

บทที่ 2

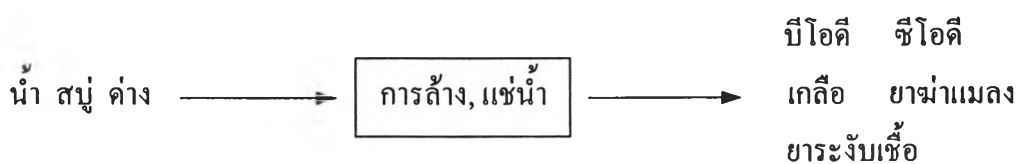
การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการฟอกหนังและคุณสมบัติน้ำเสียที่เกิดขึ้น

การฟอกหนัง คือ การเปลี่ยนสภาพหนังสัตว์ดิบซึ่งนำเปียยได้ไปเป็นหนังสำเร็จซึ่งคงตัวกว่า ไม่เน่าเปื่อย มีความทนทานต่อสภาพอากาศและน้ำร้อน (Porst, 1991 อ้างถึงใน ปธาน บรรจงปฐุ, 2536) โดยปกติหนังสัตว์ดิบจะประกอบไปด้วยชั้นขนและหนังกำพร้า (epidermis) ชั้นหนังแท้ (corium) และชั้นที่ติดเนื้อ (flesh) เฉพาะส่วนหนังแท้จะประกอบด้วยคอลลาเจน โปรตีน เป็นส่วนใหญ่ การรักษาสภาพหนังแท้ไม่ให้เน่าเปื่อยจะอาศัยสารเคมีได้แก่ ฝาค, โครเมียม, สารส้ม หรือสารเคมีอื่นเข้าไปทำปฏิกิริยากับคอลลาเจน โปรตีนในหนัง ซึ่งกระบวนการในการฟอกหนัง และน้ำเสียที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งได้ดังนี้

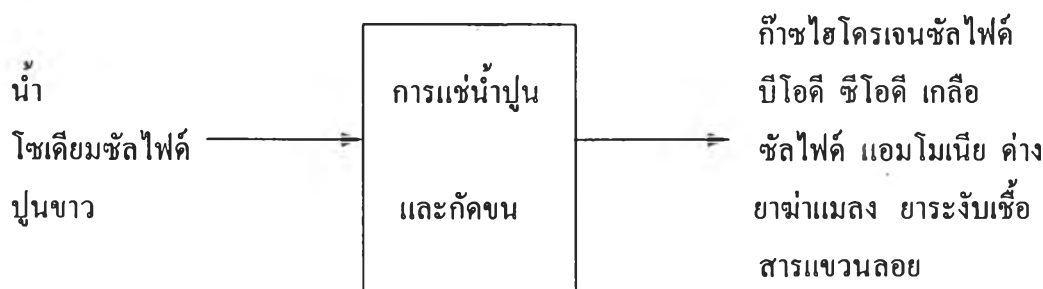
2.1.1 กรรมวิธีก่อนการฟอก เป็นการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากหนังดิบ และเตรียมหนังให้พร้อมที่จะฟอก โดยการนำหนังดิบที่ผ่านการดองเกลือมาแล้วมาเคาะเอาเกลือออก เนื่องจากเกลือมีคุณสมบัติในการช่วยรักษาหนังไม่ให้เน่า ดังนั้น ถ้าเคาะเกลือออกแล้วจะต้องนำเข้าสู่ผลิตภายใน 1-2 วัน ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการก่อนการฟอกได้แก่ การล้างและแช่น้ำ การแช่น้ำปูน ชูคตัดฟังผัด ผ่า ล้างทำลายฤทธิ์ปูนและบ่ม โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.1.1.1 การล้างและแช่น้ำ โดยนำหนังไปใส่ในถังหมุน ถังใบพัด หรือบ่อคอนกรีตซึ่งมีน้ำอยู่เต็ม อาจเติมสบู่ลงไปเพื่อล้างเศษสิ่งสกปรก เลือด และอื่นๆ ออกจากหนัง น้ำเสียที่เกิดขึ้นประกอบด้วยบีโอดี ซีโอดี เกลือ ยาฆ่าแมลง และยาระงับเชื้อ เศษเนื้อ ขน หนัง และตะกอนดิน



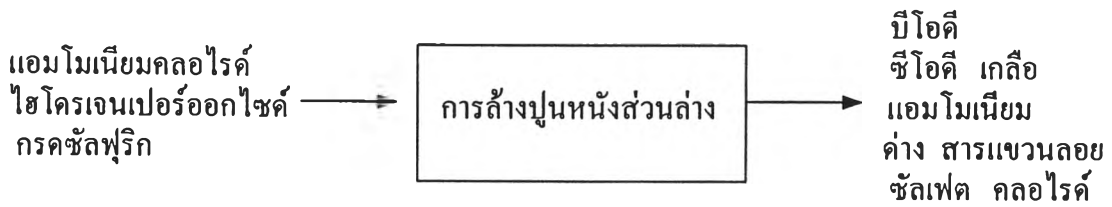
2.1.1.2 การแช่น้ำปูนและกัคชน ทำการเติม โซเดียมซัลไฟด์ และปูนขาวที่พีเอช ประมาณ 12.8 สารเคมีทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับขน หนังกำพร้า และฟังผัดซึ่งอยู่ภายนอก ทำให้เหลือแต่หนังแท้ซึ่งทนกว่า ปฏิกิริยานี้เรียกว่า "การละลายขน (hair pulp)" ในช่วงที่ล้างและแช่น้ำนี้ หนังจะ

ค่อย ๆ ดูดซึมเอาน้ำกลับเข้าไปแทนที่ส่วนที่สูญเสียระหว่างคงเค็ม ทำให้หนังนุ่มขึ้น พองขึ้น และมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น สำหรับขั้นตอนนี้เกิดน้ำเสียมีมลพิษสูงมาก เนื่องจากส่วนขนและหนังกำพรวา ตลอดจนสิ่งสกปรกอื่นที่สะสมอยู่ในหนังจะถูกชะล้างออกมากับปูนขาว และสารประกอบซัลไฟด์ที่ใส่ลงไป นอกจากนี้ยาระงับเชื้อและยาฆ่าแมลงที่สะสมอยู่ในหนังก็จะปะปนออกมาพร้อมกับน้ำเสียด้วย ดังนั้น จึงพบว่าในน้ำเสียนี มี บีโอดี ซีโอดี เกลือ ซัลไฟด์ ยาฆ่าแมลง และยาระงับเชื้อ แอมโมเนีย ค่าง และสารแขวนลอย นอกจากนี้ หากเค็มค้างลงไปไม่เพียงพอและพีเอชต่ำกว่า 9.5 จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



2.1.1.3 การขูดฟุ้งผัด (fleshing) และการผ่าแยกชั้น (splitting) หนังที่ผ่านการแช่ปูนแล้ว จะนำมาขูดฟุ้งผัดด้วยเครื่องขูดฟุ้งผัด ซึ่งมีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่ จากนั้นจะนำหนังไปเข้าเครื่องผ่าซึ่งต้องอาศัยน้ำหล่อเลี้ยงเช่นกัน ปกติหนังกระบือจะสามารถผ่าได้เป็น 3 - 4 ชั้น โดยสองชั้นด้านบนจะนำไปฟอกโครมโดยใช้โครเมียม ส่วนชั้นที่สามอาจฟอกหรือไม่ก็ได้ และชั้นสุดท้ายจะนำไปล้าง ทำลายฤทธิ์ปูนก่อนนำไปผลิตอาหารเคี้ยวเล่นของสุนัขและแมวต่อไป สำหรับน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการนี้มีปริมาณน้อย และมีลักษณะเหมือนน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่น้ำปูนแต่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

2.1.1.4 การล้างปูนของหนังส่วนล่าง (deliming of splittings) การล้างปูนออกจากหนังส่วนล่าง จำเป็นต้องเค็มเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์เพื่อลดการพองบวมของหนัง ทำให้เป็นกลาง โดยใช้กรดปรับพีเอชให้ได้ประมาณ 7 - 8 และเค็มสารออกซิไดซ์เพื่อช่วยกัดสีหนังให้จางลง ซึ่งได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีสีขาวขุ่น ประกอบไปด้วย บีโอดี ซีโอดี เกลือ ซัลเฟต แอมโมเนียม ค่าง สารแขวนลอย คลอไรด์ (ขั้นตอนนี้อาจมีเฉพาะบางโรงงานเท่านั้น)



2.1.1.5 การล้างทำลายฤทธิ์ปูนและการบ่มหนัง มีการลดพีเอชโดยการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ หรือแอมโมเนียมซัลเฟตลงไปในถัง สารเคมีจะต้องมีปริมาณมากพอที่จะทำลายฤทธิ์ปูนได้ทั้งหมด มีการเติมเอ็นไซม์พวกเบท เพื่อช่วยย่อยเส้นใยหนังให้เรียบ ทำให้อ่อน หลังจากบ่มหนังได้ทีแล้วจึงทำการล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดสีขาวของปูนขาว น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วย บีโอดี ซีโอดี เกลือ ซัลเฟต แอมโมเนียม ค่าง สารแขวนลอย คลอไรด์ นอกจากนี้ ยังมีก๊าซแอมโมเนียเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย

2.1.2 การฟอก การฟอกหนังที่นิยมใช้มี 2 วิธีคือ การฟอกโครมโดยใช้โครเมียม และการฟอกฟาดโดยใช้แทนนิน การฟอกโครมเป็นที่นิยมมากกว่าเนื่องจากใช้เวลาสั้น สารเคมีราคาถูกหนังที่ฟอกแล้วทนต่อความร้อนและความชื้นดีกว่า สำหรับกระบวนการในการฟอกโครมมีดังนี้

2.1.2.1 การดองกรดและการฟอกโครม ในขั้นตอนนี้จะมีการดองกรดเพื่อปรับพีเอชให้เหมาะสมต่อการฟอกโครม โดยการเติมเกลือแอง (โซเดียมคลอไรด์) หรือโซเดียมซัลเฟต และกรดซัลฟูริก เพื่อลดการพองบวมของหนังให้พีเอชมีค่าประมาณ 1.4 – 3.0 ใช้ระยะเวลาดองกรดประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะทำการฟอกโครมโดยเติมโครเมียมซัลเฟต เพื่อทำปฏิกิริยากับโปรตีนในหนัง โดยปกติร้อยละ 70 ของน้ำหนักโครเมียมจะค้างอยู่ในหนังโครม บางโรงงานอาจเติมสารช่วยฟอกในช่วงของการดองกรด (เพื่อให้หนังจับโครเมียมได้ดีและเพื่อช่วยลดโครเมียมในน้ำเสีย) การตรึงโครเมียมให้อยู่กับหนังเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มพีเอชและอุณหภูมิ น้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงมีสภาพเป็นกรด และประกอบด้วยเกลือ สารแขวนลอย บีโอดี และโครเมียม ส่วนเศษตะกอนลอย (float residues) ที่เกิดขึ้นมีโครเมียมปนอยู่และจะหลุดออกมาพร้อมน้ำทิ้งด้วย (ปริมาณโครเมียมในน้ำทิ้งมีค่าประมาณ 2,000 – 4,000 มก./ล.)

2.1.2.2 การรีดน้ำและการเจียรหนัง (sammying and shaving) การรีดน้ำออกจากแผ่นหนังทำให้เกิดน้ำเสียจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะเหมือนน้ำเสียจากการฟอกโครม ส่วนการเจียรหนังจะทำให้เกิดเศษหนังเจียรซึ่งมีโครเมียมปะปนอยู่ และเป็นปัญหามากต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากนำไปถมที่ หรือทิ้งกองขยะ หรือเผารวมคาไม่ได้

2.1.3 การปรับสภาพ การฟอกซ้ำและการย้อมสี (Neutralization Retanning Dyeing and Fat Liquoring) การปรับสภาพเป็นการเติมเกลือแอมโมเนียมหรือโซเดียมไบคาร์บอเนต เพื่อเพิ่มพีเอช ให้ได้ประมาณ 5 – 6 เพื่อสกัดโครมส่วนเกิน และเตรียมพร้อมเพื่อการฟอกซ้ำและย้อมสี จึงพบว่า มีโครเมียมและเศษตะกอนหนังในน้ำทิ้งส่วนนี้ ส่วนการฟอกซ้ำจะทำพร้อม ๆ กับการให้น้ำมัน จึงมีการเติมกรดฟอร์มิก ซินแทน (น้ำยาฟอกสังเคราะห์) และน้ำมันลงไป ซึ่งสารเคมีที่เหลือจากการ ดูดซึมก็จะปะปนออกมากับน้ำทิ้ง ซึ่งมักพบโครเมียมด้วย สำหรับการย้อมสีแบบเปียก ซึ่งมักใช้กับ หนังโครมเป็นการย้อมสีหนังทั้งหมด ไม่เหมือนการฟ่นหรือทาสีซึ่งมักใช้กับหนังฟอกผาด สารเคมี สี กรดอินทรีย์ และน้ำร้อนจะช่วยให้การย้อมเสร็จสมบูรณ์ และจะพบสารดังกล่าวในน้ำทิ้งที่เหลือ อยู่ น้ำเสียจากขั้นตอนส่วนนี้แม้จะมีเล็กน้อยมากก็ยังคงส่งไปให้เม็คสิจมตัวในถังตกตะกอน แล้ว เอน้ำที่เหลือไปบำบัดที่ระบบต่อไป

2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียฟอกหนังในประเทศไทย

Islam (1982) ได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวมขององค์การฟอกหนัง เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร พบว่ามีทั้งการฟอกผาดและฟอกโครมอยู่ด้วยกัน โดยน้ำเสีย รวมมีค่าบีโอดี 779 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 2,600 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และเอสเอส 1,390 มิลลิกรัมต่อลิตร

Kin Maung Win (1989) ได้ทำการวิจัยเพื่อกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วย ระบบ SBR Membrane Separation โดยใช้ น้ำเสียจากกลุ่มโรงงานฟอกหนัง จังหวัดสมุทรปราการ พบว่าในกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม. 30 มีโรงงานประมาณ 70 โรง โดย 90% เป็นโรงงานฟอก โครม มีการฟอกผาดเป็นจำนวนน้อย และไม่ทิ้งน้ำผาด โดยทั้งกลุ่มใช้วัตถุดิบประมาณ 50,000 ตัน หนังเค็มดิบต่อปี ลักษณะสมบัติน้ำเสียรวมมีค่าบีโอดี 800 - 1,100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 1,500 - 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และเอสเอส 700 - 1,100 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการศึกษาศักยภาพของมลพิษจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในประเทศไทย โดย ปราน บรรจงปรู (2536) โดยได้ทำการศึกษาโรงงานฟอกหนังจำนวน 6 แห่ง ซึ่งตั้งอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม. 30 จังหวัดสมุทรปราการ โดยพบว่า 5 ใน 6 โรง เป็นการฟอกโครม และอีก 1 โรงเป็นการฟอกผาด และหนังที่ใช้ในการฟอกร้อยละ 80 เป็นหนังกระบือ ส่วนที่เหลือเป็นหนัง โค นอกจากนี้ ยังพบว่ามลพิษที่สำคัญที่เกิดขึ้นคือ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) โครเมียม (Chromium) สารแขวนลอย (Suspended Solids : SS) ทีดีเอส (Total Dissolved Solids : TDS) และทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN) โดยขั้นตอนในการละลายขนและการแช่

ปูนเป็นกระบวนการแรกที่เกิดน้ำเสียและเกิดน้ำเสียปริมาณมากที่สุดคือ 2.12 และ 1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อตันแห้งดิบ หรือร้อยละ 20.9 และ 22.2 ของน้ำเสียทั้งหมด โดยมีปริมาณมลสารในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณมลสารต่อตันแห้งดิบในแต่ละขั้นตอนของการฟอกหนัง (ปราน
บรรจงปรุ, 2536)

น้ำเสีย	น้ำ (ลบ.ม. ต่อ ตันแห้งดิบ)	มลสาร (กิโลกรัมต่อตันแห้งดิบ)				
		บีโอดี	โครเมียม	เอสเอส	ดีเอส	ทีเคเอ็น
1. ละลายขน	2.12	15.35	0	41.12	90.56	2.39
2. แช่ปูน	2.25	15.48	0	24.92	101.95	2.38
3. ฉากฟุ้งฝืด	0.31	1.65	0	1.73	2.60	0.18
4. ผ่า	1.42	1.76	0	2.57	5.51	1.28
5. ล้างขาว	0.22	1.38	0	0.14	11.70	1.12
6. แช่ปูนซ้ำ	0.62	3.19	0	1.08	15.96	1.29
7. ทำลายฤทธิ์ปูน	0.67	3.30	0	1.76	27.91	3.37
8. ฟอกโครม	0.99	1.61	1.18	1.92	104.96	1.90
9. รีดน้ำ	0.10	0.02	0.02	0.05	3.42	0.02
10. ฟอกซ้ำ	1.01	2.51	0.03	0.25	3.82	0.54
รวม	10.20	46.86	1.46	77.50	386.31	13.87

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2540) ได้จัดทำคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับ
อุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยได้สรุปลักษณะสมบัติน้ำเสียรวมจากอุตสาหกรรมฟอกหนังของ
ประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะสมบัติน้ำเสียรวมจากอุตสาหกรรมฟอกหนังของประเทศไทย
(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าต่ำสุด – สูงสุด (มิลลิกรัม/ลิตร)
พีเอช (pH)	8.15	6.67 – 8.64
บีโอดี (BOD)	1,535	958 – 4,200
ซีโอดี (COD)	4,150	2,433 – 8,100
ทีเคเอ็น (TKN)	394	215 – 644
เอสเอส (SS)	2,097	1,027 – 4,361
ทีเอส (TS)	13,857	9,118 – 21,881
โครเมียม (Cr)	77.68	18 – 204.4

2.3 เคมีของโครเมียม โครเมียมในธรรมชาติ และความเป็นพิษ

2.3.1 ลักษณะเคมีของโครเมียม

โครเมียม เป็นธาตุในหมู่ VI B เป็นโลหะสีขาวเงิน บางครั้งอยู่ในรูปผลึก มีน้ำหนักอะตอม 52.01 เวเลนซ์ 0, 2, 3, 6 มีจุดหลอมเหลว 1890°C มีลักษณะเป็นมันวาวและแข็งมาก สามารถต้านทานการผุกร่อนได้ดี คงความเป็นมันเงาได้นานในอากาศจึงใช้ทำโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำปฏิกิริยากับโลหะ เช่น ออกซิเจนและคลอรีนได้สารประกอบของโครเมียมที่มีออกซิเดชันสเตท +3 ในธรรมชาติแร่สำคัญของโครเมียมคือ โครไมต์ (FeCr_2O_4 หรือ $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$) ซึ่งเป็นออกไซด์ผสม ถ้ารีดิวซ์แร่นี้ด้วยคาร์บอนจะได้โลหะเจือเหล็ก-โครเมียม ซึ่งใช้ประโยชน์ในการผลิตเหล็กกล้าที่ไม่เป็นสนิม

โครเมียมใช้มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เช่น ชุบชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า นำมาผสมกับโลหะระหว่างโครเมียม เหล็ก และนิกเกิล เป็นโลหะผสมปราศจากสนิม และผสมกับโลหะอื่น ๆ แต่ละตัว เช่น นิกเกิล โคบอลต์ ทิตเนียม เป็นโลหะผสมธรรมดา

สารประกอบโครเมียมชนิดอนินทรีย์ ที่ใช้ในทางพาณิชย์มีสองเวเลนซ์ ชนิดที่มีเวเลนซ์ 3 (โครมิกออกไซด์ และโครมิกซัลเฟต) ใช้ในโลหะผสมและอุตสาหกรรมฟอกหนัง และชนิดที่มีเวเลนซ์ 6 นำไปใช้ในการผลิตเม็ดสี ช่วยรักษาเนื้อไม้ ชุบเครื่องประดับ ป้องกันการกัดกร่อน ใช้ใน

อุตสาหกรรมผลิตแก้ว ทำให้แก้วมีสีและเป็นเงางาม และใช้ในอุตสาหกรรมพิมพ์ย้อมผ้า ขนสัตว์ และไหม

2.3.2 โครเมียมในธรรมชาติ

2.3.2.1 โครเมียมในธรรมชาติ Wood และ Holliday (1967) กล่าวถึงโครเมียมในธรรมชาติว่าสามารถพบได้ 3 รูปคือ โครเมียม (II) โครเมียม (III) และโครเมียม (VI) โดย

(ก) โครเมียม (II) ออกไซด์ (CrO) เป็นเบสิกออกไซด์ โครเมียม (II) ถูกรีดิวซ์เป็นโครเมียม (III) ได้ง่าย แม้แต่ทิ้งไว้ในอากาศ จึงเป็นรีดิวซิงค์เอเจนต์ที่ดี

(ข) โครเมียม (III) ออกไซด์ (Cr_2O_3) เป็นแอมโฟเทอริกออกไซด์ สารละลายเกลือโครเมียม (III) เก็บไว้ได้นาน โดยไม่เกิดออกซิเดชันหรือรีดักชัน

(ค) โครเมียม (VI) ออกไซด์ (CrO_3) เป็นอะซิดิกออกไซด์ โครเมียม (VI) ในสารละลายต่างอยู่ในรูปโครเมต (CrO_4^{2-}) มีสีเหลือง และสารละลายกรดจะอยู่ในรูปไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) มีสีส้ม

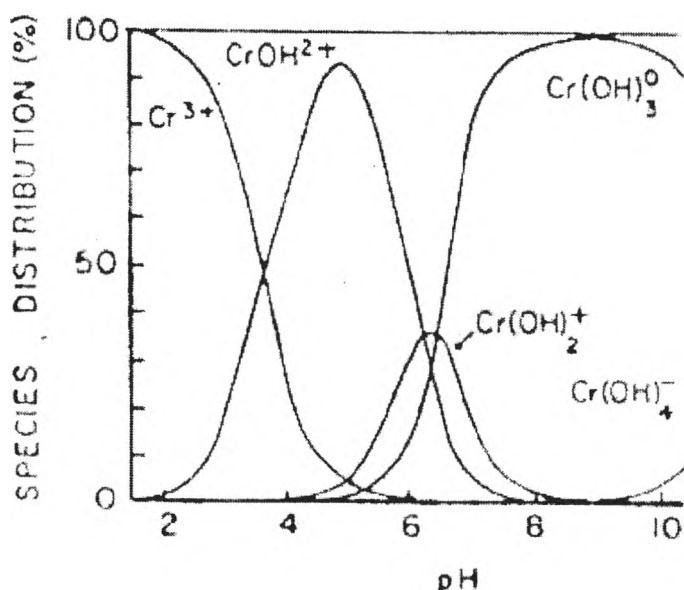
2.3.2.2 โครเมียมในแหล่งน้ำ

Patterson (1971) กล่าวว่าโครเมียมในน้ำเสียบพบในรูปโครเมียม (III) และโครเมียม (VI) ซึ่งมีผลต่อสภาพแวดล้อม โดยโครเมียม (VI) เป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง แต่โครเมียม (III) จะมีออกซิเดชันเสถียรมากที่สุด โครเมียม (VI) ในน้ำเสียบจะอยู่ในรูปของโครเมต (CrO_4^{2-}) และไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)

Rai et al. (1987) อ้างถึงใน ชัชวาล จันทร์คั่ง (2537) พบว่าโครเมียม (III) ที่พบในน้ำจะอยู่ในรูปต่าง ๆ เช่น Cr^{3+} , $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Cr}(\text{OH})_3$, $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ โดย Cr^{3+} จะพบที่พีเอชต่ำกว่า 3.6 เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โครเมียม (III) มีสภาพเป็นกรดอ่อน ๆ และพร้อมจะเกิดปฏิกิริยาเป็นอออนเชิงซ้อนกับประจุลบอื่น ๆ เช่น ไฮดรอกซิล ซัลเฟต แอมโมเนีย ไซยาไนต์และซัลโฟไซยาเนต ฟลูออไรด์ และคลอไรด์

การเคลื่อนที่ของโครเมียมในแหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งโครเมียม (III) และ โครเมียม (VI) สามารถพบได้มากในแหล่งน้ำธรรมชาติ ในน้ำเสียบที่มีการไหลเวียนของออกซิเจนดีจะพบโครเมียม (VI) มาก แต่โครเมียม (III) ก็จะมีเสถียรภาพมาก สามารถพบตามธรรมชาติได้ในรูปของแข็ง การเปลี่ยนแปลงจากโครเมียม (III) เป็นโครเมียม (VI) ขึ้นอยู่กับสภาพของลำน้ำ โครเมียม (VI) จะถูกรีดิวซ์ได้ง่ายโดย Fe^{2+} , ซัลไฟด์ หรือสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ Sulfydryl และจะถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็วโดย MnO_2 และอย่างช้าโดยออกซิเจน ภายใต้สภาวะที่ใกล้เคียงกับแหล่งน้ำธรรมชาติ

จากปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปดังกล่าวจึงควรกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในรูปโครเมียมทั้งหมดมากกว่าโครเมียม (VI)



รูปที่ 2.1 แสดงโครเมียม (III) ที่พีเอชต่าง ๆ (Rai et al, 1987)

Young และคณะ (1973) และ Schafe (1976) อ้างถึงใน Moore และ Ramamoorthy (1984) พบว่าในน้ำเสียชุมชนจะมีโครเมียมในรูปอนุภาคประมาณ 67-98% โดยระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนกลางของ Southern California จะระบายโครเมียมประมาณ 600 – 700 เมตริกตันต่อปี โดยมีความเข้มข้น 40 – 800 ไมโครกรัมต่อลิตร ลงไปสู่ชายฝั่งทะเล ส่วนใหญ่ของโครเมียมที่ละลายน้ำ ประมาณ 97 – 99% จะพบในรูปโครเมียม (III) ส่วนโครเมียม (VI) ซึ่งมีความเป็นพิษสูงจะพบน้อยกว่า 1% ของโครเมียมทั้งหมด

ในน้ำทะเลที่สะอาดจะมีโครเมียม (VI) และโครเมียม (III) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.045 และ 0.14 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่ในน้ำทะเลที่อยู่ลึกลงไปจะมีโครเมียมสูงถึง 100 เท่าของระดับที่ควบคุม ส่วนในแหล่งน้ำจืดทั่วไป กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์จะทำให้โครเมียม (VI) ซึ่งละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นโครเมียม (III) แล้วตกตะกอนลงสู่พื้นน้ำ

Nagayama และคณะ (1981) ได้ทำการศึกษาชนิดของโครเมียมในทะเลแปซิฟิกและทะเลญี่ปุ่น พบว่าทั้งโครเมียม (VI) และสารประกอบอินทรีย์จะไม่ตกตะกอนด้วย $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และพบว่าทั้งในทะเลแปซิฟิกและทะเลญี่ปุ่นมีโครเมียม (III) 10 – 20% โครเมียม (VI) 25 – 40% และสารประกอบอินทรีย์ของโครเมียม 45 – 60% แต่การกระจายตัวของโครเมียม (VI) มีความแตกต่างกัน โดยในทะเลแปซิฟิกโครเมียม (VI) จะเพิ่มขึ้นที่ความลึกมากกว่า 1,000 เมตร ในขณะที่ในทะเล

ญี่ปุ่นจะลดลง การกระจายตัวที่แตกต่างกันของทะเลทั้งสองแห่งเกิดขึ้นเนื่องจากในทะเลแปซิฟิกมีสารออกซิไดซ์คือ MnO_2 ปริมาณสูง ในขณะที่ทะเลญี่ปุ่นมี MnO_2 น้อยมาก

2.3.3 ความเป็นพิษ

2.3.3.1 พิษต่อพืชน้ำ โครเมียมมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำดำ ภายใต้บรรยากาศส่วนใหญ่ปรอท แคลเซียม ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล และสังกะสี มีพิษมากกว่าโครเมียม แม้ว่าจะมีระดับปฏิกิริยาที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชถึง 0.5 – 5 มิลลิกรัมโครเมียม (VI) ต่อลิตร แต่ $K_2Cr_2O_7$ ก็ช่วยในการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดได้ ซึ่งความเป็นพิษต่อพืชของโครเมียมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พีเอช และโลหะหนักตัวอื่น ๆ

