บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

การทดลองขั้นตอนนี้ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับโดยเครื่องต้นแบบเพื่อทดลองกับน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ การศึกษาในห้องปฏิบัติการนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์กรดโครมิก ($H_2Cr_2O_7$) ที่เตรียมจากโครเมียม ไตรออกไซด์ (CrO_3) ละลายในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) จึงไม่มีไอออนประจุบวกอื่นนอกจาก H^+ ดังนั้นการทดลองขั้นตอนนี้ จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้แคทไอออนเรซิ่น และในแต่ละขั้นตอนการทดลอง จะเปลี่ยนเรซิ่นใหม่ทุกครั้ง เพื่อให้ประสิทธิภาพของเรซิ่นคงที่ตลอดการทดลอง

การทดลองขั้นตอนนี้ใช้เรซิ่นแบบ SBA 2 ชนิด คือ QUARON AU-808 และ DOWEX MSA-1 มีผลการทดลองดังนี้

1. ผลการทดลองของเรซิ่น QUARON AU-808

การเตรียมคอลัมน์ น้ำหนักเรซิ่น QUARON AU-808	50.00	กรัม
ความสูงของเรซิ่นในคอลัมน์	11.82	ซม.
ปริมาตรของเรซิ่น	59.88	ลบ.ซม.
ความจุ (Capacity) ของเรซิ่น	1.90	meq/ml
ความจุรวม (Total capacity)	113.77	meq
จำนวนกรัมสมมูลย์ของโครเมต	58.00	
ปริมาณโครเมตที่เรซิ่นแลกเปลี่ยนได้จากการคำนวณ	6,598.78	มก.
ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้	3,000.00	ลบ.ซม.
อัตราการไหลของน้ำเสียสังเคราะห์	16.00	BV/hr

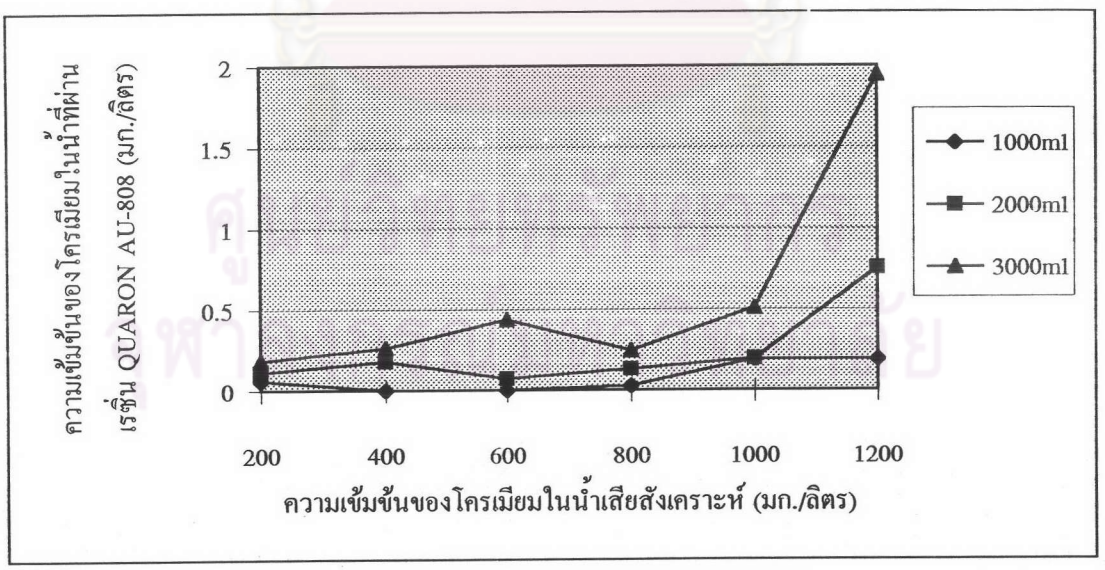
ก. ขั้นตอนผ่านน้ำเสีย (Service)

จากการทดลองผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 3,000 มล.นำน้ำที่ผ่านออกจากคอลัมน์ทุกๆ 1,000 มล. วิเคราห์หาโครเมียมที่เล็ดลอด ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชั่น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความเข้มข้นของโครเมียมที่สามารถแยกได้ประสิทธิภาพสูงสุดของเรซิ่น QUARON AU-808

ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ (มก./ลิตร)	ความเข้มข้นโครเมียมหลังผ่านเรซิ่น QUARON AU-808 (มก./ลิตร)		
	1000 (มล.)	2000 (มล.)	3000 (มล.)
200	0.0605	0.1126	0.1822
400	nd*	0.1800	0.2633
600	nd*	0.0727	0.4393
800	0.0282	0.1305	0.2480
1000	0.1890	0.1960	0.5070
1200	0.1900	0.7570	1.9440

nd* : ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (0.02 มก.ต่อลิตร)



ภาพที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของโครเมียมที่เล็ดลอดผ่านเรซิ่น QUARON AU-808 กับความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสีย ที่ปริมาตร 1,000, 2,000 และ 3,000 มล.

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดลง สังเกตได้จากมีโครเมียมเจือปนในน้ำที่ผ่านเรซิ่นเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความจุของเรซิ่นเต็มเร็วขึ้นจากการแลกเปลี่ยนกับไอออนของโครเมตในน้ำเสีย

ข. ขั้นตอนการรีเจนเนอเรต

เมื่อสิ้นสุดการผ่านน้ำเสีย (Service) แล้วเริ่มรีเจนเนอเรตด้วย โซเดียม ไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ด้วยอัตราการไหล 2 BV/hr (2 มล. ต่อนาที) ปริมาตรมากเกินพอ วิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียมที่รีเจนเนอเรตได้และคำนวณหาประสิทธิภาพการสกัดกลับโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการสกัดกลับโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์

ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ (มก./ลิตร)	ปริมาณโครเมียมรวมทั้งหมด (มก.)	ปริมาตรของ 10%โซเดียมไฮดรอกไซด์ (มล.)	ความเข้มข้นของโครเมียมในรีเจนเนอเร้นท์ (มก./ลิตร)	ปริมาณโครเมียมที่รีเจนเนอเรตได้ (มก.)	ประสิทธิภาพ (%)
200	600	705	361.65	254.96	42.49
400	1200	500	940.15	470.08	39.17
600	1800	1025	1333.70	1367.04	75.95
800	2400	1100	1304.00	1434.40	59.77
1000	3000	1155	2305.54	2662.90	88.76
1200	3600	1000	2662.00	2662.00	73.94
1400	4200	1500	1497.00	2245.50	53.46
1600	4800	4270	213.54	911.82	19.00

จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่ระดับความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 1000 มก./ลิตร สามารถรีเจนเนอเรตได้ประสิทธิภาพสูงสุด ถึง 88.76% เมื่อความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสูงขึ้น ต้องใช้รีเจนเนอเร้นท์ปริมาณมากขึ้น แต่โครเมียมมีความเข้มข้นลดลง เช่นที่ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ 1,600 มก./ลิตร ประสิทธิภาพการรีเจนเนอเรตมีเพียง 19.00% ทั้งนี้เนื่องจากโครเมียมติดค้างอยู่ในเรซิ่น และอาจเกิดการเปลี่ยแปลงทางเคมีระหว่างเรซิ่นกับโครเมียม โดยเรซิ่นอาจถูกออกซิไดซ์ด้วยกรดโครมิก คาดว่าเกิดจากการที่เรซิ่นถูกออกซิไดซ์

ด้วยกรดโครมิกทำให้หมู่ฟังก์ชั่นเอมีนของเรซิ่นหลุดออกมา สังเกตจากน้ำที่ผ่านออกมามีกลิ่นคล้ายกลิ่นคาวปลาของสารเอมีน และโครเมตเกิดพันธะกับโครงสร้างของเรซิ่นแทนที่หมู่เอมีนที่หลุดออกมา ทำให้เรซิ่นเสื่อมสภาพไม่สามารถรีเจนเนอเรตได้ และหมดประสิทธิภาพแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นเรซิ่น QUARON AU-808 จึงไม่เหมาะสมสำหรับการแยกและสกัดกลับโครเมียมจากน้ำทิ้งโรงงานชุบโลหะที่มีความเข้มข้นของโครเมียมสูงเกินกว่า 1,000 มก. /ลิตร

2. ผลการทดลองด้วยเรซิ่น DOWEX MSA-1

การเตรียมคอลัมน์	ชั่งเรซิ่น DOWEX MSA-1	60.00	กรัม
ความสูงของเรซิ่นในคอลัมน์		17.60	ซม.
ปริมาตรของเรซิ่น		89.18	ลบ.ซม.
ความจุ (Capacity) ของเรซิ่น		1.00	meq/ml
ความจุรวม (Total capacity)		89.18	meq
จำนวนกรัมสมมูลย์ของโครเมต		58	
ปริมาณโครเมตที่เรซิ่นแลกเปลี่ยนได้จากการคำนวณ		5,172.44	มก.

ก. การศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้น

ขั้นตอนนี้ผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ด้วยอัตราการไหลคงที่ 16 BV/hr (24 มล. ต่อนาที) ตามข้อกำหนดของผู้ผลิตเรซิ่น เก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ Cr^{6+} และวัดพีเอช ทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งมีความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำที่ผ่านออกมาสูงกว่า 0.5 มก.ต่อลิตร ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+}ในน้ำที่เล็ดลอดผ่านเรซิ่น Dowex MSA-1 ที่ระดับความเข้มข้นของ Cr^{6+} เริ่มต้นต่างๆ ที่อัตราการไหล 16 BV/hr

ปริมาตรน้ำเสีย	ความเข้มข้นของ Cr^{6+} (มก./ลิตร)									
(BV)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
8	nd*	0.05	nd*	nd*	nd*	nd*	0.04	0.02	0.10	0.12
16	nd*	0.05	nd*	nd*	nd*	nd*	0.04	0.04	0.10	0.10
24	nd*	0.10	nd*	nd*	nd*	0.04	0.08	0.04	0.18	0.16
32	nd*	0.10	nd*	0.04	0.10	0.04	0.12	0.10	0.26	0.20
40	nd*	0.10	nd*	0.14	0.10	0.10	0.32	0.16	2.16	3.60
48	nd*	0.10	nd*	0.22	0.10	0.20	3.60	0.90		
56	nd*	0.10	nd*	0.16	0.14	0.82				
64	nd*	0.10	0.04	0.32	0.22					
72	nd*	0.10	0.04	0.42	0.96					
80	nd*	0.10	0.04	0.72	2.90					
88	0.02	0.20	0.14							
96	0.02	0.20	0.16							
104	0.04	0.25	0.34							
112	0.04	0.25	0.95							
120	0.04	0.25								
128	0.04	0.25								
136	0.04	0.28								
144	0.04	0.32								
152	0.04	0.34								
160	0.04	0.57								
168	0.04									
176	0.12									
184	0.12									
192	0.10									
200	0.10									

nd* : ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่อง (0.02 มก.ต่อลิตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.3 สามารถหาระดับความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่สามารถแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาจากกราฟของภาพที่ 4.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำเสีย กับความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ระดับต่างๆ

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.2 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้นน้ำที่เรซิ่นสามารถแยกโครเมียมออก จะมีปริมาตรลดลง เมื่ออัตราการไหลคงที่ 16 BV/hr เช่นที่ความเข้มข้น 200 มก.ต่อลิตร เรซิ่นสามารถรองรับน้ำเสียได้ถึง 200 เท่าของปริมาตรเรซิ่น ซึ่งเท่ากับ 28 ลิตรโดยประมาณ โดยที่ความเข้มข้นของโครเมียมที่เล็ดลอดเรซิ่นยังต่ำกว่า 0.10 มก.ต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นของน้ำเสีย เท่ากับ 2,000 มก.ต่อลิตร เรซิ่นสามารถรองรับได้เพียง 40 เท่าของปริมาตรเรซิ่น และความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำที่ผ่านเรซิ่นจะเกิน 0.5 มก.ต่อลิตร อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิ่น ระหว่างปริมาณโครเมียมที่เรซิ่นสามารถรองรับได้จริงจากการทดลอง กับปริมาณของโครเมตที่เรซิ่นสามารถแลกเปลี่ยนได้จากทฤษฎี ซึ่งเท่ากับ 5,172.44 มก. แสดงดังตารางที่ 4.4

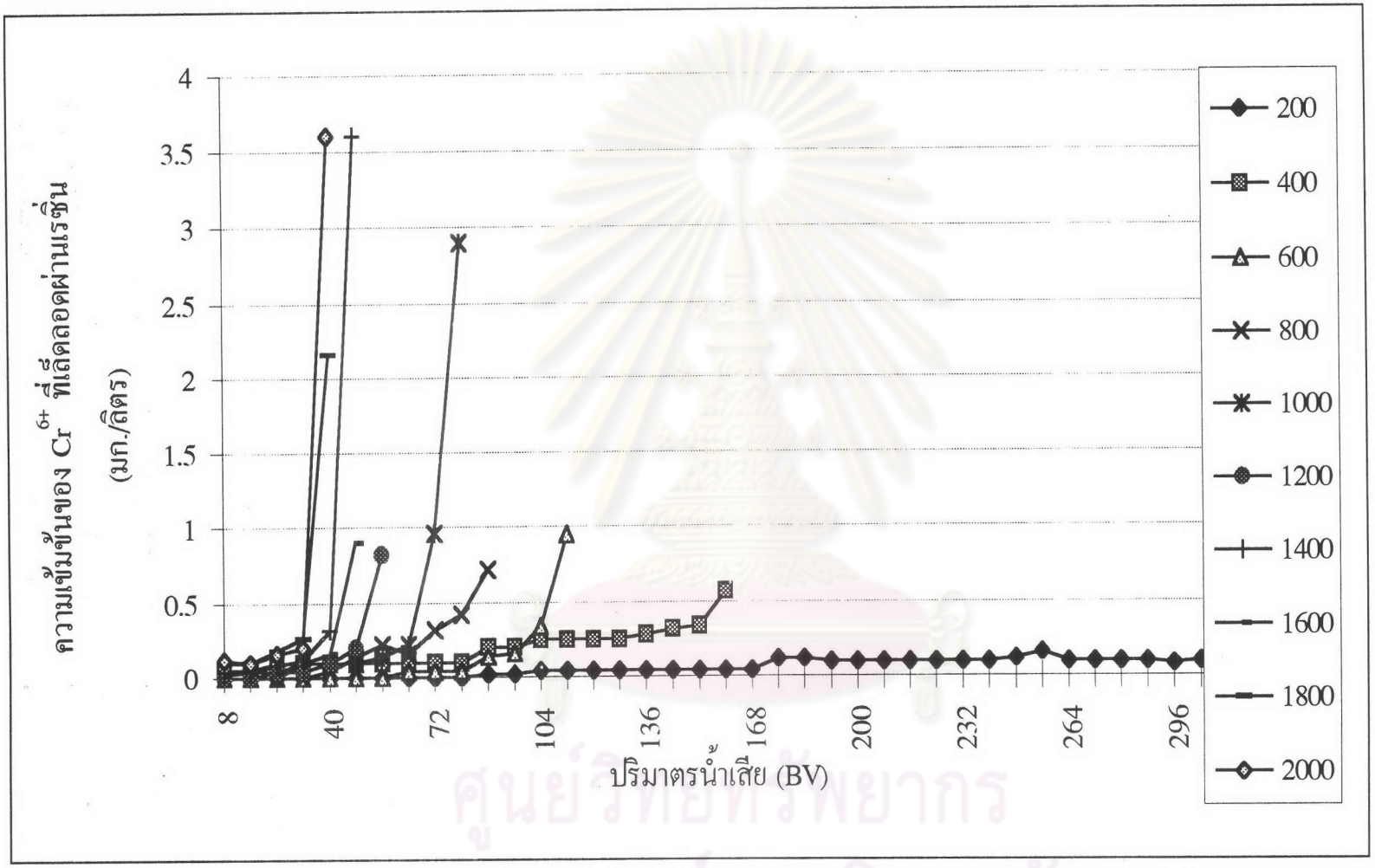
ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพของเรซิ่นที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ เมื่อเทียบกับความจุของเรซิ่น

ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสีย (มก./ลิตร)	ปริมาตรน้ำเสีย (มล.)	ปริมาณโครเมียมที่แลกเปลี่ยนได้0จากการคำนวณ (มก.)	ปริมาณโครเมียมที่แลกเปลี่ยนได้จริง (มก.)	ประสิทธิภาพของเรซิ่น (%)
200	28537.6	5172.44	5707.52	110.34
400	14268.8	5172.44	5707.52	110.34
600	9988.16	5172.44	5992.90	115.86
800	7847.84	5172.44	6278.27	121.38
1000	7134.40	5172.44	7134.40	137.93
1200	4994.08	5172.44	5992.90	115.86
1400	4280.64	5172.44	5992.90	115.86
1600	4280.64	5172.44	6849.02	132.41
1800	3567.20	5172.44	6420.96	124.14
2000	3567.20	5172.44	7134.40	

จากตารางที่ 4.3, 4.4 และกราฟจากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียเริ่มต้น ที่เรซิ่นสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ระดับ 1,000 มก.ต่อลิตร โดยเรซิ่นมีประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 137.93 (สาเหตุที่ประสิทธิภาพสูงกว่า 100 เนื่องจากระหว่างผ่านน้ำเสียเข้าคอลัมน์มีไอออนเล็ดลอดออกมาตลอดเวลา แต่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.5 มก.ต่อลิตร) เพราะเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียเพิ่มขึ้น จาก 1,000 มก.ต่อลิตร เป็น 1,200 มก.ต่อลิตร คิดเป็นอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 แต่ปริมาตรน้ำเสียที่เรซิ่นรองรับได้ลดลงถึงร้อยละ 30 ในทางกลับกันถ้าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียที่ 800 มก.ต่อลิตร ปริมาตรน้ำเสียที่เรซิ่นรองรับได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 แต่ความเข้มข้นลดลงถึงร้อยละ 20 ทั้งนี้สาเหตุอาจจะเนื่องมาจากการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นยังเหมาะสม ทำให้ Cr^{6+} ที่ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนเล็ดลอดออกมากับน้ำที่ผ่านเรซิ่น การแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด น้ำเสียควรมีความเข้มข้นของโครเมียมอยู่ในระดับ 1,000 มก.ต่อลิตร

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสีย กับปริมาณของโครเมียมที่เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ก่อนที่ความเข้มข้นของ Cr^{6+} เล็ดลอดผ่านเรซิ่นมีค่าเกิน 0.5 มก.ต่อลิตร โดยใช้ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient ; r) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.29159 ซึ่งแสดงว่า ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับปริมาณโครเมียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนมีแนวโน้มลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำหลังผ่านเรซิ่น กับปริมาตรน้ำเสีย ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. ศึกษาอัตราการไหลของน้ำเสีย

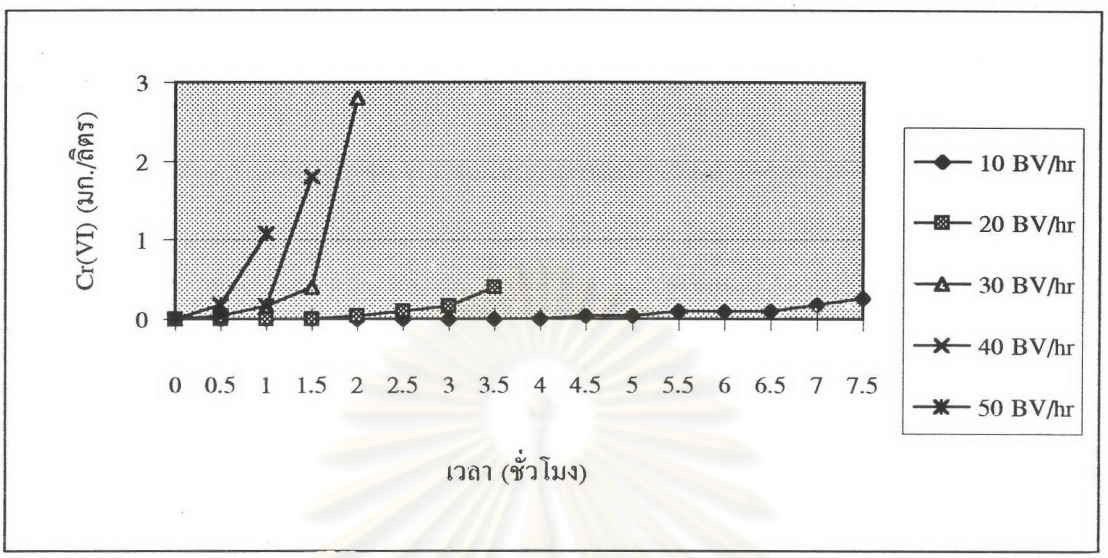
หาอัตราการไหลของน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม ที่ได้จากการทดลองในข้อ ก. ที่ 1,000 มก.ต่อลิตร ผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 10 , 20, 30, 40 และ 50 BV/hr วิเคราะห์ความเข้มข้นของ Cr^{6+} และวัดพีเอชทุกๆ 30 นาที ผลดังตารางที่ 4.5 และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมตกับเวลาในภาพที่ 4.3 สรุปข้อมูลการจับโครเมตเป็นฟังก์ชั่นของอัตราการไหลในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} และพีเอช ของน้ำที่ผ่านเรซิ่น DOWEX MSA-1 ที่อัตราการไหลต่างๆ เมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียคงที่ 1,000 มก.ต่อลิตร

เวลา (นาที)	อัตราการไหลของน้ำเสีย (BV/hr)									
	10		20		30		40		50	
	pH	Cr^{6+} (mg/L)	pH	Cr^{6+} (mg/L)	pH	Cr^{6+} (mg/L)	pH	Cr^{6+} (mg/L)	pH	Cr^{6+} (mg/L)
30	1.9	nd*	1.9	nd*	1.9	0.04	2.0	0.04	2.0	0.18
60	2.0	nd*	1.9	nd*	1.9	0.16	2.0	0.16	2.0	1.08
90	2.0	nd*	1.9	nd*	1.9	0.40	2.0	1.80		
120	2.0	nd*	2.0	0.04	1.9	2.80				
150	2.0	nd*	2.0	0.10						
180	2.0	nd*	2.0	0.16						
210	2.0	nd*	2.0	0.40						
240	2.0	nd*								
270	2.0	0.04								
300	2.0	0.04								
330	2.0	0.10								
360	2.0	0.10								
390	2.0	0.10								
420	2.0	0.18								
450	2.0	0.26								
ปริมาตรน้ำเสีย(มล.)	6750		6300		5350		5350		4458	

nd* : ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่อง (0.02 มก.ต่อลิตร)

จากตารางที่ 4.5 นำมาเขียนกราฟระหว่างความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ Cr^{6+} กับเวลาที่อัตราการไหลต่างๆ ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr^{6+} หลังผ่านเรซิ่น กับเวลาที่อัตราการไหลต่างๆ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโครเมียมคงที่ 1,000 มก.ต่อลิตร กับปริมาตรของน้ำเสียที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ก่อนที่ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำที่เล็ดลอดเรซิ่นมีค่าเกิน 0.5 มก.ต่อลิตร โดยใช้ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient ; r) พบว่ามีค่าเท่ากับ -0.9732 ซึ่งแสดงว่า อัตราการไหลของน้ำเสียมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างมากในทิศทางตรงข้ามกับปริมาตรน้ำเสียที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ โดยเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดลง

จากตารางที่ 4.5 และกราฟของภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำเสียเกิน 40 BV/hr ไม่เหมาะสมเนื่องจากมีโครเมตเล็ดลอดเรซิ่นออกมาเกิน 0.5 มก. ต่อลิตร อย่างรวดเร็ว เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัตราการไหลต่างๆ เมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียคงที่ 1,000 มก. ต่อลิตร แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณโครเมตที่เรซิ่นจับไว้ได้ก่อนที่โครเมตจะเล็ดลอดเกิน 0.5 มก. ต่อลิตร

เวลา (นาที)	อัตราการไหลของน้ำเสีย (BV/hr)														
	10 BV/hr			20 BV/hr			30 BV/hr			40 BV/hr			50 BV/hr		
	Volume (ml)	Cr^{6+} (mg/L)	Cr^{6+} (mg)	Volume (ml)	Cr^{6+} (mg/L)	Cr^{6+} (mg)	Volume (ml)	Cr^{6+} (mg/L)	Cr^{6+} (mg)	Volume (ml)	Cr^{6+} (mg/L)	Cr^{6+} (mg)	Volume (ml)	Cr^{6+} (mg/L)	Cr^{6+} (mg)
30	450	nd*	450	900	nd*	900	1350	0.04	1350	1800	0.04	1800	2250	0.18	2250
60	900	nd*	900	1800	nd*	1800	2700	0.16	2700	3600	0.16	3600			
90	1350	nd*	1350	2700	nd*	2700	4050	0.40	4050		1.80				
120	1800	nd*	1800	3600	nd*	3600									
210	3150	nd*	3150	6300	nd*	6300									
450	6750	nd*	6750												

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.5, 4.6 และกราฟของภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 1,000 มก.ต่อลิตร ที่อัตราการไหล 10BV/hr (15 มล.ต่อนาที) เรซิ่นสามารถรองรับปริมาตรน้ำเสียได้มากถึง 6,750 มล. โดยที่ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่เล็ดลอดออกมาต่ำกว่า 0.5 มก.ต่อลิตร เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 20 BV/hr (30 มล.ต่อนาที) พบว่าเวลาที่ใช้ลดลง 4 ชั่วโมง และปริมาณโครเมตที่เรซิ่นรองรับได้ ลงลงจาก 6,750 มก. เหลือ 6,300 มก. หรือลดลงร้อยละ 6.7 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหล 20 BV/hr กับ 30 BV/hr (45 มล.ต่อนาที) เวลาที่ใช้ลดลง 120 นาที แต่ปริมาณโครเมตที่เรซิ่นรองรับได้ลดลงร้อยละ 35.7 ทำนองเดียวกับเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหล 30 BV/hr กับ 40 BV/hr (60 มล.ต่อนาที) เวลาที่ใช้ลดลง 30 นาที แต่ปริมาณโครเมตที่ผ่านเรซิ่นลดลง ร้อยละ 11.11 ส่วนที่อัตราการไหล 40 BV/hr กับ 50 BV/hr (75 มล.ต่อนาที) เวลาลดลง 30 นาทีเช่นกัน แต่ปริมาณโครเมตที่เรซิ่นรองรับได้ลดลงมากถึง ร้อยละ 37.5 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหล 10 BV/hr กับอัตราการไหล 40 BV/hr และ 50 และ 50 BV/hr พบว่าที่อัตราการไหล 40 BV/hr เวลาลดลงร้อยละ 86.7 ส่วนปริมาณโครเมตลดลง ร้อยละ 46.7 ที่อัตราการไหล 50 BV/hr เวลาลดลงถึงร้อยละ 93.3 แต่ปริมาณโครเมตลดลงถึงร้อยละ 66.7 ดังนั้นอัตราการไหลที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงระหว่าง 10 ถึง 40 BV/hr ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโครเมตน้ำเสีย โดยที่ความเข้มข้นสูงจะใช้อัตราการไหลต่ำ ในทางกลับกันใช้อัตราการไหลสูงกับกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นโครเมตต่ำ เพื่อให้เวลาที่ใช้ผ่านน้ำเสียเหมาะสม

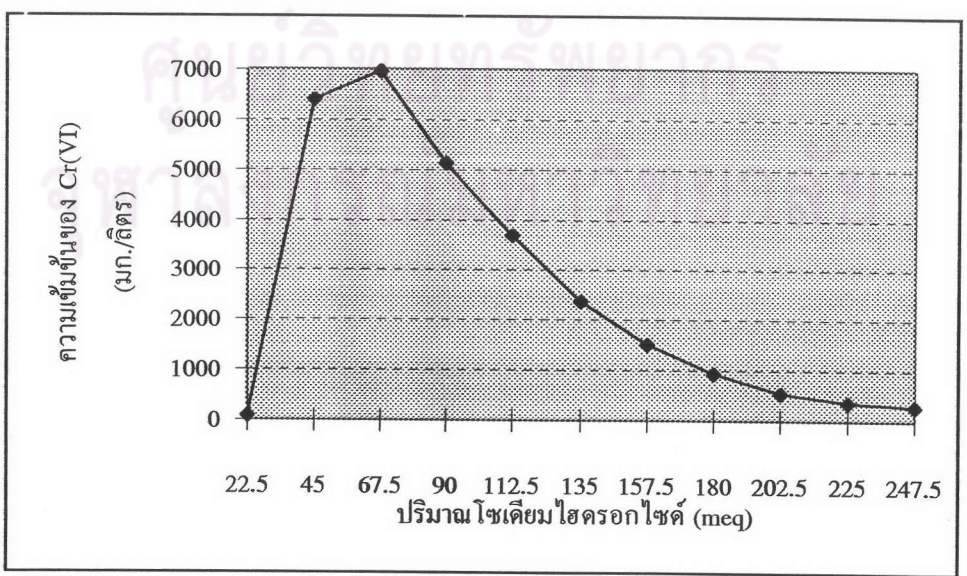
ค. ความเข้มข้นของรีเจนเนอเร้นท์

หาความเข้มข้นของโซเดียม ไฮดรอกไซด์ ที่ใช้เป็นรีเจนเนอเร้นท์ โดยใช้คอลัมน์ที่ผ่านน้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 1,000 มก.ต่อลิตร ปริมาตร 4 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 10 BV/hr (15 มล.ต่อนาที) ตามเงื่อนไขที่ได้จากการทดลองข้อ ก และ ข แล้วรีเจนเนอเรตด้วยโซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1, 3, 5, 7, 9 และ 10 โดยน้ำหนัก แบบ countercurrent ที่อัตราการไหลคงที่ 2 BV/hr (3 มล.ต่อนาที) ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายที่รีเจนเนอเรตได้ทุกๆ 30 นาที นาน 330 นาที โดยใช้เวลาเก็บแต่ละตัวอย่างนาน 10 นาที (ปริมาตร 30 มล.) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่ออกมาเนฟังก์ชั่นของเวลาการรีเจนเนอเรต และดูแนวโน้มของการรีเจนเนอเรต จากนั้นล้างเรซิ่นด้วยน้ำปริมาตร 600 มล. และนำน้ำล้างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมต ผลแสดงดังตารางที่ 4.7- 4.12

ตารางที่ 4.7 ปริมาณของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 1%NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

เวลา (นาที)	โซเดียมไฮดรอกไซด์		พีเอช	ความเข้มข้นของ Cr^{6+} (มก./ลิตร)
	ปริมาตร (มล.)	meq		
30	90	22.5	3.4	80
60	180	45.0	7.0	6400
90	270	67.5	7.3	6960
120	360	90.0	12.7	5120
150	450	112.5	12.7	3680
180	540	135.0	12.9	2360
210	630	157.5	12.9	1500
240	720	180.0	12.8	920
270	810	202.5	12.9	540
300	900	225.0	12.9	360
330	990	247.5	12.9	280

ปริมาณ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้ทั้งหมด		3,301.6	มก.
พีเอช		14.2	
ประสิทธิภาพ		82.54	%
ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำล้างเรซิ่น	ต่ำกว่า	0.01	มก.ต่อลิตร
พีเอช		11.0	

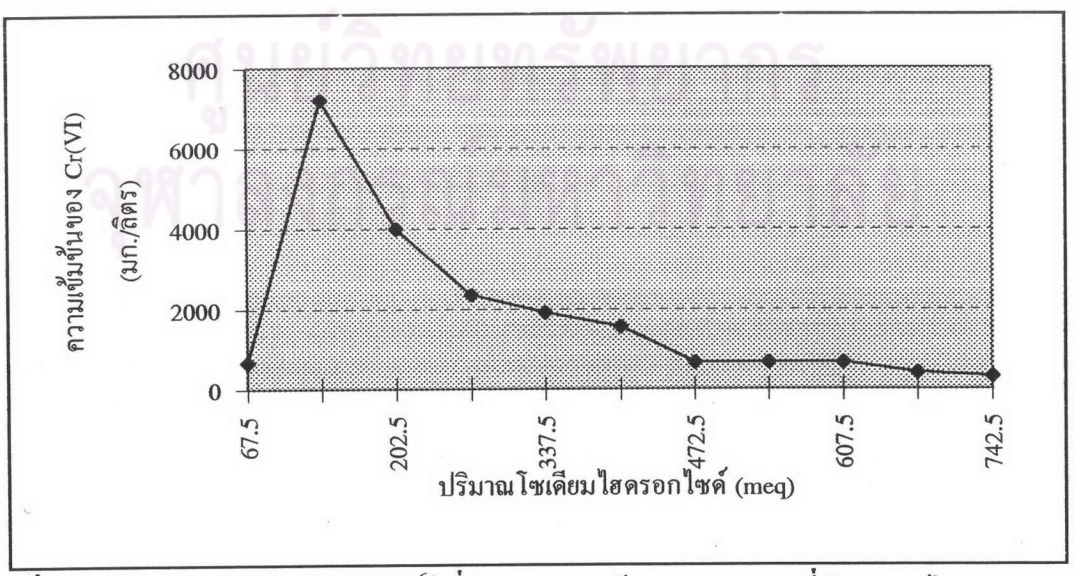


ภาพที่ 4.4 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 1% NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 3%NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

เวลา (นาที)	โซเดียมไฮดรอกไซด์		พีเอช	ความเข้มข้นของ Cr^{6+} (มก./ลิตร)
	ปริมาตร (มล.)	meq		
30	90	67.5	5.8	650
60	180	135.0	13.0	7200
90	270	202.5	13.1	4000
120	360	270.0	13.1	2350
150	450	337.5	13.1	1900
180	540	405.0	13.1	1550
210	630	472.5	13.2	650
240	720	540.0	13.2	650
270	810	607.5	13.1	650
300	900	675.0	13.2	400
330	990	742.5	13.2	310

ปริมาณ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้ทั้งหมด	2,566.0	มก.
พีเอช	12.3	
ประสิทธิภาพ	64.15	%
ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำล้างเรซิ่น	0.02	มก.ต่อลิตร
พีเอช	11.5	

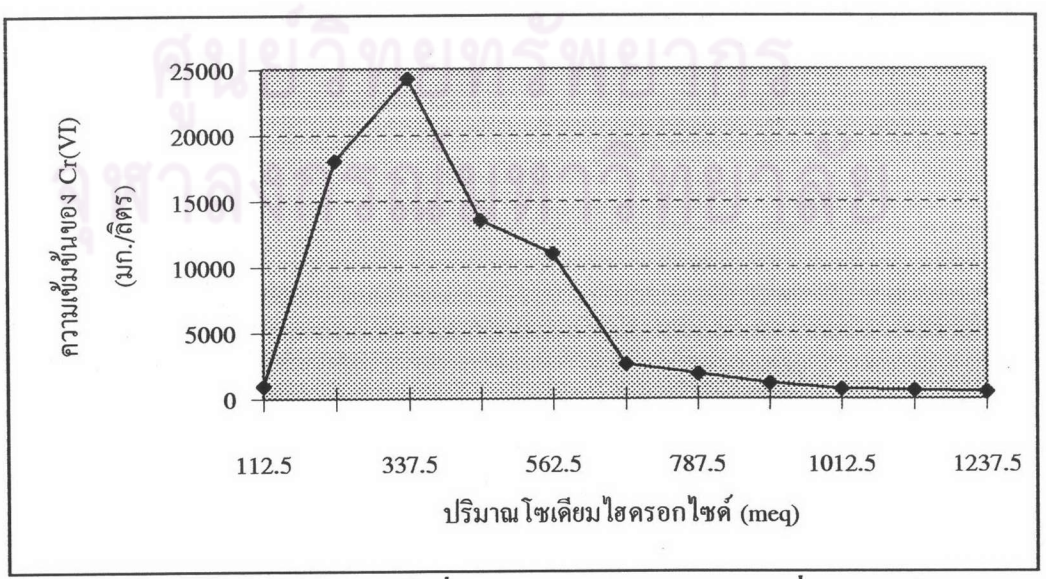


ภาพที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 3% NaOH ที่อัตราการไหล 2BV/hr

ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 5%NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

เวลา (นาที)	โซเดียมไฮดรอกไซด์		พีเอช	ความเข้มข้นของ Cr^{6+} (มก./ลิตร)
	ปริมาตร (มล.)	meq		
30	90	112.5	5.6	900
60	180	225.0	13.0	18000
90	270	337.5	13.1	24250
120	360	450.0	13.1	13500
150	450	562.5	13.2	11000
180	540	675.0	13.2	2570
210	630	787.5	13.3	1850
240	720	900.0	13.3	1100
270	810	1012.5	13.4	700
300	900	1125.0	13.4	575
330	990	1237.5	13.4	500

ปริมาณ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้ทั้งหมด	2,909.2	มก.
พีเอช	12	
ประสิทธิภาพ	72.73	%
ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำล้างเรซิ่น	0.03	มก.ต่อลิตร
พีเอช	10.2	

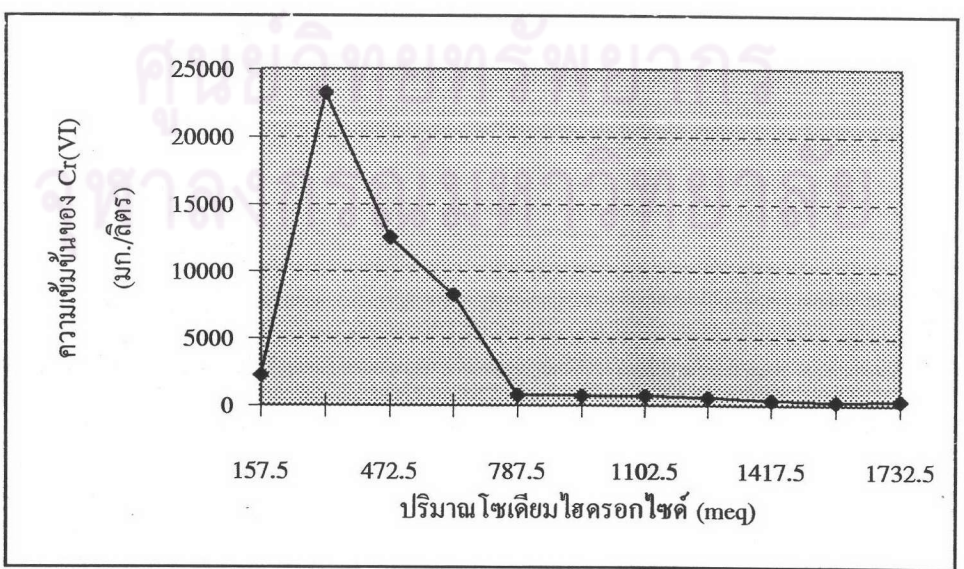


ภาพที่ 4.6 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 5% NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 7%NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

เวลา (นาที)	โซเดียมไฮดรอกไซด์		พีเอช	ความเข้มข้นของ Cr^{6+} (มก./ลิตร)
	ปริมาตร (มล.)	meq		
30	90	157.5	5.1	2250
60	180	315.0	11.5	23250
90	270	472.5	12.0	12500
120	360	630.0	12.0	8250
150	450	787.5	12.0	775
180	540	945.0	12.2	725
210	630	1102.5	11.8	700
240	720	1260.0	12.0	575
270	810	1417.5	12.2	375
300	900	1575.0	12.2	250
330	990	1732.5	12.2	325

ปริมาณ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้ทั้งหมด	2,950	มก.
พีเอช	12.2	
ประสิทธิภาพ	73.75	%
ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำล้างเรซิ่น	218	มก.ต่อลิตร
พีเอช	11.8	

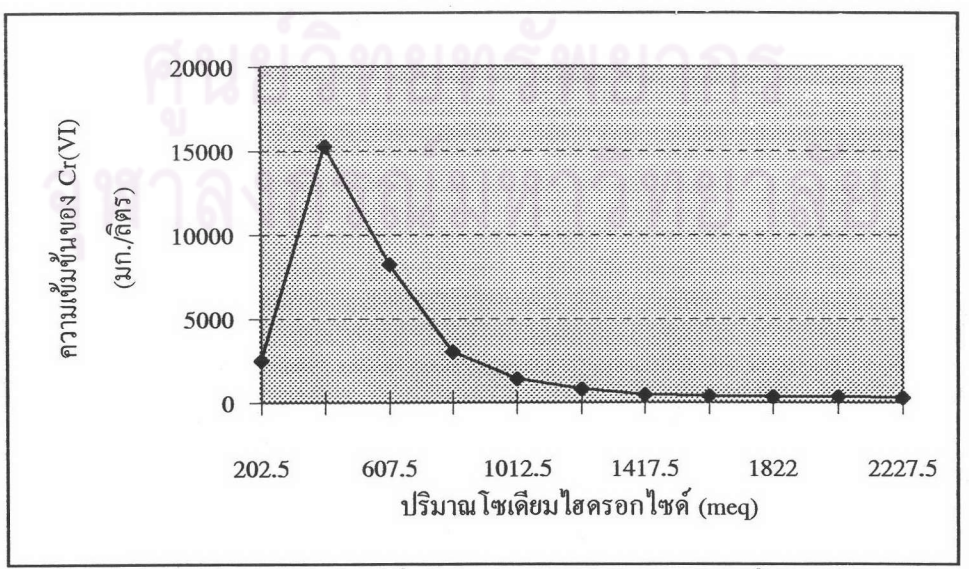


ภาพที่ 4.7 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 7% NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 9%NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

เวลา (นาที)	โซเดียมไฮดรอกไซด์		พีเอช	ความเข้มข้นของ Cr^{6+} (มก./ลิตร)
	ปริมาตร (มล.)	meq		
30	90	202.5	8.6	2500
60	180	405.0	12.0	15250
90	270	607.5	12.0	8250
120	360	810.0	12.0	3025
150	450	1012.5	12.0	1425
180	540	1215.0	12.0	800
210	630	1417.5	12.0	475
240	720	1620.0	12.0	375
270	810	1822.5	12.0	325
300	900	2025.0	12.0	325
330	990	2227.5	12.0	250

ปริมาณ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้ทั้งหมด	3,500	มก.
พีเอช	12.3	
ประสิทธิภาพ	87.50	%
ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำล้างเรซิ่น	118	มก.ต่อลิตร
พีเอช	11.8	

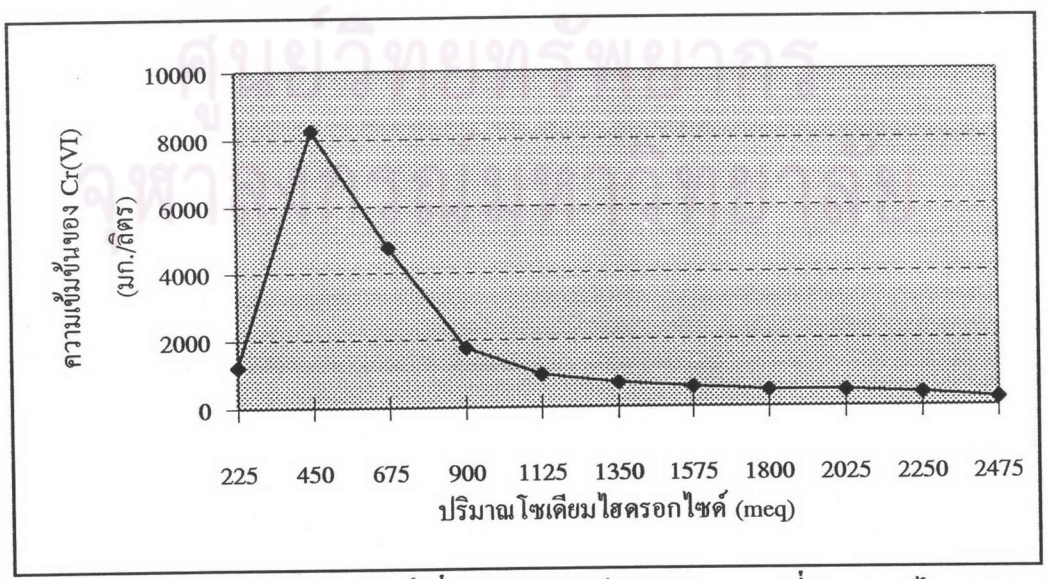


ภาพที่ 4.8 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 9% NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 10%NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

เวลา (นาที)	โซเดียมไฮดรอกไซด์		พีเอช	ความเข้มข้นของ Cr^{6+} (มก./ลิตร)
	ปริมาตร (มล.)	meq		
30	90	225.0	2.0	1200
60	180	450.0	12.0	8250
90	270	675.0	12.2	4750
120	360	900.0	12.2	1750
150	450	1125.0	12.2	950
180	540	1350.0	12.3	700
210	630	1575.0	12.3	575
240	720	1800.0	12.3	475
270	810	2025.0	12.3	450
300	900	2250.0	12.3	375
330	990	2475.0	12.3	225

ปริมาณ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้ทั้งหมด	3,750	มก.
พีเอช	12.3	
ประสิทธิภาพ	93.75	%
ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในน้ำล้างเรซิ่น	660	มก.ต่อลิตร
พีเอช	11.9	



ภาพที่ 4.9 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 10%NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr

จากตารางที่ 4.7-4.12 และกราฟจากภาพที่ 4.4-4.9 แสดงให้เห็นว่าสารละลายที่รีเจนเนอเรตได้ มีความเข้มข้นของ Cr^{6+} สูงสุด เมื่อใช้เวลาในการรีเจนเนอเรตอยู่ในช่วงเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมง และเมื่อใช้โซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์ ในช่วงตั้งแต่ 67.5-450 meq เมื่อรวมปริมาณของโซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์ที่รีเจนเนอเรตให้ Cr^{6+} มากสุด และประสิทธิภาพของแต่ละระดับความเข้มข้นแสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการรีเจนเนอเรตโครเมต 4,000 มก. ที่ถูกจับด้วยเรซิ่น

ความเข้มข้นของโซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์ (%)	ปริมาณโซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์รวม (meq)	ปริมาณ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้ (mg)	ประสิทธิภาพ (%)
1	247.5	3301.0	82.5
3	742.5	2566.0	64.2
5	1237.5	2902.2	72.7
7	1732.5	2950.0	73.8
9	2227.5	3500.0	87.5
10	2475.0	3750.0	93.8

ที่โซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 10 สามารถรีเจนเนอเรตได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถรีเจนเนอเรตโครเมียมได้ถึงร้อยละ 93.8 ของปริมาณโครเมียมจำนวน 4000 มก.ที่ผ่านเรซิ่น (จากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียม 1,000 มก.ต่อลิตร ปริมาตร 4 ลิตร) แต่พบว่าต้องใช้โซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์ถึง 2,475 meq ในขณะที่โซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 มีประสิทธิภาพร้อยละ 82.5 แต่ใช้โซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์เพียง 247.5 meq และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ Cr^{6+} สูงสุด พบว่าที่ความเข้มข้นของโซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 สามารถรีเจนเนอเรตได้ความเข้มข้นของ Cr^{6+} เท่ากับ 24,250 meq เมื่อใช้โซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์ปริมาณ 337.5 meq แต่เมื่อเทียบกับการรีเจนเนอเรตด้วยความเข้มข้นร้อยละ 7 สามารถรีเจนเนอเรตได้ Cr^{6+} เข้มข้น 23,250 มก.ต่อลิตร ใช้โซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์ปริมาณ 315 meq ลดลงร้อยละ 6.7 เมื่อเทียบกับปริมาณที่ใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ในขณะที่ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้มีความเข้มข้นลดลงเพียงร้อยละ 4.1 ดังนั้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 มีความเหมาะสมสำหรับการรีเจนเนอเรตเรซิ่น DOWEX MSA-1 เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่า ใช้ปริมาณน้อยกว่าและใช้ระยะเวลารีเจนเนอเรตสั้นกว่า เมื่อเทียบกับความเข้มข้นร้อยละ 5 ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ไม่เหมาะสมถึงแม้ว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่า ใช้โซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์ปริมาณน้อยกว่า แต่ต้องใช้เวลารีเจนเนอเรตนานจนกว่าความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้มีความเข้มข้นต่ำกว่า 1,000 มก.ต่อลิตร ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ไม่

เหมาะสม เนื่องจากพบว่าสารละลายของโซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์มีความหนาแน่นสูง จะดันเรซิ่นลอยตัวขึ้น อาจทำให้คอลัมน์แตกได้ ดังนั้นรีเจนเนอเร้นท์ที่ใช้ควรมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าความถ่วงจำเพาะของเรซิ่น นอกจากนั้น Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตได้มีความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้เพื่อนำกรดโครมิกที่รีเจนเนอเรตได้ กลับไปใช้ในกระบวนการชุบโลหะใหม่ได้ ดังนั้นความเข้มข้นของโซเดี่ยมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่างร้อยละ 5-7

ง. อัตราการไหลของรีเจนเนอเร้นท์

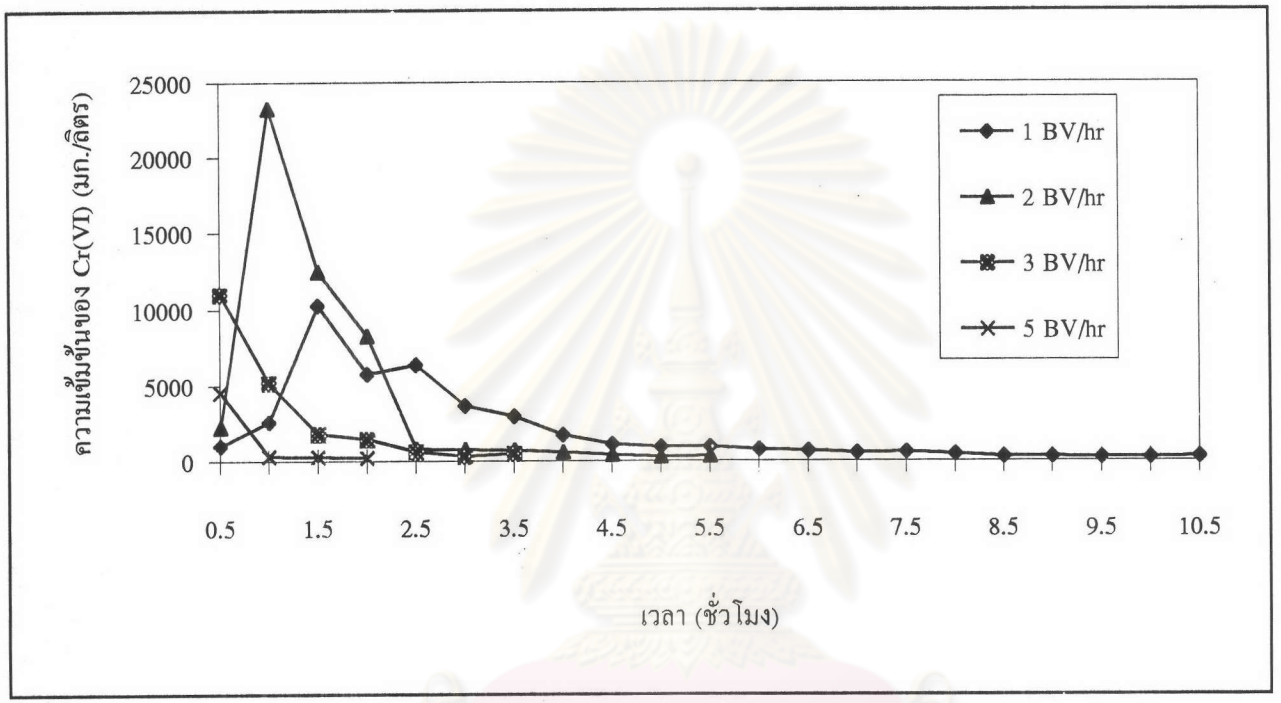
หาอัตราการไหลที่เหมาะสมของรีเจนเนอเร้นท์ โดยใช้คอลัมน์ที่ผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 1,000 มก.ต่อลิตร ด้วยอัตราการไหล 10 BV/hr (15 มล.ต่อนาที) ปริมาตร 4 ลิตร แล้วรีเจนเนอเรตด้วยโซเดี่ยม ไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักที่อัตราการไหล 1, 2, 3 และ 5 BV/hr หรือเทียบเท่า 1.5, 3, 4.5 และ 7.5 มล.ต่อนาทีตามลำดับ วิเคราะห์ความเข้มข้นของ Cr^{6+} และวัดพีเอชทุกๆ 30 นาที ได้ผลดังตารางที่ 4.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 7%NaOH ที่อัตราการไหลต่างๆ

เวลา (ชม.)	อัตราการไหล (BV/hr)											
	1			2			3			5		
	pH	NaOH (ml)	Cr^{6+} (mg/L)	pH	NaOH (ml)	Cr^{6+} (mg/L)	pH	NaOH (ml)	Cr^{6+} (mg/L)	pH	NaOH (ml)	Cr^{6+} (mg/L)
0.5	1.8	45	1025	5.1	90	2250	7.0	135	11 000	12.5	225	4500
1.0	2.3	90	2570	11.5	180	23250	12.0	270	5150	12.5	450	325
1.5	12.3	135	10250	12.0	270	12500	12.0	405	1800	12.5	675	250
2.0	12.4	180	5750	12.0	360	8250	12.1	540	1425	12.5	900	200
2.5	12.4	225	6370	12.0	450	775	12.1	675	600			
3.0	12.3	270	3625	12.2	540	725	12.1	810	325			
3.5	12.3	315	2950	11.8	630	700	12.1	945	500			
4.0	12.5	360	1700	12.0	720	575						
4.5	12.4	405	1075	12.2	810	375						
5.0	12.4	450	900	12.2	900	250						
5.5	12.2	495	900	12.2	990	325						
6.0	12.4	540	750									
6.5	12.5	585	650									
7.0	12.4	630	525									
7.5	12.5	675	575									
8.0	12.5	720	450									
8.5	12.5	765	280									
9.0	12.5	810	275									
9.5	12.5	855	225									
10.0	12.5	900	200									
10.5	12.5	945	275									

จากตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.10 เมื่อรีเจนเนอเรตด้วย 7% NaOH ที่อัตราการไหล 2 BV/hr สามารถรีเจนเนอเรตได้ Cr^{6+} มีความเข้มข้นสูงถึง 23,250 มก.ต่อลิตร ที่เวลา 1 ชั่วโมง หรือเท่ากับปริมาตรโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 900 มล. ในขณะที่อัตราการไหล 3 BV/hr มีความเข้มข้นเพียง 11,000 มก.ต่อลิตร ส่วนที่อัตราการไหล 1 BV/hr ใช้เวลานานทำให้สิ้นเปลืองสารเคมี



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่รีเจนเนอเรตด้วย 7%NaOH ที่อัตราไหลต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาโดยเครื่องต้นแบบ

ทำการศึกษาโดยนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการร่วมกับข้อกำหนดของเรซิ่น Dowex MSA-1 และ MSC-1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. สภาวะการทดลอง

สภาวะที่ใช้ทดลอง	MSA-1	MSC-1
อัตราการไหลของน้ำเสีย	10 BV/hr	
อัตราการไหลของรีเจนเนอเร้นท์	2 BV/hr	3 BV/hr
ความเข้มข้นของรีเจนเนอเร้นท์	5% NaoH	8% H_2SO_4
อัตราการไหลน้ำล้างเรซิ่น Slow rinse	เท่ากับอัตราการไหลของรีเจนเนอเร้นท์	
Fast rinse	เท่ากับอัตราการไหลของน้ำเสีย	
ปริมาตรน้ำล้างเรซิ่น	6 BV	

2. เรซิ่นที่ใช้ทดลอง

เรซิ่น	SAC-1	SBA	SAC-2
ชนิดของเรซิ่น	Dowex MSC-1	Dowex MSA-1	Dowex MSC-1
ปริมาตรของเรซิ่น (ลบ.ซมซ)	1984.70	2239.88	2409.99
ความจุ (Capacity ; meq)	1984.70	2239.88	2409.99
ความสามารถจับ Cr^{6+} (g)		129.91	

3. ผลการทดลอง

ก. ขั้นตอนผ่านน้ำเสีย (Service)

ทดลองผ่านน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดเล็ก ที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีความเข้มข้นของโลหะในน้ำเสียไม่แน่นอน น้ำเสียมีสีเหลือง มีตะกอนแขวนลอย น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะมีคุณภาพแสดงดังตารางที่ 4.15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 แสดงคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะที่ทำการศึกษาวิจัย

คุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ปริมาตรน้ำเสีย (ลิตร)	108	108	252
พีเอช	4.5	1.7	2.2
ความเข้มข้นของ Cr^{6+} (mg/L)	68.0	300.0	61.2
ปริมาณของ Cr^{6+} (g)	7.34	32.4	15.42
ความเข้มข้นของโครเมียมรวม (mg/L)	634.0	1034.4	664.8
Copper (mg/L)	25.2	56.8	22.4
Nickel (mg/L)	nd*	nd*	nd*
Dissolved Solid (mg/L)	203.0	5450.0	655.0

nd* : ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (0.01 มก./ลิตร)

น้ำเสียที่นำมาทดลองต้องผ่านการกรองก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของคอลัมน์ โดยใช้อัตราการไหลของน้ำเสีย 10 BV/hr ซึ่งเท่ากับ 300 มล.ต่อนาทีโดยประมาณ เก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ หาความเข้มข้นของ Cr^{6+} โครเมียม และวัดพีเอชทุกๆ 30 นาที ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยนำน้ำเสียครั้งที่ 1 มาผ่านกระบวนการแยกด้วยเรซิ่นและรีเจนเนอเรต และล้างเรซิ่นให้มีสภาพพร้อมนำกลับมาใช้งานใหม่ จากนั้นจึงผ่านน้ำเสียครั้งที่ 2 ลงไปเหมือนครั้งที่ 1 และทำทำนองเดียวกันกับครั้งที่ 3ผลการทดลองดังแสดงตารางที่ 4.16-4.20 และภาพ 4.11

จากตารางที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียเมื่อผ่านเรซิ่น SAC-1 และ SBA แล้ว พบว่าค่าพีเอชจะอยู่ในช่วงสภาพเป็นกลาง และเรซิ่นที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ยังมีประสิทธิภาพการจับ Cr^{6+} ได้ดีมาก ดังเห็นได้จากไม่มี Cr^{6+} เล็ดลอดจากการทดลองครั้งที่ 3 ส่วนปริมาณของโครเมียมรวม พบว่ามีความเข้มข้นระหว่าง 0.030 - 0.749 มก.ต่อลิตร ซึ่งยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 2 มก.ต่อลิตร สำหรับทองแดง และนิเกิลไม่ทำการวิเคราะห์เนื่องจากทองแดงมีความเข้มข้นต่ำมาก และไม่พบนิเกิลในน้ำเสียที่นำมาทดลอง

ตารางที่ 4.16 แสดงความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ในน้ำหลังผ่านเรซิ่น SAC-1 และ SBA ในขั้นตอนการบำบัด (Service) ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

ปริมาตรน้ำเสีย (ลิตร)	คุณภาพของน้ำที่ผ่านเรซิ่น MSC-1 และ MSA-1											
	Cr^{6+} (mg/L)			Total Chromium (mg/L)			pH			Conductivity (mS/cm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
9	nd*	nd*	nd*	0.030	0.203	0.397	6.4	7.8	4.8	0.347	0.203	0.021
18	nd*	nd*	nd*	0.039	0.192	0.386	6.4	9.9	4.9	0.427	0.192	0..009
27	nd*	nd*	nd*	0.052	0.209	0.448	6.7	10.1	5.8	0.446	0.209	0.010
36	nd*	nd*	nd*	0.087	0.235	0.459	6.6	10.1	5.8	0.453	0.235	0.009
45	nd*	nd*	nd*	0.077	0.257	0.442	6.5	10.1	6.0	0.456	0.257	0.009
54	nd*	nd*	nd*	0.115	0.287	0.499	6.5	10.1	5.5	0.454	0.287	0.019
63	nd*	nd*	nd*	0.115	0.313	0.513	6.2	10.1	7.4	0.459	0.313	0.044
72	nd*	nd*	nd*	0.118	0.295	0.500	6.0	10.1	7.5	0.450	0.295	0.042
81	nd*	nd*	nd*	0.127	0.385	0.535	5.9	10.1	7.4	0.437	0.385	0.018
90	nd*	nd*	nd*	0.152	0.665	0.514	5.8	9.9	7.3	0.432	0.665	0.013
99	nd*	nd*	nd*	0.145	0.359	0.549	5.9	8.5	7.4	0.452	0.359	0.11
108	nd*	nd*	nd*	0.199	0.411	0.545.	5.8	7.5	7.0	0.458	0.411	0.009
117			nd*			0.55.5			6.8			0.008
126			nd*			0.567			6.5			0.008
135			nd*			0.594			6.4			0.008
144			nd*			0.609			6.2			0.015
153			nd*			0.659			6.1			0.012
162			nd*			0.656			5.9			0.012
171			nd*			0.668			5.7			0.013
180			nd*			0.672			5.3			0.016
189			nd*			0.648			5.3			0.022
198			nd*			0.691			5.3			0.033
207			nd*			0.701			5.3			0.079
216			nd*			0.718			5.3			0.140
225			nd*			0.725			5.5			0.194
234			nd*			0.703			5.7			0.531
243			nd*			0.691			5.6			0.542
252			nd*			0.749			5.7			0.576

nd* : ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (0.01 มก./ลิตร)

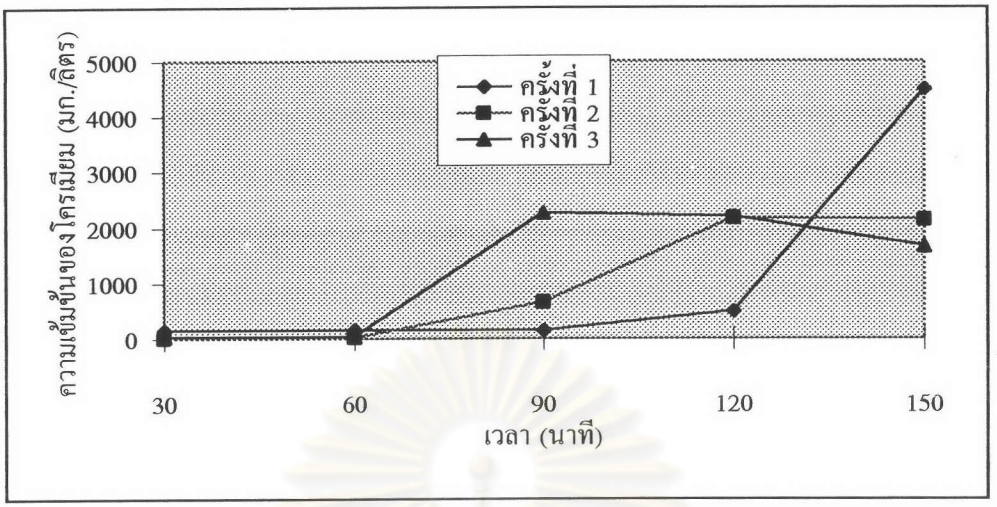
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. ขั้นตอนสกัดกลับโครเมียม (Recovery)

เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนในข้อ ก. แล้ว เริ่มทำการสกัดกลับโครเมียม โดยการรีเจนเนอเรตเรซิ่น SBA ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 ด้วยอัตราการไหล 2 BV/hr (70 มล.ต่อนาที) เก็บและวิเคราะห์ผลทุกๆ 30 นาที ปริมาตรที่สุ่มเก็บ 100 มล. และวิเคราะห์ความเข้มข้นตัวอย่างที่สุ่มเก็บเป็นช่วง และสารละลายที่รีเจนเนอเรตได้รวมทั้งหมด หาประสิทธิภาพการสกัดกลับโครเมียม โดยเปรียบเทียบปริมาณของ Cr^{6+} ที่สกัดกลับมาอยู่ในสารละลายรวมทั้งหมดกับปริมาณ Cr^{6+} ที่มีอยู่จริงในน้ำเสีย ผลแสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} และ Total Chromium ที่รีเจนเนอเรตได้ในขั้นตอนสกัดกลับ (Recovery)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
	pH	Cr^{6+} (mg/L)	Total Chromium (mg/L)	pH	Cr^{6+} (mg/L)	Total Chromium (mg/L)	pH	Cr^{6+} (mg/L)	Total Chromium (mg/L)
30	3.8	6.4	140.8	3.5	0.6	2.3	0.5	0.05	29.2
60	1.5	9.3	153.7	4.3	56.5	14.7	0.7	15.0	32.4
90	1.9	11.8	142.3	3.9	60.0	649.6	1.0	980.0	2262.0
120	1.9	900.0	485.2	4.1	950	2174.0	1.2	1210.0	2188.0
150	2.1	870.0	4488.0	4.1	1100	2131.6	1.8	900.0	1657.2
รวม*	2.4	320	481.9	3.9	400	1024.0	1.1	690	1141.8
ปริมาณ* Cr^{6+} (g)	3.36			4.20			7.25		
% Recovery	45.78			12.96			46.98		



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความเข้มข้นของโครเมียมที่รีเจนเนอเรตด้วยสาระลาย 5%NaOH

จากตารางที่ 4.17 ภาพที่ 4.11 แสดงถึงความเข้มข้นของ Cr^{6+} และโครเมียมรวมทั้งหมดที่รีเจนเนอเรตได้ในแต่ละช่วงเวลา พบว่าความเข้มข้นของ Cr^{6+} จะเข้มข้นสูงสุดเมื่อทำการรีเจนเนอเรตไปได้ 120 นาที หรือเท่ากับรีเจนเนอเร้นท์ปริมาตร 8.40 ลิตร ภายหลังจากนั้นความเข้มข้นของ Cr^{6+} จะเริ่มลดต่ำลง เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการสกัดกลับโครเมียมแล้ว พบว่าการสกัดกลับโครเมียมของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง เมื่อเทียบกับปริมาณของ Cr^{6+} ที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนโดยเรซิ่น SBA ได้ มีประสิทธิภาพร้อยละ 45.78, 12.96 และ 46.98 ตามลำดับ สาเหตุที่ประสิทธิภาพการสกัดกลับค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านระบบต่ำกว่าขีดความสามารถสูงสุดของเครื่องต้นแบบมาก เครื่องต้นแบบสามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับโครเมตได้สูงสุด 129.91 กรัม แต่น้ำเสียที่นำมาทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีปริมาณโครเมตทั้งหมดเพียง 7.34, 32.40 และ 15.42 กรัม ตามลำดับ ซึ่งโครเมตที่รีเจนเนอเรตได้จะตกค้างอยู่ด้านบนของคอลัมน์ซึ่งเป็นช่องว่าง ช่องว่างนี้นอกจากจะทำให้สารละลายตกค้าง (Dead volume) แล้วยังเป็นสาเหตุที่ทำให้สารละลายที่รีเจนเนอเรตได้เจือจางด้วย ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยพยายามเหลือที่ว่างให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น โดยการบรรจุเรซิ่นจนเกือบเต็ม เหลือที่ไว้สำหรับเรซิ่นขยายตัวเมื่อเกิดการเปลี่ยนรูปของไอออนเท่านั้น นอกจากนี้แล้วสารละลายที่รีเจนเนอเรตได้อาจตกค้างอยู่ตามท่อและปนเปื้อนไปกับน้ำล้างเรซิ่นและกรดที่ใช้รีเจนเนอเรตเรซิ่น SAC-1 และ SAC-2

ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นของโครเมียมประมาณ 100 มก.ต่อลิตร เครื่องต้นแบบสามารถรับน้ำเสียได้เป็นปริมาตรถึง 1300 ลิตร ในขณะที่การใช้สารเคมีสำหรับรีเจนเนอเร้นท์ และน้ำสำหรับล้างเรซิ่นต้องใช้ในปริมาณเท่ากับการใช้เรซิ่นเต็มประสิทธิภาพเท่าเดิม

ค. ขั้นตอนการล้างเรซิ่น SBA และ SAC-2

ทำการล้างเรซิ่นท่อที่ 2 (SBA) และท่อที่ 3 (SAC-2) ด้วยน้ำปราศจากไอออน จะทำต่อจากขั้นตอนสกัดกลับ เพื่อล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ออกจากเรซิ่น SBA ก่อนที่จะรีเจนเนอเรต ด้วย 8%H_2SO_4 เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนสภาวะจากกรดไปเป็นด่างอย่างรวดเร็ว และยังเป็นการดันสารละลาย $Na_2Cr_2O_7$ ที่ค้างอยู่ด้านบนของคอลัมน์ให้ย้อนกลับไปยัง SBA เป็นการลดการเจือปนของ Cr^{6+} ในน้ำล้างเรซิ่น ด้วยอัตราการไหลเท่ากับอัตราการไหลของการรีเจนเนอเรต (Slow rinse) คือ 3 BV/hr (100 มล.ต่อนาที) แล้วจึงล้างต่อด้วยอัตราการไหลเท่ากับอัตราการไหลของน้ำเสีย (Fast rinse) ที่อัตราการไหล 10 BV/hr (300 มล.ต่อนาที)นานประมาณ 10 นาที วิเคราะห์หาปริมาณ Cr^{6+}และ pH เพื่อหาการปนเปื้อนของ Cr^{6+} ในน้ำล้างเรซิ่นซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการรีเจนเนเรต ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} และ pH ในน้ำล้างเรซิ่น SBA และ SAC-2

คุณภาพน้ำล้างเรซิ่น	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Slow	Fast	Slow	Fast	Slow	Fast
pH	12.0	10.8	12.0	8.0	11.0	8.5
Cr^{6+} (มก./ลิตร)	14.5	0.26	27.0	nd*	31.0	nd*
ปริมาตร (ลิตร)	30.0		50.0		50.0	

nd* : ต่ำกว่าขีดจำกัดของเครื่องวัด (0.01 มก.ต่อลิตร)

จากตารางที่ 4.16 การทดลองครั้งแรก เมื่อล้างด้วยน้ำปริมาตร 30 ลิตร ยังมีการปนเปื้อนของ Cr^{6+} ดังนั้นการทดลองครั้งต่อไปจึงเพิ่มปริมาณน้ำล้างเพิ่มขึ้นเป็น 50 ลิตร พบว่าไม่มีการปนเปื้อนของ Cr^{6+} ในขั้นตอนล้างเพื่อเตรียมเรซิ่นสำหรับการทดลองในรอบต่อไป (Fast rinse) อีกส่วนน้ำล้างที่มีการปนเปื้อนของ Cr^{6+} จะนำไปรวมกับน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะเพื่อนำไปบำบัดในรอบการทำงานต่อไปได้

ง. ขั้นตอนรีเจนเนอเรตเรซิ่น SAC-1

ทำการรีเจนเนอเรตเรซิ่นท่อที่ 1 (SAC-1) ด้วยสารละลาย 8%H_2SO_4 อัตราการไหล 3 BV/hr (100 มล.ต่อนาที) จำนวน 12 ลิตร ผลการวิเคราะห์คุณภาพสารละลายที่รีเจนเนอเรตได้แสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 แสดงความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ในสารละลายที่ได้จากการรีเจนเนอเรตเรซิ่น SAC-1

คุณภาพ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
pH	0.8	0.7	0.90
Cr^{6+} (mg/L)	29.0	50.0	26.0
Total Chromium (mg/L)	242.2	178.8	210.1
Copper (mg/L)	3.2	3.5	5.5

เรซิ่นท่อที่ 1 (SAC-1) มีการแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะที่มีประจุบวกในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ และด้านบนของเรซิ่นมีการจับตัวของตะกอนที่อยู่ในน้ำเสีย สารละลายที่รีเจนเนอเรตได้ส่วนนี้จะทิ้งไปเนื่องจากไม่สามารถใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ และมีปริมาณน้อย

จ. ขั้นตอนการรีเจนเนอเรตเรซิ่น SAC-2

ทำการรีเจนเนอเรตเรซิ่นท่อที่ 3 (SAC-2) ภายหลังจากล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ด้วยสารละลาย 8%H_2SO_4 ด้วยอัตราการไหล 3 BV/hr (100 มล.ต่อนาที) ปริมาตร 12 ลิตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แสดงความเข้มข้นของ Cr^{6+} ในสารละลายที่ได้จากการรีเจนเนอเรตเรซิ่น SAC-2

คุณภาพน้ำล้างเรซิ่น SAC-2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
pH	0.9	0.9	1.0
Cr^{6+} (mg/L)	1.86	3.8	9.3

จากตารางที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ Cr^{6+}ที่เจือปนในสารละลายที่ได้จากการรีเจนเนอเรตเรซิ่น SAC-2 มีความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากก่อนที่จะรีเจนเนอเรตจะล้างเรซิ่นด้วยน้ำปราศจากไอออน ในทิศทางตรงข้ามกับการสกัดกลับ หรือการรีเจนเนอเรตเรซิ่น SBA ทำให้สารละลาย โซเดียมไดโครเมต ($Na_2Cr_2O_7$) ถูกดันย้อยกลับไป และถูกแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซิ่น SBA Cr^{6+} ที่เจือปนเนื่องจากสารที่ค้างอยู่ตามท่อเป็นส่วนใหญ่

ฉ. ขั้นตอนการล้างเรซิ่น SAC-1

ทำการล้างเรซิ่นท่อที่ 1 (SAC-1) ด้วยน้ำปราศจากไอออน เพื่อเตรียมคอลัมน์ไว้สำหรับการทดลองขั้นต่อไป โดยล้างด้วยอัตราการไหล 3 BV/hr (100 มล.ต่อนาที) สำหรับการล้างแบบ Slow rinse และอัตราการไหล 10 BV/hr (300 มล.ต่อนาที) นาน 10 นาที สำหรับการล้างแบบ Fast rinse ผลการวิเคราห์ปริมาณโลหะในน้ำล้างแสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงความเข้มข้นของโลหะในน้ำล้างเรซิ่น SAC-1

คุณภาพน้ำล้างเรซิ่น SAC-1	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
pH	0.7	1.5	5.6
Cr^{6+} (mg/L)	nd*	nd*	nd*
Total Chromium (mg/L)	6.36	7.80	6.91
ปริมาตร (ลิตร)	9.0	14.5	17.0

nd* : ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (0.01 มก.ต่อลิตร)

จากตารางที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่า ไม่มีการปนเปื้อนของ Cr^{6+} แต่มีการปนเปื้อนของโครเมียมรวม ทั้งนี้เนื่องมาจากการตกค้างของโครเมียมจากการรีเจนเนอเรตเรซิ่น SAC-1

3. ต้นทุนการดำเนินการ

ต้นทุนการดำเนินการของเครื่องต้นแบบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

ค่าวัสดุ อุปกรณ์	7,000.-บาท
ค่าสารเคมี	
- โซเดียม ไฮดรอกไซด์ 5 กก.	110.บาท
- กรดซัลฟูริก 35 กก.	700.-บาท
- เรซิ่น Dowex MSA-1 และ MSC-1	3,100.-บาท
- ค่าจ้างทำคอลัมน์	3000.-บาท

จากการทดลองพบว่า ต้นทุนการดำเนินการเป็นค่าสารเคมี โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า 80 บาท ต่อการทำงาน 1 รอบ ส่วนค่าไฟฟ้าใช้สำหรับปั๊มน้ำเสียใส่ถังเท่านั้น สำหรับการทดลองนี้ไม่คิดค่าน้ำปราศจากไอออน ที่ใช้ล้างเรซิ่น เมื่อคิดค่าสารเคมีจากการบำบัดจน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ

โครเมียม 1,000 มก. ต่อลิตร เครื่องต้นแบบจะรองรับน้ำเสียได้ประมาณ 100 ลิตร จึงเต็มประสิทธิภาพ จะมีค่าสารเคมีที่ใช้รีเจนเนอเรตเรซิ่น ประมาณ 0.52 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย