

SECTION I : IDENTIFICATION	
IDENTITY	C S – 5 8 Y
CHEMICAL FAMILY	WATER-SOLUBLE TYPE REVISION DATA : NOV.7.1997
EMERGENCY PHONE NUMBER	Japan 052 -211-6000

SECTION II : HAZARDOUS - INGREDIENTS			
HAZARDOUS COMPONENTS	OSHA PEL	ACGIH TLV	%

SECTION III : PHYSICAL/CHEMICAL CHARACTERISTICS			
BOILING POINT (Degree Farenheit min)	N/D	SPECIFIC GRAVITY (Water = 1)	1.06
VAPOR FRESSURE (am / Hg @ 70F)	N/D	PERCENT VOLATILE EY VOLUME	N/D
VAPOR DENSITY (Air = 1)	N/D	MELTING POINT (Degrees Farenheit max)	N/D
SOLUBILITY IN WATER	Complete	pH	8.9
EVAPORATION RATE (n-butyl acetate)	N/D		

APPRARANCE AND ODOR : Light Yellow liquid and Mild odor

Item Number : EE – 012

SECTION IV : FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

FLASH POINT (Degrees Farenheit min)	N/A		
FLAMMABLE LIMITS	LEL	<i>UEL</i>	AUTO - IGNITION TEMPERATURE (Degress Farenheit min)
	N/D	N/D	

EXTINGUISHING MEDIA : Dry chemical, carbon dioxide, or foam. Foam may cause frothing
Or spattering and should be applied carefully.

SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES : Water self contained breathing apparatus.

Keep fire exposed containers cool with water.

UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS : Hot vapors form explosive mixtures with air.

SECTION V : REACTIVITY DATA

STABILITY :	Unatable		
	atable	x	
CONDITIONS TO AVOID : Sparks and open flames			
INCOMPATIBILITY : Strong acids and oxidants			
HAZARDOUS DECOMPOSTION PRODUCTS : UPON COMBUSTION : Furnes and smoke			
HAZARDOUS POLYMERIZATION :	May occur		
	Will not occur	x	

CONDITION TO AVOID : None

SECTION VI : HEALTH HAZARD DATA

	INHALATION	SKIN	INGESTION
PRIMARY ROUTES OF EXPOSURE :			

HEALTH HAZARDS :

SKIN CONTACT : Prolonged or repeated skin contact may cause irritation.

EYE CONTACT : Causes eye irritation upon contact.

INGESTION : This product has a low order of acute oral toxicity, but small amounts

Aspirated into the lunge during ingestion or vorniting may cause mild to severe pulmonary injury.

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE : Excussive oil mist inhalation may cause dizziness,
nausen , and difficulty breathing.

MEDICAL CONDCTIONS AGGRAVATED BY OVEREXPOSURE : Sensitive skin.

Item Number : EE – 012

EMERGENCY AND FIRST AID PROCEDURES :

SKIN CONTACT : In case of contact, wash skin with warm water and mild soap.

Wash dothing befor rouse.

EYE CONTACT : In case of contact, immediately flush eyes with plenty of water

for at least 15 minutes, Get medical attention.

INGESTION : If swallowed, calla phyaician immediately flush eyea with plenty of water

At the instruction of a phyaician. Never give anything by month to an unconcious

SECTION VII : PRECAUTIONS FOR SAFE HANDLING AND USE

STEPS TO BE TAKEN IF MATERIAL RELEASED OR SPILLED : In case of spill,

evacuate area and secure roureces of ignition. Clean up apill immediately.

Avoid contamination of acwers and waterways. Wear approved respiratory eqipment during

cleanup if area is not ventiated adequstely. Soak up with sand, earth or other inert

materia.

WASTE DISPOSAL METHODS : Dispose of in accordance with local and federal

regulations. Avoid contamination of sewers and waterways.

PRECAUTIONS TO BE TAKEN IN HANDING AND STORING : Avoid contact

with eyes, skin and clothing. Remove contaminated clothing, launder befor reuse. Wash

thoroughly after handing. Kepp container tightly closed and away from aparks or flames.

OTHER PRECAUTIONS : Since emptied containers ratain product residue, follow

Lable warnings even after container is emtied.

SECTION VIII : CONTROL MEASURES

RESPIRATORY PROTECTION : Not normally required

VENTILATION : Provide general ventilation and local exhaust sufficient to prevent

exceeding exposure limits.

PROTECTIVE GLOVES	Oil impervious to avoid prolonged/repeated contact.
EYE PROTECTIVE	Safety gisses or googles for splash protection.
OTHER PROTECTIVE EQUIPMENT	Use as required to avoid prolonged or repeated skin contact.

HYGENIC PRACTICES : Wash thoroughly before meals, breaks, and at the end of

work period. Remove contaminated clothing and launder before reuse.

Item Number : EE -012

SECTION IX : ENVIRONMENTAL

Contains no ingredients subject to release reporting.

TOXIC SUBSTANCES CONTROL ACT:

WE BELIEVE THE STATEMENTS TECHNICAL INFORMATION AND
RECOMMENDATIONS CONTAINED HEREIN ARE RELIABLE, BUT THEY
ARE GIVEN WITHOUT WARRANTY OR GUARANTEE OF ANY KIND,
EXPENSE, DIRECT OR CONSEQUENTIAL, ARISING OUT OF THEIR USE.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

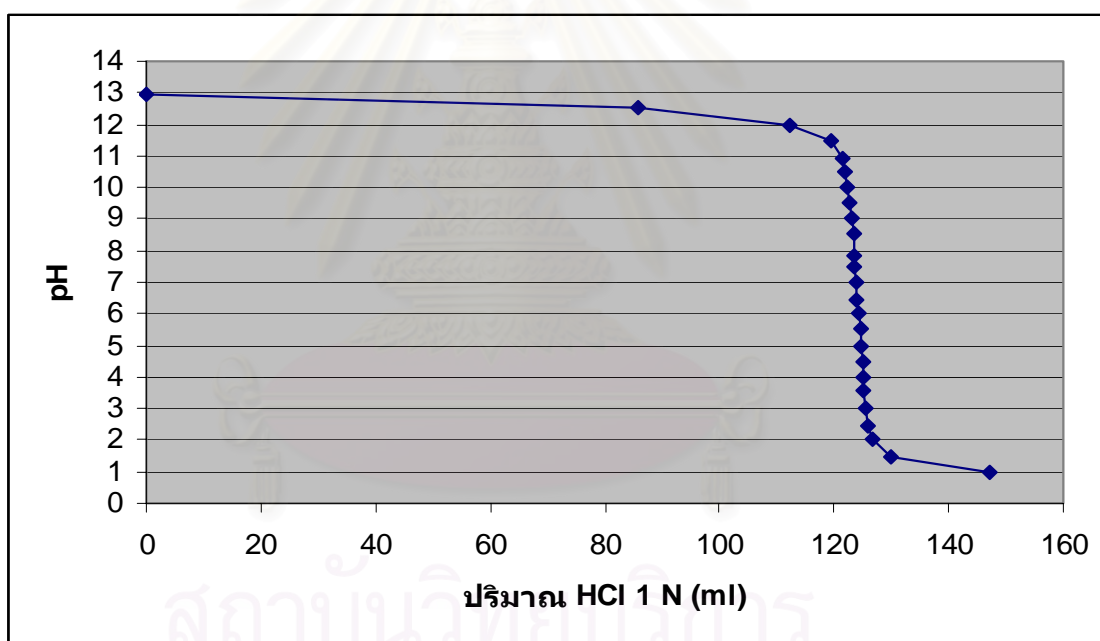
การหาความเข้มข้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ความเข้มข้นของ Spent alkaline

หาความเข้มข้นของ Spent alkaline โดยการไตเตรตด้วยกรด HCl 1 N เมื่อใช้ Bromothymol blue เป็นอินดิเคเตอร์ ตามขั้นตอนดังนี้

- 1.1) เตรียม Spent alkaline เจือจาง 1:10 ปริมาณ 100 มล. ใส่ใน flaks ชมพูขนาด 250 มล. ตั้งบนเครื่องกวนแม่เหล็ก
- 1.2) หยดสารละลาย Bromothymol blue ประมาณ 3 – 5 หยด ลงในสารละลาย Spent alkaline ซึ่งจะทำให้สารละลายมีสีน้ำเงิน
- 1.3) เตรียมกรด HCl 1 N ใส่ในบิวเรต ไตเตรตสารละลาย Spent alkaline จดบันทึกค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปและปริมาณ HCl ที่ใช้ในการไตเตรต ได้ผลดังแสดงในรูป ข. 1 และในตารางที่ ข.1



รูป ข.1 เส้นโค้งไตเตรชันของ HCl 1 N กับ Spent alkaline เจือจาง 1:10

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการไตเตรชันของ HCl 1 N กับสารละลาย Spent alkaline เจือจาง 1:10

ปริมาณ Spent alkaline เจือจาง 1:10 (มล.)	ปริมาณ HCl 1 N (มล.)	pH	
100	0	12.95	จุดที่ Bromothymol blue เปลี่ยนสี
100	85.9	12.50	จากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง คือ จุดที่ pH
100	112.4	12.00	= 7.02 กำหนดให้จุดดังกล่าว เป็นจุด
100	119.6	11.50	สมมูล
100	121.6	10.93	
100	122.1	10.50	จำนวนสมมูลกรด=จำนวนสมมูลเบส
100	122.5	10.01	$N_a V_a = N_b V_b$
100	122.8	9.53	
100	123.2	9.02	$(1N)(123.8 \text{ มล.}) = (N_b)(100 \text{ มล.})$
100	123.5	8.53	$N_b = \frac{(1)(123.8)}{100}$
100	123.6	7.87	
100	123.7	7.50	$N_b = 1.238 \text{ N.}$
100	123.8	7.02	Spent alkaline เจือจาง 1:10 มีความ
100	124.1	6.47	เข้มข้น 1.238 N
100	124.5	6.03	ความเข้มข้นของ Spent alkaline
100	124.8	5.50	เริ่มต้น มีค่าเท่ากับ $10 \times 1.238 \text{ N}$
100	124.9	5.00	= 12.38 N.
100	125.0	4.50	
100	125.1	4.00	
100	125.2	3.57	
100	125.4	3.02	
100	125.9	2.48	
100	126.9	2.00	
100	129.9	1.50	
100	147.1	1.00	

2. ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้นของโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจากแบตเตอรีเก่า

ตารางที่ ข.2 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้นของโรงงานหลอมตะกั่วแห่งจาก
แบตเตอรีเก่า

ความเข้มข้นตะกั่ว	ครั้งที่ทำการวัด								เฉลี่ย	ค่าที่ แสดง
	1	2	3	4	5	6	7	8		
ตะกั่วละลาย (มก./ล.)	3.45	3.11	3.88	3.61	3.34	3.44	3.31	3.38	3.44	3.44
ตะกั่วทั้งหมด (มก./ล.)	199.5	210.5	162.5	177.1	-	-	-	-	187.4	187

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค 1

ตารางแสดงการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วละลายและของแข็งแขวนลอยเทียบกับ pH

pH	NaOH		Spent alkaline		Na ₂ CO ₃	
	ตะกั่วละลาย (มก. / ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก. / ล.)	ตะกั่วละลาย (มก. / ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก. / ล.)	ตะกั่วละลาย (มก. / ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก. / ล.)
1.74	3.45	352	3.11	388	3.88	380
2.0	4.65	368	3.81	388	3.78	364
2.5	4.08	376	3.64	396	3.34	400
3.0	4.63	376	3.46	416	3.23	432
3.5	695	680	5.54	740	2.58	720
4.0	6.52	708	4.86	768	2.46	744
4.5	5.05	720	3.58	760	2.48	764
5.0	4.26	740	2.75	752	2.50	752
5.5	3.07	740	3.23	780	2.24	780
6.0	2.98	760	2.99	780	2.37	776
6.5	1.07	748	1.99	784	1.71	768
7.0	0.89	732	1.45	792	1.20	756
7.5	0.64	736	1.11	784	0.94	760
8.0	0.31	736	0.07	780	0.93	748
8.5	0	740	0	780	0.32	752
9.0	0	744	0	784	0.21	764
9.5	0	720	0	808	0.22	1600
10.0	0	768	0	852	0.48	1672
10.5	0	812	0	1000	0.85	1712
11.0	2.77	892	2.77	1068	28.13	1736
11.5	5.18	936	5.87	1092	97.77	1747
12.0	22.99	984	22.65	1144	-	-
12.5	107.87	980	109.02	1160	-	-

หมายเหตุ - คือไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ค.2 ปริมาณสารปรับ pH ที่ค่า pH ต่างๆ สำหรับเส้นโค้งไตเตรชัน

NaOH			Spent alkaline			Na ₂ CO ₃		
pH	ปริมาณ NaOH 0.5 M (0.5N) (มล.)	น้ำหนักสมมูล/ น้ำเสีย 1 ล. (กรัม - สมมูล)	pH	ปริมาณ spent Alkaline 0.495 N (มล.)	น้ำหนักสมมูล/ น้ำเสีย 1 ล. (กรัม - สมมูล)	pH	ปริมาณ Na ₂ CO ₃ 1 M (2 N) (มล.)	น้ำหนักสมมูล/ น้ำเสีย 1 ล. (กรัม - สมมูล)
1.71	0	0	1.73	0	0	1.72	0	0
2.0	67.3	0.067	2.0	62.5	0.062	2.0	20.0	0.080
2.5	108.9	0.109	2.5	93.5	0.093	2.5	28.2	0.113
3.0	120.8	0.121	3.0	103.1	0.102	3.0	30.4	0.122
3.5	128.7	0.129	3.5	109.7	0.109	3.5	32.2	0.129
4.0	130.2	0.130	4.0	111.3	0.110	4.0	32.7	0.131
4.5	130.9	0.131	4.5	112.1	0.111	4.5	33.0	0.132
5.0	131.5	0.132	5.0	112.6	0.111	5.0	33.2	0.133
5.5	131.8	0.132	5.5	112.8	0.112	5.5	33.4	0.134
6.0	132.2	0.132	6.0	113.1	0.112	6.0	33.6	0.134
6.5	132.6	0.133	6.5	113.5	0.112	6.5	33.8	0.135
7.0	132.9	0.133	7.0	113.8	0.113	7.0	34.0	0.136
7.5	133.4	0.133	7.5	114.1	0.113	7.5	34.1	0.136
8.0	133.7	0.134	8.0	114.3	0.113	8.0	34.2	0.137
8.5	134.1	0.134	8.5	114.6	0.113	8.5	34.6	0.138
9.0	134.8	0.135	9.0	115.0	0.114	9.0	35.2	0.141
9.5	135.4	0.135	9.5	115.5	0.114	9.5	36.6	0.146
10.0	136.6	0.137	10.0	116.1	0.115	10.0	43.5	0.174
10.5	139.0	0.139	10.5	118.1	0.117	10.5	57.4	0.230
11.0	143.4	0.143	11.0	121.8	0.121	11.0	137.2	0.549
11.5	154.5	0.155	11.5	131.3	0.130	11.4	360.0	1.44
12.0	197.1	0.197	12.0	172.3	0.171			
12.2	237.6	0.238	12.5	240.0	0.238			

ตาราง ค. 3 การบำบัดตะกั่วในน้ำเสียเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

ความเข้มข้น ของโพลีเมอร์ (มก/ล.)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ตะกั่ว ละลาย (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด ตะกั่วละลาย	ตะกั่ว ทั้งหมด (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดตะกั่ว ทั้งหมด	ความ ขุ่น (NTU)
0.0	10.25	9.81	0	100%	3.71	98.02%	1.41
0.2	10.25	9.77	0	100%	2.54	98.64%	0.85
0.6	10.25	9.72	0	100%	2.61	98.60%	0.38
1.0	10.25	9.68	0	100%	2.77	98.51%	0.54
1.4	10.25	9.80	0	100%	2.86	98.47%	0.26
1.8	10.25	9.81	0	100%	2.02	98.92%	0.21
2.0	10.25	9.78	0	100%	1.94	98.96%	0.16

ตาราง ค. 4 การบำบัดตะกั่วในน้ำเสียเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

ความเข้มข้น ของโพลีเมอร์ (มก/ล.)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ตะกั่ว ละลาย (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด ตะกั่วละลาย	ตะกั่ว ทั้งหมด (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดตะกั่ว ทั้งหมด	ความ ขุ่น (NTU)
0.0	10.27	9.87	0	100%	3.47	98.15%	1.54
0.2	10.27	9.81	0	100%	1.92	98.97%	0.21
0.6	10.27	9.78	0	100%	1.89	98.99%	0.12
1.0	10.27	9.80	0	100%	1.57	99.16%	0.14
1.4	10.27	9.71	0	100%	1.49	99.20%	0.11
1.8	10.27	9.73	0	100%	1.16	99.38%	0.09
2.0	10.27	9.68	0	100%	0.81	99.57%	0.06

ตาราง ค. 5 การบำบัดตะกั่วในน้ำเสียเมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลีเมอร์ไร่ประจุ

ความเข้มข้น ของโพลีเมอร์ (มก/ล.)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ตะกั่ว ละลาย (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด ตะกั่วละลาย	ตะกั่ว ทั้งหมด (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดตะกั่ว ทั้งหมด	ความ ขุ่น (NTU)
0.0	10.18	9.73	0	100%	3.59	98.08%	1.46
0.2	10.18	9.58	0	100%	3.06	98.37%	0.12
0.6	10.18	9.51	0	100%	2.09	98.88%	0.15
1.0	10.18	9.46	0	100%	2.52	98.65%	0.13
1.4	10.18	9.40	0	100%	2.50	98.66%	0.17
1.8	10.18	9.32	0	100%	2.68	98.57%	0.24
2.0	10.18	9.26	0	100%	2.83	98.49%	0.18

ตาราง ค. 6 การบำบัดตะกั่วในน้ำเสียเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline
ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

ความเข้มข้น ของโพลีเมอร์ (มก/ล.)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ตะกั่ว ละลาย (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด ตะกั่วละลาย	ตะกั่ว ทั้งหมด (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดตะกั่ว ทั้งหมด	ความ ขุ่น (NTU)
0.0	10.21	9.88	0	100%	2.03	98.91%	1.62
0.2	10.21	9.85	0	100%	2.13	98.86%	0.63
0.6	10.21	9.79	0	100%	2.17	98.84%	0.48
1.0	10.21	9.77	0	100%	2.27	98.79%	0.59
1.4	10.21	9.82	0	100%	1.98	98.94%	0.31
1.8	10.21	9.76	0	100%	1.75	99.07%	0.27
2.0	10.21	9.81	0	100%	1.79	99.04%	0.18

ตาราง ค. 7 การบำบัดตะกั่วในน้ำเสียเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline
ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ

ความเข้มข้น ของโพลิเมอร์ (มก/ล.)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ตะกั่ว ละลาย (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด ตะกั่วละลาย	ตะกั่ว ทั้งหมด (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดตะกั่ว ทั้งหมด	ความ ขุ่น (NTU)
0.0	10.28	9.91	0	100%	2.26	98.79%	1.80
0.2	10.28	9.88	0	100%	1.88	98.99%	0.35
0.6	10.28	9.92	0	100%	1.69	98.06%	0.22
1.0	10.28	9.76	0	100%	1.80	98.04%	0.13
1.4	10.28	9.69	0	100%	1.59	98.15%	0.11
1.8	10.28	9.74	0	100%	1.46	99.22%	0.08
2.0	10.28	9.72	0	100%	1.47	99.21%	0.08

ตาราง ค. 8 การบำบัดตะกั่วในน้ำเสียเมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline
ร่วมกับโพลิเมอร์รีประจุ

ความเข้มข้น ของโพลิเมอร์ (มก/ล.)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ตะกั่ว ละลาย (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด ตะกั่วละลาย	ตะกั่ว ทั้งหมด (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดตะกั่ว ทั้งหมด	ความ ขุ่น (NTU)
0.0	10.31	9.66	0	100%	2.87	98.46%	1.48
0.2	10.31	9.52	0	100%	2.58	98.62%	0.55
0.6	10.31	9.48	0	100%	2.04	98.94%	0.21
1.0	10.31	9.40	0	100%	1.99	98.93%	0.27
1.4	10.31	9.41	0	100%	2.14	98.85%	0.16
1.8	10.31	9.34	0	100%	2.35	98.75%	0.12
2.0	10.31	9.30	0	100%	2.46	98.68%	0.11

ตาราง ค. 9 การบำบัดตะกั่วในน้ำเสียเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

ความเข้มข้น ของโพลีเมอร์ (มก/ล.)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ตะกั่ว ละลาย (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด ตะกั่วละลาย	ตะกั่ว ทั้งหมด (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดตะกั่ว ทั้งหมด	ความ ขุ่น (NTU)
0.0	9.85	9.67	0.65	81.22%	2.02	98.92%	3.11
0.2	9.85	9.60	0.77	77.84%	1.81	99.03%	2.10
0.6	9.85	9.62	0.33	90.38%	2.06	98.89%	0.96
1.0	9.85	9.57	0.58	83.19%	2.51	98.66%	0.63
1.4	9.85	9.71	0.64	81.48%	2.60	98.61%	0.44
1.8	9.85	9.54	0.30	91.42%	2.73	98.54%	0.56
2.0	9.85	9.63	0.36	89.91%	1.83	99.02%	0.39

ตาราง ค. 10 การบำบัดตะกั่วในน้ำเสียเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ

ความเข้มข้น ของโพลีเมอร์ (มก/ล.)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ตะกั่ว ละลาย (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด ตะกั่วละลาย	ตะกั่ว ทั้งหมด (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดตะกั่ว ทั้งหมด	ความ ขุ่น (NTU)
0.0	9.71	9.47	0.72	79.07%	2.35	98.74%	2.89
0.2	9.71	9.41	0.73	78.81%	1.91	98.98%	1.50
0.6	9.71	9.50	0.39	88.81%	2.30	98.77%	0.18
1.0	9.71	9.44	0.57	83.43%	2.48	98.67%	0.25
1.4	9.71	9.46	0.64	81.48%	2.03	98.91%	0.28
1.8	9.71	9.54	0.81	76.51%	1.99	98.93%	0.33
2.0	9.71	9.51	0.79	77.18%	1.99	98.93%	0.22

ตาราง ค. 11 การบำบัดตะกั่วในน้ำเสียเมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลีเมอร์ไร่ประจุ

ความเข้มข้น ของโพลีเมอร์ (มก/ล.)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ตะกั่ว ละลาย (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์ การบำบัด ตะกั่วละลาย	ตะกั่ว ทั้งหมด (มก/ล.)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดตะกั่ว ทั้งหมด	ความ ขุ่น (NTU)
0.0	9.77	9.51	0.66	80.96%	2.23	98.81%	2.61
0.2	9.77	9.45	0.51	85.23%	2.58	98.62%	1.56
0.6	9.77	9.41	0.62	81.89%	2.04	98.91%	0.58
1.0	9.77	9.39	0.75	78.14%	1.99	98.94%	0.59
1.4	9.77	9.35	0.45	86.98%	2.14	98.85%	0.53
1.8	9.77	9.30	0.64	81.54%	2.35	98.75%	0.31
2.0	9.77	9.27	0.81	76.57%	2.46	98.68%	0.39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.12 ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้น ใน Imhoff cone ที่เวลาตกตะกอนต่างๆ

เวลา (นาท)	ปริมาณตะกอนจมตัว (มล./ล.)					
	NaOH	NaOH ร่วมกับ โพลิเมอร์ ประจุลบ	Spent alkaline	Spent alkaline ร่วมกับ โพลิเมอร์ ประจุลบ	Na ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃ ร่วมกับ โพลิเมอร์ ประจุลบ
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000
1	950	720	960	750	850	980
2	860	500	880	525	650	900
3	760	420	790	430	450	400
4	680	380	700	380	350	300
5	600	350	610	350	190	200
6	550	330	580	330	180	150
7	510	310	540	310	145	140
8	485	300	510	295	130	130
9	460	280	490	280	125	125
10	440	280	465	275	120	120
11	425	270	450	260	115	115
12	405	260	435	255	110	110
13	395	250	420	248	106	108
14	380	245	410	240	103	100
15	375	240	400	235	100	99
16	370	230	390	220	99	98
17	355	220	380	215	96	96
18	350	215	375	215	94	92
19	345	210	368	210	92	90
20	340	205	360	205	91	88
25	310	190	335	190	84	82
30	295	180	307	175	80	78
35	289	170	296	170	76	74