2.3.3.2 พิษต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง พิษแบบเฉียบพลันของโครเมียมต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำจืด มีความแตกต่างกันสูงมาก เช่น จากการศึกษาของ Rehwoldt และคณะ (1973) พบว่าในเวลา 90 ชั่วโมง LC 50 ของโครเมียม (III) ในสัตว์ 7 ชนิด มีค่าระหว่าง 3 – 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่โครเมียม (VI) มีค่าระหว่าง 0.1 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในน้ำทะเลโครเมียมจะมีพิษน้อยเนื่องจากการยับยั้งโดย cation ส่วนพิษแบบเรื้อรังของโครเมียมจะทำให้มีอาการมันง ยับยั้งการเจริญเติบโต ทำให้ขนาดของร่างกายเล็กลง และอาจทำให้อัตราการเจริญพันธุ์และการรอดชีวิตของรุ่นลูกหลานลดลง

2.3.3.3 พิษต่อปลา ปลาจะมีโอกาสในการรับพิษของโครเมียมน้อยกว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง จากการศึกษาของ Pickering และ Henderson (1966) พบว่าในเวลา 90 ชั่วโมง LC 50 ของทั้งโครเมียม (III) และโครเมียม (VI) ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำจืดมีค่าระหว่าง 3.5 – 118 มิลลิกรัมต่อลิตร สาเหตุที่มีความแตกต่างมากเนื่องจากการตอบสนองของสัตว์แต่ละชนิด นอกจากนี้ พีเอชของน้ำและขนาดของตัวปลาก็มีผลต่อความเป็นพิษด้วย โดย Van der Putte และคณะ (1981) พบว่า LC 50 ของปลา rainbow trout ลดลงจาก 53 เป็น 16 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพีเอช ลดลงจาก 7.8 เป็น 6.5 และความเป็นพิษจะเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า เมื่อน้ำหนักของปลาลดลงจาก 13 เป็น 0.1 กรัม นอกจากนี้ อุณหภูมิก็มีผลต่อการรับพิษของปลาเช่นเดียวกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดของปลาด้วย

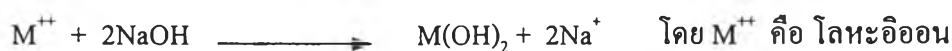
2.3.3.4 พิษต่อมนุษย์ โครเมียมจะไม่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันต่อมนุษย์ เนื่องจากโครเมียมในธรรมชาติมีความคงตัวสูง อย่างไรก็ตาม โครเมียม (VI) มีความเป็นพิษสูงกว่าโครเมียม (III) เนื่องจากมีเป็นสารก่อให้เกิดการระคายเคืองและมีฤทธิ์ก่อมะเร็ง สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้โดยทางเดินอาหาร ผิวหนัง และทางเดินหายใจ แต่ผลกระทบต่อผู้ประกอบอาชีพส่วนใหญ่เป็นที่ระบบผิวหนังและทางเดินหายใจ ในสภาพธรรมชาติโครเมียม (VI) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นโครเมียม (III) ซึ่งจะช่วยลดความเป็นพิษของโครเมียมที่ระบายทิ้งออกมา จากการศึกษาของ Lofroth และ Ames

(1978) พบว่าโครเมียม (VI) มีคุณสมบัติก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (Mutagenic) ส่วนโครเมียม (III) ถึงแม้ว่าจะไม่มีผลรุนแรงแต่ก็มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม จากการศึกษาทางระบาดวิทยาโดย Sittig (1980) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างอาชีพที่มีโอกาสสัมผัสกับโครเมียมและโอกาสเกิดโรคมะเร็ง คนงานในโรงงานโครเมียมมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดโรคมะเร็งปอด เกลือของโครเมียม (VI) ที่ละลายน้ำแม่เพียงเล็กน้อย เช่นแคลเซียมโครเมต ($\text{Ca}(\text{CrO}_4)$) ก็อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ สารประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มสูงที่จะก่อให้เกิดการถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่ผิดปกติในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีรายงานว่าชาวอเมริกันและชาวเยอรมันที่ทำงานอยู่ในโรงงานผลิตเกลือโครเมียมมานาน และตายไปเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ กัน พบว่าประมาณ 20% ของคนงานที่ตายทั้งหมดจะมีมะเร็งของปอด และประมาณ 30% ตายเนื่องจากมะเร็งที่อวัยวะส่วนอื่น เมื่อเทียบการเกิดมะเร็งของคนทั่วไปที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับสารประกอบโครเมียมแล้ว ก็พบว่าอุบัติการณ์ของการเกิดมะเร็งในคนงานกลุ่มดังกล่าวสูงกว่าคนทั่วไปถึง 16 - 25 เท่า มะเร็งของปอดที่เกิดจากพิษโครเมียม มักจะพบในคนงานที่มีอายุอยู่ระหว่าง 45 - 70 ปี

2.4 การบำบัดโครเมียมในน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

วิธีการตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical precipitation) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียมานานแล้ว โดยการเติมสารเคมีลงไปลงในน้ำทิ้ง เพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่เกิดเป็นตะกอน ทำให้สามารถแยกออกจากน้ำได้โดยง่าย การตกตะกอนผลึกด้วยสารเคมีมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 วิธีคือ การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์ (Hydroxide precipitation) และการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์ (Sulfide precipitation)

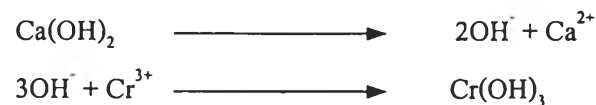
2.4.1 การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์ จัดเป็นการตกตะกอนผลึกแบบดั้งเดิม โดยเติมสารเคมีคือปูนขาว หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกิดปฏิกิริยาตามสมการดังนี้



การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดคือ โลหะไฮดรอกไซด์จะมีคุณสมบัติกึ่ง (Amphoteric property) คือจะไม่สามารถตกตะกอนที่พีเอชใดพีเอชหนึ่ง แต่จะตกตะกอนเป็นช่วงพีเอชกว้าง โดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 8 - 11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้สามารถจะละลายกลับมาได้อีกถ้าค่าพีเอชเปลี่ยนจากค่าที่ตกตะกอนผลึก

โดยทั่วไปการตกตะกอนโครเมียม (III) จะอยู่ในรูปโครเมียม (III) ไฮดรอกไซด์ บางครั้งในการตกตะกอนทางเคมีก็มีการใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอน เช่น โพลีเมอร์ เพื่อช่วยในการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น โดยมีสารที่ใช้ในการตกตะกอนดังนี้

2.4.1.1 ปูนขาว เป็นสารที่มีราคาถูก สร้างตะกอนได้ดี เกิดตะกอนมาก ทำให้พีเอชสูง ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 3 - 60 นาที ซึ่งขึ้นกับคุณภาพของปูนขาว โดยปูนขาวจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย เกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมและแมกนีเซียม โดยมีปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับโครเมียม (III) ดังสมการ



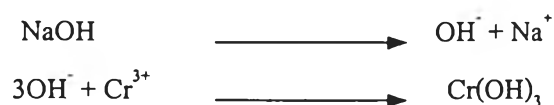
Nikolov และ Papozov (1970) ได้ศึกษาการตกตะกอนโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังด้วยสารละลายปูนขาว (Ca(OH)_2) โดยใช้ น้ำเสียที่มีโครเมียมระหว่าง 3,000 – 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ปูนขาว 1 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อโครเมียม 1 มิลลิตร พบว่าในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น โครเมียม 99.6 – 100% ตกตะกอนในรูปโครเมียมไฮดรอกไซด์ (Cr(OH)_3) ในเวลา 24 ชั่วโมง ตะกอนมีความชื้น 94.1% ส่วนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นโครเมียม 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ตะกอนที่มีความชื้น 87.11% ตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ถูกนำมาละลายด้วยกรดซัลฟูริก 1.9 กรัม สำหรับโครเมียม 1 กรัม แล้วจึงนำสารละลายนี้กลับไปใช้ในกระบวนการฟอกหนังต่อไป

Mamakov (1973) ได้ทำการตกตะกอนโครเมียมด้วยสารละลายปูนขาว (Ca(OH)_2) โดยใช้ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นโครเมียม 130 มิลลิกรัมต่อลิตรนำมาปรับพีเอชด้วยปูนขาวให้ได้เท่ากับ 7 – 8.8 และใช้โคแอกกูแลนต์ (coagulant) 300 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 300 °C แล้วทำการแยกตะกอนออกจากน้ำโดยวิธีอิเล็กโทรโฟเตชัน จากนั้นละลายตะกอนด้วยกรดซัลฟูริกในอัตราส่วนน้ำหนัก H_2SO_4 : Cr เท่ากับ 1 : 1 กรองตะกอนที่เหลือทิ้ง นำสารละลายที่มีโครเมียมนี้ไปปรับความเข้มข้นแล้วนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตใหม่ได้

Chirita (1982) ได้ทำการศึกษานำกลับโครเมียมโดยการตกตะกอนด้วยผงปูนขาวที่มากเกินพอ (Ca(OH)_2 10%) จากนั้นละลายตะกอนโดยใช้กรดซัลฟูริกที่มากเกินพอ 1 เท่าตัว พบว่าในขั้นตอนของการตกตะกอนใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 45 – 50 นาที ที่อุณหภูมิ 20 °C ส่วนขั้นตอนการละลายตะกอนใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 1 ชั่วโมง ที่ 100 °C

Eckenfelder และ William Wesley (1989) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน Cr^{3+} อยู่ในช่วงระหว่าง 8.5 – 9.5 และการใช้ปูนขาวเป็นสารช่วยให้เกิดตะกอนในน้ำทิ้งที่มีพีเอช ระหว่าง 8 – 12 สามารถตกตะกอน Cr^{3+} ออกจากน้ำทิ้งได้มากกว่าร้อยละ 99 เมื่อใช้เวลาการตกตะกอน ประมาณ 12 ชั่วโมง

2.4.1.2 โซดาไฟ เป็นสารที่มีราคาแพงกว่าปูนขาว แต่เป็นสารที่เหมาะสมกว่าเพราะการใช้ปูนขาวไม่คุ้ม เนื่องจากอุปกรณ์เดิมปูนขาวมีราคาแพง โดยมีปฏิกิริยาระหว่างโซดาไฟกับโครเมียม (III) ดังสมการ



Simoncini (1977) อ้างตามปธาน บรรจงปฐุ (2536) ได้ศึกษาการนำกลับโครเมียมโดยการใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมออกไซด์ โดยเติมสารทั้ง 3 ดังกล่าวในอัตราส่วน 6.5 – 12.5, 8.5 – 16.8 และ 3.1 – 6.1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลงในสารละลายที่มีโครม 8 กรัมต่อลิตร ในรูป Cr_2O_3 พบว่าเกิดการตกตะกอนที่พีเอช 9 แล้วทำการละลายตะกอนด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10.7 กรัมต่อลิตรของสารละลายตะกอน

Daigle และ Bennett (1986) รายงานว่าโครมถูกนำกลับจากน้ำเสียจากการฟอกหนังโดยเพิ่มพีเอชเป็น 8.7 – 9.0 ด้วย 30% โซเดียมไฮดรอกไซด์ น้ำใสจะมีโครเมียมน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ธิดารัตน์ คำรงสอน (2539) ได้ศึกษาการตกตะกอนโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งใช้น้ำเสียที่มีค่าโครเมียมเริ่มต้น 15 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารรีดักชัน และใช้พีเอชในการตกตะกอน 3 ค่า คือ 8, 9 และ 10 ด้วยโซดาไฟ ผลการศึกษาพบว่าพีเอชในการตกตะกอนทั้ง 3 ค่าดังกล่าวให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.4.1.3 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

Langerwerf (1978) ทดสอบการตกตะกอนโครเมียมจากน้ำเสียในการฟอกโครมโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์ พบว่าเกิดตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสามารถตกตะกอนเร็ว (250 มิลลิเมตร/ชั่วโมง) และได้ตะกอนแน่น (Cr 10% ต่อน้ำหนักเปียก) และสามารถแยกน้ำใสได้โดยการรินน้ำส่วนบน น้ำส่วนบนมีโครเมียมเหลือน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

เขาวนุช สุจริตธรรม (2536) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์ และใช้ปูนขาวร่วมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และใช้สารรวมตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีเมอร์ประจุลบ โพลีเมอร์ประจวบว และโพลีเมอร์ไร้ประจุ โดยใช้น้ำฟอกโครม 2 ชนิด คือ มีและไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม ผลการศึกษาพบว่าการใช้สารตกตะกอนผลึกทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันคือ 98-100 % แต่ปริมาณตกตะกอนผลึกไม่เท่ากัน โดยแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว ให้ปริมาณตกตะกอนผลึกมากกว่าการใช้แมกนีเซียมออกไซด์เพียงอย่างเดียว พีเอชที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสำหรับน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมของแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์อ่อน และแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว คือ 8.4-8.5, 8.9 และ 7.4-7.5 ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียม พีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 8.5, 8.6 และ 7.8 ตามลำดับ

2.4.2 การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์ มักใช้สารเคมีในการตกตะกอนคือ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งจะเกิด ปฏิกิริยาดังสมการ



การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์นี้มีข้อจำกัดคือ เรื่องของกลิ่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไปจึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้นโดยนำเอาก๊าซซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

2.5 จีเถ้าลอย

จีเถ้าลอย (Fly ash) เป็นของเสียจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ โดยถ่านหินลิกไนต์เมื่อถูกเผาให้ละเอียดและส่งเข้าไปในเตาเผาไหม้ที่มีอากาศเพียงพอ ความร้อนในเตาเผาจะช่วยให้ปฏิกิริยาทางเคมีของการเผาไหม้เปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ธาตุ (Mineral matter) ที่มีอยู่ให้เป็นแร่ธาตุในรูปของออกไซด์ของโลหะที่ซับซ้อนหลายชนิด กากที่เหลือจากการเผาไหม้ในเตาจะเกิดเป็นเถ้า มีอนุภาคขนาดเล็ก ลอยตัวปะปนมากับไอร้อนไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า คือ บริเวณปล่องควัน และจะถูกดักจับไม่ให้ลอยไปปะปนในอากาศด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า "Electrostatic precipitator" ต่อจากนั้นจะถูกรวบรวมไว้ใน Ash hopper อนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้ถูกเรียกว่า "จีเถ้าลอย (Fly Ash, Fulverized Fuel Ash, Dry Ash)"

2.5.1 แหล่งกำเนิดของขี้เถ้าลอยแบ่งตามประเภทการเผาไหม้เชื้อเพลิง

2.5.1.1 ระบบ Stokers จะป้อนเชื้อเพลิงลงสู่ตะกรับ โดยใช้ลมที่ความเร็วต่ำ เนื่องจากต้องการให้ลมและเชื้อเพลิงเข้ารวมกันบนเนื้อที่ตะกรับได้ดี การเผาไหม้บน Stoker จะทำให้เกิดความร้อนมากกว่า $1,100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของเชื้อเพลิงและจุดหลอมละลายของขี้เถ้า (Ash Fusion Temperature) ทำให้ต้องมีการซ่อมบำรุงมาก

2.5.1.2 ระบบ Pulverize Fuel Combustion เชื้อเพลิงจะถูกบดจนกลายเป็นฝุ่น แล้วจะถูกพ่นเข้าเตาที่ Burners โดยลม การเผาไหม้จะเกิดบนอากาศคล้าย ๆ กับการเผาไหม้น้ำมันเตา

2.5.1.3 ระบบ Cyclones เนื่องจากเชื้อเพลิงบางเกรดจะทำให้ขี้เถ้าหลอมละลายคล้ายน้ำที่อุณหภูมิ $1,400\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือต่ำกว่า ทำให้ต้องมีการบดก่อนพอประมาณ แล้วผสมกับอากาศทำให้เกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงใน Cyclone Burner ทำให้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง และขี้เถ้าจะไหลออกอย่างต่อเนื่องสู่ก้นถัง

2.5.1.4 ระบบ Fluidized Bed ปัจจุบัน Fluidized Bed Boiler มี 2 ชนิดคือ Bubbling Bed และ Circulating Fluidized Bed การทำงานของระบบ Circulating Fluidized Bed นี้ เชื้อเพลิงกับหินปูน (Limestone) จะถูกส่งเข้าห้องเผาไหม้ช่วงล่างซึ่งจะมีลมเป่าเข้ามา ทำให้เชื้อเพลิงกับหินปูนผสมกันกับวัสดุในห้องเผาไหม้ (Bed material) จนสม่ำเสมอ ลมเป่า (Fluidizing air) จะเป็นตัวทำให้วัสดุที่ผสมกันลอยตัว เป็นลักษณะของไหล และนำพาบางส่วนของวัสดุที่ผสมกันเข้าสู่อุปกรณ์ดักจับขี้เถ้าแบบลมร้อนหมุน (Hot Cyclone) ซึ่งจะจับวัสดุในห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) ผ่านชุดกับอากาศย้อน (Loopseal)

การที่มีการหมุนเวียนวัสดุในระบบ ทำให้เชื้อเพลิงมีเวลาอยู่ในเตามากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีขึ้น การใส่หินปูนเพื่อทำให้เกิดการทำปฏิกิริยากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ได้เป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) และจะถูกกำจัดออกพร้อมกับขี้เถ้า การควบคุมอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ ที่ $800\text{-}900\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยใช้ลมเป่าเหนือชุดหัวกระจายลม (Grid) ส่วนล่างของเตาจะทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในจำนวนน้อย ก๊าซร้อน (Flue Gas) ที่ออกจากอุปกรณ์ดักจับขี้เถ้าแบบลมร้อนหมุนแล้วจะผ่านชุดถ่ายเทความร้อน (Heat Recovery Area) เข้าสู่ชุดดักจับขี้เถ้าแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) และเข้าสู่พัดลมดูด (Induction Fan) ก่อนปล่อยออกจากปล่องต่อไป

2.5.2 ลักษณะของเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ลิกไนต์

ลักษณะของขี้เถ้าลอยที่เกิดจากการใช้ลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงจะมี 2 สภาพ คือ

2.5.2.1 เถ้าหนัก (Bottom ash หรือ Wet ash) เป็นเถ้าที่ได้จากการปะทะของอนุภาคเถ้าในบริเวณที่เกิดการสันดาป (Combustion zone) อุณหภูมิบริเวณนี้สูงพอที่จะหลอมเถ้าที่จะปะทะกันเป็นเม็ดหรือก้อนตกลงสู่ก้นเตา บางส่วนของเถ้าจะปะทะกับผนังเตาและหลอมติดกันรวมตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่เรียกว่า Slag เมื่อน้ำหนักรวมกันมากเข้าจนเกาะติดผนังไม่ไหวก็จะหล่นลงสู่ก้นเตา

2.5.2.2 ขี้เถ้าลอย (fly ash, Pulverized ash หรือ dry ash) เป็นเถ้าที่ได้จากการเผาถ่านหินในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เถ้าจะถูกแยกออกจากลมร้อนที่พัดออกไปสู่ปล่องควันและถูกจับไว้ที่เครื่องตกตะกอนโดยใช้ไฟฟ้า (Electrostatic precipitator) แล้วถูกรวบรวมไว้ที่ที่เก็บขี้เถ้า (Ash hopper) ซึ่งมีประมาร้อยละ 75 – 85 ของเถ้าทั้งหมด โดยทั่วไปขี้เถ้าลอยจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1 – 150 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ โดยพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักอาจจะสูงถึง 2 เท่าของปูนซีเมนต์โดยมวล ขี้เถ้าลอยจะมีเม็ดค่อนข้างกลมจนถึงกลม (Subrounded to rounded) ทั้งนี้ขี้เถ้าลอยมีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.23 ถึง 2.48 สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของขี้เถ้าลอยนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของถ่านหินซึ่งแตกต่างกันตามแหล่งต่าง ๆ กัน แม้กระทั่งลิกไนต์ที่ขุดมาจากตำแหน่งที่ต่างกันในแต่ละเดียวกัน โดยทั่วไปส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของขี้เถ้าลอยได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SO_3 และ C ทั้งนี้ส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จะมี ความแตกต่างกันในเชิงปริมาณตามแหล่งที่มาของขี้เถ้าลอยนั้น ๆ ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็นปัญหาต่อการนำขี้เถ้าลอยไปใช้งานเพราะยากต่อการควบคุมคุณภาพ และสมบัติต่าง ๆ

2.5.3 ประเภทของขี้เถ้าลอย

ขี้เถ้าลอยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C618-94a (1995) ได้แก่ ชั้นคุณภาพ F และชั้นคุณภาพ C โดยใช้องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าลอยที่ได้หลังจากการเผาถ่านหินดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงการแบ่งชั้นคุณภาพของซีเมนต์ล้อยตามมาตรฐาน ASTM C618-94a (1995)

คุณสมบัติ	ประเภทของซีเมนต์ล้อย	
	ชั้นคุณภาพ F	ชั้นคุณภาพ C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (ร้อยละ)	70.0	50.0
SO_3 (มากที่สุดร้อยละ)	5.0	5.0
ปริมาณความชื้น (มากที่สุดร้อยละ)	3.0	3.0
การสูญเสียเนื่องมาจากการเผา (มากที่สุดร้อยละ)	6.0	6.0
ดัชนีกำลัง (น้อยที่สุดร้อยละ)	75.0	75.0

2.5.3.1 ซีเมนต์ล้อยชั้นคุณภาพ F เป็นซีเมนต์ล้อยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ และอะลูมินาออกไซด์ มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาด่านหินประเภทแอนทราไซต์ และบิทูมินัส มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 5 ดังนั้น ซีเมนต์ล้อยประเภทนี้บางครั้งจึงเรียกว่า “Low-calcium Fly Ash” หมายถึงซีเมนต์ล้อยที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ

2.5.3.2 ซีเมนต์ล้อยชั้นคุณภาพ C เป็นซีเมนต์ล้อยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ และอะลูมินาออกไซด์ อยู่ระหว่างร้อยละ 50 - 70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาด่านหินประเภทลิกไนต์ และซับบิทูมินัส มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์อยู่ประมาณร้อยละ 15 - 23 ดังนั้น ซีเมนต์ล้อยประเภทนี้บางครั้งจึงเรียกว่า “High-calcium Fly Ash”

คุณภาพและปริมาณของซีเมนต์ล้อยสามารถแปรผันได้ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับประเภทของโรงผลิตกระแสไฟฟ้า ชนิดของด่านหิน อุณหภูมิที่ใช้เผา และระบบของการดักจับเถ้า ดังนั้นซีเมนต์ล้อยที่ได้ในแต่ละประเทศจึงมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกันดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์จากแหล่งต่าง ๆ

องค์ประกอบ ทางเคมี	ปริมาณร้อยละ, % โดยน้ำหนัก					
	เยอรมัน	ไต้หวัน	แคนาดา	อเมริกา	ไทย	
					แม่เมาะ	บ. สยามคราฟท์
SiO ₂	51.50	53.13	42.20	30.00	42.45	36.90
Al ₂ O ₃	27.00	30.44	21.60	17.60	22.51	16.10
Fe ₂ O ₃	7.79	3.59	27.60	4.90	9.02	6.72
CaO	2.32	2.12	1.87	27.90	9.82	16.70
SO ₃	0.77	-	1.10	-	1.51	8.83
MgO	1.80	0.58	3.03	5.20	3.05	2.89
Na ₂ O	1.02	0.20	0.66	2.40	0.18	0.26
K ₂ O	3.57	1.05	2.55	0.30	2.53	3.23
Loss on Ignition	2.73	6.63	1.85	0.20	1.36	6.64

ที่มา : 1) ข้อมูลปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์จากเยอรมัน ไต้หวัน แคนาดา อเมริกา และจากแม่เมาะของประเทศไทย ได้มาจากเอกสารการสัมมนา เรื่อง การใช้ซีเมนต์ในงานคอนกรีตของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

2) ข้อมูลปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์จากบริษัท สยามคราฟท์ อุตสาหกรรม จำกัด ได้มาจากรายงานผลการวิเคราะห์ของบริษัท สยามคราฟท์ อุตสาหกรรม จำกัด

2.5.4 คุณสมบัติพื้นฐานของซีเมนต์

โดยทั่วไปซีเมนต์จะมีสีเทา เทาดำ หรือน้ำตาล รูปร่างของซีเมนต์มีลักษณะรูปร่างค่อนข้างกลมหรือเกือบกลม บางครั้งอาจพบลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งมีน้ำหนักเบา ลอยน้ำได้ หรืออาจพบลักษณะที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหิน ความละเอียดของถ่านหินก่อนจะเผา และชนิดของถ่านหิน ซึ่งมีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้

2.5.4.1 มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan) สังกะหรณ์ประเภทหนึ่ง มีส่วนประกอบหลักเป็นอันธรูปของซิลิกาและอะลูมินา เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่นไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสาร Ca(OH)₂ และเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious) โดยที่คุณสมบัติดัง

กล่าวขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาและช่วงเวลากการเผา ดังนั้น คุณภาพและความสม่ำเสมอของซีเมนต์ลอมจึงขึ้นอยู่กับแต่ละแหล่งที่เผาถ่านหิน

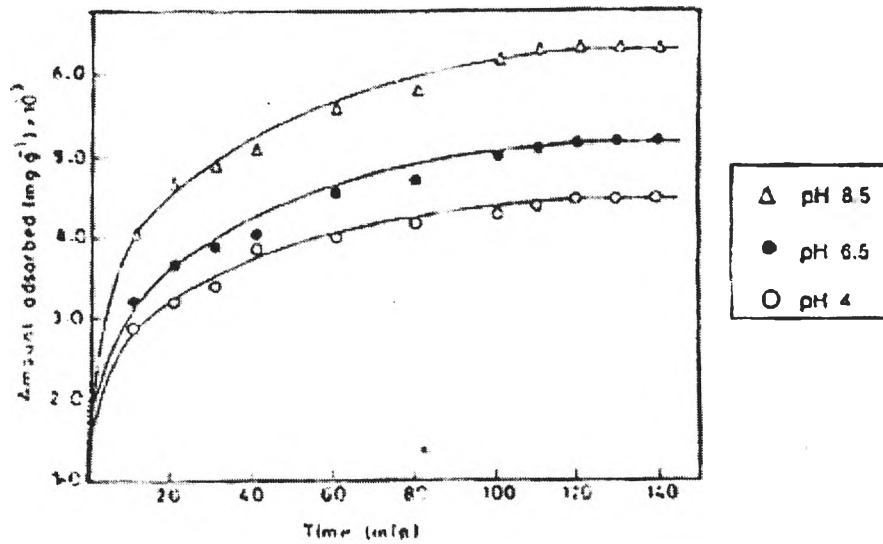
2.5.4.2 ส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์ลอม ซีเมนต์ลอมประกอบด้วยองค์ประกอบออกไซด์ของแร่ธาตุต่าง ๆ ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้จะมีค่าต่างกันในเชิงปริมาณตามแหล่งหรือชนิดของถ่านหินที่มาของซีเมนต์ลอม ขบวนการเผา และอุณหภูมิที่ใช้เผา

2.5.4.3 ส่วนประกอบแร่ทางวิทยาของซีเมนต์ลอม ขณะที่มีการเผาถ่านหินและมีการเย็นตัวลงของซีเมนต์ลอมหลังจากการเผา ทำให้องค์ประกอบทางแร่วิทยาของซีเมนต์ลอมด้านการเกิดผลึก (Crystalline) แตกต่างกัน สำหรับซีเมนต์ลอมลิกไนต์จะมีความเป็น Noncrystalline (glass) มากกว่า 90% อันเป็นส่วนที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดี แต่ก็ยังคงมีองค์ประกอบของ Crystalline จำพวก Quartz Anhydrite Calcite Hematite Mullite ซึ่งเกี่ยวข้องการเกิดปฏิกิริยา

ซีเมนต์ลอมได้รับการกำหนดให้เป็นสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ภาคผนวกที่ 1 บัญชีลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว หมวด 1 ข้อ 5 ประเภทสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable substances) ซึ่งเมื่อนำมาสกัดด้วยวิธีสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในข้อ 3 ของภาคผนวกที่ 2 มีปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุพิษในน้ำสกัดเท่ากับหรือมากกว่าค่าใดค่าหนึ่งที่กำหนดไว้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Panday และคณะ (1987) ได้ศึกษาการใช้ซีเมนต์ลอมในการกำจัดแคดเมียมโดยวิธีดูดซับ (adsorption) โดยใช้ซีเมนต์ลอมปริมาณ 1 กรัม ต่อสารละลายแคดเมียมสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร แล้วหาปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่โดยวิธี Dithizone method ผลการศึกษาพบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ดีที่สุดเมื่อใช้พีเอชเท่ากับ 8.5 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาเข้าสู่สมดุลประมาณ 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ ยังพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมลดลงจาก 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นจาก 84.80 เปอร์เซ็นต์ เป็น 89.82 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชจาก 4 เป็น 8.5 ที่ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมเพิ่มขึ้นจาก 11.85 เปอร์เซ็นต์ เป็น 89.82 เปอร์เซ็นต์



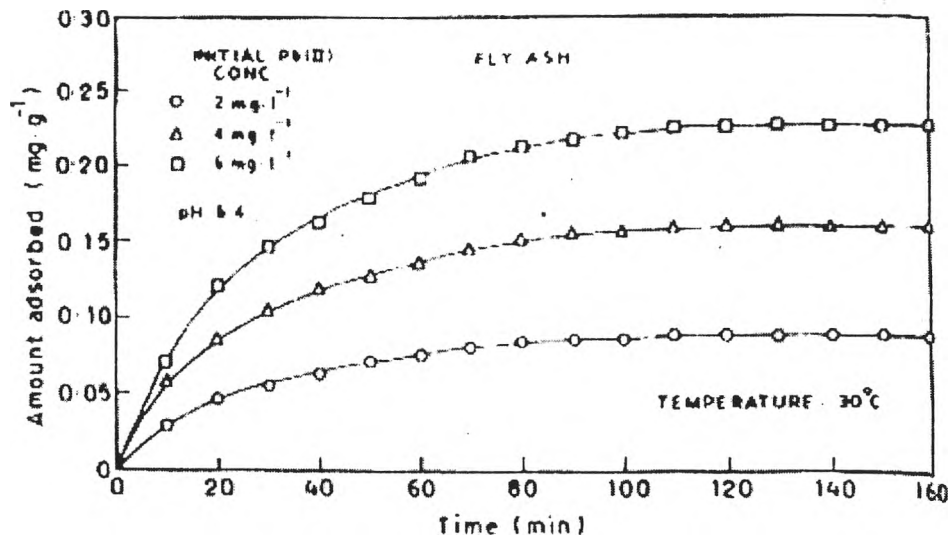
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับแคดเมียมด้วยซีดีแอลกับเวลาที่ค่าพีเอช 8.5, 6.5 และ 4 (Panday และคณะ, 1987)

Yavada และคณะ (1989) ได้ทำการศึกษาโดยการซีดีแอลของน้ำบาดตะกัวในน้ำ โดยใช้ซีดีแอลจากโรงงานไฟฟ้า Obera ในประเทศอินเดีย ซึ่งมีลักษณะและส่วนประกอบแสดงในตารางที่ 2.5 โดยการนำซีดีแอลปริมาณ 1 กรัมมาเขย่าในสารละลายตะกัวสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 2, 4 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และที่พีเอช เท่ากับ 6.4 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกัวจาก 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 6 มิลลิกรัมต่อลิตรจะกำจัดตะกัวได้ลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงจาก 88.10 เปอร์เซ็นต์ เป็น 75.0 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียส เป็น 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกัวเท่ากับ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ากำจัดตะกัวได้ลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงจาก 83.60 เปอร์เซ็นต์ เป็น 68.10 เปอร์เซ็นต์

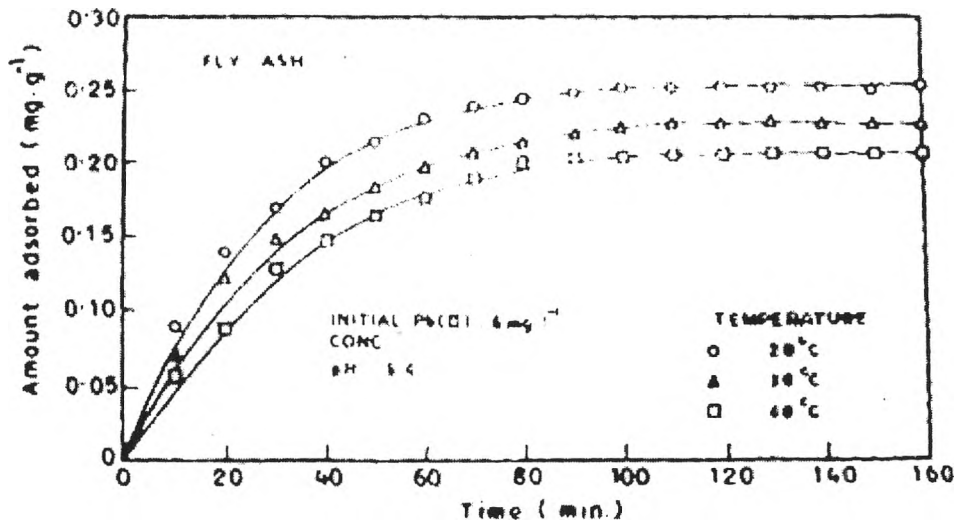
เมื่อทำการทดลองหาผลของค่าพีเอชต่อการดูดซับตะกัวด้วยซีดีแอล โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกัวเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มพีเอชจาก 3 เป็น 6 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกัวจะเพิ่มขึ้นจาก 13.85 เปอร์เซ็นต์ เป็น 88.10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะของขี้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า Obera ประเทศอินเดีย
(Yadava และคณะ 1989)

คุณลักษณะของขี้เถ้าลอย	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
<u>คุณลักษณะ</u>	
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคโดยเฉลี่ย	48×10^{-4} cm
พื้นที่ผิว (surface area)	$5.77 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$
พื้นที่ผิวเฉพาะ (specific surface area : Ss)	11.86 cm^{-1}
ความหนาแน่น (density)	3.42 g cm^{-3}
ความพรุน (porosity)	0.38
<u>ส่วนประกอบ</u>	
- Al ₂ O ₃	25.90
- SiO ₂	56.04
- Fe ₂ O ₃	1.26
- CaO	2.22
- MgO	0.94
- Loss on ignition	13.64



รูปที่ 2.3 แสดงผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วต่อการกำจัดตะกั่วด้วยซีเถ้าลอย (Yadava และคณะ, 1989)



รูปที่ 2.4 แสดงผลของอุณหภูมิต่อการกำจัดตะกั่วด้วยซีเถ้าลอย (Yadava และคณะ, 1989)

Mavros และคณะ (1993) ได้ทำการศึกษาโดยนำซีเถ้าลอยจากอุตสาหกรรมการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงมาใช้ในการกำจัดนิกเกิล โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดโดยใช้ซีเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าคาร์เคียร์และเมกาโลโปลิส ซึ่งอยู่ทางเหนือและภาคใต้ของประเทศไทยตามลำดับ โดยมีองค์ประกอบของซีเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าทั้งสองแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบของขี้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าการ์เดีย (Mavros และคณะ, 1993)

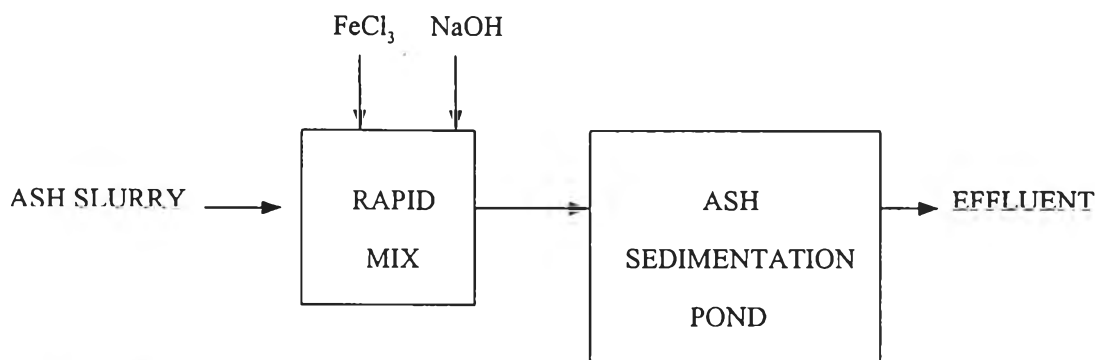
สารประกอบ (%)	แหล่งที่มาของขี้เถ้าลอย	
	โรงไฟฟ้าการ์เดีย	โรงไฟฟ้าเมกาโลโปลิส
SiO ₂	29%	39%
Al ₂ O ₃	12%	15%
Fe ₂ O ₃	5%	8%
CaO	44%	22%

โดยใช้ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้นในการทดลองเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะใช้เวลาประมาณ 10 นาที ที่ค่าพีเอช 8.5 - 9 จะสามารถกำจัดโลหะนิกเกิลได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ในช่วงค่าพีเอชกลางๆ พบว่า การกำจัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณขี้เถ้าลอยที่ถูกเติมลงในสารละลายเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของขี้เถ้าลอยอีกด้วย เช่น ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 พบว่าขี้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าการ์เดียสามารถกำจัดนิกเกิลได้ 60 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ขี้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเมกาโลโปลิส สามารถกำจัดนิกเกิลได้เพียง 10 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

การทดลองในขั้นต่อมา ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขี้เถ้าลอยกับการใช้ซีโอไลด์สังเคราะห์และคาร์บอน พบว่าซีโอไลด์สังเคราะห์จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะนิกเกิลได้ดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ค่าพีเอชต่ำๆ ส่วนการใช้คาร์บอนพบว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำกว่าการใช้ขี้เถ้าลอยที่ค่าพีเอชต่ำกว่าค่าพีเอชของการตกตะกอน

