สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ ด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้และใช้ออกซิเจน

T062146

นางสาวนันทิยา ศรีสุวรรณ
นายพงษ์พันธุ์ กรรณสูต
นางสาวรัตรินทร์ ก้องสุรินทร์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62146
วัน,เดือน,ปี 31 ก.ค. 2549
b.....
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Treatment of Reactive Dye using Anaerobic and Aerobic System

Miss Nanthiya Srisuwan

Mr. Phongpun Krannasut

Miss Rattarin Kongsurin

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ ด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้และใช้ออกซิเจน
นักศึกษา	นางสาวนันทิยา ศรีสุวรรณ นายพงษ์พันธุ์ กรรณสูต นางสาวรัตรินทร์ ก้องสุรินทร์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	.....
กรรมการ	ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	.....
กรรมการ	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	.....

.....

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ ด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้และใช้ออกซิเจน

นักศึกษา นางสาวนันทิยา ศรีสุวรรณ
นายพงษ์พันธุ์ กรรณสูต
นางสาวรัตรินทร์ ก้องสุรินทร์

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2547

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟที่มีโครโมฟอร์ชนิดแอนทราคิวโนนด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้และใช้ออกซิเจน โดยถังหมักทำจากอะคริลิกมีความจุ 10 ลิตรใส่ตะกอนจุลินทรีย์ 3 ลิตรและใช้โถแก้วเป็นถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศมีความจุ 10 ลิตร ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบเท่ากับ 2.5 ลิตร น้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเตรียมจากน้ำตาลซูโครสและ สีย้อม ในอัตราส่วน 25:1 23:3 และ 16:10 ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า ค่าซีโอดีและสี จะถูกบำบัดได้ทั้งในถังหมักและถังเติมอากาศ โดยเฉพาะในถังหมัก ถ้าเพิ่มระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์มากขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมและค่าซีโอดีจะสูงขึ้น หลังจากทำการทดลองไปได้ 116 วัน น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีอัตราส่วนของน้ำตาลซูโครสและสีเท่ากับ 16:10 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีค่าร้อยละ 94.85 และประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมรายงานผลในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 81.94 ในหน่วยเอสยูเท่ากับร้อยละ 87.15 และหน่วยเอดีเอ็มไอเท่ากับ ร้อยละ 68.77 ที่เวลากักพักทางชลศาสตร์ในถังหมัก 10 วัน และถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง ซึ่งการลดลงของสีย้อมรีแอกทีฟที่มีโครโมฟอร์ชนิดแอนทราคิวโนน อาจเกิดจากการดูดซับ ระหว่างสีย้อมกับเซลล์จุลินทรีย์

คำสำคัญ : ระบบบำบัดแบบไม่ใช้และใช้ออกซิเจน สีย้อมรีแอกทีฟ เอดีเอ็มไอ เอสยู แอนทราคิวโนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Treatment of Reactive Dye using Anaerobic and Aerobic System
Name	Miss Nanthiya Srisuwan Mr. Phongpun Krannasut Miss Rattarin Kongsurin
Department	Chemistry Faculty of Science
Program	Environmental Chemistry
Academic Year	2004
Special Project Advisor	Asst. Prof. Pitsamai Chairat-utai

ABSTRACT

This research aims to study the treatment of reactive anthraquinone dye using aerobic and anaerobic treatment. Fermented reactor containing 10 liters was made of acrylic and 3 liters of biological sludge were added into the reactor. Glass bottle containing 10 liters was used as aerobic reactor. Activated biological sludge at a volume of 2.5 liters were added into the reactor. Synthetic wastewater, COD value in the range of 1,500-2,000 mg/L, was prepared using sucrose and dye at the ratio of 25:1, 23:3, and 16:10, respectively. The result showed that under anaerobic and aerobic conditions, the dyes and the chemical oxygen demand (COD) were reduced especially at high hydraulic retention time (HRT). In 116 day operation of the reactor at the ratio of sucrose to dye of 16:10, the efficiency of COD treatment was 94.85% and the efficiency of decolorization was 81.94% (mg/L value) , 87.15% (SU value) and 68.77% (ADMI value) at hydraulic retention time of 10 days in fermented reactor and of 48 hours in aerobic reactor. It is possible that the dye chromorphores anthraquinone were reduced due to adsorption on biomass.

Keyword : ADMI, anaerobic-aerobic system, anthraquinone, reactive dye, space unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเรื่องการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้และใช้ออกซิเจนนี้ถูกจัดทำขึ้นโดยการตระหนักถึงปัญหาสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน ที่คณะผู้จัดทำได้เคยประสบมาขณะไปเยี่ยมชมอุตสาหกรรมฟอกย้อม จึงได้มีการมาปรึกษากับ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและได้มีการจัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้ขึ้น

โครงงานพิเศษฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปมิได้หากขาดความช่วยเหลือจาก ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความห่วงใยแก่คณะผู้จัดทำ รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาคเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ บริษัทยูเนี่ยนอุตสาหกรรมสิ่งทอจำกัด(มหาชน) สำหรับ เชื้อจุลินทรีย์ คำแนะนำและ ความรู้ต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และ บริษัท ไดสตาร์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสีย้อมในงานวิจัยครั้งนี้ และอาจส่งมอบไปยังงานวิจัยในปีการศึกษาถัดไปตามลำดับ

ขอบคุณกลุ่มเพื่อนๆ ที่ทำงานวิจัยใน โรงบำบัดน้ำเสีย คณะวิทยาศาสตร์ สำหรับอุปกรณ์ที่ให้หยิบยืมโดยไม่ต้องขออนุญาต คำแนะนำ และกำลังใจที่คอยตามความก้าวหน้าของงานวิจัยเสมอมา อีกทั้งเพื่อนเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทุกคน สำหรับความเป็นเพื่อนตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับ พ่อแม่ ของคณะผู้จัดทำ ที่ให้กำลังใจตลอดการศึกษาและการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

นางสาวนันทิยา ศรีสุวรรณ
นายพงษ์พันธุ์ กรรณสูต
นางสาวรัตรินทร์ ก้องสุรินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 คุณสมบัติของสีย้อม	3
2.2 การจำแนกสีย้อม	4
2.2.1 จำแนกตามโครงสร้างทางเคมี	4
2.2.2 จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี	4
2.2.3 จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ	5
2.2.4 จำแนกตามลักษณะการใช้งาน	5
2.3 คุณสมบัติของสีย้อม reactive brilliant blue R	7
2.4 แหล่งกำเนิดและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	7
2.4.1 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฟอกย้อม	7
2.4.2 ลักษณะน้ำเสีย	8
2.4.3 ประเภทสิ่งสกปรกที่อยู่ในน้ำเสีย	9
2.4.4 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	9
2.5 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment)	9
2.6 การเติบโตของจุลินทรีย์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.7 ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน 10
2.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบ 12
2.9 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 13
2.10 ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน 14
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 17
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 17
3.3 แหล่งที่มาของตัวอย่าง 18
3.4 ขั้นตอนการทดลอง 18
3.4.1 การเตรียมสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน ที่มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร 18
3.4.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น ซีโอดี 500-2500 มิลลิกรัมต่อลิตร 18
3.4.3 การทดสอบการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน 19
3.4.4 การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ ในสภาวะไม่ใช้และใช้ออกซิเจน 19
3.4.5 การเดินระบบการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ 21
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล
4.1 ผลการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยตะกอนจุลินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน 22
4.2 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบ 24
4.3 ผลการบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ 25
4.3.1 การบำบัดซีโอดีในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ 27
4.4 ผลประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในถังปฏิกรณ์ 27
4.4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในถังหมักและ ถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ 28
4.4.2 ผลของโครงสร้างสีในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 34

5.1.1 การศึกษาการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ 34

5.1.2 การบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ 34

5.1.3 การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในถังปฏิกรณ์ 34

5.2 ข้อเสนอแนะ 35

เอกสารอ้างอิง 36

ภาคผนวก ก การคำนวณและการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง 38

ภาคผนวก ข การวัดสีย้อมในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ 42

ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลอง 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แผนการเก็บตัวอย่างน้ำและวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	21
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลปริมาณสีย้อมของน้ำเสียก่อนบ่มและหลังบ่ม ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร	22
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปริมาณสีย้อมของน้ำเสียก่อนบ่มและหลังบ่ม ในหน่วยเอสยู	22
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลปริมาณสีย้อมของน้ำเสียก่อนบ่มและหลังบ่ม ในหน่วยเอดีเอ็มไอ	23
ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเข้าระบบ	25
ตารางที่ ก.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์	40
ตารางที่ ก.2 การเตรียมสารละลายอาหารเสริม	41
ตารางที่ ข.1 โคออร์ดิเนตที่ต้องวัดในการวัดสีด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	45
ตารางที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานสีย้อม Reactive Brilliant Blue R (λ_{max} = 598.5 nm)	47
ตารางที่ ค.2 ข้อมูลปริมาณสีย้อมก่อนและหลังบ่มในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร	48
ตารางที่ ค.3 ข้อมูลปริมาณสีย้อมก่อนและหลังบ่มในหน่วย เอสยู	48
ตารางที่ ค.4 ข้อมูลปริมาณสีย้อมก่อนและหลังบ่มในหน่วย เอดีเอ็มไอ	48
ตารางที่ ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมทางกายภาพในหน่วยต่างๆ	49
ตารางที่ ค.6 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบำบัดในแต่ละถังปฏิกรณ์	50
ตารางที่ ค.7 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยต่าง ๆ ของระบบรวม	51
ตารางที่ ค.8 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ของระบบบำบัดในแต่ละถังปฏิกรณ์	52
ตารางที่ ค.9 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยเอสยู ของระบบบำบัดในแต่ละถังปฏิกรณ์	53
ตารางที่ ค.10 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยเอดีเอ็มไอ ของระบบบำบัดในแต่ละถังปฏิกรณ์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างสีย้อมรีแอกทีฟ Remazal Brilliant Blue R	7
รูปที่ 2.2	ช่วงชีวิตของจุลินทรีย์	10
รูปที่ 2.3	ปฏิกิริยาชีวเคมีการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นมีเทน	11
รูปที่ 2.4	ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง	15
รูปที่ 3.1	แผนผังการเดินระบบ	20
รูปที่ 4.1	ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนกับชุดทดลองต่าง ๆ	23
รูปที่ 4.2	การบำบัดซีโอดีกับระยะเวลาการเดินระบบ	26
รูปที่ 4.3	การบำบัดซีโอดีในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศกับระยะเวลาการเดินระบบ	27
รูปที่ 4.4	ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยต่าง ๆ กับระยะเวลาการเดินระบบ	28
รูปที่ 4.5	ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศกับระยะเวลาเดินระบบในหน่วยเอดีเอ็มไอ	29
รูปที่ 4.6	ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศกับระยะเวลาการเดินระบบในหน่วยเอสยู	29
รูปที่ 4.7	ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศกับระยะเวลาเดินระบบในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร	30
รูปที่ 4.8	ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 25:1 ในถังหมัก	31
รูปที่ 4.9	ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 23:3 ในถังหมัก	31
รูปที่ 4.10	ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 16:10 ในถังหมัก	32
รูปที่ 4.11	ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 25:1 ในถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาล
ต่อสีย้อม 23:3 ในถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ 33
รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาล
ต่อสีย้อม 16:10 ในถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ 33
รูปที่ ข.1 ระบบการกรองสำหรับการวัดสี 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงานพิเศษ

สีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ สิ่งพิมพ์ หรือ อุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยนำมาผสมกับผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้สีตามต้องการ บางส่วนเกิดจาก การล้างถังผสมสี สีย้อมเหล่านี้จะปนเปื้อนออกมากับน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งนับวันจะเพิ่มความรุนแรงมากขึ้นในปัจจุบัน วิธีการกำจัดสีของน้ำเสียที่นิยมใช้ได้แก่ วิธีทางกายภาพและเคมี เช่น การตกตะกอน การออกซิเดชัน-รีดักชัน การใช้ไฟฟ้าเคมี เป็นต้น วิธีการบำบัดเหล่านี้มีข้อเสียคือ ก่อให้เกิดตะกอนเคมีหรือตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องนำไปบำบัดต่อไป และ สารมัธยันต์ที่มีความเป็นพิษเกิดขึ้นได้ รวมทั้งต้องใช้พลังงานและสารเคมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้น การใช้วิธีบำบัดทางชีวภาพจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อม

สีย้อมรีแอกทีฟ โครงสร้างหลักเป็นแอนทราคิวโนนและเอโซย่อยสลายได้ยาก และมีคุณสมบัติในการละลายน้ำที่ดีมาก จึงบำบัดด้วยกระบวนทางกายภาพและชีวภาพแบบธรรมดาได้ไม่ดี จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนทั่วไปไม่สามารถย่อยสลายโครงสร้างสีกลุ่มดังกล่าวได้ ขณะที่โครงสร้างแบบเอโซจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถย่อยสลายได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงทดลองบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟที่มีโครงสร้างเป็นหมู่แอนทราคิวโนนด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ตามด้วยระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน เพื่อให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของระบบบำบัด ทั้งสองระบบ พร้อมทั้งได้ศึกษาการวัดปริมาณสีโดยคำนวณในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เอสยูและเอดีเอ็มไอ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการบำบัดซีโอดีของสีย้อมรีแอกทีฟประเภทแอนทราคิวโนน โดยใช้จุลินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้และใช้ออกซิเจน

2. ศึกษาการบำบัดสีย้อมโดยคำนวณในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เอสยูและเอดีเอ็มไอ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. จุลินทรีย์ที่ใช้นำมาจากถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ ของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม

2. ศึกษาความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ขวดแก้วไพเร็กซ์ขนาด 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถังปฏิกรณ์

3.1 ถังหมักทำจากอะคลิริกทึบแสง ความจุ 10 ลิตร

3.2 ถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศทำจากแก้วมีความจุ 10 ลิตร

4. ทำการศึกษาโดยใช้สภาวะต่าง ๆ ดังนี้

4.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการเดินระบบเท่ากับอุณหภูมิห้อง

4.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบไม่ใช้ออกซิเจน ใช้น้ำตาลซูโครสและสีย้อมเป็นแหล่งคาร์บอน โดยมีอัตราส่วนของน้ำตาลซูโครสและสีย้อมเป็น 25:1, 23:3 และ 16:10 ตามลำดับ และมีค่าซีโอดีเข้าระบบอยู่ในช่วง 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 น้ำที่ออกจากถังหมักจะถูกบำบัดต่อในถังปฏิกรณ์แบบใช้ออกซิเจน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมด้วยจุลินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้และใช้ออกซิเจน

