

การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า



นายคังกรม์ คงเจาะ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4155-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF TANNERY WASTEWATER IN ELECTROCHEMICAL REACTORS



Mr. Sangkorn Kongjao

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science


Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-4155-3

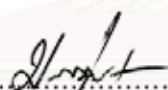
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า
โดย นายสังกรม คงเจาะ
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. มะลิ หุ่นสม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

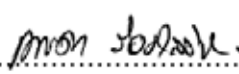
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. มะลิ หุ่นสม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เก็จวลี พฤษาทร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กานดา ว่องไวลิขิต)

สังกรณ์ คงเจาะ : การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า.
(TREATMENT OF TANNERY WASTEWATER IN ELECTROCHEMICAL REACTORS) อ. ที่
ปรึกษา: อ.ดร. มะลิ หุ่นสม, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ.ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ 125 หน้า. ISBN 974-
17-4155-3.

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า
ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์แบบมีเยื่อเลือกผ่าน
และกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า ตัวแปรที่ศึกษาคือ ผลของความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นของน้ำเสีย
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และอัตราการไหลของน้ำเสีย จากผลการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมใน
การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า คือ ความหนา
แน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 69.8 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 และอัตรา
การไหลของน้ำเสียประมาณ 4.5 ลิตรต่อนาที โดยที่ภาวะดังกล่าวสามารถขจัดโครเมียมได้มากกว่าร้อยละ
98 เมื่อเวลามากกว่า 60 นาที และสามารถลดสารอินทรีย์ในรูปของ Chromium-organic compounds
โดยมีต้นทุนในการทำงานประมาณ 0.86 ดอลลาร์สหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรน้ำตัวอย่าง ส่วนกระบวนการรวม
ตัวด้วยกระแสไฟฟ้า ใช้ไฟฟ้าที่ใช้คือแผ่นเหล็ก จำนวน 6 แผ่น โดยแต่ละแผ่นมีพื้นที่ผิวประมาณ 0.0161
ตารางเมตร ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 7 - 9 พบว่าภาวะที่เหมาะสมคือการจัดวางขั้ว
ไฟฟ้าชนิดมอโนโพลาร์แบบขนาน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร อัตราการ
ไหลของน้ำเสียประมาณ 3.67 ลิตรต่อนาที และเวลาในการทำงาน 20 นาที ซึ่งสามารถขจัดสารมลพิษใน
น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังได้มากกว่าร้อยละ 90 และความเข้มข้นของน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่าระดับเกณฑ์
มาตรฐานของประเทศไทยที่กำหนดไว้ ต้นทุนในการบำบัดประมาณ 0.30 ดอลลาร์สหรัฐต่อลูกบาศก์เมตร
น้ำตัวอย่าง ซึ่งมีแนวโน้มที่ต่ำกว่ากระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าและกระบวนการตกตะกอนเร่ง
ของโรงงาน

ภาควิชา.....เคมีเทคนิคลายมือชื่อนิสิต.....สังกรณ์ คงเจาะ
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

45726481 23: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: TANNERY WASTEWATER / PRECIPITATION / COAGULATION / ELECTROCHEMICAL

SANGKORN KONGJAO: TREATMENT OF TANNERY WASTEWATER IN ELECTROCHEMICAL REACTORS. THESIS ADVISOR: MALI HUNSOM, Ph.D., THESIS COADVISOR : PROF.SOMSAK DAMRONGLERD, Ph.D., 125 pp. ISBN 974-17-4155-3.

The research was conducted to treat tannery wastewater by using two methods of electrochemical techniques including the electroprecipitation in a membrane reactor and the electrocoagulation techniques. The parameters investigated in the both treatment processes were initial pH of wastewater, current density and flow rate of wastewater. The results indicated that the optimum condition for treating tannery wastewater by using the electroprecipitation technique was current density 69.8 A/m^2 , flow rate of wastewater 4.5 l/min and initial pH 4.5. At this condition, more than 98% of chromium was removed within 60 min. Beside chromium by using this technique, some organic pollutants were removed as a chromium-organic pollutant compounds. The operating cost related to the electricity cost was approximately $0.86 \text{ US\$/m}^3$ wastewater. For the electrocoagulation technique, the optimum condition was found by applying the monopolar electrodes in parallel configurations at current density of 20.67 A/m^2 , flow rate of wastewater of 3.67 l/min and 20 min electrolysis time. At this condition, more than 90% of pollutants were eliminated from the wastewater and the properties of the treated wastewater was approved to discharge into the regulation environment. The total operating cost of the treatment process was approximately $0.30 \text{ US\$/m}^3$ which was lower than that of electroprecipitation technique and activated sludge process of the tannery industry.

DepartmentChemical Technology... Student's signature... *Sangkorn Kongjao*...
 Field of studyChemical Technology.... Advisor's signature... *Mali Hunsom*.....
 Academic year2005..... Co-advisor's signature... *S.A. L.*.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร. มะลิ หุ่นสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ด้วยดีตลอดมารวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรธน์ ประศาสน์สาร ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติ พุฒษาทรและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กานดา ว่องไวลิขิต ที่กรุณารับเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอแสดงความขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภชของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเพื่อเงินทุนสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้าง ซ่อมแซมเครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจอย่างดีและให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ชาวเคมีเทคนิคทุกคนที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือและให้คำแนะนำด้วยดีเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูปภาพ.....	ฑ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 กระบวนการผลิต.....	3
2.1.1 การเตรียมหน้าก่อนการฟอก.....	5
2.1.2 กระบวนการฟอกหน้า.....	5
2.1.3 กระบวนการหลังการฟอกหน้า.....	6
2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมฟอกหน้า.....	6
2.3 มลพิษจากกระบวนการผลิต.....	6
2.3.1 ขั้นตอนการล้างและแช่น้ำ.....	7
2.3.2 การแช่น้ำปูนและกัดขน.....	7
2.3.3 การชุดฟุ้งผีด.....	8
2.3.4 การล้างปูนของหนังสือชั้นล่าง.....	8

บทที่	หน้า
2.3.5 การดองกรดและการฟอกโครม.....	8
2.3.6 การฟอกฝาด.....	8
2.3.7 การย้อมสี.....	8
2.4 ผลกระทบจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง.....	8
2.4.1 ผลกระทบต่อน้ำผิวดิน.....	9
2.4.2 ผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน.....	9
2.4.3 ผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ.....	9
2.4.4 ผลกระทบต่อมนุษย์.....	9
2.5 วิธีการจัดการน้ำเสีย.....	9
2.5.1 กระบวนการบำบัดทางกายภาพ.....	9
2.5.2 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ.....	10
2.5.2.1 การบำบัดไม่ใช้อากาศ.....	10
2.5.2.2 การบำบัดแบบใช้อากาศ.....	10
2.5.3 กระบวนการบำบัดทางเคมี.....	11
2.6 เคมีของโครเมียม และการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะโครเมียมปนเปื้อน.....	11
2.6.1 โครเมียมในแหล่งน้ำ.....	11
2.6.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะโครเมียมปนเปื้อน.....	11
2.6.2.1 การทำให้ตกตะกอนด้วยสารเคมี.....	12
2.6.2.2 กระบวนการออกซิเดชัน – รีดักชัน.....	12
2.6.2.3 กระบวนการระเหยแห้ง.....	13
2.6.2.4 การแลกเปลี่ยนไอออน.....	13
2.6.2.5 กระบวนการแพร่ย้อนกลับ.....	13
2.7 การบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนังในประเทศไทย.....	13
2.8 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า.....	16
2.8.1 กระบวนการเคมีไฟฟ้า.....	16
2.8.1.1 ชั่วไฟฟ้า.....	16
2.8.1.2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	16

บทที่	หน้า
2.8.1.3 ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้า.....	17
2.8.1.4 ศักย์ขั้วไฟฟ้า.....	18
2.8.2 หลักการอุณหพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า.....	18
2.8.3 สมการเนิร์นสต์.....	19
2.8.4 กฎของฟาราเดย์.....	21
2.8.5 การควบคุมการทำงานของกระบวนการเคมีไฟฟ้า.....	21
2.8.5.1 การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่.....	22
2.8.5.2 การทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่.....	22
2.8.6 ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า.....	23
2.8.6.1 การถ่ายโอนมวลสาร.....	23
2.8.6.2 ไมเกรชัน.....	23
2.8.6.3 การแพร่.....	23
2.8.6.4 การพา.....	23
2.9 การประยุกต์ใช้หลักการเคมีไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสีย.....	24
2.9.1 กระบวนการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า.....	24
2.9.1.1 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ที่นำมาประยุกต์ใช้.....	25
2.9.1.2 วัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า.....	27
2.9.2 กระบวนการตกตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้า.....	27
2.9.3 กระบวนการออกซิเดชันด้วยกระแสไฟฟ้า.....	30
2.9.3.1 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ที่นำมาประยุกต์ใช้.....	31
2.9.3.2 ผลของขั้วแอโนดต่อการออกซิเดชัน.....	33
2.9.4 กระบวนการรวมด้วยกระแสไฟฟ้า.....	33
2.9.4.1 การวางขั้วไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าของการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า.....	36
2.10 หลักการในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า.....	38
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39

บทที่	หน้า
3.วิธีดำเนินการวิจัย.....	41
3.1 รูปแบบการศึกษา.....	41
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
3.2.1 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า.....	42
3.2.2 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า.....	43
3.3 สารเคมี.....	44
3.3.1 การวิเคราะห์หีสี.....	44
3.3.2 การวิเคราะห์ COD.....	44
3.3.3.การวิเคราะห์ BOD.....	44
3.3.4 การวิเคราะห์ TKN.....	44
3.3.5 การวิเคราะห์ไขมันและน้ำมัน	45
3.4 น้ำตัวอย่าง.....	45
3.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	45
3.5.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง.	45
3.5.2 ศึกษาศึกษาการขจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกจากน้ำเสียจาก อุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธีเคมีไฟฟ้า.....	46
3.5.2.1 ศึกษาการขจัดโครเมียมและสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอน ด้วยกระแสไฟฟ้า.....	46
3.5.2.1.1 ศึกษาการผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและความเป็นกรด - เบสเริ่มต้น.....	46
3.5.2.1.2 ศึกษาการผลของอัตราการไหลของสารตัวอย่าง.....	46
3.5.2.2 ศึกษาการขจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียโดยวิธีกระบวนการ รวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า.....	46
3.5.2.2.1 ศึกษาการจัดเรียงของขั้วไฟฟ้า.....	47
3.5.2.2.2 ศึกษาการผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า.....	47
3.5.2.2.3 ศึกษาการผลของอัตราการไหลของสารตัวอย่าง.....	47
3.5.2.2.4 ศึกษาการผลของค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้น.....	47

บทที่	หน้า
4. ผลและอภิปรายผลการทดลอง.....	49
4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรม.....	49
4.2 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยกระบวนการตกตะกอนด้วย กระแสไฟฟ้า.....	50
4.2.1 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและค่าความเป็นกรด - เบส.....	51
4.2.2 ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการ ตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า.....	53
4.2.3 ผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อการลดลงของโครเมียมและสารปนเปื้อน อื่นๆ ในน้ำเสีย.....	56
4.2.4 กลไกการลดลงของโครเมียมและสารอินทรีย์.....	57
4.3 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยกระบวนการรวมตัวด้วย กระแสไฟฟ้า.....	65
4.3.1 ผลของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้า.....	65
4.3.2 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อการลดลงของสารมลพิษ.....	69
4.3.3 ผลของเวลาต่อการขจัดของสารมลพิษ.....	74
4.3.4 ต้นทุนในการดำเนินงาน.....	75
4.3.5 ผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อการลดลงของสารมลพิษ.....	75
4.3.6 ผลของความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นของสารละลาย.....	76
4.3.7 กลไกการปฏิกิริยาของกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า.....	79
4.4 เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ.....	81
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง	85
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก.....	91

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ข.....	95
ภาคผนวก ค	99
ภาคผนวก ง	116
ภาคผนวก จ	121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	125



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิต สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต และของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ ขั้นตอนการผลิต.....	7
ตารางที่ 2.2 ศักยภาพของตัวออกซิไดส์ตามสารตั้งต้น.....	31
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบผลของขั้วแอโนดชนิดต่างๆ ต่อการออกซิเดชัน.....	34
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง.....	50
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนบำบัด และหลังผ่านการบำบัด โดยการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า.....	55
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนบำบัด และหลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า.....	78
ตารางที่ 4.4 ต้นทุนในการดำเนินของงานวิจัยเปรียบเทียบกับโรงงานสำหรับการบำบัดน้ำเสีย จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง.....	81
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสียจาก อุตสาหกรรมฟอกหนัง.....	82
ตารางที่ ค (1) ปริมาณน้ำตัวอย่างและอัตราเจือจางที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์หาซีไอดี.....	106
ตารางที่ ค (2) ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม.....	106
ตารางที่ ค (3) การเลือกปริมาณน้ำตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วงซีไอดี.....	109
ตารางที่ ค (4) การเลือกปริมาณน้ำตัวอย่าง.....	112

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 ชั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการฟอกหนัง.....	4
รูปที่ 2.2 แสดงโครเมียมที่ความเป็นกรด - เบสต่าง ๆ.....	12
รูปที่ 2.3 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนังในจังหวัดสมุทรปราการ.....	14
รูปที่ 2.4 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของบริษัทเอกชน.....	15
รูปที่ 2.5 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์กระบวนการเคมีไฟฟ้า.....	17
รูปที่ 2.6 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้า.....	22
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้าคงที่.....	22
รูปที่ 2.7 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบไฟฟ้าคงที่.....	23
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่.....	23
รูปที่ 2.8 การถ่ายโอนมวลสารในสารละลาย.....	24
รูปที่ 2.9 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Tank cell.....	25
รูปที่ 2.10 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้า (ก) แบบมอโนโพลาร์ และ (ข) แบบไบโพลาร์.....	26
รูปที่ 2.11 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Filter press.....	26
รูปที่ 2.12 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Rotating cylinder electrode.....	27
รูปที่ 2.13 กระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดที่มีเยื่อเลือกผ่านไอออนลบ.....	29
รูปที่ 2.14 กระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดที่มีเยื่อเลือกผ่านไอออนบวก.....	29
รูปที่ 2.15 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Cylinder electrode.....	32
รูปที่ 2.16 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Packed bed.....	32
รูปที่ 2.17 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Bi-polar trickle tower.....	33
รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของ Poly-nuclear hydroxyl aluminum (III) complexes	
(ก) Dimeric Al^{3+} hydroxo complexes (ข) Polymeric Al^{3+} hydroxo complexes...	35
รูปที่ 2.19 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์ - เซลล์เดี่ยว.....	37
รูปที่ 2.20 การจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบขนาน.....	37

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.21 แสดงการจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบอนุกรม.....	37
รูปที่ 2.22 แสดงการจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าไบโพลาร์.....	38
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าด้วยเยื่อเลือกผ่าน ไอออน.....	42
รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองกระบวนการร่วมตัวของตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า.....	43
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของโครเมียม (____) และความเป็นกรด - เบส ของสารละลายของฟิ่งแคโทด (---) กับเวลาที่ ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 3 โดย $j=51.2 \text{ A/m}^2$ (X), $j=60.5 \text{ A/m}^2$ (+); $j=68.9 \text{ A/m}^2$ (Δ); $j=81.4 \text{ A/m}^2$ (\square).....	52
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของโครเมียม (____) และความเป็นกรด - เบส ของสารละลายของฟิ่งแคโทด (---) กับเวลาที่ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 โดย $j=51.2 \text{ A/m}^2$ (X), $j=60.5 \text{ A/m}^2$ (+); $j=68.9 \text{ A/m}^2$ (Δ); $j=81.4 \text{ A/m}^2$ (\square).....	52
รูปที่ 4.3 ร้อยละการลดลงของสารมลพิษที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วย กระแสไฟฟ้าเป็นเวลา 300 นาที ที่ภาวะต่างๆ.....	54
รูปที่ 4.4 สีของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า.....	54
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับต้นทุนในการดำเนินงาน ที่ร้อยละ 98 ของการขจัดโครเมียม.....	55
รูปที่ 4.6 ร้อยละการลดลงของโครเมียมกับเวลาที่อัตราการไหลของสารละลายต่างๆ ที่ความ เป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 69.8 แอมแปร์ต่อ ตารางเมตร.....	56
รูปที่ 4.7 ผลของอัตราการไหลของสารตัวอย่างต่อการลดลงของสารมลพิษ ที่ค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้น 4.5 และค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 69.8 แอมแปร์ต่อตารางเมตร	57
รูปที่ 4.8 IR สเปกตรัมของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนบำบัดและหลังการบำบัด.....	59
รูปที่ 4.9 IR สเปกตรัมของตะกอนจากกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับ น้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนบำบัดและหลังการบำบัด.....	60

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.10 IR สเปกตรัมของตะกอนจากกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าและตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากสารประกอบ $\text{Cr}(\text{N}_3\text{O}_9) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	61
รูปที่ 4.11 (ก) กลไกการลดลงของสารอินทรีย์โดยอาศัยอนุพันธ์ของ $\text{Cr}(\text{OH})_3$	63
รูปที่ 4.11 (ข) กลไกการลดลงของสารอินทรีย์โดยอาศัยโครงสร้างของ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$ และ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$	64
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	66
รูปที่ 4.13 ร้อยละการลดของค่าบีโอดีกับเวลาของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	67
รูปที่ 4.14 ร้อยละการขจัดของค่าซีโอดีกับเวลาของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	67
รูปที่ 4.15 ร้อยละการขจัดของโครเมียมกับเวลาของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	68
รูปที่ 4.16 (ก) ร้อยละการลดบีโอดีที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ.....	70
รูปที่ 4.16 (ข) ร้อยละการลดซีโอดีที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ.....	71
รูปที่ 4.16 (ค) ร้อยละการขจัดของโครเมียมที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ.....	71
รูปที่ 4.16 (ง) ร้อยละการลดของสารแขวนลอยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ.....	72
รูปที่ 4.16 (จ) ร้อยละการขจัดของไขมันและน้ำมันที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ.....	72
รูปที่ 4.16 (ฉ) ร้อยละการลดของสีที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ.....	73
รูปที่ 4.16 (ช) ร้อยละการลดของแข็งที่ละลายน้ำที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ.....	73
รูปที่ 4.17 ร้อยละการลดสารมลพิษกับเวลาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	74
รูปที่ 4.18 ต้นทุนในการดำเนินงานกับเวลาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	75

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.19 ร้อยละการลดลงของสารมลพิษกับเวลาที่อัตราการไหลของสารตัวอย่างต่าง ๆ ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และเวลา 20 นาที.....	76
รูปที่ 4.20 ร้อยละการลดลงของสารมลพิษกับเวลาที่ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 7 - 9 ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตรและเวลา 20 นาที.....	77
รูปที่ 4.21 สีของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า.....	78
รูปที่ 4.22 ปริมาณของเหล็กที่เกิดจากขั้วแอโนดและปริมาณของเหล็กในน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	79
รูปที่ ค (1) Calibration Curve ของการวัดสีด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer.....	100
รูปที่ จ (1) โครงสร้างของระบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS.....	122
รูปที่ จ (2) โครงสร้างของระบบบึงประดิษฐ์แบบ VBS.....	123

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

มนุษย์รู้จักนำทรัพยากรธรรมชาติ เช่น แร่ธาตุ สารอินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ มาใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตควบคู่กับการพัฒนาเทคโนโลยีขั้นพื้นฐานแบบต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกสบายและพัฒนาคุณภาพของชีวิตให้ดีขึ้น ปัจจุบันวิวัฒนาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความต้องการบริโภคของมนุษย์และการพัฒนาของประเทศมุ่งเน้นไปที่ภาคอุตสาหกรรมและการนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิต จนมิได้คำนึงถึงการอนุรักษ์ทรัพยากร ตลอดจนการป้องกันและวิธีแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับสภาวะแวดล้อมอย่างถูกต้อง ที่ก่อให้เกิดภาวะมลพิษ (Pollution)

อุตสาหกรรมฟอกหนังเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ย้ายตัวอย่างรวดเร็ว และเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษโดยเฉพาะปัญหาน้ำเสีย เนื่องจากอุตสาหกรรมฟอกหนังใช้น้ำและสารเคมีเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิต และน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจะประกอบด้วยเศษของวัตถุดิบ สารอินทรีย์และโครเมียมที่ใช้ในกระบวนการผลิตปริมาณที่สูง หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังทำได้หลายวิธี เช่น กระบวนการทางชีวภาพ (Biological process) การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical process) กระบวนการตกตะกอนเร่ง (Activated Sludge) หรือบ่อฝังผลมและบ่อเติมอากาศ (Stabilization and Aerated Lagoon) ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้จะต้องมีการบำบัดขั้นต่อไป (Post-treatment process) มารองรับ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นและก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำและสิ่งแวดล้อม เพื่อลดต้นทุนในการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกหนังและปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จะตามมา งานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical process) ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดสารมลพิษที่มีความเข้มข้นสูง ไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัด มีต้นทุนต่ำ และมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริงกับอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยเทคนิคเคมีไฟฟ้า

2. เพื่อศึกษากลไกของปฏิกิริยาการขจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ
2. เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าประกอบด้วยเยื่อเลือกผ่านไอออนลบ (Electroprecipitation reactor with anionic membrane) และเครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrocoagulation reactor)
3. หาภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการขจัดสารอินทรีย์ โลหะหนัก ไขมัน และสารอื่นๆ ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย
3. เก็บตัวอย่างน้ำเสียและศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำเสีย (Chemical and physical properties) ได้แก่ pH BOD COD TKN ค่าการนำไฟฟ้า สารแขวนลอย สี โครเมียม ไขมันและน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย
4. หาภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการขจัดสารปนเปื้อนในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า
5. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย
6. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัยนี้

1. ได้ระบบและภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังที่มีต้นทุนดำเนินการต่ำ
2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและการขยายขนาดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงกับอุตสาหกรรมฟอกหนัง

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

อุตสาหกรรมฟอกหนังเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่ากับหนังสัตว์ โดยการนำหนังสัตว์ที่เป็นหนังดิบและหนังฟอกถึงสำเร็จรูปมาผ่านกระบวนการฟอก การย้อมสี และการตกแต่ง โดยใช้สารเคมี เพื่อให้ได้หนังสำเร็จรูปซึ่งจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องหนังต่าง ๆ เช่น กระเป๋า รองเท้า เป็นต้น

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกหนังในประเทศไทยจะใช้หนังสัตว์ใหญ่ (Mides) เช่น หนังโค หนังกระบือ หนังม้า ฯลฯ เป็นวัตถุดิบหลักและมีเคมีภัณฑ์เป็นวัตถุดิบรอง โดยหนังดิบ (Raw Hides) ที่จะใช้ในการฟอกหนังจะต้องผ่านกรรมวิธีการเก็บรักษาในลักษณะต่างๆ เช่น การหมักเกลือ ตากแห้ง อบน้ำยา เป็นต้น ซึ่งในการเก็บรักษาจะนิยมการหมักเกลือเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้จะมีการใช้ยาฆ่าแมลงหรือยาฆ่าเชื้อราควบคู่กันไปเพื่อป้องกันการรบกวนของแมลงและเชื้อราที่จะเกิดระหว่างการเก็บรักษาหนังดิบ โดยยาฆ่าแมลงที่ใช้ เช่น Lindane Permethin Sodium silico-fluoride Borax และยาฆ่าเชื้อรา เพื่อเป็นการรักษาส่วนที่สำคัญของหนังหรือผิวหนัง

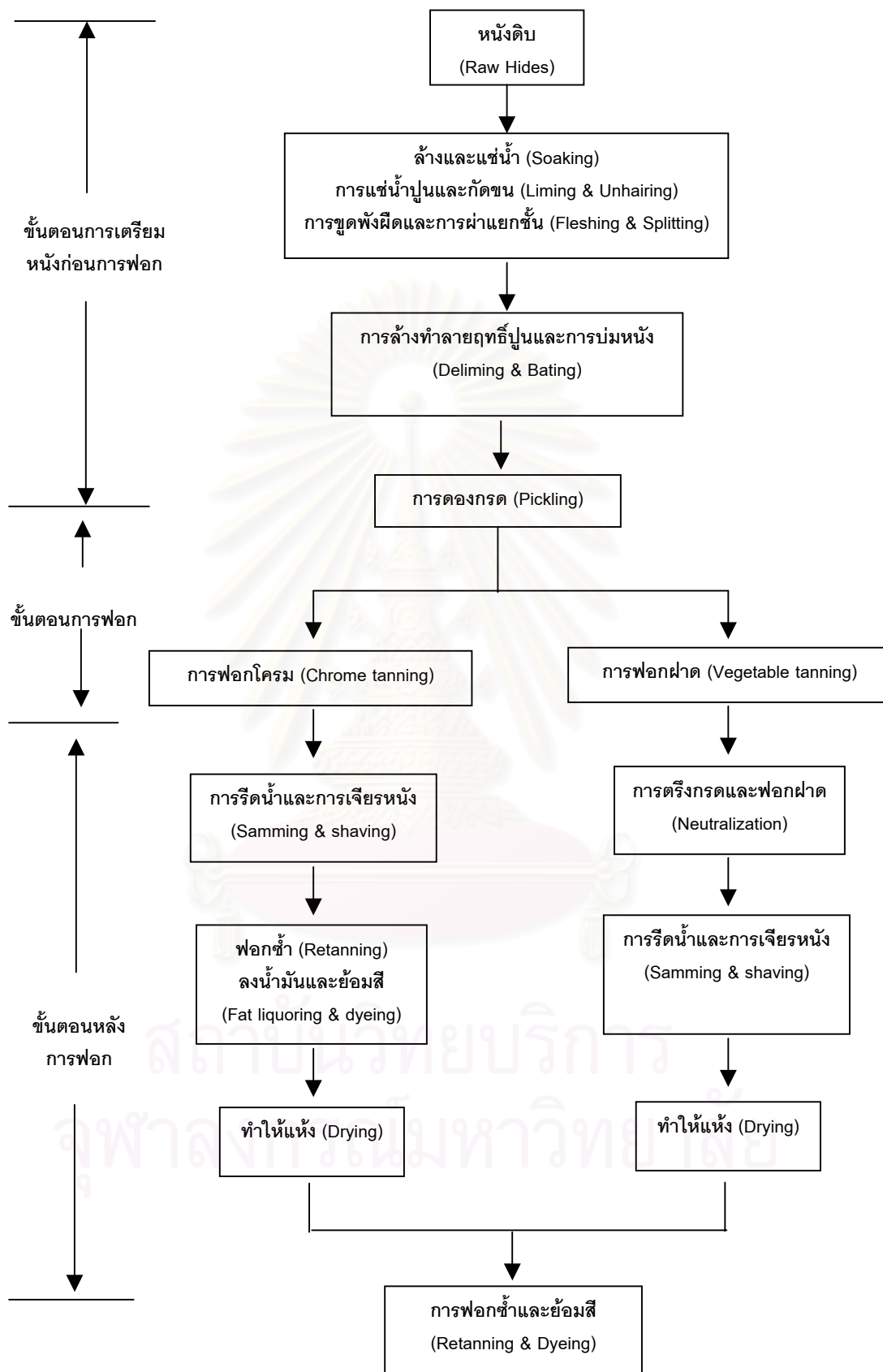
2.1 กระบวนการผลิต

การฟอกหนัง คือ การเปลี่ยนสภาพหนังสัตว์ดิบที่เน่าเปื่อยได้ไปเป็นหนังสำเร็จซึ่งคงตัวไม่เน่าเปื่อย มีความทนทานต่อสภาพอากาศและน้ำร้อน โดยปกติหนังสัตว์ดิบจะประกอบด้วย ขน หนังกำพร้า หนังแท้ และพังพืด เฉพาะส่วนหนังแท้จะประกอบด้วยคอลลาเจนโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ การรักษาสภาพหนังแท้ไม่ให้น้ำเปื่อยจะอาศัยสารเคมีได้แก่ โครเมียม แทนนิน หรือสารเคมีอื่นๆ เข้าไปทำปฏิกิริยากับคอลลาเจนโปรตีนในหนัง (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2535)

กระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่คือ

1. การเตรียมหนังก่อนการฟอก (Beamhouse Operation)
2. กระบวนการฟอกหนัง (Tannage)
3. การฟอกซ้ำ ย้อมสี ให้น้ำมัน และการตกแต่งหนัง (Finishing process)

โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการฟอกหนัง

2.1.1 การเตรียมหนังก่อนการฟอก

เป็นการขจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากหนังดิบ และเตรียมหนังให้พร้อมที่จะฟอก โดยการนำหนังดิบที่ผ่านการดองเกลือมาแล้วมาเคาะเกลือออก เนื่องจากเกลือจะมีคุณสมบัติในการช่วยรักษาหนังไม่ให้เน่า ดังนั้นหลังจากเคาะเกลือออกแล้วจะต้องนำหนังเข้ากระบวนการผลิตภายใน 1 ถึง 2 วัน ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการก่อนการฟอกได้แก่

- 2.1.1.1 การล้างและแช่น้ำ เป็นการนำหนังดิบที่หมักเกลือไว้มาล้างเศษสิ่งสกปรกออกโดยใช้สบู
- 2.1.1.2 การแช่ปูน โดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) และปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) สารเคมีทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับขนและหนังกำพร้า ให้เหลือแต่หนังแท้ ซึ่งจะทำให้หนังนุ่มและมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น
- 2.1.1.3 การขูดพังผืดและการผ่าแยกชั้น โดยนำหนังที่ขูดพังผืดแล้วเข้าเครื่องผ่าหนัง หนังสามารถผ่าได้ 3 - 4 ชั้นโดยสองชั้นด้านบนจะนำไปฟอกโครม ส่วนชั้นที่สามอาจจะฟอกหรือไม่ก็ได้ และชั้นสุดท้ายจะนำไปล้างทำลายฤทธิ์ปูนก่อนนำไปผลิตอาหารสัตว์
- 2.1.1.4 การล้างทำลายฤทธิ์ปูนและบ่มหนัง โดยเติมเกลือแอมโมเนียเพื่อลดการบวมของหนังแล้วทำให้หนังมีสมบัติเป็นกลางและเติมสารออกซิไดส์เพื่อช่วยกัดสีหนังให้เจือจางลง มีการเติมเอนไซม์เพื่อช่วยย่อยเส้นใยให้หนังเรียบและนุ่ม จากนั้นจึงทำการล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดสีขาวของปูนขาว
- 2.1.1.5 การดองกรด จะใช้สารเคมีคือ เกลือแกง กรดกำมะถัน เพื่อปรับค่าความเป็นกรด - เบส ให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาการฟอกหนังเพื่อช่วยให้หนังสามารถจับกับโครเมียมได้ดีซึ่งจะช่วยลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย

2.1.2 กระบวนการฟอกหนัง การฟอกหนังที่นิยมมี 2 วิธีคือ

- 2.1.2.1 การฟอกโครม โดยการใส่สารประกอบโครเมียมซัลเฟต ($[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})\text{OH}]\text{SO}_4$) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมเนื่องจากใช้เวลาสั้น สารเคมีที่ใช้ราคาถูก หนังที่ฟอกแล้วจะทนต่อความร้อนและความชื้นได้ดีกว่าการฟอกฟาด
- 2.1.2.2 การฟอกฟาด โดยใช้สารแทนนินซึ่งสกัดมาจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส และสารเคมีอื่นๆ มาฟอก การฟอกฟาดจะเหมาะกับหนังที่หนาหลายๆ หนังที่ได้จะมีความทนทานสูง น้ำฟาดที่ใช้ฟอกแล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่อีก

2.1.3 กระบวนการหลังการฟอก ประกอบด้วย

- การฟอกซ้ำ มักจะทำกับหนังที่ผ่านการฟอกโครมเพื่อปรับปรุงคุณภาพหนังให้เหมาะสมกับความต้องการ การฟอกซ้ำจะทำไปพร้อมๆ กับการใส่น้ำมันและการฟอกจางสีของหนัง
- การย้อม ซึ่งมักใช้กับหนังฟอกผาดโดยการใส่สารเคมี สี กรดอินทรีย์ และน้ำร้อนจะช่วยให้การย้อมเสร็จสมบูรณ์

2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

หนังดิบที่ผ่านกระบวนการฟอกหนังเรียบร้อยแล้ว เรียกว่า หนังฟอก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- 2.2.1 หนังทรงหรือหนังชั้นนอก เป็นหนังที่เหมาะสมสำหรับผลิตรองเท้า กระเป๋า เฟอร์นิเจอร์
- 2.2.2. หนังท้องหรือหนังชั้นในเป็นหนังที่ใช้ผลิตถุงมือหนังและหนังซับใน
- 2.2.3. หนังชั้นล่าง เป็นหนังที่นำไปผลิตของเล่นสุนัข

2.3 มลพิษจากกระบวนการผลิต

การฟอกหนังเป็นกระบวนการที่มีการใช้น้ำและสารเคมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งก่อให้เกิดของเสียดังต่อไปนี้

1. น้ำเสีย
2. เศษของแข็ง
3. มลพิษทางอากาศ
4. ของเสียอื่น

น้ำเสียจากกระบวนการฟอกหนังมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปริมาณน้ำที่สูง ซึ่งได้แก่ ค่าบีโอดี (BOD) ค่าซีโอดี (COD) เกลือ ยาฆ่าแมลง เศษเนื้อ ขน หนัง และตะกอนดิน โดยจะมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต 3 ขั้นตอน ได้แก่ น้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมหนังก่อนการฟอก น้ำเสียจากขั้นการฟอก และน้ำเสียจากขั้นตอนหลังการฟอก ดังแสดงในตารางที่ 2.1

จากผลการศึกษาของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย พบว่ากระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกหนังจะก่อให้เกิดของเสียที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยของเสียที่เป็นตัวแทนสารอินทรีย์แสดงออกในรูปของค่า BOD ในทำนองเดียวกันของเสียที่เป็นตัวแทนสารอนินทรีย์จะแสดงออกในรูปค่าโครเมียมในน้ำเสีย ดังนั้นประเภท ชนิดและปริมาณของมลพิษจึงเปลี่ยนแปลงตามขั้นตอนการผลิต ซึ่งแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิต สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต และของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิต (แบ่งย่อย, 2543 และ Bosnic, 2000)

ขั้นตอนการผลิต	สารเคมีในการกระบวนการ	ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต
<u>กระบวนการก่อนการฟอก</u>		
- การเก็บรักษาหนัง	เกลือเม็ด ยาฆ่าแมลง ยา ระงับเชื้อ	-
- การล้างและแช่น้ำ	NaOH, Na ₂ S, Enzyme	น้ำเสีย (BOD COD ยาฆ่าแมลง ยาระงับเชื้อ เศษเนื้อ ขน หนัง ตะกอนดิน)
- การแช่ปูนและกัดขน	Na ₂ S ปูนขาว	น้ำเสีย (BOD COD ยาฆ่าแมลง ยาระงับเชื้อ แอมโมเนีย สารแขวนลอย) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เศษเนื้อ ขน หนัง ตะกอนดิน ปูนขาว
- การขูดพังผืดและการผ่า แยกชั้น	-	น้ำเสียเช่นเดียวกับการแช่ปูน แต่ความเข้มข้น ต่ำกว่า
- การล้าง - ทำลายฤทธิ์ปูน	NH ₄ Cl, HCl, Acetic Acid	น้ำเสีย (BOD COD ซัลไฟด์ เบส แอมโมเนีย สารแขวนลอย)
- การดองกรด	NaCl, Na ₂ SO ₄ , H ₂ SO ₄	-
<u>กระบวนการฟอกหนัง</u>		
- การฟอกโครม	[Cr(H ₂ O)OH]SO ₄	น้ำเสีย (BOD COD โครเมียม กรด เกลือ สาร แขวนลอย)
- การฟอกฟาด	สารแทนนิน	น้ำเสีย (BOD COD กรด เกลือ สารแขวนลอย) ไขมัน สารแทนนิน
<u>กระบวนการหลังการฟอก</u>		
- การรีดน้ำและการเจียร หนัง	-	น้ำเสีย เศษตะกอน -เศษหนังที่มีโครเมียมจากการฟอกโครม -เศษหนังที่ได้จากการฟอกแทนนิน
- การฟอกซ้ำและการย้อมสี	Formic acid, Syntan, NH ₄ Cl	น้ำเสีย (BOD COD โครเมียม) ไขมัน เม็ดสี สารฟอกสี

2.3.1 ขั้นตอนการล้างและแช่น้ำ ขั้นตอนนี้จะเกิดจากการขจัดสิ่งสกปรกต่างๆ และของเสียที่ใช้ในการรักษาหนังดิบซึ่งน้ำเสียขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย โปรตีนที่ละลายน้ำ ไขมัน เลือด ขน เกลือ ยาฆ่าแมลง ยาระงับเชื้อ เศษเนื้อ และตะกอนดิน น้ำเสียจะมีความสกปรกมาก มีสีน้ำตาลดำ และมีกลิ่นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.3.2 การแช่น้ำปูนและกัดขน ขั้นตอนนี้เกิดน้ำเสียที่มีมลพิษสูงมาก ซึ่งมาจากส่วนขนและหนังกำพวด ตลอดจนสิ่งสกปรกอื่นที่สะสมอยู่ในหนังจะถูกชะล้างออกมาด้วยปูนขาวและสาร

ประกอบซัลไฟด์ที่ใส่ลงไป นอกจากนี้ยังมียาฆ่าแมลง ยาระงับเชื้อที่สะสมอยู่ในน้ำก็จะปะปน ออกมากับน้ำเสียด้วย น้ำเสียจะมีลักษณะเป็นสีเขียวมึน มีกลิ่นเหม็นเน่าและมีความเป็นเบสสูง องค์ประกอบของน้ำเสียในขั้นนี้ได้แก่ สารประกอบของแคลเซียม ซัลไฟด์ ยาฆ่าแมลง ยาระงับเชื้อ และสารแขวนลอย และค่าบีโอดีที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้มีประมาณ 50% ของบีโอดีทั้งหมดจาก โรงงานฟอกหนัง

2.3.3 การขูดฟุ้งผิด สำหรับน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการนี้มีปริมาณน้อยและมีลักษณะ เหมือนกับน้ำเสียจากกระบวนการแช่ปูนแต่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

2.3.4 การล้างปูนของหนังส่วนชั้นล่าง มีการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์หรือแอมโมเนียม ซัลเฟตเพื่อทำปฏิกิริยากับปูนและเติมเอนไซม์เพื่อย่อยเส้นใยในหนังให้เรียบ องค์ประกอบของน้ำ เสียในขั้นนี้ได้แก่ เกลือแอมโมเนีย สารแขวนลอย คลอไรด์ และแก๊สแอมโมเนียเกิดขึ้นด้วย

2.3.5 การตองกรดและการฟอกโครม น้ำเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะมีสภาพเป็นกรด และประกอบด้วยสารแขวนลอย โครเมียม เกลือของคลอไรด์และส่วนเศษตะกอนลอยที่เกิดขึ้นมี โครเมียมปนอยู่และจะหลุดออกมาพร้อมกับน้ำเสีย ปริมาณโครเมียมในน้ำเสียขั้นตอนนี้จะมีค่า ประมาณ 2,000 - 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.6 การฟอกฟาด น้ำเสียจะมีสารแขวนลอยและของแข็งที่ละลายน้ำสูง องค์ประกอบ ของน้ำเสียในขั้นนี้เป็นสารอินทรีย์ที่ใช้ในการฟอกและสารอื่นๆ เช่น เกลืออนินทรีย์ และกรด อินทรีย์ สีของน้ำเสียเป็นสีน้ำตาลแดงและมีค่าความเป็นกรด - เบสต่ำกว่า 5

2.3.7. การย้อมสีและการลงน้ำมัน น้ำเสียจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลดำ องค์ประกอบ ของน้ำเสียในขั้นนี้ได้แก่ ไขมัน สีย้อม เม็ดสีและสารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้

สำหรับประเทศไทยมีอัตราการผลิตหนังปริมาณ 14,000 ตันต่อปี น้ำเสียที่เกิดขึ้น ประมาณ 2.55 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจะมีค่า BOD และ โครเมียมปนเปื้อนอยู่ประมาณ 3,800 และ 200 เมตริกตันต่อปีตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีค่า COD ค่า TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) สารแขวนลอย (Suspended Solids) และค่าของแข็งที่ ละลายน้ำ (Total Dissolved Solids) ค่อนข้างสูง (ธงชัย, 2545) จำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสีย ก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ

2.4 ผลกระทบจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2535)

ผลกระทบหลักจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดของเสียก่อน ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งจะก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำและอากาศ และปัจจุบันอุตสาหกรรม ฟอกหนังมีการใช้สารเคมีเพิ่มมากขึ้น เช่น ยาฆ่าแมลง สีย้อม สารละลายต่างๆ และเม็ดสี สาร

เหล่านี้มีความเป็นพิษสูงและย่อยสลายได้ยากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ผลกระทบจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกหนังที่มีต่อสิ่งแวดล้อมสามารถสรุปได้ดังนี้

2.4.1 ผลกระทบต่อน้ำผิวดิน

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัด ถ้าปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน จะทำให้คุณภาพน้ำเชิงกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำผิวดินเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็ว และก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และส่งผลให้ค่าการละลายของออกซิเจน (Dissolved Oxygen) ในน้ำลดลงซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ นอกจากนี้ยังทำให้น้ำมีความเค็มและความกระด้างเพิ่มมากขึ้น เป็นผลมาจากเกลือของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และอันตรายของโครเมียม ซัลไฟด์ และแอมโมเนียในน้ำเสีย

2.4.2. ผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน

การปนเปื้อนของน้ำเสียใต้ดินจะเกิดเมื่อน้ำเสียหรือสารเคมีไหลซึมผ่านดินจากบ่อ ท่อ หรือระบบระบายน้ำที่ไม่มีการปูวัสดุกันซึม น้ำใต้ดินจะใช้เวลาในการบำบัดตัวเอง สำหรับอุตสาหกรรมฟอกหนังสารมลพิษที่อาจปนเปื้อนได้ คือ เแทนิน โครเมียม ซัลเฟต และคลอไรด์

2.4.3. ผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ

การย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และการปล่อยซัลไฟด์จะเป็นสาเหตุของกลิ่นที่ฉุนแฉะ และอาจเป็นปัญหาต่อสุขภาพได้

2.4.4. ผลกระทบต่อมนุษย์

อุตสาหกรรมฟอกหนังจะมีการใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก การสัมผัสโดยตรงกับสารเคมีบางตัวจะเป็นสาเหตุของความเจ็บป่วยและชีวิตได้ แม้จะได้รับเพียงเล็กน้อย และบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น ไอระเหยสารตกแต่งหนัง (Finishing Solvent)

2.5 วิธีการจัดการน้ำเสีย

น้ำเสียมักประกอบด้วยสิ่งเจือปนหรือความสกปรกหลายชนิดขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา น้ำเสียจากบ้านเรือนอาจมีเศษวัสดุขนาดใหญ่ กรวดทราย ไขมันตลอดจนสารอินทรีย์ในรูปของสารแขวนลอยและสารปะปนอยู่ ขณะที่น้ำเสียอุตสาหกรรมจะมีสิ่งปนเปื้อนหลากหลายขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงาน วัตถุประสงค์ตลอดจนกระบวนการผลิตที่ใช้ การจัดการน้ำเสียเหล่านี้ส่วนใหญ่ต้องการวิธีการจัดการมากกว่าหนึ่งอย่าง เช่น

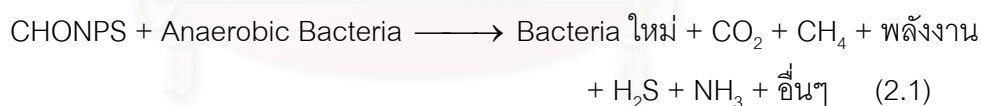
2.5.1 กระบวนการบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment Process) (Song, 2000)

วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยมากจะใช้เป็นขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง (Screening) การตกตะกอน (Sedimentation) การทำให้ลอย (Flotation) การกรอง (Filtration)

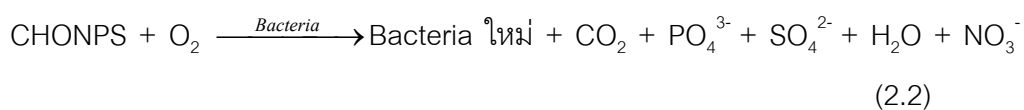
เป็นต้น และมีการบำบัดโดยวิธีทางกายภาพอีกขั้นตอนหนึ่ง เพื่อทำการแยกตะกอนออกจากน้ำที่ผ่านขั้นตอนการบำบัดทางชีวภาพ อย่างไรก็ตามการบำบัดทางกายภาพเป็นเพียงขั้นเริ่มต้นในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถลดความเข้มข้นของสารมลพิษได้ในระดับหนึ่ง และน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดนี้จะต้องมีการบำบัดขั้นตอนต่อไปอีกจนกระทั่งได้น้ำทิ้งที่มีสมบัติผ่านมาตรฐาน

2.5.2 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological Process) (Ahn, 1996 Vijayaraghvan, 1997 และ Wiemann, 1998) มีวัตถุประสงค์เพื่อขจัดสารอินทรีย์ (BOD และ COD) เป็นหลัก นอกจากนี้ยังสามารถขจัดสารอินทรีย์บางชนิด (เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ออกจากน้ำเสีย โดยอาศัยจุลินทรีย์ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติเปลี่ยนสารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกให้อยู่ในรูปของแก๊ส และของแข็ง (เซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์) เพื่อแยกแอกจากน้ำเสียโดยกระบวนการทางกายภาพในขั้นต่อไป ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์หรือความสกปรกในน้ำลดลงหรือหมดไป ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพจะเป็นการควบคุมปริมาณน้ำเสียให้สัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์ และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายให้เหมาะสม การบำบัดน้ำเสียถูกแบ่งตามลักษณะการใช้ออกซิเจนได้เป็น 2 ประเภทหลัก

2.5.2.1 การบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Treatment Process) เป็นการอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดที่ดำรงชีพโดยไม่ใช้แก๊สออกซิเจน ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ (CHONPS นิยมเรียก BOD หรือ COD) ให้เปลี่ยนเป็นเซลล์ใหม่และแก๊สบางชนิด ส่วนใหญ่เป็น CO_2 และ CH_4 โดยมี H_2S และอื่นๆ ปะปนมาด้วย โดยมีสารประกอบอินทรีย์บางชนิดเกิดขึ้นมาด้วย เช่น แอมโมเนีย เป็นต้น ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



2.5.2.2 การบำบัดแบบใช้อากาศ (Aerobic Treatment Process) เป็นการอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดที่ดำรงชีพโดยใช้แก๊สออกซิเจน โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็น เซลล์ใหม่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบบางชนิด เช่น แอมโมเนีย หรือไนเตรต ฟอสเฟต ซัลเฟต เป็นต้น ดังปฏิกิริยา



การบำบัดทางชีวภาพจะไม่สามารถลดปริมาณของอนุพันธ์ของไนโตรเจน (แอมโมเนีย และเกลือแอมโมเนีย) และสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ซัลไฟด์ และโครเมียม ให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ซึ่งกระบวนการบำบัดทางชีวภาพจะไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง เนื่องจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกหนังจะมีปริมาณโครเมียมสูง กระบวนการบำบัดทางชีวภาพก็สามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรมฟอกหนังได้ก็ต่อเมื่อปริมาณของโครเมียมในน้ำเสียอยู่ในระดับที่ไม่มีผลกระทบต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัด

2.5.3 กระบวนการบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment Process) (Panswad, 2001 และ Song, 2004) กระบวนการนี้ต้องพึ่งพาสารเคมีเพื่อให้เกิดผลตามที่ต้องการ โดยมักจะใช้กระบวนการนี้ขจัดสารเคมีหรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่ไม่สามารถใช้กระบวนการอื่นได้หรือได้ผลแต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด-เบสสูง ๆ การฆ่าเชื้อโรค เป็นต้น กระบวนการทางเคมีที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้แก่ การสร้างและการรวมตะกอน (Coagulation and Flocculation) การตกผลึก (Precipitation) การออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) และการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) ซึ่งกระบวนการบำบัดทางเคมีสามารถลดปริมาณของสารมลพิษได้ในระดับหนึ่ง แต่ระบบจะมีหลายชั้นและมีการใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก และต้องอาศัยพื้นที่เป็นบริเวณกว้างซึ่งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดนี้จะต้องมีการบำบัดขั้นต่อไปอีกหลายระบบ

2.6 เคมีของโครเมียมและการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะโครเมียมปนเปื้อน

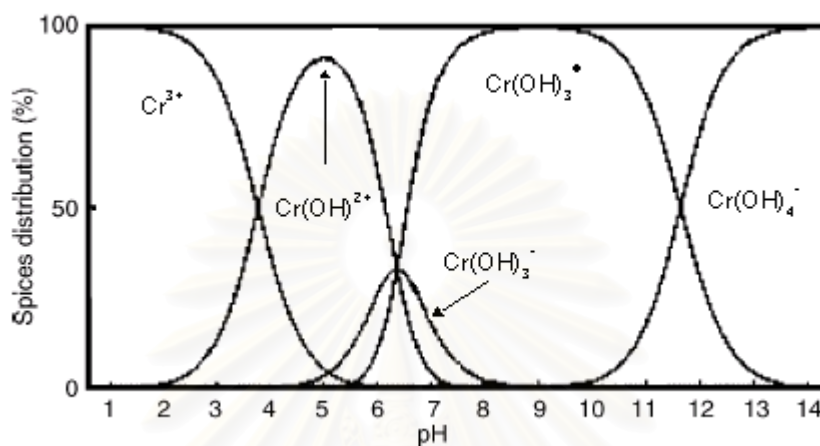
โครเมียมเป็นธาตุในหมู่ VIB เป็นโลหะสีชาวมันวาวและแข็งมาก สามารถทนทานต่อการผุกร่อนได้ดี คงความเป็นมันเงาได้นานในอากาศจึงมักใช้ทำโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม (Alloy) เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำปฏิกิริยากับแก๊ส เช่น ออกซิเจน และคลอรีน ได้สารประกอบของโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 3

สำหรับในภาคอุตสาหกรรมมีการใช้โลหะโครเมียมและสารประกอบของโครเมียมเป็นจำนวนมาก เช่น อุตสาหกรรมชุบชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุตสาหกรรมฟอกหนัง และมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของโรงงานฟอกหนังในประเทศไทยมีการใช้สารประกอบของโครเมียมในกระบวนการผลิต

2.6.1 โครเมียมในแหล่งน้ำ

โครเมียมในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของโครเมียม (+3) และโครเมียม (+6) ซึ่งมีผลต่อสภาพแวดล้อม โดยโครเมียม (+6) เป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรงแต่โครเมียม (+3) จะมีเลขออกซิเดชันเสถียรมากที่สุด โครเมียม (+6) ในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของโครเมต (CrO_4^{2-}) และไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) ส่วนโครเมียม (+3) ที่อยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปต่างๆ เช่น Cr^{3+} , $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Cr}(\text{OH})_3^{\bullet}$ และ

Cr(OH)_4^- โดย Cr^{3+} จะพบที่ค่าความเป็นกรด - เบสต่ำกว่า 3.6 เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และโครเมียม (+6) สามารถเปลี่ยนเป็นโครเมียม (+3) โดยโครเมียม (+6) จะถูกรีดิวซ์ได้ง่ายด้วย Fe^{2+} หรือซัลไฟด์ที่อยู่ในแหล่งน้ำ



รูปที่ 2.2 แสดงโครเมียมที่ความเป็นกรด - เบสต่างๆ (Rana, 2004)

2.6.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะโครเมียมปนเปื้อน มีด้วยกันหลายกระบวนการแต่ที่เป็นนิยมใช้มีดังนี้

2.6.2.1 การทำให้ตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Precipitation Process) (Schrank, 2003) เป็นกระบวนการที่เติมสารเคมีลงไปในน้ำ เพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะโครเมียมเกิดเป็นตะกอนของเกลือของโลหะ โดยทั่วไปนิยมตกตะกอนโลหะหนักในรูปของตะกอนไฮดรอกไซด์

สารเคมีใช้ตกตะกอนเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) แต่เนื่องจากราคาของแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือปูนขาว (Lime) มีราคาถูก จึงเป็นที่นิยมมากกว่า วิธีการนี้เป็นที่นิยมใช้เป็นอย่างมากเพราะมีราคาถูกง่ายต่อการควบคุมและการทำงาน แต่มีข้อเสียคือต้องมีกระบวนการบำบัดตะกอนมารองรับและไม่สามารถนำโลหะเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ได้อีก หรือหากจะนำกลับมาใช้ก็ต้องใช้กระบวนการที่ยุ่งยากและซับซ้อนมารองรับ

2.6.2.2 กระบวนการออกซิเดชัน - รีดักชัน (Oxidation - Reduction Reaction Process) เป็นการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันกับโลหะโครเมียมในน้ำเสียทำให้โลหะโครเมียมเปลี่ยนเป็นสารประกอบในรูปอื่นๆ ที่ไม่เป็นพิษหรือสามารถตกตะกอน

ได้ เช่น การเติมออกซิเจนหรือโอโซนลงในน้ำเสีย เพื่อให้ไอออนของโลหะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นโลหะออกไซด์ ซึ่งจะสามารถทำให้ตกตะกอนออกจากน้ำเสียได้ วิธีการนี้จะคล้ายกับวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี แม้จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงกว่า และจะมีความง่ายกว่าหากต้องการนำโลหะหนักจากตะกอนกลับมาใช้ใหม่

2.6.2.3 กระบวนการระเหยแห้ง (Evaporation Process) เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำโลหะหนักกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย แต่ก็ต้องใช้ปริมาณพลังงานจำนวนมาก เพื่อให้ให้น้ำระเหยแห้งจนหมด ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีปริมาณมากและความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำ

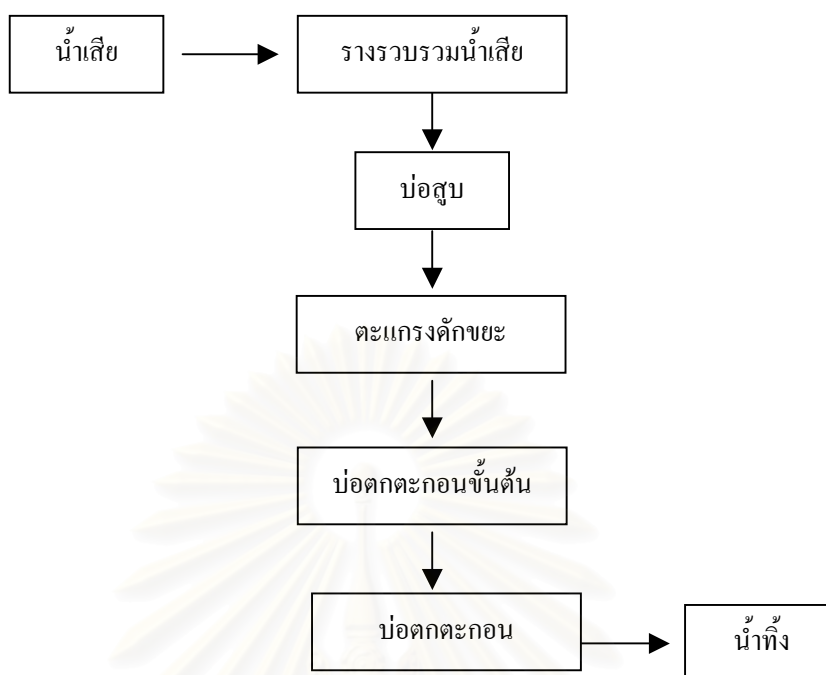
2.6.2.4 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Process) เป็นวิธีการใช้เรซิน (Resin) เป็นตัวแยกไอออนของโลหะออกมา โดยจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างน้ำเสียที่มีไอออนบนผิวของเรซินโดยโลหะโคโรเมียมจะเกาะอยู่ที่ผิวของเรซิน เรซินที่ใช้ในการแยกโลหะโคโรเมียมคือ แคทไอออน (Cationic Resin) เช่น Carboxylic resin (Tiravanti, 1997) วิธีการนี้แม้จะมีประสิทธิภาพสูงแต่ก็มีค่าใช้จ่ายมากเนื่องจากเรซินมีราคาแพง นอกจากนี้ยังไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง และมีการปนเปื้อนของสารหลายชนิด จึงนิยมเป็นกระบวนการบำบัดขั้นตอนสุดท้ายเพื่อให้ น้ำทิ้ง (Effluent) มีความสะอาดสูง และการปนเปื้อนของโลหะในปริมาณที่ต่ำมาก

2.6.2.5 กระบวนการแพร่ย้อนกลับ (Reverse Osmosis Process) เป็นกระบวนการบำบัดโดยผ่านน้ำเสียที่มีความดันสูง (สูงกว่า 10 บรรยากาศ) ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable Membrane) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ยอมให้ไอออนบางชนิดแพร่ผ่านไปได้ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงมาก แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูงเช่นกัน

2.7 การบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนังในประเทศไทย

ระบบบำบัดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนังในจังหวัดสมุทรปราการ และบริษัทเอกชน จะเป็นระบบตกตะกอนเร่ง

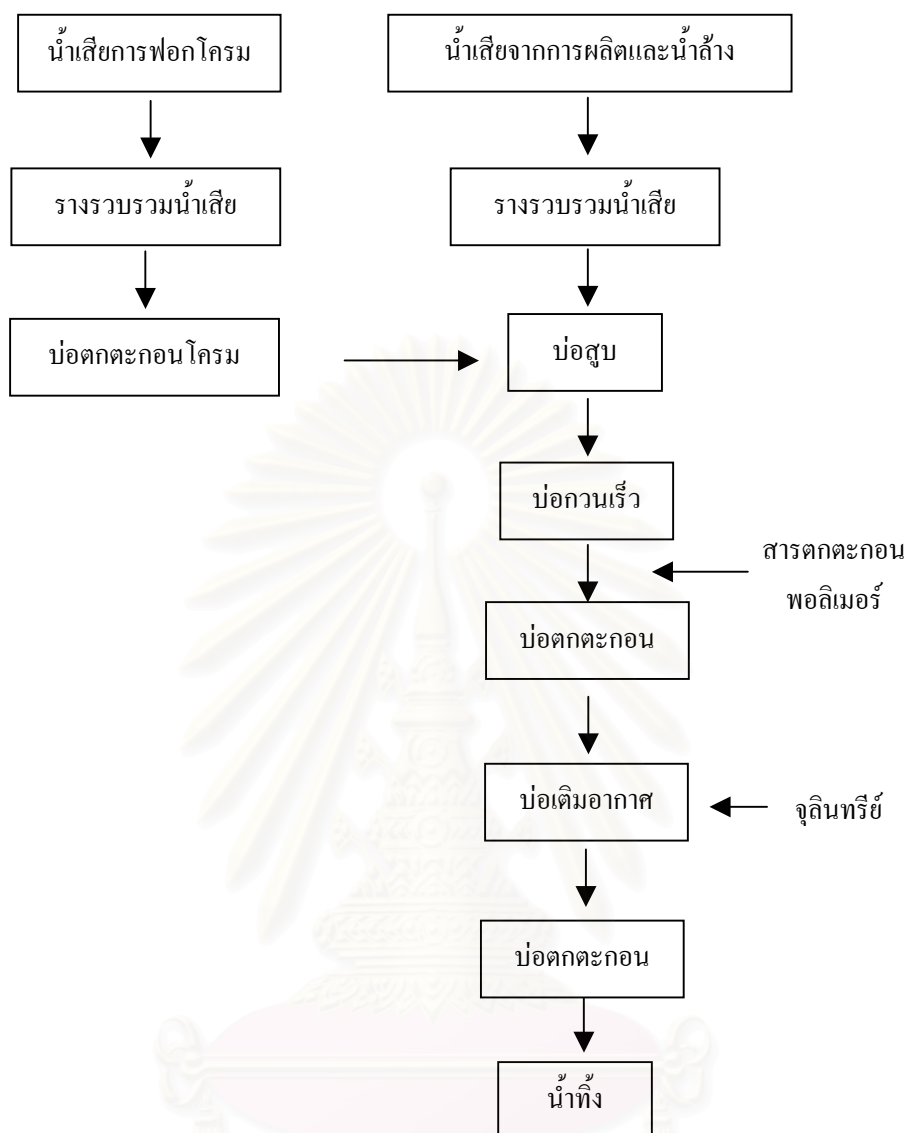
การบำบัดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนังจะทำโดยการรวบรวมน้ำเสียทั้งหมดลงรางน้ำ ส่งไปยังบ่อสูบน้ำเสีย ผ่านตะแกรงดักขยะ และไหลลงบ่อปรับสภาพน้ำที่มีการเติมอากาศ จากนั้นสูบไปยังคอกนกรีดกลมเพื่อตกตะกอนขั้นต้น นำน้ำใสส่วนบนส่งไปยังบ่อเติมอากาศ ซึ่งเป็นบ่อตกตะกอนขั้นที่สอง และปล่อยลงสู่รางระบายน้ำ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนังในจังหวัดสมุทรปราการ

ส่วนการบำบัดน้ำเสียของบริษัทเอกชนจะเป็นระบบที่แยกน้ำทิ้งออกเป็น 2 ส่วนคือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตและการทำความสะอาด ยกเว้นกระบวนการฟอกโครม น้ำจะเข้าระบบบำบัดโดยตรง ส่วนน้ำเสียจากการฟอกโครมจะผ่านการตกตะกอนโครเมียมด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ น้ำใสส่วนบนจะเข้าสู่ระบบบำบัดที่ประกอบด้วยบ่อกวนเร็วที่เติมสารช่วยในการตกตะกอนได้แก่ สารตกตะกอน และพอลิเมอร์เพื่อเป็นการรวมตะกอนให้มีขนาดใหญ่ แล้วเข้าสู่ถังตกตะกอนขั้นต้น ส่วนน้ำใสจากบ่อดักตะกอนขั้นต้นจะถูกส่งไปยังบ่อเติมอากาศที่มีการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แล้วเข้าสู่บ่อดักตะกอนขั้นที่สองตามลำดับ น้ำใสจะสูบออกลงสู่รางระบายน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของบริษัทเอกชน

จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ได้กล่าวมา พบว่ากระบวนการบำบัดต่างๆ โดยส่วนมาก ต้องมีการใช้สารเคมีและต้องใช้พื้นที่บริเวณกว้างเพื่อรองรับของเสียที่ออกจากกระบวนการ ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายและยังมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย สำหรับกระบวนการเคมีไฟฟ้า (Electrochemical process) เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสนใจเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการลดสารมลพิษที่มีความเข้มข้นสูง ไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำที่ผ่านกระบวนการ มีต้นทุนต่ำ และมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม

2.8 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า

เคมีไฟฟ้า (Electrochemistry) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของวิชาเคมี ซึ่งว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้ากับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หลักการของเคมีไฟฟ้าได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาต่างๆของเคมีมากมาย เช่น การศึกษากลไกและจลศาสตร์ของปฏิกิริยาสังเคราะห์ทางสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า

2.8.1 กระบวนการเคมีไฟฟ้า เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า (Electrode) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีนี้เกิดขึ้นได้โดยการอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอก กระแสไฟฟ้าไหลจะผ่านขั้วไฟฟ้า โดยขั้วไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นตัวนำในการรับหรือส่งอิเล็กตรอน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์

สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญของการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้ามีทั้งหมด 3 ส่วน คือ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ขั้วไฟฟ้าและอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้า โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วไฟฟ้ามักถูกเรียกเป็นเซลล์เคมีไฟฟ้า (Prentice, 1991)

2.8.1.1 ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าในระบบ โดยเชื่อมต่อกับระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก ขั้วไฟฟ้ามีอยู่ 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าใช้งาน (Working electrode) หรือขั้วไฟฟ้าชี้บอก (Indicating electrode) ขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary electrode) หรือขั้วไฟฟ้าร่วม (Counter electrode) และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode) โดยขั้วไฟฟ้าใช้งานจะทำหน้าที่เป็นขั้วทดลองของเซลล์ ขั้วไฟฟ้าช่วยจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยส่งผ่านอิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้าไปยังขั้วไฟฟ้าใช้งาน ส่วนขั้วไฟฟ้าอ้างอิงทำหน้าที่ช่วยให้ตรวจสอบจรรยาของเซลล์เคมีไฟฟ้า สำหรับวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าใช้งานหรือขั้วไฟฟ้าช่วย และมักนิยมใช้ในระบบที่มีการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้าเท่านั้น ลักษณะเฉพาะของขั้วไฟฟ้าอ้างอิงคือ ให้ค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ ไม่มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ไม่แปรตามปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร และไม่แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ จัดเป็นขั้วไฟฟ้าแบบนอนโพลาไรซ์ในอุดมคติ (Ideal nonpolarization)

ในการใช้งานทั่วไป ระบบเซลล์เคมีไฟฟ้าจะต้องประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว คือ ขั้วไฟฟ้าใช้งานและขั้วไฟฟ้าช่วย ซึ่งในระบบเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ขั้วไฟฟ้าใช้งานจะทำหน้าที่เป็นขั้วลบซึ่งมักเรียกว่าขั้วแคโทด และขั้วไฟฟ้าช่วยจะทำหน้าที่เป็นขั้วบวกซึ่งมักเรียกว่าขั้วแอโนด

2.8.1.2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) หน้าที่ส่งผ่านกระแสไฟฟ้าโดยผ่านทางไอออนต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลาย ไอออนเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านไปยังขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ในกระบวนการเคมีไฟฟ้าสมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะส่งผลต่อ

- ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน ถือเป็นค่าศักย์มาตรฐานสัมพัทธ์ เพราะเป็นค่าที่ได้เมื่อครึ่งไฟฟ้าครึ่งหนึ่งของเซลล์ต้องเป็นครึ่งไฮโดรเจนเสมอ
- ตามสัจนิยมของเคมีไฟฟ้า ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งไฟฟ้าต้องได้จากการเขียนปฏิกิริยาครึ่งเซลล์เป็นแบบรีดักชันเท่านั้น ค่าศักย์ไฟฟ้าจึงอาจถือได้ว่าเป็นค่าศักย์รีดักชันสัมพัทธ์ (Relative Reduction Potential)
- ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเป็นค่าที่ไม่แปรผันตามจำนวนโมลที่ใช้ในการปรับสมดุลของสมการครึ่งเซลล์
- ค่าศักย์ไฟฟ้าจะผันแปรไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานจะเป็นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งไฟฟ้า ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ จะเป็นค่าบ่งชี้ถึงความแรงของการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน คือเมื่อค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานมีค่าสูงกว่า จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ดีกว่า

2.8.1.4 ศักย์ครึ่งไฟฟ้า (Electrode potential)

ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าหนึ่งๆ เป็นค่าศักย์สัมพัทธ์ซึ่งนำมาหาศักย์ของครึ่งไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่อรู้ค่าศักย์ครึ่งไฟฟ้าอ้างอิงหรือเมื่อศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงมีค่าเป็นศูนย์

การที่ต้องมีการกำหนดหน้าที่ของครึ่งไฟฟ้าไฮโดรเจนไว้อย่างชัดเจนก็เพื่อให้สามารถอธิบายถึงผลของศักย์ครึ่งไฟฟ้าได้ ในความหมายเดียวกันโดยสัจนิยมของการกำหนดเครื่องหมายศักย์ครึ่งไฟฟ้าตาม IUPAC กำหนดไว้ว่า “ในวงจรรวมของเซลล์เคมีไฟฟ้าที่ประกอบด้วยครึ่งไฟฟ้าไฮโดรเจนกับครึ่งไฟฟ้าที่ต้องการหาค่าศักย์ ผลลัพธ์ศักย์ของวงจรถือเป็นค่าศักย์ของครึ่งไฟฟ้านั้น” โดยเครื่องหมายของค่าศักย์ที่ได้ถ้าเป็นบวกแสดงว่าวงจรรวมเซลล์เคมีไฟฟ้างกล่าวเป็นการต่อเซลล์แบบกัลวานิก การดำเนินไปของปฏิกิริยารีดักชันเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยมีครึ่งไฟฟ้าที่ต้องการหาค่าศักย์ทำหน้าที่เป็นแคโทด ในทางกลับกันถ้าผลลัพธ์ของวงจรรวมเป็นลบแสดงว่าเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ครึ่งไฟฟ้าไฮโดรเจนแทน และครึ่งไฟฟ้าที่ต้องการหาค่าศักย์ทำหน้าที่เป็นแอโนด

2.8.2 หลักการอุณหพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่างครึ่งไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำ การผลักดันให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในวงจรรวมจะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นงานที่เกิดขึ้นเป็นการลดค่าพลังงานอิสระของกิบส์ (Gibbs free energy) ที่อยู่ในเซลล์ไฟฟ้า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เป็นแบบผันกลับได้ (Reversible reaction) ดังนั้นจึงมีค่าพลังงานอิสระของกิบส์คือ

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{[\text{Re}]^b}{[\text{Ox}]^a} \quad (2.5)$$

เมื่อ ΔG = ค่าพลังงานอิสระกิบส์กับหน่วย (จูลต่อโมล)

ΔG° = พลังงานอิสระของกิบส์ของสารที่ภาวะมาตรฐาน (จูลต่อโมล)

T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

R = ค่าคงที่ของแก๊สเท่ากับ 8.314 (จูลต่อโมล)

$\frac{[\text{Re}]^b}{[\text{Ox}]^a}$ = อัตราส่วนแอกทิวิตีของสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้น

และจากความสัมพันธ์ของค่าพลังงานอิสระของกิบส์กับค่าศักย์ไฟฟ้าซึ่งมีค่าเท่ากับงานที่ได้

$$\Delta G = -nF\Delta E \quad (2.6)$$

$$\Delta G^\circ = -nF\Delta E^\circ \quad (2.7)$$

เมื่อ $-nF\Delta E$ คือ งานไฟฟ้าที่เกิดที่เซลล์ไฟฟ้า (จูล)

n = จำนวนอิเล็กตรอนที่ใช้ในการปฏิกิริยา (กรัมสมมูลต่อโมล)

F = ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (96,500 คูลอมป์ต่อกรัมสมมูล)

ΔE = ค่าศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

ΔE° = ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (โวลต์)

2.8.3 สมการเนิร์นสต์ (Nernst equation)

จากสมการปฏิกิริยาของ Van't Hoff ในเทอมของการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ เมื่อปฏิกิริยาอยู่ในภาวะสมดุล เช่น ปฏิกิริยา



ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานอิสระที่เปลี่ยนแปลง (ΔG) กับแอกทิวิตีเริ่มต้นของสารตั้งต้นและแอกทิวิตีสุดท้ายของผลิตภัณฑ์จะเป็น

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (2.9)$$

เมื่อ $[C]^c [D]^d$ คือแอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์
 $[A]^a [B]^b$ คือแอกทิวิตีของสารตั้งต้น

จากค่าสมการ $\Delta G = -nF\Delta E$ แทนใน (7) จะได้

$$-nF\Delta E = -nF\Delta E^\circ + RT \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (2.10)$$

นั่นคือ

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (2.11)$$

สมการเนินสท์สามารถใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้หาแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์โดยที่ทราบแอกทิวิตีของสารต่าง ๆ ในปฏิกิริยาทราบอุณหภูมิและค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานจะสังเกตเห็นว่าถ้าแอกทิวิตีเป็นหนึ่งค่า E เท่ากับ E° ซึ่งหมายถึงเป็นศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรด

จากสมการ (2.11) ถ้าแทนค่าคงที่ต่าง ๆ และอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส จะได้สมการใหม่เป็น

$$E = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (2.12)$$

หากพิจารณาทั้งเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย 2 ครึ่งเซลล์ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จะมีค่าเป็น

$$E_{\text{cell}} = E_1 - E_2 = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}} \quad (2.13)$$

นอกจากนี้แล้วเซลล์เคมีไฟฟ้า ก็เหมือนอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ก็คือ มีความต้านทานอยู่จะต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าจำนวนหนึ่งเพื่อเอาชนะความต้านทานภายใน จึงเกิดการไหลผ่านของกระแส

ไฟฟ้าซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่เราเรียก ศักย์ของโอห์ม (Ohmic Potential, E_R) ดังนั้นหากจะคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ให้ถูกต้องจะต้องรวมค่าศักย์ของโอห์มนี้ไปด้วย จะได้สมการใหม่เป็น

$$E_{\text{cell}} = E_1 - E_2 + E_R = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}} + E_R \quad (2.14)$$

2.8.4 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law)

ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์กับปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงที่ขั้วไฟฟ้า (เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์กับระยะเวลาที่ปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านซึ่งกฎของฟาราเดย์มี 2 ข้อ คือ

กฎข้อที่ 1 ปริมาณของสาร (m) ที่เกิดที่อิเล็กโทรดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณประจุของกระแสไฟฟ้า (Q) ที่ผ่านเข้าไปในสารละลาย

กฎข้อที่ 2 ถ้าผ่านปริมาณไฟฟ้าจำนวนเท่าๆ กันลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างชนิดกัน ปริมาณของสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารเหล่านั้น จากกฎข้อที่สองของฟาราเดย์สามารถเขียน สมการได้ดังนี้

$$m = \frac{sM_w it}{nF} \quad (2.15)$$

เมื่อ m = มวลของสารนั้น (กรัม)

s = สัมประสิทธิ์มวลสารสัมพันธ์ของชนิดสารเคมี

M_w = น้ำหนักอะตอมหรือน้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)

i = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

t = เวลาที่ใช้ (วินาที)

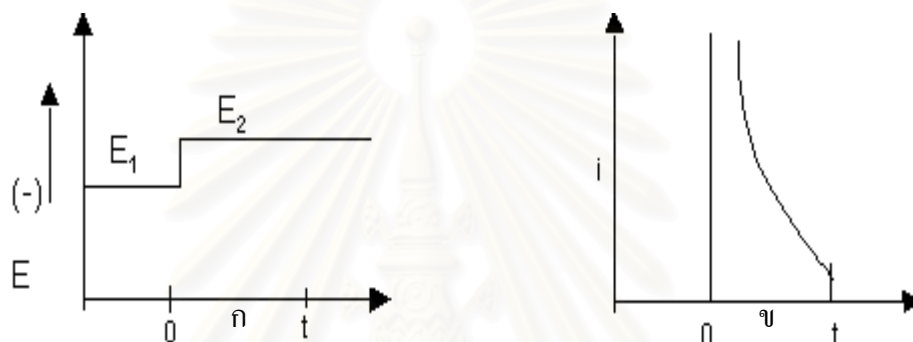
n = จำนวนอิเล็กตรอนที่ใช้ในการปฏิกิริยา (กรัมสมมูลต่อโมล)

F = ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (96,500 คูลอมบ์ต่อกรัมสมมูล)

2.8.5 การควบคุมการทำงานของกระบวนการไฟฟ้าเคมี

สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ (Controlled – Potential Method or Potentionstatic Mode) และการทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่ (Controlled – Current Method or Galvanostatic Mode) ซึ่งหลักการทำงานแต่ละแบบเป็นดังนี้

2.8.5.1 การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่ พื้นฐานของการทำงานเป็นการควบคุมค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วแคโทดและขั้วไฟฟ้าอ้างอิงให้คงที่ ค่ากระแสไฟฟ้าในระบบจะเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา เมื่อปรับค่าความต่างศักย์ให้เพียงพอกับไอออนบวกในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ผิวของขั้วแคโทด ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของไอออนที่บริเวณผิวหน้ามีค่าต่ำลงผลที่เกิดจากการทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่แสดงในรูป 2.6 (ก) ตัวออกซิไดส์จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้ปริมาณของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ลดลง ส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าของระบบลดลงดังแสดงในรูป 2.6 (ข) เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น

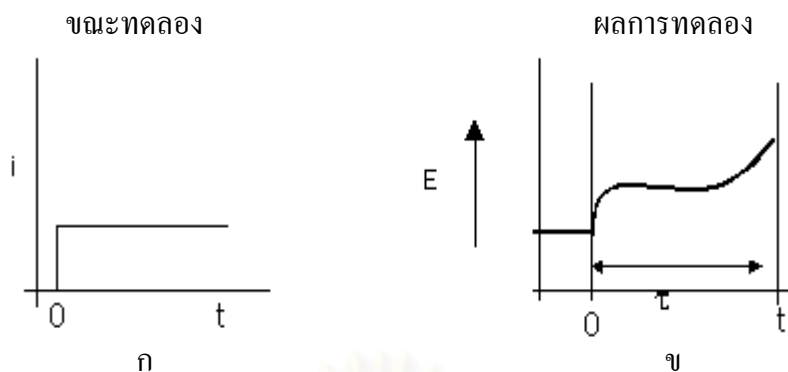


รูปที่ 2.6 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้าคงที่
 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้าคงที่
 เมื่อ E_1 คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นก่อนการเกิดปฏิกิริยา และ E_2 คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าเมื่อเกิด Diffusion limited rate หรือเป็น Mass transfer limited.

2.8.5.2 การทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วแคโทดกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงในระบบจะเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา วิธีการนี้เรียกว่า Chronopotentiometry หรือ Chronopotentiometric technique เมื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วไฟฟ้าทั้งสองให้คงที่ ทำให้สารออกซิไดส์ (M^{n+}) เกิดปฏิกิริยารีดักชันกลายเป็นสารรีดิวซ์ (M) ด้วยอัตราคงที่



ดังนั้นค่าความต่างศักย์จะแปรตามค่าความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง M^{n+} ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟาลดลง ค่าความต่างศักย์ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าก็จะลดลงด้วย ในช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์โดยที่กระแสไฟฟ้าคงที่เรียกว่า Transition time (τ) ซึ่งค่านี้สัมพันธ์กับความเข้มข้นและสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient) ดังรูปที่ (2.7)



รูปที่ 2.7 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

2.8.6. ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า (Bard, 2001)

พิจารณาสมการที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า (สมการที่ 2.3) การเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วยขั้นตอนที่เปลี่ยนตัวออกซิไดส์ที่ละลายอยู่ในสารละลายให้กลายเป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

2.8.6.1 การถ่ายโอนมวลสาร (ถ่ายโอนตัวออกซิไดส์ในสารละลายสู่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า)

การถ่ายโอนมวลสารในสารละลายประกอบด้วย 3 กลไกด้วยกันคือไมเกรชัน (Migration) การแพร่ (Diffusion) และการพา (Convection) ซึ่งสามารถอธิบายแต่ละกระบวนการดังนี้ (รูปที่ 2.8)

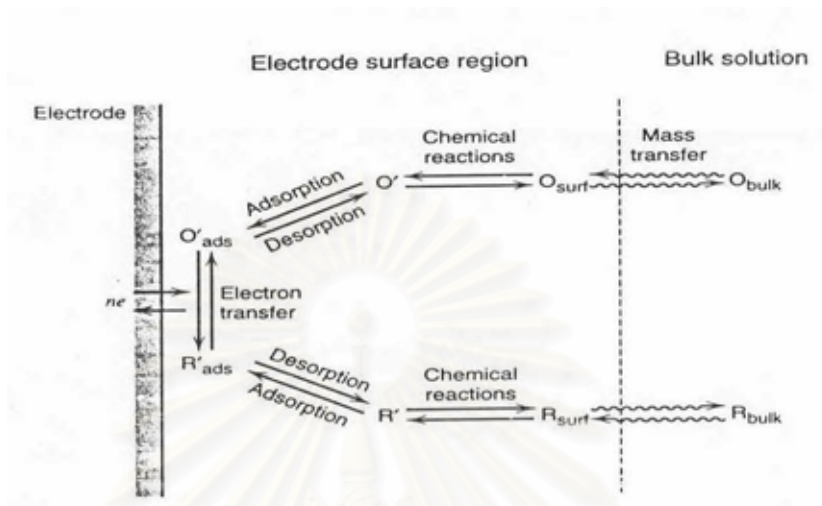
2.8.6.2 ไมเกรชัน เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในสารละลายนั้น โดยไอออนบวกจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทด และไอออนลบจะเคลื่อนที่เข้าหาแอโนด ความเร็วของการเคลื่อนที่ของไอออนเข้าหาหรือเคลื่อนที่ออกจากผิวหน้าขั้วไฟฟ้าอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความต่างศักย์ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้านั้น ซึ่งมีผลให้การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรนั้นเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปด้วย นอกจากนี้ถ้ามีไอออนที่ประจุเท่ากันจำนวนมากอยู่รวมกันจะเกิดการแย่งการเคลื่อนที่แบบไมเกรชัน ทำให้มีการสูญเสียกระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งไปในการเคลื่อนที่ของไอออนที่ไม่ต้องการในการเกิดปฏิกิริยา

2.8.6.3 การแพร่ เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนหรือโมเลกุลในสารละลายจากบริเวณที่ความเข้มข้นสูงกว่าไปยังบริเวณความเข้มข้นต่ำกว่าจนกว่าจะไม่เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นในสารละลาย อัตราเร็วในการแพร่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น

2.8.6.4 การพา เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนหรือโมเลกุลเข้าหาหรือออกจากขั้วไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความหนาแน่นของสารละลาย ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในหลายรูปแบบ เช่น

- การถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า

- การเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน
- ปฏิกิริยาอื่นๆ ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า เช่น ปฏิกิริยาการดูดซับ (Adsorption) ปฏิกิริยาการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 การถ่ายโอนมวลสารในสารละลาย (Bard, 2001)

2.9 การประยุกต์ใช้หลักการเคมีไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการเคมีไฟฟ้าได้รับความสนใจมากในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมี หลักการของกระบวนการเคมีไฟฟ้าคือการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารละลายกับผิวของขั้วไฟฟ้าแล้วเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยอาศัยพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอก

2.9.1 กระบวนการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrodeposition) (Hunsom, 2001)

กระบวนการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้าจะเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักผสมอยู่ การนำโลหะหนักกลับคืนโดยกระบวนการนี้มีความรวดเร็ว แม่นยำเพราะมีค่าในการเลือกเกิดปฏิกิริยาสูง และข้อได้เปรียบในกระบวนการนี้คือไอออนโลหะสามารถนำกลับคืนได้ในรูปของโลหะบริสุทธิ์ หลักการทำงานของกระบวนการมีดังนี้

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดภายนอกสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ประกอบด้วยไอออนบวกและไอออนลบ ก่อให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวของขั้วไฟฟ้ามีดังนี้

ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด



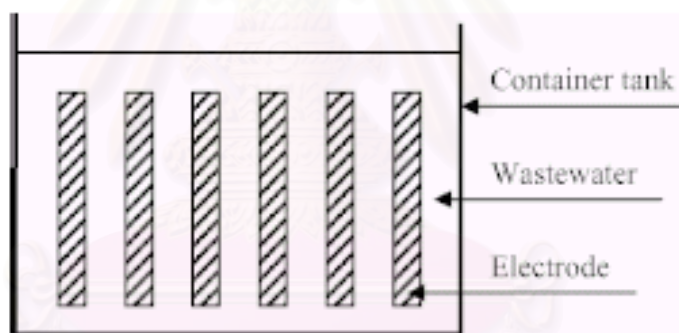
ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด



2.9.1.1 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ที่นำมาประยุกต์ใช้ (Typical reactors application)

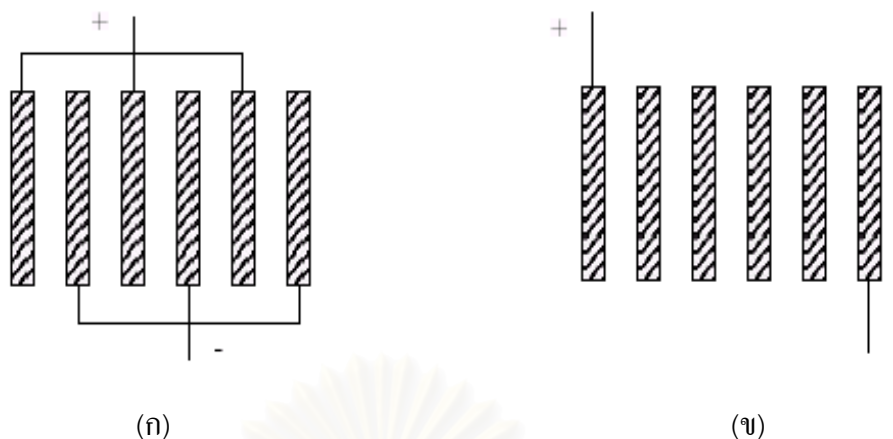
เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าสำหรับการนำโลหะหนักกลับคืนในน้ำเสียมีหลายรูปแบบเช่น

- Tank cell (รูปที่ 2.9) เป็นรูปที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับสำหรับการออกแบบ เนื่องจากเป็นรูปแบบที่สะดวกต่อการขยายหรือลดขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อนำไปใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย



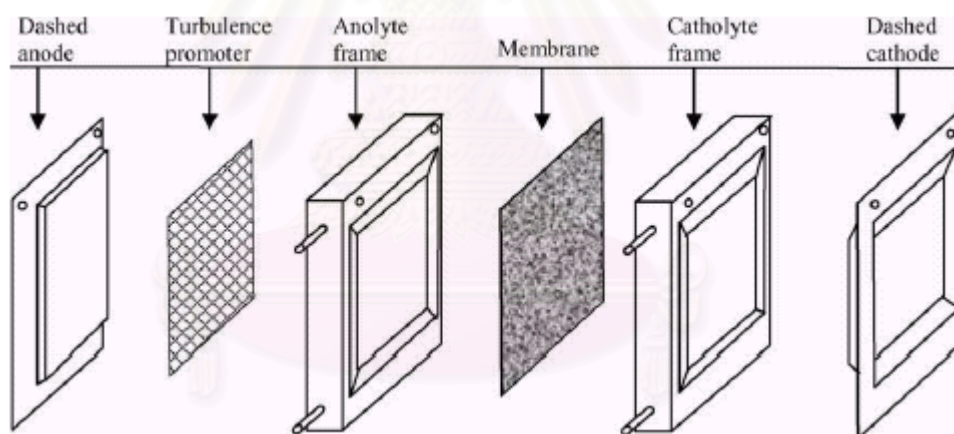
รูปที่ 2.9 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Tank cell (Chen, 2004)

สำหรับการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าสามารถทำได้ 2 แบบ คือแบบมอโนโพลาร์ (Mono-polar configuration) และแบบไบโพลาร์ (Bi-polar configuration) แสดงในรูปที่ 2.10



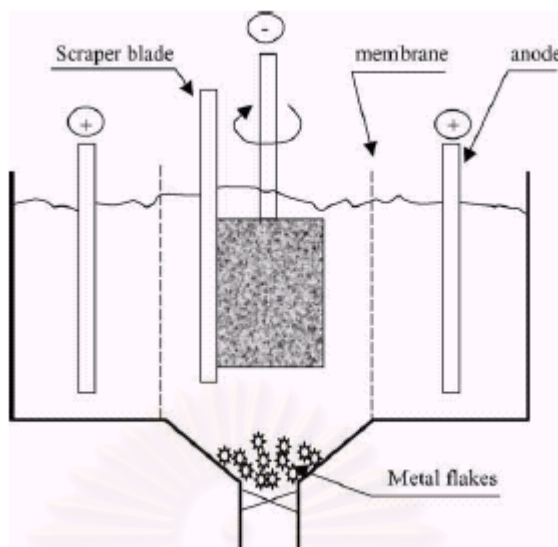
รูปที่ 2.10 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้า (ก) แบบมอนอโพลาร์และ (ข) แบบไบโพลาร์ (Chen, 2004)

- Filter press (รูปที่ 2.11) เป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วย ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด และเยื่อเลือกผ่าน (ถ้าจำเป็น) โดยขนาดของเครื่องปฏิกรณ์จะขึ้นอยู่กับ ปริมาณของเสียที่จะดำเนินการ



รูปที่ 2.11 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Filter press (Chen, 2004)

ถ้าระบบต้องการการถ่ายเทมวลสารระหว่างผิวหน้าของขั้วไฟฟ้ากับสารละลาย (Bulk solution) ให้มีค่าเพิ่มขึ้น สามารถทำได้โดยการออกแบบให้ขั้วแคโทดหมุนได้ ซึ่งจะทำให้การขจัด โลหะหนักมีประสิทธิภาพมากขึ้น เครื่องปฏิกรณ์แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Rotating cylinder electrode (Chen, 2004)

2.9.1.2 วัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า (Electrode materials)

- ขั้วแอโนด วัสดุที่นำมาใช้จะต้องไม่แตกตัวให้ไอออน (M^+) หรือทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ เรียกขั้วไฟฟ้านี้ว่า Insoluble electrode ขั้วไฟฟ้าที่นิยมนำมาใช้จะทำมาจากโลหะออกไซด์เคลือบบนผิวของไทเทเนียม เช่น Ti/RuO_2

- ขั้วแคโทด ในการบำบัดน้ำเสียจะนิยมใช้แกรไฟต์ (Graphite) หรือคาร์บอนที่มีลักษณะเป็นเส้น (Carbon fiber) เนื่องจากมีราคาถูก

2.9.2 กระบวนการตกตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้า (Electroprecipitation) (Hunsom, 2005)

การจัดโลหะหนักบางชนิดด้วยกระบวนการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าชนิดไม่มีเยื่อเลือกผ่าน พบว่าประสิทธิภาพในการจัดโลหะหนักบางชนิดมีค่าต่ำอยู่ เช่น โครเมียม เพราะโครเมียม (+3) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็นโครเมียม (+6) ตลอดเวลาที่ขั้วแอโนด จึงไม่สามารถจัดโครเมียมออกมาในรูปของโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($Cr(OH)_3$) นอกจากนี้ที่ภาวะกรดซัลฟิวริกต่อโครเมียมออกไซด์ (CrO_3) เท่ากับ 1 ต่อ 100 โดยน้ำหนัก สามารถละลายตะกอนโครเมียมออกไซด์ได้ สำหรับกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงในการจัดโครเมียมออกจากน้ำเสีย

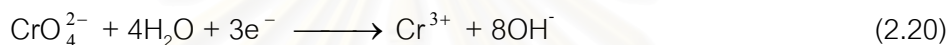
กระบวนการตกตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าชนิดมีเยื่อเลือกผ่านประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ ขั้วแคโทดและขั้วแอโนดวางคร่อมแผ่นเยื่อเลือกผ่าน โดยเยื่อเลือก

ผ่านใช้ในการบำบัดน้ำเสียมี 2 ชนิด คือ เยื่อเลือกผ่านไอออนลบ (Anion-exchange membrane) และเยื่อเลือกผ่านไอออนบวก (Cation-exchange membrane) แสดงดังรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 ตามลำดับ

เยื่อเลือกผ่านไอออนลบ จะยอมให้ไอออนลบในสารอิเล็กโทรไลต์เคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อเลือกผ่านได้ แต่ไอออนบวกจะผ่านไม่ได้ สำหรับเยื่อเลือกผ่านไอออนบวกจะมีลักษณะตรงกันข้าม คือไอออนบวกในสารอิเล็กโทรไลต์เคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อเลือกผ่านได้ แต่ไอออนลบจะผ่านไม่ได้

สำหรับน้ำเสียประกอบด้วยโครเมียมหรือโลหะอื่นๆ โลหะหนักจะถูกขจัดออกมาในรูปของไฮดรอกไซด์ ซึ่งปฏิกิริยาของกระบวนการตกตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้าในการขจัดออกจากน้ำเสีย แสดงตามสมการที่ (2.20) - (2.26)

โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ฝั่งแคโทด



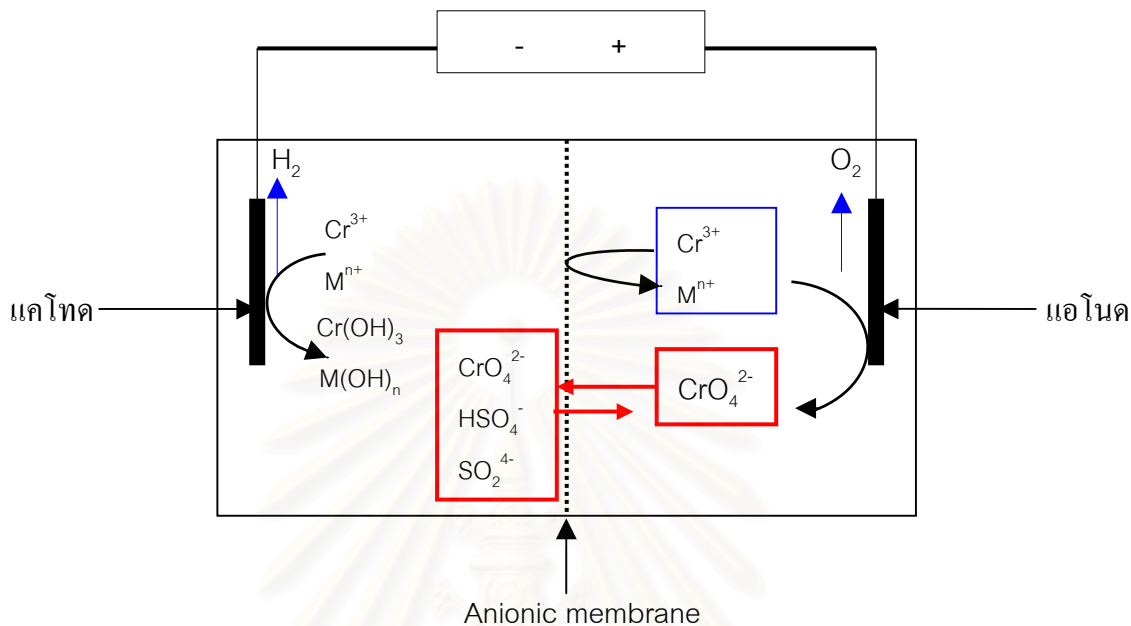
และจะเกิดการตกตะกอนของไฮดรอกไซด์ของโลหะตามมา



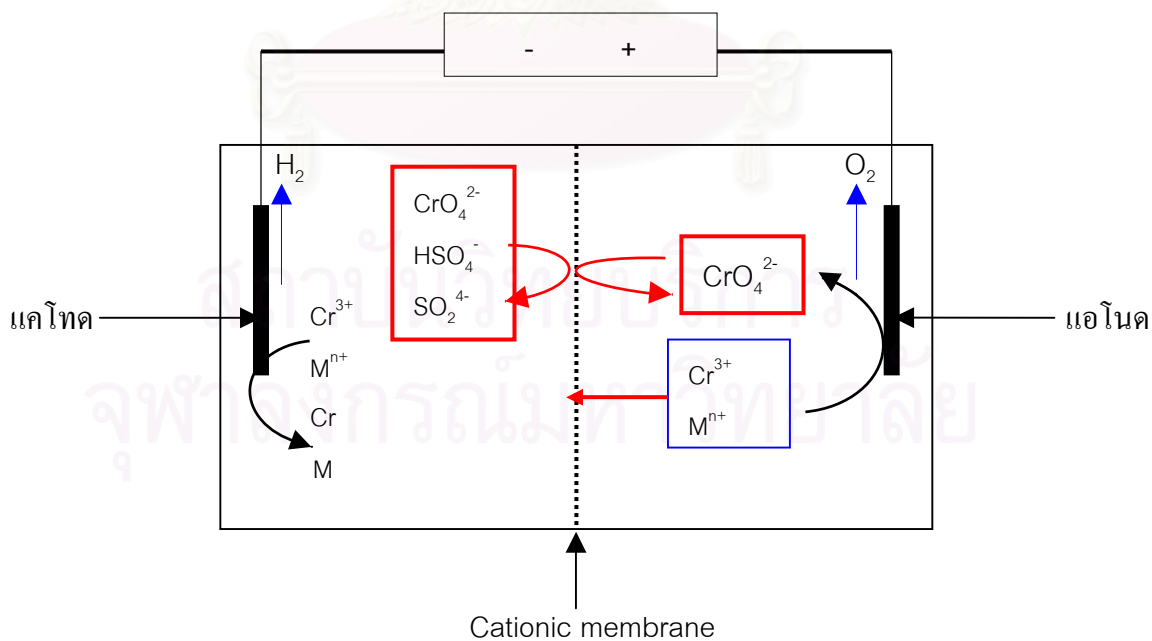
ส่วนที่ฝั่งแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ H_2O



จากปฏิกิริยาข้างต้นพบว่าที่ฝั่งแคโทดจะมีความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีไฮดรอกไซด์ (OH⁻) ไอออนเกิดขึ้นตลอดเวลาและไฮดรอกไซด์ไอออนก็เกิดปฏิกิริยากับโลหะและตกตะกอนในรูปโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของโลหะที่ฝั่งแคโทดลดลง



รูปที่ 2.13 กระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดที่มีเยื่อเลือกผ่านไอออนลบ (Hunsom, 2005)

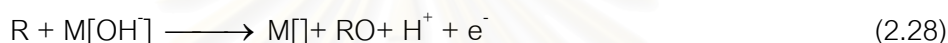
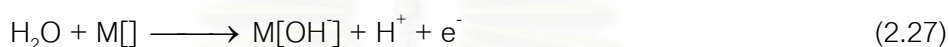


รูปที่ 2.14 กระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดที่มีเยื่อเลือกผ่านไอออนบวก (Hunsom, 2005)

2.9.3 กระบวนการออกซิเดชันด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro-oxidation: EO)

(Israilides, 1997)

กระบวนการออกซิเดชันด้วยกระแสไฟฟ้าสามารถลดปริมาณของสารอินทรีย์และสารมลพิษในน้ำเสียได้ โดยสารอินทรีย์และสารมลพิษจะถูกทำลายด้วยอนุพันธ์ของ OH^\bullet (Hydroxyl radicals) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ที่รุนแรง (Strong oxidizing agent) เรียกกระบวนการนี้ว่า Direct anodic process โดยสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดส์โดยอนุพันธ์ของ OH^\bullet (Hydroxyl radicals) ทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลงจนกระทั่งกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดังปฏิกิริยา (2.27 – 2.28) และศักยภาพของตัวออกซิไดส์แสดงตามตาราง 2.2



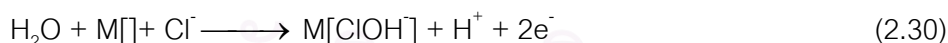
เมื่อ $\text{M}[\]$ คือ พื้นผิวของขั้วแอโนดที่เกิดปฏิกิริยา

$\text{M}[\text{OH}]$ คือ OH^\bullet ที่ดูดซับบนผิวของขั้วแอโนด

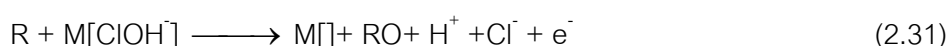
R คือ สารอินทรีย์

RO คือ ผลิตภัณฑ์ของสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดส์

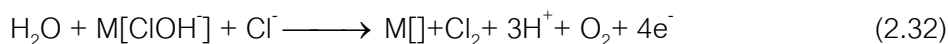
ถ้าในสารละลายมีคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ผสมอยู่ คลอไรด์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับโลหะของขั้วไฟฟ้าเกิด ClOH^\bullet (Chlorohydroxyl radicals) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น Indirect oxidation ดังปฏิกิริยา (2.30)



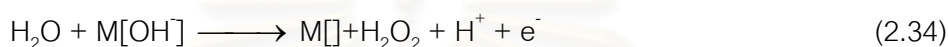
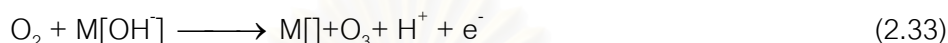
เมื่อ $\text{M}[\text{ClOH}]$ คือ ClOH^\bullet ที่ดูดซับบนผิวของขั้วแอโนด ซึ่งสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้ ตามปฏิกิริยา (2.31)



และ ClOH^\bullet สามารถทำปฏิกิริยากับ Cl^- เกิดแก๊สคลอรีน (Cl_2) ตามปฏิกิริยา (2.32) ซึ่งจะช่วยลดปริมาณของเชื้อโรคในน้ำเสียได้



นอกจากนี้อนุพันธ์ของ OH^\bullet จะสลายตัวเป็นโอโซน (O_3) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ได้เช่นกัน ตามปฏิกิริยา (2.33) และ (2.34) ประสิทธิภาพในการออกซิไดส์สารอินทรีย์จะขึ้นอยู่กับชนิดของขั้วแอโนดและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง



ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบศักยภาพของตัวออกซิไดส์ตามสารตั้งต้น จะเห็นได้ว่าอนุพันธ์ของ OH^\bullet จะมีศักยภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวออกซิไดส์อื่นๆ และสามารถเตรียมได้โดยใช้น้ำเป็นสารตั้งต้น

ตารางที่ 2.2 ศักยภาพของตัวออกซิไดส์ตามสารตั้งต้น (Chen, 2004)

Oxidants	Formation potential
$\text{H}_2\text{O}/^\bullet\text{OH}$ (hydroxyl radical)	2.80
O_2/O_3 (ozone)	2.07
$\text{SO}_4^{2-}/\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ (peroxodisulfate)	2.01
$\text{MnO}_2/\text{MnO}_4^{2-}$ (permanganate ion)	1.77
$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}_2$ (hydrogen peroxide)	1.77
$\text{Cl}^-/\text{ClO}_2^-$ (chlorine dioxide)	1.57
$\text{Ag}^+/\text{Ag}^{2+}$ (silver(II) ion)	1.5
Cl^-/Cl_2 (chlorine)	1.36
$\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (dichromate)	1.23
$\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$ (oxygen)	1.23

2.9.3.1 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ที่นำมาประยุกต์ใช้

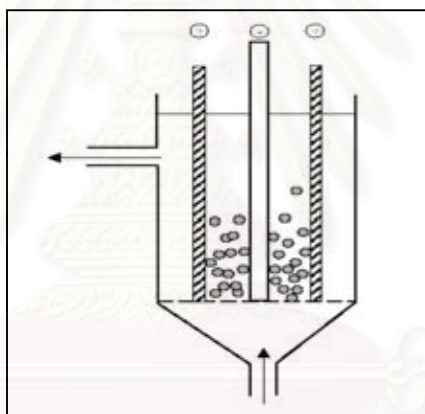
เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าสำหรับการออกซิเดชันสารมลพิษในน้ำเสียจะมีลักษณะคล้ายกับเครื่องปฏิกรณ์สำหรับนำโลหะหนักกลับคืน การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์จะพิจารณาถึงค่าประสิทธิ

ภาพของกระแสไฟฟ้า (Current efficiency) และระยะเวลา (Space time) โดยส่วนใหญ่จะออกแบบเป็น Bi-polar cell เครื่องปฏิกรณ์มีหลายแบบ เช่น

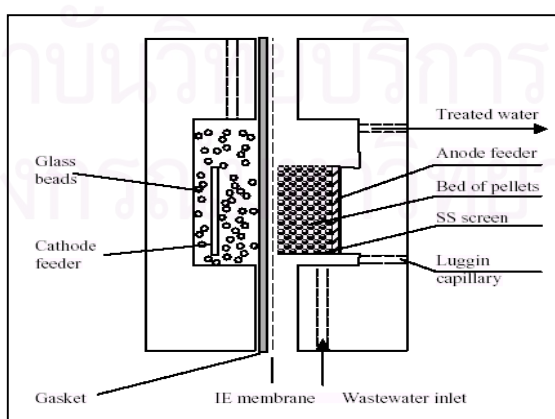
- Cylindrical electrode (รูปที่ 2.15) เครื่องปฏิกรณ์จะประกอบด้วยขั้วแอโนดที่เป็นทรงกระบอก และมีอนุภาคทรงกลมของ Boron-doped diamond (BDD) อยู่ระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ซึ่งทำให้เครื่องปฏิกรณ์มีคุณสมบัติเป็นแบบ Bi-polar cell

- Packed bed (รูปที่ 2.16) มีอนุภาคของเม็ดเบดขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร ถูกบรรจุไว้ที่ฝั่งของขั้วแอโนด

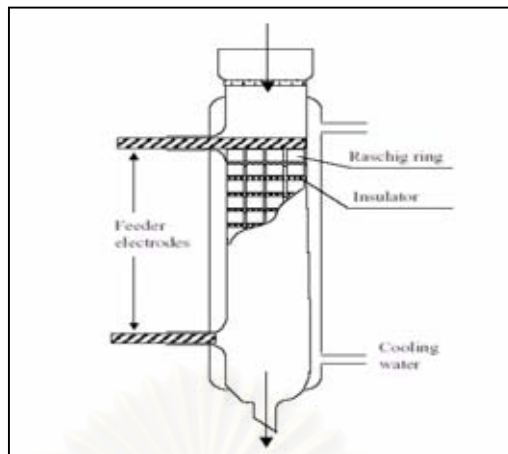
- Bi-polar trickle tower (รูปที่ 2.17) จะมีแผ่นกรองอยู่ด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อควบคุมการถ่ายโอนมวลสารที่ผิวของขั้วแอโนด หรือบางครั้งใช้ Biofilm ที่หนาๆ จะทำให้สารตัวอย่างหยุดนิ่งบนผิวของขั้วไฟฟ้าเรียกเครื่องปฏิกรณ์นี้ว่า Bio electro ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารจำพวกอนุพันธ์ไนโตรเจนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน เมื่อมี Microorganisms ที่อยู่บนผิวของขั้วแอโนด



รูปที่ 2.15 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Cylinder electrode (Chen, 2004)



รูปที่ 2.16 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Packed bed (Chen, 2004)



รูปที่ 2.17 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบ Bi-polar trickle tower (Chen, 2004)

2.9.3.2 ผลของขั้วแอโนดต่อการออกซิเดชัน

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบผลของขั้วแอโนดชนิดต่างๆ ต่อการออกซิเดชันสารมลพิษที่ภาวะต่างๆ และตัวแปรที่สำคัญต่อการพิจารณาประสิทธิภาพของขั้วแอโนดจะมี 2 ตัวแปร คือค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า และบางครั้งอาจพิจารณาชนิดของสารมลพิษและความเข้มข้นของสารมลพิษ

2.9.4 กระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrocoagulation: EC)

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าหรือ EC ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กันอยู่แพร่หลาย เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สะดวกและมีประสิทธิภาพสูงในการลดสารมลพิษในน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการ EC สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของไขมัน น้ำมัน สีย้อม สารแขวนลอย สารอินทรีย์และโลหะหนัก เป็นต้น โดยอาศัยหลักการเช่นเดียวกับการตกตะกอนด้วยสารเคมี คือ การทำให้อนุภาคของคอลลอยด์หรือสารมลพิษในน้ำเสียที่มีอนุภาคเล็กๆ มารวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นจนหนักพอที่จันตกตะกอนลงมาโดยอาศัยสารสร้างตะกอน สารสร้างตะกอนสำหรับการตกตะกอนด้วยสารเคมีนิยมใช้อลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) หรือเฟอริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) แต่สำหรับกระบวนการ EC จะใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดที่กัดกร่อนได้ (Sacrificial electrode) เช่น เหล็กหรืออลูมิเนียมในการสร้างสารตกตะกอน โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานภายนอกไปยังขั้วไฟฟ้า โลหะที่เป็นขั้วแอโนดจะมีการสูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นโลหะไอออนละลายอยู่ในน้ำเสียดังปฏิกิริยา (2.35) และ (2.38) โลหะไอออนเหล่านี้จะรวมตัวกับไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า Poly-nuclear metal hydroxyl complexes ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารสร้างตะกอน

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบผลของขั้วแอโนดชนิดต่างๆ ต่อการออกซิเดชัน (Chen, 2004)

Anode	Pollutant	Current density (A/m ²)	CE (%)	Removal efficiency	Comment
Granular graphite	Phenol	0.03–0.32	70	70, 50% mineralization	5-month stable operation
Planar graphite	Phenol	10–100	24.6–63.5	6–17%, COD	NaOH as electrolyte
Pt or Ti/Pt	Phenol	300		30%, TOC	pH 12, initial concentration 1000 mg/l, in 0.25 M Na ₂ SO ₄
	Ammonia	8.5	53	95%	pH 8.2 using phosphate buffer, poor performance for organics
	Glucose 15 organics	100–900	15–20 5	30%	1 M H ₂ SO ₄
PbO ₂	Aniline	$I = 2$ A	15–40	>90% in 1 h	Initial concentration 2.7 mM, pH 2, packed bed of PbO ₂
	Phenol	$I = 1, 2, 3$ A		46–80%	Anodic cell: initial concentration 14–56 mM, in 1.0 sulfuric acid, packed bed of PbO ₂
Ti/PbO ₂	Phenol	300		40%, TOC	pH 12, initial concentration 1000 mg/l, in 0.25 M Na ₂ SO ₄
	Landfill leachate	50–150	30% for COD 10% for NH ₄ ⁺ -N	90% for COD 100% for NH ₄ ⁺ -N	
	Glucose	100–900	30–40	100%	1 M H ₂ SO ₄
	2-Chlorophenol	80–160	35–40	80–95%, COD	Pb ²⁺ formation, initial COD = 1000 mg/l, 25 °C
IrO ₂	Organic 1,4-Benzoquinone	Low	17		Rupture of rings only
	Chlorinated phenols	0.6	54		Na ₂ SO ₄
		50	1.8		
Ti/SnO ₂ -Sb ₂ O ₅	2-Chlorophenol	80–160	35–40	80–95%, COD	Oxalic acid as intermediates
	Glucose	100–900	<20	30%	1 M H ₂ SO ₄
	Phenol	300		100%	pH 12, initial concentration 1000 mg/l, in 0.25 M Na ₂ SO ₄
		500	58		70 °C, 10 mM CV method, similar to PbO ₂
	Landfill leachate				Similar to PbO ₂
Ebonex [®]	Trichloroethylene	Fixed potential 2.5–4.3 V	<32	10–70%	Stable in aqueous media, Ti ₄ O ₇ to TiO ₂

กรณีของอลูมิเนียมเมื่อใช้เป็นขั้วแอโนดอลูมิเนียมจะแตกตัวให้ Al³⁺ ไอออนในสารละลาย (2.35) และ Al³⁺ ไอออนรวมตัวกับ OH⁻ หรือ H₂O ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด - เบสของระบบ และตกตะกอนออกมาในรูปของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)₃) ดังปฏิกิริยา (2.36) และ (2.37) (Koby, 2003)



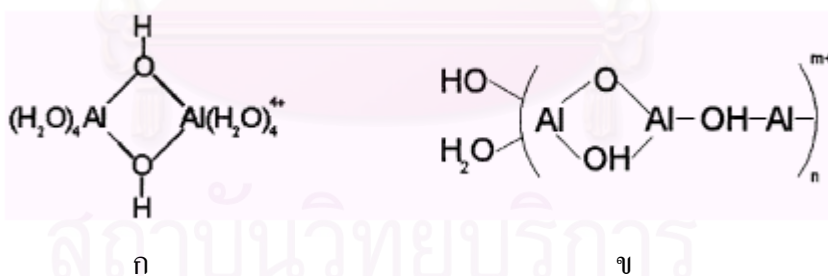
ภาวะสารละลายที่เป็นเบส



ภาวะสารละลายที่เป็นกรด



นอกจากนี้ Al^{3+} ไฮดรอกไซด์ในสารละลายรวมตัวกับ Polyhydroxides กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า Poly-nuclear hydroxyl aluminum (III) complexes ซึ่งอาจจะเป็น Monomeric และ Polymeric แต่สุดท้ายสารประกอบเชิงซ้อนของ Al^{3+} ไฮดรอกไซด์จะตกตะกอนในรูปของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ สำหรับตัวอย่างของ Monomeric ได้แก่ $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ เป็นต้น ส่วนตัวอย่างของ polymeric ได้แก่ $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$ และ $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$ ซึ่งโครงสร้างของ Dimeric และ Polymeric aluminum (III) hydroxo complexes แสดงดังรูปด้านล่าง (Mollah, 2001)



รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของ Poly-nuclear hydroxyl aluminum (III) complexes

(ก) Dimeric Al^{3+} hydroxo complexes

(ข) Polymeric Al^{3+} hydroxo complexes

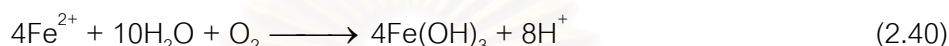
สำหรับกรณีของเหล็กเมื่อใช้เป็นขั้วแอโนดจะแตกตัวให้ Fe^{2+} ในสารละลาย (2.38) และตกตะกอนออกมาในรูปของ $(\text{Fe}(\text{OH})_n)$ เมื่อ $n = 2$ หรือ 3 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด - เบสของสารละลาย ปฏิกิริยาที่เกิดแสดงสมการที่ (2.39) และ (2.40) (Laure, 2003)



ภาวะสารละลายที่เป็นเบส



ภาวะสารละลายที่เป็นกรด



Fe^{3+} ในสารละลายสามารถรวมตัวกับ Polyhydroxides กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า Poly-nuclear hydroxyl iron (III) complexes ซึ่งอาจจะเป็น Monomeric และ Ferric hydroxo complexes ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-เบส แต่สุดท้ายสารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{3+} จะตกตะกอนในรูปของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ สำหรับตัวอย่างของ Monomeric และ Ferric hydroxo complexes ได้แก่ $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^{2+}$ $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$ เป็นต้น (Murugunathan, 2004)

2.9.4.1 การวางขั้วไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าของกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า

การวางขั้วไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์นั้นมี 2 แบบ ขึ้นอยู่กับความต้องการของวิธีที่ใช้ในการบำบัด ถ้าระบบบำบัดต้องการขจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีทำให้ลอย ควรวางขั้วไฟฟ้าในแนวตั้ง เพื่อให้ฟองแก๊สที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเป็นตัวพาสารแขวนลอยดังกล่าวขึ้นมาพร้อมกับตะกอนเบาที่เกิดขึ้น แต่ถ้าระบบต้องการขจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีการตกตะกอนควรวางขั้วไฟฟ้าในแนวนอนโดยให้ขั้วแอโนดอยู่ด้านล่าง (Mollah, 2004)

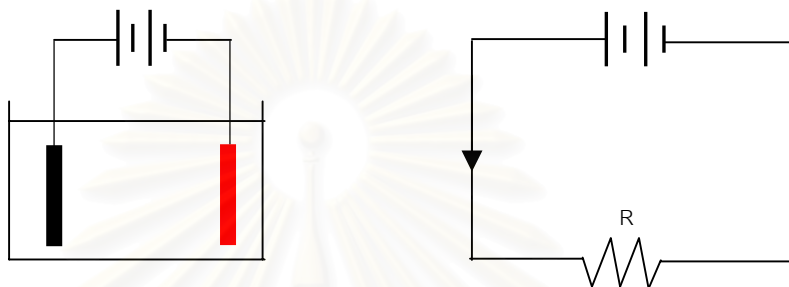
การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าที่ง่ายที่สุด คือ มีขั้วไฟฟ้าเพียง 1 คู่ โดยขั้วหนึ่งเป็นแอโนดและอีกขั้วเป็นแคโทดดังรูปที่ 2.19 ซึ่งการวางแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากการนำไปประยุกต์ใช้นั้นต้องการขนาดใหญ่ พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยามาก ทำให้ต้องมีการจัดเรียงตัวของแผ่นขั้วไฟฟ้าแบบต่างๆ ขึ้น ในกรณีที่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้ามามากกว่า 1 คู่ สามารถเลือกวิธีต่อทางไฟฟ้าได้ 2 แบบ คือ

- มอนอโพลาร์ (Monopolar electrode) มีจุดเชื่อมของขั้วไฟฟ้าแต่ละแผ่นทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด ซึ่งวางสลับกันขั้วละแผ่นโดยที่ผิวหน้าทั้งของ

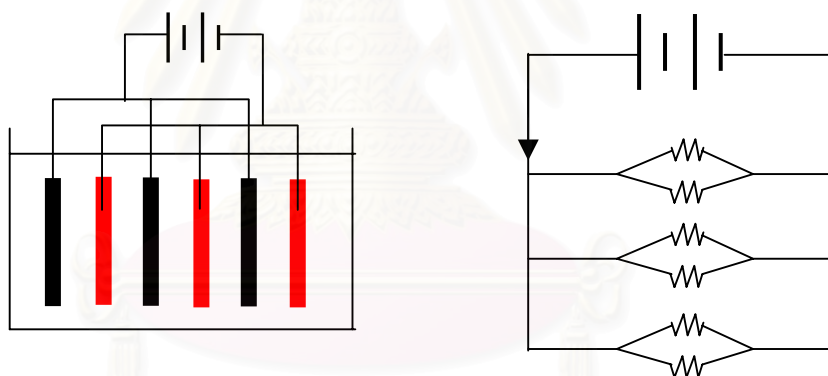
ด้านของขั้วไฟฟ้าแผ่นเดียวกันจะมีขั้วเดียวกัน ในทางไฟฟ้านั้นขั้วไฟฟ้าจะมีการจัดเรียงเซลล์ได้ 2 แบบคือ

- แบบขนาน (Parallel connections) กระแสไฟฟ้าจะถูกแบ่งให้แต่ละเซลล์ขึ้นอยู่กับความต้านภายในของเซลล์นั้นๆ โดยที่ค่าความต่างศักย์ของระบบจะเท่ากับดังรูปที่ 2.20

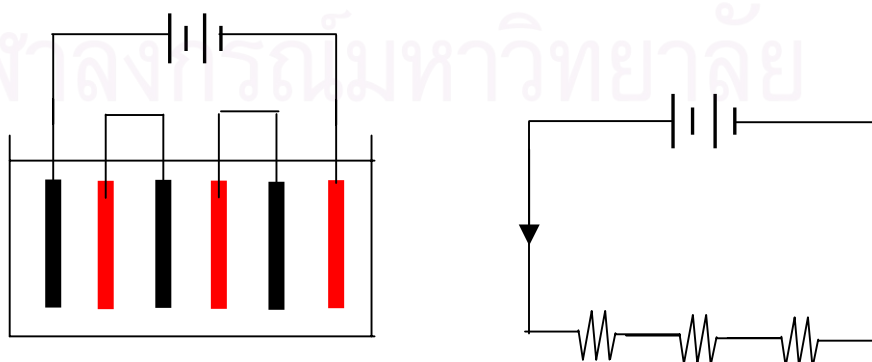
- แบบอนุกรม (Series connections) มีการจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าคล้ายเซลล์เดี่ยวหลาย ๆ เซลล์มาต่อกัน โดยมีจุดเชื่อมของขั้วไฟฟ้างดรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.19 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์แบบเซลล์เดี่ยว

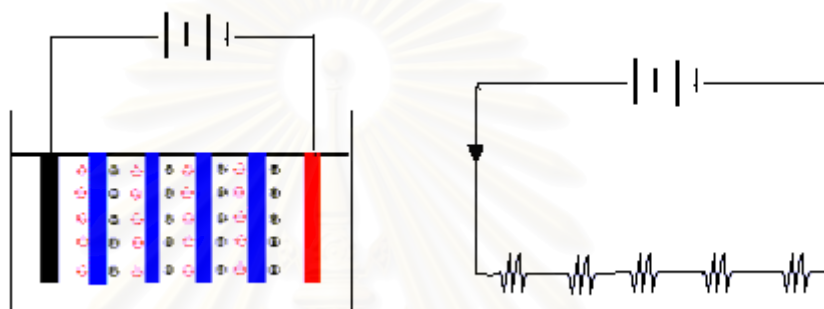


รูปที่ 2.20 การจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบขนาน



รูปที่ 2.21 การจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบอนุกรม

- ไบโพลาร์ (Bipolar electrodes) มีจุดเชื่อมของขั้วไฟฟ้าเพียง 2 จุดเท่านั้นเฉพาะขั้วไฟฟ้าที่อยู่ปลายนอกสุดดังรูปที่ 2.22 โดยแต่ละแผ่นของขั้วไฟฟ้ามีด้านหนึ่งเป็นขั้วลบซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดและอีกด้านหนึ่งเป็นขั้วบวกซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด ในทางไฟฟ้านั้นขั้วไฟฟ้าจะมีการจัดเรียงเซลล์แบบอนุกรม โดยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านต้องการความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูง เนื่องจากความต้านทานที่สูงกว่าของเซลล์ซึ่งต่อแบบอนุกรม แต่จะมีกระแสไฟฟ้าของระบบเท่ากัน นั่นคือจะมีกระแสไฟฟ้าเดียวกันไหลผ่านขั้วไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบนี้ทำให้ง่ายต่อการติดตั้งและบำรุงรักษาในขณะที่ทำการใช้งาน



รูปที่ 2.22 การจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าไบโพลาร์

2.10 หลักการในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า

เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเคมีไฟฟ้ามีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะประยุกต์ใช้ โดยมีหลักการสำคัญในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเคมีไฟฟ้า คือ

1. เครื่องปฏิกรณ์ควรเป็นแบบที่ง่ายที่สุด และค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ถ้าเป็นไปได้ควรหลีกเลี่ยงการออกแบบระบบที่มีการรวมผสม
2. เครื่องปฏิกรณ์ต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างสมบูรณ์ก่อนจะผ่านสู่ขั้นตอนอื่น ในกรณีที่มีกระบวนการอื่นนอกจากกระบวนการเคมีไฟฟ้ามาเกี่ยวข้อง ควรจะทำแยกออกจากกระบวนการเคมีไฟฟ้า
3. เมื่อจำเป็นต้องมีการรวมผสมหรือการไหลของสารละลายต้องพิจารณาการถ่ายเทมวลสารเป็นอันดับแรก เช่น การรวมผสมอาจจะต้องใช้แผ่นกั้น หรือ ไบพัด
4. ควรออกแบบให้มีการกระจายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้สม่ำเสมอทั่วพื้นผิวของขั้วไฟฟ้า
5. ควรออกแบบให้มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าน้อยเพราะระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ายิ่งมากจะต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น

6. การเลือกวัสดุที่ใช้ทำเครื่องปฏิกรณ์นั้นต้องคำนึงถึงสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่จะผ่านกระบวนการเคมีไฟฟ้า และสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเคมีไฟฟ้า โดยสามารถคงทน ไม่สึกกร่อนภายใต้สภาพการใช้งาน

7. การเลือกวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้านั้นต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นให้สอดคล้องกับความต้องการของระบบบำบัด และปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจขึ้นได้

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Szpyrkowicz และคณะ (1995) ศึกษากระบวนการเคมีไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยใช้ขั้ว Ti/Pt และ Ti/Pt/Ir เป็นขั้วแอโนด สำหรับน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดขั้นต้น พบว่าประสิทธิภาพของขั้ว Ti/Pt-Ir จะมีค่าลดลงเนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์จะไปเกาะที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำให้การออกซิไดส์ของแอมโมเนียและ COD จะเกิดขึ้นช้า แต่คลอไรด์จะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นขั้ว Ti/Pt-Ir จึงไม่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงและยังมีต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียที่สูง จึงนิยมใช้ขั้ว Ti/Pt เป็นขั้วแอโนดมากกว่า

Naumczyk และคณะ (1996) ศึกษากระบวนการเคมีไฟฟ้าเพื่อลดสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังสำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมา จากการทดลองพบว่าขั้ว Ti/Pt-Ir จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียได้ดีกว่าขั้ว Ti/Pt และกราไฟต์ ตามลำดับ

Rajalo และคณะ (1996) ศึกษากระบวนการเคมีไฟฟ้าในการลดปริมาณซัลไฟด์ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยใช้ Ti/Pt และ Ti/MnO₂ (TMDA) เป็นขั้วแอโนดและไทเทเนียมเป็นขั้วแคโทด โดยผลการทดลองพบว่าในการออกซิไดส์ ซัลไฟด์ และสารอินทรีย์จากขั้นตอนการแช่ปุ๋ยและการกันชน สามารถลดปริมาณซัลไฟด์ได้ถึง 100% แต่สำหรับน้ำที่ผ่านขั้นตอนการฟอกโครมปริมาณของซัลไฟด์จะถูกขจัดได้เพียง 50%

Apostolos และคณะ (1997) ศึกษากระบวนการเคมีไฟฟ้าในการขจัดสารมลพิษในน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยใช้ขั้ว Ti/Pt เป็นขั้วแอโนด และ stainless steel 304 เป็นขั้วแคโทด พบว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์กลายเป็นสารประกอบที่มีความเป็นพิษน้อยลง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนและสารประกอบซัลเฟต แต่มีปริมาณของคลอไรด์เพิ่มขึ้น

Szpyrkowicz และคณะ (2001) ศึกษาผลของการกวนต่อการลดลงของสารอินทรีย์ ด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยใช้ขั้ว Ti/Pt/Ir-plate เป็นขั้วแอโนดและ stainless-steel type 316 เป็นขั้วแคโทดในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ สำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว แต่ก็ยังมีคลอไรด์ในปริมาณสูง พบว่าเมื่อระบบใช้กระแสไฟฟ้าสูง

อัตราการลดลงของสารอินทรีย์และซัลไฟด์ ขึ้นอยู่กับปริมาณของอนุพันธ์ของ OH^\bullet ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น Direct oxidation และอัตราการลดลงของซัลไฟด์เป็นปฏิกิริยาแบบเทียมอันดับที่ 1 (Pseudo-first order reaction) แต่สำหรับระบบที่กระแสไฟฟ้าต่ำ พบว่าการกวนมีผลต่ออัตราการลดลงของสารอินทรีย์ เนื่องจากการกวนทำให้ชั้นของ Boundary layer มีขนาดเล็กจนทำคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (Cl⁻) ผสมอยู่คลอไรด์ไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับโลหะของขั้วแอโนดเกิด ClOH^\bullet ซึ่ง ClOH^\bullet สามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้

Murugunathan และคณะ (2004) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ Electro-flotation ในการลดปริมาณของสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก และอลูมิเนียม (Soluble electrode) เป็นขั้วแอโนด พบว่าสามารถลดปริมาณของสารแขวนลอย และซัลไฟด์ ได้มากกว่า 95% และอัตราการลดลงของสารแขวนลอยเป็นแบบลำดับ 1 (First-order) และการลดลงของสารประกอบซัลเฟอร์เมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วแอโนด พบว่าซัลไฟด์จะตกตะกอนในรูปของ Fe_2S ส่วนซัลไฟด์และซัลเฟตจะเกาะที่ผิวของ Poly-nuclear hydroxyl iron (III) complexes

Chen และคณะ (2004) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากร้านอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเจือปนในปริมาณสูงด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้ขั้วเหล็กและอลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าเมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนดจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเหล็ก ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 30 - 80 แอมแปร์ต่อตารางเมตร โดยสามารถลดไขมันและน้ำมันได้มากกว่า 94%

Xu และคณะ (2004) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากร้านอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเจือปนในปริมาณสูงโดยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 10 - 14 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ภายในเวลา 30 นาที ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าประมาณ 10 มิลลิเมตร ความเป็นกรด - เบสอยู่ในช่วง 3 - 10 และพบว่าการเติมเกลือ เช่น NaCl ไม่มีผลต่อการบำบัด โดยสามารถลด COD และน้ำมันได้ประมาณ 75% และ 95% ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

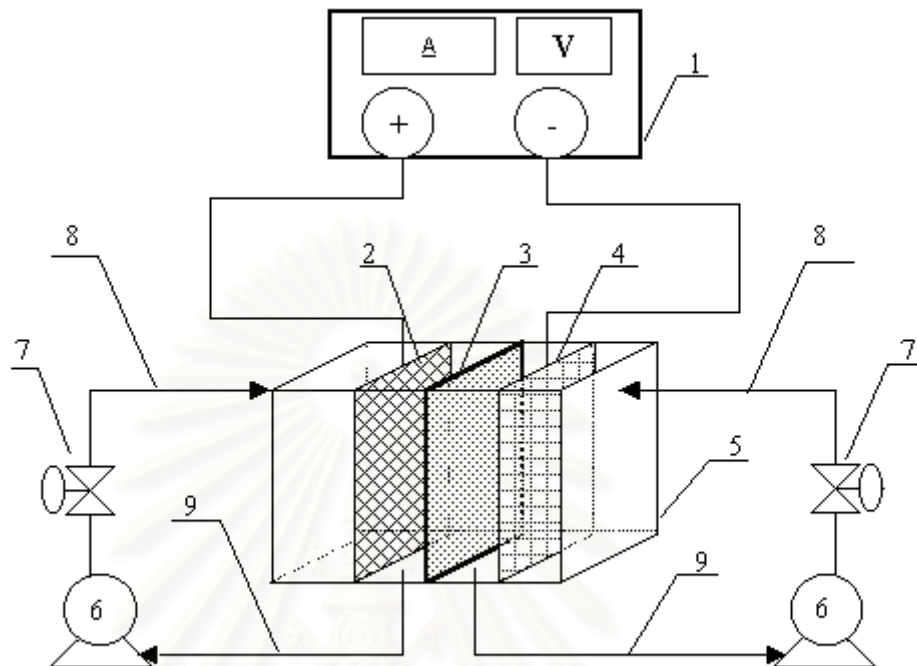
3.1 รูปแบบการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า โดยอาจนำมาเป็นข้อมูลในระดับขยายส่วนหรือใช้ประโยชน์ในการศึกษาต่อไป

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส ยี่ห้อ Horiba รุ่น F-22
2. ขั้วไฟฟ้า ได้แก่ เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม และไทเทเนียมเคลือบด้วยรูทีเนียมออกไซด์
3. เครื่องกวนแม่เหล็ก
4. เครื่องชั่งละเอียด
5. ตู้อบ (Oven)
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น GBC Avanta Σ
8. เครื่อง UV Spectrophotometer ยี่ห้อ Jasco รุ่น V - 530
9. กระดาษกรองเบอร์ 1
10. กระดาษกรอง GF/C
11. เครื่องดูดสุญญากาศพร้อมขวดดูดสุญญากาศ
12. หลอดย่อย (Digestion Vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate) ขนาด 20x 150 หรือ 25x150 มิลลิเมตร มีฝาพลาสติกเกลียวซึ่งทำด้วยทีเอฟอี (Tetrafluoroethylene, TFE)
13. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียส
14. ขวดบีโอดี (BOD Bottle) ขนาด 250 - 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิด
15. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส
16. ชุดกลั่น (Distillation apparatus)
17. ขวดเคลดาร์ห์ลขนาด 750 มิลลิลิตร
18. เครื่องอังไอน้ำ
19. เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

3.2.1 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วย (Hunsom, 2005)



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าด้วยเยื่อเลือกผ่านไอออนลบ (1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (2) ขั้วแอโนด (3) เยื่อเลือกผ่านไอออนลบ (4) ขั้วแคโทด (5) เครื่องปฏิกรณ์ (6) ปั๊ม (7) วาล์ว (8) ทางน้ำเข้า (9) ทางน้ำออก

3.2.1.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 0.10 X 0.10 X 0.11 ลูกบาศก์เมตร (1 ลิตร)

3.2.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง รุ่น ZS 3205-2X

3.2.1.3 ปั๊ม 2 ตัว รุ่น NH-5PX บริษัท Pan World Co., Ltd.

3.2.1.4 เยื่อเลือกผ่านไอออนลบ ชนิด IONAC มีพื้นที่ผิว 7.74×10^{-3} ตารางเมตร

3.2.1.5 ขั้วไฟฟ้าแอโนด ทำจากไททานเนียมเคลือบด้วยรูทีเนียมออกไซด์

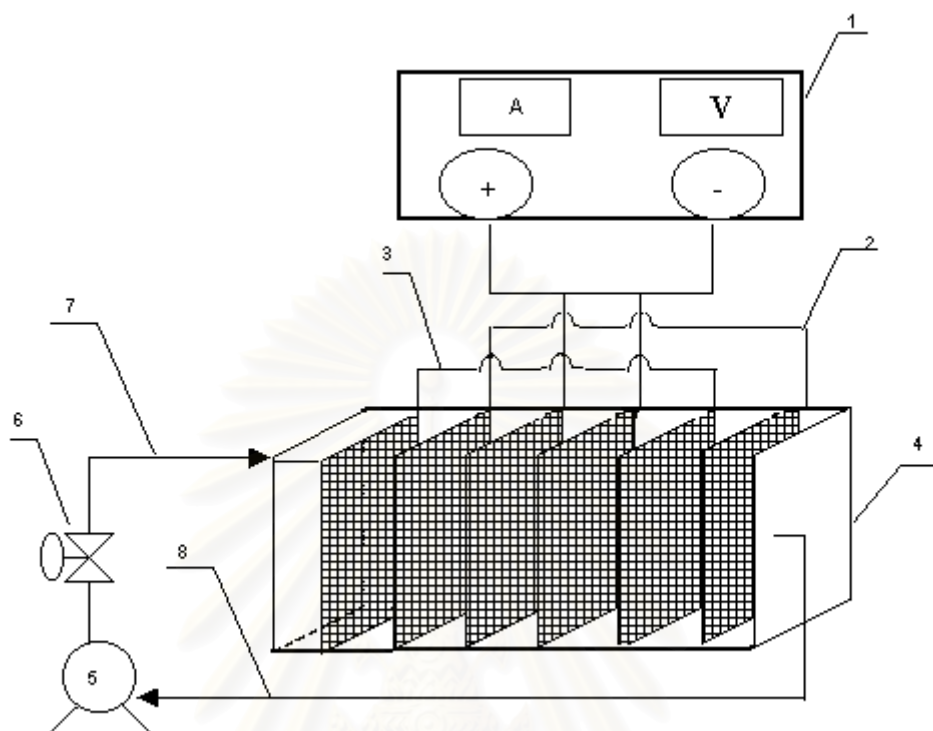
3.2.1.6 ขั้วไฟฟ้าแคโทด ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 0.0215 ตารางเมตร

- ขนาด 0.08 เมตร x 0.175 เมตร x 0.001 เมตร

- มีช่องว่าง 134 ช่อง เป็นวงกลม และเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.006

เมตร

3.2.2. เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งประกอบด้วย



รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า (1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (2) ขั้วแอโนด (3) ขั้วแคโทด (4) เครื่องปฏิกรณ์ (5) ปั๊ม (6) วาล์ว (7) ทางน้ำเข้า (8) ทางน้ำออก

3.2.2.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 0.12 X 0.21 X 0.15 ลูกบาศก์เมตร

3.2.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง รุ่น ZS 3205-2X

3.2.2.3 ปั๊ม 1 ตัว รุ่น NH-5PX บริษัท Pan World Co., Ltd.

3.2.2.4 ขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทด ทำจากเหล็กมีลักษณะเป็นตะแกรงจำนวน 6 แผ่น มีพื้นที่ผิวแต่ละแผ่นเท่ากับ 0.0161 ตารางเมตร

- ขนาด 0.086 เมตร x 0.124 เมตร x 0.001 เมตร

- มีช่องว่าง 117 ช่อง เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 0.006 X 0.006 เมตร

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 การวิเคราะห์หีสี่ (บริษัท, ความบริสุทธิ์)
1. โคบอลคลอไรด์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Merck, AR grade)
 2. โพแทสเซียมคลอโรแพลทีเนต (K_2PtCl_6) (Carlo, AR grade)
- 3.3.2 การวิเคราะห์ COD
1. โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (Merck, AR grade)
 2. กรดซัลฟิวริก (cone. H_2SO_4) (Fisher, 98%)
 3. ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) (POCh. S.A., AR grade)
 4. ไอร์รอน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Unilab, AR grade)
 5. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroun Indicator) (Labchem, AR grade)
 6. โปตัสเซียมไฮโดรเจนแพทาเลต (KHP) (Merck, AR grade)
- 3.3.3 การวิเคราะห์ BOD
1. โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) (Univer, AR grade)
 2. ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) (Univer, AR grade)
 3. ไดโซเดียมฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (Univer, AR grade)
 4. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) (Univer, AR grade)
 5. แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (Univer, AR grade)
 6. แคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (Anhydrous CaCl_2) (Univer, AR grade)
 7. เฟอริคคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Univer, AR grade)
 8. แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Univer, AR grade)
 9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Univer, AR grade)
 10. โซเดียมไอโอดด์ (NaI) (Labchem, AR grade)
 11. โซเดียมไนไตรด์ (NaN_3) (Labchem, AR grade)
 12. โซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Univer, AR grade)
- 3.3.4 การวิเคราะห์ TKN
1. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) (Univer, AR grade)
 2. ปรอทออกไซด์ (HgO) (Univer, AR grade)
 3. เมธิลเรด (Panreac, AR grade)

- | | |
|--|---------------------------------|
| 4. เอทิลแอลกอฮอล์ (C ₂ H ₅ OH) | (องค์การสุรา กรมสรรพสามิต, 95%) |
| 5. เมทิลลีนบลู | (Panreac, AR grade) |
| 6. กรดบอริก (H ₃ BO ₃) | (Univer, AR grade) |
| 7. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ | |

3.3.5 การวิเคราะห์ไขมันและน้ำมัน

- | | |
|--|---------------------|
| 1. เฮกเซน (n-Hexane) | (Unilab, AR grade) |
| 2. โซเดียมซัลเฟต ปราศจากน้ำ (Anhydrous Na ₂ SO ₄) | (Labchem, AR grade) |

3.4 น้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับอนุเคราะห์จากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียก่อนเข้าบ่อบำบัด ซึ่งมีลักษณะสีเขียวคล้ำเหม็น มีค่าความเป็นกรด - เบสในช่วง 7 - 9 มีตะกอนของเศษของวัตถุดิบ

3.5 ขั้นตอนการวิจัย

3.5.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และ ทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ที่ใช้ในการวิจัย คือ

- pH
- Temperature (°C)
- Conductivity (μs/cm)
- Total dissolved solids: TDS (mg/l)
- Total suspended solids: TSS (mg/l)
- Total solids: TS (mg/l)
- Oil and grease: (mg/l)
- Biochemical oxygen demand: COD(mg/l)
- Chemical oxygen demand: COD(mg/l)
- Total kjeldahl nitrogen: TKN (mg/l)
- Chromium: (mg/l)
- Color: Pt-Co unit

3.5.2 ศึกษาการขจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธีเคมีไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

3.5.2.1 ศึกษาการขจัดโครเมียมและสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า (Electroprecipitation) ในเครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าชนิดที่มีด้วยเยื่อเลือกผ่าน โดยใช้ไทเทเนียมเคลือบรูทีเนียมออกไซด์เป็นขั้วแอโนดและเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นขั้วแคโทด ขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.5.2.1.1 ศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและความเป็นกรด - เบสเริ่มต้น

1. สารละลายผงแคโทดใช้น้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง 1,000 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 3.0 และ 4.5 ตามลำดับด้วยกรดซัลฟิวริก สำหรับผงแอโนดใช้น้ำกลั่นปรับค่าความเป็นกรด - เบสเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง
2. ผ่านกระแสไฟฟ้า 1 - 1.75 แอมแปร์ (ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 50 - 82 แอมแปร์ต่อตารางเมตร) เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง
3. เก็บตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทั้งด้านแคโทดและด้านแอโนด ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของโครเมียม
5. วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่ผ่านการบำบัดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า ตามวิธีมาตรฐาน (กรองแก้ว, 2541 และ Clescerl, 1998)

3.5.2.1.2 ศึกษาผลของอัตราการไหลของสารตัวอย่าง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.5.2.1.1 โดยผ่านกระแสไฟฟ้าและค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ (พิจารณาจากต้นทุนในการบำบัดที่ต่ำสุด) และอัตราการไหลของสารตัวอย่างเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 0 - 4.5 ลิตร ต่อนาทีเป็นเวลา 300 นาที

3.5.2.2 ศึกษาการขจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrocoagulation) ในเครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้เหล็กเป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.5.2.2.1 ศึกษาการจัดเรียงของขั้วไฟฟ้าทั้งหมด 3 แบบ คือ

1. การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบมอนอโพลาร์แบบขนาน
2. การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบมอนอโพลาร์แบบอนุกรม
3. การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบไบโพลาร์แบบอนุกรม

ขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ใช้น้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง 3000 มิลลิลิตร
2. สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าจะประกอบด้วยแผ่นตะแกรงเหล็กจำนวน 6 แผ่นซึ่งใช้เป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทด (พื้นที่ผิวหน้าของแผ่นตะแกรงเหล็ก 1 แผ่น เท่ากับ 0.0161 ตารางเมตร)
3. ชั่งน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่ใช้เป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทด
4. ผ่านกระแสไฟฟ้า 1.0 แอมแปร์ (ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร) อัตราการไหลของสารตัวอย่างเข้าเครื่องปฏิกรณ์ 3.67 ลิตรต่อนา เป็นเวลา 60 นาที
5. เก็บสารตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทุกๆ 15 นาที
6. ชั่งน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่ใช้เป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทดหลังการทดลอง
7. วิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ของน้ำเสียที่เหลือตามวิธีมาตรฐาน (กรองแก้ว, 2541 และ Clescerl, 1998)

3.5.2.2.2 ศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.5.2.2.1 โดยผ่านกระแสไฟฟ้า 0.7 - 1.1 แอมแปร์ (ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 14 - 23 แอมแปร์ต่อตารางเมตร) เป็นเวลา 25 นาที และเก็บสารตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทุกๆ 5 นาที

3.5.2.2.3 ศึกษาผลของอัตราการไหลของสารตัวอย่าง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.5.2.2.1 โดยผ่านกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม จากการทดลองที่ 3.5.2.2.2 อัตราการไหลของสารตัวอย่างเข้าเครื่องปฏิกรณ์ เท่ากับ 0 - 3.67 ลิตรต่อนาที่เป็นเวลา 25 นาที และเก็บตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทุกๆ 5 นาที

3.5.2.2.4 ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้น

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.5.2.2.1 โดยผ่านกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม จากการทดลองที่ 3.5.2.2.2 ค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 7 - 9 อัตราการไหลของ

สารตัวอย่างเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 3.67 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 25 นาที และเก็บตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทุกๆ 5 นาที



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผลการทดลอง

การขจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้าแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าและกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า

ส่วนแรกเป็นศึกษาการขจัดโครเมียมและสารมลพิษออกจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบมีเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งจะมีการผลิตไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่ขั้วแคโทด และรวมตัวกับโครเมียมในน้ำเสีย ทำให้เกิดการตกตะกอนของโครเมียมในรูปของตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) ซึ่งประสิทธิภาพของการขจัดโครเมียมในน้ำเสียด้วยการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าจะมีค่าสูงกว่ากระบวนการฟอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า (Hunsom, 2005)

ส่วนที่สองศึกษาการขจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นกระบวนการสร้างสารช่วยตกตะกอน (Coagulant) เพื่อลดความเสถียรภาพของสารคอลลอยด์ในน้ำเสีย และรวมตัวกับสารคอลลอยด์เกิดเป็นตะกอน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดที่กัดกร่อนได้เป็นขั้วแอโนด โลหะที่เป็นขั้วไฟฟ้าได้แก่ เหล็กและอลูมิเนียม สำหรับผลการขจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยกระบวนการตกตะกอนและกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า ผลแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังมีสีน้ำตาลเขียว มีตะกอนของเศษเนื้อ ขน และมีกลิ่นเหม็นเน่า

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียดังกล่าวเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสมบัติของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจะประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารแขวนลอย ไขมันกับน้ำมัน สี โครเมียม ค่าซีไอดี และค่าบีไอดี ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง เช่น โครเมียมสูงกว่าเกณฑ์ 5 เท่า ค่าซีไอดีและค่าบีไอดีสูงกว่าเกณฑ์มากกว่า 10 เท่า เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ น้ำเสียจาก อุตสาหกรรมฟอกหนังจึงต้องผ่านการบำบัดก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

รายการ	ปริมาณ	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง*
ค่าความเป็นกรด - เบส	7.0-9.8	5.5-9
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27 - 29	≤ 40
ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	2480 - 2840	ไม่ได้กำหนด
ของแข็งละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	13,370 - 21,050	≤ 3,000
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	600 - 11,480	≤ 150
ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	638-780	≤ 5
ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4095-17,860	≤ 400
ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	630 - 3,600	< 60
ค่าทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	143 - 192	≤ 100
โครเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	11.5 - 20	≤ 0.5
เหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.10-0.11	ไม่ได้กำหนด
สี (หน่วยของแพลทินัม - โคบอล)	1,250-6,340	ไม่พึงรังเกียจ

*ที่มา ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ. ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

4.2 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

การจัดโครเมียมและสารมลพิษออกจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธีการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบเยื่อเลือกผ่าน โดยเยื่อเลือกผ่านที่ใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านที่ยอมให้ประจุลบผ่าน (Anionic membrane) ดังรูป 3.1 โดยใช้ไทเทเนียมเคลือบด้วยรูทีเนียมออกไซด์ (Ti/RuO₂) เป็นขั้วแอโนด และเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เป็นขั้วแคโทด

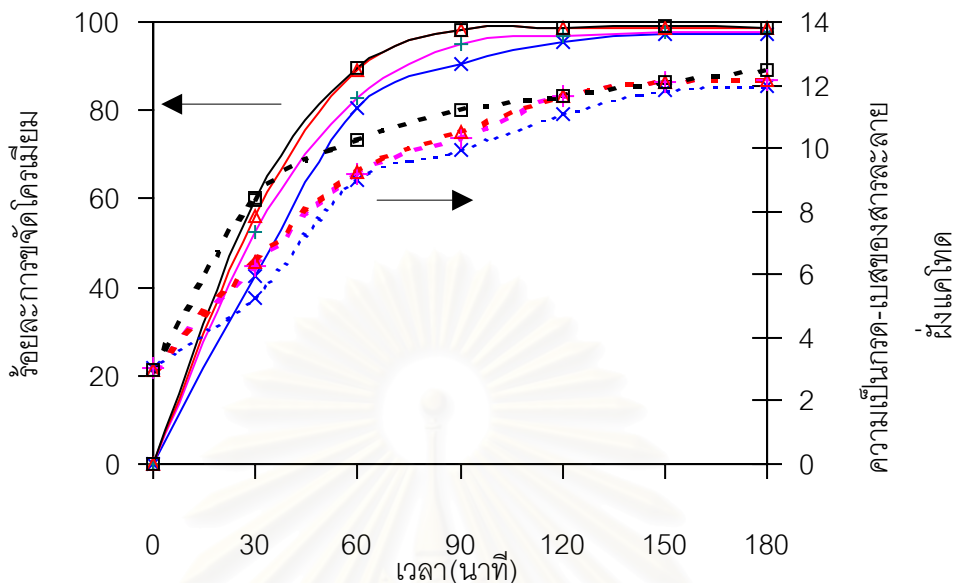
การทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการจัดโครเมียมและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยทำการทดลองผ่านกระแสไฟฟ้าในช่วง 1 - 1.75 แอมแปร์ หรือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 50 - 82 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด - เบส เริ่มต้น 3 และ 4.5 เพื่อรีดิวซ์โครเมียม (+6) ในน้ำเสียให้กลายเป็นโครเมียม (+3) โดยปรับค่า

ความเป็นกรด - เบสด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น และอัตราการไหลของสารละลาย 0 - 4.5 ลิตรต่อ นาที เก็บสารละลายตัวอย่างจากทั้งสองส่วนเมื่อเวลาผ่านไป 0 30 60 90 120 150 180 240 และ 300 นาทีตามลำดับ นำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณของโครเมียมที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และนำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดเป็นเวลา 300 นาที มาวิเคราะห์หาปริมาณของสารมลพิษอื่นๆ ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียตามมาตรฐานของการวิเคราะห์น้ำเสีย

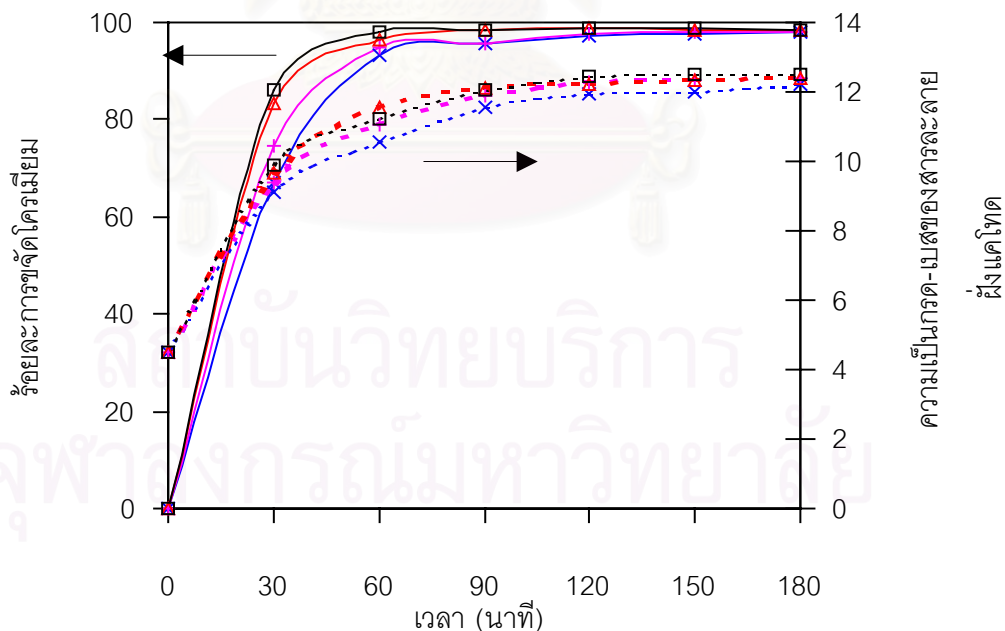
4.2.1 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและค่าความเป็นกรด - เบส

รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงร้อยละการลดลงของโครเมียมกับเวลา ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในช่วง 50 - 82 แอมแปร์ต่อตารางเมตรและค่าความเป็นกรด - เบส เริ่มต้นเท่ากับ 3 และ 4.5 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าร้อยละการขจัดโครเมียมและความเป็นกรด-เบส ของสารละลายฟั้งแคโทดจะเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น และพบว่าร้อยละการลดลงของโครเมียมเป็นฟังก์ชันกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง โดยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงร้อยละการลดลงของโครเมียมจะมีค่าสูงกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เดียวกัน พบว่าที่ค่าความเป็นกรด - เบสเท่ากับ 4.5 จะให้ค่าร้อยละการลดลงของโครเมียมสูงกว่าที่ความเป็นกรด - เบสเท่ากับ 3 เนื่องจากระบบที่ค่าความเป็นกรด - เบสต่ำจะต้องใช้เวลาในการผลิตไฮดรอกไซด์ไอออน (OH) เพื่อสะเทิน (Neutralize) โปรตอน (H⁺) ในระบบก่อน แต่ถ้าสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด - เบสสูง ไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นในระบบจะถูกนำไปใช้ทำปฏิกิริยากับโครเมียมไอออนได้เลย และที่ค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 ทุกๆ ภาวะการทดลอง ร้อยละการลดลงของโครเมียมมากกว่า 98 เมื่อผ่านไป 120 นาที โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมเหลือเพียง 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับความเป็นกรด - เบสของสารละลายฟั้งแคโทดจะมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณของโปรตอนในระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Song และคณะ (2004) ซึ่งใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl₃) ปริมาณ 600 - 900 มิลลิกรัมต่อลิตร และอลูมิเนียมซัลเฟต (Al₂(SO₄)₃) ปริมาณ 700 - 900 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการตกตะกอนโครเมียมในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง สำหรับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมเท่ากับ 12 มิลลิกรัมต่อลิตร จะพบว่างานวิจัยนี้สามารถลดโครเมียมได้มากกว่างานวิจัยที่กล่าวถึง 15 - 20%



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของโครเมียม (—) และความเป็นกรด - เบสของสารละลายของผังแคโทด (---) กับเวลาที่ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 3 โดย $j=51.2 \text{ A/m}^2$ (X), $j=60.5 \text{ A/m}^2$ (+); $j=69.8 \text{ A/m}^2$ (Δ); $j=81.4 \text{ A/m}^2$ (\square)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของโครเมียม (—) และความเป็นกรด - เบสของสารละลายของผังแคโทด (---) กับเวลาที่ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 โดย $j=51.2 \text{ A/m}^2$ (X), $j=60.5 \text{ A/m}^2$ (+); $j=69.8 \text{ A/m}^2$ (Δ); $j=81.4 \text{ A/m}^2$ (\square)

รูปที่ 4.3 แสดงร้อยละการลดลงของสารมลพิษที่ผ่านการบำบัดด้วยการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นเวลา 300 นาที ที่ภาวะต่างๆ พบว่าที่ค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเดียวกัน ร้อยละการลดลงของสารมลพิษจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ยกเว้นปริมาณสารแขวนลอย เนื่องจากการลดลงของสารมลพิษจะอยู่ในรูปของ Chromium-organic ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในระบบ เมื่อปริมาณของตะกอนมากเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำที่ค่าความเป็นกรด - เบสและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อัตราการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นและค่าร้อยละการลดลงสูงที่ค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 และค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 81.4 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

สำหรับน้ำมันและไขมัน พบว่าทุกภาวะจะให้ค่าร้อยละการลดลงมากกว่า 65% ค่าร้อยละการลดลงสูงที่สุดที่ค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 และค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 81.4 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

สำหรับค่าซีไอดีและไนโตรเจน พบว่าทุกภาวะจะให้ค่าร้อยละการลดลงมากกว่า 45% โดยเฉพาะค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 และค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 81.4 แอมแปร์ต่อตารางเมตรจะให้ค่าร้อยละการลดลงสูงสุด

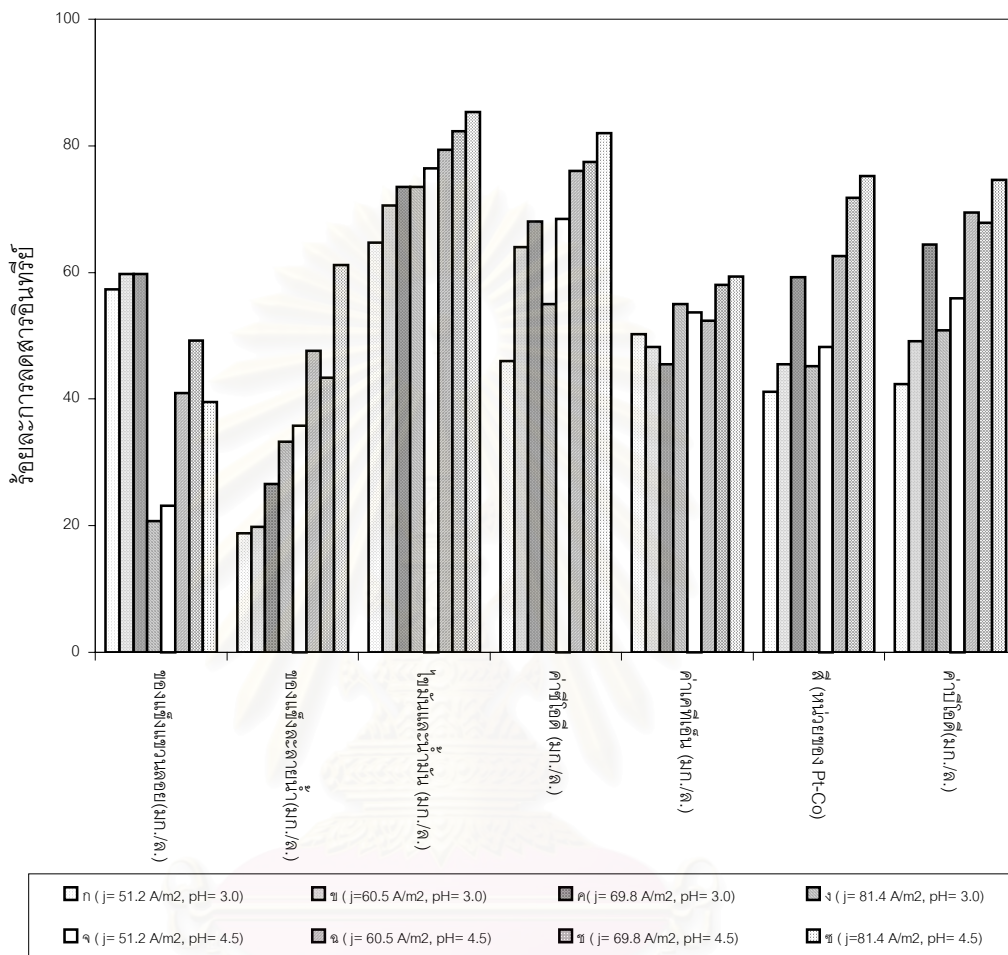
สำหรับค่าบีไอดีและซี พบว่าที่ค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 จะให้ค่าร้อยละการลดลงมากกว่า 50%

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์หลังจากการบำบัดเป็นเวลา 300 นาที พบว่าปริมาณของไนโตรเจน (TKN) มีค่าลดลงต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (น้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ทุกภาวะของค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 และสีของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดมีสีใสไม่เป็นที่พึงรังเกียจ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

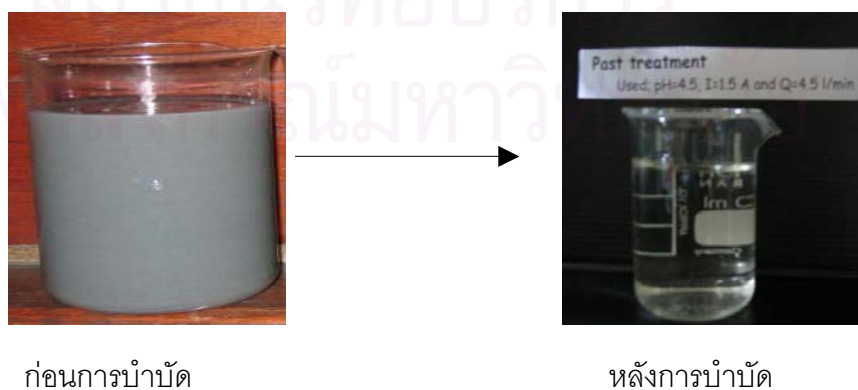
4.2.2 ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

ต้นทุนในการดำเนินการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายเนื่องจากกระแสไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการจัดการตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นหลักที่ร้อยละการขจัดโครเมียมเท่ากับ 98 รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ากับต้นทุนจากผลการทดลอง พบว่าภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการขจัดสารมลพิษในน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกหนัง คือ ที่ค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 และค่าความหนาแน่น

กระแสไฟฟ้า 69.8 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ภาวะนี้มากกว่าร้อยละ 98 ของโครเมียมลดลงของภายใน 60 นาที ต้นทุนในการทำงานที่ต่ำที่สุดประมาณ 0.86 เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำตัวอย่าง (การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ง.3)



รูปที่ 4.3 ร้อยละการลดลงของสารมลพิษที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นเวลา 300 นาที ที่ภาวะต่างๆ



รูปที่ 4.4 สีของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนบำบัดหลังผ่านการบำบัด โดยการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

รายการ	มาตรฐาน ของประเทศ ไทย	น้ำก่อน บำบัด	น้ำหลังการบำบัด (300 นาที)							
			ก	ข	ค	ง	จ	ฉ	ช	ช
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\leq 3,000$	8200	3500	3300	3300	6500	6300	4840	4160	4960
ของแข็งที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 150	18680	15160	14980	13710	12460	12000	9790	10570	7250
ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 5	680	240	200	180	180	160	140	120	100
ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 400	17600	9504	6336	5632	7920	5544	4224	3960	3168
ค่าทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 100	190	94.6	98.4	103.6	85.4	87.9	90.4	79.8	77.3
สี (หน่วยของ Pt-Co)	ไม่ได้ กำหนด	457	269	249	186	250	236	171	129	113
ค่าบีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 60	3540	2040	1800	1260	1740	1560	1080	1140	900

* ก: $j = 51.2 \text{ A/m}^2$, pH = 3

ข: $j = 60.5 \text{ A/m}^2$, pH = 3

ค: $j = 69.8 \text{ A/m}^2$, pH = 3

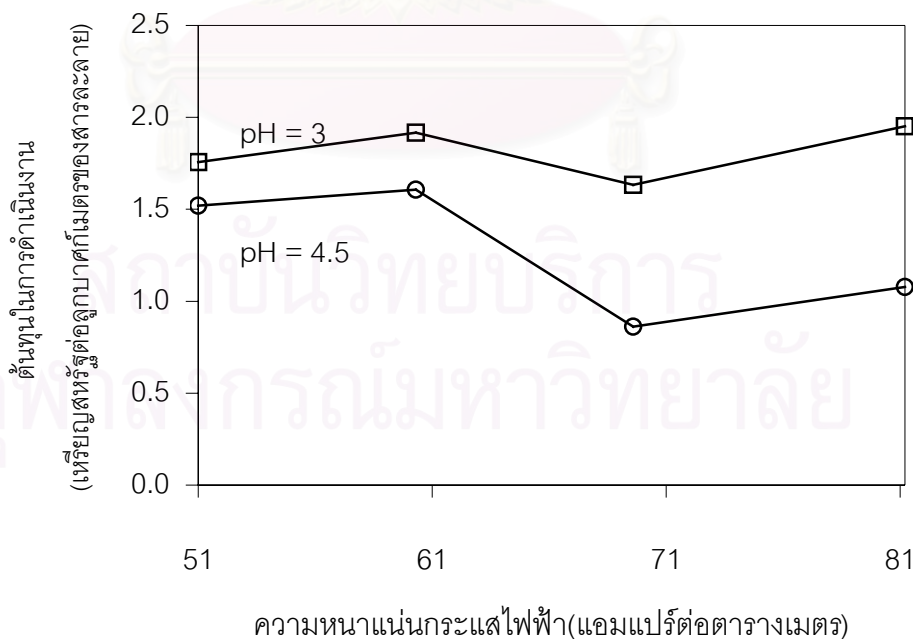
ง: $j = 81.4 \text{ A/m}^2$, pH = 3

จ: $j = 51.2 \text{ A/m}^2$, pH = 4.5

ฉ: $j = 60.5 \text{ A/m}^2$, pH = 4.5

ช: $j = 69.8 \text{ A/m}^2$, pH = 4.5

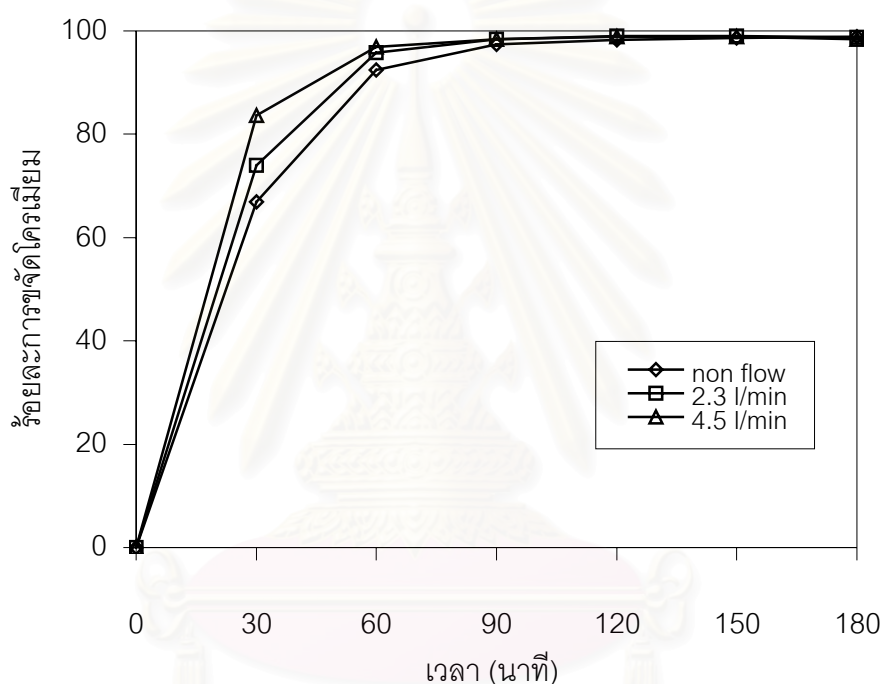
ช: $j = 81.4 \text{ A/m}^2$, pH = 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับต้นทุนในการดำเนินงานที่ร้อยละ 98 ของการขจัดโครเมียม

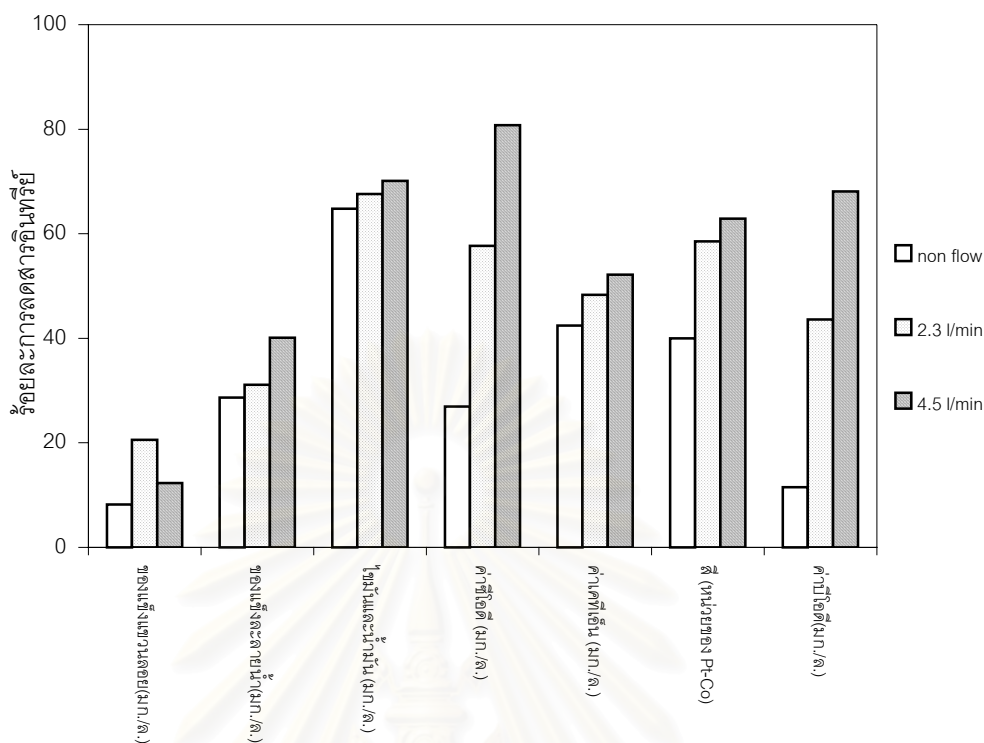
4.2.3 ผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อการลดลงของโครเมียมและสารอินทรีย์อื่นๆ ในน้ำเสีย

รูปที่ 4.6 แสดงร้อยละการลดลงของโครเมียมกับเวลาที่อัตราการไหลของสารตัวอย่างที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 0, 2.3 และ 4.5 ลิตรต่อนาที ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 69.8 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 พบว่าร้อยละการลดลงของโครเมียมเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียในระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลที่สูงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารของระบบสูง ส่งผลให้โครเมียม (+3) และไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันได้มากขึ้น



รูปที่ 4.6 ร้อยละการลดลงของโครเมียมกับเวลาที่อัตราการไหลของสารละลายต่างๆ ที่ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 69.8 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

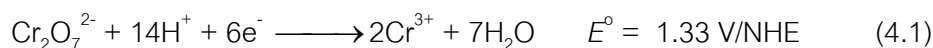
รูปที่ 4.7 แสดงร้อยละการลดลงของสารมลพิษกับเวลาที่อัตราการไหลของสารตัวอย่างที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 0, 2.3 และ 4.5 ลิตรต่อนาที ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 69.8 แอมแปร์ต่อตารางเมตรและค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 พบว่าร้อยละการลดลงของสารมลพิษเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียในระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลที่สูงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารของระบบสูงขึ้น ทำให้สารมลพิษรวมตัวกับสารสร้างตะกอนได้มากขึ้น

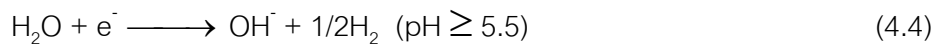
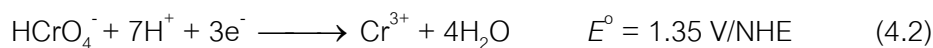


รูปที่ 4.7 ผลของอัตราการไหลของสารตัวอย่างต่อการลดลงของสารมลพิษ ที่ค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้น 4.5 และค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 69.8 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

4.2.4 กลไกการลดลงของโครเมียมและสารอินทรีย์

โครเมียมในสารละลายที่ค่าความเป็นกรด - เบสเท่ากับ 1 และ 6 จะอยู่ในรูปของ ไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) และไฮโดรเจนโครเมต (HCrO_4^-) ตามลำดับ (Roberts, 2001) เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ โครเมียม (+6) หรือ Cr^{6+} ในน้ำเสียจะถูกรีดิวซ์กลายเป็นโครเมียม (+3) หรือ Cr^{3+} ตามปฏิกิริยา (4.1) - (4.2) และในเวลาเดียวกันค่าความเป็นกรด - เบสของสารละลายฝั่งแคโทดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตอนและน้ำเกิดปฏิกิริยารีดักชันกลายเป็นแก๊สไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) (ปฏิกิริยา (4.3) และ (4.4)) ตามลำดับ และขณะที่ปฏิกิริยาที่ (4.4) ยังดำเนินไปอยู่เรื่อยๆ ทำให้มีร้อยละการลดลงของโครเมียมสะสมอยู่ในระบบเป็นจำนวนมากขึ้น โดยไฮดรอกไซด์ไอออนจำนวนหนึ่งทำให้ค่าความเป็นกรด - เบสของสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาอันสั้น ขณะเดียวกันไฮดรอกไซด์ไอออนบางส่วนจะเกิดปฏิกิริยากับโครเมียม (III) ทำให้โครเมียมตกตะกอนอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมลดลง ดังปฏิกิริยาที่ (4.5)





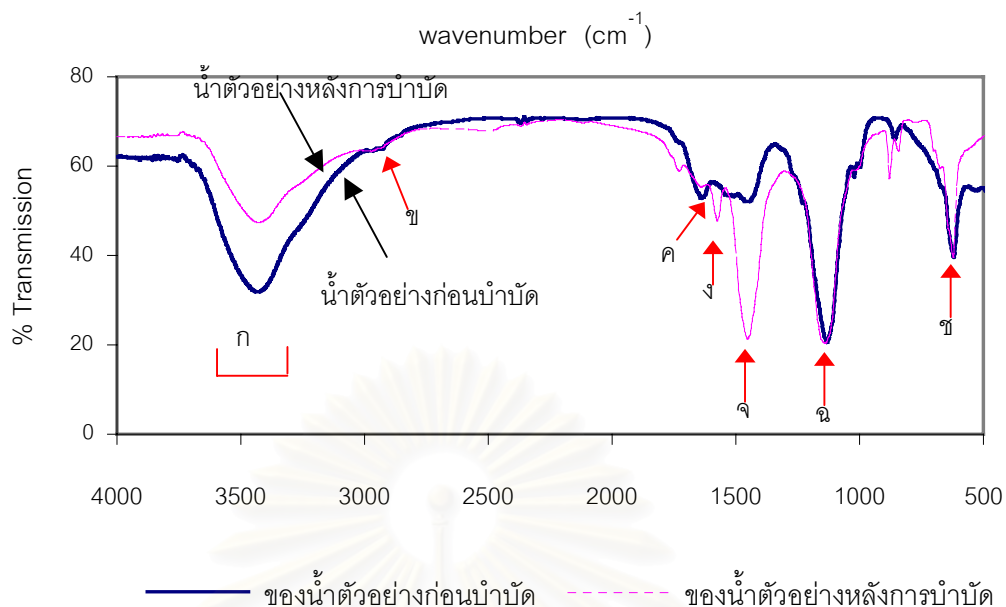
ส่วนที่ฝั่งแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำให้เกิดออกซิเจน และค่าความเป็นกรด - เบสจะลดลง ดังปฏิกิริยา (4.6)



จากตารางที่ 4.2 พบว่าหลังจากทำการขจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่าสารอินทรีย์ที่มีปริมาณลดลง โดยสารอินทรีย์น้ำจะลดลงมากับตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ เพื่อพิสูจน์สมมุติฐานนี้จึงนำตะกอนที่เกิดขึ้นไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ด้วยอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) และเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของน้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนและหลังการบำบัดและตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้น

สำหรับน้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนและหลังการบำบัดซึ่งเป็นของเหลวอยู่จะต้องนำไประเหยให้กลายเป็นของแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเกิดแถบดูดกลืนของน้ำซึ่งจะปรากฏให้เห็นในสเปกตรัมด้วย ส่วนตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบจะสังเคราะห์ขึ้นมาจากสารประกอบ $\text{Cr}(\text{N}_3\text{O}_9) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ด้วยการตกตะกอนกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

รูปที่ 4.8 แสดง IR สเปกตรัมของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนและหลังการบำบัด (IR สเปกตรัมได้จากสารตัวอย่างที่เตรียมกับ KBr) โดยจะพิจารณาเฉพาะสเปกตรัมที่มีลักษณะเด่นเท่านั้น เนื่องจากน้ำตัวอย่างประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่

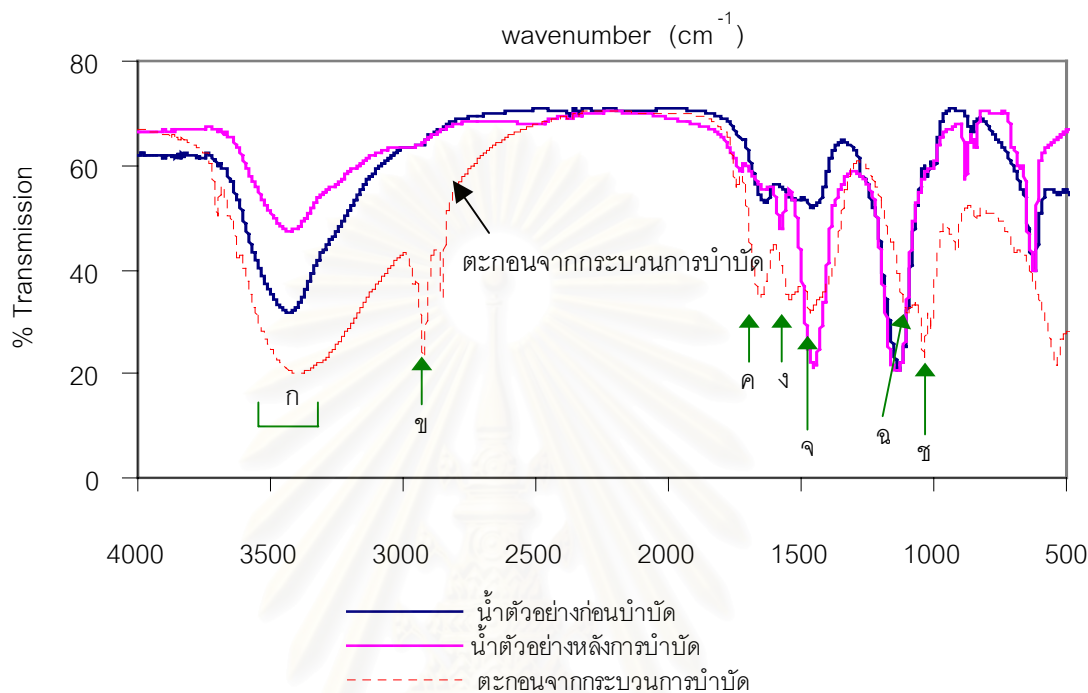


รูปที่ 4.8 IR สเปกตรัมของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนบำบัดและหลังการบำบัด

จาก IR สเปกตรัมของน้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนและหลังการบำบัด โดยตำแหน่งที่พิจารณา มี ดังนี้

- ที่ตำแหน่ง ก คือแถบยืด (Stretching) ของ N-H ของหมู่ $-NH_3^+$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 3100 - 3450 ซม.⁻¹ แถบมีลักษณะกว้างและความเข้มสูง
- ที่ตำแหน่ง ข คือแถบยืดของ C-H ของหมู่ $-CH_2-$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 2800 - 2950 ซม.⁻¹
- ที่ตำแหน่ง ค คือแถบการงอ (Bending หรือ Deformation) ของ N-H ของหมู่ $-NH_3^+$ แบบอสมมาตรที่ความยาวคลื่นประมาณ 1640 - 1660 ซม.⁻¹
- ที่ตำแหน่ง ง คือแถบการยืดของหมู่ $-COO^-$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1500 - 1580 ซม.⁻¹
- ที่ตำแหน่ง จ คือแถบงอแบบกรรไกร (Scissoring) ของ C-H ของหมู่ $-CH_2-$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1460 ซม.⁻¹
- ที่ตำแหน่ง ฉ คือแถบการกระดิก (Wagging) CH_2 ของหมู่ $-CH_2Cl$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1150 ซม.⁻¹
- ที่ตำแหน่ง ช คือแถบการยืดของหมู่ C-Cl ที่ความยาวคลื่นประมาณ 620 ซม.⁻¹

จากข้อมูลของ IR สเปกตรัมของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัด ที่ตำแหน่ง ก, ข, ค, ง และ จ แสดงว่ามีหมู่ฟังก์ชันของกรดอะมิโนอิสระ $[-CH(NH_3^+)COO^-]$ และตำแหน่ง ข, จ, ฉ และ ช แสดงว่ามีแอลคิลเฮไลด์ $(-CH_2X)$



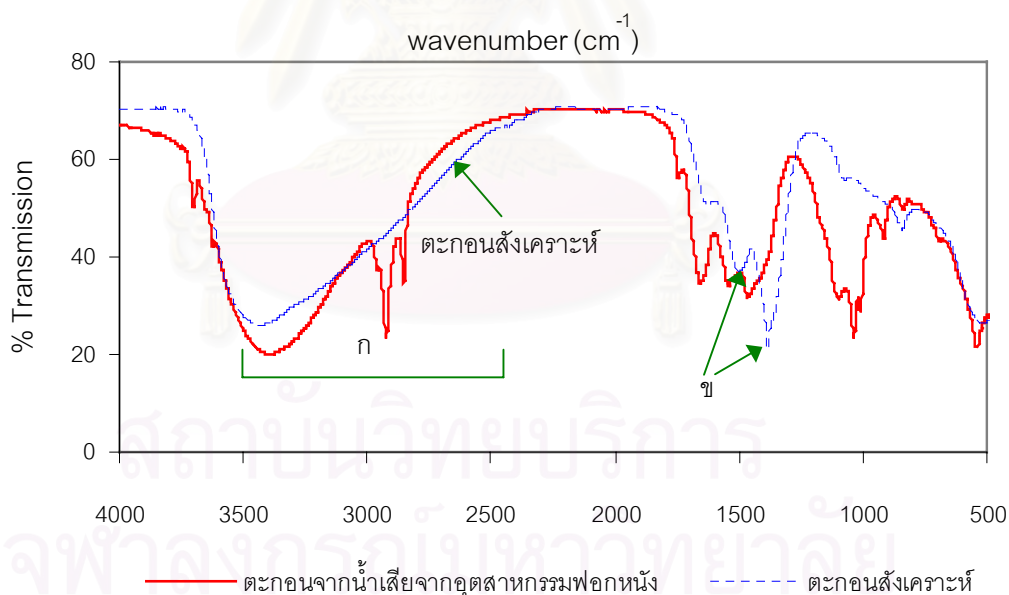
รูปที่ 4.9 IR สเปกตรัมของตะกอนจากกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับน้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนบำบัดและหลังการบำบัด

รูปที่ 4.9 IR สเปกตรัมของตะกอนจากกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับน้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนบำบัดและหลังการบำบัด โดยตำแหน่งที่พิจารณามี ดังนี้

- ที่ตำแหน่ง ก คือแถบการยืดของ O-H ของหมู่ -OH ซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนหรือ N-H ของหมู่ $-NH_3^+$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 3000 - 3450 cm^{-1} แถบมีลักษณะกว้างและมีความเข้มสูง
- ที่ตำแหน่ง ข คือแถบการยืดของ C-H ของหมู่ $-CH_2-$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 2850 - 2950 cm^{-1}
- ที่ตำแหน่ง ค คือแถบการงอของ N-H ของหมู่ $-NH_3^+$ แบบอสมมาตรที่ความยาวคลื่นประมาณ 1650 cm^{-1}
- ที่ตำแหน่ง ง คือแถบการยืดของหมู่ $-COO^-$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1550 cm^{-1}

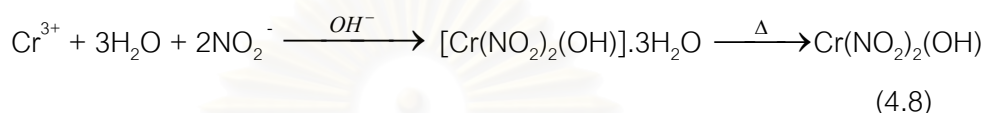
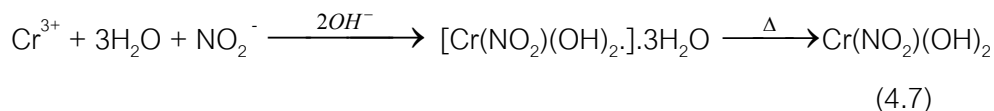
- ที่ตำแหน่ง จ คือแถบการงอของ C-H ของหมู่ $-CH_2-$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1465 cm^{-1} (แถบอแบบกรรไกร)
- ที่ตำแหน่ง ฉ คือแถบการดของ C-O ของแอลคิลอีเทอร์ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1100 cm^{-1}
- ที่ตำแหน่ง ช คือแถบการยืดของ C-O ของหมู่แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ 1035 cm^{-1}

รูปที่ 4.10 แสดง IR สเปกตรัมของตะกอนจากกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า เปรียบเทียบกับตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์สังเคราะห์ พบว่าลักษณะของสเปกตรัมของตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นจะแตกต่างกับสเปกตรัมของตะกอนโครเมียมในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยตะกอนที่สังเคราะห์ขึ้นจะประกอบด้วยหมู่ $-OH$ และ $-NO_2$ เท่านั้น ที่ตำแหน่ง ก คือแถบการยืดของ O-H ที่ความยาวคลื่นประมาณ $2400 - 3450 \text{ cm}^{-1}$ ที่ตำแหน่ง ข คือแถบการยืดของ $-NO_2$ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1385 cm^{-1} และ 1499 cm^{-1} ตามลำดับ โดย $-NO_2$ ที่ปรากฏในสเปกตรัมเกิดขึ้นเนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ใช้ในสารตั้งต้นคือ $(Cr(N_3O_9) \cdot 9H_2O)$



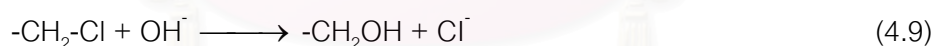
รูปที่ 4.10 IR สเปกตรัมของตะกอนจากกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าและตะกอนของโครเมียมไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากสารประกอบ $Cr(N_3O_9) \cdot 9H_2O$

สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดในการสังเคราะห์โครเมียมไฮดรอกไซด์เป็นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) สามารถเกิดขึ้นได้ 2 แบบตามปฏิกิริยาที่ (4.7) หรือ (4.8) ตามลำดับ โดยกลไกจะเกิดผ่านสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียมไฮดรอกไซด์

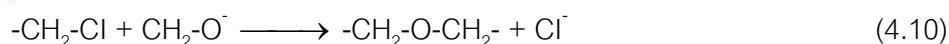


จากข้อมูล IR สเปกตรัมของตะกอนโครเมียมในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ตำแหน่ง ก, ข, ค, และ ง จะแสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของกรดอะมิโนอิสระ $[-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-]$ ที่ตำแหน่ง ข, ง, และ ฉ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ $(-\text{CH}_2\text{OH})$ และที่ตำแหน่ง ข, ฉ, และ ช แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของแอลคิลอีเธอร์ $(-\text{CH}_2\text{OCH}_2-)$ ตามลำดับ

สำหรับหมู่ฟังก์ชันของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิที่ปรากฏในสเปกตรัมของตะกอนโครเมียมในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันหมู่แอลคิลไฮไลต์ในภาวะที่เป็นเบส ตามปฏิกิริยาที่ (4.9)

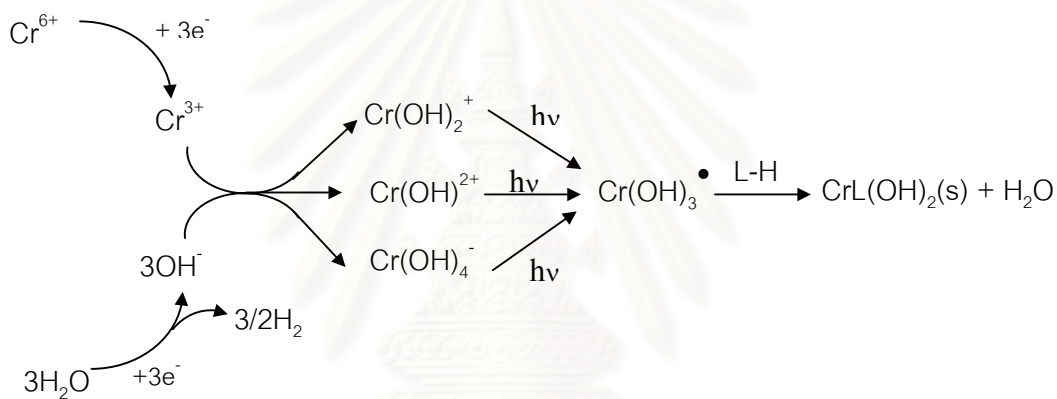


ส่วนหมู่ฟังก์ชันแอลคิลอีเธอร์ เนื่องจากแอลคิลไฮไลต์ในน้ำตัวอย่างก่อนบำบัดทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ไอออน (แอลกอฮอล์ในภาวะที่เป็นเบส) ซึ่งสารตั้งต้นทั้งสองไปสอดคล้องกับปฏิกิริยาของ Williamson ether synthesis (Marye, 1997) แสดงดังปฏิกิริยาที่ (4.10)



จากผลการทดลองและข้อมูลของ FTIR สเปกตรัม พบว่าในสารละลายที่ไม่มีลิแกนด์ของสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ โครงสร้างของโครเมียม (+3) ไอออนจะมีหลายรูปแบบ ได้แก่สารประกอบเชิงซ้อนของไฮดรอกไซด์ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$ และ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$

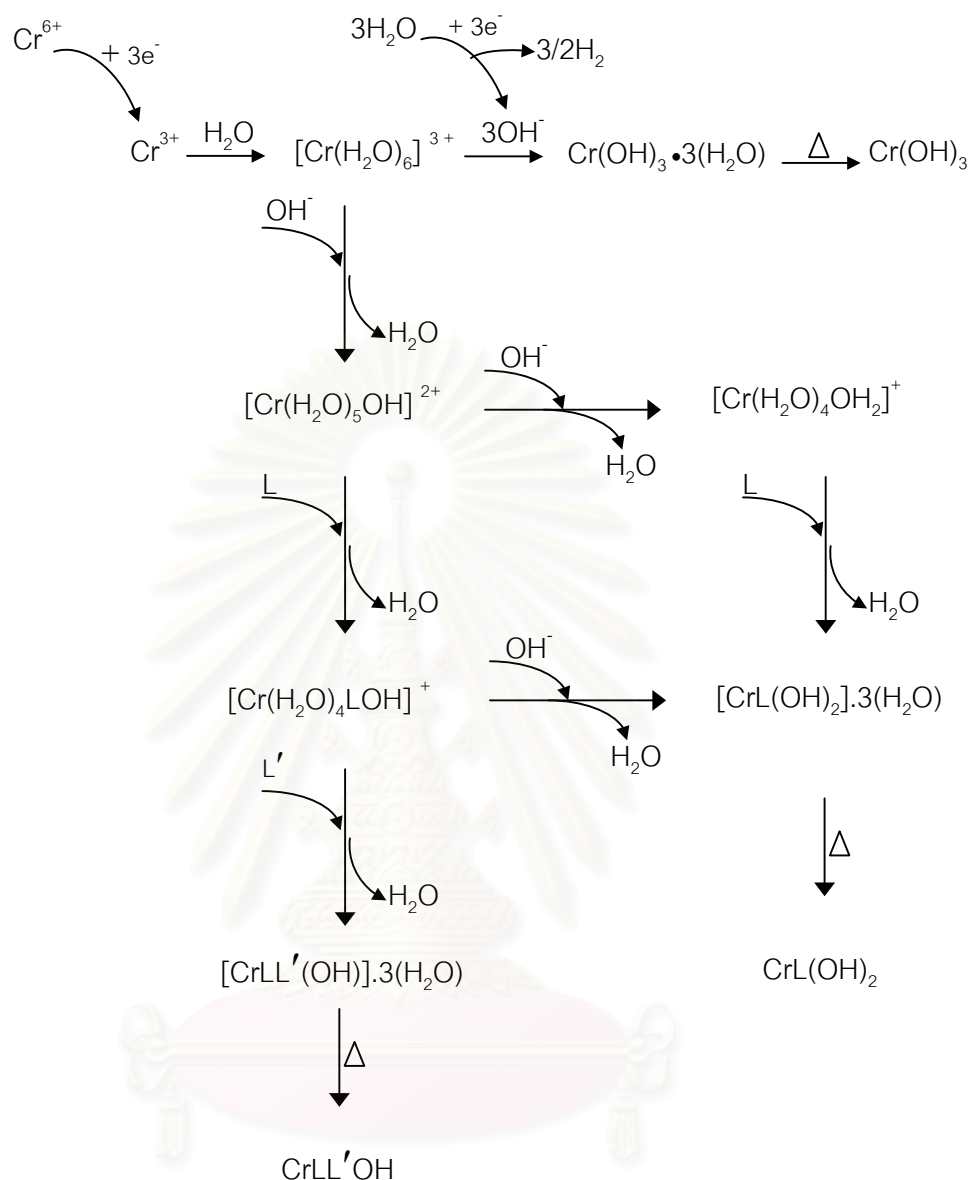
(Kiptoo, 2004) หรือไฮดรอกไซด์ของโครเมียม (Cr(OH)^{2+} , Cr(OH)_2^+ , Cr(OH)_3^\bullet และ Cr(OH)_4^-) (Rana, 2004) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด - เบสของสารละลาย แต่สุดท้ายโครเมียมไอออนรูปต่างๆ จะตกตะกอนในรูปของ Cr(OH)_3 ซึ่งการลดลงของโครเมียมเป็นไปตามปฏิกิริยาที่ 4.1 - 4.5 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจะประกอบด้วยสารอินทรีย์จำนวนมาก เช่น ไขมันและน้ำมัน ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นลิแกนด์รวมตัวกับโครเมียมไฮดรอกไซด์ในน้ำเสียได้ โดยตะกอนที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์ของโครเมียม - สารอินทรีย์ (Hydroxides of chromium -organic pollutant complex) และมีโครงสร้างหลายรูปแบบ เช่น $\text{CrL(OH)}_2 \cdot 3(\text{H}_2\text{O})$ และ $[\text{CrLL}'(\text{OH})] \cdot 3(\text{H}_2\text{O})$ สำหรับกลไกการลดลงของสารอินทรีย์สามารถเกิดขึ้นได้ 2 แบบ ดังรูปที่ 4.11(ก) และ 4.11(ข)



L-H = ลิแกนด์ของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

รูปที่ 4.11 (ก) กลไกการลดลงของสารอินทรีย์โดยอาศัยอนุพันธ์ของ Cr(OH)_3^\bullet

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



L, L' = L-H = ลิแกนด์ของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

รูปที่ 4.11 (ข) กลไกการลดลงของสารอินทรีย์โดยอาศัยโครงสร้างของ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$ และ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$

จากผลการวิจัยในการขจัดโลหะโครเมียมในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถขจัดโลหะโครเมียมออกจากน้ำตัวอย่างได้มากกว่าร้อยละ 98 และในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของโครเมียมน้อยกว่า 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง และนอกจากนี้สามารถลดปริมาณของสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 40 แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย พบว่าต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการนี้มีค่าสูงกว่า

ต้นทุนในการบำบัดของอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ในงานวิจัยต่อไปจึงศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้าวิธีอื่นต่อไป ซึ่งวิธีที่เลือกมาศึกษาได้แก่ กระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrocoagulation: EC)

4.3 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า

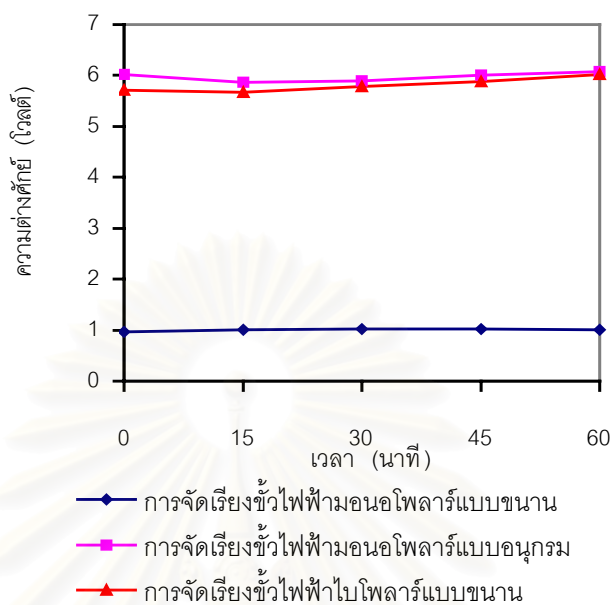
การลดปริมาณสารมลพิษออกจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้มีขนาดประมาณ $0.12 \times 0.21 \times 0.15$ ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าคือแผ่นเหล็ก จำนวน 6 แผ่น โดยแต่ละแผ่นมีพื้นที่ผิวประมาณ 0.0161 ตารางเมตร ที่ปลายขั้วไฟฟ้าจะต่อกับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง และมีปั๊มเพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำตัวอย่าง การทดลองแต่ละครั้งใช้น้ำตัวอย่างประมาณ 3 ลิตร ค่าความเป็นกรด - เบสประมาณ 7 - 9 การทดลองทำในระบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Galvanostatic mode) และวิเคราะห์หาปริมาณของสารมลพิษที่เหลืออยู่ในน้ำเสียตามวิธีมาตรฐาน

การทดลองเพื่อศึกษารูปแบบของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วยการจัดเรียงมอโนโพลาร์แบบอนุกรม แบบขนานและไบโพลาร์แบบอนุกรม โดยทดลองผ่านกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์หรือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ค่าความเป็นกรด - เบสเท่ากับ 7 เก็บสารละลายตัวอย่างทุกๆ 15 นาทีตามลำดับ นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดทำการวิเคราะห์หาปริมาณของสารมลพิษที่เหลืออยู่ในน้ำเสียตามวิธีมาตรฐาน

4.3.1 ผลของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้า

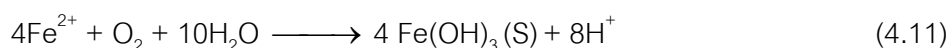
รูปแบบของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์จะพิจารณาจากการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าที่ใช้ศักย์ไฟฟ้าต่ำที่สุด เพราะการใช้ศักย์ไฟฟ้าที่มากแสดงถึงกำลังไฟฟ้าที่ต้องมากขึ้น และส่งผลต่อต้นทุนในการบำบัดที่สูงขึ้นรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาของการจัดเรียงขั้วไฟฟารูปแบบต่างๆ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 3.67 ลิตรต่อนาที ความเป็นกรด - เบสเท่ากับ 7 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ามอโนโพลาร์แบบขนานมีค่าต่ำกว่าการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ามอโนโพลาร์แบบอนุกรมและไบโพลาร์แบบขนานตามลำดับ เพราะว่าการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ามอโนโพลาร์แบบอนุกรมและไบโพลาร์แบบขนาน ทั้งคู่เป็นการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบอนุกรมทำให้ความต้านทานของระบบมีค่าสูงกว่าของระบบที่ต่อแบบขนาน ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านต้องใช้เวลาต่างศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าเพื่อให้กระแสไฟฟ้าของระบบเท่ากัน

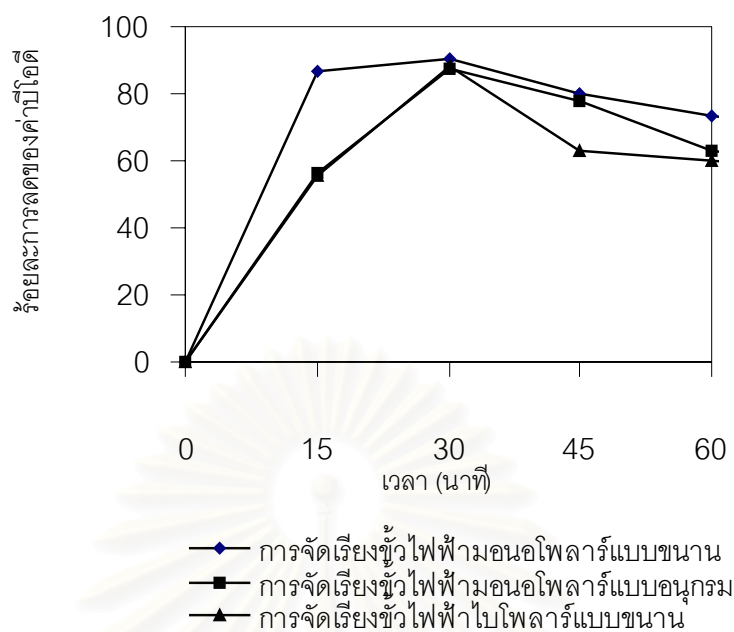
ดังนั้นการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ามอโนโพลาร์แบบขนานจะมีค่าเหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า



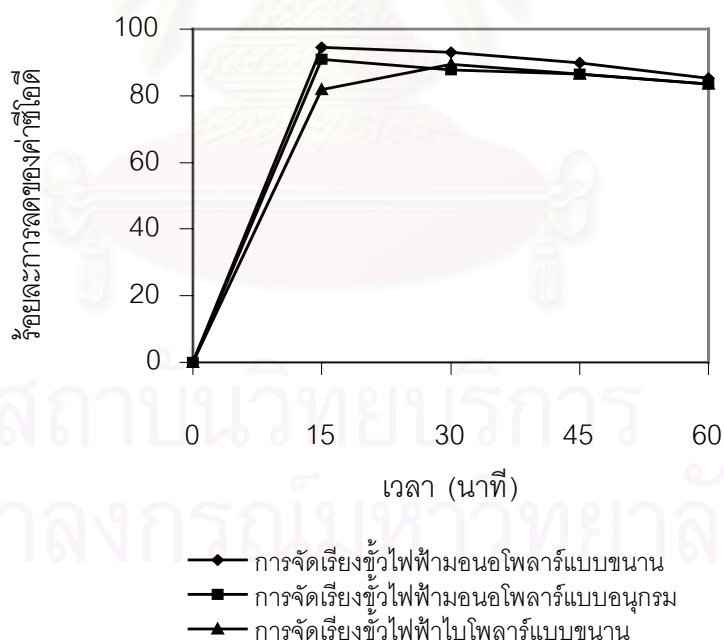
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

จากความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดของค่าบีโอดี (รูปที่ 4.13) และ ค่าซีโอดี (รูปที่ 4.14) ของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ามอโนโพลาร์แบบขนานจะให้ค่าร้อยละการขจัดของค่าบีโอดีและซีโอดีสูงกว่าการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ามอโนโพลาร์แบบอนุกรม และการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าไบโพลาร์แบบขนานตามลำดับ ร้อยละการขจัดของค่าบีโอดีและซีโอดีสูงสุดในช่วงเวลา 15 - 30 นาที เนื่องจากการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ามอโนโพลาร์แบบขนานมีระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทดน้อยกว่าจึงทำให้การถ่ายเทมวลสารของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนในระบบเกิดการรวมตัวเป็นสารสร้างตะกอนได้เร็วกว่า แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 30 นาที ร้อยละการขจัดของค่าบีโอดีและค่าซีโอดีทั้ง 3 รูปแบบมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณของเฟอร์รัสไอออนในระบบมีค่ามากเกินไป ซึ่งเฟอร์รัสไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำกลายเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ดังปฏิกิริยา (4.11) เมื่อปริมาณของออกซิเจนในน้ำลดลงจะมีผลต่อแบบที่เรียกว่าใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (กุลยา, 2541)

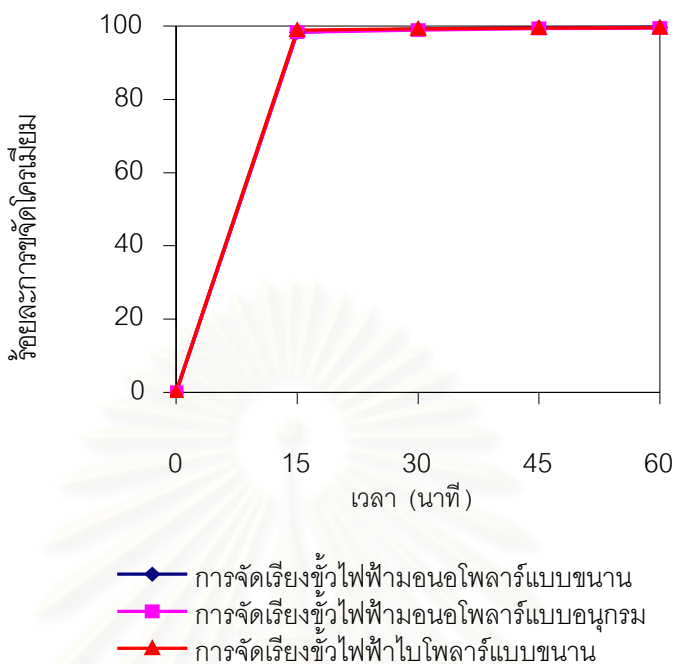




รูปที่ 4.13 ร้อยละการขจัดของค่าบีโอดีกับเวลาของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

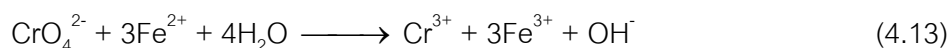


รูปที่ 4.14 ร้อยละการขจัดของค่าซีโอดีกับเวลาของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

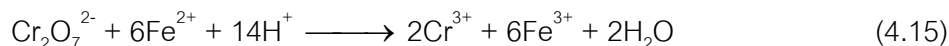
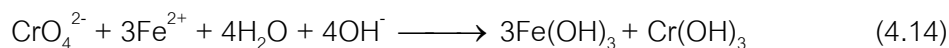


รูปที่ 4.15 ร้อยละการขจัดของโครเมียมกับเวลาของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

รูปที่ 4.15 แสดงการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 แบบสามารถขจัดโครเมียมได้มากกว่าร้อยละ 98 ภายในเวลา 15 นาทีและมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการลดลงของโครเมียมในน้ำเสียโดยกระบวนการรวมด้วยกระแสไฟฟ้าเฟอรัสไอออนที่เกิดขึ้นในสารละลายสามารถรีดิวซ์โครเมียม (6+) ให้กลายเป็นโครเมียม (3+) แล้วโครเมียมจะตกตะกอนในรูปของโครเมียมไฮดรอกไซด์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบ Co - precipitation ซึ่งมีกลไกแสดงตามปฏิกิริยา (4.12) - (4.16) ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด (Mollah, 2001)



หรือ



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด



4.3.2 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อการลดของสารมลพิษ

การทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการขจัดโครเมียมและสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยทำการทดลองผ่านกระแสไฟฟ้าในช่วง 0.7 - 1.1 แอมแปร์หรือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 14 - 23 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เป็นเวลา 25 นาที ค่าความเป็นกรด-เบส เริ่มต้น 7 - 9 และอัตราการไหลของสารละลาย 0 - 3.67 ลิตรต่อนาที เก็บสารละลายตัวอย่างทุกๆ 5 นาที นำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณของโครเมียมที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์และสารมลพิษอื่นๆ ตามมาตรฐานของการวิเคราะห์น้ำเสีย

รูปที่ 4.16 แสดงร้อยละการลดของของค่าบีโอดี (ก) ค่าซีโอดี (ข) โครเมียม (ค) สารแขวนลอย (ง) ไขมันกับน้ำมัน (จ) สี (ฉ) และของแข็งที่ละลายน้ำ (ช) ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ พบว่าร้อยละการลดของสารมลพิษจะเป็นฟังก์ชันกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง โดยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะให้ค่าร้อยละการขจัดของสารมลพิษสูงกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ

สำหรับร้อยละการลดของค่าบีโอดีและซีโอดี ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตรจะมีค่าสูงสุด ซึ่งสามารถลดของค่าบีโอดีและซีโอดีได้ประมาณร้อยละ 95 และความเข้มข้นหลังจากการบำบัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

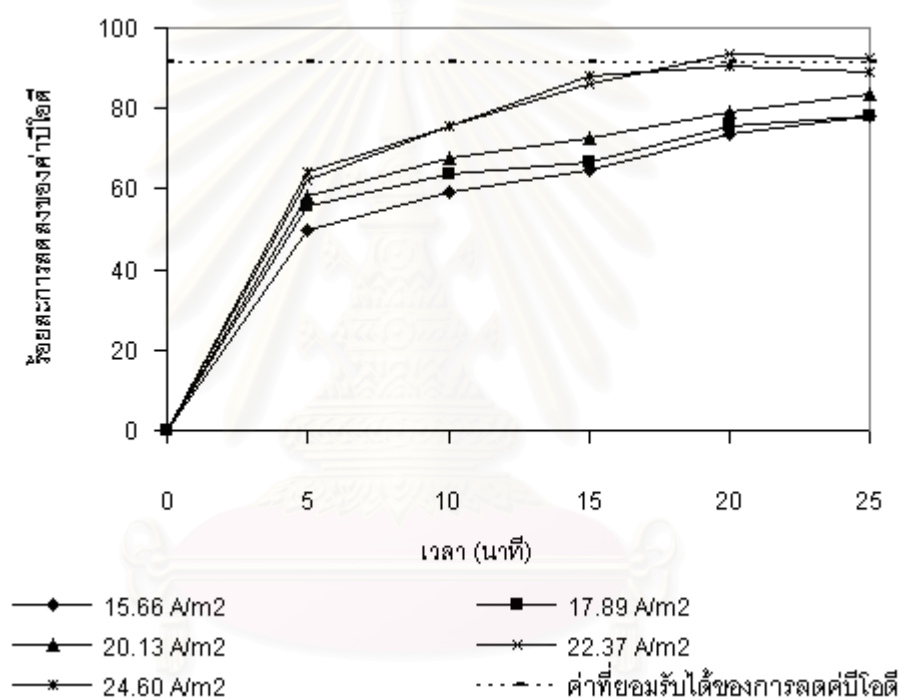
สำหรับร้อยละการขจัดของโครเมียม ที่ทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและเวลาเท่ากับ 25 นาที ซึ่งสามารถขจัดโครเมียมได้มากกว่าร้อยละ 90

สำหรับร้อยละการลดของสารแขวนลอย และการลดไขมันกับน้ำมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถลดสารแขวนลอยและไขมันกับน้ำมันได้มากกว่าร้อยละ 85 และ 90 ตามลำดับ และความเข้มข้นหลังการบำบัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งทุกภาวะ

สำหรับร้อยละการลดของสี จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ที่ทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและเวลาเท่ากับ 20 นาที ซึ่งสามารถลดสีได้มากกว่าร้อยละ 80

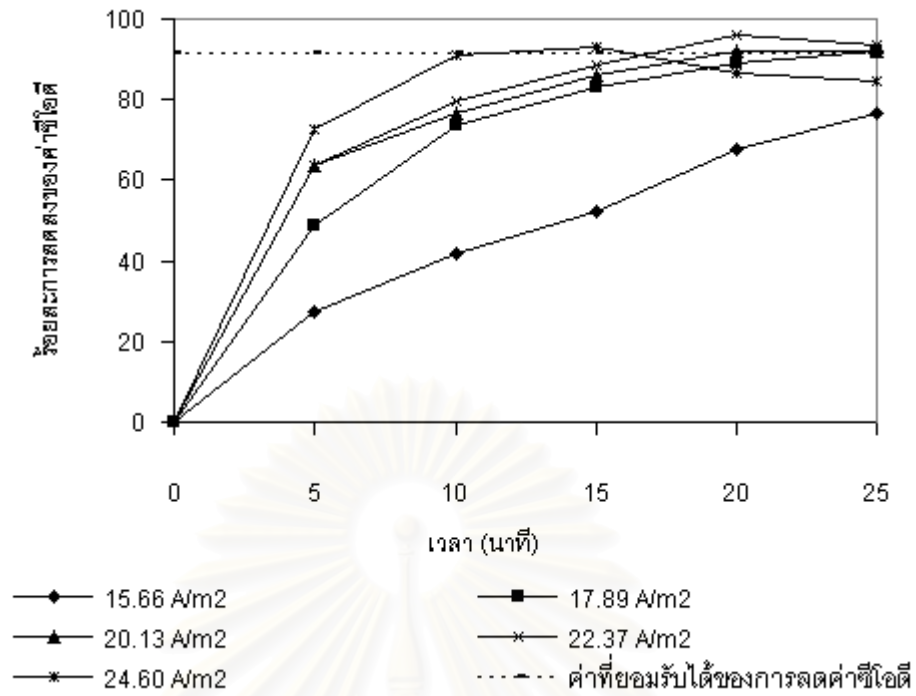
สำหรับร้อยละการขจัดของแข็งที่ละลายน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถขจัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 40 แต่ความเข้มข้นหลังการบำบัดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งทุกภาวะ

จากผลการทดลอง พบว่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จะมีค่าเหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ในการขจัดสารมลพิษด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า

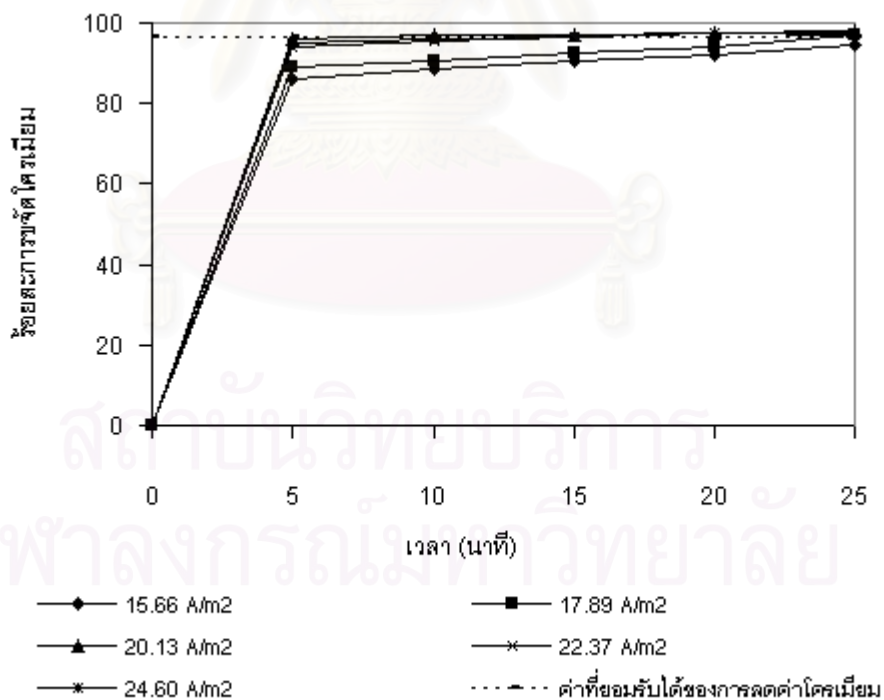


(ก) ร้อยละการลดสีที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ

รูปที่ 4.16 ร้อยละการขจัดของสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ

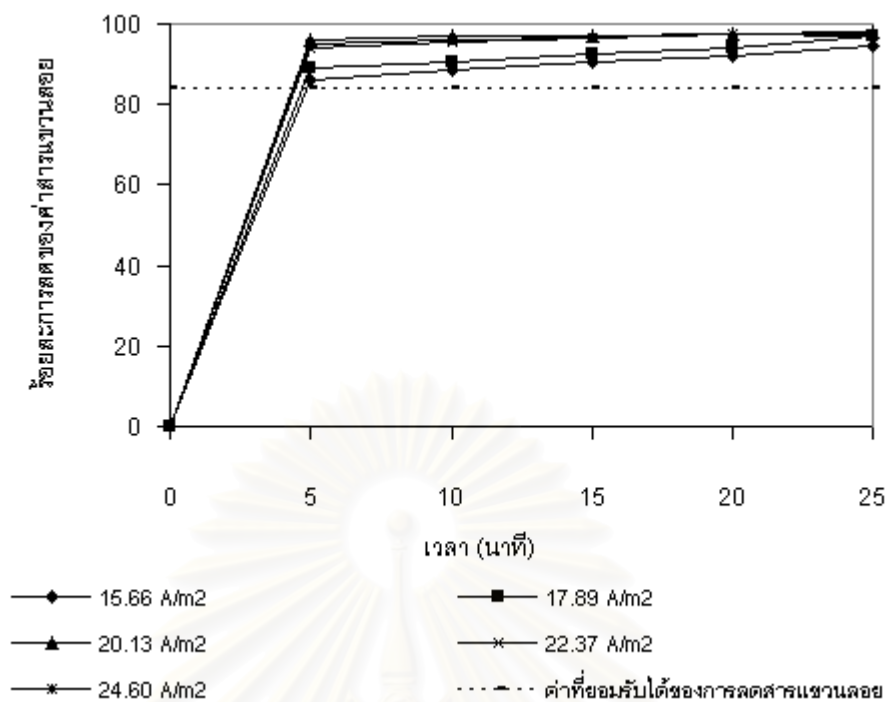


(ข) ร้อยละการลดซีไอดีที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ

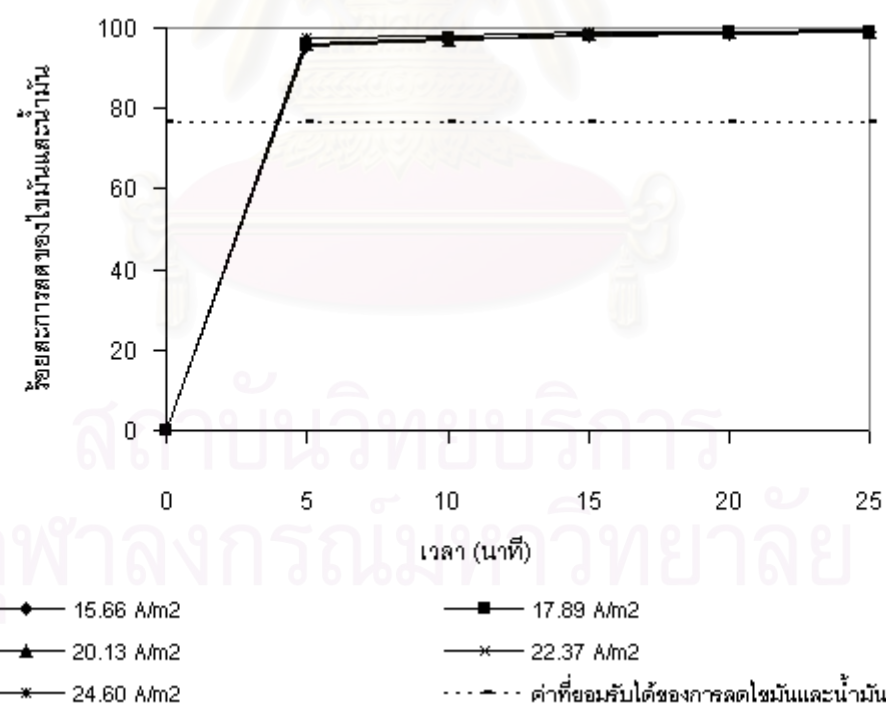


(ค) ร้อยละการกำจัดของโคโรเมียมที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ

รูปที่ 4.16 ร้อยละการกำจัดของสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ (ต่อ)

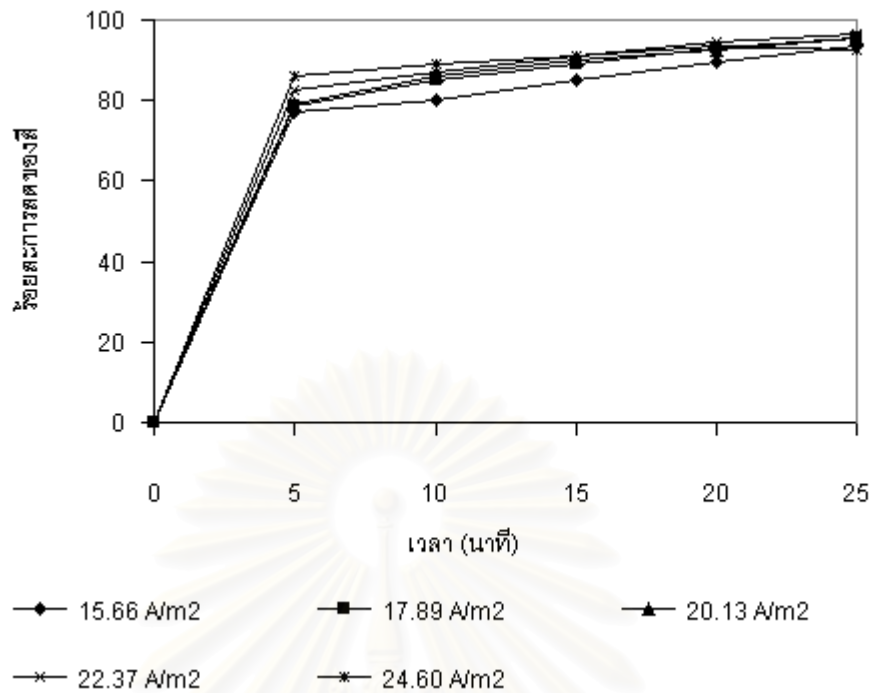


(ง) ร้อยละการลดของสาหร่ายเขว่นลอยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ

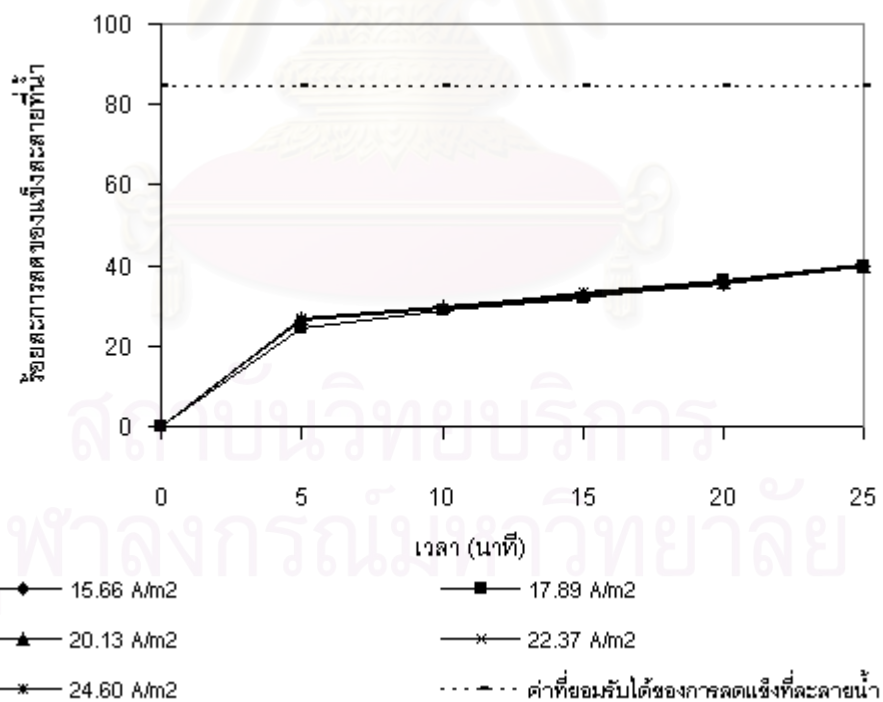


(จ) ร้อยละการขจัดของไขมันและน้ำมันที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ

รูปที่ 4.16 ร้อยละการขจัดของสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ (ต่อ)



(จ) ร้อยละการลดของซีที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ



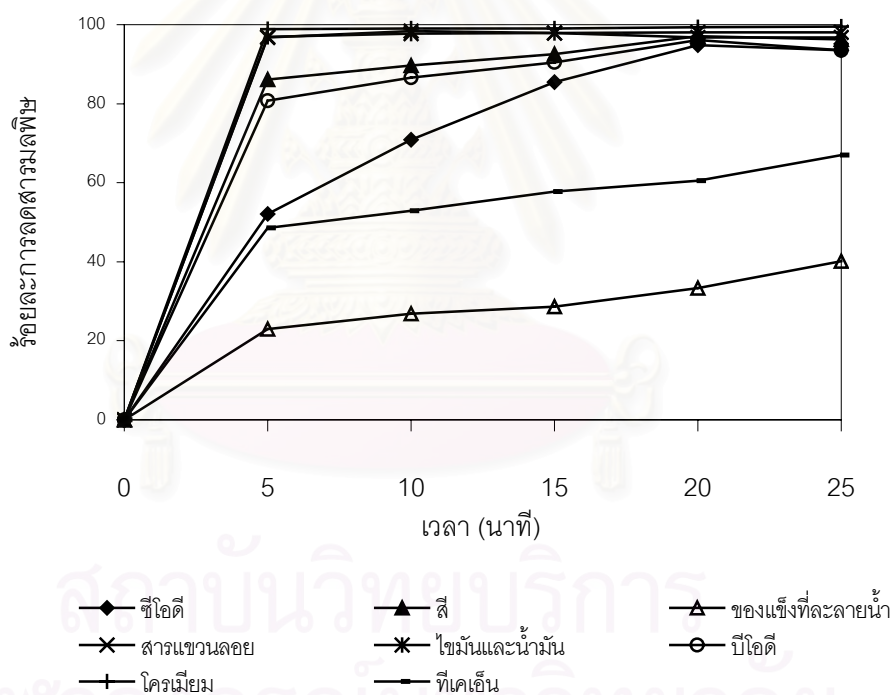
(ข) ร้อยละการลดของแรงที่ละลายน้ำที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ

รูปที่ 4.16 ร้อยละการขจัดของสารมลพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ (ต่อ)

4.3.3 ผลของเวลาต่อการลดของสารมลพิษ

รูปที่ 4.17 ร้อยละการขจัดสารมลพิษกับเวลา ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าร้อยละการขจัดสารมลพิษจะเป็นฟังก์ชันกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง การขจัดโครเมียม ไซมันกับน้ำมัน และสารแขวนลอยจะถูกขจัดได้มากกว่าร้อยละ 90 ที่เวลามากกว่าหรือเท่ากับ 5 นาที สีจะลดลงมากกว่าร้อยละ 95 ที่เวลามากกว่าหรือเท่ากับ 20 นาที สำหรับร้อยละการขจัดของค่าบีโอดีและซีโอดีจะมีค่าสูงสุดที่เวลา 20 นาที ซึ่งลดลงมากกว่าร้อยละ 95 สำหรับค่าทีเคเอ็นจะถูกขจัดได้มากกว่าร้อยละ 60 เมื่อเวลาเท่ากับ 25 นาทีแต่ความเข้มข้นหลังการบำบัดของค่าเคทีเอ็นทุกภาวะจะมีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

จากการทดลองพบว่าที่เวลาเท่ากับ 20 นาทีของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษหลังการบำบัดทั้งระบบมีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ยกเว้นของแข็งที่ละลายน้ำ



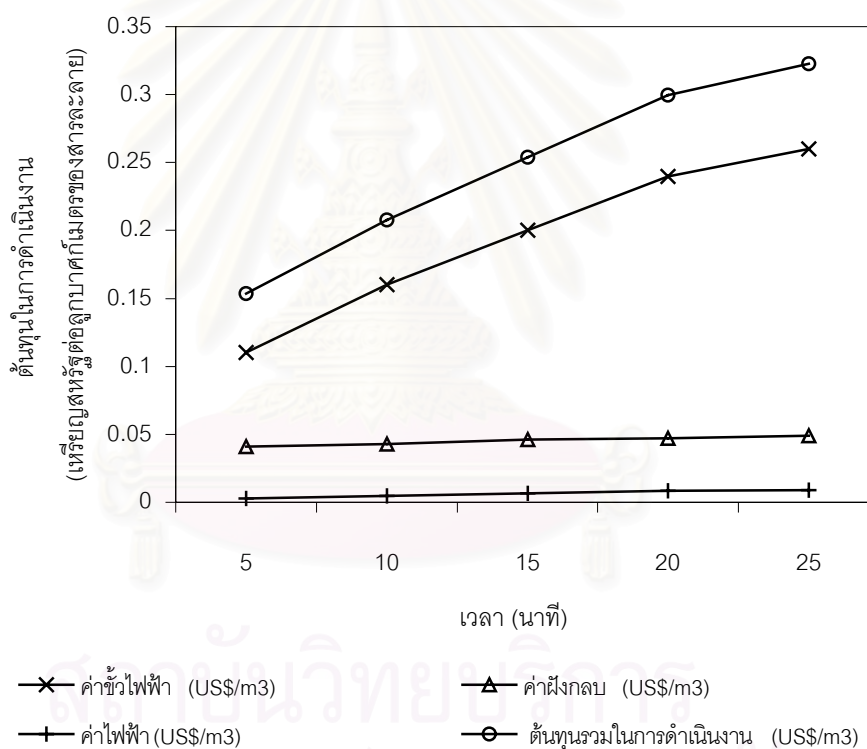
รูปที่ 4.17 ร้อยละการลดสารมลพิษกับเวลา ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และเวลาเท่ากับ 20 นาที

4.3.4 ต้นทุนในการดำเนินงาน

ต้นทุนในการดำเนินการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า จะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่เกิดเนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้า ค่าฝังกลบตะกอน และค่าขั้วไฟฟ้า

รูปที่ 4.17 ซึ่งแสดงภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสีย จากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร อัตราการไหลของน้ำตัวอย่างเท่ากับ 3.67 ลิตรต่อ นาที และเวลาเท่ากับ 20 นาที พบว่าที่ภาวะดังกล่าวต้องการกำลังไฟฟ้าเพียง 0.14 kWh/m³ และมีต้นทุนในการทำงานที่ต่ำที่สุดประมาณ 0.30 เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำตัวอย่างแสดง ดังรูปที่ 4.18

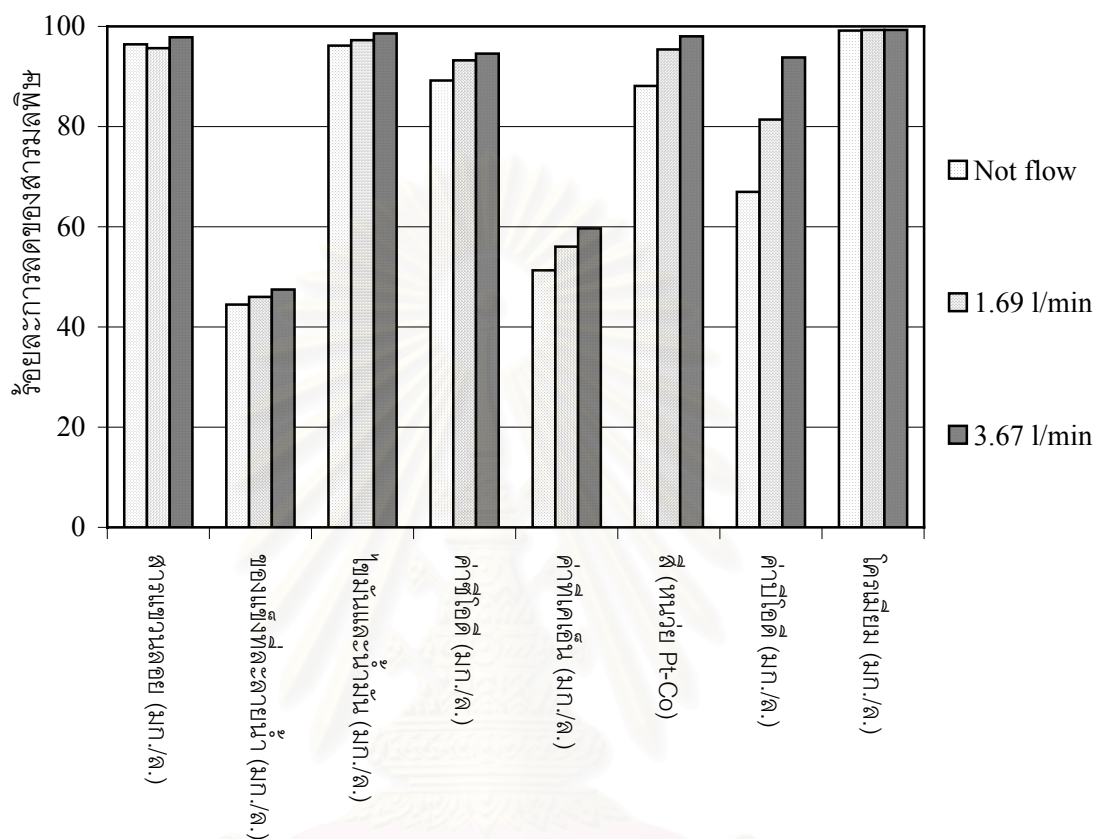


รูปที่ 4.18 ต้นทุนในการดำเนินงานกับเวลาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

4.3.5 ผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อการลดลงของสารมลพิษ

รูปที่ 4.19 ร้อยละการลดลงของสารมลพิษกับอัตราการไหลของสารตัวอย่างที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 0, 1.69 และ 3.67 ลิตรต่อ นาที ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตรและเวลา 20 นาที ซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ พบว่าร้อยละการลดลง

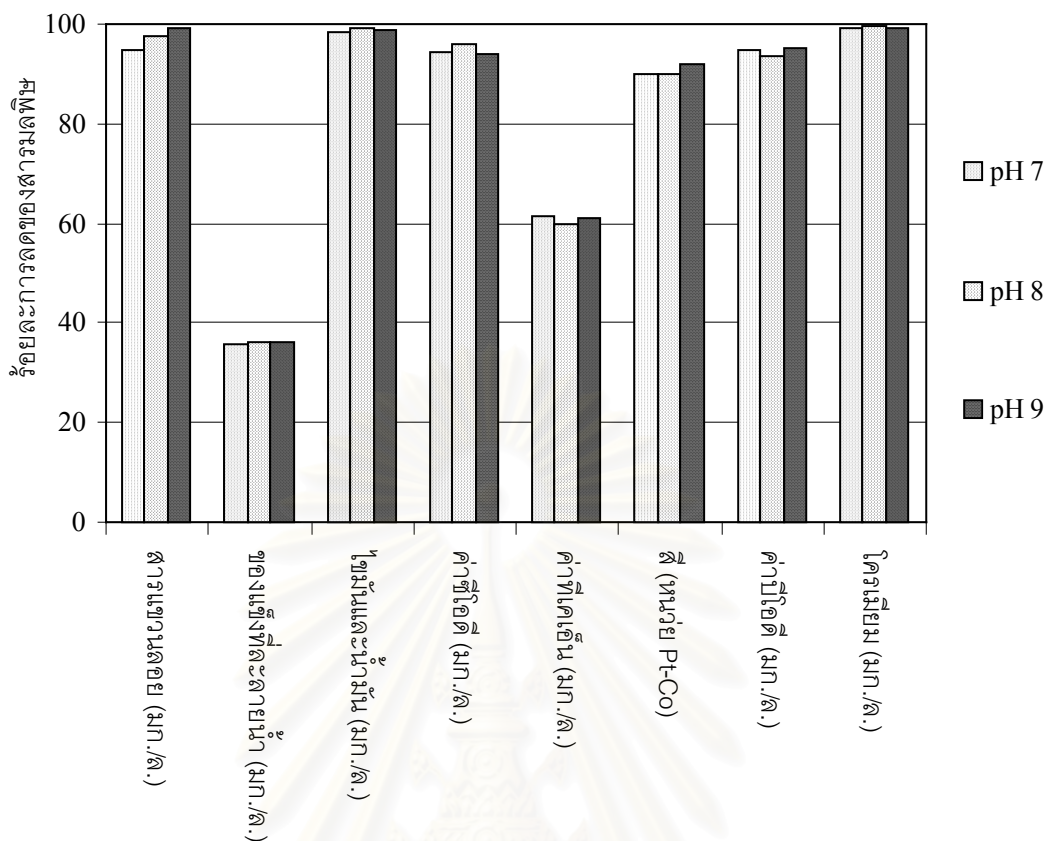
ของสารมลพิษเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของสารตัวอย่างในระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลที่สูงจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารของระบบสูงขึ้น ทำให้สารมลพิษรวมตัวกับสารสร้างตะกอนได้มากขึ้น



รูปที่ 4.19 ร้อยละการลดลงของสารมลพิษกับเวลาที่อัตราการไหลของสารตัวอย่างต่างๆ ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และเวลา 20 นาที

4.3.6 ผลของความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นของสารละลาย

รูปที่ 4.20 ร้อยละการลดลงของสารมลพิษกับเวลาที่ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้น 7 - 9 ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตรและเวลา 20 นาที พบว่าเมื่อความเป็นกรด-เบสในระบบเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อร้อยละการลดลงของสารมลพิษน้อย เนื่องจากความเป็นกรด-เบส ในช่วง 7 - 9 โครงสร้างของ Fe^{2+} ที่เกิดขึ้นในระบบจะกลายเป็นไอออนของมอนอเมอร์ ได้แก่ $Fe(OH)_3$ และ Polyhydroxyl iron (III) complexes ได้แก่ $Fe(OH)_2^+$, $Fe(OH)_2^+$, $Fe(H_2O)_5OH^{2+}$ และ $Fe(H_2O)_4(OH)_2^+$ ซึ่งไอออนเหล่านี้จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของสารมลพิษในน้ำเป็นก้อนจมน้ำขนาดใหญ่ขึ้นและแขวนลอยอยู่ในน้ำ (Chen, 2004 และ Mollah, 2004)



รูปที่ 4.20 ร้อยละการลดลงของสารมลพิษกับเวลาที่ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 7 - 9 ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตรและเวลา 20 นาที

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์หลังจากการบำบัดที่เวลาต่างๆ พบว่ากระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการลดสมบัติอื่นๆ ในน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียมีสมบัติที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ซึ่งยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานประมาณ 5 เท่า สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะต้องทำการบำบัดด้วยกระบวนการต่อเนื่อง เช่น บึงประดิษฐ์ หรือ Electrodialysis อย่างไรก็ตามสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ยังไม่ได้รับรองมาตรฐานคุณภาพของสิ่งแวดล้อม (ISO 14000) ปริมาณความเข้มข้นของแข็งที่ละลายน้ำในระดับนี้สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้

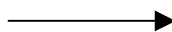
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังก่อนบำบัดและหลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า

รายการ	มาตรฐาน ของประเทศ ไทย	น้ำก่อน บำบัด	หลังการบำบัดด้วย				
			ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร 5(นาทื) 10(นาทื) 15(นาทื) 20(นาทื) 25(นาทื)				
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 150	848	40	32	24	20	30
ของแข็งที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\leq 3,000$	19644	15140	14352	14000	13092	14725
ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 150	774	42	30	20	8	6
ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 400	6758.4	3238.4	19172.3	985.6	352	376.6
ค่าทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 100	157.76	78.72	71.42	64.12	59.92	56.84
ค่าบีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 60	780	150	105	75	30	60
สี (หน่วยของ Pt-Co)	ไม่ได้ กำหนด	5766.6	800	600	433.33	166.67	156.67
โครเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	≤ 5	12.59	0.137	0.123	0.113	0.090	0.079
ความเป็นกรด -เบส	7-9	8	8.40	8.56	8.59	8.50	8.25

รูปที่ 4.21 แสดงตัวอย่างน้ำเสียก่อนหลังและการบำบัด พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดใสไม่มีสี ไม่เป็นที่รังเกียจ นอกจากนี้กลิ่นเหม็นของน้ำเสียก็ลดลงด้วยเช่นกัน



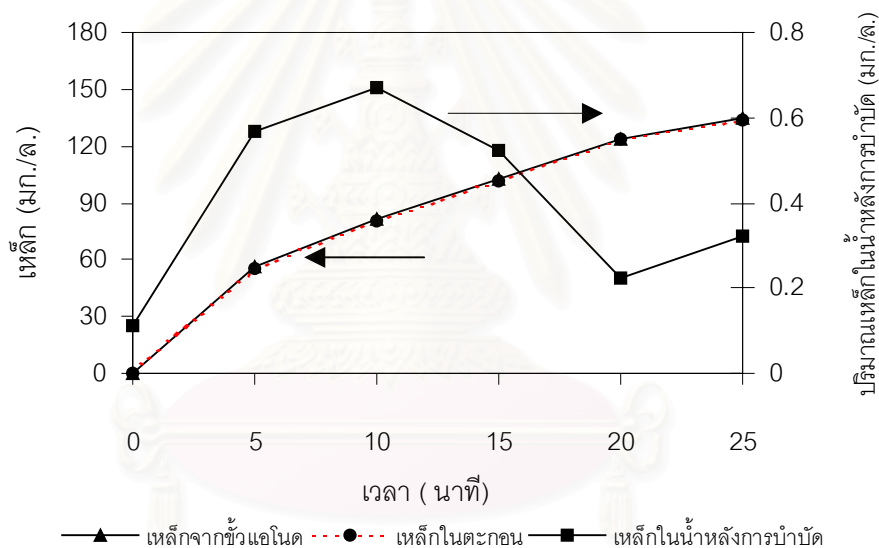
ก่อนการบำบัด



หลังการบำบัด

รูปที่ 4.21 สีของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 4.22 แสดงปริมาณของเหล็กที่เกิดจากขั้วแอโนดและปริมาณของเหล็กในน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าปริมาณของเหล็กที่อยู่ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ภาวะเหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้เหลือเพียง 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของเหล็กในระดับนี้สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ยังไม่ได้กำหนดระดับความเข้มข้นของเหล็กในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม นอกจากนี้ถ้าเปรียบเทียบความเป็นพิษและอันตรายกับโลหะชนิดอื่น เช่น โครเมียม ซึ่งโครเมียมจะเป็นพิษและอันตรายมากกว่าเหล็ก และเกณฑ์มาตรฐานของโครเมียมในน้ำทิ้งเท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นปริมาณของเหล็กที่เหลือในน้ำทิ้งหลังจากการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า จะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

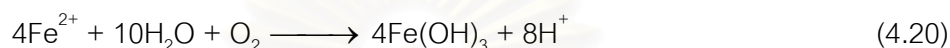


รูปที่ 4.22 ปริมาณของเหล็กที่เกิดจากขั้วแอโนดและปริมาณของเหล็กในน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

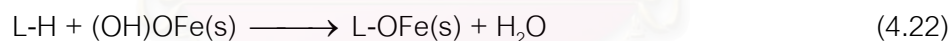
4.3.7 กลไกของกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า

ปฏิกิริยาของกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ขั้วแอโนดซึ่งเป็นขั้วเหล็กถูกออกซิไดส์กลายเป็น Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} ในสารละลาย ดังปฏิกิริยาที่ (4.17) และ (4.18) และตกตะกอนออกมาในรูปของ $(Fe(OH)_n)$ เมื่อ $n = 2$ หรือ 3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงปฏิกิริยาที่ (4.19 - 4.20) (Daneshvar, 2003) และที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ดังปฏิกิริยาที่ (4.16)

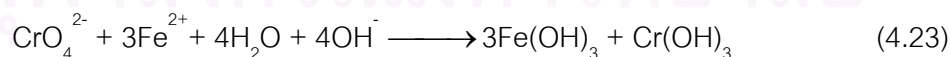
ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด



สำหรับกลไกของกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ดังนี้ สารอินทรีย์ (L - H) จะเกิดการรวมตัวกับสารประกอบของ Polyhydroxyl iron (III) complexes โดยส่วนใหญ่ จะมีโครงสร้างเป็น (OH)OFe (Hydrous iron) ซึ่งจะไปทำลายความเสถียรของสารมลพิษในน้ำเสียด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic) หรือกระบวนการ Surface complexation ดังปฏิกิริยา (4.22) เกิดเป็นตะกอนของสารประกอบเหล็กออกไซด์-สารอินทรีย์ (Iron hydroxide-organic complex) (Daneshvar, 2003)



สำหรับโครเมียม (+6) ในน้ำเสียจะถูกรีดิวซ์โดยเฟอร์รัสไอออนกลายเป็นโครเมียม (+3) และตกตะกอนในรูปของโครเมียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นการตกตะกอนแบบ Co-precipitation ดังปฏิกิริยา (4.23)



ตารางที่ 4.4 ต้นทุนในการดำเนินการดำเนินงานวิจัยเปรียบเทียบกับโรงงานสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

ตัวแปร	กระบวนการบำบัด	ต้นทุนในการดำเนินงาน (เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำตัวอย่าง)
งานวิจัยนี้	Electroprecipitation	0.86
	Electrocoagulation	0.30
โรงงาน	Activated sludge	> 0.32-0.39*

*ยังไม่คิดค่าฝังกลบ

ตารางที่ 4.4 แสดงต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียของงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมฟอกหนัง พบว่าต้นทุนในการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้ามีค่าประมาณ 0.30 เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำตัวอย่าง ซึ่งมีแนวโน้มที่ต่ำกว่าการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าซึ่งมีค่าต้นทุนประมาณ 0.80 เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำตัวอย่าง และกระบวนการตกตะกอนเร่งของโรงงาน

4.4 เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง พบว่าของกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงกว่าและสามารถลดสารมลพิษในน้ำเสียได้หลายค่า และสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 90 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ เช่น การบำบัดน้ำเสียด้วยสารเคมีซึ่งสามารถลดค่าบีโอดีและค่าซีโอดีได้ประมาณร้อยละ 40 และ 50 ตามลำดับ นอกจากนี้การเติมสารเคมีเข้าไปในระบบจะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 12 แต่กระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าสามารถลดปริมาณของสารของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 50 สำหรับการออกซิเดชันโดยโอโซน ซึ่งสามารถลดค่าบีโอดีและค่าซีโอดีได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังมีค่าที่ต่ำกว่ากระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า และขั้นตอนในการเตรียมจะมีความยุ่งยากและปริมาณที่เตรียมได้ไม่เพียงพอต่อปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น

ดังนั้นกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่น่าจะนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์สูง ต้นทุนในดำเนินงานต่ำและเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยาก

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

ผู้วิจัย (ปี)	กระบวนการ บำบัด	ซีไอดี		บีไอดี		โครเมียม		ทีเอสเอส		ทีเคเอ็น		ทีดีเอส		ไขมัน	
		ก	ข	ก	ข	ก	ข	ก	ข	ก	ข	ก	ข	ก	ข
Di laconi et.al (2002)	Biological	3790	92.56	-	-	-	-	2200	99.0	294	91.16	-	-	-	-
Ram et. al (1999)	Chemical	3714	57.75	1126	42.36	8.3	57.83	1147	25.39	-	-	11737	-12.15	-	-
Balakrismsn et. al (2002)	Ozone	737	81.0	60.0	59.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maruganuthan et. al (2004)	Electroflotation	3092	52.0	1750	53.03	2.50	99.2	3036	91.50	-	-	-	-	-	-
งานวิจัยนี้ (2005)	Elcetrocoagulation	6758	94.79	780	96.15	12.59	9.85	848	96.46	158	62.02	19644	50.05	774	98.97
	Electroprecipitation	17600	82.0	3540	74.58	19.5	98.46	8200	59.75	196	60.56	18680	61.19	680	85.69

หมายเหตุ *ก คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำเสียก่อนการบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ข คือ ร้อยละการลดของสารมลพิษหลังการบำบัด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่ากระบวนการนี้มีประสิทธิภาพขจัดโครเมียมและสารมลพิษอื่นๆ ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการนี้ คือ ความหนาแน่นไฟฟ้าประมาณ 69.8 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นเท่ากับ 4.5 อัตราการไหลของน้ำเสีย 4.5 ลิตรต่อนาที ซึ่งสามารถขจัดโครเมียมได้มากกว่าร้อยละ 98 เมื่อเวลามากกว่า 60 นาที และมีต้นทุนในการดำเนินงานประมาณ 0.86 เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรน้ำอย่าง ซึ่งสามารถขจัดโครเมียมได้มากกว่า 19.0 มิลลิกรัม และมีปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำทิ้งหลังการบำบัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ยังสามารถขจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 40 ซึ่งสารอินทรีย์จะลดลงในรูปของ Chromium – organic compound และอัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่มขึ้น จะให้ร้อยละการลดลงของโครเมียมและสารมลพิษอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น

ส่วนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วยกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้เหล็กเป็นขั้วแอโนดและแคโทดจำนวน 6 แผ่น ภาวะที่เหมาะสมคือ การจัดเรียงขั้วไฟฟ้ามอโนโพลาร์แบบขนาน ความหนาแน่นไฟฟ้าประมาณ 20.67 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นประมาณ 7 - 9 อัตราการไหลของน้ำเสีย 3.67 ลิตรต่อนาทีและเวลาในการทำงาน 20 นาที ซึ่งสามารถขจัดสารมลพิษได้มากกว่าร้อยละ 90 ยกเว้นค่าที่เคเอ็นและของแข็งที่ละลายน้ำ ซึ่งสามารถขจัดได้ร้อยละ 60 และ 33 ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำเสียจะต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยที่กำหนดไว้ยกเว้นของแข็งที่ละลายน้ำและค่าต้นทุนในการดำเนินประมาณ 0.30 เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรน้ำตัวอย่าง และค่าความเป็นกรด - เบสเริ่มต้นในช่วง 7 - 9 จะส่งผลต่อร้อยละการลดลงของสารมลพิษน้อย ที่ภาวะสมดุล แสดงว่าการทำงานที่ความเป็นกรด - เบสระหว่าง 7 - 9 สามารถนำไปใช้กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังได้ เนื่องจากความเป็นกรด - เบสของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังอยู่ในช่วงดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

- ทำการบำบัดต่อเนื่องเพื่อลดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยการนำน้ำเข้าสู่กระบวนการต่อเนื่อง เช่น บึงประดิษฐ์ (ภาคผนวก ๑) เป็นต้น

- ทำศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังกระบวนการรวมตัวด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการพัฒนาและขยายขนาด และนำไปประยุกต์ใช้จริงกับอุตสาหกรรมฟอกหนัง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

เอกสารภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. บึงประดิษฐ์. (ออนไลน์). แหล่งที่มา:

<http://pcdv1.pcd.go.th/WaterQuality/WasteWT/ConstructedWetland.htm>.

กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. 2541. ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 1
กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กุลยา ใตตากะ. 2541. เคมีสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

เกียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. การจัดการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการ
พิมพ์.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. “การนำกลับโครเมียมในน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง.” เอกสารในการสัมมนาเรื่อง
ศักยภาพของการแปรรูปใช้ใหม่ของของเสียบางชนิดในประเทศไทย เสนอที่โรงแรมมิราเคิล
แกรนด์ กรุงเทพมหานคร 8 สิงหาคม 2545. (เอกสารไม่ตีพิมพ์เผยแพร่)

แนนน้อย วิจิตรจรรยากุล. 2543. การบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนัง
โดยวิธีตกตะกอนและออกซิเดชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2535. การนำกลับโครเมียมจากน้ำเสีย
อุตสาหกรรมฟอกหนัง. รายงานวิจัยโครงการย่อย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

เอกสารภาษาอังกฤษ

Ahn D.H., Chung Y.C., Yoo Y.J., Pak D.W. and Chang W.S. 1996. Improved treatment of
tannery wastewater using Zoogloea ramigera and its extracellular polymer in an
activated sludge process. Biotechnology Letters 18, 8: 917 - 922.

Balakrishman P.A., Arunagiri A. and Rao P.G. 1999. Ozone generation by silent electric
discharge and its application in tertiary treatment of tannery effluent. Journal of
Electrostatics 56: 77 - 86.

- Bard A.J. and Faulkner L.R. 2001. Electrochemical Methods: Fundamental and Application 2nd edition (n.p.): John Wiley & Sons.
- Bosnic M., Buljan J. and Daniels R.P. 2000. Pollutants in tannery effluents. UNIDO: 3 - 12.
- Chen G. 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology 38: 11 - 44.
- Chen X., Chen G. and Yue P.L. 2000. Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. Separation and Purification Technology 19, 1 - 2: 65 - 76.
- Clescerl L.S., Greenberg A.E. and Eaton A. 1998. Standard methods for examination of water and wastewater 20th edition. Washington D.C.: American Public Health Assoc.
- Daneshvar N., Ashassi-Sorkhabi H. and Tizpar A. 2003. Decolorization of orange II by electrocoagulation method. Separation and Purification Technology 31: 153 – 162.
- Di Iaconi C., Lopez A., Ramadori R., Di Pinto A.C. and Passino R. 2002. Combined chemical and biological degradation of tannery wastewater by eriodic submerged filter (SBBR). Water Research 36: 2205 - 2214.
- Farabegoli G., Carucci A., Majone M. and Rolle E. 2004. Biological treatment of tannery wastewater in the presence of chromium. Journal of Environmental Management 71, 4: 345 - 349.
- Hunsom M. 2001. Recovery of copper, chromium and nickel from electroplating effluent by electrochemical technique. A Dissertation of Doctor of Philosophy in Chemical Technology, Department of chemical technology, Faculty of Science, Chulalongkorn university, Bangkok, Thailand.
- Hunsom M., Pruksathorn K., Damronglerd S., Vergnes H. and Duverneuil P. 2005. Electrochemical treatment of heavy metals (Cu^{2+} , Cr^{6+} , Ni^{2+}) from industrial effluent and modeling of copper reduction. Water Research 39: 610 - 616.

- Israilides C.J., Vlyssides A.G., Mourafeti V.N. and Karvouni G. 1997. Olive oil wastewater treatment with the use of an electrolysis system. Bioresource Technology 61: 163 - 170.
- Kiptoo J.K., Ngila J.C. and Sawula G.M. 2004. Speciation studies of nickel and chromium in wastewater from an electroplating plant. Talanta 64: 54 - 59
- Koby M., Can O.T. and Bayramoglu M. 2003. Treatment of textile wastewater by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Materials B100: 189 - 199.
- Laure O., Vorobiev E., Vu C. and Durand B. 2003. Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. Separation and Purification Technology 31: 177 - 192.
- Marye A.F. and James K.W. 1997. Organic Chemistry 2nd Edition, Jones and Bartlett.
- Mollah M.Y.A., Morkovsky P., Gomes J.A.G., Kesmez M., Parga J. and Cocke D.L. 2004. Fundamentals, present and future perspective of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials B114, 1 - 3: 189 - 199.
- Mollah M.Y.A., Schennach R., Parga J. R. and Cocke D. L. 2001. Electrocoagulation (EC) - science and applications. Journal of Hazardous Materials B84: 29 - 41.
- Muruganathan M., Bhaskar R.G. and Prabhakar S. 2004. Separation of pollutants from tannery effluents by electro flotation. Separation and Purification Technology 40, 1: 69 - 75.
- Muruganathan M., Bhaskar R.G. and Prabhakar S. 2004. Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation. Journal of Hazardous Materials B109: 34 - 44.
- Naumczyk J., Szpyrkowicz L., De Faveri R. and Zillio Grandi F. 1996. Electrochemical treatment of tannery wastewater containing high strength pollutants. Transaction of the Institution of Chemical Engineers 74, Part B: 59 - 67.

- Panswad T., Chavalparit O., Chandung C. and Anotai J. 2001. Economic considerations of chromium recovery from tanning wastewater. Waste Management & Research 19, 450 - 455.
- Prentice G. 1991. Electrochemical Engineering Principles (n.p.): Prentice – Hall.
- Rajalo G. and Petrovskaya T. 1996. Selective electrochemical oxidation sulphides of tannery wastewater. Environmental Technology 17: 605 - 612.
- Ram B., Bajpai P.K. and Parwana H.K. 1999. Kinetics of chrome-tannery effluent treatment by the activated-sludge system. Process Biochemistry 35: 255 - 265.
- Rana P., Mohan N. and Rajagopal C. 2004. Electrochemical removal of chromium from wastewater by using carbon aerogel electrodes. Water Research 38: 2811 - 2820.
- Roberts E.P.L., Hao Yu E. and Eager S. 2001. Electrochemical Treatment of Effluents Containing Heavy Metals Using a Carbon Felts Porous Electrode. Proceedings of the 6th World Congress of Chemical Engineering Melbourne, Australia.
- Schrank S.G., José H.J., Moreira R.F.P.M. and Schröder H.Fr. 2003. Elucidation of the behavior of tannery wastewater under advanced oxidation conditions. Chemosphere 50, 5: 411 - 423.
- Song Z., Williams C.J. and Edyvean R.G.J. 2000. Sedimentation of tannery wastewater. Water Research 34, 7: 2171 - 2176.
- Song Z., Williams C.J. and Edyvean R.G.J. 2004. Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. Desalination 164, 3: 249 - 259.
- Schrank S.G., José H.J., Moreira R.F.P.M. and Schröder H.Fr. 2003. Elucidation of the behavior of tannery wastewater under advanced oxidation conditions. Chemosphere 50, 5: 411 - 423.
- Szpyrkowicz L., Geoffery H., Santosh N. and De Faveri M., 2001. Performance of electrochemical reactor for treatment of tannery wastewaters. Chemical Engineering Science 56: 1579 - 1586.

- Szpyrokowicz L. and Zillio Grandi F. 1995. Electrochemical treatment of tannery wastewater using Ti/Pt and Ti/Pt/Ir electrodes. Water Research 29, 2: 517 - 524.
- Tiravanti G., Petruzzelli D. and Passino R. 1997. Pretreatment of tannery wastewater by an ion exchange process for Cr (III) removal and recovery. Water Science Technology 36, 2 - 3: 197 - 207.
- Vijayaraghvan K. and Murthy, D.V.S. 1997. Effect of toxic substances in anaerobic treatment of tannery wastewater. Bioprocess Engineering 16, 3: 151 - 155.
- Vlyssides A.G. and Israilides C.J. 1997. Detoxification of tannery waste liquors with an electrolysis system. Environmental Pollution 97, 1 - 2: 147 - 152.
- Wiemann M., Schenk H. and Hegemann W. 1998. Anaerobic treatment of tannery wastewater with simultaneous sulphide elimination. Water Research 32, 3: 774 - 780.
- Xu X. and Zhu X. 2004 Treatment of refractory oily wastewater by electro - coagulation process. Chemosphere 56, 10: 889 – 894.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ลักษณะของน้ำเสีย (เกียงศักดิ์, 2543)

1. **น้ำเสีย (Wastewater)** คือน้ำที่ผ่านการใช้งานในกิจกรรมต่างๆ และได้มีการปนเปื้อนจากสารปนเปื้อน (Contaminants) หรือมลพิษ (Pollutants) ในระดับสูง สารเจือปนเหล่านี้อาจเป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ทั้งในอยู่สลายหรือไม่ละลายก็ได้ ซึ่งสามารถรวบรวมสารที่สำคัญได้ ดังต่อไปนี้

1.1 **สารอินทรีย์** หมายถึงสารประกอบที่มีคาร์บอน (Carbon: C) เป็นองค์ประกอบหลัก ร่วมกับธาตุอื่นตั้งแต่หนึ่งธาตุขึ้นไป ได้มาจากธรรมชาติ และสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เป็นต้น แต่ในปัจจุบันได้มีการสังเคราะห์สารอินทรีย์จากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม เช่น ยูเรีย (สารอินทรีย์) เกิดจากการนำแอมโมเนียไซยาเนตมาให้ความร้อน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังมีสารประกอบบางชนิดแม้จะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแต่ไม่ถูกจัดว่าเป็นสารอินทรีย์ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนเนต และเกลือไบคาร์บอนเนต เป็นต้น

สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลชีพ (Biodegradable organics) เช่น แป้ง น้ำตาล เป็นต้น เมื่อถูกระบายลงแหล่งน้ำจะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำของแหล่งน้ำลดลง และอาจทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น การขจัดสารเหล่านี้ออกจากน้ำจึงนิยมใช้กระบวนการทางชีวภาพ เป็นหลัก

ส่วนสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ยากโดยจุลชีพ (Refractory organics) เช่น สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) ฟีนอล (Phenol) สารปราบศัตรู เป็นต้น การจัดการสารเหล่านี้ออกจากน้ำเสียจึงมีความยุ่งยากมากกว่าการขจัดสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายโดยจุลชีพ

1.2 **สารอนินทรีย์** หมายถึง สารที่มีใช้สารอินทรีย์ สารพวกนี้ส่วนใหญ่ได้มาจากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น แก๊สซัลเฟต แก๊สคาร์บอนเนต คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ เป็นต้น ถ้าหากมีปริมาณสารเหล่านี้มากเกินไปทำให้น้ำนั้นไม่เหมาะแก่การใช้สอย เช่น มีรสกร่อย ไม่เหมาะแก่การอุปโภค-บริโภค เป็นต้น

1.3 **โลหะหนักและสารพิษ** คือ สารเหล่านี้อาจอยู่ใน สารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตสารเหล่านี้ได้แก่ นิกเกิล (Ni) แมงกานีส (Mn) โครเมียม (Cr) สังกะสี (Zn) ปรอท (Hg) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) เป็นต้น แหล่งที่มา มักจะเป็นโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ เช่น โรงชุบโลหะ โรงงานฟอกหนัง โรงงานผลิตโซดาไฟ เป็นต้น

1.4 **ไขมัน น้ำมัน และไขมัน** คือ สารส่วนใหญ่ได้มาจากพืชและสัตว์ ที่ใช้ในการประกอบอาหาร และจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ อีกด้วย เช่น โรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ บางส่วนได้มาจากน้ำมัน

และไขมันที่ใช้หล่อลื่นเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม สารเหล่านี้ส่วนใหญ่ลอยน้ำได้ ทำให้แหล่งรับน้ำเสียเกิดสภาพไม่น่าดู ชัดขวางการแพร่ของออกซิเจนลงสู่ น้ำ ทำให้น้ำเน่าเสียได้ง่ายขึ้น

1.5 สีและความขุ่น สีและความขุ่นมักมาจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานย้อมผ้า - พิมพ์ผ้า โรงงานกระดาษ เป็นต้น สีและความขุ่นทำให้แหล่งน้ำไม่น่าดู และยังชัดเจนขวางแสงแดดที่จะส่องลงในน้ำ ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำดำเนินไปอย่างล่าช้า

1.6 ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ อาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ อยู่ในลักษณะแขวนลอยในน้ำเสีย เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำทำให้น้ำขุ่น และเมื่อความเร็วของน้ำลดลง ของแข็งนี้จะตกตะกอนทำให้เกิดการตื่นเงินตลอดจนอาจเกิดการย่อยสลาย (ของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์) แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ที่บริเวณส่วนล่างของแหล่งน้ำ ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตตลอดจนการขยายพันธุ์ของสัตว์น้ำบางชนิด ของแข็งแขวนลอยมีอยู่ในน้ำเสียจากบ้านเรือน โรงงาน และการเกษตร

1.7 สารอาหารของพืช ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ แต่ถ้าแหล่งน้ำมีสารเหล่านี้มากเกินไป อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่มีชื่อว่า ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) โดยมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมากมายของพืชน้ำ เช่น สาหร่ายเบ่งบาน (Algal bloom) เป็นต้น ปรากฏการณ์นี้จะทำให้น้ำเสียมีสีเขียวจัด ออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลงในเวลากลางคืนจนอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

1.8 เชื้อโรค หมายถึงจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคอาจเป็นแบคทีเรีย ไวรัส โปรโตซัว และอื่นๆ ซึ่งอาจมาจากสิ่งที่ยับถ่ายจากมนุษย์ และสัตว์ที่ป่วย มักพบในน้ำเสียจากบ้านเรือน โรงพยาบาล โรงเรียนสัตว์ และโรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น เชื้อโรคเหล่านี้อาจนำโรคมาสู่มนุษย์ เช่น แบคทีเรียทำให้เกิดโรคอหิวาต์ ไวรัสทำให้เกิดโรคตับอักเสบ เป็นต้น

2. ค่าพารามิเตอร์ (Parameter)

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าสิ่งเจือปนในน้ำเสียมีหลายชนิด ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมและสะดวกในการวิเคราะห์สิ่งเจือปนดังกล่าว จึงได้มีการกำหนดใช้ค่าพารามิเตอร์ค่าที่สำคัญ และมักจะกำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้งที่ควรทราบ

2.1 ค่าพีเอช (pH) ย่อมาจาก Positive potential of the hydrogen ions เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน $[H^+]$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $-\log [H^+]$ pH เป็นค่าพารามิเตอร์ที่แสดงให้เห็นทราบสภาพความเป็นกรด-เบส ของน้ำ กล่าวคือเมื่อ pH มีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าน้ำมีสภาพเป็นกลาง ถ้าค่า pH มีค่าน้อยกว่า 7 แสดงว่าสภาพน้ำนั้นเป็นกรด หรือค่า pH มีค่ามากกว่า 7 แสดงว่าสภาพน้ำนั้นเป็นเบส โดยทั่วไปค่า pH ของน้ำในสภาพปกติจะมีค่าในช่วง 6-8 ซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

2.2 บีโอดี (BOD) หรือ (Biochemical Oxygen Demand) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงให้เห็นทราบว่าน้ำนั้นมีความสกปรกที่เกิดจากสารอินทรีย์อยู่ในระดับมากน้อยเพียงใด ค่าบีโอดีหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO: Dissolved Oxygen) ที่ถูกใช้ไปโดยจุลชีพ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในเวลา 5 วัน ภายใต้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จึงนิยมเรียกว่า BOD₅

2.3 ซีโอดี (COD) หรือ (Chemical Oxygen Demand) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงให้เห็นทราบว่าน้ำนั้นมีความสกปรกที่เกิดจากสารอินทรีย์ อยู่ในระดับมากน้อยเพียงใด ค่าซีโอดีหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการวัดหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ โดยการใช้ออกซิไดส์ที่มีความสามารถในการออกซิไดส์สูงในสารละลายที่เป็นกรด

2.4 ของแข็งทั้งหมด (Total solid: TS) ของแข็ง หมายถึงสารหรือสิ่งเจือปนที่เหลืออยู่ภายหลังจากผ่านการนำน้ำออกแล้ว ไม่รวมถึงสารที่ระเหยไปกับน้ำ สิ่งที่เหลืออยู่หรือตะกอนมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งอาจจะละลายน้ำหรือไม่ละลายก็ได้ สามารถแบ่งของแข็งออกเป็นชนิดต่าง ๆ

2.4.1 ของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) คือของแข็งส่วนที่ละลายในน้ำได้ ได้แก่ เกลืออนินทรีย์ต่างๆ หรืออินทรีย์สาร

2.4.2 ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำหรือของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Undissolved Solids หรือ Total Suspended Solids, TSS) แบ่งเป็น

2.4.2.1 Suspended Solids คือของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ตะกอนมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา

2.4.2.2 Stable Solids คือของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ตะกอนมีขนาดใหญ่และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้สามารถจะตกลงมาอนที่ก้นภาชนะได้

2.4.3 ของแข็งระเหย (Volatile Solids) คือของแข็งที่ระเหยได้เมื่อนำไปเผาในอากาศที่อุณหภูมิสูง 550 – 600 องศาเซลเซียส

2.4.4 ของแข็งคงตัว (Fixed Solids) คือของแข็งหรือซีเมนต์ที่เหลือจากการเผาของแข็งที่อุณหภูมิสูง 550 – 600 องศาเซลเซียส

2.5 ไนโตรเจน (Nitrogen) หมายถึงไนโตรเจนที่ปะปนอยู่ในน้ำ ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่

2.5.1 ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN) คือผลบวกของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของออร์แกนิก-ไนโตรเจน (Organic Nitrogen: Org-N) และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen: NH₃)

2.5.2 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen: T-N) คือ ผลบวกออกอร์แกนิก-ไนโตรเจน (Organic Nitrogen: Org-N) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen: NH_3) ไนไตรต์-ไนโตรเจน (Nitrite Nitrogen: NO_2 -N) และไนเตรต -ไนโตรเจน (Nitrate Nitrogen: NO_3 -N)

2.6 **โลหะหนัก** สารเหล่านี้ได้แก่ นิเกิล แมงกานีส โครเมียม สังกะสี ปปรอท ทองแดง เหล็ก เป็นต้น ถ้ามีธาตุเหล่านี้มากเกินไปในน้ำก็จะเป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิต น้ำเสียเป็นผลมาจากการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคของมนุษย์ทั้งในกิจวัตรประจำวัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

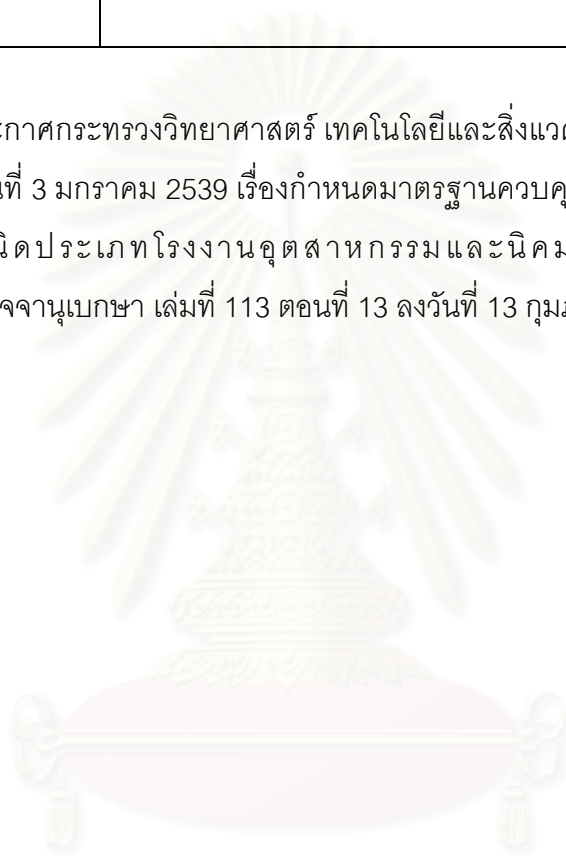
ดัชนีคุณภาพของน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด-เบส (pH value)	5.5 – 9.0	pH Meter
2. ค่า TDS (Total Dissolved Solid)	- ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันแต่จะประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร - น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลงสู่ทะเล ค่า TDS ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า TDS ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแต่จะประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส	เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
5. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไทเทรต
6. ไซยาไนต์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid

7. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้ว แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อลิตร	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
8. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas Chromatography
13. ค่าบีโอดี 5 วันที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Biochemical Oxygen Demand: BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร	Potassium Dichromate Digestion

16. โลหะหนัก (Heavy Metal) 1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma: ICP
2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	
3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร	
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร	
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma: ICP
11. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร	Atomic absorption Cold Vapor Technique

12. ซีเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma: ICP
--------------------	-------------------------------	--

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ. ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การหาค่าคุณสมบัติของน้ำเสีย

1. pH

วิธีวิเคราะห์: วิเคราะห์โดยตรงด้วยเครื่อง pH meter 7020 Electronic Instrument Limited

หมายเหตุ: รายละเอียดการใช้เครื่อง pH meter ศึกษาได้จากคู่มือเฉพาะเครื่องนั้นๆ

2. ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

วิธีวิเคราะห์: วิเคราะห์โดยตรงด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

หมายเหตุ: รายละเอียดการใช้เครื่องค่าการนำไฟฟ้าศึกษาได้จากคู่มือเฉพาะเครื่องนั้นๆ

3. สี (Color)

การวัดสีของน้ำเสียวิธีการหนึ่งคือ การใช้วิธีเปรียบเทียบโดยใช้หลอดเนสเลอร์ (Nessler tube) ซึ่งตัวอย่างน้ำที่ต้องการวัดสีจะถูกเปรียบเทียบกับสารละลายสีมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น ในการวัดสีครั้งนี้ใช้เครื่อง Spectrophotometer ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance กับค่าหน่วยสีของสารละลายสีมาตรฐานซึ่งจะใช้เป็น Calibration Curve ในการหาหน่วยสีของน้ำเสียที่ต้องการวัด

อุปกรณ์ที่ใช้

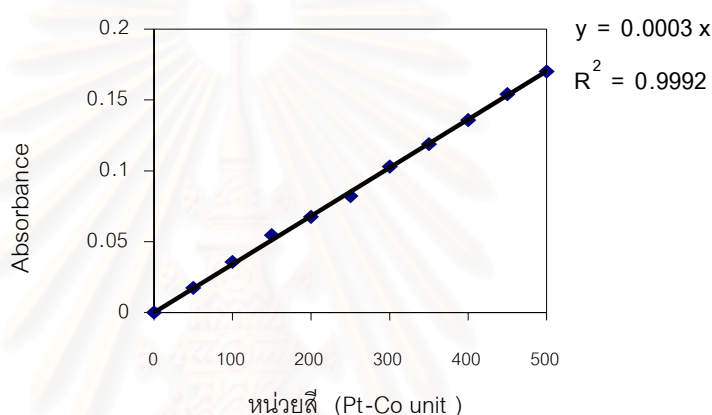
1. UV Spectrophotometer รุ่น V - 530
2. เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสารเคมีที่ใช้

สารเคมีที่ใช้

สารละลายสต็อกสีมาตรฐาน โดยละลายโพแทสเซียมคลอโรแพลทีเนต (K_2PtCl_6) 1.246 กรัม และโคบอลต์ซัลเฟตไฮเดรต ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 1.00 กรัม ในน้ำกลั่นซึ่งเติมกรดไฮโดรคลอริก 100 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้สารละลายที่มีความเข้มของสีเท่ากับ 500 หน่วย

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมอนุกรมสารละลายมาตรฐานที่มีสี 50 100 200 300 และ 400 หน่วย โดยทำการเจือจางปริมาตรสารละลายตัวอย่างมาตรฐานด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร
2. นำอนุกรมสีทั้งหมดมาทำการวัด Absorbance ด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer โดยใช้ความยาวคลื่นในการวัดคือ 465 นาโนเมตร
3. ทำการเหวี่ยงแยกตะกอนของน้ำเสียที่ต้องการวัดสี ด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และนำน้ำที่ผ่านการเหวี่ยงแยกตะกอนมาวัดค่า Absorbance
4. แทนค่า Absorbance ลงในสมการที่ได้จากข้อ 3 เพื่อทราบค่าหน่วยสีของน้ำเสีย



รูปที่ ค.(1) Calibration Curve ของการวัดสีด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer

4. การวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

ของแข็งที่แขวนลอยทั้งหมดหมายถึงส่วนของของแข็งที่เหลืค่างอยู่บนกระดาษกรองใยแก้วหลังจากการกรองน้ำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรแน่นอน แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสและทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดต่อปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์:

1. โถดูดความชื้น (Desiccator)
2. ตู้อบ (Oven) ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 -105 องศาเซลเซียส
3. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. กระดาษกรอง GF/C (Glass fiber filter) เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร
5. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศ

6. ถ้วยระเหย (Evaporating dishes)

วิธีวิเคราะห์:

1. นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C สมมุติมีน้ำหนัก A กรัม
3. ต่อชุดเครื่องมือสำหรับกรอง ใช้ปากคีบกระดาษกรอง GF/C วางบนกรวยบุคเนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง โดยใช้ครั้งละ 20 มิลลิลิตร เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อให้ดูดนํ้าออกจนแห้ง ทิ้งนํ้าล้างไป
4. เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำที่จะใช้ ซึ่งควรเลือกให้มีค่าของแข็งแขวนลอยที่ติดบนกระดาษกรองไม่เกิน 200 มิลลิกรัม และไม่ควรมากกว่า 1 มิลลิกรัมเมื่อเลือกปริมาตรแล้ว ทำการเขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันอย่างดี เทตัวอย่างน้ำที่ทราบปริมาตรลงกรองโดยค่อย ๆ เททีละน้อยอย่างต่อเนื่องจนหมด ใช้นํ้ากลั่นฉีดล้างภาชนะที่ใช้ตวงตัวอย่าง และฉีดนํ้ากลั่นที่ด้านข้างของกรวยบุคเนอร์รวมทั้งบนกระดาษกรอง GF/C ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดนํ้าออกจนแห้ง ปิดเครื่อง
5. นำกระดาษกรองเย็บแก้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อยเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง สมมุติมีน้ำหนัก B กรัม
6. ทำข้อ 5 ซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักน้อยกว่า 4% ของน้ำหนักครั้งก่อน

การคำนวณ:

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(B - A)}{C} \times 10^6$$

A = น้ำหนักกระดาษกรองอย่างเดียว (กรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง (กรัม)

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

5. การวิเคราะห์หาของแข็งละลายน้ำ (TDS)

หมายถึง ส่วนของน้ำตัวอย่างที่กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วแล้วนำไปใส่ถ้วยระเหยที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน และนำไประเหยด้วยไอน้ำจนแห้งแล้วจึงนำไปอบแห้งที่ 103 -105 องศาเซลเซียส น้ำหนักส่วนที่เพิ่มคือน้ำหนักของของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด

เครื่องมือและอุปกรณ์:

1. โถดูดความชื้น (Desiccator)
2. ตู้อบ (Oven) ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส
3. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. กระดาษกรอง GF/C (Glass fiber filter) เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร
5. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศ
6. ถ้วยระเหย (Evaporating dishes)

วิธีวิเคราะห์:

1. นำน้ำตัวอย่างมากรองเอาสารแขวนลอยออกทั้งหมดก่อนโดยกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและเครื่องกรองสุญญากาศ
2. นำน้ำตัวอย่างที่ได้จากการกรองใส่ถ้วยระเหยนำไปอบแห้งที่ 103 – 105 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งหาน้ำหนัก

การคำนวณ:

$$\text{ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(B - A)}{C} \times 10^6$$

A = น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียว (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง (กรัม)

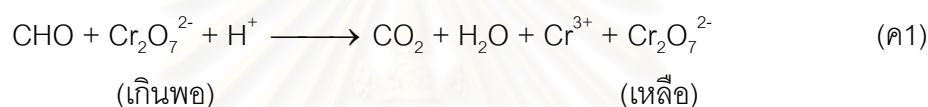
C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

6. การวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยวิธีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux, Titrimetric method)

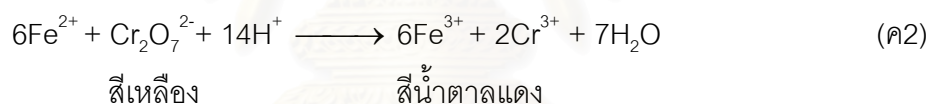
สำหรับการวิเคราะห์ COD มี 2 แบบ คือวิธีฟลักซ์แบบปิดและวิธีฟลักซ์แบบเปิด แต่ในการทดลองจะใช้วิธีฟลักซ์แบบปิด โดยมีหลักการดังนี้

ภายใต้สภาวะการรีฟลักซ์ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่มีอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์โดยสารละลายโปตัสเซียมไดโครเมตที่ทราบความเข้มข้นและมีปริมาณเกินพอที่ทราบจำนวน หลังจากรีฟลักซ์แล้ว ทำการวัดปริมาณโปตัสเซียมไดโครเมตที่เหลือ โดยนำไปไทเทรตกับเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate, FAS) และใช้เฟอโรอิน (Ferrouin) เป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณของโปตัสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดส์ สารอินทรีย์ได้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

เมื่อรีฟลักซ์ด้วย $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$



หาปริมาณ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลือโดยการไทเทรตด้วย FAS ที่มีเฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์



$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับ Fe^{2+} (FAS) ได้โครมิก (Cr^{3+}) จนหมด แล้ว Fe^{2+} จึงทำปฏิกิริยากับเฟอโรอินได้สารประกอบสีน้ำตาลแดงซึ่งแสดงจุดยุติของการไทเทรต

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อย (Digestion Vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเคท (Borosilicate) ขนาด 20 x150 หรือ 25 x150 มิลลิเมตร มีฝาปิดเกลียวซึ่งทำด้วยมีทีเอฟอี
2. บล็อก (Block) หรือที่ใส่หลอดแก้วแบบตัน ทำด้วยอลูมิเนียม ความลึกของช่องใส่หลอดประมาณ 45 - 50 มิลลิเมตร การให้ความร้อนเพื่อต้มย่อยสลายกระทำโดยวางบล็อกบนเตาแผ่น
3. ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 150 ± 2 องศาเซลเซียส
4. บิวเรต
5. ขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย (Standard potassium digestion solution) 0.1 นอร์มัล
 - นำ $K_2Cr_2O_7$ อบที่ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้งซึ่งน้ำหนัก $K_2Cr_2O_7$ มา 4.913 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และเติมปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็นจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 มิลลิลิตร
2. กรดซัลฟิวริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต (Concn.sulfuric acid with silver sulfate)
 - ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 กรัม เติมลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม (2.5ลิตร) ทิ้งไว้ 1 - 2 วัน ซิลเวอร์ซัลเฟตจึงละลาย
3. สารละลายมาตรฐานไอร้ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตไทแทนต์ (Ferrous ammonium sulfate titrant) เข้มข้นโดยประมาณ 0.05 นอร์มัล
 - ละลายไอร้ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) ชนิด AR. Grade ประมาณ 19.6 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็นแล้วเจือจาง 1000 มิลลิลิตร
 - สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardize) ก่อนใช้ทุกครั้ง ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ทำได้ดังนี้คือนำ $K_2Cr_2O_7$ 5 มิลลิลิตร มาเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอิน (Ferroun) จำนวน 2 - 3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง
4. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroun Indicator)
5. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟทาเนต (Potassium Hydrogen Phthalate หรือ KHP)
 - ชั่ง KHP จำนวน 425 มิลลิกรัมที่บดแห้งและอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ละลายด้วยในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตรสารละลายนี้จะมีค่าซีไอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ปกติเก็บไว้ในตู้เย็นได้นาน 3 เดือน)

วิธีวิเคราะห์

1. ต้องล้างหลอดแก้วและฝาปิดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 20% เสมอทุกครั้งก่อนใช้งาน

2. เลือกขนาดของหลอดแก้วสำหรับต้มซีไอดีที่เหมาะสม
3. ถ้าตัวอย่างน้ำมีซีไอดีต่ำให้เลือกใช้หลอดแก้วขนาด 25 x 150 มิลลิเมตร (ปริมาตรน้ำตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร) และถ้าซีไอดีสูงสามารถใช้หลอดแก้วขนาด 16 x 100 มิลลิเมตร (ปริมาตรน้ำตัวอย่าง 2.5 มิลลิลิตร)
4. การเลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ ถ้าเป็นน้ำสะอาด น้ำธรรมชาติหรือน้ำที่มีค่าซีไอดีต่ำๆ (<40 มิลลิกรัมต่อลิตร) ควรใช้ตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร โดยใช้หลอดแก้วขนาด 25 x 150 มิลลิเมตร แต่ถ้าซีไอดีสูงกว่านั้นให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20 x 150 โดยเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำมากที่สุด 5 มิลลิลิตร หรือน้อยกว่า แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 5 มิลลิลิตร และถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าซีไอดีสูงมากต้องเจือจางต้องเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนนำมาใช้ การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำที่จะใช้วิเคราะห์ให้เหมาะสมอาจดูได้จากตารางที่ ค1
5. ใส่ตัวอย่างลงในหลอดแก้วขนาดเหมาะสม เติมน้ำย่าย่อยสลายหรือโปตัสเซียมไดโครเมต ตามด้วยกรดกำมะถันอย่างช้าๆ ในปริมาณที่แสดงอยู่ในตารางที่ ค2 ปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกันให้ดี สำหรับแบบลงซีใช้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนตัวอย่างทุกอย่าง
6. วางหลอดแก้วในบลิคแล้วใส่ตู้อบ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็น
8. เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลาย
9. ในหลอดแก้วให้หมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอโรซีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS สีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจาก สีเหลือง \longrightarrow เขียวอมเหลือง \longrightarrow ฟ้า \longrightarrow น้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ จุดปริมาตร FAS ที่ใช้ไทเทรต

ตารางที่ ค (1) ปริมาณน้ำตัวอย่างและอัตราเจือจางที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์หาซีโอดี*

ช่วงซีโอดี	ขนาดตัวอย่าง(มิลลิลิตร)	อัตราเจือจาง
<200	5	1 : 1
200 - 400	4	1 : 1
400 - 800	2	1 : 1
800 - 1600	1	1 : 1
1600 - 3200	5	1 : 10
2700 - 5300	3	1 : 10
4000 - 8000	4	1 : 20
8000 - 16000	2	1 : 20
13000 - 26500	3	1 : 50
20000 - 40000	2	1 : 50
40000 - 80000	2	1 : 100
80000 - 160000	1	1 : 100

* เมื่อใช้ FAS ความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล และ $K_2Cr_2O_7$ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ตารางที่ ค (2) ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาณตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม

ขนาด หลอดแก้ว (มิลลิลิตร)	ปริมาตร ตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)	สารละลาย ไดโครเมต (มิลลิลิตร)	สารละลาย กรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร)	ปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร)
16 x 100	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150	10.0	6.0	14.0	30.0

การคำนวณ

$$\text{ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A - B) \times N \times 8,000}{\text{ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} \times 10^6$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตกับ Blank (มิลลิลิตร)
 - B = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตกับน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 - N = ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)
 - V = ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

7. การวิเคราะห์ห่าบีโอดี

การวิเคราะห์ BOD วิธีการวิเคราะห์มี 2 วิธี คือ วิธีแบบโดยตรงและวิธีแบบโดยเจือจาง แต่ในการทดลองจะใช้วิธีแบบโดยเจือจาง ซึ่งวิธีแบบโดยเจือจางแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

วิธีแบบเจือจางใช้สำหรับตัวอย่างที่มีความสกปรก เช่น มีค่าบีโอดีเกิน 7 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนที่ใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับจำนวนสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำนั้น เมื่อตัวอย่างน้ำมีสารอินทรีย์จำนวนมาก จึงต้องเจือจางตัวอย่างเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอที่แบคทีเรียจะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น ซึ่งวิธีแบบเจือจางจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือไม่ต้องเติมหัวเชื้อและต้องเติมหัวเชื้อ ในการทดลองเลือกแบบไม่ต้องเติมหัวเชื้อ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดบีโอดี (BOD Bottle) ขนาด 250 – 300 มิลลิลิตรพร้อมจุกปิดสนิท
2. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียสและต้องมี
3. อุปกรณ์และเครื่องแก้วต่างๆ เช่น กระจกตวง บิวเรต ขวดรูปชมพู่ เป็นต้น
4. เครื่องจ่ายลม แบบเดียวกันกับที่ใช้กับตู้เลี้ยงปลาสวยงามและหัวลูกฟู่ (หัวจ่ายลม)

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
 - ต้องมีคุณภาพสูง ควรมีทองแดงน้อยกว่า 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ปราศจากการคลอรีน คลอรา มีน สารอินทรีย์ กรด – เบส ต้องเป็นกลาง

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH7.2
 - ละลายโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม แอมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 17.2 กรัม และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 33.4 กรัมและในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต
 - ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์
 - ละลายแคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (Anhydrous CaCl_2) จำนวน 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์
 - ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
6. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต
 - ละลายแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 364 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตเตตระไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 480 กรัมหรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 400 กรัมในน้ำกลั่น กรองแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
7. สารละลายอัลคาไล-ไฮโดรอกไซด์-เฮไลต์
 - ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัมและโซเดียมไอโอดาไนด์ (NaI) 135 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางให้ได้ 950 มิลลิลิตรและทำให้เย็น จากนั้นค่อย ๆ เติมสารละลายโซเดียมเฮไลต์ (NaN_3) ที่ละลายในน้ำ 40 มิลลิลิตร อย่างช้า ๆ ทำให้มีฤทธิ์เป็นกรด และเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
8. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล
 - ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 24.82 กรัมในน้ำต้มที่เย็นแล้ว เติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตรหรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม เพื่อเก็บไว้ใช้นาน ๆ ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เมื่อใช้งานให้เจือจางเป็น 0.025 นอร์มัล
9. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
10. น้ำแข็ง

วิธีวิเคราะห์แบบเจือจางที่ไม่ต้องเติมหัวเชื้อ Seed

1. การเตรียมน้ำเจือจาง โดยนำกลั่นมาแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และพ่นอากาศก่อนทำการเจือจางอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วเติมสารเคมีข้อ 2 - 5 อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร
2. การเลือกปริมาณตัวอย่างที่จะใช้ ถ้าไม่ทราบค่าบีโอดีโดยประมาณของตัวอย่างน้ำ ต้องหาซีโอดีก่อนหรืออาจจะดูจากค่า Rapid COD (ซีโอดีอย่างง่าย) พร้อมกับพิจารณาลักษณะของตัวอย่างน้ำ แหล่งเก็บตัวอย่างน้ำร่วมด้วย เพื่อกะประมาณค่าซีโอดี เช่น น้ำตัวอย่างที่มีค่าของแข็งละลายมาก ควรจะมีค่าบีโอดี ระหว่าง 100 -300 มิลลิกรัมต่อลิตร การเลือกปริมาณตัวอย่างนิยมเลือกให้มีปริมาณออกซิเจนเหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และควรจะมีการใช้ออกซิเจนอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทราบค่าบีโอดีโดยประมาณ ควรเลือกปริมาณตัวอย่างที่คาดว่าจะให้ค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนดแล้วจึงเลือกปริมาณตัวอย่างที่ใช้ให้สูงและต่ำกว่าที่อยู่ติดกันตามตารางที่ ค (3) เช่น ปริมาณค่าบีโอดีไว้ประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเลือกใช้ปริมาณตัวอย่าง 10 มิลลิกรัม เลือกสูงขึ้นเป็น 5 มิลลิลิตรและต่ำลงเป็น 20 มิลลิลิตร

ตารางที่ ค (3) การเลือกปริมาณน้ำตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วงบีโอดี

ปริมาณตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ช่วงบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อัตราเจือจาง
0.02	30,000 - 105,000	15,000
0.05	12,000 - 42,000	6,000
0.10	6,000 - 21,000	3,000
0.20	3,000 - 10,500	1,500
0.50	1,200 - 4,200	600
1.0	600 - 2,100	300
2.0	300 - 1,050	150
5.0	120 - 420	60
10.0	60 - 210	30
20.0	30 - 105	15
50.0	12 - 42	6
100	6 - 21	3
300	0 - 7	1

หมายเหตุ ถ้าปริมาณตัวอย่างที่ใช้น้อยกว่า 1.0 มิลลิลิตร ควรเจือจางตัวอย่างก่อนปิเปตใส่ขวดปิโอดี

3. ปิเปตตัวอย่างตามจำนวนที่เลือกไว้ลงในขวดปิโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร อย่างละ 2 ขวด
4. เติมน้ำสำหรับใช้เจือจางจนเต็มขวดปิโอดี ต้องระมัดระวังพยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ ปิดฝาให้แน่น
5. นำขวดปิโอดีขวดหนึ่งของแต่ละปริมาณที่เลือกมาหาค่าออกซิเจนละลายที่มีเริ่มต้น สมมุติเป็น DO_0 ส่วนอีกขวดนำไปบ่มที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
6. เมื่อครบ 5 วัน นำขวดปิโอดีที่บ่มไว้มาหาค่าออกซิเจนละลายที่เหลืออยู่ เรียกว่า DO_5

การวิเคราะห์ค่า DO

1. เก็บน้ำตัวอย่างวิธีการเก็บน้ำตัวอย่าง ลงในขวดปิโอดี ให้เต็มขวดพร้อมปิดจุก
2. เติมสารละลาย $MnSO_4$ 1.0 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไล - ไอโอไดด์ - เฮไซต์ 1.0 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปตวัดปริมาตรและจุ่มลงใต้ผิวน้ำตัวอย่าง ปิดจุกอย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ เขย่าโดยคว่ำขึ้น - ลง แรง ๆ หลาย ๆ ครั้ง ให้ผสมเข้ากันปล่อยให้เกิดการตกตะกอนและเขย่าใหม่ซ้ำอีกครั้ง
3. เมื่อตกตะกอนได้ส่วนใสมากกว่า 100 มิลลิลิตร เปิดจุกและค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.0 มิลลิลิตร ให้ไหลรินตามตอขวดปิโอดี
4. ปิดจุกและทำการเขย่าคว่ำ ขึ้น - ลง จนเห็นไอโอดีนกระจายทั่ว (I_2 มีสีเหลืองแกมน้ำตาล) และตะกอนละลายหมด
5. ปิเปตใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 203 มิลลิลิตร* นำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล เมื่อสารละลายได้สีเหลืองฟางให้เติมน้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ 1 - 2 มิลลิลิตรและไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายไป

การคำนวณ $DO_{(ppm)} = (\text{ปริมาตรของ } 0.025 \text{ นอร์มัลของโซเดียมไทโอซัลเฟต} \times 0.2 / 200) \times 1000$

* **ข้อสังเกต** - การนำสารละลายจากข้อที่ 4 มาไทเทรตจำนวน 203 มิลลิลิตร แต่ในการคำนวณคิดปริมาณเพียง 200 เนื่องจากเทียบจากเมื่อใช้น้ำ 300 มิลลิลิตร เติมสารเคมีจากข้อ 1 ลงไป 4 มิลลิลิตร น้ำตัวอย่างเหลือในขวดเพียง 296 มิลลิลิตร

- น้ำตัวอย่าง 296 มิลลิลิตรเมื่อเทียบกับสารละลาย 300 มิลลิลิตร ดังนั้น ต้องการสารละลาย 200 มิลลิลิตร จะต้องใช้สารละลายในขวด $= (300 \times 200) / 296 = 203$ มิลลิลิตร

การคำนวณค่าบีโอดี

$$\text{BOD (มิลลิลิตรออกซิเจนต่อลิตร)} = (\text{DO}_0 - \text{DO}_5) \times \text{อัตราส่วนเจือจาง}$$

เมื่อ DO_0 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไทเทรตได้ในวันแรก

DO_5 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไทเทรตได้ในวันที่ 5

$$\text{อัตราเจือจาง} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำเต็มขวดบีโอดี (300 มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาณตัวอย่างที่ใช้}}$$

8. การวิเคราะห์หาปริมาณที่เคเอ็นไนโตรเจน (TKN)

ที่เคเอ็น หมายถึง ผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน การหาที่เคเอ็นทำได้โดยการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียก่อนแล้วจึงวัดปริมาณของแอมโมเนียทั้งหมด ไนโตรเจนที่ได้คือที่เคเอ็น แต่ถ้านำไปวิเคราะห์หาแอมโมเนียก่อนแล้วนำมาวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีนี้ ไนโตรเจนที่ได้คือ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดย่อยสลาย (Digestion apparatus) ประกอบด้วย Kjeldahl flask ขนาด 750-800 มิลลิลิตร และเตาให้ความร้อน (Heating device) ที่ให้ความร้อน ขนาด 300-400 องศาเซลเซียส
2. Distillation apparatus ประกอบด้วย Kjeldahl flask มีกระเปาะข้างบน และ Condenser ในแนวตั้ง

สารเคมี

1. น้ำยาสำหรับย่อยสลาย (Digestion reagent):
 - ละลายโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 134 กรัม ในน้ำกลั่น 650 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร ลงไปคนให้เข้ากันและเติมสารละลายปรอทซัลเฟต 25 มิลลิลิตร (เตรียมจากปรอทออกไซด์ : HgO (red) 2 กรัม ในกรดซัลฟิวริก 6 นอร์มัล 100 มิลลิลิตร) เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้สารละลายมี

ปริมาณ 1 ลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ - โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium hydroxide - sodium thiosulfate reagent)

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม และโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 25 กรัม ในน้ำและเจือจางเป็น 1 ลิตร
2. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)
- ละลายเมธิลเรด 200 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% หรือไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร
 - ละลายเมธิลลีนบลู 100 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% หรือไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร
 - นำทั้งสองผสมกัน สารละลายนี้ไม่ควรเก็บไว้เกิน 1 เดือน
3. สารละลายกรดบอริกที่มีอินดิเคเตอร์ผสม (Indicating boric acid solution):
- ละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 20 กรัม ในน้ำกลั่นเติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม 10 มิลลิลิตร เจือจางให้เป็น 1 ลิตร ไม่ควรเก็บไว้เกิน 1 เดือน
 - สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.02 นอร์มัล ก่อนใช้ทุกครั้งควรไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต
4. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง

1. การเลือกตัวอย่างน้ำ (ขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่คาดว่าจะมีเจือปนในน้ำเสีย)

ตารางที่ ค (4) การเลือกปริมาณน้ำตัวอย่าง

Organic-N ในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ขนาดตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
0 – 1	500
1 – 10	250
10 – 20	100
20 – 50	50
50 – 100	25

กรณีที่มีสารอินทรีย์ไนโตรเจนมาก ๆ ให้ใช้วิธีเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 300 แล้วปรับค่าความเป็นกรด - เบสให้เป็นกลาง จากนั้นนำใส่ขวดเคลดดาห์ล

2. การย่อยสลาย (Digestion)

- นำตัวอย่างน้ำซึ่งมีปริมาตรตั้งข้อ (1) มาเติมน้ำยาสำหรับย่อยสลาย 50 มิลลิลิตร นำไปต้มในตู้ควันเพื่อดูดแก๊สพิษพวก SO_2 หรือ SO_3 ออก ต้มจนสารละลายใส หรือมีสีเหลืองฟาง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจึงเติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร
- ใส่ฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันแล้วเติมน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ - โซเดียมไทโอซัลเฟต 50 มิลลิลิตรจะเกิดเป็นชั้นของด่าง (Alkaline layer) อยู่ที่ก้นขวดนำไปต่อกับเครื่องกลั่นแล้วผสมให้เข้ากันดี สีของของผสมจะเป็นสีชมพูอ่อน ถ้ายังไม่เกิดให้เติมน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปอีก

3. กลั่น (Distillation)

- ตัวอย่างน้ำที่ย่อยสลายแล้วมาต่อเข้าเครื่องกลั่นโดยให้ส่วนที่กลั่นออกมาได้ (Distillate) จุ่มอยู่ใต้สารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตร ใช้เป็นสารจับแอมโมเนียไนโตรเจนสารที่กลั่นออกมาได้มีปริมาตรรวมประมาณ 200 มิลลิลิตร
- ในการวิเคราะห์ทุกครั้งให้ทำแบลนด์เพื่อหาปริมาณไนโตรเจนในน้ำกลั่น
- โดยทำทุกขั้นตอนเช่นเดียวกับการหาในตัวอย่าง
- การไทเทรต (Titration) นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.02 นอร์มัล เมื่อถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นม่วงอ่อน

การคำนวณ

$$\text{ค่าที่เคเอ็น (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)} = \frac{(A - B)}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} \times 10^6$$

A = ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่ใช้กับ Blank (มิลลิลิตร)

9. การวิเคราะห์ไขมัน

การสกัดไขมันด้วยกรวยแยก (Partition - Gravimetric method) ไขมันหรือน้ำมันที่อยู่ในรูปสารละลาย หรือไม่ละลายในตัวอย่างน้ำจะถูกทำให้เป็นกรดด้วยการปรับค่าความเป็นกรด - เบสให้ต่ำกว่า 2 และสกัดไขมันออกจากตัวอย่างน้ำโดยการนำไปเขย่ากับตัวทำละลาย เช่น ฟรีออน หรือ เฮกเซนในกรวยแยกจากนั้นระเหยตัวทำละลายจนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถการทำแห้งให้วิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับน้ำที่ประกอบด้วยไขมันและน้ำมันที่มีจุดเดือดสูง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กรวยแยกที่จุกปิดด้วย ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. ขวดก้นกลมขนาด 125 มิลลิลิตร
3. เครื่องอ้งไอน้ำ
4. กระจกทรงกรวย
5. เครื่องชั่งละเอียด

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4)
2. เฮกเซน (n - Hexane) หรือฟริออน
3. โซเดียมซัลเฟต ปราศจากน้ำ (Sodium sulfate anhydrous)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างน้ำที่ทราบปริมาตรแน่นอน (500 มิลลิลิตร) ใส่ในบีกเกอร์ที่ล้างด้วย เฮกเซนแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น จนมีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า
2. เทตัวอย่างน้ำลงในกรวยแยก ล้างภาชนะที่ใส่ตัวอย่างน้ำด้วยเฮกเซน 30 มิลลิลิตร แล้วเทใส่กรวยแยกปิดฝาและเขย่าอย่างแรง 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้สารผสมแยกชั้น ชั้นเฮกเซนจะอยู่บน ตัวอย่างน้ำจะอยู่ด้านล่าง
3. ถ่ายชั้นตัวอย่างน้ำไว้ในบีกเกอร์ที่สะอาดเพื่อนำมาสกัดซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ถ่ายชั้นเฮกเซน ซึ่งมีไขมันและน้ำมันละลายอยู่ หลังการสกัดเทไว้ในพลาสติกหรือขวดก้นกลมซึ่งทำให้แห้งและมีน้ำหนักคงที่ซึ่งได้ชั่งไว้แล้ว สมมติมีน้ำหนัก = A กรัม
4. นำตัวอย่างน้ำที่เก็บไว้จากข้อ 3 กลับมาสกัดอีกครั้งด้วยเฮกเซน 15 - 20 มิลลิลิตร สกัดด้วยวิธีเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทำหลาย ๆ ครั้งจนไขมันและน้ำมันถูกสกัดออกจากน้ำตัวอย่างน้ำทั้งหมด
5. นำขวดชมพูที่มีเฮกเซนไขมันและน้ำมันที่ได้จากการสกัด มาระเหยเฮกเซนออกบน เครื่องอ้งน้ำจนแห้งปราศจากความชื้น แล้วนำมาทำให้เย็นในโถแห้งประมาณ 30 นาที แล้วชั่ง สมมติมีน้ำหนักที่ชั่งได้เป็น B กรัม

การคำนวณ

$$\text{ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(B - A)}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} \times 10^6$$

A = น้ำหนักของขวดรูปชมพู่ (กรัม)

B = น้ำหนักของขวดรูปชมพู่และไขมันกับน้ำมัน (กรัม)

หมายเหตุ ในกรณีที่ชั้นของตัวทำละลายมีน้ำปนอยู่ให้ใส่โซเดียมซัลเฟต จนได้สารละลายใสหรือโซเดียมซัลเฟตจับตัวกันดี กลิ้งไปกลิ้งมาได้ไม่เหลว และควรใส่โซเดียมซัลเฟตไว้บนกระดาษกรองด้วย แล้วจึงเทตัวทำละลายที่ใสผ่านกระดาษกรองเพื่อให้มีชั้น และโซเดียมซัลเฟตจับกับน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณ

ง.1 การคำนวณพื้นที่ผิวของขั้วแคโทดและขั้วแอโนด

ง.1.1 ขั้วเหล็กกล้าไร้สนิมลักษณะเป็นตะแกรงและมีช่องว่างของตะแกรงเป็นรูปร่างกลม มีขนาดดังนี้

ความกว้าง (l)	= 0.080 เมตร
ความยาว (L)	= 0.175 เมตร
ความหนา (t)	= 0.001 เมตร
ความยาวของเครื่องปฏิกรณ์ (L_R)	= 0.090 เมตร
ช่องว่าง - จำนวนช่องว่าง (n)	= 134 ช่อง
- เส้นผ่านศูนย์กลาง (f)	= 0.006 เมตร

$$\begin{aligned}
 \text{สูตรการคำนวณของพื้นที่ผิวของขั้วแคโทด} &= [(2 \times l \times L) + (2 \times l \times t) + (2 \times L \times t)] \\
 &\quad - (2 \times \pi/4 \times f^2 \times n) + (\pi/4 \times f \times t \times n) \\
 &= [(2 \times 0.080 \times 0.175) + (2 \times 0.080 \times 0.001) + \\
 &\quad (2 \times 0.175 \times 0.001)] + (2 \times \pi/4 \times 0.006 \times 0.006 \times \\
 &\quad 134) - (\pi/4 \times 0.006 \times 0.001 \times 134) \\
 &= 0.0215 \text{ ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

ง.1.2 ขั้วเหล็กกล้าลักษณะเป็นตะแกรงและมีช่องว่างของตะแกรงเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดดังนี้

ความกว้าง (l)	= 0.086 เมตร
ความยาว (L)	= 0.124 เมตร
ความหนา (t)	= 0.001 เมตร
ความยาวของเครื่องปฏิกรณ์ (L_R)	= 0.210 เมตร
ช่องว่าง - จำนวนช่องว่าง (n)	= 117 ช่อง
- ความยาวด้านละ (f)	= 0.006 เมตร

$$\begin{aligned}
 \text{สูตรการคำนวณของพื้นที่ผิวของขั้วแอโนด} &= [(2 \times l \times L) + (2 \times l \times t) + (2 \times L \times t)] \\
 &\quad - (2 \times f^2 \times n) + (4 \times f \times t \times n) \\
 &= [(2 \times 0.086 \times 0.124) + (2 \times 0.086 \times 0.001) + \\
 &\quad (2 \times 0.124 \times 0.001)] + (4 \times 0.006 \times 0.006 \times 117) - \\
 &\quad (4 \times 0.006 \times 0.001 \times 117) \\
 &= 0.0161 \text{ ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

ง.2 การคำนวณความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและร้อยละการลดสารมลพิษ

ให้	กระแสไฟฟ้า (i)	= 1 แอมแปร์
	พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า (A_e)	= 0.0215 ตารางเมตร
	น้ำหนักเริ่มต้นของสารมลพิษ (W_i)	= 0.0190 กรัม
	น้ำหนักของสารมลพิษที่เวลาต่างๆ (W_t)	= 0.0018 กรัม

$$\begin{aligned}
 \text{ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า } (j) &= \frac{i}{A_e} \\
 &= \frac{1}{0.0215} = 46.51 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละการลดลงของสารมลพิษ } (\%R) &= \left(\frac{W_i - W_t}{W_i} \right) \times 100 \\
 &= \left(\frac{0.019 - 0.0018}{0.019} \right) \times 100 \\
 &= 99.05
 \end{aligned}$$

ง.3 การคำนวณต้นทุนในการดำเนินงาน

ง.3.1 กระบวนการตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

ให้	ค่ากระแสไฟฟ้า (Electricity cost)	= 2.50 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
	ค่าฝังกลบตะกอน (Land fill cost)	= 2000 บาทต่อตัน

ปริมาณน้ำตัวอย่าง = 1 ลิตร
อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 45 บาทต่อ 1 เหรียญสหรัฐ

พิจารณาจากค่าใช้จ่ายเนื่องจากกระแสไฟฟ้าและตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นหลัก ขจัดโครเมียมเท่ากับ 98 ภาวะที่ใช้คือ

กระแสไฟฟ้า (i) = 1.5 แอมแปร์
ปริมาณน้ำตัวอย่าง (L) = 1.0 ลิตร
ศักย์ไฟฟ้า (V) = 9.20 โวลต์
เวลา (t) = 1 ชั่วโมง
ตะกอนที่เกิดขึ้น (Ws) = 0.44 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- กำลังไฟฟ้า (Electricity consumption) = $(i \times V \times t)$
= $(1.5 \times 9.20 \times 1) / 1000$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง
= 0.0138 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
= $(0.0138 \times 1000) / 1$ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร
= 1.38 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร

- ค่ากระแสไฟฟ้ารวม (Electricity cost) = กำลังไฟฟ้า \times ค่ากระแสไฟฟ้า
= 1.38×2.5 = 34.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

- ค่าฝังกลบตะกอนรวม (Land fill cost) = ตะกอนที่เกิดขึ้น \times ค่าฝังกลบตะกอน
= $(0.44 / 1000) \times 2000$ บาทต่อลูกบาศก์เมตร
= 0.09 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ต้นทุนในการดำเนินงาน = ค่ากระแสไฟฟ้า + ค่าฝังกลบตะกอน
= $34.5 + 0.09$ = 34.59 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
= 0.86 เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของสารตัวอย่าง

ง.3.1 กระบวนการรวมตัวของตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

ให้ ค่ากระแสไฟฟ้า(Electricity cost) = 2.50 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

ค่าฝังกลบตะกอน (Land fill cost) = 2000 บาทต่อตัน
 ค่าขั้วไฟฟ้า (Cost of electrode) = 4.93 บาทต่อแผ่น - น้ำหนักของขั้วไฟฟ้า
 ประมาณ 52.20 กรัม

ปริมาณน้ำตัวอย่าง = 3.0 ลิตร

พิจารณาที่

กระแสไฟฟ้า (i) = 1.0 แอมแปร์

ปริมาณน้ำตัวอย่าง (L) = 3.0 ลิตร

ศักย์ไฟฟ้า (V) = 1.20 โวลต์

เวลา (t) = 20 นาที

ตะกอนที่เกิดขึ้น (Ws) = 1.0547 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

น้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่กัดกร่อน (Wre) = 0.3487 กรัมต่อปริมาณน้ำตัวอย่าง 3 ลิตร

- กำลังไฟฟ้า = $(i \times V \times t)$
 = $[(1.0 \times 1.20 \times 2)/(60 \times 1000)]$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง
 = 0.00042 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
 = $(0.00042 \times 1000) / 3$ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์
 เมตร

= 0.14 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร

- ค่ากระแสไฟฟ้ารวม = กำลังไฟฟ้า x ค่ากระแสไฟฟ้า
 = 0.14×2.5 = 0.35 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

- ค่าฝังกลบตะกอนรวม = ตะกอนที่เกิดขึ้น x ค่าฝังกลบตะกอน
 = $(1.0547 / 1000) \times 2000$ บาทต่อลูกบาศก์เมตร
 = 2.11 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

- ค่าขั้วไฟฟ้า (Cost of electrode) = น้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่กัดกร่อน x ค่าขั้วไฟฟ้า
 = $(0.3487 \times 4.93) / 52.20$ บาทต่อปริมาณน้ำ
 ตัวอย่าง 3 ลิตร
 = $(0.0329 \times 1000) / 3$ = 10.98 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ต้นทุนในการดำเนินงาน

$$\begin{aligned} &= \text{ค่ากระแสไฟฟ้า} + \text{ค่าฝังกลบตะกอน} + \text{ค่าซื้อไฟฟ้า} \\ &= 0.35 + 2.11 + 10.98 = 13.50 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 0.30 \text{ เหรียญสหรัฐต่อลูกบาศก์เมตรของสารตัวอย่าง} \end{aligned}$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

บึงประดิษฐ์ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วหรือใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นที่ 2 (Secondary Treatment) สำหรับบำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้อีกด้วย ระบบนี้ คือ ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีในการบำบัดสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

เมื่อน้ำเสียไหลเข้ามาในบึงประดิษฐ์ส่วนต้น สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนจมตัวลงสู่ก้นบึง และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับพืชน้ำหรือชั้นหินและจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ระบบนี้จะได้รับออกซิเจนจากการแทรกซึมของอากาศผ่านผิวน้ำหรือชั้นหินลงมา ออกซิเจนบางส่วนจะได้ออกจากการสังเคราะห์แสงแต่มีปริมาณไม่มากนัก สำหรับสารแขวนลอยจะถูกกรองและจมตัวอยู่ในช่วงต้น ๆ ของระบบ การลดปริมาณไนโตรเจนจะเป็นไปตามกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ส่วนการลดปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะเกิดที่ชั้นดินส่วนพื้นบ่อ และพืชน้ำจะช่วยดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ยังสามารถกำจัดโลหะหนัก (Heavy Metal) ได้บางส่วนอีกด้วย

บึงประดิษฐ์ มี 2 ประเภท ได้แก่ แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับบึงธรรมชาติ และแบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB) ซึ่งจะมีชั้นดินปนทรายสำหรับปลูกพืชน้ำและชั้นหินรองก้นบ่อเพื่อเป็นตัวกรองน้ำเสีย

จ.1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS

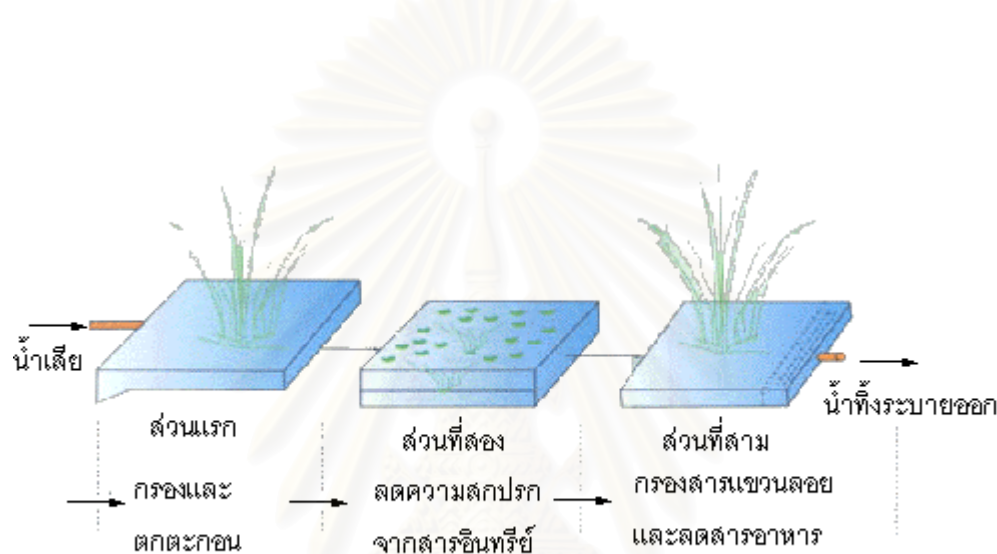
เป็นแบบที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดจากบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) แล้ว ลักษณะของระบบแบบนี้จะเป็นบ่อดินที่มีการบดอัดดินให้แน่นหรือปูพื้นด้วยแผ่น HDPE ให้ได้ระดับเพื่อให้ น้ำเสียไหลตามแนวอนชนานกับพื้นดิน บ่อดินจะมีความลึกแตกต่างกันเพื่อให้เกิดกระบวนการบำบัดตามธรรมชาติอย่างสมบูรณ์โครงสร้างของระบบแบ่งเป็น 3 ส่วน (อาจเป็นบ่อเดียวกันหรือหลายบ่อขึ้นกับการออกแบบ) คือ

ส่วนแรก เป็นส่วนที่มีการปลูกพืชที่มีลักษณะสูงใล่งพื้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้ เช่น กก แผลก กล้วยน้ำว้า เพื่อช่วยในการกรองและตกตะกอนของสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ ทำให้กำจัดสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ได้บางส่วน เป็นการลดสารแขวนลอยและค่าบีโอดีได้ส่วนหนึ่ง

ส่วนที่สอง เป็นส่วนที่มีพืชชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น จอก แหน บัว รวมทั้งพืชขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น สาหร่าย จอก แหน เป็นต้น พื้นที่ส่วนที่สองนี้จะไม่มีการปลูกพืชที่มี

ลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำเหมือนในส่วนแรกและส่วนที่สาม น้ำในส่วนนี้จึงมีการสัมผัสอากาศและแสงแดด ทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำทำให้ออกซิเจนที่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้เป็นการลดค่าบีโอดีในน้ำเสีย และยังเกิดสภาพ ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ด้วย

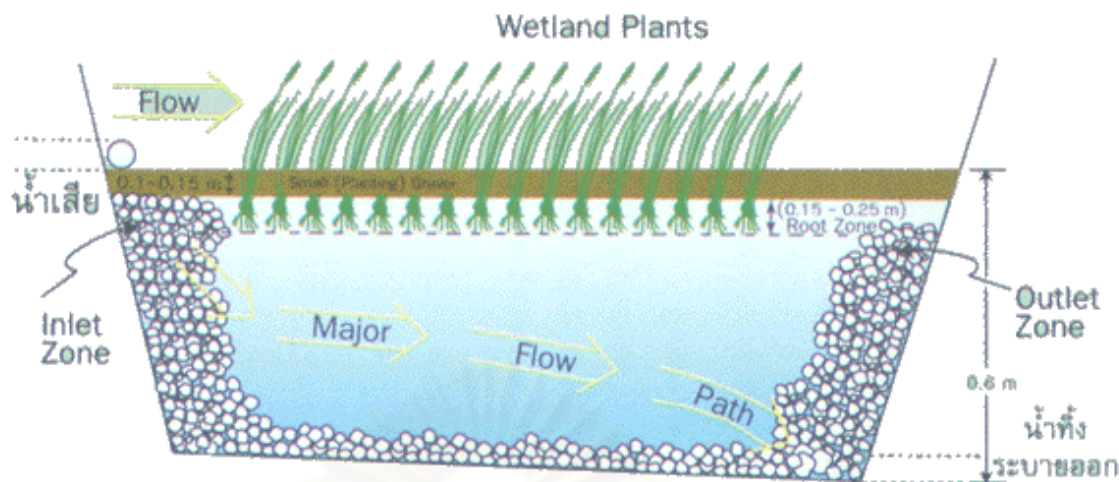
ส่วนที่สาม มีการปลูกพืชในลักษณะเดียวกับส่วนแรก เพื่อช่วยกรองสารแขวนลอยที่ยังเหลืออยู่ และทำให้เกิดสภาพดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เนื่องจากออกซิเจนละลายน้ำลดลงซึ่งสามารถลดสารอาหารจำพวกสารประกอบไนโตรเจนได้



รูปที่ ๑. (1) โครงสร้างของระบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS

๑.2. ระบบบึงประดิษฐ์แบบ VSB

ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้จะมีข้อดีกว่าแบบ Free Water Surface Wetland คือ เป็นระบบที่แยกน้ำเสียไม่ให้ถูกรบกวนจากแมลงหรือสัตว์ และป้องกันไม่ให้ออกซิเจนต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดโรคมาปนเปื้อนกับคนได้ ในบางประเทศใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเกรอะ (Septic Tank) และปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) หรือใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบ Activated Sludge และระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) หรือใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ระบายออกจากอาคารดักน้ำเสีย เป็นต้น



รูปที่ จ. (2) โครงสร้างของระบบบึงประดิษฐ์แบบ VBS

ส่วนประกอบที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ คือ

- พืชที่ปลูกในระบบ จะมีหน้าที่สนับสนุนให้เกิดการถ่ายเทแก๊สออกซิเจนจากอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่ น้ำเสีย และยังทำหน้าที่สนับสนุนให้แก๊สที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น แก๊สมีเทน (Methane) จากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) สามารถระบายออกจากระบบได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้โดยการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

- ตัวกลาง (Media) จะมีหน้าที่สำคัญคือ

- เป็นที่สำหรับให้รากของพืชที่ปลูกในระบบยึดเกาะ
- ช่วยให้เกิดการกระจายของน้ำเสียที่เข้าระบบและช่วยรวบรวมน้ำทิ้งก่อนระบายออก
- เป็นที่สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ
- สำหรับใช้กรองสารแขวนลอยต่าง ๆ

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ระบบบึงประดิษฐ์

- ปัญหาทางด้านเทคนิคมีน้อย เนื่องจากเป็นระบบที่อาศัยธรรมชาติเป็นหลัก ส่วนใหญ่ปัญหาที่พบคือ พืชที่นำมาปลูกไม่สามารถเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณตามที่ต้องการได้ อาจเนื่องมาจากการเลือกใช้ชนิดของพืชไม่เหมาะสม สภาพของดินไม่เหมาะสม หรือถูกรบกวนจากสัตว์ที่กินพืชเหล่านี้เป็นอาหาร เป็นต้น

ประโยชน์ที่ได้จากบึงประดิษฐ์

- สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย และสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้คุณภาพแหล่งรองรับน้ำทิ้งดีขึ้น
- ทำให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศและสภาพแวดล้อม เป็นที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของสัตว์และนกชนิดต่าง ๆ และเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจและศึกษาทางธรรมชาติ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสังกรม์ คงเจาะ เกิดวันที่ 24 ธันวาคม 2522 ณ จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2543 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์การแพทย์ 3 (ลูกจ้างชั่วคราว) กลุ่มงานวิจัยและค้นคว้า สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข และได้ลาออกเพื่อเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคปลายของปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย