

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม (VI) ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

Optimization for Treatment of Wastewater Containing Chromium (VI) by Iron - Oxide Coated Sand

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาโลหะหนักมีแนวโน้มก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำแต่ละชนิดจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น รวมถึงสะสมอยู่ในสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะถูกถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์บริโภค สัตว์น้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนสะสมอยู่ โลหะหนักเหล่านั้นจะถูกถ่ายทอดและสะสมอยู่ในร่างกาย จนถึงปริมาณหนึ่งก็จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย และก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ โดยมีอาการตั้งแต่ เหนื่อยล้าจนถึงอาการรุนแรงซึ่งอาจทำให้เสียชีวิตได้ โดยโครเมียมก็เป็นโลหะหนักอีกชนิดหนึ่งที่มี กเจือปนมากับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมากหากเข้าสู่ ร่างกายในปริมาณที่มากเกินไป

ถึงแม้ว่าโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ที่ใช้โครเมียมในกระบวนการผลิต เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาซึ่งใช้สารประกอบของ โครเมต (Chromate) อุตสาหกรรมฟอกหนัง และย้อมสีขนสัตว์ เป็นต้น จะมีวิธีบำบัดน้ำเสียที่มี โครเมียมปนเปื้อนด้วยกันหลายวิธี ทั้งวิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ เช่น การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การใช้ กระบวนการกรองผ่านเมมเบรน (Membrane Filtration) การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis) และการสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery) เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถบำบัดโลหะ หนักได้ดี แต่วิธีการเหล่านี้ต้องใช้หน่วยบำบัดหลายขั้นตอนและใช้เทคโนโลยีที่ค่อนข้างสูง การบำบัดโครเมียมโดยใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ (Iron - Oxide Coated Sand) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่น่าสนใจ ซึ่งไม่ต้องใช้หน่วยบำบัดหลายขั้นตอนและเทคโนโลยีที่สูงมากนัก อีกทั้งจากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์สามารถบำบัดโลหะหนักได้หลายชนิด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มาใช้ประยุกต์ในการบำบัดโครเมียม พร้อมทั้งศึกษา ปัจจัยและสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

การวิจัยนี้จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักโครเมียม (VI) ปนเปื้อนอยู่ โดยจะศึกษาถึงปัจจัยและสถานะที่เหมาะสมต่อการใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ในการบำบัด พร้อมทั้งศึกษาอายุการใช้งานของระบบ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ไปใช้จริงและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วัตถุประสงค์

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ มีวัตถุประสงค์ในการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
2. ศึกษาถึงปัจจัยและสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
3. ศึกษาถึงอายุการใช้งานทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ และการฟื้นฟูสภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ขอบเขตการวิจัย

1. สารตัวกลาง คือ ทรายคัดขนาด 0.5-0.8, 1-2 และ 3-5 มิลลิเมตร จากจังหวัดกาญจนบุรี และนำมาเคลือบเหล็กออกไซด์โดยใช้สารละลายเฟอร์ริกไนเตรท ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ตามวิธีการของ Edward and Benjamin (1989)
2. ทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้แก่ ค่าพีเอช ระยะเวลาสัมผัส ขนาดตัวกลางทราย และความสามารถในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยทำการทดลองแบบทีละเบตช์ (batch)

3. ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักโครเมียมปนเปื้อน โดยแปรผันค่าความเข้มข้นที่ 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของค่าพีเอชในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น โดยแปรค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ
5. ทำการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์รีแอกเตอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร โดยแปรผันความสูงของชั้นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ 20, 40, 60 และ 80 เซนติเมตร เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบและอายุการใช้งานของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงปัจจัยและสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมของการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และนำไปใช้ในการออกแบบเพื่อประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริง
2. สามารถประยุกต์ใช้เพื่อลดขั้นตอนที่ยุ่งยากในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักโครเมียมปนเปื้อน

การตรวจเอกสาร

โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น โครเมียม ตะกั่ว แคดเมียมปรอท และนิกเกิล เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ โดยโลหะหนักส่วนใหญ่มีลักษณะสมบัติทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน เช่น มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ เป็นต้น ส่วนลักษณะสมบัติทางเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนหลายรูปมากกว่าโลหะหนักอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อมได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มโลหะหนักที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูงมาก ได้แก่ As, Au, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Sn, Te และ Zn นอกจากนี้ยังมีโลหะหนักที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูง รองลงมา ได้แก่ Ba, Bi, Fe, Mo, Ti และ U

ความเป็นพิษของกลุ่มโลหะหนักเหล่านี้เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย โดยแหล่งที่มาสำคัญของโลหะหนักเหล่านี้ ส่วนใหญ่มาจากการบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งสามารถปะปนมาปนน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทั้งในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตทางการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ซึ่งจะมีผลต่อเมตาโบลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต

พิษของโลหะหนักที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ผลกระทบของโลหะหนักที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ พบว่า ขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์และเคมี โดยโลหะหนักจะเข้าไปในสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เช่น ไฟโตแพลงตอน (Phytoplankton) ไดอะตอม (Diatom) ซึ่งจะแพร่เข้าไปทางเมมเบรน สำหรับปลาสามารถที่จะรับโลหะหนักเข้าไปโดยผ่านทางเหงือก อย่างไรก็ตามโลหะหนักบางพวกที่อยู่ในน้ำก็เป็นสิ่งจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำกล่าวคือ เป็นสารอาหาร

ของสัตว์ เช่น หอยนางรม (Oysters) และหอยกาบ (Clams) เป็นต้น ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการตกตะกอนของพวกโลหะหนักในน้ำตามธรรมชาติ

ไฟโตแพลงตอน (Phytoplankton) เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่กว่าในวงจรอาหาร โลหะหนักจะมีผลกระทบต่อไฟโตแพลงตอนได้ 2 ทาง คือ โลหะหนักจะถูกส่งต่อไปในวงจรสารอาหาร เนื่องจากไฟโตแพลงตอนจะถูกกินโดยสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในน้ำ เช่น ปลา และจะเข้าไปอยู่ในร่างกายมนุษย์ผ่านวงจรอาหารต่อไป ผลกระทบของโลหะหนักอีกทางหนึ่งคือ ปริมาณโลหะหนักที่เข้าไป ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้ไฟโตแพลงตอนตายได้ เมื่อแพลงตอนตาย ก็จะมีผลกระทบทางอ้อมกับระบบนิเวศในน้ำ เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญ

โครเมียม

โครเมียม (สัญลักษณ์ Cr) เป็นโลหะทรานซิชันมีเลขอะตอม 24 น้ำหนักอะตอม 51.9961 มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1,890 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นเท่ากับ 7.19 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร มีความสุกใส มีความฝืดต่ำ ไม่เป็นสนิม จึงมักนำมาผสมหรือชุบผิวโลหะอื่น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี โครเมียมมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่าตั้งแต่ -2 ถึง +6 ได้แก่

- โครเมียม (-2 ถึง 0) พบมากในคาร์บอนิลและสารประกอบโลหะอินทรีย์
- Hexacarbonylchromium เป็นของแข็งสีขาว มีความคงตัวในอากาศไม่ละลายน้ำ
- โครเมียม (+2) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง และถูกออกซิไดส์ไปเป็นโครเมียม (+3) ได้ในอากาศ
- โครเมียม (+3) เป็นวาเลนซ์ที่เสถียรเป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนโดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ ในสภาวะกรดเกิดเป็น $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+3}$ และ เป็น $[\text{Cr}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{+2}$ ในสภาวะด่าง

- โครเมียม (+6) พบมากในธรรมชาติพอ ๆ กับโครเมียม (+3) แต่พบอยู่ในรูปของสารประกอบของออกซิเจน เช่น

โครเมียม (+6) ออกไซด์ (กรดโครมิก: CrO_3)

โครมิกคลอไรด์ (CrO_2Cl_2)

คลอโรโครเมต (CrO_3Cl)

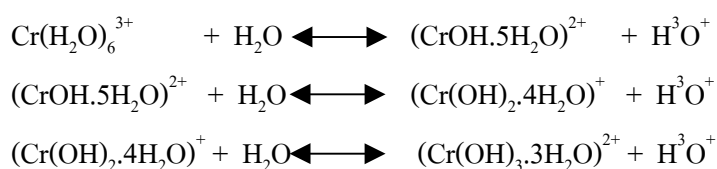
โครเมต (CrO_4^{2-})

ไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)

โครเมียม (+6) เป็นสารออกซิไดส์ที่แรงมากภายใต้ภาวะกรด

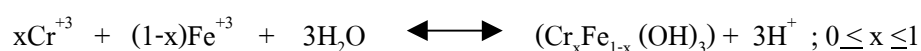
1. ไตรวาเลนต์โครเมียม (Trivalent Chromium)

ไตรวาเลนต์โครเมียมปรากฏอยู่ในสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำ (Aqueous Solution) ในรูปของไฮเดรตไอออน (Hydrated Ion) คือ $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ และสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis Reaction) ดังสมการ



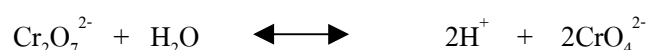
การเพิ่มไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จำนวน 3 โมล ทำให้ $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ กลายเป็น $(\text{Cr}(\text{OH})_3.3\text{H}_2\text{O})^{2+}$ หรือเขียนอย่างง่ายว่า $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ซึ่งเป็นสารประกอบไตรวาเลนต์โครเมียมที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (Quagiano, 1993) ในสถานะที่ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4 ถึง 6.5 พบว่าสารประกอบของไตรวาเลนต์โครเมียมอยู่ในรูป $(\text{Cr}(\text{OH}))^{2+}$ แต่เมื่อค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5 ถึง 10 สารประกอบไตรวาเลนต์โครเมียมอยู่ในรูป $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (Rai et al., 1996) นอกจากนี้สารประกอบ

ไตรวาเลนซ์โครเมียมยังสามารถปรากฏในรูปผลึกของแข็ง (Solid Solution) โครเมียม (III)-เหล็ก(III) ไฮดรอกไซด์ ($\text{Cr}_x\text{Fe}_{1-x}(\text{OH})_3$) (Eary et al., 1998) ดังสมการ

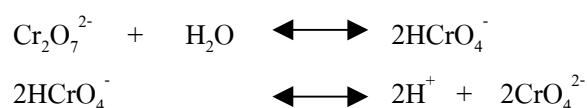


2. เฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (Hexavalent Chromium)

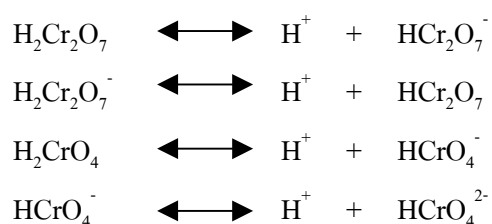
เฮกซะวาเลนซ์มักเกิดเป็นสารประกอบร่วมกับออกซิเจน (Oxospecies) คือ โครเมตไอออน (CrO_4^{2-}) และไดโครเมตไอออน ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) โดยเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมมีแนวโน้มที่จะปรากฏเป็นไดโครเมตไอออนในสารละลายที่ค่าพีเอชเป็นกรด และเป็นโครเมตไอออนในสารละลายที่ค่าพีเอชเป็นกลางหรือด่าง สมการเคมีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไดโครเมตไอออนและโครเมตไอออน ดังนี้



สมการเคมีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไดโครเมตไอออน ไปโครเมตไอออน และโครเมตไอออนเป็นดังนี้ (Quagliano, 1963)



สภาวะที่ค่าพีเอชน้อยกว่า 6 สารประกอบของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมจะอยู่ในรูปไปโครเมตไอออน แต่เมื่อค่าพีเอชมากกว่า 6 สารประกอบของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมจะอยู่ในรูปโครเมตไอออน สมการเคมีแสดงการแตกตัวให้เฮกซะวาเลนซ์โครเมียมไอออนต่าง ๆ เมื่อสารประกอบเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมเป็นดังนี้



3. ความสัมพันธ์ระหว่างเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมและไตรวาเลนซ์โครเมียม

สารประกอบของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วจะถูกรีดิวซ์เป็นสารประกอบของไตรวาเลนซ์โครเมียม โดยตัวให้อิเล็กตรอนเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลง สมการปฏิกิริยารีดักชันของสารประกอบเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมเป็น ดังนี้



หรือ



4. ประโยชน์ของโครเมียม

โครเมียมเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับโลหะผสม ทำให้โลหะผสมมีความแข็งแรง เหนียว และทนทาน ป้องกันไม่ให้เกิดสนิมและทนต่อการผุกร่อน ใช้ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและเพื่อความสวยงามสารประกอบโครเมตของตะกั่ว สังกะสี และแบเรียม ซึ่งเรียกว่า “เมดสีโครเมียม (chrome pigment)” ใช้ในการทำสีต่าง ๆ ใช้ทำพรมน้ำมันใช้ทำยางและใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา สีทา สีย้อม สารยืดยาไม้ ยาฆ่าเห็ดรา นอกจากนี้สารประกอบของโครเมียมยังสามารถใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมฟอกหนัง การย้อมสีขนสัตว์ ไหมและหนังสัตว์ เป็นต้น

5. โครเมียมในสิ่งแวดล้อม

โครเมียมถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตวัสดุอัลลอยด์ เหล็ก อลูมิเนียมในเตาเผา สีย้อมและสีต่าง ๆ สารเคลือบโลหะเพื่อป้องกันสนิม อุตสาหกรรมฟอกหนัง ซึ่งการกระจายตัวของโครเมียมเกิดจากการทิ้งของเสียหรือน้ำเสียที่มีโครเมียมปะปนอยู่ลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยโครเมียมในรูปของไอออน +3 และ +6 เป็นรูปที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ ซึ่งโครเมียมในรูปไอออน +3 (Trivalent Chromium) หรือ Cr (III) สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นโครเมียมในรูปไอออน +6 (Hexavalent Chromium) หรือ Cr (VI) ซึ่งเป็นสารพิษไม่คงตัวในสภาพธรรมชาติ สามารถแผ่กระจายในดินซึ่งอาจปนเปื้อนลงสู่ลำน้ำได้ดินซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้อุปโภค-บริโภค

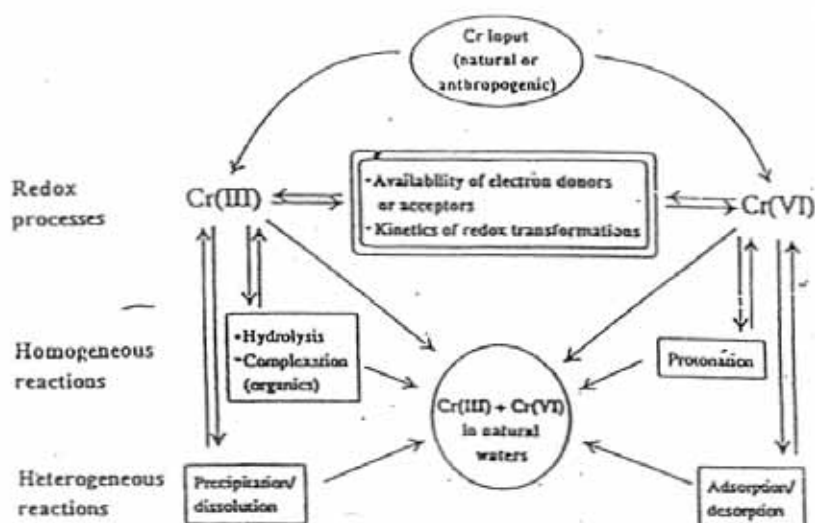
6. การแพร่กระจายและการเปลี่ยนรูปโครเมียมในแหล่งน้ำ

การเปลี่ยนรูปไอออนของโครเมียมในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ จะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

6.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นการเปลี่ยนรูปจากโครเมียม (III) ไปอยู่ในรูปโครเมียม (VI) โดยสารประกอบที่เป็นตัวออกซิไดซ์โครเมียมในน้ำคือ แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดช้ากว่าการจับตัวกันตกตะกอนของโครเมียม (Amacher and Baber, 1982 อ้างถึงใน ณัฐ, 2546)

6.2 ปฏิกิริยารีดักชันเป็นการเปลี่ยนรูปจากโครเมียม (VI) ไปอยู่ในรูปโครเมียม (III) โดยสารประกอบที่เป็นตัวรีดิวซ์โครเมียมคือ ซัลไฟด์ การเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์และเหล็ก (II) ปฏิกิริยารีดักชันจะเกิดขึ้นในสภาพกรด (Francouse, 1991 อ้างถึงใน ชงชัย, 2535)

เนื่องจากโครเมียมสามารถเปลี่ยนรูปได้ในสภาพแวดล้อมทั่วไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจในกระบวนการ การเคลื่อนย้ายและการเปลี่ยนรูปของโครเมียม (III) ไปเป็นโครเมียม (VI) ซึ่งมีความเป็นพิษมาก อย่างไรก็ตาม โครเมียม (III) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช สัตว์ และมนุษย์ เช่น ช่วยรักษาระดับกลูโคสให้เป็นปกติ ช่วยการสังเคราะห์กรดอะมิโนและกรดนิวคลีอิกในสัตว์บางชนิด (WHO, 1988 อ้างถึงใน วงศ์พะงา) แต่หากมีการสะสมตัวในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดอันตรายได้ (ภาพที่ 1 แสดงถึงกระบวนการเคลื่อนย้ายและการเปลี่ยนรูปของโครเมียม (III) เป็นโครเมียม (VI) ในแหล่งน้ำธรรมชาติ)



ภาพที่ 1 กระบวนการเคลื่อนย้ายและการเปลี่ยนรูปของโครเมียมในแหล่งน้ำธรรมชาติ

ที่มา: Richard (1991) อ้างถึงใน วงศ์พะงา (2544)

วิธีการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย มีหลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนการบำบัด คุณภาพน้ำที่ต้องการพื้นที่ที่ใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ความเป็นไปได้ของการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ ดังนี้

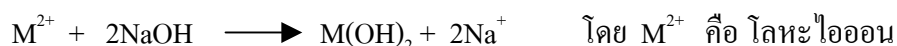
1. การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

โลหะหนักที่พบในน้ำเสียและปัญหามักอยู่ในรูปของสารละลายทำให้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ด้วยวิธีการตกตะกอนหรือกรองเพียงลำพัง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้เกิดการตกตะกอนผลึกแข็ง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ไอออนประจุบวกและลบรวมกันเป็นตะกอนแข็งซึ่งไม่ละลายน้ำเสียก่อนจากนั้นจึงทำให้ผลึกของแข็งรวมกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อก เพื่อให้สามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีการตกตะกอนและกรอง ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน กระบวนการนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพของสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในรูปสารละลาย (Soluble)

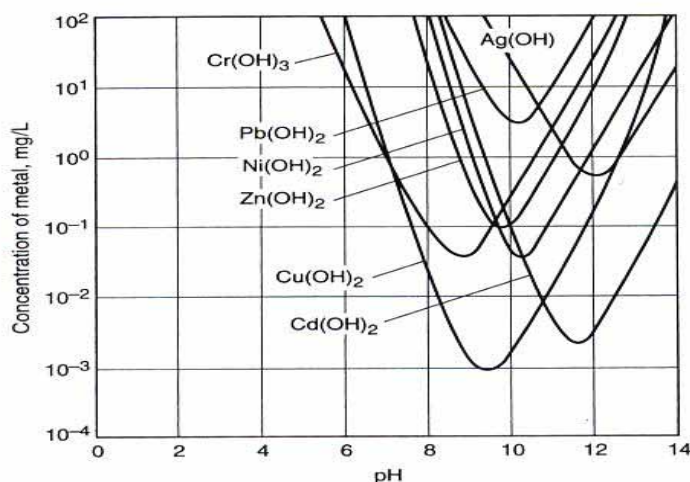
ให้เป็นสารที่อยู่ในรูปไม่ละลาย (Insoluble) โดยวิธีการเติมสารเคมีผสมกับน้ำเสียให้ทั่วถึง ซึ่งการตกตะกอนด้วยสารเคมีมีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมที่ใช้ในการตกตะกอนโลหะหนัก มี 2 วิธีด้วยกันคือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation) และการตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation) มีรายละเอียดดังนี้

1.1 การตกตะกอนไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ทำได้โดยการเติมสารเคมี เช่น ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นต้น ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่จะมีปัญหาเฉพาะน้ำเสียที่มีค่าพีเอชต่ำเนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดี ดังนั้นการเติมปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะเป็นการเพิ่มค่าพีเอชในน้ำทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของโลหะหนักลดลงและสามารถตกผลึกได้ โดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้



การตกตะกอนไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดคือ การตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์จะต้องมีค่าพีเอชที่เหมาะสม โดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอชในช่วง 8-11 และสามารถละลายกลับมาได้หากค่าพีเอชเปลี่ยนจากค่าที่ตกตะกอน (ดังภาพที่ 2) อย่างไรก็ดีตาม ปริมาณการเติมสารเคมีและค่าพีเอชที่เหมาะสมสามารถหาได้จากการทำ Titration Curve และการทำจาร์เทสต์ (Jar Test)

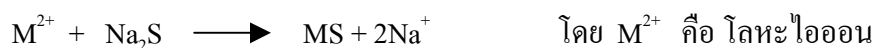


ภาพที่ 2 การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์ของโลหะหนักที่ค่าพีเอชต่างๆ

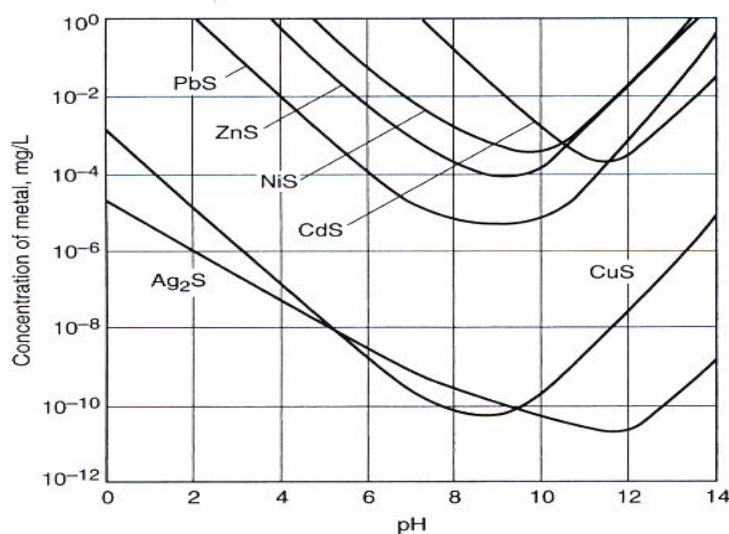
ที่มา: Metcalf and Eddy (2003)

1.2 การตกตะกอนซัลไฟด์

นอกจากการตกตะกอนร่วมกับผลึกไฮดรอกไซด์แล้ว โลหะหนักอาจตกตะกอนผลึกร่วมกับไอออนประจุลบอื่นได้ (ดังภาพที่ 3) ได้แก่ ซัลไฟด์ (S^{2-}) การตกตะกอนซัลไฟด์ มักจะใช้สารเคมีในการตกตะกอนคือ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($NaHS$) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยา ดังสมการ



ข้อดีของการตกตะกอนซัลไฟด์คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนซัลไฟด์มีข้อจำกัดคือ ตะกอนมีขนาดเล็ก และเกิดฟล็อกขนาดเล็กมาก ทำให้การตกตะกอนเป็นได้ยากมาก นอกจากนี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มีปริมาณมากเกินไป จึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้นโดยบำบัดซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง



ภาพที่ 3 การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์ของโลหะหนักที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

ที่มา: Metcalf and Eddy (2003)

2. ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation- Reduction)

ออกซิเดชัน-รีดักชันเป็นวิธีที่ใช้มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบโลหะต่าง ๆ ปะปนอยู่ในน้ำทิ้ง การบำบัดจะต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับโลหะหนักที่ต้องการบำบัดทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ออกซิเจน โอโซน คลอรีนในรูปแบบต่าง ๆ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น สารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เช่น ไฮดรอน (II) ซัลเฟต ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครเมต โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 3 จึงต้องเติมกรดซัลฟูริกไปด้วย จากนั้นทำการเติมปูนขาวลงไปเพื่อตกตะกอนอีกชั้นหนึ่ง การควบคุมระบบบำบัดแบบนี้การควบคุมค่าพีเอชมีความสำคัญมาก เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างสารออกซิไดซ์และสารรีดิวซ์ที่ใช้ในงานบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สารออกซิไดซ์ที่ใช้ในงานบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี

สารออกซิไดซ์	สารปนเปื้อนที่ต้องการบำบัด
1. อากาศหรือออกซิเจน	Sulfite, Sulfide, Ferrous (Fe^{2+})
2. ก๊าซคลอรีน	Sulfide
3. ก๊าซคลอรีน และต่าง	Cyanide (CN^-)
4. คลอรีนไดออกไซด์	Cyanide, Pesticides
5. Sodium Hypochlorite (NaOCl)	Cyanide, ตะกั่ว
6. Calcium Hypochlorite (Ca(OCl)_2)	Cyanide
7. Potassium Permanganate (KMnO_4)	Cyanide, ตะกั่ว กลิ่นจากสารอินทรีย์
8. Permanganate	Manganese
9. Hydrogen Peroxide (H_2O_2)	Phenol, Cyanide, สารประกอบ Sulfur, ตะกั่ว

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก เกรียงศักดิ์ (2539)

ตารางที่ 2 สารรีดิวซ์ที่ใช้ในงานบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี

สารรีดิวซ์	สารปนเปื้อนที่ต้องการบำบัด
1. Sulfur Dioxide (SO_2)	Chromium (Cr^{6+})
2. Sodium Bisulfite	Chromium (Cr^{6+})
3. Sodium Metabisulfite	Chromium (Cr^{6+})
4. Ferrous Sulfate	Chromium (Cr^{6+})
5. Sodium Borohydride (NaBH_4)	Mercury, Silver

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก เกรียงศักดิ์ (2539)

3. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนสามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดมีความชอบหรือถูกจับโดยเรซิน (Resin) ที่ไม่เท่ากัน ซึ่งสารแลกเปลี่ยนไอออนมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติหรือชนิดสังเคราะห์ มีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงข้ามโดยไอออนที่มีประจุตรงข้ามนี้เป็นไอออนที่มีการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกจะเรียกว่า แคตไอออนเอกเชนเจอร์ (Cation Exchange) และถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบจะเรียกว่า แอนไอออนเอกเชนเจอร์ (Anion Exchange) วิธีนี้เหมาะสำหรับบำบัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง นิยมใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดของชนิดน้ำเสีย กล่าวคือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องบำบัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซินเพื่อจะทำให้การบำบัดเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

4. โคแอกกูเลชันและฟล็อกคูเลชัน (Coagulation and Flocculation)

กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการประสานคอลลอยด์ ซึ่งเป็นสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามาก (มีขนาดอยู่ในช่วง 0.1-1 ไมโครเมตร) ซึ่งไม่สามารถแยกตัวออกจากน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนตามธรรมชาติ เนื่องจากอนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดเล็กเกินไป หลักการของกระบวนการโคแอกกูเลชันคือ การเติมสารโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) เช่น สารส้ม (Aluminum Sulfate $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) ลงไปในน้ำเสียทำให้คอลลอยด์หลาย ๆ อนุภาคจับตัวกันเป็นกลุ่มเรียกว่า ฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนลงได้ สารโคแอกกูแลนต์จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวประสานให้อนุภาคมารวมตัวกันเป็นฟล็อก

5. การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการในการบำบัดสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล โดยสารที่ใช้ดูดซับมักเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) พวกถ่านที่ใช้มักมี 2 ลักษณะ คือ แบบคาร์บอนเป็นเม็ด (Granular Carbon) มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.1 มิลลิเมตร และแบบคาร์บอนเป็นผง (Power Carbon) มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 200 ไมครอน ซึ่งทำจากเมล็ดของ

แอลมอนด์ เปลือกถั่ว กะลามะพร้าว ไม้อื่น ๆ หรือถ่านทั่วไป โดยถูกนำมาเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้พื้นที่ผิวของคาร์บอนมาก ๆ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้มีพื้นที่ผิวดั้งแต่

500 – 1,500 ตารางเมตร/กรัม

6. การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)

กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับเป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลส อะซิเตท และโพลีเอมีน ซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน Semipermeable Membrane เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น วิธีนี้ต้องใช้แรงดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ ดังนั้นแผ่นเมมเบรนที่ใช้ต้องทนต่อแรงดันสูงและต้องมีการบำบัดขุ่นตันโดยการปรับค่าพีเอช แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงออก และการกรองสารแขวนลอยออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน วิธีนี้เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า น้ำเสียจากการล้างภาพ

7. ระเหย (Evaporation)

วิธีการระเหยนํ้าออกเป็นวิธีง่าย ๆ ที่ใช้ในการทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยมีทั้งระเหยที่บรรยากาศ (Atmospheric Evaporation) และการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Evaporation) วิธีบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูง

8. อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

อิเล็กโทรไดอะไลซิสเป็นวิธีการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าตรง ร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของวิธีนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย และน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและการดำเนินการสูง แต่มีข้อดีคือ สามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

9. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีการแยกโลหะหนักออกจากสารละลายโดยการเติมสารละลายซึ่งสามารถละลายโลหะหนักนั้นได้ดีกว่า วิธีนี้มีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดค่อนข้างสูง

10. การสกัดด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

การสกัดด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่มีอยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทด และเกิดก๊าซออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

11. การบำบัดโดยกระบวนการชีวภาพ (Biological treatment)

กระบวนการชีวภาพเป็นวิธีการบำบัดโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดโลหะหนัก เช่น กระบวนการ Activated Sludge พบว่าสามารถบำบัดโลหะหนัก เช่น ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโครเมียม ได้อย่างใดอย่างหนึ่ง กรณีที่มีความเข้มข้นไม่มากนัก

ทราย (Sand)

ทรายเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ทั้งในงานก่อสร้างและอุตสาหกรรม มีลักษณะร่วนซุย เป็นเม็ดเล็ก ๆ ไม่เกาะกัน มีหลายสี เช่น สีขาว เทาอมชมพู ชมพูอ่อน และส้มอ่อน เป็นต้น มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดระหว่าง 0.06-2 มิลลิเมตร ลักษณะรูปร่างของทรายมีทั้งชนิดเหลี่ยมและชนิดมน มีความคงทน ทรายเป็นแร่ควอร์ตซ์ (quartz) หรือที่เรียกว่าแร่เขียวหนุมาน มีส่วนประกอบหลักทางเคมีเป็นซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) และส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , H_2O และ LOI (Loss of Ignition คือ ส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้) ส่วนประกอบเหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการพิจารณาคุณภาพของทรายเพื่อใช้งานอุตสาหกรรม ทรายมีขนาดต่าง ๆ กัน ซึ่งแบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดทรายได้ดังนี้

ทรายละเอียด	มีขนาดตั้งแต่ 0.125-0.25 มิลลิเมตร
ทรายขนาดกลาง	มีขนาดตั้งแต่ 0.25-0.5 มิลลิเมตร
ทรายหยาบ	มีขนาดตั้งแต่ 0.5-1 มิลลิเมตร
ทรายหยาบมาก	มีขนาดตั้งแต่ 1-2 มิลลิเมตร

ถ้าวัสดุนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 มิลลิเมตร และอยู่ระหว่าง 2-64 มิลลิเมตร จัดเป็นกรวด (Gravel) กรวดจะเกิดร่วมกับทราย แต่กรวดนอกจากจะเป็นแร่ควอร์ตซ์ยังเป็นหิน และมีแร่ชนิดอื่นด้วย

1. การกำเนิดทราย

ทรายเป็นตะกอนที่เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินหลายชนิด เช่น หินชั้น หินอัคนี และหินแปร แต่หินที่ผุพังแล้วให้ตะกอนทรายได้คือ หินทราย และหินแกรนิต เนื่องจากหินแกรนิต มีแร่ควอร์ตซ์เป็นแร่ประกอบหินอยู่มากและมีเม็ดโตเมื่อเกิดการผุพังจึงให้ปริมาณทรายมาก และแร่ควอร์ตซ์เป็นแร่ที่คงทนต่อการกัดกร่อน ทรายที่เกิดจากหินแกรนิตจึงมีขนาดเม็ดค่อนข้างใหญ่กว่าทรายที่เกิดการผุพังของหินทราย นอกจากนี้แร่ควอร์ตซ์ที่ประกอบเป็นหินทรายจะมีขนาดเล็กและอัดตัวกันไม่แน่นจึงผุพังง่ายเมื่อถูกพัดพามา ดังนั้นขนาดของทรายจึงแปรผันไปตามลักษณะ หินต้นกำเนิด และระยะทางที่ถูกพัดพามา

ตะกอนทรายที่สะสมตัวของประเทศไทยส่วนมากเกิดขึ้นในยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) ซึ่งเป็นยุคสุดท้ายของการแบ่งเวลาทางธรณีวิทยา โดยมีอายุประมาณ 2 ล้านปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน

2. ชนิดของทราย

การแบ่งชนิดทรายและการเรียกชื่อขึ้นอยู่กับสถานที่กำเนิดของแหล่งทรายนั้น ๆ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด (กรมทรัพยากรธรณี, 2543)

2.1 ทรายบก

ทรายบก หมายถึง ทรายที่มีต้นกำเนิดอยู่บนแผ่นดิน ส่วนมากจะถูกพัดพามาสะสมตัวในรูปแบบต่าง ๆ กัน ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ทรายบกเป็นทรายที่พบในดินและมีหน้าดินปิดทับอยู่ ทรายชนิดนี้จะอยู่ลึกลงไปดินมากกว่า 30-100 เมตร ลักษณะของทรายชนิดนี้จะเป็นชั้น ๆ มีทรายละเอียดและหยาบสลับกันไป องค์ประกอบของเม็ดทรายประกอบด้วยแร่ควอร์ตซ์ เฟลด์สปาร์ไมกาและเหล็กออกไซด์ ทรายชนิดนี้จะมีเนื้อดินปะปนอยู่ทำให้มีปริมาณซิลิกาต่ำ โดยมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบร้อยละ 88-90 เนื่องจากมีดินปะปนอยู่มาก ดังนั้นส่วนใหญ่จึงนำมาใช้ประโยชน์ในการถมที่ ส่วนทรายหยาบและทรายละเอียดจะนำมาใช้ในงานก่อสร้าง

2.2 ทรายแม่น้ำ

ทรายแม่น้ำ หมายถึง ทรายที่ถูกพัดพามาสะสมตัวตามแม่น้ำ ลำคลอง ลำห้วยต่าง ๆ โดยรวมทั้งลำน้ำในอดีตและปัจจุบัน ลักษณะของทรายชนิดนี้จะมีสีเหลือง เนื่องจากมีเหล็กออกไซด์ปะปนอยู่และมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบร้อยละ 87-89 ทรายชนิดนี้นิยมใช้ในงานก่อสร้าง เพราะมีลักษณะเป็นทรายหยาบและเม็ดทรายมีขนาดใหญ่

2.3 ทรายชายทะเล

ทรายชายทะเลเป็นทรายที่เกิดจากการผุพังของหินและถูกพัดพามาโดยกระแสน้ำ ทำให้เกิดการสะสมตัวตามชายทะเลหรือทะเลสาป เนื่องจากน้ำทะเลมีเกลือของ NaCl , KCl และ MgCl_2 ผสมอยู่ทำให้ทรายชนิดนี้มีสารเคมีเหล่านี้ปะปนอยู่ ทรายชายทะเลมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90-95 ทรายชนิดนี้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการถมที่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้างเพราะสารเคมีข้างต้นที่ปะปนอยู่ทำให้ซีเมนต์ไม่จับตัวกัน

2.4 ทรายแก้ว

ทรายแก้วพบอยู่ตามที่ราบชายทะเลห่างจากทะเลประมาณ 0.5-1 กิโลเมตร ส่วนใหญ่พบในภาคตะวันออก เช่น จังหวัดระยอง จันทบุรี ตราด และภาคใต้ เช่น จังหวัดชุมพร ภูเก็ต ตรัง ปัตตานี นครศรีธรรมราช และสงขลา เป็นต้น โดยแต่ละแหล่งมีคุณภาพแตกต่างกัน ทรายชนิดนี้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมแก้วและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับแก้วจึงเรียกว่า ทรายแก้ว หรือทรายซิลิกา เกิดจากแร่ 6 ชนิด คือ ควอร์ตส์ คาลซิโดนี โอปอล ไทรคิเมด คริสโทบาไลต์ และเลอซาเทเลียไรต์ ซึ่งแร่เหล่านี้มีส่วนประกอบเป็น SiO_2 ทั้งหมด ทรายแก้วที่บดละเอียดแล้วจะเป็นผงสีขาวและมีความวาวเหมือนแก้ว ทรายแก้วมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 95-99 ขึ้นไป

3. ประโยชน์ของทราย

การนำทรายมาใช้ประโยชน์นอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของงานแล้ว สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาเลือกชนิดของทราย ซึ่งประโยชน์ของทรายมีมากมาย เช่น ใช้ในการก่อสร้าง ใช้สร้างถนน ใช้ทำไม้จีดไฟ ใช้ในอุตสาหกรรมสี ใช้ในการกรองน้ำ ใช้ในอุตสาหกรรมทำสารเคมี ใช้ทำอิฐทนไฟ ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา และใช้ในการทำแก้ว เป็นต้น

4. คุณสมบัติของทรายที่ใช้ในการกรองน้ำ

คุณสมบัติเบื้องต้นของทรายที่ใช้ในการกรองน้ำต้องเป็นทรายบริสุทธิ์ ไม่มีดินเหนียว ผุ่น สารอินทรีย์ และแร่ไมกา เจือปนอยู่ ส่วนรูปร่างของเม็ดทรายไม่มีผลต่อการกรองน้ำมากนัก แต่ไม่ควรมีรูปร่างแบนราบ ทรายที่มีเม็ดเหลี่ยมหรือกลมจะใช้ได้ดีและควรมีขนาดเท่า ๆ กัน ลักษณะสมบัติของทรายกรองน้ำในเชิงพาณิชย์ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะสมบัติของทรายกรองน้ำในเชิงพาณิชย์

คุณสมบัติทางเคมี	ร้อยละ
1. SiO ₂	99.390
2. Fe ₂ O ₃	0.240
3. Al ₂ O ₃	0.190
4. TiO ₂	0.120
5. CaO	0.010
6. Mg	0.004
7. LOI (loss of ignition)	0.046

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2540)

การบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียมด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ส่วนใหญ่การบำบัดโลหะออกจากน้ำเสียโดยใช้วิธีดูดซับด้วยตัวกลาง สารดูดซับที่นิยมใช้เป็นเหล็กออกไซด์ที่ไม่มีรูปพรรณสัณฐาน (Amorphous Iron Oxide) เรียกว่า เฟอริไฮไดรต์ (ferrihydrite) ใช้เติมในระบบบำบัดในรูปผลึกของเหล็ก (Iron Salts) เพื่อช่วยในการตกผลึกของโลหะออกไซด์และโลหะไฮดรอกไซด์ การบำบัดโลหะด้วยวิธีนี้มีความสำคัญมากแต่มีข้อเสียคือการดูดซับจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารดูดซับมากขึ้นซึ่งจะเกิดสัณฐานมากขึ้นตามไปด้วย รวมถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสารเคมีและการกำจัดสัณฐานก็ย่อมสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการใช้เฟอริไฮไดรต์จะต้องมีปริมาณน้อยที่สุดและต้องเกิดประโยชน์สูงสุด

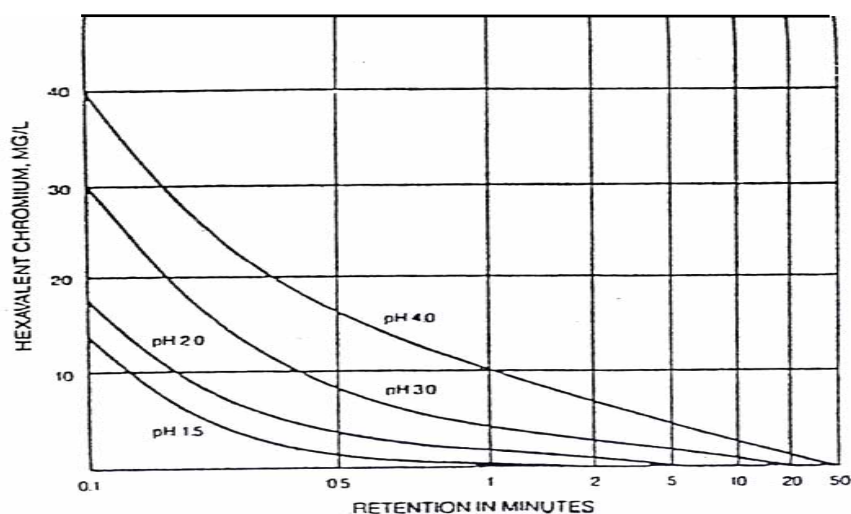
จากเหตุผลข้างต้นจึงมีการปรับปรุงข้อเสียของการดูดซับบนเฟอริไฮไดรต์ โดยนำเฟอริออกไซด์มาเคลือบบนผิวทราย ซึ่งจากการวิจัยพบว่า เฟอริออกไซด์เป็นสารที่ง่ายต่อการฟื้นฟูอำนาจ และสามารถดูดซับได้ทั้งโลหะไอออนบวกและไอออนลบโดยขึ้นกับพีเอชของสารละลายเป็นสำคัญ ซึ่งไอออนบวกจะถูกบำบัดที่พีเอชสูง ๆ และไอออนลบจะถูกบำบัดภายใต้สภาวะที่เป็นกรด สำหรับการฟื้นฟูสภาพตัวกลางต้องทำในสภาวะตรงข้ามกับที่กล่าวมา ดังนั้นการใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำเสียและประหยัดค่าใช้จ่าย

1. ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีลักษณะสีแดง มีซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็นองค์ประกอบ จึงมีความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโครเมียม

การเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโครเมียมเป็นการลดความเป็นพิษของ Cr (VI) ให้อยู่ในรูปของ Cr (III) ดังนั้นการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโครเมียมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดย Patterson, 1995 กล่าวว่าปฏิกิริยารีดักโครเมียมจะเกิดได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำ ๆ อีกทั้งเวลาการเกิดปฏิกิริยาก็สั้นเมื่อเทียบกับการเกิดปฏิกิริยาที่ค่าพีเอชสูง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลของพีเอชและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนรูป Cr (VI) เป็น Cr (III)

ที่มา: Patterson (1985)

การดูดติดผิวหรือการดูดซับ (Adsorption)

การดูดติดผิวเป็นกระบวนการที่เกิดบริเวณผิวสัมผัสระหว่างสาร 2 สถานะ โดยดึงโมเลกุลที่อยู่ในของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิวของมัน ซึ่งการเคลื่อนย้ายสารจากของเหลวมายังผิวของของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการนี้ โมเลกุลที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า สารถูกดูดติดผิว (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดติดผิวเรียกว่า สารดูดติดผิว (Adsorbent) การดูดติดผิวสามารถใช้ในการบำบัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียได้ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางกายภาพและเคมี

กลไกการดูดติดผิว (Adsorption Mechanism) (Eckenfelder, 1981)

การดูดติดผิวที่สำคัญมี 2 แบบคือ การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดติดผิวทางเคมี (Chemisorption) การดูดติดผิวทั้ง 2 แบบนี้ เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้และยึดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้

การดูดติดผิวทางกายภาพเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิดคือ แรงกระจาย (London Dispersion Force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) ดังนั้นการดูดติดผิวทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ การกระจายตัว (Dispersion) การเหนี่ยวนำ (Induction) และการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (Orientation) สำหรับโมเลกุลที่มีขั้วนั้นแรงดึงดูดจะเกิดจากการเรียงตัวของโมเลกุล ซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากโมเลกุลที่มีขั้วสองโมเลกุลคือ ขั้วลบของโมเลกุลหนึ่งดึงดูดกับขั้วบวกของอีกโมเลกุลหนึ่ง ส่วนโมเลกุลที่ไม่มีขั้วการดูดติดผิวจะเกิดแบบกระจายตัวทำให้พลังงานของระบบลดลง ระบบจึงมีความเสถียรขึ้นทำให้โมเลกุลเข้ามาเกาะติดได้

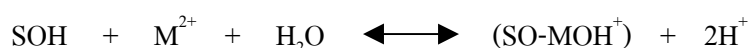
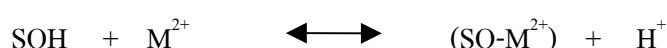
การดูดติดผิวทางเคมีเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างสารถูกดูดติดผิวและสารดูดติดผิว เกิดเป็นสารประกอบเคมีซึ่งจะแตกต่างจากการดูดติดผิวแบบกายภาพ เพราะกระบวนการนี้จะมีการถ่ายเทมวลสารจึงทำให้เกิดการดูดติดผิวด้วยพันธะเคมีกับส่วนที่เกิดปฏิกิริยาของสารดูดติดผิว โดยทั่วไปการดูดติดผิวทางเคมีจะมีความแรงมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ของการดูดติดผิวทางกายภาพ

การดูดติดผิวด้วยไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์

1. ลักษณะของไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์

ไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์ (Hydrous Metal Oxide) คือ ของแข็งที่ประกอบด้วยไอออนโลหะประจุบวกตั้งแต่ 1 ขึ้นไป รวมตัวกับอนุภาคของน้ำคือ ไฮโดรเจนและออกซิเจน ดังนั้นไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์จึงรวมถึงสารประกอบโลหะที่มีหมู่ฟังก์ชันออกไซด์ (-O) ไฮดรอกไซด์ (-OH) และออกซิไฮดรอกไซด์ (-OOH) ไฮดรอกไซด์ของเหล็กกระจายอยู่ทั่วไปในดินเหนียวหรือตะกอน โดยเคลือบอยู่บนผิวของแร่ธาตุนั้น ๆ และอยู่ในรูปของออกไซด์ รูปแบบทางเคมีของเหล็กออกไซด์และไฮดรอกไซด์มักจะอยู่ในรูปของ Fe^{3+} เช่น $\text{Fe}(\text{OH})_3$, Fe_3O_4 และ $\alpha\text{-FeOOH}$ เป็นต้น (Kinniburgh and Jackson, 1981)

ไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์แสดงลักษณะที่เป็นทั้งกรดและเบสในน้ำ หมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนผิวหน้าของออกไซด์สามารถจับหรือปล่อยโปรตอน ทำให้เกิดออกไซด์ที่เกิดปฏิกิริยานั้นย้ายโปรตอนและมีประจุเกิดขึ้นบนพื้นผิวของมัน คุณสมบัติที่สำคัญของไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์คือ ความเป็นกรดของพื้นผิว เนื่องจากการที่ผิวมีหมู่ฟังก์ชันนั้นมีความสัมพันธ์กับชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณการเชื่อมต่อของผิว เช่น ปฏิกิริยาการดูดติดผิวและการจับตัวเป็นก้อน ไฮดรอกซิลไอออนที่ผิวจะเกิดพันธะกับไอออนของโลหะได้เช่นเดียวกับลิแกนด์อื่นในสารละลาย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



เมื่อ

SOH = พื้นผิวไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์

M^{2+} = ไอออนประจุบวกสอง

H^+ = ไฮโดรเจนไอออน

นอกจากนี้ ได้มีการแนะนำหลักการของ Zero Point of Charge (ZPC) หรือ Isoelectric Point of the Solid (IEP_s) (Park, 1967 อ้างถึงใน Forstner and Wittman, 1981) กล่าวคือ ทั้งสองค่านี้ใช้ค่าพีเอชเป็นตัวแปรหลัก ซึ่ง ZPC เป็นค่าพีเอชที่ประจุไฟฟ้าที่ผิวของแข็งจากทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับศูนย์ยกตัวอย่าง เช่น ไฮดรอกไซด์จะแลกเปลี่ยนไอออนบวกในสภาวะด่างเมื่อพื้นที่ผิวมีประจุลบในทางกลับกันถ้าอยู่ในสภาวะกรดและประจุที่พื้นผิวเป็นบวกจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (ตารางที่ 4 แสดงค่า (ZPC ของสารดูดซับผิว (Adsorbent) สำหรับโลหะหนักในน้ำธรรมชาติ)

ตารางที่ 4 แสดงค่า ZPC ของสารดูดซับผิว (Adsorbent) สำหรับโลหะหนักในน้ำธรรมชาติ

OXIDE	ZERO POINT OF CHARGE
α -quartz, SiO	2.5 (1.5-3.5)
SiO gel	1.0-2.5
Mn (II) manganite	1.8
α -MnO ₂	2-4.5
Gothite, α -FeOOH	6.7 (6.1-6.7)
Fe ₂ O ₃ .XH ₂ O	8.5
Gibbsite, α -Al(OH) ₃ and all oxide and hydroxides	9 (9.1-9.3)
Kaolin	3.5 (<2-4.6)
Montmorillonite	<2.5

ที่มา: Stumm and Morgan (1970) อ้างถึงใน Forstner and Wittman (1981)

2. การดูดซับผิวไอออนบวกด้วยไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์

การดูดซับผิวไอออนบวกด้วยไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนภายในเวลาเล็กน้อย การดูดซับผิวเป็นปรากฏการณ์ของพื้นผิวที่พร้อมจะรับไอออนจากสารละลาย ซึ่งการดูดซับผิวด้วยกลไกบนไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์จะเกิดขึ้นได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของสารที่อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์โลหะออกไซด์ โดยรวมถึงส่วนประกอบทางเคมี การกระจายขนาดอนุภาค รูปร่างลักษณะของสาร พื้นที่ผิวสัมผัส ความพรุน

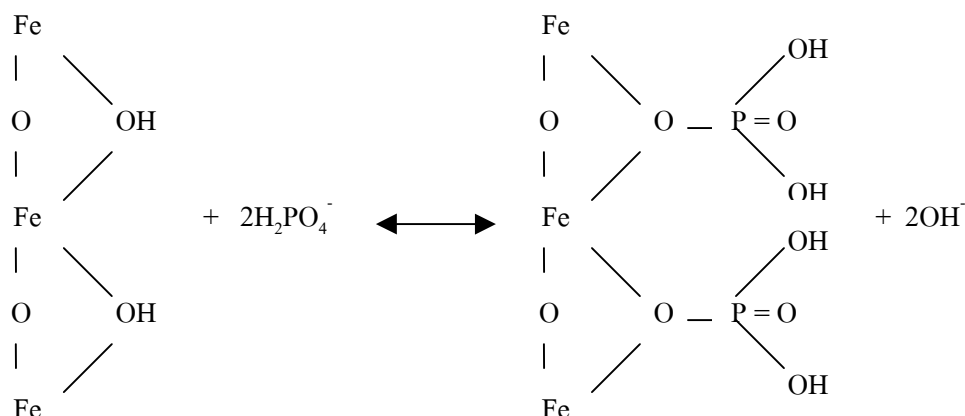
ปริมาณและธรรมชาติของบริเวณพื้นผิวที่ดูดซับได้ นอกจากนี้ค่าพีเอชยังมีผลต่อการดูดซับ ไอออนต่าง ๆ บนไฮดรอกไซด์ โดยการดูดซับไอออนบวกจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น แต่การดูดซับไอออนลบจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีค่าพีเอชต่ำและจะลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น สำหรับปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดซับไอออนบนไฮดรอกไซด์ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารดูดซับ และไอออนชนิดอื่น ๆ ที่ปะปนอยู่ในสารละลายซึ่งรบกวนการดูดซับบนไฮดรอกไซด์

กลไกการดูดซับไอออนบวกบนไฮดรอกไซด์ คือ เมื่อโลหะออกไซด์สัมผัสกับน้ำจะเกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิลขึ้นที่พื้นผิวของโลหะในชั้นแรกไอออนของโลหะที่ชั้นผิวหน้าของออกไซด์ยังแห้งอยู่เพราะโมเลกุลของน้ำยังไม่เข้าไปจับ เมื่อน้ำเข้าไปจับตรงที่ว่างอยู่จะเกิดพันธะได้โดยการดูดซับทางเคมี ทำให้พื้นผิวหน้ากลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิลด้วยโปรตอนที่ได้จากโมเลกุลของน้ำที่ถูกดูดซับไว้แล้ว โปรตอนนี้จะแยกตัวออกมาจากโมเลกุลของน้ำมายังออกซิเจน ไอออนที่อยู่ในชั้นผิว ซึ่งอาจมีการดูดซับน้ำเพิ่มเข้าไปได้อีกบนพื้นผิวที่กลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (Dzombak and Morel, 1990)

3. การดูดซับไอออนลบด้วยไฮดรอกไซด์

ความสามารถในการดูดซับและการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ เป็นกลไกที่สลับซับซ้อน และยังไม่เป็นที่ทราบกันอย่างแน่ชัด แต่ถ้าพิจารณาการดูดซับเป็นหลัก ไอออนประจุลบที่ถูกดูดซับจะเป็นการดูดซับที่จำเพาะเจาะจง (Specific Adsorption) หรือการดูดซับเชิงเคมี (Chemical Adsorption) ซึ่งการดูดซับนี้เกิดจากแรงคูยิดแบบไฟฟ้าสถิตย์ หรือแบบคูมอนด์ โดยปริมาณที่ดูดซับไม่จำเป็นต้องมีสมมูลเท่ากับประจุบวกบนผิวสารดูดซับ นอกจากนั้น ดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนักจะเกิดการดูดซับไอออนประจุลบได้ดี เช่น CrO_4^{2-} , AsO_4^{3-} และ SeO_4^{2-} เป็นต้น

ฟอสเฟตเกิดการดูดซับแบบจำเพาะเจาะจงและไอออนประจุลบของฟอสเฟตจะเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนลิแกนด์กับหมู่ฟังก์ชันนัล (-OH) หรือ H_2O บนผิวแร่เหล็กออกไซด์ การแลกเปลี่ยนลิแกนด์จะเกิดขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชลดลง แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การแลกเปลี่ยนลิแกนด์ระหว่าง H_2PO_4^- กับหมู่ $-\text{OH}$ บนผิวของแร่เหล็กออกไซด์

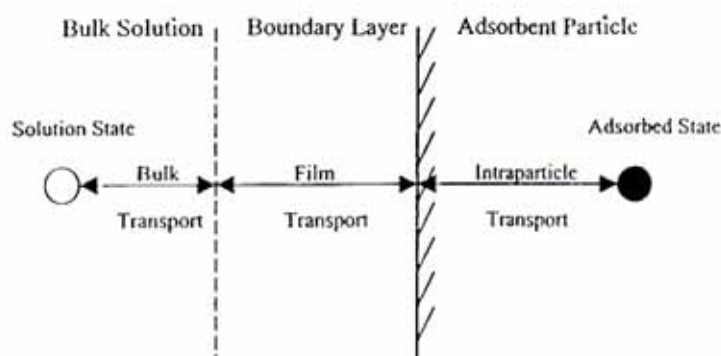
ที่มา: ไพนุลย์ (2544)

อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (rate of molecular transfer) (Eckenfelder, 1981)

อัตราการดูดซับมีความสำคัญ เนื่องจากอัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุด ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล กลไกการดูดซับมี 3 ขั้นตอน คือ

- การเคลื่อนที่ของโมเลกุล (Bulk Transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ ที่หุ้มสารดูดซับ
- การเคลื่อนที่ของชั้นฟิล์ม (Film Transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง
- การเคลื่อนที่ภายในอนุภาค (Intraparticle Transport) เป็นการแพร่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับภายใน จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

การเคลื่อนที่ของชั้นฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิว แต่ถ้าหาว่าระบบ มีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุม อัตราการดูดติดผิว ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวมายังสารดูดติดผิว แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์

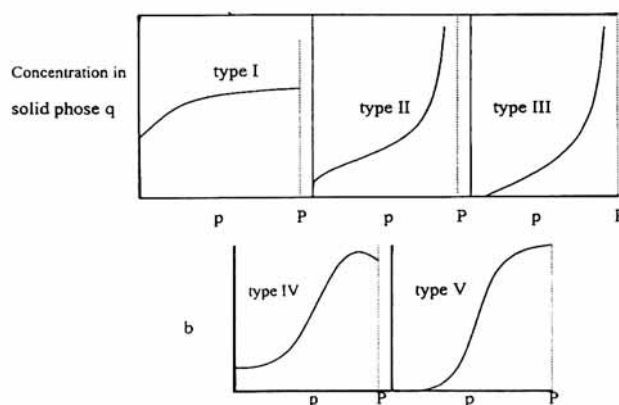
ที่มา: Eckenfelder (1981)

สมดุลการดูดติดผิว (Adsorption Equilibrium)

การดูดติดผิว ความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อตัวถูกละลายบนพื้นผิวของสารดูดติดผิว ตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวมีแนวโน้มที่จะหลุดออกสู่สารละลาย เมื่อปริมาณของการดูดติดผิวและ หลุดออกจากผิวมีปริมาณเท่ากัน ดังนั้นอัตราการดูดติดผิวและการหลุดออกจากผิวจะเข้าสู่สภาวะ คงที่ซึ่งเรียกว่า สมดุลการดูดติดผิว (Adsorption Equilibrium) ที่จุดสมดุลจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของสารดูดติดผิว สมดุลนี้เป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นตัวถูกละลาย สารดูดติดผิว ค่าพีเอช อุณหภูมิ และอื่น ๆ การแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยของสารดูดติดผิว ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลาย ที่อุณหภูมิคงที่เรียกว่า ไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิว แสดงถึงลักษณะของกระบวนการดูดติดผิว และปริมาณของสารที่ถูกดูดติดผิวบนพื้นผิวของสารดูดติดผิว รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดติดผิวมี 5 แบบ แสดงดังภาพที่ 7 ซึ่งไอโซเทอมแบบที่ 1 เป็นระบบที่การดูดติดผิวเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว ส่วนรูปที่ 2 ถึง 5 เป็นการดูดติดผิวของโมเลกุลหลายชั้น เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยมีทฤษฎีมากมายที่พัฒนาขึ้นเพื่อแสดงไอโซเทอมการดูดติดผิวในปัจจุบันยังไม่มีทฤษฎีใดที่จะอธิบายสมการและกลไกการดูดติดผิวได้อย่างถูกต้อง จึงนำเสนอสมการทั่วไปดังนี้



ภาพที่ 7 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพื้นฐาน

ที่มา: Faust and Aly (1987)

1. ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิชใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้อธิบายกระบวนการดูดติดผิวในระบบของเหลว มีสมการดังนี้

$$X/M = KC_e^{1/n} \quad (1)$$

เมื่อ

X/M = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ หน่วย มก./ก.

C_e = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล หน่วย มก./ล.

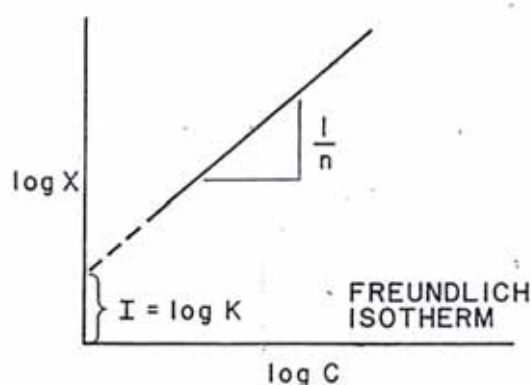
K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

จากสมการที่ (1) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\text{Log } (X/M) = \log K + (1/n) \log C_e \quad (2)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log (X/M)$ กับ $\log C_e$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ และจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K$ แสดงดังภาพที่ 8 ถ้าค่า $1/n$ มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงการดูดซับที่ดี และถ้าค่า $1/n$ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี



ภาพที่ 8 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช

ที่มา: Sunstrom and Klei (1995)

2. ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมติฐานของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ หรือเรียกว่า localized monolayer model คือ โมเลกุลถูกดูดติดผิวอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดติดผิว แต่ละโมเลกุลเกิดการดูดติดผิวได้โมเลกุลเดียวโดยพื้นที่บริเวณดูดติดผิวมีค่าที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิวและพลังงานการดูดติดผิวแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน สมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ แสดงดังสมการที่ (3)

$$\frac{X}{M} = \frac{abC_e}{1 + bC_e} \quad (3)$$

เมื่อ

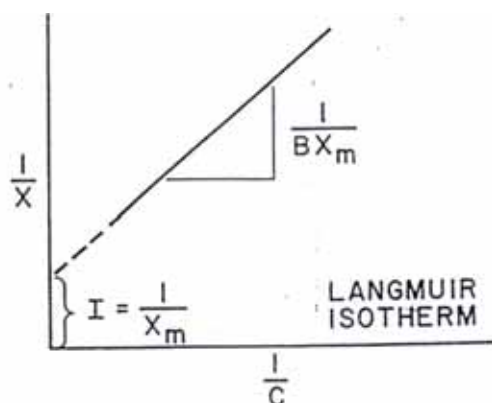
- X/M = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักสารดูดติดผิว หน่วย มก./ก.
- C_e = ความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวในสารละลายที่จุดสมดุล หน่วย มก./ล.
- a = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักสารดูดติดผิวที่ต้องการสำหรับการดูดติดผิวแบบชั้นเดียว หน่วย มก./ก.
- b = ค่าคงที่พลังงานของการดูดติดผิว

จากสมการที่ (4) สามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\frac{C_e}{X/M} = \frac{1}{ab} + \frac{C_e}{a} \quad (4)$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{1}{X/M} = \frac{1}{ab C_e} + \frac{1}{a} \quad (5)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/(X/M)$ กับ $1/C_e$ จะได้สมการเส้นตรง สามารถหาค่าคงที่ a และ b ได้จากความชันและจุดตัดแกน ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์

ที่มา: Sunstrom and Klei (1995)

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดติดผิว

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดติดผิว

ความสามารถในการดูดติดผิว (adsorption capacity) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะคือ สารดูดติดผิวที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูดติดผิวโมเลกุลได้มากกว่าสารดูดติดผิวที่มีพื้นที่ผิวน้อย ส่วนอัตราการดูดติดผิวจะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดติดผิว ถ้าสารดูดติดผิวขนาดเล็กจะมีอัตราการดูดติดผิวมากกว่าสารดูดติดผิวขนาดใหญ่

2. ลักษณะของสารดูดติดผิว

เมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายลดลง จะเกิดการดูดติดผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการดูดติดผิวตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายแล้วไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยจะถูกดูดติดผิวได้ดี นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของสารดูดติดผิวยังมีผลต่ออัตราการดูดติดผิวอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดติดผิว ขนาดของโมเลกุลของสารดูดติดผิวจะแปร ผกผันกับอัตราการดูดติดผิว ดังนั้นการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อมีสารมีขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อยหรือเข้ากับโพรงได้พอดี โดยโมเลกุลขนาดเล็กจะเข้าไปในโพรงก่อนโมเลกุลขนาดใหญ่

3. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชทำให้เกิดการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสาร ค่าพีเอชจึงมีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว ซึ่งไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดติดผิวได้ดี และค่าพีเอชของสารละลายยังมีผลกระทบต่อการดูดติดผิวของไอออนอื่น ๆ โดยไอออนบวกจะถูกดูดติดผิวได้ดีที่พีเอชสูง ๆ และไอออนลบจะถูกดูดติดผิวได้ดีภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

การดูดติดผิวโครเมตไอออน (CrO_4^{2-}) โดย Fe-OOH (Iron- Oxide) ขึ้นอยู่กับพีเอชด้วยเช่นกัน โดยที่พีเอชต่ำ การดูดติดผิวโครเมตจะเกิดขึ้นดี นอกจากนั้น ไอออนที่มีประจุลบ เช่น ซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะส่งผลให้การดูดติดผิวลดลง (Aoki and Munemori, 1982; Zachra al., 1987; Zachara et al., 1989 อ้างใน Khaodhian, 1997)

4. ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการแพร่เข้าสู่รูพรุน (pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำจะทำให้มีชั้นฟิล์มหนามากขึ้น โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดติดผิวได้ช้า ดังนั้นการแพร่ผ่านฟิล์มจึงเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดติดผิวของปฏิกิริยา ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงจะทำให้มีฟิล์มบางลง โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าสู่สารดูดติดผิวได้เร็วกว่าการแพร่เข้าสู่รูพรุน ดังนั้นอัตราเร็วการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวจึงขึ้นอยู่กับการแพร่เข้าสู่รูพรุน

5. เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดติดผิวและอายุการใช้งานของถังดูดติดผิว ในการบำบัดน้ำเสียระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดติดผิวและสารถูกดูดติดผิวด้วย

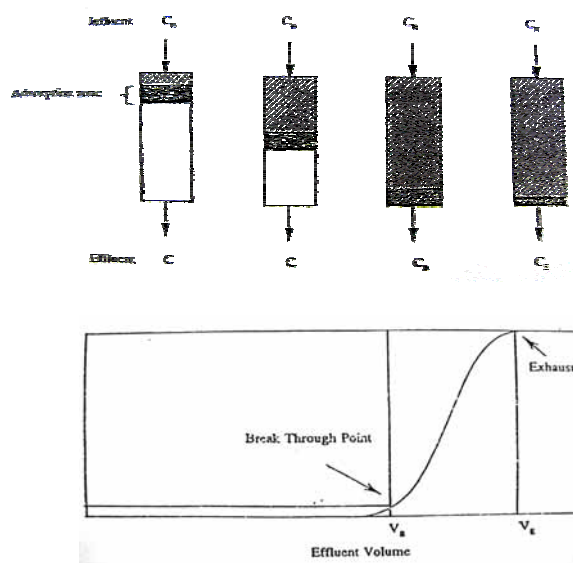
6. อุณหภูมิ

การดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อนโดยอุณหภูมิมีผลต่ออัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราเร็วการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้นด้วยการดูดซับจึงน้อยลง

7. ถังกรองดูดซับแบบคอลัมน์ (Adsorption Column)

ผลจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ นำมาใช้ในการพิจารณาเลือกชนิดวัสดุกรองที่มีความเหมาะสมได้ แต่ข้อมูลที่ได้นั้นยังคงไม่เพียงพอสำหรับการออกแบบ ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองโดยใช้ถังกรองดูดซับ (column test) เพื่อหาอายุการใช้งานของสารดูดซับที่เลือกใช้ว่ามีอายุการใช้งานนานเท่าใด สารดูดซับนั้นจึงจะเสื่อมคุณภาพ (Sunstrom and Klei, 1995)

เมื่อนำน้ำที่ปนเปื้อนมาผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุกรองอย่างต่อเนื่องหลังจากน้ำไหลผ่านชั้นสารดูดซับเป็นระยะเวลาหนึ่ง สารดูดซับชั้นบนจะหมดประสิทธิภาพก่อนและชั้นต่อมาจะมีประสิทธิภาพลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลา ดังนั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านการดูดซับแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ แสดงว่าคอลัมน์หมดประสิทธิภาพการดูดซับแล้ว เรียกจุดนี้ว่า จุดเบรคทูร์ (breakthrough point) แสดงดังภาพที่ 10 โดยอายุการใช้งานคอลัมน์ (service time) คือ เวลาที่นับจากเริ่มต้นการดูดซับจนถึงจุดเบรคทูร์ อายุการใช้งานนั้นจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ถ้าให้ความสูงของชั้นสารดูดซับเพิ่มขึ้นเวลาการใช้งานก็จะเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นน้ำเสียและอัตราการกรองสูงจะทำให้มีอายุการใช้งานต่ำ และถ้าสารดูดซับมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากก็จะทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย



ภาพที่ 10 การเคลื่อนตัวของ adsorption zone สำหรับชั้นสารดูดติดผิวที่อยู่กับที่ตามทิศทางการไหลของน้ำเสีย

ที่มา: Sunstrom and Klei (1995)

การแลกเปลี่ยนไอออน

การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) คือ กระบวนการระหว่างสารละลายกับสารประกอบซึ่งไม่ละลายในสารละลายนั้น สารประกอบที่มีคุณสมบัติแลกเปลี่ยนไอออนหรือเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ cation-exchange แลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก เช่น ไอออนของโลหะ และ anion-exchange แลกเปลี่ยนไอออนประจุลบ เช่น ไอออนของอโลหะ โครงสร้างของเรซินเป็นตัวกำหนดสมรรถภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินที่มีไฮโดรคาร์บอนหลาย ๆ โมเลกุลประสานกันเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติเรียกว่า เมตริกซ์ โดยมีหมู่ฟังก์ชันนอลเกาะอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ บนตาข่ายซึ่งทำให้เรซินมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนประจุ แต่ส่วนที่ทำให้เรซินมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนของน้ำได้นั้นเป็นหมู่ไอออนที่มีส่วนหนึ่งเกาะติดอยู่กับโครงร่างและไม่เคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่งเป็นไอออนเคลื่อนที่ได้และเป็นส่วนที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนที่อยู่ในน้ำ (มันสิน, 2538)

หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

- บำบัดไอออนต่าง ๆ ออกจากน้ำ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} และ Cl^- เป็นต้น นอกจากนี้ บางครั้งอาจใช้บำบัดโลหะหนักที่เป็นพิษด้วย แต่จำเป็นต้องใช้เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะหนักที่ใช้เรซินบำบัด ได้แก่ สารหนู แบริยม แคดเมียม โครเมียม ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น

- ทำให้ไอออนต่างๆ มีความเข้มข้นสูงมากขึ้นในน้ำออกคือ ไอออนที่ถูกบำบัดออกจากสารละลายจะหลุดออกมากับสารละลายรีเจนเนอเรนต์ในระหว่างการทำรีเจนเนอเรชัน เนื่องจากปริมาณของสารละลายรีเจนเนอเรนต์มีน้อยกว่าปริมาณของสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของไอออน ดังนั้นความเข้มข้นใหม่ของไอออนจึงสูงมากซึ่งเป็นการทำให้ไอออนเดิมที่เจือจางมากมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายเท่า

วัฏจักรการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

1. การแลกเปลี่ยนไอออน (service)

สารละลายที่ต้องการบำบัดผ่านเข้าไปในชั้นของเรซินและเกิดการแลกเปลี่ยนไอออน ค่าความจุของเรซินคือ ความสามารถในการใช้งานเรซินเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณไอออนที่เรซินแลกเปลี่ยนได้สูงสุด ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนไอออนจะสิ้นสุดเมื่อความเข้มข้นของไอออนที่ผ่านออกมาในสารละลายมีค่าสูงสุดจนถึงจุดที่ยอมรับได้

2. การล้างย้อน (backwash)

หลังจากขั้นตอนการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินจะถูกล้างย้อนทำให้เกิดการขยายตัว เพื่อให้การสัมผัสของสารเคมีกับเม็ดเรซินเป็นไปอย่างทั่วถึงในขั้นตอนการฟื้นฟูประสิทธิภาพ การล้างย้อนช่วยกำจัดอนุภาคที่เกาะอยู่บนผิวหน้าของเรซิน หลังจากนั้นปล่อยให้ชั้นเรซินตกลง

3. การฟื้นฟูประสิทธิภาพ (regeneration)

คือ การทำให้เรซินที่หมดอำนาจแล้วกลับฟื้นตัวขึ้นมามีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ใหม่อีกครั้ง การที่เรซินหมดอำนาจ (ชั่วคราว) เป็นเพราะไอออนอิสระส่วนใหญ่ในเรซินถูกนำไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นในน้ำจนหมดสิ้น การฟื้นฟูประสิทธิภาพเป็นการขับไล่ไอออนในเรซินที่แลกเปลี่ยนมาแล้วและเติมไอออนอิสระให้กับเรซินทำให้เรซินกลับคืนสู่สภาพเดิมและมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนอีกครั้ง สารเคมีที่ใช้เติมให้กับเรซินที่หมดอำนาจแล้วเรียก สารรีเจนเนอเรนต์ (regenerant) วิธีการรีเจนเนอเรชันมี 2 แบบคือ การรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม (co-current regeneration) มีทิศทางเดียวกับการแลกเปลี่ยนไอออน และการรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง (counter-current regeneration) มีทิศทางตรงกันข้ามกับการแลกเปลี่ยนไอออน

4. การชะล้างสารเคมี (rinse)

สารรีเจนเนอเรนต์จะถูกแทนที่ด้วยน้ำที่มีอัตราการไหลต่ำในชั้นเรซินจนหมด การล้างชั้นนี้จะตามด้วยการล้างเร็ว โดยปล่อยน้ำที่มีอัตราการไหลสูงเพื่อกำจัดรีเจนเนอเรนต์ที่ตกค้างในชั้นเรซิน ความเข้มข้นของรีเจนเนอเรนต์ถูกตรวจวัดจนกระทั่งลดลงถึงค่าที่ต้องการ วัฏจักรการทำงานในรอบต่อไปก็จะเริ่มต้นอีกครั้ง

การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bailey et al. (1992) ได้เปรียบเทียบความสามารถของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่เตรียมจากเฟรคคโลไรด์และเฟอร์ริกไนเตรดในการบำบัดโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร จากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.63 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร บรรจุตัวกลาง 6 มิลลิเมตร ควบคุมให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางที่ 2 มิลลิเมตร/นาที่ สำหรับการฟื้นฟูสภาพระบบจะทำการเปรียบเทียบการใช้ 1 M NaOH และสารละลายที่ควบคุมพีเอชเริ่มต้นไว้ที่ 9.5

ผลการทดลองพบว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่เตรียมจากเฟรคคโลไรด์มีอายุการใช้งานได้นานกว่าส่วนการรีเจนเนอเรชันพบว่า การใช้สารละลายที่ควบคุมพีเอชเริ่มต้นที่ 9.5 จะต้องใช้เวลากว่าการรีเจนเนอเรชันมากกว่าการรีเจนเนอเรชันด้วย 1 M NaOH แต่การใช้สารละลายที่ควบคุมพีเอชเริ่มต้นที่ 9.5 จะทำให้ตัวกลางเคลือบเหล็กมีอายุการใช้งานได้นานกว่า

Edwards and Benjamin (1989) ศึกษาการกรองแบบดูดติดผิวโดยใช้ทรายเคลือบเปรียบเทียบกับทรายธรรมดา และสารดูดติดผิว Ferrihydrite และได้ศึกษาถึงลักษณะสมบัติของทรายเคลือบที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีต่างกัน 2 วิธี คือ การเคลือบโดยใช้วิธีการตกผลึกและการเคลือบโดยใช้ความร้อน ซึ่งพบว่าทรายเคลือบทรายโดยการให้ความร้อนจะใช้ปริมาณเหล็กในการเคลือบมากกว่า แต่มีข้อดีคือ ทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดติดได้มากกว่าการเคลือบทรายด้วยวิธีการตกผลึก นอกจากนี้ยังมีความคงทนมากกว่าเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่เป็นกรด นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักต่าง ๆ กันปนอยู่ ซึ่งประกอบด้วย Pb, Cu, Ni, Cd และ Cr (III) โดยทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ความสูงของชั้นตัวกลางประมาณ 15 เซนติเมตร ทำงาน 4 ขั้นตอน คือ การบำบัด การล้างย้อน การฟื้นฟูสภาพ และการเตรียมตัวกลาง ซึ่งจากการทดลองพบว่า ทรายเคลือบมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักได้ดี และสามารถบำบัดโลหะเชิงซ้อนได้อีกด้วย และจากการล้างและฟื้นฟูอำนาจทรายเคลือบด้วยสารละลายกรดพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักขึ้นอยู่กับค่าพีเอช โดยมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอชในช่วง 8.5-10

Ioannis and Anastasios (2002) ศึกษาการบำบัดสารหนูในน้ำด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้เม็ดพลาสติกเคลือบเหล็กออกไซด์ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสารหนู ได้แก่ ความเข้มข้นสารหนูเริ่มต้น ค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลาย ระยะเวลาสัมผัส ปริมาณเหล็กออกไซด์ที่เคลือบผิว และไอออนประจุลบอื่นที่มีผลต่อการดูดติดผิวสารหนู ทำการทดลองโดยบรรจุเม็ดพลาสติกเคลือบเหล็กออกไซด์ในคอลัมน์แก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.86 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์สารหนูให้มีทิศทางไหลขึ้นในคอลัมน์ และฟื้นฟูประสิทธิภาพสารดูดติดผิวโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 นอร์มัล ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 7 ระยะเวลาสัมผัส 12.5 นาที เมื่อเพิ่มปริมาณเหล็กออกไซด์ที่เคลือบผิวจะเพิ่มความสามารถในการดูดติดผิว ดังนั้นการใช้เม็ดพลาสติกเคลือบเหล็กออกไซด์ในการดูดติดผิวสารหนูจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูได้

พรเพ็ญ (2545) ศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวโลหะหนักสามชนิดคือ สารหนู ตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ 0.1 กรัม ในการดูดติดผิวสารหนูความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 7 ระยะเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวเท่ากับร้อยละ 35.19 สำหรับตะกั่วความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ

4 เวลาสัมผัส 45 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวมากกว่าร้อยละ 99.0 และแอดเมียมความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 5 เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวเท่ากับร้อยละ 91.67 และในการศึกษาไอโซเทอมพบว่าสารหนูและตะกั่วมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ ส่วนแอดเมียมมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรังก์ลิช

ธรรม (2541) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารหนูและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูโดยใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์เป็นตัวกลางใช้คอลัมน์ที่บรรจุตัวกลางสูง 35 เซนติเมตร พบว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนูได้มากกว่าทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมในการแลกเปลี่ยนไอออนสารหนูคือ 7 มีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูโดยใช้ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่ค่าพีเอช 3 และอัตราการกรองที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนไอออนสารหนูของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์อยู่ในช่วง 12-20 ปริมาตรเรซิน/ชั่วโมง และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์อยู่ในช่วง 2-30 ปริมาตรเรซิน/ชั่วโมง และการทดลองการฟื้นฟูอำนาจตัวกลางทั้งสองชนิดโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 นอร์มัล กำหนดการทำงาน 10 รอบ พบว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูดีกว่าทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ โดยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดมากกว่าทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์

อดิศักดิ์ (2000) ทำการทดลองโดยใช้ตัวกลางทรายเคลือบแมกนีไทต์ในการบำบัด Cr (VI) ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ทำการทดลองที่น้ำเสียความเข้มข้นเริ่มต้น 50, 100 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 4, 6 และ 8 พบว่า ค่าความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นของน้ำเสียและพีเอชที่เหมาะสมในการทดลองคือ 100 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4 โดยใช้ตัวกลางเคลือบแมกนีไทต์ 1 กรัม และสามารถบำบัดโครเมียมได้ 1.74 มิลลิกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า การฟื้นฟูอำนาจตัวกลางด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่พีเอช 4 สามารถทำให้ตัวกลางที่หมดสภาพแล้วกลับมาใช้งานได้อีกดีพอสมควร

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบจำลองคอลัมน์รีแอกเตอร์ที่ใช้ในการใช้บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ทำจากอะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 44 ตารางเซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ดังภาพที่ 11
2. ทรายคัดขนาด ขนาด 0.5-0.8, 1-2 และ 3-5 มิลลิเมตร
3. สายยางชนิดใส
4. กระดาษกรอง
5. ถังพลาสติก
6. ขวดโพลีเอทิลีนใช้สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อรอกการนำไปวิเคราะห์
7. เครื่องแก้ว
8. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด
9. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
10. เครื่องเขย่า
11. เครื่องสูบน้ำ

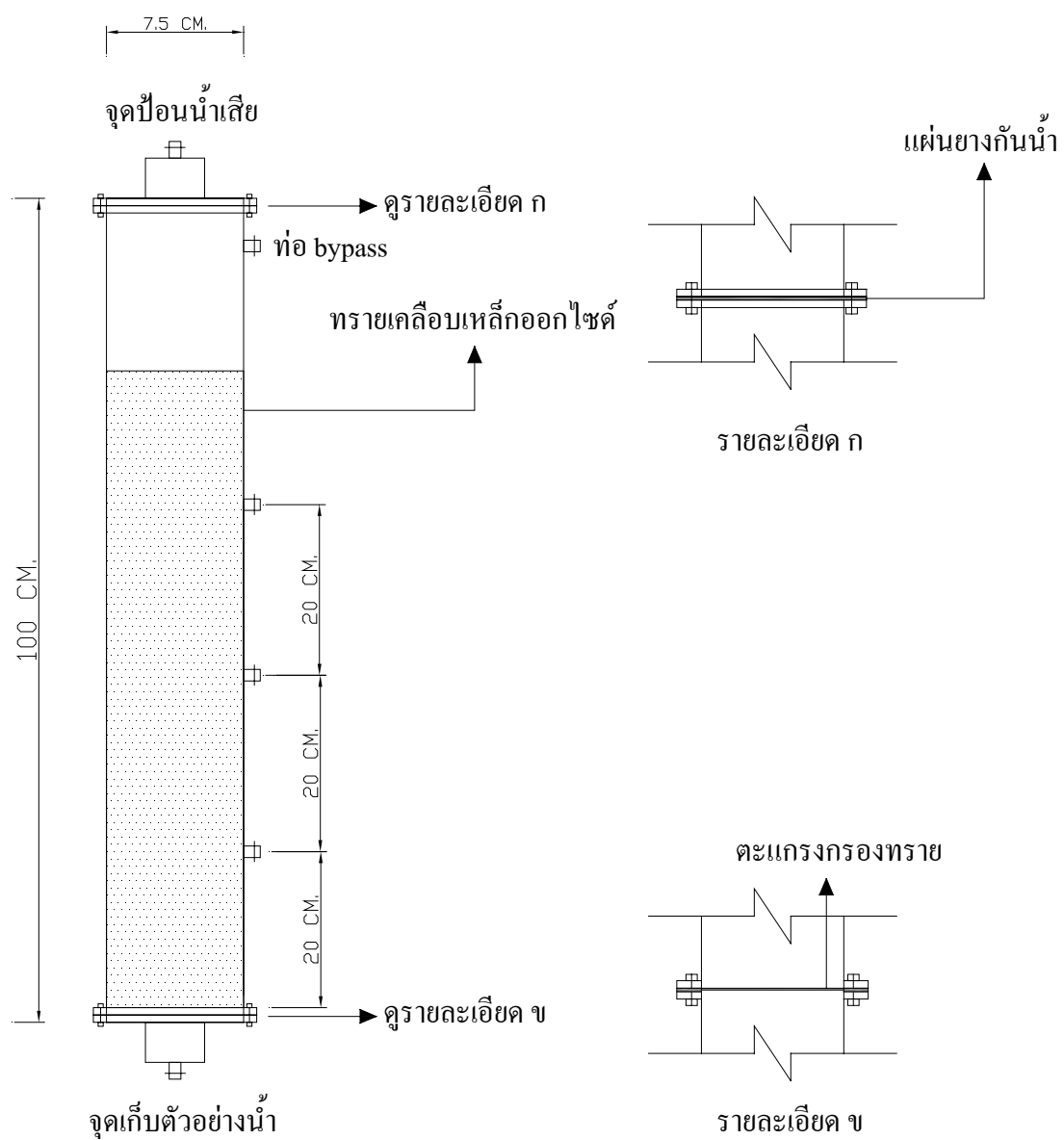
8. ตู้อบแห้ง
9. เครื่องเหล็กยัดคอลลัมน์รีแอกเตอร์
10. Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma: ICP

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวกลางทรายเหล็กออกไซด์
 - 1.1 เฟอริกไนเตรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)
 - 1.2 กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
2. สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์
 - 2.1 โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
 - 2.2 กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 1 โมล
 - 2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.5 โมล

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. พีเอช วิเคราะห์โดยเครื่องวัดพีเอชของน้ำ (pH meter)
2. โครเมียมวิเคราะห์โดยใช้วิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma: ICP



ภาพที่ 11 รายละเอียดคอลัมน์รีแอกเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

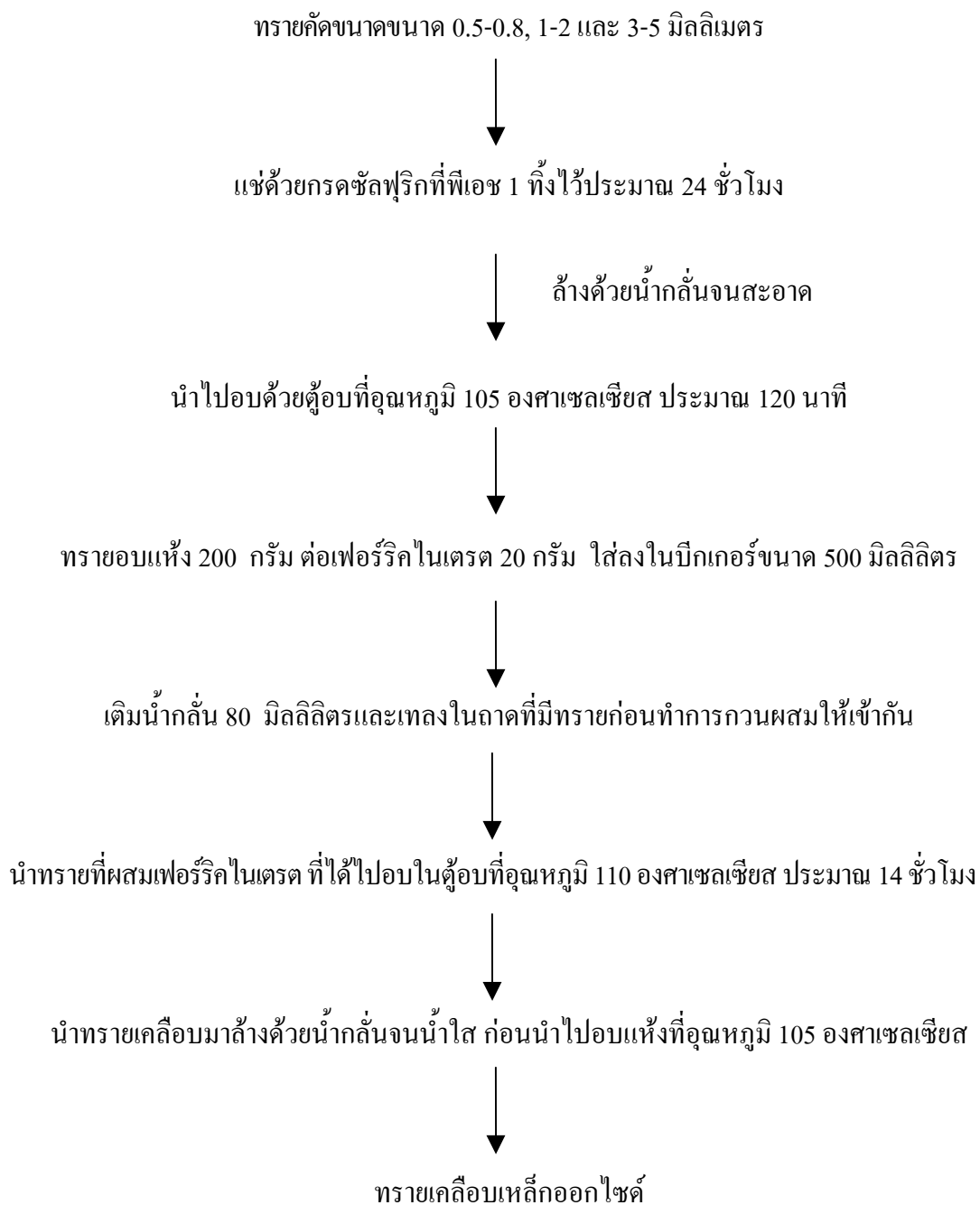
วิธีการดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองและวิจัยแบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เตรียมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และน้ำเสียสังเคราะห์ ส่วนที่ 2 ศึกษาลักษณะสมบัติของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ส่วนที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น และความสามารถการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยพิจารณาจากไอโซเทอมการดูดติดผิว ส่วนที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่องด้วยคอลัมน์รีแอกเตอร์และการฟื้นฟูสภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ส่วนที่ 1 เตรียมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และน้ำเสียสังเคราะห์

1. วิธีการเตรียมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ (ดังภาพที่ 12)

- 1.1 ทรายคัดขนาด 0.5-0.8, 1-2 และ 3-5 มิลลิเมตร
- 1.2 นำทรายคัดขนาดแต่ละขนาดแช่ด้วยกรดซัลฟริกที่พีเอช 1 ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง
- 1.3 ล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด ก่อนนำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 120 นาที
- 1.4 นำทรายอบแห้ง 200 กรัม ใส่ถาด จากนั้นชั่งเฟอร์ริกไนเตรด 20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร และเทลงในถาดที่มีทรายก่อนทำการกวนผสมให้เข้ากัน
- 1.5 นำทรายที่ผสมเฟอร์ริกไนเตรดที่ได้ไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 14 ชั่วโมง
- 1.6 นำทรายเคลือบมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำใส ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (ลักษณะทรายก่อนและหลังเคลือบเหล็กออกไซด์ แสดงดังภาพที่ 13)



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการเตรียมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์



(ก)

ทรายก่อนเคลือบเหล็กออกไซด์



(ง)

ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

ภาพที่ 13 ลักษณะทรายก่อนและหลังเคลือบเหล็กออกไซด์

2. วิธีการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้น โครเมียม 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดยชั่งโปรแตสเซียมไดโครเมท 0.056, 0.113, 0.169, 0.226 และ 0.282 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ตามลำดับ ใส่ลงในถังพลาสติกสำหรับเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ส่วนที่ 2 ศึกษาลักษณะสมบัติของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

- ศึกษาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)
- ศึกษาโครงสร้างลักษณะของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning Electron Microscope (SEM)

ส่วนที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพและสถานะที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น และความสามารถการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยพิจารณาจากไอโซเทอมการดูดติดผิว

1. ศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นที่มีผลต่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

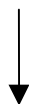
การทดลองนี้จะทำการทดลองแบบแบตช์ โดยควบคุมความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร และแปรผันค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 2, 4, 6, 8 และ 10

วิธีการทดลอง (ขั้นตอนการศึกษา แสดงดังภาพที่ 14)

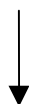
- 1) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 20 มิลลิกรัม/ลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด โดยเติมน้ำเสียสังเคราะห์ขวดละ 50 มิลลิลิตร
- 2) ปรับค่าพีเอชน้ำเสียสังเคราะห์ในขวดรูปชมพู่ให้ได้เท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5 โมล และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมล
- 3) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 50 กรัม
- 4) นำขวดรูปชมพู่ทั้งหมดไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนเก็บตัวอย่างน้ำใส่ลงในบีกเกอร์
- 5) กรองแยกส่วนน้ำใสของตัวอย่างทั้งหมดด้วยกระดาษกรอง
- 6) วิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่อง ICP เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียเริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
- 7) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เติมน้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิตร

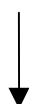
ขวดละ 50 มิลลิตร จำนวน 5 ขวด



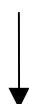
ปรับค่าพีเอชน้ำเสียสังเคราะห์ในขวดรูปชมพู่ให้ได้เท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10



เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 50 กรัม



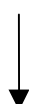
นำขวดรูปชมพู่ทั้งหมดไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที



เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัด



กรองแยกส่วนน้ำใสของตัวอย่างทั้งหมดด้วยกระดาษกรอง



วิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียม



พีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียเริ่มต้นต่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์
ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

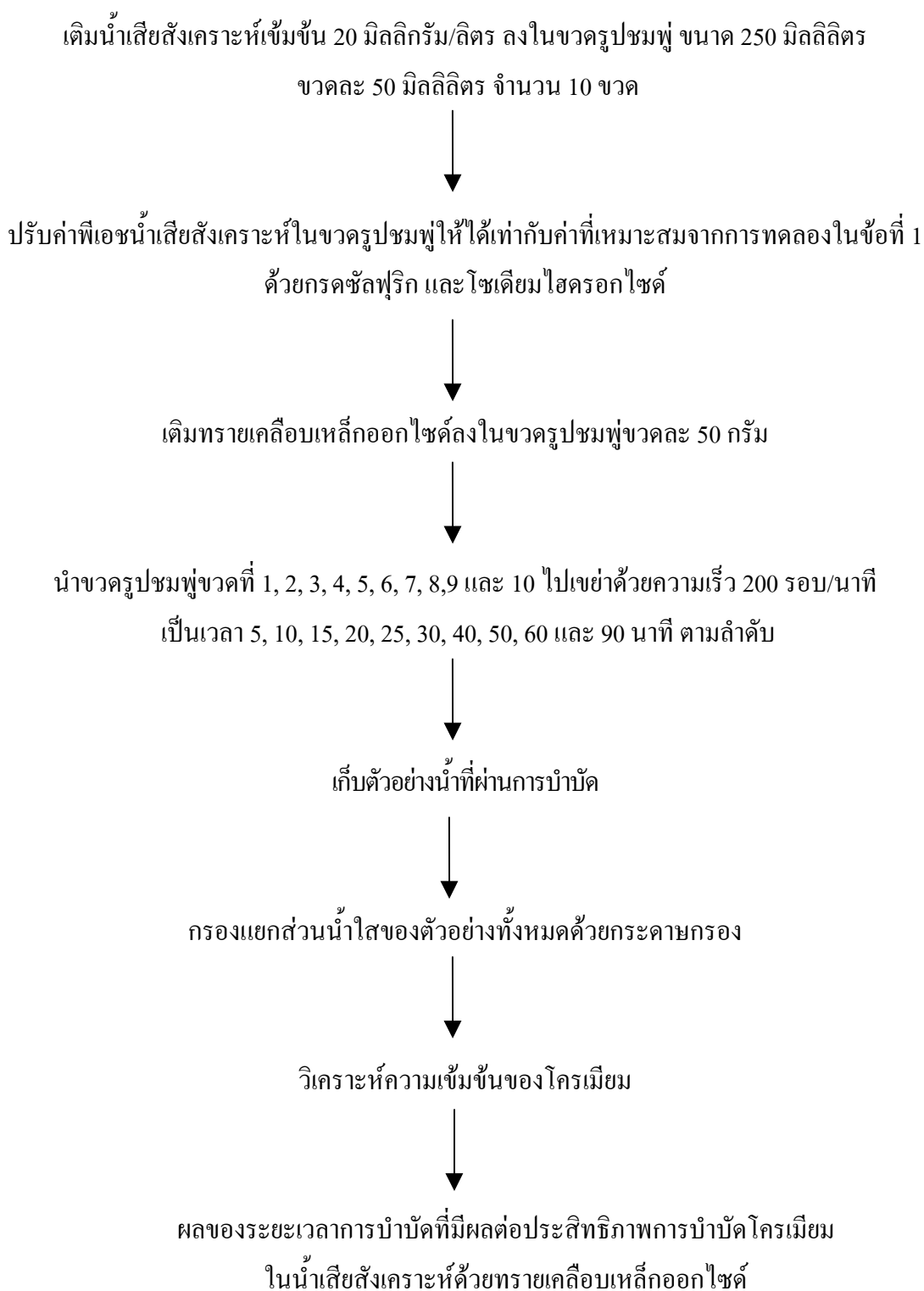
ภาพที่ 14 ขั้นตอนการศึกษาค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นที่เหมาะสม

2. ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

การทดลองนี้จะทำการทดลองแบบแบตช์ โดยควบคุมความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร และควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อที่ 1 โดยทำการแปรผันระยะเวลาสัมผัสที่ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 และ 90 นาที

วิธีการทดลอง (ขั้นตอนการศึกษา แสดงดังภาพที่ 15)

- 1) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 20 มิลลิกรัม/ลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 10 ขวด โดยเติมน้ำเสียสังเคราะห์ขวดละ 50 มิลลิลิตร
- 2) ปรับค่าพีเอชน้ำเสียสังเคราะห์ในขวดรูปชมพู่ให้ได้เท่ากับค่าที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อที่ 1 ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.5 โมล และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมล
- 3) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 50 กรัม
- 4) นำขวดรูปชมพู่ขวดที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, และ 90 นาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละขวดใส่ลงในปิเก็ตเจอร์
- 5) กรองแยกส่วนน้ำใสของตัวอย่างทั้งหมดด้วยกระดาษกรอง
- 6) วิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียมด้วยเครื่อง ICP เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
- 7) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



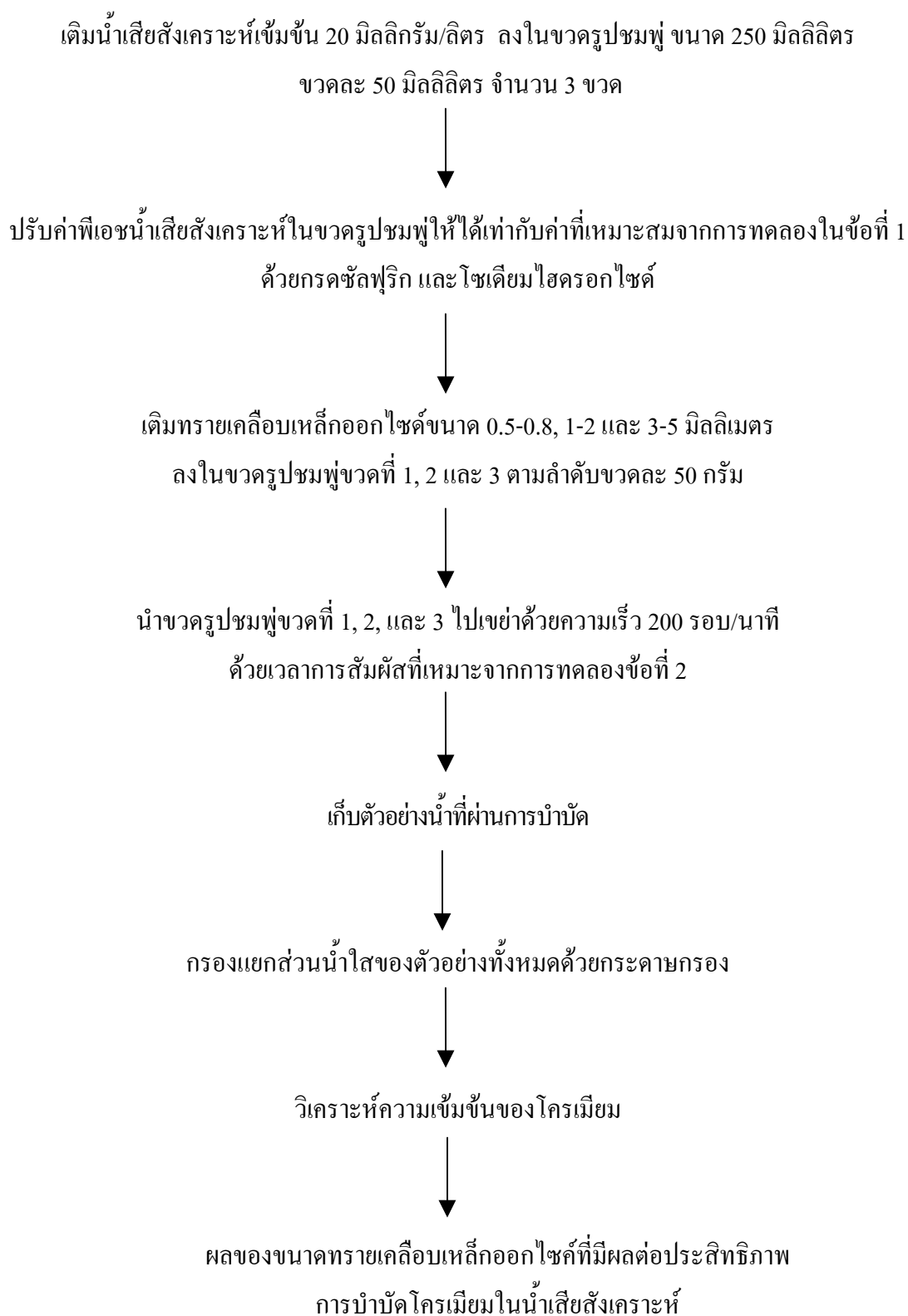
ภาพที่ 15 ขั้นตอนการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการบำบัด

3. ศึกษาผลของขนาดทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่มีผลต่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การทดลองนี้จะทำการทดลองแบบแบตช์ โดยควบคุมความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อที่ 1 และระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 2 โดยทำการแปรผันขนาดของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-0.8, 1-2 และ 3-5 มิลลิเมตร

วิธีการทดลอง (ขั้นตอนการศึกษา แสดงดังภาพที่ 16)

- 1) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 20 มิลลิกรัม/ลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด โดยเติมน้ำเสียสังเคราะห์ขวดละ 50 มิลลิลิตร
- 2) ปรับค่าพีเอชน้ำเสียสังเคราะห์ในขวดรูปชมพู่ให้ได้เท่ากับค่าที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อที่ 1 ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.5 โมล และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมล
- 3) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ขนาด 0.5-0.8, 1-2 และ 3-5 มิลลิเมตร ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 50 กรัม ขวดที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ
- 4) นำขวดรูปชมพู่ขวดที่ 1, 2 และ 3 ไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการทดลองในข้อที่ 2 ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละขวดไปลงในบีกเกอร์
- 5) กรองแยกส่วนน้ำใสของตัวอย่างทั้งหมดด้วยกระดาษกรอง
- 6) วิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่อง ICP เพื่อหาขนาดทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์สูงสุด
- 7) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



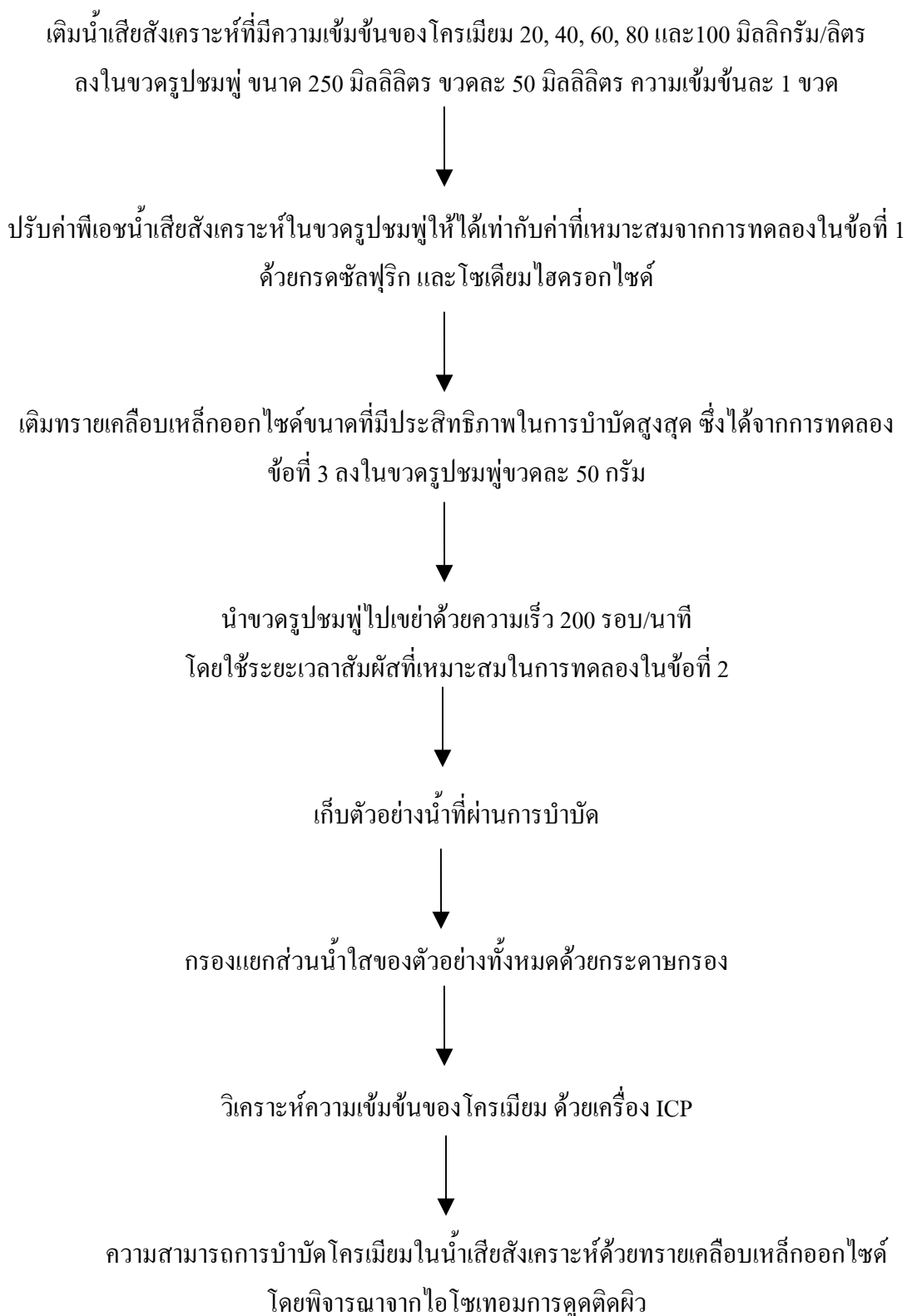
ภาพที่ 16 ขั้นตอนการศึกษาขนาดทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

4. ศึกษาความสามารถการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยพิจารณาจากไอโซเทอมการดูดซับ

การทดลองนี้จะทำการทดลองแบบแบตช์ ซึ่งจะควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อที่ 1 ระยะเวลาในการบำบัดที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อที่ 2 และขนาดทรายที่เหมาะสมในการบำบัดจากการทดลองในข้อที่ 3 โดยทำการแปรผันค่าความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสียเริ่มต้นที่ 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร

วิธีการทดลอง (ขั้นตอนการศึกษา แสดงดังภาพที่ 17)

- 1) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ขวดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ขวดละ 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ
- 2) ปรับค่าพีเอชน้ำเสียสังเคราะห์ในขวดรูปชมพู่ให้ได้เท่ากับค่าที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อที่ 1 ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.5 โมล และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมล
- 3) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ขนาดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ซึ่งได้จากการทดลองข้อที่ 3 ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 50 กรัม
- 4) นำขวดรูปชมพู่ขวดแต่ละความเข้มข้นไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการทดลองในข้อที่ 2 ก่อนเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละขวดใส่ลงในบีกเกอร์
- 5) กรองแยกส่วนน้ำใสของตัวอย่างทั้งหมดด้วยกระดาษกรอง
- 6) วิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่อง ICP เพื่อหาความสามารถการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยพิจารณาจากไอโซเทอมการดูดซับ
- 7) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



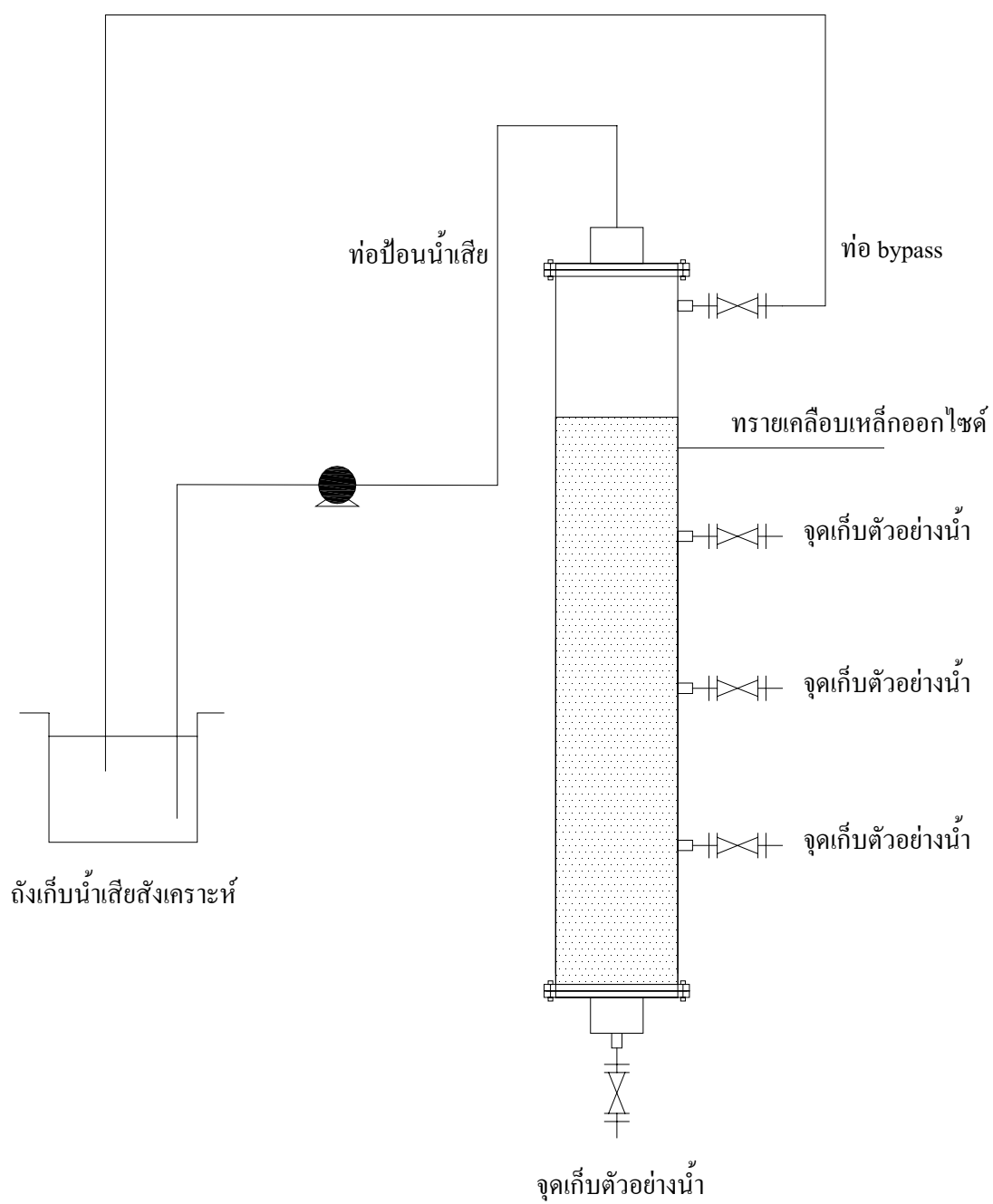
ภาพที่ 17 ขั้นตอนการศึกษาความสามารถการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยพิจารณาจากไอโซเทอมการดูดติดผิว

ส่วนที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียเคราะห์โดยการทดสอบแบบต่อเนื่องด้วยคอลัมน์รีแอกเตอร์และการฟื้นฟูสภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

การทดลองในส่วนนี้จะทำการทดลองซึ่งจำลองสภาวะจริงในคอลัมน์รีแอกเตอร์ (แผนการควบคุมการทดลองด้วยคอลัมน์รีแอกเตอร์ แสดงดังภาพที่ 18) โดยควบคุมความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียเคราะห์เริ่มต้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าพีเอชและขนาดทรายที่เหมาะสมจากการทดลองในส่วนที่ 3

วิธีการทดลอง (ขั้นตอนการศึกษา แสดงดังภาพที่ 19)

- 1) น้ำเสียเคราะห์เริ่มต้นที่ความเข้มข้นของโครเมียม 25 มิลลิกรัม/ลิตร
- 2) ปรับค่าพีเอชในน้ำเสียเคราะห์ ด้วยสารละลายกรดซัลฟริกเข้มข้น 0.5 โมล และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมล ให้มีสภาวะที่เหมาะสมตามผลการทดลองในส่วนที่ 3
- 3) บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ลงในคอลัมน์รีแอกเตอร์ ให้มีความสูง 80 เซนติเมตร
- 4) ป้อนน้ำเสียเคราะห์แต่ละชุดการทดลองเข้าสู่คอลัมน์รีแอกเตอร์ โดยควบคุมอัตราการป้อนที่ 120 มิลลิตร/นาที่ ด้วยเครื่องสูบน้ำ
- 5) เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ความสูงของชั้นทราย 20, 40, 60 และ 80 เซนติเมตร มาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของโครเมียมเหล็ก ด้วยเครื่อง ICP จนกว่าปริมาณโครเมียมในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าเกิน 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร (ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม) ซึ่งจะกำหนดให้เป็นจุดเบรคทรูจ์ เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และอายุการใช้งานของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

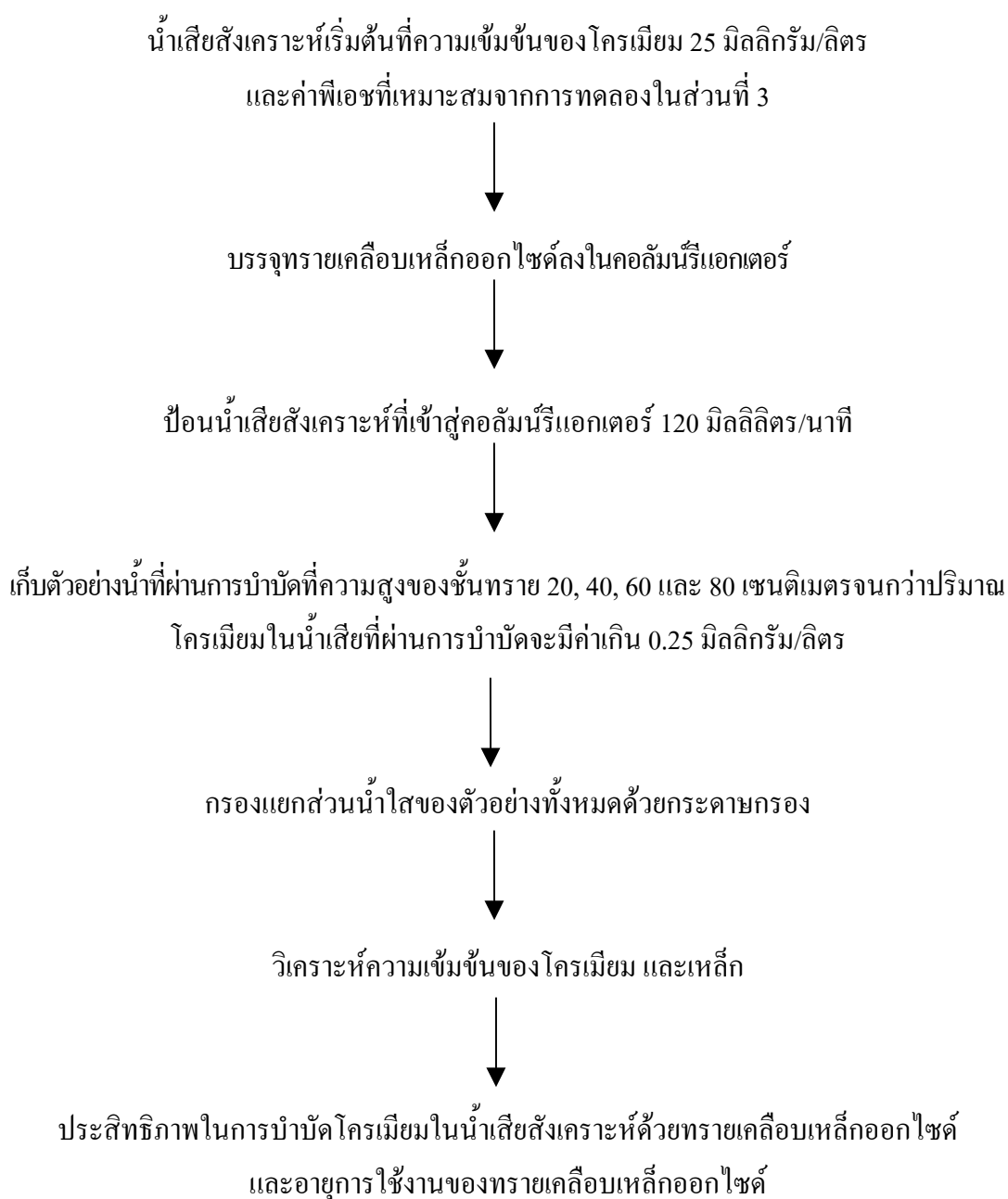


ภาพที่ 18 แผนภาพควบคุมการทดลองด้วยคอลัมน์รีแอกเตอร์

หมายเหตุ

วาล์ว

ปั๊ม



ภาพที่ 19 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสี้ยงเคราะห์โดยการ
ทดสอบแบบต่อเนื่องด้วยคอลัมน์รีแอกเตอร์

สถานที่และระยะเวลาการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
2. ห้องปฏิบัติการคณะทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
3. วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) บริษัท Bruker A.G. ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. วิเคราะห์ขนาดและลักษณะของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 5410 ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยกลาง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาทำการวิจัย

ระยะเวลาการทำการวิจัยตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549