

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบำบัดโครเมียมด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชันแบบต่อเนื่องสำหรับ
น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19 แอมแปร์

**REMOVAL OF CHROMIUM BY CONTINUOUS
ELECTROCOAGULATION FOR TREATMENT OF TANNERY
WASTEWATER AT HIGH CURRENT OF 19 AMPERES**



T117313



เลขทะเบียน **117313**
วันเดือนปี **20 ก.ค. 2554**

b. **12338527**
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2553
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**REMOVAL OF CHROMIUM BY CONTINUOUS
ELECTROCOAGULATION FOR TREATMENT OF TANNERY
WASTEWATER AT HIGH CURRENT OF 19 AMPERES**



**MISS KALYAKORN CHAROENKUL
MR CHAIYAKORN PIYANUKOON
MISS PIMLADA JUMRUSSANG**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN
ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2010
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

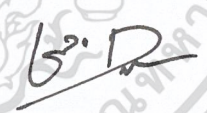
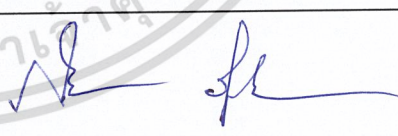
หัวข้อโครงการพิเศษ การบำบัดโครเมียมด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชันแบบต่อเนื่อง สำหรับ
น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19
แอมแปร์

Removal of Chromium by Continuous Electrocoagulation for Treatment
of Tannery Wastewater at High Current of 19 Amperes

ชื่อนักศึกษา นางสาวกัลยกร เจริญกุล 50050420
นายชัยกร ปิยะนุกูล 50050436
นางสาวพิมลดา จำรัสแสง 50050476

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พรธรรณ ศรีนาค

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร	
ผศ.พรธรรณ ศรีนาค	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่เปิดเผยแบบลงเนื้อหา และต้องอยู่ใต้อาณัติของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การบำบัดโครเมียมด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอคทิวเลชันแบบต่อเนื่อง สำหรับ
น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19
แอมแปร์

ชื่อนักศึกษา นางสาวกัลยกร เจริญกุล 50050420
นายชัชกร ปิยะนุกูล 50050436
นางสาวพิมลดา จำรัสแสง 50050476

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พรชัยวรรณ ศรีนาค

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการบำบัดโครเมียมจากน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกหนัง ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอคทิวเลชันแบบต่อเนื่องโดยใช้แผ่นอลูมิเนียม เป็นขั้วอิเล็กโทรด ทำการต่อแบบขนาน ที่มีกระแสสูง 19 แอมแปร์ ขึ้นแรก ทำการเดินระบบแบบครั้งเดียวเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับวิธีอิเล็กโทรโคแอคทิวเลชันแบบต่อเนื่อง ผลการศึกษาขั้นแรก พบว่า พีเอช 8 และ พีเอช 6 ที่ระยะเวลา 60 นาที สามารถกำจัดโครเมียม จากความเข้มข้นเริ่มต้น 7,148.9 พีพีเอ็ม เหลือ 0.67 และ 1.55 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ที่พีเอช 6 การเดินระบบด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอคทิวเลชันแบบต่อเนื่อง เป็นการลดค่าการกำจัดโครเมียม โดยการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียที่เป็นกรด ที่ระบบอิเล็กโทรโคแอคทิวเลชันแบบต่อเนื่อง กำหนดค่าเอชอาร์ 20 นาที สามารถกำจัดโครเมียมได้ 88.55 % และ 99.06% (44.83 พีพีเอ็ม) ที่สถานะคงที่ ที่ 60 นาที และกำจัดโครเมียมได้ 99.93% (0.39 พีพีเอ็ม) เมื่อ ทำการเดินระบบวิธีอิเล็กโทรโคแอคทิวเลชันแบบต่อเนื่อง สองขั้น

คำสำคัญ : กระบวนการอิเล็กโทรโคแอคทิวเลชันแบบต่อเนื่อง, โครเมียม, น้ำเสียโรงงานฟอกหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Removal of Chromium by Continuous Electrocoagulation for Treatment of Tannery Wastewater at High Current 19 Amperes
Students	Mr. Chaiyakorn Piyanukul Ms. Kalyakorn Choroenkul Ms. Pimlada Jumrussang
Degree	Bachelor of Science
Major	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2010
Advisor	Asst. Prof. Passawan Srinak

ABSTRACT

This special project studied treatment of chromium from chrombath wastewater in tannery industry by continuous flow electrocoagulation (CFEC) using four plate aluminum parallel electrodes at current of 19 ampere. First step, the batch treatments were carried to find good conditions for CFEC. The results showed that at initial pH 8 and pH 6, treatment time for 60 minutes could reduce Chromium from initial concentration of 7,148.9 ppm to 0.67 and 1.55 ppm respectively. At pH 6 was shown for CFEC to reduce chemical cost for pH adjustment of acidic wastewater (pH). The CFEC system was run at HRT 20 minutes which Chromium was removed 88.55%. The CFEC system reduced chromium 99.06% (44.83 ppm) in steady state of 60 minutes and could reduce chromium to 99.93% (0.39 ppm) when combine with secondary stage EC.

Keywords: Continuous Flow Electrocoagulation, CFEC, Chromium, Tannery Wastewater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.พรพรพรรณ ศรีนาค ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการ โครงการพิเศษนี้อย่างใกล้ชิดตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการดำเนินการโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพรที่กรุณาเสนอแนะและแก้ไขเพิ่มเติมโครงการพิเศษนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกเหนือจากบุคคลที่กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กัลยกร เจริญกุล

ชัยกร ปิยะนุกูล

พิมลดา จำรัสแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระบวนการผลิตหนังฟอก	4
2.1.1 การเตรียมหนังก่อนฟอก (Beamhouse Process)	4
2.1.2 การฟอก (Tanning Process)	5
2.1.3 การฟอกซั้วย้อมสีให้น้ำมันและการตกแต่งหนัง	5
2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง	6
2.3 แหล่งกำเนิดของเสียจากกระบวนการฟอกหนัง	6
2.3.1 ขั้นตอนการเก็บรักษาหนัง	6
2.3.2 ขั้นตอนการล้างและแช่หนัง	7
2.3.3 ขั้นตอนการแช่น้ำปูนและกัดขน	7
2.3.4 ขั้นตอนการชุดฟั่งฟีด (Fleshing) และการผ่าแยกชั้น (Splitting)	7
2.3.5 ขั้นตอนการล้างปูนของหนังส่วนล่าง (Delimiting of Splittings)	8
2.3.6 ขั้นตอนการล้างทำลายฤทธิ์ปูนและการบ่มหนัง (Pelt Delimiting and Bating)	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.7 ขั้นตอนการดองกรดและการฟอกโครม (Pickling and Chrome Tanning)	9
2.3.8 ขั้นตอนการรีดน้ำและการเจียรหนัง (Sammying and Shaving)	9
2.3.9 การปรับสภาพการฟอกซ้ำและการย้อมสีสำหรับหนังฟอกโครม (Neutralization, Retanning, Dyeing and Fat Liquoring)	9
2.3.10 ขั้นตอนการฟอกผาด	10
2.4 องค์ประกอบของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง	11
2.5 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโครเมียม	11
2.5.1 อันตรายของโครเมียม	12
2.5.2 วิธีการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย	12
2.6 การแลกเปลี่ยนประจุและการเคลื่อนที่ของประจุ	16
2.7 กระบวนการรวมตะกอน (Coagulation)	17
2.7.1 การสร้างตะกอนรวมทางเคมี (Chemical Coagulation and Flocculation)	17
2.7.2 การทำให้โคลลอยด์เสียเสถียรภาพ (Destabilize)	17
2.8 การรวมตะกอนทางไฟฟ้า (Electro-Coagulation)	19
2.8.1 กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Process)	19
2.8.2 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น	20
2.8.3 กฎฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซิส (Faradays's Law of Electrolysis)	21
2.8.4 ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จริงในทางปฏิบัติ	22
2.8.5 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน	23
2.8.6 รูปแบบของถังปฏิกรณ์อิเล็กโทรโคแอกกูเลชันที่มีอยู่ในปัจจุบัน	29
2.8.7 การเดินระบบ	35
2.8.8 หลักการในการออกแบบระบบตกตะกอนด้วยไฟฟ้า-เคมี	36
2.8.9 ข้อดีและข้อเสียของระบบตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี	37
2.8.10 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบระหว่าง วิธีโคแอกกูเลชัน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองตามกฎหมาย การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
และ อิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน 38
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	40
3.1 อุปกรณ์ และสารเคมี	40
3.1.1 อุปกรณ์	40
3.1.2 สารเคมี	40
3.2 การเตรียมการทดลอง	41
3.2.1 การเตรียมชุดการทดลอง	41
3.2.2 ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังที่ใช้ในการทดลอง	41
3.3 การดำเนินการทดลอง	41
3.3.1 ศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้น 4, 6 และ 8 ต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม	41
3.3.2 ศึกษาผลของการควบคุมพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม	42
3.3.3 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากระบบแบบครั้งเดียว	42
บทที่ 4 ผลการวิจัย และอภิปรายผล	43
4.1 การศึกษาผลของพีเอช ต่อการบำบัด โครเมียมในน้ำเสียในการเดินระบบแบบครั้งเดียว	43
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชเทียบกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์	43
4.1.2 ผลของเวลา	47
4.1.3 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัด โครเมียมที่เวลา 0 นาที	49
4.2 เปรียบเทียบผลของพีเอชเริ่มต้น กับผลของการควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม	51
4.2.1 ผลของเวลา	51
4.2.2 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 การบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง (2 Stages) ที่เวลา 60 นาที, HRT = 20 นาที	54
4.3.1 ผลของเวลา	54
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงพีเอช	56
4.3.3 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่องแบบสองขั้น (2 Stages)	58
บทที่ 5 สรุปผลวิจัย และข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก ก	65
ภาคผนวก ข	70
ภาคผนวก ค	79
ภาคผนวก ง	84
ภาคผนวก จ	89
ภาคผนวก ฉ	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ปฏิกิริยาเคมีต่างๆที่เกิดขึ้นในการบำบัดโครเมียม	14
ตารางที่ 2.2	ปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ในการบำบัดโครเมียม 1 mg/L (ตามทฤษฎี)	15
ตารางที่ 2.3	การใช้ค่า S/V Ratio ในอุตสาหกรรม	28
ตารางที่ 2.4	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียระหว่างวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันและวิธีโคแอกกูเลชัน	38
ตารางที่ ข-1	ข้อมูลของโครเมียม	69
ตารางที่ ข-2	ผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอชโดยใช้กระแส 19 แอมแปร์ ที่พีเอชเริ่มต้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เท่ากับ 4	70
ตารางที่ ข-3	ผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอชโดยใช้กระแส 19 แอมแปร์ ที่พีเอชเริ่มต้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เท่ากับ 6	71
ตารางที่ ข-4	ผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอชโดยใช้กระแส 19 แอมแปร์ ที่พีเอชเริ่มต้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เท่ากับ 8	72
ตารางที่ ข-5	ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 4 (Batch Operation)	73
ตารางที่ ข-6	ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 (Batch Operation)	73
ตารางที่ ข-7	ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 8 (Batch Operation)	74
ตารางที่ ข-8	ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการควบคุมพีเอชของน้ำเสียให้คงที่เท่ากับ 4 (Batch Operation)	74
ตารางที่ ข-9	ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการควบคุมพีเอชของน้ำเสียให้คงที่เท่ากับ 6 (Batch Operation)	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข-10 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการควบคุมพีเอชของน้ำเสียให้คงที่เท่ากับ 8 (Batch Operation)	75
ตารางที่ ข-11 เปรียบเทียบผลของพีเอชเริ่มต้นกับผลของพีเอช (พีเอชเริ่มต้น ± 0.5) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม (ppm)	76
ตารางที่ ข-12 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 (Continuous Operation) Stage 1	76
ตารางที่ ข-13 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 (Continuous Operation) Stage 2	77
ตารางที่ ค-1 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 4, 6 และ 8 (Batch Operation)	81
ตารางที่ ค-2 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชคงที่ของน้ำเสียเท่ากับ 4, 6 และ 8 (Batch Operation)	82
ตารางที่ ค-3 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชคงที่ของน้ำเสียเท่ากับ 6 (Continuous Operation) Stage 1	83
ตารางที่ ค-4 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชคงที่ของน้ำเสียเท่ากับ 6 (Continuous Operation) Stage 2	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	ของเสียจากขั้นตอนการแช่น้ำปูนและกักขุ่น	7
รูปที่ 2.2	เสียจากขั้นตอนการล้างปูนของหนังชั้นล่าง	8
รูปที่ 2.3	แก๊สและน้ำเสียจากการล้างฤทธิ์ปูน	8
รูปที่ 2.4	น้ำเสียจากการปรับสภาพเป็นกลางการฟอกฆ่าให้น้ำมันและการย้อมสี	10
รูปที่ 2.5	บทบาทของพีเอชที่มีต่อการสร้างตะกอนแข็งของโครเมียม (Cr^{3+})	13
รูปที่ 2.6	คุณสมบัติและรูปแบบของโครเมียม (Cr^{3+}) ที่ละลายน้ำ	13
รูปที่ 2.7	กระบวนการไฟฟ้าเคมี	20
รูปที่ 2.8	การจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบโมโนโพลาร์เซลล์เดียว	25
รูปที่ 2.9	การจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบโมโนโพลาร์แบบต่ออนุกรม	26
รูปที่ 2.10	การจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบโมโนโพลาร์แบบต่อขนาน	26
รูปที่ 2.11	การจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบไบโพลาร์แบบต่อขนาน	27
รูปที่ 2.12	รูปทรงของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้าของบริษัท Oil Trap Environmental	29
รูปที่ 2.13	รูปทรงของระบบบำบัดของ Johnson, Denis E.J.	30
รูปที่ 2.14	ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้าของบริษัท A Plus Team (Lab Scale)	31
รูปที่ 2.15	ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้าของบริษัท A plus Team	31
รูปที่ 2.16	ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้าของบริษัท A Plus Team (Industrial Scale)	32
รูปที่ 2.17	ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้าของบริษัท GlobalStep Corporation	33
รูปที่ 2.18	ลักษณะของถังปฏิกรณ์ของบริษัท Powell Water Systems	34
รูปที่ 2.19	ลักษณะการบำบัดน้ำแบบ Continuous Flow	35
รูปที่ 2.20	ถังปฏิกรณ์ (ก) น้ำไหลตามแนวนอน และ (ข) น้ำไหลตามแนวตั้ง	35
รูปที่ 2.21	ตัวอย่างเครื่องรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่างๆ	36
รูปที่ 4.1	การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)	44
รูปที่ 4.2	การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย เมื่อควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) เทียบกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)	46
รูปที่ 4.3	ความเข้มข้นของโครเมียมที่เวลาต่างๆกัน ในสภาวะพีเอชเริ่มต้น 4, 6 และ 8	47
รูปที่ 4.4	ความเข้มข้นของโครเมียมที่เวลาต่างๆกัน ในสภาวะพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) 4, 6 และ 8	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการตกตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ หลังจากปรับพีเอชเริ่มต้น ที่เวลา 0 นาที	49
รูปที่ 4.6 ผลของพีเอชเริ่มต้น เมื่อควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ต่อการตกตะกอน ของโครเมียมไฮดรอกไซด์ หลังจากปรับพีเอชเริ่มต้น ที่เวลา 0 นาที	50
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลของเวลาต่อร้อยละของโครเมียมคงเหลือ ระหว่างการปรับ พีเอชเริ่มต้น กับการควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ที่ 4, 6 และ 8	52
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม ระหว่างการปรับพีเอชเริ่มต้น กับการควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ที่ 4, 6 และ 8	53
รูปที่ 4.9 ผลของเวลาในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน แบบต่อเนื่อง (Stage 1) ที่เวลา 60 นาที, HRT = 20 นาที	54
รูปที่ 4.10 ผลของเวลาในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน แบบต่อเนื่อง (Stage 2) ที่เวลา 30 นาที, HRT = 20 นาที	55
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงพีเอชในระบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง (Stage 1), HRT = 20 นาที	57
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงพีเอชในระบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง (Stage 2), HRT = 20 นาที	57
รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน แบบต่อเนื่อง (Stage 1) ที่เวลา 60 นาที, HRT = 20 นาที	58
รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน แบบต่อเนื่อง (Stage 2) ที่เวลา 30 นาที, HRT = 20 นาที	59
รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานของโครเมียม	71
รูปที่ ข-2 ลักษณะสัณฐานที่ได้จากการบำบัดโครเมียมด้วยอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน	77
รูปที่ ข-3 ลักษณะชั้นตะกอนที่ได้จากการบำบัดโครเมียมด้วยอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน	78
รูปที่ ง-1 การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB ที่ พีเอช 4	85
รูปที่ ง-2 การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB ที่ พีเอช 6	86
รูปที่ ง-3 การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB ที่ พีเอช 8	87
รูปที่ ง-4 การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB ที่ พีเอช 6	88
รูปที่ จ-1 วงจรสมมูลทางไฟฟ้า	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ จ-2	วงจรถริง	90
รูปที่ จ-3	การต่อวงจรถริงในการทดลองระบบแบบครั้งเดียว (Batch Operation)	91
รูปที่ จ-4	การต่อวงจรถริงในการทดลองระบบต่อเนื่อง (Continuous Operation)	91



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังเกิดขึ้นมากมายในประเทศไทยจึงทำให้เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักเป็นปริมาณมากซึ่งอุตสาหกรรมฟอกหนังถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการใช้สารเคมี และมีการนำโลหะหนักมาใช้ในกระบวนการผลิต โดยกระบวนการฟอกหนังประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมหนังก่อนฟอก ขั้นตอนการฟอก และขั้นตอนการฟอกซ้ำ (TDRI, 2540) ซึ่งในกระบวนการฟอกหนังนั้น มีการใช้เบสิกโครเมียมซัลเฟตในกระบวนการฟอก โดยเบสิกโครเมียมซัลเฟตประมาณ 70% จะถูกตรึงโดยหนังและอีก 30% จะถูกปล่อยออกมาพร้อมกับน้ำเสีย จากกระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดปัญหาโครเมียมปนเปื้อนมากับน้ำเสีย ซึ่งโครเมียมจัดเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษ โดยเป็นสารก่อมะเร็งและทำให้เกิดการกลายพันธุ์ในสิ่งมีชีวิตนอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ทำลายตับและทำให้ผิวหนังเกิดการระคายเคืองอีกด้วย ดังนั้นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจึงมีความจำเป็นต้องบำบัดโครเมียมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำยอมให้มีปริมาณโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร และมีปริมาณโครเมียม (III) ในน้ำทิ้งไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัม/ลิตร

ปัจจุบันวิธีการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังที่มีการปนเปื้อนโครเมียมมีด้วยกันหลายวิธีเช่น กระบวนการโฟโตรีดักชันโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) (สุกฤษณ์ และคณะ, 2544) กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟลอคกูเลชัน (Dosta et al., 2007) ซึ่งวิธีการบำบัดเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง มีปัญหาการใช้สารเคมีและปัญหาในการบำบัดสลัดจ์ของโลหะ (Metal Sludge) ซึ่งทางเลือกในการบำบัดโครเมียมอีกทางหนึ่งคือการใช้กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้สารเคมีในการรวมตะกอน ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูง กลุ่มของตะกอน (Floc) มีรูปร่างลักษณะคล้ายกับกลุ่มของตะกอนที่ผ่านการรวมตะกอนด้วยสารเคมีแต่กลุ่มตะกอนก่อนจากกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันจะมีรูปร่างใหญ่กว่า อดน้ำน้อยกว่าทนต่อกรดและเสถียรมากกว่า สามารถบำบัดตะกอนออกจากสารละลายด้วยการกรองได้รวดเร็วกว่า (Guohua, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน โดยใช้กระแสไฟฟ้าสูงจะให้ผลการบำบัดดีกว่าที่กระแสไฟฟ้าต่ำ (วิชิตาและคณะ, 2552) และพบว่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมน้ำเสียฟอกหนัง โดยเมื่อทำการเดินระบบจะทำให้พีเอชมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน โดยใช้อิเล็กโทรดที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม ทำการทดลองโดยต่อแบบขนานที่กระแส 19 แอมแปร์ ทำการเดินระบบแบบครั้งเดียว (Batch Operation) ซึ่งจะทำให้การปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้น และทำการควบคุมพีเอชในการเดินระบบให้อยู่ในช่วงเกือบคงที่ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Operation) ในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการควบคุมพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมออกจากน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในการเดินระบบแบบต่อเนื่องในการบำบัดโครเมียมจากอ่างฟอกโครมด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 เตรียมชุดการทดลองโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมขนาด 145 mm x 87 mm x 2mm เป็นอิเล็กโทรดและต่อแบบขนานกับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
- 1.3.2 ศึกษาผลของพีเอชที่ 4, 6 และ 8 ต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม โดยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันเพื่อนำไปใช้ในการปรับพีเอชเริ่มต้นในการเดินระบบแบบต่อเนื่อง
- 1.3.3 ทำการควบคุมพีเอช โดยการปรับพีเอชให้เท่ากับพีเอชเริ่มต้นทุก ๆ 10 นาทีหลังจากทำการเดินระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับพัฒนาถึงปฏิกรณ์ระบบอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพสูง
- 1.4.2 ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดโครเมียมจากอ่างฟอกโครมด้วยกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์
- 1.4.3 สามารถนำน้ำที่ได้จากการบำบัดมาใช้ในการหมุนเวียนในระบบโรงงานอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตหนังฟอก (ศรชัย.2539; TDRI. 2540)

การฟอกหนังคือการเปลี่ยนสภาพหนังสัตว์ดิบซึ่งเน่าเปื่อยได้ไปเป็นหนังสำเร็จ ซึ่งคงตัวว่าไม่เน่าเปื่อยมีความทนทานต่อสภาพอากาศและน้ำร้อน โดยปกติหนังสัตว์ดิบจะประกอบด้วยขนหนังกำพร้าหนังแท้และพังศืดเฉพาะส่วนหนังแท้จะประกอบด้วยคอลลาเจน โปรตีนเป็นส่วนใหญ่ การรักษาสภาพหนังแท้ไม่ให้น่าเปื่อยโดยจะอาศัยสารเคมีได้แก่โครเมียมฟอสเฟตหรือสารเคมีอื่นเข้าไปทำปฏิกิริยากับคอลลาเจนโปรตีนในหนัง

การผลิตหนังฟอกประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ

1. การเตรียมหนังก่อนฟอก (Beamhouse Process)
2. การฟอก (Tanning Process)
3. การฟอกซ้ำย้อมสีให้น้ำมันและการตกแต่งหนัง (Finishing Process)

2.1.1 การเตรียมหนังก่อนฟอก (Beamhouse Process)

การเตรียมหนังก่อนฟอกเป็นการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการเช่นขนเศษหนังกิบเท้า ฯลฯ ออกจากหนังดิบและเตรียมหนังดิบให้พร้อมจะฟอกมีการแช่น้ำปูนกัดขนออกด้วยซัลไฟด์ซูดฟิงศ์ดีดแล่น้ำล้างน้ำปูนและบ่มหนัง

ขั้นตอนนี้เริ่มจากการนำหนังดิบคองเกลือมาเคาะเอาเกลือออกต่อจากนั้นหนังทั้งหมดจะถูกนำไปใส่ลงในถังหมุนซึ่งมีน้ำเต็มมีการเติมสบูโซเดียมซัลไฟด์และปูนขาวซึ่งจะทำปฏิกิริยากับขนหนังกำพร้าและพังศืดซึ่งอยู่ภายนอกทำให้เกลือเฉพาะหนังแท้หนังจะนุ่มขึ้นพองขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้น หนังที่ผ่านการแช่ปูนแล้วจะนำมาซูดฟิงศ์ดีดจากนั้นจะนำหนังไปเข้าเครื่องผ่าแบ่งเป็นหนังสามชั้นหนังสองชั้นบนนี้จะนำไปฟอกโครมส่วนหนังชั้นล่างอาจฟอกหรือไม่ก็ได้ โดยนำไปล้างทำลายฤทธิ์ปูนก่อนนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์เลี้ยงของสุนัข

สำหรับหนังที่จะนำไปฟอกต้องล้างทำลายฤทธิ์ปูนด้วยเกลือแอมโมเนียมและกรดกำมะถันเจือจางมีการเติมเอนไซม์หรือด่างลงไปเพื่อลดการโป่งพองของหนังย่อยเส้นใยให้หนังเรียบและช่วยให้หนังมีคุณภาพดีขึ้นหลังจากบ่มหนังได้ที่แล้วนำหนังมาล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดสีขาวของปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การฟอก (Tanning Process)

การฟอกหนังที่นิยมใช้มีสองวิธีคือการฟอกโครมซึ่งต้องใช้โครเมียมและการฟอกฟาด ใช้แทนนินหรือสารสังเคราะห์เป็นตัวฟอกซึ่งการฟอกโครมเป็นที่นิยมมากกว่าเพราะใช้เวลา น้อยกว่าสารเคมีมีราคาถูกกว่าและหนังที่ฟอกแล้วทนต่อความร้อนและความชื้นดีกว่าซึ่งการดอง กรดเป็นขั้นตอนที่จำเป็นต่อการฟอกทั้งสองวิธี เพราะมีความจำเป็นเพื่อปรับความเป็นกรดต่าง ให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาการฟอกหนัง โดยสารเคมีที่ใช้คือเกลือแกงกรดกำมะถันและกรดฟอสฟอริก ทั้งนี้ระหว่างการฟอกอาจมีการเติมสารเคมีช่วยฟอกหรือสารช่วยฟอกลงไประหว่างการดองกรด เพื่อให้หนังจับโครเมียมได้ดีขึ้นและเพื่อลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียลง

2.1.2.1 การฟอกโครม

การฟอกโครมเป็นการฟอกที่ใช้สารเคมีเบสิกโครเมียมซัลเฟต (Cr_2O_3) เป็นตัวฟอก โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 70 ของโครเมียมที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับหนังและที่เหลืออีกร้อยละ 30 จะถูกปล่อยทิ้งไปกับน้ำเสียการดองโครมให้อยู่กับหนังสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการปรับความเป็น กรดต่างดังนั้นระหว่างการฟอกโครมจึงต้องมีการเติมโซเดียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อปรับค่า ความเป็นกรดต่างให้ได้ค่าประมาณ 4.5 หนังที่ผ่านการฟอกโครมแล้วจะเรียกว่าหนังเขียว หรือ Wet-Blue

2.1.2.2 การฟอกฟาด

การฟอกฟาดสามารถกระทำได้ในถังไม้ป่านหรือบ่อคอนกรีตซึ่งมีการต่อแบบอนุกรม (เรียงกันเป็นแถวยาว) โดยใช้สารเคมีคือแทนนินซึ่งสกัดจากเปลือกไม้พวงยูคาลิปตัสต้นควิวาโด และอื่นๆมาเป็นสารฟอกทั้งนี้ น้ำฟอกที่ใช้แล้วจะนำมาใช้ซ้ำได้อีกขั้นตอนที่สำคัญคือ การล้างฟาด ส่วนเกิน โดยใช้กรดออกซาลิกล้างฟาดออกจากหนังซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพหนังมากหนังสำเร็จรูป ที่เกิดจากการฟอกฟาดจะมีน้ำหนักมากกว่าการฟอกโครมมักใช้เป็นพื้นรองเท้าเข็มขัดและมีต้นทุน การผลิตสูงกว่าการฟอกโครมหลังจากการฟอกแล้วหนังจะถูกรีดน้ำให้แห้งเจียรผิวด้วยเครื่องตัด แต่งและคัดเลือกเพื่อเก็บไว้รอจำหน่ายหรือแปรรูปต่อไป

2.1.3 การฟอกขำย้อมสีให้น้ำมันและการตกแต่งหนัง

การฟอกขำมักกระทำกับหนังที่ได้มาจากการฟอกโครมโดยทำขึ้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพ หนังให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาดในขั้นตอนนี้สารเคมีที่ใช้อาจเป็นโครเมียมแทน นินหรือซินแทน (ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ขึ้น) ก็ได้ในขั้นตอนนี้ปกติมักมีการฟอกจางสีหนังโดยใช้ โซเดียมไบคาร์บอเนตและกรดซัลฟูริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย้อมสีจะกระทำตามที่ต้องการหรืออาจไม่ย้อมสีก็ได้ซึ่งขั้นตอนการย้อมสีจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสีที่ใช้ย้อมปกติจะใช้กรดฟอร์มิกปรับสภาพก่อนและการตรึงให้สีติดนั้นจะใช้ไอน้ำมาทำให้หนังและน้ำย้อมร้อนขึ้น

หนังที่จะนำไปใช้งานจำเป็นต้องมีความอ่อนนุ่มและอยู่ตัวดังนั้นจึงต้องมีการทาน้ำมันให้แก่หนังที่ฟอกแล้วการทาน้ำมันอาจทำพร้อมการฟอกซ้ำหรือการย้อมสีหรือทาต่างหากก็ได้หนังที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะนำไปผ่านการฟีนีลิมพ์ลายและอื่นๆเพื่อให้ตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป

2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

หนังสัตว์ดิบที่ผ่านกระบวนการฟอกเรียบร้อยแล้วเรียกว่าหนังฟอกซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. หนังทรงหรือหนังชั้นนอกเหมาะสำหรับผลิตรองเท้ากระเป๋าและเฟอร์นิเจอร์
2. หนังท้องหรือหนังชั้นในเป็นหนังที่ใช้ผลิตถุงมือหนังและหนังซับใน
3. หนังชั้นล่างเป็นหนังที่นำไปผลิตของเล่นสุนัข

2.3 แหล่งกำเนิดของเสียจากกระบวนการฟอกหนัง

การฟอกหนังเป็นกระบวนการแปรรูปหนังสัตว์โดยอาศัยน้ำสารเคมีและกระบวนการทางกล ดังนั้นน้ำเสียจากการฟอกหนังจึงมีสารมลพิษปะปนอยู่สูงนอกจากนี้ยังมีกากของแข็งที่ออกมาด้วยทั้งนี้ลักษณะของน้ำเสียปริมาณสารพิษถ่ายเทรวมทั้งกากของเสียจะแปรเปลี่ยนไปตามกระบวนการผลิตและแหล่งที่ทำการฟอกหนังขั้นตอนที่ทำให้เกิดของเสียที่สำคัญอาจกล่าวสรุปได้ดังนี้ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม, 2540)

2.3.1 ขั้นตอนการเก็บรักษาหนัง

การเก็บรักษาหนังสัตว์ไม่ใช่ขั้นตอนการฟอกหนังแต่จำเป็นต้องรักษาหนังไม่ให้เน่าซึ่งปกติมักใช้การหมักด้วยเกลือและใช้ประมาณ 20% ของน้ำหนักสัตว์หนังดิบโดยหนังสัตว์จะสูญเสียความชื้นออกจากหนังในปริมาณเท่ากับน้ำหนักเกลือที่เพิ่มขึ้นในหนัง นอกจากนี้ยังมีการใส่ยาระงับเชื้อหรือยาฆ่าแมลงเพื่อช่วยรักษาหนังด้วยดังนั้นก่อนนำหนังมาเข้ากระบวนการผลิต (ฟอกหนัง) จึงต้องสับหนังหรือเคาะเอาเกลือออกก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

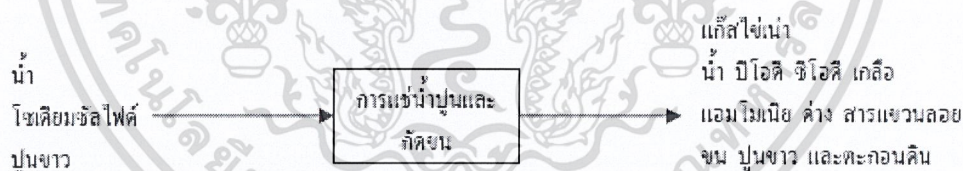
ดังนั้นเกลือนี้นับเป็นกากของเสียชนิดแรกที่เกิดจากอุตสาหกรรมการฟอกหนัง ถ้าปล่อยน้ำเสียที่มีเกลือสูงส่งเวดล้อมจะมีผลกระทบทำให้ปลูกพืชไม่ได้ สัตว์น้ำตาย น้ำกร่อยนำมาทำน้ำประปาไม่ได้หรือใช้ป้อนเข้าหม้อน้ำไม่ได้

2.3.2 ขั้นตอนการล้างและแช่หนัง

การล้างและแช่หนังเป็นการคืนน้ำให้แก่หนังซึ่งมีการเติมสบู่และด่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วยบีโอดี ซีโอดีเกลือยามาแมลงและยาระงับเชื้อเศษเนื้อขนหนังและตะกอนดิน

2.3.3 ขั้นตอนการแช่น้ำปูนและกักขุ่น

การแช่น้ำปูนและกักขุ่นนับเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่ทำให้เกิดน้ำเสียมีมลพิษสูงมากเนื่องจากส่วนของขนและหนังกำพร้าที่ละลายออกมาตลอดจนถึงสกปรกอื่นที่สะสมอยู่ในหนังจะถูกชะล้างออกมาพร้อมกับปูนขาว (ทำให้หนังบวม) เกลือและสารประกอบซัลไฟด์ (ใช้กัดละลายขน) ที่ไหลลงไป นอกจากนี้ยาระงับเชื้อและยามาแมลงที่สะสมอยู่ในหนังก็จะปะปนออกมาพร้อมน้ำเสียด้วย จึงพบว่าน้ำเสียมีค่าพีเอชสูง บีโอดี ซีโอดี เกลือซัลไฟด์ยามาแมลง ยาระงับเชื้อแอมโมเนีย ด่าง สารแขวนลอย และกากของเสียได้แก่ขนปูนขาวและตะกอนดิน ส่วนก๊าซเสียที่เกิดขึ้นคือไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) ในกรณีที่เดิมด่างลงไปไม่พอและพีเอชต่ำกว่า 9.5 ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ของเสียจากขั้นตอนการแช่น้ำปูนและกักขุ่น

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม, 2540

2.3.4 ขั้นตอนการขูดฟุ้งฝืด (Fleshing) และการผ่าแยกชั้น (Splitting)

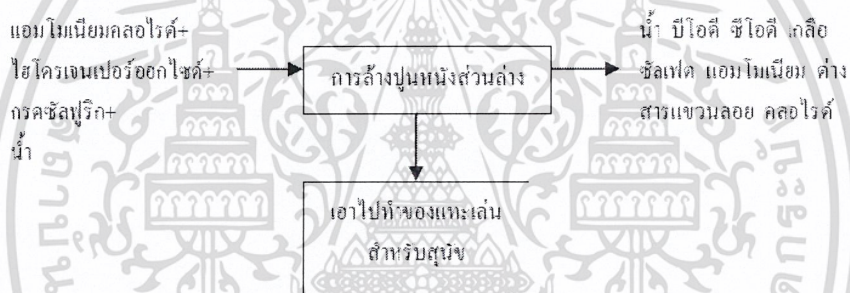
หนังที่ผ่านการแช่ปูนแล้วจะนำมาขูดฟุ้งฝืดด้วยเครื่องขูดซึ่งมีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่จากนั้นจะนำไปเข้าเครื่องผ่าซึ่งอาศัยน้ำหล่อเลี้ยงเช่นกันปกติหนังกระบือจะผ่าได้เป็น 3 - 4 ชั้นสองชั้นด้านบนจะนำไปฟอกโครมชั้นในหรือหนังส่วนล่างจะนำไปล้างทำลายฤทธิ์ปูนก่อนนำไปผลิตอาหารทะเลของสุนัขต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเสียที่สำคัญในกระบวนการนี้คือเศษหนังและฟุ้งฝืดซึ่งได้จากส่วนล่างสุดของหนังสัตว์ เศษหนังดังกล่าวมีสีเขียวคล้ำเนื่องจากการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนการแช่น้ำปูนและกัดขน ส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้มีปริมาณน้อยและมีลักษณะเหมือนน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่น้ำปูนแต่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

2.3.5 ขั้นตอนการล้างปูนของหนังส่วนล่าง (Deliming of Splittings)

การล้างปูนออกจากหนังส่วนล่างจำเป็นต้องเติมเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์เพื่อลดการพองบวมของหนังและทำให้เป็นกลางโดยใช้กรดปรับพีเอชลดลงประมาณ 7.8 ในขณะเดียวกันก็จำเป็นต้องเติมสารออกซิไดซ์เพื่อช่วยกัดสีหนังให้จางลงในที่นี้คือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีสีขาวขุ่นประกอบไปด้วยบีโอดี ซีโอดี เกลือซัลเฟต แอมโมเนียม ต่างสารแขวนลอย และคลอไรด์ดังรูปที่ 2.2



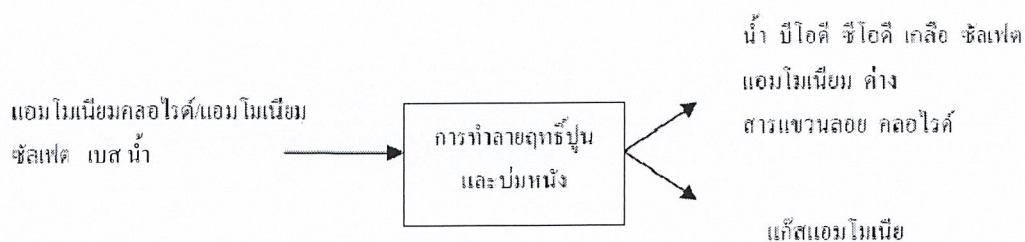
รูปที่ 2.2 น้ำเสียจากขั้นตอนการล้างปูนของหนังชั้นล่าง

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม, 2540

2.3.6 ขั้นตอนการล้างทำลายฤทธิ์ปูนและการบ่มหนัง (Pelt Deliming and Bating)

การล้างทำลายฤทธิ์ปูนและการบ่มหนังเป็นการลดพีเอชโดยเติมแอมโมเนียมคลอไรด์หรือแอมโมเนียมซัลเฟตลงไปจนถึงสารเคมีจะต้องมีปริมาณมากพอที่จะทำลายฤทธิ์ปูนได้ทั้งหมด มีการเติมเอนไซม์หรือเบส เพื่อช่วยย่อยเส้นใยหนังให้เรียบและนุ่มน้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงประกอบไปด้วย บีโอดี ซีโอดี เกลือซัลเฟต แอมโมเนียม ต่าง สารแขวนลอย และคลอไรด์ นอกจากนี้ยังมีก๊าซแอมโมเนียเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วยดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ก๊าซและน้ำเสียจากการล้างฤทธิ์ปูน

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม, 2540

2.3.7 ขั้นตอนการดองกรดและการฟอกโครม (Pickling and Chrome Tanning)

การดองกรดเป็นการปรับพีเอชให้เหมาะสมต่อการฟอกโครมโดยการเติมโซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) หรือ โซเดียมซัลเฟตและกรดซัลฟูริกเพื่อลดการพองบวมของหนัง ให้พีเอชมีค่าประมาณ 1.4 - 3.0 ใช้ระยะเวลาดองกรดประมาณ 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมโครเมียมซัลเฟตซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนในหนังโดยปกติประมาณร้อยละ 70 ของน้ำหนักโครเมียมจะค้างอยู่ในหนังโครม บางแห่งอาจเติม “สารช่วยฟอก” ในช่วงของการดองกรด (เพื่อให้หนังจับโครเมียมได้ดีและเพื่อช่วยลดโครเมียมในน้ำเสีย) การตรึงโครมให้อยู่กับหนังเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มพีเอชและอุณหภูมิในน้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงพบกรดเกลือสารแขวนลอยบีโอดีซีโอดีและโครเมียมส่วนเศษตะกอนลอย (Float Residues) ที่เกิดขึ้นมีโครเมียมปนอยู่และจะหลุดออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งด้วย (ปริมาณโครเมียมในน้ำทิ้งมีค่าประมาณ 2,000 - 4,000 mg/L)

2.3.8 ขั้นตอนการรีดน้ำและการเจียรหนัง (Sammying and Shaving)

การรีดน้ำออกจากแผ่นหนังทำให้เกิดน้ำเสียจำนวนหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนกับน้ำเสียจากการฟอกโครมส่วนการเจียรหนังจะทำให้เกิดเศษหนังเจียรซึ่งมีโครเมียมปะปนอยู่และเป็นปัญหามากต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากนำไปทิ้งถมที่หรือทิ้งกองขยะหรือเผาธรรมชาติไม่ได้

2.3.9 การปรับสภาพการฟอกซ้ำและการย้อมสีสำหรับหนังฟอกโครม (Neutralization, Retanning, Dyeing and Fat Liquoring)

การปรับสภาพเป็นการเติมเกลือแอมโมเนียมหรือ โซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มพีเอชให้ได้ประมาณ 5.6 เพื่อคัดโครมส่วนเกินและเตรียมพร้อมเพื่อการฟอกซ้ำและย้อมสีจึงพบว่า มีโครเมียมในน้ำทิ้งส่วนนี้พร้อมกับเศษตะกอนหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

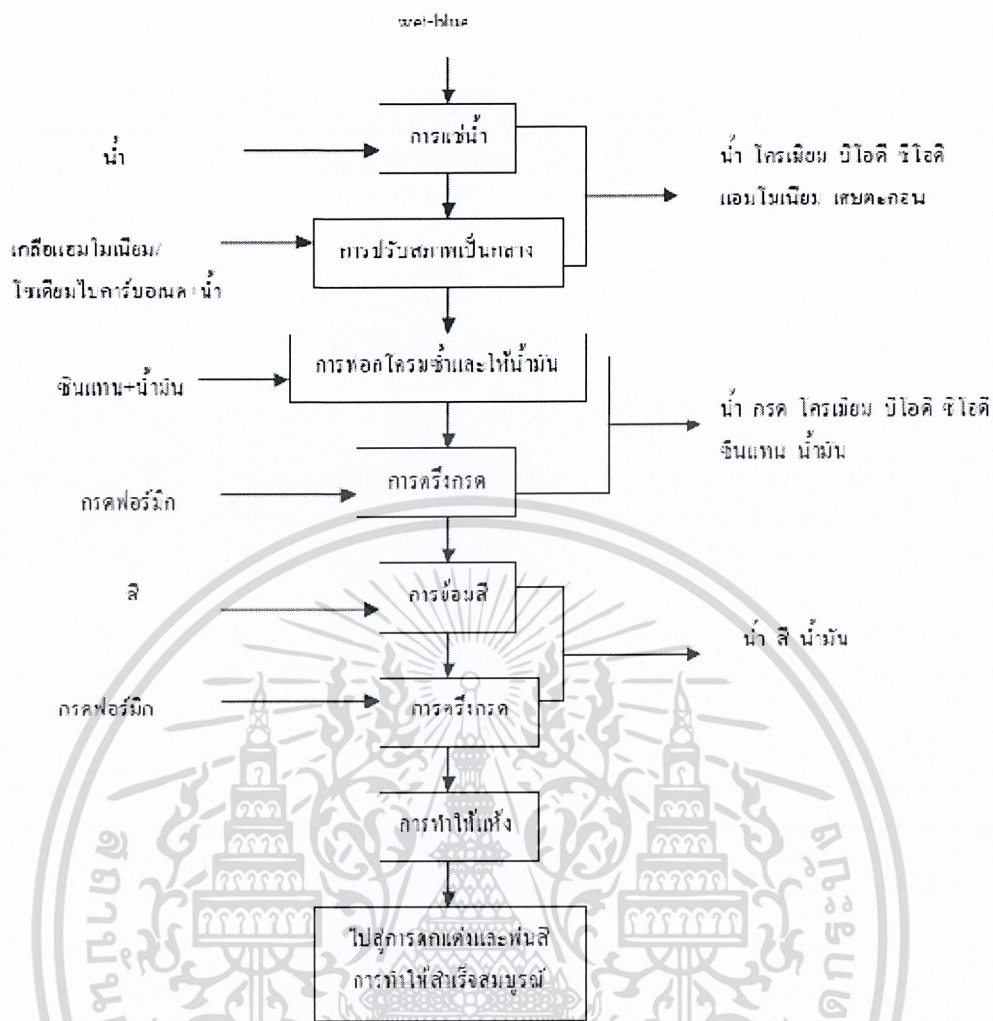
การฟอกซ้ำจะทำพร้อมๆกับการให้น้ำมันจึงมีการเติมกรดฟอร์มิกซินแทน (น้ำยาฟอกสังเคราะห์) และน้ำมันลงไปซึ่งสารเคมีที่เหลือจากการดูดซึมก็จะปะปนออกมากับน้ำทิ้งซึ่งมักพบโครเมียมด้วย

การย้อมสีแบบเปียกซึ่งมักใช้กับหนังโครมให้เป็นการย้อมสีหนังทั้งหมดไม่เหมือนการพ่นหรือทาสีซึ่งมักใช้กับหนังฟอกฝาด สารเคมีสียกรดอินทรีย์และน้ำร้อนจะช่วยให้การย้อมเสร็จสมบูรณ์ และจะพบสารดังกล่าวในน้ำทิ้งที่เหลืออยู่น้ำเสียจากขั้นตอนส่วนนี้ แม้จะมีเล็กน้อยมาก ยังต้องส่งไปให้เม็คสิจิมตัวในถังรวมตะกอนแล้วเอาน้ำที่เหลือไปบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

2.3.10 ขั้นตอนการฟอกฝาด

การฟอกฝาดสามารถทำในถังไม้ปั้นหรือบ่อคอนกรีตอนุกรมจะใช้แทนหินซึ่งสกัดจากเปลือกไม้พวงยูคาลิปตัสต้นควิบบราโคและอื่นๆมาเป็นสารฟอก เนื่องจากสารเคมีราคาสูงจึงมีการนำน้ำฝาดไปใช้ใหม่โดยไม่ทิ้งระบายออกเพียงแต่เติมสารฟอกฝาดเพิ่มลงไปจนถึงไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่น้ำเสียที่เกิดจากการล้างฝาดกลับจะเป็นปัญหามากในการล้างฝาดจำเป็นต้องอาศัยกรดออกซาลิกซึ่งจะเหลืออยู่ในน้ำเสียพร้อมกับฝาดส่วนเกินด้วยเศษหนังเจียรจากการฟอกฝาดไม่มีโครเมียม จึงสามารถบำบัดด้วยวิธีธรรมดาและไม่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนการทาสีหนังฟอกฝาดก็เป็นการทาหรือพ่นสีลงไปทีผิวหน้าของหนังและไม่มีน้ำเสียที่มีปริมาณมากนัก อาจบำบัดได้โดยปล่อยให้รวมตะกอนแล้วส่งน้ำที่เหลือไปยังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 น้ำเสียจากการปรับสภาพเป็นกลางการฟอกซำให้น้ำมันและการข้อมล
ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม, 2540

2.4 องค์ประกอบของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

จากขั้นตอนต่างๆ ของอุตสาหกรรมฟอกหนังทำให้เกิดน้ำเสียซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในขั้นตอนการฟอก เพราะทำให้มีโครเมียมเหลืออยู่ในน้ำฟอกโครม ซึ่งโครเมียมที่เหลืออยู่ในน้ำฟอกโครมจะถูกทิ้งปนไปกับน้ำเสีย และของเสียที่มีอยู่ประมาณ 30-35% ซึ่งแจกแจงได้ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

- 20% เหลือจากน้ำทิ้งฟอกโครม เป็นส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
- 8% อยู่ในน้ำทิ้งจากการรีดน้ำ
- 2% อยู่ในน้ำที่ค้างในชั้นหนังที่ฟอกแล้ว
- 3-5% อยู่ในหนังเจียร เส้นใย และเศษหนัง
- 2-7% อยู่ในน้ำฟอกซำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่รับผิดชอบต่อเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโครเมียม (ชัยวัฒน์, 2544)

โครเมียม (Cr) เป็นโลหะธาตุในหมู่ (VI)B ในตารางธาตุจัดเป็นธาตุ Transition มีเลขอะตอม 24 เลขมวล 51.996 จุดหลอมเหลว $1,900^{\circ}\text{C}$ จุดเดือด $2,642^{\circ}\text{C}$ ความหนาแน่น 7.19 กิโลกรัมต่อลิตรที่ 20°C มี 4 ไอโซโทปคือ $^{50}\text{Cr}(4.31\%)$ $^{52}\text{Cr}(83.76\%)$ $^{53}\text{Cr}(9.55\%)$ $^{54}\text{Cr}(2.356\%)$ มีเลขออกซิเดชันหลายค่าตั้งแต่ +2 จนถึง +6 รูปที่เสถียรคือ +3 และ +6 ส่วนรูปอื่นสามารถเปลี่ยนเป็น +3 ได้ง่ายเพียงสัมผัสอากาศระยะเวลาเพียงเล็กน้อย

การค้นพบ ธาตุนี้ค้นพบโดย Vauquelin ในปี ค.ศ. 1797 ในแร่ Crocoite (PbCrO_4) จากไซบีเรีย ซึ่งเป็นแร่ตะกั่วมีสีแดง ในปีต่อมา Vauquelin สามารถสกัดโครเมียมจาก Cr_2O_3 โดยรีดิวซ์โดยผงถ่าน ในปี ค.ศ. 1893 Moissan สกัด Cr ได้เช่นกัน โดยรีดิวซ์ Cr_2O_3 ด้วยถ่านหินในเตาไฟฟ้า ในปี ค.ศ. 1898 Goldschmidt สกัด Cr อีสุระปราศจากคาร์บอนเจือปนโดยนำ Cr_2O_3 มารีดิวซ์ด้วยอลูมิเนียมเริ่มมีการใช้แร่ของโครเมียมในอุตสาหกรรมประมาณปี ค.ศ. 1800 โดยนำมาผลิตเคมีภัณฑ์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมหนังสัตว์และสี ชื่อของธาตุนี้มาจากคำกรีก "Chromos" แปลว่าสี เนื่องจากสารประกอบของโครเมียมหลายชนิดมีสี มีการนำโครเมียมมาใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. ใช้ทำโลหะเจือโดยผสมกับโลหะอื่นๆเช่น Fe, Ni ทำเหล็กปลอดสนิม(Stainless Steel)
2. ใช้เคลือบโลหะ พลาสติกต่างๆ เช่น เหล็กและเหล็กกล้า เพื่อป้องกันการผุกร่อนของโลหะเหล่านั้น กระบวนการเคลือบหรือชุบโลหะเรียกว่า Electroplating
3. ทำ Refractory Brick
4. ใช้ในงานวิจัยทางนิวเคลียร์และปฏิกิริยาที่เกิด ณ อุณหภูมิสูง

2.5.1 อันตรายของโครเมียม

สารประกอบ Cr^{3+} มีความเป็นอันตรายน้อยมากเมื่อเทียบกับ Cr^{6+} โดย Cr^{6+} เป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและมีฤทธิ์กัดกร่อนสามารถซึมเข้าสู่ร่างกายได้โดยทางเดินอาหาร ทางผิวหนังและทางเดินหายใจ สำหรับสารโครเมตเป็นทั้งสารก่อการกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง เพราะจะไปรบกวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอในเซลล์ Hunter and Vergnano (1953) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวโครเมียมในสัตว์ทดลองพบว่าอวัยวะที่มีโครเมียมที่ตกค้างมากที่สุดคือม้าม กระดูก ไต และตับตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Akatsuka and Fairhal (1934) ได้ทำการศึกษาพิษของโครเมียมพบว่าระดับความเป็นพิษของโครเมียมจะขึ้นอยู่กับอนุภาคของโครเมียม กล่าวคือ Cr^{6+} ที่ร่างกายรับเข้าไปเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้โปรตีนในร่างกายรวมตะกอนและเกิดการระคายเคืองที่ไต ส่งผลให้ไตอักเสบจนถึงแก่ความตาย นอกจากนี้ Cr^{6+} ที่ซึมผ่านทางผิวหนังเข้าสู่ร่างกายจะถูกรีดิวส์เป็น Cr^{3+} ในชั้นคอเรียม (Corium) ของผิวหนังซึ่ง Cr^{3+} นี้จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนในร่างกายเกิดเป็นสารแอนติเจน-แอนติบอดีเชิงซ้อน (Antigen- Antibody Complex) ทำให้เกิดการคันที่ผิวหนัง โครเมียมเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งได้แต่ยังไม่มีข้อสรุปที่แน่นอนสำหรับอันตรายที่เกิดจาก Cr^{3+} โดยตรง

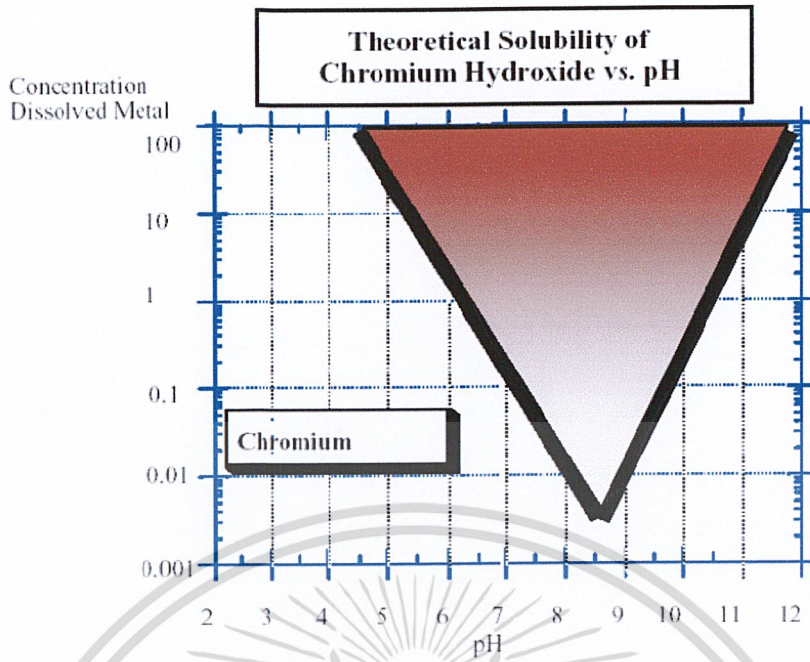
แผลจากโครเมียม (Chrome Ulcers) เกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มที่รอยถลอกของผิวหนังพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือตามข้อนิ้วมือหรือที่หลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลมขอบค่อนข้างเรียบปุ่มลึกลงไปปกติ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร หรือเล็กกว่าซึ่งมองดูคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู แผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันมาก อาจเกิดการติดเชื้อและลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียง ซึ่งอาจทำให้ต้องตัดนิ้วทิ้ง ฝุ่นของเกลือโครเมตหรือควินของกรดโครมิกอาจตกลงบนหนังตาหรือปลายจมูก ซึ่งอาจจะเกิดแผลขึ้นได้เช่นเดียวกัน

มะเร็งที่ปอดอาจเกิดขึ้นกับผู้ที่สูดดมเอาโครเมียมเข้าสู่ร่างกายเป็นประจำและเป็นเวลานาน ผู้ที่ได้รับเอาควินของกรดโครมิกหรือฝุ่นโครเมียมอยู่เป็นประจำจะทำให้ผนังกัน ในจมูกถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุนี้จะไม่รู้สึกเจ็บปวดจะรู้สึกก็ต่อเมื่อมีเสียงอู้อี้หรือคั่งจมูกแบนลง

2.5.2 วิธีการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย

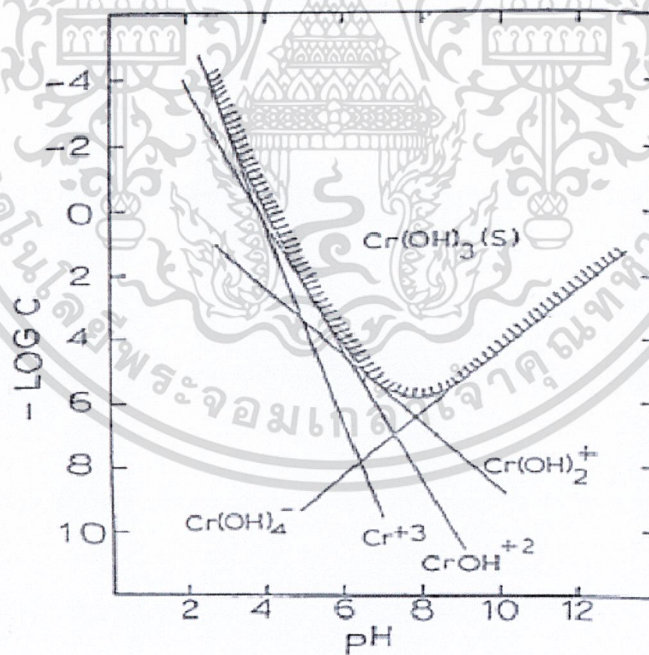
2.5.2.1 การบำบัดโครเมียม โดยวิธีโครเมียมรีดักชัน

การบำบัดโครเมียมโดยวิธีรีดักชัน Cr^{6+} จะถูกเปลี่ยนเป็น Cr^{3+} ในสภาวะพีเอช 2-3 ด้วยสารรีดิวส์ (Reducing Agent) จากนั้นเติมด่างเพื่อปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงประมาณ 8-9 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการทำให้เกิด $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ที่เป็นตะกอนแข็งสามารถแยกออกจากน้ำเสียได้ ดังรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 บทบาทของพีเอชที่มีต่อการสร้างตะกอนแข็งของโครเมียม (Cr^{3+})

ที่มา: David et al., 1994



รูปที่ 2.6 คุณสมบัติและรูปแบบของ Cr^{3+} ที่ละลายน้ำ

ที่มา: UNEP, 1983

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาร Reducing Agent ได้แก่ SO_2 , FeSO_4 และเกลือซัลไฟต์ในรูปแบบต่างๆ (เช่น โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3), โซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3), โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ในระบบบำบัดที่มีปริมาณน้ำเสียมากควรใช้ SO_2 เพราะมีการสิ้นเปลืองน้อยกว่าสารตัวอื่น ขณะที่ระบบบำบัดขนาดเล็กอาจใช้ FeSO_4 หรือ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ การใช้ FeSO_4 มีข้อเสียตรงที่จะเกิดตะกอนมากและใช้ปริมาณมากกว่าทฤษฎีถึง 2.5 เท่าและต้องการค่าในปริมาณสูงมากเพราะต้องการทำให้ Fe^{3+} สร้างตะกอนแข็งด้วยและการสร้างตะกอนแข็งของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ สิ้นเปลืองค่ามากกว่าที่ใช้สร้างตะกอนแข็ง Cr^{3+} ในขณะที่ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ใช้มากกว่าทฤษฎี 75% โดยสร้างตะกอนแข็ง $\text{Cr}(\text{OH})_3$ และปริมาณสารเคมีต่างๆที่ต้องใช้ดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปฏิริยาเคมีต่างๆที่เกิดขึ้นในการบำบัดโครเมียม

สารเคมี	ปฏิกิริยาเคมี
FERROUS SULFATE	
$2\text{H}_2\text{CrO}_4 + 6\text{FeSO}_4 + 6\text{H}_2\text{SO}_4$	$\longrightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 8\text{H}_2\text{O}$
$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\longrightarrow 2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{CaSO}_4$
SODIUM METABISULFITE	
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O}$	$\longrightarrow 2\text{NaHSO}_3$
$2\text{H}_2\text{CrO}_4 + 2\text{NaHSO}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$	$\longrightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{NaHSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$
$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\longrightarrow 2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{CaSO}_4$
SULFUR DIOXIDE	
$\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$
$2\text{H}_2\text{CrO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_3$	$\longrightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 5\text{H}_2\text{O}$
$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\longrightarrow 2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{CaSO}_4$

ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุเวศม์, 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ในการบำบัดโครเมียม 1 mg/L (ตามทฤษฎี)

สารเคมี	ปริมาณที่ต้องใช้ตามทฤษฎี (mg/L)
FeSO ₄ .7 H ₂ O	16.03
H ₂ SO ₄	6.01
Lime (90%)	9.48
NaHSO ₃	3.0
H ₂ SO ₄	1.41
Lime (90%)	2.38
SO ₂	1.9
Lime (90%)	2.38
Na ₂ S ₂ O ₅	2.81
H ₂ SO ₄	1.52
Lime (90%)	2.38

ที่มา : มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2545

การบำบัดโครเมียมด้วยวิธีการรีดักชันจะทำแบบครั้งเดียว (Batch Operation) หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous Operation) ก็ได้ การใช้ระบบโออาร์พีอ็อกซิเดชันรีดักชัน (ORP-Oxidation Reduction Potential) ใช้ในการควบคุมสารเคมีที่เป็นรีดักแทนท์ (Reductant) ระดับ ORP ที่เหมาะสม

2.5.2.2 การบำบัดโครเมียมด้วยรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)

เป็นการควบคุมความแตกต่างของแรงดันน้ำที่ซึมผ่านเนื้อเยื่อเคมีเพอมีเอเบิลเมมเบรน (Semi-Permeable Membrane) แผ่นเมมเบรนทำด้วยสารเซลลูโลสอะซีเตต (Cellulose Acetate) ที่ให้เฉพาะน้ำผ่านและกักไม่ให้ Cr⁶⁺ และ Cr³⁺ ซึมผ่านวิธีนี้ต้องอาศัยแรงดันสูงกว่า 100 บรรยากาศ และใช้พลังงานปริมาณสูง

2.5.2.3 การบำบัดโครเมียมด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออนนิยมใช้เรซินเป็นตัวจับไอออนโดยทั่วไปเรซินจะประกอบด้วย Strong Acid Cation Exchange และ Strong Base Anion Exchange ต่อกันแบบอนุกรมเพื่อจับประจุบวกและประจุลบในน้ำเสียทำให้น้ำเสียที่ผ่านระบบแลกเปลี่ยนไอออนแล้วจะปราศจากอนุภาคของโลหะระบบบำบัดวิธีนี้มีข้อเสียที่ต้องมีการทำการฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) เพื่อป้องกัน

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร เพื่อเผยแพร่ข้อมูลเชิงประจักษ์ในการค้า ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ในทางที่ผิดโดยไม่ได้รับอนุญาต

2.5.2.4 การบำบัดโครเมียมด้วยการระเหย (Evaporation)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมีและโลหะหนักปนเปื้อนอยู่เพื่อจะนำเอาสารที่ปนเปื้อนอยู่กลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งโดยการระเหยน้ำเสียบางส่วนให้กลายเป็นไอและแยกส่วนที่เป็นไอผ่านเครื่องควบแน่นเพื่อทำให้อไอน้ำกลายเป็นน้ำและนำกลับมาใช้ในการล้างโลหะส่วนน้ำเสียที่เหลืออยู่มีความเข้มข้นของสารเคมีสูงขึ้นสามารถนำกลับมาใช้ในขบวนการชุบโลหะได้อีกครั้งได้

2.5.2.5 การบำบัดโครเมียมด้วยอินโซลูเบิลสตาร์ชแซนเทท (Insoluble Starch Xanthate, ISX)

สารนี้เป็น Xanthate ของโซเดียมและแมกนีเซียมซึ่งจะแลกเปลี่ยนโซเดียมอออนหรือแมกนีเซียมอออน กับอออนของโลหะเกิดเป็นตะกอนของโลหะแซนเททและรวมตะกอนอย่างรวดเร็ว โลหะจะถูกแยกออกโดยการสกัดด้วยกรดไนตริก (HNO₃) หรือเผา วิธีนี้สามารถแลกเปลี่ยนประมาณ 1.1-1.5 มิลลิกรัมสมมูลของอออนโลหะต่อกรัมของ ISX หรือใช้ ISX จำนวน 10 ปอนด์จะสามารถแยกโลหะหนักได้ประมาณ 1 ปอนด์สามารถใช้งานในช่วงพีเอช 3-11 วิธีนี้ไม่เหมาะสมถ้าปริมาณโลหะหนักมีปริมาณสูงกว่า 100 mg/L

2.6 การแลกเปลี่ยนประจุและการเคลื่อนที่ของประจุ

กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุอิเล็กตรอนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยกระแสไฟฟ้าวัดในหน่วยของแอมแปร์ (Amp) จำนวนกระแสไฟฟ้าที่ผ่านไปหนึ่งหน่วยของพื้นที่หน้าตัด จะวัดในรูปของกระแสไฟฟ้า (Current Density, I) การวัดความหนาแน่นของกระแสซึ่งผ่านเข้าไปยังวัสดุถูกเรียกว่า การนำไฟฟ้าของวัสดุ (Conductivity) ในโลหะส่วนใหญ่จะอยู่ภายใต้กฎของโอห์ม (Ohm's Law) ซึ่งสามารถเขียนในรูปของความเข้มข้นของสนามไฟฟ้า (E) ค่าการนำไฟฟ้าของเหล็กมีค่าเท่ากับ 1.0 x 10⁷ mohs/cm โดยใช้กฎของโอห์มสำหรับตัวนำขนาดเล็ก โดยที่โลหะแต่ละชนิดจะมีค่าการเป็นสื่อ นำกระแสไฟฟ้าไม่เท่ากัน สามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$E = IR$$

- เมื่อ E เป็นความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดในขดลวด (Volt)
- R เป็นความต้านทานไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดในขดลวด (Ohm)
- I เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (Amp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 กระบวนการรวมตะกอน (Coagulation)

2.7.1 การสร้างตะกอนรวมทางเคมี (Chemical Coagulation and Flocculation)

ในน้ำเสียมีองค์ประกอบต่างๆเจือปนเรียงลำดับตามขนาดของอนุภาคคือของแข็งที่จมตัวได้ (Settable Solid) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) คอลลอยด์ (Colloid) และสารที่ละลายน้ำได้ (Soluble Compound) ของแข็งที่จมตัวได้สามารถแยกออกจากน้ำเสียโดยปล่อยให้อยู่ในสภาวะที่สงบนิ่ง ของแข็งจะจมตัวลงโดยแรงโน้มถ่วงของโลกเกิดการรวมตะกอนสำหรับของแข็งแขวนลอย และคอลลอยด์ นอกจากมีอนุภาคขนาดเล็กและยังมีแรงผลักระหว่างอนุภาคด้วยกันทำให้ไม่สามารถแยกออกจากน้ำเสียโดยวิธีรวมตะกอนธรรมดาได้วิธีที่ใช้แยกอนุภาคละเอียด และคอลลอยด์ ออกจากน้ำเสียคือ การสร้างตะกอนรวมทางเคมี เป็นกระบวนการที่ใส่สารเคมีลงไปลงในน้ำเสียเพื่อทำลายแรงผลักระหว่างโมเลกุลเล็กๆในน้ำ ทำให้อนุภาคสามารถเข้าใกล้กัน และจับตัวกันได้ อนุภาคเหล่านี้จะรวมตัวกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่าฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมากพอที่จะจมตัวลงและแยกออกจากน้ำได้ในที่สุด

สมบัติของคอลลอยด์

- สามารถแบ่ง คอลลอยด์มี 2 พวก ตามแรงดึงดูดที่ผิวของคอลลอยด์กับน้ำคือ
- Hydrophobic Colloids เป็นพวกที่มีแรงดึงดูดที่ผิวของอนุภาคกับน้ำต่ำ เรียกอีกอย่างว่า "Water-Hating Colloid" เช่น ดินเหนียว (Clay)
 - Hydrophilic Colloids เป็นพวกที่มีแรงดึงดูดที่ผิวของอนุภาคกับน้ำสูง เรียกอีกอย่างว่า "Water-Loving Colloid" เช่น โปรตีน จูตินรีซี คอลลอยด์พวกที่มีแรงดึงดูดกับน้ำสูงจะมีเสถียรภาพมากกว่า และแยกตัวออกจากน้ำได้ยาก

นอกจากนี้ยังแบ่งประเภทของคอลลอยด์ตามชนิดของประจุที่ผิวของคอลลอยด์คือ

- คอลลอยด์ที่มีประจุบวกที่ผิว (Positive Colloidal Particle)
- คอลลอยด์ที่มีประจุลบที่ผิว (Negative Colloidal Particle)

2.7.2 การทำให้คอลลอยด์เสถียรภาพ (Destabilize)

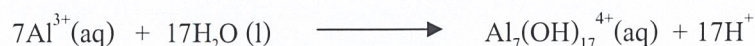
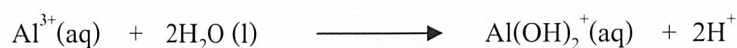
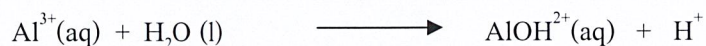
การทำให้คอลลอยด์เสถียรภาพ จะทำให้คอลลอยด์สามารถเข้าใกล้กันดึงดูดกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น และแยกออกจากน้ำโดยวิธีรวมตะกอนได้ มีหลายวิธีดังนี้

1. การเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นสูงสารละลายอิเล็กโทรไลต์ หมายถึง สารละลายที่นำไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยไอออนที่มีประจุบวก และลบ เมื่อเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสาร อิเล็กโทรไลต์ลงในน้ำจะมีผลทำให้ชั้นของ Diffuse Layer แคบลง ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การดักจับโดยอนุภาคที่รวมตะกอน (Entrapment in Precipitate) การดักจับ (Entrap) อนุภาคคอลลอยด์ระหว่างการรวมตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งโลหะอลูมิเนียม (Al^{3+}) หรือเหล็ก (Fe^{3+}) สามารถรวมกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และจมตัวลงมาพร้อมกับพาอนุภาคคอลลอยด์ลงมาด้วยกัน

เมื่อละลายเกลืออลูมิเนียมในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



3. การใช้สะพานระหว่างอนุภาค (Interparticle Bridging) การเกิดโพลิเมอร์ของอลูมิเนียมและเฟอร์ริกไอออน คอลลอยด์หลายอนุภาคสามารถดักจับกับโพลิเมอร์หลายตำแหน่งโดยโพลิเมอร์ทำหน้าที่เป็นสะพานระหว่างอนุภาค
4. การใช้โพลิเมอร์ในการสร้างตะกอนรวมสารโมเลกุลใหญ่หรือโพลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้สามารถนำมาใช้สร้างตะกอนทางเคมีได้ เรียกอีกอย่างว่า โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes) ซึ่งอาจเป็นโพลิเมอร์ที่มาจากธรรมชาติเช่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้ง กวูโคส และสาหร่าย หรือ โพลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น (Synthetic Polymer) ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์ให้ Monomer เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ได้สารโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น แบ่งโพลิเมอร์หรือโพลีอิเล็กโทรไลต์ตามสภาพประจุเมื่ออยู่ในน้ำคือ
- Negative Polyelectrolyte หรือ Anionic Polymer
 - Positive Polyelectrolyte หรือ Cationic Polymer
 - Neutral Polyelectrolyte หรือ Nonionic Polymer

แบ่งโพลีอิเล็กโทรไลต์ตามลักษณะการทำงานต่อคอลลอยด์ในน้ำ ได้ 3 กลุ่มด้วยกัน คือ

1. โพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ทำหน้าที่เป็น Coagulant โพลิเมอร์พวกนี้มักมีประจุเป็นบวก เนื่องจากอนุภาคในน้ำเสียส่วนมากจะเป็นประจุลบ จึงใช้โพลิเมอร์ที่มีประจุลบในการสร้างตะกอนรวมครั้งแรก (Primary Coagulant) เช่น Dodecylammonium ion ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NH}_3^+$) ซึ่งเป็นคอลลอยด์ที่ไม่ชอบน้ำ และดูดซับประจุลบที่ทำให้น้ำขุ่นได้ดี
2. โพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ทำหน้าที่เป็นสะพานระหว่างอนุภาค (Interparticle bridging) โพลิเมอร์จะเป็นสะพานให้อนุภาคเกาะได้ทั้งโพลิเมอร์ที่มีประจุลบ (Anionic) และโพลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ (Nonionic) โดยทั่วไปนิยมใช้โพลิเมอร์ที่มีประจุลบมากกว่า เนื่องจากละลายน้ำได้ดีกว่าโดยอนุภาคจะดูดซับที่กิ่งของโพลิเมอร์ โพลิเมอร์ที่คอลลอยด์อยู่เกาะกันเกิดเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ซึ่งรวมตะกอนง่าย

3. โพลีอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นทั้งตัวสร้างตะกอนรวมและสะพานระหว่างอนุภาค ใช้โพลิเมอร์ที่มีประจุบวกเพื่อรวมตะกอนเอาคอลลอยด์ต่างๆไว้ด้วยกันและโมเลกุลของโพลิเมอร์จะมีขนาดใหญ่เพื่อทำหน้าที่เป็นสะพานระหว่างอนุภาคด้วย

โดยสรุปการสร้างตะกอนรวมทางเคมีสามารถเกิดผ่านกระบวนการทั้งหมด 4 กระบวนการคือ การทำให้ Diffuse Layer แคลบลงโดยการเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำให้คอลลอยด์เข้าใกล้กันจนเอาชนะแรงกีดขวางเกิดแรงดึงดูดระหว่างมวลได้ กระบวนการที่ 2 ถ้าเติมอิเล็กโทรไลต์ที่ไอออนบวกมีประจุสูง ไอออนบวกสามารถเข้าใกล้ผิวของคอลลอยด์จนทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ได้ (Charge Neutralize) กระบวนการที่ 3 เป็นการดักจับโดยตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ที่จมตัวลงมา กระบวนการที่ 4 คือเกิดสะพานระหว่างอนุภาคโดยสารโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่จะทำหน้าที่เป็นสะพานให้คอลลอยด์มาเกาะ

2.8 การรวมตะกอนทางไฟฟ้า (Electro-Coagulation)

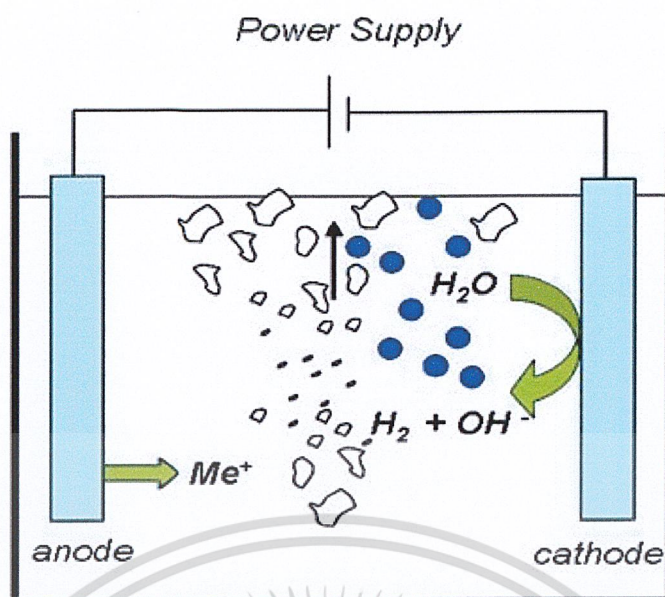
2.8.1 กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Process)

การแยกไอออนโลหะในสารละลายด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีสามารถทำได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอกไปยังขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วที่จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งไอออนในสารละลายสามารถแยกตัวออกจากสารละลายโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองกระบวนการไฟฟ้าเคมีมี ข้อดีคือเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ ไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีอื่นลงในระบบ ซึ่งทำให้ไม่เกิดตะกอนหรือเกิดในปริมาณต่ำมีค่าความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูง

กระบวนการไฟฟ้าเคมีหรือกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสคือกระบวนการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกส่วนประกอบที่สำคัญของกระบวนการนี้ได้แก่ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากภายนอก สารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วไฟฟ้าสองขั้ว

แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายนอกเป็นส่วนที่ใช้เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าซึ่งควบคุมปริมาณของกระแสไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าที่ผ่านเข้าระบบตามที่กำหนดส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสไฟฟ้าโดยผ่านทางไอออนต่างๆที่อยู่ในสารละลาย ซึ่งไอออนเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเดินทางของกระแสผ่านไปขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ขั้ว ในกระบวนการไฟฟ้าเคมี สมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาและกระบวนการ เช่น องค์ประกอบความเข้มข้น ค่าความเป็นกรด-เบสหรือแม้กระทั่งอุณหภูมิและขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว ซึ่งขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียกว่าแอโนดส่วนขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันเรียกว่าแคโทดแสดงดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทั้งปวงเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



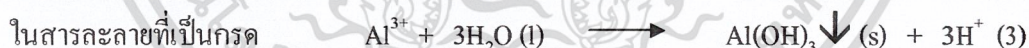
รูปที่ 2.7 กระบวนการไฟฟ้าเคมี

ที่มา: Martin Mechelhoff, Geoff Kelsall and Nigel Graham., 2010

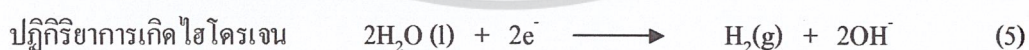
2.8.2 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีและกลไกการเกิดโคแอคควเลชันที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับลักษณะของน้ำ ได้แก่ การนำไฟฟ้า, พีเอช, ขนาดของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำ กลไกการเกิดไอออนจะขึ้นกับชนิดของอิเล็กโทรดที่ใช้

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (Anode) มีดังต่อไปนี้



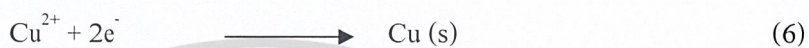
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (Cathode) มีดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 กฎฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซิส (Faradays's Law of electrolysis)

ไมเคิลฟาราเดย์ (Michael Faraday) เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ศึกษาคุณสมบัติของสารละลายโดยสารละลายที่นำไฟฟ้าได้เรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ส่วนสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้าเรียกว่านอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolyte) นอกจากนี้ฟาราเดย์ยังได้ศึกษาปริมาณวิเคราะห์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการอิเล็กโทรไลต์หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดจากการถ่ายเทในปฏิกิริยารีดอกซ์เช่นปฏิกิริยารีดักชันของไอออนของโลหะ Ag และ Cu ดังสมการ



จากปฏิกิริยาของ Cu^{2+} จะได้ว่า Cu^{2+} หนึ่งโมลไอออนรับอิเล็กตรอนได้ 2 อิเล็กตรอน กลายเป็น Cu (s) 1 โมล (64กรัม) ส่วน Ag^+ หนึ่งโมลไอออนรับอิเล็กตรอนเพียงหนึ่งจะเกิด Ag(s) 1 โมล (108กรัม) เนื่องจากจำนวนอิเล็กตรอนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไฟฟ้า ดังนั้นในปฏิกิริยารีดักชันของทองแดงเพื่อให้ได้โลหะทองแดงหนึ่งโมลจะต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของปริมาณที่ใช้กับเงิน

ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องผ่านเข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรไลติกเพื่อให้อิเล็กตรอนหนึ่งโมลทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดออกซิเดชันและรีดักชัน เรียกว่าหนึ่งฟาราเดย์ (Faraday: F) เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์เพื่อทำให้ไอออนของโลหะเงินกลายเป็นโลหะเงินหนัก 107.87 กรัมและใช้ปริมาณไฟฟ้า 2 ฟาราเดย์เพื่อให้ได้ทองแดงหนัก 63.54 กรัม

ปริมาณไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (Coulomb) หาได้จากความสัมพันธ์

$$Q = It \quad (8)$$

เมื่อ Q เป็นปริมาณไฟฟ้าในหน่วยคูลอมบ์ (C)

I เป็นกระแสไฟฟ้าในหน่วย แอมแปร์ (A)

t เป็นเวลาในหน่วยวินาที (s)

เพราะฉะนั้น $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$ (9)

ปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์ (F) เป็นผลคูณของประจุไฟฟ้ากับจำนวนอิเล็กตรอนหนึ่งโมลเนื่องจากประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ $1.60210 \times 10^{-19} \text{ C}$ เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} F &= eN_A \quad (10) \\ &= (1.60210 \times 10^{-19} \text{ C})(6.02252 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \\ &= 96,487 \text{ C mol}^{-1} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานหรือ 1 ฟาราเดย์เท่ากับ 96,487 คูลอมบ์ ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดโดยการผ่านปริมาณไฟฟ้า 96,487 C เข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรไลซิสเป็นน้ำหนักสมมูลของสารนั้นซึ่งเป็นน้ำหนักที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะรับอิเล็กตรอนหนึ่งโมล เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์จะทำให้ผลิตผลที่ได้จากออกซิเดชันหรือรีดักชัน ในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสหนักเท่ากับหนึ่งกรัมสมมูลเสมอ ในกรณีที่เซลล์อิเล็กโทรไลซิสมีไอออนของเงินและทองแดง ถ้าผ่านปริมาณไฟฟ้าเข้าไปหนึ่งฟาราเดย์แล้วเงินและทองแดงที่ได้จากรีดักชันที่แคโทดจะมีน้ำหนักเป็น 107.87 กรัมและ $63.54 / 2 = 31.77$ กรัมซึ่งเป็นน้ำหนักกรัมสมมูลของเงินและทองแดงตามลำดับ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากออกซิเดชันและรีดักชัน มีความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้าหรือจำนวนฟาราเดย์ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจสรุปเป็นกฎได้ เรียกว่ากฎอิเล็กโทรไลซิสของฟาราเดย์ (Faraday's Law of Electrolysis) ได้แก่

- มวลของสารที่เกิดขึ้นที่แอโนดหรือแคโทดในขณะที่เกิดอิเล็กโทรไลซิสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์
- มวลสารต่างๆกันที่เกิดขึ้นในระหว่างการอิเล็กโทรไลซิสที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารนั้นๆ

2.8.4 ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จริงในทางปฏิบัติ (ศุกชัย, 2546)

ศักย์ไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาในตอนต้นนั้นเป็นศักย์ไฟฟ้าที่มีการวัดโดยไม่มีกระแสไหลในวงจรปกติจะวัดโดยเครื่องโพเทนชิโอมิเตอร์ แต่เซลล์ที่ใช้งานจริงในห้องทดลองในวงจรย่อมมีกระแสไหล ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ในขณะที่ใช้งานจะมีค่าแตกต่างกันไป

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}}$$

ทั้งนี้ยังมีแฟกเตอร์อื่นอีกที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

2.8.4.1 ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแนวต่อของสารละลาย (Liquid Junction Potential)

เมื่อนำสารละลายอิเล็กโทรไลต์สองชนิดที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันมาสัมผัสกัน จะเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างรอยต่อของสารละลายทั้งสองศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อนี้เกิดจากอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันของแคตไอออนและแอนไอออนระหว่างสารละลายทั้งสอง สมมติว่ามีสารละลาย HCl ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันสองสารละลาย

HCl (1M)

HCl (0.01M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

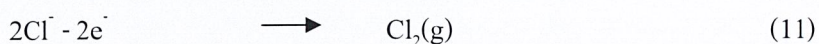
ทั้ง H^+ และ Cl^- มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อในทิศทางเดียวกันอัตราการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงไรการเคลื่อนที่ของไอออนทั้งสองจะมีแนวโน้มเคลื่อนที่จากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า แต่เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแต่ละไอออนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากันเช่นในกรณีนี้ H^+ จะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า Cl^- จึงทำให้ด้านที่เป็นสารละลายเจือจางกว่ามีประจุเป็นบวก และด้านที่เป็นสารละลายเข้มข้นจะมีประจุเป็นลบเมื่อถึงสภาวะสมดุลจะเกิดศักย์ไฟฟ้าที่ระหว่างแนวต่อของสารละลายขึ้นเนื่องจากการแยกประจุทั้งสองซึ่งอาจทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าประมาณ 30 mV หรือมากกว่าค่าของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากรอยต่อของสารละลายจะถูกลดลงมาก ถ้าทั้งสองสารละลายทั้งสองด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นสูง (สะพานเกลือ) ในสารละลายเช่นนี้จะทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนทั้งสองของเกลือในสะพานเกลือมีค่าใกล้เคียงกันปกติสะพานเกลือทำมาจากสารละลายอิ่มตัวของ KCl ในวุ้นที่แข็งตัวสารละลาย KCl 4 M หรือสูงกว่าการเคลื่อนที่ของไอออนทั้งสองจะแตกต่างกันประมาณ 4% ถ้าเราใช้สะพานเกลือแบบนี้จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าวางรอยต่อของสารละลายลดลงเหลือ 2 - 3 mV

2.8.5 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อวิธีอิเล็กโทรโคแอลกูเลชัน

2.8.5.1 ผลของพีเอช

ผลของพีเอชในน้ำและน้ำเสียในกระบวนการอิเล็กโทรโคแอลกูเลชันสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้า และค่าการละลายน้ำของเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดจะขึ้นกับคุณลักษณะของสารที่ต้องการบำบัด ส่วนใหญ่จะถูกบำบัดได้ดีที่ค่าพีเอชเป็นกลางและมีอัตราการใช้พลังงานสูงสุด ถ้าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงเพียงพอ ผลกระทบจากค่าพีเอชจะไม่มีผลสำคัญ ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านกระบวนการอิเล็กโทรโคแอลกูเลชันจะมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับน้ำเสียที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเป็นกรดและจะมีค่าลดลงสำหรับค่าพีเอชเริ่มต้นที่เป็นด่างซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของกระบวนการนี้ คือการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชที่สภาวะเป็นกรด อันเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

การลดลงของค่าพีเอช เกิดจากปฏิกิริยาการเกิด $Al(OH)_3$ ที่ขั้วบวกซึ่งปล่อย H^+ ทำให้ค่าพีเอชลดลงรวมทั้งการเกิดก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวกจะทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลงและในกรณีที่น้ำมีไอออนของคลอไรด์อยู่จะเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้ค่าพีเอชลดลงดังสมการต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชจากการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจะถูกปรับด้วย H^+ ที่เกิดจากปฏิกิริยาข้างต้นการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชในน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรดหลังผ่านกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันอาจเกิดจากก๊าซ CO_2 ซึ่งอยู่ในสภาพอิ่มตัวในน้ำที่เป็นกรด ระบายออกจากน้ำไปพร้อมกับก๊าซไฮโดรเจน, การเกิดผลึกของไอออนลบชนิดอื่นๆ, จากปฏิกิริยาการเกิดก๊าซไฮโดรเจนสำหรับการลดลงของค่าพีเอชของน้ำเสียที่มีสภาพเป็นด่าง น่าจะเกิดจากการเกิดผลึกไฮดรอกไซด์ของไอออนประจุบวกและการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ $Al(OH)_4^-$ ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



2.8.5.2 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาสัมผัสถ้าใช้กระแสไฟฟ้าปริมาณมากจะใช้ระยะเวลาสัมผัสสั้น หรือถ้าหากใช้กระแสไฟฟ้าในปริมาณสูงเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียกระแสไฟฟ้าทำให้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลง เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าหรือปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่อิเล็กโทรด ระยะเวลาในการสัมผัสจะมีค่าลดลง ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำเสีย คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจะขึ้นกับปริมาณไอออนที่ละลายออกจากอิเล็กโทรดซึ่งเท่ากับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้และเวลาสัมผัส ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียนั้นจะต้องมีค่าสูงเพียงพอ นิยมใช้เกลือแอมโมเนียมในการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้า ในการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด แต่ช่วยประหยัดพลังงาน อีกทั้งไอออนของคลอรีนยังสามารถช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากไอออนประจุลบชนิดอื่น เช่น HCO_3^- และ SO_4^{2-} โดยเฉพาะเมื่อในน้ำมีไอออน Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} ซึ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลง จึงควรมีไอออน Cl^- ประมาณร้อยละ 20 ของประจุบทั้งหมด เพื่อให้สามารถเดินระบบได้ปกติไม่ต้องถอดอิเล็กโทรดออกมาล้าง

2.8.5.3 ประสิทธิภาพของกระแส

ประสิทธิภาพของกระแส มีความสัมพันธ์กับระยะเวลา กระแสไฟฟ้า และ ปริมาณ ไอออนที่ขั้วแอโนด

$$m = \frac{I \times t \times M}{Z \times F} \quad (15)$$

เมื่อเป็นสมการที่คำนวณมวลของขั้วไฟฟ้าที่สูญเสียทางทฤษฎี ($m_{\text{theoretical}}$) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใด I ทั้งสิ้น อีกทั้งหากระแส (C/s) ซึ่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

t	=	เวลา (s)
M	=	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)
F	=	ค่าคงที่ ฟาราเดย์ (96485 C/mol)
Z	=	จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น

เมื่อได้ค่าประสิทธิภาพของกระแสตามทฤษฎี ($m_{\text{theoretical}}$) แล้วจะนำมาหา ประสิทธิภาพของ กระบวนการบำบัดดั่งสมการ ด้านล่างนี้โดยค่า ($m_{\text{experimental}}$) ได้จากน้ำหนักของ ขั้วไฟฟ้าโลหะที่ เหลือหลังจากผ่านกระบวนการแล้วนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบได้จาก สมการที่ (24)

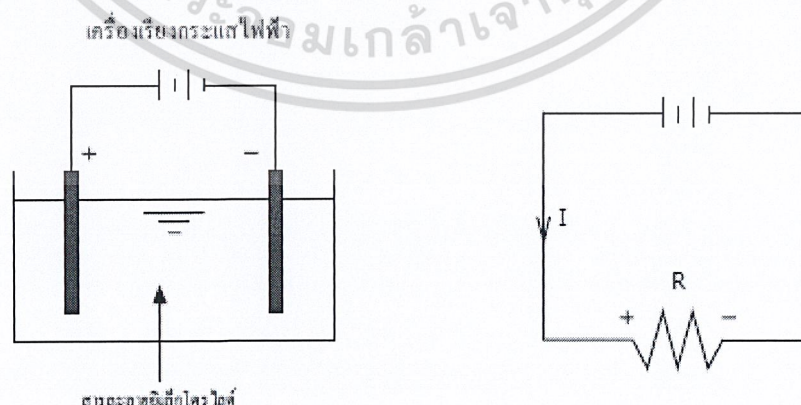
$$\rho = \frac{m_{\text{experimental}}}{m_{\text{theoretical}}} \times 100 \quad (16)$$

2.8.5.4 การจัดวางอิเล็กโทรด

การรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีเหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียมปนเปื้อนอยู่และ บำบัดสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียมกับไซยาไนด์โดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) โดยมีแผ่นเหล็ก (Iron Steel) ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า (Electrode Plate) และใช้น้ำเสียที่มีโครเมียม เป็นสารอิเล็กโทรไลต์คิกแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นแบบกระแสตรง

รูปแบบของการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีมี 4 แบบดังนี้

1. โมโน โพลาร์ เซลล์ เดี่ยว (Monopolar Electrode Single Cell) เป็นการจัดเรียงอิเล็กโทรด ที่ง่ายที่สุดคือมีแผ่นอิเล็กโทรด 1 คู่ โดยขั้วหนึ่งเป็นแอโนดและอีกขั้วหนึ่งเป็นคาโทด ซึ่งไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากการนำไปประยุกต์ใช้นั้นต้องการขนาดใหญ่พื้นที่ผิวในการ ทำปฏิกิริยามาก

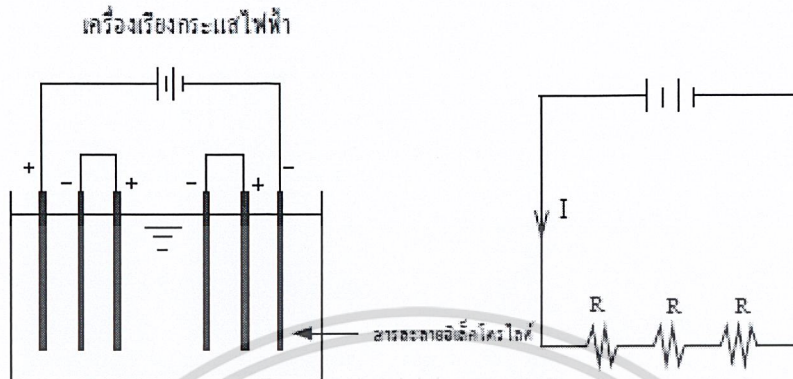


รูปที่ 2.8 การจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบ โมโน โพลาร์-เซลล์เดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่มา: Pretourius *et al.*, 1991

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

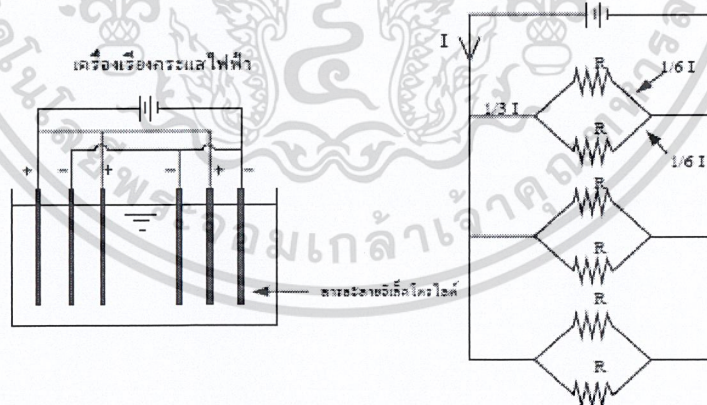
2. โมโนโพลาร์แบบอนุกรม (Monopolar Electrode with Cell in Series)เป็นการจัดเรียงอิเล็กโทรดคล้ายเซลล์เดี่ยวหลายๆเซลล์มาต่อกันโดยมีการเชื่อมจุดอิเล็กโทรดเพื่อให้ไฟฟ้ากระจายในแต่ละอิเล็กโทรด



รูปที่ 2.9 การจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบโมโนโพลาร์-แบบต่ออนุกรม

ที่มา: Pretourius et al., 1991

3. โมโนโพลาร์แบบเซลล์เดี่ยวต่อขนาน (Monopolar Electrode in Parallel) กระแสไฟฟ้าจะถูกแบ่งไปในแต่ละเซลล์ขึ้นอยู่กับความต้านทานภายในเซลล์นั้น โดยที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าของระบบเท่ากับลักษณะการต่อแบบโมโนโพลาร์แบบเซลล์เดี่ยวต่อขนาน

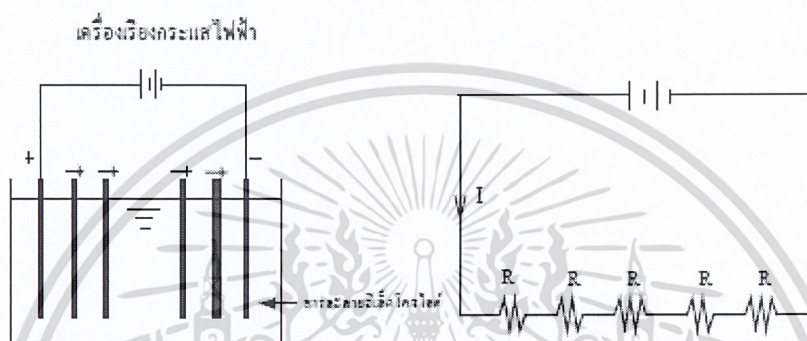


รูปที่ 2.10 การจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบโมโนโพลาร์ - แบบต่อขนาน

ที่มา: Pretourius et al., 1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แบบไบโพลาร์ (Bipolar Electrode with Multiple in Series) มีจุดเชื่อมอิเล็กโทรด 2 จุด เฉพาะแผ่นอิเล็กโทรดที่อยู่ปลายนอกสุดแต่ละแผ่นของอิเล็กโทรดมีด้านหนึ่งเป็นขั้วลบซึ่งทำหน้าที่เป็นแอโนดอีกด้านหนึ่งเป็นขั้วบวกทำหน้าที่เป็นคาโทดในทางไฟฟ้า นั้นแผ่นอิเล็กโทรดจะมีการจัดเรียงเซลล์แบบอนุกรมโดยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ต้องการความต่างศักย์สูงกว่าเนื่องจากความต้านทานที่สูงกว่าของเซลล์ต่อกันแบบอนุกรมแต่จะมีไฟฟ้าของระบบเท่ากันนั่นคือมีกระแสไฟฟ้าเดียวกันไหลผ่านอิเล็กโทรดทั้งหมด



รูปที่ 2.11 การจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบไบโพลาร์-แบบต่อขนาน

ที่มา: Pretourius et al., 1991

2.8.5.5 ขนาดของถังปฏิกรณ์

ขนาดของถังปฏิกรณ์ส่งผลต่อความหนาแน่นของกระแสซึ่งในการทดลอง เมื่อต้องการแปรผลจากห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ควรหาค่าของพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรดต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ หรือ S/V ratio โดยที่ขนาดของขั้วไฟฟ้าส่งผลต่อความหนาแน่นกระแส อีกทั้งยังส่งผลต่อปริมาณ ไอออนบวกที่เกิดขึ้นด้วยซึ่งค่า S/V ratio จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกระแสลดลง (Mameri et al., 1998) อย่างไรก็ตามงานวิจัยเรื่องนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การใช้ค่า S/V ratio ในอุตสาหกรรม

Reference Author (m ² /m ³)	Year	S/V
Osipenko and Pogorelyi	1977	18.8
Novikova <i>et al.</i>	1982	42.5
Amosov <i>et al.</i>	1976	30.8

ที่มา : Mameri et al.,1998

เมื่อจะขยายขนาดของ ถังปฏิกรณ์จากห้องปฏิบัติการไปยังระบบอุตสาหกรรมควรพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ ตามอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรดต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (S/V ratio)

- Reynolds Number
 - Froude Number (อัตราส่วนแรงกระทำต่อการไหลระหว่างแรงดึงดูดของโลกต่อแรงจากความเฉื่อย)
- $$Fr = \frac{V}{L} = \frac{\text{ความเร็วของการไหล}}{\text{ความยาวจำกัดคุณสมบัติทางน้ำเปิด}}$$
- $$g = \text{อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก}$$
- รูปทรงที่เหมือนกัน

2.8.5.6 ความหนาแน่นของกระแส (Peter Holt et al., 2006)

ความหนาแน่นของกระแส ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ง่ายต่อการควบคุม ถ้าความหนาแน่นของกระแสสูงตั้งแต่ 100 – 2000 A/m² จะทำให้เกิดกระบวนการ Flotation และ การรวมตะกอนที่ดีกว่าความหนาแน่นของกระแสต่ำ

2.8.5.7 ลักษณะ และรูปทรงของถังปฏิกรณ์

รูปทรงของถังปฏิกรณ์ส่งผลต่อ

- เส้นทางการลอยตัวของฟองก๊าซ แต่ไม่ส่งผลต่อการเกิดฟลอค
- ทิศทางการไหลของของไหล และการกวนผสม
- การจัดวางขั้วไฟฟ้าที่ส่งผลต่อการละลายของโลหะในการผ่านเข้าสู่กระบวนการ

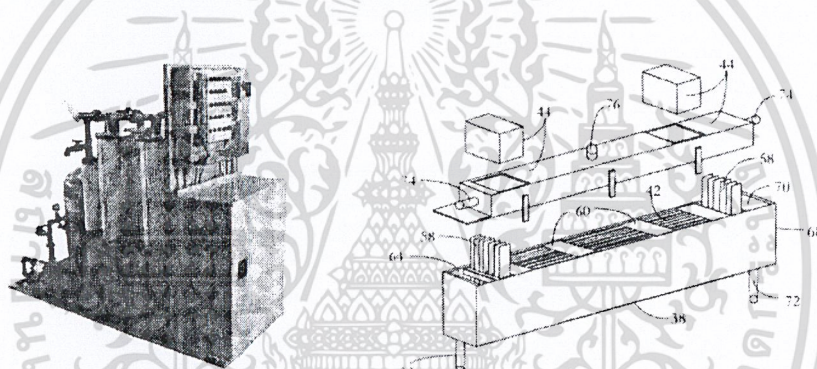
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6 รูปแบบของถังปฏิกรณ์อิเล็กโทรโคแอกูเลชันที่มีอยู่ในปัจจุบัน

จากการศึกษาข้อมูลด้านเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันประกอบกับการศึกษาข้อมูลด้านสิ่งประดิษฐ์ที่ได้จดสิทธิบัตรไว้แล้วพบว่ารูปแบบของถังปฏิกรณ์อิเล็กโทรโคแอกูเลชันที่มีอยู่ในปัจจุบันมีหลากหลายรูปทรงดังนี้

2.8.6.1 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า (Electrocoagulation) ของ Mike Davis บริษัท Oil Trap Environmental (Oiltrap Environment Product INC, 2010)

ลักษณะของถังปฏิกรณ์เป็นทรงกระบอกเช่นเดียวกับระบบบำบัดของ GlobalSep Corporation โดยมีการบรรจุขั้วอิเล็กโทรดไว้ภายใน เช่นเดียวกัน แต่ลักษณะการไหลของน้ำในระบบนี้เป็นการไหลในแนวตั้ง แต่ไม่มีการระบุชัดเจนว่ามีการไหลในทิศทางขึ้นหรือลงถังปฏิกรณ์เป็นลักษณะถึงปิด จะไม่มีก๊าซออกมาจากระบบที่มีการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.12 รูปทรงของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า

ที่มา: Oiltrap Environment Product INC, 2010

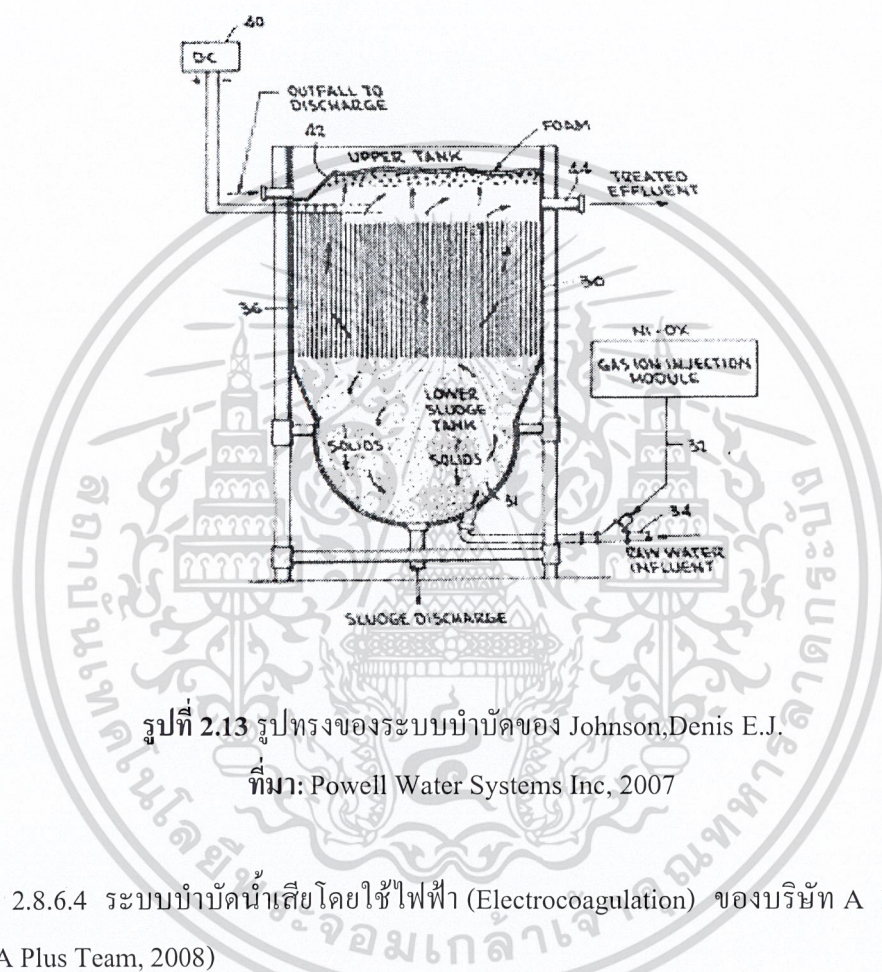
2.8.6.2 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า (Electrocoagulation) ของ Gilmore, William F. (Denver, CO) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ทำการจดสิทธิบัตรที่สหรัฐอเมริกา (Gilmore and William, 2003)

ลักษณะการไหลของน้ำผ่านถังปฏิกรณ์จะไหลในแนวระนาบ โดยไหลเข้าจากด้านล่างของถังและผ่านถังปฏิกรณ์ออกไปน้ำที่ผ่านจากท่อนี้จะเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ส่วนด้านบนของถังปฏิกรณ์จะเปิดออกเพื่อเป็นพื้นที่ใส่สารต่างๆที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และเป็นช่องทางในการระบายก๊าซและผลิตภัณฑ์ (ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6.3 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า (Electrocoagulation) ของ Johnson, Dennis E. J. เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ได้ทำการจดสิทธิบัตรไว้ที่สหรัฐอเมริกา (Johnson and Dennis, 2007)

ลักษณะของถังปฏิกรณ์เป็นทรงสี่เหลี่ยม ก้นถังมน ลักษณะการไหลของน้ำภายในถังปฏิกรณ์เป็นการไหลขึ้น และล้นออกทางด้านบน ส่วนตะกอนที่เกิดขึ้นจะไหลออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ถังปฏิกรณ์จะเป็นลักษณะถังเปิด ก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสามารถระบายออกสู่บรรยากาศภายนอกได้



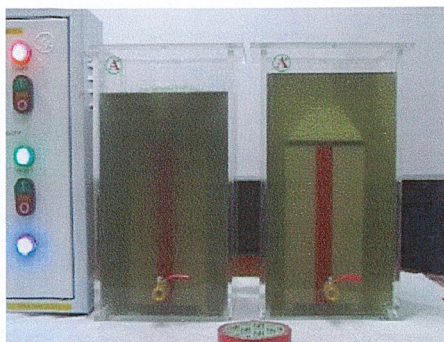
รูปที่ 2.13 รูปทรงของระบบบำบัดของ Johnson, Denis E.J.

ที่มา: Powell Water Systems Inc, 2007

2.8.6.4 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า (Electrocoagulation) ของบริษัท A Plus Team จำกัด (A Plus Team, 2008)

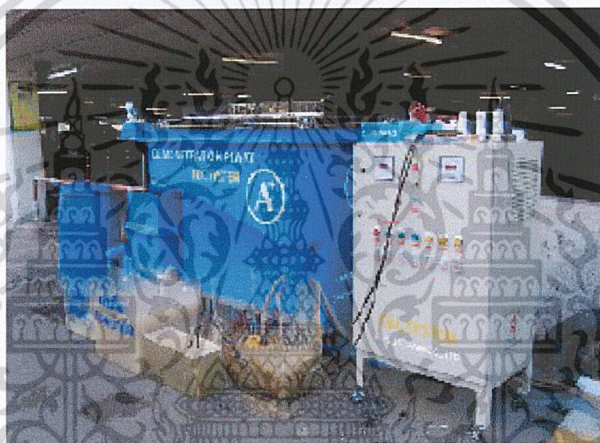
ลักษณะของถังปฏิกรณ์มีหลายรูปแบบ ทั้งทรงสี่เหลี่ยมและทรงกระบอก แต่จะมีขั้วอิเล็กโทรดอยู่ตรงกลางถังปฏิกรณ์ ลักษณะการไหลของน้ำจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะล้นออกทางด้านบน ถังปฏิกรณ์จะเป็นลักษณะถังเปิด ก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสามารถออกสู่ภายนอกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า ของบริษัท A Plus Team (Lab scale)

ที่มา: Powell Water Systems Inc, 2008

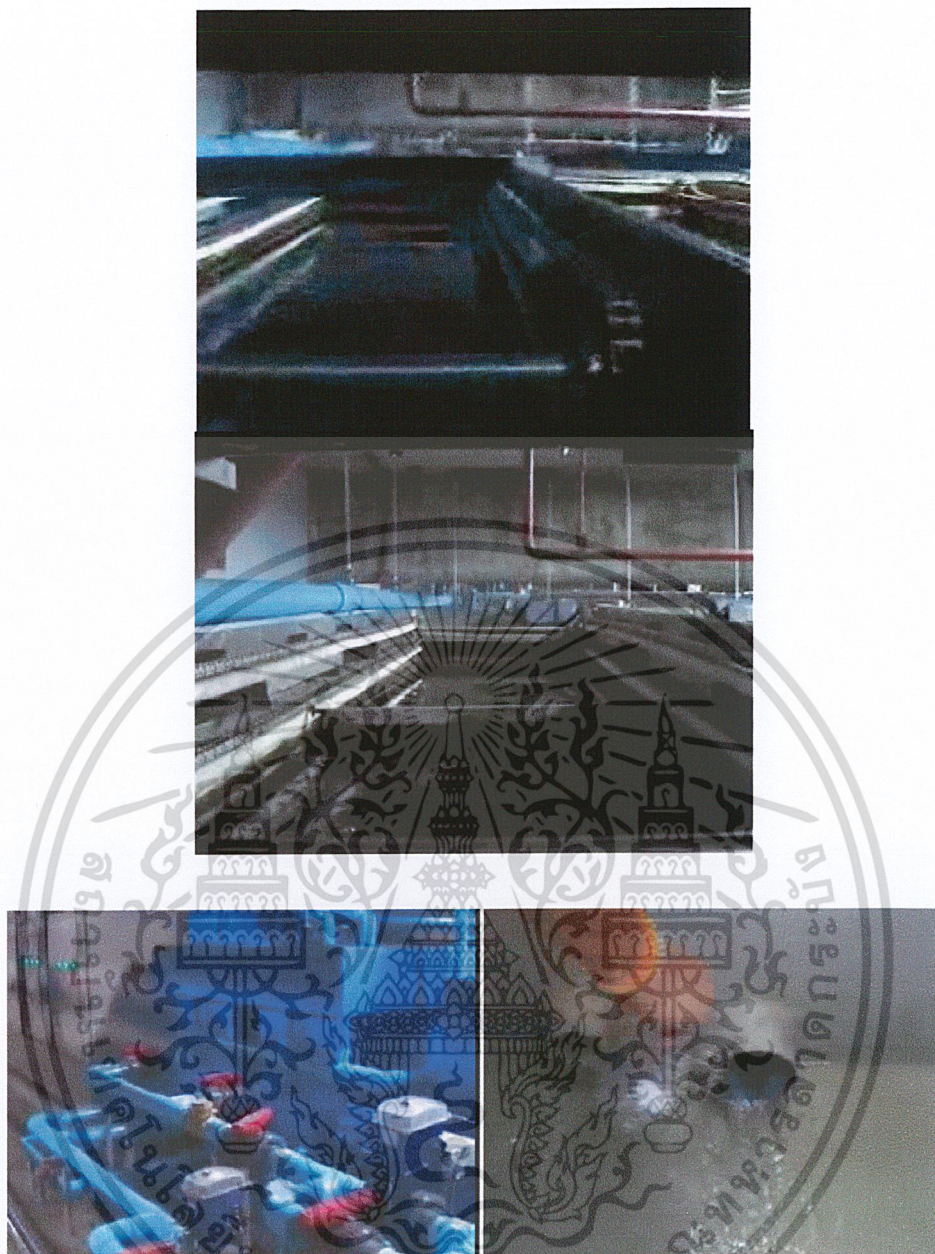


รูปที่ 2.15 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า ของบริษัท A Plus Team

ที่มา: Powell Water Systems Inc, 2008

นอกจากนั้นบริษัทดังกล่าวยังได้ออกแบบระบบเพื่อติดตั้งกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันในอุตสาหกรรมอีกด้วย โดยที่ทำการเดินระบบแบบต่อเนื่องและให้น้ำเสียไหลตามกันโดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียด้วย Pump และ Valve ถึงปฏิกรณ์จะประกอบด้วย Skimmer ในการกวาดฟล็อกที่ลอยอยู่บนผิวหน้า ถึงเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำเสียในถึงปฏิกรณ์สุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



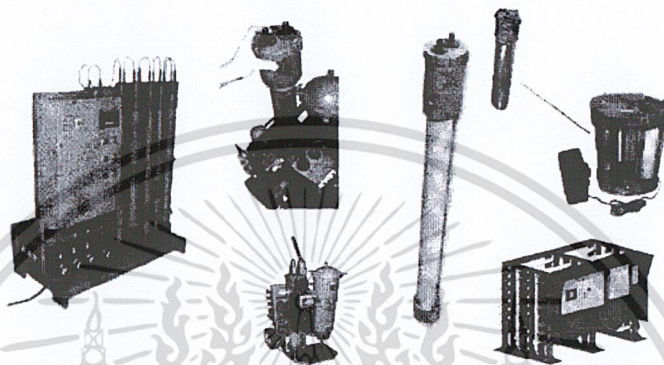
รูปที่ 2.16 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า ของบริษัท A Plus Team (Industry Scale)

ที่มา: Powell Water Systems Inc, 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6.5 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า (Electrocoagulation) ของ Global Step Corporation (Globalsep Corporation, 2007)

ลักษณะของถังปฏิกรณ์ จะเป็นทรงกระบอก และทำการบรรจุขั้วอิเล็กโทรดไว้ภายใน หลอดทรงกระบอกนี้แต่ในรายละเอียดด้านการไหลของน้ำที่ชัดเจน ไม่มีระบุไว้ในข้อมูล แต่เมื่อดูจากรูปแบบของระบบแล้วพบว่า มีการวางหลอดเซลล์ไฟฟ้าทั้งในแนวตั้งและแนวนอนซึ่งอาจจะใช้การไหลของน้ำได้ทั้งในลักษณะแนวระนาบและไหลเวียนแบบแนวตั้ง



รูปที่ 2.17 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า ของบริษัท Global Step Corporation
ที่มา: Powell Water Systems Inc, 2007

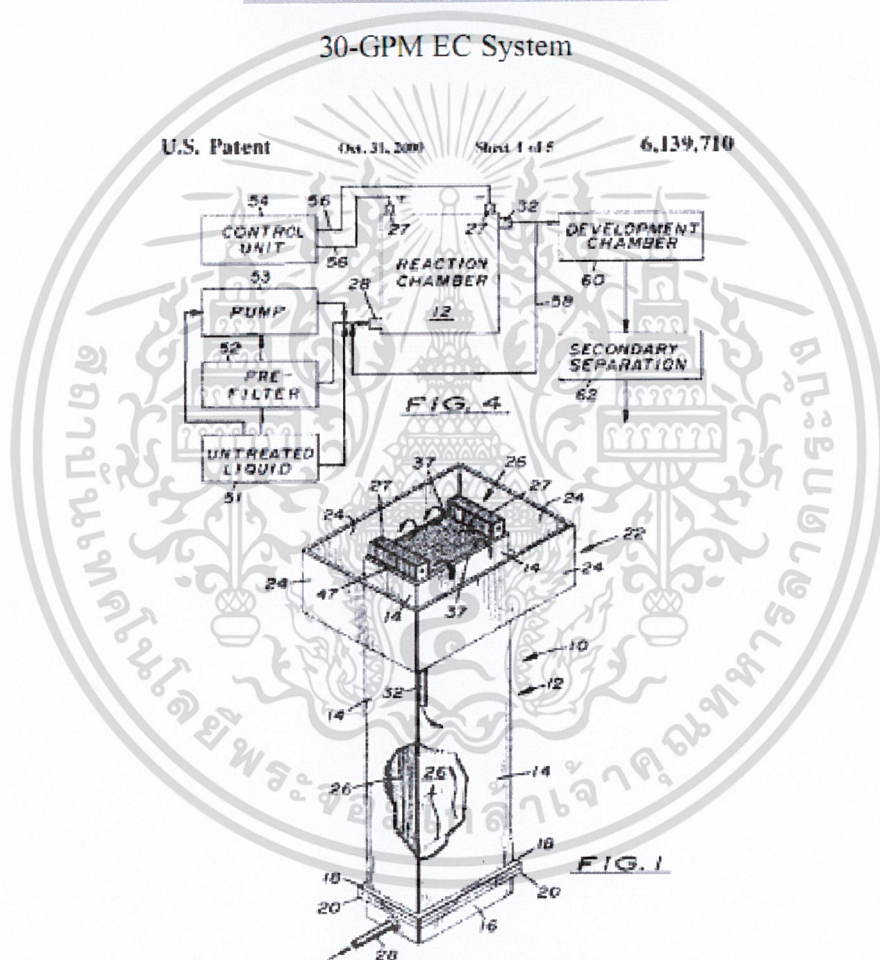
2.8.6.6 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า (Electrocoagulation) ของ Scott Wade Powell เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ทำการจดสิทธิบัตรไว้ที่สหรัฐอเมริกา (Scott Wade, 2000)

ลักษณะของถังปฏิกรณ์เป็นทรงสี่เหลี่ยมทรงสูง การไหลของน้ำจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะล้นออกทางด้านบนถึงปฏิกรณ์เป็นลักษณะถึงเปิดก๊าชที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสามารถออกสู่ภายนอกได้ เช่นเดียวกับของบริษัท A Plus Team

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



30-GPM EC System



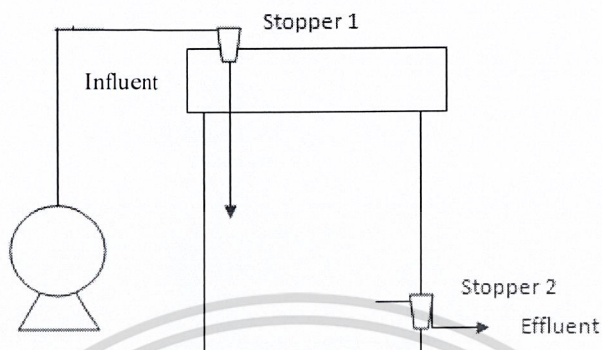
รูปที่ 2.18 ลักษณะของถังปฏิกรณ์ของบริษัท Powell Water Systems

ที่มา: Powell Water Systems Inc, 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.7 การเดินระบบ

การบำบัดน้ำเสียอาจมีการบำบัดแบบครั้งเดียว (Batch Operation) ในถังปฏิกริยาถังเดียว หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous Operation) ในถังปฏิกริยาหลายถัง

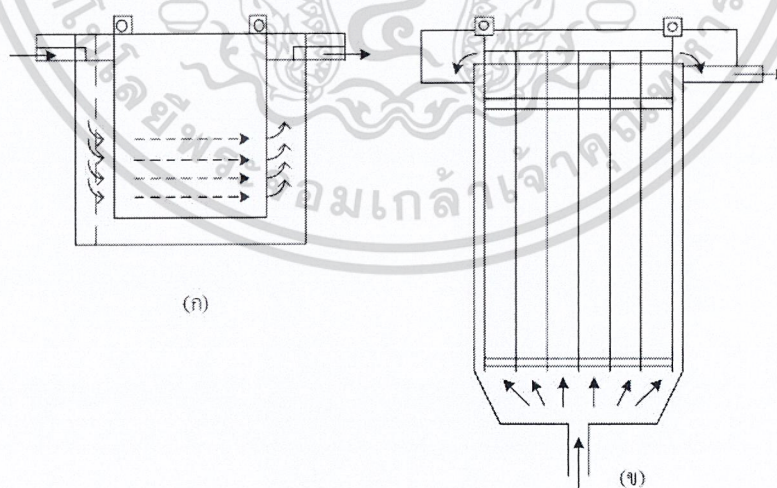


รูปที่ 2.19 ลักษณะการบำบัดน้ำแบบ Continuous Flow

ที่มา: วรชวรณ, 2546

การบำบัดแบบ 1 ถัง

ในการเดินระบบแบบต่อเนื่องสามารถดัดแปลงถังปฏิกริยาให้มีกระบวนการเกิดขึ้นทั้ง 3 กระบวนการได้ การบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการอ็อกซิไดซ์ ไตรโคเอกกุลเลชันสามารถใช้ลดความขุ่นของน้ำในกระบวนการทำน้ำประปา การลดปริมาณสี ปริมาณค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในน้ำเสีย รวมถึงสาร ABS, LAS, น้ำมัน ไขมัน และฟอสเฟตได้



รูปที่ 2.20 ถังปฏิกริย (ก) น้ำไหลตามแนวนอนและ (ข) น้ำไหลตามแนวตั้ง

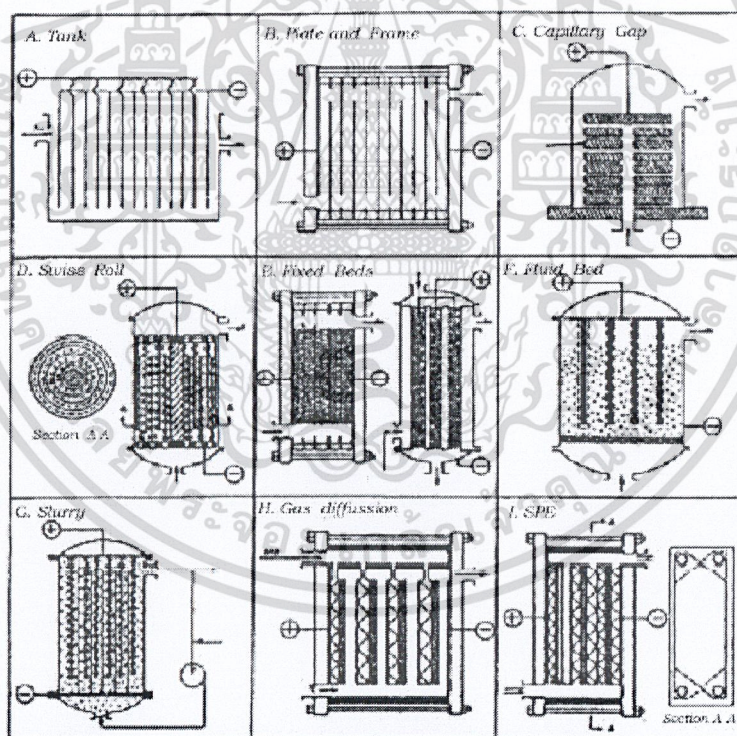
ที่มา: วรชวรณ, 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.8 หลักการในการออกแบบระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า-เคมี

เครื่องรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีหลายรูปแบบดังภาพที่ 2.21 ขึ้นอยู่กับลักษณะที่จะประยุกต์ใช้งาน โดยมีหลักการที่สำคัญในการออกแบบ (วรธยวรรณ, 2546) คือ

1. ควรออกแบบให้ง่ายที่สุดค่าใช้จ่ายต่ำสุด
2. ต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่สมบูรณ์
3. เมื่อจำเป็นต้องมีการกวนผสมหรือการไหลของสารละลายต้องพิจารณาการถ่ายเทมวลสารเป็นอันดับแรกเช่นการกวนผสมจะใช้แผ่นกั้นหรือใบพัดที่ไม่นำไฟฟ้า
4. การออกแบบให้มีการกระจายความต่างศักย์ให้ทั่วพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรด
5. ควรออกแบบให้มีระยะระหว่างอิเล็กโทรดน้อยเพราะระยะห่างยิ่งมากจะทำให้ต้องใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น
6. การเลือกวัสดุทำอิเล็กโทรดต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้นให้สอดคล้องกับความต้องการ



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างเครื่องรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่างๆ

ที่มา: Oloma, 1985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.9 ข้อดีและข้อเสียของระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า-เคมี (Yousef M. and Robert, 2000)

ข้อดีของระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า-เคมี

1. เป็นเครื่องที่ใช้งานง่าย
2. สามารถบำบัดสีกลิ่นรสสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ออกจากระบบสามารถยอมรับได้
3. ตะกอนที่ได้มีลักษณะคล้ายตะกอนจากระบบเคมีแต่มีขนาดใหญ่กว่า รวมตะกอนกรองและรีดน้ำออกง่ายเพราะส่วนใหญ่เป็นออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ของโลหะและอัตราการเกิดตะกอนต่ำ
4. น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีมีค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) น้อยกว่าระบบเคมี
5. บำบัดอนุภาค (คอลลอยด์) ขนาดเล็กได้เพราะกระแสไฟฟ้าเข้าไปทำให้อนุภาคเกิดการเคลื่อนที่เร็วขึ้นจึงง่ายต่อการรวมตะกอน
6. ไม่มีการเติมสารเคมีลงไปในระบบ
7. ก๊าซที่เกิดขึ้นจะดันตัวและยกมลสารให้ลอยขึ้นเหนือน้ำทำให้ง่ายต่อการบำบัดออก
8. เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องการบำรุงรักษาน้อย
9. สะดวกที่นำไปใช้งานกระแสไฟฟ้าเป็นสิ่งที่หาได้ง่ายและใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cells) ได้

ข้อเสียของระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า-เคมี

1. ขั้วอิเล็กโทรดสึกกร่อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันละลายลงไปในน้ำทำให้ต้องมีการเปลี่ยนขั้วอิเล็กโทรดใหม่มาทดแทน
2. ไม่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ค่าไฟฟ้าราคาสูง
3. สารบางชนิดจะเกาะที่อิเล็กโทรดทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง
4. ต้องการค่าความนำไฟฟ้าในน้ำเสีย (Conductivity)
5. ไฮดรอกไซด์ที่มีลักษณะคล้ายวุ้นสามารถละลายในน้ำเสียได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.10 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบระหว่างวิธีโคแอกกูเลชันและอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

ในการเดินระบบทั้งวิธีโคแอกกูเลชัน และอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันนั้นมีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียระหว่างวิธีโคแอกกูเลชัน และวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

Operating cost	Chemical coagulation	Electrocoagulation
per gallon	\$0.03	\$0.001
Per 1,000 gal	\$30.00	\$1.00
Per year	\$45,000.00	\$1,500.00

ที่มา: Powell Water Systems, 1994

กระบวนการโคแอกกูเลชันต้องใช้ สารส้ม เฟอริกคลอไรด์ เฟอริกซัลเฟต เฟรตซัลเฟต และ ปูนขาว เพื่อให้เกิดการรวมตะกอน และแขวนลอยของสารปนเปื้อนขึ้นตั้งแต่ กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันสามารถเกิดกระบวนการดังกล่าวได้ ในคราวเดียวโดยไม่ต้องใช้สารเคมีจึงให้ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบที่ต่ำกว่า

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mameri, A.R. et al., 1998 ได้ศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ กระบวนการไฟฟ้าเคมีซึ่งในการทดลองใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด โดยทำการศึกษาระยะห่าง ระหว่างขั้วที่ระยะ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 cm พบว่าที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดมีค่าน้อยๆ จะมี ประสิทธิภาพดีกว่าที่ระยะห่างมากกว่า พร้อมทั้งแนะนำว่าที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 0.5 cm เป็นระยะที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ก็มีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรของระบบภายใน ถึงปฏิกิริยาได้ ในการเลือกใช้ควรที่จะพิจารณาระยะที่มีความห่างเพิ่มมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพ ใกล้เคียงเดิมจะดีกว่า

วิชุดา, ศศิสุภา และชัชรัตน์, 2552 ได้ทำการทดลองผลของการเปรียบเทียบปริมาณกระแสที่ เวลาต่างๆ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า 1, 2, 3, 12 และ 19 แอมแปร์ พบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น มีผลทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น และประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กระแสไฟฟ้า ที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heidmann et al., 2007 ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไอออนของโลหะหนัก ($Zn^{2+}, Ca^{2+}, Ni^{2+}, Ag^+, Cr_2O_7^{2-}$) โดยการตกตะกอนทางเคมีไฟฟ้า หรือวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชันที่มีอนุเมียมเป็นอิเล็กโทรด โดยศึกษาตัวแปร เช่น ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะ กลุ่มของโลหะ น้ำหนักของประจุ และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 – 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่ออัตราการบำบัด Zn , Cu , Ni , และ Ag แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นสูงจะสามารถเพิ่มอัตราการบำบัดโครเมียมได้มากขึ้น กระบวนการตกตะกอนทางเคมีไฟฟ้าจะเร่งให้เกิดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากขึ้นแต่จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง Zn , Cu และ Ni จะมีอัตราในการบำบัดที่เท่ากันซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะทางกระบวนการเคมีไฟฟ้าเคมี จากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงกลไกการบำบัดโลหะซึ่งเป็นไอออนของ Zn , Cu , Ni และ Ag โดยปฏิกิริยา Hydrolyzed จะเร่งให้เกิดการตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ ส่วนโครเมียม (Cr^{6+}) จะถูกรีดิวซ์เป็นโครเมียม Cr^{3+} ที่ขั้วแคโทดก่อนที่จะทำให้เกิดตะกอนไฮดรอกไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- 3.1.1.1 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น AA-680 ยี่ห้อ Shimadzu, ประเทศอังกฤษ
- 3.1.1.2 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) บริษัท Denver รุ่น 215, ประเทศอังกฤษ
- 3.1.1.3 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) รุ่น PS-204FX ยี่ห้อ Hammax, ประเทศจีน
- 3.1.1.4 ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม (ขนาด 145 mm x 87 mm x 2mm)
- 3.1.1.5 Reactor (กล่องอะคริลิกขนาด ขนาด 90 mm x 110 mm x 150 mm)
- 3.1.1.6 เครื่องปั้มน้ำ
- 3.1.1.7 สายไฟ
- 3.1.1.8 นาฬิกาจับเวลา
- 3.1.1.9 ปากกิบ
- 3.1.1.10 กระดาษกรอง
- 3.1.1.11 ขวดพลาสติก
- 3.1.1.12 เครื่องแก้วต่างๆ
- 3.1.1.13 เครื่องปั่นกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมแท่งแม่เหล็ก
- 3.1.1.14 Conductivity Meter

3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 สารละลาย HCl เข้มข้น 0.5M
- 3.1.2.2 สารละลาย NaOH เข้มข้น 0.2M
- 3.1.2.3 สารละลายกรดไนตริก เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
- 3.1.3.4 น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมการทดลอง

3.2.1 การเตรียมชุดการทดลอง

3.2.1.1 ตัดแผ่นอลูมิเนียม (ธรรมดา) เพื่อใช้เป็นอิเล็กโทรดให้มีขนาดเท่ากับ 145 มิลลิเมตร x 87 มิลลิเมตร x 2 มิลลิเมตร

3.2.1.2 นำแผ่นอลูมิเนียมที่ตัดเรียบร้อยแล้ว 4 แผ่น มาจัดเรียงในภาชนะทรงสี่เหลี่ยมที่ทำจากอะคริลิกขนาด 90 มิลลิเมตร x 110 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร ให้มีระยะห่างระหว่างแผ่นอลูมิเนียม (อิเล็กโทรด) แต่ละแผ่นเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

3.2.1.3 ต่ออิเล็กโทรดแบบขนานกับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (ภาคผนวก ค)

3.2.2 ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังที่ใช้ในการทดลอง (แหล่งที่มาของตัวอย่างน้ำเสียไม่สามารถเปิดเผยได้)

วิเคราะห์ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ตามวิธีมาตรฐาน (APHA, AWWA and WEF, 1995) วิเคราะห์ค่าพีเอชและอุณหภูมิ ด้วย pH-Meter และค่าการนำไฟฟ้าด้วย Conductivity Meter

3.3 การดำเนินการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม โดยให้กระแสที่ 19 แอมแปร์

3.3.1 ศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้น 4, 6 และ 8 ต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม

1. นำตัวอย่างน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม ที่ปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ปริมาตร 900 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้

2. ต่อชุดทดลอง (รูปที่ จ-3) ทำการเดินระบบเป็นระยะเวลา 60 นาที ทุกๆ 10 นาที วัดค่าพีเอช อุณหภูมิ และเก็บตัวอย่างสารละลายครั้งละ 10 มิลลิลิตร

3. นำสารละลายที่ได้มารอง แล้วทำการรักษาสภาพสารละลายด้วยสารละลายกรดไนตริก ให้ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2-3

4. วิเคราะห์ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ตามวิธีมาตรฐาน (APHA, AWWA and WEF, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ชุดควบคุมทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่ใช้น้ำกลั่นในการเดินระบบพร้อมทั้งเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (NaCl) ให้มีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกับน้ำตัวอย่าง

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 โดยใช้ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 6 และ 8

3.3.2 ศึกษาผลของการควบคุมพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1 แต่ทำการปรับพีเอชทุกๆ 10 นาที ให้เท่ากับพีเอชเริ่มต้นก่อนการเดินระบบช่วงต่อไป

3.3.3 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการเดินระบบแบบครั้งเดียว เลือกระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย (HRT) และ พีเอชจากข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 มาใช้ในการเดินระบบบำบัดแบบต่อเนื่อง ในที่นี้เลือกพีเอช เท่ากับ 4 HRT เท่ากับ 20 และการเดินระบบแบบปรับพีเอชเริ่มต้น

1. นำตัวอย่างน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม ที่ปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 ปริมาตร 900 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้

2. ต่อชุดทดลอง (รูปที่ จ-4) ทำการเดินระบบ เป็นระยะเวลา 60 นาที ทุกๆ 10 นาทีวัดค่าพีเอช อุณหภูมิ และเก็บตัวอย่างสารละลายครั้งละ 10 มิลลิลิตร

3. นำสารละลายที่ได้มารอง แล้วทำการรักษาสภาพสารละลายด้วยสารละลายกรดไนตริก ให้ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2-3

4. วิเคราะห์ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม โดยใช้เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ตามวิธีมาตรฐาน (APHA, AWWA and WEF, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

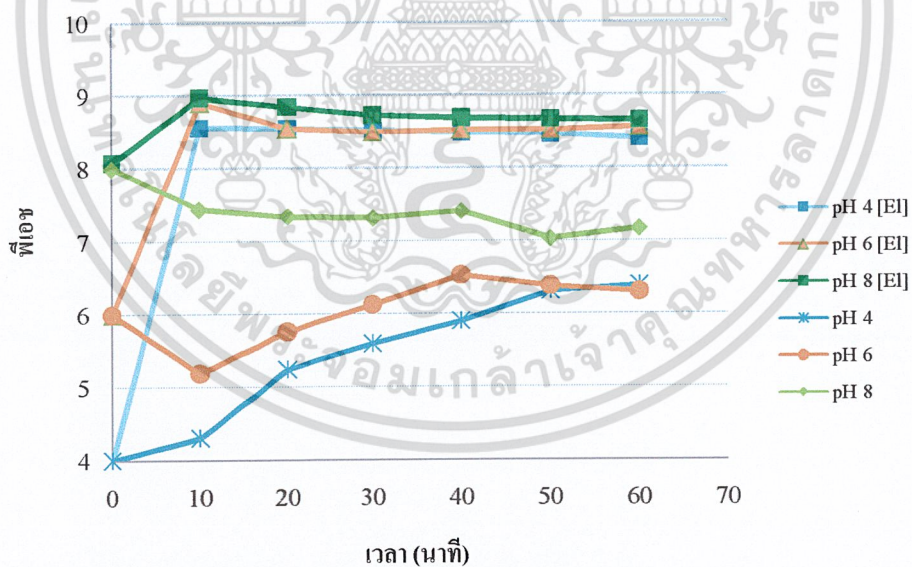
4.1 การศึกษาผลของพีเอช ต่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียในการเดินระบบแบบครั้งเดียว

เดี่ยว

- ใช้ตัวอย่างน้ำเสียถึง A ปรับพีเอชเริ่มต้น
- ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย_A = 7,148.9 ppm
- ใช้ตัวอย่างน้ำเสียถึง B ควบคุมพีเอชเริ่มต้น
- ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย_B = 11,243.6 ppm

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่าพีเอชเริ่มต้น 4, 6 และ 8 เดินระบบโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19 แอมแปร์ การเปลี่ยนแปลงพีเอชแสดงดังรูป 4.1 (ตารางที่ ข-2, ตารางที่ ข-3, ตารางที่ ข-4, ตารางที่ ข-5, ตารางที่ ข-6 และตารางที่ ข-7 ภาคผนวก ข)



*หมายเหตุ pH_[EI] = พีเอชของสารละลายอิเล็กโทรไลต์
 pH_๐ = พีเอชของน้ำเสียโดยการปรับพีเอชเริ่มต้น

รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อทำการเดินระบบด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้นด้วย และพีเอชจะเริ่มคงที่ที่เวลา 20 เป็นต้นไป ที่พีเอชประมาณ $8.5(\pm 0.2)$ เป็นผลมาจากปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด ได้ผลิตภัณฑ์เป็น H_2 กับ OH^-

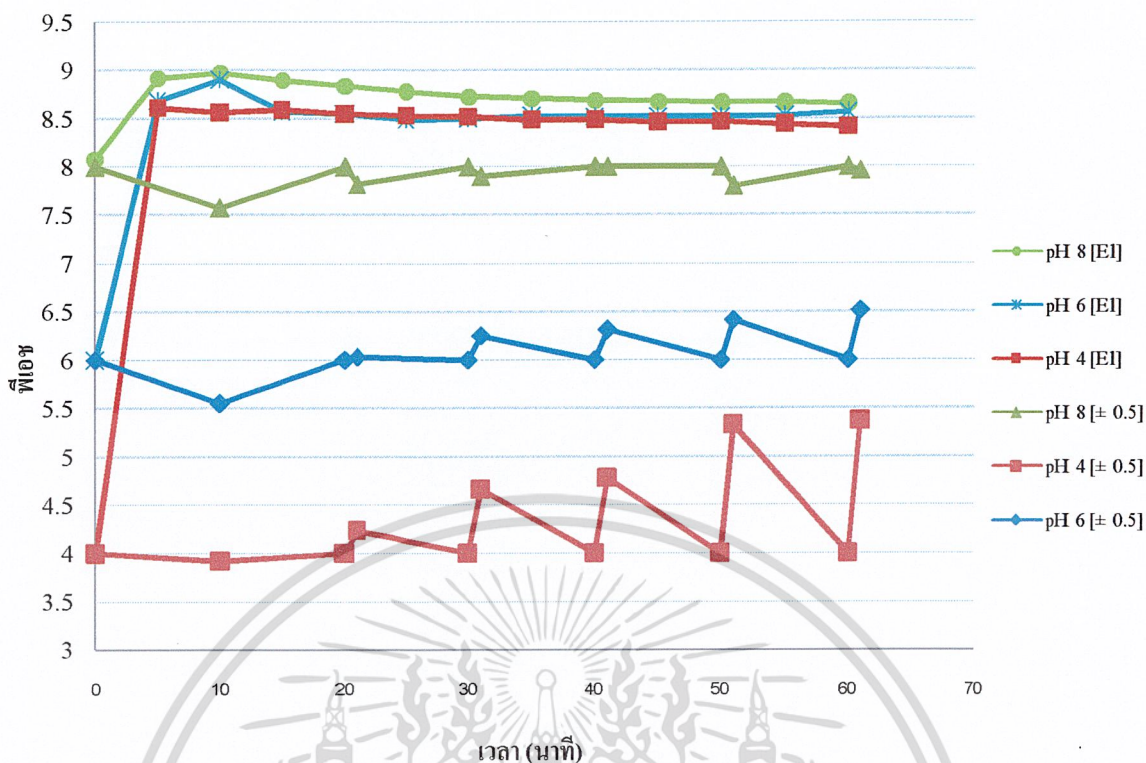
ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจะทำให้ค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้นแปรผันตรงกับเวลาและที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้ Al^{3+} ในช่วง 10 นาทีแรกอลูมิเนียมจะอยู่ในรูปของ Al^{3+} และ OH^- เป็นไอออนอิสระอยู่ในสารละลายเมื่อมีปริมาณ OH^- มากเกินพอ ทำให้เกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นตะกอนของ $Al(OH)_3$ (ที่พีเอชระหว่าง 4 ถึง 9) จึงทำให้พีเอชระหว่างการเดินระบบเริ่มคงที่ในช่วง 20 – 60 นาที

เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 พีเอชของสารละลายจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากไฮดรอกไซด์ไอออนอิสระขึ้นในสารละลายตั้งแต่นาทีที่ 0 ถึง 60 เนื่องจากปริมาณโครเมียมไอออนในน้ำเสีย (Cr^{3+}) เกิดตะกอนร่วมกับ OH^- เป็น $Cr(OH)_3$ ซึ่ง $Cr(OH)_3$ จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 6 ถึง 8

เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 และ 8 พีเอชของสารละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วง 10 นาทีแรก เป็นผลมาจากความนำเสียมีความเข้มข้นของโครเมียมสูง จึงเกิดปฏิกิริยากับ OH^- มากและพีเอชจะเริ่มคงที่ที่เวลา 40 นาที และ 20 นาที เป็นต้นไป ที่พีเอช 6 และ 8 ตามลำดับ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียบนสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ทำการทดลองโดยใช้น้ำกลั่นนำมาปรับค่าการนำไฟฟ้าให้ใกล้เคียงกับน้ำเสียตัวอย่าง ทำการปรับพีเอชเริ่มต้นให้มีค่า 4, 6 และ 8 ตามลำดับ เดินระบบโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19 แอมแปร์ ทำวัดค่าพีเอช นาทีที่ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ควบคุมพีเอชให้มีค่าใกล้เคียงกับพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ทุก 10 นาที เดินระบบที่สภาวะเดียวกัน โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจริง ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2 (ตารางที่ ข-8, ตารางที่ ข-9 และตารางที่ ข-10 ภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



*หมายเหตุ $pH_{[EI]}$ = พีเอชของสารละลายอิเล็กโทรไลต์
 $pH_{[±0.5]}$ = พีเอชของน้ำเสียโดยควบคุมพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้คงที่(±0.5)

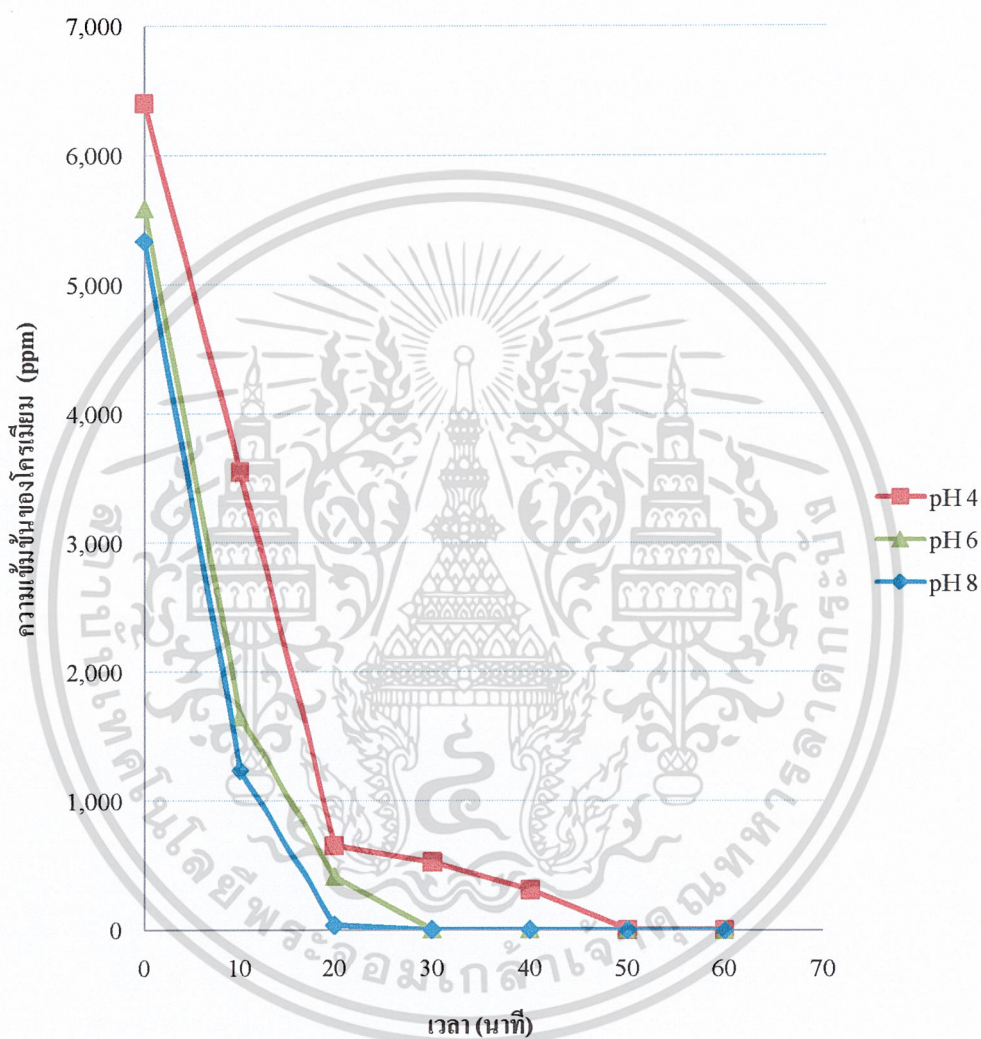
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียเมื่อควบคุมพีเอชเริ่มต้น (±0.5) เทียบกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

จากรูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายอิเล็กโทรไลต์กับน้ำเสียเมื่อควบคุมพีเอชเท่ากับพีเอชเริ่มต้น(±0.5) พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับน้ำเสียที่ไม่ควบคุมพีเอช ในกรณีของพีเอช 4 ในช่วง 30 นาทีเป็นต้นไปไม่สามารถควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง ±0.5 ที่ระยะเวลา 10 นาทีได้ เนื่องจาก OH จากขั้วแคโทดถูกใช้น้อยลง ค่าพีเอชจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากกว่าพีเอชเริ่มต้น (±0.5) จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลืออยู่ในสารละลายที่พีเอช 4 ทั้งระบบควบคุมพีเอชและไม่ควบคุมพีเอช โดยใช้การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB (ตารางที่ ง-1 ภาคผนวก ง) ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

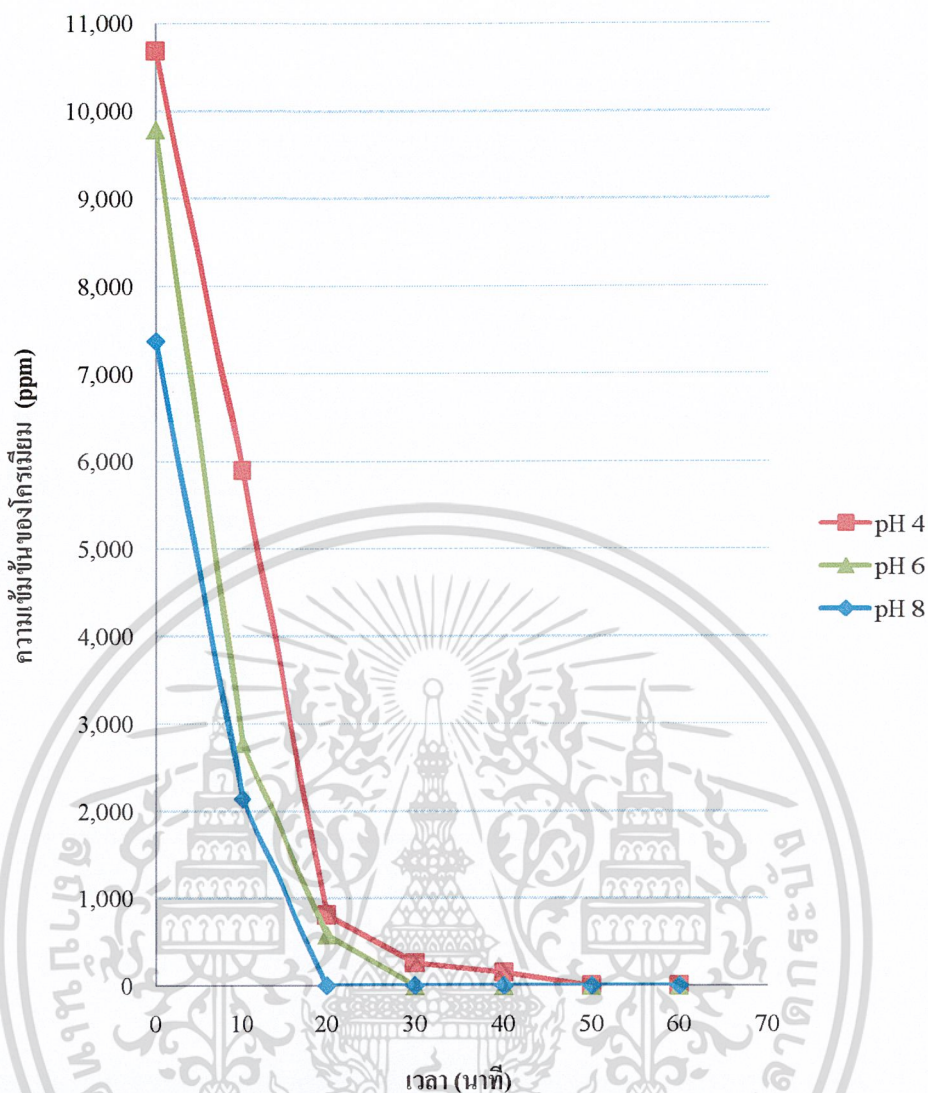
4.1.2 ผลของเวลา

จากการศึกษาผลของเวลาที่มีต่อความเข้มข้นของโครเมียมที่เวลาต่างๆกันในสภาวะพีเอชเริ่มต้น 4, 6 และ 8 แบบไม่ควบคุม และควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง (± 0.5) เคนระบบโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19 แอมแปร์ ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 (ตารางที่ ข-5, ตารางที่ ข-6 และตารางที่ ข-7 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของโครเมียมที่เวลาต่างๆกัน ในสภาวะพีเอชเริ่มต้น 4, 6 และ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของโครเมียมที่เวลาต่างๆกัน ในสภาวะพีเอชเริ่มต้น (±0.5) 4, 6 และ 8

จากรูปที่ 4.3 และรูป 4.4 การศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียพบว่าที่ระยะเวลา 20 นาทีความเข้มข้นของโครเมียมลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งพีเอช 4, 6 และ 8 โดยจะเริ่มลดลงอย่างช้าๆที่ 20 นาทีเป็นต้นไป โดยที่เวลา 60 นาที พีเอชเท่ากับ 8 มีความเข้มข้นของโครเมียมที่อยู่ในสารละลายต่ำที่สุด เท่ากับ 0.67 ppm จากการคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB (ตารางที่ ง-4 ภาคผนวก ง) ซึ่งจะเห็นว่าที่ระยะเวลาเท่ากัน พีเอช 6 และ 8 ให้ผลการบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Turkey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 95%) เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นที่ขั้วแคโทด ได้ Al^{3+} และเกิดการรวมตัวกับ OH^- ทำให้เกิดการตกตะกอนในรูปของ $Al(OH)_3$

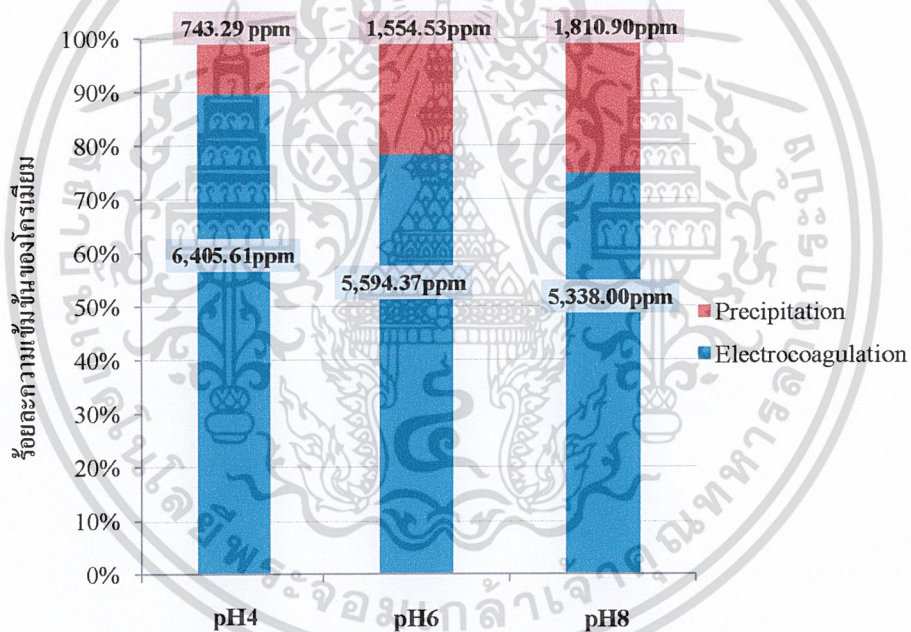
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิด Al^{3+} มากขึ้นอีกด้วยดังนั้น $Al(OH)_3$ ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Cr^{3+} เป็นโคโพลิเมอร์และตกตะกอนร่วมกันออกจากสารละลายความเข้มข้นของโครเมียมจึงลดลงแปรผกผันกับเวลาที่เพิ่มขึ้น

4.1.3 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมที่ เวลา 0 นาที

- ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย₄ = 7,148.9 ppm

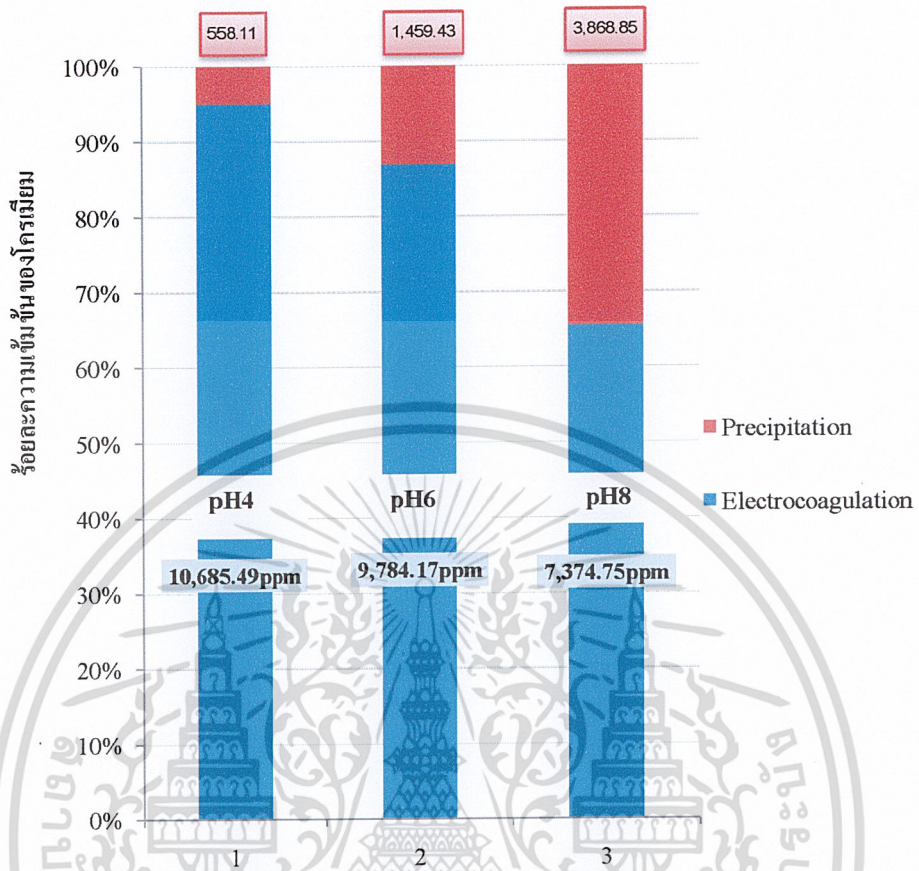
จากศึกษาผลของเวลาต่อความเข้มข้นของโครเมียมที่เวลาต่างกันในสภาวะพีเอชเริ่มต้น 4, 6 และ 8 แบบไม่ควบคุมและควบคุมพีเอชในช่วง (± 0.5) ที่เวลา 0 นาที ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 (ตารางที่ ข-5, ตารางที่ ข-6, ตารางที่ ข-7, ตารางที่ ข-8, ตารางที่ ข-9 และตารางที่ ข-10 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.5 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการตกตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ หลังจากปรับพีเอชเริ่มต้นที่เวลา 0 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย_B = 11,243.6 ppm



รูปที่ 4.6 ผลของพีเอชเริ่มต้น เมื่อควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5)

ต่อการตกตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ หลังจากปรับพีเอชเริ่มต้นที่เวลา 0 นาที

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 พบว่าที่พีเอช 8 ทั้งการปรับพีเอชเริ่มต้นและการควบคุมพีเอช ให้ผลการบำบัดโครเมียมดีที่สุด โดยความเข้มข้นของโครเมียมลดลงถึง 99.946% และ 99.991% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอชมีผลต่อความเข้มข้นของโครเมียมคือ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด ได้ H_2 กับ OH^- ซึ่งปริมาณ OH^- ที่เกิดขึ้นจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Al^{3+} ที่ขั้วแอโนดและเกิดการตกตะกอนร่วมกับ Cr^{3+} โดยที่พีเอชของสารละลายมีผลต่อสปีชีส์ของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารเคมีกลุ่ม Amphoteric ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) เมื่อพีเอชของสารละลายน้อยกว่า PZC (Point of Zero Charge) ของ $Al(OH)_3$ สารละลายจะมี H^+ มากกว่า OH^- (สภาวะกรด) ทำให้พื้นผิวของตัวดูดซับมีสภาพเป็นบวก มักจะพบอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในรูปของ $Al(OH)^{3+}$, $Al(OH)_2^+$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$ เป็นต้น

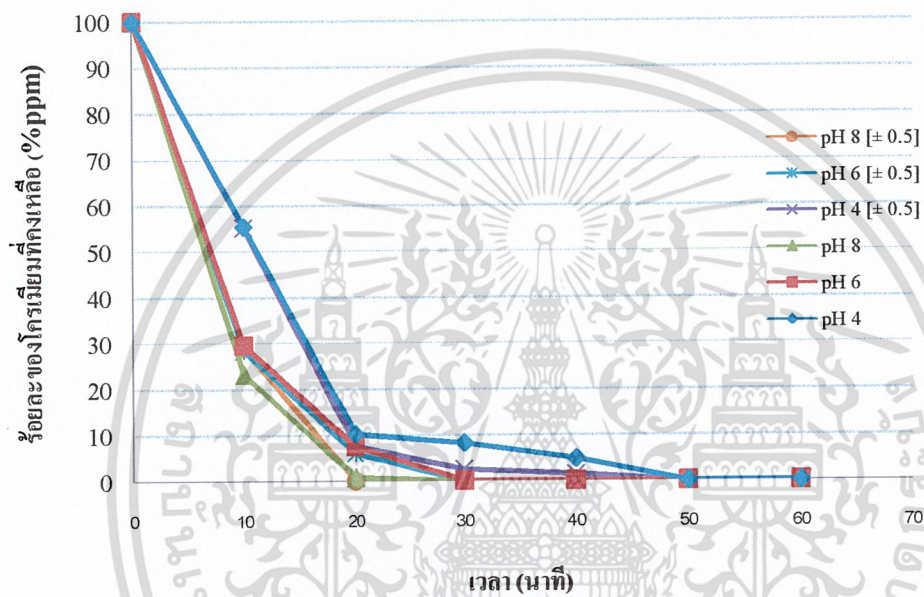
ในทางกลับกันเมื่อพีเอชของสารละลาย มากกว่า PZC(Point of Zero Charge) ของ $Al(OH)_3$ สารละลายจะมี H^+ น้อยกว่า OH^- (สภาวะด่าง) ทำให้พื้นผิวของตัวดูดซับมีสภาพเป็นลบ จึงมักจะพบอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในรูปของ $Al(OH)_4^-$ และ $Al(OH)_5^{2-}$ ซึ่งจะเหนี่ยวนำอนุภาคที่มีประจุบวก จึงทำให้สภาวะที่สารละลายที่เป็นด่าง สามารถบำบัด Cr^{3+} ในสารละลายได้สูงกว่าที่สภาวะสารละลายเป็นกรดประกอบกับ $Al(OH)_3$ จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 6 ถึง 8 จึงส่งผลให้ปริมาณ Cr^{3+} คงเหลือในสารละลายที่เวลา 30 นาที ณ สภาวะปรับพีเอชเริ่มต้น และควบคุมพีเอชเริ่มต้นที่พีเอช 6 ถึง 8 น้อยกว่าที่พีเอช 4 และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB (ตารางที่ ง-4 ภาคผนวก ง) พบว่า ความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลือในสารละลายของพีเอช 6 และ 8 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Turkey Test, P = 0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เปรียบเทียบผลของพีเอชเริ่มต้น กับ ผลของการควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม

4.2.1 ผลของเวลา

จากการศึกษาผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม ระหว่างการปรับพีเอชเริ่มต้นกับควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 (ตารางที่ ค-1 และตารางที่ ค-2 ภาคผนวก ค)

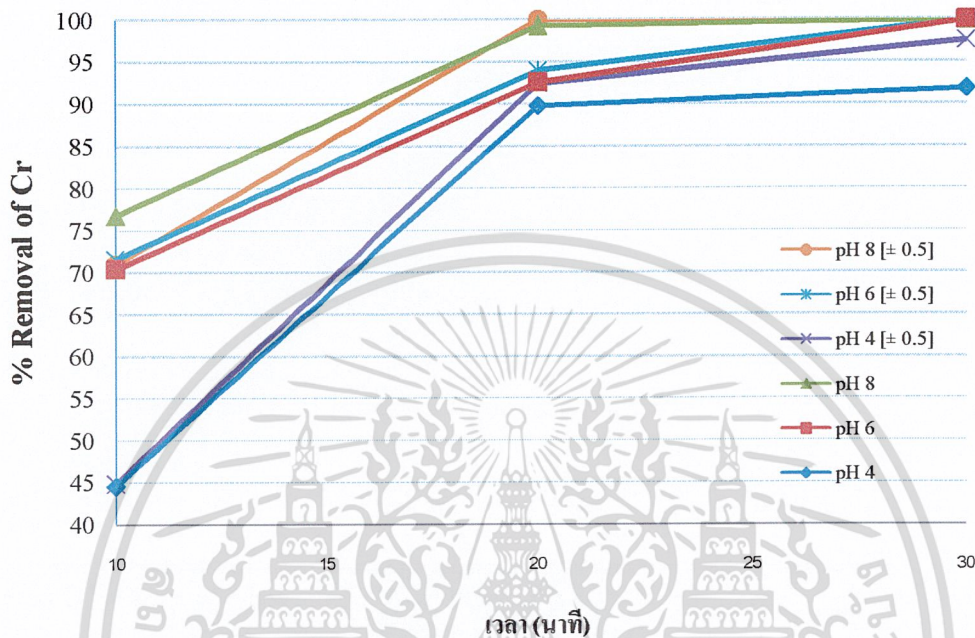


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลของเวลา ต่อร้อยละของ โครเมียมคงเหลือ ระหว่างการปรับพีเอชเริ่มต้น กับการควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ที่ 4, 6 และ 8

จากการทดลองพบว่าในช่วง 20 นาทีแรกความเข้มข้นของโครเมียมลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งพีเอช 4, 6 และ 8 และเริ่มลดลงอย่างช้าๆที่ 20 นาทีเป็นต้นไป โดยที่พีเอช 8 ให้ผลการบำบัดที่ดีที่สุด ร้อยละของโครเมียมที่คงเหลือมีค่า 0.01 ทั้งสำหรับการปรับพีเอชเริ่มต้นและการควบคุมพีเอช ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติจากการคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB (ตารางที่ ง-3 ภาคผนวก ง) Turkey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 95%พบว่าร้อยละของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายในการปรับพีเอชเริ่มต้น และการควบคุมพีเอชเริ่มต้น ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ

4.2.2 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม

จากการศึกษาผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมระหว่างการปรับพีเอช เริ่มต้นกับควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 (ตารางที่ ค-1 และ ตารางที่ ค-2 ภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม ระหว่างการปรับพีเอชเริ่มต้น กับการควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5) ที่ 4, 6 และ 8

จากรูปที่ 4.8 การทดลองพบว่าที่พีเอช 8 ให้ผลการบำบัดโครเมียมดีที่สุดโดยที่เวลา 20 นาทีมีประสิทธิภาพการบำบัดถึง 99.276% และ 99.992% สำหรับการปรับพีเอชเริ่มต้น และการควบคุมพีเอช ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติจากการคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB (ตารางที่ ง-3 ภาคผนวก ง) Turkey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 95% พบว่า ความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายในการปรับพีเอชเริ่มต้น และการควบคุมพีเอช เริ่มต้น ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ

จากกราฟพบว่า ในสถานะของน้ำเสียพีเอช 6 และ 8 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน ที่ 99.96% (± 0.03) เนื่องจากน้ำเสียตัวอย่างมีพีเอช 3.83 ดังนั้นจึงได้นำสถานะพีเอช 6 มาใช้ในการเดินระบบแบบต่อเนื่อง เพราะไม่สิ้นเปลืองสารเคมีในการปรับพีเอชและให้ผลการบำบัด ใกล้เคียงกับที่พีเอช 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

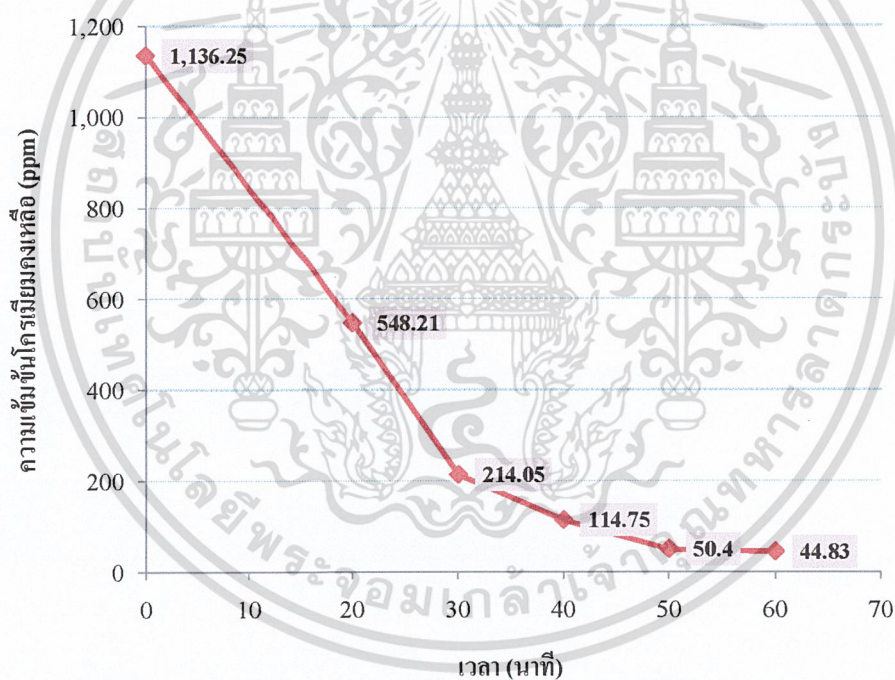
4.3 การบำบัดโครเมียมในน้ำเสียด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง (2 Stages)

ที่เวลา 60 นาที, HRT = 20 นาที

- ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย_c = 4,785.5 ppm

4.3.1 ผลของเวลา

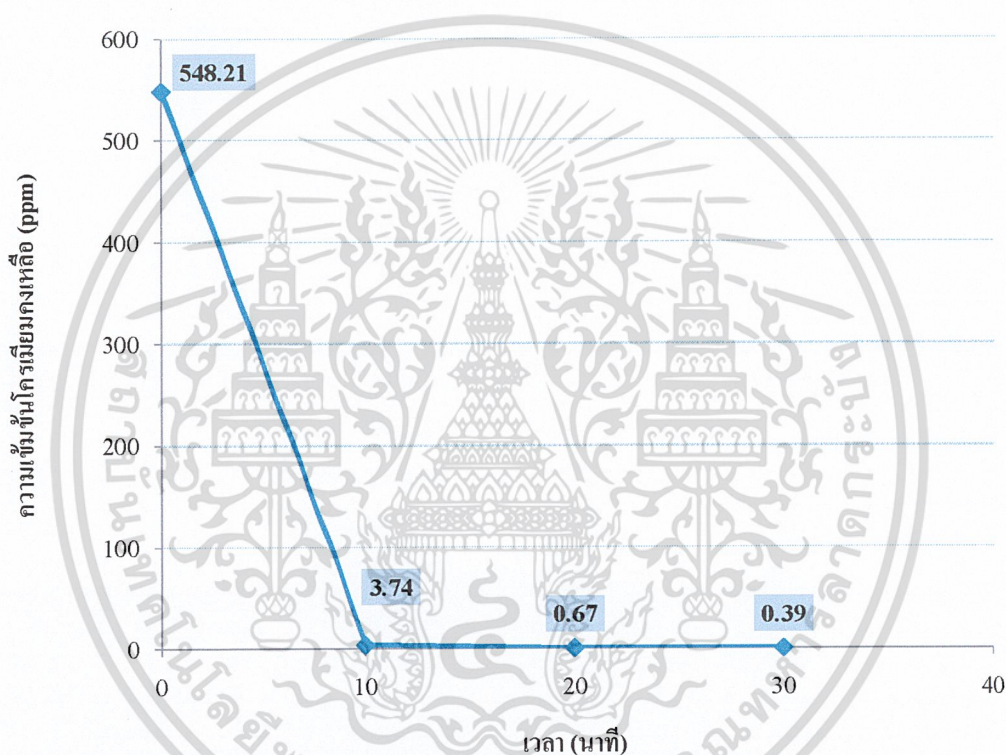
จากการศึกษาผลของเวลาในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 4785.50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองข้างต้น พีเอช เท่ากับ 6.0 เคนระบบโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19 แอมแปร์ ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) เท่ากับ 20 นาที อัตราการไหล 45 mL/min ทำการเก็บตัวอย่างที่ 0, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ที่ Stage 1 วิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง (ตารางที่ ข-12 ภาคผนวก ข) มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลของเวลาในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง(Stage 1) ที่เวลา 60 นาที, HRT = 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการศึกษาผลของเวลาในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง จากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นที่เข้าสู่ Stage 2 มีค่า 548.21 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองข้างต้น พีเอช เท่ากับ 6.0 เตินระบบโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19 แอมแปร์ ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 20 นาที อัตราการไหล 45 mL/min เท่ากับ Stage 1 ทำการเก็บตัวอย่างที่ 0, 10, 10 และ 30 นาที ที่ Stage 2 วิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง ((ตารางที่ ข-13 ภาคผนวก ข) มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผลของเวลาในการบำบัด โครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง(Stage 2) ที่เวลา 30 นาที, HRT = 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

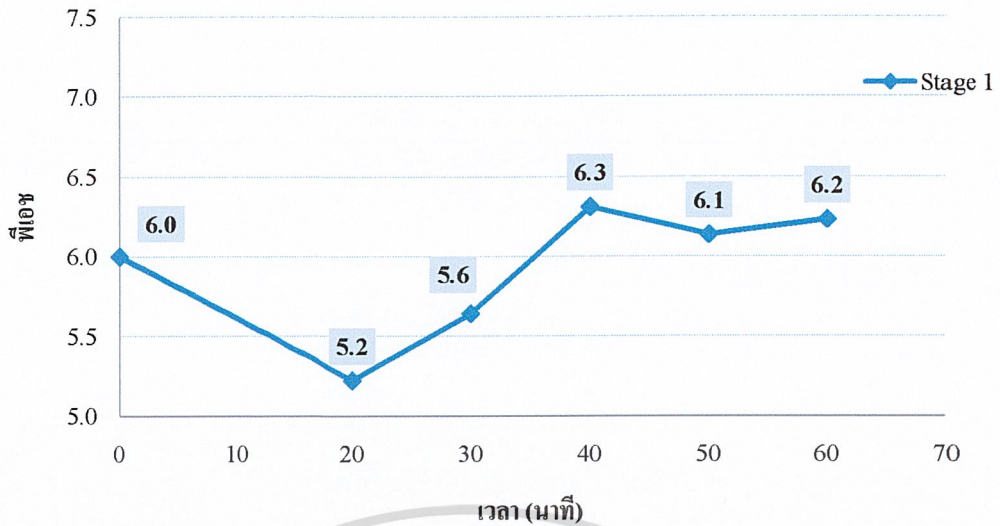
จากผลการทดลองรูปที่ 4.9 ใน Stage 1 เมื่อใช้ระยะเวลาบำบัด 20 นาที ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียที่เหลือจะมีค่า 548.21 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียจะลดลงเหลือ 214.05, 114.75, 50.4 และ 44.83 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ ส่วนใน Stage 2 ที่ระยะเวลาการบำบัด 40 นาที จะมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียเหลือ 3.742 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียจะลดลงเหลือ 0.669 และ 0.39 เมื่อระยะเวลาการบำบัดเท่ากับ 50 และ 60 นาที ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าในช่วง Stage 1 มีการลดลงของความเข้มข้นของโครเมียมอย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด เกิดอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}), แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยที่ไฮดรอกไซด์ไอออน และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับโครเมียม Cr^{3+} ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ทำให้เกิดโครเมียมไฮดรอกไซด์ และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในช่วงแรกเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียมีปริมาณลดลง ประกอบกับอลูมิเนียมที่ขั้วแอโนดโทรมตัวเร็วเกินไปมากขึ้น ทำให้เกิดโครเมียมไฮดรอกไซด์ และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์น้อยลง ส่งผลให้การบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย Stage 2 ในรูปที่ 4.10 มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเนื่องจากมีปริมาณน้ำเสียเข้ามาอย่างต่อเนื่อง จนเข้าสู่สภาวะ Steady State ที่ความเข้มข้นของโครเมียมประมาณ 50 ppm หลังจากเวลา 50 นาที เป็นต้นไป เมื่อน้ำเสียจาก Stage 1 เข้าสู่ Stage 2 จะพบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดจาก 88% (จาก 4,785.5 เหลือ 548.21 ppm) เป็น 99% (จาก 548.21 เหลือ 3.742 ppm) ในช่วง 20 นาทีแรกของการบำบัดใน Stage 2 เนื่องจากปริมาณโครเมียมคงเหลือในสารละลายมีปริมาณน้อย เมื่อเข้าสู่ Stage 2 จึงทำให้มีโอกาสเกิดการรวมตะกอนกับไฮดรอกไซด์ไอออนได้มากขึ้น และความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับช่วง 20 นาทีแรกของการบำบัดใน Stage 1

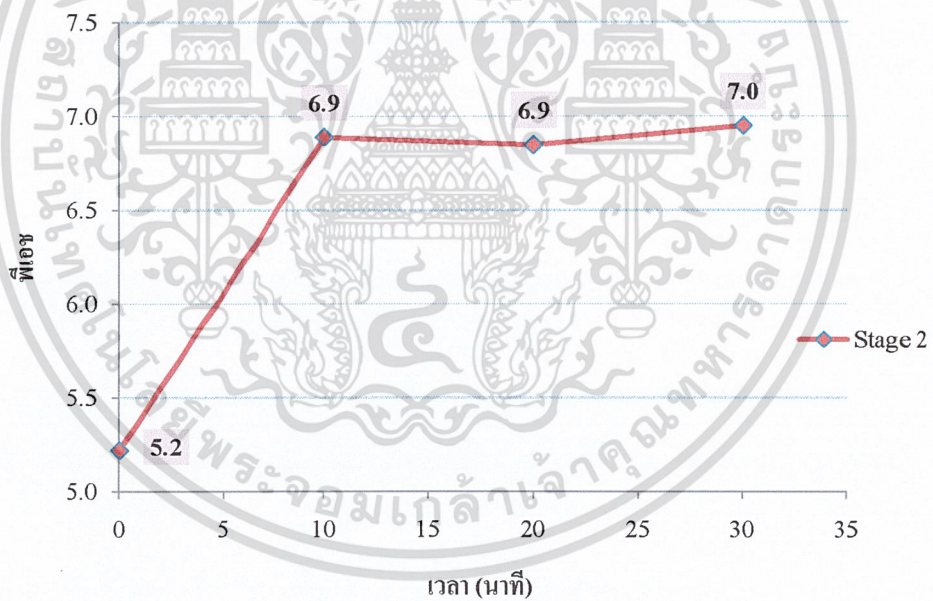
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงพีเอช

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 4,785.50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้น 6.0 ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19 แอมแปร์ ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) เท่ากับ 20 นาที อัตราการไหล 45 mL/min การเปลี่ยนแปลงของพีเอชที่ออกมาจาก Stage 1 และ Stage 2 แสดงดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 (ตารางที่ ข-12 และตารางที่ ข-13 ภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของพีเอชในระบบบิโเล็ก โทรโคแอกกูเลชัน
แบบต่อเนื่อง (Stage 1), HRT = 20 นาที



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของพีเอชในระบบบิโเล็ก โทรโคแอกกูเลชัน
แบบต่อเนื่อง (Stage 2), HRT = 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

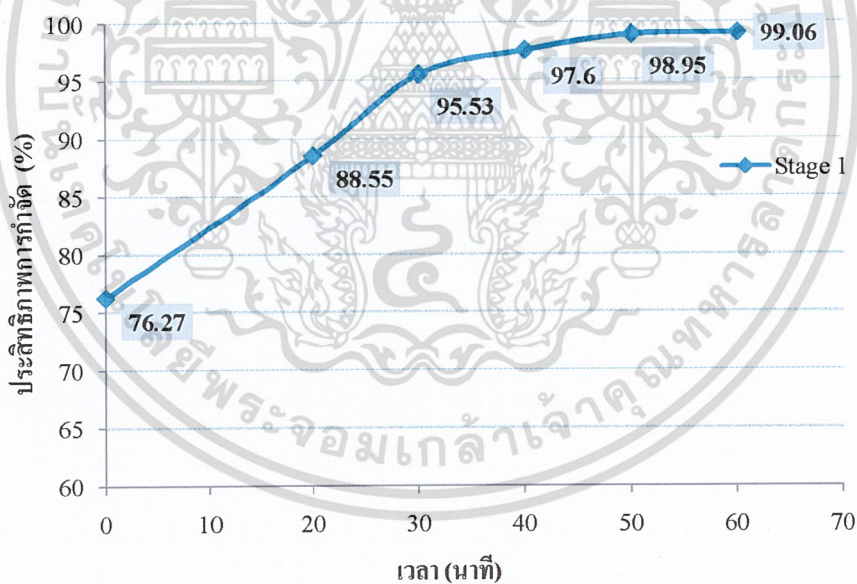
จากรูปที่ 4.11 ในช่วง 20 นาทีแรกพีเอชของโครเมียมในน้ำเสียลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจาก Cr^{3+} เกิดปฏิกิริยากับ OH^- และตกตะกอนร่วมกับ $Al(OH)_3$ และหลังจาก 20 นาทีเป็นต้นไป ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียเหลืออยู่น้อยลง จึงทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ขึ้นในสารละลายส่งผลให้พีเอชค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นจนเริ่มคงที่ ที่เวลา 50 นาทีเป็นต้นไป

จากรูปที่ 4.12 เมื่อน้ำเสียจาก Stage 1 เข้าสู่ Stage 2 พีเอชจะเพิ่มสูงขึ้นจากพีเอช 5.25 เป็นพีเอช 6.89 เนื่องจากผลที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของโครเมียมที่ตกเหลืออยู่ในสารละลาย ที่มีปริมาณลดลงเมื่อพีเอชสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น

4.3.3 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน

แบบต่อเนื่องแบบสองขั้น (2 Stages)

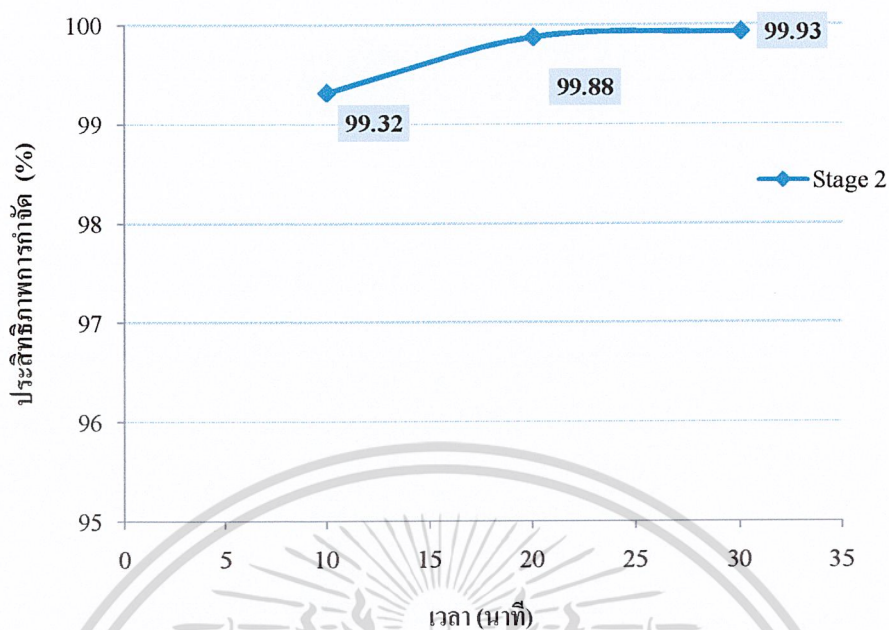
จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชันแบบต่อเนื่อง (2 Stages) โดยใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 4,785.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเริ่มต้น 6.0 ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสูง 19 แอมแปร์ ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) เท่ากับ 20 นาทีอัตราการไหล 45 mL/min เท่ากันทั้ง 2 Stages ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 (ตารางที่ ค-3 และตารางที่ ค-4 ภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน

แบบต่อเนื่อง (Stage 1) ที่เวลา 60 นาที, HRT = 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยวิธีเล็กโทรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง (Stage 2) ที่เวลา 30 นาที, HRT = 20 นาที

เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมสูงขึ้นด้วย โดยในช่วง 30 นาทีของ Stage 2 ให้ผลการบำบัดที่ดีที่สุดที่ 99.93%

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มการบำบัดเป็นสองขั้นทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นจาก 88.54% เป็น 99.32% ที่ระยะเวลาพักเก็บ 20 นาทีและเมื่อบำบัดขั้นที่ 1 โดยใช้เวลา 60 นาทีจะมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 99.06% แต่เมื่อเพิ่มการบำบัดขั้นที่ 2 จะใช้เวลาเพียง 40 นาทีซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 99.93% ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายและลดระยะเวลาการบำบัดได้ถึง 20 นาที ดังนั้นจะได้ความเข้มข้นของโครเมียมคงเหลืออยู่ในสารละลายสุดท้าย (60 นาที Stage 2) เท่ากับ 0.39 ppm ซึ่งอยู่ต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของโครเมียม(III) ที่ 0.75 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟลอกโครม ที่มีโครเมียมเข้มข้น 7,148.9 ppm ที่ปริมาณกระแสไฟฟ้า คือ 19 แอมแปร์ เวลา 30 นาที พบว่าให้ค่าการบำบัดโครเมียม เท่ากับ 526.00 ppm, 3.5 ppm และ 2.88 ppm ที่พีเอช 4 6 และ 8 ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพการบำบัดเป็น 91.79%, 99.94% และ 99.95% ที่พีเอช 4 6 และ 8 ตามลำดับ จากค่าการบำบัดโครเมียมพบว่าที่พีเอช 8 ให้ค่าการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟลอกโครมได้ผลดีที่สุด
2. การศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟลอกโครม ที่มีโครเมียมเข้มข้น 11,243.60 ppm ที่ปริมาณกระแสไฟฟ้า คือ 19 แอมแปร์ เวลา 30 นาที พบว่าให้ค่าการบำบัดโครเมียม เท่ากับ 262.58 ppm, 0.70 ppm และ 0.65 ppm ที่ พีเอช 4 6 และ 8 ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพการบำบัดเป็น 97.54% 99.99% และ 99.99% ที่พีเอช 4 6 และ 8 ตามลำดับ จากค่าการบำบัดโครเมียมพบว่าที่พีเอช 8 ให้ค่าการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟลอกโครม ได้ผลดีที่สุด
3. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในการเดินระบบแบบต่อเนื่องในบำบัดโครเมียมจากอ่างฟลอกโครมด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน โดยเดินระบบที่พีเอช 6 เนื่องจากประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมที่พีเอช 6 และ 8 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า HRT เท่ากับ 20 นาที ปริมาณกระแสไฟฟ้า 19 แอมแปร์ พบว่า การบำบัดแบบ 2 ขั้นตอนจะให้ค่าการบำบัดที่ดีกว่า 1 ขั้นตอน โดยทำการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมใกล้เคียงกันที่ ชั้นที่ 1 ที่เวลา 60 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมเท่ากับ 99.063% เมื่อเพิ่มการบำบัด 2 ชั้นให้ประสิทธิภาพการบำบัด 99.992% ที่ระยะเวลา 40 นาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1 หา % Recycle ของน้ำเสีย ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ใหม่
- 2 หาค่า SVI เพื่อจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการตกตะกอนของ Solids ถ้าค่าของ SVI สูงแสดงว่าการตกตะกอนไม่ดีตะกอนอาจตกแล้วไม่แน่นทำให้มีส่วนที่เป็นน้ำใสลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2549. คู่มือมาตรฐานการตรวจสอบโรงงานฟอกหนัง.กรุงเทพฯ: โรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา2

กฤษณา ชูติมา. 2529. หลักเคมีทั่วไป เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ และอักษรศาสตร์ ภาควิชาเคมี ม. เกษตรศาสตร์.

ชัยรัตน์ ภูมรินทร์., วิชชุตา กัลยาศิริ., ศศิสุภา บุญประเสริฐ.2552.กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน สำหรับการบำบัดโครเมียมในน้ำเสีย จากอ่างฟอกโครมโดยใช้แรงดันไฟฟ้าที่มีกระแสสูง 12 และ19 แอมแปร์.ปริญญาโทวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2539. เคมีสถานะแวดล้อม.พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอเคียนส์โตร์.

ชูศักดิ์ พูนสวัสดิ์.2547.สมดุลไอออนในสารละลาย.[Online].Available: <http://chemsci.kku.ac.th/Choosak/Acidb03.html>

นवलพรรณ เอี่ยมจันทร์ และพรศิริ นิลคีรี.2551. การกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังโดยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน.สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่2.2539.เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม.ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 52ง ลงวันที่ 27 มิถุนายน 2539

พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ.2552.กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกกูเลชัน (Flocculation)[Online]Available:

http://www.mwa.co.th/ewt/mwa_internew/download/gov03/2552/a_coagulation.pdf

มันสิน ตันทุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์. 2546. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยการใช่กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และการตกตะกอนทางเคมี. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรัชย์ ลักษณะ ไพบูลย์. 2539. และ TDRI. 2540. กระบวนการผลิตหนังฟอก.

[Online].Available: http://cms.sme.go.th/cms/c/portal/layout?p_1_id=25.675

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2540. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมฟอกหนัง. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำรวย สังข์สะอาด. 2549. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง.กรุงเทพฯ.

สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2551. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า. วารสารเทคนิค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ฉบับที่ 283: 1-13

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศุภชัย ไข่เทียมวงศ์. 2546. **เคมีวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อินทิตรา หาญพงษ์พันธ์. 2538. **เคมีทั่วไป**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- A Plus Team. 2008. **Electrocoaculation**. [Online]. Available: www.aplusteam.co.th.
- Akatsuka, K and Fairhall, J. 1934. **The Toxicology of Chromium**. J IndHyg 16:1-24.
- Alleman, E. and Kavanagh, T. 1982. **Industrial Waste Proceedings of the Fourteenth Mid-Atlantic Conference**. Maryland: Ann Arbor Science.
- Amosov, V.V., Zil'brtman, A.G. et al. 1976. **Experience in Local Treatment of Wastewaters from Petrochemical Production**, Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 12;11-12:850-852.
- APHA; AWWA; WEF. 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th Ed. Washington D.C., USA.
- Bard, J. and Faulkner, R. 2000. **Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- David, M., Allen, P. and Paul, M. 1994. **Removing Heavy Metals from Wastewater**. Maryland : Engineering Research Center.
- Eckenfelder, W.W. 1989. **Coagulation and Precipitation**. In Industrial Water Pollution Control, 2nd Ed. McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
- Erdem Mehmet. 2006. **Chromium Recovery from Chrome Shaving Generated in Tanning Process**. Journal of Hazardous Materials B129: 143-146
- Feng Jing-wei., Sun Ya-bing., ZhengZheng., ZHANG Ji-biao., LI Shu., TIAN Yuan- chun. 2007. **Treatment of Tannery Wastewater by Electrocoagulation**. China: [Online]. Available: http://proxy.uctm.edu/journal/j2007-2/12-Meera_201-206.pdf
- Gilmore, F. William. 2003. **Electrocoagulation Chamber and Method**. USA. No 6612317.
- Globalsep Corporation. 2007. **Electrocoagulation**. [Online]. Available: <http://electrocoagulation.net/Support.html>
- Golder A.K. ,Samanta A.N., Ray S. 2007. **Removal of Cr³⁺ by Electrocoagulation with Multiple Electrodes: Bipolar and monopolar configurations**. Journal of Hazardous Materials 141: 653-661
- Guo Zhen-Ren., Zhang Guangming, Fang Jiande Dou Xiudong. 2006. **Enhanced Chromium Recovery from Tanning Wastewater** Journal of Cleaner Production. 14: 75-79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Guohua Chen. 2003. **Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment**. China: [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com>
- Henan Premtec. **Basic Chrome Sulphate**. [Online]. Available: http://www.alibaba.com/product-gs/350817590/Basic_Chrome_Sulphate_24_26_.html
- Hunter and Vergnano. 1953. **Trace Element Toxicities in Oat Plant**. *Ann. Appl. Biol.* **40**, pp. 761–777.
- IlonaHeidmann and Wolfgang Calmano. 2007. **Removal of Zn(II), Cu(II), Ni(II), Ag(I) and Cr(VI) Present in Aqueous Solutions by Aluminium Electrocoagulation**. Germany: [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/>
- InoussaZongo., Jean-Pierre Leclerc., Hama AmadouMaoga., Joseph Wth., Francois Lapique. 2008. **Removal of Hexavalent Chromium from Industrial Wastewater by Electrocoagulation: A comprehensive comparison of aluminium and iron electrodes**. France: [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/>
- Johnson, Denis E.J., 2007. **Nonchemical Water Treatment Method and Apparatus Employing Ionized Air Purification Technologies**. USA. No 7160448.
- Kongsricharoern, N. and Polprasert. 1995. **Electrochemical Precipitation of Chromium from an Electroplating Wastewater**. Bangkok: *Environ. Eng. Sci.*
- M. Yousuf A. Mollah., Robert Schennach., Jose R Parga., David L., Cocke. 2000. **Electrocoagulation (EC)- Science and Applications**. USA: [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com>
- Mameri, A.R., Yeddou, H. et al., 1998. **Defluoridation of Septentrional Sahara Water of North Africa by Electrocoagulation Process Using Bipolar Aluminium electrodes**. *Water Res.* **32**, pp. 1604–1612
- Marcela Boroski, et al., 2009. **Combined Electrocoagulation and TiO₂ Photoassisted Treatment Applied to Wastewater Effluents from Pharmaceutical and Cosmetic Industries**. Colombo: *Environment Eng. Science*
- Martin, M., Kelsall, G. and Graham, N. 2010. **Electrocoagulation for Water Treatment**. [Online]. Available: <http://www3.imperial.ac.uk/electrochemicalengineering/research/projects/electrocoagulation>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Merzouka B., Gourichb B., Sekkic A., Madanid K., Chibaned M., 2009. **Removal Turbidity and Separation of Heavy Metals Using Electrocoagulation – Electroflotation Technique a Case Study.** *Journal of Hazardous Materials* 164: 215–222
- Nanjing Chemlin Chemical Co., Ltd. **Chromium Sulfate, Basic, Solid Basic Information.** [Online]. Available: http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB6874896.htm.
- Oiltrap Environment Product, Inc. 2010. **Electrocoagulation & ElectroPulse Technology.** [Online]. Available: <http://www.oiltrap.com/comparing.html>.
- Peter Holt., Geoffrey Barton., Cynthia Mitchell. 2006. **ELECTROCOAGULATION AS A WASTEWATER TREATMENT.** New South Wales: [Online]. Available: http://www.isf.uts.edu.au/publications/PH_GP_CM_1999.pdf
- Powell Water Systems Inc. 1994. **Electrocoagulation Technology.** USA. **Powell Water Systems, Inc.**
- Powell, S. Wade. 2000. **Apparatus for Electrocoagulation of Liquid.** USA. No 6,139,710
- Pretorius *et al.*, 1991. **Activity-Composition Relations of Chromium Oxide in Silicate Melt at 1500°C Under Strongly Reducing Conditions.** *J. Amer. Ceram. Soc.* 75, pp. 1364–1377
- Tejocote-PrezMoiss., Balderas-Hernandez Patricia., C.E. Barrera-Daz., Roa-Morales Gabriela ., Reyna Natividad-Rangel. 2010. **Treatment of Industrial Effluents by a Continuous System: Electrocoagulation – Activated sludge.** Mexico: [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com>
- World Health Organization. 1988. **International Program on Chemical Safety Environ – Mental Health Criteria 61: Chromium.** World Health Organization.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียทางเคมี

1. พีเอช (pH)

การวัดตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

1. เปิดเครื่องวัดพีเอชเพื่ออุ่นเครื่องก่อนวัดประมาณ 5-10 นาที
2. Calibrate ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่คาดว่าจะใกล้เคียงกับตัวอย่างที่จะวัด แต่เครื่องวัดพีเอชบางยี่ห้อเช่น WTW จะกำหนดสารละลายบัฟเฟอร์ไว้ คือ พีเอช 7.0 และ 4.0 ตามลำดับ ในขณะที่เครื่องวัดพีเอชบางยี่ห้อเช่น DENVER สามารถเลือกสารละลายบัฟเฟอร์ที่ต้องการ Calibrate ได้ตามต้องการการ Calibrate ทำได้โดยเทสารละลายบัฟเฟอร์ลงในบีกเกอร์ แล้วจุ่มหัววัดลงไป แล้วทำตามขั้นตอนที่ได้แนะนำไว้สำหรับเครื่องวัดพีเอชแต่ละยี่ห้อ/รุ่นขณะ Calibrate ควรแกว่งหัววัดเบาๆ
3. ล้างหัววัดด้วยน้ำกลั่น และซับให้แห้งก่อนวัดพีเอชทุกครั้ง,หรือทุกๆตัวอย่างของน้ำ
4. เทน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดลงในบีกเกอร์แล้วทำการวัดพีเอชโดยแกว่งหัววัดเบาๆเมื่อค่าพีเอช
5. หยุดนิ่งประมาณ 10 วินาทีจดบันทึกค่าที่วัดได้ (การจดบันทึกค่าที่วัดได้ควรปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่อง)
6. ทำความสะอาดหัววัดแล้วเก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย

2. โครเมียม (Chromium)

วิธี Atomic Absorption Spectrophotometry

ก. หลักการ

การวิเคราะห์โครเมียมด้วยวิธีนี้เปลวไฟที่เกิดจากก๊าซผสมระหว่างอากาศและอะเซทิลีนจะให้พลังงานที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรี (Atomization) เพื่อให้ดูดกลืนแสงที่ 375 นาโนเมตร

ข. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
2. เครื่องแก้วอื่นๆ

ค. สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากโครเมียมใช้น้ำนี้สำหรับเตรียมน้ำยาเคมีสารละลายมาตรฐานและการเจือจางตัวอย่าง
2. กรดไนตริกเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารละลายสต็อกโครเมียมเข้มข้น

ละลายโครเมียมไตรออกไซด์(CrO_3) จำนวน 0.139 กรัม ในน้ำกลั่นจนละลายหมด ทำให้เป็นกรดด้วยการเติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายโครเมียมเข้มข้นปานกลางชุดสารละลายโครเมียมเข้มข้นจากข้อ 3

จำนวน 10 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่นจนได้ 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

(สารละลายโครเมียมนี้ 1 มิลลิลิตร = โครเมียม 10 ไมโครกรัม)

ง. วิธีวิเคราะห์

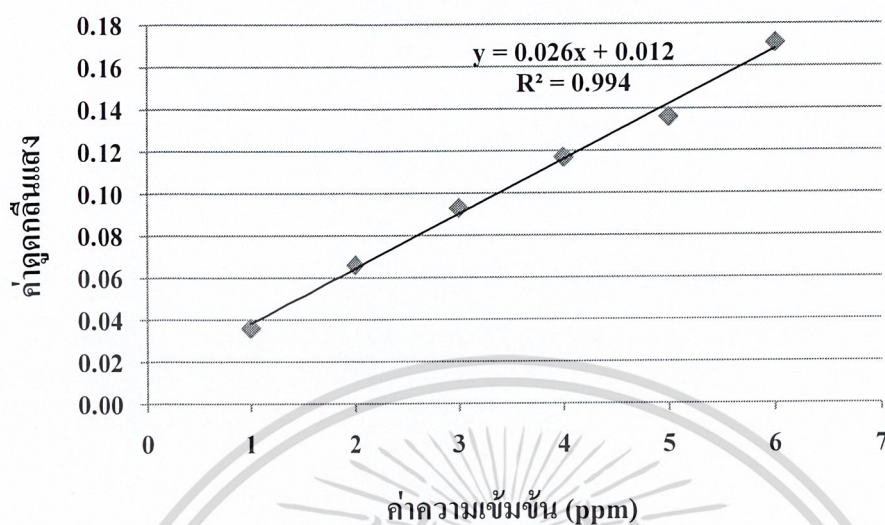
1. การเตรียมตัวอย่างขึ้นอยู่กับต้องการวัดในรูปโครเมียมทั้งหมดรูปละลายน้ำหรือแขวนลอย ถ้าต้องการวัดในรูปละลายน้ำต้องกรองตัวอย่างก่อน แล้วจึงนำตัวอย่างไปย่อยด้วยกรดไนตริกอย่างเดียวหรือไนตริกซัลฟูริกตัวอย่างควรเติม H_2O_2 30% จำนวน 10 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร
2. การเตรียมกราฟมาตรฐานเตรียมสารละลายมาตรฐานตามช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมอย่างน้อย 4 ค่าความเข้มข้นเช่น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิลิตรสำหรับแบลนค์ใช้น้ำกลั่นที่ปราศจากโครเมียมที่เติมกรดไนตริกเข้มข้น 1.5 มิลลิลิตรต่อ 1,000 มิลลิลิตร
3. เตรียมเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำกราฟมาตรฐานแล้วนำตัวอย่างไปวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟมาตรฐานของโครเมียม



รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานของ โครเมียม

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลของ โครเมียม

ความเข้มข้น	ค่า Absorbance
1	0.036
2	0.066
3	0.093
4	0.117
5	0.136
6	0.171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ ข-2 ผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอชโดยใช้กระแส 19 แอมแปร์ ที่พีเอชเริ่มต้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 4

เวลา (min)	pH	Temp(°C)
0	3.99	37.2
5	8.61	40.3
10	8.56	51.6
15	8.59	61.0
20	8.55	65.6
25	8.53	68.0
30	8.52	74.3
35	8.49	77.0
40	8.49	79.1
45	8.46	80.0
50	8.47	84.8
55	8.44	84.1
60	8.41	83.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอชโดยใช้กระแส 19 แอมแปร์ ที่พีเอชเริ่มต้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 6

เวลา (min)	pH	Temp(°C)
0	6.00	38.2
5	8.68	43.3
10	8.90	48.0
15	8.57	51.7
20	8.55	54.2
25	8.49	57.2
30	8.50	60.9
35	8.53	63.3
40	8.52	65.1
45	8.52	68.2
50	8.52	65.7
55	8.53	67.9
60	8.56	68.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอชโดยใช้กระแส 19 แอมแปร์ ที่พีเอชเริ่มต้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 8

เวลา (min)	pH	Temp(°C)
0	8.08	28.6
5	8.92	36.3
10	8.97	41.0
15	8.90	45.5
20	8.84	50.1
25	8.78	53.0
30	8.73	58.9
35	8.71	61.4
40	8.69	63.1
45	8.68	66.9
50	8.67	67.9
55	8.67	69.7
60	8.65	71.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 4 (Batch Operation)

ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย = 7,148.9 ppm

เวลา (min)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm
0	4.01	6,377.50	4.00	6,561.32	4.00	6,278.00	4.00	6,405.61
10	4.24	3,430.00	4.32	3,672.00	4.33	3,550.00	4.30	3,550.67
20	5.11	618.75	5.36	646.54	5.24	699.65	5.24	654.98
30	5.55	527.50	5.53	553.50	5.69	497.00	5.59	526.00
40	5.89	280.00	5.86	275.00	5.94	380.00	5.90	311.67
50	6.20	1.18	6.36	5.39	6.37	2.38	6.31	2.98
60	6.20	5.12	6.43	1.37	6.55	1.45	6.39	2.65

ตารางที่ ข-6 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 (Batch Operation)

ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย = 7,148.9 ppm

เวลา (min)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm
0	6.00	5,507.50	6.00	5,708.60	6.00	5,567.00	6.00	5,594.37
10	5.12	1,577.50	5.29	1,690.00	5.17	1,698.30	5.19	1,655.27
20	5.85	397.50	5.74	358.20	5.69	492.45	5.76	416.05
30	6.10	2.32	6.05	3.58	6.23	4.62	6.13	3.51
40	6.45	2.61	6.59	2.87	6.55	4.41	6.53	3.30
50	6.40	5.61	6.36	1.86	6.39	2.08	6.38	3.18
60	6.30	1.05	6.29	1.69	6.30	1.92	6.30	1.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 8 (Batch Operation)

ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย = 7,148.9 ppm

เวลา (min)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm
0	8.00	5,397.50	8.00	5,165.50	8.00	5,451.00	8.00	5,338.00
10	7.39	1,239.20	7.45	1,131.20	7.49	1,348.25	7.44	1,239.55
20	7.28	13.35	7.31	54.00	7.43	48.67	7.34	38.67
30	7.29	3.15	7.35	3.25	7.31	2.25	7.32	2.88
40	7.33	2.00	7.33	2.75	7.56	2.25	7.41	2.33
50	6.96	1.56	7.11	2.06	7.01	1.56	7.03	1.73
60	7.16	0.69	7.25	0.53	7.09	0.79	7.17	0.67

ตารางที่ ข-8 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการควบคุมพีเอชของน้ำเสียให้คงที่เท่ากับ 4 (Batch Operation)

ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย = 11,243.6 ppm

เวลา (min)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm
0	4.00	10,585.00	4.00	11,123.12	4.00	10,348.34	4.00	10,685.49
10	3.95	5,761.25	3.97	5,934.33	3.85	5,993.45	3.92	5,896.34
20	4.37	790.00	4.22	845.50	4.12	795.34	4.24	810.28
30	4.69	266.25	4.73	267.54	4.57	253.96	4.66	262.58
40	4.69	153.12	4.89	165.22	4.76	139.38	4.78	152.57
50	5.40	0.61	5.35	0.71	5.24	0.57	5.33	0.63
60	5.38	0.29	5.38	0.25	5.35	0.23	5.37	0.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์โดยทำการควบคุมพีเอชของน้ำเสียให้คงที่เท่ากับ 6 (Batch Operation)

ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย = 11,243.6 ppm

เวลา (min)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm
0	6.00	9,560.00	6.00	9,760.25	6.00	10,032.25	6.00	9,784.17
10	5.59	2,645.00	5.47	2,895.00	5.59	2,789.00	5.55	2,776.33
20	6.06	528.75	6.03	613.75	6.00	624.25	6.03	588.92
30	6.21	0.58	6.37	0.78	6.17	0.73	6.25	0.70
40	6.27	0.68	6.39	0.65	6.27	0.60	6.31	0.64
50	6.30	0.60	6.47	0.60	6.45	0.52	6.41	0.57
60	6.47	0.45	6.52	0.48	6.54	0.44	6.51	0.46

ตารางที่ ข-10 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์โดยทำการควบคุมพีเอชของน้ำเสียให้คงที่เท่ากับ 8 (Batch Operation)

ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย = 11,243.6 ppm

เวลา (min)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm
0	8.01	7,157.50	8.00	7,642.50	8.00	7,324.25	8.00	7,374.75
10	7.55	2,037.50	7.63	2,246.75	7.57	2,136.00	7.58	2,140.08
20	7.84	0.48	7.87	0.57	7.75	0.78	7.82	0.61
30	7.88	0.78	7.93	0.52	7.89	0.65	7.90	0.65
40	7.99	1.23	8.01	0.44	8.00	0.45	8.00	0.71
50	7.85	0.47	7.80	0.38	7.75	0.43	7.80	0.43
60	7.99	0.42	8.00	0.32	7.89	0.38	7.96	0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข- 11 เปรียบเทียบผลของพีเอชเริ่มต้นกับผลของพีเอช(พีเอชเริ่มต้น ± 0.5) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม (ppm)

เวลา (min)	[Cr] ppm					
	ปรับพีเอชเริ่มต้น			ควบคุมพีเอชเริ่มต้น (± 0.5)		
	4	6	8	4	6	8
0	6,405.61	5,594.37	5,338.00	10,685.49	9,784.17	7,374.75
10	3,550.67	1,655.27	1,239.55	5,896.34	2,776.33	2,140.08
20	654.98	416.05	38.67	810.28	588.92	0.61
30	526.00	3.51	2.88	262.58	0.70	0.65
40	311.67	3.30	2.33	152.57	0.64	0.71
50	2.98	3.18	1.73	0.63	0.57	0.43
60	2.65	1.55	0.67	0.26	0.46	0.37

ตารางที่ ข- 12 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19แอมแปร์โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ6 (Continuous Operation) Stage 1

ความเข้มข้นของ โครเมียมเริ่มต้น 4,787.50 ppm

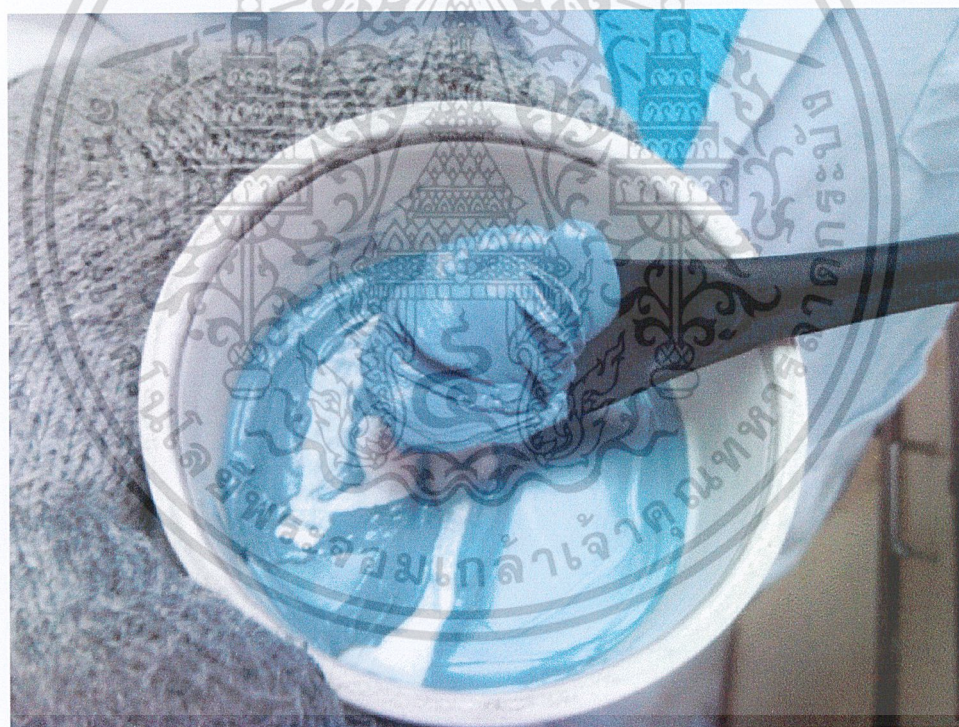
เวลา (min)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		เฉลี่ย	
	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm
0	6.00	1,121.50	6.00	1,151.00	6.00	1,136.25
20	5.21	548.210	5.23	553.30	5.22	548.21
30	5.64	227.00	5.63	201.50	5.64	214.05
40	6.34	114.30	6.29	115.00	6.31	114.75
50	5.95	66.30	6.20	34.50	6.135	50.40
60	6.04	54.05	6.23	35.6	6.23	44.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข- 13 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 6 (Continuous Operation) Stage 2

ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 548.21 ppm

เวลา (min)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		เฉลี่ย	
	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm	pH	[Cr] ppm
0	5.21	548.210	5.23	553.30	5.22	548.21
10	6.60	1.060	7.17	6.424	6.89	3.74
20	6.51	1.329	7.18	0.009	6.85	0.67
30	6.69	0.343	7.21	0.430	6.95	0.39



รูปที่ ข-2 ลักษณะสลัดจ์ที่ได้จากการบำบัดโครเมียมด้วยอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-3 ลักษณะชั้นตะกอนที่ได้จากการบำบัดโครเมียมด้วยอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากอ่างฟอกโครม (%Removal) สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

โดย C_0 คือความเข้มข้นของโครเมียมก่อนการบำบัด

C_1 คือความเข้มข้นของโครเมียมหลังการบำบัด

ตัวอย่างการคำนวณ

หาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์
 ความเข้มข้นของโครเมียมก่อนการบำบัด = 5,920 mg/l
 ความเข้มข้นของโครเมียมหลังการบำบัด = 3,640 mg/l

$$\begin{aligned} \therefore \text{ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม} &= \left(\frac{6,405.61 - 3,550.67}{6,405.61} \right) \times 100 \\ &= 44.57\% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 4, 6 และ 8 (Batch Operation)

เวลา (นาท)	พีเอช	ความเข้มข้นของโครเมียม (mg/l)			เปอร์เซ็นต์การ บำบัด
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	บำบัดได้	
10	4	6,405.61	3,550.67	2,854.94	44.57
	6	5,594.37	1,655.27	3,939.10	70.41
	8	5,338.00	1,239.55	4,098.45	76.78
20	4	6,405.61	654.98	5,750.63	89.77
	6	5,594.37	416.05	5,178.32	92.56
	8	5,338.00	38.67	5,299.33	99.28
30	4	6,405.61	526.00	5,879.61	91.79
	6	5,594.37	3.51	5,590.86	99.94
	8	5,338.00	2.88	5,335.12	99.95
40	4	6,405.61	311.67	6,093.94	95.13
	6	5,594.37	3.30	5,591.07	99.94
	8	5,338.00	2.33	5,335.67	99.96
50	4	6,405.61	2.98	6,402.63	99.95
	6	5,594.37	3.18	5,591.19	99.94
	8	5,338.00	1.73	5,336.27	99.97
60	4	6,405.61	2.65	6,402.96	99.96
	6	5,594.37	1.55	5,592.82	99.97
	8	5,338.00	0.67	5,337.33	99.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 4, 6 และ 8 (Batch Operation)

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเข้มข้นของโครเมียม (mg/l)			เปอร์เซ็นต์การ บำบัด
		เริ่มต้น	สิ้นสุด	บำบัดได้	
10	4	10,685.49	5,896.34	4,789.15	44.82
	6	9,784.17	2,776.33	7,007.84	71.62
	8	7,374.75	2,140.08	5,234.67	70.98
20	4	10,685.49	810.28	9,875.21	92.42
	6	9,784.17	588.92	9,195.25	93.98
	8	7,374.75	0.61	7,374.14	99.99
30	4	10,685.49	262.58	10,422.91	97.54
	6	9,784.17	0.70	9,783.47	99.99
	8	7,374.75	0.65	7,374.10	99.99
40	4	10,685.49	152.57	10,532.92	98.57
	6	9,784.17	0.64	9,783.53	99.99
	8	7,374.75	0.71	7,374.04	99.99
50	4	10,685.49	0.63	10,684.86	99.99
	6	9,784.17	0.57	9,783.60	99.99
	8	7,374.75	0.43	7,374.32	99.99
60	4	10,685.49	0.26	10,685.23	100.00
	6	9,784.17	0.46	9,783.71	100.00
	8	7,374.75	0.37	7,374.38	99.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชคงที่ของน้ำเสียเท่ากับ 6 (Continuous Operation) Stage 1

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของโครเมียม (mg/l)			เปอร์เซ็นต์การบำบัด
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	บำบัดได้	
0	4,787.50	1,136.25	3,651.25	76.27
20	4,787.50	548.21	588.04	88.55
30	4,787.50	214.05	922.20	95.53
40	4,787.50	114.75	1,021.50	97.60
50	4,787.50	50.40	1,085.85	98.95
60	4,787.50	44.83	1,091.42	99.06

ตารางที่ ค-4 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 19 แอมแปร์ โดยทำการปรับค่าพีเอชคงที่ของน้ำเสียเท่ากับ 6 (Continuous Operation) Stage 2

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของโครเมียม (mg/l)			เปอร์เซ็นต์การบำบัด
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	บำบัดได้	
10	548.21	3.74	544.47	99.32
20	548.21	0.67	547.54	99.88
30	548.21	0.39	547.82	99.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



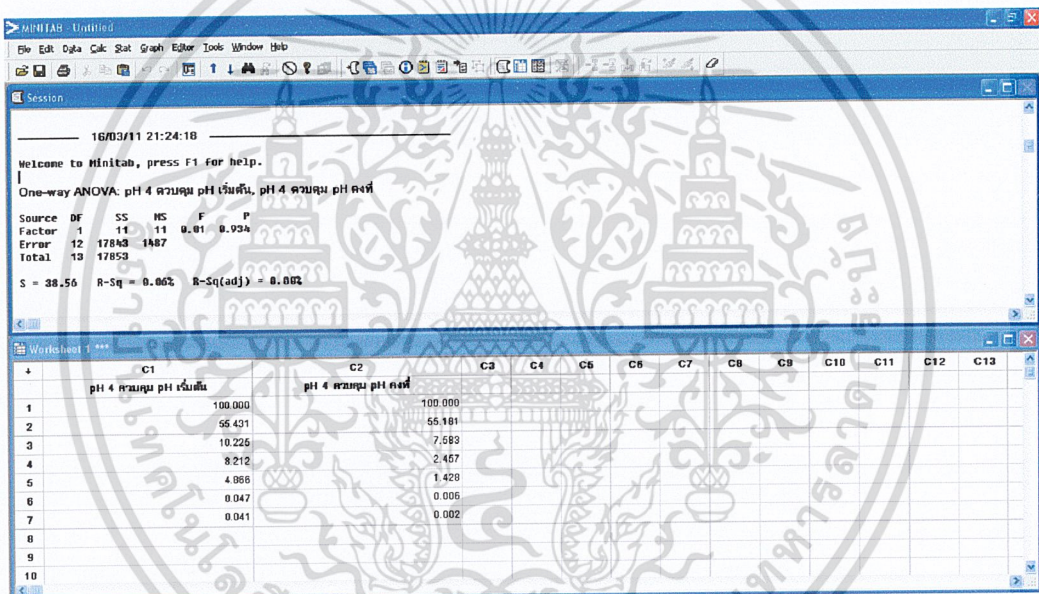
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทดสอบสมมติฐานว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 4 แตกต่างกันมีนัยสำคัญหรือไม่ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)

สมมติฐาน

H_0 : ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 4 ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)

H_1 : ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 4 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 4 แตกต่างกันมีนัยสำคัญที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)



รูปที่ ๑-1 การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB ที่ พีเอช 4

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย (Tukey Test $P=0.05$) จากโปรแกรม MINITAB พบว่าความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 4 ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ เนื่องจาก ค่า P_{cal} ที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม เท่ากับ 0.934 ซึ่งค่ามากกว่า P_{table} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้ยอมรับสมมติฐาน H_0

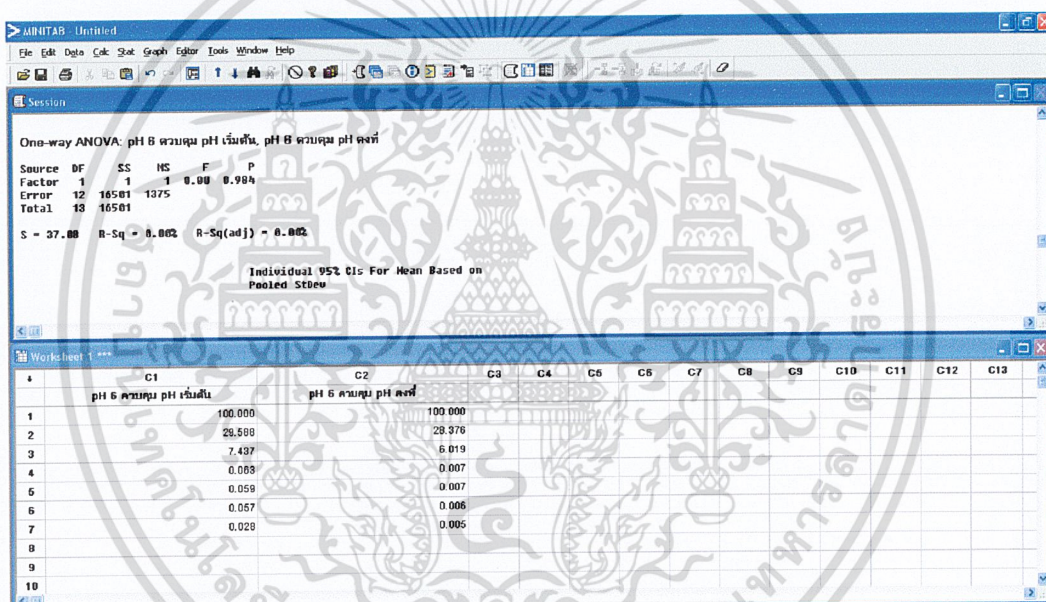
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทดสอบสมมติฐานว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 6 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 6 แตกต่างกันมีนัยสำคัญหรือไม่ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)

สมมติฐาน

H_0 : ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 6 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 6 ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)

H_1 : ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 6 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 6 แตกต่างกันมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)



รูปที่ 2- การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB ที่ พีเอช 6

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย (Tukey Test $P=0.05$) จากโปรแกรม MINITAB พบว่าความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 6 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 6 ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ เนื่องจาก ค่า P_{cal} ที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม เท่ากับ 0.984 ซึ่งค่ามากกว่า P_{table} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้ยอมรับสมมติฐาน H_0

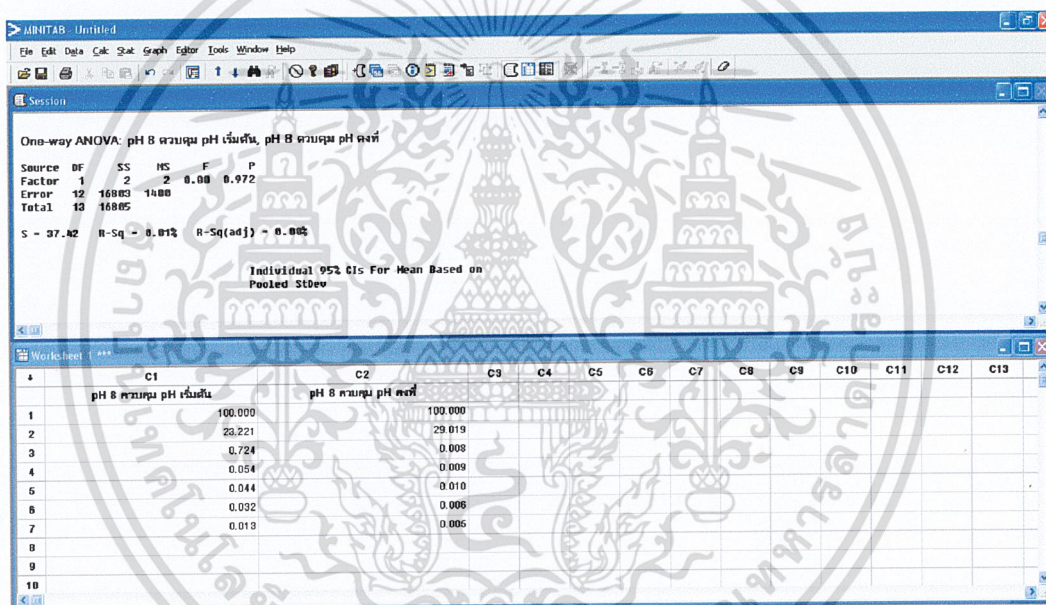
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดสอบสมมติฐานว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 8 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 8 แตกต่างกันมีนัยสำคัญหรือไม่ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)

สมมติฐาน

H_0 : ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 8 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 8 ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)

H_1 : ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 8 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 8 แตกต่างกันมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)



รูปที่ 3-3 การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB ที่ พีเอช 8

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย (Tukey Test $P=0.05$) จากโปรแกรม MINITAB พบว่าความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 8 และการควบคุมพีเอชน้ำเสีย เท่ากับ 8 ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ เนื่องจาก ค่า P_{cal} ที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม เท่ากับ 0.972 ซึ่งค่ามากกว่า P_{table} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้ยอมรับสมมติฐาน H_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทดสอบสมมติฐานว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 6 และวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 8 แตกต่างกันมีนัยสำคัญหรือไม่ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)

สมมติฐาน

H_0 : ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 6 และวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 8 ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)

H_1 : ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 6 และวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 8 แตกต่างกันมีนัยสำคัญที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05)

One-way ANOVA: [Cr] pH6 ปรับพีเอชเริ่มต้น, [Cr] pH8 ปรับพีเอชเริ่มต้น_1

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	453.75	453.75	0.01	0.937
Error	12	84326.011	7027.168		
Total	13	84371.386			

S = 2651 R-Sq = 0.05% R-Sq(adj) = 0.00%

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
1	[Cr] pH6 ปรับพีเอชเริ่มต้น	[Cr] pH8 ปรับพีเอชเริ่มต้น_1																
1	7148.00	7148.00																
2	1656.27	1239.56																
3	416.05	38.67																
4	3.51	2.88																
5	3.30	2.33																
6	3.18	1.73																
7	1.55	0.67																
8																		
9																		
10																		

รูปที่ ง-4 การคำนวณ ANOVA จากโปรแกรม MINITAB ที่ พีเอช 6 และ พีเอช 8

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย (Tukey Test $P=0.05$) จากโปรแกรม MINITAB พบว่าความเข้มข้นของโครเมียมที่คงเหลืออยู่ในสารละลายของวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 6 และวิธีการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 8 ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ เนื่องจาก ค่า P_{calc} ที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม เท่ากับ 0.937 ซึ่งค่ามากกว่า P_{table} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้ยอมรับสมมติฐาน H_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

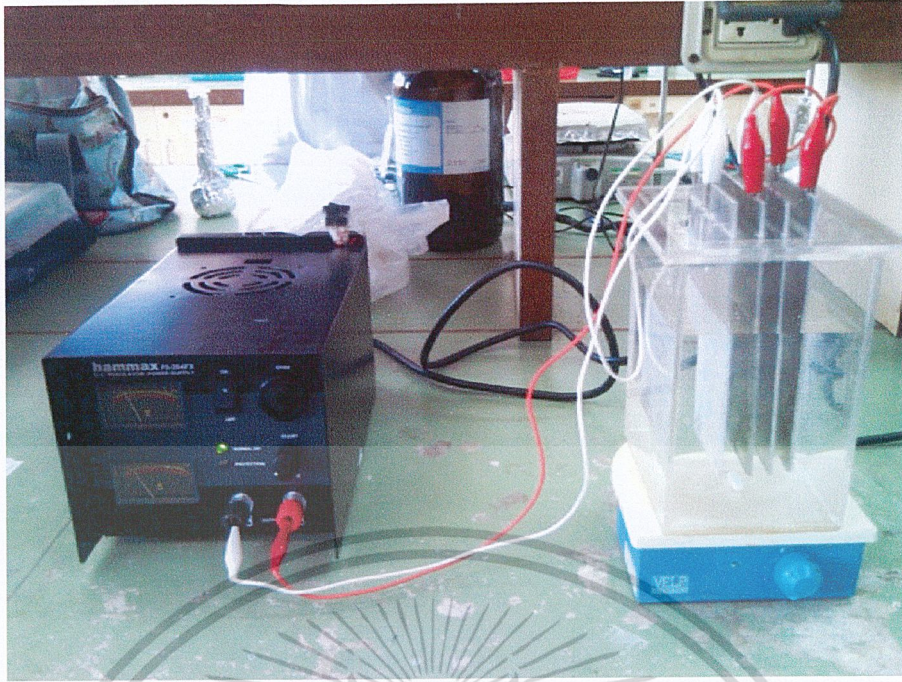


รูปที่ จ-1 วงจรสมมูลทางไฟฟ้า

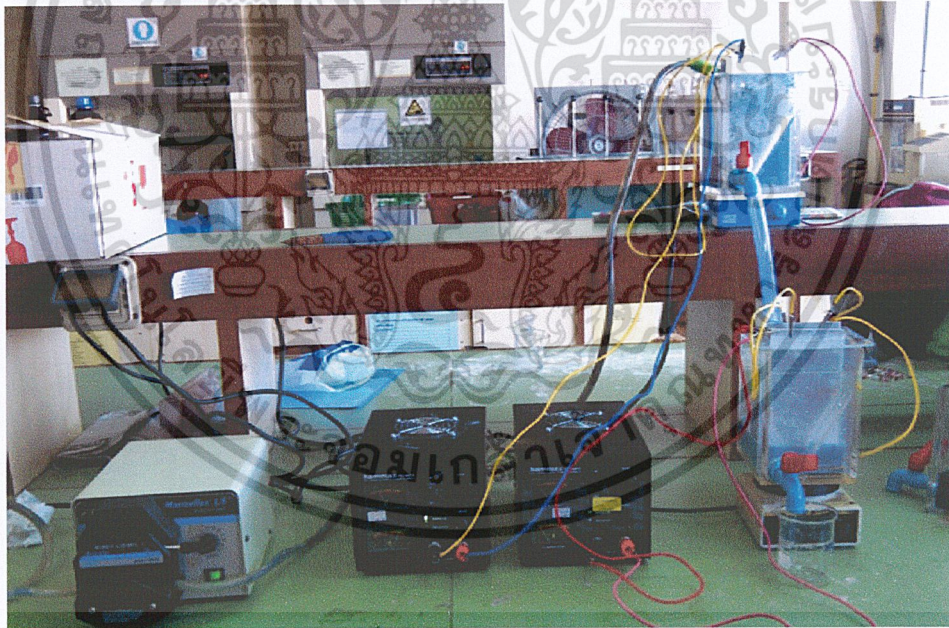


รูปที่ จ-2 วงจรจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-3 การต่อวงจรจริงในการทดลองระบบแบบครั้งเดียว(Batch Operation)



รูปที่ จ-4 การต่อวงจรจริงในการทดลองระบบContinuous Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ
**มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท
 โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงานพ.ศ. 2535

เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงานพ.ศ.2535 ที่ระบุว่า 'ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษาแต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช่วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)' รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้งหมายถึงน้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการ โรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมและให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นใน

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

(2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่าทีดีเอสไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจาก โรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้อง ไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1 ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 อาร์เซนิก (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6 โครเมียม (Chromium)

4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.7 บาร์เรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.8 นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.9 ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไฮยาไนด์คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไฮยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) คลอรีนอิสระ (Chlorine) ไม่มากกว่า 1

(10) เพสตีไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี

(11) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

(12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้งให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่าทีดีเอสให้ใช้วิธีการระเหยแห้งระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสถึงอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสในเวลา ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอยให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนักให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสีโครเมียมทองแดงแคดเมียมแบเรียมตะกั่วนิเกิลและแมงกานีสให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็กแอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมาอีมิสชันสเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟคัปเปลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิกและเซเลเนียมให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์เจเนชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมาอีมิสชันสเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟคัปเปลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma: ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอทให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันโคลด์เวปเปอร์เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีนบารีบิทูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอลให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ให้ใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมันให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำมันของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดีให้ใช้วิธีอะไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะการศึกษองเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เซลเซียสเป็นเวลา 5 วันติดต่อกันหรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(14) การตรวจสอบค่าที่เคเอ็นให้ใช้วิธีเจลดาค์ล (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดีให้ใช้วิธีย่อยสลายโดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion) ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำที่จากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยหรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American Water Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศณวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้