

การลดสรีรแลกทีฟโดยกระบวนการเฮตปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก



นางสาววรญา ประทุมแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-347-065-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DECOLORIZATION OF REACTIVE DYE BY ANAEROBIC-AEROBIC SBBR PROCESS



Miss Woraya Pratoomkaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-347-065-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดสีที่แยกที่ฟโดยกระบวนการเอสบีบีอาร์แบบแอนไอโรบิก-แอโรบิก
โดย นางสาวอรุณา ประทุมแก้ว
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

วรญา ประทุมแก้ว : การลดสีรีแอกทีฟโดยกระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก.

(Decolorization of Reactive Dye by Anaerobic-Aerobic SBBR Process.)

อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 167หน้า. ISBN 974-347-065-4.

ในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองลดสีรีแอกทีฟโครงสร้างโมโนเอโซต์ด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิกเอสบีอาร์ โดยมีระยะเวลา 1 รอบการทำงาน 24 ชั่วโมงเท่ากันทุกการทดลอง (ระยะเวลาในการเติมน้ำและถ่ายน้ำเท่ากับ 1 ชั่วโมง) เวลาพักน้ำ 1.1 วัน ระบบเอสบีอาร์มีการทำงานเหมือนระบบเอสบีอาร์ แต่มีการเติมวัสดุตัวกลางลงไป โดยได้เติมวัสดุตัวกลางที่เป็นพลาสติกชนิดโพลีโพรไพลีนที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงลงไป 1.5 ลิตร น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 4.5 ลิตร โดยใช้น้ำตาลเป็นสารอาหารปฐมภูมิ (เป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอน) ที่เป็นอัตราส่วนกับสีที่อัตราส่วนต่างๆในหน่วย มก./ล.ซีไอดี ประกอบด้วยทั้งหมด 3 การทดลอง รวม 9 ชุดการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของระยะเวลาพักแอนแอโรบิก ที่ 10,14 และ 18 ชั่วโมง (ระยะเวลาพักแอโรบิกเป็น 13, 9 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ) ที่เวลาพักแอนแอโรบิกมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการลดสีมากขึ้นเท่ากับ 49.90%, 58.55% และ 68.65% ในหน่วยเอสยู และเท่ากับ 55.03%, 65.26% และ 78.45% ในหน่วยเอดีเอ็มไอ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 94.60%, 94.46% และ 94.28% และประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 92.38%, 86.51% และ 71.06%ตามลำดับ โดยที่เวลาพักแอโรบิกที่มากกว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นก็จะมากขึ้น

ในการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำตาลที่อัตราส่วน 1:0, 1:10, 1:15, 1:20 และ 1:30 ประสิทธิภาพการลดสีจะมากขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำตาลมากขึ้น คือเท่ากับ 0.44%, 37.51%, 60.14%, 68.65% และ 74.29% ในหน่วยเอสยู และเท่ากับ 0.82%, 42.46%, 65.32%, 78.45% และ 84.92% ในหน่วยเอดีเอ็มไอ ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 1.66%, 90.90%, 92.76%, 94.28% และ 94.80% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 3.55%, 83.05%, 79.65%, 71.06% และ 67.98% ตามลำดับ

ในการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของจำนวนเท่าการหมุนเวียนน้ำเพื่อการผสมที่ 60, 100 และ 140 เท่า พบว่าประสิทธิภาพการลดสี ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และที่เคเอ็นไม่แตกต่างกันมากนัก คือประสิทธิภาพการลดสีเท่ากับ 73.09%, 74.66% และ 74.29% ในหน่วยเอสยู และ 82.44%, 84.92% และ 86.97% ในหน่วยเอดีเอ็มไอ ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และที่เคเอ็นเท่ากับ 94.76%, 94.80% และ 94.82% และ 68.43%, 67.98% และ 68.23% ตามลำดับ

ในการทดลองหาโพรไฟล์การลดสีพบว่าสีจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ 2 ชั่วโมงแรกและเมื่อน้ำตาลซึ่งเป็นสารอาหารปฐมภูมีย่อยหมดการลดลงของสีเป็นไปได้ช้า และจากการหาอัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะที่อันดับปฏิกิริยาครั้งอันดับของช่วงเริ่มต้นที่ 2 ชั่วโมงแรก พบว่ามีแนวโน้มเดียวกับประสิทธิภาพการลดสี และจากการหาเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอสที่แขวนลอยในน้ำเห็นวัสดุตัวกลางมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลแบคทีเรียที่เกาะที่วัสดุตัวกลาง และเมื่อมวลที่เกาะที่วัสดุตัวกลางจะมีมากขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำตาลมากขึ้น

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อผู้คิด.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ABSTRACT

##4070401621 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : decolorization/SBBR/monoazo dye/cometabolism/primary substrate/anaerobic-aerobic

WORAYA PRATOOMKAEW : DECOLORIZATION OF REACTIVE DYE BY ANAEROBIC-AEROBIC SBBR PROCESS. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D.,167 pp. ISBN 974-347-065-4

This research for decolorization of monoazo dye by an anaerobic-aerobic SBBR. The cycle time was 24 hrs. in every part. (fill time and draw time were 1 hrs.) Hydraulic retention time was 1.1 day. The process of SBBR process is the same SBR process but in the SBBR process was filled with media in the reactor. In this study used hollow pellet poly propyrene media, used 1.5 L per one reactor, and was fed with synthetic wastewater which was composed monoazo reactive dye and sugar. This research had 3 reactors and 3 experiments.

The first experiment, to study effects of anaerobic retention time was 10, 14 and 18 hrs. (aerobic retention time were 13, 9 and 5 hrs.) The longer anaerobic retention time had the higher decolorization efficiency. The decolorization efficiencies were 49.90%, 58.55% and 68.65% in SU unit and 55.03%, 65.26% and 78.45% in ADMI unit. The COD removal efficiencies were 94.60%, 94.46% and 94.28% and the TKN removal efficiencies were 92.38%, 86.51% and 71.06%. The longer aerobic retention time than the high TKN removal efficiency.

The second experiment, to study the effects of dye and sugar ratio were 1:0, 1:10, 1:15, 1:20 and 1:30. The higher quantity of sugar used had the higher decolorization efficiency. The decolorization efficiencies were 0.44%, 37.51%, 60.14%, 68.65% and 74.29% in SU unit and 0.82%, 42.46%, 65.32%, 78.45% and 84.92% in ADMI unit. The COD removal efficiencies were 1.66%, 90.90%, 92.76%, 94.28% and 94.80% respectively. The TKN removal efficiencies were 3.55%, 83.05%, 79.65%, 71.06% and 67.98% respectively.

Studying the effects of recirculation rate in the third experiment were 60, 100 and 140 time. The efficiencies of COD removal ; TKN removal and the efficiencies of the decolorization were the same value. The decolorization efficiencies were 73.09%, 74.66% and 74.29% in SU unit and 82.44%, 84.29% and 86.97% in ADMI unit. The COD removal and TKN removal efficiencies were 94.76%, 94.80% and 94.82 and 68.43%, 67.98% and 68.23%.

In the profile study, appeared fastest decolorization rate in the initial 2 hours and when the sugar was out of in the process then it appeared slow decolorization rate. In calculation of decolorization rate and specific decolorization rate in half order it had the same trend of the efficiencies of decolorization. MLSS and MLVSS in the water above the media had less than the mass of bacteria which attached at the media. The mass of bacteria which attached at media got more when more sugar was used.

Department of Environmental Engineering

Student's signature.....

Field of Environmental Engineering

Advisor's signature.....

Academic Year 2000

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆท่าน ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างมากที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงลงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมูลนิธิชินโสภณพนิชที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้สั่งสอนให้ความรู้

ขอขอบคุณ คุณบงกช งามสม นิสิตปริญญาเอกภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือประสานงานในการขอยืมเครื่องมือเพื่อใช้ประกอบการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณปรีชาวิทย์ รอดรัตน์ รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจโดยตลอดในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และครอบครัวของผู้ทำวิทยานิพนธ์ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจอย่างดีเยี่ยมจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| สารบัญภาพ..... | ฏ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมา..... | 1 |
| 1.2 ที่มาของโครงการ..... | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์..... | 3 |
| 1.4 ขอบเขตงานวิจัย..... | 3 |
| 2. ทบทวนเอกสาร..... | 5 |
| 2.1 สีย้อม..... | 5 |
| 2.1.1 สีย้อมและการจำแนกสีย้อม..... | 5 |
| 2.1.2 สีย้อมที่ฟ..... | 7 |
| 2.2 การบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยากและเป็นพิษโดยหลักโคเมตาบอลิซึม..... | 10 |
| 2.2.1 หลักโคเมตาบอลิซึม..... | 10 |
| 2.2.2 บทบาทของสารอาหารในโคเมตาบอลิซึม..... | 13 |
| 2.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสปีอาร์..... | 14 |
| 2.3.1 หลักการทำงานของระบบเอสปีอาร์..... | 14 |
| 2.3.2 ข้อดี-ข้อเสียของระบบเอสปีอาร์..... | 17 |
| 2.4 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการฟิล์มชีวภาพ..... | 17 |
| 2.4.1 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์โดยกระบวนการฟิล์มชีวภาพ..... | 18 |
| 2.4.2 วัสดุตัวกลาง..... | 19 |
| 2.5 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ Sequencing Batch Biofilm Reactor | 20 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.5.1 ระบบถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพ..... | 20 |
| 2.5.2 ระบบเอสบีบีอาร์..... | 21 |
| 2.5.3 การทำงานของระบบเอสบีบีอาร์..... | 22 |
| 2.5.4 ข้อดีของระบบเอสบีบีอาร์..... | 23 |
| 2.6 การกำจัดสีในน้ำเสียโรงฟอกย้อม..... | 24 |
| 2.6.1 การกำจัดสีในน้ำเสียโรงฟอกย้อม..... | 24 |
| 2.6.2 กระบวนการทางเคมี..... | 27 |
| 2.6.3 กระบวนการทางชีวภาพ..... | 28 |
| 2.7 การกำจัดไนโตรเจน..... | 32 |
| 2.7.1 ไนโตรเจนในน้ำเสีย..... | 32 |
| 2.7.2 การกำจัดไนโตรเจนด้วยวิธีชีวภาพ..... | 33 |
| 2.7.3 การกำจัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน..... | 33 |
| 2.7.4 การกำจัดไนไตรต์และไนเตรตด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน..... | 34 |
| 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 35 |
| 3.แผนการทดลองและดำเนินการวิจัย..... | 42 |
| 3.1 แผนการทดลอง..... | 42 |
| 3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์..... | 44 |
| 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์..... | 48 |
| 3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์..... | 50 |
| 3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ..... | 50 |
| 3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ..... | 51 |
| 3.5 การวัดสี..... | 52 |
| 3.6 การหาปริมาณมวลชีวภาพ..... | 53 |
| 3.7 ลักษณะและการหาพื้นที่ผิววัสดุตัวกลาง..... | 53 |
| 4.ผลการทดลองและการวิจารณ์..... | 55 |
| 4.1 พารามิเตอร์ทั่วไป..... | 62 |
| 4.1.1 คุณทงุมิ..... | 62 |
| 4.1.2 ออกซิเจนละลาย..... | 62 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.1.3 โออาร์พี..... | 70 |
| 4.1.4 พีเอส..... | 75 |
| 4.1.5 เอสเอสและมวลจุลชีพในระบบ..... | 80 |
| 4.1.6 ทีเคเอ็น..... | 95 |
| 4.2 สีเอสยูและเอดีเอ็มไอ..... | 101 |
| 4.2.1 ผลของสัดส่วนระยะเวลาที่แก๊สแอมโมเนีย-แอมโมเนียต่อการลดสี..... | 101 |
| 4.2.2 ผลของปริมาณน้ำตาลต่อการลดสี..... | 111 |
| 4.2.3 ผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำต่อการลดสี..... | 116 |
| 5.สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 120 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 120 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 121 |
| รายการอ้างอิง..... | 122 |
| ภาคผนวก..... | 128 |
| ภาคผนวก ก การคำนวณปริมาณสารอาหารที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์..... | 129 |
| ภาคผนวก ข การหาพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลาง..... | 131 |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบของชุดการทดลองต่างๆ..... | 132 |
| ภาคผนวก ง ข้อมูลไฟล์ไฟล์ของชุดการทดลองต่างๆ..... | 154 |
| ภาคผนวก จ ข้อมูลมวลจุลชีพในการทดลองต่างๆ..... | 164 |
| ภาคผนวก ฉ การคำนวณอายุสัปดาห์ อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์แข็งพื้นที่ผิววัสดุตัวกลาง และอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์แข็งปริมาตรน้ำเสีย..... | 165 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 167 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างของกลุ่มโครโมโซมใน สรีรแอกทีฟแบ่งตามโทนัสต่างๆ..... | 9 |
| ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง..... | 43 |
| ตารางที่ 3.2 ปริมาณความต้องการสารอาหารต่างๆในแต่ละการทดลอง..... | 44 |
| ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง..... | 51 |
| ตารางที่ 3.4 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... | 52 |
| ตารางที่ 4.1 แผนชุดการทดลองต่างๆ..... | 55 |
| ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.1..... | 57 |
| ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.2..... | 57 |
| ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.3..... | 58 |
| ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 2.1..... | 58 |
| ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 2.2..... | 59 |
| ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 2.3..... | 59 |
| ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 3.1..... | 60 |
| ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 3.2..... | 60 |
| ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 3.3..... | 61 |
| ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยมวลจุลชีพที่เกาะที่วัสดุตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัว..... | 61 |
| ตารางที่ 4.12 ค่าเอสเอสเฉลี่ยในแต่ละการทดลอง..... | 80 |
| ตารางที่ 4.13 อายุสัปดาห์ที่การะบวรทุกสารอินทรีย์เชิงพื้นที่ผิวต่างๆ..... | 88 |
| ตารางที่ 4.14 ซีไอดีเฉลี่ยในแต่ละการทดลอง..... | 94 |
| ตารางที่ 4.15 ค่า AOLR และ VOLR ในแต่ละการทดลอง..... | 96 |
| ตารางที่ 4.16 ทีเคเอ็นเฉลี่ยในแต่ละการทดลอง..... | 100 |
| ตารางที่ 4.17 ความเข้มข้นเฉลี่ยในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอ..... | 101 |
| ตารางที่ 4.18 อัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะที่เวลากักแอนแอโรบิกต่างๆ..... | 111 |
| ตารางที่ 4.19 ประสิทธิภาพการลดสีที่อัตราส่วนน้ำตาลต่างๆ..... | 115 |
| ตารางที่ 4.20 อัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะที่อัตราส่วนสีต่อน้ำตาลต่าง..... | 115 |
| ตารางที่ 4.21 อัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะที่จำนวนเท่าการหมุนเวียนน้ำต่าง..... | 116 |

สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของสรีแอกทีฟโครงสร้างโมโนเอโซ..... | 4 |
| รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของระบบเอสปีอาร์..... | 16 |
| รูปที่ 2.2 การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบบจุลินทรีย์เกาะติดผิววัสดุตัวกลาง..... | 18 |
| รูปที่ 2.3 กระบวนการทำงานของเอสปีอาร์..... | 23 |
| รูปที่ 2.4 กระบวนการเอสปีอาร์สำหรับกำจัดไนโตรเจน..... | 24 |
| รูปที่ 2.5 การย่อยสลายสปีโดเรกทีสที่เหลือ 12 ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก..... | 30 |
| รูปที่ 2.6 การย่อยสลายสปีเอซิคส์ที่เหลือ 36 ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก..... | 31 |
| รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในกระบวนการทางชีวภาพ..... | 33 |
| รูปที่ 3.1 แผนการทำงานการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของระยะเวลาที่แอนแอโรบิก..... | 45 |
| รูปที่ 3.2 แผนการทำงานการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำตาล..... | 46 |
| รูปที่ 3.3 แผนการทำงานการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของจำนวนเท่าการหมุนเวียนน้ำ..... | 47 |
| รูปที่ 3.4 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์..... | 49 |
| รูปที่ 4.1 คุณหมุมิในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง..... | 63 |
| รูปที่ 4.2 ออกซิเจนละลายในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง..... | 66 |
| รูปที่ 4.3 โพรไฟล์ออกซิเจนละลายในแต่ละการทดลอง..... | 69 |
| รูปที่ 4.4 ไออาร์พีในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง..... | 71 |
| รูปที่ 4.5 โพรไฟล์ไออาร์พีในแต่ละการทดลอง..... | 74 |
| รูปที่ 4.6 พีเอชในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง..... | 76 |
| รูปที่ 4.7 โพรไฟล์พีเอชในแต่ละการทดลอง..... | 79 |
| รูปที่ 4.8 เอสเอสน้ำออกในแต่ละการทดลอง..... | 81 |
| รูปที่ 4.9 เอสเอสเฉลี่ยที่ซีไอดีเข้าต่างๆ..... | 85 |
| รูปที่ 4.10 มวลจุลชีพบนวัสดุตัวกลางในการทดลองต่างๆ..... | 85 |
| รูปที่ 4.11 มวลแบคทีเรียบนวัสดุตัวกลางที่อบที่ 110 และ 550 องศาเซลเซียส..... | 85 |
| รูปที่ 4.12 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสที่ซีไอดีเข้าต่างๆ..... | 86 |
| รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุตะกอนหรืออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับอัตราการ ใช้สารอาหารจำเพาะ..... | 87 |
| รูปที่ 4.14 อายุสัณฐานที่การบรรทุสารอินทรีย์ต่างๆ..... | 89 |
| รูปที่ 4.15 ซีไอดีในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง..... | 90 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.16 โพรไฟล์ซีไอดีในแต่ละการทดลอง..... | 93 |
| รูปที่ 4.17 ทีเคเอ็นในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง..... | 96 |
| รูปที่ 4.18 โพรไฟล์ทีเคเอ็นในแต่ละการทดลอง..... | 99 |
| รูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นที่ซีไอดีเข้าต่างๆ..... | 100 |
| รูปที่ 4.20 สีนหน่วยเอสยูในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 1..... | 102 |
| รูปที่ 4.21 สีนหน่วยเอดีเอ็มไอในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 1..... | 103 |
| รูปที่ 4.22 สีนหน่วยเอสยูในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 2..... | 104 |
| รูปที่ 4.23 สีนหน่วยเอดีเอ็มไอในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 2..... | 105 |
| รูปที่ 4.24 สีนหน่วยเอสยูในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 3..... | 106 |
| รูปที่ 4.25 สีนหน่วยเอดีเอ็มไอในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 3..... | 107 |
| รูปที่ 4.26 โพรไฟล์ซีนหน่วยเอสยูในแต่ละการทดลอง..... | 108 |
| รูปที่ 4.27 โพรไฟล์ซีนหน่วยเอดีเอ็มไอในแต่ละการทดลอง..... | 109 |
| รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการลดสีที่ระยะเวลากักแอนแอโรบิกต่างๆ..... | 110 |
| รูปที่ 4.29 โพรไฟล์การลดสีหน่วยเอสยูที่อัตราส่วนสีต่อซีไอดีต่างๆ..... | 114 |
| รูปที่ 4.30 โพรไฟล์การลดสีหน่วยเอดีเอ็มไอที่อัตราส่วนสีต่อซีไอดีต่างๆ..... | 114 |
| รูปที่ 4.31 ประสิทธิภาพการลดสีที่อัตราส่วนสีน้ำตาลต่างๆ..... | 115 |
| รูปที่ 4.32 ประสิทธิภาพการลดสีที่จำนวนเท่าการหมุนเวียนน้ำต่างๆ..... | 118 |

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ 3.1 ลักษณะวัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง..... | 48 |
| ภาพที่ 3.2 ชุดการทดลองกระบวนการเอสปีอาร์..... | 50 |
| ภาพที่ 4.1 สีนํ้าเข้า-ออกที่เวลากักแวนแเอโรบิกต่างๆ..... | 112 |
| ภาพที่ 4.2 สีนํ้าเข้า-ออกที่เวลากักแวนแเอโรบิกต่างๆเจือจาง 10 เท่า..... | 112 |
| ภาพที่ 4.3 สีนํ้าเข้า-ออกที่อัตราส่วนสีต่อนํ้าตาลต่างๆ..... | 117 |
| ภาพที่ 4.4 สีนํ้าเข้า-ออกที่อัตราส่วนสีต่อนํ้าตาลต่างๆเจือจาง 10 เท่า..... | 117 |
| ภาพที่ 4.5 สีนํ้าเข้า-ออกที่จำนวนเท่าการหมุนเวียนนํ้าเพื่อการผสมต่างๆ..... | 118 |
| ภาพที่ 4.5 สีนํ้าเข้า-ออกที่จำนวนเท่าการหมุนเวียนนํ้าเพื่อการผสมต่างๆเจือจาง 10 เท่า... | 119 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในประเทศไทยอุตสาหกรรมสิ่งทอจัดว่าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประเทศที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งพบว่าประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ได้รับอนุมัติให้ประกอบกิจการอุตสาหกรรมอยู่ไม่ต่ำกว่า 3,000 ราย มีมูลค่าการส่งออกถึงประมาณเกือบแสนล้านบาทต่อปีและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2534) โรงงานต่างๆเหล่านี้มีส่วนก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะกระบวนการฟอกย้อมจะมีน้ำเสียที่มีสีปนเปื้อนออกมา ซึ่งสีที่ใช้ในการย้อมผ้ามีอยู่หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายหรือยาก สีรีแอกทีฟชนิดพันธะอะไซค์ซึ่งมีโครงสร้างที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจน และเกิดสารตัวกลางเป็นสารที่มีโครงสร้างประเภท aromatic amines ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยมากจะมีการบำบัดน้ำก่อนทิ้งโดยวิธีทางกายภาพ ซึ่งพบว่ามีราคาค่าใช้จ่ายสูง และมีความสามารถในการลดสีต่ำ (Reife and Freeman, 1996 ; Shah, 1997) และในระยะหลังได้มีการพัฒนาระบบบำบัดทางชีวภาพต่างๆมาใช้ในการบำบัด เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ในระยะหลังๆนี้ ระบบถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพมีความสำคัญและนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียมากขึ้น เนื่องจากมีข้อดีที่สามารถรับภาระได้สูง สามารถรับการเปลี่ยนแปลงภาระได้ดี และจากการที่มีมวลของจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นทำให้ระบบมีความสามารถมากขึ้นและสามารถลดขนาดของถังปฏิกรณ์ลง แต่ก็พบว่ามีข้อจำกัดในด้านการจำกัดอัตราการถ่ายเทมวลสำหรับการถ่ายเทออกซิเจนและสารอาหาร และเกิดปัญหาการอุดตันเนื่องจากมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตมากเกินไปบริเวณทางน้ำเข้าของถังปฏิกรณ์ จึงได้มีการนำเอกลักษณ์การบำบัดน้ำแบบถังปฏิกรณ์แบบฟิล์มชีวภาพมารวมกับการดำเนินการทำงานแบบแบตช์ คือในลักษณะของการเติมและถ่ายน้ำตามช่วงเวลา จึงรวมเป็นกระบวนการเอสบีบีอาร์ (SBBR ; Sequencing Batch Biofilm Reactor) (Hans-Peter Kaballo, 1997) ซึ่งเป็นการใส่วัสดุตัวกลางในถังปฏิกรณ์ของระบบเอสบีบีอาร์ เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เกาะติด ทำให้จุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส

ระหว่างน้ำเสียที่ไหลผ่านกับแบคทีเรีย และยังเป็นกรลดปัญหาการอุดตันของมวลชีวภาพในถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพ เนื่องจากการดำเนินระบบเป็นแบบแบคทีเรียที่มีการถ่ายเข้า-ออกเป็นเวลา ซึ่งจะเป็นการลดปัญหาการที่แบคทีเรียเจริญอยู่มากตรงบริเวณทางน้ำเข้าได้ (Kaballo และคณะ , 1995)

งานวิจัยนี้จึงได้มีระบบเอสบีอาร์ ซึ่งเป็นระบบฟิล์มชีวภาพที่มีการทำงานแบบแบคทีเรียมาทดลองลดสีที่ฟโคลรงสร้างโมโนเอโซ โดยการดำเนินงานประกอบไปด้วยช่วงสภาวะแอนแอโรบิก และแอโรบิก ซึ่งในช่วงแอนแอโรบิกจะมีการแตกตัวของพันธะอะโซทำให้ค่าความเข้มข้นสีลดลง และย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ในช่วงแอโรบิกจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

1.2 ที่มาของโครงการ

จากการศึกษาระบบเอสบีอาร์มีความเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน หรือน้ำเสียที่มีสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก หรือน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ระเหยปนเปื้อนได้ดี รวมทั้งเป็นระบบที่ง่ายต่อการก่อสร้าง การดำเนินระบบ และสะดวกต่อการขนย้ายระบบ (Wilderer, 1995) และจากการที่มีน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมปริมาณมาก เนื่องจากประเทศไทยมีโรงงานฟอกย้อมอยู่จำนวนมาก จึงได้มีการทดลองนำระบบเอสบีอาร์มาทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อม ซึ่งสีย้อมผ้าจะมีโครงสร้างทางเคมีที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากในการผลิตสีย้อมทางบริษัทผู้ผลิตต้องมีการผลิตสีย้อมให้มีโครงสร้างที่คงทนต่อการออกซิไดซ์เพื่อให้สีติดเนื้อผ้าได้ทนนานจึงทำให้โครงสร้างของสีย้อมสลายทางชีวภาพได้ยากขึ้น จึงถือว่าสีย้อมต้องมีการบำบัดโดยทางชีวภาพได้ยาก ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีปนเปื้อนสามารถบำบัดได้ทั้งทางเคมี หรือทางกายภาพ แต่จะมีราคาค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีทางชีวภาพ รวมถึงปัญหาของกากตะกอน หรือสารเคมีที่เหลือจากการบำบัดน้ำเสียไปแล้ว และในงานวิจัยนี้มีการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม เพื่อเพิ่มให้มีประสิทธิภาพในการบำบัด และเป็นการนำไปสู่การใช้ในงานจริงเพื่อการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานซึ่งจะมีสารเคมีต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตปนเปื้อนอยู่ และสีหลายชนิดปะปนกัน ที่ใช้ในการย้อมผ้า รวมทั้งในบางโรงงานที่มีการรวมน้ำเสียจากส่วนของสำนักงาน โรงอาหารและที่พักอาศัยของพนักงานมาด้วย

1.3 วัตถุประสงค์

ในงานวิจัยการลดสีรีแอกทีฟโดยกระบวนการเอสปีปียาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1.3.1 เพื่อศึกษาและหาประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกเอสปีปียาร์ในการลดสีรีแอกทีฟ
- 1.3.2 เพื่อประยุกต์ใช้หลักการโคเมตาบอลิกมาช่วยย่อยสีรีแอกทีฟในระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก เอสปีปียาร์
- 1.3.3 เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของสารอาหารปฐมภูมิ (ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำตาล) ที่เหมาะสมต่อการลดสีรีแอกทีฟ
- 1.3.4 เพื่อศึกษาหาสัดส่วนช่วงเวลาของสภาวะแอนแอโรบิก-แอโรบิก ที่เหมาะสมต่อการลดสีรีแอกทีฟ
- 1.3.5 เพื่อศึกษาผลของจำนวนเท่าการเวียนน้ำกลับเพื่อการผสมน้ำในถังปฏิบัติการ ที่มีต่อประสิทธิภาพการลดสีรีแอกทีฟ

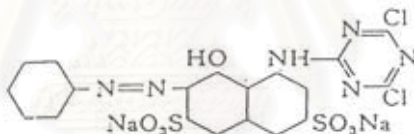
1.4 ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งใช้แบบจำลองทดลองขนาดโต๊ะทดลอง โดยทดลองลดสีรีแอกทีฟโครงสร้างโมโนเอโซด้วยแบบจำลองระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกเอสปีปียาร์ ที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบตช์ ถึงปฏิกริยารูปทรงคอลัมน์บรรจุวัสดุตัวกลางที่ผลิตจากพลาสติกโพลีพรพิลีน น้ำเสียที่ใช้ที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมสีรีแอกทีฟ Procion Red MX-5B หรือ C.I. Reactive Red 2 มีโครงสร้างทางเคมีเป็นชนิดโมโนเอโซ รูปโครงสร้างทางเคมีตามรูปที่ 1.1 ในปริมาณ 100 มก./ล. เติมน้ำตาลทราย (ซูโครส) เป็นสารอาหารร่วม ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน หรือที่เรียกอีกอย่างว่าสารอาหารปฐมภูมิ

ในงานวิจัยนี้มี 3 การทดลอง ในแต่ละการทดลองประกอบด้วย 3 ดังปฏิบัติการ ดังนั้นรวม มี 9 ชุดการทดลอง โดยการทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาผลของระยะเวลาที่แก๊สแอมโมเนีย คือ 10,14 และ 18 ชม. (เวลาแก๊สแอมโมเนียเป็น 13, 9 และ 5 ชม. ตามลำดับ) โดยมีระยะเวลาหนึ่งรอบการทำงานเป็น 24 ชม.และเวลาเติมและถ่ายน้ำเป็น 1 ชม.เท่ากันทุกการทดลอง

ในการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลต่อการลดสีซึ่งมีการเติมน้ำตาลเป็นจำนวนเท่ากับสีในหน่วย มก./ล.ซีไอดี เป็นอัตราส่วนต่างๆคือ 1:0 1:10 1:15 1:20 และ 1:30 และในการทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาผลของจำนวนเท่าการเวียนน้ำกลับเพื่อการผสมน้ำในถึงปฏิบัติการโดยที่ทดลองที่จำนวนเท่าการเวียนน้ำกลับเป็น 60, 100 และ 140 เท่า

C.I.Reactive Red 2 (Bright Bluish Red)



รูปที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟโครงสร้างโมโนเอโซ

(The Society of Colorists American Association of Textile Chemists and Colorists, 1987)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 สีย้อม

2.1.1 สีย้อมและการจำแนกสีย้อม (อัจฉราพร ไศละสูต, 2527)

2.1.1.1 จำแนกสีตามลักษณะทางกายภาพได้ 2 ชนิด

- 1.) สีย้อม (dyes) สามารถละลายน้ำได้
- 2.) ปิกเมนต์ (pigments) ไม่ละลายน้ำ อาจใช้ละลายในเรซินยึดติดเส้นใยได้ในเชิงกลและบางตัวติดเชิงเคมี

2.1.1.2 จำแนกตามวิธีใช้

ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในบรรดาผู้ใช้และอุตสาหกรรมการผลิตสี รวมถึงสมาคมผู้ย้อมสีและผู้ผลิต ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

- 1.) สีเบสิก (Basic)
- 2.) สีแอซิก (Acid)
- 3.) สีมอแดนท์ และพรีเมทัลไลซ์ (Mordant and Premetallized)
- 4.) สีไดเรกต์ (Direct)
- 5.) สีดีสเพอร์ส (Disperse Dyes)
- 6.) สีอะโซอิก (Azoic Dyes)
- 7.) สีวัต (Vat Dyes)
- 8.) สีกำมะถัน (Sulfur or Sulphide Dyes)
- 9.) สีออกซิไดซ์ (Oxidation Colorants)
- 10.) สีโอนีียม (Onium Dyes)
- 11.) สีรีแอกทีฟ (Reactive Dyes)
- 12.) สีโลหะ (Mineral Colorants)

13.) สีพิกเมนต์ที่ใช้กับเรซิน (Pigment – resin binder system)

2.1.1.3 จำแนกตามโครงสร้างทางเคมี

การจำแนกสีแบบนี้ ใช้โครงสร้างทางเคมีของสีเป็นหลัก สีที่แบ่งตามลักษณะการย้อม บางตัวจะอยู่ในกลุ่มเคมีหนึ่ง บางตัวก็อยู่ในกลุ่มเคมีหนึ่ง ทำให้เกิดความสับสนได้ แต่ถ้าสามารถจดจำได้จะทำให้ใช้ตัวสีได้ถูกต้อง ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

1.) Azo Colorants

1.1) Aromatic Diazo Compound

1.1.1) Diazotization and Diazo Compound

1.1.2) The Coupling Reaction

1.2) Azo Compound

1.2.1) Basic Dyes

1.2.2) Acid Dyes

1.2.3) Mordant and Premetallized Dyes

1.2.4) Direct Dyes

1.2.5) Azoic Dyes

2.) Phenylmethane Dyes

3.) Xanthene Dyes

4.) Indigoid Dyes

5.) Polycyclicquinone (Anthraquinone, etc.) Dyes

5.1) Anthraquinone Group – Vat Dyes

5.1.1) Acylanino Anthraquinone

5.1.2) Condensation Products of Amino Anthraquinone and Cyanuric Chloride

5.1.3) Anthraquinone Acridones

5.1.4) Benzanthrone

5.1.5) Anthraquinones

5.1.6) Pyranthone and Flavanthrone

5.1.7) Anthrimides

- 5.1.8) Carbazoles
- 5.1.9) Sulfur – Containing Anthraquinone Compound
- 5.2) Naphthalenic Acid Group – Vat Dye
- 5.3) Ester of Anthraquinone Vat Dyes
- 5.4) Anthraquinone Acid Dyes
- 6.) Sulfur Fusion Dyes
- 7.) Amine Oxidation Colorants
- 8.) Phthalocyanine Colorants
- 9.) Onium Dyes
- 10.) Reactive Dyes
- 11.) Pigments

2.1.2 สีย้อมที่ฟ (Reactive Dyes) (อัจฉราพร ไสละสูต, 2527)

2.1.2.1 คุณสมบัติของสีย้อมที่ฟ

สีย้อมที่ฟเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี สามารถใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด มีหลายสี มีความคงทนดี ย้อมง่าย ตัวสีเหล่านี้มีฮาโลเจนอะตอม (halogen atom) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ OH^- ของเซลลูโลสได้เมื่อมีด่างเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ทำให้สีติดได้ดี และมากกว่าสีที่ติดโดยแรงฟิสิกัลเคมี (Physical – Chemical Force) (อัจฉราพร ไสละสูต, 2527) เนื่องจากโมเลกุลสีเชื่อมโยงติดกับเซลลูโลสโดยพันธะเคมีโควาเลนต์นั้นทำให้เกิดเป็น Cross Link Compound กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส ทำให้สีคงทนต่อการซักฟอกและการขัดถู (โสภา ชินเวชกิจวานิชย์, 2540)

2.1.2.2 โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมที่ฟ (โสภา ชินเวชกิจวานิชย์, 2540)

กลุ่มเคมีของสีย้อมที่ฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างทั่วไปได้ดังนี้

S-D-T-X

โดย S คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง โดยทั่วไปจะเป็นพวกซัลไฟนิก ($-\text{SO}_2\text{Na}$)
ซึ่งติดอยู่กับกลุ่มโครโมฟอร์

D คือ กลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี เรียกว่ากลุ่มโครโมฟอร์ (Chromophore)

T คือ กลุ่มอะตอมที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างกลุ่มรีแอคทีฟ กับ กลุ่มโครโมฟอร์

(Bridging group) เช่น กลุ่ม-NH-, $-\text{NHCO}-$, $-\text{SO}_2-$, $-\text{NHSO}_2-$, และ $-\text{NCH}_3-$ เป็นต้น

X คือ กลุ่มรีแอคทีฟ (Reactive group) ซึ่งจะเป็นกลุ่มที่ทำให้สีทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลในเส้นใย

ในบางกรณีกลุ่มรีแอคทีฟก็จะติดกับระบบโครโมฟอร์โดยตรง ไม่ต้องมีตัวเชื่อมก็ได้ และกลุ่มรีแอคทีฟส่วนใหญ่เป็นสาร heterocyclic ring ลักษณะของกลุ่มตัวเชื่อมและส่วนประกอบของ heterocyclic ring มีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถทำปฏิกิริยา และคุณสมบัติอื่นๆของสี จากส่วนประกอบที่กล่าวมานี้พบว่ามี 2 ส่วนที่สำคัญ คือ สารที่ทำให้เกิดสี และกลุ่มรีแอคทีฟ โดยส่วนประกอบทั้ง 2 ส่วนนี้ จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีแต่ละชนิดแตกต่างกันไป

2.1.2.3 กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสี (Chromophore) (โสภา ชินเวชกิจวานิชย์, 2540)

กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีส่วนใหญ่พัฒนามาจากสีแอซิด โดยแบ่งโครงสร้างได้เป็นหลายกลุ่มดังนี้

- 1.) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Unmetallised Azo เป็นหลัก ซึ่งสีรีแอคทีฟส่วนใหญ่จะมีสารที่ทำให้เกิดสีชนิดนี้เป็นส่วนมาก
- 2.) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Metal-Complex Azo เป็นหลัก
- 3.) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Anthraquinone เป็นหลัก
- 4.) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Phthalocyanine เป็นหลัก
- 5.) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Azo เป็นหลัก ในสีที่กลุ่มรีแอคทีฟแบบ Bifunctional

กลุ่มสารที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมรีแอคทีฟนั้น ต่างก็มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานที่แตกต่างกันออกไป โดยองค์ประกอบของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีรีแอคทีฟนั้นแสดงในตารางที่ 2.1 จากตารางจะเห็นได้ว่าสีรีแอคทีฟส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสีโครโมฟอร์

ชนิดเอโซ (Unmetallised Azo และ Metal-Complex Azo) เป็นส่วนมากสูงถึงร้อยละ 81 และถ้าไม่รวมสีรีแอกทีฟที่มีไทนีสฟ้าและเขียว ซึ่งประกอบด้วยโครโมฟอร์ประเภท Anthraquinone และ Phthalocyanine เป็นส่วนใหญ่แล้ว พบว่าสีรีแอกทีฟจะมีกลุ่มเอโซเป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึงร้อยละ 95 ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อม ถ้าสามารถทำลายพันธะเอโซในกลุ่มโครโมฟอร์ของสีรีแอกทีฟได้ ก็จะสามารถลดสีในน้ำเสียได้

ตารางที่ 2.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีรีแอกทีฟแบ่งตามไทนีสต่างๆ (Shore, 1990)

| Chemical Class | % การกระจายของไทนีส | | | | | | | | % ของสีรีแอกทีฟทั้งหมด |
|-------------------|---------------------|-----|-----|------|-----|-------|--------|-----|------------------------|
| | เหลือง | ส้ม | แดง | ม่วง | ฟ้า | เขียว | น้ำตาล | ดำ | |
| Unmetallised Azo | 97 | 90 | 90 | 63 | 20 | 16 | 57 | 42 | 66 |
| Metal-Complex Azo | 2 | 10 | 9 | 32 | 17 | 5 | 43 | 55 | 15 |
| Anthraquinone | | | | 5 | 34 | 37 | | 3 | 10 |
| Phthalocyanine | | | | | 27 | 42 | | | 8 |
| Miscellaneous | 1 | | | | 2 | | | | 1 |
| รวม | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

2.1.2.4 กลุ่มรีแอกทีฟ (Reactive Group)

กลุ่มรีแอกทีฟเป็นกลุ่มที่มีหน้าที่สร้างพันธะกับเส้นใยทำให้สีย้อมสามารถติดกับเส้นใยได้ การสร้างพันธะระหว่างกลุ่มรีแอกทีฟของสีกับเส้นใยแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

- 1.) เส้นใย หรือ ไฮดรอกไซด์ไอออน เข้าแทนที่อะตอมพวกลฮาโลเจน (haloogen) ในโมเลกุลสี (Nucleophilic Substitution) เกิดเป็นพันธะระหว่างสีกับเส้นใยขึ้น
- 2.) เส้นใยหรือ ไฮดรอกไซด์ไอออน สร้างพันธะกับโมเลกุลของสีโดยการสลายพันธะคู่ของคาร์บอนอะตอม 2 อะตอม ในกลุ่มไวนิลซัลโฟน

(vinylsulphone) แล้วเชื่อมตัวมันเข้าไปกับคาร์บอนตัวสุดท้ายของกลุ่มไวนิลซัลโฟนดังกล่าว (Nucleophilic Addition)

การสร้างพันธะกับโมเลกุลของสี สามารถเกิดได้ทั้งกับเส้นใยหรือไฮดรอกไซด์ไอออน แต่ความสามารถในการสร้างพันธะกับเส้นใยจะมีมากกว่าการสร้างพันธะกับไฮดรอกไซด์ไอออน สิ่งที่เกิดการสร้างพันธะกับไฮดรอกไซด์ไอออน เรียกว่า สีที่ไฮโดรไลซ์แล้วซึ่งจะไม่สามารถสร้างพันธะติดกับเส้นใยได้อีก จึงหลงเหลือไปกับน้ำย้อมและน้ำล้างได้เป็นบางส่วน นอกจากนี้กลุ่มรีแอคทีฟที่มีการพัฒนาคิดค้นขึ้นมาและใช้กันค่อนข้างมาก การพิจารณาจัดกลุ่มขึ้นอยู่กับกลไกในการสร้างพันธะและความคงทนของพันธะนี้ในขั้นตอนต่างๆ หลังการย้อม โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- 1.) พวก Bifunctional
- 2.) พวก Monofunctional

2.2 การบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยากและเป็นพิษโดยหลักโคเมตาบอลิสม

2.2.1 หลักโคเมตาบอลิสม

ได้มีการนำหลักการโคเมตาบอลิสมมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยาก และเป็นพิษ เพื่อเป็นการเพิ่มแหล่งสารอาหารและพลังงานให้กับจุลินทรีย์

Dalton (อ้างใน Myung- Keun Chang, 1992) ได้ให้คำจำกัดความของโคเมตาบอลิสมไว้ว่าเป็นการเปลี่ยนรูป (transformation) ของสารอาหารที่ไม่ช่วยในการเจริญเติบโต (nongrowth substrate) ในที่ที่มีสารอาหารที่จุลินทรีย์สามารถใช้ในการเจริญเติบโต (growth substrate) หรือ สารประกอบอื่นๆ ที่สามารถเปลี่ยนรูปได้ โดยรวมถึงจุลินทรีย์ด้วย

การนำหลักโคเมตาบอลิสมมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยากและเป็นพิษซึ่งอาจจะไปยับยั้งการย่อยสลายของจุลินทรีย์ โดยการเปลี่ยนรูปของสารให้ความเป็นพิษหมดไป หรือเปลี่ยนรูปจากที่ย่อยสลายได้ยากให้สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) ในหลักการจะประกอบไปด้วยสารอาหาร 2 ชนิด คือ

- สารอาหารปฐมภูมิ (primary substrate) หรือสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโต (growth substrate) ซึ่งจะเป็นสารอาหารที่ย่อยสลายง่าย เป็นแหล่งคาร์บอน และพลังงาน ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนเพื่อการดำรงชีวิต และการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์
- สารอาหารทุติยภูมิ (secondary substrate) หรือสารอาหารที่ไม่ช่วยในการเจริญเติบโต (nongrowth substrate) คือสารอาหารที่ย่อยยาก หรือเป็นพิษ

โดยเซลล์จุลินทรีย์จะใช้สารอาหารปฐมภูมิเป็นแหล่งอาหาร และพลังงานซึ่งในระหว่างนั้นจุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ และโคแฟกเตอร์ (cometabolic enzyme) ขึ้นมา ที่อาจจะมีความสามารถเปลี่ยนรูปทางชีวภาพ (biotransformation) ของสารอาหารทุติยภูมิได้ ทำให้สารอาหารทุติยภูมิที่เปลี่ยนรูปไปแล้ว อาจมีความเป็นพิษหมดไป และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Criddle, 1993)

สารอาหารปฐมภูมิอาจจะเป็นสารหนึ่งชนิด หรือ ประกอบขึ้นจากสารประกอบหลายชนิด ซึ่งจะต้องเติมลงในระบบเพื่อเป็นแหล่งอาหาร, พลังงาน และอิเล็กตรอน สำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ที่สภาวะคงตัวในระบบชีวภาพจะมีความเข้มข้นของสารอาหารปฐมภูมิต่ำสุดคงอยู่ในระบบ ซึ่งต่ำพอที่จะให้เซลล์เจริญเติบโต ความเข้มข้นนี้เรียกว่า Primary Substrate Concentration (P_{min}) ซึ่งแสดงตามสมการที่ (1) ที่ได้มาจากการทำดุลมวลของมวลชีวภาพที่สภาวะคงตัว

$$P_{min} = K_s [k_d / (\mu_{max} - k_d)] \quad \dots (1)$$

P_{min} = ความเข้มข้นของสารอาหารปฐมภูมิต่ำสุดที่สภาวะคงตัวในระบบชีวภาพ

K_s = ค่าความเร็วคงที่ของโมโนด์

μ_{max} = อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดจำเพาะ

k_d = ค่าสัมประสิทธิ์การสลายตัว (Devkota, 1995)

Rittamn and Mccarty (1980) (อ้างใน Devota, 1995) ได้กล่าวว่าค่า P_{min} ในระบบฟิล์มชีวภาพทั้งในสภาวะแอโรบิกและสภาวะแอนแอโรบิก จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียอันตราย ซึ่งมีผลทำให้ค่าความเข้มข้นของสารมลสารที่ผ่านการบำบัดค่าลดต่ำลง

มาก โดยที่สารอาหารปฐมภูมินั้นต้องไม่เป็นสารอาหารที่ไปจำกัดการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม สารอาหารทุติยภูมิไม่ได้เป็นสารอาหารที่ให้อิเล็กทรอนิกส์และพลังงานสำหรับการเจริญเติบโต ดังนั้นสารอาหารปฐมภูมิจำเป็นต้องมีความเข้มข้นสูงพอสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ (Devkota, 1995)

ในปี 1972 Horvath (อ้างใน Criddle, 1993) ได้จำแนกจุลินทรีย์ที่ใช้โคเมตาบอลิสมมีมากกว่า 20 สายพันธุ์ โดยตัวที่มีการศึกษามากตัวหนึ่งคือ จุลินทรีย์ที่ออกซิไดซ์มีเทน (Methanotrophs) โดยนำไปใช้ออกซิไดซ์สารประกอบ halogenated aliphatic, อัลเคน และ สารประกอบอะโรมาติก เช่น จุลชีพสายพันธุ์ Rhodococcus ที่ออกซิไดซ์ aniline, phenol และ สารอนุพันธ์ monochlorinated โดยมีกลูโคส หรือ อะซีเตท เป็นสารอาหารปฐมภูมิ และกลุ่มจุลินทรีย์อื่นๆที่ออกซิไดซ์ trichloroethylene (TCE) โดยมี toluene, phenol, cresol, propane, และ ammonia (Criddle, 1993)

Adriaens and Focht (อ้างใน Criddle, 1993) อธิบายถึง การย่อยสลาย polychlorinated biphenyls และ 3,4-dichlorobenzoate ใน continuous flow fixed-bed reactor โดยที่ biphenyl และ benzoate โดยจุลินทรีย์สายพันธุ์ acinetobacter

นอกจากการเปลี่ยนรูปโดยการออกซิไดซ์แล้ว ยังรวมถึงการเปลี่ยนรูปด้วยการรีดักชันด้วย เช่น การเปลี่ยนรูปของสารประกอบ halogenated ที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากๆ อย่างเช่น ดีดีที หรือในปฏิกิริยา dechlorination ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลดจำนวนวงแหวนของสารประกอบอะลิฟาติก (Devkota, 1995) เป็นต้น ได้ศึกษาพบหลักการโคเมตาบอลิสมมาโดยจุลินทรีย์ที่พบโดยทั่วไปตามธรรมชาติ แต่ยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอีกมาก และมีการนำโมเดลทางคณิตศาสตร์มาใช้อธิบายถึงหลักโคเมตาบอลิสม

มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับโคเมตาบอลิสมอื่นๆ เช่น Bauer and Capone (อ้างใน Myung – Keun Chang et al., 1992) ศึกษาถึงผลของเบนซินต่อการย่อยสลายแอนทราซีน Meyer ได้สังเกตพบว่า มีการย่อยสลายเบนซินในที่ที่มีฟีนอล และการศึกษาของ Alvarez and Vogel ในปี 1991 ถึงผลของการย่อยสลายของสารกลุ่ม BTX (Benzene, Toluene and Xylene) โดยใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์แท้ 2 ชนิด เปรียบเทียบช่วง lag period และกำหนดอัตราการย่อยสลายเป็นอันดับศูนย์ และจากการศึกษาพบว่า มีการยับยั้งและการโคเมตาบอลิสม และได้มีผู้วิจัยอื่นๆสังเกตพบ

ว่ามีการย่อยสลายเบนซินและไซลีน โดยมีโกลีอินเป็นสารอาหารปฐมภูมิด้วยจุลชีพสายพันธุ์ *Pseudomonas* (Myung – Keun Chang et al., 1992)

ในการเจริญเติบโตของเซลล์และการใช้สารอาหารทุติยภูมิจะแยกออกจากกัน แต่จะมีความสัมพันธ์กับระบบ การใช้สารอาหารปฐมภูมิทำได้จากปริมาณมวลเซลล์ในระบบ ในขณะที่การใช้สารอาหารทุติยภูมิจะได้โดยวิธีจลนศาสตร์ของการใช้สารอาหารทุติยภูมิและปริมาณมวลชีวภาพสะสม แต่กลไกในการกำจัดสารอาหารทุติยภูมิก็ยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก (Devkota, 1995)

2.2.2 บทบาทของสารอาหารในโคเมตาบอลิซึม

1.) บทบาทของสารอาหารปฐมภูมิ

ในการบำบัดน้ำเสียด้วยหลักโคเมตาบอลิซึมจะเป็นการบำบัดสารทุติยภูมิ แต่ในระบบก็จำเป็นต้องมีสารอาหารปฐมภูมิ เพื่อใช้เป็นแหล่งสารอาหารและพลังงาน แก่แบคทีเรียที่ใช้ในการกำจัดสารทุติยภูมิ ซึ่งก็จะขึ้นกับความสามารถในการใช้สารอาหารปฐมภูมิของแบคทีเรียด้วย นอกจากนี้แล้วสารอาหารปฐมภูมียังเป็นตัวกำหนดชนิดของแบคทีเรียที่ใช้ในโคเมตาบอลิซึมด้วย (Gupta et al., 1996) แต่การที่มีสารอาหารปฐมภูมิก็ได้จะสามารถกำจัดสารอาหารทุติยภูมิได้เสมอไป ในบางครั้งอาจเกิดการยับยั้งการย่อยสลายได้ ซึ่งการยับยั้งเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ กรณีแรก สารอาหารทุติยภูมิมีความเป็นพิษต่อจุลชีพทำให้การใช้สารอาหารปฐมภูมิถูกยับยั้ง และ กรณีที่ 2 คือ สารอาหารปฐมภูมิและสารอาหารทุติยภูมิ มีการใช้เอนไซม์ตัวเดียวกันจึงเกิดการแข่งขันกันขึ้น (Gupta et al., 1996)

2.) บทบาทของสารอาหารทุติยภูมิ

เนื่องจากสารอาหารทุติยภูมิเป็นสารที่ย่อยยากหรือเป็นพิษ ดังนั้นถ้ามีความเข้มข้นของสารนี้สูงอาจจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย หรือไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย หรือสารที่โครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนมีความเข้มข้นสูงทำให้แบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ ระบบอาจล้มเหลวได้

2.2.3 ชนิดและปริมาณสารอาหารปฐมภูมิที่ต้องการในโคเมตาบอลิซึม

การเลือกแหล่งคาร์บอนต้องพิจารณาจาก

- 1.) ชนิดและปริมาณของสารอาหารทุติยภูมิ
- 2.) ชนิดจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบ
- 3.) ชนิดของสารอาหารปฐมภูมิ

ปัจจัยทั้ง 3 มีความสัมพันธ์กันคือ สารอาหารทุติยภูมิจะกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลาย ส่วนชนิดของสารอาหารปฐมภูมิจะขึ้นอยู่กับความสามารถของจุลินทรีย์ในการนำไปใช้ในแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงาน

ได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการลดสีทางชีวภาพที่มีการเติมสารอาหารปฐมภูมิ ตัวอย่างเช่น การลดสีย้อมเอโซ โดยแบคทีเรียในระบบฟิล์มชีวภาพ (Coughlin et al., 1997) การลดสีย้อมเอโซภายใต้สภาวะแอนน็อกซิกได้มีการใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน และจากการศึกษาของ จินตนา แป้นสุวรรณ (2540) บำบัดน้ำเสีย จากโรงฟอกย้อมโดยใช้ระบบเอสบีอาร์ และ A_2O -SBR ได้มีการเติมน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนในงานวิจัยของโสภา ชินเวชกิจวานิชย์ (2539) ที่มีการลดสีรีแอกทีฟโดยระบบยูเอเอสบี มีการเติมแป้งมันเป็นแหล่งคาร์บอน

2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor)

2.3.1 หลักการทำงานของระบบเอสบีอาร์

เอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดแบบเติม-ถ่ายแอกติเวเตดสลัดจ์ (SBR-AS) ในระบบจะมีทั้งถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน และถังทำน้ำใสรวมอยู่ในถังเดียวกัน หรือมีหลายถังเพื่อบำบัดน้ำในปริมาณที่มากขึ้น โดยมีข้อแตกต่างกับระบบเอเอส คือ ระบบในเอเอส จะมีการทำงานแยกกัน ในขณะที่ ระบบเอสบีอาร์มีถังปฏิกรณ์เพียง 1 ถัง (Metcalf and Eddy , 1991)

ระบบเอสบีอาร์ (SBR) หมายถึง ระบบกำจัดน้ำเสีย ซึ่งมีการทำงานแบบแบตช์ และประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นถังเลี้ยงแบคทีเรีย กำจัดน้ำเสียและเป็นถังตกตะกอนไปใน

ตัว ซึ่งการเติมอากาศจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ก็อาจเป็นระบบเอสปีอาร์ก็ได้ ถ้าสามารถทำการควบคุมเครื่องเติมอากาศให้หยุดเติมอากาศ และสามารถทำงานเป็นแบบแบตช์ได้ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2525)

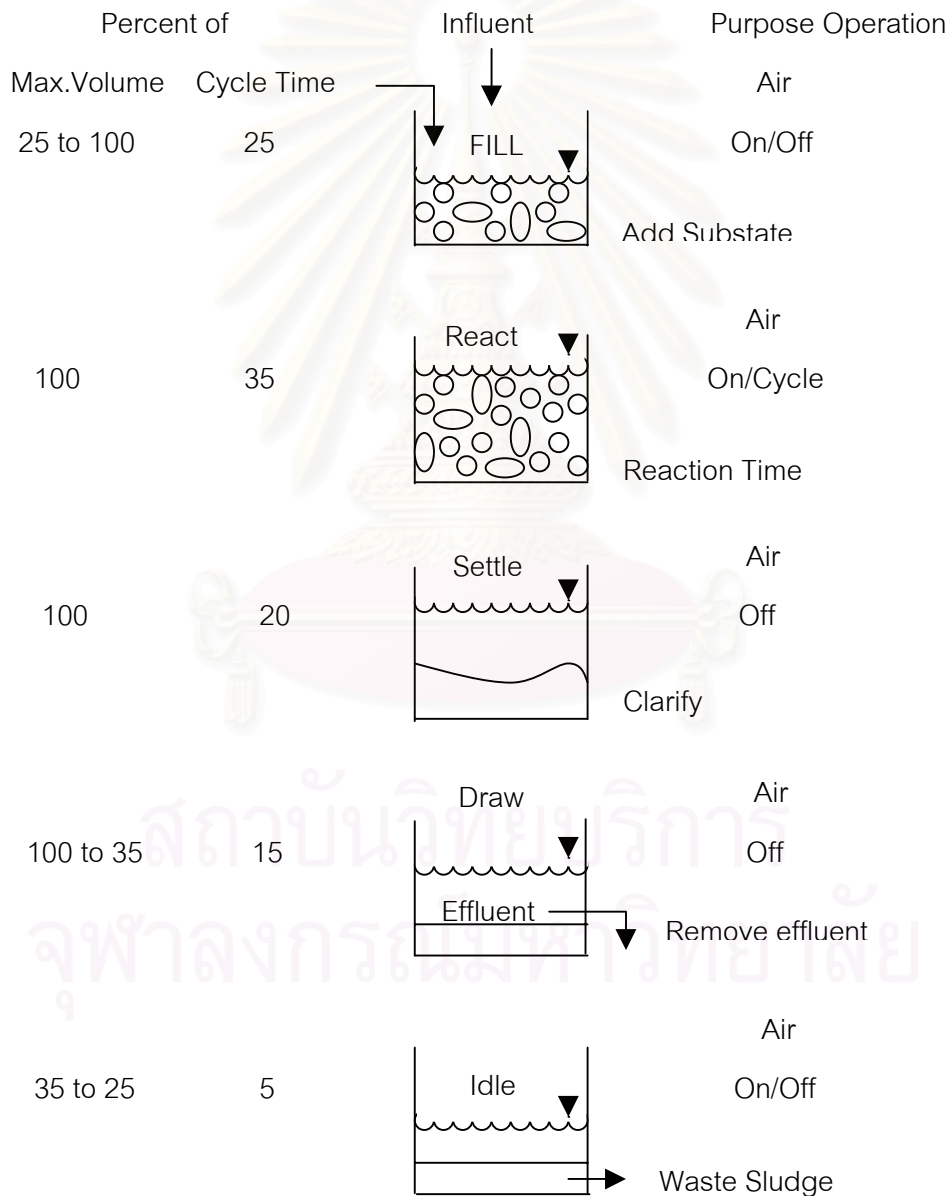
เอสปีอาร์เป็นระบบการทำงานแบบแบตช์ ซึ่งจะทำงานตามช่วงเวลาซึ่งจะเหมาะกับชุมชนเล็กๆ ที่มีการลงทุนและราคาเงินระบบต่ำ รวมทั้งเหมาะกับในอุตสาหกรรม น้ำเสียจากชุมชน และสามารถกำจัดมลสารได้ทั้ง สารอินทรีย์คาร์บอน, ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในการบำบัดขั้นต้น รวมถึงในงานวิจัย (Irvine and Busch, 1979) เนื่องจากระบบเอสปีอาร์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ได้มีการใช้อย่างแพร่หลาย เพราะสามารถกำจัดมลสารได้หลายชนิดภายใต้ต้นทุนเพียงหนึ่งใบ ตามที่ได้กล่าวไปข้างต้นและสามารถจัดการกับระบบได้มีทั้งสภาวะแอนแอโรบิก แอนอกซิก และแอโรบิก (Okada and Sudo, 1986 ; Oleszkiewicz et al., 1990 ; Cybis and Horan , 1997)

ระบบเอสปีอาร์ในหนึ่งรอบการทำงานจะประกอบด้วยขั้นตอนการทำงาน 5 ขั้นตอน เรียงตามลำดับของงาน คือ

- 1.) รับน้ำเสีย (fill) เป็นการรับน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ซึ่งในถังปฏิกรณ์จะมีจุลินทรีย์ที่จะทำหน้าที่กำจัดมลสารในน้ำเสีย และรับน้ำเสียจนถึงระดับสูงสุดของถังที่ได้ออกแบบไว้
- 2.) กำจัดมลสารในน้ำเสีย (react) เป็นช่วงที่มีการเติมอากาศ และกวนน้ำเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากำจัดสารอาหารได้สมบูรณ์ ซึ่งช่วงนี้จะเริ่มตั้งแต่รับน้ำเข้าระบบ โดยในขั้นตอนนี้ สามารถปรับให้มีการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เพื่อกำจัดไนโตรเจน โดยการหยุดการเป่าอากาศ
- 3.) ขั้นการตกตะกอน (settle) ในช่วงนี้จะหยุดการเติมอากาศ และการกวน ปล่อยให้ตะกอนตกตามแรงโน้มถ่วง และได้น้ำใสในส่วนบนที่ได้ผ่านการบำบัดแล้ว
- 4.) ถ่ายน้ำออก (draw) เป็นการระบายน้ำใสที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกรณ์
- 5.) ช่วงพัก (idle) เป็นช่วงเวลาหลังจากปล่อยน้ำออกจนกระทั่งถึงก่อนการเติมน้ำเข้าระบบในรอบการทำงานในวัฏจักรต่อไป ช่วงนี้จะหยุดการทำงานไม่มีการเติมน้ำเสียซึ่งอาจจะมีการเติมอากาศและการกวนบ้าง ในช่วงนี้อาจจะไม่จำเป็นจะต้องมี

ก็ได้ (Irvine, Miller, Bhamrah, 1979 ; Dennis and Irvine, 1979 ; Irvine and Busch, 1979 ; Metcalf and Eddy, 1991)

จุลินทรีย์ในระบบจะมีการถ่ายออกบ้างประมาณปกติอยู่ในช่วง 2 ครั้งต่อเดือน ในกรณีที่มีหลายๆถังจะมีผลผลิตมาก แต่กรณีที่มีผลผลิตไม่สูงก็อาจจะถ่ายออกเดือนละครั้ง ซึ่งจะถ่ายออกในช่วงทำปฏิกิริยา หรือสิ้นสุดช่วงตกตะกอน (Irvine et al, 1979) แต่ก็มีบางงานวิจัยที่แนะนำให้ถ่ายตะกอนออกช่วงพัก (Irvine, Miller and Bhamrah, 1979)



รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของระบบเอสบีอาร์ (Metcalf and Eddy, 1991)

2.3.2 ข้อดี-ข้อเสียของระบบเอสบีอาร์

2.3.2.1 ข้อดีของระบบเอสบีอาร์

1. ไม่ต้องมีถังตกตะกอนและระบบเวียนสลัดจ์กลับ ทำให้ไม่มีปัญหาต่างๆเกี่ยวกับใช้ถังตกตะกอนและทำให้มีราคาก่อสร้างต่ำ
2. ตามทฤษฎี ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบแบคทีเรียดีกว่าแบบต่อเนื่องสามารถรองรับน้ำเสียในกรณีที่มีปริมาณมากที่สุดในช่วงเวลาสั้นๆ และกรณีที่น้ำไหลเข้าสู่ระบบในปริมาณมากกว่าปกติอย่างกะทันหันได้สูง
3. หลีกเลี่ยงการไล่ล้าง (washout) ของเอ็มแอลเอสเอส เมื่อมีน้ำเสียไหลเข้ามาในปริมาณมากในช่วงเวลาสั้นๆ
4. สามารถดัดแปลงให้ระบบกำจัดสารอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้พร้อมๆกัน
5. การปรับระยะเวลาของช่วงหน้าที่ต่างๆ ทำให้ระบบเอสบีอาร์มีความยืดหยุ่นได้ดี ทำให้สามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงได้
6. ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง และมีปัญหาในการเดินระบบน้อย

2.3.2.2 ข้อเสียของระบบเอสบีอาร์

1. ถ้าน้ำเสียไหลติดต่อกันในอัตราที่แปรเปลี่ยน การควบคุมดูแลระบบเอสบีอาร์แบบหลายถังที่ออกแบบสำหรับกรณีนี้ต้องการระบบอัตโนมัติหลายอย่าง ที่ไม่จำเป็นต้องมีในระบบเติมอากาศแบบอื่น
2. อาจต้องการถังพักขนาดใหญ่ ก่อนเข้าระบบเพื่อทำการควบคุมระบบได้ง่ายขึ้น
3. ในกรณีที่ใช้ถังปฏิกรณ์ไบโอเดียวต้องใช้อัตราขนาดใหญ่มาก
4. อาจไม่เหมาะกับแหล่งน้ำเสียขนาดใหญ่ (จินตนา แป้นสุวรรณ, 2539)

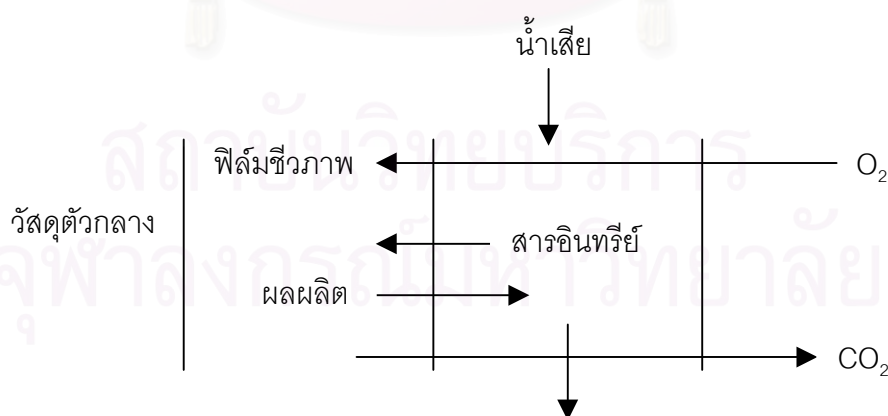
2.4 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการฟิล์มชีวภาพ (Biofilm)

ระบบบำบัดที่มีตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพ ได้แก่ ระบบลานกรอง (Trickling Filter) หรือตัวกลางเคลื่อนที่ เช่น ระบบจานสัมผัส (Bio disc) จุลินทรีย์จะเกาะเป็น

ฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ติดกับวัสดุตัวกลาง (Media) หลักการของระบบคือ เมื่อกจุลินทรีย์จะดูดซึมสารอินทรีย์ต่างๆ เข้าไป และทำการย่อยสลาย เมื่อกจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตขึ้นหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร เมื่อเมื่อกจุลินทรีย์ที่เกาะติดกับตัวกลางที่อยู่ชั้นในสุดตายลงเนื่องจากขาดสารอาหารจะหลุดปะปนไปกับน้ำทิ้ง เมื่อกจุลินทรีย์นี้เรียกว่า Humus Sludge องค์ประกอบของจุลินทรีย์ที่ติดกับตัวกลางนี้มีความหลากหลายเหมือนกับในระบบแขวนลอย กล่าวคือ มีทั้งพวก โปรคาริโอต ยูคาริโอต นอกจากนี้ยังพบสิ่งมีชีวิตอยู่ในตระกูลสูงกว่า เช่น พวก Nematode ซึ่งได้แก่พวก Sludge Worm ตัวอ่อนของแมลงบางชนิด และพวก Annelida ดังนั้นในระบบห่วงโซ่อาหารจึงครบถ้วน และมีความสมบูรณ์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำมาก ทำให้มวลชีวภาพ (Biomass) เหลือในระบบน้อย จุลินทรีย์ที่พบได้แก่พวก Saprophyte แบคทีเรีย ฟันไจ และ โปรโตซัวที่พบบ่อยได้แก่ ชาร์โคดินาร์ มาสติโกพอรา และ ซิลิเอต (ธีรวัตร ไสุมวดี, 2537)

2.4.1 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์โดยกระบวนการฟิล์มชีวภาพ

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยการปล่อยน้ำเสียไหลผ่านถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีตัวกลางของแข็งบรรจุอยู่ โดยที่ตัวกลางของแข็งดังกล่าวเป็นที่ซึ่งจุลินทรีย์ใช้เกาะยึดเรียกว่า ฟิล์มชีวภาพ มีกระบวนการถ่ายเทมวลและปฏิกิริยาชีวเคมีเกิดขึ้นพร้อมกันระหว่างผิวของฟิล์มชีวภาพ และผิวของเหลวโดยรอบ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2 ขั้นตอนในการกำจัดสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพ



รูปที่ 2.2 การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบบจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง

(Metcalf and Eddy, 1991)

กระบวนการถ่ายเทมวลและปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นพร้อมกันดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เกิดการถ่ายเทมวลของสารอาหาร และออกซิเจนละลายจากน้ำเสียสู่ช่วงต่อระหว่างของเหลวและเมือกจุลชีพ
2. เกิดการถ่ายเทมวลของสารอาหาร และออกซิเจนละลายจากน้ำเสียจากช่วงต่อระหว่างของเหลวและเมือกจุลชีพ สู่เมือกจุลชีพ
3. เกิดการย่อยสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน โดยเซลล์ของจุลินทรีย์ ในเมือกจุลินทรีย์
4. เกิดการถ่ายเทมวลของผลผลิต คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำจากเมือกจุลินทรีย์สู่ช่วงต่อระหว่างของเหลว และเมือกจุลินทรีย์
5. เกิดการถ่ายเทมวลของผลผลิต คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ จากช่วงต่อระหว่างของเหลว และเมือกจุลินทรีย์สู่น้ำเสีย

2.4.2 วัสดุตัวกลาง (Media)

ตัวกลางที่ใช้ในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ในระบบลานกรองแบบเดิม (Conventional Trickling Filter) จะใช้หินที่หาได้จากธรรมชาติเป็นตัวกลางสำหรับบรรจุในลานกรอง ทำให้ปริมาตรช่องว่างและพื้นที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์ที่ใช้กำจัดน้ำเสียมีปริมาณจำกัด ในปัจจุบันมีการนำวัสดุสังเคราะห์ หรือพลาสติกมาใช้เป็นวัสดุตัวกลาง ทำให้สามารถจัดรูปร่างที่เกาะสำหรับจุลินทรีย์ให้เป็นไปตามความต้องการได้ จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดีขึ้นกว่าเดิม

หลักในการเลือกวัสดุตัวกลาง

1. มีพื้นที่สำหรับให้จุลินทรีย์เกาะมาก
2. มีช่องว่างพอให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต
3. มีช่องว่างระบายอากาศได้ตลอดในทุกแห่งที่มีจุลินทรีย์เกาะ
4. มีรูปลักษณะที่น้ำเสียไหลไปตามพื้นผิวได้อย่างทั่วถึง และสม่ำเสมอ
5. มีความแข็งแรงสามารถทรงตัวอยู่ได้
6. มีน้ำหนักเบาแต่ทนทานสภาพการใช้งาน
7. ราคาถูก
8. สามารถนำมาประกอบ หรือบรรจุได้ง่าย (ธีรวัตร ไสมวดี, 2537)

2.5 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ Sequencing Batch Biofilm Reactor

2.5.1 ระบบถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพ

ในปัจจุบันได้มีการบำบัดน้ำด้วยถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพมาใช้มาก และมีความสำคัญมากขึ้น (Kaballo, 1997) โดยเฉพาะในกรณีที่สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดเป็นสารที่ย่อยได้ทางชีวภาพได้ยากหรือมีค่าความเข้มข้นของทีโอดีของน้ำเข้าต่ำ เนื่องจากจะไปมีผลทำให้เกิดตะกอนลอย เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด หรือน้ำเสียจากกองขยะ น้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนซึ่งมีค่าทีโอดีต่ำ หรือแม้แต่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองจากโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ยังจำเป็นทีโอดีที่เหลือค้าง ในโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยเฉพาะในยุโรป ที่ถือว่าจำเป็นมาก และนิยมบำบัดในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เพราะในระบบตะกอนเร่งจะพบปัญหาตะกอนลอย (Wilderer et al., 1996)

กลุ่มจุลชีพในระบบถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพที่มีชั้นวัสดุตัวกลางอยู่กับที่จะอยู่ที่ตำแหน่งคงที่ไม่มีการเคลื่อนย้าย กล่าวคือ กลุ่มจุลชีพในแต่ละตำแหน่งก็จะแตกต่างกันไป ตรงบริเวณทางน้ำเข้าจะมีจุลชีพชนิดกลุ่มเฮเทอโรโทรปเป็นลักษณะเด่น ในขณะที่ส่วนต่อมาจะมีแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายอิงเป็นลักษณะเด่น ซึ่งก็จะเป็นผลดีทำให้มีกลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถสูงหลายกลุ่มในถังปฏิกรณ์หนึ่งใบ (Wilderer et al., 1996)

ข้อดีของถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพ เมื่อเทียบกับระบบตะกอนเร่ง คือ สามารถรับภาระบรรทุกได้สูงกว่า ระบบมีเสถียรภาพกว่า และขนาดของถังปฏิกรณ์มีขนาดกะทัดรัดเนื่องจากความเข้มข้นของมวลชีวภาพในถังปฏิกรณ์มีปริมาณสูง และมีอัตราการกำจัดสารอาหารจำเพาะสูงกว่า และกลุ่มจุลชีพที่เจริญเติบโตได้ช้าสามารถสะสมอยู่ในถังปฏิกรณ์ได้ เพราะอายุตะกอนไม่ขึ้นอยู่กับเวลากักเก็บ ในขณะที่ในระบบตะกอนเร่งกลุ่มจุลชีพที่เจริญเติบโตได้ช้าจะถูกไล่ล้างออกจากระบบได้ (Kaballo, 1997)

ในระบบตะกอนเร่งจะพบปัญหาความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบบำบัดมีความเข้มข้นสูง (Albers, 1991 อ้างใน Dollerer and Wilderer, 1996) และปัญหาสำคัญที่พบคือ จะเกิด sludge bulking หรือเกิดฟล็อกของตะกอนสลัดจ์ที่มีขนาดเล็ก

กระจายโดยไม่สามารถแยกได้ ในถังทำน้ำใส ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะหมดไปได้โดยใช้ถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพ (Dollerer and Wilderer, 1996)

ข้อจำกัดของถังฟิล์มชีวภาพ คือ ข้อจำกัดของการถ่ายเทมวลของออกซิเจนและสารอาหาร รวมถึงการอุดตันเนื่องจากมวลชีวภาพที่มีการเจริญเติบโตอย่างมาก และรวดเร็วตรงบริเวณทางน้ำเข้าของถังปฏิกรณ์ (Kaballo, 1997) และจากความเข้มข้นของมวลชีวภาพที่เกิดขึ้นตามทิศทางการไหลของน้ำ จะทำให้เกิดการกระจายของมวลชีวภาพไม่สม่ำเสมอ ซึ่งภายใต้สภาวะการทำงานจริงจะมีค่าพารามิเตอร์ และภาวะบรรทุกที่แปรเปลี่ยนไปไม่คงที่ ถ้าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ขาเข้าเพิ่มขึ้นจะมีการกระจายของมวลชีวภาพไม่สม่ำเสมอ สารอาหารที่เข้าสู่ชั้นฟิล์มชีวภาพได้น้อยลง หรืออาจจะไม่ถ่ายเทได้ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ลดลง Boller and Gujer (1985 อ้างใน Kaballo, 1995) ได้สังเกตพบว่ามีสารอินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำเสียขาออกในระบบลานกรอง และพบได้จากระบบ Fixed Film Reactor สำหรับบำบัดน้ำเสียที่เป็นพิษ แต่สามารถแก้ไขปัญหาคาการกระจายตัวของฟิล์มชีวภาพได้โดยการดำเนินการทำงานของระบบในลักษณะแบตช์ คือ ในลักษณะเติมเข้าและถ่ายออก หรือที่เรียกว่า Sequencing Batch Biofilm Reactor Technology (Kaballo et al., 1995 ; Kaballo, 1997)

2.5.2 ระบบเอสบีอาร์

Wilderer (1992) ได้เสนอถึงการประยุกต์ใช้ระบบเอสบีอาร์ ที่พัฒนาโดย Irvine (1977) มาใช้กับถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพที่มีชั้นตัวกลางอยู่กับที่ มีการทำงานในลักษณะแบตช์ โดยที่สามารถปรับระบบให้มีสภาวะแอโรบิก, แอนน็อกซิก และแอนแอโรบิก ต่อกันตามช่วงเวลาที่กำหนด (Wilderer et al., 1996)

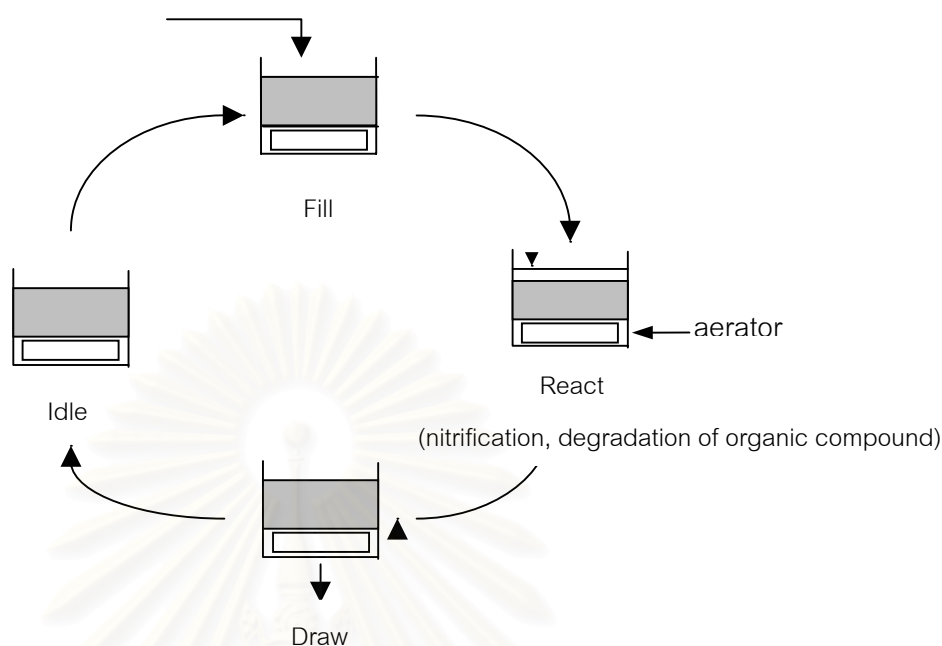
ระบบเอสบีอาร์เป็นการรวมข้อดีของระบบฟิล์มชีวภาพกับการทำงานแบบแบตช์เอสบีอาร์ ซึ่งจะทำให้มีมวลชีวภาพสูง แต่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ และในการทำงานของระบบฟิล์มชีวภาพที่ต้องการสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันจะทำให้สามารถทำงานได้ภายในถังปฏิกรณ์เพียงใบเดียว ที่ภายใต้ภาวะบรรทุกสูงๆ ระบบเอสบีอาร์จะมีเสถียรภาพและมีความน่าเชื่อถือสูง เมื่อเทียบกับระบบการทำงานแบบต่อเนื่อง (Wilderer et al., 1996 ; Dollerer and Wilderer, 1996)

ระบบเอสปีอาร์เหมาะกับการนำไปใช้บำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก หรือมีค่าอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีต่ำ (Wilderer, 1992) เนื่องจากกลุ่มจุลชีพที่เจริญเติบโตช้า สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้บนวัสดุตัวกลาง และแบคทีเรียต่างๆที่เกาะเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพ ทำให้มวลจุลินทรีย์สูง และเป็นการเพิ่มผิวฟิล์มชีวภาพให้สัมผัสกับน้ำเสียมากขึ้น ช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปทำให้ระบบมีกลุ่มจุลชีพที่แตกต่างกันไปบนฟิล์มชีวภาพ เช่นมีทั้งกลุ่มแบคทีเรียไนโตรฟายอิง กลุ่มแบคทีเรียดีไนโตรฟายอิง และแบคทีเรียที่สามารถสะสมฟอสฟอรัสได้ (Wilderer et al., 1996)

ระบบเอสปีอาร์เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปัญหามากๆ น้ำเสียจากกองขยะ น้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อน (Wilderer et al., 1996 ; Chozick and Irvine , 1991 ; Dollerer and Wilderer , 1996)

2.5.3 การทำงานของระบบเอสปีอาร์

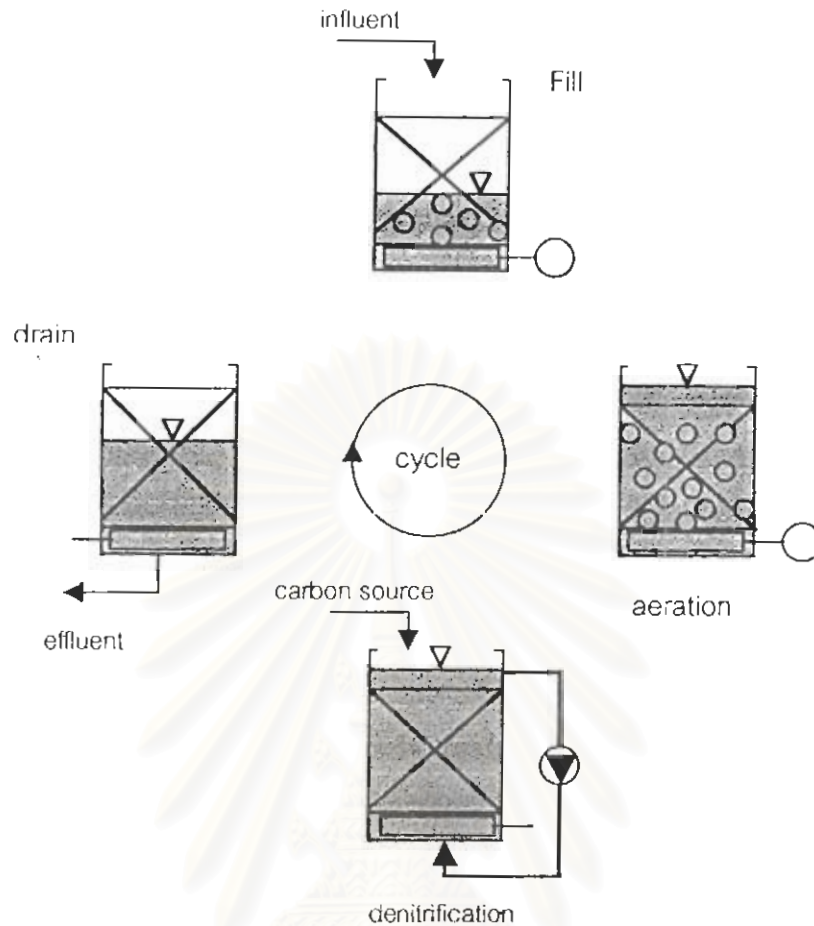
การทำงานของระบบเอสปีอาร์จะเหมือนในระบบเอสปีอาร์ คือที่มีการทำงานเป็นแบบแบตช์จะถูกกำหนดการทำงานตามช่วงเวลาโดยมีขั้นตอนการทำงานตามรูปที่ 2.3 โดยเริ่มจากขั้นเติมน้ำเสียลงถังปฏิกรณ์ และเป่าอากาศเป็นขั้นทำปฏิกรณ์ เมื่อขั้นทำปฏิกรณ์เสร็จสิ้นก็จะเข้าสู่ขั้นถ่ายน้ำออก โดยไม่จำเป็นต้องมีการทิ้งให้ตกตะกอน (Martinez and Wilderer, 1991) และพักรอการทำงานในรอบการทำงานของวัฏจักรต่อไป ได้มีการประยุกต์ใช้ในกรณีที่เกิดกระบวนการไนโตรฟิเคชันและดีไนโตรฟิเคชันสำหรับกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย โดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2.4 โดยเริ่มเติมน้ำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ซึ่งอาจจะมีการนำไปใช้ในลักษณะหลายถึงปฏิกริยาวางขนานกัน ในระหว่างช่วงเติมอากาศ ออกซิเจนจะถูกถ่ายไปยังส่วนต่างๆของถังปฏิกรณ์ โดยเป่าอากาศเป็นแบบพองจากก้นถังปฏิกรณ์ หรือให้ออกซิเจนผ่านเยื่อหุ้มเมมเบรนแล้วเติมแหล่งสารอาหาร เช่น เมทานอล หรือเอทานอล หรือมีการหมุนเวียนน้ำเสียลงไป สำหรับกระบวนการดีไนโตรฟิเคชัน ตามสภาวะแอนแอโรบิก หรือแอโรบิก ตามลำดับ แล้วถ่ายน้ำออกและรอรับน้ำเสียในวงจรการทำงานรอบใหม่ ในบางครั้งอาจต้องมีการล้างยอนบ้างเพื่อกำจัดมวลชีวภาพส่วนเกิน (Wilderer, 1995)



รูปที่ 2.3 กระบวนการทำงานเอสบีอาร์ (Dollerer and Wilderer, 1996)

2.5.4 ข้อดีของระบบเอสบีอาร์

1. เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก สารที่เป็นพิษ และสามารถประยุกต์ใช้ในการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้
2. ถึงปฏิกรณ์มีขนาดกะทัดรัด ทำให้ประหยัดพื้นที่
3. ระบบมีเสถียรภาพและเชื่อถือได้
4. สามารถรับภาระบรรทุกทุกได้สูง และสามารถปรับสภาวะการทำงานให้เหมาะกับน้ำเสียเพื่อรองรับความเข้มข้นและอัตราการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้ง่าย
5. ในระบบประกอบด้วยกลุ่มจุลชีพที่เจริญเติบโตได้ช้าในปริมาณสูง
6. ไม่จำเป็นต้องมีชั้นตกตะกอนทำให้สามารถเพิ่มช่วงเวลาทำปฏิกิริยาให้ได้มีช่วงเวลาได้นานขึ้น หรือลดเวลาการทำงานในหนึ่งรอบการทำงานลง



รูปที่ 2.4 กระบวนการเอสบีอาร์สำหรับกำจัดไนโตรเจน (Wilderer , 1995)

2.6 การกำจัดสีในน้ำเสียโรงฟอกย้อม

ในการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่ใช้อยู่มีหลายวิธี แต่ยังมีประสิทธิภาพในการลดสีไม่สูงมากนัก อาจเนื่องมาจากในการผลิตมีการเติมสารช่วยย้อมหลายชนิดและมีการคันคิดหาสารช่วยให้สีย้อมสามารถย้อมติดผ้าได้ดีมากขึ้นเพื่อป้องกันสีหลุดลอกและมีการขยายตัวของอุตสาหกรรมประเภทนี้มากขึ้น จึงต้องมีการศึกษาหาวิธีการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งมีวิธีการต่างๆในการลดสีสรุปได้ดังนี้

2.6.1 การกำจัดสีด้วยวิธีการทางกายภาพ

2.6.1.1 การทำโคแอกกูเลชัน

การกำจัดสีด้วยวิธีการทางกายภาพเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนการนำไปบำบัดในขั้นที่สองซึ่งเป็นการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพต่อไป ตัวอย่างวิธีการทางกายภาพเช่น กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยสารเคมี ซึ่งจะใช้บำบัดสีอินทรีย์ สารสี และสารประกอบอื่น ๆ ที่มีแนวโน้มถูกดูดซึมโดยมวลชีวภาพ และตะกอนจุลินทรีย์ ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้คือ ปูนขาว สารส้มเกลือเฟอริก หรือสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ ตามด้วยกระบวนการตกตะกอน หรือการเติมอากาศให้ลอยตัว (DAF) แต่มีข้อเสียคือ จะมีตะกอนสลัดจ์ทางเคมีเกิดขึ้นจำนวนมาก ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระในการกำจัดตะกอน (Reife and Freeman, 1996)

2.6.1.2 กระบวนการดูดติดผิว

กระบวนการดูดติดผิวเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับในการกำจัดสี เนื่องจากง่ายในการออกแบบ ง่ายต่อการก่อสร้างและดำเนินระบบ และไม่มีสารพิษตกค้าง การกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดติดผิวจะใช้น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในความเข้มข้นต่ำๆ ซึ่งโดยมากจะนิยมใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งเตรียมได้จาก ลิกไนต์, ถ่านหิน, เศษไม้, กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีพื้นที่ผิวระหว่าง 500-1400 ตารางเมตรต่อกรัม (Reife and Freeman, 1996) นอกจากนี้ยังมีดินเหนียวดูดซึม (fullers earth), ี่เถ้า (fly ash), ดินเหนียวทนไฟ (fired clay), ซิลิกาเจล, ไม้, โพลีเมอร์สังเคราะห์ ฯลฯ (UNEP, 1993) การกำจัดสีดีดเพอร์ส, สีแวต, และพิกเมนต์ โดยถ่านกัมมันต์ให้ประสิทธิภาพการกำจัดไม่สูงมากนัก (Shah, 1997)

2.6.1.3 กระบวนการไฟฟ้าเคมี

กระบวนการไฟฟ้าเคมีได้มีการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปลายศตวรรษที่ 20 โดยที่จดลิขสิทธิ์ครั้งแรกโดย Lee (1973) และต่อมาก็ได้มีการปรับปรุงแก้ไข (Reife and Freeman, 1996) ซึ่งเดิมจุดมุ่งหมายในการใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย และต่อมาได้นำมาใช้ในการลดสีน้ำเสียเป็นครั้งแรกและได้มีการจดลิขสิทธิ์เป็นครั้งแรกโดยใช้ชื่อ Andco Environmental Process ในปี 1989 (Reife and Freeman, 1996)

วิธีการไฟฟ้าเคมีจะสามารถกำจัดได้ทั้งสี ซีโอดี และเอสเอสในน้ำเสีย กระบวนการเติมสารคลอรีนรวมกับการใช้ไฟฟ้าจะเติมสารไฮเดียมไฮโปคลอไรท์ซึ่งจะไปทำลายโครงสร้างสารอินทรีย์และสี และจากผลงานวิจัยของ Ling (1994) (อ้างโดย Shah, 1997) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ, สีดิสเพอร์ส และสีผสมระหว่างสีดิสเพอร์ส และแวกสูง 92%

2.6.1.4 กระบวนการเมมเบรน

มีการนำเมมเบรนมาใช้ในกระบวนการลดสี โดยมีการนำมาใช้ที่จุดที่รวมของน้ำเสียหรือที่จุดเกิดน้ำเสียโดยมีวัตถุประสงค์ในการนำน้ำมาใช้ใหม่แต่มีต้นทุนในการก่อสร้าง และติดตั้งมีราคาสูง

2.6.1.5 การแลกเปลี่ยนไอออน

วิธีแลกเปลี่ยนไอออนเหมาะกับสารละลายเจือจาง โดยที่เรซินชนิดลบใช้กำจัดสีย้อมที่มีประจุลบ ในขณะที่เรซินประจุบวกใช้กำจัดสีย้อมของสีที่มีประจุบวก ในขณะที่ด้านกัมมันต์จะใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว เรซินจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนสูงและง่ายต่อการทำรีเจนเนอเรท โดยเรซินที่มีประจุบวกจะใช้กรดไฮโดรคลอริก, กรดซัลฟูริก หรือไฮเดียมคลอไรด์ ทำรีเจนเนอเรท เรซินประจุลบจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำรีเจนเนอเรท มีการนำวิธีแลกเปลี่ยนไอออนมาใช้กำจัดสีในน้ำเสีย โดยที่ประสิทธิภาพในการลดสีแอซิด สีรีแอกทีฟ และสีดิสเพอร์ส สูง 90 % แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีน้อยกว่า

2.6.1.6 กระบวนการฉายรังสีไอออไนซ์ (Ionizing Radiation)

สารอินทรีย์จะถูกทำลายโครงสร้างโดยรังสี มีการนำรังสีแกมมา มาลดสีหรือมีการใช้ร่วมกับการเติมคลอรีนลงไปเป็นสารออกซิแดนท์ ซึ่งพบว่า การฉายรังสีอย่างเดียวจะต้องใช้รังสีแกมมาในปริมาณที่สูง และใช้เวลานาน แต่เมื่อมีการเติมคลอรีนจะมีผลทำให้ใช้เวลาสั้นลงเพียงไม่กี่นาที (Shah, 1997)

2.6.2 กระบวนการทางเคมี

2.6.2.1 การออกซิเดชัน (Oxidation)

มีวิธีการลดสีโดยการเติมสารเคมีลงไปออกซิไดส์ เช่น การเติมคลอรีน ทั้งในรูปของของเหลว หรือแก๊ส หรือไฮโปคลอไรต์ ซึ่งเป็นการบำบัดทางชีวภาพต่อ แต่อย่างไรก็ตาม การเติมคลอรีนมีผลทำให้มีสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาของ Ghosh และคณะ (อ้างโดย Reife and Freeman, 1996) ในการลดสีโดยการเติมคลอรีนที่ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดสีได้ 77% แต่มีสารคลอรีนตกค้าง 110 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสีย แต่เมื่อเติมคลอรีนในปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่พบสารตกค้าง แต่ประสิทธิภาพในการลดสีลดลงเหลือ 57% (Reife and Freeman, 1996)

ได้มีการใช้โอโซนซึ่งมีความสามารถในการออกซิไดส์สูงกว่าคลอรีน และไม่มีสารตกค้างในน้ำเสีย ในงานวิจัยของ Homing (1978) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) พบว่าการใช้โอโซนปริมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการลดสีชนิดสีรีแอกทีฟ และเบสิกได้ แต่พบว่าประสิทธิภาพในการลดสีดีสเพอร์สตัว ส่วนในการกำจัดสีไดเรกต์จะใช้โอโซนในปริมาณที่ไม่แน่นอน และจากการศึกษาในประเทศญี่ปุ่นอ้างโดย Reife and Freeman (1996) ที่มีโรงฟอกย้อมกว่า 120 แห่ง พบว่าสีที่มีสารอินทรีย์สีเหลืองเป็นองค์ประกอบจะไม่ถูกย่อยสลาย และเมื่อวิเคราะห์ค่าที่ไอซี และซีไอดีมีปริมาณลดลงแต่เมื่อวิเคราะห์ค่าบีไอดีกลับเพิ่มมากขึ้นซึ่งแสดงว่าต้องมีการย่อยสลายทางชีวภาพต่อจากกระบวนการเติมโอโซนมาแล้ว และวิธีการเติมโอโซนจะมีต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าการใช้ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์เป็น 2 เท่า (Reife and Freeman, 1996)

2.6.2.2 การรีดักชัน (Reduction)

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการรีดักชันของสีไอซี โดยการแตกพันธะเอโซเป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็กลง คือสารประกอบอะโรมาติกอะมีน ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษ ต้องมีการบำบัดต่อโดยการบำบัดทางชีวภาพในสภาวะแอนแอโรบิก เพื่อให้ออกซิไดส์ต่อเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะกล่าวต่อไปในส่วนของกระบวนการทางชีวภาพ สารเคมีที่ใช้ในการรีดิวซ์ คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (sodium hydrosulfite) หรือโซเดียมไดไฮโอไนต์ (sodium dithionite), ไทโอยูเรียไดออกไซด์ (thiourea dioxide) หรือ formamidine sulfinic (FAS) acid,

sodium borohydride , sodium formaldehyde sulfoxylate และ tin (II) chloride การใช้สารเคมีในการตกตะกอน ออกซิไดซ์ และรีดิวซ์ จะมีผลให้ประสิทธิภาพแตกต่างกันไป ซึ่งต้องมีการทดลองหาปริมาณที่ใช้ ที่เหมาะสมกับน้ำเสียนั้นๆ (Reife and Freeman , 1996)

2.6.3 กระบวนการทางชีวภาพ

2.6.3.1 กระบวนการทางชีวภาพแบบแอโรบิก

Beszedits et. al.,1980 อ้างโดย Hussain, 1994 สรุปไว้ว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบแอโรบิกมี กระบวนการลานกรอง (Trickling Filter) บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) และกระบวนการแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ซึ่งเป็นวิธีเก่าแก่และนิยมมากที่สุด การใช้วิธีทางชีวภาพสามารถลดบีโอดี ซีโอดี และ เอสเอส สูง แต่ประสิทธิภาพในการลดสีย้อมในน้ำเสียมักต่ำเพราะเนื่องจากสีย้อมที่ผลิตขึ้นมาให้มีความสามารถทนต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบแอโรบิกเป็นวิธีที่นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม ซึ่งในอดีตน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมจะปล่อยรวมกับน้ำเสียชุมชนและส่งต่อไปบำบัดรวมโดยระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์แต่พบปัญหาที่ไม่สามารถลดสีได้เนื่องจากการผลิตสีย้อมมาเพื่อต้านทานการย่อยสลายทางชีวภาพโดยในสภาวะที่มีออกซิเจน และมีการเติมสารเคมีลงไปในสีย้อมเพื่อให้ทนต่อการออกซิไดซ์โดยสารเคมีและแสง (Reife and Freeman, 1996)

Grau, 1991 อ้างโดย Hussain , 1994 ได้อธิบายถึงกระบวนการแอโรบิกที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมียี่ 2 ลักษณะ คือ

1. ใช้กระบวนการกายภาพ-เคมีก่อน แล้วตามด้วยกระบวนการทางชีวภาพ คือ มีการเติมเพอร์ร็อกซัลเฟตเพื่อทำการลดสี และตามด้วยกระบวนการแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ โดยที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์
2. ใช้กระบวนการทางชีวภาพตามด้วยกระบวนการกายภาพ-เคมี ในวิธีนี้อาจจำเป็นต้องมีการบำบัดขั้นต้นเพราะในน้ำเสียอาจมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบ หรือมีการปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมกับระบบแล้วส่งบำบัดต่อ โดยใช้กระบวนการดัง

กรองชีวภาพ (Biofilter) , อาร์บีซี หรือ แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ และเติมเฟอร์ริลซัลเฟต, สารส้ม , เกลือเฟอร์ริก

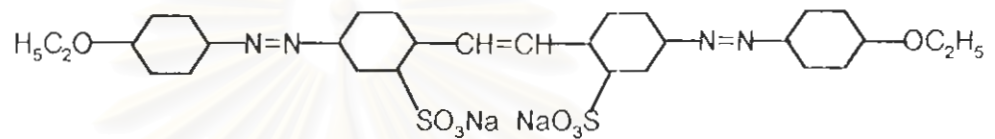
ปัญหาที่พบในการใช้ระบบบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนละลาย คือ ความสามารถในการปรับตัวของกลุ่มแบคทีเรียในการย่อยสลายสีย้อม ซึ่งอาจเนื่องจากกระบวนการผลิต ในโรงฟอกย้อมมีกระบวนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดตามตารางการผลิต จากการศึกษาของ Porter และ Snider พบว่าเมื่อทดสอบค่าบีโอดี 30 วัน โมเลกุลสีจะถูกย่อยสลายมากกว่าที่ทดสอบที่ค่าบีโอดี 5 วัน โดยในการศึกษาใช้กลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ชินกับน้ำเสียที่มีสีย้อมปนเปื้อน ซึ่งสรุปได้ว่าน้ำเสียที่มีสีย้อมต้องการระยะเวลาในการปรับตัวของกลุ่มจุลินทรีย์นาน และย่อยสลายได้ช้าซึ่งก็ตรงกับงานวิจัยของ Shriver และ Dague (1978) ทำงโดย Reife and Freeman, 1996 ได้กล่าวว่าน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมจะย่อยสลายได้ช้ากว่าน้ำเสียจากชุมชน โดยทำการทดลองวัดค่าบีโอดีเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน พบว่า น้ำเสียจากโรงฟอกย้อมถูกย่อยสลาย 31% ในขณะที่น้ำเสียชุมชนจะถูกย่อยสลาย 92%

Shaul และคณะ ได้อธิบายไว้ว่า กลไกแรกที่สำคัญสำหรับการกำจัดสีโดยกระบวนการทางชีวภาพแบบแอโรบิก คือการดูดติดผิวโดยสลัดจ์ ความสามารถในการกำจัดสีขึ้นอยู่กับสมบัติของฟล็อก โครงสร้างและโมเลกุลของสี จำนวนและตำแหน่งของกลุ่มย่อย (substitutes) ในโมเลกุลสี ความสามารถในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้น ถ้าหากว่ามีกลุ่มไฮดรอกซิล (OH) , ไนโตร (nitro) , เอโซ (azo) อยู่ในโมเลกุลสี และการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของโมเลกุลสี แต่ถ้าในโมเลกุลของสีมีกลุ่มซัลโฟ (sulfo) อยู่จะทำให้ความสามารถในการกำจัดสีโดยกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ลดลง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสมบัติของฟล็อก, ขนาดพื้นที่ผิวของฟล็อก และค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (electrokinetic potential) โดยพบว่าถ้าเพิ่มพื้นที่ผิว และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะทำให้ความสามารถในการกำจัดสีเพิ่มขึ้น

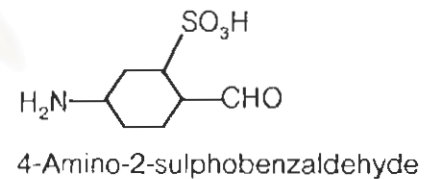
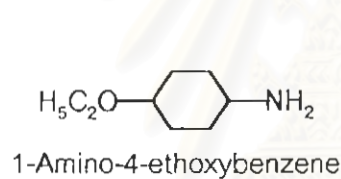
2.6.3.2 กระบวนการแอนแอโรบิก

ภายใต้กระบวนการแอนแอโรบิกสีที่พันธะเอโซจะถูกรีดิวซ์ทำให้พันธะเอโซแตกออก (ซึ่งสามารถแตกได้ทางเคมี และการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะไร้อากาศ) ในกระบวนการแอนแอโรบิก เมื่อพันธะเอโซแตกออกจะเกิดสารอะโรมาติกอะมีน ที่ปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้ต้องมีกระบวนการบำบัดสารเหล่านี้ต่อ จากงานวิจัยโดย Ecological

and Toxicological Association of the Dyestuffs Manufacturely (EDTA) ได้ศึกษาการย่อยสลายสีภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, โซเดียมไฮโปคลอไรต์, ไดเร็กซ์ และมอดแดนต์ ถูกย่อยสลายได้มากกว่า 90% และได้มีการวิเคราะห์พบว่ามีการประกอบจำพวกอะโรมาติกเอมีน ซึ่งมีตัวอย่างตามรูปที่ 2.5 และ 2.6 ที่เป็นตัวอย่างโครงสร้างของสีไดเร็กซ์สีเหลือง 12 และสีเอซิคสีเหลือง 36 ซึ่งถูกย่อยสลายในส่วนที่มีโครงสร้างพันธะเอโซภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก เกิดสารประกอบอะโรมาติกเอมีน



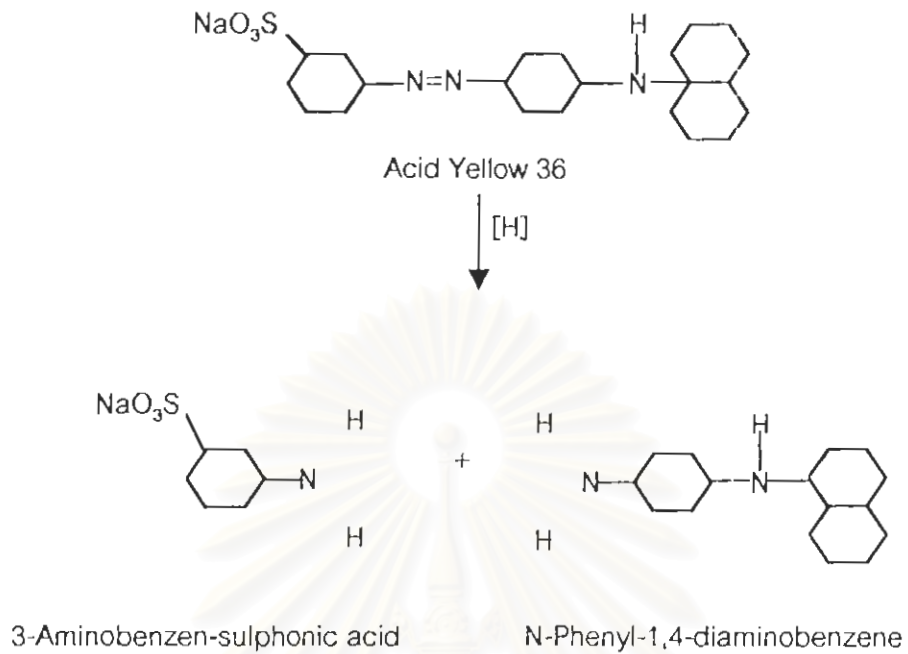
Direct Yellow 12



รูปที่ 2.5 การย่อยสลายสีไดเร็กซ์สีเหลือง 12 ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก

(Reife and Freeman, 1996)

ในงานวิจัยของ Kremer, 1987 อ้างโดย Reife and Freeman, 1996 ที่ทดลองกำจัดสีเอซิคสีแดง 88 ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกผลการทดลองพบว่าสีถูกกำจัดได้ 90% ภายใน 8 ชั่วโมง โดยประมาณเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง ที่ค่าครึ่งชีวิต 6 ชั่วโมง และผลจากการรีดิวซ์สีมีสาร naphthionic acid และ 1-amino-2-naphthol ซึ่งเป็นสารอะโรมาติกเอมีน ที่เกิดจากการแตกพันธะเอโซ และจากผลการทดลองพบว่าอัตราการลดสีและขบวนการเมตาบอลิซึมเกิดได้เร็วมากขึ้น เมื่อมีการเติมอะซีเตท และโพรพิโอนัท สำหรับเป็นแหล่งสารอาหารและพลังงาน (Reife and Freeman, 1996)



รูปที่ 2.6 การย่อยสลายสีอะซิคลีเหลือง 36 ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก

(Reife and Freeman , 1996)

การย่อยสลายสีภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกจะเกิดสารอะโรมาติกเอมีนที่เป็นพิษเกิดขึ้น ซึ่งต้องใช้กระบวนการแอนแอโรบิกไปย่อยสลายต่อ เพื่อให้สามารถกำจัดสีได้สมบูรณ์ แต่การแตกพันธะเอโซมีผลทำให้

1. ลดสีในน้ำเสีย
2. เป็นการเตรียมน้ำเสียสำหรับส่งต่อไปยังกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิกต่อ (Reife and Freeman, 1996)

2.6.3.3 กระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิก

จากการย่อยสลายสีด้วยกระบวนการแอนแอโรบิกจะเกิดสารประกอบอะโรมาติกเอมีนเกิดขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการใช้กระบวนการแอโรบิกมาย่อยสลายสารที่เกิดขึ้น เพื่อให้ น้ำเสียที่ออกจากระบบไม่มีสารที่เป็นอันตราย

การบำบัดด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิกจะสามารถกำจัดได้สูงกว่ากระบวนการแอนโรบิก คือที่ 88 กับ 28% (Reife and Freeman, 1996) ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดสีด้วยวิธีดังกล่าวนี้จะกล่าวในส่วนต่อไป

2.7 การกำจัดไนโตรเจน

2.7.1 ไนโตรเจนในน้ำเสีย

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียมมี 4 ชนิด คือ อินทรีย์ไนโตรเจน, แอมโมเนีย, ไนไตรต์ และไนเตรต ซึ่งการกำจัดไนโตรเจนสามารถทำได้ด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์, เคมี และชีวภาพ แต่พบว่าวิธีทางชีวภาพเป็นวิธีที่ประหยัดและเหมาะสมที่สุด

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียมีผลทำให้เกิดปัญหา คือ ถ้ามีแอมโมเนียที่ความเข้มข้นสูงกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ แอมโมเนียมีพิษหรือแอมโมเนียจะไปใช้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำทำให้แหล่งน้ำนั้นมีออกซิเจนละลายลดน้อยลง ไนโตรเจนทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไปก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เรียกว่า Eutrophication และทำให้แหล่งน้ำนั้นๆ เกิดภาวะขาดออกซิเจนทำให้น้ำเน่าเสีย จนสิ่งมีชีวิตอื่นไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ ไนเตรตมีอันตรายต่อเด็กทารกทำให้เด็กขาดออกซิเจน มีอาการหายใจไม่ออก และตัวเขียว หรือที่เรียกว่า Blue Babies หรือ methemoglobinemia ทำให้รัฐบาลสหรัฐอเมริกาออกกฎหมายควบคุมไม่ให้มีไนเตรตในน้ำประปาเกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรต์ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นพิษต่อปลา และไนเตรตเมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบอะมีนจะเกิดเป็นสารก่อมะเร็ง (สุรพลสายพานิช)

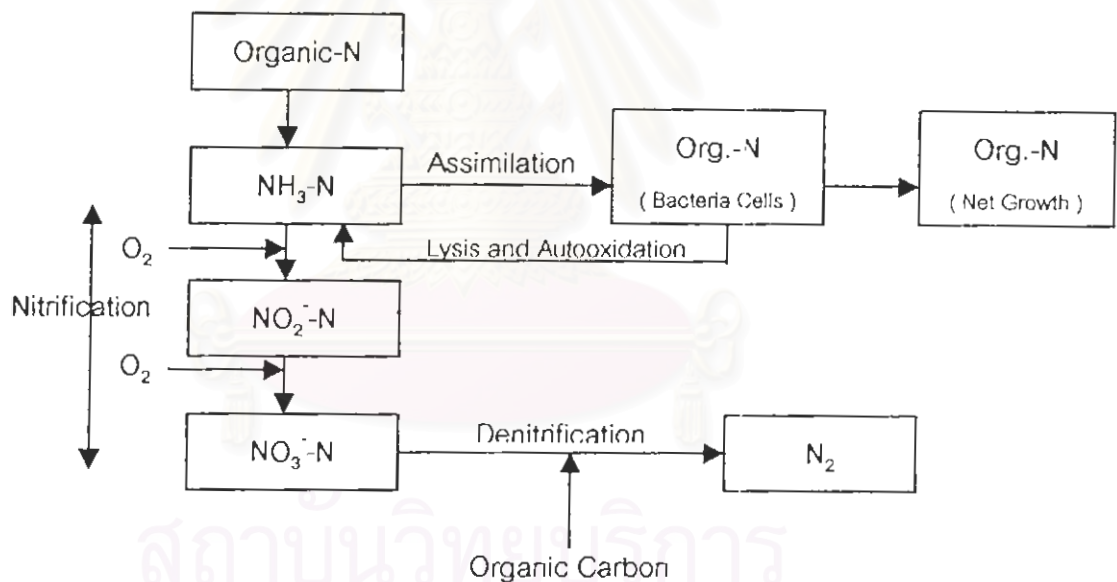
สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนียโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ต่างๆ เรียกว่ากระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) แอมโมเนียจะถูกนำไปใช้สร้างเซลล์ (Assimilation) หรือแบคทีเรียประเภทออโตโทรฟเปลี่ยนเป็นไนไตรต์และไนเตรตผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน ไนไตรต์ และไนเตรตถูกกำจัดออกจากน้ำเสียด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่เปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน

2.7.2 การกำจัดไนโตรเจนด้วยวิธีชีวภาพ

การกำจัดด้วยวิธีชีวภาพมีข้อดี คือ (Metcalf and Eddy, 1991)

1. ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง
2. ระบบมีเสถียรภาพและน่าเชื่อถือ
3. ง่ายต่อการควบคุมการทำงาน
4. ใช้พื้นที่น้อย
5. ราคาไม่แพง

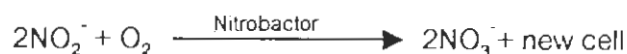
การเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนในรูปต่างๆของกระบวนการทางชีวภาพตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในกระบวนการทางชีวภาพ (Sediak, 1991)

2.7.3 การกำจัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรต์ซึ่งเป็นสารตัวกลางก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นไนเตรตต่อไปโดยออกซิโดไนโตรบิกแบคทีเรียสายพันธุ์ *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* ตามปฏิกิริยาดังนี้



สมการรวมจะเป็นดังนี้



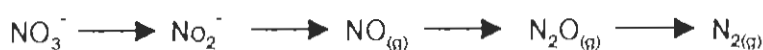
2.7.4 การกำจัดไนไตรต์และไนเตรตด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนไนไตรต์เป็นไนเตรตและก๊าซไนโตรเจนตามลำดับด้วยปฏิกิริยารีดักชัน ไนไตรต์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และมีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน โดยเฮเทอโรโทรปแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอิสระ จุลินทรีย์ที่พบมีหลายชนิด เช่น *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Proteus* และ *Pseudomonas* (ธีระ เกรอต, 2539)

ระบบเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับรีดักชันไนเตรตมี 2 แบบคือ

1. Assimilation จะแปลงไนเตรตเป็นแอมโมเนีย สำหรับใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ (Biosynthesis) และจะทำหน้าที่เมื่อไนเตรตเป็นรูปเดียวของไนโตรเจนที่นำไปใช้ได้
2. Dissimilatory จะแปลงไนเตรตเป็นก๊าซไนโตรเจนและเป็นตัวรับผิชอบในการเกิดไนตริฟิเคชันในน้ำเสีย

ขั้นตอนการรีดักชันของไนเตรตเป็นตามขั้นตอนดังนี้



2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการลดสีข้ม

Zaoyan และคณะ (1992) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียสีข้มด้วยกระบวนการอาร์บีซี ประกอบด้วยแอนแอโรบิกอาร์บีซี และแอโรบิกอาร์บีซี และสกัดจำนวนลอยในถังปฏิกรณ์ พบว่าประสิทธิภาพการลดสีเป็น 71.6% และเมื่อทดลองโดยใช้แอโรบิกอาร์บีซีเพียงอย่างเดียวจะลดสีได้น้อยกว่าในกระบวนการแอนแอโรบิก สีและสารย่อยสลายยากจะถูกเปลี่ยนเป็นสารที่ย่อยง่าย และต้องมีขบวนการแอโรบิกมาย่อยสลายต่อ การย่อยสสารประกอบที่มีพันธะเอโซสามารถย่อยได้ในสภาวะแอนแอโรบิก และแอโรบิกแต่สามารถเกิดได้ดีในแอนแอโรบิก และในขั้นที่สองเป็นสภาวะแอโรบิก เป็นการย่อยสลายสารอะโรมาติกเอมีน ที่เป็นพิษและเป็นสารก่อมะเร็ง

Carliell และคณะ (1994) ศึกษาการลดสีรีแอกทีฟในสภาวะแอนแอโรบิกโดยเติมกลูโคสเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน ใช้สีเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าสีรีแอกทีฟจะถูกกำจัดโดยกระบวนการรีดักชันภายใต้สภาวะไร้อากาศที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนให้ระบบ และจะเกิดการลดสีหลังจากที่ไนเตรตถูกกำจัดไปแล้ว เมื่อศึกษาขบวนการเมตาบอลิซึมของสี C.I. Reactive Red 141 จะพบสาร 4 ชนิด คือ 2-aminonaphthalene-1,5-disulphonic acid , 1,7-diamino-8-naphtho-3,6-disulphonic และ p-dimino-benzene และส่วนที่ 4 ไม่สามารถที่ขจัดลงไปได้แต่คาดว่าเป็น cyanuric acid จากผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกพันธะเอโซในโมเลกุลสีจะแตกออกทำให้สีลดลง และตามด้วยการแตกพันธะเอมีนระหว่างโครโมฟอร์และกลุ่มรีแอกทีฟ และภายในกลุ่มรีแอกทีฟเอง

Nigam และ Marchant (1995) ศึกษาการลดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกข้อมด้วยถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพแบบไหลขึ้น ด้วยแบคทีเรียที่แยกเชื้อได้จากดินบริเวณที่ทางน้ำออกของโรงงาน ด้วยวัสดุตัวกลางที่แตกต่างกัน 9 ชนิด แล้วเปรียบเทียบอัตราการลดสีและเซลล์แบคทีเรียที่ปนออกมาในน้ำออก พบว่า foam, vermiculite และ nylon-web สามารถลดสีได้เร็วแต่ฟิล์มแบคทีเรียไม่สามารถใช้งานได้นานอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ใช้ mineral kissins, biofixation และ กรวด เป็นตัวกลางจะไม่มีเซลล์ปนออกมาในน้ำออก

Nigam และคณะ (1996) ได้ศึกษาน้ำกลุ่มแบคทีเรียและที่คัดแยกเชื้อลดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมภายใต้สภาวะไร้อากาศโดยทดลองกับสีย้อม 9 ชนิด และทดลองแยกชนิดของแบคทีเรียออกจากกลุ่มแบคทีเรีย พบแบคทีเรียที่ได้ คือ *Alcaligenes faecalis* และ *Comamonas acidovorans* ซึ่งพบว่ากลุ่มจุลินทรีย์สามารถลดสีได้สูงกว่าแบคทีเรียสายพันธุ์เดียว และการลดสีจะขึ้นกับสารอาหารที่เติมลงไปเป็นแหล่งสารอาหารและพลังงาน โดยถ้าไม่มีสารอาหารจะไม่เกิดการลดสี และเมื่อเทียบประสิทธิภาพการลดสีเมื่อเติมสารอาหารที่ต่างกันมีประสิทธิภาพ ตามนี้คือ กลูโคส, กลีเซอรอล, แลคโตส, แป้งมัน และโมลาส เป็น 82%, 71%, 71%, 52% และ 39% ตามลำดับ

Oxpring และคณะ (1996) ศึกษาการลดสีและขบวนการเมตาบอลิซึมของสีรีแอกทีฟด้วยถังกรองแอนแอโรบิกแบบไหลขึ้น ด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มี *Alcaligenes faecalis* และ *Comamonas acidovorans* เป็นสายพันธุ์เด่น ใช้กรดเป็นวัสดุตัวกลางสามารถกำจัดสีได้มากกว่า 95% ภายใน 48 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 0.5 กรัมต่อลิตร และเมื่อตรวจหาสารอินทรีย์ที่เหลือหลังจากที่สีลดแล้วพบสารที่คาดว่าน่าจะเป็นสารประกอบอะโรมาติกเอมีน

กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์, 2539 ศึกษาถึงอิทธิพลของผงถ่านกัมมันต์ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม โดยใช้น้ำเสียจริงในการทดลองที่มีสีรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งน้ำเสียมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 229-280 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีในช่วง 89-122 เอสยู พบว่าผงถ่านกัมมันต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ได้ดีขึ้น คือ เมื่อเติมผงถ่านมากขึ้นทำให้ความสามารถในการกำจัดสีได้มากขึ้น แต่ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากนัก แต่เมื่อเปรียบเทียบสลัดจ์ที่เกิดในระบบแพคท์จะมีปริมาณมากกว่าสลัดจ์ที่เกิดในระบบเอเอสประมาณ 4.5 เท่า

จินตนา แป้นสุวรรณ, 2539 ศึกษาการกำจัดสีจากโรงฟอกย้อมด้วยกระบวนการเอสบีอาร์แบบธรรมดา และแบบแอนนออกซิก-แอนแอโรบิก/ออกซิก (A_2O -SBR) โดยมีการเติมแหล่งคาร์บอน 2 ชนิด คือ น้ำตาลและกรดอะซิติก เมื่อศึกษาสีที่ต่างชนิดกัน คือ สีดิสเพอร์ส สีรีแอกทีฟ สีซัลเฟอร์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดเรียงจากมากไปน้อย สีดิสเพอร์สและสีซัลเฟอร์มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงในช่วงออกซิก เนื่องจากสีทั้งสองละลายน้ำได้ไม่ตั้งถูกกำจัดโดยกระบวนการดูดติดผิวของฟล็อกของแบคทีเรีย ส่วนการกำจัดสีรีแอกทีฟจะมีประสิทธิภาพการกำจัดในช่วงแอนนออกซิก-แอนแอโรบิกสูง อาจเนื่องจากสีรีแอกทีฟมีความสามารถในการละลายน้ำสูงจึง

ถูกดูดติดที่ผิวฟลักซ์ได้เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในช่วงแอนนออกซิก-แอนแอโรบิกที่ระยะเวลายาวนาน จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสรีรแอกทีฟสูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเอสปีอาร์แบบธรรมดา กับ A_2O -SBR ประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบ A_2O -SBR มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย การกำจัดสารอินทรีย์ ไนโตรเจนรูปทีเคเอ็น และฟอสฟอรัส มีค่าใกล้เคียงกันมาก

โลภา ชินเวชกิจวานิชย์, 2540 ศึกษาการลดสรีรแอกทีฟในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมด้วยระบบยูเอเอสบี พบว่า เมื่อมีการเติมแป้งมันเพื่อเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน มีผลทำให้ประสิทธิภาพการลดสีเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับที่ไม่ได้เติม แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งมันสูงขึ้นพบว่าไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพการลดสีอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบโทนสีที่มีผลต่อการลดสี โทนสีดำมีการลดลงมากกว่าโทนสีแดงและน้ำเงิน เมื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียจริงกับน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าประสิทธิภาพในการลดสีไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่า สารช่วยย้อมต่างๆ ไม่มีผลต่อกระบวนการลดสีโดยแบคทีเรียในถังสังเคราะห์ แต่มีผลต่อการกำจัดซีไอดี

วรวิทย์ เหลืองดิลก, 2541 ศึกษาผลของโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟต่อการลดสีโดยกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิกเอสปีอาร์ โดยทำการทดลองบำบัดน้ำเสียรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินที่มีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน โดยมีการเติมกลูโคสและกรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนที่ความเข้มข้น 20 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า การลดลงของสีในสีย้อมที่โครงสร้างต่างๆกันจะมีประสิทธิภาพการลดสีแตกต่างกันคือ โครงสร้างสีเฮโรจะถูกลดสีโดยการแตกพันธะเฮโร สีโครงสร้างแอนทราควิโนนจะถูกลดโดยกระบวนการดูดซับบนฟลักซ์ สีโครงสร้างออกซาลีนไม่สามารถสรุปกลไกได้เนื่องจากสมบัติทางเคมีที่แปลก และความสามารถในการลดสีจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น

อำพล เตโชวานิชย์, 2541 ศึกษาการกำจัดสรีรแอกทีฟด้วยระบบเอเอส และระบบบีเอ็นอาร์ เนื่องจากผลของระยะเวลาที่แอนแอโรบิก และความเข้มข้นของสีที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี คาร์บอนอินทรีย์ และฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณสีที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์ ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสเล็กน้อย ระบบเอเอสกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีไม่เท่าระบบบีเอ็นอาร์ ในระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกกำจัดสีได้ดีกว่าระบบเอเอสธรรมดา โดยที่ช่วงเวลาที่แอนแอโรบิกที่ยาวนานขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีได้มากขึ้น ความเข้มข้นสีที่มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลง และพบว่ากลุ่มแบคทีเรีย PAOs ไม่ใช่กลุ่มแบคทีเรียหลักในการกำจัดสีในน้ำเสีย

2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ระบบเอสบีบีอาร์บำบัดน้ำเสีย

Martinez และ Wilderer , 1991 ศึกษากระบวนการเอสบีบีอาร์ในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยดำเนินระบบ 2 สภาวะ คือแอนแอโรบิก และแอโรบิก เรียงตามเวลาสลับกันในหนึ่งรอบการทำงาน ในถังปฏิกรณ์รูปทรงคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุตัวกลางที่ผลิตจากพลาสติกสังเคราะห์ โดยมี การหมุนเวียนน้ำเพื่อช่วยในการผสมน้ำและให้น้ำเสียสัมผัสกับแบคทีเรียได้ทั่วถึง พบว่าระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดี และถ้าเพิ่มระยะเวลาใน 1 รอบการทำงานมากขึ้นระบบจะมีเสถียรภาพมากขึ้น

Ivine และคณะ (1993) ใช้ระบบเอสบีบีอาร์ที่เป็นระบบฟิล์มที่เกาะอยู่กับที่ โดยมีการทำงานของระบบเป็นแบบแบตช์ ท่อซิลิโคน (silicon membrane aeration) เป็นทั้งตัวกลางสำหรับเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย และเป็นที่ให้อากาศ ที่เวลาการทำงาน 12 ชั่วโมง เพื่อบำบัดน้ำที่มีสารกลุ่ม BTEX ปนเปื้อนและสรุปได้ว่าการให้ออกซิเจนที่ผ่านเมมเบรนช่วยลดการหลุดรอดของไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยในขณะบำบัดได้ และพบว่าระบบเอสบีบีอาร์เหมาะกับน้ำเสียที่สารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณต่ำๆได้ดี ในการทดลองนี้สามารถลด BTEX ที่ความเข้มข้น 0.6-3.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร

Wilderer , 1995 ได้พูดถึงระบบเอสบีบีอาร์ว่าเหมาะกับการบำบัดน้ำเสียที่ระบบเอสเอสไม่สามารถบำบัดได้ผลดีนัก เนื่องจากในระบบเอสบีบีอาร์จะมีแบคทีเรียที่เจริญเติบโตช้าอยู่หลายกลุ่ม แบคทีเรียที่เกาะที่วัสดุตัวกลางทำให้มีปริมาณสูง และเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างแบคทีเรียกับน้ำเสียมากขึ้น จึงเหมาะกับการบำบัดน้ำที่มีไนโตรเจนโดยจัดระบบให้มีการทำงานแบบสภาวะเติมออกซิเจนและไม่เติมออกซิเจนทำให้เกิด การไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ในการให้อากาศแก่ระบบทำได้โดยใช้เมมเบรนซึ่งสามารถเป็นวัสดุตัวกลางได้ไปในตัว ซึ่งการให้ออกซิเจนแบบนี้สามารถลดปัญหาสารอินทรีย์ระเหยหลุดรอดออกไปกับฟองอากาศหลุดสู่บรรยากาศโดยที่ยังไม่ผ่านการบำบัด

Kaballo และคณะ, 1995 ศึกษาการกำจัดสารคลอโรฟีนอลด้วยระบบเอสบีบีอาร์โดยการศึกษาเปรียบเทียบระบบที่มีการทำงานแบบต่อเนื่อง (continuous) หรือที่เรียก CFBR (continuous flow bioreactor) และระบบที่ทำงานแบบแบตช์ (batch) หรือที่เรียก SBBR

(sequencing batch biofilm reactor) พบว่าที่การะบรทุกสูงๆ ระบบเอสบีบีอาร์จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าระบบซีเอฟบีอาร์ ในระบบเอสบีบีอาร์ที่มีการหมุนเวียนน้ำจะมีมวลจุลชีพกระจายสม่ำเสมอตลอดทั้งคอลัมน์ จึงทำให้ไม่มีการอุดตัน และทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการล้างย้อน แต่จะพบว่าระบบมีปริมาณมวลจุลชีพน้อยกว่าแต่เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการกำจัดจะสูงกว่า ในขณะที่ระบบซีเอฟบีอาร์จะมีมวลจุลชีพเจริญอยู่มากตรงบริเวณทางน้ำเข้าจึงเกิดปัญหาการอุดตันและมีผลทำให้การถ่ายเทออกซิเจนได้ไม่ดีจึงต้องเพิ่มปริมาณอากาศให้ระบบมากขึ้นเพื่อรักษาระดับออกซิเจนละลายให้มีค่าคงที่

ปาจารย์ ทองสนิท , 2539 ศึกษาหาประสิทธิภาพของระบบเอสบีบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียนานจะมีผลทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีสูงกว่า แต่ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีค่าใกล้เคียงกัน สัดส่วนของระยะเวลาเติมอากาศที่สูงขึ้นระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงขึ้น เมื่อศึกษาผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำที่ 0%, 200%, 400% พบว่าที่การหมุนเวียนน้ำสูงกว่าจะมีผลทำให้น้ำหนักแบคทีเรียต่อพื้นที่วัสดุตัวกลางเพิ่มมากขึ้น และมีผลต่อค่าเอสเอสที่ออกจากระบบสูงขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกัน

Kolb และ Wilderer , 1997 ทำการศึกษาโดยนำระบบเอสบีบีอาร์มาบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุตัวกลางที่สามารถดูดซับสารเบนซิน คลอโรฟีนอล และฟีนอล ในน้ำเสีย และมีการเลี้ยงจุลินทรีย์เป็นฟิล์มชีวภาพบนถ่านกัมมันต์ซึ่งช่วยในการรีเจนเนอเรทถ่านไปในตัวแทนที่จะนำถ่านกัมมันต์ออกมารีเจนเนอเรทภายนอก พบว่าสามารถเพิ่มอายุถ่านได้นานขึ้น และสามารถกำจัดสารอินทรีย์ระเหยได้ดี

Hirl และ Irvine , 1997 ใช้ระบบเอสบีบีอาร์แบบแอนแอโรบิกบำบัดน้ำเสียที่มี Perchloroethylene (PCE) และ Trichloroethylene (TCE) ปนเปื้อนที่รอบการทำงาน 24 ชั่วโมง เวลากักน้ำ 2 วัน มีการเติมสารให้อิเล็กตรอนต่างๆ คือ เมทานอล อะซีเทต แลคเตต และคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับก๊าซไฮโดรเจน ระบบเอสบีบีอาร์ที่มีสภาวะแอนแอโรบิกมีการหมุนเวียนน้ำในแนวไหลขึ้นผ่านวัสดุตัวกลางพบว่าระบบแอนแอโรบิกเอสบีบีอาร์จะมีแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถไป dechlorinate ในสาร PCE ได้ในปริมาณมาก ซึ่งจะปลดปล่อยโมเลกุล chlorinated ethylene แล้วสามารถย่อยสลายทางชีวภาพต่อไป

Kaballo , 1997 ทดลองใช้ระบบเอสบีบีอาร์บีบำบัดน้ำเสียที่มีสารคลอโรฟีนอลปนเปื้อน ระบบมีอัตราการหมุนเวียนน้ำ 3.6 ลิตรต่อนาที มีการหาอัตราการลดสารคลอโรฟีนอล การเพิ่มอัตราการผสมโดยการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารเข้าสู่ฟิล์มชีวภาพได้มากขึ้นตาม เนื่องจากมีความปั่นป่วนมากขึ้นและสามารถใช้ออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง เมื่อนำมาคิดหาอัตราการกำจัดจึงมีค่าสูงด้วย และเขายังพูดถึงระบบเอสบีบีอาร์บีข้อดีที่ระบบมีความเสถียรภาพสูง มีขนาดไม่ใหญ่มากในขณะที่มีมวลแบคทีเรียที่สามารถบำบัดน้ำเสียในปริมาณสูงทำให้อัตราการกำจัดจำเพาะสูง และพบว่ามีแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญเติบโตได้ช้าสะสมอยู่ได้เพราะอายุสัปดาห์ไม่ขึ้นกับเวลากักน้ำ และระบบเอสบีบีอาร์บีเป็นระบบที่มีการทำงานเป็นแบบซีฟิงลดการอุดตันเนื่องจากมวลชีวภาพในบริเวณน้ำเข้า จึงลดภาระเรื่องการล้างย้อนไปได้ซึ่งทำให้เป็นการประหยัดน้ำและพลังงาน

White และ Schnabel , 1998 ทดลองใช้ระบบเอสบีบีอาร์บีบำบัดน้ำเสียที่มีไฮยาไนด์ปนเปื้อนโดยใช้ท่อนูมิซิลโคนเป็นที่ให้ออกซิเจน และเป็นตัวกลางไปในตัว มีรอบการทำงาน 24 ชั่วโมง เวลากักน้ำ 1.1 วัน ซึ่งในระบบเอสบีบีอาร์บีจะเหมาะกับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ระเหยปนเปื้อน หรือระบบที่มีต้องการกลุ่มแบคทีเรียที่เจริญเติบโตช้าได้ดี เอสเอสทีเจริญมากเกินที่ไม่ได้เกาะเป็นฟิล์มจะถูกถ่ายออกมากับน้ำออกจากระบบ พบว่าระบบเอสเอสทีบีอาร์บีสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีไฮยาไนด์ปนเปื้อนได้ดี โดยแบคทีเรียใช้ไฮยาไนด์เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน โดยเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย และแอมโมเนียส่วนเกินจะถูกกำจัดเมื่อมีการเติมแหล่งคาร์บอนลงให้ระบบ และระบบนี้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก จึงนำไปบำบัดน้ำได้ในเหมืองที่อยู่ไกลออกไป ทำให้ไม่ต้องขนย้ายน้ำเสียมาบำบัดที่ระบบทำให้ประหยัดค่าขนส่งได้มาก

Chang และคณะ (1999) ทดลองบำบัดน้ำเสียที่มี ABS (acrylonitrile butadiene styrene) ปนเปื้อน ด้วยระบบเอสบีบีอาร์บีที่มีการดำเนินระบบทั้งสภาวะแอนแอโรบิก แอโรบิก แอนน็อกซิก เพื่อการกำจัดไนโตรเจน ในการทำงานของระบบมีการวัดค่าพีเอช, ออกซิเจนละลาย, ไออาร์ทีต่อเนื่องตลอดเวลาเพื่อใช้ค่าไออาร์ทีเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ชี้สภาวะของระบบแทนการตั้งเวลาเพื่อการบ่งชี้สภาวะของระบบ พบว่าระบบเอสบีบีอาร์บีโดยมีไออาร์ทีเป็นตัวชี้สภาวะจะสามารถลดระยะเวลาช่วงทำปฏิกิริยา จาก 480 นาที เหลือ 190-400 นาที (ลดลง 16.7-60.4%) และลดระยะเวลา 1 รอบการทำงานจาก 1440 นาที เหลือ 645-1280 นาที (ลดลง 11.1-55.2%) จากการลดระยะเวลาการทำงานลงทำให้ลดการใช้พลังงานลง รวมถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบลงด้วย โดยในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกในระบบที่มีไออาร์ทีเป็นตัวชี้จะลด

ค่าดีไอซีและซีไอซีได้น้อยกว่า แต่จะมีผลดีกับระบบทำให้มีแหล่งคาร์บอนเหลือเพื่อใช้ในกระบวนการแอนนออกซิก และทำให้ไม่ต้องเติมแหล่งคาร์บอนลงไปอีกในช่วงสถานะแอนนออกซิก ทำให้เกิดดีไนตริฟิเคชันได้สมบูรณ์ขึ้น จึงสามารถกำจัด $\text{NO}_x\text{-N}$ ได้มากกว่า ซึ่งเมื่อสิ้นสุดวัฏจักรการทำงานพบว่าอัตราการกำจัดซีไอซี และดีไอซีจำเพาะสูงกว่าที่ระบบที่ใช้เวลาเป็นพารามิเตอร์สำหรับบ่งชี้สถานะต่างๆของระบบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แผนการทดลองและดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองทั้งหมดที่ห้องปฏิบัติการปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองด้วยระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิกเอสปีอาร์เพื่อลดสีแอกทีฟ โครงสร้างโมโนเอโซ ที่มีการทำงานแบบเติมเข้าและถ่ายออก (เอสปีอาร์) มีการเติมวัสดุตัวกลางลงไปเพื่อให้แบคทีเรียเกาะ และติดตั้งปั๊มหมุนเวียนน้ำเพื่อเป็นการช่วยผสมน้ำในถังปฏิกรณ์ การทดลองแบ่งสภาวะการทำงานออกเป็นช่วงสภาวะแอนแอโรบิก และแอโรบิก มีรอบการทำงานทั้งหมด 24 ชั่วโมง โดยมีช่วงการเติมน้ำและหยุดรอถ่ายน้ำออกรวม 1 ชั่วโมง ที่เวลากักน้ำ 1.1 วัน ในการดำเนินการทดลองได้ประกอบชุดถังปฏิกรณ์ รวม 3 ถังปฏิกรณ์ มีการทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง เพื่อศึกษาตัวแปรต้น 3 ตัวแปรตามที่จะกล่าวต่อไป รวมทั้งหมด 9 ชุดการทดลอง โดยถังปฏิกรณ์มีปริมาตรทำงาน (work volume) 5 ลิตร เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 4.5 ลิตร ต่อ 1 ถังปฏิกรณ์ มีน้ำเหลือค้างถังปฏิกรณ์ 0.5 ลิตร ที่ 1 รอบการทำงาน 24 ชั่วโมง แผนการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1 และแผนการทำงานในแต่ละการทดลองตามรูปที่ 3.1-3.3

ตัวแปรต้น ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

- ช่วงเวลากัก แอนแอโรบิกที่ 10, 14, 18 ชั่วโมง
- ความเข้มข้นของน้ำตาลทรายโดยเติมเป็นจำนวนเท่าของสีในรูปของ มก./ล.ซีไอดี มีทั้งหมด 5 เท่า คือ 0, 10, 15, 20, 30 เท่า
- อัตราการหมุนเวียนน้ำเพื่อการผสมน้ำในถังปฏิกรณ์มี 60, 100 และ 140 เท่าของปริมาตรน้ำในถังปฏิกรณ์

ตัวแปรตาม ตัวแปรที่ต้องวิเคราะห์

- พีเอช
- อุณหภูมิ

- ออกซิเจนละลาย
- ไออาร์พี
- ซีไอดี
- ทีเคเอ็น
- ค่าความเข้มข้นในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอ (SU and ADMI)
- เอสเอส มวลจุลชีพบนวัสดุตัวกลาง (วิธีการวัดในหัวข้อ 3.6)

ตัวแปรควบคุม ตัวแปรที่กำหนดให้คงที่ได้แก่

- ถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรการทำงาน (work volume) 5 ลิตร เติมน้ำเสีย 4.5 ลิตร น้ำค้างถัง 0.5 ลิตร
- อัตราส่วนนวดอาหารที่เติม COD:N:P เป็น 100:5:1 ซึ่งมีการคำนวณปริมาณที่เติมในภาคผนวก ก
- ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟโครงสร้างโมโนเอโซ 100 มก./ล. ซึ่งนำมาทดลองหาค่าซีไอดีได้ 52 มก./ล.
- ระยะเวลารอบการทำงาน 24 ชม. และระยะเวลาช่วงเติมและถ่ายน้ำออก 1 ชม.

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง

| ชุดการทดลองที่ | อัตราส่วน สีต่อน้ำตาล | ระยะเวลา (ชม.) | | จำนวนเท่าการ หมุนเวียนน้ำ |
|----------------|--------------------------|----------------|---------|------------------------------|
| | | แอนแอโรบิก | แอโรบิก | |
| 1.1 | 1:20 | 10 | 13 | 500 |
| 1.2 | 1:20 | 14 | 9 | 500 |
| 1.3 | 1:20 | 18 | 5 | 500 |
| 2.1 | 1:0 | 18 | 5 | 500 |
| 2.2 | 1:10 | 18 | 5 | 500 |
| 2.3 | 1:15 | 18 | 5 | 500 |
| 3.1 | 1:30 | 18 | 5 | 700 |
| 3.2 | 1:30 | 18 | 5 | 300 |
| 3.3 | 1:30 | 18 | 5 | 500 |

หมายเหตุ

- ความเข้มข้นของน้ำตาลทรายเป็นอัตราส่วนสี่ต่อม : น้ำตาลในหน่วย มก./ล.ซีไอดี

3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

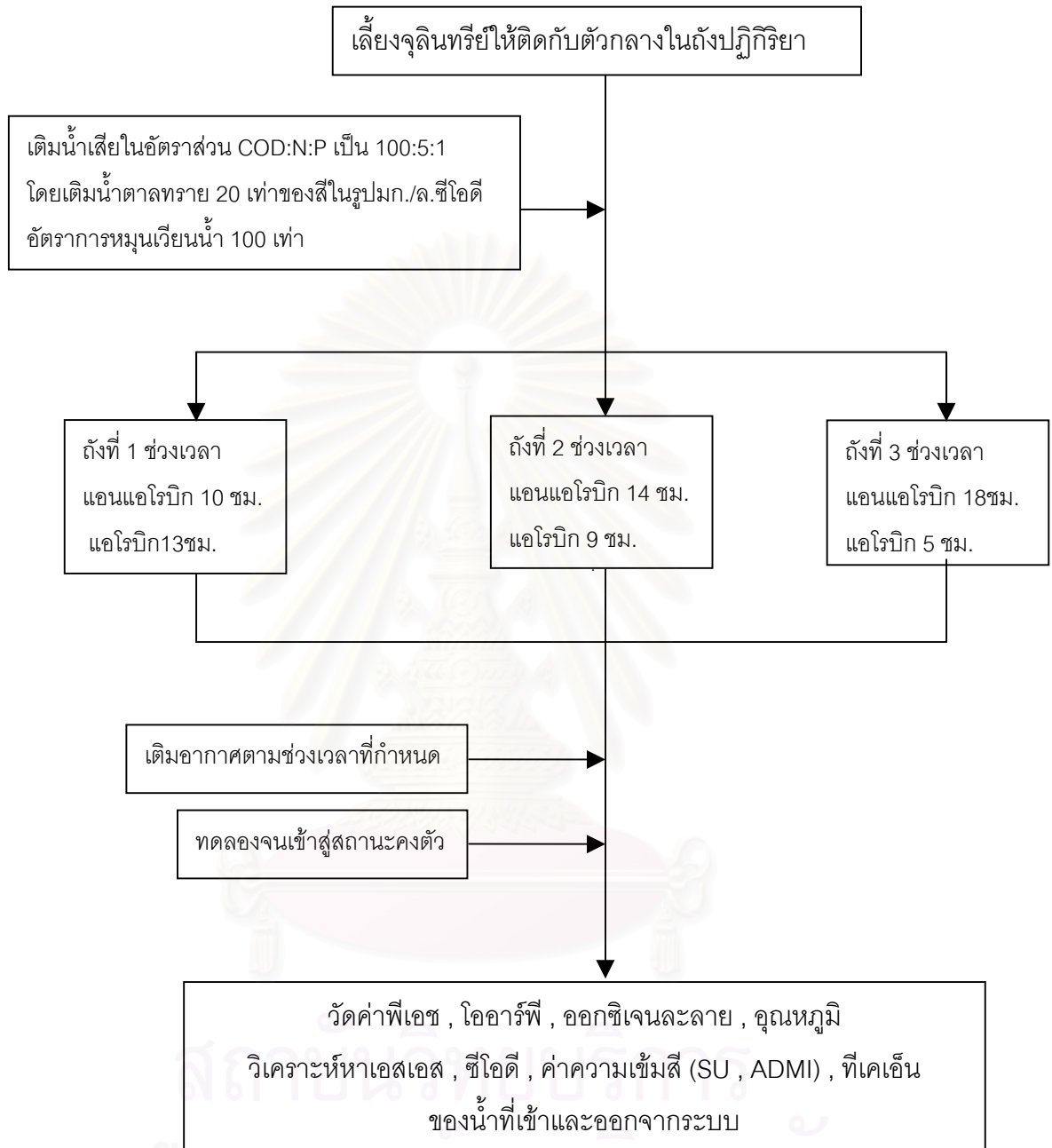
น้ำเสียในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมน้ำตาลซึ่งเป็นสารอาหารย่อยง่ายที่อัตราส่วนกับสีตามการทดลองในแต่ละการทดลอง เติมสีรีแอกทีฟ โครงสร้างโมโนเอโซ (มีสูตรโครงสร้างในหัวข้อ 1.1) ความเข้มข้นเท่ากันทุกการทดลองที่ 100 มก./ล. และเติมสารอาหารไนโตรเจนในรูปของยูเรีย ((NH₂)₂CO) ฟอสฟอรัสในรูปของ KH₂PO₄ และเติมไบคาร์บอเนตในรูปของ NaHCO₃ เพื่อรักษาสภาพความเป็นด่าง มีการเติมสารอาหารรอง คือ FeCl₃, CaCl₂, MgSO₄·7H₂O ในปริมาณตามตารางที่ 3.2 โดยเตรียมน้ำเสีย 4.5 ลิตรต่อ 1 ถังปฏิบัติการ

ตารางที่ 3.2 ปริมาณความต้องการสารต่างๆในแต่ละการทดลอง

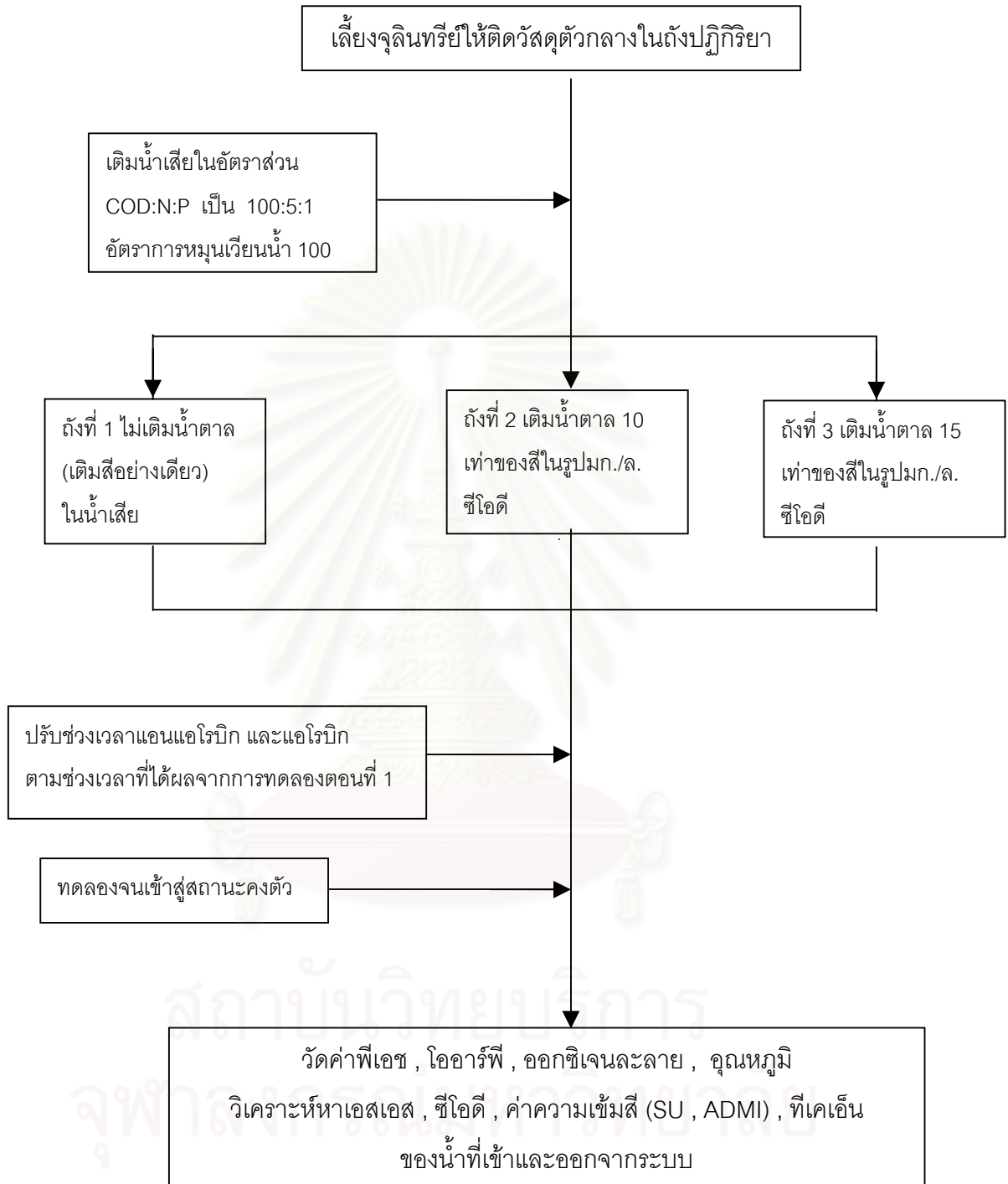
| การทดลองที่ | ปริมาณสารที่ต้องเติม (มก./ล.) | | | | | | |
|-------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|
| | น้ำตาล | (NH ₂) ₂ CO | KH ₂ PO ₄ | NaHCO ₃ | FeCl ₃ | MgSO ₄ ·7H ₂ O | CaCl ₂ |
| 1.1 | 896.53 | 122.57 | 50.24 | 1070 | 5.87 | 115.96 | 79.19 |
| 1.2 | 896.53 | 122.57 | 50.24 | 1070 | 5.87 | 115.96 | 79.19 |
| 1.3 | 896.53 | 122.57 | 50.24 | 1070 | 5.87 | 115.96 | 79.19 |
| 2.1 | 0 | 5.57 | 2.29 | 49 | 0.27 | 5.27 | 3.60 |
| 2.2 | 448.27 | 61.29 | 25.12 | 535 | 2.93 | 57.98 | 39.59 |
| 2.3 | 672.41 | 87.75 | 35.96 | 725 | 4.20 | 83.02 | 100.78 |
| 3.1 | 1344.83 | 175.50 | 71.93 | 1450 | 8.40 | 166.04 | 113.38 |
| 3.2 | 1344.83 | 175.50 | 71.93 | 1450 | 8.40 | 166.04 | 113.38 |
| 3.3 | 1344.83 | 175.50 | 71.93 | 1450 | 8.40 | 166.04 | 113.38 |

หมายเหตุ

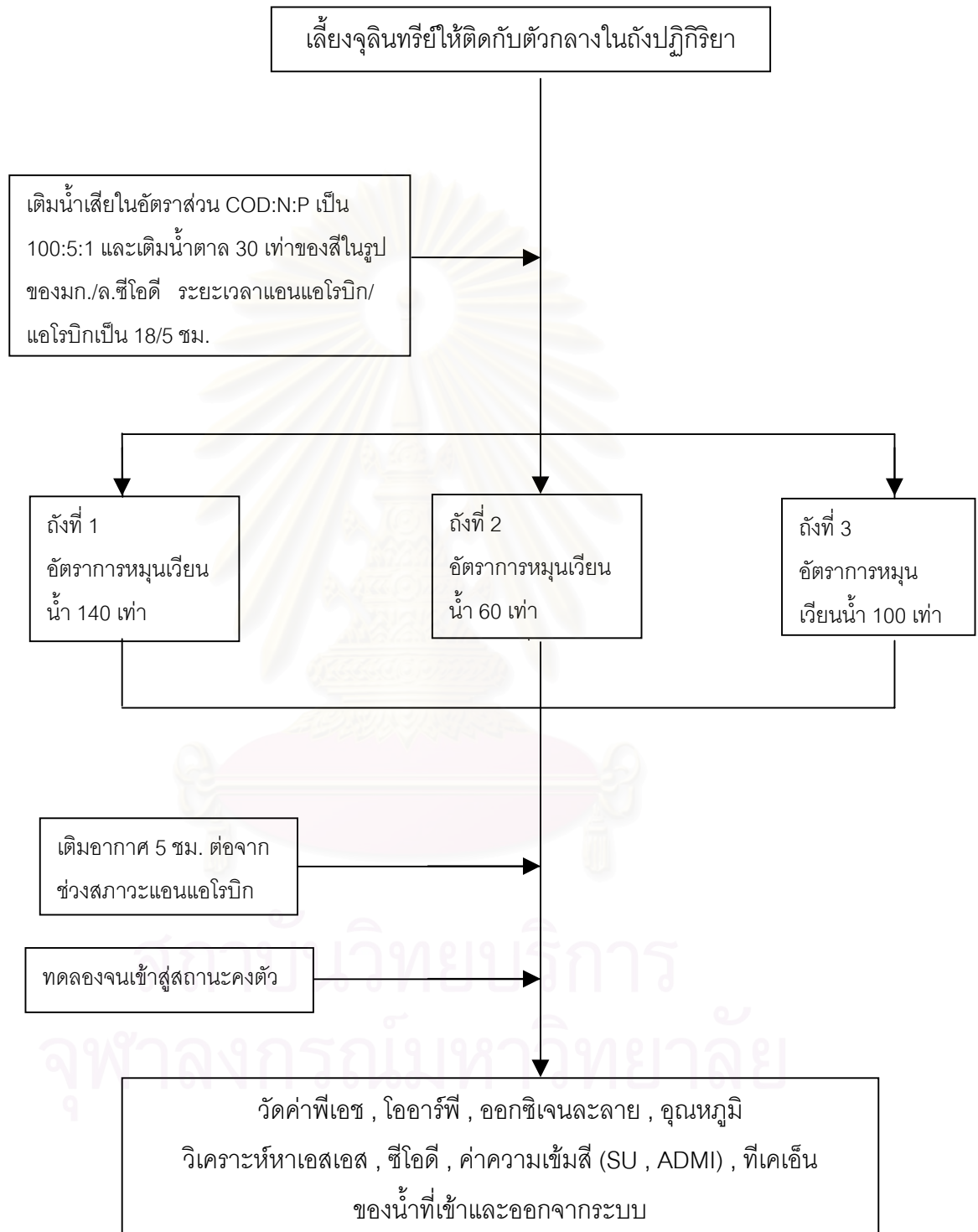
- เติมสีรีแอกทีฟ 100 มก./ล. เท่ากันทุกการทดลอง
- น้ำตาล 1 มก./ล. ให้ซีไอดี 1.16 มก./ล.



รูปที่ 3.1 แผนการทำงานการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของระยะเวลาที่แวนแวนโรบิก



รูปที่ 3.2 แผนการทำงานการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอัตราส่วนสารอาหารย่อยง่าย(น้ำตาล)



รูปที่ 3.3 แผนการทำงานการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอัตราการผลิตแอมโมเนีย

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.3.1 ถังปฏิกริยา มีรูปแบบเป็นทรงกระบอกสูงทำจากพลาสติกอะคริลิกใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ที่ความสูงจากก้นถังปฏิกริยา 10 เซนติเมตร ติดตะแกรงเพื่อรองวัสดุตัวกลาง และช่วยกระจายน้ำและอากาศ บรรจุวัสดุตัวกลางผลิตจากพลาสติกโพลีโพรไพลีนที่มีลักษณะเป็น hollow pellet เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 4 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางใน 3 มม. ยาว 5 มม. ความหนาแน่น 1.003 กรัม/ลบ.ซม. สูงประมาณ 60 ซม.หนัก 1.48 กก. มีพื้นที่ผิว 0.64 ตร.ม./กรัมวัสดุตัวกลาง มีลักษณะตามภาพที่ 3.1 มีการต่อปั๊มรีดสายสำหรับหมุนเวียนน้ำเพื่อช่วยให้น้ำสัมผัสกับวัสดุตัวกลางได้ทั่วถึง โดยมีลักษณะถังปฏิกริยาตามรูปที่ 3.4 และภาพชุดการทดลองตามภาพที่ 3.2

3.3.2 ปั๊มรีดสาย (peristaltic pump) Watson Marlow 604U/R ที่มีความเร็วสูงสุด 165 รอบต่อนาที สำหรับหมุนเวียนน้ำเพื่อช่วยในการผสมน้ำในถังปฏิกริยา

3.3.3 เครื่องเติมอากาศ ใช้ แบบที่ใช้เติมอากาศในตู้ปลา

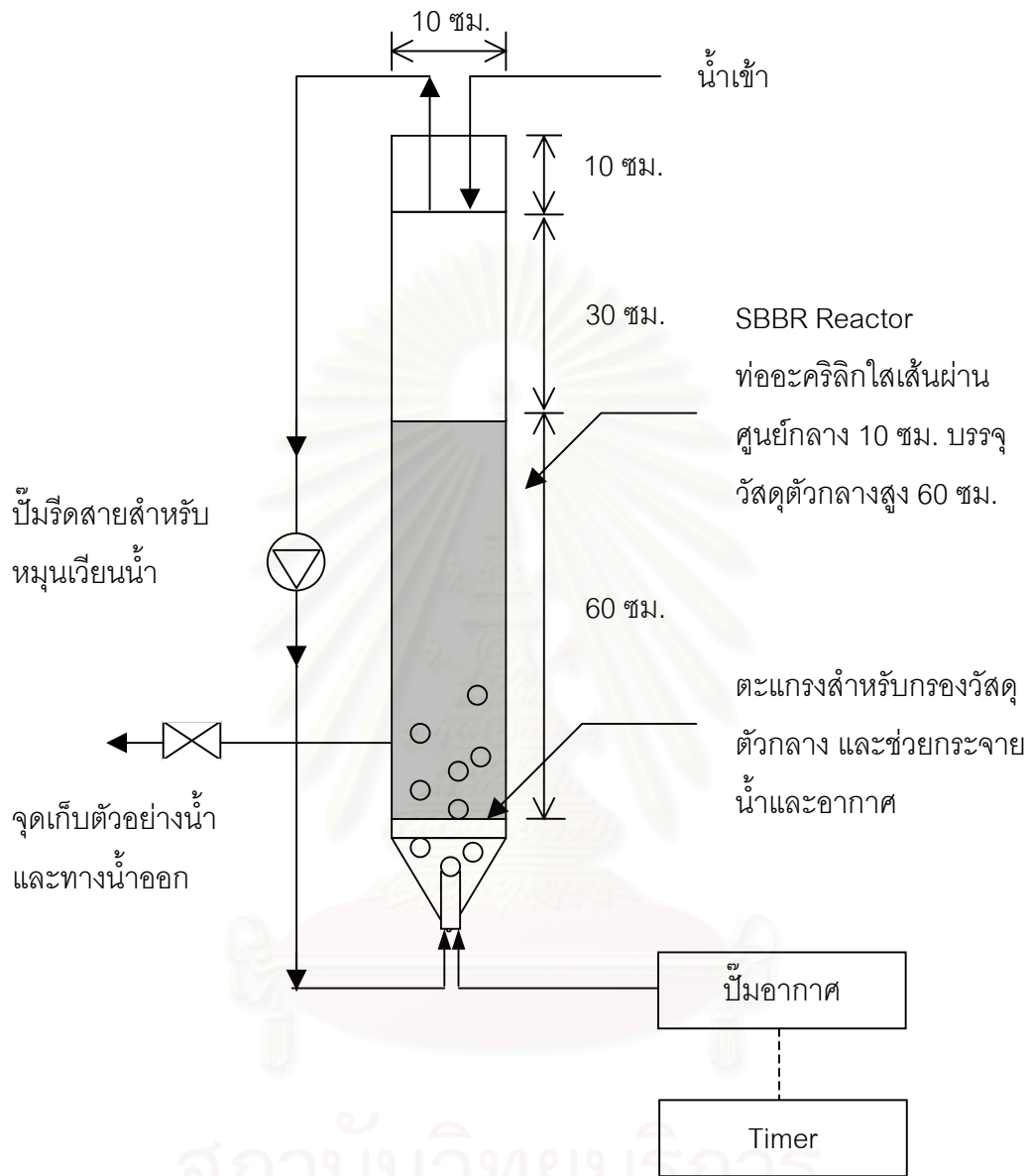
3.3.4 ถังสำหรับเตรียมน้ำเสียเข้าระบบ และสำหรับถ่ายน้ำออกรวม 4 ใบ

3.3.5 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์ และสีรีแอกทีฟ

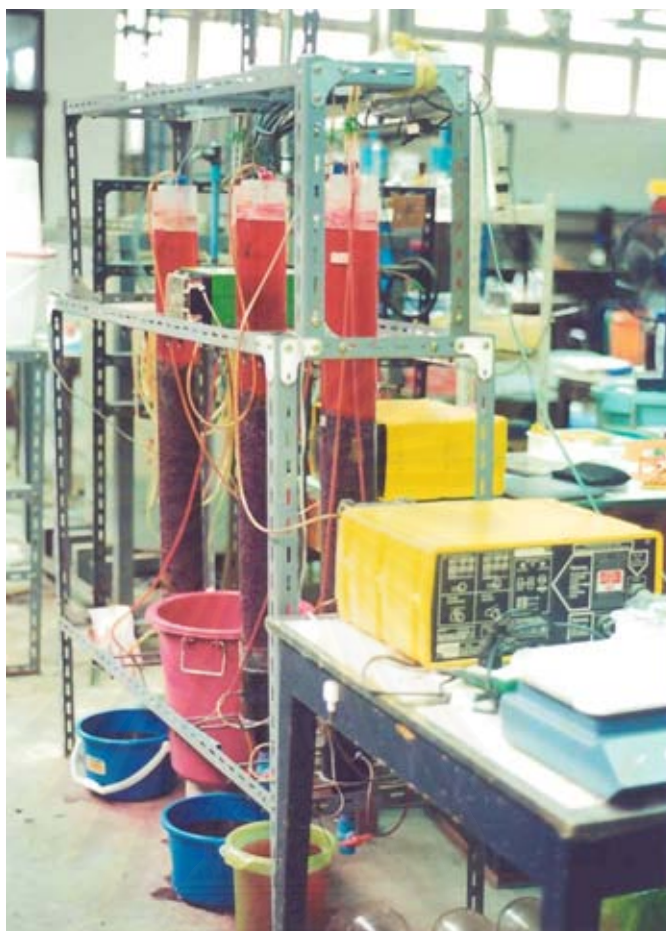
3.3.6 นาฬิกาจับเวลา



ภาพที่ 3.1 ลักษณะวัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.4 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ระบบเซลล์ปีปาร์



ภาพที่ 3.2 ชุดการทดลองกระบวนการเอสบีอาร์

3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำทำการเก็บที่ตำแหน่งต่างๆ ตามตารางที่ 3.3 โดยการเก็บตัวอย่างน้ำเข้าจะเก็บก่อนที่น้ำเสียจะเข้าระบบ การเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงสภาวะแอนแอโรบิก และแอโรบิกจะเก็บก่อนตอนปลายสภาวะในแต่ละช่วง

การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาค่าเอสเอสจะเก็บจากถังน้ำออกแล้วคววน้ำก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ ส่วนการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์เอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ของในส่วนของน้ำใสเหนือวัสดุตัวกลางจะเก็บจากในถังปฏิกริยาตอนช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก โดยจะเก็บในตอนที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว

การเก็บวัสดุตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์มวลจุลชีพที่เกาะที่วัสดุตัวอย่าง จะสุ่มเก็บหลังจากที่ถ่ายน้ำเสียออกจากถังปฏิบัติการตอนจบรอบการทำงาน หลังจากเก็บโพรไฟล์ของแต่ละการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว

ตาราง 3.3 ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

| พารามิเตอร์ | ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำ | | | |
|----------------------------|---|------------|----------|--------|
| | น้ำเข้า | แวนแอโรบิก | แอโรบิก* | น้ำออก |
| พีเอช | 3/wk | 3/wk | 3/wk | - |
| ไออาร์พี | - | 3/wk | 3/wk | - |
| ออกซิเจนละลาย | - | 3/wk | 3/wk | - |
| อุณหภูมิ | - | 3/wk | 3/wk | - |
| ซีโอดี | 3/wk | 3/wk | - | 3/wk |
| ทีเคเอ็น | 3/wk | 3/wk | - | 3/wk |
| ความเข้มข้นหน่วยเอ็ดเอ็มไอ | 3/wk | 3/wk | - | 3/wk |
| ความเข้มข้น (SU) | 3/wk | 3/wk | - | 3/wk |
| เอสเอส | - | - | - | 3/wk |
| มวลจุลชีพบนตัวอย่าง | วิเคราะห์หลังจากที่เก็บโพรไฟล์เสร็จในแต่ละการทดลองเสร็จแล้ว** | | | |

หมายเหตุ

3/wk หมายถึง ทำการเก็บตัวแปร 3 ครั้งต่อสัปดาห์

- * ตัวอย่างน้ำออกเป็นตัวอย่างเดียวกับตัวอย่างน้ำปลายสภาวะแอโรบิก
- ** วิธีการอ้างอิงใน S.Takizawa, 1996.

3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นจะวิเคราะห์ตามคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อม หนังสือมาตรฐานอเมริกา (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 1995) และวิธีหามวลจุลชีพอ้างอิงใน S. Takizawa, 1996 ในหัวข้อ 3.6

ตาราง 3.4 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

| พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์ | หมายเหตุ |
|-----------------|---|-------------------------------------|
| พีเอช | Electronic pH meter with glass electrode Method | Horiba F-13 |
| ออกซิเจนละลาย | Membrane Electrode Method | YSI model 52 |
| โออาร์พี | Electronic ORP meter with Platinum Electrode | Radiometer PHM 80 |
| อุณหภูมิ | Thermometer Method | YSI model 52 |
| ซีโอดี | Dichromate Close Reflux Method | Memmert (150°C) |
| เอสเอส | GF/C drying at 103°C | Heraew (103°C) |
| ทีเคเอ็น | Digestion and Titration | - |
| สี | Spectrophotometer Method | Shimadzu uv-1201 |
| เอ็มแอลเอสเอส | GF/C drying at 103°C | Heraew (103°C) |
| เอ็มแอลวีเอสเอส | GF/C drying at 103°C + 550°C | Heraew (103°C) +Carbolite(550°C) |
| มวลดจุลชีพ | Sonification +drying at 103°C | Ultrasonic Probe |

3.5 การวัดสี

นำตัวอย่างที่ต้องการวัดสีมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ก่อน แล้วนำไปกรองอีกทีด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน จากนั้นนำเข้าเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์สแกนสีวัดออกมาเป็นค่าแอมบซอบแนนต์และค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 ถึง 700 นาโนเมตร พื้นที่ใต้กราฟระหว่างค่าแอมบซอบแนนซ์กับความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตรจะเป็นค่าสีหน่วยเอสยู (Gregor, 1992) ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ที่ความยาวคลื่นทุกๆ 10 นาโนเมตร ตั้งแต่ 400 ถึง 700 นาโนเมตร จะนำมาคำนวณเป็นค่าสีเอดีเอ็มไอ (Allen และคณะ, 1973 ; Standard Methods, 1995)

3.6 การหาปริมาณมวลชีวภาพ

วิธีหามวลชีวภาพอ้างอิงใน S.Takizawa, 1996 โดยสรุปได้ดังนี้

- 1.) นำวัสดุตุ้บกลางที่มีมวลชีวภาพเกาะมาชะล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อให้เซลล์แบคทีเรียที่ใช่เป็นฟิล์มหลุดออกเพื่อจะได้หามวลที่เป็นฟิล์มชีวภาพที่แท้จริง
- 2.) เติมน้ำกลั่น 10 มล. ลงในบีกเกอร์ที่มีวัสดุตุ้บกลางที่ผ่านการล้างในข้อที่ 1 แล้ว และนำหัวจุ่มอุลตราโซนิคจุ่มลงไป 10 นาที เพื่อให้แบคทีเรียที่เกาะหลุดออกมา
- 3.) แยกวัสดุตุ้บกลางที่ฟิล์มแบคทีเรียหลุดออกแล้ว กับน้ำที่มีเซลล์จุลินทรีย์ปะปน
- 4.) นำวัสดุตุ้บกลางที่ล้างสะอาดไปอบที่ 103°C นาน 2 ชม. ชั่งน้ำหนัก
- 5.) นำน้ำที่มีเซลล์จุลินทรีย์ไปทำการไล่น้ำออก แล้วอบที่ 103°C นาน 2 ชม. ชั่งน้ำหนักของมวลจุลินทรีย์

$$\text{มวลจุลินทรีย์} = X \cdot (a/b) \quad (\text{กรัมเอสเอส/ลิตร})$$

$$X = \text{น้ำหนักแห้งของเซลล์จุลินทรีย์ (กรัม)}$$

$$a = \text{ความหนาแน่นของวัสดุตุ้บกลาง (กรัม/ลิตร)}$$

$$b = \text{น้ำหนักแห้งของวัสดุตุ้บกลาง (กรัม)}$$

3.7 ลักษณะและการหาพื้นที่ผิวของวัสดุตุ้บกลาง

ในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองด้วยการบำบัดแบบฟิล์มชีวภาพจึงต้องมีการใช้วัสดุตุ้บกลาง วัสดุตุ้บกลางที่ใช้เป็นพลาสติกสังเคราะห์เพื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยผลิตจากพลาสติกโพลีโพรไพลีนที่มีลักษณะเป็น hollow pellet ลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง ตามผิวเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากเพื่อเป็นการเพิ่มผิวให้มากขึ้น เพื่อให้แบคทีเรียเกาะได้มากขึ้น รวมทั้งเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับแบคทีเรียมากขึ้น

การหาพื้นที่ผิวโดยเครื่อง Micromeritics ASAP 2000 (Accelerated Surface Area and Porosimetry System) ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยวิธี BET Surface โดยมีการนำวัสดุตุ้บกลางน้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม นำไปอบที่ 103°C องศาเซลเซียส เพื่อ

ไล่ความชื้นและนำเข้าเครื่องโดยที่มีหลักการคือการไล่น้ำและก๊าซออก แล้วจึงเติมก๊าซไนโตรเจน
ไปเกาะจับที่พื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลางและนำก๊าซที่ไปเกาะที่พื้นที่ผิวมาคำนวณหาเป็นพื้นที่ผิว
ของวัสดุตัวกลางออกมา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลากักแวนแเอโรบิก อัตราส่วนสีต่อน้ำตาล ซึ่งเป็นสารอาหารที่ง่ายเพื่อเป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอน และอัตราการหมุนเวียนน้ำเพื่อช่วยในการผสมน้ำในถังปฏิกรณ์ ที่มีผลต่อการลดสีข้อม โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้สีข้อมรีแอกทีฟ โครงสร้างโมโนอะโซที่ความเข้มข้นสีคงที่ 100 มก./ล. ด้วยกระบวนการแวนแเอโรบิก-แเอโรบิกเอสปีปียาร์ ในกระบวนการเอสปีปียาร์เป็นการทำงานเหมือนระบบเอสปีปียาร์แต่มีการเติมวัสดุตัวกลางให้แบคทีเรียเกาะติด

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง ประกอบด้วย 9 ชุดการทดลอง คือ 3 ชุดแรกเป็นการศึกษาผลของเวลากักแวนแเอโรบิก คือ 10,14 และ 18 ชั่วโมง เมื่อได้เวลากักแวนแเอโรบิกที่มีผลให้ประสิทธิภาพการลดสีที่ดีที่สุด (จาก 3 ชุดการทดลอง ของการทดลองที่ 1) แล้วนำมาศึกษาในการทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนสีข้อมต่อน้ำตาลในหน่วยของซีไอดี 3 ชุดการทดลอง ที่อัตราส่วนเป็น 1:0, 1:10 และ 1:15 ตามลำดับ และในการทดลองที่ 3 ซึ่งเป็นการทดลอง 3 ชุดสุดท้าย เป็นการทดลองหาผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำเพื่อช่วยในการผสม โดยทำการทดลองที่ 60, 100 และ 140 เท่า ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงแผนชุดการทดลองต่างๆ

| การทดลองที่ | ระยะเวลาพัก (ชม.) | | อัตราส่วนสีข้อมต่อน้ำตาล(มก./ล.ซีไอดี) | จำนวนเท่าการเวียนน้ำ (เท่า) |
|-------------|-------------------|----------|--|-----------------------------|
| | แวนแเอโรบิก | แเอโรบิก | | |
| 1.1 | 10 | 13 | 1:20 | 500 |
| 1.2 | 14 | 9 | 1:20 | 500 |
| 1.3 | 18 | 5 | 1:20 | 500 |
| 2.1 | 18 | 5 | 1:0 | 500 |
| 2.2 | 18 | 5 | 1:10 | 500 |
| 2.3 | 18 | 5 | 1:15 | 500 |
| 3.1 | 18 | 5 | 1:30 | 700 |
| 3.2 | 18 | 5 | 1:30 | 300 |
| 3.3 | 18 | 5 | 1:30 | 500 |

งานวิจัยนี้ได้เริ่มประมาณเดือนกันยายน พ.ศ.2542 และได้ดำเนินการทดลองจนถึงเดือนกันยายน พ.ศ.2543 รวมระยะเวลาทำการทดลองประมาณหนึ่งปี ในช่วงแรกของการเริ่มทำการทดลองจะใช้เวลานานเนื่องจากต้องมีการเลี้ยงเชื้อซึ่งพบว่าใช้เวลาประมาณ 3 เดือนเนื่องจากว่าเป็นการเลี้ยงฟิล์มชีวภาพในระบบที่เป็นแบคทีเรีย จึงมีการเกาะตัวของวัสดุตัวกลางเกิดเป็นฟิล์มได้ช้ากว่าระบบต่อเนื่อง และในตอนแรกของการเริ่มทำการทดลองได้เติมน้ำตาลซึ่งเป็นสารอาหารปฐมภูมิที่เป็นแหล่งอาหารและพลังงานในอัตราส่วนที่ต่ำ จึงทำให้สีมีการลดน้อยลง จึงได้มีการปรับอัตราส่วนให้มีการเติมน้ำตาลมากขึ้นทำให้มีการลดลงของสีช้าลงมากขึ้น จึงได้เริ่มการทดลองที่ 1 และในการทดลองนี้ได้ทดลองในช่วงเวลาเดือนธันวาคม พ.ศ.2542 ถึงกลางเดือนเมษายน พ.ศ.2543 ที่ใช้เวลายาวนานเนื่องจากช่วงเดือนธันวาคม ถึงกลางเดือนมกราคมเป็นช่วงที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงลดต่ำลงมากกว่าปกติคือมีอุณหภูมิลดต่ำเหลือประมาณ 18-24 องศาเซลเซียส จากที่อุณหภูมิปกติประมาณอยู่ในช่วง 27-33 องศาเซลเซียส เมื่อสังเกตจากประสิทธิภาพการกำจัดสีในช่วงเริ่มต้นมีประสิทธิภาพสูง แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำลงก็มีผลทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง และเมื่อพ้นช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ การลดลงของค่าความเข้มสีก็สูงขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการลดสีเพิ่มขึ้น และได้ดำเนินการทดลองต่อจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้วได้ทำการเก็บข้อมูลต่อและทำการเก็บโพรไฟล์ตามเวลา หลังจากที่ทำกรเก็บโพรไฟล์เรียบร้อยแล้วได้ทดลองเพื่อหามวลแบคทีเรียที่เกาะติดที่วัสดุตัวกลางโดยขอใช้เครื่องมือจากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งต้องใช้เวลาในติดต่อดำเนินเรื่องขอยืมเครื่องมือจึงมีผลทำให้การทดลองที่ 1 ใช้เวลานานกว่า ในการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 ใช้เวลาในการทดลองแต่ละตอนน้อยลงเนื่องจากผู้วิจัยทำการทดลองได้ชำนาญมากขึ้น และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ก็ได้มีการจัดการเตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว รวมใช้เวลาในการทดลองแต่ละการทดลองประมาณ 2 เดือนครึ่ง

เมื่อแต่ละชุดการทดลองเข้าสู่สถานะคงตัวได้ทำการเก็บตัวอย่างต่อ ได้ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงผลตามตารางที่ 4.2 ถึง ตารางที่ 4.10 และได้ทำการเก็บโพรไฟล์วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามเวลาซึ่งมีข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ง รวมทั้งวัดค่ามวลชีวภาพที่เกาะติดที่วัสดุตัวกลาง ซึ่งมีแสดงค่าเฉลี่ยตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.1 *

| พารามิเตอร์ | น้ำเข้า | แอนแอโรบิก | แอโรบิก |
|------------------------|---------|------------|---------|
| ออกซิเจนละลาย (มก./ล.) | - | 0.08 | 5.83 |
| ไออาร์พี (มิลลิโวลท์) | - | -322 | 66 |
| อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) | - | 31.89 | 29.67 |
| พีเอช | 7.61 | 7.01 | 7.99 |
| ซีไอดีกรอง (มก./ล.) | 1087** | 64 | 59 |
| ทีเคเอ็นกรอง(มก./ล.) | 62** | 29 | 4.72 |
| ดี (เอสยู) | 250 | 145 | 125 |
| ดี(เอดีเอ็มไอ) | 10020 | 5391 | 4502 |

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 7 วัฏจักรที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.2 *

| พารามิเตอร์ | น้ำเข้า | แอนแอโรบิก | แอโรบิก |
|------------------------|---------|------------|---------|
| ออกซิเจนละลาย (มก./ล.) | - | 0.07 | 5.42 |
| ไออาร์พี (มิลลิโวลท์) | - | -347 | 49 |
| อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) | - | 32.2 | 32.2 |
| พีเอช | 7.61 | 6.93 | 7.93 |
| ซีไอดีกรอง (มก./ล.) | 1087** | 66 | 60 |
| ทีเคเอ็นกรอง(มก./ล.) | 62** | 31 | 6 |
| ดี (เอสยู) | 250 | 121 | 104 |
| ดี(เอดีเอ็มไอ) | 10020 | 4113 | 3481 |

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 7 วัฏจักรที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.3 *

| พารามิเตอร์ | น้ำเข้า | แอนแอโรบิก | แอโรบิก |
|------------------------|---------|------------|---------|
| ออกซิเจนละลาย (มก./ล.) | - | 0.07 | 5.36 |
| ไออาร์พี (มิลลิโวลท์) | - | -327 | 39 |
| อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) | - | 29.26 | 30.86 |
| พีเอช | 7.61 | 6.89 | 7.98 |
| ซีไอดีกรอง (มก./ล.) | 1087** | 66 | 62 |
| ทีเคเอ็นกรอง(มก./ล.) | 62** | 32 | 18 |
| ดี (เอสยู) | 250 | 89 | 78 |
| ดี(เอดีเอ็มไอ) | 10020 | 2697 | 2159 |

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 7 วัฏจักรที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 2.1 *

| พารามิเตอร์ | น้ำเข้า | แอนแอโรบิก | แอโรบิก |
|------------------------|---------|------------|---------|
| ออกซิเจนละลาย (มก./ล.) | - | 0.10 | 5.47 |
| ไออาร์พี (มิลลิโวลท์) | - | 12 | 39 |
| อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) | - | 29.06 | 30.03 |
| พีเอช | 7.47 | 7.52 | 7.67 |
| ซีไอดีกรอง (มก./ล.) | 54** | 52 | 53 |
| ทีเคเอ็นกรอง(มก./ล.) | 8** | 8 | 8 |
| ดี (เอสยู) | 251 | 251 | 250 |
| ดี(เอดีเอ็มไอ) | 10037 | 10030 | 9954 |

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 7 วัฏจักรที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 2.2 *

| พารามิเตอร์ | น้ำเข้า | แอนแอโรบิก | แอโรบิก |
|------------------------|---------|------------|---------|
| ออกซิเจนละลาย (มก./ล.) | - | 0.07 | 5.4 |
| ไออาร์พี (มิลลิโวลท์) | - | -311 | 36 |
| อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) | - | 29.33 | 29.79 |
| พีเอช | 7.54 | 6.99 | 8.29 |
| ซีโอดีกรอง (มก./ล.) | 579** | 55 | 53 |
| ทีเคเอ็นกรอง(มก./ล.) | 45** | 21 | 8 |
| สี (เอสยู) | 251 | 145 | 144 |
| สี(เอดีเอ็มไอ) | 10143 | 6389 | 6336 |

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 7 วัฏจักรที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 2.3 *

| พารามิเตอร์ | น้ำเข้า | แอนแอโรบิก | แอโรบิก |
|------------------------|---------|------------|---------|
| ออกซิเจนละลาย (มก./ล.) | - | 0.07 | 5.19 |
| ไออาร์พี (มิลลิโวลท์) | - | -320 | 35 |
| อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) | - | 28.89 | 29.44 |
| พีเอช | 7.63 | 6.97 | 8.26 |
| ซีโอดีกรอง (มก./ล.) | 841** | 64 | 61 |
| ทีเคเอ็นกรอง(มก./ล.) | 58** | 25 | 12 |
| สี (เอสยู) | 252 | 111 | 100 |
| สี(เอดีเอ็มไอ) | 10074 | 3753 | 3494 |

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 7 วัฏจักรที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 3.1 *

| พารามิเตอร์ | น้ำเข้า | แวนแวนโรบิก | แวนโรบิก |
|------------------------|---------|-------------|----------|
| ออกซิเจนละลาย (มก./ล.) | - | 0.07 | 3.89 |
| ไออาร์พี (มิลลิโวลท์) | - | -340 | 25 |
| อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) | - | 28.63 | 29.34 |
| พีเอช | 7.8 | 7.00 | 8.28 |
| ซีไอดีกรอง (มก./ล.) | 1625** | 90 | 84 |
| ทีเคเอ็นกรอง(มก./ล.) | 91** | 51 | 29 |
| สี (เอสยู) | 251 | 70 | 60 |
| สี(เอดีเอ็มไอ) | 10063 | 1640 | 1311 |

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 8 วัฏจักรที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 3.2 *

| พารามิเตอร์ | น้ำเข้า | แวนแวนโรบิก | แวนโรบิก |
|------------------------|---------|-------------|----------|
| ออกซิเจนละลาย (มก./ล.) | - | 0.06 | 3.9 |
| ไออาร์พี (มิลลิโวลท์) | - | -336 | 24 |
| อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) | - | 28.95 | 29.34 |
| พีเอช | 7.8 | 7.00 | 8.28 |
| ซีไอดีกรอง (มก./ล.) | 1625** | 86 | 84 |
| ทีเคเอ็นกรอง(มก./ล.) | 91** | 54 | 29 |
| สี (เอสยู) | 251 | 77 | 60 |
| สี(เอดีเอ็มไอ) | 10063 | 2441 | 1311 |

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 8 วัฏจักรที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 3.3 *

| พารามิเตอร์ | น้ำเข้า | แอนแอโรบิก | แอโรบิก |
|------------------------|---------|------------|---------|
| ออกซิเจนละลาย (มก./ล.) | - | 0.06 | 4.13 |
| ไออาร์พี (มิลลิโวลท์) | - | -338 | 24 |
| อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) | - | 28.69 | 30.35 |
| พีเอช | 7.8 | 7.00 | 8.26 |
| ซีไอดีกรอง (มก./ล.) | 1625 ** | 86 | 84 |
| ทีเคเอ็นกรอง(มก./ล.) | 91 ** | 53 | 29 |
| สี (เอสยู) | 251 | 73 | 64 |
| สี(เอดีเอ็มไอ) | 10063 | 2045 | 1581 |

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 8 วัฏจักรที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยมวลจุลชีพที่เกาะที่วัสดุตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

| การทดลองที่ | อัตราส่วนสี:น้ำตาล (มก./ล.ซีไอดี) | มวลจุลชีพ/พ.ท.ผิววัสดุตัวกลาง | |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| | | gSS/m ² | gVSS/m ² |
| 1.1 | 1:20 | 0.09 | 0.09 |
| 1.2 | 1:20 | 0.09 | 0.08 |
| 1.3 | 1:20 | 0.09 | 0.08 |
| 2.1 | 1:0 | 0.01 | 0.01 |
| 2.2 | 1:10 | 0.08 | 0.07 |
| 2.3 | 1:15 | 0.09 | 0.08 |
| 3.1 | 1:30 | 0.08 | 0.07 |
| 3.2 | 1:30 | 0.1 | 0.08 |
| 3.3 | 1:30 | 0.1 | 0.09 |

หมายเหตุ การวัดมวลจุลชีพทำเมื่อเก็บโพรไฟลีนในแต่ละการทดลองเรียบร้อยแล้ว

และทำการเก็บซ้ำ 3 ตัวอย่างแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

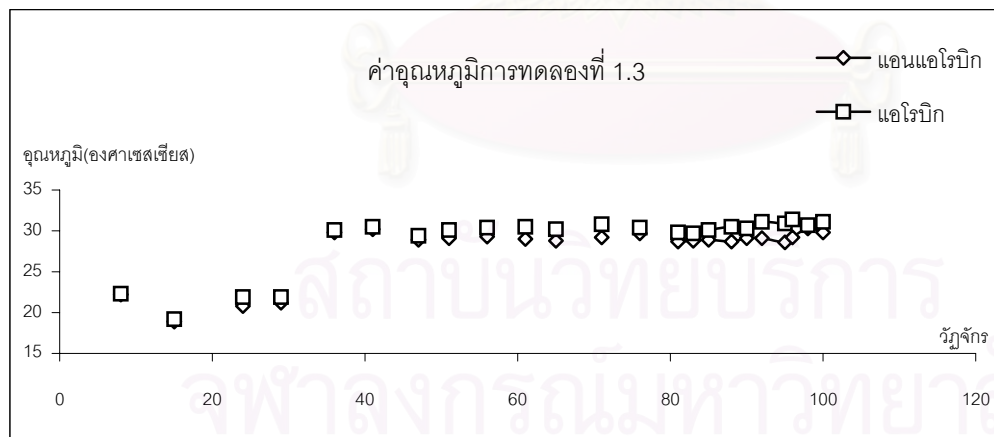
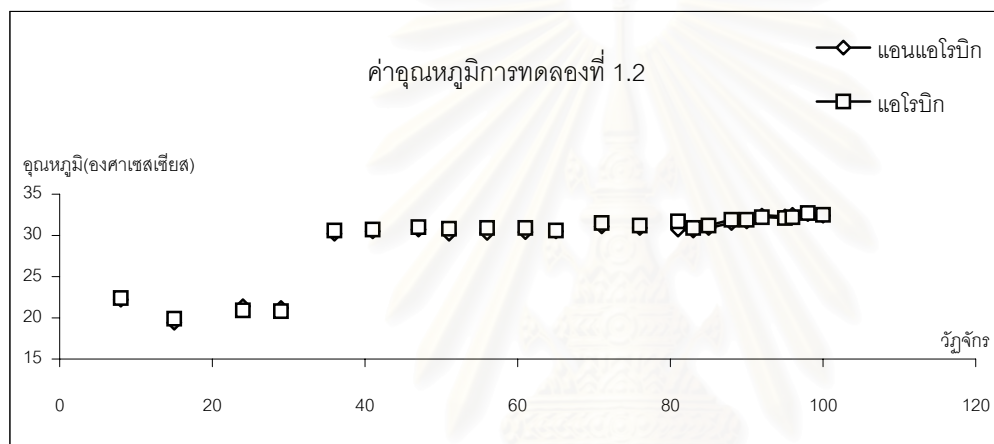
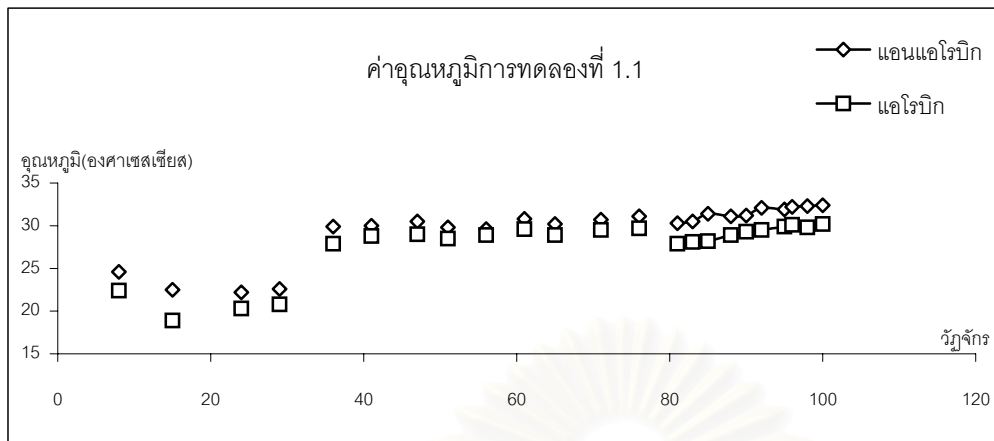
4.1 พารามิเตอร์ทั่วไป

4.1.1 อุณหภูมิ

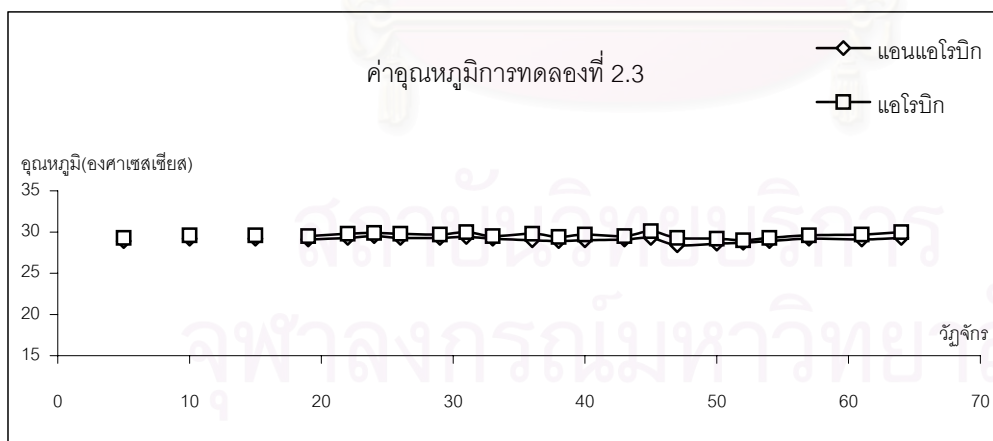
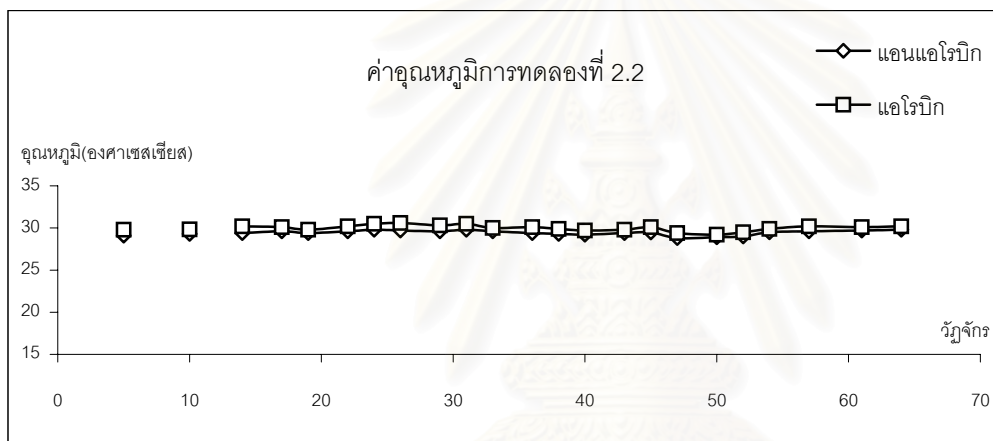
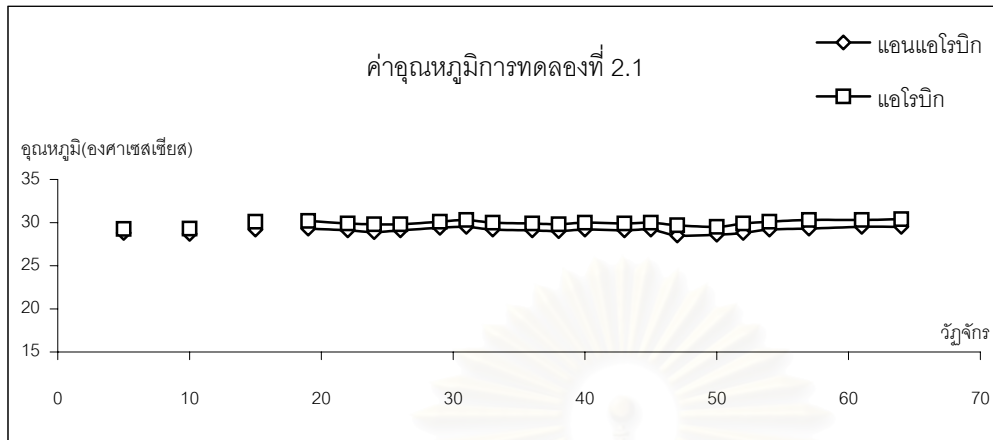
อุณหภูมิของระบบจะแปรผันขึ้นกับฤดูกาล หรืออุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองที่ 1 อุณหภูมิในช่วงสภาวะแอนแอโรบิก ของแต่ละชุดการทดลอง (ชุดการทดลองที่ 1.1, 1.2, 1.3) จะมีค่าแตกต่างกันคือ ชุดการทดลองที่ 1.1 มีอุณหภูมิปลายสภาวะแอนแอโรบิก 22.2-32.4 องศาเซลเซียส ชุดการทดลองที่ 1.2 มีอุณหภูมิปลายสภาวะแอนแอโรบิก 19.4-32.6 องศาเซลเซียส ชุดการทดลองที่ 1.3 มีอุณหภูมิปลายสภาวะแอนแอโรบิก 18.9-30.3 องศาเซลเซียส ที่มีค่าอุณหภูมิในช่วงที่ต่างกันเนื่องจากเวลาที่ทำการวัดอุณหภูมิ โดยจะทำการวัดตอนปลายสภาวะแอนแอโรบิก ในการทดลองที่ 1 นี้มีระยะเวลาที่แอนแอโรบิกต่างกัันดังนั้นเวลาที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกจึงเป็นเวลาที่แตกต่างกันในแต่ละวัน ส่วนผลการทดลองที่ 2 และ 3 จะมีค่าอุณหภูมิปลายสภาวะแอนแอโรบิกอยู่ช่วงเดียวกัน คือ 28.7-30.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกของทั้ง 3 การทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 28.1-32.4 องศาเซลเซียส เนื่องจากเวลาที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกเป็นเวลาเดียวกัน และตอนเริ่มทำงานวิจัยช่วงกลางเดือนธันวาคม ถึงเดือนมกราคมเป็นช่วงฤดูหนาวจึงมีอุณหภูมิห้องต่ำกว่าปกติ จึงมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกริยาให้ต่ำลง แต่เมื่อผ่านเดือนมกราคมอุณหภูมิของสภาวะแอนแอโรบิก และแอโรบิก มีค่าอยู่ในช่วง 27.9-32.4 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.1

4.1.2 ออกซิเจนละลาย

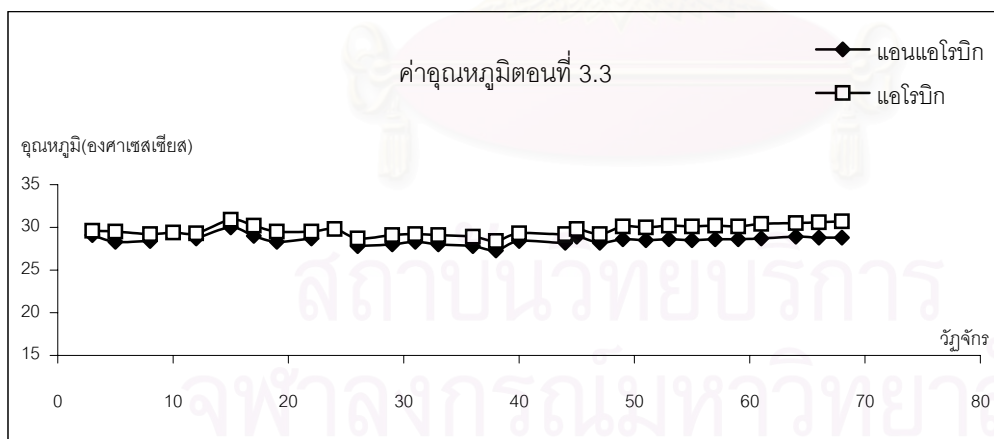
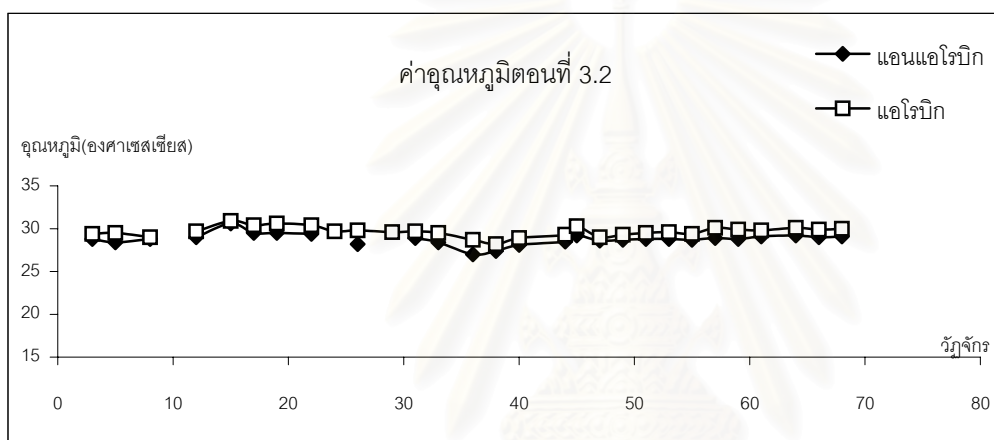
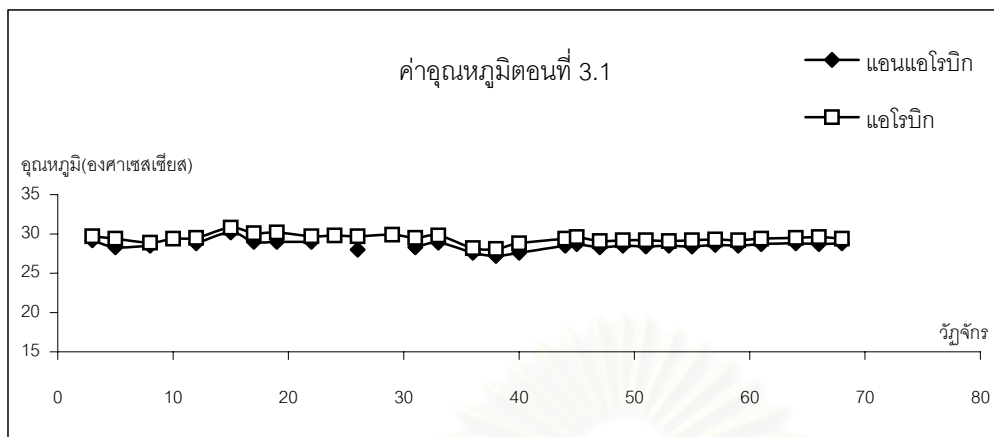
ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทำงานของระบบเป็นสภาวะแอนแอโรบิก และแอโรบิก พารามิเตอร์ออกซิเจนละลายจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้บ่งชี้สภาวะของระบบ จากรูปที่ 4.2 ในสภาวะแอนแอโรบิกจะมีค่าออกซิเจนละลายอยู่ในช่วง 0.05-0.08 มก./ล. พบว่าค่าออกซิเจนละลายมีค่าต่ำสุดเพียง 0.05 มก./ล. อาจเนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องมือวัด และในสภาวะแอโรบิก มีค่าออกซิเจนละลายอยู่ในช่วง 3.16-6.12 มก./ล. ซึ่งพบว่าในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายมากกว่าการทดลองที่ 3 เนื่องจากในการทดลองที่ 3 มีการเติมน้ำตาลในอัตราส่วนสูงขึ้น ดังนั้นอาหารของแบคทีเรียจึงมีมากขึ้น ปริมาณแบคทีเรียจึงมากกว่า 2 การทดลองแรก (จะมีการกล่าวถึงปริมาณแบคทีเรียในระบบในหัวข้อ 4.1.5) จึงมีความต้องการใช้ออกซิเจนมากขึ้นในการทดลองที่ 3 โดยที่ในงานวิจัยนี้มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ให้



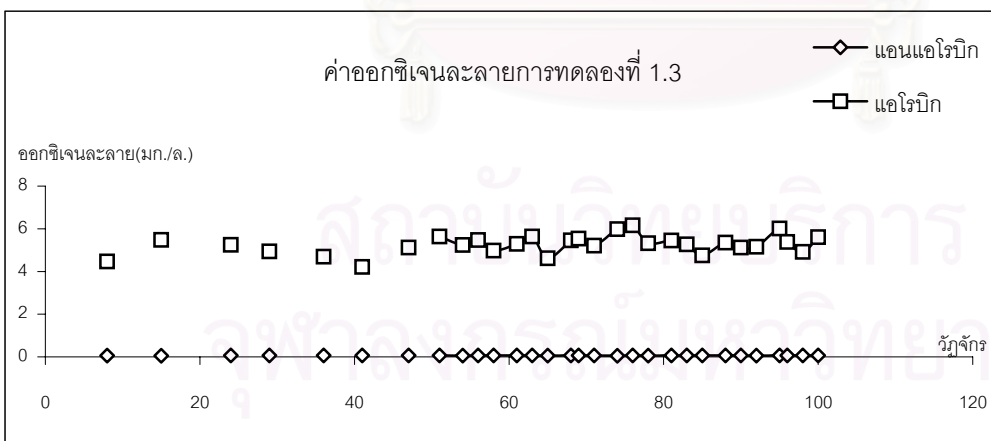
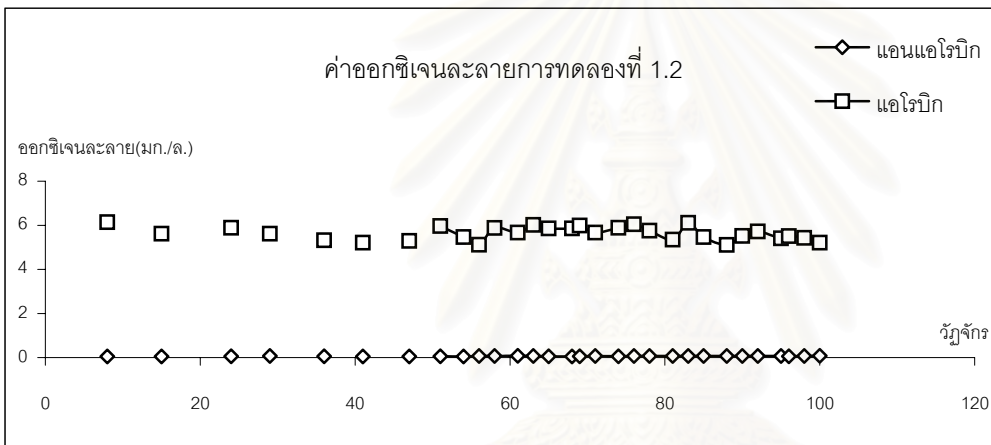
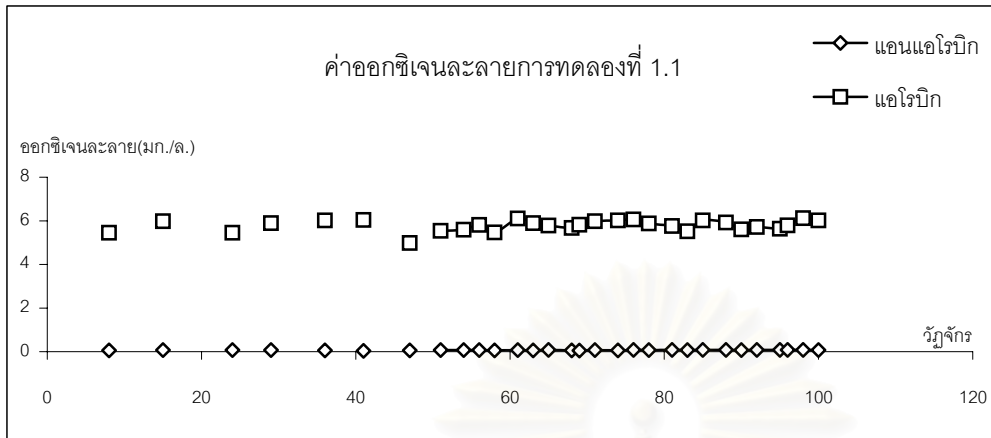
รูปที่ 4.1 แสดงคุณนุภูมิภาคในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง
(หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



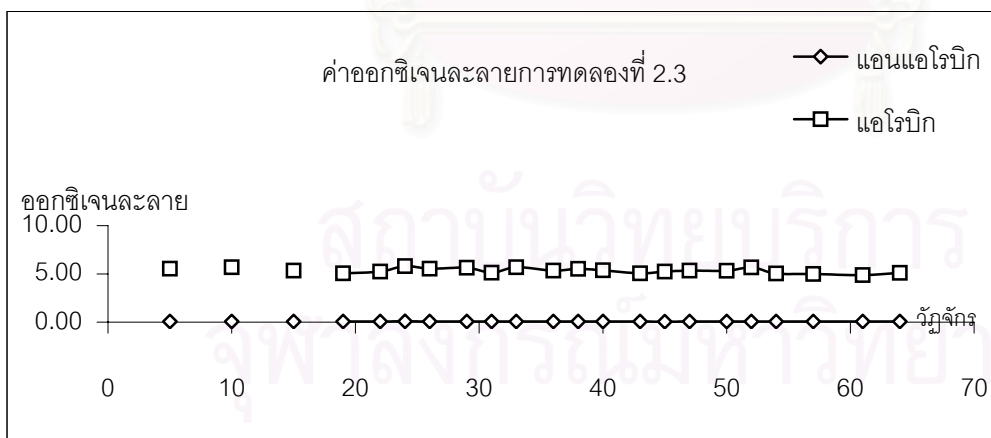
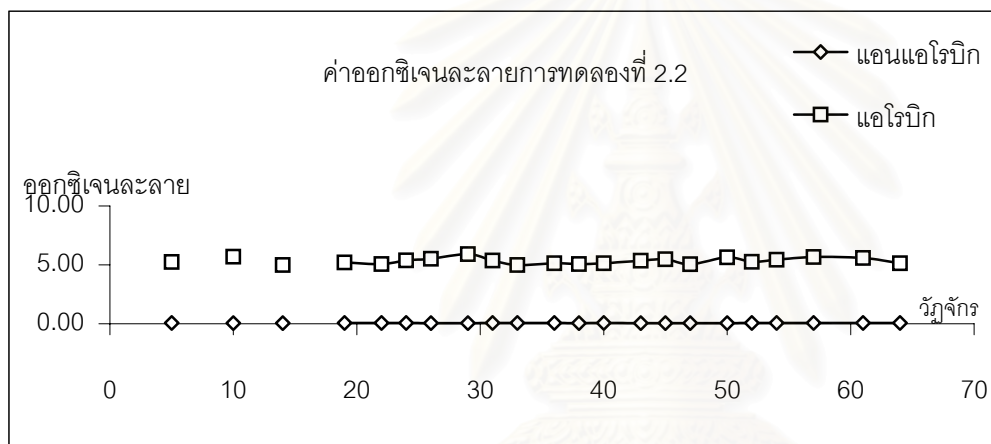
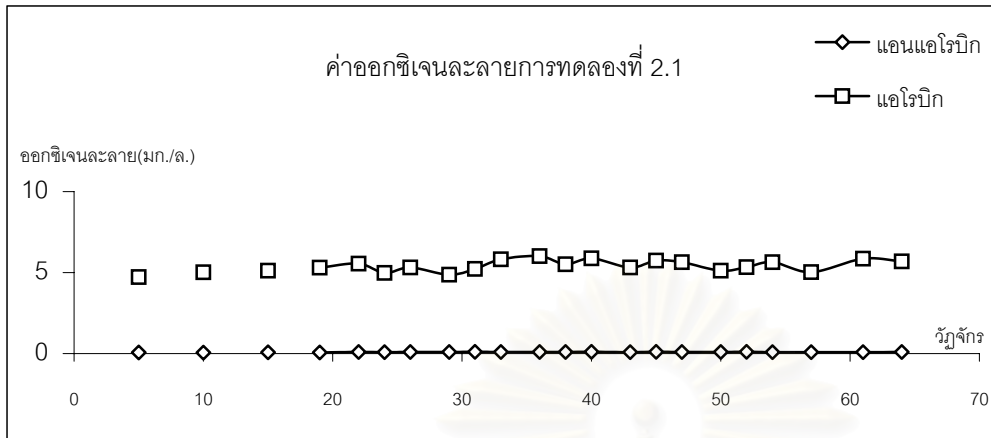
รูปที่ 4.1 แสดงคุณนุภูมิภาคในวัดจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง (ต่อ)
(หมายเหตุ วัดในช่วงสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.1 แสดงคุณหมุมิในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)
(หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)

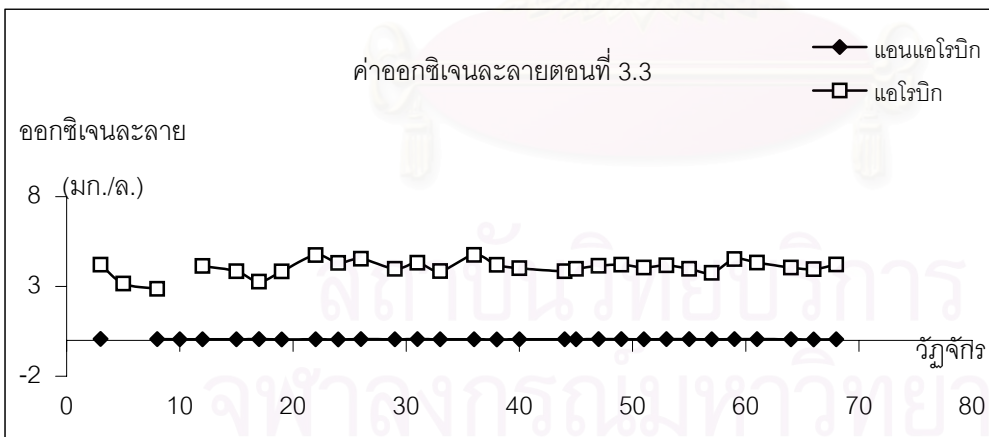
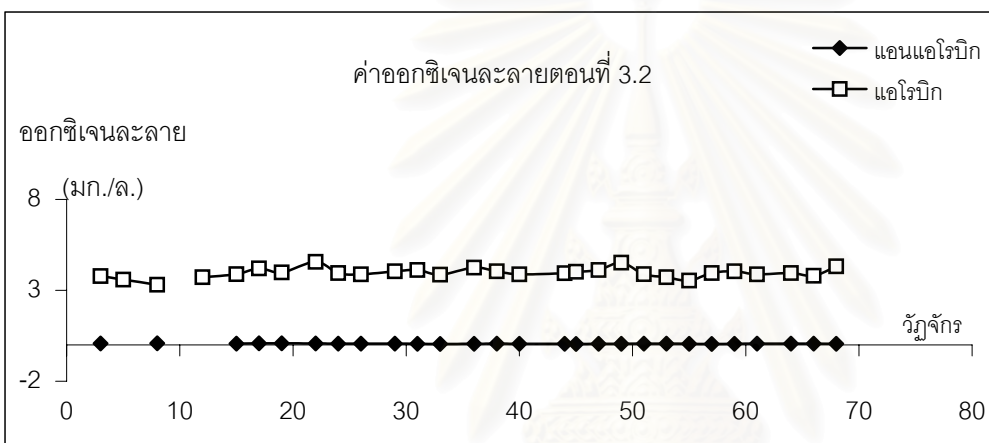
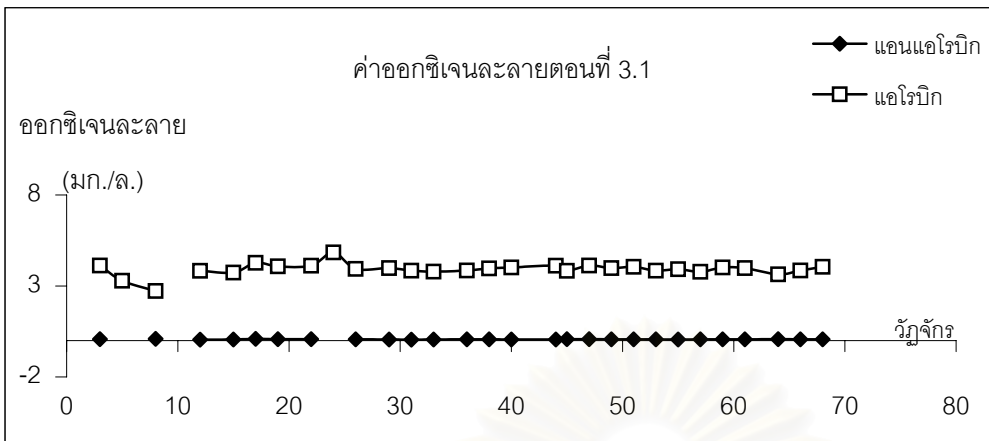


รูปที่ 4.2 แสดงออกซิเจนละลายในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง
(หมายเหตุ วัตถุประสงค์ในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)

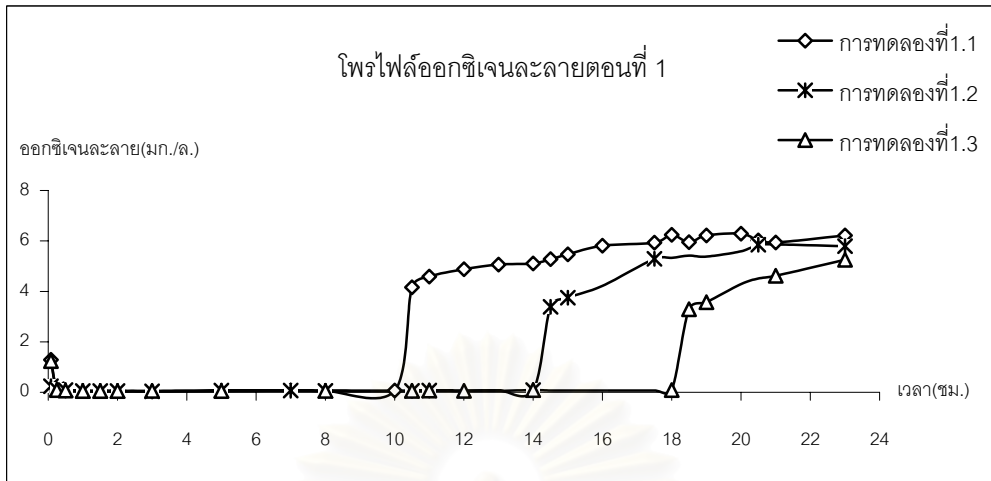


รูปที่ 4.2 แสดงออกซิเจนละลายในวัวจ้กรต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)

(หมายเหตุ วัดในช่วงสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.2 แสดงออกซิเจนละลายในน้ำจืดต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)
(หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)

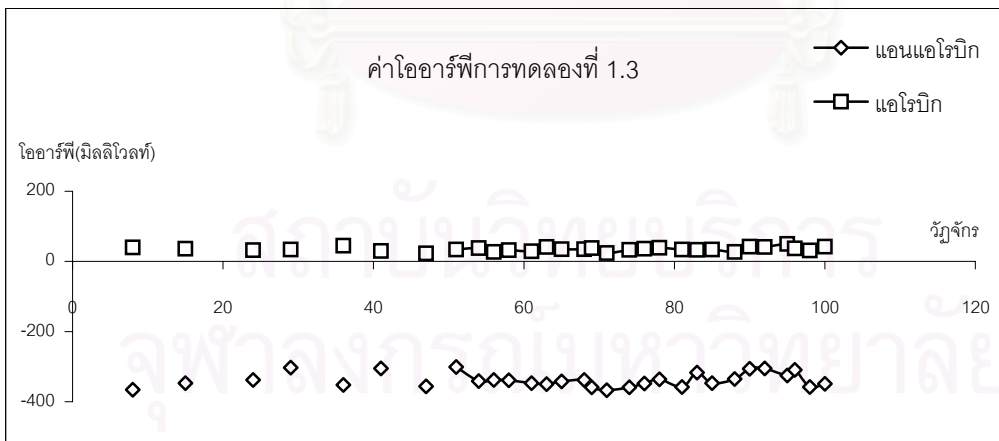
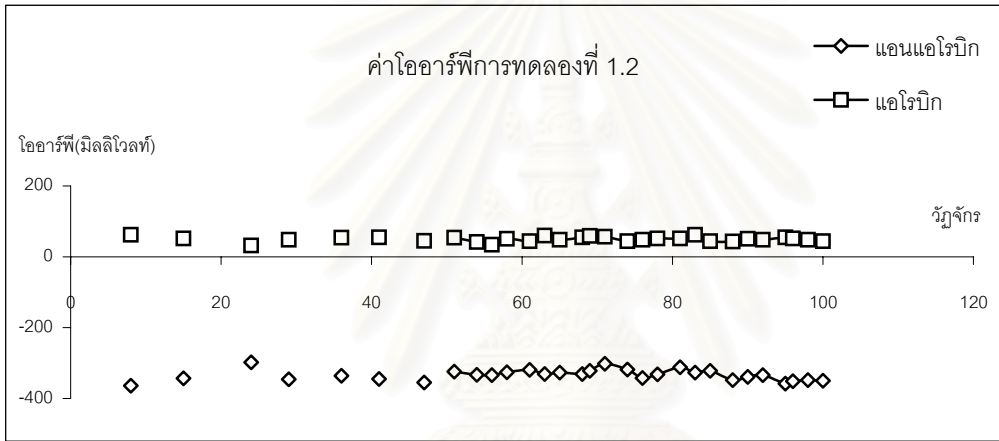
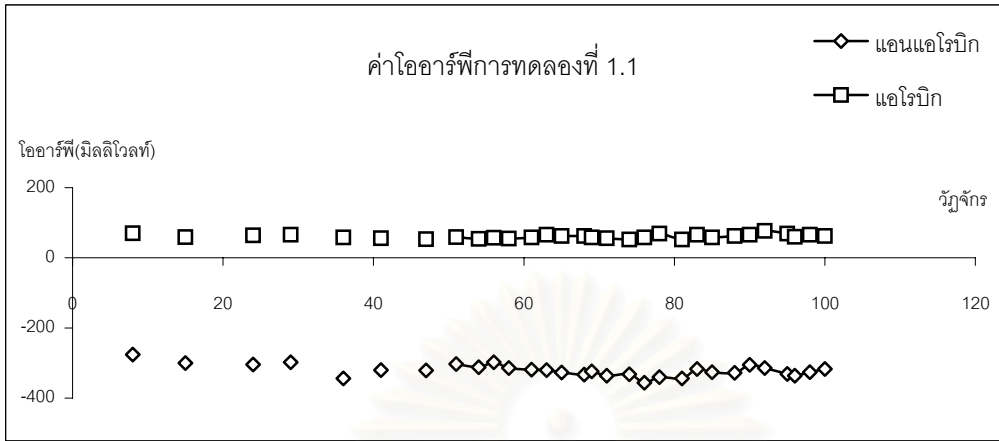


รูปที่ 4.3 โพรไฟล์ออกซิเจนละลายในแต่ละการทดลอง

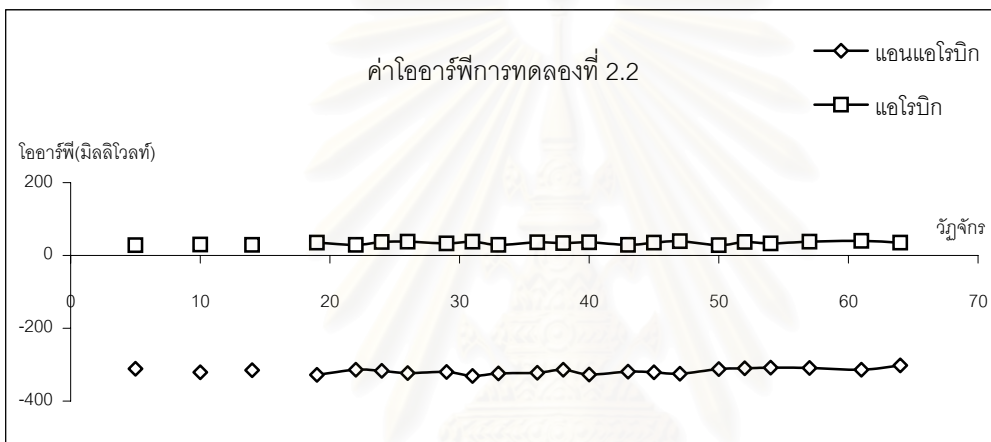
ระบบคงที่ตลอดการทดลองโดยการปรับวาล์วที่ให้ออกซิเจนคงที่ตลอดการทดลอง และจากผลการเก็บโพรไฟล์ตามรูปที่ 4.3 เมื่อเริ่มรอบการทำงานระบบจะเข้าสู่สภาวะแอนแอโรบิกค่าออกซิเจนละลายค่อยๆลดลงมาที่ค่าประมาณ 0.05-0.08 มก./ล.ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที และในช่วงเริ่มสภาวะแอนแอโรบิกค่าออกซิเจนละลายขึ้นมาที่ค่า 2.00 มก./ล. ใช้เวลาประมาณ 15 นาที และค่อยๆมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในชุดการทดลองที่ 2.1 เป็นการทดลองที่ไม่ได้เติมน้ำตาลลงไป มีผลทำให้มีเซลล์แบคทีเรียน้อย (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.5) ค่าออกซิเจนละลายที่สภาวะแอนแอโรบิกมีค่าต่ำที่สุดเพียง 0.10 มก./ล.และต้องใช้เวลาในการลดลงมากกว่าในการทดลองอื่นๆ

4.1.3 ไออาร์พี

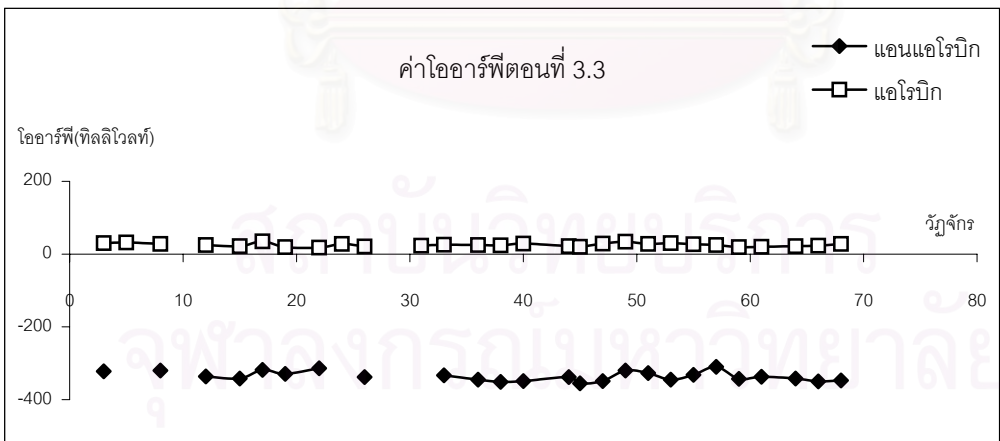
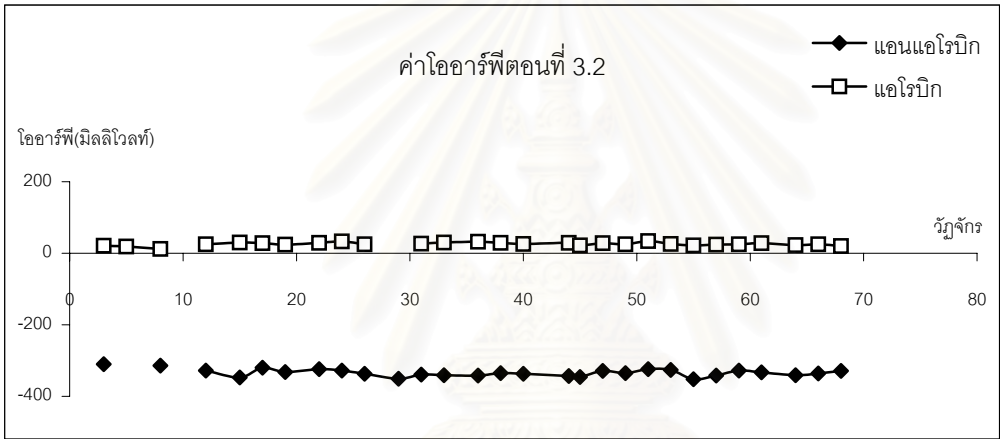
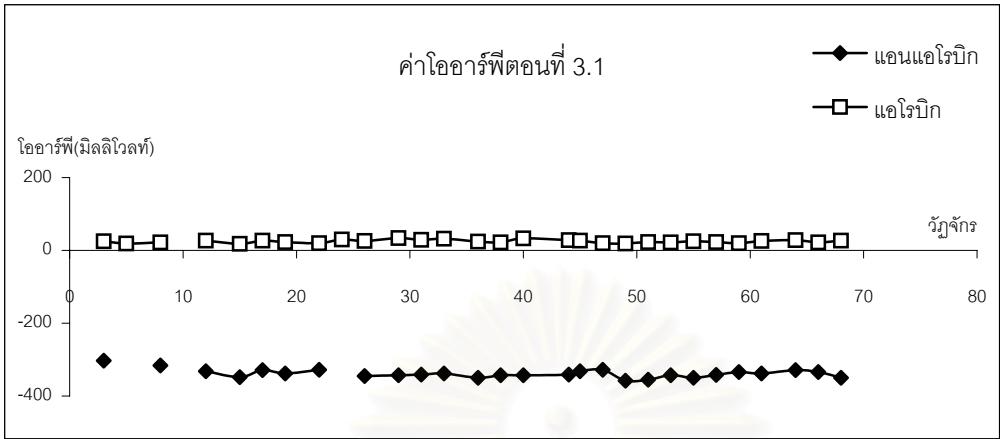
เนื่องจากในงานวิจัยนี้ในการทดลองได้ประกอบไปด้วยสภาวะการทำงานทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิกตามที่กล่าวไปแล้ว ดังนั้นค่าไออาร์พีจึงเป็นอีกพารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้สภาวะการทำงานของระบบว่าระบบทำงานอยู่ในสภาวะแอนแอโรบิก หรือแอโรบิก โดยถ้าค่าไออาร์พีมีค่าเป็นลบแสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะแอนแอโรบิก แต่ถ้าค่าไออาร์พีมีค่าเป็นบวกแสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะแอโรบิก จากรูปที่ 4.4 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ชุดการทดลองที่ระยะเวลาที่แอนแอโรบิก-แอโรบิกมีค่าต่างๆ คือ ชุดการทดลองที่ 1.1 10-13 ชั่วโมง ชุดการทดลองที่ 1.2 14-9 ชั่วโมง และชุดการทดลองที่ 1.3 18-5 ชั่วโมง จึงมีค่าไออาร์พีอยู่ในช่วงที่ต่างกัน แต่มีแนวโน้มเหมือนกัน คือ ในสภาวะแอนแอโรบิก มีค่าไออาร์พีอยู่ในช่วง -276 ถึง -344 , -298 ถึง -364 และ -301 ถึง -366 มิลลิโวลท์ ในสภาวะแอโรบิก มีค่าไออาร์พีอยู่ในช่วง 52 ถึง 77 , 32 ถึง 62 และ 23 ถึง 50 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าระยะเวลาที่แอนแอโรบิกมีผลต่อค่าไออาร์พี โดยการทดลองที่ 1 ที่ช่วงสภาวะแอโรบิกต่างกันจะมีค่าไออาร์พีต่างกัน กล่าวคือในแต่ละการทดลองมีระยะเวลาในการเติมอากาศต่างกัน คือชุดการทดลองที่ 1.1 จะมีค่าไออาร์พีที่ปลายสภาวะแอโรบิกสูงกว่าอีก 2 ชุดการทดลองเนื่องจากมีระยะเวลาเติมอากาศที่นานกว่าทำให้มีค่าไออาร์พีสูงกว่า ซึ่งการวัดค่าไออาร์พีนี้วัดตอนปลายสภาวะ ในการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองผลของการเติมน้ำตาลในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าในการทดลองที่ 2.1 ที่ไม่ได้เติมน้ำตาลเติมลงไปเพียงแต่สื่ออย่างเดียว ในช่วงที่ระบบเริ่มเข้าสู่สถานะคงตัว ค่าไออาร์พีมีค่าเป็นบวกที่ค่าต่ำๆ เนื่องจากตอนนั้นระบบมีชีโอดีเข้าต่ำ และไม่มีแหล่งอาหารสำหรับจุลชีพ ดังนั้นมวลจุลชีพจึงน้อยลง (ซึ่งจะกล่าวต่อในหัวข้อ 4.1.5) เนื่องจากระบบมีมวลจุลชีพลดลงมากจึงทำให้ระบบมีการทำงานได้ต่ำโดยสามารถดูได้จากประสิทธิภาพการกำจัดที่ต่ำมาก ค่าไออาร์พีที่ปลายสภาวะแอนแอโร



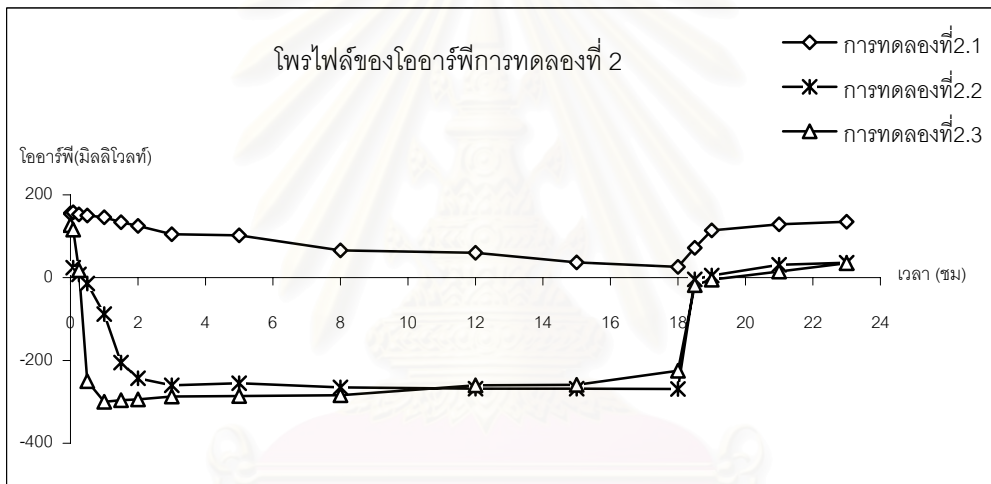
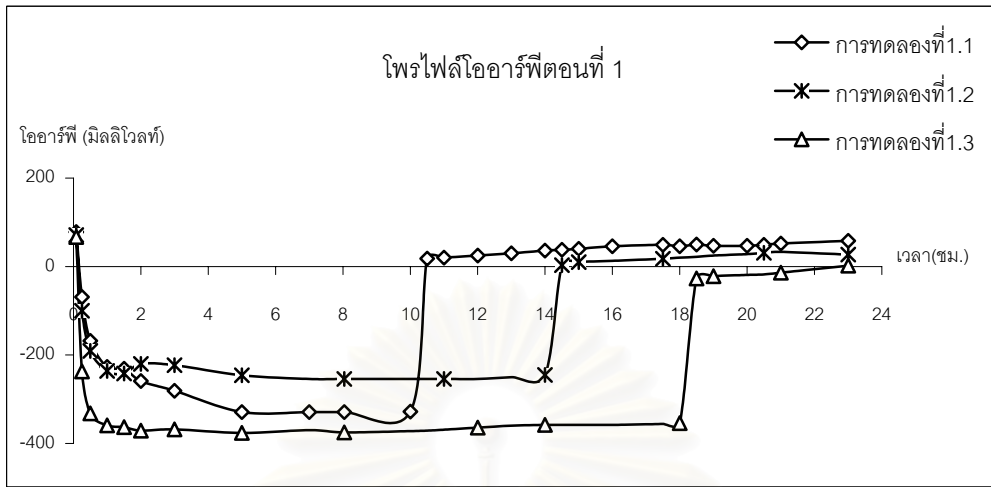
รูปที่ 4.4 แสดงไออาร์พีในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง
(หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอรบิกและแอรบิก)



รูปที่ 4.4 แสดงไออาร์พีในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง (ต่อ)
 (หมายเหตุ วัดในช่วงสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.4 แสดงไออาร์พีในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)
 (หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอร์บิกและแอร์บิก)

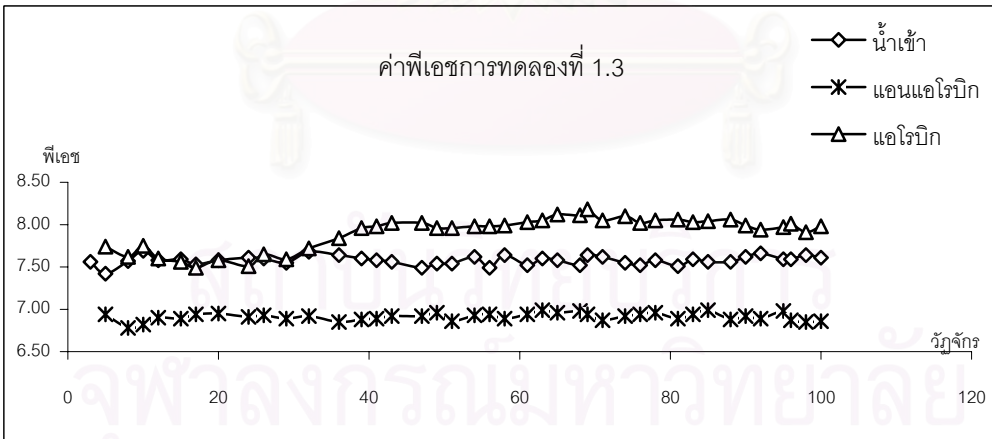
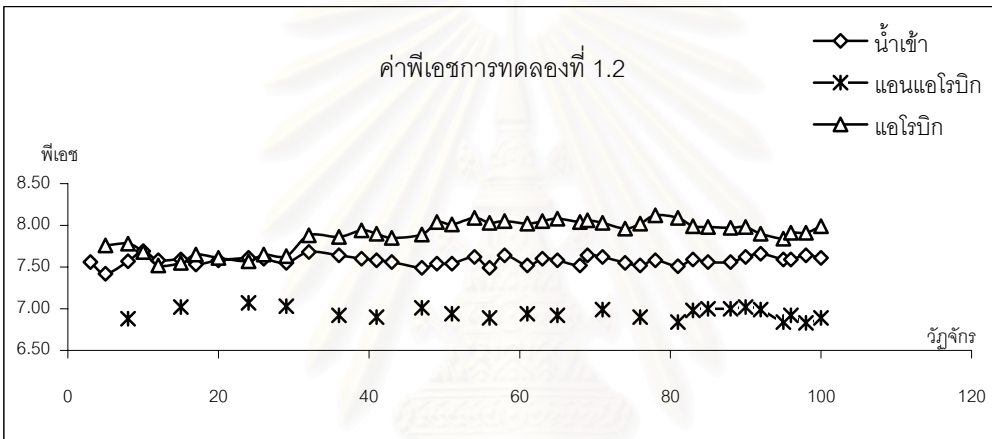
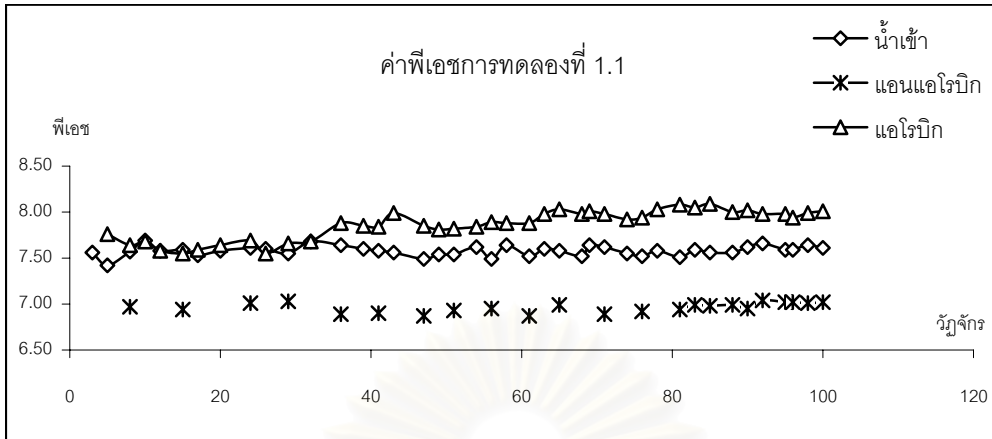


รูปที่ 4.5 โพรไฟล์ไออาร์พีในแต่ละการทดลอง

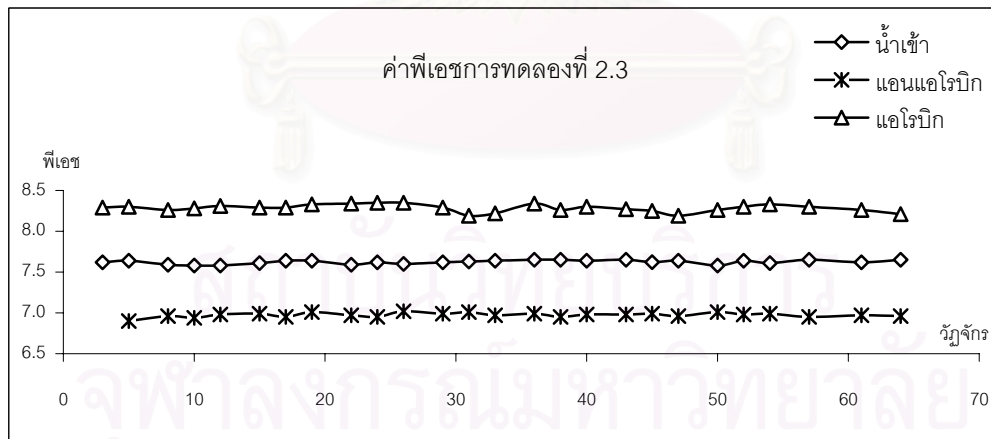
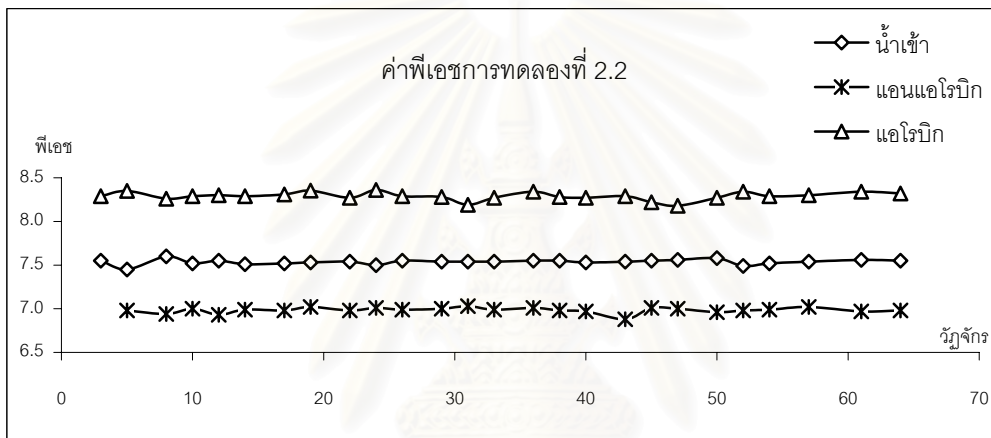
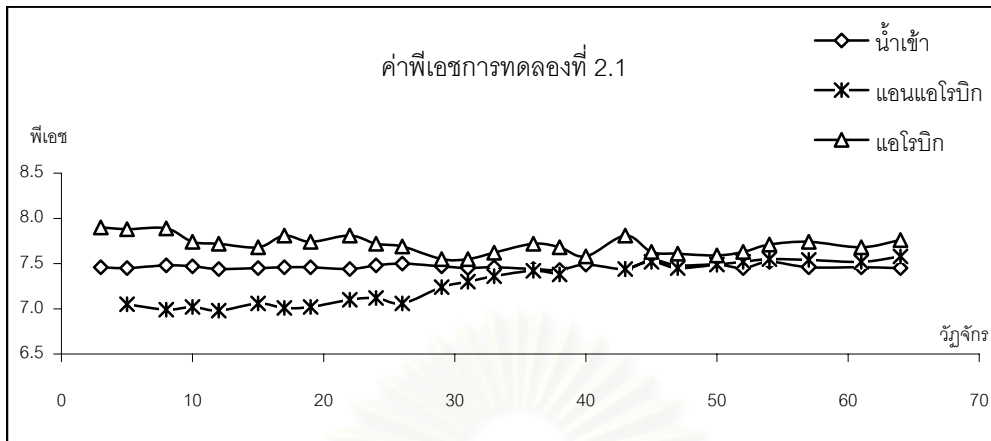
บิกจึงมีค่า 5-15 มิลลิโวลท์ และสภาวะแอโรบิก มีค่าไออาร์พีในช่วง 29-45 มิลลิโวลท์ ในการทดลองที่ 2.2 และ การทดลองที่ 2.3 มีการเติมน้ำตาลเป็นอัตราส่วนกับสีเป็น 10:1 และ 15:1 ตามลำดับ ค่าไออาร์พีมีค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 1.3 และจากรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นโพรไฟล์ไออาร์พี พบว่าในการทดลองที่ 2.2 ในช่วงสภาวะแอนแอโรบิกต้องใช้เวลา นานกว่าชุดการทดลองที่ 2.3 กว่าค่าไออาร์พีจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องมาจากชุดการทดลองที่ 2.3 มีค่าซีไอดีเข้ามากกว่าจึงมีมวลจุลชีพมากกว่า (ดูหัวข้อ 4.1.5) และในการทดลองที่ 3 จากรูป 4.4 ในสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าไออาร์พีอยู่ในช่วง -303 ถึง -358 มิลลิโวลท์ และช่วงสภาวะแอโรบิกมีค่าไออาร์พีในช่วง 19-35 มิลลิโวลท์ และจากรูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของค่าไออาร์พีในช่วงการเปลี่ยนสภาวะจากแอนแอโรบิกเป็นแอโรบิก ต้องใช้เวลากว่า 1 ชั่วโมง เพื่อให้ค่าไออาร์พีขึ้นมาเป็นบวก อาจเนื่องจากในสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าไออาร์พีเป็นลบมากๆ และความชื้นของหัววัดค่าไออาร์พี แต่การวัดค่าออกซิเจนละลาย ใช้เวลาเพียง 15 นาที ค่าออกซิเจนละลายก็ขึ้นมาที่ 2 มก./ล. และค่อยเพิ่มค่าขึ้นเรื่อยๆ

4.1.4 พีเอช

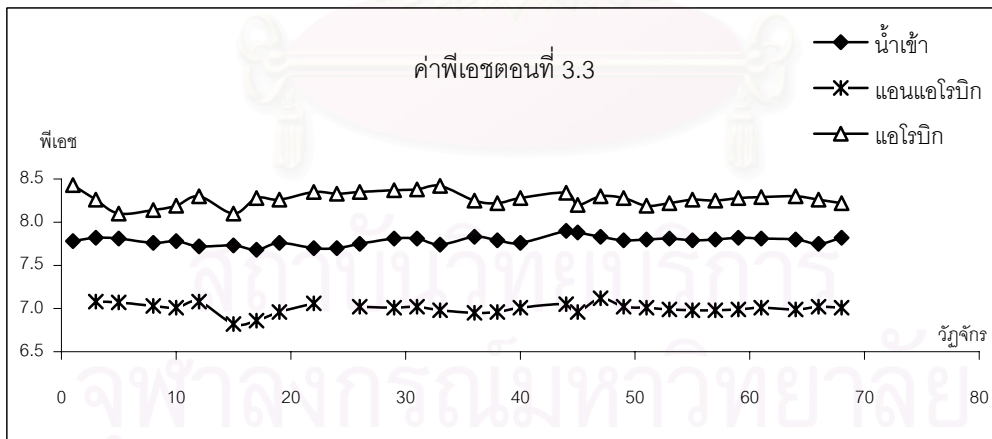
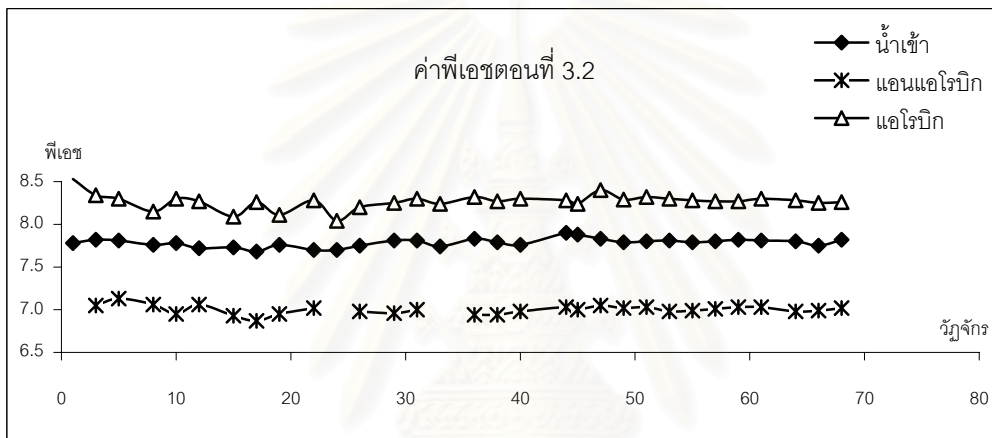
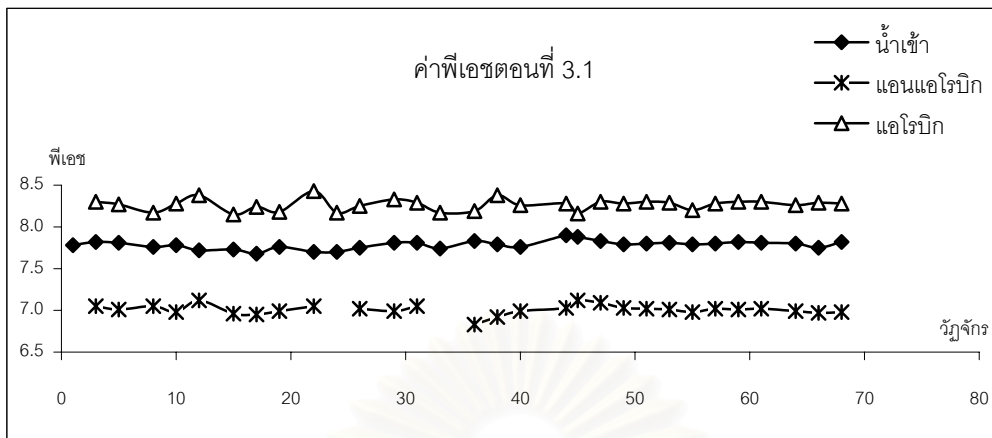
จากรูปที่ 4.6 ในสภาวะแอนแอโรบิกค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 6.84 – 7.03 (ยกเว้นชุดการทดลองที่ 2.1 ซึ่งเป็นการทดลองที่ไม่ได้เติมน้ำตาลซึ่งเป็นสารอาหารปฐมภูมิ หรือสารอาหารย่อยง่าย ซีไอดีเข้าระบบมีค่าต่ำ มีผลให้มวลจุลชีพต่ำมากตามหัวข้อ 4.1.5) มีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชน้ำเข้า และในสภาวะแอโรบิกค่าพีเอชจะมีค่าสูงขึ้นอยู่ในช่วง 7.92-8.4 ในสภาวะแอนแอโรบิกค่าพีเอชมีค่าลดลงน่าจะมีผลเนื่องมาจากขบวนการหมักในสภาวะแอนแอโรบิกที่มีการย่อยซีไอดีเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อสังเกตในช่วงสภาวะแอนแอโรบิกมีฝ้าเกิดขึ้นที่ผิวหน้าน้ำทำให้ปิดกั้นไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักที่ละลายอยู่ในน้ำไม่สามารถออกสู่บรรยากาศได้ มีผลทำให้ค่าพีเอชมีค่าลดลงจากค่าพีเอชน้ำเข้า เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะแอโรบิกมีการเติมอากาศทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลุดออกสู่บรรยากาศทำให้ค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อดูจากรูปที่ 4.7 โพรไฟล์พีเอช พบว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจากค่าประมาณ 6.9-7 เป็น 8-8.3 ในเวลาประมาณไม่ถึงครึ่งชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปรีชาวิทย์ รอดรัตน์ (2543) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบดูจากการทดลองที่ 2.1 ที่มีซีไอดีเข้าต่ำและระบบไม่มีความสามารถในการกำจัด ดังนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงมีปริมาณน้อย ดังนั้นค่าพีเอชจึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการทดลองอื่นๆ



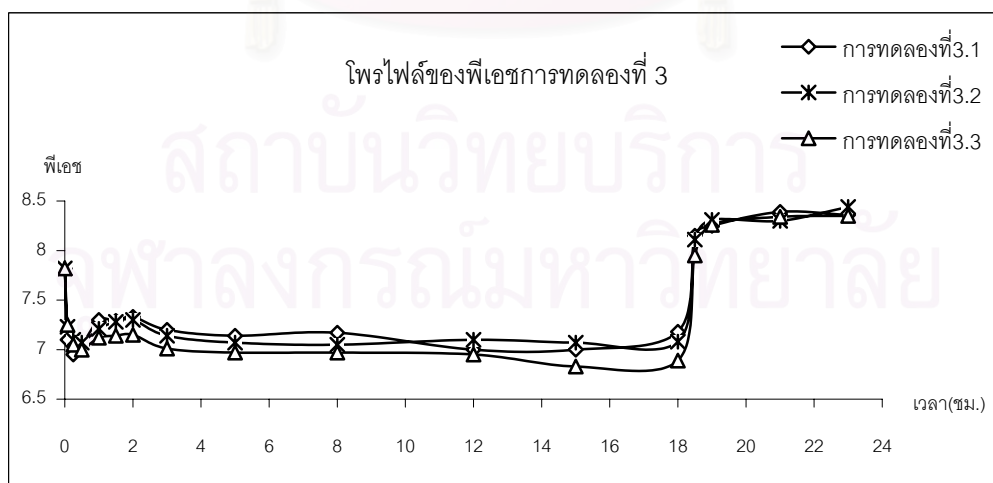
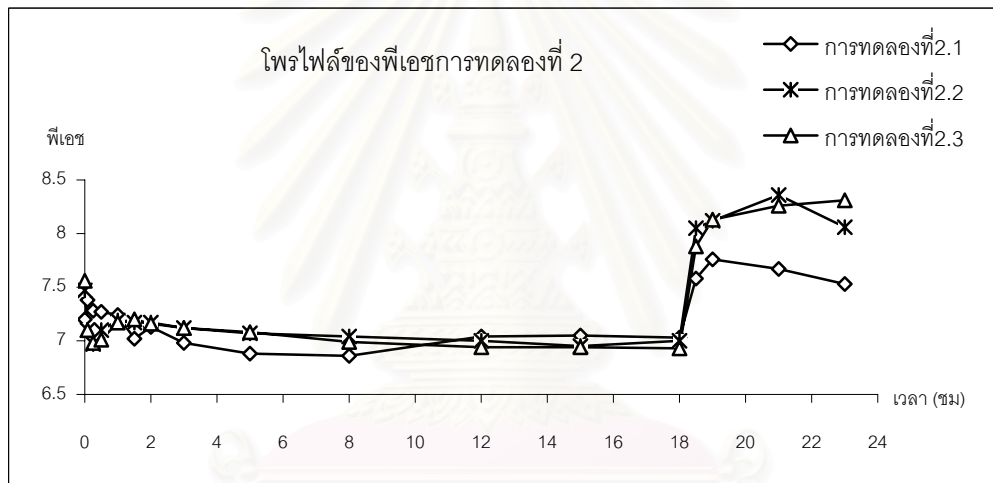
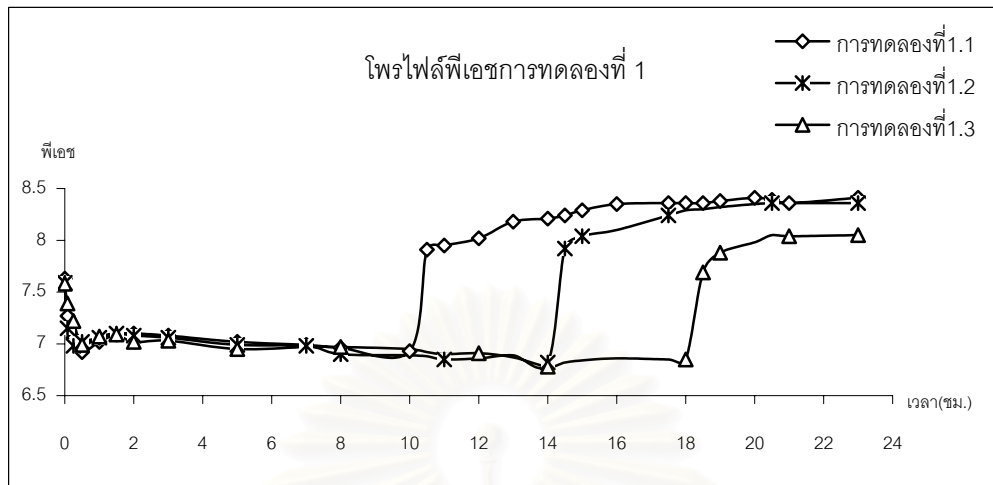
รูปที่ 4.6 แสดงพีเอชในวัฏจักรต่างๆแต่ละการทดลอง (หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.6 แสดงพีเอชในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)
(หมายเหตุ วัดในช่วงสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.6 แสดงพีเอชในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)
 (หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.7 โพรไฟล์พีเอชในแต่ละการทดลอง

4.1.5 เอสเอส และมวลจุลชีพในระบบ

4.1.5.1 เอสเอส

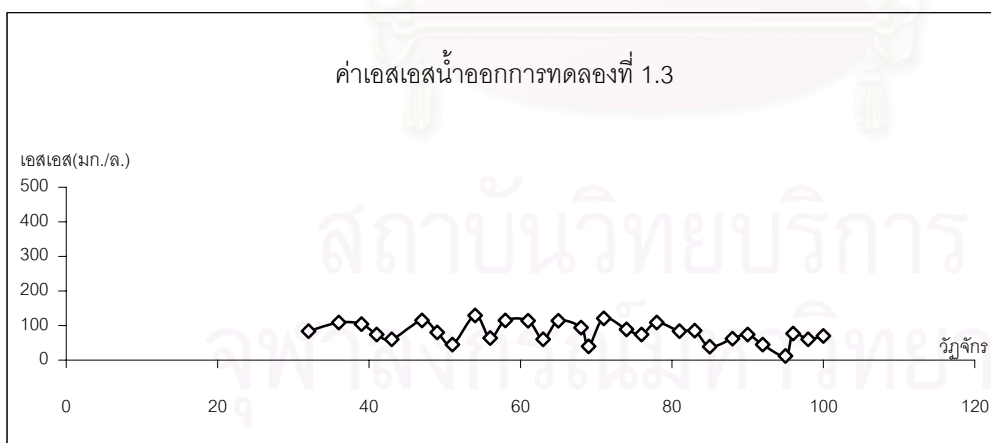
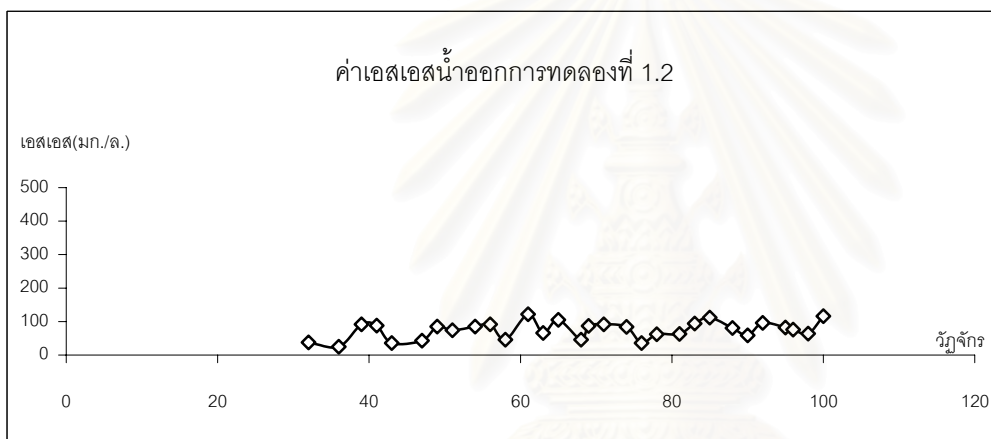
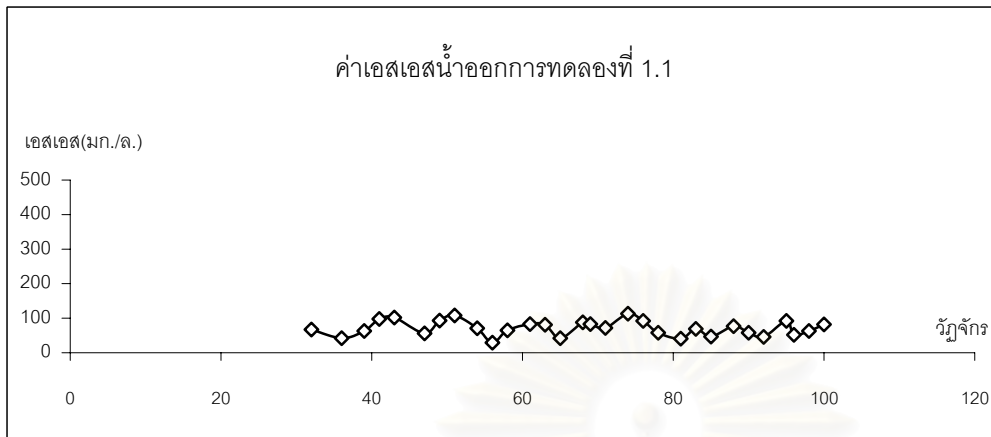
จากรูปที่ 4.8 ค่าเอสเอสมีค่าแกว่งขึ้นลง เนื่องมาจากการหลุดลอกของจุลชีพที่เกาะที่วัสดุตัวกลางที่ไม่แน่นอน แต่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวค่าเอสเอสจะมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในระบบในแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกันและมีการหลุดออกมาเท่ากับที่เกิดขึ้นในระบบ เมื่อสังเกตจากค่าการระบรทุกอินทรีย์เชิงพื้นที่ผิววัสดุตัวกลางมากขึ้นพบว่าจะทำให้ค่าเฉลี่ยเอสเอสสูงขึ้นด้วยตามตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.9 เนื่องจากเมื่อมีอาหารมากก็มีผลทำให้มีแบคทีเรียเจริญมากขึ้น และมีการหลุดลอกของฟิล์มแบคทีเรียได้มากขึ้น ค่าเอสเอสในน้ำออกจึงมากขึ้นตามกัน

ตารางที่ 4.12 ค่าเอสเอสเฉลี่ย*ในการทดลองต่างๆ

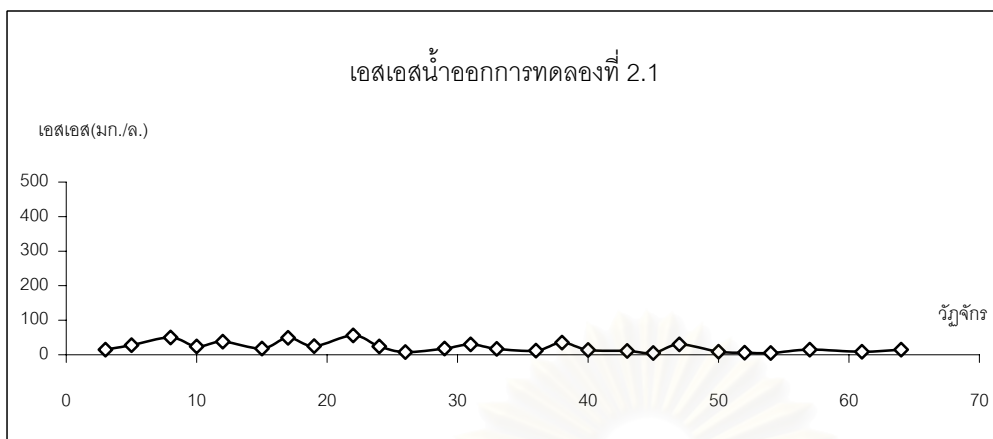
| การทดลอง ที่ | ซีไอดีเข้า(มก./ล.) | การระบรทุกสารอินทรีย์เชิงพื้นที่ผิว วัสดุตัวกลาง (กก./วัน-ตร.ม.) | เอสเอสเฉลี่ย(มก./ล.) |
|-----------------|--------------------|---|----------------------|
| 1.1 | 1087 | 5.2×10^{-6} | 70 |
| 1.2 | 1087 | 5.2×10^{-6} | 79 |
| 1.3 | 1087 | 5.2×10^{-6} | 77 |
| 2.1 | 54 | 2.6×10^{-7} | 22 |
| 2.2 | 579 | 2.8×10^{-6} | 28 |
| 2.3 | 841 | 4.0×10^{-6} | 50 |
| 3.1 | 1625 | 7.8×10^{-6} | 221 |
| 3.2 | 1625 | 7.8×10^{-6} | 256 |
| 3.3 | 1625 | 7.8×10^{-6} | 260 |

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยคิดตลอดการทดลองของแต่ละการทดลอง

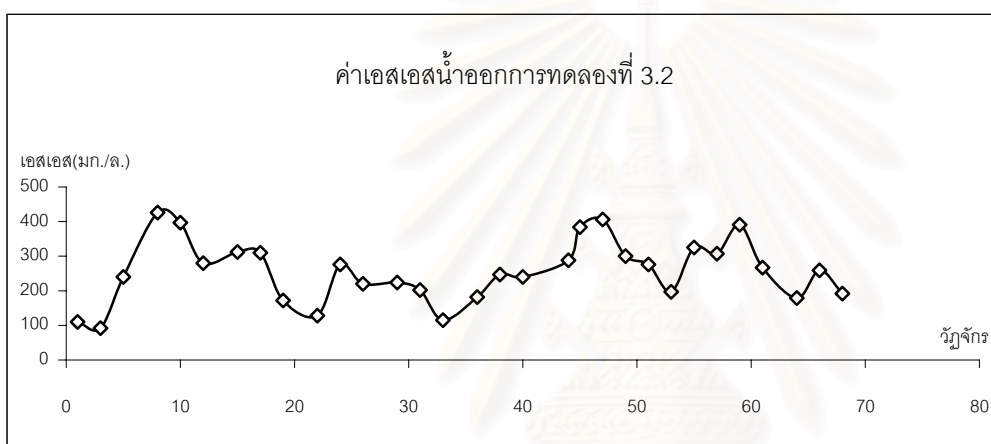
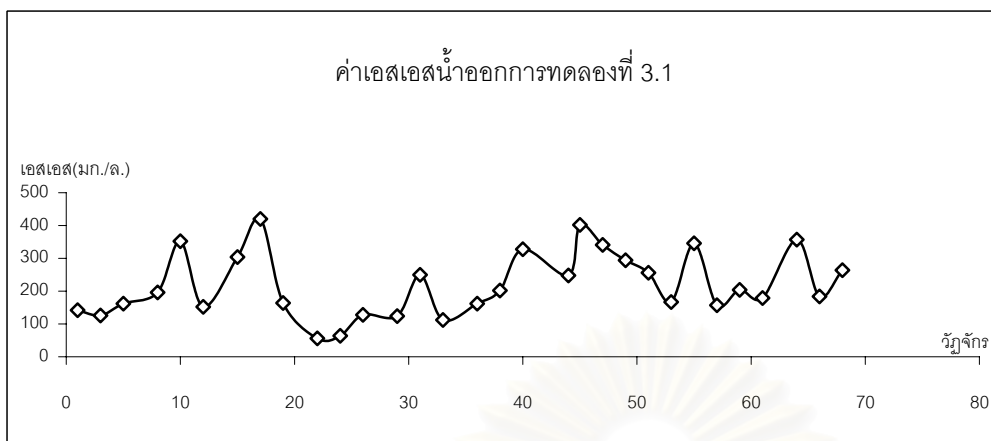
จากตารางที่ 4.12 ในการทดลองที่ 2.1 พบว่าค่าเอสเอสที่ออกมามีค่าสูงทั้งที่ค่าการระบรทุกอินทรีย์มีค่าต่ำและในการทดลองนี้ไม่เกิดการกำจัด น่าจะมีผลเนื่องจากการทำการทดลองนี้ดำเนินการทดลองต่อจากการทดลองตอนที่ 1.1 ซึ่งมีการเติมซีไอดี 1087 มก./ล. และเมื่อมาทำการทดลองที่ 2.1 ซีไอดีเข้าลดลงเหลือ 54 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าซีไอดีจากสที่เซลล์ไม่



รูปที่ 4.8 แสดงเอสเอสน้ำออกในแต่ละการทดลอง



รูปที่ 4.8 แสดงเอสเอสน้ำออกในแต่ละการทดลอง(ต่อ)



รูปที่ 4.8 แสดงเอสเอสน้ำออกในแต่ละการทดลอง(ต่อ)

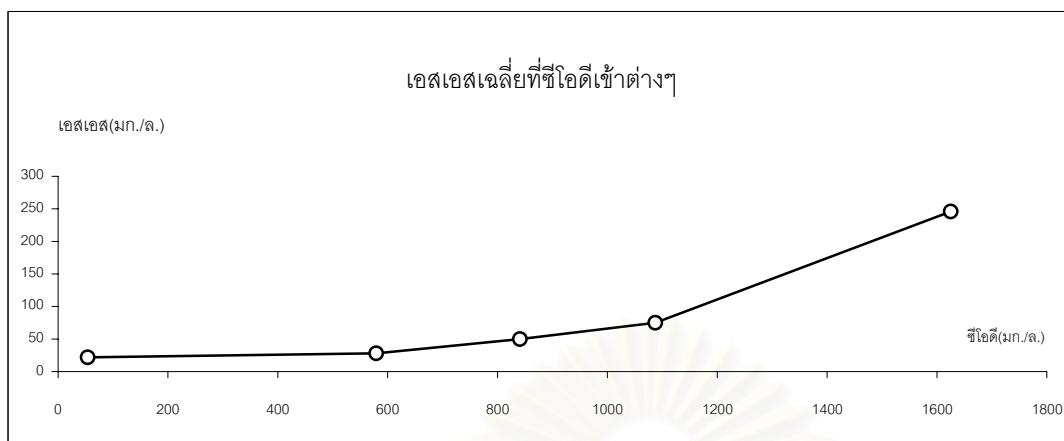
สามารถนำไปใช้ได้ ดังนั้นเซลล์จึงค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการย่อยสลายเซลล์แบคทีเรียเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งอาหาร และจากการที่เซลล์สลายตัวนี้เองทำให้มีค่าเอสเอสออกมายังมีค่าสูงอยู่ ซึ่งระบบอาจจะยังไม่เข้าสู่สถานะคงตัวที่แท้จริง แต่เนื่องจากระบบมีประสิทธิภาพที่ต่ำมากผู้ทำการวิจัยจึงหยุดการทดลอง ถ้าทำการทดลองต่อค่าเอสเอสที่ออกมาอาจจะมีค่าต่ำกว่านี้ซึ่งเป็นข้อผิดพลาดของผู้ทำการวิจัย

4.1.5.2 มวลจุลชีพบนวัสดุตัวกลาง

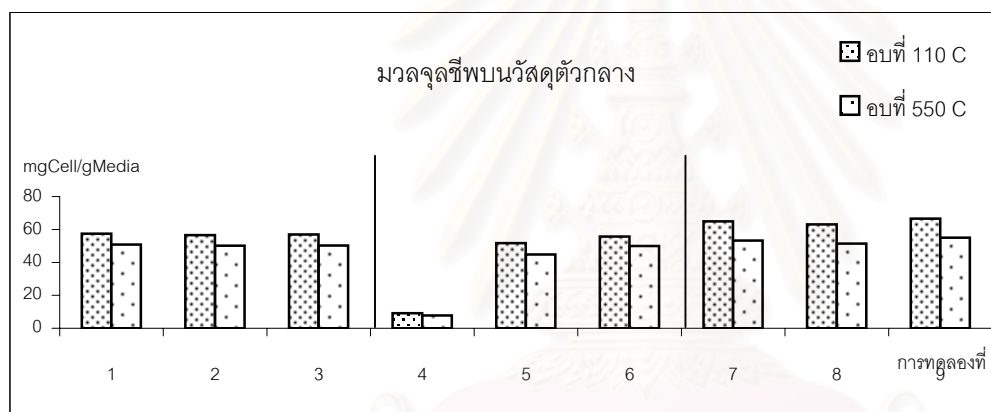
เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละชุดการทดลองได้สุ่มนำวัสดุตัวกลางในถังปฏิกิริยาไปหามวลจุลชีพ ในแต่ละชุดการทดลองได้สุ่มเก็บตัวอย่างมา 3 ตัวอย่างเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยใช้เครื่องอุลตราโซนิคชนิดหัวจุ่ม เพื่อให้เซลล์จุลชีพแตกตัวหลุดออกจากวัสดุตัวกลาง แล้วนำไปอบที่ 110 และ 550 องศาเซลเซียส วัดมวลที่ได้ผลอยู่ที่ภาคผนวก จ เมื่อดูจากรูปที่ 4.10 พบว่าการทดลองที่ 1 เป็นการทดลองที่สัดส่วนระยะเวลาพักแวนแอโรบิก-แอโรบิกที่ต่างๆ แต่ที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์มีค่าเท่ากัน พบว่าค่ามวลจุลชีพที่เกาะที่วัสดุตัวกลางมีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 ที่มีค่าภาวะบรรทุksารอินทรีย์เท่ากัน แต่ในการทดลองที่ 2 มีค่าภาวะบรรทุksารอินทรีย์แตกต่างกันดังนั้นค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพที่เกาะที่วัสดุตัวกลางจึงมีค่าแตกต่างกันตามค่าภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เข้า และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 การทดลอง พบว่า เมื่อภาวะบรรทุksารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นมวลจุลชีพที่เกาะติดที่วัสดุตัวกลางมีมากขึ้นตามกันเพราะเนื่องจากมีอาหารมากทำให้เกิดการสร้างเซลล์มากขึ้นจึงมีเซลล์มาเกาะที่ตัวกลางมากขึ้นแต่การเพิ่มอาหารมากขึ้นไปเรื่อยๆ ไม่ได้มีผลทำให้มีเซลล์มากขึ้นตาม สังเกตได้จากรูปที่ 4.11 ที่ค่าอัตราส่วนน้ำตาลเป็น 30 เท่า กับที่อัตราส่วน 20 เท่ามีค่ามวลชีวภาพสูงขึ้นไม่มากนัก

4.1.5.3 มวลจุลชีพในส่วนเหนือวัสดุตัวกลาง

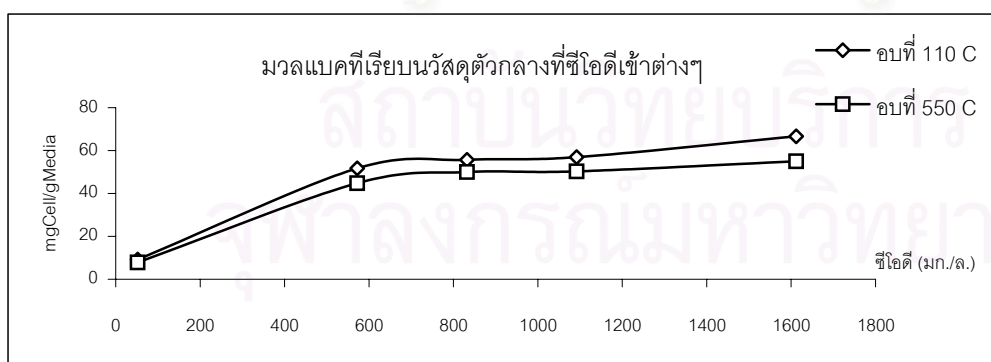
เมื่อทดลองค่าหาเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ในน้ำเหนือวัสดุตัวกลางในถังปฏิกิริยา ได้ผลในภาคผนวก จ พบว่ามีค่าไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับมวลจุลชีพบนวัสดุตัวกลาง จึงไม่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการกำจัด และประสิทธิภาพการลดสีของระบบ จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อภาวะบรรทุksารอินทรีย์มีค่าสูงขึ้น มีผลทำให้ค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอสสูงขึ้นด้วย เนื่องจากมีเซลล์เกิดขึ้นมากแล้วก็มีการผลิตออกมาเพิ่มขึ้นตามกัน ซึ่งตรงกับหัวข้อ



รูปที่ 4.9 เอสเอสเฉลี่ยที่ซีไอดีเข้าต่างๆ



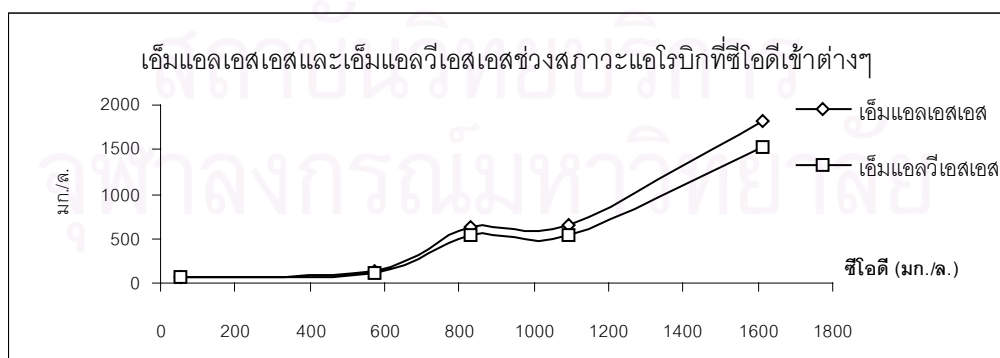
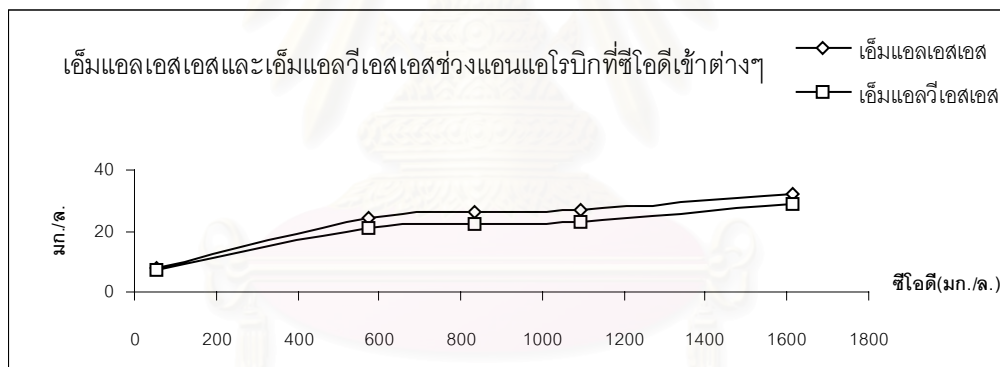
รูปที่ 4.10 มวลจุลินทรีย์บนวัสดุตัวกลางในการทดลองต่างๆ



รูปที่ 4.11 มวลแบคทีเรียบนวัสดุตัวกลางที่อบที่ 110 และ 550 องศาเซลเซียส

4.1.5.1 และข้อ 4.1.5.2 และจากผลการทดลองที่ 1 ที่มีซีไอดีเข้าเท่ากันแต่มีช่วงสภาวะต่างกัน พบว่าที่สภาวะแอนแอโรบิกสั้นหรือแอโรบิกนาน จะมีเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส สูงกว่า เนื่องมาจากการเป่าอากาศที่นานกว่าจึงมีผลต่อการหลุดออกเซลล์มากขึ้น ซึ่งก็สอดคล้องกับหัวข้อ 4.1.5.1 ด้วย

ในการทดลองที่ 3 ค่าเอ็มแอลเอสเอส มีค่าในช่วง 1520-2100 มก./ล. แต่ค่าเอสเอสในน้ำออกอยู่ในช่วง 221-260 มก./ล. ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากระบบนี้เป็นการทดลองแบบแบตช์ เมื่อทำการถ่ายน้ำออกทางด้านล่างของถังปฏิกิริยา ทำให้เซลล์ที่แขวนลอยในน้ำส่วนเหนือชั้นวัสดุตัวกลาง (เอ็มแอลเอสเอส) ถูกกรองติดที่ชั้นวัสดุตัวกลางซึ่งมีขนาดเล็ก (รายละเอียดคุณลักษณะของวัสดุตัวกลางอยู่ในภาคผนวก ข) เมื่อขณะทำการทดลอง พบว่าขณะที่ถ่ายน้ำออกก็ จะสามารถสังเกตได้ว่ามีเซลล์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเหนือชั้นวัสดุตัวกลางค้างติดอยู่เหนือชั้นวัสดุตัวกลางด้วย



รูปที่ 4.12 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสที่ซีไอดีเข้าต่างๆ

A) สภาวะแอนแอโรบิก

B) สภาวะแอโรบิก

4.1.5.4 การทำสมดุลย์มวลในระบบ

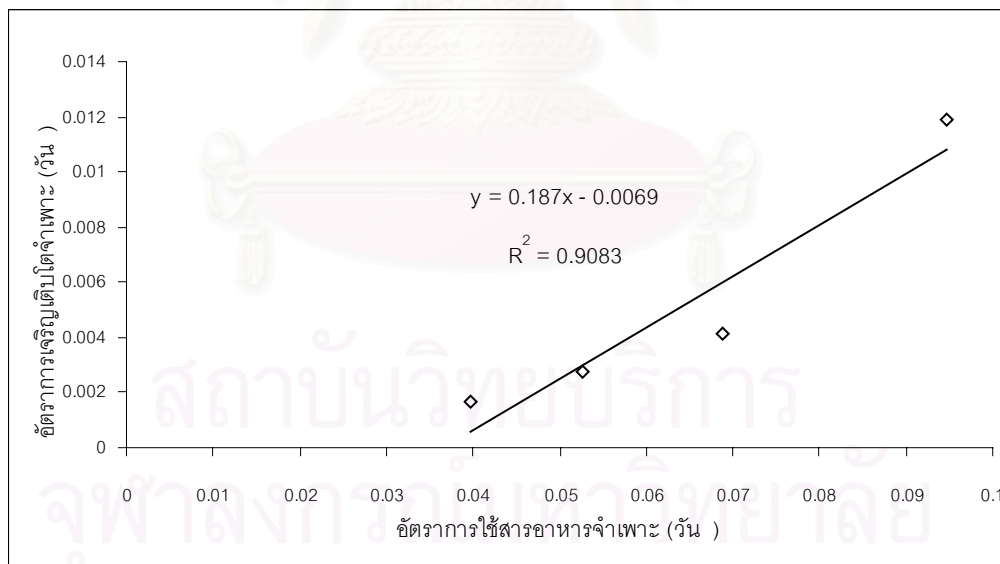
จากผลการทดลองเมื่อนำมาทำสมดุลย์มวลแบบคที่เรียในระบบได้ดังนี้

มวลแบบคที่เรียที่เข้าระบบ + มวลแบบคที่เรียที่เกิดขึ้น = มวลแบบคที่เรียที่ออกจากระบบ

ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ดังนั้นจะได้

มวลแบบคที่เรียที่เกิดขึ้น = มวลแบบคที่เรียที่ออกจากระบบ

จากงานวิจัยนี้ระบบไม่มีการถ่ายสลัดจ์ส่วนเกินออก และไม่มีการล้างย่อน ดังนั้นเซลล์ที่ออกจากระบบ คือ เอสเอสในน้ำออกที่ออกจากระบบทุกวัน (เนื่องจากระบบเป็นการทำงานแบบแบคทีเรียรอบการทำงาน 24 ชม.) และนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (Yield ; Y) ได้ตามรูปที่ 4.13 โดยที่นำการทดลองที่มีสภาวะการทำงานที่เป็นสภาวะเดียวกัน แตกต่างที่ปริมาณน้ำตาลที่เติมลงไปโดยที่เป็นการเพิ่มซีโอดีน้ำเข้ามาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุตะกอนหรืออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ

จากรูปที่ 4.13 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตมีค่าเท่ากับ 0.19 ก.เซลล์/ก.ซีโอดี ซึ่ง มีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตในระบบตะกอนแขวนลอยแบบแอโรบิกที่มีค่าอยู่ใน

ช่วง 0.4-0.8 ก.เซลล์/ก.บีโอดี (Metcalf and Eddy ; 1991) และ 0.4-0.6 ก.เซลล์/ก.ซีโอดี (ธีระ เกรอต ; 2539) แต่จะมีค่าสูงกว่าในระบบถังย่อยแบบแอนแอโรบิกซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.10 (Metcalf and Eddy ; 1991) เนื่องจากในการทดลองที่นำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต เป็นระบบเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกเป็น 18-5 ชม. ซึ่งมีการทำงานเป็นแอนแอโรบิกเป็นส่วนมากค่ายิลด์จึงมีค่าใกล้เคียงกับระบบที่เป็นแอนแอโรบิกเพราะสิ่งแวดล้อมของระบบเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อค่ายิลด์ (ธีระ เกรอต ; 2539) และจากรูปที่ 4.13 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตาย 0.007 วัน^{-1} ซึ่งจากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การตายของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยกลุ่มจุลชีพมีค่าอยู่ในช่วง $0.0014-0.03 \text{ วัน}^{-1}$ (ธีระ เกรอต ; 2539) ซึ่งจากในงานวิจัยมีค่าสัมประสิทธิ์การตายอยู่ในช่วงที่ได้

ในการทดลองที่ 2.1 ที่เป็นการทดลองที่ไม่ได้เติมน้ำตาล มีแต่สีที่เติมลงไป พบว่าในการทดลองนี้มีเอสเอสออกมากเนื่องจากการทดลองได้ทดลองต่อจากการทดลองที่ 1 ที่มีการเติมน้ำเสียที่มีซีโอดีสูงถึง 1087 มก./ล. ทำให้ในการทดลอง 2.1 นี้มีการสะสมของแบคทีเรียจากการทดลองที่แล้วและกำลังอยู่ในช่วงที่กำลังหลุดลอกของชั้นฟิล์มชีวภาพเนื่องจากการสลายตัวเซลล์ทำให้มีค่าเอสเอส เพราะการทดลองนี้ยังไม่ถึงสถานะคงตัวที่แท้จริง (ตามในหัวข้อที่ 4.1.5.1)

4.1.5.5 อายุสัปดาห์ในแต่ละการทดลอง

จากการทำสมดุลในระบบ พบว่าเอสเอสที่ออกจากระบบในแต่ละวันจะเท่ากับมวลจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และเมื่อจบการทดลองในแต่ละการทดลองแล้วได้ทดลองหามวลจุลินทรีย์ที่เกาะบนวัสดุตัวกลาง ซึ่งก็คือมวลในระบบแล้วสามารถนำมาคำนวณหาอายุสัปดาห์ได้ตามตารางที่ 4.13 โดยมีวิธีการทดลองอยู่ในภาคผนวก

ตารางที่ 4.13 อายุสัปดาห์ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เชิงพื้นที่ผิวต่างๆ

| การทดลองที่ | อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เชิงพื้นที่ผิว (กก./วัน-ม. ²) | อายุสัปดาห์ (วัน) |
|-------------|---|-------------------|
| 2.2 | 2.8×10^{-6} | 608 |
| 2.3 | 4.0×10^{-6} | 366 |
| 1.3 | 5.2×10^{-6} | 243 |
| 3.3 | 7.8×10^{-6} | 84 |

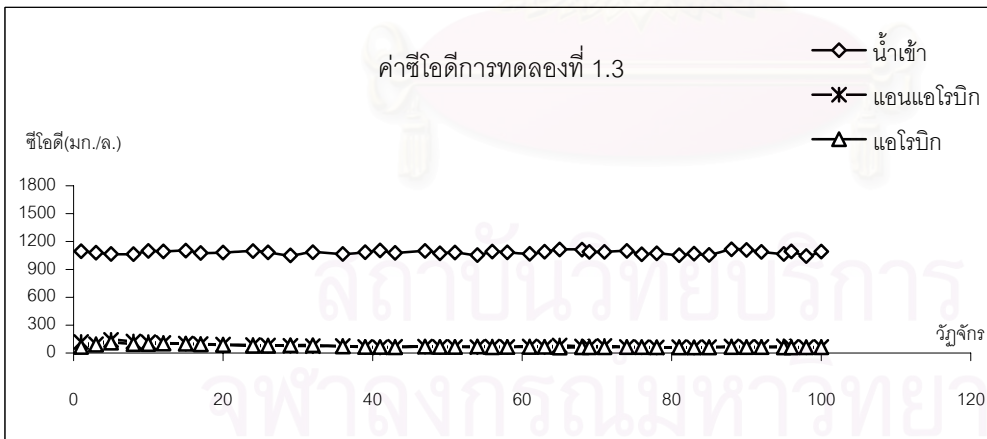
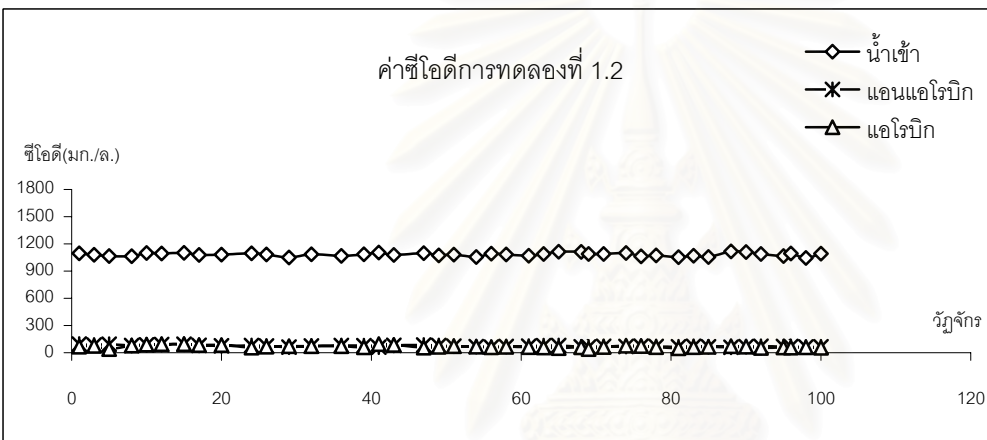
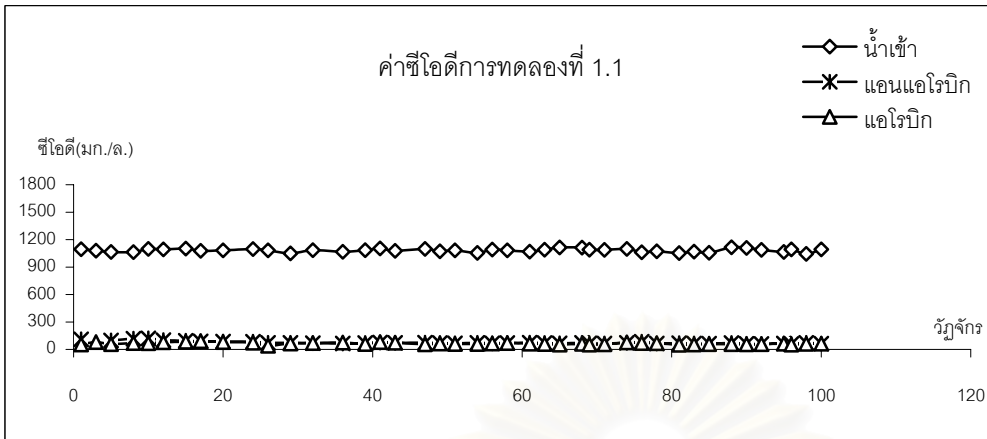
จากตารางที่ 4.13 เป็นการคำนวณค่าอายุสลัดจ์จากการทดลองที่มีสภาวะการทำงานเดียวกันต่างกันเพียงซีโอดีเข้า ซึ่งทำให้มีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ โดยเมื่อดูจากรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าอายุสลัดจ์ลดลง เนื่องจากเมื่อมีอาหารมากขึ้น แบคทีเรียมีการเจริญเติบโตมากขึ้นและมีการหลุดออกของเซลล์ออกจากระบบมากขึ้น แต่ยังมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์อยู่ในช่วง 5-15 วัน และระบบถังย่อยแบบแอนแอโรบิก 10-14 วัน (Metcalf and Eddy ; 1991) เพราะระบบในงานวิจัยนี้เป็นระบบฟิล์มชีวภาพ



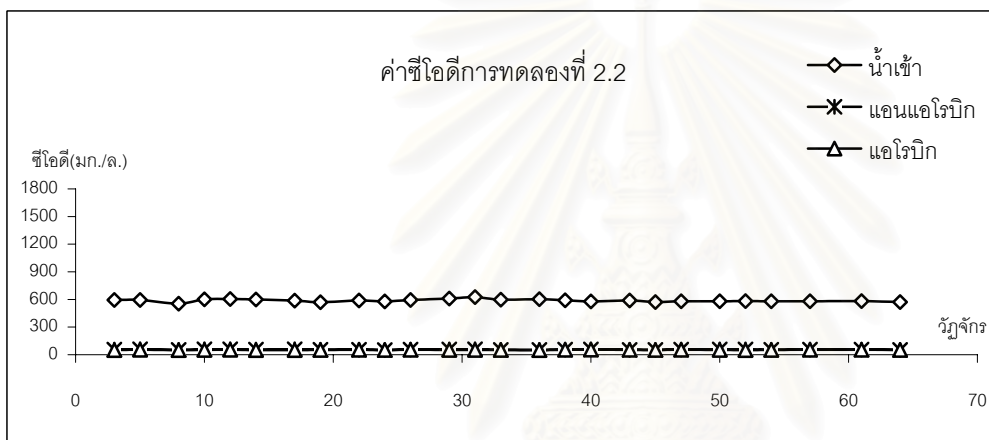
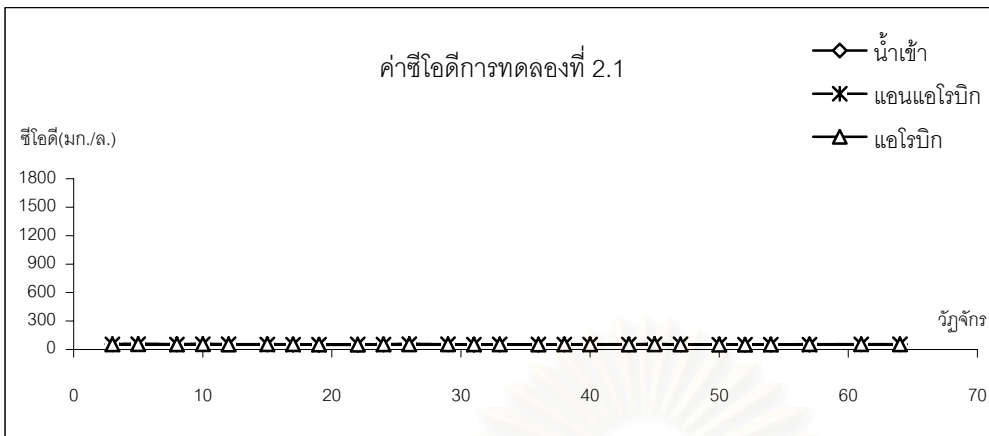
รูปที่ 4.14 อายุสลัดจ์ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

4.1.6 ซีโอดี

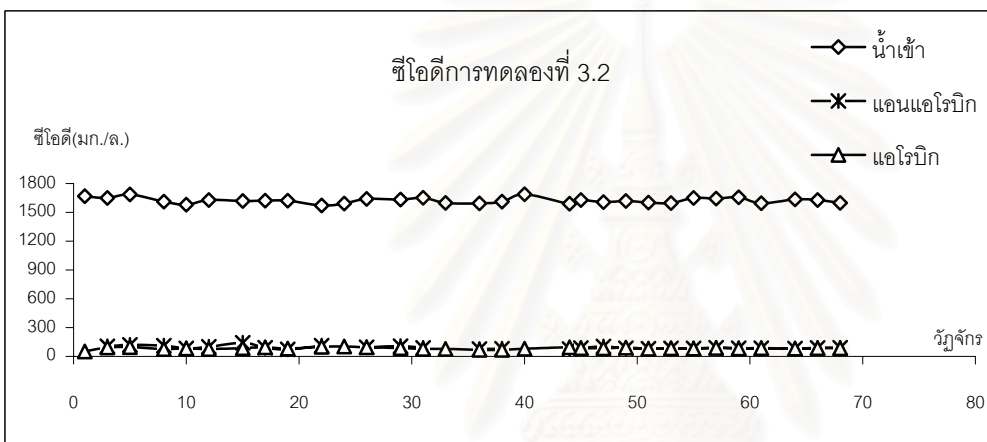
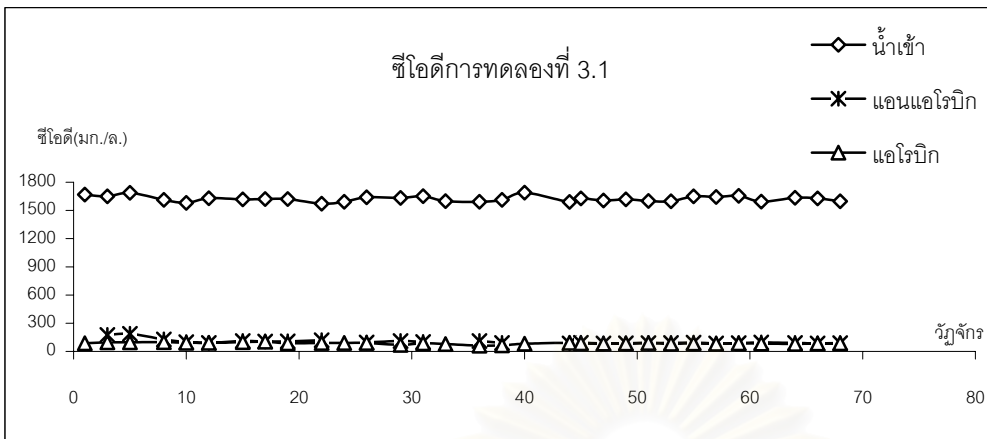
ค่าเฉลี่ยซีโอดีของแต่ละการทดลองเป็นตามตารางที่ 4.14 ในงานวิจัยนี้มีการเติมน้ำตาลซึ่งเป็นสารย่อยง่ายเพื่อเป็นแหล่งอาหารกับแบคทีเรีย โดยเติมน้ำตาลเป็นจำนวนเท่าของซีในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรซีโอดี จากรูปที่ 4.15 เป็นผลการทดลองซีโอดีที่การทดลองต่างๆ การกำจัดซีโอดีจะเกิดสูงมากที่ช่วงต้นของวัฏจักรการทำงาน ทำให้ค่าซีโอดีลดลงมาจนเกือบเท่าค่าซีโอดีน้ำออกในช่วง 2 ชม.แรก แต่มีการลดลงบ้างเล็กน้อยในช่วงสภาวะแเอโรบิก เมื่อพิจารณาจากค่าซีโอดีออกของการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกับค่าซีโอดีของซี แสดงว่าระบบมีการกำจัดสารอาหารย่อยง่ายได้เกือบทั้งหมด ซีโอดีที่ออกมาในน้ำออกจึงน่าจะเป็นซีโอดีของซี



รูปที่ 4.15 แสดงซีไอดีในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง (หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.15 แสดงซีไอดีในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)
(หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.15 แสดงซีไอดีในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)
(หมายเหตุ วัดในตอนปลายแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.16 โพรไฟล์ซีโอดีในแต่ละการทดลอง

ในชุดการทดลองที่ 2.1 ซึ่งไม่มีการเติมน้ำตาล พบว่า ค่าซีไอดีไม่ลดลง มีค่าซีไอดีเข้าเท่ากับซีไอดีออกซึ่งเป็นซีไอดีของสี และ ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำมาก เพราะระบบมีแต่ซีไอดีจากสีเพียงอย่างเดียว แสดงว่าแบคทีเรียไม่สามารถกำจัดซีไอดีจากสีได้ เนื่องจากสีเป็นสารที่ย่อยยาก และจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายโมเลกุลของสีได้และมีผลทำให้เซลล์จุลินทรีย์ลดลงอย่างมาก และมีการย่อยสลายเซลล์ที่เป็นชั้นฟิล์มชีวภาพค้างอยู่จากการทดลองที่ 1 และทำให้มีเซลล์ที่แตกสลายออกมาในน้ำเสียทำให้ในการทดลองนี้มีค่าเอสเอสสูง ซึ่งตรงกับหัวข้อ 4.1.5.1 ในการทดลองที่ 3 ซีไอดีออกมีค่าสูงกว่าซีไอดีในส่วนของสี แสดงว่าระบบมีการกำจัดไม่เป็น 100% เพราะซีไอดีเข้าเนื่องจากน้ำตาลของการทดลองที่ 3 มีค่าสูงประมาณ 1550 มก./ล. และในจากรูปที่ 4.16 โพรไฟล์ซีไอดีมีการลดลงอย่างรวดเร็วช่วง 2 ชั่วโมงแรก ซึ่งก็ตรงกับการลดลงอย่างรวดเร็วของสีซึ่งลดลงเร็วมากเช่นกันในช่วง 2 ชั่วโมงแรก แสดงว่าการที่มีสารอาหารย่อยง่ายอยู่ในระบบจะช่วยให้การลดสีซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.2

ตารางที่ 4.14 ซีไอดีเฉลี่ยแต่ละการทดลอง

| การทดลองที่ | ซีไอดี(มก./ล.) | | | ภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์เชิงพื้นที่ผิววัสดุตัวกลาง (กก./วัน-ม. ²) | ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี |
|-------------|----------------|-------------|----------|---|---------------------------|
| | น้ำเข้า | แวนแวนโรบิก | แวนโรบิก | | |
| 1.1 | 1087 | 64 | 59 | 5.2×10^{-6} | 94.60 |
| 1.2 | 1087 | 66 | 60 | 5.2×10^{-6} | 94.46 |
| 1.3 | 1087 | 66 | 62 | 5.2×10^{-6} | 94.28 |
| 2.1 | 54 | 52 | 53 | 2.6×10^{-7} | 1.66 |
| 2.2 | 579 | 55 | 53 | 2.8×10^{-6} | 90.90 |
| 2.3 | 841 | 64 | 61 | 4.0×10^{-6} | 92.76 |
| 3.1 | 1625 | 90 | 84 | 7.8×10^{-6} | 94.82 |
| 3.2 | 1625 | 86 | 85 | 7.8×10^{-6} | 94.76 |
| 3.3 | 1625 | 86 | 84 | 7.8×10^{-6} | 94.80 |

ในการเพิ่มภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ในระบบ (จากการทดลองที่มีสภาวะการทำงานเดียวกัน แตกต่างกันที่ซีไอดีเข้า) ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 90.90-94.80 แสดงว่าระบบสามารถรับภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอีกได้ เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดียังมีค่าสูง

ระบบนี้เป็นระบบที่มีการทำงานแบบแบตช์ที่มีเวลากักน้ำ 1.1 วัน หรือเมื่อคิดเวลากักน้ำที่มีคำนวณจาก Empty Base Retention Time จะมีค่า 1.5 วัน

ในการคำนวณหาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงพื้นที่ผิววัสดุตัวกลาง (Area Organic Loading Rate ; AOLR) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตรน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ (Volumetric Organic Loading Rate ; VOLR) ตามตารางที่ 4.15

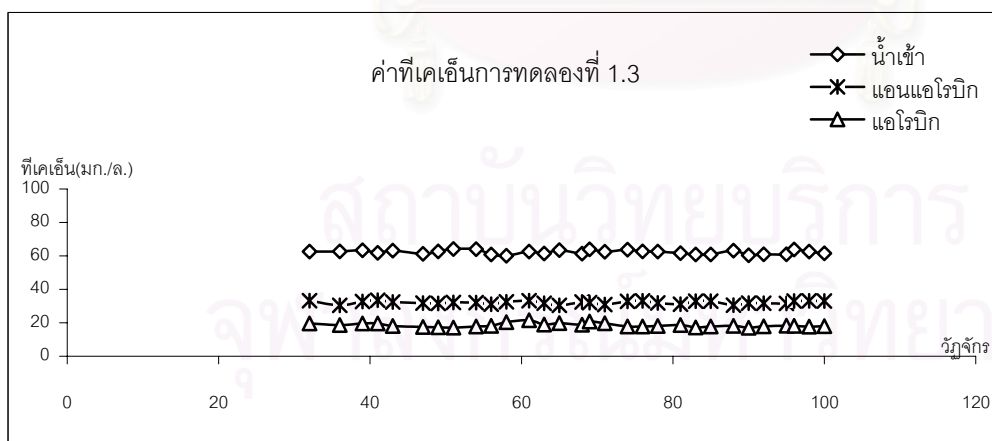
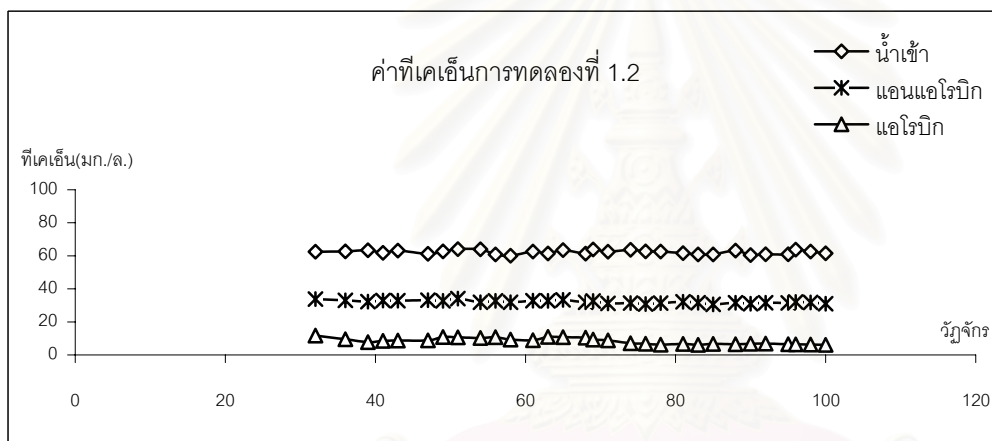
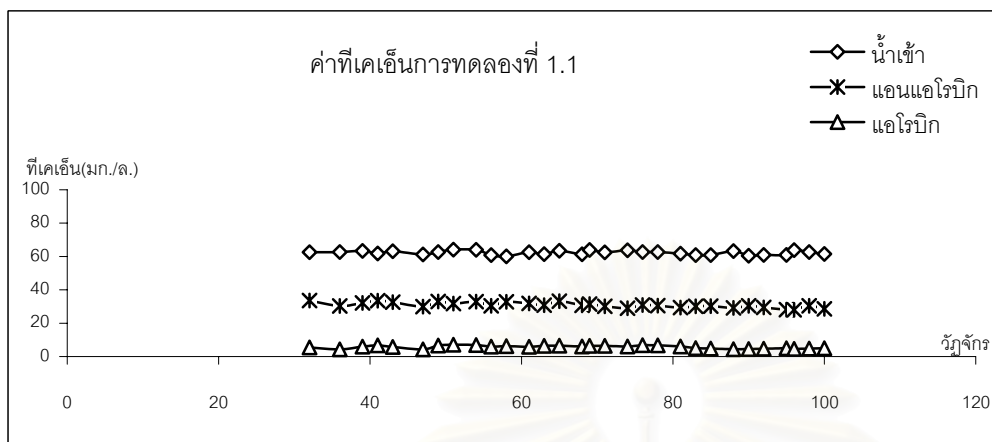
ตารางที่ 4.15 ค่า AOLR และ VOLR ในแต่ละการทดลอง

| ซีโอดีเข้า (มก./ล.) | AOLR (kg/day-m ²) | VOLR (kg/day-m ³) | ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 54 | 2.6×10^{-7} | 4.9×10^{-2} | 1.66 |
| 579 | 2.5×10^{-6} | 0.47 | 90.90 |
| 841 | 3.7×10^{-6} | 0.70 | 92.76 |
| 1087 | 4.9×10^{-6} | 0.92 | 94.28 |
| 1625 | 7.4×10^{-6} | 1.39 | 94.80 |

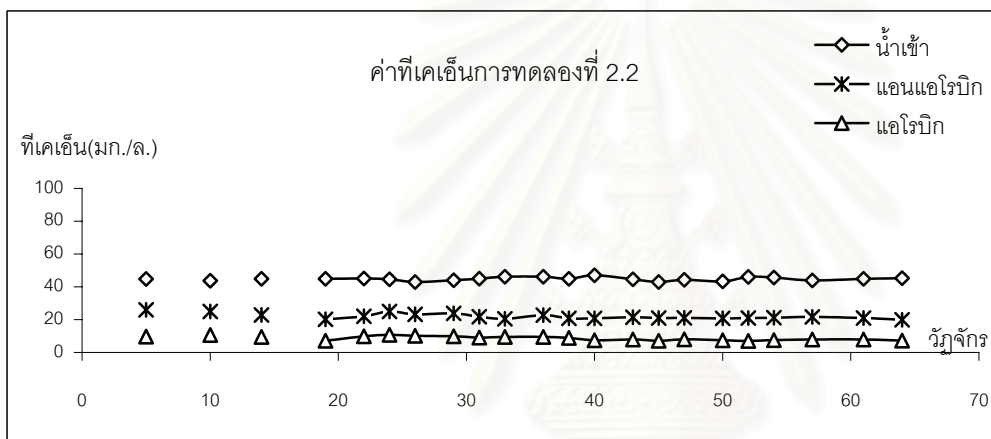
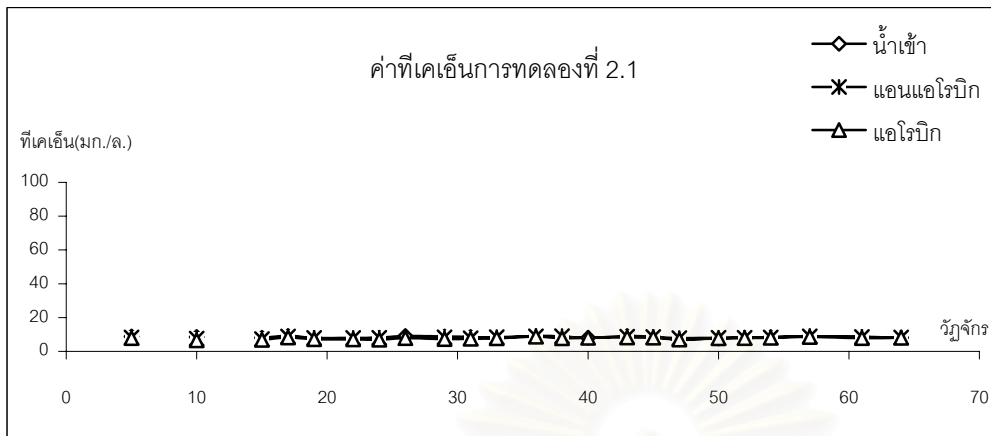
4.1.6 ทีเคเอ็น

ในการทดลองนี้เติมไนโตรเจนในอัตราส่วนกับซีโอดีเป็น 5:100 โดยเติมไนโตรเจนในรูปของยูเรีย ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นตามตารางที่ 4.16 เมื่อดูจากรูปที่ 4.18 โพรไฟล์ทีเคเอ็นพบว่าทีเคเอ็นจะลดลงอย่างมากในช่วงแอนแอโรบิกเนื่องจากแบคทีเรียสะสมไนโตรเจนไว้ในเซลล์โดยทดลองหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเซลล์ ในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิก และแอโรบิกพบว่า เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเซลล์ในช่วงแอนแอโรบิกมีค่าสูงกว่าในแอโรบิก

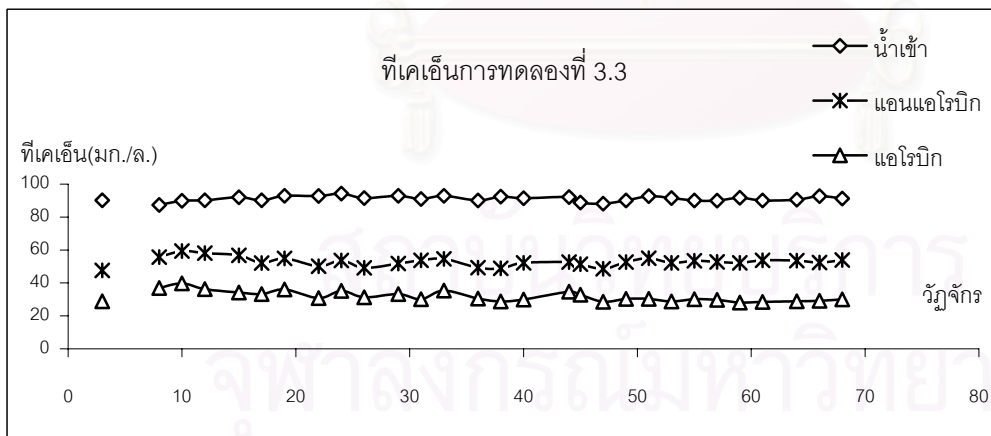
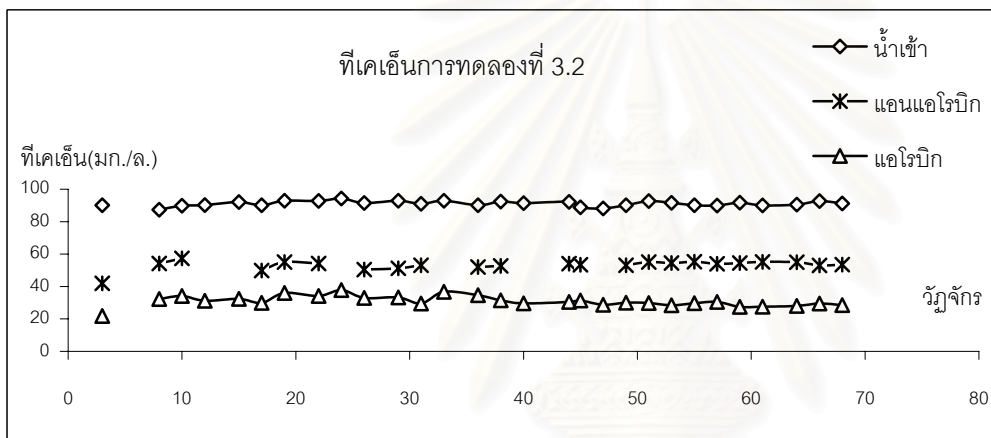
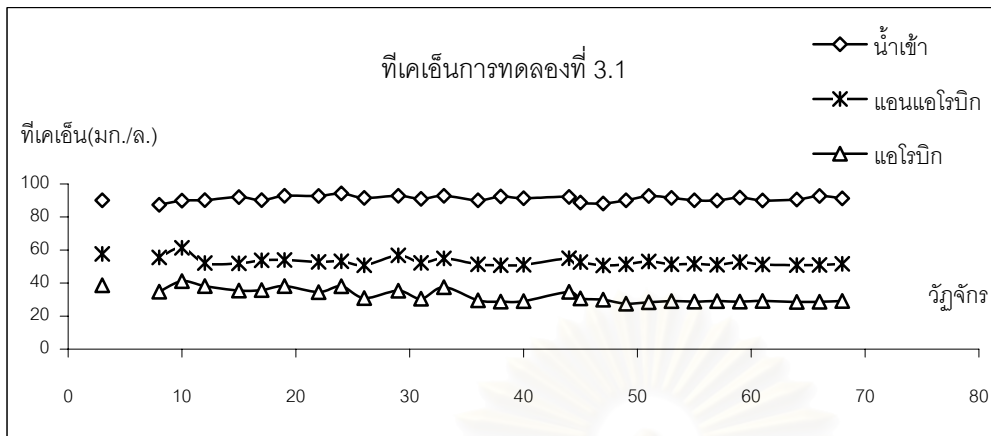
เมื่อพิจารณาจากระยะเวลากักแอโรบิกที่ต่างกัน (การทดลองที่ 1) พบว่าในช่วงสภาวะแอนแอโรบิกสั้น หรือแอโรบิกนาน จะมีการกำจัดทีเคเอ็นในช่วงสภาวะแอโรบิกได้มากกว่าในการทดลองที่มีช่วงแอโรบิกสั้น เพราะการเติมอากาศที่นานกว่า จึงทำให้ระยะเวลาการเกิดไนตริฟิเคชันนานกว่า ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นไปด้วย เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นจะลดลงเมื่อระบบมีซีโอดีเข้ามากขึ้น เนื่องจากเมื่อระบบมีซีโอดีเข้ามาก



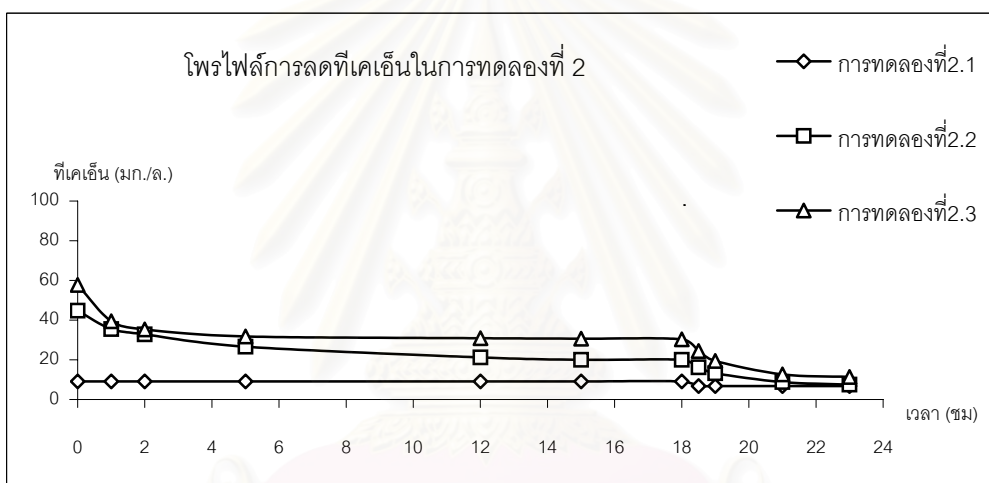
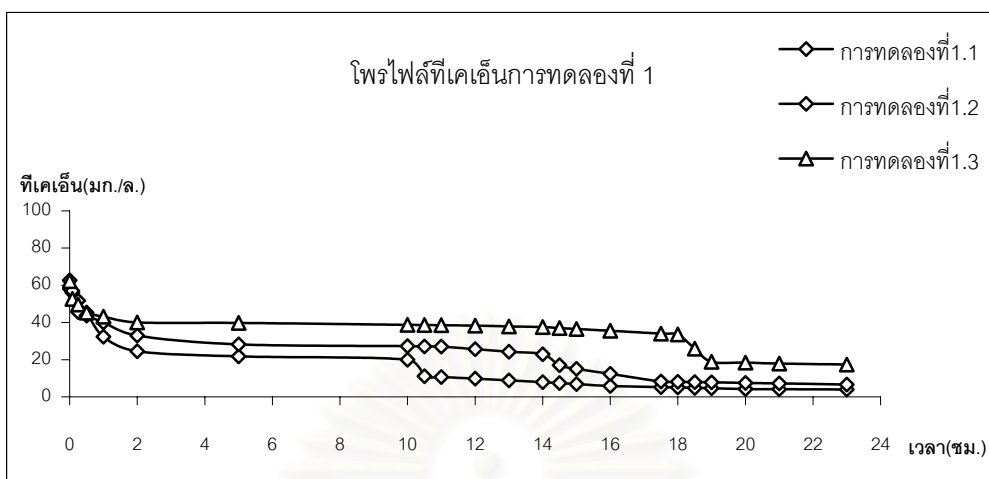
รูปที่ 4.17 แสดงทีเคเอ็นในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง (หมายเหตุ วัฏจักรในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.17 แสดงที่เคเอ็นในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)
(หมายเหตุ วัตในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.17 แสดงที่เคเอ็นในวัฏจักรต่างๆในแต่ละการทดลอง(ต่อ)
(หมายเหตุ วัดในตอนปลายแอนแอโรบิกและแอโรบิก)

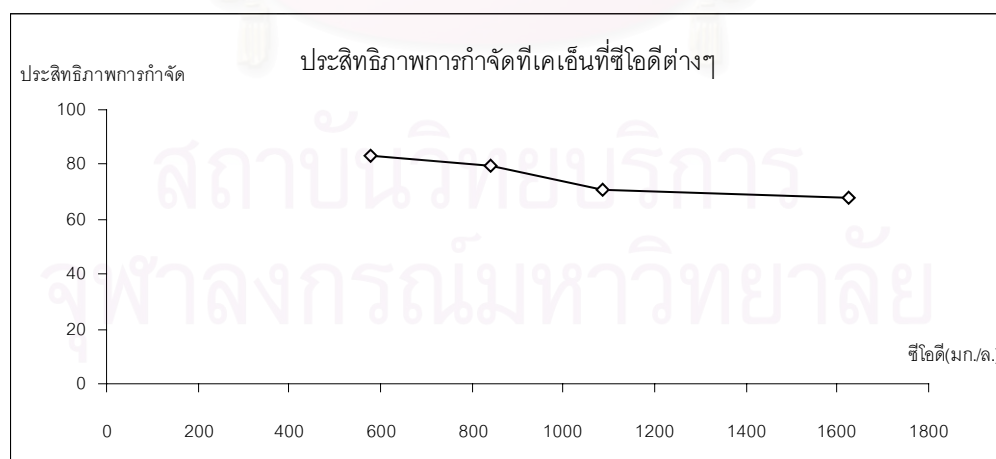


รูปที่ 4.18 โพรไฟล์ที่เคเอ็นในแต่ละการทดลอง

ทำให้มีอาหารสำหรับแบคทีเรียมากขึ้น เซลล์จึงมีการเจริญเติบโตได้มากขึ้นส่งผลทำให้มีการเกาะที่วัสดุตัวกลางมากขึ้น และมีการหลุดออกได้มากขึ้นและเร็วขึ้น แต่แบคทีเรียกลุ่มที่สามารถกำจัดไนโตรเจนนั้นสามารถเจริญเติบโตได้ช้าจึงอาจจะไม่สามารถโตทันก่อนที่ฟิล์มจะหลุดออกเสียก่อน จึงทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นลดลง เมื่อซีไอดีเข้ามากขึ้น

ตารางที่ 4.16 ที่เคเอ็นเฉลี่ยในแต่ละการทดลอง

| ตอนที่ | ที่เคเอ็น (มก./ล.) | | | ประสิทธิภาพการกำจัด |
|--------|--------------------|------------|---------|---------------------|
| | น้ำเข้า | แอนแอโรบิก | แอโรบิก | |
| 1.1 | 61.93 | 29.17 | 4.72 | 92.38 |
| 1.2 | 61.93 | 31.49 | 6.49 | 86.51 |
| 1.3 | 61.93 | 32.10 | 17.92 | 71.06 |
| 2.1 | 8.16 | 8.26 | 7.85 | 3.55 |
| 2.2 | 44.78 | 20.91 | 7.58 | 83.05 |
| 2.3 | 58.30 | 25.09 | 11.86 | 79.65 |
| 3.1 | 91.00 | 51.45 | 28.91 | 68.23 |
| 3.2 | 91.00 | 54.35 | 28.73 | 68.43 |
| 3.3 | 91.00 | 53.01 | 29.10 | 67.98 |



รูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นที่ซีไอดีเข้าต่างๆ

4.2 สีเอสยูและเอดีเอ็มไอ

ในงานวิจัยนี้ทำการวัดสีเป็นสองหน่วยคือหน่วยเอสยูและหน่วยเอดีเอ็มไอ ซึ่งค่าเฉลี่ยผลการทดลองค่าความเข้มสีทั้งสองหน่วยและประสิทธิภาพการลดสีตามตารางที่ 4.16 โดยมีผลการทดลองในแต่ละการทดลองตามรูปที่ 4.20-4.25 และผลโพรไฟล์ตามรูปที่ 4.26-4.27 ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษาที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดสี คือผลของเวลากักแอนแอโรบิก, ผลของปริมาณน้ำตาล และอัตราการหมุนเวียนน้ำ และได้หาอัตราการลดสีเพื่อเปรียบเทียบอัตราการลดสีที่ค่าตามตัวแปรต่างๆตามที่ได้ทดลอง โดยจะแยกวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

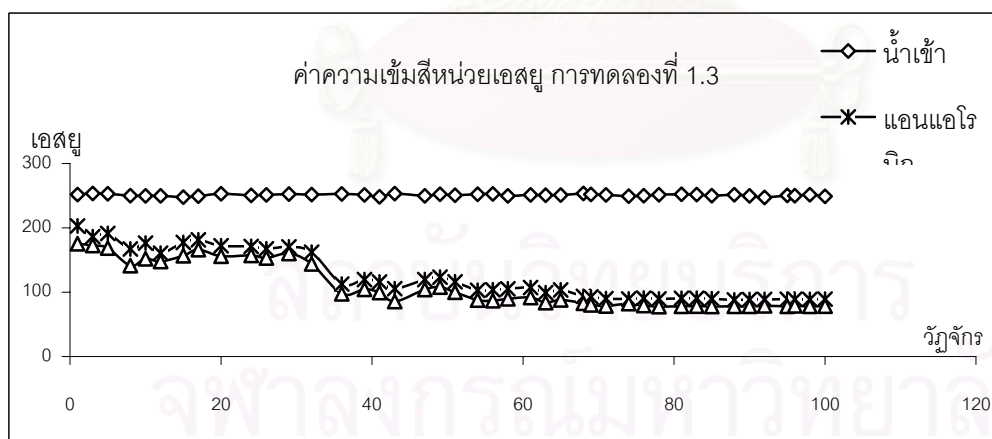
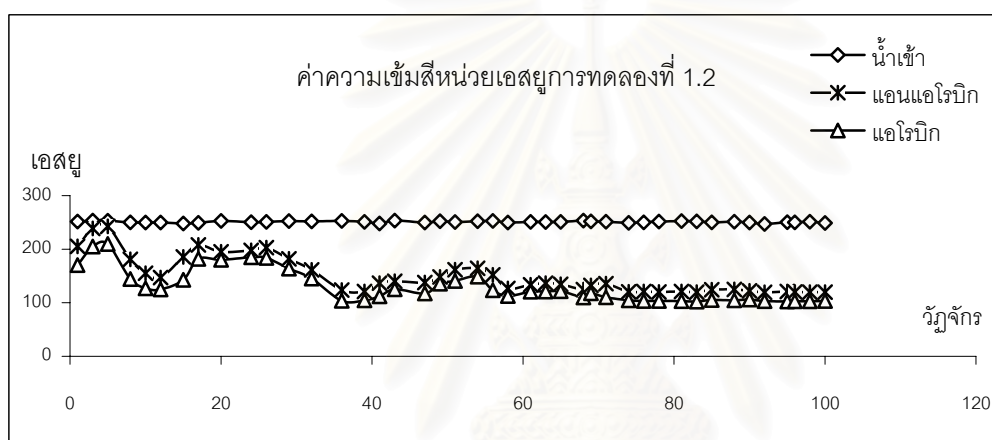
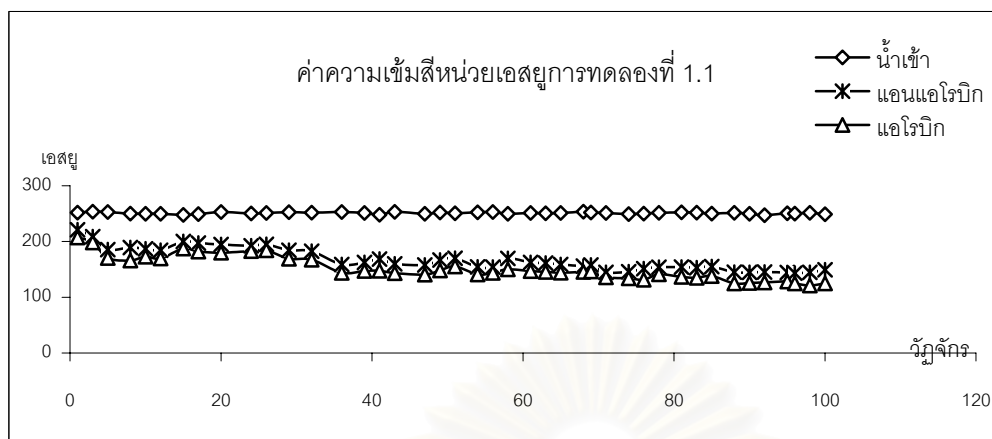
ตารางที่ 4.17 ความเข้มสีเฉลี่ยในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอ

| ตอนที่ | น้ำเข้า | | แอนแอโรบิก | | แอโรบิก | | ประสิทธิภาพการลดสี | |
|--------|---------|------------|------------|------------|---------|------------|--------------------|------------|
| | เอสยู | เอดีเอ็มไอ | เอสยู | เอดีเอ็มไอ | เอสยู | เอดีเอ็มไอ | เอสยู | เอดีเอ็มไอ |
| 1.1 | 250 | 10020 | 145 | 5391 | 125 | 4502 | 49.90 | 55.03 |
| 1.2 | 250 | 10020 | 121 | 4113 | 104 | 3481 | 58.55 | 65.26 |
| 1.3 | 250 | 10020 | 89 | 2697 | 78 | 2159 | 68.65 | 78.45 |
| 2.1 | 251 | 10037 | 251 | 10030 | 250 | 9954 | 0.44 | 0.82 |
| 2.2 | 251 | 10143 | 145 | 6389 | 144 | 6336 | 37.51 | 42.46 |
| 2.3 | 252 | 10074 | 111 | 3753 | 100 | 3494 | 60.14 | 65.32 |
| 3.1 | 251 | 10063 | 70 | 1640 | 60 | 1311 | 74.66 | 86.97 |
| 3.2 | 251 | 10063 | 77 | 2441 | 67 | 1767 | 73.09 | 82.44 |
| 3.3 | 251 | 10063 | 73 | 2045 | 64 | 1581 | 74.29 | 84.92 |

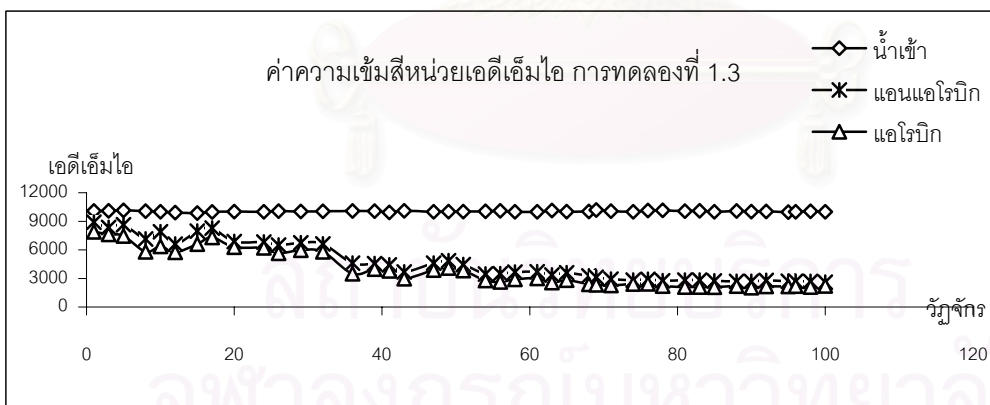
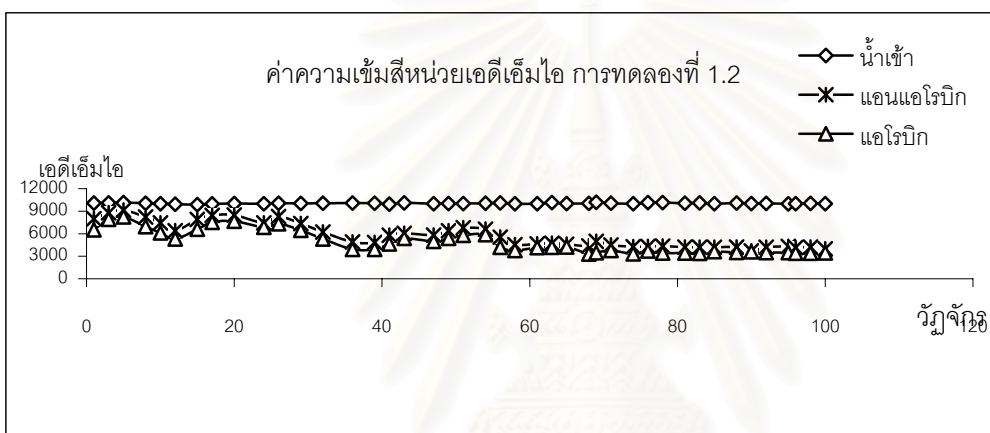
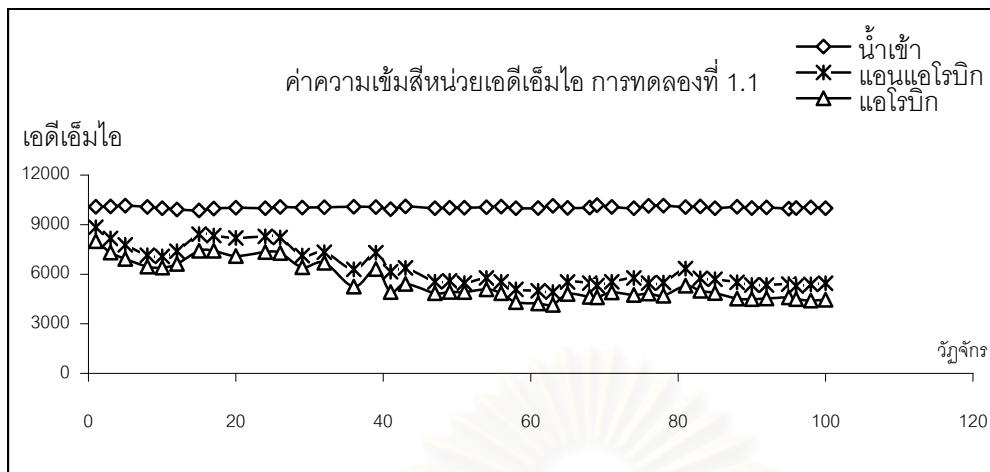
4.2.1 ผลของสัดส่วนระยะเวลาที่กักแอนแอโรบิก-แอโรบิกต่อการลดสี

4.2.1.1 ผลของสัดส่วนระยะเวลาที่กักแอนแอโรบิก-แอโรบิกต่อประสิทธิภาพการลดสี

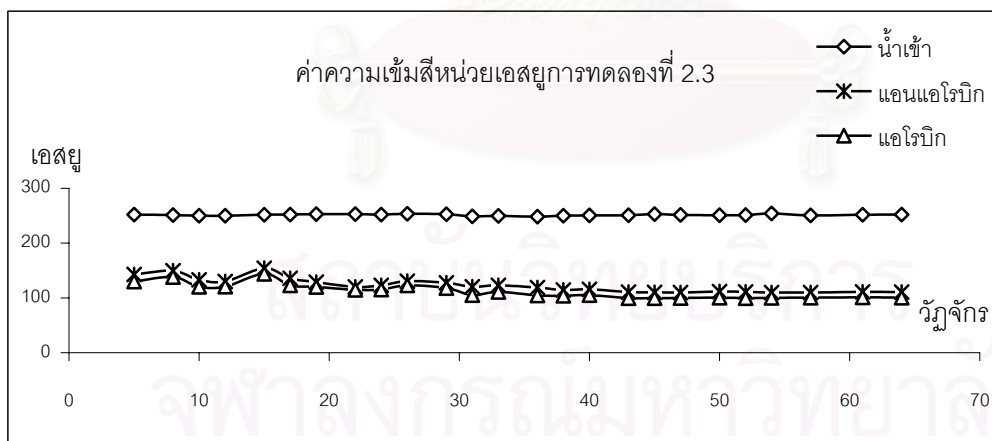
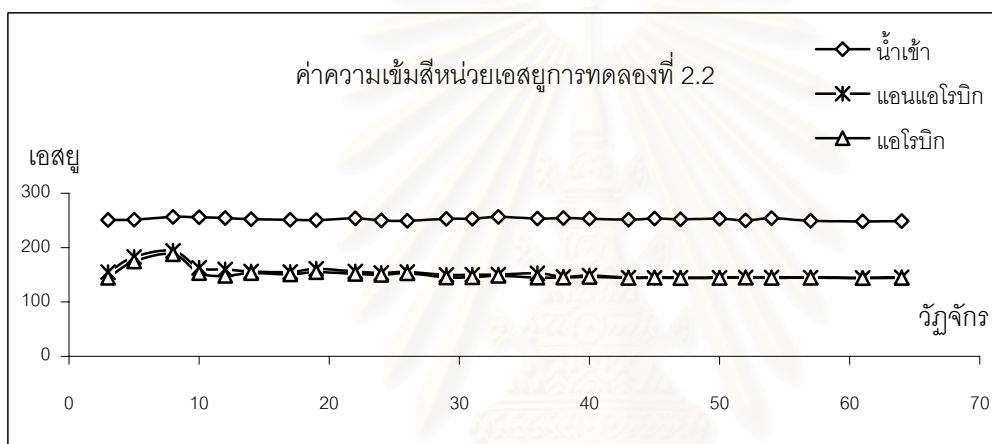
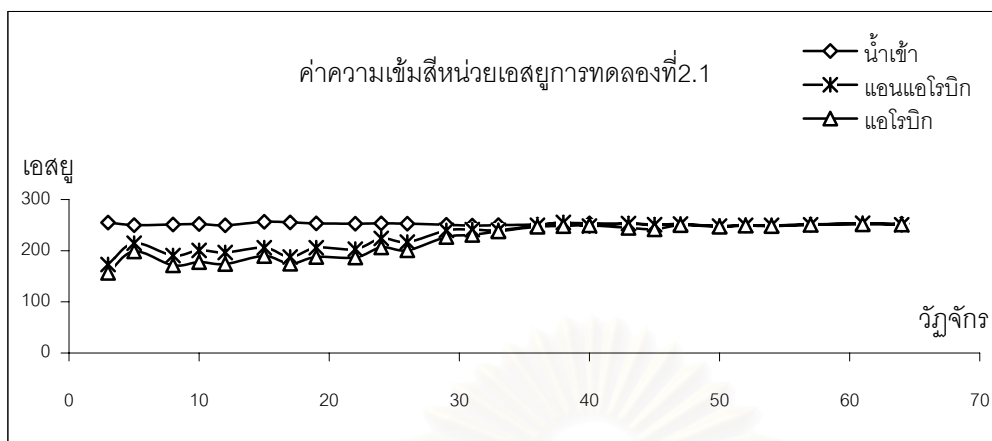
จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 เป็นผลการทดลองที่ 1 ที่ศึกษาผลของระยะเวลาที่กักแอนแอโรบิกที่ 10, 14 และ 18 ชั่วโมง พบว่าเมื่อระยะเวลาที่กักแอนแอโรบิกมากขึ้นประสิทธิภาพการลด



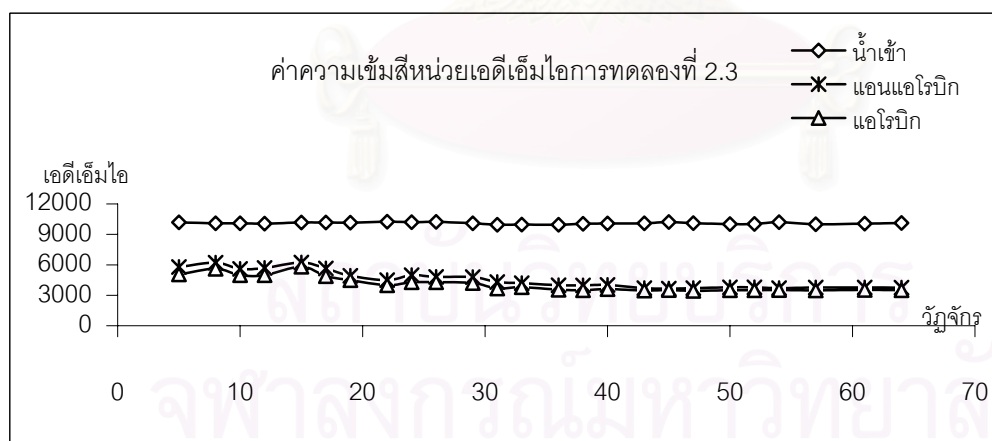
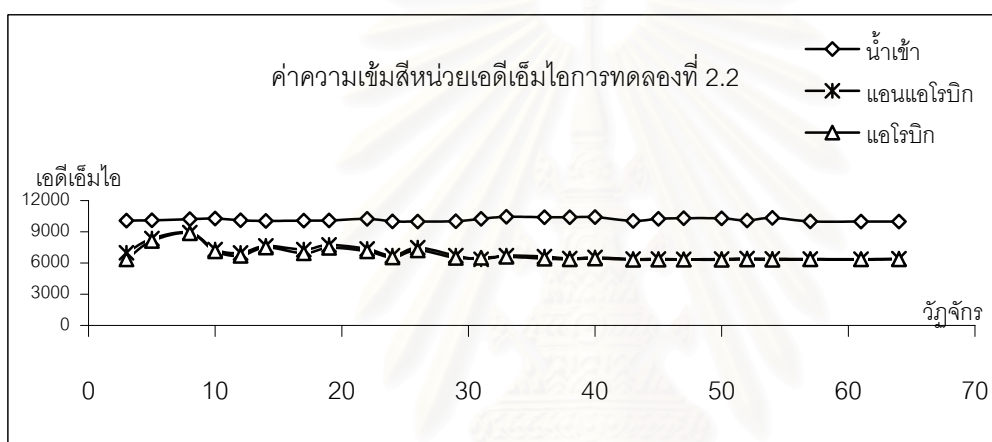
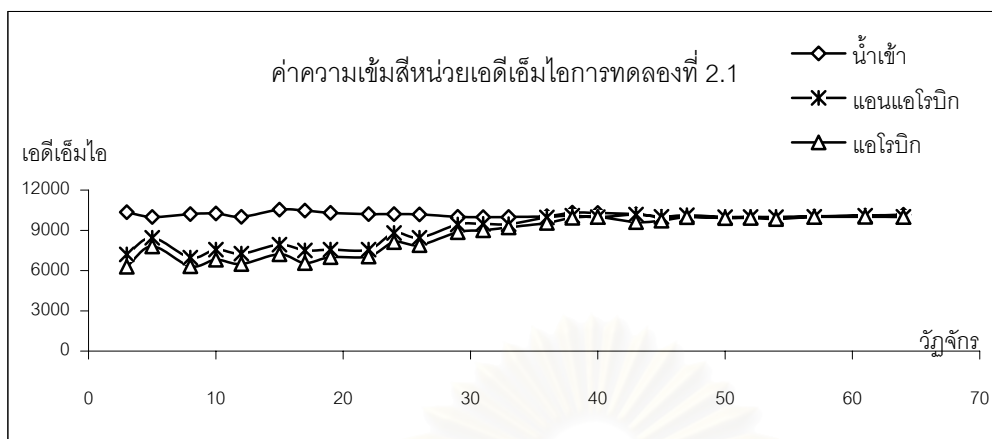
รูปที่ 4.20 แสดงสีหน่วยเอสยูในวักจักรต่างๆในการทดลองที่ 1
(หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



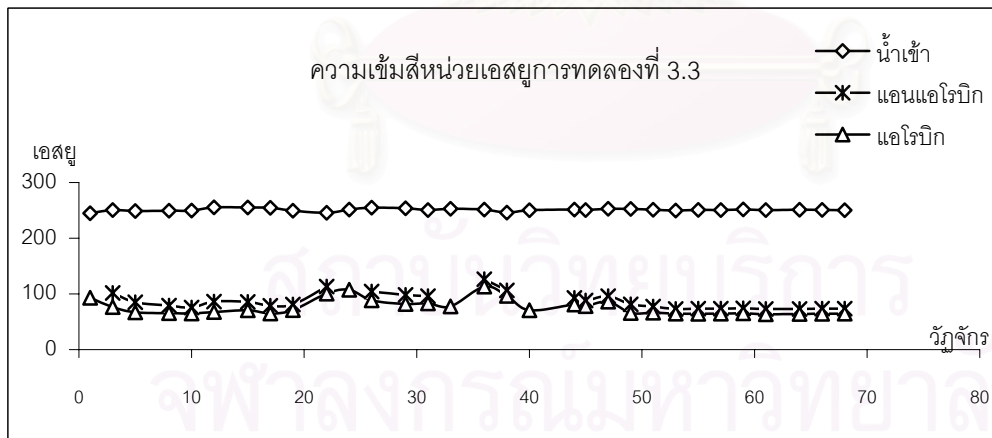
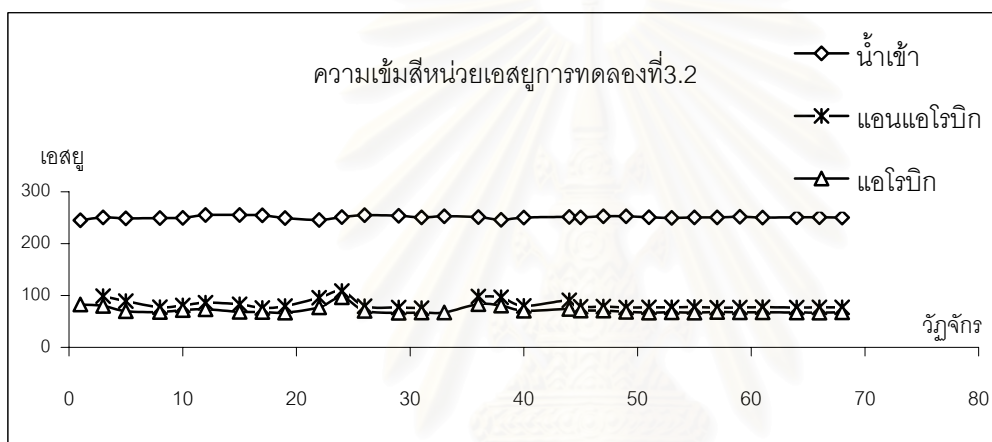
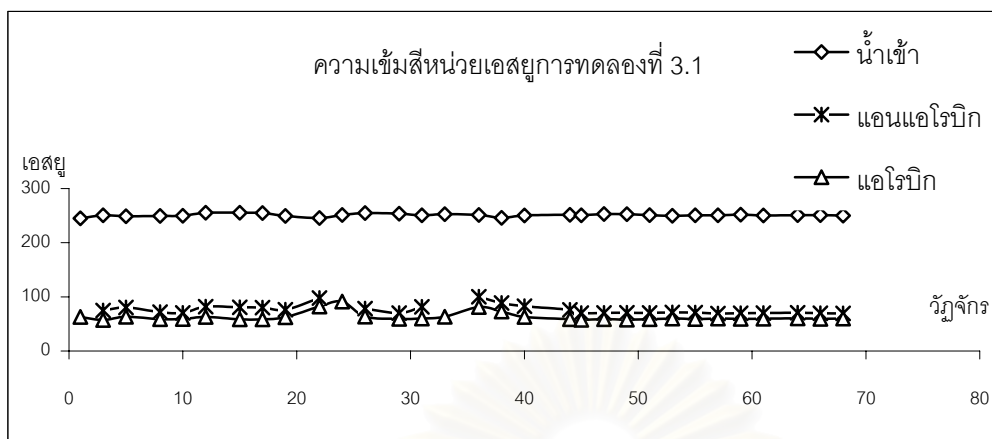
รูปที่ 4.21 แสดงสี่หน่วยเอดีเอ็มไอในวิจัยกรต่างๆในการทดลองที่ 1 (หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนไอออนบวกและแอโรบิก)



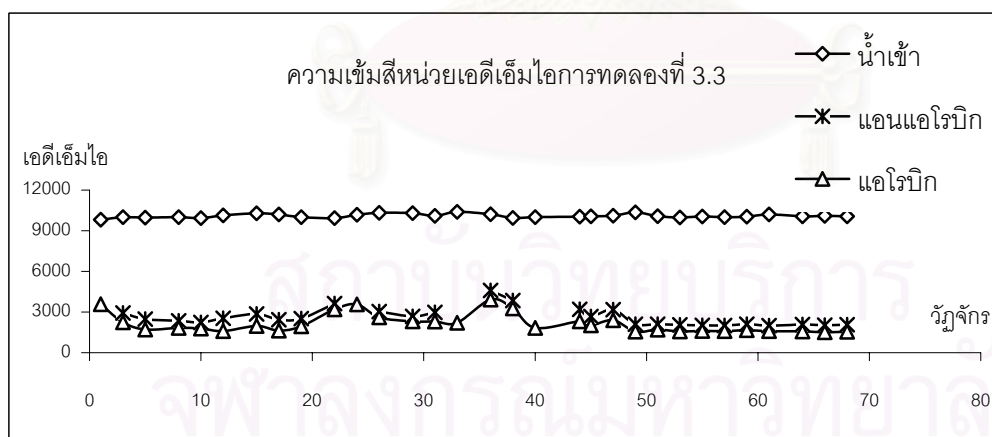
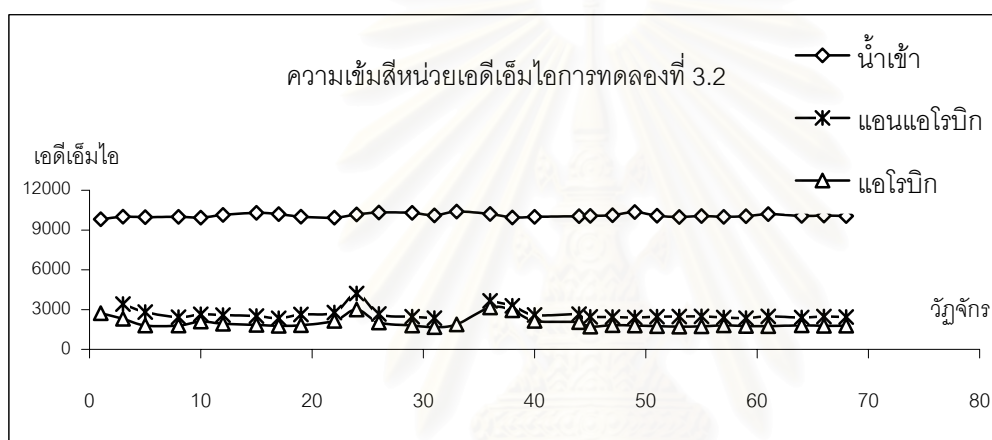
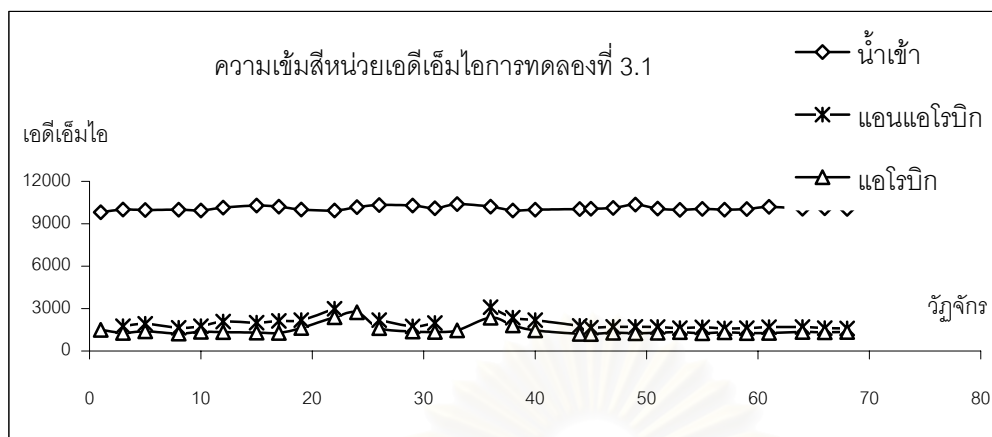
รูปที่ 4.22 แสดงสีหน่วยเอสยูในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 2 (หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



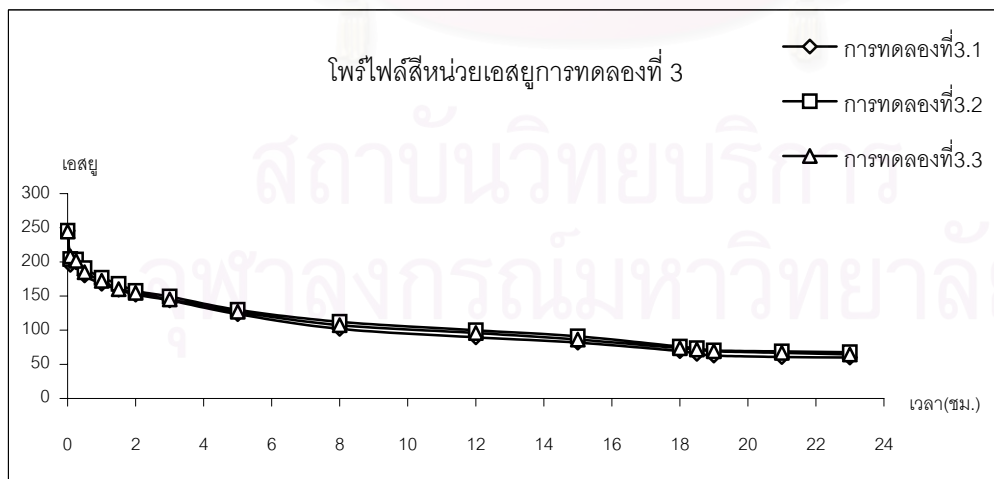
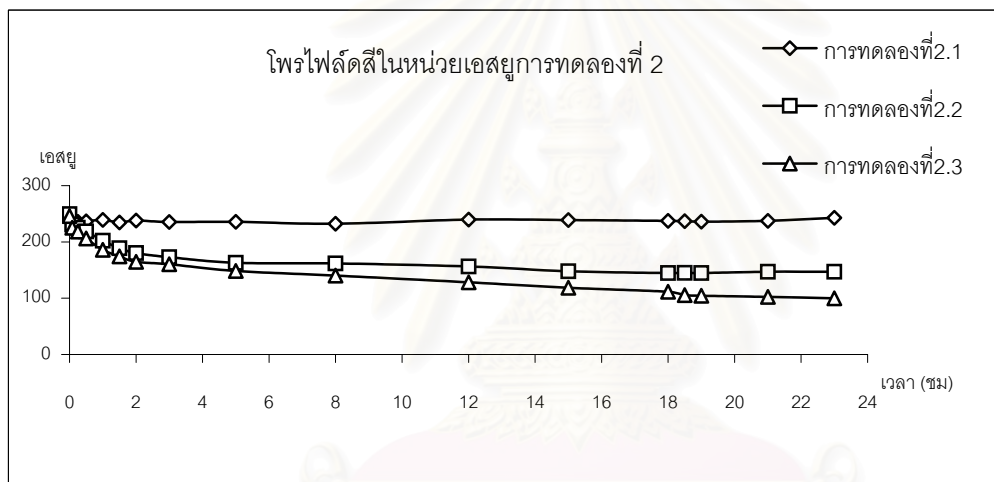
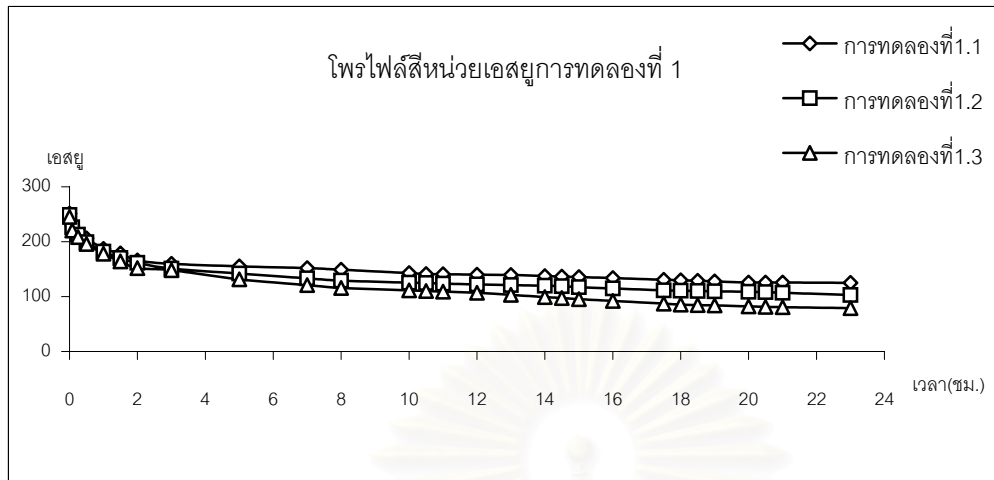
รูปที่ 4.23 แสดงสื่อน้ำเออดีเอ็มไอในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 2
(หมายเหตุ วัดในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



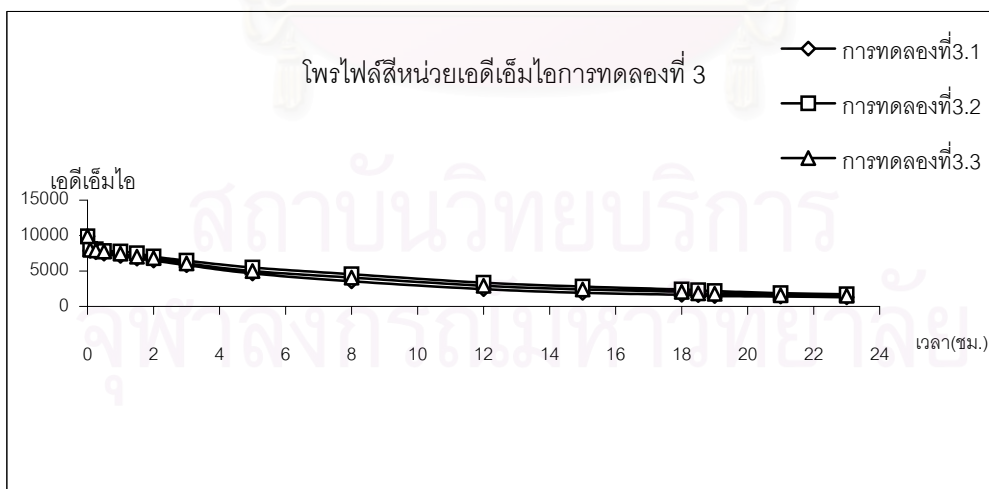
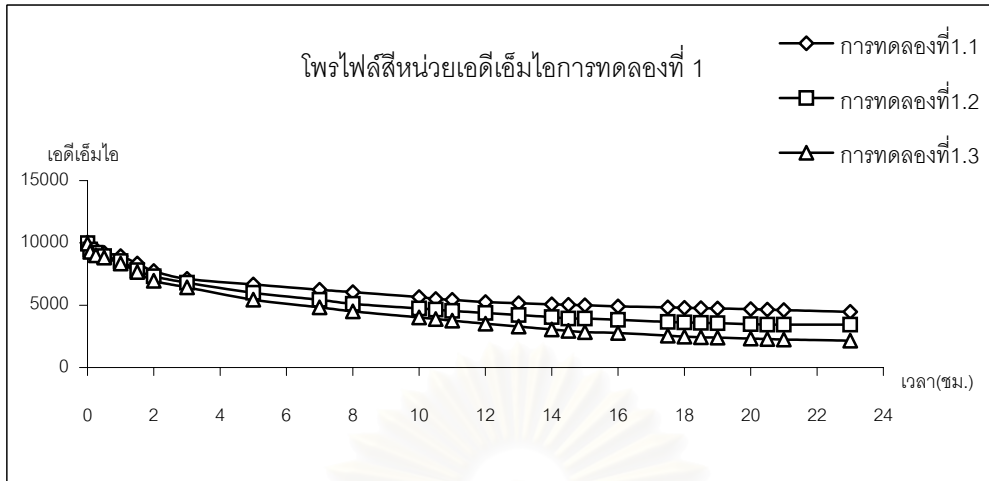
รูปที่ 4.24 แสดงสีหน่วยเอสยูในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 3
(หมายเหตุ วัดในตอนปลายแอนแอโรบิกและแอโรบิก)



รูปที่ 4.25 แสดงสีหน่วยเอ็ดเอ็มไอในวัฏจักรต่างๆในการทดลองที่ 3
(หมายเหตุ วัดในตอนปลายแอนแอโรบิกและแอโรบิก)

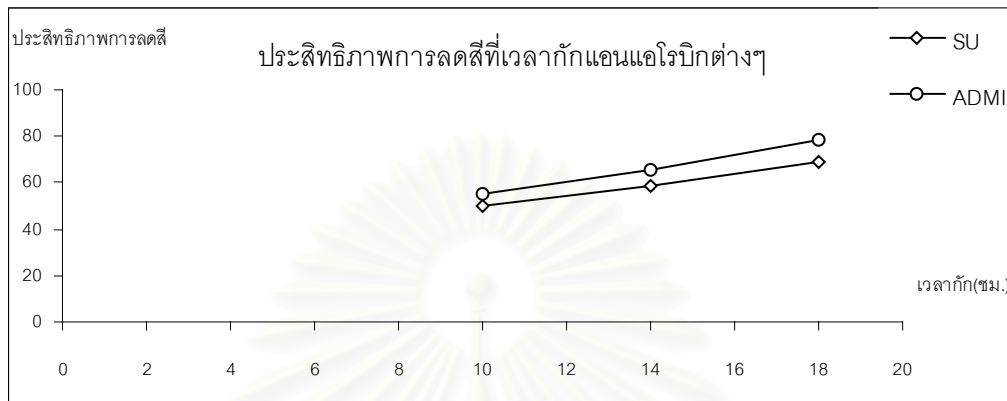


รูปที่ 4.26 โพรไฟล์สีหน่วยเอสยูในแต่ละการทดลอง



รูปที่ 4.27 โพรไฟล์สีหน่วยเอ็ดเอ็มไอในแต่ละการทดลอง

สีมากขึ้นตามกัน กล่าวคือ ประสิทธิภาพการลดสีเป็น 50%, 59% และ 69% ในหน่วยเอสยู และ 55%, 65%, และ 78% ในหน่วยเอดีเอ็มไอ ตามลำดับ



รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการลดสีที่ระยะเวลาพักแอนแอโรบิกต่างๆ

จากรูปที่ 4.28 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดสีที่เวลาพักแอนแอโรบิก 10 , 14 และ 18 ชั่วโมงซึ่งสามารถนำมาใช้ทำนายประสิทธิภาพการลดสีได้ในช่วงเวลาพักแอนแอโรบิกอยู่ในช่วง 10 –18 ชั่วโมง คือจากกราฟเมื่อหาสมการออกมาได้ทั้งในหน่วยเอสยู และเอดีเอ็มไอตามลำดับดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการลดสี (เอสยู)} = 2.3437 * \text{เวลาพักแอนแอโรบิก (ชั่วโมง)} + 26.221$$

$$R^2=0.998$$

$$\text{ประสิทธิภาพการลดสี (เอดีเอ็มไอ)} = 2.9275 * \text{เวลาพักแอนแอโรบิก (ชั่วโมง)} + 25.262$$

$$R^2 = 0.9947$$

เมื่อสังเกตด้วยตาถึงแม้ว่าสีจะลดลงแต่ไม่สามารถสังเกตด้วยตาเปล่าได้ ดังภาพที่ 4.1 เนื่องจากความเข้มข้นของสี เข้มมากเกินไปจนขีดจำกัดการมองเห็นแยกสีด้วยสายตามนุษย์ แต่เมื่อเจือจางลง 10 เท่าสามารถมองเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4.2

จากโพรไฟล์การลดสีรูปที่ 4.26-4.27 เมื่อนำมาหาอัตราการลดสีโดยการลดสีที่เริ่มต้นช่วง 2 ชั่วโมงแรกมีการลดลงของสีอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีน้ำตาลที่เป็นแหล่งอาหารให้แบคทีเรียทำให้สามารถย่อยโมเลกุลสีได้ แต่เมื่อน้ำตาลหมดการลดลงของสีก็ลดน้อยลง และเมื่อหาอัตราการลดสีในช่วง 2 ชม.แรกได้ผลดังตารางที่ 4.18 (โดยผลของน้ำตาลจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป)

พบว่าเมื่อเวลากักแวนแวนโรบิกมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการลดสีได้มากขึ้น เนื่องจากการลดสีรีแอกทีฟพันธะเอโซโดยสีจะถูกกำจัดโดยการแตกพันธะเอโซแล้วทำให้สีลดลงภายใต้สภาวะไร้อากาศที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนให้เพื่อเป็นตัวให้อิเล็กตรอน (Carliell และคณะ ; 1994) ดังนั้นเมื่อสภาวะแวนแวนโรบิกมากขึ้นประสิทธิภาพการลดสีจึงมากขึ้น ในงานวิจัยของอำพล เตโชวานิชย์ (2541) ในระบบเฮสปีอาร์ พบว่าผลของเวลากักแวนแวนโรบิกมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีได้มากขึ้น

4.2.1.2 ผลของสัดส่วนเวลากักแวนแวนโรบิก-แวนโรบิกต่ออัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะ

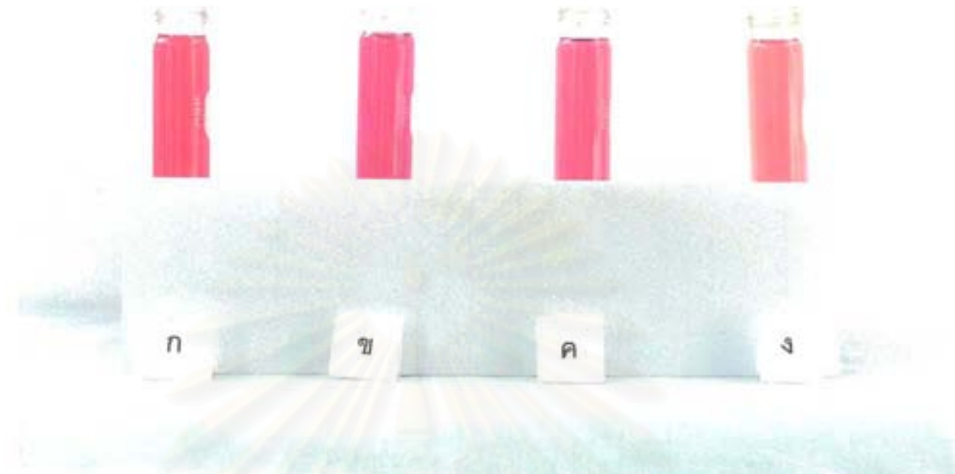
ตารางที่ 4.18 อัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะ

| เวลากัก แวนแวนโร บิก (ชม.) | อัตราการลดสีที่ 2 ชม.แรก | | | |
|----------------------------------|--------------------------|------|---|---|
| | อัตราการลดสี | | อัตราการลดสีจำเพาะ | |
| | ADMI/h | SU/h | (ADMI*cm ³)/(h*m ²) | (SU*cm ³)/(h*m ²) |
| 10 | 10.85 | 2.57 | 17.01 | 4.03 |
| 14 | 13.05 | 2.73 | 20.45 | 4.28 |
| 18 | 14.15 | 2.95 | 22.18 | 4.62 |

จากตารางที่ 4.16 อัตราการลดสีในช่วงเริ่มต้นที่ 2 ชม. แรกเนื่องจากเป็นช่วงที่มีการลดลงของสีสูงเพราะยังมีน้ำตาลในระบบ แต่เมื่อน้ำตาลถูกใช้หมดไปอัตราการลดสีจะน้อยลงซึ่งจะกล่าวถึงผลของน้ำตาลต่อการลดสีในหัวข้อ 4.2.2 โดยที่คำนวณจากการทดลองหาโพไฟล์หลังจากที่การทดลองเข้าสู่สถานะคงตัวและเป็นการลดลงแบบปฏิกิริยาอันดับครึ่ง ซึ่งตัวอย่างการคำนวณอัตราการลดสี และอัตราการลดสีจำเพาะที่เทียบกับพื้นที่ผิววัสดุตัวกลางอยู่ในภาคผนวก

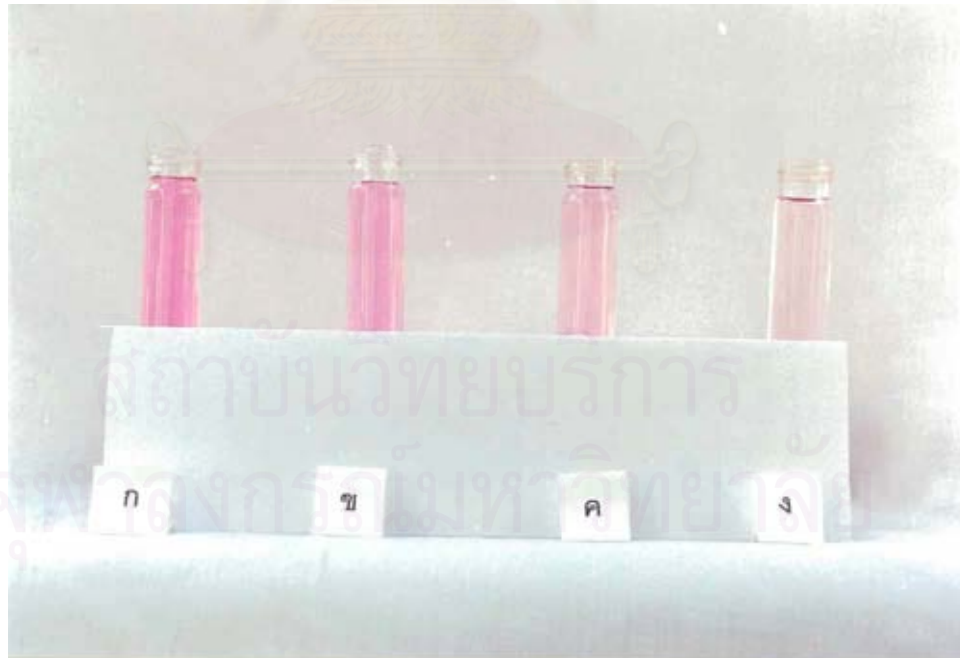
4.2.2 ผลของปริมาณน้ำตาลต่อการลดสี

ในการทดลองที่ 2 (ผลตามรูปที่ 4.22-4.22) มีการเติมน้ำตาลเพื่อเป็นสารอาหารที่ย่อยง่าย หรือสารอาหารปฐมภูมิ เพื่อเป็นแหล่งอาหารแก่แบคทีเรีย จากผลในชุดการทดลองที่ 2.1 ที่ไม่มีน้ำตาลแล้วจะไม่สามารถลดสีได้ และเมื่อทดลองเติมน้ำตาลในอัตราส่วนต่างๆ กับสีโดย



ภาพที่ 4.1 สีน้ำเข้า-ออกที่เวลากักแอนแอโรบิกต่างๆ

(ก น้ำเข้า ข น้ำออกที่เวลากัก 10 ชม. ค น้ำออกที่เวลากัก 14 ชม. ง น้ำออกที่เวลากัก 18 ชม.)



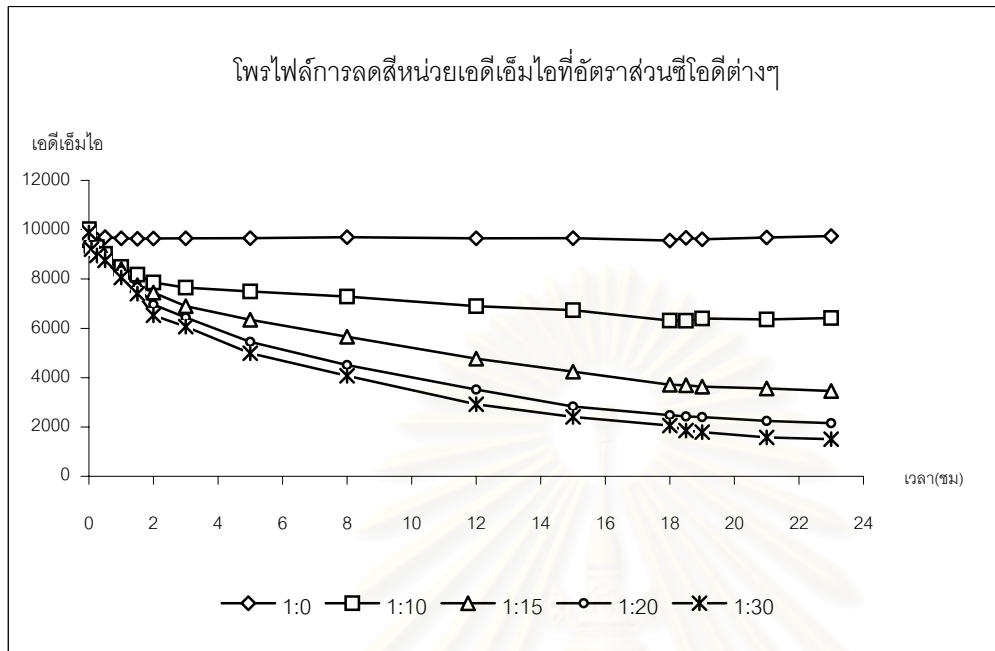
ภาพที่ 4.2 สีน้ำเข้า-ออกที่เวลากักแอนแอโรบิกต่างๆเจือจาง 10 เท่า

(ก น้ำเข้า ข น้ำออกที่เวลากัก 10 ชม. ค น้ำออกที่เวลากัก 14 ชม. ง น้ำออกที่เวลากัก 18 ชม.)

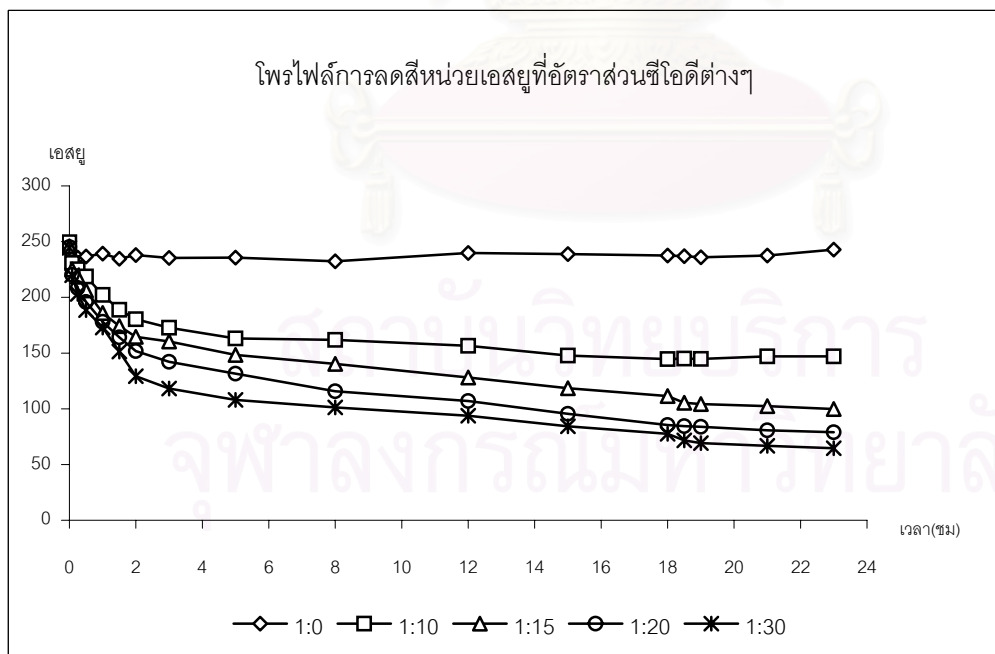
เปรียบเทียบในหน่วยของ มก./ล.ซีโอดี เมื่ออัตราส่วนมากคือมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการลดสีมากขึ้นตามกัน คือมีการเปรียบเทียบที่อัตราส่วนสีต่อน้ำตาลรวม 5 อัตราส่วน คือ ในการทดลองที่ 2 ที่อัตราส่วน 1:0(การทดลองที่2.1), 1:10(การทดลองที่2.2), 1:15(การทดลองที่2.3) และ จากการทดลองที่ 1.3 อัตราส่วน 1:20 และการทดลองที่ 3.3 อัตราส่วน 1:30 เมื่อสังเกตจากการเก็บโฟรไฟล์ตามรูปที่ 4.26-4.27 เป็นโฟรไฟล์สีในหน่วยเอสยูและหน่วยเอดีเอ็มไอ ตามลำดับ สีจะลดลงอย่างมากในช่วงต้นสภาวะแอนแอโรบิก โดยเฉพาะ 2 ชั่วโมงแรก คือ เมื่อซีโอดีของน้ำตาลหมด หรือ แหล่งอาหารปฐมภูมิหมดการลดลงของสีก็ลดลงเช่นกัน ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของอัตราการลดสีในหัวข้อต่อไป

4.2.2.1 ผลของอัตราส่วนน้ำตาลกับสีต่อประสิทธิภาพการลดสี

เมื่อพิจารณาจากกราฟโฟรไฟล์การลดสีที่อัตราส่วนซีโอดีต่อน้ำตาลที่อัตราส่วนต่างๆ ตามรูปที่ 4.29-4.30 พบว่าที่อัตราส่วนต่างๆนั้นมีการลดสีที่แนวโน้มเดียวกัน แต่มีประสิทธิภาพการลดสีได้ต่างกัน คือเมื่อมีการเติมสารอาหารปฐมภูมิซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำตาล ลงไปในอัตราส่วนต่างๆพบว่าประสิทธิภาพการลดสีเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ในชุดการทดลองที่ 2.1 ไม่มีการเติมน้ำตาล จึงไม่สามารถลดสีได้เพราะแบคทีเรียไม่มีแหล่งอาหารและไม่มีตัวให้อิเล็กตรอน แบคทีเรียไม่สามารถแตกพันธะในโมเลกุลสีและนำมาใช้เป็นอาหารได้ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากมวลของแบคทีเรียในระบบลดลงเนื่องจากไม่มีอาหารที่เซลล์สามารถนำไปใช้ได้ แต่เมื่อเติมน้ำตาลลงไป 10 เท่าซีโอดีของสี ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 37.51% และ 42.46% ในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอ และปริมาณแบคทีเรียในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากที่ไม่ได้เติมน้ำตาล และเมื่อเติมน้ำตาลไปอีกการลดสีก็มากขึ้นเพราะน้ำตาลเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดักชันในการแตกพันธะในโมเลกุลสี และแบคทีเรียในระบบมีแหล่งอาหารมากขึ้น และทำให้มีการแตกพันธะในโครงสร้างของสีจึงมีการลดลงของสี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของโสภา ชินเวชกิจวานิชย์ (2540) ผลของประสิทธิภาพการลดสีที่อัตราส่วนซีโอดีต่างๆ ตามตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.31 แต่การที่เพิ่มขึ้นของอัตราส่วนก็มีขีดจำกัด คือมีการเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลง โดยจากรูปที่ 4.31 คือเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลมากๆ แต่ประสิทธิภาพการลดสีกลับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย



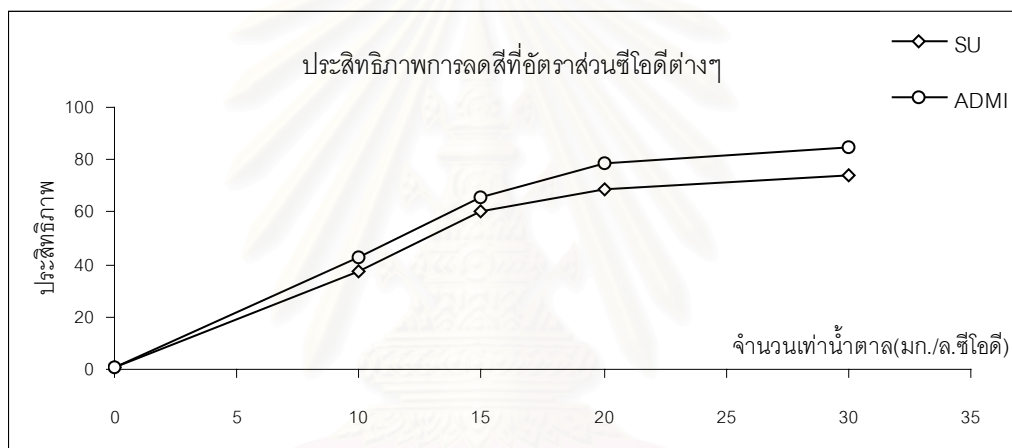
รูปที่ 4.29 โพรไฟล์การลดสีหน่วยเอสยูที่อัตราส่วนซีโอดีต่างๆ



รูปที่ 4.30 โพรไฟล์การลดสีหน่วยเอสยูที่อัตราส่วนซีโอดีต่างๆ

ตารางที่ 4.19 ประสิทธิภาพการลดสีที่อัตราส่วนน้ำตาดต่างๆ

| อัตราส่วนสีต่อน้ำตาล | ซีไอต่อน้ำตาล (มก./ล.) | ประสิทธิภาพการลดสี | |
|----------------------|------------------------|--------------------|------------|
| | | เอสยู | เอดีเอ็มไอ |
| 1:0 | 0 | 0.44 | 0.82 |
| 1:10 | 520 | 37.51 | 42.46 |
| 1:15 | 780 | 60.14 | 65.32 |
| 1:20 | 1040 | 68.65 | 78.45 |
| 1:30 | 1560 | 74.29 | 84.92 |



รูปที่ 4.31 ประสิทธิภาพการลดสีที่อัตราส่วนสีต่อน้ำตาลต่างๆ

4.2.2.2 ผลของปริมาณน้ำตาลต่ออัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะ

(Decolorization Rate and Specific Decolorization Rate)

ตารางที่ 4.20 อัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะที่อัตราส่วนสีกับน้ำตาลต่างๆ ที่ 2 แรก

| อัตราส่วน สี:น้ำตาล | อัตราการลดสีที่ 2 ชม.แรก | | | |
|------------------------|--------------------------|------|---|---|
| | อัตราการลดสี | | อัตราการลดสีจำเพาะ | |
| | ADMI/h | SU/h | (ADMI*cm ³)/(h*m ²) | (SU*cm ³)/(h*m ²) |
| 1:10 | 10.20 | 2.13 | 15.99 | 3.34 |
| 1:15 | 11.53 | 2.61 | 18.07 | 4.09 |
| 1:20 | 14.15 | 2.95 | 22.18 | 4.62 |
| 1:30 | 16.48 | 3.74 | 25.83 | 5.86 |

เมื่อเพิ่มจำนวนเท่าของน้ำตาลที่เติมลงไปมีผลทำให้ประสิทธิภาพการลดสีเพิ่มขึ้นเนื่องจากคาดว่าน้ำตาลที่เติมลงไปเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดักชันเพื่อแตกพันธะเฮโซในโมเลกุลสี ดังนั้นเมื่อตัวให้อิเล็กตรอนมากขึ้นการแตกพันธะเฮโซจะได้มาก จึงมีการลดสีได้มากขึ้น ดังนั้นอัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะจึงเพิ่มขึ้นด้วย ในการทดลองที่ 2.1 เป็นการทดลองที่ไม่ได้เติมน้ำตาลจึงไม่มีตัวให้อิเล็กตรอน ระบบจึงไม่มีความสามารถในการกำจัด และการลดสี ดังนั้นจึงไม่สามารถหาอัตราการลดสีได้ ซึ่งเป็นการทดลองที่แสดงให้เห็นถึงผลของสารอาหารอย่างง่าย ซึ่งจำเป็นต้องมีในการลดสีเพื่อจะเป็นแหล่งให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาการแตกพันธะในโครงสร้างสี เพื่อทำให้ความเข้มข้นลดลง

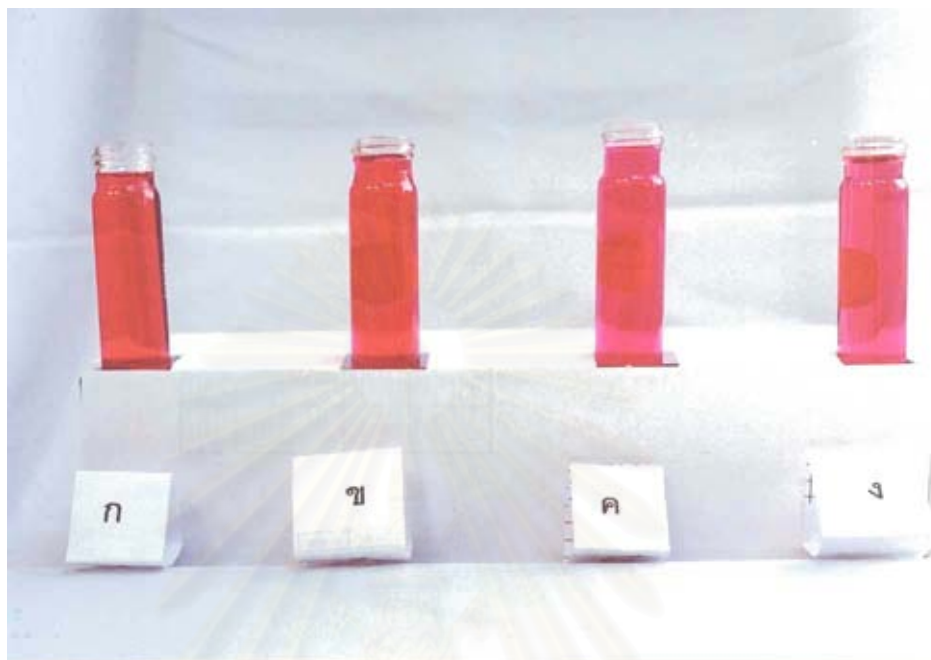
4.2.3 ผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัด

ในการทดลองตอนที่ 3 มีการเปรียบเทียบจำนวนเท่าการหมุนเวียนน้ำเพื่อการผสมน้ำในถังปฏิกิริยาที่ 60, 100, และ 140 เท่า ได้ผลตามรูปที่ 4.24-4.25 และเมื่อดูโพรไฟล์ (รูปที่ 4.26-4.27) การลดลงของสีมีแนวโน้มเดียวกัน และพบว่าเมื่ออัตราหมุนเวียนมากขึ้นประสิทธิภาพการลดสีทั้งในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากรูปที่ 4.32 เป็นรูปประสิทธิภาพการลดสีที่อัตราการหมุนเวียนต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกัน และจากตารางที่ 4.21 เป็นอัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะซึ่งมีค่าอัตราใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการลดสี และเมื่อดูจากภาพที่ 4.5 มองไม่เห็นความแตกต่างของประสิทธิภาพการลดสี แต่เมื่อดูจากภาพที่ 4.6 เมื่อเจือจางแล้ว 10 เท่า สามารถมองเห็นความแตกต่างได้เล็กน้อยเช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มอัตราการหมุนเวียนช่วยให้มีการผสมแล้วน้ำเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้บ่อยมากขึ้นจึงมีการกำจัดได้สูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจไม่คุ้มกับพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นและค่าซ่อมบำรุงของปั๊มที่ใช้งาน

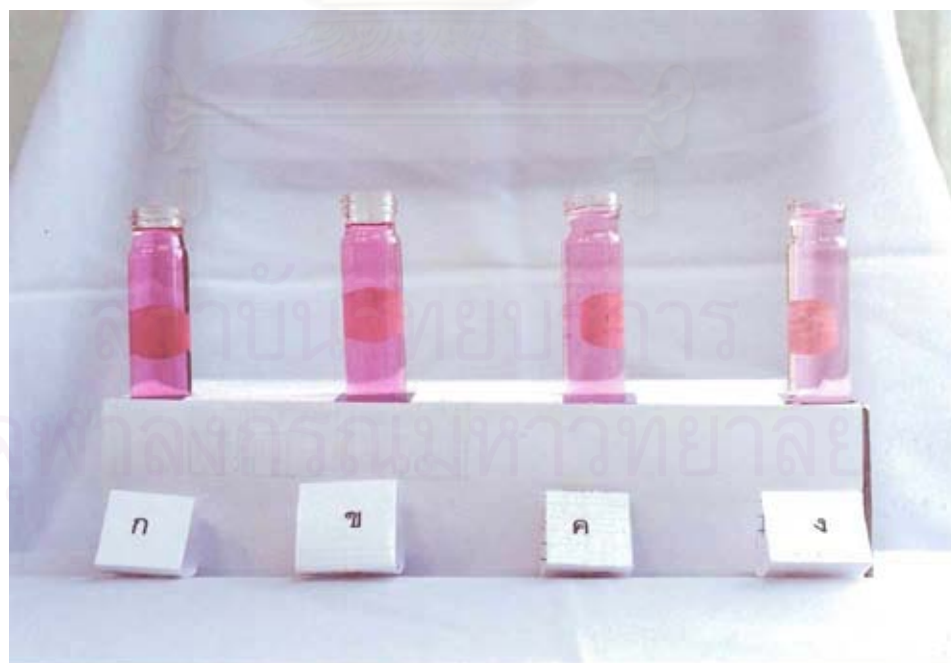
ตารางที่ 4.21 อัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะที่อัตราการหมุนเวียนต่างๆ ที่ 2 ชม.แรก

| จำนวนเท่าการ หมุนเวียนน้ำเพื่อ การผสม | อัตราการลดสีที่ 2 ชม.แรก | | | |
|---|--------------------------|------|---|---|
| | อัตราการลดสี | | อัตราการลดสีจำเพาะ | |
| | ADMI/h | SU/h | (ADMI*cm ³)/(h*m ²) | (SU*cm ³)/(h*m ²) |
| 60 | 16.09 | 3.67 | 25.22 | 5.75 |
| 100 | 16.48 | 3.75 | 25.83 | 5.88 |
| 140 | 16.93 | 3.92 | 26.54 | 6.14 |

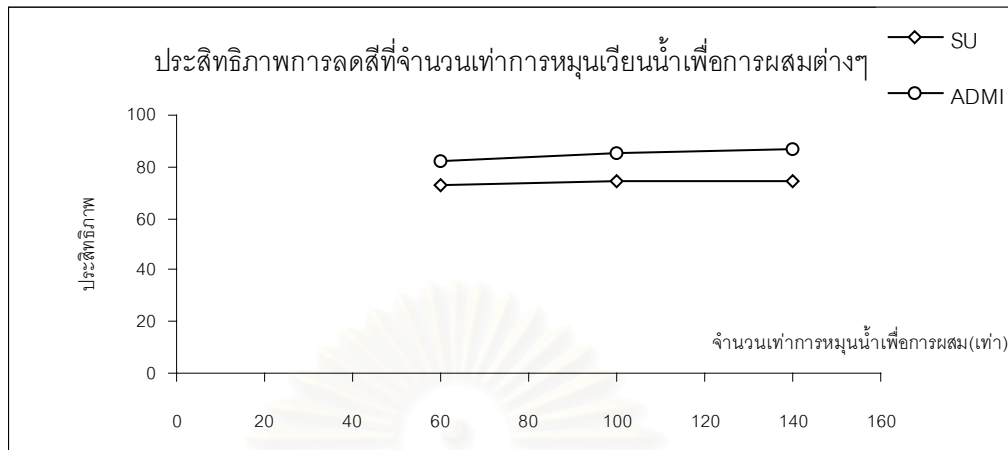
ภาพสีน้ำเข้า-ออกที่อัตราส่วนสีต่อน้ำตาลที่ 1:10, 1:15 และ 1:20 ตามภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 สีน้ำเข้า-ออกที่อัตราส่วนสี:น้ำตาลต่างๆ
(ก น้ำเข้า ข น้ำออกที่ 1:0 ค น้ำออกที่ 1:10 ง น้ำออกที่ 1:15)

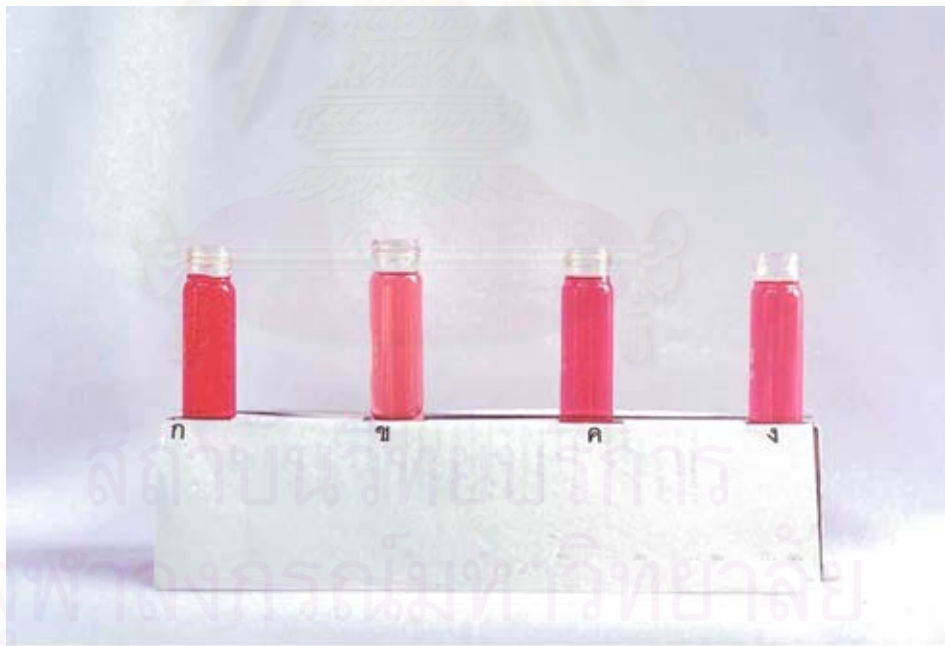


ภาพที่ 4.4 สีน้ำเข้า-ออกที่อัตราส่วนสี:น้ำตาลต่างๆ เจือจาง 10 เท่า
(ก น้ำเข้า ข น้ำออกที่ 1:0 ค น้ำออกที่ 1:10 ง น้ำออกที่ 1:15)



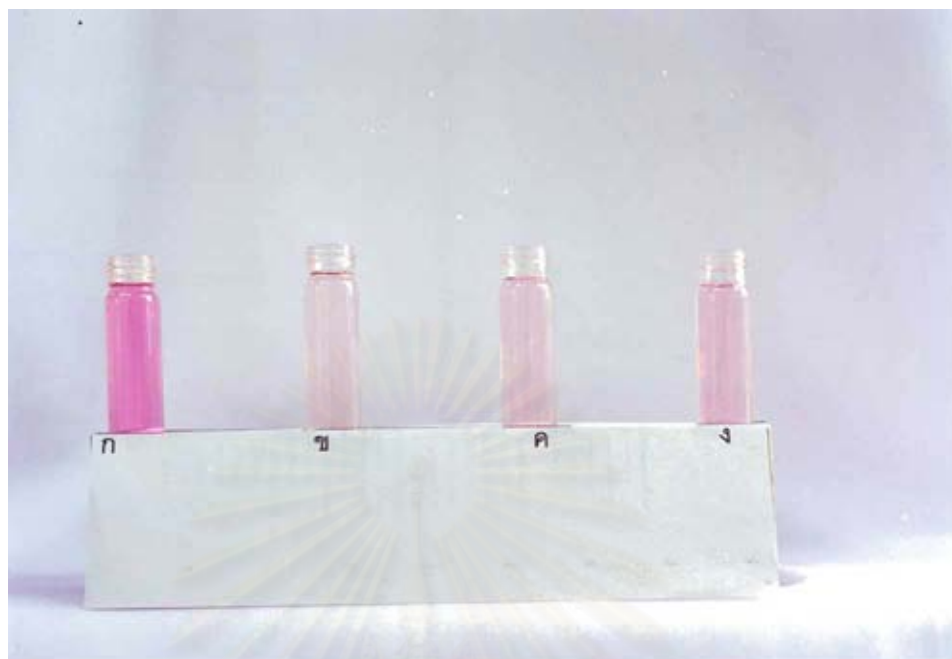
รูปที่ 4.32 ประสิทธิภาพการลดสีที่อัตราการหมุนเวียนน้ำต่างๆ

ภาพสีน้ำเข้า-ออกที่จำนวนเท่าการหมุนเวียนน้ำเพื่อการผสมเป็นตามภาพที่ 4.6-4.7



ภาพที่ 4.6 สีน้ำเข้า-ออกที่อัตราการหมุนเวียนต่างๆ

(ก น้ำเข้า ข น้ำออกที่ 700ล./วัน ค น้ำออกที่ 500ล./วัน ง น้ำออกที่ 300ล./วัน)



ภาพที่ 4.7 สีน้เข้า-ออกที่อัตราการหมุนเวียนน้ำต่างๆ เจ็จาง 10 เท่า
(ก น้ำเข้า ข น้ำออกที่ 700ล./วัน ค น้ำออกที่ 500ล./วัน ง น้ำออกที่ 300ล./วัน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

- ในการลดสีรีแอกทีฟโครงสร้างโมโนเอโซ โดยกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิก เอสบีปีอาร์ การลดสีจะเกิดขึ้นอย่างมากในช่วงสภาวะแอนแอโรบิก และในสภาวะแอโรบิกลดสีได้เพียงเล็กน้อย โดยพบว่าระยะเวลาที่แอนแอโรบิกที่ยาวนานขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการลดสีมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ ระยะเวลาที่แอนแอโรบิกที่ 18 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการลดสีสูงกว่าที่ระยะเวลาที่แอนแอโรบิก 10 และ 14 ชั่วโมง ที่รอบการทำงานเท่ากัน
- ระยะเวลาที่แอนแอโรบิกต่างๆที่ยาวนานเกินไม่มีผลต่อการกำจัดซีไอดี เนื่องจาก การลดลงของซีไอดีอย่างมากในช่วง 2 ชั่วโมงแรกจนมีค่าซีไอดีต่ำสุดและไม่สามารถลดลงอีกมากนัก และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่ระยะเวลาที่แอนแอโรบิก 10 , 14 และ 18 ชั่วโมงมีค่าใกล้เคียงกัน ระยะเวลาที่แอนแอโรบิกมีผลต่อการกำจัดที่เคเอ็น เนื่องจากที่ระยะเวลาที่แอนแอโรบิกนานขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีช่วงเวลาเกิดไนตริฟิเคชันนานขึ้น
- การเติมน้ำตาลมีผลต่อประสิทธิภาพการลดสี กล่าวคือ ถ้าไม่มีการเติมน้ำตาล หรือสารอาหารย่อยง่ายเพื่อเป็นแหล่งอาหารและพลังงานกับแบคทีเรีย จะทำให้ไม่สามารถลดสีได้ เพราะแบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายซึ่งมีโครงสร้างที่ย่อยยากได้ เมื่อมีการเติมน้ำตาลลงไปมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการลดสีมากขึ้น อัตราการลดสีมากขึ้นตามกัน โดยในงานวิจัยนี้เมื่อเติมน้ำตาลลงไป 30 เท่าซีไอดี จะทำให้ประสิทธิภาพการลดสีสูงกว่าที่อัตราส่วนซีไอดี 20, 15, 10 เท่า และมีอัตราการลดสีเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน
- การเพิ่มจำนวนเท่าการเวียนน้ำกลับเพื่อช่วยในการผสมน้ำในถังปฏิกรณ์มากขึ้นคือที่ 60, 100 และ 140 เท่า ทำให้น้ำผ่านวัสดุตัวกลางที่มีแบคทีเรียเกาะอยู่ในจำนวนรอบที่มากขึ้น จึงมีผลให้ประสิทธิภาพการลดสีมากขึ้นบ้างแต่ไม่มากนัก ซึ่งอาจไม่มีจำเป็นต้องใช้จำนวนเท่าการเวียนน้ำกลับที่สูงมากเพราะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และการดูแลรักษาปั๊มมากขึ้น

โดยที่จำนวนเท่าการเวียนน้ำกลับเพื่อการผสมที่มากขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอ ดี และที่เคเอ็น

- เมื่อซีโอดีน้ำเข้าสูง มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นลดลง เนื่องจากเมื่อมีซีโอดีน้ำเข้ามีค่าสูง ทำให้มีการเติมยูเรียมากขึ้นตามอัตราส่วน และมีการเจริญเติบโตของชั้นฟิล์มแบคทีเรียมากเกินไปจนทำให้แบคทีเรียกลุ่มไนโตรฟายอิงซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ลดที่เคเอ็นเจริญเติบโตได้ยาก และฟิล์มชีวภาพที่มีการเจริญอย่างมากเนื่องจากมีอาหารมาก จึงมีการหลุดลอกออกมากขึ้น จึงอาจทำให้แบคทีเรียกลุ่มที่กำจัดที่เคเอ็นหลุดออกไปด้วย หรือเจริญเติบโตไม่ทัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการทดลองเพิ่มเติมในส่วนของสารที่เหลือจากการที่สีลดลงไปแล้วเหลือเป็นสารอะไร เนื่องจากซีโอดีออกยังมีค่าสูง ซึ่งน่าจะเป็นซีโอดีของสี
- ทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของวัสดุตัวกลางเพื่อดูประสิทธิภาพของระบบ
- ทดลองระบบเอสปีอาร์กับน้ำเสียจริงที่มีสีอยู่หลายชนิด และสารเคมีอื่นๆผสมอยู่ หรือทดลองกับน้ำเสียย่อยยากชนิดอื่นๆ เนื่องจากระบบนี้มีมวลจุลชีพมากกว่าระบบเอสจึงน่าจะสามารถกำจัดน้ำเสียที่ย่อยยากได้
- นำระบบควบคุมมาประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดเพื่อสะดวกต่อการเติมและถ่ายน้ำออก
- ในกรณีที่น้ำเสียมียูเรียสูงควรมีถังตกตะกอนเนื่องจากจะมีเอสเอสหลุดออกจากระบบมากขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กมลรัตน์ ดีประเสริฐ. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแยกที่เวเต็ดสลดจ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อมพิมพ์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2537.
- โกมล เอี่ยมเสมอ. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟชนิดเอโซโดยกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิกภายใต้สารอาหารและเวลาแอนแอโรบิกที่ต่างกัน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 10 ของสวสท. 2541, สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร.
- จินตนา แป้นสุวรรณ. การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะภาพของการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมระหว่างกระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา กับแบบแอนนออกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- ธีรวัตร โสมวดี. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไบโอดรัมที่มีไม่เป็นตัวกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- ธีระ เกรอด. วิศวกรรมน้ำเสียวิธีบำบัดทางชีวภาพ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์. ผลของเวลากักแอนแอโรบิกและความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟชนิดเอโซที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกันโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- ปาจารย์ ทองสนิท. การพัฒนาระบบเอสปีอาร์สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539.
- มันดิน ตันทุลเวศม์. การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กด้วยระบบเอสปีอาร์. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยและพัฒนาของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

- วรวิทย์ เหลืองดิลก. ผลของโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟต่อการลดสีโดยกระบวนการ แอนแอโรบิก-แอโรบิก. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 10 ของสวสท.2541, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร.
- สุเมธ ชวเดช. ลักษณะสมบัติเมือกจุลินทรีย์, สัมมนาทางวิชาการระดับชาติเทคโนโลยีน้ำและน้ำเสีย (ธงชัย พรวัฒนสวัสดิ์) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2530.
- สุรพล สายพานิช. วิศวกรรมน้ำเสีย..เอกสารประกอบการเรียน, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โสภา ชินเวชกิจวานิชย์. การลดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศด้วยระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- อัษฎราพร ไสละสูต. คู่มือการย้อมสี. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพมหานคร: เทคนิค19 การพิมพ์, 2527.
- อำพล เตโชวานิชย์. การเปรียบเทียบการกำจัดสีรีแอกทีฟด้วยกระบวนการเอเอสและระบบบีเอ็นอาร์. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 10 ของสวสท. 2541. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

- Alvarez, P.J.J. and Vogel, T.M. Substrate Interactions of Benzene, Toluene and para-Xylene During Microbial Degradation by Pure Culture and Mixed Culture Aquifer Slurries. Applied and Environment Microbiology 57 (1991): 2981-2985.
- Carliell, C.M.,Barclay, S.J.,Naidoo, N.,Buckley, C.A., Mulholland, D.A. and Senior, E. Anaerobic Decolorization of Reactive Dyes in Conventional Sewage Treatment Process. Water SA 20,4(1994): 341-344.
- Carliell, C.M.,Barclay, S.J., and Buckley, C.A. Treatment of Exhausted Reactive Dyebath Effluent using Anaerobic Digestion : Laboratory and Full – Scale Trials. Water SA 22,3(1996): 225-233.
- Chang, C.N., Lo, C.W., Chen, H.R., Chao, A. ORP as a System Control of the SBRR System for Treating ABS Wastewater., Proceeding of the Asia Waterqual'99

- (7th) IAWQ:Asia-Pacific Regional Conference., Taipei, Taiwan, October 18-20 (1999): 1263-1268.
- Coughlin, M.F., Kinkle,B.K., Tepper, A. and Bishop, P.L. Characterization of Azo-Dye Degrading Bacteria and their Activity in Biofilm. Water Science and Technology 36,1(1997): 215-220.
- Criddle,C.S. The Kinetics of Cometabolism. Biotechnology and Bioengineering 41 (1993): 1048-1056.
- Cybis, L.F.A. and Horan,N.J. Protozoan and Matazoan Populations in Sequencing Batch Reactors Operated for Nitrification and/or Denitrification. Water Science and Technology 35,1(1997): 81-86.
- Dennis, R.W. and Irvine, R.L. Effect of Fill : React Ratio on Sequencing Batch Biological Reactor. Journal WPCF 51(1979): 255-263.
- Devkota,B.H., Biodegradation of TCE under Aerobic and Anaerobic Conditions Thesis NO.EV.95-6, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1995.
- Dollerer,J., Wilderer,P.A. Biological Treatment of Leachates from Hazardous Waste Landfills Using SBBR Technology. Water Science and Technology 14,7-8 (1996): 437-444.
- Gupta Munish, Makram T. Suidan and Gregory D Sayles. Modeling Kinetics of Chloroform Cometabolism in Matanogenic and Sulfate-Reducing Environments. Water Science and Technology 34,5-6(1996): 403-410.
- Herzburn, P.A., Irvine, R.L.,Malinowski, K.C. Biological Treatment of Hazardous Waste in Sequencing Batch Biofilm Reactors. Journal WPCF 57,12(1985): 1163-1167.
- Hirl P.J. and Irvine R.L. Reductive Dechlorination of Perchloroethylene Using Anaerobic Batch Biofilm Reactors (AnSBBR). Water and Technology 35,1 (1997): 49-56.
- Hussian, N. Cleaner Production in the Dyeing Industry. Thesis NO.EV.94-13 Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1994.
- Irvine, R.L. and Busch, A.W. Sequencing Batch Biological Reactors an Overview. Journal WPCF 51,2(1979): 235-243.

