สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดสีย้อมจากขั้นตอนการย้อมสีด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

DECOLORIZATION OF DYE FROM DYEING WASTEWATER BY COAGULATION AND ELECTROCOAGULATION PROCESS

T108548

กาญจนา ราษฎร์เริงฤทธิ์
จิราพร สถิรถาวรกุล
ณัฐจรีย์ ปลื้มจิต

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.108548
วัน,เดือน,ปี.-5 ก.ค. 2553

b.12223126
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

DECOLORIZATION OF DYE FROM DYEING WASTEWATER BY COAGULATION AND ELECTROCOAGULATION PROCESS

KANJANA RATROENGRITH

JIRAPORN SATIRATHAWORNKUN

NATJAREE PLUEMJIT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2008

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การกำจัดสีย้อมจากขั้นตอนการย้อมสีด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน DECOLORIZATION OF DYE FROM DYEING WASTEWATER BY COAGULATION AND ELECTROCOAGULATION PROCESS
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกาญจนา ราษฎร์เริงฤทธิ์ นางสาวจิราพร สถิรถาวรกุล นางสาวณัฐจรีย์ ปลื้มจิต
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2551

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.คณิตา ดังคณานุรักษ์	
ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
ผศ. พรรษวรรณ ศรีนาค	

.....

(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

ปฏิบัติหน้าที่ประธานสาขาวิชา

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ การกำจัดสีย้อมจากขั้นตอนการย้อมสีด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

ชื่อนักศึกษา นางสาวกาญจนา ราษฎร์เริงฤทธิ์
นางสาวจิราพร สถิรถาวรกุล
นางสาวณัฐจรีย์ ปลื้มจิต

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2551

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียของขั้นตอนการย้อมสีจากโรงงานฟอกย้อม 2 ชนิด คือ น้ำเสียจากอ่างสีย้อมรีแอกทีฟ และสีย้อมดิสเพอร์ส ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันใช้อลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารรวมตะกอนร่วมกับแอนไอออนิกพอลิเมอร์ พบว่า พีเอชที่ให้ผลการบำบัดดีสำหรับสีย้อมทั้งสองเป็น 11 ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้ร่วมกับพอลิเมอร์เป็น 1900 และ 900 มิลลิกรัม/ลิตร และสามารถบำบัดได้ร้อยละ 4.25 และ 99.47 สำหรับสีย้อมรีแอกทีฟและสีย้อมดิสเพอร์ส ตามลำดับ การบำบัดด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันซึ่งใช้แผ่นอลูมิเนียมเป็นอิเลกโทรดเมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมแปร์ และระยะเวลาบำบัด 20 นาที พบว่าสามารถบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟได้ต่ำมากเพียงร้อยละ 0.83 ที่พีเอช 7 สำหรับสีย้อมดิสเพอร์ส สามารถบำบัดได้ถึงร้อยละ 89.63 ที่พีเอช 9

คำสำคัญ : การกำจัดสี , สีย้อมดิสเพอร์ส , สีย้อมรีแอกทีฟ , อิเลกโตรโคแอกกูเลชัน , โคแอกกูเลชัน

Title	DECOLORIZATION OF DYE FROM DYEING WASTEWATER BY COAGULATION AND ELECTROCOAGULATION PROCESS
Students	Miss Kanjana Ratroengrith
	Miss Jiraporn Satirathawornkun
	Miss Natjaree Pluemjit
Degree	Bachelor of Science
Major	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2008
Advisor	Asst.Prof.Passawan Srinak

ABSTRACT

This special project studied removal of dye from dyeing wastewater. Two wastewater samples from reactive and disperse dyeing bath were treated by coagulation and electrocoagulation. Aluminium sulfate were used as coagulant combined with anionic polymer. The results showed that optimum pH for both dyes wastes is 11, removal efficiency of 4.25 and 99.47 % at coagulant dosage of 1900 and 900 mg/l for reactive and disperse dyeing wastes, respectively. Aluminium plates were used in electrocoagulation process at electric current of 1 A and reaction time of 20 min. This process can remove reactive dye at low percent removal of 0.83 at pH 7. The better result for disperse dye can be removed 89.63% efficiency at pH 9.

Key words : coagulation , decolorization , disperse dye , electrocoagulation and reactive dye

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายที่ได้ให้คำแนะนำและข้อมูลที่มีประโยชน์ คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษนี้ จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนโครงงานพิเศษในครั้งนี้บรรลุจุดประสงค์ตามที่ต้องการ

ขอขอบพระคุณ ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ให้ทั้งในด้านคำปรึกษา คำแนะนำและการดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณบริษัทเปาไดอิ้ง อินดัสเตรียล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียเพื่อมาทำการทดลองในโครงงานพิเศษเรื่องนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบริษัทแฮนสัน เคมิคอล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สีย้อมเพื่อมาทำการทดลองในโครงงานพิเศษเรื่องนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ นายณัฐพันธุ์ บุญเสนอ ที่กรุณาเสนอแนะ และแก้ไขเพิ่มเติมโครงงานพิเศษนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และเติมเต็มกำลังใจตลอดมา จนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกเหนือจากบุคคลที่กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้กำลังใจในการจัดทำโครงงานพิเศษ ทางคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

นางสาวกาญจนา ราษฎร์เริงฤทธิ์

นางสาวจิราพร สถิรถาวรกุล

นางสาวณัฐจรีย์ ปลื้มจิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**3**
2.1 กระบวนการผลิตอุตสาหกรรมฟอกย้อม	3
2.2 การย้อมสี (Dyeing)	6
2.2.1 การย้อมสี (Dyeing)	6
2.3 วิธีการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า	10
2.3.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)	10
2.3.2 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน(Coagulation aid)	13
2.3.3 กระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation)	15
2.3.4 การดูดติดผิว (Adsorption)	18
2.3.5 โอโซนเนชัน (Ozonation)	18
2.3.6 คลอริเนชัน (Chlorination)	18
2.3.7 การใช้แผ่นเมมเบรน (Membrane Technology)	19
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	**22**
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	22
3.2 สารเคมี	22

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 วิธีการทดลอง	23
3.3.1 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	23
3.3.1.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิกรัม/ลิตร	23
3.3.1.2 การเตรียมน้ำเสียจริง	23
3.3.1.3การเตรียมสารละลายสต๊อกอลูมิเนียมซัลเฟต 10000 มิลลิกรัม/ลิตร	23
3.3.1.4 การเตรียมสารละลายสต๊อกพอลิเมอร์ 1000 มิลลิกรัม/ลิตร	23
3.3.1.5 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 นอร์มอล	23
3.3.2 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน	23
3.3.2.1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน	23
3.3.2.2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน	24
3.3.3 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน	25
3.3.3.1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน	25
3.3.4 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับพอลิเมอร์	26
3.3.4.1 การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียม ซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน	26
3.3.5 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน	27
3.3.5.1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตร โคแอกกูเลชัน	27
3.3.5.2 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน	28
3.3.6 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน	28
3.3.6.1 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียจริง ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน	28

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล **30**

4.1 การกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 30

4.1.1 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 30

4.1.1.1 การศึกษาผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดสีย้อม ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 30

4.1.1.2 การศึกษาผลของพีเอชต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 31

4.1.2 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 32

4.1.2.1การศึกษาผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริง ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 32

4.1.2.2 การศึกษาผลของปริมาณพอลิเมอร์ต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริง ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 33

4.2 การกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน 34

4.2.1 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน 34

4.2.1.1 การศึกษาผลของพีเอชต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน 34

4.2.1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้าต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสีย สังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน 35

4.2.2 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน 36

บทที่5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ **37**

5.1 สรุปผลการทดลอง 37

5.2 ข้อเสนอแนะ 37

เอกสารอ้างอิง **38**

ภาคผนวก ก **39**

ภาคผนวก ข **45**

ภาคผนวก ค **47**

ภาคผนวก ง **54**

ภาคผนวก จ **63**

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสีย้อมในกระบวนการฟอกย้อม 6

ตารางที่ 2.2 ชนิดของสีย้อมในกระบวนการฟอกย้อม(ต่อ) 7

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของน้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตต่างๆ ของโรงงานฟอกย้อม 9

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมฟอกย้อม 4

รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมฟอกย้อม (ต่อ) 5

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมแต่ละชนิด 8

รูปที่ 2.4 แสดงรูปร่างพอลิเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย 14

รูปที่ 2.5 แสดงชุดทดลอง EC ในห้องปฏิบัติการ 16

รูปที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟ
และดิสเพอร์สในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 30

รูปที่ 4.2 แสดงผลของพีเอชต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟและดิสเพอร์สในน้ำเสียสังเคราะห์
ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันเมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน 31

รูปที่ 4.3 แสดงผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริง
ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน 32

รูปที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณพอลิเมอร์ต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการ
โคแอกกูเลชัน 33

รูปที่ 4.5 แสดงผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย
กระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน 34

รูปที่ 4.6 แสดงผลของระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม
ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน 35

รูปที่ 4.7 แสดงผลของระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม
ในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน 36

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมฟอกย้อมของประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทำให้มูลค่าการส่งออกมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามสภาวะการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้นในอนาคต โรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้ก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณที่ค่อนข้างมากและทำการบำบัดได้ยาก เนื่องจากลักษณะน้ำเสียมีความเข้มข้นของสีสูงและมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ด้วยความสามารถของเทคโนโลยีในปัจจุบันที่ไม่เอื้ออำนวยให้ใช้สีย้อมในกระบวนการย้อมผ้าหรือพิมพ์ผ้าได้ทั้งหมด จึงทำให้มีสีย้อมบางส่วนหลุดออกมาในขณะทำการซักล้างหรือปรับแต่งวัสดุที่ผ่านการย้อมแล้ว ซึ่งหากปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่มีการกำจัดให้ความเข้มข้นของสีลดลงก่อน จะทำให้เกิดภาพที่น่ารังเกียจของแหล่งน้ำธรรมชาติต่อผู้ที่พบเห็น นอกจากนี้สีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังเป็นสารประกอบที่มีสูตรโครงสร้างซับซ้อนและมักจะมีความเป็นพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อน้ำเสียถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณครั้งละมากๆ จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้

การกำจัดสีออกจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม จะนิยมใช้ระบบบำบัดทางชีววิทยาหรือระบบเติมสารเคมีอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองระบบต่อเนื่องกัน ซึ่งสามารถลดความสกปรกของน้ำเสียในรูปของบีโอดีและของแข็งแขวนลอยได้ในระดับที่ดี แต่สำหรับสีและสารอื่นๆที่ไม่สามารถบำบัดได้ยังคงปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งการกำจัดสีและสิ่งสกปรกอื่นๆ โดยทั่วไปสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การดูดติดผิว (Adsorption) โอโซนเนชัน(Ozonation) คลอริเนชัน (Chlorination) การใช้แผ่นเมมเบรน (Membrane Technology) การย่อยสลายทางชีววิทยา การกรองกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการอิเลคโตรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำจึงได้มีความสนใจทำการศึกษาการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งในขั้นตอนการย้อมสีของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด อีกทั้งยังใช้เป็นข้อมูลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมให้ดียิ่งขึ้น(Kim Tak-Hyun et al., 2002)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม ของบริษัทเปาไดอิ้ง อินดัสเตรียล จำกัด ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน จากการหาสภาวะที่เหมะสมในการบำบัด โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณของสารรวมตะกอน พีเอช และปริมาณโพลิอิเลกโตรไลท์
2. ศึกษาหาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมสีของบริษัทเปาไดอิ้ง อินดัสเตรียล จำกัด ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ พีเอช และระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้า
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมสีของบริษัทเปาไดอิ้ง อินดัสเตรียล จำกัด ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดสีของน้ำเสียจากกระบวนการย้อมสีของบริษัทเปาไดอิ้ง อินดัสเตรียล จำกัดได้
2. สามารถใช้เป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการย้อมสีของอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้
3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำสารเคมีและพอลิเมอร์มาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการย้อมสีของอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตอุตสาหกรรมฟอกย้อม

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมประเภทฟอกย้อมมีรูปแบบการผลิตที่คล้ายกัน โดยทั่วไป วัตถุดิบ คือ ผ้าดิบ ถูกเตรียมสภาพให้พร้อมเข้าสู่กระบวนการฟอกย้อมหรือตกแต่ง กระบวนการผลิตหลักๆของอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีรายละเอียดสรุปได้ดังนี้(กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

1. การขนส่งและรับวัตถุดิบ

   โรงงานอุตสาหกรรมภายในเครือข่ายทำการผลิตผ้าดิบเพื่อป้อนวัตถุดิบให้กับโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม

2. การเผาขน (Singeing)

   เป็นการกำจัดปลายเส้นใยที่โผล่ออกมาบนหน้าผ้า เพื่อทำให้ผ้ามีผิวมันเรียบเป็นเงามันและสีที่ย้อมติดบนเนื้อผ้าอย่างสม่ำเสมอ โดยการเผาด้วยเปลวไฟจากก๊าซ ด้วยการควบคุมความเร็วผ้าดิบที่วิ่งผ่าน ระยะห่างระหว่างเปลวไฟกับหน้าผ้า และอุณหภูมิเปลวไฟ

3. การลอกแป้ง (Desizing)

   เป็นกระบวนการที่ต้องกำจัดแป้งลงไว้ที่อยู่ในเส้นด้ายยืนออก ทำได้ 4 วิธี คือ การหมัก , การใช้กรด , การใช้เอนไซม์ และการใช้สารออกซิไดซ์ซิง

4. การกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก (Scouring)

   เป็นการกำจัดไขมันและเศษสิ่งสกปรก เพื่อช่วยให้สีย้อมซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้น โดยการต้มด้วยน้ำที่มีส่วนผสมของสบู่หรือสารละลายโซดาไฟ และสารช่วยจับไอออนของโลหะผสมแล้วจึงนำไปหมักในตู้อบไอน้ำ ซักล้าง และทำให้แห้ง

5. การฟอกขาว (Bleaching)

   เป็นการทำให้ผ้าขาวสะอาดพร้อมนำไปย้อมสีหรือพิมพ์ลาย ทำได้ทั้งกับผ้าหรือเส้นด้าย โดยชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการฟอกขาวขึ้นอยู่กับชนิดของผ้า

6. การชุบมัน (Merceization)

   เป็นการเพิ่มความเงามันและความแข็งแรงให้กับเส้นใย อีกทั้งยังทำให้การดูดซึมสีย้อมและสารเคมีดีขึ้น โดยนำผ้ามาขึงให้ตึงแล้วนำผ้าผ่านลงไปในสารละลายโซดาไฟที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15-20 แล้วฉีดล้างด้วยน้ำร้อนและทำให้เป็นกลางด้วยกรด

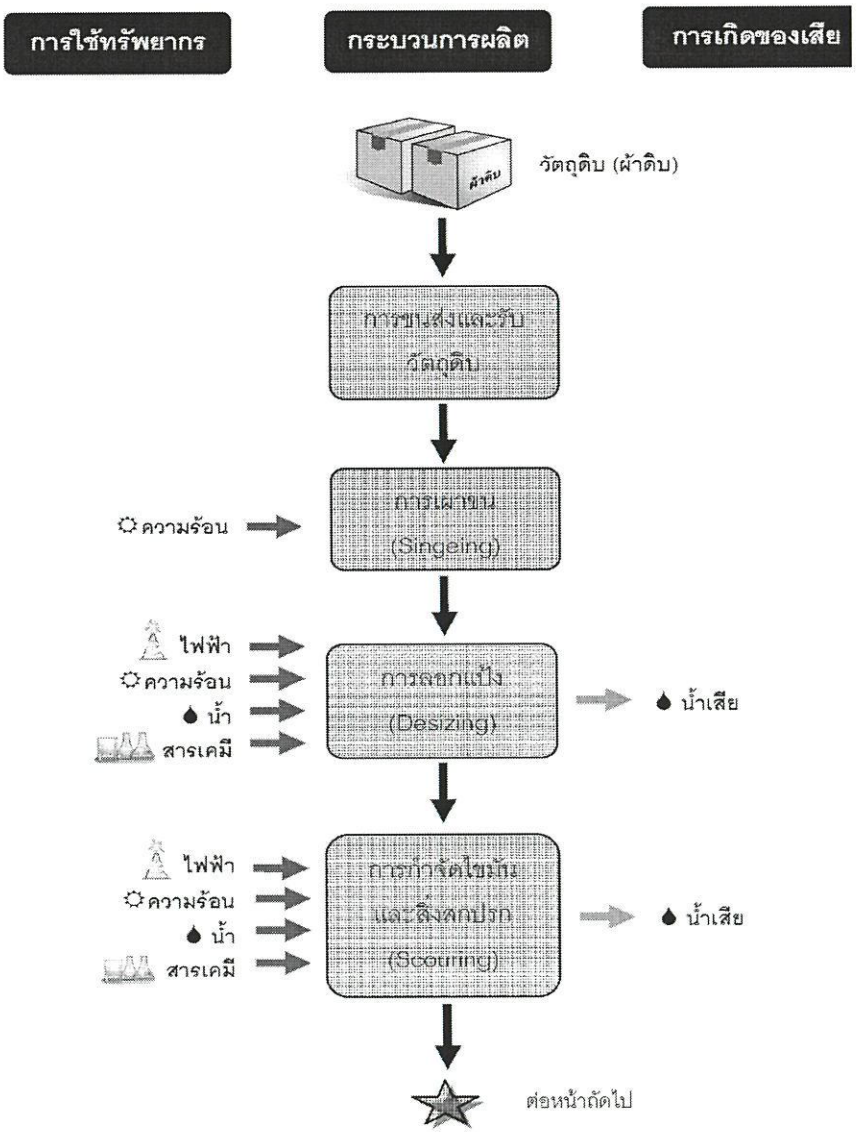
7. การย้อมสี (Dyeing)

สีที่นำมาใช้ย้อมผ้าอยู่ในรูปของสารละลายเพื่อให้ถูกดูดซึมและยึดติดผิวภายในเส้นใยได้ง่าย ซึ่งกระบวนการย้อมโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การย้อมแบบต่อเนื่องและการย้อมแบบทีละหม้อ

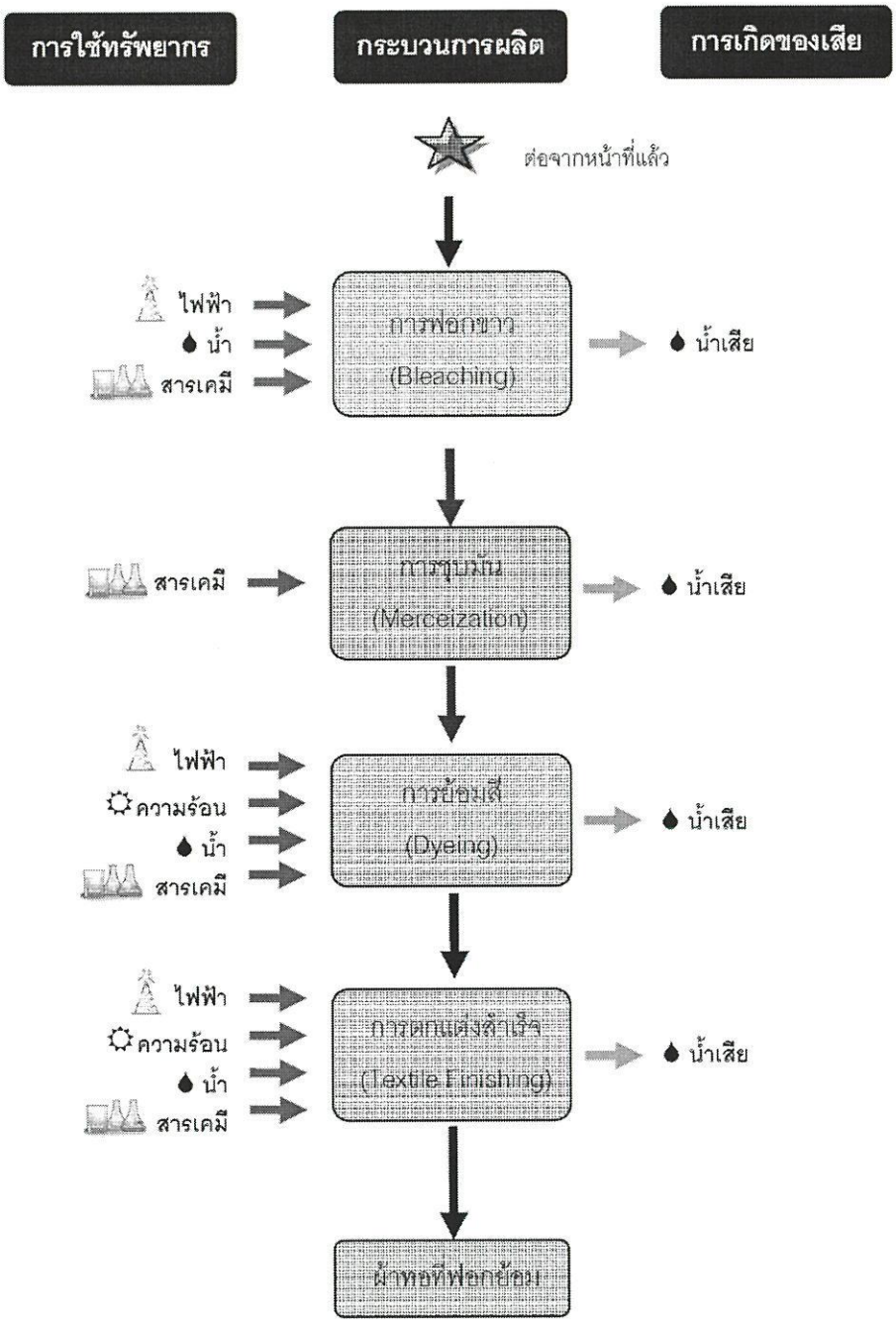
8. การตกแต่งสำเร็จ (Textile Finishing)

เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการใช้งานของผลิตภัณฑ์ให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้หรือลูกค้า ทำได้ทั้งการใช้สารเคมีและกรรมวิธีเชิงกล เช่น การตะกรุยขน ตัดขน เป็นต้น

โดยสามารถสรุปเป็นแผนผังกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมฟอกย้อม



รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมฟอกย้อม (ต่อ)

2.2 การย้อมสี (Dyeing)

2.2.1 การย้อมสี (Dyeing)

สีที่นำมาใช้ย้อมผ้าอยู่ในรูปของสารละลายเพื่อให้ถูกดูดซึมและยึดติดผิวภายในเส้นใยได้ง่าย ซึ่งกระบวนการย้อมโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

1. การย้อมแบบต่อเนื่อง (Continuous Dyeing Process) เป็นการย้อมที่เร็วที่สุด และเหมาะกับการย้อมผ้าครั้งละมากๆ เพราะเป็นการย้อมที่ใช้ลูกกลิ้งอัดน้ำสีเข้าไปในเนื้อผ้าโดยที่ผ้าเคลื่อนที่ไปตามขั้นตอนต่างๆอย่างต่อเนื่อง แต่ข้อเสีย คือ พบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ช้าทำให้ผ้าที่ได้อาจเสียหายจำนวนมาก นอกจากนี้ต้นทุนของเครื่องจักรยังมีราคาสูง จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม

2. การย้อมแบบทีละหม้อ (Batch Dyeing Process) เป็นการย้อมแบบไม่ต่อเนื่องและย้อมได้ครั้งละน้อยเพราะต้องแช่ผ้าในหม้อย้อมที่มีสารละลายสีย้อมแล้วให้ดูดซึมสีเข้าเนื้อผ้า เครื่องย้อมมีหลายประเภท เช่น เครื่องเจ็ท เครื่องวินช์ เครื่องจิกเกอร์ เครื่องย้อมด้ายแบบใจ เป็นต้น

การจำแนกสีย้อมสามารถจำแนกได้หลายแบบ เช่น จำแนกตามโครงสร้างทางเคมี จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ จำแนกตามลักษณะการใช้งาน และจำแนกตามวิธีการย้อม โดยในที่นี้จะยกตัวอย่างเพียงการจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสีย้อมในกระบวนการฟอกย้อม

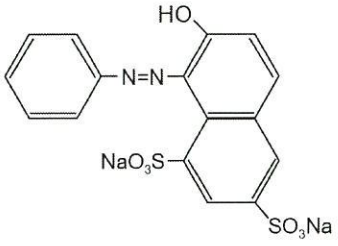
กลุ่มสีย้อม	ชนิดของเส้นใย	ปริมาณสีย้อมในเส้นใย	ปริมาณสีในน้ำทิ้ง	ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้ง
แคทไอออนิก	อะคริลิก	~ 98%	~ 2%	กรดอ่อน
แอซิท	ขนสัตว์ ไหม ไนลอน	95-98%	5-2%	กรด อาจพบเกลือของโลหะหนัก
เมทัลคอมเพล็กซ์	ขนสัตว์ ไหม ไนลอน	95-98 %	2-5%	กรด อาจพบเกลือของโลหะหนัก
ไดเร็กท์	ฝ้าย เส้นใย เซลลูโลสชนิดอื่นๆ เช่น วิสโคส เป็นต้น	~ 80%	~ 20%	-
ดิสเพอร์ส	โพลิเอสเตอร์ ไนลอน อะซีเตต	~ 90%	~ 10%	เป็นกลางและอาจพบแคริเออร์

ตารางที่ 2.2 ชนิดของสีย้อมในกระบวนการฟอกย้อม(ต่อ)

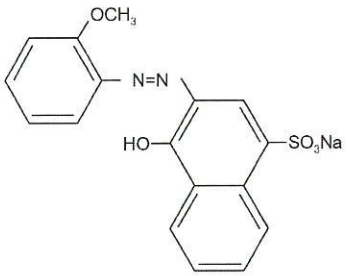
กลุ่มสีย้อม	ชนิดของเส้นใย	ปริมาณสีย้อมในเส้นใย	ปริมาณสีในน้ำทิ้ง	ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้ง
แว๊ต	ฝ้าย เส้นใย เซลลูโลส ชนิดอื่นๆ เช่น วิสโคส เป็นต้น	~ 95%	~ 5%	เป็นด่างและมีสารรีดิวซิง
ซัลเฟอร์	ฝ้าย เส้นใย เซลลูโลส ชนิดอื่นๆ เช่น วิสโคส เป็นต้น	~ 60%	~ 40%	เ ป็นด่างมีความเข้มข้นเกลือสูง และสารประกอบซัลเฟอร์
รีแอกทีฟ	ฝ้าย เส้นใย เซลลูโลส ชนิดอื่นๆเช่น วิสโคส เป็นต้น	50 -95%	5 - 50%	เป็นด่างและมีความเข้มข้นของเกลือสูง

ที่มา : คู่มือตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ สถาบันสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

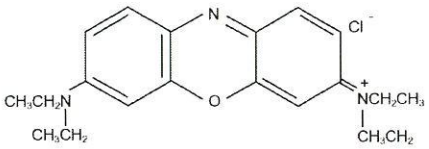
โดยสีย้อมแต่ละชนิดนั้นจะมีโครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ในที่นี้จะยกตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมเพียงบางชนิดซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



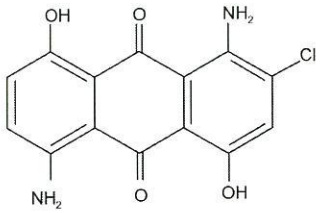
Acid orange 10



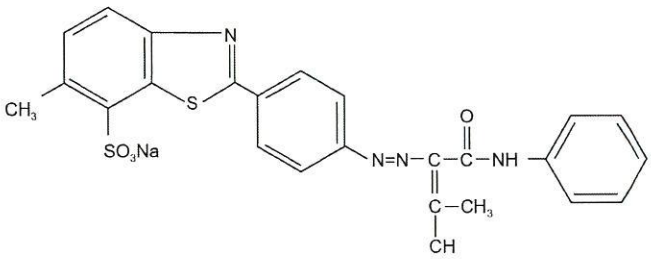
Acid red 4



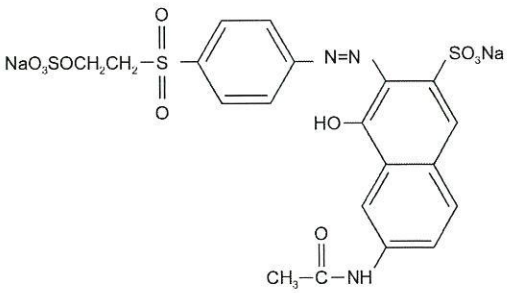
Basic blue 3



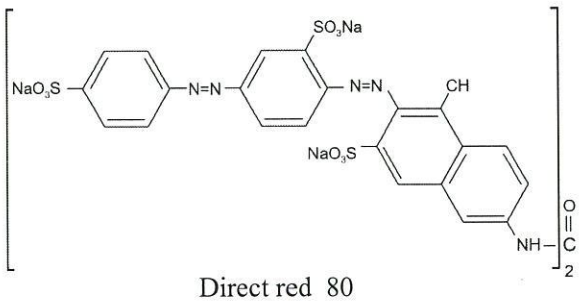
Disperse blue 56



Direct yellow 8



Reactive orange 16



Direct red 80

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมแต่ละชนิด

แหล่งกำเนิดและลักษณะของน้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตต่างๆของโรงงานฟอกย้อมสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของน้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตต่างๆ ของโรงงานฟอกย้อม

ขั้นตอน	มลสารในน้ำทิ้ง	มลสารในน้ำทิ้ง	ลักษณะของน้ำทิ้ง
ลอกแป้ง	แป้ง กลูโคส ซีเอ็มซี พีวีซี เรซิน ไขมัน และขี้ผึ้งธรรมชาติหรือสังเคราะห์	ประมาณ 50 ลิตรต่อ 1 กิโลกรัมของผ้า	ค่าบีโอดีสูง ไม่ทำให้เกิดบีโอดีสูง
ขจัดสิ่งสกปรก	โซดาไฟ ขี้ผึ้ง กรีซ โซดาแอช โซเดียมซิลิเกต เศษเส้นใย	10 ลิตรต่อผ้า 1 กิโลกรัม	เป็นด่างแรง สีดำและบีโอดีสูง(30% ของทั้งหมด)
ฟอกขาว	ไฮโปคลอไรท์ คลอรีน โซดาไฟ กรด ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	ส่วนใหญ่เป็นการซักล้าง	สารประกอบ พวกด่าง บีโอดีประมาณ 5%
ชุบมัน	โซดาไฟ	ปริมาณน้อยส่วนใหญ่เป็นการซักล้าง	เป็นด่างแรง บีโอดีต่ำ (น้อยกว่า 1%ของทั้งหมด)
ย้อมสี	สีย้อมชนิดต่างๆเกลือและสารรีดิวซิง เช่น ซัลไฟด์ เป็นต้น	ปริมาณมาก	สีเข้ม บีโอดีค่อนข้างสูง ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ซีโอดีต่ำและเกิดฟอง
การพิมพ์	สี แป้งพิมพ์ กาวน้ำมัน สารให้เกิดสี กรดและเกลือโลหะ	ปริมาณน้อยมาก	สีเข้มบีโอดีค่อนข้างสูง มีน้ำมัน
การตกแต่งสำเร็จ	แป้งเล็กน้อย สารตกแต่งที่เหลือเกลือ	ปริมาณน้อยมาก	เป็นด่างเล็กน้อย บีโอดีต่ำ ซีโอดีสูง

ที่มา : คู่มือตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ สถาบันสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

2.3 วิธีการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า

2.3.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

การตกตะกอนทางเคมีเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปสารที่อยู่ในรูปสารละลายให้เป็นรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี หรือการเปลี่ยนส่วนประกอบของตัวทำละลายของสาร ซึ่งของแข็งที่ตกตะกอนสามารถแยกออกจากสารละลายนั้นได้โดยการตกตะกอน (settling) หรือการกรอง (filtration)

การตกตะกอนทางเคมีเกิดขึ้นได้โดยความสัมพันธ์ของสภาวะสมดุลระหว่างสถานะที่ละลายน้ำ และสถานะที่ไม่ละลายน้ำของสารที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย ซึ่งการพิจารณาถึงสถานะที่ละลายน้ำและสถานะที่ไม่ละลายน้ำจะเกี่ยวข้องกับค่าคงที่การละลายน้ำ (solubility product constant) ที่อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ K_{sp} ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดในสารนั้น โดยแต่ละไอออนยกกำลังด้วยจำนวนไอออนที่สภาวะสมดุลอิ่มตัวพอดีที่อุณหภูมินั้นๆ การตกตะกอนทางเคมีจะเกิดขึ้นได้เมื่อผลคูณดังกล่าวมีค่ามากกว่า K_{sp} ของสารนั้นที่อุณหภูมิที่ระบุไว้

การตกตะกอนทางเคมีเกิดขึ้นได้หลายขั้นตอน โดยมีกระบวนการเป็นไปตามขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือหลายขั้นตอนรวมกัน กล่าวคือ

1. การเติมสารซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่ละลายอยู่ในน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ ซึ่งคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ลดลงเกิดเป็นตะกอนขึ้น เช่น ในการกำจัดทองแดงละลายน้ำ (Cu^{2+}) โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) จะได้สารประกอบคอปเปอร์ซัลไฟด์ (CuS) ซึ่งสารละลายน้ำได้น้อยดังสมการ

$$Cu^{2+} + S^{-2} \longrightarrow CuS$$

2. การเติมสารซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะสมดุลของการละลาย (solubility equilibrium) ให้เลื่อนมาถึงจุดซึ่งสารที่ละลายอยู่ในน้ำไม่สามารถละลายอยู่ได้อีกต่อไปเกิดเป็นก้อนตะกอนขึ้น เช่น ในการกำจัดทองแดงโดยการเติมสารเคมี เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นของทองแดงจะต่ำลง และทองแดงส่วนเกินจะอยู่ในรูปตะกอนที่สามารถจมตัวได้ดีดังสมการ

$$Cu^{2+} + 2OH^{-} \longrightarrow Cu(OH)_2$$

โดยที่สภาวะสมดุล ค่าความสามารถในการละลายของสารประกอบ $Cu(OH)_2$ มีค่าดังนี้

$$K_{sp} = [Cu^{2+}][OH^{-}]^2$$

$$= 1.6 \times 10^{-19}$$

จะเห็นว่าค่าความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์จะมีผลต่อความเข้มข้นของทองแดงละลาย โดยตรง คือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นไฮดรอกไซด์โดยการเพิ่มพีเอช จะทำให้เกิดการลดความเข้มข้นของทองแดงละลายเพื่อรักษาสมดุล

3. การเปลี่ยนอุณหภูมิของสารละลายอิ่มตัวหรือเกือบอิ่มตัวไปในทิศทางที่ทำให้มีค่าการละลายน้ำลดลงจนเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะของแข็งเนื่องจากค่าการละลายน้ำขึ้นกับอุณหภูมิ

การเลือกใช้สารสร้างตะกอน

สารสร้างตะกอนแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (มั่นสิน, 2538)

1) กลุ่มที่อลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบหรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนท์

เมื่อเติมสารสร้างตะกอนในกลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนท์ลงในน้ำโมเลกุลของมันจะแตกตัวเป็นอลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) และสารประกอบเชิงซ้อนจำนวนมาก (complex ion) อลูมิเนียมโคแอกกูแลนท์ที่ใช้กันมีอยู่หลายชนิด เช่น

1.1 aluminium sulphate ($Al_2(SO_4)_3 . 18H_2O$) หรือ สารส้ม (alum) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป filter alum ($Al_2(SO_4)_3 .14H_2O$) ซึ่งละลายน้ำได้

1.2 liquid alum จะมี water-soluble alumina (Al_2O_3) อยู่ประมาณร้อยละ 5.8-8.5 ราคาถูกกว่าชนิดแรก

1.3 sodium aluminate ประกอบด้วย Al_2O_3 ซึ่งทำให้อยู่ตัวด้วย NaOH สารตัวนี้ไม่ใช้โดดๆมักใช้คู่กับอลูมิเนียมซัลเฟตเพื่อให้ผลที่ดี

1.4 activated silica มักใช้ร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตทำให้การตกตะกอนเกิดเร็วขึ้นโดยอาจจัดได้ว่า activated silica จัดเป็น coagulant aid ของอลูมิเนียมซัลเฟต

2) กลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหรือไอออนโคแอกกูแลนท์

ไอออนโคแอกกูแลนท์จะทำงานในสภาวะที่มีพีเอชต่ำกว่าอลูมิเนียมโคแอกกูแลนท์ และสามารถทำงานในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าคือ 4-11 นอกจากนี้ $Fe(OH)_3$ floc ยังหนักกว่า $Al(OH)_3$ floc ทำให้ตกตะกอนได้เร็วกว่า ไอออนโคแอกกูแลนท์ที่ใช้กันมีอยู่ดังนี้

2.1 ferrous sulphate ($FeSO_4$) $FeSO_4$จะทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็น $Fe(OH)_3$ ในสภาวะที่พีเอชสูง ถ้าพีเอชต่ำกว่า 8.5 ดังนั้นจึงมักเติมปูนขาวลงไปดังสมการ

$$FeSO_4 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Fe(OH)_2 + CaSO_4$$

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_2$$

โดยทั่วไป $FeSO_4$ มักใช้ควบคู่กับปูนขาวในการกำจัดน้ำกระด้าง และในการตกตะกอนเหล็กกับแมงกานีส

2.2 ferric sulphate ($Fe(SO_4)_3$) ละลายได้ดีในน้ำอุ่น และจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำหรือกับปูนขาวที่เติมลงไปเกิดเป็น $Fe(OH)_3$ floc

2.3 ferric chloride ($FeCl_3$) มีฤทธิ์กัดกร่อน ถ้ามีความชื้นอยู่ด้วย $FeCl_3$ จะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำเกิดเป็น $Fe(OH)_3$

การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์มีวิธีการดังนี้

1. กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย(Diffuse Layer)

โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้นซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (zeta potential) ที่ผิวนอกสุดของน้ำลดตามไปด้วย กล่าวคือ ไอออนที่มี valence สูงกว่าจะมีอำนาจมากกว่า

2. กลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาค (Adsorption and Charge Neutralization)

โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง

3. กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep Coagulation)

เติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่เพียงพอจะมีการตกผลึกขึ้น เช่น การใส่อลูมิเนียมซัลเฟตให้ตกผลึก ($Al(OH)_3$) เหมือนวุ้นสีขาวเพื่อให้อนุภาคมาเกาะแล้วรวมกันเป็นฟล็อค (floc) ได้ กลไกนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำ

4. กลไกการสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging)

โดยใช้สารพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมากเพื่อมาเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์

ปัจจัยที่มีผลต่อการรวมตะกอนทางเคมี (มั่นสิน, 2538)

1. พีเอช (pH) น้ำแต่ละชนิดจะมีช่วงพีเอชที่เกิดจากการรวมตัวและการตกตะกอนได้ดีแตกต่างกัน การเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำที่ไม่อยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสม นอกจากจะทำให้เปลืองสารเคมีที่ใช้แล้วยังทำให้คุณภาพน้ำไม่ดีเท่าที่ควร

2. เกลือของสารอนินทรีย์จะทำให้ช่วงของพีเอชที่เหมาะสมกว้างขึ้น ระยะเวลาที่รวมตัวเป็นตะกอนมากขึ้น ปริมาณ coagulant dose เพิ่มขึ้น

3. อุณหภูมิ (temperature) จะมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ที่อุณหภูมิต่ำจะมีผลทำให้ความหนืดของน้ำสูงขึ้นทำให้การตกตะกอนของกลุ่มตะกอนช้าลงมีผลทำให้ช่วงพีเอชที่เหมาะสมลดต่ำลงทำให้ต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอน หรืออาจต้องใช้สารช่วยเร่งให้ตกตะกอน

4. ค่าความเป็นด่างของน้ำ (alkalinity) จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชเพื่อให้ปฏิกิริยาในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5. ระดับความขุ่นในน้ำ โดยน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์แขวนลอยจำนวนมาก จะใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณที่น้อยกว่าอีกทั้งยังตกตะกอนดีกว่าเนื่องจากมีเป้าสัมผัสมากกว่าน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์น้อยกว่า

6. คุณสมบัติและชนิดของสารตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับสารที่ต้องการตกตะกอนไม่เหมือนกัน รวมทั้งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ลักษณะของตะกอน ความเร็วของการตกตะกอน ราคาและความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียที่ต้องการบำบัด

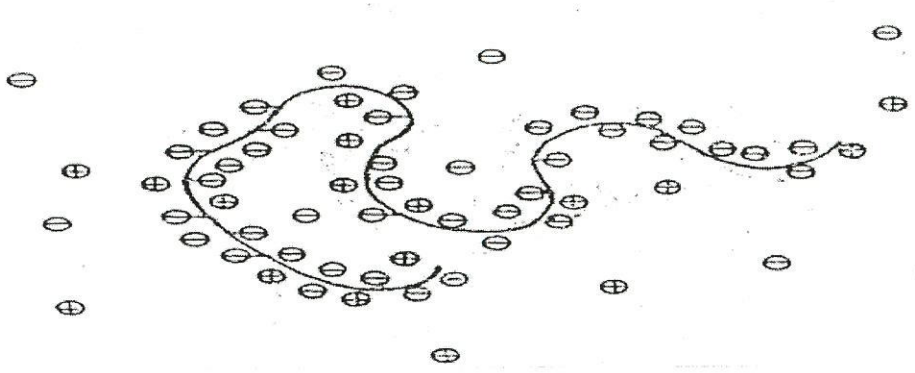
7. ปริมาณของสารตกตะกอน มีผลต่อความสามารถในการตกตะกอน เพราะในการละลายของสารประกอบใดๆ ถ้ามีผลคูณของไอออน (ion product) น้อยกว่าค่า K_{sp} หรือค่าคงที่การละลายน้ำของสารนั้นแล้วสารนั้นจะไม่ตกตะกอน แต่ถ้ามากกว่าค่า K_{sp} จะเกิดการตกตะกอน ดังนั้นปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้จะต้องมากพอโดยไม่มากจนเกินไปเพราะจะทำให้เกิด resolubization ได้

8. การกวน (mixing) เพื่อให้เกิดความปั่นป่วนในน้ำต้องมีความเร็วที่เหมาะสม การกวนเร็ว (rapid mixing) ช่วยทำให้สารเคมีกระจายได้อย่างทั่วถึง ส่วนการกวนช้า (slow mixing) จะทำให้สารตกตะกอนที่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการตกตะกอนได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และทำให้มวลตะกอนรวมตัวเป็นตะกอนได้ดีมีความเสถียรสูงและสามารถแยกออกจากนั้นโดยการตกตะกอนได้ง่าย ความเร็วของการกวนที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับค่า G (velocity gradient) สำหรับการกวนเร็วค่า G ประมาณ 100-1000 วินาที$^{-1}$ กวนช้า 10-75 วินาที$^{-1}$ เวลาในการกวนเร็ว 30-60 วินาที กวนช้า 15-30 นาที และค่า Gt สำหรับการกวนเร็วควรอยู่ในช่วง 3000-60000 และกวนช้าควรมี Gt ประมาณ 10000-100000

2.3.2 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน(Coagulation aid)

พอลิเมอร์สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ 2 ชนิด คือ

1. พอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (cellulose) เจลาติน (gelatin) และแป้ง (starch)
2. พอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ในปี ค.ศ. 1979 ได้มีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ขึ้นอย่างสมบูรณ์และนิยมใช้กันอย่างกว้าง polyacrylamide ที่สร้างขึ้นจากโมโนเมอร์(monomer) ที่รวมตัวกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนโมเลกุลจะประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณเป็นล้านหน่วยดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงรูปร่างพอลิเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย

(USEPA, 1979)

องค์ประกอบและรูปแบบทางด้านกายภาพของพอลิเมอร์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว (long chain) เป็นสารเคมีชนิดพิเศษ สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์จากโมโนเมอร์หลายๆอันรวมกัน หรือทำได้จากการเพิ่มสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มหน้าที่ของโมโนเมอร์ ซึ่งเป็นตัวแบ่งประเภทของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นโมโนเมอร์จึงส่วนประกอบหนึ่งของพอลิเมอร์ แขนงของโมโนเมอร์ค่อนข้างกว้างจึงใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์พอลิเมอร์ เช่น acrylamide สารอินทรีย์สังเคราะห์พอลิเมอร์ สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ คือ

cationic polymer มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ระดับของประจุบนพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนไอออนของ nitrogen groups มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุลบ ตัวอย่าง cationic polymer เช่น polydialyldimethyl ammonium(PDADMA,cat-floc) สารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท cationic เตรียมได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมีชนิด non-ionic-polyacrylamide หรือเป็นการรวม cationic monomer ด้วย acrylamide polymer ชนิด cationic polymer จะนิยมใช้ในงานปรับสภาพตะกอน เนื่องจากของแข็งในน้ำตะกอนสดนั้นมีประจุลบ

anionic polymer มีประจุลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของacrylamide ที่ละลาย acrylic acid ชนิดanionic polymer เช่น polyacrylamide acid (PAA) , hydrolyzed polyacrylamide(HPAM) และ polystryene sulfate(PSS) สารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท anionic มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำและทำให้เกิดกลุ่มamide group (NH_2) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของ anionic monomer จนเป็น acrylamide polymer

nonionic polymer ไม่ละลายน้ำแต่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของตะกอนให้เกิดการรวมตัวกันได้ดี ในทางปฏิบัติnonionic polymerอาจจะเกิดจากการรวมกันของสารอนินทรีย์

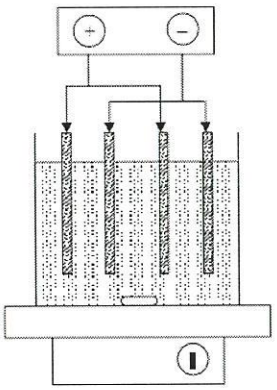
พอลิเมอร์ (inoganic polymer) หรือสารอินทรีย์พอลิเมอร์ (organic polymer) ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของ floc

2.3.3 กระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation) (สมพงษ์, 2551)

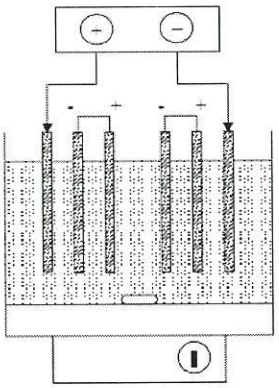
กระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation , EC) ใช้หลักการเดียวกับกระบวนการโคแอกกูเลชันในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แต่ใช้สารโคแอกกูแลนท์ในรูปของไอออนโลหะที่เกิดจากการละลายโลหะออกจากอิเลกโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วบวก (anode) และคอลลอยด์ยังถูกกำจัดด้วยเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องของไอออนโลหะในน้ำ อีกทั้งก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (cathode) จะช่วยทำให้ตะกอนคอลลอยด์ที่รวมตัวเป็นตะกอนลอยตัวขึ้น และสามารถกำจัดออกด้วยการกวาดทิ้งจากผิวน้ำซึ่งนิยมเรียกวิธีนี้ว่า การทำให้ตะกอนลอยตัวด้วยไฟฟ้า (electroflotation)

ถังปฏิกรณ์ของระบบ EC ทำจากเซลล์เคมีไฟฟ้าแบบอิเลกโตรไลซิส (electrolysis) ที่มีขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อต่อเข้ากับแหล่งพลังงานภายนอกปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (anode)จะทำให้เกิดการสึกกร่อนของอิเลกโทรดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขณะที่อิเลกโทรดที่ขั้วลบ (cathode) เกิดปฏิกิริยารีดักชันจะไม่เกิดการสึกกร่อน ในการใช้ระบบ EC เพื่อบำบัดน้ำเสียจะต้องใช้ปริมาณไอออนโลหะที่ละลายออกมาจากอิเลกโทรดจำนวนมากพอต่อปริมาณมลสารที่ต้องการกำจัด จึงต้องใช้อิเลกโทรดที่มีพื้นที่ผิวจำนวนมาก ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการใช้อิเลกโทรดขั้วเดียว (monopolar electrodes) ต่อแบบอนุกรมหรือแบบขนาน ชุดทดลองเซลล์ไฟฟ้าแบบง่ายๆ ประกอบด้วยอิเลกโทรดขั้วบวกและขั้วลบอย่างละคู่ต่อแบบขนานระหว่างกัน และเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) และจะต้องมีกล่องปรับความต้านทานเพื่อควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้ารวมทั้งมีมาตรวัดเพื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้าโดยแผ่นโลหะที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าและเกิดการสึกกร่อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า อิเลกโทรดที่ให้อิเลกตรอน (sacrificial electrode) ซึ่งอาจใช้โลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันเป็นอิเลกโทรดขั้วบวกและขั้วลบ รูปที่ 1(ข) แสดงเซลล์ไฟฟ้าขั้วเดียวต่อแบบอนุกรมอิเลกโทรดที่วางอยู่ด้านในเป็นอิเลกโทรดสังเวยซึ่งเชื่อมต่อระหว่างกันแต่ไม่เชื่อมต่อกับอิเลกโทรดด้านนอก การจัดเซลล์ไฟฟ้าในลักษณะนี้จะเปรียบเสมือนเซลล์ไฟฟ้าเดียวที่มีหลายอิเลกโทรดที่ต่อเชื่อมกัน จะต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าสูงเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอิเลกโทรดทั้งหมดในปริมาณเท่ากัน เนื่องจากการต่อแบบอนุกรมจะทำให้ความต้านทานมีค่าสูงขึ้น รูปแบบเซลล์ไฟฟ้าอิเลกโทรด 2 ขั้ว (bipolar electrodes) ต่อแบบขนานแสดงดังรูปที่ 1 (ค) อิเลกโทรดสังเวยจะถูกวางระหว่างขั้วบวกและขั้วลบโดยไม่เชื่อมกัน เป็นรูปแบบที่ง่ายและสะดวกในการบำรุงรักษาเมื่อใช้งานจริง เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าอิเลกโทรดทั้งสองจะมีประจุตรงข้ามกันกับขั้วไฟฟ้าด้านนอก

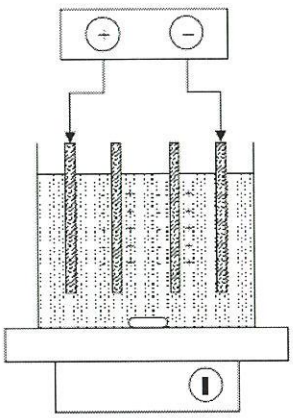
โดยทั่วไปนิยมใช้แผ่นโลหะ เช่น เหล็กหรืออลูมิเนียมเป็นอิเลกโทรดสังเวยเพื่อผลิตไอออนอย่างต่อเนื่อง ไอออนที่ผลิตขึ้นจะไปทำให้ประจุบนคอลลอยด์เป็นกลาง และทำให้คอลลอยด์รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ไอออนที่ผลิตขึ้นนี้อาจกำจัดมลสารในน้ำด้วยวิธีอื่นๆ เช่น ปฏิกิริยาเคมี และการตกผลึก หรือเกิดจากการรวมตัวกันของมลสารแล้วลอยขึ้นผิวหน้าโดยก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้น นอกจากนี้น้ำที่มีของแข็งแขวงลอย น้ำมัน หรือมลสารอื่นๆ เมื่อไหลผ่านสนามไฟฟ้าและอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาไอออไนเซชัน อิเลกโตรไลซิส หรือการเกิดอนุมูลอิสระ ทำให้คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำและมลสารเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีผลต่อการกำจัดมลสารออกจากน้ำ เพื่อกำจัดมลสารได้มากขึ้นอาจกำหนดให้น้ำเสียไหลผ่านเซลล์ไฟฟ้าหลายๆเซลล์อย่างต่อเนื่อง โดยใช้อิเลกโทรดที่ทำจากโลหะต่างชนิดกัน และในการกำจัดมลสารจำเพาะอาจต้องทำการปรับค่าพีเอช ORP และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนเข้าสู่เซลล์ไฟฟ้าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีขึ้น



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.5 แสดงชุดทดลอง EC ในห้องปฏิบัติการ (ก) อิเลกโทรดขั้วเดียวต่อแบบขนาน (ข) อิเลกโทรดขั้วเดียวต่อแบบอนุกรม (ค) อิเลกโทรด 2 ขั้วต่อแบบขนาน

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีและกลไกการเกิดโคแอกกูเลชันที่เกิดขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำ ได้แก่ พีเอช การนำไฟฟ้า ขนาดของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมีในน้ำ กลไกการเกิดไอออนจะขึ้นกับชนิดของอิเลกโทรดที่ใช้ดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (anode) มีดังต่อไปนี้

สำหรับ อิเลกโทรดอลูมิเนียม : $Al \longrightarrow Al^{3+} + 3e^-$

ในสารละลายที่เป็นด่าง : $Al^{3+} + 3OH^- \longrightarrow Al(OH)_3 \downarrow$

ในสารละลายที่เป็นกรด : $Al^{3+} + 3H_2O \longrightarrow Al(OH)_3 \downarrow + 3H^+$

สำหรับอิเลกโทรดเหล็ก : $Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

ในสารละลายที่เป็นด่าง : $Fe^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2 \downarrow$

ในสารละลายที่เป็นกรด : $4Fe^{2+} + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe^{3+} + 4OH^-$

และ ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซออกซิเจน $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (cathode) มีดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรเจน $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าจะไปเกาะติดกับของแข็งแขวนลอย และลอยตัวขึ้นผิวน้ำ Fe^{3+} ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับน้ำโดยขึ้นกับค่าพีเอชในสภาวะที่เป็นกรดจะได้ $Fe(OH)^{2+}$ $Fe(OH)_2^+$ และ $Fe(OH)_3$ ดังสมการต่อไปนี้

$Fe^{3+} + H_2O \longrightarrow Fe(OH)^{2+} + 2H^+$

$Fe^{3+} + 2H_2O \longrightarrow Fe(OH)_2^+ + 2H^+$

$Fe^{3+} + 3H_2O \longrightarrow Fe(OH)_3 \downarrow + 2H^+$

ในสภาวะเป็นด่างจะได้ $Fe(OH)_3$ และอาจพบ$Fe(OH)^-_6$ และ$Fe(OH)^-_4$ ร่วมด้วย สำหรับน้ำเสียที่มี Cr^{6+} หรือ CrO_4^{2-} เป็นองค์ประกอบสามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการECที่ใช้อิเลกโทรดที่เป็นเหล็ก โดยไอออน Fe^{2+} ที่เกิดขึ้นสามารถรีดิวซ์ Cr^{6+} ให้เป็น Cr^{3+} ในสภาวะที่ด่าง ดังสมการต่อไปนี้

$Cro^{2-}_4 + 3Fe^{2+} + 4H_2O \longrightarrow 3Fe^{3+} + Cr^{3+} + 8OH^-$

หรือ

$CrO^{2-}_4 + 3Fe^{2+} + 4H_2O + 4OH^- \longrightarrow 3Fe(OH)_3 \downarrow + Cr(OH)_3 \downarrow$

Cr^{3+} จะถูกกำจัดด้วยการตกผลึกเป็น $Cr(OH)_3$ เมื่อเพิ่มค่าพีเอชของน้ำเสีย นอกจากนี้ Fe^{2+} ยังสามารถรีดิวซ์ $Cr_2O_7^{2-}$ ในสภาวะที่เป็นกรดดังสมการต่อไปนี้

$Cr_2O_7^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H^+ \longrightarrow 2Cr^{3+} + 6Fe^{3+} + 7H_2O$

108548

2.3.4 การดูดติดผิว (Adsorption)

การดูดติดผิวเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับและติดบนผิว โมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า สารถูกดูด (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับเรียกว่า สารดูดติด (adsorbent) และเรียกกลไกตั้งแต่มีโมเลกุลหรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปเกาะติดกับพื้นที่ของอีกสารหนึ่งว่า การดูดติดผิว (adsorbtion) การเกาะจับโมเลกุลบนผิวของสาร อาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาล (van der waals) หรือด้วยแรงทางเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน สารดูดติดผิวมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1. ประเภทสารอินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (bone char) แอกติเวทเต็ดซิลิกา ฯลฯ สารเหล่านี้มีพื้นที่ผิว 50-200 ตารางเมตร/กรัม

2. แอคติเวทเต็ดคาร์บอน มีพื้นที่ผิวมากกว่าสารอนินทรีย์อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ คือ 600-1000 ตารางเมตร/กรัม จึงจัดแยกไว้จากสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ

3. สารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น เรซินแลกเปลี่ยนประจุมีพื้นที่ผิว 300-500 ตารางเมตร/กรัม

โดยทั่วไปกระบวนการดูดติดผิวในกระบวนการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำประปา และกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสียจะนิยมใช้แอกติเวทเต็ดคาร์บอนซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ทำให้มีความสามารถในการดูดติดผิวสูงตามไปด้วย

2.3.5 โอโซนเนชัน (Ozonation)

โอโซนเนชันเป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน (O_3) เป็นตัวออกซิไดซิงเอเจนต์ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้ง เช่นเดียวกับการใช้คลอรีน แต่โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซิงสูงกว่าคลอรีนเกือบ 1 เท่า การผลิตโอโซนกระทำได้โดยผ่านอากาศแห้งหรือออกซิเจนบริสุทธิ์ไประหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีความต่างศักย์ประมาณ 15000-20000 โวลท์ อะตอมของออกซิเจนจะถูกบังคับให้จับตัวกันใหม่กลายเป็นโอโซน(O_3) อากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตโอโซนได้ไม่เกิน 30 กรัม หรือเท่ากับร้อยละ 1.4 โดยปริมาตร ถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศแห้งอาจได้โอโซนเพิ่มเป็น 60-90 กรัม/ลูกบาศก์เมตร โอโซนสามารถทำให้เป็นของเหลวได้แต่นิยมใช้ในรูปก๊าซมากกว่า โอโซนเป็นก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรง คนสามารถทนโอโซนได้ถึง 0.1 พีพีเอ็มโดยปริมาตรโดยไม่เป็นอันตราย แต่ถ้าให้ดมโอโซนเข้มข้นประมาณร้อยละ 1 (ที่ผลิตได้โดยตรงจากเครื่อง) จะถึงแก่ความตายภายใน 1 นาที

2.3.6 คลอริเนชัน (Chlorination)

คลอริเนชันเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซิงเอเจนต์ ซึ่งมีอำนาจออกซิไดซ์สูงไปทำปฏิกิริยากับสีที่ติดอยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไปหรือลดปริมาณสีลง ปริมาณสีที่

ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนจะอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรท์ และคลอรีนไดออกไซด์

2.3.7 การใช้แผ่นเมมเบรน (Membrane Technology)

เทคโนโลยีของการใช้แผ่นเมนเบรมประกอบด้วยวิธีอุลตราฟิลเตรชัน รีเวอร์สออสโมซิส และวิธีอุลตราฟิลเตรชันมีหลักการทำงานของระบบคือ ใช้แผ่นเยื่อกระดาษ (membrane) แบบ porous พวกเซลลูโลส-อะซิเตต หรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1,034 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร เยื่อกรองจะทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนเล็กที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 500-500000 และขนาดตั้งแต่ $2x10^{-6}$ ถึง $1x10^{-2}$ มิลลิเมตรซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีอุลตราฟิลเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ด้วยการกรองแผ่นเยื่อกรองแบบซึมผ่านได้(semipermeable membreane) ณ ความดันตั้งแต่ความดันบรรยากาศจนถึง 6900 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร ระบบนี้อาจจะประกอบด้วยแผ่นเยื่อกรอง ตัวถัง และเครื่องสูบน้ำที่ให้ความดันสูง พวกแผ่นเยื่อกรองที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตต และไนลอน

วิธีที่กล่าวมามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของอุตสาหกรรมฟอกย้อม ในปัจจุบันนี้วิธีที่นำมาใช้อย่างจริงจัง ได้แก่ วิธีอุลตราฟิลเตรชัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งพบว่าสามารถนำ PVA โซดาไฟ สีย้อมอินดิโก และน้ำกลับมาใช้ได้อย่างประสบความสำเร็จ แม้ว่ากระบวนการนี้จะปรากฏ ให้เห็นว่าสามารถกำจัดสีย้อม และสารที่เติมได้ทุกประเภท แต่ก็ยังไม่มีการนำมาใช้ในทางปฏิบัติเนื่องจากความยุ่งอยากในการแยกสีผสม สีผสมโดยส่วนใหญ่เป็นกรณีของน้ำจากขั้นตอนการย้อม และการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งในการทดลองนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบการบำบัดสีย้อมและซีโอดีจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีขั้นตอนในการบำบัดง่าย และยังสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้ดียิ่งขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Raju et al. (2008) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันโดยใช้อิเลกโทรดเหล็กและอลูมิเนียมมาทดลองใช้เป็นขั้วแอโนด และพบว่าอลูมิเนียมมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย และค่าความเข้มข้นของซีโอดีของน้ำออกที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 1316 มิลลิกรัม/ลิตร ถูกทำให้ลดลงเหลือ 429 มิลลิกรัม/ลิตร

Sayiner et al. (2008) มีการศึกษาถึงการกำจัดโบรอนออกจากน้ำเสียด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน โดยใช้อลูมิเนียมและเหล็กเป็นเป็นขั้วแคโทดและแอโนดในถังปฏิกิริยา และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการบำบัดด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ความเข้มข้นเริ่มต้น และระยะเวลา

Chen. (2004) ได้บอกว่ากระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันเกี่ยวข้องกับการสร้างสารช่วยในการตกตะกอน โดยการละลายของอิเลกโทรดอลูมิเนียมหรือเหล็กเกิดเป็นอลูมิเนียมไอออนหรือเหล็กไอออน ตามลำดับ ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด และจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วแคโทด และปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน ได้แก่ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ให้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (สารอิเลกโตรไลท์) พีเอช อุณหภูมิ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

Kim et al. (2002) มีการศึกษาเพื่อเลือกสารสร้างตะกอนโดยสารที่ใช้ในการทดลองได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต โพลิอลูมิเนียมซิลิเกตซัลเฟต เฟอร์ริกคลอไรด์ และ เฟอร์ริกซัลเฟต และศึกษาสภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอช และปริมาณตัวตกตะกอน โดยวิธีจาร์เทสต์ ในการบำบัดด้วยกระบวนการสร้างตะกอนรวมทางเคมี กระบวนการออกซิไดซ์ทางเคมีเชิงไฟฟ้าจะใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นสารอิเลกโตรไลท์ โดยที่ความเข้มข้นของสารอิเลกโตรไลท์อยู่ในช่วง 0 25 125 และ 250 มิลลิโมลาร์ ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 0.7 2.1 4.2 และ 6.3 มิลลิแอมแปร์/ตารางเซนติเมตร ผลการทดลองพบว่า สารเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ปริมาณ 3.25×10^{-3} โมล/ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6 เป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัดด้วยกระบวนการสร้างตะกอนรวมทางเคมี และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและสีดีที่สุด คือ ร้อยละ70.5 และ 80.6 ตามลำดับ กระบวนการออกซิไดซ์ทางเคมีเชิงไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของสารอิเลกโตรไลต์ที่ 25 มิลลิโมลาร์ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 2.1 มิลลิแอมแปร์/ตารางเซนติเมตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัด และพบว่าถ้าความเข้มข้นของสารอิเลกโตรไลท์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและสีจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 24.3 เป็น 59.0 75.2 และ 94.7 ตามลำดับ แต่ที่ความเข้มข้นระหว่าง 25 ถึง 250 มิลลิโมลาร์ จะสามารถกำจัดซีโอดีได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 59.0 เป็น 76.0 ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพในการกำจัดสี

จะค่อนข้างคงที่แต่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 93.0 เป็น 94.7 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์(สารอิเลกโตรไลท์) จาก 25 มิลลิโมลาร์ เป็น 250 มิลลิโมลาร์ และเมื่อความเข้มข้นของสารอิเลกโตรไลท์เพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 6.5 39.3 59.0 และ 62.6 ตามลำดับ แต่การลดลงของสีจะมีแนวโน้มคล้ายกับผลของความเข้มข้นของสารอิเลกโตรไลท์ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 94.7 ถึง 97.0

Song et al. (2004) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังโดยกระบวนการสร้างตะกอนรวมทางเคมี และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสารรวมตะกอน 2 ชนิด คือ อลูมิเนียมซัลเฟต($Al_2(SO_4)_3.18H_2O$) และเฟอร์ริกคลอไรด์($FeCl_3.6H_2O$) โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาทดสอบด้วยวิธีจาร์เทสต์ เพื่อหาปริมาณสารรวมตะกอนและพีเอชที่เหมาะสมและนำน้ำเสียที่ผ่านการทดลองที่เป็นน้ำใสส่วนบนไปวิเคราะห์หาซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ความเข้มข้นของโครเมียม สี และของแข็งจมตัว จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่ได้ผลดีที่สุดเมื่อใช้ปริมาณสารรวมตะกอน 800 มิลลิกรัม/ลิตร และที่พีเอชเท่ากับ 7.5 จะทำให้มีการลดลงของสารแขวนลอยร้อยละ 38 ถึง 46 ซีโอดี ร้อยละ30 ถึง 37 โครเมียมร้อยละ 74 ถึง 99 และกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีและสารแขวนลอยได้ดีกว่าอลูมิเนียมซัลเฟต

Joo et al. (2005) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้สารรวมตะกอนอนินทรีย์ (สารส้มและเกลือเฟอร์ริก) ร่วมกับพอลิเมอร์ที่ทำการสังเคราะห์ขึ้น การทดลองนี้ใช้สีย้อมทั้ง 4 ชนิด (Black 5 , Blue2 , Red2 และ Yellow2) และน้ำเสียจริงที่เก็บจากแหล่งอุตสาหกรรมท้องถิ่น โดยทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม สภาวะและปริมาณที่เหมาะสมของทั้งสารรวมตะกอนอนินทรีย์และพอลิเมอร์ รวมทั้งยังศึกษาถึงการกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียจริง ในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าเมื่อใช้สารรวมตะกอนอนินทรีย์ (1 กรัม/ลิตร) เพียงชนิดเดียว พบว่าสามารถกำจัดสีย้อมได้เพียง ร้อยละ 20 อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเติมพอลิเมอร์ลงไป พบว่าประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 100 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของพอลิเมอร์ที่เติมลงไปมีค่าเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และชนิดของสารรวมตะกอนอนินทรีย์ที่ใช้อีกด้วย ส่วนในน้ำเสียจริงเมื่อใช้สารรวมตะกอนอนินทรีย์เพียงชนิดเดียว พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีค่าน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเติมพอลิเมอร์ผสมกับสารรวมตะกอนอนินทรีย์ทั้งสองชนิดนั่นคือ อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับพอลิเมอร์ และเกลือเฟอร์ริกร่วมกับพอลิเมอร์ พบว่าประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 60 และ 70 ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดการทดลองมาตรฐานจาร์เทสต์
2. เครื่องวัดค่าพีเอช
3. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
4. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
5. ชุดเครื่องกรองลดความดัน
6. เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับกระแสได้
7. ขั้วอิเลกโทรดที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม (ขนาด 78 มิลลิเมตร × 99 มิลลิเมตร × 2 มิลลิเมตร)
8. ปากคีบ
9. สายไฟ
10. กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน (membrane filter cellulose)

3.2 สารเคมี

1. สารส้ม (อลูมิเมียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3.XH_2O$)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 6 นอร์มอล
3. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
4. พอลิเมอร์ (Anionic Polymer)
5. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 1 นอร์มอล
6. สีรีแอกทีฟ

   COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% (RR)

   COLVAZOL YELLOW 3RS 150% (RY)
7. สีดิสเพอร์ส

   LONSPERSE BLUE UNSE 200% (DB)

   LONSPERSE SCALET GS 200% (DS)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิกรัม/ลิตร

สีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%) และสีดิสเพอร์ส(LONSPERSE BLUE UNSE 200% และLONSPERSE SCALET GS 200%)โดยชั่งสี 2 กรัมแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 20 ลิตร

3.3.1.2 การเตรียมน้ำเสียจริง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจริงจากบริษัทเปาไดอิ้ง อินดัสเตรียล จำกัด โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจริงจากอ่างสีย้อมรีแอกทีฟและสีย้อมดิสเพอร์ส

3.3.1.3 การเตรียมสารละลายสต๊อกอลูมิเนียมซัลเฟต 10000 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมสารละลายสต๊อกอลูมิเนียมซัลเฟตโดยชั่งอลูมิเนียมซัลเฟต 10 กรัม แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

3.3.1.4 การเตรียมสารละลายสต๊อกพอลิเมอร์ 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมสารละลายสต๊อกพอลิเมอร์โดยชั่งพอลิเมอร์ชนิดแอนไอออนิกพอลิเมอร์ 1 กรัม แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

3.3.1.5 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 นอร์มอล

เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์โดยชั่งโซเดียมคลอไรด์ 58.5 กรัม แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

3.3.2 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

3.3.2.1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟและดิสเพอร์สในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยทำการทดลองดังนี้

1. นำน้ำเสียสังเคราะห์ของสีรีแอกทีฟ 2 ชนิดและสีดิสเพอร์ส 2 ชนิด จำนวน 275 มิลลิลิตร ใส่ลงในชุดการทดลองมาตรฐานจาร์เทสต์
2. ทำการแยกชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 สีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%)

ชุดการทดลองที่ 2 สีดิสเพอร์ส (LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%)

3. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังนี้

สี COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร

สี COLVAZOL YELLOW 3RS 150% ที่ความยาวคลื่น 419 นาโนเมตร

สี LONSPERSE BLUE UNSE 200% ที่ความยาวคลื่น 576 นาโนเมตร

สี LONSPERSE SCALET GS 200% ที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร

และวัดค่าพีเอชก่อนการทดลอง

4. เติมอลูมิเนียมซัลเฟตลงในน้ำเสียสังเคราะห์ของสีรีแอกทีฟทั้ง 2 ชนิดสำหรับชุดการทดลองที่ 1 ที่ปริมาณต่างๆ กัน คือ 0 700 1000 1300 1600 1900 2200 และ 2500 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 350 มิลลิลิตร และเติมอลูมิเนียมซัลเฟตลงในน้ำเสียสังเคราะห์ของสีดิสเพอร์สทั้ง 2 ชนิดสำหรับชุดการทดลองที่ 2 ที่ปริมาณเต่างๆกัน คือ 0 300 500 700 900 1100 1300 และ 1500 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 320 มิลลิลิตร

5. ทำการเปิดเครื่องชุดทดลองมาตรฐานจาร์เทสต์ ให้มีความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที

6. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

7. นำสารละลายส่วนใสที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

8. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังข้อ 3 และวัดค่าพีเอชหลังการทดลอง

3.3.2.2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟและดิสเพอร์สในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยทำการทดลองดังนี้

1. นำน้ำเสียสังเคราะห์ของสีรีแอกทีฟทั้ง 2 ชนิดและสีดิสเพอร์สทั้ง 2 ชนิด จำนวน 275 มิลลิลิตร ใส่ลงในชุดการทดลองมาตรฐานจาร์เทสต์

2. ทำการปรับค่าพีเอชต่างๆกัน คือ พีเอช 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังนี้

สี COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร

สี COLVAZOL YELLOW 3RS 150% ที่ความยาวคลื่น 419 นาโนเมตร

สี LONSPERSE BLUE UNSE 200% ที่ความยาวคลื่น 576 นาโนเมตร

สี LONSPERSE SCALET GS 200% ที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร

3. เติมอลูมิเนียมซัลเฟตในปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.2.1

4. ทำการเปิดเครื่องชุดทดลองมาตรฐานจาร์เทสต์ ให้มีความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที

5. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

6. นำสารละลายส่วนใสที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

7. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังข้อ 2 และวัดค่าพีเอชหลังการทดลอง

3.3.3 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

3.3.3.1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟและดิสเพอร์สในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชันโดยทำการทดลองดังนี้

1. นำน้ำเสียจริงของสีรีแอกทีฟ 2 ชนิดและสีดิสเพอร์ส 2 ชนิด จำนวน 275 มิลลิลิตร ใส่ลงในชุดการทดลองมาตรฐานจาร์เทสต์

2. ทำการแยกชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 สีรีแอกทีฟ(COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%)

ชุดการทดลองที่ 2 สีดิสเพอร์ส (LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%)

3. นำมาปรับค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่3.3.2.2แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังนี้

สี COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร

สี COLVAZOL YELLOW 3RS 150% ที่ความยาวคลื่น 419 นาโนเมตร

สี LONSPERSE BLUE UNSE 200% ที่ความยาวคลื่น 576 นาโนเมตร

สี LONSPERSE SCALET GS 200% ที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร

4. เติมอลูมิเนียมซัลเฟตลงในน้ำเสียสังเคราะห์ของสีรีแอกทีฟทั้ง 2 ชนิดสำหรับชุดการทดลองที่ 1 ที่ปริมาณต่างๆ กัน คือ 0 700 1000 1300 1600 1900 2200 และ 2500 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 350 มิลลิลิตร และเติมอลูมิเนียมซัลเฟตลงในน้ำเสียสังเคราะห์ของสีดิสเพอร์สทั้ง 2 ชนิดสำหรับชุดการทดลองที่ 2 ที่ปริมาณเต่างๆกัน คือ 0 300 500 700 900 1100 1300 และ 1500 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 320 มิลลิลิตร

5. ทำการเปิดเครื่องชุดทดลองมาตรฐานจาร์เทสต์ ให้มีความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที

6. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

7. นำสารละลายส่วนใสที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

8. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังข้อ 3 และวัดค่าพีเอชหลังการทดลอง

3.3.4 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับพอลิเมอร์

3.3.4.1 การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การหาปริมาณพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟและดิสเพอร์สในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยทำการทดลองดังนี้

1. นำน้ำเสียจริงของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%) และสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%) จำนวน 275 มิลลิลิตร ใส่ลงในชุดการทดลองมาตรฐานจาร์เทสต์

2. ปรับค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2.2 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังนี้

สี COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร

สี LONSPERSE SCALET GS 200% ที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร

3. เติมอลูมิเนียมซัลเฟตในปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.3.1

4. เติมพอลิเมอร์ในปริมาณที่ต่างๆ กัน คือ 0 100 200 300 400 500 600 และ 700 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

5. ทำการเปิดเครื่องชุดทดลองมาตรฐานจาร์เทสต์ ให้มีความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที

6. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

7. นำสารละลายส่วนใสที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

8. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังข้อ 2 และวัดค่าพีเอชหลังการทดลอง

3.3.5 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

3.3.5.1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟและดิสเพอร์สในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันโดยทำการทดลองดังนี้

1. นำน้ำเสียสังเคราะห์ของสีรีแอกทีฟและสีดิสเพอร์ส ปริมาณ 1200 มิลลิลิตร ใส่ลงในถังปฏิกรณ์

2. ทำการแยกชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 สีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150 %) ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ต่างๆ กัน คือ ที่พีเอชเท่ากับ 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร

ชุดการทดลองที่ 2 สีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200 %) ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ต่างๆกัน คือ ที่พีเอชเท่ากับ 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร

3. จากนั้นนำมาให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมแปร์ โดยให้กระแสไฟฟ้านาน 30 นาที

4. นำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

5. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังข้อ 2 และวัดค่าพีเอชหลังการทดลอง

6. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

3.3.5.2 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

1. นำน้ำเสียสังเคราะห์ของสีรีแอกทีฟ(COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150 %) และสีดิสเพอร์ส(LONSPERSE SCALET GS 200 %) ปริมาณ 1200 มิลลิลิตรใส่ลงในถังปฏิกรณ์

2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.5.1 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังนี้

สี COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร

สี LONSPERSE SCALET GS 200% ที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร

3. จากนั้นนำมาให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมแปร์ โดยให้ระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้าต่าง ๆ กัน สำหรับสีดิสเพอร์ส คือ 10 20 และ 30 นาที ตามลำดับ และสีรีแอกทีฟ คือ 10 20 30 40 และ 50 นาที ตามลำดับ

4. นำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

5. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังข้อ 2 และวัดค่าพีเอชหลังการทดลอง

6. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

3.3.6 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

3.3.6.1 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

1. นำน้ำเสียจริงทั้งชนิดสีรีแอกทีฟ(COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150 %) และดิสเพอร์ส(LONSPERSE SCALET GS 200 %) ปริมาณ 1200 มิลลิลิตร ใส่ลงในถังปฏิกรณ์

2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.5.1 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังนี้

สี COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร

สี LONSPERSE SCALET GS 200% ที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร

3. จากนั้นนำมาให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมแปร์ โดยให้ระยะเวลาการให้กระแสไฟฟ้าต่างๆกัน สำหรับสีดิสเพอร์ส คือ 10 20 30 และ 40 นาที ตามลำดับ และสีรีแอกทีฟ คือ 10 20 30 40 และ 50 นาที ตามลำดับ

4. นำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

5. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังข้อ 2 และวัดค่าพีเอชหลังการทดลอง

6. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

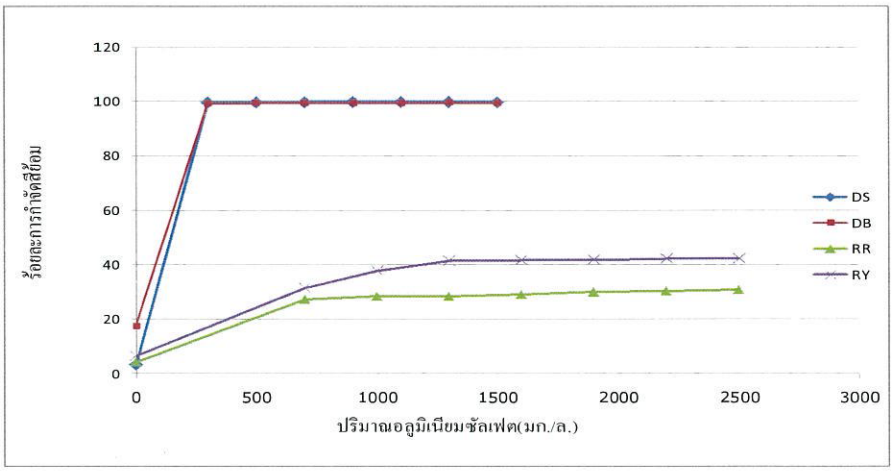
บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

4.1.1 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

4.1.1.1 การศึกษาผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการศึกษาในเบื้องต้นผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ของสีทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% , COLVAZOL YELLOW 3RS 150% , LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%) ได้ผลการทดลองดังนี้



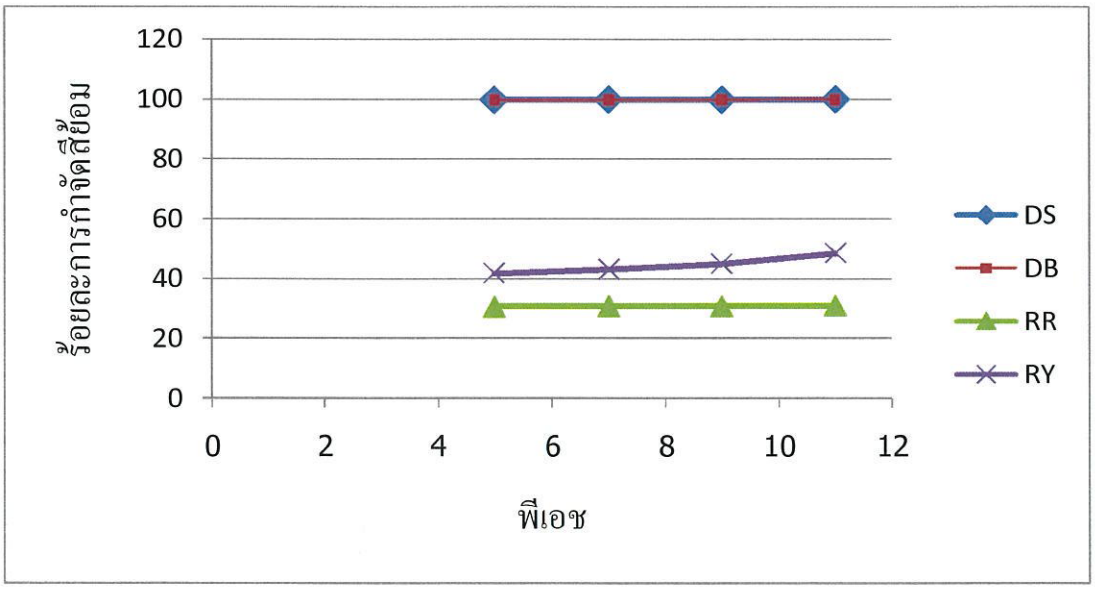
รูปที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟและดิสเพอร์สในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากรูปที่ 4.1 พบว่าปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สในน้ำเสียสังเคราะห์(LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%) อยู่ในช่วง 300 – 1500 มิลลิกรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงใกล้เคียงกัน

ส่วนในสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%) นั้นปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 1300-2500 มิลลิกรัม/ลิตร และยังพบว่าที่ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตเท่ากันจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สดีกว่าสีย้อมรีแอกทีฟ

4.1.1.2 การศึกษาผลของพีเอชต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้สารสร้างตะกอนอนินทรีย์ คือ อลูมิเนียมซัลเฟตพบว่าค่าพีเอชเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการสร้างตะกอนโดยจะต้องอยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสม ซึ่งในการทดลองนี้ทำการควบคุมปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตโดยใช้ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมจากการทดลอง 3.3.2.1 และทำการศึกษาที่พีเอช 5 7 9 และ 11 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.2



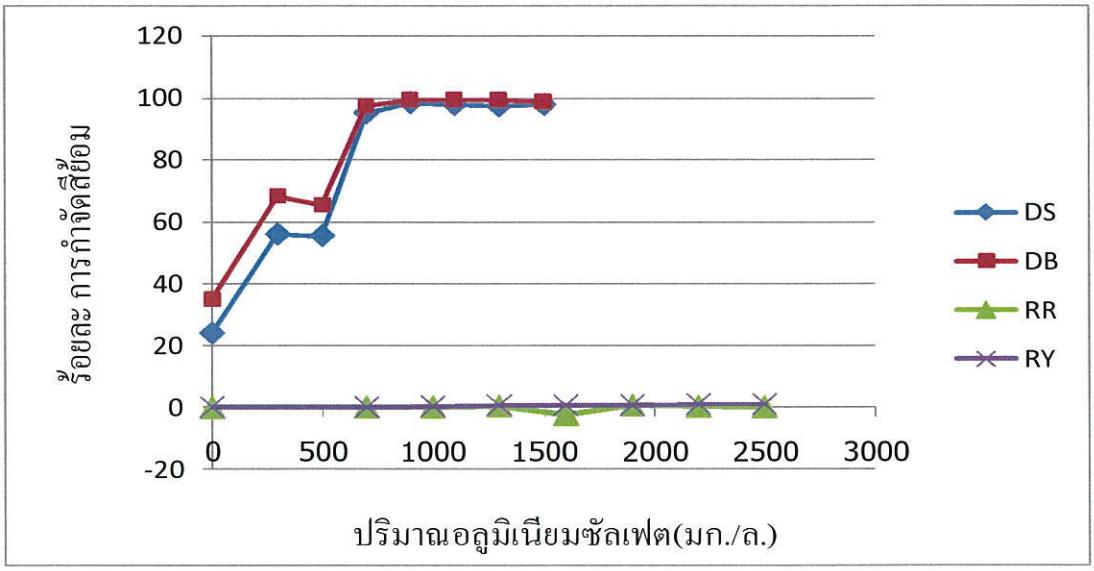
รูปที่ 4.2 แสดงผลของพีเอชต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟและดิสเพอร์สในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันเมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน

จากผลการทดลองโดยทำการศึกษาที่พีเอช 5 7 9 และ 11 พบว่ามีแนวโน้มของประสิทธิภาพในกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สและรีแอกทีฟเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าพีเอชเดียวกันจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สสูงกว่าสีย้อมรีแอกทีฟ

4.1.2 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

4.1.2.1 การศึกษาผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการศึกษาในเบื้องต้นผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดน้ำเสียจริงทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ น้ำเสียจริงของสีย้อมรีแอกทีฟและน้ำเสียจริงของสีย้อมดิสเพอร์ส โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.2.2 มาทำการศึกษาซึ่ง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3

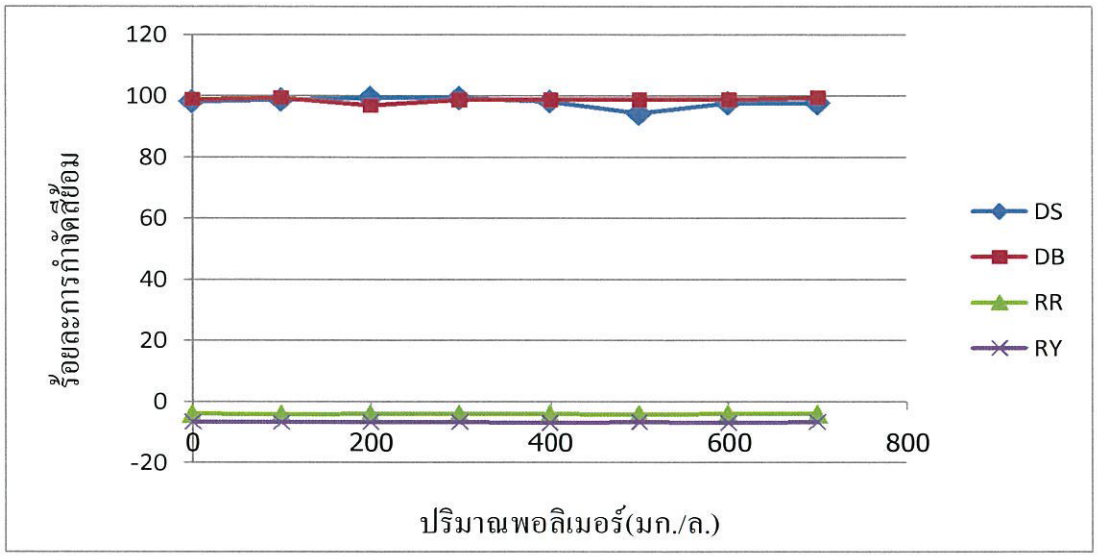


รูปที่ 4.3 แสดงผลของปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

เมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟตปริมาณ 700 ถึง 1500 มิลลิกรัม/ลิตร ในการกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียจริงของสีย้อมดิสเพอร์ส ซึ่งประกอบด้วยสี 2 ชนิด คือ LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%) พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึงร้อยละ 99.40 และ 98.43 ตามลำดับ สำหรับสีย้อมรีแอกทีฟซึ่งประกอบด้วยสี 2 ชนิด คือ COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150% มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำกว่าสีย้อมดิสเพอร์สมาก

4.1.2.2 การศึกษาผลของปริมาณพอลิเมอร์ต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้สารสร้างตะกอนอนินทรีย์ คือ อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับพอลิเมอร์ โดยใช้ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.2.2 และใช้ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.3.1 ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณพอลิเมอร์ต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

เมื่อใช้ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมร่วมกับพอลิเมอร์ที่ปริมาณต่างๆกันพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สในน้ำเสียจริง ซึ่งประกอบด้วยสี 2 ชนิด คือ LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดถึงร้อยละ99.38 และ 99.45 ตามลำดับ สำหรับสีย้อมรีแอกทีฟซึ่งประกอบด้วยสี 2 ชนิด คือ COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150% จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำกว่าสีย้อมดิสเพอร์สมาก จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้ต่ำกว่าศูนย์อาจเนื่องมาจากไม่ได้ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงหลังจากทำการทดลองเสร็จทันทีทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นและอีกทั้งสภาวะของเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากมีการใช้เครื่องหลายกลุ่มในสภาวะที่แตกต่างกันและใช้ติดต่อกันเป็นระยะ

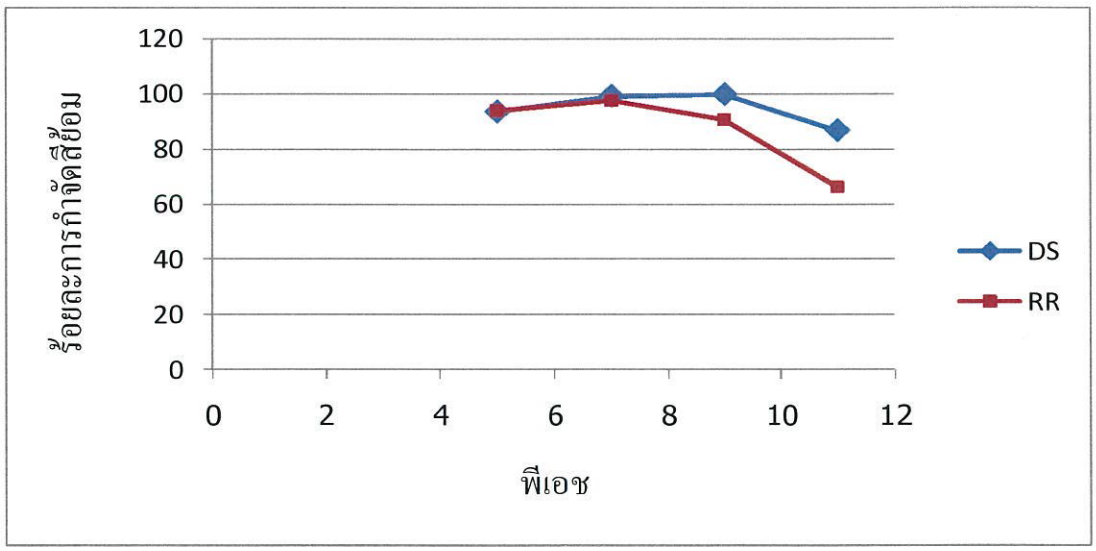
เวลานานซึ่งปกติแล้วต้องมีการพักเครื่องบ้าง แต่เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้เครื่องอยู่ในสภาพที่ไม่พร้อมใช้งาน ค่าการดูดกลืนแสงจึงมีความคลาดเคลื่อนได้

4.2 การกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

4.2.1 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

4.2.1.1 การศึกษาผลของพีเอชต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

จากการทดลองทำการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ 1 แอมแปร์ เป็นเวลา 30 นาที ที่พีเอชต่างๆ คือ 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ ซึ่งผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.5

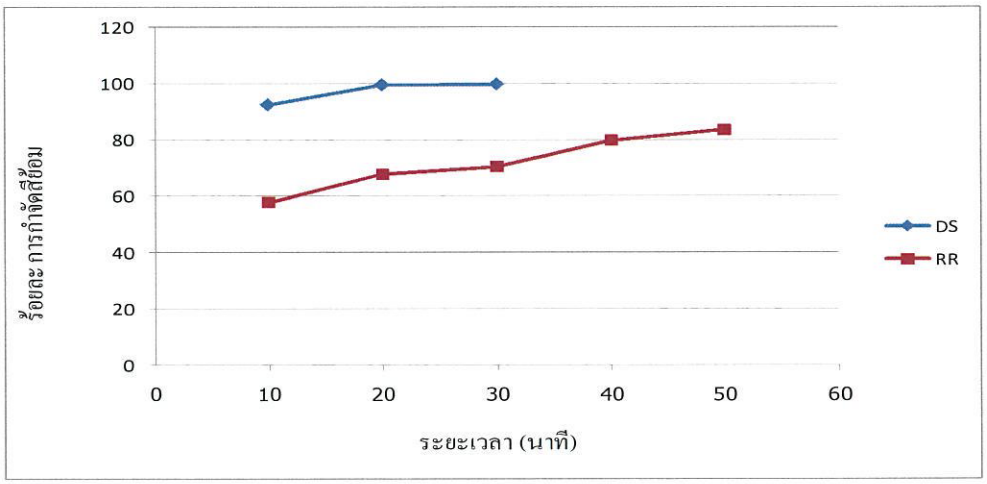


รูปที่ 4.5 แสดงผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน ซึ่งจากผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมทั้งสีย้อมดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%) และรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%) อยู่ที่พีเอช 9 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง 99.82 และ 97.63 ตามลำดับ

4.2.1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้าต่อการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

เมื่อทำการทดลองโดยควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียสังเคราะห์ที่1 แอมแปร์ และปรับพีเอชของสีย้อมดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%) ให้เป็นพีเอช 9 โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 10 20 และ 30 นาที ตามลำดับ สำหรับสีย้อมรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%) ปรับพีเอชให้เป็น 7 โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 10 20 30 40 และ 50 นาที ตามลำดับ ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.6

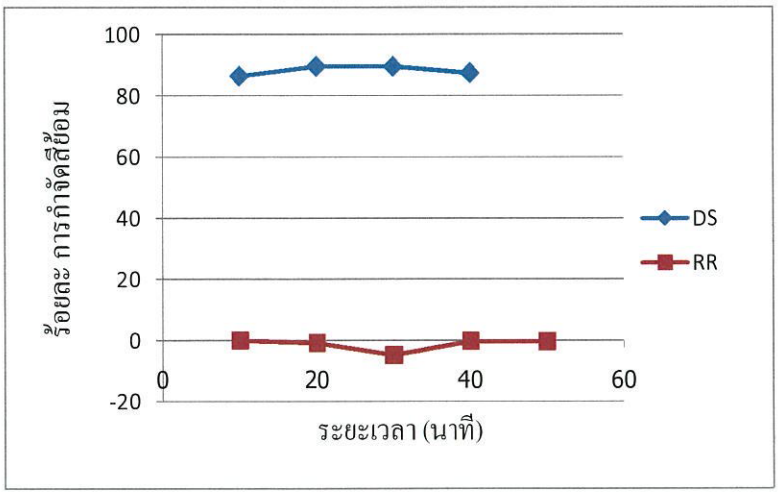


รูปที่ 4.6 แสดงผลของระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

จะเห็นได้ว่าระยะเวลาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน ซึ่งจากผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อให้ระยะเวลาในการกำจัดสีย้อมทั้ง 2 ชนิดมากขึ้นจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงขึ้นโดยที่สีย้อมดิสเพอร์สจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าสีย้อมรีแอกทีฟที่ระยะเวลาเท่ากัน ซึ่งจากรูปที่ 4.5 และ 4.6 จะพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแตกต่างกันค่อนข้างมากโดยคิดเป็นร้อยละ 70.51 และ 97.63 ตามลำดับ ทั้งที่ทำการทดลองที่สภาวะเดียวกัน คือ ที่พีเอช 7 ที่ระยะเวลาให้กระแสไฟฟ้า 30 นาที ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการใช้แผ่นอิเลกโทรดที่ผ่านการทดลองมาหลายครั้งจึงมีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมต่ำกว่าการใช้แผ่นอิเลกโทรดที่ผ่านการทดลองมาน้อยครั้งกว่า

4.2.2 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

จากการทดลองโดยนำสภาวะที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริง พบว่าต้องทำการปรับพีเอชให้เป็น 9 สำหรับสีย้อมดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%) และปรับพีเอชให้เป็น 7 สำหรับสีย้อมรีแอกทีฟ โดยให้กระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมแปร์กับสีย้อมทั้ง 2 ชนิดที่ระยะเวลาต่างกันได้ผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงผลของระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันพบว่าค่าพีเอช และระยะเวลาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สมีค่าสูงและมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงกว่าสีย้อมรีแอกทีฟ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สและรีแอกทีฟจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน พบว่าค่า พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สและรีแอกทีฟ คือ พีเอช 11 และปริมาณของอลูเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 900 และ 1,900 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อใช้อลูเนียมซัลเฟตร่วมกับพอลิเมอร์พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมมีค่าใกล้เคียงกับการใช้สารรวมตะกอนอนินทรีย์ซึ่งในที่นี้คือ อลูเนียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว สำหรับการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สและรีแอกทีฟ ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสม ในการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สและรีแอกทีฟ คือ พีเอช 9 และ พีเอช 7 ตามลำดับ และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้ามากขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งกระบวนการโคแอกกูเลชันและอิเลกโตรโคแอกกูเลชันให้ผลในการกำจัดสีย้อมใกล้เคียงกัน โดยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันไม่ต้องใช้สารเคมีในการกำจัดสีย้อมและใช้เวลาในการกำจัดน้อยกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันจึงเหมาะแก่การนำไปใช้ในการกำจัดสีย้อมมากกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาถึงประสิทธิภาพของสารรวมตะกอนและพอลิเมอร์ชนิดอื่นในกระบวนการสร้างตะกอนรวม

2. ควรศึกษาน้ำเสียที่ออกจากระบบการสร้างตะกอนรวมโดยกระบวนการอื่นต่อไป

3. จากกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน ควรทำการศึกษาถึงปัจจัยเพิ่มเติมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม นอกเหนือจากการวิจัยในครั้งนี้ เช่น ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ชนิดของอิเลกโทรด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

คู่มือตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ. สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม. สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2538. **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2551. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า(Electrocoagulation). **วารสารเทคนิค**. 283. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต.

APHA , AWWA and WEF , 1995. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington, DC : APHA , AWWA and WEF.

Joo ,D.J., Shin ,W.S., Choi , J-H.,Choi , S.J.,Kim ,M-C.,Han , M.H., Ha ,T.W., and Kim,Y-H., 2005. Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and syntheticpolymer. **Dyes and Pigments**, 701-702, 749-760.

Raju ,G.B., Karuppiah ,M.T., Latha ,S.S., Parvathy ,S., and Prabhakar , S., 2008. Treatment of wastewater from synthetic textile industry by electrocoagulation-electrooxidation. **Chemical Engineering Journal**, 144 : 51-58.

Sayiner ,G., Kandemirli , F., and Dimoglo,A., 2008. Evaluation of boron removal by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. **Desalination ,** 230 : 205-212.

Chen,G., 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment. **Separation Purification Technology**, 38 : 11-41.

Heidmann ,I.,and Calmano,W., 2008. Removal of Zn(II) , Cu(II) , Ni(II) , Ag(I) and Cr(VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, 152 : 934-941.

Kim ,T-H., Park ,C., Lee ,J., Shin ,E-B., and Kim,S., 2002. Pilot scale treatment of textile wastewater by combined process (fluidized biofilm process – chemical coagulation – electrochemical oxidation). **Water research**, 36 : 3979-3988.

Song ,Z.,Williams ,C.J., and Edyvean,R,G.J., 2004. Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. **Desalination,** 164 : 249-259.

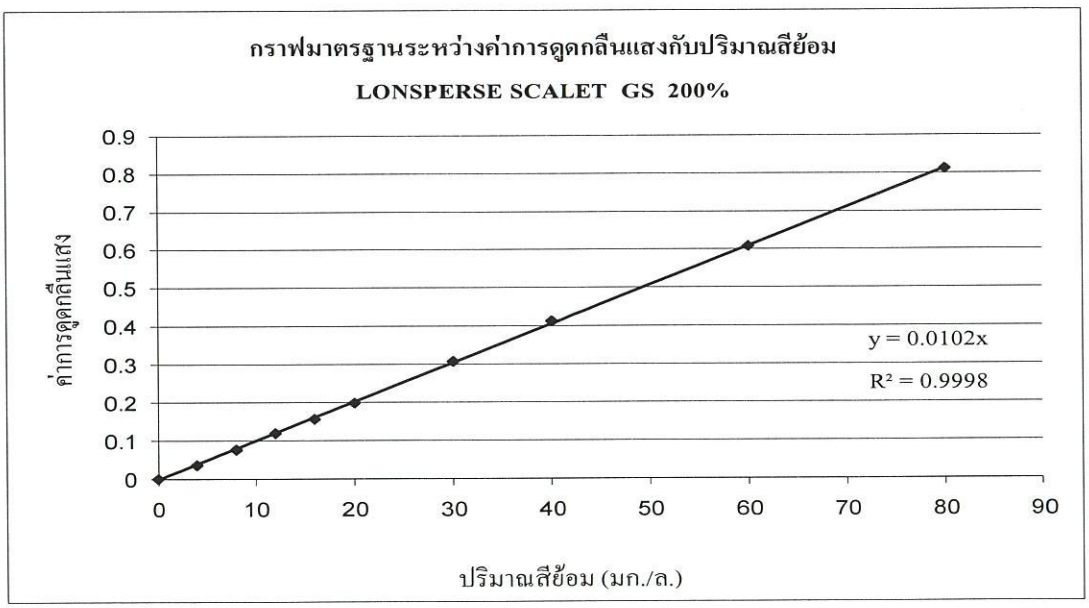
ภาคผนวก ก
การเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมและกราฟมาตรฐานสีย้อม

การเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อม

เตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมทุกชนิดที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยชั่งผงสีย้อม 100 มิลลิกรัม แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนเป็น 1000 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมชุดสารละลายมาตรฐานสีย้อมทุกชนิดเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0 4 8 12 16 20 30 40 60 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยสแกนหาค่าความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสีย้อมกับค่าการดูดกลืนแสง โดยกราฟมาตรฐานของสีย้อมและค่าการดูดกลืนแสงแสดงได้ดังนี้

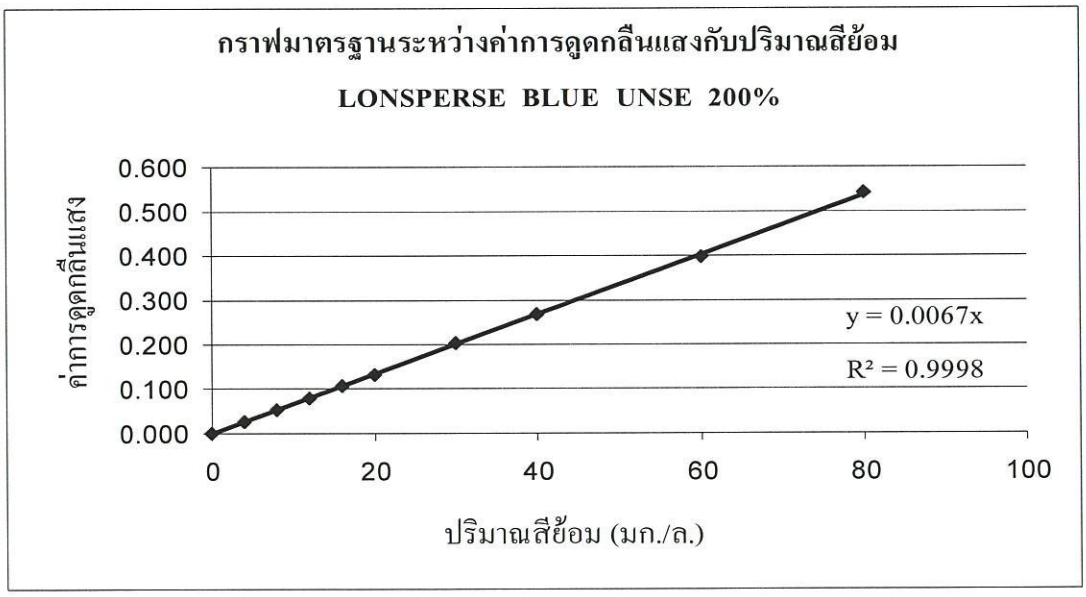
ตารางที่ 1 แสดงปริมาณสีย้อม LONSPERSE SCALET GS 200%กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร

ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.002
4	0.038
8	0.078
12	0.121
16	0.158
20	0.200
30	0.308
40	0.413
60	0.609
80	0.812



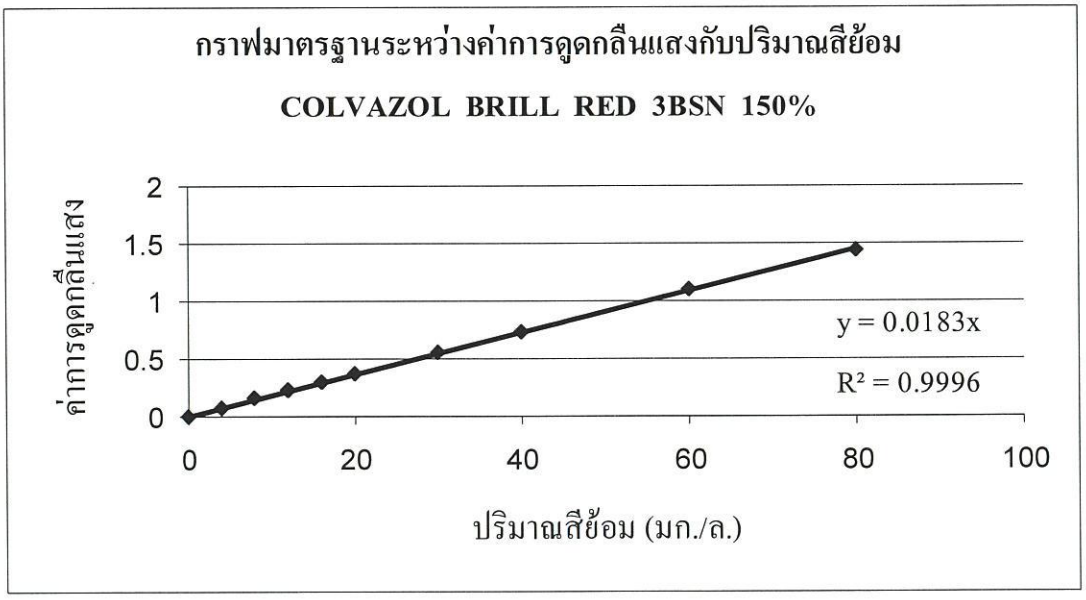
ตารางที่ 2 แสดงปริมาณสีย้อม LONSPERSE BLUE UNSE 200% กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 576 นาโนเมตร

ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
4	0.026
8	0.053
12	0.079
16	0.107
20	0.132
30	0.203
40	0.268
60	0.398
80	0.543



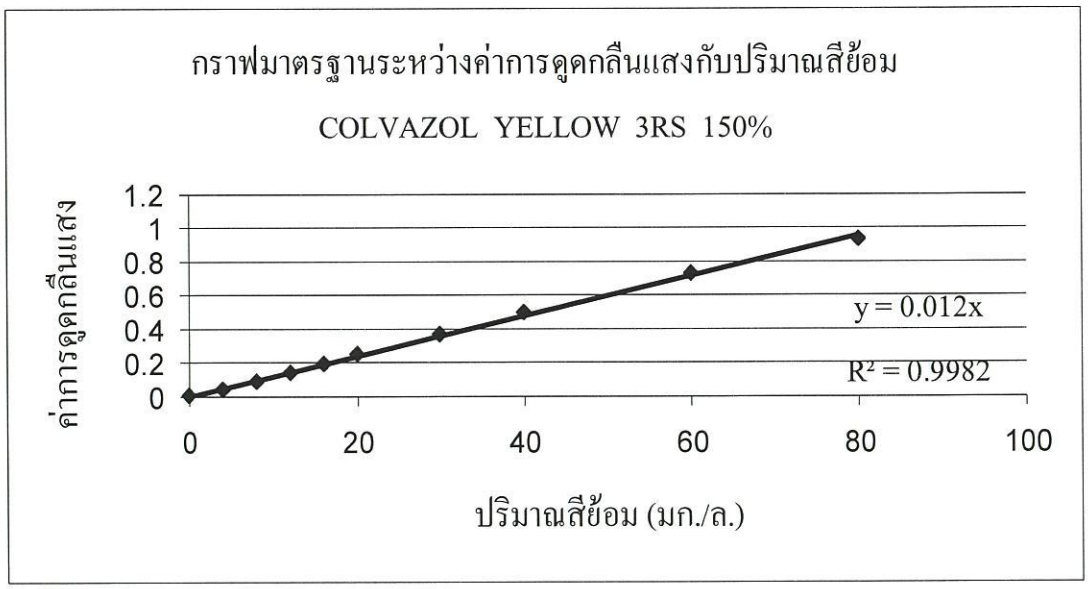
ตารางที่ 3 แสดงปริมาณสีย้อม COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร

ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.001
4	0.074
8	0.162
12	0.230
16	0.298
20	0.371
30	0.557
40	0.733
60	1.104
80	1.445



ตารางที่ 4 แสดงปริมาณสีย้อม COLVAZOL YELLOW 3RS 150%กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 419 นาโนเมตร

ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.009
4	0.044
8	0.092
12	0.144
16	0.197
20	0.254
30	0.370
40	0.500
60	0.731
80	0.935



ภาคผนวก ข

คุณสมบัติของน้ำเสียจริงจากอ่างสีย้อมรีแอกทีฟและสีย้อมดิสเพอร์ส

คุณสมบัติของน้ำเสียจริงจากอ่างสีย้อมรีแอกทีฟและสีย้อมดิสเพอร์ส

1. สีย้อมรีแอกทีฟ ซึ่งประกอบด้วยสีย้อม 2 ชนิด คือ COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150% โดยลักษณะที่สังเกตได้พบว่ามีสีแดงเข้มและขุ่น มีค่าพีเอชเท่ากับ 10.41 เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 2.454 และ 1.592 สำหรับสีย้อม COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150% ตามลำดับ
2. สีย้อมดิสเพอร์ส ซึ่งประกอบด้วยสีย้อม 2 ชนิด คือ LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200% โดยลักษณะที่สังเกตได้พบว่ามีสีชมพูอมส้มอ่อนๆและใส มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.06 เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.113 และ 0.181 สำหรับสีย้อม LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200% ตามลำดับ

ภาคผนวก ค
การเติมสารเคมี

การทดลองที่ 3.3.2 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การทดลองที่ 3.3.2.1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และCOLVAZOL YELLOW 3RS 150%)

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ปริมาตรอลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้จริง (มล.)	น้ำกลั่น (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียรวมทั้งหมด (มล.)
0	0	75	275	350
700	19	56	275	350
1000	27	48	275	350
1300	36	39	275	350
1600	44	31	275	350
1900	52	23	275	350
2200	60	15	275	350
2500	69	6	275	350

ชุดการทดลองที่ 2 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%)

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ปริมาตรอลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้จริง (มล.)	น้ำกลั่น (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียรวมทั้งหมด (มล.)
0	0	45	275	320
300	8	37	275	320
500	14	31	275	320
700	19	26	275	320
900	25	20	275	320
1100	30	15	275	320
1300	36	9	275	320
1500	41	4	275	320

การทดลองที่ 3.3.3 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การทดลองที่ 3.3.3.1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และCOLVAZOL YELLOW 3RS 150%)

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ปริมาตรอลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้จริง (มล.)	น้ำกลั่น (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียจริง (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียรวมทั้งหมด (มล.)
0	0	75	275	350
700	19	56	275	350
1000	27	48	275	350
1300	36	39	275	350
1600	44	31	275	350
1900	52	23	275	350
2200	60	15	275	350
2500	69	6	275	350

ชุดการทดลองที่ 2 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%)

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ปริมาตรอลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้จริง (มล.)	น้ำกลั่น (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียจริง (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียรวมทั้งหมด (มล.)
0	0	45	275	320
300	8	37	275	320
500	14	31	275	320
700	19	26	275	320
900	25	20	275	320
1100	30	15	275	320
1300	36	9	275	320
1500	41	4	275	320

การทดลองที่ 3.3.4 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับพอลิเมอร์

การทดลองที่ 3.3.4.1 การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และCOLVAZOL YELLOW 3RS 150%)

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ปริมาตรอลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้จริง (มล.)	ปริมาณพอลิเมอร์ (มก./ล.)	ปริมาตรของพอลิเมอร์ที่ใช้จริง (มล.)	น้ำกลั่น (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียจริง (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียรวมทั้งหมด (มล.)
1900	52	0	0	23	275	350
1900	52	100	3	20	275	350
1900	52	200	5	18	275	350
1900	52	300	8	15	275	350
1900	52	400	11	12	275	350
1900	52	500	14	9	275	350
1900	52	600	16	7	275	350
1900	52	700	19	4	275	350

ชุดการทดลองที่ 2 การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%)

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ปริมาตรอลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้จริง (มล.)	ปริมาณพอลิเมอร์ (มก./ล.)	ปริมาตรของพอลิเมอร์ที่ใช้จริง (มล.)	น้ำกลั่น (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียจริง (มล.)	ปริมาตรน้ำเสียรวมทั้งหมด (มล.)
900	25	0	0	20	275	320
900	25	100	3	17	275	320
900	25	200	5	15	275	320
900	25	300	8	12	275	320
900	25	400	11	9	275	320
900	25	500	14	6	275	320
900	25	600	16	4	275	320
900	25	700	19	1	275	320

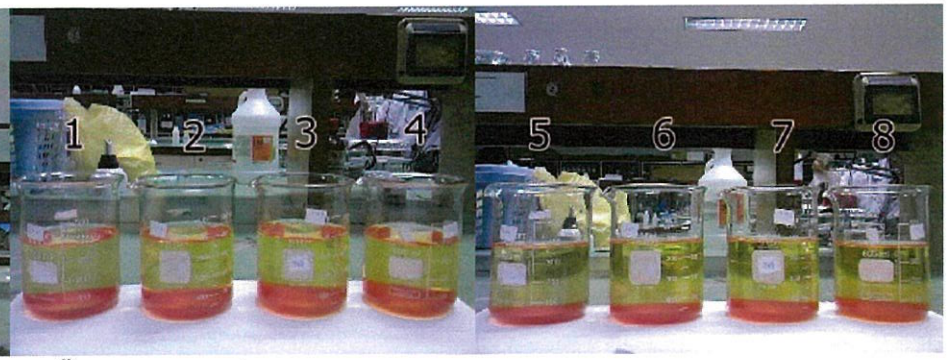
หมายเหตุ : การทดลองนี้ทำการคำนวณหาปริมาตรของอลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้จริงจากปริมาตรของน้ำเสียจริง คือ 275 มิลลิลิตร แต่ในความจริงแล้วต้องคำนวณจากปริมาตรของน้ำเสียรวมทั้งหมด ทำให้ปริมาตรของอลูมิเนียมซัลเฟตในการทดลองนี้คลาดเคลื่อนจากความจริงเล็กน้อย

ภาคผนวก ง

รูปผลการทดลอง

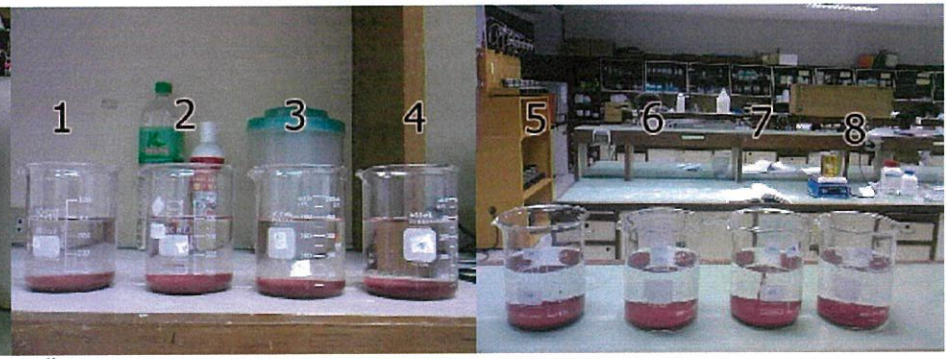
กระบวนการโคแอกกูเลชัน

น้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ (COLVAZOL YELLOW 3RS150%) ก่อนบำบัด



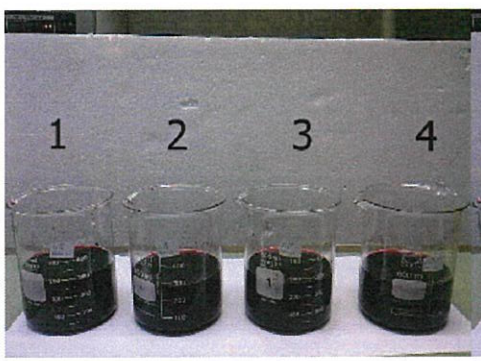
น้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ (COLVAZOL YELLOW 3RS150%) หลังบำบัด

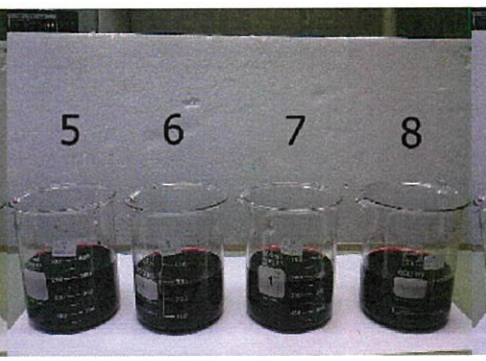
น้ำเสียสังเคราะห์สีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SACALAT GS 200%) ก่อนบำบัด



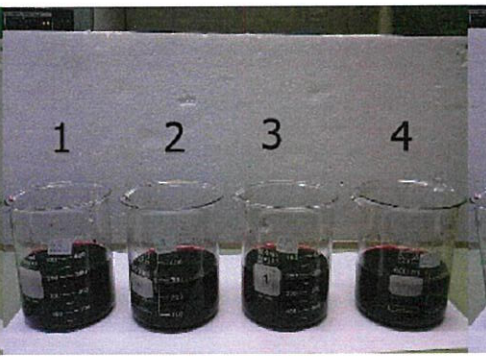
น้ำเสียสังเคราะห์สีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SACALAT GS 200%) ก่อนบำบัด

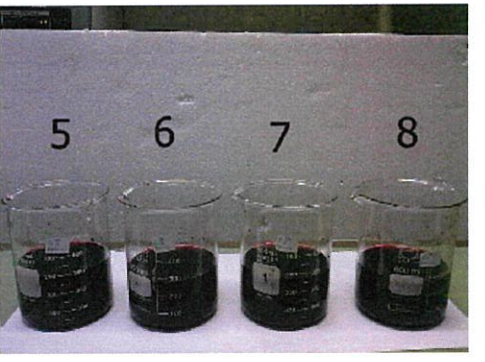
กระบวนการโคแอกกูเลชัน



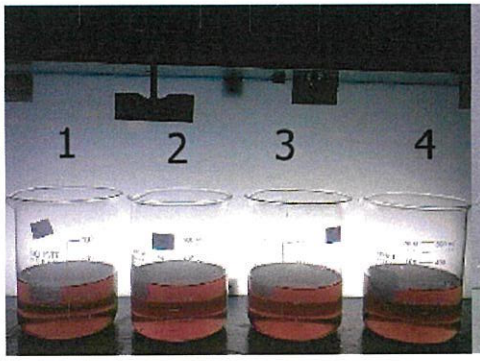


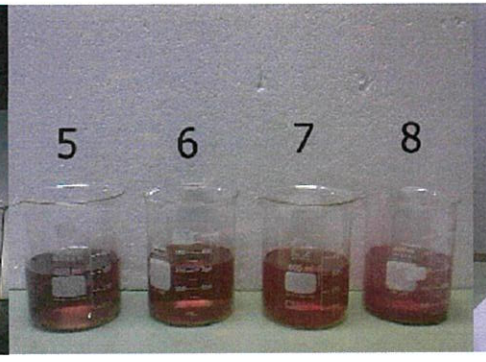
น้ำเสียจริงสีรีแอกทีฟก่อนบำบัด



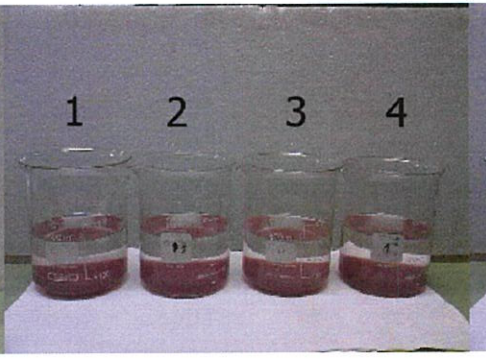


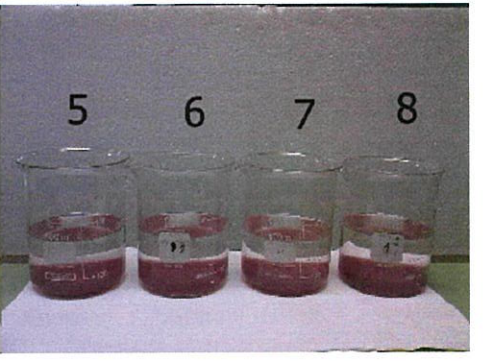
น้ำเสียจริงสีรีแอกทีฟหลังบำบัด





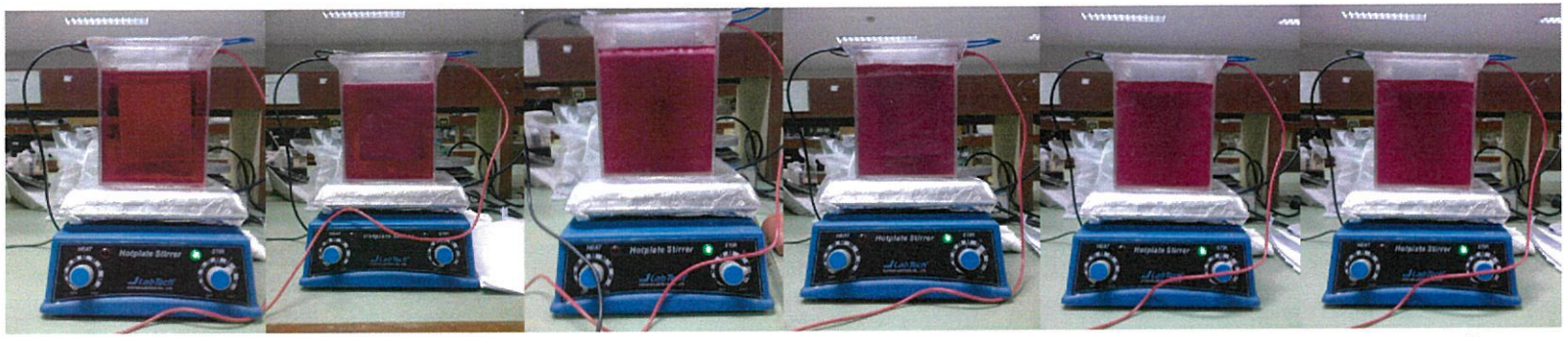
น้ำเสียจริงสีดิสเพอร์สก่อนบำบัด





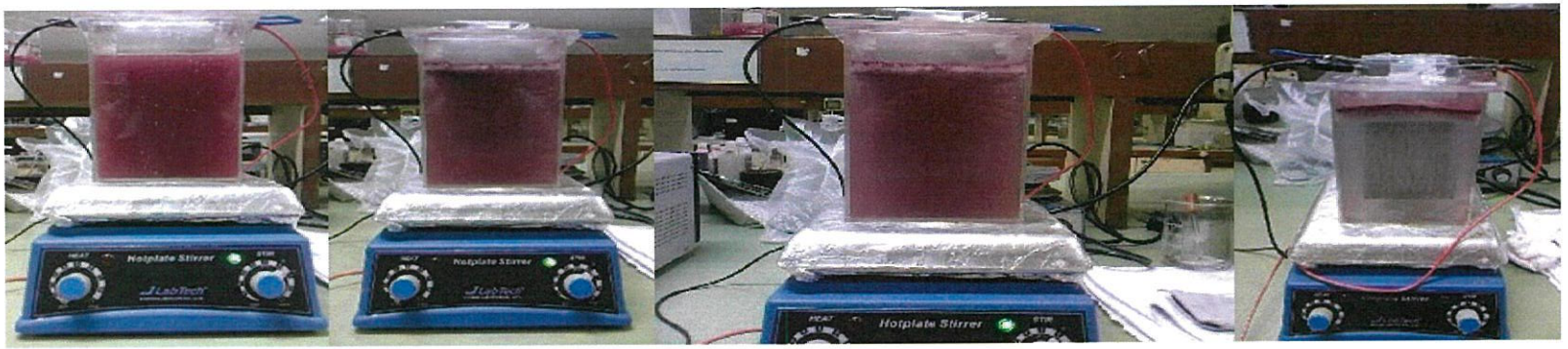
น้ำเสียจริงสีดิสเพอร์สหลังบำบัด

กระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน



ก่อนกำจัด 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที

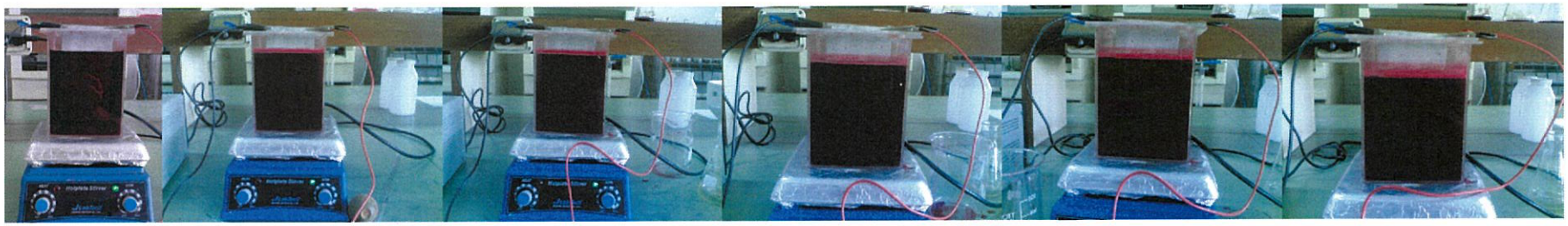
น้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ(COLVAZOL BRTLL RED 3BSN 150%) ที่ระยะการกำจัดต่างๆกัน



ก่อนกำจัด 10 นาที 20 นาที 30 นาที

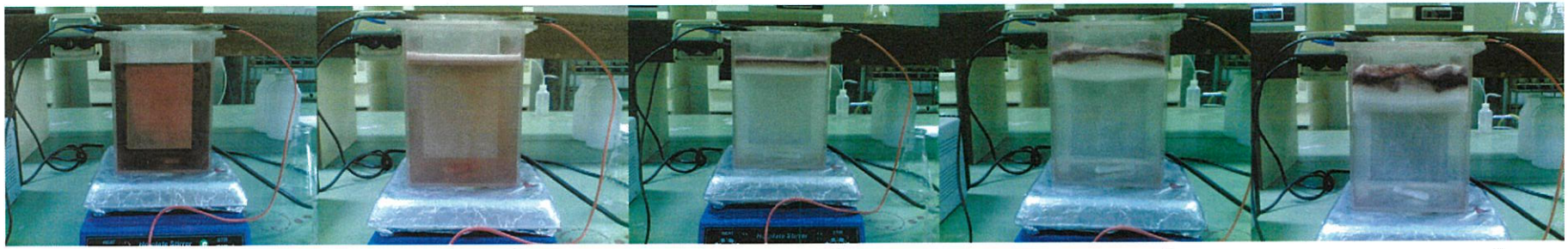
น้ำเสียสังเคราะห์สีดิสเพอร์ส(LONSPERSE SACALAT GS 200%)ที่ระยะเวลาการกำจัดต่างๆกัน

กระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน



ก่อนกำจัด 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50นาที

น้ำเสียจริงสีรีแอกทีฟที่ระยะเวลาการกำจัดต่างๆกัน

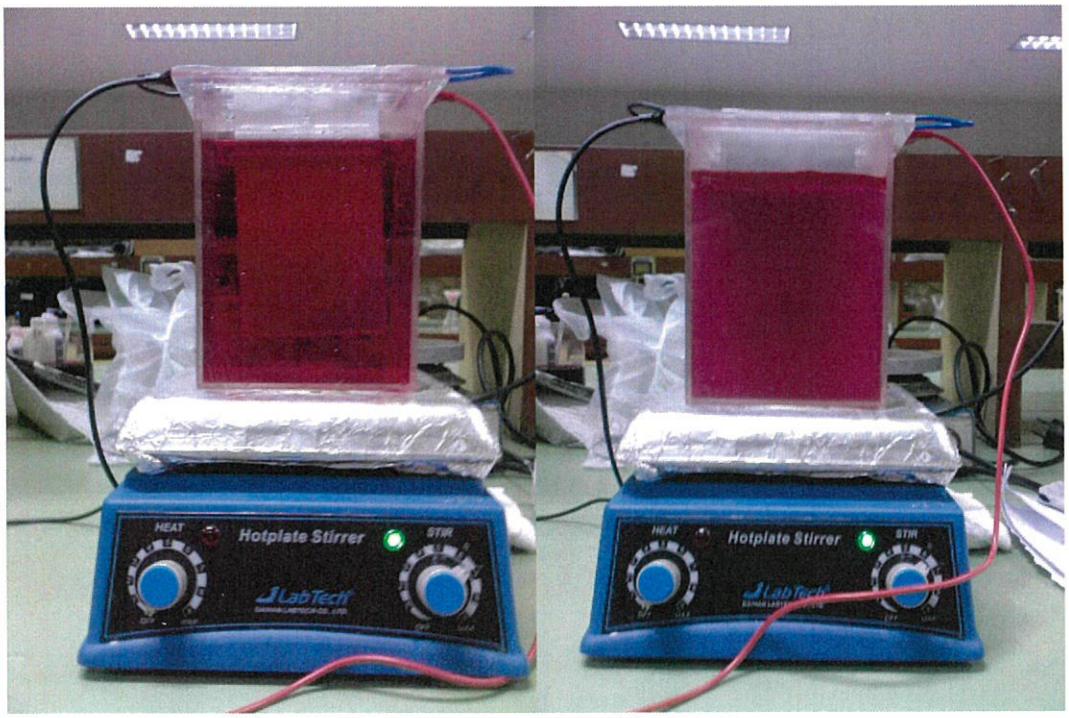


ก่อนกำจัด 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที

น้ำเสียจริงสีดิสเพอร์สที่ระยะเวลาการกำจัดต่างๆกัน

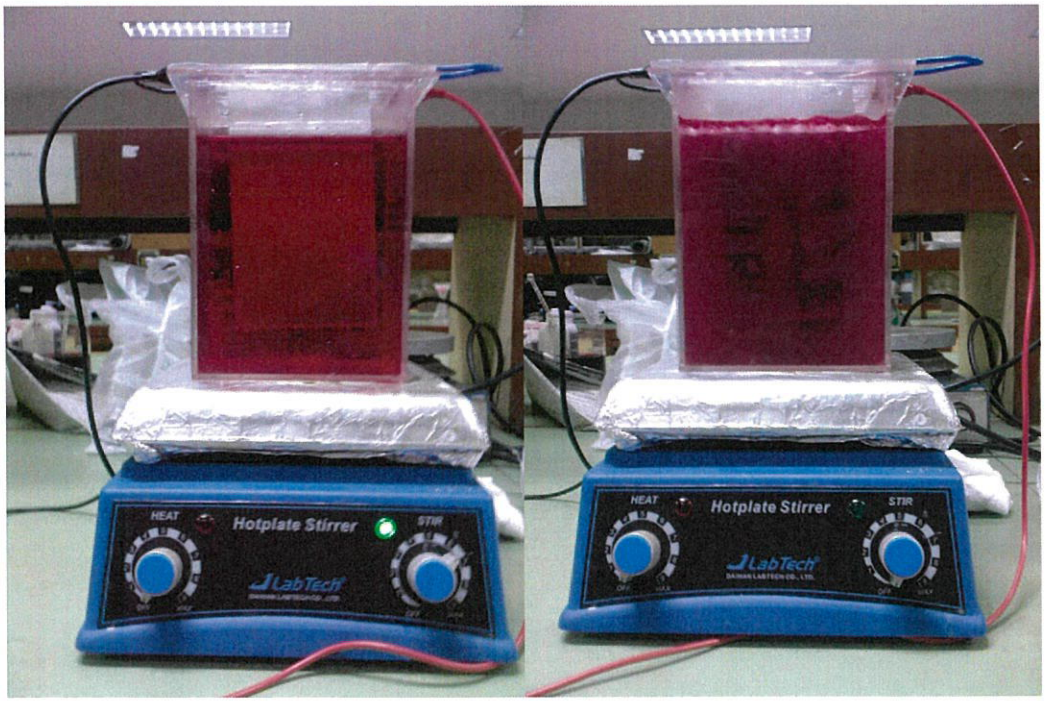
กระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ของสีรีแอกทีฟด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

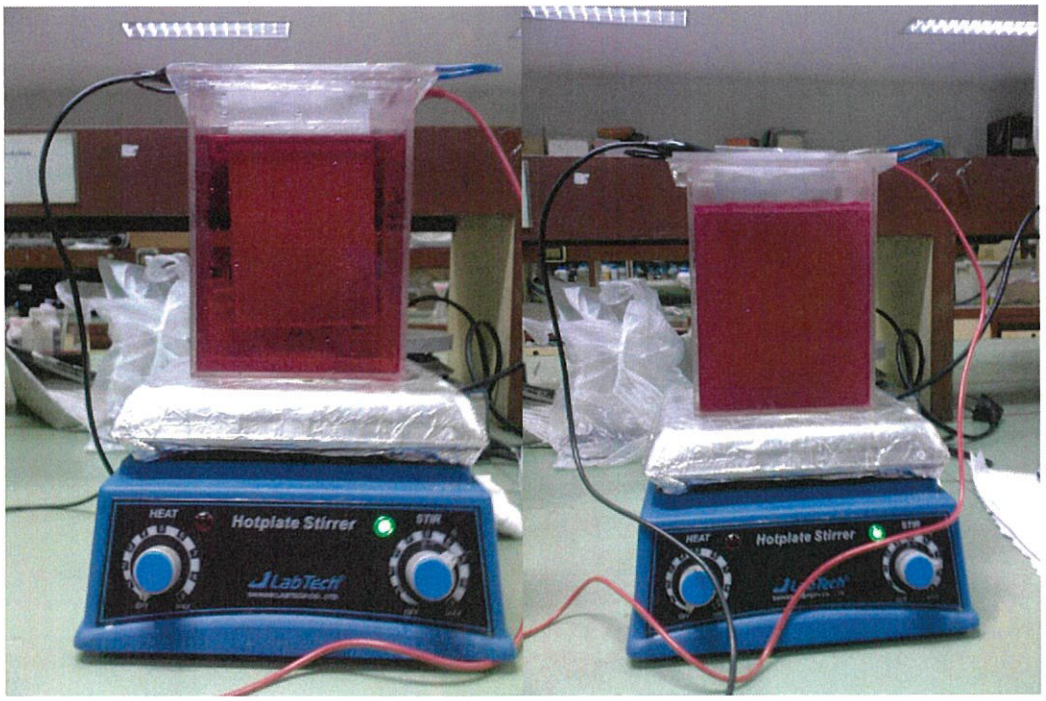


น้ำเสียสังเคราะห์(COLVAZOL BRTLL RED 3BSN 150%)ที่การกำจัดที่พีเอช 5

น้ำเสียสังเคราะห์(COLVAZOL BRTLL RED 3BSN 150%)ที่การกำจัดที่พีเอช 7

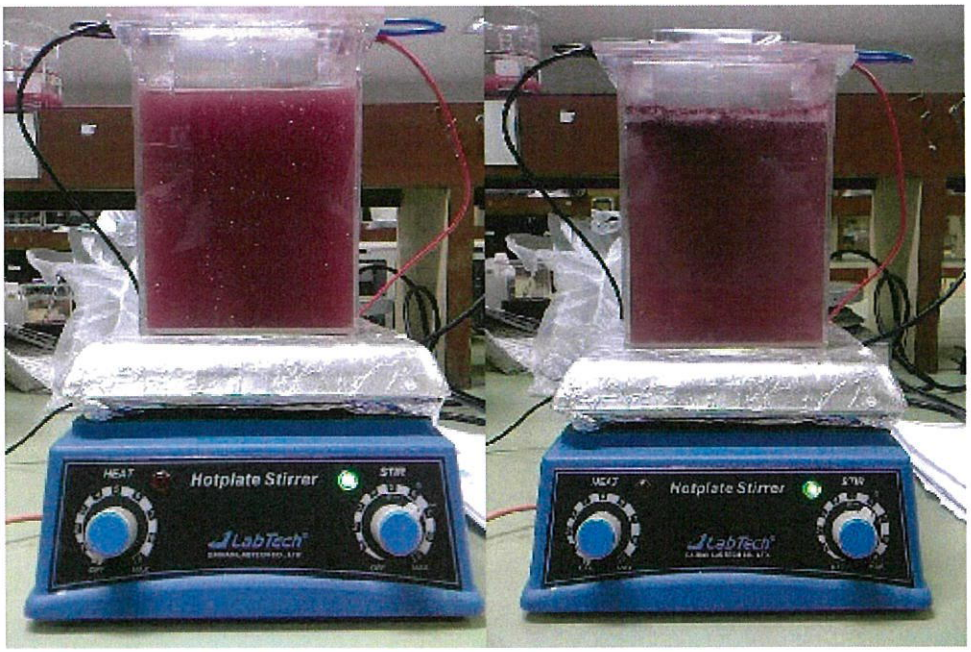


น้ำเสียสังเคราะห์(COLVAZOL BRTLL RED 3BSN 150%)ที่การกำจัดที่พีเอช 9

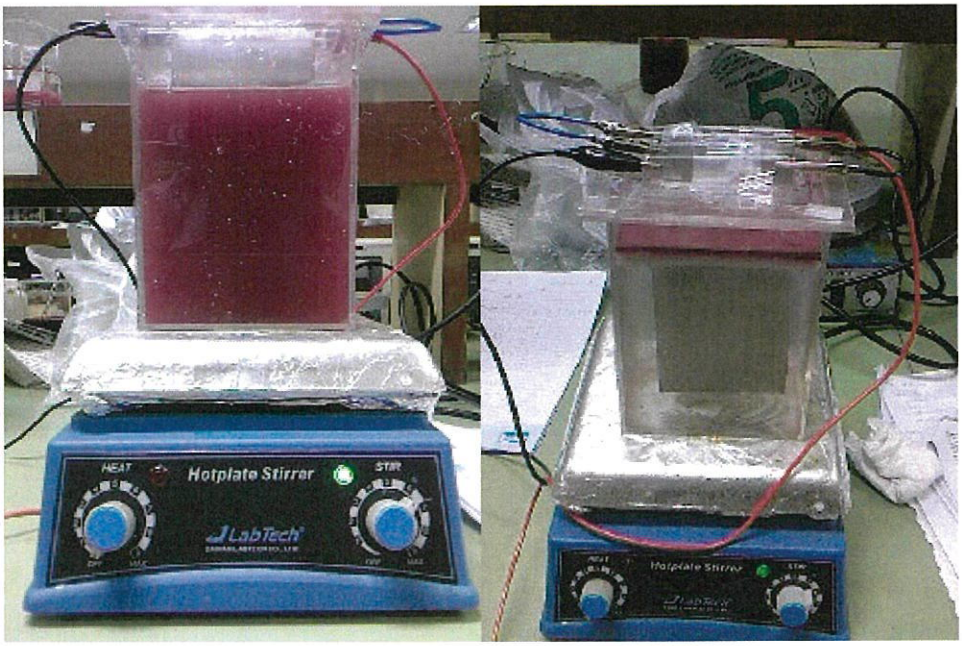


น้ำเสียสังเคราะห์(COLVAZOL BRTLL RED 3BSN 150%)ที่การกำจัดที่พีเอช 11

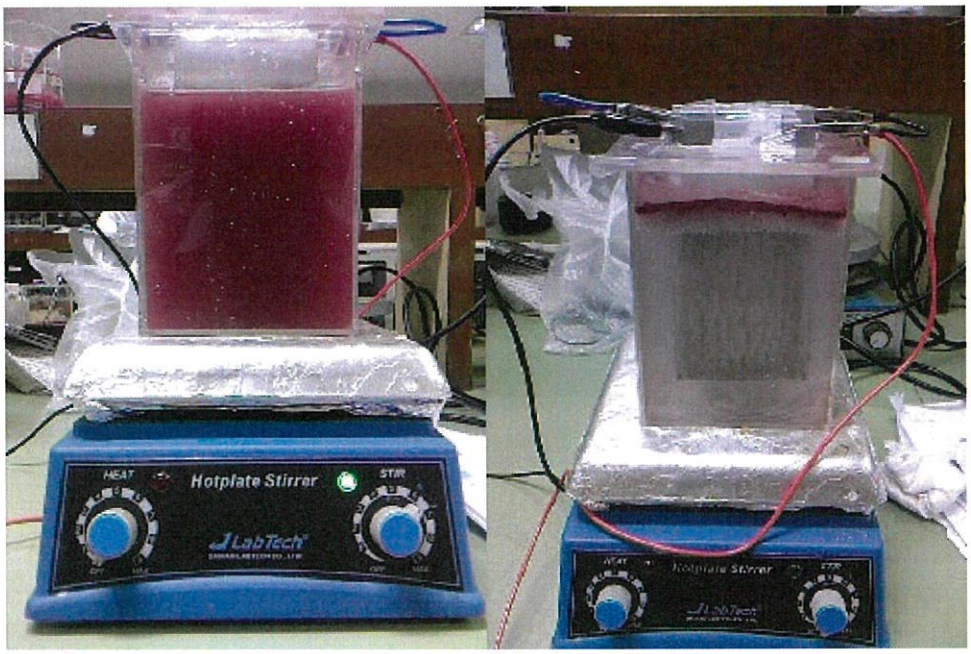
การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ของสีดิสเพอร์สด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน



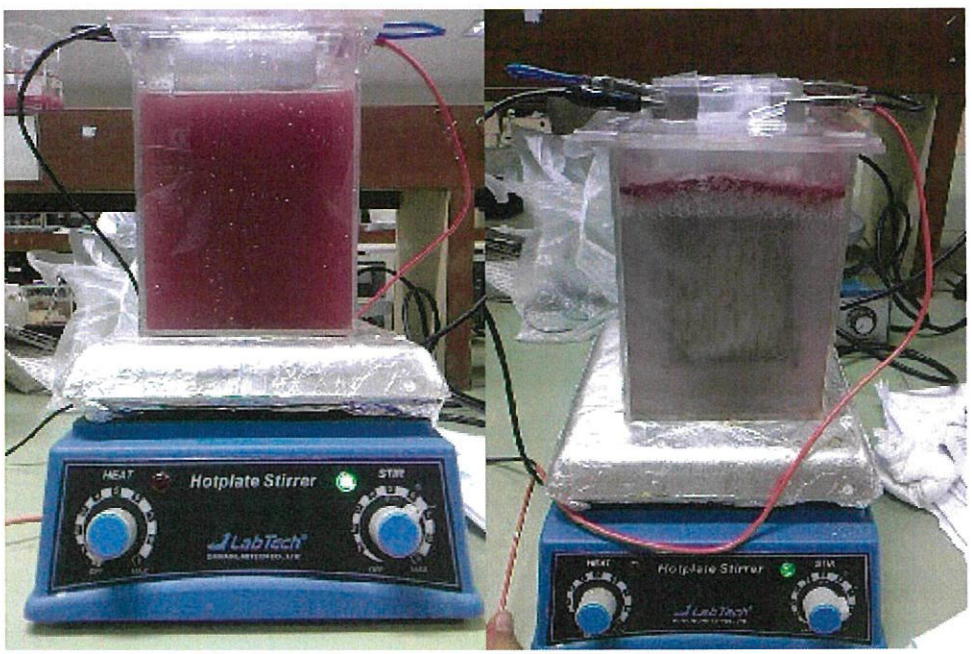
น้ำเสียสังเคราะห์(LONSPERSE SACALAT GS 200%)ที่การกำจัดที่พีเอช 5



น้ำเสียสังเคราะห์(LONSPERSE SACALAT GS 200%)ที่การกำจัดที่พีเอช 7



น้ำเสียสังเคราะห์(LONSPERSE SACALAT GS 200%)ที่การกำจัดที่พีเอช 9



น้ำเสียสังเคราะห์(LONSPERSE SACALAT GS 200%)ที่การกำจัดที่พีเอช 11

ภาคผนวก จ

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 3.3.2 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การทดลองที่ 3.3.2.1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%)

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	1.977	1.893	108.03	103.44	4.25
700	1.973	1.432	107.81	78.25	27.42
1000	1.974	1.411	107.87	77.10	28.52
1300	1.972	1.407	107.76	76.89	28.65
1600	1.976	1.398	107.98	76.39	29.25
1900	1.977	1.381	108.03	75.46	30.15
2200	1.980	1.376	108.20	75.19	30.51
2500	1.979	1.368	108.14	74.75	30.87

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	1.392	1.301	116.00	108.42	6.54
700	1.395	0.955	116.25	79.58	31.54
1000	1.396	0.866	116.33	72.17	37.97
1300	1.393	0.812	116.08	67.67	41.71
1600	1.395	0.811	116.25	67.58	41.86
1900	1.391	0.807	115.92	67.25	41.98
2200	1.394	0.804	116.17	67.00	42.32
2500	1.390	0.801	115.83	66.75	42.37

ชุดการทดลองที่ 2 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE BLUE UNSE 200% and LONSPERSE SCALET GS 200%)

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส LONSPERSE BLUE UNSE 200%

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	0.661	0.545	98.66	81.34	17.55
300	0.658	0.004	98.21	0.60	99.39
500	0.662	0.003	98.81	0.45	99.55
700	0.659	0.002	98.36	0.30	99.70
900	0.666	0.002	99.40	0.30	99.70
1100	0.664	0.002	99.10	0.30	99.70
1300	0.663	0.001	98.96	0.15	99.85
1500	0.660	0.002	98.51	0.30	99.70

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส LONSPERSE SCALET GS 200%

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	1.180	1.141	115.69	111.86	3.31
300	1.182	0.003	115.88	0.29	99.75
500	1.179	0.003	115.59	0.29	99.75
700	1.184	0.002	116.08	0.20	99.83
900	1.181	0.001	115.78	0.10	99.92
1100	1.178	0.001	115.49	0.10	99.92
1300	1.183	0.001	115.98	0.10	99.92
1500	1.182	0.002	115.88	0.20	99.83

การทดลองที่ 3.3.2.2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และCOLVAZOL YELLOW 3RS 150%)

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%

พีเอช	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
5	1.992	1.384	108.85	75.63	30.52
7	1.991	1.380	108.80	75.41	30.69
9	1.994	1.383	108.96	75.57	30.64
11	1.992	1.379	108.85	75.36	30.77

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%

พีเอช	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
5	1.395	0.814	116.25	67.83	41.65
7	1.392	0.795	116.00	66.25	42.89
9	1.391	0.768	115.92	64.00	44.79
11	1.394	0.721	116.17	60.08	48.28

ชุดการทดลองที่ 2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%)

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส LONSPERSE BLUE UNSE 200%

พีเอช	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
5	0.659	0.004	98.36	0.60	99.39
7	0.660	0.004	98.51	0.60	99.39
9	0.661	0.003	98.66	0.45	99.55
11	0.663	0.002	98.96	0.30	99.70

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส LONSPERSE SCALET GS 200%

พีเอช	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
5	1.182	0.004	115.88	0.39	99.66
7	1.180	0.003	115.69	0.29	99.75
9	1.181	0.004	115.78	0.39	99.66
11	1.180	0.002	115.69	0.20	99.83

การทดลองที่ 3.3.3 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การทดลองที่ 3.3.3.1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%)

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	2.448	2.448	133.77	133.77	0.00
700	2.451	2.449	133.93	133.83	0.08
1000	2.451	2.448	133.93	133.77	0.12
1300	2.455	2.443	134.15	133.50	0.49
1600	2.462	2.519	134.54	137.65	-2.32
1900	2.46	2.443	134.43	133.50	0.69
2200	2.448	2.441	133.77	133.39	0.29
2500	2.445	2.442	133.61	133.44	0.12

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต(มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	1.593	1.589	132.75	132.42	0.25
700	1.592	1.590	132.67	132.50	0.13
1000	1.594	1.587	132.83	132.25	0.44
1300	1.597	1.586	133.08	132.17	0.69
1600	1.600	1.586	133.33	132.17	0.88
1900	1.598	1.588	133.17	132.33	0.63
2200	1.599	1.582	133.25	131.83	1.06
2500	1.597	1.582	133.08	131.83	0.94

ชุดการทดลองที่ 2 การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%)

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส LONSPERSE BLUE UNSE 200%

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	0.166	0.108	24.78	16.12	34.94
300	0.177	0.056	26.42	8.36	68.36
500	0.165	0.057	24.63	8.51	65.45
700	0.167	0.004	24.93	0.60	97.60
900	0.165	0.001	24.63	0.15	99.39
1100	0.159	0.001	23.73	0.15	99.37
1300	0.168	0.001	25.07	0.15	99.40
1500	0.166	0.002	24.78	0.30	98.80

การหาปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส LONSPERSE SCALET GS 200%

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	0.179	0.136	17.55	13.33	24.02
300	0.184	0.081	18.04	7.94	55.98
500	0.182	0.081	17.84	7.94	55.49
700	0.184	0.009	18.04	0.88	95.11
900	0.191	0.003	18.73	0.29	98.43
1100	0.189	0.004	18.53	0.39	97.88
1300	0.190	0.005	18.63	0.49	97.37
1500	0.182	0.004	17.84	0.39	97.80

การทดลองที่ 3.3.4 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับพอลิเมอร์

การทดลองที่ 3.3.4.1การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150% และ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%)

การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%

ปริมาณพอลิเมอร์ (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	2.449	2.551	133.83	139.40	-4.16
100	2.448	2.552	133.77	139.45	-4.25
200	2.449	2.550	133.83	139.34	-4.12
300	2.450	2.551	133.88	139.40	-4.12
400	2.450	2.55	133.88	139.34	-4.08
500	2.450	2.553	133.88	139.51	-4.20
600	2.450	2.552	133.88	139.45	-4.16
700	2.452	2.553	133.99	139.51	-4.12

การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริง ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ COLVAZOL YELLOW 3RS 150%

ปริมาณพอลิเมอร์ (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	1.584	1.691	132.00	140.92	-6.76
100	1.586	1.695	132.17	141.25	-6.87
200	1.584	1.692	132.00	141.00	-6.82
300	1.583	1.690	131.92	140.83	-6.76
400	1.585	1.697	132.08	141.42	-7.07
500	1.585	1.692	132.08	141.00	-6.75
600	1.585	1.695	132.08	141.25	-6.94
700	1.586	1.692	132.17	141.00	-6.68

ชุดการทดลองที่ 2 การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE BLUE UNSE 200% และ LONSPERSE SCALET GS 200%)

การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส LONSPERSE BLUE UNSE 200%

ปริมาณพอลิเมอร์ (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	0.160	0.002	23.88	0.30	98.75
100	0.162	0.001	24.18	0.15	99.38
200	0.160	0.005	23.88	0.75	96.88
300	0.158	0.002	23.58	0.30	98.73
400	0.159	0.002	23.73	0.30	98.74
500	0.157	0.002	23.43	0.30	98.73
600	0.157	0.002	23.43	0.30	98.73
700	0.160	0.001	23.88	0.15	99.38

การหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำเสียจริง ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส LONSPERSE SCALET GS 200%

ปริมาณพอลิเมอร์ (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
0	0.183	0.003	17.94	0.29	98.36
100	0.184	0.002	18.04	0.20	98.91
200	0.189	0.001	18.53	0.10	99.47
300	0.181	0.001	17.75	0.10	99.45
400	0.184	0.003	18.04	0.29	98.37
500	0.179	0.01	17.55	0.98	94.41
600	0.182	0.004	17.84	0.39	97.80
700	0.180	0.004	17.65	0.39	97.78

การทดลองที่ 3.3.5 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

การทดลองที่ 3.3.5.1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%)

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%) ครั้งที่ 1

พีเอช		ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
5.02	8.19	1.888	0.113	103.17	6.17	94.01
7.03	8.17	1.888	0.045	103.17	2.46	97.62
9.00	8.40	1.889	0.178	103.22	9.73	90.58
11.00	9.30	1.818	0.617	99.34	33.72	66.06

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%) ครั้งที่ 2

พีเอช		ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
5.04	8.21	1.886	0.116	103.06	6.34	93.85
7.02	8.18	1.897	0.045	103.66	2.46	97.63
9.02	8.42	1.891	0.179	103.33	9.78	90.53
11.02	9.32	1.819	0.617	99.40	33.72	66.08

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%) เฉลี่ย

พีเอช	ครั้งที่	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
5	1	94.01
	2	93.85
	เฉลี่ย	93.93
7	1	97.62
	2	97.63
	เฉลี่ย	97.63
9	1	90.58
	2	90.53
	เฉลี่ย	90.56
11	1	66.06
	2	66.08
	เฉลี่ย	66.07

ชุดการทดลองที่ 2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%)

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%) ครั้งที่ 1

พีเอช		ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
5.06	8.13	0.820	0.053	80.39	5.20	93.54
7.04	8.30	0.801	0.006	78.53	0.59	99.25
9.01	8.75	0.804	0.002	78.82	0.20	99.75
11.00	9.66	0.820	0.109	80.39	10.69	86.71

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%) ครั้งที่ 2

พีเอช		ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม(มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
5.04	8.11	0.820	0.053	80.39	5.20	93.54
7.06	8.27	0.802	0.006	78.63	0.59	99.25
9.04	8.73	0.805	0.001	78.92	0.10	99.88
11.02	9.68	0.822	0.110	80.59	10.78	86.62

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%) เฉลี่ย

พีเอช	ครั้งที่	ร้อยละการกำจัดสีย้อม
5	1	93.54
	2	93.54
	เฉลี่ย	93.54
7	1	99.25
	2	99.25
	เฉลี่ย	99.25
9	1	99.75
	2	99.88
	เฉลี่ย	99.82
11	1	86.71
	2	86.62
	เฉลี่ย	86.67

การทดลองที่ 3.3.5.2 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%)

เวลา (นาที)	ครั้งที่	พีเอช		ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
10	1	7.07	8.06	1.888	0.799	103.17	43.66	57.68
	2	7.03	8.05	1.889	0.800	103.22	43.72	57.65
	เฉลี่ย							57.66
20	1	7.05	8.15	1.887	0.608	103.11	33.22	67.78
	2	7.03	8.16	1.886	0.606	103.06	33.11	67.87
	เฉลี่ย							67.82
30	1	7.05	8.56	1.888	0.468	103.17	25.57	75.21
	2	7.04	8.55	1.889	0.646	103.22	35.30	65.80
	เฉลี่ย							70.51
40	1	7.06	8.66	1.887	0.381	103.11	20.82	79.81
	2	7.04	8.67	1.888	0.382	103.17	20.87	79.77
	เฉลี่ย							79.79
50	1	7.05	8.3	1.889	0.310	103.22	16.94	83.59
	2	7.02	8.31	1.887	0.312	103.11	17.05	83.47
	เฉลี่ย							83.53

ชุดการทดลองที่ 2 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%)

เวลา (นาที)	ครั้งที่	พีเอช		ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมานสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
10	1	9.02	8.21	0.823	0.064	80.69	6.27	92.22
	2	9.00	8.23	0.822	0.061	80.59	5.98	92.58
	เฉลี่ย							92.40
20	1	9.01	8.22	0.822	0.004	80.59	0.39	99.51
	2	9.00	8.23	0.824	0.003	80.78	0.29	99.64
	เฉลี่ย							99.57
30	1	9.03	8.21	0.822	0.001	80.59	0.10	99.88
	2	9.02	8.32	0.823	0.002	80.69	0.20	99.76
	เฉลี่ย							99.82

การทดลองที่ 3.3.6 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

การทดลองที่ 3.3.6.1 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชัน

ชุดการทดลองที่ 1 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีรีแอกทีฟ (COLVAZOL BRILL RED 3BSN 150%)

เวลา (นาที)	ครั้งที่	พีเอช		ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
10	1	7.05	8.37	2.458	2.458	134.32	134.32	0.00
	2	7.04	8.35	2.457	2.456	134.26	134.21	0.04
	เฉลี่ย							0.02
20	1	7.03	8.53	2.459	2.479	134.37	135.46	-0.81
	2	7.02	8.55	2.457	2.478	134.26	135.41	-0.85
	เฉลี่ย							-0.83
30	1	7.05	8.52	2.458	2.578	134.32	140.87	-4.88
	2	7.04	8.53	2.459	2.576	134.37	140.77	-4.76
	เฉลี่ย							-4.82
40	1	7.05	8.66	2.457	2.463	134.26	134.59	-0.24
	2	7.03	8.63	2.458	2.464	134.32	134.64	-0.24
	เฉลี่ย							-0.24
50	1	7.05	8.85	2.457	2.466	134.26	134.75	-0.37
	2	7.04	8.88	2.456	2.468	134.21	134.86	-0.49
	เฉลี่ย							-0.43

ชุดการทดลองที่ 2 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้กระแสไฟฟ้าในน้ำเสียจริงด้วยกระบวนการอิเลกโตรโคแอกกูเลชันของสีดิสเพอร์ส (LONSPERSE SCALET GS 200%)

เวลา (นาที)	ครั้งที่	พีเอช		ค่าการดูดกลืนแสง		ปริมาณสีย้อม (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัดสีย้อม
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
10	1	9.08	8.06	0.189	0.025	18.53	2.45	86.77
	2	9.06	8.04	0.188	0.026	18.43	2.55	86.17
	เฉลี่ย							86.47
20	1	9.06	8.25	0.187	0.020	18.33	1.96	89.30
	2	9.05	8.27	0.189	0.019	18.53	1.86	89.95
	เฉลี่ย							89.63
30	1	9.08	8.54	0.188	0.019	18.43	1.86	89.89
	2	9.07	8.56	0.187	0.020	18.33	1.96	89.30
	เฉลี่ย							89.60
40	1	9.06	8.70	0.188	0.023	18.43	2.25	87.77
	2	9.07	8.72	0.189	0.024	18.53	2.35	87.30
	เฉลี่ย							87.53