



การปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีของโรงงานฟอกย้อมเส้นใยธรรมชาติ กรณีตัวอย่าง
โรงงานในจังหวัดราชบุรี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

โดย

นางสาวกาญจนา ธนิกกุล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีของโรงงานฟอกย้อมเส้นใยธรรมชาติ กรณีตัวอย่าง
โรงงานในจังหวัดราชบุรี

โดย

นางสาวกาญจนา ชนิกุล

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**MODIFICATION OF CHEMICAL WASTEWATER TREATMENT OF TEXTILE
FACTORY : A CASE STUDY ON NATURAL TEXTILE FACTORY IN RATCHABURI
PROVINCE**

By

Kanjana Tanigul

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Environmental Science

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “ การปรับปรุง
กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีของโรงงานฟอกย้อมเส้นใยธรรมชาติ กรณีตัวอย่างโรงงานใน
จังหวัดราชบุรี ” เสนอโดย นางสาวกาญจนา ธนิกกุล เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ
รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กัมขารีย์ ศรีพงศ์พันธุ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแจ่ม)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป)

...../...../.....

49311301 : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม/การบำบัดสี/กระบวนการสร้างและรวมตะกอน

กาญจนา ชนิกกุล : การปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีของโรงงานฟอกย้อมเส้นใยธรรมชาติ กรณีตัวอย่าง โรงงานในจังหวัดราชบุรี. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : รศ. ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป. 72 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการบำบัดสีและลดการใช้สารเคมีในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมเส้นใยธรรมชาติแห่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรีซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันใช้ระบบบำบัดทางเคมีร่วมกับระบบบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดสีต่ำรวมทั้งมีการใช้สารเคมีปริมาณมาก งานวิจัยนี้ได้ทดลองแยกบำบัดน้ำเสียจากขั้นตอนการย้อมออกจากน้ำเสยรวมด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอน ค่า pH ตั้งต้น และชนิดและความเข้มข้นของโพลิเมอร์ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการบำบัด ได้แก่ ความขุ่น และสีในหน่วย SU

ผลการทดลองพบว่าเมื่อแยกบำบัดน้ำเสียออกจากน้ำเสยรวมทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นและสีมีค่าสูงขึ้นและค่าใช้จ่ายสารเคมีลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารส้ม สารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอริกคลอไรด์ และแอนไอออนโพลิเมอร์ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีขึ้นและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดที่ pH 8.0 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านประสิทธิภาพการบำบัดสี และความขุ่น รวมทั้งค่าสารเคมี คือ ปริมาณสารส้ม 300 มก./ล. pH 8.0 และแอนไอออนโพลิเมอร์ 0.15 มก./ล. ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดคือชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอน

เมื่อเปรียบเทียบการแยกบำบัดน้ำเสียด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่กล่าวมาแล้วกับระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันซึ่งบำบัดน้ำเสยรวม พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นและสีสำหรับน้ำย้อมในการทดลองบำบัดได้ร้อยละ 70.28 และ 57.35 ตามลำดับ ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียปัจจุบันสำหรับน้ำเสยรวมสามารถบำบัดได้ร้อยละ 13.46 และ 0.23 ตามลำดับ นอกจากนี้การบำบัดน้ำด้วยสภาวะในการทดลองสามารถลดค่าสารเคมีจากเดิม 2,775 บาท/วัน เหลือเพียง 135 บาท/วันเท่านั้น

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

49311301 : MAJOR : ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORDS : TEXTILE WASTEWATER/COLOR REMOVAL/COAGULATION AND FLOCCULATION

KANJANA TANIGUL : MODIFICATION OF CHEMICAL WASTEWATER TREATMENT OF TEXTILE FACTORY : A CASE STUDY ON NATURAL TEXTILE FACTORY IN RATCHABURI PROVINCE. INDEPENDENT STUDY ADVISOR : ASSOC.PROF.MALLIKA PANYAKAPO,Ph.D.. 72 pp.

This research aims to improve color removal efficiency and to reduce chemical demand in a wastewater treatment plant of the textile factory located in Ratchaburi province. Current influent of a treatment plant is the combined wastewater discharged from bleaching and dyeing processes. In order to study the possibility of wastewater segregation, color water from dyeing process was separately treated by coagulation and flocculation processes. The effects of types and dosages of coagulant-flocculant and initial pH were studied. The performance indicators of treatment were turbidity and color in SU unit.

The results obviously showed that the percentage removals of turbidity and color could be improved and the chemical demand was reduced when the color water was separately treated from combined wastewater. The increase of alum, PACl, $FeCl_3$ as well as anion polymer dosages led to increase turbidity and color removals. The optimum initial pH for both coagulants was 8.0. The optimum treatment condition was the integration between alum dosage 300 mg/L, initial pH 8.0 and anion polymer dosage 0.15 mg/L. The main influencing factors are type and dosage of coagulant.

When the experimental results were compared with the removal efficiency of the current plant, the significant increase of turbidity as well as color removals were found from the experiment. The percentage removals of turbidity and color of the experimental condition were 70.28 and 57.35, respectively when the percentage removals of these parameters of the current wastewater treatment plant were 13.46 and 0.23, respectively. Furthermore, the chemical expense could be decreased from 2,775 to 135 baht per day.

Department of Environmental Science Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009

Student's signature

Independent Study Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยเหลือ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำสารนิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กัมพัทธ์ ศรีพงศ์พันธุ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแฉ่ง ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนวความคิด ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ และคอยให้กำลังใจและเอาใจใส่ในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณผ่องศรี เผ่าภูรี และคุณนที ส่วงบุญ นักวิทยาศาสตร์ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจ ให้คำแนะนำ คอยช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์เครื่องมือ สารเคมี และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ได้ให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจและช่วยเหลือทำให้สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี

สุดท้ายขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ได้มอบทุนสนับสนุน “ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.อุตสาหกรรม ประจำปี 2552” และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
สมมติฐานของงานวิจัย	2
ขอบเขตการศึกษา.....	2
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
กระบวนการฟอกย้อม	4
การเตรียมวัตถุดิบ (Preparation).....	4
การย้อมสี (Dyeing).....	7
การตกแต่งสำเร็จ (Textile Finishing).....	7
แหล่งที่มาของน้ำเสีย	7
น้ำที่ใช้ในกระบวนการ.....	7
น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ	8
น้ำหล่อเย็น	8
น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและการทำความสะอาดโรงงาน	8
น้ำจากแหล่งอื่น ๆ	8
ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	10
มีปริมาณสารอินทรีย์สูง	10
มีค่าพีเอชและค่าสภาพด่าง (Alkalinity) สูง.....	10
มีอุณหภูมิสูง.....	10

บทที่	หน้า
มีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง	10
มีความเข้มข้นสูง.....	10
มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง.....	10
ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมต่อสิ่งแวดล้อม	10
สารอินทรีย์.....	10
อุณหภูมิ.....	11
ของแข็งแขวนลอย	11
สี.....	11
กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี (Chemical Coagulation and Flocculation Process).....	11
หลักการ	11
สาร Coagulant และ Flocculant.....	13
ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างและรวมตะกอน	15
กลไกของกระบวนการสร้างและรวมตะกอน.....	16
ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม กรณีศึกษา.....	17
ระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมี	17
ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ.....	17
งานวิจัยเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	19
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	20
สถานที่เก็บตัวอย่าง	21
ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง.....	21
การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำ.....	21
การเก็บตัวอย่างน้ำ.....	21
วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ	22
การวิเคราะห์ตัวอย่าง	23
การทดลองด้วย Jar Test	24
วิธีการทดลองด้วย Jar Test.....	25
การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัด	26
การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์	30

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย.....	31
สมบัติของน้ำเสีย	31
การใช้สารสร้างตะกอนและ Anion Polymer.....	32
การใช้ Alum เป็นสารสร้างตะกอน	32
การใช้ PACl เป็นสารสร้างตะกอน	35
การใช้ FeCl ₃ เป็นสารสร้างตะกอน	38
การใช้สารสร้างตะกอนและ Cation Polymer	42
การใช้ Alum เป็นสารสร้างตะกอน	42
การใช้ PACl เป็นสารสร้างตะกอน	44
การใช้ FeCl ₃ เป็นสารสร้างตะกอน	47
สถานะที่เหมาะสม	50
เปรียบเทียบผลการทดลอง.....	52
ชนิดของสารสร้างและรวมตะกอน	52
น้ำสีและน้ำเสียรวม	53
เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัด.....	53
ข้อเสนอแนะในการแยกสายน้ำเสีย	54
5 สรุปผลการศึกษา.....	56
สมบัติของน้ำเสีย	56
การใช้ Alum เป็นสารสร้างตะกอนและ Anion Polymer.....	56
การใช้ PACl เป็นสารสร้างตะกอนและ Anion Polymer.....	57
การใช้ FeCl ₃ เป็นสารสร้างตะกอนและ Anion Polymer.....	57
สรุปค่าใช้จ่ายและความเหมาะสม.....	57
การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย.....	58
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก การวัดสีด้วยหน่วยเอสยู (SU)	62
ภาคผนวก ข การเตรียมสารและค่าสารเคมี.....	66

บทที่

หน้า

ประวัติผู้วิจัย..... 71

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	วิธีการเก็บรักษาและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	22
2	สภาวะต่าง ๆ ของสารส้ม (Alum) ในการทดลอง Jar Test	27
3	สภาวะต่าง ๆ ของโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) ในการทดลอง Jar Test	28
4	สภาวะต่าง ๆ ของเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl ₃) ในการทดลอง Jar Test	29
5	ราคาสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย	30
6	สมบัติของน้ำเสีย	31
7	สภาวะการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่น	51
8	สีที่ปรากฏตามช่วงคลื่นแสงต่าง ๆ	63
9	ค่าสารเคมีในการบำบัดด้วยสภาวะต่าง ๆ	70

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการฟอกย้อม	6
2	สารเคมีที่ใช้และของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อม ..	9
3	แผนภาพระบบบำบัดทางเคมี	18
4	แผนภาพระบบบำบัดทางชีวภาพ.....	18
5	แผนผังการดำเนินงานวิจัย	20
6	บ่อเก็บกักน้ำเสียรวม	21
7	บ่อเก็บน้ำสี	22
8	การทดลอง Jar test	24
9	ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Jar test.....	25
10	ผลของปริมาณ Alum ร่วมกับ Anion Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น	32
11	ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ Alum ร่วมกับ Anion Polymer.....	33
12	ผลของปริมาณ Anion polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ Alum	34
13	การทำ Jar Test โดยใช้ Alum ร่วมกับ Anion Polymer เป็นสารสร้างและรวม ตะกอน	35
14	ผลของปริมาณ PACl ร่วมกับ Anion Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น.....	36
15	ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ PACl ร่วมกับ Anion Polymer.....	37
16	ผลของปริมาณ Anion polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ PACl	38
17	การทำ Jar Test โดยใช้ PACl ร่วมกับ Anion Polymer เป็นสารสร้างและรวม ตะกอน	38
18	ผลของปริมาณ FeCl ₃ ร่วมกับ Anion Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น	39
19	ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ FeCl ₃ ร่วมกับ Anion Polymer.....	40
20	ผลของปริมาณ Anion polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ FeCl ₃	41
21	การทำ Jar Test โดยใช้ FeCl ₃ ร่วมกับ Anion Polymer เป็นสารสร้างและรวม ตะกอน	41

ภาพที่		หน้า
22	ผลของปริมาณ Alum ร่วมกับ Cation Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น.....	42
23	ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ Alum ร่วมกับ Cation Polymer.....	43
24	ผลของปริมาณ Cation polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ Alum	44
25	การทำ Jar Test โดยใช้ Alum ร่วมกับ Cation Polymer เป็นสารสร้างและรวม ตะกอน	44
26	ผลของปริมาณ PACl ร่วมกับ Cation Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น.....	45
27	ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ PACl ร่วมกับ Cation Polymer.....	46
28	ผลของปริมาณ Cation polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ PACl.....	47
29	การทำ Jar Test โดยใช้ PACl ร่วมกับ Cation Polymer เป็นสารสร้างและรวม ตะกอน	47
30	ผลของปริมาณ FeCl ₃ ร่วมกับ Cation Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น.....	48
31	ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ FeCl ₃ ร่วมกับ Cation Polymer.....	49
32	ผลของปริมาณ Cation polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ FeCl ₃	50
33	การทำ Jar Test โดยใช้ FeCl ₃ ร่วมกับ Cation Polymer เป็นสารสร้างและรวม ตะกอน	50
34	ร้อยละการบำบัดสีของสภาวะต่าง ๆ ตามตารางที่ 7	52
35	ร้อยละการบำบัดความขุ่นของสภาวะต่าง ๆ ตามตารางที่ 7	52
36	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดเมื่อใช้ Alum PACl และ FeCl ₃ เป็นสาร สร้างตะกอน	54
37	ข้อเสนอแนะการแยกสายบำบัดน้ำเสีย	55
38	การวัดสีโดยใช้วิธี Space Unit (SU)	65

บทที่ 1

บทนำ

1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนวัตถุดิบสิ่งทอจำพวกเส้นด้ายดิบ และผ้าดิบให้กลายเป็นวัสดุสำเร็จ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมขั้นปลาย ได้แก่ อุตสาหกรรมรวมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป หรือจำหน่ายให้กับผู้บริโภคโดยตรง ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าผลิตภัณฑ์สิ่งทอ และลดปัญหาการนำเข้าวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป อุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบอุตสาหกรรมสิ่งทอและเศรษฐกิจของประเทศ

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางเคมีที่ทำการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใย โดยการใช้สารเคมีและสีย้อมที่เหมาะสม โดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง โรงงานฟอกย้อมจึงจำเป็นต้องใช้น้ำในปริมาณมากในกระบวนการผลิต รวมถึงการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงสำหรับการเดินเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางน้ำ

กระบวนการผลิตที่สำคัญของโรงงานฟอกย้อมผ้าที่เป็นกรณีศึกษา คือการฟอกและการย้อมผ้า ดังนั้นจึงมีแหล่งกำเนิดน้ำเสียหลัก 2 จุด คือ น้ำเสียจากกระบวนการฟอกผ้าและน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้าซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันอย่างมาก ตัวอย่างเช่น น้ำเสียจากการฟอกมีค่า pH สูงและปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ส่วนน้ำเสียจากการย้อมมี pH ปานกลางและมีสีเข้ม ปัจจุบันทางโรงงานนำน้ำเสียมารวมกันบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี และต่อด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ปัญหาของการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันคือกระบวนการสร้างและรวมตะกอนมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำและมีการใช้สารเคมีปริมาณมาก ซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย จากการตรวจสอบเอกสารพบว่า การนำน้ำเสียที่มีสมบัติต่างกันมาบำบัดรวมกันทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดมลสารต่ำลง ซึ่งอาจแก้ปัญหาด้วยการแยกสายบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะนำมารวมกันเพื่อบำบัดขั้นต่อไป (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544)

2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต
- 2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการแยกสายน้ำเสียในการบำบัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหน่วยบำบัดทางเคมีในการบำบัดสี และของแข็งแขวนลอย
- 2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการลดการใช้สารเคมีในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

3 สมมติฐานของงานวิจัย

การบำบัดน้ำเสียโดยการแยกบำบัดสายน้ำเสียที่มีสมบัติแตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการบำบัดน้ำเสียดีขึ้น และสามารถลดการใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย

4 ขอบเขตการศึกษา

- 4.1 ศึกษากระบวนการผลิตและระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับโรงงานฟอกย้อมผ้าจากเส้นใยธรรมชาติ
- 4.2 โรงงานที่ใช้เป็นกรณีตัวอย่างเป็น โรงงานฟอกย้อมผ้าจากเส้นใยธรรมชาติแห่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรี ซึ่งขอสงวนชื่อโรงงาน
- 4.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกสายน้ำเสียที่มีสีและไม่มีสีเปรียบเทียบกับ การบำบัดน้ำเสียโดยรวมน้ำเสียทุกส่วนเข้าด้วยกัน
- 4.4 ศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี (Chemical Coagulation and Flocculation) ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ได้แก่ สีในหน่วย SU และความขุ่น

5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 5.1 ศึกษากระบวนการผลิต การใช้สารเคมีและมลสารที่ปล่อยจากแต่ละขั้นตอนการผลิต
- 5.2 ศึกษากระบวนการระบายน้ำและการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบัน เช่น ระบบท่อรวมน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสีย ชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบัน

5.3 เก็บตัวอย่างน้ำเสียสี่ และน้ำเสียรวม เพื่อวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สี พีเอช (pH) ความขุ่น (Turbidity) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) และซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

5.4 ทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี โดยทำการทดลองด้วย Jar test

5.5 รวบรวมข้อมูล สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง

6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 สามารถระบุได้ว่าการแยกสายการบำบัดน้ำเสียทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นกว่าระบบบำบัดปัจจุบันหรือไม่

6.2 สามารถหาสถานะต่าง ๆ ที่เหมาะสมของกระบวนการสร้าง และรวมตะกอนซึ่งการพิจารณาความเหมาะสมจะดูทั้งในแง่ประสิทธิภาพการบำบัด และค่าใช้จ่ายเรื่องสารเคมีด้วย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. กระบวนการฟอกย้อม

กระบวนการฟอกย้อมเป็นขั้นตอนสำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ผ้าหรือเส้นด้ายมีสีที่สดใสสวยงาม คงทนต่อสภาวะแวดล้อม และทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย กระบวนการฟอกย้อม ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การย้อมสี และการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ (Preparation)

การเตรียมวัตถุดิบเป็นขั้นตอนการนำเส้นด้ายหรือผ้ามาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อเตรียมเส้นด้ายหรือผ้าดิบนั้นให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปย้อมสีหรือตกแต่งสำเร็จต่อไป จึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การเตรียมวัตถุดิบประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังภาพที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1.1 การเผาขน (Singeing)

การเผาขนมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดปลายเส้นใยที่โผล่ขึ้นมา ซึ่งจะมีผลทำให้ผ้าติดสีไม่สม่ำเสมอ กรรมวิธีการเผาขนทำได้โดยการผ่านผ้าในเปลวก๊าซหรือบนแผ่นโลหะที่ถูกเผาจนร้อนในอัตราเร็วที่เหมาะสม การเผาขนส่วนใหญ่จะทำกับผ้าฝ้ายและผ้าใยผสมที่มีฝ้ายเป็นส่วนผสมอยู่

1.1.2 การลอกแป้ง (Desizing)

ในการทอผ้าจะมีการลงแป้งเส้นด้ายขึ้นซึ่งแป้งนี้จะมีผลต่อการดูดติดสีและสารเคมี การลอกแป้งทำได้หลายวิธี เช่น การแช่และหมักด้วยเชื้อต่าง ๆ (Rot-Steeping) การแช่และหมักด้วยกรด (Acid-Steeping) การใช้เอนไซม์และสารออกซิไดซ์ซึ่งเป็นต้น ซึ่งจะช่วยทำให้ผ้าเปียกน้ำได้ดี ดูดติดสีและสารเคมีได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผืนและทำให้ผ้านุ่มไม่หยาบกระด้าง

1.1.3 การกำจัดสิ่งสกปรก (Scouring)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดไขมัน และสารปนเปื้อนต่าง ๆ เพื่อช่วยให้สีย้อมซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้น ทำได้โดยการต้มด้วยน้ำสบู่

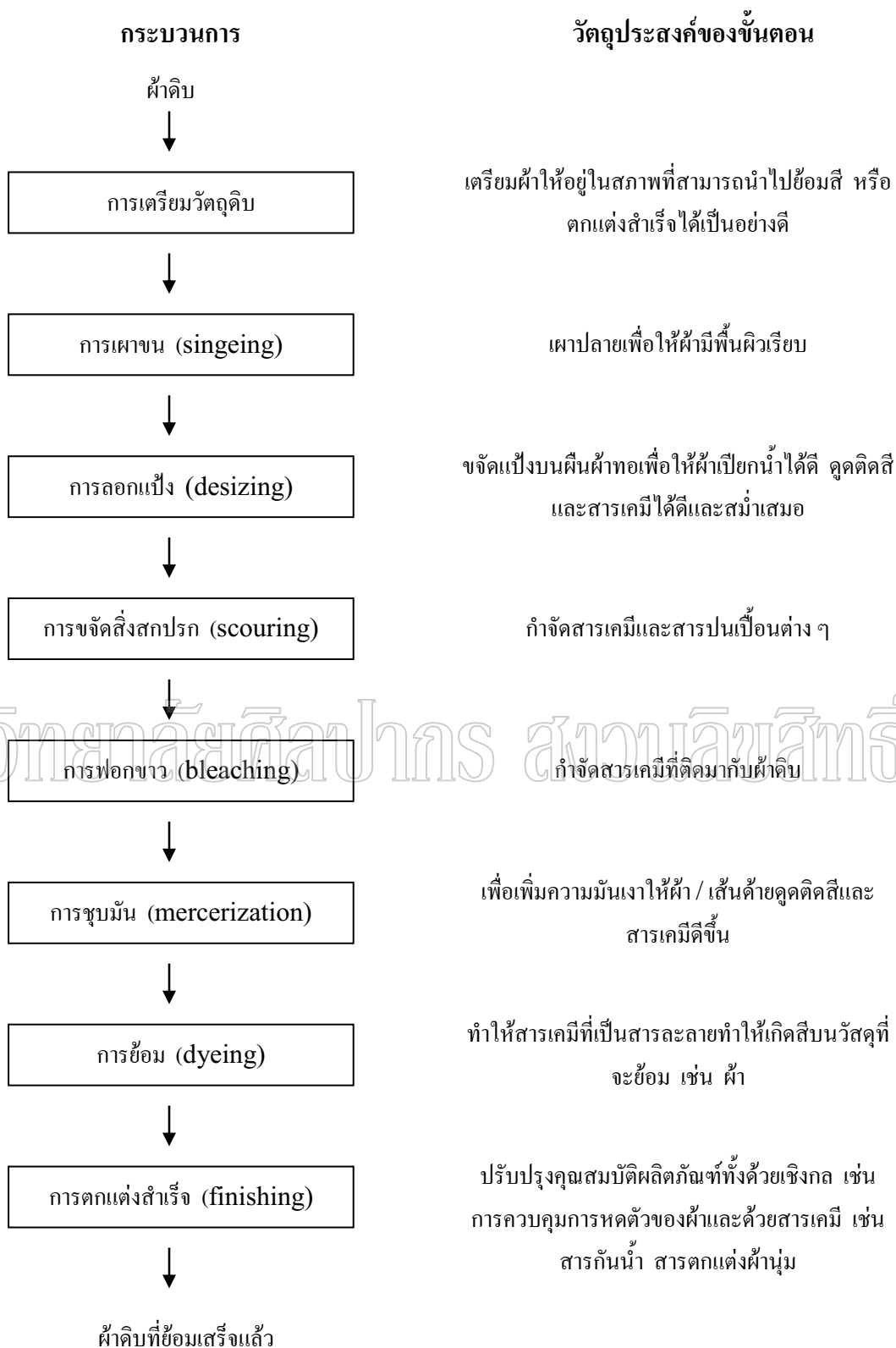
1.1.4 การฟอกขาว (Bleaching)

