

ผลการทดลองและวิจารณ์

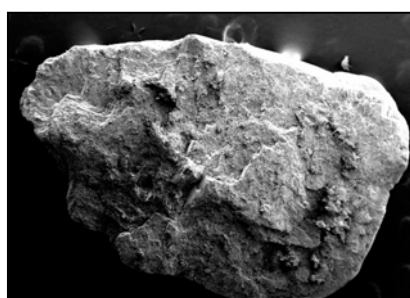
การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาถึงปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ซึ่งจะทำการทดลองแบบเบ็ดเสร็จและจำลองการทดลองจริงแบบต่อเนื่องในคอลัมน์รีแอกเตอร์เพื่อหาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ รวมทั้งประสิทธิภาพของการบำบัดโครเมียมเมื่อฟื้นฟูสภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

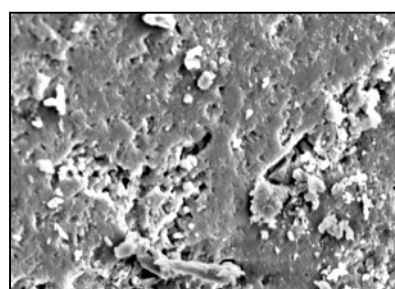
จากการศึกษาองค์ประกอบของทรายที่ใช้ในการวิจัยก่อนเคลือบเหล็กออกไซด์เปรียบเทียบกับทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่า ทรายก่อนเคลือบเหล็กออกไซด์มี SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , WO_3 , Fe_2O_3 , CaO และ CuO เป็นองค์ประกอบในปริมาณร้อยละ 90.64, 3.95, 3.65, 0.82, 0.61, 0.18 และ 0.15 ตามลำดับ สำหรับทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มี SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , WO_3 , Fe_2O_3 , CaO และ CuO เป็นองค์ประกอบในปริมาณร้อยละ 89.82, 3.35, 3.34, 0.64, 2.56, 0.17 และ 0.12 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าทั้งทรายและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีสารประกอบที่มีลักษณะสมบัติในการดูดซับได้แก่ ซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าหลังจากการเคลือบทรายด้วยเหล็กออกไซด์แล้วจะมีปริมาณ Fe_2O_3 เพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งกล่าวได้ว่าการเคลือบเหล็กออกไซด์จะเป็นการเพิ่มสารดูดซับให้มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ลักษณะภายนอกของทรายและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่าการเคลือบเหล็กออกไซด์จะเป็นการเคลือบพื้นผิวภายนอกของทรายทำให้มีลักษณะสมบัติในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น แสดงภาพที่ 20

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของทรายและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

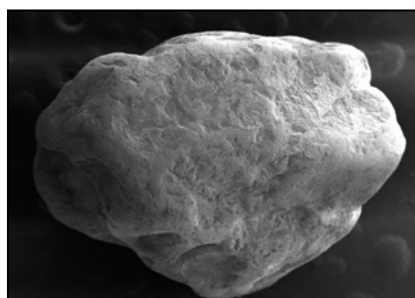
ธาตุองค์ประกอบ	ทราย (ร้อยละ)	ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ (ร้อยละ)
SiO ₂	90.64	89.82
Al ₂ O ₃	3.95	3.35
K ₂ O	3.65	3.34
WO ₃	0.82	0.64
Fe ₂ O ₃	0.61	2.56
CaO	0.18	0.17
CuO	0.15	0.12



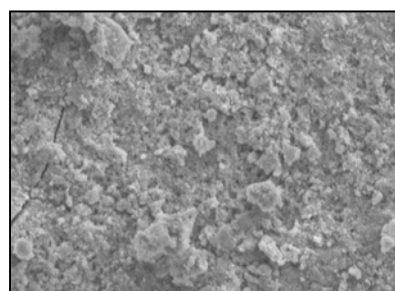
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 20 ลักษณะของทรายและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

- (ก) ลักษณะภายนอกของทราย กำลังขยาย 30 เท่า
- (ข) ลักษณะพื้นผิวของทราย กำลังขยาย 5,000 เท่า
- (ค) ลักษณะภายนอกของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ กำลังขยาย 30 เท่า
- (ง) ลักษณะพื้นผิวของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ กำลังขยาย 5,000 เท่า

ผลการศึกษาถึงปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น และความสามารถในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

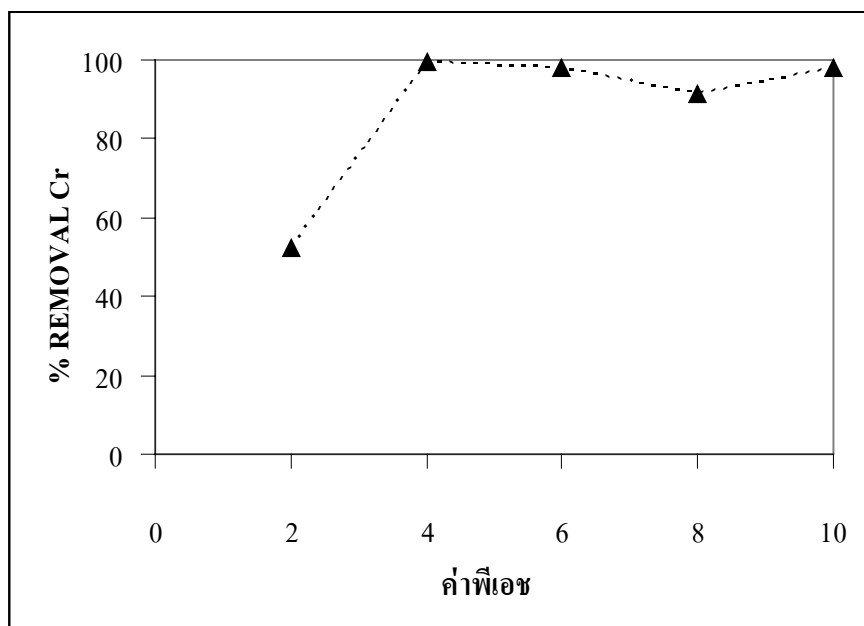
การศึกษาส่วนนี้เป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมของน้ำเสียเริ่มต้นและความสามารถในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยพิจารณาไอโซเทอมนการดูดซับ ซึ่งผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการศึกษาค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพต่อการบำบัดโครเมียมด้วยทรายเคลือบออกไซด์

จากการศึกษาโดยทำการทดลองแบบเบตซ์ ซึ่งควบคุมความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร และระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที การศึกษาจะแปรผันค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ซึ่งผลการทดลองพบว่า การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่มีค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 มีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียคิดเป็นร้อยละ 52.40, 99.63, 98.20, 91.30 และ 97.95 ตามลำดับ ของความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสียเริ่มต้น แสดงดังตารางที่ 6 และภาพที่ 21

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นที่ 20 มก./ล ค่าพีเอชเริ่มต้น 2, 4, 6, 8 และ 10

ค่าพีเอช	ปริมาณโครเมียมที่เหลืออยู่ (mg/l)	% REMOVAL Cr
2	9.52	52.40
4	0.07	99.63
6	0.36	98.20
8	1.74	91.30
10	0.41	97.95



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ค่าพีเอช 2, 4, 6 และ 10 ตามลำดับ

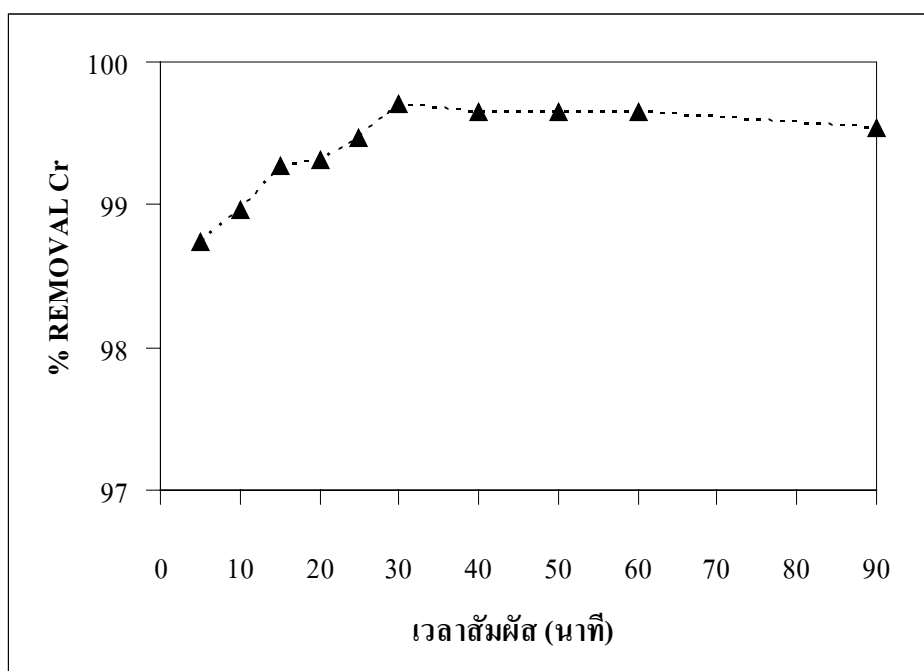
จากผลการทดลองพบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้น 2 จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมได้ต่ำสุด เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 4 ทราเยเคลือบเหล็กออกไซด์จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมได้สูงสุด แต่เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 6-8 ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมจะลดลง และเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 10 ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ซึ่งจากการศึกษาลักษณะการแตกตัวของเอกซะวาเลนซ์โครเมียมในน้ำพบว่า จะแตกตัวอยู่ในรูปลักษณะไอออนประจุลบ ได้แก่ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-} และ HCrO_4^- โดยจะเกิดการดูดติดผิวไอออนลบต่าง ๆ ด้วยไฮดรอกไซด์ออกไซด์ ซึ่งไฮดรอกไซด์จะดูดติดผิวไอออนบวกในสถานะต่างเมื่อพื้นที่ผิวมีประจุลบในทางกลับกันถ้าอยู่ในสภาวะกรดและประจุที่พื้นผิวเป็นบวกจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนลบ ดังนั้นเมื่อน้ำเสียเริ่มต้นมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะเบสพื้นผิวของทราเยเคลือบเหล็กออกไซด์จะเป็นประจุลบ จึงเกิดการผลักกันกับไอออนของเอกซะวาเลนซ์โครเมียมที่มีประจุลบเมื่อแตกตัวในน้ำเช่นกัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมลดลง รวมถึงเมื่อน้ำเสียอยู่ในสภาวะเบสไอออนของเอกซะวาเลนซ์โครเมียมที่มีประจุลบจะต้องแข่งขันกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ทำให้พื้นผิวสัมผัสบางส่วนของทราเยเคลือบเหล็กออกไซด์ถูกแทนที่ด้วยไฮดรอกไซด์ไอออน จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมลดลง สำหรับค่าพีเอช 10 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากเกิดการตกตะกอนโครเมียมในรูปไฮดรอกไซด์ซึ่งจะเกิดได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 9-10

2. ผลการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

จากการศึกษาโดยทำการทดลองแบบเบ็ดเสร็จควบคุมความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 4 การศึกษาจะแปรผันระยะเวลาสัมผัสที่ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 และ 90 นาที ซึ่งผลการทดลองพบว่า การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ระยะเวลาสัมผัส 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 และ 90 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียคิดเป็นร้อยละ 98.73, 98.97, 99.27, 99.32, 99.43, 99.70, 99.65, 99.65 และ 99.53 ตามลำดับ ของความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น โดยผลการศึกษาที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 7 และภาพที่ 22

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นที่ 20 มก./ล ค่าพีเอช 6 ระยะเวลาสัมผัสที่ 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ

ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ปริมาณโครเมียมที่เหลืออยู่ (mg/l)	% REMOVAL Cr
5	0.25	98.73
10	0.21	98.97
15	0.15	99.27
20	0.14	99.32
25	0.11	99.43
30	0.06	99.70
40	0.07	99.65
50	0.07	99.65
60	0.07	99.65
90	0.08	99.53



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ระยะเวลาสัมผัส 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ จะสูงขึ้นตามระยะเวลาการสัมผัสที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสเกิน 30 นาที ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการดูดติดผิวของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์เริ่มเข้าสู่สมดุลแล้ว ดังนั้นการศึกษาต่อไปจึงใช้ระยะเวลาการสัมผัส 30 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการวิจัยต่อไป

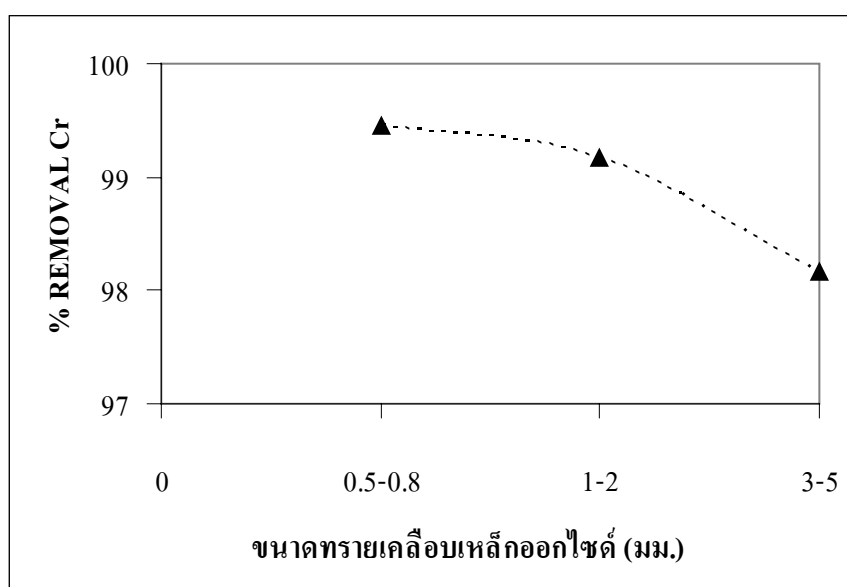
3. ผลการศึกษาขนาดทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่มีผลต่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการศึกษาโดยทำการทดลองแบบเบดซ์ โดยควบคุมความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 4 และระยะเวลาสัมผัส 30 นาที การศึกษาจะแปรผันขนาดของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-0.8, 1-2 และ 3-5 มิลลิเมตร ซึ่งผลการทดลองพบว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

0.5-0.8, 1-2 และ 3-5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ คิดเป็นร้อยละ 99.45, 99.17 และ 98.17 ตามลำดับ ของความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น โดยผลการทดลองที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ขนาดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 8 และภาพที่ 23

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นที่ 20 มก./ล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 0.5-0.8, 1-2 และ 3-5 มิลลิเมตร

ขนาดทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ (mm.)	ปริมาณโครเมียมที่เหลืออยู่ (mg/l)	% REMOVAL Cr
0.5-0.8	0.11	99.45
1-2	0.17	99.17
3-5	0.37	98.17



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 0.5-0.8, 1-2 และ 3-5 มม. ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมจะมีค่าสูงสุด เมื่อทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุด คือ 0.5-0.8 มิลลิเมตร และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อทรายมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวว่าความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ คือ สารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูดซับได้มากกว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย ส่วนอัตราการดูดซับจะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ ถ้าสารดูดซับขนาดเล็กจะมีอัตราการดูดซับมากกว่าสารดูดซับขนาดใหญ่ ดังนั้นการศึกษาต่อไปจึงใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-0.8 มิลลิเมตร ในการวิจัยต่อไป

4. ผลการศึกษาความสามารถการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยพิจารณาจากไอโซเทอมการดูดซับ

จากการศึกษาโดยทำการทดลองแบบเบดซ์ควบคุมค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 4 ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย 0.5-0.8 มิลลิเมตร การศึกษาจะแปรผันค่าความเข้มข้นโครเมียมของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ปริมาณทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 50 กรัม ซึ่งผลการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร หลังจากการบำบัดมีปริมาณโครเมียมเหลืออยู่ 0.13, 0.33, 1.07, 1.61 และ 5.58 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์สมการไอโซเทอมการดูดซับของแบบฟรันทซ์ และแบบแลงเมียร์ ดังตารางที่ 9 และ 10 ตามลำดับ และภาพที่ 24 และ 25 ตามลำดับ

$$\text{ไอโซเทอมการดูดซับของฟรันทซ์} \quad \frac{X}{M} = KC_e^{1/n}$$

$$\text{ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์} \quad \frac{X}{M} = \frac{abC_e}{1 + bC_e}$$

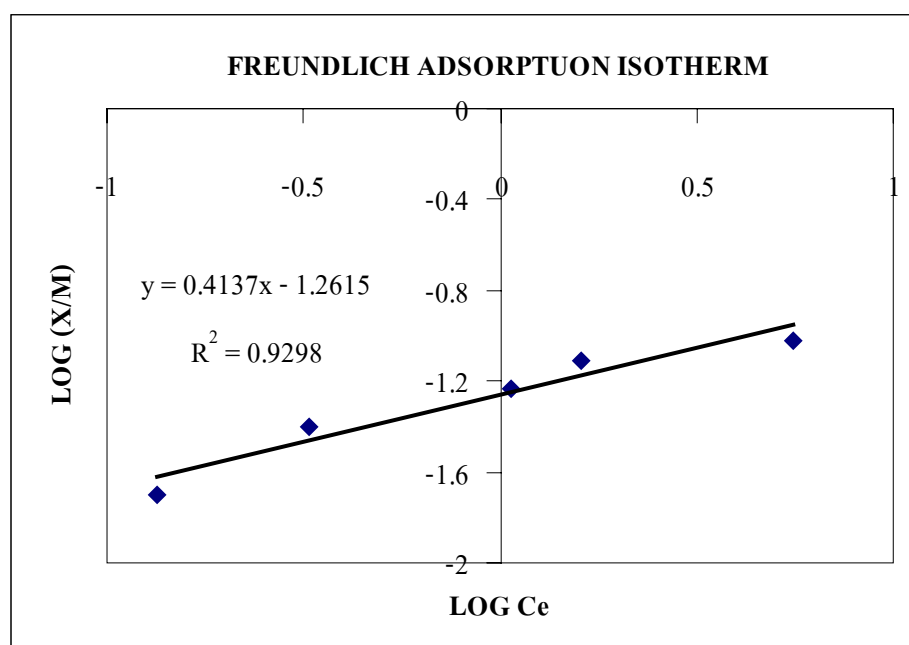
เมื่อ	X/M	= ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ หน่วย มก./ก.
	C_e	= ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล หน่วย มก./ล.
	$K, 1/n$	= ค่าคงที่ของการดูดซับของฟรันทซ์
	a, b	= ค่าคงที่ของการดูดซับของแลงเมียร์

ตารางที่ 9 ผลการศึกษาสมการการดูดติดผิวของไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิช

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น (มก./ล.)	Ce (มก./ล.)	X/M (มก./ก.)	LOG(X/M)	LOG Ce
20	0.13	0.01987	-1.70187	-0.87506
40	0.33	0.03967	-1.40150	-0.48590
60	1.07	0.05893	-1.22966	0.02938
80	1.61	0.07893	-1.10576	0.20772
100	5.58	0.09442	-1.02494	0.74663

หมายเหตุ Ce คือ ความเข้มข้นโครเมียม

X/M คือ ปริมาณของสารถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักของสารดูดติดผิว



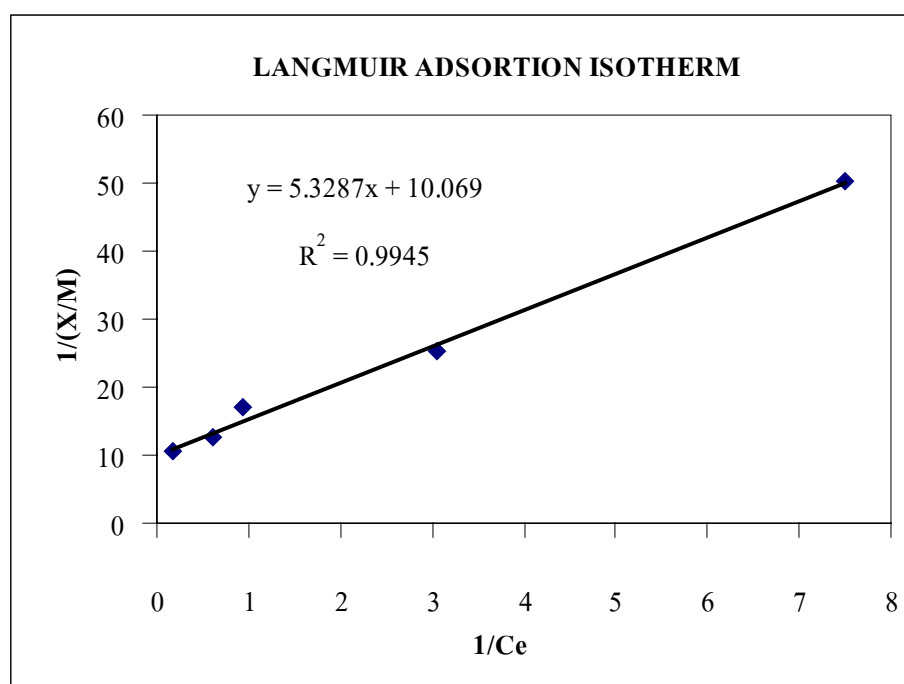
ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิช

ตารางที่ 10 ผลการศึกษาสมการการดูดติดผิวของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น (มก./ล.)	Ce (มก./ล.)	X/M (มก./ก.)	1/(X/M)	1/Ce
20	0.13	0.01987	50.33557	7.50000
40	0.33	0.03967	25.20585	3.06122
60	1.07	0.05893	16.96929	0.93458
80	1.61	0.07893	12.75727	0.61983
100	5.58	0.09442	10.59098	0.17921

หมายเหตุ Ce คือ ความเข้มข้นโครเมียม

X/M คือ ปริมาณของสารถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักของสารดูดติดผิว



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์

จากตารางที่ 9-10 และภาพที่ 24-25 ซึ่งเป็นผลการศึกษาไอโซเทอมของฟรอนด์ลิกซ์และแลงเมียร์ โดยเมื่อเปรียบเทียบ R ของผลการศึกษาของการบำบัดโครเมียมด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ พบว่าเป็นสมการการดูดติดผิวไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ โดยจากการหาค่าคงที่ของการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์จากสมการที่ได้จากทดลองดังภาพที่ 25 เปรียบเทียบกับไอโซเทอมการดูดติดผิวของแลงเมียร์

$$\text{ไอโซเทอมการดูดติดผิวของแลงเมียร์} \quad \frac{X}{M} = \frac{abC_e}{1 + bC_e}$$

ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\frac{1}{X/M} = \frac{1}{ab C_e} + \frac{1}{a}$$

จากผลการทดลองพบว่า ค่าคงที่ของการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ โดย a มีค่าเท่ากับ 0.0993 และ b มีค่าเท่ากับ 1.8896 และเมื่อแทนค่าในไอโซเทอมการดูดติดผิวของแลงเมียร์สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$\frac{X}{M} = \frac{0.1876C_e}{1 + 1.8896C_e}$$

เมื่อพิจารณาผลของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ทำให้ทราบปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดติดผิวด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ได้ โดยกำหนดให้ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัดมีค่าเท่ากับ 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 1 กรัม สามารถดูดติดผิวโครเมียมได้ 0.0319 มิลลิกรัม

ผลศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียเคราะห์โดยการทดสอบแบบต่อเนื่องด้วยคอลัมน์รีแอกเตอร์

1. ผลการศึกษาความสูงของชั้นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ต่อความสามารถในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียเคราะห์

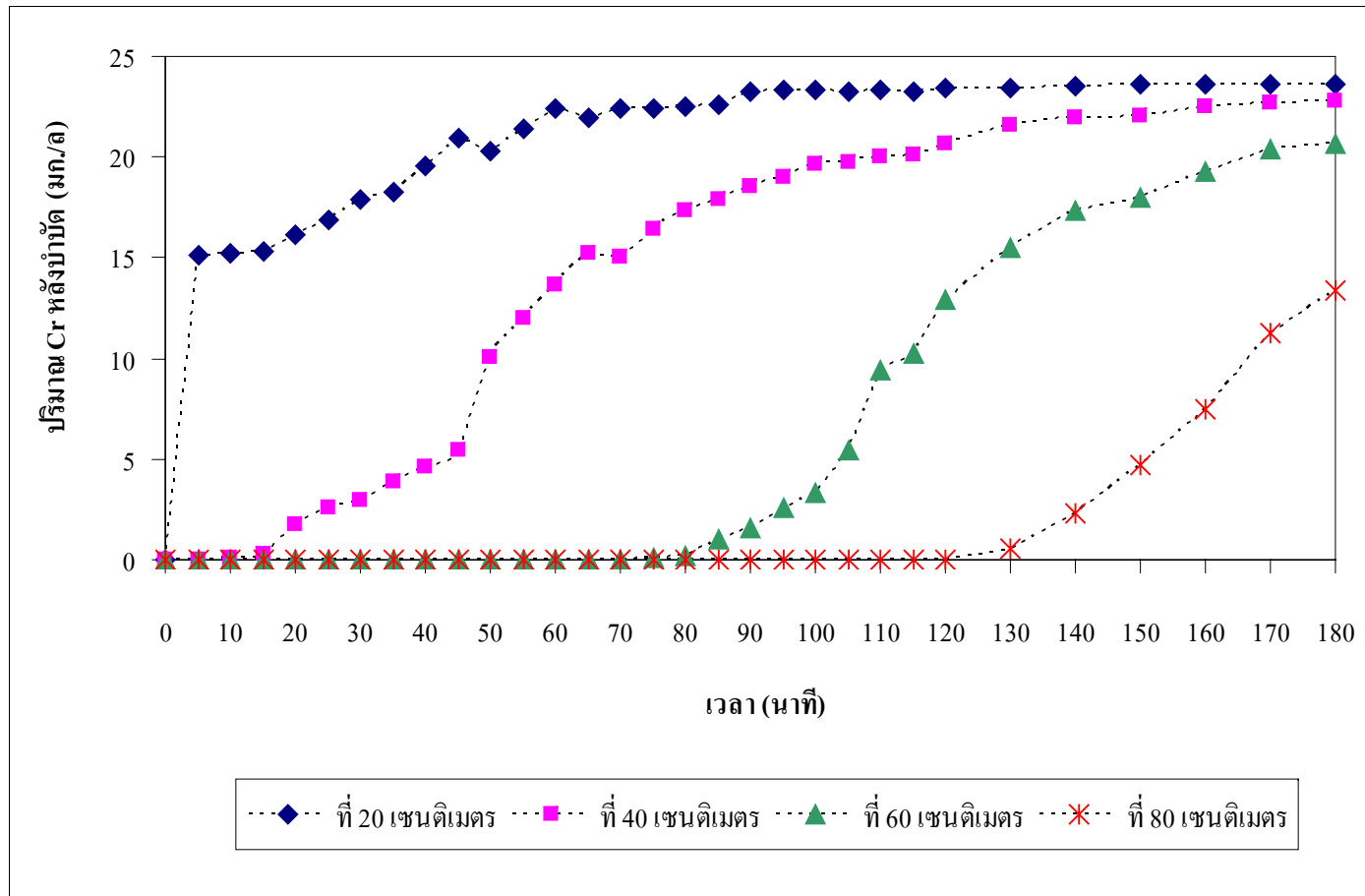
จากการศึกษาโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องด้วยคอลัมน์รีแอกเตอร์ ควบคุมความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียเคราะห์เริ่มต้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 4 และอัตราการป้อนน้ำเสีย 120 มิลลิลิตร/นาที่ ซึ่งการทดลองจะบรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ลงในคอลัมน์รีแอกเตอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร โดยมีความสูงของชั้นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 80 เซนติเมตร การศึกษาจะเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดที่ชั้นความสูง 20, 40, 60 และ 80 เซนติเมตร ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 11 และภาพที่ 26

ตารางที่ 11 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ชั้นความสูง 20, 40, 60 และ 80 ซม.

นาที่ ที่	ปริมาณโครเมียมในน้ำทิ้ง (มก./ล)			
	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ
	20 เซนติเมตร	40 เซนติเมตร	60 เซนติเมตร	80 เซนติเมตร
0	0.000	0.000	0.000	0.000
5	15.117	0.011	0.003	0.010
10	15.241	0.047	0.003	0.019
15	15.314	0.296	0.004	0.011
20	16.118	1.724	0.007	0.012
25	16.852	2.578	0.007	0.014
30	17.927	2.987	0.011	0.011
35	18.239	3.897	0.018	0.010
40	19.537	4.578	0.015	0.011
45	20.943	5.424	0.019	0.012

ตารางที่ 11 (ต่อ)

นาที่ ที่	ปริมาณโครเมียมในน้ำทิ้ง (มก./ล)			
	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ
	20 เซนติเมตร	40 เซนติเมตร	60 เซนติเมตร	80 เซนติเมตร
50	20.284	10.086	0.038	0.020
55	21.363	11.977	0.020	0.011
60	22.373	13.613	0.015	0.012
65	21.953	15.220	0.025	0.013
70	22.439	15.040	0.019	0.015
75	22.381	16.392	0.088	0.027
80	22.495	17.309	0.162	0.015
85	22.647	17.895	0.987	0.016
90	23.250	18.518	1.547	0.018
95	23.317	18.987	2.547	0.015
100	23.324	19.628	3.358	0.016
105	23.224	19.754	5.487	0.015
110	23.314	19.987	9.428	0.014
115	23.247	20.148	10.258	0.027
120	23.400	20.631	12.904	0.035
130	23.425	21.587	15.463	0.583
140	23.527	21.952	17.299	2.275
150	23.589	22.091	17.991	4.712
160	23.614	22.465	19.288	7.439
170	23.638	22.664	20.423	11.286
180	23.655	22.751	20.671	13.417



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมหลังจากการบำบัดด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ที่ความสูงของชั้นทราย 20, 40, 60 และ 80 ซม.

จากผลการทดลองการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยจำลองการทดลองในคอลัมน์รีแอกเตอร์พบว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ที่ชั้นความสูง 20, 40, 60 และ 80 เซนติเมตร มีอายุการใช้งานในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ประมาณ 0, 5, 70 และ 120 นาที ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้รวม 0, 0.6, 8.4 และ 14.4 ลิตร ตามลำดับ เมื่อใช้ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดให้มีค่าโครเมียมไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นจุดหมดอายุการใช้งาน หรือจุดเบรคทรู้น นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของชั้นทรายที่เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาชั้นความสูงของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ 80 เซนติเมตร ซึ่งเป็นความสูงที่มากที่สุดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.86

2. ผลการศึกษาการฟื้นฟูสภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความสามารถในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการศึกษาโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องด้วยคอลัมน์รีแอกเตอร์ โดยควบคุมความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 4 และอัตราการป้อนน้ำเสีย 120 มิลลิลิตร/นาที ซึ่งการทดลองจะบรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ลงในคอลัมน์รีแอกเตอร์ มีความสูงของชั้นทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 80 เซนติเมตรโดยจะทำการฟื้นฟูสภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์เข้มข้น 1 โมล เป็นเวลา 30 นาที และล้างย้อนชั้นทรายเคลือบด้วยน้ำปราศจากแร่ธาตุ 120 นาที การวิจัยจะพิจารณาจากความเข้มข้นโครเมียมในน้ำที่ออกจากระบบต้องมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมคือ 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจากการทดลองในข้อที่ 1 พบว่าเมื่อเวลาการบำบัดของโครเมียมด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ความสูง 80 เซนติเมตร เกิน 120 นาที น้ำทิ้งที่ผ่านระบบจะมีค่าเกินที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นการศึกษาในส่วนนี้จะทำการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียมเป็นเวลา 120 นาที ก่อนทำการฟื้นฟูสภาพระบบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และล้างย้อน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 12 ถึงตารางที่ 13 และภาพที่ 27

ตารางที่ 12 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบ
เหล็กออกไซด์หลังฟื้นฟูสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ชั้นความสูง 20, 40, 60
และ 80 ซม.

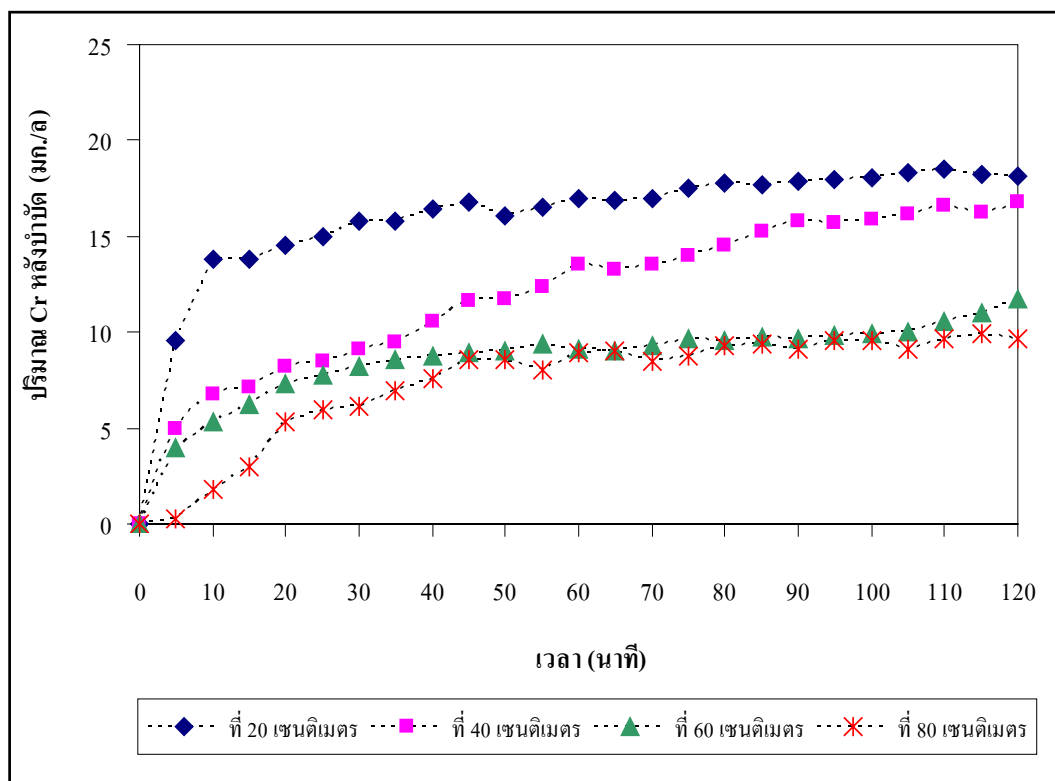
นาที่ ที่	ปริมาณโครเมียมในน้ำทิ้ง (มก./ล)			
	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ
	20 เซนติเมตร	40 เซนติเมตร	60 เซนติเมตร	80 เซนติเมตร
120	23.589	20.456	13.018	0.124
ฟื้นฟูสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และล้างย้อนด้วยน้ำปราศจากแร่ธาตุ หลังจากการฟื้นฟูสภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แล้ว				
5	9.552	4.941	3.940	0.277
10	13.772	6.793	5.350	1.769
15	13.809	7.167	6.203	2.936
20	14.505	8.197	7.345	5.307
25	15.025	8.511	7.774	5.922
30	15.828	9.135	8.257	6.125
35	15.789	9.521	8.556	6.917
40	16.458	10.574	8.713	7.589
45	16.776	11.648	8.905	8.602
50	16.025	11.741	9.025	8.611
55	16.528	12.358	9.358	8.025
60	16.998	13.521	9.121	8.897
65	16.897	13.248	9.025	8.989
70	17.002	13.573	9.258	8.528
75	17.521	13.989	9.658	8.769
80	17.775	14.568	9.548	9.269
85	17.658	15.238	9.785	9.389
90	17.881	15.788	9.699	9.098
95	17.969	15.691	9.845	9.597

ตารางที่ 12 (ต่อ)

นาที่ ที่	ปริมาณโครเมียมในน้ำทิ้ง (มก./ล)			
	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ	ความสูงทรายเคลือบ
	20 เซนติเมตร	40 เซนติเมตร	60 เซนติเมตร	80 เซนติเมตร
100	18.058	15.875	9.898	9.589
105	18.358	16.187	10.025	9.125
110	18.542	16.587	10.589	9.687
115	18.259	16.247	11.006	9.892
120	18.140	16.763	11.690	9.654

ตารางที่ 13 ปริมาณโครเมียมที่ออกจากระบบจากการฟื้นฟูสภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

นาที่ที่	ปริมาณโครเมียมที่ออกจากระบบจากการฟื้นฟูสภาพ (มก./ล)
	ที่ความสูงทรายเคลือบ 80 เซนติเมตร
0	0.00
5	248.140
30	0.381
60	0.214



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมหลังการบำบัดด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ซึ่งฟื้นฟูสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความสูงของชั้นทราย 20, 40, 60 และ 80 ซม.

จากผลการทดลองฟื้นฟูสภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ผ่านการใช้งาน 120 นาที ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 60 นาที พบว่า หลังจากการฟื้นฟูสภาพแล้ว ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์สามารถกลับมามีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมอีกครั้ง เนื่องจาก สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพ เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นหมู่ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ซึ่งจะเข้าแทนที่โครเมียมที่ถูกดูดติดผิวทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ทำให้โครเมียมที่ถูกดูดติดผิวหลุดออกมา (ดังตารางที่ 13) และเมื่อล้างย้อน (back wash) ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยน้ำปราศจากแร่ธาตุจะทำให้ไฮดรอกไซด์ไอออนที่ติดอยู่บนผิวทรายเคลือบหลุดออกมาทำให้น้ำล้างทำให้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์กลับมามีประสิทธิภาพในการบำบัดอีกครั้ง อย่างไรก็ตาม หลังจากการฟื้นฟูสภาพก็ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดได้ในทุก ๆ ชั้นความสูง ซึ่งหากพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในช่วงเวลาเดียวกันก่อน และหลังฟื้นฟูสภาพพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงจากเดิมในทุกชั้นความสูงเช่นเดียวกัน

3. การประเมินค่าใช้จ่ายการบำบัดโครเมียมโดยใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

การประเมินค่าใช้จ่ายจะคิดจากต้นทุนในการเตรียมสารดูดติดผิวและค่าใช้จ่ายจากการเดินระบบ โดยการเดินระบบ 1 ครั้งใช้สารดูดติดผิวน้ำหนัก 5 กิโลกรัม

3.1 การเตรียมสารดูดติดผิว

- ทราย 5 กิโลกรัม ราคา 30 บาท
- สารเคมีที่ใช้ในการเคลือบผิว

(1) กรดซัลฟูริก 100 บาท

(2) เฟอร์ริกไนเตรทใช้ 0.5 กิโลกรัมต่อทราย 5 กิโลกรัม ราคา 1,000 บาท

3.2 การเดินระบบ

- ค่าไฟ ในการเดินระบบ 1 ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 0.15 บาท
- ค่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการฟื้นฟูประสิทธิภาพคิดเป็นเงิน

100 บาท

จากการคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แบบต่อเนื่องซึ่งได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดที่มีคุณภาพไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด 14.4 ลิตร มีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 1,200 บาท

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดโครเมียม ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์พบว่า มีค่าพีเอชเหมาะสมที่ 4 เวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับโครเมียมด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์เท่ากับ 30 นาที และประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีขนาดน้อยที่สุดคือ 0.5-0.8 มิลลิเมตร
2. การศึกษาความสามารถการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ โดยพิจารณาจากไอโซเทอมการดูดซับพบว่า เป็นสมการการดูดซับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ โดยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 1 กรัม สามารถดูดซับโครเมียมได้ 0.0319 มิลลิกรัม
3. การศึกษาการบำบัดโครเมียมโดยใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ด้วยคอลัมน์รีแอกเตอร์พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความสูงของชั้นทรายเพิ่มขึ้นและมีอายุในการใช้งานสูงสุดประมาณ 120 นาที ที่ชั้นความสูงทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 80 เซนติเมตร
4. การศึกษาการฟื้นฟูประสิทธิภาพทรายเคลือบเหล็กออกไซด์โดยการรีเจนเนอเรชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์สามารถฟื้นฟูประสิทธิภาพและนำกลับมาใช้งานใหม่ได้แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ใหม่ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโครเมียมมาก ๆ

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมโดยใช้ตัวกลางชนิดอื่นหรือใช้สารเคลือบโลหะออกไซด์อื่น ๆ
2. ศึกษาการบำบัดโลหะหนักอื่น ๆ โดยใช้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
3. ศึกษาวิธีการบำบัดทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่หมดสภาพแล้ว เช่น การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ก่อนนำการฝังกลบ เป็นต้น
4. ศึกษาการฟื้นฟูประสิทธิภาพของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ด้วยทรายละลายชนิดอื่นเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถนำทรายเคลือบเหล็กออกไซด์กลับมาใช้งานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด
5. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจริงด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2543. **วิศวกรรมกรรมการำจัดน้ำเสีย เล่ม 4**. มหาวิทยาลัยรังสิต.
- ณัฐกาญจน์ ประวันรัมย์. 2545. **ผลของชนิดตะกอนเริ่มต้นต่อการสร้างตะกอนเม็ดในระบบ
ยูเอเอสบีที่บำบัดน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี.
- เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518. **การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและ
แหล่งชุมชน**. สถาบันวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- C. Ruiz, M.T., P. Sousbie, J. Lebrato Manitzw, R. Moletta and J.P. Delgenes. 2001.
The anaerobic SBR process:basic principle for design and automation.
Water Science and Technology. 201-208
- _____. 2002. Treatment of winery wastewater by an anaerobic sequence batch reactor.
Water Science and Technology. 219-224.
- Dague, R.R. and R.E. Mckinney. 1996. Anaerobic Activated Sludge. **Journal of water
pollution control federation**. 220-226.
- _____. and R.D. Richard. 1997. ASBR treatment of low strength industrial wastewater at
psychrophilic temperature. **Wat.Sci.Tech**. 337-344.
- Gouranga, C.B., G.E. Timothy and R.D.Richard. 1997. Structure and methanogenic activity of
granules from an ASBR treating wastewater at low temperature. **Wat.Sci.Tech**.
149-156.
- Lana, L.W., S. Shihwu and R.D. Richard. 1997. Laboratory studies on the temperature-phase
ASBR system. **Wat.Sci.Tech**. 295-302

Pidaparti, S.R. 1991. **Anaerobic Sequencing Batch Reactor Treatment of Swine Wastes at 35°C and 25°C.** Masters thesis, Iowa State University, Ames, Iowa.

Randall, A.W. and Richard R.D. 1996. Enhancement of granulation and start-up in the anaerobic sequence batch reactor . **Water Environment Research.** 883-892.

Speece, R.E. 1983. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment. **Envir. Sci. Techno.** 17 (9): 416A-427A.

Sung, S. and R.R. Dague. 1995. Laboratory Studies on the Anaerobic Sequencing Batch Reactor. **Water Environment Research.** 294-301.

Schmit, C.G. 1992. **Anaerobic Sequencing Batch Reactor Treatment of Swine Waste at 20°C.** Master thesis, Iowa State University, Ames, Iowa.

_____. and R.R Dague. 1994. **Bioconversion of Swine Waste to methane Using an Anaerobic Sequencing Batch Reactor.** Proceeding of the sixth national Bioenergy Conference, Reno, NY.