

การนำกลับโครเมียม (Cr^{3+}) จากน้ำเสียสังเคราะห์โดยการตกตะกอนทางเคมี
ด้วยกากปูนขาว จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ
(Chromium (Cr^{3+}) Recovery from Synthetic Wastewater by Precipitation
with Lime Mud from Pulp and Paper Mills)

นางสาวนันทนัฐ ศรีไพรวรรณ
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัย
จากงบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2550



เรื่อง การนำกลับโครเมียม (Cr^{+6}) จากน้ำเสียสังเคราะห์โดยการตกตะกอนทางเคมีด้วย
กากปูนขาวจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

นามผู้วิจัย นางสาวนันทนัฐ ศรีไพรวรรณ

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์จากกากของเสียอุตสาหกรรมได้แก่ กากปูนขาว (Lime Mud) ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ มาใช้ในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี เนื่องจากกากปูนขาวมีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งสามารถก่อตะกอนทางเคมีกับโครเมียมที่ละลายอยู่ในน้ำได้ ในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 117 มก./ล. และใช้กากปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอน ได้ประเมินหาค่าพีเอชและปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสีย โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมละลายสูงสุดเป็นหลัก จากนั้นได้ทดลองหาร้อยละของปริมาณโครเมียมในกากตะกอน

ผลการศึกษาพบว่า กากปูนขาวสามารถใช้กำจัดโครเมียมในน้ำเสียได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 7.5 มีปริมาณโครเมียมละลายเหลือ 6.57 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมละลายได้ร้อยละ 94.38 และปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ 0.75 กรัม ต่อน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร สามารถกำจัดปริมาณโครเมียมละลายได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 90.08 และพบว่าจากการบำบัดน้ำเสียโครเมียม 1 ลิตร เกิดกากตะกอนโครเมียม 771 มก. และมีปริมาณโครเมียมในกากตะกอนทั้งสิ้น 8.4 มก. ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.09

คำสำคัญ : น้ำเสีย / การตกตะกอนทางเคมี / โครเมียม / กากปูนขาว



Title Chromium (Cr^{3+}) Recovery from Synthetic Wastewater by Precipitation with
Lime Mud from Pulp and Paper Mills

Author Miss. Nanthanat Sripiraiwan

Abstract

This research was aimed at the use of lime mud which is the solid wastes generated from the production process of pulp and paper mil, for removal of chromium contaminated synthetic wastewater by chemical precipitation. As the major component of lime mud is calcium carbonate which can form precipitate with the chromium dissolved in water. This experiment used synthetic wastewater contained chromium concentration of 117 mg/l and use Lime mud employed as precipitant. For the synthetic wastewater experiments, it was to find pH and the optimum quantity of lime mud by considering the highest efficiency of chromium removal. For the Cr-sludge experiments, it was to find percentages of quantity Chromium in sludge.

The experiment result indicated that lime mud could remove Chromium in wastewater more than 90%. The optimum pH is at 7.5 having chromium dissolved 6.57 mg./L. and efficiency of chromium removal 94.38%. The optimum dosage of lime mud was 0.75 g. can highest remove chromium dissolved 90.08 %. Removal Efficiency of chromium contaminated wastewater 1 litre having Cr-sludge 771 mg. And having quantity Chromium in sludge for reuse was 8.4 g.

Keyword : wastewater / chemical precipitation / Chromium / Lime mud



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ปัญหาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
กระบวนการผลิตเชื้อกระดาษและการเกิดกากปูนขาว	4
โลหะโครเมียม	9
โรงงานฟอกหนัง	13
กระบวนการต่างๆ ในการกำจัดโลหะหนัก	22
การตกผลึกทางเคมี	26
การตกตะกอนด้วยคาร์บอเนต (Carbonate Precipitation)	33
การใช้ Lime Mud (CaCO_3) ในการตกตะกอนโลหะหนัก	36
การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น	37
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	43
อุปกรณ์	43
สารเคมี	43
วิธีการทดลอง	44



สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	56
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุป	74
ข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม	77
ประวัติย่อนักวิจัย	81
สรุปรายงานการใช้จ่ายเงิน	82



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ปริมาณน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการฟอกหนัง	17
2-2	คุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง	18
2-3	ข้อดีและข้อจำกัดของการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์	28
2-4	สารเคมีบางชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	30
2-5	ค่าพีเอช ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดมลสารออกจากน้ำเสียด้วยสารเคมีต่างๆ	31
2-6	ปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนผลึกของมลสาร 1 กก.	33
4-1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์	56
4-2	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยใช้กากปูนขาวกรณีควบ พีเอชและไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว	70
4-3	ผลการศึกษาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน	72



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 แผนผังกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ	8
2-2 กระบวนการฟอกหนัง	15
2-3 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนัง	21
2-4 กราฟแสดงความสามารถในการละลายน้ำของมลสารต่างๆ สำหรับพีเอชต่างๆ	32
2-5 การตกตะกอนของโลหะหนักด้วยคาร์บอนแอคทีฟ	35
2-6 การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น	38
3-1 แผนผังการเตรียมกากปุ๋ยมูลวัว	45
3-2 แผนผังการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม	47
3-3 แผนผังการทดลองการหาปริมาณกากปุ๋ยมูลวัวที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม	49
3-4 แผนผังการทดลองการหาปริมาณกากปุ๋ยมูลวัวและพีเอชที่เหมาะสม	52
3-5 แผนผังการทดลองหาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน	55
4-1 ปริมาณโครเมียมละลายและประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมละลาย (ร้อยละ) ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อปรับพีเอชด้วยสารละลาย NaOH และ HNO ₃	57
4-2 ความขุ่นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อปรับพีเอชด้วยสารละลาย NaOH และ HNO ₃	58
4-3 ลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้น	59
4-4 องค์ประกอบหลักของโครเมียมละลายในสถานะที่สมดุลที่ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ	60
4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์กับค่าพีเอช	60
4-6 แสดงค่าพีเอชหลังจากเติมกากปุ๋ยมูลวัวโดยการควบคุมพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.5	61
4-7 ปริมาณโครเมียมละลายและประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมละลายในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อใช้กากปุ๋ยมูลวัวเป็นสารสร้างตะกอน (ไม่ควบคุมพีเอชหลังเติมกากปุ๋ยมูลวัว)	62
4-8 ความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้กากปุ๋ยมูลวัวเป็นสารสร้างตะกอน (ไม่ควบคุมพีเอช)	62
4-9 ปริมาณโครเมียมละลายและประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมละลาย ในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้กากปุ๋ยมูลวัว (ควบคุมพีเอช)	65
4-10 ความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้กากปุ๋ยมูลวัว (ควบคุมพีเอช)	66



สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-11 เปรียบเทียบปริมาณโครเมียมละลายที่เหลือระหว่างการควบคุมพีเอชและไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว	68
4-12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมละลายระหว่างการควบคุมพีเอชและไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว	69
4-13 เปรียบเทียบค่าความขุ่นระหว่างการควบคุมพีเอชและไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว	69



บทที่ 1

บทนำ

ปัญหาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนั้นกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมนับว่าเป็นปัญหาด้านมลพิษที่สำคัญต่อสิ่งแวดล้อมประการหนึ่ง เพราะนอกจากจะมีอัตราการเกิดในปริมาณที่สูงแล้ว ยังพบว่ากากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมักเป็นของเสียอันตราย เช่น มีค่าความเป็นกรดหรือด่าง และมีความเป็นพิษเป็นต้น ดังนั้นหากทำการทิ้งกากของเสียโดยไม่มีวิธีการจัดการที่ดี ก็อาจจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดกากของเสียในรูปแบบต่างๆ ให้เหมาะสม เช่น การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล นอกจากนี้ การนำกากของเสียกลับมาใช้ใหม่เพื่อประโยชน์ในด้านอื่นๆ ยังเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ควรให้ความสนใจ เพราะนอกจากจะเป็นการลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด ทำให้ช่วยในการลดค่าใช้จ่ายลงแล้ว ยังก่อให้เกิดประโยชน์ในการนำกากของเสียไปใช้อีกด้วย ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยของ พลฤกษ์ (2546) พบว่ากากปูนขาวสามารถใช้กำจัดโลหะหนักหลายชนิดได้ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี และยังสามารถนำมาใช้ตกตะกอนโครเมียมในน้ำเสียที่มีโครเมียมปนเปื้อนได้ เช่น น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง เป็นต้น

กากปูนขาว (Lime Mud) เป็นกากของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเชื้อกระดาษจากรายงานการศึกษาของบริษัท ฟินิกซ์ พัลพ แอนด์ เพเพอร์ (2544) ระบุว่า เกิดจากขั้นตอนการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการต้มเยื่อไม้ ซึ่งทำให้เกิดกากปูนขาวเป็นปริมาณถึง 0.47 ตบ.ม./ตันเชื้อกระดาษ โดยทางโรงงานสามารถนำกากปูนขาวไปใช้ใหม่ได้ประมาณ 30% ส่วนที่เหลือไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ต้องนำไปฝังกลบทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายและพื้นที่ฝังกลบเป็นจำนวนมากนอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในการนำกากปูนขาวมาใช้ประโยชน์เพื่อให้เกิดการลดปริมาณของเสียลง เนื่องจากองค์ประกอบของกากปูนขาวโดยส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วจะทำให้เกิดคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) ที่มีประจุลบสองออกมา คาร์บอเนตไอออนที่เกิดขึ้นนี้สามารถก่อตะกอนทางเคมี กับโลหะหนัก เช่น แคดเมียม (Cd^{2+}) ตะกั่ว (Pb^{2+}) โครเมียม (Cr^{3+}) เกิดเป็นตะกอนโลหะคาร์บอเนต (Metal Carbonate) ทำให้สามารถแยกโลหะหนักออกจากน้ำได้

ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกหนังนั้นมีปริมาณโครเมียมที่จะค่อนข้างสูง เพราะ



กรรมฟอกหนังเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนหนังดิบให้เป็นหนังสำเร็จ เพื่อใช้แปรรูปเป็น

ผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น กระเป๋ารองเท้า เป็นต้น กระบวนการฟอกหนังมีอยู่ 2 กระบวนการด้วยกัน คือ การฟอกโครมและการฟอกฟาด สำหรับอุตสาหกรรมฟอกหนังในประเทศไทยประมาณ 80% ใช้ในการฟอกหนังแบบฟอกโครม โครเมียมออกไซด์เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการที่สำคัญ ซึ่งประมาณ 70–80% ของโครเมียมจะถูกดูดซับในหนังที่ผ่านการฟอกและโครเมียมส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปโครเมียมสามบวก (Cr^{3+}) และจะถูกระบายลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียและไปสู่สิ่งแวดล้อมในที่สุด ซึ่งในปัจจุบันการกำจัดโครเมียมมีหลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันแพร่หลายและง่ายที่สุด คือ การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Precipitation)

การวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพการนำกากปูนขาวมาใช้ แทนสารเคมีในการตกตะกอนโครเมียมและศึกษาการนำโครเมียมกลับมาใช้ใหม่ ด้วยวิธีการศึกษาหาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน เพื่อให้เป็นการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ และลดปริมาณของเสีย ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งสองอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อมยิ่งขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสม ในการกำจัดโครเมียม (Cr^{3+}) ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยกากปูนขาวจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ
2. เพื่อศึกษาหาปริมาณโครเมียม (Cr^{3+}) ในกากตะกอน ที่เกิดจากการตกตะกอนทางเคมีด้วยกากปูนขาวจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

ขอบเขตการศึกษา

1. ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการตกตะกอนทางเคมีเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (Cr^{3+}) ในน้ำเสียเท่ากับ 100 มก./ล. (มัลลิกา , 2544)
2. กากปูนขาวจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษที่ใช้ในการทดลองใช้ในรูปแบบของผง ได้จากโรงงาน ฟีนิก พัลเพอร์ เพเพอร์ จำกัด (มหาชน) อำเภอป่าพอง จังหวัดขอนแก่น
3. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (Cr^{3+}) ในน้ำเสีย ทำการพิจารณาจากความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ภายหลังการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ; AAS
4. สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมทำการพิจารณาจาก ค่าพีเอช, ปริมาณกากปูนขาว,



ขอร่วมกับปริมาณกากปูนขาว

5. ทำการศึกษาปริมาณของโครเมียม (Cr^{3+}) ในกากตะกอน ที่เกิดจากการตกตะกอนทางเคมี ด้วยกาบัพนขาวโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ; AAS

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ของอุตสาหกรรมฟอกหนัง และเป็น การลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ
2. เป็นการช่วยลดความเข้มข้นของน้ำเสียที่ปนเปื้อนโครเมียม (Cr^{3+}) ที่มีปริมาณสูง ก่อน ระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ
3. เป็นทางเลือกในการนำโครเมียมกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง และยังเป็นการ ช่วยลดค่าใช้จ่ายเรื่องสารเคมีที่โรงงานอุตสาหกรรมต้องใช้ในกระบวนการผลิต



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและการเกิดกากปุนขาว

คอนซลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด (2544) ได้รวบรวมข้อมูลรายงานการตรวจติดตามด้านสิ่งแวดล้อมของโรงงานฟีนิกซ์ พัลป์ แอนด์ เพเพอร์ระบุว่า โดยทั่วไปโรงงานผลิตเยื่อกระดาษจะมีกระบวนการผลิตที่สำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กระบวนการย่อย ประกอบด้วย กระบวนการผลิตเยื่อ (Pulp mill process) กระบวนการทำแผ่นเยื่อ (Sheeting process) และ กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery process)

สำหรับในกระบวนการผลิตเยื่อนั้นสามารถแยกหน่วยการผลิตได้ดังนี้

- หน่วยสับชิ้นไม้และคัดขนาดชิ้นไม้ (Chipping)
- หน่วยต้มเยื่อ (Cooking)
- หน่วยล้างและร่อนเยื่อ (Washing & Screening)
- หน่วยแยกกลินินด้วยออกซิเจน (Oxygen delignification)
- หน่วยฟอกขาวและทำความสะอาดเยื่อหลังการฟอก (Bleaching & Cleaning)

ในกระบวนการทำแผ่นเยื่อมีหน่วยการผลิตดังนี้

- หน่วยทำแผ่นเยื่อและคังน้ำออก (Sheeting forming & dewatering)
- หน่วยบีบอัด (Pressing)
- หน่วยอบแห้ง (Drying)
- หน่วยตัดแผ่นเยื่อและห่อ (Cutting & bailing)

ทางด้านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่มีวัตถุประสงค์หลักคือ

- ทำการเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ในน้ำดำ (Black liquor) จากหน่วยต้มเยื่อเพื่อนำไปใช้ผลิตสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งกากปุนขาว (Lime mud) จะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้
- พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผา น้ำดำจะนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต

สำหรับขั้นตอนการเปลี่ยนสภาพของน้ำดำ (Black liquor) ไปเป็นน้ำขาว (White liquor) เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในการต้มเยื่อนั้นมีหน่วยการผลิตที่สำคัญดังนี้



- โรงระเหย (Evaporators)
- เตาเผานำสารเคมีกลับคืน (Recovery Boiler)
- หน่วยผลิต Caustic soda (Causticizing)

โดยรายละเอียดของกระบวนการผลิตเยื่อในแต่ละส่วนการผลิตมีดังนี้

1.1 กระบวนการผลิตเยื่อ

1.1.1 หน่วยสับชิ้นไม้และคัดขนาดชิ้นไม้

ส่วนใหญ่จะใช้ไม้ไผ่ ปอ และยูคาลิปตัส เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเยื่อ สำหรับในกรณีที่ใช้ไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบนั้นเมื่อเข้าสู่หน่วยผลิตดังกล่าวจะต้องทำการล้างน้ำก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องสับดังกล่าว โดยเครื่องสับจะใช้ในการสับปอและไม้ไผ่ ส่วนยูคาลิปตัสจะต้องทำการปอกเปลือกก่อนทำการสับด้วย Ruama disc chippers ไม้ที่ผ่านกระบวนการสับแล้วจะมีสภาพเป็นชิ้นไม้ขนาดเล็กเท่าๆกันตามที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในการผลิตลำดับต่อไป สำหรับฝุ่นที่เกิดจากการสับไม้และการคัดขนาดของชิ้นไม้นั้นจะส่งไปเผาใน Dust-fired boiler ในลำดับต่อไป

1.1.2 หน่วยต้มเยื่อ

ชิ้นไม้ต้องทำการสับตามขนาดที่ต้องการจากหน่วยสับไม้และคัดขนาดจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการต้มเยื่อแบบกราฟท์ ด้วยหม้อต้มที่เรียกว่า “Kamyr” อย่างต่อเนื่อง สำหรับสารเคมีที่เติมเข้าสู่ถังดังกล่าวเพื่อต้มเยื่อนั้นเรียกว่า “น้ำขาว (White liquor)” ซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ โซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S) เป็นองค์ประกอบจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการดังกล่าวนี้อย่างต่อเนื่องภายใต้อุณหภูมิและความดันที่กำหนด เพื่อทำการย่อยสลายลิกนินและสารประกอบอื่นๆ ก่อนส่งไปเก็บไว้ใน Blow tank สำหรับก๊าซที่ก่อให้เกิดกลิ่นและไม่ควบแน่น (Non-condensable gasses) จะถูกรวบรวมเพื่อนำไปบำบัดในขั้นตอนนี้

1.1.3 หน่วยล้างและร่อนเยื่อ

หลังจากผ่านกระบวนการต้มเยื่อแล้วเยื่อทั้งหมดจะถูกส่งเข้าสู่ Blow tank และผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการแยกตาไม้ ออก เยื่อที่ทำการแยกตาไม้ ออกหมดแล้วจะทำการล้างน้ำด้วยระบบล้างน้ำแบบสวนทาง 3 ขั้นตอน (Three stage brown stock washer) น้ำจากกระบวนการล้างนี้เรียกว่า “น้ำดำ (Black liquor)” ซึ่งมีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการผลิตสารเคมีกลับคืนเพื่อผลิตสารเคมีนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการต้มเยื่อ สำหรับเยื่อที่ผ่านการล้างน้ำแล้วนั้นจะส่งเข้าเครื่องร่อนภายใต้ความดันแบบ 3 ขั้นตอน (Three stage pressure screen) เพื่อคัดเอาเสี้ยนและอนุภาคแปลกปลอมอื่นๆ ออกจากเยื่อ



1.1.4 หน่วยแยกกลินินด้วยออกซิเจน

เยื่อที่ผ่านการร่อนแล้วจะส่งเข้าสู่กระบวนการแยกกลินินด้วยออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียวเพื่อลดค่า KAPPA NUMBER (ดัชนีแสดงค่ากลินินในเยื่อ) ในกระบวนการดังกล่าวนี้เยื่อจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในถังปฏิกิริยาออกซิเจน (Oxygen reactor) หลังจากนั้นจะส่งเข้าล้างในเครื่องล้างแบบ Wash press

1.1.5 หน่วยฟอกขาวและทำความสะอาดเยื่อหลังการฟอก

ในหน่วยฟอกขาวนี้ ใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อให้ได้เยื่อที่มีสัดส่วนของความสว่างและความขาวตามที่ต้องการ สำหรับขั้นตอนการฟอกขาวเป็นแบบ C/D-Eo-D1-D2 โดยในขั้นตอนแรกจะทำการฟอกด้วยก๊าซคลอรีนและคลอรีนไดออกไซด์ (Cl_2/ClO_2) หลังจากนั้นทำการฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และออกซิเจน และในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการฟอกด้วยคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) อีก 2 ครั้ง เยื่อที่ได้จากขั้นตอนนี้จะมีความสว่างและมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ จากนั้นจะทำการล้างด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ น้ำ เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ยังหลงเหลืออยู่ในเยื่อเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าวแล้วเยื่อที่ได้จะถูกส่งเข้า 3 Stage Centricleaning เพื่อกำจัดเศษสิ่งสกปรกก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการทำแผ่นเยื่อต่อไป

1.2 กระบวนการทำแผ่นเยื่อ

หน้าที่สำคัญของกระบวนการนี้คือ การกำจัดน้ำในเยื่อและการทำให้เยื่อแห้งหลังจากผ่านกระบวนการผลิตเยื่อมาแล้วเพื่อให้เยื่ออยู่ในรูปที่ส่งออกจำหน่ายได้ง่าย เยื่อชั้น (Slurry) ที่ได้จากการฟอกขาวเมื่อเข้าสู่กระบวนการทำแผ่นเยื่อจะถูกทำให้กระจายเป็นแผ่นเรียบบนสายพานตะแกรงและมีการดึงน้ำออกตลอดเวลา ซึ่งระบบดังกล่าวนี้จะทำการผลิตเยื่ออย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นจะทำการบีบอัดภายใต้แรงดัน 2 ขั้นตอน เพื่อลดปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ สำหรับแผ่นเยื่อหลังผ่านกระบวนการบีบอัดแล้วจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 50 จากนั้นจะส่งผ่านเข้าสู่ Multi cylinders และนำไปอบใน Flasket Dryer แผ่นเยื่อที่ได้เรียกว่า “เยื่อแห้ง” ซึ่งมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 10-11 หลังจากนั้นจะทำการตัดให้ได้มาตรฐานบรรจุห่อขนาดห่อละ 200 กิโลกรัม ก่อนจะส่งไปเก็บไว้ยังโกดังเพื่อรอส่งให้ลูกค้าในลำดับต่อไป

1.3 กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่

1.3.1 โรงระเหย

จุดมุ่งหมายพื้นฐานของโรงระเหย จะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำดำเจือจาง (weak black liquor) ที่ได้จากการล้างในกระบวนการผลิตเยื่อ ซึ่งมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์



เป็นองค์ประกอบ เพื่อให้ได้น้ำดำที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นก่อนนำไปเผาในเตาเผาเอนาสารเคมีกลับคืน (Recovery boiler) ในระหว่างการระเหยเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำดำนี้ น้ำดำจะถูกกำจัดออกและนำกลับมาใช้ยังหน่วยผลิต Caustic soda (Causticizing plant)

1.3.2 เตาเผาเอนาสารเคมีกลับคืน

หน้าที่ของเตาเผาเอนาสารเคมีกลับคืนคือการเผาน้ำดำเข้มข้น (Concentrate black liquor) สำหรับความร้อนที่ได้จะนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนน้ำเขียว (Green Liquor) อันเป็นผลพลอยได้จากหน่วยผลิตนี้จะใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตน้ำขาว (White liquor) ในหน่วยผลิต Caustic soda อย่างไรก็ตามจะต้องควบคุมความเข้มข้นของกำมะถันในน้ำขาวด้วย ดังนั้นจึงมีการเติมโซเดียมซัลเฟตและเถ้าจากเครื่องบำบัดมลพิษทางอากาศแบบไฟฟ้าสถิตย์เข้าไปในเตาเผาเอนาสารเคมีกลับคืนก่อนทำการเผาน้ำดำ

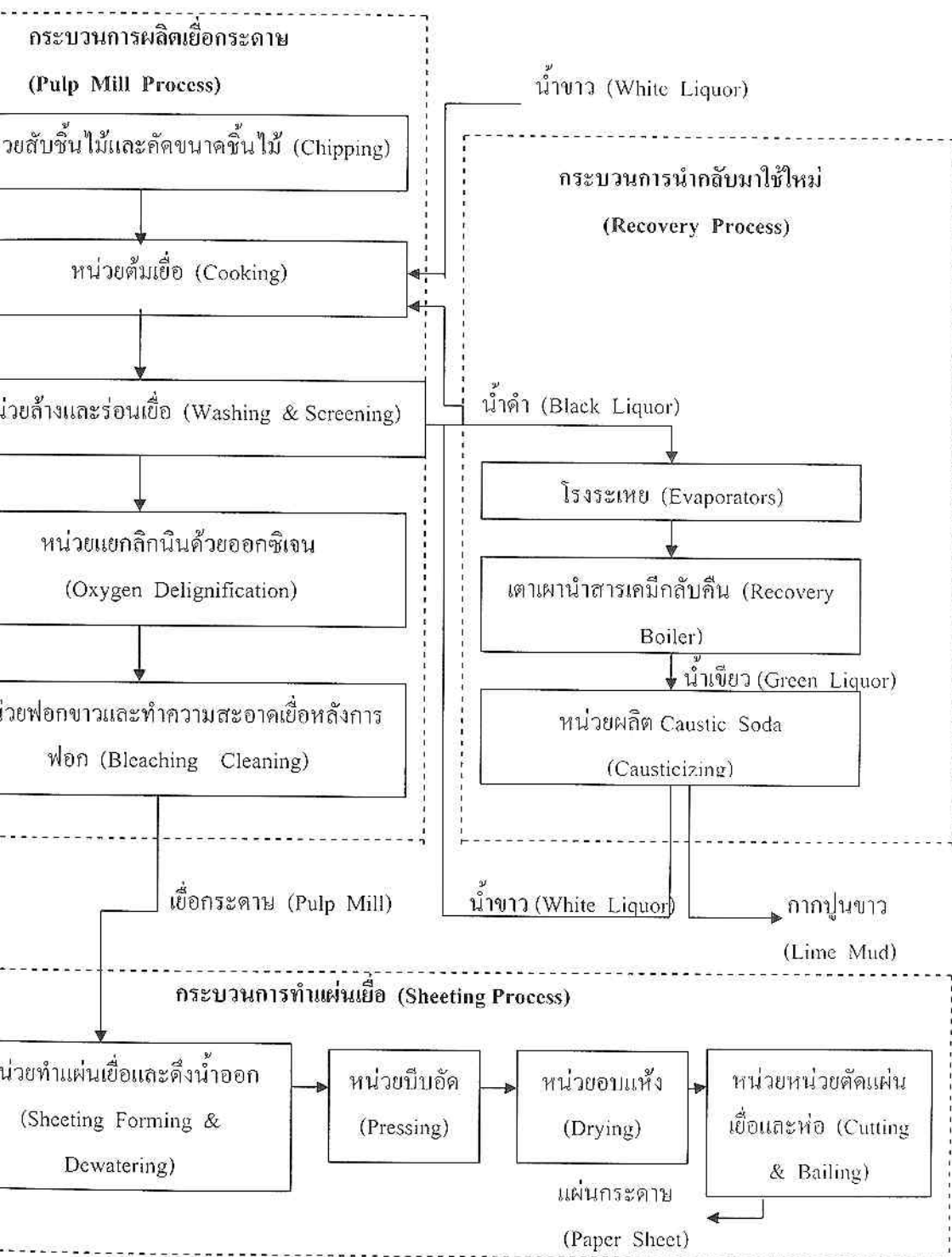
1.3.3 หน่วยผลิต Caustic soda

น้ำเขียว (Green liquor) ที่ได้จากเตาเผาเอนาสารเคมีกลับคืนเป็นสารผสมระหว่าง Smelt และ Weak liquor (มีโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่) ในหน่วยการผลิตนี้จะนำปูนขาวไปผสมกับน้ำเขียว (Green liquor) ก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปเนื่องจากกระบวนการทางเคมีกลายเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และนำกลับมาใช้ใหม่ในหน่วยต้มเยื่อ สำหรับสมการเคมีสรุปได้ดังนี้