การฟอกขาวเป็นขั้นตอนการกำจัดสีที่มีอยู่บนเส้นใยซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็น โดยเฉพาะกับผ้าเส้นใยธรรมชาติที่จะนำไปทำเป็นผ้าขาวและผ้าย้อมสีอ่อนเพื่อให้ได้สีที่สดใสและไม่ผิดไปจากสีที่ต้องการย้อม สารเคมีฟอกขาวที่นิยมใช้ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide, H_2O_2) โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium Hypochloride, $NaClO$) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride, $NaCl$)

1.1.5 การชุบมัน (Mercerization)

การชุบมันเป็นการเพิ่มความเงามันให้กับเส้นด้ายหรือผ้าโดยส่วนใหญ่มักทำกับเส้นใยและลินินหลังจากกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวแล้วทำได้โดยการนำผ้ามาชุบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (ร้อยละ 15-30) ให้ซึมเข้าไปภายในผ้าขณะที่ยึดติดให้ตั้งอยู่โดยใช้เครื่องชุบมัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



ภาพที่ 1 กระบวนการฟอกย้อม
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

1.2 การย้อมสี (Dyeing)

เส้นด้ายและผ้าดิบที่ผ่านการเตรียมและทำความสะอาดแล้วจะถูกนำไปย้อมสีในเครื่องย้อม (Dyeing machine) โดยการทำให้สีย้อมให้อยู่ในรูปของสารละลายเพื่อให้สามารถถูกดูดซึมและเกาะติดผิวภายในเส้นใยด้วยแรงทางเคมี การย้อมโดยทั่วไปแบ่งออกได้ 2 ประเภท

1.2.1 การย้อมแบบต่อเนื่อง (Continuous dyeing)

การย้อมวิธีนี้จะใช้ลูกกลิ้ง (Paddle) อัดน้ำสีเข้าไปในเนื้อผ้าโดยผ้าจะเคลื่อนที่ไปตามขั้นตอนต่าง ๆ ของการย้อมอย่างต่อเนื่อง ไม่มีการหยุดแช่อยู่ที่จุดใดจนกระทั่งออกมาเป็นผ้าย้อมสำเร็จ วิธีนี้จึงเป็นวิธีการย้อมที่เร็วที่สุด และเหมาะกับการย้อมคราวละมาก ๆ ข้อเสียของวิธีนี้คือ หากมีการผิดพลาดขึ้นในระหว่างการย้อมกว่าที่ข้อผิดพลาดนั้นจะถูกค้นพบและได้รับการแก้ไข ผ้าก็อาจเสียไปเป็นจำนวนมากแล้ว เพราะฉะนั้นก่อนที่จะดำเนินการย้อมด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องมีการเตรียมการอย่างระมัดระวังที่สุด การย้อมแบบต่อเนื่องต้องลงทุนสูงและใช้เครื่องจักรราคาแพงจึงยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร

1.2.2 การย้อมแบบแบตช์ (Batch หรือ Exhaustion dyeing)

ในการย้อมวิธีนี้ ผ้าหรือวัสดุที่จะย้อมจะถูกนำมาแช่ในหม้อย้อมที่มีสารละลายสีย้อม และก็จะถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อผ้าหรือเส้นด้าย การย้อมแบบแบตช์นี้นิยมใช้กับเส้นด้ายผ้าทอ และผ้าถัก เครื่องย้อมที่นิยมหลายประเภท อาทิเช่น เครื่องเคียว เครื่องเจ็ท

1.3 การตกแต่งสำเร็จ (Textile Finishing)

การตกแต่งสำเร็จเป็นขั้นตอนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุง เปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มเติมคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้หรือลูกค้า เช่น ควบคุมการหดตัวของผ้าทำให้ผ้านุ่มเป็นมันเงา เป็นต้น สามารถทำได้ทั้งโดยการใส่สารเคมีและกรรมวิธีเชิงกล เช่น การ ตะกรูยขน ตัดขน เป็นต้น

2. แหล่งที่มาของน้ำเสีย

แหล่งที่มาของน้ำเสียนอกจากสารเคมีดังแสดงในภาพที่ 2 แล้วยังรวมถึงสิ่งอื่น ๆ ที่ปะปนมากับเส้นใย เช่น น้ำมันและไขมัน เป็นต้น แหล่งต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม มีดังนี้ (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544)

2.1 น้ำที่ใช้ในกระบวนการ

น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนย้อม ขั้นตอนการฟอกย้อม และตกแต่งสำเร็จ น้ำในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้าง แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อย

เป็นน้ำเสียออกมาเกือบทั้งหมด นอกจากนี้ น้ำที่ใช้ในกระบวนการสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

2.1.1 น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อม

น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อม คือ กระบวนการต้มเป็ง กระบวนการทำความสะอาด กระบวนการฟอกขาว กระบวนการชุบมัน กระบวนการย้อมสี/การตกแต่งพิเศษ น้ำที่ได้จากกระบวนการเหล่านี้มีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสารมลพิษสูง และมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเส้นใยที่นำมาย้อมและกระบวนการย้อมที่ใช้

2.1.2 น้ำที่ใช้ในการซักล้างหลังจากการฟอกย้อม

น้ำที่ได้จากกระบวนการนี้มีปริมาณมาก แต่ความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำกว่าน้ำที่ใช้ในการฟอกย้อมโดยตรง

2.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมักใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่ น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต หรือให้ความร้อนแก่ตู้อบไอน้ำ ไอน้ำนี้ถ้าปล่อยให้เย็นตัวลงและทำให้เกิดการกลั่นตัวในท่อน้ำก็จะได้น้ำสะอาดซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้านำไอน้ำนี้ไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อม โดยตรงก็เท่ากับไปเพิ่มปริมาณน้ำเสียให้มากขึ้น

2.3 น้ำหล่อเย็น

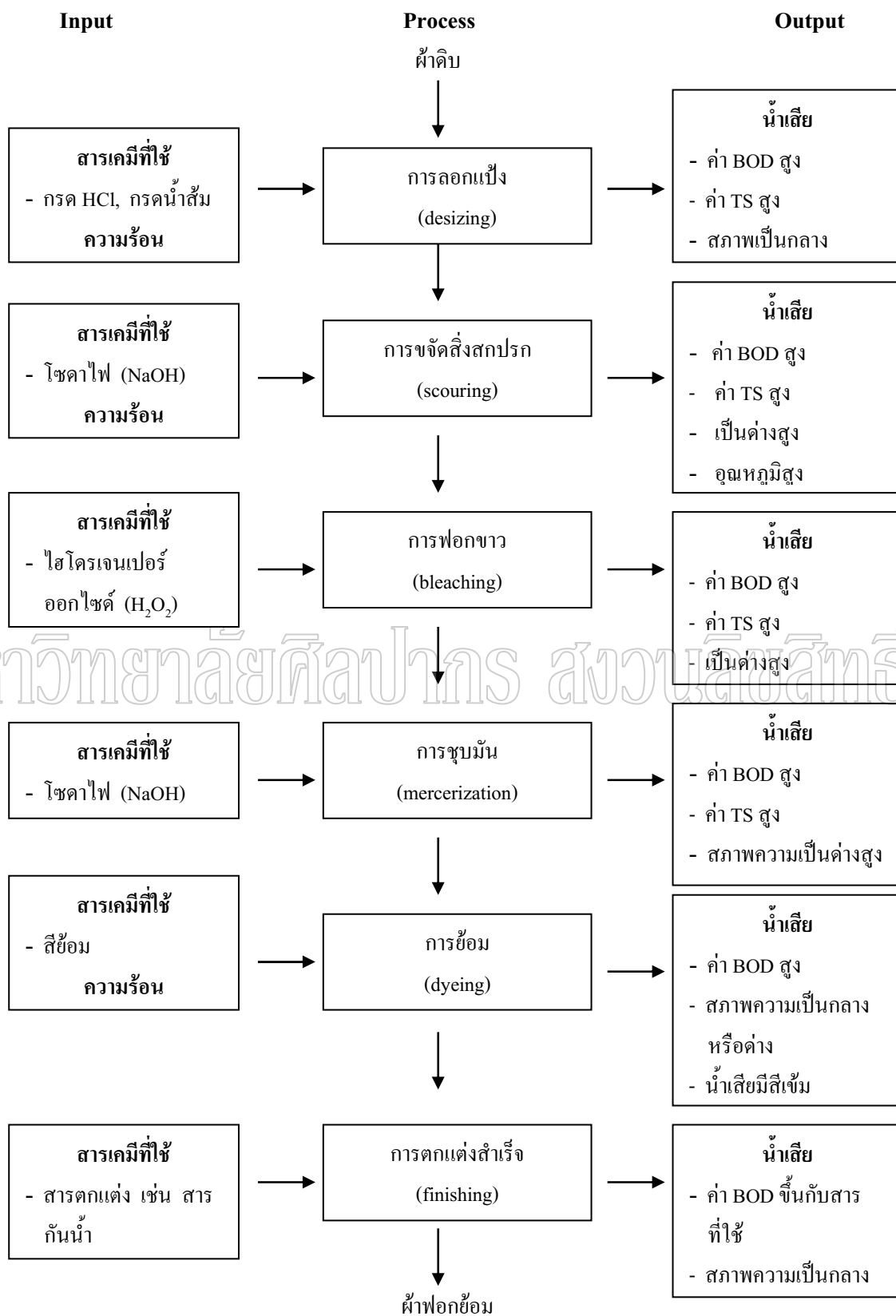
ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิของน้ำย้อมให้ลดลงในระยะเวลาอันสั้น โดยการใช้ น้ำหล่อเย็น ซึ่งน้ำหล่อเย็นนี้เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.4 น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและการทำความสะอาดโรงงาน

น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและการทำความสะอาดโรงงานเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ ในบางกรณีน้ำเสียชนิดนี้อาจมีความเข้มข้นของสารมลพิษต่าง ๆ สูง

2.5 น้ำจากแหล่งอื่น ๆ

น้ำจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำจากโรงอาหารและห้องน้ำในโรงงาน เป็นต้น



ภาพที่ 2 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อม

3. ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นดังนี้

3.1 มีปริมาณสารอินทรีย์สูง

สารอินทรีย์ในน้ำเสียเกิดจากการปนเปื้อนของแป้ง สีย้อม เส้นใยและเส้นด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง นอกจากนี้แล้วสารอินทรีย์อาจเกิดจากสบู่ ไขมัน น้ำมัน ซึ่งจะเป็นฝ้าคลุมผิวน้ำ และสารทำความสะอาดซึ่งมีลักษณะเป็นฟอง โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียนี้มักมีค่าบีโอดีประมาณ 100-1,000 มก./ล. และค่าซีโอดีประมาณ 500-1,200 มก./ล. (จารุทัศน์, 2537)

3.2 มีค่าพีเอชและค่าสภาพต่าง (Alkalinity) สูง

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมักมีค่าพีเอชประมาณ 9-12 และมีค่าสภาพต่างประมาณ 300-900 มก.หินปูน/ลิตร สารที่ทำให้น้ำเสียฟอกย้อมมีค่าพีเอชและค่าสภาพต่างสูง ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3 มีอุณหภูมิสูง

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีอุณหภูมิสูงประมาณ 50 °ซ

3.4 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง

ส่วนใหญ่เป็นการละลายของแข็งพวกเกลือ โซเดียมและกรดต่าง ๆ

3.5 มีความเข้มข้นสูง โดยเป็นสีที่ขุ่นมัว

3.6 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง

4. ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมต่อสิ่งแวดล้อม

4.1 สารอินทรีย์

4.1.1 ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ลดลง ซึ่งมีผลทำให้

- สิ่งมีชีวิตในน้ำตาย เนื่องจากขาดออกซิเจน
- ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถฟอกตัวเอง (self purification) ได้ทัน
- ทำให้เกิดกลิ่น
- ทำให้ไม่สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นให้เป็นประโยชน์ทางเศรษฐกิจได้

4.1.2 สารอินทรีย์บางตัวอาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีผลทำให้

- เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
- เกิดการสะสมอยู่ในระบบนิเวศ (bioaccumulation) หากสารนั้นเป็น

สารที่สลายตัวได้ยาก

- เป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ในกรณีที่ได้รับสารนั้นโดยตรง หากบริโภค สัตว์น้ำที่มีสารพิษเข้าไปจะได้รับสารทางอ้อมจากห่วงโซ่อาหาร หรือจากการที่สารนั้นสะสมอยู่ใน ระบบนิเวศ

4.2 อุณหภูมิ

น้ำเสียอุณหภูมิสูงมีผลทำให้

- เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
- ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายสูงสุดลดลง
- เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์

4.3 ของแข็งแขวนลอย

- เพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ
- สามารถตกตะกอนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินได้
- ทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำ

4.4 สี

- ทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำ
- ทำให้ปริมาณแสงที่จะผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลง ส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแหล่งน้ำลดลง

5. กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี (Chemical Coagulation and Flocculation Process)

กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีเป็นการเติมสารเคมีที่แตกตัวให้ประจุบวกสูง เช่น Al^{3+} Fe^{3+} เพื่อสะเทินประจุลบที่ผิวของของแข็งแขวนลอย ทำให้อนุภาคต่าง ๆ สามารถเคลื่อนเข้าใกล้กันได้มากขึ้น ต่อจากนั้นจะเกิดเมือก้อน (Floc) เพื่อเป็นแกนให้อนุภาคต่าง ๆ รวมตัวกันเกิดการตกตะกอนได้ดีขึ้น

5.1 หลักการ

โคแอกกูเลชัน (Coagulation) คือ การรวมตัวกันของสารแขวนลอยในน้ำเมื่อมีการเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำ เพราะสารแขวนลอยส่วนมากจะมีประจุไฟฟ้าเคมีเป็นลบ การเติมสารสร้างตะกอนจะเป็นการสะเทินประจุไฟฟ้าเคมีเนื่องจากสารที่เติมลงไปมีประจุไฟฟ้าเคมีเป็นบวก จึงเกิดการรวมตัวกันเป็นตะกอนขึ้นซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าสารแขวนลอย

5.1.1 การเกิดเสถียรภาพของอนุภาค

เนื่องมาจากอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำนั้นมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตกตะกอนลงได้เองตามธรรมชาติจึงทำให้อนุภาคอยู่ในสถานะสารแขวนลอย และสาเหตุที่ทำให้อนุภาคเกิดเสถียรภาพได้อีกก็คือ

1) เกิดการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคของสารแขวนลอยกับโมเลกุลของน้ำ โดยโมเลกุลของน้ำจะเข้ามาล้อมรอบอนุภาค

2) เกิดจากประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคสารแขวนลอยดึงดูดไอออนต่างประจุมาล้อมรอบอนุภาค เมื่อถูกรบกวนด้วยการเคลื่อนไหวของโมเลกุลน้ำ ทำให้เกิดเป็นชั้นกระจาย (Diffuse Layer) ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคจะมากที่สุดบริเวณผิวของอนุภาคและลดลงตามระยะที่ห่างออกไป เนื่องจากประจุไฟฟ้านั้นก่อให้เกิดเสถียรภาพของอนุภาคมากกว่าปัจจัยอื่น การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคโดยการลดผลของประจุไฟฟ้าจึงเป็นวิธีที่จะช่วยให้อนุภาคต่างๆรวมตัวกันได้ดีขึ้นและตกตะกอนได้

5.1.2 การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคสารแขวนลอยเกิดโดยกลไกต่าง ๆ ได้แก่

1) กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) ด้วยการเพิ่มประจุตรงข้ามกับประจุของอนุภาคในชั้นกระจายให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวนอกสุดของน้ำลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้อนุภาคสามารถเข้าใกล้ได้และยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดจนมีขนาดใหญ่ขึ้น

2) กลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคสารแขวนลอย (Absorption and Charge Neutralization) ด้วยการเติมสารเคมีบางชนิดที่สามารถแตกตัวให้ประจุตรงข้ามกับประจุของอนุภาคสารแขวนลอยและสามารถดูดติดผิวได้ ซึ่งจะส่งผลให้ลดศักย์ไฟฟ้าของสารแขวนลอยลง และทำลายเสถียรภาพของอนุภาคสารแขวนลอยจนสามารถเข้าใกล้กันและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่สามารถตกตะกอนได้

3) กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคสารแขวนลอยมาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เป็นการเติมเกลือของสารประกอบโลหะที่มีความสามารถในการตกผลึกได้อย่างรวดเร็ว โดยเมื่อรวมตัวกับอนุภาคของสารแขวนลอยจะมีน้ำหนักมากยิ่งขึ้นและสามารถตกตะกอนได้

4) กลไกการสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคสารแขวนลอย โดยใช้สารโพลิเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มาเป็นตัวเชื่อมต่ออนุภาคของสารแขวนลอยเข้าด้วยกันโดยอนุภาคของสารแขวนลอยสามารถจับตัวกับโพลิเมอร์โดยตรงและยังสามารถจับตัวกับอนุภาคสารแขวนลอยด้วยตัวเองได้จนมีขนาดใหญ่และตกตะกอนลง (มันลิน, 2526)

ฟล็อกกูเลชัน (Flocculation) คือ การเคลื่อนที่มาสัมผัสกันของตะกอนขนาดเล็กจนมีขนาดใหญ่ขึ้นคล้ายปุยฝ้ายโดยอาศัยระยะเวลาและการแปรปรวนของน้ำต่ำ จะรวมกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้นจึงตกลงสู่ด้านล่างของน้ำได้ง่ายยิ่งขึ้น วิธีการสร้างสัมผัสให้อุณหภูมิหลายวิธี ดังนี้

1) ทำให้อุณหภูมิสารแขวนลอยเคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีที่นิยมกันมากที่สุดคือ การกวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลที่แตกต่างกัน แต่ไม่ควรให้เร็วเกินไปนักเพราะจะทำให้เกิดการแตกตัวของฟล็อกหรือหลุดออกจากกัน วิธีการสร้างสัมผัสนี้มีชื่อเทคนิคว่า Orthokinetic Flocculation ใช้ได้ดีกับฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ 0.1 – 1 ไมครอน และความเข้มข้นมากกว่า 50 มก/ล

2) การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ สามารถเกิดขึ้นได้เองด้วยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้าหากันเองหรือเกิดการเคลื่อนที่จากการชนจากโมเลกุลของน้ำจนทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน แต่การเคลื่อนที่แบบนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เรียกการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า Perikinetic Flocculation

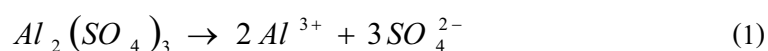
3) การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดจากอัตราการตกตะกอนที่ไม่เท่ากันของอนุภาค โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนได้เร็วและสัมผัสกับอนุภาคขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ากว่าในแนวการตกตะกอนทำให้เกิดการสัมผัสและเกาะตัวกันขึ้น ใช้ได้ดีกับอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน

4) การสร้างสัมผัสด้วยวิธีการกรอง เพื่อบีบบังคับทางเดินของคอลลอยด์ให้เข้ามาหากันด้วยการขวางกั้นด้วยตัวกรอง ใช้ได้ดีกับอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอน (พรศักดิ์, 2545)

5.2 สาร Coagulant และ Flocculant

5.2.1 สารส้ม (Aluminium sulphate, Alum)

สารส้มหรืออลูมิเนียมซัลเฟต มีสูตรโมเลกุล $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ โดยที่ n มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 ซึ่งแตกตัวในน้ำได้เป็นไอออนบวกดังสมการที่ 1



เมื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก จะทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่เป็นประจุลบให้เป็นกลาง เพื่อให้อนุภาครวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนลงได้เอง

5.2.2 สารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum chloride, PACl)

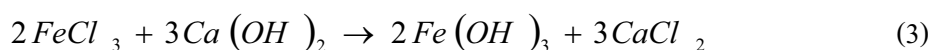
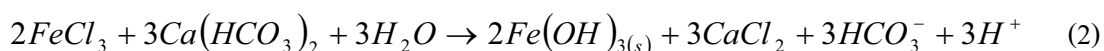
โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl: Polyaluminum chloride) มีสูตรทั่วไปคือ $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ ถูกเตรียมขึ้นด้วย Al_2O_3 ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงจนเป็น $AlCl_3$ หลังจากนั้นทำปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูงเกิดเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์โพลีเมอร์ และเมื่อเติมสารส้มลงไปจะได้ Al_2O_3 ที่ความเข้มข้น 10-11% จากนั้นเติมซัลเฟตเพื่อเป็นตัวเชื่อมระหว่างอะตอมของอะลูมิเนียม

เมื่อ PACl ละลายน้ำจะเกิดเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย ตัวที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{+7}$ หรือ Al^{+13}

5.2.3 สารเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride)

เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) มีสูตรทั่วไปคือ $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ หรือ $FeCl_3$ anhydrous เป็นผลึกหรือสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลืองสามารถละลายน้ำได้ดีตะกอนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาคือตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$)

สารประกอบหลักที่ละลายน้ำจะได้ประจุบวก ซึ่งจะไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งเป็นประจุลบ จนเกิดเป็นตะกอนของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์และทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ดังสมการที่ 2 และสมการที่ 3



5.2.4 สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulation aid)

Polyacrylamide เป็น Polymer ที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของ monomer เป็นสายโซ่ยาวมากมีน้ำหนักโมเลกุลเป็นล้านหน่วย สารอินทรีย์สังเคราะห์โพลีเมอร์สามารถแบ่งได้เป็นชนิดต่าง ๆ ได้แก่

Cationic Polymer มีประจุเป็นบวกสามารถรวมตะกอนที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี นิยมใช้ในการปรับสภาพตะกอนตัวอย่างเช่น 1-trimethylammonium-2-hydroxypropylmethacrylate methosulfate, 1-trimethylammonium-2-hydroxypropylacrylate methosulfate, 3-methacrylamido propyl trimethyl ammonium chloride และ polydiallyldimethyl ammonium(PDADMA, cat-floc) สารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท cationic เตรียมได้จากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมี

ชนิด non-ionic polyacrylamide หรือเป็นการรวม cationic monomer ด้วย acrylamide polymer ชนิด cationic polymer

