

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 40046
วัน, เดือน, ปี 24 ก.ค. 2544

b.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขได้งะไรโดยนิตินันการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BATTERY MANUFACTURING WASTEWATER TREATMENT

MISS CHOLPAKA SANTTAPITTAYAKUN

MISS DARUNEE SIRIVILAI

MISS NARISARA NIKOMRAT

MISS MARASRI PHETDEE

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

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang.

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่	
นักศึกษา	นางสาวชลพกา	เศรษฐพิทยกุล
	นางสาวอรุณี	ศิริวิไล
	นางสาวนริศรา	นิคมรัตน์
	นางสาวมารศรี	เพ็ชรดี
อาจารย์ที่ปรึกษา	นางยุพา	ตันทวี
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2543	

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ โดยการตกตะกอนทางเคมี โดยศึกษาสมบัติของน้ำเสียและสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$), ตะกั่วคาร์บอเนต ($PbCO_3$) และตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$), โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ตามลำดับ ซึ่งพบว่า เวลาที่เหมาะสมในการกวนผสมเท่ากับ 2 ชั่วโมง และระยะเวลาที่ใช้ทำให้ตะกอนจมตัวเท่ากับ 80 นาที จากนั้นจึงทำการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนในรูปแบบต่าง ๆ ดังกล่าว โดยทำการแปรค่าพีเอชที่ 7.0, 7.5, 8.0, 8.2, 8.4, 8.6, 8.8, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 จากการศึกษาพบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์, ตะกั่วคาร์บอเนต และ ตะกั่วซัลไฟด์ คือ 10.0, 8.4 และ 9.5 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวมาทำการศึกษาการตกตะกอนร่วมกับการใช้สารเร่งการตกตะกอน (PAC) โดยทำการแปรค่าปริมาณสารเร่งการตกตะกอนที่ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่า ปริมาณสารเร่งการตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 0.25 มิลลิลิตร และจากการศึกษาดังกล่าว สามารถบำบัดตะกั่วในน้ำทิ้งได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมโรงงานกำหนด คือ น้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

Special Project Title Battery Manufacturing Wastewater Treatment
Name Miss Cholpaka Santapittayakun
Miss Darunee Sirivilai
Miss Narisara Nikomrat
Miss Marasri Phetdee
Special Project Advisor Mrs. Yupa Tantawee
Department Chemistry
Academic Year 2000

Abstract

This project investigated various parameters that effective on lead removal from battery manufacturing wastewater by chemical precipitation. Lead was precipitated in lead hydroxide ($\text{Pb}(\text{OH})_2$), lead carbonate (PbCO_3) and lead sulfide (PbS) form with sodium hydroxide (NaOH), sodium carbonate (Na_2CO_3) and sodium sulfide (Na_2S) as precipitant respectively. The results of analysis showed that the optimum mixing time was 2 hours and settling time was 80 minutes. And then test the optimum pH for lead precipitation which varied at 7.0, 7.5, 8.0, 8.2, 8.4, 8.6, 8.8, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 and 11.0. The results showed that the optimum pH for lead hydroxide ($\text{Pb}(\text{OH})_2$), lead carbonate (PbCO_3) and lead sulfide (PbS) precipitation were 10.0, 8.4 and 9.5 respectively. By those optimum condition, chemical precipitation with polyaluminiumchloride (PAC) which varied at 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 ml. were studied. The results showed that the optimum quantity of PAC was 0.25 ml.. The results obtained from this special project showed that lead in wastewater could be treated which was successfully less than 0.2 mg/l.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รับความอนุเคราะห์ซึ่งใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ยุพา ต้นทวี ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี ผศ. คณิตา ตั้งกณานุรักษ์ ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์พิศมัย ชัยรัตน์อุทัย และอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างดำเนินการโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินการโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณทางโรงงาน และที่ ๆ ที่โรงงาน ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีเพื่อน ๆ และบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้กำลังใจตลอดโครงการพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วารสารปริทัศน์	2
1.3 วัตถุประสงค์	5
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ขบวนการผลิตแบตเตอรี่	7
2.1.1 การออกแบบแบตเตอรี่	7
2.1.2 การผลิตโครงแผ่นธาตุ	7
2.1.3 การผลิตผงตะกั่วออกไซด์	8
2.1.4 การทำแผ่นธาตุ	8
2.1.5 การอัดกระแสไฟฟ้าเข้าแผ่นธาตุ	9
2.1.6 การผลิตเปลือก-ฝาหม้อแบตเตอรี่ชนิดยางแข็ง	9
2.1.7 การประกอบแบตเตอรี่	10
2.1.8 การทดสอบแบตเตอรี่	10
2.2 การเกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแบตเตอรี่	10
2.2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย	10
2.2.2 สมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ตะกั่ว	16
2.4 การแพร่กระจายของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม	20
2.5 ตะกั่วในน้ำเสีย	22
2.6 กระบวนการทางเคมีที่ใช้บำบัดน้ำทิ้ง	25
2.7 การบำบัดตะกั่ว	26
2.8 การบำบัดตะกั่วผ่านวิธีการตกตะกอนทางเคมี	29
2.8.1 การใช้สารเคมีช่วยตกตะกอน	29
2.8.2 การใช้สารโพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอน	35
2.8.3 เทคนิคการวิเคราะห์โดยการตกตะกอน	37
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 แผนการทดลอง	39
3.2 อุปกรณ์และสารเคมี	40
3.3 วิธีการทดลอง	41
3.3.1 ศึกษาลักษณะน้ำเสียจากโรงงานแบตเตอรี่	41
3.3.2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด	41
3.3.3 การตกตะกอนตะกั่วในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์	43
3.3.4 การตกตะกอนตะกั่วในรูปตะกั่วคาร์บอเนต	44
3.3.5 การตกตะกอนตะกั่วในรูปตะกั่วซัลไฟด์	46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1 ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสียตัวอย่าง	48
4.2 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด	49
4.2.1 หาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	49
4.2.2 หาเวลาที่เหมาะสมในการกวนผสม	51
4.2.3 หาระยะเวลาที่ทิ้งให้ตกตะกอน	53
4.3 ผลการทดลองการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$)	55
4.3.1 หาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์	55
4.3.2 หาปริมาณ PAC ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการทดลองการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต ($PbCO_3$)	62
4.4.1 หาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต	62
4.4.2 หาปริมาณ PAC ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต	65
4.5 ผลการทดลองการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์ (PbS)	68
4.5.1 หาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์	68
4.5.2 หาปริมาณ PAC ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์	71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	75
5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการค้นคว้าวิจัยขั้นต่อไป	76
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	
ภาคผนวก ข มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม	
ภาคผนวก ค โรคที่เกิดจากการทำงานและกลุ่มอาชีพที่เสี่ยงต่อการเกิดโรค	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท	15
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะตะกั่ว	18
ตารางที่ 2.3 ระดับของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม	21
ตารางที่ 2.4 สรุปรายงานการกำจัดตะกั่วและประสิทธิภาพการบำบัด	28
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่าง ๆ	33
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสียตัวอย่าง	48
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการตกตะกอน	49
ตารางที่ 4.3 แสดงการหาเวลาที่ใช้ในการกวนผสม	51
ตารางที่ 4.4 แสดงการหาระยะเวลาที่ใช้ทำให้ตะกอนจมตัว	53
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ โดยใช้ NaOH	55
ตารางที่ 4.6 แสดงผลปริมาณ PAC ต่อการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์	58
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต โดยใช้ Na_2CO_3	62
ตารางที่ 4.8 แสดงผลปริมาณ PAC ต่อการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต	65
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์ โดยใช้ Na_2S	68
ตารางที่ 4.10 แสดงผลปริมาณ PAC ต่อการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภูมิการผลิตเบคเตอร์ชีชนิดตะกั่ว – กรด	11
รูปที่ 2.2 ผังแสดงกระบวนการผลิต ของเสียบ และระบบบำบัด	12
รูปที่ 2.3 แสดงผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน FB เบคเตอร์ชี	13
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของเบคเตอร์ชี	14
รูปที่ 2.5 ก-ค แสดงสมดุลการละลายของตะกั่วที่อุณหภูมิ 25 ⁰ C	24
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของตะกั่วไฮดรอกไซด์กับค่าพีเอช	32
รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายกับความสามารถในการละลาย	34
รูปที่ 2.8 แสดงการจับตัวของสารโพลีเมอร์ที่ใช้เร่งการตกตะกอน	36
รูปที่ 3.1 แสดงการปั่นกวน (Jar-Test)	47
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับความเข้มข้นของตะกั่ว	50
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกวนผสมกับความเข้มข้นของตะกั่ว	52
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทิ้งให้ตกตะกอนกับปริมาณตะกอนการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์	54
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับความเข้มข้นของตะกั่ว	56
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ	56
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับปริมาณตะกอน	57
รูปที่ 4.7 แสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ	58
รูปที่ 4.8 แสดงค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ	59
รูปที่ 4.9 แสดงค่าปริมาณตะกอนที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ	59
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนไฮดรอกไซด์	61
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการกรองการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอนเนต	61
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับความเข้มข้นของตะกั่ว	63
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ	63
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับปริมาณตะกอน	64
รูปที่ 4.15 แสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.16 แสดงค่าของแรงทั้งหมดที่ละลายน้ำที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ	56
รูปที่ 4.17 แสดงค่าปริมาณตะกอนที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ	66
รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะตะกอนตะกั่วคาร์บอนที่ผ่านการกรอง การตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์	67
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับความเข้มข้นของตะกั่ว	69
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับค่าของแรงทั้งหมดที่ละลายน้ำ	69
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับปริมาณตะกอน	70
รูปที่ 4.22 แสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ	71
รูปที่ 4.23 แสดงค่าของแรงทั้งหมดที่ละลายน้ำที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ	72
รูปที่ 4.24 แสดงค่าปริมาณตะกอนที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ	72
รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนซัลไฟด์	73
รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะตะกอนตะกั่วซัลไฟด์ที่ผ่านการกรอง	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันได้มีการใช้สารเคมีกำจัดโลหะหนักอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งจะใช้โลหะหนักเหล่านี้ในกระบวนการผลิต หรือเป็นวัตถุดิบของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานแบตเตอรี่ เป็นต้น โดยน้ำเสียจากโรงงานจะมีการปนเปื้อนของสารพิษที่เกิดจากโลหะหนักในปริมาณสูง จึงส่งผลให้เกิดการกระจายและการสะสมของสารพิษเหล่านี้ในสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหานี้มีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ทั้งในภาครัฐและเอกชนหันมาสนใจที่จะป้องกันและหาแนวทางที่ทำให้เกิดผลกระทบน้อยที่สุด เช่น การออกกฎหมายควบคุมมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ดังนั้น หากโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียดังกล่าวไม่ได้รับการบำบัดหรือกำจัดอย่างถูกวิธีก่อนปล่อยทิ้ง จะก่อให้เกิดผลเสียทั้งในแง่ของกฎหมาย และเป็นการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ รวมทั้งคุณภาพชีวิตของประชาชนด้วย

โลหะหนักตะกั่ว (Pb) เป็นสารที่มีพิษร้ายแรง สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางเดินหายใจ และทางเดินอาหาร ส่วนใหญ่พิษของตะกั่วที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบสะสม กล่าวคือ ร่างกายได้รับตะกั่วในปริมาณที่เล็กน้อย แต่มากกว่าที่ร่างกายจะสามารถขับถ่ายออกไปได้ อาการพิษจากตะกั่วเกิดจากการที่ตะกั่วสามารถป้องกันการเกิดฮีโมโกลบินและเอนไซม์บางชนิดของร่างกาย ทำให้เกิดอาการผิดปกติ คือ เกิดอาการซีด ตื่นเต้นง่าย ความจำเสื่อม และทำอันตรายต่อไต เป็นต้น ตะกั่วที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม จะอยู่ในรูปตะกั่วอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ขึ้นอยู่กับลักษณะองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ลักษณะของดินและน้ำ สมบัติทางกายภาพและทางเคมี เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงานผลิตแบตเตอรี่ เป็นอุตสาหกรรมหลักชนิดหนึ่งที่มีปริมาณการใช้ตะกั่วสูง เช่น เซลล์กัลวานิกในแบตเตอรี่รถยนต์ทั่วไปที่ใช้โลหะตะกั่วเป็นแอโนด และออกไซด์ของโลหะตะกั่ว (PbO_2) เป็นคาโทด เป็นต้น ประกอบกับแบตเตอรี่มีอายุในการใช้งานจำกัด ทำให้เกิดของเสียอันตรายที่ปนเปื้อนตะกั่วจากกระบวนการผลิตในปริมาณมาก ดังนั้นจึงควรจะมีวิธีที่เหมาะสมในการบำบัดของเสียดังกล่าว

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดสารตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ ด้วยวิธีการตกตะกอนในรูปแบบต่าง ๆ ($Pb(OH)_2$, $PbCO_3$, PbS) เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวิธีบำบัดที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้ การศึกษาจะประกอบไปด้วย การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเคมีแต่ละชนิด และสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการบำบัด

1.2 วารสารปริทัศน์

จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดตะกั่วในน้ำเสีย มีดังนี้

Jackkris และคณะ (1981) ได้ทำการศึกษาการลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ ด้วยวิธีการทำให้ตกตะกอนด้วยปูนขาว (Lime Precipitation) โดยทำการเติมปูนขาวจน pH ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 8.5-9.0 หลังจากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนในถังตกตะกอน 10-30 นาที พบว่าสามารถลดปริมาณตะกั่วลงได้ 98.16-98.64 % แต่อย่างไรก็ตามปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ยังคงมีปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐานของตะกั่วในน้ำทิ้งที่กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 0.2 mg/l จึงได้เสนอแนะว่า ควรมีการนำเอาขบวนการกรอง (Filtration Process) มาใช้ร่วมกับขบวนการทางเคมี ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียดียิ่งขึ้น

Brantner และ Cichon (1986) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนัก หลายชนิดด้วยกัน รวมทั้งตะกั่วด้วย โดยทำการทดลองเปรียบเทียบการกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ด้วยวิธีการตกตะกอน 3 รูปแบบ คือ 1) การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ โดยการเติมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งการตกตะกอนจะเกิดได้ดีในช่วง pH 10 2) การตกตะกอนคาร์บอเนต โดยการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) ในปริมาณ 650 mg/l ซึ่งการตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในท้องถิ่นเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนจะเกิดได้ดีในช่วง pH 8.3-8.7 และ 3) การตกตะกอนซัลไฟด์ จะทำการเติมเฟอร์รัสซัลไฟด์ ในปริมาณ 130 mg/l และเกิดการตกตะกอนในช่วง pH 8.0-8.5 ซึ่งพบว่า การตกตะกอนในรูปคาร์บอเนตและซัลไฟด์สามารถลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียได้มากที่สุด โดยมีปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว < 0.1 ppm ในขณะที่การตกตะกอนไฮดรอกไซด์มีปริมาณตะกั่วเหลืออยู่ 0.2 ppm นอกจากนี้ยังได้ทำการกรองและวัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่อยู่ในตะกอนแต่ละชนิดหลังการบำบัด พบว่า ค่า TS ในตะกอนไฮดรอกไซด์, คาร์บอเนต และซัลไฟด์ คือ 2.6, 9.1 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Chu และคณะ (1999) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดตะกั่ว โดยใช้ Recycle alum sludge (RAS) ในกระบวนการตกตะกอน ทำการวิจัยโดยใช้ Fresh alum 50 mg/l ใส่ลงไป ในน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่วร่วมกับกระบวนการกำจัดตะกั่ว จะเกิดตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ร่วมกับการตกตะกอนของ Alum sludge ในสภาวะที่เป็นเบส คือแนะนำในช่วง pH 11.6 และจะทำการรีไซเคิล alum ซึ่งพบว่า การกำจัดตะกั่ว จะเพิ่มขึ้นจาก 79 เปอร์เซ็นต์ เป็น 96-98 เปอร์เซ็นต์ หลังจากที่มีการรีไซเคิล alum sludge เป็นปริมาณ 100-180 mg/l และถ้าลดปริมาณ Fresh alum ลงเป็น 12.5 mg/l จะมีปริมาณของ RAS สูงสุดที่ 175 mg/l

Macchi และคณะ (1996) ได้ทำการทดลองกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ ด้วยวิธีการตกตะกอนคาร์บอเนต ทำการทดลองโดยการปรับค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ให้เป็น 4 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อให้เกิดการตกตะกอน แล้วทำการแปรค่า pH ให้อยู่ในช่วง 7-10 การกำจัดตะกั่วนี้จะทำการตกตะกอนร่วมกับการกรองแบบ quartz filter เพื่อกำจัดตะกอน จากการทดลองพบว่า สามารถบำบัดตะกั่วได้น้อยกว่าที่คาดไว้ คือ มีตะกั่วเหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดมากกว่า 0.2 mg/l

Nilson (1971) ได้ศึกษาการบำบัดตะกั่วโดยการนำสารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับตะกั่วแล้วได้เกลือตะกั่วที่ละลายน้ำได้น้อย ซึ่งได้ใช้การตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) ตะกั่วจะตกตะกอนออกมาแยกทางน้ำทิ้งได้ โดยค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนได้ดีที่สุดจะอยู่ในช่วง 9-10

Skoog และ Wast (2519) กล่าวถึงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นของอ๊อนตะกั่ว ซึ่งเป็นอ๊อน
นบวกับอ๊อนลบ ทำให้เกิดตะกอนที่ละลายน้ำได้น้อย การตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์
[Pb(OH)₂] ต้องใช้ไฮดรอกไซด์อ๊อน (OH⁻) ซึ่งเป็นอ๊อนลบที่มาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์
(NaOH) , โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) ถ้ามี
ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์อ๊อนต่ำเกินไป จะไม่เกิดตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ [Pb(OH)₂]
แต่ถ้าความเข้มข้นไฮดรอกไซด์อ๊อนสูงเกินไป ตะกั่วจะเกิดปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์อ๊อน
เกิดเป็น Polyhydroxide Complex ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้

Patterson (1973) กล่าวว่า ในการตกตะกอนตะกั่ว ค่า pH ในช่วง 9.5-10.3 เหมาะ
สมที่สุด ถ้า pH สูงกว่านี้เพียงเล็กน้อย ประสิทธิภาพในการตกตะกอนตะกั่วจะลดลงอย่าง
รวดเร็ว จะเห็นได้จากการศึกษาการตกตะกอนตะกั่วในรูป Pb(OH)₂

ธงชัย (2526) ศึกษากระบวนการบำบัดตะกั่วด้วยวิธีการทางเคมีกายภาพ ทำให้ตะกั่วจับตัว
เป็นตะกอนแยกตัวออกจากน้ำโดยใช้น้ำปูนขาว [Ca(OH)₂ Stock Solution] ที่มีความเข้มข้น
1000 mg/dm³ ปรับ pH ด้วยกรดซัลฟูริก (1N H₂SO₄) จนได้ pH ที่ต้องการในช่วง 8.0-
10.5 โดยใช้การกวนเร็ว 3 นาที ที่ 100 RPM กวนช้าต่ออีก 15 นาที ที่ 20 RPM ปล่อยให้
ตะกอนจมตัว 2 ชั่วโมง ผลปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.5-2 mg/dm³ แต่ถ้าใช้ Ca(OH)₂
Stock Solution ที่มีความเข้มข้น 250 mg/dm³ และสภาวะในการบำบัดเช่นเดิม ผลการ
ทดลอง ปรากฏว่า ปริมาณตะกั่วตกค้างมีปริมาณน้อยมาก ต่ำกว่ามาตรฐานประกาศกรมโรง
งานอุตสาหกรรมกำหนดที่ 0.2 mg/l

พรสวรรค์ (2529) ได้ทำการศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิต
แบตเตอรี่ ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสามารถตก
ตะกอนตะกั่วได้ดีในช่วง pH 9.4-10.4, โซเดียมซัลไฟด์ สามารถตกตะกอนตะกั่วได้ดีในช่วง
pH 7.6-10.8 และโซเดียมคาร์บอเนต สามารถตกตะกอนตะกั่วได้ดีในช่วง pH 7.0-10.3 และ
พบว่า โซเดียมคาร์บอเนตมีราคาแพงและการตกตะกอนเกิดช้า ทำให้ต้องเสียค่าลงทุนในการ
สร้างถังตกตะกอนและโซเดียมซัลไฟด์ตกตะกอนได้เร็วแต่มีกลิ่นรบกวนจากก๊าซ
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งอาจเกิดอันตรายได้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียที่มีสารตะกั่วปนเปื้อน โดยวิธีการตกตะกอนให้อยู่ในรูปที่ต่างกัน
- 1.3.2 เพื่อศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนสารตะกั่วในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ $[Pb(OH)_2]$, ตะกั่วคาร์บอเนต $[PbCO_3]$ และตะกั่วซัลไฟด์ $[PbS]$
- 1.3.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตกตะกอน ระหว่างการใช้สารเร่งการตกตะกอน และการไม่ใช้สารเร่งการตกตะกอน
- 1.3.4 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารเร่งการตกตะกอนที่เหมาะสม

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาการตกตะกอนของสารตะกั่วในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ $[Pb(OH)_2]$ ตะกั่วคาร์บอเนต $[PbCO_3]$ และ ตะกั่วซัลไฟด์ $[PbS]$
- 1.4.2 ศึกษาค่า pH ที่สามารถตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ $[Pb(OH)_2]$ ตะกั่วคาร์บอเนต $[PbCO_3]$ และ ตะกั่วซัลไฟด์ $[PbS]$ โดยทำการแปรค่า pH ที่ 7.0, 7.5, 8.0, 8.2, 8.4, 8.6, 8.8, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0
- 1.4.3 ศึกษาปริมาณสารเร่งการตกตะกอนที่เหมาะสม โดยทำการแปรค่าปริมาณที่ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 มิลลิลิตร

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารตะกั่ว และพิษของสารตะกั่ว
- 1.5.2 ศึกษาขั้นตอนการผลิตและระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานแบตเตอรี่
- 1.5.3 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากโรงงานแบตเตอรี่
- 1.5.4 นำน้ำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์และบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทราบถึงลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแบตเตอรี่
- 1.6.2 สามารถประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่ว โดยวิธีการตกตะกอนระหว่างตะกั่วไฮดรอกไซด์ $[Pb(OH)_2]$ ตะกั่วคาร์บอเนต $[PbCO_3]$ และ ตะกั่วซัลไฟด์ $[PbS]$
- 1.6.3 สามารถประเมินประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการปรับค่า pH
- 1.6.4 สามารถประเมินประสิทธิภาพของสารเร่งการตกตะกอน
- 1.6.5 สามารถลดปริมาณของสารตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานแบตเตอรี่ให้เป็นไปตามค่ามาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 กระบวนการผลิตเบตเตอร์