Lagnese และ Dzombak (1993) ศึกษาการใช้ Ash Sedimentation Pond ในโรงไฟฟ้าที่อาศัยพลังงานจากถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อเป็นขั้นตอนหนึ่งของการบำบัดน้ำภายในโรงไฟฟ้าที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยอาศัยปฏิกิริยาการดูดซับและการตกตะกอนร่วมของขี้เถ้าลอย และ/หรือ Iron Oxyhydroxide โดยในการทดลองนี้จะเน้นการกำจัดอลูมิเนียมแมงกานีส และอาร์เซนิก ในน้ำโดยใช้ขี้เถ้าลอยและเถ้าก้นเตาในการควบคุมค่าพีเอช ภายใต้สภาวะที่มีการรบกวนน้อยที่สุด (Weak Mixing Condition) รวมทั้งมีการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์เพื่อส่งเสริมการดูดซับบน Iron Oxyhydroxide ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าควรควบคุมค่าพีเอชของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดให้อยู่ในช่วง 8-8.5 จะทำให้ค่าแมงกานีสที่มีในน้ำลดลงจาก 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ค่าพีเอชเท่ากับ 8.5 จะทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่พีเอชนี้การเติมเฟอร์ริกคลอไรด์จะไม่มีผลต่อความเข้มข้นของแมงกานีสที่เหลือในน้ำ แต่กรณีที่ค่าพีเอชน้อยกว่า 7.5 จะพบว่ามีค่าความเข้มข้นของแมงกานีสที่เหลือ

ในน้ำสูงมากขึ้น ส่วนผลการทดลองของอลูมิเนียมจะให้ผลใกล้เคียงกับแมงกานีส แต่ต่างกันคือที่พีเอชใกล้เคียงกับ 7 จะทำให้มีความเข้มข้นของอลูมิเนียมที่เหลือในน้ำต่ำที่สุดคือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการบำบัดโลหะหนักของ Ash Sedimentation Pond (Lagnese และ Dzombak, 1993)

จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์ (2539) ได้ทำการศึกษาการนำซีเถ้าลอยมาใช้ในการกำจัดนิกเกิล แคลเซียม และตะกั่ว ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับพีเอช เวลา และความเข้มข้นเริ่มต้น ดังนี้ การกำจัดนิกเกิลพบว่าปริมาณซีเถ้าลอยที่เหมาะสมคือ 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มก./ล. สภาพที่เหมาะสมในการกำจัดนิกเกิลคือใช้เวลาในการกวน 10 นาที ที่พีเอชเท่ากับ 10 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 99.52 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 10 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาพที่เหมาะสมคือใช้เวลาในการกวน 10 นาที ที่พีเอชเท่ากับ 9 และ 8 ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล 98.68 และ 84.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การกำจัดแคลเซียม พบว่าปริมาณซีเถ้าลอยที่เหมาะสมคือ 2.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มก./ล. ใช้เวลาในการกวน 30 นาที ที่พีเอชเท่ากับ 10 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดคือเท่ากับ 99.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังไม่สามารถบำบัดแคลเซียมให้ได้ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 1 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาพที่เหมาะสมคือใช้เวลาในการกวน 10 นาที ที่พีเอชเท่ากับ 10 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียม 98.15 และ 81.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การกำจัดตะกั่ว พบว่าปริมาณซีเถ้าลอยที่เหมาะสมคือ 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มก./ล. ใช้เวลาในการกวน 5 นาที ที่พีเอชเท่ากับ 10 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดคือเท่ากับ 99.55 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 10 และ 1 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร สภาพที่เหมาะสมคือใช้เวลาในการกวน 5 และ 10 นาที ตามลำดับ ที่พีเอชเท่ากับ 10 และ 7 ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 98.23 และ 89.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อภิสิทธิ์ เนตรวงศ์ (2539) ศึกษาการใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ในการกำจัดสี โดยใช้สีย้อม 7 ประเภทดังนี้คือ สีเอติค สีเบติค สีรีแอคทีฟ สีซัลเฟอร์ สีไดเรกท์ สีดีสเพอร์ส และสีพิกเมนต์ พบว่าการแปรเปลี่ยนค่าพีเอชของสารละลายสีในช่วง 4 - 8 ไม่ค่อยมีผลต่อการดูดซับสีของขี้เถ้าลอยลิกไนต์มากนัก แต่ประเภทสีเอติคมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับได้ดีในช่วงที่เป็นกรด ทั้งนี้ เนื่องจากกลไกการแลกเปลี่ยนโมเลกุลของอออนประจุลบ ในส่วนประกอบของสีกับผิวภายนอกของขี้เถ้าลอย และได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับสีด้วยขี้เถ้าลอย พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในอุณหภูมิช่วง 25 ถึง 35 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของน้ำในสภาพธรรมชาติของประเทศไทย จะมีผลต่อการดูดซับสีเพียงเล็กน้อย สำหรับค่าสารอินทรีย์ในรูปซีโอตินั้น สีต่างชนิดกันจะมีค่าซีโอติแตกต่างกัน คือมีค่าซีโอติเริ่มต้นอยู่ในช่วง 42 - 146 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าขี้เถ้าลอยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติระหว่างร้อยละ 20.8 - 89.4 และเมื่อนำขี้เถ้าลอยไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมภายหลังการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยขี้เถ้าลอย (อภิสิทธิ์

เนตรวงศ์, 2539)

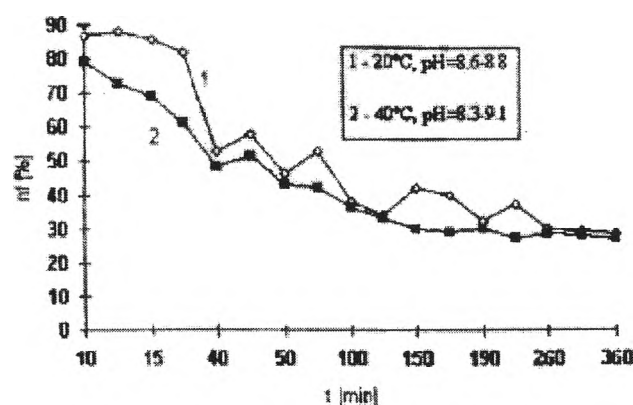
พารามิเตอร์	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	%removal
พีเอช	8.08	9.98	-
ซีโอติ (มก./ล.)	115	100	13.04
สี (Abs.)	0.548	0.459	16.24

Bulewicz และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง Niepolomice ในประเทศโปแลนด์ ซึ่งมีค่าบีโอดี 1,500 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าซีโอติ 4,500 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และโครเมียม 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร โดยใช้ขี้เถ้าลอยจากเตาเผาถ่านแบบฟลูอิดไคซ์เบด ซึ่งมีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 2.8 โดยใช้ขี้เถ้าลอย 1.25 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาในการกวนผสม 10 นาที และใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ขี้เถ้าลอย 2.0% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตะกอนจะตกได้เร็วในช่วงแรกแล้วเริ่มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และเมื่อใช้ขี้เถ้าลอย 1.25

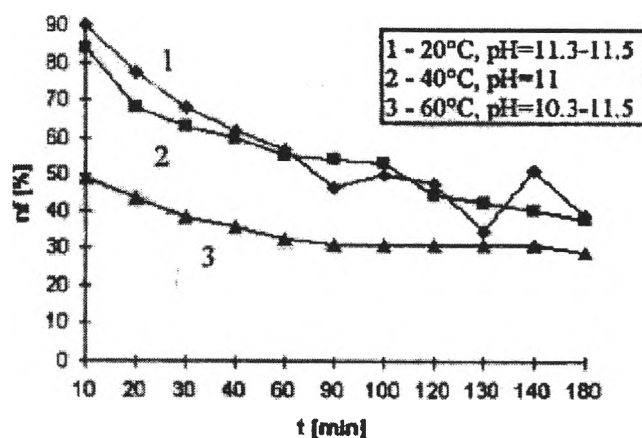
เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ตะกอนจะค่อย ๆ ตก และเมื่อเวลาผ่านไป 260 นาที ปริมาณตะกอนจะเท่ากับเมื่อใช้ซีเมนต์ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียมคือ 9 และ 11

ตารางที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์จากเตาเผาถ่านหินแบบฟลูอิด ไคซ์เบด (Bulewicz และคณะ, 1997)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
SiO ₂	13.0
Al ₂ O ₃	9.5
Fe ₂ O ₃	9.4
CaO	41.8
SO ₃	14.5
Ignition loss	14.2
MgO	0.89
Na ₂ O	0.21
K ₂ O	0.51
MnO	0.24
TiO ₂	0.25
P ₂ O ₅	0.05



รูปที่ 2.6 แสดงปริมาณตะกอนเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเทียบกับปริมาณตะกอนเริ่มต้น เมื่อใช้ซีเมนต์ 1.25 % ที่อุณหภูมิ 20 และ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.7 แสดงปริมาณตะกอนเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเทียบกับปริมาณตะกอนเริ่มต้น
เมื่อใช้ขี้เถ้าลอย 2.0 % ที่อุณหภูมิ 20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส

และเมื่อนำตะกอนไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractograms พบว่าตะกอนที่พีเอช
ระหว่าง 8.8 – 9.1 ประกอบด้วยยิปซัม (gypsum), ควอทซ์ (quartz) และ แคลไซต์ (calcite) ส่วน
ตะกอนที่พีเอช 11.0 – 11.5 ประกอบด้วยยิปซัม (gypsum), ควอทซ์ (quartz), แคลไซต์ (calcite),
ettringite และ CaSO_4 hemihydrate

ตะกอนที่ได้ประกอบด้วยโครเมียม 1 – 1.5% มีความชื้น 66 – 80% ซึ่งเมื่อนำไปกรองที่
อุณหภูมิ 50 – 60 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 0.03 – 0.04 Mpa ด้วยแผ่นกรอง BT-17 พบว่าน้ำ
เสียที่ผ่านการกรองมีค่าโครเมียมต่ำกว่า 0.01 ppm