

บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

3.1 ลักษณะทั่วไปของโครเมียม

โครเมียมจัดเป็นธาตุทรานซิชัน อยู่ในหมู่ VI B มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงมาก สมบัติทางเคมีของโครเมียมคล้ายของวานาเดียม เพียงแต่โครเมียมเป็นธาตุที่มีคุณสมบัติน้อยกว่าเท่านั้น โครเมียมมีปริมาณในโลกมากกว่าวานาเดียม แต่ทำให้บริสุทธิ์ยากถ้าไม่บริสุทธิ์ก็จะเปราะ ประกอบด้วยโครเมียม โมลิบดีนัม และทังสเตน (หรือวุลแฟรม (Wolfram) ในธรรมชาติแร่สำคัญของโครเมียมคือ โครไมต์ (Cr_2O_3) หรือ โครม - ไอรอน ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) ซึ่งเป็นออกไซด์ผสม ถ้ารีดิวซ์แร่นี้ด้วยคาร์บอน จะได้โลหะเจือเหล็ก - โครเมียม ซึ่งใช้เติมลงในเหล็กกล้าโดยตรงเพื่อทำเหล็กกล้าเจือโลหะ

โครเมียมเป็นโลหะสีขาวยเงิน เป็นมันวาวและแข็งมากสามารถต้านทานการผุกร่อน คงความเป็นมันเงาได้นานในอากาศจึงใช้ทำโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม นอกจากนี้ โครเมียมยังรวมกับออกซิเจนได้ที่อุณหภูมิสูงและสามารถทำปฏิกิริยากับกำมะถันและเฮไลเจนได้อีกด้วย

โครเมียมสามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟูริก สำหรับคุณสมบัติของโครเมียม แสดงในตารางที่ 3-1

3.2 สถานะของโครเมียมในน้ำเสีย

โครเมียมสามารถเกิดไอออน (ion) Cr^{2+} , Cr^{3+} และ CrO_4^{2-} ได้ในสารละลาย ออกซิเดชัน - สเตท (oxidation state) ของโครเมียมที่เสถียรที่สุด คือ สารประกอบของโครเมียม (ประจุ +2) เป็นตัวรีดิวซ์ (reduce) และสารประกอบของโครเมียม (ประจุ +6) เป็นตัวออกซิไดส์ (oxidize) อย่างแรง สมบัติความเป็นกรดและเบสนั้นสังเกตได้จากออกซิเดชันสเตท คือ ความเป็นกรดจะเพิ่มเมื่อออกซิเดชันสเตทของโครเมียมสูงขึ้น เช่น ในออกไซด์ (oxide) CrO และไฮดรอกไซด์ (hydroxide) $\text{Cr}(\text{OH})_2$ โครเมียมมีออกซิเดชันสเตท +2 เป็นเบส ใน Cr_2O_3 โครเมียมมีออกซิเดชันสเตท +3 เป็นแอมโฟเทอริกออกไซด์ และใน CrO_3 โครเมียมมีออกซิเดชันสเตท +6 เป็นแอซิดิกออกไซด์ (acidic oxide) แสดงในตารางที่ 3-2 (ภาควิชาเคมี, 2542)

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของโครเมียม

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| เลขอะตอม | 24 |
| น้ำหนักอะตอม | 51.996 |
| การจัดระดับอิเล็กตรอนระดับนอก | $3d^5 4s^1$ |
| จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$) | 1,890 |
| จุดเดือด ($^{\circ}C$) | 2,480 |
| ความหนาแน่น ($g \cdot cm^{-3}$) | 7.2 |
| อิเล็กโตรเนกาติวิตี | 1.56 |
| ออกซิเดชันสเตท (ค่า+) | 2, 3, 6 |
| ค่าความต่างศักย์, E (V) | -0.91 |
| $Cr^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cr$ | |

เนื่องจากเกลือโครเมตมีสีต่าง ๆ จึงมักใช้เป็นผงสีในการทำสีทา เช่น $PbCrO_4$ เรียกว่าสี chrome yellow $PbO \cdot PbOCrO_4$ เรียกว่าสี chrome red นอกจากนี้ยังได้มีการนำเอาโครเมียมมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ทำพรมน้ำมันยาง อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมฟอกหนัง การย้อมสีขนสัตว์ไหม และหนังสัตว์ และอุตสาหกรรมชุบโลหะ เป็นต้น

ตารางที่ 3-2 ลักษณะออกซิเดชันสเตทของโครเมียม (ภาควิชาเคมี 2542)

| Oxidation State | Oxide | Cation | Anion | Characteristics |
|-----------------|-----------|-------------------------|--|--|
| 6 | CrO_3 | - | CrO_4^{2-} (chromate) $Cr_2O_7^{2-}$ (dichromate) | Oxide acidic Anions stable |
| 3 | Cr_2O_3 | Cr^{3+} (hydrated) | $[Cr(OH)]^{3-}$ chromite | Oxide amphoteric Cation stable |
| 2 | (CrO) | Cr^{2+} (hydrated) | - | Oxide basic, cation Easily oxidized |

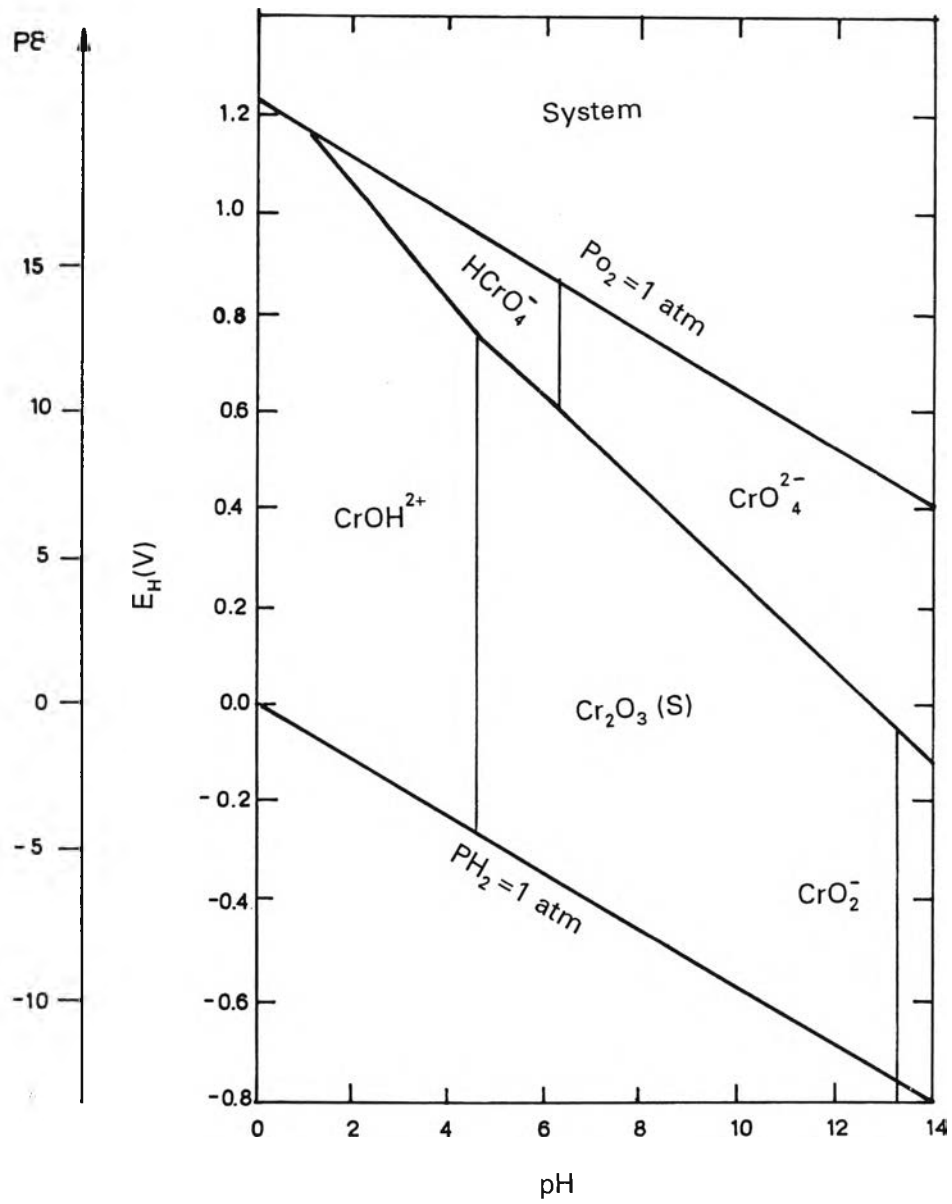
Patterson (1971) กล่าวว่า โครเมียมในน้ำเสียโดยมากแล้วจะพบอยู่ในรูปของโครเมียม (ประจุ +3) และโครเมียม (ประจุ +6) ซึ่งทำให้มีผลต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยโครเมียม (ประจุ +6) จะเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง แต่โครเมียม (ประจุ +3) จะเป็นตัวที่มีออกซิเดชันสเตทที่มีความเสถียรมากที่สุด โครเมียม (ประจุ +6) ในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของ โครเมท (CrO_4^{2-}) และไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) จากภาพที่ 3-1 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการละลายของโครเมียม (ประจุ +3) มีค่าต่ำมาก โดยครอบคลุมพีเอชเป็นช่วงกว้างตั้งแต่พีเอช 5 ขึ้นไป ที่พีเอชประมาณ 8.5 โครเมียม (ประจุ +3) จะมีความคงตัวมากที่สุด ที่พีเอช 2-3 โครเมียม (ประจุ +6) จะเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมาก และจากไดอะแกรมแสดงให้เห็นว่าถ้าเพิ่มพีเอชและลดค่า E_h ลง โครเมียม (ประจุ +6) สามารถที่จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปโครเมียม (ประจุ +3) ที่สามารถตกตะกอนได้