Anionic Polymer มีประจุเป็นลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของ acrylamide ที่ละลายอยู่ใน acrylic acid ชนิดของ anionic polymer เช่น polyacrylamide acid (PAA), hydrolyzed polyacrylamide(HPAM) และ polystyrene sulfate(PSS) สารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท anionic มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำและทำให้เกิดกลุ่ม amide group (NH_2) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของ anionic monomer จนเป็น acrylamide polymer

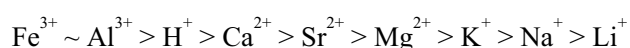
Nonionic Polymer ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถทำให้ตะกอนรวมกลุ่มกันได้ดี ทำให้ฟล็อกเกิดความแข็งแรง เช่น poly(vinyl pyrrolidone) (PVP)

5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างและรวมตะกอน

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี ได้แก่ ชนิดและปริมาณของสาร Coagulant และสาร Flocculant ค่า pH ตั้งต้น ความเป็นด่าง (Alkalinity) เวลาในการกวนเร็ว-ช้า และความเร็วในการกวนเร็ว-ช้า ในที่นี้จะเน้นเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำเท่านั้น

5.3.1 ชนิดและปริมาณของสาร Coagulant

กรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกสามารถจับตัวกับออลอนบวกทั้งที่มีประจุ $3+$ $2+$ และ $1+$ แล้วตกตะกอนแยกจากน้ำได้ ลำดับความสามารถของออลอนบวกในการจับกับกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกมีดังนี้



ดังนั้นจึงนิยมเติมสาร coagulant ที่แตกตัวให้ Fe^{3+} และ Al^{3+} เพื่อช่วยในการกำจัดกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกจากน้ำ (Stevenson, 1994)

5.3.2 pH ตั้งต้น

Qin, et al. (2006) และ Uyak and Toroz (2007) พบว่า pH เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด NOM มากกว่าปริมาณของสาร Coagulant ที่ pH ต่ำลงการกำจัดสาร NOM มีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากที่ pH ต่ำ จะเกิดการ Protonation ของสาร NOM เปลี่ยนรูปให้มีความเป็น Hydrophobic สูงขึ้นจึงตกตะกอนจากน้ำได้รวมทั้งเกิดการดูดซับบนสายโลหะไฮดรอกไซด์ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สาร Coagulant มีประจุบวกเพิ่มขึ้นจึงลดปริมาณสารที่ต้องเติมลงไปด้วย

5.3.3 ชนิดและปริมาณของสาร Flocculant

จากการตรวจเอกสารพบว่าสาร Cation Polymer สามารถจับกับกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกในน้ำได้เนื่องจากมีกลไกการทำงานคล้ายกับโพลีเมอร์ของออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และเพอร์ริกไฮดรอกไซด์ Bolto, et al. (2001) รายงานว่าสาร Cationic Polymer ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสายยาวและมีประจุบวกหนาแน่น เช่น Polydiallyldimethylammonium chloride สามารถช่วยจับสารอินทรีย์โดยเฉพาะกรดฮิวมิกที่ยังไม่รวมตัวกับอออนบวกในขั้นตอน Coagulation นอกจากนั้น Polymer ยังช่วยให้สารที่ตกตะกอนแล้วรวมตัวกันเป็น Floc ที่ใหญ่และแข็งแรงขึ้นได้

5.4 กลไกของกระบวนการสร้างและรวมตะกอน

สารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ในแหล่งน้ำจะอยู่ในรูปคอลลอยด์และสารละลาย มีทั้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากและน้อย กลไกหลักในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำมี 3 กลไก ได้แก่ (มัลลิกาและพงษ์ศรี, 2552)

5.4.1 การสะเทินประจุ (Charge neutralization)

กรณีการสะเทินประจุ (Charge neutralization) เกิดขึ้นกรณีที่เกิดปฏิกิริยาระหว่าง NOM ละลายน้ำซึ่งมีประจุลบหนาแน่น และโลหะอออนบวก เช่น Al^{3+} Fe^{3+} ทำให้สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำเปลี่ยนเป็นรูปเกลือของโลหะและสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ กรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อสาร Coagulant อยู่ในรูปอออนบวกที่ละลายน้ำและเกิดการตกตะกอนเป็น $Al(OH)_3$ $Fe(OH)_3$ น้อยรวมทั้งยังต้องมีความเข้มข้นของสาร Coagulant สูงด้วย

5.4.2 Entrapment หรือ Sweep coagulation

สำหรับกรณีที่ความเข้มข้นของโลหะในน้ำสูง โลหะส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปตะกอน $Al(OH)_3$ $Fe(OH)_3$ ในทันทีที่เติมสาร Coagulant ลงในน้ำ กรณีนี้เป็นกลไกหลักของการกำจัด NOM ที่อยู่ในรูปคอลลอยด์ซึ่งเป็นกรดฮิวมิกที่มีมวลโมเลกุลสูง กรดฮิวมิกเหล่านี้มีความหนาแน่นประจุต่ำดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ปริมาณสาร Coagulant เพื่อสะเทินประจุและเกิด Destabilization ไม่มากนัก กลไกหลักของการกำจัด NOM กลุ่มนี้จะเป็นกลไกการกวาดตะกอน Entrapment (Sweep coagulation) ร่วมกับการดูดซับคอลลอยด์ไว้บนผิวตะกอน (Surface adsorption)

5.4.3 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกลไกหลักของการกำจัด NOM ที่อยู่ในรูปของคอลลอยด์ซึ่งเป็นกรดฮิวมิกที่มีมวลโมเลกุลสูงร่วมกับกลไกการกวาดตะกอน Entrapment (Sweep coagulation) อย่างไรก็ตามปริมาณสาร Coagulant ที่ทำให้เกิดกลไกทั้ง 2 จะขัดแย้งกันเนื่องจากการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำต้องใช้ปริมาณสาร Coagulant สูงแต่สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป

คอลลอยด์นั้นต้องการปริมาณ Coagulant ไม่มากนัก ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้คอลลอยด์เกิดการ Restabilization ทำให้อนุภาคกลับฟุ้งกระจายขึ้นอีก

6. ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม กรณีศึกษา

ระบบบำบัดน้ำเสียที่แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment Plant) และระบบบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment Plant)

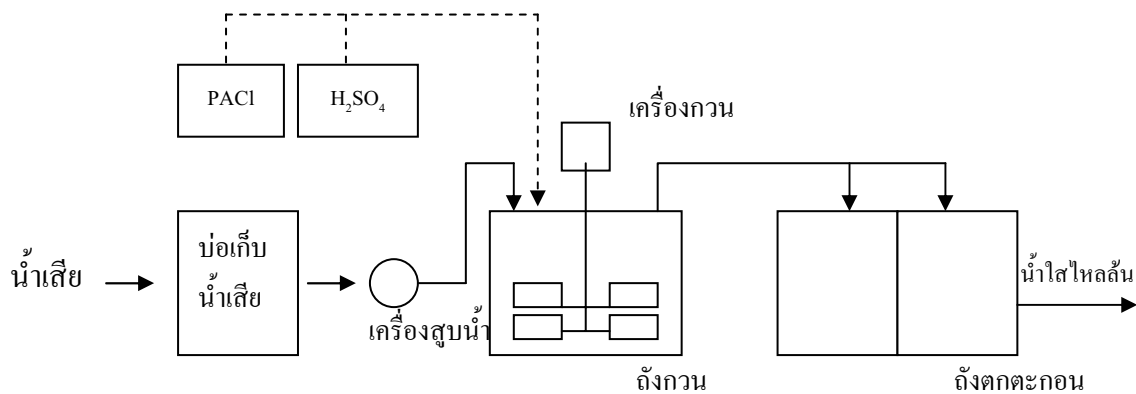
6.1 ระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมี

ระบบบำบัดทางเคมีเป็นหน่วยแรกที่รับน้ำเสียจากบ่อเก็บน้ำเสีย (Wastewater Storage Pond) ขึ้นมาบำบัด น้ำเสียจะถูกสูบโดยการใส่ไทมเมอร์ตั้งเวลาควบคุมการสูบไปยังถังกวน (Mixing Tank) ซึ่งภายในติดตั้งเครื่องควบคุมพีเอช (pH Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เพื่อรักษาค่าพีเอชภายในถังกวน ขณะเดียวกันสารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) จะถูกสูบเข้าไปผสมกับน้ำเสียในถังกวน เพื่อทำลายเสถียรภาพของสารแขวนลอยในน้ำเสีย และก่อตัวเกาะกลุ่มกันเป็นตะกอน น้ำเสียที่ไหลออกจากถังกวนแล้วจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) เพื่อแยกส่วนน้ำใสและตะกอนออกจากกัน แผนภาพระบบบำบัด

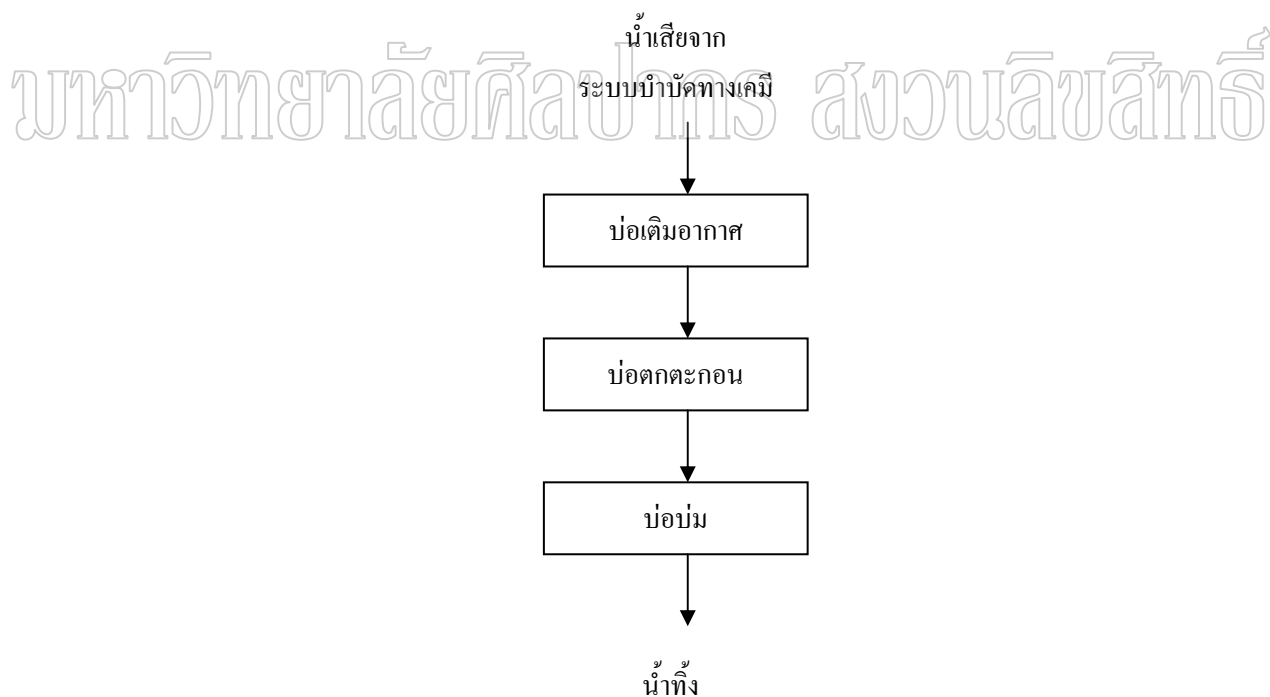
น้ำเสียทางเคมีแสดงดังภาพที่ 3

6.2 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

น้ำใสที่ออกจากถังตกตะกอนเคมีจะไหลลงสู่รางรับน้ำ เพื่อเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพ โดยเข้าสู่บ่อเติมอากาศเพื่อให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพจากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอน (Sedimentation Pond) เพื่อแยกตะกอนและน้ำใสออกจากกัน ตะกอนบางส่วนจะถูกเวียนกลับมายังถังเติมอากาศ ส่วนน้ำใสจะไหลเข้าสู่บ่อบ่ม (Polishing Pond) เพื่อทำให้น้ำมีคุณภาพดียิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้รดน้ำต้นไม้หรือปรับปรุงเพื่อประโยชน์อื่น ๆ ได้ แผนภาพระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 แผนภาพระบบบำบัดทางเคมี
ที่มา: ดัดแปลงจาก บริษัท ไชเบอร์ชายน จำกัด (2004)



ภาพที่ 4 แผนภาพระบบบำบัดทางชีวภาพ
ที่มา: ดัดแปลงจาก บริษัท ไชเบอร์ชายน จำกัด (2004)

7. งานวิจัยเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม

Selcuk (2005) ได้ทำการทดลองใช้กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีโดยใช้ $Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$ และโอโซน ในการกำจัดสีและมลสารในน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยใช้พารามิเตอร์ในการตรวจวัด คือ COD ค่าสี และความเป็นพิษ ผลการทดลอง $Al_2(SO_4)_3$ และ $FeSO_4$ สามารถกำจัดสีได้ 50-60% ค่า COD ได้ 60% และความเป็นพิษได้ 70-80% โดยใช้ความเข้มข้นของ $FeSO_4$ และ $Al_2(SO_4)_3$ ปริมาณ 1,000 mg/L และ 1,500 mg/L ตามลำดับ แต่ยังไม่ได้คิดค่าบำบัดสลัดจ์ที่เกิดขึ้น

El-Gohary and Tawfik (2009) ได้ทำการทดลองกำจัดสีและค่า COD ในน้ำเสียที่เกิดจากการย้อม โดยวิธีการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีตามด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งได้ใช้สารสร้างตะกอน คือ Alum, Lime และ $MgCl_2$ ร่วมกับ Lime ผลการทดลอง Lime สามารถกำจัดสีได้ 100% และค่า COD ได้ 50% ส่วน $MgCl_2$ ร่วมกับ Lime ที่ pH 11.0 สามารถกำจัดสีได้หมด และค่า COD ได้ 40% แต่จะใช้ Lime หรือ $MgCl_2$ ร่วมกับ Lime ก็จะทำให้เกิดสลัดจ์ปริมาณมากที่ต้องนำไปบำบัด แต่ถ้าใช้ Alum ร่วมกับ Cation polymer สามารถกำจัดสีเพิ่มขึ้นจาก 78.9 เป็น 94% และค่า COD ได้ 44% และยังพบว่าเกิดสลัดจ์ในปริมาณที่น้อยกว่า Lime และ $MgCl_2$ ร่วมกับ Lime

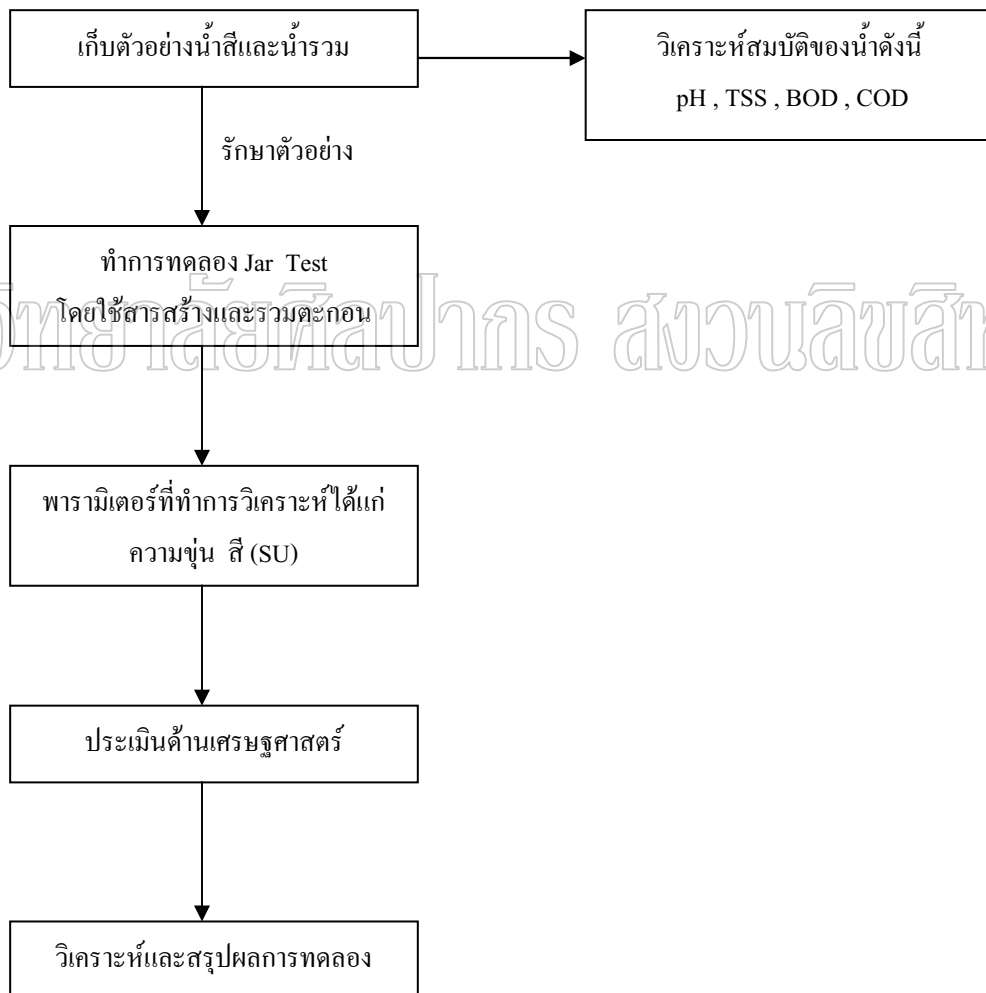
Amuda and Alade (2006) ทำการทดลองใช้กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีในการกำจัดค่า COD TDS และ TP ในน้ำเสียของโรงงานแอสเบสตอส โดยใช้ Alum $FeCl_2$ และ $FeSO_4$ เป็นสารสร้างตะกอน ผลการทดลองพบว่า Alum สามารถกำจัด TSS และ TP ได้ดีแต่ $FeSO_4$ สามารถลดค่า COD ได้ดีกว่า และยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum ตั้งแต่ 750-1,000 mg/L มีผลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด TP และยังพบว่าเมื่อใช้ Alum ร่วมกับ polymer มีผลทำให้ปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นลดลงด้วย

Shi, et al. (2007) ทำการทดลองกำจัดสีย้อมโดยใช้กระบวนการสร้างตะกอนทางเคมีใช้สารสร้างตะกอนคือ Al_3 , PACl และ $AlCl_3$ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเรียงจากมากไปน้อยโดย $Al_3 > PACl > AlCl_3$ ทั้งนี้เพราะ Al_3 สามารถแตกตัวมีประจุมากกว่าจึงสามารถกำจัดสีได้ดีกว่า แต่จะต้องควบคุม pH ที่เหมาะสม

Yan, et al. (2009) ทำการทดลองการสร้างตะกอนทางเคมีโดยใช้ $AlCl_3$, $PACl_{10}$, $PACl_1$ (commercial industrial) และ $PACl_{20}$ ผลการทดลองพบว่า $PACl_1$ มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และความขุ่นได้ดีกว่า $AlCl_3$ ที่ pH 5.5-6.5 $PACl_{20} > PACl_1 / PACl_{10} > AlCl_3$ และยังพบว่า $PACl_1$ มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีกว่า $AlCl_3$ ในน้ำที่มีสภาพต่างสูงหรือต่ำอีกด้วย

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการแยกบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและลดการใช้สารเคมี โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดและค่าใช้จ่ายในการบำบัดกับระบบบำบัดจริง การดำเนินงานวิจัยแสดงแผนผังการดำเนินงานวิจัยดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

วิธีวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. สถานที่เก็บตัวอย่าง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากรณีตัวอย่างของโรงงานฟอกย้อมผ้าจากเส้นใยธรรมชาติ ในอำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี (ขอสงวนชื่อโรงงาน) ซึ่งมีกำลังการผลิตประมาณ 1 แสนหลอดต่อเดือน และนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

2. ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2552 จนถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 โดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง เป็นตัวอย่างน้ำสี 108 ลิตร และน้ำเสียรวม 108 ลิตร

3. การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำ

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำจะทำแบบจ้วงตัก (Grap sampling) เก็บน้ำเสียรวมที่บ่อเก็บกักน้ำเสียรวมของโรงงาน ดังภาพที่ 6 และเก็บน้ำสีที่บ่อน้ำสีก่อนที่จะไปรวมกับน้ำเสียอื่นที่บ่อเก็บกักน้ำเสียของโรงงาน ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 บ่อเก็บกักน้ำเสียรวม



ภาพที่ 7 บ่อเก็บน้ำสี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.2 วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

เมื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำแล้วต้องมีการรักษาตัวอย่างเพื่อให้สมบัติของตัวอย่างน้ำมีค่าใกล้เคียงที่สุดกับน้ำที่ต้องการวิเคราะห์ โดยวิธีการรักษาตัวอย่างและการวิเคราะห์เป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ของ APHA AWWA WPCF (2005) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการเก็บรักษาและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	การเก็บรักษาตัวอย่าง	วิธีการวิเคราะห์ หรือ เครื่องมือวิเคราะห์
pH	วัด ณ จุดเก็บตัวอย่าง	pH meter
Temperature	วัด ณ จุดเก็บตัวอย่าง	pH meter
Turbidity	เก็บแช่เย็นที่ 4 °C	Turbidity meter
Colour	-	UV-visible spectrophotometer

ที่มา: APHA AWWA WPCF (2005)

3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง มีดังนี้

1) พีเอช (pH)

การวิเคราะห์ pH ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ HORIBA รุ่น Model

D - 21

2) อุณหภูมิ (Temperature)

การวิเคราะห์อุณหภูมิ ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ HORIBA รุ่น

Model D - 21

3) สี (Colour)

การวิเคราะห์สี ซึ่งวัดในหน่วย SU ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ยี่ห้อ Jasco รุ่น V-530 ตามวิธีการของมัตสึบะ (2547) ซึ่งแสดงในภาคผนวก ก

4) ความขุ่น (Turbidity)

การวิเคราะห์ความขุ่น ซึ่งวัดในหน่วย NTU ด้วยเครื่อง Turbidity meter รุ่น JEN

WAY-6035

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

4. การทดลองด้วย Jar Test

การทดสอบการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีของน้ำโดยวิธี Jar Test ภาพที่ 8 ซึ่งเป็นการหาสถานะที่เหมาะสมของการเติมและผสมสารเคมีสำหรับการตกตะกอน โดยปัจจัยในการสร้างตะกอนขึ้นกับค่าพีเอช ชนิดของสารสร้างตะกอน ชนิดของสารรวมตะกอน

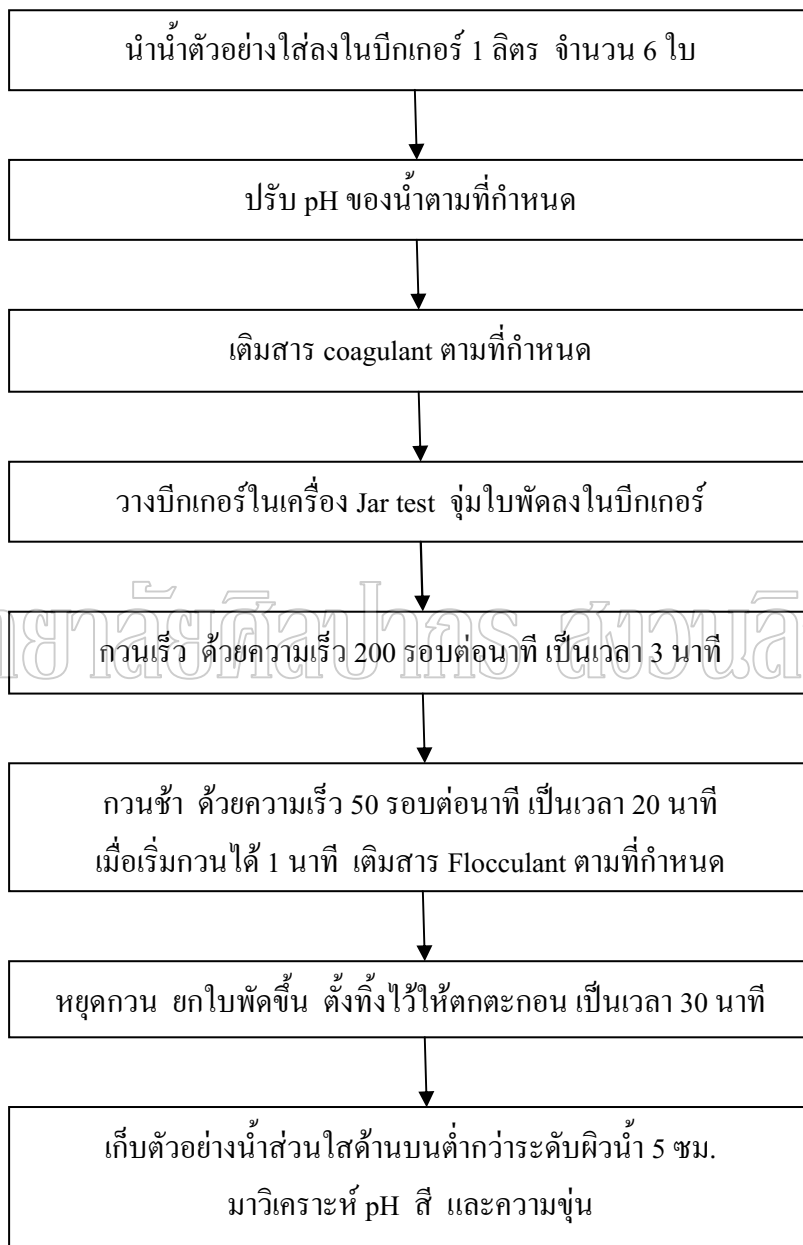
สารเคมีที่ใช้ในการสร้างตะกอน (Coagulants) ของงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ สารส้ม $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) และเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) และใช้สารรวมตะกอน (Flocculant) ได้แก่ Cation polymer และ Anion polymer เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อช่วยให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันได้ดีและรวดเร็วยิ่งขึ้น



ภาพที่ 8 การทดลอง Jar test

4.1 วิธีการทดลองด้วย Jar test

ขั้นตอนการทดลองด้วย Jar test แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Jar test

4.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัด

นำตัวอย่างน้ำสีและน้ำรวมทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ Chemical coagulation and flocculation ด้วยเครื่อง Jar test โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่

1) ชนิดและปริมาณของ Coagulant 3 ชนิด ได้แก่

- สารส้ม (Aluminum sulphate, Alum)
- โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PACl)
- เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride, FeCl₃)

2) pH ตั้งคั้ง

3) ชนิดและปริมาณของ Flocculant 2 ชนิด ได้แก่ Cation polymer ชื่อทางการค้า DG-402 ชนิดความหนาแน่นประจุปานกลาง และ Anion polymer ชื่อทางการค้า DG-403 ชนิดความหนาแน่นประจุปานกลาง เนื่องจากเป็นชนิดที่ทางตัวแทนจำหน่ายแนะนำว่าเหมาะสำหรับใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียและมีราคาไม่แพงมาก

สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองของสารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และเฟอริกคลอไรด์ แสดงดังตารางที่ 2 ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ โดยเลือกช่วงของปัจจัยจากค่าความเข้มข้นที่ใช้จริงในระบบบำบัดน้ำเสียของทางโรงงาน ในชุดการทดลอง Anion Polymer และ Cation Polymer มีชุดการทดลองเหมือนกัน

ตารางที่ 2 สภาวะต่าง ๆ ของสารส้ม (Alum) ในการทดลอง Jar test

ชุดการทดลอง	ปัจจัยที่ควบคุม			ปัจจัยที่ปรับเปลี่ยน		
	ชนิดของสาร Coagulant	pH ตั้งต้น	ปริมาณสาร Flocculant (mg/L)	ปริมาณสาร Coagulant (mg/L)	pH ตั้งต้น	ปริมาณสาร Flocculant (mg/L)
A1	Alum	8.0	0.20	Alum 150		
				Alum 200		
				Alum 250		
				Alum 300		
				Alum 400		
				Alum 500		
A2	Alum	-	0.20	จากผลการทดลอง ชุด A1	pH 6.5	
					pH 7.0	
					pH 7.5	
					pH 8.0	
					pH 8.5	
A3	Alum	-	-	จากผลการทดลอง ชุด A1	จากผลการทดลอง ชุด A2	Polymer ไม่เติม
						Polymer 0.10
						Polymer 0.15
						Polymer 0.20
						Polymer 0.25
						Polymer 0.30

ตารางที่ 3 สภาวะต่าง ๆ ของโพลีออลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) ในการทดลอง Jar test

ชุดการทดลอง	ปัจจัยที่ควบคุม			ปัจจัยที่ปรับเปลี่ยน		
	ชนิดของสาร Coagulant	pH ตั้งต้น	ปริมาณสาร Flocculant (mg/L)	ปริมาณสาร Coagulant (mg/L)	pH ตั้งต้น	ปริมาณสาร Flocculant (mg/L)
P1	PACl	8.0	0.20	PACl 600		
				PACl 700		
				PACl 750		
				PACl 800		
				PACl 850		
				PACl 900		
P2	PACl	-	0.20	จากผลการทดลอง ชุด P1	pH 6.5	
					pH 7.0	
					pH 7.5	
					pH 8.0	
					pH 8.5	
P3	PACl	-	-	จากผลการทดลอง ชุด P1	จากการทดลอง ชุด P2	Polymer ไม่เติม
						Polymer 0.10
						Polymer 0.15
						Polymer 0.20
						Polymer 0.25
						Polymer 0.30

ตารางที่ 4 สภาวะต่าง ๆ ของเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl₃) ในการทดลอง Jar test

ชุดการทดลอง	ปัจจัยที่ควบคุม			ปัจจัยที่ปรับเปลี่ยน		
	ชนิดของสาร Coagulant	pH ตั้งต้น	ปริมาณสาร Flocculant (mg/L)	ปริมาณสาร Coagulant (mg/L)	pH ตั้งต้น	ปริมาณสาร Flocculant (mg/L)
F1	FeCl ₃	8.0	0.20	FeCl ₃ 800		
				FeCl ₃ 900		
				FeCl ₃ 950		
				FeCl ₃ 1,000		
				FeCl ₃ 1,100		
				FeCl ₃ 1,200		
F2	FeCl ₃	-	0.20	จากการทดลองชุด F1	pH 6.5	
					pH 7.0	
					pH 7.5	
					pH 8.0	
					pH 8.5	
F3	FeCl ₃	-	-	จากการทดลองชุด F1	จากการทดลองชุด F2	Polymer ไม่เติม
						Polymer 0.10
						Polymer 0.15
						Polymer 0.20
						Polymer 0.25
						Polymer 0.30

4.3 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบความเหมาะสมในเรื่องของประสิทธิภาพของการบำบัดและค่าใช้จ่ายในเรื่องของสารเคมีกับระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันของทางโรงงาน โดยราคาแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ราคาสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย

สารเคมี	หน่วย	ราคาต่อหน่วย
Alum	กิโลกรัม	10 บาท
PACl	กิโลกรัม	18.50 บาท
FeCl ₃	ลิตร	10 บาท
Anion Polymer	กิโลกรัม	125 บาท
Cation Polymer	กิโลกรัม	155 บาท

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. สมบัติของน้ำเสีย

ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสีและน้ำฟอกแสดงดังตารางที่ 6 ซึ่งพบว่าค่า pH ของน้ำฟอกมีค่าสูงถึง 9.84 เนื่องจากในกระบวนการฟอกผ้ามีการใช้สารเคมีที่มีค่าต่างสูง ทำให้ต้องมีการปรับ pH ด้วยกรดก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อพิจารณาจากสมดุลมวลสารของกระบวนการผลิต (Mass balance) ในภาพที่ 2 ซึ่งเห็นได้ว่าการใช้ต่างเป็น Input ในขั้นตอนการฟอกผ้าทำให้น้ำเสียจากกระบวนการนี้มี pH สูง ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำสีมีค่าสูงถึง 2,105 mg/L เนื่องจากมีมวลสารของสีย้อมที่ใช้ในกระบวนการย้อมผ้าที่เหลือจากกระบวนการรวมกับน้ำที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดทำให้น้ำสีมีค่าของแข็งแขวนลอยสูงและมีสีเข้มกว่าน้ำฟอก ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสมบัติของน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด คือ น้ำสีและน้ำฟอก จึงไม่เหมาะที่จะนำน้ำสีและน้ำฟอกมาบำบัดรวมกัน

ตารางที่ 6 สมบัติของน้ำเสีย

พารามิเตอร์	น้ำสี	น้ำฟอก	น้ำเสียรวม
pH	6.82	9.84	12.04
ของแข็งแขวนลอย (TSS) (mg/L)	2,105	300	966
ซีโอดี (COD) (mg/L)	504	284	2,088
บีโอดี (BOD) (mg/L)	102	58.8	1,620

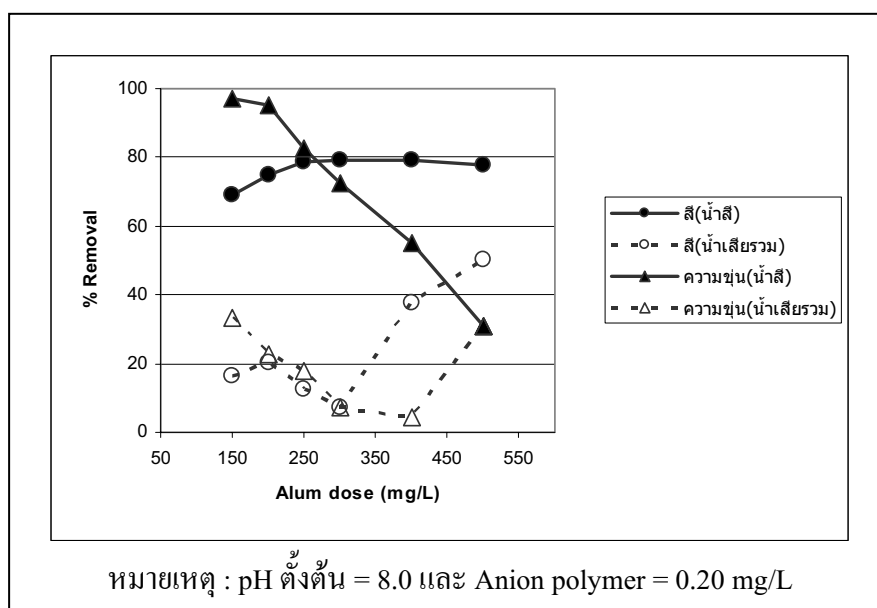
หมายเหตุ : น้ำสี หมายถึง น้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้า
 น้ำฟอก หมายถึง น้ำเสียจากกระบวนการฟอกผ้า
 น้ำเสียรวม หมายถึง น้ำเสียรวมจากทุกกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำฟอก น้ำล้าง
 น้ำย้อม และน้ำจากกระบวนการผลิตอื่น ๆ

2. การใช้สารสร้างตะกอนและ Anion polymer

2.1 การใช้ Alum เป็นสารสร้างตะกอน

2.1.1 ผลของปริมาณ Alum

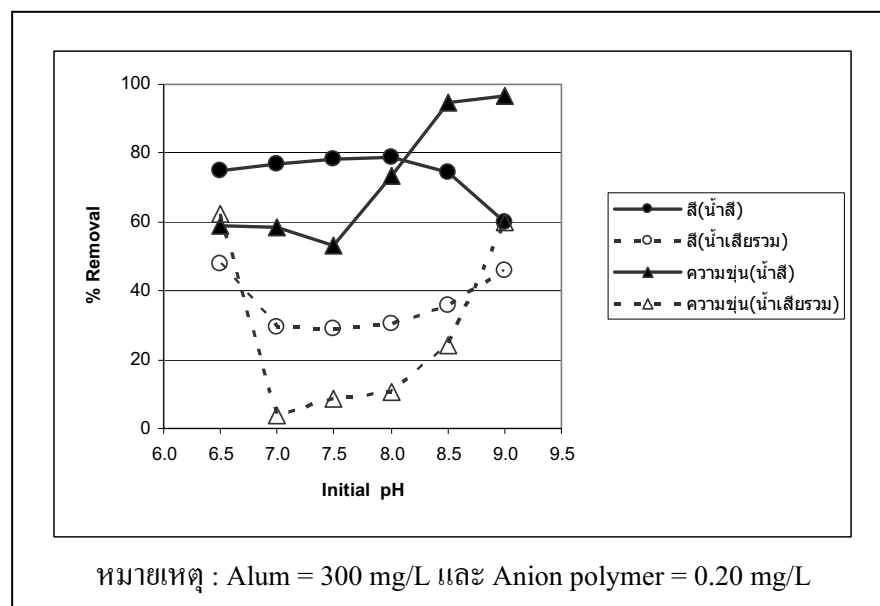
ภาพที่ 10 แสดงร้อยละของการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีและน้ำเสียวรวมเมื่อใช้ปริมาณ Alum 150-500 mg/L ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสีสูงกว่าน้ำเสียว ร้อยละของการบำบัดสีในน้ำสีและน้ำเสียวรวมอยู่ในช่วง 60-80 และ 10-50 ตามลำดับ และร้อยละของการบำบัดความขุ่นในน้ำสีและน้ำเสียวรวมอยู่ในช่วง 40-90 และ 10-30 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าร้อยละของการบำบัดสีในน้ำสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum จาก 150-300 mg/L และมีแนวโน้มคงที่ตั้งแต่ 300 mg/L อย่างไรก็ตามพบว่าร้อยละการบำบัดความขุ่นในน้ำสีลดลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาณ Alum สูงขึ้น สำหรับแนวโน้มการลดลงของสีและความขุ่นในน้ำเสียวรวมพบว่าร้อยละของการบำบัดสีต่ำสุดที่ปริมาณ Alum 300 mg/L และค่อย ๆ สูงขึ้นเมื่อปริมาณ Alum ต่ำลงหรือสูงขึ้น สำหรับการบำบัดความขุ่นก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันคือมีร้อยละการบำบัดต่ำสุดที่ปริมาณ Alum 400 mg/L และค่อย ๆ สูงขึ้นเมื่อปริมาณ Alum ต่ำลงหรือสูงขึ้น อาจเนื่องจากปริมาณ Alum น้อยเกินไปทำให้เกิดตะกอนน้อยมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นต่ำ เมื่อถึงจุดหนึ่งที่มีปริมาณ Alum เกิดการตกตะกอนน้ำเสียที่พอดีจึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นสูงขึ้นตาม จากผลการทดลองข้างต้นจึงเลือกปริมาณ Alum ที่ 300 mg/L ทำการทดลองต่อไป



ภาพที่ 10 ผลของปริมาณ Alum ร่วมกับ Anion Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น

2.1.2 ผลของ pH ตั้งต้น

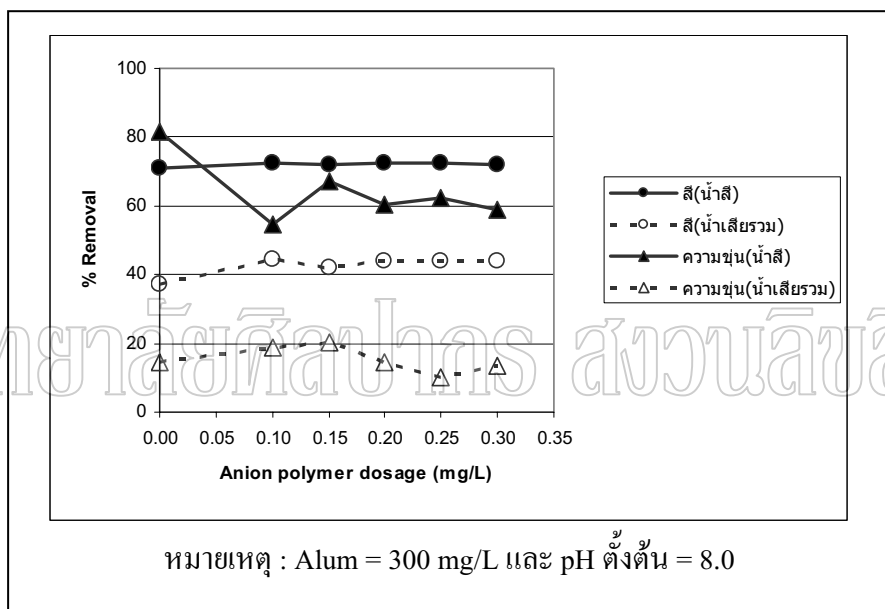
จากภาพที่ 11 เห็นได้ว่าที่ pH ตั้งต้น 8.0 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำสีสูงสุด สำหรับการกำจัดความขุ่นนั้นประสิทธิภาพการบำบัดต่ำที่สุดที่ pH ตั้งต้น 7.5 และประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นเมื่อ pH ตั้งต้น เพิ่มขึ้นจาก 7.5-8.5 ใกล้เคียงร้อยละ 100 ทั้งนี้เป็นเพราะอะลูมิเนียมในสถานะต่างจะอยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $Al(OH)_3$ ซึ่งสารนี้จะเกาะตัวกันเป็นสายยาวและอยู่ในรูปฟลูค (floc) ดังนั้น กลไกหลักจึงเป็นการสะเทินประจุที่ผิวคอลลอยด์และคอลลอยด์ฟลอค (floc) จึงทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนแยกออกจากน้ำได้ Solubility diagram ของ Faust and Aly (1997) อธิบายว่าอะลูมิเนียมชนิดต่าง ๆ ที่จุดสมดุล พบว่าอะลูมิเนียมมีการละลายต่ำในช่วง pH 5.7-6.2 ถ้าความเข้มข้นของอะลูมิเนียมสูงกว่า 10^{-6} M อะลูมิเนียมก็จะคงอยู่ในรูปตะกอนฟลูค $Al(OH)_3$ ซึ่งทำให้เกิดการกำจัดความขุ่นได้ดี ถ้า pH อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 5.7 $Al(OH)_3$ จะละลายน้ำได้ดีและเปลี่ยนรูปเป็น โมโนเมอร์และโพลีเมอร์ที่เป็นประจุบวก เช่น $Al(OH)_2^+$ $Al_3(OH)_4^{5+}$ $Al_3O_4(OH)^{7+}$ แต่ถ้า pH อยู่ในช่วงเป็นเบสอะลูมิเนียมก็จะละลายน้ำได้ดีและเกิด $Al(OH)_4^-$ ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chu (2001) ซึ่งพบว่าการใช้ Alum ที่ pH ตั้งต้นเหมาะสมจะมีร้อยละการบำบัดความขุ่น ได้ดีและมีปริมาณตะกอน $Al(OH)_3$ มาก ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวมต่ำสุดที่ pH ตั้งต้น 7.0 และ จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ตั้งต้นสูงขึ้น สรุปได้ว่าการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีดีกว่าน้ำเสียรวมและ pH ตั้งต้นที่เหมาะสมคือ 8.0



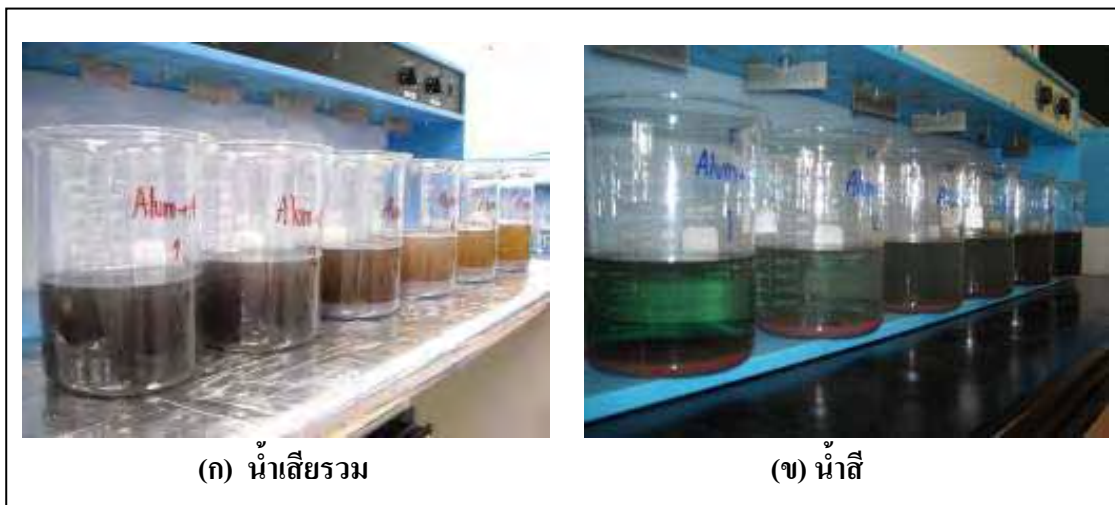
ภาพที่ 11 ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ Alum ร่วมกับ Anion Polymer

2.1.3 ผลของปริมาณ Anion polymer

ภาพที่ 12 เห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L โดยมีร้อยละการบำบัดอยู่ในช่วง 60-70 นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มการบำบัดน้ำเสียรวมก็มีลักษณะเดียวกันคือประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L โดยมีร้อยละการบำบัดอยู่ในช่วง 15-40 ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการแยกสายบำบัดน้ำสีออกจากน้ำเสียรวมทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดทั้งสีและความขุ่นสูงกว่าการบำบัดน้ำเสียรวมอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 12 ผลของปริมาณ Anion polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ Alum

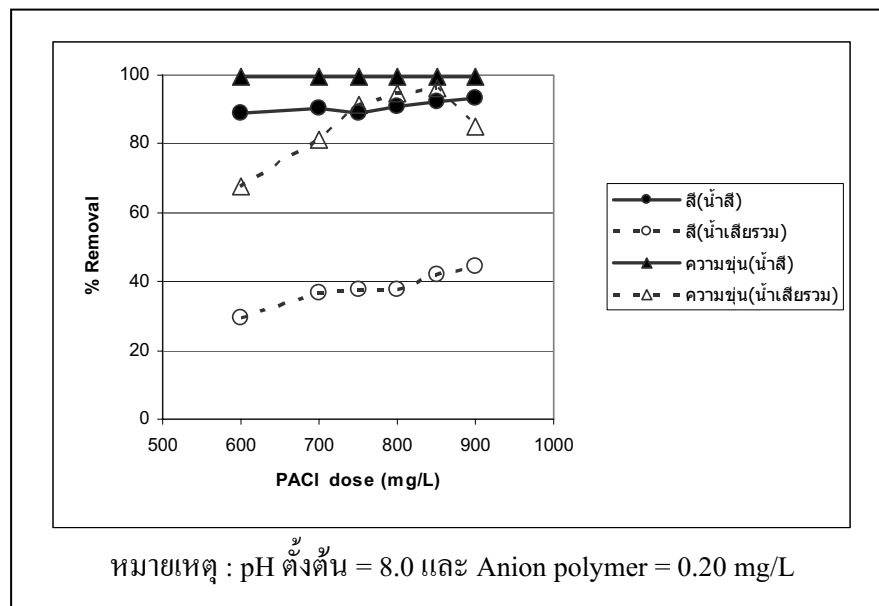


ภาพที่ 13 การทำ Jar Test โดยใช้ Alum ร่วมกับ Anion Polymer เป็นสารสร้างและรวมตะกอน

2.2 การใช้ PACI เป็นสารสร้างตะกอน

2.2.1 ผลของปริมาณ PACI

ภาพที่ 14 แสดงร้อยละของการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีและน้ำเสียรวมเมื่อใช้ปริมาณ PACI 600-900 mg/L ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสีสูงกว่าน้ำเสียรวม ร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ 90-100 และร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวมอยู่ในช่วง 30-40 และ 70-90 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ Alum พบว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียรวมด้วย PACI สูงกว่า Alum เนื่องจาก PACI อยู่ในรูปของโพลิเมอร์หรือคอลลอยด์ของเกลืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ จากโครงสร้างที่แตกต่างกันจึงทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ Alum และ PACI แตกต่างกัน กรณีที่ pH ต่ำกว่า 6 Alum จะไม่เกิด Polymer ขึ้น ในขณะที่ PACI จะเกิด Polymer ขึ้น (Faust and Aly, 1997)

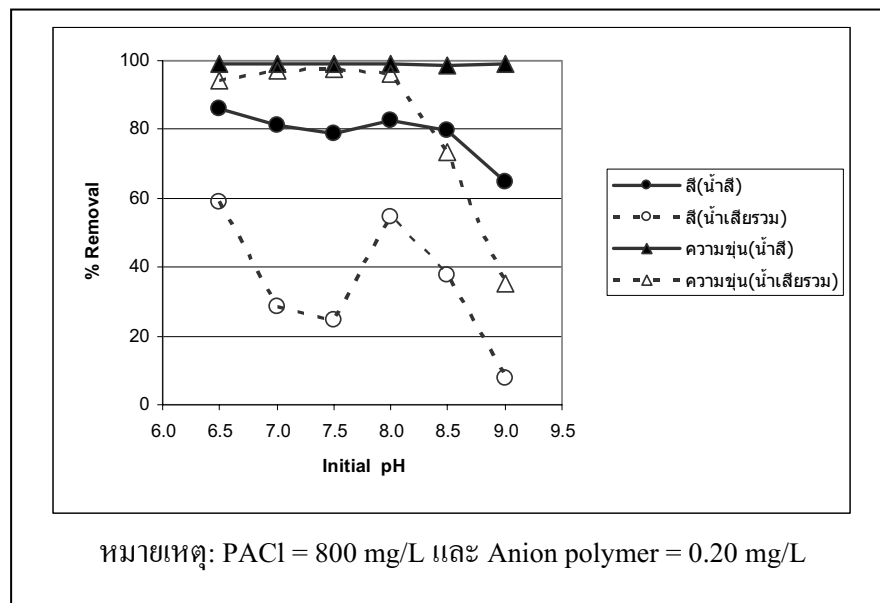


ภาพที่ 14 ผลของปริมาณ PACI ร่วมกับ Anion Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น

2.2.2 ผลของ pH ตั้งต้น

จากภาพที่ 15 พบว่าร้อยละของการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียมีประสิทธิภาพดีตั้งแต่ pH ตั้งต้น 6.5-8.0 และจะเห็นว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียรวมลดลงตั้งแต่ pH ตั้งต้น 8.0 เมื่อเปรียบเทียบกับ Alum พบว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียรวมดีกว่า Alum สรุปว่าที่ pH ตั้งต้น 8.0 เป็น pH ตั้งต้นที่เหมาะสมเนื่องจากสามารถบำบัดสีและความขุ่นอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shi, et. al.(2007) ที่ทำการทดลองกำจัดสีข้อมโดยใช้กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี โดยควบคุม pH ตั้งต้นที่เหมาะสม พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสี $Al_3 > PACl > AlCl_3$

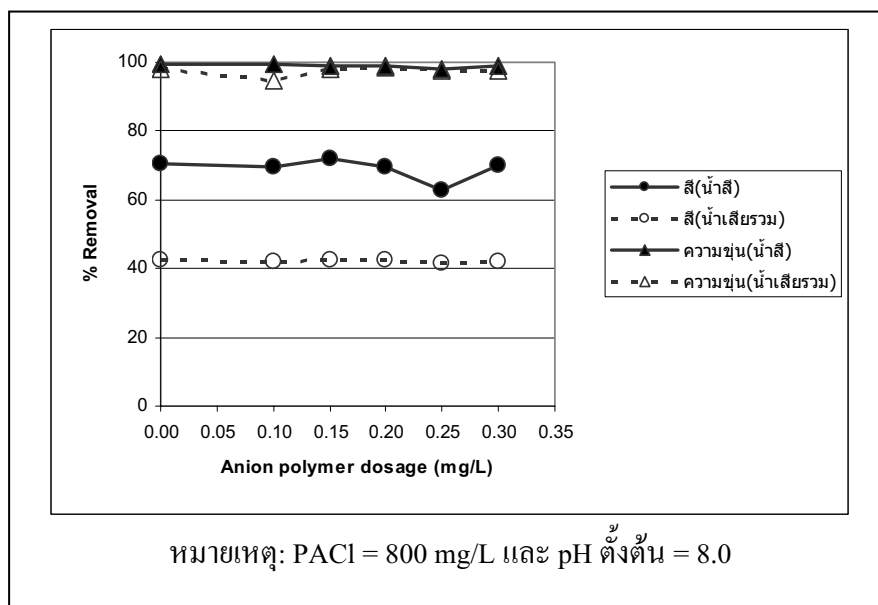
เกลืออะลูมิเนียมที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียมี 2 ชนิด ได้แก่ Alum และ PACl สาร PACl เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่าง Lime หรือ Caustic soda กับเกลืออะลูมิเนียมที่เป็นกรด ดังนั้น PACl จึงอยู่ในรูปโพลิเมอร์หรือคอลลอยด์ของเกลืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ จากโครงสร้างที่แตกต่างกันจึงทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ Alum และ PACl แตกต่างกัน กรณีที่ pH ต่ำกว่า 6 Alum จะไม่เกิด Polymer ขึ้น ในขณะที่ PACl จะเกิด Polymer ขึ้น (มัลลิกาและผ่องศรี, 2552)



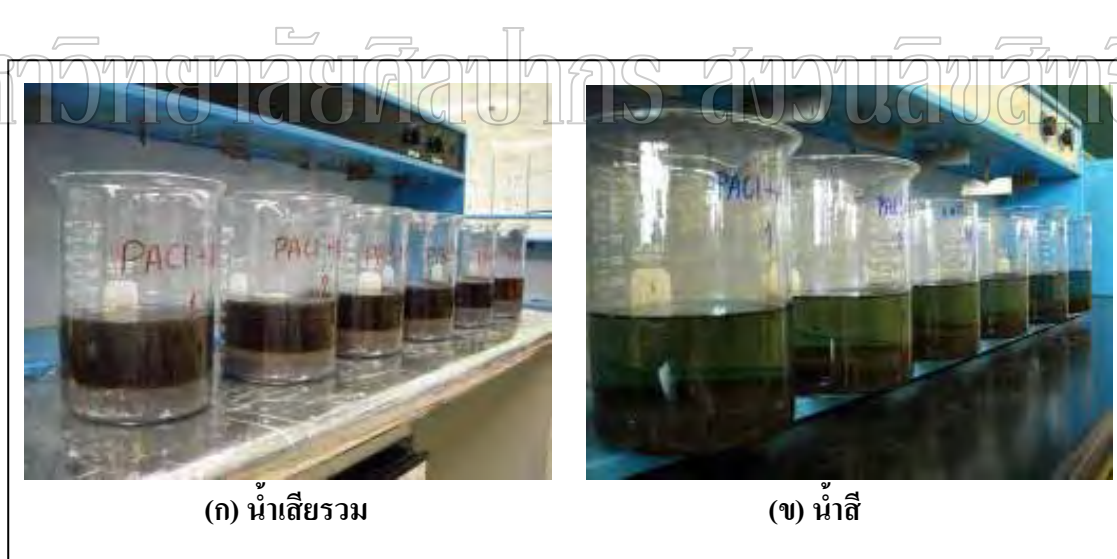
ภาพที่ 15 ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ PACl ร่วมกับ Anion Polymer

2.2.3 ผลของปริมาณ Anion polymer

ภาพที่ 16 เห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L คือมีร้อยละการบำบัด 60-70 และ 95-100 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มการบำบัดน้ำเสียรวมก็มีลักษณะเดียวกันคือ ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L คือมีร้อยละการบำบัด 40-45 และ 95-100 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับ Alum พบว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียรวมด้วย PACl สูงกว่า Alum ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 16 ผลของปริมาณ Anion polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ PACI



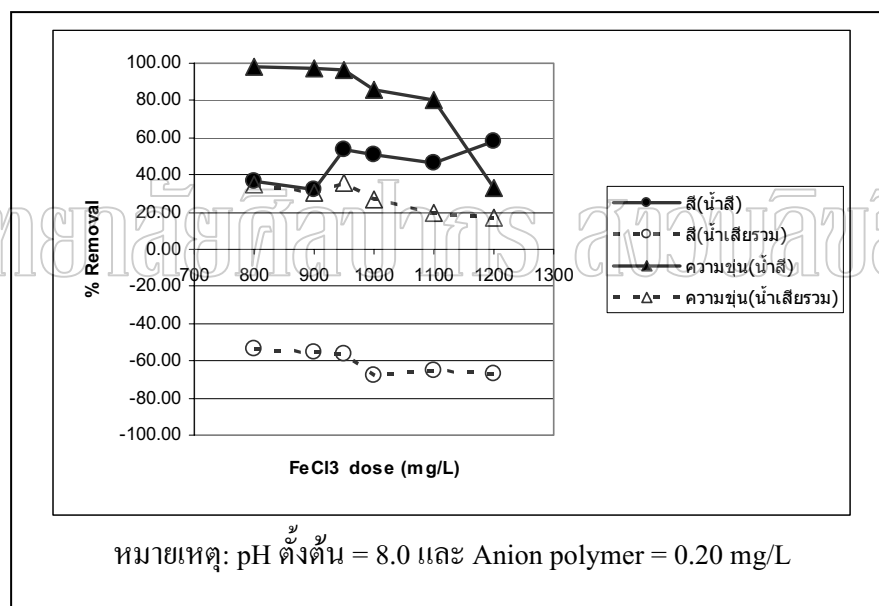
ภาพที่ 17 การทำ Jar Test โดยใช้ PACI ร่วมกับ Anion Polymer เป็นสารสร้างและรวมตะกอน

2.3 การใช้ FeCl_3 เป็นสารสร้างตะกอน

2.3.1 ผลของปริมาณ FeCl_3

จากภาพที่ 18 ร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีดีกว่าน้ำเสียรวม เมื่อใช้ปริมาณ FeCl_3 800-1,200 mg/L โดยร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีอยู่ในช่วง 40-60 และ

30-95 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ FeCl_3 ตั้งแต่ 950-1,200 มีแนวโน้มการบำบัดสีเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากร้อยละการบำบัดความขุ่นเมื่อเพิ่มปริมาณ FeCl_3 ตั้งแต่ 950-1,200 มีแนวโน้มการบำบัดความขุ่นลดลง ส่วนร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวมอยู่ในช่วง (-60)-(-70) และ 20-30 ตามลำดับ จะเห็นว่าร้อยละการบำบัดสีของน้ำเสียรวมมีค่าติดลบเนื่องจาก FeCl_3 เป็นสารละลายที่มีสีเหลืองจึงทำให้หลังการบำบัดน้ำแล้วยังมีสีเหลืองของ FeCl_3 ปรากฏอยู่จึงทำให้การวัดสีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อคิดค่าร้อยละการบำบัดสีจึงมีค่าติดลบ เมื่อเปรียบเทียบกับ Alum และ PACI จึงมีค่าร้อยละการบำบัดสีต่ำกว่าซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Amuda and A.Alade (2006) ที่ใช้ Alum และ FeCl_3 เป็นสารสร้างตะกอนผลการทดลองพบว่า Alum สามารถกำจัดค่า COD และ TSS ได้ดีกว่า FeCl_3 สรุปว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นของ $\text{PACI} > \text{Alum} > \text{FeCl}_3$ จากผลการทดลองที่ปริมาณ FeCl_3 950 mg/L มีร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นดีที่จะนำไปทดลองต่อไป

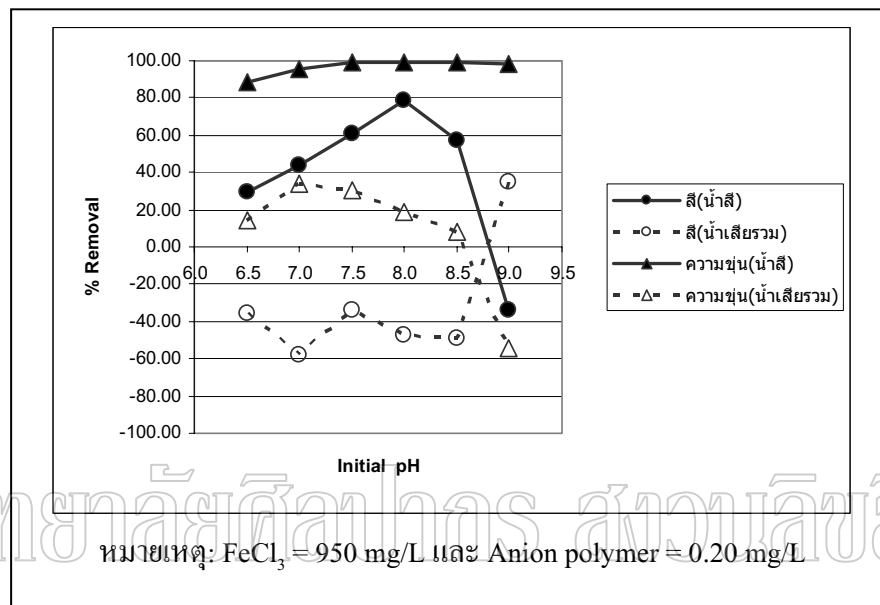


ภาพที่ 18 ผลของปริมาณ FeCl_3 ร่วมกับ Anion Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น

2.3.2 ผลของ pH ตั้งต้น

จากภาพที่ 19 ร้อยละการบำบัดสีของน้ำสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ pH ตั้งต้น 6.5-8.0 และลดลงตั้งแต่ pH ตั้งต้น 8.0 ส่วนร้อยละการบำบัดความขุ่นของน้ำสีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ pH ตั้งต้น 6.5 -9.0 คืออยู่ในช่วงร้อยละ 80-100 ร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวมต่ำกว่าน้ำสี คืออยู่ในช่วงร้อยละ (-60)-40 และ (-60)-20 สรุปว่า pH ตั้งต้นที่เหมาะสมคือ 8.0

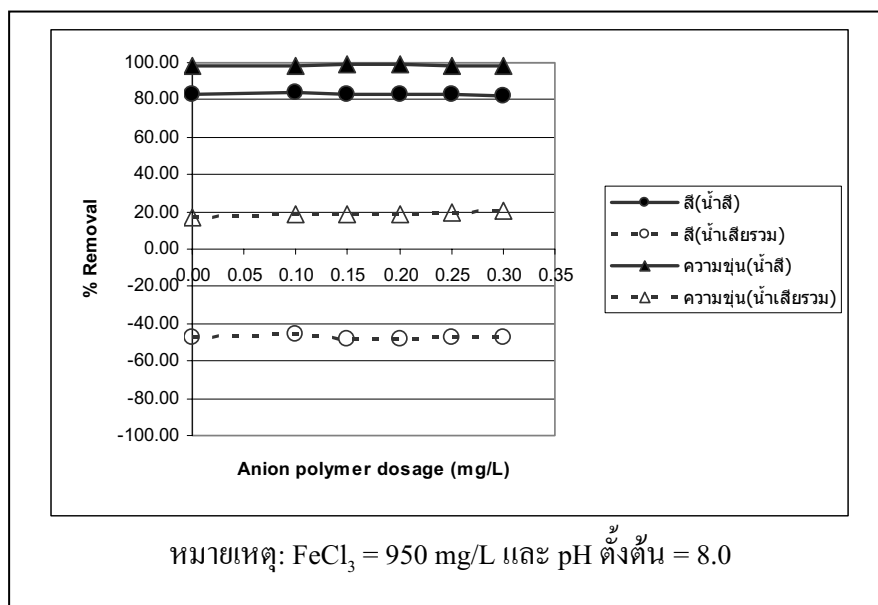
Solubility diagram ของ Fe(III) เมื่อเติมเกลือ Fe(III) ลงในน้ำจะเกิดการตกตะกอนในรูป Amorphous $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ถ้า pH ต่ำกว่า 8 ก็จะเปลี่ยนรูปเป็นโมโนเมอร์ชนิดต่าง ๆ ที่มีประจุบวก ได้แก่ Fe^{3+} $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ FeOH^{2+} กรณีที่ pH สูงกว่า 9 ก็จะเปลี่ยนรูปเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ เมื่อเปรียบเทียบการละลายน้ำแล้วพบว่า Fe(III) มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่า Al (Faust and Aly, 1997)



ภาพที่ 19 ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 ร่วมกับ Anion Polymer

2.3.3 ผลของปริมาณ Anion polymer

จากภาพที่ 20 เห็นได้ว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงร้อยละ 80-85 และ 95-100 ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณ polymer ในช่วง $0.10-0.30 \text{ mg/L}$ นอกจากนั้นยังพบว่าแนวโน้มการบำบัดน้ำเสียรวมก็มีลักษณะเดียวกันคือประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ปริมาณ polymer ในช่วง $0.10-0.30 \text{ mg/L}$ คือมีร้อยละการบำบัด (-40)-(-50) และ 10-20 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 20 ผลของปริมาณ Anion polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3



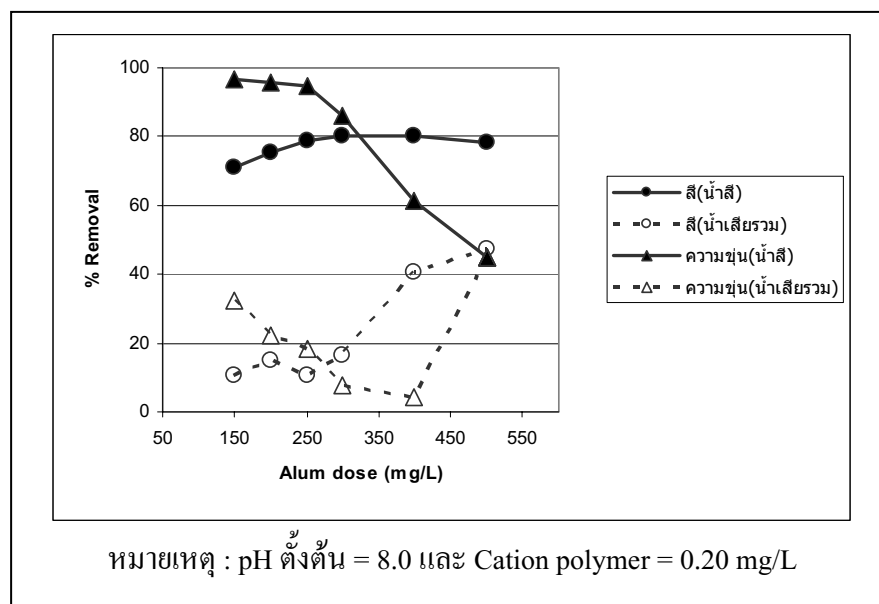
ภาพที่ 21 การทำ Jar Test โดยใช้ FeCl_3 ร่วมกับ Anion Polymer เป็นสารสร้างและรวมตะกอน

3. การใช้สารสร้างตะกอนและ Cation polymer

3.1 การใช้ Alum เป็นสารสร้างตะกอน

3.1.1 ผลของปริมาณ Alum

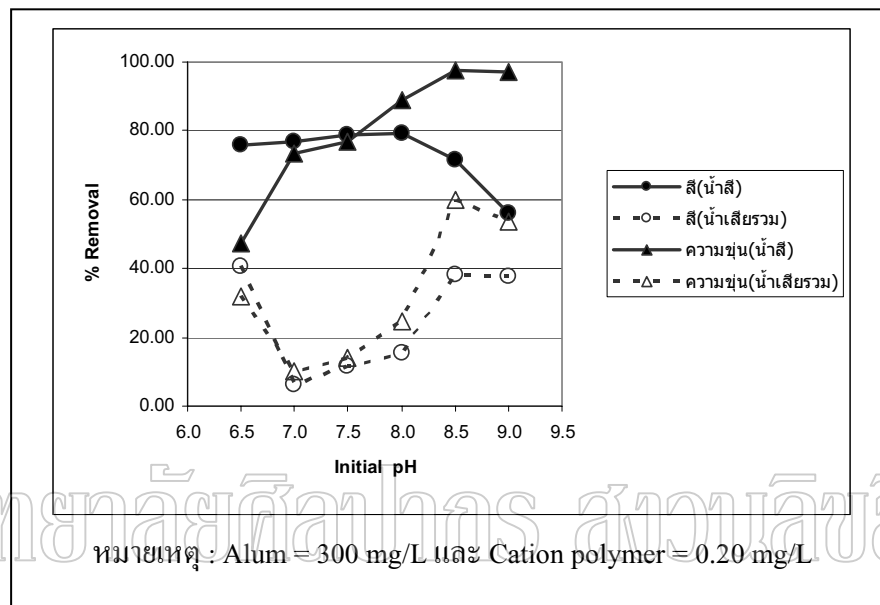
ภาพที่ 22 แสดงร้อยละของการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีและน้ำเสียวรวมเมื่อใช้ปริมาณ Alum 150-500 mg/L ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสีสูงกว่าน้ำเสียวรวม ร้อยละของการบำบัดสีในน้ำสีและน้ำเสียวรวมอยู่ในช่วง 70-80 และ 10-40 ตามลำดับ และร้อยละของการบำบัดความขุ่นในน้ำสีและน้ำเสียวรวมอยู่ในช่วง 40-90 และ 10-40 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าร้อยละของการบำบัดสีในน้ำสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum จาก 150-300 mg/L และมีแนวโน้มคงที่ตั้งแต่ 300 mg/L อย่างไรก็ตามพบว่าร้อยละการบำบัดความขุ่นในน้ำสีลดลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาณ Alum สูงขึ้น สำหรับแนวโน้มการลดลงของสีและความขุ่นในน้ำเสียวรวมพบว่าร้อยละของการบำบัดสีต่ำสุดที่ปริมาณ Alum 400 mg/L และค่อย ๆ สูงขึ้นเมื่อปริมาณ Alum ต่ำลงหรือสูงขึ้น สำหรับการบำบัดความขุ่นก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันคือมีร้อยละการบำบัดต่ำสุดที่ปริมาณ Alum 250 mg/L และค่อย ๆ สูงขึ้นเมื่อปริมาณ Alum ต่ำลงหรือสูงขึ้น ดังเหตุผลที่อธิบายมาแล้วในตอนที่ 2.1.1 จากผลการทดลองข้างต้นจึงเลือกปริมาณ Alum ที่ 300 mg/L ทำการทดลองต่อไป



ภาพที่ 22 ผลของปริมาณ Alum ร่วมกับ Cation Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น

3.1.2 ผลของ pH ตั้งต้น

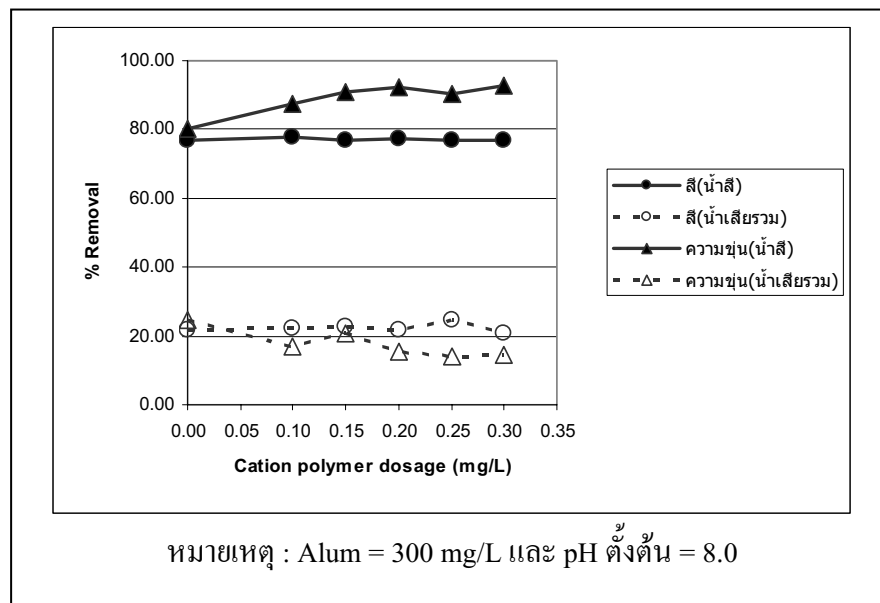
จากภาพที่ 23 เห็นได้ชัดว่าที่ pH ตั้งต้น 7.5 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำสีสูงสุด สำหรับการกำจัดความขุ่นนั้นประสิทธิภาพการบำบัดต่ำที่สุดที่ pH ตั้งต้น 6.5 และประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นเมื่อ pH ตั้งต้น เพิ่มขึ้นจาก 6.5-9.0 ใกล้เคียงร้อยละ 100 ดังเหตุผลที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 2.1.2



ภาพที่ 23 ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ Alum ร่วมกับ Cation Polymer

3.1.3 ผลของปริมาณ Cation polymer

ภาพที่ 24 เห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L คือมีร้อยละการบำบัดอยู่ในช่วง 80-90 นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มการบำบัดน้ำเสียรวมก็มีลักษณะเดียวกันคือประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L คือมีร้อยละการบำบัดอยู่ในช่วง 15-20 ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการแยกสายบำบัดน้ำสีออกจากน้ำเสียรวมทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดทั้งสีและความขุ่นสูงกว่าการบำบัดน้ำเสียรวมอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 24 ผลของปริมาณ Cation polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ Alum



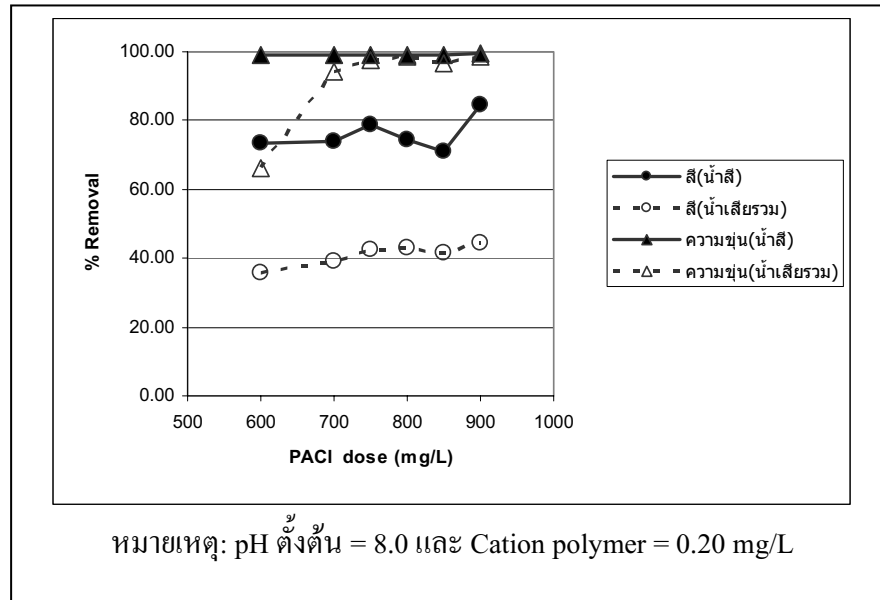
ภาพที่ 25 การทำ Jar Test โดยใช้ Alum ร่วมกับ Cation Polymer เป็นสารสร้างตะกอน

3.2 การใช้ PACI เป็นสารสร้างตะกอน

3.2.1 ผลของปริมาณ PACI

ภาพที่ 26 แสดงร้อยละของการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีและน้ำเสียรวมเมื่อใช้ปริมาณ PACI 600-900 mg/L ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสีสูงกว่าน้ำเสียรวม ร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ 70-100 และร้อยละ

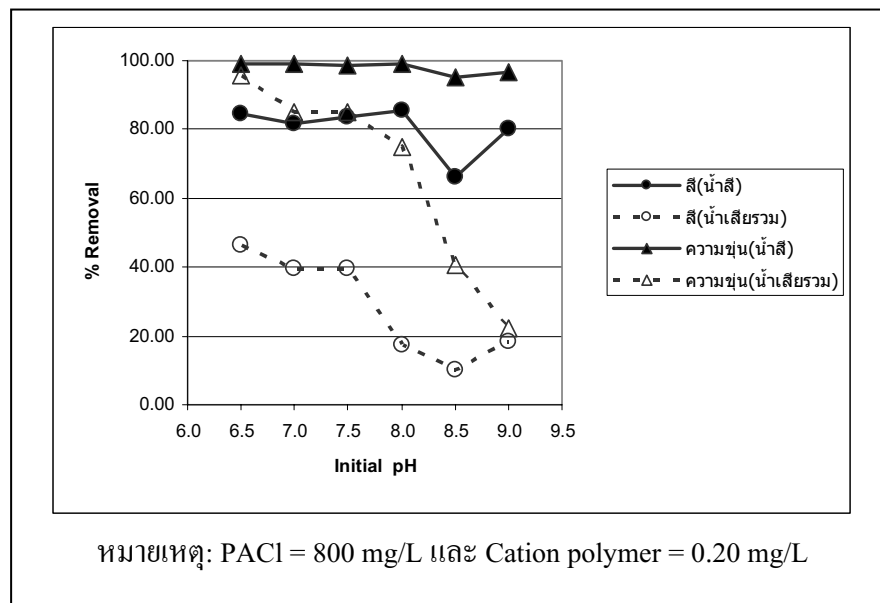
การบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวมอยู่ในช่วง 35-40 และ 60-95 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ Alum พบว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียรวมด้วย PACI สูงกว่า Alum



ภาพที่ 26 ผลของปริมาณ PACI ร่วมกับ Cation Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น

3.2.2 ผลของ pH ตั้งต้น

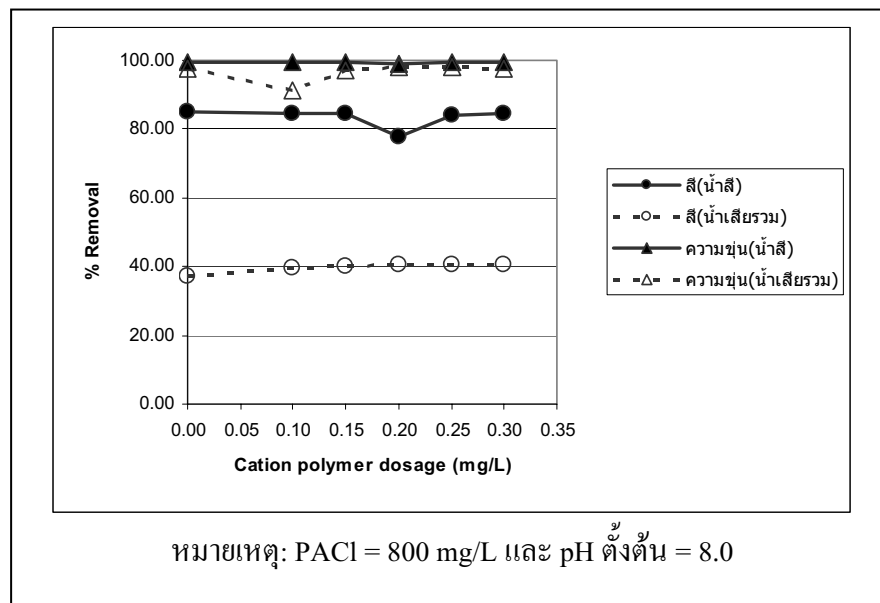
จากภาพที่ 27 พบว่าร้อยละของการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีมีประสิทธิภาพดีตั้งแต่ pH ตั้งต้น 6.5-8.0 และจะเห็นว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียรวมลดลงตั้งแต่ pH ตั้งต้น 8.0 เมื่อเปรียบเทียบกับ Alum พบว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียรวมดีกว่า Alum สรุปว่าที่ pH ตั้งต้น 8.0 เป็น pH ตั้งต้นที่เหมาะสม ดังเหตุผลที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2



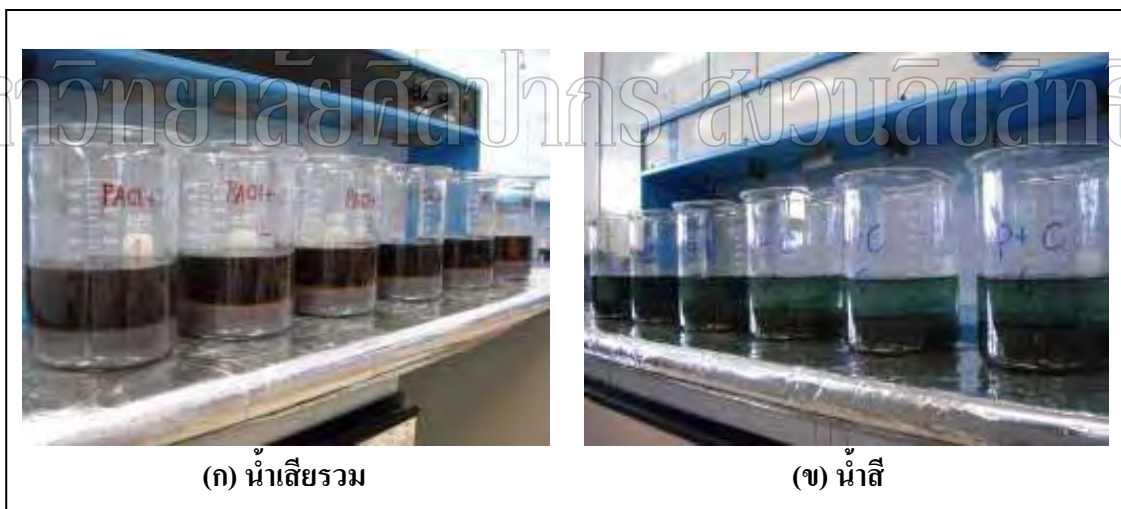
ภาพที่ 27 ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ PACl ร่วมกับ Cation Polymer

3.2.3 ผลของปริมาณ Cation polymer

เห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีตามภาพที่ 28 มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L คือมีร้อยละการบำบัด 80-85 และ 95-100 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มการบำบัดน้ำเสียรวมก็มีลักษณะเดียวกันคือ ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L คือมีร้อยละการบำบัด 35-40 และ 90-100 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 29 เมื่อเปรียบเทียบกับ Alum พบว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียรวมด้วย PACl สูงกว่า Alum



ภาพที่ 28 ผลของปริมาณ Cation polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ PACI



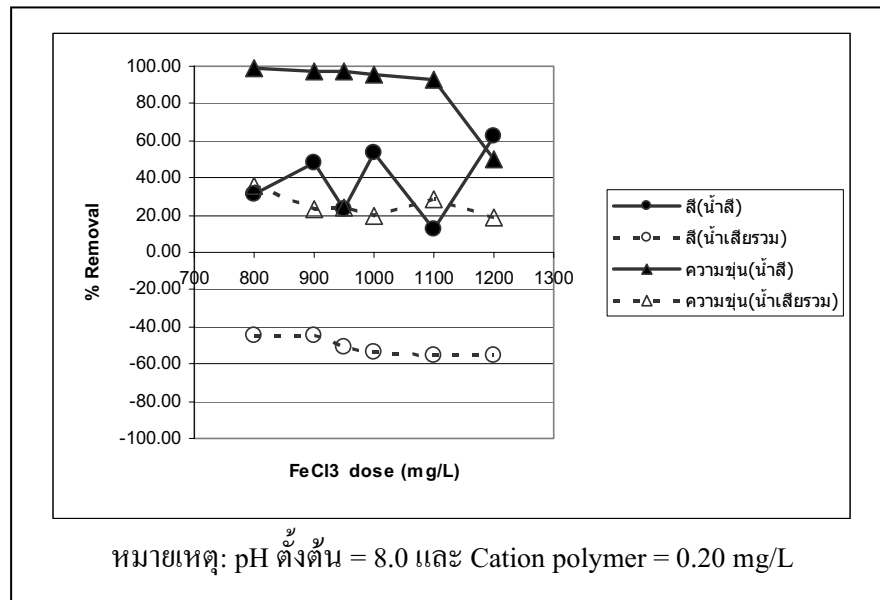
ภาพที่ 29 การทำ Jar Test โดยใช้ PACI ร่วมกับ Cation Polymer เป็นสารสร้างตะกอน

3.3 การใช้ FeCl_3 เป็นสารสร้างตะกอน

3.3.1 ผลของปริมาณ FeCl_3

จากภาพที่ 30 เมื่อใช้ปริมาณ FeCl_3 800-1,200 mg/L ร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำดื่มอยู่ในช่วง 10-60 และ 50-95 ตามลำดับ ร้อยละการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ FeCl_3 ตั้งแต่ 950-1,200 ส่วนร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวมอยู่

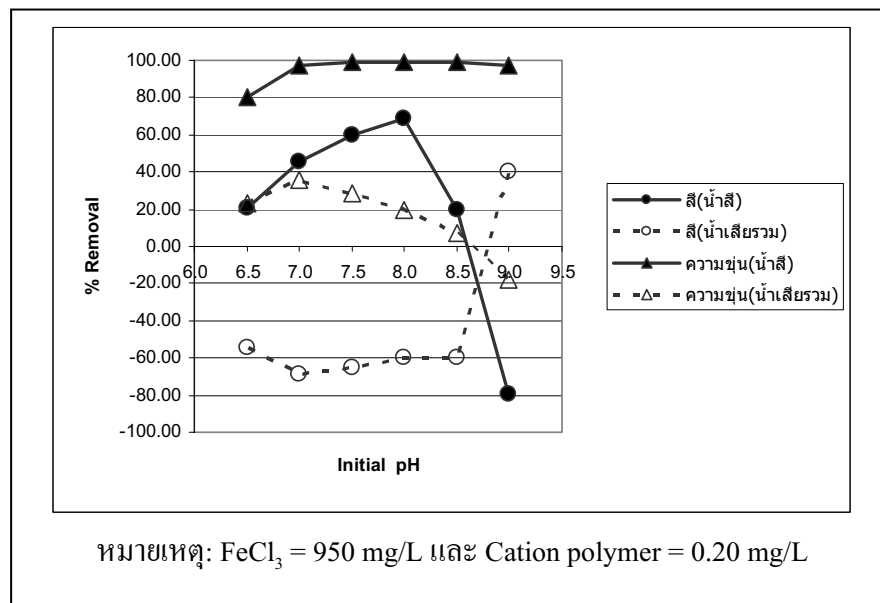
ในช่วง (-50) - (-40) และ 20-30 ตามลำดับ จะเห็นว่าร้อยละการบำบัดสีของน้ำเสียรวมมีค่าติดลบเนื่องจาก FeCl_3 เป็นสารละลายที่มีสีเหลืองจึงทำให้ค่าการบำบัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อคิดร้อยละการบำบัดสีทำให้ได้ค่าติดลบ เมื่อเปรียบเทียบกับ Alum และ PACI จึงมีค่าร้อยละการบำบัดสีต่ำกว่า



ภาพที่ 30 ผลของปริมาณ FeCl_3 ร่วมกับ Cation Polymer ในการบำบัดสีและความขุ่น

3.3.2 ผลของ pH ตั้งต้น

จากภาพที่ 31 ร้อยละการบำบัดสีของน้ำสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ pH ตั้งต้น 6.5-8.0 และลดลงตั้งแต่ pH ตั้งต้น 8.0 ส่วนร้อยละการบำบัดความขุ่นของน้ำสีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ pH ตั้งต้น 6.5-9.0 คืออยู่ในช่วงร้อยละ 80-100 ร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวมต่ำกว่าน้ำสีอย่างชัดเจน คืออยู่ในช่วงร้อยละ (-50)-40 และ (-20)-40 สรุปว่า pH ตั้งต้นที่เหมาะสมคือ 8.0

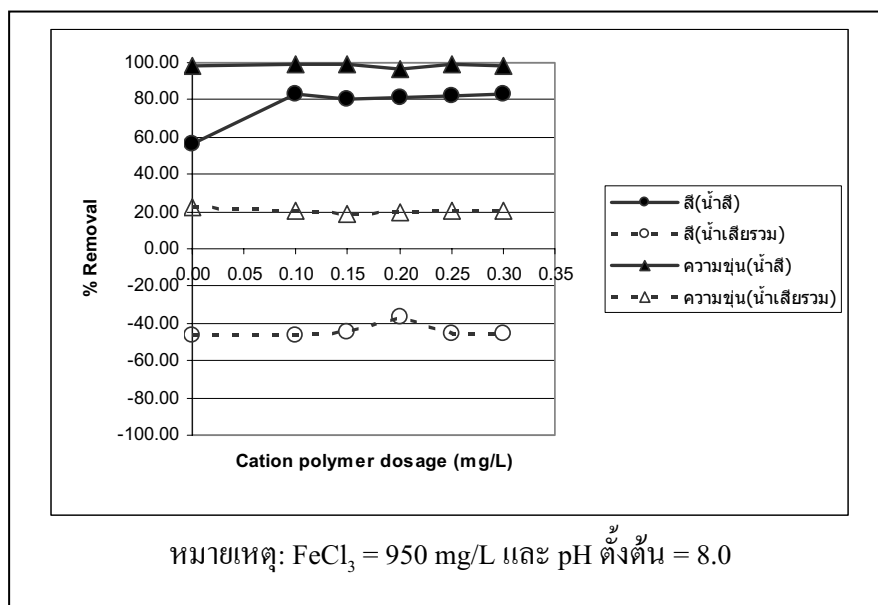


ภาพที่ 31 ผลของ pH ตั้งต้นในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 ร่วมกับ Cation Polymer

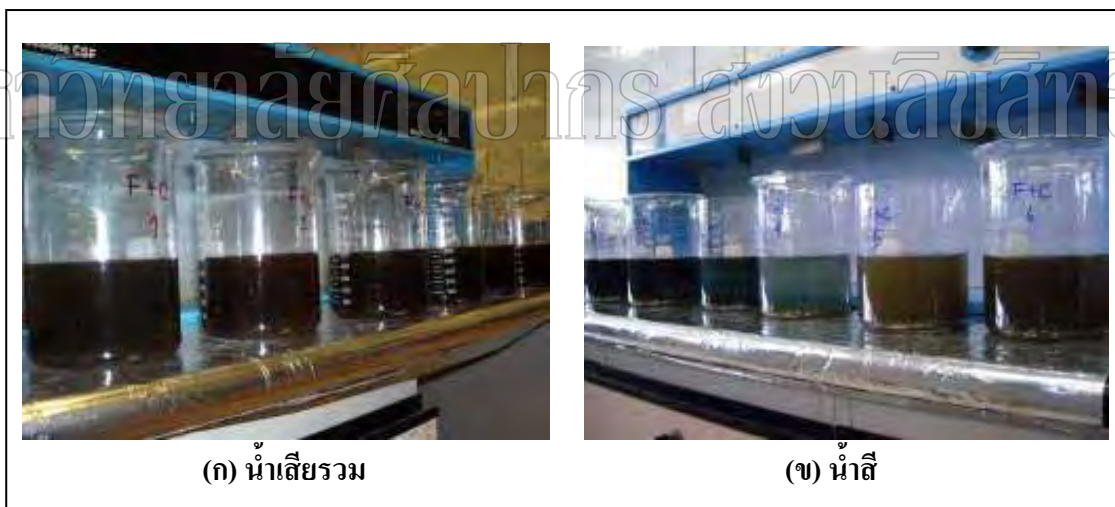
3.3.3 ผลของปริมาณ Cation polymer

จากภาพที่ 32 เห็นได้ว่าร้อยละการบำบัดสีและความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกัน

คืออยู่ในช่วงร้อยละ 60-80 และ 95-100 ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณ polymer ในช่วง $0.10-0.30 \text{ mg/L}$ นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มการบำบัดน้ำเสียรวมก็มีลักษณะเดียวกันคือประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ ปริมาณ polymer ในช่วง $0.10-0.30 \text{ mg/L}$ คือมีร้อยละการบำบัด (-40)-(-50) และ 20-25 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 32 ผลของปริมาณ Cation polymer ในการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3



ภาพที่ 33 การทำ Jar Test โดยใช้ FeCl_3 ร่วมกับ Cation Polymer เป็นสารสร้างและรวมตะกอน

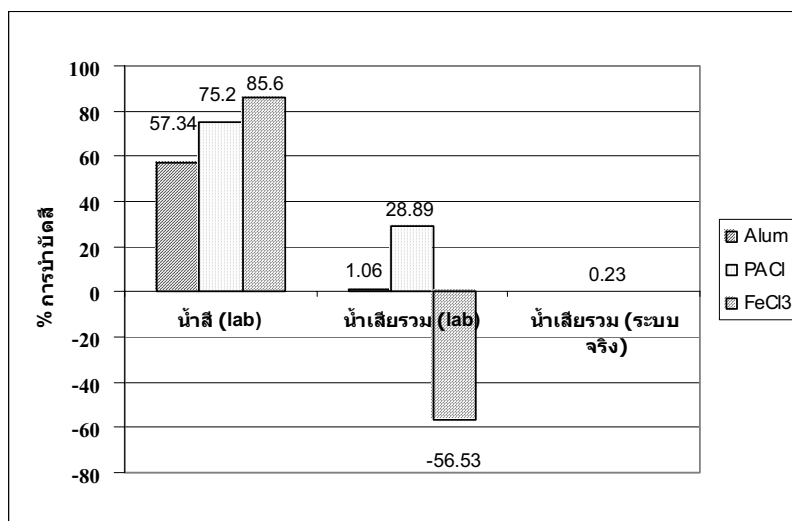
4. สภาพที่เหมาะสม

จากการทดลองตอนที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ว่าค่าการบำบัดสีและความขุ่น เมื่อใช้ Anion และ Cation polymer ร่วมกับสารสร้างตะกอนมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันทั้งในกรณีการบำบัดสีและความขุ่น ดังนั้นจึงเลือกใช้ Anion polymer เนื่องจากมีราคาต่อหน่วยถูกกว่า

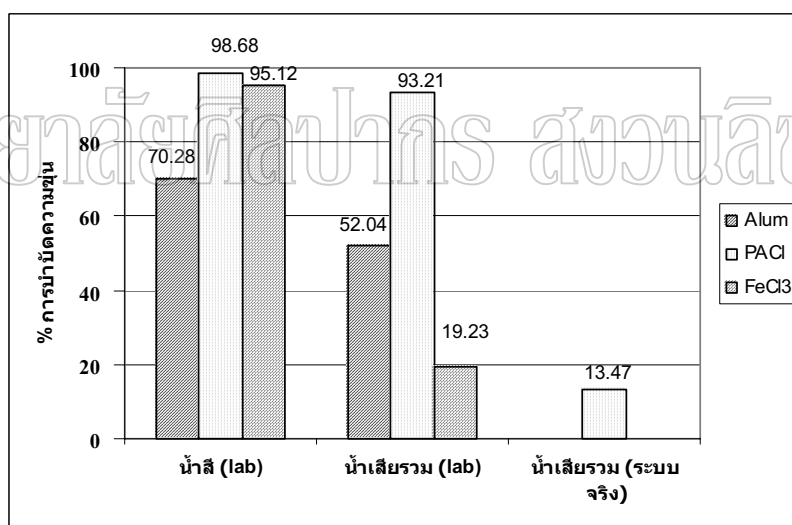
จากการทดลองตอนที่ 2 และ 3 ได้คัดเลือกสภาวะการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นซึ่งแสดงดังตารางที่ 7 และภาพที่ 34-35 สภาวะการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ Alum และ Anion polymer ประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสี มีค่าร้อยละ 57.34 และ 70.28 ตามลำดับ ของน้ำเสียรวมมีค่าร้อยละ 1.06 และ 52.04 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีมีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำเสียรวม สภาวะการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ PACI และ Anion polymer ประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสี มีค่าร้อยละ 75.20 และ 98.68 ตามลำดับ ของน้ำเสียรวมมีค่าร้อยละ 28.89 และ 93.21 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีมีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำเสียรวม สภาวะการบำบัดสีและความขุ่นเมื่อใช้ $FeCl_3$ และ Anion polymer ประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสี มีค่าร้อยละ 85.60 และ 95.12 ตามลำดับ ของน้ำเสียรวมมีค่าร้อยละ (-56.53) และ 19.23 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีค่าร้อยละการบำบัดสีติดลบเนื่องจากเมื่อใช้สาร $FeCl_3$ เป็นสารสร้างตะกอนหลังการบำบัดแล้ววัดค่าสีมีค่าสูงขึ้นทำให้น้ำไปคำนวณค่าร้อยละการบำบัดมีค่าติดลบ ดังนั้นสาร $FeCl_3$ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการบำบัดเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีไม่ดี สรุปว่าการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีเมื่อแยกสายน้ำมีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำเสียรวม

ตารางที่ 7 สภาวะการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่น

สภาวะการบำบัด	Coagulant dosage (mg/L)	pH	Anion polymer dosage (mg/L)	ประเภทของน้ำเสีย	% การบำบัดสี	% การบำบัดความขุ่น
Alum + polymer	300	8.0	0.15	น้ำสี	57.34	70.28
				น้ำเสียรวม	1.06	52.04
PACI + polymer	800	8.0	0.15	น้ำสี	75.20	98.68
				น้ำเสียรวม	28.89	93.21
$FeCl_3$ + polymer	950	8.0	0.15	น้ำสี	85.60	95.12
				น้ำเสียรวม	-56.53	19.23
ระบบบำบัดจริง (ใช้ PACI โดยไม่ใช้โพลีเมอร์)	500-1,200	8.0	-	น้ำเสียรวม	0.23	13.47



ภาพที่ 34 ร้อยละการบำบัดสีของสภาวะต่าง ๆ ตามตารางที่ 7



ภาพที่ 35 ร้อยละการบำบัดความขุ่นของสภาวะต่าง ๆ ตามตารางที่ 7

5. เปรียบเทียบผลการทดลอง

5.1 ชนิดของสารสร้างและรวมตะกอน

จากการทดลองบำบัดสีและความขุ่นโดยใช้สารสร้างและรวมตะกอนชนิดต่าง ๆ ดังผลการทดลองตอนที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ว่ากลไกการบำบัดสีและความขุ่นของ PACI Alum และ FeCl_3 มีหลักการในการสร้างตะกอนคล้ายคลึงกันแต่แตกต่างกันในช่วงของ pH ที่เหมาะสมโดย

Alum จะมีช่วง pH ที่เหมาะสมแคบกว่า PACl และ $FeCl_3$ ซึ่งมีช่วง pH ที่กว้างกว่า ในกรณีของ $FeCl_3$ เป็นสารละลายที่มีสีทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีสีเกิดขึ้น สรุปได้ว่าสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นพบว่า PACl มีประสิทธิภาพดีกว่า Alum และ $FeCl_3$ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shi, et al.(2007)

จากการทดลองใช้สารรวมตะกอนทั้ง 2 ชนิด ผลการทดลองพบว่าค่าสีและความขุ่นในน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ Anion และ Cation polymer มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ยิ่งกว่านั้นการใช้ Anion polymer ยังแสดงแนวโน้มการบำบัดสีได้ดีกว่าด้วย ดังนั้นการใช้ Anion หรือ Cation polymer ไม่มีความแตกต่างกันทั้งในกรณีการบำบัดสีและความขุ่น

5.2 น้ำสีและน้ำเสียรวม

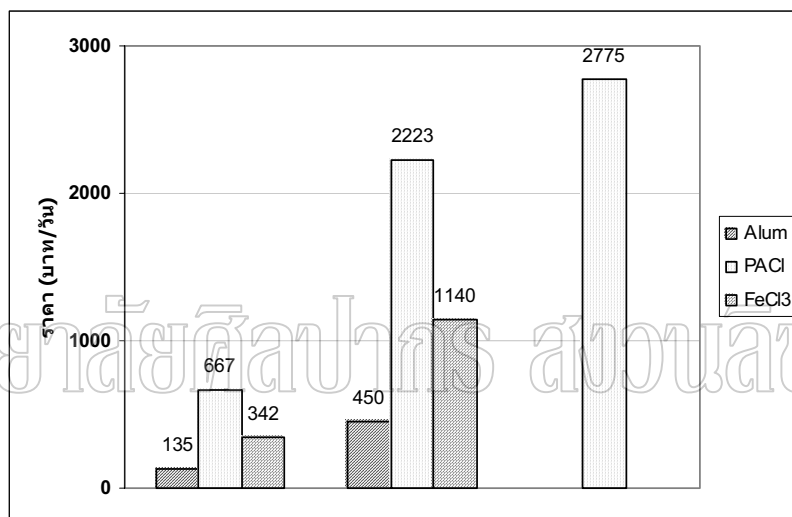
ภาพที่ 34-35 แสดงร้อยละของการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีและน้ำเสียรวม ซึ่งเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นของ PACl อยู่ในช่วง 28.89-75.20 และ 93.21-98.68 ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นของ Alum ซึ่งอยู่ในช่วง 1.06-57.34 และ 52.04-70.28 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นของ $FeCl_3$ ซึ่งอยู่ในช่วง (-56.53)-85.6 และ 19.23-95.12 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดจริงมีประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นที่ 0.23 และ 13.47 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นจากการทดลองซึ่งแยกบำบัดน้ำสีออกจากน้ำเสียรวมกับระบบบำบัดปัจจุบันที่บำบัดน้ำเสียรวมกัน พบว่าการแยกบำบัดน้ำสีออกจากกันดีกว่าสามารถบำบัดสีและความขุ่นได้ดี

6. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัด

สำหรับการคำนวณค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดได้คำนวณจากอัตราการเกิดน้ำเสียจริงจากโรงงานซึ่งมีน้ำเสียรวมเข้าระบบบำบัด 150 ลบ.ม./วัน โดยมีการเกิดน้ำสีร้อยละ 30 ของน้ำเสียรวมทั้งหมดหรือคิดเป็น 45 ลบ.ม./วัน การบำบัดน้ำเสียรวมต้องเติมสารเคมีลงสู่น้ำเสียทั้งหมดทำให้ต้องใช้สารเคมีในปริมาณสูง แต่สำหรับการแยกบำบัดเฉพาะน้ำสีได้ทำการคำนวณค่าสารเคมีสำหรับบำบัดเฉพาะน้ำสีเท่านั้นจึงทำให้ประหยัดค่าสารเคมีอย่างมาก ภาพที่ 36 พบว่าเมื่อบำบัดน้ำสีโดยใช้ Alum ค่าใช้จ่ายอยู่ในช่วง 135-450 บาท/วัน ซึ่งถูกกว่าค่าใช้จ่ายของ PACl และ $FeCl_3$ ซึ่งอยู่ในช่วง 667-2,223 และ 342-1,140 บาท/วัน ในขณะที่ระบบบำบัดจริงใช้ PACl มีค่าใช้จ่าย 2,775 บาท/วัน การคำนวณค่าใช้จ่ายแสดงดังภาคผนวก ข ซึ่งจะเห็นว่า การแยกบำบัดน้ำสีออกจากน้ำเสียรวมมีผลดีทั้งในแง่ประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นรวมทั้งการประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสารเคมีด้วย

อย่างไรก็ตามนอกจากค่าสารเคมีแล้วต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการบำบัดตะกอนด้วย มีงานวิจัยของ El-Gohary and Tawfik (2009) และ Amuda(2006) เมื่อใช้ Alum เป็นสารสร้างตะกอน ถ้าใช้ปริมาณ Alum 200 mg/L จะเกิดตะกอน 410 ml/L แต่ถ้าใช้ร่วมกับ Polymer ในอัตราส่วน Alum:Polymer (200:5 mg/L) จะเกิดตะกอน 330 ml/L ซึ่งถ้าเพิ่มอัตราส่วนระหว่าง Alum:Polymer (200:20 mg/L) จะเกิดตะกอนลดลงเหลือ 190 ml/L

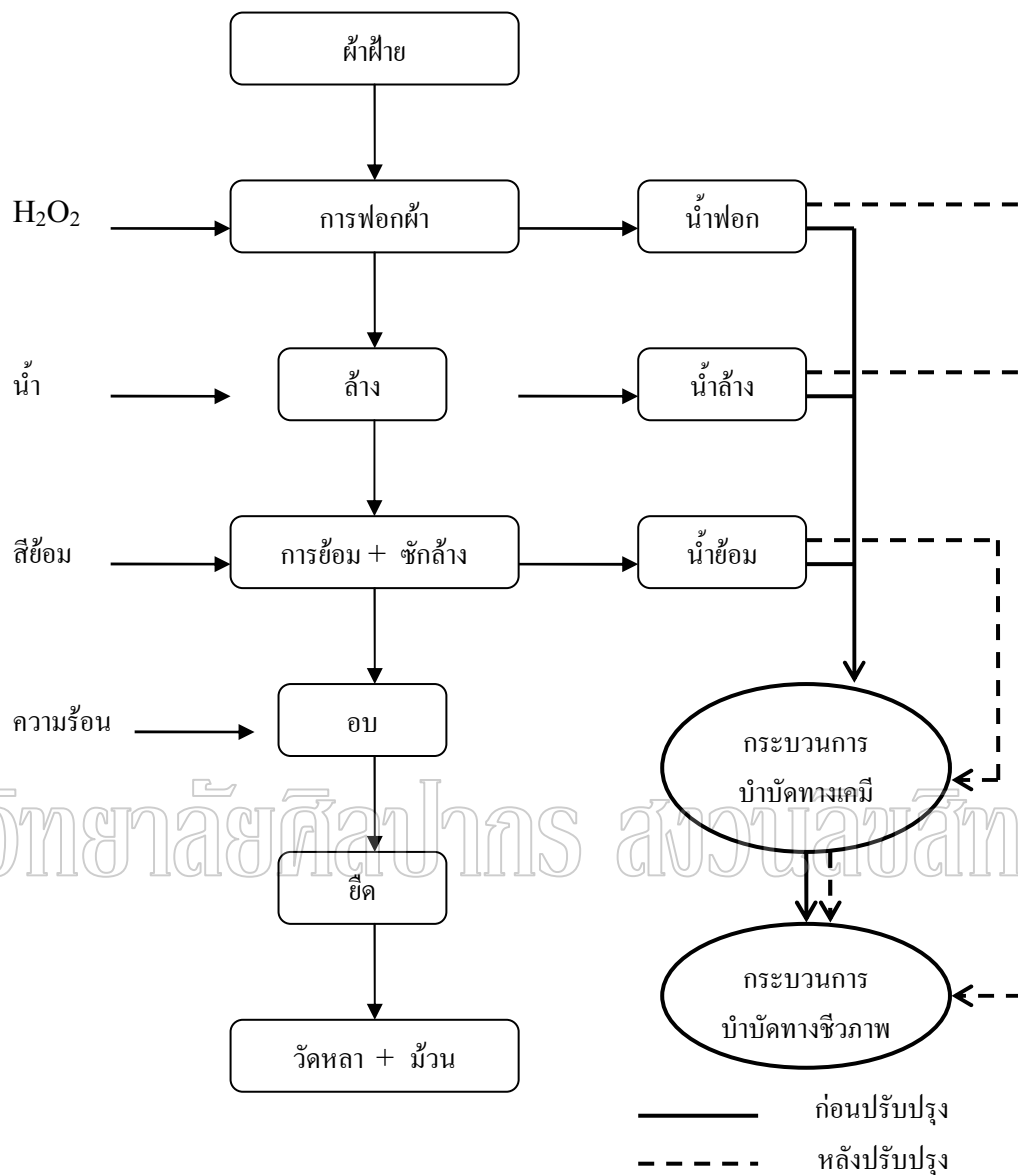
เมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้งานและราคาแล้ว สารสร้างตะกอนที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดของโรงงานคือปริมาณ Alum 300 มก./ล. pH ตั้งต้น 8.0 และ Anion Polymer 0.15 มก./ล.



ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดเมื่อใช้ Alum PACI และ FeCl₃ เป็นสารสร้างตะกอน

7. ข้อเสนอแนะในการแยกสายบำบัดน้ำเสีย

จากการทดลองตอนที่ 2 และ 3 สอดคล้องกับสมมติฐานว่าการแยกบำบัดน้ำเสียออกจากน้ำเสยรวมจะทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่าจึงได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงการบำบัดน้ำเสียของโรงงานตามภาพที่ 37 โดยทำการแยกน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฟอกผ้า และน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมผ้าออกจากกัน และทำการบำบัดดังนี้ น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้าจะทำการบำบัดโดยใช้กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพ ส่วนน้ำฟอกที่เกิดจากกระบวนการฟอกซึ่งมีค่า pH สูง จะทำการปรับ pH ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพต่อไป ดังแสดงได้จากทิศทางของเส้นปะในแผนภาพ



ภาพที่ 37 ข้อเสนอแนะการแยกสายบำบัดน้ำเสีย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

1. สมบัติของน้ำเสีย

จากการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสี น้ำฟอก และน้ำรวม พบว่าค่า pH ซีโอดี และบีโอดีของน้ำรวมมีค่าสูงกว่าน้ำสีและน้ำฟอก สำหรับค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำสีมีค่าสูงกว่าน้ำฟอกและน้ำเสียรวม จะเห็นได้ว่าสมบัติต่าง ๆ ของน้ำสี น้ำฟอกและน้ำเสียรวมมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำน้ำสีและน้ำฟอกมาบำบัดรวมกัน

2. การใช้ Alum เป็นสารสร้างตะกอนและ Anion polymer

จากการทดลองหาปริมาณ Alum ที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสี พบว่า Alum มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและความขุ่นในน้ำสีดีกว่าน้ำเสียรวม โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum สูงขึ้นประสิทธิภาพของการบำบัดสีในน้ำสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นในน้ำสีจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณ Alum สูงขึ้น สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวมมีแนวโน้มไม่คงที่เมื่อปริมาณ Alum เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ Alum ที่น้อยเกินไปทำให้เกิดตะกอนน้อย จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นลดลง และเมื่อถึงจุดหนึ่งที่ปริมาณ Alum เกิดการตกตะกอนน้ำเสียที่พอดีจึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นเพิ่มสูงขึ้น

จากการทดลองหา pH ที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสี พบว่าที่ pH 8.0 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นได้ดี สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวมจะเหมาะสมที่ pH 7.0 และประสิทธิภาพมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อ pH เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นในกระบวนการบำบัดเพื่อลดสีและความขุ่นให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด ควรปรับ pH ให้อยู่ในช่วงดังกล่าว

จากการทดลองหาปริมาณ polymer ที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสี พบว่า ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียรวม ดังนั้นการแยกสายบำบัดน้ำสีออกจากน้ำเสียรวมทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดทั้งสีและความขุ่นสูงกว่าการบำบัดน้ำเสียรวมอย่างชัดเจน

3. การใช้ PACI เป็นสารสร้างตะกอนและ Anion polymer

จากการทดลองหาปริมาณ PACI ที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสีและน้ำเสียว พบว่าปริมาณ PACI 600-900 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและความขุ่นในน้ำสีดีกว่าน้ำเสียว และเมื่อเปรียบเทียบกับ Alum พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียวด้วย PACI สูงกว่า Alum

จากการทดลองหา pH ที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีและน้ำเสียว พบว่าที่ pH 8.0 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นได้ดี

จากการทดลองหาปริมาณ polymer ที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสี พบว่า ปริมาณ polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียว และเมื่อเปรียบเทียบกับ Alum พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีและความขุ่นทั้งน้ำสีและน้ำเสียวด้วย PACI สูงกว่า Alum

4. การใช้ FeCl₃ เป็นสารสร้างตะกอนและ Anion polymer

จากการทดลองหาปริมาณ FeCl₃ ที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสี พบว่า FeCl₃ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและความขุ่นในน้ำสีดีกว่าน้ำเสียว โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ FeCl₃ สูงขึ้นประสิทธิภาพของการบำบัดสีในน้ำสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นในน้ำสีจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณ FeCl₃ สูงขึ้น สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียวมีแนวโน้มลดลงในช่วงของค่าที่ติดลบ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับ Alum และ PACI จึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ต่ำกว่า

จากการทดลองหา pH ที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีและน้ำเสียว พบว่าที่ pH 8.0 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นได้ดี

จากการทดลองหาปริมาณ Polymer ที่เหมาะสมต่อการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำสี พบว่า ปริมาณ Polymer ในช่วง 0.10-0.30 mg/L ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำสีมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีและความขุ่นของน้ำเสียว

5. สรุปค่าใช้จ่ายและความเหมาะสม

สำหรับการคำนวณค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด ได้คำนวณจากอัตราการเกิดน้ำเสียจริงจากโรงงานซึ่งมีน้ำเสียวเข้าระบบบำบัด 150 ลบ.ม./วัน โดยมีการเกิดน้ำสีร้อยละ 30 ของน้ำเสียวทั้งหมดหรือคิดเป็น 45 ลบ.ม./วัน การบำบัดน้ำเสียวต้องเติมสารเคมีลงสู่น้ำเสียทั้งหมดทำ

ให้ต้องใช้สารเคมีในปริมาณสูง แต่สำหรับการแยกบำบัดเฉพาะน้ำสีได้ทำการคำนวณค่าสารเคมีสำหรับบำบัดเฉพาะน้ำสีเท่านั้นจึงทำให้ประหยัดค่าสารเคมีอย่างมาก โดยราคาสารเคมีแสดงดังตารางที่ 5

6. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย

จากการทดลองพบว่าถ้าแยกสายน้ำในการบำบัดจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดดีขึ้น โดยทำการแยกน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฟอกผ้า และน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมผ้าออกจากกัน และทำการบำบัดดังนี้ น้ำสีที่เกิดจากการย้อมผ้าจะทำการบำบัดโดยใช้กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพ ส่วนน้ำฟอกที่เกิดจากกระบวนการฟอกซึ่งมีค่า pH สูง จะทำการปรับ pH ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพต่อไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมฟอกย้อม.
กรุงเทพฯ.
- จารุทัศน์ มิลินทะเลข. 2537. การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยวิธีทางเคมี.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บริษัท ไชเบอร์ชายน จำกัด. 2004. รายงานการปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม
ผ้าในจังหวัดราชบุรี. กรุงเทพมหานคร.
- พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. 2545. กระบวนการโคแอกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน
(Flocculation). ส่วนวิเคราะห์ จัดการสิ่งแวดล้อม กองจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษ ฝ่าย
ควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง.
- มันสิน ตัณฑุลเวศม์. 2526. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. สำนักพิมพ์ ก.วิวรรณ. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพมหานคร.
- มันสิน ตัณฑุลเวศม์. 2547. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร.
- มัลลิกา ปัญญาอะโป และผ่องศรี เผ่าภูรี. 2552. รายงานวิจัยเรื่องการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่ง
เป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาด้วยกระบวนการสร้างและ
รวมตะกอน กรณีตัวอย่างแม่น้ำแม่กลอง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.
- สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2544. คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและ
ฟอกย้อม. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- Amuda and A. Alade. 2006. Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir
wastewater. Desalination. Available online at www.sciencedirect.com. October 3,
2005.
- APHA., AWWA., WPCF. 2005. Collection and preservation of samples. In Standard Methods for
the Examination of Water and Wastewater , 19th ed. Edited by M.A.H. Franson.
American Public Health Association, Washington, D.C.
- Bolto, B., Dixon, D., Eldridge, R. and King, S. 2001. Cationic Polymer and Clay or Metal Oxide
Combinations for Natural Organic Matter Removal. Water Research. 35, 2669-2676.

- Chu. 2001. DYE REMOVAL FROM TEXTILE DYE WASTEWATER USING RECYCLED ALUM SLUDGE. Water Reserved. PERGAMON www.elsevier.com/locate/watres. October 30, 2000.
- El-Gohary and A. Tawfik. 2009. Decolorization and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical-coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process. Desalination. Journal homepage:www.elsevier.com/locate/desal. October 9, 2009.
- Faust, S. D. and Aly. O. M., 1997. Chemistry of Water Treatment. Ann Arbor Press, 2nd edition, Chelsea.
- Qin, J., Oo, M.H., Kekre, K.A., Knops, F. and Miller, P. 2006. Impact of Coagulation pH on Enhanced Removal of Natural Organic Matter in Treatment of Reservoir Water. Separation and Purification technology. 49, 295-298.
- Selcuk. 2005. Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes. Dyes and Pigments. Available online at www.ScienceDirect.com. August 5, 2004
- Shi, G. Li, D. Wang, C. Feng and H. Tang. 2007. Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species. Journal of Hazardous Materials. Available online at www.sciencedirect.com. September 29, 2006.
- Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry. John Wiley & sons Incs., 2nd edition, New York.
- Uyak, V. and Toroz, I. 2007. Disinfection by-product Precursors Reduction by Various Coagulation Techniques in Istanbul Water Supply. Journal of Hazardous Material, 141, 320.
- Yan, D. Wang, J. Yu, J. Ni, M. Edwards and J. Qu. 2008. Enhanced coagulation with polyaluminum chlorides: Role of pH/Alkalinity and speciation. Chemosphere. Available online at www.sciencedirect.com. March 6, 2008.

มหาวิทยาลัยศิลปากร ภาคผนวก สงวนลิขสิทธิ์

ภาคนอก ก
การวัดสีด้วยหน่วยเอสยู (SU)
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การวัดสีด้วยหน่วยเอสยู (SU)

1. การวัดสีสำหรับน้ำเสีย

สีของน้ำเสียมักเกิดจากสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษ ฯลฯ แม้ว่าสีจะมองเห็นได้ชัด แต่การวัดปริมาณสีกระทำได้ไม่ง่ายเลย มนุษย์สามารถมองเห็นแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร วัตถุที่สะท้อนคลื่นแสงทั้งหมดมาเข้าตามนุษย์จะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีขาว แต่ถ้าดูคลื่นไว้ได้ทั้งหมดจะมองเห็นเป็นสีดำ หากดูคลื่นไว้บางส่วนก็จะเห็นเป็นสีต่าง ๆ โทนสีที่ปรากฏเมื่อเกิดการดูคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ เป็นดังตารางที่ 8

การสื่อความหมายถึงความเข้มของสีในน้ำเสียทำได้ยาก เนื่องจากสีมีมากมายหลายชนิด บางชนิดมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้น้ำกลายเป็นสีเข้ม ในขณะที่อีกสีหนึ่งต้องใช้ปริมาณมากจึงทำให้น้ำเป็นสีเข้มเท่ากัน ยิ่งหากต่างโทนสีกันด้วยแล้ว ปริมาณสีที่ต้องใช้ยิ่งแตกต่างกันอย่างมาก การสื่อความหมายโดยบอกปริมาณหรือความเข้มข้นเนื้อสีที่ใช้จึงไม่สามารถสื่อถึงความเข้มสีอย่างชัดเจนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากไม่ทราบมาก่อนว่ามีสีชนิดใดบ้างอยู่ในน้ำเสียหรือมีการใช้สีหลายชนิดปนกัน การบอกความเข้มสีกรณีนี้ก็แทบจะเป็นไปไม่ได้เลย

ตารางที่ 8 สีที่ปรากฏตามช่วงคลื่นแสงต่าง ๆ

ช่วงคลื่นแสง (นาโนเมตร)	สีที่เห็น
400-465	ม่วง
465-482	น้ำเงิน
482-497	น้ำเงิน - เขียว
497-530	เขียว
530-575	เขียว - เหลือง
575-580	เหลือง
580-587	เหลือง - ส้ม
587-598	ส้ม
598-620	ส้ม - แดง
620-700	แดง

ที่มา: มั่นสิน (2547)

1.1 การวัดด้วยหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI)

การวัดสีด้วยหน่วย ADMI (American Dye Manufacturer Institute) อาศัยหลักการว่าสีใด ๆ ที่มนุษย์มองเห็นนั้นเกิดจากการผสมของแม่สีมาตรฐาน 3 สี ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน แม่สีมาตรฐาน 3 สี แบ่งเป็น 2 ระบบคือ แบบผสมของแสงสี ที่มีสีแดง น้ำเงิน และเขียว ส่วนอีกระบบจะเป็น แบบผสมของสารสี (Pigment) ที่มีแม่สีบานเย็น น้ำเงิน และเหลือง อุปกรณ์ที่ใช้วัดสีโดยเทียบการผสมของแม่สีมาตรฐาน 3 สี เรียกว่า เครื่องทินโทมิเตอร์ (Tintometer) ซึ่งวัดสีโดยใช้การผสมของแม่สี 2 สี (จากทั้งหมด 3 สี) กับการปรับความสว่างในการมองเพื่อสร้างสีให้เหมือนกับสีของตัวอย่างน้ำ

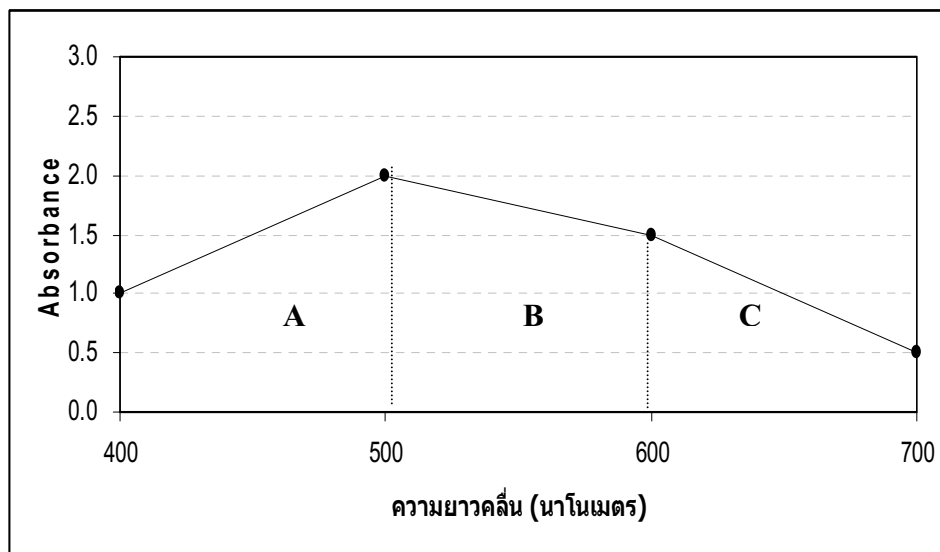
เครื่องทินโทมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดสีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา โดยมีจุดประสงค์ที่จะทำให้การวัดสีเป็นไปอย่างถูกต้องและเร็วขึ้น หากจริง ๆ แล้วอุปกรณ์นี้มิใช่เป็นเครื่องวัดสี แต่เป็นเครื่องเทียบสี ดังนั้น การใช้เครื่องทินโทมิเตอร์จึงต้องมีผู้วัดทำหน้าที่เป็นผู้เทียบสี หลักการของเครื่องนี้อาศัยการผสมแม่สีในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ค่าที่อ่านได้จะเป็นปริมาณของแม่สีเชิงลบ 3 สี คือ แดง เหลือง และน้ำเงิน ที่ต้องการใช้เพื่อทำให้เกิดสีเหมือนกับสีของตัวอย่างที่ต้องการวัด

วิธีการวัดสีด้วยเครื่องทินโทมิเตอร์ยุ่งยากและไม่สะดวกจึงไม่นิยมใช้ในการวัดสีของน้ำและน้ำเสีย

1.2 การวัดสีด้วยหน่วยเอสยู (SU)

ชุดวัดสีแบบสนาม (Test Kit) ที่ใช้ทั่วไปเหมาะสมสำหรับน้ำธรรมชาติที่มีสีเหลืองเทาเท่านั้นส่วนวิธี ADMI ที่ใช้วัดสีก็เป็นวิธีที่ยุ่งยากและต้องใช้อุปกรณ์ราคาแพง ในปัจจุบัน จึงได้มีวิธีวัดสีของน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ง่าย สะดวก และให้ข้อมูลที่มีความหมาย คือ การวัดสีแบบเอสยู (SU = Space Unit) เป็นหน่วยการวัดสีโดยวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงหรือค่า Absorbance (A) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (400-700 นาโนเมตร) วัดในช่วงละ 100 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ โดยให้ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงเป็นแกนตั้งและความยาวคลื่นแสงในหน่วยนาโนเมตรเป็นแกนนอน จากนั้นคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ พื้นที่ที่ได้เท่ากับหน่วยเอสยู (ตัวอย่างภาพที่ 38)

ด้วยวิธีดังกล่าว ค่า SU จึงสามารถใช้ได้กับทุกสี สีที่เข้มมากก็จะดูดกลืนแสงได้มาก (ค่า A สูง) ค่า SU ก็จะสูงตามไปด้วย



ภาพที่ 38 การวัดสีโดยใช้วิธี Space Unit (SU)

จากตัวอย่างภาพที่ 38 คำนวณพื้นที่ใต้กราฟทั้ง 3 ช่วง ดังนี้

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{(1.0 + 2.0)}{2} \times 100 = 150 \\
 B &= \frac{(2.0 + 1.5)}{2} \times 100 = 175 \\
 C &= \frac{(1.5 + 0.5)}{2} \times 100 = 100
 \end{aligned}$$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์
ภาคผนวก ข
การเตรียมสารและค่าสารเคมี

การเตรียมสารและค่าสารเคมี

1. PACl

PACl สูตรเคมี $(Al_6(OH)_{15})Cl_3$

โจทย์ ต้องการเตรียมสารละลาย PACl 10 % จากผง PACl ที่มีความบริสุทธิ์ 30%
(โรงงานใช้สารละลาย PACl 10 % ป้อนเข้าระบบบำบัดในอัตรา 5-12 ml/น้ำเสีย 1 L)

การเตรียมสารในห้องปฏิบัติการของสารละลาย PACl 10 % 1 L จำนวนดังนี้

สารละลาย PACl 100 ml มีเนื้อ PACl 10 g

เตรียม 1000 ml ต้องใช้ PACl $(10 \times 1000) / 100 = 100$ g

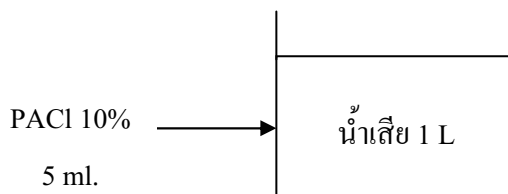
ผง PACl มีความบริสุทธิ์ 30% ดังนั้น

เนื้อ PACl 30 g ต้องชั่งผง PACl มา 100 g

ต้องการเนื้อ PACl 100 g ต้องชั่งผง PACl มา $(100 \times 100) / 30 = 333.33$ g

สรุป ชั่งผง PACl มา 333.33 g ละลายในน้ำ 1L จะมีความเข้มข้น 10%

เมื่อนำสารละลาย PACl 10% ไปเติมในระบบบำบัดน้ำเสียในอัตรา 5-12 ml / 1L น้ำเสีย
สารละลาย PACl 10% คิดเป็น 100,000 mg/L



ความเข้มข้นของ PACl ในน้ำเสียนี้นับว่าดังนี้

กรณีเติม 5 ml

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$100,000 \text{ mg/L} \times 5 \text{ ml} = X \text{ mg/L} \times 1000 \text{ ml}$$

$$\text{ความเข้มข้นของ PACl ในน้ำเสีย} = (100,000 \times 5) / 1000 = 500 \text{ mg/L}$$

กรณีเติม 12 ml

$$\text{ความเข้มข้นของ PACl ในน้ำเสีย} = (100,000 \times 12) / 1000 = 1200 \text{ mg/L}$$

สรุปว่าในระบบบำบัดปัจจุบันใช้ความเข้มข้น PACl ระหว่าง 500-1200 mg/L

2. สารส้ม

สารส้ม สูตรเคมี $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14.3 \text{H}_2\text{O}$

โจทย์ ต้องการเตรียมสารละลาย สารส้ม 10 % จากผง สารส้ม ที่มีความบริสุทธิ์ 16%
(โรงงานใช้สารละลาย สารส้ม 10 % ป้อนเข้าระบบบำบัดในอัตรา 5-12 ml/น้ำเสีย 1 L)

การเตรียมสารในห้องปฏิบัติการของสารละลายสารส้ม 10 % 1 L จำนวนดังนี้

สารละลาย สารส้ม 100 ml

มีเนื้อ สารส้ม 10 g

เตรียม 1000 ml

ต้องใช้ สารส้ม $(10 \times 1000) / 100 = 100 \text{ g}$

ผง สารส้ม มีความบริสุทธิ์ 16% ดังนั้น

เนื้อ สารส้ม 16 g

ต้องชั่งผง สารส้ม มา 100 g

ต้องการเนื้อ สารส้ม 100 g

ต้องชั่งผง สารส้ม มา $(100 \times 100) / 16 = 625 \text{ g}$

สรุป ชั่งผง สารส้ม มา 625 g ละลายในน้ำ 1 L จะมีความเข้มข้น 10%

เมื่อนำสารละลาย สารส้ม 10% ไปเติมในระบบบำบัดน้ำเสียในอัตรา 5-12 mL / 1L น้ำเสีย

สารละลาย สารส้ม 10% คิดเป็น 100,000 mg/L

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารส้ม 10%
5 ml.



ความเข้มข้นของ สารส้ม ในน้ำเสียนี้

กรณีเติม 5 ml

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$100,000 \text{ mg/L} \times 5 \text{ ml} = X \text{ mg/L} \times 1000 \text{ ml}$$

$$\text{ความเข้มข้นของ สารส้ม ในน้ำเสีย} = (100,000 \times 5) / 1000 = 500 \text{ mg/L}$$

กรณีเติม 12 ml

$$\text{ความเข้มข้นของ สารส้ม ในน้ำเสีย} = (100,000 \times 12) / 1000 = 1200 \text{ mg/L}$$

สรุปว่าในระบบบำบัดปัจจุบันใช้ความเข้มข้น สารส้ม ระหว่าง 500-1200 mg/L

3. เฟอร์ริกคลอไรด์

เฟอร์ริกคลอไรด์ สูตรเคมี $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

โจทย์ ต้องการเตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 10 % จากสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่มีความบริสุทธิ์ 46%

(โรงงานใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 10 % ป้อนเข้าระบบบำบัดในอัตรา 5-12 ml/น้ำเสีย 1 L)

สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ มีความบริสุทธิ์ 46% ดังนั้น

เนื้อเฟอร์ริกคลอไรด์ 46 ml

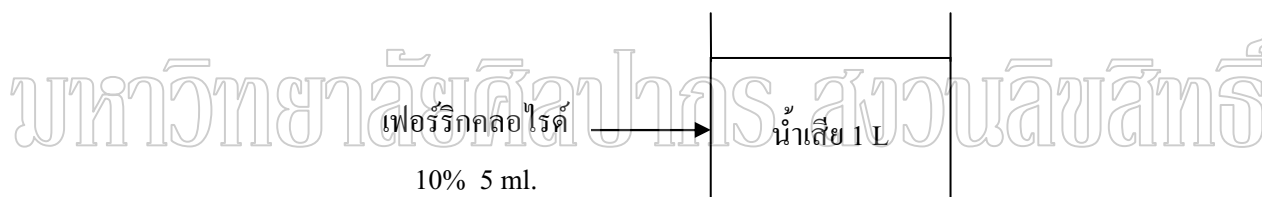
ต้องเปิดเฟอร์ริกคลอไรด์ มา 100 ml

ต้องการเนื้อเฟอร์ริกคลอไรด์ 100 ml

ต้องเปิด มา $(100 \times 100) / 46 = 217.39$ ml

สรุป เปิดเฟอร์ริกคลอไรด์ มา 217.39 ml ในน้ำ 1L จะมีความเข้มข้น 10%

เมื่อนำสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 10% ไปเติมในระบบบำบัดน้ำเสียในอัตรา 5-12 ml / 1L น้ำเสีย สารละลาย เฟอร์ริกคลอไรด์ 10% คิดเป็น 100,000 mg/L



ความเข้มข้นของ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในน้ำเสียนี้คำนวณดังนี้

กรณีเติม 5 ml

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$100,000 \text{ mg/L} \times 5 \text{ ml} = X \text{ mg/L} \times 1000 \text{ ml}$$

$$\text{ความเข้มข้นของ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในน้ำเสีย} = (100,000 \times 5) / 1000 = 500 \text{ mg/L}$$

กรณีเติม 12 ml

$$\text{ความเข้มข้นของ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในน้ำเสีย} = (100,000 \times 12) / 1000 = 1200 \text{ mg/L}$$

สรุปว่าในระบบบำบัดปัจจุบันใช้ความเข้มข้น เฟอร์ริกคลอไรด์ ระหว่าง 500-1200 mg/L

ตารางที่ 9 ค่าสารเคมีในการบำบัดด้วยสภาวะต่าง ๆ

	Coagulant dosage (mg/L)	Flocculant dosage (mg/L)	ราคา Coagulant (บาทต่อ น้ำเสี้ยว 1 ลบ.ม.)	ราคา Flocculant (บาทต่อ น้ำเสี้ยว 1 ลบ.ม.)	ราคารวม (บาทต่อ น้ำเสี้ยว 1 ลบ.ม.)
Alum + polymer	300	0.15	3	0.019	3.019
PACl + polymer	800	0.15	14.8	0.019	14.819
FeCl ₃ + polymer	950	0.15	7.6	0.019	7.619
ระบบบำบัดจริง (ใช้ PACl โดยไม่ใช้โพลีเมอร์)	500-1,200	-	9.25-22.2	-	9.25-22.2

หมายเหตุ: Alum = 10 บาท ต่อ กก.

PACl = 18.50 บาท ต่อ กก.

FeCl₃ = 8 บาท ต่อ ลิตร

Anion Polymer = 125 บาท ต่อ กก.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกาญจนา ชนิกกุล
ที่อยู่	256/56 ซอยวาสนาดี ถนนมนตรีสุริยวงศ์ ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี 70000
โทรศัพท์	081-9025003
E-mail address	mam.science@gmail.com
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2543	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2549	ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการฝึกงานและอบรม

พ.ศ. 2546	ผ่านการอบรมวิชาการเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบกายภาพ+เคมี จัด โดย บริษัท แซน.อี.68 คอนซัลตติ้ง เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
พ.ศ. 2548	ผ่านการอบรมการลดต้นทุนด้านพลังงานในยุคน้ำมันแพง โดยใช้ เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด จัดโดย สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์
พ.ศ. 2548	ผ่านการอบรมสุดยอดเทคนิคการจัดการสิ่งทอ:เทคโนโลยีสะอาดทำกำไร ได้จริงหรือ จัดโดย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
พ.ศ. 2548	ผ่านการอบรมเลิกใช้สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนในอุตสาหกรรม เสื้อผ้าสำเร็จรูปขนาดกลางและขนาดเล็ก จัดโดย สถาบันพัฒนา อุตสาหกรรมสิ่งทอ
พ.ศ. 2548	ผ่านการอบรมหลักสูตรผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษ จัดโดย สถาบัน สิ่งแวดล้อมไทย
พ.ศ. 2548	ผ่านการอบรมกฎหมายการจัดการมลพิษอุตสาหกรรม จัดโดยสภา อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
พ.ศ. 2548	ผ่านการอบรมมาตรฐาน ISO 14001 Version ใหม่ ISO 14001:2004 จัด โดยสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

- พ.ศ. 2548 ผ่านการอบรมการพัฒนาเทคโนโลยีการนำน้ำทิ้งอุตสาหกรรมกลับมาใช้
จัดโดย กรมโรงงานอุตสาหกรรม
- พ.ศ. 2549 ผ่านการอบรมการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช้แล้วจากโรงงาน ฯ จัด
โดยอุตสาหกรรม จ.ราชบุรี
- พ.ศ. 2550 ผ่านการอบรมเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม จัดโดย บริษัท แชน.
อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์