2.1.1. การออกแบบเบตเตอร์

ก่อนที่จะทำการผลิตเบตเตอร์นั้น จะต้องทำการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของเบตเตอร์ก่อน เช่น เปลือกหุ้มของเบตเตอร์ ฝามือเบตเตอร์ ขั้วบวก ขั้วลบ แผ่นกั้นและส่วนประกอบต่าง ๆ ตลอดจนเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการประกอบเบตเตอร์ เพื่อให้ได้เบตเตอร์ที่มีคุณภาพตามกำหนด

2.1.2 การผลิตโครงแผ่นธาตุ (Grid)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโครงแผ่นธาตุ ได้แก่ ตะกั่วผสมพลวง วัตถุดิบเหล่านี้ก่อนที่จะนำมาทำการผลิต จะต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มาตรฐาน จากนั้นจึงนำตะกั่วผสมพลวงที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว มาหลอมละลายในเตาหลอมตะกั่ว

เมื่อหลอมละลายดีแล้วจะใช้ปั๊ม ปั๊มตะกั่วที่หลอมละลายเข้าไปในแม่พิมพ์เพื่อหล่อเป็นโครงแผ่นธาตุเครื่องจักรและอุปกรณ์ทุกชนิด เมื่อได้โครงแผ่นธาตุที่มีคุณภาพแล้ว จะนำไปทำการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด ตลอดจนความเรียบร้อยของโครงแผ่นธาตุ เช่น ความเรียบร้อยของลักษณะทั่วไป ความสมบูรณ์ในการหล่อ ความเหนียว ขนาดและน้ำหนัก ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพนี้จะต้องทำตลอดระยะเวลา ในสายการผลิต นอกจากนี้ยังมีการสุ่มตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

2.1.3. การผลิตผงตะกั่วออกไซด์ (Oxide)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผงตะกั่วออกไซด์ จะต้องใช้ตะกั่วบริสุทธิ์ ชนิด 99.99% โดยนำแท่งตะกั่วบริสุทธิ์มาตัดให้เป็นท่อน ๆ ตามขนาดที่ต้องการ ส่งเข้าไปในเครื่องบด ในขณะที่ทำการบดจะมีการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะบันทึกระบบการทำงานของเครื่องทุกจุดอย่างต่อเนื่องบนแผ่นกราฟอัตโนมัติ และนอกจากนั้นพนักงานที่ควบคุมเครื่องบดจะต้องทำการจดบันทึกสภาพการทำงานของเครื่อง ตลอดจนถึงบันทึกผลการควบคุมคุณภาพของผงตะกั่วออกไซด์ที่บดไว้ด้วย เมื่อบดผงตะกั่วออกไซด์จนละเอียดได้ที่ดีแล้ว จะคัดผงตะกั่วออกไซด์ผ่านเครื่องกรองเข้าไปเก็บในไซโลเพื่อรอนำไปใช้ผสมเป็นเนื้อแผ่นธาตุต่อไป

การตรวจสอบคุณภาพของผงตะกั่วออกไซด์ จะมีการนำผงตะกั่วออกไซด์ที่ผลิตได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีอย่างละเอียด ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ถึงความละเอียดและเปอร์เซ็นต์ของตะกั่วออกไซด์ ตลอดจนความสามารถในการดูดกลืนน้ำ ผงตะกั่วออกไซด์ที่ได้ลักษณะตามมาตรฐานที่กำหนด จะนำไปผสมสารเคมีเพื่อทำเป็นเนื้อแผ่นธาตุในขั้นตอนต่อไป

2.1.4. การทำแผ่นธาตุ แบ่งเป็นขั้นตอนคร่าว ๆ ได้ดังนี้

2.1.4.1 การผสมเนื้อแผ่นธาตุ (Paste Mixing)

นำผงตะกั่วออกไซด์ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเรียบร้อยแล้วมาผสมกับน้ำ น้ำกรด และสารเคมีต่าง ๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยใช้เครื่องผสมที่เรียกว่า Paste Mixer ทำการผสมส่วนผสมทั้งหมดให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อทำการผสมจนครบเวลาที่กำหนดแล้วก็นำเนื้อแผ่นธาตุออกจากเครื่องผสมไปทำการฉาบลงบนโครงแผ่นธาตุต่อไป

2.1.4.2 การฉาบแผ่นธาตุ (Paste Pasting)

นำโครงแผ่นธาตุที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว มาเข้าเครื่องป้อนโครงแผ่นธาตุที่ละแผ่น เนื้อแผ่นธาตุที่ผสมแล้ว จะถูกปล่อยลงสู่เครื่องฉาบ โครงแผ่นธาตุจะถูกฉาบด้วยเนื้อแผ่นธาตุจากเครื่องฉาบ แล้วใช้ลูกกลิ้งอัดทับให้ผิวเรียบติดแน่นอีกครั้งหนึ่ง

ในระหว่างที่ทำการผลิตนั้น จะมีการควบคุมคุณภาพ โดยการชั่งน้ำหนักเป็นระยะ ๆ ตลอดเวลา หลังจากชั่งน้ำหนักแล้ว สายพานลำเลียงก็จะลำเลียงแผ่นธาตุที่ฉาบแล้วผ่านเตาอบ เพื่อทำการอบให้บริเวณผิวหน้าของแผ่นแห้ง แผ่นธาตุที่ผ่านการอบแล้วก็จะถูกลำเลียงมาทางสายพานลำเลียง เพื่อเข้าบ่มให้ปฏิกิริยาเคมีในแผ่นเกิดความสมบูรณ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้แผ่นธาตุที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพตามมาตรฐาน จำเป็นที่จะต้องมีการสุ่มตัวอย่าง แผ่นธาตุมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีอย่างละเอียด ทั้งแผ่นธาตุที่ก่อนจะทำการอัดกระแสไฟ และแผ่นธาตุหลังการอัดกระแสไฟแล้ว เพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีของแผ่นธาตุ ตลอดจนปริมาณความชื้นในแผ่นธาตุ ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป

2.1.5. การอัดกระแสไฟฟ้าเข้าแผ่นธาตุ (Formation)

นำแผ่นธาตุที่ผ่านการบ่มจนสมบูรณ์ และผ่านการตรวจสอบคุณภาพเรียบร้อยแล้ว มาทำการอัดกระแสไฟผ่านเข้าไปในแผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งบรรจุไว้ภายในถังเดียวกันเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ในระหว่างการอัดกระแสไฟ จะมีการตรวจสอบแรงเคลื่อนไฟฟ้า และความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดตลอดเวลาทุก 1 ชั่วโมง

หลังจากผ่านการอัดกระแสไฟตามกำหนดเวลา จนได้แผ่นธาตุที่สมบูรณ์แล้ว จะแยกแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบออกจากกัน ส่งไปทำการอบแห้งโดยใช้เตา แยกตามประเภทของแผ่นบวกและแผ่นลบ

เมื่ออบจนครบเวลาตามที่กำหนดแล้ว ก็นำแผ่นธาตุออกจากเตาอบ ทำการตัดแยกเป็นแผ่นเดี่ยว พร้อมทั้งจะนำไปประกอบเป็น ชุดแผ่นธาตุ (Element)

2.1.6. การผลิตเปลือก – ฝามือแบตเตอรี่ชนิดยางแข็ง (Hard rubber containers and Cover)

ทำได้โดยการนำยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์มาบดผสมกับสารเคมี แล้วนำมารีดและตัดให้ได้ตามขนาดที่จะนำไปเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปเป็น เปลือกมือในแต่ละแบบ โดยใช้เวลารบ่มนาน 4-8 นาที แล้วแต่ชนิดของเปลือกมือแต่ละรุ่น หลังจากนั้นทำการตกแต่ง แล้วนำไปทดสอบกระแสไฟฟ้าแรงสูง (Spark Test) เพื่อหาจุดรั่วระหว่างผนังมือ และด้านอื่น ๆ ทั่วไป ส่วนการผลิตฝามือแบตเตอรี่นั้น ก็ทำตามวิธีเดียวกันนี้

2.1.7. การประกอบแบตเตอรี่

นำแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบที่อัดกระแสไฟแล้ว มาจัดเรียงเป็นกลุ่ม โดยมีแผ่นกั้นเป็นตัวกั้นระหว่างแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ หลังจากนั้นนำไปทำการเชื่อมหัวแผ่นธาตุในแต่ละกลุ่มให้ติดกันเป็น “ชุดแผ่นธาตุ” ตามชนิดและขนาดของแบตเตอรี่แต่ละรุ่น

ต่อจากนั้นนำชุดแผ่นธาตุที่เชื่อมเป็นกลุ่มแล้ว บรรจุในช่องเปลือกหุ้มตามชนิดและขนาดของแต่ละรุ่น หลังจากนั้นนำแบตเตอรี่เข้าทดสอบการลัดวงจรด้วยกระแสไฟฟ้าแรงสูง ทำการเชื่อมสะพานไฟด้วยระบบไฟฟ้า (Spot Welding) และตรวจสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อม (Shear Test)

เมื่อได้ตรวจสอบรอยเชื่อมว่าเรียบร้อยดีแล้ว จะนำมาเชื่อมฝาหุ้มและเปลือกหุ้มแบตเตอรี่ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยวิธีการเชื่อมด้วยความร้อน (Heat Seal) ส่งเข้าเชื่อมขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ ทำการทดสอบรอยรั่ว โดยการอัดอากาศ ด้วยเครื่อง Air Leakage Tester แล้วผ่านไปยังขั้นตอนการบรรจุต่อไป

2.1.8. การทดสอบแบตเตอรี่

หลังจากที่ได้ประกอบแบตเตอรี่สำเร็จรูปเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำแบตเตอรี่แต่ละรุ่นไปทดสอบหาความจุ ความทนทานต่อการประจุไฟเกิน การคายไฟขั้นต้น และสมรรถภาพในการคายไฟอัตราสูง ทดสอบอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ตลอดจนทดสอบในแง่ของการใช้งานของแบตเตอรี่ในอากาศหนาวจัดอีกด้วย

2.2 การเกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแบตเตอรี่

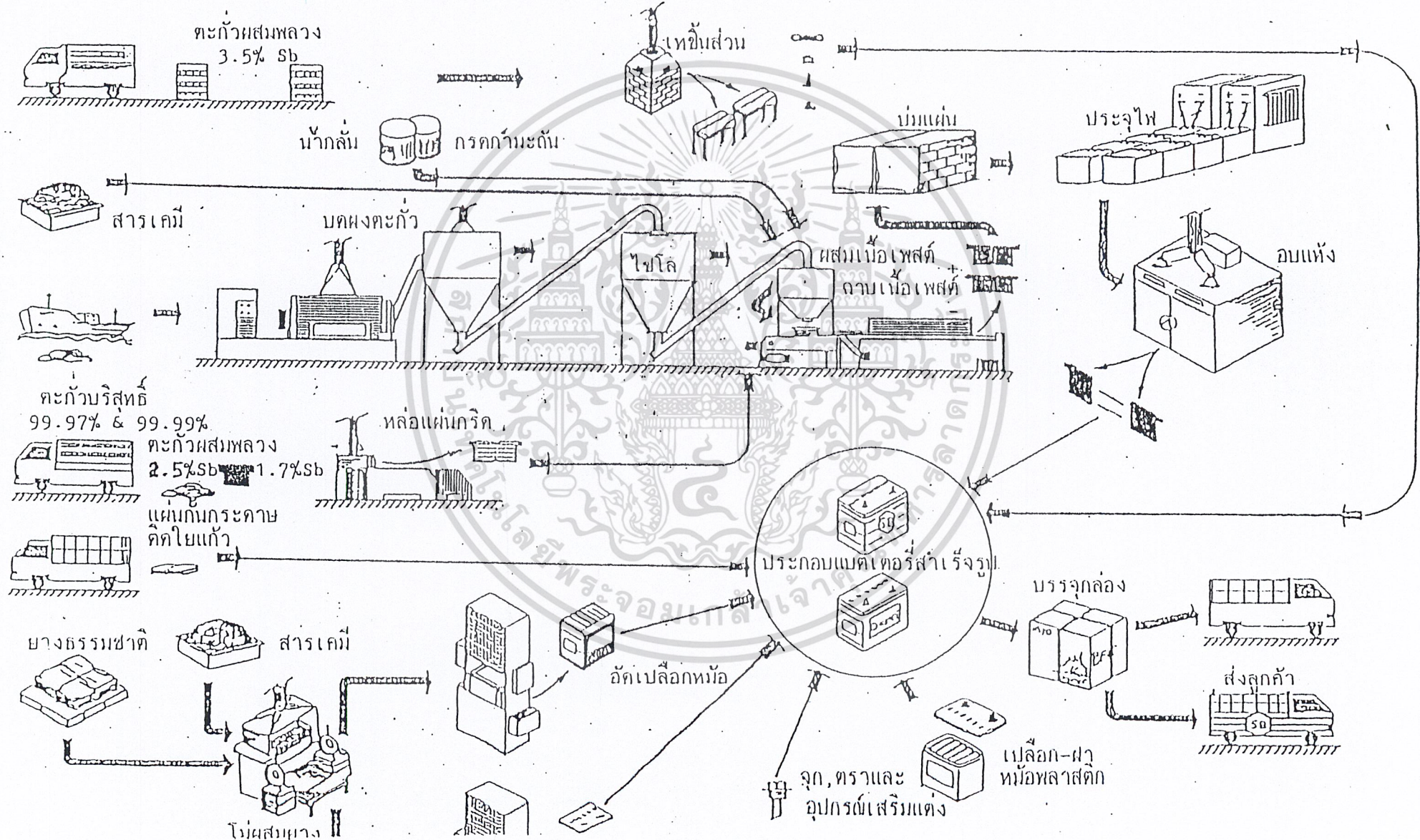
2.2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ จะมีการปนเปื้อนของตะกั่ว ซึ่งมาจาก

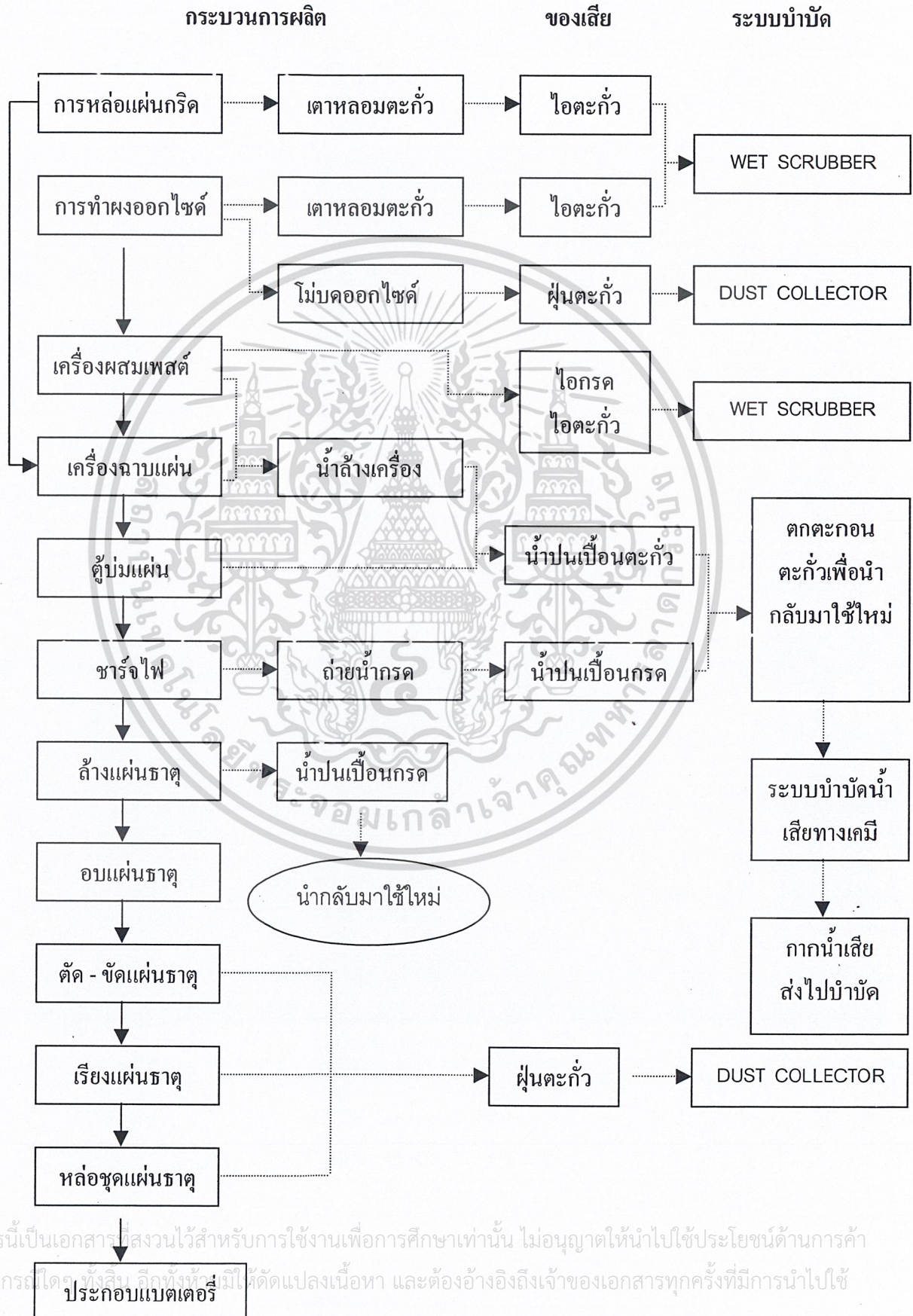
1. ขั้นตอนต่างๆในกระบวนการผลิต
 - จากเครื่องฉาบแผ่น เกิดน้ำปนเปื้อนตะกั่ว
 - จากตู้บ่มแผ่น เกิดน้ำปนเปื้อนตะกั่ว
 - จากการชาร์จไฟ เกิดน้ำปนเปื้อนกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีโคโนมิค จำกัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 แผนภูมิการผลิตแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

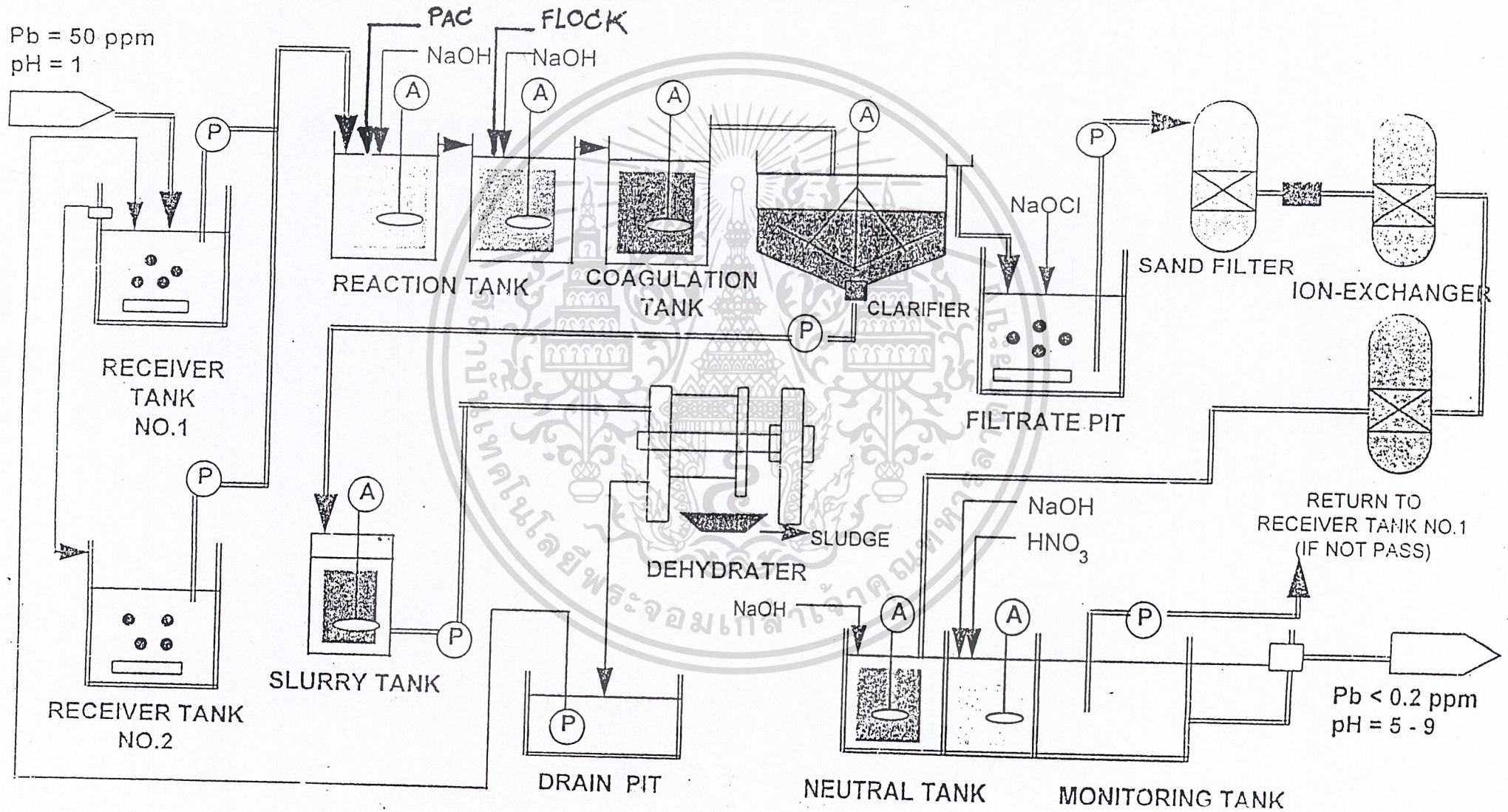


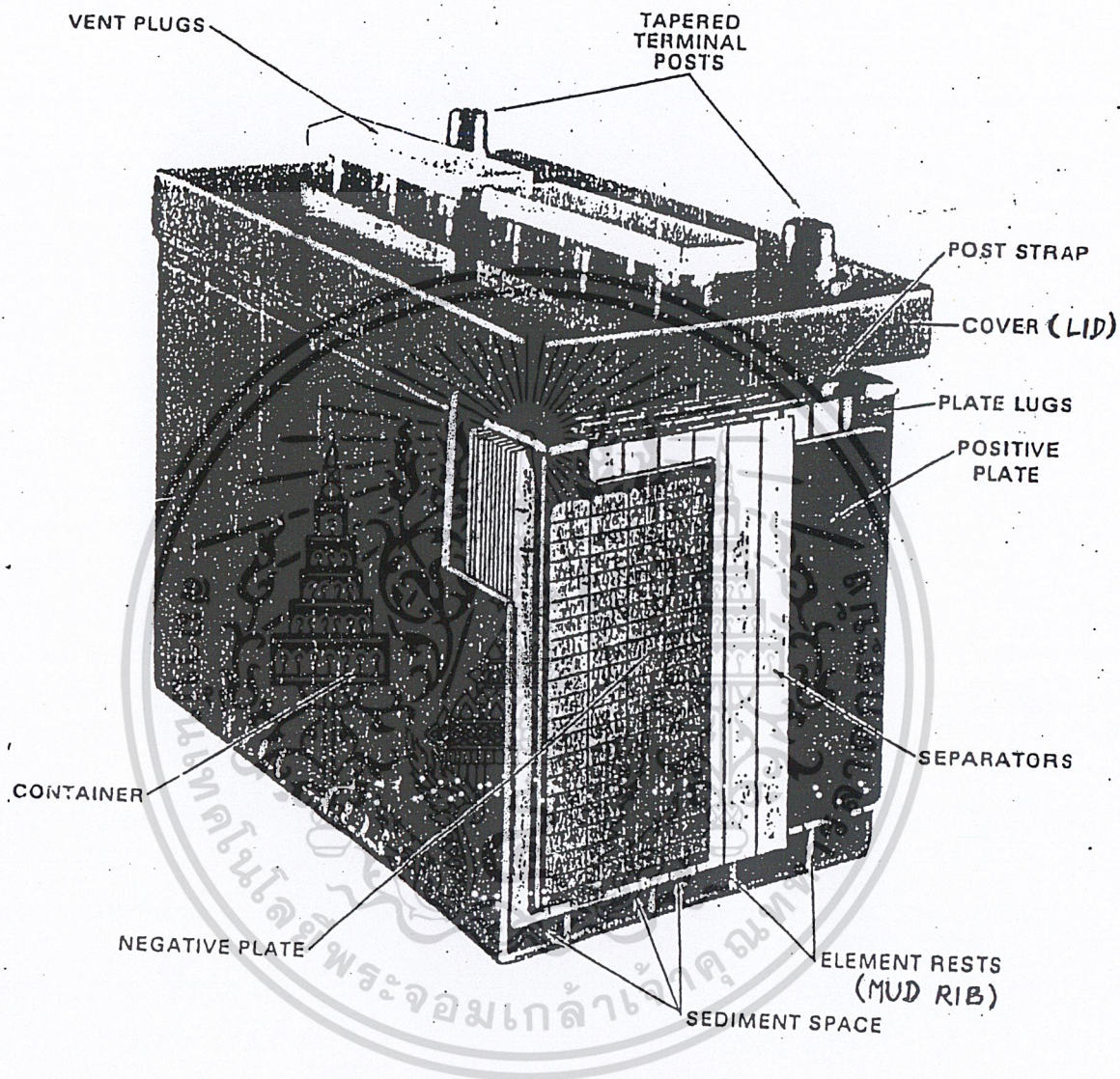
รูปที่ 2.2 ผังแสดงกระบวนการผลิต, ของเสีย และระบบบำบัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ประกอบแบตเตอรี่

รูปที่ 2.3 แสดงผังระบบการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน FB แบตเตอรี่





รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท (Lafayette, 1974)

ประเภทของโรงงาน	ตะกั่ว (mg/l)
*การผลิตเบตเตอรี ตะกั่วอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	5 - 48
สารละลาย	0.5 - 25
**การผลิตเบตเตอรี ตะกั่วอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	0.4 - 66.5
สารละลาย	2.6 - 5.1
***การผลิตเบตเตอรี ตะกั่วอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	40.3 - 319.4
สารละลาย	11.7
การชุบโลหะ	2 - 140
การผลิตหลอดโทรทัศน์	380 - 400
การผลิตตัวพิมพ์	1.65
การผลิตหลอดแก้ว	0.43 - 100
การเคลือบเครื่องสายคราม	2.9
การทำเหมืองแร่	0.018 - 0.098
การผลิตวัตถุระเบิด	6.5
การกลั่นน้ำมัน	
ξ ตะกั่วอินทรีย์	126.7 - 144.8
ξ ตะกั่วอนินทรีย์	66.1 - 84.9
การกลั่นน้ำมัน	45
การผลิตสี	1.1 - 10.0
การผลิตเหล็กกล้า	0.47 - 1.39
การหล่อโลหะ	29 - 170
การผลิตวงแหวนลูกสูบ	94.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แหล่งอื่นๆ

- การล้างเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
- การทำความสะอาดร่างกายของพนักงาน เช่น ล้างมือ

2.2.2 สมบัติของน้ำเสียจากโรงงาน FB แบตเตอรี่

- ค่า pH ประมาณ 1
- ค่า TDS ประมาณ 12,000 mg/l
- ความเข้มข้นของตะกั่ว ประมาณ 6 ppm
- อัตราการเกิดน้ำเสีย เท่ากับ 12 m³/hr

2.3 ตะกั่ว

น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ จะทำให้เกิดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งสารมลพิษที่สำคัญ คือ ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะหนักสีเทาเงิน หรือแกมม่น้ำเงิน สูตรเคมีของตะกั่วคือ Pb โดยมีเลขอะตอม 82 และน้ำหนักอะตอม 207.2 มีความเหนียว (Malleability) และความลื่น (Lubricity) ดี ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 11.4 มีความคงทนต่อการกัดกร่อนตามธรรมชาติ และการกัดกร่อนของกรดได้ดี ตะกั่วเมื่อบริสุทธิ์จะมีลักษณะด้าน และมีสีเทาแก่ รอยตัดและผิวบนจะเป็นสีเทาฟ้า เป็นโลหะอ่อนที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถตัด ริด หรือตีได้ง่าย ขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน ผสมกับโลหะต่าง ๆ ได้หลายชนิด โดยคุณสมบัติทางกายภาพของตะกั่วจะแสดงดังตารางที่ 2.2

หากจะแบ่งปริมาณการใช้ตะกั่วตามประเภทของการใช้งาน จะพบว่า ร้อยละ 63 ของตะกั่วที่ผลิตได้จะใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ ร้อยละ 14 ใช้ในการผลิตสารเคมีสำหรับอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกพีวีซี ร้อยละ 8 ใช้ในการผลิตตะกั่วแท่ง และแผ่นสำหรับงานก่อสร้าง ร้อยละ 4-5 ใช้ในการผลิตสายเคเบิล และร้อยละ 3 ใช้ในการผลิตอาวุธและกระสุนปืน

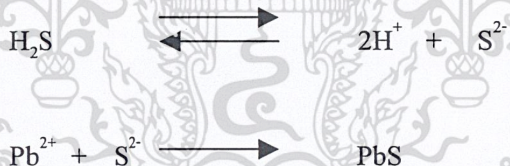
สารพิษจากตะกั่วที่เกิดจากการผลิตแบตเตอรี่จะอยู่ในรูป

- ไอตะกั่ว
- ฝุ่นตะกั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำปนเปื้อนตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีพิษต่อร่างกายมนุษย์และสิ่งมีชีวิต ส่วนความรุนแรงของความเป็นพิษนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณตะกั่ว และชนิดของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ สำหรับพิษของตะกั่วที่มีต่อมนุษย์นั้น เริ่มจากตะกั่วจะเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าทางใดก็ตาม เมื่อซึมเข้ากระเพาะอาหาร จะทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกในน้ำย่อยกลายเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้แล้วซึมเข้ากระแสโลหิต บางส่วนก็ถูกขับออกมาทางปัสสาวะและทางผิวหนังโดยออกมากับเหงื่อ และบางส่วนจะสะสมในร่างกาย มีรายงานว่า ถ้ารับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายวันละ 2 มิลลิกรัม ภายในเวลา 2-3 ปี จะแสดงอาการแพ้ของพิษตะกั่ว แต่ถ้าร่างกายได้รับในปริมาณมากกว่านี้ก็จะแสดงอาการแพ้ของพิษตะกั่ว ได้เร็วยิ่งขึ้น อาการแพ้ของพิษตะกั่ว คือ คลื่นไส้ อาเจียน เหน็บชา แขนขาไม่มีแรง ท้องผูก อ่อนเพลีย น้ำหนักลด โลหิตจาง ชัก ที่เหงือกบริเวณรากฟันเป็นสีน้ำเงินดำ เรียกว่า เส้นตะกั่ว (lead line) เป็นเส้นที่เกิดจากตะกั่วในน้ำลายเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมา เกิดเป็นสารประกอบตะกั่วซัลไฟด์ ซึ่งมีสีดำและละลายน้ำได้น้อยมาจับที่เหงือก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



อาการต่าง ๆ ที่แสดงออกในขั้นเริ่มต้น ถ้าไม่รีบทำการรักษาอย่างเร่งด่วน อาจกลายเป็นอาการเรื้อรังหรืออาจเป็นโรคต่าง ๆ ได้เช่น โรคโลหิตจาง โรคไตพิการ โรคเยื่อปมสมองอักเสบ และยังสามารถสะสมในกระดูกได้อีกด้วย

จะเห็นได้ว่าพิษของตะกั่วมีอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอย่างมาก จึงควรมีการป้องกันไม่ให้ตะกั่วแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของ โลหะตะกั่ว และสารประกอบตะกั่ว (Patty, 1962)

สารประกอบของตะกั่ว	จุดหลอม เหลว(°C)	จุดเดือด (°C)	คุณสมบัติการละลายน้ำ
โลหะตะกั่ว	327.4	1,525	ไม่ละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็น ละลายในกรดอะซิติก และ HNO ₃
เลดอะซิเตท (แอนไฮดรัส)	280		443 ก./ล. ละลายได้ในน้ำเย็น และ 2212 ก./ล. ละลายได้ในน้ำร้อน
เลดอาซานเนต (ยาสม่าแมลง) โมโน, ได, เมทา และออโร			ละลายได้ในน้ำร้อน กรด และด่าง ไม่ละลายในน้ำเย็น
เลดเอไซด์	ระเบิดที่ 350		0.23 ก./ล. ละลายได้ในน้ำเย็น 0.9 ก./ล. ละลายได้ในน้ำร้อน และละลายในอะซิติก
เลดโบรไมด์	373	916	4.55ก./ล. ละลายได้ในน้ำเย็น 47.1 ก./ล. ละลายได้ในน้ำร้อน กรด และด่าง
เลดคาร์บอเนต (ตะกั่วขาว)	สลายตัว		ไม่ละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็น ละลายในกรด และด่าง
เลดคลอไรด์	501	954	6.73 ก./ล. ละลายได้ในน้ำเย็น 33.4 ก./ล. ละลายได้ในน้ำร้อน กรด และด่าง
เลดโครเมต (โครมเหลือง)	844	สลายตัว	0.0005 ก./ล. ละลายได้ในน้ำเย็น ละลายในกรด และด่าง ยกเว้นในกรดอะซิติก
เลดฟลูออไรด์	855	1,290	0.64 ก./ล. ละลายได้ในน้ำเย็น ละลายใน HNO ₃ และ H ₂ SO ₄ ไม่ละลายในด่าง
เลดไนเตรต	สลายตัวที่ 470	สลายตัว	388 ก./ล. ละลายได้ในน้ำเย็น 1,388 ก./ล. ละลายได้ในน้ำร้อน กรด และด่าง
เลดซีควิวอกไซด์	สลายตัวที่ 360	สลายตัว	ละลายในกรดและด่าง ไม่ละลายในน้ำเย็น สลายตัวในน้ำร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะตะกั่วและสารประกอบตะกั่ว(Patty, 1962) (ต่อ)

สารประกอบของตะกั่ว	จุดหลอม เหลว(°C)	จุดเดือด (°C)	คุณสมบัติการละลายน้ำ
เลดออกไซด์(ตะกั่วแดง)	สลายตัวที่ 500	สลายตัว	ละลายในกรด ไม่ละลายในน้ำร้อน น้ำเย็น และด่าง
เลดโมนอกไซด์	888		0.017 ก./ล. ละลายได้ในน้ำเย็น ละลายในด่าง
เลดซัลไฟด์	สลายตัว		ละลายในกรด และด่าง ไม่ละลาย ในน้ำเย็น
เลดไดออกไซด์ (เพอร์รอกไซด์)	สลายตัวที่ 290		ละลายในกรด และด่าง ไม่ละลาย ในน้ำเย็นและน้ำร้อน
เลดซัลเฟต(กระจกผิวเรียบ)	766		ละลายในด่าง สลายตัวในกรด ไม่ละลายในน้ำเย็น
เลดซัลเฟต	1,170	0.0028	0.0056 ก./ล. ละลายได้ในน้ำเย็น ละลายในกรด ยกเว้นในกรดอะซิติก
เลดซัลเฟต(เดิม)	977	0.0044	ละลายในกรด H ₂ SO ₄
เลดซัลไฟด์	1,114		ละลายในกรด ไม่ละลายในด่าง และ น้ำเย็น (ตามธรรมชาติ)
เลดเตตระเอทิล	-130	200	ไม่ละลายในกรด ต่าง น้ำร้อน และน้ำเย็น
เลดเตตระเมทิล	-27.5	110	ไม่ละลายในกรด ต่าง น้ำร้อน และน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การแพร่กระจายของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม

การผลิตสารตะกั่วจำแนกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ ตะกั่วปฐมภูมิ (primary lead) และตะกั่วทุติยภูมิ (secondary lead) ประเภทแรกนั้น เป็นการผลิตตะกั่วจากการถลุงแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกาสน้ำ (PbS) แล้วหลอมให้บริสุทธิ์ ส่วนประเภทหลังนั้นเป็นการหลอมเศษตะกั่วส่วนใหญ่ได้แก่ แบตเตอรี่ แล้วนำกลับมาใช้อีก ในการผลิตทั้งสองประเภทรูปนี้ทำให้เกิดปัญหา การปนเปื้อนสารตะกั่วในสภาวะแวดล้อม ทั้งดิน น้ำ และอากาศ นอกจากนั้นยังมีผลต่อเนื่องไปยังประชาชนผู้อยู่บริเวณใกล้เคียงอีกด้วย

สารตะกั่วที่ผลิตได้นำไปใช้ในการทำแบตเตอรี่เป็นหลัก นอกจากนั้นจะนำไปใช้ในการทำตะกั่วแอลกิลเพื่อผสมในน้ำมันเบนซินเป็นสาร antiknock ทำสายเคเบิล และผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น สี ยาปราบศัตรูพืช ตะกั่วอาร์เซนทอล ตลอดจนการทำโลหะผสมต่างๆ

น้ำมันตะกั่วอินทรีย์ คือ ก. ตะกั่วเตตราแอลกิล ได้แก่ ตะกั่วเตตราเมทิล (tetramethyl lead) ตะกั่วเตตราเอทิล และ ข. ตะกั่วแอลกิลไตรเอทิลเมทิลผสม (mixed alkyls triethylmethyl lead) คือ ตะกั่วไดเอทิลเมทิล และตะกั่วเอทิลไตรเมทิล

ส่วนใหญ่ใช้ตะกั่วแอลกิล คือ ตะกั่วเตตราเอทิล และ ตะกั่วเตตราเมทิล เป็นสารผสมในรถยนต์ สารประกอบตะกั่วอินทรีย์ทั้งสองเป็นของเหลว ไม่มีสี และระเหยกลายเป็นไอได้น้อยกว่าน้ำมัน จุดเดือดของตะกั่วเตตราเมทิลเป็น 110° ซ. และตะกั่วเตตราเอทิล เป็น 200° ซ. แต่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันมีจุดเดือด ตั้งแต่ $20-200^{\circ}$ ซ. ดังนั้นเมื่อน้ำมันรถยนต์ระเหยเป็นไอ จะทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วอินทรีย์ทั้งสองในน้ำมันสูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ตะกั่วแตกตัวที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำกว่าจุดเดือด หรือ แตกตัวด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ต หรือ เมื่อมีสารประกอบฮาโลเจน กรด หรือสารออกซิไดซ์ต่างๆ ซึ่งมีความเข้มข้นต่ำมากในบรรยากาศ

ตะกั่วอินทรีย์น้ำมันเบนซินแตกตัวระหว่างการสันดาปในเครื่องยนต์ และกลายรูปเป็นตะกั่วอินทรีย์และเจ็ดสิบถึงแปดสิบเปอร์เซ็นต์ของตะกั่ว ซึ่งใช้ในน้ำมันรถยนต์ออกสู่บรรยากาศทางท่อไอเสีย ในรูปสารประกอบตะกั่วอินทรีย์ ปริมาณตะกั่วจะเพิ่มมากขึ้นในขณะขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูง และจะลดน้อยลงเมื่อรถเดินเครื่องอยู่กับที่ หรือเมื่อไปหยุดๆ มีเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นไอตะกั่วเตตราแอลกิล ส่วนที่เหลือ 20-25 เปอร์เซ็นต์ยังคงตกค้างอยู่ในท่อไอเสียและน้ำมันหล่อลื่น ไอระเหยของน้ำมันจากถังน้ำมันรถยนต์และคาร์บูเรเตอร์ ตลอดจนไอเสียจากเสื่อสูบ มีไอของตะกั่วเตตราแอลกิล ตะกั่วอินทรีย์ซึ่งระบายออกจากท่อไอเสียนี้อยู่ในรูปของอนุภาคมลสาร ส่วนตะกั่วเตตราแอลกิล อยู่ในรูปไอ มีเป็นส่วนน้อยจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับติดกับอนุภาคมลสาร จะแยกตะกั่วอนินทรีย์ออกได้ด้วยการกรองตัวอย่างอากาศ ไอเสียจากรถยนต์ในชั้นต้นมีตะกั่วในรูปของฮาไลด์ แล้วเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบของตะกั่วออกไซด์ ซัลเฟต และคาร์บอเนต เมื่อทิ้งช่วงไว้นาน ดังนั้น การฟุ้งกระจายของสารประกอบตะกั่วอนินทรีย์จากรถยนต์ ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคมลสาร กล่าวคือ อนุภาคมลสารขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนจะตกลงสู่พื้น และลอยฟุ้งอยู่ในบรรยากาศไม่ได้นาน โดยมาก ส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอน จะถูกกักอยู่ในช่องจมูก และหลอดลมในส่วนล่างคอ และอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน จะเข้าสู่ระบบหายใจส่วนล่าง ซึ่งรวมทั้งส่วนต่างๆของปอด

ตารางที่ 2.3 ระดับของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม (ธีระพันธุ์, 2542)

สิ่งแวดล้อม	ระดับ	หน่วย
พื้นดิน		
หินอัคนี (igneous) และหินแปร (metamorphic)	10 - 20	มก. / กก.
ดินบริเวณห่างไกลความเจริญ	5 - 25	มก. / กก.
น้ำ		
น้ำใต้ดิน	1 - 6	มก. / ลิตร
แหล่งน้ำบริโภค จาก 32 จังหวัดในประเทศไทย	0.58	มก. / ลิตร
ทะเลสาบและแม่น้ำทั่วโลก	1 - 10	มก. / ลิตร
อากาศ		
ค่าเฉลี่ยในเมือง	1.1	มก. / ลบ.ม.
ค่าเฉลี่ยนอกเมือง	0.21	มก. / ลบ.ม.
ค่าสูงสุดช่วงจราจรคับคั่ง	14 - 25	มก. / ลบ.ม.
ค่าสูงสุด 24 ชั่วโมง		
ต. สำโรงใต้ จ. สมุทรปราการ	1.5	มก. / ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

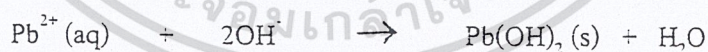
2.5 ตะกั่วในน้ำเสีย

ตะกั่วเป็นสารที่ไม่สลายตัวเองตามธรรมชาติ และเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยการชะล้างตะกั่วตกค้างจากการใช้งาน หรือจากกิจกรรมอุตสาหกรรมที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากตะกั่วมีสมบัติเหมาะสมในการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ในกิจกรรมแบตเตอรี่ ใช้ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบ ทำสี ฝ้า สายเคเบิล การบัดกรี ทำตัวพิมพ์ ท่อน้ำ ลูกปืน แผ่นตะกั่ว ใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตแก้ว พลาสติก เซรามิก แผ่นเหล็ก ออบสังกะสี และโลหะผสมนาซนิก ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท ได้แสดงไว้ดังตารางที่

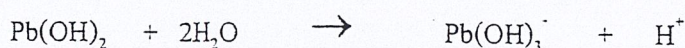
การละลายของตะกั่วในน้ำเสีย มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย โดยพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการละลายของตะกั่วในน้ำ คือ ความเป็นด่าง ความกระด้าง และค่าพีเอช ซึ่งพารามิเตอร์แต่ละตัวมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน กล่าวคือ อัตราส่วนความเป็นด่าง ซึ่งอยู่ในรูป คาร์บอเนต - ไบคาร์บอเนต - ไฮดรอกไซด์ มีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช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

ผลของค่าพีเอช

การละลายของตะกั่วในสารละลายขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ที่พีเอชน้อยกว่า 8 ตะกั่วอยู่ในรูปสารละลาย และที่พีเอช 8-11 ตะกั่วจะตกตะกอนเป็นตะกั่วไฮดรอกไซด์ ดังสมการ



เนื่องจากคุณสมบัติตามธรรมชาติของตะกั่วไฮดรอกไซด์จะละลายในสารละลายที่มีพีเอชมากกว่า 11 ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความกระด้าง

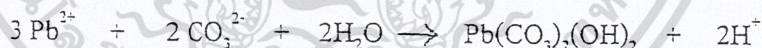
การละลายของตะกั่ว ขึ้นอยู่กับความกระด้าง ในการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวที่ pH 10.5 ที่ pH นี้ ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์

ผลของความเป็นด่าง

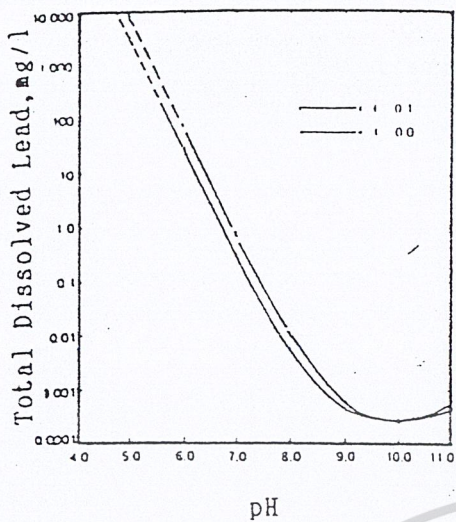
ในน้ำที่มีตะกั่วและคาร์บอเนตไดออกไซด์ ค่าการละลายของตะกั่วขึ้นอยู่กับ ค่าพีเอช และความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออน ที่ pH น้อยกว่า 5 ตะกั่วจะอยู่ในรูปสารละลาย และ ที่ pH 5-8.5 ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนต ดังสมการ



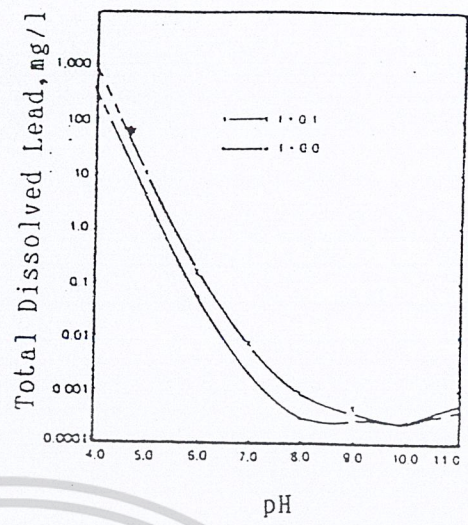
ที่ pH 8.5-12.5 ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ หรืออาจจะตกตะกอนในรูป basic lead carbonate ดังสมการ



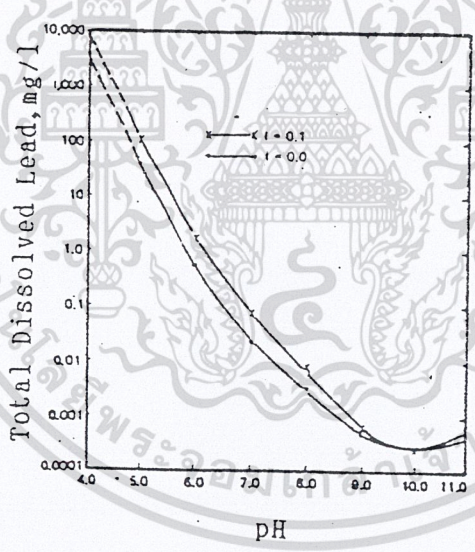
ที่ pH > 12.5 ตะกั่วจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วออกไซด์



ก



ข



ค

รูปที่ 2.5 ก-ค แสดงสมดุลการละลายของตะกั่วที่อุณหภูมิ 25°C ความดันบรรยากาศ 1 atm ความแรงไอออน 0.00 และ 0.10 โดยมี

- ก. $\text{CO}_2 = 10^{-3} \text{ M}$
- ข. $\text{CO}_2 = 10^{-2} \text{ M}$
- ค. $\text{CO}_2 = 10^{-4.87} \text{ M}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งนั้นมีหลายวิธี เช่น

1. การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)

น้ำทิ้งจากโรงงานส่วนใหญ่ไม่เป็นกลาง โดยจะมีลักษณะเป็นกรดหรือเป็นด่าง ซึ่งในการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีววิทยา น้ำทิ้งจะต้องมีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6-9 นอกจากนี้ น้ำทิ้งที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมจะต้องมีค่า pH ระหว่าง 5-9 ดังนั้นการปรับ pH หรือการทำให้เป็นกลางจึงเป็นหน่วยการบำบัดที่สำคัญ

สารที่ใช้ในการลด pH โดยทั่วไปได้แก่ กรดกำมะถันเข้มข้น (conc. H_2SO_4) หรือกรดเกลือ 35% ที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปตามท้องตลาด ส่วนสารที่ใช้ในการเพิ่มค่า pH ที่นิยมใช้กันก็คือ โซดาไฟ (caustic soda, $NaOH$) และปูนขาว (lime, $Ca(OH)_2$) โซดาไฟที่ผลิตในประเทศไทยนั้นเป็นชนิดน้ำที่มีความเข้มข้นประมาณ 50%

ระบบการปรับค่า pH นั้นต้องประกอบด้วยถังผสม (mixing tank) ทำหน้าที่ผสมน้ำยากรดหรือด่าง ให้เข้ากับน้ำทิ้งในถังพัก (retention tank) เพื่อให้ปฏิกิริยาระหว่างน้ำยาเคมีกับน้ำทิ้งเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์

การใช้ปูนขาวนั้นมีข้อดีตรงราคาถูก และทำให้เกิดการตกตะกอนโลหะหนักได้ด้วย แต่ข้อเสียคือ อาจจะทำให้เกิดตะกอน (scaling) ในเส้นท่อได้ ถ้าใช้ปูนขาวในลักษณะที่เป็นผงจะต้องมีเครื่องเติมปูนขาวชนิดผง ถ้าจะใช้ในรูปของสารละลายจะต้องมีถังผสมและถังกวนอยู่ตลอดเวลาเพื่อไม่ให้ปูนขาวลายนํ้าได้น้อย

2. การทำให้เกิดตะกอน (precipitation)

การทำให้เกิดตะกอนทำได้โดยการเติมสารเคมีลงไปในน้ำทิ้งเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับมวลสารที่อยู่ในน้ำ เกิดตะกอนหนักที่สามารถจมตัวได้ จะต่างกับวิธี Coagulation ซึ่งวิธีนี้จะใช้สารเคมีเติมลงไปเพื่อช่วยให้มวลสารที่เป็นตะกอนขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ตัวอย่างการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการตกตะกอน ได้แก่ การกำจัดฟอสเฟต ตะกั่ว และ

สังกะสี ด้วยปูนขาว ในทางปฏิบัติ precipitation มักถูกเรียกรวมๆ กันเป็น coagulation ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบนี้อาจจะมีปัญหาบ้าง เช่น การเติมปูนขาวจำนวนมากเกินไปจะทำให้ให้น้ำขุ่น การปรับ pH ให้เป็นกลางก่อนปล่อยน้ำทิ้ง ก็อาจใช้กรดปริมาณมากเกินไป ความจำเป็น ต้องนำไปบำบัดในขั้นตอนนี้ต่อไปอีก

เมื่อผสมปูนขาวลงในน้ำ ปูนขาวจะสลายตัวให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca^{2+}



การตกตะกอนตะกั่วในรูปของ Pb(OH)_2 ต้องใช้ OH^- ซึ่งมาจาก NaOH , KOH หรือ Ca(OH)_2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



Ca^{2+} จะรวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์ และทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ อนุภาคคอลลอยด์สามารถจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ และสามารถจมตัวลงได้

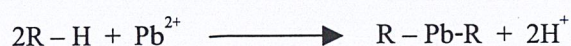


2.7 การบำบัดตะกั่ว

การบำบัดตะกั่วในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ อาจมีหลายวิธีที่มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกันไป เช่น

1) *Ion Exchange* เป็นวิธีการกำจัดตะกั่วโดยใช้เรซิน (Resin) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินกับไอออนของตะกั่ว โดยไอออนของเรซินที่ปล่อยออกมาจะเป็นไอออนที่ไม่มีพิษ ส่วนใหญ่เป็นไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือโซเดียมไอออน (Na^+)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการกำจัดตะกั่วด้วยวิธี Ion Exchange ที่ผ่านมา พบว่าสามารถใช้ได้ดีกับน้ำทิ้งที่มีตะกั่วเจือปนในปริมาณต่ำ และเรซินที่ใช้ส่วนมาก คือ Phosphoric Acid Resin โดยค่า pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5.0-5.2 ตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีประมาณ 0.002 mg/l แต่การบำบัดด้วยวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง เพราะเรซินมีราคาแพง ถึงแม้ว่าเรซินจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการ Regenerate ด้วยกรด แต่ประสิทธิภาพเรซินนั้นจะค่อย ๆ ลดลง จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในงานอุตสาหกรรม

2) *Activated Carbon Adsorption* วิธีนี้จะใช้ Activated Carbon เป็นสารดูดซับตะกั่ว โดย Activated Carbon นี้จะมีความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะ และสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายชนิดรวมทั้งตะกั่วด้วย โดยจะเกิดการดูดซับได้ดีในช่วง pH ต่ำกว่า 5 และสามารถใช้น้ำบาดาลเสียที่มีปริมาณตะกั่วปนเปื้อนสูงได้ แต่ Activated Carbon จะมีราคาแพง ถึงแม้ว่าจะนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการ Regenerate แต่ประสิทธิภาพก็จะค่อย ๆ ลดลง เช่นเดียวกับเรซิน

Budinova (1993) ได้ทดลองใช้ถ่านกัมมันต์บำบัดโลหะหนักจากสารละลายคือ ตะกั่ว สังกะสี แคลเซียม และทองแดง พบว่า ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับโลหะหนักได้ตามลำดับดังนี้คือ ตะกั่ว > แคลเซียม > สังกะสี > ทองแดง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์มีการดูดซับไอออนของตะกั่วได้ดีที่สุด

3) *การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)* วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดตะกั่วมากที่สุด และมีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน จากการศึกษาการตกตะกอนตะกั่ว เกิดเป็นเกลือตะกั่วที่ละลายน้ำได้น้อย การละลายของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อยมีค่าคงที่การละลายใช้สัญลักษณ์ K_{sp} (ค่าที่บอกความสามารถในการละลายน้ำได้มากหรือน้อยเพียงใด ดังนั้น ถ้านำสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากับตะกั่วแล้วได้เกลือตะกั่วที่ละลายน้ำได้น้อย ตะกั่วก็จะแยกออกมาจากน้ำได้โดยการตกตะกอน

ตารางที่ 2.4 สรุปรายงานการกำจัดตะกั่วและประสิทธิภาพการบำบัด (อัญชลี, 2535)

Treatment Process	Lead Concentration (mg/l)		Removal %
	Treatment pH	Initial / Final	
Ion Exchange	5.0-5.2	0.1 / 0.01	90
Ion Exchange	-	0.055 / 0.0015	97.3
	-	126.7-144.8 / 0.02-0.053	99.9-
Limed-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+	10.0	5.0 / 0.25	95
Sedimentation+			0.029 / 99.4
Filtration			
Lime-Sedimentation+	11.5	5.0 / 0.20	96
Filtration			0.019 / 99.6
	9.5	0.9-4.6 / 0.11-0.21	-
	9.5	0.9-4.6 / 0.10-0.17	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การบำบัดตะกั่วผ่านวิธีการตกตะกอนทางเคมี

2.8.1 การใช้สารเคมีช่วยตกตะกอน

1. การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation)

ทำได้โดยการเติมสารละลายที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์ลงไปในน้ำที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว เพื่อให้เกิดการตกตะกอน โดยสารที่นิยมใช้มากที่สุดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ,แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) , แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)₂) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะให้ไอออนลบคือ OH⁻ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



โดย Lead Hydroxide (Pb(OH)₂) จะมีค่า K_{sp} 2.5 x 10⁻¹⁶

ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกโดยการเติมสารที่เป็นด่าง เช่น โซดาไฟหรือปูนขาว เพื่อปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้ถึงจุดที่โลหะมีความสามารถในการละลายต่ำสุด โดยทั่วไปความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ในสารละลายจะลดลงเมื่อปรับพีเอชเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง (isoelectric point) หลังจากนั้นโลหะจะกลับมาละลายได้อีกเพราะกลายเป็น amphoteric อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายได้ต่ำสุดทางทฤษฎีจะแตกต่างอย่างมากกับทางปฏิบัติเพราะอิทธิพลของ complex agents, อุณหภูมิ และค่า ionic strength โลหะที่ตกตะกอนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์แล้วสามารถกำจัดออกได้โดยการรวมตะกอนและปล่อยให้ตกตะกอนหรือกรอง การตกตะกอนจะขึ้นกับค่าความสามารถในการละลาย (K_{sp}) ของโลหะไฮดรอกไซด์ , ค่า K_i ของโลหะไฮดรอกไซด์ และค่า K ของ complex agents เช่น EDTA, NTA, citrate, tartrate, gluconic acid, cyanide, ammonia เป็นต้น ส่วนประสิทธิภาพในการแยกของแข็งและของเหลวในระบบจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด ความหนาแน่นของโลหะไฮดรอกไซด์ เทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายต่ำ และควบคุมได้ง่ายด้วยค่าพีเอช

ข้อดี 1. ราคาถูก

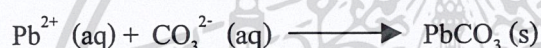
ข้อเสีย 1. มีคุณสมบัติกึ่งโลหะไฮดรอกไซด์ละลายกลับได้ได้เมื่อ pH เปลี่ยน

2. เกิดตะกอนมาก

3. ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีพวก chelating agent ได้

2. การตกตะกอนคาร์บอเนต (Carbonate Precipitation)

การทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกั่ว โดยการเติมสารที่มีคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) เช่น โซดาแอซ (Na_2CO_3) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับตะกั่วในน้ำเสีย ดังนี้



โดยค่า Ksp ของ Lead Carbonate คือ 3.3×10^{-14}

ข้อดี 1. เมื่อใช้กับแคดเมียมและตะกั่ว จะทำปฏิกิริยาที่ pH ต่ำกว่าไฮดรอกไซด์

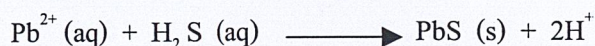
2. สามารถกรองตะกอนได้มากกว่า

ข้อเสีย 1. ใช้กับโลหะได้ไม่ทุกชนิด

2. เกิดตะกอนมากกว่าไฮดรอกไซด์

3. การตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

ทำได้โดยการเติมสารที่มีส่วนประกอบของซัลไฟด์ (S) เช่น เฟอร์รัสซัลไฟด์ ลงไปในน้ำเสีย เพื่อให้เกิดเป็นตะกอนซัลไฟด์ ดังปฏิกิริยานี้



โดยค่า Ksp ของ Lead Sulfide คือ 7×10^{-28}

การตกตะกอนด้วยซัลไฟด์แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Soluble Sulfide Precipitation

(SSP) และ Insoluble Sulfide Precipitation (ISP) ซึ่งจะแตกต่างกันตรงที่ไอออนซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

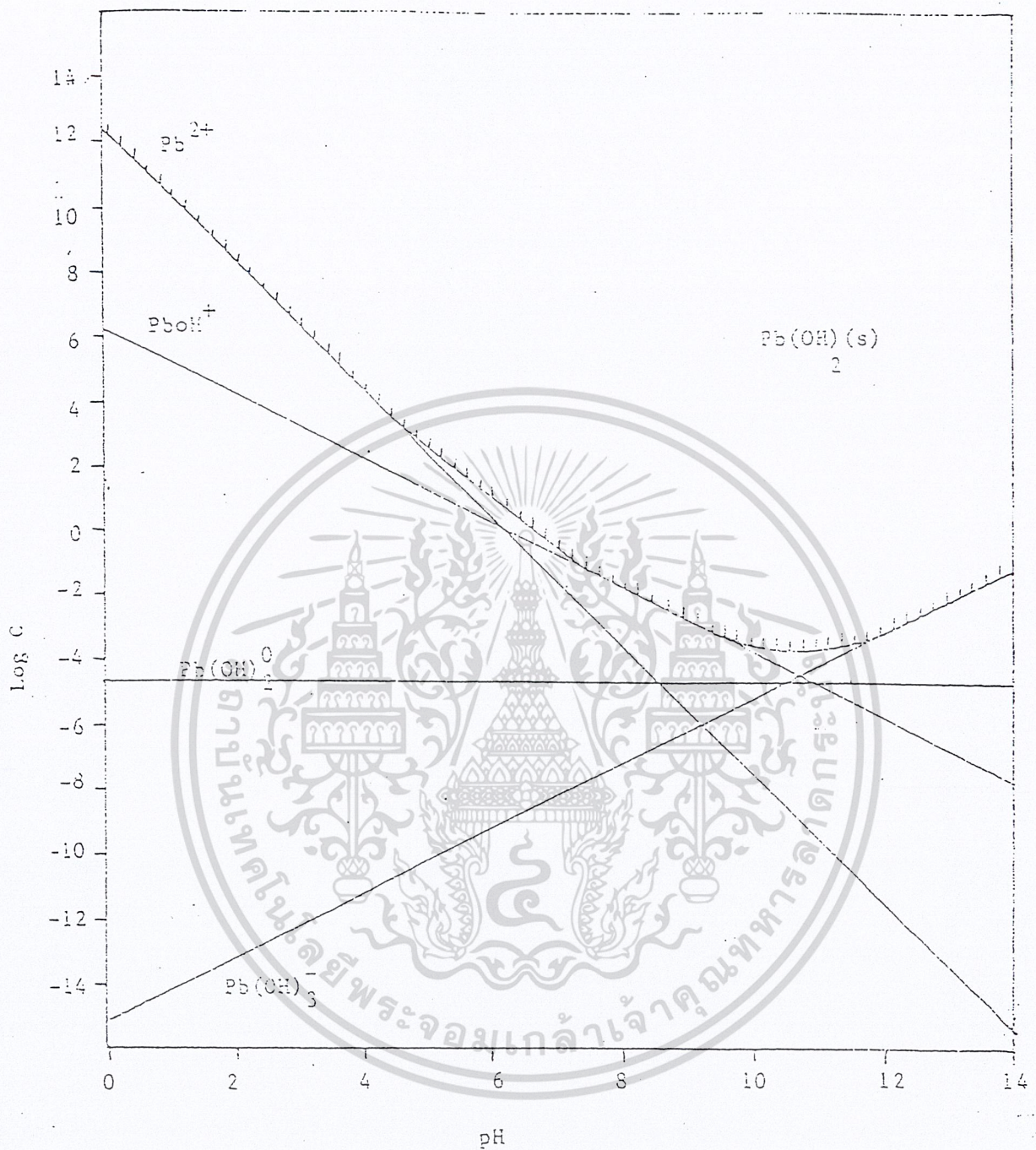
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ SSP จะใช้ซัลไฟด์ในรูปสารละลายซัลไฟด์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ (NaHS) และควบคุมการเติมสารละลายซัลไฟด์ด้วยวิธี feedback control loop โดยใช้ ion specific electrodes ทำงานได้ทั้งแบบ batch และ continuous

ในกระบวนการ ISP จะเติมเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ที่ละลายน้ำได้น้อยในรูป Slurry ลงในรูปน้ำเสีย ซึ่งจะให้ออนซัลไฟด์ที่ต้องการในการตกตะกอนโลหะหนัก เนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้น้อยกว่าเฟอร์รัสซัลไฟด์ จึงสามารถตกตะกอนเป็นโลหะซัลไฟด์ ในทางปฏิบัติ FeS จะเตรียมจากการผสมระหว่าง FeSO_4 และ NaHS ซึ่งข้อดีของกระบวนการ ISP คือ ไม่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และยังสามารถรีดิวซ์ Cr^{6+} เป็น Cr^{3+} แต่ข้อเสียก็คือต้องใช้สารเคมีในปริมาณที่มาก ทำให้เกิดตะกอนจำนวนมากเพราะเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์

ในกระบวนการ SSP ความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่สูงจะก่อให้เกิดการตกตะกอนโลหะซัลไฟด์อย่างรวดเร็ว (high nucleation rate) ทำให้เกิดอนุภาคที่เล็กละเอียดและอนุภาคแขวนลอยซึ่งตกตะกอนและกรองได้ยาก ในกรณีที่มี Chelating agents จะทำการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ไม่ได้ถึงแม้จะปรับ pH สูงขึ้นก็ตาม แต่สามารถกำจัดโลหะหนักได้ด้วยการตกตะกอนซัลไฟด์แทน กรณีที่ไม่มี Chelating agents

- ข้อดี
1. โลหะซัลไฟด์มีค่าการละลายต่ำ
 2. ตกตะกอนพวก chelating agent ได้
 3. เอน้ำออกจากตะกอนได้มากกว่าไฮดรอกไซด์
- ข้อเสีย
1. เกิดแก๊ส H_2S
 2. มีไอออนของซัลไฟด์เกิดขึ้น
 3. โลหะซัลไฟด์อยู่ในรูปคอลลอยด์



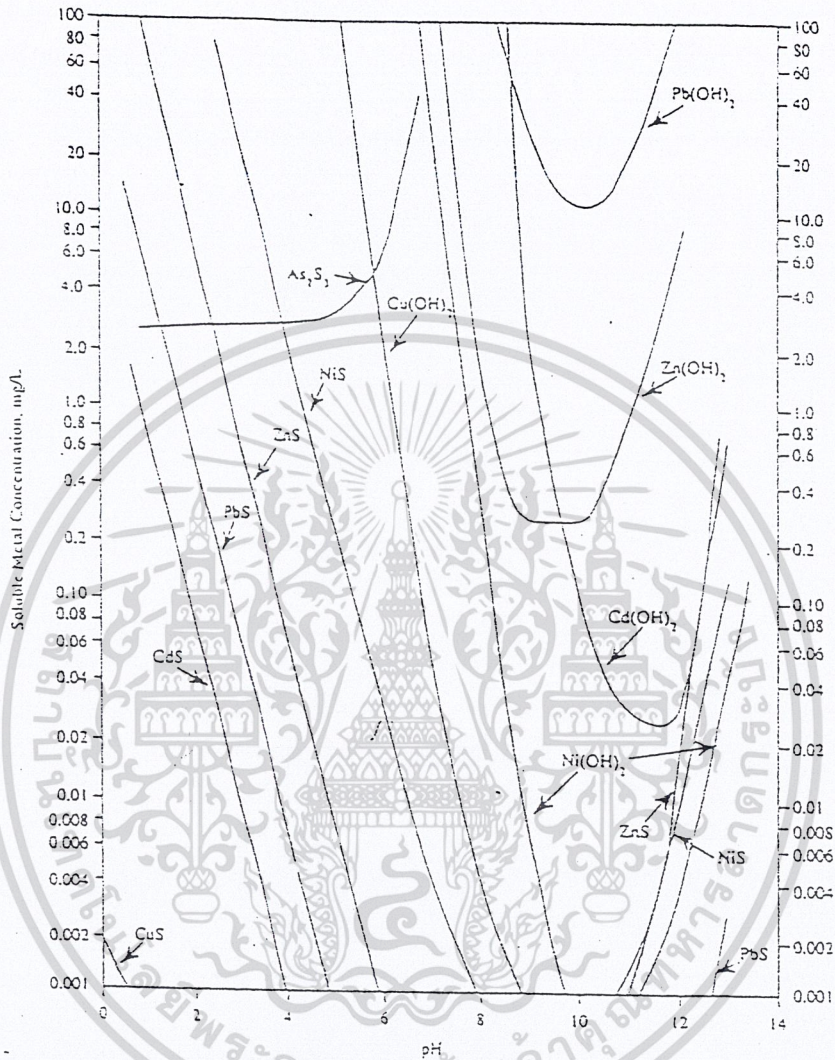
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) กับค่า pH ; $C = [Pb^{2+}] + [PbOH^+] + [Pb(OH)_2] + [PbOH_3^-]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่าง ๆ (Talbot, 1984)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของสารละลายกับความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 การใช้สารโพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอน

สารโพลีเมอร์เป็นตัวช่วยในการตกตะกอน เนื่องจากสามารถจับตัวกับอนุภาคของโลหะหนักเกิดเป็นตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น มีน้ำหนักมากทำให้ตกตะกอนได้ง่ายขึ้น ส่วนใหญ่จะนิยมใช้โพลีเมอร์ที่อยู่ในรูปโพลีอิเล็กโทรไลต์

โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes) มีคุณสมบัติดังนี้

1. ช่วยในการทำงานของ coagulants ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
2. โพลีอิเล็กโทรไลต์มีประจุไฟฟ้าที่เป็นทั้งประจุลบ (anionic) ประจุบวก (cationic) และเป็นกลาง
3. ละลายน้ำได้ยาก ควรทำตามคำแนะนำของผู้ผลิต
4. ปกติมักใช้ anionic polymer เพื่อช่วยในการตกตะกอนขั้นแรก (primary setting) ร่วมกับสารส้ม หรือเกลือของเหล็ก ส่วน cationic นั้นส่วนใหญ่นิยมใช้ในการแยกน้ำออกจากตะกอน
5. ปกติใช้ความเข้มข้นน้อยไม่เกิน 1 – 2 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ในน้ำ การนำไปใช้งานและการควบคุมการทำงาน

การนำไปใช้งานและการควบคุมการทำงาน

วัตถุประสงค์ในการทำ coagulation และ flocculation ก็เพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอย (suspended solids) รวมทั้ง colloidal ที่หลายออกจากน้ำเสีย สำหรับการหาปริมาณสารเคมีที่เติมเข้าไปนั้น หาได้จากการทดลองทำ jar test

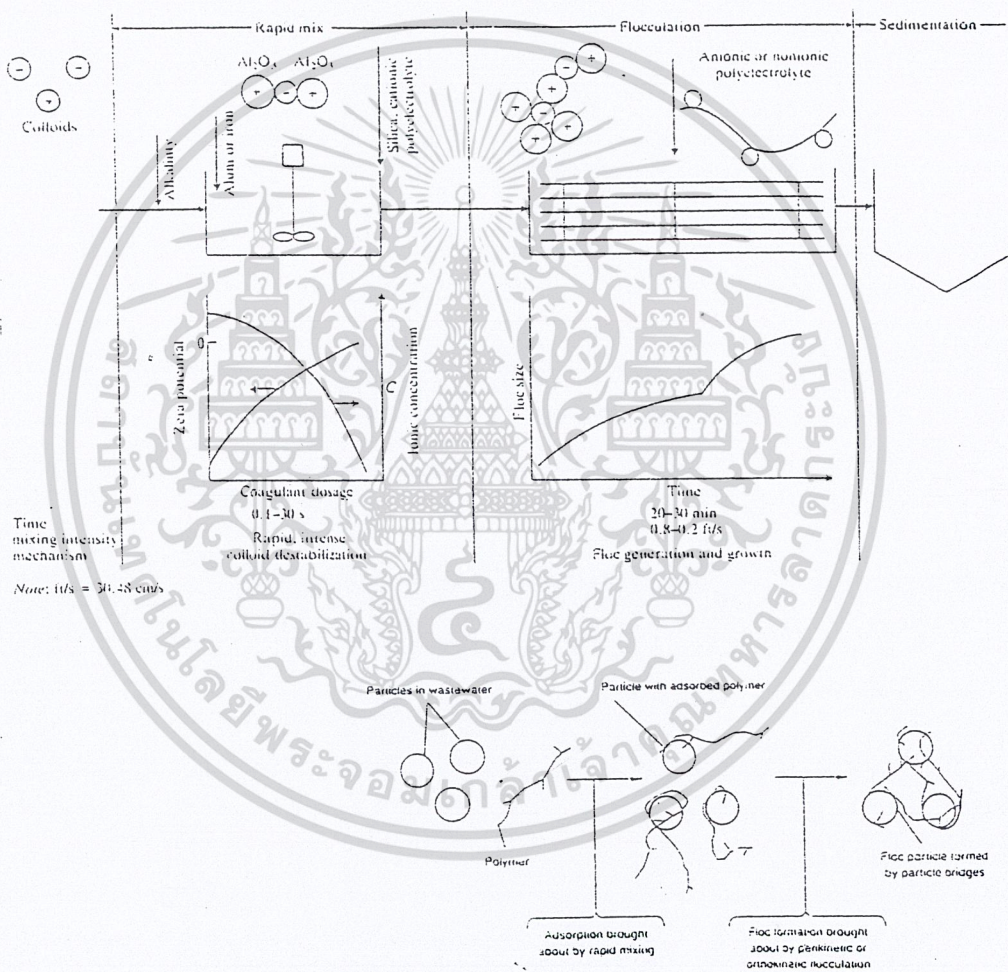
ประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการขึ้นอยู่กับสารเคมีที่เหมาะสม หากเติมมากหรือน้อยเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นผู้ควบคุมจึงต้องหาค่าที่ดีที่สุดจากการทำ jar test เพื่อเป็นข้อมูลในการใส่สารเคมีลงไปในระบบ

กรณีที่ใช้ polyelectrolyte เป็น coagulant aid จะต้องระมัดระวังตั้งแต่การละลายน้ำ ซึ่งจะต้องทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เช่น ผสมกับน้ำอุ่น แล้วกวนช้า ๆ เป็นต้น ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ประมาณ 0.2 – 2% ถ้าเข้มข้นมากกว่านี้ จะสูบส่งไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานได้ยาก และหลังจากผสมน้ำแล้ว จะต้องใช้ให้หมดภายใน 1-2 สัปดาห์ เพราะว่ามีสภาพไม่ยู่ตัว

รูปที่ 2.8 แสดงการจับตัวของสารโพลีเมอร์ที่ใช้เร่งการตกตะกอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 เทคนิคการวิเคราะห์โดยการตกตะกอน

เทคนิคการวิเคราะห์โดยการตกตะกอนนี้ คือ วิธีการทำให้ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณแยกตัวออกมาจากสารตัวอย่างโดยการตกตะกอนออกมา ตะกอนนั้นจะต้องละลายได้น้อยที่สุด จนเมื่อผ่านขบวนการต่างๆ คือ กรอง ล้าง ชั่ง แล้วจะต้องไม่มีตะกอนของธาตุหรือสารประนั้นปรากฏในสารละลายที่ใช้ล้างเหลืออยู่เลย ดังนั้น จึงต้องเลือกใช้สารที่ทำให้ตกตะกอน (precipitant หรือ precipitating agent) ให้ดีเพื่อให้ได้ตะกอนที่เหมาะสม สารที่ทำให้ตกตะกอนที่ใช้กันอยู่มีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์ อย่างไรก็ตามก็ไม่ได้หมายความว่าตะกอนที่ไม่ละลายในสารละลายเลยจะไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แบบแกรวิเมตริก สิ่งสำคัญคือ ต้องพิจารณาหาคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดทั้งของตะกอนและระบบ ที่จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด

คุณสมบัติเหล่านี้เกี่ยวข้องกับโดยตรงกับขั้นตอนการวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วยการแยกสารออกมาในรูปตะกอน แล้วชั่งน้ำหนัก มีรายละเอียดดังนี้

1. เตรียมสารตัวอย่าง รวมถึงการชั่งและละลายสารตัวอย่างให้อยู่ในรูปสารละลาย
2. ทำการตกตะกอน แยกเอาสารที่ต้องการวิเคราะห์ออกจากสารตัวอย่าง
3. กรองและล้างตะกอน
4. ทำให้ตะกอนแห้ง หรือเผาตะกอน
5. ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ แล้วคำนวณหาผลการวิเคราะห์

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ดังกล่าว ทำให้สามารถพิจารณาหาคุณสมบัติของตะกอนและระบบที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เชิงปริมาณแบบตกตะกอนได้ดังนี้

1. ความสามารถในการละลาย (Solubility) จะต้องมียุคค่าต่ำ คือ ตะกอนต้องเกือบไม่ละลายในสารละลาย เพื่อให้เกิดการตกตะกอนสมบูรณ์และไม่เกิดการสูญเสียขณะกรองและล้างตะกอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากสารที่ต้องการวิเคราะห์มีปริมาณน้อยมากในสารตัวอย่าง และต้องการผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องสูง จะต้องระมัดระวังค่าความสามารถในการละลายให้มีค่าต่ำสุดในทางปฏิบัตินั้น ยินยอมให้มีสารที่ ต้องการวิเคราะห์เหลือค้างอยู่ในสารละลายได้น้อยที่สุด คือ ไม่มากกว่า 0.1 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความบริสุทธิ์ของตะกอน (purity) จะต้องมีค่าสูง ปราศจากสิ่งปนปลอมต่างๆ ถ้ามีสิ่งปนปลอมกับตะกอน ก็ต้องสามารถขจัดออกได้หมดในขั้นตอนการล้างตะกอนหลังการกรอง หรืออบตะกอนหลังการล้าง

3. ความยากง่ายในการกรองตะกอน (Filterability) คือการแยกตะกอนออกจากสารละลายด้วยการกรองควรทำได้ง่ายและรวดเร็ว นั่นคือ ตะกอนจะต้องมีอนุภาคที่ใหญ่พอ หากอนุภาคมีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้กรองยุ่งยาก ขนาดอนุภาคนี้จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะเมื่อทำการล้างตะกอน ดังนั้น จึงควรเลือกให้สารล้างตะกอนที่ไม่มีผลต่อการละลายของตะกอน

4. องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ของตะกอนที่ได้จะต้องถูกต้องแน่นอน หรือต้องสามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบแน่นอนได้โดยการเผาหรือวิธีการทางเคมีง่ายๆ เช่น การระเหยด้วยของเหลวที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กแมกนีเซียมในสารตัวอย่าง กระทำได้โดยการให้ตกตะกอนในรูปของ แอมโมเนียม แมกนีเซียม ฟอสเฟต - $Mg(NH_4)PO_4 \cdot H_2O$ จากนั้นให้เผาตะกอนในรูปของ ไพโรฟอสเฟต ($Mg_2P_2O_7$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีองค์ประกอบที่แน่นอน เพราะในทางปฏิบัติตะกอนที่ต้องการวิเคราะห์ควรเป็นตะกอนที่ปราศจากน้ำ และไม่ทำปฏิกิริยาที่บรรยากาศ

5. คุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความเสถียรของตะกอน การไม่ดูดความชื้น หรือไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศ การเป็นตะกอนหนักคือ มีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งมีผลทำให้ตะกอนรวมตัวกันได้ดี ทำให้ชั่งน้ำหนักได้แน่นอน เป็นต้น

ปัญหาคือ หากตะกอนเป็นอนุภาคขนาดเล็ก กระจายอยู่ทั่วไปในสารละลาย ในสภาพที่เรียกว่าคอลลอยด์ (Colloid) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เหล่านี้จับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ ตกตะกอนออกมาจากสารละลายแล้วกรองได้ดี นอกจากนั้น การล้างตะกอนด้วยของเหลวหรือสารละลายบางชนิดก็เป็นปัญหาสำคัญ เพราะจะต้องเลือกใช้ให้ถูก ไม่ให้มีการละลายของตะกอนเกิดขึ้น ดังนั้น จึงควรศึกษาเรื่องคอลลอยด์ให้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้นการตกตะกอนที่เหมาะสม ควรจะคำนึงถึง

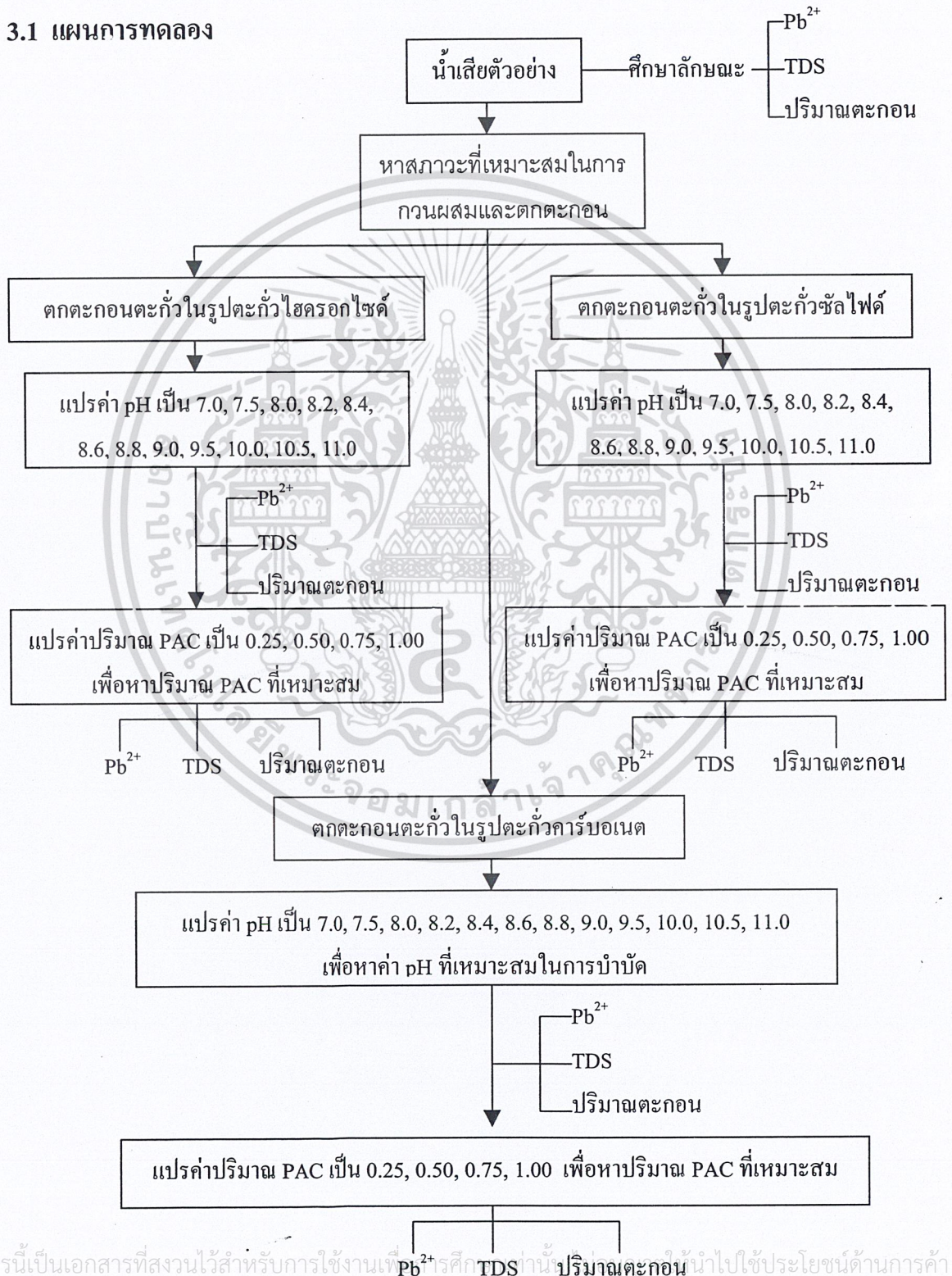
1. การเลือกใช้สารให้ตกตะกอน ควรเลือกใช้ให้เกิดจำเพาะเจาะจงเฉพาะกับสารที่ต้องการวิเคราะห์เท่านั้น ไม่ควรมีตะกอนของสารอื่น ในสารตัวอย่างเกิดร่วมด้วย
2. การจัดสภาวะการวิเคราะห์ ขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ได้ตะกอนที่เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ มีความบริสุทธิ์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 แผนการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ Pb²⁺ ศึกษาปริมาณตะกอน นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. ถ้วยระเหย 5 ใบ
17. กรวยอิมชอฟฟ์ 1000 ml. จำนวน 5 อัน

3.3 วิธีการทดสอบ

3.3.1 ศึกษาลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเบตเตอรี

นำตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตเบตเตอรีมาทำการกรอง โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่า พีเอช (pH) ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS) และปริมาณความเข้มข้นของตะกั่ว

3.3.1.1 หาค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสีย

นำน้ำเสียดัวอย่าง 200 ml. ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 500 ml. นำมาวัดค่าพีเอชด้วยเครื่อง pH meter ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.3.1.2 หาค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS)

นำน้ำเสียดัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.3.1.3 หาปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว

ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry)

3.3.2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด

3.3.2.1 หาค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่ว โดยใช้ NaOH

นำน้ำเสียดัวอย่าง 100 ml. ใส่ในบีกเกอร์ 250 ml. จำนวน 14 ใบ

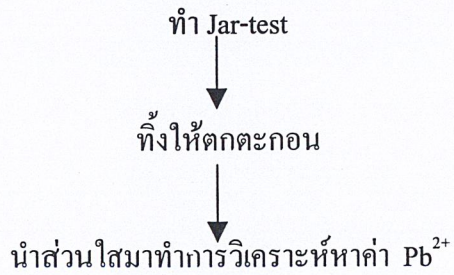


แปรค่า pH เป็น 1.9, 2.9, 4.1, 5.0, 6.0, 6.9, 7.6, 8.5, 9.1, 9.6, 10.0, 10.5,

11.0, 12.0 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.3.2.2 หาเวลาที่เหมาะสมในการกวนผสม

นำน้ำตัวอย่าง 100 ml. ใส่ในบีกเกอร์ 250 ml. จำนวน 13 ใบ

↓

ปรับค่า pH ตามค่าที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2.1

↓

ทำ Jar-test แปรค่าการปั่นกวนเป็นเวลา 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0,
2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0

↓

ทิ้งให้ตกตะกอน

↓

นำส่วนใสมาทำการวิเคราะห์หา Pb^{2+}

3.3.2.3 หาเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน

นำน้ำตัวอย่าง 500 ml. ใส่ในบีกเกอร์ 1000 ml. จำนวน 1 ใบ

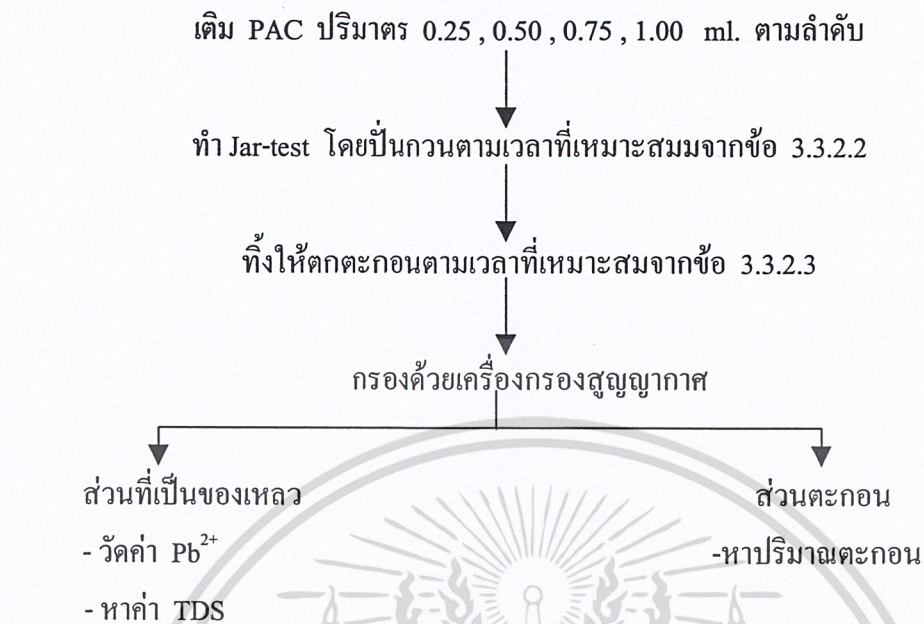
↓

ปรับค่า pH ตามค่าที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2.1

↓

ทำ Jar-test ทำการปั่นกวนตามเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.3.4 การตกตะกอนตะกั่วในรูปคาร์บอเนต ($PbCO_3$) โดยใช้ Na_2CO_3

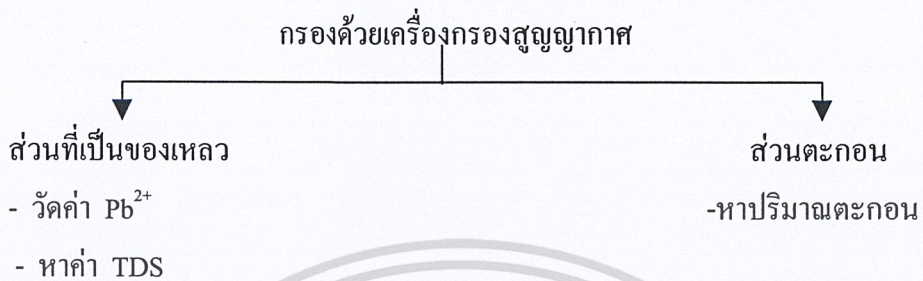
3.3.4.1 หา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต

นำน้ำตัวอย่าง 150 ml. ใส่ในบีกเกอร์ 250 ml. จำนวน 12 ใบ

แปรค่า pH เป็น 7.0, 7.5, 8.0, 8.2, 8.4, 8.6, 8.8, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0 โดยใช้ NaOH จากนั้นเติม Na_2CO_3 0.05 กรัม

ทำ Jar-test โดยปั่นกวนตามเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2.2

ทิ้งให้ตกตะกอนตามเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2.3



3.3.4.2 หาปริมาณ PAC ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต

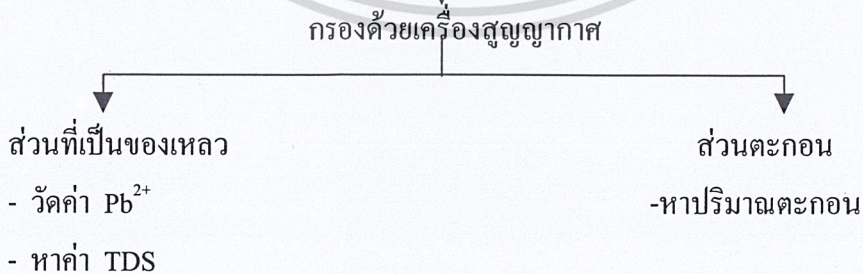
นำน้ำตัวอย่าง 150 ml. ใส่ในบีกเกอร์ 250 ml. จำนวน 4 ใบ

ปรับ pH ตามค่าที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.1 โดยใช้ NaOH

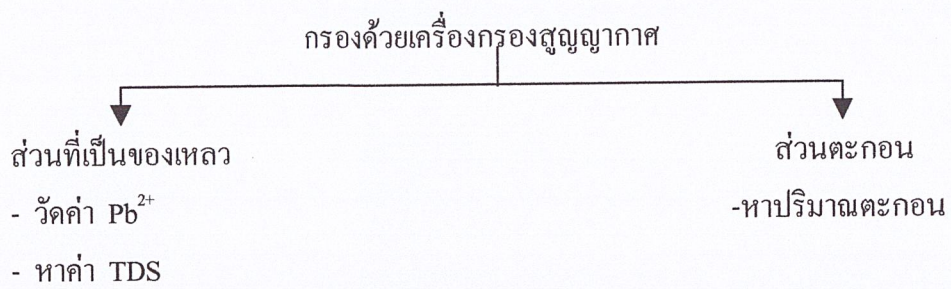
เติม PAC ปริมาตร 0.25 , 0.50 , 0.75 , 1.00 ml. ตามลำดับ

ทำ Jar-test โดยปั่นกวนตามเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2.2

ทิ้งให้ตกตะกอนตามเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการปั่นกวน (Jar Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสียตัวอย่าง

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะของน้ำเสียตัวอย่าง

ครั้งที่	1	2	3	เฉลี่ย
ค่า pH	0.90	0.94	0.92	0.92
ค่า TDS (mg/l)	12,381	12,491	12,342	12,405
Pb ²⁺ (mg/l)	6.336	6.323	6.402	6.354

4.2 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด

4.2.1 การหา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของค่า pH ต่อการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์

ค่า pH	ค่าตะกั่ว (mg/l)
1.9	5.376
2.9	4.622
4.1	4.517
5.0	4.502
6.0	3.201
6.9	3.101
7.6	0.763
8.5	0.521
9.1	0.211
9.6	0.191
10.0	0.152
10.5	0.776
11.0	0.919
12.0	1.327



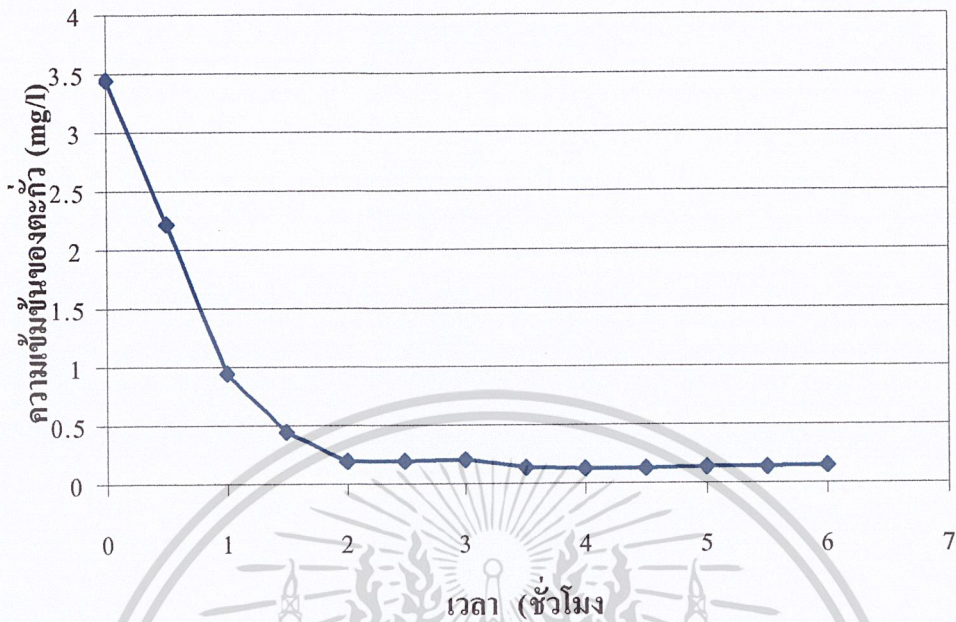
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)

จากตารางที่ 4.2 ทำการทดลองตกตะกอน โดยการปรับค่าพีเอชให้เป็น 1.9, 2.9, 4.1, 5.0, 6.0, 6.9, 7.6, 8.5, 9.1, 9.6, 10.0, 10.5, 11.0, 12.0 ตามลำดับ ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นเท่ากับ 6.354 มิลลิกรัมต่อลิตร จากกราฟ (รูปที่ 4.1) จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจะลดลงเล็กน้อย จนถึง ค่าพีเอช ที่ 7.6 ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจะลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต่ำกว่ามาตรฐานที่พีเอช 9.6 ที่พีเอช 10 ความเข้มข้นของตะกั่วจะมีค่าต่ำสุด คือ 0.152 mg / l จากนั้นเมื่อพีเอชสูงขึ้น ความเข้มข้นของตะกั่วจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดสารเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้คือ $Pb(OH)_2$ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ดังนั้น ค่าพีเอชเท่ากับ 10 จึงเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน

4.2.2 หาเวลาที่เหมาะสมในการกวนผสม

ตารางที่ 4.3 แสดงการหาเวลาที่ใช้ในการกวนผสม

ตกตะกอนด้วย NaOH		
pH	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณตะกั่ว (mg/l)
10	0	3.446
	0.5	2.220
	1.0	0.945
	1.5	0.445
	2.0	0.193
	2.5	0.196
	3.0	0.199
	3.5	0.142
	4.0	0.121
	4.5	0.123
	5.0	0.132
	5.5	0.137
	6.0	0.144



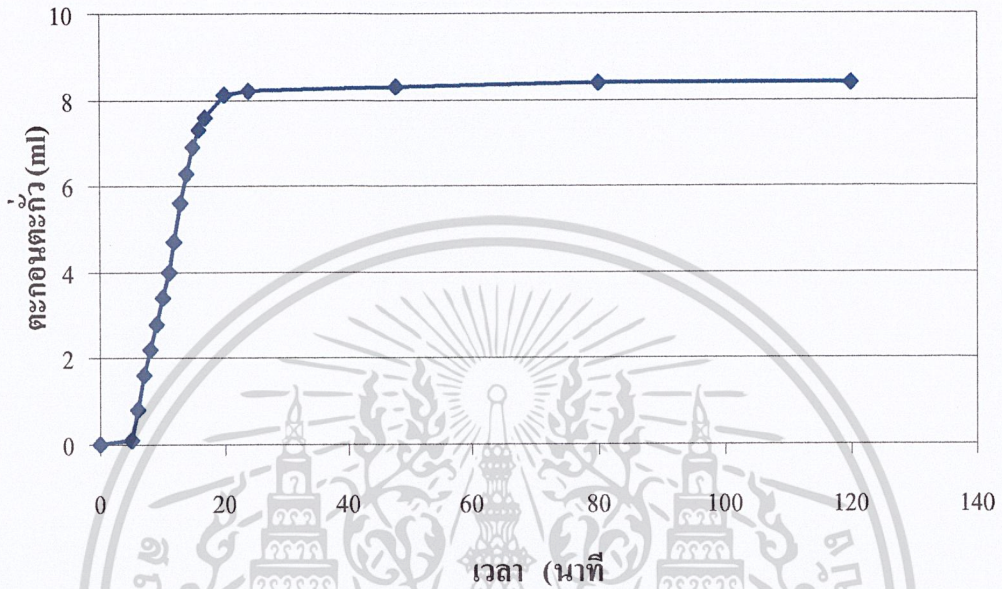
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกวนผสม (ชม.) กับความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)

จากตารางที่ 4.3 ทำการทดลองตกตะกอนโดยปรับค่าพีเอชให้เป็น 10.0 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน โดยทำการแปรค่าเวลาที่ใช้ในการกวนผสมเป็น 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0 ตามลำดับ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 6.354 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณตะกั่วจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น จากกราฟ (รูปที่ 4.2) จะเห็นว่า แนวโน้มของปริมาณตะกั่วจะลดลง โดยที่เวลา 2 ชั่วโมง จะเริ่มมีปริมาณตะกั่วต่ำลงจนได้ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (ปริมาณตะกั่วต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร) จากนั้นปริมาณตะกั่วจะลดลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้น เวลา 2 ชั่วโมงจึงเป็นเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการกวนผสม

4.2.3 หาระยะเวลาที่ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

ตารางที่ 4.4 แสดงการหาระยะเวลาที่ใช้ทำให้ตะกอนจมตัว

ตกตะกอนด้วย NaOH			
pH	เวลาที่ใช้ในการกวนผสม (ชั่วโมง)	เวลา (นาที)	ตะกอนตะกั่ว (มล.)
10	2	0	0
		5	0.1
		6	0.8
		7	1.6
		8	2.2
		9	2.8
		10	3.4
		11	4.0
		12	4.7
		13	5.6
		14	6.3
		15	6.9
		16	7.3
		17	7.6
		20	8.1
		24	8.2
		48	8.3
80	8.4		
120	8.4		



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน (นาที) กับปริมาณตะกอน (ml)

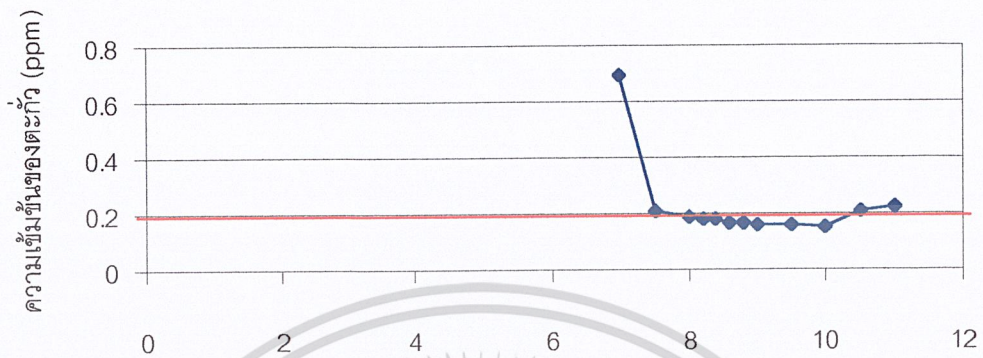
จากตารางที่ 4.4 ทำการทดลองตกตะกอนโดยปรับค่าพีเอชให้เป็น 10.0 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน โดยใช้เวลาในการกวนผสมเป็น 2 ชั่วโมงซึ่งเป็นเวลาผสมที่เหมาะสม ทำการแปรค่าระยะเวลาที่ใช้ทำให้ตะกอนจมตัว เป็นเวลา 0, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 48, 80 และ 120 นาทีตามลำดับ จากกราฟ (รูปที่ 4.3) จะเห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาที่ใช้ทำให้ตะกอนนอนก้นเพิ่มขึ้น ตะกอนตะกั่วก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และที่เวลา 80 นาที ปริมาณตะกอนตะกั่วเริ่มคงที่ที่ 8.4 มิลลิลิตร เวลา 80 นาที จึงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ทำให้ตะกอนจมตัว

4.3 ผลการทดลองการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$)

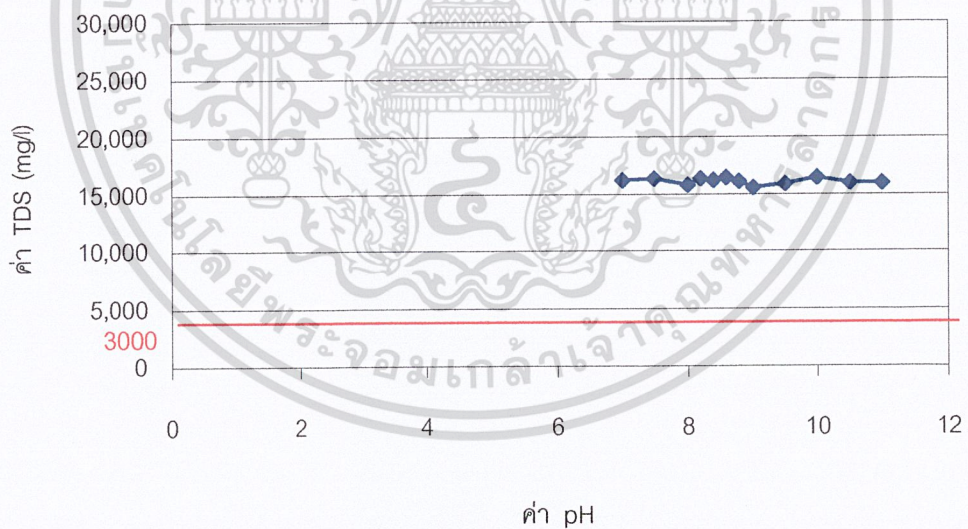
4.3.1 หา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

pH	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ค่า TDS (mg/l)	ปริมาณตะกอน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ใน การตกตะกอน
7.0	0.691	16,164	0.0127	89.12
7.5	0.206	16,244	0.0183	96.76
8.0	0.183	15,722	0.0223	97.06
8.2	0.179	16,262	0.0238	97.18
8.4	0.177	16,118	0.0246	97.21
8.6	0.167	16,342	0.0256	97.37
8.8	0.163	16,004	0.0264	97.43
9.0	0.159	15,550	0.0277	97.50
9.5	0.155	15,784	0.0281	97.56
10.0	0.150	16,342	0.0289	97.64
10.5	0.205	15,986	0.0235	96.79
11.0	0.218	15,902	0.0207	96.60

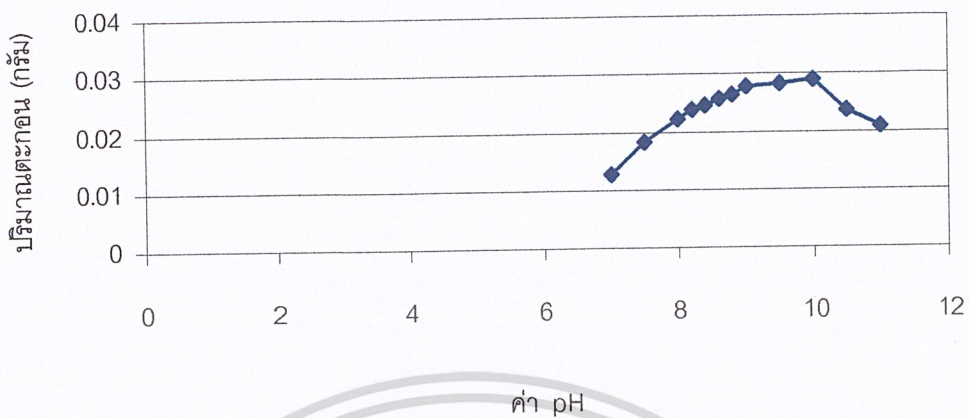


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่า TDS (mg/l)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับปริมาณตะกอน (กรัม)

ทำการทดลองตกตะกอนตะกั่วให้อยู่ในรูปของตะกั่วไฮดรอกไซด์ โดยการปรับค่า pH ให้เป็น 7.0, 7.5, 8.0, 8.2, 8.4, 8.6, 8.8, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 ตามลำดับ โดยใช้ NaOH ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 6.354 มิลลิกรัมต่อลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับตะกั่ว ตามสมการ 4.1



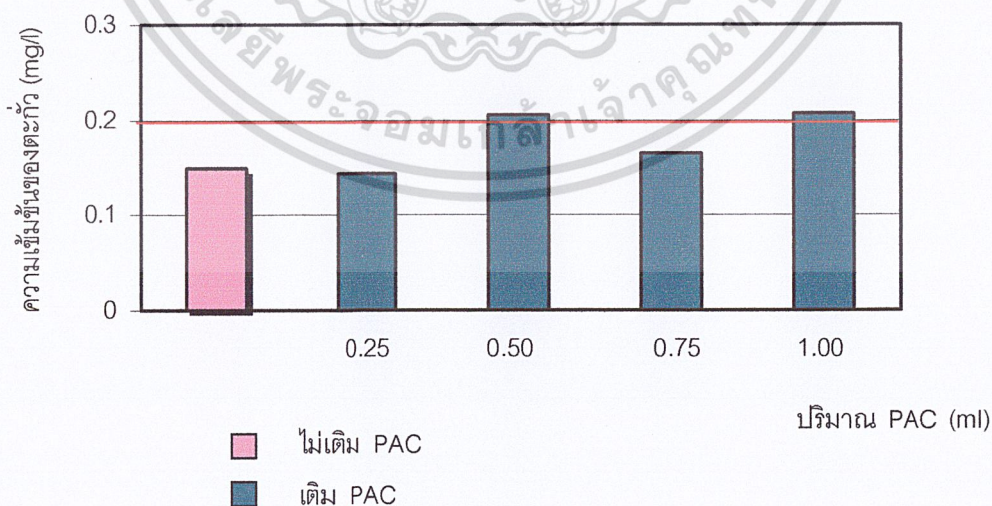
จากการทดลองพบว่า ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจะมีค่าลดต่ำลงเรื่อย ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าเมื่อปรับค่า pH เป็น 10.0 จะเป็นค่า pH ที่ทำให้มีความเข้มข้นของตะกั่วเหลืออยู่ในน้ำเสี้ยวตัวอย่างน้อยที่สุด คือ 0.150 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีเปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอนสูงสุด จากกราฟ จะเห็นได้ว่า ถ้าค่า pH ต่ำหรือสูงเกินไป จะทำให้เกิดตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์น้อยลง ทั้งนี้เพราะว่าการที่น้ำเสี้ยวตัวอย่างมีค่า pH ต่ำเกินไป นั่นคือ OH^- ในสมการที่ 4.1 มีค่าน้อย ดังนั้นจึงทำปฏิกิริยากับตะกั่วได้น้อย ส่งผลให้การตกตะกอนของตะกั่วเกิดขึ้นได้น้อย ดังกราฟ (รูปที่ 4.5) แต่ถ้ามีค่า pH ของน้ำเสี้ยวตัวอย่างสูงเกินไป นั่นคือมีค่า OH^- อยู่มาก จะทำให้เกิดสารเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้คือ Pb(OH)_3^- ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ดังนั้นจึงเลือกค่า pH ที่ 10.0 เป็นค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนในขั้นตอนต่อไป

จากผลการทดลองการตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ โดยการปรับค่า pH ด้วย NaOH จะเป็นผลทำให้ค่า TDS ของน้ำเสียตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นอยู่ที่ระดับ 15,000 - 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังกราฟ (รูปที่ 4.6) จากเริ่มต้นมีค่า TDS เท่ากับ 12,405 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3.2 หาปริมาณ PAC ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์

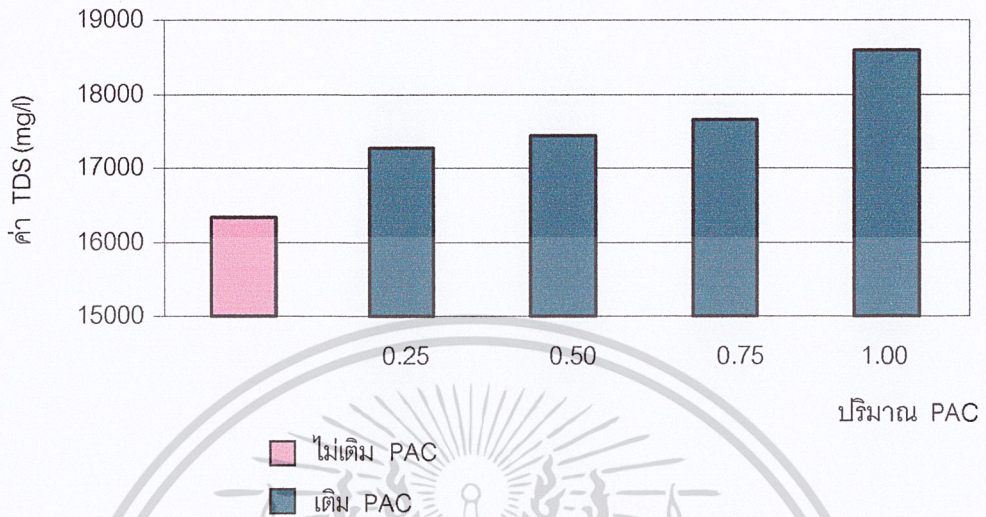
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณ PAC ต่อการตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์

pH	ปริมาณ PAC (ml)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS) (mg/l)	ปริมาณตะกอน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การตกตะกอน
10	0.25	0.144	17,268	0.0877	98.62
10	0.50	0.205	17,434	0.0717	96.77
10	0.75	0.164	17,656	0.0745	97.42
10	1.00	0.207	18,586	0.0822	96.74

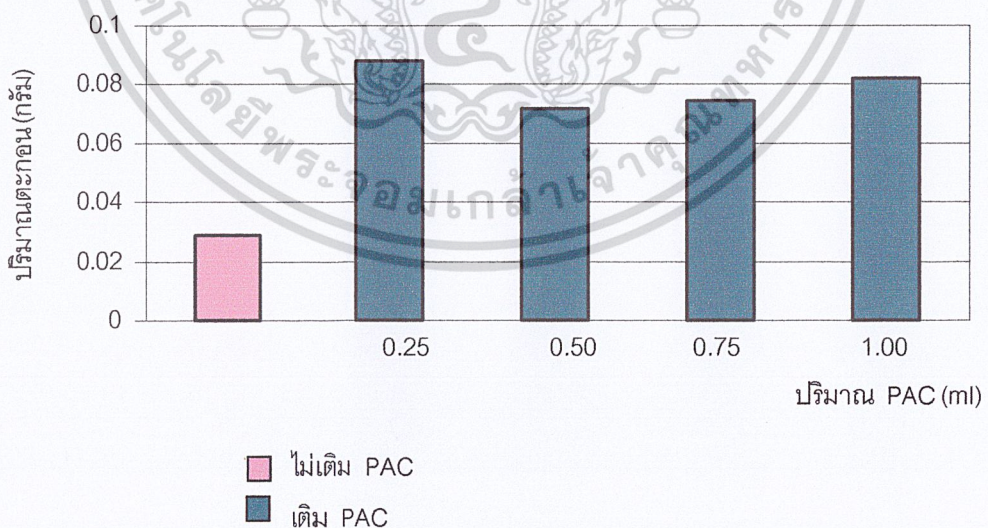


รูปที่ 4.7 แสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l) ที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (mg/l) ที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณตะกอน ที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ

ทำการทดลองตกตะกอนตะกั่ว โดยปรับพีเอชให้เป็น 10.0 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน และ เติมสารเร่งการตกตะกอน (PAC) ปริมาณ 0.25 , 0.50 , 0.75 และ 1.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 6.354 มิลลิกรัม / ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า ปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำเสียตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.144 , 0.205 , 0.164 และ 0.207 มิลลิกรัม / ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอน ตามลำดับได้เท่ากับ 98.62 , 96.77, 97.42 และ 96.74 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

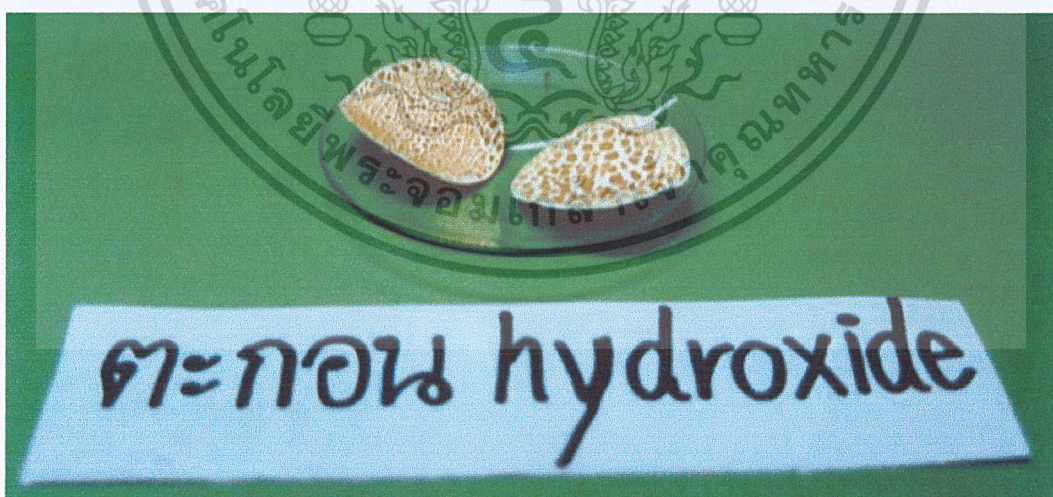
จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณสารเร่งการตกตะกอน (PAC) เท่ากับ 0.25 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย น้อยที่สุด คือ 0.144 มิลลิกรัม / ลิตร และมีเปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอนสูงสุด ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง จึงเลือกปริมาณ สารเร่งการตกตะกอน ((PAC) ดังกล่าว ใช้ตกตะกอนต่อไป

จากผลการทดลอง พบว่า ตกตะกอนตะกั่วโดยมีการใช้ สารเร่งการตกตะกอน (PAC) ช่วยในการตกตะกอน จากรูป 2 แปรผลทำให้ค่า TDS ของน้ำเสียตัวอย่าง เพิ่มสูงขึ้น อยู่ระดับ 16,000 – 17,000 มิลลิกรัม / ลิตร จากน้ำเสียตัวอย่างที่ไม่เติมสารเร่งการตกตะกอน (PAC) มีค่า TDS เท่ากับ 16,342 มิลลิกรัม / ลิตร

จะเห็นได้ว่า การเติมสารเร่งการตกตะกอน (PAC) ในน้ำเสียตัวอย่าง จะสามารถลดความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียตัวอย่างได้เพียงเล็กน้อยซึ่งถ้าไม่มีการเติมสารเร่งการตกตะกอน (PAC) ก็ได้ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอยู่แล้ว ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมสารเร่งการตกตะกอน (PAC) ทำให้ตะกอนตะกั่วรวมกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้น และมีการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากการทดลองมีการหาเวลา ในการทิ้งให้ตกตะกอน ที่เหมาะสม คือ 80 นาที ซึ่งใช้เวลามาก ทำให้การเติมสารเร่งการตกตะกอน (PAC) ไม่ค่อยมีผลต่อการตกตะกอน การเติมสารเร่งการตกตะกอน (PAC) จะใช้ได้ดี นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดสูง ทำให้เวลาที่ทิ้งไว้ในถังตกตะกอนน้อย จึงต้องมีการเติมสารเร่งการตกตะกอน (PAC) เพื่อช่วยให้เกิดการตกตะกอนได้ดีเร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ที่กรองได้

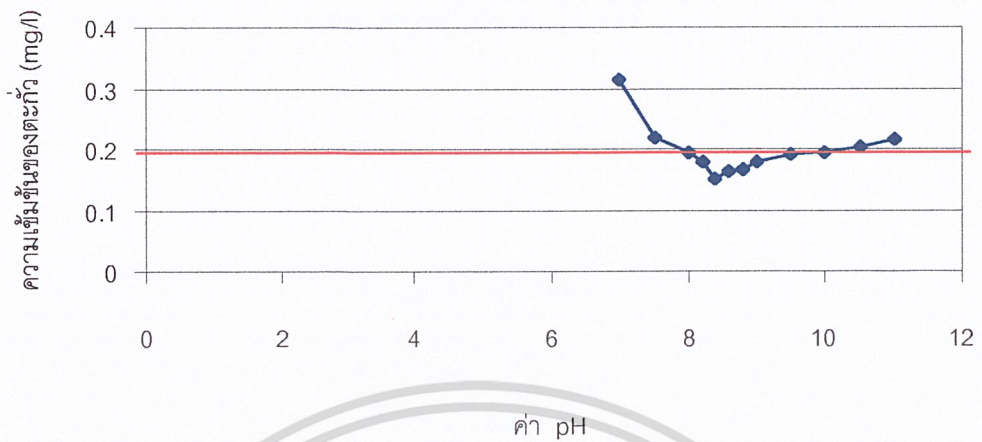
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองการตกตะกอนคาร์บอเนต (PbCO_3)

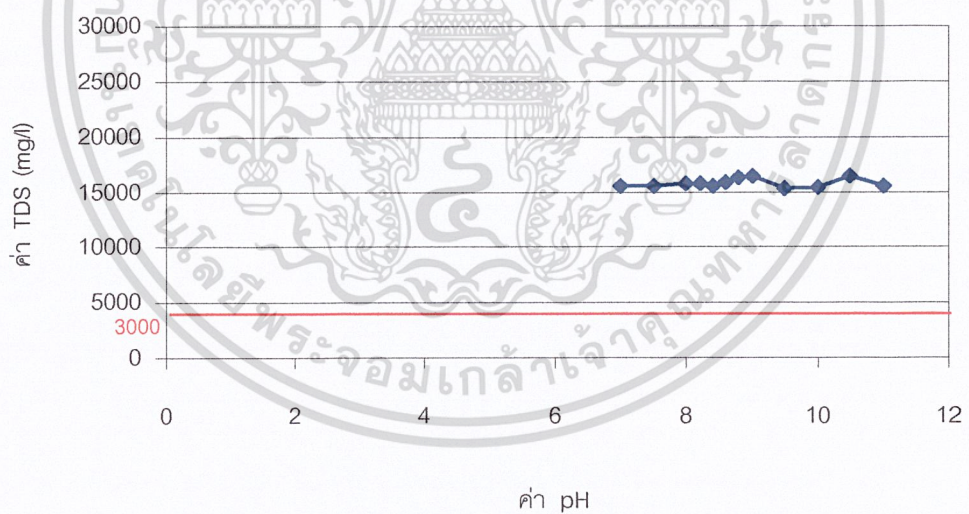
4.4.1 หา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนคาร์บอเนต โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

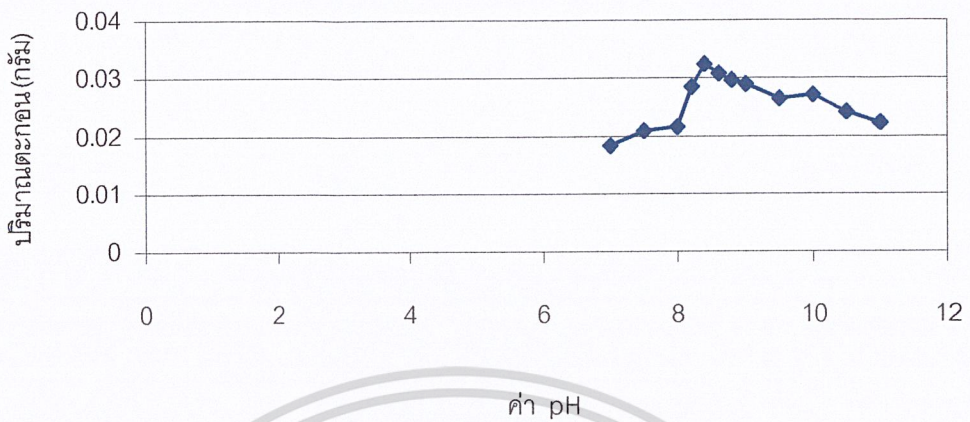
pH	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ค่า TDS (mg/l)	ปริมาณตะกอน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ใน การตกตะกอน
7.0	0.315	15,486	0.0183	94.49
7.5	0.220	15,505	0.0207	96.54
8.0	0.194	15,674	0.0215	96.95
8.2	0.177	15,698	0.0285	97.21
8.4	0.151	15,467	0.0323	97.62
8.6	0.163	15,849	0.0307	97.43
8.8	0.167	16,238	0.0295	97.37
9.0	0.178	16,346	0.0288	97.20
9.5	0.192	15,247	0.0263	96.98
10.0	0.194	15,378	0.0271	96.95
10.5	0.203	16,343	0.0241	96.81
11.0	0.216	15,497	0.0222	96.60



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH กับความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH กับค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (mg/l)



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH กับปริมาณตะกอน (กรัม)

ทำการทดลองตกตะกอนตะกั่วให้อยู่ในรูปของตะกอนคาร์บอเนต โดยการปรับค่าพีเอชให้เป็น 7.0, 7.5, 8.0, 8.2, 8.4, 8.6, 8.8, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 ตามลำดับ จากนั้นเติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 กรัม ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 6.354 มก.ต่อลิตร โซเดียมคาร์บอเนตจะทำปฏิกิริยากับตะกั่วตามสมการที่ 4.2



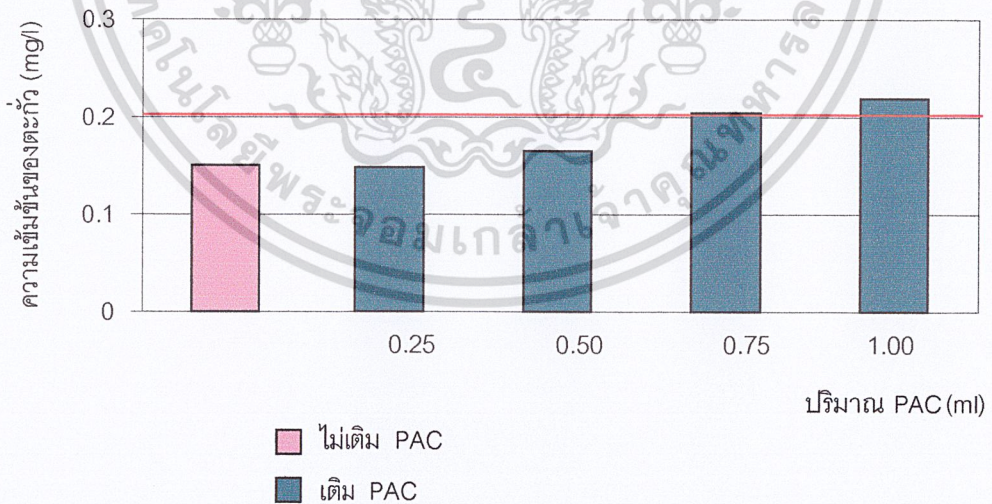
จากการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นของตะกั่วจะมีแนวโน้มลดต่ำลง ดังแสดงในตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าเมื่อปรับค่าพีเอชเป็น 8.4 จะเป็นค่าพีเอชที่จะทำให้ค่าตะกั่วเหลืออยู่ในน้ำเสี้ยวอย่างน้อยที่สุดคือ 0.151 มก.ต่อลิตร และมีเปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอนสูงสุดจากกราฟ (รูปที่ 4.10) ถ้าค่าพีเอชต่ำหรือสูงเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนคาร์บอเนตน้อยลง ดังนั้นจึงเลือกค่าพีเอชที่ 8.4 เป็นพีเอชที่เหมาะสมในการเลือกใช้ตกตะกอน ในขั้นตอนต่อไป

จากผลการทดลองการตกตะกอนในรูปตะกั่วคาร์บอเนต โดยการปรับค่าพีเอช แล้วเติมโซเดียมคาร์บอเนต จะเป็นผลทำให้ค่า TDS ของน้ำเสี้ยวอย่างเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับที่ 15,000 – 16,000 มก.ต่อลิตร จากกราฟ (รูปที่ 4.11) จากเริ่มต้นมีค่า TDS เท่ากับ 12,405 มก.ต่อลิตร

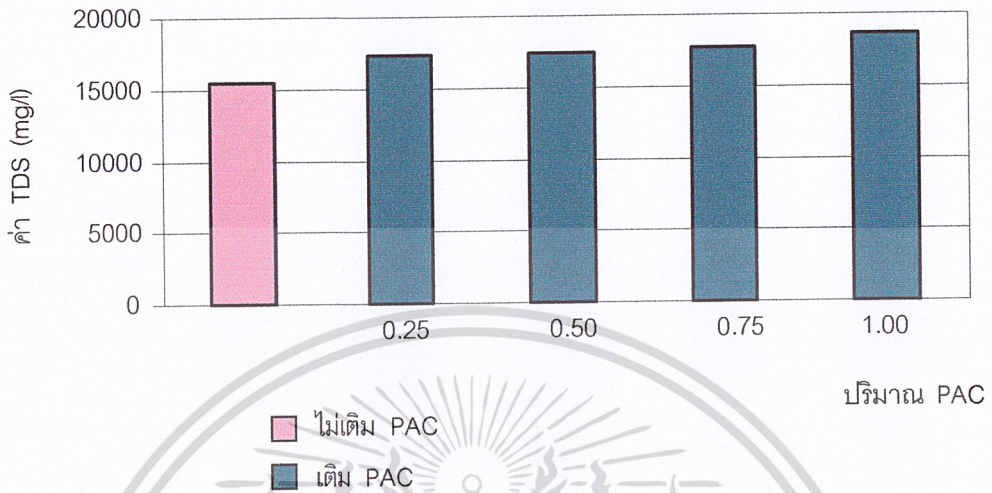
4.4.2 หาปริมาณ PAC ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.8 แสดงผลปริมาณ PAC ต่อการตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต

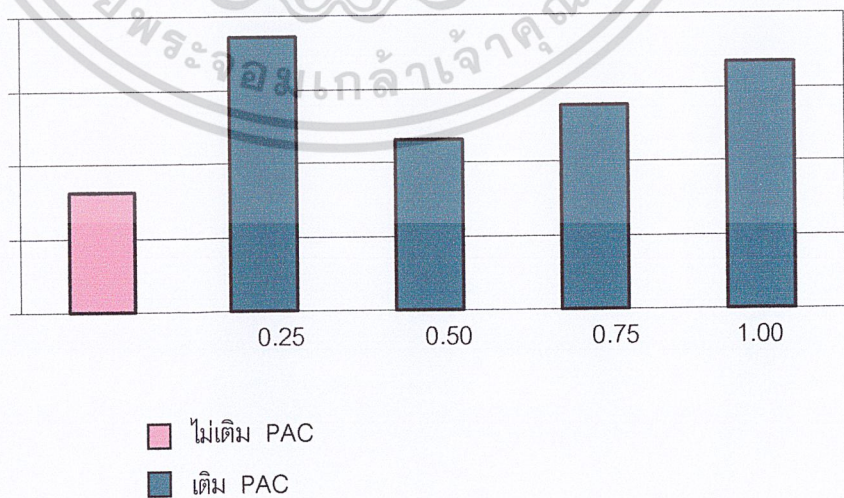
pH	ปริมาณ PAC (ml)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS) (mg/l)	ปริมาณตะกอน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การตกตะกอน
8.4	0.25	0.147	17,268	0.0741	97.69
8.4	0.50	0.165	17,434	0.0461	97.40
8.4	0.75	0.204	17,656	0.0553	96.79
8.4	1.00	0.219	18,586	0.0668	97.47



รูปที่ 4.15 แสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l) ที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.16 แสดงค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (mg/l) ที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณตะกอน ที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองตกตะกอนตะกั่ว โดยปรับค่าพีเอชให้เป็น 8.4 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน และ เติมสารเร่งตกตะกอน (PAC) ปริมาตร 0.25, 0.50, 0.75, และ 1.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 6.354 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่าปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำเสียตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.147, 0.165, 0.204 และ 0.219 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอนได้เท่ากับ 97.69 , 97.40 , 96.79 , 97.97 % ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารเร่งตกตะกอน (PAC) เท่ากับ 0.25 มิลลิลิตร ทำให้มีความเข้มข้นของตะกั่วเหลืออยู่ในน้ำเสียน้อยที่สุด คือ 0.147 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีเปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอนสูงสุด ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง จึงเลือกปริมาณสารเร่งตกตะกอน (PAC) ดังกล่าว ใช้ตกตะกอนต่อไป

จากผลการทดลองตกตะกอนตะกั่วโดยมีการใช้ สารเร่งตกตะกอน (PAC) ช่วยในการตกตะกอน จากรูปที่ 5 พบว่าจะเป็ผลทำให้ TDS ของน้ำเสียตัวอย่าง เพิ่มสูงขึ้นอยู่ระดับ 17,000 - 18,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจากน้ำเสียตัวอย่างที่เติมสารเร่งตกตะกอน (PAC) มีค่า TDS เท่ากับ 15,467 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.18 แสดงตะกอนตะกั่วคาร์บอเนตที่กรองได้

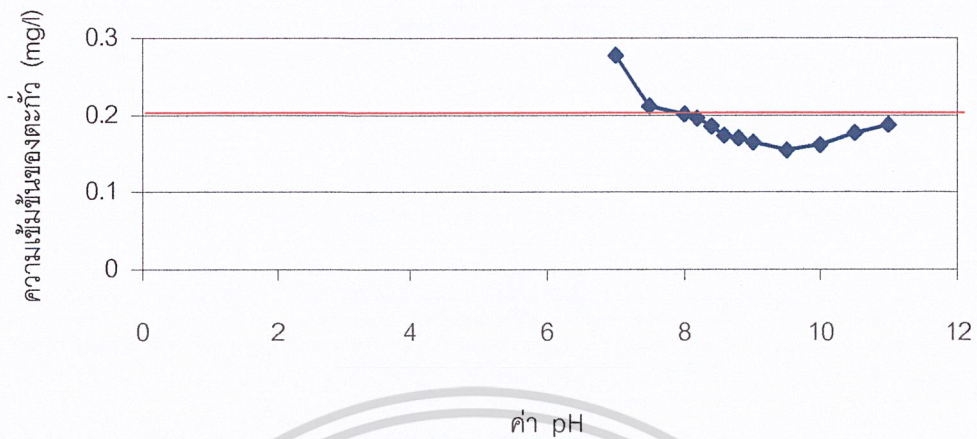
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์ (PbS)

4.5.1 หา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์ โดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S)

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์ โดยใช้โซเดียมซัลไฟด์

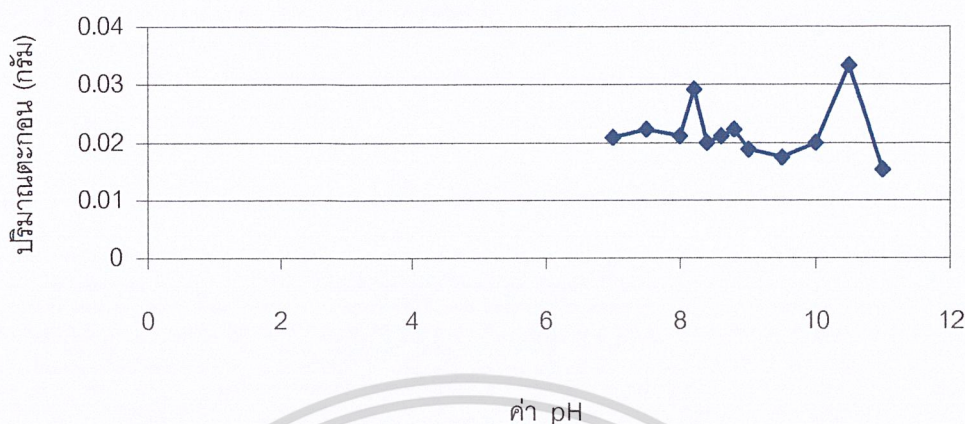
pH	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ค่า TDS (mg/l)	ปริมาณตะกอน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ใน การตกตะกอน
7.0	0.277	15,624	0.0207	95.64
7.5	0.211	15,460	0.0221	96.68
8.0	0.201	15,956	0.0211	96.79
8.2	0.196	16,070	0.0292	96.82
8.4	0.185	15,428	0.0200	97.09
8.6	0.173	15,860	0.0211	97.17
8.8	0.170	16,866	0.0223	97.26
9.0	0.165	16,422	0.0188	97.40
9.5	0.155	15,552	0.0174	97.56
10.0	0.162	14,968	0.0198	97.21
10.5	0.177	16,052	0.0332	97.05
11.0	0.187	16,824	0.0153	97.00



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH กับความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH กับค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (mg/l)



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH กับปริมาณตะกอน (กรัม)

ทำการทดลองตกตะกอนตะกั่ว ให้อยู่ในรูปของตะกั่วซัลไฟด์ โดยการปรับค่าพีเอช ให้เป็น 7.0, 7.5, 8.0, 8.2, 8.4, 8.6, 8.8, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 ตามลำดับ จากนั้นเติม โซเดียมซัลไฟด์ 0.05 กรัม ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 6.354 มิลลิกรัมต่อลิตร โซเดียมซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับตะกั่วตามสมการ 4.3



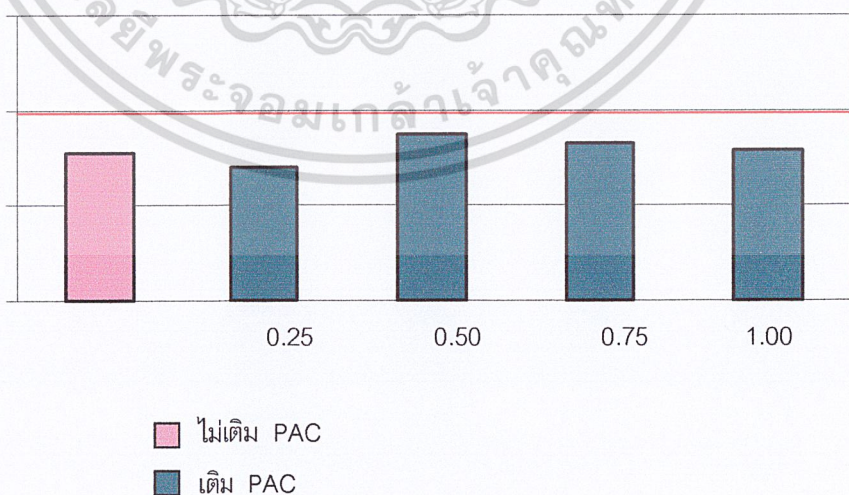
จากการทดลองพบว่าเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของตะกั่วมีแนวโน้มลดต่ำลงจนถึงที่พีเอช 9.5 ต่อจากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยที่พีเอช 9.5 ความเข้มข้นของตะกั่วเหลืออยู่ในน้ำเสี้ยวอย่างน้อยที่สุด คือ 0.174 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีเปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอนสูงสุด จากกราฟ (รูปที่ 4.19) ค่าพีเอชต่ำหรือสูงเกินไป จะทำให้เกิดตะกอนตะกั่วซัลไฟด์น้อยลง เนื่องจาก pH ต่ำเกินไป ค่าการละลายของตะกั่วซัลไฟด์มีมาก จึงเกิดการตกตะกอนได้น้อย และที่ pH สูงเกินไป ค่าการละลายของตะกั่วซัลไฟด์มีค่ามาก ทำให้มีการตกตะกอนได้น้อยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ดังนั้นจึงเลือกค่าพีเอชที่ 9.5 เป็นพีเอชที่เหมาะสมในการเลือกใช้ตกตะกอนในขั้นต่อไป

จากผลการทดลองตกตะกอนในรูปตะกั่วซัลไฟด์ โดยการปรับค่าพีเอชแล้วเติมโซเดียมซัลไฟด์ จะเป็นผลทำให้ค่า TDS ของน้ำเสี้ยวอย่างเพิ่มสูงขึ้น อยู่ที่ระดับ 15,000 - 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากกราฟ (รูปที่ 4.20) เริ่มมีค่า TDS เท่ากับ 12,405 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5.2 หาปริมาณ PAC ที่เหมาะสมในการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์

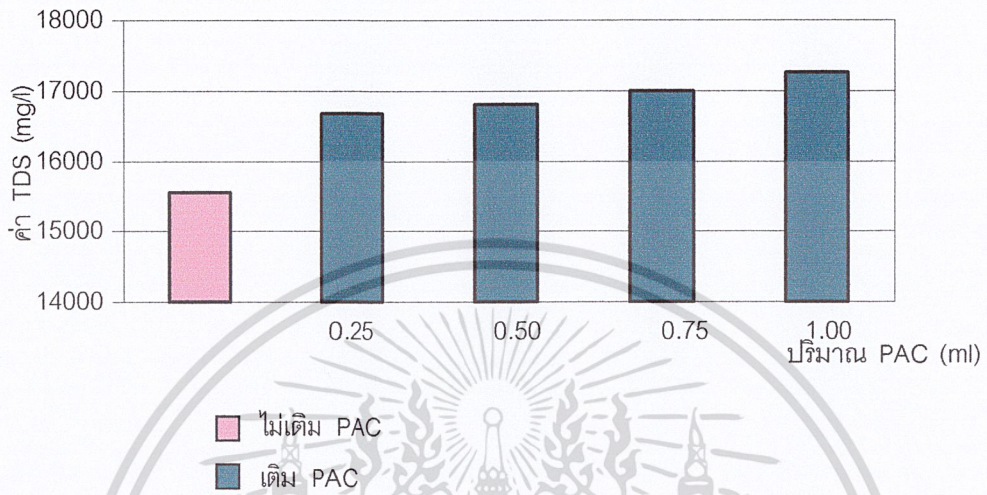
ตารางที่ 4.10 แสดงผลของปริมาณ PAC ต่อการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์

pH	ปริมาณ PAC (ml)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS) (mg/l)	ปริมาณตะกอน (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การตกตะกอน
9.5	0.25	0.139	16,668	0.0694	97.81
9.5	0.50	0.174	16,812	0.0584	97.26
9.5	0.75	0.165	16,988	0.0661	97.40
9.5	1.00	0.158	17,252	0.0677	97.51

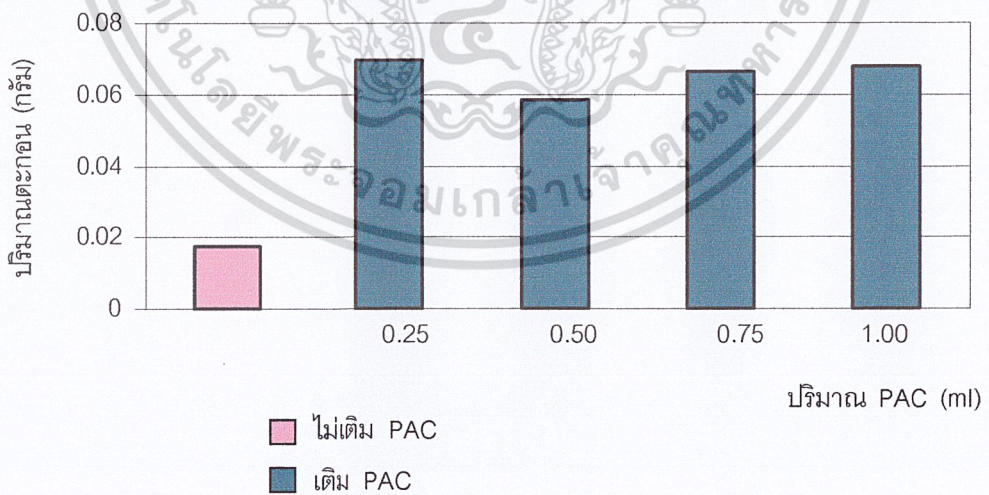


รูปที่ 4.22 แสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l) ที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



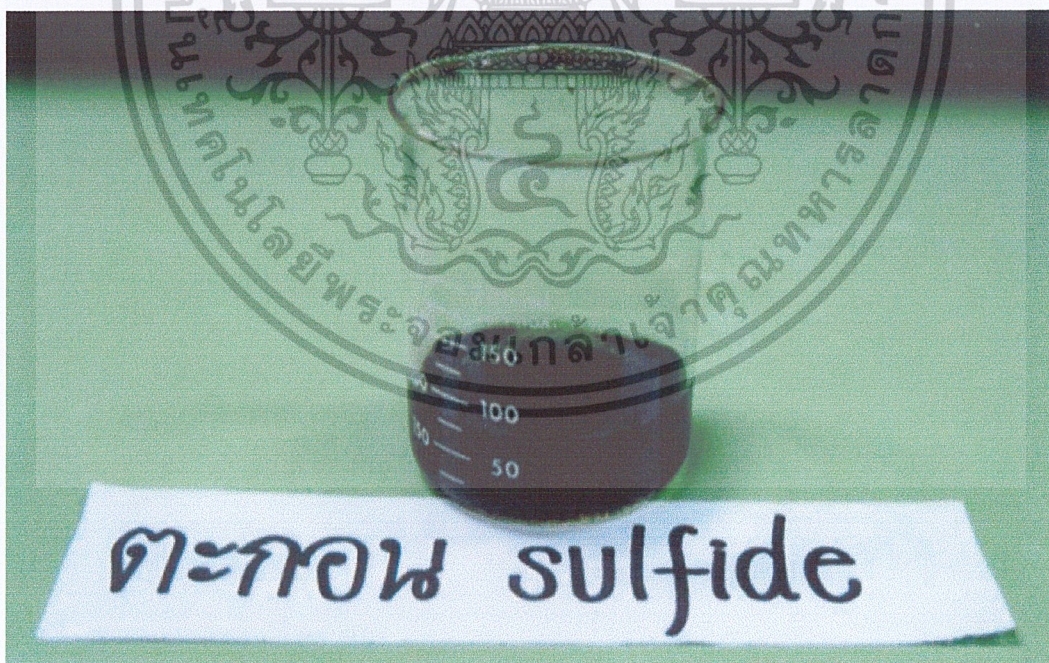
รูปที่ 4.23 แสดงค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (mg/l) ที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.24 แสดงปริมาณตะกอน ที่ไม่เติม PAC และเติม PAC ที่ปริมาณต่างๆ

ทำการตกตะกอนตะกั่วโดยปรับ pH ให้เป็น 9.5 ซึ่งเป็น pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน และเติม PAC ปริมาณ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 6.354 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำเสี้ยวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.139, 0.174, 0.165 และ 0.158 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอนได้เท่ากับ 97.81, 97.26, 97.40, 97.51 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ PAC เท่ากับ 0.25 มิลลิลิตร ทำให้มีความเข้มข้นของตะกั่วเหลืออยู่ในน้ำเสี้ยวน้อยที่สุด คือ 0.139 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีเปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอนสูงสุด ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง จึงเลือกใช้ปริมาณ PAC ดังกล่าวในการตกตะกอนต่อไป

จากผลการทดลองตกตะกอนตะกั่วโดยมีการใช้ PAC ช่วยในการตกตะกอน จากรูปที่ 4.23 พบว่า จะเป็นผลทำให้ค่า TDS ของน้ำเสี้ยว เพิ่มสูงขึ้นอยู่ที่ระดับ 16,000 – 17,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากน้ำเสี้ยวอย่างที่ไม่เติม PAC มีค่า TDS เท่ากับ 15,552 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะน้ำเสี้ยวที่ผ่านการตกตะกอนซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะตะกอนตะกั่วซัลไฟด์ที่กรองได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน พบว่า เวลาที่ใช้ในการกวนผสมที่เหมาะสมเท่ากับ 2 ชั่วโมง และระยะเวลาที่ใช้ทำให้ตะกอนนอนก้นเท่ากับ 80 นาที
2. การตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) มีค่าพีเอชที่เหมาะสม ในการตกตะกอนเท่ากับ 10.0 และ ปริมาณสารเร่งการตกตะกอน (PAC) ที่เหมาะสม เท่ากับ 0.25 โดยความเข้มข้นของตะกั่วผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง
3. การตกตะกอนตะกั่วคาร์บอเนต ($PbCO_3$) มีค่าพีเอชที่เหมาะสม ในการตกตะกอนเท่ากับ 8.4 และ ปริมาณสารเร่งการตกตะกอน (PAC) ที่เหมาะสม เท่ากับ 0.25 โดยความเข้มข้นของตะกั่วผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง
4. การตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) มีค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนเท่ากับ 9.5 และปริมาณสารเร่งการตกตะกอน (PAC) ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25 โดยความเข้มข้นของตะกั่วผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการค้นคว้าวิจัยในขั้นต่อไป

1. จากการศึกษาพบว่า การตกตะกอนในรูปตะกั่วซัลไฟด์ โดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้
2. จากการศึกษาพบว่า การตกตะกอนในรูปตะกั่วไฮดรอกไซด์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก และสามารถทำให้ปริมาณตะกั่วในน้ำที่ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงาน
3. การตกตะกอนโดยใช้สารเร่งการตกตะกอน (PAC) จะมีความจำเป็นเฉพาะในระบบบำบัดที่มีอัตราการไหลเข้าสูง และเวลาที่ทิ้งไว้ในถังตกตะกอนน้อย



ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์

1. การหาค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS)

1. นำถ้วยระเหยไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ $103 - 105^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก (B)
2. นำน้ำเสี้ยวตัวอย่างมา 50 ml ใส่ลงในถ้วยระเหย
3. นำไประเหยจนแห้งแล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $103 - 105^{\circ}\text{C}$ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก (A)
4. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การคำนวณ ;

$$\text{ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (mg/l)} = \frac{(A - B) \times 100}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)}}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของถ้วยระเหยและของแข็งที่แห้ง (กรัม)

B = น้ำหนักของถ้วยระเหย

2. การหาปริมาณสารตะกั่ว

ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry)

การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

1. ปิ่เปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่เข้มข้น 1000ppm มา 10 ml ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรให้ถึงขีดด้วยน้ำกลั่น

การคำนวณ

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

เมื่อ M_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว
 V_1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว
 M_2 = ความเข้มข้นหลังการเจือจาง
 V_2 = ปริมาตรของขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml

แทนค่า ; $1000 \times 10 = M_2 \times 100$

$$M_2 = 100 \text{ ppm}$$

2. ปิ่เปิดสารละลายในข้อ 1 มา 10 ml ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรให้ถึงขีดด้วยน้ำกลั่น (ได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 10 ppm)

แทนค่า ; $100 \times 10 = M_2 \times 100$

$$M_2 = 10 \text{ ppm}$$

3. ปิ่เปิดสารละลายในข้อ 2 มา 0, 2.5, 5, 10, 25 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml เติมน้ำกลั่นให้ถึงขีด เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 0, 1, 2, 4, 10 ppm

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

1. นำน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วมา 50 ml ใส่กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 90 % 10 หยด
2. นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่อง hot plate จนน้ำเสียตัวอย่างมีปริมาตร 25 ml
3. นำน้ำเสียตัวอย่างมาปรับปริมาตรให้เป็น 50 ml ด้วยขวดวัดปริมาตร
4. เก็บน้ำเสียตัวอย่างไว้ในขวดพลาสติก

3. การหาปริมาณตะกอน

1. นำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ $103 - 105^\circ \text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (ชั่งน้ำหนัก (A))
3. นำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองแล้วไปอบที่อุณหภูมิ $103 - 105^\circ \text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (ชั่งน้ำหนัก (B))
5. นำน้ำหนัก B - น้ำหนัก A จะได้ปริมาณตะกอน

ภาคผนวก ข
มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2525)

ประกาศฉบับนี้ออกตามความในมาตรา 39 (6) แห่ง พรบ. โรงงาน พ.ศ. 2512 ได้กำหนดให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทุกประเภท หรือชนิดที่มีหน้าที่กระทำการเกี่ยวกับการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ให้ปฏิบัติดังนี้คือ ห้ามมิให้ระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง แต่ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution) โดยให้น้ำทิ้งมีลักษณะดังต่อไปนี้

- ค่าของความเป็นกรดค่า (pH Value) อยู่ระหว่าง 5 – 9
- ค่าของเปอร์แมงกาเนต (Permanganate Value) ไม่มากกว่า 60 mg / l
- สารที่ละลายได้ (Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้
 1. สารที่ละลายได้ (Dissolved Solids) ต้องไม่มากกว่า 2000 mg / l หรืออาจจะแตกต่างจากค่าที่กำหนดไว้ได้แล้วแต่ภูมิประเทศ หรือลักษณะการระบายออกตามที่เจ้าหน้าที่เห็นสมควร แต่ต้องไม่มากกว่า 5000 mg / l
 2. น้ำทิ้งซึ่งจะระบายออกจากโรงงานสู่แหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2000 mg / l หรือลงสู่ทะเล ค่าสารที่ละลายได้ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่ละลายได้ในแหล่งน้ำกร่อย หรือทะเลได้ไม่เกิน 5000 mg / l
- ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้องไม่มากกว่า 1 mg / l
- ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ต้องไม่มากกว่า 0.2 mg / l
- โลหะหนักมีค่าดังนี้
 1. สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5 mg / l
 2. โครเมียม (Chromium) ไม่มากกว่า 0.5 mg / l
 3. อาร์เซนิก (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 mg / l
 4. ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 1 mg / l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 5. ปรอท (Mercury) | ไม่มากกว่า 0.005 mg/l |
| 6. แคดเมียม (Cadmium) | ไม่มากกว่า 0.03 mg/l |
| 7. แบเรียม (Barium) | ไม่มากกว่า 1 mg/l |
| 8. เซเลเนียม (Selenium) | ไม่มากกว่า 0.02 mg/l |
| 9. ตะกั่ว (Lead) | ไม่มากกว่า 0.2 mg/l |
| 10. นิกเกิล (Nickel) | ไม่มากกว่า 0.2 mg/l |
| 11. แมงกานีส (Manganese) | ไม่มากกว่า 5 mg/l |
- น้ำมันทาร์ (Tar) ไม่มีเลย
 - น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) ไม่มากกว่า 5 mg/l ยกเว้น โรงงานกลั่นน้ำมันและโรงงานประกอบกิจการผสมน้ำมันหล่อลื่น จาระบี ตามประเภทหรือชนิดโรงงานลำดับที่ 40, 50 (4) แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2512) ให้มีน้ำมัน ไม่มากกว่า 15 mg/l
 - ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 mg/l
 - ฟีนอล และกรีโซลส์ (Phenols and Gresols) ไม่มากกว่า 1 mg/l
 - คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)
 - ยาฆ่าแมลง (Insecticide) ไม่มีเลย
 - สารกัมมันตรังสี ไม่มีเลย
 - ถ้าอัตราส่วนระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 8 ถึง 1 ต่อ 150 สารที่เจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 30 ส่วนใน 1 ล้านส่วน ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับลำน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 151 ถึง 1 ต่อ 300 สารที่เจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 6 ส่วนใน 1 ล้านส่วน ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับลำน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 301 ถึง 1 ต่อ 500 สารที่เจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 50 ส่วนใน 1 ล้านส่วน
 - ค่าของ BOD (5 วันที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ไม่มากกว่า 20 mg/l หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้แล้วแต่ภูมิประเทศ หรือลักษณะการระบายตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พนักงาน เจ้าหน้าที่เห็นสมควร แต่ต้องไม่มากกว่า 60 mg / l (BOD ย่อมาจาก Biochemical Oxygen Demand)

- อุณหภูมิของน้ำทิ้งที่จะระบายลงสู่สาธารณะต้องไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
- สี หรือ กลิ่นของน้ำทิ้งเมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้วไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
- ส่วนค่า COD มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมมิได้กำหนดไว้ แต่ส่วนใหญ่จะใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนที่กำหนดไว้เท่ากับ $1.75 \times BOD_5$ หรือ 35 – 105 mg / l



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โรคที่เกิดจากการทำงาน และกลุ่มอาชีพที่เสี่ยงต่อการเกิดโรค

เนื่องจากโรคจากการทำงานเป็นโรคที่เกิดจากกลุ่มชนที่รวมกลุ่มกัน ได้แก่ผู้ที่ทำงานประเภทเดียวกัน ทำงานบริเวณเดียวกัน และใกล้เคียงกัน และในกลุ่มที่มีกระบวนการทำงานใกล้เคียงกันจึงมักมีชื่อโรคตามงานนั้น หรือตามชื่อผู้ที่ทำงานนั้นๆ ผู้ทำงานประเภทใดจะเสี่ยงต่อการเกิดโรคชนิดใด จะช่วยให้แพทย์สามารถใช้เป็นแนวทางในการวินิจฉัย รักษาโรค และให้บริการทางการแพทย์อื่นๆ ที่เหมาะสมได้นอกจากนั้นวิศวกร พยาบาล ผู้จัดการ นักวิชาการ ด้านอื่นที่เกี่ยวข้องก็สามารถนำไปใช้ในกรวางแผน และดำเนินการป้องกันโรคจากการทำงาน ส่งเสริมสุขภาพ และความปลอดภัยของผู้ทำงานได้ เป็นความรู้ที่สามารถนำไปประกอบใช้ในเบื้องต้นได้เป็นอย่างดี

ต่อไปนี้เป็น ตัวอย่างโรคและกลุ่มอาชีพที่เสี่ยงต่อการเกิดโรค

โรค

อาชีพที่เสี่ยงต่อการเกิดโรค

โรคโลหะหนัก

พิษตะกั่ว

1. กลุ่มที่เสี่ยง

หลอมตะกั่วระยะแรก และระยะที่สอง

เชื่อม และตัดโลหะซึ่งทาสีที่มีตะกั่ว

ตัดเรือเก่า

ทำงานโรงหลอมโลหะ

ผสมสีผสมตะกั่ว

พ่นสี

ผลิตแบตเตอรี่

เกาะ ขัดสี ลอกสีที่ผสมตะกั่ว

ซ่อมหม้อน้ำ

เชื่อม บัดกรีแผ่นโลหะที่เคลือบสังกะสี

บัดกรีตะกั่ว

ผลิตแผงวงจรไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

ชุบตะกั่ว

2. กลุ่มที่เสี่ยงปานกลาง และเล็กน้อย

เหมืองตะกั่ว

งานท่อ

ผลิตเคเบิ้ล

พาเทนค์เหล็กเส้น

หล่อตะกั่ว

เรียงพิมพ์ในโรงพิมพ์

ประกอบรถ

ซ่อมรถ

ผลิตลูกปืน

บัดกรีงาน (นานๆ ครั้ง)

เป่าแก้วที่ผสมตะกั่ว

ผลิตเครื่องเคลือบ

เอกสารนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากแพทย์หญิงอรพรรณ เมธาติลกุล พบ., สม. (เขตเมือง)

อว. เวชศาสตร์ป้องกัน , ป. ระบาดวิทยา , ป. อาชีวเวชศาสตร์ , ป. เวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. กระทรวงอุตสาหกรรม "ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (2531) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2521 เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน", กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2531.
2. มั่นสิน ตันทุลเวศน์ "การบำบัดน้ำเสียทางเคมี", ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
3. "มลพิษอันเกิดจากโลหะบางชนิด", วารสารวิทยาศาสตร์, 31(10), 2520, 28-31.
4. พรสวรรค์ มหาโชคเลิศวัฒนา "การบำบัดตะกั่วจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่", วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2529.
5. Brantner, K.A. and Cichon, E.J. "Heavy Metal Removal : Comparison of Alternative Precipitation Process" J. Water Poll. Control Fed., 49(12), 1986, 43-50.
6. Chu, W. "Lead Removal by Recycled Alum Sludge" Wat. Res., 33(13), 1999, 3019-3025.
7. Macchi, G. "A Bench Study on Lead Removal from Battery Manufacturing Wastewater by Carbonate Precipitation." Wat. Res., 30(12), 1996, 3032-3056.
8. O'Neill, P. "Environmental Chemistry", 2nd ed., pp. 203-208, Chapman & Hall, London, 1993.
9. Patty, F.A. "Industrial Hygiene and Toxicology", 2nd ed., vol. 2, pp. 1052-1058, Interscience Publishers, New York, London Sydney, 1962.
10. Santhanam, C.J. "Method for Removal Heavy Metal from Aqueous Liquid" U.S. Pat. 4,278,539 July 14, 1981.
11. Jackkris, S.C. "Removing Heavy Metal from Wastewater" Envi. Sci. Tech., 6, 1981, 518-522.