

การแยกสี้อมแอนไอออนจากน้ำเสียสี้อม
โดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก

นายธีรพัฒน์ สีเขียว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF ANIONIC DYES FROM WASTE DYE SOLUTIONS
USING BY-PRODUCT FROM LACTIC ACID PRODUCTION

Mr. Teerapat Seekeaw

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology
Department of Materials Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2010
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแยกสีย้อมแอนไอออนจากน้ำเสียสีย้อม

โดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก

โดย

นายธีรพัฒน์ สีเขียว

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริธันว์ เจียมศิริเลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑนา โอภาประภาสิต)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. นราพร รังสีมันตกุล)

ธีรพัฒน์ สีเขียว : การแยกสีย้อมแอนไอออนจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก (SEPARATION OF ANIONIC DYES FROM WASTE DYE SOLUTIONS USING BY-PRODUCT FROM LACTIC ACID PRODUCTION)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์, 95 หน้า

งานวิจัยนี้แสดงกระบวนการแยกสีย้อมแอนไอออนออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกรดแล็กติก ซึ่งอาศัยหลักการการตกตะกอนสีย้อมที่มีประจุลบ (ในที่นี้คือ สีย้อมที่ฟ Procion Red H-E7B, สีย้อมที่ฟ Solophenyl Green BLE 155% และสีแอซิด Lanaset Blue 2R) ด้วยสารที่มีประจุบวก คือ ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ทำการศึกษาความสามารถในการตกตะกอนแยกสีย้อมที่ภาวะต่างๆ โดยผันแปร อุณหภูมิ เวลา ความเร็วรอบในการเขย่า พีเอช และปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ในการตกตะกอน วิเคราะห์หาปริมาณสีย้อมในน้ำเสียทั้งก่อนและหลังการตกตะกอนแยกสีย้อมที่ภาวะต่างๆ โดยใช้เทคนิค สเปกโทรโฟโตเมทรี เพื่อหาประสิทธิภาพการแยกสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้ ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซ้ำตะกอนที่เกิดขึ้นตามภาวะที่เหมาะสม วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ในอากาศย่อยสลายตะกอนที่เกิดขึ้น และวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสียหลังการตกตะกอนแยกสีย้อมโดยวัดค่า บีโอดี ซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด และ พีเอชของน้ำเสีย จากผลการวิจัยพบว่าสามารถใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกตกตะกอนแยกสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ออกจากน้ำเสียสีย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้น้ำใสที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอต่อไป นอกจากนี้ พบว่า สามารถนำตะกอนสีที่เกิดขึ้นไปใช้ซ้ำในกระบวนการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสียสีย้อมได้อีก และเมื่อทิ้งตะกอนสีที่เกิดขึ้นไว้ในอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ในอากาศย่อยสลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าตะกอนสีย้อมมีสีอ่อนลงและมีความเข้มข้นของสีลดลง

ภาควิชา.....วัสดุศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553

#5172320123 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS : BY-PRODUCT FROM LACTIC ACID PRODUCTION/ REACTIVE DYE/
DIRECT DYE/ ACID DYE/ DYE PRECIPITATION

TEERAPAT SEEKEAW : SEPARATION OF ANIONIC DYES FROM WASTE DYE
SOLUTIONS USING BY-PRODUCT FROM LACTIC ACID PRODUCTION.
THESIS ADVISOR : ASST.PROF.USA SANGWATANAROJ, PH.D., 95 pp.

This research describes the processes of anionic dyes separation (from waste dye solution) using by-product from lactic acid production. In this work, three types of waste dye solutions consisting of reactive dye (Procion Red H-E7B) , direct dye (Solophenyl Green BLE 155%) and acid dye (Lanaset Blue 2R) solutions were prepared for the study and dyes were removed from waste dye solutions as precipitants via the anionic (dyes)-cationic (by-product) interaction. The dye precipitation processes were conducted at various temperatures, times, agitation rates, pH and by-product contents, and dye contents in waste dye solutions were measured both before and after precipitation using spectrophotometry technique in order to evaluate the efficiency of dye separation. Appearance of precipitants was determined using scanning electron microscopy and quality of waste water was also evaluated after dye separation. An approach to reuse the precipitants for dye separation as well as an attempt to degrade dyes (in the precipitants) using microbes (in the air) were also conducted. Quality of waste water was evaluated after dye separation. Results indicated a successful outcome of separation of all three anionic dyes from waste dye solutions using this by-product. Waste water was clear from original color and could be reused in textile wet processes. In addition, it was found that the precipitants containing by-product and dyes could be reused for dye separation. In terms of dye degradation study, results showed that after leaving precipitants in the air for 4 weeks, precipitants appeared lighter shades as well as lower dye concentrations than the original precipitants.

Department:..... Materials Science..... Student's Signature.....

Field of Study:..... Applied Polymer Science & Textile Technology..... Advisor's Signature.....

Academic Year: 2010.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างสมบูรณ์ได้ เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเชื่อใจทางด้านสถานที่ เครื่องมือ และวัสดุดิบสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับการช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา และแก้ไขปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพันธ์ เจียมศิริเลิศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑนา โอภาประกาศิต และ ดร.นราพร รังสิมันตกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ และแนวคิดซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี และการทดสอบ ดังรายนามต่อไปนี้

ขอขอบคุณบริษัท พูแคว (ประเทศไทย) จำกัด ในการอนุเคราะห์ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกในการทำวิจัย และบริษัท จัดการและพัฒนาทรัพยากรน้ำภาคตะวันออก จำกัด (มหาชน) ในการสนับสนุนเงินทุนวิจัยบางส่วน

ขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ภาควิชาวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสถาบันวิจัยอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการเชื่อใจเพื่อสถานที่ เครื่องมือ และเครื่องทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดจนขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนและคอยให้กำลังใจผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกคนสำหรับความช่วยเหลือและความปรารถนาดีแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
สารบัญแผนภาพ.....	ณ

บทที่

1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทรรศน์.....	4
2.1 สีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ.....	4
2.1.1 สีย้อมประเภทละลายน้ำได้.....	4
2.1.2 สีย้อมประเภทไม่ละลายน้ำ.....	4
2.2 การเกิดสีของสีย้อม.....	4
2.3 สีย้อมรีแอคทีฟ (reactive dyes).....	5
2.4 สีย้อมไดเรกต์ (direct dyes).....	7
2.5 สีย้อมแอซิด (acid dyes).....	8
2.6 สารช่วยย้อม (auxiliaries)	9
2.7 แหล่งที่มาของน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อมพิมพ์และตกแต่งสำเร็จ.....	10
2.8 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย.....	10
2.9 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม.....	11
2.10 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม.....	11
2.11 การบำบัดน้ำเสีย.....	12

บทที่

2.11.1 .การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น.....	12
2.11.2 การบำบัดขั้นทุติยภูมิ.....	13
2.12 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียสีย้อม.....	14
2.13 การจับก้อน (coagulation).....	16
2.14 ปัจจัยที่มีผลต่อการจับก้อน.....	18
2.15 ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก.....	18
2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
3. วิธีการทดลอง.....	23
3.1 วัสดุและสารเคมี.....	23
3.1.1 วัสดุและสารเคมีสำหรับขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสีย้อม.....	23
3.1.2 สารเคมีสำหรับขั้นตอนการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสียสีย้อม...	23
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	23
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสีย้อม.....	23
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับขั้นตอนการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย.....	24
3.2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับขั้นตอนการใช้ซ้ำของตะกอนที่เกิดขึ้น.....	24
3.2.4 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำและวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย.....	24
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	24
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสีย้อม.....	24
3.3.2 ขั้นตอนการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย.....	28
3.3.3 ขั้นตอนการใช้ซ้ำตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย.....	29
3.3.4 ขั้นตอนการย่อยสลายตะกอนที่เกิดขึ้นด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ.....	30
3.3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนสี.....	30
3.3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตะกอนสีที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ.....	31
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	32

บทที่

4.1 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำเสียย้อมทั้ง 3 ชนิด	32
4.2 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียย้อม.....	34
4.3 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมรีแอกทีฟProcion Red H-E7B ออกจากน้ำเสียย้อม.....	34
4.3.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	34
4.3.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	35
4.3.3 ผลการศึกษาความเร็วรอบการเขย่า เวลาและพีเอช ที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม	36
4.3.4 ผลสรุปการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	38
4.3.5 ผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	38
4.4 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ออกจากน้ำเสียย้อม.....	40
4.4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	40
4.4.2.ผลการศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	40
4.4.3 ผลการศึกษาความเร็วรอบการเขย่า เวลาและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	42
4.4.4 ผลสรุปการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	43
4.4.5 ผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	44
4.5 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R ออกจากน้ำเสียย้อม.....	45
4.5.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	45
4.5.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	46
4.5.3 ผลการศึกษาความเร็วรอบการเขย่า เวลาและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	47
4.5.4 ผลสรุปการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม.....	49

บทที่

4.5.5 ผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแยกสีย์้อม.....	49
4.6 ลักษณะของตะกอนสีภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	51
4.7 ผลการศึกษาการใช้ซ้ำตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อตกตะกอนแยกสีย์้อมออกจากน้ำ เสีย.....	52
4.8 ผลการศึกษาการย่อยสลายตะกอนสีที่เกิดขึ้นด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ.....	53
4.8.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสีหลังการย่อยสลาย.....	53
4.8.2 ผลการศึกษาลักษณะตะกอนสีหลังการย่อยสลาย.....	59
4.8.3 ผลการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของตะกอนสีหลังการย่อยสลาย.....	62
4.9 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนแยกสีย์้อมแอนไอออน.....	64
4.9.1 ผลการศึกษา ค่าซีไอดี บีไอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และ ปริมาณสารละลายที่ละลายได้ทั้งหมด.....	64
4.9.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆ.....	66
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	70
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	70
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	71
รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก.....	75
ภาคผนวก ข.....	84
ภาคผนวก ค.....	89
ภาคผนวก ง.....	92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ตารางจำแนกกลุ่มสีสรีแอกทีฟที่แยกตามความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของสีกับเส้นใยที่อุณหภูมิต่างๆ.....	6
ตารางที่ 2.2	การวิเคราะห์ลักษณะและองค์ประกอบของผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกด้วยวิธีทดสอบ Inhouse based on AOAC and OMAF โดยสำนักสำนักวิจัยพัฒนา ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.....	19
ตารางที่ 3.1	ความเข้มข้นของน้ำสีย้อม ความเข้มข้นของสารเคมีและพีเอชที่ใช้ในการย้อม.....	26
ตารางที่ 4.1	ร้อยละประสิทธิภาพในการตกตะกอนแยกสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ณ เวลา 30 นาที ที่พีเอชต่างๆ	39
ตารางที่ 4.2	ร้อยละประสิทธิภาพในการตกตะกอนแยกสีย้อมไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% ด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ณ เวลา 30 นาที ที่พีเอช ต่างๆ	44
ตารางที่ 4.3	ร้อยละประสิทธิภาพในการตกตะกอนแยกสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R ด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ณ เวลา 30 นาที ที่พีเอช ต่างๆ	50
ตารางที่ 4.4	ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออนออกจากน้ำเสียสีย้อม.....	51
ตารางที่ 4.5	ค่าซีไอดีและบีไอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแยกสีย้อมแล้ว.....	65
ตารางที่ 4.6	การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆในน้ำเสีหลังการตกตะกอนแยกสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES).....	67
ตารางที่ 4.7	การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆในน้ำเสีหลังการตกตะกอนแยกสีไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES).....	68

ตารางที่ 4.8	การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆ ในน้ำเสียหลังการตกตะกอนแยกดี แอสิดLanaset Blue 2R โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Optical Emissio Spectroscopy (ICPOES).....	69
--------------	---	----

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 3.1	โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมที่ใช้.....	25
รูปที่ 3.2	เครื่องย้อมแบบแช่ รุ่น Labtec	26
รูปที่ 3.3	กราฟการย้อม.....	27
รูปที่ 3.4	เครื่องย้อมวี-วีสสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Specord S 100.....	28
รูปที่ 3.5	ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก.....	29
รูปที่ 3.6	เครื่องเขย่าแบบอ่างน้ำ รุ่น Labtec	29
รูปที่ 3.7	เครื่องฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคป.....	31
รูปที่ 4.1	กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำสีย้อมทั้ง 3 ชนิด.....	32
รูปที่ 4.2	ความเข้มข้นของน้ำสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที ที่เวลาและพีเอชต่างๆกัน โดยใช้ผลพลอยได้ 10 กรัมและผันแปรอุณหภูมิในการตกตะกอน.....	35
รูปที่ 4.3	ความเข้มข้นของน้ำสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาและพีเอชต่างๆกัน โดยใช้ผลพลอยได้ 10 กรัม และผันแปรความเร็วรอบในการเขย่า.....	37
รูปที่ 4.4	ความเข้มข้นของน้ำสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่ผ่านการตกตะกอนที่เวลาและพีเอชต่างๆ กันที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของการเขย่า 120 รอบต่อนาที โดยใช้ผลพลอยได้ 10 กรัม.....	38
รูปที่ 4.5	ความเข้มข้นของน้ำสีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที ที่เวลาและพีเอชต่างๆกัน โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม และผันแปรอุณหภูมิในการตกตะกอน.....	41
รูปที่ 4.6	ความเข้มข้นของน้ำสีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง ที่เวลาและพีเอชต่างๆ กัน โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม และผันแปรความเร็วรอบในการเขย่า.....	43
รูปที่ 4.7	ความเข้มข้นของน้ำสีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ผ่านการตกตะกอนที่เวลา และพีเอชต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบของการเขย่า 60 รอบต่อนาที ใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม.....	44

รูปที่ 4.8	ความเข้มข้นของน้ำสีแอสิด Lanaset Blue 2R ที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที ที่เวลาและพีเอชต่างๆกัน โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม และผันแปรอุณหภูมิในการตกตะกอน.....	46
รูปที่ 4.9	ความเข้มข้นของน้ำสีแอสิด Lanaset Blue 2R ที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง ที่เวลาและพีเอชต่างๆ กัน โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัมและผันแปรความเร็วรอบในการเขย่า.....	48
รูปที่ 4.10	ความเข้มข้นของน้ำสีแอสิด Lanaset Blue 2R ที่ผ่านการตกตะกอนที่เวลาและพีเอชต่างๆกัน ที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบต่อนาที โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม.....	49
รูปที่ 4.11	รูปภาพกำลังขยาย 500 เท่า ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	52
รูปที่ 4.12	ความเข้มข้นของสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ในตะกอนก่อนและหลังผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์.....	54
รูปที่ 4.13	ความเข้มข้นของสีย้อมไคเร็กซ์ Solophenyl Green BLE 2R ในตะกอนก่อนและหลังผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์.....	54
รูปที่ 4.14	ความเข้มข้นของสีย้อมแอสิด Lanaset Blue 2R ในตะกอนก่อนและหลังผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์.....	55
รูปที่ 4.15	ลักษณะตะกอนของสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งก่อนและหลังอบแห้ง.....	56
รูปที่ 4.16	ลักษณะตะกอนของสีย้อมไคเร็กซ์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งก่อนและหลังอบแห้ง.....	57
รูปที่ 4.17	ลักษณะตะกอนของสีย้อมแอสิด Lanaset Blue 2R ที่ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งก่อนและหลังอบแห้ง.....	58
รูปที่ 4.18	ภาพกำลังขยาย 10,000 เท่า พื้นผิวของตะกอนสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่ถูกย่อยสลาย เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด...	59
รูปที่ 4.19	ภาพกำลังขยาย 10,000 เท่า พื้นผิวของตะกอนสีไคเร็กซ์ Solophenyl Green BLE155%ที่ถูกย่อยสลายเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	60
รูปที่ 4.20	ภาพกำลังขยาย 10,000 เท่า พื้นผิวของตะกอนสีแอสิด Lanaset Blue 2R ที่ถูกย่อยสลาย เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	61

รูปที่ 4.21	หมู่ฟังก์ชันของตะกอนสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B เมื่อวิเคราะห์ด้วย เครื่อง FT-IR	62
รูปที่ 4.22	หมู่ฟังก์ชันของตะกอนสีไดเรกต์ Solophenyl Green 155% เมื่อวิเคราะห์ด้วย เครื่อง FT-IR	63
รูปที่ 4.23	หมู่ฟังก์ชันของตะกอนสีแอสิด Lanaset Blue 2R เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR	63

สารบัญแผนภาพ

หน้า

แผนภาพที่ 2.1 องค์ประกอบหลักของโครงสร้างสี่แฉกทีฟ.....	5
--	---

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ เป็นอุตสาหกรรมที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม แต่ก็ยังเป็นอุตสาหกรรมที่ถูกจับตามองในเรื่องการก่อปัญหาสิ่งแวดล้อม เพราะเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำและสารเคมีปริมาณมาก โดยเฉพาะในการฟอกย้อม ถ้าน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมถูกบำบัดอย่างถูกวิธีแล้วจะเป็นการลดมลภาวะทางน้ำที่เกิดขึ้น ซึ่งการบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการลดปริมาณสารพิษที่ละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำเสียโดยการแยกหรือทำให้สลายตัว ในการเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะ สมบัติและองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การบำบัดน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อมโดยทั่วไป มีระบบบำบัด 2 ขั้นตอน ได้แก่ การบำบัดขั้นปฐมภูมิ ประกอบด้วย การกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยตะแกรง การปรับสภาพสมดุลและการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง และการบำบัดขั้นทุติยภูมิ ซึ่งมีหลายวิธีเช่น ระบบเอเอส (activated sludge) , การตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation), การทำคลอรีเนชัน (chlorination), การทำโอโซนเนชัน (ozonation), การใช้เทคโนโลยีเมมเบรน (membrane technology) และการดูดซับ (absorption) ซึ่งระบบเอเอสเป็นระบบที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำได้ และการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยอาศัยจุลินทรีย์จำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ อย่างไรก็ตามระบบบำบัดวิธีนี้ไม่สามารถกำจัดสีออกจากน้ำเสียได้

สีย้อมแอนไอออน เช่น สีย้อมทียู สีย้อมเรอแลน และสีย้อมเอซิดได้รับความนิยมและมีการนำมาใช้ในการย้อมสิ่งทออย่างกว้างขวาง มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยากับเส้นใย สีย้อมละลายน้ำได้ดี และมีประจุลบ อย่างไรก็ตามสีย้อมแอนไอออนที่หลงเหลือในน้ำเสียหลังการย้อมสามารถก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ การบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยการตกตะกอนด้วยสารเคมีเป็นอีกวิธีหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียสีย้อม โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว สารส้ม เพอร์ริสคลอไรด์ และเพอร์ริสซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้มเกิดจากการที่โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้มแล้วตกตะกอนจมตัวลงในน้ำทิ้ง จากนั้นปรับสภาพน้ำทิ้งให้เป็นกลางก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง เทคนิคนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมมี

โมเลกุลเล็ก เช่น สีแอสิตและสีรีแอกทีฟ การตกตะกอนของสีโดยใช้สารส้มจะไม่สามารถทำได้โดยตรงแต่ต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของการตกตะกอนให้เป็นอย่างดีอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนเช่น พอลิอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และเป็นกระบวนการที่มีราคาแพง ปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนทางเคมีคือค่าพีเอชของสิ่งที่จะตกตะกอน ความเข้มข้นของสารช่วยตกตะกอนและระยะเวลาในการตกตะกอน ทั้งนี้หากสามารถนำของเสียหรือผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตมาใช้ในการตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออนออกจากน้ำเสียจะสามารถลดต้นทุนการบำบัดให้ต่ำลงได้และยังเป็นการใช้ประโยชน์ของเสียหรือผลพลอยได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้แสดงการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกมาใช้ตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออน เช่น สีรีแอกทีฟ สีไดเร็กต์ และสีแอสิตออกจากน้ำเสียสีย้อม และคาดว่าจะสามารถนำน้ำหลังการบำบัดมาใช้หมุนเวียนต่อไป ซึ่งผลพลอยได้ที่ใช้นี้เกิดขึ้นประมาณ 60-70 ตันต่อวัน จากการผลิตกรดแล็กติก 250 ตันต่อวัน ของบริษัทพูแรค (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อจำหน่ายในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และปุ๋ย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพและภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออนออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซ้ำตะกอนที่เกิดขึ้น
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการย่อยสลายตะกอนที่เกิดขึ้นด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. สีย้อมที่ใช้เป็นสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ของบริษัท ไทสตาร์ไทย จำกัด สีไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% และสีแอสิต Lanaset Blue 2R ของบริษัทซีบา สเปนเซียลตี้ เคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
2. สีทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นสีย้อมประเภทละลายน้ำได้และมีประจุลบ
3. ผลพลอยได้ที่ใช้เกิดขึ้นจากการผลิตกรดแล็กติกของ บริษัทพูแรค (ประเทศไทย) จำกัด
4. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ผลพลอยได้ใน การตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออน (สีรีแอกทีฟ สีไดเร็กต์ สีแอสิต) ออกจากน้ำเสียสีย้อม ณ ภาวะต่างๆ กัน เช่น พีเอช อุณหภูมิ ความเร็วรอบในการเขย่า ปริมาณผลพลอยได้ และเวลาต่างๆ โดยใช้เครื่อง ยูวี-วิสสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อมทั้งก่อนและหลังการตกตะกอนสี

5. วิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่ได้หลังการตกตะกอนสี โดยตรวจสอบค่าปัจจัยต่างๆ ได้แก่ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand), ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand), ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solid), สารที่ละลายได้ทั้งหมด (total dissolved solid) และพีเอช
6. ศึกษาการใช้จุลินทรีย์ในอากาศเพื่อย่อยสลายตะกอนที่เกิดขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถตกตะกอนแยกสีขุ่นแฉะได้ออกจากน้ำเสียสีขุ่นโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกและได้ภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีขุ่น
2. สามารถนำน้ำเสียที่ได้หลังการตกตะกอนสีขุ่นไปใช้ในกระบวนการผลิตสิ่งต่อไป
3. สามารถเพิ่มมูลค่าและประโยชน์การใช้สอยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก
4. สามารถช่วยลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียสีขุ่นให้แก่ผู้ประกอบการการย้อมสีสิ่งทอ

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 สีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ [1]

สีย้อมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไปสังเคราะห์มาจากสารประกอบอินทรีย์ การแบ่งประเภทของสีย้อมมีด้วยกันหลายวิธี แต่ในโครงการนี้จะกล่าวถึงวิธีการแบ่งด้วยความสามารถในการละลายน้ำของสีย้อม ซึ่งแบ่งได้เป็นสีย้อมที่ละลายในน้ำและสีย้อมที่ไม่ละลายในน้ำ

2.1.1 สีย้อมประเภทละลายน้ำได้ (water soluble dyes)

สีย้อมประเภทละลายน้ำได้จะเกิดการแตกตัวเมื่อละลายน้ำ โดยสีย้อมที่อยู่ในรูปเกลือโซเดียมเมื่อละลายน้ำแล้วจะให้ประจุลบ ได้แก่ สีย้อมแอซิด (acid dye) สีย้อมรีแอกทีฟ (reactive dye) แต่ถ้าเมื่อละลายน้ำแล้วเกิดการแตกตัวให้ประจุบวก ได้แก่ สีย้อมเบสิก (basic dye)

2.1.2 สีย้อมประเภทไม่ละลายน้ำ (water insoluble dyes)

สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่

- สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ เช่น สีย้อมดิสเพิร์ส (disperse dye) และสีย้อมที่ละลายในตัวทำละลาย (solvent-soluble dye)
- สีย้อมที่ละลายได้ชั่วคราว เช่น สีย้อมแวต (vat dye) และสีย้อมซัลเฟอร์ (sulfur dye)
- สีย้อมพอลิคอนเดนเซชัน (poly condensation dye)
- สีย้อมที่เกิดขึ้นภายในเส้นใย (dye formed within the fiber)
- สีย้อมสี (pigment)

ซึ่งในอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นนิยมใช้สีย้อมประเภทละลายน้ำได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สีย้อมรีแอกทีฟเป็นสีย้อมที่ใช้กันแพร่หลายและมากที่สุดในอุตสาหกรรม รองลงมาคือสีย้อมแอซิด

2.2 การเกิดสีของสีย้อม [2]

สีที่ปรากฏออกมาทำให้สายตาคนปกติมองเห็นได้นั้นเกิดมาจากการจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมเหล่านี้เรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophores) ซึ่งได้แก่

- กลุ่มไนโตร (nitro group); $-NO_2$

- กลุ่มเอโซ (azo group; -N=N-)
- กลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl; C=O)
- กลุ่มอนุพันธ์แอมโมเนียมโมเนียม (alkyl ammonium derivatives; R-NH⁺₃)

กลุ่มอะตอมต่างๆ เหล่านี้เป็นตัวไปเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) โดยดูดกลืนแสงสีขาวยุ่บางแถบแสง และปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีย้อมมีโทนสีที่แตกต่างกันออกไป

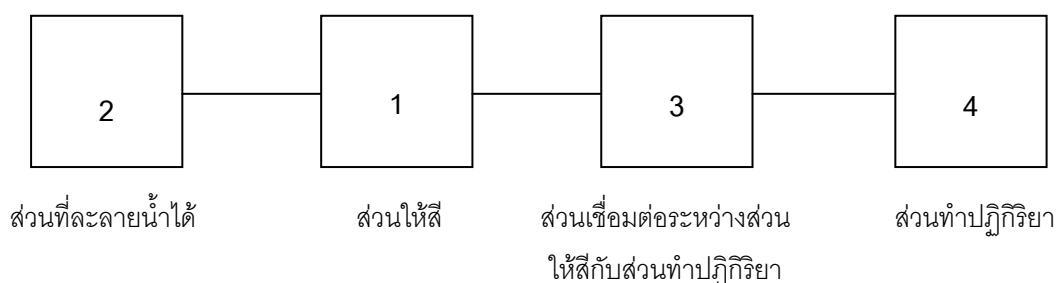
สีย้อมโดยทั่วไปนอกจากมีกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์แล้ว ยังมีกลุ่มอะตอมอีกกลุ่มหนึ่งได้แก่ กลุ่มอะตอมออกซิโครม (auxochromes) ได้แก่ -OH, -NH₂, -NHR, -NR₂, -SO₃ และ -COOH เพื่อทำให้สียึดติดกับเส้นใย ทั้ง 2 กลุ่มเชื่อมต่อกันเรียกรวมกันว่า โครโมเจน (Chromogen) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการจำแนกกลุ่มของสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี

2.3 สีรีแอกทีฟ (reactive dyes) [3]

สีรีแอกทีฟเป็นสีที่รู้จักกันในห้องตลาดเมื่อปี ค.ศ 1956 โดยบริษัท ไอ.ซี.ไอ เป็นผู้ผลิตใช้ชื่อ "Procion dyes" เป็นสีที่ยึดเกาะกับเส้นใยด้วยพันธะโคเวเลนต์ สามารถย้อมผ้าใยเซลลูโลสได้ โดยเกิดปฏิกิริยาที่หมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสซึ่งจะมีต่างช่วยในการเกิดปฏิกิริยา โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟแสดงดังแผนภาพที่ 2.1

ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างสีรีแอกทีฟ ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลักคือ

- ส่วนให้สี (chromophore)
- ส่วนที่ละลายน้ำ (water soluble)
- ส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างส่วนให้สีกับส่วนทำปฏิกิริยา (linking group)
- ส่วนทำปฏิกิริยา (reactive group)



แผนภาพที่ 2.1 องค์ประกอบหลักของโครงสร้างสีรีแอกทีฟ

1) **ส่วนให้สี (chromophore group)** เป็นส่วนประกอบหลักในโครงสร้างสี ซึ่งหมู่ทางเคมีที่มักพบ เช่น โมโนเอโซ พอลิเอโซ ไดเอโซ พทาโลไฮยานีน แอซิด และเอมิโนแอนทราควิโนน

2) **ส่วนที่ละลายน้ำ (water soluble group)** เป็นส่วนที่ช่วยให้สีละลายน้ำได้ดีขึ้น หมู่ทางเคมีที่มักพบคือ หมู่ซัลโฟเนต ($-\text{SO}_3\text{H}$ หรือ $-\text{SO}_3\text{Na}$)

3) **ส่วนเชื่อมต่อระหว่างส่วนให้สีกับส่วนที่ทำปฏิกิริยา (linking group)** เป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างส่วนให้สีกับส่วนทำปฏิกิริยา มีหมู่ที่นิยมใช้คือ

- หมู่เอมิโน (amino group; $-\text{NH}_2$)
- หมู่แอลคิลเอมิโน (alkyl amino group; $-\text{NR}_2$)
- ออกไซด์และซัลไฟด์ (oxide and sulfide; $-\text{O}-, -\text{S}-$)

4) **ส่วนทำปฏิกิริยา (reactive group)** เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของสีรีแอกทีฟ เพราะสีจะเกาะติดอยู่บนเส้นใยได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของหมู่เคมีในส่วนนี้ สีรีแอกทีฟที่มีขายอยู่ในท้องตลาดมีความหลากหลายในเรื่องของความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยากับเส้นใย ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30-95 องศาเซลเซียส การจำแนกกลุ่มสีรีแอกทีฟจึงแยกตามความสามารถในการเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยที่อุณหภูมิต่างๆ แบ่งออกได้ 6 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางจำแนกกลุ่มสีรีแอกทีฟที่แยกตามความสามารถในการเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยที่อุณหภูมิต่างๆ แบ่งออกได้ 6 ระดับ

หมู่เคมีที่เกิดปฏิกิริยากับเส้นใย	อุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา ($^{\circ}\text{C}$)	ระดับความว่องไว
ไดคลอโรไตรอะซีน	30	1
ไดฟลูออโรคลอโรไพริมีดีน	40	2
ไดคลอโรควิโนซาลีน	50	3
โมโนฟลูออโรไตรอะซีน	60	4
ไวนิลซัลโฟน	70	5
โมโนคลอโรไตรอะซีน	80	6

ประเภทของสีย้อมแยกที่ฟ

1) แบ่งตามส่วนทำปฏิกิริยา แบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ

- สีย้อมแยกที่ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (low reactivity dyes)
- สีย้อมแยกที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (high reactivity dyes)

2) แบ่งตามการใช้งาน แบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ

- สีย้อมเย็น (cold type dyes) สีย้อมที่อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 60 องศาเซลเซียส
- สีย้อมร้อน (hot type dyes) สีย้อมที่อุณหภูมิระหว่าง 60 ถึง 80 องศาเซลเซียส

2.4 สีย้อมรีกต์ (direct dyes) [4]

สีย้อมรีกต์จัดเป็นสีย้อมที่มีประจุลบ เนื่องจากมีหมู่ซัลโฟเนตเป็นองค์ประกอบซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุลบ ความสามารถในการละลายน้ำขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของสีและจำนวนหมู่ซัลโฟเนตที่มี สีย้อมรีกต์เกาะติดได้ดีเฉพาะกับเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถย้อมได้เฉพาะวัสดุที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเท่านั้น เช่น ฝ้าย วิสโคส เรยอน ลินิน ป่าน ปอ และกระดาษ เป็นต้น

การแบ่งหมู่สีย้อมรีกต์ตามสมาคมนักย้อมสีและนักผลิตสี (Society of Dyers and Colourists) ประเทศอังกฤษสามารถแบ่งเป็น 3 หมู่ดังนี้ คือ

กลุ่มเอ (class A) ที่เรียกว่า “สีย้อมประเภทย้อมสม่ำเสมอด้วยตัวเอง” (self-leveling) ดังนั้นสีกลุ่มนี้จะมีการแพร่กระจายในเส้นใยได้ดี มีค่า migration power สูง (ค่าที่ใช้บอกความสามารถในการแพร่ของสีย้อมในเส้นใย) สีในกลุ่มนี้จึงมีขนาดโมเลกุลที่เล็กที่สุด และมีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อประจุต่ำ (molecular mass/charge ratio)

กลุ่มบี (class B) ที่เรียกว่า “สีย้อมประเภทย้อมสม่ำเสมอด้วยการควบคุมเกลือ” (salt-controllable) แต่จะต้องควบคุมโดยการเติมเกลือเพื่อทำให้เกิดการย้อมอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งโมเลกุลของสีจะมีขนาดปานกลาง

กลุ่มซี (class C) ที่เรียกว่า “สีย้อมประเภทย้อมสม่ำเสมอด้วยการควบคุมอุณหภูมิ” (temperature-controllable) แต่จะต้องควบคุมโดยการเติมเกลือ และจะต้องควบคุมอุณหภูมิในการย้อมอีกด้วย เพื่อทำให้เกิดการย้อมอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งโมเลกุลของสีจะมีขนาดใหญ่กว่ากลุ่มเอและบี

การย้อมสีย้อมรีกต์ให้ติดบนเส้นใยเซลลูโลสนั้นจะเกิดได้จากแรงทางกายภาพ เพราะโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมในกลุ่มนี้ไม่มีหมู่ที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใยเซลลูโลสแล้วเกิดเป็นพันธะเคมีได้ แรงทางกายภาพระหว่างสีย้อมกับเส้นใยก็จะมีเพียงพันธะไฮโดรเจน

(hydrogen-bonding) กับแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals force) แรงแวนเดอร์วาลส์ คือ แรงดึงดูดอ่อนๆ ระหว่างโมเลกุลของสาร ส่วนพันธะไฮโดรเจน คือ แรงดึงดูดระหว่างภายในหรือภายนอกโมเลกุลมีความแรงมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมอื่นที่มีค่า electronegativity สูงๆ เช่น อะตอมของฟลูออรีน ไนโตรเจน หรือ ออกซิเจน เป็นต้น แรงเหล่านี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างของโมเลกุลทั้งสองตัว ดังนั้นโมเลกุลของสียได้เร็กต์มักมีความยาว (linearity) และมีลักษณะแบน (coplanarity)

2.5 สียแอซิด (acid dyes) [5]

สียแอซิด (acid dye) มีหมู่ซัลโฟเนตเป็นองค์ประกอบที่เมื่อละลายน้ำจะให้ประจุลบ เป็นสีหลักในการย้อมเส้นใยโปรตีนธรรมชาติ ได้แก่ ขนสัตว์ไหมและเส้นใยพอลิเอไมด์ ได้แก่ ไนลอน ซึ่งเส้นใยเหล่านี้เป็นเส้นใยที่มีหมู่แอมิโนที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับสีได้

ที่เรียกว่า “สียแอซิด” เพราะสีชนิดนี้ส่วนมากจะย้อมในน้ำย้อมที่เป็นกรด แต่ก็มีสีชนิดนี้บางพวกที่ย้อมในน้ำย้อมที่เป็นด่าง สีชนิดนี้ต้องใช้ในภาวะกรดอาจใช้ กรดกำมะถัน กรดน้ำส้ม หรือ กรดฟอสฟอริก ซึ่งการย้อมบางชนิดต้องใช้สารช่วยติด

สียแอซิด เป็นสีที่ย้อมง่าย ราคาค่อนข้างถูก มีความคงทนต่อแสงตั้งแต่ปานกลางถึงดีมาก และมีความคงทนต่อการซักตั้งแต่ปานกลางถึงดีมาก มีทั้งสีที่มีความเป็นเงาสวย สีสดใส

สียแอซิด เป็นกลุ่มสีที่สดใสมาก แต่ละชนิดมีความคงทนไม่เท่ากัน ถ้ามีปริมาณกรดในน้ำมาก เส้นใยจะมีแคตไอออนมากขึ้น ผ้าจะดูดสีได้มากขึ้นและค่อนข้างเร็ว ดังนั้นต้องเติมเกลือลงไปเพื่อให้ผ้าดูดสีได้ช้าลงสีจะติดผ้าสม่ำเสมอได้ดียิ่งขึ้น แต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้สีหลุดจากเนื้อผ้า สียแอซิดมีทั้งชนิดที่มีโลหะและไม่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ

การจัดจำแนกสียแอซิดสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ตามพีเอชและความคงทนของสีที่ใช้ในการย้อม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สียแอซิดกลุ่มนี้ ต้องการพีเอชที่เป็นกรดแก่จึงจะสามารถย้อมติดเส้นใยได้ดี (ในการย้อมใช้พีเอชประมาณ 2-3) หากใช้พีเอชที่เป็นกรดอ่อนหรือกรดปานกลางสีจะติดเส้นใยเพียงจางๆ เท่านั้น สีกลุ่มนี้ย้อมง่ายไม่ทำให้เกิดการย้อมต่าง แต่มีความคงทนต่อการซักต่ำ เนื่องจากมีหมู่ซัลโฟเนตอยู่ในปริมาณน้อยเพียงหนึ่งถึงสองหมู่ต่อโมเลกุลของสีย้อมหนึ่งโมเลกุล จึงไม่ค่อยทนต่อการใช้งานมากนักและสีมักจะหลุดออกมาจากเส้นใยเมื่อผ่านการซักล้าง

กลุ่มที่ 2 ต้องการพีเอชที่เป็นกรดปานกลาง (ในการย้อมใช้พีเอชประมาณ 3-5) สียแอซิดในกลุ่มนี้มีโมเลกุลใหญ่กว่าสีในกลุ่มแรก ทำให้มีความคงทนต่อการซักล้างดีขึ้นและดูดซึมเข้าสู่เส้นใยได้รวดเร็วกว่าจึงเกิดการย้อมต่างได้ง่ายกว่าสีกลุ่มแรก ในการย้อมจึงจำเป็นต้องใช้สารกันการย้อมต่าง (leveling agent)

กลุ่มที่ 3 ต้องการฟิเอซที่เป็นกรดอ่อน (ในการย้อมใช้ฟิเอซประมาณ 5-7) เนื่องจากโมเลกุลของสีในกลุ่มนี้มีขนาดใหญ่มากจึงดูดติดเส้นใยได้อย่างรวดเร็วและเกิดการย้อมต่างได้ง่าย สีแพร่เข้าสู่เส้นใยได้อย่างช้าๆ ทำให้ย้อมยากและต้องใช้สารกันการย้อมต่างเสมอในขั้นตอนการย้อม แต่การที่สีในกลุ่มนี้มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะมีข้อดี คือ ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการซักล้างให้มากขึ้น ดังนั้นสีในกลุ่มนี้จึงมีความคงทนต่อการซักล้างดีมากและบางชนิดยังมีความคงทนต่อแสงอีกด้วย

สีเมทัลคอมเพล็กซ์ (metal complex dyes)

สีย้อมที่มีประจุลบ และมีโลหะเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุล คำนี้มักใช้ร่วมกับชนิดสี เช่น สีดิสเพิร์ส เมทัลคอมเพล็กซ์ และสีรีแอคทีฟ เมทัลคอมเพล็กซ์ แต่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ สีแอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์

สีแอซิดเมทัลคอมเพล็กซ์ ซึ่งจะหมายถึง สีแอซิดที่ทำปฏิกิริยาคู่ควบกับเกลือของโลหะ เช่น นิกเกิล ทองแดง โครเมียม และโคบอลต์ ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน

สารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามสัดส่วนของจำนวนอะตอมโลหะต่อโมเลกุล คือ

- สีแอซิดเมทัลคอมเพล็กซ์ 1:1
- สีแอซิดเมทัลคอมเพล็กซ์ 1:2

สีแอซิดเมทัลคอมเพล็กซ์นี้นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน และเส้นใยไนลอน โดยให้ความคงทนของสีต่อการซักและต่อแสงดีกว่าสีแอซิดที่ไม่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ

2.6 สารช่วยย้อม (auxiliaries) [6]

สารช่วยย้อมที่ใช้ในกระบวนการย้อมผ้า เป็นสารที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้เส้นใยสามารถดูดติดสีได้มากขึ้นและสม่ำเสมอขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มความคงทนในการยึดเกาะของสีกับเส้นใยอีกด้วย สารช่วยย้อมมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญสามารถแบ่งได้ 7 ชนิด คือ

- กรด ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอน ด้วยสีแอซิด
- ต่าง ใช้สำหรับย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีเบสิก แวต ซัลเฟอร์ แอซิด ดิสเพิร์ส
- เกลือ ใช้ในการย้อมสีเบสิก และการย้อมเซลลูโลสทุกชนิด
- สารกันการย้อมต่างหรือสารช่วยย้อมให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับการย้อมด้วยสีแวต แอซิด ดิสเพิร์ส
- สารตัวพา (carrier) จะใช้เมื่อย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดด้วยสีดิสเพิร์ส
- สารละลายอินทรีย์ จะใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด

- สารรีติวซ์ ใช้สำหรับรีติวซ์สีบางชนิด เพื่อช่วยในการดูดซึมสีเข้าไปในเส้นใย

2.7 แหล่งที่มาของน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อมพิมพ์และตกแต่งสำเร็จ [7]

แหล่งที่มาของน้ำเสีย น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมพิมพ์มีที่มาจากแหล่งต่างๆดังต่อไปนี้

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ น้ำส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต
2. น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมพิมพ์และตกแต่งสำเร็จ มีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำในกระบวนการ ถ้าไอน้ำที่ปล่อยให้เย็นตัวลง และกลั่นตัวในท่อไอน้ำ น้ำที่ได้จะสะอาดและนำกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรง จะไปเพิ่มปริมาตรของน้ำย้อมที่ถูกรวมเป็นน้ำเสีย
3. น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการย้อมบางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยการอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นส่วนนี้ค่อนข้างสะอาด สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้
4. น้ำที่ใช้ล้างเครื่องและทำความสะอาดโรงงาน

2.8 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย [8]

สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม จำแนกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1. สีย้อม การย้อมเส้นใยมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือคงอยู่ในสารละลายที่ย้อมและถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีที่ใช้
2. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมและการตกแต่งสำเร็จแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้
 - สารช่วยย้อม (auxiliaries chemicals) ได้แก่ สารช่วยเปียก (wetting agent) และสารช่วยการกระจายตัวของสี (leveling agent)
 - สารเคมีพื้นฐาน (basic chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ด่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง เป็นต้น
 - สารเคมีที่ตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารชะท่อน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ สารกันยับ เป็นต้น
3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ สิ่งสกปรกเจือปนประกอบด้วย สารขี้ผึ้ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตมีการเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น การหล่อลื่น และ

แบ่งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืน เป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้ถูกกำจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อม และหลุดติดมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

2.9 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม [9]

น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมมีลักษณะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. มีปริมาณสารอินทรีย์สูง คือ มีค่าบีโอดีประมาณ 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดี ประมาณ 500-1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย้อมได้แก่ แป้ง สีย้อมกรดแอสติค เส้นใย สบู่ ไขมัน ตัวทำละลายต่างๆ เป็นต้น
2. มีค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างสูง คือ ค่าพีเอชประมาณ 9-12 และค่าความเป็นด่างประมาณ 300-900 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งเกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต เป็นต้น
3. มีความเข้มข้นของสีสูง และอุณหภูมิสูงประมาณ 50 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า
4. มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (dissolved solids) สูงเกิน 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกิดจากเกลือโซเดียม และกรดต่างๆ
5. มีโลหะหนักเจือปน โดยโลหะหนักเหล่านี้มาจากสีย้อมผ้า เช่น ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี เป็นต้น
6. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solids) สูงเกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งมีผลทำให้ค่าบีโอดีและซีโอดีสูงขึ้นด้วย

2.10 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

สารอินทรีย์ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ลดลง ซึ่งมีผลทำให้

- สิ่งมีชีวิตในน้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน
- ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถทำความสะอาดด้วยตัวเอง (self purification) ได้
- ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน
- ทำให้ไม่สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นทำประโยชน์ได้

สารอินทรีย์บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ในบางกรณีที่ได้รับสารโดยตรงจากการบริโภค นอกจากนี้สารพิษเหล่านี้ยังอาจสะสมอยู่ในระบบนิเวศในกรณีที่สารนั้นเป็นสารที่สลายตัวได้ยาก

- ค่าความเป็นด่าง ทำให้น้ำเสียที่มีค่าพีเอชสูง เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง แล้ว เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะโดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลาง คือในช่วงพีเอช 6-9
- อุณหภูมิของน้ำเสียที่สูง มีผลทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง
- ของแข็งที่ละลายน้ำ (dissolved solids) อาจทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคที่ร้ายแรงได้ และทำให้ไม่สามารถใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ได้
- สี (color) ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีของแหล่งน้ำ และทำให้ปริมาณแสงที่ส่งผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลง ส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง
- โลหะหนัก (heavy metals) ทำให้เกิดโรคภัยที่ร้ายแรงในสัตว์น้ำ และยังสามารถสะสมอยู่ในระบบนิเวศ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์ด้วย
- ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solids) ทำให้สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อตกตะกอนลงทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำและทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำ

2.11 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการลดปริมาณลดมลพิษที่ละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำเสีย โดยการแยกหรือการทำให้สลายตัว ในการเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะสมบัติและองค์ประกอบของน้ำเสียที่ถูกทิ้งออกจากโรงงานอุตสาหกรรม วิธีการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยทั่วไปจะมีระบบบำบัด 2 ขั้นตอน ได้แก่

2.11.1 การบำบัดขั้นต้น (primary treatment)

การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น เป็นการแยกเอาตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย เช่น เศษผ้า และเศษเส้นด้าย นอกจากนั้นยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทุติยภูมิต่อไป ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพสูงและกำจัดกากตะกอนออกโดยง่ายจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญในการจัดการน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้แก่

- การกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยตะแกรง

ตะกอนแขวนลอยขนาดใหญ่ เช่น เศษผ้า เศษเส้นด้าย และเส้นใยต่างๆ อาจทำความเสียหายให้กับเครื่องสูบน้ำ ซึ่งการกำจัดของแข็งแขวนลอยเหล่านี้ส่วนใหญ่จะใช้ตะแกรง (screen) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ ตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียด

ตะแกรงหยาบ (coarse screen) จะประกอบด้วยแท่งซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโลหะ ตะแกรงมีขนาดช่องว่างระหว่างแท่งตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร ขึ้นไป ทำหน้าที่ดักเศษขยะขนาดใหญ่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในระบบบำบัด เช่น เครื่องสูบน้ำ ท่อวาล์ว

ตะแกรงละเอียด (fine screen) จะมีช่องเปิดเล็กมากอยู่ในช่วง 2-6 มิลลิเมตร ใช้สำหรับดักเศษเส้นด้ายหรือเส้นใยที่มีขนาดเล็กที่ปนมากับน้ำเสียเพื่อมิให้ตกตะกอนในบ่อบำบัด ในโรงงานฟอกย้อมที่มีเศษเส้นด้ายหรือเศษเส้นใยที่มีปริมาณมาก

- การปรับสภาพสมดุลย์

โรงงานฟอกย้อมจะมีขั้นตอนผลิตต่างๆ ซึ่งน้ำเสียที่ออกมาจากแต่ละกระบวนการจะมีลักษณะสมบัติและการใช้น้ำที่แตกต่างกัน โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียจะทำงานได้ดีในสภาวะที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียและความเข้มข้นของน้ำเสีย (ซีไอดี, บีไอดี ฯลฯ) ที่สม่ำเสมอ เพราะฉะนั้นการปรับสภาพสมดุลย์เป็นระบบที่จำเป็น เพื่อให้ให้อัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบมีอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ถึงปรับสภาพสมดุลย์ที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อมยังทำหน้าที่ช่วยลดอุณหภูมิของน้ำเสีย

- การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช)

กระบวนการฟอกย้อมในโรงงานจะมีการใช้สารเคมีที่เป็นกรดหรือด่าง เพื่อปรับให้ภาวะการทำงาน of กระบวนการต่างๆ เช่น การทำความสะอาดผ้า การฟอกขาว การย้อมให้มีความเหมาะสม และเมื่อปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียแล้ว ค่าความเป็นกรดหรือด่างจะมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียในระบบชีวภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับค่าความเป็นกรดหรือด่างของน้ำเสียให้มีภาวะเป็นกลางซึ่งมีความเหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพ

2.11.2 การบำบัดขั้นทุติยภูมิ (secondary treatment)

การบำบัดขั้นทุติยภูมิเป็นระบบบำบัดที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย ระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิมีอยู่หลายระบบเช่น ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ ระบบตะกอนเร่ง ระบบโปรยกรอง ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ เป็นต้น สำหรับระบบบำบัดที่เหมาะสม

และนิยมใช้มากได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ และระบบตะกอนเร่ง ซึ่งมีรายละเอียดและหลักการทำงาน ดังนี้

- **ระบบบ่อปรับเสถียร (stabilization pond)**

เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติ โดยใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน จุลินทรีย์ในบ่อจะมีทั้งจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ระบบบ่อปรับเสถียรแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ บ่อมีออกซิเจน (aerobic pond), บ่อกึ่งไร้ออกซิเจน (facultative pond) และบ่อไร้ออกซิเจน (anaerobic pond)

- **ระบบสระเติมอากาศ (aerated lagoon)**

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่จุลินทรีย์ในสระเติมอากาศใช้ออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศแบบจักรกล ระบบสระเติมอากาศประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ สระเติมอากาศ และบ่อตกตะกอน (polishing pond) หลักการทำงานคือน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่สระเติมอากาศจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ในสระเติมอากาศ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในสระเติมอากาศประมาณ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทั่วไปจะออกแบบให้สระเติมอากาศมีระยะเวลาที่เก็บประมาณ 3-6 วัน หลังจากนั้นจึงไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอนเพื่อให้เกิดการแยกตัวตกตะกอนของน้ำเสียที่ผ่านการเติมอากาศ ตะกอนจะจมลงก้นบ่อ น้ำส่วนที่ใสก็จะไหลออกจากบ่อตกตะกอน

- **ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge)**

ในระบบตะกอนเร่ง กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยอาศัยจุลินทรีย์จำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในถังเติมอากาศ และต้องควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยการย้อนกลับตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนที่ตกตะกอนในถังตกตะกอนเข้าสู่ถังเติมอากาศ ซึ่งแตกต่างจากระบบสระเติมอากาศที่ไม่มีการย้อนจุลินทรีย์กลับ ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปกำจัด เช่น ผ่านการย่อยสลายหรือนำไปตากแห้ง น้ำใสส่วนบนที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอนจะได้มาตรฐานสามารถระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ ระบบตะกอนเร่งมีหลายกระบวนการ เช่น conventional process, tapered aeration process เป็นต้น

2.12 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสยีสีย้อม

สีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้าสามารถถูกกำจัดไปบางส่วนจากการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิไม่ว่าจะเป็นการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี หรือชีวภาพ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นอยู่กับ

สารเคมีที่นำมาใช้ในการผลิตสี บางครั้งพบว่าวิธีการเดียวไม่สามารถกำจัดสีได้อย่างเหมาะสม จำเป็นต้องมีวิธีอื่นร่วมด้วย เนื่องจากโรงงานฟอกย้อมมีการใช้สีย้อมหลายประเภทด้วยกัน วิธีการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียมีหลายวิธีดังต่อไปนี้

- โคแอกกูเลชันหรือการจับก้อนด้วยสารเคมี

การใช้สารเคมีทำให้เกิดโคแอกกูเลชันหรือการจับก้อน ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนการเติมสารเคมีพวกสารก่อการจับก้อน (coagulant) ซึ่งได้แก่ สารส้ม ปูนขาว เกลือของเหล็ก สารพอลิอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น ผสมกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยเล็กๆ ขั้นตอนที่สองคือการกรวนอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดสภาพการจับกลุ่ม (flocculation) จะเกิดการเกาะกันระหว่างตะกอนแขวนลอยเล็กๆ กับสารก่อการจับก้อน จนได้ก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้

- การดูดซับ

การดูดซับเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับและติดบนผิว โมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) และเรียกกลไกตั้งแต่มีโมเลกุลหรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปเกาะติดกับพื้นผิวของอีกสารหนึ่งว่า การดูดซับ (adsorption) การเกาะจับโมเลกุลของผิวบนสารอาจเกิดขึ้นด้วยแรงทางกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) หรือ ด้วยแรงทางเคมี หรือด้วยแรงทั้งสองอย่างรวมกัน

- คลอรีเนชัน

คลอรีเนชันเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดส์ให้ทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำ ทั้ง ทำให้สีหายไปหรือลดปริมาณสีลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้อาจอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรท์ และคลอรีนไดออกไซด์

- โอโซนเนชัน

โอโซนเนชันเป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน (O_3) เป็นตัวออกซิไดส์ให้ทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทั้งเช่นเดียวกับการใช้คลอรีน แต่โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดส์สูงกว่าคลอรีนเกือบ 1 เท่าตัว การผลิตโอโซนกระทำได้โดยผ่านอากาศแห้งหรือออกซิเจนบริสุทธิ์ไประหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีความต่างศักย์ประมาณ 15,000-20,000 โวลต์ อะตอมของออกซิเจนถูกบังคับ

ให้จับตัวกันใหม่กลายเป็นโอโซน (O_3) อากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตโอโซนได้ไม่เกิน 30 กรัม หรือเท่ากับร้อยละ 1.4 โดยปริมาตร ถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศแห้งอาจได้โอโซนเพิ่มเป็น 60-90 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร โอโซนสามารถทำให้เป็นของเหลวได้ แต่นิยมใช้ในรูปแก๊สมากกว่า โอโซนเป็นแก๊สพิษที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรง

- เทคโนโลยีการใช้แผ่นเมมเบรน

เทคโนโลยีการใช้แผ่นเมมเบรนประกอบด้วยวิธีอัลตราฟิลเตรชัน และรีเวอร์สออสโมซิส วิธีอัลตราฟิลเตรชันจะใช้แผ่นเยื่อกระดาษเมมเบรน แบบมีรูพรุนที่ผลิตจาก เซลลูโลสแอซิเตต หรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1034 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร เมมเบรนทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนเล็กที่มีขนาดตั้งแต่ 2×10^{-4} - 1×10^{-2} มิลลิเมตรได้ สำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับสามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} - 6×10^{-5} มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีอัลตราฟิลเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้โดยกรองผ่านเมมเบรนเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) เมมเบรนที่นิยมใช้กันมากได้แก่ เซลลูโลสแอซิเตต และไนลอน วิธีที่นำมาใช้ปัจจุบันได้แก่ วิธีอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่

- ไฟฟ้าเคมี

วิธีไฟฟ้าเคมีหรืออิเล็กโทรเคมีคัลเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่ง แต่ใช้กันน้อยมากในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม เดิมทีการบำบัดด้วยวิธีนี้ถูกใช้เพื่อการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ต่อมาได้มีการปรับปรุงเพื่อนำมากำจัด บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และสีในน้ำทิ้ง

2.13 การจับก้อน [10]

สารอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ โดยทั่วไปจะมีขนาด 10^{-6} - 10^{-3} มิลลิเมตร อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ นั้นมาจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เมื่ออยู่ในน้ำจะแสดงประจุบวกหรือลบแล้วแต่ชนิดของสาร แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดที่ชอบน้ำ (hydrophilic) จะมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มรอบๆ อนุภาคเหล่านั้นแยกออกจากน้ำได้ยาก ต้องใช้แรงมากในการทำให้อนุภาคต่างๆ นั้นมาเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อน เพราะโมเลกุลของน้ำทำหน้าที่เสมือนสิ่งกีดขวางไม่ให้อนุภาคต่างๆ เข้าใกล้และจับตัวกัน ตัวอย่างสารชนิดนี้ เช่น สารอินทรีย์บางชนิด

2. ชนิดที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เป็นอนุภาคที่สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายเพราะไม่มีโมเลกุลของน้ำเป็นสิ่งกีดขวาง ตัวอย่างของสารชนิดนี้ เช่น อนุภาคดินเหนียว

อนุภาคคอลลอยด์ที่มีอยู่ในน้ำ มีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิด คือ แรงดูด (van der Waals force) และแรงผลัก (electrical repulsive force) แรงดูดเป็นแรงธรรมชาติของอนุภาคระดับโมเลกุลซึ่งกันและกัน ส่วนแรงผลักเป็นแรงที่เกิดขึ้นจากประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน

กระบวนการจับก้อน (coagulation) เป็นกระบวนการที่เกิดจากการเติมสารเคมีลงในน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์และสารแขวนลอย รวมตัวกันเข้ายึดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ เนื่องจากการผสมอย่างรวดเร็ว ทำให้สารเคมีที่เติมลงไปจับยึดกับอนุภาคต่างๆ ได้มาก และขั้นต่อไป เป็นกระบวนการจับกลุ่ม เป็นการผสมระหว่างสารเคมี คือ สารก่อการจับก้อน หรือ พอลิเมอร์กับอนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้เวลาผสมค่อนข้างนานเพื่อเปลี่ยนอนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็กไปเป็นอนุภาคคอลลอยด์ขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ เกิดได้ทั้งอนุภาคที่เป็นสารที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า การจับก้อนด้วยสาร เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ เพื่อให้อนุภาคต่างๆ รวมกัน และจับกันเป็นก้อนจะต้องมี 2 ขั้นตอน คือ

1. การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์ เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาค สามารถแบ่งกลไกการทำลายเสถียรภาพออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

- กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) โดยการเพิ่มประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ทำให้ความหนาของชั้นกระจายลดลงอนุภาคจะสามารถเข้าใกล้ได้มากขึ้น จนแรงดึงดูดสามารถทำให้อนุภาคเกาะกันได้

- กลไกการดูดซับและการทำลายประจุของคอลลอยด์ (adsorption and charge neutralization) โดยใช้สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับคอลลอยด์และดูดซับได้ดี จะมีผลในทางลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพ

- กลไกสร้างผลึกสารขึ้นมา เพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาจับเป็นก้อน (sweep coagulation) เป็นการเติมสารเคมีให้เกิดก้อนตะกอนที่มีลักษณะเหนียวเหนอะ ซึ่งสามารถห่อหุ้มอนุภาคทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียวเหนอะและไม่สามารถแสดงประจุไฟฟ้า เมื่ออนุภาคสัมผัสกันจึงสามารถจับกันเป็นก้อนใหญ่

- กลไกการสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มีโครงสร้างโมเลกุลยาวต่อกันเป็นเส้น เมื่อเติมลงในน้ำจะให้ไฮดรอกซิลจำนวนมาก เพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมต่อกับอนุภาคคอลลอยด์อื่นๆ เพื่อทำให้เกิดการจับกลุ่ม

2. ต้องทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ ที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนจึงถือว่าเกิด การจับกลุ่ม

2.14 ปัจจัยที่ผลต่อการจับก้อน [11,12]

ในกระบวนการจับก้อนจะดำเนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ

เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่มีประจุบวกหรือลบ ดังนั้น ถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะได้เลือกใช้สารก่อนการจับก้อนได้อย่างเหมาะสม

2. ชนิดของสารก่อนการจับก้อน

สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของการจับกลุ่ม ความเร็วในการจับก้อน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้น จะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดคอลลอยด์และสารก่อนการจับก้อน

3. พีเอชที่เหมาะสมในการจับก้อน

สารก่อนการจับก้อนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอชหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ ผลการจับก้อนจะเกิดขึ้นไม่ดี จึงต้องมีการปรับพีเอชให้เหมาะสม

4. ปริมาณของสารก่อนการจับก้อน

ปริมาณสารก่อนการจับก้อนจะต้องเหมาะสมต่อการจับก้อนในแต่ละครั้งถ้ามากเกินไปจะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่

5. เวลาและความแรงของการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว

การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการจับก้อน จำเป็นต้องกวนน้ำเพื่อให้เกิดการปั่นป่วนอย่างรวดเร็วด้วยเวลาอันสั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้ทั่วถึงและยังเป็นการประหยัดเวลาอีกด้วย เพราะปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการจับกลุ่ม ดังนั้นถ้าใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะเป็นการช่วยประหยัดเวลาขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้องการให้เกิดการจับก้อน จำเป็นต้องใช้การกวนอย่างช้าๆเพื่อไม่ให้ตะกอนแตก แต่จะใช้เวลานานขึ้นเพื่อเปิดโอกาสให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสซึ่งกันและกันได้มากที่สุด

2.15 ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก

ผลพลอยได้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เกิดขึ้นประมาณวันละ 60-70 ตัน จากกระบวนการผลิตกรดแล็กติกประมาณ 250 ตันต่อวัน ของบริษัท พูแอนด์ (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับนำไปใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อาหาร เครื่องสำอาง และพลาสติกชีวภาพ เป็นต้น ลักษณะของผลพลอยได้เป็นผงหยาบๆ สีน้ำตาล ซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนการหมักและถูกแยกออก

จากสารละลายกรดแล็กติกโดยการเหวี่ยงแยก จากการวิเคราะห์ลักษณะและองค์ประกอบของผลพลอยได้พบว่ามีส่วนประกอบหลายชนิดในปริมาณต่ำ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ด้วยวิธีทดสอบ Inhouse based on AOAC and OMAF โดยสำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

องค์ประกอบหลัก	ร้อยละ
ปริมาณความชื้น	58.26
แคลเซียม	14.79
สารอินทรีย์	4.83
คาร์บอนอินทรีย์	2.80
ฟอสเฟต	1.41
แมกนีเซียม	1.08
ไนโตรเจน	0.61
คลอไรด์	0.1599
เหล็ก	0.0711
สังกะสี	0.0181
โปแตส	0.01
โครเมียม	0.00261
โบรอน	0.0023
สารหนู	0.000483
ทองแดง	0.000298
แคดเมียม	0.000285
ตะกั่ว	0.000095
ปรอท	0.000029

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนากานต์ ธรรมกิจไพโรจน์ [13] ศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกในการตกตะกอนแยกสีย้อมรีแอกทีฟออกจากน้ำสี โดยการวัดความเข้มข้นน้ำสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ทั้งก่อนและหลังสีย้อมถูกตกตะกอนด้วยผลพลอยได้ โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ในการทดลองนี้ใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม ทำการตกตะกอนในภาวะต่างๆ โดยแปรผันอุณหภูมิ พีเอช ความเร็วรอบที่เขย่า และเวลาในการตกตะกอน ผลการวิจัยนี้พบว่าผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกสามารถตกตะกอนแยกสีย้อมรีแอกทีฟออกจากน้ำสีได้มากคือความเข้มข้นน้ำสีลดลง 5 เท่าจากความเข้มข้นเดิมโดยใช้เวลาในการตกตะกอน 30 นาที

นุชศรา นฤมลต์ [14] ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกมาใช้เป็นสารช่วยพิมพ์แทนการใช้ยูเรียในการพิมพ์ผ้าด้วยสีรีแอกทีฟ หลังการพิมพ์ผ้า และทดสอบหาความเข้มสีและความเพี้ยนของสีผ้า พบว่าสามารถใช้ผลพลอยได้แทนยูเรียในการพิมพ์ผ้าได้ สามารถพิมพ์ผ้าฝ้ายได้สีเข้มเทียบเท่ากับที่พิมพ์โดยยูเรียและในบางกรณีได้สีเข้มกว่าและไม่เกิดสีเพี้ยน ทั้งนี้ น่าจะเนื่องมาจากผลพลอยได้มีโลหะประจุบวกหลายชนิดที่ช่วยผนึกสีรีแอกทีฟที่มีประจุลบให้ติดบนผ้าได้มากขึ้นในขณะเดียวกันประจุบวกของโลหะในผลพลอยได้ยังช่วยดึงโมเลกุลของสีที่มีประจุลบเข้าใกล้ผ้าได้มากขึ้นหลังการพิมพ์ ผ้าถูกทดสอบหาปริมาณโลหะหนักอันตรายและพบว่าไม่มีโลหะอันตรายบนผ้าหลังพิมพ์

เบญจวรรณ สุทธิไชย [15] ศึกษาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมประเภทละลายน้ำด้วยเกลือโคโคซานจากเปลือกกุ้ง ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ น้ำเสียหลังย้อมสีแอซิด สีไดเร็กต์ และสีรีแอกทีฟ และน้ำเสียรวมของโรงงานฟอกย้อม 3 แห่ง จากงานวิจัยพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยเกลือโคโคซานขนาด 710-850 ไมโครเมตร คือการปรับพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 6 ใช้เกลือโคโคซานในปริมาณ 0.4 กรัมต่อน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร กวนด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 4 ชั่วโมง สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสีแอซิดและสีไดเร็กต์โดยประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย มีค่าร้อยละ 90.24 ± 0.36 และ 98.87 ± 0.23 ตามลำดับ แต่ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟได้ การบ่มตะกอนในอาหารร่วนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในอาหารร่วนที่มีสีย้อมและโคโคซานมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในอาหารร่วนปกติ นั่นคือสีย้อมและโคโคซานมีส่วนยับยั้งการเพิ่มปริมาณของแบคทีเรีย

นภา ศิวรังสรรค์ [16] ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้พอลิเมอร์ชนิดประจุบวก 2 ชนิด ชื่อการค้าว่า Lamfloc 1525 และ Zentrifloc 95 ในการกำจัดสีจากสารละลายสีย้อมซึ่งเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการและใช้พอลิเมอร์ชนิดประจุบวก

ที่เหมาะสมร่วมกับพอลิเมอร์ชนิดประจุลบคือ Lamfloc 7985 และใช้สารส้มเป็นตัวเปรียบเทียบในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ สีย้อมที่ใช้ 2 ประเภท คือ สีย้อมแวนด์และสีย้อมรีแอคทีฟ จากการศึกษาพบว่า การตกตะกอนสีที่พีเอชเท่ากับ 5 และใช้ปริมาณ Lamfloc 1525 ร้อยละ 10 โดยปริมาตรของน้ำทิ้ง ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด คือ ร้อยละ 98.88 ซึ่งดีกว่าการตกตะกอนสีที่พีเอชเท่ากับ 9.0 ด้วย Zentrifloc 95 ร้อยละ 10-35 โดยปริมาตรของน้ำทิ้ง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดเพียงร้อยละ 64.86 การกำจัดสีจากน้ำทิ้งพบว่าการใช้ Lamfloc 7985 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีเพียงเล็กน้อย และ Lamfloc 1525 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ดีกว่าสารส้มซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่ร้อยละ 82.70

Chu [17] ศึกษาการแยกสีย้อมที่ไม่ชอบน้ำ และที่ชอบน้ำ (hydrophobic and hydrophilic dyes) โดยวิธีการตกตะกอนด้วยตะกอนของสารส้มที่ผ่านการรีไซเคิล จากผลการทดลองพบว่าการตกตะกอนสีด้วยตะกอนของสารส้มรีไซเคิลเป็นวิธีที่ดีในการกำจัดสีย้อมไม่ชอบน้ำออกจากน้ำเสีย คือ กำจัดได้ถึงประมาณร้อยละ 88 โดยใช้ความเข้มข้นของสารส้มรีไซเคิล 75 มิลลิกรัมต่อลิตร และตกตะกอนที่พีเอชเท่ากับ 9.13 และสามารถลดปริมาณการเติมสารส้มใหม่สำหรับการตกตะกอนโดยให้ผลการแยกสีย้อมเท่าเดิม

Shi และคณะ [18] ศึกษาการตกตะกอนแยกสีไดเรกต์ 3 สีออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้สารตกตะกอน 3 ชนิดคือ Al_3 บริสุทธิ์ เกลืออะลูมิเนียมและพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ โดยทดลองตกตะกอนในงาน ซึ่งพบว่าสารตกตะกอนที่ใช้ทั้ง 3 ชนิด สามารถใช้ตกตะกอนสีไดเรกต์ได้ทั้ง 3 สี การตกตะกอนสีไดเรกต์ด้วยสาร Al_3 บริสุทธิ์มีประสิทธิภาพการแยกสีออกจากน้ำเสียสีย้อมสูงที่สุด และพบว่าพีเอชมีผลกระทบเป็นอย่างมากต่อประสิทธิภาพการตกตะกอน

Kuo [19] ศึกษาการกำจัดสีย้อม โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต ซึ่งเรียกว่า เฟนตอน รีเอเจนท์ (Fenton's reagent) โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ 5 ชนิดด้วยกัน คือ สีย้อมดิสเพิร์ส, สีย้อมรีแอคทีฟ, สีย้อมไดเรกต์, สีย้อมแอซิด และสีย้อมเบสิก ซึ่งนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งผลการทดลองพบว่า พีเอชมีผลต่อการกำจัดสี โดยพีเอชที่เหมาะสมคือ พีเอช ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 3.5 ส่วนปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อม คือ ใช้ปริมาณ 584 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟ, 292 และ 83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับสำหรับสีย้อมไดเรกต์, 875 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับสำหรับสีย้อมแอซิด, 292 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับสำหรับสีย้อมเบสิก, 292 และ 333 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับสำหรับสีย้อมดิสเพิร์ส นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้นและควรคงอุณหภูมิไว้ประมาณ 50 องศาเซลเซียส วิธีนี้สามารถกำจัดสีได้ประมาณร้อยละ 97 และกำจัดซีไอดี ได้ประมาณร้อยละ 88

Koprivanac [20] ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีด้วยกระบวนการตกตะกอนโดยใช้ตัวตกตะกอนอนินทรีย์คือ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Levafloc R (Bayer) และ Colfloc 3915 (Ciba Geigy) สำหรับตัวอย่างน้ำเสียซึ่งเป็นสีรีแอกทีฟ ซึ่งมีทั้งหมด 6 ตัวอย่างคือ Yellow 143, Red 183, Red 120, Brown 37, Blue 182 และ Blue 204 โดยทำการศึกษาอิทธิพลของพีเอช ชนิดของตัวตกตะกอนและอุณหภูมิ ผลการศึกษาพบว่า ช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนสีโดยใช้พอลิเมอร์คือช่วง 6.0-7.0 และสำหรับการตกตะกอนสีโดยใช้ตัวตกตะกอนอนินทรีย์อยู่ในช่วง 2.4-4.0 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดพบว่าพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนสีได้เกือบร้อยละ 98 และมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวตกตะกอนอนินทรีย์ แต่ตัวตกตะกอนอนินทรีย์สามารถลดซีไอได้ดีมากกว่าพอลิเมอร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่กล่าวมานี้ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย โดยใช้สารเคมีต่างๆ ส่วนในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก เพื่อแยกสีย้อมแอนไอออนคือสีรีแอกทีฟ สีไดเรกต์และสีแอซิดออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้หลักการตกตะกอนสีย้อมที่มีประจุลบ ด้วยสารต่างๆที่มีประจุบวกในผลพลอยได้ ศึกษาประสิทธิภาพและภาวะการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย ศึกษาการใช้ตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อแยกสีออกจากน้ำเสียและศึกษาการใช้จุลินทรีย์ในอากาศเพื่อย่อยสลายตะกอนที่เกิดขึ้น

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกถูกนำมาใช้เป็นสารในการตกตะกอน แยกสีย้อมแอนไอออน (สีรีแอคทีฟ สีไดเรกต์ และสีแอซิด) ออกจากน้ำเสียสีย้อม ซึ่งการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสีย้อม ขั้นตอนการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย ขั้นตอนการใช้ขี้ตะกอนที่เกิดขึ้น ขั้นตอนการย่อยสลายตะกอนด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ และ ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนสีและการวิเคราะห์ลักษณะตะกอนทั้งก่อนและ หลังการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ ซึ่งวิธีการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 วัสดุและสารเคมีสำหรับขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสีย้อม

1. ผ้าฝ้ายทอพอกขาว (ลายขั้ว)
2. เส้นไหมลอกจากวพันธุ์ไทยพื้นบ้าน (พันธุ์สำโรง 1)
3. สีรีแอคทีฟ Procion Red H-E7B (C.I.Reactive Red 141): บริษัท ไทสตาร์ไทย จำกัด
4. สีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% (C.I.Direct Green 26): บริษัท ซีบา สเปนเซียลตี้ เคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
5. สีแอซิด Lanaset Blue 2R (C.I.Acid Blue 225):บริษัท ซีบา สเปนเซียลตี้ เคมีคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
6. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) : RCI LABSCAN เกรดวิเคราะห์
7. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) : RCI LABSCAN เกรดวิเคราะห์
8. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) : UNIVAR เกรดวิเคราะห์

3.1.2 สารเคมีสำหรับขั้นตอนการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย

1. ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก : บริษัท พูแอนด์ (ประเทศไทย) จำกัด
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) : UNIVAR เกรดวิเคราะห์
3. กรดแอซีติก (CH_3COOH) : RCI LABSCAN เกรดวิเคราะห์

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสีย้อม

1. เครื่องย้อมแบบแช่ รุ่น Labtec

2. กระบอกล้างมือ

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับขั้นตอนการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย

1. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น pH Testr 20
2. เครื่องเขย่าแบบอ่างน้ำ รุ่น Labtec

3.2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับขั้นตอนการให้ซ้ำตะกอนที่เกิดขึ้น

1. ตู้อบ ยี่ห้อ Memmert รุ่น 100-800 (Schwabach, Germany)
2. ชุดกรองสูญญากาศ
3. ครกบด

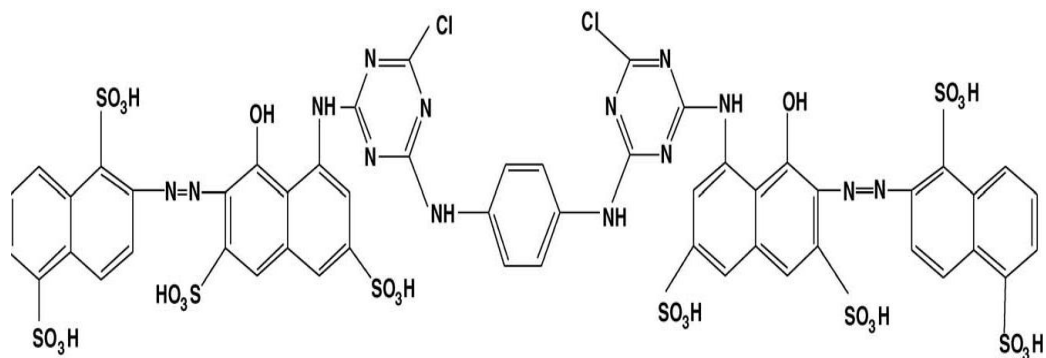
3.2.4 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำและวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย

1. เครื่องยูวี-วิสสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Specord S 100
2. เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Nicolet 6700

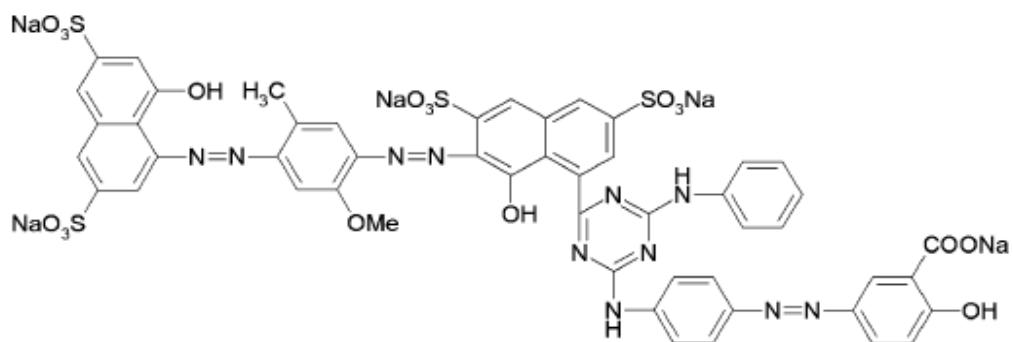
3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสีย้อม

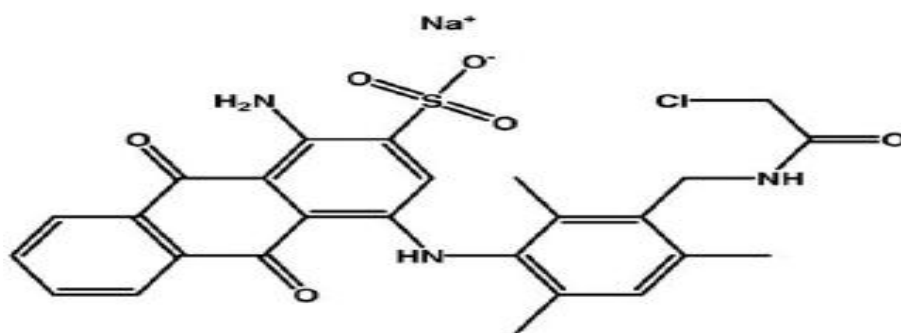
ขั้นตอนนี้เริ่มจากการเตรียมน้ำสีย้อมทั้ง 3 ชนิด โดยน้ำสีย้อมรีดอกซ์ที่ฟ Procion Red H-E7B และน้ำสีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ใช้ย้อมผ้าฝ้าย ส่วนน้ำสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R ใช้ย้อมเส้นไหม (ดูโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมในรูปที่ 3.1) โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำสีและสารเคมี รวมทั้งพีเอชสำหรับการย้อมสีที่แสดงในตารางที่ 3.1 กระทำการย้อมในเครื่องย้อมแบบแช่ Labtec (รูปที่ 3.2) และใช้อัตราส่วนผ้าฝ้ายหรือเส้นไหมต่อน้ำสีเท่ากับ 1 ต่อ 20 [21]



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.1 โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมที่ใช้ (ก) สีย้อมทึบ Procion Red H-E7B (C.I.Reactive Red 141) (ข) สีย้อมตรง Solophenyl Green BLE 155% (C.I.Direct Green 26) (ค) สีย้อมกรด Lanaset Blue 2R (C.I.Acid Blue 225)

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นของน้ำสีย้อม ความเข้มข้นของสารเคมีและพีเอชที่ใช้ในการย้อม

ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นของน้ำสีย้อม	ความเข้มข้นของสารเคมี	พีเอช
สีย้อมรีแอคทีฟ Procion	2% ของน้ำหนักผ้าฝ้าย	Na_2SO_4 10 % ของน้ำหนักผ้าฝ้าย	13
Red H-E7B		Na_2CO_3 10 % ของน้ำหนักผ้าฝ้าย	
สีย้อมไดเรกต์ Solophenyl	2% ของน้ำหนักผ้าฝ้าย	NaCl 10 % ของน้ำหนักผ้าฝ้าย	10
Green BLE 155%			
สีย้อมแอซิด Lanaset	2% ของน้ำหนักเส้นไหม	NaCl 10 % ของน้ำหนักเส้นไหม	5
Blue 2R			



รูปที่ 3.2 เครื่องย้อมแบบแช่ รุ่น Labtec

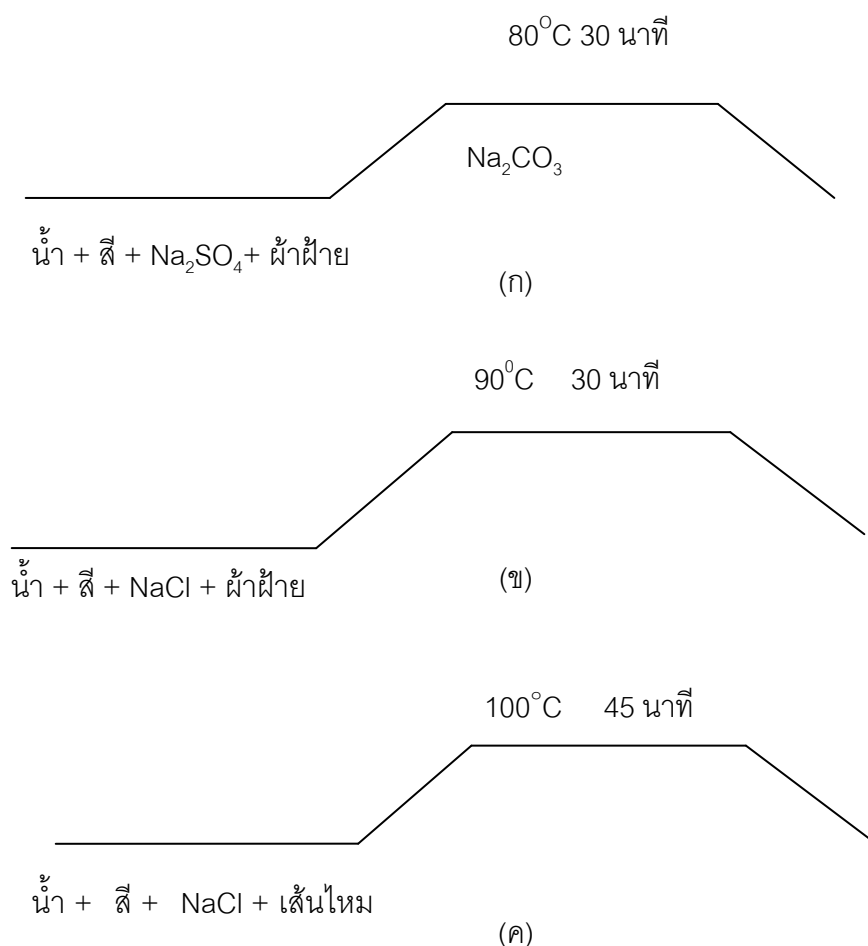
วิธีการย้อมผ้าฝ้ายด้วยน้ำสีย้อมรีแอคทีฟมีดังนี้ ซึ่งผ้าฝ้ายฟอกขาว พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณสีย้อม สารเคมี และปริมาณน้ำที่ต้องใช้ ละลายสีย้อมโดยใช้น้ำทั้งหมดที่คำนวณได้ แล้วเติมสารละลายน้ำสีย้อมลงในกระบอกล้าง จากนั้นนำผ้าลงไปแช่ในกระบอกล้าง แล้วเติม Na_2SO_4 ลงไป ปิดกระบอกล้างให้สนิท แล้วนำกระบอกล้างเข้าเครื่องย้อม ตั้งอุณหภูมิเครื่องย้อมไว้ที่ 80 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดเติม Na_2CO_3 ลงในกระบอกล้างแล้วนำเข้าเครื่องย้อมอีกครั้ง ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามกราฟการย้อมสีย้อมรีแอคทีฟในรูปที่ 3.3

วิธีการย้อมผ้าฝ้ายด้วยน้ำสีย้อมไดเรกต์ มีดังนี้ ซึ่งผ้าฝ้ายฟอกขาว พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณสีย้อม สารเคมี และปริมาณน้ำที่ต้องใช้ ละลายสีย้อมโดยใช้น้ำทั้งหมดที่คำนวณได้ แล้วเติมสารละลายน้ำสีย้อมลงในกระบอกล้าง จากนั้นนำผ้าลงไปแช่ในกระบอกล้าง แล้วเติม NaCl

ลงไป ปิดระบบยกย้อมให้สนิท แล้วนำระบบยกย้อมเข้าเครื่องย้อม ตั้งอุณหภูมิเครื่องย้อมไว้ที่ 90 องศาเซลเซียส กระทำการย้อมที่อุณหภูมินี้ เป็นเวลา 30 นาที ตามกราฟการย้อมสีได้เรีกต์ในรูปที่ 3.3

วิธีการย้อมเส้นไหมด้วยน้ำสีย้อมแอสิด มีดังนี้ ซึ่งเส้นไหมที่ลอกขาวแล้ว พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณสีย้อม สารเคมี และปริมาณน้ำที่ต้องใช้ ละลายสีย้อมโดยใช้น้ำทั้งหมดที่คำนวณได้ แล้วเติมสารละลายน้ำสีย้อมลงในระบบยกย้อม จากนั้นนำเส้นไหมลงไปแช่ในระบบยกย้อม แล้วเติม NaCl ลงไป ปิดระบบยกย้อมให้สนิท แล้วนำระบบยกย้อมเข้าเครื่องย้อม ตั้งอุณหภูมิเครื่องย้อมที่ 100 องศาเซลเซียสกระทำการย้อมที่อุณหภูมินี้ เป็นเวลา 45 นาที ตามกราฟการย้อมสีแอสิด ในรูปที่ 3.3

หลังการย้อม แยกผ้าฝ้ายและเส้นไหมออกจากน้ำสีที่เหลือจากการย้อมและนำน้ำสีไปเข้าขั้นตอนการตกตะกอนแยกสีย้อมต่อไป



รูปที่ 3.3 กราฟการย้อม (ก) สีย้อมเอกทีฟ Procion Red H-E7B (C.I.Reactive Red 141) (ข) สีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% (C.I.Direct Green 26) (ค) สีย้อมแอสิด Lanaset Blue 2R (C.I.Acid Blue 225)

ก่อนขั้นตอนการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย จะต้องเตรียมกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของน้ำสีย้อมแต่ละชนิดเพื่อใช้อ้างอิงและวิเคราะห์หาปริมาณสีย้อมแต่ละชนิดในน้ำเสีย โดยต้องเตรียมน้ำสีย้อมที่มีความเข้มข้นต่างๆ และวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 0 ถึง 1 ของน้ำสีย้อมที่มีความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร [22] สำหรับน้ำสีย้อมรีเอกทีฟ Procion Red H-E7B ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร [23] สำหรับน้ำสีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% และความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร [24] สำหรับน้ำสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R โดยวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Specord S 100 (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 เครื่องยูวี-วิสสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Specord S 100

3.3.2 ขั้นตอนการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสีย

เมื่อได้น้ำเสียสีย้อม (น้ำที่เหลือจากการย้อม) นำมาวัดหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และคำนวณหาปริมาณสีย้อมในน้ำเสียหรือความเข้มข้นของน้ำสีย้อมโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน จากนั้นทำการตกตะกอนสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยการเติมผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกในรูปผงแห้ง (รูปที่ 3.5) ปริมาณ 1-20 กรัม ลงในน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุในภาชนะแก้ว เขย่าภาชนะในเครื่องเขย่าแบบอ่างน้ำ (รูปที่ 3.6) ด้วยความเร็วรอบ 60 และ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30, 60, 120 และ 240 นาที ตกตะกอนที่พีเอช 3, 7, 10 และพีเอชไม่ปรับ (ค่าพีเอชเมื่อเติมผลพลอยได้ลงในน้ำเสียสีย้อมโดยไม่มีการปรับค่าพีเอช) และที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส), 50 และ 80 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลาตามกำหนด ตั้งทิ้งน้ำเสียให้ตะกอนนอนก้นภาชนะเป็นเวลา 90 นาทีที่อุณหภูมิห้อง ถ้าน้ำใสด้านบนยังมีสีของสีย้อมให้เห็น จะตุน้ำใสส่วนนี้ทั้งหมดไปตกตะกอนอีกครั้งด้วยผลพลอยได้ปริมาณ 1-5 กรัม ที่ภาวะที่เหมาะสมซึ่งคัดเลือกจากผลการตกตะกอนครั้งแรก (ที่ใช้เวลาสั้นที่สุด อุณหภูมิต่ำที่สุด ความเร็ว

รอบการเขย่าต่ำที่สุด และปริมาณผลพลอยได้ต่ำที่สุด) จากนั้นจะได้น้ำที่ใสไม่มีสีของสีข้อมให้เห็น (อาจกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 ถ้าต้องการ) นำน้ำใสไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและคำนวณหาปริมาณสีข้อมที่หลงเหลือในน้ำใส



รูปที่ 3.5 ผงผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก



รูปที่ 3.6 เครื่องเขย่าแบบอ่างน้ำ รุ่น Labtec

3.3.3 ขั้นตอนการใช้ซ้ำตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อตกตะกอนแยกสีข้อมออกจากน้ำเสีย

นำตะกอนที่เกิดขึ้นในขั้นตอน 3.3.2 มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน แล้วบดตะกอนแห้งให้ละเอียดด้วยครก จากนั้นนำตะกอนแห้งมาใช้ตกตะกอนสีข้อมออกจากน้ำเสียรุ่นใหม่ตามภาวะที่เหมาะสมจากผลการทดลองในขั้นตอน 3.3.2 แล้วจึงนำน้ำเสียหลังการตกตะกอนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและหาปริมาณสีข้อมที่หลงเหลืออยู่ในน้ำเสีย เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการใช้ซ้ำตะกอนที่เกิดขึ้น

3.3.4 ขั้นตอนการย่อยสลายตะกอนที่เกิดขึ้นด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ

นำตะกอนที่เกิดขึ้นในขั้นตอน 3.3.2 มาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยพรมน้ำให้ชุ่มอยู่ตลอดเวลา เมื่อครบแต่ละสัปดาห์ นำตะกอนมาชะด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เพื่อหยุดการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในอากาศ จากนั้นแช่ตะกอนในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าที่อุณหภูมิห้อง ด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 90 นาที นำน้ำใสส่วนบนมาวัดค่าการดูดกลืนแสงและหาปริมาณสีที่ย้อมที่หลงเหลืออยู่หลังการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ พร้อมกันนี้ ถ่ายภาพสีของตะกอนทั้งก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในแต่ละสัปดาห์ เพื่อเปรียบเทียบดูความเข้มของสีตะกอนในแต่ละสัปดาห์

3.3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนสี

1. น้ำใสที่ได้หลังการตกตะกอนสีตามภาวะที่เหมาะสมจะถูกวิเคราะห์ค่าความสกปรกของน้ำและคุณภาพน้ำโดยวัดค่า

- บีโอดี ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วันติดต่อกัน

- ซีโอดี ใช้วิธีย่อยสลายโดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)

- วัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

- วัดปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Didc)

- วัดค่าพีเอชของน้ำเสีย ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

นำผลมาเทียบค่ากับมาตรฐานน้ำทิ้งใน พ.ร.บ. โรงงานรื้อน้ำทิ้งปี พ.ศ. 2535

2. น้ำใสที่ได้จากการตกตะกอนสีที่ภาวะที่เหมาะสมจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโลหะชนิดต่างๆด้วยเทคนิคพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโกปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิด อินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา (Inductively Coupled Plasma:ICP) และนำผลมาเทียบค่ากับมาตรฐานน้ำทิ้งใน พ.ร.บ. โรงงานรื้อน้ำทิ้งปี พ.ศ. 2535

3.3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตะกอนสีที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ

1. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของตะกอนทั้งก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น JSM-6510

2. วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของตะกอนสีทั้งก่อนและหลังการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ โดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคป ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Nicolet 6700 ดังแสดงในรูป 3.7

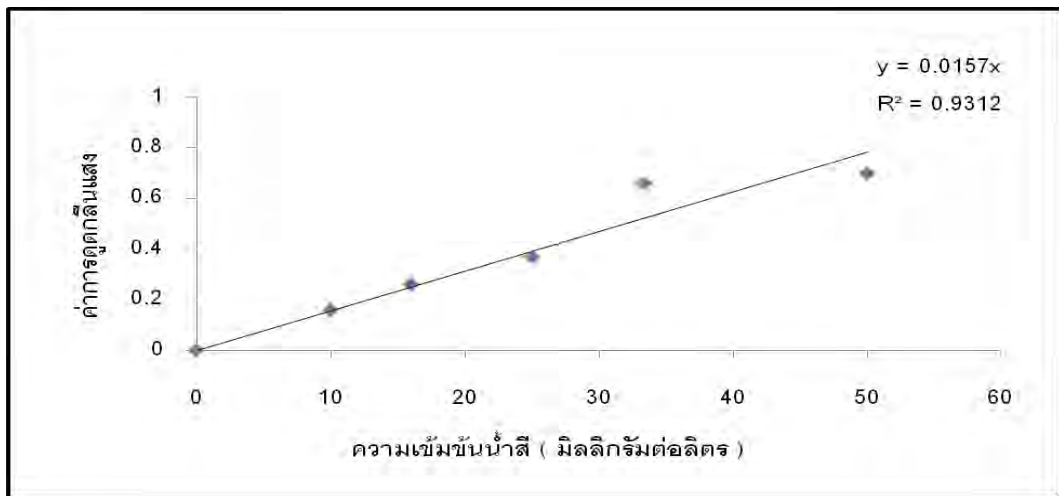


รูปที่ 3.7 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคป

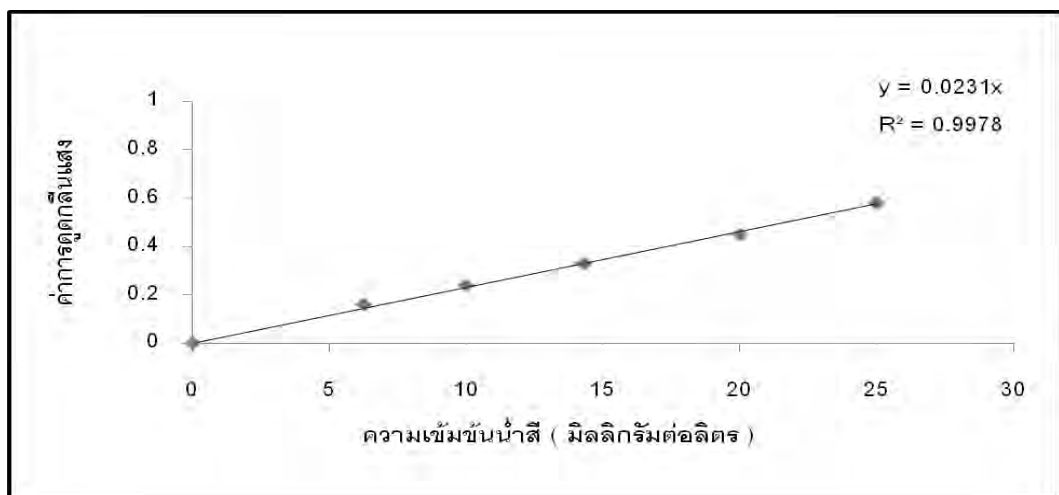
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

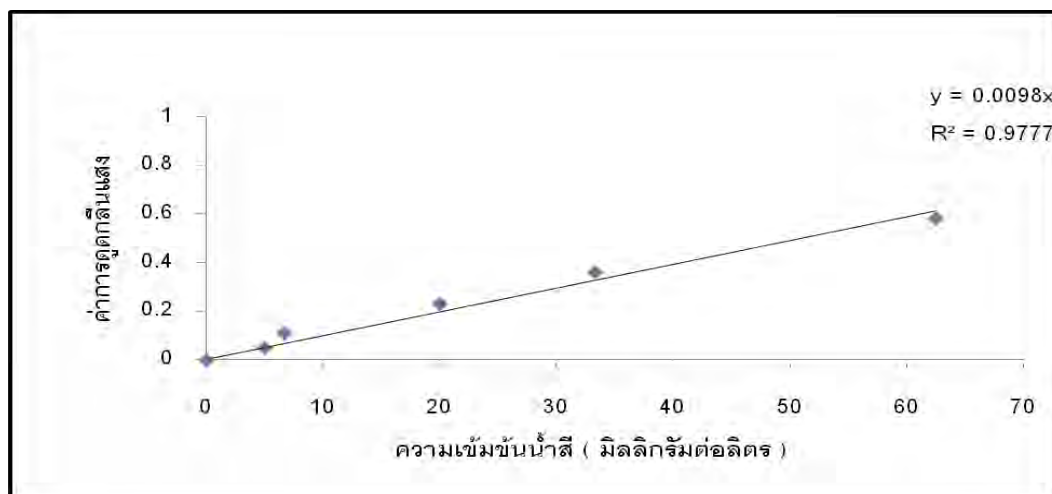
จากการเตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อมแอนไอออนทั้ง 3 ชนิดคือ สีย้อมทีฟ Procion Red H-E7B สีย้อมเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% และสีย้อมซิด Lanaset Blue 2R โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมในช่วง 0 ถึง 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำสีย้อม ได้เป็นกราฟดังแสดงในรูป 4.1



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำสี (ก) สีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B (ข) สีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% และ (ค) สีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R

ตอนท้ายของ หัวข้อ 3.3.1 ในบทที่ 3 ได้อธิบายวิธีการเตรียมกราฟมาตรฐานหรือ calibration curves ของน้ำสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ซึ่งมีผลแสดงดังนี้ กราฟเส้นตรงมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของน้ำสีย้อมแต่ละชนิดในรูปที่ 4.1 จะถูกนำมาใช้อ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการใช้ผลพลอยได้นี้ตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออน (สีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B, สีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% และ สีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R) ออกจากน้ำเสียสีย้อม (น้ำสีที่เหลือจากการย้อม) โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีย้อมทั้งก่อนและหลังการตกตะกอนสีและคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำสีย้อมหรือปริมาณสีย้อมในน้ำเสียวก่อนและหลังการตกตะกอนเปรียบเทียบกันในขั้นตอนการเตรียมน้ำสีย้อมเพื่อย้อมผ้าฝ้ายหรือเส้นไหมได้เตรียมน้ำสีย้อมความเข้มข้นสีย้อมละ 2 ของน้ำหนักผ้าฝ้ายหรือเส้นไหม ซึ่งคิดเป็นความเข้มข้นน้ำสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นน้ำสีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นน้ำสีแอซิด Lanaset Blue 2R 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการย้อมวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีที่เหลือจากการย้อมแต่ละชนิดและเทียบหาความเข้มข้นของน้ำสี ซึ่งความเข้มข้นน้ำสีหลังย้อมนี้จะเป็นความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อมที่จะต้องนำไปศึกษาการตกตะกอนแยกสีย้อมออกมาโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกต่อไป

4.2 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียสีข้อม

ในบทที่ 3 อธิบายถึงวิธีการเตรียมน้ำสีข้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B เพื่อข้อมผ้าฝ้าย เตรียมน้ำสีข้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% เพื่อข้อมผ้าฝ้าย และเตรียมน้ำสีข้อมแอซิด Lanaset Blue 2R เพื่อข้อมเส้นไหม หลังการข้อมน้ำสีที่เหลือจากการข้อมถือเป็นน้ำเสียสีข้อม ซึ่งในการทดลองนี้ได้น้ำเสียสีข้อม 3 สี 3 ชนิด คือ น้ำเสียสีแดงสำหรับน้ำเสียสีข้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B น้ำเสียสีเขียวสำหรับน้ำเสียสีข้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% และน้ำเสียสีน้ำเงินสำหรับน้ำเสียสีข้อมแอซิด Lanaset Blue 2R น้ำเสียสีข้อมทั้ง 3 ชนิด ต่างยังคงมีสีเข้มเนื่องจากมีปริมาณสีข้อมหลงเหลือในน้ำเสียอยู่มาก จึงสมควรนำน้ำเสียสีข้อมนี้ไปบำบัดเพื่อแยกสีข้อมออกในขั้นตอนต่อไป

4.3 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีข้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ออกจากน้ำเสียสีข้อม

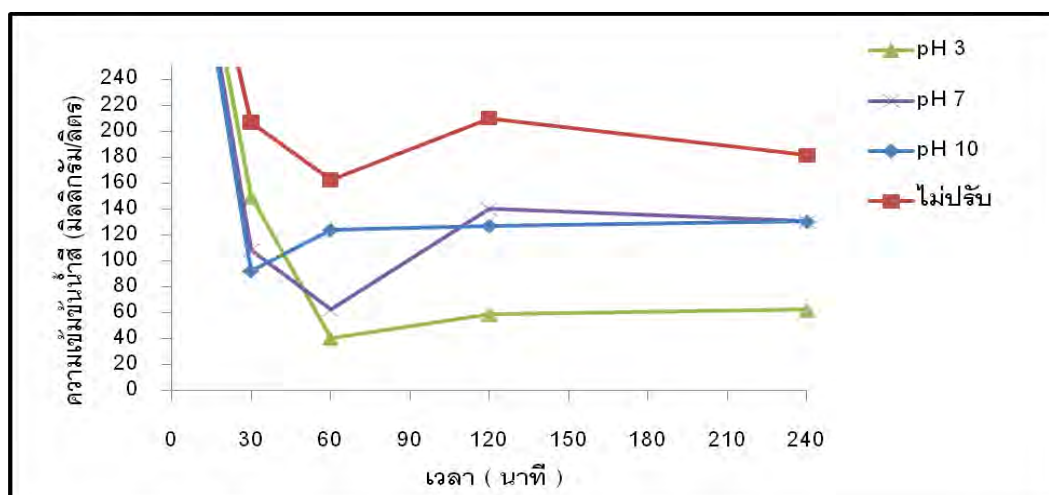
ในการทดลองนี้ ทำการตกตะกอนแยกสีข้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ออกจากน้ำเสียสีข้อมปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ภาวะต่างๆ คือที่พีเอช 3, 7, 10 และพีเอชไม่ปรับ (ค่าพีเอชเมื่อเติมผลพลอยได้ลงในน้ำเสียสีข้อมโดยไม่มีการปรับค่าพีเอช) อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส), 50 และ 80 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็วรอบ 60 และ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30, 60, 120 และ 240 นาที โดยใช้ผลพลอยได้ 1-20 กรัม และตั้งทิ้งน้ำเสียให้ตะกอนนอนก้นภาชนะ 90 นาทีที่อุณหภูมิห้อง

4.3.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ในการตกตะกอนแยกสีข้อม

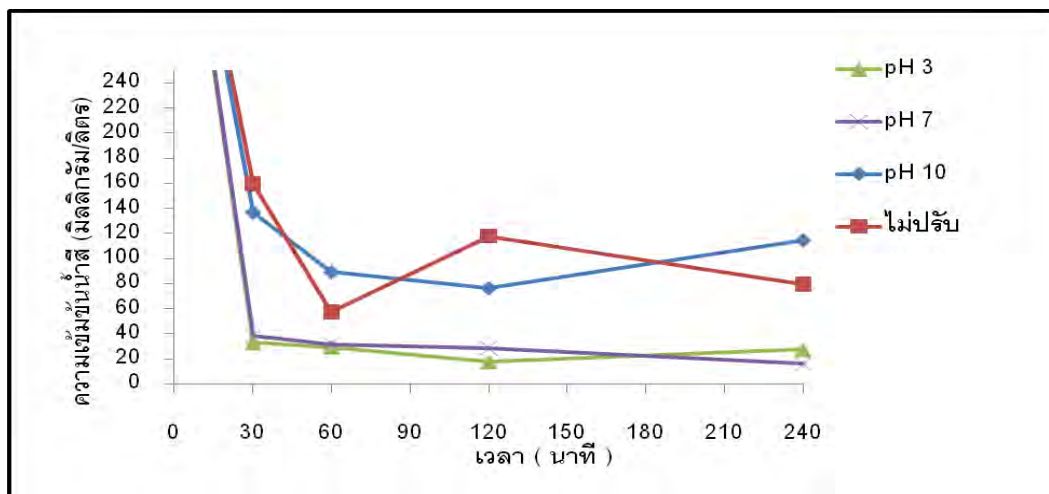
น้ำเสียสีข้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B มีโทนสีแดงและเมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงและเทียบหาความเข้มข้นน้ำสีจากรูปที่ 4.1 (ก) พบว่ามีค่าความเข้มข้นน้ำเสียสีข้อม ประมาณ 470 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าพีเอช หลังการข้อม 12.79 เมื่อศึกษาปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ตกตะกอนแยกสีข้อมที่พีเอชต่างๆ อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที (ภาวะที่ประหยัดพลังงานและเวลามากที่สุด) พบว่าเมื่อใช้ ปริมาณผลพลอยได้ 5 กรัม สามารถตกตะกอนสีข้อมได้น้อยมาก และเมื่อใช้ผลพลอยได้มากกว่า 10 กรัม สามารถตกตะกอนสีข้อมได้มากจนน้ำใสแต่จะได้น้ำใสที่มีสีของผลพลอยได้แทน (น้ำใสมีสีเหลือง) จึงทำให้สามารถสรุปปริมาณการใช้ผลพลอยได้ที่เหมาะสมคือ ที่ 10 กรัมเพราะสามารถตกตะกอนสีข้อมได้มาก ได้น้ำใสที่มองเห็นสีของสีข้อมจางที่สุดโดยไม่มีสีของผลพลอยได้แสดงให้เห็น

4.3.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม

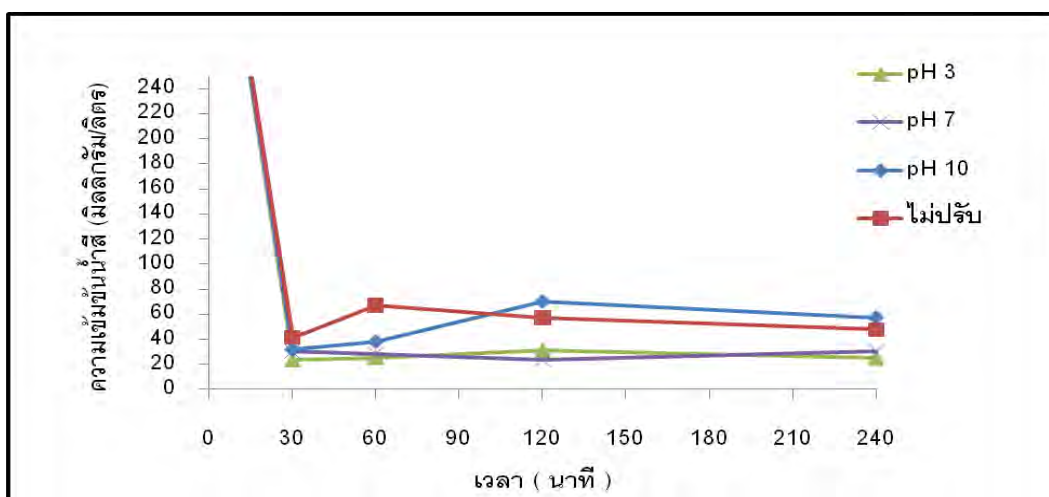
จากการใช้ผลพลอยได้ 10 กรัม ตกตะกอนแยกสีย้อมที่มีความเร็วรอบการเขย่าต่ำที่สุดคือ 60 รอบต่อนาที ที่พีเอชและเวลาต่างๆ เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมสีย้อมสีย้อมสี Procion Red H-E7B ออกจากน้ำเสียสีย้อม ผลจากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ในช่วง 30 นาทีแรกของการตกตะกอนสี สามารถตกตะกอนสีย้อมออกมาได้มากโดยความเข้มข้นของน้ำสีย้อมเริ่มต้นก่อนตกตะกอนสีมีค่าประมาณ 470 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ลดลงมาเหลือระหว่าง 20-230 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อตกตะกอนสีเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง, 50 และ 80 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของน้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง (รูป ก) มีค่าสูงกว่าน้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส และโดยภาพรวมความเข้มข้นของน้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่พีเอช 3 และ 7 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (รูป ข) และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (รูป ค) มีค่าต่ำสุดและมีค่าไม่ต่างกันนักดังนั้น อุณหภูมิที่น่าจะเหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมควรเป็นที่ 50 องศาเซลเซียสเพื่อการประหยัดพลังงาน



(ก)



(ข)



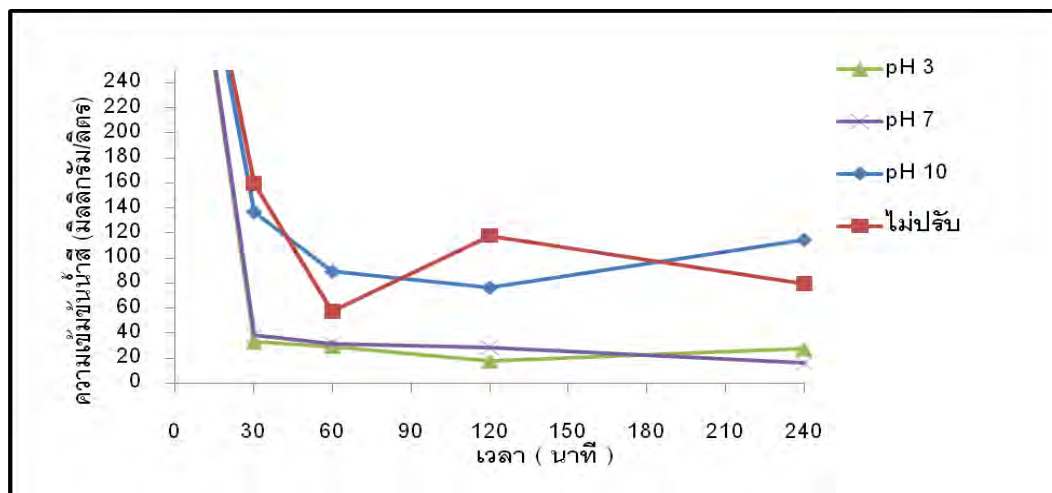
(ค)

รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของน้ำสีย้อมที่ฟ Procion Red H-E7B ที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที ที่เวลาและพีเอชต่างๆกัน โดยใช้ผลพลอยได้ 10 กรัมและผั้แปรอุณหภูมิในการตกตะกอน (ก) อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 80 องศาเซลเซียส

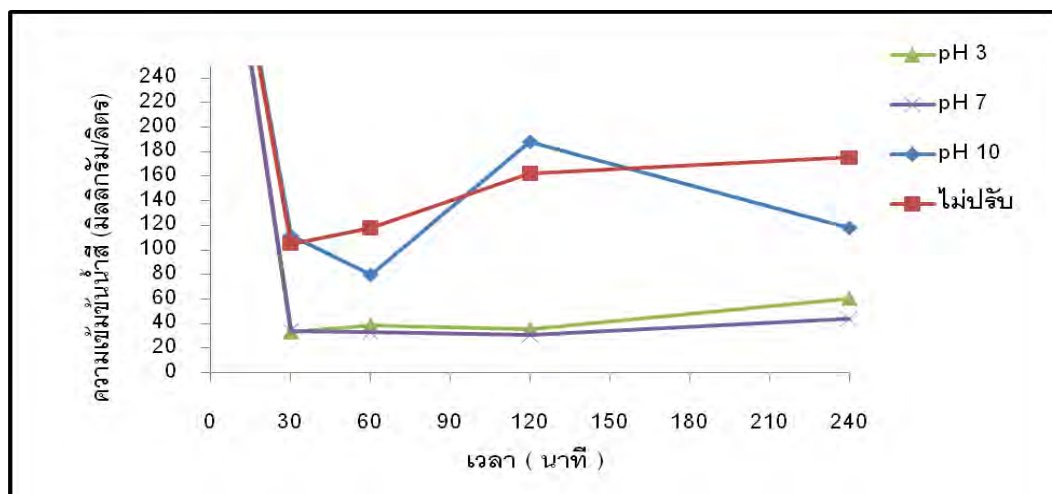
4.3.3 ผลการศึกษาความเร็วรอบการเขย่า เวลาและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน แยกสีย้อม

จากการใช้ผลพลอยได้ 10 กรัม ตกตะกอนแยกสีย้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาพีเอชและความเร็วรอบการเขย่าต่างๆกัน ผลจากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของน้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนด้วยความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที (รูป (ข)) โดยภาพรวมมีค่าต่ำกว่าน้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที (รูป (ก)) ดังนั้นความเร็วรอบการเขย่าที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนสีน่าจะเป็นที่ 120 รอบต่อนาที ส่วนเรื่อง

เวลาในการตกตะกอนพบว่าที่ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที การตกตะกอนสีที่เวลา 30 นาทีและที่เวลามากขึ้นให้ผลไม่แตกต่างกันมากนักโดยเฉพาะการตกตะกอนที่พีเอช 7 และ 3 ดังนั้นเวลาการตกตะกอนสีที่เหมาะสมน่าจะเป็น 30 นาที และพีเอชที่เหมาะสมน่าจะเป็นพีเอช 7 เนื่องจากการตกตะกอนสีที่พีเอชนี้ให้ความเข้มข้นน้ำสีต่ำสุดและใกล้เคียงการตกตะกอนสีที่พีเอช 3 แต่น้ำเสียหลังตกตะกอนสีที่พีเอช 7 มีพีเอชใกล้เคียงความเป็นกลางมากกว่าและบำบัดง่ายกว่าน้ำเสียหลังการตกตะกอนสีที่พีเอช 3



(ก)

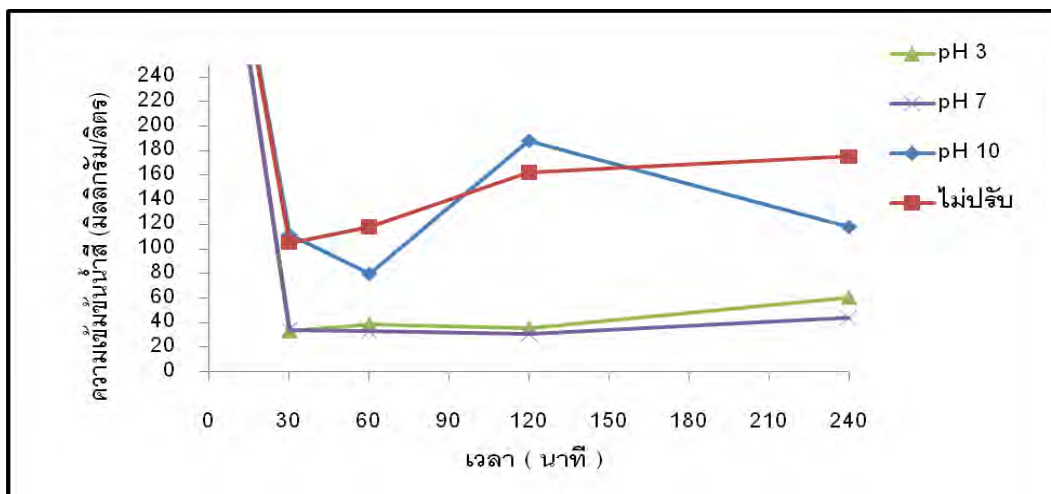


(ข)

รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของน้ำสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาและพีเอชต่างๆกัน โดยใช้ผลพลอยได้ 10 กรัมและผันแปรความเร็วรอบในการเขย่า (ก) 60 รอบต่อนาที (ข) 120 รอบต่อนาที

4.3.4 ผลสรุปการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม

จากผลข้างต้นนี้ได้นำภาวะที่เหมาะสมมาทดลองอีกครั้งเพื่อตรวจสอบเรื่องเวลาและพีเอชในการตกตะกอน โดยได้นำผลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำสีกับเวลาในการตกตะกอนแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของน้ำสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่ผ่านการตกตะกอนที่เวลา และพีเอชต่างๆ กันที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของการเขย่า 120 รอบต่อนาที โดยใช้ผลพลอยได้ 10 กรัม

4.3.5 ผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแยกสีย้อม

จากผลสรุปการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B โดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ในรูปที่ 4.4 ได้นำค่าความเข้มข้นน้ำสีหลังการตกตะกอนมาคิดเป็นร้อยละของประสิทธิภาพการตกตะกอน โดยผ่านการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ที่พีเอชต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที โดยใช้ผลพลอยได้ 10 กรัม

ตารางที่ 4.1 ร้อยละประสิทธิภาพในการตกตะกอนแยกสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ณ เวลา 30 นาที ที่พีเอช ต่างๆ

พีเอช ในการตกตะกอน	ร้อยละของประสิทธิภาพ ในการตกตะกอน
3	92.95
7	92.81
10	76.28
ไม่ปรับ	77.65

จากรูปที่ 4.4 แสดง ผลการตกตะกอนแยกสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที ที่พีเอชและเวลาต่างๆกัน พบว่าการตกตะกอนสี ที่พีเอช 3 และ 7 ให้น้ำสีที่มีความเข้มข้นต่ำสุดใกล้เคียงกันโดยมีค่าความเข้มข้นคือ 33.12 และ 33.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการตกตะกอนเท่ากับร้อยละ 92.95 และ 92.81 ตามลำดับ นั่นคือหลังการตกตะกอนที่พีเอชเหล่านี้ สามารถลดปริมาณสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B จากความเข้มข้นก่อนตกตะกอนราว 470 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือประมาณ 34 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที (ได้น้ำใสแต่ยังมีสีให้เห็นอ่อนๆ) ในขณะที่เมื่อตกตะกอนที่พีเอชสูงขึ้น (พีเอชสูงกว่า 7) จะให้ผลการตกตะกอนที่ด้อยกว่าเนื่องจากมีปริมาณสีย้อมหลงเหลืออยู่ในน้ำสีมากกว่า การตกตะกอนที่พีเอช 7 น่าจะเหมาะสมกว่าการตกตะกอนที่พีเอช 3 เนื่องจากน้ำเสียหลังตกตะกอนจะมีพีเอชเป็นกลางและการบำบัดทำได้ง่ายกว่า ซึ่งการตกตะกอนสีย้อมรีแอกทีฟ ออกจากน้ำสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกใช้หลักการตกตะกอนสีย้อมที่มีประจุลบด้วยสารต่างๆ ที่มีประจุบวกในผลพลอยได้

ส่วนการวิเคราะห์เวลาที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน พบว่าการตกตะกอนสีที่เวลา 30 นาที ก็น่าจะเพียงพอแล้วสำหรับเมื่อตกตะกอนสีที่พีเอช 7 (หรือพีเอช 3) เพราะเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้น ความเข้มข้นของน้ำสีหลังการตกตะกอนไม่ได้เปลี่ยนแปลงหรืออีกนัยหนึ่งก็คือ สีย้อมไม่ได้ถูกตกตะกอนแยกออกมาน้ำสีมากขึ้นเท่าไรนัก

จากผลข้างต้นนี้ทำให้สามารถเลือกภาวะการตกตะกอนแยกสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยพบว่า ควรตกตะกอนสีที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ผลพลอยได้ 10 กรัม และทิ้งให้ตะกอนนอนกันอีก 90 นาทีที่อุณหภูมิห้อง หลังการตกตะกอนจะได้น้ำใสที่มีสีอ่อนๆจางๆ (ความ

เข้มข้นน้ำสีประมาณ 34 มิลลิกรัมต่อลิตร) ถ้าทำการตกตะกอนอีกรอบที่ภาวะเดิมโดยเติมผลพลอยได้อีก 2 กรัม ลงในน้ำใสส่วนนี้ ผลที่พบคือได้น้ำใสที่ไม่เห็นสีของสีย้อมอีก โดยมีปริมาณสีย้อมหลงเหลืออยู่ราว 17 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการตกตะกอนเท่ากับร้อยละ 96.38 ของน้ำสี (ดูการสรุปภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีในตารางที่ 4.4)

4.4 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีไโดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% ออกจากน้ำเสียสีย้อม

ในการทดลองนี้ ทำการตกตะกอนแยกสีย้อมไโดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% ออกจากน้ำเสียสีย้อมปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ภาวะต่างๆ คือที่พีเอช 3, 7, 10 และพีเอชไม่ปรับ (ค่าพีเอชเมื่อเติมผลพลอยได้ลงในน้ำเสียสีย้อมโดยไม่มีการปรับค่าพีเอช) อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส), 50 และ 80 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็วรอบ 60 และ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30, 60, 120 และ 240 นาที โดยใช้ผลพลอยได้ 1-20 กรัม และตั้งทิ้งน้ำเสียให้ตะกอนนอนก้น ภาชนะ 90 นาทีที่อุณหภูมิห้อง

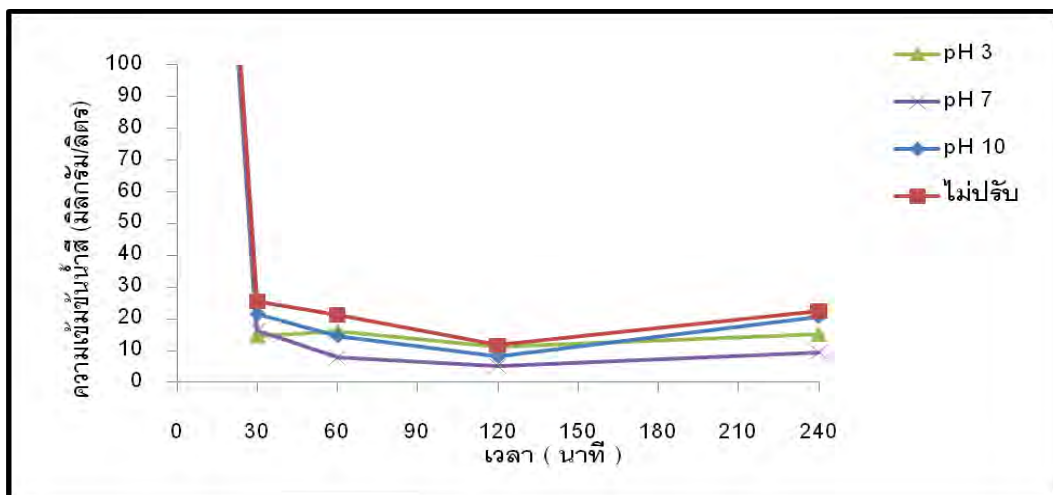
4.4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ในการตกตะกอนแยกสีย้อม

น้ำเสียสีย้อมไโดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% มีโทนสีเขียวและเมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงและเทียบหาความเข้มข้นน้ำสีจากรูปที่ 4.1 (ข) พบว่ามีค่าความเข้มข้นน้ำเสียสีย้อมประมาณ 390 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าพีเอช หลังการย้อม 9.22 เมื่อศึกษาปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ตกตะกอนแยกสีย้อมที่พีเอชต่างๆ อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที (ภาวะที่ประหยัดพลังงานและเวลามากที่สุด) พบว่าเมื่อใช้ปริมาณผลพลอยได้ 5 กรัม สามารถตกตะกอนสีย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากเมื่อใช้ผลพลอยได้มากกว่านี้ สามารถตกตะกอนสีย้อมได้แต่จะได้น้ำใสที่มีสีของผลพลอยได้แทน (น้ำใสมีสีเหลือง) และเมื่อใช้ผลพลอยได้น้อยกว่า 5 กรัม จะตกตะกอนสีได้เพียงเล็กน้อย น้ำเสียสีย้อมยังคงมีสีเข้มอยู่ จึงสามารถสรุปปริมาณการใช้ผลพลอยได้ที่เหมาะสมคือ ที่ 5 กรัมเพราะสามารถตกตะกอนสีย้อมได้มาก ได้น้ำใสที่มองเห็นสีของสีย้อมจางที่สุดโดยไม่มีสีของผลพลอยได้แสดงให้เห็น

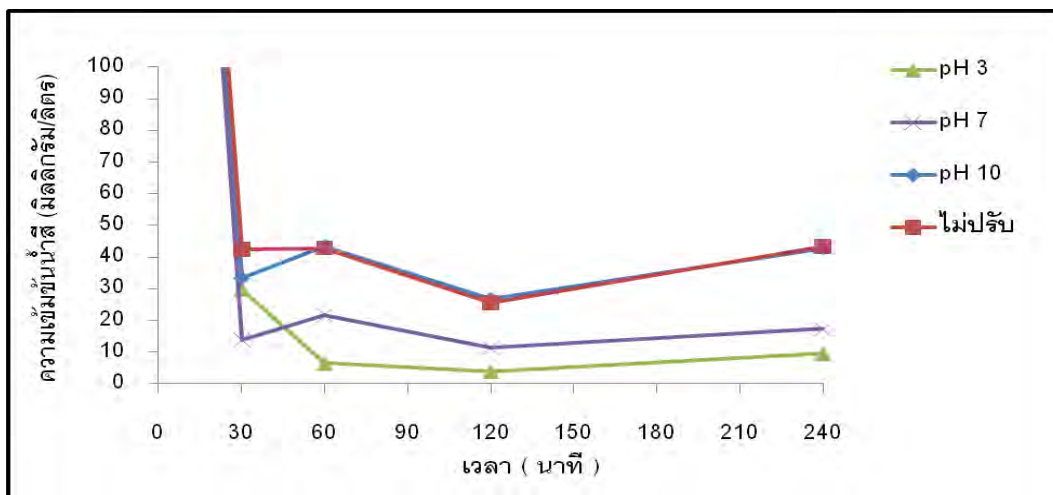
4.4.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม

จากการใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม ตกตะกอนแยกสีย้อมที่ความเร็วรอบการเขย่าต่ำสุดคือ 60 รอบต่อนาที ที่พีเอชและเวลาต่างๆ เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมไโดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% ออกจากน้ำเสียสีย้อม ผลจากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า

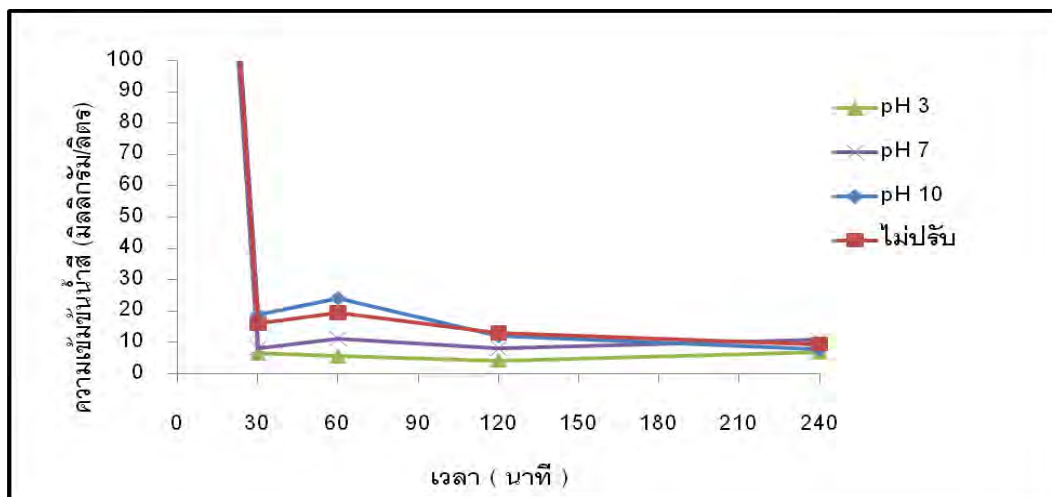
ในช่วง 30 นาทีแรกของการตกตะกอนสี สามารถตกตะกอนแยกสีออกมามากโดยความเข้มข้นน้ำสีขุ่นเริ่มต้นก่อนตกตะกอนสีมีค่าประมาณ 390 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ลดลงมาเหลือระหว่าง 5-40 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อตกตะกอนสีเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง, 50 และ 80 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นน้ำสีขุ่นที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าน้ำสีขุ่นที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องและ 80 องศาเซลเซียส โดยที่ความเข้มข้นน้ำสีขุ่นที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องและที่ 80 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกัน (ความเข้มข้นน้ำสีขุ่นที่ตกตะกอนที่ 80 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้องอยู่เล็กน้อย) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีขุ่นควรเป็นที่อุณหภูมิห้องหรือ 28 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ประหยัดพลังงานมากกว่า



(ก)



(ข)

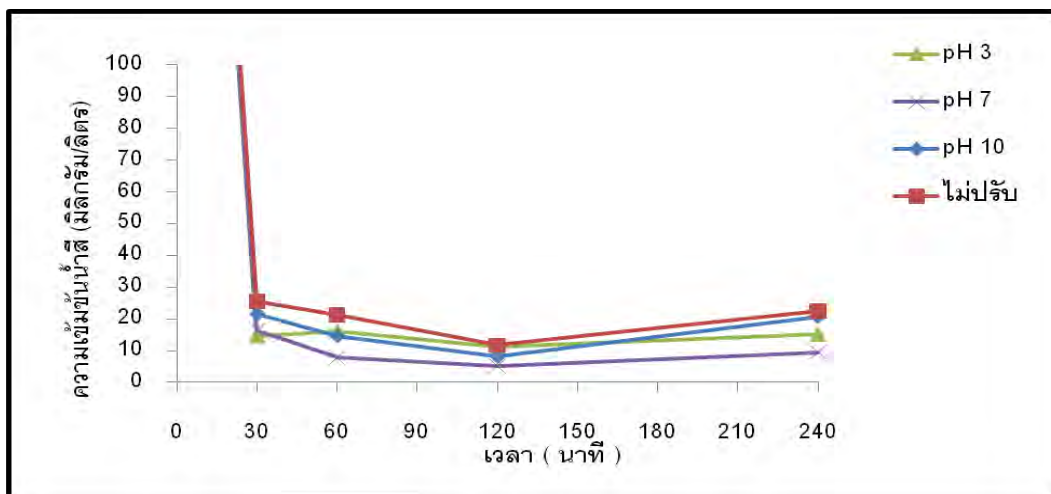


(ค)

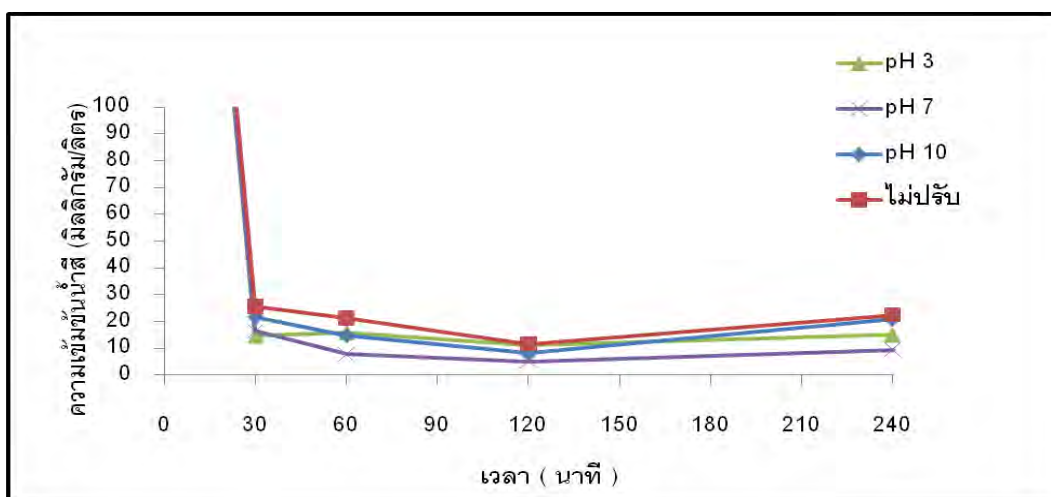
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของน้ำสีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที ที่เวลาและพีเอชต่างๆกัน โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม และผันแปรอุณหภูมิในการตกตะกอน (ก) อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 80 องศาเซลเซียส

4.4.3 ผลการศึกษาความเร็วรอบการเขย่า เวลาและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน แยกสีย้อม

จากการใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม ตกตะกอนสีย้อมที่อุณหภูมิห้องที่เวลา พีเอชและความเร็วรอบการเขย่าต่างๆกัน ผลจากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของน้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที (รูป (ก)) มีค่าใกล้เคียงกันมากกับของน้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที (รูป (ข)) ดังนั้นความเร็วรอบการเขย่าที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนสีน่าจะเป็นที่ 60 รอบต่อนาที ส่วนเรื่องเวลาในการตกตะกอนพบว่า การตกตะกอนที่เวลา 30 นาที และที่เวลามากขึ้นให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก จึงเลือกเวลา 30 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนสี ส่วนพีเอชในการตกตะกอนพบว่า โดยภาพรวมการตกตะกอนที่พีเอช 3 และ 7 ให้ความเข้มข้นน้ำสีย้อมต่ำกว่าที่พีเอชอื่นๆ ที่สูงกว่าพีเอช 7 โดยการตกตะกอนที่พีเอช 3 ให้ผลการตกตะกอนที่ดีกว่าที่พีเอช 7 อยู่เล็กน้อย แต่น้ำเสียหลังการตกตะกอนที่พีเอช 7 มีความเป็นกลางมากกว่า จึงน่าจะเลือกตกตะกอนที่พีเอช 7 เนื่องจากน้ำเสียบำบัดง่ายกว่า



(ก)

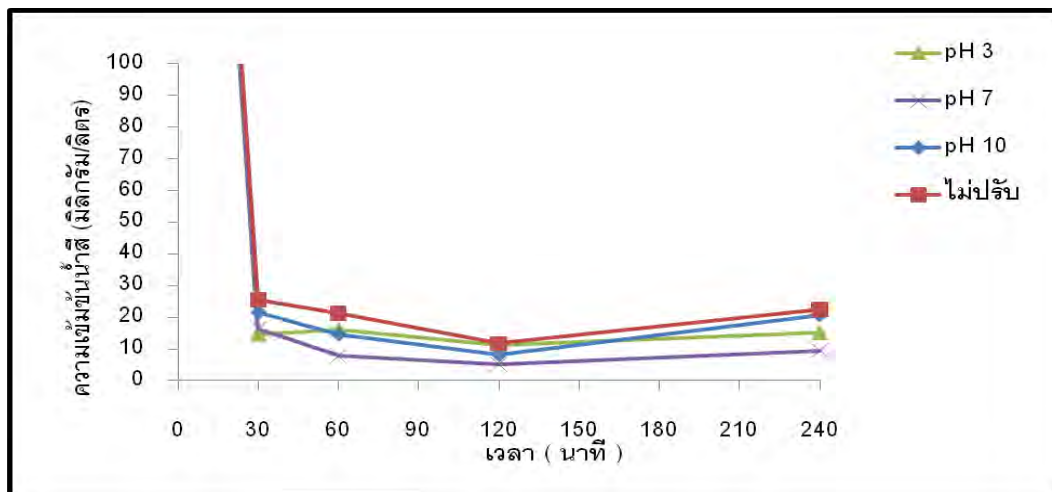


(ข)

รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของน้ำสีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง ที่เวลาและพีเอชต่างๆ กัน โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัมและผันแปรความเร็วรอบในการเขย่า (ก) 60 รอบต่อนาที (ข) 120 รอบต่อนาที

4.4.4 ผลสรุปการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม

จากผลข้างต้นนี้ ได้นำภาวะที่เหมาะสมมาทดลองอีกครั้งเพื่อตรวจสอบเรื่องเวลาและพีเอชในการตกตะกอนโดยได้นำผลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำสีกับเวลาในการตกตะกอนแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของน้ำสีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ผ่านการตกตะกอนที่เวลา และพีเอชต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบของการเขย่า 60 รอบต่อนาที โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม

4.4.5 ผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแยกสีย้อม

จากผลสรุปการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% โดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ในรูปที่ 4.7 ได้นำค่าความเข้มข้นน้ำสีหลังการตกตะกอนมาคิดเป็นร้อยละของประสิทธิภาพการตกตะกอน โดยผ่านการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ที่พีเอชต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม

ตารางที่ 4.2 ร้อยละประสิทธิภาพในการตกตะกอนแยกสีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ณ เวลา 30 นาที ที่พีเอช ต่างๆ

พีเอช ในการตกตะกอน	ร้อยละของประสิทธิภาพ ในการตกตะกอน
3	96.22
7	95.78
10	94.45
ไม่ปรับ	93.45

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการตกตะกอนแยกสีไดเร็กซ์ Solophenyl Green BLE 155% ออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัมที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาทีที่พีเอชและเวลาต่างๆ กัน พบว่าการตกตะกอนที่พีเอช 7 และใช้เวลา 30 นาที น่าจะเหมาะสมสำหรับกระบวนการนี้ เพราะสามารถลดปริมาณสีย้อมไดเร็กซ์ Solophenyl Green BLE 155% จากความเข้มข้นก่อนตกตะกอนราว 390 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 16.45 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการตกตะกอนเท่ากับร้อยละ 95.78 ได้น้ำใสแต่ยังมีสีให้เห็นอ่อนๆ จึงได้ตกตะกอนสีอีกรอบที่ภาวะที่เหมาะสมข้างต้นยกเว้นใช้เวลาตกตะกอนเพียง 30 นาทีและเติมผลพลอยได้อีก 2 กรัมลงในน้ำใสส่วนนี้ ผลที่พบคือได้น้ำใสที่ไม่เห็นสีของสีย้อมอีกโดยมีปริมาณสีย้อมหลงเหลืออยู่ราว 4 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการตกตะกอนเท่ากับร้อยละ 99.23 ของน้ำสี (ดูการสรุปภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีใน ตารางที่ 4.4) ซึ่งการตกตะกอนสีย้อมไดเร็กซ์ออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกใช้หลักการตกตะกอนสีย้อมที่มีประจุลบด้วยสารต่างๆ ที่มีประจุบวกในผลพลอยได้

4.5 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R ออกจากน้ำเสียสีย้อม

ในการทดลองนี้ ทำการตกตะกอนแยกสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R ออกจากน้ำเสียสีย้อมปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ภาวะต่างๆ คือที่พีเอช 3, 7, 10 และพีเอชไม่ปรับ (ค่าพีเอชเมื่อเติมผลพลอยได้ลงในน้ำเสียสีย้อมโดยไม่มีการปรับค่าพีเอช) อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส), 50 และ 80 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็วรอบ 60 และ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30, 60, 120 และ 240 นาที โดยใช้ผลพลอยได้ 1-20 กรัม และตั้งทิ้งน้ำเสียให้ตะกอนนอนก้นภาชนะ 90 นาทีที่อุณหภูมิห้อง

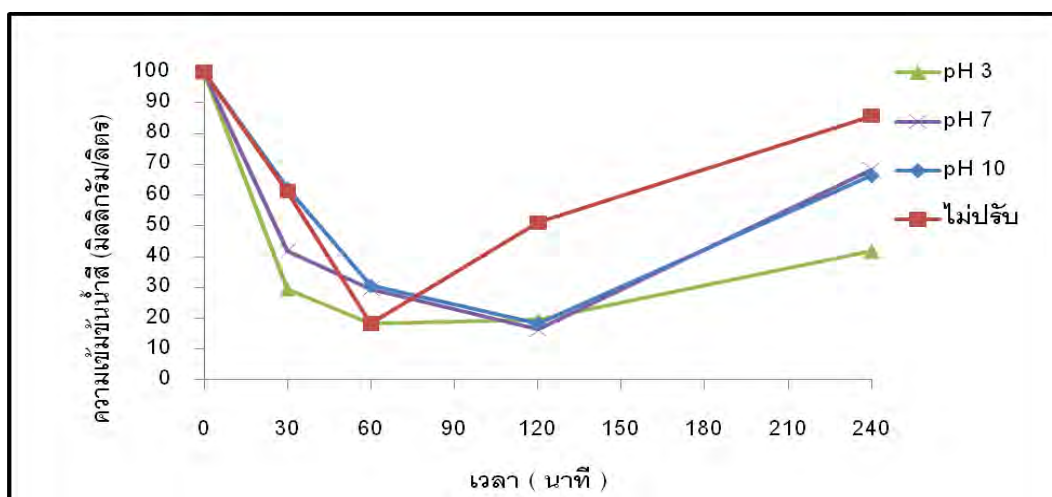
4.5.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ในการตกตะกอนแยกสีย้อม

น้ำเสียสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R มีโทนสีน้ำเงิน และเมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงและเทียบหาความเข้มข้นน้ำสีจากรูปที่ 4.1 (ค) พบว่ามีค่าความเข้มข้นน้ำเสียสีย้อม ประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอชหลังการย้อม 8.53 เมื่อศึกษาปริมาณผลพลอยได้ที่ใช้ตกตะกอนแยกสีย้อมที่พีเอชต่างๆ อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที (ภาวะที่ประหยัดพลังงานและเวลามากที่สุด) พบว่าเมื่อใช้ปริมาณผลพลอยได้น้อยกว่า 5 กรัม สามารถตกตะกอนสีย้อมได้น้อยมาก และเมื่อใช้ 10 กรัมสามารถตกตะกอนสีย้อมได้มากแต่จะได้น้ำใสที่มีสีของผลพลอยได้แทน (น้ำใสมีสีเหลือง) จึงทำให้สามารถสรุป

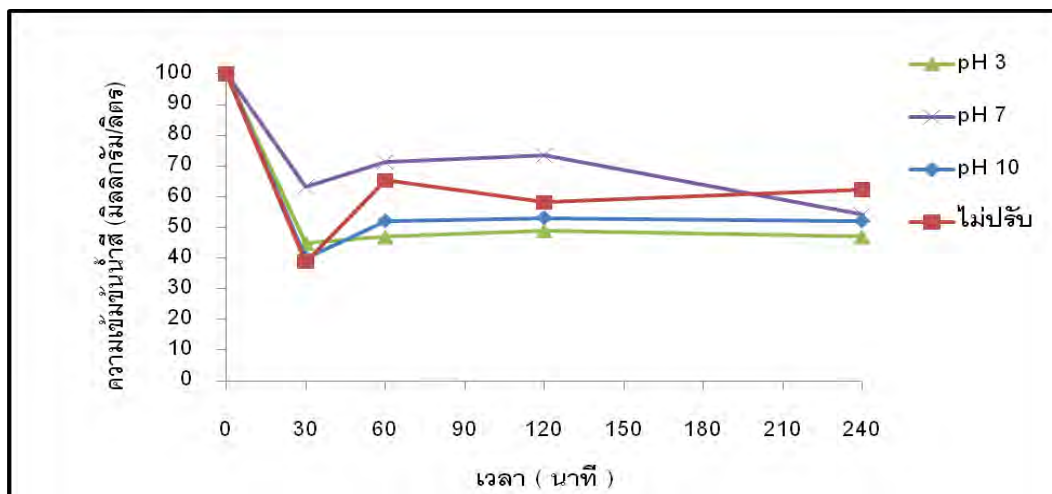
ปริมาณผลพลอยได้ที่เหมาะสมคือ ที่ 5 กรัมเพราะสามารถตกตะกอนสีย้อมได้มาก ได้น้ำใสที่มองเห็นสีของสีย้อมจางที่สุดโดยไม่มีสีของผลพลอยได้แสดงให้เห็น

4.5.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม

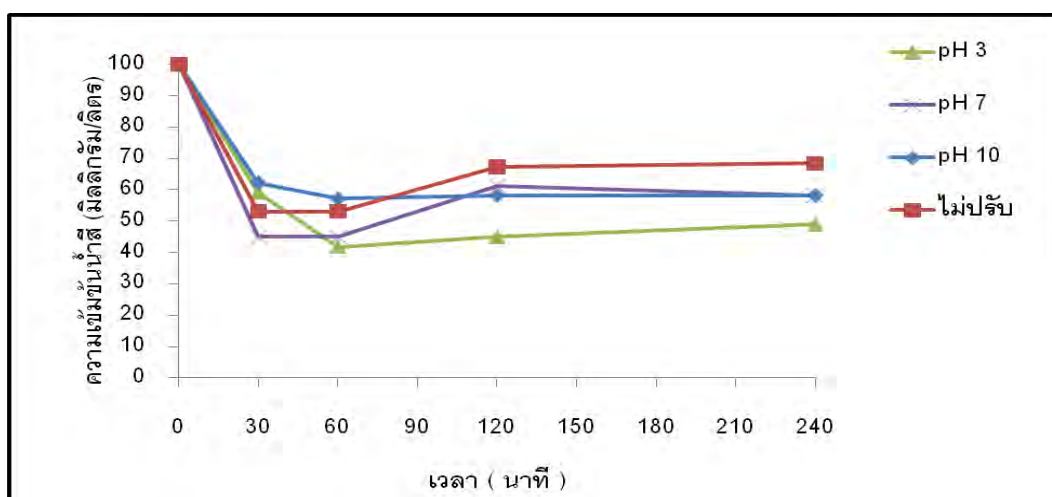
จากการใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม ตกตะกอนแยกสีย้อมที่ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที ที่พีเอชและเวลาต่างๆ เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R ออกจากน้ำเสียสีย้อม ผลจากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ในช่วง 30 นาทีแรกของการตกตะกอนสี สามารถตกตะกอนแยกสีย้อมออกมามาก โดยความเข้มข้นน้ำสีย้อมเริ่มต้นก่อนตกตะกอนสีมีค่าประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ลดลงเหลือระหว่าง 30-65 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อตกตะกอนสีเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง, 50 และ 80 องศาเซลเซียส ในช่วง 60 นาทีแรกของการตกตะกอนสี ความเข้มข้นน้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องมีค่าต่ำกว่าน้ำสีย้อม ที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 60 นาที ความเข้มข้นน้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส มีค่าค่อนข้างคงที่ ในขณะที่น้ำสีย้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องมีค่าความเข้มข้นทั้งเพิ่มขึ้นลดลงและคงที่ อย่างไรก็ตาม ถ้าเลือกเวลาการตกตะกอนที่สั้นที่สุดคือ 30-60 นาที ก็ควรเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมคือ ที่อุณหภูมิห้องหรือ 28 องศาเซลเซียส



(ก)



(ข)



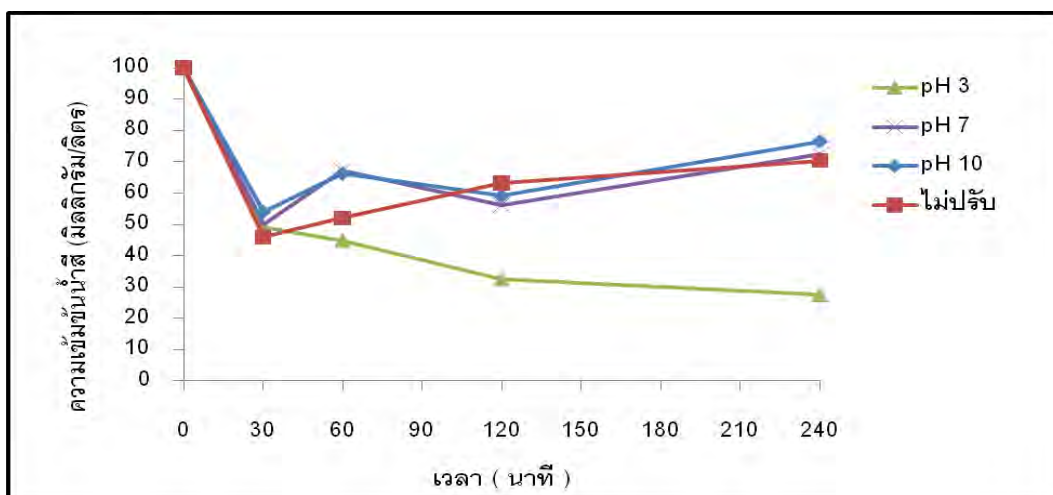
(ค)

รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของน้ำสีแอสิด Lanaset Blue 2R ที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาทีที่เวลาและพีเอชต่างๆกัน โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม และผันแปรอุณหภูมิในการตกตะกอน (ก) อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 80 องศาเซลเซียส

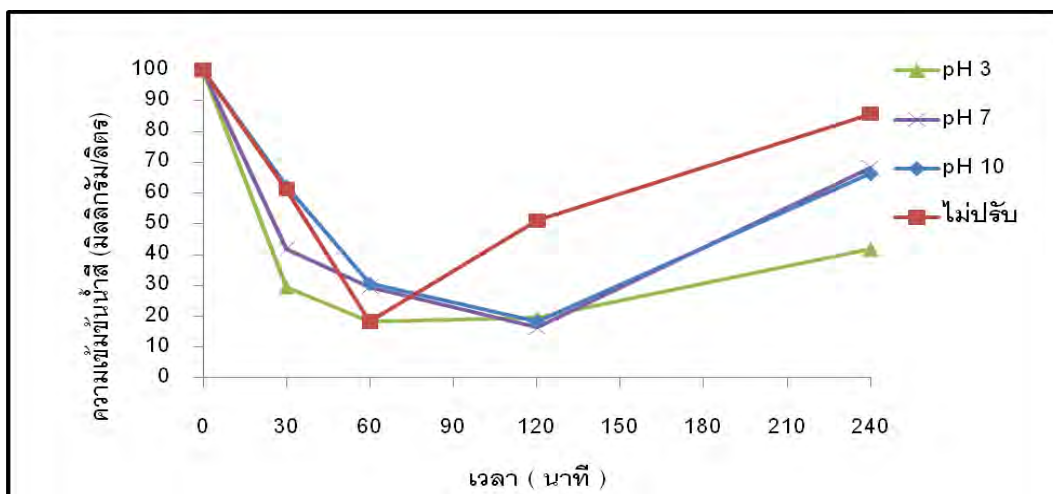
4.5.3 ผลการศึกษาความเร็วรอบการเขย่า เวลาและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน แยกสีข้อม

จากการใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม ตกตะกอนสีข้อมที่อุณหภูมิห้องที่เวลา พีเอชและความเร็วรอบการเขย่าต่างๆกัน ผลจากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของน้ำสีข้อมที่ผ่านการตกตะกอนด้วยความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที (รูป (ข)) โดยภาพรวมมีค่าต่ำกว่าน้ำสีข้อมที่ผ่านการตกตะกอนที่ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที (รูป (ก)) โดยเฉพาะในช่วงเวลา 120

นาทีแรกของการตกตะกอนสีข้อม ดังนั้นความเร็วรอบการเขย่าที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนสี น่าจะเป็นที่ 120 รอบต่อนาที ส่วนเรื่องพีเอชในการตกตะกอนพบว่า การตกตะกอนสีในช่วงเวลา 60 นาทีแรกที่ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที (รูป (ข)) ความเข้มข้นน้ำสีข้อมมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกค่าพีเอชของการตกตะกอนและการตกตะกอนที่พีเอช 3 ให้ผลดีที่สุดเนื่องจากน้ำ สีหลังการตกตะกอนมีความเข้มข้นต่ำสุดทั้งที่เวลา 30 และ 60 นาทีของการตกตะกอน ดังนั้นพีเอชและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนสีข้อมนี้น่าจะเป็นที่พีเอช 3 และเวลา 30 นาที



(ก)

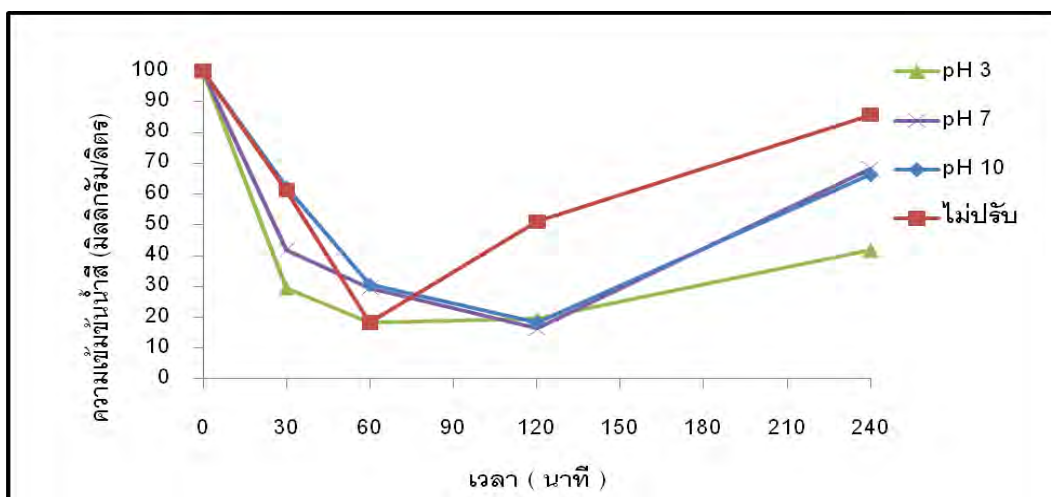


(ข)

รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของน้ำสีแฉัด Lanaset Blue 2R ที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง ที่เวลาและพีเอชต่างๆ กัน โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม และผันแปรความเร็วรอบในการเขย่า (ก) 60 รอบต่อนาที (ข) 120 รอบต่อนาที

4.5.4 ผลสรุปการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อม

จากผลข้างต้นนี้ ได้นำภาวะที่เหมาะสมมาทดลองอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบเรื่องเวลาและพีเอชในการตกตะกอน โดยได้นำผลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำสีกับเวลาในการตกตะกอนแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของน้ำสีแอซิด Lanaset Blue 2R ที่ผ่านการตกตะกอนที่เวลา และพีเอช ต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบต่อนาที โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม

4.5.5 ผลสรุปการศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนแยกสีย้อม

จากผลสรุปการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนแยกสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R โดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ในรูปที่ 4.10 ได้นำค่าความเข้มข้นน้ำสีหลังการตกตะกอนมาคิดเป็นร้อยละของประสิทธิภาพการตกตะกอน โดยผ่านการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ที่พีเอชต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที โดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม

ตารางที่ 4.3 ร้อยละประสิทธิภาพในการตกตะกอนแยกสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R ด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ณ เวลา 30 นาที ที่พีเอช ต่างๆ

พีเอช ในการตกตะกอน	ร้อยละของประสิทธิภาพ ในการตกตะกอน
3	70.41
7	58.17
10	37.76
ไม่ปรับ	38.78

รูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าการตกตะกอนแยกสีแอซิด Lanaset Blue 2R ออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้ 5 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที ควรกระทำที่พีเอช 3 โดยใช้เวลา 30 นาที น่าจะเหมาะสมเพราะสามารถลดปริมาณสีย้อมจากความเข้มข้นก่อนตกตะกอนราว 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือประมาณ 29.59 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการตกตะกอนเท่ากับร้อยละ 70.41 ได้น้ำใสแต่ยังมีสีให้เห็นอ่อนๆ และเมื่อตกตะกอนสีอีกรอบที่ภาวะที่เหมาะสมข้างต้นโดยเติมผลพลอยได้อีก 1 กรัม ลงในน้ำใสส่วนนี้ ผลที่พบคือ ได้น้ำใสที่ไม่เห็นสีของสีย้อมอีกโดยมีปริมาณสีย้อมหลงเหลืออยู่ราว 13 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการตกตะกอนเท่ากับร้อยละ 87.00 ซึ่งจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการตกตะกอนสีย้อมเกิดขึ้นได้ดีเมื่อปรับค่าพีเอชเป็นกรด เนื่องจากที่ภาวะนี้สีย้อมแอซิดมีประจุลบจะสามารถถูกทำให้ตกตะกอนด้วยสารประจุบวกในผลพลอยได้ด้วยพันธะไอออน แต่เมื่อปรับค่าพีเอชสูงขึ้นจนเป็นด่าง ด่างจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารประจุบวกในผลพลอยได้ ทำให้สีย้อมถูกตกตะกอนด้วยผลพลอยได้ ได้น้อยลง

ผลการทดลองการตกตะกอนสี 3 ชนิดที่แสดงใน รูปที่ 4.2-4.10 ทำให้สามารถสรุปภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออน 3 ชนิดนี้จากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้แสดงในตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออนออกจากน้ำเสียสีย้อม

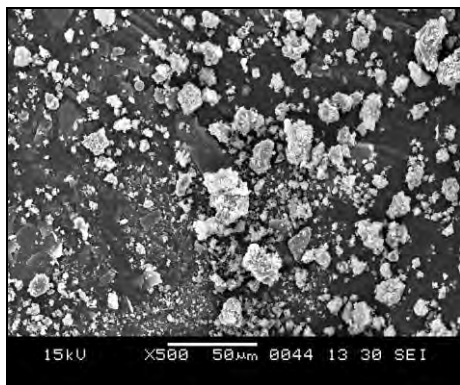
น้ำเสียสีย้อม	การตกตะกอนครั้งที่ 1				
	ผลพลอยได้ (กรัม)	อุณหภูมิ (C°)	เวลา (นาทึ)	พีเอช	ความเร็วรอบเขย่า (รอบ/นาที)
รีแอกทีฟ Procion Red H-E7B	10	50	30	7	120
ไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155%	5	ห้อง	30	7	60
แอซิด Lanaset Blue 2R	5	ห้อง	30	3	120

น้ำเสียสีย้อม	การตกตะกอนครั้งที่ 2				
	ผลพลอยได้ (กรัม)	อุณหภูมิ (C°)	เวลา (นาทึ)	พีเอช	ความเร็วรอบเขย่า (รอบ/นาที)
รีแอกทีฟ Procion Red H-E7B	2	50	30	7	120
ไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155%	2	ห้อง	30	7	60
แอซิด Lanaset Blue 2R	1	ห้อง	30	3	120

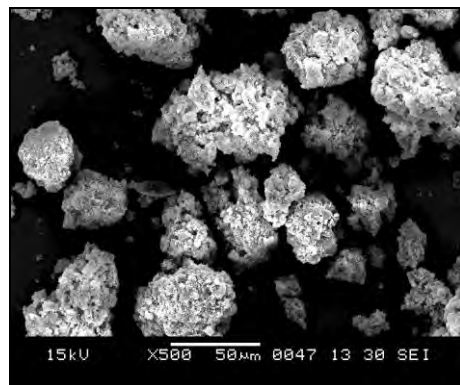
4.6 ลักษณะของตะกอนสีภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตะกอนสีที่เกิดขึ้นจากการแยกสีย้อมออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกได้ถูกนำไปตรวจสอบลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รูปแสดงลักษณะตะกอนสีต่างๆ เทียบกับลักษณะของผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกในรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าผลพลอยได้ (รูป (ก)) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าตะกอนสีอยู่หลายเท่าตัว ทั้งนี้เนื่องจากการตกตะกอนสีย้อมออกจากน้ำเสียสีย้อม ผลพลอยได้ซึ่งมีอนุภาคของสารประจุบวกจะสร้างพันธะไอออนกับอนุภาคของสีย้อมแอนไอออนจนทำให้มีขนาดใหญ่อขึ้นๆ และตกตะกอน

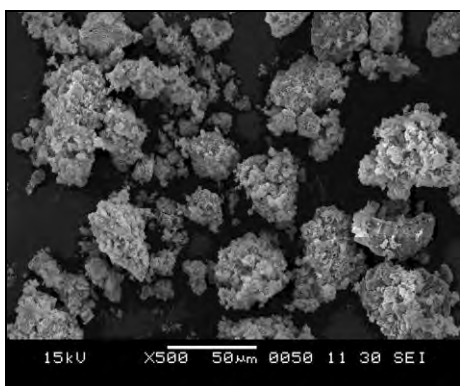
แยกตัวออกจากน้ำเสียสีขุ่น จนได้น้ำเสียที่ใสขึ้นมีสีของสีขุ่นน้อยลงๆ จนไม่มีสีของสีขุ่นให้มองเห็นในที่สุดเมื่อตกตะกอนสีครบ 2 รอบ



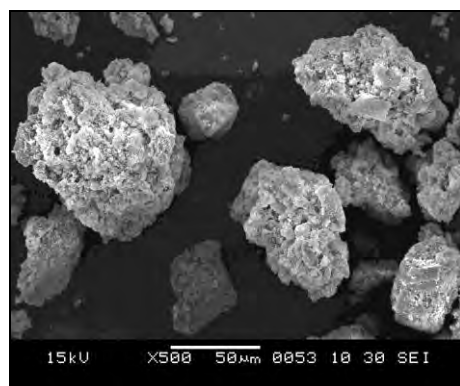
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.11 รูปภาพขณะถ่ายด้วยกำลังขยาย 500 เท่า ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ (ก) ผลพลอยได้ (ข) ตะกอนสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B (ค) ตะกอนสีไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% (ง) ตะกอนสีแอสิด Lanaset Blue 2R

4.7 ผลการศึกษาการใช้ซ้ำตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อตกตะกอนแยกสีขุ่นออกจากน้ำเสีย

หลังการตกตะกอนแยกสีขุ่นออกจากน้ำเสียโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ได้นำตะกอนที่เกิดขึ้นมาอบแห้ง บดให้ละเอียด และนำผงตะกอนแห้งมาใช้ซ้ำตกตะกอนสีในน้ำสีรุ่นใหม่ ทั้ง 3 ชนิดสีที่ภาวะการตกตะกอนที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าสามารถนำมาใช้ซ้ำในการตกตะกอนแยกสีขุ่นออกจากน้ำเสียได้อีกโดยในการใช้ซ้ำสามารถลดความเข้มข้นของน้ำสีขุ่นรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B จาก 470 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 15.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของน้ำสีขุ่นไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% จาก 390 มิลลิกรัมต่อลิตร

เหลือ 8.65 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสีแอสิด Lanaset Blue 2R จาก 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 16.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เนื่องจากในตะกอนสียังมีสารประจุบวกของผลพลอยได้เหลืออยู่เพียงพอสำหรับใช้ซ้ำในการตกตะกอนสีครั้งต่อไป

4.8 ผลการศึกษาการย่อยสลายตะกอนสีที่เกิดขึ้นด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ

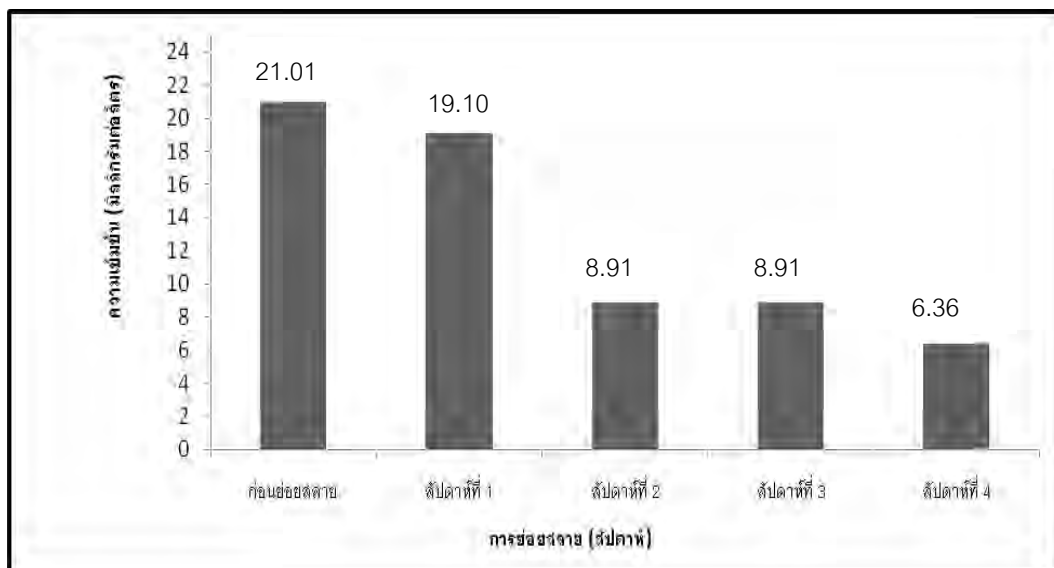
4.8.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสีหลังการย่อยสลาย

หลังจากการทิ้งตะกอนที่เกิดขึ้นไว้ในอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยสลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์ และนำตะกอนในแต่ละสัปดาห์มาวัดหาความเข้มข้นสีที่หลงเหลืออยู่พบว่า ตะกอนมีความเข้มข้นสีหรือปริมาณสีลดลงไปตามเวลาที่ทิ้งไว้

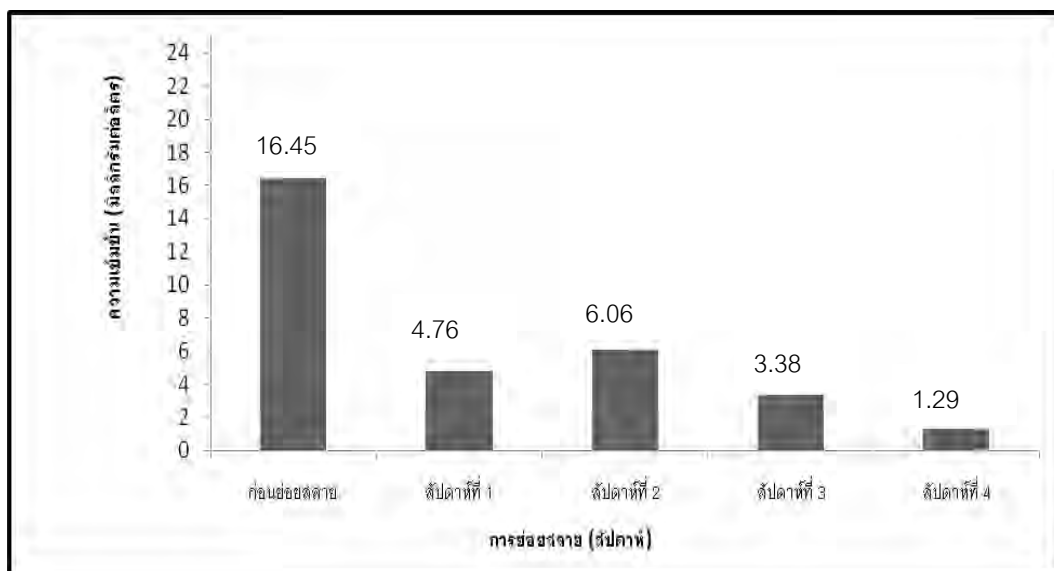
การลดลงของความเข้มข้นสีย้อมในตะกอน ณ เวลาในการบ่มตะกอนต่างๆ กัน แสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ในตะกอนก่อนการย่อยสลายมีค่า 21.01 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการย่อยสลาย 1 สัปดาห์มีค่าลดลงเหลือ 19.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสัปดาห์ที่ 2 ตะกอนมีค่าความเข้มข้นสี 8.92 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้น ความเข้มข้นสีในตะกอนค่อนข้างคงที่ จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ที่ความเข้มข้นสีลดลงเหลือ 6.32 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับสีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% นั้นความเข้มข้นของสีย้อมก่อนการย่อยสลายมีค่า 16.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายแล้วมีค่าความเข้มข้นลดลงอย่างเห็นได้ชัดในสัปดาห์แรกคือมีค่า 4.76 มิลลิกรัมต่อลิตร และในสัปดาห์ที่ 4 มีค่าความเข้มข้นลดลงเหลือเพียง 1.29 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดังรูปที่ 4.13) ส่วนสีแอสิด Lanaset Blue 2R นั้นมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นก่อนถูกย่อยสลาย คือ 24.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 18.36 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสัปดาห์แรก และในสัปดาห์ที่ 2 มีค่าความเข้มข้นเหลือเพียง 13.26 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้น ปริมาณสีในตะกอนจะมีค่าค่อนข้างคงที่ จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ที่ความเข้มข้นสีมีค่า 12.24 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดังรูปที่ 4.14) ซึ่งลักษณะของตะกอนและความเข้มของสีตะกอนที่ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งมีแสดงในรูปที่ 4.15-4.17 พบว่า ตะกอนในสัปดาห์ที่ 4 มีลักษณะละเอียดขึ้นมากกว่าในสัปดาห์ที่ 1 ของทุกๆ ตะกอนสีย้อม ซึ่งลักษณะของตะกอนมีลักษณะเหลว (คล้ายโคลน) กว่าเมื่อเทียบกับในสัปดาห์แรกซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนแข็ง ซึ่งความเข้มของสีในสัปดาห์แรกมีความเข้มมากกว่าในสัปดาห์ที่ 2 และเมื่อเทียบกับในสัปดาห์ที่ 4 จะเห็นได้ว่า ตะกอนของสีทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะสีที่จางไปจากเดิมมาก

กลไกในการลดลงของความเข้มข้นสีย้อมในตะกอนหรือความเข้มของสีตะกอนเมื่อตกตะกอนสีถูกทิ้งไว้ในอากาศ 4 สัปดาห์ น่าจะเกิดขึ้นจากที่จุลินทรีย์ในอากาศสามารถย่อยสลายทำลายพันธะทางเคมีของสีย้อมในตะกอนตรงตำแหน่งพันธะที่ทำให้เกิดสี (chromophoric bond) ในโมเลกุลของสีย้อม [25] ทำให้ไม่สามารถมองเห็นสีเดิมหรือตรวจวัดหาปริมาณสีย้อมส่วนที่ถูก

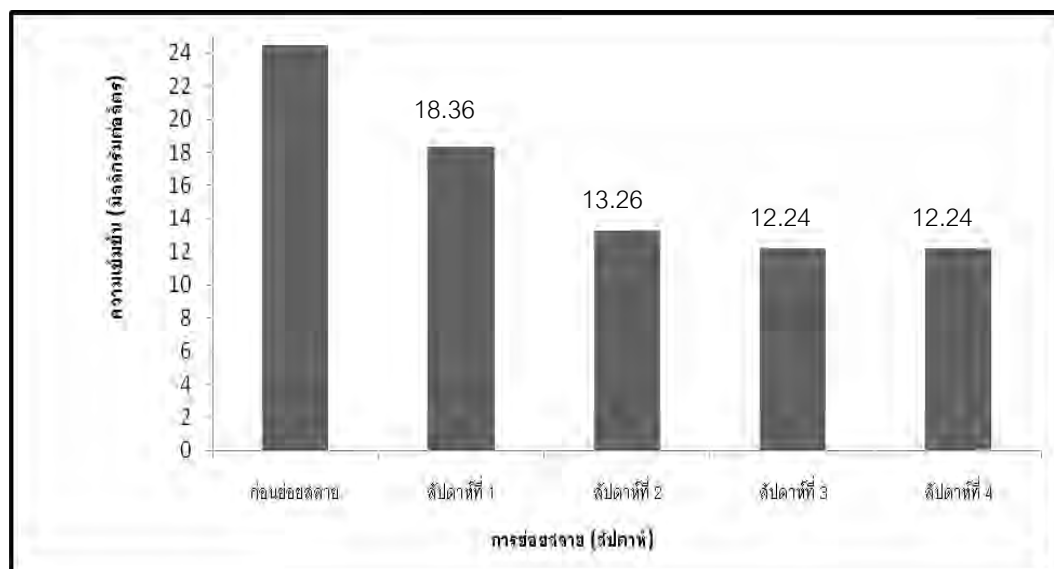
ทำลายพันธะทางเคมีไป จึงอาจสรุปได้ว่าตะกอนสีย้อมที่เกิดขึ้นบางส่วนได้ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ



รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นของสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ในตะกอนก่อนและหลังผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์



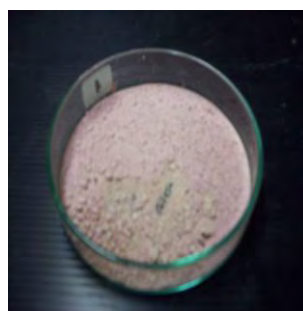
รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของสีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ในตะกอนก่อนและหลังผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์



รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของสีย้อมแอซิด Lanaset Blue 2R ในตะกอนก่อนและหลังผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์

ก่อนอบแห้ง

หลังอบแห้ง



(ก) สัปดาห์ที่ 1



(ข) สัปดาห์ที่ 2



(ค) สัปดาห์ที่ 3



(ง) สัปดาห์ที่ 4

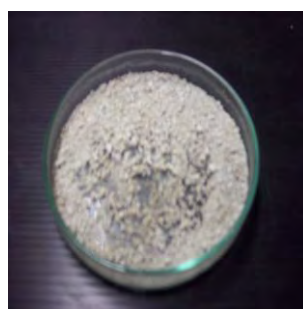
รูปที่ 4.15 ลักษณะตะกอนของสีย้อมรีแอคทีฟ Procion Red H-E7B ที่ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง (ก) สัปดาห์ที่ 1 (ข) สัปดาห์ที่ 2 (ค) สัปดาห์ที่ 3 (ง) สัปดาห์ที่ 4

ก่อนอบแห้ง

หลังอบแห้ง



(ก) สัปดาห์ที่ 1



(ข) สัปดาห์ที่ 2



(ค) สัปดาห์ที่ 3



(ง) สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.16 ลักษณะตะกอนของสีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง (ก) สัปดาห์ที่ 1 (ข) สัปดาห์ที่ 2 (ค) สัปดาห์ที่ 3 (ง) สัปดาห์ที่ 4

ก่อนอบแห้ง

หลังอบแห้ง



(ก) สัปดาห์ที่ 1



(ข) สัปดาห์ที่ 2



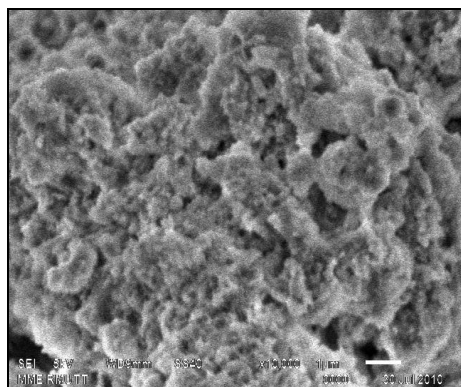
(ค) สัปดาห์ที่ 3



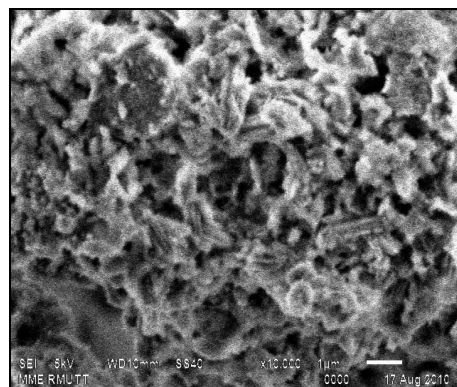
(ง) สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.17 ลักษณะตะกอนของสีย้อมแอสิด Lanaset Blue 2R ที่ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง (ก) สัปดาห์ที่ 1 (ข) สัปดาห์ที่ 2 (ค) สัปดาห์ที่ 3 (ง) สัปดาห์ที่ 4

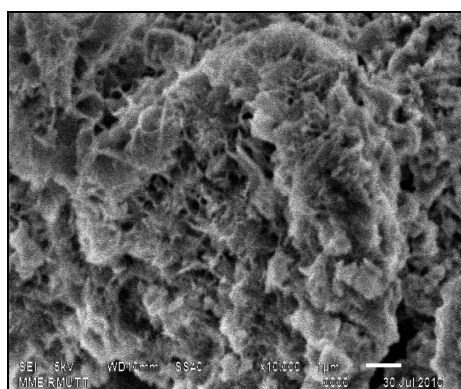
4.8.2 ผลการศึกษาลักษณะตะกอนสีหลังการย่อยสลาย



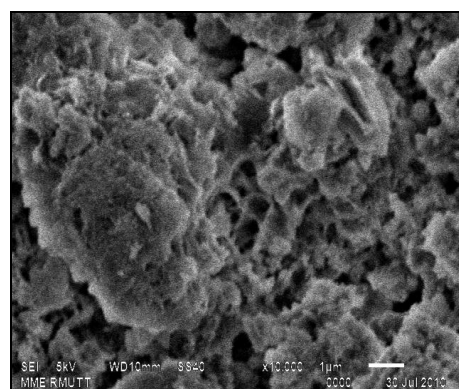
(ก)



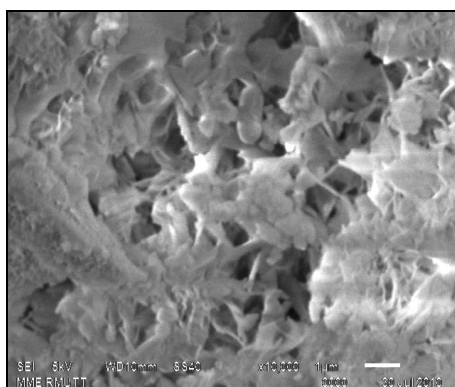
(ข)



(ค)

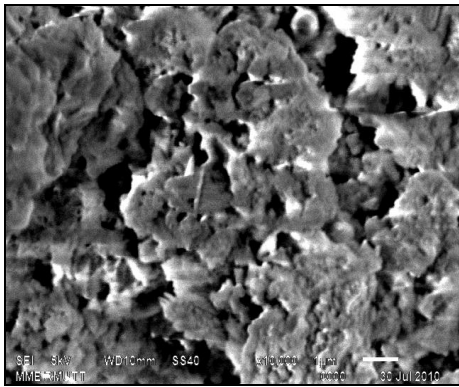


(ง)

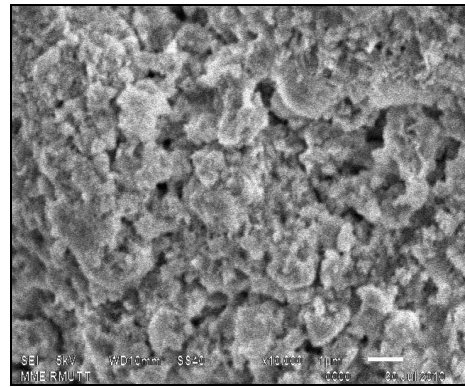


(จ)

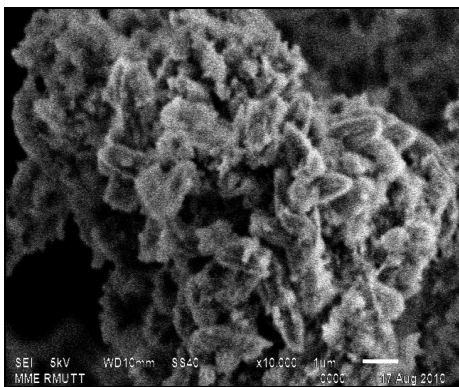
รูปที่ 4.18 ภาพขยายขณะถ่ายด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า ของพื้นผิวตะกอนสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่ถูกย่อยสลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) ก่อนการย่อยสลาย (ข) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 1 (ค) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 2 (ง) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 3 (จ) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 4



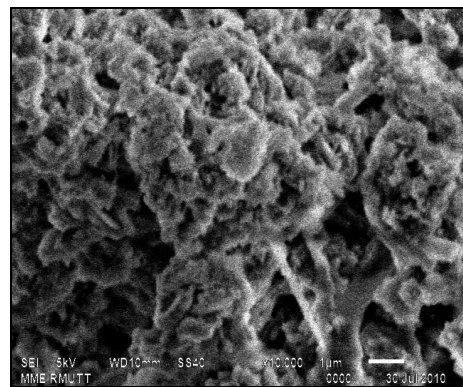
(ก)



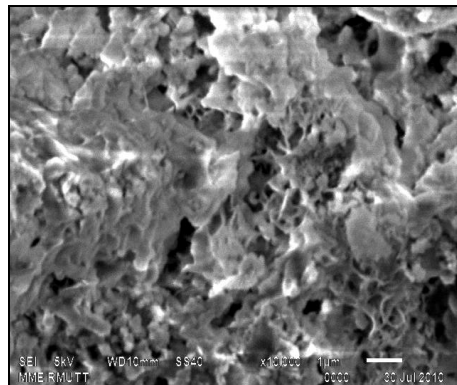
(ข)



(ค)

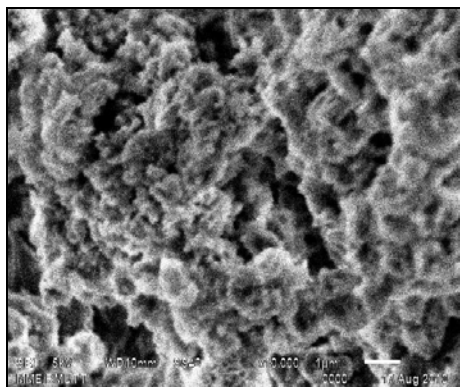


(ง)

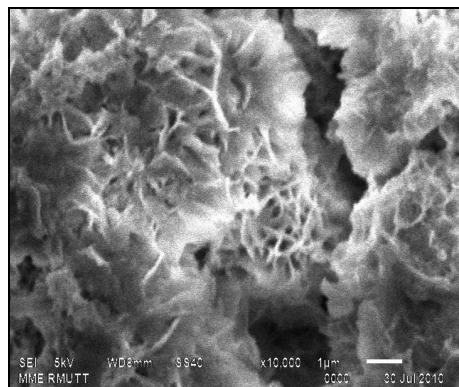


(จ)

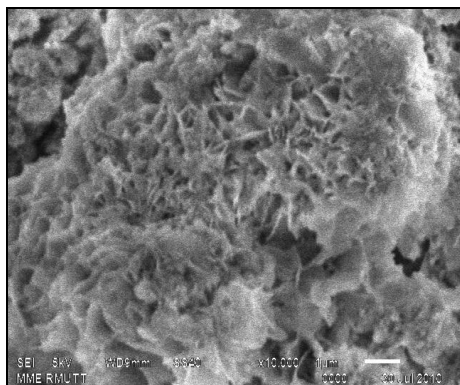
รูปที่ 4.19 ภาพขยายขณะถ่ายด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า ของพื้นผิวตะกอนสีไดเร็กซ์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ถูกย่อยสลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) ก่อนการย่อยสลาย (ข) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 1 (ค) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 2 (ง) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 3 (จ) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 4



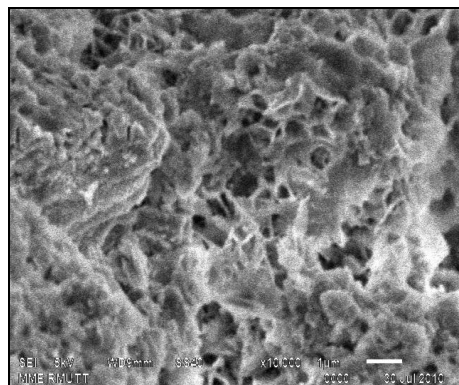
(ก)



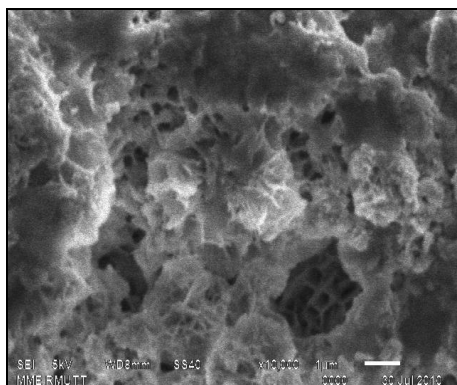
(ข)



(ค)



(ง)



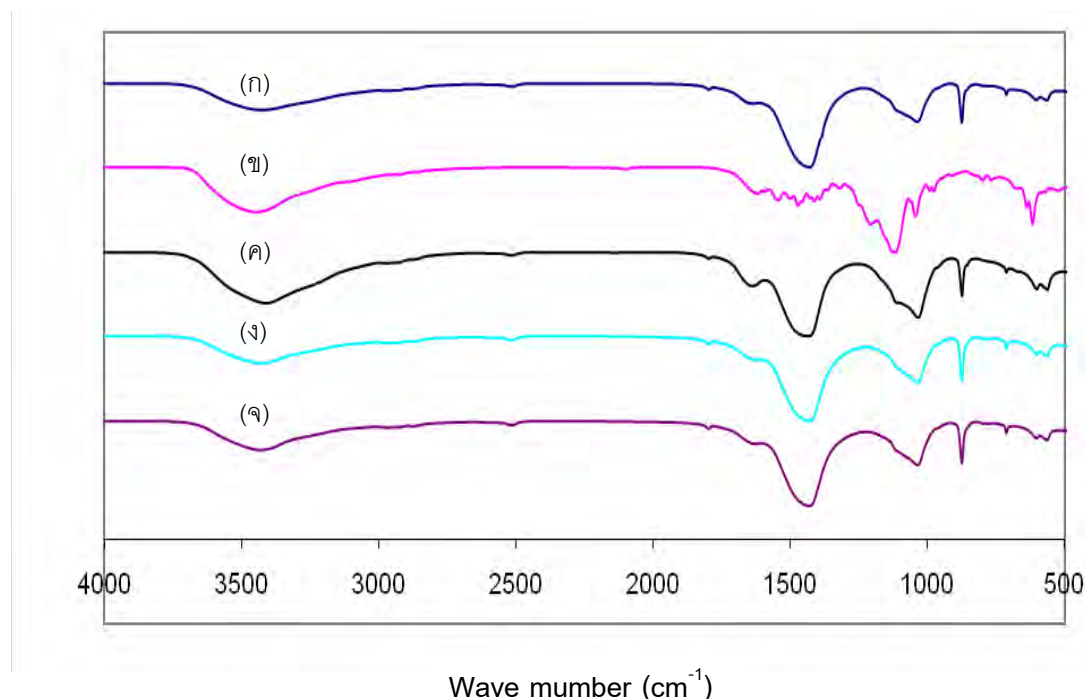
(จ)

รูปที่ 4.20 ภาพขยายขณะถ่ายด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า ของพื้นผิวของตะกอนสีขี้อมแอซิด Lanaset Blue 2R ที่ถูกย่อยสลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) ก่อนการย่อยสลาย (ข) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 1 (ค) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 2 (ง) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 3 (จ) หลังย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 4

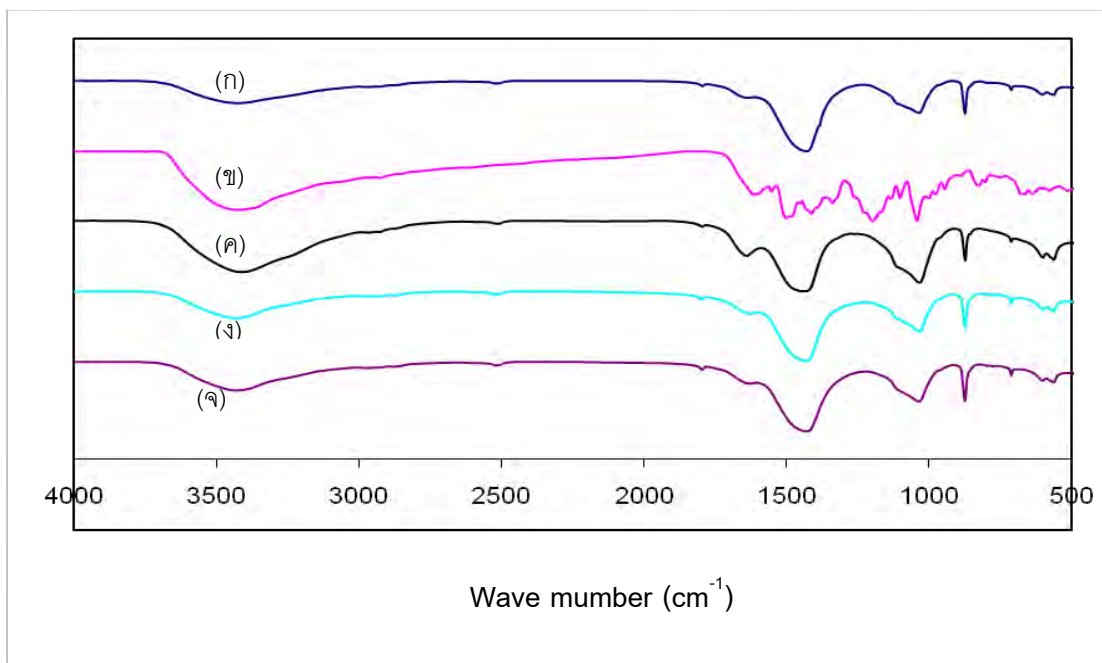
ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแยกสีย้อมออกจากน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก ได้ถูกนำไปย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ และตรวจสอบลักษณะตะกอนของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด หลังการย่อยสลายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าลักษณะตะกอนเกิดเป็นรูพรุนมากขึ้นเมื่อเวลาการย่อยสลายนานขึ้นจากการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 4 มีรูปภาพแสดงอยู่ในรูปที่ 4.18-4.20 นั่นคือตะกอนมีขนาดอนุภาคเล็กลงจากการย่อยสลายที่ยาวนานขึ้น

4.8.3 ผลการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของตะกอนสีหลังการย่อยสลาย

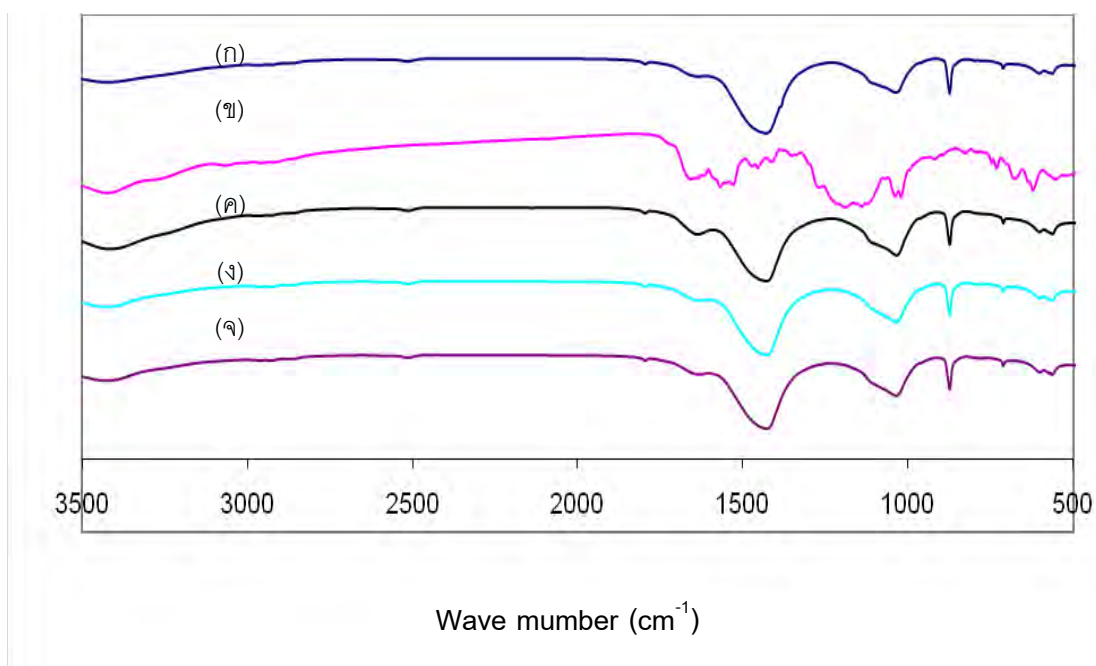
รูปที่ 4.21-4.23 แสดง FT-IR สเปกตรัมโครงสร้างทางเคมีของตะกอนสีที่ผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสีแอนไอออนทั้ง 3 ชนิด และสเปกตรัมผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก พบว่าสเปกตรัมตะกอนสีก่อนการย่อยสลายและผ่านการย่อยสลายมีลักษณะคล้ายคลึงกับสเปกตรัมของผลพลอยได้เป็นอย่างมาก อาจหมายถึงว่า เทคนิคนี้ไม่สามารถวิเคราะห์หาโครงสร้างของตะกอนสีย้อมแอนไอออนที่ถูกย่อยสลายได้เนื่องจากอาจมีปริมาณสีในตะกอนอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณผลพลอยได้ อาจจำเป็นต้องใช้เทคนิค ATR-FTIR แทน



รูปที่ 4.21 หมู่ฟังก์ชันของตะกอนสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR (ก) ผลพลอยได้ (ข) สีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B (ค) ตะกอนก่อนการย่อยสลาย (ง) ตะกอนที่ถูกย่อยสลายไป 1 สัปดาห์ (จ) ตะกอนที่ถูกย่อยสลายไป 4 สัปดาห์



รูปที่ 4.22 หมู่ฟังก์ชันของตะกอนสีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR (ก) ผลพลอยได้ (ข) สีไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% (ค) ตะกอนก่อนการย่อยสลาย (ง) ตะกอนที่ถูกย่อยสลายไป 1 สัปดาห์ (จ) ตะกอนที่ถูกย่อยสลายไป 4 สัปดาห์



รูปที่ 4.23 หมู่ฟังก์ชันของตะกอนสีแอสิด Lanaset Blue 2R เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR (ก) ผลพลอยได้ (ข) สีแอสิด Lanaset Blue 2R (ค) ตะกอนก่อนการย่อยสลาย (ง) ตะกอนที่ถูกย่อยสลายไป 1 สัปดาห์ (จ) ตะกอนที่ถูกย่อยสลายไป 4 สัปดาห์

4.9 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนแยกสีข้อมแอนไอออน

4.9.1 ผลการศึกษา ค่าซีไอดี บีไอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด

หลังการตกตะกอนแยกสีข้อมแอนไอออนทั้ง 3 ชนิดนี้ออกจากน้ำเสียสีข้อม (ตกตะกอน 2 ครั้ง) จะได้น้ำเสียที่ใสไม่มีสีของสีข้อมให้เห็นอีก และเมื่อนำน้ำส่วนนี้ไปตรวจสอบคุณภาพโดยวิเคราะห์ค่าซีไอดีและบีไอดี วัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมดตามมาตรฐานการทดสอบที่เหมาะสม ได้ผลการตรวจสอบดังแสดงในตารางที่ 4.5

ผลจากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าน้ำใสปราศจากสีที่ได้หลังการตกตะกอนแยกสีข้อม ออกจากน้ำเสียมีค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และปริมาณของแข็งแขวนลอย ที่ส่วนใหญ่สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่อนุญาตให้มีได้ในน้ำทิ้งตาม พรบ.โรงงานร่อนน้ำทิ้ง พ.ศ. 2535 (ค่าสูงสุดของซีไอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตร บีไอดี 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 150 มิลลิกรัมต่อลิตร สารที่ละลายได้ทั้งหมด 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างไรก็ตาม สามารถบำบัดน้ำเสียส่วนนี้ได้ไม่ยากนักโดยการเพิ่มปริมาณออกซิเจน และกรองของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำใสที่ผ่านการตกตะกอนแยกสีข้อมและจะสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดนี้ไปใช้หมุนเวียนต่อไปได้

จากผลการวิจัยนี้ ทำให้ทราบได้ว่า การแยกสีข้อมแอนไอออนชนิดสีรีแอกทีฟ สีไดเรกต์ และสีแอสิดออกจากน้ำเสียสีข้อม (น้ำสีหลังข้อม) จำเป็นต้องกระทำโดยการตกตะกอนสี 2 ครั้ง ตามปริมาณการใช้ผลพลอยได้และตามภาวะที่นำเสนอไว้ในตารางที่ 4.4 หลังการตกตะกอนจะได้น้ำเสียที่ใสปราศจากสีของสีข้อมให้เห็น สามารถนำน้ำใสไปใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิตสิ่งทอได้หรืออาจบำบัดน้ำเพิ่มเติมด้วยการเพิ่มออกซิเจนให้น้ำและกรองของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำก่อนทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะ อย่างไรก็ตาม พบว่ากระบวนการตกตะกอนสีข้อมไดเรกต์ด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกสามารถกระทำที่อุณหภูมิห้อง ที่พีเอช 7 ใช้ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที ให้ปริมาณผลพลอยได้ต่ำ และพบว่าปริมาณสีข้อมหลงเหลือในน้ำเสียน้อยมาก ซึ่งกระบวนการนี้ใช้พลังงานต่ำและได้ผลดีในด้านการแยกสีข้อมออกจากน้ำเสีย น้ำเสียมีพีเอชเป็นกลาง มีปริมาณสีเหลืออยู่น้อยมาก มีคุณภาพน้ำที่ดีกว่าน้ำเสียสีข้อมชนิดอื่น ทำให้การบำบัดน้ำเสียในขั้นต่อไปนี้กระทำได้ง่าย จึงน่าจะสนับสนุนการนำผลพลอยได้ชนิดนี้ไปตกตะกอนแยกสีไดเรกต์ออกจากน้ำเสียสีข้อมมากที่สุด รวมทั้งสามารถใช้ตกตะกอนแยกสีรีแอกทีฟและสีแอสิดได้ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.5 ค่าซีไอดีและบีไอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแยกสีย้อมแล้ว

น้ำเสียหลังตกตะกอนสี	ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	หลังตกตะกอนสี	ทิ้งไว้ 5 วัน	ทิ้งไว้ 5 วัน แล้วเติมออกซิเจน 1 วัน
รีแอกทีฟ Procion Red H-E7B	2,524	1,520	1,431
ไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155%	2,020	819	818
แอซิด Lanaset Blue 2R	1,693	1,028	881

น้ำเสียหลังตกตะกอนสี	บีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	หลังตกตะกอนสี	ทิ้งไว้ 5 วัน	ทิ้งไว้ 5 วัน แล้วเติมออกซิเจน 1 วัน
รีแอกทีฟ Procion Red H-E7B	1,287	474	201
ไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155%	693	150	128
แอซิด Lanaset Blue 2R	798	165	120

น้ำเสียหลังตกตะกอนสี	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สารที่ละลายได้ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
รีแอกทีฟ Procion Red H-E7B	22,308	1,815
ไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155%	8	1,752
แอซิด Lanaset Blue 2R	26,300	1,838

4.9.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆ

ตารางที่ 4.6-4.8 แสดงผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะในน้ำเสี้ยวที่เกิดขึ้นหลังการตกตะกอนแยกสีย้อมออกจากน้ำเสี้ยวสีย้อมแล้ว พบว่าน้ำเสี้ยวทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณโลหะหนักต่างๆคือ แคดเมียม ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โครเมียม ตะกั่ว ต่ำใกล้เคียงปริมาณที่พบในน้ำกลั่นในห้องปฏิบัติการ (ดูตารางที่ ข1 ในภาคผนวก ข) น้ำเสี้ยวนี้มีปริมาณโลหะโซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียมและแคลเซียม ค่อนข้างสูง อาจจำเป็นต้องแยกโลหะเหล่านี้ออกก่อนนำน้ำไปใช้ หมุนเวียนในอุตสาหกรรมต่อไปหรืออาจนำน้ำไปใช้ในการตกตะกอนแยกสีแอนไอออนออกจากน้ำเสี้ยวสีย้อมได้อีก ปริมาณเกลือโซเดียมที่ค่อนข้างสูงมาจากเกลือโซเดียมที่เหลือจากการย้อมสี แอนไอออนทั้ง 3 ชนิด ส่วนปริมาณแมกนีเซียม โพแทสเซียมและแคลเซียมมาจากผลพลอยได้ที่ใช้ในการตกตะกอนสี

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆในน้ำเสหลังจากการตกตะกอนแยกสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
โซเดียม	1116
แมกนีเซียม	485.5
โพแทสเซียม	17.27
แคลเซียม	958.4
ฟอสฟอรัส	น้อยกว่า 0.10
โครเมียม	0.35
แมงกานีส	น้อยกว่า 0.10
โมลิบดีนัม	น้อยกว่า 0.10
เหล็ก	0.59
โคบอลต์	น้อยกว่า 0.10
นิกเกิล	น้อยกว่า 0.10
ทองแดง	น้อยกว่า 0.10
สังกะสี	น้อยกว่า 0.10
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.10
สารหนู	น้อยกว่า 0.10
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.10
อะลูมิเนียม	0.73
ดีบุก	น้อยกว่า 0.10

หมายเหตุ โลหะบางชนิดที่มีปริมาณโลหะต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆในน้ำเสหลังจากการตกตะกอนแยกสีไดเร็กซ์ Solophenyl Green BLE 155% โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
โซเดียม	619.4
แมกนีเซียม	405.7
โพแทสเซียม	14.8
แคลเซียม	1465
ฟอสฟอรัส	น้อยกว่า 0.10
โครเมียม	0.39
แมงกานีส	0.21
โมลิบดีนัม	น้อยกว่า 0.10
เหล็ก	0.81
โคบอลต์	น้อยกว่า 0.10
นิกเกิล	น้อยกว่า 0.10
ทองแดง	น้อยกว่า 0.10
สังกะสี	น้อยกว่า 0.10
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.10
สารหนู	น้อยกว่า 0.10
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.10
อะลูมิเนียม	1.25
ดีบุก	น้อยกว่า 0.10

หมายเหตุ โลหะบางชนิดที่มีปริมาณโลหะต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆ ในน้ำเสหลังจากการตกตะกอนแยกสีแอสซิด Lanaset Blue 2R โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
โซเดียม	536.5
แมกนีเซียม	425.2
โพแทสเซียม	10.04
แคลเซียม	1623
ฟอสฟอรัส	น้อยกว่า 0.10
โครเมียม	0.35
แมงกานีส	0.28
โมลิบดีนัม	น้อยกว่า 0.10
เหล็ก	4.16
โคบอลต์	น้อยกว่า 0.10
นิกเกิล	น้อยกว่า 0.10
ทองแดง	น้อยกว่า 0.10
สังกะสี	น้อยกว่า 0.10
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.10
สารหนู	น้อยกว่า 0.10
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.10
อะลูมิเนียม	0.95
ดีบุก	น้อยกว่า 0.10

หมายเหตุ โลหะบางชนิดที่มีปริมาณโลหะต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถวัดค่าได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออนออกจากร้าน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากผลการวิจัยทั้งหมดนี้ สามารถสรุปได้ว่าการแยกสีย้อมแอนไอออนออกจากร้าน้ำเสียสีย้อมโดยกระบวนการตกตะกอนสีด้วยผลพลอยได้ที่เกิดจากการผลิตกรดแล็กติกมีความเป็นไปได้สูง สามารถแยกสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B, สีไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% และสีแอซิด Lanaset Blue 2R ที่ใช้ในการทดลอง ออกจากร้าน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการตกตะกอนสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ออกจากร้าน้ำสีย้อมโดยใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกใช้หลักการตกตะกอนสีย้อมที่มีประจุลบด้วยสารต่างๆ ที่มีประจุบวกในผลพลอยได้ ซึ่งหลังการตกตะกอนได้น้ำใสไม่มีสีให้เห็น สามารถนำน้ำใสส่วนนี้ไปใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิตสิ่งทอต่อไปได้ แต่การตกตะกอนสีย้อมแอนไอออนเหล่านี้โดยใช้ผลพลอยได้ จำเป็นต้องกระทำกับน้ำสีย้อมที่เหลือจากการย้อมในหม้อย้อมเพราะมีความเข้มข้นสีต่ำ จะใช้ผลพลอยได้ปริมาณต่ำในการตกตะกอนสี ถ้าใช้ปริมาณผลพลอยได้มากเกินไป จะได้น้ำที่มีสีของผลพลอยได้ด้วย

5.1.2 จากผลการวิจัยนี้สามารถสรุปภาวะที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนแยกสีย้อมแอนไอออนออกจากร้าน้ำเสียสีย้อมที่ทำการทดลองได้ดังนี้

- การตกตะกอนสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ออกจากร้าน้ำเสีย ใช้ปริมาณผลพลอยได้ 10 กรัม ทำการตกตะกอนที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่ความเร็วรอบการเขย่า 120 รอบต่อนาที สำหรับการตกตะกอนรอบแรก และใช้ผลพลอยได้ 2 กรัม ทำการตกตะกอนที่ภาวะเดิมสำหรับการตกตะกอนรอบที่ 2

- การตกตะกอนสีไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% ออกจากร้าน้ำเสีย ใช้ปริมาณผลพลอยได้ 5 กรัม ทำการตกตะกอนที่พีเอช 7 อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที ที่ความเร็วรอบการเขย่า 60 รอบต่อนาที สำหรับการตกตะกอนรอบแรก และใช้ผลพลอยได้ 2 กรัม ทำการตกตะกอนที่ภาวะเดิมสำหรับการตกตะกอนรอบที่ 2

- การตกตะกอนสีแอซิด Lanaset Blue 2R ออกจากร้าน้ำเสีย ใช้ปริมาณผลพลอยได้ 5 กรัม ทำการตกตะกอนที่พีเอช 3 อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที ที่ความเร็วรอบ

การเขย่า 120 รอบต่อนาที สำหรับการตกตะกอนรอบแรก และใช้ผลพลอยได้ 1 กรัม ทำการตกตะกอนที่ภาวะเดิมสำหรับการตกตะกอนรอบที่ 2

5.1.3 น้ำเสียที่ใสหลังจากการตกตะกอนสีแล้วมีปริมาณโลหะหนักไม่แตกต่างจากที่พบในน้ำกลั่นในห้องปฏิบัติการ ถึงแม้จะมีค่า บีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่สามารถบำบัดโดยการกรองของแข็งแขวนลอยออก และเติมออกซิเจนให้น้ำจะสามารถนำน้ำหลังบำบัดไปใช้งานต่อไปได้

5.1.4 สามารถใช้จุลินทรีย์ในอากาศย่อยสลายตะกอนสีที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนแยกสีออกมาจากน้ำเสียได้

งานวิจัยนี้แสดงถึงการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก (by-product) เป็นวัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียสีขุ่นแอนไอออนทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ในการทดลองให้สามารถนำน้ำหลังการบำบัดไปใช้หมุนเวียนต่อไป ส่วนตะกอนสีที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นของเสียก็สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ จึงเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีต้นทุนต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองการตกตะกอนแยกสีขุ่นแอนไอออนออกจากน้ำเสียสีขุ่นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

5.2.1 ขยายผลการวิจัยนี้จากระดับห้องปฏิบัติการสู่ระดับโรงงาน

5.2.2 วิเคราะห์ต้นทุนกระบวนการการใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกในการตกตะกอนแยกสีขุ่นออกจากน้ำเสียสีขุ่น

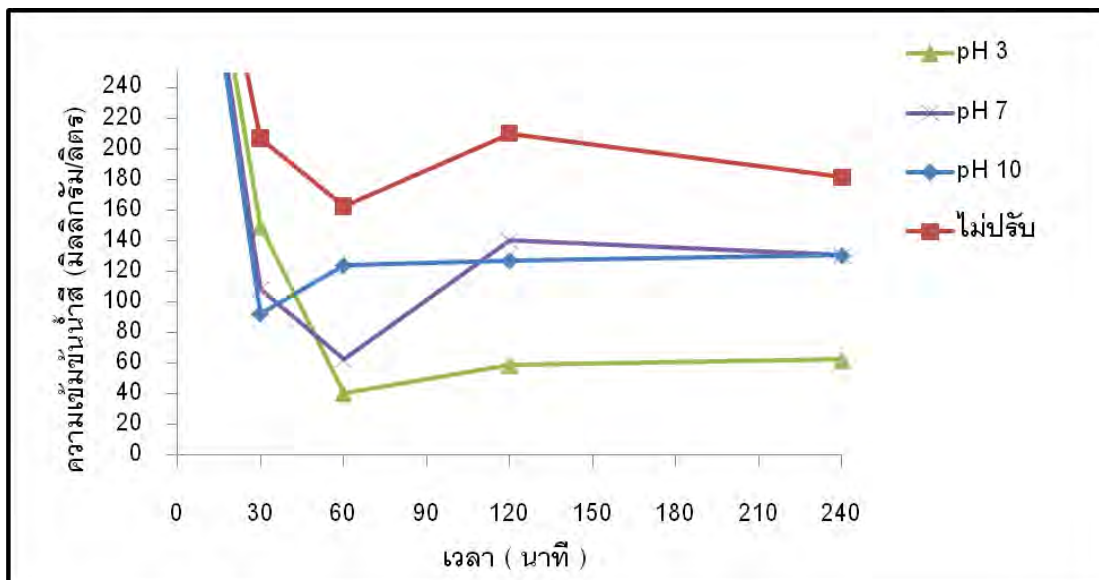
รายการอ้างอิง

- [1] C.L. Bird. and W.S. Boston. 1975. "The theory of Colouration of Textile". Dyers Company Publications Trust. P 3.
- [2] มนตรี รัตนวิจิตร และคณะ. คู่มือวิชาการสิ่งทอ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัททีทีไอเอส จำกัดและมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2544.
- [3] กาวี ศรีกุลกิจ. หลักการย้อมสีสิ่งทอ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544.
- [4] J. Porter. 1993. "Interpretation of sorption isotherms of Mixtures of Direct Dyes on Cellose". Textile chemist and Colorist. 25, 27-37.
- [5] ธงชัย พรธนะสวัสดิ์. การกำจัดสีย้อมของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า. (เล่มที่ 1-5): กรุงเทพมหานคร. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล และสถาบันวิจัยและพัฒนา ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2527.
- [6] อัจฉราพร ไคละสูตร. คู่มือการย้อมสี. กรุงเทพมหานคร: เทคนิค 19 การพิมพ์. 2527.
- [7] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า. กรุงเทพมหานคร: ในคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานฟอกย้อม. 2542.
- [8] นันทยา ยานูเมศ. กระบวนการผลิตและลักษณะน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. รายงานสรุปผลการประชุมสัมมนาเรื่องการบริหารบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 26 มีนาคม 2534
- [9] ชนิตา เสมรัตน์. ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.
- [10] O'melia, C.R. Coagulation and Flocculation. Physiochemical process for water quality control. New York: Webber W.J. Weley Interscience.1972.
- [11] มั่นสิน ตันฑุลเวศน์. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1 กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ ก. จีวรรณ. 2526.
- [12] ศุภฤกษ์ สิ้นสุวรรณ. วิศวกรรมการประปา. การออกแบบวิศวกรรมสุขาภิบาลเล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2528.
- [13] ชนากานต์ ธรรมกิจไพโรจน์. การใช้ผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟ. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.
- [14] นุศรา นฤมลดี. การใช้กากไหมเซรีซินและผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติกในการพิมพ์ด้วยสีรีแอกทีฟของผ้าฝ้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.

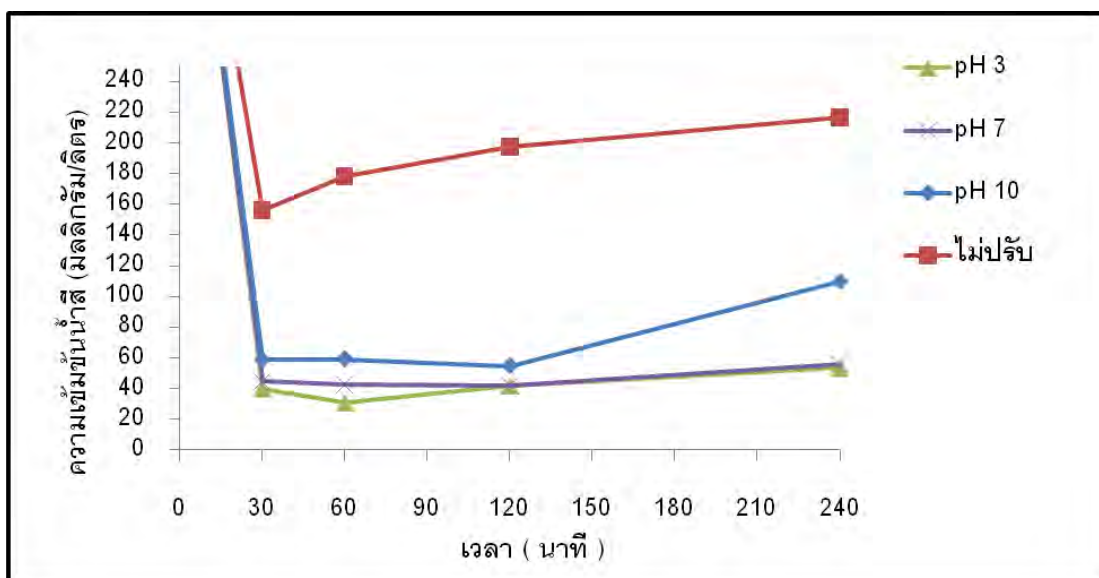
- [15] เบนญจวรรณ สุทธิไชย. การบำบัดน้ำเสียสีย้อมประเภทละลายน้ำด้วยเกลือไดโครโตซานจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.
- [16] นภา ศิวรังสรรค์. การกำจัดสีน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยพอลิเมอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
- [17] W. Chu. 2001. Dye removal from textile dye wastewater using recycled alum sludge. Water Research. 35,13 : 3147-3152.
- [18] B. 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. 143 : 567-574.
- [19] W.G. Kuo. 1992. "Decolorizing dye wastewater with fenton's reagent". Water Research. 26, 7 : 881-886.
- [20] N. Koprivanac, G. Bosanac, Z. Grabaric. 1993. Treatment of wastewater from dye industry". Environmental technology. 14 : 385-390.
- [21] สิริรัตน์ จารุจินดา, กาวี ศรีภูลกิจ, และอุษา แสงวัฒนาโรจน์. ปฏิบัติการเคมีสิ่งทอ. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.
- [22] G. Julia, T. France, A. Jose, H. Garcia, D. Xavier, P. Jose. 2005 .Degradation of Procion Red H-E7B reactive dye by coupling a photo-Fenton system with a sequencing batch reactor . Journal of Hazardous Materials. 134 : 220-229.
- [23] S.A. Figueiredo, J.M. Loureiro, R.A. Bouventura. 2005 .Natural waste materials containing chitin as adsorbents for textile dyestuffs: Batch and continuous studies. Water Research. 39 : 4142-4152.
- [24] S. Maria, F. Eliane. 2007. Toxicity of textile dyes and their degradation by the enzyme horseradish peroxidase (HRP). Journal of Hazardous Materials. 1073-1078.
- [25] P. Nigam, I.M. Banat, D. Singh, R. Marchant. 1995 .Microbial Process for the Decolorization of Textile Effluent Containing Azo, Diazo and Reactive Dyes. Process Biochemical. 31 : 435-442.

ภาคผนวก

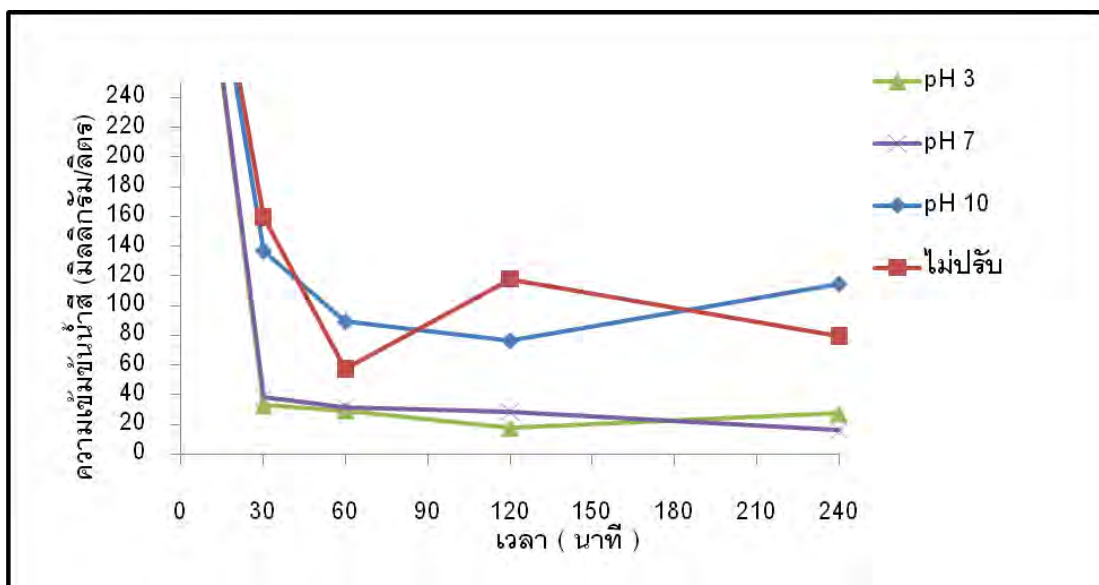
ภาคผนวก ก



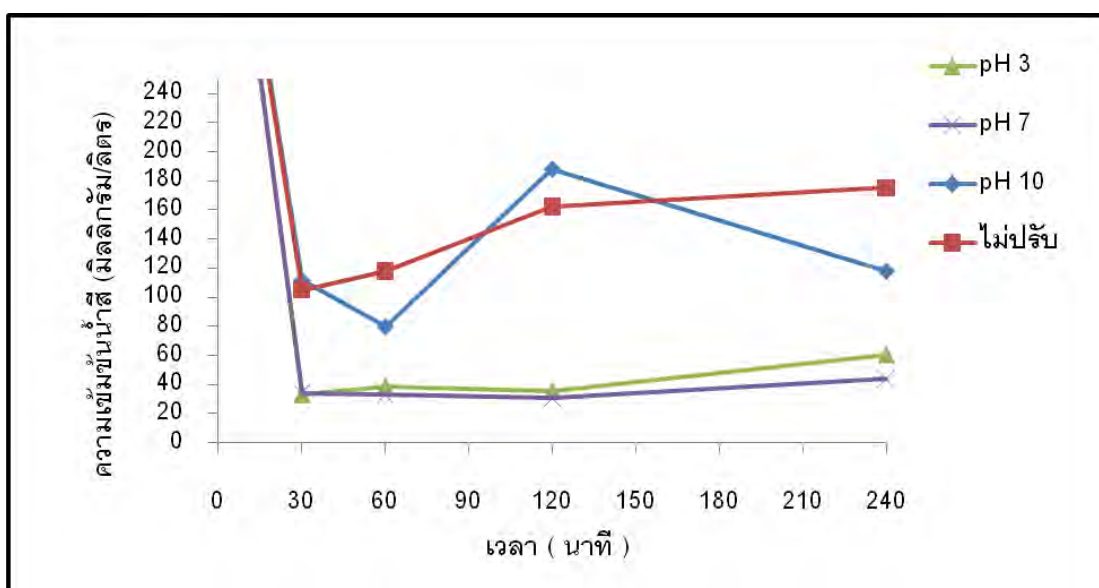
รูปที่ ก1 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียย้อมสีรีแอคทีฟ Procion Red H-E7B ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการเขย่า 60 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 10 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



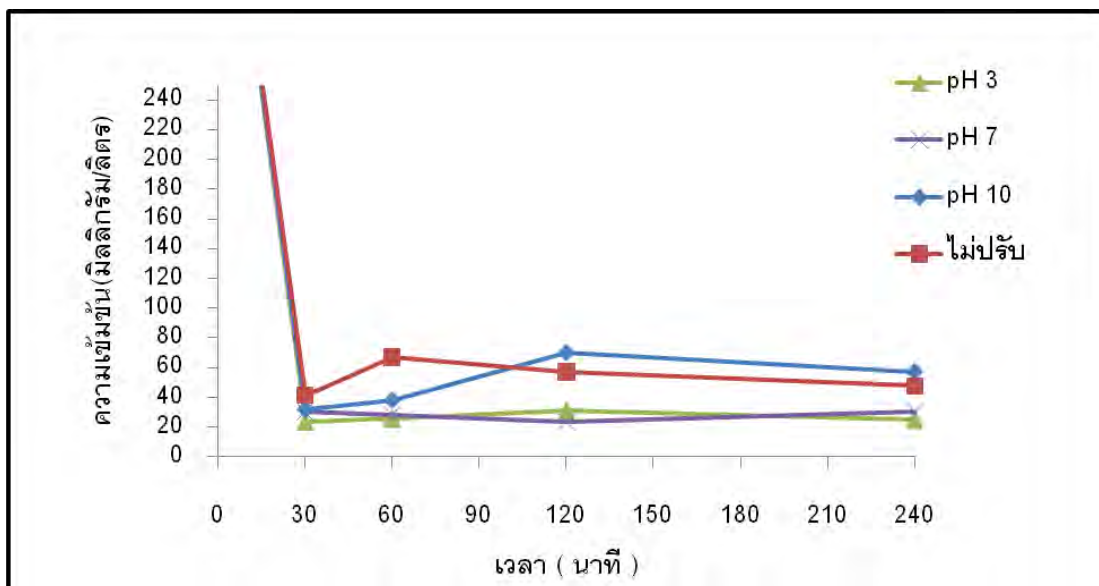
รูปที่ ก2 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียย้อมสีรีแอคทีฟ Procion Red H-E7B ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 10 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



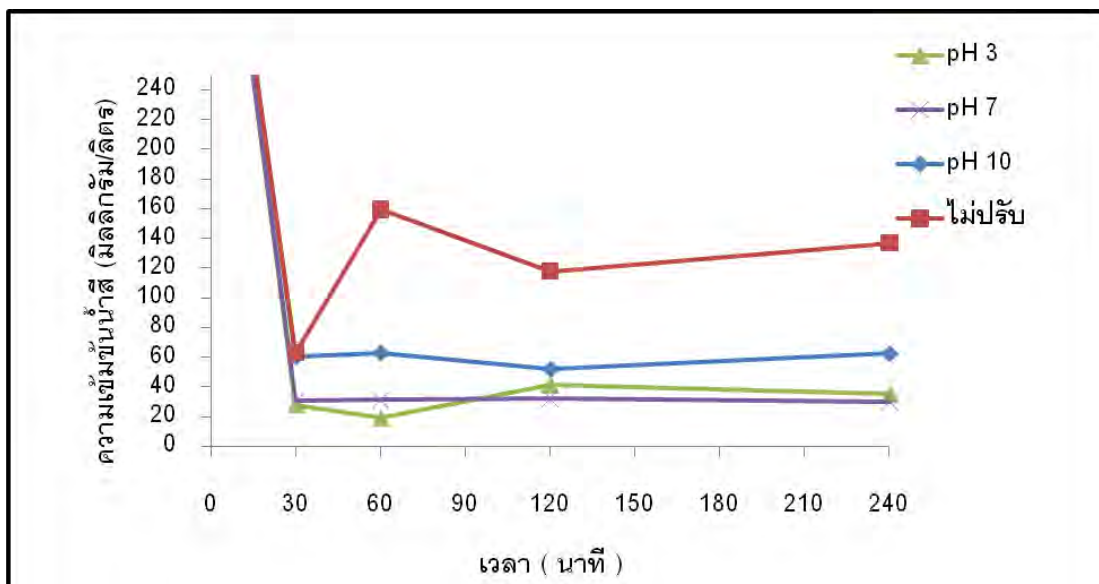
รูปที่ 3 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีย้อมรีแอคทีฟ Procion Red H-E7B ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 60 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 10 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



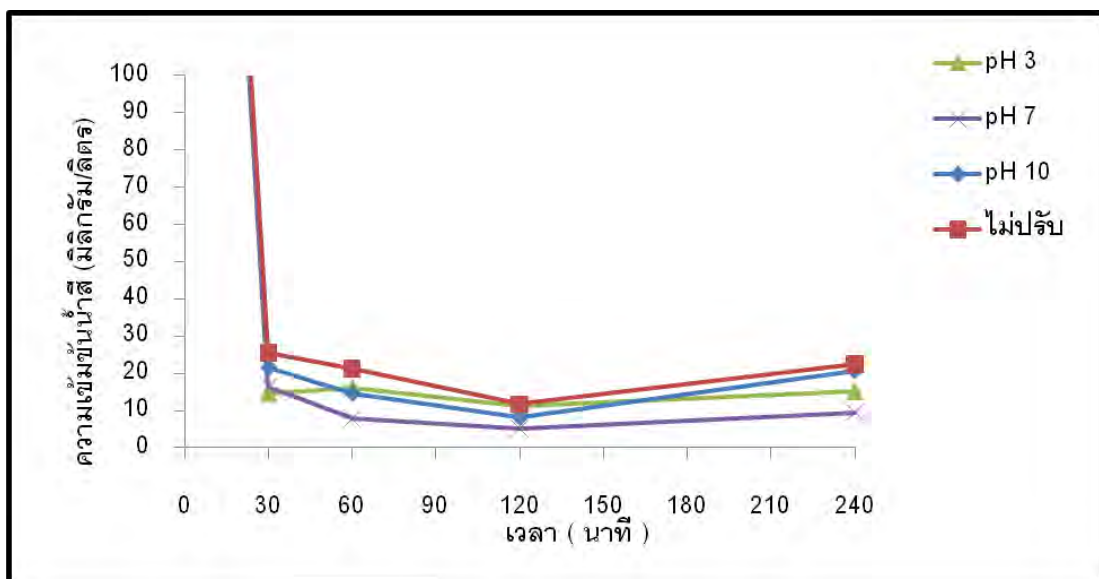
รูปที่ 4 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีย้อมรีแอคทีฟ Procion Red H-E7B ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 10 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



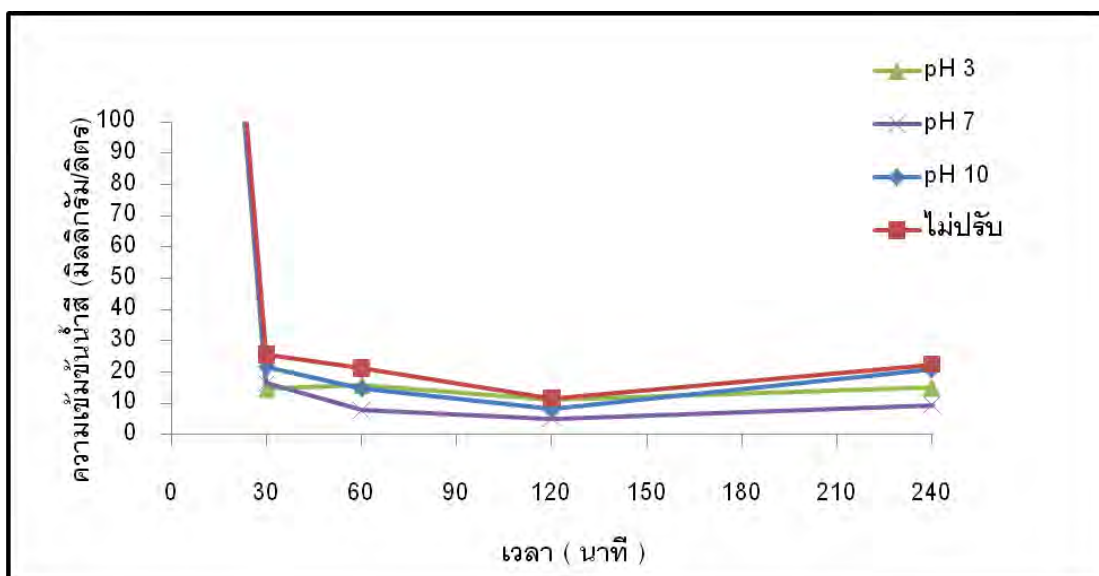
รูปที่ ก5 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 60 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 10 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



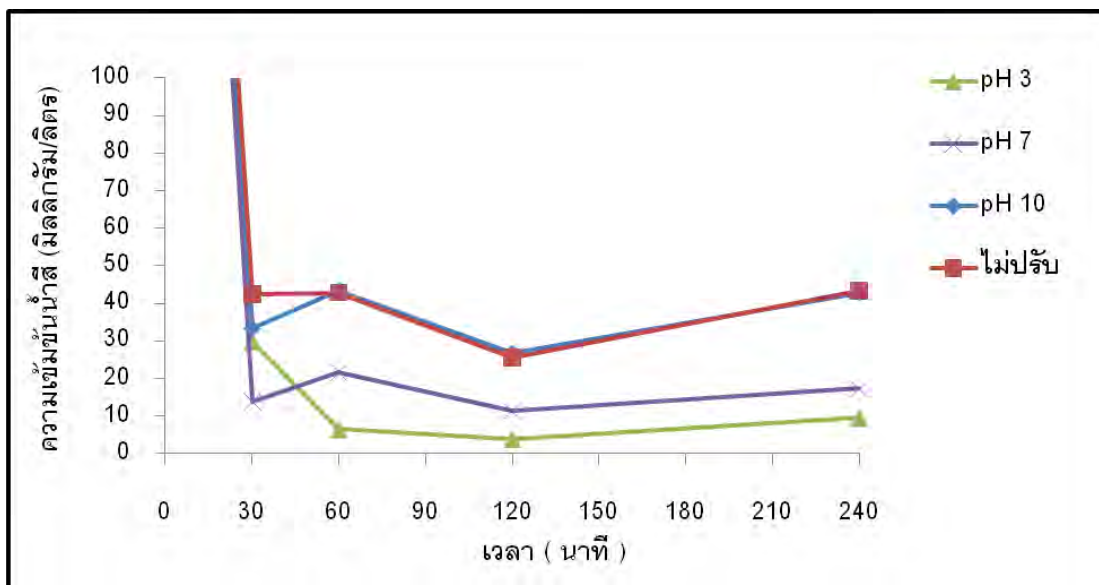
รูปที่ ก6 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 10 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



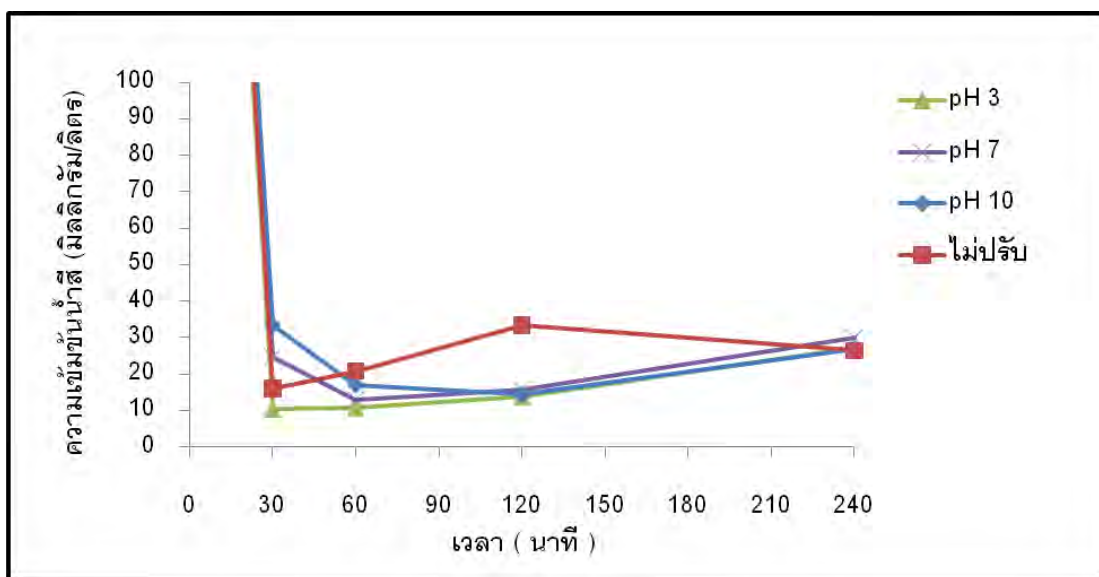
รูปที่ ก7 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีข้อมไตรีกต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการเขย่า 60 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



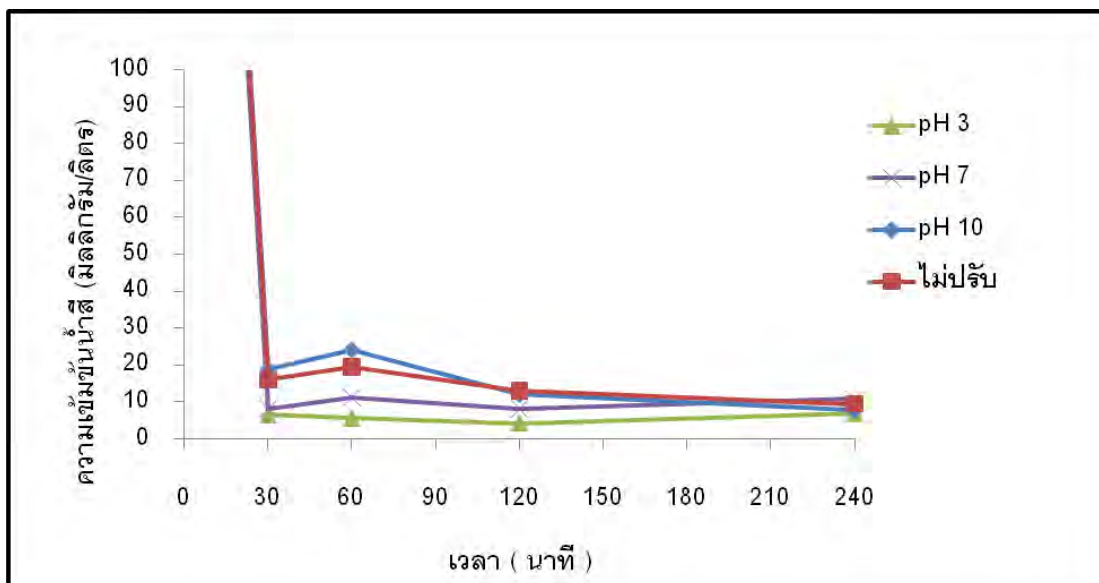
รูปที่ ก8 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีข้อมไตรีกต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



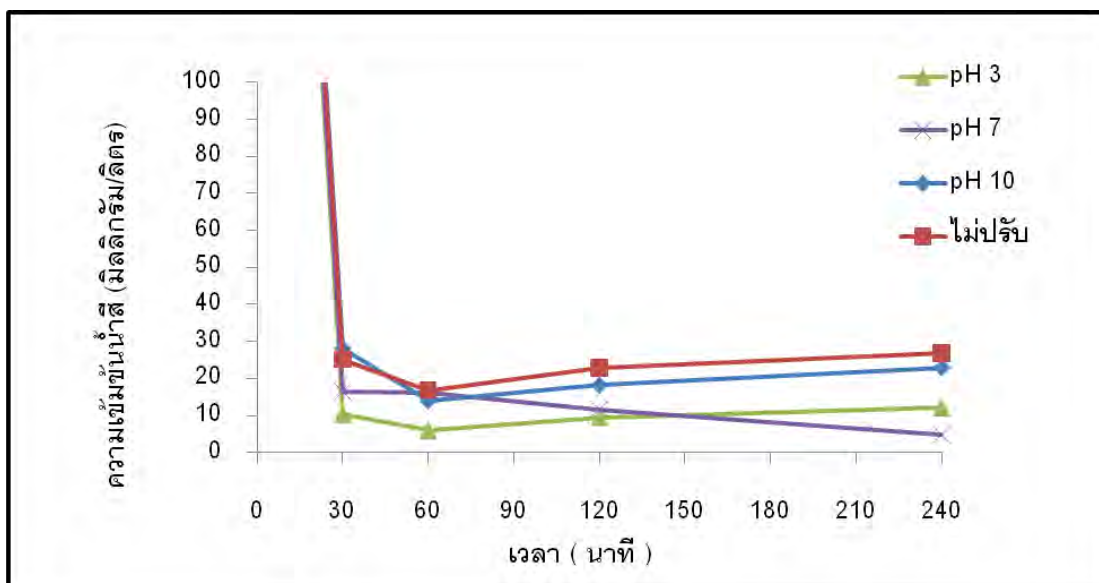
รูปที่ ก9 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีข้มไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 60 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



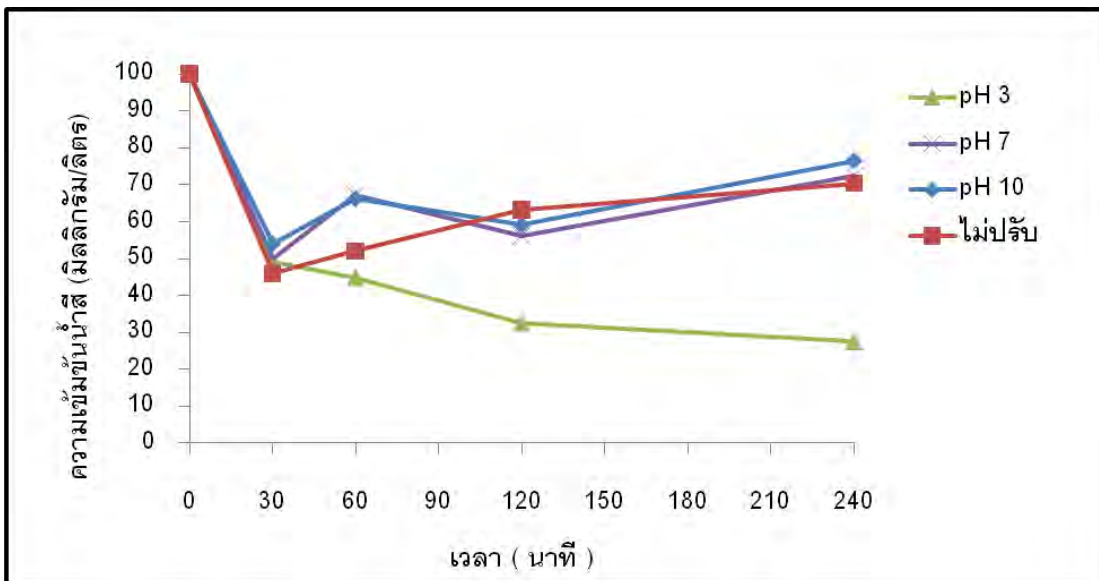
รูปที่ ก10 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีข้มไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



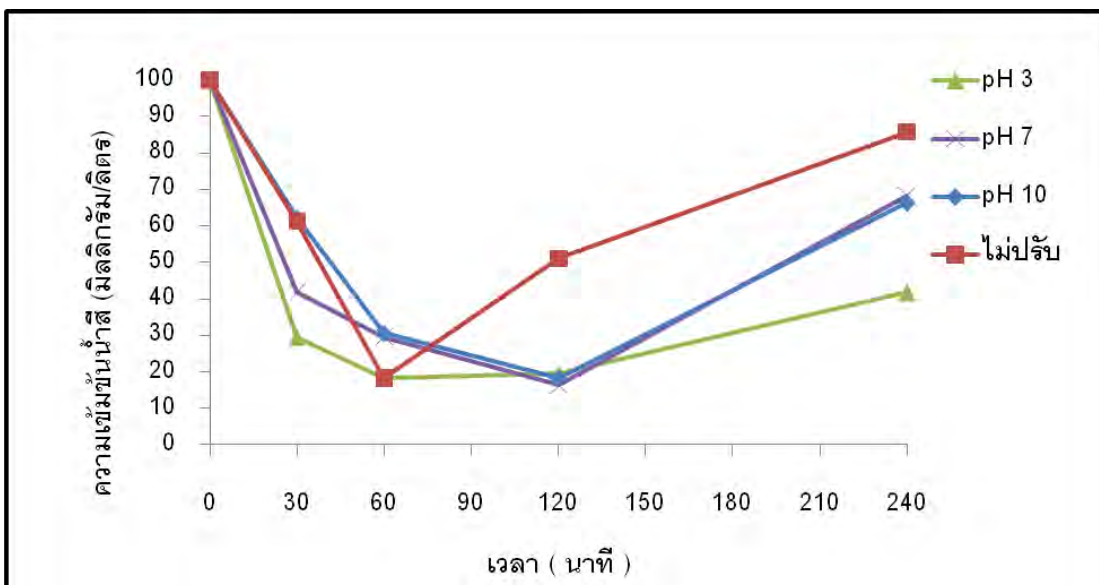
รูปที่ 11 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีย้อมไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 60 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



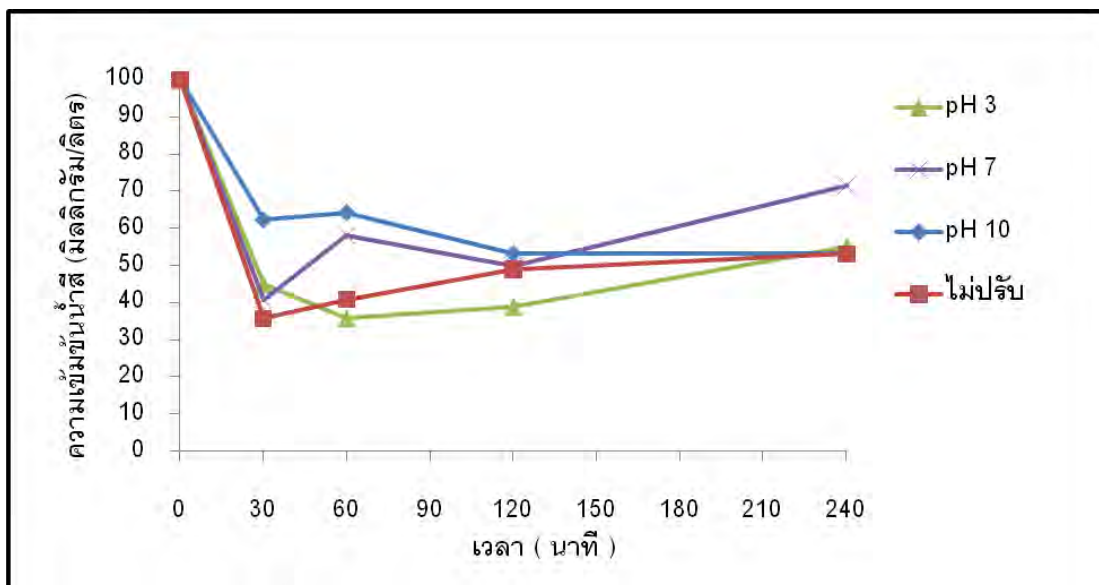
รูปที่ 12 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีย้อมไดเร็กต์ Solophenyl Green BLE 155% ที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



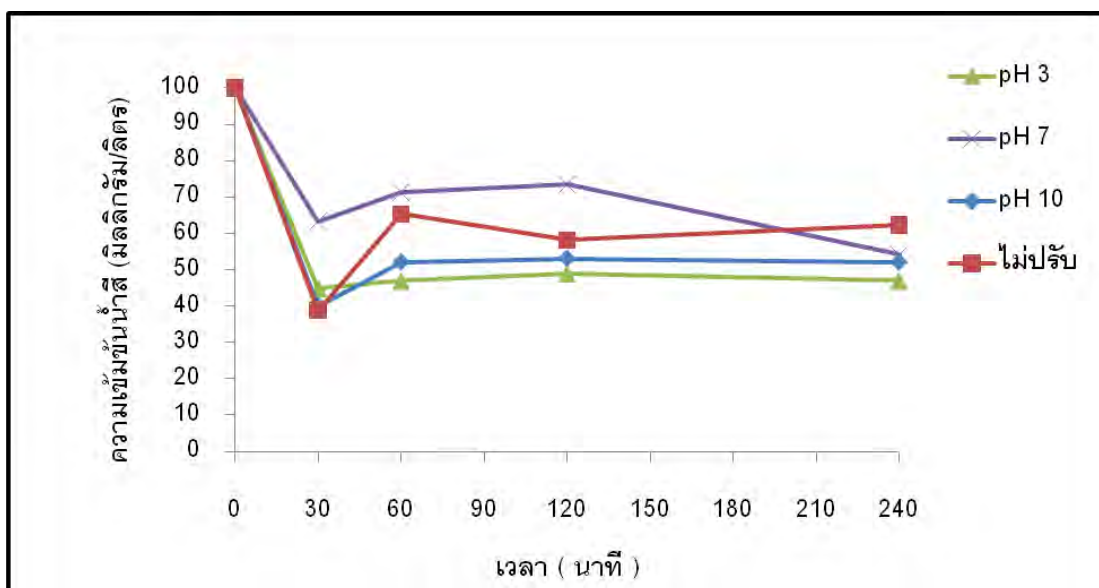
รูปที่ 13 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีขุ่นแอมแอดิค Lanaset Blue 2R ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการเขย่า 60 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



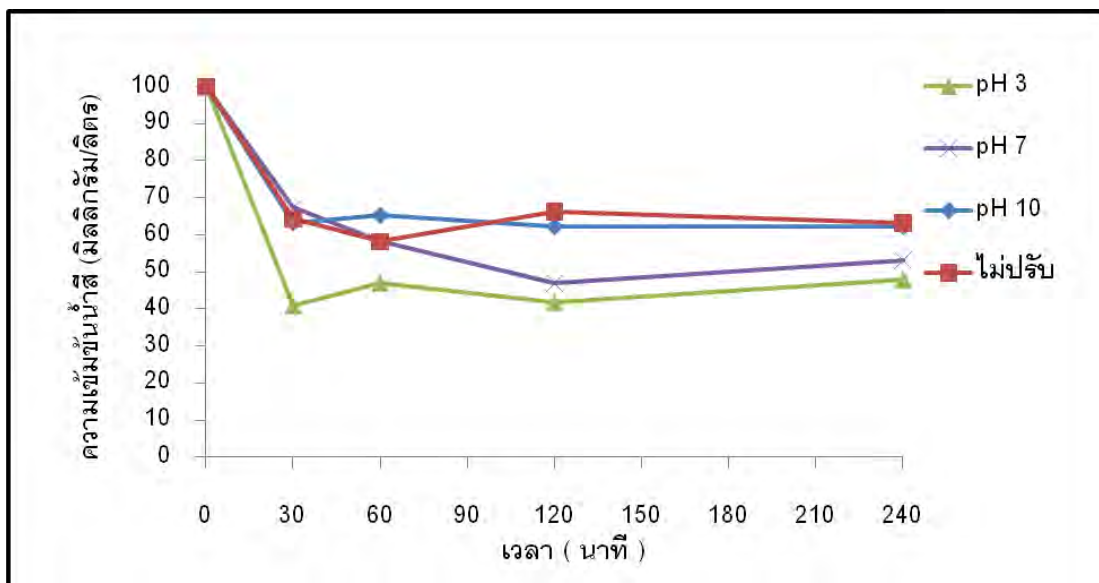
รูปที่ 14 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีขุ่นแอมแอดิค Lanaset Blue 2R ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



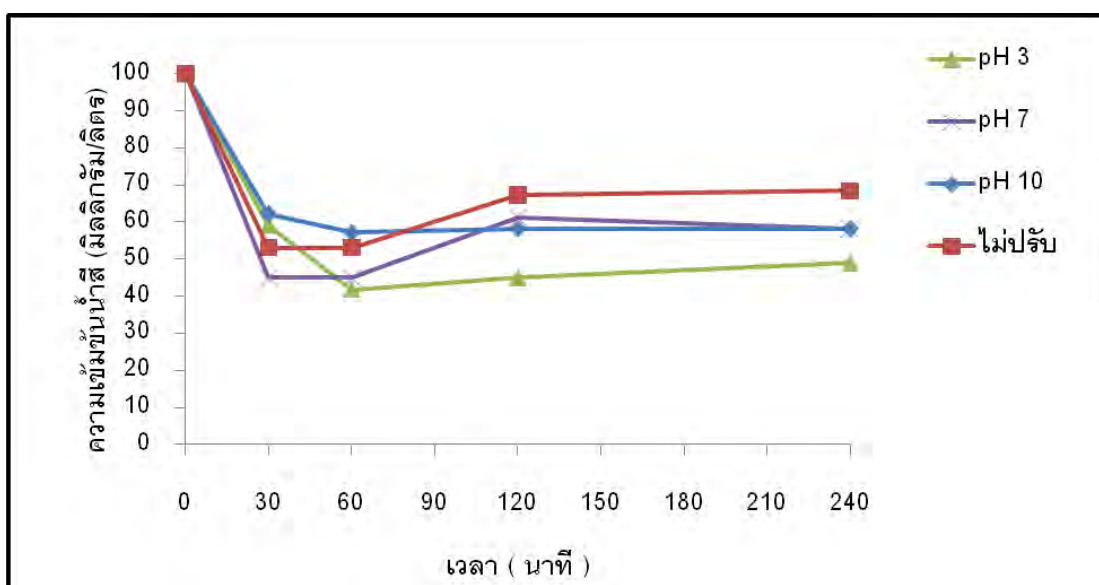
รูปที่ ก15 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีย้อมแอสิด Lanaset Blue 2R ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 60 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอช และเวลาในการตกตะกอน



รูปที่ ก16 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีย้อมแอสิด Lanaset Blue 2R ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอช และเวลาในการตกตะกอน



รูปที่ ก17 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีขุ่นแอมโมเนียม Lanaset Blue 2R ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 60 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน



รูปที่ ก18 การตกตะกอนแยกสีออกจากน้ำเสียสีขุ่นแอมโมเนียม Lanaset Blue 2R ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบ/นาที ผลพลอยได้ 5 กรัม ผันแปรพีเอชและเวลาในการตกตะกอน

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆในน้ำกัลัน โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
โซเดียม	9.81
แมกนีเซียม	1.42
โพแทสเซียม	3.17
แคลเซียม	6.26
ฟอสฟอรัส	น้อยกว่า 0.10
โครเมียม	0.39
แมงกานีส	น้อยกว่า 0.10
โมลิบดีนัม	น้อยกว่า 0.10
เหล็ก	1.94
โคบอลต์	น้อยกว่า 0.10
นิกเกิล	น้อยกว่า 0.10
ทองแดง	น้อยกว่า 0.10
สังกะสี	น้อยกว่า 0.10
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.10
สารหนู	น้อยกว่า 0.10
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.10
อะลูมิเนียม	1.21
ดีบุก	น้อยกว่า 0.10

หมายเหตุ โลหะบางชนิดที่มีปริมาณโลหะต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ ข2 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆในน้ำสีข้อมรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B โดยเทคนิคInductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
โซเดียม	3103
แมกนีเซียม	2.55
โพแทสเซียม	8.17
แคลเซียม	6.72
ฟอสฟอรัส	น้อยกว่า 0.10
โครเมียม	0.42
แมงกานีส	น้อยกว่า 0.10
โมลิบดีนัม	น้อยกว่า 0.10
เหล็ก	2.61
โคบอลต์	น้อยกว่า 0.10
นิกเกิล	น้อยกว่า 0.10
ทองแดง	น้อยกว่า 0.10
สังกะสี	น้อยกว่า 0.10
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.10
สวารหนู	น้อยกว่า 0.10
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.10
อะลูมิเนียม	1.94
ดีบุก	น้อยกว่า 0.10

หมายเหตุ โลหะบางชนิดที่มีปริมาณโลหะต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ ข3 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆ ในน้ำสีข้อมไ้เว้กัต์ Solophenyl Green BLE 155%โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
โซเดียม	1505
แมกนีเซียม	6.65
โพแทสเซียม	6.39
แคลเซียม	11.22
ฟอสฟอรัส	น้อยกว่า 0.10
โครเมียม	1.15
แมงกานีส	น้อยกว่า 0.10
โมลิบดีนัม	น้อยกว่า 0.10
เหล็ก	1.53
โคบอลต์	น้อยกว่า 0.10
นิกเกิล	2.88
ทองแดง	น้อยกว่า 0.10
สังกะสี	น้อยกว่า 0.10
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.10
สารหนู	น้อยกว่า 0.10
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.10
อะลูมิเนียม	2.68
ดีบุก	น้อยกว่า 0.10

หมายเหตุ โลหะบางชนิดที่มีปริมาณโลหะต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ ข4 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆ ในน้ำสีข้มสีแสด Lanaset Blue 2R ด้วยวิธีการทดสอบ Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
โซเดียม	1235
แมกนีเซียม	9.62
โพแทสเซียม	11.25
แคลเซียม	41.62
ฟอสฟอรัส	น้อยกว่า 0.10
โครเมียม	0.38
แมงกานีส	น้อยกว่า 0.10
โมลิบดีนัม	น้อยกว่า 0.10
เหล็ก	0.78
โคบอลต์	น้อยกว่า 0.10
นิกเกิล	น้อยกว่า 0.10
ทองแดง	น้อยกว่า 0.10
สังกะสี	น้อยกว่า 0.10
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.10
สวารหนู	น้อยกว่า 0.10
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.10
อะลูมิเนียม	1.85
ดีบุก	น้อยกว่า 0.10

หมายเหตุ โลหะบางชนิดที่มีปริมาณโลหะต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ ข5 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะต่างๆ ในน้ำสกัดผลพลอยได้จากการผลิตกรด แล็กติก โดยเทคนิคInductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
โซเดียม	17.3
แมกนีเซียม	210.8
โพแทสเซียม	8.41
แคลเซียม	116.4
ฟอสฟอรัส	น้อยกว่า 0.10
โครเมียม	0.49
แมงกานีส	น้อยกว่า 0.10
โมลิบดีนัม	น้อยกว่า 0.10
เหล็ก	0.16
โคบอลต์	น้อยกว่า 0.10
นิกเกิล	น้อยกว่า 0.10
ทองแดง	น้อยกว่า 0.10
สังกะสี	น้อยกว่า 0.10
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.10
สสารหนู	น้อยกว่า 0.10
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.10
อะลูมิเนียม	1.50
ดีบุก	น้อยกว่า 0.10

หมายเหตุ โลหะบางชนิดที่มีปริมาณโลหะต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถวัดค่าได้

ภาคผนวก ค



(ก่อนตกตะกอน)



(หลังตกตะกอน)

รูปที่ ค1 ลักษณะน้ำเสียสีย้อมรีเอกทีฟ Procion Red H-E7B ทั้งก่อนและหลังการตกตะกอนด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก



(ก่อนตกตะกอน)



(หลังตกตะกอน)

รูปที่ ค2 ลักษณะน้ำเสียสีย้อมไดเรกต์ Solophenyl Green BLE 155% ทั้งก่อนและหลังการตกตะกอนด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก



(ก่อนตกตะกอน)



(หลังตกตะกอน)

รูปที่ ค3 ลักษณะน้ำเสียสีส้มแสด Lanaset Blue 2R ทั้งก่อนและหลังการตกตะกอนด้วยผลพลอยได้จากการผลิตกรดแล็กติก

ภาคผนวก ง

(สำเนา)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535
เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

.....

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า “ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศใช้ในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)” รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานดังนี้

ข้อที่ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของโรงงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อที่ 2 น้ำที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0
2. ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้
 - 2.1 ค่า ทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่ กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1	ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า	0.005	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.2	เซลีนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า	0.02	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.3	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า	0.03	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.4	ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.5	อาร์เซนิก (Arsenic)	ไม่มากกว่า	0.25	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6	โครเมียม (Chromium)			
4.6.1	Hexavalent Chromium	ไม่มากกว่า	0.25	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6.2	Trivalent Chromium	ไม่มากกว่า	0.75	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.7	บาเรียม (Barium)	ไม่มากกว่า	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.8	นิกเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.9	ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า	2.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.10	สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.11	แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
8. สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
9. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
10. เพสตีไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี
11. อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

12. สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
13. กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
14. น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร
15. ค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
16. ค่า ทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
17. ค่า ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรพัฒน์ สีเขียว เกิดเมื่อวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ.2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิชาเอก เคมีสิ่งทอ การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ ภาควิชาสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในปีการศึกษา 2550 จากนั้น เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา พ.ศ. 2551 และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา พ.ศ.2553 รวมระยะเวลาในการศึกษา 2 ปี 6 เดือน