ตารางที่ ค.12 ปริมาณตะกอนจมตัวที่เกิดขึ้น ใน Imhoff cone ที่เวลาตกตะกอนต่างๆ (ต่อ)

เวลา (นาที)	ปริมาณตะกอนจมตัว (มล./ล.)					
	NaOH	NaOH ร่วมกับ โพลิเมอร์ ประจุลบ	Spent alkaline	Spent alkaline ร่วมกับ โพลิเมอร์ ประจุลบ	Na ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃ ร่วมกับ โพลิเมอร์ ประจุลบ
40	275	160	291	160	72	71
45	262	155	280	155	70	68
50	256	152	272	152	68	67
55	248	150	260	150	67	65
60	240	145	256	148	65	63
70	232	140	242	140	62	60
80	225	135	233	138	60	58
90	219	130	227	130	56	56
100	204	128	210	130	53	56
110	200	127	204	130	50	55
120	193	126	201	129	49	52
140	181	125	190	127	47	49
160	178	124	182	126	45	47
180	175	122	180	125	43	46
210	164	118	171	124	41	43
240	157	114	167	122	40	41



ภาคผนวก ค 2

ตัวอย่างการคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณน้ำหนักสมมูล

1. ไตรเตรตด้วย NaOH

ไตรเตรตน้ำเสีย 500 มล. ด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.5 โมล/ล. (0.5 N)

น้ำหนักโมเลกุล : Na = 23 , O = 16 , H = 1 , NaOH = 40

$$\text{จำนวนสมมูลของ NaOH} = \frac{1 \text{ โมลของ NaOH}}{\text{จำนวนประจุ}} = \frac{40}{1} = 40$$

$$\begin{aligned} \text{โมลาลิตี (M)} &= \frac{\text{น้ำหนักเป็นกรัม}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล} \times \text{ปริมาตรสารละลาย (ล.)}} \\ &= \frac{20}{40 \times 1} \\ &= 0.5 \text{ โมล/ล.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{นอร์มัลลิตี (N)} &= \frac{\text{น้ำหนักเป็นกรัม}}{\text{จำนวนสมมูล} \times \text{ปริมาตรของสารละลาย (ล.)}} \\ &= \frac{20}{40 \times 1} \\ &= 0.5 \text{ N} \end{aligned}$$

ที่ pH 8.5

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ NaOH 0.5 N ในการไตรเตรต = 134.1 มล.

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ NaOH ในการไตรเตรต = $0.5 \times (134.1 / 1000)$

= 0.067 กรัม – สมมูล

ดังนั้น น้ำเสีย 1 ล. ต้องใช้ NaOH ในการไตรเตรต = $0.067 \times (1000 / 500)$

= 0.134 กรัม – สมมูล

ที่ pH 10.5

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ NaOH 0.5 N ในการไตรเตรต = 139.0 มล.

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ NaOH ในการไตรเตรต = $0.5 \times (139.0 / 1000)$

= 0.069 กรัม – สมมูล

ดังนั้น น้ำเสีย 1.7 ล. ต้องใช้ NaOH ในการไตรเตรต = $0.069 \times (1000 / 500)$

= 0.139 กรัม – สมมูล

2. ไตรเตรตด้วย spent alkaline

ไตรเตรตน้ำเสีย 500 มล. ด้วยสารละลาย spent alkaline เข้มข้น 0.495 N

ที่ pH 8.5

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ spent alkaline 0.495 N ในการไตรเตรต = 114.6 มล.

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ spent alkaline ในการไตรเตรต = $0.495 \times (114.6 / 1000)$
= 0.057 กรัม - สมมูล

ดังนั้น น้ำเสีย 1 ล. ต้องใช้ spent alkaline ในการไตรเตรต = $0.057 \times (1000 / 500)$
= 0.114 กรัม - สมมูล

ที่ pH 10.5

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ spent alkaline 0.495 N ในการไตรเตรต = 118.1 มล.

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ spent alkaline ในการไตรเตรต = $0.495 \times (118.1 / 1000)$
= 0.058 กรัม - สมมูล

ดังนั้น น้ำเสีย 1 ล. ต้องใช้ spent alkaline ในการไตรเตรต = $0.058 \times (1000 / 500)$
= 0.116 กรัม - สมมูล

3. ไตรเตรตด้วย Na_2CO_3

ไตรเตรตน้ำเสีย 500 มล. ด้วยสารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 1 โมล/ล. (2 N)

น้ำหนักโมเลกุล : Na = 23 , O = 16 , C = 12 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 106$

จำนวนสมมูลของ Na_2CO_3 = $\frac{1 \text{ โมลของ } \text{Na}_2\text{CO}_3}{\text{จำนวนประจุ}} = \frac{106}{2} = 53$

โมลาลิตี (M) = $\frac{\text{น้ำหนักเป็นกรัม}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล} \times \text{ปริมาตรสารละลาย (ล.)}}$

= $\frac{106}{106 \times 1}$

= 1.0 โมล/ล.

นอร์มัลลิตี (N) = $\frac{\text{น้ำหนักเป็นกรัม}}{\text{จำนวนสมมูล} \times \text{ปริมาตรสารละลาย}}$

= $\frac{106}{53 \times 1}$

= 2 N.

ที่ pH 8.5

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ Na_2CO_3 2 N ในการไตเตรต = 34.6 มล.

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ Na_2CO_3 ในการไตเตรต = $2 \times (34.60 / 1000)$
= 0.069 กรัม – สมมูล

ดังนั้น น้ำเสีย 1 ล. ต้องใช้ Na_2CO_3 ในการไตเตรต = $0.069 \times (1000 / 500)$
= 0.138 กรัม – สมมูล

ที่ pH 10.0

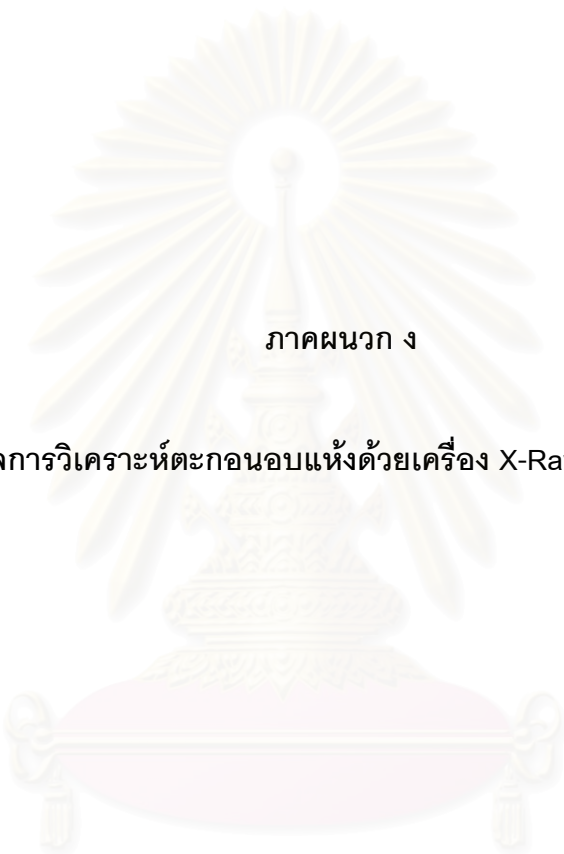
น้ำเสีย 500 มล. ใช้ Na_2CO_3 2 N ในการไตเตรต = 43.5 มล.

น้ำเสีย 500 มล. ใช้ Na_2CO_3 ในการไตเตรต = $2 \times (43.5 / 1000)$
= 0.087 กรัม – สมมูล

ดังนั้น น้ำเสีย 1 ล. ต้องใช้ Na_2CO_3 ในการไตเตรต = $0.087 \times (1000 / 500)$
= 0.174 กรัม – สมมูล



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



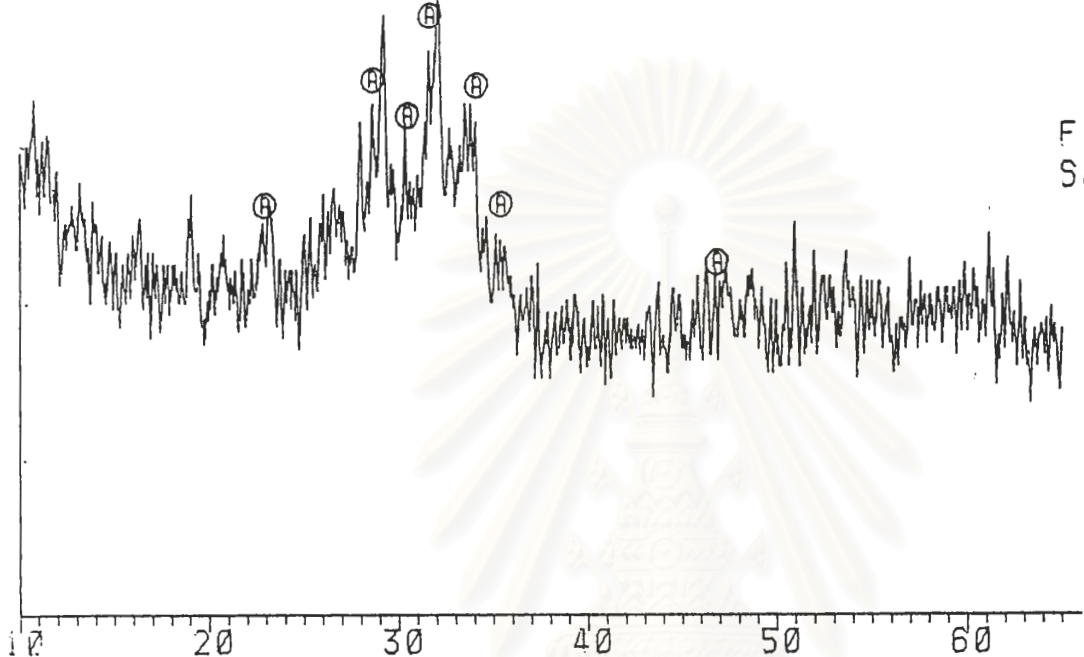
ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ตะกอนอบแห้งด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

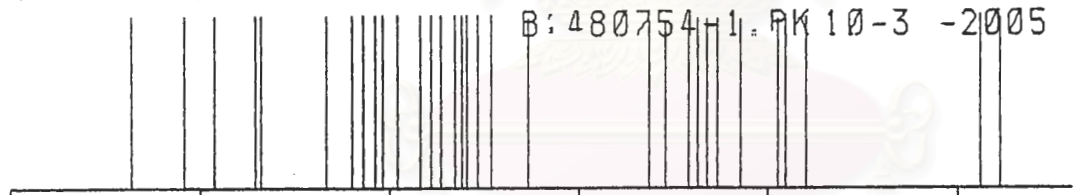
Search match

File name : B:480754-1.PK
Sample name :



Measured peak

B:480754-1.PK 10-3 -2005



180640 FE4 PB 07

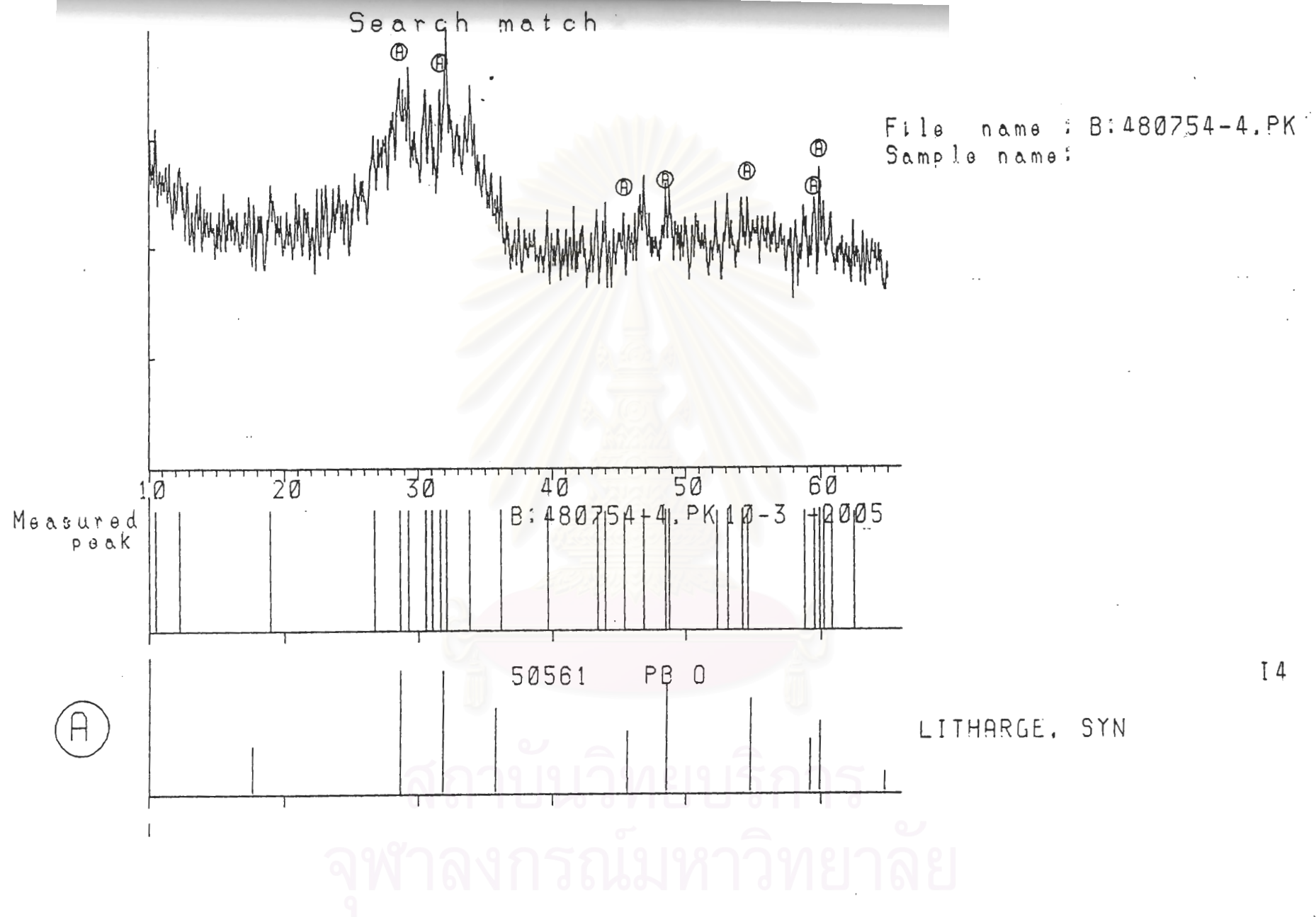
(A)

PLUMBOFERRITE, SYN

รูปที่ ค1 ผลวิเคราะห์ตะกอนอบแห้งด้วยเครื่อง XRD เมื่อดกตะกอนด้วย NaOH

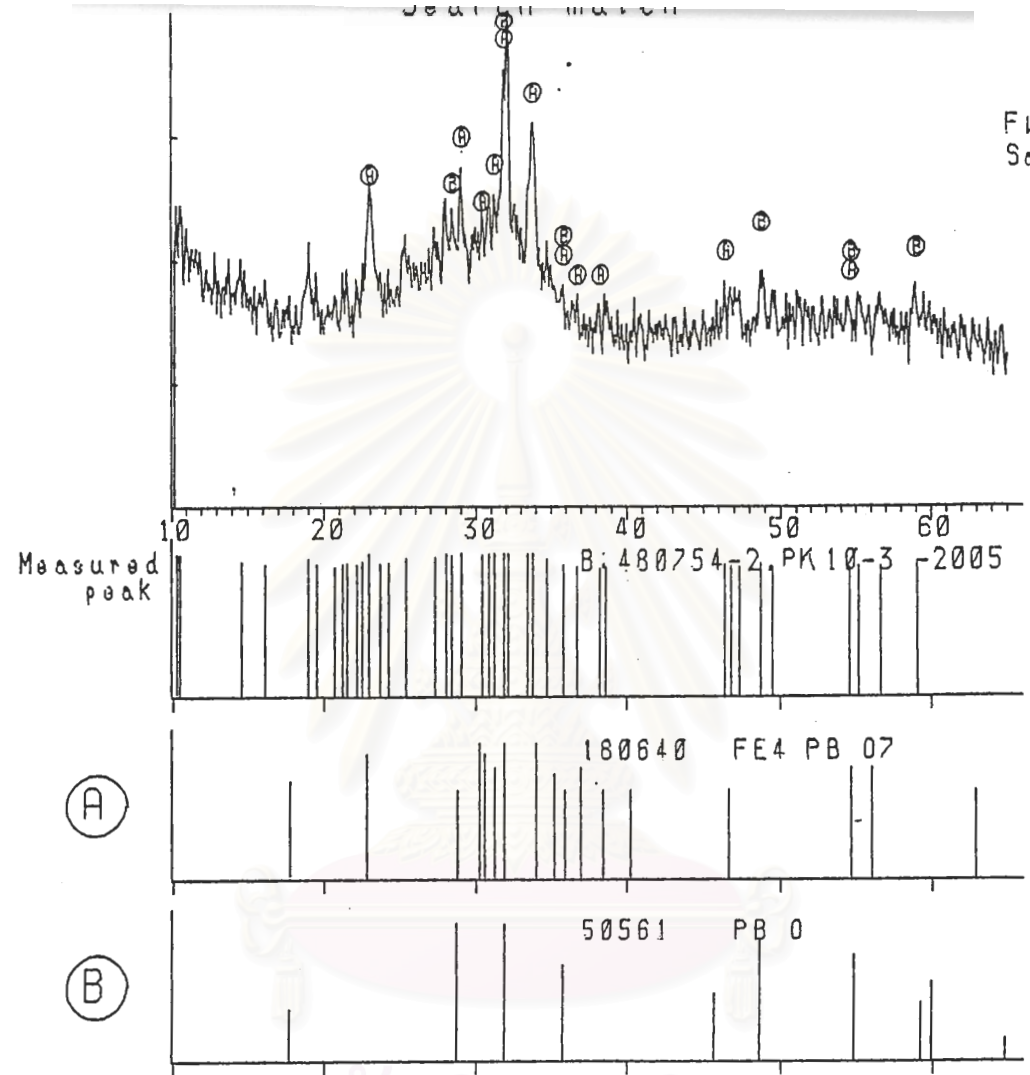
I4

145



รูปที่ ค2 ผลวิเคราะห์ตะกอนอบแห้งด้วยเครื่อง XRD เมื่อตกตะกอนด้วย NaOH ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ

File name : B:480754-2.PK
Sample name :



(A)

PLUMBOFERRITE, SYN

I4

(B)

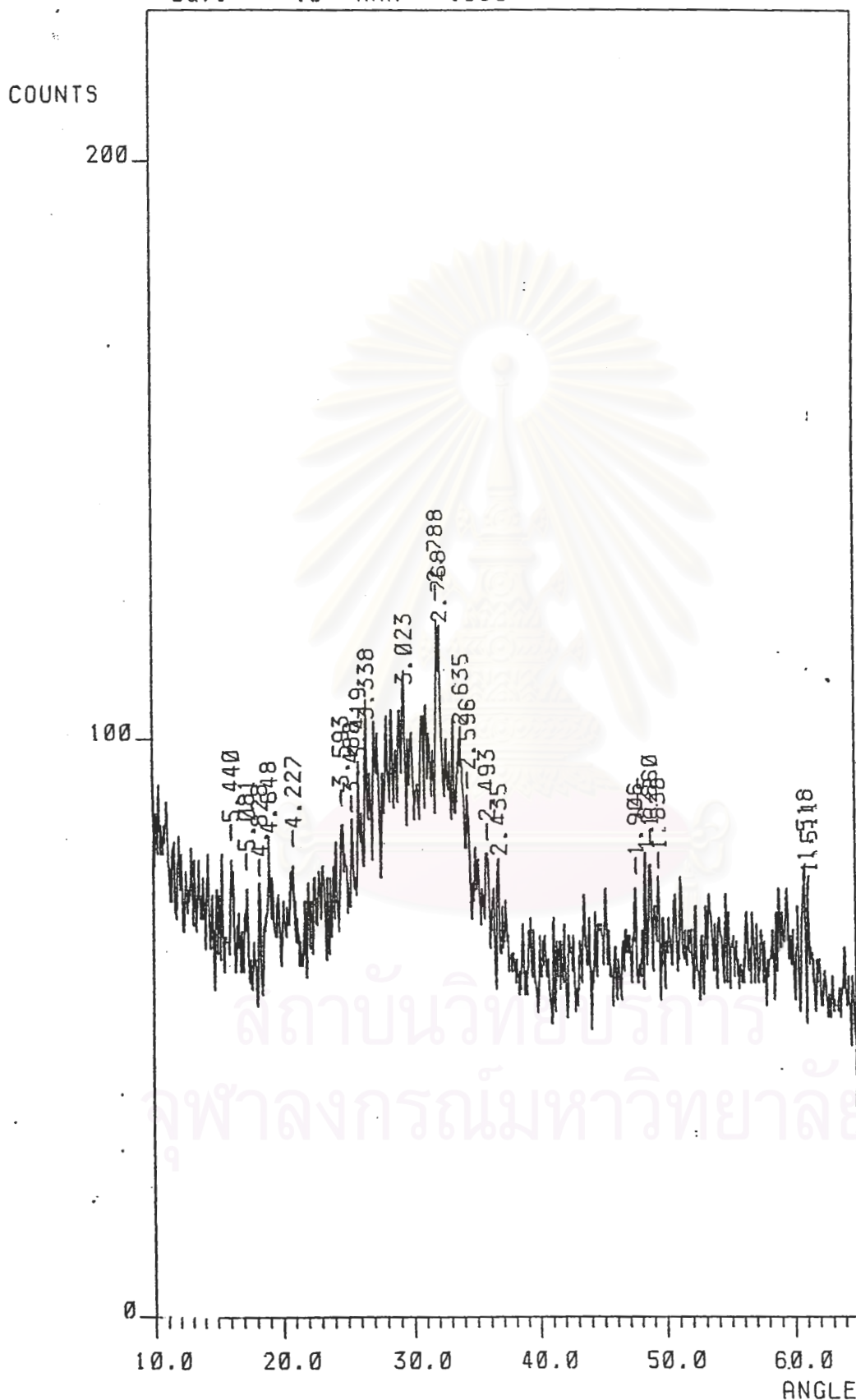
LITHARGE, SYN

I4

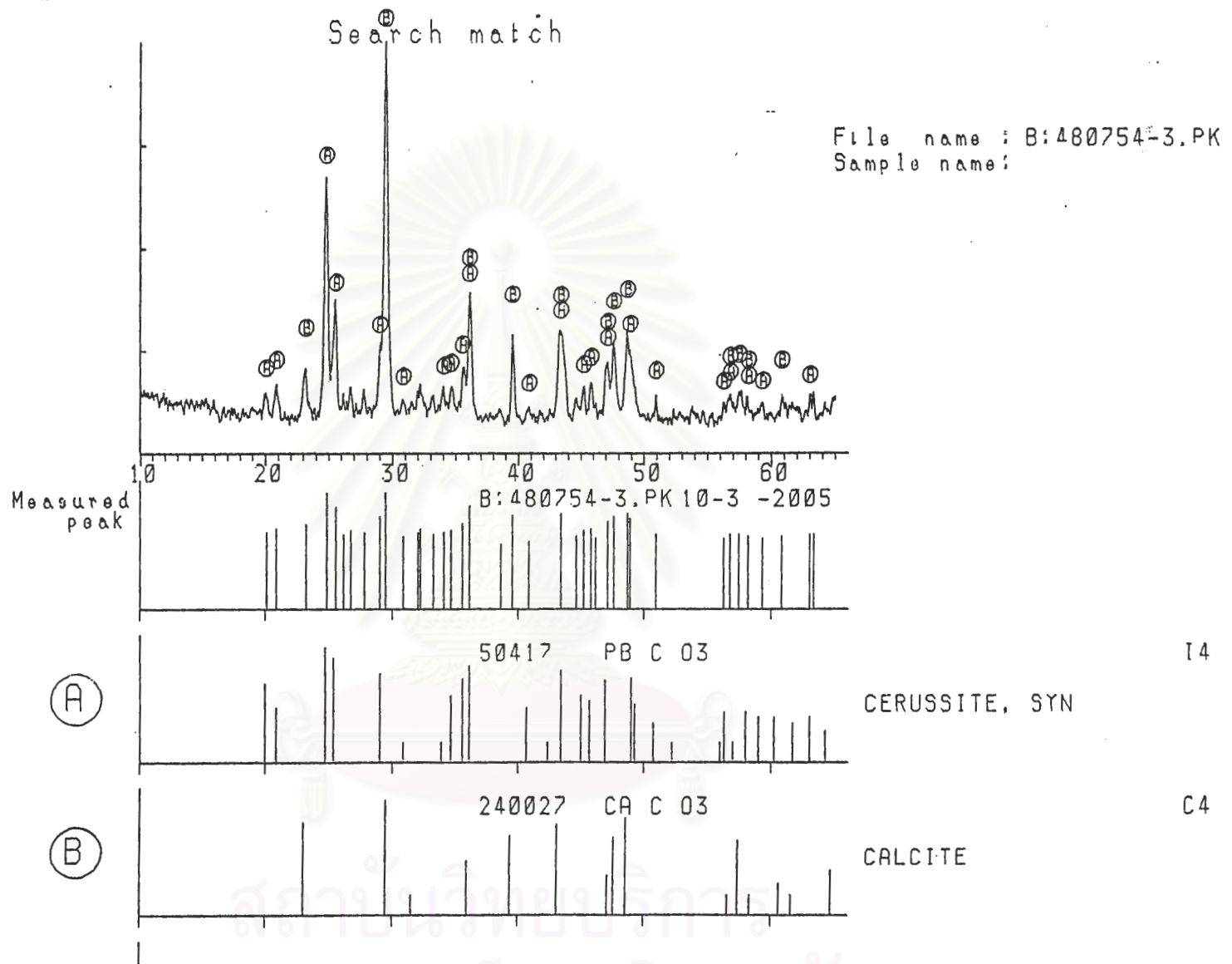
รูปที่ ค3 ผลวิเคราะห์ตะกอนอบแห้งด้วยเครื่อง XRD เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

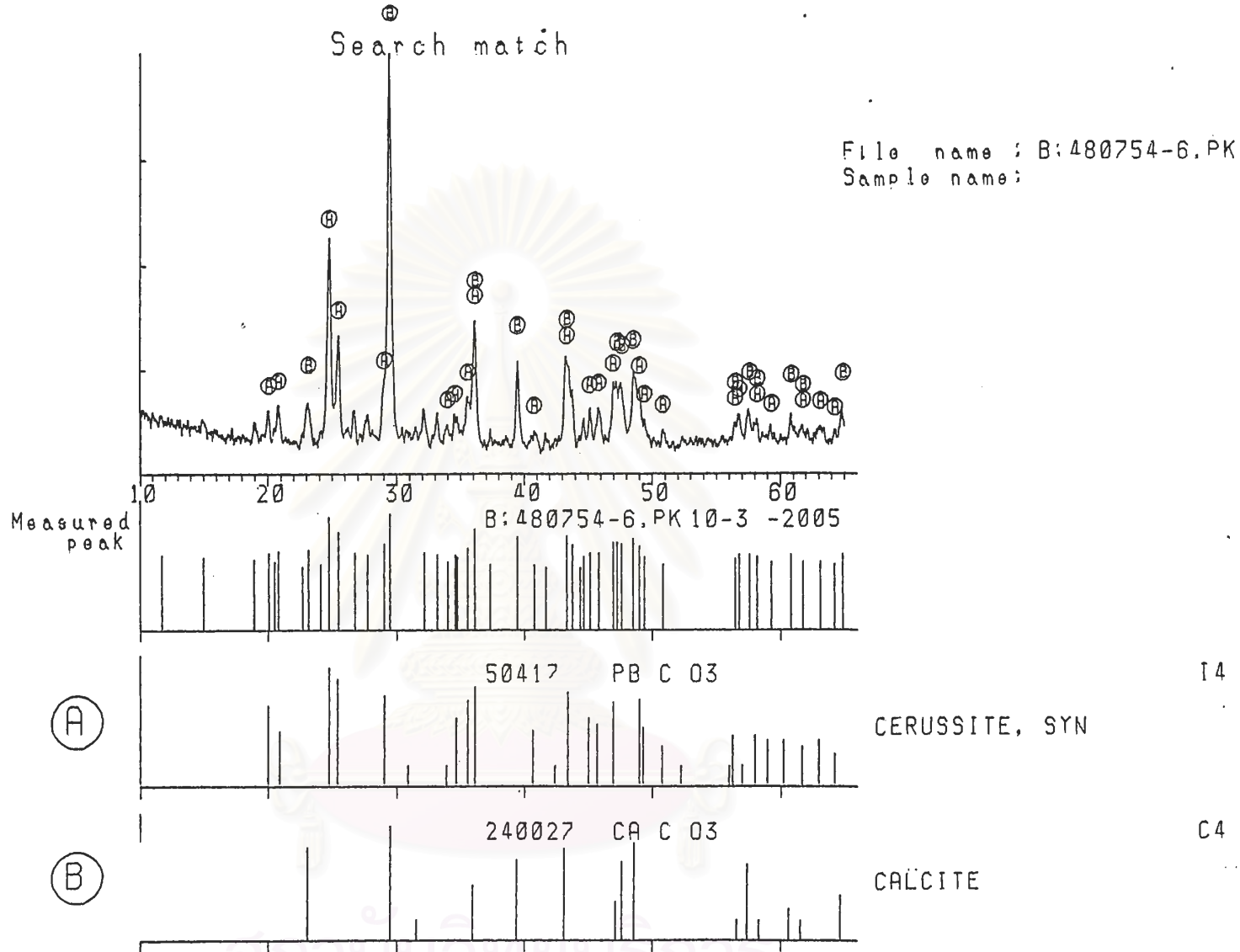
File : 480754-5.SM
 Date : 10- MAR - 1905



รูปที่ ค4 ผลวิเคราะห์ตะกอนอบแห้งด้วยเครื่อง XRD เมื่อตกตะกอนด้วย Spent alkaline ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ



รูปที่ ค5 ผลวิเคราะห์ตะกอนอบแห้งด้วยเครื่อง XRD เมื่อดกตะกอนด้วย Na_2CO_3



รูปที่ ค5 ผลวิเคราะห์ตะกอนอบแห้งด้วยเครื่อง XRD เมื่อตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ



ภาคผนวก จ

กฎหมายต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ 1

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535
เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า “ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)” รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

- (1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0
- (2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่าทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำ หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าที่ดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่ดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนัก มีค่าดังนี้

4.1 ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า 0.005 มก./ล.
4.2 เซเลเนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า 0.02 มก./ล.
4.3 แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า 0.03 มก./ล.
4.4 ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า 0.2 มก./ล.
4.5 อาร์เซนิก (Arsenic)	ไม่มากกว่า 0.25 มก./ล.
4.6 โครเมียม (Chromium)	
4.6.1 Hexavalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.25 มก./ล.
4.6.2 Trivalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.75 มก./ล.
4.7 แบเรียม (Barium)	ไม่มากกว่า 1.0 มก./ล.
4.8 นิกเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า 1.0 มก./ล.
4.9 ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า 2.0 มก./ล.
4.10 สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า 5.0 มก./ล.
4.11 แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า 5.0 มก./ล.

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ (cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
(8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compounds)	ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
(9) คลอรีนอิสระ (Free chlorine)	ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
(10) เพสตีไซด์ (Pesticide)	ต้องไม่มี
(11) อุณหภูมิ	ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

(12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่าบีโอดี (Biochemical oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำ หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN : Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำ หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำ หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดต่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและต่างของน้ำ (pH meter)

(2) การตรวจสอบค่าทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โคโรเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอปซอพชั่น สเปคโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อีมิตชัน สเปคโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิก และเซลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมา อีมิชชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเปลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอร์ปชัน โคลด์เวปเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซิลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตรเตรท (Tritrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนต์ ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี ไพริดีนาร์บิบูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มัลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบพีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วย 4-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation , 4 – Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas – Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าทีเอเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลายโดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตาม คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water Works Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน 2539

ไชยวัฒน์ สิ้นสุวงศ์

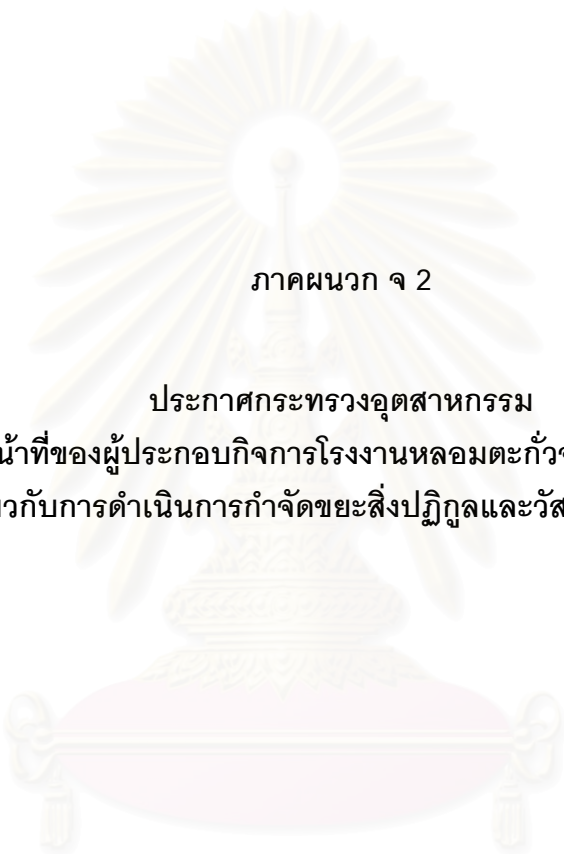
(นายไชยวัฒน์ สิ้นสุวงศ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52ง

ลงวันที่ 27 มิถุนายน 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ 2

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
เรื่อง หน้าที่ของผู้ประกอบกิจการโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า
เกี่ยวกับการดำเนินการกำจัดขยะสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
เรื่อง หน้าที่ของผู้ประกอบกิจการโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า เกี่ยวกับการ
ดำเนินการกำจัดขยะ สิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ข้อ 13 (1) และข้อ 13 (2) กำหนดหน้าที่ของผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องรักษาโรงงาน ให้สะอาดปราศจากขยะและสิ่งปฏิกูลอยู่เสมอ และจัดให้มีที่รองรับหรือที่กำจัดขยะและสิ่งปฏิกูล ตามความจำเป็นและเหมาะสมและต้องแยกเก็บสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีวัตถุมีพิษปนอยู่ด้วย หรือล้า ลี ผ้า หรือเศษด้ายที่เป็นวัตถุไวไฟไว้ในที่รองรับต่างหากที่เหมาะสมและมีฝาปิดมิดชิด และต้องจัดให้มีการกำจัดสิ่งดังกล่าวโดยเฉพาะด้วยวิธีการที่ปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญนั้น

เพื่อให้การดำเนินการดังกล่าวของโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่าเป็นไป อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความชัดเจนในทางปฏิบัติให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานหลอมตะกั่ว จากแบตเตอรี่เก่า มีหน้าที่ดังนี้

ข้อ 1. ฝุ่นจากระบบขจัดฝุ่น ต้องดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งให้มีลักษณะที่ไม่ แพร่กระจายได้ง่าย ก่อนนำกลับไปหลอมใหม่หรือหากนำไปกำจัดด้วยวิธีอื่นจะต้องยื่น รายละเอียดวิธีการกำจัดทางวิชาการเพื่อขอรับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อน

ข้อ 2. ตะกรัน (Slag) ที่เกิดจากการหลอมที่มีลักษณะ ดังนี้

- (1) ต้องเป็นก้อนแข็งที่มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์ เมตร และสามารถรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร
- (2) ต้องไม่ละลายน้ำ ไม่เป็นสารไวไฟ สารกัดกร่อนหรือเกิดปฏิกิริยาได้ ง่าย
- (3) ต้องมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Leachate หรือ Extraction) ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure)

ให้สามารถจัดเก็บตะกรัน (Slag) ที่มีลักษณะที่กำหนดไว้ภายในโรงงานได้โดยสามารถตรวจสอบได้ตลอดเวลาและมีการตรวจติดตามการปนเปื้อนตะกั่วเป็นประจำ แต่หากตะกรัน (Slag) ที่เกิดจากการหลอมมีลักษณะไม่เป็นไปตามที่กำหนดจะต้องดำเนินการปรับสภาพของกากตะกรันให้มีลักษณะข้างต้น

ข้อ 3. กากตะกอน (Sludges) ปนเปื้อนตะกั่วที่ได้จากระบบบำบัดน้ำทิ้ง กากขี้ตะกั่ว (Dross) และกากตะกั่วอื่นๆ ให้นำไปกำจัดในเตาหลอม หากนำไปกำจัดด้วยวิธีอื่นต้องดำเนินการปรับเสถียรหรือทำลายฤทธิ์ ก่อนนำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure landfill)

ข้อ 4. เศษชิ้นส่วนแบตเตอรี่ประเภทพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery) จะต้องชะล้างตะกั่วปนเปื้อนก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ต่อไป หากจะกำจัดด้วยวิธีการอื่นต้องขอรับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ข้อ 5. วัสดุเหลือใช้ เปลือกและชิ้นส่วนแบตเตอรี่อื่นๆ ที่อาจมีตะกั่วปนเปื้อนให้นำไปกำจัดในเตาหลอม หากจะกำจัดด้วยวิธีการอื่นต้องขอรับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ประกาศ ณ วันที่ 27 เมษายน พ.ศ.2544

(นายมนู เลียวไพโรจน์)

ปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 118 ต.พิเศษ 58 ลงวันที่ 20 มิถุนายน 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ 3

แบบฟอร์ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีกำจัด

01	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)	11	ปรับเสถียรและฝังกลบอย่างปลอดภัย (Stabilization and Secure Landfill)
02	คัดแยก	12	ทำเชื้อเพลิงผสม (Fuel Blending)
03	นำกลับไปใช้ประโยชน์อีก	13	บำบัดน้ำเสียทางเคมี ฟิสิกส์
04	เป็นเชื้อเพลิงทดแทน	14	บำบัด และส่งไปเผาทำลายในเตาเผาปูนซีเมนต์
05	เป็นวัตถุดิบทดแทน	15	รวบรวมและส่งออกนอกประเทศ
06	เผาทำลาย	16	ส่งกลับผู้ขาย
07	ลงทะเบียนเชื้อที่สุ่ม	17	นำกลับไปบรรจุใหม่ หรือใช้ซ้ำ
08	การหมักทำปุ๋ย	18	อื่น ๆ (ระบุ)
09	ทำอาหารสัตว์		
10	ฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure Landfill)		

เหตุผลกรณีที่ยังไม่อนุญาต

01	หมายถึง มีรายละเอียดและเอกสารไม่เพียงพอให้ส่งเพิ่มเติมดังนี้ คือ
02	หมายถึง ผู้รับดำเนินการ ยังไม่ได้รับอนุญาตให้นำบัต/กำจัด
03	หมายถึง วิธีบำบัด / กำจัด ไม่เหมาะสม กับชนิดของวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว
04	หมายถึง ไม่มีสัญญาบริการ หรือ หนังสือยินยอมระหว่างผู้ใช้และผู้ให้บริการกำจัดวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว
05	หมายถึง วัสดุที่ไม่ใช่แล้วไม่ถูกต้องตรงตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ยื่นขออนุญาต
06	หมายถึง ไม่มีหนังสือการประกันความรับผิด (Liability) ระหว่างผู้ใช้และผู้ให้บริการกำจัดวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (สท.ก1 และ สท.ก2)
07	อื่นๆ (ระบุ)

คำเตือน

- กรณีหลักฐานไม่ครบถ้วน เจ้าหน้าที่จะไม่รับเรื่องไว้พิจารณา
- กรณีไม่อนุญาต หากท่านไม่เห็นด้วย สามารถแจ้งเป็นหนังสือพร้อมเหตุผลไปยังอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม ภายใน 15 วัน นับแต่วันที่ได้รับแจ้งคำสั่งทางการปกครองนี้
- หากท่านจงใจฝ่าฝืนนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วออกนอกบริเวณโรงงานโดยไม่ได้รับอนุญาต ถือเป็นความผิดตามมาตรา 45 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 2 แสนบาท

สำนักบริหารและจัดการวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว

ส่วนการจัดการวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว

โทรศัพท์ 0 2202 4165

โทรสาร 0 2202 4165

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพรรคพงษ์ ศรีประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม 2519 ที่จังหวัดมหาสารคาม สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา เมื่อปี พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2542 และเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย