



ผลของข้าวไฟฟ้าและโครงสร้างของสีแอสิตต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

วิทยานิพนธ์

ของ

อนุชิตา ศรีภิรมย์

พหุ ประชูปโต สีเว

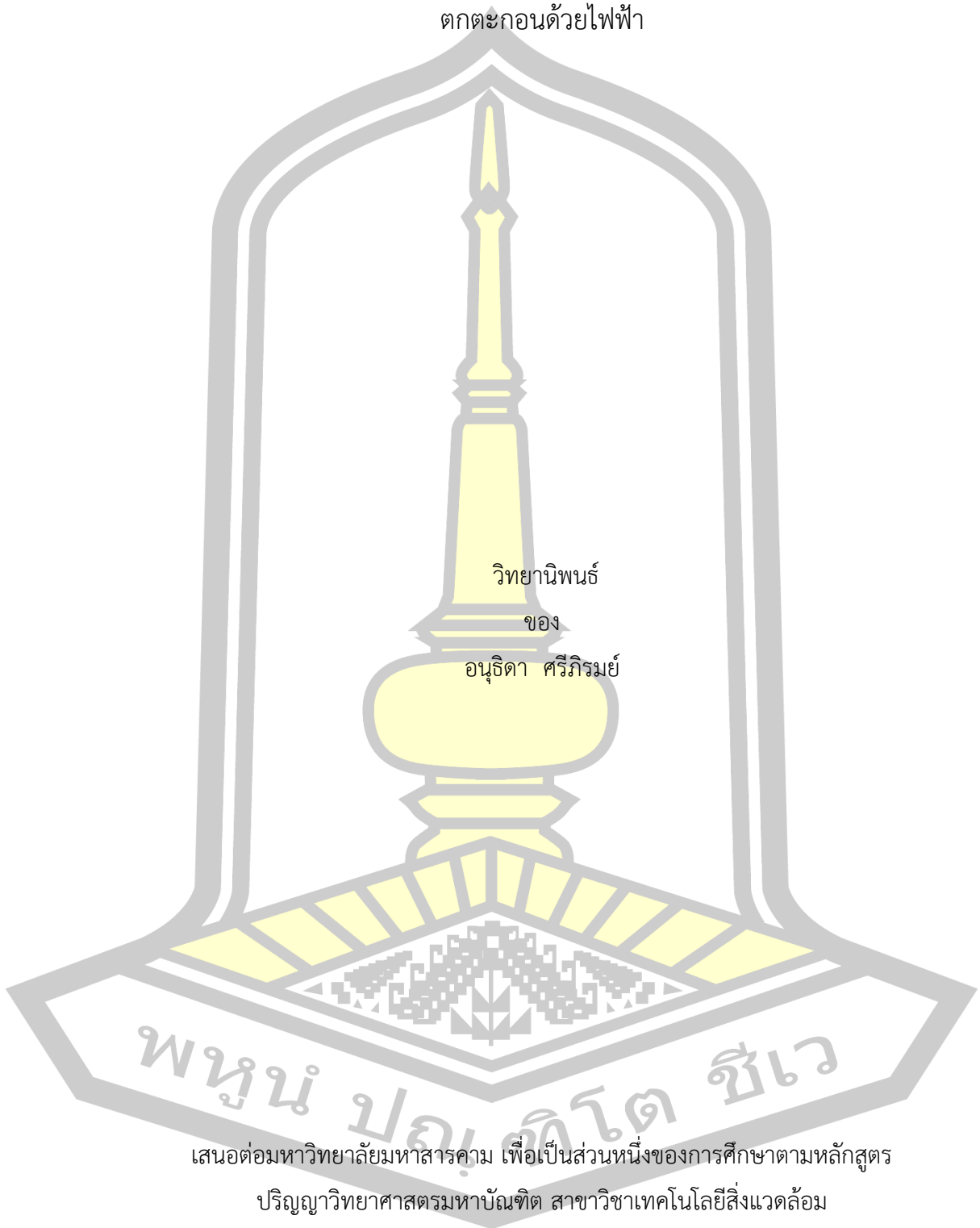
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2560

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

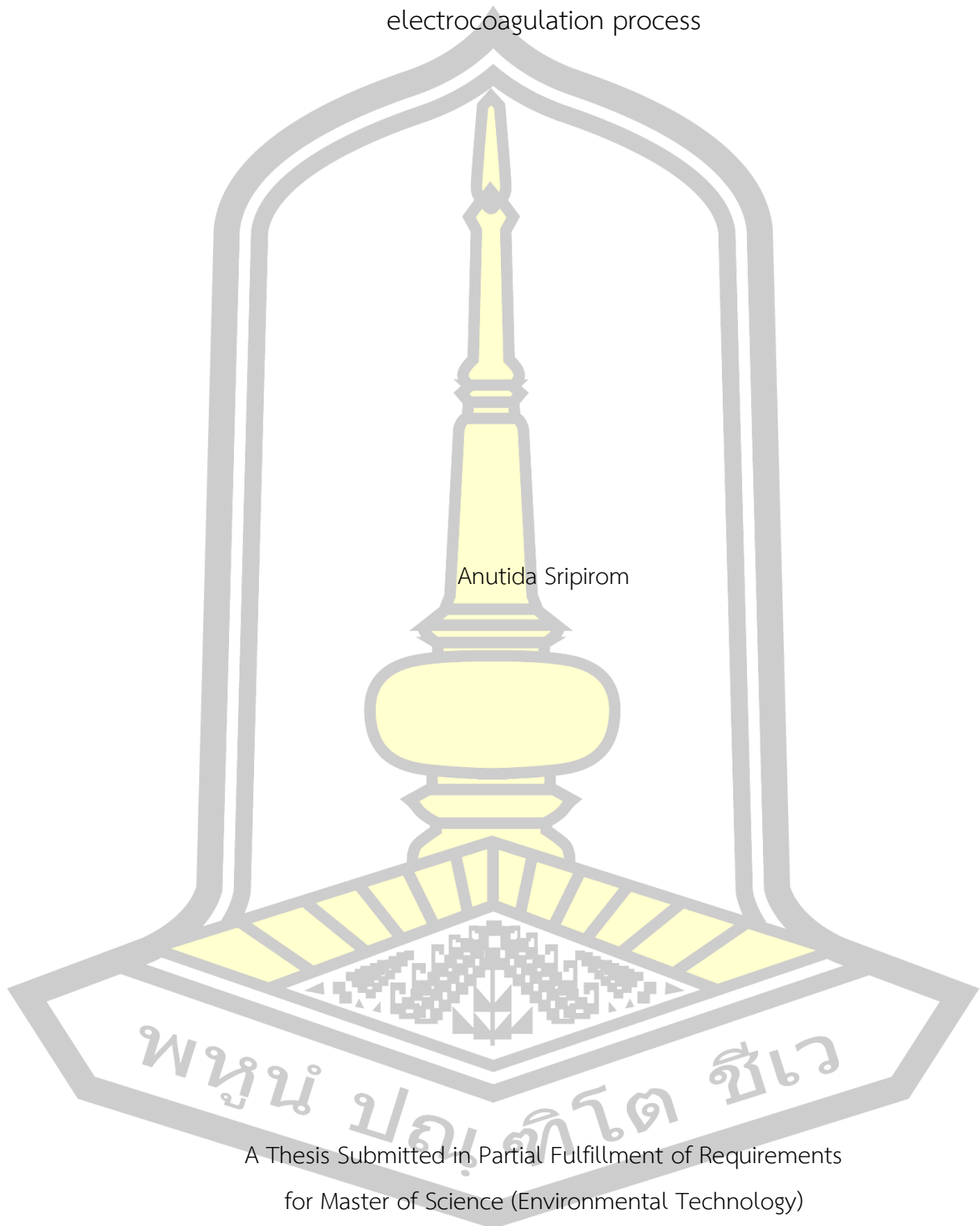
ผลของขั้วไฟฟ้าและโครงสร้างของสีแอสิตต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยกระบวนการ
ตกตะกอนด้วยไฟฟ้า



เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2560

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Effect of electrode type and acid dye structure to treatment efficiency by
electrocoagulation process



Anutida Sripirom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Environmental Technology)

Academic Year 2017

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวอนุธิดา ศรีภิรมย์
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. พลกฤษณ์ จิตรโตะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อ. ดร. ธายุกร พระบำรุง)

.....กรรมการ

(อ. ดร. ชุพนธ์ เจริญสุข)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผศ. ดร. กิติโรจน์ หวันตาหลา)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ผศ. ดร. ยรรยงค์ อินทร์ม่วง)

..... (ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน.....เดือน.....ปี.....

ชื่อเรื่อง ผลของขั้วไฟฟ้าและโครงสร้างของสีแอซิดต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดย
กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

ผู้วิจัย อนุธิดา ศรีภิรมย์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ จิตรโต
อาจารย์ ดร. ธายุกร พระบำรุง

ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีการศึกษา** 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเดินระบบการบำบัดน้ำเสียขั้วขั้วมโหมแอซิด โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในสภาวะการเดินระบบที่ใช้เหล็กและอะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ศึกษาขั้วขั้วมโหมแอซิดสีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีดำ น้ำเสียขั้วขั้วมมีพีเอชเท่ากับ 5.7, 6.9, 6.6 และ 7 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในสภาวะการเดินระบบบำบัดนี้พบว่าระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กและอะลูมิเนียมทุกช่วงพีเอชเริ่มต้นที่ 5-9 ค่าพีเอชของระบบจะเพิ่มขึ้นและคงที่ในช่วง pH 10-11 และเมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลาสั้นเพียงพอจะมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน ดังนั้นพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก และอะลูมิเนียมในการบำบัดสามารถใช้พีเอชจริงของน้ำเสียแอซิดได้ การศึกษากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าเมื่อให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าสูง กระแสไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับประสิทธิภาพบำบัดซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ แต่การให้กระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไปไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น ปริมาณความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ในระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กพบว่าให้ประสิทธิภาพการบำบัดสี และซีโอทีที่ร้อยละ 95 และ ร้อยละ 89 และในระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในระบบเท่ากัน มีประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอทีสูงที่ร้อยละ 97 และร้อยละ 89 จากผลการศึกษาพบว่าการเดินระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้ามีเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียแอซิด เนื่องจากขั้วไฟฟ้าที่ต่างกันเมื่อให้ปริมาณความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในระบบเท่ากัน ที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพในการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลในระยะเวลา 60 นาทีที่เร็วกว่าระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กที่ใช้เวลา 80 นาที เหนือสีของสีแอซิดมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กในการบำบัดน้ำเสียแอซิดสีดำ สีน้ำเงิน และสีเหลือง ที่กระแสไฟฟ้าเดียวกันมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลได้ดีกว่าในระยะเวลาเท่ากัน ในขณะที่สีแดงใช้เวลาในการบำบัดที่มากกว่า และระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม การบำบัดสีเหลือง สีดำ และสีน้ำเงินมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุล

เร็วกว่าสีแดง ทั้งนี้พบว่าโครงสร้างโมเลกุลของแต่ละเฉดสี มีลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลเป็นกึ่ง
ก้อนและมีขนาดโมเลกุลต่างกัน มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันนอลที่ทำพันธะกับสารรวมตะกอนไม่เท่ากัน และ
ระยะตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันนอลแต่ละหมู่ต่างกัน

คำสำคัญ : บำบัด, น้ำเสีย, กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า, น้ำเสียสีข้มกรวด, สีแอสิด, ผ้าไหม



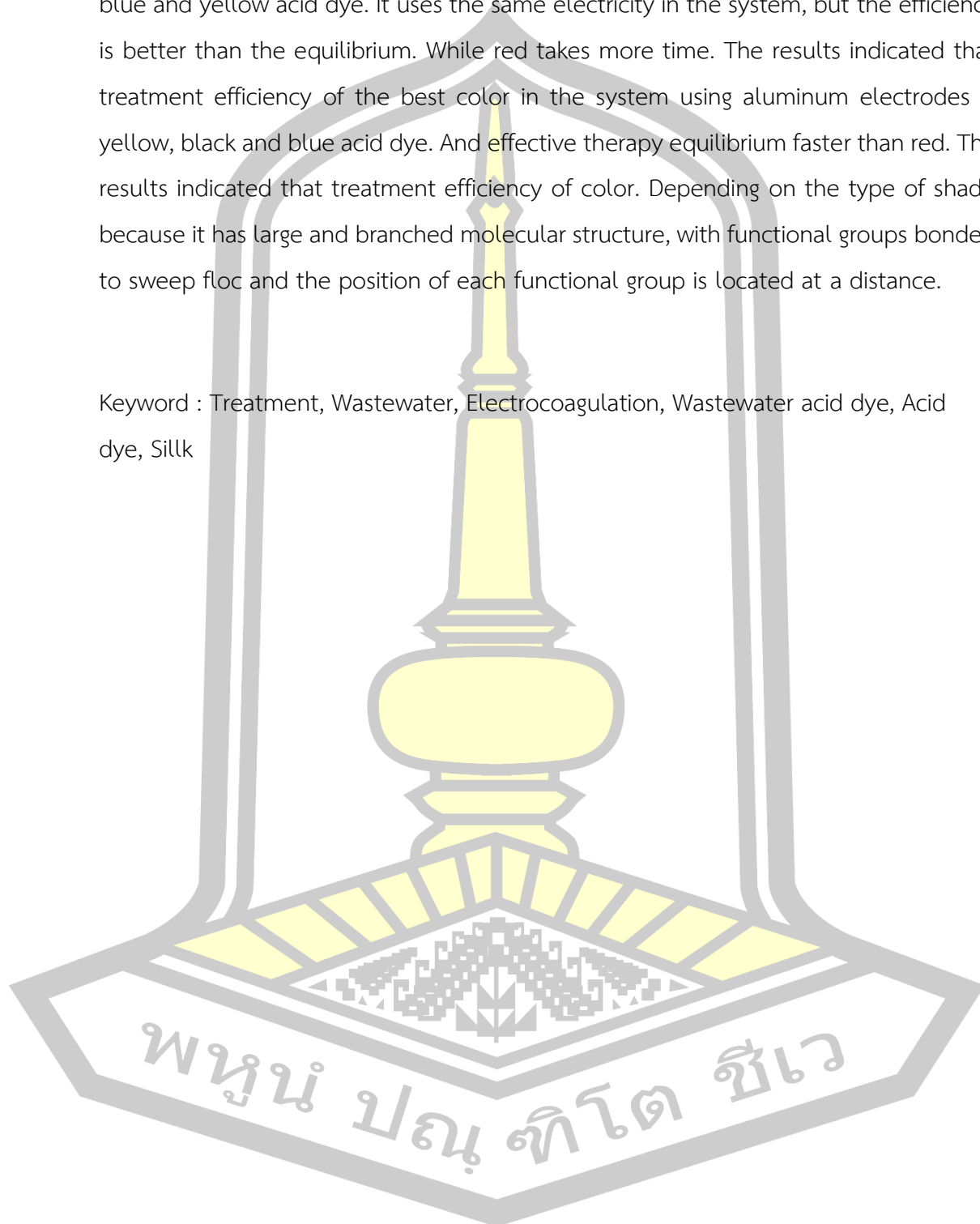
TITLE	Effect of electrode type and acid dye structure to treatment efficiency by electrocoagulation process		
AUTHOR	Anutida Sripirom		
ADVISORS	Assistant Professor Ponlakit Jitto , Ph.D. Thayukorn Prabamroong , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Environmental Technology
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2017

ABSTRACT

Silk Textile Wastewater Treatment by Electrocoagulation Process. This research studied the effectiveness of wastewater treatment to change the color of acid dye by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes process. The actual pH of the wastewater is red, yellow, blue and black. The starting pH was 5.7, 6.9, 6.6 and 7 respectively. The results showed that when the system started at pH 5-9, the pH increased and stabilized in the range of 10-11. When the wastewater treatment system was dyed for a long time, the efficiency was not different. Therefore, the optimal starting pH in the system can be used. The current density varies with wastewater treatment efficiency in accordance with Faraday's laws, but excessive current density does not lead to higher efficiency. A suitable current density is 75 A/m², the most effective treatments were with efficiencies on color and COD removal performance in the high point of therapy of 95%, and 89% in the system using iron. The most effective treatments were with efficiencies of color and COD removal performance in the high point of therapy of 97%, and 89% in the system using aluminum. Study on the electrode used in the system, suitable for wastewater treatment is the system using aluminum electrodes. The use of iron in the electroplating system. And aluminum is used in the same system at 75 A/m². The aluminum electrode is effective in treatment to the equilibrium point in treatment for 60 minutes faster than the metal electrodes in order to take effective therapies into equilibrium at 80 minutes. The results indicated

that treatment efficiency of the best color in the system using iron electrodes is black, blue and yellow acid dye. It uses the same electricity in the system, but the efficiency is better than the equilibrium. While red takes more time. The results indicated that treatment efficiency of the best color in the system using aluminum electrodes is yellow, black and blue acid dye. And effective therapy equilibrium faster than red. The results indicated that treatment efficiency of color. Depending on the type of shade because it has large and branched molecular structure, with functional groups bonded to sweep floc and the position of each functional group is located at a distance.

Keyword : Treatment, Wastewater, Electrocoagulation, Wastewater acid dye, Acid dye, Sillk



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัยทุนสกว.อุตสาหกรรม ประจำปี 2555 รหัสโครงการ MAG 55_0232 ในเรื่อง “การบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหมโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า” ทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2559 แลวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ จิตรโธ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ดร.ชายุกร พระบำรุง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์ ประธานกรรมการและอาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ อาจารย์ดร.ชฤพนธ์ เจริญสุข อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติโรจน์ หวันตาหลา ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ ให้ความกรุณาและให้คำปรึกษาและขอขอบคุณเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์การทดลอง การใช้ห้องปฏิบัติการและการประสานงานด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้ความสนับสนุน สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้สามารถดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้บรรลุผลสำเร็จ

อนุชิตา ศรีภิรมย์

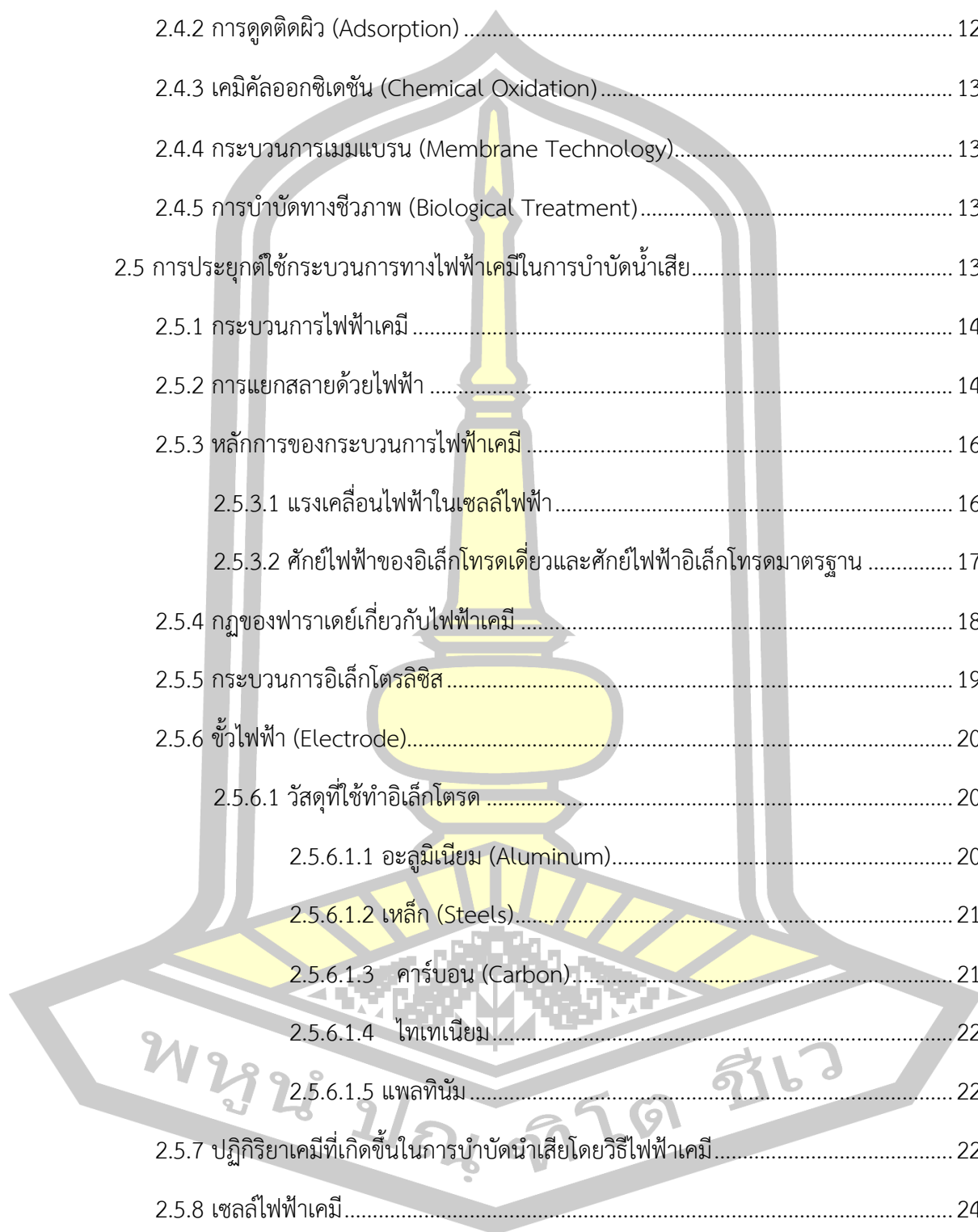


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	ต
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษางานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2.....	4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการพอกย้อม.....	4
2.2 สีย้อมในอุตสาหกรรมพอกย้อม.....	4
2.3 ลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรมพอกย้อม.....	5
2.3.1 สีย้อม.....	5
2.3.1.1 การจำแนกประเภทของสีย้อม.....	6
2.3.1.2 การจำแนกประเภทของสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพ.....	6
2.3.1.3 การจำแนกประเภทของสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี.....	6

2.3.1.4 การจำแนกประเภทของสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน	6
2.3.1.4.1 สีย้อมเบสิก (Basic Dyes).....	7
2.3.1.4.2 สีย้อมแอซิด (Acid Dyes).....	7
2.3.1.4.3 สีย้อมดิสเพิร์ส (Disperse Dyes).....	7
2.3.1.4.4 สีย้อมอะโซอิก (Azoic Dyes)	7
2.3.1.4.5 สีย้อมไดเรกต์ (Direct Dyes).....	7
2.3.1.4.6 สีย้อมมอร์แดนต์ (Mordant Dyes).....	7
2.3.1.4.7 สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulfur Dyes)	8
2.3.1.4.8 สีย้อมวัต (Vat Dyes).....	8
2.3.1.4.9 สีย้อมรีแอกทีฟ (Reactive Dyes)	8
2.3.1.4.10 ย้อมเมทัลคอมเพล็กซ์ (Metal Complex Dyes).....	8
2.3.2 สีย้อมที่ใช้ย้อมไหม สีแอซิด (Acid Dye).....	8
2.3.2.1 การแบ่งประเภทของสีแอซิด	9
2.3.2.1.1 การจำแนกสีแอซิด.....	9
2.3.2.1.2 การจำแนกสีแอซิดตามผู้ผลิตสี	9
2.3.2.1.3 สีพรีเมทัลไลซ์ (Pre-metallized Dye).....	10
2.3.3 สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อมและกระบวนการตกแต่งสิ่งทอ	11
2.3.3.1 สารช่วยย้อม (Auxiliaries Chemicals).....	11
2.3.3.2 สารเคมีพื้นฐาน (Basic Chemicals).....	12
2.3.3.3 สารเคมีตกแต่งสำเร็จ	12
2.3.4 สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย	12
2.3.5 เศษเส้นใย.....	12
2.3.6 สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ.....	12
2.4 วิธีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมในปัจจุบัน	12

2.4.1 เคมีคัลโคแอกกูเลชัน (Chemical Coagulation).....	12
2.4.2 การดูดติดผิว (Adsorption).....	12
2.4.3 เคมีคัลออกซิเดชัน (Chemical Oxidation).....	13
2.4.4 กระบวนการเมมเบรน (Membrane Technology).....	13
2.4.5 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment).....	13
2.5 การประยุกต์ใช้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสีย.....	13
2.5.1 กระบวนการไฟฟ้าเคมี.....	14
2.5.2 การแยกสลายด้วยไฟฟ้า.....	14
2.5.3 หลักการของกระบวนการไฟฟ้าเคมี.....	16
2.5.3.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าในเซลล์ไฟฟ้า.....	16
2.5.3.2 ศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดเดี่ยวและศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน.....	17
2.5.4 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี.....	18
2.5.5 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส.....	19
2.5.6 ขั้วไฟฟ้า (Electrode).....	20
2.5.6.1 วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรด.....	20
2.5.6.1.1 อะลูมิเนียม (Aluminum).....	20
2.5.6.1.2 เหล็ก (Steels).....	21
2.5.6.1.3 คาร์บอน (Carbon).....	21
2.5.6.1.4 ไทเทเนียม.....	22
2.5.6.1.5 แพลทินัม.....	22
2.5.7 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี.....	22
2.5.8 เซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	24
2.5.8.1 กระบวนการ Oxidation.....	24
2.5.8.2 กระบวนการ Flotation.....	24

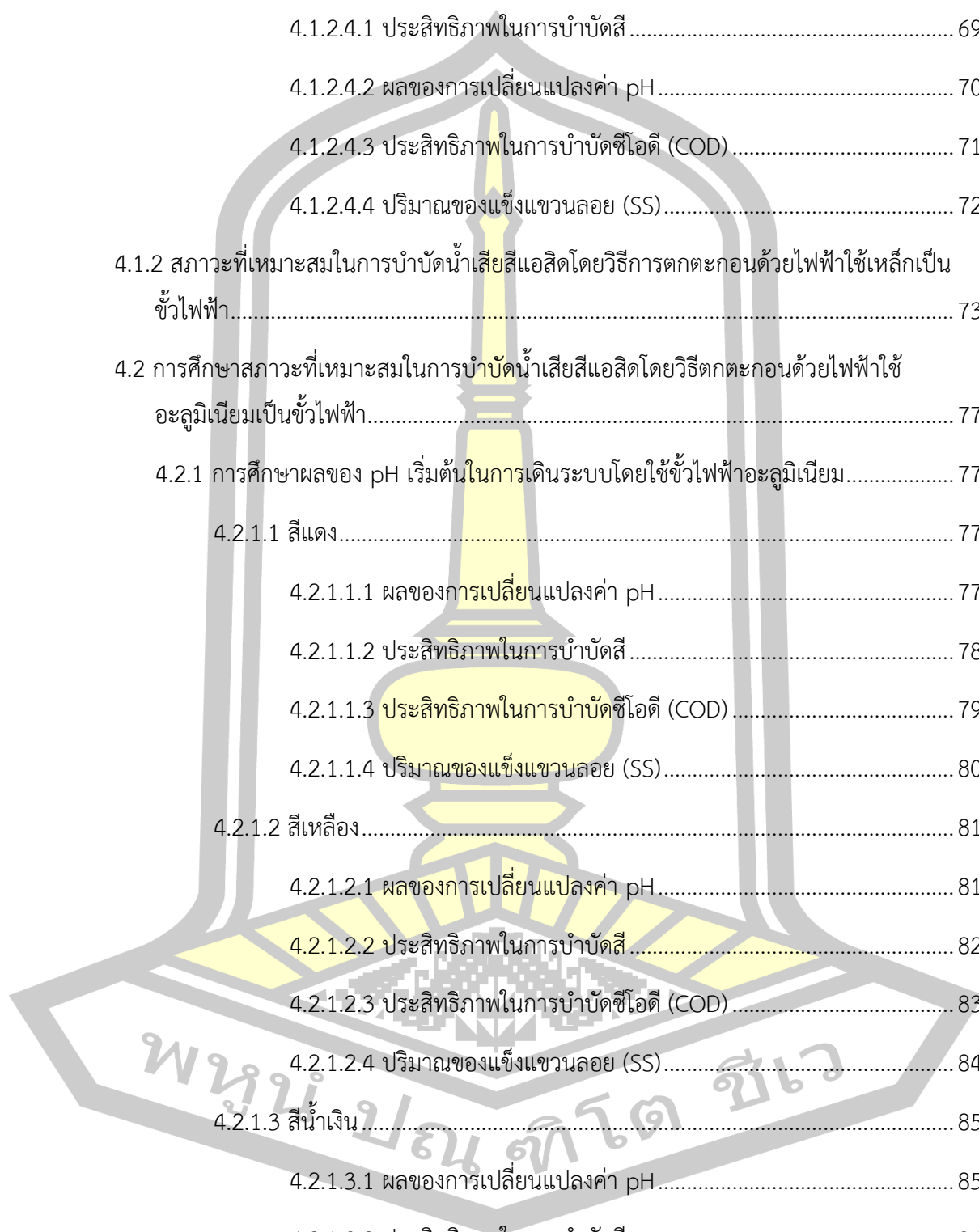


2.5.8.3	กระบวนการรวมตัวเป็นสารเชิงซ้อน.....	24
2.5.8.4	กระบวนการรวมตัวทางเคมี (Chemical Coagulation).....	24
2.5.9	ดัชนีที่มีผลต่อกระบวนการไฟฟ้าเคมี.....	24
2.5.9.1	ค่าการนำไฟฟ้า.....	25
2.5.9.2	สี.....	25
2.5.9.3	สารอินทรีย์.....	26
2.5.9.4	ค่าพีเอช(pH).....	26
2.5.9.5	คอลลอยด์.....	27
2.6	การประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสีย.....	27
2.6.1	การแยกสารโดยการทำให้ลอยด้วยไฟฟ้า.....	27
2.6.2	การกำจัดฟีนอลในน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี.....	28
2.6.3	การกำจัดไอออนต่างๆ ในน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี.....	28
2.6.4	การกำจัดเชื้อโรคหรือแบคทีเรียในน้ำเสียจากชุมชน.....	29
2.6.5	การกำจัดสีของน้ำเสีย.....	30
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3	34
วิธีการดำเนินการวิจัย	34
3.1	การเตรียมชุดการทดลอง.....	34
3.2	การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.3	การเตรียมแผ่นอิเล็กโทรด.....	36
3.4	วิธีการทดลอง.....	36
3.4.1	ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน และ สีดำ ด้วยวิธีตกตะกอนทางไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	36
3.4.1.1	การศึกษาผลของ pH เริ่มต้นของน้ำเสีย.....	36

3.4.1.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า.....	36
3.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสिट สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีดำ ด้วยวิธีตกตะกอนทางไฟฟ้าโดยใช้ลุ่มิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	36
3.4.2.1 การศึกษาผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสี.....	36
3.4.2.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า.....	36
3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	37
บทที่ 4	39
ผลการทดลองและอภิปรายผล	39
4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีย้อมแอสिटโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้ เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	39
4.1.1 การศึกษาผลของ pH เริ่มต้นในการเดินระบบโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก.....	39
4.1.1.1 สีแดง.....	40
4.1.1.1.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	40
4.1.1.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี.....	41
4.1.1.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดี (COD).....	42
4.1.1.1.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	43
4.1.1.2 สีเหลือง.....	44
4.1.1.2.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	44
4.1.1.2.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี.....	45
4.1.1.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดี (COD).....	46
4.1.1.2.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	47
4.1.1.3 สีน้ำเงิน.....	48
4.1.1.3.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	48
4.1.1.3.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี.....	49

4.1.1.3.3	ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)	50
4.1.1.3.4	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)	51
4.1.1.4	สีดํา	52
4.1.1.4.1	ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH	52
4.1.1.4.2	ประสิทธิภาพในการบำบัดสี	53
4.1.1.4.3	ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)	54
4.1.1.4.4	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)	55
4.1.2	การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นในการเดินระบบในระบบของน้ำ เสียโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก	56
4.1.2.1	สีแดง	57
4.1.2.1.1	ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH	57
4.1.2.1.2	ประสิทธิภาพในการบำบัดสี	58
4.1.2.1.3	ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)	59
4.1.2.1.4	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)	60
4.1.2.2	สีเหลือง	61
4.1.2.2.1	ประสิทธิภาพในการบำบัดสี	61
4.1.2.2.2	ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH	62
4.1.2.2.3	ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)	63
4.1.2.2.4	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)	64
4.1.2.3	สีน้ำเงิน	65
4.1.2.3.1	ประสิทธิภาพในการบำบัดสี	65
4.1.2.3.2	ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH	66
4.1.2.3.3	ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)	67
4.1.2.3.4	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)	68

4.1.2.4 สีดำ.....	69
4.1.2.4.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี	69
4.1.2.4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	70
4.1.2.4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD).....	71
4.1.2.4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	72
4.1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้เหล็กเป็น ขั้วไฟฟ้า.....	73
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า.....	77
4.2.1 การศึกษาผลของ pH เริ่มต้นในการเดินระบบโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม.....	77
4.2.1.1 สีแดง.....	77
4.2.1.1.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	77
4.2.1.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี	78
4.2.1.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD).....	79
4.2.1.1.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	80
4.2.1.2 สีเหลือง.....	81
4.2.1.2.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	81
4.2.1.2.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี.....	82
4.2.1.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD).....	83
4.2.1.2.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	84
4.2.1.3 สีน้ำเงิน.....	85
4.2.1.3.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	85
4.2.1.3.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี.....	86
4.2.1.3.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD).....	87



4.2.1.3.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	88
4.2.1.4 สีดำ.....	89
4.2.1.4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	89
4.2.1.4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี.....	90
4.2.1.4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD).....	91
4.2.1.4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	92
4.2.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันในการเดินระบบในระบบของน้ำ เสียโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม.....	93
4.2.2.1 สีแดง.....	93
4.2.2.1.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี.....	93
4.2.2.1.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	95
4.2.2.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD).....	96
4.2.2.1.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	97
4.2.2.2 สีเหลือง.....	98
4.2.2.2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี.....	98
4.2.2.2.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	99
4.2.2.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD).....	100
4.2.2.2.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	101
4.2.2.3 สีนํ้าเงิน.....	102
4.2.2.3.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี.....	102
4.2.2.3.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	103
4.2.2.3.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD).....	104
4.2.2.3.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	105
4.2.2.4 สีดำ.....	106



4.2.2.4.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี	106
4.2.2.4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH	107
4.2.2.4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)	108
4.2.2.4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)	109
4.2.3 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตเจดสีต่างกันโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	110
4.3 เปรียบเทียบชนิดขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า	114
4.3.1 ชนิดขั้วไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสี	114
4.3.2 ชนิดของขั้วไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี	116
4.4 การศึกษาผลของชนิดสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า	117
บทที่ 5	121
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	121
5.1 สรุปผลการทดลอง	121
5.2 ข้อเสนอแนะ	122
บรรณานุกรม	123
ประวัติผู้เขียน	127

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ประเภทของสารช่วยย้อม.....	11
ตารางที่ 2 โครงสร้างทางเคมีและโครงสร้างโมเลกุลของสีแอสிட.....	35
ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย.....	38
ตารางที่ 4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m ²	44
ตารางที่ 5 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m ²	48
ตารางที่ 6 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m ²	52
ตารางที่ 7 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m ²	56
ตารางที่ 8 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีแดงที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	60
ตารางที่ 9 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	65
ตารางที่ 10 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	69
ตารางที่ 11 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีดำที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	73
ตารางที่ 12 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m ²	81
ตารางที่ 13 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิดสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m ²	85

ตารางที่ 14 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m ²	89
ตารางที่ 15 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m ²	93
ตารางที่ 16 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีแดงที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	97
ตารางที่ 17 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	102
ตารางที่ 18 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	106
ตารางที่ 19 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีดำที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	110
ตารางที่ 20 การศึกษาผลของชนิดสื่อต่อประสิทธิภาพการบำบัดสีของน้ำเสียสีแอสิตโดยกระบวนการ ตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	118
ตารางที่ 21 การศึกษาผลของชนิดสื่อต่อประสิทธิภาพการบำบัดสีโอติของน้ำเสียสีแอสิตโดย กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	119



สารบัญญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 Acid Red 144 ($C_{46}H_{30}N_6Na_2O_{10}S_2$).....	10
ภาพประกอบ 2 Acid Yellow 42 ($C_{32}H_{24}N_8Na_2O_8S_2$).....	10
ภาพประกอบ 3 Acid Blue 83 ($C_{45}H_{44}N_3NaO_7S_2$).....	10
ภาพประกอบ 4 Acid Black 41 ($C_{22}H_{13}N_6Na_3O_{12}S_2$).....	11
ภาพประกอบ 5 การติดตั้งชุดการทดลอง	34
ภาพประกอบ 6 แผนภาพการทดลอง.....	37
ภาพประกอบ 7 ผลของพีเอชที่เปลี่ยนแปลงในระบบ เมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นต่างกันเทียบกับเวลาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิดสีแดงโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร 41	
ภาพประกอบ 8 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	42
ภาพประกอบ 9 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	43
ภาพประกอบ 10 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอสิดสีเหลืองที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	45
ภาพประกอบ 11 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	46
ภาพประกอบ 12 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	47
ภาพประกอบ 13 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอสิดสีน้ำเงินที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	49
ภาพประกอบ 14 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	50
ภาพประกอบ 15 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	51

ภาพประกอบ 16 ผลของน้ำเสียที่ย้อมแอสิดสีน้ำดำที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	53
ภาพประกอบ 17 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	54
ภาพประกอบ 18 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	55
ภาพประกอบ 19 ค่าของ pH น้ำเสียที่ย้อมแอสิดสีแดงในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน.....	57
ภาพประกอบ 20 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีแดงที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	58
ภาพประกอบ 21 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีแดงที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	59
ภาพประกอบ 22 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	62
ภาพประกอบ 23 ค่าของ pH น้ำเสียที่ย้อมแอสิดสีเหลืองในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน.....	63
ภาพประกอบ 24 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	64
ภาพประกอบ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	66
ภาพประกอบ 26 ค่าของ pH น้ำเสียที่ย้อมแอสิดสีน้ำเงินในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน.....	67
ภาพประกอบ 27 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	68
ภาพประกอบ 28 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีดำที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	70

ภาพประกอบ 29 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิตสีดำในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน.....	71
ภาพประกอบ 30 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีดำที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	72
ภาพประกอบ 31 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีแดงใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	74
ภาพประกอบ 32 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีเหลืองใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	74
ภาพประกอบ 33 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีน้ำเงินใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	75
ภาพประกอบ 34 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีดำใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	76
ภาพประกอบ 35 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเฉดสีต่างกันที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า... 76	76
ภาพประกอบ 36 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอสิตสีแดงที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า,กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	78
ภาพประกอบ 37 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	79
ภาพประกอบ 38 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	80
ภาพประกอบ 39 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอสิตสีเหลืองที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า,กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	82
ภาพประกอบ 40 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	83
ภาพประกอบ 41 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	84
ภาพประกอบ 42 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอสิตสีน้ำเงินที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า,กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	86
ภาพประกอบ 43 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	87

ภาพประกอบ 44 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	88
ภาพประกอบ 45 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอสิตสีน้ำดำที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดย ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	90
ภาพประกอบ 46 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็น ขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	91
ภาพประกอบ 47 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m ²	92
ภาพประกอบ 48 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีแดงที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียม เป็นขั้วไฟฟ้า.....	94
ภาพประกอบ 49 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิตสีแดงในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน	95
ภาพประกอบ 50 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีแดงที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	96
ภาพประกอบ 51 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	99
ภาพประกอบ 52 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิตสีเหลืองในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน	100
ภาพประกอบ 53 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดย ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า.....	101
ภาพประกอบ 54 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	103
ภาพประกอบ 55 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิตสีน้ำเงินในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดย ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน	104
ภาพประกอบ 56 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดย ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า.....	105

ภาพประกอบ 57 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีดำที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า.....	107
ภาพประกอบ 58 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิตสีดำในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน	108
ภาพประกอบ 59 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีดำที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	109
ภาพประกอบ 60 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีแดงใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า.	111
ภาพประกอบ 61 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีเหลืองใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	111
ภาพประกอบ 62 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีน้ำเงินใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	112
ภาพประกอบ 63 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีดำใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า	113
ภาพประกอบ 64 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเฉดสีต่างกันที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า.	113
ภาพประกอบ 65 เปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพการบำบัดสีที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กและอะลูมิเนียม.....	115
ภาพประกอบ 66 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ขั้วไฟฟ้าต่างกัน ขั้วอะลูมิเนียมและขั้วเหล็ก	117



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เครื่องนุ่งห่มถือเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต อดีตจนถึงปัจจุบันมีการออกแบบเสื้อผ้าในรูปแบบต่างๆ ที่นำสมัย เส้นใยที่นำมาใช้ในการทอผ้ามี 2 ประเภท คือเส้นใยธรรมชาติ เช่นเส้นใยพืช (ฝ้าย ปอ ลินิน ป่าน หนุ่น งามิ) เส้นใยสัตว์ (ขนสัตว์ ไหม) และ เส้นใยประดิษฐ์ เช่น เส้นใยประดิษฐ์จากธรรมชาติ (เรยอน อะซิเตท ไตรอะซิเตท) เส้นใยสังเคราะห์ (ไนลอน โอลีฟินส์ โพลีเอสเตอร์ โพลีเอรามิด) เส้นใยประดิษฐ์จากแร่และหิน (โลหะ แก้ว กราไฟต์ เซรามิก) เส้นใยธรรมชาติที่รู้จักกันดีแพร่หลายในภาคอีสานของประเทศไทย คือเส้นใยไหม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการส่งเสริมและพัฒนาการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม สาวไหม และทอผ้าไหม ทั้งมีการจัดตั้งกรมหม่อนไหมเพื่อเป็นหน่วยงานหลักในการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านงานวิจัย และส่งเสริม มีการตั้งศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติขึ้นในหลายจังหวัดทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดร้อยเอ็ด เป็นศูนย์หนึ่งในความดูแลของกรมหม่อนไหม ที่มีพันธกิจส่งเสริมการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม การย้อมผ้าไหม ตลอดจนคิดค้นสีย้อมผ้าธรรมชาติ และลวดลายต่างๆ ในการทอทางศูนย์ฯ จะมีการนำเทคโนโลยีออกไปถ่ายทอดแก่ชุมชนอย่างต่อเนื่อง ปัญหาหนึ่งที่ทางศูนย์ฯ ต้องการแก้ไขคือเมื่อนำความรู้การส่งเสริมการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม และการย้อมไหมสู่ชุมชนมักจะมีคำถามเกี่ยวกับเรื่องการจัดการน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมไหม ซึ่งชาวบ้านผู้ทอผ้าไหมต้องการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว เพื่อผลทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีต่อชุมชน และยังเป็นผลต่อการรวมกลุ่มเพื่อนำสินค้าส่งออกไปขายยังต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งออกไปยังสหภาพยุโรป สินค้าที่ผลิตจะต้องไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และได้รับมาตรฐาน EU Flower (EU Flower) เป็นฉลากเพื่อรับรองว่าสินค้าที่ติดฉลากดังกล่าวมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อมออกโดยคณะกรรมการการค้ายุโรป (European Commission : EC) มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการออกแบบ การผลิต การตลาด และการใช้ผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายใน EU ให้มีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด การอนุมัติฉลากดังกล่าวยึดหลักการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การบรรจุหีบห่อ การใช้งานจนถึงการจัดการกับเศษเหลือใช้

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงวิธีในการบำบัดน้ำเสียสีย้อม ซึ่งในแต่ละวิธีให้ประสิทธิภาพในการบำบัด ข้อดีและข้อจำกัดที่ต่างกัน ซึ่งในอดีตกระบวนการบำบัดทางชีวภาพได้ถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการทอผ้า พบว่าสามารถกำจัด BOD, SS ได้ดีแต่ไม่สามารถกำจัดสีจากน้ำเสียได้ Bao Yu Gao et al. (2007) Li et al. (2011) Zaroual et al. (2006) จึงไม่เป็นที่นิยมในการใช้ในการบำบัด

น้ำเสียเสียย้อม กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการต่างๆ เช่น น้ำเสียที่มีส่วนประกอบของ สีย้อมผ้า , ไนเตรท , ฟลูออไรด์ , น้ำเสียจากภัตตาคาร , สารหนู , สารประกอบฟีนอล , ยางไม้ , Polyaromatic Waste , น้ำเสียจากการฟอกหนัง และการกำจัดโลหะหนัก Merzouk et al. (2009) วิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electro Coagulation) ถือเป็นวิธีที่ง่าย มีค่าใช้จ่ายถูกและให้ประสิทธิภาพที่ดีในการบำบัดมลพิษการกำจัดมลสารในระบบไฟฟ้าเคมีมีกลไกเช่นเดียวกับระบบโคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี คือมลสารจะถูกกำจัดออกในรูปสลัดจ์ ปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่ต่ำกว่าระบบโคแอกกูเลชัน และสลัดจ์ส่วนใหญ่จะลอยขึ้นผิวน้ำ สามารถกำจัดออกได้ง่ายและสะดวก นอกจากนี้บุคคลกรที่มีความรู้ด้านเทคโนโลยีไม่มากนักก็สามารถดำเนินระบบด้วยตัวเองได้ โดยสามารถดูผลจากจุดยุติเมื่อบำบัดน้ำเสียมีลักษณะใส

ในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเสียย้อมด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้เหล็ก และอะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีทั้ง 4 ชนิดคือ สีแดง สีน้ำเงิน สีเหลือง และสีดำ อีกทั้งทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด ได้แก่ ระยะเวลาในการบำบัด, ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า , ค่า pH , COD , SS , ระดับสี และสภาพการนำไฟฟ้า โดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเสียย้อมระหว่างการใช้ Fe และการใช้ Al เป็นขั้วอิเล็กโทรด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและความคุ้มค่าในการบำบัดน้ำเสียเสียย้อมเพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นหรือพิจารณาระบบไฟฟ้าเคมีไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมทั้งในภาคอุตสาหกรรม และ กลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนในรูปแบบหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียเสียย้อมใหม่ด้วยการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในระดับห้องปฏิบัติการ

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเสียย้อมใหม่โดยเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าแบบแท่งเหล็ก และแท่งอะลูมิเนียม

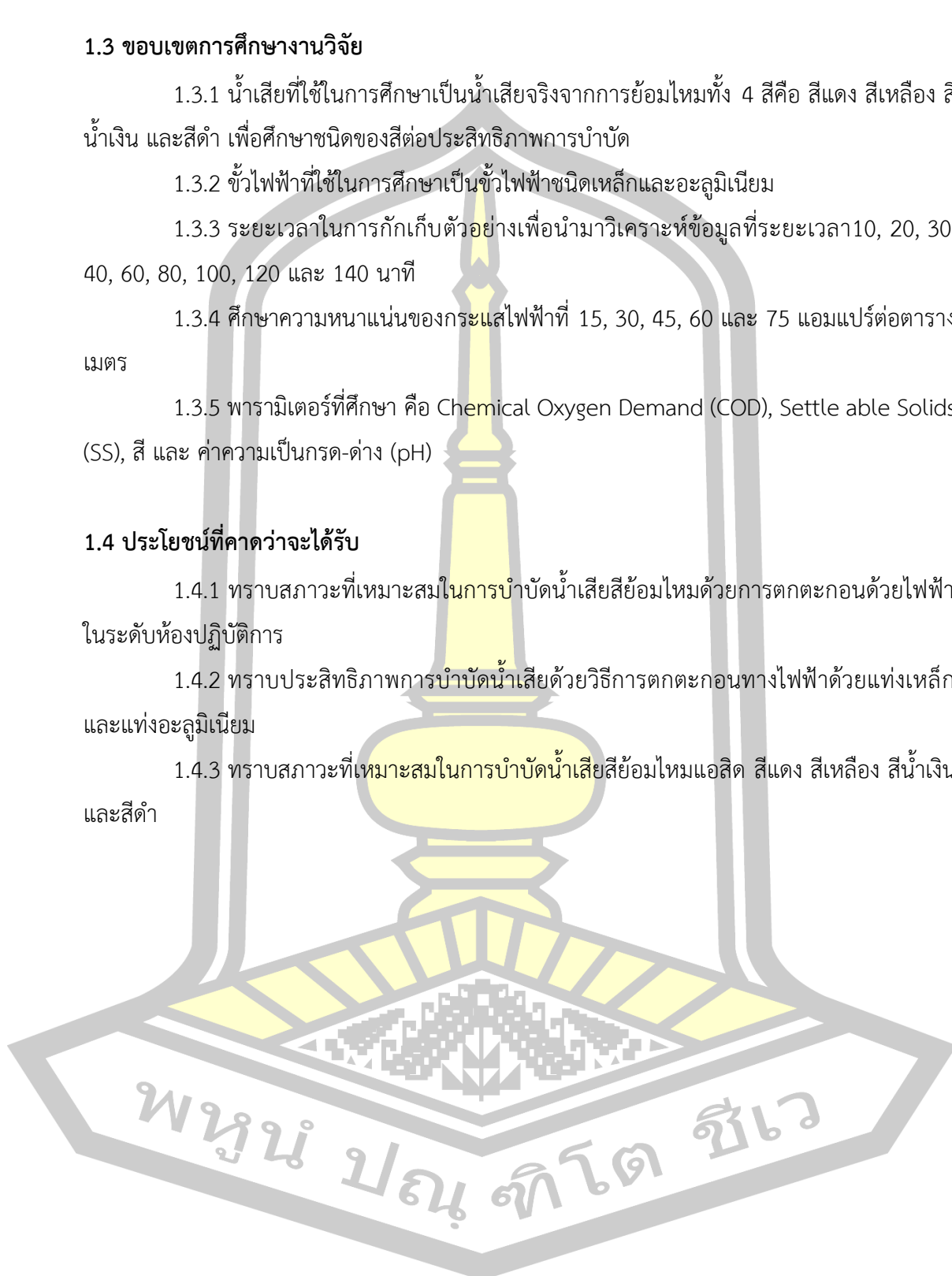
1.2.3 ศึกษาผลของชนิดสีต่อการบำบัดน้ำเสียเสียย้อมใหม่ทั้ง 4 สี คือสีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีดำ

1.3 ขอบเขตการศึกษางานวิจัย

- 1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจริงจากการย้อมไหมทั้ง 4 สีคือ สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีดำ เพื่อศึกษาชนิดของสีต่อประสิทธิภาพการบำบัด
- 1.3.2 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาเป็นขั้วไฟฟ้าชนิดเหล็กและอะลูมิเนียม
- 1.3.3 ระยะเวลาในการกักเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 นาที
- 1.3.4 ศึกษาความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร
- 1.3.5 พารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ Chemical Oxygen Demand (COD), Settle able Solids (SS), สี และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหมด้วยการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในระดับห้องปฏิบัติการ
- 1.4.2 ทราบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าด้วยแท่งเหล็กและแท่งอะลูมิเนียม
- 1.4.3 ทราบสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหมแอสิต สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีดำ



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการฟอกย้อม

กระบวนการฟอกย้อมเป็นขั้นตอนสำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อให้ผ้าและเส้นด้ายมีสีสันสวยงาม คงทนต่อสภาพแวดล้อม และให้ความรู้สึกสบายต่อผู้สวมใส่ ผ้าหรือเส้นด้ายต่างชนิดกันจะใช้กรรมวิธีหรือขั้นตอนการฟอกย้อมที่แตกต่างกันตามชนิดเส้นใยของผ้าหรือเส้นด้ายนั้นๆ เส้นใยที่มีใช้กันโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยเส้นใยจากธรรมชาติ ได้แก่ ฝ้าย ไหม ลินิน เป็นต้น และเส้นใยประดิษฐ์ ได้แก่ โพลีเอสเตอร์ ไนลอน เป็นต้น และนอกจากชนิดเส้นใยที่ทำให้ขั้นตอนการฟอกย้อมแตกต่างกันแล้ว การเลือกชนิดของสีย้อมให้เหมาะสมสำหรับเส้นใยแต่ละชนิดก็เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากการต้องการให้สีย้อมซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยสม่ำเสมอ และติดทนนานตลอดอายุการใช้งาน แต่ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบโดยทั่วไปคือผ้าหรือเส้นด้ายติดสีไม่เท่ากันในกระบวนการย้อมผ้า และผ้าหรือเส้นด้ายมีสีตกหรือจางลงเมื่อนำไปใช้งาน ดังนั้นการทำความเข้าใจถึงคุณสมบัติของเส้นใย และวิธีการฟอกย้อมผ้า หรือเส้นด้ายแต่ละชนิดจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ผลิต เพื่อลดปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น ทำให้สินค้าที่ผลิตออกมามีคุณภาพ และเป็นที่ยอมรับจากลูกค้า โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนการฟอกย้อมผ้าและเส้นด้ายอันประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมผ้าหรือเส้นด้ายก่อนการย้อม ประเภทของกระบวนการย้อมขั้นตอนการย้อมเส้นด้าย ผ้าทอและผ้าถัก ตามลำดับ ซึ่งได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากงานเขียนของผู้เชี่ยวชาญทางด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอทั้งไทยและต่างประเทศ

2.2 สีย้อมในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ปัจจุบันปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรมนับทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิตและการแข่งขันที่สูงขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบในทุกขั้นตอนการผลิตไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อมก็ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมีสภาพที่แปรเปลี่ยนไปที่เราเรียกว่าน้ำเสีย เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจนทำให้สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำตายเนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจนและผลกระทบของน้ำเสียนี้ยังเป็นตัวยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมากปัญหาใหญ่ที่พบและนับว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมคือการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานลงสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ปล่อยออกมาประกอบด้วย สี, ค่าบีโอดี, ค่าซีโอดี, กรด-ด่าง, สารแขวนลอย, ความร้อน และอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพและเป็นที่น่ารังเกียจ มลสารส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการย้อมสี(dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ(finishing) โดยส่วนมากแล้วมลสารเหล่านี้และสีบางประเภทสามารถบำบัดได้ด้วยวิธีการทางกายภาพและทางเคมี ทั่วไป แต่มีสีบางประเภทที่ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีการดังกล่าว ซึ่งสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ, สีแอลิต, สีเบสิก, สีไดเร็กต์, สีแว็ต, สีดิสเพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้วยังลดอัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สัตว์น้ำอาจตายได้

ดังนั้นการวางแผนการจัดการ สิ่งแวดล้อมของโรงงานจึงมีความจำเป็นในการป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิดและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย โดยมีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบบำบัด น้ำเสียเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนดจากที่ทราบกันในเบื้องต้นแล้วว่า สีที่อยู่ในน้ำทิ้งแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ยังสามารถมองเห็นได้ชัดเจนและทำความรำคาญให้ผู้ใช้น้ำ สีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิดและแต่ละชนิดยากต่อการย่อยสลายโดยธรรมชาติ ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีทั้งกระบวนการทางกายภาพและเคมีซึ่งบำบัดสีได้น้อย รวมทั้งมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ค่าใช้จ่ายในการบำบัด ตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัด เป็นต้น

2.3 ลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม

กระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนมีการใช้น้ำและสารเคมีหลายชนิดและมีปริมาณต่างๆ กับส่วนน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตดังกล่าวจะกลายเป็นน้ำเสีย ซึ่งปนเปื้อนด้วยสารเคมีและสารอินทรีย์หลายชนิดอาจสามารถจำแนกออกเป็นประเภทที่สำคัญ ๆ ได้ดังนี้

2.3.1 สีย้อม

ในการย้อมสี สีย้อมจะถูกดูดซึมเข้าสู่เส้นใยเพียงบางส่วนเท่านั้น สีที่เหลือจะคงอยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมาพร้อมกับน้ำเสีย ปริมาณสีย้อมที่เหลืออยู่ในน้ำย้อมจะแตกต่างกันออกไปตั้งแต่ร้อยละ 5 – 50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้ การฟอกย้อมเป็นหัวใจสำคัญของอุตสาหกรรมสิ่งทอการย้อมสีทำให้สิ่งทอเกิดลวดลายและมีสีที่สวยงาม สิ่งทอแต่ละชนิดใช้สี และวิธีการย้อมที่

แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสิ่งทอ และสีย้อมแต่ละชนิดสีย้อมที่นำมาใช้ในการย้อมเส้นใยมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งการที่จะนำสีย้อมใดๆ มาใช้ย้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใยซึ่งต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของสีกับน้ำ สภาวะเช่นนี้จะเกิดได้ เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกัน ในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (Substantivity) กับเส้นใย และเกิดพันธะ(Bond) ยึดติดกันแน่น อิทธิพลเชิงเคมีที่ทำให้สีดูดติดกับเส้นใยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond), แรงแวนเดอร์วาล (Van der Waal's forces), แรงแออน(Lonic Forces) และพันธะโควาเลนต์(Covalent Bond) การเลือกสีย้อมต้องเลือกตามชนิดของวัสดุที่ย้อม ที่ความคงทนพอดีสามารถย้อมออกมาได้เหมือนสีตามตัวอย่าง และมีราคาเหมาะสม สีย้อมที่ผลิตขึ้นมาในท้องตลาดมีจำนวนมาก และมีสีสันทันใกล้เคียงกัน

2.3.1.1 การจำแนกประเภทของสีย้อม

สีย้อมที่ใช้กันในปัจจุบันมีหลายประเภท ซึ่งการจำแนกประเภทของสีย้อมนั้นต้องอาศัยหลักเกณฑ์ต่างๆ ในการพิจารณา ปัจจุบันสีย้อมสามารถจำแนกออกได้โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างทางเคมี และลักษณะการใช้งาน

2.3.1.2 การจำแนกประเภทของสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพ

หากพิจารณาตามลักษณะทางกายภาพ สามารถจำแนกสีย้อมออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ละลายน้ำได้ เรียกว่า สีย้อม(Dyes) และประเภทที่ละลายน้ำไม่ได้เรียกว่า พิกเมนต์(Pigment) วิธีนี้เป็นวิธีจำแนกสีย้อมอย่างง่ายๆ ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากก่อให้เกิดความสับสน

2.3.1.3 การจำแนกประเภทของสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี

การจำแนกสีย้อมด้วยวิธีนี้มีความยุ่งยาก เนื่องจากมีสีย้อมในกลุ่มเคมีเดียวกันอาจมีวิธีในการย้อมที่แตกต่างกันใช้ย้อมเส้นใยต่างชนิดกันบางชนิดติดสีได้เมื่อน้ำย้อมมีสภาวะเป็นกรดบางชนิดต้องเติมสารเคมีช่วยในการยึดติดเส้นใยจึงมีความยุ่งยากและมีความซับซ้อนการจำแนกประเภทสีย้อมด้วยวิธีนี้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในการบำบัดสีออกจากน้ำเสีย

2.3.1.4 การจำแนกประเภทของสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน

การจำแนกสีย้อมด้วยวิธีนี้ให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้มากกว่าวิธีอื่นจึงเป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบัน แม้แต่สมาคมผู้ย้อมและผู้ผลิตสี (The Society of Dyes and Colorist) ก็ยอมรับว่าเป็นวิธีจำแนกที่เหมาะสมที่สุด หนังสือดัชนีสี (Color Index) ที่พิมพ์จำหน่ายทั่วโลกก็ใช้การจำแนกด้วยวิธีนี้ จึงทำให้มีความคล่องตัวสูง ซึ่งทำการจำแนกประเภทของสีย้อมตามลักษณะการใช้งานได้ 10 ประเภท ดังนี้

2.3.1.4.1 สีย้อมเบสิก (Basic Dyes)

เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (Organic Base) ละลายน้ำได้ ใช้ย้อมเส้นใยจากสัตว์ ตัดได้โดยตรงย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เล็กน้อยหรือไม่ติดเลย สีกุุ่มนี้มีโครโมฟอร์ที่มีพฤติกรรม การให้สีขึ้นอยู่กับปฏิกิริยารีดิวซ์และออกซิไดซ์ ที่ให้แคทไอออน บางครั้งจึงเรียกสีชนิดนี้ว่า สี แคทไอออน ย้อมติดเส้นใยได้โดยประจุบวกของโมเลกุล สีย้อมจะจับตัวกับประจุลบของเส้นใย

2.3.1.4.2 สีย้อมแอซิด (Acid Dyes)

สีชนิดนี้เกิดขึ้นจากสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถันใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดอาจใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่บริสุทธิ์ ได้

2.3.1.4.3 สีย้อมดิสเพิร์ส (Disperse Dyes)

สีชนิดนี้มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่จะเป็นละอองลอยอยู่ในน้ำเมื่อมีสาร กระจายตัว (Dispersing Agent) ที่เหมาะสม ในการย้อมไม่ต้องเติมสารเคมีอย่างอื่นนอกจากสารนำ (Carrier) ให้สีเข้าใกล้เส้นใยเท่านั้นใช้ย้อมเส้นใยอาซิเตทกลืนเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดที่ดูดซึมน้ำได้ น้อย

2.3.1.4.4 สีย้อมอะโซอิก (Azoic Dyes)

เป็นสารประกอบอะโซ ตัวสีไม่ละลายน้ำ ต้องย้อมในสารประกอบฟีนอล ซึ่งละลายน้ำได้ก่อนแล้วจึงนำไปย้อมทับด้วยเกลือไดอะโซเดียม (Diazodium Salt) ซึ่งจะทำปฏิกิริยา กับสารประกอบฟีนอลเกิดเป็นสารประกอบอะโซที่ให้สีบนเส้นใยปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า coupling สีย้อมชนิดนี้นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้นเนื่องจากสารประกอบฟีนอลละลายในต่างซึ่งเป็น อันตรายต่อเส้นใยโปรตีน

2.3.1.4.5 สีย้อมไดเรกต์ (Direct Dyes)

บางครั้งเรียกว่าสีย้อมฝ้ายเป็นสีย้อมชนิดแรกที่สุดติดฝ้ายได้โดยไม่ต้องใช้สาร ช่วยย้อมแต่ในปัจจุบันมีการเติมเกลือเข้าไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมส่วนใหญ่เป็น สารประกอบอะโซโมเลกุล มีน้ำหนักสูงมีหมู่ซัลโฟนิคซึ่งทำให้สามารถละลายน้ำได้ ใช้ย้อมเส้นใย เซลลูโลสซึ่งไม่ต้องการความคงทนต่อกระบวนการใช้น้ำมากนัก

2.3.1.4.6 สีย้อมมอร์แดนต์ (Mordant Dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มสีประเภทแอซิดที่สามารถก่อรูป เป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะบางชนิดได้ อนุภาคของสีที่ก่อรูปบนเส้นใยภายหลังเมื่อย้อมทับด้วย เกลือโลหะแล้วจะมีความคงทนต่อกระบวนการใช้น้ำ (Wet Fastness) ได้ดีกว่าเมื่อไม่ย้อมทับ

2.3.1.4.7 สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulfur Dyes)

ใช้ย้อมผ้าโดยเฉพาะ ให้สีไม่สดใส ปกติไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่ในปัจจุบันมีผู้ผลิตสีย้อมผ้าชนิดนี้ขึ้นมาใหม่โดยนำตัวสีย้อมไปทำการรีดิวซ์ทำให้สามารถละลายน้ำได้ ตัวรีดิวซ์ที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายที่สุด คือ โซเดียมซัลไฟต์

2.3.1.4.8 สีย้อมวัต (Vat Dyes)

นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสโดยเฉพาะผ้าเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำในการย้อมต้องใช้สารรีดิวซ์ที่เหมาะสมทำให้เกิดการละลายจึงจะสามารถติดเส้นใยเซลลูโลสได้ สารรีดิวซ์ที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ เมื่อสีย้อมถูกรีดิวซ์จะให้สารประกอบ ลิวโค (Leuco Compound) ซึ่งมีสีครามและมีประสิทธิภาพในการแทรกซึมเข้าไปติดเส้นใยได้ และเมื่อนำเส้นใยไปสัมผัสอากาศ สารประกอบลิวโคจะถูกออกซิไดซ์กลับเป็นสีย้อมวัตซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้สีที่ติดเส้นใยมีความคงทน

2.3.1.4.9 สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)

เป็นสีที่ละลายน้ำได้ดีมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออนเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล(OH) ในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์เกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่กับเซลลูโลส คุณสมบัติในการละลายและดูดติดเส้นใยได้ดีของสี ทำให้สีย้อมชนิดนี้เป็นสีย้อมเซลลูโลสที่ดี

2.3.1.4.10 ย้อมเมทัลคอมเพล็กซ์ (Metal Complex Dyes)

สีชนิดนี้เดิมเป็นสีเมอร์แดนท์ เมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับเกลือของโลหะจะได้สารประกอบที่ให้สีชนิดใหม่นิยมใช้เกลือของโครเมียมมาทำปฏิกิริยาสีเมทัลคอมเพล็กซ์สามารถแยกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของน้ำย้อมได้แก่ สีเมทัลคอมเพล็กซ์ในน้ำย้อมที่เป็นกรด และสีเมทัลคอมเพล็กซ์ในน้ำย้อมที่เป็นด่างสีชนิดนี้ถ้ามีเกลืออนินทรีย์ในน้ำจะทำให้ละลายน้ำได้ไม่ดี ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำค่อนข้างบริสุทธิ์ ไม่มีเกลือแร่ปนอยู่

2.3.2 สีย้อมที่ใช้ย้อมไหม สีแอซิด (Acid Dye)

เนื่องจากสีในกลุ่มนี้ต้องย้อมในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรด เพราะเหตุนี้สีกลุ่มนี้เกือบทุกตัวเป็นเกลือโซเดียมของกรดอินทรีย์มีประจุลบ (Anionic) จึงเรียกสีเหล่านี้ว่าสีแอซิด สีแอซิดสามารถย้อมกับเส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์ ไหม เป็นต้น และเส้นใยไนลอนได้ส่วนมากสีแอซิดดูดความชื้นจากอากาศได้ง่าย การเก็บและการหีบห่อจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นอย่างดี ถ้าสีมีการดูดความชื้นเข้าไปจะทำให้สีเสื่อมสภาพรวดเร็ว ตัวสีต้องมีความสามารถในการติดสีกับเส้นใยโปรตีนโดยตรง ผลิตมาเพื่อใช้ย้อมเส้นใยขนสัตว์และไหม แต่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับสีไดเร็กซ์มากต่างกันที่หมู่ที่แสดงประจุ

ลบ และสีแอสิตบางตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กมาก เมื่อสีแอสิตมีน้ำหนักโมเลกุลมากขึ้นจะมีความสามารถในการติดสีเป็นประจุลบมากขึ้น จึงต้องการกรดในน้ำย้อมเพื่อให้ดูดซึมได้ดี

2.3.2.1 การแบ่งประเภทของสีแอสิต

2.3.2.1.1 การจำแนกสีแอสิต

แบ่งตามปริมาณความต้องการกรดในน้ำย้อมสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สีที่ต้องการกรดแก่ (Leveling หรือ Equalizing Acid Dyes) สีในกลุ่มนี้สามารถละลายน้ำได้ดี ย้อมสีได้อย่างสม่ำเสมอ และความคงทนต่อแสงโดยปกติจะดี แต่ความคงทนของสีต่อการซักล้างไม่ดี เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลน้อย (ขนาดเล็ก) และค่อนข้างต้องการสภาวะกรดแก่ในการย้อม (pH 2-4 โดยการใช้กรดซัลฟูริกหรือกรดมด) เพื่อให้สีแทรกซึมได้ดี

กลุ่มที่ 2 สีที่ต้องการกรดปานกลาง (Milling Acid Dyes) สีในกลุ่มนี้สามารถละลายน้ำได้ดี ย้อมสีได้สม่ำเสมอปานกลาง และความคงทนต่อการซักล้างดีขึ้น โมเลกุลของสีใหญ่กว่ากลุ่มที่ 1 ต้อง การสภาวะเป็นกรดปานกลางในการย้อม (pH 4-6 โดยการใช้น้ำส้ม)

กลุ่มที่ 3 สีที่ต้องการกรดอ่อนหรือสภาวะเป็นกลาง (Super Milling Acid Dyes) สีในกลุ่มนี้สามารถละลายน้ำได้ดี ย้อมสีได้สม่ำเสมอแต่มีความคงทนต่อการซักล้างดีเยี่ยม มีขนาดโมเลกุลใหญ่สุดต้องการสภาวะการย้อมเป็นกรดอ่อนและสภาวะเป็นกลางจนกระทั่งต่างอ่อนๆ (pH 6-8 โดยการใช้แอมโมเนียมอะซิเตด)

กลุ่มที่ 4 สีเมทัลคอมเพล็กซ์ (Metal Complex Dyes หรือ Premetallized) สีย้อมที่มีประจุลบและมีโลหะเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลค่านี้นิยมใช้ร่วมกับชนิดสี เช่น สีดีสเพิร์ตเมทัลคอมเพล็กซ์ และสีรีแอคทีฟเมทัลคอมเพล็กซ์ แต่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ สีแอสิตเมทัลคอมเพล็กซ์ ซึ่งจะหมายถึง สีแอสิตที่ทำปฏิกิริยาคู่ควบ (coupling) กับเกลือของโลหะ (เช่น นิเกิล ทองแดง โครเมียมและโคบอลต์) ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามอัตราส่วนของจำนวนอะตอมโลหะต่อโมเลกุลสี คือสีแอสิตเมทัลคอมเพล็กซ์ 1:1 และสีแอสิตเมทัลคอมเพล็กซ์ 1:2 สีแอสิตเมทัลคอมเพล็กซ์นี้นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยในลอนโดยให้ความคงทนของ สีต่อการซักและแสงดีกว่าสีแอสิต

2.3.2.1.2 การจำแนกสีแอสิตตามผู้ผลิตสี

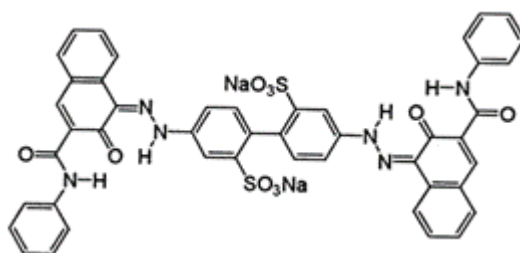
อาจแบ่งได้อีกแบบดังนี้

2.3.2.1.2.1 สีแอสิตจริง (True Acid Dyes) สีกลุ่มนี้จะต้องย้อมในสภาวะกรด และบางครั้งอาจต้องย้อมในสภาวะกรดแก่ เพื่อให้เกิดการดูดซึมสูง

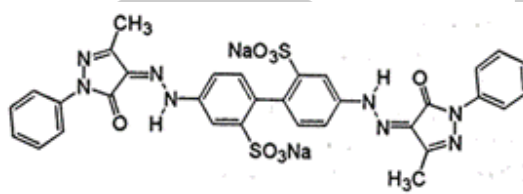
2.3.2.1.2.2 สีแอซิดที่ย้อมในสภาวะเป็นกลาง (Neutral Dyeing Acid Dyes) สีกลุ่มนี้บางครั้งอาจเรียกว่าสีมิลลิ่งแอซิด (Milling Acid Dyes) สีกลุ่มนี้จะต้องย้อมในสภาวะที่เป็นกลาง โดยจะลดความความเป็นกรด เป็นด่างลง เมื่ออยู่ในช่วงท้ายของการย้อมเพื่อให้มั่นใจว่าสีที่ได้รับมีความสม่ำเสมอดี

2.3.1.2.3 สีพรีเมทัลไลซ์ (Pre-metallized Dye)

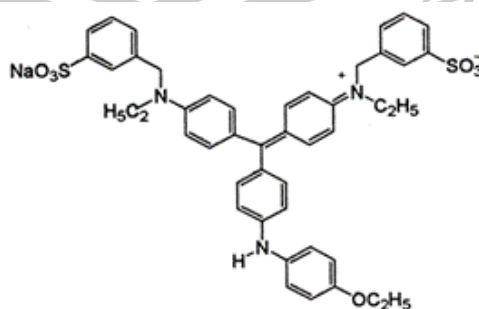
หรือเรียกว่า สีเมทัลคอมเพล็กซ์ (Metal Complex) ชื่อของสีกลุ่มนี้ได้มาจาก โลหะหลายตัวโดยปกติโครเมียมจะปรากฏอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล สีกลุ่มนี้จะแสดงให้เห็นถึงความคงทนต่างๆที่ดีเยี่ยมแต่สีในกลุ่มนี้เป็นสีที่มีราคาแพงและจะมีช่วงสีที่มืดและไม่ค่อยครอบคลุมการย้อมที่ไม่สม่ำเสมอบนเส้นใยในลอนได้ดีนัก กลุ่มสีนี้จะย้อมในสภาวะต่างอ่อนๆเพื่อควบคุมให้สีกระจายตัวสม่ำเสมอบนวัสดุ



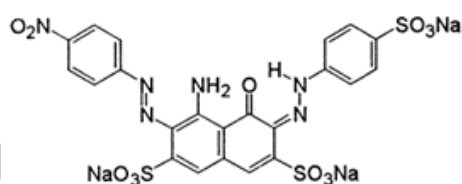
ภาพประกอบ 1 Acid Red 144 ($C_{46}H_{30}N_6Na_2O_{10}S_2$)



ภาพประกอบ 2 Acid Yellow 42 ($C_{32}H_{24}N_8Na_2O_8S_2$)



ภาพประกอบ 3 Acid Blue 83 ($C_{45}H_{44}N_3NaO_7S_2$)



ภาพประกอบ 4 Acid Black 41 ($C_{22}H_{13}N_6Na_3O_{12}S_2$)

ที่มา: ภาพประกอบที่ 1-4 สูตรโครงสร้างสี Acid Dye, Dye|World Dye Variety

(<http://www.worlddyevariety.com>)

2.3.3 สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อมและกระบวนการตกแต่งสิ่งทอ

สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อมและกระบวนการตกแต่งสิ่งทอมีหลายประเภท สามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.3.3.1 สารช่วยย้อม (Auxiliaries Chemicals)

ได้แก่ สารช่วยขจัดสิ่งสกปรก (Scouring Agent) สารช่วยเปียก (Wetting Agent) และสารที่ช่วยในการย้อมสีให้สม่ำเสมอ (Levelling Agent) สารช่วยย้อมมีหลายชนิด สามารถแบ่งได้ 7 ประเภท ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทของสารช่วยย้อม

ประเภท	ลักษณะการใช้งาน
กรด	ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอน เมื่อใช้สีย้อมแอซิด
ด่าง	ใช้สำหรับย้อมเส้นใยเซลลูโลส ด้วยสีย้อมอะโซอิก สีแวต และสีซัลเฟอร์
เกลือ	ใช้สำหรับย้อมสีแอซิดและเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิด
สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ	ใช้สำหรับย้อมสีแวตสีดิสเพิร์ส และสีแอซิดบางชนิด
สารนำ(Carriers)	ใช้สำหรับย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
สารละลายอินทรีย์	ใช้สำหรับย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
สารรีดิวซ์	ใช้สำหรับรีดิวซ์สีบางชนิด เพื่อประโยชน์ในการดูซึมเข้าไปในเส้นใย

2.3.3.2 สารเคมีพื้นฐาน (Basic Chemicals)

เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ต่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

2.3.3.3 สารเคมีตกแต่งสำเร็จ

ได้แก่ สารป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ สารกันยับ ฯลฯ

2.3.4 สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย

วัสดุสิ่งทอที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการฟอกย้อมล้วนมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ โดยเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่สูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ สิ่งสกปรกเหล่านี้มีทั้งสารซีลิ่ง ไซมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ยังมีสารเคมีที่เติมลงไป在线ใยระหว่างกระบวนการผลิต เช่น สารหล่อลื่น แป้ง เป็นต้น สิ่งสกปรกเหล่านี้จะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมสิ่งทอ ซึ่งจะหลุดออกมากับน้ำเสีย

2.3.5 เศษเส้นใย

เศษเส้นใยที่หลุดออกมาจากสิ่งทอ เป็นสิ่งเจือปนที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในน้ำเสียฟอกย้อม หากมีปริมาณมากอาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการอุดตัน นอกจากนี้กรณีเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ยังมีสารโอลิโกเมอร์ (Oligomer) ที่อาจหลุดปนมากับน้ำเสีย

2.3.6 สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ

ยังมีสิ่งสกปรกอื่นๆอีก เช่น สารเคมีพิเศษที่ใช้ในการขจัดรอยเปื้อนของผ้า ซึ่งมักเป็นสารจำพวกคลอรีนเนเตดเบนซีน (Chlorinated Benzene) สารเคมีที่ใช้ล้างเครื่องจักร ฯลฯ

2.4 วิธีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมในปัจจุบัน

ปัจจุบันวิธีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายวิธี สามารถแยกได้เป็น 5 วิธีหลัก ๆ ดังนี้

2.4.1 เคมีคัลโคแอกกูเลชัน (Chemical Coagulation)

เป็นกระบวนการเติมสารเคมี เช่น ปูนขาว สารส้ม ฯลฯ ลงไปบนน้ำเสีย เพื่อให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคสีเกิดเป็นฟล็อกและตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำ วิธีนี้ต้องใช้สารเคมีในปริมาณสูงและก่อให้เกิดตะกอนปริมาณมาก ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนต่อไป ใช้บำบัดสีที่ไม่ละลายน้ำได้ดีเท่านั้น

2.4.2 การดูดติดผิว (Adsorption)

เป็นกระบวนการที่ใช้สารดูดติด (Adsorbent) เช่น ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) จับอนุภาคสีไว้ภายใน มีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้บำบัดน้ำเสียปริมาณไม่มากในช่วงเวลาสั้นๆ

กรณีที่น้ำเสียมีปริมาณมากวิธีนี้ไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องใช้สารดูดติดผิวปริมาณมาก ประกอบกับการคืนสภาพ (Regenerate) สารดูดติดผิวทำได้ยากและต้องใช้ต้นทุนสูง

2.4.3 เคมีคัลออกซิเดชัน (Chemical Oxidation)

ได้แก่ Chlorination, Ozonation, UV/Hydrogen Peroxide, Fenton's Reagent และ Photocatalysis เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน โดยสีจะทำปฏิกิริยาอย่างแรงกับสารออกซิไดซ์ทำให้พันธะเคมีของโมเลกุลสีแตกออกกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่มีสี ต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์และสารเคมีสูง การควบคุมระบบต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเนื่องจากสารเคมีที่ใช้มีความเป็นพิษ

2.4.4 กระบวนการเมมเบรน (Membrane Technology)

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังต่อไปนี้คือออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis), อุลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) และนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) วิธีอุลตราฟิลเตรชันไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีขนาดรูของเยื่อกรองใหญ่ ไม่สามารถกรองอนุภาคของสีออกจากน้ำเสียได้ ส่วนอีก 2 วิธี สามารถแยกสีออกจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีนี้สามารถบำบัดน้ำเสียปริมาณมากได้อย่างรวดเร็ว แต่เป็นระบบที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาอุปกรณ์สูง

2.4.5 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment)

เป็นวิธีการบำบัดโดยใช้ จุลินทรีย์ปัจจุบันพบว่า การบำบัดด้วยกระบวนการใช้ออกซิเจน (Aerobic) ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเนื่องจากกลไกที่เกิดขึ้นเป็นการดูดติดผิวเป็นหลัก แต่กระบวนการไร้ออกซิเจน (Anaerobic) เป็นที่ยอมรับกันว่ากำจัดสีย้อมประเภทอะโซได้

2.5 การประยุกต์ใช้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสีย

วิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมีได้พัฒนาขึ้นเมื่อปี 1979 โดยประยุกต์ใช้หลักการของเซลล์ไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลติกเซลล์ ซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว และสารละลายนำไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เซลล์ไฟฟ้า หรือถึงปฏิกิริยาที่ใช้โลหะเป็นขั้วไฟฟ้า จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) ที่ขั้วบวก (Anode) ทำให้โลหะเกิดการสึกกร่อนและละลายอยู่ในน้ำ ในขณะที่ขั้วลบ (cathode) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) ของน้ำโดยน้ำจะแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง และทำให้เกิดตะกอนของ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_{2(s)}$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_{3(s)}$) ซึ่งสามารถดูดติดและตกตะกอนสีย้อมและสิ่งสกปรกต่างๆ

2.5.1 กระบวนการไฟฟ้าเคมี

ไฟฟ้าเคมีเป็นเรื่องราวว่าด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ให้พลังงานไฟฟ้า พหุติกรรมทั้งสองอย่างดังกล่าวเป็นสิ่งที่ตรงกันข้าม แต่อาศัยพื้นฐานในหลักการอันเดียวกัน ปฏิกริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าเคมี คือ ปฏิกริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนหรือที่เรียกว่าปฏิกริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน และปฏิกริยานี้เกิดขึ้นในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นสารละลายที่ให้ไฟฟ้าผ่านได้ ปฏิกริยาออกซิเดชัน-รีดักชันหมายถึงปฏิกริยาที่มีการเปลี่ยนค่าเลขออกซิเดชันหรือเป็นปฏิกริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเมื่อมีการเพิ่มเลขออกซิเดชัน หรือมีการให้อิเล็กตรอนเรียกว่า เกิดออกซิเดชัน และเมื่อมีการลดเลขออกซิเดชันหรือมีการรับอิเล็กตรอนเรียกว่า รีดักชัน ทั้งสองปฏิกริยาเกิดขึ้นพร้อมกันเมื่อมีเลขออกซิเดชันก็ต้องมีรีดักชันปฏิกริยาจึงจะสมบูรณ์ ปฏิกริยาออกซิเดชัน-รีดักชันเมื่อเกิดขึ้นในสารละลาย ไอออนจะเป็นส่วนสำคัญที่เข้าร่วมด้วยโดยไอออนคืออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเมื่ออิเล็กโทรไลต์ละลายน้ำจะให้ไอออนบวกหรือแคโทดไอออน และไอออนลบหรือแอนไอออน ไอออนเหล่านี้เคลื่อนที่ไปได้ทั่วสารละลาย และถ้ามีขั้วไฟฟ้าจุ่มลงในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์นั้นแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไป ไอออนเหล่านี้ต่างก็เคลื่อนเข้าหาขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้ามกับไอออน ไฟฟ้าจะถูกนำไปโดยการเคลื่อนที่ของไอออนเป็นเหตุให้เรากล่าวได้ว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์นำไฟฟ้าหรือยอมให้ไฟฟ้าผ่านได้ ไอออนบวกเคลื่อนที่เข้าหาแคโทดและรับอิเล็กตรอนจากแคโทด ส่วนไอออนลบเคลื่อนที่เข้าหาแอโนดและให้อิเล็กตรอนแก่แอโนด ดังนั้นจึงเท่ากับว่าขั้วไฟฟ้าเป็นที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนนั่นเอง ถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากแคโทดมาสู่อิเล็กโทรไลต์และจากอิเล็กโทรไลต์ไปสู่แอโนด กระแสไฟฟ้าจึงผ่านสารละลายของอิเล็กโทรไลต์และทำให้ไฟเดินครบวงจร

2.5.2 การแยกสลายด้วยไฟฟ้า

การแยกสลายด้วยไฟฟ้าคือกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า คือ ปฏิกริยาออกซิเดชัน-รีดักชันดังได้กล่าวไปแล้ว โดยแยกปฏิกริยาออกเป็นสองส่วนคือออกซิเดชันกับรีดักชัน ครั้งที่แปดออกซิเดชันเกิดขึ้นที่แอโนด ส่วนครั้งที่แปดรีดักชันเกิดขึ้นที่แคโทด แอนไอออนเคลื่อนที่เข้าหาแอโนดถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากแอนไอออนให้แก่แอโนดเกิดปฏิกริยาออกซิเดชัน ส่วนแคโทดไอออนเคลื่อนที่เข้าหาแคโทดแล้วรับอิเล็กตรอนจากแคโทดเกิด ปฏิกริยารีดักชัน

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลว จะได้โลหะโซเดียมเกาะที่แคโทดและแก๊สคลอรีนออกมาที่ทางแอโนด แสดงว่าเกิดปฏิกริยาขึ้นมีการแยกเกลือโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ในสภาพของแข็งนำไฟฟ้าไม่ได้ แม้ว่าประกอบไปด้วยไอออนทั้งผลึกก็ตาม การที่นำ

ไฟฟ้าไม่ได้เพราะไอออนในของแข็งเคลื่อนที่ไม่ได้ แต่เมื่อให้ความร้อนจนโซเดียมคลอไรด์หลอม เหลว ที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส ใส่ขั้วไฟฟ้าที่เฉื่อย เช่น แท่งคาร์บอนหรือแพลทินัมลงไปแล้ว ผ่านกระแสไฟฟ้าโดยต่อจากแหล่งกำเนิดไฟกระแสตรง เช่น แบตเตอรี่ จะพบว่าโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลวนำไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพราะในสภาพของเหลวไอออนเคลื่อนที่ได้สะดวก การนำไฟฟ้าเกิดขึ้นดังกระบวนการต่อไปนี้

ก) Na^+ เคลื่อนที่ไปสู่แคโทดซึ่งมีประจุลบ รั่วอิเล็กตรอนจากแคโทดเกิดรีดักชัน Na^+ เปลี่ยน เป็นโลหะโซเดียม



ข) Cl^- เคลื่อนที่ไปสู่แอโนดซึ่งมีประจุบวก ให้อิเล็กตรอนแก่แอโนดเกิดออกซิเดชัน Cl^- เปลี่ยน เป็นอะตอมคลอรีนแล้วอะตอมคลอรีนสองอะตอมรวมกันเป็นแก๊สคลอรีนหนึ่งโมเลกุลได้แก๊สคลอรีนพุ่งออกมาทางแอโนด



กระแสไฟฟ้าเดินครบวงจรได้เพราะแอโนดรั่วอิเล็กตรอนจากแอโนดไอออน Cl^- อิเล็กตรอนเดินไปตามวงจรไฟฟ้าภายนอกของเหลวมาที่แคโทด แล้วถ่ายโอนไปสู่แคโทดไอออน Na^+ อิเล็กตรอนหายไปทางแคโทดแล้วได้อิเล็กตรอนกลับมาทางแอโนด ครบเป็นวงจร สำหรับภายในของเหลวการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าสืบเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของไอออนในสนามไฟฟ้า

ผลที่ได้จากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน 1 โมล ทำให้เกิดโซเดียม 1 โมล และคลอรีน ½ โมล เพื่อให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันกับรีดักชันสมดุลกัน จึงทำจำนวนอิเล็กตรอนให้เท่ากันเสีย ดังนี้



กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงในโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลว ทำให้ได้โซเดียมที่แคโทดและแก๊สคลอรีนที่แอโนด กระบวนการเช่นนี้เป็นการแยกสลายสารด้วยไฟฟ้าเราเรียกว่าโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลวถูกแยกสลายด้วยไฟฟ้าไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อนให้ปฏิกิริยาที่ไม่เกิดขึ้นเองให้เกิดขึ้นได้อุปกรณ์ทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยภาชนะบรรจุอิเล็กโทรไลต์ มีขั้วไฟฟ้าคู่หนึ่งต่อจากแหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงเรียกว่าเซลล์อิเล็กโทรไลติก เซลล์ชนิดนี้ใช้พลังงานจากแหล่งภายนอกไปทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี

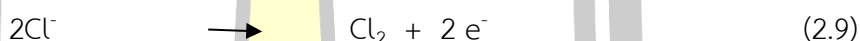
ถ้าเราทำการแยกสลายสารละลายโซเดียมคลอไรด์ด้วยไฟฟ้า ละลายโซเดียมคลอไรด์ได้จากการละลายโซเดียมคลอไรด์ในน้ำ ภายในสารละลายไม่ได้มีแต่เพียง Na^+ และ Cl^- เท่านั้น แต่ยังมีโมเลกุลน้ำซึ่งอาจถูกออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์ได้ด้วย สิ่งที่เกิดขึ้นภายในเซลล์อิเล็กโทรไลติกมีดังนี้

Na^+ เคลื่อนที่ไปสู่แคโทด ที่แคโทดมีทั้ง Na^+ และโมเลกุลน้ำ อาจเกิดรีดักชันขึ้นกับ Na^+ หรือโมเลกุลน้ำดังนี้



ระหว่าง Na^+ กับ H_2O จะถูกรีดิวซ์ได้ง่ายกว่า Na^+ ปฏิกิริยาที่แคโทดจึงเป็นปฏิกิริยา(2.8) ได้แก๊สไฮโดรเจน

Cl^- เคลื่อนที่ไปสู่แอโนดที่แอโนดมีทั้ง Cl^- และโมเลกุลน้ำ อาจเกิดออกซิเดชันขึ้นกับ Cl^- หรือโมเลกุลน้ำดังนี้



แต่เนื่องจาก Cl^- ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่า H_2O จึงเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แอโนดได้แก๊สคลอรีน ปฏิกิริยาของเซลล์ได้จากการรวมกันของปฏิกิริยาทั้งสองเข้าด้วยกัน



การแยกสลายสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เข้มข้นพอควรด้วยไฟฟ้า ได้แก๊สไฮโดรเจนที่แคโทดและแก๊สคลอรีนที่แอโนด ส่วน Na^+ คงอยู่ในสารละลายตามเดิมและเมื่อทำการแยกสลายด้วยไฟฟ้าเรื่อยไปนานเข้าก็จะมี OH^- สะสมมากขึ้น ภายหลังการแยกสลายด้วยไฟฟ้าแล้วถ้าเอาสารละลายที่เหลือไประเหยจะได้อะไซด์ของแข็งโซเดียมไฮดรอกไซด์ตกผลึกออกมา การแยกสลายสารละลายโซเดียมคลอไรด์ด้วยไฟฟ้าจึงเป็นวิธีเตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟด้วย

2.5.3 หลักการของกระบวนการไฟฟ้าเคมี

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งมีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับเรื่องต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.5.3.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าในเซลล์ไฟฟ้า

ในเซลล์ไฟฟ้ามีการไหลของกระแสไฟฟ้าเพราะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำในการผลักดันประจุ 1 คูลอมบ์ เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในวงจรนั้น และจะต้องมีการรับหรือปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นด้วยเสมอ เซลล์ไฟฟ้าหนึ่งต้องการพลังงาน 1 จูล ในการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุ 1 คูลอมบ์ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในเซลล์ จะหมายความว่าจุดสองจุดนั้นมีความต่างศักย์เท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้นความต่างศักย์ 1 โวลต์ จึงมีค่าเท่ากับ 1 จูลต่อคูลอมบ์

และทางไฟฟ้าเคมีมักจะแทนโวลต์ด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) จากความหมายของพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้น ทำให้เห็นได้ว่า

$$\text{งานทางไฟฟ้าสุทธิ (Welec)} = \text{คูลอมบ์} \times \text{โวลต์} \quad (2.12)$$

แต่งานที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้านั้นเพราะมีการถ่ายเทอิเล็กตรอน ดังนั้นจำนวนประจุในหน่วยคูลอมบ์ จึงขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา ซึ่งทุก 1 โมลของอิเล็กตรอนจะมีปริมาณประจุเท่ากับ 96,487 คูลอมบ์ สมมติว่า ในปฏิกิริยาของเซลล์ไฟฟ้ามีการถ่ายเทอิเล็กตรอน n โมล จะมีปริมาณประจุเท่ากับ $n \times 96,487$ หรือ nF คูลอมบ์ ในเมื่อ F คือ ค่าคงที่ฟาราเดย์ เท่ากับ 96,487 คูลอมบ์ต่อโมล เมื่อเป็นเช่นนี้สมการที่ 2.15 จะเปลี่ยนเป็น

$$\text{Welec} = (nF) (E) = nE \times 96,487 \quad (2.13)$$

แต่งานนี้จะเกิดขึ้นได้ต้องมีการลดพลังงานอิสระที่มีอยู่ในเซลล์ด้วย และในกรณีที่ปฏิกิริยาในเซลล์เกิดขึ้นอย่างผันกลับได้ การลดพลังงานอิสระ ($-\Delta G$) จะเท่ากับงานที่กระทำดังนั้น

$$\Delta G = -nFE \quad (2.14)$$

สมการนี้เป็นสมการที่มีความสำคัญมากเพราะเป็นสมการที่เชื่อมระหว่างความรู้ทางอุณหพลศาสตร์เข้ากับไฟฟ้าเคมี ถ้าวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ได้แล้ว จะสามารถหาสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ต่างๆ เช่น ΔG , ΔH , ΔS ได้ ในปฏิกิริยาหนึ่งๆ เครื่องหมายของ ΔG มีความสำคัญมาก คือถ้าที่อุณหภูมิและความดันหนึ่งๆ ΔG มีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่าปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้เอง แต่ถ้าเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่ได้เอง ΔG จะมีเครื่องหมายเป็นบวก ถ้าปฏิกิริยาอยู่ในสภาวะสมดุล ΔG จะเท่ากับศูนย์ แต่ ΔG และแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นเครื่องหมายของแรงเคลื่อน ไฟฟ้าย่อมจะระบุให้ทราบว่าปฏิกิริยาในเซลล์นั้นเป็นแบบเกิดได้เองหรือเกิดไม่ได้เอง หรืออยู่ในภาวะสมดุล

2.5.3.2 ศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดเดี่ยวและศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน

เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ คือผลรวมทางพีชคณิตของศักย์ไฟฟ้าของแต่ละขั้วอิเล็กโทรดในทางปฏิบัติไม่มีวิธีวัดศักย์ไฟฟ้าเฉพาะแต่ละขั้วเดี่ยวได้โดยตรง แต่ต้องวัดเป็นแรงเคลื่อน ไฟฟ้าของเซลล์ ดังนั้นจึงต้องกำหนดศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดมาตรฐานขึ้น คือ กำหนดให้อิเล็กโทรดไฮโดรเจนเมื่ออยู่ที่สภาวะมาตรฐาน (คือผ่านก๊าซไฮโดรเจนที่มีความดัน 1 บรรยากาศลงไปในสารละลายที่มีลวดแพลทินัมจุ่มอยู่และสารละลายนั้นมีไฮโดรเจนไอออนที่มีแอกติวิตีเท่ากับ 1 หรือมีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตรโดยประมาณ) มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ที่ทุกอุณหภูมิ ศักย์ไฟฟ้านี้เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดไฮโดรเจน เมื่อต้องการทราบศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดอื่น เช่น Cu/Cu^{2+} หรือ Zn/Zn^{2+} เป็นต้น ต้องนำอิเล็กโทรดเหล่านั้นมาจับคู่กับอิเล็กโทรดไฮโดรเจนและวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่ต้องการทราบ

ทั้งนี้เพราะศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับศูนย์นั่นเอง แต่ถ้าอิเล็กโทรด นั้น อยู่ในสภาวะมาตรฐานด้วย แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์จะเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐาน (E^0_{cell}) และเป็นค่าเดียวกันกับศักย์มาตรฐานของอิเล็กโทรดเดี่ยว (E^0) ที่มาจับคู่กับอิเล็กโทรดไฮโดรเจน มาตรฐานโดย การทำเช่นนี้กับอิเล็กโทรดอื่นๆ ทำให้ได้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดต่างๆ ค่าศักย์ไฟฟ้าแสดงให้เห็นแนวโน้มของขั้วอิเล็กโทรดที่จะรับอิเล็กตรอนว่ามีความสามารถมากน้อย เพียงใด หรือเรียกว่าเป็นการแสดงความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดซ์ (หรือตัวรีดิวซ์) เช่นครึ่ง ปฏิกิริยา Li^+/Li มีค่า E^0 เป็นลบมาก แสดงว่า Li^+ มีความสามารถน้อยในการรับอิเล็กตรอน จึงเป็นตัว ออกซิไดซ์ที่อ่อนมากแต่ครึ่งปฏิกิริยา F_2/F^- มีค่า E^0 เป็นบวกมากแสดงว่า F_2 มีความสามารถสูงในการ รับอิเล็กตรอน จึงเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก ในทางกลับกันโลหะ Li มีแนวโน้มที่จะให้อิเล็กตรอนได้ดี ดังนั้นโลหะ Li จึงเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีมากและ F^- มีแนวโน้มที่จะให้อิเล็กตรอนได้ยาก จึงเป็นตัวรีดิวซ์ที่ อ่อน มาส่วนอีกตัวอย่างคือ MnO_4^- กับ Fe^{2+} ในสารละลายพบว่า ค่า E^0 ของระบบ $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ เท่ากับ +0.77 โวลต์ และค่า E^0 ของ $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ เท่ากับ +1.52 โวลต์ แสดงว่าระบบ $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ มีแนวโน้มที่จะรับ อิเล็กตรอนได้ดีกว่าระบบ $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ จึงเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีกว่า จากสูตรการหาแรง เคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ที่สภาวะมาตรฐาน คือ

$$E^0_{\text{cell}} = E^0(\text{ขั้วบวก}) - E^0(\text{ขั้วลบ}) \quad (2.15)$$

ในการทำงานเดียวกัน ถ้าวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ที่สภาวะใดๆ จะได้ ความสัมพันธ์คล้ายกัน คือ

$$E_{\text{cell}} = E(\text{ขั้วบวก}) - E(\text{ขั้วลบ}) \quad (2.16)$$

2.5.4 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี

ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ หมายถึง ปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านลงไปในการละลายในเซลล์ อิเล็กโทรไลต์เพื่อให้อิเล็กตรอน 1 โมล ทำปฏิกิริยารีดอกซ์หรือผลคูณของประจุไฟฟ้ากับจำนวนอิเล็ก ตรอน 1 โมล

$$\begin{aligned} 1 \text{ F (Faraday)} &= eN = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C})(6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \\ &= 96487 \text{ C mol}^{-1} \quad (\text{C} = \text{coulomb}) \quad \text{จะได้ } X \text{ coulomb} = I(\text{ampere}) \times t(\text{second}) \quad \text{หรือ } 1 \\ &\text{ฟาราเดย์ คือ ไฟฟ้า } 1 \text{ ฟาราเดย์ทำให้เกิดสารแต่ละชนิดที่ขั้วไฟฟ้าจำนวน } 1 \text{ โมลเท่ากัน ผ่าน} \\ &\text{กระแสไฟฟ้า } 1 \text{ ฟาราเดย์ลงใน } \text{Al}^{3+} \text{ จะได้ } \text{Al(s)} \text{ } 1 \text{ โมล} = (\text{นน.กรัมโมล/ประจุ}) = 26.98/3 = 9 \text{ กรัม} \\ &\text{ผ่านกระแสไฟฟ้า } 1 \text{ ฟาราเดย์ลงใน } \text{Fe}^{2+} \text{ จะได้ } \text{Fe(s)} \text{ } 1 \text{ โมล} = (\text{นน.กรัมโมล/ประจุ}) \\ &= 55.85/2 = 27.9 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและปริมาณของขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะสามารถอธิบายด้วย กฎของฟาราเดย์ดังสมการต่อไปนี้

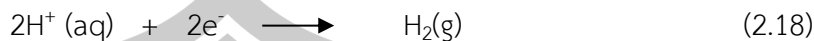
$$W = \frac{ItM}{ZF} \quad (2.17)$$

โดย	W	คือ ปริมาณโลหะที่ละลาย (g)
	I	คือ กระแสไฟฟ้า (A)
	M	คือ น้ำหนักโมเลกุลของขั้วแอโนด
	T	คือ เวลาที่ใช้ (วินาที)
	Z	คือ จำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์
	F	คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์เท่ากับ 96,500

2.5.5 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส

จากแรงเคลื่อนไฟฟ้าสามารถบอกได้ว่า ปฏิกิริยานั้นๆเกิดขึ้นเองได้หรือไม่ ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าบวก ปฏิกิริยานั้นสามารถเกิดขึ้นเองได้ แต่ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของปฏิกิริยามีค่าเป็นลบ ปฏิกิริยานั้นจะเกิดขึ้นเองไม่ได้เมื่อปฏิกิริยาดังกล่าวได้รับพลังงานจากแหล่งไฟฟ้าภายนอกจะสามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ กระบวนการเกิดปฏิกิริยา หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกเรียกว่า อิเล็กโทรลิซิส ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสคือแหล่งให้พลังงานไฟฟ้า อิเล็กโทรดสองขั้ว(Electrode) และสารละลายอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) ในส่วนของอิเล็กโทรดสองขั้ว และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อประกอบเข้าด้วยกันแล้วเรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรลิติกสำหรับอิเล็กโทรดสองขั้วนั้นขั้วหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเรียกขั้วอิเล็กโทรดที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันว่าแอโนด(Anode)ส่วนขั้วอิเล็กโทรดที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันเรียกว่าแคโทด(Cathode) ตัวอย่างของเซลล์อิเล็กโทรลิติกคือกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นพอประมาณในน้ำโดยใช้แกรไฟต์เป็นอิเล็กโทรด สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะแตกตัวออกเป็น H^+ และ Cl^- ไอออน เมื่อใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแล้วมีสัณฐานต่อไปยังอิเล็กโทรดที่ทำด้วยแกรไฟต์ พบว่าการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ในขณะเดียวกันอิเล็กโทรดที่ต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนขึ้นรอบๆ และฟุดขึ้นมาจากสารละลาย ส่วนอิเล็กโทรดที่ต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่เกิดฟองก๊าซคลอรีนเช่นกันการเกิดฟองก๊าซที่อิเล็กโทรดทั้งสองนี้แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่ เมื่อปดวงจรอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ออกจากขั้วลบของแบตเตอรี่ไปตามเส้นลวดจนถึง

อิเล็กโทรดซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด ไอออนบวก H^+ จะเคลื่อนที่มารับอิเล็กตรอนที่อิเล็กโทรดนี้และถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไฮโดรเจน ดังสมการ



ส่วนไอออนลบ Cl^- จะให้อิเล็กตรอนที่อิเล็กโทรดที่ต่อกับขั้วของแบตเตอรี่ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแอโนด ดังสมการ



อิเล็กตรอนที่ได้จะเคลื่อนที่ไปสู่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ทำให้ครบวงจร ปฏิกิริยาของเซลล์จึงได้จากผลบวกของสมการ ดังนี้



2.5.6 ขั้วไฟฟ้า (Electrode)

ขั้วไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

ขั้วไฟฟ้าที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Active Electrodes) หมายถึงขั้วที่มีส่วนในปฏิกิริยา เช่น ครึ่งเซลล์ Zn/Zn^{2+} ถ้า Zn เป็นฝ่ายให้อิเล็กตรอนไป Zn ก็จะผุกร่อนไป ถ้า Zn^{2+} รับอิเล็กตรอนมาก็จะเปลี่ยนเป็น Zn เกาะบนขั้ว

ขั้วที่ไม่ว่องไวในปฏิกิริยา (Inert Electrodes) อาทิ Pt หรือ C (แกรไฟท์หรือคาร์บอน) ที่จุ่มลงในสารละลายหนึ่ง ก็จะทำหน้าที่เป็นทางให้อิเล็กตรอนไหลผ่านเข้าหรือออกได้โดยไม่มีปฏิกิริยากับไอออนในสารละลายนั้นๆ

ขั้วแก๊ส (Gas Electrodes) ในครึ่งเซลล์ $H^+/H_2(g)$ จะมี $Pt/H_2(g)$ (1 บรรยากาศ) จุ่มในสารละลาย H^+ หรือ H_3O^+ (1M) และเรียกว่า ขั้วแก๊สไฮโดรเจน หรือเรียกว่า ขั้วแก๊สไฮโดรเจนมาตรฐาน (Standard Hydrogen Electrodes ; SHE) โดยที่ปลายโลหะ Pt จะมี Pt ที่เป็นผงละเอียดเคลือบอยู่ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

2.5.6.1 วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรด

2.5.6.1.1 อะลูมิเนียม (Aluminum)

เป็นโลหะหมู่เดียวกับแคลเซียม อินเดียม และเทลลูเรียม อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีมากที่สุดบนผิวโลก อะลูมิเนียมจัดว่า ว่องไวสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะอื่นๆได้ อะลูมิเนียมมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +3 เมื่อโลหะให้อิเล็กตรอนออกไป 3 อิเล็กตรอน Al^{3+} มีขนาดเล็กมาก สารประกอบโลหะที่มีเลขออกซิเดชัน +3 มักจะเป็นสารประกอบโควาเลนต์ อย่างไรก็ตามเมื่ออยู่ในน้ำ Al^{3+} จะเกิดไฮดรอกไซด์และไฮโดรไลซิส เกิดอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และเฮไลต์ของอะลูมิเนียมละลายน้ำได้ดี แต่ไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียมไม่ละลายน้ำ ออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียมมีสมบัติเป็นแอมโฟเทอริก

2.5.6.1.2 เหล็ก (Steels)

เป็นโลหะแข็ง มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง มีความว่องไวปานกลางต่อปฏิกิริยาสารประกอบของธาตุเหล็กมีเลขออกซิเดชัน +2 และ +3 เลขออกซิเดชันสูงๆมีบ้างแต่ไม่เสถียร และเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง ถ้าทิ้งไว้ในอากาศที่มีความชื้น มักจะกลายเป็นสนิมที่ผิว เรียกว่า สนิมเหล็ก ดังนั้นเครื่องมือเครื่องใช้ที่ทำด้วยเหล็กจึงต้องหาวิธีป้องกัน เช่นทาสีกันสนิมเคลือบด้วยโลหะที่เหมาะสม (ดีบุก สังกะสี โครเมียม) หรือผสมโลหะบางชนิดลงไป เพื่อให้ได้เหล็กปลอดสนิม เมื่อเผาไหม้ในอากาศจะได้ออกไซด์ผสม $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ หรือ Fe_3O_4 ซึ่งมีประโยชน์ใช้ฉาบผิวเหล็กเพื่อป้องกันสนิมได้ เหล็กสามารถเกิดสารประกอบกับอะโลหะได้หลายชนิดเมื่อให้ความร้อน แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนเมื่ออยู่ในสารละลาย เหล็กมักอยู่ในรูปของ Fe^{2+} และ Fe^{3+} ปนกัน เนื่องจาก Fe(II) ถูกออกซิไดซ์โดยอากาศได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาวะเป็นกลางหรือเบส ดังจะเห็นจากค่า E°



สารประกอบที่ปราศจากน้ำของ Fe(II) ไม่มีสี แต่ถ้ามีน้ำหรืออยู่ในสารละลายจะมีสีเขียวอ่อนของไอออน $[\text{Fe(H}_2\text{O)}_6]^{2+}$ สารประกอบ Fe(III) มักมีสมบัติเป็นกรดมากกว่าของ Fe(II) ทั้งนี้ปรากฏว่า Fe(III) ในสารละลายจะอยู่ในรูปของ $[\text{Fe(H}_2\text{O)}_6]^{3+}$ ซึ่งจะมีสีม่วงจาง เมื่อ pH ต่ำมากๆ เท่านั้น มิฉะนั้นจะถูกไฮโดรไลส์ กลายเป็น $[\text{Fe(H}_2\text{O)}_5(\text{OH})]^{2+}$ หรือไอออนเชิงซ้อนคล้ายๆกันนี้ ทำให้ได้สารละลายสีเหลือง

2.5.6.1.3 คาร์บอน (Carbon)

คาร์บอนมีคุณสมบัติผสมผสานเฉพาะตัวจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของแบตเตอรี่และเซลล์เชื้อเพลิง คาร์บอนในรูปแบบต่างๆทำจากส่วนประกอบสำคัญของแหล่งกำเนิดพลังงาน มานานกว่าหนึ่งศตวรรษครึ่ง หนึ่งในบรรดาการใช้ประโยชน์คาร์บอนในแบตเตอรี่ทางการค้า ยุคแรกสุดอยู่ในปี 1841 เมื่อ Robert Bunsen ได้เสนอให้เปลี่ยนตัวเก็บเก็บกระแสไฟฟ้าของ Grove Cell จากพลาตินัมที่มีราคาแพงไปเป็นคาร์บอนซึ่งคุ้มทุนกว่ากัน ปัจจุบันด้วยคุณสมบัติเฉพาะตัวของคาร์บอนทำให้นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในเทคโนโลยีแหล่งกำเนิดพลังงานในขณะที่โครงสร้างคาร์บอนรูปแบบใหม่มีการสังเคราะห์ขึ้นมาอย่าง Nanotubes หรือ Fullerenes ประโยชน์ของมันต่อเทคโนโลยีต้นกำเนิดพลังงานกำลังศึกษากันอย่างเอาใจใส่อย่างจริงจัง ขณะที่คาร์บอนเป็นตัวนำอิเล็กทรอนิกส์ที่เฉื่อยและดีพอสมควร มันมีประโยชน์ทำเป็นขั้วไฟฟ้า (Electrode) หรือเพิ่มความนำไฟฟ้าให้แก่วัสดุชนิดอื่นๆ คาร์บอนยังมีราคาถูกและหาได้ง่ายในรูปแบบต่างๆอีกด้วยในสภาพของแข็ง คาร์บอนทำให้อยู่ในรูปแบบแท่งทรงกระบอกหรือเป็นแผ่นก็ได้ นอกจากนี้ยังทอเป็นแผ่นผ้าให้ก๊าซแพร่ผ่านได้ ผงคาร์บอนและเส้นใยคาร์บอนมีพื้นที่ผิวกว้างใหญ่ จึงเป็นประโยชน์ต่อการใช้รองรับสารเร่งปฏิกิริยาและทำขั้วไฟฟ้าที่มีพื้นที่ผิวเนื่องจากโครงสร้างของมันทำให้เกิดความพรุนได้โครงสร้างเป็น

ชั้นๆ และเป็น Nanotubes จึงมีการนำคาร์บอนไปประยุกต์ใช้เป็นสารสอดไส้หรือเป็นตัวกลาง สำหรับการเก็บไฮโดรเจน คาร์บอนใช้ทั้งในแบตเตอรี่ซึ่งเก็บพลังงานของมันไว้ภายใน และใช้ในเซลล์ เชื้อเพลิงซึ่งผลิตพลังงานจากแหล่งกำเนิดเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์ภายนอก

2.5.6.1.4 ไทเทเนียม

เป็นธาตุหมู่เดียวกับเซอร์โคเนียม และแฮฟเนียม ไทเทเนียม มีเลขออกซิเดชัน ได้ทั้ง +2, +3 และ +4 ไทเทเนียมเป็นโลหะทรานสิชัน คือ มีลักษณะขาวคล้ายเงิน จุดหลอมเหลว และจุดเดือดสูง แข็ง เหนียว ดึงให้เป็นเส้นได้ เป็นโลหะทรานสิชันที่มีความหนาแน่นต่ำสุด ที่สถานะปกติไทเทเนียมค่อนข้างเฉื่อยมาก ทนได้แม้แต่ก๊าซคลอรีนแห้ง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า 500 องศาเซลเซียส จะสามารถทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับโลหะ ได้สารประกอบโคเวเลนต์ เช่น TiO_2 , $TiCl_4$ เป็นต้น สารประกอบของไทเทเนียมที่มีเลขออกซิเดชัน +2 และ +3 ถึงแม้ไทเทเนียม จะมีข้อดีหลายประการ แต่ไม่นิยมใช้เป็นวัสดุโครงสร้างแทนเหล็ก ทั้งนี้เพราะความว่องไวต่อปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ ดังได้กล่าวมาแล้ว

2.5.6.1.5 แพลทินัม

มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงมาก คือ มีจุดเดือด 3.827 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1770 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงพันธะโลหะ และยังเป็นเหตุให้ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา นอกจากนี้สารประกอบของแพลทินัมมักไม่ค่อยเสถียร เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นจะสลายตัวเป็นโลหะ ดังนั้นจึงพบโลหะพวกนี้ในรูปของธาตุอิสระในธรรมชาติอยู่บ้าง นอกจากจะเกิดเป็นสินแร่กับธาตุอื่นๆและมักจะพบอยู่รวมกันหลายธาตุเป็นโลหะเจือแล้ว และยังปรากฏรวมอยู่กับพวกธาตุทองแดง เงิน และทองคำอีกด้วย แพลทินัมมีน้อยมาก จึงมีราคาแพงมากแพลทินัมมีสีขาวและอ่อนมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ตั้งแต่ +2 ถึง +8 แต่ที่สำคัญคือ +2 ถึง +8 แต่ที่สำคัญ คือ +2 ถึง +4 เท่านั้น เนื่องจากมีสมบัติในการนำความร้อนไฟฟ้าดีมาก ฉะนั้นต่อปฏิกิริยา จึงมีประโยชน์ในการทำอิเล็กโทรด เบ้าทนไฟ และภาชนะสำหรับงานที่อุณหภูมิสูงและต้องการความต้านทานการกัดกร่อนสูง

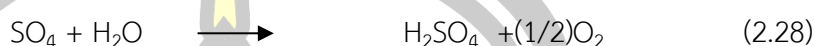
2.5.7 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี

ทบวงมหาวิทยาลัย (2528) สรุปว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากอิเล็กโทรดที่เสถียร เช่น แพลทินัม เป็นต้น ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย คือน้ำจะถูกออกซิไดซ์ ได้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจน



Allmand (1931) กล่าวถึง ปฏิกริยาในการเกิดก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจน อีกทั้ง

การเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของซัลเฟตไอออน



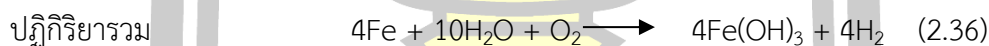
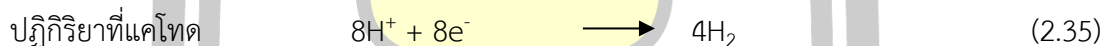
Biwyk (1991) ใช้อิเล็กโทรดที่สลายตัวได้ คือ เหล็กหรืออะลูมิเนียม บำบัดน้ำเสียจาก

ชุมชนที่ผ่านการบำบัดทางชีววิทยาแล้ว

อะลูมิเนียม



เหล็ก



Pretorius และ คณะ (1991) ใช้อิเล็กโทรดแบบสลายตัวได้ คือ เหล็ก เพื่อผลิตสารช่วย

ในการตกตะกอนในรูปตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์



Comninellis (1992) ใช้อิเล็กโทรดแบบเสถียร คือ แพลทินัมหรือไทเทเนียม เคลือบ ดิบุกออกไซด์ในการกำจัดฟินอล ที่มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์โดย OH หรืออนุพันธ์ไฮดรอกซิล ได้ จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ซึ่งจะเกิดบริเวณพื้นผิวของอิเล็กโทรด



ปฏิกิริยาข้างเคียงที่จะเกิดขึ้น ได้แก่ การเกิดก๊าซออกซิเจน



2.5.8 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

จะทำให้เกิดปฏิกิริยาหลายอย่าง ดังต่อไปนี้

2.5.8.1 กระบวนการ Oxidation

เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านน้ำจะเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) จะได้ก๊าซออกซิเจนซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง อีออนของโลหะที่ละลายน้ำได้ (วาเลนซ์ 2 ขึ้นไป) จะตกตะกอนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ (Organic Contaminant) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความพร้อมที่จะรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex)

2.5.8.2 กระบวนการ Flotation

ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน ซึ่งเป็นฟองเล็กมากเกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าหนึ่งจะลอยขึ้นสู่ผิวและพองอนุภาคเล็กๆ ให้ลอยขึ้นสู่ผิว เกิดการแยกของสารแขวนลอย

2.5.8.3 กระบวนการรวมตัวเป็นสารเชิงซ้อน

ที่ขั้วบวกไอออนของ Fe^{3+} และ Al^{3+} จะทำปฏิกิริยารวมตัวเป็น Organometallic Complex กับสารอินทรีย์พวก Aromatic และ Alkanes สารเชิงซ้อนเหล่านี้ไม่ละลายในน้ำ จะลอยสู่ผิวน้ำเสียโดยการลอยตัว (Flotation) ซึ่งเกิดจากการพองโดยฟองก๊าซและบางส่วนจะจมลง (Precipitation)

2.5.8.4 กระบวนการรวมตัวทางเคมี (Chemical Coagulation)

ในกรณีที่ใช้โลหะเหล็ก หรืออลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าจะเกิดการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์หรืออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสาร Coagulant และ Flocculants ช่วยทำให้สารแขวนลอยเล็กๆ รวมตัวกันสามารถตกตะกอนและแยกตัวออกได้ดีขึ้น

2.5.9 ดัชนีที่มีผลต่อกระบวนการไฟฟ้าเคมี

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียมีผลต่อการทำงานของระบบไฟฟ้าเคมี ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจดัชนีต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบไฟฟ้าเคมี

2.5.9.1 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้ามีผลโดยตรงต่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ในกระบวนการไฟฟ้าเคมีจะใช้ไฟฟ้ากระแสตรง นั่นคือไฟฟ้าที่มีทิศทางเคลื่อนที่หรือการไหลของอิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดไปสู่เครื่องใช้ไฟฟ้าได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ส่วนความต่างศักย์ไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรไฟฟ้า โดยจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากจุดที่เป็นประจุลบ ไปสู่จุดที่เป็นประจุบวกในวงจร ไฟฟ้าใดก็ตาม จะมีสิ่งที่ต้านทานการไหลของอิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้าตลอดเวลาเรียกว่า ความต้านทานกระแสไฟฟ้า สิ่งที่ยับยั้งให้กระแสไฟฟ้าหรืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปในวงจรเรียกว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานกระแสไฟฟ้า มีความสัมพันธ์กันตามกฎของโอห์ม ซึ่งกล่าวว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปในวงจรได้จะมีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้า สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการ ดังสมการ

$$V = I \times R \quad (2.42)$$

ดังนั้นความต้านทานกระแสไฟฟ้าในกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีคือความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั่นเอง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ตามสมการ

$$R = \frac{l}{C \times A} \quad (2.43)$$

เมื่อ R เป็นความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยโอห์ม

l เป็นระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดในหน่วยเซนติเมตร

C เป็นค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยโมห์ หรือซีเมน

A เป็นพื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยตาราง เซนติเมตร

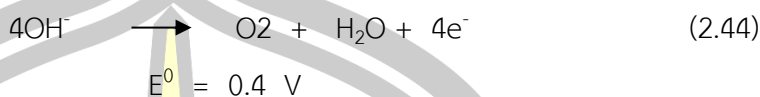
ซึ่งสามารถหาค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้จากเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

2.5.9.2 สี

สีในน้ำอาจจะเป็นผลมาจากไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก แมงกานีส เป็นต้น ซากพืชซากสัตว์และของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม ตามมาตรฐานของการบำบัดน้ำเสีย ความหมายของ “สี” จะมีความหมายเดียวกันกับ “Colour” ซึ่งหมายถึงสีของน้ำที่กำจัดความขุ่นออกไปแล้ว ขณะที่ “Apparent Colour” หมายถึงสีของน้ำที่มีสารแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ในกรณีของน้ำเสียในอุตสาหกรรมที่มีสี พบว่าสีจะกระจายอยู่ทั่วไปในรูปของคอลลอยด์หรือสารแขวนลอย ซึ่งกรณีนี้จะทำให้ “True Colour” ต่างจาก “Apparent Colour” ชัดเจน

2.5.9.3 สารอินทรีย์

ปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นที่แอโนด เช่น ไอออนลบถูกทำให้เป็นกลางหรืออาจจะให้อิเล็กตรอน ซึ่งในปฏิกิริยาที่มีศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยาค่าจะเกิดปฏิกิริยาก่อน เช่น



ในทางทฤษฎีจลนพลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์แสดงว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดจะให้อนุพันธ์อิสระซึ่งว่องไวในการทำปฏิกิริยา เช่น OH^- ซึ่งสูญเสียอิเล็กตรอน แต่ยังไม่สามารถทำปฏิกิริยาใดๆ สามารถทำปฏิกิริยากันเองหรือกับไอออนหรือสารประกอบ หรืออนุพันธ์อิสระอื่นๆ บริเวณอิเล็กโทรด รวมทั้งสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วย หรืออาจจะรวมตัวกับอนุพันธ์อิสระอื่นได้สารที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ และถ้าในน้ำเสียมีคลอไรด์ไอออน พบว่าวิธีไฟฟ้าเคมีจะทำให้เกิดก๊าซคลอรีนและอนุพันธ์ของคลอรีนที่แอโนดซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับสารอินทรีย์ได้อีกด้วย แต่การกำจัดสารอินทรีย์แบบสมบูรณ์ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีนี้ไม่เป็นที่ยอมรับ เพราะ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบสมบูรณ์ของสารอินทรีย์เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่ใช่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ง่าย จะเกิดขึ้นกับสารอินทรีย์บางตัวในอัตราการกำจัดต่ำและบางสถานะเท่านั้น เช่น ในสถานะที่ใช้แพลทินัมเป็นอิเล็กโทรดในสารละลายกรดเข้มข้นหรือต่างเข้มข้นที่ 80°C เป็นต้น

สถานะเช่นนี้ไม่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากต้องใช้ปริมาณสารเคมีมาก วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรดมีราคาแพงและต้องใช้พลังงานในการเพิ่มอุณหภูมิ เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยา ยิ่งไปกว่านั้น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบสมบูรณ์ของสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ต้องการการถ่ายเทอิเล็กตรอนจำนวนมาก จึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงไปได้ ในบางครั้งเพียงการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์ให้เล็กลงจะสามารถลดความเป็นพิษได้แล้ว ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบสมบูรณ์ของสารอินทรีย์ต้องใช้อิเล็กโทรดที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น คาร์บอน เป็นต้น

2.5.9.4 ค่าพีเอช(pH)

สารละลายในน้ำไม่ว่าจะเป็นกรด เป็นเบส หรือเป็นกลาง ย่อมประกอบด้วย H_3O^+ และ OH^- เสมอ โดยมีผลคูณของไอออนทั้งสอง เท่ากับ 10^{-14} ดังนั้นถ้าทราบ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ เพียงอย่างเดียวสามารถบอกได้ว่าสารละลายเป็นกรด เป็นเบส หรือเป็นกลาง เนื่องจาก $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ในสารละลายมีค่าน้อย และเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างจาก 1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ถึง 10^{-14} โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร การเขียนความเข้มข้นด้วยเลขยกกำลังที่ติดลบย่อมไม่สะดวกและผิดพลาดได้

ง่าย ซอเรนเสนจึงเสนอแนะให้ใช้มาตราส่วนใหม่ที่สะดวกกว่า ซึ่งเรียกว่ามาตราส่วน pH โดยมีนิยามว่า

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \quad (2.45)$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \quad (2.46)$$

โดยที่สารละลายกรดจะมี pH น้อยกว่า 7 และสารละลายเบสจะมี pH มากกว่า 7 ส่วนสารละลายที่เป็นกลางจะมี pH เท่ากับ 7 มาตราส่วนนี้ นอกจากจะใช้บอกความเข้มข้นของ H_3O^+ แล้วยังใช้บอกความเข้มข้นของ OH^- ในรูปของ pOH ได้อีกด้วย คือ

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] \quad (2.47)$$

2.5.9.5 คอลลอยด์

เป็นสถานะที่สารใดสารหนึ่งอยู่ในรูปของอนุภาคเล็ก ๆ แขนงลอยอยู่ในตัวกลางหรือตัวทำละลาย สถานะนี้เป็นประเภทเนื้อผสม อนุภาคเหล่านี้อาจจะละลายในตัวทำละลายได้บ้าง แต่ไม่สามารถละลายได้หมด จึงปรากฏในรูปแขวนลอยอยู่ซึ่งจะคงสถานะ และไม่ยอมรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น อนุภาคคอลลอยด์มีขนาด 1-1,000 นาโนเมตร ถ้าพิจารณาจากเสถียรภาพ อาจจำแนกคอลลอยด์ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.5.9.5.1 คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพในตัวเอง ตัวอย่างระบบคอลลอยด์ประเภทนี้ ได้แก่ กาว แป้ง และสบู่ ซึ่งเกิดระบบคอลลอยด์ที่เสถียรในน้ำได้

2.5.9.5.2 คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพเนื่องจากสารอื่น แบ่งเป็น คอลลอยด์ที่สารอื่นป้องกัน เช่น หยตน้ำมันไม่อาจเกิดระบบคอลลอยด์ในน้ำได้ แต่ถ้าเติมสบู่ลงไปบ้างแล้วคนให้ทั่ว ส่วนที่ขอบน้ำของสบู่จะละลายหยตน้ำมัน ซึ่งทำให้น้ำมันกระจายไปในน้ำในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ด้วย คอลลอยด์ที่ดูดซับไอออน เช่น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ อนุภาคคอลลอยด์ของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ดูดซับ H^+ ไว้ที่ผิวของอนุภาค ทำให้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ มีประจุบวก การดูดซับ H^+ ที่ผิวของอนุภาค $\text{Fe}(\text{OH})_3$ จึงทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อนุภาคต่าง ๆ ของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ มีโอกาสรวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้น อนุภาคคอลลอยด์ของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ จึงอยู่ได้อย่างเสถียร อีกตัวอย่างหนึ่ง ได้แก่ ระบบคอลลอยด์ของ As_2S_3 ซึ่งถูกทำให้เสถียรโดย OH^- และ SH^- ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ของ As_2S_3 จึงมีประจุลบ

2.6 การประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสีย

2.6.1 การแยกสารโดยการทำให้ลอยด้วยไฟฟ้า

ในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเดิมจะอาศัยหลักการแรงโน้มถ่วงของโลกในการแยกน้ำมันในน้ำเสียซึ่งพบปัญหาคือ ถ้าในน้ำเสียมีปริมาณน้ำสบู่มากโมเลกุลของสบู่จะ

ปรากฏเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายไปทั่วระหว่างโมเลกุลของน้ำเสีย ทำให้น้ำมันแตกเป็นเซลล์เล็ก เซลล์น้อย ผลที่ตามมาคือทำให้แยกน้ำมันออกจากน้ำเสียได้ยากมาก ดังนั้นจึงได้มีการนำ กระบวนการไฟฟ้าเคมีมาใช้ในการบำบัดโดยจะใช้อิเล็กโทรดที่มีส่วนในการทำปฏิกิริยา เช่น อลูมิเนียม เป็นต้น เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในเซลล์อิเล็กโทรลิติกแล้ว อิเล็กโทรดที่ทำหน้าที่เป็น แอโนดจะละลายเป็นไอออนในน้ำเสีย ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดตะกอนเบา ขณะที่แคโทดจะเกิด ฟองก๊าซที่ช่วยในการลอยตัวของน้ำมัน ซึ่งเป็นการแยกสารโดยทำให้ลอยด้วยไฟฟ้านั่นเอง จากนั้น จึงได้มีการพัฒนาให้ระบบการบำบัดมี 2 ขั้นตอนคือขั้นที่หนึ่งเป็นการทำให้เกิดตะกอนเบาด้วยไฟฟ้า เพื่อให้เกิดการรวมตัวของน้ำมัน ขั้นที่สองเป็นการทำให้ลอยด้วยไฟฟ้าเพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย การสลายตัวของอิเล็กโทรด ไม่ได้ขึ้นกับปริมาณและขนาดของอิเล็กโทรด แต่ขึ้นกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในการบำบัด ข้อดีของระบบนี้คือ ควบคุมง่าย ประสิทธิภาพสูงและระบบบำบัดมีขนาดเล็ก

2.6.2 การกำจัดฟีนอลในน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีนี้ จะเกิดขึ้นที่ ขั้ว แอโนด และต้องดำเนินการที่ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าสูง ซึ่งขึ้นกับความว่องไวของ สารอินทรีย์กับตัวทำปฏิกิริยาและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ส่วนกำลังในการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันที่แอโนดนั้น ขึ้นกับธรรมชาติของวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรด เช่น คาร์บอนไฟฟ้าเกินตัวของ ออกซิเจน เป็นต้น ตัวอย่าง การเปรียบเทียบอิเล็กโทรดที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ สารอินทรีย์ได้แก่ไทเทเนียมเคลือบ SnO_2 กับแพลทินัม โดยใช้ฟีนอลเป็นสารอินทรีย์ในการทดลองที่ อุณหภูมิ 70°C ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 50 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟีนอลในแต่ละช่วงเวลาของการอิเล็กโทรลisis ด้วยอิเล็กโทรดชนิดนั้นๆ พบว่าอัตราการกำจัดฟีนอลของอิเล็กโทรดทั้งสองชนิดคล้ายกัน คือ กำจัดฟีนอลได้ทั้งหมดที่ 25-30 แอมแปร์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เดซิเมตร แต่อัตราการกำจัด TOC ด้วยไทเทเนียมเคลือบ SnO_2 จะ มากกว่าคือ 90% ที่ 50 แอมแปร์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ขณะที่อัตราการกำจัด TOC ด้วย แพลทินัมเพียง 38% ทั้งนี้เนื่องจาก SnO_2 มีศักย์ไฟฟ้าเกินตัวของออกซิเจนสูงมาก และกำลังใน การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ได้ดี ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีให้มี ประสิทธิภาพควรเลือกชนิดของอิเล็กโทรดให้เหมาะสมกับน้ำเสีย

2.6.3 การกำจัดไอออนต่างๆ ในน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี

ได้ทำการทดลองการกำจัด Cr^{6+} จากน้ำหล่อเย็นและ CN ด้วยวิธีนี้ จะเกิดตะกอนเบา ของเหล็กที่ไม่ละลายน้ำ หรือเกิดสารเชิงซ้อนโดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติกที่มีเหล็กเป็นอิเล็กโทรด Cr^{6+} ถูกเปลี่ยนให้เป็น Cr^{3+} ซึ่งอยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีไอออนปนเปื้อนต่างๆ ต้องอาศัยวิธีการบำบัดหลายขั้นตอน เช่น การปรับ pH ให้เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ต้องการ

การเติมสารเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี การทำให้เป็นกลางเพื่อแยกตะกอนออกจากสารละลายและการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียที่บำบัดแล้ว ในขณะที่การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติกที่มีเหล็กหรืออลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรดเพื่อทำให้เกิดตะกอนเบาของเหล็กหรืออลูมิเนียมรูปออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ ซึ่งตะกอนเบาเหล่านี้จะทำหน้าที่ดูดซับสารปนเปื้อนหรือของเสียไว้ ทำให้สามารถกำจัดของเสียออกจากระบบบำบัดน้ำเสียได้ อย่างไรก็ตามอิเล็กโทรดดังกล่าวมีข้อจำกัดคือไม่เหมาะที่จะใช้กับสารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดเกลือของโลหะบนอิเล็กโทรด จะเห็นได้ว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีนี้ไม่ต้องมีการปรับ pH และไม่ต้องเติมสารเคมีในการกำจัดไอออนต่างๆ หลักการของวิธีทางเคมีในการกำจัดไอออนเหล่านี้คือ เปลี่ยนเลขออกซิเดชันของไอออนให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยกว่า จากนั้นไอออนที่มีความเป็นพิษน้อยกว่า จะรวมตัวกับตะกอนเบาของเหล็กในทางกายภาพหรือทางเคมี เพื่อให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนและถูกกำจัดออกจากระบบโดยการตกตะกอน ระบบการบำบัดแบบเดิมนั้น ต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายที่มีความเป็นกรดสูงจึงสามารถเปลี่ยน Cr^{6+} เป็น Cr^{3+} ได้ดังสมการ หรือเปลี่ยน CN เป็นเฟอร์โรไซยาไนด์ และเฟอร์โรไซยาไนด์

$$\text{Cr}_2\text{O}_7^- + 14 \text{H}^+ + 6\text{e}^- \longrightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} \quad (2.48)$$

2.6.4 การกำจัดเชื้อโรคหรือแบคทีเรียในน้ำเสียจากชุมชน

ในการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่นั้น ปริมาณของแบคทีเรียในน้ำเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่ง ในการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งการเติมสารเคมีเป็นวิธีหนึ่งที่ยิยมใช้ในการกำจัดเชื้อโรคหรือแบคทีเรียในน้ำ แต่ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นคือมีการใช้ปริมาณสารเคมีมากเกินไป ทำให้มีฤทธิ์ของสารเคมีตกค้างอยู่ในน้ำ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี จึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมในการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดแบคทีเรียนี้ ต้องมีการปรับสภาพการนำไฟฟ้า ของน้ำเสียก่อนเข้าเซลล์ อิเล็กโทรลิติกด้วยโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำทะเล ให้มีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 4-15 มิลลิซีเมน ใช้อิเล็กโทรดแบบเสถียรเพื่อทำให้เกิดก๊าซคลอรีน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ก๊าซคลอรีนนี้ใช้กำจัดแบคทีเรียในน้ำเสียแต่ต้องมีปริมาณที่เหมาะสมไม่มากเกินไป เพราะอาจทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณคลอรีนสูง ดังนั้นระบบจะเติมปริมาณสารละลายโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำทะเลที่เหมาะสมเท่านั้น และจะใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด แล้วบางส่วนกลับมาเข้าเซลล์อิเล็กโทรลิติกอีกครั้งรักษาค่าการนำไฟฟ้าของระบบไว้โดยปราศจากการเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์หรือน้ำทะเล ส่วนก๊าซที่ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ มีหน้าที่ในการพาสารแขวนลอยต่างๆ ขึ้นสู่ผิวหน้าในรูปของโฟม ทำให้ลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียได้อีกด้วย

2.6.5 การกำจัดสีของน้ำเสีย

โรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น โรงงานผลิตสุรา โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตสีและโรงงานฟอกย้อม เป็นต้น มีปัญหาในการกำจัดสีของน้ำเสีย ซึ่งยังไม่มีวิธีบำบัดที่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ก่อให้เกิดสี วิธีที่ใช้ในการกำจัดสีมีหลายวิธี ตัวอย่างคือการเติมสารเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น O_3 , Cl_2 และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ ที่รุนแรง สิ่งที่เกิดขึ้นคือความไม่ปลอดภัยในการบำบัดน้ำเสียนั่นเอง การเติมแคลเซียมออกไซด์ เพื่อให้เกิดการตกตะกอนในการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ และการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะใช้กำจัดสีของน้ำเสียแต่ละประเภทแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงมีความพยายามในการหาวิธีที่สามารถกำจัดสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมได้หลายประเภท และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง วิธีไฟฟ้าเคมีซึ่งเปลี่ยนรูปไอออนของโลหะที่ก่อให้เกิดสี โดยอาศัยการถ่ายเทของอิเล็กตรอนในระบบเรียกว่าเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งทำให้เลขออกซิเดชันของไอออนของโลหะเปลี่ยนไปนั่นเอง และสามารถดูดซับสารแขวนลอยต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดสีด้วยตะกอนเบา ในรูปของออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ ที่ได้จากการแตกตัวของอิเล็กโทรด ทำให้เกิดตกตะกอนขึ้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิ่นสยาม ภูมิพานิช (2546) ศึกษาการบำบัดสีย้อมแอกทีฟด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณไอออนของเหล็กที่ละลายจากขั้วแอโนด และความนำไฟฟ้าที่มีผลต่อการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีตัวถัง 4 โทนสี (สีดำ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง) ซึ่งทำการทดสอบในปฏิกิริยาแบบเทกภายในบรรจุด้วยขั้วไฟฟ้าโบพลาร์ที่ทำจากแผ่นเหล็กต่อกันเป็นอนุกรม โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 แอมแปร์ 50 โวลต์ การทดลองแบบออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกเปรียบเทียบผลของปริมาณไอออนของเหล็กที่ละลายจากขั้วแอโนดต่อการบำบัดสีย้อมที่โทนสีต่างๆ ซึ่งค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 5, 7, 9 และ 11 ช่วงที่สองเปรียบเทียบผลของความนำไฟฟ้าต่อการบำบัดสีย้อมที่โทนสีต่างๆ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 5, 15, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณไอออนของเหล็กที่เหมาะสมในการบำบัดสีต่างๆ โดยเฉลี่ยร้อยละ 92, 97.5, 89.5 และ 87.5 สำหรับสีดำ สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง ตามลำดับ ค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 7-9 เวลาที่ใช้โดยประมาณ 3-4 ชั่วโมง ค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 8.56 9.36 24.20 และ 24.60 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตรสำหรับสีดำ สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลืองตามลำดับ ปริมาณไอออนของเหล็กมีผลประสิทธิภาพการบำบัด โดยแปรผันตามจนกระทั่งทำปฏิกิริยากันสมมูลกัน ปริมาณเหล็กที่มากเกินไปทำให้สูญเสียขั้วไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น และยังทำให้น้ำที่ได้มีปริมาณเหล็กสูงอีกด้วย การเพิ่มความนำไฟฟ้าทำให้เวลาบำบัดสั้นลง

อภิรดี สุนทรภา (2549) ศึกษาการนำกลับตีบูกจากน้ำเสียโดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมี และวิธีทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์มีตีบูกเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร โดยแบ่งการทดลองทางไฟฟ้าเคมีออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ใช้แกรไฟต์เป็นขั้วแอโนด และแคโทด ชุดที่ 2 ใช้ขั้วแอโนดเป็นแกรไฟต์ ขั้วแคโทดเป็น เหล็กกล้าไร้สนิม ใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 100, 150, 200, 250, 500, 1000, 2000, และ 4000 มิลลิแอมแปร์ พื้นที่ขั้วไฟฟ้า 3.25x12 ตารางเซนติเมตร และ 6.5x12 ตารางเมตร ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร พบว่า ระยะห่างขั้วไฟฟ้า และชนิดขั้วไฟฟ้าที่นำกลับตีบูกในสภาวะเหมาะสมที่สุดคือ 500 มิลลิแอมแปร์ 6.5x12 ตารางเซนติเมตร 5 เซนติเมตร และชุดที่ 2 ให้ค่าการนำกลับตีบูกได้ดีที่สุด

ปิ่นนรา พิมพ์สิทธิ์;ศรிகัญญา ช่อทับทิม (2007) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้าไหมด้วยไฟฟ้าเคมี ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด และปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัด ดังนี้ ชนิดของขั้วไฟฟ้า ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าซีโอดี (COD) ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ระยะห่างของขั้ว ค่าปริมาณของเหล็กละลาย ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสี และค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการบำบัดน้ำเสีย โดยพบว่าสภาพการบำบัดที่เหมาะสมคือ ศักย์ไฟฟ้าที่ 12 โวลต์ระยะห่างของขั้วที่ 2 เซนติเมตร ค่าพีเอชที่ 7-9 ระยะเวลาที่ 180 นาทีซึ่งสามารถบำบัดสีโดยเฉลี่ยร้อยละ 94 ซีโอดี (COD) ร้อยละ 78 อีออนของเหล็กมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด ปริมาณเหล็กที่มากเกินไปทำให้สูญเสียขั้วไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น และเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

นันทนา หลวงปิ่นว; สายรุ้ง ฤทธิ์กระจาย (2551) ศึกษาการบำบัดน้ำเสีย และการนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยไฟฟ้าเคมี ซึ่งทำการศึกษาโดยการเก็บน้ำจาก 3 แหล่ง ใช้ขั้วไฟฟ้าคือ อะลูมิเนียม และเหล็ก (เปรียบเทียบกัน) พบว่าขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ทำให้น้ำใส และตกตะกอนใกล้เคียงกัน ปริมาณไฟฟ้าที่ตกตะกอนได้ดีในการทดลองคือ ความต่างศักย์ที่ 24 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ และปริมาณการตกตะกอนขึ้นอยู่กับ เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน ชนิดของตัวอย่างน้ำ ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า

เบญจวรรณ ฉันทอุทิศ (2551) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม SME โดยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งทำการทดลองกำจัดสี และ COD ในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยจำลองแบบถึงปฏิกิริยาขึ้นมา ประกอบด้วยแผ่นขั้วอิเล็กโทรดทำจากเหล็กอยู่ในถังพลาสติกอะคริลิก ขนาด 2 ลิตร ศึกษาการทดลองแบบ Batch ที่สภาวะต่างกันได้คือ pH เริ่มต้นอัตราส่วนพื้นที่ผิวขั้วที่เกิดปฏิกิริยาต่อปริมาตรน้ำ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย และระยะเวลาทำ

ปฏิกิริยา พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD อยู่ระหว่าง 70-90% โดยพบประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ผิวที่เกิดปฏิกิริยาต่อปริมาตรน้ำเสีย ระดับกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาทำปฏิกิริยา ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือ pH 9 ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 45-60 นาที และที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ค่า 59.52 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

Xiong et al. (2001) ได้ศึกษาการบำบัดสีแอซิดออเรนจ์ 2 ในน้ำเสียฟอกย้อมใช้เซลล์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟสคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ในถังปฏิกิริยาแบบเท มีโคแอกทูเลชัน 2 ชนิด คือ โคแอกทูเลชันของเหล็ก และอิเล็กโทรออกซิเดชัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี 99 และ 87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยใช้ความต่างศักย์ 20 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศ 0.1 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ใช้เวลาเพียง 30 นาที

Kobya et al. (2014) ศึกษากระบวนการกำจัดสีย้อมจากสิ่งทอ (Levafix Orange) โดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี ซึ่งใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ได้แสดงการวิเคราะห์ในส่วนของคุณภาพในการกำจัดสี และความคุ้มค่าในการบำบัด โดยใช้พารามิเตอร์ คือ การสูญเสียอะลูมิเนียมและพลังงานที่ใช้ไป ค่าพีเอชเริ่มต้น ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม และเวลาที่ใช้ในการแยกด้วยไฟฟ้า จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสี 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 100 แอมแปร์/ตารางเมตร ระยะเวลาพัก 12 นาที ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 6.4 และที่ 1.8kgAl/kg dye และ 35 kWh/kg dye คือค่าที่เหมาะสมของการให้กระแสในขั้วอะลูมิเนียมและค่าพลังงานที่ใช้ ตามลำดับ

Zaroual et al. (2006) ได้ใช้กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีแบบแบทในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นเหล็กในการตรวจวิเคราะห์ พารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ ระยะเวลาพัก ค่าพลังงานที่ใช้ในการบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีซึ่งกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี มีประสิทธิภาพการบำบัดสีได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการบำบัด ซีไอดี 84 เปอร์เซ็นต์ระยะเวลาพัก 3 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 600 มิลลิโวลต์ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะใสไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังทำการวัด zeta potential ที่อาจเกิดขึ้นในกลไกการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี

FENG et al. (2007) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโรงฟอกหนังด้วยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้กระแสไฟฟ้าเซลล์ต่ำ (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 A) และใช้อิเล็กโทรดแบบละลายน้ำได้ เมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียม แล้ว เหล็กนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลไฟด์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มากกว่าซึ่งมีมีประสิทธิภาพการกำจัดคือ 90% แต่ในระหว่างกระบวนการบำบัดนั้นเกิดตะกอนสีดำที่เป็นลักษณะทั่วไปของ ตะกอนซัลไฟด์ ถึงแม้ว่า อลูมิเนียม จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้งก็ตามแต่ในการกำจัดซัลไฟด์นั้นก็มีค่าต่ำกว่า 12% จึงจะใช้พลังงานของอิเล็กโทรดประเภทต่างๆ จึงได้บำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกหนังโดยการใช้ เหล็กเป็นอิเล็กโทรดในตอนแรก ตามด้วยตัวกรองและสุดท้าย

คือการใช้ อลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรดซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD, แอมโมเนีย, TOC, ซัลไฟด์ และความสีของสารละลาย คือ 68.0%, 43.1%, 55.1%, 96.7% และ 84.3% ตามลำดับ

Merzouk et al. (2009) การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการตกตะกอนไฟฟ้าเคมี ซึ่งใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นอะลูมิเนียมในการตรวจวิเคราะห์ เพื่อกำจัดสีและลดซีไอดี (COD) น้ำเสียเป็นน้ำเสียสังเคราะห์จากโรงฟอกย้อม และมีการศึกษาพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้าพีเอชของน้ำเข้าและความเข้มข้นของน้ำเสีย รวมทั้งศึกษาปัจจัยของการทดลอง ได้แก่ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าไฟฟ้า (Current density) และระยะเวลาพัก (Residence time) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการในการบำบัด ผลการศึกษาพบว่าสีแดงมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ สำหรับน้ำเสียที่มีค่าซีไอดี 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าความเข้มข้นของสีย้อมต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 6-9 ระยะเวลาพักพัก 14 นาที โดยมีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 31.25 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร และค่าการนำไฟฟ้า 2.4 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร ภายใต้ปัจจัยเหล่านี้ ทำให้การลดลงของซีไอดีมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์



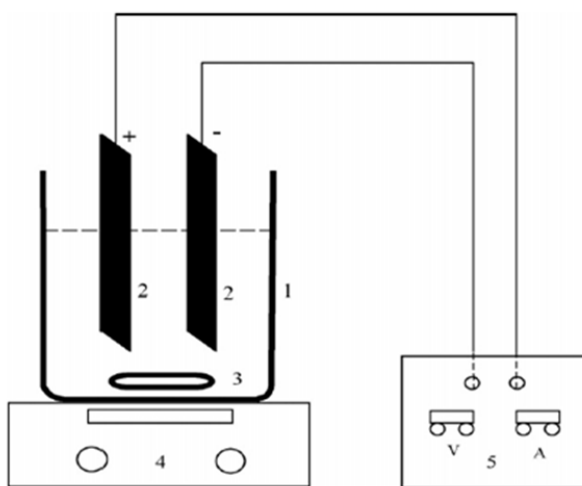
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมใหม่โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี ในน้ำเสียสีย้อมใหม่ โดยศึกษาชนิดของสีแอซิด (Acid Dye) 4 สี (สีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงิน และสีดำ) สภาวะที่เหมาะสม ประสิทธิภาพขั้วไฟฟ้า 2 ชนิด เหล็กและอะลูมิเนียม ค่าใช้จ่ายเบื้องต้น และการออกแบบถึงปฏิกรณ์สำหรับการบำบัดน้ำเสียสีย้อมใหม่โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี

3.1 การเตรียมชุดการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าศักย์ไฟฟ้าได้ ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือ เหล็กและอะลูมิเนียม หนา 2 มม. กว้าง 3.5 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ภายในถังปฏิกิริยาแบบแบทช์ (Batch Reactor) ขนาด 2,000 มิลลิลิตร และกวนน้ำเสียด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer โดยการติดตั้งแสดงดังภาพ



ภาพประกอบ 5 การติดตั้งชุดการทดลอง
โดยที่ 1.Beakerขนาด 2000 ml, 2. ขั้วไฟฟ้า , 3. Magnetic bar, 4. Magnetic stirrer

3.2 การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากสีแอซิด (Acid Dye) ทั้ง 4 สี (สีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงินและสีดำ) ที่ความเข้มข้น 400mg/lโดยมีวิธีการเตรียม คือละลายสีแอซิดปริมาณ 20 กรัม ในน้ำเดือด 1 ลิตร ต้มให้สีละลาย แล้วนำสีที่ละลายไว้เทใส่นํ้าปริมาตร 19 ลิตร จากนั้นกวนให้เข้ากัน จะ

ได้สารละลายสีแอสิด (Stock Solution) ที่ความเข้มข้น 1000 mg/l ปริมาตร 20 ลิตรจากนั้นเจือจางสารละลายตามความเข้มข้นที่ต้องการนำไปใช้ในการทดลองคือ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 2 โครงสร้างทางเคมีและโครงสร้างโมเลกุลของสีแอสิด

Number Acid dry	Chemical structure	Molecular structure	Molecular Weight	pH
Acid Red 144		$C_{46}H_{30}N_6Na_2O_{10}S_2$	936.88	5.67
Acid Yellow 42		$C_{32}H_{24}N_8Na_2O_8S_2$	758.69	6.91
Acid Blue 83		$C_{45}H_{44}N_3NaO_7S_2$	825.79	6.65
Acid black 41		$C_{22}H_{13}N_6Na_3O_{12}S_2$	718.54	7.06

3.3 การเตรียมแผ่นอิเล็กโทรด

แผ่นอิเล็กโทรดที่ใช้ คือ แผ่นเหล็ก และแผ่นอะลูมิเนียม ที่ได้เตรียมไว้แล้ว นำมาแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาด ชัดด้วยกระดาษทราย จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น 1 ชั่วโมง

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสดีสีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงิน และ สีดำด้วยวิธีตกตะกอนทางไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

3.4.1.1 การศึกษาผลของ pH เริ่มต้นของน้ำเสีย

ศึกษาผลของ pH เริ่มต้นที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ให้กระแสไฟฟ้าที่ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นของสีเริ่มต้นที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 นาที แล้วนำมาหาประสิทธิภาพของการบำบัดสีที่มีความเหมาะสมที่สุดและนำไปศึกษาในการทดลองต่อไป

3.4.1.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

ศึกษาผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรความเข้มข้นสี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า pH ตามการทดลองที่ได้จากข้อ 4.1.1 โดยใช้ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 นาที และนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการบำบัดสี ที่มีความเหมาะสมที่สุดและนำไปศึกษาในการทดลองต่อไป

3.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสดี สีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงิน และ สีดำ ด้วยวิธีตกตะกอนทางไฟฟ้าใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

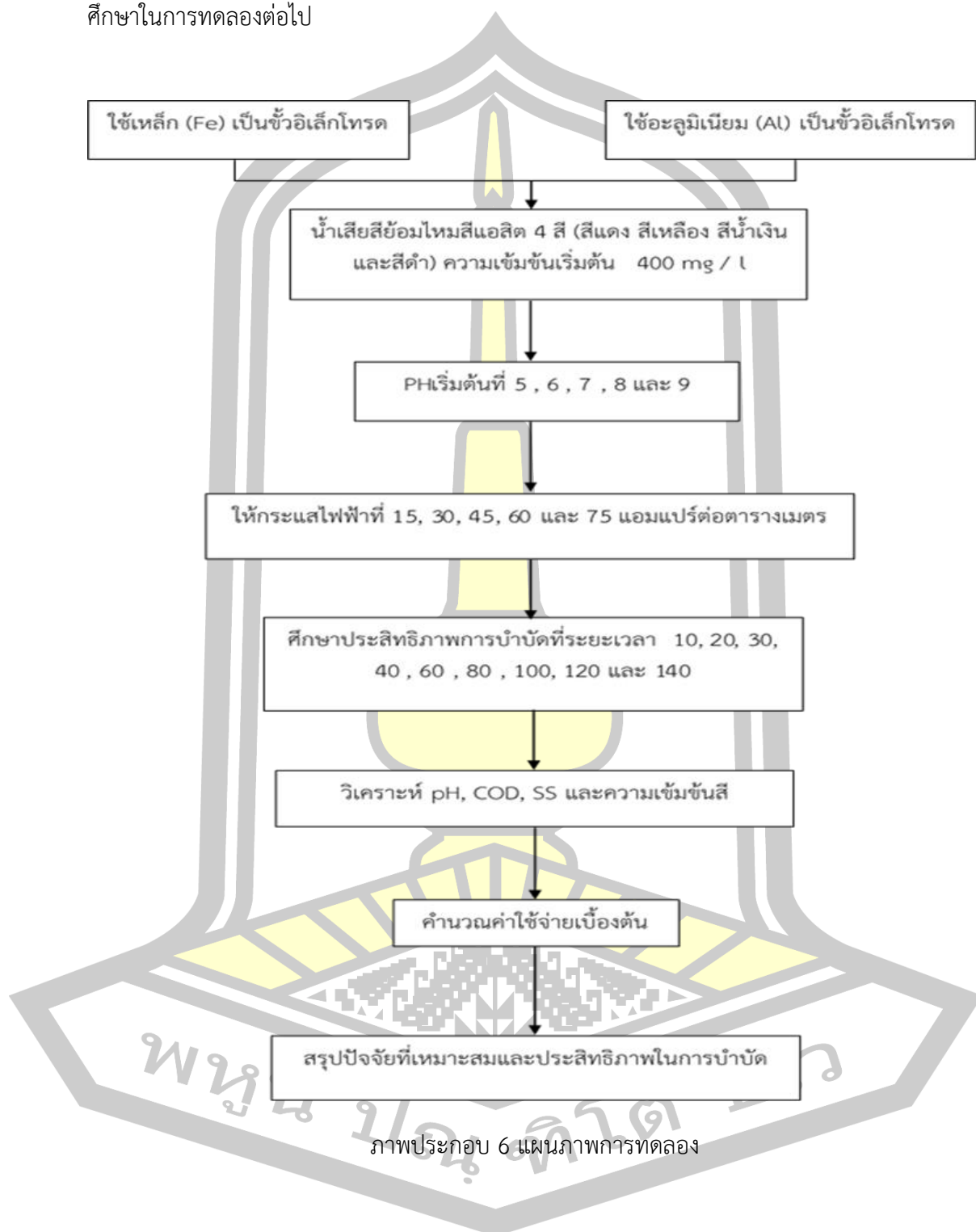
3.4.2.1 การศึกษาผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสี

ศึกษาผลของ pH เริ่มต้นที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ให้กระแสไฟฟ้าที่ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นของสีเริ่มต้นที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 นาที แล้วนำมาหาประสิทธิภาพของการบำบัดสีที่มีความเหมาะสมที่สุดและนำไปศึกษาในการทดลองต่อไป

3.4.2.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

ศึกษาผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรความเข้มข้นสี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า pH ตามการทดลองที่ได้จากข้อ 4.1.1 โดยใช้ระยะเวลาในการบำบัด 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 และ

140 นาที และนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการบำบัดสี ที่มีความเหมาะสมที่สุดและนำไปศึกษาในการทดลองต่อไป



3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในการทดลองจะเก็บน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองปริมาณ 50 มิลลิลิตร จากถังปฏิกรณ์โดยใช้ปิเปต ทำการเก็บน้ำตัวอย่างในช่วงระยะเวลาที่ 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120

และ 140 นาที เพื่อนำมาวิเคราะห์ ค่า pH จากนั้นนำตัวอย่างน้ำมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อไป โดยนำน้ำที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์ค่าสีและค่าซีโอดีส่วนตะกอนที่อยู่บนกระดาษกรองจะนำไปวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ดังแสดงในตาราง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในการบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ	อ้างอิง
pH	pH meter	คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)
COD	Closed Reflux แบบเทียบสี	คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)
SS	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)	คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)
ความเข้มข้นสี	วิธี S.U. ด้วยเครื่อง Spectrophotometer	คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

พหุ ประถมศึกษา

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การวิจัยนี้ศึกษาผลของชนิดสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิต โดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในถังปฏิกริยาแบบแบท เตินระบบด้วยการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบผ่านขั้วไฟฟ้าเหล็กและอะลูมิเนียม ขนาด 3.5x15 เซนติเมตร มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้ำ 70 ตารางเซนติเมตร โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า เปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพการบำบัดจากขั้วไฟฟ้าที่ต่างกันขั้วไฟฟ้าขั้วเหล็ก ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมและผลของชนิดสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิต สีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงินและสีดำ ใช้นํ้าเสียสีสังเคราะห์จากสีย้อมไหมตราเครื่องบิน

ผลการศึกษาผลของชนิดสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิต สามารถแบ่งผลการทดลองออกได้เป็น 4 ช่วง ตามการทดลองดังต่อไปนี้

ช่วงที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิตสีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงิน และสีดำ ด้วยวิธีตกตะกอนทางไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

ช่วงที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิตสีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงิน และสีดำ ด้วยวิธีตกตะกอนทางไฟฟ้าโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

ช่วงที่ 3 เปรียบเทียบชนิดขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย สีย้อมแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

ช่วงที่ 4 เปรียบเทียบผลของชนิดสีย้อมแอสิตมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีย้อมแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.1.1 การศึกษาผลของ pH เริ่มต้นในการเดินระบบโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก

การทดลองนี้ใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าโดยมีระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร ความยาวของขั้วไฟฟ้า 3.5x15 เซนติเมตร มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้ำ 70 ตารางเซนติเมตร ให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าในระบบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร นํ้าเสียสีย้อมแอสิตสีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงิน และสีดำ มีความเข้มข้นสี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ศึกษาโดยปรับให้นํ้าเสียมี pH เริ่มต้นในการเดินระบบที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 ด้วยการใช้กรดซัลฟู

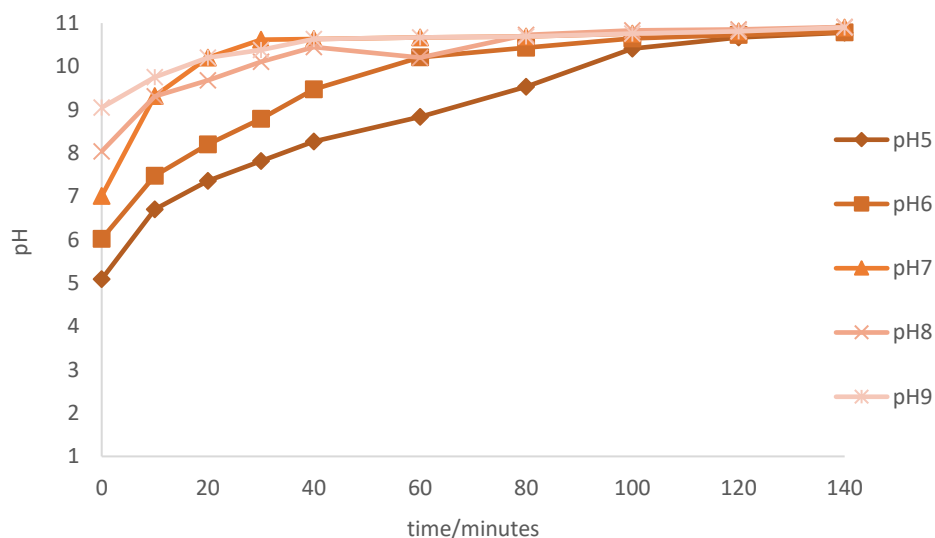
ริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับ pH ในทุกเจดสี และทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 นาที เพื่อนำมาวิเคราะห์ผล

4.1.1.1 สีแดง

4.1.1.1.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสียแอสิดสีแดงที่ช่วง pH เริ่มต้น 5-9 pH ในระบบ ค่อยๆ สูงขึ้น ในทุกช่วง pH โดย pH 7 และ 9 เมื่อเดินระบบผ่านไประยะเวลา 20 นาที ค่า pH ในระบบ สูงขึ้นเป็น 10.2 ที่ pH 8 สูงขึ้นเป็น 10.11 ที่ระยะเวลา 30 นาที pH เริ่มต้น 6 เดินระบบผ่านไปที่ ระยะเวลา 60 นาที pH สูงขึ้นเป็น 10.2 และที่ pH เริ่มต้น 5 ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบ 100 นาที ค่า pH สูงขึ้นเป็น 10.41 และพบว่า pH ในระบบเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 จนสิ้นสุดการบำบัด จาก การศึกษาพบว่าที่ pH เริ่มต้น 5-9 เมื่อระยะเวลาเดินระบบเพิ่มขึ้นค่า pH เริ่มต้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตาม จากนั้นค่า pH เริ่มคงที่อยู่ที่ 10-11 ที่ระยะเวลาต่างกัน เนื่องจากเมื่อเริ่มเดินระบบบำบัดปล่อย กระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ส่งผลให้น้ำเกิดการแตกตัวทำให เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ในระบบ โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผล ให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง ค่า pH ในระบบสูงขึ้น ดังสมการที่(2) เนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจาก ปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ แต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจาก ระบบมีสภาวะความเป็นด่างเหมาะสมต่อการรวมตัวกันของ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และเฟอร์รัสอิออน (Fe^{2+}) หรือเฟอร์ริกอิออน (Fe^{3+}) อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ดังสมการที่ (3) – (6) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH ในระบบเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง

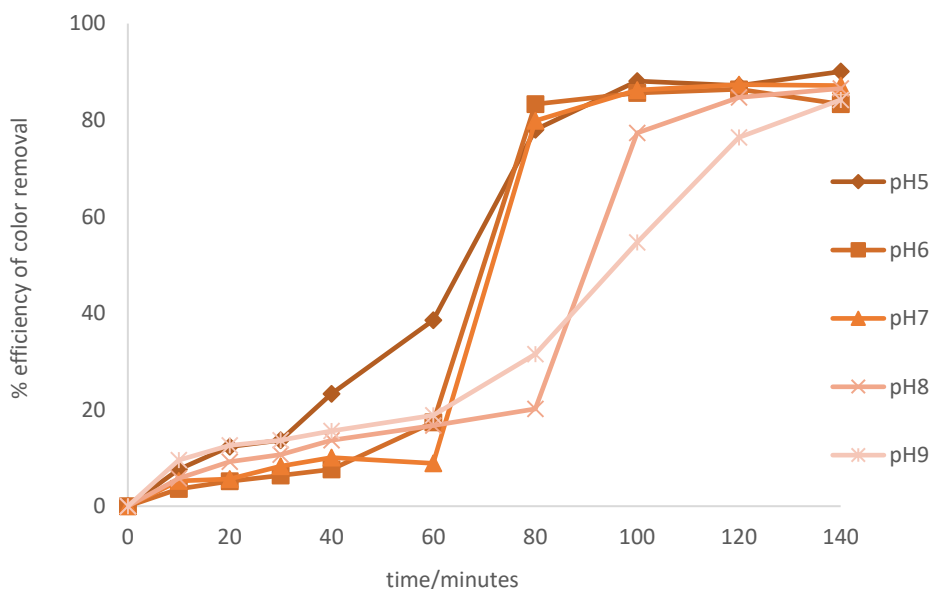




ภาพประกอบ 7 ผลของพีเอชที่เปลี่ยนแปลงในระบบ เมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นต่างกันเทียบกับเวลาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิดสีแดงโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

4.1.1.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

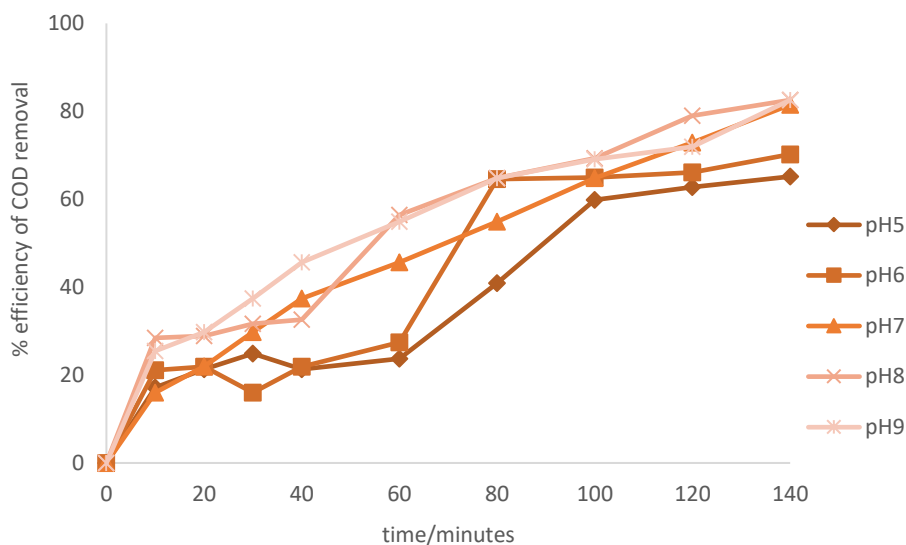
ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆของค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆค่า pH เมื่อเวลาผ่านไป 100 นาที pH เริ่มต้น 5 พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่ภาวะสมดุลที่ร้อยละ 88.1 ที่ pH เริ่มต้น 6 เติบระบบบำบัดที่เวลา 80 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 83.3 pH เริ่มต้น 7 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ระยะเวลาการบำบัด 100 นาที ที่ร้อยละ 86.2 pH เริ่มต้น 8 ใช้ระยะเวลาในการบำบัดเพื่อเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 120 นาที ที่ร้อยละ 84.7 ขณะที่ pH เริ่มต้น 9 ใช้ระยะเวลา 140 นาทีที่ร้อยละ 84.2 โดยทุกช่วง pH เริ่มต้นจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีได้ดีที่สุดประมาณร้อยละ 90.1, 84.2, 84.2, 86.5 และ 84.2 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบ ที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กทำให้เฟอร์รัสไอออนละลายออกมาในสมการที่ (1) และในขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเกิดก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน ดังสมการที่ (2) เฟอร์รัสไอออนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดจากขั้วแคโทดเกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นอนุภาคของสีจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดและถูกดูดติดผิวหรือถูกหุ้มด้วยเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ รวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นและลอยตัวขึ้นโดยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน ดังสมการที่ (3) - (6)



ภาพประกอบ 8 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.1.1.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของ ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการ บำบัดซีโอดี เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในทุกๆค่า pH เริ่มต้น ที่ pH 5, 6, 7, 8 และ pH 9 มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 65.2, 70.2, 81.5, 82.6 และ 82.8 ตามลำดับ สามารถแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ ระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยความสามารถในการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสีแอสิดสีแดงที่มี pH เริ่มต้นต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดสีเนื่องจากสีเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการบำบัดค่าซีโอดี ทั้งนี้แต่ ยังพบว่าการบำบัดค่าซีโอดีนั้นยังมีซีโอดีคงเหลืออยู่ในระบบ ไม่สามารถบำบัดได้ดีเท่ากับการบำบัดสี เนื่องจากในส่วนของประกอบของสีไม่ได้มีแค่เม็ดสีแต่ยังมีสารอื่นๆที่สามารถออกซิไดซ์กับออกซิเจนใน น้ำได้จึงทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีและค่าการบำบัดสีมีความแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มในการบำบัด เช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 9 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.1.1.1.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีกับเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน ตารางที่ 4

พูนุ ปณุกิตโต ชิว

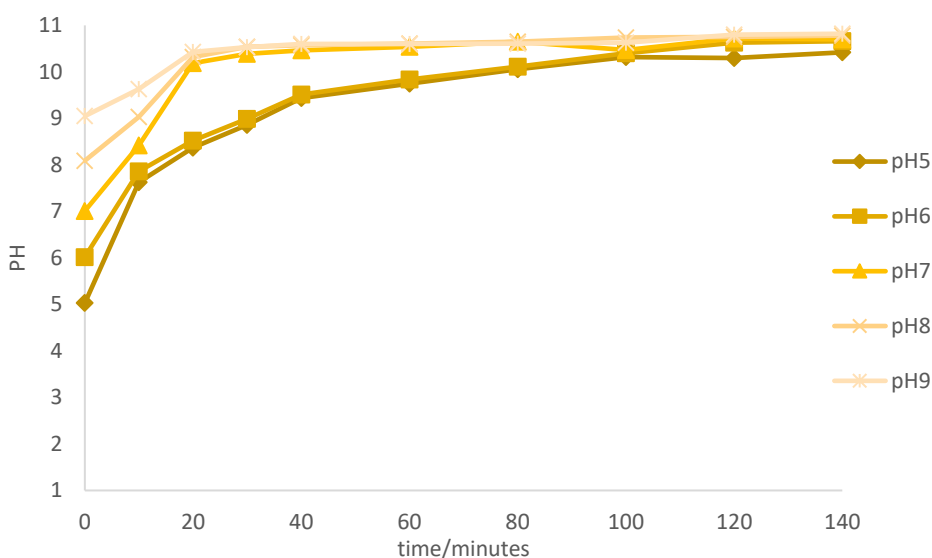
ตารางที่ 4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m²

Time/minutes	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
0	178	213	190	185	178
10	200	227	213	185	225
20	238	195	312	218	238
30	175	240	185	215	312
40	238	177	202	242	387
60	178	200	192	207	277
80	188	167	182	210	213
100	180	140	143	170	218
120	183	165	157	180	220
140	162	142	122	163	162

4.1.1.2 สีเหลือง

4.1.1.2.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

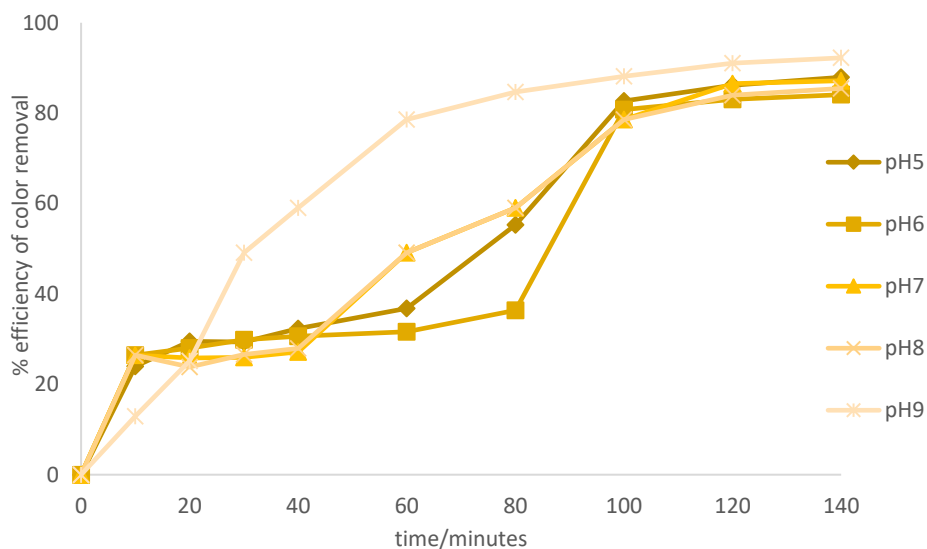
เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของค่า pH เริ่มต้นที่ต่างกันจะพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ 10-11 จนสิ้นสุดที่ระยะเวลาการบำบัด ดังแสดงในผลการทดลองพบว่า pH เริ่มต้นที่ pH5 และ 6 ระยะเวลาการบำบัดผ่านไป 80 นาที pH ในระบบเพิ่มขึ้นมาที่ 10.1 ขณะที่ pH เริ่มต้นที่ 7, 8 และ 9 ระยะเวลาการบำบัดผ่านไป 20 นาที pH ในระบบสูงขึ้นมาที่ 10.2, 10.3 และ 10.4 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเริ่มเดินระบบบำบัดปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ส่งผลให้น้ำเกิดการแตกตัวทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ในระบบ โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง ค่า pH ในระบบสูงขึ้น ดังสมการที่(2) เนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ แต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ทำให้ pH ในระบบทุกช่วง pH เริ่มต้นคงที่ที่ 10-11 ซึ่งเกิดจากระบบมีสภาวะความเป็นด่างเหมาะสมต่อการรวมตัวกันของ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) และเฟอร์รัสไอออน (Fe²⁺) หรือเฟอริกไอออน (Fe³⁺) อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₂) และเฟอริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) ดังสมการที่ (3) – (6) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่งจนสิ้นสุดการบำบัด



ภาพประกอบ 10 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอซิดสีเหลืองที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.1.1.2.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

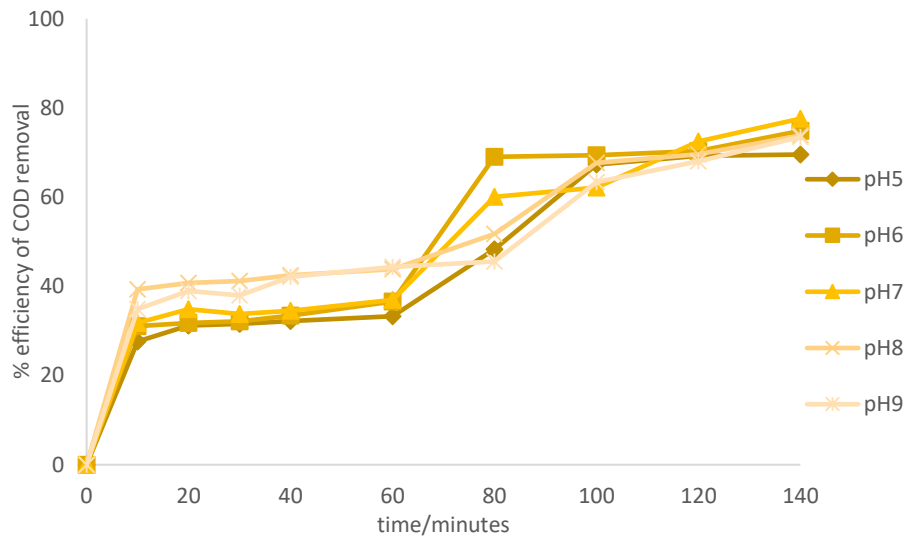
ความสามารถในการบำบัดสีแอซิดสีเหลือง พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆของค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดสีมีแนวโน้มที่ลดลงในทุกๆค่า pH โดยในช่วงแรกปริมาณสีที่เหลืออยู่ในน้ำมีปริมาณสีใกล้เคียงกันและประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 100 นาทีจะพบว่าที่ pH เริ่มต้น 5 และ 6 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 82.7 และ 80.8 ขณะที่ pH เริ่มต้น 7 และ 8 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ระยะเวลา 120 นาทีที่มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 84.5 และ 84.0 ขณะที่ pH เริ่มต้นที่ pH 9 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ระยะเวลา 80 นาทีที่ร้อยละ 84.7 เมื่อระยะเวลาการบำบัดผ่านไปจนถึงสิ้นสุดการบำบัดที่ระยะเวลา 140 นาที พบว่าทุกช่วง pH เริ่มต้นมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ร้อยละ 87.5, 84.1, 87.2, 87.2 และ 92.2 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบ ที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กทำให้เฟอร์รัสไอออนละลายออกมาในสมการที่ (1) และในขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเกิดก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน ดังสมการที่ (2) เฟอร์รัสไอออนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดจากขั้วแคโทดเกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นอนุภาคของสีจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดและถูกดูดติดผิวหรือถูกหุ้มด้วยเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์และเพอริกไฮดรอกไซด์ รวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นและลอยตัวขึ้นโดยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน ดังสมการที่ (3) - (6)



ภาพประกอบ 11 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.1.1.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติ (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอติ พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอติที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอติที่เหลืออยู่ในน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าซีโอติหลังการทดลองมีค่าลดลงในทุกๆค่า pH เริ่มต้น ซึ่งสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติได้โดยประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในทุกๆค่า pH เริ่มต้น ที่ pH 5, 6, 7, 8 และ pH 9 มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 69.6, 74.1, 77.6, 73.8 และ 73.2 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดซีโอติในน้ำเสียที่มี pH เริ่มต้นต่างกัน และจะเห็นได้ว่าที่ pH 7 จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอติได้ดีกว่า pH อื่นๆในช่วงระยะเวลาการบำบัดเท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดสีเนื่องจากสีเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าซีโอติ แต่ยังคงพบค่าซีโอติยังเหลืออยู่ในระบบ ไม่สามารถบำบัดได้เท่ากับสีเนื่องมาจากในส่วนของประกอบของสีไม่ได้มีแค่เม็ดสีแต่ยังมีสารอื่นๆที่สามารถทำปฏิกิริยาซีไอซ์กับสีในน้ำเสียได้ จึงทำให้ค่าการบำบัดซีโอติและค่าการบำบัดสีมีความแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มในการบำบัดเช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 12 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m²

4.1.1.2.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีกับเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₂) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H₂) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 5

พหุ ประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m²

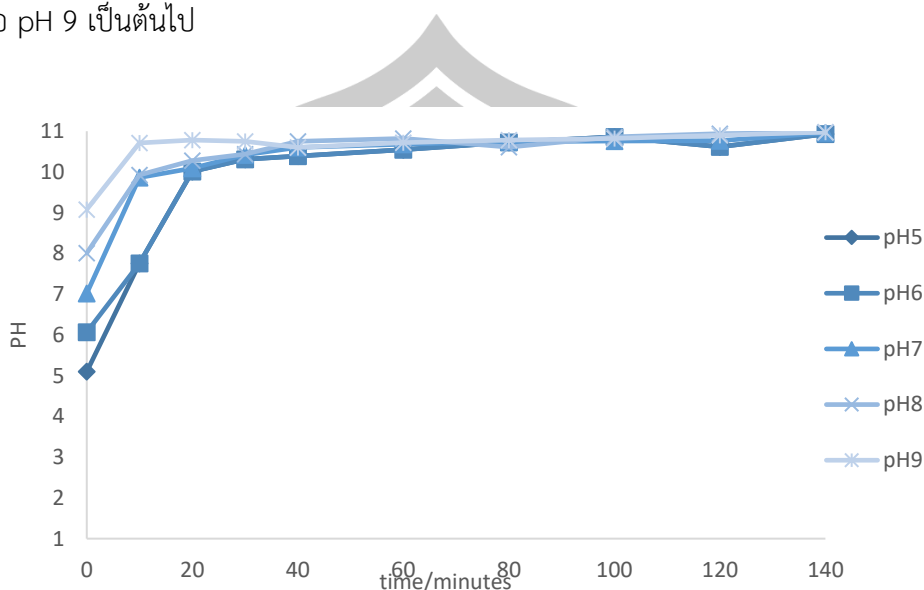
Time/minutes	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
0	178	213	190	185	178
10	203	226	213	182	225
20	218	185	322	218	218
30	172	240	173	209	312
40	248	187	211	221	384
60	188	201	172	211	267
80	171	167	181	210	216
100	180	140	133	170	258
120	173	165	157	180	220
140	164	132	142	175	172

4.1.1.3 สิ้นน้ำเงิน

4.1.1.3.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อพิจารณาค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบ pH เริ่มต้น 5-9 พบว่าเมื่อเริ่มเดินระบบบำบัดระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH ในระบบค่อยๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ระยะเวลาผ่านไป 20 นาทีที่ pH เริ่มต้นที่ 5-8 pH ในระบบเพิ่มขึ้นมาที่ 10.01, 10.01, 10.09 และ 10.28 ตามลำดับ ในขณะที่ pH เริ่มต้น 9 เมื่อระยะเวลาผ่านไป 10 นาที pH ในระบบสูงขึ้นที่ 10.71 จากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ pH 10-11 pH ที่เพิ่มขึ้นในระบบนั้นเกิดจากเมื่อเดินระบบบำบัดปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง ทำให้ค่า pH ในระบบสูงขึ้น ดังสมการที่ (2) เกิดจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ แต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) และเฟอร์รัสไอออน (Fe²⁺) หรือเฟอร์ริกไอออน (Fe³⁺) อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₂) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) ดังสมการที่ (3)-(6) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยค่า pH หลังการทดลองจะเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 และช่วง pH ที่ทำให้เหล็กอยู่ในรูปของ

$\text{Fe}(\text{OH})_2$ และ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ คือช่วงพีเอชตั้งแต่ 3 เป็นต้นไป ค่าพีเอชที่ทำให้เกิด $\text{Fe}(\text{OH})_2$ และ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ได้ดีคือ pH 9 เป็นต้นไป

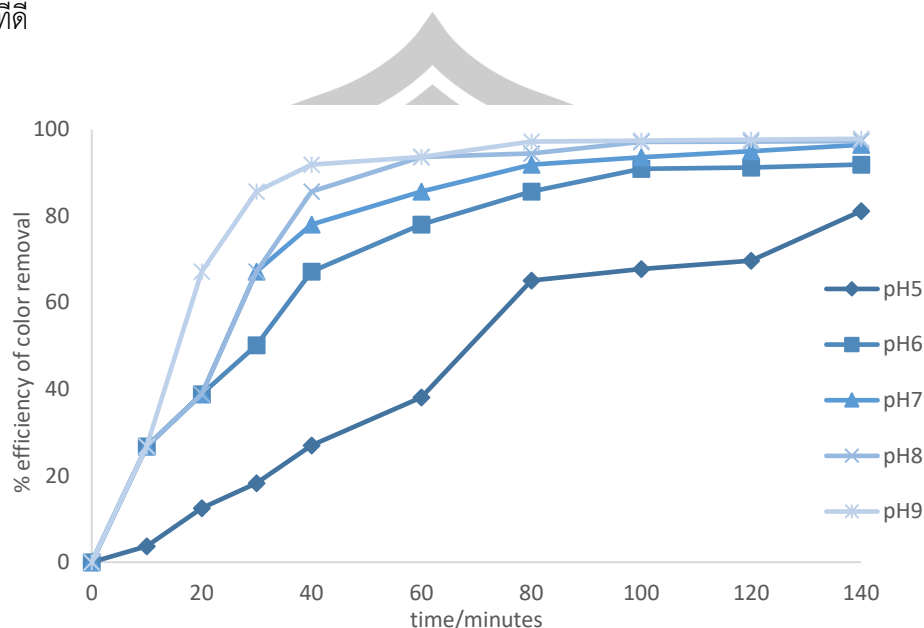


ภาพประกอบ 13 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอลิตสีน้ำเงินที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.1.1.3.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆของค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดสีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกๆค่า pH เมื่อระยะเวลาการเดินระบบ 30 นาที pH เริ่มต้น 9 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 85.7 ขณะที่ pH เริ่มต้น 8 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 85.8 ที่ระยะเวลา 40 นาที pH เริ่มต้น 7 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 85.6 และ pH เริ่มต้น 6 ระยะเวลาผ่านไป 80 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดสีเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 85.7 เนื่องจากเมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบ ที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กทำให้เฟอร์รัสไอออนละลายออกมาและในขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเกิดก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งส่งผลให้ค่า pH ค่อยๆเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 ที่ระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งเกิดจากเฟอร์รัสไอออนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดจากขั้วแคโทดเกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นอนุภาคของสีจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดและถูกดูดติดผิวหรือถูกหุ้มด้วยเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ รวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นและลอยตัวขึ้นโดยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน ดังสมการที่ (3)-(6) โดยทุกช่วง pH เริ่มต้นมีประสิทธิภาพการบำบัดสีที่สูงสุดที่ระยะเวลาการเดินระบบ 140 นาที ที่ร้อยละ 81.1, 91.9, 96.5, 97.3 และ 97.9 ตามลำดับ และพบว่า

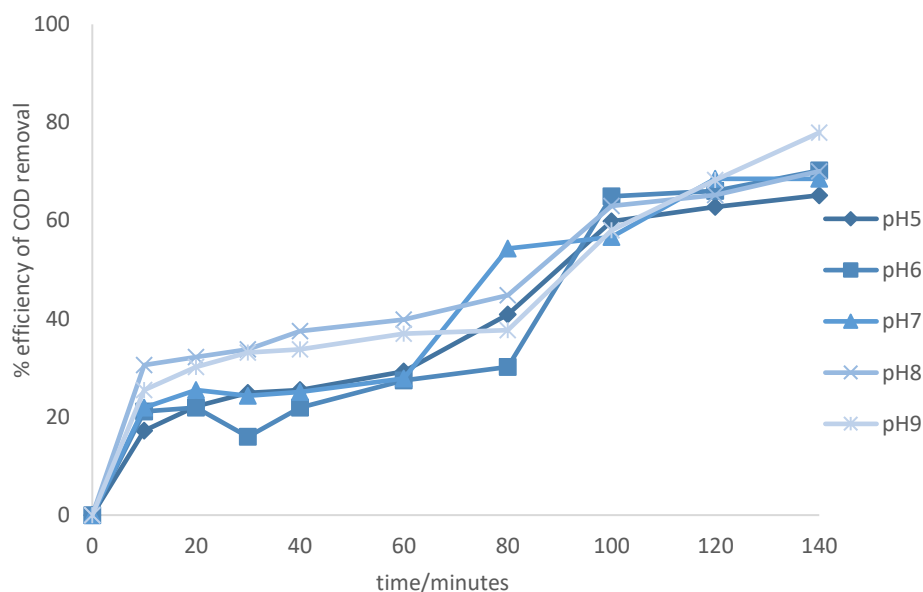
ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดี



ภาพประกอบ 14 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m²

4.1.1.3.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าซีโอดีหลังการทดลองมีค่าลดลงในทุกๆค่า pH เริ่มต้น และลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลา 60 นาที ซึ่งสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้โดยประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียที่มี pH เริ่มต้นต่างกัน และจะเห็นได้ว่าที่ pH 5 -9 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงที่ร้อยละ 65.2, 70.2, 68.5, 70.1 และ 77.9 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มค่อยๆสูงขึ้นสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดสีเนื่องจากสีเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าซีโอดี แต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพการบำบัดสีนั้นสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี พบว่าค่าซีโอดียังเหลืออยู่ในระบบ ไม่สามารถบำบัดได้เท่ากับสีเนื่องจากใน ส่วนประกอบของสีไม่ได้มีแค่เม็ดสีแต่ยังมีสารอื่นๆที่สามารถออกซิไดซ์กับออกซิเจนในน้ำได้จึงทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีและค่าการบำบัดสีมีความแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มในการบำบัดเช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 15 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.1.1.3.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีกับเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน

พูนุ ปณุกิตโต ชิว

ตารางที่ 6 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m²

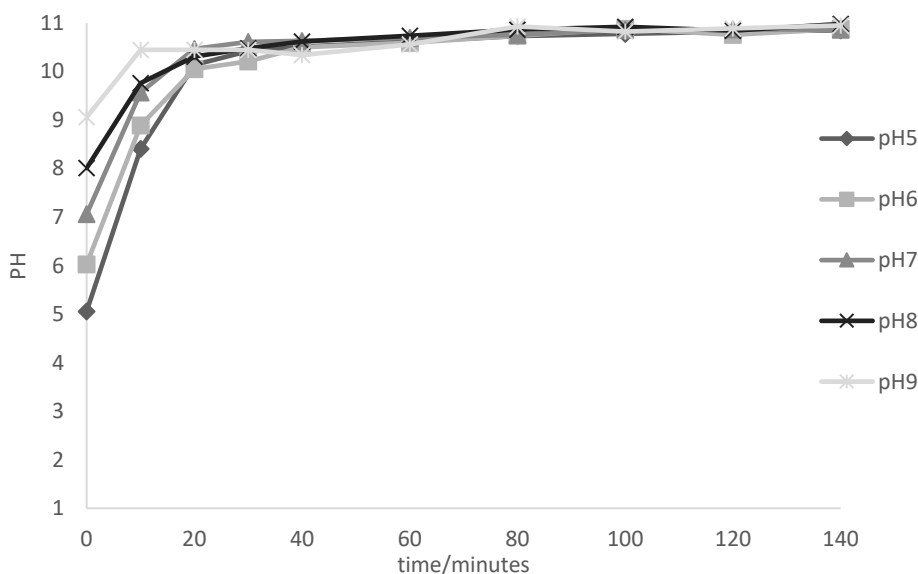
Time/minutes	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
0	177	221	201	185	153
10	203	216	213	255	213
20	238	193	253	249	237
30	187	240	231	186	321
40	243	205	193	231	374
60	197	211	174	201	253
80	185	176	210	122	211
100	173	152	183	142	200
120	184	165	152	173	173
140	162	144	122	121	142

4.1.1.4 สีดำ

4.1.1.4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของค่า pH เริ่มต้นที่ต่างกันจะพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น pH เริ่มต้น 5 และ pH เริ่มต้น 6 pH7 pH8 ที่ระยะเวลา 20 นาที pH ในระบบสูงขึ้นที่ 10.07, 10.05, 10.43 และ 10.30 และที่ pH เริ่มต้น 9 ที่ระยะเวลา 10 นาที pH ในระบบสูงขึ้นมาที่ 10.45 และจากนั้น pH ในระบบเริ่มคงที่ที่ pH 10-11 เนื่องจากไอออนไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากขั้วแคโทดทำปฏิกิริยากับ $Fe^{2+}(aq)$ หรือ $Fe^{3+}(aq)$ เกิดเป็น $Fe(OH)_2(s)$ หรือ $Fe(OH)_3(s)$ ซึ่งค่า pH เข้าสู่จุดสมดุลเป็นค่า pH ที่เหมาะสมกับการเกิด ปฏิกิริยามีค่าประมาณ 7 – 9 ซึ่งเป็นภาวะสมดุลระหว่างการเกิด $OH^-(aq)$ และการเกิด $Fe(OH)_3$ ที่เป็นของแข็ง (Guohua, 2004) pH ที่เพิ่มขึ้นในระบบนั้นเกิดจากเมื่อเดินระบบบำบัดปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง ทำให้ค่า pH ในระบบสูงขึ้น ดังสมการที่(2) เกิดจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) หรือเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์

(Fe(OH)₂) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) ดังสมการที่ (3)-(6) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยค่า pH หลังการทดลองจะเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 และช่วง pH ที่ทำให้เกิดเหล็กอยู่ในรูปของ Fe(OH)₂ และ Fe(OH)₃ คือช่วงพีเอชตั้งแต่ 3 เป็นต้นไป ค่าพีเอชที่ทำให้เกิด Fe(OH)₂ และ Fe(OH)₃ ได้ดีคือ pH 9 เป็นต้นไป

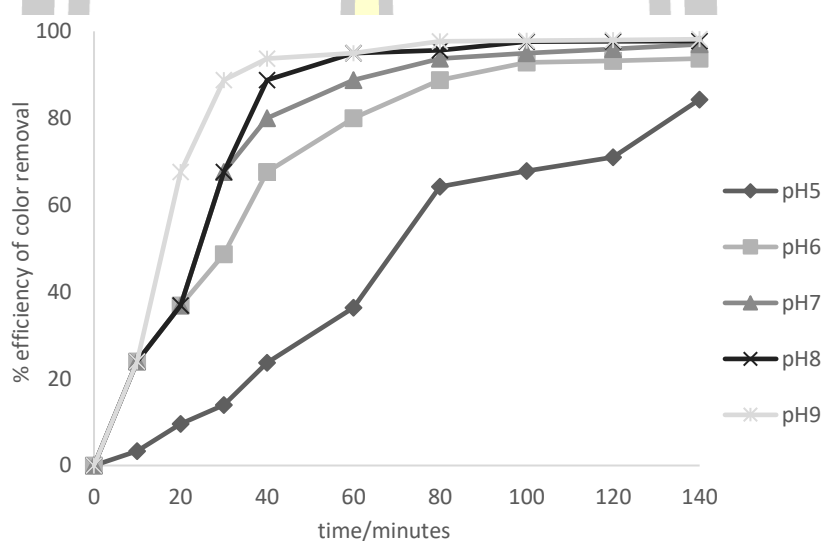


ภาพประกอบ 16 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอซิดสีน้ำดำที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m²

4.1.1.4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

จากการศึกษาความสามารถในการบำบัดสีพิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆของค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดสีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกๆค่า pH เมื่อระยะเวลาการเดินระบบ 30 นาที pH เริ่มต้น 9 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 88.9 ขณะที่ pH เริ่มต้น 8 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 88.8 ที่ระยะเวลา 40 นาที pH เริ่มต้น 7 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 80.2 และ pH เริ่มต้น 6 ระยะเวลาผ่านไป 60 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดสีเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 80.0 เนื่องจากเมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบ ที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กทำให้เฟอร์รัสไอออนละลายออกมาและในขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเกิดก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งส่งผลให้ค่า pH ค่อยๆเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 ที่ระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งเกิดจากเฟอร์รัสไอออนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดจากขั้วแคโทดเกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ เมื่อ

เกิดปฏิกิริยาขั้วอนุภาคของสีจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดและถูกดูดติดผิวหรือถูกหุ้มด้วยเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์และเพอริกไฮดรอกไซด์ รวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นและลอยตัวขึ้นโดยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน ดังสมการที่ (3)-(6) โดยทุกช่วง pH เริ่มต้นที่ pH 5-9 มีประสิทธิภาพการบำบัดสีที่สูงสุดที่ระยะเวลาการเดินระบบ 140 นาที ที่ร้อยละ 84.3, 93.7, 97.0, 97.8 และ 98.2 ตามลำดับ และพบว่าค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดี

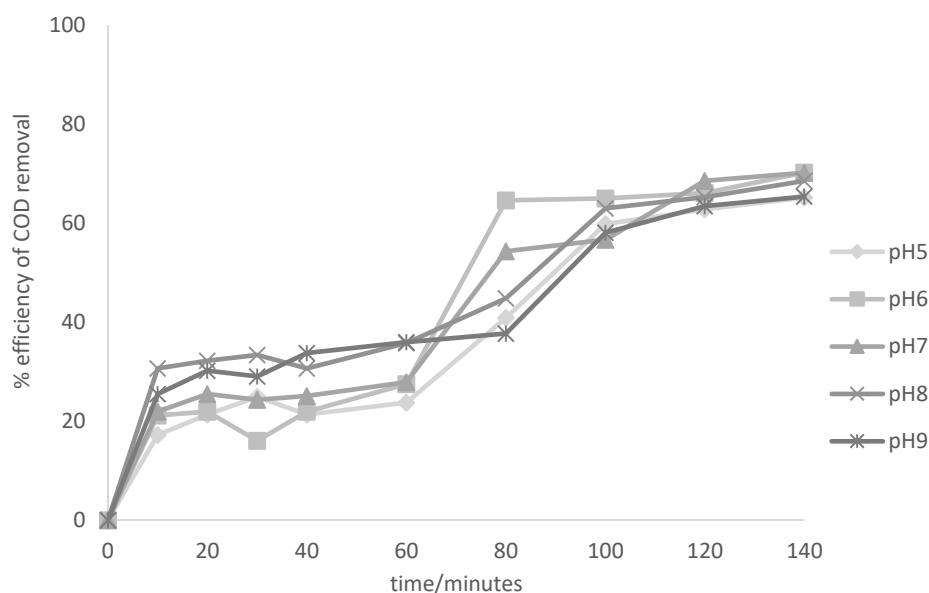


ภาพประกอบ 17 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีดาที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.1.1.4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษาพบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าซีโอดีหลังการทดลองมีค่าลดลงในทุกๆค่า pH เริ่มต้น และลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลา 60 นาที ซึ่งสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียที่มี pH เริ่มต้นต่างกัน และจะเห็นได้ว่าที่ pH 5-9 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงที่ร้อยละ 65.4, 70.2, 70.2, 68.5 และ 65.4 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มค่อยๆสูงขึ้นสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดสีเนื่องจากสีเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าซีโอดี แต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพการบำบัดสีนั้นสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี พบว่าค่าซีโอดียังเหลืออยู่ในระบบ ไม่สามารถบำบัดได้เท่ากับสีเนื่องจากในส่วนของประกอบของสีไม่ได้มีแค่เม็ดสีแต่ยัง

มีสารอื่นๆที่สามารถออกซิไดซ์กับออกซิเจนในน้ำได้จึงทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีและค่าการบำบัดสีมีความแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มในการบำบัดเช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 18 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m²

4.1.1.4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงจนสิ้นสุดการบำบัด เนื่องจากเมื่อเริ่มเดินระบบจะพบว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีกับเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) และเพอริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่น้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน

ตารางที่ 7 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m²

Time/minutes	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
0	187	211	190	185	189
10	210	212	221	199	225
20	231	195	316	246	274
30	186	237	274	264	321
40	233	189	234	231	352
60	297	209	254	223	264
80	189	231	231	210	231
100	180	175	174	184	175
120	164	165	164	153	152
140	164	123	113	126	117

4.1.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นในการเดินระบบในระบบของน้ำเสียโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก

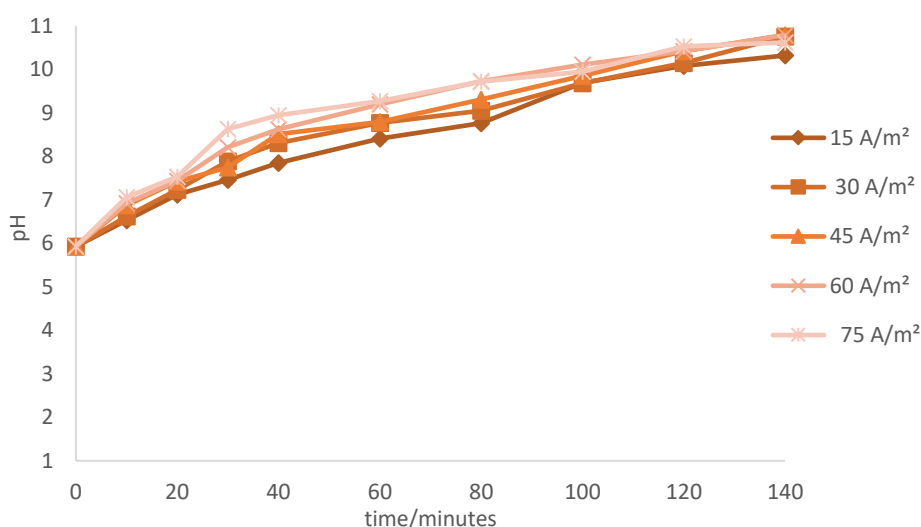
การทดลองนี้ใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าโดยมีระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร ความยาวของขั้วไฟฟ้า 3.5x15 เซนติเมตร พื้นที่ผิวสัมผัสน้ำ 70 ตารางเซนติเมตร โดยศึกษากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อระบบใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร น้ำเสียสีสังเคราะห์ แอสิต สีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงิน และสีดำ ที่ pH จริงของสีแอสิตนั้นๆ ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 นาที

พหุ ประถมศึกษา

4.1.2.1 สีแดง

4.1.2.1.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

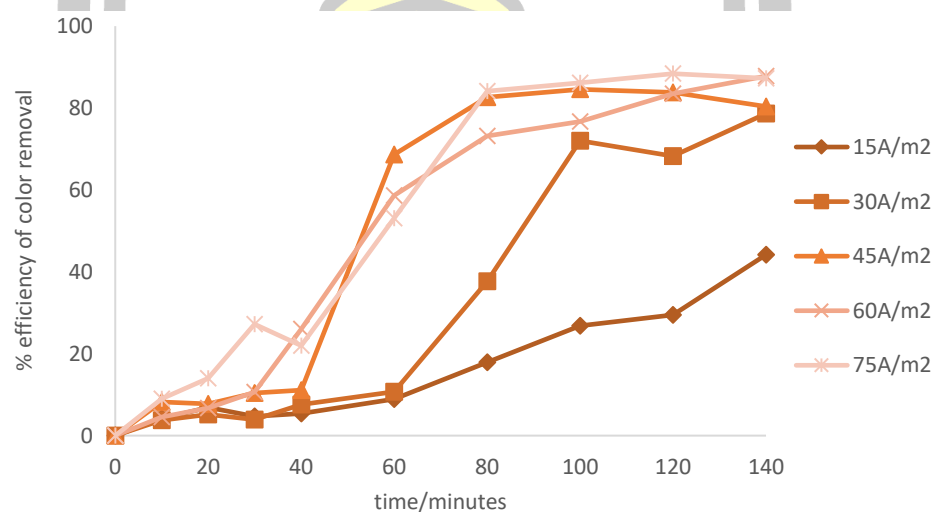
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น ปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่อง ปฏิกรณ์ (Mollah et al., 2001) เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการเดินระบบต่อค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบ พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น pH เริ่มต้นในระบบการบำบัดเป็น pH จริงของน้ำเสียสีแอสติดสีแดง เท่ากับ 5.7 เมื่อเดินระบบบำบัดผ่านไปที่ระยะเวลา 100 นาทีพบว่าทุกช่วงกระแสไฟฟ้า pH ในระบบสูงถึง 10.08, 10.15, 10.42, 10.11 และ 10.53 และคงที่จนสิ้นสุดการบำบัด เริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ในช่วง pH 10 สอดคล้องกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าในระบบถูกปล่อยเพิ่มมากขึ้นในระยะเวลาานาน น้ำได้รับอิเล็กตรอนสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาดังสมการ(1)-(4) ไฮดรอกไซด์ไอออน(OH⁻)ในระบบสูงขึ้นค่า pH ในระบบสูงขึ้น เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) และเฟอร์รัสไอออน (Fe²⁺) หรือเฟอริกไอออน (Fe³⁺) อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₂) และเฟอริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) ส่งผลให้ pH ในระบบคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่งจนสิ้นสุดการบำบัด



ภาพประกอบ 19 ค่าของ pH น้ำเสียสีแอสติดสีแดงในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน

4.1.2.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

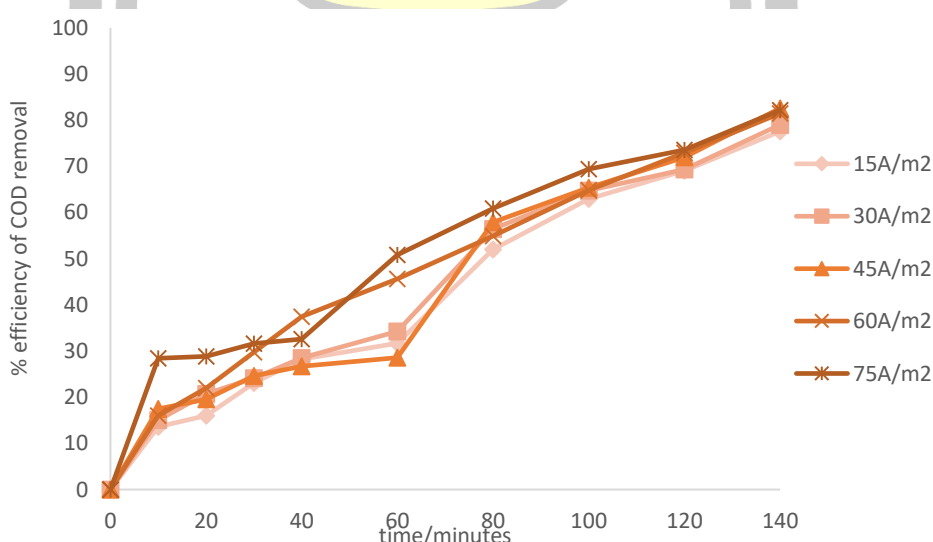
ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีของกระแสไฟฟ้าที่ 45 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลา 60-80 นาที เข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 82.7 และ 84.1 และค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ กระแสไฟฟ้าที่ 60 ประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 120 นาที ร้อยละ 83.5 ขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตรนั้นประสิทธิภาพการบำบัดสีค่อยๆเพิ่มขึ้นสูงสุดที่เวลา 140 ร้อยละ 44.2 และ 78.6 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆค่ากระแสไฟฟ้าและเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เหล็กแตกตัวได้เพิ่มขึ้นทำให้รวมตัวกับอนุภาคสีได้ดีขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรงกับกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าในระบบสูงขึ้นระยะเวลาบำบัดสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้นตาม ส่งผลให้เกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum et al.(2004) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กที่แตกตัวจากขั้วแคโทดแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ดีที่สุด ที่ระยะเวลา 140 นาที ซึ่งสามารถบำบัดสีได้สูงสุดร้อยละ 87.8 และ 87.2 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 20 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีแดงที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.1.2.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นในทุกๆ ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าและจะเห็นได้ว่าทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45 และ 75 แอมแปร์ ต่อตารางเมตร จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ใกล้เคียงกันมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นที่ร้อยละ 82.6 และ 82.2 และที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30 และ 60 แอมแปร์ต่อตารางเมตรเวลา 140 นาทีนี้จะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ร้อยละ 78.0, 79.0 และ 81.5 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด COD ขึ้นอยู่กับปริมาณเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ตามกฎฟาราเดย์ซึ่งปริมาณ ปฏิกริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้น ระยะเวลา บำบัดนานขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมาก ส่งผลให้เกิดฟองแก๊ส ไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้ เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum et al.(2004); Vik et al. (1984) แต่จะพบว่าที่ความ หนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตรจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ดีที่สุดได้ ร้อยละ 82.6 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีและ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 21 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีแดงที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้ เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.1.2.1.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น ปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่อง ปฏิกรณ์ Mollah et al. (2001) การเดินระบบบำบัดที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นในระบบ และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัด เมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีกับเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) และเฟอริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 8

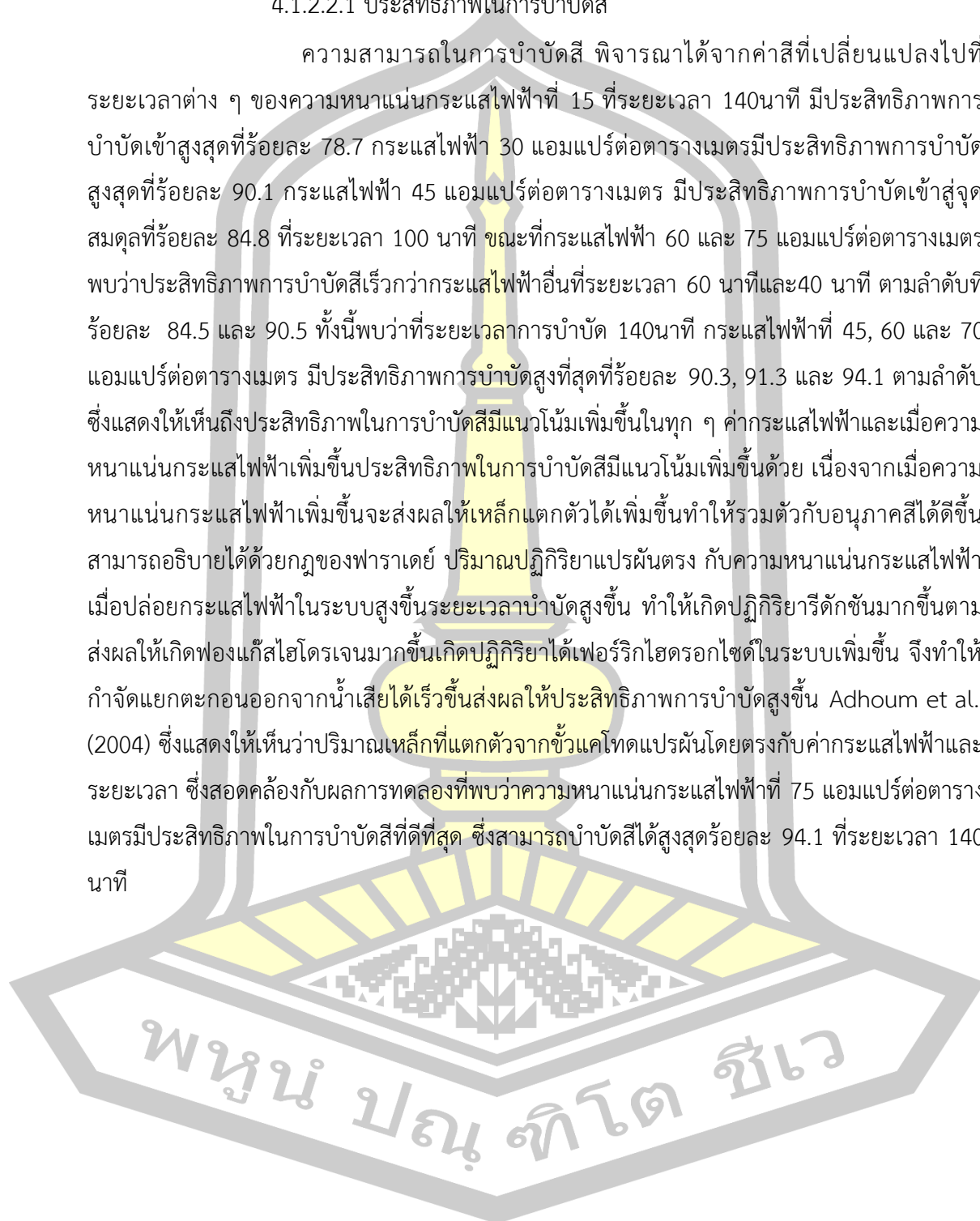
ตารางที่ 8 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีแดงที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

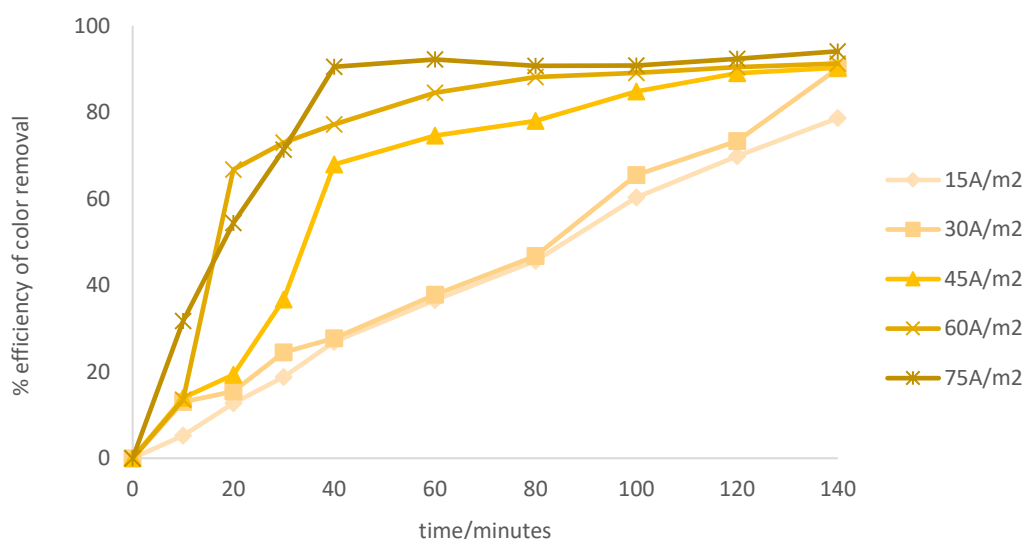
Time/minutes	15 A/m ²	30 A/m ²	45 A/m ²	60 A/m ²	75 A/m ²
0	185	185	185	185	183
10	230	130	130	183	194
20	240	140	235	173	235
30	215	198	205	165	255
40	203	145	150	163	150
60	195	143	150	213	129
80	183	155	128	213	123
100	185	168	178	225	158
120	193	195	150	248	131
140	174	153	121	184	114

4.1.2.2 สีเหลือง

4.1.2.2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลาต่าง ๆ ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15 ที่ระยะเวลา 140 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสูงสุดที่ร้อยละ 78.7 กระแสไฟฟ้า 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ร้อยละ 90.1 กระแสไฟฟ้า 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 84.8 ที่ระยะเวลา 100 นาที ขณะที่กระแสไฟฟ้า 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีเร็วกว่ากระแสไฟฟ้าอื่นที่ระยะเวลา 60 นาทีและ 40 นาที ตามลำดับที่ร้อยละ 84.5 และ 90.5 ทั้งนี้พบว่าที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที กระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 70 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ร้อยละ 90.3, 91.3 และ 94.1 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ค่ากระแสไฟฟ้าและเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เหล็กแตกตัวได้เพิ่มขึ้นทำให้รวมตัวกับอนุภาคสีได้ดีขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าในระบบสูงขึ้นระยะเวลาบำบัดสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้นตามส่งผลให้เกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum et al., (2004) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กที่แตกตัวจากขั้วแคโทดแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถบำบัดสีได้สูงสุดร้อยละ 94.1 ที่ระยะเวลา 140 นาที

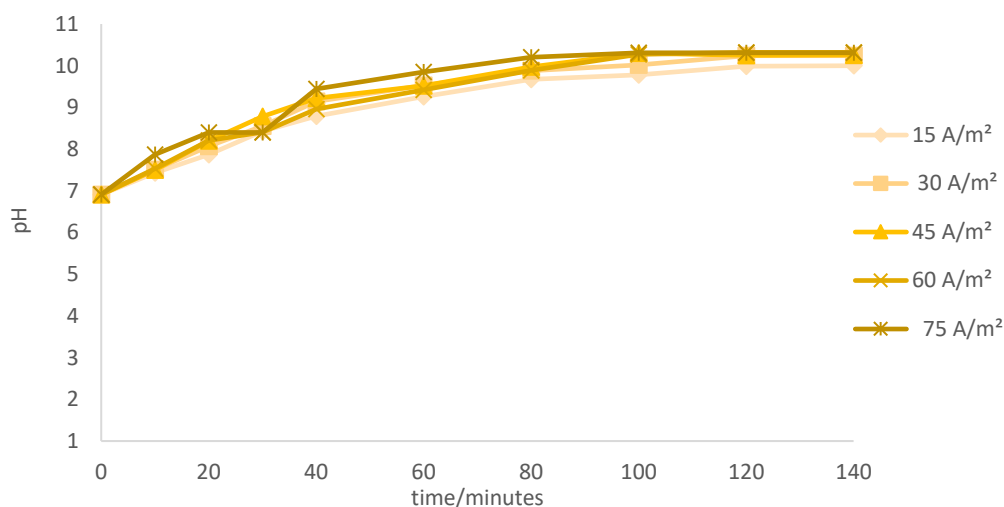




ภาพประกอบ 22 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.1.2.2.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

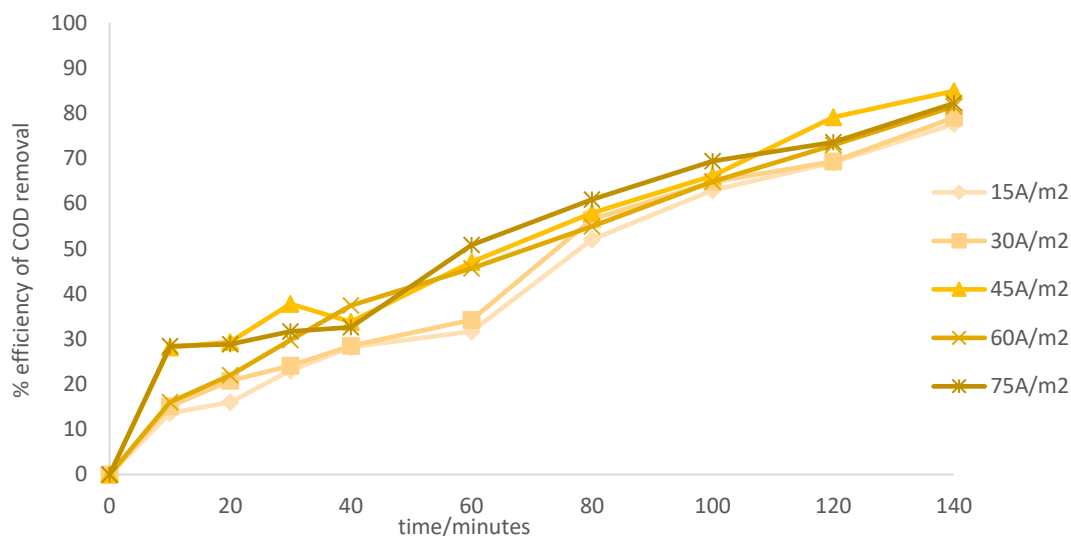
เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบของค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการเดินระบบที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH ในระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง กระแสไฟฟ้า 15 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เมื่อเดินระบบผ่านไป 140 นาที ค่า pH ในระบบสูงถึง pH 10.0 ขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ 30, 45 และ 60 แอมแปร์ต่อตารางเมตรเมื่อเดินระบบผ่านไประยะเวลา 100 นาที pH ในระบบสูงขึ้นไปถึง 10.02, 10.30 และ 10.27 จากการศึกษาพบว่ากระแสไฟฟ้าที่สูงที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ระยะเวลาผ่านไปเพียง 80 นาที pH ในระบบสูงถึง 10.20 จากนั้น pH ในระบบจะค่อยๆ คงที่จนสิ้นสุดการบำบัดอยู่ที่ 10-11 เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ แต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) หรือเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง และช่วงพีเอชที่ทำให้เหล็กอยู่ในรูปของ $Fe(OH)_2$ และ $Fe(OH)_3$ คือช่วงพีเอชตั้งแต่ 3 เป็นต้นไปค่าพีเอชที่ทำให้เกิด $Fe(OH)_2$ และ $Fe(OH)_3$ ได้ดีคือ pH 9 เป็นต้นไป



ภาพประกอบ 23 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิดสีเหลืองในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน

4.1.2.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ ระยะเวลาต่าง ๆ จากการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลา เพิ่มขึ้นในทุก ๆ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและจะเห็นได้ว่าทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นที่ร้อยละ 77.6 และ 79.0 ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่สูงกว่าที่ร้อยละ 85.0, 82.0 และ 83.0 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด COD ขึ้นอยู่กับปริมาณเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ตามกฎฟาราเดย์ซึ่งปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้น ระยะเวลาบำบัดนานขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมาก ส่งผลให้เกิดฟองแก๊ส ไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum et al. (2004; Vik et al. (1984) แต่จะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตรจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ดีที่สุดได้ร้อยละ 85.0 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีและจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 24 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.1.2.2.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น ปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่อง ปฏิกรณ์ Mollah et al. (2001) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีกับเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) และเฟอริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน

ตารางที่ 9 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

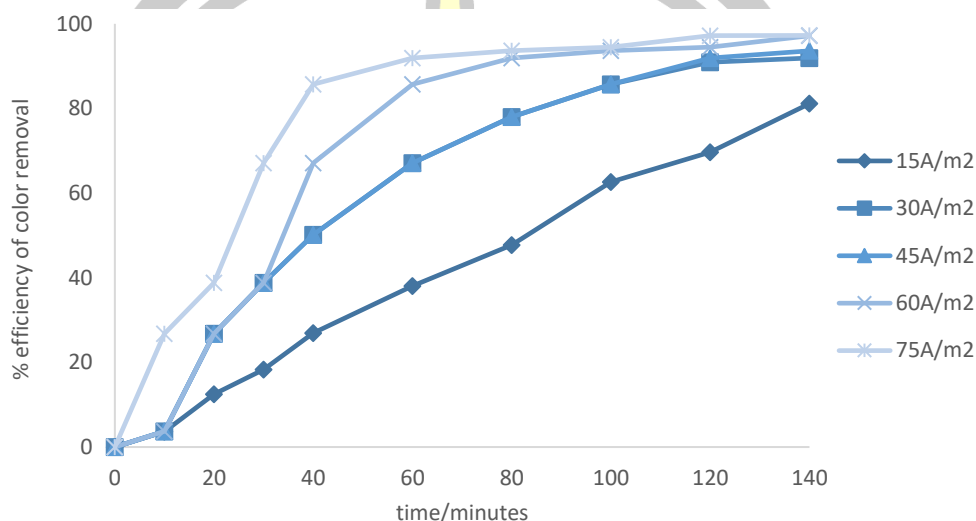
Time/minutes	15 A/m ²	30 A/m ²	45 A/m ²	60 A/m ²	75 A/m ²
0	174	174	174	174	174
10	230	130	130	183	194
20	240	140	235	173	235
30	215	198	205	165	255
40	203	145	150	163	150
60	195	143	150	213	129
80	183	155	128	213	123
100	185	168	178	225	158
120	193	195	150	248	131
140	132	163	135	174	122

4.1.2.3 สีน้ำเงิน

4.1.2.3.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่าง ๆ ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีของกระแสไฟฟ้าที่ 30 และ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ระยะเวลา 100 นาที ร้อยละ 85.7 ในขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ใช้เวลาเพียง 100, 60 และ 40 นาทีตามลำดับ เห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรนั้นประสิทธิภาพการบำบัดสีค่อยๆ เพิ่มขึ้นและมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ร้อยละ 81.1, 92.0, 93.6, 97.2 และ 97.3 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ค่ากระแสไฟฟ้า และเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เหล็กแตกตัวเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการรวมตัว กับอนุภาคสีได้ดีขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าในระบบสูงขึ้นระยะเวลาบำบัดสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้นตาม ส่งผลให้เกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัด

สูงขึ้น Adhoum et al. (2004) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กที่แตกตัวจากขั้วแคโทดแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ดีที่สุด ที่ระยะเวลา 140 นาที ซึ่งสามารถบำบัดสีได้สูงสุดใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 97.2 และ 97.3 ตามลำดับ

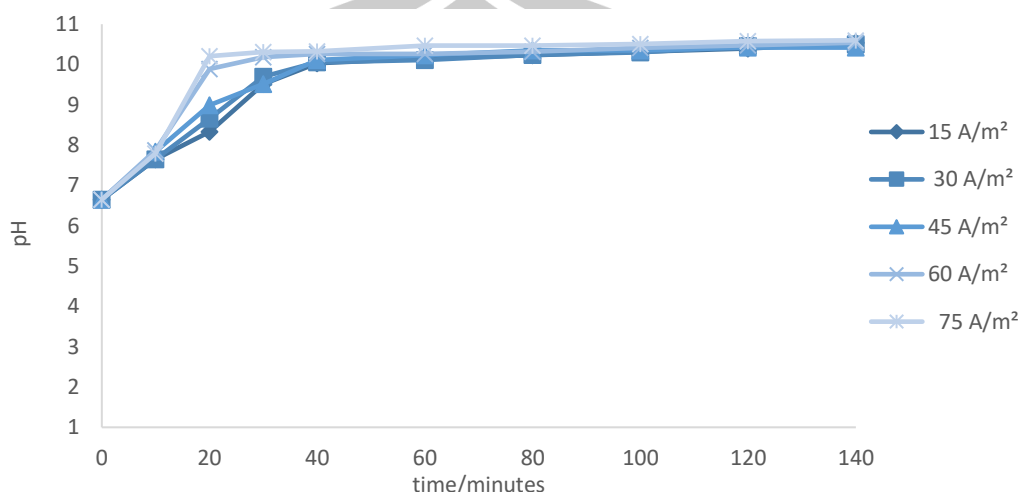


ภาพประกอบ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.1.2.3.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบของกระแสไฟฟ้าในระบบที่ต่างกันจะพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH ในทุกระบบการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีน้ำเงินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากนั้นค่า pH จะค่อยๆ เริ่มคงที่ระยะเวลา 40 นาที กระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45 และ 60 แอมแปร์ต่อตารางเมตร pH ในระบบ ค่อยๆ สูงอยู่ที่ 10.03, 10.06, 10.11 และ 10.18 ขณะที่กระแสไฟฟ้า 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ระยะเวลาผ่านไปเพียง 20 นาที pH ในระบบสูงขึ้นถึง 10.21 จากนั้น pH ในระบบจะค่อยๆ คงที่จนถึงสิ้นสุดการบำบัดอยู่ที่ 10-11 เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ แต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) หรือเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่

ระยะเวลาหนึ่ง และช่วงพีเอชที่ทำให้เหล็กอยู่ในรูปของ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ และ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ คือช่วงพีเอชตั้งแต่ 3 เป็นต้นไปค่าพีเอชที่ทำให้เกิด $\text{Fe}(\text{OH})_2$ และ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ได้ดีคือ pH 9 เป็นต้นไป

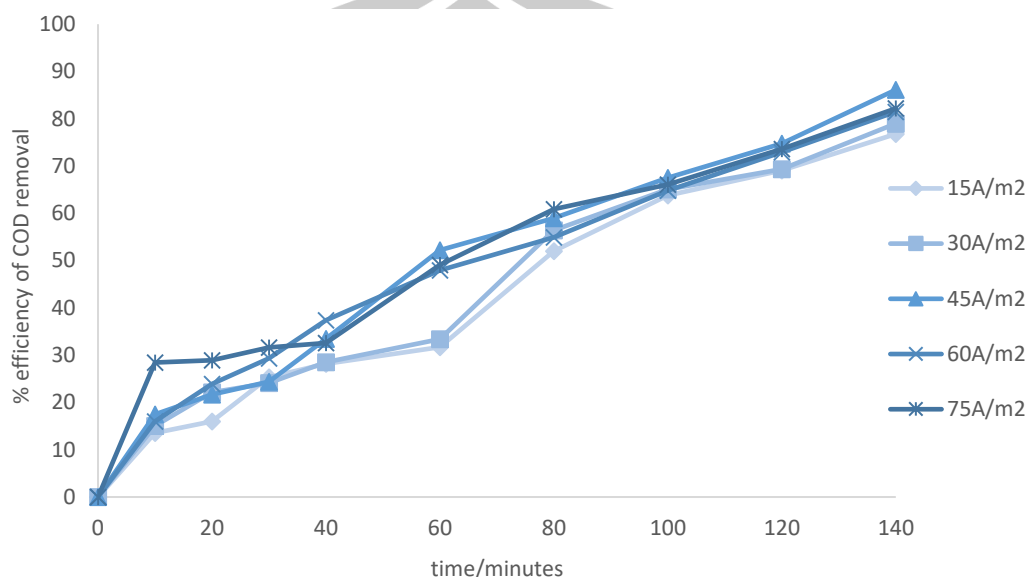


ภาพประกอบ 26 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอซิดสีน้ำเงินในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน

4.1.2.3.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลา เพิ่มขึ้นในทุกๆ ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า และจะเห็นได้ว่าทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นที่ร้อยละ 76.8 และ 79.8 ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่สูงกว่าที่ร้อยละ 86.1, 81.5 และ 87.5 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด COD ขึ้นอยู่กับปริมาณเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ตามกฎฟาราเดย์ซึ่งปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้น ระยะเวลาบำบัดนานขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน มาก ส่งผลให้เกิดฟองแก๊ส ไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึง ทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum et al. (2004); Vik et al. (1984) แต่จะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตาราง เมตรจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ดีที่สุดได้ร้อยละ 87.5 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมี

ความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีและจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีจะแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 27 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.1.2.3.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น ปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่อง ปฏิกรณ์ Mollah et al. (2001) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่กระแสไฟฟ้าในระบบต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีกับเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่อิผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน

ตารางที่ 10 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

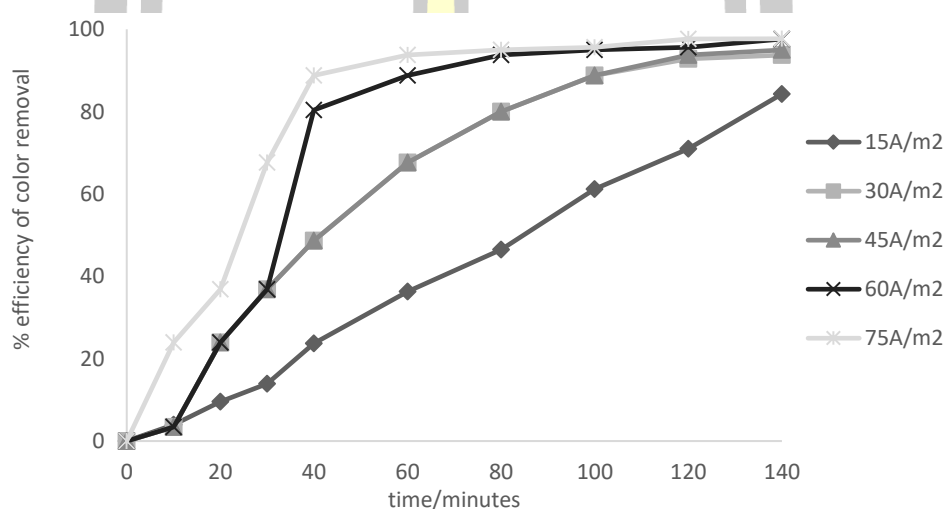
Time/minutes	15 A/m ²	30 A/m ²	45 A/m ²	60 A/m ²	75 A/m ²
0	182	182	182	182	182
10	231	152	211	175	221
20	237	211	243	166	243
30	206	198	205	185	258
40	201	185	215	218	150
60	211	231	262	195	131
80	178	209	216	189	125
100	167	169	189	163	156
120	166	157	150	133	134
140	132	168	164	197	121

4.1.2.4 สีดำ

4.1.2.4.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลาต่าง ๆ ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีของกระแสไฟฟ้าที่ 15 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดในระบบที่ระยะเวลา 140 นาทีที่ร้อยละ 84.3 ในขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ 30, 45 และ 60 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ ร้อยละ 80.0, 80.1 และ 80.4 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการบำบัดเพียง 80 นาที ขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ระยะเวลาเพียง 40 นาที ที่ร้อยละ 89.0 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลา 60-80 นาที และค่อยๆคงที่เรื่อย ๆ กระแสไฟฟ้าที่ 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรนั้นประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ระยะเวลา 140 นาที ที่ร้อยละ 93.7, 95.0, 97.6 และ 98.0 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ค่ากระแสไฟฟ้า และเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เหล็กแตกตัวได้เพิ่มขึ้นทำให้รวมตัวกับอนุภาคสีได้ดีขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความ

หนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าในระบบสูงขึ้นระยะเวลาบำบัดสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้นตาม ส่งผลให้เกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาไดเพอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum et al. (2004) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กที่แตกตัวจากขั้วแคโทดแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ดีที่สุดในที่ระยะเวลา 140 นาที ซึ่งสามารถบำบัดสีได้สูงสุดร้อยละ 98.0

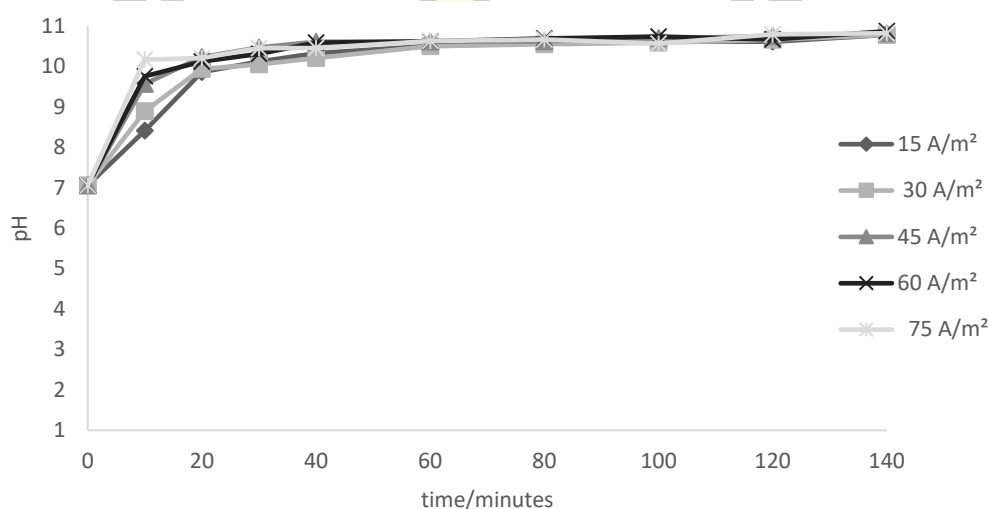


ภาพประกอบ 28 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีดำที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.1.2.4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบของกระแสไฟฟ้าในระบบที่ต่างกันจะพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH ในทุกระบบการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีน้ำเงินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากนั้นค่า pH จะค่อยๆเริ่มคงที่ระยะเวลา 30 นาที กระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตร pH ในระบบ ค่อยๆสูงอยู่ที่ 10.12 และ 10.05 ที่กระแสไฟฟ้า 45 และ 60 แอมแปร์ต่อตารางเมตรที่ระยะเวลา 20 นาที pH ในระบบสูงขึ้นถึง 10.23 และ 10.12 ขณะที่กระแสไฟฟ้า 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ระยะเวลาผ่านไปเพียง 10 นาที pH ในระบบสูงขึ้นถึง 10.17 จากนั้น pH ในระบบจะค่อยๆคงที่จนถึงสิ้นสุดการบำบัดอยู่ที่ 10-11 เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา

รีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) หรือเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง และช่วงพีเอชที่ทำให้เหล็กอยู่ในรูปของ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ และ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ คือช่วงพีเอชตั้งแต่ 3 เป็นต้นไป ค่าพีเอชที่ทำให้เกิด $\text{Fe}(\text{OH})_2$ และ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ได้ดีคือ pH 9 เป็นต้นไป

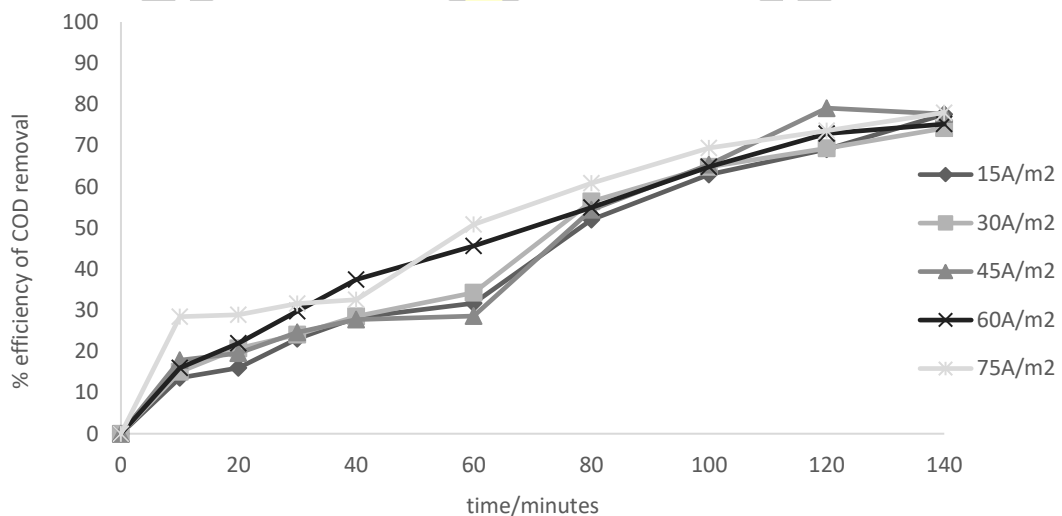


ภาพประกอบ 29 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิตสีดำในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน

4.1.2.4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ ระยะเวลาต่าง ๆ จากการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลา เพิ่มขึ้นในทุก ๆ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและจะเห็นได้ว่าทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นที่ร้อยละ 77.6 และ 75.0 ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่สูงกว่าที่ร้อยละ 81.2, 83.6 และ 92.4 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด COD ขึ้นอยู่กับปริมาณเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ตามกฎฟาราเดย์ซึ่งปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้น ระยะเวลาบำบัดนานขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมาก ส่งผลให้เกิดฟองแก๊ส ไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึง

ทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum N., and Monser (2004) แต่จะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ดีที่สุดได้ร้อยละ 92.4 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีและจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 30 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีดำที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.1.2.4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

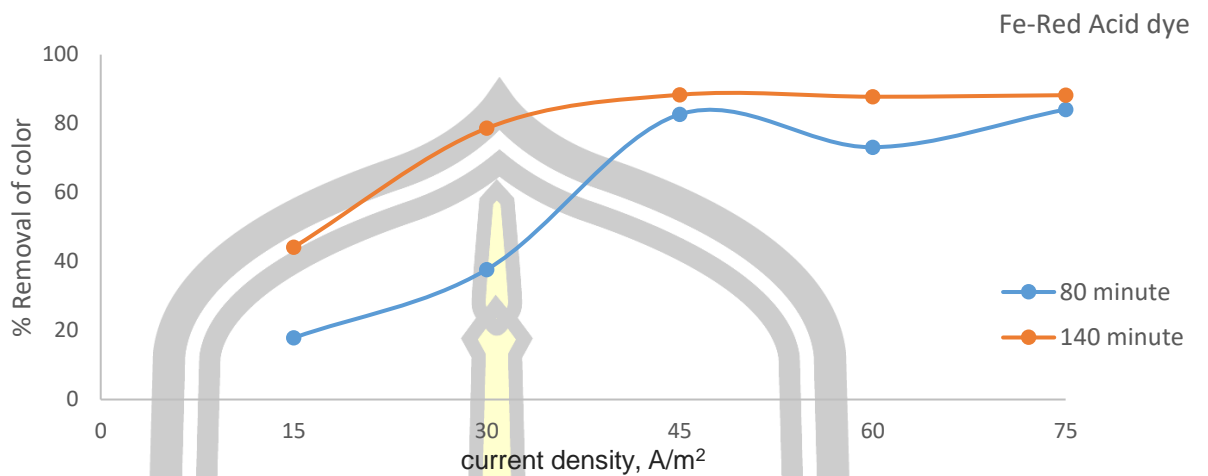
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น ปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่อง ปฏิกรณ์ Mollah et al. (2001) Mollah et al. (2004) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆ ลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีกับเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Flocc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่น้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน

ตารางที่ 11 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตส์ดำที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

Time/minutes	15 A/m ²	30 A/m ²	45 A/m ²	60 A/m ²	75 A/m ²
0	192	192	192	192	192
10	230	166	254	196	199
20	231	174	211	236	235
30	214	197	205	284	231
40	211	231	231	241	145
60	196	253	142	223	128
80	192	264	162	215	163
100	173	212	185	231	154
120	163	167	150	157	132
140	125	153	142	153	112

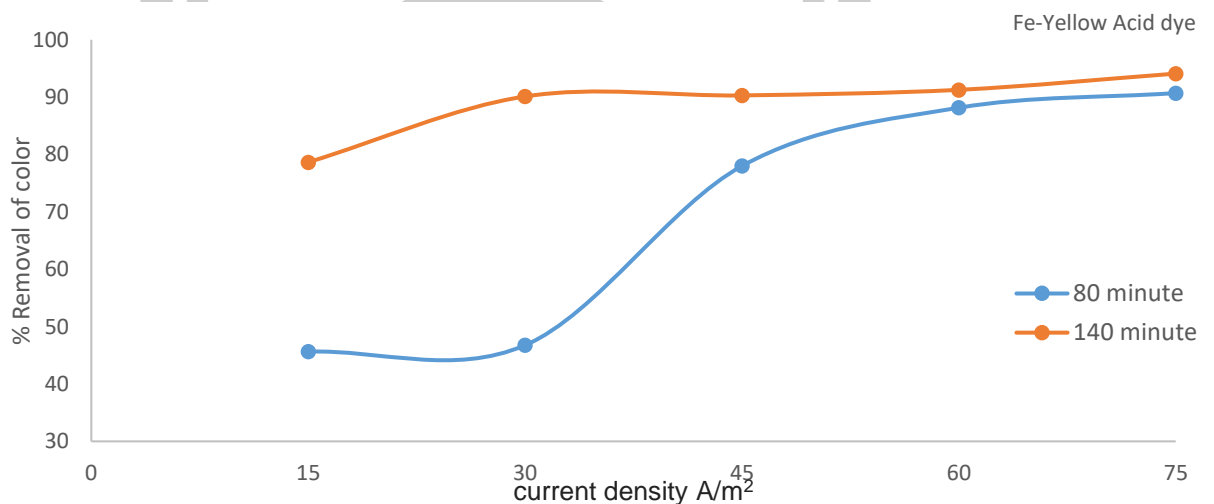
4.1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียแอสิตส์ดำโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

จากผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิตส์ดำโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอสิตส์ดำ pH เริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีแดงคือ pH จริงของน้ำเสียสีย้อมแอสิตส์แดง เท่ากับ pH 5.7 เนื่องจากเมื่อเดินระบบ pH เริ่มต้นในทุกช่วงเมื่อเดินระบบ pH ในระบบจะค่อยๆ สูงขึ้น และจากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 จนสิ้นสุดการบำบัด และเมื่อเดินระบบบำบัดเพียงพอจะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดให้ประสิทธิภาพการที่สูง กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเดินระบบคือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 45 A/m² ที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 88.4



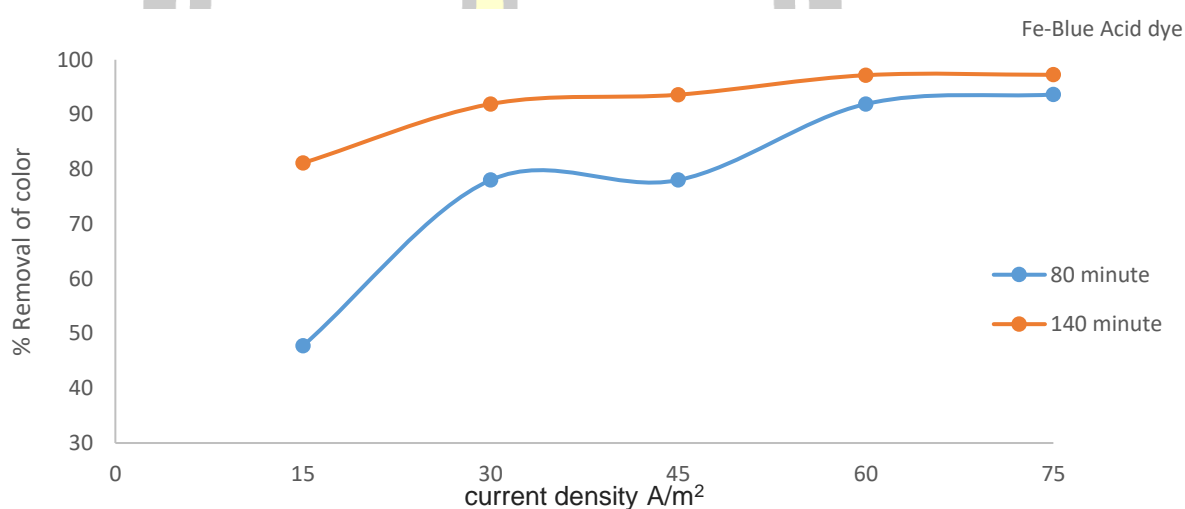
ภาพประกอบ 31 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีแดงใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีเหลือง pH เริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีเหลืองคือ pH จริงของน้ำเสียสีแอสิดสีเหลืองเท่ากับ pH6.7 เนื่องจากเมื่อเดินระบบpHเริ่มต้นในทุกช่วงเมื่อเดินระบบpHในระบบจะค่อยๆสูงขึ้น และจาก นั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงpH 10-11 จนสิ้นสุดการบำบัด และเมื่อเดินระบบบำบัดเพียงพอจะพบว่าประสิทธิ ภาพการบำบัดให้ประสิทธิ ภาพการที่สูง กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเดินระบบคือ ความหนา แน่นของกระแสไฟฟ้า 75 A/m² ที่ระยะเวลาการบำบัด 140นาที ให้ประสิทธิ ภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 94.1



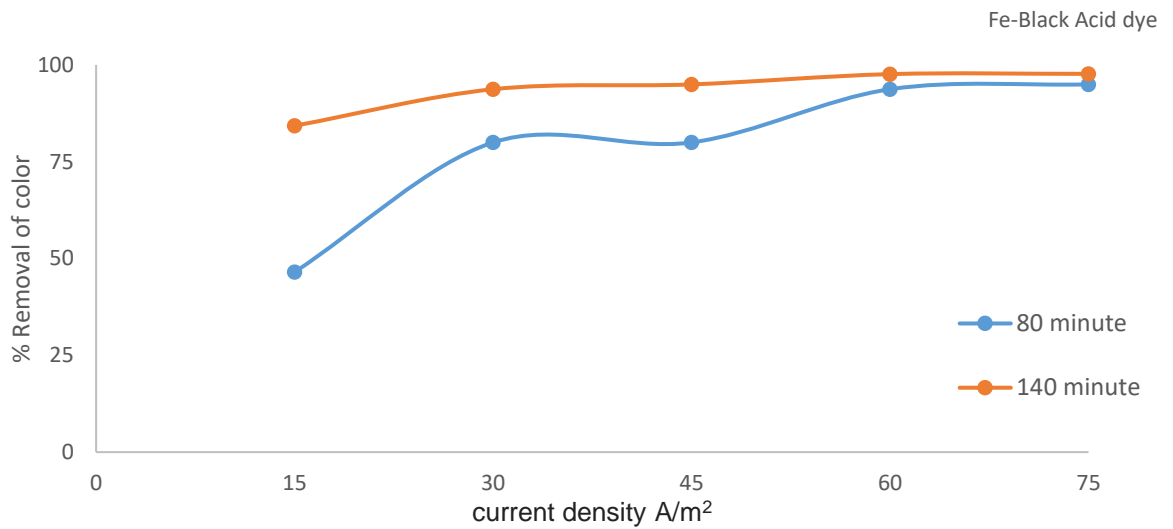
ภาพประกอบ 32 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีเหลืองใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีน้ำเงิน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีน้ำเงิน pH เริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีน้ำเงินคือ pH จริงของน้ำเสียสีแอสิดสีเหลือง เท่ากับ pH 6.6 เนื่องจากเมื่อเดินระบบ pH เริ่มต้นในทุกช่วงเมื่อเดินระบบ pH ในระบบจะค่อยๆ สูงขึ้น และจากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 จนสิ้นสุดการบำบัด และเมื่อเดินระบบบำบัดเพียงพอจะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดให้ประสิทธิภาพการที่สูง กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเดินระบบคือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 A/m^2 ที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 97.3

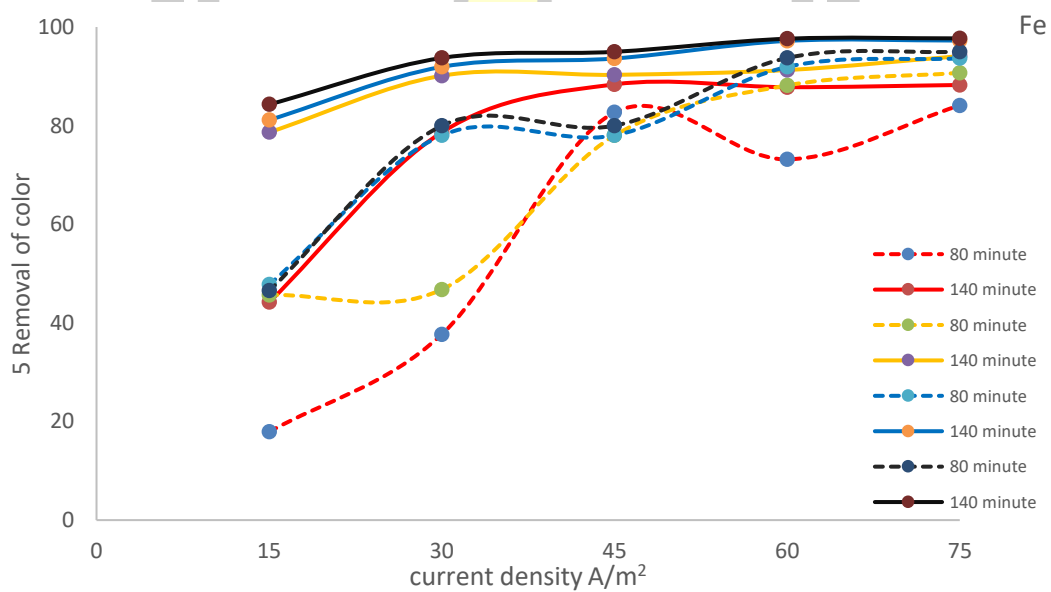


ภาพประกอบ 33 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีน้ำเงินใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีดำ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีดำ pH เริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีดำคือ pH จริงของน้ำเสียสีแอสิดสีเหลือง เท่ากับ pH 6.7 เนื่องจากเมื่อเดินระบบ pH เริ่มต้นในทุกช่วงเมื่อเดินระบบ pH ในระบบจะค่อยๆ สูงขึ้น และจากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 จนสิ้นสุดการบำบัด และเมื่อเดินระบบบำบัดเพียงพอจะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดให้ประสิทธิภาพการที่สูง กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเดินระบบคือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 A/m^2 ที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 97.7



ภาพประกอบ 34 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีดำใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า



ภาพประกอบ 35 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเฉดสีต่างๆที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดโดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าสีแอสิดสีแดงใช้ระยะเวลาในการเกิดสารรวมตะกอนนานกว่าเฉดสีอื่น ในขณะที่สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีดำ จะมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าแต่ละเฉดสีใช้ระยะเวลาในการบำบัดต่างกัน อย่างชัดเจน ชนิดของเฉดสีมีผลต่อระบบที่ใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

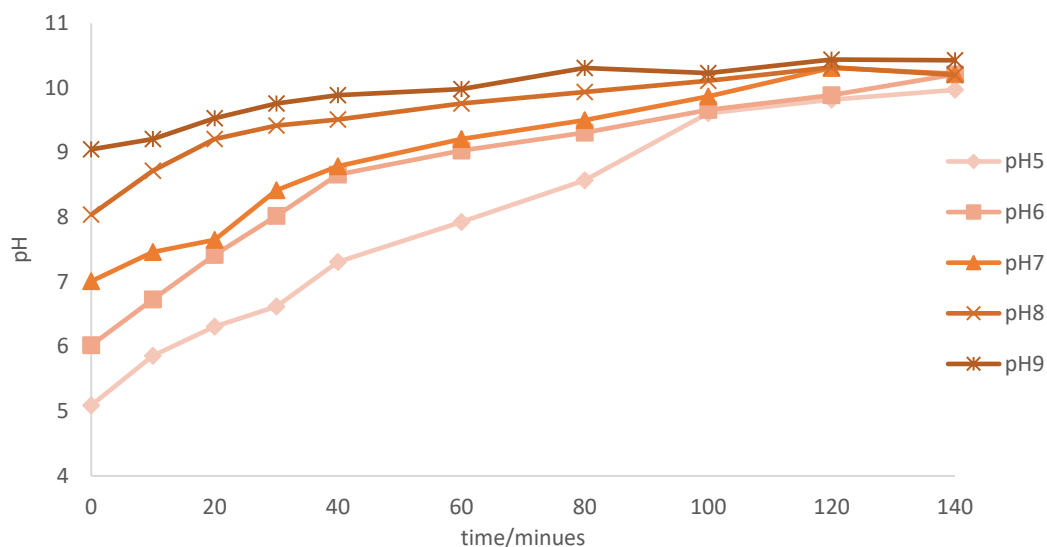
4.2.1 การศึกษาผลของ pH เริ่มต้นในการเดินระบบโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

การทดลองนี้ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าโดยมีระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร ความยาวของขั้วไฟฟ้า 3.5x15 เซนติเมตร พื้นที่ผิวสัมผัสน้ำ 70 ตารางเซนติเมตร ใช้ความหนาแน่นของกระแส ไฟฟ้า 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร น้ำเสียสีสังเคราะห์ แอสิต สีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงิน และสีดำ จากสีย้อมไหม ตราเครื่องบิน ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ศึกษา pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 และทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 นาที

4.2.1.1 สีแดง

4.2.1.1.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของ pH เริ่มต้นในการเดินระบบที่ต่างกันจะพบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง pH เริ่มต้น 5 และ 6 เริ่มคงที่ที่เวลา 140 นาที pH ในระบบสูงขึ้นที่ 9.97 และ 10.22 pH เริ่มต้น 7 ที่ระยะเวลา 120 นาที pH ในระบบเริ่มคงที่ที่ pH 10.31 ขณะที่ pH เริ่มต้นที่ 8 และ 9 pH ในระบบคงที่ที่ 10.11 และ 10.31 ที่เวลา 80 นาที เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) อยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยค่า pH หลังการทดลองจะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 60 นาทีเป็นต้นไป และพบว่าค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีและเริ่มคงที่อยู่ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ 60 นาทีเป็นต้นไป เมื่อเทียบกับค่า pH ที่เปลี่ยน ไปแล้วจะพบว่ามีช่วงพีเอชอยู่ที่ pH 9 เป็นต้นไป และช่วงพีเอชที่ทำให้อะลูมิเนียมอยู่ในรูปของ $Al(OH)_3$ คือช่วงพีเอชตั้งแต่ 4 เป็นต้นไปค่าพีเอชที่ทำให้เกิด $Al(OH)_3$ ได้ดีคือ pH 7 เป็นต้นไป

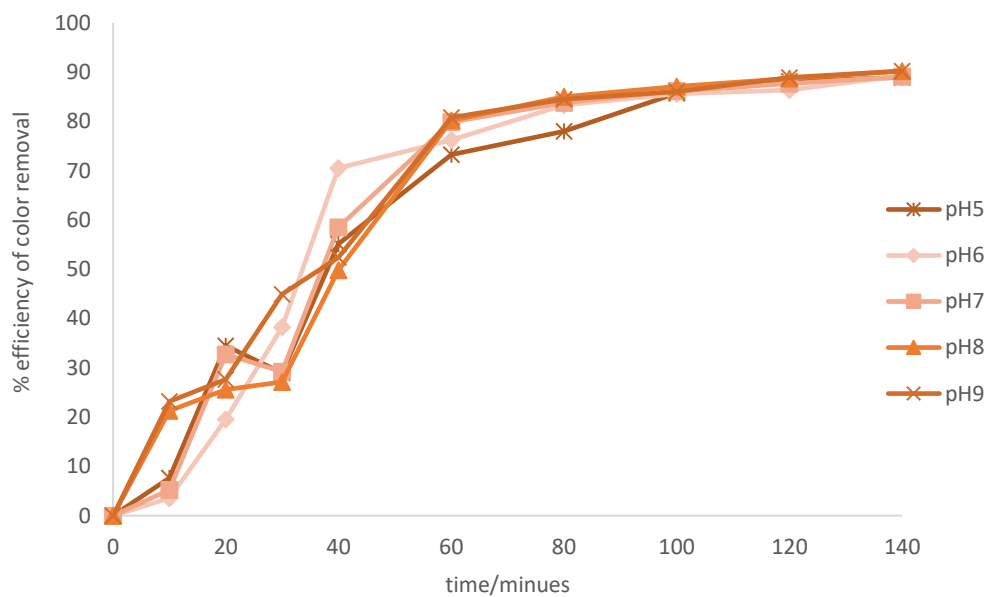
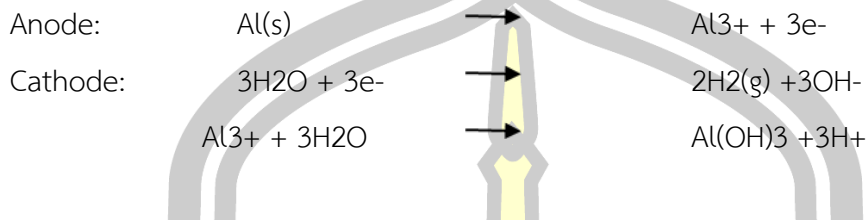


ภาพประกอบ 36 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอลิตีสีแดงที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m²

4.2.1.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลาต่างๆของค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าสีมีแนวโน้มที่ลดลงในทุกๆค่า pH โดยในช่วงแรกปริมาณสีที่เหลืออยู่ในน้ำมีปริมาณสีใกล้เคียงกันและเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาทีจะพบว่าที่ pH 8 และ 9 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลร้อยละ 80.2 และ 80.8 โดยที่ระยะเวลา 80 นาทีพบว่า ที่ pH 6 และ 7 จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 83.3 และ 83.8 ในขณะที่ pH 5 ใช้ระยะเวลานานเพื่อเข้าสู่จุดสมดุลร้อยละ 85.7 ที่เวลา 100 นาที ที่ระยะเวลา 140 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูงสุดประมาณร้อยละ 88.9, 98.3, 89.1, 90.2 และ 90.2 ตามลำดับ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอะลูมิเนียมทำให้อะลูมิเนียมไอออนละลายออกมาและในขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเกิดก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน อะลูมิเนียมไอออนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดจากขั้วแคโทดเกิดเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นอนุภาคของสีจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดและถูกดูดติดผิวหรือถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ รวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น และลอยตัวขึ้นโดยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน จะรวมตัวกันแบบ sweep flocs ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มาก มีประโยชน์สำหรับหารดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้และสำหรับดักจับอนุภาคคอลลอยด์ Merzouk et al. (2009) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆค่ากระแสไฟฟ้าและเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีมี

แนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เหล็กแตกตัวได้เพิ่มขึ้นทำให้รวมตัวกับอนุภาคสี ได้ดีขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณเหล็กที่แตกตัวจากขั้วแคโทดแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลาสี

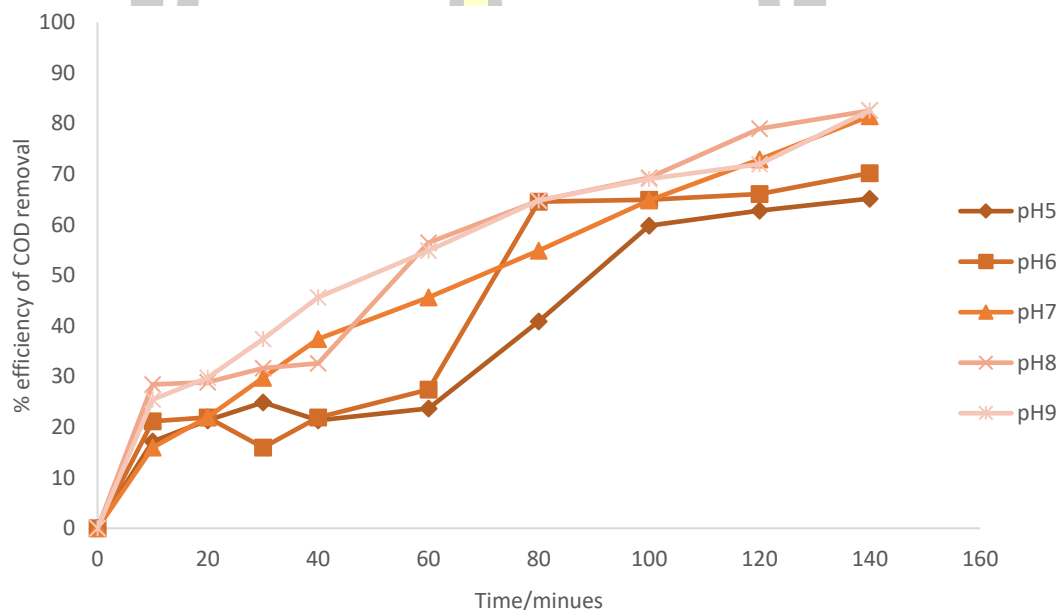


ภาพประกอบ 37 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่พีเอชเริ่มต้น 5, 6, 7, 8 และ 9 ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จากการศึกษาพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าซีโอดีหลัง การทดลองมีค่าลดลงในทุกๆค่า pH เริ่มต้น ที่ระยะเวลา 140 นาที 65.2, 70.2, 81.5, 82.6 และ 82.6 ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียที่มี pH เริ่มต้นต่างกัน และจะเห็นได้ชัดว่าที่ pH 5 จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีได้ดีกว่า pH อื่นๆในช่วงระยะเวลา 40 นาทีแรกแต่จะมีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยมาก เมื่อระยะเวลาผ่านไป 60 นาทีพบว่าที่ pH 6 มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้

ดีกว่า pH อื่นๆและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงเวลาที่ 100 นาทีซึ่งสามารถบำบัดซีโอดีได้สูงสุดร้อยละ 65 เนื่องจากมีปริมาณอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นรวมตัวกับอนุภาคซีโอดี เกิดตะกอน ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเนื่องจากซีโอดีเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าซีโอดี แต่ยังคงพบว่ามีซีโอดียังเหลืออยู่ในระบบ ไม่สามารถบำบัดได้เท่ากับซีโอดีเนื่องจากในส่วนประกอบของซีโอดีไม่ได้มีแค่เม็ดซีโอดีแต่ยังมีสารอื่นๆที่สามารถออกซิไดซ์กับออกซิเจนในน้ำได้จึงทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีและค่าการบำบัดซีโอดีมีความแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มในการบำบัดเช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 38 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของซีโอดีที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.1.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคซีโอดีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่น้ำโดยก๊าซ

ไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลอง

ตารางที่ 12 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตีแดงที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ $45 A/m^2$

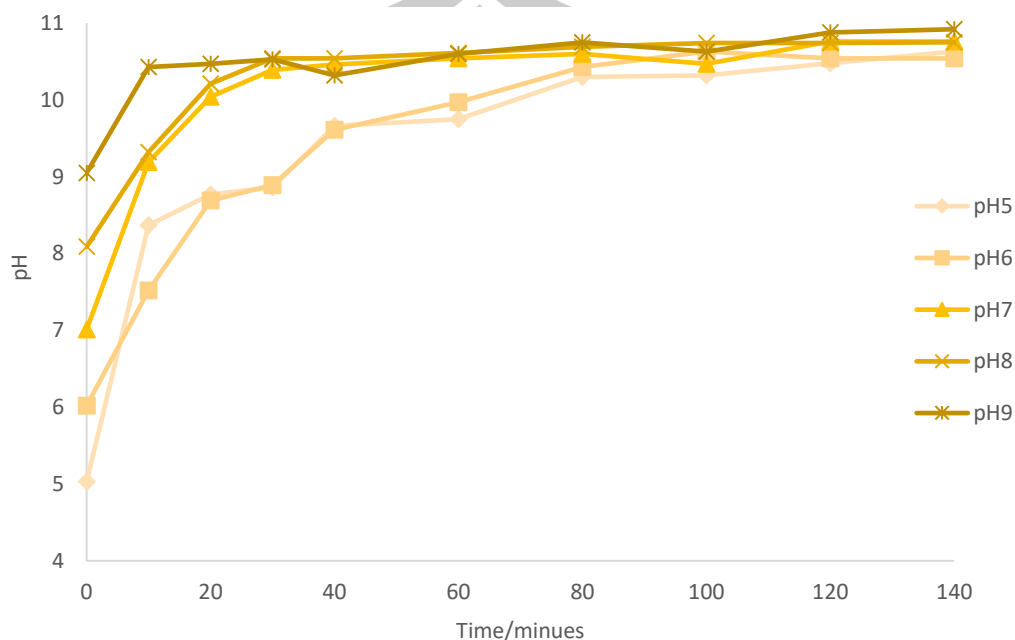
Time/minutes	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
0	178	213	190	185	178
10	185	124	236	253	266
20	144	155	312	215	296
30	175	186	251	215	164
40	211	197	234	132	195
60	163	231	189	210	241
80	184	214	175	210	211
100	155	179	147	170	218
120	187	165	293	180	183
140	122	142	144	164	163

4.2.1.2 สีเหลือง

4.2.1.2.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของค่า pH เริ่มต้นที่ต่างกันจะพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 80 นาทีเป็นต้นไป เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ผลจากการแตกตัวของน้ำ จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) pH เริ่มต้น 5 และ 6 ที่เวลา 80 นาที pH ในระบบเริ่มคงที่ ที่ 10.3 และ 10.4 ในขณะที่ pH เริ่มต้น 7 และ 8 pH ในระบบเริ่มคงที่ที่เวลา 20 นาที ที่ 10.04 และ 10.21 ขณะที่ pH เริ่มต้น 9 pH ในระบบคงที่ที่เวลา 10 นาทีที่ 10.43 โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และที่ขั้วแอโนดเกิดการแตกตัวของอะลูมิเนียมให้อะลูมิเนียมไอออนเกิดขึ้นในระบบ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง เนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) อยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH

เข้าสู่จุดสมดุลคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง พบว่าอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ได้น้อย เกิดจากพีเอชที่เพิ่มขึ้นตะกอนที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาการรวมตะกอนได้

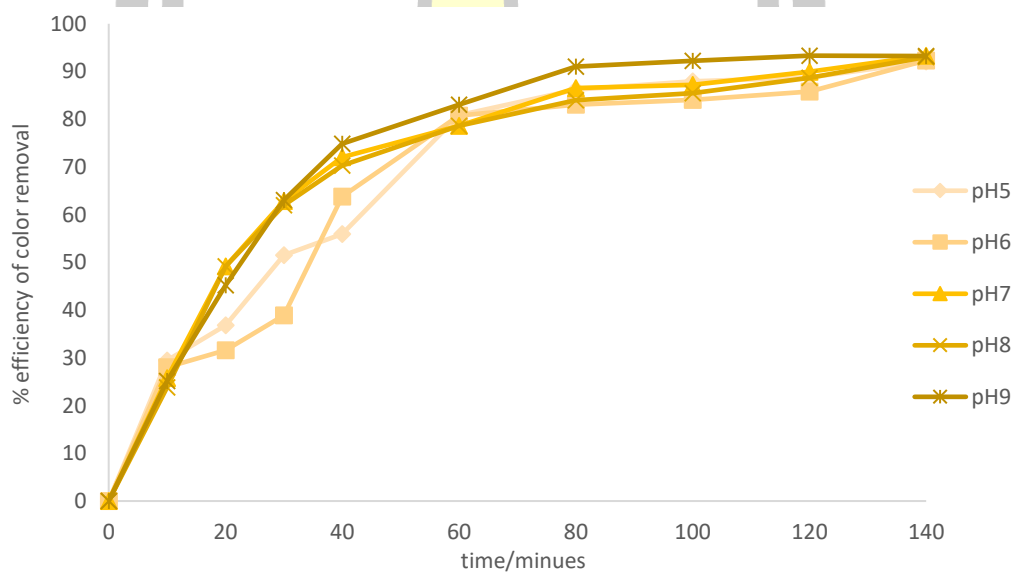
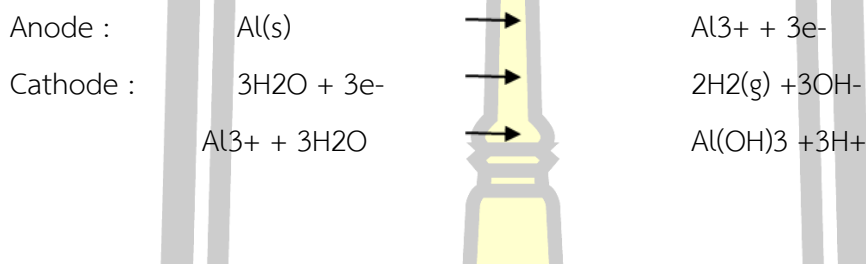


ภาพประกอบ 39 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอลิตสีเหลืองที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m²

4.2.1.2.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆของค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าสีมีแนวโน้ม ที่ลดลงในทุกๆค่า pH โดยในช่วงแรกปริมาณสีที่เหลืออยู่ในน้ำมีปริมาณสีใกล้เคียงกันและเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาทีจะพบว่าที่ pH เริ่มต้น 5-6 ค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำมี ประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 80.8 และ 80.5 ที่ pH 7-8 ที่ระยะเวลา 80 นาที มีประสิทธิภาพ การบำบัดที่ร้อยละ 86.5 และ 84.0 ในขณะที่ pH 9 ใช้ระยะเวลา 60 นาทีที่มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ ร้อยละ 83.0 ความสามารถ ในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆ ของค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดสีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกๆค่า pH เมื่อระยะเวลาการเดินระบบ 140 นาที มี ประสิทธิภาพการบำบัดสีที่สูงสุดที่ร้อยละ 92.1, 93.5, 93.5, 93.0 และ 93.3 ตามลำดับ และพบว่า ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีซึ่งมีประสิทธิภาพในการ บำบัดที่ดี เมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบ ที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอะลูมิเนียม

ทำให้อะลูมิเนียมไอออนละลายออกมาและในขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเกิดก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน อะลูมิเนียมไอออนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน ที่เกิดจากขั้วแคโทดเกิดเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นอนุภาคของสีจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดและถูกดูดติด ผิวหรือถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ รวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นและลอยตัวขึ้นโดยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน จะรวมตัวกันแบบ sweep flocs ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มาก มีประโยชน์สำหรับหารดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้และสำหรับดักจับอนุภาคคอลลอยด์ Merzouk et al. (2009)

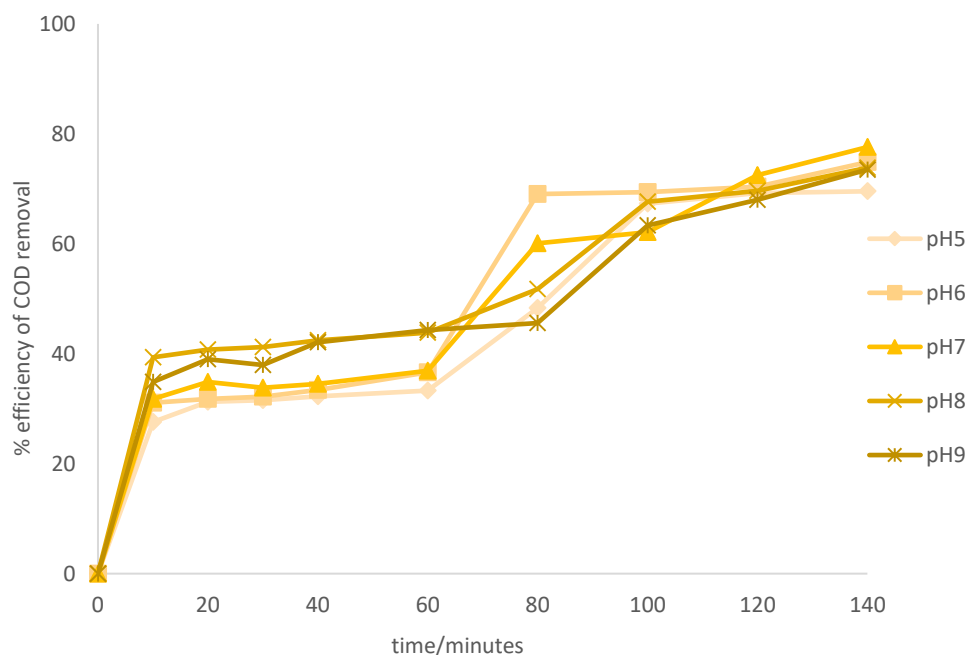


ภาพประกอบ 40 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่พีเอชเริ่มต้น 5, 6, 7, 8 และ 9 ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จากการศึกษพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าซีโอดีหลังการทดลองมีค่าลดลงในทุกๆค่า pH เริ่มต้น เมื่อเดินระบบบำบัดผ่านไประยะเวลา 140 นาที

มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 69.6, 75.0, 77.6, 74.6 และ 73.5 ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอทีได้โดยประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอทีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดซีโอทีในน้ำเสียที่มี pH เริ่มต้นต่างกัน และจะเห็นได้ว่าที่ pH 5 จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอทีได้ดีกว่า pH อื่นๆ ในช่วงระยะเวลา 40 นาทีแรกแต่จะมีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยมาก เมื่อระยะเวลาผ่านไป 60 นาทีพบว่าที่ pH 6 มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอทีได้ดีกว่า pH อื่นๆ และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงเวลาที่ 100 นาทีซึ่งสามารถบำบัดซีโอทีได้สูงสุดร้อยละ 65 เนื่องจากมีปริมาณอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นรวมตัวกับอนุภาคสีได้ดี เกิดตะกอน ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดสีเนื่องจากสีเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าซีโอที แต่ยังพบว่าค่าซีโอทียังเหลืออยู่ในระบบ ไม่สามารถบำบัดได้เท่ากับสีเนื่องจากในส่วนประกอบของสีไม่ได้มีแค่เม็ดสีแต่ยังมีสารอื่นๆที่สามารถออกซิไดซ์กับออกซิเจนในน้ำได้จึงทำให้ค่าการบำบัดซีโอทีและค่าการบำบัดสีมีความแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มในการบำบัดเช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 41 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.2.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอย เกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดย

ในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อ ให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc)ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ มีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลอง

ตารางที่ 13 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีเหลืองที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ $45 A/m^2$

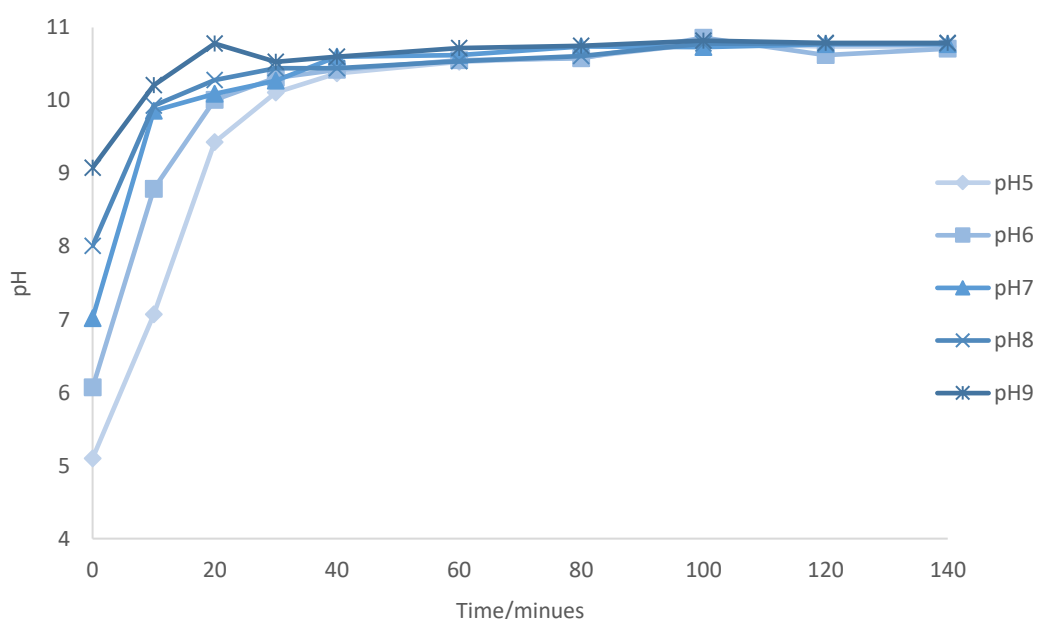
Time/minutes	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
0	178	213	190	185	178
10	197	225	216	195	227
20	230	197	306	21	263
30	228	243	191	231	301
40	238	175	211	245	367
60	210	211	189	217	267
80	195	169	184	204	211
100	185	152	142	186	219
120	184	165	156	164	210
140	142	153	142	145	165

4.2.1.3 สีน้ำเงิน

4.2.1.3.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของค่า pH เริ่มต้นที่ต่างกันจะพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 10-30 นาทีเป็นต้นไป มีค่า pH ในระบบที่ 10.11, 10.01, 10.09, 10.3 และ 10.21 ตามลำดับ ปริมาณ pH ที่เพิ่มขึ้นในระบบเกิดจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และที่ขั้วแอโนดเกิดการแตกตัวของอะลูมิเนียมให้อะลูมิเนียมไอออนเกิดขึ้นในระบบ เมื่อ

ระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) และอะลูมิเนียมอิออน (Al^{3+}) อยู่ในรูปของอะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH เข้าสู่จุดสมดุลคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยค่า pH หลังการทดลองจะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 80 นาทีเป็นต้นไป พบว่าอะลูมิเนียมอิออนที่ละลายทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ได้น้อย เกิดจากพีเอชที่เพิ่มขึ้นตะกอนที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาการรวมตะกอนได้

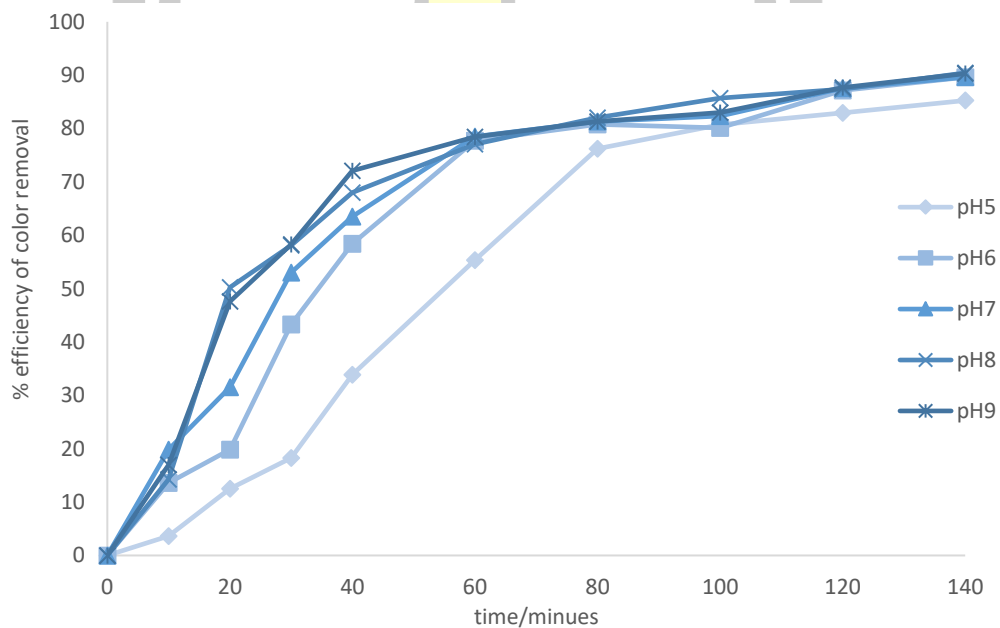


ภาพประกอบ 42 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอสิดสีน้ำเงินที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.3.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆของค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าสีมีแนวโน้ม ที่ลดลงในทุกๆค่า pH โดยในช่วงแรกปริมาณสีที่เหลืออยู่ในน้ำมีปริมาณสีใกล้เคียงกัน และเมื่อเวลาผ่านไป 80-100 นาทีจะพบว่าที่ pH 5-9 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 80.8, 80.8, 81.3 82.0 และ 81.3 ตามลำดับ เมื่อเดินระบบบำบัดนานถึงระยะเวลา 140 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง ร้อยละ 85.3, 89.6, 89.6, 90.4 และ 90.3 ตามลำดับ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบ ที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ

อะลูมิเนียมทำให้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ละลายออกมาและในขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเกิดก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดจากขั้วแคโทดเกิดเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นอนุภาคของสีจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดและถูกดูดติดผิวหรือ ถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ รวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น และลอยตัวขึ้นโดยก๊าซไฮโดรเจน ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน จะรวมตัวกันแบบ sweep flocs ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มาก มีประโยชน์สำหรับหารดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้และสำหรับดักจับอนุภาคคอลลอยด์ Merzouk et al. (2009)

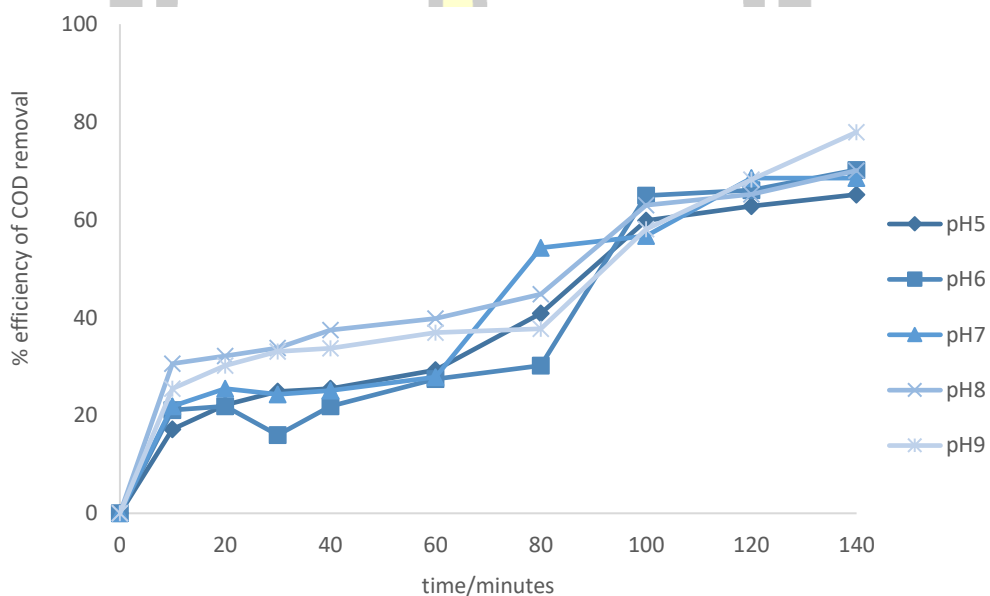


ภาพประกอบ 43 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.3.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่พีเอชเริ่มต้น 5, 6, 7, 8 และ 9 ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จากการศึกษาพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ค่าซีโอดีหลังการทดลองมีค่าลดลงในทุกๆค่า pH เริ่มต้น ซึ่งสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพในการ

บำบัดซีโอดีได้โดยประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียที่มี pH เริ่มต้นต่างกัน และจะเห็นได้ว่าที่ pH เริ่มต้นที่ 5-9 เมื่อระยะเวลาผ่านไป 140 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้สูงสุดที่ร้อยละ 65.2, 70.2, 69.0, 70.1 และ 81.2 ตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นรวมตัวกับอนุภาคสีได้ดี เกิดตะกอน ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดสีเนื่องจากสีเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าซีโอดี แต่ยังคงพบค่าซีโอดียังเหลืออยู่ในระบบ ไม่สามารถบำบัดได้เท่ากับสีเนื่องจากในส่วนของประกอบ ของสีไม่ได้มีแค่เม็ดสีแต่ยังมีสารอื่นๆที่สามารถออกซิไดซ์กับออกซิเจนในน้ำได้จึงทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีและค่าการบำบัดสีมีความแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มในการบำบัดเช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 44 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.3.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม

(Sweep Floc)ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลอง

ตารางที่ 14 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีน้ำเงินที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ $45 A/m^2$

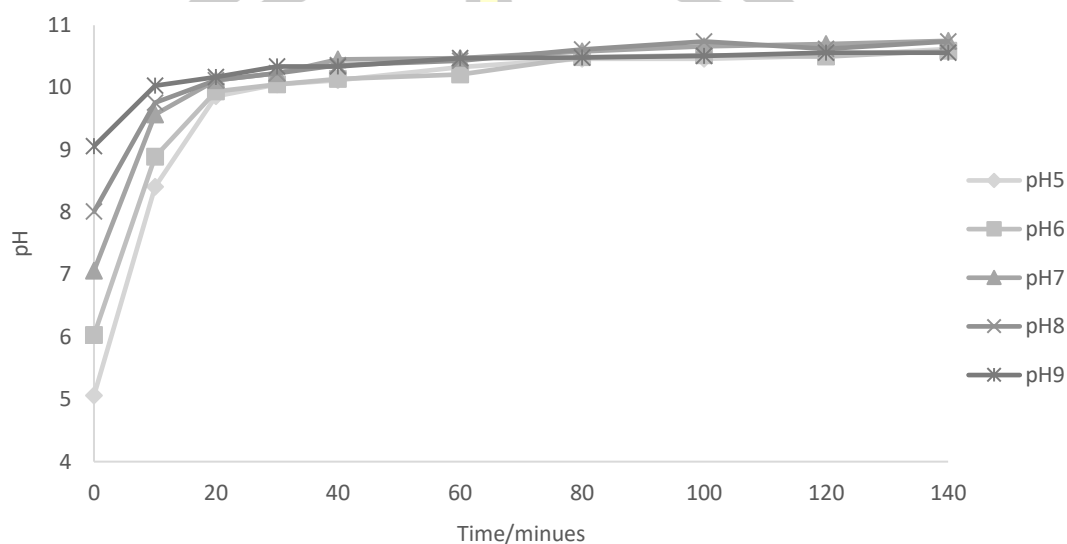
Time/minutes	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
0	177	221	201	185	153
10	203	254	253	255	286
20	238	286	275	142	264
30	187	241	242	178	321
40	243	200	189	155	374
60	197	167	176	185	234
80	185	176	153	174	201
100	173	152	148	135	165
120	184	174	177	133	169
140	162	143	167	120	142

4.2.1.4 สีดำ

4.2.1.4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของค่า pH เริ่มต้นที่ต่างกันจะพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 80 นาทีเป็นต้นไป เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ pH 5-6 ที่ เวลา 30 pH สูงขึ้นที่ 10.05 และ 10.1 pH 7-8 ที่เวลา 20 นาที pH ในระบบสูงขึ้นที่ 10.12 และ 10.12 ขณะที่ pH 9 เวลา 10 นาที pH ในระบบสูงถึง 10.3 ซึ่งเป็นผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และที่ขั้วแอโนดเกิดการแตกตัวของอะลูมิเนียมให้อะลูมิเนียมไอออนเกิดขึ้นในระบบ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจาก ไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแต่จะเห็นว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) อยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดร

อกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH เข้าสู่จุดสมดุลคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยค่า pH หลังการทดลอง จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 80 นาทีเป็นต้นไป พบว่าอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ได้น้อย เกิดจากพีเอชที่เพิ่มขึ้นตะกอนที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาการรวมตะกอนได้

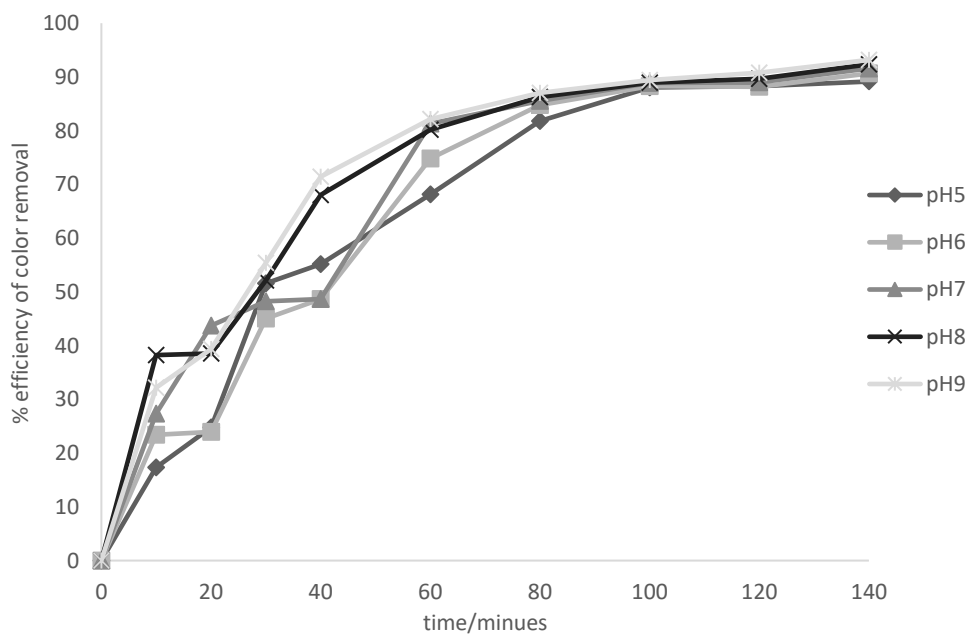
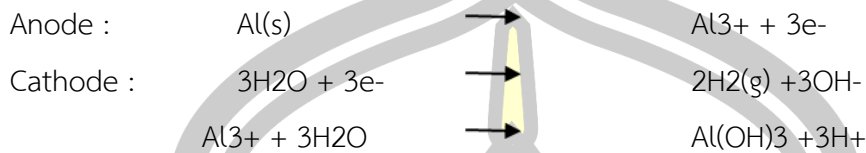


ภาพประกอบ 45 ผลของน้ำเสียสีย้อมแอลิตสีน้ำดำที่ค่า pH เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆของค่า pH เริ่มต้นของน้ำเสียที่ pH 5, 6, 7, 8 และ 9 จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าสีมี แนวโน้มที่ลดลงในทุกๆค่า pH โดยในช่วงแรกปริมาณสีที่เหลืออยู่ในน้ำมีปริมาณสีใกล้เคียงกันและเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาทีจะพบว่าที่ pH 5 และ 6 มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 81.8 และ 84.8 ขณะที่ pH เริ่มต้นที่ 7, 8 และ 9 ระยะเวลาการบำบัดผ่านไป 60 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 81.3, 80.2 และ 82.1 โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีได้ดีที่สุดที่เวลา 140 นาทีที่ร้อยละ 89.1, 90.6, 91.6, 92.3 และ 93.2 ตามลำดับ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบ ที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอะลูมิเนียม ทำให้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ละลายออกมาและในขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทด จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเกิดก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ ออาน อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ ออาน ที่เกิดจากขั้วแคโทดเกิดเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นอนุภาคของสีจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดและถูกดูดติดผิวหรือถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ รวมตัวกันเป็น

ตะกอนที่ใหญ่ขึ้นและลอยตัวขึ้นโดยก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน จะรวมตัวกันแบบ sweep flocs ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มาก มีประโยชน์สำหรับหารูดซับของสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้และสำหรับดักจับอนุภาคคอลลอยด์ Merzouk, et al. (2009)

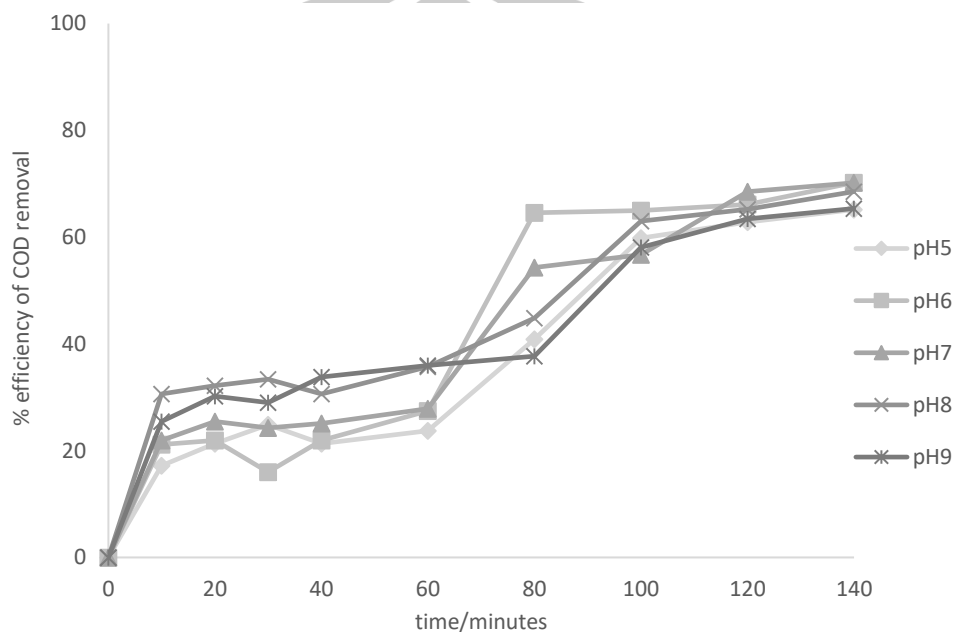


ภาพประกอบ 46 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่พีเอชเริ่มต้น 5, 6, 7, 8 และ 9 ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จากการศึกษา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ค่าซีโอดีหลังการทดลองมีค่าลดลงในทุกๆค่า pH เริ่มต้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป 140 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีร้อยละ 65.1, 70.2, 70.2, 69.0 และ 65.4 ตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นรวมตัวกับอนุภาคสีได้ดี เกิดตะกอน ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัดสีเนื่อง จากสีเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าซีโอดี แต่ยังคงพบว่าค่าซีโอดียังเหลืออยู่ในระบบ ไม่สามารถบำบัดได้เท่า กับสีเนื่องมาจากในส่วประกอบของสีไม่ได้มีแค่เม็ดสีแต่ยังมีสารอื่นๆที่สามารถ

ออกซิไดซ์กับออกซิเจนในน้ำได้จึงทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีและค่าการบำบัดสีมีความแตกต่างกันแต่มีแนวโน้มในการบำบัดเช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 47 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ 45 A/m^2

4.2.1.4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลอง

ตารางที่ 15 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีดำที่ pH เริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า ที่ 45 A/m^2

Time/minutes	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
0	187	211	190	185	189
10	213	211	213	185	213
20	236	217	312	218	236
30	193	233	224	183	274
40	241	243	263	194	189
60	183	196	189	210	241
80	175	153	199	231	213
100	188	146	153	166	163
120	192	166	154	180	133
140	142	154	150	163	157

4.2.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันในการเดินระบบในระบบของ น้ำ เสียโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

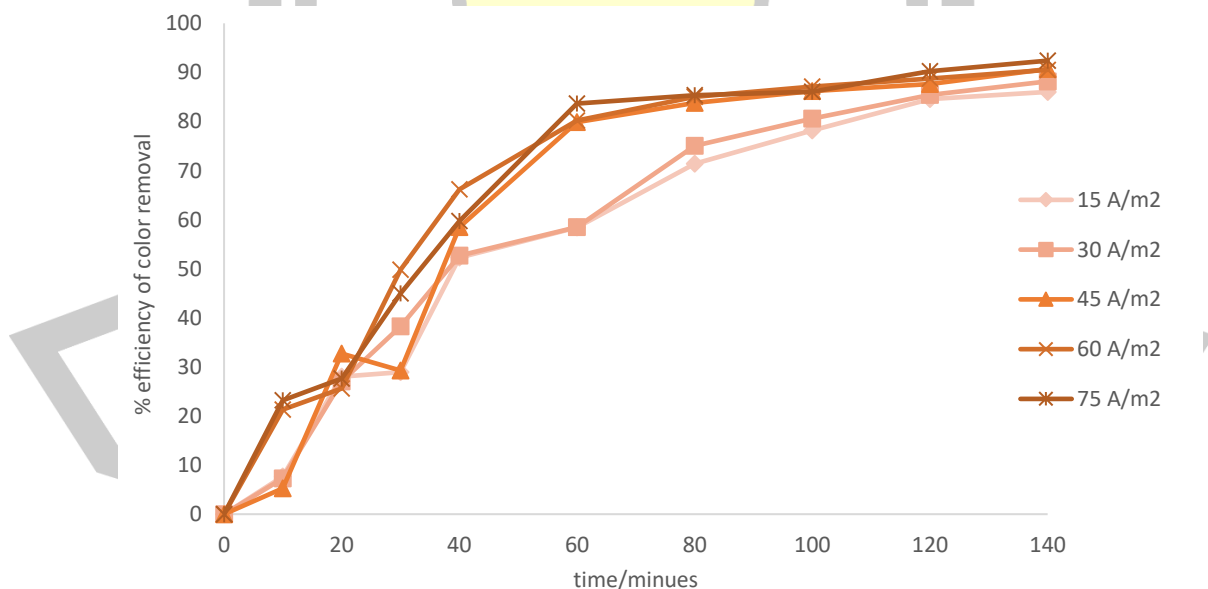
การทดลองนี้ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าโดยมีระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร ความยาวของขั้วไฟฟ้า 3.5×15 เซนติเมตร พื้นที่ผิวสัมผัสน้ำ 70 ตารางเซนติเมตร โดยศึกษากระแสไฟฟ้า ที่เหมาะสมต่อระบบใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตาราง เมตร น้ำเสียสีสังเคราะห์ แอสิต สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีดำ ที่ pH จริงของสีแอสิตนั้นๆคือ 5.67, 6.91, 6.65 และ 7.06 ตามลำดับ สีที่ใช้เป็นสีย้อมไหมตราเครื่องบิน ใช้ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 นาที

4.2.2.1 สีแดง

4.2.2.1.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไป ที่ ระยะเวลาต่างๆของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีของกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มี

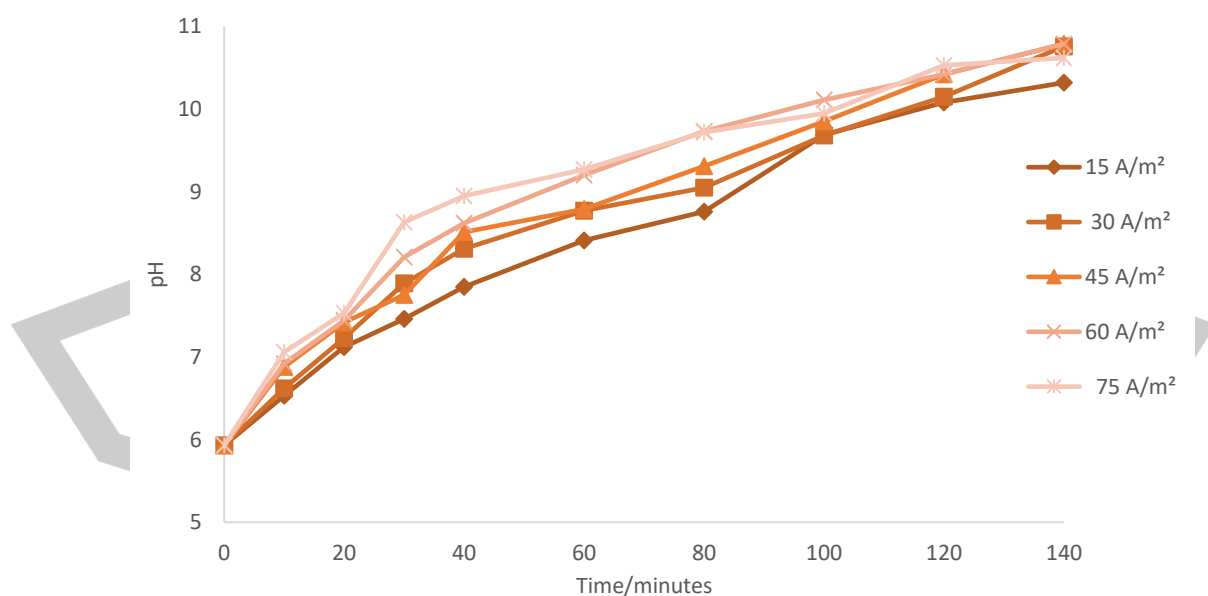
ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเวลา 60-80 นาที ประสิทธิภาพเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 83.8, 80.2 และ 83.6 ตามลำดับ ขณะที่กระแสไฟฟ้า 15 และ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ใช้ระยะเวลานาน 120-100 นาที เพื่อมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 84.6 และ 80.6 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆค่ากระแสไฟฟ้า และเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เหล็กแตกตัวได้เพิ่มขึ้นทำให้รวมตัวกับอนุภาคสีได้ดีขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าในระยะเวลาบำบัดสูงขึ้นที่ 140 นาที ทุกกระแสไฟฟ้าในระบบ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ร้อยละ 86.0, 88.2, 90.7 และ 92.4 ตามลำดับทั้งนี้การให้กระแสไฟฟ้าในระยะเวลาานานทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้นตาม ส่งผลให้เกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนมากขึ้น เกิดปฏิกิริยาได้เพอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum et al., (2004) Bassyouni, Hamad, El-Ashtoukhy, Amin, & El-Latif (2017)ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็ก ที่แตกตัวจากขั้วแคโทดแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ดีที่สุด ที่ระยะเวลา 140 นาที ซึ่งสามารถบำบัดสีได้สูงสุดร้อยละ 92.4



ภาพประกอบ 48 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตีแดงที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

4.2.2.1.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

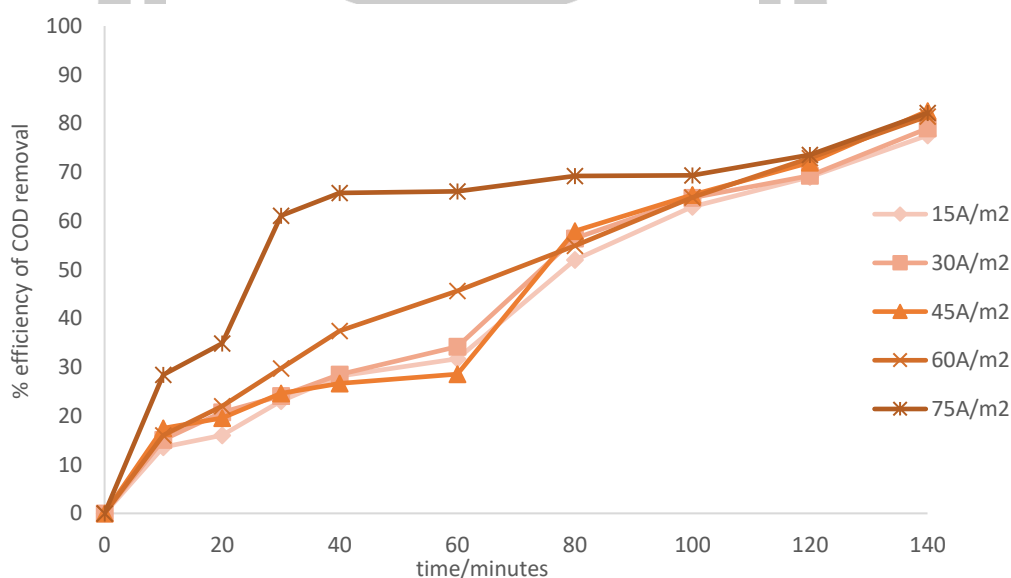
เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของค่า pH เริ่มต้นที่ต่างกันจะพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 100-120 นาที เป็นต้นไป กระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร pH ในระบบสูงขึ้นที่ 10.2, 10.2, 10.6, 10.0 และ 10.6 ตามลำดับ เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) อยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยค่า pH หลังการทดลองจะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 60 นาที เป็นต้นไป และพบว่าค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีและเริ่มคงที่อยู่ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ 60 นาที เป็นต้นไปเมื่อเทียบกับค่า pH ที่เปลี่ยนไปแล้วจะพบว่ามีช่วงพีเอชอยู่ที่ pH 9 เป็นต้นไป และช่วงพีเอชที่ทำให้อะลูมิเนียมอยู่ในรูปของ $Al(OH)_3$ คือช่วงพีเอชตั้งแต่ 4 เป็นต้นไปค่าพีเอชที่ทำให้เกิด $Al(OH)_3$ ได้ดีคือ pH 7 เป็นต้นไป



ภาพประกอบ 49 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิตสีแดงในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน

4.2.2.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลา เพิ่มขึ้นในทุกๆ ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าและจะเห็นได้ว่าทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ ต่อตารางเมตร จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นที่ร้อยละ 77.6 และ 79.0 ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการ บำบัดซีโอดีที่สูงกว่าที่ร้อยละ 82.6, 81.5 และ 82.2 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ขึ้นอยู่ กับปริมาณอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ตามกฎฟาราเดย์ซึ่งปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความ หนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้น ระยะเวลาบำบัดนานขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยา ริตักชั้นมาก ส่งผลให้เกิดฟองแก๊ส ไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในระบบ เพิ่มขึ้น จึงทำให้การกำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัด สูงขึ้น แต่จะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรจะมีประสิทธิภาพใน การบำบัดซีโอดีที่ดีที่สุดได้ร้อยละ 82.6 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีความสอดคล้องกับ ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะแปรผันโดยตรงกับ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 50 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีแดงที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

4.2.2.1.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น ปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่อง ปฏิกรณ์ Mollah et al., (2001) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่กระแสไฟฟ้าต่างกันเมื่อเทียบกับเวลาพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วงและเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน

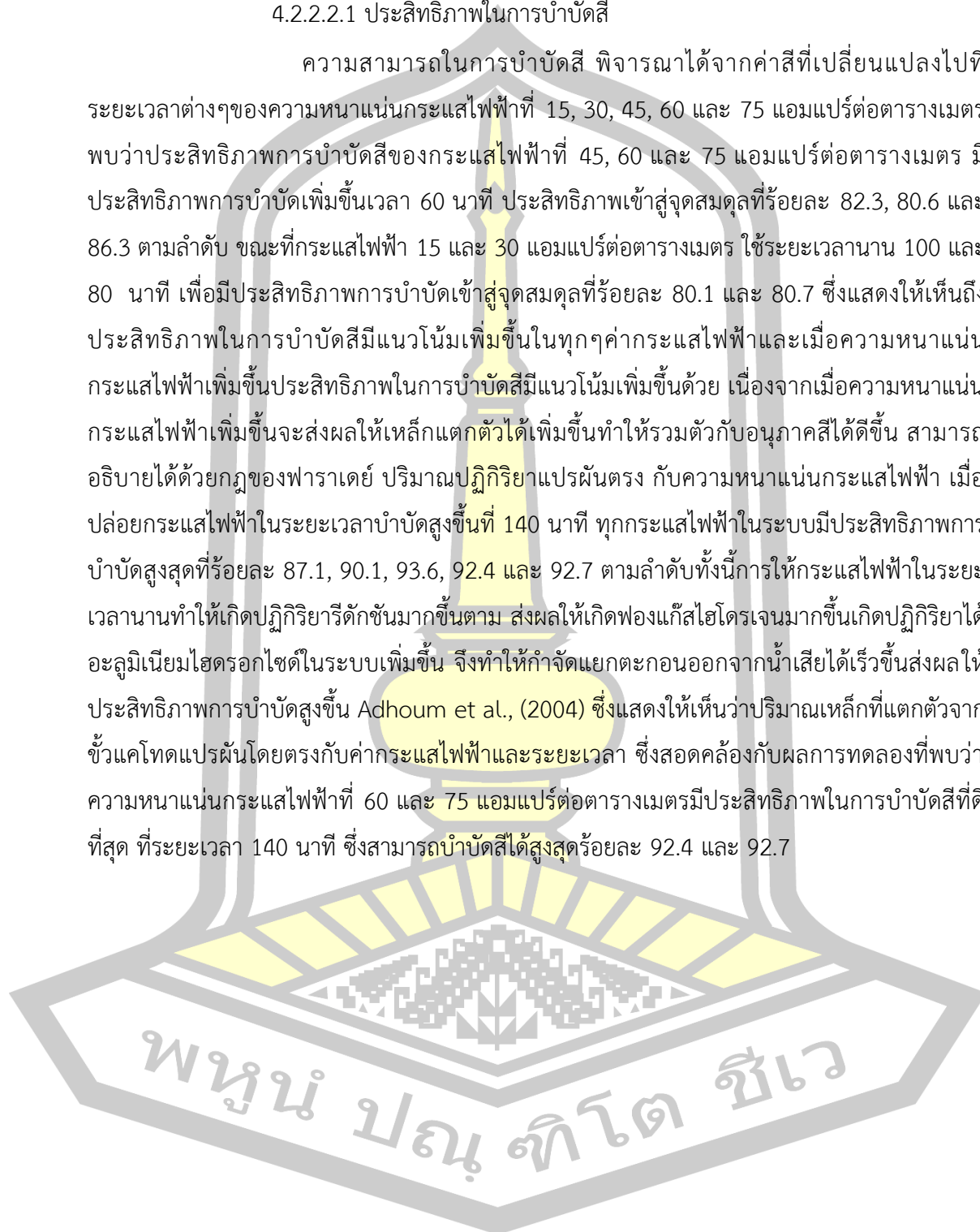
ตารางที่ 16 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตสีแดงที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

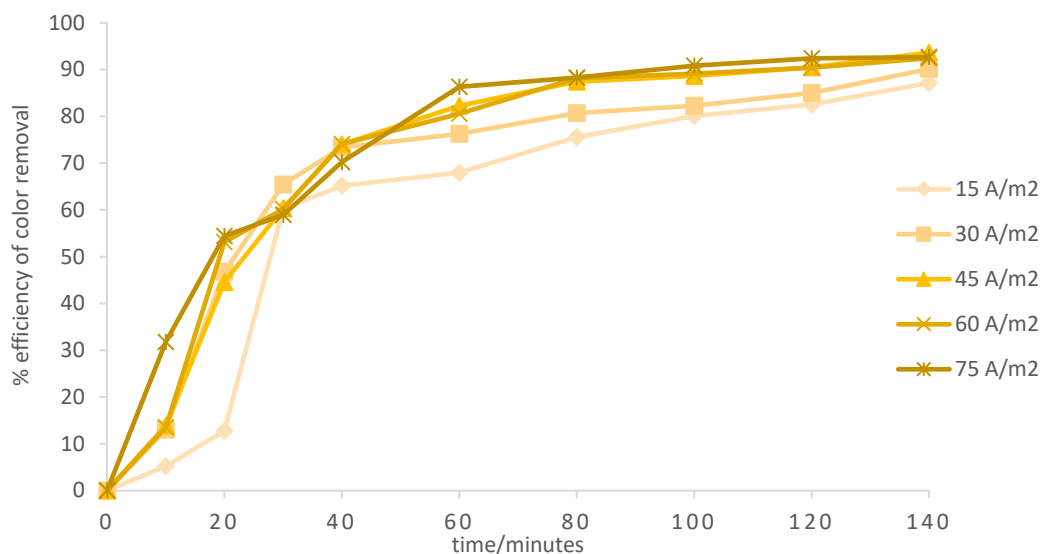
Time/minutes	15 A/m ²	30 A/m ²	45 A/m ²	60 A/m ²	75 A/m ²
0	185	185	185	185	185
10	230	130	193	213	355
20	240	145	211	233	252
30	263	198	205	293	255
40	253	145	146	284	211
60	211	153	150	203	186
80	215	165	133	211	142
100	185	176	197	184	132
120	195	195	174	159	175
140	186	174	144	142	112

4.2.2.2 สีเหลือง

4.2.2.2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลาต่างๆของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีของกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเวลา 60 นาที ประสิทธิภาพเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 82.3, 80.6 และ 86.3 ตามลำดับ ขณะที่กระแสไฟฟ้า 15 และ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ใช้ระยะเวลานาน 100 และ 80 นาที เพื่อมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 80.1 และ 80.7 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆค่ากระแสไฟฟ้าและเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เหล็กแตกตัวได้เพิ่มขึ้นทำให้รวมตัวกับอนุภาคสีได้ดีขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าในระยะเวลาบำบัดสูงขึ้นที่ 140 นาที ทุกกระแสไฟฟ้าในระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ร้อยละ 87.1, 90.1, 93.6, 92.4 และ 92.7 ตามลำดับทั้งนี้การให้กระแสไฟฟ้าในระยะเวลาเวลานานทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้นตาม ส่งผลให้เกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาไดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum et al., (2004) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กที่แตกตัวจากขั้วแคโทดแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ดีที่สุด ที่ระยะเวลา 140 นาที ซึ่งสามารถบำบัดสีได้สูงสุดร้อยละ 92.4 และ 92.7

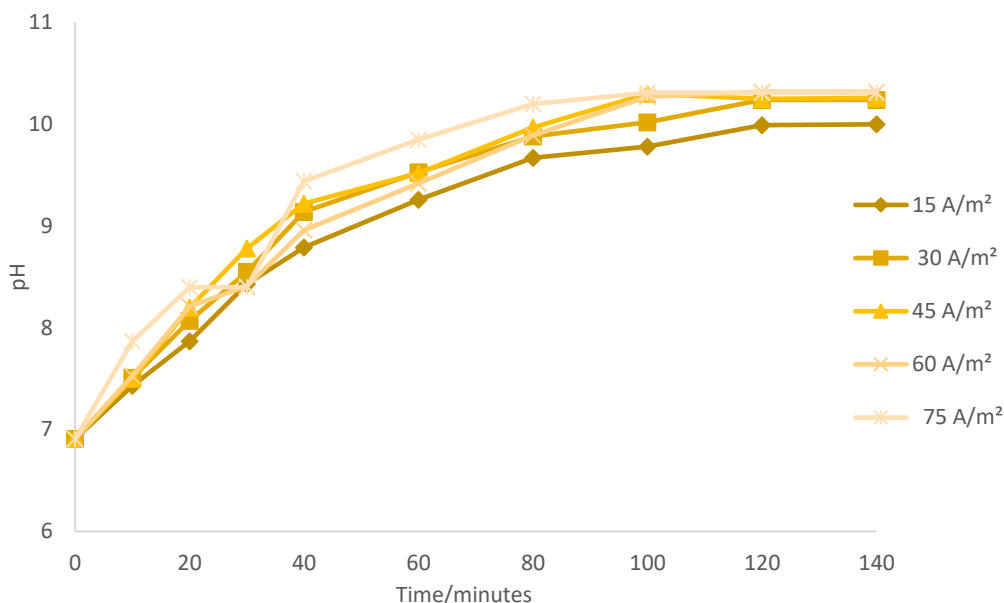




ภาพประกอบ 51 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

4.2.2.2.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของกระแสไฟฟ้าใช้เดินระบบที่ต่างกัน จะพบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง กระแสไฟฟ้า 15 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เริ่มคงที่ที่เวลา 120 นาที pH ในระบบสูงขึ้นไป 10.0 กระแสไฟฟ้าที่ 30, 45 และ 60 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 100 นาที ที่ pH 10.24, 10.25 และ 10.32 ตามลำดับ ขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร pH ในระบบคงที่ที่ 10.20 ที่เวลา 80 นาที เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำ จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) อยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยค่า pH หลังการทดลองจะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 60 นาทีเป็นต้นไป และพบว่าค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีและเริ่มคงที่อยู่ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ 60 นาทีเป็นต้นไปเมื่อเทียบกับค่า pH ที่เปลี่ยนไปแล้วจะพบว่ามีช่วงพีเอชอยู่ที่ pH 9 เป็นต้นไป และช่วงพีเอชที่ทำให้อะลูมิเนียมอยู่ในรูปของ $Al(OH)_3$ คือช่วงพีเอชตั้งแต่ 4 เป็นต้นไปค่าพีเอชที่ทำให้เกิด $Al(OH)_3$ ได้ดีคือ pH 7 เป็นต้นไป

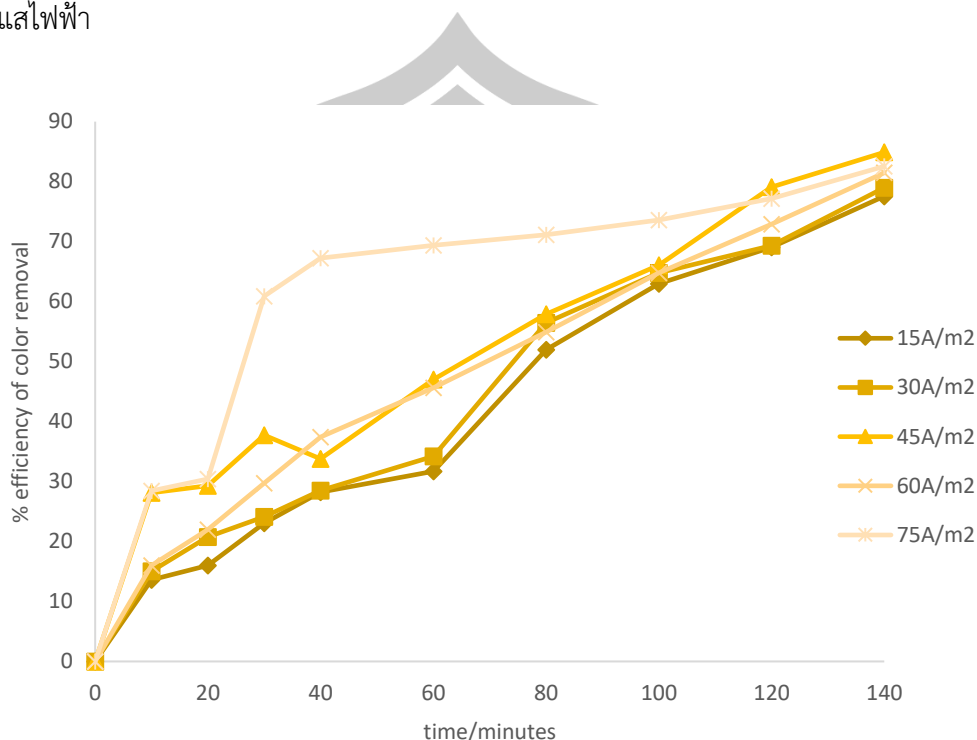


ภาพประกอบ 52 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิดสีเหลืองในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน

4.2.2.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลา เพิ่มขึ้นในทุกๆ ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าและจะเห็นได้ว่าทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ ต่อตารางเมตร จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นที่ร้อยละ 77.6 และ 78.9 ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการ บำบัดซีโอดีที่สูงกว่าที่ร้อยละ 84.9, 81.5 และ 82.6 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ขึ้นอยู่ กับปริมาณอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ตามกฎฟาราเดย์ซึ่งปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความ หนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้น ระยะเวลาบำบัดนานขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยา รีดักชันมาก ส่งผลให้เกิดฟองแก๊ส ไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในระบบ เพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น แต่ จะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตรจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดซี โอดีที่ดีที่สุดได้ร้อยละ 84.9 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพใน

การบำบัดสีและจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีโอดีจะแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 53 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

4.2.2.2.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น ปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่อง ปฏิกรณ์ Mollah et al. (2001) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน

ตารางที่ 17 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตีเหลืองที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

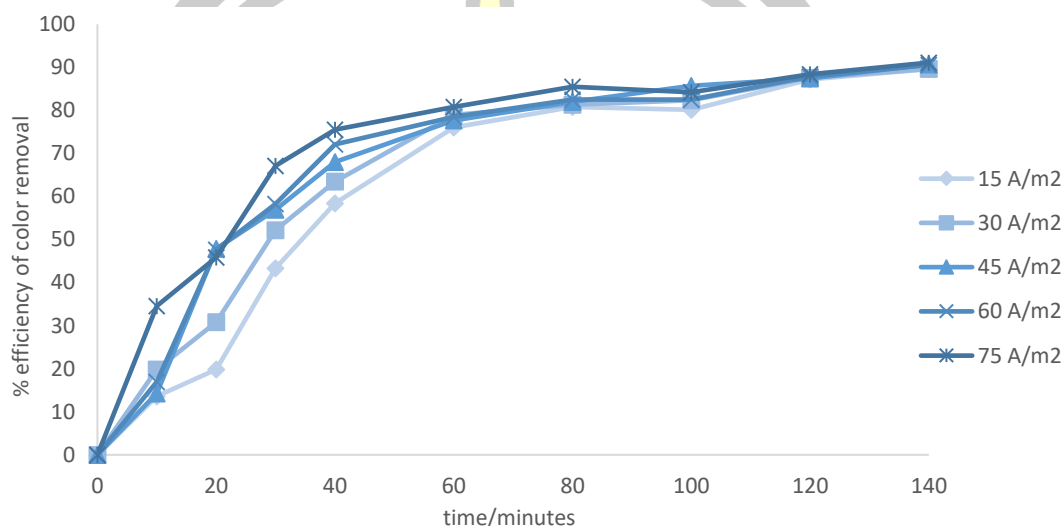
Time/minutes	15 A/m ²	30 A/m ²	45 A/m ²	60 A/m ²	75 A/m ²
0	174	174	174	174	174
10	234	165	221	214	194
20	245	211	243	223	265
30	232	223	213	218	245
40	206	175	185	225	184
60	201	146	174	221	120
80	195	189	193	196	126
100	175	190	189	184	156
120	165	186	162	152	142
140	153	163	132	133	129

4.2.2.3 สิ้นน้ำเงิน

4.2.2.3.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลาต่างๆของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีของกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45 และ 60 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเวลา 80 นาที ประสิทธิภาพเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 80.8, 81.3, 82.0 และ 82.5 ขณะที่กระแสไฟฟ้า 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ใช้ระยะเวลาเพียง 60 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 80.8 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆค่ากระแสไฟฟ้าและเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เหล็กแตกตัวได้เพิ่มขึ้นทำให้รวมตัวกับอนุภาคสีได้ดีขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าในระยะเวลาบำบัดสูงขึ้นที่ 140 นาที ทุกกระแสไฟฟ้าในระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ร้อยละ 89.6, 89.6, 90.7, 90.5 และ 91.1 ตามลำดับทั้งนี้การให้กระแสไฟฟ้าในระยะเวลาานานทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้นตาม ส่งผลให้เกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum et al., 2004),

Khataee, Zarei, Dehghan, Ebadi, & Pourhassan, (2011) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กที่แตกตัวจากขั้วแคโทดแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ดีที่สุดที่ระยะเวลา 140 นาที ซึ่งสามารถบำบัดสีได้สูงสุดร้อยละ 91.1

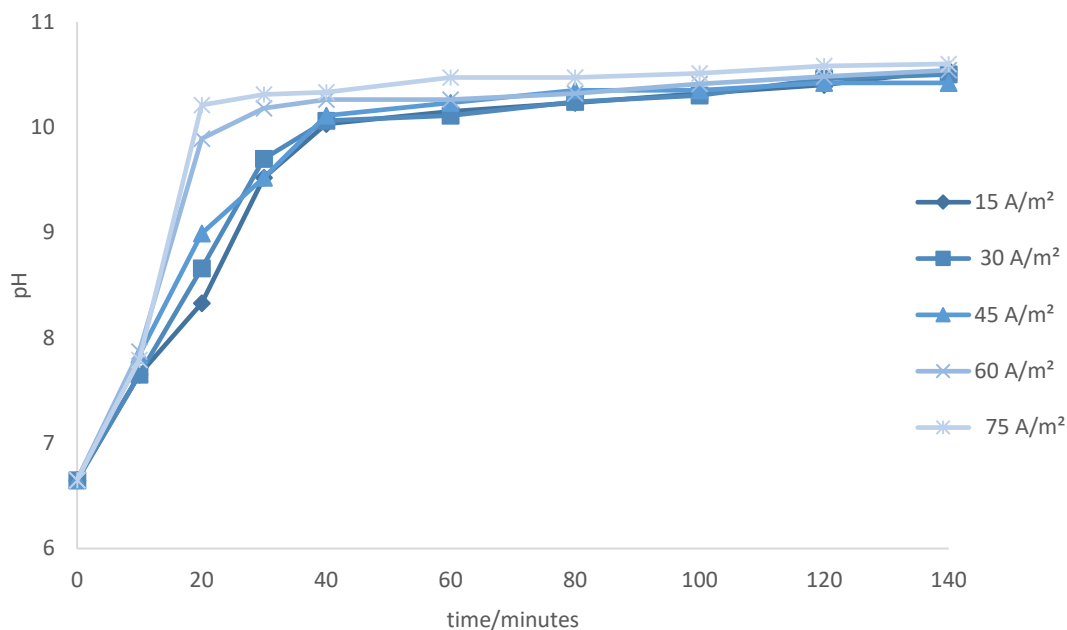


ภาพประกอบ 54 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

4.2.2.3.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อเดินระบบบำบัดที่กระแสไฟฟ้าต่างกัน pH ในระบบค่อยๆ สูงเพิ่มขึ้น พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ 15, 30 และ 40 แอมแปร์ต่อตารางเมตร pH ในระบบเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 40 นาที ที่ช่วง pH 10.0-10.1 และกระแสไฟฟ้าที่ 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร pH เริ่มคงที่ที่ 10.2 ที่ระยะเวลา 20-30 นาที เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของกระแสไฟฟ้าในระบบที่ต่างกันต่างกันจะพบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ แต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) อยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยค่า pH หลังการทดลองจะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 60 นาทีเป็นต้นไป และพบว่าค่า

pH ที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีและเริ่มคงที่อยู่ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ 60 นาทีเป็นต้นไปเมื่อเทียบกับค่า pH ที่เปลี่ยนไปแล้วจะพบว่าในช่วงพีเอชอยู่ที่ pH 9 เป็นต้นไป และช่วงพีเอชที่ทำให้อะลูมิเนียมอยู่ในรูปของ $Al(OH)_3$ คือ ช่วงพีเอชตั้งแต่ 4 เป็นต้นไปค่าพีเอชที่ทำให้เกิด $Al(OH)_3$ ได้ดีคือ pH 7 เป็นต้นไป

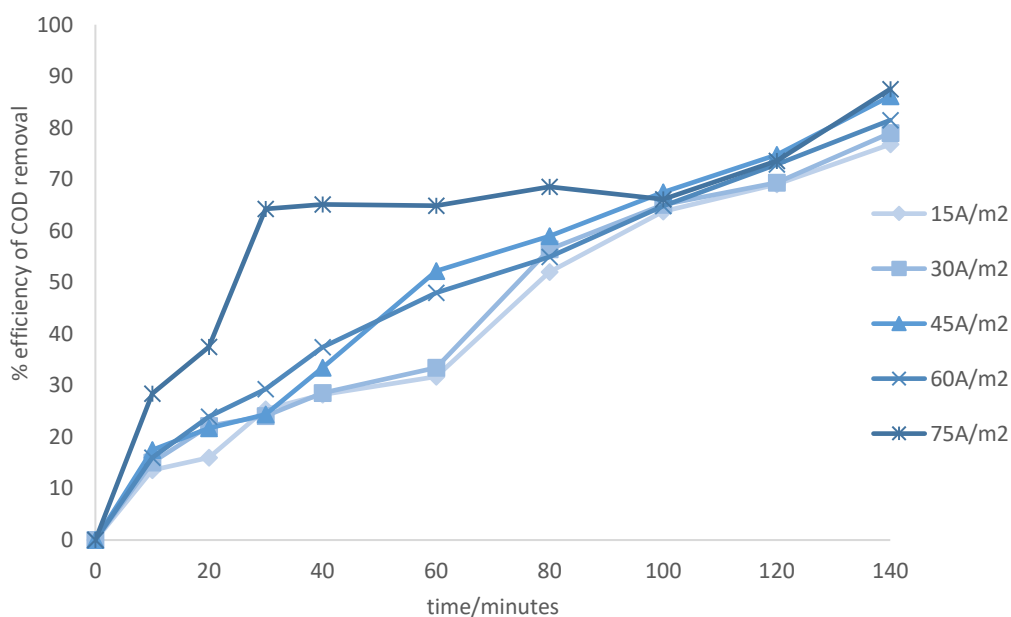


ภาพประกอบ 55 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอสิดสีน้ำเงินในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน

4.2.2.3.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลา เพิ่มขึ้นในทุกๆ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและจะเห็นว่าทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นที่ร้อยละ 77.0 และ 79.0 ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่สูงกว่าที่ร้อยละ 86.1, 81.5 และ 88.0 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ขึ้นอยู่กับปริมาณอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ตามกฎฟาราเดย์ซึ่งปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้น ระยะเวลาบำบัดนานขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยา

รีดักชันมาก ส่งผลให้เกิดฟองแก๊ส ไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาไดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น แต่จะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ดีที่สุดได้ร้อยละ 88.0 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีและจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 56 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิดสีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

4.2.2.3.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น ปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่อง ปฏิกรณ์ Mollah et al., (2001) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นต่างกันเมื่อเทียบกับเวลาพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกันแบบหลวม (Sweep Floc)ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำโดย

ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน

ตารางที่ 18 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตีน้ำเงินที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

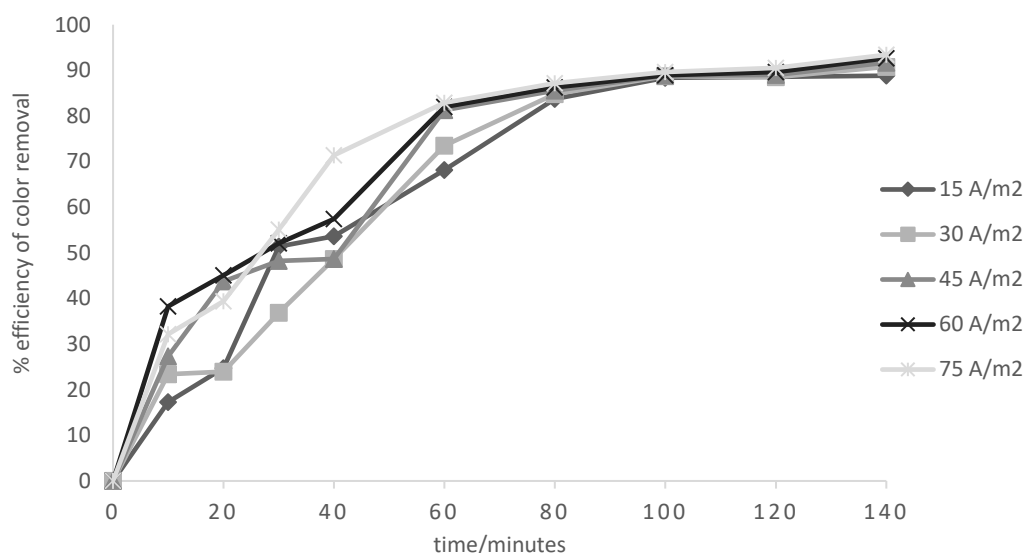
Time/minutes	15 A/m ²	30 A/m ²	45 A/m ²	60 A/m ²	75 A/m ²
0	182	182	182	182	182
10	233	211	198	253	221
20	227	214	231	274	135
30	211	196	211	185	258
40	209	185	203	163	142
60	213	215	235	195	131
80	179	211	210	168	102
100	177	175	175	153	143
120	157	168	143	138	132
140	135	145	120	122	119

4.2.2.4 สีดำ

4.2.2.4.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

ความสามารถในการบำบัดสี พิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาต่างๆของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15, 30, 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีของกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลา 60 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดสีเข้าสู่จุดสมดุลร้อยละ 81.3, 81.9 และ 82.9 ขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ต่อตารางเมตรนั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 83.7 และ 84.8 ที่ระยะเวลา 80 นาที ทั้งนี้ทุกความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 88.8, 90.8, 91.7 92.7 และ 93.4 ตามลำดับ เห็นได้ว่าเมื่อเดินระบบบำบัดประสิทธิภาพการบำบัดสีค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาที่ 60 นาทีเป็นต้นไป ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆค่ากระแสไฟฟ้าและเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อะลูมิเนียมแตกตัวได้เพิ่มขึ้นทำให้รวมตัวกับอนุภาคสีได้ดีขึ้น

สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรง กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าในระบบสูงขึ้นระยะเวลาบำบัดสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้นตาม ส่งผลให้เกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาไดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น Adhoum N., and Monser, (2004) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กที่แตกตัวจากขั้วแคโทดแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุด ที่ระยะเวลา 140 นาที ซึ่งสามารถบำบัดสีได้สูงสุดร้อยละ 92.7 และ 93.4 ตามลำดับ

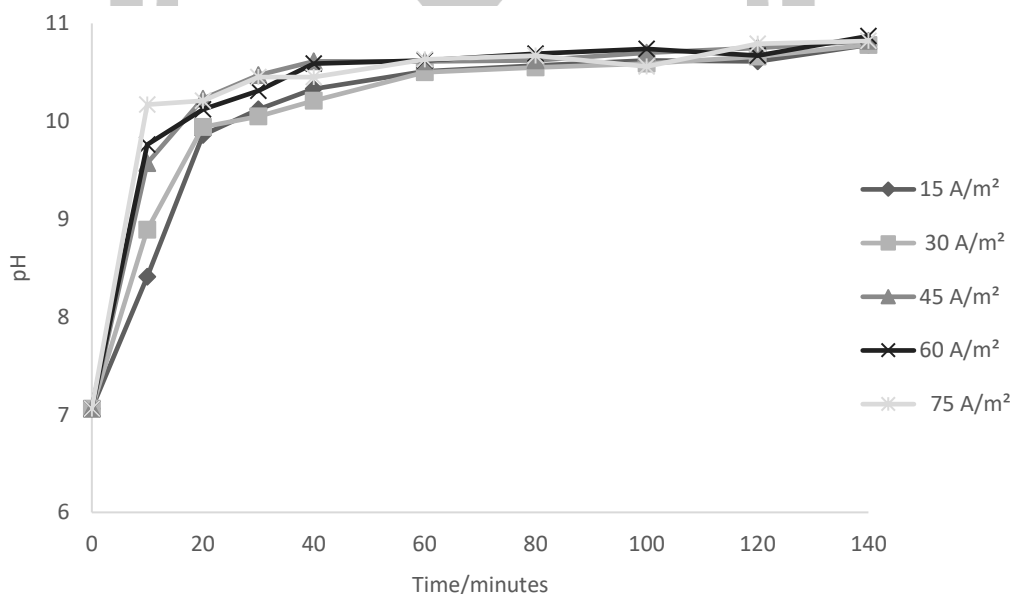


ภาพประกอบ 57 ประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดสีดำที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้โซลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

4.2.2.4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อเดินระบบบำบัดที่กระแสไฟฟ้าต่างกัน pH ในระบบค่อยๆ สูงเพิ่มขึ้น พบว่า กระแสไฟฟ้าที่ 15, 30 และ 40 แอมแปร์ต่อตารางเมตร pH ในระบบเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 80-60 นาที ที่ช่วง pH 10.0-10.1 และกระแสไฟฟ้าที่ 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร pH เริ่มคงที่ที่ 10.0-10.2 ที่ระยะเวลา 20-30 นาที เมื่อพิจารณา ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของกระแสไฟฟ้าในระบบที่ต่างกันต่างกันจะพบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนั้นค่า pH จะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งผลจากการแตกตัวของน้ำจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมี

ความเป็นต่างเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆแต่จะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และ อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) อยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ซึ่งส่งผลให้ค่า pH คงที่ที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยค่า pH หลังการทดลองจะเริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 60 นาทีเป็นต้นไป และพบว่าค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีและเริ่มคงที่ที่อยู่ระหว่างช่วงระยะเวลาที่ 60 นาทีเป็นต้นไปเมื่อเทียบกับค่า pH ที่เปลี่ยนไปแล้วจะพบว่ามีช่วงพีเอชอยู่ที่ pH 9 เป็นต้นไป และช่วงพีเอชที่ทำให้อะลูมิเนียมอยู่ในรูปของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ คือ ช่วงพีเอชตั้งแต่ 4 เป็นต้นไปค่าพีเอชที่ทำให้เกิด $\text{Al}(\text{OH})_3$ ได้ดีคือ pH 7 เป็นต้นไป

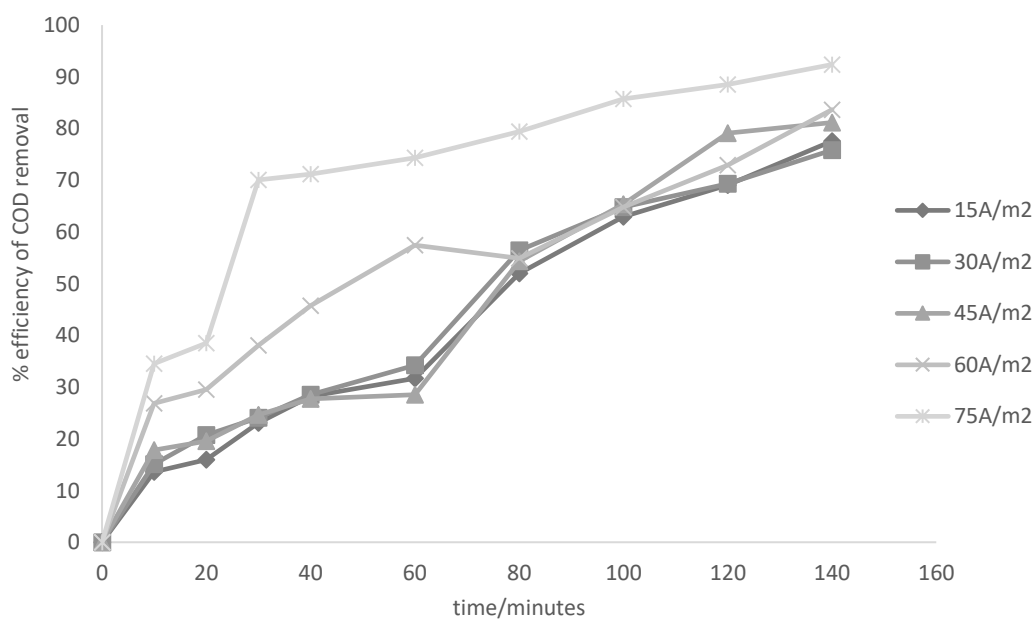


ภาพประกอบ 58 ค่าของ pH น้ำเสียสีย้อมแอซิดสีดาในระบบที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกัน

4.2.2.4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

ความสามารถในการบำบัดซีโอดี พิจารณาได้จากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง โดยสามารถแสดงในรูปของความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลา เพิ่มขึ้นในทุกๆความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าและจะเห็นได้ว่าทุกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 30 แอมแปร์ ต่อตารางเมตร จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นที่ร้อยละ 78.0 และ 76.0

ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 45, 60 และ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่สูงกว่าที่ร้อยละ 81.1, 83.7 และ 92.4 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด COD ขึ้นอยู่กับปริมาณเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ตามกฎฟาราเดย์ซึ่งปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรงกับ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้น ระยะเวลาบำบัดนานขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมาก ส่งผลให้เกิดฟองแก๊ส ไฮโดรเจนมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาไดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น แต่จะพบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ดีที่สุดได้ร้อยละ 92.4 ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดสีและจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 59 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของสีแอสิตสีดำที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

4.2.2.4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น ปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยา ในเครื่อง ปฏิกรณ์ Mollah et al., (2001) ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสามารถแสดงได้ในรูปของ ของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นที่และเหลืออยู่ในน้ำ หลังการบำบัดที่กระแสไฟฟ้าต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการบำบัด

โดยในช่วงระยะแรกจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นจะเริ่มมีค่าลดลงในช่วง และเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลง เนื่องจาก การเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคสีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาค คอลลอยด์ทำให้เกิดเป็นผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับและรวมตัวกันเป็นตะกอนที่จับตัวกัน แบบหลวม (Sweep Flocc) ทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยในน้ำสูงขึ้น และเมื่อตะกอนลอยขึ้นสู่น้ำโดย ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีปริมาณที่ ลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองดังผลการทดลองที่แสดงใน

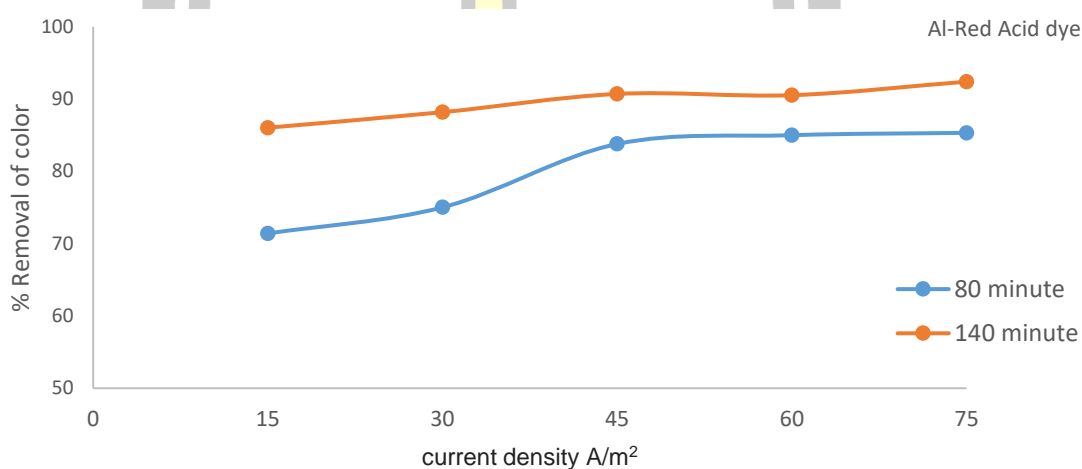
ตารางที่ 19 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียแอสิตส์ดำที่กระแสไฟฟ้าต่างกันโดยใช้ อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

Time/minutes	15 A/m ²	30 A/m ²	45 A/m ²	60 A/m ²	75 A/m ²
0	192	192	192	192	192
10	189	149	223	178	197
20	208	140	243	184	233
30	244	187	211	233	264
40	247	145	148	251	168
60	233	133	152	196	174
80	194	125	134	214	136
100	178	110	187	231	172
120	103	183	166	153	130
140	114	176	142	132	118

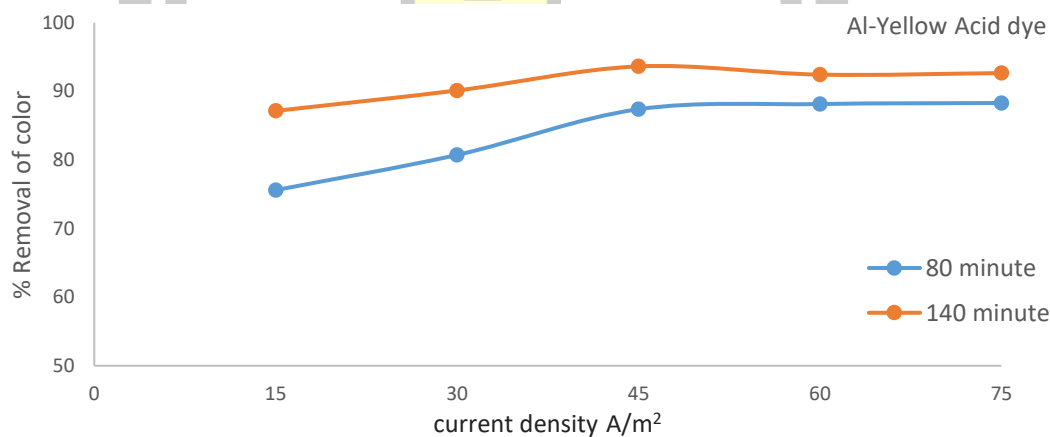
4.2.3 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียแอสิตส์ดำต่างกันโดยกระบวนการ ตกตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

การบำบัดน้ำเสียแอสิตส์แดง กรณีใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าสภาวะที่เหมาะสม ในการบำบัดน้ำเสียแอสิตส์แดง pH เริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีแดงคือ pH จริงของน้ำเสียแอสิตส์แดง เท่ากับ pH 5.7 เนื่องจากเมื่อเดินระบบ pH เริ่มต้นในทุกช่วงเมื่อเดินระบบ pH ในระบบจะ ค่อยๆสูงขึ้น และจากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 จนสิ้นสุดการบำบัด และเมื่อเดินระบบบำบัด เพียงพอจะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดให้ประสิทธิภาพการที่สูง กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเดิน ระบบคือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 A/m² ที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที ให้

ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 92.4 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีเหลือง กรณีใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีเหลือง pH เริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีเหลืองคือ pH จริงของน้ำเสียสีแอสิดสีเหลือง เท่ากับ pH 5.7 เนื่องจากเมื่อเดินระบบpHเริ่มต้นในทุกช่วงเมื่อเดินระบบpHในระบบจะค่อยๆสูงขึ้น และจากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงpH 10-11 จนสิ้นสุดการบำบัด และเมื่อเดินระบบบำบัดเพียงพอก็จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดให้ประสิทธิภาพการที่สูง กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเดินระบบคือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 A/m² ที่ระยะเวลาการบำบัด 140นาที ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 92.7

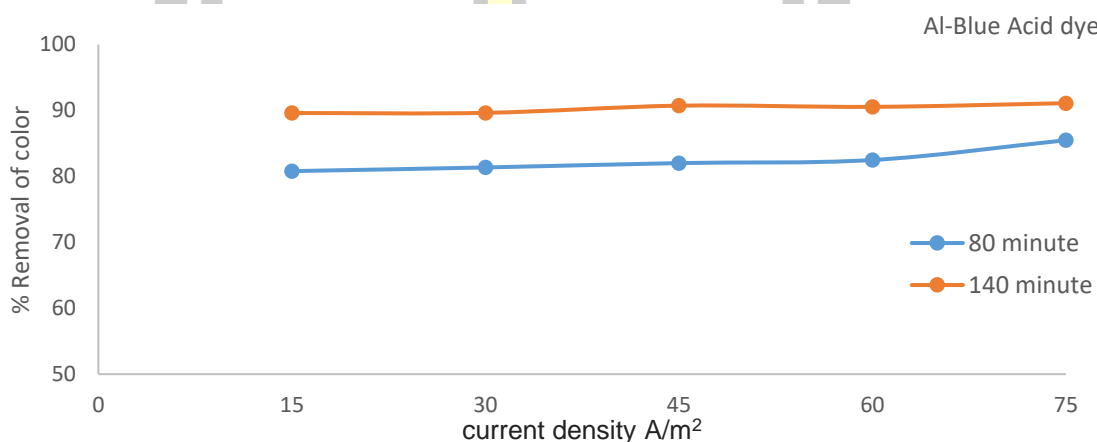


ภาพประกอบ 60 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีแดงใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า



ภาพประกอบ 61 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีเหลืองใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

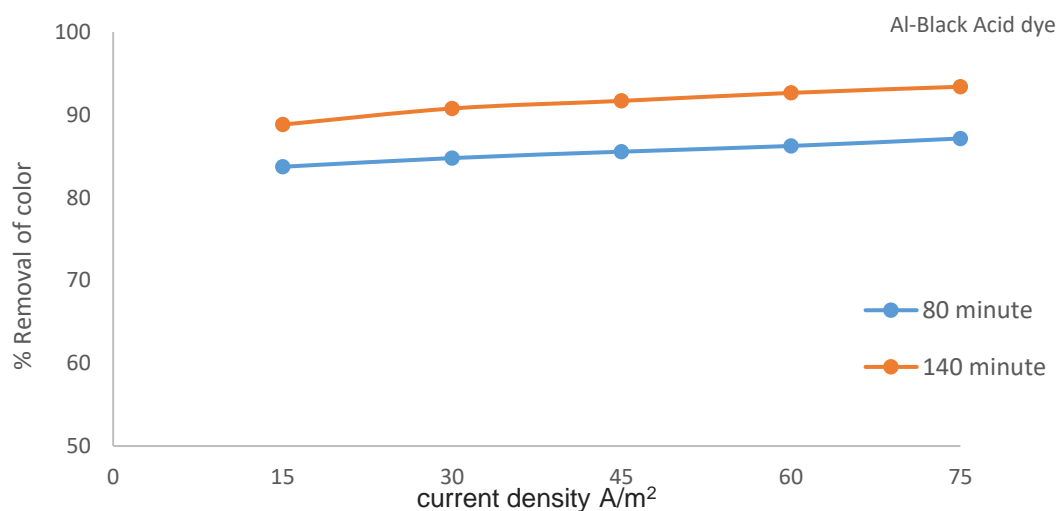
สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีน้ำเงินกรณีใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีน้ำเงิน pH เริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีน้ำเงินคือ pH จริงของน้ำเสียสีแอสิดสีเหลือง เท่ากับ pH 5.7 เนื่องจากเมื่อเดินระบบ pH เริ่มต้นในทุกช่วง เมื่อเดินระบบ pH ในระบบจะค่อยๆ สูงขึ้น และจากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 จนสิ้นสุดการบำบัด และเมื่อเดินระบบบำบัดเพียงพอ จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูง กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเดินระบบคือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 A/m^2 ที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 91.1



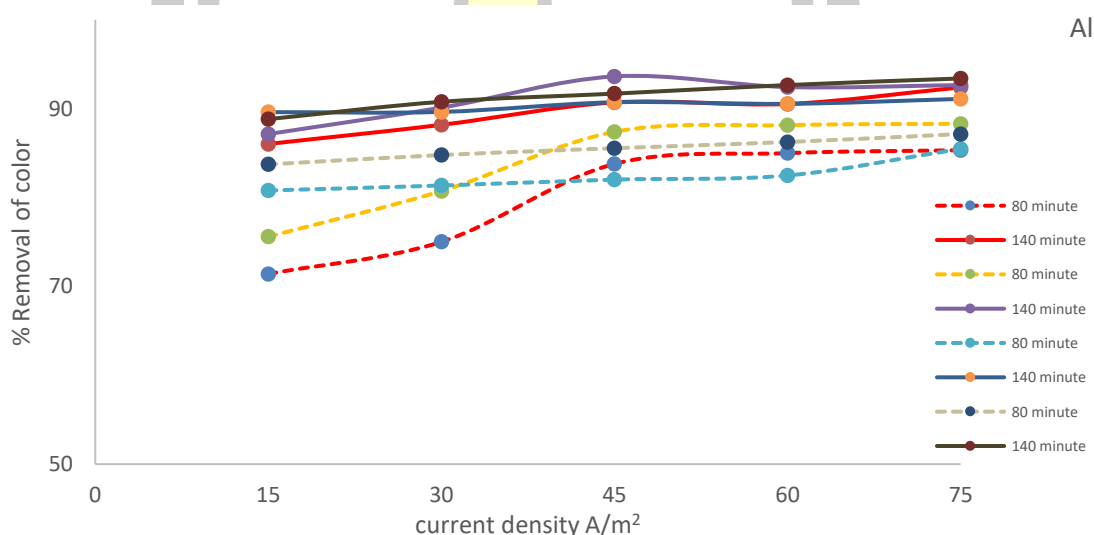
ภาพประกอบ 62 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีน้ำเงินใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีดำ กรณีใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีดำ pH เริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีดำคือ pH จริงของน้ำเสียสีแอสิดสีดำ เท่ากับ pH 5.7 เนื่องจากเมื่อเดินระบบ pH เริ่มต้นในทุกช่วงเมื่อเดินระบบ pH ในระบบจะค่อยๆ สูงขึ้น และจากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วง pH 10-11 จนสิ้นสุดการบำบัด และเมื่อเดินระบบบำบัดเพียงพอจะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูง กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเดินระบบคือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 A/m^2 ที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึงร้อยละ 93.4

พหุ ประถม โท ชีวะ



ภาพประกอบ 63 สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดสีดำใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า



ภาพประกอบ 64 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเฉดสีต่างกันที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิดแต่ละเฉดสีที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าสีแต่ละเฉด มีประสิทธิภาพการบำบัดจับกลุ่มในช่วงเดียวกัน แม้ว่าสีแดงและสีเหลืองในช่วงระยะแรกจะมีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่าสีน้ำเงินและสีเหลือง แต่เมื่อระยะเวลาการบำบัดสูงขึ้นกลับมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ใกล้เคียงกัน จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีแอสิดโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้เหล็กและอะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า เมื่อเดินระบบบำบัดได้ในระยะเวลา 60 นาที พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีในทุกสีเริ่มสูงขึ้นเข้าสู่สภาวะจุดสมดุล ที่ร้อยละ 80 ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอได้นั้นสามารถบำบัดเพียงร้อยละ 50 ที่มีความแตกต่างกันถึง 30 %

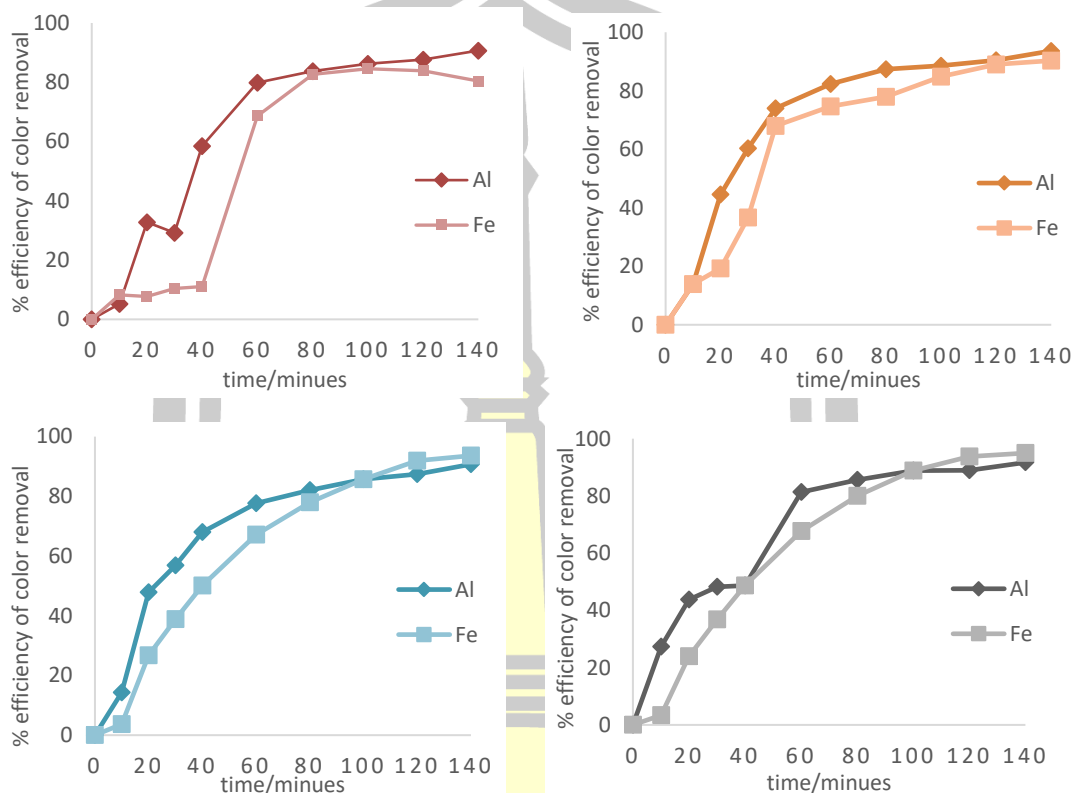
เนื่องจากในส่วประกอบของสีไม่ได้มีแค่เม็ดสีแต่ยังมีสารอื่นๆที่มีส่วนช่วยในการย้อมสี ได้แก่ สารเคมีช่วยการติดสี สารเคลือบสีคงทน และอื่นๆ ที่ปนอยู่ในน้ำเสียสี ซึ่งสารประกอบบางชนิดในสีย้อมไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีและสภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้ ทั้งนี้มีสารบางตัวที่สามารถทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์กับสี ทำให้เกิดสารชนิดอื่นคงอยู่ในรูปของค่าซีไอดี ในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่ามีมลสารตกค้างหลังการบำบัด (ธัญดา, 2559) สารซีไอดีนั้นๆสามารถบำบัดได้ยากกว่าสีในระบบจึงแสดงให้เห็นดังผลการทดลอง ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีค่อยๆสูงขึ้นเมื่อเวลาเดินระบบผ่านไป แต่ค่าซีไอดียังคงหลงเหลืออยู่ในระบบ ทำให้การบำบัดซีไอดีนั้นบำบัดได้ยากกว่าการบำบัดสีซึ่งเห็นได้จากความแตกต่างกันของประสิทธิภาพในการบำบัดที่ระยะเวลาเท่ากัน ทั้งนี้เมื่อเดินระบบบำบัดผ่านไปที่ระยะเวลา 140 นาที จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีสามารถบำบัดได้สูงถึงร้อยละ 90-97 และประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีในระบบสามารถบำบัดได้สูงถึงร้อยละ 80-89 ทั้งนี้ค่าซีไอดีสามารถบำบัดได้ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าการบำบัดซีไอดีนั้นสามารถบำบัดได้ยากและต้องใช้ระยะเวลานานกว่าการบำบัดสีเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีขึ้น

4.3 เปรียบเทียบชนิดขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

4.3.1 ชนิดขั้วไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสี

การศึกษาผลของชนิดขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมที่ใช้ในระบบการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตสีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงิน และสีดำ ผลของประสิทธิภาพการบำบัดสีแอสิตที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมในระบบ พบว่าการบำบัดสีแอสิตสีแดงประสิทธิภาพการบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 80 ที่ระยะเวลา 60 นาที ประสิทธิภาพการบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กที่ระยะเวลา 60 นาทีมีประสิทธิภาพการบำบัดสีแดงที่ร้อยละ 69 และเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 83 ที่ระยะเวลา 80 นาที การบำบัดสีแอสิตสีเหลืองประสิทธิภาพการบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 82 ที่เวลา 60 นาที ประสิทธิภาพการบำบัดสีที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กที่ระยะเวลา 60 นาทีมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 73 และมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 85 ระยะเวลา 100 นาที การบำบัดสีแอสิตสีนํ้าเงินประสิทธิภาพการบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมเข้าสู่จุดสมดุลร้อยละ 82 ที่ระยะเวลา 80 นาที ในขณะที่การบำบัดสีที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กที่เวลา 80 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 78 และเข้าสู่จุดสมดุลที่ระยะเวลา 100 นาทีที่ร้อยละ 86 การบำบัดสีแอสิตสีดำประสิทธิภาพการบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 60 นาที ที่มี

ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 81 ขณะเดียวกันการบำบัดที่ใช้ขี้ไฟฟ้าเหล็กมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 68 และเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 80 ที่ระยะเวลา 80 นาที



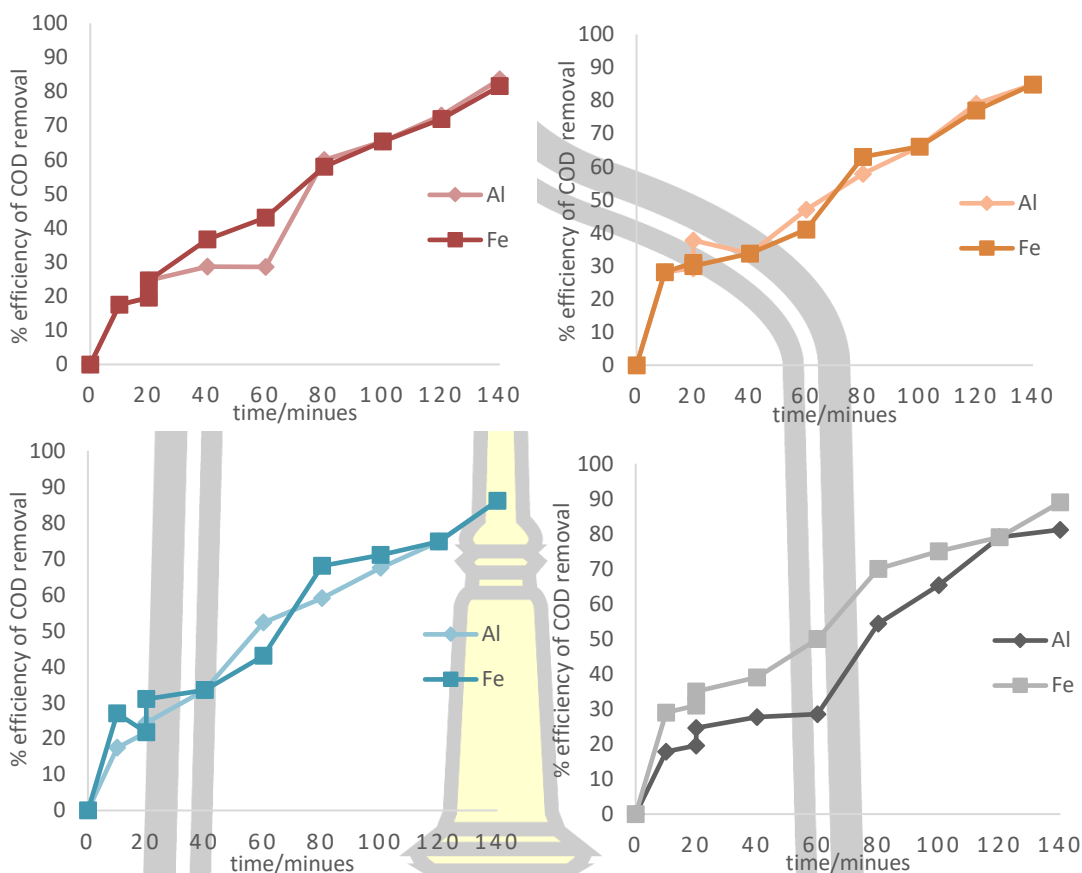
ภาพประกอบ 65 เปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพการบำบัดสีที่ขี้ไฟฟ้าเหล็กและอะลูมิเนียม

จากผลการทดลองพบว่าระบบบำบัดที่ใช้ขี้ไฟฟ้าอะลูมิเนียมและที่ใช้ขี้ไฟฟ้าเหล็ก มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และระบบที่ใช้ขี้ไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการบำบัดสีเข้าสู่จุดสมดุลในระยะเวลาที่ช่วง 60-80 นาที เร็วกว่าขี้ไฟฟ้าเหล็กที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสีเข้าสู่จุดสมดุลที่ช่วงเวลา 80-100 นาที เนื่องจากระบบที่ใช้ขี้ไฟฟ้าเหล็กจะเกิดสารรวมตะกอนเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ และระบบที่ใช้ขี้ไฟฟ้าอะลูมิเนียมจะเกิดสารรวมตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ขึ้น ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการยึดจับสารรวมตะกอนกับเม็ดสีได้แตกต่างกัน

4.3.2 ชนิดของขั้วไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอติ

จากการศึกษาผลของประสิทธิภาพการบำบัดซีโอติในระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กและระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมในการบำบัดสีแอสดี พบว่าการบำบัดซีโอติของสีแอสดีสีแดงที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม มีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 84 ที่ระยะเวลาการบำบัด 140 นาที ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอติที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กเข้าสู่จุดสมดุลที่ร้อยละ 82 ที่เวลา 140 นาที การบำบัดซีโอติของสีแอสดีสีเหลืองที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมและขั้วไฟฟ้าเหล็กมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติเข้าสู่จุดสมดุลร้อยละ 85 ที่ระยะเวลา 140 นาที ในขณะที่การบำบัดซีโอติของสีแอสดีสีน้ำเงินที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กและอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพเข้าสู่จุดสมดุลเท่ากันที่ร้อยละ 86 และการบำบัดซีโอติของสีแอสดีสีดำที่ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลสูงถึงร้อยละ 89 ที่เวลา 140 นาที และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอติของสีแอสดีสีดำที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 140 นาทีที่ร้อยละ 81 ทั้งนี้จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอติของสีแอสดีสีแดง สีเหลือง สีน้ำเงินและสีดำ ที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมและขั้วไฟฟ้าเหล็ก เห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอติในระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมนั้น การบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลได้เร็วกว่าการบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก เนื่องจากการบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมในระบบเกิดสารรวมตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และการบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กเกิดสารรวมตะกอนเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์และเพอริกไฮดรอกไซด์ การบำบัดน้ำเสียที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมและใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กทั้ง 2 แบบ เกิดสารรวมตะกอนต่างชนิดกันทำให้เกิดประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลต่างกัน สารรวมตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการยึดจับได้เร็วกว่าเห็นได้จากผลของประสิทธิภาพการบำบัดสีดังภาพประกอบ 63





ภาพประกอบ 66 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ขั้วไฟฟ้าต่างกัน ขั้วอะลูมิเนียมและขั้วเหล็ก

4.4 การศึกษาผลของชนิดสื่อต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียซีโอดีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

การทดลอง พบว่าความสามารถในการบำบัดซีโอดีพิจารณาได้จากค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กในการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลง่ายๆ 84 ที่ระยะเวลา 80 นาที ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมเข้าสู่จุดสมดุลง่ายๆ 84 ที่ระยะเวลา 60 นาที การบำบัดซีโอดีเหล็กมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กและอะลูมิเนียมที่ร้อยละ 87 โดยขั้วไฟฟ้าเหล็กเข้าสู่จุดสมดุลง่ายๆ 40 นาที และขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่เวลา 60 นาที การบำบัดซีโอดีน้ำเงินที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลง่ายๆ 40 นาที ที่ร้อยละ 86 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีน้ำเงินที่ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลง่ายๆ 81 ที่ระยะเวลา 81 นาที การบำบัดซีโอดีดำที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลง่ายๆ 89 ที่ระยะเวลา 40 นาที ขณะที่การใช้ขั้วอะลูมิเนียม

เป็นขั้วไฟฟ้าในการบำบัดมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลง่ายที่ร้อยละ 83 ที่ระยะเวลาการบำบัด 60 นาที แสดงในตารางที่ 20

จากผลการศึกษาสีดำ สีน้ำเงินและสีเหลือง มีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีที่ 60 นาที ในระบบที่ใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ในขณะที่สีแดงบำบัดได้ยากต้องใช้ระยะเวลาในการบำบัดสูงถึง 80 นาที เนื่องจากสารรวมตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์และเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ที่เกิดในระบบสามารถยึดจับสีดำ สีน้ำเงิน สีเหลืองได้ดี และบำบัดสีแดงได้ยาก ในขณะที่ สีเหลืองสีแดงสีดำและสีน้ำเงิน มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ใกล้เคียงกันในระบบที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า เนื่องจากสารรวมตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดในระบบสามารถยึดจับสีแดงสีเหลือง สีน้ำเงินและสีดำได้ดีใกล้เคียงกัน สีแอสิตแต่ละสีมีหมู่ฟังก์ชันนอล ลักษณะโครงสร้างทางเคมีและขนาดโมเลกุลที่แตกต่าง ส่งผลให้การยึดติดกับสารรวมตะกอนในระบบ ถูกกำจัดออกจากระบบในรูปของสารแขวนลอยได้ช้าหรือเร็ว จากโครงสร้างทางเคมีพบว่าสีแดงและสีเหลืองมีหมู่ฟังก์ชันนอลที่สามารถละลายน้ำได้ 2 หมู่ สีน้ำเงินพบหมู่ฟังก์ชันนอลที่ละลายน้ำได้ 3 หมู่ มีลักษณะโครงสร้างของกิ่งมากกว่าสีแดงสีเหลือง และสีดำจากโครงสร้างทางเคมีพบว่ามีลักษณะกิ่งที่ใกล้เคียงกับสีน้ำเงินแต่มีหมู่ฟังก์ชันนอลที่สามารถละลายน้ำได้ 4 หมู่ สีดำมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาการรวมตะกอนในระบบของน้ำเสียสีได้มากกว่าสีอื่น

ตารางที่ 20 การศึกษาผลของชนิดสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดสีของน้ำเสียสีแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

Acid dye	electrode	electric current	Time	% Efficiency of color removal
Red	Fe	75	80	84
	Al	75	60	84
Yellow	Fe	75	40	87
	Al	75	60	87
Blue	Fe	75	40	86
	Al	75	60	81
Black	Fe	75	40	89
	Al	75	60	83

การศึกษาผลของชนิดสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีแอสิดสีแดง สีเหลือง สีนํ้าเงินและสีดำ ที่ขั้วไฟฟ้าต่างกันขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม พิจารณาได้จากประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีที่ลดลงสอดคล้องกับปริมาณซีไอดีที่ถูกกำจัดออกไปในระบบที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีของสีแอสิดสีแดงที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กและอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเข้าสู่จุดสมมูลร้อยละ 83 ที่ระยะเวลา 140 นาที ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 45แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเดียวกันประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีสีเหลืองที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเข้าสู่สภาวะจุดสมมูลร้อยละ 85 ที่ระยะเวลา 140 นาที การบำบัดสีนํ้าเงินมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเข้าสู่สภาวะจุดสมมูลร้อยละ 88 ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลา 140 นาที ในขณะที่ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเข้าสู่สภาวะจุดสมมูลที่ร้อยละ 86 และการบำบัดสีดำที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเข้าสู่สภาวะจุดสมมูลร้อยละ 92 ที่ระยะเวลา 140 นาที ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 การศึกษาผลของชนิดสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของน้ำเสียสีแอสิดโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

Acid dye	electrode	electric current	Time	% Efficiency of COD removal
Red	Fe	45	140	83
	Al	45	140	83
Yellow	Fe	45	140	85
	Al	45	140	85
Blue	Fe	75	140	88
	Al	45	140	86
Black	Fe	75	140	92
	Al	75	140	92

จากผลการศึกษามูลของชนิดสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่แสดงข้อมูลดังตารางที่ 21 พบว่าสีแดงและสีเหลืองมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอทีได้ดีในระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กและขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 45 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาเท่ากัน ในขณะที่สีน้ำเงินและสีดำต้องใช้กระแสไฟฟ้าในระบบบำบัดที่สูงกว่า เนื่องจากในสีแอสิตไม่ได้มีเฉพาะเม็ดสี ยังมีสารช่วยในการย้อมติดสี สีแดงและสีเหลืองอาจมีสารที่ใช้ย้อมในปริมาณที่น้อยกว่าสีดำและสีน้ำเงิน ทำให้สีดำและสีน้ำเงินบำบัดซีโอทีได้ยากจึงใช้กระแสไฟฟ้าในการบำบัดที่สูงกว่าเพื่อช่วยให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดี



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในสภาวะการเดินระบบบำบัดนี้ พบว่าระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กทุกช่วงพีเอชเริ่มต้นที่ 5-9 ค่าพีเอชของระบบจะเพิ่มขึ้นและคงที่ในช่วง 10-11 ขณะที่ระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นและคงที่ในช่วง 10-10.5 และเมื่อเดินระบบบำบัดน้ำเสียสัปดาห์เป็นระยะเวลาานานเพียงพอจะมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน ดังนั้นพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก และระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมในการบำบัดสามารถใช้พีเอชจริงของน้ำเสียคือ สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงินและสีดำ มีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.7, 6.9, 6.6 และ 7 ตามลำดับ

5.1.2 กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดน้ำเสีย คือความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระบบสูง ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นตาม เมื่อนำไปใช้กับน้ำเสียในระบบบำบัดที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กพบว่าให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 95 และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ร้อยละ 89 ที่ และในระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงที่ร้อยละ 97 และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ร้อยละ 89

5.1.3 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบที่เหมาะสมต่อสภาวะการบำบัดน้ำเสียสีแอสิด คือระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม เนื่องจากการใช้กระแสไฟฟ้าในระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก และอะลูมิเนียมใช้กระแสไฟฟ้าในระบบเท่ากัน ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 75 แอมแปร์ต่อตารางเมตร โดยที่ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพในการบำบัดเข้าสู่จุดสมดุลในระยะเวลาที่เร็วกว่าระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก

5.1.4 เกรดสีของสีแอสิดมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กในการบำบัดน้ำเสียแอสิดสีดำ สีน้ำเงิน และสีเหลือง ที่กระแสไฟฟ้าเดียวกันมีประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ดีกว่าในระยะเวลาเท่ากัน ในขณะที่สีแดงใช้เวลาในการบำบัดที่มากกว่า และระบบที่ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม การบำบัดสีเหลือง สีดำ และสีน้ำเงินประสิทธิภาพการบำบัดเข้าสู่สภาวะสมดุลเร็วกว่าสีแดง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสี มีลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลเป็นกึ่งก้านต่างกัน มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันนอลและระยะห่างของหมู่ฟังก์ชันนอลที่ถูกดูดติดกับสารรวมตะกอนต่างกัน ทำให้สีแอสิดแต่ละเฉดสีมีประสิทธิภาพในการบำบัดใช้ระยะเวลาไม่เท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

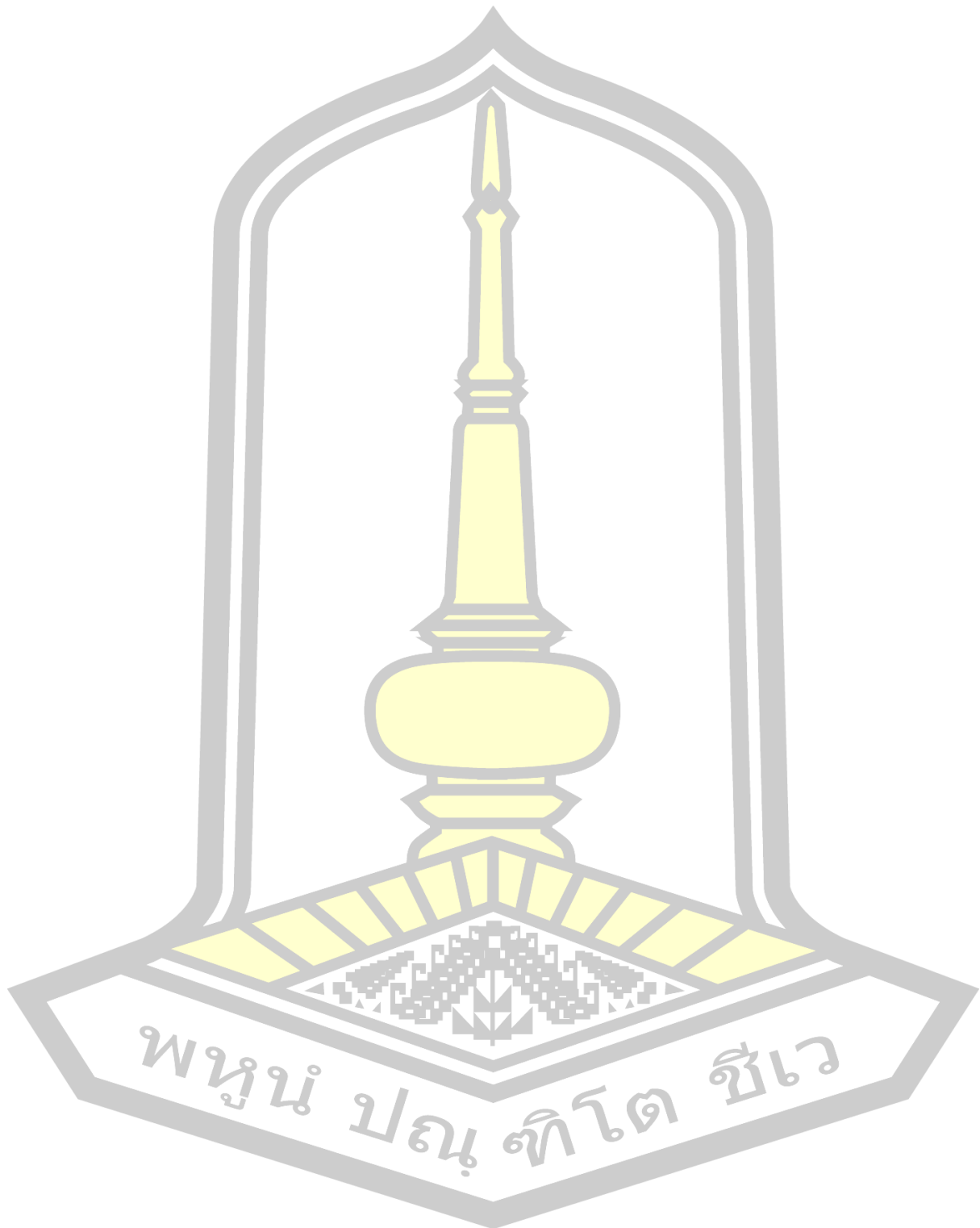
5.2.1 งานวิจัยนี้ศึกษาโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ลักษณะของน้ำเสียจึงมีความแตกต่างจากน้ำเสียจริง ซึ่งมีการปนเปื้อนของสารเคมีที่เติมเพื่อช่วยในการรักษาความคงทนของสี สารช่วยเคลือบติดผ้าอื่น ๆ มากกว่าเม็ดเงิน ดังนั้นจึงควรศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของน้ำเสียจริง

5.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้ายังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องนอกจาก ความเป็นกรดต่างเริ่มต้น ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในระบบ ระยะเวลาการบำบัด ชนิดขั้วไฟฟ้า และชนิดน้ำเสียสี เพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ควรศึกษา ขนาดของขั้วไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย

5.2.3 การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสามารถบำบัดน้ำเสียสีแอสิตได้ดี ในการทดลองขนาดถึงปฏิกรณ์ 1 ลิตร แม้มีปริมาณตะกอนเกิดขึ้นน้อย แต่ยังคงมีการคำนึงถึงการจัดการตะกอนที่ลอยขึ้นเนื่องจากก๊าซไฮโดรเจน ควรมีการศึกษาออกแบบถึงปฏิกรณ์ที่มีระบบการกำจัดตะกอนเพิ่มเติม



บรรณานุกรม

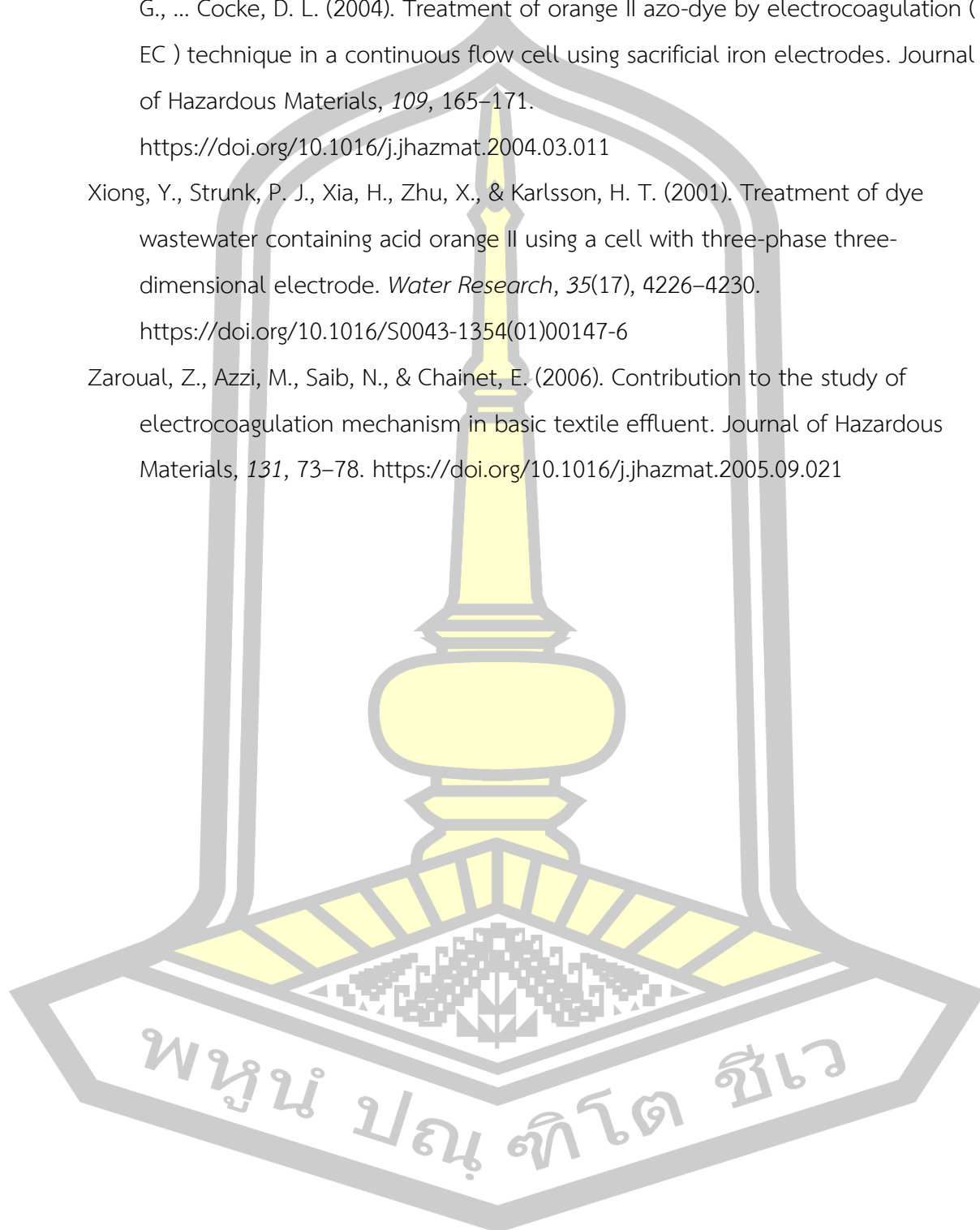


บรรณานุกรม

- ธัญดา ชัยกระทาง. (2559). Silk Textile Wastewater Treatment by Electrocoagulation Process, *J. Res. Unit Sci. Technol. Environ. Learning*. 7(2). 288-239.
- นิ่มนภา หลวงปันว; สายรุ้ง ฤทธิ์กระจาย. (2551). การบำบัดน้ำเสียและการนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยไฟฟ้าเคมี. *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*.
- เบญจวรรณ ฉันทอุทิศ. (2551). การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม SME โดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี. *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*.
- ปิ่นนรา พิมพ์สิริก; ศรีกัญญา ช่อทับทิม. (2550). ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้าไหมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี. *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*.
- ปิ่นสยาม ภูมิพานิช. (2546). การบำบัดสีย้อมรีแอคทีฟด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี. *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น*.
- มันสิน ตัณฑุลเวศม์. (2546). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิรดี สุนทรภา. (2549). การนำกลับตีบูกจากน้ำเสียโดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีและวิธีทางไฟฟ้าเคมี. *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*.
- Adhoum N., and Monser, L. (2004). Decolourization and removal of pH enolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43(10), 1281-1287. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.124>
- Bassyouni, D. G., Hamad, H. A., El-Ashtoukhy, E. S. Z., Amin, N. K., & El-Latif, M. M. A. (2017). Comparative performance of anodic oxidation and electrocoagulation as clean processes for electrocatalytic degradation of diazo dye Acid Brown 14 in aqueous medium. *Journal of Hazardous Materials*, 335, 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.04.045>

- FENG, J. wei, SUN, Y. bing, ZHENG, Z., ZHANG, J. biao, LI, S., & TIAN, Y. chun. (2007). Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. *Journal of Environmental Sciences*, 19(12), 1409–1415. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60230-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60230-7)
- Khataee, A. R., Zarei, M., Dehghan, G., Ebadi, E., & Pourhassan, M. (2011). Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers Biotreatment of a triphenylmethane dye solution using a Xanthophyta alga : Modeling of key factors by neural network. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(3), 380–386. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2010.08.006>
- Kobyas, M., Oncel, M. S., Demirbas, E., Şik, E., Akyol, A., & Ince, M. (2014). The application of electrocoagulation process for treatment of the red mud dam wastewater from Bayer's process. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(4), 2211–2220. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.09.008>
- Li, W., Yue, Q., Tu, P., Ma, Z., Gao, B., Li, J., & Xu, X. (2011). Adsorption characteristics of dyes in columns of activated carbon prepared from paper mill sewage sludge. *Chemical Engineering Journal*, 178, 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.049>
- Merzouk, B., Gourich, B., Sekki, A., Madani, K., & Chibane, M. (2009a). Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation-electroflotation technique. A case study. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1), 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.144>
- Merzouk, B., Gourich, B., Sekki, A., Madani, K., & Chibane, M. (2009b). Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation – electroflotation technique A case study. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.144>
- Merzouk, B., Gourich, B., Sekki, A., Madani, K., Vial, C., & Barkaoui, M. (2009). Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process. *Chemical Engineering Journal*, 149, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.10.018>

- Mollah, M. Y. A., Pathak, S. R., Patil, P. K., Vayuvegula, M., Agrawal, T. S., Gomes, J. A. G., ... Cocke, D. L. (2004). Treatment of orange II azo-dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, *109*, 165–171.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.03.011>
- Xiong, Y., Strunk, P. J., Xia, H., Zhu, X., & Karlsson, H. T. (2001). Treatment of dye wastewater containing acid orange II using a cell with three-phase three-dimensional electrode. *Water Research*, *35*(17), 4226–4230.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00147-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00147-6)
- Zaroual, Z., Azzi, M., Saib, N., & Chainet, E. (2006). Contribution to the study of electrocoagulation mechanism in basic textile effluent. *Journal of Hazardous Materials*, *131*, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.021>



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวอนูธิดา ศรีภิรมย์
วันเกิด	วันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 55/78 ซอย 7 หมู่บ้านเดอะชีว ตำบลเกิ้ง อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2547 มัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนสตรีศึกษา ตำบลในเมือง อำเภอเมืองจังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ. 2554 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(เกษตรศาสตร์) (วท.บ.) สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2561 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	-ทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2558 -ทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัยทุนสกว.อุตสาหกรรม ประจำปี 2555 รหัสโครงการ MAG 55_0232 ในเรื่อง “การบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหม โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า”

พูน ปรณ ทิโต ชีเว