2. เป็นแนวทางในการประยุกต์ เพื่อวัดปริมาณสีย้อมของน้ำทิ้งในหน่วยเอดีเอ็มไอ

3. สามารถนำผลวิจัยไปประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

สีย้อมเป็นสารที่ละลายน้ำได้ หรือสามารถทำให้ละลายน้ำได้ ดูดติดเส้นใยได้ การนำสีย้อมมาใช้ให้ได้ผลดีขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของสีกับน้ำ โดยจะต้องทำให้เกิดสภาวะที่โมเลกุลของสีย้อมจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ ยึดติดกันแน่น อิทธิพลที่ทำให้เกิดการดูดติดกับเส้นใย คือ

ก. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)

ข. แรงวัลเดอวัลล์ (Van der Waal's forces)

ค. แรงอิออนิก (Ionic forces)

ง. พันธะโคเวเลนต์ (Covalent bond)

การดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของเส้นใย จะต้องประกอบด้วยแรง 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งอาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน แต่แรงดึงดูดที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ อิทธิพลของรูปร่างและขนาดของโมเลกุลของสีก็มีผลต่อการยึดติดหรือมีผลกระทบต่อการย้อมเป็นอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีลักษณะแบน และมีความกว้างความยาวมาก ๆ จะทำให้เกิดการติดสีที่มีความคงทนสูงมากขึ้น

2.1 คุณสมบัติของสีย้อม

ในสีย้อมแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปในสภาพสารละลายหรือสารแขวนลอย เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ การรวมตัวในสารละลาย การย่อยสลายในระหว่างการย้อมสี อัตราการเกิดปฏิกิริยา การให้และรับอิเลกตรอน สำหรับโครงสร้างทางเคมีของสีแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติของสีดังนี้

- ความเหมาะสมต่อเส้นใยชนิดหนึ่ง ๆ จะขึ้นอยู่กับอนุมูลของเส้นใยและสีย้อม
- ความสามารถที่จะเข้ากันได้ดีกับเส้นใยหนึ่ง ๆ
- จลนพลศาสตร์ของสีย้อม
- คุณสมบัติการเคลื่อนตัวและความสม่ำเสมอของสี
- ความทนต่อแสง
- ความทนต่อความชื้น
- ความทนต่อความร้อน และอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกสีย้อมต้องเลือกตามชนิดของวัตถุที่จะย้อม มีความคงทนพอดีสามารถย้อมออกมาได้เหมือนสีตามตัวอย่าง และมีราคาถูกพอตามต้องการ สีย้อมที่ผลิตขึ้นมาในท้องตลาดมีจำนวนมาก และมักจะมีสีสันใกล้เคียงกัน ยากต่อการจดจำ เช่น สีฟ้าอาจจะมีสีฟ้าค่อนไปทางแดง หรือฟ้าค่อนไปทางเหลือง ดังนี้จะต้องมีสัญลักษณ์ของสีเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว

2.2 การจำแนกสีย้อม

สีย้อมสามารถจำแนกออกได้หลายแบบ เช่น จำแนกตามโครงสร้างทางเคมี จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ จำแนกตามลักษณะการใช้งาน และจำแนกตามวิธีการย้อม

2.2.1 จำแนกตามโครงสร้างทางเคมี

1. สีย้อมอะโซ (Azo dyes) คือสีย้อมที่มีกลุ่มอะโซ (-N=N-) อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล สีย้อมกลุ่มนี้เป็นกลุ่มใหญ่และมีความสำคัญมากที่สุด โดยครอบคลุมถึงร้อยละ 50 ของสีย้อมที่ใช้ทั้งหมด คุณลักษณะที่สำคัญของสีย้อมกลุ่มนี้ คือ มีสีให้เลือกครบทุกโทนสี แต่โดยทั่วไปจะมีความสำคัญโดยเฉพาะในช่วงของสีเหลือง แสด แดง น้ำตาล และดำ มีกรรมวิธีการสังเคราะห์ค่อนข้างง่าย มีความสว่างสดใสและความคงทนต่อแสงอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงดี และราคาไม่แพง

2. สีย้อมแอนทราควิโนน (Anthraquinone) เป็นสีย้อมที่มีโครงสร้างของแอนทราคิวโนนเป็นโครงสร้างหลักอยู่ในโมเลกุล และส่วนใหญ่จะสังเคราะห์ได้โดยอาศัยแอนทราคิวโนนเป็นสารเริ่มต้น สีย้อมกลุ่มนี้มีความสำคัญเป็นอันดับสองรองจากสีอะโซ โดยครอบคลุมประมาณร้อยละ 25 ของสีย้อมทั้งหมด สีที่มีความสำคัญคือ สีม่วง ฟ้า เขียว และแดงแสด เป็นสีที่มีความสว่างสดใสดี และมีความคงทนต่อแสงอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ความเข้มข้นของสีน้อยกว่าสีอะโซและยังมีราคาแพงอีกด้วย

3. สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulphur dyes) เป็นสีย้อมที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล สีกลุ่มนี้เป็นสีที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดในบรรดาสีย้อมทั้งหมด เนื่องจากเป็นสีที่มีราคาถูก นิยมใช้สีย้อมทึบ ๆ ที่ต้องการความเข้มข้นสูง เช่น สีดำ น้ำตาล และน้ำเงิน สีกลุ่มนี้มีให้เลือกไม่มากนัก ส่วนมากจะเป็นสีทึบไม่สดใส

4. สีย้อมอินดิกอยด์ (Indigoid dyes) เป็นสีที่มีโครงสร้างของอินดิโกติน ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของสีอินดิโกอยู่ในโมเลกุล

2.2.2 จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี

- สีย้อมฝ้าย ได้แก่ สีไดเรคท์ สีรีแอกทีฟ สีแว็ต สีซัลเฟอร์
- สีย้อมโพลีเอสเตอร์ ได้แก่ สีดิสเพอร์ส
- สีย้อมไนลอน ไหม และขนแกะ ได้แก่ สีแอสิด สีเมทัลคอมเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สีย้อมอะคริลิก ได้แก่ สีเบสิค

2.2.3 จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

2.2.3.1 สีชนิดที่ละลายน้ำได้

- สีแอสิค
- สีเบสิค
- สีไดเรคท์
- สีรีแอคทีฟ

2.2.3.2 สีชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้

- สีอะโซ
- สีดิสเพอร์ส
- สีแว็ต
- สีพิคเมนต์
- สีซัลเฟอร์
- สีเมทัลคอมเพล็กซ์

2.2.4 จำแนกตามลักษณะการใช้งาน

1. สีไดเรคท์ สีย้อมไดเรคท์บางครั้งถูกเรียกว่าสีย้อมฝ้าย ชื่อของสีชนิดนี้ได้มาจากการที่สีย้อมชนิดนี้เป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรก ที่สามารถย้อมติดใยฝ้ายโดยซึมเข้าไปภายในเซลลูโลสได้โดยตรง ไม่ต้องเติมสารช่วยย้อมใด ๆ ทั้งสิ้น แต่ในปัจจุบันการย้อมด้วยสีไดเรคท์นี้จะใช้เกลือเข้าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้สูงขึ้น สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีกรดซัลโฟนิกซึ่งทำให้ตัวสีละลายน้ำได้

2. สีรีแอคทีฟ เป็นสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ดีที่สุด สามารถละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นแอนอิออน โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกไซด์ในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโควาเลนต์ กลายเป็นสารประกอบชนิดใหม่กับเซลลูโลส มีคุณสมบัติการละลายและการดูดติดเส้นใยของตัวสีจะทำให้สีเข้าไปอยู่ภายในของเส้นใยได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาตัวสีก็จะติดกับเส้นใย

3. สีแว็ต นิยมใช้ย้อมกับเส้นใยเซลลูโลสโดยเฉพาะใยฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำจึงต้องใช้ตัวรับอิเลกตรอนที่เหมาะสมมาทำให้ละลาย สารที่รับอิเลกตรอนที่นิยมใช้กันทั่วไปได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ หลังจากนั้นจะสูญเสียอิเลกตรอนกลับเป็นตัวสีย้อมแว็ตที่ไม่ละลายน้ำดังเดิมทำให้เกิดการติดทนอย่างถาวรกับเส้นใยได้ดี โครงสร้างของสีย้อมประเภทนี้แตกต่างกันมาก สารประกอบเชิงซ้อนของสีทุกตัวจะต้องมีหมู่คาร์บอนิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่รวมอยู่ด้วยเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สีซัลเฟอร์ เตรียมได้จากหลอมละลายกำมะถันหรือโซเดียมซัลไฟด์กับกรดอะมิโนและสารประกอบไนโตรเจน ใช้ย้อมใยฝ้ายโดยเฉพาะ สีที่ย้อมได้จะไม่ค่อยสดใส ตามปกติแล้วตัวสีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตสีย้อมชนิดนี้ขึ้นมาใหม่โดยนำสีย้อมไปทำการรีดิวซ์ ทำให้สีชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้ดี สีย้อมชนิดนี้ย้อมง่าย มีราคาถูกและมีความคงทนต่อน้ำได้ดี

5. สีดิสเพอร์ส สีชนิดนี้ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด ที่ดูดซึมน้ำได้น้อย สีชนิดนี้ไม่ละลายน้ำแต่เป็นละอองละเอียดละลายอยู่ในน้ำ เมื่อมีสารช่วยกระจายที่เหมาะสมจะสามารถใช้ย้อมในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีอย่างอื่นช่วย

สีดิสเพอร์อาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ โดยพิจารณากลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ และสีย้อมอะมิโนแอนทราควิโนน

6. สีแอสิด สีกลุ่มนี้นิยมใช้ย้อมกับเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมซึ่งมีสภาพเป็นกรดเจือจาง อาจจะนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ใช่เซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ด้วย เช่น ปอ ป่าน และใยโพลีเอไมด์ เป็นต้น ตัวสีย้อมเกิดจากกรดเกลือโซเดียมของสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน มีโครงสร้างเป็นอิออนลบในส่วนประกอบที่ให้สี กลุ่มเคมีของสีแอสิดนี้ประกอบด้วย กลุ่มสีอะโซ (ประเภทไตรเอริลเมท และแอนทราควิโนน) สีแอสิดดูดความชื้นจากอากาศได้ง่าย การเก็บรักษาจึงต้องระมัดระวังเป็นอย่างดี ถ้าสีดูดความชื้นเข้าไป จะทำให้เสื่อมสภาพเร็ว

7. สีเบสิค นิยมใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดสามารถใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิกได้ แต่ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยหรือไม่ติดเลย ตัวย้อมเป็นเกลือเบสอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ให้ไอออนบวก บางครั้งจะเรียกสีย้อมชนิดนี้ว่า สีแคทอิออนิก ย้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของโมเลกุลของสีย้อมจะจับกับประจุลบของเส้นใย เส้นใยประเภทนี้มีความคงทนต่ำ นิยมใช้กันในประเทศแถบตะวันออก ที่นิยมความสดใสของสีมากกว่าความคงทน

8. สีมอร์แดนท์ หรือสีโครม เป็นสีที่นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ตัวสีย้อมนี้อยู่ในกลุ่มสีย้อมแอสิคที่สามารถก่อรูปเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนทที่ถาวรขึ้นกับโลหะบางชนิดได้ เช่น โครเมียม อลูมิเนียม เป็นต้น สารโคออร์ดิเนตใหม่นี้จะดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าจึงทำให้มีความคงทนต่อแสงและน้ำได้เพิ่มขึ้น สีประเภทนี้ใช้เป็นสีแอสิคไม่ได้เพราะว่าถ้ายังไม่ได้ให้ตัวสีทำปฏิกิริยากับโครเมียม สีจะไม่คงทนต่อด่าง

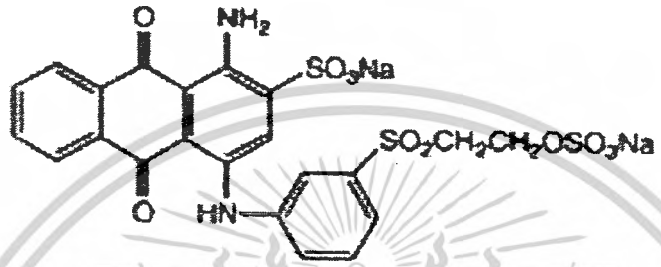
9. สีย้อมอะโซอิค สีย้อมกลุ่มนี้นิยมใช้ย้อมกับเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้น ตัวย้อมชนิดนี้เป็นสารประกอบอะโซเท่านั้น แต่ว่าตัวสีไม่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. สีย้อมโลหะ เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส และให้สีต่างๆ กัน เมื่อย้อมแล้วต้องทำให้สารนี้ตกตะกอนภายในเส้นใยด้วย

2.3 คุณสมบัติโครงสร้างโมเลกุล ของสีย้อมรีแอกทีฟ

สูตรโครงสร้างของสีย้อมรีแอกทีฟ Remazal Brilliant Blue R แสดงดังรูป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสีย้อมรีแอกทีฟ Remazal Brilliant Blue R (ณัฐพันธุ์, 2545)

สีรีแอคทีฟมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับพวกสีแอซิด แต่มีหมู่ labile ที่ไม่เสถียรได้แก่ หมู่ –Cl หรือ –O-SO_3Na ซึ่งเป็นตัวทำให้สีรีแอคทีฟสร้างพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยผ้าเซลลูโลสได้ สีรีแอคทีฟส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างอะโซ สีรีแอคทีฟเป็นสีย้อมชนิดที่นิยมใช้กันมากในการย้อมสีปัจจุบัน โดยสารประกอบของสีสังเคราะห์เหล่านี้โดยทั่วไปประกอบด้วย โครมาเจนและออกโซโครม โครมาเจนมักจะประกอบด้วยสารอะโรมาติก ซึ่งเป็นสารที่มีความคงตัวสูง กำจัดยาก

2.4 แหล่งกำเนิดและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

2.4.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

2.4.1.1 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมผ้า

1. กระบวนการต้มแป้ง เป็นการกำจัดแป้งที่ติดมากับกระบวนการทอออก การต้มแป้งเป็นการทำให้แป้งสลายตัวเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้

2. กระบวนการทำความสะอาด เป็นการเอาสิ่งสกปรกที่ติดมากับเส้นใยออกก่อนที่จะนำไปทอเป็นผืนผ้า

3. กระบวนการฟอกขาว เป็นการกำจัดสีธรรมชาติของเส้นใยออกโดยใช้สารเคมีคือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ กระบวนการนี้จะทำก่อนการย้อมเพื่อให้สีติดดียิ่งขึ้นและสีไม่เปลี่ยน

4. กระบวนการชุบมัน เป็นการทำเพื่อให้ผ้าเพิ่มความมันและดูดสีได้มากขึ้นทำให้ผ้านุ่มทำได้โดยการชุบผ้าลงในน้ำยาโซดาไฟที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กระบวนการย้อมสี และการตกแต่งพิเศษ

6. กระบวนการพิมพ์ผ้า

2.4.1.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าไอน้ำถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำจะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรง จะไปเพิ่มปริมาณของน้ำย้อมและถูกรวมเป็นน้ำเสีย

2.4.1.3 น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการย้อมบางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

2.4.1.4 น้ำที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดโรงงาน

2.4.2 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียที่มาจากโรงงานต่าง ๆ จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นใยนำมาย้อม และการใช้กระบวนการย้อมที่แตกต่างกัน

ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

1. มีปริมาณสารอินทรีย์สูง เนื่องจากมีค่า BOD , COD สูง ปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมได้แก่ แป้ง สีย้อม เส้นใย และด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง ไขมัน และตัวทำละลายต่าง ๆ

2. มีความเป็นด่างสูง สารที่ทำให้น้ำมีลักษณะความเป็นด่าง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต

3. มีอุณหภูมิสูง

4. มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมาจากเกลือโซเดียมและกรดต่าง ๆ

5. มีสีเข้มมาก ซึ่งมาจากสีที่ใช้ในการย้อมผ้า

6. มีโลหะเจือปน โลหะหนักนี้จะมาจากสีที่ใช้ย้อมผ้า โดยส่วนใหญ่จะเป็นโลหะพวกทองแดง โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี

7. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ประเภทสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกเจือปนอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมจำแนกออกได้ดังนี้

1. สีย้อม ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมได้เพียงบางส่วนที่เหลือจะยังอยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทที่ใช้

2. สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้จะมีอยู่มากมายหลายประเภทซึ่งส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสีย

3. เศษเส้นใย

2.4.4 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

โดยทั่วไปมลภาวะที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีดังนี้

1. ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ น้ำเสียจากน้ำย้อมผ้ามักมีสารที่มีพิษ ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา เช่น สารประกอบอนิลีน

2. การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมบางประเภท

3. ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดความรู้สึกน่ารังเกียจต่อผู้พบเห็นทำให้ลำน้ำไม่น่าดู นอกจากนี้สีย้อมที่มีความเข้มสูงจะขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำนั้น

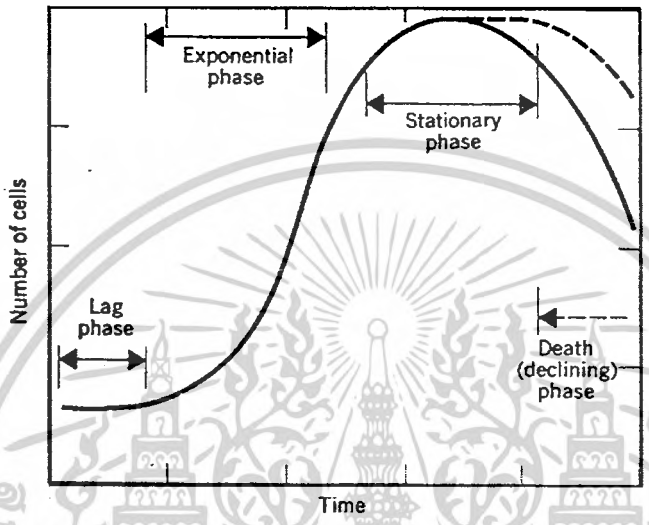
2.5 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment)

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นแก๊สมีเทน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดีและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งรวมเรียกว่า “แก๊สชีวภาพ” ซึ่งเป็นลักษณะจำเพาะของระบบนี้ แก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นจะแยกตัวออกอย่างรวดเร็วเพราะความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ส่วนใหญ่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะใช้เป็นปฏิบัติการขั้นต้น เพื่อใช้ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือ ซึ่งสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียได้มาก ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้สามารถใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียชุมชนที่มีอัตราภาระอินทรีย์ค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การเติบโตของจุลินทรีย์

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบ่งเป็น 4 ช่วง ซึ่งประกอบไปด้วย ระยะปรับตัว (Lag Phase) ระยะแบ่งตัว (Log-Growth Phase) ระยะพักตัว (Stationary Phase) และระยะย่อยสลายตัวเอง (Endogenous Phase :Death Phase)



รูปที่ 2.2 ช่วงชีวิตของจุลินทรีย์ (Grady et.al ,1980)

1. ระยะปรับตัว เป็นช่วงที่จุลินทรีย์เริ่มปรับสภาพให้อยู่ในสภาวะแวดล้อมใหม่ โดยเป็นจุดเริ่มต้นในการขยายพันธุ์
2. ระยะแบ่งตัว เป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วให้มีความเหมาะสมกับอาหารที่อยู่ในสภาวะแวดล้อม
3. ระยะพักตัว เป็นช่วงที่ปริมาณจุลินทรีย์มีความสมดุลย์กับปริมาณอาหารในระบบ
4. ระยะย่อยสลายตัวเอง เป็นช่วงที่อัตราการตายมากกว่าอัตราการเกิดซึ่งจุลินทรีย์ในช่วงนี้จะเป็นไปตามลักษณะของสิ่งแวดล้อมทั่วไป

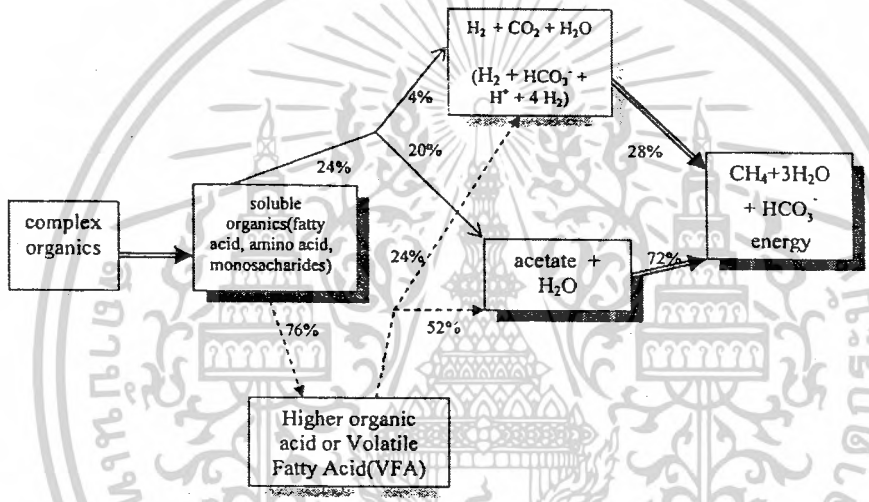
2.7 ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

หลักการของระบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้คือ จุลชีพทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีโมเลกุลใหญ่ไปเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงเรื่อยๆ โดยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมี ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 การย่อยสลายและการหมัก (Hydrolysis and Fermentation) สารที่มีโมเลกุลใหญ่เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต จะถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงได้กรดอะมิโน กรดไขมัน น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตามลำดับ โดยแบคทีเรียพวกสร้างกรด (acid-forming bacteria) ดังสมการ 2.1 และทำการหมักเกิดผลผลิต 2 กระบวนการในสมการ 2.2 และ 2.3

$$\text{Complex organics} \xrightarrow[\text{bacteria}]{\textit{Acid-forming}} \text{Soluble organics (fatty acid, amino acid, monosacharides)} \qquad (2.1)$$



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาชีวเคมีการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นมีเทน (Metcalf and Eddy ,1991)

ขั้นตอนที่ 2 การเกิดกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) และกระบวนการเกิดอะซิเทต (Acidogenesis)

$$\text{Soluble organics} \xrightarrow[\text{bacteria}]{\textit{Acetogenic}} CO_2 + H_2 + \text{acetate} \qquad (2.2)$$

$$\text{Soluble organics} \xrightarrow[\text{bacteria}]{\textit{Acid-forming}} \text{Higher organic acid} \qquad (2.3)$$

ขั้นตอนที่ 3 การเกิดมีเทน (Methanogenesis)

สารโมเลกุลใหญ่ถูกย่อยจะเกิดการหมักต่อโดยแบคทีเรียพวกอะซิโทจีนิกและพวกสร้างกรด (acetogenic ; acid-forming) ในสภาวะที่มีความดันแก๊ส (partial pressure) ของไฮโดรเจนต่ำ ปฏิกิริยา 2.2 จะเกิดได้ดี ได้ผลผลิตที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นมีเทน 2 กระบวนการคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\underset{(CO_2 + H_2O)}{HCO_3^-} + H^- + 4H_2 \xrightarrow[bacteria]{Hydrogen\text{-}utilizing} CH_4 + 3H_2O + \text{energy} \qquad (2.4)$$

และ

$$\text{Acetate} + H_2O \xrightarrow[bacteria]{Acetoclastic\ (methane\text{-}forming)} CH_4 + HCO_3^- + \text{energy} \qquad (2.5)$$

ถ้ามีปริมาณหรือความดันของแก๊สไฮโดรเจนสูงปฏิกิริยาที่ 2.2 จะหยุดชะงัก ปฏิกิริยาที่ 2.3 จะเกิดขึ้นแทนที่ ปริมาณไฮโดรเจน เพียง 0.0001 บรรยากาศหรือ 0.01 % แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดจะไม่ทำงาน ทำให้สารอินทรีย์ส่วนมากเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลสูง กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid; VFA) เมื่อความดันของแก๊สไฮโดรเจนต่ำลง กรดอินทรีย์โมเลกุลสูงก็จะเปลี่ยนไปเป็นอะซิเทต และถูก กลุ่มอะซิโทลาสติก (acetoclastic) หรือ กลุ่มมีเทน (methane-forming bacteria) เปลี่ยน อะซิเทต ไปเป็นมีเทน ดังสมการที่ 2.5 โดยสรุปการเกิดมีเทนผ่านอะซิเทตเป็นดังสมการที่ 2.6

$$\underset{\text{acid (VFA)}}{\text{Higher organic}} \xrightarrow[bacteria]{Acetogenic} \text{Acetate} \xrightarrow[(methane\text{-}forming\ bacteria)]{Acetoclastic} CH_4 + HCO_3^- + \text{energy} \qquad (2.6)$$

เนื่องจากแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ซึ่งมี 2 พวกคือ แบคทีเรียอะซิโทลาสติก กับกลุ่มที่ใช้ไอโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน (hydrogen-utilizing methane bacteria) แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจะใช้เวลาในการเพิ่มจำนวน (generation time) นานกว่าแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรดหลายเท่า ดังนั้นในระบบจึงเกิดปฏิกิริยาย่อยสลาย และเกิดกรดอินทรีย์สะสมอยู่เป็นปริมาณมาก ทำให้ พีเอช ของระบบลดต่ำลง ถ้าต่ำกว่า 6.6 แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจะไม่ทำงาน สารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนไปเป็น กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เท่านั้นซึ่งไม่มีผลต่อการลดค่า ซีโอดีของของเสีย

2.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบ

2.8.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิในถังหมักมีผลต่ออัตราการผลิตแก๊ส แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนมี 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-40 ^{0}ซ เรียกว่า มีโซฟิลิก แบคทีเรีย (mesophilic bacteria) และเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 50-60 ^{0}ซ เรียกว่าเทอร์โมฟิลิก แบคทีเรีย (thermophilic bacteria) อัตราการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มแต่จะหยุดชะงักเมื่อขึ้นถึง 45 ^{0}ซ ที่อุณหภูมินี้การผลิตมีเทนจะไม่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการผลิตแก๊สจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกในช่วง 50 – 60 ^{0}ซ ที่อุณหภูมิ 30-35 ^{0}ซ เป็นช่วงที่เหมาะสม แต่การยับยั้งเชื้อโรคจะไม่ดีเท่าในช่วงเทอร์โมฟิลิก

2.8.2 ค่าพีเอชและสภาพด่าง

สำหรับระบบแอนแอโรบิก ควรอยู่ระหว่าง 6.6 และ 7.6 และช่วงที่เหมาะสม ควรเป็น 7 - 7.2 แบคทีเรียสร้างกรด สามารถทนทานได้ที่พีเอชต่ำถึง 5.5 ส่วนกลุ่มมีเทนแบคทีเรีย ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การที่พีเอชลดลงเกิดจากการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย

2.8.3 ธาตุอาหาร

ในการผลิต แก๊สชีวภาพ จำเป็นต้องผสมวัตถุดิบให้ได้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่เหมาะสม แบคทีเรียใช้ คาร์บอน เร็วกว่า ไนโตรเจน 25 – 30 เท่า ค่า อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนที่เหมาะสมควรเป็น 25-30 :1 (Metcalf and Eddy ,1991) หรือในน้ำเสีย บีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส เท่ากับ100 : 1 : 0.2 (Metcalf and Eddy ,1991) นอกจากนี้อาจคิดจากอัตราส่วนของมวลจุลินทรีย์ในระบบ

2.8.4 ภาระสารอินทรีย์

ค่าที่แสดงถึง ภาระสารอินทรีย์ได้แก่ ค่าซีโอดี และของแข็งที่ระเหยได้ ถ้าระบบมีสารอินทรีย์ในรูปของของแข็งแขวนลอย การใช้ค่าของแข็งที่ระเหยได้จะเหมาะสมกว่า ถ้ามีสารอินทรีย์ละลายน้ำเป็นส่วนมากนิยมใช้ค่า ซีโอดี

2.8.5 การมีสารพิษอยู่ในระบบ

ระบบที่มีออกซิเจนอิสระ จะยับยั้ง มีเทนแบคทีเรีย จะทำให้ระบบล้มเหลวได้และยังมีสาเหตุจากการสะสมของกรดอินทรีย์ไฮโดรเจน และ แอมโมเนีย สารที่ยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดมีเทน เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพตัสเซียม คอปเปอร์ แคดเมียม นิกเกิล เป็นต้น

2.8.5 การกวนผสม

มีความสำคัญเพราะทำให้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน และน้ำเสียที่เข้ามาผสมกันได้ดีจะทำให้ผลิตแก๊สได้มากขึ้น ลดการจมตัวของของแข็ง ป้องกันการเกิดตะกอนที่เป็นไข (scum) ลอยอยู่ที่ผิวของของเหลวในถังปฏิกรณ์

2.9 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.9.1 ถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact Tank) ระบบหมักนี้คล้ายกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) เป็นระบบปิดในสภาวะไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียที่ออกมากับน้ำล้นจากถังหมักจะมีปริมาณสูง และมีการแยกแก๊สออกก่อนที่จะทำการแยกตะกอนแบคทีเรียแล้วนำตะกอนที่ได้ส่งกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 ระบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized bed) ระบบนี้แบคทีเรียจะเกาะเป็นเมือกคลุมผิวตัวกลางที่เป็นเม็ดขนาดเล็ก น้ำเสียจะสูบเข้าทางก้นถัง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตัวกลางในทุกทิศทางทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารอาหารของเสียต่างๆ จากปฏิกิริยาสูงมาก ส่วนบนของถังหมักจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่กว้างขึ้น ดังนั้นความเร็วน้ำไหลขึ้นจะต่ำลง ทำให้น้ำใสไหลล้นออกจากถังหมัก และเนื่องจากตัวกลางเกิดจากการขัดสี ทำให้เมือกแบคทีเรียหลุดติดไปกับน้ำเสีย จึงต้องแยกออกในถังตกตะกอนต่อไป

2.9.3 ระบบเครื่องกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) ลักษณะทั่วไปเป็นถังกลมหรือทรงกระบอก ภายในเครื่องกรองบรรจุตัวกรองมีลักษณะการไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน การไหลเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมเต็มถังตลอดเวลา ทำให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับน้ำทิ้งได้อย่างทั่วถึง และทำการแยกสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำทิ้งไปเป็นแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

2.9.4 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket :UASB) โดยปรับปรุงอุปกรณ์ให้สามารถแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์และแก๊สชีวภาพ ออกจากกันได้ทั้ง 3 สถานะจึงได้ตั้งชื่อกระบวนการนี้ว่า "กระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น" และยังสามารถเลี้ยงจุลินทรีย์ภายในระบบให้มีลักษณะเป็นเม็ดหรือเกล็ด

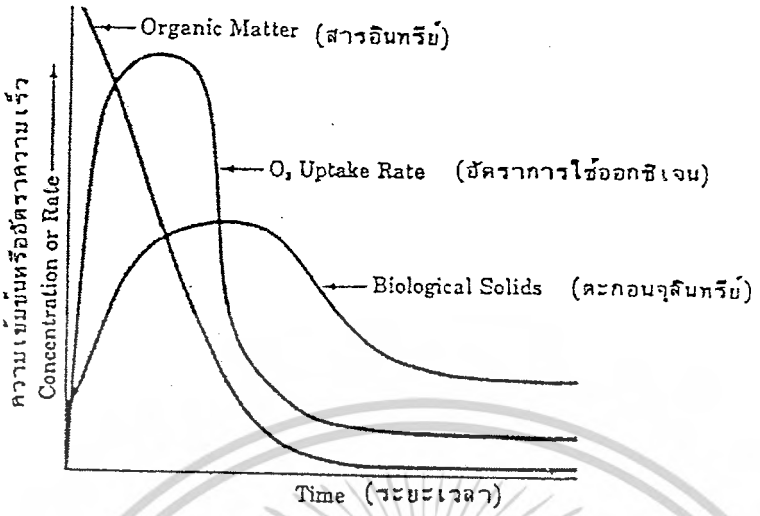
2.9.5 กระบวนการเครื่องกรองชั้นตะกอนจุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Sludge Blanket Filter : USBF) เป็นถังปฏิกรณ์แบบผสมระหว่างระบบชั้นตะกอนจุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB) และระบบเครื่องกรองไร้อากาศ (AF)

2.10 ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการสลายสารอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานในการสร้างเซลล์ใหม่ ตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้รับการเติมออกซิเจนเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้การแยกของตะกอนออกจากชั้นน้ำใสเป็นไปได้ดีขึ้น และสามารถลดปริมาณบีโอดีในน้ำเสียได้ดี ซึ่งเป็นข้อดีของระบบแบบใช้ออกซิเจน แต่มีข้อจำกัดในเรื่อง การใช้พลังงานเติมออกซิเจนให้ระบบ ดังนั้น ค่าใช้จ่ายจึงสูงกว่า

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในการทำงานของระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง (ธีระ ,2539)

เมื่อเริ่มการทำงาน ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะมีค่าสูง ส่วนปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบจะมีความเข้มข้นต่ำทำให้มีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำด้วย และต่อจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์เริ่มมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ ก็จะเริ่มใช้ออกซิเจนในปริมาณที่มากขึ้นและมีการเจริญเติบโต เป็นผลให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์และอัตราความต้องการออกซิเจนก็จะลดลงตามลำดับ

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ณัฐพันธุ์ ศุภกา กาญจนา จันทองจีน และ สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ (2546) พารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ ปริมาณซีโอดี และโครงสร้างของสีย้อมโดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่า ค่าซีโอดีในน้ำหลังบำบัดด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนและใช้ออกซิเจน ลดลงคือร้อยละ 91.5 และ 78-100 ตามลำดับ สีย้อมกลุ่มเอโซจะลดปริมาณลง เปลี่ยนเป็นสารประกอบอะโรมาติกเอมีน ในขั้นตอนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเมื่อเติมอากาศให้กับน้ำเสีย สารกลุ่มอะโรมาติกเอมีนสามารถถูกย่อยสลายต่อได้

- Carliell and other (1995) ศึกษาอัตราของปฏิกิริยาการลดสีย้อมเอโซด้วยจุลินทรีย์ และปัจจัยที่ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยา เพื่อคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยา ผลของการเติมกลูโคส ผลของไนเทรตและซัลเฟต ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในระบบ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าปฏิกิริยาการลดสีย้อมกลุ่ม CI Reactive Red 141 เป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 การเติมกลูโคสในระบบเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยค่าคงที่อัตรา (K) ของระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสมีค่า –0.012 hr^{-1} และเมื่อเติมกลูโคสโดยค่าคงที่อัตรา เพิ่มขึ้นเป็น –0.441 hr^{-1} ไนเทรตและซัลเฟตเป็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิไดซ์ภายในระบบ โดยไนเทรตมีผลต่อปฏิกิริยาการกำจัดสี แต่ซัลเฟตไม่พบว่ามีผลต่อระบบ โดยเฉพาะที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ จะพบเมื่อปฏิกิริยาการกำจัดสีเกิดขึ้นได้ดีสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในระบบ คือ 2-Aminonaphthaene-1,5-disolphonic acid

- Panswad,T and Luangdilok,W. (2002) ศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟ 4 กลุ่ม คือ Bisazo Vinylsulphonyl , Anthraquinone Vinylsulphongl , Anthraquinone Monochlorotriazinyl และ Oxazine ซึ่งแต่ละกลุ่มมีโครงสร้างโมเลกุลแตกต่างกัน โดยใช้การบำบัดแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน ทำการทดลองแบบครั้ง พบว่า ปริมาณสีย้อมทั้ง 3 ชนิดแรก ลดลง 63 ,64 และ 66% ตามลำดับ ขณะที่สีย้อมกลุ่ม Oxazine ไม่สามารถตรวจวัดได้ ในสีย้อม Bisazo Vinylsulphonyl , Anthraquinone Vinylsulphonyl , Antraquinone Monochlorotriazinyl เท่ากับ 11.9 , 0.37 และ 0.48 Space Units/hours ตามลำดับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนกำจัดสีย้อมได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน นอกจากนี้จะพบจุลินทรีย์กลุ่ม PAOs ในถังหมัก และที่อุณหภูมิสูง หรือ พลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถลดปริมาณสีได้

- Yu and other (2001) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ในการบำบัดสีย้อมโดยจุลินทรีย์ *Pseudomonas* โดยศึกษาผลของ พีเอช อุณหภูมิ สารอาหาร และไนเทรต โดยนำสมการของอาร์เรเนียสมาช่วยในการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการบำบัดสีย้อมคือ พีเอช ในช่วง 7.0-8.0 อุณหภูมิในช่วง 35-40 ^{o}ซ และปริมาณไนเทรตที่ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาคือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไนเทรตทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ลดลง 50 % อัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 แปรตามความเข้มข้นน้ำหนักเซลล์และปฏิกิริยาครึ่งอันดับแปรตามความเข้มข้นน้ำหนักสีย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สีย้อม Reactive brilliant blue R จาก บริษัท Distar(ประเทศไทย) จำกัด
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ($Conc.H_2SO_4$) เกรดวิเคราะห์
3. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์
4. ไอรอน(II)แอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_2)_2 \cdot 6H_2O$) เกรดวิเคราะห์
5. ซิวเวอร์ซัลเฟต ($AgSO_4$) เกรดวิเคราะห์
6. 1,10-ฟีแนนโทลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_{18}N_2 \cdot H_2O$) เกรดวิเคราะห์
7. ไอรอน(II)ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) เกรดวิเคราะห์
8. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) เกรดวิเคราะห์
9. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาเทรต ($K(SbO)C_4H_6O_6 \cdot 1/2H_2O$) เกรดวิเคราะห์
10. สารช่วยกรอง celite no. 505 เกรดวิเคราะห์
11. แอมโมเนียมโมลิบเดท ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$) เกรดวิเคราะห์
12. กรดแอสคอบิก เกรดวิเคราะห์
13. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เกรดวิเคราะห์
14. กรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์ เกรดวิเคราะห์
15. เมอร์คิวรี(II)ซัลเฟต ($HgSO_4$) เกรดวิเคราะห์
16. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์
17. เมอร์คิวรีออกไซด์ (HgO) เกรดวิเคราะห์
18. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เกรดวิเคราะห์
19. โซเดียมเอไซด์ (NaN_3) เกรดวิเคราะห์
20. ฟีนอล์ฟทาลีน เกรดวิเคราะห์
21. แอมโมเนียมอะซิเทต เกรดวิเคราะห์
22. ซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$) (น้ำตาลทรายขาว ยี่ห้อ มิตรผล)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้บ่ม รุ่น Plus II incubator ยี่ห้อ Gallenkamp และ รุ่นSF-48 ยี่ห้อ Marchcool
2. ถังปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62146

- ถังอะคลิริกทึบแสง มีความจุ 10 ลิตร
- โถแก้วมีความจุ 10 ลิตร

3. ถังน้ำเสียป้อนเข้าระบบ

ถังพลาสติกขนาด 25 ลิตรจำนวน 1 ถัง เป็นถังน้ำเสียป้อนเข้าระบบ

4. เครื่องสูบน้ำ รุ่น AP 1200 ยี่ห้อ Lifetech
5. เครื่อง UV-Spectrophotometer รุ่นUV 7800 ยี่ห้อ JASCO
6. ตู้อบซีโอดี ยี่ห้อ Memmert พร้อมหลอด COD
7. เครื่อง DO รุ่น52CE ยี่ห้อ YSI Incorporated
8. ชุดย่อยสลายและกลั่นแอมโมเนีย ยี่ห้อ Gerhardt
9. ชุดกรองวัดสี
10. ขวดบีโอดี
11. คิวเวตพลาสติก
12. เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.3 แหล่งที่มาของตัวอย่าง

1. ตะกอนจุลินทรีย์ (biosludge) ที่ใช้ในการทดลองในสภาวะไม่ใช้และใช้ออกซิเจนเก็บจากถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ ตามลำดับ จากระบบบำบัดน้ำทิ้งบริษัท ยูเนี่ยนอุตสาหกรรมสิ่งทอ จำกัด (มหาชน)

2. ตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (Reactive brilliant blue R) โดยสีย้อมได้มาจาก บริษัท ไดสตาร์ ประเทศไทย จำกัด (มหาชน)

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 การเตรียมสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยชั่งสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน 0.3000 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นจนหมด ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.4.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซีโอดี 1,500-2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการป้อนเข้าถังปฏิกรณ์จะเตรียมจากน้ำตาลซูโครสผสมกับสีย้อมเป็นแหล่งคาร์บอน และใส่แอมโมเนียมอะซิเทตและโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ตามลำดับ อัตราส่วนที่ใช้คือ คาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 150:5:2 และธาตุอาหารเสริมอื่น ๆ แสดงในภาคผนวก ก

3.4.3 การทดสอบการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

การทดสอบความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ ที่เก็บจากถังหมักอุตสาหกรรมฟอกย้อมในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนจะแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง

1. แบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง

<u>ชุดการทดลองที่ 1</u>

1. ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ปริมาตร 65 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้ว ไพเรกซ์ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด

2. เติมสีย้อมรีแอกทีฟที่มีความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 135 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วไพเรกซ์ทั้ง 3 ขวด

<u>ชุดการทดลองที่ 2</u>

ทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 และนำไปนึ่งฆ่าเชื้อโดยหม้อนึ่งภายใต้ความดัน (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 ^{o}ซ เป็นเวลา 15 นาที

<u>ชุดการทดลองที่ 3</u>

ทำเช่นเดียวกับ ชุดการทดลองที่ 1 แต่เติมโซเดียมเอไซด์ 0.05 กรัม

2. ทำการไล่แก๊สออกซิเจนบริเวณที่ว่างเหนือสารละลาย (Head space) ในขวดแก้วไพเรกซ์ด้วยแก๊สไนโตรเจนขวดละ 1 นาที

3. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 ^{o}ซ เป็นเวลา 7 วัน

4. เทส่วนใสนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที และนำไปวัดปริมาณสีย้อมรีแอกทีฟด้วยวิธีมาตรฐานตามสถาบันผู้ผลิตสีย้อมแห่งประเทศสหรัฐเมริกา (American Dye Manufacturer Institute ;ADMI) ซึ่งคำนวณผลในหน่วย เอดีเอ็มไอ และวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานและ คำนวณออกมาในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) และเอสยู (Space Unit ;SU) รายละเอียดดังภาคผนวก ค

5. ในแต่ละชุดการทดลองจะทำชุดควบคุมโดยเตรียมเช่นเดียวกับชุดการทดลองทั้งสามแต่ไม่มีการเติมตะกอนจุลินทรีย์ แล้วทำเช่นเดียวกับข้อ 2-4

3.4.4 การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในสภาวะไม่ใช้และใช้ออกซิเจน

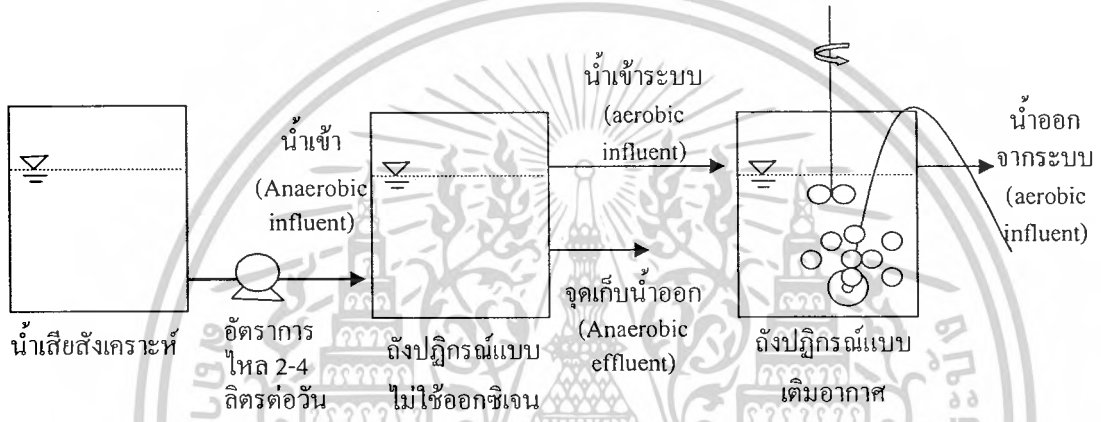
1. เติมตะกอนจุลินทรีย์จากถังหมักแบบสัมผัสลงในถังปฏิกรณ์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ให้มีปริมาตรประมาณ 3 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เติมตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากถังแบบเติมอากาศลงในถังปฏิกรณ์ ให้มีปริมาตรประมาณ 2.5 ลิตร พร้อมทั้งเติมอากาศเกินพอ โดยควบคุมค่าดีโอให้มีค่ามากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ (influent) ที่มีการควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเป็น 150:5:2 โดยมีอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อมเป็น 25:1 เข้าไปในระบบโดยผ่านถังหมักก่อนจากนั้นน้ำเสียจะไหลล้นไปยังถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศโดยกำหนดให้มีอัตราการไหลเข้าถังหมักประมาณ 2-4 ลิตรต่อวันดังรูปที่ 3.1

4. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการเดินระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แผนการเก็บตัวอย่างน้ำและวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ (APHA, 1989)

พารามิเตอร์	หน่วย	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ						วิธีวิเคราะห์
		ถังหมัก			ถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ			
		น้ำเข้า	ในถังปฏิกรณ์	น้ำออก	น้ำเข้า	ในถังปฏิกรณ์	น้ำออก	
อุณหภูมิ	°ซ		✔			✔		เทอร์โมมิเตอร์
พีเอช	-		✔			✔		พีเอชมิเตอร์
ดีโอ	มก./ล.					✔		อัลคาไลน์ไอโอไดด์ เอไซด์
ซีโอดี	มก./ล.	✔		✔	✔		✔	รีฟลักซ์แบบปิด
ทีเคเอน	มก./ล.	✔					✔	การย่อยสลายและการกลั่นด้วยเครื่องแมคโครเจดาหล์
ออโธ-ฟอสเฟต	มก./ล.	✔					✔	วิธีเทียบสีกับกรดแอสคอบิก
ปริมาณสี	เอดีเอ็มไอ	✔		✔	✔		✔	สเปคโทรโฟโตเมทรี
	เอสยู	✔		✔	✔		✔	สเปคโทรโฟโตเมทรี
	มก./ล.	✔		✔	✔		✔	สเปคโทรโฟโตเมทรี

3.4.5 การเดินระบบการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ

1. เมื่อประสิทธิภาพการบำบัดรวมของระบบมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 80 จึงทำการแปรผันอัตราส่วนแหล่งคาร์บอนที่ได้จากน้ำตาลต่อสีย้อมจาก 25:1 เป็น 23:3 และ 16:10 ซึ่งมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาคผนวก ก

2. เก็บน้ำหลังบำบัด (effluent) มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 3.1 แล้วนำน้ำหลังบำบัด ส่งเข้าถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ เพื่อบำบัดต่อโดยใช้ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 1 วัน และเมื่อเดินระบบไปได้ประมาณ 70 วัน เพิ่มถังเติมอากาศอีก 1 ใบ (ดังรูป 3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยตะกอนจุลินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลปริมาณสีย้อมของน้ำเสียก่อนบ่มและหลังบ่มในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลอง	ปริมาณสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ก่อนบ่ม		หลังบ่ม		
	ช่วงของข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	ช่วงของข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	
ชุดควบคุม	299.10-310.00	309.05	299.1-309.5	308.6	6.75
1	299.10-310.00	309.05	101.78-105.49	105.17	2.41
2	299.10-310.00	309.05	125.83-133.42	131.56	4.26
3	299.10-310.00	309.05	167.62-174.72	173.19	4.08

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปริมาณสีย้อมของน้ำเสียก่อนบ่มและหลังบ่มในหน่วยเอสยู

ชุดการทดลอง	ปริมาณสีย้อม (เอสยู)				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ก่อนบ่ม		หลังบ่ม		
	ช่วงของข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	ช่วงของข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	
ชุดควบคุม	212.18-230.14	212.18	201.12-228.99	211.12	14.48
1	212.18-230.14	212.18	105.62-112.65	106.93	4.15
2	212.18-230.14	212.18	120.78-136.43	125.78	8.32
3	212.18-230.14	212.18	158.28-174.93	161.28	9.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลปริมาณสีย้อมของน้ำเสียก่อนบ่มและหลังบ่มในหน่วยเอดีเอ็มไอ

ชุดการทดลอง	ปริมาณสีย้อม (เอดีเอ็มไอ)				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ก่อนบ่ม		หลังบ่ม		
	ช่วงของข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	ช่วงของข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	
ชุดควบคุม	2430-2438	2436	2426-2436	2434	5.83
1	2430-2438	2436	598-601	599	1.58
2	2430-2438	2436	911-917	914	3.00
3	2430-2438	2436	1464-1469	1467	2.55

รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์
ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนกับชุดทดลองต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.1 แสดงว่า ตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลอง สามารถบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ที่นำตะกอนจุลินทรีย์ไปทำให้เซลล์ตายหรือยับยั้งการทำงานของเซลล์ ด้วยวิธีนึ่งฆ่าเชื้อ และการใช้สารเคมีโซเดียมเอไซด์ พบว่า ประสิทธิภาพของการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟจะดีที่สุดในชุดการทดลองที่ 1 และมีค่าเท่ากับร้อยละ 65.97, 49.75 และ 75.40 ในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ เนื่องจากในชุดการทดลองที่ 1 การบำบัดสีอาจเกิดจากการย่อยสลายและการดูดซับ ขณะที่ ชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ปริมาณสีที่ลดลง เกิดจากการดูดซับหรือไปเกาะติดกับเซลล์จุลินทรีย์ โดยเฉพาะการนึ่งฆ่าเชื้อ จะทำให้พื้นที่ผิวของเซลล์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก เซลล์ถูกทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยความร้อนจะกระจายตัวในขวดแก้วขณะที่การใช้สารเคมีเป็นการยับยั้งเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ซึ่งผลของชุดการทดลองที่ 2 เท่ากับร้อยละ 57.93, 40.72 และ 62.49 ในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 3 เท่ากับร้อยละ 43.96, 23.99 และ 39.77 ในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ ส่วนในการคำนวณปริมาณสีที่เหลือ ซึ่งในหน่วย เอสยูมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ต่ำกว่าในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องมาจาก ในการตรวจวัดในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตรมีการเจือจางตัวอย่างให้มีค่าการดูดกลืนแสงให้อยู่ในช่วงของกราฟมาตรฐาน แต่ในการวิเคราะห์ในหน่วย เอสยูไม่ได้มีการเจือจางทำให้เกิดการดูดกลืนแสงมากกว่าความเป็นจริง (self absorption) ดังแสดงในรูปที่ 4.1

4.2 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบ

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลซูโครสและ สีย้อมเป็นแหล่งคาร์บอนในอัตราส่วน 25 :1
2. น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลซูโครสและ สีย้อมเป็นแหล่งคาร์บอนในอัตราส่วน 23:3
3. น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลซูโครสและ สีย้อมเป็นแหล่งคาร์บอนในอัตราส่วน 16:10

โดยปริมาณซีโอดีที่ได้ในน้ำเสียสังเคราะห์จะเป็นค่าซีโอดีที่ได้มาจาก น้ำตาลซูโครส สีย้อม และแอมโมเนียมอะซิเทต ซึ่ง 2 ส่วนแรกจะทำการแปรผัน คือ ในน้ำเสียสังเคราะห์กลุ่มที่ 1 จะเตรียมจากน้ำตาลซูโครส 25 ส่วน และเตรียมสีย้อม 1 ส่วน ส่วนในน้ำเสียสังเคราะห์กลุ่มที่ 2 จะเตรียมจากน้ำตาลซูโครส 23 ส่วน และ สีย้อม 3 ส่วน และในน้ำเสียสังเคราะห์กลุ่มที่ 3 จะเตรียมจากน้ำตาลซูโครส 16 ส่วน และสีย้อม 10 ส่วน และใส่แอมโมเนียมอะซิเทต โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเท่ากันทุกกลุ่มโดยแอมโมเนียมอะซิเทต โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ใส่ลงไปเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเข้าระบบ

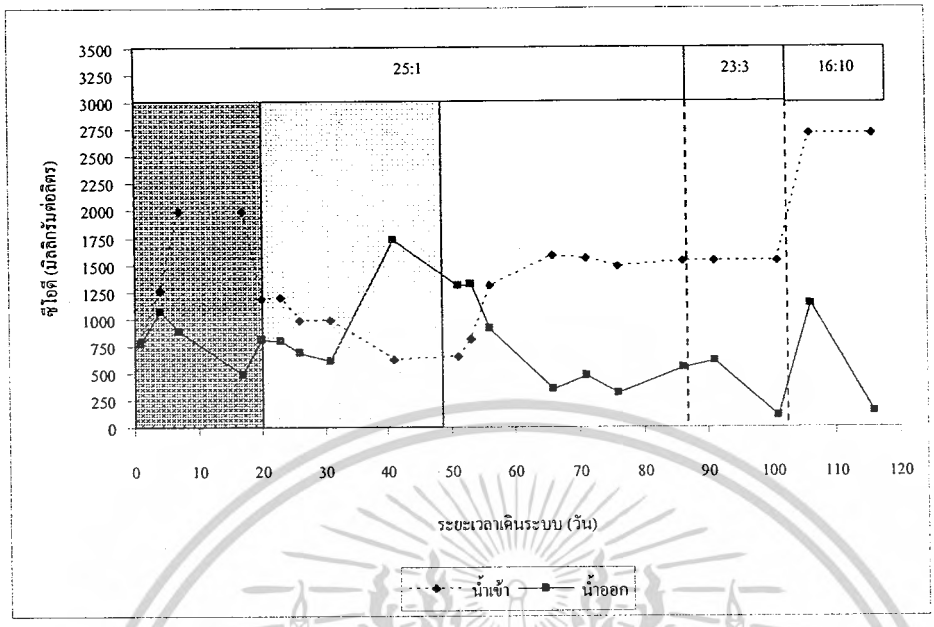
กลุ่มที่	1	2	3
อัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม	25:1	23:3	16:10
ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,540.43	1,536.82	2,007.20
ทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	49.66	47.43	79.31
ออโธฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	18.45	22.42	31.27
คาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส	166:5:2	137:4:2	128:5:2
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	844	720	475
บีโอดีต่อซีโอดี	0.55	0.47	0.24
พีเอช	6.8-7.3	6.8-7.3	6.8-7.3

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบมีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่ใกล้เคียงกันคือ ประมาณ 150:5:2 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นอาหารให้กับเซลล์จุลินทรีย์ (วิชุดา ,2543) ส่วนค่า บีโอดีต่อซีโอดี เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยสามารถบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของสารได้ (เกรียงศักดิ์ ,2539) โดยส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 1 ซึ่งน้ำเสียที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายจะมีอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี ที่สูงกว่าน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก และในน้ำเสียสังเคราะห์กลุ่มที่ 1, 2 และ3 ที่ใช้ในการทดลองมีค่าบีโอดีต่อซีโอดีเป็น 0.55 , 0.47 และ 0.24 ตามลำดับ

4.3 ผลการบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์

ในการเริ่มต้นเดินระบบจะป้อนน้ำเสียที่มีอัตราส่วนน้ำตาลซูโครสกับสีย้อมเป็น 25 ต่อ 1 โดยให้มีอัตราการไหลเข้าระบบเท่ากับ 2-4 ลิตรต่อวัน และมีค่าซีโอดีเท่ากับ 800-1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นจึงค่อยๆ ปรับค่าซีโอดีของน้ำเข้าระบบให้สูงขึ้นเป็น 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรและในช่วง 30 วันแรกเป็นการเดินระบบโดยนำตะกอนจุลินทรีย์ในรูปเม็ด (granular) ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลไม้กระป๋อง จากนั้นเปลี่ยนจุลินทรีย์ในถังหมักโดยถ่ายตะกอน จุลินทรีย์ออก แล้วใส่ตะกอนจุลินทรีย์จากถังหมักของโรงงานฟอกย้อมลงไป 3 ลิตร โดยค่าซีโอดีของน้ำเข้าระบบยังคงอยู่ในช่วง 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



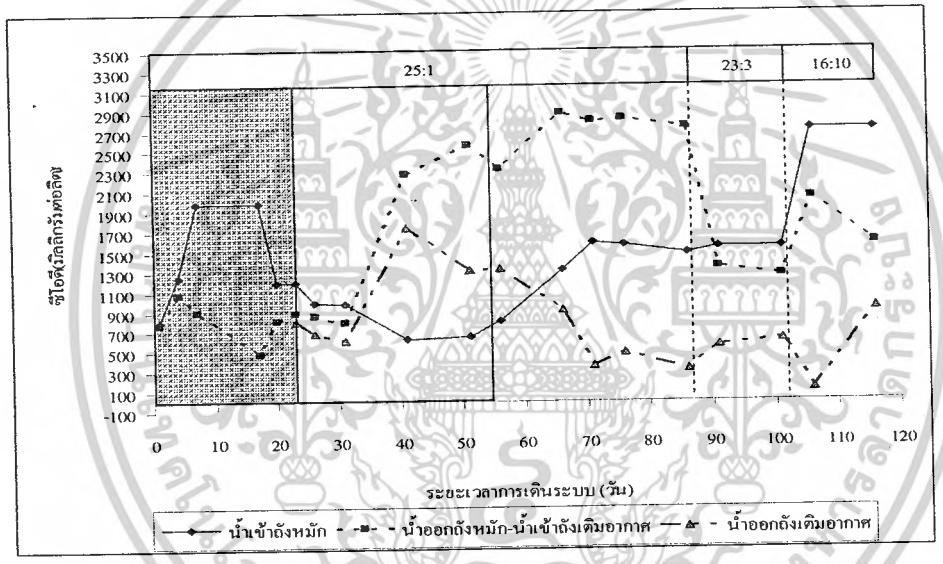
รูปที่ 4.2 การบำบัดซีโอดีกับระยะเวลาการเดินระบบ

พบว่าในช่วงแรกที่ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในรูปเม็ด ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงอาจเกิดจาก พีเอชในถังหมักลดลง หรือการสะสมของกรดไขมันระเหย ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์รวมทั้งเม็ดตะกอน จุลินทรีย์เริ่มแตกออก บางส่วนตกตะกอนลงก้นถัง ต่อจากนั้นในช่วงวันที่ 31 มีการเปลี่ยนเชื้อจุลินทรีย์ โดยใช้จุลินทรีย์จากถังหมักของโรงงานฟอกย้อม พบว่าค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบมีค่าสูงกว่าค่าซีโอดีของน้ำเข้า อาจเกิดจากการปั่นกวนในถังปฏิกรณ์ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ไหลล้นออกมากับน้ำที่ออกจากระบบ จากนั้นเมื่อระยะเวลาในการเดินระบบผ่านไปจนถึง 56 วันจุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสีย ทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีค่าซีโอดีลดลง ในวันที่ 86 จึงเริ่มเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีเป็น 23 ต่อ 3 ช่วงแรกความสามารถในการลดค่าซีโอดีจะต่ำลง ซึ่งอาจเนื่องมาจาก จุลินทรีย์เกิดภาวะปรับตัวไม่ได้ทำให้ค่าซีโอดีในน้ำออกสูงขึ้น จากนั้นเมื่อเพิ่มระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เพิ่มเป็น 10 วัน ทำให้ค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบลดลง จึงเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อมเป็น 16 ต่อ 10 การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เป็น 10 วัน ความสามารถในการบำบัดซีโอดีจะเพิ่มขึ้นและมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับร้อยละ 94.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การบำบัดซีโอดีในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ

ในช่วงแรกของการเริ่มต้น (0-22 วัน) การบำบัดจะทำในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน จากนั้นน้ำที่ออกจากถังหมัก จะส่งไปบำบัดต่อด้วยถังเติมอากาศ จากรูปที่ 4.3 พบว่า ในสภาวะใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์สามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้ แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนสารละลายสีย้อม น้ำที่ออกจากระบบมีค่าซีโอดีสูงขึ้น ขณะที่ในถังหมัก เมื่ออัตราส่วนสารละลายสีเพิ่มขึ้นจุลินทรีย์ในระบบยังสามารถทำงานได้ เนื่องจากในถังหมักใช้เวลากักพักทางชลศาสตร์เพิ่มขึ้น และควบคุมพีเอชในถังหมักให้คงที่ ด้วยการเติมโซเดียมคาร์บอเนต ขณะที่ในถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ แต่ละใบจะใช้เวลากักพักทางชลศาสตร์ 24 ชั่วโมง และไม่มีการควบคุมสภาวะการทำงานของจุลินทรีย์ให้เหมาะสม ดังนั้นเมื่อสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีลดลง



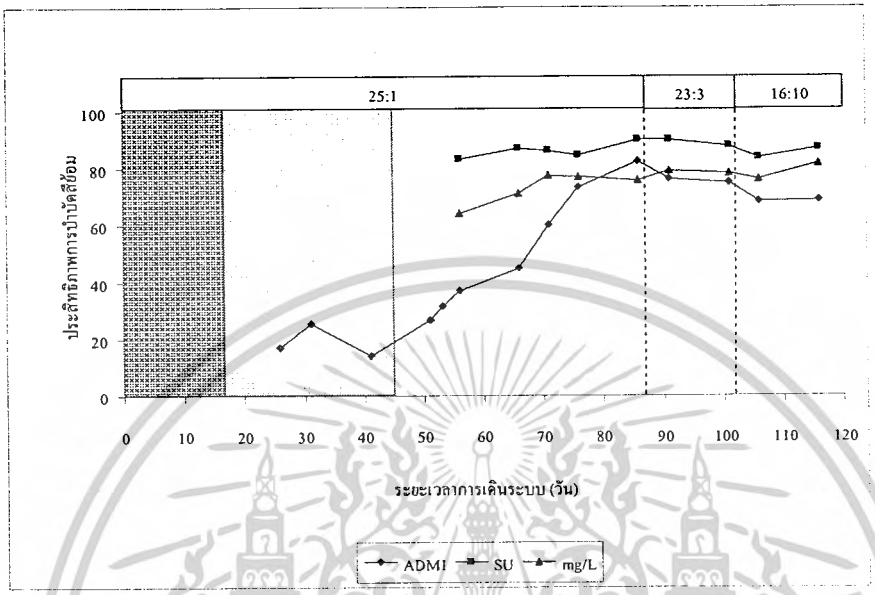
รูปที่ 4.3 การบำบัดซีโอดีในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศกับระยะเวลาการเดินระบบ

4.4 ผลประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในถังปฏิกรณ์

ในช่วง 20 วันแรกของการเดินระบบ จากการสังเกตพบว่าสีย้อมไม่ลดลงจึงไม่มีการเก็บตัวอย่าง หลังจากเดินระบบต่อโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมปริมาณสีย้อมจะค่อยๆ ลดลง และเมื่อเดินระบบไปได้ 86 วัน ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมมีค่าเท่ากับร้อยละ 76.00, 89.86 และ 82.74 ซึ่งวัดในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ ที่เวลากักพักทางชลศาสตร์ในถังหมัก 10 วัน ถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ 48 ชั่วโมง ต่อจากนั้นได้ทำการเดินระบบโดยเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อมจาก 25:1 เป็น 23:3 ในวันที่ 86 และ 16:10 ในวันที่ 101 ของระยะเวลาเดินระบบ ซึ่งทุกครั้งที่ปริมาณสีย้อมเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย้อมลดลงซึ่งอาจเนื่องมาจากเป็นระยะเวลาที่จุลินทรีย์ปรับตัวให้เข้ากับสภาวะที่เปลี่ยนไป (Lag Phase)



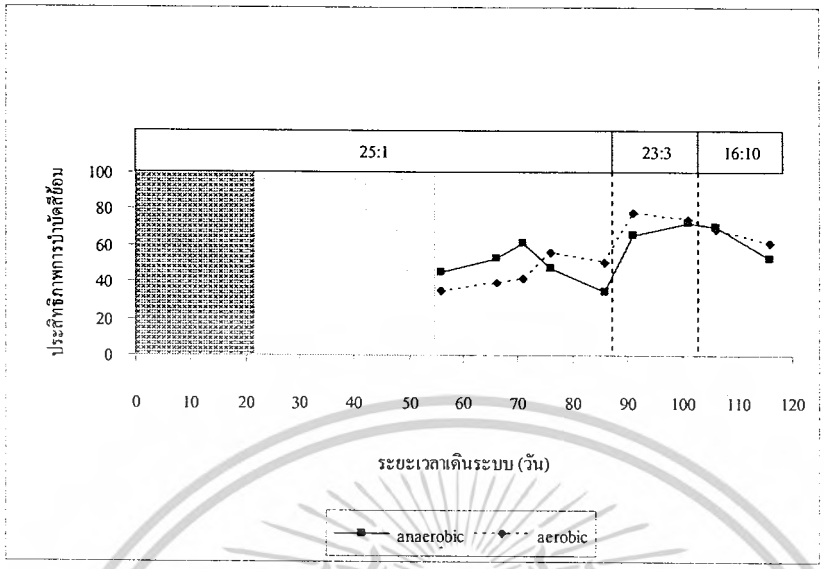
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยต่าง ๆ กับระยะเวลาการเดินระบบ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมในหน่วย เอสยู และมิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าสูงกว่าในหน่วยเอดีเอ็มไอ เนื่องจากในถังหมักมีเซลล์จุลินทรีย์แขวนลอยจำนวนมาก ทำให้สารละลายมีสีน้ำเงินเข้ม ซึ่งจะทำให้ค่าเอดีเอ็มไอสูงขึ้นจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมต่ำกว่า

4.4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ

จากรูปที่ 4.5-4.7 พบว่า สีย้อมถูกบำบัดได้ทั้งในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศรวมทั้ง เมื่อปริมาณสารละลายสีย้อมเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการลดสีย้อมจะลดลงเล็กน้อย โดยประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยเอดีเอ็มไอ ของถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศจะดีกว่าถังหมัก โดยเฉพาะในช่วง 60 วันของการเดินระบบจะปั่นกวนในถังหมักทำให้สารละลายเข้ม ค่าเอดีเอ็มไอจึงสูงเมื่อลดการปั่นกวนและใช้ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เพิ่มขึ้น ทำให้การบำบัดสีย้อมสูงขึ้น ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วย เอสยูและมิลลิกรัมต่อลิตร จะเริ่มเก็บตัวอย่างเมื่อเดินระบบไปแล้ว 56 วัน พบว่า ตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมากับน้ำที่ออกจากถังหมักจนทำให้น้ำมีสีดำเข้มส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้นในทุกช่วงความยาวคลื่นซึ่งจะทำให้ค่าเอสยูและมิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในช่วงเวลานี้จึงมีค่าต่ำแต่ในถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศจะหยุดการปั่นกวนและเติมอากาศก่อนที่จะเก็บ

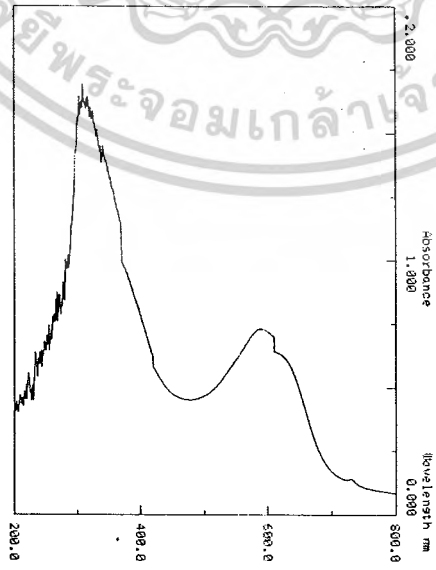
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ กับระยะเวลาเดินระบบในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร

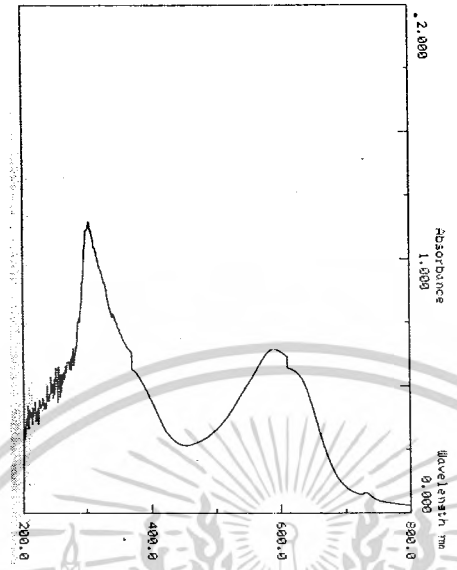
4.4.2 ผลของโครงสร้างสีในถังหมักและถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ

จากรูปที่ 4.8-4.13 พบว่า โครงสร้างของสีย้อมไม่มีการเปลี่ยนแปลง สังเกตได้จากลักษณะของกราฟที่มีความเด่นชัดอยู่ในช่วงความยาวคลื่นเดิมโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงจาก 200 – 800 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer รุ่นUV 7800 ยี่ห้อ JASCO อีกทั้งไม่มีการเกิดพีคใหม่ในโครมาโทรแกรมที่ได้ แสดงว่าการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน อาจเกิดจากการดูดซับสีกับมวลเซลล์ของ จุลินทรีย์มากกว่าที่เกิดจากการย่อยสลายโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อม

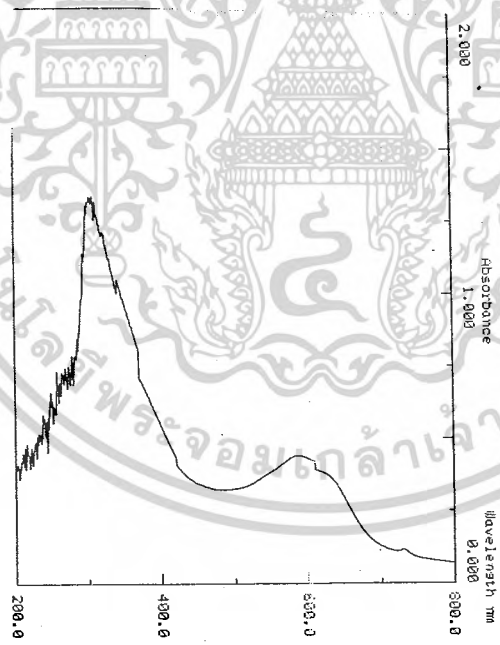


รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 25:1 ในถังหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

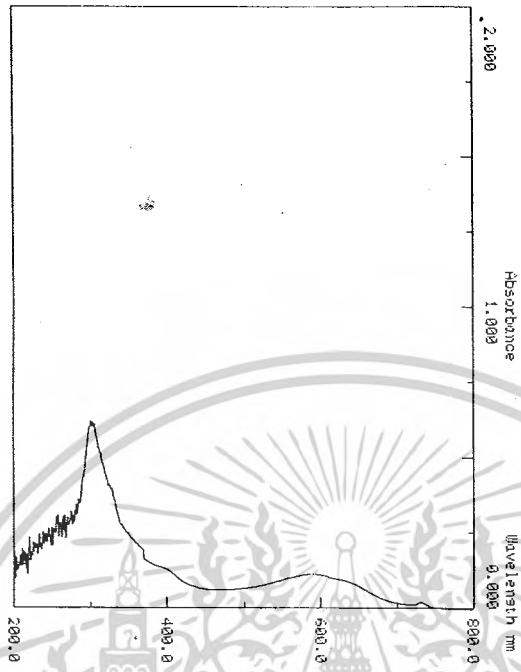


รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 23:3 ในถังหมัก

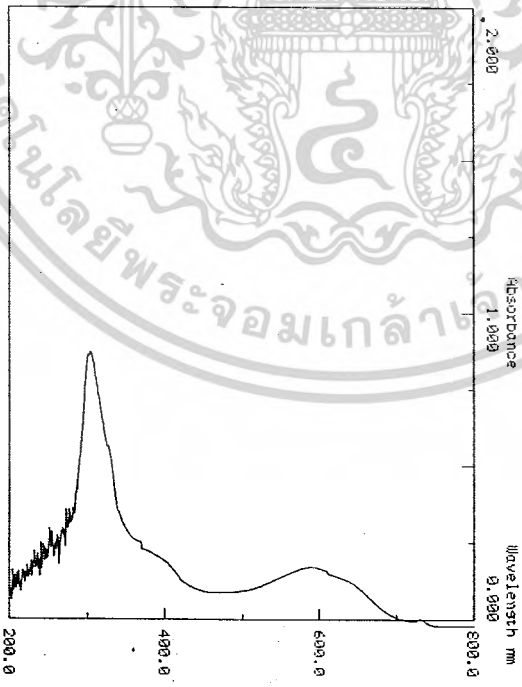


รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 16:10 ในถังหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

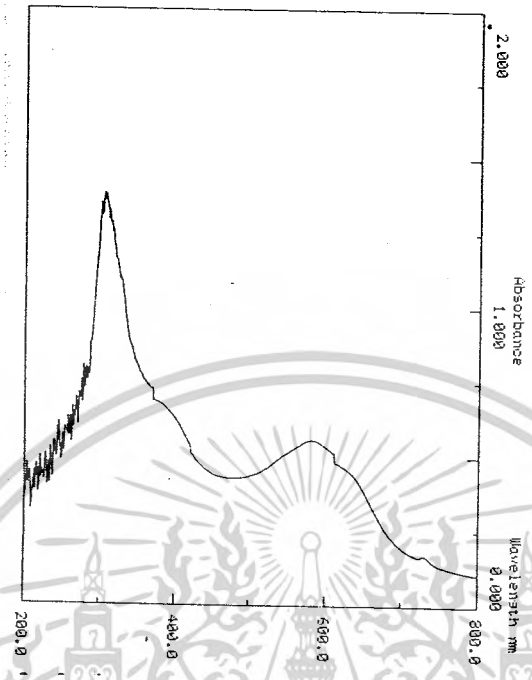


รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 25:1 ในถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 23:3 ในถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อม 16:10 ในถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ

จากการศึกษา พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ที่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์กับสีย้อมมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุดคือร้อยละ 65.97, 49.75 และ 75.40 ซึ่งคำนวณออกมาในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2 ที่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยหม้อนึ่งภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมเท่ากับร้อยละ 57.93, 40.72 และ 62.49 ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ สำหรับในชุดการทดลองที่ 3 ที่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยโซเดียมเอไซด์ มีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมต่ำที่สุดคือร้อยละ 43.96 23.99 และ 39.77 ซึ่งคำนวณออกมาในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ แสดงว่าสีย้อมที่ลดลงนั้นเกิดเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายและการดูดซับโดยมวลจุลินทรีย์

5.1.2 การบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์

หลังจากการใช้เชื้อจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมเมื่อเดินระบบผ่านไป 56 วัน ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ในถังหมักและถังเติมอากาศมีค่ามากกว่า ร้อยละ 70 จึงได้มีการเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อมจาก 25:1 เป็น 23:3 ในระยะแรกพบว่าความสามารถในการลดค่าซีโอดีของระบบจะต่ำลง และเมื่อเพิ่มระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เป็น 10 วัน การบำบัดซีโอดีของระบบจะเพิ่มขึ้น จากนั้นเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อมเป็น 16:10 การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบจะเพิ่มสูงขึ้น และลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์เป็น 10 วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับร้อยละ 94.85 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงขึ้น

5.1.3 การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในถังปฏิกรณ์

หลังจากใช้เชื้อจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมบำบัดน้ำเสียไป 116 วัน น้ำเสียที่ป้อนเข้าถังหมัก มีอัตราส่วนซูโครสต่อสีย้อมเท่ากับ 16:10 ใช้เวลากักพักทางชลศาสตร์ 10 วัน และบำบัดต่อในถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศใช้เวลากักพักทางชลศาสตร์ 48 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมของระบบมีค่าเท่ากับร้อยละ 81.94, 87.15 และ 68.77 ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ ตามลำดับ และทุกครั้งที่เปลี่ยนอัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อมจาก 25:1 เป็น 23:3 และ 16:10 จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมลดลง และจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพสามารถสรุปได้ว่าสีย้อมที่ลดลงเกิดจากการดูดซับโดยมวลเซลล์จุลินทรีย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีถังปฏิกรณ์เพิ่มอีกหนึ่งชุดทดลอง เพื่อเป็นชุดควบคุม

2. ควรมีการวิเคราะห์สารมัธยันต์ที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง เพื่อให้ทราบกลไกการบำบัดที่ถูกต้อง

3. ควรศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และพิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. 2544. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 1.** พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 2.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.

ณัฐพันธุ์ ศุภกา, กาญจณา จันทองจีน และสมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. 2545. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยแบคทีเรียด้วยกระบวนการบำบัดแบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก. **ราชบัณฑิตยสถาน.** 27(3)692-699

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชุดา นิมิตรไชยาพงศ์. 2543. **การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีตะกอนเร่งแบบกึ่งต่อเนื่อง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธีระ เกรอต. 2539. **วิศวกรรมน้ำเสีย:การบำบัดทางชีวภาพ.** กรุงเทพฯ.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APHA, AWWA, and WPCF. 1989. **Standard Methods for Examination of water and wastewater.** 17th. New York: APHA.

Bell,J and Buckley,C.A. 2003. Treatment of a Textile Dye in the Anaerobic Baffled Reactor . **Water SA.** 29(2) : 129-134

Bell,J. 2002. **Treatment of Dye Wastewater in the Anaerobic Baffled Reactor and Characterisation of the Associated Microbial Population.** Ph.D. Thesis.School of Chem. Eng. Univ. of Natal Durban.

Chen B.Y. 2002. Understanding Decolorization Characteristics of Reactive Azo Dye by *Pseudomonas luteola:* Toxicity and Kinetics. **Process Biochem.** (38): 437-446.

Carliell ,CM.Barclay,SJ. Naidoo,N. Buckley,CA. Mulholland,DA.and Senior,E. 1995. Microbial Decolorisation of a Reactive Azo Dye Under Anaerobic Condition. **Water SA.** 21(1) : 61-69

Grady, C.P.L.,Daigger, Jr. G.T.and Lim, H.C. 1980. **Biological wastewater treatment second edition, revised and expanded,** 10th. New York:Marcel Dekker,Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Metcalf and Eddy.1991.**Wastewater Engineering:Treatment,Disposal and Reuse.** 3rd ed. Singapore. Mc.Graw-Hill.

Panswad,T and Luangdilok,W . 2002. Decolorization of Reactive Dyes with Different Molecular Structures Under Different Environmental Conditions. **Water Res.** 34(17) : 4177-4184

Supaka, N. Juntongjin, K.Damronglerd,S.Delia M.L. and Strehaiano P. 2004. Microbial Decolorization of Reactive Azo Dyes in a Sequential Anaerobic-Aerobic System. **J. Chemical Engineering.** (99): 169-176.

Yu,J.Wang,X. and Yue,P.L. 2001. Opimal Decolorization and Kinetic Modeling of Synthetic Dye by *Pseudomonas* Strain. **Water Res.** (35) : 3579-3586.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การคำนวณและการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

ก.1 วิธีคำนวณค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์

<u>วิธีคำนวณ</u> การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ โดยให้มีค่าซีโอดีเท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลอง น้ำตาล 2 กรัม ให้ค่าซีโอดีเท่ากับ 1,912.714 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลอง สีย้อม 2 กรัม ให้ค่าซีโอดีเท่ากับ 2,398.827 มิลลิกรัมต่อลิตร

<u>อัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อมเท่ากับ 25:1 คำนวนได้ดังนี้</u>

$$\frac{\text{ซีโอดีน้ำตาล}}{\text{ซีโอดีสีย้อม}} = \frac{25}{1}$$

$\therefore$ ซีโอดีน้ำตาล = ซีโอดีสีย้อม x 25

$\therefore$ 1,500 มิลลิกรัม = (ซีโอดีสีย้อม x 25) + ซีโอดีสีย้อม

$$\text{ซีโอดีสีย้อม} = \frac{1,500}{26}$$

= 57.69 มิลลิกรัม

ซีโอดีน้ำตาล = 1,500 - 57.69

= 1,442.31 มิลลิกรัม

$\therefore$ ต้องชั่งน้ำตาลเท่ากับ $\frac{1,442.31 \text{ มิลลิกรัม x } 2 \text{ กรัม}}{1,912.714 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}}$ = 1.5100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ต้องชั่งสีย้อมเท่ากับ $\frac{57.69 \text{ มิลลิกรัม x } 2 \text{ กรัม}}{2,398.827 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}}$ = 0.0500 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อมเท่ากับ 23:3 คำนวนได้ดังนี้

$$\frac{\text{ซีโอดีน้ำตาล}}{\text{ซีโอดีสีย้อม}} = \frac{23}{3}$$

$$\therefore \quad \text{ซีโอดีน้ำตาล} = \text{ซีโอดีสีย้อม} \times \frac{23}{3}$$

$$1{,}500 \text{ มิลลิกรัม} = (\text{ซีโอดีสีย้อม} \times \frac{23}{3}) + \text{ซีโอดีสีย้อม}$$

$$\text{ซีโอดีสีย้อม} = \frac{1{,}500 \times 3}{26}$$

$$= 173.08 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{ซีโอดีน้ำตาล} = 1{,}500 - 173.08$$

$$= 1{,}326.92 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\therefore \quad \text{ต้องชั่งน้ำตาลเท่ากับ } \frac{1{,}326.92 \text{ มิลลิกรัม} \times 2 \text{ กรัม}}{1{,}912.714 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}} = 1.5100 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

$$\text{ต้องชั่งสีย้อมเท่ากับ } \frac{173.08 \text{ มิลลิกรัม} \times 2 \text{ กรัม}}{2{,}398.827 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}} = 0.1443 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนน้ำตาลต่อสีย้อมเท่ากับ 16:10 คำนวนได้ดังนี้

$$\frac{\text{ซีโอดีน้ำตาล}}{\text{ซีโอดีสีย้อม}} = \frac{16}{10}$$

$$\therefore \text{ซีโอดีน้ำตาล} = \text{ซีโอดีสีย้อม} \times \frac{16}{10}$$

$$1{,}500 \text{ มิลลิกรัม} = (\text{ซีโอดีสีย้อม} \times \frac{16}{10}) + \text{ซีโอดีสีย้อม}$$

$$\text{ซีโอดีสีย้อม} = \frac{1{,}500 \times 10}{26}$$

$$= 576.923 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{ซีโอดีน้ำตาล} = 1{,}500 - 576.923$$

$$= 923.077 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\therefore \text{ต้องชั่งน้ำตาลเท่ากับ} \quad \frac{923.077 \text{ มิลลิกรัม} \times 2 \text{ กรัม}}{1{,}912.714 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}} = 0.9652 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

$$\text{ต้องชั่งสีย้อมเท่ากับ} \quad \frac{576.923 \text{ มิลลิกรัม} \times 2 \text{ กรัม}}{2{,}398.827 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}} = 0.481 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

ตารางที่ ก.1 แสดงการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์(Bell, 2002 and Panswad, 2002)

สารเคมี	ปริมาณ (กรัมต่อลิตร)		
	น้ำตาล ต่อ สีย้อม 25 : 1	น้ำตาล ต่อ สีย้อม 23 : 3	น้ำตาล ต่อ สีย้อม 16 : 10
ซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	1.23	1.16	0.965
K_2HPO_4	0.02	0.02	0.02
CH_3COONH_4	0.05	0.05	0.05
$NaHCO_3$	0.6	0.6	0.6
สีย้อม Reactive brilliant blue R	0.056	0.17	0.481
สารละลายอาหารเสริม (มิลลิลิตรต่อลิตร)	5	5	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายอาหารเสริมเตรียมได้ดังนี้

ตารางที่ ก.2 แสดงการเตรียมสารละลายอาหารเสริม

สารเคมี	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	41.7
$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	84
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	16.8
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	3.3
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การวัดสีย้อมในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร เอสยู และ เอดีเอ็มไอ

ข.1 การวัดสีในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

1. เตรียมสารละลายสต๊อกสีย้อมรีแอกทีฟที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งสีย้อมรีแอกทีฟมา 0.1000 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรละลายด้วยน้ำกลั่นจนหมด ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอกทีฟ

เตรียมกราฟมาตรฐานที่มีความเข้มข้นระหว่าง 2.5 - 15.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายสต๊อกสีย้อมรีแอกทีฟที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 และ 15.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานสีย้อมรีแอกทีฟที่มีความเข้มข้น 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 และ 15.0 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 598.5 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์ จากนั้นนำไปพลอตกราฟมาตรฐาน โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน Y และความเข้มข้นเป็น แกน X จากนั้นนำตัวอย่างมาเจือจางให้อยู่ในช่วงของความเข้มข้นในกราฟมาตรฐานและทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 598.5 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์ เมื่อได้ค่าดูดกลืนแสงแล้วให้นำไปแทนค่าในสมการของกราฟมาตรฐาน โดยให้ค่าดูดกลืนแสงเป็นค่า (y) จากนั้นคำนวณหาค่าความเข้มข้นสีย้อม (x) หลังจากเจือจางแล้ว ทำการคำนวณกลับไปสู่ความเข้มข้นก่อนเจือจางต่อไป จะได้ความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำตัวอย่าง

ค.2 การวัดสีในหน่วย SU (มั่นสิน, 2542)

1. นำน้ำตัวอย่างมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400, 450, 500, 550, 600, 650 และ 700 นาโนเมตร

2. นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปพลอตกราฟระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น

<u>วิธีคำนวณ</u>

คำนวณพื้นที่ใต้กราฟ โดยใช้สมการดังนี้

พื้นที่ใต้กราฟ = ½ x (ผลบวกของค่าการดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกัน) x ผลต่างของความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกัน

ค่าที่ได้คือ หน่วยของการวัดสีย้อมในหน่วย เอสยู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 การวัดสีในหน่วย เอดีเอ็มไอ (APHA, 1989)

1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร

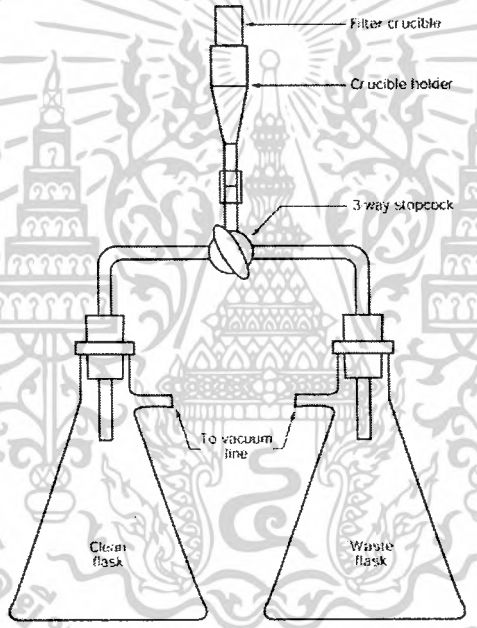
1.2 อุปกรณ์สำหรับกรองแบบลดความดัน ดังรูปที่ ข.1

1.3 ฟิลเตอร์ฟลาสค์ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.4 ที่ยึดจับครูซิเบิล

1.5 ครูซิเบิล รูพรุนสำหรับกรองขนาด 40 ไมโครเมตร

1.6 เซลล์วัดแสงที่มีช่วงแสง 10 มิลลิเมตร



รูปที่ ข.1 ระบบการกรองสำหรับการวัดสี

2. สารเคมี

2.1 สารช่วยในการกรอง (Calcined filter aid)

2.2 กรดซัลฟิวริก หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางสำหรับปรับ พีเอช

2.3 โพแทสเซียมคลอโรแพลตติเนต (K_2PtCl_6)เตรียมได้จาก 2.3.1 หรือ 2.3.2

2.3.1 โพแทสเซียมคลอโรแพลตติเนต (K_2PtCl_6) จำนวน1.246 กรัมในน้ำกลั่นเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร และโคบอลต์(II)คลอไรด์เฮกซิไฮเดรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($CoCl_2.6H_2O$) 1.00 กรัม และเจือจางจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร ซึ่งจะมีหน่วยสีเท่ากับ 500 ADMI หรืออาจใช้

2.3.2 โลหะแพลตตินัมบริสุทธิ์ 500 มิลลิกรัม ละลายในกรดกัดทอง (Aqua regia) โดยการให้ความร้อนไล่กรดไนตริกด้วยการระเหย และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นลงไปใหม่ จนละลายได้หมด จากนั้นจึงเติม โคบอลต์ (II) คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 1.00 กรัม แล้วจึงปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

3. การทดลอง

3.1 การเตรียมสารละลายสีมาตรฐานที่มีสี 200, 250, 300, 400 และ 500 ADMI โดยการเจือจางสารละลายสต๊อกจากสารเคมีข้อ 3 หรือ 4 โดยปิเปตมา 20, 25, 30, 40 และ 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร สำหรับ สารละลายสีมาตรฐานที่มีสีเท่ากับ 500 ADMI ไม่ต้องทำการปรับปริมาตรใดๆทั้งสิ้น

- นำน้ำมา 2 ส่วน โดยแต่ละส่วน 50.0 มิลลิลิตร ทำให้มีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง วัดค่าพีเอช โดยส่วนที่ 1 นำมาใช้ที่ค่าพีเอชเดิม ส่วนที่ 2 ให้ปรับพีเอชเป็น 7.6 ด้วยกรดหรือเบสซึ่งไม่ควรให้ปริมาตรสุทธิหลังปรับ พีเอช เกินร้อยละ 3 กำจัดสารแขวนลอย (ถ้ามี) โดยนำไปปั่นเหวี่ยงก่อน จากนั้นนำน้ำแต่ละส่วนมาทดลองต่อ แต่ไม่ผสมกัน

- นำน้ำที่ปั่นเหวี่ยงแล้ว 10 มิลลิลิตร มาผสมกับซีไลต์ สารช่วยกรอง 0.1 กรัม (ประมาณ 1 ช้อนตักสารช้อนเล็ก) ให้เข้ากันดีจากนั้นกรองโดยใช้ครูซิเบิล โดยใช้การลดความดันโดยสารละลายที่กรองได้เทลงฟลาสค์บรรจุของเสีย

- นำน้ำที่ปั่นเหวี่ยงแล้ว 35 มิลลิลิตร ผสมกับสารช่วยกรอง 40 มิลลิลิตร (ประมาณครึ่งช้อนตักสารเล็ก) ให้เข้ากันและนำไปกรองในครูซิเบิลเดิม ทิ้งสารละลายลงในฟลาสค์บรรจุของเสียเช่นเดินจนกว่าจะได้สารละลายใสจึงเปิดวาล์วเก็บสารละลายใสลงในฟลาสค์ที่สะอาด

- นำมาวัดค่าทรานส์มิตแตนซ์ (%T) แต่ละความยาวคลื่นดังตารางที่ ข.1

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างทำเช่นเดียวกันกับ สีมาตรฐานทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงโคออร์ดิเนตที่ต้องวัดในการวัดสีด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

	X	Y	Z
Coordinate No.	wavelength (nm)		
2	435.5	489.5	422.2
5	461.2	515.2	432.0
8	544.3	529.8	438.6
11	564.1	541.4	444.4
14	577.4	551.8	450.1
17	588.7	561.9	455.9
20	599.6	572.5	462.0
23	610.9	584.8	468.7
26	624.2	600.8	477.7
29	654.9	627.3	495.2

6.3.3 การคำนวณ

ก. การหาค่า tristimulus (X_s, Y_s, Z_s)

หาผลรวมค่าทรานส์มิตแตนซ์ของแต่ละช่วง (X,Y,Z) จากนั้นคูณด้วยแฟคเตอร์ที่เหมาะสม จะได้ค่า Tristimulus (X_s, Y_s, Z_s) ของแต่ละสีมาตรฐานและตัวอย่าง

ข. การหาค่า Munsell (V_{xs}, V_{ys}, V_{zs})

นำค่า Tristimulus ที่ได้จากการคำนวณมาหาค่า Munsell ต่อ โดยใช้แฟคเตอร์และสมการของ Breneman's ,1967

ค. การหาค่า intermediate (DE_n)

นำค่า tristimulus และค่า Munsell ที่ได้จากการคำนวณมาคำนวณต่อโดยใช้สมการของ Bridgeman, 1963 คือ

$$DE = \{(0.23\Delta V_y)^2+[\Delta (V_x-V_y)]2+[0.4\Delta (V_y-V_z)]^2\}^{1/2}$$

เมื่อ

$$V_y = V_{ys} - V_{yc}$$

$$\Delta(V_x-V_y) = (V_{xs} - V_{ys}) - (V_{xc} - V_{yc})$$

$$\Delta(V_y-V_z) = (V_{ys} - V_{zs}) - (V_{yc} - V_{zc})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. การหาค่า Calibration Factor (F)

ทำได้โดยนำค่า ADMI จากตัวอย่างสีมาตรฐานและค่า DE มาพลอตกราฟโดยให้ค่า ADMI เป็นแกน Y และค่า DE เป็นแกน X เมื่อคำนวณหาค่าความชันจะได้เป็นค่า CaIibration Factor หรือค่า F

จ. การคำนวณหาค่า ADMI ของตัวอย่าง

ทำการคำนวณได้โดย ใช้สมการดังนี้

$$\text{ค่า ADMI} = \frac{(F)(DE)}{b}$$

เมื่อ ค่า b คือความกว้างของช่วงแสงที่ผ่านสารละลาย (ความกว้างของเซลล์วัดแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

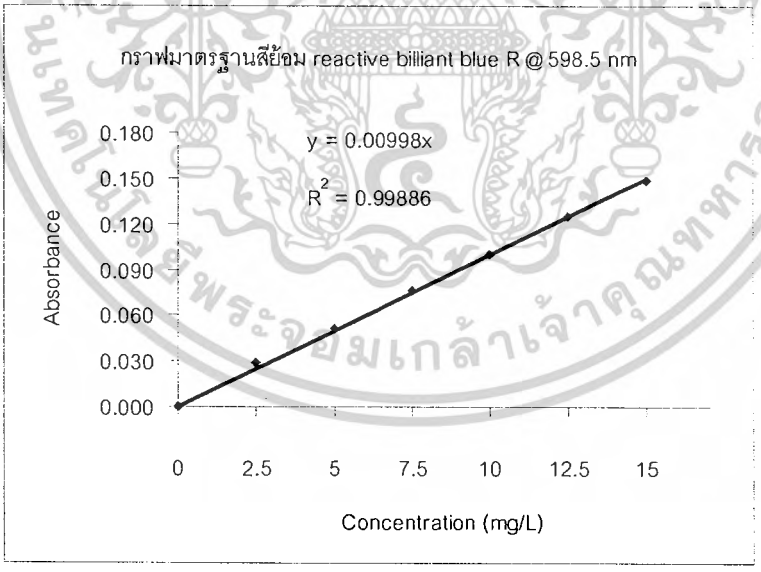
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานสีย้อม Reactive Brilliant Blue R (λ_{max} = 598.5 nm)

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	0.000	0.000	0.000	0.000
2.5	0.031	0.031	0.024	0.028
5	0.054	0.053	0.048	0.052
7.5	0.081	0.076	0.071	0.076
10	0.104	0.099	0.095	0.099
12.5	0.134	0.122	0.119	0.125
15	0.158	0.144	0.143	0.148



รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นสีย้อม Reactive brilliant blue R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลปริมาณสีย้อมก่อนและหลังบ่มในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลอง	ปริมาณสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	ก่อนบ่ม			หลังบ่ม		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ชุดควบคุม	299.10	310.00	318.05	299.10	310.00	317.2
1	299.10	310.00	318.05	101.78	105.49	108.43
2	299.10	310.00	318.05	125.83	133.42	135.43
3	299.10	310.00	318.05	167.62	174.72	177.23

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลปริมาณสีย้อมก่อนและหลังบ่มในหน่วย เอสยู

ชุดการทดลอง	ปริมาณสีย้อม (เอสยู)					
	ก่อนบ่ม			หลังบ่ม		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ชุดควบคุม	194.22	212.18	230.14	201.12	203.25	228.99
1	194.22	212.18	230.14	102.52	105.62	112.62
2	194.22	212.18	230.14	120.13	120.78	136.43
3	194.22	212.18	230.14	150.63	158.28	174.93

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลปริมาณสีย้อมก่อนและหลังบ่มในหน่วย เอดีเอ็มไอ

ชุดการทดลอง	ปริมาณสีย้อม (เอดีเอ็มไอ)					
	ก่อนบ่ม			หลังบ่ม		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ชุดควบคุม	2430	2438	2440	2426	2436	2440
1	2430	2438	2440	598	598	601
2	2430	2438	2440	911	914	917
3	2430	2438	2440	1464	1468	1469

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ประสิทธิภาพของการบำบัดสีย้อมทางกายภาพในหน่วยต่าง ๆ

ชุดการทดลองที่	ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม		
	mg/L	SU	ADMI
1	65.97	49.75	75.40
2	57.93	40.72	62.49
3	43.96	23.99	39.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบบำบัดในแต่ละถังปฏิกรณ์

ระยะเวลาเดินระบบ	ถังหมัก			ถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ		
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด
1	796.14	777.99	2.28	-	-	-
4	1253.26	1068.60	14.73	-	-	-
7	1987.24	890.41	55.19	-	-	-
17	1987.24	485.22	75.58	-	-	-
20	1186.24	809.49	31.76	-	-	-
23	1190.84	879.91	26.11	879.91	797.93	9.32
26	989.52	863.00	12.79	863.00	679.33	21.28
31	982.48	785.39	20.06	785.39	612.68	21.99
41	621.50	2271.65	-265.51	2271.65	1734.18	23.66
51	641.49	2547.34	-297.10	2547.34	1309.33	48.60
56	803.41	2316.73	-188.36	2316.73	1315.90	43.20
66	1311.01	2878.06	-119.53	2878.06	905.73	68.53
71	1582.45	2791.05	-76.38	2791.05	348.84	87.50
76	1562.18	2810.31	-79.90	2810.31	478.32	82.98
86	1476.67	2730.93	-84.94	2730.93	314.33	88.49
91	1536.82	1334.61	13.16	1334.61	546.66	59.04
101	1536.82	1255.58	18.30	1255.58	613.10	51.17
106	2707.20	2017.90	25.46	2017.90	113.88	57.91
116	2707.20	1564.76	42.20	1564.76	917.73	41.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยต่าง ๆ ของระบบรวม

อัตราส่วนน้ำตาลต่อสี	ระยะเวลาเดินระบบ	ระบบรวม									
			สีย้อมรีแอกทีฟ								
			น้ำเข้าระบบ			น้ำออกจากระบบ			ประสิทธิภาพการบำบัด		
		HRT	mg/L	SU	ADMI	mg/L	SU	ADMI	mg/L	SU	ADMI
25_1	1	1									
25_1	4	3									
25_1	7	3									
25_1	17	10									
25_1	20	3									
25_1	23	3			749			623.18			16.81
25_1	26	3			749			558.90			25.39
25_1	31	5			749			643.40			14.11
25_1	41	10			749			554.33			26.00
25_1	51	10			749			511.34			31.74
25_1	56	5	140.90	229.15	749	50.09	38.15	473.58	64.45	83.35	36.78
25_1	66	10	140.90	229.15	749	40.31	29.93	412.98	71.39	86.94	44.87
25_1	71	5	140.90	229.15	749	31.67	31.23	296.87	77.52	86.37	60.37
25_1	76	10	140.90	229.15	749	32.39	34.76	200.08	77.01	84.83	73.29
25_1	86	10	140.90	229.15	749	33.82	23.24	129.29	76.00	89.86	82.74
23_3	91	5	163.58	272.85	2342	33.70	26.88	557.40	79.40	90.15	76.20
23_3	101	10	163.58	272.85	2342	35.33	32.82	587.61	78.40	87.97	74.91
16_10	106	5	187.29	346.70	6140	44.01	55.47	1927.96	76.50	84.00	68.60
16_10	116	10	187.29	346.70	6140	33.82	44.55	1917.52	81.94	87.15	68.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ของระบบบำบัดในแต่ละถังปฏิกรณ์

รอบการเดินระบบ	ถังหมัก			ถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ		
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด
1	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-
51	-	-	-	-	-	-
56	140.90	77.00	45.35	77.00	50.09	34.95
66	140.90	66.34	52.92	66.34	40.31	39.24
71	140.90	54.25	61.50	54.25	31.67	41.62
76	140.90	73.97	47.50	73.97	32.39	56.21
86	140.90	92.16	34.59	92.16	45.57	50.55
91	163.58	55.99	65.77	55.99	12.26	78.10
101	163.58	44.45	72.83	44.45	11.55	74.02
106	187.29	54.66	70.82	54.66	16.86	69.15
116	187.29	87.52	53.27	87.52	33.82	61.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยเอสยู ของระบบบำบัดในแต่ละถังปฏิกรณ์

ระยะเวลาเดินระบบ	ถังหมัก			ถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ		
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด
1	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-
51	-	-	-	-	-	-
56	229.15	123.28	46.20	123.28	37.88	69.27
66	229.15	115.61	49.55	115.61	29.92	74.12
71	229.15	68.10	70.28	68.10	31.36	53.95
76	229.15	85.08	62.87	85.08	34.76	59.14
86	229.15	78.97	65.54	78.97	23.24	70.57
91	272.85	98.01	64.08	98.01	26.88	72.57
101	272.85	143.38	47.45	143.38	32.83	77.10
106	346.70	185.91	46.38	185.91	44.56	76.03
116	346.70	139.51	59.76	139.51	34.23	75.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ข้อมูลและประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในหน่วยเอดีเอ็มไอ ของระบบบำบัดในแต่ละถังปฏิกรณ์

ระยะเวลาเดินระบบ	ถังหมัก			ถังปฏิกรณ์แบบเติมอากาศ		
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด
1	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
23	749	679	9.32	679	623	8.26
26	749	620	17.19	620	559	9.90
31	749	721	3.72	721	643	10.79
41	749	638	14.88	638	549	13.93
51	749	618	17.54	618	511	17.23
56	749	645	13.96	645	474	26.52
66	749	630	15.94	630	413	34.41
71	749	517	31.05	517	297	42.52
76	749	390	47.95	390	200	48.68
86	749	298	60.27	298	129	56.55
91	2342	1199	48.80	1199	557	53.52
101	2342	1231	47.45	1231	588	52.26
106	6140	4258	30.65	4258	2654	37.67
116	6140	3833	37.57	3833	1917	49.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้