3.3 อันตรายของพิษโครเมียมในน้ำ

เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการใช้โครเมียมอยู่มากในหลายขั้นตอนของกระบวนการการผลิต โอกาสที่โครเมียมจะปนเปื้อนไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงมีโอกาสเป็นไปได้สูง เพราะฉะนั้นโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโครเมียมปนมากับน้ำเสียที่จะปล่อยทิ้ง จึงควรที่จะมีการกำจัดและควบคุมระดับความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยทิ้ง เพื่อความปลอดภัยของประชาชนส่วนใหญ่ซึ่งเป็นผู้ใช้น้ำ และต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการกำหนดระดับโครเมียมในน้ำทิ้งจากโรงงาน โดยโครเมียม (ประจุ +6) ต้องมีปริมาณไม่เกิน 0.25 mg/l และโครเมียม (ประจุ +3) ต้องมีปริมาณไม่เกิน 0.75 mg/l ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

โครเมียมที่สะสมอยู่ในร่างกายเป็นประจำและเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดอันตรายต่อระบบผิวหนังและระบบทางเดินหายใจ และหากมีการสะสมโครเมียมในปริมาณที่สูงมากอาจจะทำให้เป็นมะเร็งที่ปอดได้ นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบความเป็นพิษของโครเมียมเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่น ๆ เช่น สังกะสี ตะกั่ว นิเกิล แคดเมียม และปรอท พบว่าโครเมียมมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต่ำกว่าโลหะหนักชนิดอื่น เนื่องจากโครเมียมในรูปปริวิตร์ โครเมียม (ประจุ +3) สามารถละลายน้ำได้น้อย เคลื่อนที่ได้น้อยในดิน ต่างกับโครเมียมที่อยู่ในรูปประจุ +6 มีความเป็นพิษสูง เคลื่อนที่ได้ดีและละลายน้ำได้ดีอีกด้วย (Macchi, 1991)

สารประกอบโครเมต (chromate) ถูกใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สารพวกไดโครเมต (dicromate) เป็นส่วนประกอบของสีย้อมวัสดุต่าง ๆ และผสมในน้ำกรดแบตเตอรี่ สังกะสีโครเมตใช้เป็นสีรองพื้นก่อนเคลือบด้วยสีอย่างอื่น สารโครเมตเป็นทั้งสารก่อการกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง



ภาพที่ 3-1 ความสามารถในการละลายของโครเมียม ที่ 10^{-6} M , 25°C
(Patterson, 1971)

เพราะว่าจะไปรบกวนการสังเคราะห์ DNA ในเซลล์ มีรายงานว่าชาวอเมริกันและชาวเยอรมันที่ทำงานอยู่ในโรงงานผลิตเกลือโครเมทมานาน และตายไปเนื่องจากสาเหตุอะไรก็ตามประมาณ 20 % ของคนงานที่ตายทั้งหมดจะเป็นมะเร็งที่ปอด และประมาณ 30 % ตายเนื่องจากมะเร็งที่อวัยวะส่วนอื่น เมื่อเทียบกับการเกิดมะเร็งของคนทั่วไปที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับสารประกอบโครเมียมแล้ว พบว่าอุบัติการณ์ของการเกิดมะเร็งในคนงานกลุ่มดังกล่าว สูงมากกว่าคนทั่วไป 16 ถึง 25 เท่า ตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำดื่มไม่ควรเกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และในอากาศบริเวณที่มีชุมชนอาศัยไม่ควรเกิน 0.028 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2531.)

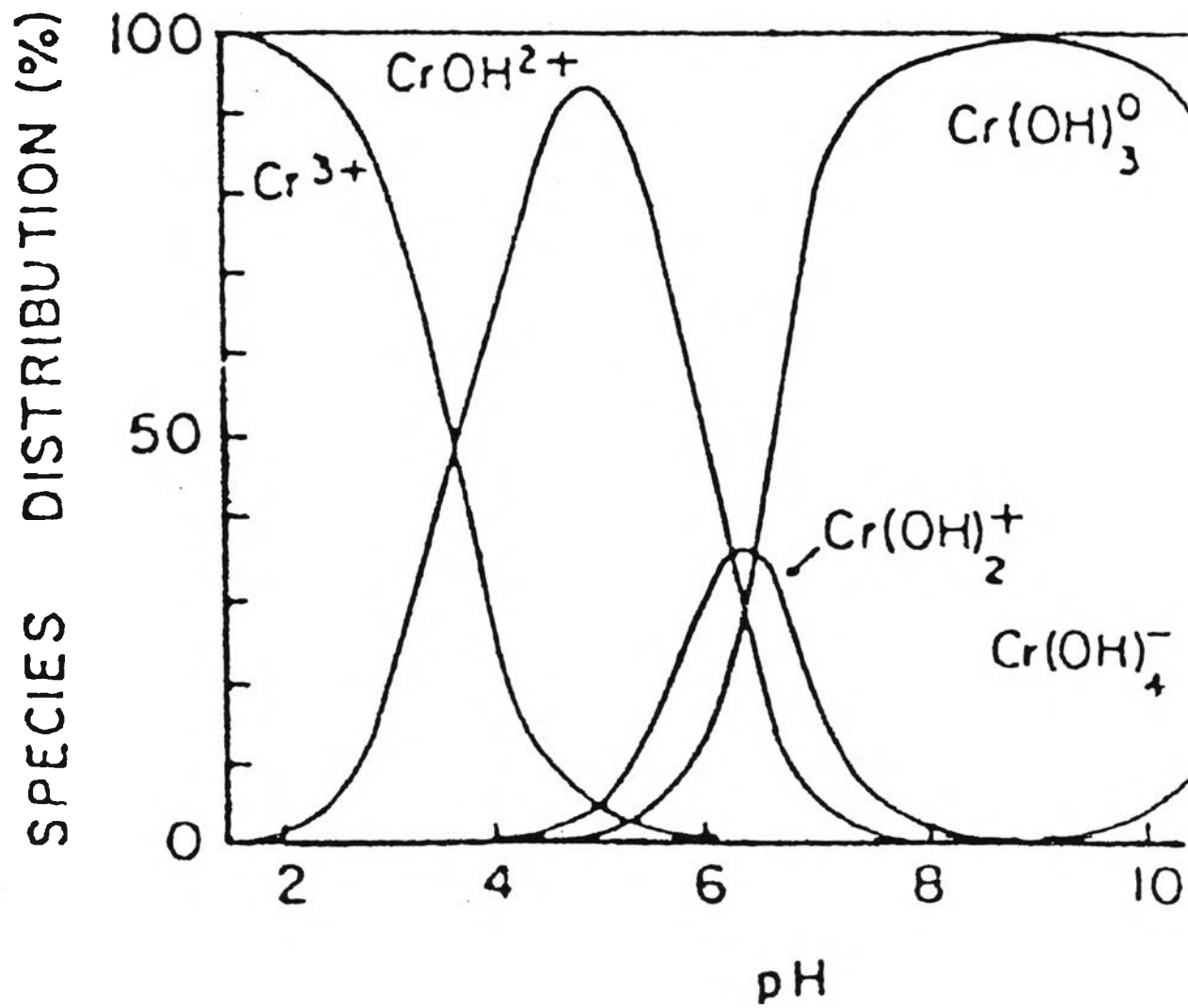
ทั้งนี้อันตรายของพิษโครเมียมในน้ำมีผลมาจากค่าการละลายของสารประกอบในน้ำ ดังนั้นน้ำเสียจากกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมที่มีโครเมียมปนอยู่ จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

3.4 เคมีของโครเมียม

โครเมียมที่ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งนั้นโดยมากแล้วจะอยู่ในรูปโครเมียม (ประจุ +6) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำจัดโครเมียม (ประจุ +6) เสียก่อนที่จะมีการปล่อยทิ้งสู่แหล่งต่าง ๆ ตามธรรมชาติ เพื่อลดความเป็นพิษและอันตรายที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม

ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติโดยทั่วไปนั้น โครเมียมส่วนใหญ่คงตัวอยู่ในรูปของโครเมียม (ประจุ +3) และโครเมียม (ประจุ +6) ในส่วนของสารประกอบของโครเมียม (ประจุ +3) จะไม่ปรากฏความเป็นพิษและอันตรายต่อร่างกายแต่อย่างใด แต่สารประกอบของโครเมียม (ประจุ +6) จะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก เช่น ทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนังเป็นพิษต่อร่างกายเมื่อมีการสะสมมากขึ้น นอกจากนั้นโครเมียม (ประจุ +6) ยังเป็นพิษต่อแบคทีเรีย พืช และสัตว์อีกด้วย (Benoit, 1976)

ในส่วนของโครเมียม (ประจุ +3) ที่พบในน้ำจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนต่าง ๆ เช่น Cr^{3+} , $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Cr}(\text{OH})_3^0$ และ $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ โดย Cr^{3+} จะพบที่พีเอชต่ำกว่า 3.6 เท่านั้น ตามภาพที่ 3-2 (Rai et al., 1987)



ภาพที่ 3-2 ความสามารถในการละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์ (Cr(OH)_3) (Rai et al, 1987)

การตกตะกอนโครเมียม (ประจุ +3) นิยมใช้สารเคมีในการปรับพีเอช สารเคมีที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ ปูนขาว (Ca (OH)₂) และโซดาไฟ (NaOH) เนื่องจากความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์จะมีผลต่อความเข้มข้นของโครเมียม(ประจุ +3) โดยตรง โดยพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ (เพิ่มพีเอช) จะทำให้โครเมียม (ประจุ +3) ละลายน้ำได้น้อยลงเพื่อรักษาสมดุล สำหรับพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม (ประจุ +3) คือที่พีเอชประมาณ 8.5 ซึ่งจะอยู่ในรูปของตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ (Cr(OH)₃) ดังภาพที่ 3-3 แสดงถึงความเข้มข้นของโครเมียม (ประจุ +3) เทียบกับพีเอช (Benfield, 1982) ตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ สามารถละลายน้ำได้น้อยมาก โดยค่าความสามารถในการละลายของสารประกอบโครเมียมไฮดรอกไซด์ แสดงได้ตามสมการ



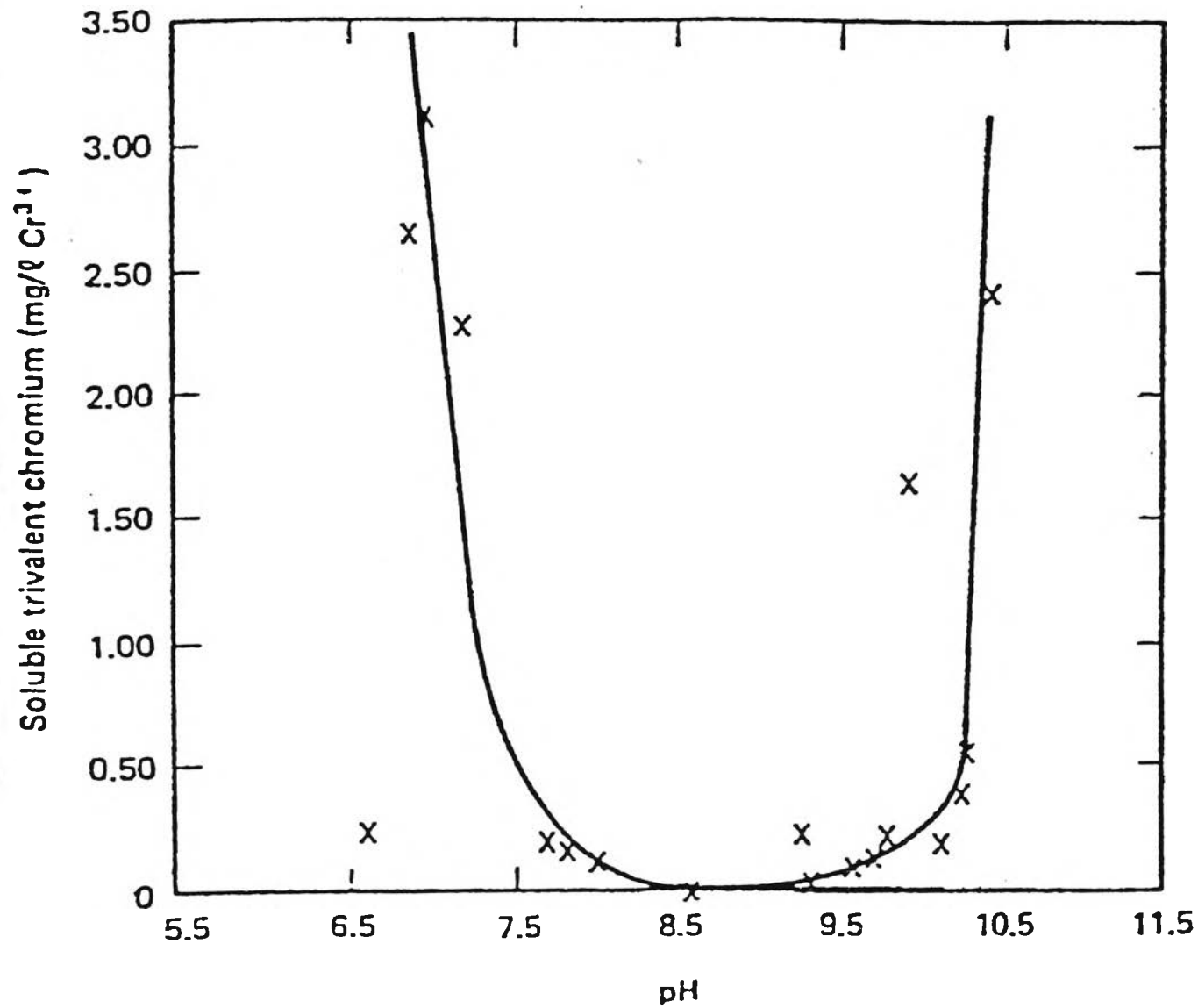
SHINSKEY (1973) กล่าวว่าความสามารถในการออกซิเดชันของโครเมียม (ประจุ +3) ให้กลายเป็นโครเมียม (ประจุ +6) นั้นขึ้นอยู่กับพีเอช โดยโครเมียม (ประจุ +3) จะมีเสถียรภาพดีกว่าโครเมียม (ประจุ +6) ที่ค่าความเป็นกลางและกรด คือจะไม่เปลี่ยนไปอยู่ในรูปโครเมียม (ประจุ +6) จนกระทั่งพีเอชเป็นด่างโดยเมื่อพีเอชมากกว่า 12 โครเมียม (ประจุ +6) จะมีเสถียรภาพมากขึ้น โครเมียม (ประจุ +3) โดยทั่วไปจะตกตะกอนที่สภาพเป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย ด้วยความสามารถในการละลายประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรที่พีเอชประมาณ 8.5

KIM (1976) ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถในการละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์ (Cr (OH)₃) พบว่าความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นโดยการลดหรือเพิ่มพีเอช โดยความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มพีเอช และยังขึ้นอยู่กับรูปของ Cr(OH)₄⁻ และโพลีนิวเคลียร์ไฮโดรไลซิสอื่น ๆ ไดอะแกรมของความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับไฮโดรไลซิสของโครเมียม (ประจุ +3) ดังแสดงในภาพที่ 3-4

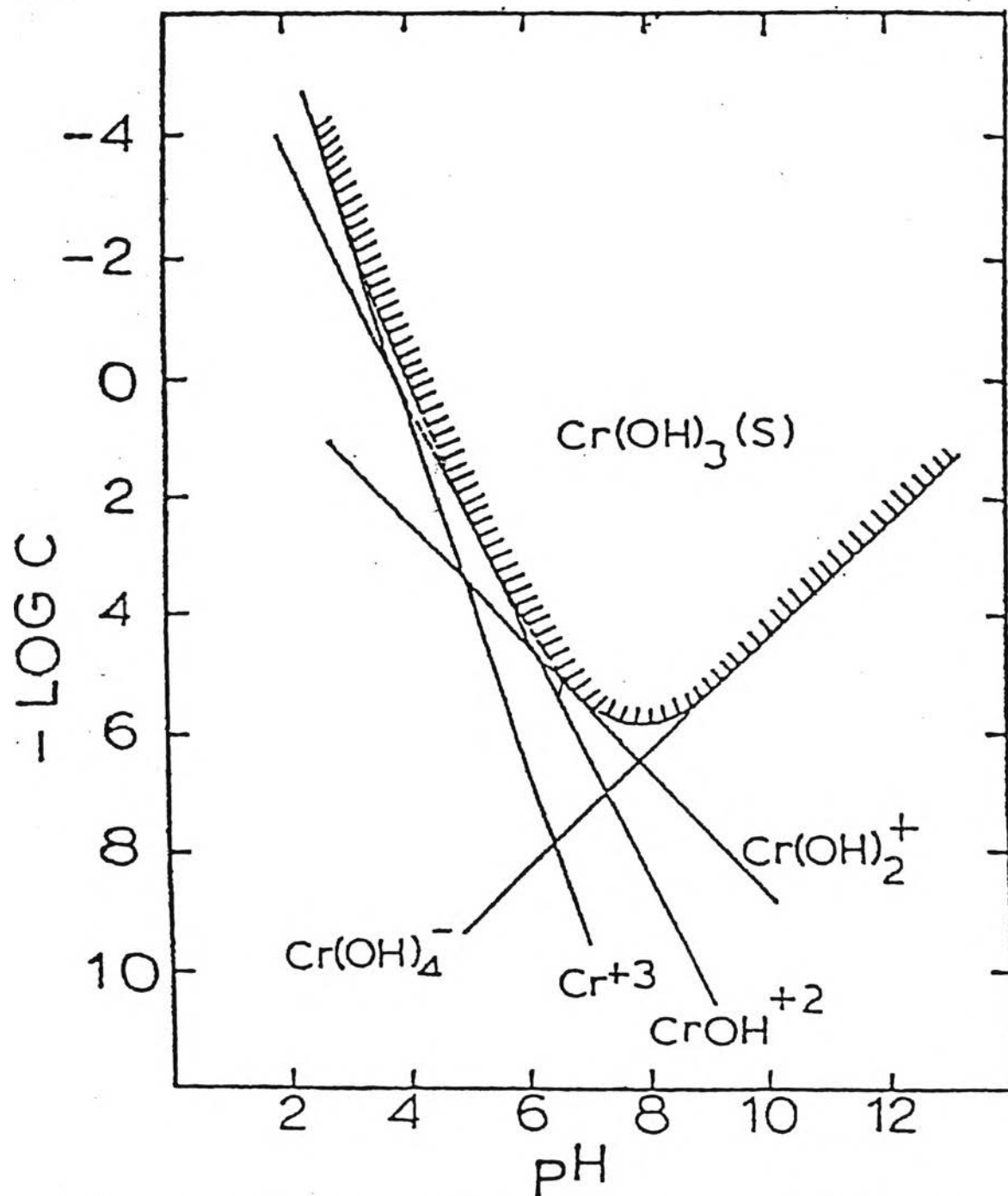
ความสามารถในการละลายทางทฤษฎีของโครเมียมสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$(\text{Cr}^{+3}) (\text{OH}^{-1})^3 = K_{sp} = 6 \times 10^{-31} \quad \dots\dots(3.2)$$

$$\text{หรือ } \log (\text{Cr}^{+3}) = \log K_{sp} - 3 \log (\text{OH}^{-1}) \quad \dots\dots(3.3)$$



ภาพที่ 3-3 โครเมียม (ประจุ +3) ที่พีเอชต่าง ๆ (Benfield, 1982)



ภาพที่ 3-4 การกำจัดโครเมียม(ประจุ+3) ด้วยไฮดรอกไซด์เทียบกับพีเอช
(KIM, 1976)

การตกตะกอนโครเมียม (ประจุ +3) นิยมใช้สารเคมีในการปรับพีเอช สารเคมีที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ ปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และโซดาไฟ (NaOH) เนื่องจากความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์จะมีผลต่อความเข้มข้นของโครเมียม(ประจุ +3) โดยตรง โดยพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ (เพิ่มพีเอช) จะทำให้โครเมียม (ประจุ +3) ละลายน้ำได้น้อยลงเพื่อรักษาสมดุล สำหรับพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม (ประจุ +3) คือที่พีเอชประมาณ 8.5 ซึ่งจะอยู่ในรูปของตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) ดังภาพที่ 3-3 แสดงถึงความเข้มข้นของโครเมียม (ประจุ +3) เทียบกับพีเอช (Benfield, 1982) ตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ สามารถละลายน้ำได้น้อยมาก โดยค่าความสามารถในการละลายของสารประกอบโครเมียมไฮดรอกไซด์ แสดงได้ตามสมการ



SHINSKEY (1973) กล่าวว่าความสามารถในการออกซิเดชันของโครเมียม (ประจุ +3) ให้กลายเป็นโครเมียม (ประจุ +6) นั้นขึ้นอยู่กับพีเอช โดยโครเมียม (ประจุ +3) จะมีเสถียรภาพดีกว่าโครเมียม (ประจุ +6) ที่ค่าความเป็นกลางและกรด คือจะไม่เปลี่ยนไปอยู่ในรูปโครเมียม (ประจุ +6) จนกระทั่งพีเอชเป็นด่างโดยเมื่อพีเอชมากกว่า 12 โครเมียม (ประจุ +6) จะมีเสถียรภาพมากขึ้น โครเมียม (ประจุ +3) โดยทั่วไปจะตกตะกอนที่สภาพเป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย ด้วยความสามารถในการละลายประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรที่พีเอชประมาณ 8.5

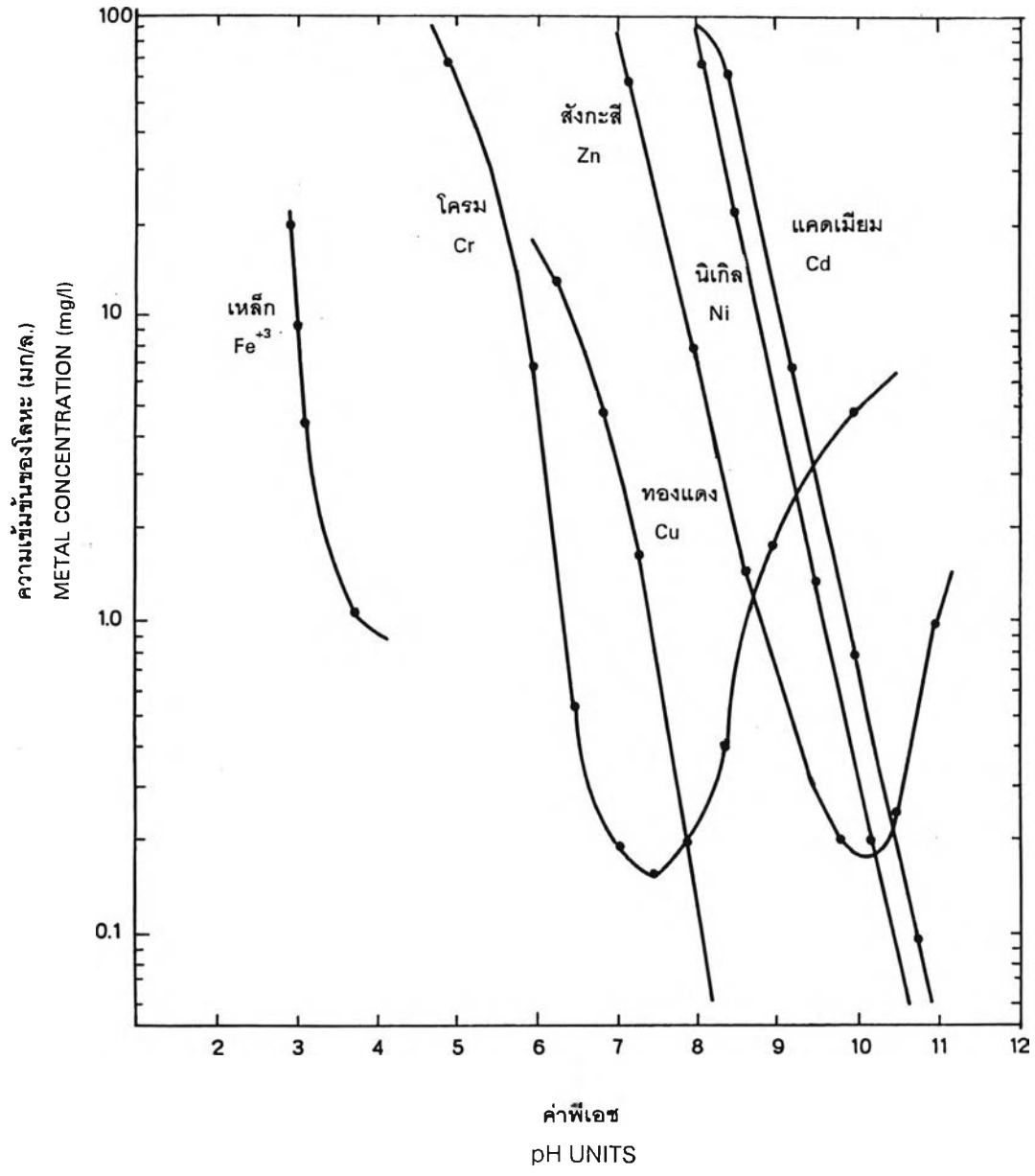
KIM (1976) ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถในการละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) พบว่าความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นโดยการลดหรือเพิ่มพีเอช โดยความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มพีเอช และยังขึ้นอยู่กับรูปของ $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ และโพลินิวเคลียร์ไฮโดรไลซิสอื่น ๆ ไดอะแกรมของความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับไฮโดรไลซิสของโครเมียม (ประจุ +3) ดังแสดงในภาพที่ 3-4

ความสามารถในการละลายทางทฤษฎีของโครเมียมสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$(\text{Cr}^{+3})(\text{OH}^{-1})^3 = K_{sp} = 6 \times 10^{-31} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{หรือ } \log(\text{Cr}^{+3}) = \log K_{sp} - 3 \log(\text{OH}^{-1}) \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

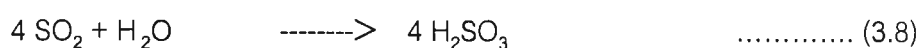


ภาพที่ 3-5 การตกตะกอนเกลือโลหะต่างๆ ที่ค่าพีเอชต่างๆ กัน
 (ศักดิ์ชัย สุริยจันทร์พราทอง, 2538)

สารเคมีที่ใช้ในการรีดิวส์โครเมียม (ประจุ +6) มีดังนี้ (Eckenfelder, 1985)

- 1) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂)
- 2) สารประกอบซัลไฟท์
- 3) เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO₄)

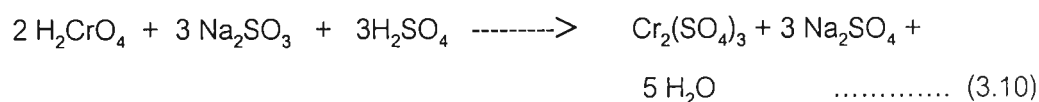
1) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) นิยมใช้เพราะราคาถูก เหมาะสำหรับระบบกำจัดขนาดใหญ่แต่มีข้อควรระวังเนื่องจากว่า ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ เพราะเป็นแก๊สพิษ สามารถรั่วซึมออกมาสู่ภายนอกได้ การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารรีดิวส์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดซัลฟูรัส (H₂SO₃) จึงไม่จำเป็นต้องเติมกรดอีก

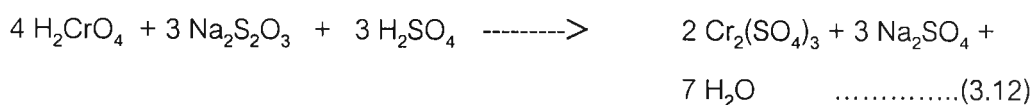
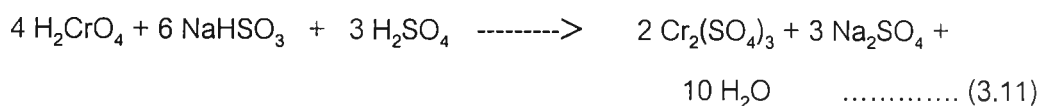


2) สารประกอบซัลไฟท์ นอกจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้ว เกลือซัลไฟท์ก็สามารถใช้ในการกำจัดโครเมียมได้เช่นกัน โดยเกลือซัลไฟท์ในรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้กันมีดังนี้

- 2.1) โซเดียมซัลไฟท์ (Na₂SO₃)
- 2.2) โซเดียมไบซัลไฟท์ (NaHSO₃)
- 2.3) โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (Na₂S₂O₅)

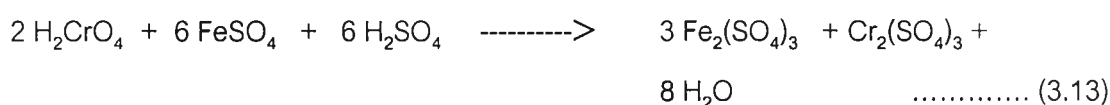
การใช้เกลือซัลไฟท์เป็นสารรีดิวส์ จะทำให้เกิดด่างขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการเติมกรดเพื่อปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 2-3 ซึ่งปฏิกิริยารีดักชันระหว่างโครเมียมกับเกลือซัลไฟท์ และกรดซัลฟูริก แสดงได้ดังสมการ





3) เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) อยู่ในรูปของแข็ง หรืออาจเตรียมเป็นสารละลายก่อนใช้ รีดิวิงโครเมียม (ประจุ +6) โดยใช้ร่วมกับกรดซัลฟูริกที่พีเอช 2-3 แต่การใช้ เฟอร์รัสซัลเฟต จะทำให้เกิดตะกอนมากกว่าการใช้ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือสารประกอบซัลไฟท์ เนื่องจากเหล็กเฟอร์รัส (ประจุ +2) จะออกซิไดส์เป็นเหล็กเฟอร์ริก (ประจุ +3) เมื่อทำปฏิกิริยากับโครเมียม (ประจุ +6) และเกิดได้เร็วกว่าที่พีเอชต่ำกว่า 3

ดังนั้นเมื่อกำจัดโครเมียม ที่ผ่านการรีดิวิงด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี ด้วย สารประกอบไฮดรอกไซด์จะเกิดเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์มาก ปฏิกิริยารีดักชันระหว่างเฟอร์รัสซัลเฟตกับโครเมียม (ประจุ +6) และกรดซัลฟูริก แสดงดังสมการ



3.4.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้รีดิวิงโครเมียม (ประจุ +6)

ปริมาณสารเคมีทางทฤษฎีในการกำจัดโครเมียม 1 mg/l แสดงดังตารางที่ 3-3 แต่ในทางปฏิบัติ ควรใส่มากกว่าค่าทางทฤษฎีประมาณ 2 เท่า เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (Eckenfelder, 1985)

3.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยารีดักชัน

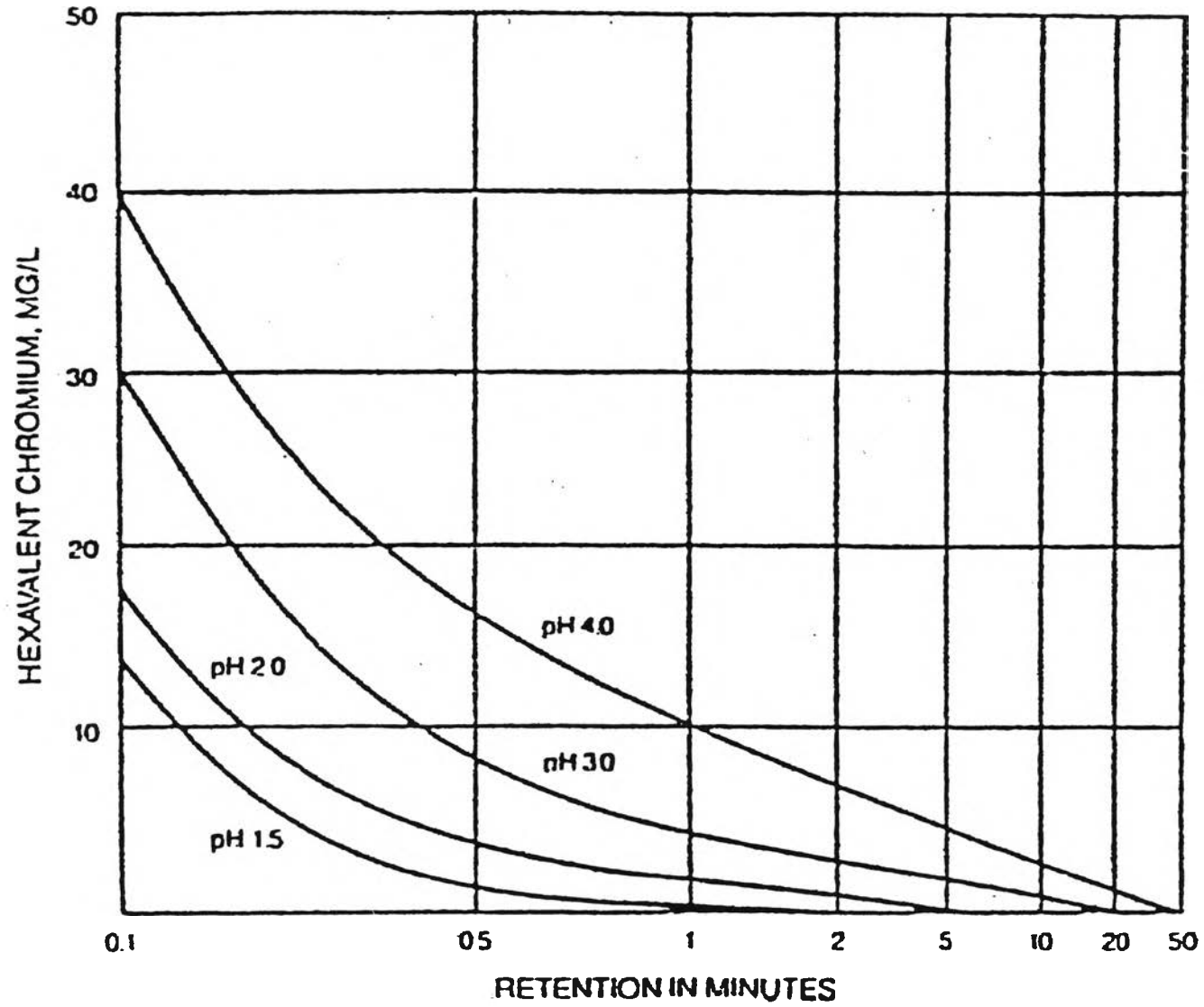
3.4.3.1 เวลาและพีเอชในการทำปฏิกิริยา

Patterson (1985) กล่าวว่าปฏิกิริยารีดักชันโครเมียมเกิดได้ดีที่พีเอชต่ำ ๆ เวลาในการทำปฏิกิริยาก็น้อยเมื่อเทียบกับการรีดิวส์โครเมียมที่พีเอชสูง ดังแสดงในภาพที่ 3-6 ในส่วนของการรีดิวส์โครเมียมโดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่พีเอชต่ำทำให้ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาล้นลง ดังนั้นปฏิกิริยารีดักชันโครเมียม จำเป็นต้องเติมกรด เพื่อให้พีเอชของปฏิกิริยาคงที่ตามพีเอชที่ต้องการตลอดปฏิกิริยา

ตารางที่ 3-3 ปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ในการกำจัดโครเมียม 1 mg/l (ตามทฤษฎี)

| สารเคมี | ปริมาณที่ต้องใช้ตามทฤษฎี (มก./ล.) |
|---|-----------------------------------|
| FeSO ₄ ·7H ₂ O | 16.03 |
| H ₂ SO ₄ | 6.01 |
| Lime (90%) | 9.48 |
| Na ₂ S ₂ O ₅ (97.5%) | 2.81 |
| H ₂ SO ₄ | 1.52 |
| Lime (90%) | 2.38 |
| SO ₂ | 1.90 |
| Lime (90%) | 2.38 |
| NaHSO ₃ | 3.00 |
| H ₂ SO ₄ | 1.41 |
| Lime (90%) | 2.38 |

อัญชลี (2535 อ้างถึง Patterson, 1985) กล่าวถึงการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวรีดิวส์ ที่พีเอช 2-3 ให้เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที มีโครเมียม (ประจุ +6) เหลืออยู่ 1 mg/l แต่ถ้าพีเอชมากกว่า 4 เวลาในการทำปฏิกิริยาใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง สำหรับประสิทธิภาพในการรีดิวส์โครเมียม (ประจุ +6) ของสารรีดิวส์แต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 3-4



ภาพที่ 3-6 ผลของพีเอชและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนรูปโครเมียม (ประจุ +6) เป็นโครเมียม (ประจุ +3) (Patterson,1985)

ตารางที่ 3-4 ประสิทธิภาพการรีดิวส์โครเมียม (ประจุ +6) ของสารรีดิวส์แต่ละชนิด

| สารรีดิวส์ | ความเข้มข้นของโครเมียม (ประจุ +6) (mg/l) | |
|----------------------|--|--------------|
| | ก่อนการกำจัด | หลังการกำจัด |
| 1. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ | 100 | < 0.05 |
| | 1,300 | 0 |
| | 0.23 – 1.5 | 0.1 |
| 2. ไบซัลไฟท์ | 140 | 0.7 – 1.0 |
| | 450 – 688 | < 0.10 |
| 3. เมตาไบซัลไฟท์ | 70 | 0.5 |
| 4. เพอร์รัสซัลเฟต | 1,300 | 0.01 |

J.P. Gould (1982 อ้างถึง Patterson, 1975 ; Smithson, 1971 ; Kunz et al., 1980) โดยกล่าวว่าสารที่เป็นตัวรีดิวส์โครเมียม (ประจุ +6) ให้เป็นโครเมียม (ประจุ +3) เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมซัลไฟด์ หรือเพอร์รัสไฮออน จะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงพีเอช 2-3

3.4.3.2 ชนิดของสารรีดิวส์

การรีดิวส์ของสารรีดิวส์แต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับศักย์ออกซิเดชันรีดักชัน (oxidation reduction potential ; ORP) ของชนิดสารนั้น ๆ ซึ่งวัดในหน่วยมิลลิโวลท์ สารที่มีศักย์ออกซิเดชันรีดักชันต่ำ ๆ จะรีดิวส์สารอื่นได้ดีกว่าสารที่มีศักย์ออกซิเดชันรีดักชันสูงดังตารางที่ 3-5 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเป็นสารรีดิวส์ที่ดีที่สุด รองลงมาคือ โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์และเพอร์รัสซัลเฟตตามลำดับ

ตารางที่ 3-5 ระดับพีเอชและ ORP ที่เหมาะสมในการรีดิวส์โครเมียม

| สารเคมี | ระดับพีเอช | ORP (millivolt) | |
|----------------------|------------|-----------------|-------------------|
| | | H electrode | calomel electrode |
| ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ | 2.9 | -35 | -85 |
| โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ | 2.5 | +180 | +130 |
| เฟอร์รัสซัลเฟต | 2.0 | +300 | +250 |
| โซเดียมไบซัลไฟท์ | 2.3 | +300 | +250 |

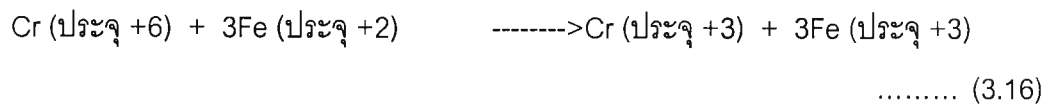
3.4.3.3 ปริมาณสารรีดิวส์

ปริมาณสารเคมีที่ใช้จะต้องมากกว่าค่าทฤษฎีถึง 2 เท่า เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสารรีดิวส์มิใช่เพียงแต่รีดิวส์โครเมียมเท่านั้น ยังต้องทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ที่ปะปนในน้ำเสียด้วย เช่น ออกซิเจนละลายน้ำ จึงทำให้ต้องเติมสารรีดิวส์ที่มากเกินไป เพื่อแน่ใจว่ารีดิวส์โครเมียม (ประจุ +6) ไปเป็นโครเมียม (ประจุ +3) อยู่ในระดับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

โครเมียมมีออกซิเดชันสเตตตั้งแต่ 0 ถึง +6 แต่ที่สำคัญมี +3 และ +6 ที่ถือว่ามีความเสถียรมากที่สุดภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน โครเมียม (ประจุ +6) จะเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมากในสารละลายกรด (ในรูปของไดโครเมทไอออน, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) โดยโครเมียม (ประจุ +6) จะอยู่ในรูปของ HCrO_4^- ที่พีเอชต่ำกว่า 6 และอยู่ในรูปของโครเมท (CrO_4^{2-}) ที่พีเอชสูงกว่าหรือเท่ากับ 6 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและความเข้มข้นของโครเมียม (ประจุ +6) มากกว่า 10 mM HCrO_4^- สามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (Palmer and Wittbrodt, 1991 อ้างถึงใน Khaodhian, 1997) โครเมียม (ประจุ +6) มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และยังสามารถเคลื่อนที่ได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้ยังเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง โดยในปัจจุบันการกำจัดโครเมียม (ประจุ +6) ไม่ว่าจะเป็นวิธีใดก็ตามอาศัยปฏิกิริยารีดักชัน โดยใช้ตัวรีดิวซ์ เช่น Fe^{2+} , Fe^0 จาก Cr (ประจุ +6) \rightarrow Cr (ประจุ +3) โดยเมื่อใช้เหล็กเฟอร์รัสเป็นตัวรีดิวซ์จะได้สมการดังข้างล่าง



โครเมียม (ประจุ +3) กลายเป็นสิ่งที่สำคัญตามมา หลังจากทำการรีดิวซ์โครเมียม (ประจุ +6) แล้ว Rai et al. (1987 อ้างถึงใน Khaodhian, 1997) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของโครเมียม (ประจุ +3) โดยการเพิ่มพีเอชพบว่า เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียม (ประจุ +3) คือ Cr^{3+} , CrOH^{2+} , Cr(OH)_3^0 และ Cr(OH)_4^- นอกจากนี้แล้วโครเมียม (ประจุ +3) สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับลิแกนด์ (ligand) และโพลีเมอร์ (polymer) ได้อีกมากมาย (Palmer and Wittbrodt, 1991 อ้างถึงใน Khaodhian, 1997)

การแอดซอร์บชันโครเมียม โดย Fe-OOH (iron oxide) ขึ้นอยู่กับพีเอชด้วยเช่นกัน โดยที่พีเอชต่ำ ๆ การแอดซอร์บชันโครเมียมจะยิ่งเกิดขึ้นได้ดี นอกจากนั้นไอออนที่มีประจุลบ เช่น ซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะส่งผลทำให้การแอดซอร์บชันลดลง (Aoki and Munemori, 1982 ; Zachara et al., 1987 ; Zachara et al., 1989 อ้างถึงใน Khaodhian, 1997) ไอออนที่มีประจุบวก เช่น K^+ , Mg^{2+} และ Ca^{2+} เป็นต้น จะไม่มีผลต่อการแอดซอร์บชันโครเมียมของเหล็กไฮดรอกไซด์ (Zachara et al., 1987 อ้างถึงใน Khaodhian, 1997)

การเกิดรีดักชันของโครเมียม (ประจุ +6) ด้วยเหล็กเฟอร์รัส (ประจุ +2) ได้ผลเป็นอย่างดี (Eary and Rai, 1988 ; Eary and Rai, 1989 อ้างถึงใน Khaodhian, 1997) และการเกิดรีดักชันสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ภายในเวลาเพียง 10 นาที แสดงให้เห็นว่าออกซิเจนจะไม่มีผลต่อปฏิกิริยารีดักชัน (Eary and Rai, 1989 ; Fendorf and Li., 1996 อ้างถึงใน Khaodhian, 1997) Eary and Rai, 1989 อ้างถึงใน Khaodhian, 1997) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการเกิดรีดักชันของโครเมียมโดยใช้เหล็กเฟอร์รัส (ประจุ +2) ที่ได้มาจากตัวอย่างแร่ 2 ชนิด คือ ฮีมาไทท์

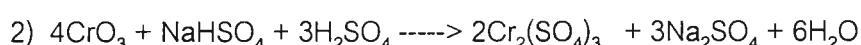
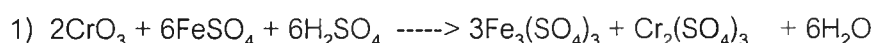
(hematite) และไบโอไทท์ (biotite) พบว่าการเกิดรีดักชันของโครเมียม (ประจุ +6) จะเกิดขึ้นในส่วนที่เป็นสารละลาย (solution phase) มากกว่าที่จะเกิดขึ้นที่ผิวของแร่ดังกล่าว ดังนั้นอัตราการเกิดการรีดักชันของโครเมียมในช่วงแรก จะขึ้นอยู่กับอัตราการละลายของเหล็กเฟอร์ไรต์ (ประจุ +2) ที่สามารถละลายออกมาจากแร่ได้ และการเกิดรีดักชันจะเพิ่มขึ้นที่พีเอชมีค่าต่ำลง

3.5 การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตหลอดภาพ โดยโรงงาน Thai CRT

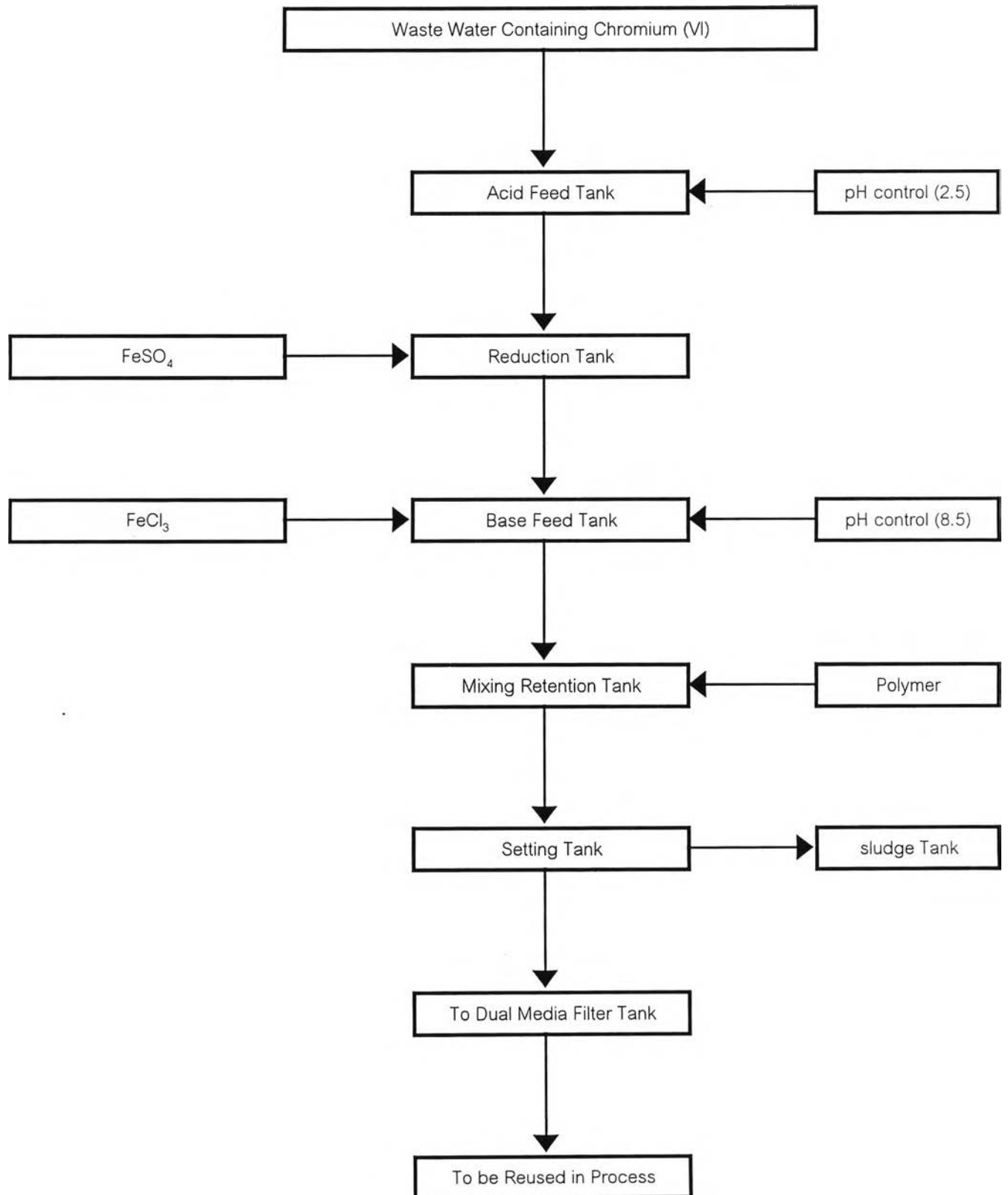
เนื่องจากทางโรงงานมีความสนใจในการวิจัย เพื่อเปรียบเทียบระบบกำจัดโครเมียมที่โรงงานได้ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นระบบกำจัดที่ใช้สารเคมี น้ำเสียจากโรงงานผลิตหลอดภาพจะถูกแยกไปกำจัดตามชนิดของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสียนั้น เช่น ฟลูออไรด์ (fluorine) โครเมียม และโลหะหนักอื่นๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการกำจัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโครเมียมที่โรงงานได้ใช้ในการกำจัด โดยมีขั้นตอนในการกำจัดตามภาพที่ 3-7

โครเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของโครเมียม (ประจุ +6) ซึ่งละลายน้ำได้ดีและมีความเป็นพิษสูง ดังนั้นจึงต้องการที่จะลดความเป็นพิษของโครเมียม (ประจุ +6) ลง โดยเติมเฟอร์รัสซัลเฟต เพื่อรีดิวส์โครเมียม (ประจุ +6) ให้อยู่ในรูปของโครเมียม (ประจุ +3) ซึ่งมีความเป็นพิษน้อยลง และสามารถถูกทำให้ตกตะกอนได้ง่าย

น้ำเสียจะถูกส่งมายังถังปฏิกิริยาใบแรกเพื่อทำการปรับพีเอช จากนั้นจะทำการเติม FeSO_4 หรือโซเดียมเมตาไบซัลเฟต ซึ่งจะขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำเสียที่ต้องการจะปรับ โดย FeSO_4 จะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 2 ขณะที่ NaHSO_3 จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 2.5 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้



ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาจะเปลี่ยนโครเมียม (ประจุ +6) ให้กลายเป็นโครเมียม (ประจุ +3) ซึ่งจะเป็นคอลลอยด์ (colloid) ขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ ดังนั้นจึงต้องนำไปทำให้ตกตะกอนทางเคมีต่อไป โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นโคแอกกูแลนต์ (coagulant)



ภาพที่ 3-7 แผนผังแสดงขั้นตอนการกำจัดโครเมียม (ประจุ+6) ของโรงงานผลิตหลอดภาพ

ที่พีเอชประมาณ 8-9 นอกจากนั้นยังมีการเติมโพลีเมอร์ ซึ่งเป็นโคแอกกูแลนทเอด (coagulant aid) ร่วมด้วย

น้ำใสส่วนที่เหลือออกจากถังตกตะกอน จะถูกกรองก่อนนำไปทำการปรับพีเอชให้เหมาะสม เพื่อนำน้ำกลับมาใช้ในส่วนต่างๆ ของโรงงาน เช่น ห้องน้ำ หรือใช้สำหรับทำการล้างย้อน (backwash) ถังกรอง เป็นต้น อย่างไรก็ตามตะกอนของโลหะหนักที่ผ่านการกำจัดแล้ว จะต้องถูกส่งไปกำจัดที่ศูนย์บริการกำจัดกากของเสียอันตราย ก่อนที่จะนำไปฝังกลบแบบ sanitary landfill ต่อไป

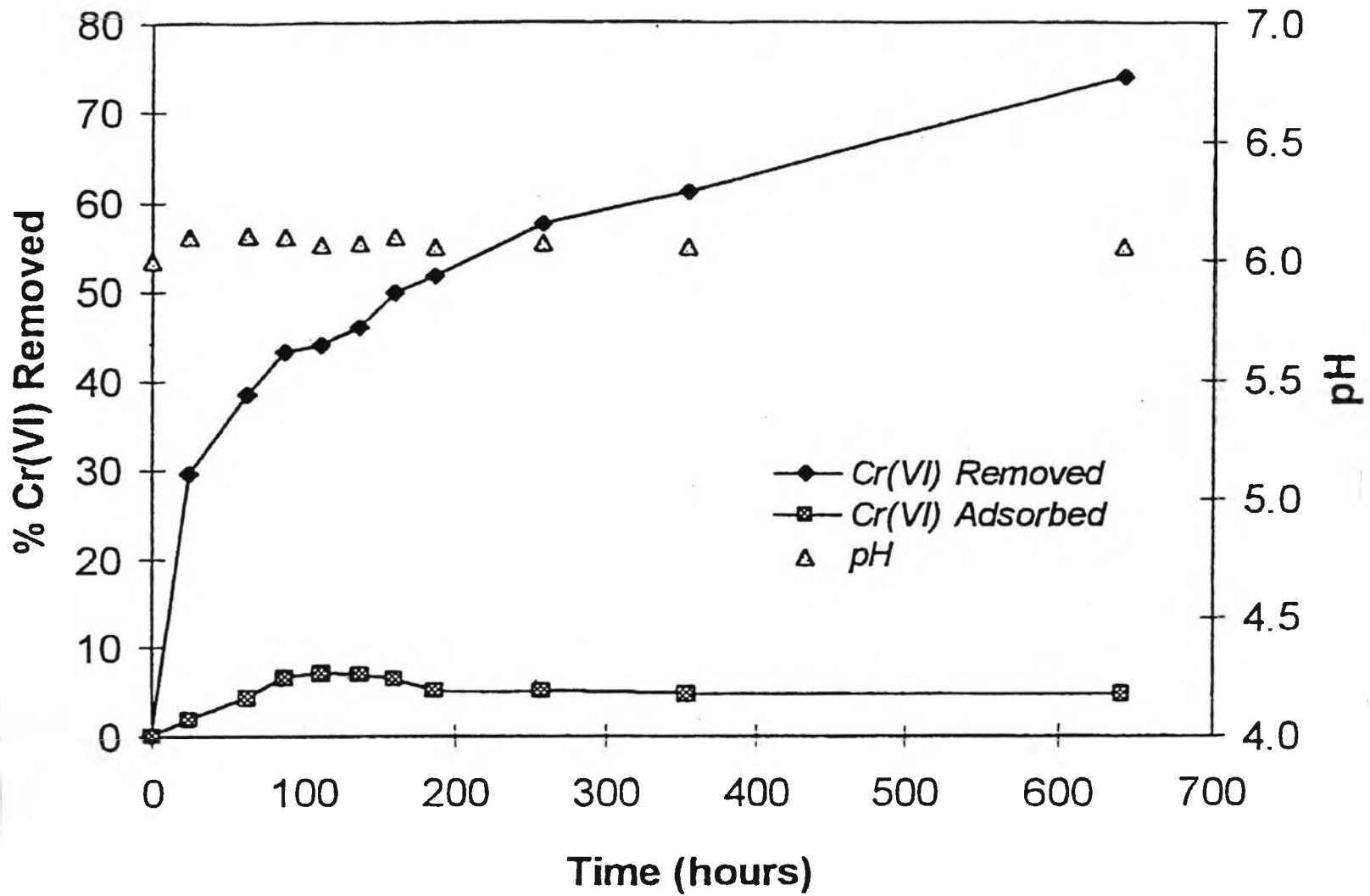
จากวิธีการกำจัดดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่า ต้องใช้ถึงปฏิกิริยาหลายใบ รวมถึงขั้นตอนในการกำจัดก็ต้องใช้หลายขั้นตอนด้วย ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนก่อสร้างขั้นแรกสูง และยังคงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูงอีกด้วย เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าสารเคมี ค่าเครื่องสูบน้ำและเครื่องสูบลำโพงเคมีที่ต้องใช้หลายตัว นอกจากนั้นยังรวมไปถึงค่าส่งตะกอนไปกำจัดต่อยังศูนย์บริการกำจัดกากของเสียอันตรายอีกด้วย

ตัวกลางทรายเคลือบแมกนีไทต์ที่ใช้ในการวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยเหล็กเฟอร์ริส (ประจุ +2) และเหล็กเฟอร์ริก (ประจุ +3) ออกไซด์เซอร์เฟส (oxide surface) เพราะฉะนั้นจะมีทั้งความสามารถในการรีดักชัน (reduction capacity) จากเหล็กเฟอร์ริสและความสามารถในการแอดซอร์ชัน (adsorption capacity) จากเหล็กเฟอร์ริก ซึ่งจากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ทำการทดลองแบบแบทช์ (batch) พบว่าสามารถกำจัดโครเมียม (ประจุ +6) ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

3. 6 ตัวกลางทรายเคลือบแมกนีไทต์

Khaodhian, 1997 ศึกษาการกำจัดโครเมียม (ประจุ +6) โดยใช้ตัวกลางทรายเคลือบแมกนีไทต์ และใช้วิธีการทดลองเป็นแบบ complete mix batch reactor ซึ่งในการเคลือบทรายจะเตรียมจากสารละลายเฟอร์ริกไนเตรท สำหรับน้ำเสียที่ใช้จะเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียม (ประจุ +6) ละลายอยู่ ทดลองที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 0.10 , 0.20, 0.38, 0.58 และ 0.77 mM โดยแปรตามพีเอชต่าง ๆ ดังนี้ 4.0, 4.5, 5.0, 6.0 และ 6.5 และยังแปรตามค่าของปริมาณตัวกลางทรายเคลือบแมกนีไทต์คือ 6, 12, 20, 30 และ 40 g/L

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย



ภาพที่ 3-8 โครเมียมที่ถูกกำจัดเทียบกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (ประจุ +6) เท่ากับ 20 mg./l., ความเข้มข้นของตัวกลางทรายเคลือบแมงनीไทต์เท่ากับ 20 g./l., พีเอชเท่ากับ 6 (Khaothian, 1997)

วิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียม (ประจุ+6) ในสารละลาย โดยใช้ ICP-AES. ในส่วนของโครเมียม (ประจุ+3) สามารถคำนวณได้โดยสมดุลย์สมการ ซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือโครเมียม (ประจุ+3) จะไม่ละลายออกมาในสารละลาย ทำให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าของโครเมียม (ประจุ+6) แต่เพียงอย่างเดียว (Azizian,1993)

จากภาพที่ 3-8 จะเห็นว่าโครเมียม (ประจุ +6) สามารถถูกรีดิวส์ได้ดีมากในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และถูกรีดิวส์ต่อเมื่อเวลานานขึ้นโดยจากผลการทดลอง สามารถแสดงสมการได้คือ

$$\frac{d [\text{Cr (VI)}]}{dt} = -k [\text{Cr (VI)}] [\text{H}^+]^{0.2} [\text{MCS}]^{1.8}$$

โดยมีค่า k = $1.48 \times 10^{-3} \text{ L}^{1.8} \text{ hour}^{-1} \text{ M}^{-0.2} \text{ g}^{-1.8}$

สำหรับปริมาณเหล็กทั้งหมดต่อตัวกลางทรายเคลือบแมกนีไทต์ จะมีปริมาณเหล็กทั้งหมดประมาณ 80 มิลลิกรัมต่อตัวกลางทราย 1 กรัม โดยมีอัตราส่วนระหว่างเหล็กเฟอร์รัส (ประจุ +2) ต่อเหล็กเฟอร์ริก (ประจุ +3) เท่ากับ 0.49

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Aoki และ Munimori, 1982 ศึกษาการนำกลับของโครเมียม (ประจุ +6) จากน้ำเสียด้วยเหล็กไฮดรอกไซด์ โดยพิจารณาเฉพาะกลไกการดูดติดผิวของโครเมียม (ประจุ +6) บนเหล็กไฮดรอกไซด์

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ความสามารถในการดูดติดผิวที่มากที่สุดของโครเมียม(ประจุ +6) บนเหล็กไฮดรอกไซด์ จะเกิดขึ้นในช่วงพีเอชต่ำกว่า 8.5 เล็กน้อย โดยความสามารถในการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชลดลง และที่พีเอชมากกว่า 8.5 จะไม่มีการดูดติดผิวเกิดขึ้น ที่ pH_{ZPC} ของเหล็กไฮดรอกไซด์เท่ากับ 8.5 ประจุที่พื้นผิวเป็นบวก $HCrO_4^-$ จะแลกเปลี่ยนกับ OH^- ของเหล็กไฮดรอกไซด์ ซึ่งถือว่าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนลบ

Edwards และ Benjamin, 1989 ศึกษาการรองแบบดูดติดผิวโดยใช้ทรายเคลือบ เปรียบเทียบกับทรายธรรมดาและสารดูดติดผิวที่เรียกว่า ferrihydrite และได้ศึกษาถึงลักษณะสมบัติของทรายเคลือบ ที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีที่ต่างกัน 2 วิธี คือ การเคลือบโดยใช้วิธีการตกผลึก และการเคลือบโดยการให้ความร้อน จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การเคลือบทรายโดยการให้ความร้อน จะใช้ปริมาณเหล็กในการเคลือบมากกว่า แต่ก็มีข้อดีคือทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดติดได้มากกว่าการเคลือบทรายโดยใช้วิธีการตกผลึก นอกจากนั้นยังมีความคงทนมากกว่าเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่เป็นกรดโดยสารที่เคลือบอยู่จะไม่สามารถถูกละลายออกไปได้ง่าย

ในการศึกษาการรองแบบดูดติดผิวนี้นอกจากจะศึกษาถึงลักษณะสมบัติของทรายเคลือบแล้ว ยังได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดด้วย โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักต่างๆปนอยู่ เช่น Pb Cu Ni Cd และ Cr (ประจุ +3) นำมาปล่อยให้ไหลผ่านคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 เซนติเมตร ความสูงของชั้นตัวกลางประมาณ 15 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละคอลัมน์จะมีขั้นตอนการทำงาน 4 ขั้นตอนด้วยกัน ประกอบไปด้วย การกำจัด การล้างย้อน การฟื้นฟูอำนาจตัวกลาง และการเตรียมตัวกลางเพื่อนำไปใช้สำหรับกำจัดในครั้งต่อไป

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ทรายเคลือบมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะได้ดีกว่าตัวกลางอีก 2 ชนิด และสามารถกำจัดโลหะที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้อีกด้วย ในขณะที่ตัว

กลางที่เป็นทรายธรรมดาไม่สามารถกำจัดโลหะได้ โลหะที่ถูกกำจัดสามารถนำกลับมาได้ จากการล้างและฟื้นฟูอำนาจด้วยสารละลายกรด ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักขึ้นอยู่กับพีเอช โดยจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 8.5-10

Bailey และคณะ, 1992 ศึกษาการดูดติดและการนำกลับของโครเมียม (ประจุ +6) โดยใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ในการเคลือบทรายสามารถเตรียมได้จากสารทั้ง 2 ชนิด คือ เตรียมจากเฟอร์ริกไนเตรทและเฟอร์ริกคลอไรด์ แต่ที่นิยมใช้กันมากโดยทั่วไปจะเป็นเฟอร์ริกไนเตรท สำหรับน้ำเสียที่ใช้จะเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียม (ประจุ +6) เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที และทำการฟื้นฟูอำนาจด้วยรีเจนเนอเรนต์ 2 ชนิด เปรียบเทียบกัน คือสารละลายที่พีเอช 9.5 และ NaOH 1.0 M

จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า ทรายที่เคลือบด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์สามารถดูดติดโครเมียม (ประจุ +6) ได้ดีกว่ากรณีของการเคลือบโดยใช้เฟอร์ริกไนเตรทเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และการฟื้นฟูอำนาจด้วยสารละลายที่พีเอช 9.5 จะให้ผลที่ได้ดีกว่าการใช้ NaOH 1.0 M แต่ถ้าหากดูตามอายุการใช้งานจะพบว่า ตัวกลางทรายจะมีอายุการใช้งานนานกว่าเมื่อฟื้นฟูอำนาจด้วยสารละลายที่พีเอช 9.5

Satpathy และคณะ, 1995 ได้ทำการทดลองโดยใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยใช้สารละลายเฟอร์ริกไนเตรทผสมกับทราย จากนั้นนำไปอบให้แห้ง แล้วนำไปเป็นตัวกลางสำหรับกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ 2 ชนิด คือ น้ำเสียที่มีแคดเมียมปนเปื้อนกับน้ำเสียที่มีโครเมียมปนเปื้อน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์สามารถกำจัดโครเมียม (ประจุ +3) ได้เป็นอย่างดี และเมื่อเปรียบเทียบกับโครเมียม (ประจุ +6) พบว่าสามารถกำจัดโครเมียม (ประจุ +3) ได้ดีกว่าโครเมียม (ประจุ +6) โดยประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้นตามพีเอช และจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 8.5

Lin, Zhao และ Yuan, 1990 ศึกษาถึงปฏิกิริยาในการบำบัดโครเมียม ที่ปนอยู่ในน้ำเสีย จากการศึกษานี้พบว่า ความเข้มข้นของโครเมียม (ประจุ +6) ขึ้นอยู่กับพีเอช โดยโครเมียมจะอยู่ในรูปที่ต่างกันเมื่อพีเอชต่างกัน ซึ่งในการศึกษานี้ใช้เหล็กเฟอร์รัส (ประจุ +2) ในการทำให้โครเมียม (ประจุ +6) เปลี่ยนเป็นโครเมียม (ประจุ +3) ก่อน แล้วจึงทำให้โครเมียม (ประจุ +3) ตกตะกอนด้วย

การปรับพีเอชที่ต่าง ๆ กัน ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนในการศึกษานี้คือที่พีเอชเท่ากับ 6.7 โดยจะตกตะกอนโครเมียม (ประจุ +3) ได้มากที่สุด

Kondo; Nakashima; และHirasava, 1982 ศึกษาถึงการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิด Fe_3O_4 กับพีเอช ทำการทดลองโดยการออกซิไดซ์ $Fe(OH)_2$ ที่พีเอชต่าง ๆ กัน จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าอัตราการเกิด Fe_3O_4 จะเกิดได้เร็วที่พีเอชต่ำ และเกิดได้ช้าที่พีเอชสูงขึ้น โดยพีเอชที่เหมาะสมในการเกิด Fe_3O_4 คือที่พีเอช 11.5-12.5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า และที่พีเอช 11.5-13.0 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส