

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนที่จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีอิเล็กโทรโค
แอกกูเลชัน

REMOVAL OF CHROMIUM HEXAVALENT FROM SYNTHETIC
WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION



T117315

กิตติคม กิจธรรมรัตน์
พรพิมล พันธุสุนทร
วรีพร แก้วอุไร

เลขที่.....
เลขทะเบียน.....117315
วันเดือนปี..... 20 ก.ค. 2554

b.....123384๑๗
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาเคมีทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**REMOVAL OF CHROMIUM HEXVALENT FROM SYNTHETIC
WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกำจัด โครเมียมเฮกซะวาเลนต์จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน
 Removal of chromium hexavalent from synthetic wastewater by electrocoagulation

ชื่อนักศึกษา นายกิตติคม กิจธรรมรัตน์
 นางสาวพรพิมล พันธุสุนทร
 นางสาววีพร แก้วอุไร

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พรชัยวรรณ ศรีนาค

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.ภิเษกรุ่งโรจน์ชัยพร	
กรรมการ ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
กรรมการ ผศ.พรชัยวรรณ ศรีนาค	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันฯ

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดโครเมียมทั้งหมดจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน Removal of chromium hexavalent from synthetic wastewater by electrocoagulation
ชื่อนักศึกษา	นายกิตติคม กิจธรรมรัตน์ นางสาวพรพิมล พันธุสุนทร นางสาววีพร แก้วอุไร
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พรธรรณ ศรีนาค

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน ทำการบำบัดที่กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ โดยใช้แผ่นสแตนเลสเป็นขั้วอิเล็กโทรด ในการวิจัยมีการแปรค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียปริมาณ 20 มิลลิลิตร ที่เวลา 10, 20, 30 และ 50 นาที โดยนำตัวอย่างมาตั้งทิ้งไว้เพื่อตกตะกอน 30 นาทีแล้วนำไปกรอง ทำการรักษาสภาพและนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS.

ระบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันสามารถลดปริมาณโครเมียมได้ดี ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 3-8 จากความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จนไม่สามารถตรวจพบโครเมียม ในเวลา 10 นาที แต่ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 2 พบว่าความเข้มข้นโครเมียมเพิ่มสูงกว่าความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ 10 นาที เมื่อทำการปรับค่าพีเอชสุดท้ายให้เท่ากับ 9.0 ซึ่งเป็นค่าการละลายต่ำสุดของโครเมียม ผลการทดลองในช่วงพีเอชเริ่มต้น 2-8 แสดงผลดังปฏิกิริยารีดักชัน พบว่าสามารถกำจัดโครเมียมได้สูงถึง 99.98% ค่าพีเอชสุดท้ายส่งผลต่อกระบวนการตกตะกอนและการกำจัดโครเมียม จึงได้แปรค่าพีเอชสุดท้ายให้เท่ากับ 6-11 ซึ่งอยู่ในช่วงที่โครเมียมสามารถตกตะกอนได้ ในสถานะที่เป็นกรดอ่อนและเป็นกลางการตกตะกอนของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ สามารถดูดซับโครเมียมได้ และในสถานะที่เป็นเบสทำให้เกิดโครไมท์ ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) ซึ่งเป็นการกำจัดโครเมียมออกจากสารละลายได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Removal of chromium hexavalent from synthetic wastewater by electrocoagulation	
Students	Kittikhom Kitthamarat	50050422
	Pompimon Phanthusoonthorn	50050470
	Wareporn Kaewurai	50050497
Degree	Bachelor of Science	
Major	Environmental Resource Chemistry	
Academic Year	2010	
Advisor	Ass.Prof.Passawan Srinak	

ABSTRACT

This special project studied treatment of hexavalent chromium (Cr (VI)) from synthetic wastewater by Electrocoagulation process (EC) using four parallel stainless steel electrodes at the current of 2 amp in batch reactor. The various initial pH (2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8) and treatment time were studied. The sample were taken 20 mL at time interval 10 min and allowed for sedimentation at 30 min. The filtrates were preserved and analyzed for total chromium by AAS. The EC could reduce chromium from initial concentration of 50 mg/L to be non-detected level at treatment time of 10 min for initial pH at 3-8. At the initial pH of 2 concentration of chromium was higher than initial concentration in 10 min and decreased slightly as treatment time increased. Chromium was removed over 99.98% after pH was adjusted to 9.0, the minimum solubility of chromium. The result showed that reduction reaction was occurred in pH range of 2-8, and final pH was affect to precipitation reaction. The effect of final pH in EC was studied. The results showed that EC system could precipitate chromium in wide range of pH from 6-11, which was different from conventional precipitation. In case of weak acidic and neutral conditions, precipitated $\text{Fe}(\text{OH})_3$ can absorb chromium species, chromite ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) was formed in basic condition, whereas leading to a reduction of chromium in solution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้ใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งมีดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.พรชัยวรรณ ศรีนาค ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือด้านการดำเนินการโครงการพิเศษนี้อย่างใกล้ชิด

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ และช่วยให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยสั่งสอนอบรม ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจที่ดีตลอดมา ตลอดจนทั้งเพื่อนๆ ที่รัก ที่ให้กำลังใจที่ดีในทุกๆ เรื่อง ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง และได้ให้ความอนุเคราะห์ และให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

กิตติคม กิจธรรมรัตน์
พรพิมล พันธุสุนทร
วีรพร แก้วอุไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ III เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 โครเมียม	4
2.2 การบำบัดโครเมียม	6
2.2.1 Reduction-Precipitation	6
2.2.2 กระบวนการเฟอร์ไรท์	7
2.2.3 กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน	8
2.3 การบำบัด Cr(VI) ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน	9
2.3.1 ขั้วอิเล็กโทรด	9
2.3.2 สารอิเล็กโทรไลต์	14
2.3.3 พีเอช	15
2.3.4 กระแสไฟฟ้า	17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	21
3.1.1 อุปกรณ์	21
3.1.2 สารเคมี	21
3.2 การเตรียมการทดลอง	22
3.2.1 การเตรียมชุดการทดลอง	22
3.2.2 ตัวอย่างน้ำเสียสำหรับการทดลอง	23
3.3 การดำเนินการทดลอง	23
3.3.1 ผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัด	23
3.3.2 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัด	24
3.3.3 ผลของการปรับค่าพีเอชน้ำเสียที่ผ่านระบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน	24
3.3.4 ผลของพีเอชสุดท้ายต่อการบำบัด	24
3.3.5 สารละลาย blank	25
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	27
4.1 การศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์	27
4.2 การศึกษาผลของการปรับพีเอชของน้ำเสียหลังผ่านระบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน	30
4.3 การศึกษาผลของการตกตะกอนของ Cr(III) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม	31
4.4 การศึกษาผลของค่าพีเอชสุดท้ายต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและการข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการวิจัย	35
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม	35
เอกสารอ้างอิง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก	หน้า
ภาคผนวก ก	39
ภาคผนวก ข	42
ภาคผนวก ค	54
ภาคผนวก ง	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(VI) กับเวลาที่ใช้บำบัดและค่าพีเอช	12
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพบำบัด Cr(VI) กับ ระยะเวลาบำบัด	15
รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลของประสิทธิภาพบำบัด Cr(VI) กับค่าพีเอชเริ่มต้น	16
รูปที่ 2.4 กราฟความสามารถในการละลายของโลหะชนิดต่างๆที่ค่าพีเอชต่างกัน	17
รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ Cr(VI) กับระยะเวลาทดลอง ที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างกัน	19
รูปที่ 3.1 ชุดทดลองแบบขนานของวิธีอิเล็กโทรไลต์	24
รูปที่ 4.1 ปริมาณโครเมียมในชุดที่ไม่ปรับค่าพีเอชกับเวลาที่ใช้ในการบำบัด (นาท)	29
รูปที่ 4.2 ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาที่ใช้ในการบำบัด (นาท)	30
รูปที่ 4.3 ปริมาณโครเมียมในชุดควบคุมกับเวลาที่ใช้ในการบำบัด (นาท)	32
รูปที่ 4.4 ปริมาณโครเมียมในชุดที่ปรับค่าพีเอชกับเวลาที่ใช้ในการบำบัด	33
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมกับชุดที่ปรับพีเอชเป็น 9 และไม่ปรับ	34
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมกับค่าพีเอชสุดท้าย	35
รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานโครเมียม	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลของเกลือต่อปริมาณความเข้มข้นของ Total Cr ที่เหลือหลังบำบัด	15
ตารางที่ 2.2 ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นและพีเอชสุดท้าย ต่อความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมด จากการบำบัด	18
ตารางที่ ข-1 ข้อมูลของกราฟมาตรฐานโครเมียม	46
ตารางที่ ข-2 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการกำจัดโครเมียม	47
ตารางที่ ข-3 ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลาย blank	54
ตารางที่ ข-4 ผลของพีเอชสุดท้ายต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการขยายการลงทุนทางด้านอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากการแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจ การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร จึงทำให้ปริมาณความต้องการอุปโภคบริโภคสูงขึ้น ส่งผลให้ทุกภาคอุตสาหกรรมทุกแขนงมีการแข่งขันกันสูงขึ้น เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพ เช่น การใช้โครเมียม โดยนำมาผสมกับโลหะทำให้เกิดความแข็งแรง ทนทาน มีความเหนียว ทำให้โลหะไม่เป็นสนิมและยังทนต่อการผุกร่อน ซึ่งมีการใช้กันมากในอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้โลหะโครเมียมบริสุทธิ์ และยังมีสารประกอบโครเมต (Chromate) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมฟอกหนัง การย้อมสีขนสัตว์ (วิจิตร, มปป) การใช้โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr(VI)) ในเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์สารสนเทศ โทรคมนาคม แต่ในปัจจุบันได้มีการแนะนำให้ใช้สารอื่นแทนการใช้โครเมียม เนื่องจากประเทศไทยเป็นฐานการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าส่งออก และจะต้องรับผิดชอบต่อในการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งาน ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม และค่าใช้จ่ายในการกำจัดสูง (สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2549) จึงต้องมีการควบคุมมลพิษ ดังนั้นน้ำเสียที่มีโครเมียมปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องได้รับการบำบัดอย่างถูกต้อง มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดผลทั้งในแง่ของกฎหมายและการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ รวมทั้งสุขภาพของประชาชน กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ดำเนินการหาวิธีแก้ไขที่จะกำจัดโครเมียมในน้ำเสียให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

การปนเปื้อนของโครเมียมในแหล่งน้ำต่างๆ จะทำให้เกิดการสะสมในน้ำ ตะกอนดิน พืช และสัตว์น้ำ ในที่สุดก็อาจได้รับสู่ร่างกายทางห่วงโซ่อาหาร(อุไรวรรณ, 2541) โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr(VI)) เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนเป็นโครเมียมไตรวาเลนต์ (Cr(III)) ซึ่งสามารถจับกับโปรตีน ส่งผลต่อระบบคุ้มกันของร่างกาย สารประกอบเฮกซะวาเลนต์โครเมียมทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง ทำให้ดีเอ็นเอ (DNA) เสียหาย (อรวรรณ, 2553) จากผลกระทบด้านสุขภาพดังกล่าว จึงจำเป็นต้องทำการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr(VI)) ก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมให้มีค่าไม่เกินกำหนดตามค่ามาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม โดยวิธีการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr(VI)) สามารถใช้กระบวนการรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดักชั้น-พรีซิพิเตชัน ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ รีดักชันและพรีซิพิเตชัน ที่สภาวะที่เป็นกรดสูง (พีเอช 2) และที่สภาวะที่เป็นเบส (พีเอช 9-10) โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ จะถูกรีดิวส์กลายเป็นโครเมียมไตรวาเลนต์แล้วจะเกิดการตกตะกอน ถึงแม้ว่าการรีดิวส์ในสภาวะที่เป็นกรด แล้วเกิดการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม แต่ก็ก่อให้เกิดมลพิษ เนื่องจากการเติมสารเคมีในปริมาณมาก และเกิดตะกอนที่ยากต่อการกำจัดและการทิ้ง (Eckenfelder, 1984) และอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ คือ การกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr(VI)) ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน (Electrocoagulation) เนื่องจากวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชันโดยใช้ขั้วเหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด (Zongo, 2009) ซึ่งสามารถเดินระบบได้ง่าย บำรุงรักษาได้ง่าย การควบคุมระบบด้วยไฟฟ้า ใช้สารเคมีน้อย ตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียมีปริมาณต่ำ แยกออกจากน้ำได้ง่าย เพราะส่วนประกอบหลักของตะกอนเป็นออกไซด์ / ไฮดรอกไซด์ของโลหะ น้ำที่ผ่านการปรับสภาพแล้วจะใส ไม่มีสี (Mouedhen, 2009)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมทั้งหมดในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยวิธี อิเล็กโทรโคแอกูเลชัน โดยเลือกใช้อิเล็กโทรดที่ทำจากแผ่นสแตนเลส ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่นำมาศึกษาคือ ระยะเวลาในการบำบัด สภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมทั้งหมด และประสิทธิภาพในการรวมตะกอน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัด โครเมียม ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน
2. เพื่อศึกษาสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมทั้งหมดในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน
3. เพื่อศึกษาผลของการตกตะกอนของโครเมียมไตรวาเลนต์ (Cr(III)) หลังจากผ่านระบบวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชันต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม
4. เพื่อศึกษาผลของพีเอชสุดท้ายต่อการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมทั้งหมดในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ศึกษาสภาวะพีเอชในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ โดยใช้ค่าพีเอชทดสอบที่พีเอช 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ
3. ศึกษาปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ ที่ส่งผลต่อการกำจัดโครเมียมทั้งหมดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันคือ ที่เวลา 10, 20, 30 และ 50 นาที
4. ศึกษาผลของพีเอชสุดท้ายที่เหมาะสมในการตกตะกอนของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ค่าพีเอชสุดท้ายที่พีเอช 6, 7, 8 และ 10 ตามลำดับ
5. ศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดโครเมียมทั้งหมดในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้วิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน และวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Total Cr) ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถกำจัดหรือลดปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้
2. เพื่อเป็นแนวทางในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้
3. สามารถนำข้อมูลของสภาวะที่ได้จากการทดลอง ไปใช้ในการบำบัดได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โครเมียม

โครเมียมเป็นโลหะ มันวาว สีเทา มีสถานะเป็นของแข็ง มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่สำคัญ คือ น้ำหนักอะตอม 52 มีหมายเลขอะตอม 24 วาเลนซ์ 3 และ 6 ความหนาแน่น 7.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 1907 องศาเซลเซียส และจุดเดือดเท่ากับ 2671 องศาเซลเซียส (<http://th.wikipedia.org/wiki/โครเมียม>) โดยโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 3 (โครเมียมไตรวาเลนซ์ (Cr(III))) และโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 6 (โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ (Cr(VI))) จะเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญ ทั้งในด้านของการนำมาใช้ประโยชน์และผลกระทบต่อสุขภาพของคน โครเมียมสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มตามคุณสมบัติทางเคมีได้ ดังนี้

1. Chromium Metal และ Alloy กลุ่มนี้จะรวมถึงเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) และ Chromium Containing-Alloy จะมีความเป็นพิษค่อนข้างต่ำ
2. Divalent Chromium Compound (Cr(II)) หรือ Chromous Compounds ได้แก่ Chromous Chloride (CrCl₂) และ Chromous Sulfate (CrSO₄) กลุ่มนี้จะมีความเป็นพิษน้อย
3. Trivalent Chromium Compound (Cr(III)) หรือ Chromic Compound ซึ่ง Trivalent Chromium เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายในขบวนการกลูโคสเมตาบอลิซึม ส่วนสารประกอบอื่นๆ ที่พบในกลุ่มนี้ได้แก่ Chromic Oxide (Cr₂O₃), Chromic Sulfate (Cr₂[SO₄]₃), Chromic Chloride (CrCl₃), Chromic Potassium Sulfate (KCr[SO₄]₂)
4. Hexavalent Chromium Compound (Cr(VI)) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อยคือ
 1. กลุ่มที่ละลายน้ำได้ (Water-Soluble Hexavalent Compounds) ได้แก่ Chromic Acid, Anhydride of Chromic Acid, Monochromate, Dichromate of Sodium, Potassium, Ammonium, Cesium, Rubidium และ Lithium เป็นต้น
 2. กลุ่มที่ไม่ละลายน้ำได้ (Water-Insoluble Hexavalent Compounds) ได้แก่ Zinc Chromate, Calcium Chromate, Lead Chromate, Barium Chromate, Strontium Chromate และ Sintered Chromium Trioxide เป็นต้น

การนำโครเมียมไปใช้ประโยชน์ในการเป็นส่วนผสมในเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วย เหล็ก 73 เปอร์เซ็นต์ โครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 8 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอน 0.4 เปอร์เซ็นต์ ใช้ทำเครื่องมือผ่าตัด ตัวเรื่อนนาฬิกา ซ้อนและภาชนะต่างๆ ใช้เคลือบบนผิวเหล็ก เพื่อความสวยงามและป้องกันการผุกร่อนของเหล็ก ใช้เป็นส่วนประกอบในเหล็กกล้าที่ใช้ทำตู้หนีภัย เครื่องยนต์ เกราะกันกระสุน ใช้ทำโลหะเจือโคบอลต์ซึ่งใช้ทำกระดูกเทียม โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) เป็นของแข็งสีเขียวแก่ ใช้ทำสีเพื่อเขียนลวดลายเครื่องเคลือบดินเผา โซเดียมไดโครเมต ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สารละลายผสมของโพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) กับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ใช้ทำความสะอาดเครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการเคมี (www.lks.ac.th) โครไมต์ใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับการเผาอิฐ โครเมียมโบโรไซด์ ใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าอุณหภูมิสูง ในด้านสุขภาพ โครเมียมเป็นส่วนช่วยในการลดคอเรสเตอรอลในร่างกายและควบคุมน้ำตาลในเลือด ในร่างกายคนเราต้องการโครเมียมในปริมาณ 50-200 ไมโครกรัมต่อวัน โครเมียมช่วยในการรักษาปริมาณน้ำตาลในร่างกายให้คงที่ ซึ่งอยู่ในกระบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต โครเมียมจะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นพลังงาน และขบวนการสังเคราะห์กรดไขมันและคอเรสเตอรอล โครเมียมจะเพิ่มประสิทธิภาพของอินซูลิน ป้องกันการเกิดน้ำตาลในเลือดต่ำหรือการเกิดโรคเบาหวาน (www.healthdd.com)

การเป็นพิษของโครเมียมขึ้นกับเลขออกซิเดชัน ซึ่งโครเมียมเฮกซะวาเลนต์เป็นสารที่เป็นพิษและก่อมะเร็ง ส่วนโครเมียมไตรวาเลนต์เป็นธาตุที่จำเป็นในการกลูโคสเมตาบอลิซึมในร่างกาย โครเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจและจากทางเดินอาหาร ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของวาเลนต์ของธาตุ ความสามารถในการละลายน้ำ ขนาดของอนุภาค โดยโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ถูกดูดซึมได้ดีกว่าโครเมียมไตรวาเลนต์ ในร่างกายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะถูกเปลี่ยนเป็นโครเมียมไตรวาเลนต์ และจะจับโปรตีนทรานเฟอร์รินในพลาสมาและกระจายไปทั่วร่างกาย ในขณะที่โครเมียมเฮกซะวาเลนต์มีความเป็นพิษสูงกว่าโครเมียมไตรวาเลนต์มาก โครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะมีฤทธิ์เป็นตัวออกซิไดซ์ และมีฤทธิ์กัดกร่อนเนื้อเยื่อต่างๆ นอกจากนี้โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ยังสามารถจับและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโปรตีนและกรดนิวคลีอิก ส่วนการซึมผ่านทางผิวหนังของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์และโครเมียมไตรวาเลนต์เป็นไปอย่างจำกัดยกเว้นผิวหนังที่ได้รับอันตรายจากความร้อน ทำให้สารประกอบโครเมียมบางชนิดเข้าสู่ร่างกายได้ เช่น โพแทสเซียมไดโครเมตและโครเมียมคลอไรด์ ส่วนโครเมียมซัลเฟตนั้นไม่สามารถซึมผ่านทางผิวหนังได้ โครเมียมถูกกำจัดออกจากร่างกายทางปัสสาวะโดยมีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 15-41 ชั่วโมง นอกจากนี้โครเมียมยังถูกขับออกทางน้ำดี ที่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของการขับออกจากร่างกายทั้งหมดและมีปริมาณน้อยมากที่ขับออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางหนังสือ (<http://www.ra.mahidol.ac.th/poisoncenter/bulletin/bul%20%2001/v9n4/Chromium.html>)

อาการของโรคที่เกิดจากโครเมียม

การสัมผัสโดยหายใจ สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำลายเนื้อเยื่อและทางเดินหายใจส่วนบน ทำให้เกิดเป็นแผลพุพองและเกิดรูพรุนที่ผนังโพรงจมูก รวมถึงอาการลำคออักเสบ ไอ หายใจถี่เร็ว และหายใจติดขัด อาจทำให้ปอดไวต่อการเกิดภูมิแพ้หากสูดดมเข้าไปมากๆอาจทำให้น้ำท่วมปอดได้

การสัมผัสทางผิวหนัง สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนเกิดอาการผื่นแดง ปวดแสบปวดร้อน และแผลไหม้อย่างรุนแรง ผื่นและสารละลายเข้มข้นจะเป็นเหตุให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง การสัมผัสที่ผิวหนังที่แตกเป็นแผลจะทำให้เกิดแผลพุพอง และสารนี้สามารถดูดซึมสู่ผิวหนังจะมีผลกระทบต่อการทำงานของไตและตับ จะเป็นสาเหตุให้ผิวหนังไวต่อภูมิแพ้

กินหรือกลืนเข้าไป จะทำให้ปาก ลำคอ และกระเพาะอาหารเป็นแผลไหม้อย่างรุนแรง และอาจทำให้ถึงแก่ความตายได้ ทำให้เจ็บคอ อาเจียน และท้องเสีย อาจทำให้ลำไส้อักเสบ เวียนศีรษะ กล้ามเนื้อเป็นตะคริว หมดสติ เป็นไข้ ตับและไตถูกทำลาย

สัมผัสลูกตา สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน จะทำให้มองเห็นไม่ชัด ตาแดง เจ็บตา เยื่อบุตาเกิดแผลไหม้อย่างรุนแรง จะก่อให้เกิดการบาดเจ็บต่อกระจกตาหรือตาบอดได้

การก่อมะเร็ง ความผิดปกติอื่นๆ สารนี้เป็นสารก่อมะเร็งตาม IARC, OSHA, ACGIH, NTP, EPA สารนี้มีผลทำลายไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ ปอด

2.2 การบำบัดโครเมียม

2.2.1 รีดักชัน-พรีซิพิตชัน (Reduction Precipitation)

กระบวนการรีดักชัน-พรีซิพิตชัน เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีไอออนของโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในสารละลาย โดยการใช้กระบวนการรีดักชันและพรีซิพิตชัน ซึ่งมีอยู่ 2 ขั้นตอน คือ การเกิดปฏิกิริยารีดักชันในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูง (พีเอชประมาณ 2) และเกิดปฏิกิริยาพรีซิพิตชันใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่มีความเป็นเบส (พีเอช ประมาณ 9 - 10) ซึ่งโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ถูกรีดิวซ์เป็นโครเมียมไตรวาเลนต์ก่อนที่จะเกิดการรวมตัวของตะกอน และตกตะกอน จากผลการวิจัยของ Mowdhen ตัวรีดิวซ์ที่ใช้ ได้แก่ สารประกอบเฟอร์รัส (Fe(II)) (Eary,1988) โลหะเหล็ก (Fe⁰) (Blowes,1997) และตัวรีดิวซ์ของสารประกอบซัลเฟอร์ (Gangoly,1975) ซึ่งตัวรีดิวซ์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ สารประกอบเฟอร์รัส (Fe(II)) แม้ว่ากรรีดิวซ์ที่สภาวะเป็นกรดและตามด้วยการตกตะกอนในสภาวะที่เป็นเบสจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียอุตสาหกรรม แต่ก็ทำให้เกิดปัญหามลพิษในชั้นทุติยภูมิ โดยเกิดจากการเติมสารเคมีลงไปปริมาณมาก และยังเกิดตะกอนที่ยากต่อการกำจัดและการนำไปทิ้ง ซึ่งเกิดอธิบายกระบวนการพีริซิฟิเคชั่นดังสมการ

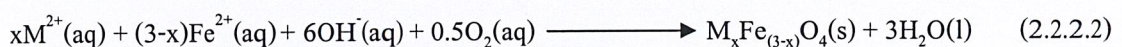


2.2.2 กระบวนการเฟอร์ไรท์

กระบวนการเฟอร์ไรท์ คือ กระบวนการบำบัดของเสียในรูปสารละลายโลหะ พบว่ามีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่น กระบวนการเฟอร์ไรท์มีข้อดีกว่ากระบวนการรีดักชัน-พีริซิฟิเคชั่นตรงที่สามารถประยุกต์ใช้กับแอนไอออนของโลหะหนักได้โดยตรง เช่น $Cr_2O_7^{2-}$, CrO_4^{2-} , MnO_4^- และอื่นๆ โดยผลการบำบัดนั้นพบว่าปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ต่ำมาก สามารถกำจัดตะกอนที่เหลืออยู่ ออกได้ง่าย โดยตะกอนที่เหลือจากการบำบัดนั้นมีความเสถียรและมีความเป็นแม่เหล็กอ่อนๆ กระบวนการเฟอร์ไรท์พัฒนามาจากกระบวนการแมกนีไทต์ที่เกิดจากการสังเคราะห์แบบเปียก ดังสมการ



และเมื่อมีโลหะหนักอื่นอยู่ในสารละลาย ปฏิกิริยาที่จะเกิดดังสมการ



การกำจัดโลหะหนักในสารละลายด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์จะเป็นไปตามสมการที่ 2 โดยประสิทธิภาพของกระบวนการเฟอร์ไรท์จะขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย คือ

1. ช่วงของค่าพีเอชระหว่าง 9-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุณหภูมิต้องมากกว่า 70 องศาเซลเซียส

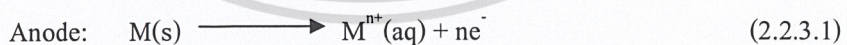
3. ปริมาณเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ต้องมีมากกว่าโลหะชนิดอื่นๆในสารละลาย 5-10 เท่า

นั่นก็เพราะว่าสภาวะที่เหมาะสมที่จะเกิดปฏิกิริยานั้นอยู่ในช่วงค่าพีเอช 9-11 ถ้าสภาวะไม่เหมาะสมกระบวนการก็จะเกิดได้ไม่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่ต้องมากกว่า 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้ขนาดของผลึกเฟอร์ไรท์ที่รวมตัวกับโลหะอื่น มีขนาดใหญ่มากขึ้น และในที่สุดท้ายคือปริมาณ Fe^{2+} ต้องมีปริมาณมากเพื่อที่จะทำการรวมตัวเป็นผลึกและตกตะกอนได้ (Jie Chung-Lou, 2007)

2.2.3 กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน คือ กระบวนการกำจัดของเสียในรูปสารละลายโลหะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น การซักล้าง ร้านอาหาร หรือแม้กระทั่งโรงฆ่าสัตว์ และนอกจากกำจัดโครเมียมได้แล้ว ยังสามารถกำจัดฟอสเฟต ซัลไฟด์ ฟลูออไรด์ โบรอน กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันมี ข้อดี คือ กำจัดสารได้รวดเร็วและให้ประสิทธิภาพดีกว่าการรวมตะกอน ไม่จำเป็นต้องควบคุมพีเอช ใช้สารเคมีน้อย และเสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบน้อย

หลักการทำงานของกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน คือ มีการให้กระแสไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรด เพื่อให้ขั้วอิเล็กโทรดปล่อยไอออนของโลหะลงสู่สารละลาย ในถึงปฏิกิริยามีสารละลายโลหะอยู่ 2 ชนิดขึ้นไปจะถูกประจุไฟฟ้าตรงข้ามจนมีประจุไฟฟ้าลดลง การลดลงของประจุไฟฟ้าบนอนุภาคทำให้แรงผลักทางไฟฟ้าสถิตย์ลดลง จากนั้นแรงแวนเดอวาล์วจะดึงดูดให้อนุภาคเหล่านั้นรวมกลุ่มกัน และตกตะกอนลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกิริยากระบวนการบำบัดเริ่มจากเป็นโลหะที่เป็นขั้วที่ใช้ในการบำบัดได้รับกระแสไฟฟ้า และละลายเป็นไอออนโลหะอยู่ในน้ำเสียที่ต้องการบำบัด และทำหน้าที่ในการรวมตะกอน ดังสมการต่อไปนี้ (Aber et al., 2009)



2.3 การบำบัด โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr(VI)) ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

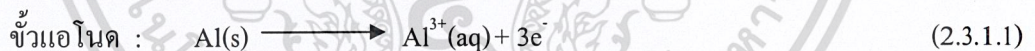
ในปัจจุบันโครเมียมถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษตามมา เนื่องจากโครเมียมเฮกซะวาเลนต์มีความเป็นพิษสูงและยังเป็นสารก่อมะเร็ง ที่ผ่านมาก็มีการนำวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันมาใช้กำจัดโครเมียมในน้ำเสียโดยใช้อิเล็กโทรดที่กัดกร่อนได้ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

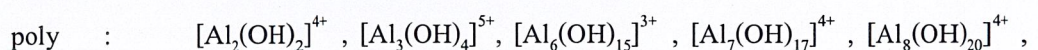
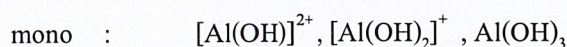
อะลูมิเนียม (Heidmann,2008) หรือเหล็ก (Golder,2007) สภาวะพีเอชที่เหมาะสม อะลูมิเนียมและเหล็ก จะรวมตัวกับ ไฮดรอกไซด์เป็นของแข็งแขวนลอยเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เช่น สารอัลูมิเนียม หรือ อนุภาคไอออน เมื่อใช้วัสดุทั้งสองตัวในการกำจัดน้ำเสีย โดยปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงไปยังขั้วไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยขั้วแอโนด และขั้วแคโทด ซึ่งการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการรีดิวส์ให้เป็น โครเมียมไตรวาเลนต์ เกิดขึ้นที่ขั้วอะลูมิเนียมขั้วบวก (Heidmann,2008) ก่อนตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ สำหรับ ขั้วเหล็ก โครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะถูกรีดิวส์ด้วยเฟอร์รัส ไอออนได้เป็นโครเมียมไตรวาเลนต์ นั่นคือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก เกิดเป็นเฟอร์รัส ไอออน หรือ เฟอร์ริก ไอออนและรวมตะกอนกับเฟอร์ริก ไอออนที่เกิดขึ้น และที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งสามารถทำให้เกิดการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ของทั้ง เฟอร์รัส ไอออน เฟอร์ริก ไอออนและโลหะหนักที่ต้องการบำบัดได้ มีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ เนื่องจากมีเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์มาจากการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วและเป็นการประหยัดการใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีราคาแพง แต่ใช้เหล็กที่มีราคาถูกกว่าและใช้น้ำเป็นแหล่งให้ ไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งถูกกว่าการใช้สารเคมี เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.3.1 ขั้วอิเล็กโทรด

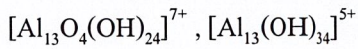
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า



ที่ผิวของอะลูมิเนียมจะเกิดขึ้นบางๆของออกไซด์/ไฮดรอกไซด์ ทำให้เกิดการยับยั้งการละลายของขั้วอะลูมิเนียม (Kiyak, 1999) เมื่อค่าพีเอชอยู่ที่ 4 และ 8.5 (Pourbaix, 1974) ชั้นบางๆนี้จะเสถียร แต่จะทำปฏิกิริยากับไอออนคลอไรด์ อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) ที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เป็นสารรวมตะกอน ซึ่งไม่มีส่วนในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน ปฏิกิริยาการรวมตะกอนเกิดขึ้นเมื่อ Al^{3+} เกิดปฏิกิริยา - ไฮโดรไลซิสให้โมโนเมอร์และโพลีเมอร์ เช่น (Mouedhen,2008)

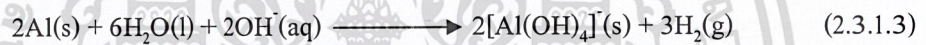


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

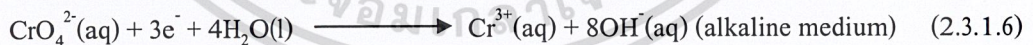
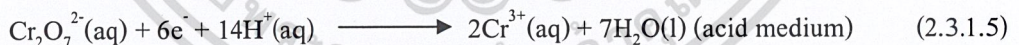


เกิดสปีชีส์เหล่านี้ขึ้นในน้ำที่มีพีเอชปานกลาง ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ช้าแอโนดจะทำให้เกิดกรด ในทางกลับกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและเป็นเบสขึ้น ผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ Al^{3+} ที่ขั้วแคโทดอาจเกิดปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน และเปลี่ยนรูปเป็นสารละลายที่มีขนาดใหญ่ในรูปของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Benefield,1982)

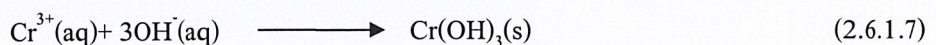
กลไกการรวมตะกอนมี 2 กลไกหลัก คือ 1.) ประจุลบของคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจาก Al^{3+} ทำให้เกิดประจุที่เป็นกลาง ลดแรงผลักระหว่างอนุภาค 2.) การเติบโตของฟล็อก ประจุที่เป็นกลางเกิดขึ้นได้ที่พีเอชเป็นกรด โดยการดูดซับของแคโทดไอออน จากลักษณะที่เป็นเบสของอะลูมิเนียม พีเอชที่บริเวณขั้วแคโทดเพิ่มขึ้น จากสมการ $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$ ไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดขึ้นที่ขั้วแคโทดและเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดฟิล์มของอะลูมิเนียมและไฮดรอกไซด์ ดังสมการ



$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ เกิดขึ้นบริเวณใกล้เคียงกับขั้วแคโทด และจะเปลี่ยนมาเป็น $\text{Al}(\text{OH})_3$ เมื่อบำบัดโครเมียมเฮกซะ วาเลนต์ (Cr(VI)) ด้วยการรีดิวซ์ไปเป็นโครเมียมไตรวาเลนต์ (Cr(III)) ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน ปฏิกิริยาที่ผิวของขั้วแคโทดเป็นดังสมการ (Zongo,2009)



เนื่องจาก Al^{3+} ไม่สามารถรีดิวซ์ (Cr(VI)) ไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วแคโทดทำให้พีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการตกตะกอนไอออนของ (Cr(III)) ดังสมการ



อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในรูปต่างๆที่กล่าวมาแล้ว จะทำให้เกิดการรวมตะกอนกับคอลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

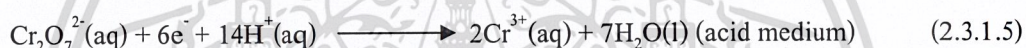
ของตะกอนผลึก $\text{Cr}(\text{OH})_3$ และจมตัวลงมา

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ขั้วเหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

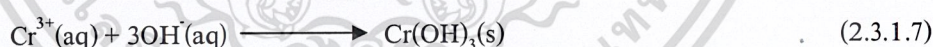
เฟอร์รัสไอออน ($\text{Fe}(\text{II})$) ที่ถูกปล่อยจากขั้วแอโนด ทำหน้าที่รีดิวส์โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ($\text{Cr}(\text{VI})$)



และเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ผิวของขั้วแคโทดด้วยการรีดิวส์ ($\text{Cr}(\text{VI})$) ไปเป็น ($\text{Cr}(\text{III})$) ดังสมการ (Barrera,2003)



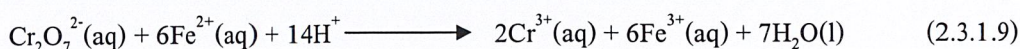
แต่ปริมาณการเกิดไม่ได้มีการตรวจวัด ผู้วิจัยหลายคน (Ogutvern, 1994) (Heidmann, 2007) กล่าวว่า ผลของโครเมียมไตรวาเลนต์ร่วมกับไฮดรอกไซด์ไอออนที่ขั้วแคโทด ทำให้เกิดตะกอน $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ดังสมการ (Lakshmipathiraj,2008)



การรีดิวส์ ($\text{Cr}(\text{VI})$) ไปเป็น ($\text{Cr}(\text{III})$) ที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทดจะเกิดเป็นโครไมต์ที่ความเป็นเบสสูง

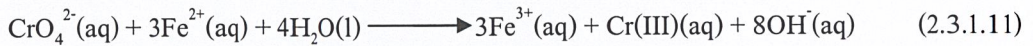
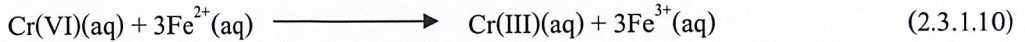


การเกิดโครไมต์ไอออน เมื่อรวมกับเฟอร์รัสไอออน ทำให้เกิดตะกอนผลึกของ $\text{Fe} \text{Cr}_2\text{O}_4$ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (พีเอชน้อยกว่า 6.5) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการรีดิวส์ $\text{Cr}(\text{VI})$ เกิดขึ้นดังสมการ



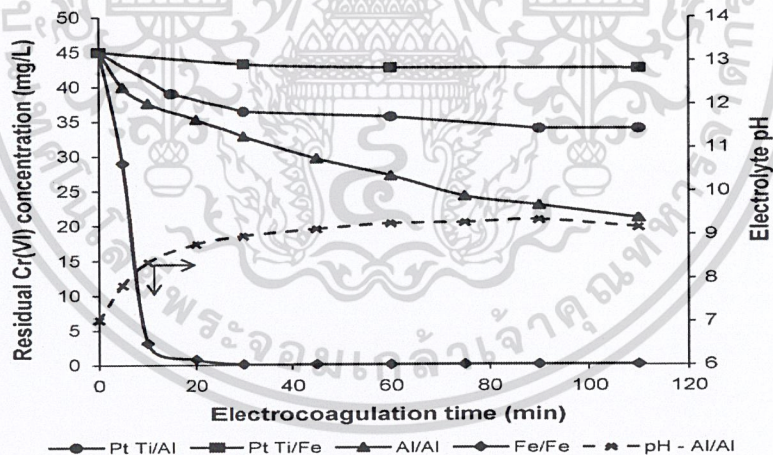
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพีเอชที่บำบัดเกือบเป็นกลางหรือเป็นเบส มีหลายปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการรีดิวซ์เกิดขึ้น
ด้วย (Ogutvern, 1994)



ประสิทธิภาพการรีดิวซ์โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr(VI)) ระหว่างขั้วเหล็กและอลูมิเนียม

Mouedhen(2009) ได้ทำการศึกษาผลของขั้วอิเล็กโทรดต่อการรีดิวซ์ Cr(VI) ซึ่งคือ พบว่าขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากเหล็ก สามารถรีดิวซ์ Cr(VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 45 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถรีดิวซ์ Cr(VI) ได้หมดในเวลา 30 นาที ในขณะที่ขั้วอลูมิเนียมสามารถรีดิวซ์ได้เพียง 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 2.1

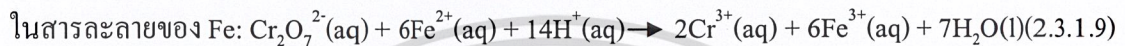


รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(VI) กับเวลาที่ใช้บำบัดและค่าพีเอช

(Mouedhen et al., 2009)

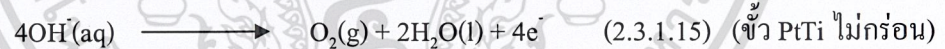
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอธิบายได้จากสมการต่อไปนี้

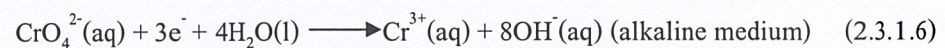


จากสมการจะเห็นว่าขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากเหล็กสามารถรีดิวส์ Cr(VI) ในรูป $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ให้อยู่ในรูป Cr(III) ที่สามารถรวมตะกอนและตกตะกอนได้ ในขณะที่ขั้วอะลูมิเนียมที่มีความสามารถในการบำบัดรองลงมา Al^{3+} ไม่สามารถรีดิวส์ Cr(VI) ได้ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่า (Aber et al., 2009)

ขั้ว Fe/Fe ทำให้พีเอชขึ้นสูงสุดดังปฏิกิริยา $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$ แต่เมื่อใช้ Pt Ti/Fe พีเอชของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และความเข้มข้นโครเมียมลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อใช้ PtTi เป็นขั้วแอโนด และเหล็กเป็นขั้วแคโทด เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็น Electro - Oxidation เท่านั้น ดังสมการ



และเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ในสมการ $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$
การลดลงของโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์คาดว่าเกิดการรีดักชันที่ผิวของขั้วแคโทด ดังสมการ



แม้ว่าจะมีการลดโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ที่ผิวของขั้วแคโทด แต่มีผลจากประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นวิธีเดียวที่จะรีดิวส์โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ในกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันได้คือ การรีดิวส์ด้วยขั้ว Fe ซึ่งเป็นการรีดิวส์โดย (Fe(II)) ที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด (Mouedhen, 2009)

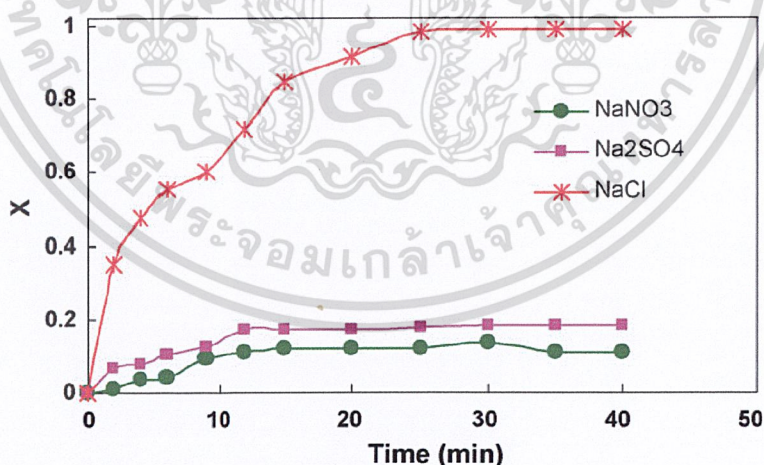
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 สารอิเล็กโทรไลต์

สารอิเล็กโทรไลต์ คือ สารที่ละลายในตัวทำละลายแล้วแตกตัวเป็นไอออน ทำให้ในสารละลายมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สารอิเล็กโทรไลต์มีความจำเป็นต่อกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน เพราะเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า ปริมาณไอออนของโลหะในสารละลายก็จะรวมตัวกัน และมีปริมาณไอออนในสารละลายลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการบำบัดลดลง

การวิจัยส่วนมากใช้เกลือคลอไรด์ (NaCl) เพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ซึ่งบางแห่งใช้เกลือไนเตรต (NaNO_3) และ เกลือซัลเฟต (NaSO_4)

Aber(2009) ได้ทำการศึกษาผลของชนิดเกลือที่ใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ จากการศึกษา ใช้เกลือ 3 ชนิดเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ที่ปริมาณ 10 กรัมต่อลิตร กระแส 50 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่พีเอชเริ่มต้น 5 ความเข้มข้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่เวลา 30 นาที เกลือคลอไรด์สามารถกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ได้ 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเกลือซัลเฟตและเกลือไนเตรตกำจัดได้ 18 และ 14 เปอร์เซ็นต์ การจับขั้วเหล็กกล้าในสารละลาย Cr(VI) ทำให้เกิดโครไมท์ฟิล์ม ส่งผลให้การปล่อย Fe^{2+} ลดลง การมี Cl^- จะช่วยลดการเกิดโครไมท์ฟิล์ม จึงส่งผลให้การปล่อยไอออนโลหะของขั้วอิเล็กโทรดลงสู่สารละลายได้ดีขึ้น และพบว่าสารอิเล็กโทรไลต์ที่เติมลงไปในสารละลาย เพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้า และส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วย โดยแสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนตั้งแต่ 2 นาทีแรก แสดงผลดังรูป 2.2 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพบำบัด Cr(VI) กับ ระยะเวลาบำบัด (Aber et al., 2009)

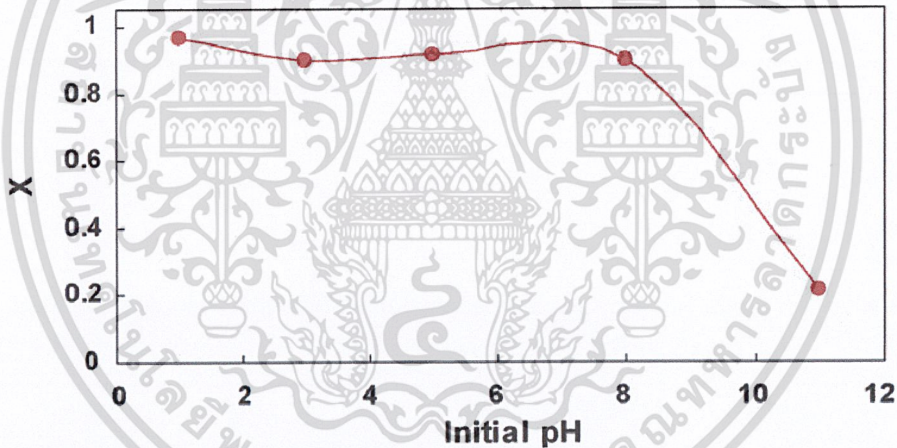
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ผลของเกลือต่อปริมาณความเข้มข้นของ Total Cr ที่เหลือหลังบำบัด (Aber et al., 2009)

Electrolyte	Conductivity (mS/cm)	Cell Voltage (Volt)	Initial pH	Final pH	Total Cr (mg/L)
NaNO ₃	11.09	4.8 – 5	4.8	5.9	45
Na ₂ SO ₄	12.17	4.3 - 4.5	4.5	5.5	49
NaCl	16.27	2.2 - 2.3	5	9.1	0.9

2.3.3 พีเอช (pH)

Aber(2009) ศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นมีต่อการรีดิวซ์ Cr(VI) โดยใช้ขั้วเหล็ก พบว่าสามารถรีดิวซ์ได้มากกว่า 80% ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 1-8 ดังรูปที่ 2.3 เนื่องจากปฏิกิริยารีดักชันในสารละลาย ในสมการที่ 7 ต้องใช้กรด (H^+) ในปฏิกิริยา ดังนั้นที่พีเอชเกิน 8 ปฏิกิริยารีดักชันจะเกิดได้ไม่ดี



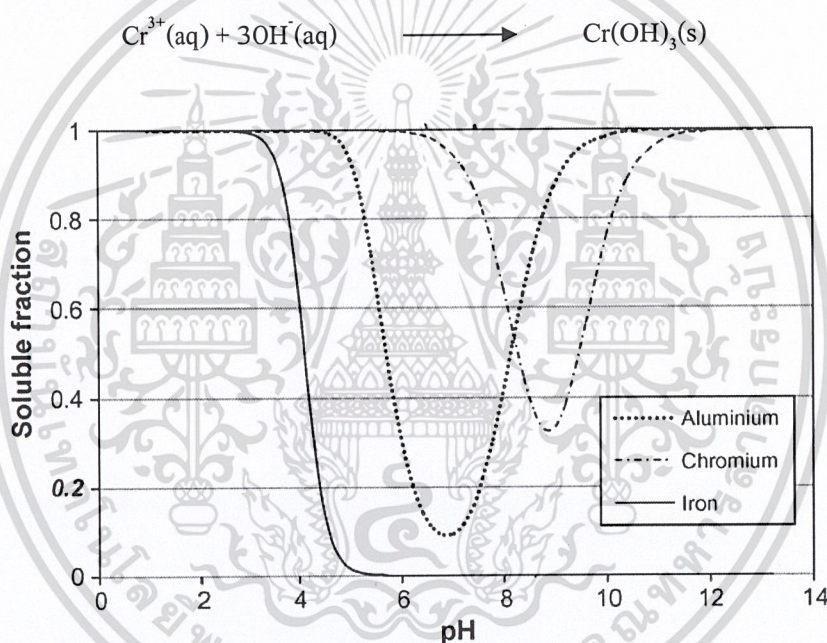
รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลของประสิทธิภาพบำบัด Cr(VI) และพีเอชเริ่มต้น (Aber et al., 2009)

ในสถานะที่เป็นกรดแก่ จะมีความเข้มข้น H^+ สูง เกิดการรีดิวซ์ Cr(VI) ไปเป็น Cr(III) ได้ดี แต่กระบวนการพรีซิพิตชันของโครเมียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นได้ไม่ดี ทำให้ปริมาณ Total Cr ในสารละลายยังคงมีค่าสูงอยู่ เพียงแต่มีการเปลี่ยนรูปจาก Cr(VI) ไปเป็น Cr(III) แต่ถ้าพีเอชเริ่มต้นมีความเป็นเบสแก่ (มากกว่า 8) จะเกิดการรีดิวซ์ Cr(VI) ได้ไม่ดีทำให้มี Cr(III) เกิดขึ้นและเกิดการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจากสารละลายเพียงเล็กน้อย

ค่าพีเอชสุดท้ายหลังเดินระบบอิเล็กทรอนิกส์ โคร โคร แอกลูเลชัน มีผลต่อความสามารถในการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของ Cr(III) ในสารละลาย ถ้าพีเอชสุดท้ายอยู่ในช่วงที่เป็นกรด Cr(III) จะอยู่ในรูปของไอออนในสารละลายจะไม่เกิดการตกตะกอนและรวมตะกอน ทำให้ความเข้มข้น Total Cr ในสารละลายยังมีค่าสูงอยู่ รูปที่ 2.4 จากรูปแสดงแสดงการละลายของ $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ซึ่งละลายน้ำได้ดีในช่วงพีเอชเป็นกรด และจะละลายน้ำได้น้อยลงที่พีเอช 7 และน้อยที่สุดที่พีเอช 9 และเมื่อพีเอชสูงกว่า 9 ตะกอน $\text{Cr}(\text{OH})_3$ สามารถกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่ง (Inoussa et al., 2009)



รูปที่ 2.4 กราฟความสามารถในการละลายของโลหะชนิดต่างๆที่ค่าพีเอชต่างกัน (Inoussa et al., 2009)

ความสัมพันธ์ของพีเอชเริ่มต้นกับค่าพีเอชสุดท้าย ดังตารางที่ 2.2 พบว่าถ้าให้ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 5 จะได้ พีเอชสุดท้ายจะอยู่ที่ 9.1 จะให้ผลการบำบัดที่ดีที่สุด เพราะพีเอชเริ่มต้นอยู่ในช่วงกรดจะทำให้เกิดกระบวนการรีดักชันที่ดี และพีเอชสุดท้ายอยู่ที่ 9 จะทำให้เกิดกระบวนการพรีซิพิเตชันที่ดี ถ้าค่าพีเอชไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นได้ไม่ดี ส่งผลให้ Total Cr มีมากกว่าที่ควรจะบำบัดได้

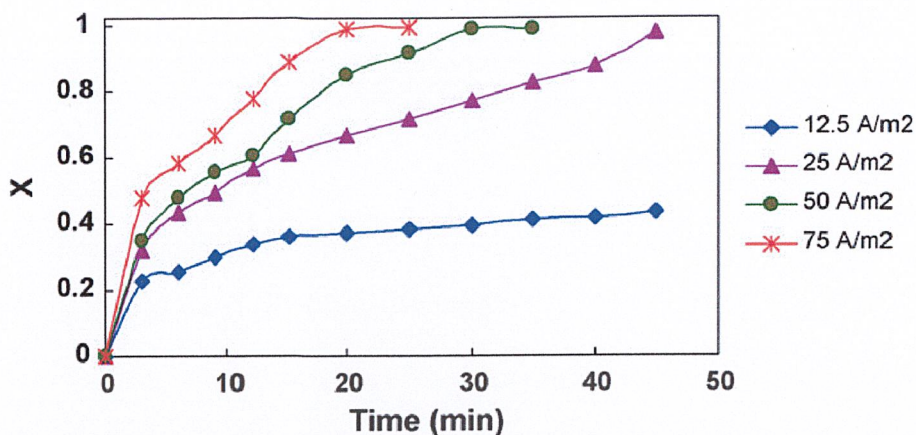
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นและพีเอชสุดท้าย ต่อความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดจากการบำบัด (Aber et al., 2009)

Initial pH	Final pH	Total Cr (mg/L)
1	2.1	49
3	8.2	20.1
5	9.1	1.5
8	9.6	7.1
11	11.4	40.2

2.3.4 กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณประจุไฟฟ้าที่ไหลในวงจรต่อหนึ่งวินาที Aber.(2009) ในกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันตัวแปรที่สำคัญที่สุด คือ กระแสไฟฟ้า เพราะเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะ และควบคุมอัตราการเกิดของปฏิกิริยา มีผลทำให้อนุภาคเกิดการรวมตะกอนได้เร็วขึ้น ถ้ามีปริมาณกระแสสูง ก็จะมีความหนาแน่นของประจุอยู่ในสารละลายจำนวนมาก จะมีการเร่งให้ประจุที่จับบนอนุภาคเกิดการรวมตัวกันเร็วขึ้น เมื่ออนุภาครวมตัวกันจะมีน้ำหนักมากขึ้น ทำให้ตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว จากรูปที่ 2.5 จะพบว่าเมื่อเพิ่มกระแสความสามารถในการบำบัด Cr(VI) ก็เพิ่มตามไปด้วย พบว่าใช้กระแสเพียง 50 แอมแปร์ ก็ให้ผลการบำบัดที่เหมาะสม ไม่ต้องใช้กระแสมากที่สุด เพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr(VI)) กับระยะเวลาทดลอง ที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่างกัน (Aber et al., 2009)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wolfgang Calmano(2007)

ประสิทธิภาพการกำจัด Cr(VI) ของระบบกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน โดยใช้ขั้วเหล็ก ทำการทดลองที่ค่ากระแส 3 และ 0.1 แอมแปร์ พบว่าที่กระแส 3 แอมแปร์สามารถบำบัดสารละลายที่มีความเข้มข้น Cr(VI) 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้โดยสมบูรณ์ภายใน 45 นาที จากนั้นทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นจาก 10 ถึง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าไม่มี Cr(VI) ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระแสสูง พบว่าที่ค่ากระแสสูง Cr(VI) จะถูกรีดิวซ์โดยตรงที่ขั้วแคโทดและตกตะกอนเป็น Cr(OH)₃ ในภายหลังการกำจัด Cr(VI) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้น และอัตราการกำจัดซึ่งขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ที่ค่ากระแสต่ำการกำจัด Cr(VI) เป็นไปโดยกระบวนการรีดักชันด้วย Fe²⁺ และพบว่าในสารละลายที่บำบัดด้วยกระแสสูงมีปริมาณ Fe²⁺ มากกว่าสารละลายที่บำบัดที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำ กระบวนการกำจัดที่ค่ากระแสสูงมีประสิทธิภาพมากกว่า และสามารถนำไปประยุกต์ในระบบกำจัด Cr(VI) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

Inoussa Zongo et al.(2009)

กระบวนการอ็อกซิไดซ์โครโครแมกนีสั่มในการบำบัดน้ำเสียที่มี Cr(VI) มักจะนิยมใช้ขั้วอ็อกซิไดซ์ที่ทำจากอะลูมิเนียมหรือเหล็ก โดยประสิทธิภาพการบำบัดจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการรีดิวซ์ Cr(VI) ให้กลายเป็น Cr(III) และรวมตะกอนกับไอออนของโลหะที่เป็นขั้วแอโนด นอกจากนี้ในการทดลองยังมีการหาค่าพีเอช ที่ส่งผลต่อความสามารถในการละลายของโลหะ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการกำหนดค่าพีเอชในการทดลอง จากสรุปผลการทดลองได้อธิบายว่า ขั้วอ็อกซิไดซ์ที่ทำจากเหล็กมีความสามารถในการรีดิวซ์ Cr(VI) และสามารถบำบัดโครเมียมออกจากน้ำเสีย ได้ดีกว่าขั้วอ็อกซิไดซ์ที่ทำจากอะลูมิเนียม

Lakshmipathiraj(2008)

การกำจัด Cr(VI) ออกจากสารละลายผสมโดยวิธีการอ็อกซิไดซ์โครโครแมกนีสั่ม ได้ศึกษาโดยใช้ขั้วเหล็ก สารละลายผสมนั้นได้เตรียมจาก $K_2Cr_2O_7$ และระหว่างกระบวนการอ็อกซิไดซ์โครโครแมกนีสั่มได้มีการเลือกใช้สารอ็อกซิไดซ์โครโครแมกนีสั่มได้แก่ NaCl, $NaNO_3$ และ Na_2SO_4 และพบว่าเมื่อมีเพียง NaCl ที่มีประสิทธิภาพในการจับ Cr(VI) การใช้กระแสในการบำบัดมากเกินไปจะเกิดผล X-ray diffraction ซึ่งทำให้เกิดตะกอนที่มีเหล็กออกไซด์มากและเกิดโครไมท์ ($Cr_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) ถ้าทำการทดลองที่กระแสต่ำลงจะพบว่าสามารถควบคุมการทดลองให้ได้ผลที่แม่นยำมากกว่า

Aber(2009)

การกำจัด Cr(VI) ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจริง โดยใช้กระบวนการอ็อกซิไดซ์โครโครแมกนีสั่ม โดยการศึกษาครั้งนี้เพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นขั้วแอโนด ความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น pH เริ่มต้นของสารละลาย ชนิดของสารอ็อกซิไดซ์โครโครแมกนีสั่ม ความเข้มข้นของกระแส และ เวลาในการบำบัด พบว่าในระยะเวลา 30 นาทีขั้วเหล็กมีประสิทธิภาพการบำบัดมากถึง 98% ค่า pH ที่เหมาะสมในการบำบัดอยู่ในช่วง pH 5-8 และสารอ็อกซิไดซ์โครโครแมกนีสั่มที่เหมาะสมก็คือ NaCl

อนวัช พินิจศักดิ์กุล(2547)

กระบวนการกำจัดโลหะหนักไอออนที่นิยมใช้มักเป็นกระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยการปรับสภาพสารละลายให้เป็นด่าง ทำให้โลหะหนักตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ แล้วทำการแยกตะกอนออกจากน้ำในถังตกตะกอน แต่เนื่องจากโครเมียมที่ใช้ในการวิเคราะห์อยู่ในรูปของ Cr(VI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ จะไม่ตกตะกอนโดย OH^- จำเป็นต้องทำการรีดิวซ์เป็น Cr(III) ก่อน จึงจะสามารถตกตะกอนกับ OH^- ได้ซึ่งมีการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวรีดิวซ์ในสภาวะพีเอช 2.5 Cr(VI) จะถูกรีดิวซ์เป็น Cr(III) แล้วปรับพีเอชเป็น 8.5 เพื่อตกตะกอนในรูป Cr(OH)_3 สำหรับโลหะหนักบางชนิด เช่น อาร์เซนิก ไม่สามารถตกตะกอนได้โดยการปรับค่าพีเอชเท่านั้น จำเป็นต้องมีการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ เพื่อทำให้เกิด เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์จึงสามารถช่วยให้เกิดการกำจัดอาร์เซนิกไอออน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น AA-680 ยี่ห้อ Shimadzu
2. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า รุ่น LF-320 Best-Nr 300243 บริษัท WTW
3. เครื่องวัด pH รุ่น 215 บริษัท Denver
4. เครื่องชั่งสารแบบละเอียด รุ่น Precisa 205-A ยี่ห้อ SWISS QUALITY
5. เครื่องปั่นกวน
6. ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากแผ่นสแตนเลส (ขนาด 78 มิลลิเมตร x 99 มิลลิเมตร x 2 มิลลิเมตร)
7. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
8. ปากคืบ
9. สายไฟ
10. เครื่องแก้ว
11. ขวดพลาสติก
12. กระดาษกรอง

3.1.2 สารเคมี

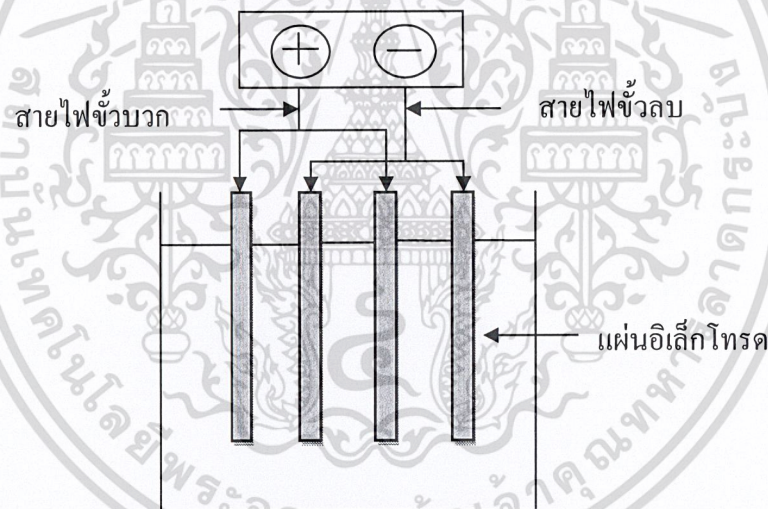
1. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์
4. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3)
5. น้ำกลั่น
6. เกลือแกง (NaCl)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมการทดลอง

3.2.1 การเตรียมชุดการทดลอง

1. ตัดแผ่นสแตนเลส เพื่อใช้เป็นอิเล็กโทรดขนาดเท่ากับ 78 มิลลิเมตร x 99 มิลลิเมตร x 2 มิลลิเมตร
2. นำแผ่นสแตนเลสที่ตัดมาเรียบรื้อยแล้ว 4 แผ่น มาจัดเรียงไว้ในกรอบสี่เหลี่ยมที่ทำจากแผ่นอะคริลิกขนาด 90 มิลลิเมตร x 110 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร โดยให้มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดแต่ละแผ่นเท่ากับ 10 มิลลิเมตร (Jing-wei et al., 2007)
3. ต่ออิเล็กโทรดแบบขนานกับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และใช้ปากคีบสายไฟหนีบตรงด้านบนของแผ่นอิเล็กโทรด (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 ชุดทดลองแบบขนานของวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน (Jing-wei et al., 2007)

4. นำน้ำเสียสำหรับที่จะทำการทดลองใส่ไว้ในถังปฏิกิริยา จากนั้นใส่แม่เหล็กสำหรับ ปั่นกวน และนำไปวางบนเครื่องปั่นกวนด้วยแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ตัวอย่างน้ำเสียสำหรับการทดลอง

น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการชั่ง $K_2Cr_2O_7$ ปริมาณ 0.1337 กรัม นำไปละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นโดยใช้ ขวดวัด ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
2. ปรับพีเอชในน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าพีเอชเท่ากับ 2 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการปรับค่าพีเอช
3. เพิ่มค่าการนำไฟฟ้าโดยเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 3 กรัม ลงไปในถังปฏิกริยา แล้ววัดค่า การนำไฟฟ้าและบันทึกผล
4. ในแต่ละชุดการทดลองจะเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 1-3

3.3 การดำเนินการทดลอง

ในการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ โดยทำการศึกษาดังนี้

3.3.1 ผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัด

1. นำน้ำสังเคราะห์ซึ่งมีความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (Aber,2009) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 2 ใส่ไว้ในถังปฏิกริยา
2. ปิดฝาถังปฏิกริยาให้สนิท และใช้ปากคีบสายไฟต่อตรงขั้วอิเล็กโทรด
3. ทำการทดลอง โดยนำถังปฏิกริยาวางบนเครื่องปั่นกวน และทำการปั่นกวนด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที
4. จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 2 แอมแปร์ ให้กับน้ำเสียสังเคราะห์โดยทำการเดินระบบ ทั้งหมดเป็นเวลา 50 นาที เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เวลา 10, 20, 30 และ 50 นาที ที่ปริมาตร 40 มิลลิลิตร วัดค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้าและอุณหภูมิ แล้วบันทึกผล
5. ปิเปตตัวอย่างน้ำเสียแล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 20 มิลลิลิตร ดังนี้
ส่วนที่ 1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ไม่ได้ทำการปรับพีเอช
ส่วนที่ 2 นำตัวอย่างน้ำเสียเก็บไว้สำหรับศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนในหัวข้อ 3.3.3
6. ตั้งตัวอย่างน้ำเสียส่วนที่ 1 ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้เกิดการรวมตะกอนและตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำไปกรองด้วยกระดาษกรองจะได้สารละลายใส และนำไปเก็บไว้ในขวดพลาสติก และรักษาสภาพตัวอย่างให้มีค่าพีเอชต่ำกว่า 2 โดยใช้สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
8. ทำการทดลองซ้ำเพิ่มอีก 2 ครั้ง และบันทึกผลการทดลอง
9. นำตัวอย่างน้ำเสียไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณ โครเมียมทั้งหมด (APHA,2005)
10. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-9 แต่ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นเกลือปริมาณ 3 กรัม ต่อลิตร ค่าพีเอชเริ่มต้น 2 เป็น blank

3.3.2 ผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีในหัวข้อ 3.3.1 ข้อ 1-9 แต่แปรค่าพีเอชในน้ำเสียให้มีค่าเท่ากับ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ (Aber,2009) โดยปรับพีเอชด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อทดสอบความสามารถในการรีดิวส์ และการตกตะกอนของโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ในค่าพีเอชต่างๆกัน ทำการทดลองทั้งหมดซ้ำ 2 ครั้ง และบันทึกผลการทดลอง นำตัวอย่างน้ำเสียไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณ โครเมียมทั้งหมด (APHA, 2005)

3.3.3 ผลของการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านระบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

1. นำตัวอย่างน้ำเสียในส่วนที่ 2 จากหัวข้อ 3.3.1 ที่เดินระบบด้วยพีเอชเริ่มต้น 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ มาปรับค่าพีเอชเป็น 9 แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้เกิดการรวมตะกอนและตกตะกอน
2. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง และบันทึกผลการทดลอง
3. นำตัวอย่างน้ำเสียไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณ โครเมียมทั้งหมด (APHA,2005)

3.3.4 ผลของพีเอชสุดท้ายต่อการบำบัด

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1 ข้อ 1-3 โดยใช้น้ำน้ำสังเคราะห์ ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2 และทำการเดินระบบทั้งหมดเป็นเวลา 10 นาที วัดค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เก็บตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ส่วนละ 20 มิลลิลิตร โดยส่วนที่หนึ่งไม่ปรับพีเอช ส่วนที่ 2, 3, 4 และ 5 ปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 6, 7, 8 และ 10 ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลของพีเอชสุดท้ายต่อการบำบัด
4. ตั้งตัวอย่างน้ำเสียทั้ง 5 ส่วน ไว้ 30 นาที เพื่อให้เกิดการรวมตะกอนและตกตะกอน
5. นำไปกรองด้วยกระดาษกรองจะได้สารละลายใส และนำไปเก็บไว้ในขวดพลาสติก และรักษาสภาพตัวอย่างให้มีค่าพีเอชต่ำกว่า 2 โดยใช้สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง และบันทึกผลการทดลอง
7. นำตัวอย่างน้ำเสียไปวัดค่าคลอโรฟิลล์ด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณโครเมียมทั้งหมด (APHA,2005)

3.3.5 สารละลาย Blank

1. นำน้ำกลั่นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 2 ใส่ในถังปฏิกิริยา ปิดฝาถัง ปฏิกิริยาให้สนิท และใช้ปากคีบสายไฟต่อตรงขั้วอิเล็กโทรด
2. ทำการทดลองโดยนำถังปฏิกิริยาวางบนเครื่องปั่นกวน และทำการปั่นกวนด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที
3. จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 2 แอมแปร์ ให้กับน้ำเสียสังเคราะห์โดยทำการเดินระบบทั้งหมดเป็นเวลา 50 นาที เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เวลา 10, 20, 30 และ 50 นาที ที่ปริมาตร 40 มิลลิลิตร วัดค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้าและอุณหภูมิ แล้วบันทึกผล
4. เปิดตัวอย่างน้ำเสียแล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 20 มิลลิลิตร ดังนี้
ส่วนที่ 1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ไม่ได้ทำการปรับพีเอช
ส่วนที่ 2 นำตัวอย่างน้ำเสียเก็บไว้สำหรับศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนในหัวข้อ 3.3.3
5. ตั้งตัวอย่างน้ำเสียส่วนที่ ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้เกิดการรวมตะกอนและตกตะกอน
6. นำไปกรองด้วยกระดาษกรองจะได้สารละลายใส และนำไปเก็บไว้ในขวดพลาสติก และรักษาสภาพตัวอย่างให้มีค่าพีเอชต่ำกว่า 2 โดยใช้สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
7. ทำการทดลองซ้ำเพิ่มอีก 2 ครั้ง และบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำตัวอย่างน้ำเสียไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณโครเมียมทั้งหมด (APHA,2005)



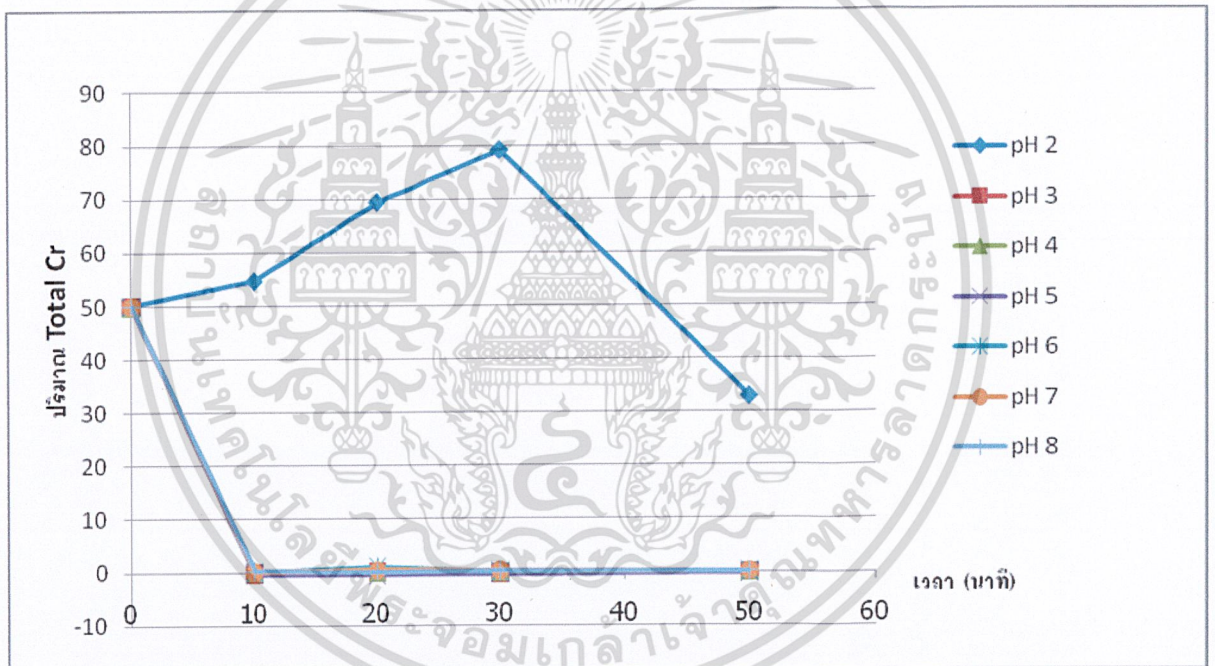
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

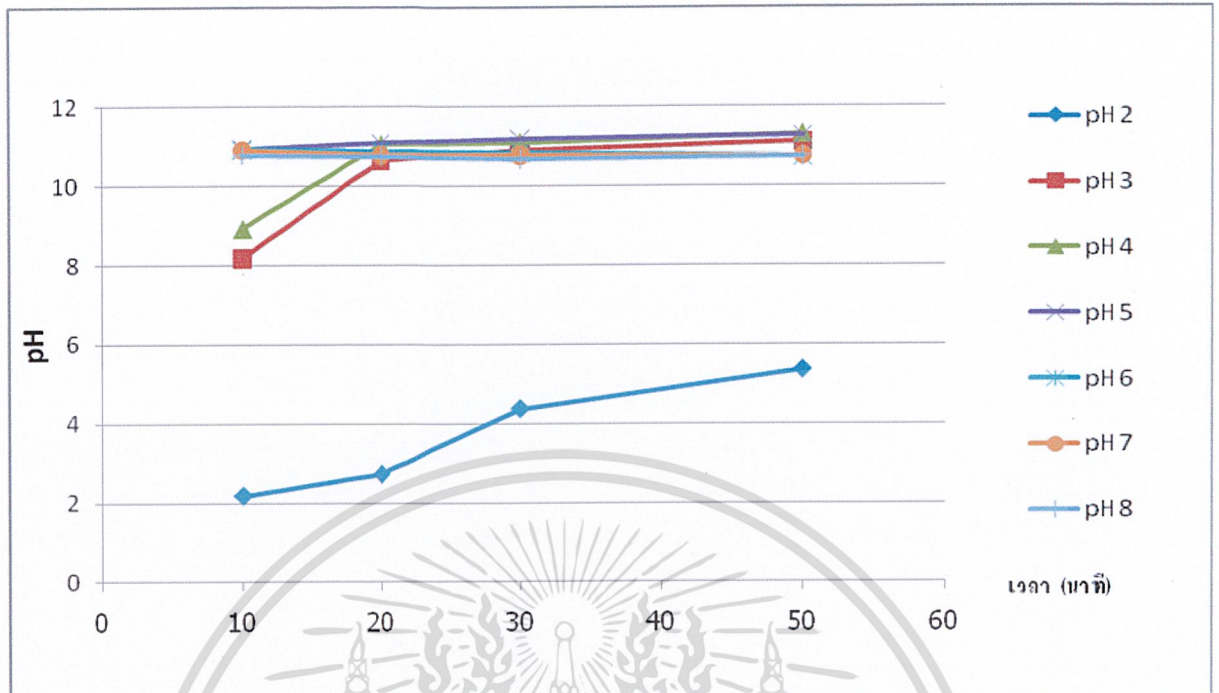
4.1 การศึกษาผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษานี้ศึกษาผลของเวลาที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น Cr(VI) 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่กระแสไฟฟ้า 2 A ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และมีการเก็บตัวอย่างในเวลา 10, 20, 30 และ 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงเวลาที่ทำให้ผลการบำบัดที่ดีที่สุด ระหว่างการทดลองได้บันทึกความเข้มข้นของ Total Cr ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการทดลอง ดังรูปที่ 4.1



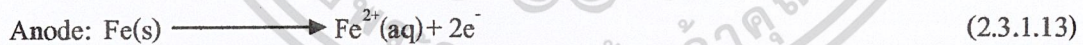
รูปที่ 4.1 ปริมาณ โครเมียมในชุดที่ไม่ปรับค่าพีเอชกับเวลาที่ใช้ในการบำบัด (นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



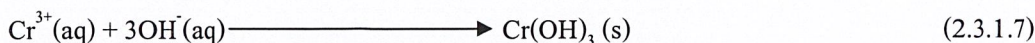
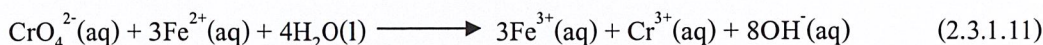
รูปที่ 4.2 ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาที่ใช้ในการบำบัด (นาที)

จากรูปที่ 4.1 เมื่อให้กระแสไฟฟ้าแก่เหล็กที่มีหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรด พบว่าที่ค่าพีเอช 3-8 ให้ผลการบำบัดที่ดีตั้งแต่ช่วง 10 นาทีแรก เพราะค่าพีเอชเริ่มต้นในช่วง 3-8 เมื่อทำการเดินระบบ ค่าพีเอชที่อยู่ในช่วงดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ดังรูปที่ 4.2) เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำที่ขั้วแคโทด



จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เมื่อน้ำได้รับกระแสไฟฟ้าจะแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน ทำให้สารละลายมีความเป็นเบสเพิ่มขึ้น เมื่อสารละลายมีความเป็นเบส ส่งผลให้ปฏิกิริยาพรีซิพิตชันของ Cr(III) มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (ดังรูปที่ 2.4) และที่ขั้วแอโนดเมื่อโลหะได้รับกระแสไฟฟ้าจะแตกตัวให้เฟอร์รัสไอออน ดังสมการที่ 2.2.3.2 และ 2.3.1.13

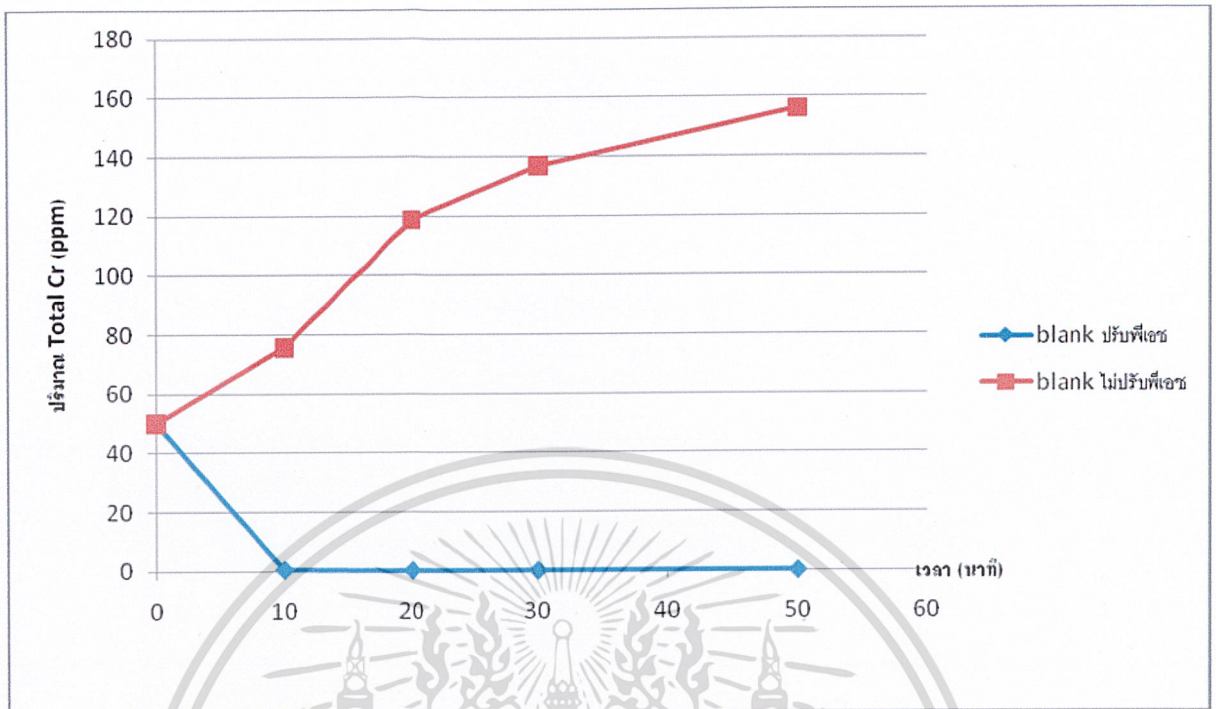
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เฟอรัสไอออนที่เกิดขึ้นจากขั้วอิเล็กโทรดจะสามารถรีดิวส์ Cr(VI) ให้กลายเป็น Cr(III) ดังสมการที่ 2.3.1.11 เมื่อผ่านการรีดิวส์ Cr(VI) เฟอรัสไอออนจะกลายเป็นเฟอริกไอออนทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดเป็นตะกอน ดังสมการที่ 2.2.1.1 และ Cr(III) จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนและตกตะกอนร่วมกันดังสมการที่ 2.3.1.7 เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาในสถานะที่เหมาะสมสามารถตกตะกอนกับไฮดรอกไซด์ไอออน และตกตะกอนร่วมกับเฟอริกไฮดรอกไซด์ ปริมาณของโครเมียมจึงลดลงอย่างรวดเร็วและให้ผลการบำบัดสูงถึง 99.629% - 99.98% ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 3-8 (ตารางที่ ข2)

สำหรับค่าที่พีเอช 2 พบว่ามีความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อทำเดินระบบแล้ว ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อยู่ที่ 2.17 (ตารางที่ ข2-1) คาดว่าในสถานะที่มีความเป็นกรด จะส่งผลให้โครเมียมที่ละลายอยู่ที่ผิวของขั้วอิเล็กโทรดเกิดการละลาย ทำให้ปริมาณโครเมียมที่ตรวจวัดได้เพิ่มขึ้น และเมื่อเดินระบบต่อไปจากนาที่ที่ 30 - 50 ค่าพีเอชจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 4.36 - 5.34 (ตารางที่ ข2-1) ส่งผลให้เริ่มมีการตกตะกอนของ Cr(III) ร่วมกับไฮดรอกไซด์ไอออน ปริมาณโครเมียมที่วัดได้จึงเริ่มที่จะลดลง

เพื่อพิสูจน์ว่าที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2 นั้นมีการละลายของโครเมียมจากขั้วสแตนเลสจริงหรือไม่ จึงทดลองโดยใช้น้ำกลั่นปรับพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าให้เท่ากับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่าพีเอช 2 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3

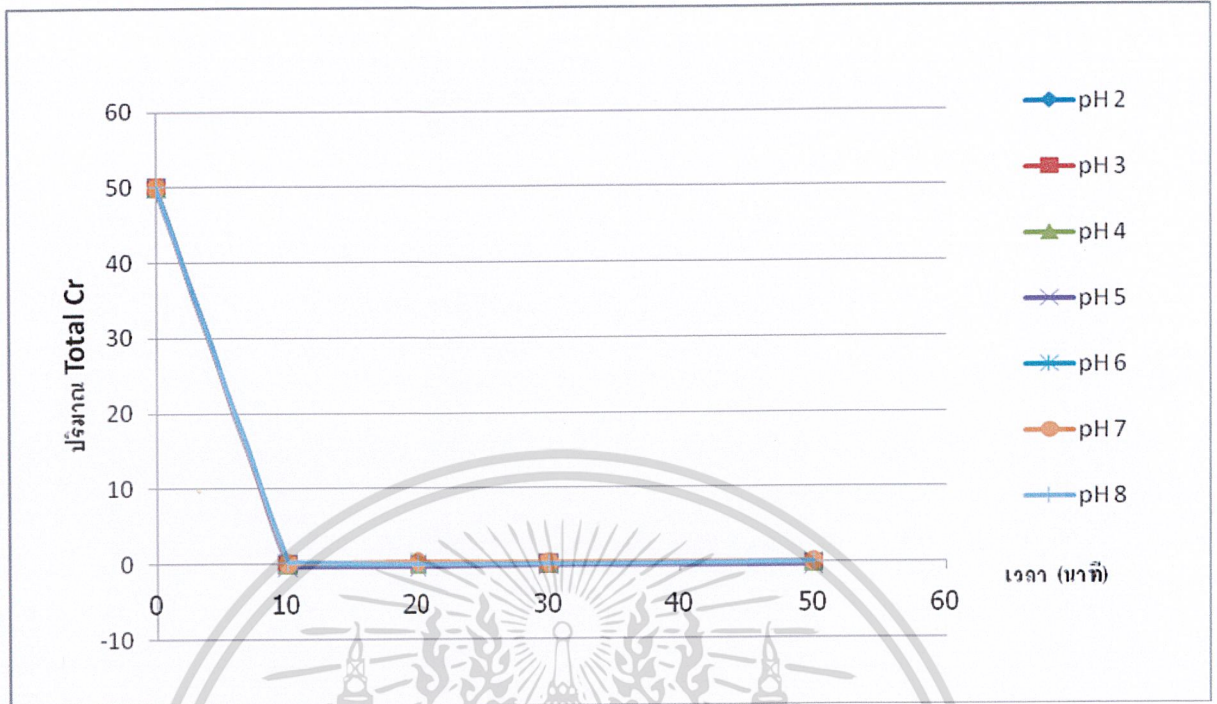


รูปที่ 4.3 ปริมาณโครเมียมในชุดควบคุมกับเวลาที่บำบัด (นาที)

จากรูปที่ 4.3 พบว่ามีปริมาณโครเมียมในน้ำกลั่นที่ใช้เป็นชุดควบคุม และโครเมียมที่พบเป็น Cr(III) เพราะเมื่อนำไปปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 9 แล้วปริมาณโครเมียมที่วัดได้กลับเหลือน้อยมาก ถ้าเป็น Cr(VI) จะไม่สามารถตกตะกอนกับไฮดรอกไซด์ไอออนได้เมื่อปรับค่าพีเอชให้เป็นเบส สาเหตุที่ Cr(VI) ไม่สามารถตกตะกอนกับไฮดรอกไซด์ไอออนได้นั้นก็เพราะ Cr(VI) อยู่ในรูป $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ซึ่งเป็นประจุลบเช่นเดียวกับไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งต่างกับ Cr(III) ที่เป็นประจุบวก

4.2 การศึกษาผลของการปรับ pH ของน้ำเสียหลังผ่านระบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

การศึกษานี้ศึกษาผลของค่าพีเอช ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น Cr(VI) 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่กระแสไฟฟ้า 2 A ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มีการเก็บตัวอย่างในเวลา 10, 20, 30 และ 50 นาที และปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 9 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่ Cr(III) มีค่าการละลายต่ำสุด ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3



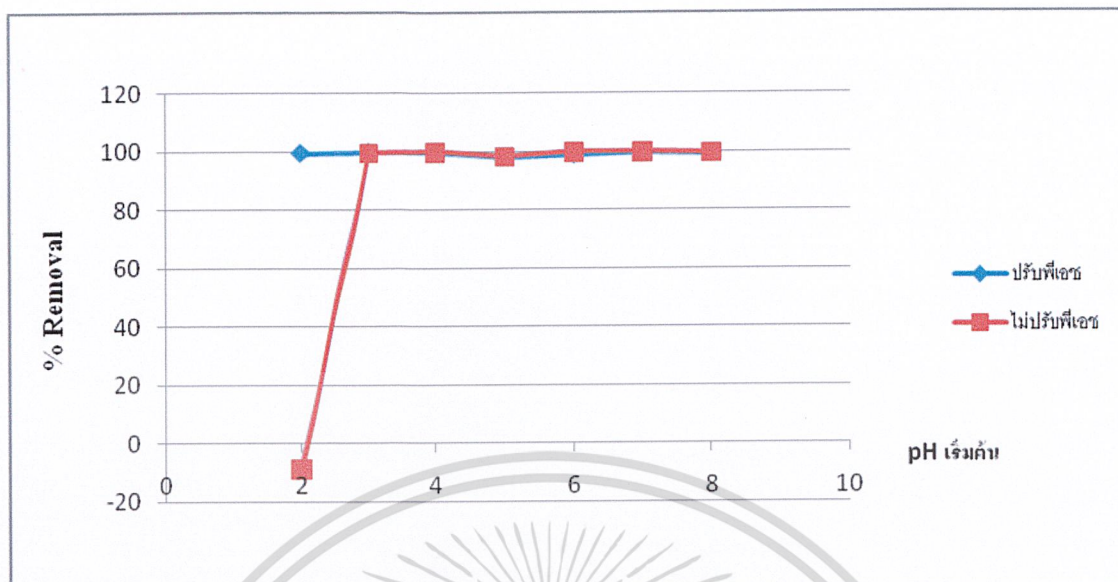
รูปที่ 4.4 ปริมาณโครเมียมในชุดที่ปรับค่าพีเอชกับเวลาที่ใช้ในการบำบัด (นาที)

จากรูปที่ 4.4 เมื่อมีการปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 9 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมมีค่าใกล้เคียงกันทุกค่าพีเอชเริ่มต้น โดยอยู่ระหว่าง 99.669% – 99.967% (ตาราง ข2) เนื่องจากที่ค่าพีเอชเท่ากับ 9 โครเมียมอยู่ในรูปของตะกอน $\text{Cr}(\text{OH})_3$ และตกตะกอนร่วมกับ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ แยกออกจากน้ำเสีย

4.3 ผลของการตกตะกอนของโครเมียมไตรวาเลนต์ ($\text{Cr}(\text{III})$) หลังจากผ่านระบบวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม

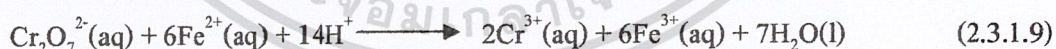
การเปรียบเทียบผลของการทดลองจากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.4 ซึ่งทำการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น $\text{Cr}(\text{VI})$ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่กระแสไฟฟ้า 2 A ที่ค่าพีเอช 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 เพื่อเปรียบเทียบการปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน และไม่ปรับค่าพีเอช เพื่อเปรียบเทียบผลของการตกตะกอน $\text{Cr}(\text{III})$ หลังจากผ่านกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันที่เวลา 10 นาที ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมกับชุดที่ปรับพีเอชเป็น 9 และไม่ปรับ

ชุดทดลองที่ไม่ปรับพีเอช ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดต่ำ เนื่องจากเกิดการละลายของโครเมียมที่เกาะอยู่ที่ผิวของสแตนเลส ในสภาวะที่มีความเป็นกรด เนื่องจากไม่มีการปรับค่าพีเอช ทำให้ค่าพีเอชต่ำในช่วงเริ่มต้นของระยะเวลาการบำบัด (ดังรูปที่ 4.2) ด้วยค่าพีเอชที่ต่ำนี้ Cr(VI) จะถูกรีดิวส์ไปเป็น Cr(III) ได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูง ดังสมการที่ 2.3.1.9 และเมื่อทำการปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 9 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนดังชุดที่มีการปรับค่าพีเอช เพราะ Cr(III) เกิดการตกตะกอนกับไฮดรอกไซด์ไอออนในสภาวะที่เหมาะสม (ดังรูปที่ 2.4) โดยให้ผลการบำบัดโครเมียม 99.96%

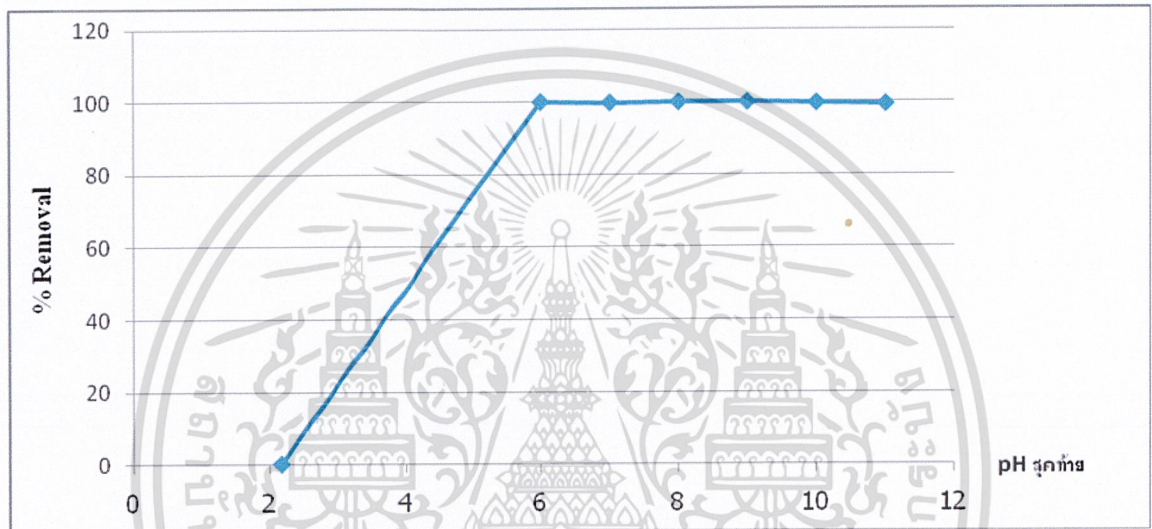


จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่ค่าพีเอช 3-8 ให้ผลการบำบัดที่ดีในช่วง 10 นาทีแรก เพราะว่า พีเอชของสารละลายที่ 10 นาทีของค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 3-8 มีค่าความเป็นเบสสูงถึง 11 เนื่องจากในสภาวะที่มีความเป็นเบสสูงโครเมียมจะเกิดตะกอนโครไมต์ ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) (Lakshmi,2008) โครเมียมที่วัดได้จึงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าพีเอชสุดท้ายในช่วง 3-8 ให้ผลการบำบัดเท่ากับ 99.66, 99.69, 99.93, 99.95, 99.79 และ 99.89% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของค่าพีเอชสุดท้ายต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม

เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยจากผลการทดลอง ค่าพีเอชสุดท้ายของการบำบัดส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดต่างกันอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการละลายของโครเมียมจากรูปที่ 2.4 จึงทำการทดลองที่ปรับค่าพีเอชสุดท้ายให้มีค่าเท่ากับ 6, 7, 8 และ 10 เริ่มต้นเดินระบบที่ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2 โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดที่มีการปรับและไม่ปรับค่าพีเอช เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมกับค่าพีเอชสุดท้าย

จากรูปที่ 4.1 และ 4.4 นั้นทำให้เกิดข้อสงสัยว่าค่าพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 9 ควรจะให้ผลการบำบัดที่ดีที่สุด แต่ให้ผลการบำบัดใกล้เคียงกับค่าพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 11 จึงทำการทดลองปรับค่าพีเอชสุดท้ายให้เท่ากับ 6, 7, 8 และ 10 โดยการทดลองเพียง 10 นาทีแรก และสังเกตประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในสารละลายที่ได้จากการวัด AAS โดยจากผลการทดลองพบว่าชุดที่ไม่มีการปรับค่าพีเอช พบปริมาณโครเมียมมีมากกว่าที่เตรียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยปริมาณโครเมียมที่เพิ่มขึ้นเกิดจากโครเมียมที่ละลายบนแผ่นสแตนเลสละลายลงสู่น้ำเสียสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.5 พบว่าการปรับค่าพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 2.17 ให้ผลการบำบัดที่ไม่ดีเพราะในสถานะที่เป็นกรด มีปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นจากแผ่นสแตนเลสที่ใช้เป็นขั้ว ส่วนพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 6-11 แต่

ละค่าพีเอชนั้นส่งผลให้ปริมาณ โครเมียมทั้งหมดที่วัดได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และระยะเวลาในการบำบัดพบว่าให้ผลการบำบัดที่ดีเริ่มตั้งแต่ 10 นาที แรก

ที่ค่าพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 10 และ 11 ให้ผลการบำบัดที่ดีใกล้เคียงกันคือ 99.58% และ 99.29% ตามลำดับ แม้ว่าค่าการละลายของโครเมียมจะสูงกว่าที่ค่าพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 9 เพราะการเกิดโครไมต์ในสภาวะที่มีความเป็นเบสสูง โดยโครไมต์จะสามารถรวมตะกอนกับไฮดรอกไซด์ไอออน และตกตะกอนได้



ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6, 7 และ 8 ให้ผลการบำบัดได้ใกล้เคียงกับพีเอชที่มีความเป็นเบสเพราะค่าพีเอชในช่วงนี้ทำให้ค่าการละลายของเหล็กต่ำที่สุด (ดังรูปที่ 2.4) เฟอริกไอออนที่เกิดจากการรีดิวส์ Cr(III) จึงทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดเป็นตะกอนโลหะในสารละลาย ดังสมการที่ 2.2.1.1 และ Cr(III) ที่เกิดจากการรีดิวส์ในสภาวะกรดจากสมการ 2.3.1.9 เกิดการตกตะกอนกับไฮดรอกไซด์ไอออน ดังสมการที่ 2.3.1.7 จากนั้น Fe(OH)_3 และ Cr(OH)_3 ก็เกิดการตกตะกอนร่วมกัน โดยที่พีเอชสุดท้ายเท่ากับ 6, 7 และ 8 ให้ผลการบำบัดเท่ากับ 99.96, 99.72 และ 99.87% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด Cr(VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม ต่อลิตรทำการบำบัดที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

- 5.1.1 ผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัด โครเมียม เวลาที่เหมาะสมสำหรับต่อ ประสิทธิภาพการบำบัด พบว่าที่ 10 นาทีก็สามารถบำบัดได้สูงถึง 99.98%
- 5.1.2 สภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัด โครเมียมทั้งหมดในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 สามารถให้ผลการบำบัดได้สูงถึง 99.98%
- 5.1.3 ผลของการตกตะกอนของ โครเมียมไตรวาเลนต์ (Cr(III)) พบว่าเมื่อทำการปรับค่าพีเอช ให้เท่ากับ 9 สามารถให้ผลการบำบัดได้สูงถึง 99.96% ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2
- 5.1.4 ผลของค่าพีเอชสุดท้ายต่อประสิทธิภาพการกำจัด โครเมียม พบว่าการปรับพีเอชสุดท้าย ให้เท่ากับ 6, 7, 8, 10 และ 11 ได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน โดยที่พีเอชสุดท้ายเท่ากับ 6 ให้ ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 99.96%

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม

- 5.2.1 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่บำบัด ควรมีค่าที่เหมาะสมกับกระแสไฟฟ้า เพราะว่าถ้าใช้ กระแสมากเกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย
- 5.2.2 เมื่อทดลองเสร็จควรล้างขั้วอิเล็กโทรดให้สะอาด เพราะอาจมีโครเมียมเกาะอยู่ที่ผิวหน้า ของโลหะ ทำให้การทดลองครั้งถัดไปมีความเข้มข้นของโครเมียมมากขึ้น
- 5.3.3 ระหว่างการทดลองพบว่าเกิดก๊าซไฮโดรเจน ควรออกแบบระบบให้สามารถเก็บก๊าซไฮโดรเจน เพราะสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- อนวัช พินิจศักดิ์กุล. 2004.การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ COD โดยการบำบัดทางไฟฟ้าเคมี.ทุนวิจัยพระจอมเกล้าธนบุรี
- ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3. 2539.เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม
- พรชัยวรรณ ศรีนาท. 2552.การควบคุมมลพิษทางน้ำ.ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- APHA, AWWA, WPCF. 2005.**Standard methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Ed.**, American Public Health Association, Washington, DC.
- C. Barrera-Daz, M. Palomar-Pardav, M. Romero-Romo, S. Martnez. 2003. **Chemical and electrochemical considerations on the removal process of hexavalent chromium from aqueous media**, J. Appl. Electrochem. 33 ,61–71.
- D.W. Blowes et al.. 1997.**In-situ remediation of chromate contaminated groundwater using permeable reactive walls**. Environ.Sci.Technol. 31, 3348-3357
- G. Mouedhen et al.. 2009.**Electrochemical removal of Cr(VI) from aqueous media using iron and aluminum as electrode materials: Towards a better understanding of the involved phenomena**. Journal of Hazardous Materials 168, 983-991
- Ilona Heidmann, Wolfgang Calmano. 2007.**Removal of Cr (VI) from model wastewaters by electrocoagulation with Fe electrodes**.Separation and Purification Technology 61, 15–21
- I. Heidmann,W. Calmano. 2007.**Removal of Cr(VI) from model wastewaters by electrocoagulation with Fe electrodes**, Sep. Purif. Technol. 61 , 15–21.
- Inoussa Zongo . 2009.**Removal of hexavalent chromium from industrial wastewater by electrocoagulation: A comprehensive comparison of aluminium and iron electrode**.Journal of Hazardous Materials 66, 159-166
- J. Duan, J. Gregory. 2003.**Coagulation by hydrolysing metal salts**, Adv. Colloids Interf. Sci. 100–102 , 475–502.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Jie-Chung Lou and Chien-Kuei Chang. 2007. **Completely treating heavy metal laboratory waste liquid by an improved ferrite process.** Separation and Purification Technology 57, 513-518
- Jing-wei, Ya-bing, Zheng, Ji-biao, Shu and Yuan-chun. 2007. **Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation.** Journal of Environmental Science. pp.1409-1415.
- L.D. Benefield, J.F. Judkins, B.L. 1982. Weand, **Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment**, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- L.E. Eary et al. 1988. **Chromate removal from aqueous wastes by reduction with ferrous ion**, Environmental Science Technology, 22, 972-977
- M.A. Schlautman, I. Han. 2001. **Effects of pH and dissolved oxygen on the reduction of hexavalent chromium by dissolved ferrous iron in poorly buffered aqueous systems**, Water Res. 35 (2001) 1534–1546.
- M. Pourbaix. 1974. **Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution**, 2nd ed. Pergamon Press, Houston.
- P. Cañizares, F. Martnez, M. Carmona, J. Lobato, M.A. Rodrigo. 2005. **Continuous electrocoagulation of synthetic colloid-polluted wastes**, Ind. Eng. Chem. Res. 44, 8171–8177.
- P. Lakshminathiraj. 2008. **Removal of Cr(VI) by electrochemical reduction.** Separation and Purification Technology 60, 96-102
- S. Aber, A.R. Amani-Ghadim, V. Mirzajani. 2009. **Removal of Cr (VI) from polluted solutions by electrocoagulation: Modeling of experimental results using artificial neural network.** Journal of Hazardous Materials 171, 484–490
- T. Kiyak, M. KabasakaloKlu. 1999. **Anodic behavior of cathodically pretreated aluminum electrode**, Appl. Surf. Sci. 140 , 33–45.
- Violeta Lugo-Lugo et al.. 2010. **Cr(VI) reduction in wastewater using a bimetallic galvanic reactor.** Journal of Hazardous Materials 176, 418-425
- W.W. Eckenfelder. 1984. **Industrial Water Pollution Control**, McGraw-Hill Book Co..New York.
- [Online]. Available : <http://www.thaieditorial.com/tag/อันตรายจากโครเมียม>
- [Online]. Available : <http://www.th.wikipedia.org/wiki/โครเมียม>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[Online].Available : http://www.lks.ac.th/student/kroo_su/chem9/8_4.pdf

[Online].Available : http://www.healthdd.com/article/article_preview.php?id=44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
เครื่องมือ วิธีการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจลักษณะน้ำเสียทางเคมี

1.พีเอช (pH)

หลักการหาค่าพีเอชด้วยมาตรพีเอชทั่วไป

1. ใช้น้ำกลั่นชนิดล้างแท่งอิเล็กโทรดให้สะอาด จากนั้นใช้กระดาษชนิดเนื้อละเอียดซับน้ำให้แห้ง
2. ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานตามคู่มือของเครื่องพีเอช โดยจุ่มอิเล็กโทรดลงใน

สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ความเข้มข้น 3 โมล

3. ใช้น้ำกลั่นชนิดล้างอิเล็กโทรดอีกครั้ง แล้วซับน้ำให้แห้ง
4. วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ

หมายเหตุ : รายละเอียดนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว อ่านได้ในคู่มือประจำเครื่อง

2.สภาพนำไฟฟ้าจำเพาะ (Conductivity, K)

ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าของสาร ไม่ว่าจะเป็นของเหลว ของแข็งหรือก๊าซ ซึ่งในทางอุตสาหกรรมจะทำการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าในสารละลาย โดยไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของสาร จะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้า และความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าของสารยังขึ้นกับความเข้มข้นของสาร ค่า mobility ของไอออน จำนวนไอออนที่เป็นอิสระ และอุณหภูมิของสารละลาย

ก. การตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า

วิธีการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ง่ายที่สุด คือ การใช้แผ่นโลหะ 2 แผ่นซึ่งต่ออยู่กับแบตเตอรี่ จุ่มลงในสารละลายที่ประกอบไปด้วยไอออนบวกและไอออนลบ เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าแก่แผ่นโลหะหรืออิเล็กโทรดทั้งสอง ไอออนบวกในสารละลายจะวิ่งเข้าไปหาแผ่นโลหะที่ต่ออยู่กับขั้วลบของแบตเตอรี่ และไอออนลบก็จะวิ่งไปหาแผ่นที่ต่ออยู่กับขั้วบวก ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นภายในสารละลายระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง ค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าแปรผันตามกับค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังนั้นทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นก็จะทราบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย

ข. Conductivity Meter

อิเล็กโทรดหรือ Conductivity cell ที่ใช้ในการตรวจวัดนั้นมีหลายชนิดและแตกต่างกัน ทั้งแบบ 2 - pole cell, 3 - pole cell, 4 - pole cell, platinised cell และ flow - through cell ซึ่งเครื่องวัดโดยทั่วไปจะใช้ แบบ 2 - pole cell โดยหลักแล้วเครื่องวัดจะทำการวัดเฉพาะค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้าของสารละลายเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามยังมีผลกระทบจากค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิด polarization และผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งค่าความต้านทานนี้ก็จะถูกนำมาตรวจวัดด้วย สำหรับเซลล์แบบ 3 - pole cell มีข้อดีตรงที่ ขั้วที่ 1 และ ขั้วที่ 3 เชื่อมต่อกัน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาในเรื่องผลกระทบจากขนาดของบีกเกอร์ และตำแหน่งของเซลล์ในบีกเกอร์ ส่งผลดีต่อการตรวจวัดซ้ำ แต่เซลล์แบบนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน และได้ถูกแทนที่ด้วย 4 - pole cell ไปแล้ว ซึ่งเซลล์แบบ 4 - pole จะช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากการ polarization เนื่องจากพื้นที่ผิวของขั้วเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของกระแสลดลง และยังช่วยลดค่าความผิดพลาดจากการวัดและช่วยให้ค่าคงที่ของเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าคงที่ของเซลล์อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าเซลล์ที่ไม่ได้รับการเคลือบ ซึ่งออกแบบมาให้ใช้งานกับตัวอย่างที่ไม่มีความหนืดเท่านั้น และต้องการการสอบเทียบบ่อยครั้ง สำหรับ flow - through cell ถูกออกแบบมาสำหรับวัดตัวอย่างที่เป็นของไหลซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อย เช่น การควบคุมในกระบวนการทำน้ำบริสุทธิ์ ที่ต้องระวังสิ่งปนเปื้อนจากอากาศ เป็นต้น

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานโครเมียม

3.1 การเตรียมสารละลายสต็อก โครเมียม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.1.1 ปีเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 2.5 มิลลิลิตร

3.2.2 นำไปใส่ในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร

3.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานโครเมียม

3.2.1 ปีเปตสารละลายสต็อก โครเมียมจำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร จะได้สารมาตรฐานโครเมียมที่มีความเข้มข้น 4, 8, 12, 16 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.2 นำไปใส่ในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร

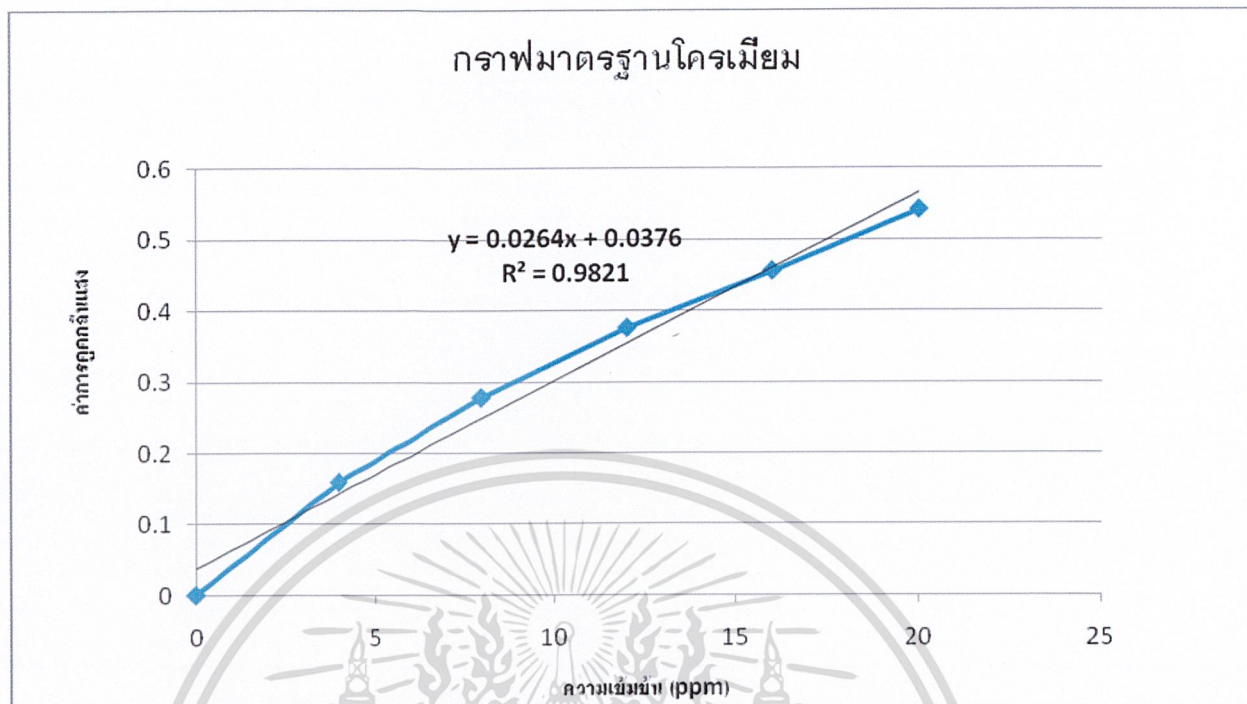
3.2.3 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
กราฟมาตรฐานของโครเมียมและผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐาน โครเมียม

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลของกราฟมาตรฐาน โครเมียม

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าดูดกลืนแสง
4	0.159
8	0.278
12	0.376
16	0.456
20	0.542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข 2 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการกำจัดโครเมียม

ตารางที่ ข 2-1 ผลการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)		ความเข้มข้น Total Cr (mg/l) ปรับพีเอช		ความเข้มข้นโครเมียม (mg/l) ไม่ปรับพีเอช		% Removal	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช
ครั้งที่ 1	10	2	1.95	30.4	31.2	590	727	50	0.525	50	60.38	98.95	-20.76
ครั้งที่ 2	10	2	2.27	29	29.3	732	664	50	0.064	50	54.3	99.872	-8.6
ครั้งที่ 3	10	2	2.29	30	31	538	564	50	0.062	50	49.2	99.876	1.6
เฉลี่ย	10	2	2.17	29.8	30.5	620	651.667	50	0.217	50	54.62667	99.566	-9.2533333
ครั้งที่ 1	20	1.95	2.42	31.2	32.3	727	578	0.525	0.144	60.38	72.6	72.57143	-20.23849
ครั้งที่ 2	20	2.27	2.84	29.3	29.8	664	497	0.064	0.131	54.3	82.7	-104.688	-52.302026
ครั้งที่ 3	20	2.29	2.88	31	32	564	489	0.062	0.064	49.2	66.06	-3.22581	-34.268293
เฉลี่ย	20	2.17	2.71333	30.5	31.3667	651.667	521.333	0.217	0.113	54.62667	73.78667	47.92627	-35.074445
ครั้งที่ 1	30	2.42	3.81	32.3	32.8	578	496	0.144	0.089	72.6	80.4	38.19444	-10.743802
ครั้งที่ 2	30	2.84	4.65	29.8	30.7	497	421	0.131	0	82.7	21.3	100	74.244256
ครั้งที่ 3	30	2.88	4.62	32	32.7	489	461	0.064	0.304	66.06	73.98	-375	-11.989101
เฉลี่ย	30	2.71333	4.36	31.3667	32.0667	521.333	459.333	0.113	0.131	73.78667	58.56	-15.9292	20.636068
ครั้งที่ 1	50	3.81	5.35	32.8	33.7	496	465	0.089	0.018	80.4	49.03	79.77528	39.017413
ครั้งที่ 2	50	4.65	5.35	30.7	32	421	448	0	0.019	21.3	0.009	0	99.957746
ครั้งที่ 3	50	4.62	5.33	32.7	34.8	461	446	0.304	0.013	73.98	28.37	95.72368	61.651798
เฉลี่ย	50	4.36	5.34333	32.0667	33.5	459.333	453	0.131	0.016667	58.56	25.803	87.27735	55.9375

ตารางที่ ข 2-2 ผลการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr		ความเข้มข้นโครเมียม		% Removal	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช
ครั้งที่ 1	10	3	8.4	29.5	31	496	419	50	0.102	50	0.581	99.796	98.838
ครั้งที่ 2	10	3	5.56	28.8	29.4	360	320	50	0.009	50	0.047	99.982	99.906
ครั้งที่ 3	10	3	10.52	29.4	30.7	346	406	50	0.111	50	0.068	99.778	99.864
เฉลี่ย	10	3	8.16	29.2333	30.3667	400.667	381.667	50	0.074	50	0.232	99.852	99.536
ครั้งที่ 1	20	8.4	10.71	31	31.9	419	335	0.102	0.152	0.581	0.243	-49.0196	58.175559
ครั้งที่ 2	20	5.56	10.32	29.4	30.5	320	404	0.009	0.112	0.047	0.009	-1144.44	80.851064
ครั้งที่ 3	20	10.52	10.87	30.7	31.6	406	367	0.111	0.055	0.068	0.103	50.45045	-51.470588
เฉลี่ย	20	8.16	10.6333	30.3667	31.3333	381.667	368.667	0.074	0.106333	0.232	0.118333	-43.6937	48.994253
ครั้งที่ 1	30	10.71	10.92	31.9	32.5	335	422	0.152	0.204	0.243	0.768	-34.2105	-216.04938
ครั้งที่ 2	30	10.32	10.75	30.5	31.4	404	353	0.112	0.048	0.009	0.005	57.14286	44.444444
ครั้งที่ 3	30	10.87	10.97	31.6	32.8	367	398	0.055	0.006	0.103	0.187	89.09091	-81.553398
เฉลี่ย	30	10.6333	10.88	31.3333	32.2333	368.667	391	0.106333	0.086	0.118333	0.32	19.12226	-170.42254
ครั้งที่ 1	50	10.92	11.15	32.5	35.2	422	530	0.204	0.404	0.768	0.518	-98.0392	32.552083
ครั้งที่ 2	50	10.75	11.03	31.4	33	353	414	0.048	0.062	0.005	0.017	-29.1667	-240
ครั้งที่ 3	50	10.97	11.11	32.8	35.1	398	276	0.006	0.03	0.187	0.022	-400	88.235294
เฉลี่ย	50	10.88	11.0967	32.2333	34.4333	391	406.667	0.086	0.165333	0.32	0.185667	-92.2481	41.979167

ตารางที่ ข-3 ผลการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr		ความเข้มข้นโครเมียม		% Removal	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช
ครั้งที่ 1	10	4	4.89	29	30.5	391	477	50	0.359	50	0.052	99.282	99.896
ครั้งที่ 2	10	4	10.98	29	30	308	423	50	0.12	50	0.017	99.76	99.966
ครั้งที่ 3	10	4	10.52	29.4	30.7	346	406	50	0.034	50	0.17	99.932	99.66
เฉลี่ย	10	4	8.79667	29.1333	30.4	348.333	435.333	50	0.171	50	0.079667	99.658	99.840667
ครั้งที่ 1	20	4.89	11.08	30.5	31.6	477	444	0.359	0.379	0.052	0.079	-5.57103	-51.923077
ครั้งที่ 2	20	10.98	11.03	30	30.9	423	339	0.12	0.133	0.017	0.055	-10.8333	-223.52941
ครั้งที่ 3	20	10.52	10.87	30.7	31.6	406	367	0.034	0.067	0.17	0.065	-97.0588	61.764706
เฉลี่ย	20	8.79667	10.9933	30.4	31.3667	435.333	383.333	0.171	0.193	0.079667	0.066333	-12.8655	16.736402
ครั้งที่ 1	30	11.08	10.96	31.6	32.5	444	436	0.379	0.226	0.079	0.111	40.36939	-40.506329
ครั้งที่ 2	30	11.03	11.23	30.9	31.6	339	338	0.133	0.095	0.055	0.094	28.57143	-70.909091
ครั้งที่ 3	30	10.87	10.97	31.6	32.8	367	398	0.067	0.209	0.065	0.062	-211.94	4.6153846
เฉลี่ย	30	10.9933	11.0533	31.3667	32.3	383.333	390.667	0.193	0.176667	0.066333	0.089	8.462867	-34.170854
ครั้งที่ 1	50	10.96	11.37	32.5	34.8	436	417	0.226	0.328	0.111	0.049	-45.1327	55.855856
ครั้งที่ 2	50	11.23	11.29	31.6	33.4	338	389	0.095	0.073	0.094	0.086	23.15789	8.5106383
ครั้งที่ 3	50	10.97	11.11	32.8	35.1	398	276	0.209	0.061	0.062	0.149	70.8134	-140.32258
เฉลี่ย	50	11.0533	11.2567	32.3	34.4333	390.667	360.667	0.176667	0.154	0.089	0.094667	12.83019	-6.3670412

ตารางที่ ข 2-4 ผลการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5

การทดลอง	เวลา (นาท)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr		ความเข้มข้นโครเมียม		% Removal	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช
ครั้งที่ 1	10	5	11.02	30.2	31.1	423	521	50	0.981	50	0.869	98.038	98.262
ครั้งที่ 2	10	5	10.96	29.1	29.8	329	442	50	0.95	50	0.88	98.1	98.24
ครั้งที่ 3	10	5	10.79	28.4	30	321	410	50	1.01	50	0.84	97.98	98.32
เฉลี่ย	10	5	10.9233	29.2333	30.3	357.667	457.667	50	0.980333	50	0.863	98.03933	98.274
ครั้งที่ 1	20	11.02	11.22	31.1	32.3	521	414	0.981	0.09	0.869	0.045	90.82569	94.821634
ครั้งที่ 2	20	10.96	11.06	29.8	30.5	442	388	0.95	0.085	0.88	0.176	91.05263	80
ครั้งที่ 3	20	10.79	10.91	30	30.9	410	403	1.01	0.126	0.84	0.089	87.52475	89.404762
เฉลี่ย	20	10.9233	11.0633	30.3	31.2333	457.667	401.667	0.980333	0.100333	0.863	0.103333	89.76539	88.026265
ครั้งที่ 1	30	11.22	11.33	32.3	32.8	414	470	0.039	0.049	0.045	0.01	-25.641	77.777778
ครั้งที่ 2	30	11.06	11.17	30.5	31.9	388	455	0.085	0.055	0.176	0.039	35.29412	77.840909
ครั้งที่ 3	30	10.91	11	30.9	31.7	403	363	0.126	0.063	0.089	0.038	50	57.303371
เฉลี่ย	30	11.0633	11.1667	31.2333	32.1333	401.667	429.333	0.083333	0.055667	0.103333	0.029	33.2	71.935484
ครั้งที่ 1	50	11.33	11.33	32.8	34.9	470	535	0.009	0.031	0.01	0.0087	-244.444	13
ครั้งที่ 2	50	11.17	11.29	31.9	33.7	455	450	0.015	0.038	0.019	0.007	-153.333	63.157895
ครั้งที่ 3	50	11	11.15	31.7	33.6	363	407	0.114	0.034	0.038	0.0098	70.17544	74.210526
เฉลี่ย	50	11.1667	11.2567	32.1333	34.0667	429.333	464	0.046	0.034333	0.022333	0.0085	25.36232	61.940299

ตารางที่ ข 2-5 ผลการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr		ความเข้มข้นโครเมียม		% Removal	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช
ครั้งที่ 1	10	6	11.55	29.3	30.8	241	385	50	0.52	50	0.197	98.96	99.606
ครั้งที่ 2	10	6	10.55	30.8	31.6	306	362	50	0.442	50	0.102	99.116	99.796
ครั้งที่ 3	10	6	10.63	30	31.6	328	434	50	0.64	50	0.018	98.72	99.964
เฉลี่ย	10	6	10.91	30.0333	31.3333	291.667	393.667	50	0.534	50	0.105667	98.932	99.788667
ครั้งที่ 1	20	11.55	11.38	30.8	31.7	385	389	0.52	0.14	0.197	0.02	73.07692	89.847716
ครั้งที่ 2	20	10.55	10.6	31.6	32.7	362	422	0.442	0.12	0.102	0.051	72.85068	50
ครั้งที่ 3	20	10.63	10.64	31.6	32.1	434	446	0.64	0.123	0.018	0.02	80.78125	-11.111111
เฉลี่ย	20	10.91	10.8733	31.3333	32.1667	393.667	419	0.534	0.127667	0.105667	0.030333	76.09238	71.293375
ครั้งที่ 1	30	11.38	11.36	31.7	32.5	389	393	0.14	0.003	0.02	0.062	97.85714	-210
ครั้งที่ 2	30	10.6	10.53	32.7	33	422	425	0.12	0.049	0.051	0.123	59.16667	-141.17647
ครั้งที่ 3	30	10.64	10.59	32.1	32.9	446	442	0.123	0.018	0.018	0.006	85.36585	66.666667
เฉลี่ย	30	10.8733	10.8267	32.1667	32.8	419	420	0.127667	0.023333	0.029667	0.063667	81.72324	-114.60674
ครั้งที่ 1	50	11.36	11.09	32.5	34.1	393	435	0.003	0.005	0.062	0.013	-66.6667	79.032258
ครั้งที่ 2	50	10.53	10.56	33	35.5	425	418	0.049	0.027	0.123	0.002	44.89796	98.373984
ครั้งที่ 3	50	10.59	10.56	32.9	34.6	442	449	0.018	0.02	0.018	0.017	-11.1111	5.5555556
เฉลี่ย	50	10.8267	10.7367	32.8	34.7333	420	434	0.023333	0.017333	0.067667	0.010667	25.71429	84.236453

ตารางที่ ข 2-6 ผลการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr		ความเข้มข้นโครเมียม		% Removal	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช
ครั้งที่ 1	10	7	11.18	30	31.3	312	387	50	0.011	50	0.043	99.978	99.914
ครั้งที่ 2	10	7	10.92	29.6	30.8	285	408	50	0.201	50	0.042	99.598	99.916
ครั้งที่ 3	10	7	10.61	30.3	32	347	438	50	0.056	50	0.052	99.888	99.896
เฉลี่ย	10	7	10.9033	29.9667	31.3667	314.667	411	50	0.089333	50	0.045667	99.82133	99.908667
ครั้งที่ 1	20	11.18	10.89	31.3	32.1	387	384	0.011	0.733	0.043	0.043	-6563.64	0
ครั้งที่ 2	20	10.92	10.85	31.8	31.8	408	427	0.201	0.041	0.042	0.048	79.60199	-14.285714
ครั้งที่ 3	20	10.61	10.57	32	33	438	444	0.056	0.019	0.052	0.846	66.07143	-1526.9231
เฉลี่ย	20	10.9033	10.77	31.7	32.3	411	418.333	0.089333	0.264333	0.045667	0.312333	-195.896	-583.94161
ครั้งที่ 1	30	10.89	10.81	32.1	32.8	384	403	0.733	0.092	0.043	0.05	87.44884	-16.27907
ครั้งที่ 2	30	10.85	10.82	32.4	32.4	427	444	0.041	0.072	0.048	0.034	-75.6098	29.166667
ครั้งที่ 3	30	10.57	10.65	33	33.6	444	399	0.019	0.217	0.846	0.455	-1042.11	46.217494
เฉลี่ย	30	10.77	10.76	32.5	32.9333	418.333	415.333	0.264333	0.127	0.312333	0.179667	51.9546	42.475987
ครั้งที่ 1	50	10.81	10.84	32.8	34.8	403	433	0.092	0.057	0.05	0.061	38.04348	-22
ครั้งที่ 2	50	10.82	10.77	33.9	33.9	444	466	0.072	0.207	0.034	0.061	-187.5	-79.411765
ครั้งที่ 3	50	10.65	10.64	33.6	35.4	399	431	0.217	0.041	0.455	0.123	81.10599	72.967033
เฉลี่ย	50	10.76	10.75	33.4333	34.7	415.333	443.333	0.127	0.101667	0.179667	0.081667	19.94751	54.545455

ตารางที่ ข 2-7 ผลการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr		ความเข้มข้นโครเมียม		% Removal	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช
ครั้งที่ 1	10	8	11	30.5	31.6	341	423	50	0.625	50	0.033	98.75	99.934
ครั้งที่ 2	10	8	10.61	30.1	31.4	368	428	50	0	50	0.199	100	99.602
ครั้งที่ 3	10	8	10.72	30.8	31.9	373	431	50	0.012	50	0.334	99.976	99.332
เฉลี่ย	10	8	10.7767	30.4667	31.6333	360.667	427.333	50	0.212333	50	0.188667	99.57533	99.622667
ครั้งที่ 1	20	11	10.96	31.6	32.4	423	404	0.625	0.049	0.033	0.059	92.16	-78.787879
ครั้งที่ 2	20	10.61	10.65	31.4	32.1	428	436	0	0.017	0.199	0.261	0	-31.155779
ครั้งที่ 3	20	10.72	10.63	31.9	32.7	431	432	0.012	0.028	0.334	0.002	-133.333	99.401198
เฉลี่ย	20	10.7767	10.7467	31.6333	32.4	427.333	424	0.212333	0.031333	0.188667	0.107333	85.24333	43.109541
ครั้งที่ 1	30	10.96	10.85	32.4	33.2	404	438	0.049	0.057	0.059	0.883	-16.3265	-1396.6102
ครั้งที่ 2	30	10.65	10.56	32.1	33.3	436	438	0.017	0.027	0.261	0.082	-58.8235	68.582375
ครั้งที่ 3	30	10.63	10.61	32.7	33.3	432	419	0.028	0.007	0.002	0.036	75	-1700
เฉลี่ย	30	10.7467	10.6733	32.4	33.2667	424	431.667	0.031333	0.030333	0.107333	0.333667	3.191489	-210.86957
ครั้งที่ 1	50	10.85	11.05	33.2	35	438	451	0.057	0.132	0.883	0.149	-131.579	83.125708
ครั้งที่ 2	50	10.56	10.59	33.3	34.9	438	435	0.027	0.011	0.082	0.03	59.25926	63.414634
ครั้งที่ 3	50	10.61	10.58	33.3	34.8	419	452	0.007	0.014	0.036	0.009	-100	75
เฉลี่ย	50	10.6733	10.74	33.2667	34.9	431.667	446	0.030333	0.052333	0.333667	0.062667	-72.5275	81.218781

ข 3 ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลาย blank

ตารางที่ ข 3-1 ผลการกำจัดโครเมียมใน blank ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้นโครเมียม		ความเข้มข้นโครเมียม		% Removal	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช
ครั้งที่ 1	10	2	2.25	30.8	31.4	659	848	50	0.471	50	75.57	99.058	-51.14
ครั้งที่ 2	10	2	2.31	29.8	31.1	662	836	50	0.433	50	69.53	99.134	-39.06
ครั้งที่ 3	10	2	2.23	30.4	31.6	650	840	50	0.517	50	71.9	98.966	-43.8
เฉลี่ย	10	2	2.263333	30.33333	31.36667	657	841.3333	50	0.4736667	50	72.333333	99.05267	-44.666667
ครั้งที่ 1	20	2.25	2.33	31.4	32.1	848	817	0.471	0.212	75.57	118.6	54.98938	-56.940585
ครั้งที่ 2	20	2.31	2.38	31.1	32.4	836	815	0.433	0.205	69.53	108	52.65589	-55.328635
ครั้งที่ 3	20	2.23	2.4	31.6	31.9	840	821	0.517	0.264	71.9	115.98	48.93617	-61.307371
เฉลี่ย	20	2.263333	2.37	31.36667	32.13333	841.3333	817.6667	0.4736667	0.227	72.333333	114.19333	52.076	-57.870968
ครั้งที่ 1	30	2.33	2.6	32.1	33.2	817	720	0.212	0.078	118.6	136.8	63.20755	-15.3457
ครั้งที่ 2	30	2.38	2.54	32.4	33.2	815	745	0.205	0.095	108	129.74	53.65854	-20.12963
ครั้งที่ 3	30	2.4	2.6	31.9	32.8	821	735	0.264	0.145	115.98	139.2	45.07576	-20.020693
เฉลี่ย	30	2.37	2.58	32.13333	33.06667	817.6667	733.3333	0.227	0.106	114.19333	135.24667	53.30396	-18.43657
ครั้งที่ 1	50	2.6	4.66	33.2	34.2	720	490	0.078	0.007	136.8	156	91.02564	-14.035088
ครั้งที่ 2	50	2.54	4.87	33.2	33.9	745	512	0.095	0.014	129.74	152.04	85.26316	-17.188223
ครั้งที่ 3	50	2.6	4.2	32.8	34.5	735	501	0.145	0.032	139.2	160.14	77.93103	-15.043103
เฉลี่ย	50	2.58	4.576667	33.06667	34.2	733.3333	501	0.106	0.0176667	135.24667	156.06	83.33333	-15.389165

ข 4 ผลของพีเอชสุดท้ายต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม

ตารางที่ ข 4-1 ผลของพีเอชสุดท้าย (พีเอช 6)

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
ครั้งที่ 1	10	2	2.04	30.6	31.5	703	865	50	0.0173
ครั้งที่ 2	10	2	2.05	31.2	31.8	960	911	50	0.1678
ครั้งที่ 3	10	2	2.32	31.1	31.7	951	889	50	0.0856
เฉลี่ย	10	2	2.1366667	30.9666667	31.6666667	871.333333	888.333333	50	0.090233

ตารางที่ ข 4-2 ผลของพีเอชสุดท้าย (พีเอช 7)

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
ครั้งที่ 1	10	2	2.04	30.6	31.5	703	865	50	0.1396
ครั้งที่ 2	10	2	2.05	31.2	31.8	960	911	50	0.075
ครั้งที่ 3	10	2	2.32	31.1	31.7	951	889	50	0.0953
เฉลี่ย	10	2	2.1366667	30.9666667	31.6666667	871.333333	888.333333	50	0.1033

ตารางที่ ข 4-3 ผลของพีเอชสุดท้าย (พีเอช 8)

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
ครั้งที่ 1	10	2	2.04	30.6	31.5	703	865	50	0.065
ครั้งที่ 2	10	2	2.05	31.2	31.8	960	911	50	0.0526
ครั้งที่ 3	10	2	2.32	31.1	31.7	951	889	50	0.0853
เฉลี่ย	10	2	2.1366667	30.966667	31.666667	871.33333	888.33333	50	0.067633

ตารางที่ ข 4-4 ผลของพีเอชสุดท้าย (พีเอช 10)

การทดลอง	เวลา (นาที)	pH		อุณหภูมิ (°C)		ค่าการนำไฟฟ้า		ความเข้มข้น Total Cr	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
ครั้งที่ 1	10	2	2.04	30.6	31.5	703	865	50	0.2093
ครั้งที่ 2	10	2	2.05	31.2	31.8	960	911	50	0.089
ครั้งที่ 3	10	2	2.32	31.1	31.7	951	889	50	0.035
เฉลี่ย	10	2	2.1366667	30.966667	31.666667	871.33333	888.33333	50	0.1111



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกำจัด (% Removal)

ต้องการหาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสีย (% Removal) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{สูตรการคำนวณ \% Removal} = \left(\frac{C_0 - C_1}{C_0} \right) \times 100$$

โดย C_0 = ความเข้มข้นของโครเมียมก่อนการกำจัด

C_1 = ความเข้มข้นของโครเมียมหลังการกำจัด

ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ pH เท่ากับ 2

เมื่อ ปรับพีเอชตัวอย่างน้ำเสียให้มีค่าเท่ากับ 9

ความเข้มข้นของโครเมียมก่อนการบำบัด = 50 mg/l

ความเข้มข้นของโครเมียมหลังการบำบัด = 0.1666 mg/l

เพราะฉะนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม = $[(50 - 0.1666) / 50] * 100\%$
= 99.96%

เมื่อ ไม่ปรับพีเอชตัวอย่างน้ำเสีย

ความเข้มข้นของโครเมียมก่อนการบำบัด = 50 mg/l

ความเข้มข้นของโครเมียมหลังการบำบัด = 0.0085 mg/l

เพราะฉะนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม = $[(50 - 0.0085) / 50] * 100\%$
= 99.983%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
คุณลักษณะของหนังสือที่ระบายนอกจากโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าที่ติเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	<ul style="list-style-type: none"> ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเล ค่าที่ติเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่ติเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล. 	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 -105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภท ของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหา น้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4- Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือ กำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกันแล้วแต่ ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภท ของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal) 16.1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
16.2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
16.3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	
16.4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
16.5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
16.6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
16.7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
16.8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
16.9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
16.10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ICP
16.11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
16.12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	- Atomic Absorption Cold Vapour Technique

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539

เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้