สำหรับกากปูนขาว จะนำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบต่อไป

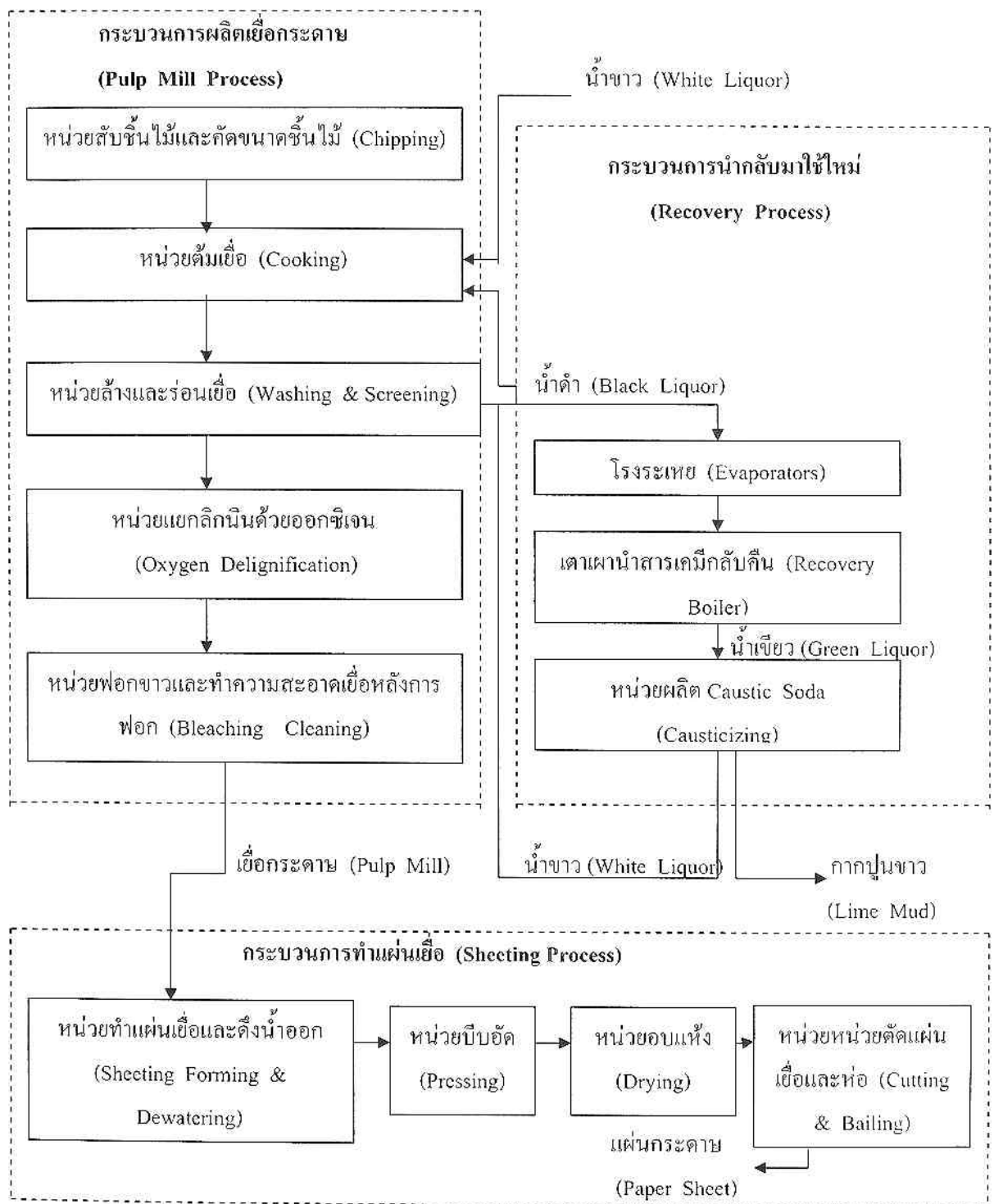




ภาพที่ 2-1 แผนผังกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

ที่มา: เสงวนศักดิ์ (2548)





ภาพที่ 2-1 แผนผังกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

ที่มา: เหวงศักดิ์ (2548)



2. โลหะโครเมียม

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งสิ้น 68 ธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอท เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) มีคุณสมบัติทางกายภาพคือ นำไฟฟ้า และความร้อนได้ดี เป็นมันวาว สะท้อนแสง เหนียวนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า โลหะหนักรวมตัวกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่มีความเสถียรมากกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบโลหะ (Organometallic compound) ซึ่งเป็นพิษ และสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหนักหลายชนิด เป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายของมนุษย์ อาจมีผลทำให้พิการ หรือเสียชีวิตได้

โครเมียมเป็นธาตุกลุ่มโลหะมีเลขอะตอม 24 เป็นธาตุในหมู่ VIB ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 51.996 จุดหลอมเหลว $1,907^{\circ}\text{C}$ จุดเดือด $2,671^{\circ}\text{C}$ ความหนาแน่น 7.15 กรัม/มิลลิลิตร โครเมียมเป็นโลหะที่ไม่มีกลิ่นมีสีเทาเงินของโลหะ (Steel-Gray) มักพบในรูปของผลึกและผง โดยโครเมียมสามารถอยู่ในรูปที่หลากหลาย รูปแบบของโครเมียมที่มักพบได้แก่ โลหะโครเมียม (0) สารประกอบโครเมียม (+3) และสารประกอบโครเมียม (+6) ซึ่งในธรรมชาติจะพบโครเมียมที่อยู่ในรูปของสารประกอบโครเมียม (+3) ส่วนโลหะโครเมียม (0) และสารประกอบโครเมียม (+6) สามารถผลิตในกระบวนการทางอุตสาหกรรม และเคมี

ในปัจจุบันมีการนำโครเมียมมาใช้ในโรงงานชุบโลหะผสมกับเหล็กเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้โครเมียมยังถูกใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังสัตว์ ผลิตสีน้ำมัน-สีพลาสติก แบตเตอรี่ น้ำมันทาไม้ ชแล็ค แล็กเกอร์ กาว เป็นต้นจากข้อมูลของ EPA พบว่าความเป็นพิษของโครเมียมสามารถแบ่งอาการเป็นพิษได้ 2 ลักษณะคือ อาการแบบเฉียบพลันเมื่อได้สัมผัสผิวหนังจะเกิดการระคายเคืองและอาการเมื่อได้รับโครเมียมในระยะยาวจะเป็นอันตรายต่อตับ ไต ระบบไหลเวียนโลหิต ระบบเนื้อเยื่อประสาทและผิวหนังจะเกิดการระคายเคือง นอกจากนี้เมื่อหายใจเอาโครเมียมเข้าไปจะทำให้เกิดอาการเนื้องอกในปอดและอาจก่อให้เกิดมะเร็งได้

2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี

โครเมียมเป็นโลหะที่มีสีขาววาว หรือขาวอมฟ้าอ่อนๆ ไม่ชุ่มน้ำ และไม่ต้องจัดดูบ่อยมีความฝืดต่ำ แข็งและเปราะแต่มีความทนทานต่อการเสียดสีและกัดกร่อน มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 51.996 อยู่ธาตุ VIB จุดหลอมเหลว 1,900 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,642



2. โลหะโครเมียม

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งสิ้น 68 ธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอท เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) มีคุณสมบัติทางกายภาพคือ นำไฟฟ้า และความร้อนได้ดี เป็นมันวาว สะท้อนแสง เหนียวนำมาใช้เป็นแผ่นบางๆ ได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า โลหะหนักรวมตัวกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่มีความเสถียรมากกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบโลหะ (Organometallic compound) ซึ่งเป็นพิษ และสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหนักหลายชนิด เป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายของมนุษย์ อาจมีผลทำให้พิการ หรือเสียชีวิตได้

โครเมียมเป็นธาตุกลุ่มโลหะมีเลขอะตอม 24 เป็นธาตุในหมู่ VIB ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 51.996 จุดหลอมเหลว $1,907^{\circ}\text{C}$ จุดเดือด $2,671^{\circ}\text{C}$ ความหนาแน่น 7.15 กรัม/มิลลิเมตร โครเมียมเป็นโลหะที่ไม่มีกลิ่นมีสีเทาเงินของโลหะ (Steel-Gray) มักพบในรูปของผลึกและผง โดยโครเมียมสามารถอยู่ในรูปที่หลากหลาย รูปแบบของโครเมียมที่มักพบได้แก่ โลหะโครเมียม (0) สารประกอบโครเมียม (+3) และสารประกอบโครเมียม (+6) ซึ่งในธรรมชาติจะพบโครเมียมที่อยู่ในรูปของสารประกอบโครเมียม (+3) ส่วนโลหะโครเมียม (0) และสารประกอบโครเมียม (+6) สามารถผลิตในกระบวนการทางอุตสาหกรรม และเคมี

ในปัจจุบันมีการนำโครเมียมมาใช้ในโรงงานชุบโลหะผสมกับเหล็กเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้โครเมียมยังถูกใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังสัตว์ ผลิตภัณฑ์น้ำมัน-สียาสติค แบตเตอรี่ น้ำมันทาไม้ ชแล็ค แล็คเกอร์ กาว เป็นต้นจากข้อมูลของ EPA พบว่าความเป็นพิษของโครเมียมสามารถแบ่งอาการเป็นพิษได้ 2 ลักษณะคือ อาการแบบเฉียบพลันเมื่อได้สัมผัสผิวหนังจะเกิดการระคายเคืองและอาการเมื่อได้รับโครเมียมในระยะยาวจะเป็นอันตรายต่อตับ ไต ระบบไหลเวียนโลหิต ระบบเนื้อเยื่อประสาทและผิวหนังจะเกิดการระคายเคือง นอกจากนี้เมื่อหายใจเอาโครเมียมเข้าไปจะทำให้เกิดอาการเนื้องอกในปอดและอาจก่อให้เกิดมะเร็งได้

2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี

โครเมียมเป็นโลหะที่มีสีขาววาว หรือขาวอมฟ้าอ่อนๆ ไม่ขุ่นมัว และไม่ต้องขัดถูบ่อยมีความผิวดำ แข็งและเปราะแต่มีความทนทานต่อการเสียดสีและกัดกร่อน มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 51.996 อยู่ธาตุ VIB จุดหลอมเหลว 1,900 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,642



องค์ประกอบของโครเมียม และพบได้ในรูปออกซิเดชัน (Oxidation) ตั้งแต่ +2 ถึง +6 แต่ที่พบโดยทั่วไปมักจะพบในสถานะของโครเมียม (Cr) ไคววาเลนต์โครเมียม (Cr^{2+}) ไตรวาเลนต์โครเมียม (Cr^{3+}) และเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Cr^{6+}) ส่วนใหญ่จับกับออกซิเจนและเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี แนวโน้มไม่ชอบความเป็นกรด และรูปแบบที่พบ คือ โครเมต (CrO_4^{2-}) และไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) ซึ่งทั้งสองรูปแบบสามารถถูกรีดิวซ์ไปเป็นไตรวาเลนต์โครเมียม (Cr^{3+}) ในสารละลายที่เป็นกรด

สถานะออกซิเดชันที่เสถียรที่สุดของโครเมียม ก็คือ +3 ซึ่งเป็นสารประกอบของ ไตรวาเลนต์โครเมียม (Cr^{3+}) เป็นตัวออกซิไดส์ สมบัติในการเป็นกรดและเบสนั้น สืบเนื่องมาจากสถานะออกซิเดชัน คือ ความเป็นกรดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อสถานะออกซิเดชันของโครเมียมสูงขึ้น เช่น ไดออกไซด์ CrO และไฮดรอกไซด์ $\text{Cr}(\text{OH})_2$ โครเมียมมีสถานะออกซิเดชัน +2 เป็นเบส ใน Cr_2O_3 โครเมียมมีสถานะออกซิเดชัน +6 เป็นไดออกไซด์ที่เป็นกรด

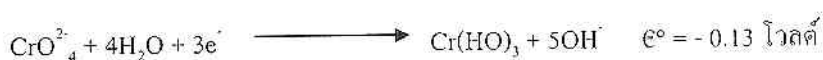
เมื่อละลาย Cr_2O_3 ในกรดหรือด่างจะได้สารละลายของไตรวาเลนต์โครเมียม (Cr^{3+}) ดังนี้



Cr^{3+} ไอออนในน้ำ ถูกล้อมรอบด้วยน้ำ 6 โมเลกุลอยู่ที่มุมของรูป Regular octahedron ไอออนนี้แยกสลายตัวด้วยน้ำ สารละลายมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน



สารละลายของโครเมียม Cr^{3+} ในด่างถูกออกซิไดซ์เป็น Cr^{6+} ได้ง่ายดังจะแสดงให้เห็นได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน



สารละลายโครเมตไอออน (Chromate ion, CrO_4^{2-}) จะมีลักษณะเป็นสีเหลือง และเมื่อทำสารละลายนี้ให้เป็นกรดจะได้ไดโครเมียมไอออน (Dichromium ion, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) สีส้ม



$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ นี้เป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรงซึ่งแสดงได้ด้วยปฏิกิริยา





คุณสมบัติการละลายของโครเมียมที่อยู่ในรูปของเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Cr^{6+}) จะไม่ตกตะกอนที่ค่าพีเอชเป็นด่างดังนั้นในการแยกเฮกซะวาเลนต์โครเมียม จะต้องทำให้อยู่ในรูปของไตรวาเลนต์โครเมียม (Cr^{3+}) ก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้กรดและสารรีดิวซ์เข้มข้น เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยจะเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์เมื่อทำในกรด เมื่ออยู่ในรูปของไตรวาเลนต์โครเมียมทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดสารประกอบอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ ทำให้การละลายมีค่าน้อยลง ดังนั้นจึงสามารถตกตะกอนได้ที่ช่วงของค่าพีเอชเป็นด่าง

2.2 สารประกอบโครเมียม

โครเมียมมีน้ำหนักโมเลกุล 52 โดยทั่วไปมักอยู่ในสภาพของแข็ง ยกเว้นในรูปของโครมิลคลอไรด์เป็นสารประกอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์อยู่ในสภาพระเหิดของเหลว (fuming liquid) ลักษณะทางเคมีและการเป็นพิษของโครเมียมแตกต่างกันอย่างมาก โดยขึ้นอยู่กับสภาพวาเลนต์ของโลหะ โครเมียมอาจปรากฏอยู่ในสภาพโลหะ (วาเลนต์ 0) และในสภาพวาเลนต์ +2 ถึง +6 แต่ในเฉพาะสภาพไตรวาเลนต์ (+3) และเฮกซะวาเลนต์ (+6) เท่านั้นที่พบบ่อย โครเมียมในสภาพ +2 มักถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วไปเป็นสภาพ +3, +4 และ +5 มักพบเฉพาะเป็นสารระหว่างกลางในการเปลี่ยนสภาพระหว่าง +3 และ +6 เท่านั้น

2.2.1 สารประกอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

เมื่อได้รับสารประกอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ซึ่งได้แก่ กรดโครมิก เกลือโครเมตเข้าสู่ร่างกายได้โดยทางการกินหรือดูดซึมผ่านผิวหนังอาจก่อให้เกิดอาการพิษต่อผิวหนัง ระบบทางเดินอาหาร ไต ปอด และตับ

เมื่อสารประกอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ป้อนที่ผิวหนังอาจสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังได้เป็นอย่างดี และออกฤทธิ์ทั้งระยะเฉียบพลันและภูมิแพ้

2.2.2 สารประกอบโครเมียมไตรวาเลนต์

เนื่องจากโครเมียมไตรวาเลนต์นั้นจะดูดซึมได้ไม่ดีนักทางการหายใจและผ่านทางผิวหนัง ทำให้เกิดพิษต่อระบบค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามหากโครเมียมไตรวาเลนต์เข้าสู่ระบบการไหลเวียนได้ก็เกิดพิษขึ้นได้



2.3 การนำมาใช้ประโยชน์

โครเมียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับโลหะผสมระหว่างโครเมียม เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ ไทเทเนียม และโลหะผสมธรรมดา เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และเพื่อความสวยงาม ทำให้แข็ง มีความเหนียว ทนทาน และทนต่อการสึกกร่อน โลหะโครเมียมใช้ในการชุบโครเมียมด้วยไฟฟ้า เช่น การชุบชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า และใช้ในกระบวนการฟอกโครมของอุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นต้น

2.4 การปนเปื้อนของโครเมียมสู่สิ่งแวดล้อม

โครเมียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการใช้อุตสาหกรรมต่างๆ โดยปนอยู่กับอากาศและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โครเมียมในบรรยากาศเกิดได้ทั้งจากธรรมชาติโดยการพังทลายของดิน หิน และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

การปนเปื้อนของโครเมียมในบรรยากาศไม่ได้เกิดจากอุตสาหกรรมเท่านั้น แต่ยังเกิดจากการเผาไหม้ต่างๆ เช่น ไฟป่า ก็ทำให้มีการแพร่กระจายของโครเมียมออกมาได้ เนื่องจากความร้อนจะทำให้เกิดการออกซิไดซ์โครเมียม Cr (VI) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อลอยอยู่ในอากาศ จะค่อนข้างเสถียร แต่เมื่อรวมกับสารอินทรีย์ต่างๆ จะกลายเป็น Cr (III) สะสมอยู่ในพืชและร่างกายของสัตว์

2.5 ความเป็นพิษของโครเมียม

สารประกอบโครเมียม ที่มีเลขออกซิเดชัน 3 มีอันตรายน้อย ไม่ดูดซึมในทางเดินอาหาร ส่วนสารประกอบโครเมียม ที่มีเลขออกซิเดชัน 6 เป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและมีฤทธิ์กัดกร่อน สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้โดยทางเดินอาหาร ผิวหนังและทางเดินหายใจ สำหรับสารโครเมต เป็นทั้งสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง เพราะว่ามันจะไปรบกวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอในเซลล์ (ชัยณรงค์, 2545)

กรดโครมิกหรือสารโครเมต ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฝุ่น และควัน ซึ่งจะเข้าสู่ร่างกายทั้งทางจมูกและผิวหนัง

1. ทางจมูก โดยการสูดหายใจเอาผงและควันของกรดโครมิก ซึ่งส่วนใหญ่จะตกค้างบริเวณจมูกและทำอันตรายต่อกระดูกอ่อนที่กั้นระหว่างจมูกและอาจเข้าไปถึงปอด ซึ่งจะทำให้เกิดมะเร็งได้ และโครเมียมจัดเป็นสารก่อกลายพันธุ์ ที่รบกวนการสังเคราะห์ DNA ในเซลล์ทำให้เกิดอาการต่างๆ ดังนี้



1.1 มะเร็งที่ปอด จะเกิดกับผู้สูดดม โครเมียมเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานานซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อชีวิตได้

1.2 ผนังกันจุ่มถูกเจาะทะลุ ผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับโครเมียมและได้รับควันของกรดโครมิกหรือฝุ่นของโครเมียมเป็นประจำ จะทำให้ผนังกันจุ่มถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ การทะลุนี้จะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใดจะรู้สึกคันเมื่อมีเสียงฮือหรือคังจุ่มเบนลง

2. ทางผิวหนัง จะเกิดกับผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับโครเมียมจะได้รับฝุ่นละอองหรือควันของโครเมียมที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อผิวหนังได้ โดยอันตรายที่เกิดจากโครเมียม มีดังนี้

2.1 แผลจากโครเมียม เกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองโครเมียม ซึ่งส่วนมากจะเริ่มที่รอยต่อของผิวหนัง และจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือ ตามข้อที่นิ้วมือ หลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลมค่อนข้างเรียบบุ๋มลึกลงไป มีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร หรือเล็กกว่า ซึ่งจะมองดูคล้ายอุกตะปูเจาะ แผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันอย่างมากในเวลากลางคืน ต่อไปแผลนี้อาจเกิดการติดเชื้อจนอาจทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียง ซึ่งอาจทำให้ต้องตัดนิ้วทิ้ง ฝุ่นของโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหนังตา หรือที่ปลายจมูก ซึ่งอาจเกิดแผลขึ้นได้เช่นเดียวกัน

2.2 ผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) บริเวณที่อาจเกิดการอักเสบได้ ได้แก่ มือ แขน หน้า และหน้าอก อาจเกิดขึ้นเมื่อทำงานมานานแล้วประมาณ 6 เดือน ในรายที่รุนแรงใบหน้าจะมีสีแดงเข้มและบวม ส่วนที่อักเสบจะคันมากและแสบ

3. โรงงานฟอกหนัง

การฟอกหนังเป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพหนังสัตว์ที่เน่าเปื่อยได้เป็นหนังสำเร็จรูปซึ่งคงตัวไม่เน่าเปื่อย คงทนต่อสภาพอากาศและน้ำร้อนซึ่งสามารถที่จะนำมาทำเป็นอาภรณ์ลักษณะต่างๆ เช่น รองเท้า กระเป๋า ซองมิด ฯลฯ กระบวนการฟอกหนังมี 2 ประเภท ได้แก่

1. การฟอกโครม คือ กรรมวิธีในการฟอกย้อมสี เพื่อให้หนังมีคุณสมบัตินิ่ม ง่ายแก่การตัดเย็บเป็นส่วนประกอบของอาภรณ์ลักษณะ โดยการใช้สารประกอบโครเมียมทำปฏิกิริยากับหนังเพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในสภาพไม่เน่าเปื่อย

2. การฟอกฟาด คือ กรรมวิธีการฟอกหนังชนิดหนึ่ง หนังมีคุณภาพต่ำและมีความหนากว่าหนังฟอกโครม เนื้อหนังค่อนข้างกระด้าง โดยหลักการคือใช้สารแทนนินทำปฏิกิริยากับหนัง

การฟอกหนังในประเทศไทยแทบทั้งหมดใช้วิธีการฟอกโครมซึ่งเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย ซึ่งมีโครเมียมปนเปื้อนในปริมาณสูง



3.1 วัสดุดิบ

หนังสือตัวดิบประกอบด้วย ขน หนังสือพิมพ์ หนังสือ และฟางมัด ส่วนหนังสือจะประกอบ ด้วยคอลลาเจนเป็นส่วนใหญ่ หนังสือตัวดิบมีแนวโน้มที่จะนำเสียได้ง่ายจึงมีการนำไปคองเกลือเพื่อทำให้การเสียเกิดช้าลง

สารเคมีชนิดต่างๆ ตัวอย่างเช่น ปูนขาว โซเดียมซัลไฟด์ แอมโมเนียซัลเฟต กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก สารประกอบโครเมียม สีย้อมหนังสือ เป็นต้น

3.2 กระบวนการผลิต

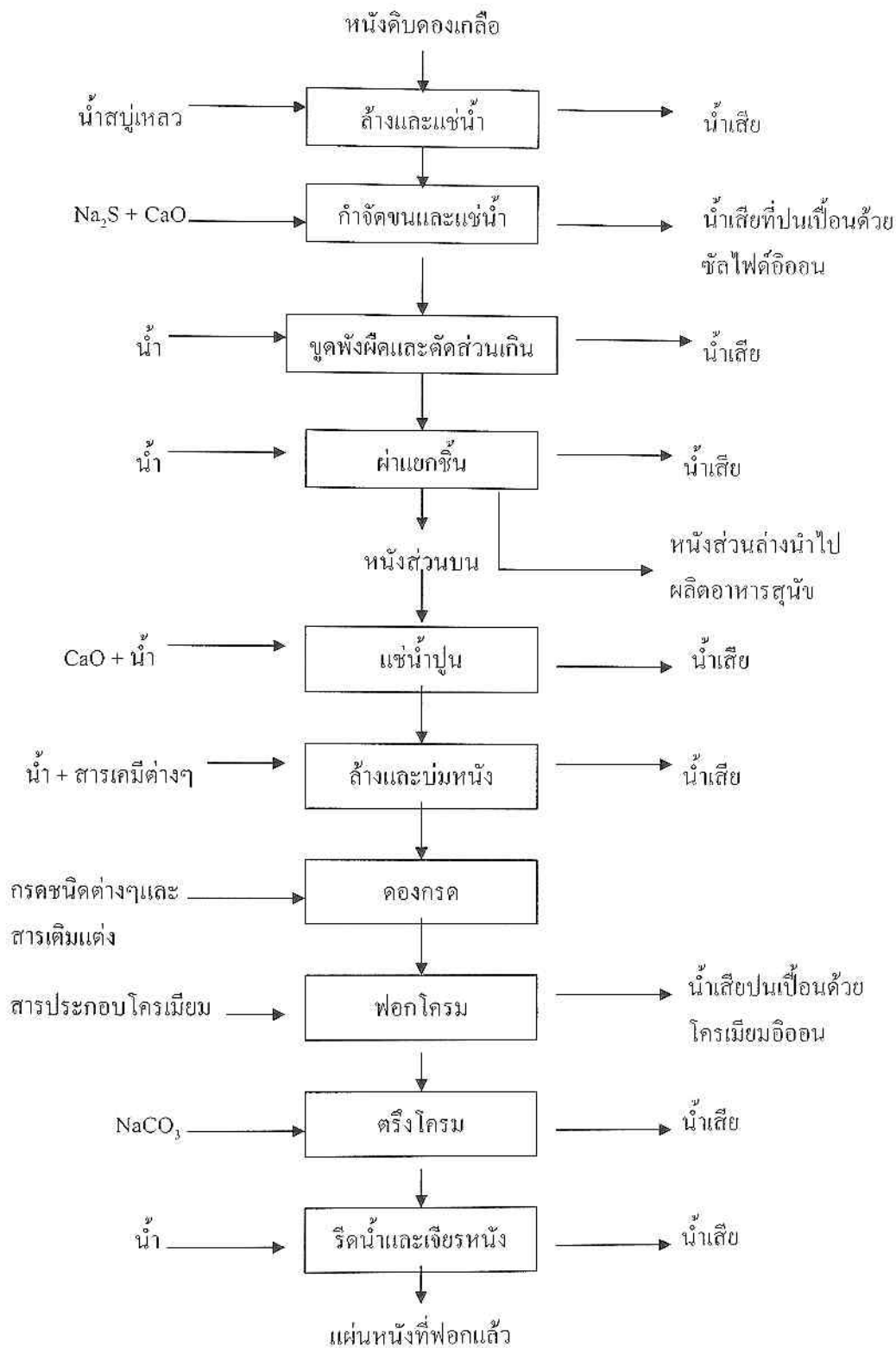
กระบวนการฟอกหนังสือประกอบด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่ การเตรียม การฟอก การฟอกซ้ำ ย้อมสีและทาน้ำมันดังแผนภาพที่ 2-2 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การเตรียมหนังสือ นำหนังสือคองเกลือมาเคาะเกลือออกแล้วนำไปล้างน้ำในถังซึ่งมีการเติมสบู่โซเดียมซัลไฟด์และปูนขาว สารเคมีต่างๆ จะทำปฏิกิริยากับขน หนังสือพิมพ์ และฟางมัดทำให้เกลือแตกหนังสือและได้หนังสือที่นุ่มขึ้น ต่อจากนั้นนำมาขูดฟางมัดออกและผ่าแยกชั้นหนังสือด้านบนจะนำไปเข้ากระบวนการฟอก ส่วนหนังสือด้านล่างจะนำไปล้างปูนแล้วแปรรูปเป็นวัสดุที่ให้สุนัขเคี้ยวเล่น ก่อนที่จะนำหนังสือด้านบนไปทำการฟอกต้องนำมาทำปฏิกิริยากับเกลือแอมโมเนียและกรดกำมะถันเจือจาง เพื่อกำจัดความเป็นด่างเนื่องจากปูนขาว ต่อจากนั้นเติมเอนไซม์เพื่อให้หนังสือเรียบและมีคุณภาพดีขึ้น

3.2.2 การฟอกโครม ในการฟอกโครมจะใช้สารประกอบโครเมียมในรูปโครเมียมซัลเฟตและโครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) โครเมียมร้อยละ 70 จะทำปฏิกิริยากับหนังสือ โครเมียมที่เหลือจะปนออกไปกับน้ำทิ้ง ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 2,000-40,000 มก./ล.

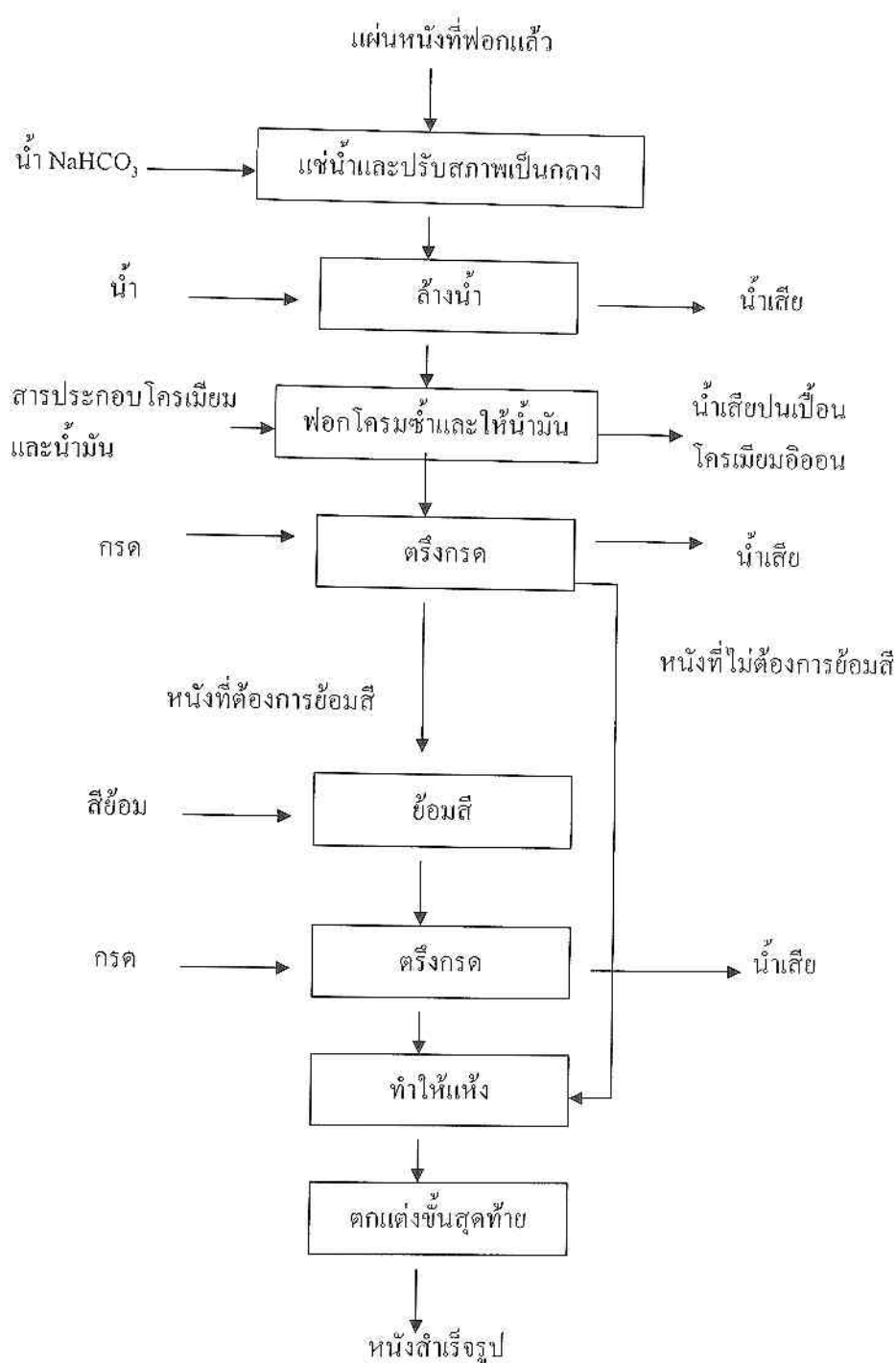
3.2.3 การฟอกซ้ำ การทาสี และการทาน้ำมัน การฟอกซ้ำจะมีจุดประสงค์เพื่อที่จะทำให้หนังสือมีคุณภาพดีขึ้น ต่อจากนั้นทำการย้อมสีหนังสือตามความต้องการของตลาด ขั้นตอนสุดท้ายคือการทาน้ำมันที่หนังสือที่ฟอกแล้วเพื่อให้หนังสืออ่อนนุ่มอยู่ตัว





ภาพที่ 2-2 กระบวนการฟลอกหนังสือ
ที่มา: บัณฑิตกา (2544)





ภาพที่ 2-2 กระบวนการฟอกหนัง (ต่อ)

ที่มา: บัณฑิต (2544)



3.3 ของเสียที่เกิดขึ้น

น้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆ ของการฟอกหนังล้วนก่อให้เกิดขึ้นทั้งสิ้น โดยปริมาณน้ำเสียรวม 60 ลบ.ม./ตัน กระบวนการฟอกหนังมีการใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ปริมาณมาก ดังนั้นน้ำเสียจากการฟอกหนังจึงมีความเป็นด่างสูง คือ มีพีเอชประมาณ 10 ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งละลาย (DS) ในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังมีความหนืดสูงทำให้ของแข็งแขวนลอยตกตะกอนได้ยาก มลสารสำคัญในน้ำเสียจากการฟอกหนังคือซัลไฟด์ (S^{2-}) จากขั้นตอนการกำจัดขนสัตว์ และ โครเมียมอ็อกไซด์ (Cr^{3+}) จากการฟอกโครม ปริมาณน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการฟอกหนังดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-1 และสมบัติของน้ำเสียรวมจากการฟอกหนังสัตว์แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-1 ปริมาณน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการฟอกหนัง

ขั้นตอน	ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./ตัน)
แช่ / ล้าง (Soaking / Washing)	6
แช่น้ำปูนขาวกำจัดขน (Liming / Unhairing)	9
ล้างปูนขาว/แช่สารเคมี (Deliming / Bating)	5
ดองกรด (Pickling)	0
ฟอก (Tanning)	1
ล้าง (Rinsing)	3
ทำให้เป็นกลาง (Neutralization)	1.5
ล้าง (Rinsing)	6
ฟอกทับ ย้อม ใส่น้ำมัน (Retanning / Dyeing / Fattening)	1.5
ล้าง (Rinsing) *	6
ตาก / อบแห้ง (Drying)	21
ตกแต่ง (Finishing) *	
รวม	60

หมายเหตุ : * คือน้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์

ที่มา: มัลลิกา (2544)



ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วง	เฉลี่ย
บีโอดี	มก. /ล.	121 - 15,167	1,078
	กก. /ตัน	1.4 - 166.6	63.5
ซีโอดี	มก. /ล.	108 - 41,600	3,569
	กก. /ตัน	2.9 - 456	187.6
ของแข็งแขวนลอย	มก. /ล.	142.2 - 19,939	1,913
	กก. /ตัน	0.31 - 469.8	104
น้ำมัน / ไขมัน	มก. /ล.	224 - 6,834	990
	กก. /ตัน	10.3 - 417.2	57.8
โครเมียม	มก. /ล.	1.0 - 647	79
	กก. /ตัน	0.1 - 43.7	4.8

หมายเหตุ : กก. /ตัน เป็น กก. ของมลสารต่อ 1 ตันของหนังดิบ

ที่มา: มัลลิกา (2544)

3.4 การจัดการของเสีย

การจัดการของเสียของโรงงานฟอกหนังสัตว์มีทั้งการลดการกำเนิดของเสีย (Waste minimization) และบำบัดที่ปลายท่อ (End-of-pipe treatment) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 การลดการกำเนิดของเสีย มีวิธีการดังนี้

1. การจัดการดูแลที่ดีเป็นข้อปฏิบัติต่างๆเพื่อลดการกำเนิดของเสียดังนี้

- จำกัดการใช้ยาที่ไม่จำเป็น เช่น ปล่อยให้น้ำไหลตลอดเวลา
- มีความระมัดระวังในการขนย้ายและถ่ายเทสารเคมีเพื่อลดปริมาณสารที่

หกลงพื้น

- ซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุด

2. การแยกท่อน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนต่างๆ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนสมบัติแตกต่างกันเช่นน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมการฟอกมีปริมาณแซลไฟด์สูง น้ำเสียจากการฟอกมีโครเมียมสูง ถ้าระบบรวบรวมน้ำทุกชนิดลงท่อระบายเดียวกันจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการบำบัดน้ำเสียทั้งยังทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียรวมมีขนาดใหญ่อีกด้วย



3. ปรับปรุงวิธีการล้างหนังเพื่อเป็นการประหยัดน้ำ อุตสาหกรรมฟอกหนังเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำในปริมาณมาก โดยเฉพาะการใช้น้ำในการล้างหนังในแต่ละขั้นตอน ตัวอย่างวิธีการล้างที่ประหยัดน้ำ ได้แก่ ใช้วิธีการล้างแบบไม่ต่อเนื่อง (batch rinsing) แทนวิธีการล้างแบบให้น้ำไหลตลอดเวลา หรือใช้วิธีการล้างแบบทวนกระแส (counter current washing)

4. การนำสาละสลวยต่างๆ กลับมาใช้ใหม่ สาละสลวยที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีความเข้มข้นของสารเคมีค่อนข้างต่ำลงทั้งยังปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น ของแข็งแขวนลอย สารอินทรีย์ในรูปต่างๆ อีกด้วย ถ้าทั้งสารเคมีเหล่านี้รวมกับน้ำเสียก็จะเป็นภาระในการบำบัดน้ำเสีย แต่ถ้านำสารเหล่านี้ไปปรับสภาพให้เหมาะสมแล้วจึงนำกลับมาใช้ใหม่นอกจากจะเป็นการลดภาระในการบำบัดน้ำเสียแล้วยังเป็นการใช้สารเคมีอย่างคุ้มค่าลดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีอีกด้วย

ตัวอย่างการนำสาละสลวยซัลไฟด์และปูนขาวซึ่งใช้ในการกำจัดขนสัตว์กลับมาใช้ใหม่ สาละสลวยนี้เมื่อเตรียมขึ้นมาใหม่ก่อนนำมาใช้งานมีความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ 3% และปูนขาว 2% หลังจากนำมาใช้งานแล้วความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดคงเหลือ 1.5% และ 1.2% ตามลำดับ ในการนำสาละสลวยกลับมาใช้ใหม่ต้องนำสาละสลวยที่ผ่านการใช้แล้วมากรองขนสัตว์ที่ปะปนอยู่ออกแล้วจึงนำมาทำให้เข้มข้นขึ้นโดยทำให้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับสาละสลวยตั้งต้น

การนำโครเมียมกลับมาใช้ใหม่ โครเมียมมีอยู่ในน้ำเสียจากการฟอกโครม น้ำล้างหนังที่ฟอกโครมแล้ว น้ำจากการรีด น้ำจากการฟอกซ้ำ น้ำล้างหนังที่ฟอกซ้ำแล้ว และน้ำจากการย้อมสี ตัวอย่างการนำโครเมียมกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่

- แยกสาละสลวยที่ใช้ฟอกโครมแล้วกลับมาใช้เป็นสาละสลวยในการดองกรดก่อนการฟอก หรือนำมาทำให้เข้มข้นขึ้นแล้วใช้เป็นสาละสลวยฟอกโครมหรือฟอกซ้ำ

- การตกตะกอนโครเมียมออกจากน้ำเสีย (Chemical precipitation) แล้วจึงมีการนำโครเมียมที่ได้มาเตรียมสาละสลวยฟอกโครมต่อไป

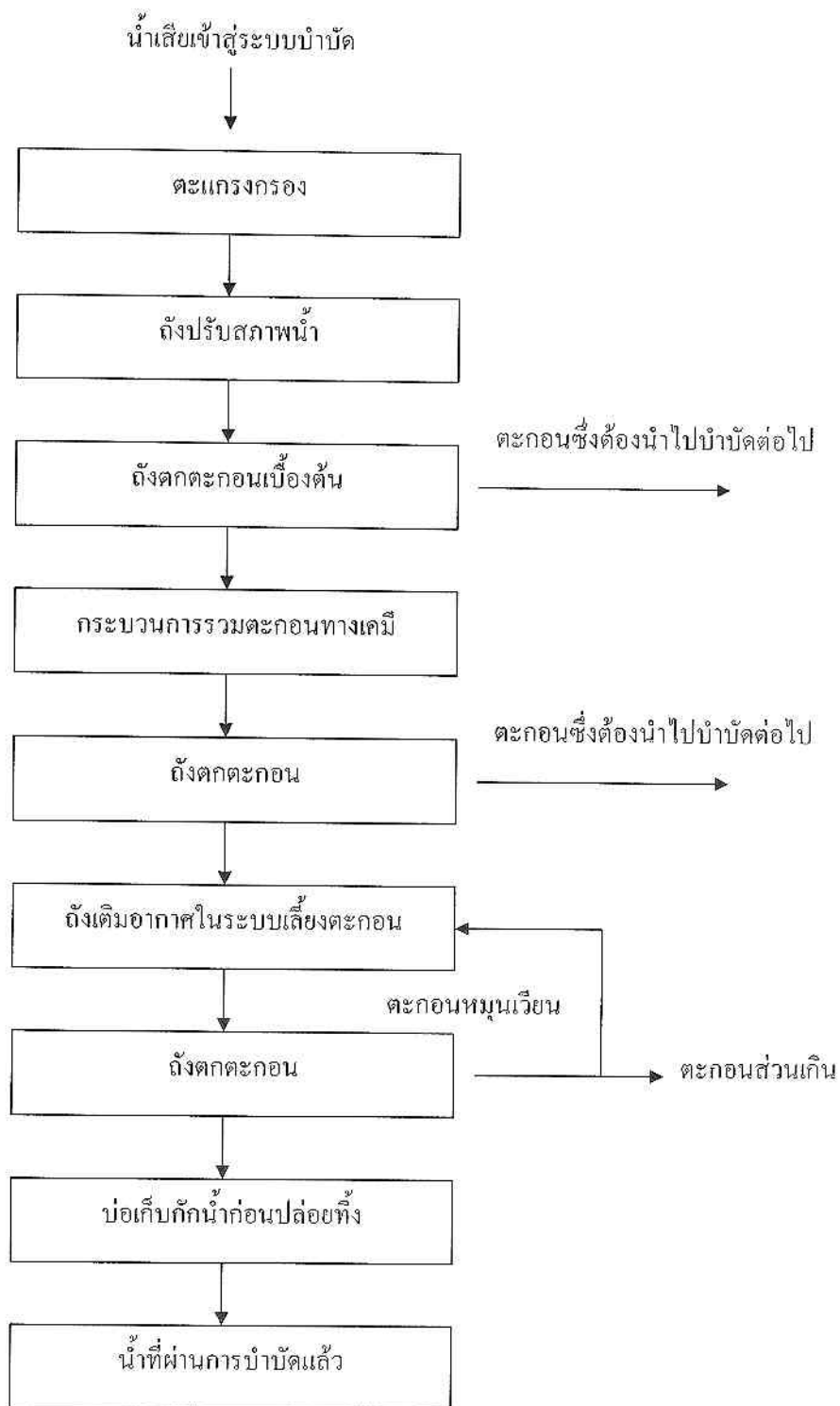
3.4.2 การบำบัดน้ำเสีย น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฟอกหนังที่สำคัญมี 2 ส่วน คือ น้ำเสียที่เกิดจากการกำจัดขนซึ่งมีปริมาณซัลไฟด์สูง และน้ำเสียจากการฟอกโครมที่มีปริมาณโครเมียมสูง น้ำเสียทั้งสองส่วนมีสมบัติแตกต่างกันมาก จึงมักทำการบำบัดแยกกัน

การลดปริมาณซัลไฟด์ในน้ำเสียใช้กระบวนการออกซิเดชันและการตกตะกอนทางเคมี ในกระบวนการออกซิเดชันซัลไฟด์ถูกออกซิไดซ์เป็นไทโอซัลเฟต ซัลไฟด์ หรือ ซัลเฟต ในสภาพที่มีออกซิเจน ต่อจากนั้นจึงเติมสารที่ทำให้เกิดการตกตะกอนแยกออกจากน้ำทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณซัลไฟด์ต่ำลง (น้ำเสียส่วน ก) สำหรับน้ำเสียส่วนต่างๆ ที่ปนเปื้อนด้วยโครเมียมสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีปริมาณโครเมียมต่ำลง (น้ำเสียส่วน ข) น้ำเสียทั้งสองส่วนยังมีปริมาณสารปนเปื้อนต่างๆ สูงต้องนำมาทำการบำบัดต่อไป



น้ำเสียส่วน ก และ ข รวมทั้งน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดอื่นๆจะไหลผ่านตะแกรงกรองเข้าสู่ถังปรับสภาพน้ำ (equalization tank) เพื่อปรับอัตราการไหลและสมบัติของน้ำให้คงที่ ต่อจากนั้นไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนแรก (primary sedimentation tank) แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการรวมตะกอน (Chemical coagulation and flocculation) ต่อจากนั้นเป็นการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพที่เหมาะสม เช่น ระบบแบบผิ้ว ระบบบ่อเติมอากาศ ระบบเลี้ยงตะกอน ตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียเป็นตะกอนที่ปนเปื้อนด้วยโครเมียมซึ่งถือว่าเป็นของเสียอันตราย ดังนั้นจึงต้องนำไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัยต่อไป แผนภาพแสดงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนังแสดงดังภาพที่ 2-3





ภาพที่ 2-3 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนัง
ที่มา: มัลลิกา (2544)



4. กระบวนการต่างๆ ในการกำจัดโลหะหนัก

กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียนั้นมีอยู่หลายวิธี โดยทั้งนี้การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นกับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ดังนี้คือ คุณลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการ พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการบำบัดและความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้

4.1 การตกผลึกทางเคมี (Chemical precipitation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มานานแล้ว ทำโดยการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสียเพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ ซึ่งการตกตะกอนผลึกด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 วิธีการคือการตกผลึกไฮดรอกไซด์ (Hydroxide precipitation) และการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์ (Sulfide precipitation)

การตกผลึกไฮดรอกไซด์ จัดเป็นการตกตะกอนแบบดั้งเดิมโดยการเติมสารเคมีคือ ปูนขาว หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกิดปฏิกิริยาตามสมการดังนี้



โดย M^{2+} คือโลหะไอออน

การตกผลึกไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดคือ โลหะไฮดรอกไซด์จะมีคุณสมบัติกึ่ง (Amphoteric Property) คือจะไม่สามารถตกตะกอนที่พีเอชใดพีเอชหนึ่ง แต่จะตกตะกอนเป็นช่วงพีเอชกว้าง โดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 8–11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้สามารถจะละลายกลับมาได้อีกถ้าค่าพีเอชเปลี่ยนจากค่าที่ตกตะกอนผลึก

การตกผลึกซัลไฟด์มักจะใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ในการทำให้ตกตะกอน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาตามสมการดังนี้



โดย M^{2+} คือโลหะไอออน



ข้อดีของการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์ คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์นี้มีข้อจำกัด คือ เรื่องของกลิ่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไป จึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้น โดยบำบัดนำเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง (จันทร์ทนา, 2539)

4.2 โคแอกกูเลชัน, ฟล็อกกูเลชัน (Coagulation/Flocculation)

เป็นกระบวนการที่รู้จักกันอย่างดีว่า สามารถจับโลหะหนักจากสารละลายได้โดยการทำงานของ Coagulation ใช้หลักการกระตุ้นประจุไฟฟ้าบนอนุภาค ส่วน Flocculation ใช้หลักการกวนอย่างช้าๆ เพื่อทำให้อนุภาคจับตัวกันเป็นก้อน โดยสารเคมีที่ใช้กับกระบวนการ Coagulation ส่วนใหญ่คือ Ferric Sulfate หรือ Alum ซึ่งโลหะที่กำจัดได้จะเป็นพวกตะกั่ว แคลเมียมและโครเมียม โดยในการกำจัดแคลเมียมใช้ช่วงพีเอช ที่ 8.5-11.3 จะมีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 98 ถ้าใช้ Alum ต้องคำนึงถึงความขุ่นของน้ำทิ้งด้วย แต่ถ้าเป็นการกำจัดตะกั่วโดยมีการใช้ Ferric Sulfate จะมีประสิทธิภาพร้อยละ 97 ส่วนการใช้ Alum จะมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 80-90 แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำทิ้งด้วย

4.3 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนี้ จะสามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดซับโดยเรซิน (Resin) ไม่เท่ากัน ซึ่งการแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติและชนิดสังเคราะห์ จะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามซึ่งไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามนี้เป็นไอออนที่จะเกิดจากการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกจะเรียกว่าแคทไอออนเอ็กซ์เชนเจอร์ (Cation exchanger) และถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบจะเรียกว่าแอนไอออนเอ็กซ์เชนเจอร์ (Anion exchanger) วิธีนี้จะเหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า

4.4 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

วิธีนี้เป็นวิธีการทางเคมีที่นิยมใช้กันมากในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆ เจือปนอยู่ โดยในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อไปทำปฏิกิริยา



ออกซิเจนหรือรีดักชันกับสารประกอบที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ โดยสารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดออกซิเจนได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอรีน เปอร์แมงกานต ไครมตและไนเตรต ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดรีดักชันได้แก่ ไอออน (II) ซัลเฟต ไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครมต ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 3 จึงต้องเติมกรดซัลฟริกลงไปด้วย จากนั้นจึงเติมปูนไลม์ลงไปเพื่อตกตะกอนอีกชั้นหนึ่ง การควบคุมระบบบำบัดแบบนี้ค่าพีเอชมีความสำคัญมาก จะต้องมี ความพอเหมาะปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์

4.5 รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)

วิธีนี้เป็นการแยกโลหะออกจากน้ำเสีย โดยมีการใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลส อะซิเตด และโพลีเอมีด ซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน Semipermeable Membrane เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น วิธีนี้ต้องใช้แรงดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ ดังนั้นแผ่นเมมเบรนที่ใช้ต้องทนต่อแรงดันสูงและต้องมีการบำบัดขึ้นต้นโดยการปรับค่าพีเอช มีการแยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออกและกรองสารแขวนลอยออกก่อนเพื่อป้องกันแผ่นเมมเบรนอุดตัน วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า น้ำเสียจากการสร้างภาพ

4.6 การระเหย (Evaporation)

การระเหยเป็นวิธีที่ง่ายที่ใช้ในการทำให้สารเคมีมีความเข้มข้นสูงขึ้น โดยการระเหยนี้ทั้งระเหยที่บรรยากาศธรรมดา และการระเหยภายใต้สุญญากาศ วิธีการบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงเท่านั้น ข้อเสียของวิธีนี้คือต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

4.7 อิเล็กโตรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

เป็นการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าตรงรวมกับการใช้เมมเบรนที่เฉพาะเจาะจงสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของวิธีการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและดำเนินการสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้



4.8 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

วิธีนี้เป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทดและเกิดก๊าซออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

4.9 การดูดซับผิว (Adsorption)

วิธีนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดมลพิษที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล สารดูดซับผิวที่นิยมใช้ในระบบบำบัดคือถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากที่สุด รูพรุนหรือโพรงมีขนาดตั้งแต่ $20 \text{ \AA}$ ถึง $20,000 \text{ \AA}$ การสังเคราะห์คาร์บอนชนิดนี้กระทำได้โดยการไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบเสียก่อน แล้วจากนั้นจึงทำการเผาวัตถุดิบที่แห้งให้เป็นถ่าน (Carbonization ที่อุณหภูมิประมาณ $400\text{--}600$ องศาเซลเซียส คาร์บอนที่ได้ยังมีอำนาจการดูดซับต่ำ เนื่องจากโพรงภายในคาร์บอนยังมีทาร์ (Tar) อุดตันอยู่ คาร์บอนนี้จึงต้องเผาที่อุณหภูมิประมาณ $750\text{--}950$ องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อไล่ทาร์ (Tar) ออกให้หมด (ขั้นตอนนี้เรียกว่า Activation) จึงจะได้แอคติเวตเต็ดคาร์บอน เทคโนโลยีปัจจุบันสามารถทำให้ได้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนหนัก 1 กรัม มีพื้นที่ผิวประมาณ $600\text{--}1,000$ ตารางเมตร (มันสิน, 2538) กระบวนการนี้สามารถนำมาใช้กำจัดโลหะหนักได้ เช่น ถ่านคาร์บอนแบบเกร็ดสามารถกำจัดปรอทและเงินได้หมดและสามารถลดความเข้มข้นของโลหะอื่นๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดงเป็นต้น จนเหลือถึงระดับที่ยอมรับได้ในน้ำดื่ม โดยไอออนโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่ยึดเกาะจับของ Adsorbate เรียกว่า Adsorbent

4.10 การบำบัดโดยจุลินทรีย์ (Biological Treatment)

การบำบัดโดยจุลินทรีย์ เป็นการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก เช่น Activated Sludge พบว่าสามารถกำจัดโลหะหนัก เช่น ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโครเมียมได้อย่างใดอย่างหนึ่ง ในเงื่อนไขที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร



5. การตกผลึกทางเคมี

กระบวนการตกผลึกทางเคมีจัดว่าเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปน ซึ่งใช้ร่วมกับวิธีออกซิเดชัน/รีดักชัน แต่การตกตะกอนทางเคมียังมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

- ต้องใช้ปริมาณสารเคมีตามค่าสตอยชิโอเมตริก
- เกิดสลัคจ์ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบสูง
- กรณีต้องการลดมลสารของน้ำออกให้อยู่ในระดับหนึ่งในล้านของมลสารที่เข้า ระบบจะต้องใช้การตกตะกอนทางเคมี 2 ขั้น (two stage precipitation)
- ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับน้ำเสียที่มีอัตราไหลต่ำหรือไหลเป็นพักๆ
- ประสิทธิภาพการตกตะกอนรวม (coprecipitation) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสิ่งเจือปน และพื้นที่ของผิวฟล็อกซ์ันตัน (primary flocc)

การตกตะกอนทางเคมีเป็นปรากฏการณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากการเหนี่ยวนำให้เกิดสภาวะอิ่มตัวเกินพอ (supersaturation) โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ nucleation, crystal growth และ flocculation (Snoeyink และ Jenkins, 1980) การตกตะกอนทางเคมีจะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดไอออนที่ละลายน้ำโดยเฉพาะโลหะหนัก เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน และสามารถใช้เป็นการบำบัดขั้นต้นเพื่อกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียก่อนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นพิษ (Clifford และคณะ, 1986)

เทคนิคการตกตะกอนทางเคมีแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท พื้นฐานที่ใช้การกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลาย ได้แก่ (William, 1994)

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

5.1 Hydroxide precipitation

ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกโดยการเติมสารที่เป็นด่าง เช่น โซดาไฟหรือปูนขาว เพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียให้ถึงจุดที่มีความสามารถในการละลายต่ำสุด โดยทั่วไปความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ในสารละลายจะลดลง



เมื่อปรับพีเอชเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง (isoelectric point) หลังจากนั้นโลหะจะกลับมาละลายได้อีก เพราะกลายเป็น amphoteric อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายได้ต่ำสุดทางทฤษฎีจะแตกต่างกันมากในทางปฏิบัติเพราะอิทธิพลของ complexing agents อุณหภูมิ และค่า ionic strength โลหะที่ตกตะกอนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์แล้วสามารถกำจัดออกได้โดยรวมตะกอนแล้วปล่อยให้ตกตะกอน/กรอง การตกตะกอนทางเคมีจะขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการละลาย (K_{sp}) ของโลหะไฮดรอกไซด์, ค่า K_f ของโลหะไฮดรอกไซด์ และค่า K ของ complex agents เช่น EDTA, NTA, tartrate, gluconic acid, cyanide, ammonia เป็นต้น ส่วนประสิทธิภาพในการแยกของแข็งของเหลวในระบบจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่นขนาด ความหนาแน่นของโลหะไฮดรอกไซด์ เทคนิคนี้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เพราะมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายต่ำ และควบคุมได้ง่ายด้วยค่าพีเอช

5.2 Carbonate precipitation

การตกตะกอนด้วยคาร์บอเนตทำได้โดยการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) ซึ่งข้อได้เปรียบของเทคนิคนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ คือ

- จุดที่เหมาะสมในการบำบัดอยู่ที่สภาวะพีเอชต่ำกว่า
- โลหะที่ตกตะกอนมีความหนาแน่นกว่าของเหลว จึงทำให้ง่ายต่อการแยกของแข็งออก
- คุณสมบัติในการดึงน้ำออกจากสลัดจ์ทำได้ดีกว่า

5.3 Sulfide precipitation

การตกตะกอนด้วยซัลไฟด์ พบว่าให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ไฮดรอกไซด์ในการกำจัดโลหะหนักออกจากรน้ำเสียอุตสาหกรรม ข้อดีและข้อจำกัดของการตกตะกอนทั้ง 2 วิธีแสดงดังตารางที่ 2-3



ตารางที่ 2-3 ข้อดีและข้อจำกัดของการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์

Hydroxide precipitation	Sulfide precipitation
ข้อดี - ง่ายต่อการควบคุมด้วยพีเอช - การทำงานของระบบค่อนข้างง่าย - ค่าสารเคมีถูก (ปูนขาว) ข้อจำกัด - ตะกอนไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มที่จะสามารถละลายกลับได้ ถ้าพีเอชสารละลายเปลี่ยนไป - การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหลายชนิดปนกันจะทำให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดี - กรณีนี้น้ำเสียมี chelating agents จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะลดลง - ไม่สามารถกำจัด Cr (VI) ได้ - โซดาในด จะรบกวนการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ - ดึงน้ำออกจากสลัดจ์ทำได้ยาก เนื่องจากโครงสร้างของอนุภาคแบบ amorphous - ที่พีเอช < 6 จะเกิดโลหะไฮดรอกไซด์ได้น้อย - ไม่เหมาะที่จะใช้กับน้ำเสียที่มีอัตราการไหลสูง และมีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลง - เวลาที่ใช้เริ่มเดินและหยุดระบบจะนานกว่ากระบวนการ packed-bed และเมมเบรน	ข้อดี - สามารถใช้กำจัดโลหะที่ค่าพีเอช 2-3 - ต้องการเวลากักน้ำค้างปฏิกิริยาน้อยเนื่องจากมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง - สลัดจ์ซัลไฟด์ที่มีคุณสมบัติดีกว่าแ่งthickening และ dewatering - อิทธิพลของchelating agentsต่อการตกตะกอนโลหะซัลไฟด์มีน้อย - ปริมาณโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อย และง่ายต่อการดึงน้ำออก - สามารถเลือกกำจัดโลหะที่ต้องการ และ recovery ส่วนที่เหลือได้ ข้อจำกัด - ทำให้เกิดก๊าซ - ปัญหาความเป็นพิษของซัลไฟด์ - กระบวนการค่อนข้างซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์

ที่มา: มั่นสิน (2542)

การตกตะกอนด้วยซัลไฟด์แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ soluble sulfide precipitation (SSP) และ insoluble sulfide precipitation (ISP) ซึ่งจะแตกต่างกันตรงที่ไอออนซัลไฟด์ กระบวนการ SSP จะใช้ซัลไฟด์ในรูปของสารละลายซัลไฟด์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือโซเดียมไฮโดร



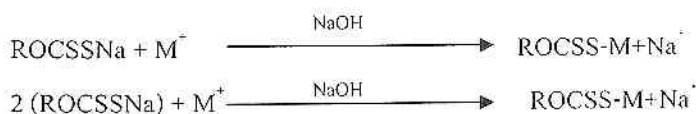
ซัลไฟด์ (NaHS) และควบคุมการเติมสารละลายซัลไฟด์ด้วยวิธี โดยใช้ feedback control loop โดยใช้ ion electrodes ทำงานได้ทั้งแบบ batch และแบบต่อเนื่อง

ในกระบวนการ ISP เฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ที่ละลายน้ำได้น้อยในรูป slurry จะถูกเติมลงในน้ำเสียซึ่งจะให้ไฮดรอนซัลไฟด์ที่ต้องการสำหรับตกตะกอนโลหะหนัก เนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่จะละลายน้ำน้อยกว่าเฟอร์รัสซัลไฟด์ ฉะนั้นจึงสามารถตกตะกอนเป็นโลหะซัลไฟด์ ในทางปฏิบัติ FeS จะเตรียมจากการผสมระหว่าง FeSO_4 และ NaHS ซึ่งข้อดีของกระบวนการ ISP คือไม่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และยังสามารถรีดิวซ์ Cr^{6+} เป็น Cr^{3+} แต่ข้อเสียก็คือ ต้องใช้สารเคมีในปริมาณที่มากกว่าสโตยชิโอเมตริกและเกิดสลัดจ์จำนวนมากเพราะเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ อัตราการเติมเฟอร์รัสซัลไฟด์ได้จากการทำจาร์เทสต์ ซึ่งตามธรรมดาจะใช้ปริมาณ 2-4 เท่าของสโตยชิโอเมตริกทำให้สิ้นเปลืองค่าสารเคมีจำนวนมากและเกิดสลัดจ์มากด้วย

ในกระบวนการของ SSP ความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่สูงจะทำให้เกิดการตกตะกอนโลหะซัลไฟด์อย่างรวดเร็ว (high nucleation rate) ทำให้เกิดอนุภาคที่เล็กละเอียดและอนุภาคแขวนลอยซึ่งตกตะกอนและกรองได้ยาก ในกรณีที่มี chelating agents จะทำการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ไม่ได้ถึงแม้จะปรับพีเอชสูงขึ้นก็ตาม แต่สามารถกำจัดโลหะหนักได้ด้วยการตกตะกอนซัลไฟด์แทนกรณีที่ไม่มี chelating agents โลหะไฮดรอกไซด์จะเกิดขึ้นเล็กน้อยที่พีเอชต่ำกว่า 6 ส่วนโลหะซัลไฟด์สามารถเกิดได้ที่ช่วงพีเอชกว้างมากตั้งแต่ 2 ถึง 12 เนื่องจากโลหะซัลไฟด์ละลายน้ำได้น้อยกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ และเกิดสภาพ amphoteric น้อยกว่าด้วย นอกจากนั้นจะเกิดสลัดจ์โลหะซัลไฟด์น้อยและคั่งน้ำออกได้ง่ายกว่า

5.4 Xanthate precipitation

ในการบำบัดด้วยแซนเทต โลหะที่เป็นตัวปนเปื้อนจะแลกเปลี่ยนกับไฮดรอนโซเดียมของแซนเทตแล้วฟอร์มตัวในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ตามสมการดังนี้



แซนเทตเป็นสารประกอบ sulfonated organic ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุระหว่างโลหะหนักในสารละลายและแทนที่ด้วย Na หรือ Mg การแยก metal xanthates ออกจากของเหลวทำได้โดยการปล่อยให้ตกตะกอนแล้วกรองออก ซึ่งเมื่อเทียบกับการบำบัดน้ำเสียด้วยไฮดรอกไซด์จะมีข้อดีกว่าคือ

- ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะสูงกว่า



- ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช
- ช่วยทำให้การดึงน้ำออกจากสลัดจ์ดีขึ้น
- สามารถเลือกกำจัดโลหะที่ต้องการได้

5.5 Combined precipitation

เป็นระบบที่ใช้การตกตะกอนแต่ละประเภทร่วมกันเช่น McAnlly และคณะ (1984) ได้ศึกษาการใช้ซัลไฟด์ชนิดละลายน้ำและคาร์บอเนตเพื่อรีดิวซ์นิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ จากผลการ jar test พบว่า พีเอชที่เหมาะสมสำหรับกำจัดนิกเกิลเท่ากับ 11 และใช้อัตราส่วน S : Ni เป็น 2 และ $\text{CO}_3\text{:Ni}$ เท่ากับ 20 (โดยน้ำหนัก) จะให้ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือ 0.1 มก./ล. ซึ่งคาดว่ากลไกการกำจัดนิกเกิลเกิดจากการตกตะกอนร่วม (co precipitation)

กระบวนการตกตะกอนผลึกทางเคมีจะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพของสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในรูปสารละลาย (Soluble) ให้เป็นสารที่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble) โดยวิธีการเติมสารเคมีผสมกับน้ำเสียให้ทั่วถึง ซึ่งเมื่อผสมเข้ากันดีแล้วจะเกิดการจับตัวกันระหว่างสารเคมีกับสารละลาย ทำให้สามารถแยกมลสารที่ไม่ต้องการออกจากรน้ำเสียด้วยวิธีการตกผลึกทางเคมี ข้อมูลสารเคมีบางชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียแสดงไว้ตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 สารเคมีบางชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

สารเคมี	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนาแน่น, กก./ลบ.ม	
		ชนิดแห้ง	ชนิดของเหลว
สารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)	666.7	961-1201	1249-1281
Ferric Chloride (FeCl_3)	162.1	-	1346-1490
Ferric Sulfate ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	454	-	1121-1153
Ferrous Sulfate (Copperas, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	278	993-1057	-
Lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	56 ของ CaO	561-801	-

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2542)

การเกิดการตกตะกอนผลึกให้ได้ดีต้องพิจารณาค่าพีเอชหลังจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้ว โดยทั่วไปต้องมีค่าพีเอชสูงกว่า 7 จึงจะได้ผลดี ตารางที่ 2-5 ได้แสดงค่าพีเอชที่เหมาะสม และชนิด



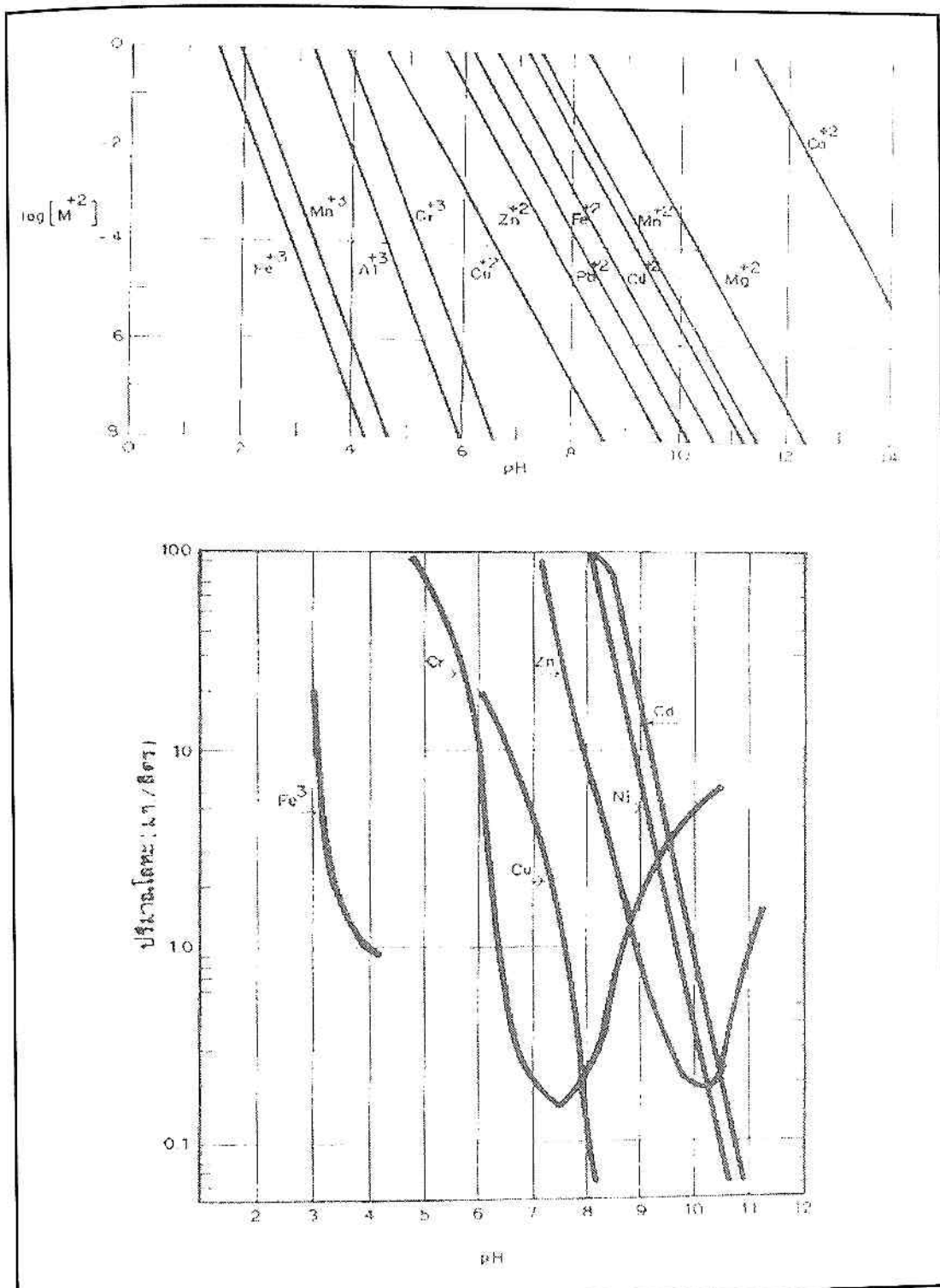
สารเคมีที่เติมผสมลงไปเพื่อกำจัด หรือแยกมลสารออกจากน้ำเสีย ภาพที่ 2-4 ได้แสดงกราฟของความสามารถในการละลายน้ำของมลสารต่างๆ สำหรับพีเอชใดๆ ซึ่งพบว่าแต่ละมลสารจะมีค่าพีเอช ที่เหมาะสมแตกต่างกัน และ ตารางที่ 2-6 ได้แสดงค่าปริมาณของสารเคมีที่ต้องการใช้ทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนผลึกของมลสาร 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 2-5 ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดมลสารออกจากน้ำเสียด้วยสารเคมีต่างๆ

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

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2542)





ภาพที่ 2-4 กราฟแสดงความสามารถในการละลายน้ำของมลสารต่างๆ สำหรับพีเอชต่างๆ
ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2542)



ตารางที่ 2-6 ปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ทางทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนผลึกของมลสาร 1
กิโลกรัม

สารเคมี	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (กก.)					
	มลสารต่าง ๆ (1 กก. ของแต่ละมลสาร)					
	Cr ⁺³	Cu ⁺²	Fe ⁺²	Fe ⁺³	Ni ⁺²	Zn ⁺²
Calcium Oxide (CaO)	1.62	0.88	1.00	1.50	0.96	0.86
Lime (Ca(OH) ₂)	2.13	1.16	1.34	2.01	1.26	1.14
Sodium Hydroxide (NaOH)	2.31	1.26	1.44	2.16	1.36	1.22
Sodium Carbonate (Na ₂ CO ₃)	3.07	1.68	1.90	2.85	1.81	1.62
Magnesium Oxide (MgO)	1.17	0.63	0.73	1.10	0.69	0.62
Magnesium Hydroxide (Mg(OH) ₂)	1.69	0.92	1.05	1.58	1.00	0.90

ที่มา : เกรียงศักดิ์ (2542)

6. การตกตะกอนด้วยคาร์บอเนต (Carbonate Precipitation)

สารละลายของโลหะหนักสามารถตกตะกอนได้โดยตรงกับสารประกอบคาร์บอเนตหลายชนิดเช่น

- โซดา (sodium carbonate; Na₂CO₃)
- โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate; Na(HCO₃))
- แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate; CaCO₃)

การตกตะกอนด้วยคาร์บอเนต สามารถใช้ตกตะกอนโลหะหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถใช้เป็นทางเลือกที่นอกเหนือจากการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ และความสามารถในการตกตะกอนด้วยคาร์บอเนตจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ในการตกตะกอนของโลหะคาร์บอเนต และค่าพีเอชในน้ำเสีย โดยปกติแล้วค่าความสามารถในการละลายของโลหะคาร์บอเนตจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ กับโลหะซัลไฟด์ ความสัมพันธ์ของคาร์บอเนตและโลหะหนักต่างๆ แสดงในภาพที่ 2-5

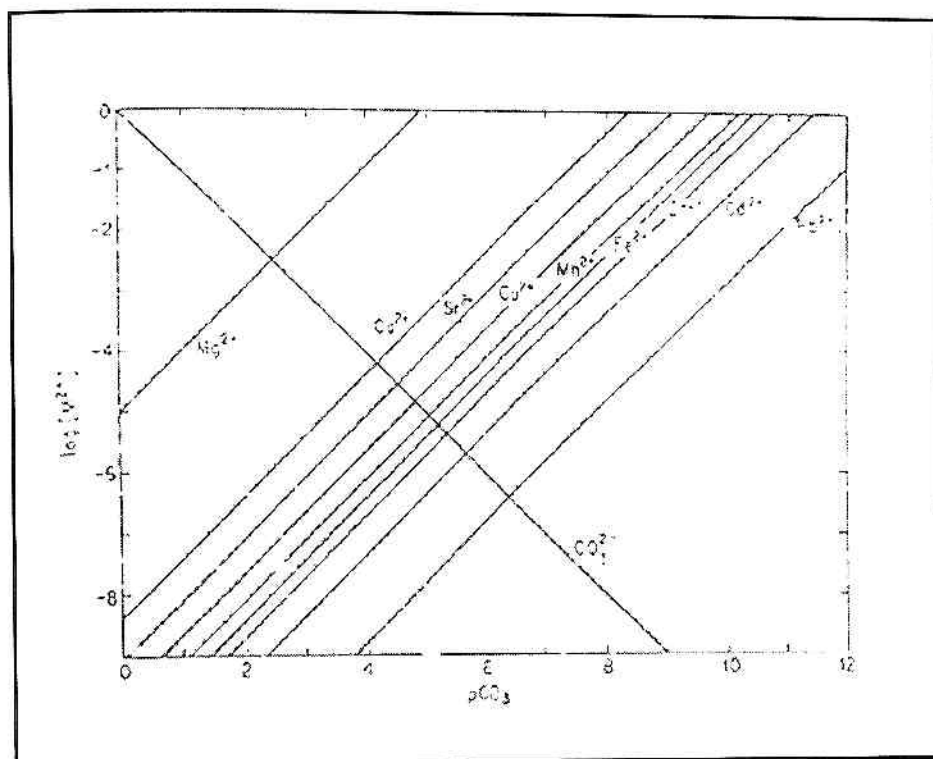


วิธีการตกตะกอนด้วยคาร์บอเนตจะมีประสิทธิภาพในการกำจัด แคลเซียม ตะกั่ว และ นิกเกิล สูงกว่าการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ และยังสามารถนำตะกอนมาผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย นอกจากนี้การตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ยังไม่ทำให้เกิดก๊าซ แต่อย่างไรก็ตามบางครั้งก็ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้หากไม่มีการตกตะกอนที่ถูกต้องวิธี ในกระบวนการตกตะกอนด้วยคาร์บอเนตนี้ โลหะที่ตกตะกอนจะอยู่ในรูปของทั้งโลหะคาร์บอเนต (metals carbonate) และ โลหะไฮดรอกไซด์ (metals hydroxide) ส่วนในการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจำเป็นที่จะต้องมีการห่อหุ้มตะกอนเพื่อป้องกันการชะละลายของตะกอนด้วย

6.1 การตกตะกอนโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต

หินปูนมักอยู่ในรูปของ high calcium (CaCO_3) และ dolomite ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$) โดยทั้งสองชนิดนี้จะอยู่ในรูปของผงปูน หรือหินละเอียด แต่ส่วนใหญ่จะใช้ high calcium ในการตกตะกอนเพราะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงกว่า และข้อเสียของวิธีการตกตะกอนนี้คือสามารถใช้ตกตะกอนที่ค่าพีเอชในช่วง 5.0-7.0 เท่านั้น ดังนั้นในการตกตะกอนจึงนิยมใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับปูนขาว โดยให้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวบำบัดขั้นต้นเพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียให้สูงขึ้นถึงประมาณ 6 แล้วจึงใช้ปูนขาวในการบำบัดโลหะหนักให้หมดต่อไป





ภาพที่ 2-5 การตกตะกอนของโลหะหนักด้วยคาร์บอนเนต

ที่มา: C. N. Sawyer et al. (1994)

6.2 การตกตะกอนโดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต

โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ในทางการค้าเรียกว่าเถ้าโซดา (soda ash) การใช้เถ้าโซดาเหมาะสำหรับน้ำเสียเป็นกรดที่มีบัฟเฟอร์ต่ำ เมื่อเติมเถ้าโซดาซึ่งเป็นเบสอ่อนมันจะเพิ่มบัฟเฟอร์ในน้ำทำให้ค่าพีเอชไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในการตกตะกอนด้วยเถ้าโซดานั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดค่อนข้างต่ำเมื่อมีการเทียบกับการใช้ไฮดรอกไซด์ ดังนั้นถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในการตกตะกอนจึงต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้เพียงพอสำหรับการใช้เวลตกตะกอนประมาณ 45 นาที แต่ข้อดีของการใช้เถ้าโซดาก็คือ ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้อยกว่าการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์มาก เป็นต้น



7. การใช้ Lime Mud (CaCO_3) ในการตกตะกอนโลหะหนัก

กากปูนขาว (CaCO_3) เป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต NaOH เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่มีขั้นตอนดังนี้

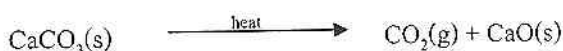
ปูนขาว (แคลเซียมออกไซด์, $\text{CaO}_{(s)}$) มาละลายน้ำให้ได้น้ำปูนขาวดังสมการ



จากนั้นนำมาผสมกับเถ้าโซดา (Na_2CO_3) เพื่อให้ได้ NaOH ตามสมการ



ปริมาณของกากปูนขาวที่เกิดขึ้นประมาณ 0.47 m^3 / ตันเชื้อกระดาษ ส่วนหนึ่งสามารถนำไปเผาให้ เป็นปูนขาวเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ดังสมการ



กากปูนขาวส่วนที่เหลือจะนำไปทิ้งที่บ่อฝังกลบของโรงงาน ซึ่งกากปูนขาวส่วนนี้เป็นส่วนที่จะนำมาใช้ ในการศึกษากำจัดโลหะหนักที่มีประจุ บวกสอง เช่น Pb , Cd , Co , Fe , Cu , Zn เป็นต้น เมื่อกากปูนขาวละลายน้ำจะได้

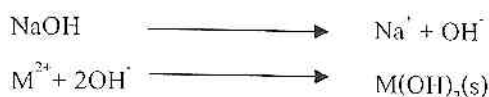


CO_3^{2-} ที่เกิดขึ้นจะจับตัวกับโลหะหนัก M^{2+} ที่อยู่ในน้ำ เป็น Metal Carbonate ดังสมการ



นอกจากนี้ NaOH ที่ปนอยู่ในกากปูนขาวจะเกิดการตกตะกอน โลหะหนักในน้ำเป็น Metal Hydroxide ดังสมการ





Metal Carbonate และ Metal Hydroxide ที่เกิดขึ้นสามารถกำจัดออกจากน้ำได้ด้วยวิธี การตกตะกอน และ การกรองต่อไป

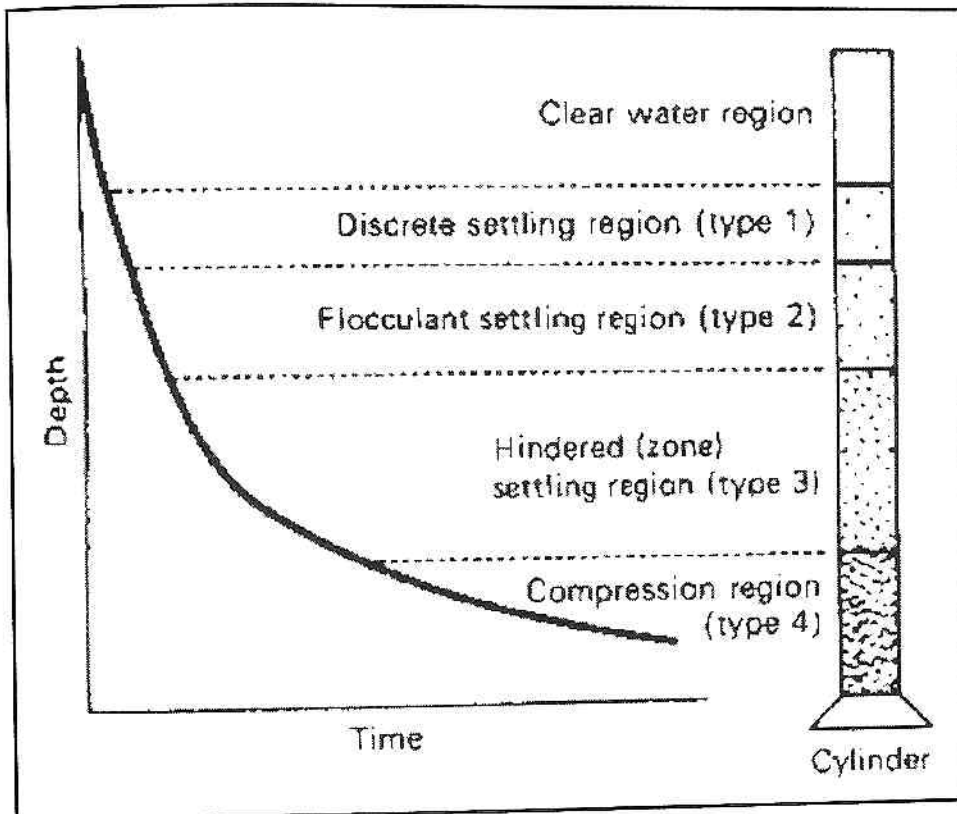
8. การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

ในการตกตะกอนโครเมียมด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วย คาร์บอนेट หรือไฮดรอกไซด์ ส่วนใหญ่การตกตะกอนจะเป็นแบบแบ่งชั้นหรือแบบมีอุปสรรค ซึ่ง มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2537 กล่าวว่า การตกตะกอนจะเป็นแบบแบ่งชั้นหรือแบบมีอุปสรรคจะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคต่างๆ จับตัวกันเป็นกลุ่มใหญ่จนเสมือนเป็นวัตถุก้อนเดียวที่ตกตะกอนด้วยอัตราเดียวกัน เมื่อมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นจะเห็นการแยกตัวระหว่างชั้นสลัดจ์และน้ำอย่างเด่นชัด (ภาพที่ 2-6) การตกตะกอนเช่นนี้เกิดได้เฉพาะกับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยเข้มข้นสูงมาก ตัวอย่างของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นได้แก่การตกตะกอนของแอคทีเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ในกระบอกดวง หรือการตกตะกอนผลึกของแคลเซียมและแมกนีเซียม (CaCO_3 และ Mg(OH)_2)

เมื่อปล่อยให้มีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นในกระบอกดวงหรือกระบอกโศแล้ววัดระดับชั้นของสลัดจ์ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อนำความสูงของชั้นสลัดจ์มาพล็อตเทียบกับเวลา จะได้กราฟที่มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2-6 ชั้นสลัดจ์จะตกตะกอนด้วยอัตราคงที่และสูงสุดในระยะแรก จากนั้นจะตกตะกอนช้าลงเรื่อยๆ จนในที่สุดเกือบไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้นเลย การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็ว ในการตกตะกอนจะเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้นระยะแรกอนุภาคต่างๆ แขนงลอยอยู่ในน้ำอย่างหลวม ดังนั้นถึงแม้ว่าการตกตะกอนจะเป็นแบบมีอุปสรรค(Hindered Settling) แต่ก็ยังมีช่องว่างในการตกตะกอนได้อยู่บ้าง การตกตะกอนจะมีค่าคงที่เรียกว่า Initial Settling Velocity หรือ ISV (อัตราเร็วในการตกตะกอนเริ่มต้น) อัตราเร็วคงที่นี้มีค่าอยู่ไม่เกิน 20 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย เมื่อการตกตะกอนผ่านไปช่องว่างในน้ำจะเหลือน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อถึงจุดหนึ่งอัตราเร็วจะมีค่าลดลง กล่าวได้ว่าสลัดจ์เริ่มเข้าไปอยู่ในระยะHindered settling region ซึ่งเป็นระยะที่อนุภาคบางส่วนเคลื่อนที่เข้ามาใกล้จนสัมผัสกันพอดี อัตราการตกตะกอนจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งอนุภาคทั้งหมดสัมผัสกันพอดี ต่อจากนี้สลัดจ์จะอยู่ในระยะอัดตัว Compression region ซึ่งจะมีการทับถมเพื่อบีบน้ำออกจากชั้นสลัดจ์เป็นครั้ง



สุดท้าย ระยะอัดตัวนี้มีการเคลื่อนที่ช้ามาก ทั้งนี้การตกตะกอนแบบแบ่งชั้นมักไม่เกิดขึ้นในถังตกตะกอนแบบธรรมดา เนื่องจากน้ำมีตะกอนแขวนลอยต่ำเกินไป



ภาพที่ 2-6 การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

ที่มา: Weber, W.J. Jr. (1972)



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A.I. Zouboulis et al. (1995) ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ เรื่องการกำจัดโลหะโครเมียมที่มีประจุ +6 ในน้ำเสีย โดยการใช้ผงไพไรต์ ซึ่งเป็นแร่ชนิดหนึ่งที่มีส่วนประกอบเป็นเหล็กซัลไฟด์ผลการทดลองพบว่าไพไรต์สามารถทำหน้าที่เป็นตัว reducing agent โดยมันสามารถลดประจุของโครเมียม +6 ให้เป็นโครเมียม +3 ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีต่อไป

D.Marani et al. (1995) ได้ศึกษาการตกตะกอนของตะกั่วในน้ำโดยใช้ซัลเฟตและคาร์บอเนตในการทดลองใช้น้ำเสียที่มีตะกั่ว 10 mg/l โดยเติมซัลเฟต 10^{-2} M ทดลองในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3.9 - 11.3 เพื่อให้คาร์บอเนตอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ โดยใช้ค่าความเข้มข้น 1.5×10^{-2} M ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วลดลงเหลือน้อยกว่า 0.1 มก./ล. ส่วนในการศึกษาสมมูลและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะใช้โมเดล MINTEQA2 ในการตรวจสอบ เมื่อนำตะกอนที่เกิดขึ้นไปวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction analysis พบว่า มีตะกอนของโลหะตะกั่วเกิดขึ้น 3 ชนิด คือ anglesite ($\text{PbSO}_4(\text{s})$) cerussite ($\text{PbCO}_3(\text{s})$) และ hydrocerussite ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2(\text{s})$)

G. Macchi et al. (1996) ได้ทำการศึกษการตกตะกอนของตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่โดยการตกตะกอนด้วยคาร์บอเนต ผลการทดลองพบว่าปริมาณของตะกั่วที่เหลือในน้ำหลังจากทำการตกตะกอนและผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน มีค่าน้อยกว่า 0.2 มก./ล. เมื่อทำให้ตกตะกอนในช่วงพีเอช 9-10 และมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอเนตทั้งหมดประมาณ 1.5×10^{-4} M โดยกระบวนการตกตะกอนจะเกิดขึ้นและใช้เวลากตกตะกอนทั้งหมดภายใน 24 ชั่วโมง ซึ่งตะกอนที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของ hydrocerussite ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$)

Mehmet et al. (2005) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะโครเมียม (Cr(VI)) โดยใช้กากโลหะเฟอร์โรโครเมียม (Ferrochromium slag) ทำการศึกษาความคงตัวของกากโลหะด้วยวิธี TLCP ในตะกอนที่มีขนาดน้อยกว่า 1.2 มิลลิเมตร และน้อยกว่า 75 ไมโครเมตร พบว่ามีการละลายเท่ากับ 0.50 และ 0.80 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ USEPA ซึ่งกำหนดไว้ที่ 5.0 มก./ล.นั้นแสดงว่ากากโลหะมีความคงตัว จึงนำกากโลหะมาทำการรีดิวส์ Cr(VI) ให้อยู่ในรูป Cr(III) พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ การใช้กากโลหะ 10 ก./ล. กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5 โมลาร์ 3.5 มล. ที่ 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 นาที แล้วใช้กากโลหะทำการตกตะกอน Cr(III) และ Fe(III) โดยศึกษาการใช้กากตะกอนที่ปริมาณต่างๆ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะดังกล่าวการใช้กากโลหะปริมาณ 40 ก./ล. นั้นสามารถกำจัดโลหะได้ 100% เมื่อนำตะกอนที่เกิดขึ้นมาทดสอบความคงตัว พบว่า มีการละลาย



ของ Cr(III) และ Fe(III) เท่ากับ 0.40 และ 0.75 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นั้น แสดงว่า ตะกอนที่เกิดขึ้นมีความคงตัวปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

Mirbagheri et al. (2004) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะทองแดงและโครเมียมจากน้ำหล่อเย็นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยใช้ปูนขาวและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในส่วนของการกำจัดโครเมียม ทำการรีดิวส์ Cr(VI) ให้อยู่ในรูป Cr(III) โดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 2.5 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ที่ค่าพีเอชต่างๆ โดยใช้กรดซัลฟิวริก พบว่ามีประสิทธิภาพการรีดิวส์สูงสุดในช่วงพีเอช 2.0-2.3 โดยปฏิกิริยาจะเกิดทั้งในรูป $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ และในรูปอิสระ เมื่อปฏิกิริยาเกิดที่พีเอชต่ำความเข้มข้นของ $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ จะลดลงและในรูปอิสระจะเพิ่มขึ้น เมื่อทำการตกตะกอน Cr(III) โดยการเติมปูนขาวและโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า มีความสามารถในการละลายต่ำสุดที่พีเอช 8.7 ส่วนปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นนั้น พบว่า การตกตะกอนด้วยปูนขาวมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์จากน้ำตัวอย่าง 30 ลิตร เกิดสลัดจ์ 2.5 และ 1.6 ลิตร จากการตกตะกอนด้วยปูนขาวและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ

ชุตินธร มุลทองน้อย (2543) ได้ศึกษาระดับปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำเสีย ที่ทำการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยสารเคมีกลุ่มไฮดรอกไซด์ กลุ่มคาร์บอเนตและกลุ่ม ซิลิเกต โดยนำน้ำเสียจากการวิเคราะห์ DO, BOD, COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ มาศึกษาปริมาณโลหะหนักพบว่า มีปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นในน้ำเสีย ได้แก่ เงิน โปรท โครเมียม เหล็ก แมงกานีส แมกนีเซียม และแคลเซียม เท่ากับ 0.034, 49.989, 50.471, 52.63, 61.23, 58.66 และ 0.723 มก./ล. ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการบำบัดโลหะหนักโดยใช้ สารตกตะกอน Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ Na_2SiO_3 ในปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัม/ลิตร พบว่าน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ที่ผ่านการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคาร์บอเนต จนมีพีเอช 9.0 แล้วนั้นสามารถบำบัดโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้มากกว่าร้อยละ 98-99 ซึ่งในเกณฑ์มาตรฐานคุณลักษณะของน้ำเสียที่ระบายออกจากรองานยกเว้นในกรณีของโปรทที่ยังมีค่าสูงเกินมาตรฐาน

ผกากรอง เนตรสว่าง (2541) ได้ศึกษาแนวทางการบำบัดเสียจากกองขยะด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ไฮดรอกไซด์ และมีแคลเซียมคาร์บอเนตร่วมตกตะกอน จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยวิธี Jar test คือ ใช้เวลาทวนเร็ว 5 นาที ทวนช้า 10 นาที และค่าพีเอชเท่ากับ 12.5 พบว่าสามารถลดค่า COD ได้ร้อยละ 80.51 ลดปริมาณโครเมียมได้ร้อยละ 64.51อาร์เซนิกร้อยละ 85.59 โปรทร้อยละ 91.31 และ ตกตะกอนของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 13.19 ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่า ยังไม่สามารถบำบัดน้ำเสียจากกองขยะให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรมได้ ยกเว้นอาร์เซนิกเท่านั้น



พฤกษ์ ดัณฐะรัตน (2546) ได้ศึกษาการใช้กากปูนขาว (Lime Mud) ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษมีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 65.37 มาใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี ในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนัก 4 ชนิดของแต่ละตัวอย่างน้ำเสีย คือ ตะกั่ว ไททาลัม โคโรเนียม แคดเมียม และปรอท โดยมีความเข้มข้น 1,433.7 506.7 1,095 และ 9.37 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำเสียจริง 2 ชนิดคือ น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โคโรเนียม 74.49 มก./ล. และ น้ำเสียจากการทดลองซีโอดีซึ่งมีปรอท 683 มก./ล. พบว่ากากปูนขาวสามารถใช้ตกตะกอนโลหะหนักในน้ำเสียได้มากกว่าร้อยละ 90 ยกเว้น น้ำเสียที่มีปรอทจากการทดลองซีโอดี มีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณร้อยละ 65

พนมชัย วีระยุทธศิลป์ (2546) ได้ศึกษาการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โดยการตกตะกอนด้วยโลหะไฮดรอกไซด์ที่เตรียมจากน้ำได้นินที่มีความเข้มข้นสูง โดยมีแคลเซียมแมกนีเซียมและโซเดียมเป็นองค์ประกอบหลัก โดยในการทดลองเมื่อปรับพีเอชน้ำบาดาลด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้เป็น 13.2-13.5 เกิดตะกอนในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำน้ำตะกอนที่ได้จากการทดลองไปตกตะกอนโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังพบว่าสามารถตกตะกอนโครเมียมได้มากกว่าร้อยละ 99 และเมื่อนำตะกอนโครเมียมมาละลายด้วยกรดซัลฟิวริกจนได้ค่าพีเอช ที่เหมาะสมคือ 1.6-2.8 พบว่าประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียมได้มากกว่าร้อยละ 68

เพ็ญประภา ขามป้อม (2541) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยแอลลอย โดยตัวแปรที่สนใจคือปริมาณแอลลอยที่ใช้ และค่าพีเอช ในการทดลองได้ใช้ ปริมาณแอลลอยแตกต่างกัน 6 ค่า ได้แก่ร้อยละ 0.0, 1.0, 1.25, 2.5, 5.0 และ 10.0 และปรับค่าพีเอช ของน้ำเสียที่ 6 7 8 9 10 11 และ 12 ผลการทดลองพบว่า ที่พีเอช 9 และปริมาณแอลลอยร้อยละ 1.25 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมได้สูงสุด คือ ร้อยละ 95.79

เขาวนุช สุจริตธรรม และคณะ (2536) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนโครเมียมจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม โดยใช้สารเคมีประเภทต่างๆคือแมกนีเซียมออกไซด์, โซเดียมคาร์บอเนต, และปูนขาว ร่วมกับสารรวมตะกอน 3 ชนิดคือ พอลิเมอร์ประจุลบ, พอลิเมอร์ประจุบวก, และพอลิเมอร์ ไร้ประจุ ผลการศึกษาพบว่าการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันคือร้อยละ 98 ถึงร้อยละ 100

สาโรจ บุญกิจสมบัติ (2535) ได้ศึกษาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี และได้เปรียบเทียบการใช้ปูนขาวและโซดาไฟในการกำจัดโลหะหนัก พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักของ



ปูนขาวและโซดาไฟใกล้เคียงกัน การกำจัดโครเมียมมีค่าพี เอชอยู่ในช่วง 9-11 ทองแดง ค่าพีเอช อยู่ใน ช่วง 7.5-11 นิกเกิลอยู่ในช่วง 10.5-11 สังกะสีอยู่ในช่วง 9.5-11 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดพบว่า การใช้ปูนขาวเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเนื่องจากค่าสารเคมีและค่าการบำบัด ตะกอนถูกกว่าเมื่อเทียบกับโซดาไฟ

วิราสินี ปรียานุพันธ์ (2542) ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในของเสียหึ่งปฏิบัติการด้วยการ ตกตะกอนทางเคมี ในรูปไฮดรอกไซด์ การศึกษาในขั้นแรกทำการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสม โดยเครื่องจาร์เทสต์ พบว่าพีเอชสูงสุด คือ 12 สามารถกำจัดปรอท โครเมียม แมงกานีสและตะกั่ว ในของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 99.99% 98.44% 99.57% และ 98.90% ตามลำดับ ส่วนสังกะสี ทองแดง และแคดเมียมไม่ผ่าน เกณฑ์มาตรฐาน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 62.5% 22.35% และ 22.56% ตามลำดับ



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบจาร์เทส (Jar Test Apparatus)
2. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าอย่างละเอียด
3. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ; AAS
4. เครื่องวัดพีเอช
5. เครื่องวัดความขุ่น
6. เครื่องร่อนพร้อมตะแกรง
7. Magnetic Stirrer และ Magnetic Bar
8. Hot Plate
9. ตู้ดูดความชื้น
10. ตู้อบอุณหภูมิ
11. ปืนดูดลม เครื่องมือสำหรับเครื่องกรอง
12. บีกเกอร์
13. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
14. นาฬิกาจับเวลาและกระจกนาฬิกา
15. หลอดหยด (Dropper)
16. ปีเปต (Pipet)
17. ขวดปรับปริมาตร

สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
2. กรดไนตริก (HNO_3)
3. โครเมียมไนเตรด (Chromium Nitrate ; $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)
4. น้ำกลั่น



วิธีการทดลอง

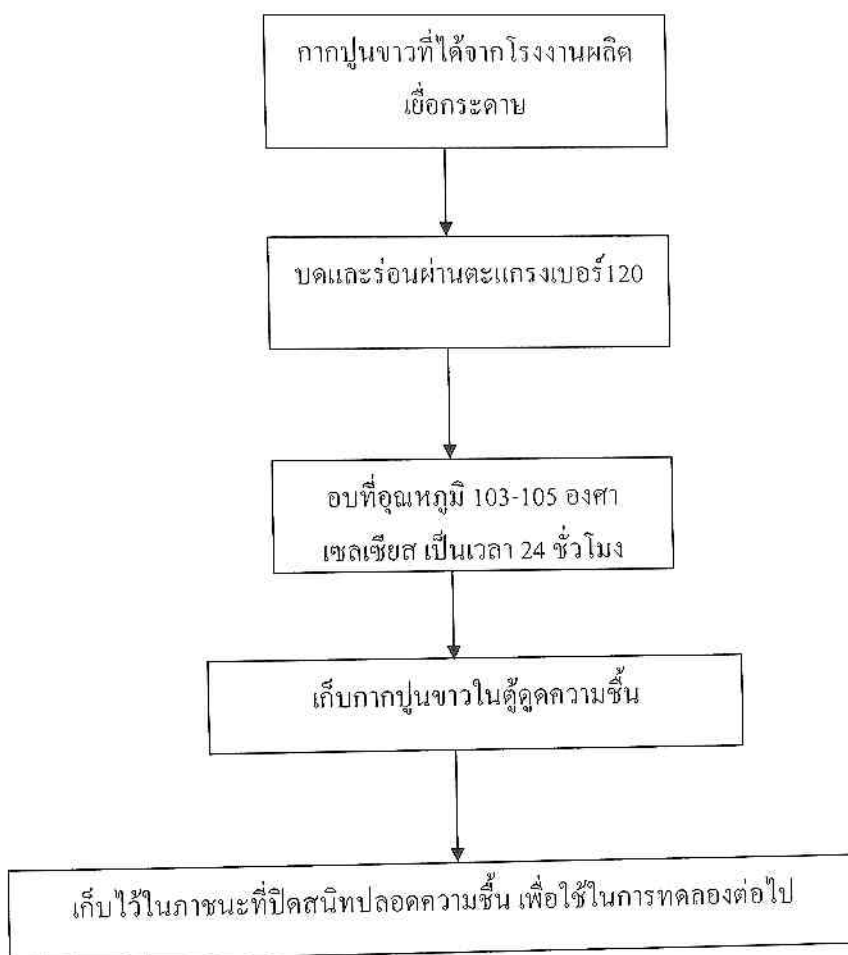
1. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียม โดยนำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเกิดจากการนำกรดไนตริกเข้มข้น 1% จำนวน 1 ลิตรมาละลายโครเมียมไนเตรด ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 769.23 มิลลิกรัม เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของน้ำเสียโครเมียมสังเคราะห์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. การเตรียมกากปูนขาว

- 2.1 นำกากปูนขาวที่ได้จากโรงงานผลิตเชื้อกระดาษมาบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 120 ตามมาตรฐาน ASTM เพื่อแยกหิน ทราช และสิ่งปลอมปนต่างๆ ออกไป
 - 2.2 นำกากปูนขาวที่ร่อนแล้วมาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
 - 2.3 จากนั้นเก็บในตู้ดูดความชื้น เพื่อให้แห้ง
 - 2.4 เก็บกากปูนขาวที่ได้ไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทปลอดความชื้น เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป
- (แผนผังการเตรียมกากปูนขาวแสดงในภาพที่ 3-1)





ภาพที่ 3-1 แผนผังการเตรียมกากป่นข้าว



3. การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม

3.1 นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 100 มก./ล. ปริมาตร 1,300 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มล. จำนวน 1 ใบ ตั้งบนเครื่อง Magnetic Stirrer

3.2 วัดค่าพีเอชเริ่มต้นและทำการจดบันทึกค่า

3.3 ทำการปรับพีเอชจาก 2 ถึง 12 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดไนตริก (HNO₃)

3.4 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำด้วยปริมาตร 90 มล. ทุกๆ ค่า ที่พีเอชเปลี่ยน 1 หน่วย

3.5 ทำการแบ่งตัวอย่างน้ำออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

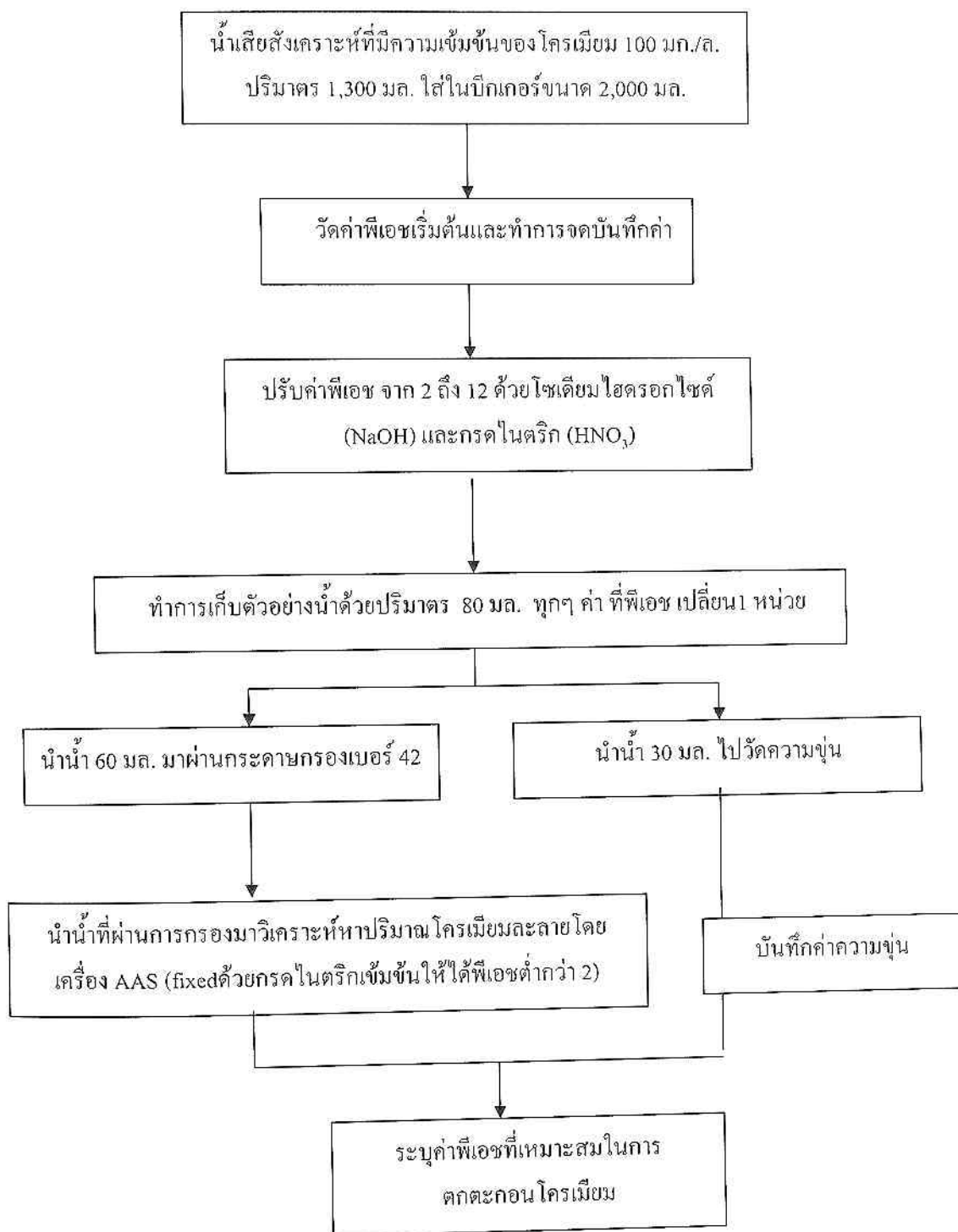
3.5.1 น้ำส่วนแรก 60 มล. นำมาผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วจึงนำน้ำที่ผ่านการกรองมาหาปริมาณโครเมียมละลายโดยเครื่อง AAS (fixed ด้วยกรดไนตริกเข้มข้นให้ได้พีเอชต่ำกว่า 2)

3.5.2 น้ำส่วนที่สอง 30 มล. นำไปวัดความขุ่น

3.6 ระบุค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียมจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับพีเอช และปริมาณโครเมียมละลายกับพีเอช

(แผนผังการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียมแสดงในภาพที่ 3-2)





ภาพที่ 3-2 แผนผังการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม



4. การหาปริมาณกาบูนขาวที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม (ไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว)

4.1 นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 100 มก./ล. ปริมาณ 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มล. จำนวน 6 ใบ

4.2 ปรับค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3

4.3 เติมกาบูนขาวในบีกเกอร์แต่ละใบให้มีปริมาณของกาบูนขาวเท่ากับ 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 2.00, 2.25, 2.75 และ 3.00 กรัม ตามลำดับ

4.4 วัดค่าพีเอชหลังเติมปูนขาว

4.5 เปิดเครื่องจาร์เทส กวนเร็ว 120 รอบ/นาที นาน 5 นาที

4.6 กวนช้า 30 รอบ/นาที นาน 10 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำทุกบีกเกอร์ด้วยปริมาตร 30 มล.

นำไปวัดความขุ่น

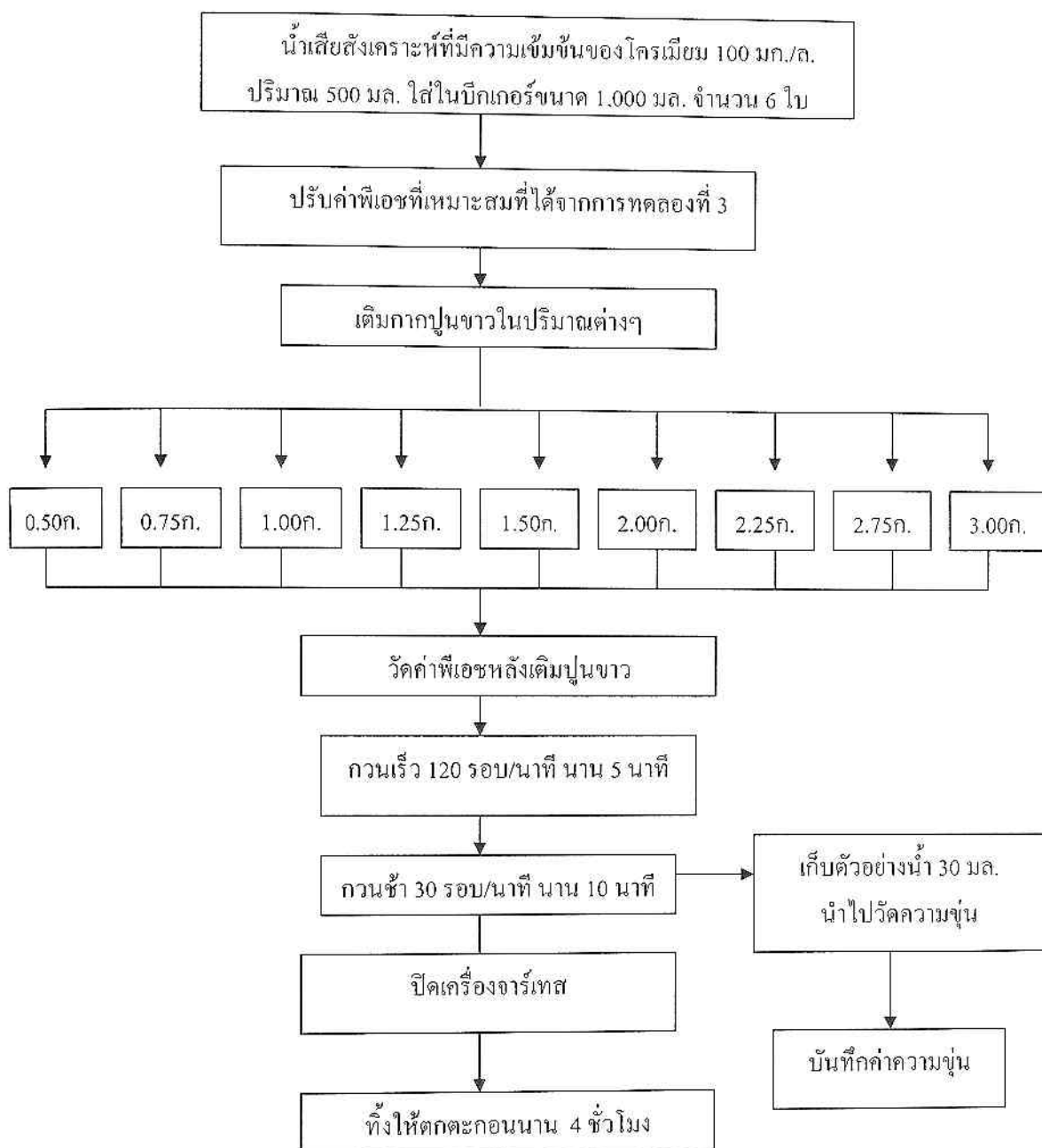
4.7 ปิดเครื่องจาร์เทส นำส่วนที่เหลือทิ้งให้ตกตะกอนนาน 4 ชั่วโมง

4.8 ทำการเก็บน้ำส่วนใสทุกๆ บีกเกอร์ด้วยปริมาตร 60 มล. นำมาผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วจึงนำน้ำที่ผ่านการกรองมาหาปริมาณโครเมียมละลายโดยเครื่อง AAS (fixcd ด้วยกรดไนตริกเข้มข้นให้ได้พีเอชต่ำกว่า 2)

4.9 ระบุปริมาณกาบูนขาวที่เหมาะสม เมื่อใช้กาบูนขาวเป็นสารสร้างตะกอน โดยพิจารณาจากปริมาณโครเมียมละลาย

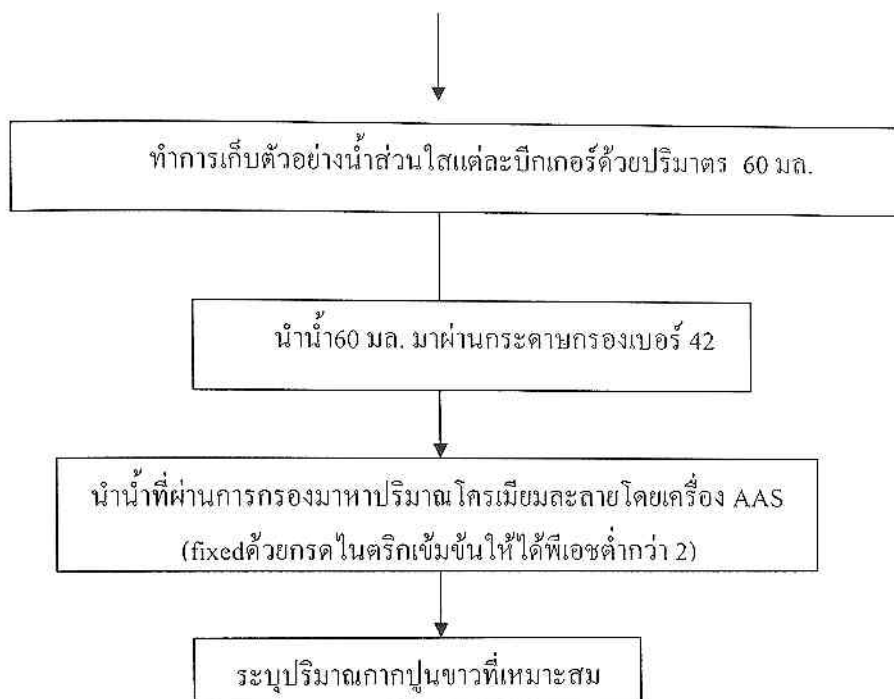
(แผนผังการทดลองการหาปริมาณกาบูนขาวที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียมแสดงในภาพที่ 3-3)





ภาพที่ 3- 3 แผนผังการทดลองการหาปริมาณกากปุนขาวที่เหมาะสมในการตกตะกอน โครเมียม





ภาพที่ 3-3 แผนผังการทดลองหาปริมาณกาบู่ขาวที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม (ต่อ)



5. การหาปริมาณกาบูนขาวและพีเอชที่เหมาะสม (ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว)

5.1 นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 100 มก./ล. ปริมาณ 500 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มล. จำนวน 6 ใบ

5.2 ปรับค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3

5.3 เติมกาบูนขาวในบีกเกอร์แต่ละใบให้มีปริมาณของกาบูนขาวเท่ากับ 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 และ 2.00 กรัม ตามลำดับ

5.4 วัดค่าพีเอชหลังเติมปูนขาวและจากนั้นนำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ไปปรับค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดไนตริก (HNO_3)

5.5 เปิดเครื่องจาร์เทส กวนเร็ว 120 รอบ/นาที นาน 5 นาที

5.6 กวนช้า 30 รอบ/นาที นาน 10 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำทุกบีกเกอร์ด้วยปริมาตร 30 มล. นำไปวัดความขุ่น บันทึกค่าความขุ่น

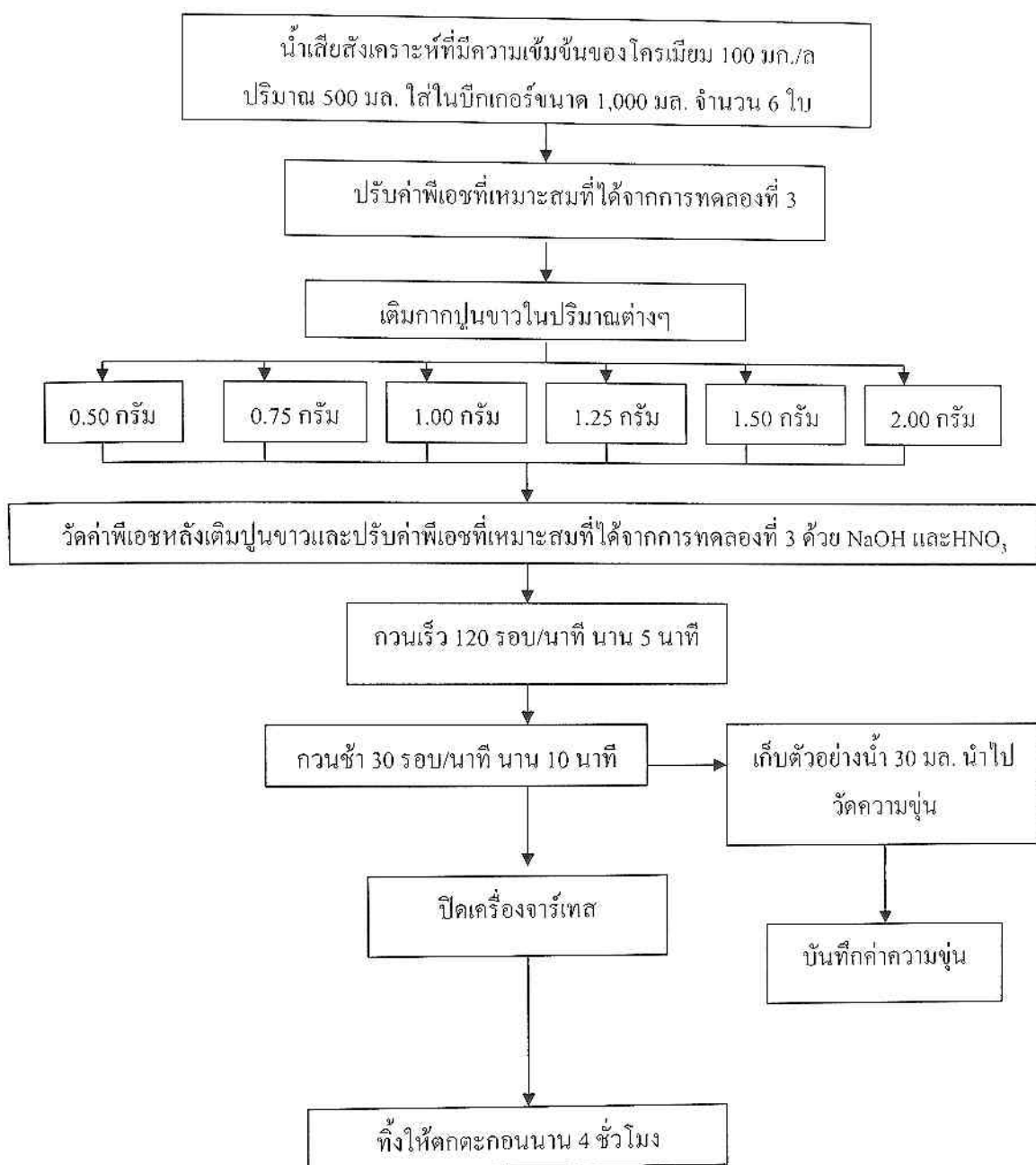
5.7 ปิดเครื่องจาร์เทส น้ำส่วนที่เหลือทิ้งให้ตกตะกอนนาน 4 ชั่วโมง

5.8 ทำการเก็บน้ำส่วนใสทุกบีกเกอร์ด้วยปริมาตร 60 มล. นำมาผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วจึงนำน้ำที่ผ่านการกรองมาหาปริมาณโครเมียมละลายโดยเครื่อง AAS (fixed ด้วยกรดไนตริกเข้มข้นให้ได้พีเอชต่ำกว่า 2)

5.9 ระบุปริมาณกาบูนขาวที่เหมาะสม เมื่อใช้กาบูนขาวเป็นสารสร้างตะกอนโดยพิจารณาจากปริมาณโครเมียมละลาย

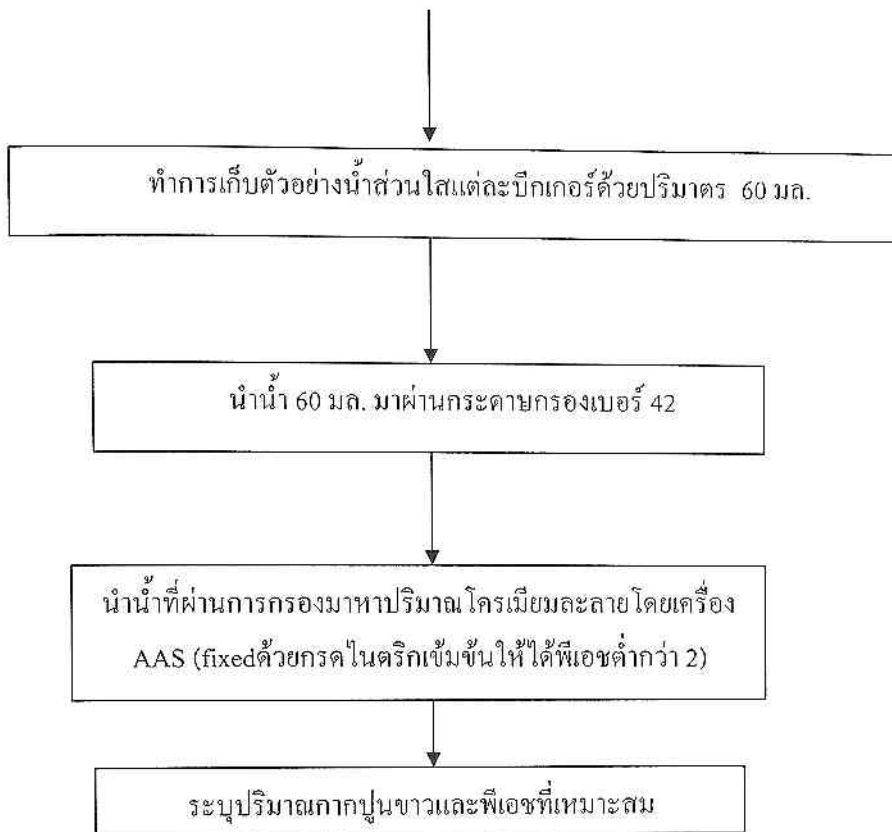
(แผนผังการทดลองการหาปริมาณกาบูนขาวและพีเอชที่เหมาะสมแสดงในภาพที่ 3-4)





ภาพที่ 3-4 แผนผังการทดลองการหาปริมาณกากปูนขาวและพีเอชที่เหมาะสม





ภาพที่ 3-4 แผนผังการทดลองการหาปริมาณกาบูนขาวและพีเอชที่เหมาะสม (ต่อ)

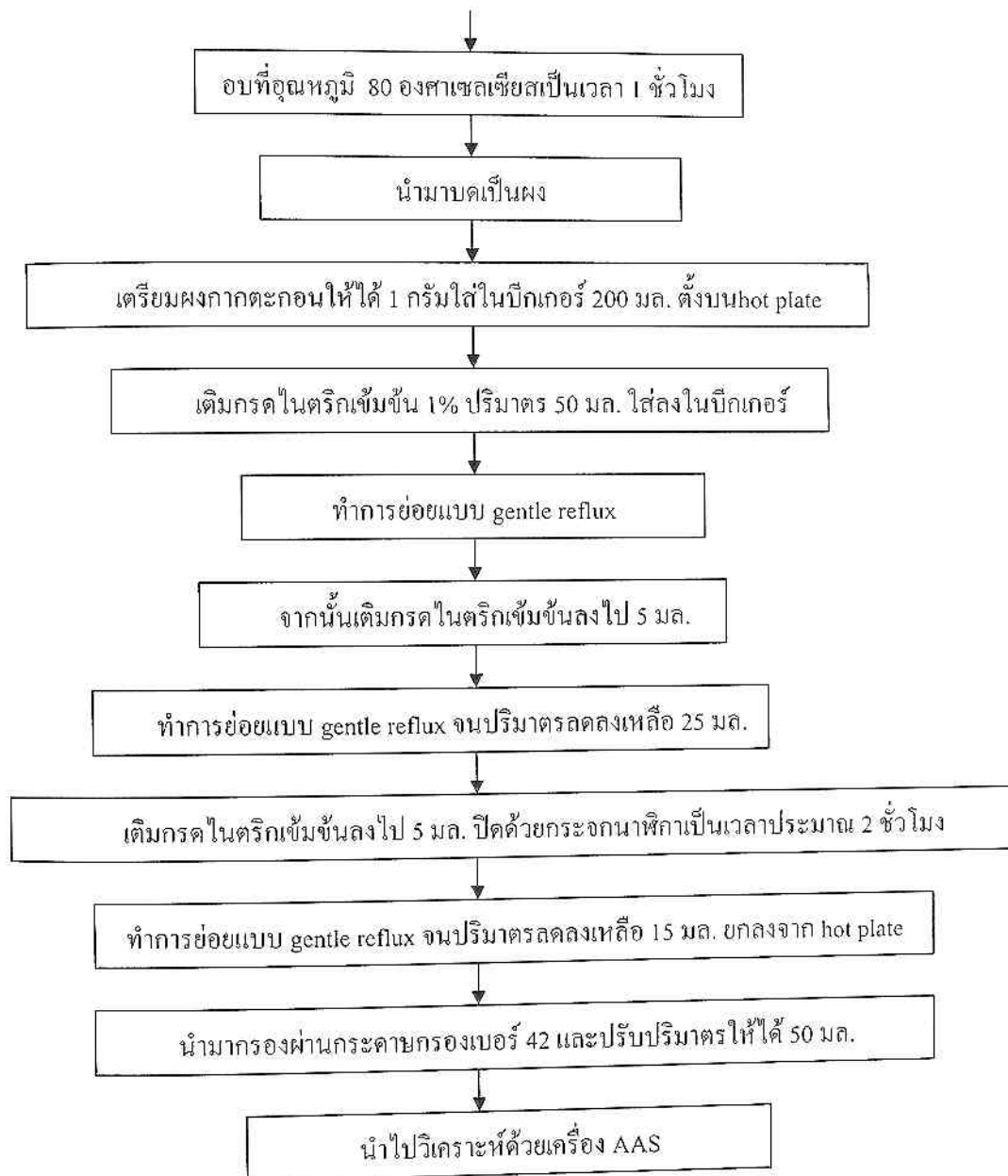


6. การทดลองหาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน

- 6.1 นำผลที่ได้จากการทดลองที่ 5 มาเตรียมเพื่อหาปริมาณของแข็งแขวนลอยและส่วนหนึ่งนำมาเตรียมกากตะกอนโครเมียมโดยกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42
 - 6.2 นำกากตะกอนที่ผ่านการกรองไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
 - 6.3 นำกากตะกอนที่ได้มาบดเป็นผง
 - 6.4 เตรียมผงกากตะกอนให้ได้ 1 กรัมใส่ในบีกเกอร์ 200 มล. ตั้งบน hot plate
 - 6.5 เติมกรดไนตริกเข้มข้น 1% ปริมาตร 50 มล. ใส่ลงในบีกเกอร์
 - 6.6 ทำการย่อยแบบ gentle reflux
 - 6.7 จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไป 5 มล.
 - 6.8 ทำการย่อยแบบ gentle reflux จนปริมาตรลดลงเหลือ 25 มล.
 - 6.9 เติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไป 5 มล. จากนั้นปิดด้วยกระจกนาฬิกาใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง
 - 6.10 ทำการย่อยแบบ gentle reflux จนปริมาตรลดลงเหลือ 15 มล. จึงยกออกจาก hot plate
 - 6.11 นำมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 และปรับปริมาตรให้ได้ 50 มล.
 - 6.12 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS
- (แผนผังการทดลองหาปริมาณโครเมียมในกากตะกอนโครเมียมแสดงในภาพที่ 3-5)



นำผลที่ได้จากการทดลองที่ 5 มาเตรียมเพื่อหาปริมาณของแข็งแขวนลอยและส่วนหนึ่งนำมาเตรียมกากตะกอนโครเมียมโดยกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42



ภาพที่ 3-5 แผนผังการทดลองหาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยเตรียมจากการละลายโครเมียมไนเตรด ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ปริมาณ 769.23 มิลลิกรัม ในกรดไนตริกเข้มข้น 1% ปริมาตร 1 ลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของโครเมียม (Cr^{3+}) ในน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เบื้องต้น ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4-1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด (หน่วย)	ค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้
1. พีเอช	0.8
2. ปริมาณโครเมียมละลาย (มก./ล.)	117.0

4.1.1 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับ 0.8 ซึ่งมีความเป็นกรดสูงมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้สารโครเมียมไนเตรด ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) เพื่อเตรียมเป็นน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น 1% เป็นตัวทำละลาย เพราะโลหะหนักสามารถละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดจึงทำให้ปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H^+) มีมากกว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) น้ำเสียสังเคราะห์จึงมีค่าพีเอชต่ำ และแสดงสภาวะที่เป็นกรดออกมา

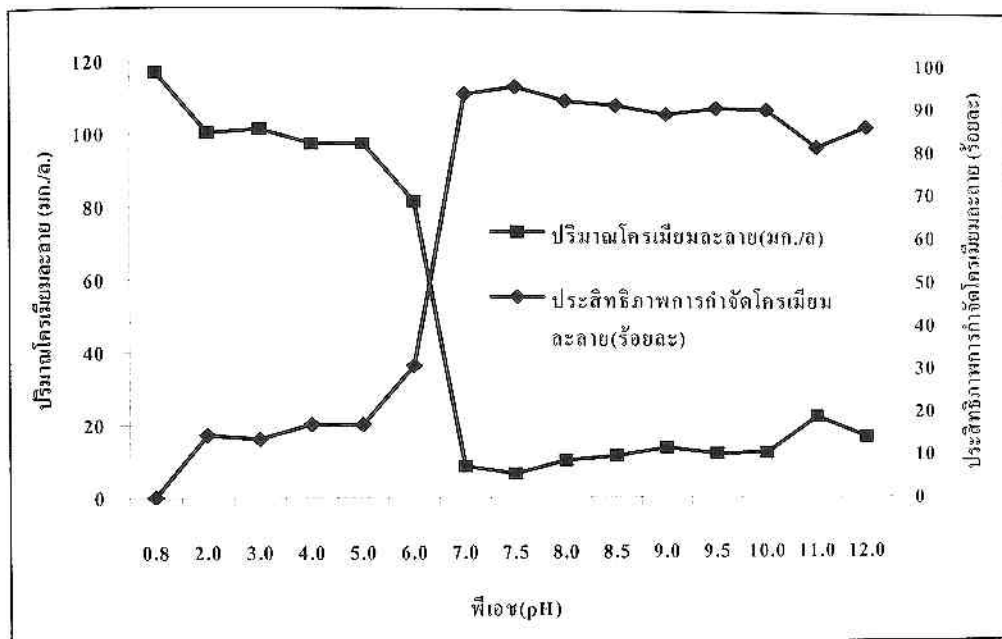
4.1.2 ปริมาณโครเมียมละลาย

ปริมาณไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับ 117 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใช้เป็นตัวแทนน้ำเสียตลอดการวิจัย โดยในการศึกษารั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาหาประสิทธิภาพ สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยการใช้กากปูนขาวจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ และหาปริมาณโครเมียม (Cr^{3+}) ในกากตะกอนดังกล่าว



4.2 การหาค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม

ผลการทดลองการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียมโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดไนตริก (HNO_3) เป็นสารปรับพีเอช ทำการศึกษาในช่วงพีเอช 2.0-12.0 (เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกค่าการเปลี่ยนแปลงพีเอช 1 หน่วย) ผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 4-1 และ 4-2 ตามลำดับ

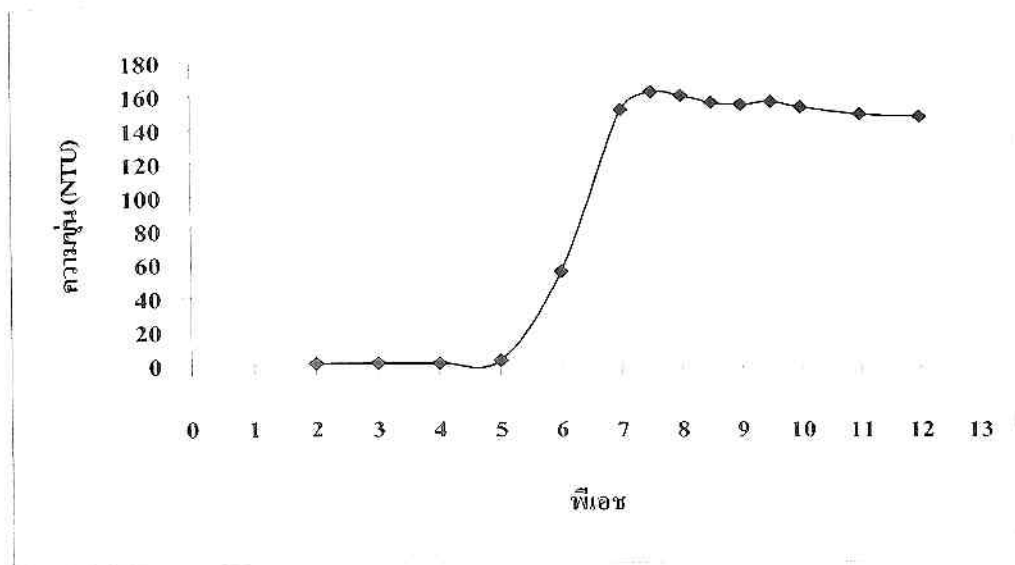


ภาพที่ 4-1 ปริมาณโครเมียมละลายและประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมละลาย (ร้อยละ)

ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อปรับพีเอชด้วยสารละลาย NaOH และ HNO_3

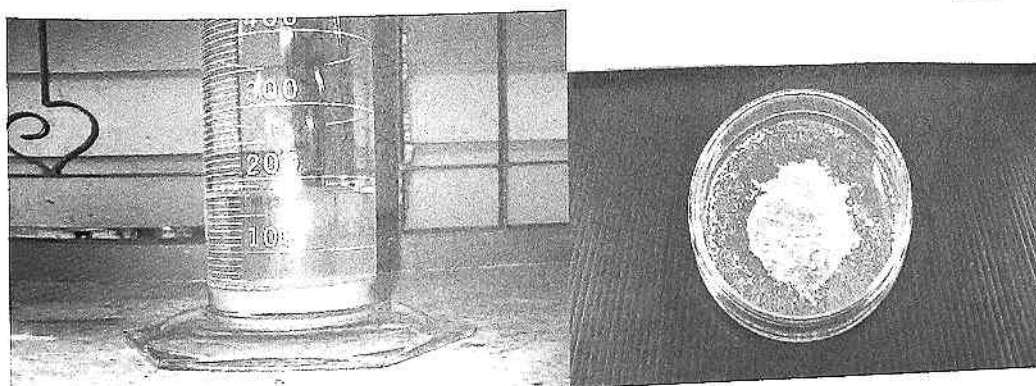
จากภาพที่ 4-1 การทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดไนตริก (HNO_3) เป็นสารปรับพีเอช โดยได้ทำการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 11.0 และ 12.0 ตามลำดับ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมละลายในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าหลังจากปรับพีเอชด้วย NaOH และ HNO_3 น้ำเสียสังเคราะห์มีปริมาณโครเมียมละลายเท่ากับ 100.18, 101.21, 97.21, 97.33, 81.50, 8.64, 6.57, 10.27, 11.40, 13.74, 11.98, 12.29, 22.33 และ 16.72 มก./ล. ตามลำดับ โดยน้ำเสียที่มีค่าพีเอชระหว่าง 7.0-8.5 มีปริมาณโครเมียมละลายในช่วงต่ำคือเท่ากับ 8.64-11.40 มก./ล. และมีปริมาณโครเมียมละลายต่ำที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 7.5 คือเหลือปริมาณโครเมียมละลายเท่ากับ 6.57 มก./ล. คิดเป็นร้อยละของการกำจัดได้เท่ากับ 94.38 ทั้งนี้เนื่องจากโครเมียมเป็นโลหะที่สามารถตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ได้ดีที่สุดที่พีเอชประมาณ 7.5 ± 0.1 (Suwimol and Manop, 2000)





ภาพที่ 4-2 ความขุ่นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อปรับพีเอชด้วยสารละลาย NaOH และ HNO_3

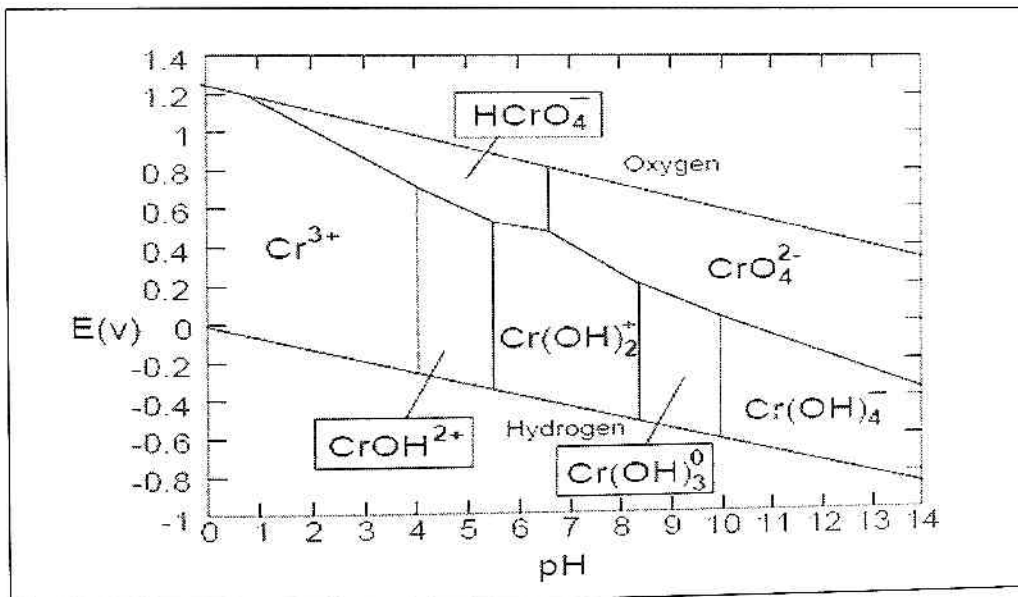
จากภาพที่ 4-2 ความขุ่นที่ค่าพีเอชต่างๆ หลังจากปรับพีเอชด้วย NaOH และ HNO_3 พบว่า ที่พีเอชระหว่าง 7.0-8.5 มีค่าความขุ่นเท่ากับ 154-165 NTU ซึ่งที่พีเอชเท่ากับ 7.5 มีความขุ่นสูงที่สุดคือเท่ากับ 165 NTU ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) ที่เกิดจาก NaOH ทำปฏิกิริยากับโครเมตไอออน (Cr^{3+}) เกิดเป็นตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) โดยตะกอนที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะเป็นสีเขียว น้ำหนักเบา และฟุ้งกระจายได้ง่ายแสดงดังภาพที่ 4-3 และจากภาพที่ 4-1 และ 4-2 จะเห็นได้ว่าเมื่อพีเอชสูงขึ้นโครเมียมจะละลายได้น้อยลง โดยสังเกตจากค่าความขุ่นที่เพิ่มขึ้น นั่นคือสามารถตกตะกอนโครเมียมได้มากขึ้น เนื่องจากพีเอชสูงความสามารถในการละลายของโครเมียมจะลดลง แต่จะสามารถกลับมาละลายได้อีกครั้งตามลักษณะของการเป็น amphoteric แสดงดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-3 ลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้น

สรุปผลการทดลองการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม พบว่า ช่วงพีเอชระหว่าง 7.0-8.5 เป็นช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนของโครเมียมเนื่องจากสามารถตกตะกอนโครเมียมได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถสังเกตได้จากร้อยละของการกำจัดโครเมียมละลายและค่าความขุ่นที่เพิ่มสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปโครเมียมละลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นโครเมตอออน (Cr^{3+}) ให้อยู่ในรูปของโครเมียมไฮดรอกไซด์นั่นเอง ฉะนั้นการทดลองในขั้นตอนนี้ได้เลือกพีเอชเท่ากับ 7.5 เป็นพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนโครเมียม

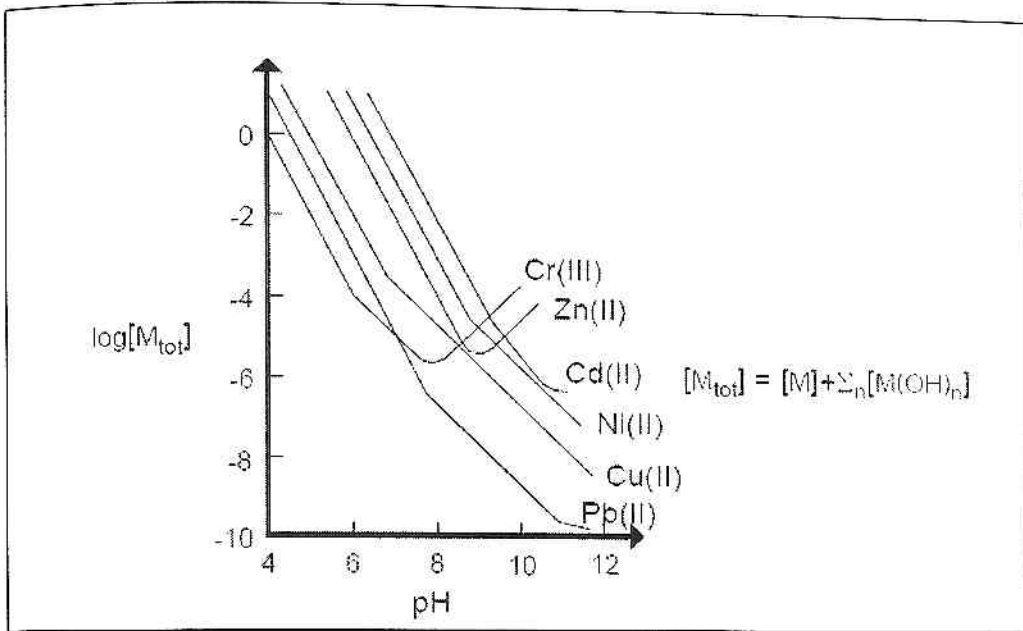
ผลจากการศึกษาสอดคล้องกับ Nriagu and Nieboer (1988) คือพีเอชที่ 8-10 สามารถตกตะกอนโลหะโครเมียมไฮดรอกไซด์ได้ในรูป $\text{Cr}(\text{OH})_3$ แสดงดังภาพที่ 4-4 และเกรียงศักดิ์ (2542) กล่าวว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียด้วยปูนขาวโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเพื่อให้ได้ตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ $\text{Cr}(\text{OH})_3$ คือช่วงพีเอชระหว่าง 8.0-9.5 และ Nilsson (1971) ได้กล่าวไว้ว่า ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์บริสุทธิ์ กรณีไตรวาเลนต์โครเมียม (Cr^{3+}) มีค่าต่ำที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 8 แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4-4 องค์ประกอบหลักของโครเมียมละลายในสภาวะที่สมดุลที่ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ

ที่มา: Nriagu and Nieboer, 1988



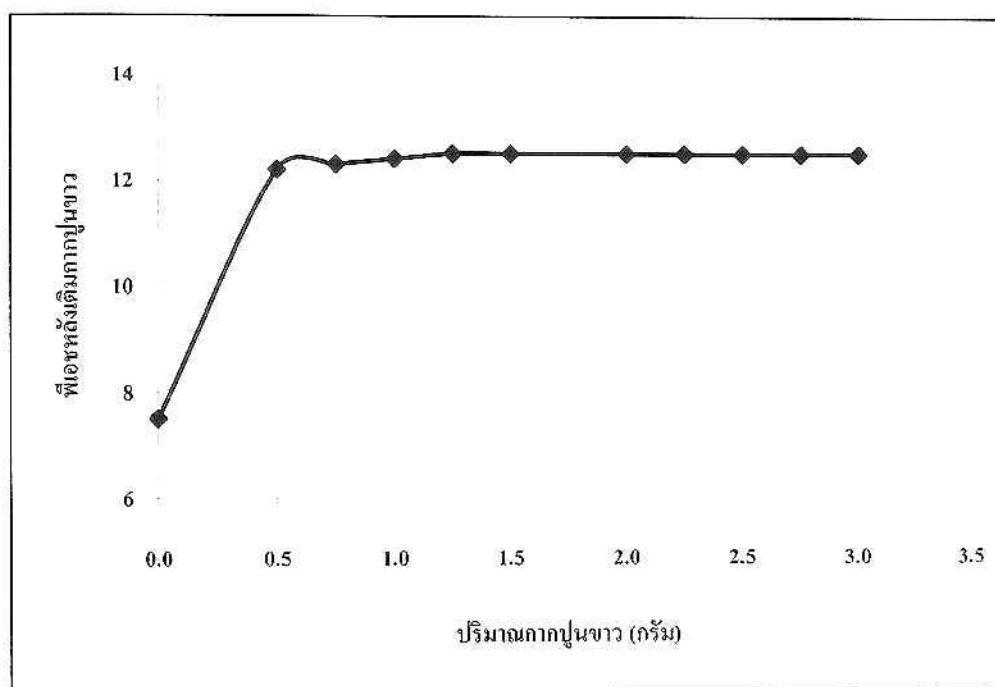


ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์กับค่าพีเอช
ที่มา: Nilsson, 1971



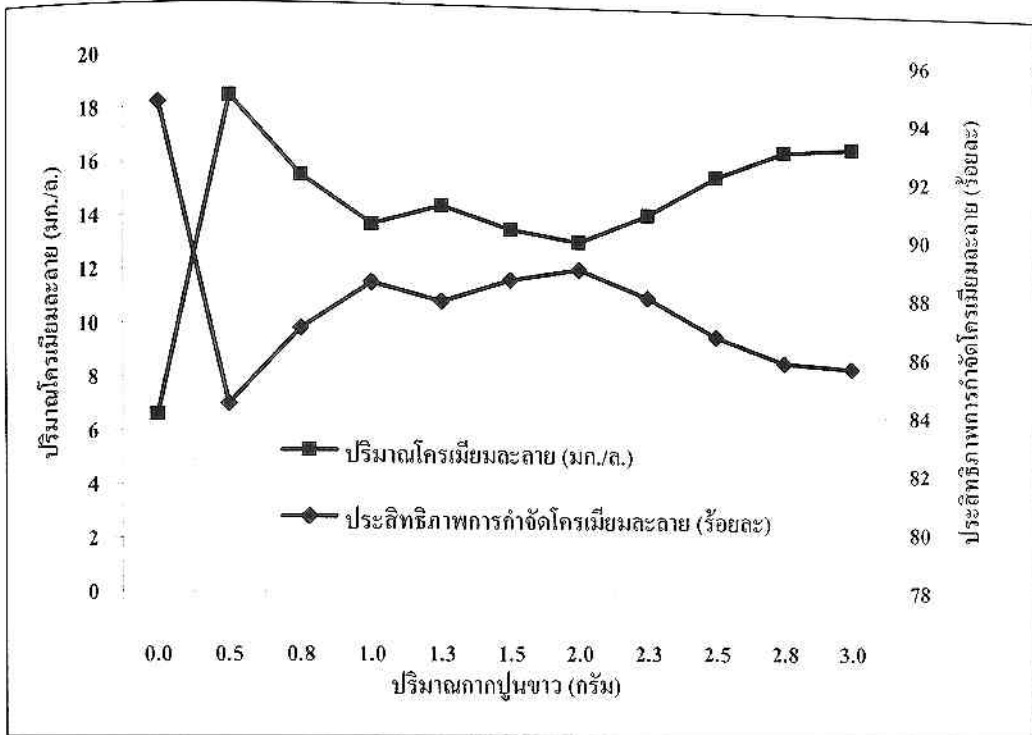
4.3 การหาปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม (ไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว)

การหาปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสม เพื่อใช้ตกตะกอนโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ให้เป็น 7.5 (ผลจากการทดลองที่ 3) ด้วย NaOH และเติมกากปูนขาวในปริมาณ 0.00 ถึง 3.00 กรัมต่อน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ได้ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4-6, 4-7 และ 4-8 ตามลำดับ

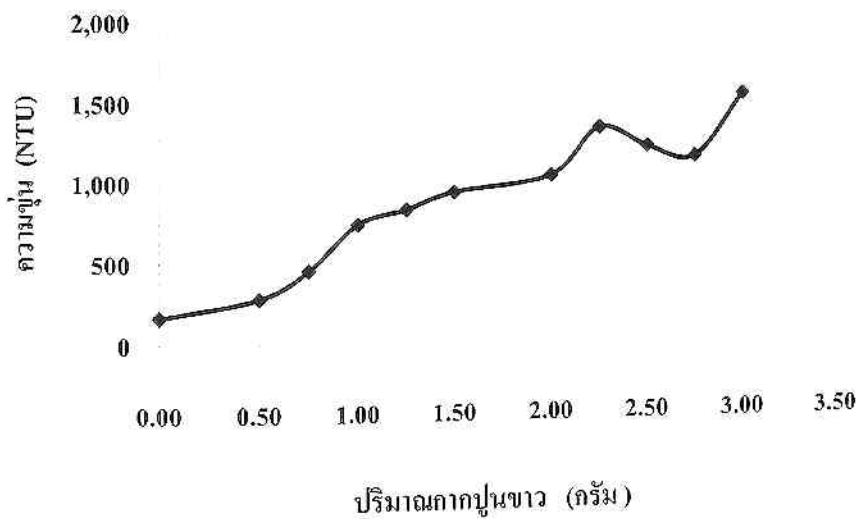


ภาพที่ 4-6 แสดงค่าพีเอชหลังจากเติมกากปูนขาวโดยการควบคุมพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.5





ภาพที่ 4-7 ปริมาณโครเมียมละลายและประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมละลายในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้กากปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอน (ไม่ควบคุมพีเอชภายหลังเติมกากปูนขาว)



ภาพที่ 4-8 ความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้กากปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอน (ไม่ควบคุมพีเอชภายหลังเติมกากปูนขาว)



ภาพที่ 4-6 และ 4-7 การกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการตกตะกอนทางเคมี ด้วยการเติมกากปูนขาวในปริมาณ 0.00, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 2.00, 2.25, 2.75 และ 3.00 กรัม ต่อ ปริมาตรน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร หลังจากทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 4 ชั่วโมง พบว่าปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย ส่วนบนในรูปโครเมียมละลายลดลงจาก 117 มก./ล. เหลือ 6.57, 18.41, 15.46, 13.65, 14.37, 13.51, 13.06, 14.13, 15.63, 16.63 และ 16.81 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 94.38, 84.26, 86.79, 88.33, 87.72, 88.45, 88.84, 87.92, 86.64, 85.79 และ 85.63 ตามลำดับ พบว่า หลังจากเติมกากปูนขาวเป็นผลให้ ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับจุดเริ่มต้นที่ทำการปรับพีเอชให้ได้ 7.5 เพียง อย่างเดียว ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากพีเอชที่เพิ่มขึ้นภายหลังการเติมกากปูนขาว คือ จาก 7.5 ไปเป็น ค่าประมาณ 12.5 แสดงดังภาพที่ 4-6 ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการละลายของโครเมียมและจาก คุณสมบัติ amphoteric ของโครเมียมทำให้โครเมียมกลับมาละลายได้อีกครั้งแสดงดังภาพที่ 4-4 แต่เมื่อ เพิ่มปริมาณกากปูนขาวเป็น 0.5-3.0 กรัม พบว่าพีเอชเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย กล่าวได้ว่าปริมาณกากปูน ขาวส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม เมื่อเทียบกับปริมาณโครเมียมละลายเริ่มต้น จะเห็นได้ว่า ที่ ปริมาณกากปูนขาว 2 กรัม ให้ผลการกำจัดโครเมียมละลายได้ดีที่สุดคือเหลือ 13.06 มก./ล.ซึ่งสามารถ กำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 88.84 ทั้งนี้เนื่องจากการใช้กากปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอนทางเคมี จะช่วยใน การกำจัดโครเมียมให้ตะกอนออกมาในรูปของโครเมียมคาร์บอเนต ($\text{Cr}_2(\text{CO}_3)_3$) และนอกจากนี้กากปูน ขาวยังมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ปนอยู่ จากขั้นตอนการเกิดกากปูนขาวที่กล่าวถึงในบทที่ 2 จึงสามารถช่วย ให้โครเมียมละลายตกตะกอนออกมาในรูปของโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) อีกทางด้วย

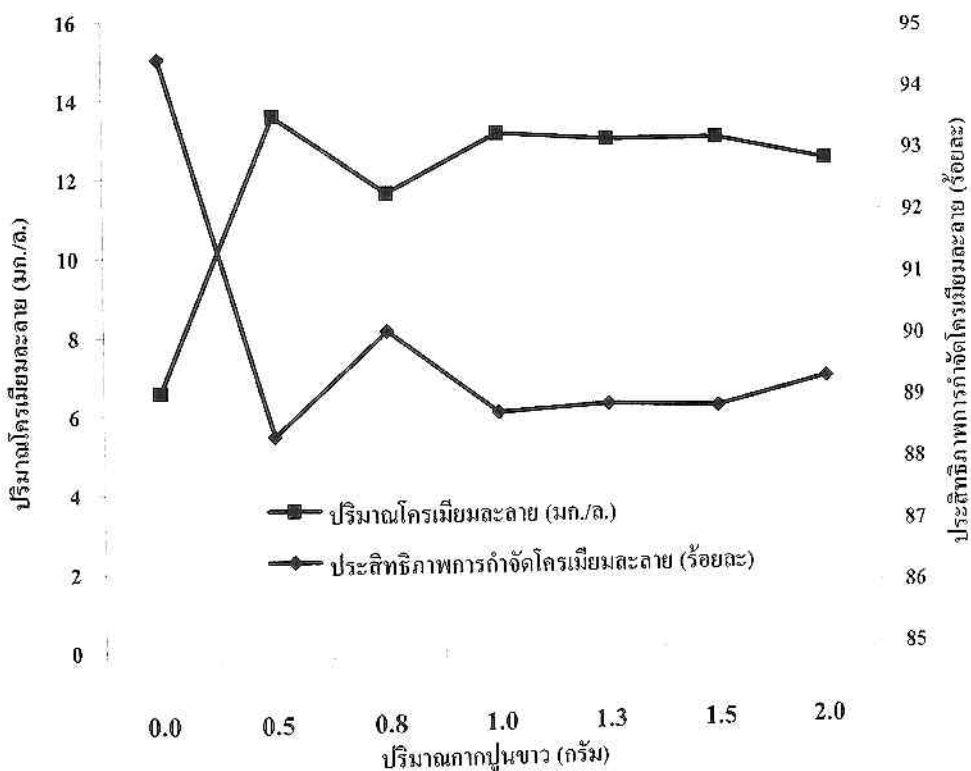
ภาพที่ 4-8 ความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้กากปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอน พบว่ามีค่าสูงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ปริมาณกากปูนขาว 0.00 กรัมถึง 3.00 กรัม โดยช่วงแรก 0.00-2.00 กรัม ความขุ่นเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอนทางเคมีของโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) และโครเมียม คาร์บอเนต ($\text{Cr}_2(\text{CO}_3)_3$) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากปูนขาวมากกว่า 2 กรัม พบว่าตะกอนโครเมียมไฮดรอก ไซด์และโครเมียมคาร์บอเนตกลับมาละลายอีกครั้ง (ภาพที่ 4-7) แต่ความขุ่นกลับมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้ความ ขุ่นที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องมาจากตัวของกากปูนขาวเอง โดยที่ปริมาณกากปูนขาวเท่ากับ 2 กรัมมี ความขุ่นเท่ากับ 1,038 NTU

สรุปผลการทดลองการหาปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมในการตกตะกอน โครเมียม (ไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว) พบว่า ปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมได้ ดีที่สุดคือ 2 กรัมต่อน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ให้ผลการกำจัดโครเมียมละลายได้เหลือเท่ากับ 13.06 มก./ล. หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 88.84 โดยค่าพีเอชหลังเติมกากปูนขาวเท่ากับ 12.5 และ ความขุ่นเท่ากับ 1,038 NTU ถึงแม้ว่าจะมีความขุ่นสูงอยู่ก็ตาม แต่ในการทดลองนี้จะพิจารณาจาก ความสามารถในการกำจัดโครเมียมละลายเป็นหลัก



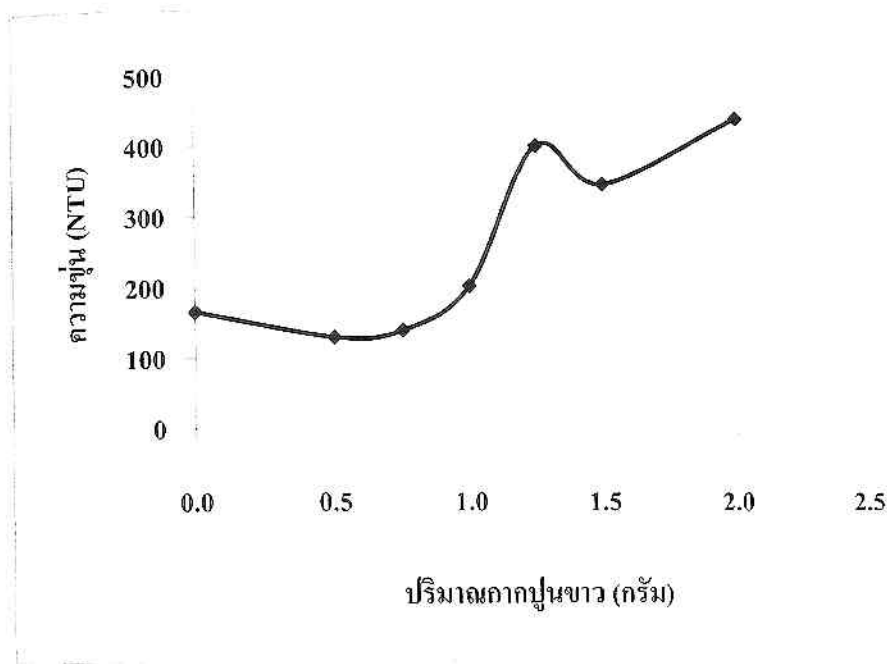
4.4 การหาปริมาณกากปูนขาวและฟิเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม (ควบคุมฟิเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว)

การหาปริมาณของกากปูนขาวและฟิเอชที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการปรับฟิเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้เป็น 7.5 (ผลจากการทดลองที่ 3) ด้วย NaOH เติมกากปูนขาวในปริมาณ 0.00-2.00 กรัมต่อน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร จากนั้นจึงทำการควบคุมฟิเอชหลังเติมกากปูนขาวให้ได้ 7.5 ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4-9 และ 4-10 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-9 ปริมาณโครเมียมละลายและประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมละลายในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้กากปูนขาว (ควบคุมฟิเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว)





ภาพที่ 4-9 ความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้กากปูนขาว(ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว)

จากภาพที่ 4-9 การกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยการเติมกากปูนขาวในปริมาณ 0.00, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 และ 2.00 กรัมต่อปริมาตรน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร และปรับพีเอชหลังเติมกากปูนขาวเป็น 7.5 (ผลจากการทดลองที่ 3) ซึ่งไว้ให้ตกตะกอนนาน 4 ชั่วโมง พบว่าปริมาณโครเมียมในน้ำใสส่วนบนในรูปโครเมียมละลายลดลงจาก 117 มก./ล. เหลือ 6.57, 13.55, 11.61, 13.13, 12.99, 13.04 และ 12.51 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 94.38, 88.42, 90.08, 88.78, 88.90, 88.85 และ 89.31 พบว่า หลังจากเติมกากปูนขาวเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมละลายลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเริ่มต้นที่ทำการปรับพีเอชให้ได้ 7.5 เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากพีเอชที่เพิ่มขึ้นภายหลังการเติมกากปูนขาว คือ จาก 7.5 ไปเป็นค่าประมาณ 12.2-12.5 ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการละลายของโครเมียมและจากคุณสมบัติ amphoteric ของโครเมียมทำให้โครเมียมกลับมาละลายได้อีกครั้ง(ภาพที่ 4-4) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากปูนขาวจาก 0.5-2.0 กรัม พบว่าพีเอชเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย กล่าวได้ว่าปริมาณปูนขาวส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม เมื่อเทียบกับปริมาณโครเมียมละลายเริ่มต้น จะเห็นว่าที่ปริมาณกากปูนขาว 0.75 กรัม พีเอชหลังเติมปูนขาว 12.2 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมละลายได้ดีที่สุดคือเหลือ 11.61 มก./ล. ซึ่งสามารถกำจัดโครเมียมละลายได้ร้อยละ 90.08 ทั้งนี้



เนื่องจากการใช้กากปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอนทางเคมี จะช่วยในการกำจัดโครเมียมให้ตะกอนออกมาในรูปของโครเมียมคาร์บอเนต ($\text{Cr}_2(\text{CO}_3)_3$) และนอกจากนี้กากปูนขาวยังมีไฮดรอกไซด์ปนอยู่ จากขั้นตอนการเกิดกากปูนขาวที่กล่าวถึงในบทที่ 2 จึงสามารถช่วยให้ตะกอนออกมาในรูปของโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) อีกทางด้วย

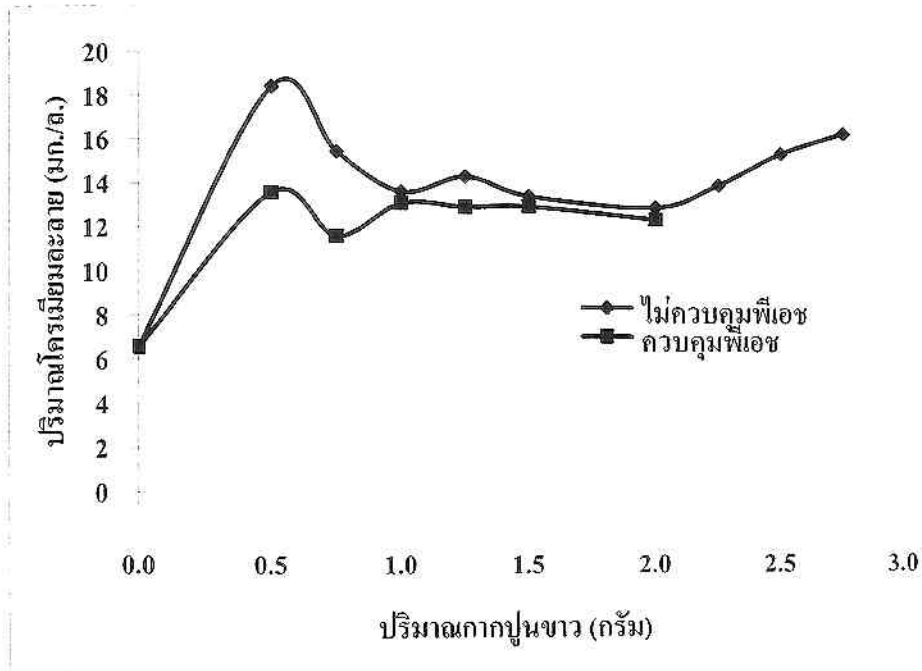
ภาพที่ 4-10 ความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้กากปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอน พบว่ามีค่าสูงขึ้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตั้งแต่ปริมาณกากปูนขาว 0.00 กรัมถึง 2.00 กรัม โดยช่วงแรก 0.00-0.75 กรัม ความขุ่นเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอนทางเคมีของโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) และโครเมียมคาร์บอเนต ($\text{Cr}_2(\text{CO}_3)_3$) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากปูนขาวมากกว่า 0.75 กรัม พบว่าตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์และโครเมียมคาร์บอเนตกลับมาละลายอีกครั้ง (ภาพที่ 4-8) แต่ความขุ่นกลับมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้ความขุ่นที่เพิ่มขึ้นมานั้นเป็นผลเนื่องมาจากตัวของกากปูนขาวเอง โดยที่ปริมาณกากปูนขาวเท่ากับ 0.75 กรัมให้ความขุ่นเท่ากับ 140 NTU

สรุปผลการทดลองการหาปริมาณกากปูนขาวและพีเอชที่เหมาะสม ในการตกตะกอนโครเมียม (ควบคุมพีเอชภายหลังเติมกากปูนขาว) พบว่า ที่ปริมาณกากปูนขาว 0.75 กรัม ต่อน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ให้ผลการกำจัดโครเมียมละลายได้ดีที่สุดคือเหลือ 11.61 มก./ล. หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 90.08 โดยค่าพีเอชหลังเติมกากปูนขาวเท่ากับ 12.2 และค่าความขุ่น 140 NTU ถึงแม้ว่าจะมีความขุ่นสูงอยู่ก็ตาม แต่ในการทดลองนี้จะพิจารณาจากความสามารถในการกำจัดโครเมียมละลายเป็นหลัก



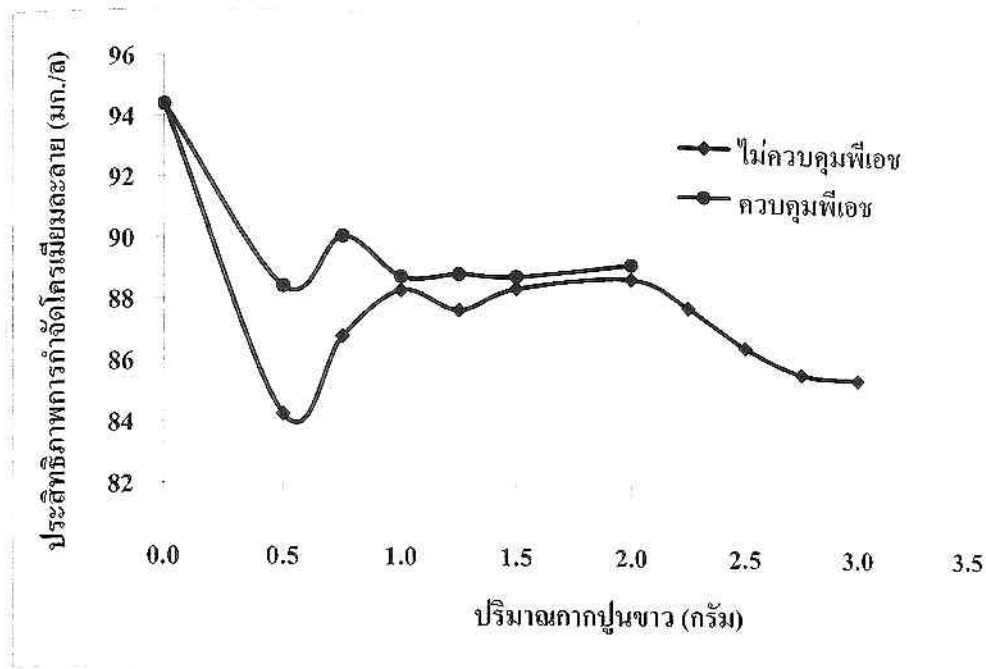
4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยใช้กากปูนขาว กรณีควบคุมพีเอชและไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว

จากการทำการทดลองการหาค่าพีเอชและปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสม โดยได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมกรณีควบคุมพีเอชและไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว ได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในภาพที่ 4-11, 4-12 และ 4-13 ตามลำดับ

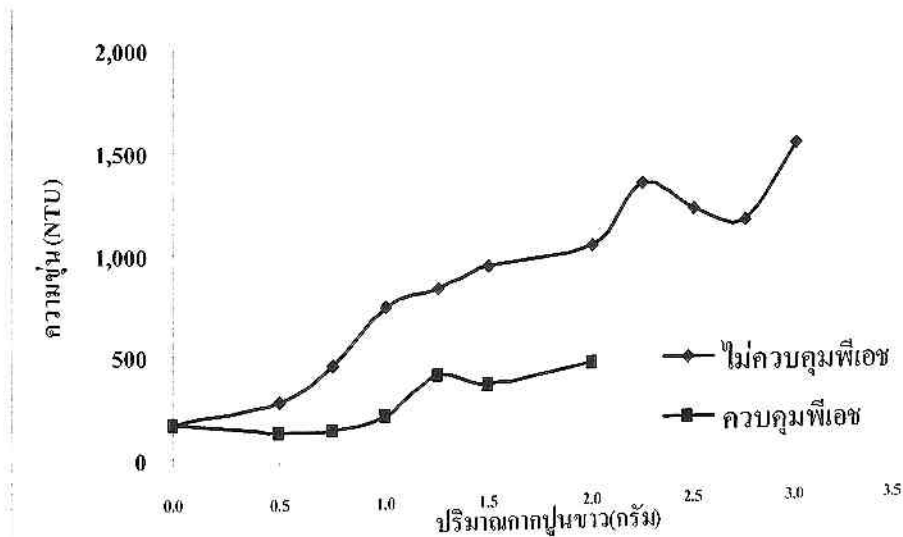


ภาพที่ 4-11 เปรียบเทียบปริมาณโครเมียมละลายที่เหลือระหว่างกรณีการควบคุมพีเอชและไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว





ภาพที่ 4-12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมละลายระหว่างการควบคุมฟิโอสและไม่ควบคุมฟิโอสภายหลังการเติมกากป่นขาว



ภาพที่ 4-13 เปรียบเทียบค่าความขุ่นระหว่างกรณีควบคุมฟิโอสและไม่ควบคุมฟิโอสภายหลังการเติมกากป่นขาว



จากภาพที่ 4-10, 4-11 และ 4-12 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมโดยใช้กากปูนขาว กรณีควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาวมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมละลายสูงกว่าในกรณีไม่ควบคุมพีเอช เพราะหลังการบำบัดเหลือปริมาณโครเมียมละลายน้อยกว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่ารวมทั้งมีค่าความขุ่นเกิดขึ้นน้อยกว่าด้วย กล่าวคือ ผลจากการทดลองที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 4 (ไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว) และการทดลองที่ 5 (ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว) ได้ผลการศึกษเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยใช้กากปูนขาว กรณีควบคุมพีเอชและไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	ค่าที่ตรวจวัดได้	
	ไม่ควบคุมพีเอช หลังเติมกากปูนขาว	ควบคุมพีเอช หลังเติมกากปูนขาว
1.ปริมาณกากปูนขาว(ก./ปริมาตร น้ำเสีย 500 มล.)	2.00	0.75
2.โครเมียมละลายที่เหลือ(มก./ล) ภายหลังการบำบัด	13.06	11.61
3.ประสิทธิภาพการกำจัด โครเมียมละลาย (ร้อยละ)	88.84	90.08
4.ความขุ่นภายหลังการบำบัด (NTU)	1,038	140

สรุปผลการทดลอง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะเห็นได้ว่า กรณีควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาวให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมละลายสูงกว่า ใช้ปริมาณกากปูนขาวน้อยกว่า และหลังการบำบัดแล้วเหลือปริมาณโครเมียมละลายและค่าความขุ่นเกิดขึ้นน้อยกว่า ทั้งนี้ย่อมส่งผลดีต่อการนำไปบำบัดในขั้นตอนต่อไป โดยค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้ ปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมเท่ากับ 0.75 กรัมต่อปริมาณน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร คิดเป็นร้อยละของการกำจัดโครเมียมละลายเท่ากับ 90.08 ภายหลังการบำบัดเหลือปริมาณโครเมียมละลายเท่ากับ 11.61 มก./ล. และมีค่าความขุ่นเท่ากับ 140 NTU

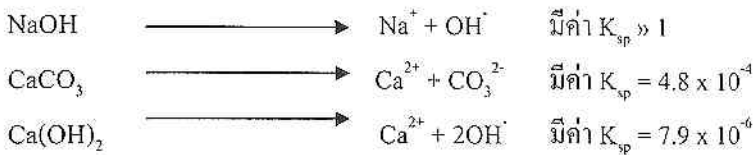


จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวปรับพีเอชอย่างเดียวนั้นจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมละลายมากกว่ากรณีที่ใช้กากปูนขาวซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ในการกำจัดโครเมียมละลาย ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเหตุผล 3 ประการได้แก่

1. การแตกตัวและความสามารถในการละลายของสารสร้างตะกอน
2. ความบริสุทธิ์ของสารสร้างตะกอน
3. ลักษณะทางกายภาพตะกอนที่เกิดขึ้น

โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

ค่าความสามารถในการละลายของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด เป็นดังนี้



โดยจะพบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มีความบริสุทธิ์มากกว่าเนื่องจากเป็นสารเคมีเกรดงานวิจัย แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ที่เป็นองค์ประกอบหลักในกากปูนขาวเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษจึงมีความบริสุทธิ์น้อยกว่า โดยอาจมีสารประกอบอื่นๆเจือปน และเมื่อพิจารณาจากค่าคงที่การแตกตัวพบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าคงที่การแตกตัวสูงกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) เป็นเหตุให้เกิดการละลายได้ดีกว่าส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมละลายสูงกว่า โดยจากการศึกษาพบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารสร้างตะกอนให้ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 94.38 ส่วนการใช้กากปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอนให้ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 90.08 โดยจะพบว่าปริมาณโครเมียมละลายที่เหลืออยู่หลังการบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักคือประมาณ 11 มก./ล. แต่การใช้กากปูนขาวนั้น พบว่า เกิดตะกอนที่มีลักษณะที่หนาแน่นและตกตะกอนได้ง่ายกว่าเนื่องจากเป็นตะกอนของโครเมียมคาร์บอเนต ฉะนั้นถ้าพิจารณาถึงการบำบัดตะกอนที่เกิดขึ้นในขั้นต่อไป จะสามารถกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการใช้กากปูนขาวได้ง่ายกว่า เช่นการดึงหรือการรีดน้ำออกจากตะกอน เพราะตะกอนที่เกิดจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะมีลักษณะที่ไม่แน่นและฟุ้งกระจายได้ง่าย รวมทั้งการดึงน้ำออกจากตะกอนทำได้ง่ายกว่าด้วย



4.6 การศึกษาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน

การศึกษาหาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน โดยหลังจากกระบวนการตกตะกอนน้ำเสียโครเมียม เพื่อต้องการทราบว่าปริมาณโครเมียมในกากตะกอนมีสัดส่วนเป็นร้อยละเท่าใดและได้จากการบำบัดน้ำเสียในปริมาณเท่าไร โดยการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการตกตะกอนน้ำเสียโครเมียมซึ่งมีความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 117.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารสร้างตะกอนต่อน้ำเสียคือ 0.75 กรัมต่อน้ำเสีย 500 มิลลิตร ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาวให้ได้เท่ากับ 7.5 โดยเตรียมกากตะกอน 1 กรัม เพื่อไปทำการย่อย (ตามขั้นตอนการทดลองที่ 6) เพื่อหาร้อยละของโครเมียมในกากตะกอน ได้ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการศึกษาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	หน่วย	ผลการวิเคราะห์
ปริมาณโครเมียมในกากตะกอน	มก./ก.	10.91
	ร้อยละ	1.09
ปริมาณของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	771
ปริมาณโครเมียมที่ได้ต่อปริมาณน้ำเสียที่บำบัด 1 ลิตร	มก./ล.	8.4

จากตารางที่ 4-3 สามารถกล่าวได้ว่า ปริมาณโครเมียมในกากตะกอนคิดเป็นร้อยละ 1.09 ซึ่งหมายถึงกากตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนน้ำเสียโครเมียม 1 กรัม ให้ปริมาณโครเมียม 10.91 มิลลิกรัม และเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณของแข็งแขวนลอย สามารถสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโครเมียม 1 ลิตร ให้กากตะกอนโครเมียม 771 มิลลิกรัมและคิดเป็นปริมาณ 8.4 มิลลิกรัม

จากมัลลิกา (2544) ได้ศึกษาพบว่าปริมาณน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการฟอกหนังในโรงงานฟอกหนังทั้งหมดจะเกิดน้ำเสียทั้งหมด 60 ลูกบาศก์เมตรต่อคันการผลิต ดังนั้น สามารถนำการวิจัยในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาเพื่อนำกลับโครเมียมได้ดังนี้

จากปริมาณตะกอนแขวนลอยเท่ากับ 771 มิลลิกรัมต่อลิตร หมายความว่าน้ำเสีย 1 ลิตรหลังการบำบัดจะเกิดกากตะกอนโครเมียม 0.77 กรัม



ถ้า^๗น้ำเสีย 60 ลูกบาศก์เมตรจะเกิดกากตะกอนโครเมียมเท่ากับ
 กากตะกอนโครเมียม = $0.77 \text{ ก} \times 60 \times 10^3 \text{ ล.}$

๓

$$= 46,200 \text{ กรัม}$$

$$= 46.20 \text{ กิโลกรัม}$$

ปริมาณโครเมียมในกากตะกอนร้อยละ 1.09 ดังนั้นมีปริมาณโครเมียมทั้งหมด

$$= \frac{1.09}{100} \times 46.20$$

$$= 0.5 \text{ กิโลกรัม}$$

ดังนั้น การผลิต 1 ตัน มีน้ำเสียเกิดขึ้น 60 ลูกบาศก์เมตร เกิดกากตะกอนโครเมียม 46.20
 กิโลกรัม และมีปริมาณโครเมียมในกากตะกอนทั้งสิ้น 0.5 กิโลกรัม



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

1.สรุป

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพ และสภาวะที่เหมาะสมในการนำกากปูนขาวมาใช้แทนสารเคมีเพื่อตกตะกอนโครเมียม และศึกษาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน ซึ่งกากปูนขาวเป็นของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ มีส่วนประกอบหลักคือ แคลเซียมคาร์บอเนต และสามารถนำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี ในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในรูปไตรวาเลนท์โครเมียมที่ความเข้มข้นเท่ากับ 117.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.8 โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ส่วน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การหาค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียมโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดไนตริก (HNO₃) เป็นสารปรับพีเอช

พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมละลายได้ดีที่สุดคือ 7.5 ซึ่งปริมาณโครเมียมละลายเหลือ 6.57 มก./ล. คิดเป็นร้อยละของการกำจัดได้เท่ากับ 94.38 % และความขุ่น 165 NTU

2. การหาปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม (ไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว)

ปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมได้ดีที่สุดคือ 2 กรัมต่อน้ำเสีย 500 มิลลิตร ให้ผลการกำจัดโครเมียมละลายได้เหลือเท่ากับ 13.06 มก./ล.หรือคิดเป็นร้อยละของการกำจัดได้เท่ากับ 88.84 โดยค่าพีเอชหลังเติมกากปูนขาวเท่ากับ 12.5 และความขุ่นเท่ากับ 1.038 NTU

3. การหาปริมาณกากปูนขาวและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียม (ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมกากปูนขาว)

การหาปริมาณกากปูนขาวและพีเอชที่เหมาะสม ในการตกตะกอนโครเมียม พบว่าที่ปริมาณกากปูนขาว 0.75 กรัมต่อน้ำเสีย 500 มิลลิตร ให้ผลการกำจัดโครเมียมละลายได้ดีที่สุดคือเหลือ 11.61 มก./ล. หรือคิดเป็นร้อยละของการกำจัดได้เท่ากับ 90.08 โดยค่าพีเอชหลังเติมกากปูนขาวเท่ากับ 12.2 และค่าความขุ่น 140 NTU

4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยใช้กากปูนขาว กรณีควบคุมพีเอชและไม่ควบคุมพีเอชภายหลังการเติมปูนขาว



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะเห็นได้ว่า กรณีควบคุมพีเอช ภายหลังการเติมกากปูนขาวให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมละลายสูงกว่า ใช้ปริมาณกากปูนขาวน้อยกว่า และหลังการบำบัดแล้วเหลือปริมาณโครเมียมละลายและค่าความขุ่นเกิดขึ้นน้อยกว่า ทั้งนี้ย่อมส่งผลดีต่อการนำไปบำบัดในขั้นตอนต่อไป โดยค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้ ปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมเท่ากับ 0.75 กรัมต่อปริมาณน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร คิดเป็นร้อยละของการกำจัดโครเมียมละลายเท่ากับ 90.08 ภายหลังการบำบัดเหลือปริมาณโครเมียมละลายเท่ากับ 11.61 มก./ล. และมีค่าความขุ่นเท่ากับ 140 NTU

5. การหาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน

ปริมาณกากตะกอนโครเมียม 1 กรัม ให้โครเมียม 10.91 มิลลิกรัม ซึ่งมีปริมาณโครเมียมคิดเป็นร้อยละ 1.09 ของปริมาณกากตะกอน และภายหลังการตกตะกอนทางเคมีด้วยกากปูนขาว พบว่า เกิดของแข็งแขวนลอย 771 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งหมายถึง การบำบัดน้ำเสียโครเมียม 1 ลิตร จะเกิดกากตะกอนโครเมียม 771 มิลลิกรัม และมีปริมาณโครเมียมในกากตะกอน 8.4 มิลลิกรัม (ร้อยละ 1.09)

จากผลการทดลองทำการตกตะกอนโครเมียม พบว่ากากปูนขาวมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมได้มากกว่าร้อยละ 90 แต่เมื่อเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ ภายหลังการตกตะกอนพบว่า กากปูนขาวยังไม่สามารถกำจัดโครเมียมให้มีความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) ซึ่งกำหนดให้มีไตรวาเลนต์โครเมียมไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยกากปูนขาว ควรต้องนำไปบำบัดด้วยกระบวนการอื่นต่อไป



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะเห็นได้ว่า กรณีควบคุมที่เอช ภายหลังการเติมกากปูนขาวให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมละลายสูงกว่า ใช้ปริมาณกากปูนขาวน้อยกว่า และหลังการบำบัดแล้วเหลือปริมาณโครเมียมละลายและค่าความขุ่นเกิดขึ้นน้อยกว่า ทั้งนี้ยอมส่งผลดีต่อการนำไปบำบัดในขั้นตอนต่อไป โดยค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้ ปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมเท่ากับ 0.75 กรัมต่อปริมาณน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร คิดเป็นร้อยละของการกำจัดโครเมียมละลายเท่ากับ 90.08 ภายหลังการบำบัดเหลือปริมาณโครเมียมละลายเท่ากับ 11.61 มก./ล. และมีค่าความขุ่นเท่ากับ 140 NTU

5. การหาปริมาณโครเมียมในกากตะกอน

ปริมาณกากตะกอนโครเมียม 1 กรัม ให้โครเมียม 10.91 มิลลิกรัม ซึ่งมีปริมาณโครเมียมคิดเป็นร้อยละ 1.09 ของปริมาณกากตะกอน และภายหลังการตกตะกอนทางเคมีด้วยกากปูนขาว พบว่า เกิดของแข็งแขวนลอย 771 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งหมายถึง การบำบัดน้ำเสียโครเมียม 1 ลิตร จะเกิดกากตะกอนโครเมียม 771 มิลลิกรัม และมีปริมาณโครเมียมในกากตะกอน 8.4 มิลลิกรัม (ร้อยละ 1.09)

จากผลการทดลองทำการตกตะกอนโครเมียม พบว่ากากปูนขาวมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมได้มากกว่าร้อยละ 90 แต่เมื่อเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ ภายหลังการตกตะกอนพบว่า กากปูนขาวยังไม่สามารถกำจัดโครเมียมให้มีความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการควบคุมการระบายน้ำทั้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) ซึ่งกำหนดให้มีโครมาเลนที่โครเมียมไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยกากปูนขาว ควรต้องนำไปบำบัดด้วยกระบวนการอื่นต่อไป



2. ข้อเสนอแนะ

1. ทำการทดลองเพื่อหาเวลาในการตกตะกอนที่ดีที่สุด (Sedimentation Pattern) เพื่อใช้ในการวางแผนและออกแบบระบบการตกตะกอนทางเคมี
2. ควรมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนโครเมียมภายหลังการบำบัดน้ำเสียโครเมียมด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี
3. ศึกษาและออกแบบวิธีการกำจัดโครเมียมด้วยกากปูนขาวร่วมกับวิธีการอื่นๆ หรือควรมีการนำกระบวนการอื่นมาใช้กำจัดโครเมียมต่อจากกระบวนการตกตะกอนทางเคมี เพื่อช่วยให้สามารถกำจัดโครเมียมให้มีความเข้มข้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เช่น การกรอง การดูดซับ โคแอกกูเลชัน-ฟล็อกคูเลชัน (โดยใช้พอลิเมอร์หรือสารส้ม) เป็นต้น
4. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ข้อดี และข้อเสียของการกำจัดโลหะหนักด้วยกากปูนขาวและสารเคมีชนิดอื่นที่ใช้ในปัจจุบัน
5. ศึกษาประสิทธิภาพและสถานะที่เหมาะสมในการนำกากปูนขาวไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนชนิดอื่นๆ เช่น แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท เป็นต้น



บรรณานุกรม

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2536. วิศวกรรมการประปา. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 217 น.

_____. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์สยามสแตนเนอรี่พลาซัส, กรุงเทพฯ, 121 น.

_____. 2547. วิศวกรรมการจัดน้ำเสีย เล่มที่ 5. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 249 น.

จันทร์ทนา สวงรุ่งวงศ์. การกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้ขี้เถ้าลอย. อ้างโดย พรรตพงษ์ ศรีประเสริฐ. การใช้น้ำค้างที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมนมค้าในกระบวนการตกตะกอนตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมการหลอมแบตเตอรี่เก่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ, 35 น.

เชวงศักดิ์ คำตา. 2548. การกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังโดยการตกตะกอนด้วยกากปูนขาวและทำเป็นก้อนแข็งด้วยคอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชัยณรงค์ ไชยสินธุ์. 2545. ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิล จากโรงงานชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้ปอชโซลาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 21-23 น.

ชุดินธร มูลทองน้อย. 2543. การปนเปื้อนและการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

บริษัท ขอนแก่นแทนเนอร์กู๊ป จำกัด. แผนผังขบวนการผลิตโรงงานฟอกหนัง, ขอนแก่น: [ม.ป.พ.]: 2541.



บริษัท กอลซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด. รายงานการตรวจติดตามด้านสิ่งแวดล้อมโครงการ
โรงงานผลิตเยื่อกระดาษของ บริษัท ฟีนิกซ์ พัลป์ แอนด์ เพเปอร์ จำกัด(มหาชน).
กรุงเทพฯ:[ม.ป.พ.]; 2544.

ผกากรอง เนตรสว่าง. 2541. การบำบัดน้ำเสียจากกองขยะด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้
ไฮดรอกไซด์ และมีแคลเซียมคาร์บอเนตร่วมตกตะกอน [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์(เคมีอุตสาหกรรม)]. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

พฤษัย ตัญจวิรัตน์. การตกตะกอนโลหะหนักด้วยกากปูนขาวจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ [วิทยา
นิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
ขอนแก่น; 2546.

พนมชัย วีระยุทธศิลป์. 2546. การนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียโรงงานฟอกหนังโดยการตกตะกอน
ด้วยน้ำไดคัลเค็มและการทำให้เป็นกรด [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต].
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เพ็ญประภา ขามป้อม. 2541. การกำจัดโครเมียมไอออนจากน้ำเสียโรงงานฟอกหนังโดยการ
ตกตะกอนทางเคมีด้วยเกลือลอย [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต].
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มันสิน คัมภลเวศน์. 2537. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพฯ, 606 น.

_____. 2538. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพฯ, 628 น.

_____. 2542. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ .พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 291 น.



มัลลิกา ปัญญาตะโป. 2544. การจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ. 291 น.

เขาวนุช สุจริตรธรรม. 2535. การตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังโดยการบำบัดด้วยด่าง [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสุขาภิบาล], บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วิราสินี ปรียานุพันธ์. การตกตะกอนโลหะหนักในของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยขอนแก่น [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม]. ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2542.

A.I. Zouboulis, K.A. Kydros, K.A. Matis. Removal of hexavalent chromium anions from solution by pyrite fines. *Water Research* [serial online] 1995; volume30, issue12 : 3032-3036.

Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin. Chemistry for environmental engineering. 4th ed. Singapore: McGraw-Hill; 1994.

Clifford D.S., S. Subramonian and T.J. Sorg. 1986. Removing dissolved inorganic contaminant from water. *Environmental Science Technology*. **20**: 1072-1080.

Dario Marani, Giuseppe Macchi, Michele Pagano. Lead precipitation in the presence of sulphate and carbonate: testing of thermodynamic predictions. *Water Research* [serial online] 1995; volume29, issue 4: 1085-1092.

G. Macchi, D. Marani, M. Pagano, G. Bagnuolo. A bench study on lead removal from battery manufacturing wastewater by carbonate precipitation. *Water Research* [serial online] 1996; volume30, issue12: 3032-3036.



Nilsson, R.. 1971. Removal of metals by chemical treatment of municipal waste water. *Wat. Res.*, 5: 51-60.

Nriagu, J.O. and Nieboer, E.. 1988. Chromium in the natural and human environments, *Advances in environmental science and technology*; 20, John Wiley & Sons. New York, ISBN 0-471-85643-6.

Suwimol, A. Manop B. Effect of Lead and Chromium Hydroxide on Cement-Based Solidification Waste Properties, *environmental technology Division, School of Energy and Material*. King Mongkut's University of technology Thonburi, Bangkok: 2000.

Weber, W.J. Jr., (1972) "Physicochemical Process for Water Quality Control" 1st Ed.' Wiley-Interscience.

William C.A.. 1994. Innovation Site Remediation Technology Chemical Treatment. *American Academy of Environmental Engineers*. 25:1451-1458.



ประวัติย่อ นักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย	นางสาวนันท์ณัฐ ศรีไพรวรรณ
สถานที่ทำงาน	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
โทรศัพท์	043-742-135
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2547 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
หัวข้อวิจัยที่สนใจ	- เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ - เทคโนโลยีการผลิตน้ำสะอาด - เทคโนโลยีการบำบัดของเสียอันตราย - เทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากของเสีย



สรุปรายงานการใช้จ่ายเงิน

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1. หมวดค่าตอบแทน ไม่เกินร้อยละ 10 ของงบประมาณทั้งหมด	4,000
2. หมวดค่าวัสดุ/สารเคมี	
2.1 ค่าวัสดุสำนักงาน	2,000
2.2 ค่าวัสดุ	
2.2.1 ค่าสารเคมีในการวิเคราะห์ ค่าอุปกรณ์ในการทดลอง	8,000
2.2.2 ค่าวัสดุที่ใช้ในอุปกรณ์ภาคสนาม	4,000
2.2.3 ค่าวิเคราะห์และค่าเช่าใช้เครื่องมือขั้นสูง	4,000
3. หมวดค่าใช้สอย	
3.1 ค่าสาธารณูปโภค	
3.1.1 ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	3,000
3.1.2 ค่าโทรศัพท์	1,000
3.2 ค่าทำรายงาน	
3.2.1 ค่าจ้างพิมพ์เอกสาร	1,000
3.2.2 ค่าถ่ายเอกสาร ค่าเข้าเล่ม และเย็บเล่มฉบับสมบูรณ์	1,000
4. หมวดจัดจ้าง	
4.1 ค่าตอบแทนการทำงานของนิสิตช่วยงาน	12,000
รวม	40,000