- Irvine, R.L., Yocum, P.S., Early, J.P. and Chozick, R. Periodic Process for IN Situ and ON-Site Bioremediation of Leachates and Soils. Water Science and Technology 27,7-8(1993): 97-104.
- Kaballo, H.P. Shock Loading Management with the Sequencing Batch Biofilm Reactor Technology. Water and Technology 35,1(1997): 35-40.
- Kaballo, H.P., Yuangang Zhao and Wilderer P.A. Elimination of p-Chlorophenol in Biofilm Reactors – A Comparative Study of Continuous Flow and Sequencing Batch Operation. Water Science and Technology 31,1(1995): 51-60.
- Kolb, F.R. and Wilderer, P.A. Activated Carbon Membrane Biofilm Reactor for the Degradation of Volatile Organic Pollutants. Water Science and Technology 31,1 (1995): 205-213.
- Kolb, F.R. and Wilderer, P.A. Activated Carbon Sequencing Batch Biofilm Reactor to Treat Industrial Wastewater. Water Science and Technology 35,1(1997): 169-176.
- Martinez, S.G. and Wilderer, P.A. Phosphate Removal in a Biofilm Reactor. Water Science and Technology 33(1991): 1405-1415.
- Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. 3rd ed., McGraw-Hill, Book Company Inc., Singapore, 1991.
- Munish, G., Suidan, M.T. and Sayles, G.D. Modeling Kinetic of Chloroform Cometabolism in Methanogenic and Sulfate-Reducing Environment. Water Science and Technology 34,5-6(1996): 403-410.
- Myung – Keun Chang, Voice, T.C. and Criddle. C.S. Kinetics of Competitive Inhibition and Cometabolism in the Biodegradation of Benzene, Toluene and p-Xylene by two Pseudomonas Isolates. Biotechnology and Bioengineering 41(1992): 1057-1065.
- Nigam, P. and Marchant, R. Selection of a Substratum for Composing Biofilm System of a Textile-Effluent Decolorizing Bacteria. Biotechnology Letters 17,9(1995): 993-996.

- Nigam, P., Mullan, G.M., Banat, I.M. and Marchant, R. Decolorization of Effluent from the Textile Industry by a Microbial Consortium. Biotechnology Letters 18,1 (1996): 117-120.
- Oxspring, D., Mullan, G.M. Smyth, W.F. and Marchant, R. Decolorization and Metabolism of the Reactive Textile Dye, Removal Black B by an Immobilized Microbial Consortium. Biotechnology Letters 18,5(1996): 527-530.
- Reife, A. and Freeman, H.S. Chemical Pretreatment and Aerobic-Anaerobic Degradation of Textile Dye Wastewater. Environmental Chemistry of Dyes and Pigments. (n.p.) : John Wiley & Sons, 1996.
- Richard, I.S. Phosphorus and Nitrogen Removal From Municipal Wastewater : Principles and Practice, 2nd ed., (n.p.) : Lewis Publishers, 1991.
- Shah, T.J. Color Removal From Textile Effluents Using a Two-Stage Activation Process. Thesis NO.EV.97-39. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1997.
- Shore, J., Colorants and Auxiliaries Organic Chemistry and Application Properties. Vol.1, England Society of Dyers and Colorists, 1990.
- Takizawa, S. Aravinthan, V. and Fujita, K. Nitrogen Removal from Domestic Wastewater Using Immobilized Bacteria. Water Science and Technology 34,1-2(1996): 431-440.
- White, J.E. Physical Chemistry. 1st ed. ,: Harcourt Brace Javanovich Publishers, 1987.
- White, D.M. and Schnabel, W. Treatment of Cyanide Waste in a Sequencing Batch Biofilm Reactor. Water Research 32,1: 254-257.
- Wilderer, P.A. Technology of Membrane Biofilm Reactor Operated Under Periodically Changing Process Conditions. Water Science and Technology 31,1(1996): 173-173.
- Wilderer, P.A., Kaballo,H.P. and Rehbein, V. Sequencing Batch Biofilm Reactor Technology. Trends in Water Environmental Management-Seminar University of Tokyo Proceedings, (n.p.) :1996.
- Woolard, C.R. and Irvine, R.L. Response of Periodically Operated Halophilic Biofilm Reactor to Changes in Salt Concentration. Water Science and Technology 31,1 (1995): 41-50.

Zaoyan, Y. Ke, S. Guangliang, S., Fan, Y., Jinshan, D. and Huanian, M. Anaerobic-Aerobic Treatment of a Dye Wastewater by Combination of RBC with Activated Sludge. Water Science and Technology 26,9-11(1992): 2093-2096.

Zissi, U. and Lyberatos, G. Azo-Dye Biodegradation under Anoxic Conditions. Water Science and Technology 34,5-6(1996): 495-500.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การคำนวณปริมาณสารอาหารที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่เติมน้ำตาลทราย (ซูโครส) เป็นแหล่งอาหารและพลังงานกับแบคทีเรีย ซึ่งมีอัตราการเติมเป็นอัตราส่วนกับสีย้อมที่มีหน่วยเป็นมก./ล.ซีไอดี โดยที่เติมน้ำมีความเข้มข้น 100 มก./ล. ซึ่งเมื่อทดลองหาค่าซีไอดีได้ 52 มก./ล.

1. ปริมาณน้ำตาลที่เติมในแต่การทดลอง

ในการทดลองมีการเติมน้ำตาลที่อัตราส่วนกับสีต่างๆ รวม 5 อัตราส่วน จากการทดลองหาค่าซีไอดีของน้ำตาลพบว่า

น้ำตาล 1 มก./ล. ให้ค่าซีไอดี 1.16 มก./ล.

ที่อัตราส่วน 1:0 ไม่เติมน้ำตาล

ที่อัตราส่วน 1:10 ต้องการซีไอดีจากน้ำตาล 520 มก./ล.

ดังนั้นต้องเติมน้ำตาล $520/1.16 = 448.28$ มก./ล.

ที่อัตราส่วน 1:15 ต้องการซีไอดีจากน้ำตาล 780 มก./ล.

ดังนั้นต้องเติมน้ำตาล $780/1.16 = 672.41$ มก./ล.

ที่อัตราส่วน 1:20 ต้องการซีไอดีจากน้ำตาล 1040 มก./ล.

ดังนั้นต้องเติมน้ำตาล $1040/1.16 = 896.55$ มก./ล.

ที่อัตราส่วน 1:30 ต้องการซีไอดีจากน้ำตาล 1560 มก./ล.

ดังนั้นต้องเติมน้ำตาล $1560/1.16 = 1344.83$ มก./ล.

2. ปริมาณสารอาหารที่เติม

สารอาหารที่เติมมีอัตราส่วนดังนี้ COD:N:P:Ca:Mg:Fe เป็น 100:5:1:2.5:1:0.2 โดยมีการเติมยูเรีย $((\text{NH}_2)_2\text{CO})$ เป็นแหล่งไนโตรเจน KH_2PO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นแหล่งแคลเซียม $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เป็นแหล่งแมกนีเซียม $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นแหล่งเหล็ก ซึ่งมีผลการคำนวณอยู่ในบทที่ 3 โดยมีตัวอย่างการคำนวณ ดังนี้

ที่อัตราส่วน 1:10 มีซีไอดีจากสีรวมกับน้ำตาล $52+520 = 572$ มก./ล.

ต้องการไนโตรเจน $(572 \cdot 5)/100 = 28.6$ มก./ล.

ต้องการยูเรีย $(28.6 \cdot 60)/28 = 61.29$ มก./ล.

$$\text{ต้องการฟอสฟอรัส } (572 \cdot 1) / 100 = 5.72 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ต้องการ } \text{KH}_2\text{PO}_4 \text{ (5.72} \cdot 136.1) / 31 = 25.11 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ต้องการแคลเซียม } (572 \cdot 2.5) / 100 = 14.3 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ต้องการ } \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O } (14.3 \cdot 111) / 40.1 = 39.58 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ต้องการแมกนีเซียม } (572 \cdot 1) / 100 = 5.72 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ต้องการ } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O } (5.72 \cdot 246.3) / 24.3 = 57.98 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ต้องการเหล็ก } (572 \cdot 0.2) / 100 = 1.14 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ต้องการ } \text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O } (1.14 \cdot 162.2) / 55.85 = 3.31 \text{ มก./ล.}$$

การเติม NaHCO_3

$$\text{ยูเรีย } 61.29 \text{ ให้แอมโมเนีย } (61.29 \cdot 34) / 60 = 34.73 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ต้องการ } \text{NaHCO}_3 \text{ (34.73} \cdot 7.1) = 246.59 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{ต้องการ } \text{NaHCO}_3 \text{ (246.59} \cdot 84) / 61 = 339.57 \text{ มก./ล.}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การหาพื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลาง

วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลองเป็นพลาสติกสังเคราะห์ผลิตจากพลาสติกโพลีโพรไพลีนที่มีลักษณะเป็น hollow pellet มีเส้นผ่านศูนย์กลางใน 3 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 4 มม. ยาว 5 มม. มีความหนาแน่น 1.003 กรัม/ลบ.ซม. และได้นำไปหาพื้นที่ผิวโดยใช้เครื่อง Micromeritics ASAP 2000 (Accelerated Surface Area and Porosimetry System) ด้วยวิธี BET Surface

| | | |
|---------------------|---------------------------------------|--------------|
| พื้นที่ผิว | 0.6364 | ตร.ม./กรัม |
| น้ำหนักวัสดุตัวกลาง | 1480 | กรัม |
| ปริมาตร | $1480/1.003 = 1475.57$ | ลบ.ซม. |
| พื้นที่ผิวจำเพาะ | $(0.6364 \cdot 1480)/1475.57 = 0.638$ | ตร.ม./ลบ.ซม. |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค
ข้อมูลดิบของชุดการทดลองต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-1 ผลการทดลองที่ 1.1 Anaerobic 10 ชม.

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | | |
|------------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|-------------|-------------|--------------|---------|-----------|-------|------|-------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | | | | | | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 10/12/1942 | 1 | | 251.66 | 10078.60 | 1095.21 | | | | | | 221.14 | 8841.25 | 110.85 | | | | | | 207.20 | 8004.29 | 53.77 | | | 95.09 | | 17.67 | 20.58 |
| 12/12/1942 | 3 | 7.56 | 253.41 | 10103.42 | 1079.88 | | | | | | 208.73 | 8163.73 | | | | | | | 198.45 | 7315.38 | 80.98 | | | 92.50 | | 21.69 | 27.60 |
| 14/12/1942 | 5 | 7.42 | 253.05 | 10148.25 | 1065.97 | | | | | | 185.34 | 7775.76 | 98.76 | 7.76 | | | | | 170.40 | 6923.33 | 57.91 | | | 94.57 | | 32.66 | 31.78 |
| 17/12/1942 | 8 | 7.57 | 250.02 | 10070.78 | 1063.86 | | 6.97 | 24.6 | -276 | 0.06 | 189.10 | 7151.02 | 118.03 | 7.64 | 22.4 | 70 | 5.45 | 166.06 | 6460.03 | 70.82 | | | 93.34 | | 33.58 | 35.85 | |
| 19/12/1942 | 10 | 7.69 | 249.87 | 9999.28 | 1098.81 | | | | | | 186.97 | 7081.53 | 120.08 | 7.68 | | | | | 172.94 | 6402.22 | 68.73 | | | 93.75 | | 30.79 | 35.97 |
| 21/12/1942 | 12 | 7.58 | 249.72 | 9921.88 | 1093.52 | | | | | | 184.35 | 7393.71 | 100.86 | 7.58 | | | | | 169.72 | 6621.17 | 78.69 | | | 92.80 | | 32.04 | 33.27 |
| 24/12/1942 | 15 | 7.59 | 247.86 | 9863.84 | 1101.63 | | 6.94 | 22.5 | -300 | 0.07 | 200.22 | 8426.23 | 94.43 | 7.55 | 18.9 | 59 | 5.98 | 187.40 | 7421.11 | 84.12 | | | 92.36 | | 24.39 | 24.76 | |
| 26/12/1942 | 17 | 7.53 | 249.14 | 9978.58 | 1077.40 | | | | | | 197.33 | 8335.46 | 87.62 | 7.59 | | | | | 182.06 | 7422.56 | 90.27 | | | 91.62 | | 26.92 | 25.62 |
| 29/12/1942 | 20 | 7.58 | 252.90 | 10023.56 | 1082.40 | | | | | | 194.55 | 8192.38 | 85.03 | 7.64 | | | | | 180.04 | 7102.32 | 80.45 | | | 92.57 | | 28.81 | 29.14 |
| 2/1/1943 | 24 | 7.61 | 250.40 | 9997.98 | 1096.67 | | 7.01 | 22.2 | -304 | 0.07 | 192.27 | 8289.41 | 84.12 | 7.69 | 20.3 | 64 | 5.45 | 182.89 | 7340.06 | 73.25 | | | 93.32 | | 26.96 | 26.58 | |
| 4/1/1943 | 26 | 7.60 | 251.13 | 10067.83 | 1082.65 | | | | | | 195.04 | 8222.28 | 70.98 | 7.55 | | | | | 184.28 | 7279.88 | 40.00 | | | 96.31 | | 26.62 | 27.69 |
| 7/1/1943 | 29 | 7.55 | 252.61 | 10034.88 | 1049.88 | | 7.03 | 22.6 | -298 | 0.07 | 184.24 | 7128.82 | 72.16 | 7.66 | 20.8 | 66 | 5.89 | 168.95 | 6420.08 | 64.29 | | | 93.88 | | 33.12 | 36.02 | |
| 10/1/1943 | 32 | 7.68 | 251.83 | 10054.94 | 1084.97 | 62.54 | | | | | 182.69 | 7334.94 | 68.17 | 33.58 | 7.68 | | | | 167.23 | 6692.56 | 70.21 | 5.45 | 67 | 93.53 | 91.29 | 33.59 | 33.44 |
| 14/1/1943 | 36 | 7.64 | 252.86 | 10085.64 | 1066.98 | 62.67 | 6.89 | 29.9 | -344 | 0.06 | 158.68 | 6292.76 | 64.41 | 30.28 | 7.88 | 27.9 | 58 | 6.02 | 143.80 | 5249.89 | 76.00 | 4.30 | 42 | 92.88 | 93.14 | 43.13 | 47.95 |
| 17/1/1943 | 39 | 7.60 | 251.12 | 10063.51 | 1085.35 | 63.36 | | | | | 162.46 | 7305.46 | 70.82 | 32.18 | 7.85 | | | | 147.15 | 6314.52 | 60.00 | 5.99 | 63 | 94.47 | 90.55 | 41.40 | 37.25 |
| 19/1/1943 | 41 | 7.58 | 248.14 | 9934.38 | 1104.65 | 61.84 | 6.90 | 30.0 | -320 | 0.04 | 168.38 | 6154.04 | 76.00 | 33.48 | 7.84 | 28.8 | 56 | 6.04 | 147.42 | 4919.86 | 80.00 | 6.70 | 98 | 92.76 | 89.17 | 40.59 | 50.48 |

ตาราง ค-1 ผลการทดลองที่ 1.1 Anaerobic 10 ซม. (ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|-----------|------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 21/1/1943 | 43 | 7.56 | 253.26 | 10098.75 | 1078.40 | 63.15 | | | | | 159.89 | 6384.16 | 70.85 | 32.65 | 7.99 | | | | 143.17 | 5417.71 | 73.28 | 5.75 | 102 | 93.20 | 90.89 | 43.47 | 46.35 |
| 24/1/1943 | 47 | 7.49 | 249.76 | 9996.25 | 1098.40 | 61.23 | 6.87 | 30.5 | -321 | 0.06 | 158.00 | 5539.64 | 74.12 | 29.96 | 7.85 | 29.0 | 53 | 4.98 | 140.73 | 4854.13 | 56.47 | 4.31 | 56 | 94.86 | 92.96 | 43.65 | 51.44 |
| 26/1/1943 | 49 | 7.54 | 252.18 | 10023.03 | 1072.74 | 62.69 | | | | | 166.74 | 5598.75 | 70.16 | 33.05 | 7.81 | | | | 148.00 | 4928.68 | 64.54 | 6.64 | 93 | 93.98 | 89.41 | 41.31 | 50.83 |
| 28/1/1943 | 51 | 7.54 | 250.76 | 10020.05 | 1081.96 | 64.09 | 6.93 | 29.8 | -303 | 0.07 | 170.00 | 5463.21 | 66.88 | 31.74 | 7.82 | 28.5 | 59 | 5.54 | 155.19 | 4922.21 | 59.02 | 7.06 | 108 | 94.55 | 88.98 | 38.11 | 50.88 |
| 31/1/1943 | 54 | 7.62 | 252.34 | 10056.65 | 1054.52 | 63.98 | | | -312 | 0.07 | 154.53 | 5776.92 | 72.34 | 32.95 | 7.84 | | 54 | 5.59 | 141.02 | 5080.67 | 60.10 | 6.92 | 71 | 94.30 | 89.18 | 44.12 | 49.48 |
| 2/2/1943 | 56 | 7.49 | 252.85 | 10095.56 | 1092.02 | 60.86 | 6.95 | 29.6 | -298 | 0.07 | 154.11 | 5540.50 | 66.88 | 30.43 | 7.89 | 28.9 | 57 | 5.81 | 143.82 | 4850.59 | 65.46 | 5.96 | 29 | 94.01 | 90.21 | 43.12 | 51.95 |
| 4/2/1943 | 58 | 7.64 | 249.78 | 9999.82 | 1083.57 | 60.12 | | | -314 | 0.06 | 169.74 | 5083.29 | 69.45 | 32.86 | 7.88 | | 55 | 5.47 | 150.22 | 4311.26 | 70.46 | 6.23 | 65 | 93.50 | 89.64 | 39.86 | 56.89 |
| 7/2/1943 | 61 | 7.52 | 251.13 | 10001.03 | 1068.64 | 62.56 | 6.87 | 30.8 | -319 | 0.07 | 162.47 | 4999.48 | 72.85 | 31.87 | 7.88 | 29.6 | 58 | 6.11 | 146.93 | 4230.56 | 62.43 | 5.83 | 83 | 94.16 | 90.68 | 41.49 | 57.70 |
| 9/2/1943 | 63 | 7.60 | 250.63 | 10139.15 | 1089.68 | 61.45 | | | -320 | 0.06 | 161.23 | 4920.11 | 70.64 | 30.76 | 7.98 | | 66 | 5.89 | 145.67 | 4150.09 | 59.02 | 6.47 | 81 | 94.58 | 89.47 | 41.88 | 59.07 |
| 11/2/1943 | 65 | 7.58 | 251.06 | 10015.67 | 1113.72 | 63.45 | 6.99 | 30.2 | -327 | 0.08 | 158.75 | 5526.84 | 66.88 | 33.21 | 8.03 | 28.9 | 62 | 5.78 | 144.06 | 4800.38 | 51.69 | 6.49 | 42 | 95.36 | 89.77 | 42.62 | 52.07 |
| 14/2/1943 | 68 | 7.52 | 253.37 | 10037.82 | 1112.31 | 61.34 | | | -333 | 0.06 | 155.94 | 5460.35 | 70.96 | 30.75 | 7.98 | | 62 | 5.67 | 145.65 | 4625.58 | 60.58 | 6.08 | 88 | 94.55 | 90.09 | 42.51 | 53.92 |
| 16/2/1943 | 69 | 7.64 | 252.00 | 10179.43 | 1089.37 | 63.89 | | | -324 | 0.05 | 157.84 | 5317.87 | 66.42 | 31.52 | 8.01 | | 58 | 5.82 | 146.53 | 4597.45 | 51.69 | 6.41 | 83 | 95.26 | 89.97 | 41.85 | 54.84 |
| 18/2/1943 | 71 | 7.62 | 251.16 | 10068.95 | 1088.75 | 62.47 | 6.89 | 30.7 | -336 | 0.07 | 144.72 | 5540.06 | 64.54 | 30.14 | 7.98 | 29.5 | 56 | 5.98 | 135.68 | 4896.54 | 55.38 | 6.47 | 72 | 94.91 | 89.64 | 75.13 | 51.37 |
| 21/2/1943 | 74 | 7.55 | 249.26 | 9997.84 | 1099.20 | 63.70 | | | -332 | 0.06 | 145.90 | 5776.95 | 70.88 | 28.97 | 7.92 | | 52 | 6.02 | 134.16 | 4742.56 | 76.94 | 6.05 | 113 | 93.00 | 90.50 | 46.18 | 52.56 |
| 23/2/1943 | 76 | 7.52 | 250.04 | 10136.18 | 1062.56 | 62.68 | 6.92 | 31.1 | -356 | 0.08 | 151.31 | 5462.23 | 84.27 | 30.90 | 7.94 | 29.7 | 58 | 6.06 | 131.50 | 4834.93 | 69.62 | 6.80 | 92 | 93.45 | 89.15 | 47.41 | 52.30 |
| 25/2/1943 | 78 | 7.58 | 251.48 | 10151.03 | 1072.48 | 62.62 | | | -340 | 0.07 | 153.86 | 5493.26 | 64.22 | 30.54 | 8.03 | | 69 | 5.88 | 141.21 | 4692.86 | 67.62 | 6.76 | 58 | 93.69 | 89.20 | 43.85 | 53.77 |

ตาราง ค-1 ผลการทดลองที่ 1.1 Anaerobic 10 ชม. (ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|-----------|------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 28/2/1943 | 81 | 7.51 | 252.36 | 10064.64 | 1053.07 | 61.67 | 6.94 | 30.3 | -344 | 0.08 | 154.22 | 6341.18 | 68.07 | 29.40 | 8.08 | 27.9 | 52 | 5.76 | 136.57 | 5309.36 | 50.15 | 6.06 | 41 | 95.24 | 90.17 | 45.88 | 47.25 |
| 1/3/1943 | 83 | 7.59 | 251.81 | 10100.52 | 1068.83 | 60.82 | 6.99 | 30.5 | -317 | 0.07 | 153.12 | 5756.91 | 65.42 | 30.16 | 8.05 | 28.1 | 66 | 5.52 | 135.02 | 4997.38 | 55.08 | 5.12 | 69 | 94.85 | 91.58 | 46.38 | 50.52 |
| 3/3/1943 | 85 | 7.56 | 250.11 | 9999.42 | 1055.87 | 60.82 | 6.98 | 31.4 | -326 | 0.08 | 155.14 | 5699.04 | 62.12 | 30.19 | 8.09 | 28.2 | 58 | 6.02 | 138.01 | 4865.42 | 57.32 | 4.76 | 47 | 94.57 | 92.17 | 44.82 | 51.73 |
| 6/3/1943 | 88 | 7.56 | 251.42 | 10079.32 | 1116.37 | 63.20 | 6.99 | 31.1 | -328 | 0.08 | 145.02 | 5507.81 | 70.11 | 29.21 | 8.00 | 28.9 | 62 | 5.92 | 124.74 | 4527.76 | 57.32 | 4.41 | 77 | 94.87 | 93.02 | 50.39 | 54.76 |
| 8/3/1943 | 90 | 7.62 | 249.84 | 10008.94 | 1109.12 | 60.42 | 6.95 | 31.2 | -305 | 0.07 | 144.56 | 5346.53 | 62.02 | 30.40 | 8.02 | 29.3 | 66 | 5.61 | 125.82 | 4498.25 | 55.93 | 4.52 | 58 | 94.96 | 92.52 | 49.64 | 55.06 |
| 10/3/1943 | 92 | 7.66 | 247.24 | 10041.21 | 1088.78 | 60.98 | 7.04 | 32.1 | -314 | 0.08 | 145.14 | 5348.41 | 60.14 | 29.45 | 7.98 | 29.5 | 77 | 5.72 | 126.71 | 4531.48 | 57.78 | 4.70 | 46 | 94.69 | 92.29 | 48.75 | 54.87 |
| 13/3/1943 | 95 | 7.59 | 250.50 | 9968.54 | 1065.60 | 60.98 | 7.02 | 31.9 | -331 | 0.08 | 144.44 | 5401.72 | 65.23 | 28.12 | 7.98 | 29.9 | 69 | 5.64 | 128.42 | 4601.29 | 62.22 | 4.98 | 92 | 94.16 | 91.83 | 48.73 | 53.84 |
| 14/3/1943 | 96 | 7.59 | 250.06 | 10005.64 | 1094.04 | 63.80 | 7.02 | 32.2 | -336 | 0.08 | 143.21 | 5289.74 | 60.14 | 28.00 | 7.94 | 30.1 | 60 | 5.79 | 125.02 | 4498.71 | 53.33 | 4.60 | 52 | 95.13 | 92.79 | 50.00 | 55.04 |
| 16/3/1943 | 98 | 7.64 | 251.42 | 10045.12 | 1044.45 | 62.62 | 7.01 | 32.3 | -326 | 0.08 | 144.72 | 5386.78 | 71.11 | 30.44 | 7.99 | 29.8 | 66 | 6.12 | 121.03 | 4402.11 | 61.11 | 4.80 | 63 | 94.15 | 92.33 | 51.86 | 56.18 |
| 18/3/1943 | 100 | 7.61 | 249.04 | 9991.71 | 1092.75 | 61.49 | 7.02 | 32.4 | -317 | 0.07 | 149.36 | 5455.11 | 62.58 | 28.56 | 8.01 | 30.2 | 62 | 6.02 | 124.78 | 4452.77 | 62.58 | 5.02 | 82 | 94.27 | 91.84 | 49.90 | 55.44 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-2 ผลการทดลองที่ 1.2 Anaerobic 14 ชม.

| วันที่ ตี วัน | ลำดับ | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | | |
|---------------------|-------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|-------------|-------------|--------------|--------|-----------|-------|-------|-----|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | | | | | | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 10/12/1942 | 1 | | 251.66 | 10078.60 | 1095.21 | | | | | | 205.42 | 7998.17 | 95.56 | | | | | | 170.43 | 6530.56 | 66.18 | | | 93.96 | | 32.28 | 35.20 |
| 12/12/1942 | 3 | 7.56 | 253.41 | 10103.42 | 1079.88 | | | | | | 238.86 | 8786.34 | 85.14 | | | | | | 204.89 | 7920.55 | 76.42 | | | 92.92 | | 19.15 | 21.61 |
| 14/12/1942 | 5 | 7.42 | 253.05 | 10148.25 | 1065.97 | | | | | | 242.65 | 9138.72 | 92.73 | 7.76 | | | | | 209.83 | 8240.26 | 41.36 | | | 96.12 | | 17.08 | 18.80 |
| 17/12/1942 | 8 | 7.57 | 250.02 | 10070.78 | 1063.86 | | 6.88 | 22.2 | -364 | 0.05 | 181.03 | 8234.27 | 80.05 | 7.78 | 22.4 | 62 | 6.14 | | 144.44 | 6941.33 | 78.69 | | | 92.60 | | 42.23 | 31.07 |
| 19/12/1942 | 10 | 7.69 | 249.87 | 9999.28 | 1098.81 | | | | | | 155.00 | 7429.64 | 86.86 | 7.68 | | | | | 127.13 | 6122.19 | 89.65 | | | 91.84 | | 49.12 | 38.77 |
| 21/12/1942 | 12 | 7.58 | 249.72 | 9921.88 | 1093.52 | | | | | | 147.00 | 6400.02 | 90.26 | 7.52 | | | | | 124.96 | 5312.24 | 94.43 | | | 91.36 | | 49.96 | 46.46 |
| 24/12/1942 | 15 | 7.59 | 247.86 | 9863.84 | 1101.63 | | 7.02 | 19.4 | -343 | 0.05 | 185.63 | 7918.20 | 94.12 | 7.55 | 19.9 | 52 | 5.62 | | 142.87 | 6610.86 | 94.43 | | | 91.43 | | 42.36 | 32.98 |
| 26/12/1942 | 17 | 7.53 | 249.14 | 9978.58 | 1077.40 | | | | | | 207.86 | 8432.52 | 80.49 | 7.65 | | | | | 182.06 | 7520.06 | 84.77 | | | 92.13 | | 26.92 | 24.64 |
| 29/12/1942 | 20 | 7.58 | 252.90 | 10023.56 | 1082.40 | | | | | | 195.25 | 8488.96 | 75.26 | 7.61 | | | | | 180.24 | 7670.37 | 84.77 | | | 92.17 | | 28.73 | 23.48 |
| 2/1/1943 | 24 | 7.61 | 250.40 | 9997.98 | 1096.67 | | 7.07 | 21.4 | -298 | 0.06 | 197.93 | 7429.95 | 78.63 | 7.57 | 20.9 | 32 | 5.89 | | 184.84 | 6860.19 | 56.02 | | | 94.89 | | 26.18 | 31.38 |
| 4/1/1943 | 26 | 7.60 | 251.13 | 10067.83 | 1082.65 | | | | | | 203.00 | 8301.34 | 74.13 | 7.65 | | | | | 183.69 | 7341.43 | 66.74 | | | 93.84 | | 26.85 | 27.08 |
| 7/1/1943 | 29 | 7.55 | 252.61 | 10034.88 | 1049.88 | | 7.03 | 21.2 | -346 | 0.07 | 182.11 | 7352.37 | 62.50 | 7.63 | 20.8 | 48 | 5.62 | | 163.88 | 6451.21 | 72.00 | | | 93.14 | | 35.13 | 35.71 |
| 10/1/1943 | 32 | 7.68 | 251.83 | 10054.94 | 1084.97 | 62.54 | | | | | 161.43 | 6226.45 | 74.95 | 33.81 | 7.88 | | | | 145.15 | 5308.11 | 72.00 | 11.70 | 38 | 93.36 | 81.29 | 42.36 | 47.21 |
| 14/1/1943 | 36 | 7.64 | 252.86 | 10085.64 | 1066.98 | 62.67 | 6.92 | 30.2 | -336 | 0.06 | 123.76 | 4900.05 | 78.88 | 33.06 | 7.86 | 30.6 | 54 | 5.32 | 103.65 | 3920.10 | 72.00 | 9.45 | 25 | 93.25 | 84.92 | 59.01 | 61.13 |
| 17/1/1943 | 39 | 7.60 | 251.12 | 10063.51 | 1085.35 | 63.36 | | | | | 121.06 | 4846.65 | 77.02 | 32.30 | 7.94 | | | | 104.68 | 3918.92 | 60.00 | 7.76 | 92 | 94.47 | 87.75 | 58.31 | 61.06 |
| 19/1/1943 | 41 | 7.58 | 248.14 | 9934.38 | 1104.65 | 61.84 | 6.90 | 30.5 | -345 | 0.05 | 136.68 | 5795.41 | 62.45 | 32.98 | 7.90 | 30.7 | 55 | 5.21 | 112.15 | 4650.28 | 96.00 | 8.53 | 88 | 91.31 | 86.21 | 54.80 | 53.19 |

ตาราง ค-2 ผลการทดลองที่ 1.2 Anaerobic 14 ชม.(ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|--------------|-------------|--------------|--------|-----------|-------|-------|-----|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | | | | | | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 21/1/1943 | 43 | 7.56 | 253.26 | 10098.75 | 1078.40 | 63.15 | | | | | 140.11 | 6054.63 | 80.73 | 32.86 | 7.85 | | | | 125.27 | 5389.61 | 85.67 | 8.74 | 36 | 92.06 | 86.16 | 50.54 | 46.63 |
| 24/1/1943 | 47 | 7.49 | 249.76 | 9996.25 | 1098.40 | 61.23 | 7.01 | 30.7 | -355 | 0.05 | 137.87 | 5821.76 | 84.18 | 33.11 | 7.89 | 31.0 | 45 | 5.29 | 117.44 | 4980.78 | 56.47 | 8.85 | 43 | 94.86 | 85.55 | 52.98 | 50.17 |
| 26/1/1943 | 49 | 7.54 | 252.18 | 10023.03 | 1072.74 | 62.69 | | | | | 148.06 | 6402.32 | 78.96 | 32.80 | 8.04 | | | | 135.52 | 5387.99 | 64.54 | 10.90 | 85 | 93.98 | 82.61 | 46.26 | 46.24 |
| 28/1/1943 | 51 | 7.54 | 250.76 | 10020.05 | 1081.96 | 64.09 | 6.94 | 30.2 | -324 | 0.06 | 161.52 | 6805.39 | 72.48 | 34.15 | 8.01 | 30.8 | 54 | 5.97 | 140.72 | 5799.65 | 72.48 | 10.66 | 74 | 93.30 | 83.37 | 43.88 | 42.12 |
| 31/1/1943 | 54 | 7.62 | 252.34 | 10056.65 | 1054.52 | 63.98 | | | -333 | 0.05 | 164.28 | 6610.97 | 67.44 | 31.88 | 8.09 | | 42 | 5.47 | 148.70 | 5880.27 | 66.88 | 10.30 | 85 | 93.66 | 83.90 | 41.07 | 41.53 |
| 2/2/1943 | 56 | 7.49 | 252.85 | 10095.56 | 1092.02 | 60.86 | 6.89 | 30.3 | -334 | 0.07 | 152.07 | 5550.54 | 62.45 | 32.8 | 8.03 | 30.9 | 34 | 5.12 | 123.47 | 4205.86 | 60.51 | 10.75 | 92 | 94.46 | 82.34 | 51.17 | 58.34 |
| 4/2/1943 | 58 | 7.64 | 249.78 | 9999.82 | 1083.57 | 60.12 | | | -326 | 0.07 | 126.72 | 4534.92 | 69.35 | 31.89 | 8.05 | | 51 | 5.88 | 112.71 | 3769.28 | 65.84 | 9.29 | 46 | 93.92 | 84.55 | 54.88 | 62.31 |
| 7/2/1943 | 61 | 7.52 | 251.13 | 10001.03 | 1068.64 | 62.56 | 6.94 | 30.4 | -319 | 0.08 | 133.51 | 4650.02 | 72.48 | 32.83 | 8.02 | 30.9 | 44 | 5.67 | 120.86 | 4154.92 | 62.22 | 8.93 | 122 | 94.18 | 85.73 | 51.87 | 58.46 |
| 9/2/1943 | 63 | 7.60 | 250.63 | 10139.15 | 1089.68 | 61.45 | | | -331 | 0.07 | 136.55 | 4739.67 | 77.61 | 32.80 | 8.05 | | 60 | 6.02 | 120.97 | 4200.09 | 59.02 | 10.92 | 66 | 94.58 | 82.23 | 51.73 | 58.58 |
| 11/2/1943 | 65 | 7.58 | 251.06 | 10015.67 | 1113.72 | 63.45 | 6.92 | 30.5 | -327 | 0.06 | 134.47 | 4611.65 | 80.10 | 33.30 | 8.08 | 30.6 | 48 | 5.86 | 121.50 | 4232.53 | 51.69 | 10.80 | 105 | 95.36 | 82.98 | 51.61 | 57.74 |
| 14/2/1943 | 68 | 7.52 | 253.37 | 10037.82 | 1112.31 | 61.34 | | | -331 | 0.05 | 124.53 | 4366.28 | 65.48 | 31.86 | 8.04 | | 55 | 5.86 | 109.92 | 3296.74 | 60.21 | 10.51 | 46 | 94.59 | 82.87 | 56.62 | 67.16 |
| 16/2/1943 | 69 | 7.64 | 252.00 | 10179.43 | 1089.37 | 63.89 | | | -322 | 0.06 | 132.23 | 4978.56 | 63.12 | 32.67 | 8.06 | | 59 | 5.99 | 117.68 | 3480.11 | 40.61 | 9.30 | 87 | 96.27 | 85.44 | 53.30 | 65.81 |
| 18/2/1943 | 71 | 7.62 | 251.16 | 10068.95 | 1088.75 | 62.47 | 6.99 | 31.1 | -302 | 0.07 | 135.74 | 4491.05 | 70.10 | 31.25 | 8.03 | 31.5 | 57 | 5.67 | 110.28 | 3779.71 | 62.76 | 8.82 | 92 | 94.24 | 85.88 | 56.09 | 62.46 |
| 21/2/1943 | 74 | 7.55 | 249.26 | 9997.84 | 1099.20 | 63.70 | | | -318 | 0.06 | 120.47 | 4256.24 | 68.55 | 31.41 | 7.96 | | 44 | 5.89 | 104.63 | 3329.15 | 76.94 | 7.04 | 84 | 93.00 | 88.95 | 58.02 | 66.70 |
| 23/2/1943 | 76 | 7.52 | 250.04 | 10136.18 | 1062.56 | 62.68 | 6.90 | 30.9 | -342 | 0.07 | 121.03 | 4310.87 | 72.32 | 30.81 | 8.02 | 31.2 | 48 | 6.05 | 103.38 | 3705.83 | 73.28 | 6.76 | 36 | 93.10 | 89.22 | 58.65 | 63.44 |
| 25/2/1943 | 78 | 7.58 | 251.48 | 10151.03 | 1072.48 | 62.62 | | | -332 | 0.07 | 120.16 | 4357.33 | 68.74 | 31.44 | 8.12 | | 52 | 5.76 | 103.26 | 3431.28 | 62.29 | 6.17 | 62 | 94.19 | 90.15 | 58.94 | 66.20 |

ตาราง ค-2 ผลการทดลองที่ 1.2 Anaerobic 14 ชม.(ต่อ)

| วันที่ ดับ วัน | ลำ | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|----------------------|-----|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|--------------|-------------|--------------|--------|---------|-----------|------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 28/2/1943 | 81 | 7.51 | 252.36 | 10064.64 | 1053.07 | 61.67 | 6.84 | 30.7 | -312 | 0.07 | 120.96 | 4213.28 | 65.54 | 32.16 | 8.09 | 31.7 | 52 | 5.35 | 103.06 | 3441.28 | 50.15 | 6.64 | 63 | 95.24 | 89.23 | 59.16 | 65.81 |
| 1/3/1943 | 83 | 7.59 | 251.81 | 10100.52 | 1068.83 | 60.82 | 6.98 | 30.6 | -327 | 0.07 | 119.82 | 4188.94 | 69.73 | 31.58 | 7.99 | 30.9 | 62 | 6.11 | 102.25 | 3378.93 | 62.12 | 6.06 | 94 | 94.19 | 90.04 | 59.39 | 66.55 |
| 3/3/1943 | 85 | 7.56 | 250.11 | 9999.42 | 1055.87 | 60.82 | 7.00 | 30.9 | -322 | 0.07 | 124.42 | 4200.02 | 65.54 | 30.63 | 7.98 | 31.2 | 44 | 5.47 | 105.24 | 3615.73 | 64.48 | 6.71 | 112 | 93.89 | 88.97 | 57.92 | 63.84 |
| 6/3/1943 | 88 | 7.56 | 251.42 | 10079.32 | 1116.37 | 63.20 | 7.00 | 31.5 | -348 | 0.07 | 124.76 | 4211.17 | 60.02 | 31.58 | 7.97 | 31.9 | 43 | 5.11 | 104.56 | 3512.49 | 71.65 | 6.52 | 81 | 93.58 | 89.68 | 58.41 | 65.15 |
| 8/3/1943 | 90 | 7.62 | 249.84 | 10008.94 | 1109.12 | 60.42 | 7.02 | 31.7 | -339 | 0.07 | 122.25 | 3709.53 | 66.56 | 30.98 | 7.98 | 31.9 | 51 | 5.52 | 105.95 | 3595.51 | 67.86 | 6.78 | 59 | 93.88 | 88.78 | 57.59 | 64.08 |
| 10/3/1943 | 92 | 7.66 | 247.24 | 10041.21 | 1088.78 | 60.98 | 6.99 | 32.4 | -334 | 0.07 | 119.42 | 4198.17 | 70.52 | 31.55 | 7.90 | 32.2 | 48 | 5.72 | 103.15 | 3501.42 | 53.28 | 6.88 | 96 | 95.11 | 88.72 | 58.28 | 65.13 |
| 13/3/1943 | 95 | 7.59 | 250.50 | 9968.54 | 1065.60 | 60.98 | 6.84 | 32.3 | -358 | 0.07 | 121.16 | 4306.04 | 68.15 | 31.48 | 7.84 | 32.1 | 55 | 5.41 | 102.44 | 3486.51 | 57.72 | 6.52 | 82 | 94.58 | 89.31 | 59.11 | 65.02 |
| 14/3/1943 | 96 | 7.59 | 250.06 | 10005.64 | 1094.04 | 63.80 | 6.92 | 32.5 | -351 | 0.06 | 120.20 | 4157.74 | 68.15 | 32.06 | 7.91 | 32.2 | 52 | 5.51 | 102.65 | 3400.48 | 57.11 | 6.35 | 76 | 94.78 | 90.05 | 58.95 | 66.01 |
| 16/3/1943 | 98 | 7.64 | 251.42 | 10045.12 | 1044.45 | 62.62 | 6.83 | 32.6 | -348 | 0.07 | 119.89 | 4219.22 | 64.22 | 31.80 | 7.91 | 32.7 | 48 | 5.43 | 102.85 | 3410.55 | 60.50 | 6.29 | 64 | 94.21 | 89.96 | 59.09 | 66.05 |
| 18/3/1943 | 100 | 7.61 | 249.04 | 9991.71 | 1092.75 | 61.49 | 6.89 | 32.4 | -350 | 0.08 | 119.77 | 3989.56 | 66.10 | 30.98 | 7.99 | 32.5 | 44 | 5.21 | 103.52 | 3456.81 | 54.10 | 6.10 | 116 | 95.05 | 90.08 | 58.43 | 65.40 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-3 ผลการทดลองที่ 1.3 Anaerobic 18 ชม.

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | | |
|------------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|-------------|-------------|--------------|--------|-----------|--------|-------|-----|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | | | | | | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 10/12/1942 | 1 | | 251.66 | 10078.60 | 1095.21 | | | | | | 202.89 | 8913.91 | 118.12 | | | | | | 175.45 | 7901.34 | 66.18 | | | 93.96 | | 30.28 | 21.60 |
| 12/12/1942 | 3 | 7.56 | 253.41 | 10103.42 | 1079.88 | | | | | | 186.34 | 8359.46 | 94.56 | | | | | | 172.76 | 7624.41 | 90.3 | | | 91.64 | | 31.83 | 24.54 |
| 14/12/1942 | 5 | 7.42 | 253.05 | 10148.25 | 1065.97 | | 6.94 | | | | 191.29 | 8642.31 | 140.62 | | 7.74 | | | | 168.57 | 7457.99 | 112.43 | | | 89.45 | | 33.38 | 26.51 |
| 17/12/1942 | 8 | 7.57 | 250.02 | 10070.78 | 1063.86 | | 6.78 | 22.2 | -366 | 0.06 | 167.28 | 7148.73 | 123.54 | | 7.62 | 22.3 | 40 | 4.47 | 141.26 | 5800.05 | 95.91 | | | 90.98 | | 43.50 | 42.41 |
| 19/12/1942 | 10 | 7.69 | 249.87 | 9999.28 | 1098.81 | | 6.82 | | | | 176.48 | 7894.06 | 116.78 | | 7.75 | | | | 152.09 | 6361.37 | 96.36 | | | 91.23 | | 39.13 | 36.38 |
| 21/12/1942 | 12 | 7.58 | 249.72 | 9921.88 | 1093.52 | | 6.9 | | | | 160.72 | 6602.19 | 108.73 | | 7.60 | | | | 147.86 | 5740.42 | 102.29 | | | 90.65 | | 40.79 | 42.14 |
| 24/12/1942 | 15 | 7.59 | 247.86 | 9863.84 | 1101.63 | | 6.89 | 18.9 | -347 | 0.05 | 177.38 | 7970.86 | 102.29 | | 7.56 | 19.2 | 36 | 5.48 | 156.65 | 6602.23 | 100.36 | | | 90.89 | | 36.80 | 33.07 |
| 26/12/1942 | 17 | 7.53 | 249.14 | 9978.58 | 1077.40 | | 6.94 | | | | 181.26 | 8283.42 | 96.84 | | 7.49 | | | | 166.24 | 7312.28 | 92.18 | | | 91.44 | | 33.27 | 26.72 |
| 29/12/1942 | 20 | 7.58 | 252.90 | 10023.56 | 1082.40 | | 6.95 | | | | 172.17 | 6879.35 | 90.56 | | 7.58 | | | | 155.85 | 6284.55 | 86.26 | | | 92.03 | | 38.37 | 37.30 |
| 2/1/1943 | 24 | 7.61 | 250.40 | 9997.98 | 1096.67 | | 6.91 | 20.8 | -338 | 0.07 | 171.12 | 6825.43 | 86.26 | | 7.51 | 21.9 | 32 | 5.25 | 157.22 | 6210.67 | 76.95 | | | 92.98 | | 37.21 | 37.88 |
| 4/1/1943 | 26 | 7.60 | 251.13 | 10067.83 | 1082.65 | | 6.93 | | | | 167.53 | 6500.55 | 80.53 | | 7.65 | | | | 153.18 | 5642.39 | 76.95 | | | 92.89 | | 39.00 | 43.96 |
| 7/1/1943 | 29 | 7.55 | 252.61 | 10034.88 | 1049.88 | | 6.89 | 21.2 | -303 | 0.07 | 170.36 | 6740.09 | 76.95 | | 7.59 | 21.9 | 34 | 4.94 | 160.29 | 5959.76 | 84.26 | | | 91.97 | | 36.55 | 40.61 |
| 10/1/1943 | 32 | 7.68 | 251.83 | 10054.94 | 1084.97 | 62.54 | 6.92 | | | | 162.31 | 6618.14 | 73.26 | 33.16 | 7.72 | | | | 144.00 | 5805.42 | 84.26 | 19.64 | 84 | 92.23 | 68.60 | 42.82 | 42.26 |
| 14/1/1943 | 36 | 7.64 | 252.86 | 10085.64 | 1066.98 | 62.67 | 6.85 | 29.8 | -352 | 0.07 | 112.58 | 4608.96 | 76.12 | 30.42 | 7.84 | 30.1 | 45 | 4.69 | 97.41 | 3499.70 | 70.12 | 18.64 | 109 | 93.43 | 70.26 | 61.48 | 65.30 |
| 17/1/1943 | 39 | 7.60 | 251.12 | 10063.51 | 1085.35 | 63.36 | 6.88 | | | | 119.66 | 4553.67 | 65.05 | 32.68 | 7.96 | | | | 104.53 | 3989.21 | 65.48 | 19.63 | 104 | 93.97 | 69.02 | 58.37 | 60.36 |
| 19/1/1943 | 41 | 7.58 | 248.14 | 9934.38 | 1104.65 | 61.84 | 6.89 | 30.2 | -305 | 0.07 | 115.82 | 4419.52 | 60.76 | 33.49 | 7.98 | 30.5 | 30 | 4.21 | 99.56 | 3791.53 | 65.48 | 19.64 | 74 | 94.07 | 68.24 | 59.88 | 61.83 |

ตาราง ค-3 ผลการทดลองที่ 1.3 Anaerobic 18 ชม. (ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|-----------|-------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 21/1/1943 | 43 | 7.56 | 253.26 | 10098.75 | 1078.40 | 63.15 | 6.92 | | | | 105.41 | 3674.34 | 66.84 | 32.45 | 8.02 | | | | 85.62 | 2974.55 | 62.50 | 18.07 | 60 | 94.20 | 71.39 | 66.19 | 70.55 |
| 24/1/1943 | 47 | 7.49 | 249.76 | 9996.25 | 1098.40 | 61.23 | 6.92 | 28.9 | -356 | 0.07 | 119.68 | 4612.84 | 69.12 | 31.78 | 8.02 | 29.4 | 23 | 5.12 | 104.21 | 3889.75 | 69.12 | 17.52 | 115 | 93.71 | 71.39 | 58.28 | 61.09 |
| 26/1/1943 | 49 | 7.54 | 252.18 | 10023.03 | 1072.74 | 62.69 | 6.96 | | | | 123.47 | 4852.18 | 66.23 | 31.60 | 7.96 | | | | 107.94 | 4108.51 | 65.37 | 17.29 | 80 | 93.91 | 72.42 | 57.20 | 59.01 |
| 28/1/1943 | 51 | 7.54 | 250.76 | 10020.05 | 1081.96 | 64.09 | 6.86 | 29.1 | -301 | 0.07 | 116.15 | 4453.32 | 65.37 | 32.12 | 7.96 | 30.1 | 34 | 5.64 | 99.92 | 3826.49 | 65.37 | 17.17 | 45 | 93.96 | 73.21 | 60.15 | 61.81 |
| 31/1/1943 | 54 | 7.62 | 252.34 | 10056.65 | 1054.52 | 63.98 | 6.93 | | -341 | 0.06 | 102.95 | 3468.15 | 63.48 | 32.05 | 7.98 | | 38 | 5.24 | 87.78 | 2785.93 | 70.25 | 17.82 | 129 | 93.34 | 72.15 | 65.21 | 72.30 |
| 2/2/1943 | 56 | 7.49 | 252.85 | 10095.56 | 1092.02 | 60.86 | 6.94 | 29.3 | -338 | 0.07 | 103.61 | 3498.85 | 69.73 | 31.12 | 7.98 | 30.4 | 27 | 5.47 | 86.76 | 2641.48 | 62.24 | 18.21 | 64 | 94.30 | 70.08 | 65.69 | 73.84 |
| 4/2/1943 | 58 | 7.64 | 249.78 | 9999.82 | 1083.57 | 60.12 | 6.89 | | -339 | 0.07 | 105.22 | 3662.14 | 65.22 | 32.55 | 7.99 | | 32 | 4.98 | 89.69 | 2905.26 | 65.52 | 20.34 | 115 | 93.95 | 66.17 | 64.09 | 70.95 |
| 7/2/1943 | 61 | 7.52 | 251.13 | 10001.03 | 1068.64 | 62.56 | 6.94 | 29.0 | -347 | 0.07 | 107.16 | 3705.04 | 70.52 | 33.17 | 8.03 | 30.5 | 29 | 5.29 | 91.85 | 3012.45 | 65.52 | 21.57 | 114 | 93.87 | 65.52 | 63.43 | 69.88 |
| 9/2/1943 | 63 | 7.60 | 250.63 | 10139.15 | 1089.68 | 61.45 | 6.99 | | -350 | 0.07 | 99.37 | 3367.43 | 64.19 | 31.68 | 8.05 | | 41 | 5.64 | 83.77 | 2564.82 | 67.26 | 18.93 | 60 | 93.83 | 69.19 | 66.58 | 74.70 |
| 11/2/1943 | 65 | 7.58 | 251.06 | 10015.67 | 1113.72 | 63.45 | 6.96 | 28.8 | -342 | 0.06 | 103.52 | 3594.27 | 80.45 | 30.42 | 8.12 | 30.2 | 35 | 4.62 | 88.02 | 2825.39 | 58.99 | 19.85 | 114 | 94.70 | 68.72 | 64.94 | 71.79 |
| 14/2/1943 | 68 | 7.52 | 253.37 | 10037.82 | 1112.31 | 61.34 | 6.98 | | -338 | 0.07 | 93.61 | 3253.29 | 70.44 | 32.44 | 8.11 | | 35 | 5.46 | 82.86 | 2379.05 | 61.15 | 18.89 | 94 | 94.50 | 69.20 | 67.30 | 76.30 |
| 16/2/1943 | 69 | 7.64 | 252.00 | 10179.43 | 1089.37 | 63.89 | 6.94 | | -359 | 0.07 | 92.86 | 3126.16 | 68.55 | 32.08 | 8.18 | | 38 | 5.54 | 80.37 | 2338.42 | 62.00 | 20.74 | 40 | 94.31 | 67.54 | 68.11 | 77.03 |
| 18/2/1943 | 71 | 7.62 | 251.16 | 10068.95 | 1088.75 | 62.47 | 6.87 | 29.2 | -367 | 0.07 | 90.07 | 2917.67 | 75.91 | 30.95 | 8.05 | 30.8 | 24 | 5.21 | 78.57 | 2271.11 | 62.00 | 19.76 | 121 | 94.31 | 68.37 | 68.72 | 77.44 |
| 21/2/1943 | 74 | 7.55 | 249.26 | 9997.84 | 1099.20 | 63.70 | 6.92 | | -359 | 0.05 | 89.67 | 2823.48 | 65.04 | 32.79 | 8.10 | | 33 | 5.98 | 82.41 | 2423.63 | 64.44 | 17.83 | 89 | 94.14 | 72.01 | 66.94 | 75.76 |
| 23/2/1943 | 76 | 7.52 | 250.04 | 10136.18 | 1062.56 | 62.68 | 6.94 | 29.7 | -348 | 0.07 | 90.76 | 2903.13 | 62.00 | 33.10 | 8.02 | 30.4 | 36 | 6.16 | 79.42 | 2437.15 | 64.44 | 17.82 | 74 | 93.94 | 71.57 | 68.24 | 75.96 |
| 25/2/1943 | 78 | 7.58 | 251.48 | 10151.03 | 1072.48 | 62.62 | 6.96 | | -336 | 0.06 | 89.63 | 2764.46 | 60.18 | 31.88 | 8.05 | | 39 | 5.32 | 77.59 | 2198.41 | 61.48 | 18.04 | 109 | 94.27 | 71.19 | 69.15 | 78.34 |

ตาราง ค-3 ผลการทดลองที่ 1.3 Anaerobic 18 ชม.(ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------|---------|---------------|---------------|--------|--------------|-------------|--------------|-------|---------|-----------|-------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 28/2/1943 | 81 | 7.51 | 252.36 | 10064.64 | 1053.07 | 61.67 | 6.89 | 28.7 | -358 | 0.07 | 90.48 | 2824.77 | 64.48 | 31.10 | 8.06 | 29.8 | 34 | 5.45 | 78.18 | 2106.83 | 61.11 | 18.65 | 84 | 94.20 | 69.76 | 69.02 | 79.07 |
| 1/3/1943 | 83 | 7.59 | 251.81 | 10100.52 | 1068.83 | 60.82 | 6.94 | 28.8 | -317 | 0.07 | 90.66 | 2819.77 | 61.11 | 32.94 | 8.03 | 29.7 | 33 | 5.27 | 78.47 | 2094.71 | 61.11 | 17.21 | 85 | 94.28 | 71.70 | 68.84 | 79.26 |
| 3/3/1943 | 85 | 7.56 | 250.11 | 9999.42 | 1055.87 | 60.82 | 6.99 | 28.9 | -347 | 0.07 | 89.77 | 2747.12 | 64.48 | 32.91 | 8.04 | 30.1 | 34 | 4.75 | 77.95 | 2080.73 | 60.12 | 17.84 | 39 | 94.31 | 70.67 | 68.83 | 79.19 |
| 6/3/1943 | 88 | 7.56 | 251.42 | 10079.32 | 1116.37 | 63.20 | 6.88 | 28.7 | -335 | 0.07 | 88.04 | 2681.15 | 70.12 | 30.52 | 8.06 | 30.5 | 27 | 5.35 | 78.13 | 2205.41 | 63.12 | 18.21 | 62 | 94.35 | 71.19 | 68.92 | 78.12 |
| 8/3/1943 | 90 | 7.62 | 249.84 | 10008.94 | 1109.12 | 60.42 | 6.92 | 29.1 | -306 | 0.07 | 88.67 | 2694.42 | 63.12 | 31.74 | 7.99 | 30.3 | 42 | 5.12 | 78.15 | 2041.52 | 63.12 | 17.06 | 74 | 94.31 | 71.76 | 68.72 | 79.60 |
| 10/3/1943 | 92 | 7.66 | 247.24 | 10041.21 | 1088.78 | 60.98 | 6.89 | 29.1 | -305 | 0.06 | 88.86 | 2785.75 | 65.28 | 31.68 | 7.94 | 31.1 | 41 | 5.16 | 78.88 | 2168.94 | 64.00 | 17.90 | 45 | 94.12 | 70.65 | 68.10 | 78.40 |
| 13/3/1943 | 95 | 7.59 | 250.50 | 9968.54 | 1065.60 | 60.98 | 6.98 | 28.6 | -325 | 0.07 | 89.15 | 2701.35 | 72.11 | 31.56 | 7.97 | 30.9 | 50 | 6.01 | 78.06 | 2168.91 | 60.45 | 18.3 | 12 | 94.33 | 69.99 | 68.84 | 78.24 |
| 14/3/1943 | 96 | 7.59 | 250.06 | 10005.64 | 1094.04 | 63.80 | 6.87 | 29.2 | -309 | 0.07 | 89.02 | 2710.67 | 65.94 | 33.02 | 8.01 | 31.4 | 37 | 5.38 | 78.86 | 2206.73 | 60.45 | 18.22 | 77 | 94.47 | 71.44 | 68.46 | 77.95 |
| 16/3/1943 | 98 | 7.64 | 251.42 | 10045.12 | 1044.45 | 62.62 | 6.85 | 30.3 | -358 | 0.07 | 88.88 | 2696.18 | 62.22 | 33.15 | 7.91 | 30.7 | 31 | 4.92 | 78.16 | 2106.91 | 62.2 | 17.74 | 60 | 94.04 | 71.67 | 68.91 | 79.03 |
| 18/3/1943 | 100 | 7.61 | 249.04 | 9991.71 | 1092.75 | 61.49 | 6.86 | 29.8 | -349 | 0.07 | 89.41 | 2612.79 | 65.43 | 33.05 | 7.98 | 31.1 | 42 | 5.61 | 78.24 | 2216.64 | 62.2 | 18.02 | 70 | 94.31 | 70.69 | 68.58 | 77.82 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-4 ผลการทดลองที่ 2.1 อัตราส่วนซีโอตีสีต่อน้ำตาล 1:0

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร่อากาศ | | | | | | | น้ำออก | | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|----------|---------------|---------------|------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|-----------|------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 19/4/1943 | 3 | 7.46 | 254.89 | 10348.36 | 57.31 | | | | | | 172.98 | 7205.13 | 54.14 | | 7.90 | | | | 156.87 | 6284.66 | 54.14 | | 15 | 5.53 | | 38.46 | 39.27 |
| 21/4/1943 | 5 | 7.45 | 249.85 | 9998.75 | 58.71 | 8.85 | 7.05 | 28.8 | -237 | 0.07 | 214.72 | 8441.24 | 55.82 | 8.26 | 7.88 | 29.3 | 38 | 4.72 | 198.55 | 7799.82 | 55.72 | 7.85 | 28 | 5.09 | 11.30 | 20.53 | 21.99 |
| 24/4/1943 | 8 | 7.48 | 251.25 | 10205.81 | 57.42 | | 6.99 | | | | 190.49 | 6960.34 | 52.40 | | 7.89 | | | | 171.52 | 6324.46 | 54.34 | | 50 | 5.36 | | 31.73 | 38.03 |
| 26/4/1943 | 10 | 7.47 | 252.21 | 10256.94 | 58.57 | 8.54 | 7.02 | 28.7 | -228 | 0.06 | 200.42 | 7561.64 | 55.94 | 7.54 | 7.74 | 29.3 | 29 | 5.02 | 177.82 | 6816.41 | 55.02 | 6.54 | 24 | 6.06 | 23.42 | 29.50 | 33.54 |
| 28/4/1943 | 12 | 7.44 | 249.58 | 10005.83 | 55.12 | | 6.98 | | | | 196.41 | 7259.68 | 55.12 | | 7.72 | | | | 173.94 | 6485.64 | 52.64 | | 38 | 4.50 | | 30.31 | 35.18 |
| 1/5/1943 | 15 | 7.45 | 256.64 | 10541.92 | 55.12 | 8.07 | 7.06 | 29.2 | -196 | 0.08 | 205.72 | 7928.67 | 52.46 | 7.26 | 7.68 | 30.1 | 35 | 5.12 | 189.71 | 7218.63 | 55.12 | 6.86 | 18 | 0.00 | 14.99 | 26.08 | 31.52 |
| 3/5/1943 | 17 | 7.46 | 255.41 | 10474.86 | 51.61 | 9.06 | 7.01 | | | | 187.68 | 7497.19 | 50.43 | 8.85 | 7.81 | | | | 174.64 | 6556.93 | 55.76 | 8.21 | 49 | -8.04 | | 31.62 | 37.40 |
| 5/5/1943 | 19 | 7.46 | 253.24 | 10304.51 | 48.85 | 7.92 | 7.02 | 29.3 | -52 | 0.07 | 205.87 | 7561.28 | 51.10 | 7.92 | 7.74 | 30.2 | 40 | 5.31 | 187.62 | 7005.98 | 53.12 | 7.21 | 25 | -8.74 | 8.96 | 25.91 | 32.01 |
| 8/5/1943 | 22 | 7.44 | 252.64 | 10212.31 | 48.85 | 7.58 | 7.10 | 29.1 | -87 | 0.10 | 202.94 | 7563.04 | 53.40 | 7.98 | 7.81 | 29.9 | 38 | 5.55 | 186.82 | 7053.37 | 50.22 | 7.12 | 56 | -2.80 | 6.07 | 26.05 | 30.93 |
| 10/5/1943 | 24 | 7.48 | 253.31 | 10208.13 | 55.42 | 8.06 | 7.12 | 28.9 | -10 | 0.09 | 224.03 | 8800.55 | 52.49 | 8.06 | 7.72 | 29.8 | 46 | 4.98 | 206.51 | 8121.75 | 53.98 | 6.95 | 24 | 2.60 | 13.77 | 18.48 | 20.44 |
| 12/5/1943 | 26 | 7.50 | 252.81 | 10189.75 | 58.42 | 9.11 | 7.06 | 29.1 | 10 | 0.10 | 216.93 | 8440.28 | 55.47 | | 7.69 | 29.8 | 42 | 5.32 | 200.94 | 7895.32 | 54.64 | 7.88 | 8 | 6.47 | | 20.52 | 22.52 |
| 15/5/1943 | 29 | 7.47 | 250.46 | 10007.87 | 54.13 | 8.84 | 7.24 | 29.4 | 5 | 0.10 | 239.75 | 9438.61 | 56.43 | 8.31 | 7.55 | 30.1 | 38 | 4.87 | 226.92 | 8865.02 | 53.20 | 7.26 | 18 | 1.72 | 17.87 | 9.40 | 11.42 |
| 17/5/1943 | 31 | 7.45 | 248.98 | 9985.52 | 52.06 | 8.53 | 7.30 | 29.5 | 12 | 0.11 | 241.19 | 9479.86 | 50.41 | 7.79 | 7.55 | 30.3 | 45 | 5.23 | 231.02 | 9001.37 | 54.82 | 7.52 | 30 | -5.30 | 11.84 | 7.21 | 9.86 |
| 19/5/1943 | 33 | 7.46 | 249.91 | 9992.41 | 52.06 | 7.96 | 7.36 | 29.2 | 8 | 0.10 | 239.92 | 9463.74 | 54.26 | 8.45 | 7.62 | 30.0 | 41 | 5.82 | 237.76 | 9215.13 | 54.82 | 7.74 | 17 | -5.30 | 2.76 | 4.86 | 7.78 |
| 22/5/1943 | 36 | 7.44 | 251.18 | 10051.25 | 50.95 | 9.05 | 7.42 | 29.1 | 10 | 0.10 | 249.77 | 9956.37 | 53.48 | 8.93 | 7.72 | 29.9 | 32 | 6.02 | 246.94 | 9558.03 | 52.18 | 8.74 | 12 | -2.41 | 3.43 | 1.69 | 4.91 |
| 24/5/1943 | 38 | 7.43 | 254.47 | 10314.41 | 55.45 | 8.79 | 7.38 | 29.0 | 12 | 0.10 | 255.11 | 10097.29 | 52.12 | 9.02 | 7.68 | 29.8 | 36 | 5.51 | 248.02 | 9941.33 | 53.48 | 7.81 | 35 | 3.55 | 11.15 | 2.53 | 3.62 |

ตาราง ค-4 ผลการทดลองที่ 2.1 อัตราส่วนซีโอทีสู่น้ำตาล 1:0 (ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | น้ำออก | | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|----------|---------------|---------------|------|-------------|-------------|--------------|--------|----------|-----------|------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 26/5/1943 | 40 | 7.49 | 253.49 | 10294.83 | 55.45 | 8.08 | | 29.2 | 8 | 0.11 | 248.17 | 9990.05 | 51.73 | | 7.58 | 30.0 | 40 | 5.88 | 249.55 | 9994.36 | 54.46 | 8.06 | 14 | 1.79 | 0.25 | 1.55 | 2.92 |
| 29/5/1943 | 43 | 7.44 | 252.82 | 10192.98 | 55.45 | 9.11 | 7.44 | 29.1 | 11 | 0.09 | 252.96 | 10170.82 | 51.73 | 8.67 | 7.81 | 29.9 | 29 | 5.32 | 244.53 | 9613.82 | 53.12 | 8.22 | 11 | 4.20 | 9.77 | 3.28 | 5.68 |
| 31/5/1943 | 45 | 7.54 | 250.48 | 10003.12 | 58.74 | 8.56 | 7.52 | 29.2 | 9 | 0.11 | 250.98 | 10012.14 | 55.22 | 8.56 | 7.63 | 30.0 | 36 | 5.74 | 241.97 | 9724.29 | 54.16 | 8.12 | 5 | 7.80 | 5.14 | 3.40 | 2.79 |
| 2/6/1943 | 47 | 7.48 | 251.11 | 10010.61 | 52.46 | 7.12 | 7.45 | 28.5 | 8 | 0.10 | 252.08 | 10130.87 | 55.22 | 7.86 | 7.61 | 29.7 | 34 | 5.64 | 250.06 | 9989.65 | 51.96 | 6.98 | 30 | 0.95 | 1.97 | 0.42 | 0.21 |
| 5/6/1943 | 50 | 7.49 | 247.96 | 9978.56 | 54.91 | 7.65 | 7.49 | 28.6 | 14 | 0.10 | 248.14 | 9989.42 | 50.13 | 8.05 | 7.59 | 29.5 | 40 | 5.12 | 246.71 | 9911.52 | 51.34 | 7.72 | 9 | 6.50 | -0.92 | 0.50 | 0.67 |
| 7/5/1943 | 52 | 7.45 | 249.67 | 9985.14 | 50.13 | 8.16 | 7.52 | 28.8 | 10 | 0.11 | 249.78 | 9995.74 | 50.13 | 8.02 | 7.63 | 29.9 | 39 | 5.34 | 248.87 | 9925.82 | 50.10 | 7.88 | 6 | 0.06 | 3.37 | 0.32 | 0.59 |
| 9/6/1943 | 54 | 7.52 | 248.99 | 9980.11 | 54.19 | 8.41 | 7.55 | 29.2 | 12 | 0.09 | 249.73 | 9989.23 | 50.86 | 8.24 | 7.71 | 30.1 | 36 | 5.64 | 247.95 | 9842.68 | 52.21 | 8.04 | 5 | 3.65 | 4.40 | 0.42 | 1.38 |
| 12/6/1943 | 57 | 7.46 | 251.55 | 10045.64 | 54.19 | 9.04 | 7.54 | 29.3 | 11 | 0.09 | 250.56 | 10002.11 | 50.92 | 8.88 | 7.74 | 30.3 | 41 | 5.03 | 250.66 | 9999.86 | 55.41 | 8.52 | 15 | -2.25 | 5.75 | 0.35 | 0.46 |
| 14/6/1943 | 61 | 7.46 | 252.65 | 10097.81 | 55.43 | 8.52 | 7.52 | 29.5 | 15 | 0.09 | 253.65 | 10094.41 | 54.47 | 8.52 | 7.68 | 30.3 | 37 | 5.86 | 251.61 | 10008.57 | 55.05 | 7.82 | 9 | 0.69 | 8.22 | 0.41 | 0.88 |
| 16/6/1943 | 64 | 7.45 | 252.84 | 10158.15 | 55.43 | 8.19 | 7.58 | 29.5 | 13 | 0.10 | 250.48 | 10005.56 | 55.43 | 8.26 | 7.76 | 30.4 | 44 | 5.69 | 251.11 | 10001.28 | 54.32 | 8.02 | 15 | 2.00 | 2.08 | 0.68 | 1.54 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-5 ผลการทดลองที่ 2.2 อัตราส่วนซีโอดีสีต่อน้ำตาล 1:10

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สถานะไร้อากาศ | | | | | | | น้ำออก | | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|-----------|-------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 19/4/1943 | 3 | 7.55 | 250.98 | 10082.94 | 594.01 | | | | | | 154.79 | 6978.23 | 55.96 | | 8.29 | | | | 144.58 | 6348.94 | 50.12 | | 54 | 91.56 | | 42.39 | 37.03 |
| 21/4/1943 | 5 | 7.45 | 251.46 | 10111.74 | 594.54 | 44.78 | 6.98 | 29.1 | -311 | 0.07 | 182.94 | 8358.35 | 58.57 | 25.96 | 8.35 | 29.8 | 28 | 5.24 | 174.45 | 8120.46 | 54.10 | 9.68 | 47 | 90.90 | 78.38 | 30.63 | 19.69 |
| 24/4/1943 | 8 | 7.60 | 256.46 | 10218.91 | 554.97 | | 6.94 | | | | 194.14 | 8927.41 | 52.17 | | 8.26 | | | | 187.69 | 8864.18 | 50.42 | | 26 | 90.91 | | 26.82 | 13.26 |
| 26/4/1943 | 10 | 7.52 | 255.84 | 10275.25 | 601.45 | 43.70 | 7.00 | 29.3 | -321 | 0.06 | 162.72 | 7292.86 | 59.14 | 24.94 | 8.29 | 29.8 | 30 | 5.69 | 153.08 | 7129.48 | 52.42 | 10.64 | 33 | 91.28 | 75.65 | 40.17 | 30.62 |
| 28/4/1943 | 12 | 7.55 | 254.42 | 10100.85 | 605.48 | | 6.93 | | | | 159.84 | 6962.37 | 59.14 | | 8.30 | | | | 148.03 | 6694.83 | 53.16 | | 25 | 91.22 | | 41.82 | 33.72 |
| 1/5/1943 | 14 | 7.51 | 252.29 | 10048.35 | 598.96 | 44.91 | 6.99 | 29.4 | -315 | 0.06 | 155.92 | 7650.11 | 55.48 | 22.84 | 8.29 | 30.2 | 29 | 4.98 | 153.21 | 7498.16 | 51.24 | 9.46 | 10 | 91.45 | 78.95 | 39.27 | 25.38 |
| 3/5/1943 | 17 | 7.52 | 251.16 | 10078.91 | 587.91 | | 6.98 | 29.6 | | | 155.15 | 7287.35 | 58.92 | | 8.31 | 30.1 | | | 150.74 | 6945.56 | 51.24 | | 18 | 91.28 | | 39.98 | 31.09 |
| 5/5/1943 | 19 | 7.53 | 250.46 | 10094.24 | 569.74 | 44.91 | 7.02 | 29.4 | -328 | 0.07 | 160.99 | 7741.23 | 53.92 | 20.17 | 8.35 | 29.8 | 35 | 5.21 | 154.83 | 7458.92 | 52.97 | 7.12 | 32 | 90.70 | 84.15 | 38.18 | 26.11 |
| 8/5/1943 | 22 | 7.54 | 253.82 | 10245.64 | 589.74 | 45.11 | 6.98 | 29.6 | -314 | 0.07 | 155.97 | 7353.48 | 54.14 | 22.08 | 8.27 | 30.2 | 29 | 5.07 | 151.72 | 7116.73 | 53.91 | 9.86 | 41 | 90.86 | 78.14 | 40.23 | 30.54 |
| 10/5/1943 | 24 | 7.50 | 249.88 | 9999.85 | 578.94 | 44.62 | 7.01 | 29.8 | -317 | 0.07 | 153.43 | 6700.19 | 50.76 | 24.96 | 8.36 | 30.5 | 37 | 5.38 | 149.75 | 6542.14 | 52.64 | 10.78 | 55 | 90.91 | 75.84 | 40.07 | 34.58 |
| 12/5/1943 | 26 | 7.55 | 249.22 | 9989.67 | 594.87 | 42.94 | 6.99 | 29.7 | -323 | 0.06 | 155.11 | 7482.36 | 56.20 | 23.26 | 8.29 | 30.6 | 38 | 5.52 | 152.86 | 7214.96 | 53.67 | 10.12 | 47 | 90.98 | | 38.66 | 27.78 |
| 15/5/1943 | 29 | 7.54 | 252.81 | 10021.84 | 610.41 | 43.97 | 7.00 | 29.6 | -320 | 0.06 | 149.72 | 6710.03 | 56.556 | 23.84 | 8.28 | 30.3 | 33 | 5.91 | 145.15 | 6489.25 | 52.61 | 9.89 | 39 | 91.38 | 77.51 | 42.59 | 35.25 |
| 17/5/1943 | 31 | 7.54 | 253.13 | 10248.94 | 625.15 | 45.02 | 7.03 | 29.8 | -331 | 0.07 | 150.19 | 6352.24 | 58.47 | 21.76 | 8.19 | 30.5 | 38 | 5.37 | 145.55 | 6514.94 | 52.94 | 9.08 | 28 | 91.53 | 79.83 | 42.50 | 36.43 |
| 19/5/1943 | 33 | 7.54 | 256.42 | 10451.64 | 597.84 | 46.15 | 6.99 | 29.6 | -324 | 0.07 | 150.34 | 6712.14 | 52.52 | 20.53 | 8.27 | 30.0 | 29 | 4.99 | 147.96 | 6601.52 | 52.36 | 9.50 | 19 | 91.24 | 79.41 | 42.30 | 36.84 |
| 22/5/1943 | 36 | 7.55 | 253.61 | 10401.15 | 602.52 | 46.16 | 7.01 | 29.4 | -322 | 0.07 | 152.78 | 6610.28 | 52.22 | 22.71 | 8.34 | 30.1 | 36 | 5.14 | 144.98 | 6410.11 | 50.31 | 9.50 | 8 | 91.65 | 79.42 | 42.83 | 38.37 |
| 24/5/1943 | 38 | 7.55 | 254.41 | 10406.11 | 591.01 | 44.91 | 6.98 | 29.3 | -314 | 0.05 | 146.21 | 6427.99 | 55.84 | 20.75 | 8.28 | 29.9 | 34 | 5.07 | 144.78 | 6358.12 | 54.64 | 8.91 | 24 | 90.75 | 80.16 | 43.09 | 38.90 |

ตาราง ค-5 ผลการทดลองที่ 2.2 อัตราส่วนซีโอดีสีต่อน้ำตาล 1:10 (ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร่อากาศ | | | | | | | น้ำออก | | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|-----------|------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 26/5/1943 | 40 | 7.53 | 253.17 | 10422.08 | 578.84 | 47.06 | 6.97 | 29.2 | -327 | 0.07 | 148.65 | 6538.92 | 58.19 | 20.82 | 8.27 | 29.7 | 36 | 5.14 | 145.97 | 6428.94 | 55.01 | 7.45 | 7 | 90.50 | | 42.34 | 38.31 |
| 29/5/1943 | 43 | 7.54 | 251.28 | 10047.95 | 589.41 | 44.61 | 6.88 | 29.4 | -319 | 0.05 | 144.92 | 6382.87 | 52.74 | 21.45 | 8.29 | 29.8 | 29 | 5.36 | 144.26 | 6305.41 | 54.02 | 7.86 | 17 | 90.83 | 82.38 | 42.59 | 37.25 |
| 31/5/1943 | 45 | 7.55 | 253.39 | 10247.03 | 572.45 | 42.91 | 7.01 | 29.5 | -321 | 0.06 | 144.29 | 6391.07 | 52.74 | 20.94 | 8.22 | 30.1 | 35 | 5.48 | 144.82 | 6324.02 | 52.62 | 7.12 | 22 | 90.81 | 83.41 | 42.85 | 38.28 |
| 2/6/1943 | 47 | 7.56 | 252.14 | 10301.54 | 581.11 | 44.32 | 7.00 | 28.8 | -325 | 0.06 | 144.59 | 6360.85 | 54.84 | 21.11 | 8.18 | 29.4 | 39 | 5.05 | 144.01 | 6321.24 | 54.30 | 8.02 | 25 | 90.66 | 81.90 | 42.88 | 38.64 |
| 5/6/1943 | 50 | 7.58 | 253.19 | 10299.68 | 579.65 | 43.28 | 6.96 | 28.9 | -312 | 0.06 | 144.63 | 6379.87 | 57.56 | 20.74 | 8.27 | 29.2 | 28 | 5.64 | 144.36 | 6315.16 | 52.85 | 7.44 | 20 | 90.88 | 82.81 | 42.98 | 38.69 |
| 7/5/1943 | 52 | 7.49 | 250.09 | 10086.94 | 581.21 | 46.01 | 6.98 | 29.0 | -310 | 0.07 | 145.21 | 6425.84 | 57.56 | 20.95 | 8.34 | 29.5 | 37 | 5.26 | 144.82 | 6335.54 | 50.34 | 7.02 | 17 | 91.34 | 84.74 | 42.09 | 37.19 |
| 9/6/1943 | 54 | 7.52 | 254.01 | 10345.24 | 580.23 | 45.67 | 6.99 | 29.5 | -308 | 0.07 | 145.02 | 6400.19 | 54.12 | 21.14 | 8.29 | 29.9 | 33 | 5.43 | 144.24 | 6314.51 | 52.64 | 7.56 | 34 | 90.93 | 83.45 | 43.21 | 38.96 |
| 12/6/1943 | 57 | 7.54 | 249.46 | 9999.99 | 579.91 | 43.92 | 7.02 | 29.6 | -309 | 0.07 | 144.95 | 6377.81 | 54.95 | 21.63 | 8.30 | 30.2 | 38 | 5.67 | 144.62 | 6354.91 | 54.06 | 7.94 | 40 | 90.68 | 81.92 | 42.03 | 36.45 |
| 14/6/1943 | 61 | 7.56 | 248.16 | 9987.27 | 581.35 | 44.92 | 6.97 | 29.7 | -314 | 0.07 | 144.37 | 6367.98 | 55.11 | 20.94 | 8.34 | 30.1 | 40 | 5.58 | 144.02 | 6358.27 | 53.47 | 7.86 | 26 | 90.80 | 82.50 | 41.96 | 36.34 |
| 16/6/1943 | 64 | 7.55 | 248.88 | 9979.38 | 571.98 | 45.31 | 6.98 | 29.8 | -302 | 0.07 | 145.55 | 6410.06 | 52.14 | 19.87 | 8.32 | 30.2 | 35 | 5.14 | 144.17 | 6354.19 | 51.36 | 7.23 | 15 | 91.02 | 84.04 | 42.07 | 36.33 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-6 ผลการทดลองที่ 2.3 อัตราส่วนซีโอดีสีต่อน้ำตาล 1:15

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | น้ำออก | | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|-----------|-------|------|-------|-------|---------------|---------------|--|--|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | | |
| 19/4/1943 | 3 | 7.62 | | | 832.59 | | | | | | | | | | 8.29 | | | | | | | 80.92 | | 47 | 90.28 | | | | |
| 21/4/1943 | 5 | 7.64 | 252.14 | 10186.92 | 845.84 | 62.35 | 6.90 | 28.9 | -335 | 0.07 | 142.96 | 5789.37 | 66.92 | 25.96 | 8.30 | 29.3 | 48 | 5.54 | 129.97 | 5059.80 | 70.11 | 9.82 | 56 | 91.71 | 84.25 | 48.45 | 50.33 | | |
| 24/4/1943 | 8 | 7.59 | 251.34 | 10089.99 | 835.95 | 58.91 | 6.96 | | | | 149.53 | 6217.88 | | | 8.26 | | | | 138.17 | 5611.23 | 85.96 | 10.15 | 49 | 89.72 | 82.77 | 45.03 | 44.39 | | |
| 26/4/1943 | 10 | 7.58 | 250.04 | 10094.15 | 834.95 | 57.97 | 6.94 | 29.2 | -308 | 0.07 | 133.00 | 5596.08 | 80.05 | 27.15 | 8.28 | 29.6 | 44 | 5.69 | 120.21 | 4981.27 | 78.49 | 12.97 | 53 | 90.60 | 77.63 | 51.92 | 50.65 | | |
| 28/4/1943 | 12 | 7.58 | 250.08 | 10056.79 | 832.61 | 56.87 | 6.98 | | | | 130.00 | 5697.44 | | | 8.31 | | | | 120.50 | 4988.37 | 50.10 | 9.67 | 61 | 93.98 | 83.00 | 51.82 | 50.40 | | |
| 1/5/1943 | 15 | 7.61 | 251.82 | 10167.34 | 832.01 | 59.00 | 6.99 | 29.2 | -310 | 0.07 | 154.19 | 6235.85 | 60.52 | 24.54 | 8.29 | 29.6 | 38 | 5.34 | 144.02 | 5812.56 | 56.74 | 10.55 | 78 | 93.18 | 82.12 | 42.81 | 42.83 | | |
| 3/5/1943 | 17 | 7.64 | 251.96 | 10175.97 | 841.91 | 58.93 | 6.95 | | | | 135.78 | 5642.37 | | 26.12 | 8.29 | | | | 122.96 | 4888.37 | 62.17 | 11.59 | 59 | 92.62 | 80.33 | 51.20 | 51.96 | | |
| 5/5/1943 | 19 | 7.64 | 252.88 | 10152.68 | 822.15 | 59.61 | 7.01 | 29.1 | -322 | 0.07 | 128.95 | 4916.37 | 62.17 | 27.06 | 8.33 | 29.5 | 33 | 5.05 | 120.11 | 4496.13 | 62.17 | 12.06 | 54 | 92.44 | 79.77 | 52.50 | 55.71 | | |
| 8/5/1943 | 22 | 7.59 | 253.11 | 10245.64 | 861.54 | 60.02 | 6.97 | 29.3 | -319 | 0.07 | 120.11 | 4497.22 | 60.76 | 25.94 | 8.34 | 29.8 | 36 | 5.24 | 114.82 | 3988.52 | 55.85 | 10.72 | 14 | 93.52 | 82.14 | 54.64 | 61.07 | | |
| 10/5/1943 | 24 | 7.62 | 252.04 | 10203.03 | 851.45 | 57.97 | 6.95 | 29.5 | -334 | 0.08 | 123.00 | 4977.53 | 59.16 | 27.21 | 8.35 | 29.9 | 40 | 5.81 | 115.26 | 4296.81 | 59.16 | 11.98 | 26 | 93.05 | 79.33 | 54.27 | 57.89 | | |
| 12/5/1943 | 26 | 7.60 | 253.41 | 10226.88 | 834.52 | 56.93 | 7.02 | 29.3 | -341 | 0.07 | 130.59 | 4815.67 | 65.84 | 25.94 | 8.35 | 29.8 | 29 | 5.54 | 123.00 | 4293.55 | 59.16 | 12.06 | 60 | 92.91 | 78.82 | 51.46 | 58.02 | | |
| 15/5/1943 | 29 | 7.62 | 252.55 | 10098.64 | 832.05 | 55.48 | 6.99 | 29.3 | -329 | 0.06 | 127.76 | 4786.02 | 70.12 | 26.48 | 8.29 | 29.7 | 38 | 5.64 | 118.00 | 4213.64 | 62.34 | 13.43 | 44 | 92.51 | 75.79 | 53.28 | 58.28 | | |
| 17/5/1943 | 31 | 7.63 | 248.78 | 9954.36 | 832.05 | 56.00 | 7.01 | 29.4 | -334 | 0.06 | 120.44 | 4299.64 | 55.89 | 24.65 | 8.19 | 30.0 | 41 | 5.13 | 105.26 | 3675.94 | 62.34 | 11.56 | 68 | 92.51 | 79.36 | 57.69 | 63.07 | | |
| 19/5/1943 | 33 | 7.64 | 249.86 | 9968.78 | 842.51 | 55.93 | 6.97 | 29.2 | -315 | 0.06 | 122.93 | 4191.43 | 60.55 | 26.87 | 8.22 | 29.5 | 37 | 5.69 | 110.87 | 3799.85 | 60.11 | 10.97 | 74 | 92.87 | 80.39 | 55.63 | 61.88 | | |
| 22/5/1943 | 36 | 7.65 | 248.44 | 9956.82 | 846.51 | 58.94 | 6.99 | 29.0 | -326 | 0.07 | 118.75 | 3988.56 | 59.43 | 25.12 | 8.34 | 29.8 | 36 | 5.34 | 104.72 | 3554.43 | 58.20 | 11.26 | 81 | 93.12 | 80.90 | 57.85 | 64.30 | | |
| 24/5/1943 | 38 | 7.65 | 250.13 | 10052.53 | 843.21 | 57.98 | 6.95 | 28.9 | -338 | 0.07 | 114.61 | 3975.16 | 65.54 | 26.34 | 8.26 | 29.4 | 32 | 5.52 | 103.94 | 3503.02 | 60.49 | 12.54 | 49 | 92.83 | 78.37 | 58.45 | 65.15 | | |

ตาราง ค-6 ผลการทดลองที่ 2.3 อัตราส่วนซีโอดีต่อน้ำตาล 1:15 (ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | น้ำออก | | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|-----------|-------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 26/5/1943 | 40 | 7.64 | 250.71 | 10075.98 | 841.51 | 59.04 | 6.98 | 29.0 | -322 | 0.06 | 115.69 | 4023.76 | 67.96 | 25.68 | 8.30 | 29.7 | 43 | 5.37 | 105.25 | 3614.53 | 57.72 | 11.12 | 56 | 93.14 | 81.17 | 58.02 | 64.13 |
| 29/5/1943 | 43 | 7.65 | 251.04 | 10089.26 | 842.67 | 61.42 | 6.98 | 29.1 | -340 | 0.06 | 110.59 | 3711.44 | 63.83 | 24.48 | 8.27 | 29.5 | 41 | 5.06 | 99.54 | 3476.56 | 62.89 | 11.68 | 88 | 92.54 | 80.98 | 60.35 | 65.54 |
| 31/5/1943 | 45 | 7.62 | 253.08 | 10224.58 | 835.95 | 60.82 | 6.99 | 29.3 | -344 | 0.05 | 109.99 | 3659.74 | 60.59 | 25.02 | 8.25 | 30.1 | 38 | 5.24 | 99.56 | 3515.77 | 60.54 | 11.60 | 46 | 92.76 | 80.93 | 60.66 | 65.61 |
| 2/6/1943 | 47 | 7.64 | 251.45 | 10104.55 | 835.95 | 60.60 | 6.96 | 28.4 | -339 | 0.06 | 109.84 | 3698.01 | 65.21 | 25.16 | 8.19 | 29.3 | 39 | 5.34 | 99.98 | 3442.86 | 62.14 | 12.05 | 57 | 92.57 | 80.12 | 60.24 | 65.93 |
| 5/6/1943 | 50 | 7.58 | 250.85 | 10007.85 | 846.30 | 59.22 | 7.01 | 28.6 | -332 | 0.07 | 111.56 | 3785.84 | 62.34 | 24.76 | 8.26 | 29.2 | 36 | 5.33 | 100.42 | 3502.64 | 59.96 | 11.32 | 37 | 92.92 | 80.88 | 59.97 | 65.00 |
| 7/5/1943 | 52 | 7.64 | 251.25 | 10026.47 | 846.30 | 58.04 | 6.98 | 28.7 | -335 | 0.07 | 111.02 | 3786.91 | 64.86 | 25.11 | 8.3 | 29.0 | 35 | 5.67 | 99.71 | 3498.03 | 58.02 | 12.15 | 28 | 93.14 | 79.07 | 60.31 | 65.11 |
| 9/6/1943 | 54 | 7.61 | 254.02 | 10201.53 | 845.11 | 57.71 | 6.99 | 28.9 | -322 | 0.07 | 109.85 | 3699.99 | 67.47 | 25.89 | 8.33 | 29.3 | 33 | 5.04 | 100.15 | 3511.42 | 62.12 | 12.06 | 19 | 92.65 | 79.10 | 60.57 | 65.58 |
| 12/6/1943 | 57 | 7.65 | 250.61 | 10004.97 | 845.11 | 56.92 | 6.95 | 29.2 | -319 | 0.06 | 109.96 | 3772.86 | 64.12 | 24.54 | 8.30 | 29.6 | 30 | 4.99 | 100.56 | 3479.68 | 64.80 | 11.74 | 60 | 92.33 | 79.37 | 59.87 | 65.22 |
| 14/6/1943 | 61 | 7.62 | 251.82 | 10054.95 | 826.94 | 57.92 | 6.97 | 29.1 | -328 | 0.07 | 111.01 | 3775.96 | 64.12 | 24.89 | 8.26 | 29.7 | 38 | 4.87 | 101.02 | 3526.34 | 60.43 | 11.58 | 15 | 92.69 | 80.01 | 59.88 | 64.93 |
| 16/6/1943 | 64 | 7.65 | 252.06 | 10115.75 | 840.18 | 57.71 | 6.96 | 29.3 | -334 | 0.07 | 110.58 | 3749.75 | 59.86 | 25.25 | 8.21 | 30.0 | 34 | 5.11 | 100.45 | 3495.8 | 58.92 | 12.12 | 30 | 92.99 | 79.00 | 60.15 | 65.44 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-7 ผลการทดลองที่ 3.1 อัตราการเวียน 700 ลิตรต่อวัน

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|-------------|-------------|--------------|---------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 3/7/1943 | 1 | 7.78 | 244.92 | 9820.55 | 1668.75 | | | | | | | | | | | | | 63.07 | 1492.22 | 86.25 | | 142 | 94.83 | | 74.25 | 84.81 | |
| 5/7/1943 | 3 | 7.82 | 250.64 | 10006.81 | 1650.00 | 90.16 | 7.05 | 29.2 | -303 | 0.08 | 74.83 | 1751.44 | 176.25 | 57.68 | 8.30 | 29.7 | 25 | 4.12 | 57.42 | 1274.19 | 97.50 | 38.64 | 126 | 94.09 | 57.14 | 77.09 | 87.27 |
| 7/7/1943 | 5 | 7.81 | 248.76 | 9968.46 | 1687.50 | | 7.01 | 28.3 | | | 80.33 | 1928.90 | 187.50 | | 8.27 | 29.4 | 19 | 3.29 | 63.30 | 1393.81 | 97.50 | | 162 | 94.22 | | 74.55 | 86.02 |
| 10/7/1943 | 8 | 7.76 | 249.35 | 10001.11 | 1612.50 | 87.36 | 7.05 | 28.5 | -316 | 0.09 | 71.81 | 1635.99 | 127.50 | 55.53 | 8.17 | 28.9 | 22 | 2.72 | 58.78 | 1232.43 | 99.01 | 34.77 | 196 | 93.86 | 60.20 | 76.43 | 87.68 |
| 12/7/1943 | 10 | 7.78 | 249.82 | 9938.58 | 1580.32 | 89.88 | 6.98 | | | | 70.24 | 1751.18 | 99.01 | 61.32 | 8.28 | 29.4 | | | 59.01 | 1362.04 | 91.39 | 41.16 | 352 | 94.22 | 54.21 | 76.38 | 86.30 |
| 14/7/1943 | 12 | 7.72 | 255.40 | 10138.75 | 1628.94 | 90.18 | 7.12 | 28.8 | -332 | 0.05 | 81.83 | 2084.13 | 90.55 | 52.17 | 8.38 | 29.5 | 27 | 3.83 | 62.97 | 1331.04 | 91.39 | 38.15 | 152 | 94.39 | 57.70 | 75.34 | 86.87 |
| 17/7/1943 | 15 | 7.73 | 255.30 | 10292.91 | 1618.00 | 92.07 | 6.96 | 30.2 | -348 | 0.06 | 80.72 | 2001.48 | 110.43 | 51.94 | 8.15 | 30.8 | 18 | 3.73 | 58.52 | 1301.22 | 99.45 | 35.42 | 304 | 93.85 | 61.53 | 77.08 | 87.36 |
| 19/7/1943 | 17 | 7.68 | 254.68 | 10206.50 | 1621.50 | 90.17 | 6.95 | 29.0 | -329 | 0.09 | 80.12 | 2131.28 | 105.56 | 53.78 | 8.24 | 30.1 | 27 | 4.27 | 58.44 | 1278.40 | 103.78 | 35.76 | 420 | 93.60 | 60.34 | 77.05 | 87.47 |
| 21/7/1943 | 19 | 7.76 | 249.38 | 10002.58 | 1621.50 | 92.86 | 6.99 | 29.0 | -338 | 0.08 | 76.34 | 2182.45 | 108.10 | 53.96 | 8.18 | 30.2 | 23 | 4.08 | 62.35 | 1625.60 | 86.16 | 38.16 | 164 | 94.69 | 58.91 | 75.00 | 83.75 |
| 24/7/1943 | 22 | 7.70 | 245.76 | 9938.82 | 1571.68 | 92.76 | 7.05 | 29.0 | -328 | 0.08 | 97.85 | 2991.32 | 119.94 | 52.81 | 8.43 | 29.7 | 20 | 4.11 | 82.31 | 2393.08 | 90.99 | 34.49 | 56 | 94.21 | 62.82 | 66.51 | 75.92 |
| 26/7/1943 | 24 | 7.70 | 251.34 | 10175.49 | 1592.36 | 94.25 | | | | | | | | 53.18 | 8.17 | 29.8 | 30 | 4.84 | 91.44 | 2738.11 | 90.99 | 38.12 | 64 | 94.29 | 59.55 | 63.62 | 73.09 |
| 28/7/1943 | 26 | 7.75 | 254.90 | 10324.55 | 1640.06 | 91.54 | 7.02 | 28.0 | -345 | 0.07 | 78.21 | 2184.53 | 95.96 | 50.78 | 8.25 | 29.7 | 26 | 3.94 | 63.60 | 1619.91 | 90.99 | 30.92 | 128 | 94.45 | 66.22 | 75.05 | 84.31 |
| 31/7/1943 | 29 | 7.81 | 253.72 | 10295.84 | 1633.92 | 92.86 | 6.99 | | -343 | 0.06 | 70.15 | 1749.04 | 110.76 | 56.83 | 8.33 | 29.9 | 34 | 3.98 | 59.45 | 1381.56 | 69.74 | 35.34 | 124 | 95.73 | 61.94 | 76.57 | 86.58 |
| 2/8/1943 | 31 | 7.81 | 250.58 | 10101.12 | 1652.12 | 90.98 | 7.05 | 28.3 | -341 | 0.05 | 81.48 | 1985.79 | 100.84 | 52.27 | 8.29 | 29.5 | 29 | 3.84 | 60.04 | 1348.07 | 86.15 | 30.49 | 250 | 94.79 | 66.49 | 76.04 | 86.65 |
| 4/8/1943 | 33 | 7.74 | 252.82 | 10389.85 | 1598.76 | 92.86 | | 28.9 | -338 | 0.06 | | | | 54.92 | 8.17 | 29.8 | 32 | 3.79 | 63.14 | 1454.78 | 77.95 | 37.50 | 112 | 95.12 | 59.62 | 75.03 | 86.00 |
| 7/8/1943 | 36 | 7.83 | 251.34 | 10212.74 | 1592.64 | 90.09 | 6.83 | 27.6 | -350 | 0.07 | 100.17 | 3097.94 | 110.00 | 51.40 | 8.19 | 28.2 | 24 | 3.85 | 81.15 | 2357.63 | 60.48 | 29.56 | 162 | 96.20 | 67.19 | 67.71 | 76.91 |

ตาราง ค-7 ผลการทดลองที่ 3.1 อัตราการเวียน 700 ลิตรต่อวัน (ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------|---------|---------------|---------------|--------|--------------|-------------|--------------|---------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 9/8/1943 | 38 | 7.79 | 245.98 | 9942.61 | 1612.06 | 92.44 | 6.92 | 27.2 | -343 | 0.07 | 88.74 | 2357.44 | 90.43 | 50.82 | 8.38 | 28.1 | 22 | 3.96 | 73.09 | 1808.59 | 64.51 | 28.75 | 202 | 96.00 | 68.90 | 70.29 | 81.81 |
| 11/8/1943 | 40 | 7.76 | 250.32 | 9998.75 | 1689.12 | 91.42 | 6.99 | 27.6 | -343 | 0.06 | 82.68 | 2186.93 | 51.10 | 8.26 | 28.8 | 33 | 4.02 | 62.91 | 1464.13 | 82.55 | 29.06 | 328 | 95.11 | 62.10 | 74.87 | 85.36 | |
| 15/8/1943 | 44 | 7.90 | 251.50 | 10042.35 | 1590.00 | 92.17 | 7.03 | 28.5 | -341 | 0.06 | 76.09 | 1777.17 | 85.51 | 55.06 | 8.28 | 29.4 | 28 | 4.11 | 58.71 | 1213.44 | 91.24 | 34.65 | 248 | 94.26 | 66.67 | 76.66 | 87.92 |
| 16/8/1943 | 45 | 7.88 | 250.52 | 10064.53 | 1628.74 | 88.80 | 7.12 | 28.7 | -332 | 0.08 | 69.97 | 1650.96 | 92.06 | 52.70 | 8.16 | 29.6 | 27 | 3.83 | 57.68 | 1203.10 | 87.27 | 30.72 | 402 | 94.64 | 66.28 | 76.98 | 88.05 |
| 18/8/1943 | 47 | 7.83 | 252.90 | 10115.88 | 1606.62 | 88.15 | 7.09 | 28.3 | -328 | 0.08 | 70.31 | 1705.41 | 84.73 | 50.70 | 8.30 | 29.1 | 20 | 4.12 | 58.76 | 1285.46 | 82.61 | 29.94 | 341 | 94.86 | 68.74 | 76.77 | 87.29 |
| 20/8/1943 | 49 | 7.79 | 252.69 | 10356.64 | 1618.12 | 90.12 | 7.03 | 28.5 | -358 | 0.07 | 70.74 | 1705.16 | 86.42 | 51.40 | 8.28 | 29.2 | 19 | 3.98 | 58.02 | 1256.04 | 85.54 | 27.56 | 294 | 94.71 | 68.49 | 77.04 | 87.87 |
| 22/8/1943 | 51 | 7.80 | 251.02 | 10078.51 | 1600.96 | 92.74 | 7.02 | 28.4 | -355 | 0.07 | 70.29 | 1694.15 | 89.07 | 53.12 | 8.30 | 29.2 | 23 | 4.05 | 58.85 | 1294.75 | 90.74 | 28.40 | 256 | 94.33 | 69.38 | 76.56 | 87.15 |
| 24/8/1943 | 53 | 7.81 | 249.65 | 9982.23 | 1596.94 | 91.56 | 7.01 | 28.5 | -343 | 0.07 | 71.15 | 1622.64 | 90.15 | 51.40 | 8.29 | 29.1 | 22 | 3.84 | 60.05 | 1340.16 | 82.54 | 29.11 | 167 | 94.83 | 68.21 | 75.95 | 86.57 |
| 26/8/1943 | 55 | 7.79 | 250.74 | 10054.34 | 1650.72 | 90.08 | 6.98 | 28.4 | -350 | 0.06 | 70.87 | 1678.99 | 94.46 | 51.64 | 8.20 | 29.2 | 25 | 3.92 | 59.12 | 1257.48 | 85.16 | 28.82 | 346 | 94.84 | 68.01 | 76.42 | 87.49 |
| 28/8/1943 | 57 | 7.80 | 250.69 | 9998.16 | 1643.74 | 89.98 | 7.02 | 28.6 | -342 | 0.07 | 69.24 | 1598.05 | 85.16 | 51.09 | 8.28 | 29.3 | 23 | 3.78 | 60.10 | 1323.39 | 82.18 | 29.05 | 157 | 95.00 | 67.72 | 76.03 | 86.76 |
| 30/8/1943 | 59 | 7.82 | 251.78 | 10041.59 | 1656.05 | 91.74 | 7.01 | 28.5 | -334 | 0.07 | 69.85 | 1623.37 | 88.04 | 52.70 | 8.30 | 29.2 | 20 | 4.02 | 59.45 | 1266.74 | 86.74 | 28.76 | 204 | 94.76 | 68.65 | 76.39 | 87.39 |
| 1/9/1943 | 61 | 7.81 | 250.44 | 10204.41 | 1594.24 | 90.06 | 7.02 | 28.7 | -338 | 0.07 | 70.17 | 1686.19 | 94.54 | 51.28 | 8.30 | 29.4 | 26 | 3.98 | 59.67 | 1278.11 | 83.56 | 29.15 | 179 | 94.76 | 67.63 | 76.17 | 87.47 |
| 4/9/1943 | 64 | 7.80 | 251.05 | 10067.92 | 1635.12 | 90.56 | 6.99 | 28.8 | -329 | 0.08 | 70.59 | 1698.46 | 90.56 | 50.84 | 8.26 | 29.5 | 28 | 3.64 | 60.42 | 1350.05 | 80.55 | 28.56 | 357 | 95.07 | 68.46 | 63.93 | 86.59 |
| 6/9/1943 | 66 | 7.75 | 250.94 | 10097.37 | 1627.71 | 92.74 | 6.97 | 28.7 | -334 | 0.07 | 69.84 | 1621.35 | 85.74 | 50.99 | 8.29 | 29.6 | 22 | 3.85 | 59.36 | 1321.77 | 85.72 | 28.70 | 184 | 94.73 | 69.05 | 76.34 | 86.91 |
| 8/9/1943 | 68 | 7.82 | 250.16 | 10058.28 | 1598.05 | 91.26 | 6.98 | 28.8 | -350 | 0.07 | 69.55 | 1590.72 | 88.77 | 51.65 | 8.28 | 29.4 | 27 | 4.05 | 59.97 | 1348.41 | 87.12 | 29.12 | 264 | 94.55 | 68.09 | 76.03 | 86.59 |

ตาราง ค-8 ผลการทดลองที่ 3.2 อัตราการเวียน 300 ลิตรต่อวัน

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|--------------|-------------|--------------|-------|-----------|--------|-------|-----|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | | | | | | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 3/7/1943 | 1 | 7.78 | 244.92 | 9820.55 | 1668.75 | | | | | | | | | | 8.53 | | | | 82.70 | 2731.86 | 52.50 | | 110 | 96.85 | | 66.23 | 72.18 |
| 5/7/1943 | 3 | 7.82 | 250.64 | 10006.81 | 1650.00 | 90.16 | 7.05 | 28.8 | -310 | 0.08 | 98.86 | 3418.59 | 105 | 42 | 8.34 | 29.4 | 21 | 3.78 | 79.95 | 2309.57 | 93.75 | 21.84 | 92 | 94.32 | 75.78 | 68.10 | 76.92 |
| 7/7/1943 | 5 | 7.81 | 248.76 | 9968.46 | 1687.50 | | 7.13 | 28.4 | | | 89.13 | 2810.31 | 120.00 | | 8.30 | 29.5 | 19 | 3.59 | 69.66 | 1793.07 | 97.50 | | 240 | 94.22 | | 72.00 | 82.01 |
| 10/7/1943 | 8 | 7.76 | 249.35 | 10001.11 | 1612.50 | 87.36 | 7.06 | 28.8 | -314 | 0.09 | 77.48 | 2427.83 | 112.50 | 54.19 | 8.15 | 29.0 | 12 | 3.31 | 68.25 | 1794.76 | 76.16 | 32.28 | 426 | 95.28 | 63.05 | 72.63 | 82.05 |
| 12/7/1943 | 10 | 7.78 | 249.82 | 9938.58 | 1580.32 | 89.88 | 6.95 | | | | 80.90 | 2648.02 | 83.78 | 57.4 | 8.3 | | | | 72.04 | 2097.26 | 83.78 | 34.15 | 397 | 94.70 | 62.00 | 71.16 | 78.90 |
| 14/7/1943 | 12 | 7.72 | 255.40 | 10138.75 | 1628.94 | 90.18 | 7.06 | 29.0 | -328 | | 86.05 | 2580.73 | 100.29 | | 8.27 | 29.7 | 25 | 3.72 | 73.45 | 1929.28 | 76.16 | 31.19 | 280 | 95.32 | 65.41 | 71.24 | 80.97 |
| 17/7/1943 | 15 | 7.73 | 255.30 | 10292.91 | 1618.00 | 92.07 | 6.93 | 30.6 | -347 | 0.07 | 82.98 | 2511.14 | 141.73 | | 8.09 | 30.9 | 30 | 3.89 | 68.56 | 1848.41 | 86.48 | 32.42 | 312 | 94.66 | 64.79 | 73.15 | 82.04 |
| 19/7/1943 | 17 | 7.68 | 254.68 | 10206.50 | 1621.50 | 90.17 | 6.87 | 29.5 | -320 | 0.09 | 76.03 | 2341.53 | 90.75 | 49.90 | 8.26 | 30.4 | 28 | 4.21 | 68.34 | 1776.57 | 95.13 | 29.94 | 310 | 94.13 | 66.80 | 73.17 | 82.59 |
| 21/7/1943 | 19 | 7.76 | 249.38 | 10002.58 | 1621.50 | 92.86 | 6.95 | 29.5 | -332 | 0.09 | 79.69 | 2627.55 | 73.51 | 55.06 | 8.11 | 30.6 | 24 | 3.99 | 67.01 | 1817.01 | 82.16 | 36.04 | 172 | 94.93 | 61.19 | 73.13 | 81.83 |
| 24/7/1943 | 22 | 7.70 | 245.76 | 9938.82 | 1571.68 | 92.76 | 7.02 | 29.4 | -324 | 0.08 | 95.57 | 2779.10 | 111.67 | 54.17 | 8.28 | 30.4 | 29 | 4.57 | 77.22 | 2152.97 | 99.26 | 34.18 | 128 | 93.68 | 63.15 | 68.58 | 78.34 |
| 26/7/1943 | 24 | 7.70 | 251.34 | 10175.49 | 1592.36 | 94.25 | | | -328 | 0.07 | 108.78 | 4211.51 | | | 8.04 | 29.7 | 33 | 3.95 | 96.73 | 3000.85 | 103.40 | 37.77 | 276 | 93.51 | 59.93 | 61.51 | 70.51 |
| 28/7/1943 | 26 | 7.75 | 254.90 | 10324.55 | 1640.06 | 91.54 | 6.98 | 28.2 | -337 | 0.07 | 79.23 | 2667.17 | 95.72 | 50.44 | 8.20 | 29.8 | 25 | 3.88 | 70.23 | 2027.80 | 95.13 | 32.95 | 220 | 94.20 | 64.00 | 72.45 | 80.36 |
| 31/7/1943 | 29 | 7.81 | 253.72 | 10295.84 | 1633.92 | 92.86 | 6.96 | | -351 | 0.07 | 76.91 | 2463.07 | 106.67 | 51.28 | 8.25 | 29.6 | | 4.05 | 66.82 | 1796.52 | 86.15 | 33.26 | 224 | 94.73 | 64.18 | 73.66 | 82.55 |
| 2/8/1943 | 31 | 7.81 | 250.58 | 10101.12 | 1652.12 | 90.98 | 7.00 | 28.9 | -339 | 0.06 | 75.65 | 2358.15 | 88.43 | 53.12 | 8.30 | 29.7 | 27 | 4.12 | 67.20 | 1675.16 | 77.95 | 29.56 | 202 | 95.28 | 67.51 | 73.18 | 83.42 |
| 4/8/1943 | 33 | 7.74 | 252.82 | 10389.85 | 1598.76 | 92.86 | | 28.4 | -341 | 0.05 | | | | | 8.24 | 29.5 | 30 | 3.86 | 67.34 | 1887.37 | 77.95 | 36.73 | 115 | 95.12 | 60.45 | 73.36 | 81.83 |
| 7/8/1943 | 36 | 7.83 | 251.34 | 10212.74 | 1592.64 | 90.09 | 6.94 | 27.0 | -342 | 0.06 | 98.15 | 3655.37 | 76.61 | 51.98 | 8.32 | 28.7 | 32 | 4.25 | 83.21 | 3164.10 | 68.54 | 34.65 | 182 | 95.70 | 61.54 | 66.89 | 69.02 |

ตาราง ค-8 ผลการทดลองที่ 3.2 อัตราการเวียน 300 ลิตรต่อวัน (ต่อ)

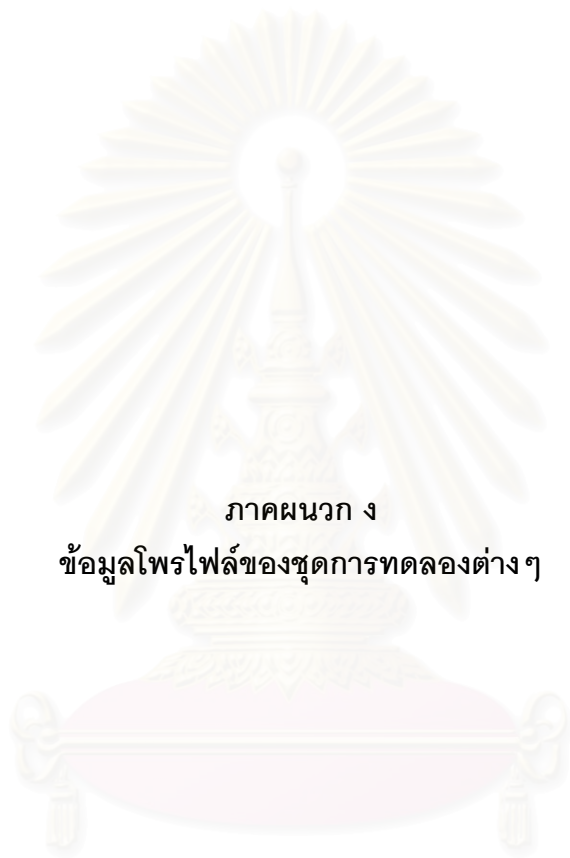
| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------|---------|---------------|---------------|--------|--------------|-------------|--------------|-------|---------|-----------|-------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 9/8/1943 | 38 | 7.79 | 245.98 | 9942.61 | 1612.06 | 92.44 | 6.94 | 27.4 | -335 | 0.07 | 96.66 | 3286.37 | 80.22 | 52.76 | 8.27 | 28.2 | 29 | 4.05 | 80.59 | 2940.40 | 68.54 | 31.47 | 247 | 95.75 | 65.96 | 67.24 | 70.43 |
| 11/8/1943 | 40 | 7.76 | 250.32 | 9998.75 | 1689.12 | 91.42 | 6.98 | 28.1 | -337 | 0.06 | 79.86 | 2596.79 | | | 8.30 | 28.9 | 26 | 3.88 | 70.55 | 2144.68 | 80.52 | 29.62 | 240 | 95.23 | 67.60 | 71.82 | 78.55 |
| 15/8/1943 | 44 | 7.90 | 251.50 | 10042.35 | 1590.00 | 92.17 | 7.03 | 28.5 | -343 | 0.06 | 90.61 | 2660.00 | 76.61 | 54.05 | 8.28 | 29.3 | 29 | 3.94 | 74.22 | 2049.25 | 95.21 | 30.49 | 288 | 94.01 | 66.92 | 70.49 | 79.59 |
| 16/8/1943 | 45 | 7.88 | 250.52 | 10064.53 | 1628.74 | 88.80 | 7.00 | 29.2 | -346 | 0.05 | 78.30 | 2452.62 | 87.27 | 53.44 | 8.24 | 30.3 | 22 | 4.02 | 71.09 | 1715.15 | 87.27 | 31.42 | 384 | 94.64 | 64.62 | 71.62 | 82.96 |
| 18/8/1943 | 47 | 7.83 | 252.90 | 10115.88 | 1606.62 | 88.15 | 7.05 | 28.6 | -329 | 0.06 | 78.59 | 2442.31 | 103.14 | | 8.40 | 29.0 | 28 | 4.12 | 70.85 | 1825.04 | 85.74 | 28.72 | 406 | 94.66 | 67.42 | 71.98 | 81.96 |
| 20/8/1943 | 49 | 7.79 | 252.69 | 10356.64 | 1618.12 | 90.12 | 7.02 | 28.7 | -335 | 0.06 | 76.95 | 2400.55 | 85.51 | 53.08 | 8.29 | 29.3 | 25 | 4.52 | 68.55 | 1802.25 | 90.86 | 30.05 | 300 | 94.38 | 66.66 | 72.87 | 82.60 |
| 22/8/1943 | 51 | 7.80 | 251.02 | 10078.51 | 1600.96 | 92.74 | 7.03 | 28.8 | -324 | 0.07 | 77.21 | 2458.81 | 80.11 | 55.12 | 8.32 | 29.5 | 34 | 3.89 | 66.94 | 1749.13 | 80.45 | 29.82 | 276 | 94.97 | 67.85 | 73.33 | 82.64 |
| 24/8/1943 | 53 | 7.81 | 249.65 | 9982.23 | 1596.94 | 91.56 | 6.98 | 28.8 | -326 | 0.07 | 77.15 | 2479.15 | 83.42 | 54.46 | 8.3 | 29.6 | 26 | 3.72 | 67.54 | 1709.05 | 85.72 | 28.46 | 197 | 94.63 | 68.92 | 72.95 | 82.88 |
| 26/8/1943 | 55 | 7.79 | 250.74 | 10054.34 | 1650.72 | 90.08 | 6.99 | 28.7 | -352 | 0.06 | 77.79 | 2490.10 | 83.42 | 55.32 | 8.28 | 29.4 | 22 | 3.54 | 67.02 | 1738.46 | 82.05 | 29.74 | 325 | 95.03 | 66.98 | 73.27 | 82.71 |
| 28/8/1943 | 57 | 7.80 | 250.69 | 9998.16 | 1643.74 | 89.98 | 7.01 | 28.9 | -342 | 0.05 | 76.52 | 2399.56 | 89.56 | 53.96 | 8.27 | 30.1 | 24 | 3.95 | 68.12 | 1810.04 | 87.94 | 30.51 | 307 | 94.65 | 66.09 | 72.83 | 81.90 |
| 30/8/1943 | 59 | 7.82 | 251.78 | 10041.59 | 1656.05 | 91.74 | 7.03 | 28.8 | -328 | 0.06 | 76.93 | 2354.72 | 85.1 | 54.48 | 8.27 | 29.9 | 25 | 4.05 | 67.59 | 1767.11 | 84.16 | 27.42 | 391 | 94.92 | 70.11 | 73.16 | 82.40 |
| 1/9/1943 | 61 | 7.81 | 250.44 | 10204.41 | 1594.24 | 90.06 | 7.03 | 29.1 | -333 | 0.07 | 77.34 | 2486.73 | 84.55 | 55.17 | 8.30 | 29.8 | 28 | 3.88 | 67.48 | 1745.82 | 86.94 | 27.56 | 267 | 94.55 | 69.40 | 73.06 | 82.89 |
| 4/9/1943 | 64 | 7.80 | 251.05 | 10067.92 | 1635.12 | 90.56 | 6.98 | 29.2 | -341 | 0.07 | 76.95 | 2401.42 | 80.97 | 54.96 | 8.28 | 30.1 | 23 | 3.95 | 67.22 | 1805.26 | 82.05 | 28.05 | 179 | 94.98 | 69.03 | 73.22 | 82.07 |
| 6/9/1943 | 66 | 7.75 | 250.94 | 10097.37 | 1627.71 | 92.74 | 6.99 | 29.0 | -336 | 0.07 | 77.22 | 2479.92 | 88.54 | 52.98 | 8.25 | 29.9 | 25 | 3.80 | 66.95 | 1772.88 | 86.76 | 29.54 | 259 | 94.67 | 68.15 | 73.32 | 82.44 |
| 8/9/1943 | 68 | 7.82 | 250.16 | 10058.28 | 1598.05 | 91.26 | 7.02 | 29.1 | -329 | 0.06 | 77.15 | 2435.11 | 90.16 | 53.47 | 8.26 | 30.0 | 20 | 4.32 | 67.72 | 1784.72 | 85.49 | 28.54 | 192 | 94.65 | 68.73 | 72.93 | 82.26 |

ตาราง ค-9 ผลการทดลองที่ 3.3 อัตราการเวียน 500 ลิตรต่อวัน

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|-------------|-------------|--------------|---------|----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI (mg/L) | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 3/7/1943 | 1 | 7.78 | 244.92 | 9820.55 | 1668.75 | | | | | | | | | 8.43 | | | | 93.08 | 3573.92 | 82.50 | | 98 | 95.06 | | 62.00 | 63.61 | |
| 5/7/1943 | 3 | 7.82 | 250.64 | 10006.81 | 1650.00 | 90.16 | 7.08 | 29.1 | -322 | 0.08 | 101.72 | 2929.94 | 97.50 | 47.6 | 8.26 | 29.6 | 30 | 4.21 | 76.50 | 2242.1 | 86.25 | 28.86 | 104 | 94.77 | 67.99 | 69.48 | 77.59 |
| 7/7/1943 | 5 | 7.81 | 248.76 | 9968.46 | 1687.50 | | 7.07 | 28.3 | | | 84.99 | 2485.64 | 97.50 | | 8.10 | 29.5 | 32 | 3.16 | 66.97 | 1717.97 | 90.00 | | 190 | 94.67 | | 73.08 | 82.77 |
| 10/7/1943 | 8 | 7.76 | 249.35 | 10001.11 | 1612.50 | 87.36 | 7.03 | 28.4 | -320 | 0.07 | 79.13 | 2356.28 | 127.50 | 55.65 | 8.14 | 29.2 | 28 | 2.87 | 65.39 | 1833.73 | 79.07 | 36.94 | 194 | 95.10 | | 73.78 | 81.66 |
| 12/7/1943 | 10 | 7.78 | 249.82 | 9938.58 | 1580.32 | 89.88 | 7.01 | | | 0.06 | 75.69 | 2226.53 | 99.01 | 59.36 | 8.19 | 29.4 | | | 64.89 | 1787.2 | 68.54 | 39.76 | 264 | 95.66 | 55.76 | 74.03 | 82.02 |
| 14/7/1943 | 12 | 7.72 | 255.40 | 10138.75 | 1628.94 | 90.18 | 7.08 | 28.7 | -336 | 0.06 | 86.27 | 2542.36 | 90.06 | 58.12 | 8.30 | 29.3 | 25 | 4.14 | 67.63 | 1596.38 | 76.16 | 36.28 | 372 | 95.32 | | 73.52 | 84.25 |
| 17/7/1943 | 15 | 7.73 | 255.30 | 10292.91 | 1618.00 | 92.07 | 6.82 | 30.0 | -342 | 0.06 | 85.75 | 2852.71 | 83.78 | 56.74 | 8.10 | 30.9 | 22 | 3.85 | 70.69 | 1977.72 | 77.83 | 34.16 | 384 | 95.19 | | 72.31 | 80.79 |
| 19/7/1943 | 17 | 7.68 | 254.68 | 10206.50 | 1621.50 | 90.17 | 6.86 | 29.0 | -318 | 0.07 | 78.60 | 2432.87 | 90.75 | 52.11 | 8.28 | 30.2 | 35 | 3.27 | 64.82 | 1632.76 | 82.16 | 33.26 | 285 | 94.93 | 63.11 | 74.55 | 84.00 |
| 21/7/1943 | 19 | 7.76 | 249.38 | 10002.58 | 1621.50 | 92.86 | 6.96 | 28.3 | -329 | 0.05 | 81.04 | 2520.44 | 96.50 | 54.94 | 8.26 | 29.5 | 19 | 3.84 | 70.91 | 1944.57 | 99.45 | 36.08 | 412 | 93.87 | 61.15 | 71.57 | 80.56 |
| 24/7/1943 | 22 | 7.70 | 245.76 | 9938.82 | 1571.68 | 92.76 | 7.06 | 28.7 | -314 | 0.06 | 113.16 | 3620.84 | 90.99 | 50.18 | 8.35 | 29.5 | 18 | 4.75 | 100.54 | 3205.59 | 99.26 | 30.78 | 168 | 93.68 | | 59.09 | 67.75 |
| 26/7/1943 | 24 | 7.70 | 251.34 | 10175.49 | 1592.36 | 94.25 | | | | 0.05 | | | | 53.61 | 8.33 | 29.8 | 28 | 4.31 | 107.39 | 3571.45 | 119.94 | 35.15 | 260 | 92.47 | 62.71 | 57.27 | 64.90 |
| 28/7/1943 | 26 | 7.75 | 254.90 | 10324.55 | 1640.06 | 91.54 | 7.02 | 27.8 | -338 | 0.07 | 104.24 | 3040.41 | 85.80 | 49.15 | 8.35 | 28.7 | 21 | 4.54 | 88.45 | 2612.67 | 95.13 | 31.29 | 248 | 94.20 | 65.82 | 65.30 | 74.69 |
| 31/7/1943 | 29 | 7.81 | 253.72 | 10295.84 | 1633.92 | 92.86 | 7.01 | 28.0 | | 0.06 | 98.21 | 2675.94 | 90.25 | 51.78 | 8.37 | 29.1 | | 3.98 | 81.98 | 2311.19 | 94.36 | 33.26 | 216 | 94.22 | 64.18 | 67.69 | 77.55 |
| 2/8/1943 | 31 | 7.81 | 250.58 | 10101.12 | 1652.12 | 90.98 | 7.02 | 28.3 | | 0.07 | 96.03 | 2980.26 | 99.21 | 53.76 | 8.38 | 29.2 | 23 | 4.32 | 82.91 | 2300.13 | 77.95 | 30.17 | 218 | 95.28 | 66.84 | 66.91 | 77.23 |
| 4/8/1943 | 33 | 7.74 | 252.82 | 10389.85 | 1598.76 | 92.86 | 6.98 | 28.0 | -333 | 0.06 | | | | 54.63 | 8.42 | 29.1 | 26 | 3.86 | 77.63 | 2203.15 | 86.15 | 35.40 | 435 | 94.61 | 61.88 | 69.29 | 78.80 |
| 7/8/1943 | 36 | 7.83 | 251.34 | 10212.74 | 1592.64 | 90.09 | 6.95 | 27.8 | -345 | 0.06 | 126.37 | 4598.48 | 60.48 | 49.30 | 8.25 | 28.9 | 25 | 4.76 | 113.08 | 3918.72 | 68.54 | 30.49 | 115 | 95.70 | 66.16 | 55.01 | 61.63 |

ตาราง ค-9 ผลการทดลองที่ 3.3 อัตราการเวียน 500 ลิตรต่อวัน (ต่อ)

| วันที่ | ลำดับ วัน | น้ำเข้า | | | | | สภาวะไร้อากาศ | | | | | | | | น้ำออก | | | | | | SS (mg/L) | %COD | %TKN | %SU | %ADMI | | |
|-----------|--------------|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------|---------|---------------|---------------|--------|--------------|-------------|--------------|-------|----------------|-----------|-------|------|-------|-------|---------------|---------------|
| | | pH | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI | COD (mg/L) | TKN (mg/L) | pH | Temp (C) | ORP (mV) | DO (mg/L) | SU | ADMI (mg/L) | | | | | | COD (mg/L) | TKN (mg/L) |
| 9/8/1943 | 38 | 7.79 | 245.98 | 9942.61 | 1612.06 | 92.44 | 6.96 | 27.3 | -351 | 0.05 | 106.40 | 3850.22 | 75.15 | 48.85 | 8.22 | 28.4 | 24 | 4.20 | 96.61 | 3270.89 | 76.61 | 28.77 | 154 | 95.25 | 68.88 | 60.72 | 67.10 |
| 11/8/1943 | 40 | 7.76 | 250.32 | 9998.75 | 1689.12 | 91.42 | 7.01 | 28.4 | -349 | 0.06 | | | | 52.22 | 8.28 | 29.3 | 29 | 4.02 | 70.77 | 1829.15 | 80.54 | 29.92 | 345 | 95.23 | 67.27 | 71.73 | 81.71 |
| 15/8/1943 | 44 | 7.90 | 251.50 | 10042.35 | 1590.00 | 92.17 | 7.05 | 28.2 | -338 | 0.06 | 92.85 | 3201.71 | 84.67 | 52.67 | 8.34 | 29.2 | 22 | 3.85 | 81.02 | 2318.38 | 63.47 | 34.65 | 392 | 96.01 | 62.41 | 67.79 | 76.91 |
| 16/8/1943 | 45 | 7.88 | 250.52 | 10064.53 | 1628.74 | 88.80 | 6.96 | 28.9 | -355 | 0.06 | 88.11 | 2670.26 | 107.11 | 51.40 | 8.20 | 29.8 | 20 | 3.98 | 78.05 | 2014.17 | 79.34 | 32.82 | 267 | 95.13 | 63.04 | 68.84 | 79.99 |
| 18/8/1943 | 47 | 7.83 | 252.90 | 10115.88 | 1606.62 | 88.15 | 7.12 | 28.2 | -349 | 0.07 | 96.00 | 3181.47 | 99.17 | 48.60 | 8.30 | 29.2 | 29 | 4.15 | 86.13 | 2399.85 | 85.21 | 28.54 | 270 | 94.70 | 67.62 | 65.94 | 76.28 |
| 20/8/1943 | 49 | 7.79 | 252.69 | 10356.64 | 1618.12 | 90.12 | 7.02 | 28.6 | -320 | 0.07 | 81.20 | 2100.05 | 90.71 | 52.67 | 8.28 | 30.1 | 34 | 4.21 | 65.72 | 1554.34 | 80.11 | 30.32 | 220 | 95.05 | 66.36 | 73.99 | 84.99 |
| 22/8/1943 | 51 | 7.80 | 251.02 | 10078.51 | 1600.96 | 92.74 | 7.01 | 28.5 | -327 | 0.06 | 77.29 | 2099.76 | 90.71 | 55.02 | 8.19 | 30.0 | 28 | 4.05 | 66.45 | 1699.83 | 78.54 | 30.35 | 226 | 95.09 | 67.27 | 73.53 | 83.13 |
| 24/8/1943 | 53 | 7.81 | 249.65 | 9982.23 | 1596.94 | 91.56 | 6.99 | 28.6 | -345 | 0.07 | 72.94 | 2054.19 | 88.12 | 52.18 | 8.22 | 30.2 | 30 | 4.18 | 64.56 | 1569.12 | 80.54 | 28.74 | 312 | 94.96 | 68.61 | 74.14 | 84.28 |
| 26/8/1943 | 55 | 7.79 | 250.74 | 10054.34 | 1650.72 | 90.08 | 6.98 | 28.5 | -332 | 0.07 | 73.45 | 2022.49 | 85.48 | 53.46 | 8.26 | 30.1 | 27 | 3.98 | 64.29 | 1606.05 | 80.72 | 30.12 | 365 | 95.11 | 66.56 | 74.36 | 84.03 |
| 28/8/1943 | 57 | 7.80 | 250.69 | 9998.16 | 1643.74 | 89.98 | 6.98 | 28.6 | -310 | 0.06 | 73.56 | 2011.41 | 80.56 | 52.76 | 8.25 | 30.2 | 25 | 3.76 | 64.79 | 1589.49 | 85.85 | 29.72 | 342 | 94.78 | 66.97 | 74.16 | 84.10 |
| 30/8/1943 | 59 | 7.82 | 251.78 | 10041.59 | 1656.05 | 91.74 | 6.99 | 28.6 | -343 | 0.07 | 74.02 | 2101.88 | 83.39 | 52.14 | 8.28 | 30.1 | 19 | 4.52 | 65.11 | 1662.72 | 80.19 | 28.05 | 280 | 95.16 | 69.42 | 74.14 | 83.44 |
| 1/9/1943 | 61 | 7.81 | 250.44 | 10204.41 | 1594.24 | 90.06 | 7.01 | 28.7 | -337 | 0.07 | 72.98 | 1994.86 | 89.76 | 53.74 | 8.29 | 30.4 | 20 | 4.33 | 63.57 | 1590.56 | 84.72 | 28.45 | 294 | 94.69 | 68.41 | 74.62 | 84.41 |
| 4/9/1943 | 64 | 7.80 | 251.05 | 10067.92 | 1635.12 | 90.56 | 6.99 | 28.9 | -342 | 0.06 | 73.11 | 2077.74 | 88.02 | 53.50 | 8.30 | 30.5 | 22 | 4.05 | 63.98 | 1574.94 | 90.45 | 28.82 | 197 | 94.47 | 68.18 | 74.52 | 84.36 |
| 6/9/1943 | 66 | 7.75 | 250.94 | 10097.37 | 1627.71 | 92.74 | 7.02 | 28.8 | -350 | 0.05 | 73.42 | 2028.87 | 83.77 | 52.35 | 8.26 | 30.6 | 23 | 3.96 | 64.47 | 1506.73 | 88.05 | 29.14 | 157 | 94.59 | 68.58 | 74.31 | 85.08 |
| 8/9/1943 | 68 | 7.82 | 250.16 | 10058.28 | 1598.05 | 91.26 | 7.01 | 28.8 | -347 | 0.06 | 73.56 | 2064.69 | 89.42 | 53.96 | 8.22 | 30.7 | 28 | 4.22 | 64.77 | 1545.28 | 85.12 | 30.05 | 283 | 94.67 | 67.07 | 74.11 | 84.64 |



ภาคผนวก ง
ข้อมูลไฟล์ของชุดการทดลองต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-1 โพรไฟล์การทดลองที่ 1.1 แอนแอโรบิก 10 ชั่วโมง

| Time (min) | ORP | DO(mg/L) | Temp(C) | pH | SU | ADMI | COD(mg/L) | TKN(mg/L) |
|------------|------|----------|---------|------|--------|----------|-----------|-----------|
| 0 | | | | 7.63 | 251.34 | 10025.15 | 1106 | 58.21 |
| 5 | 178 | 1.29 | 29.9 | 7.27 | 228.84 | 9667.91 | 667.78 | |
| 15 | 69 | 0.1 | 30.2 | 7.06 | 213.42 | 9461.59 | 469.53 | 51.74 |
| 30 | -168 | 0.07 | 30.4 | 6.92 | 206.14 | 9199.94 | 254.59 | 45.28 |
| 60 | -227 | 0.06 | 30.6 | 7.02 | 186.9 | 8932.56 | 141.9 | 32.34 |
| 90 | -231 | 0.05 | 30.9 | 7.09 | 178.82 | 8351.63 | 100.17 | |
| 120 | -259 | 0.05 | 31.1 | 7.1 | 165.94 | 7740.23 | 75.12 | 24.5 |
| 180 | -281 | 0.04 | 31.7 | 7.08 | 159.81 | 7118.45 | 75.12 | |
| 300 | -329 | 0.05 | 32.6 | 7.02 | 155.06 | 6670.02 | 70.95 | 21.8 |
| 420 | -303 | 0.07 | 33 | 6.99 | 152.01 | 6244.82 | 75.12 | |
| 600 | -328 | 0.07 | 32.3 | 6.93 | 142.99 | 5653.42 | 75.12 | 20 |
| 630 | 18 | 4.16 | 32.4 | 7.91 | 141.02 | 5496.25 | 70.95 | 11.1 |
| 780 | 30 | 5.06 | 32 | 8.18 | 139.33 | 5165.85 | 62.9 | 8.9 |
| 960 | 46 | 5.81 | 31.6 | 8.35 | 133.7 | 4905.23 | 62.9 | 5.88 |
| 1200 | 47 | 6.29 | 30.8 | 8.41 | 125.79 | 4687.18 | 62.9 | 4.2 |
| 1380 | 58 | 5.53 | 30.6 | 8.41 | 125 | 4457.27 | 62.9 | 4 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-2 โพรไฟล์การทดลองที่ 1.2 แอนแอโรบิก 14 ชั่วโมง

| Time(min) | ORP | DO(mg/L) | Temp(C) | pH | SU | ADMI | COD(mg/L) | TKN(mg/L) |
|-----------|------|----------|---------|------|--------|---------|-----------|-----------|
| 0 | | | | 7.59 | 248.62 | 9980.12 | 1060.08 | 62.62 |
| 5 | 91 | 0.24 | 29.9 | 7.15 | 226.12 | 9462.87 | 720.06 | |
| 15 | -100 | 0.12 | 29.8 | 6.98 | 212.76 | 9212.11 | 327.3 | 45.57 |
| 30 | 191 | 0.09 | 30.1 | 7.02 | 199.05 | 8944.45 | 266.2 | |
| 60 | -236 | 0.05 | 30.5 | 7.06 | 181.83 | 8533.82 | 123.65 | 39.98 |
| 90 | -242 | 0.05 | 30.9 | 7.1 | 170.35 | 7805.85 | 56.73 | . |
| 120 | -220 | 0.05 | 31.2 | 7.08 | 161.65 | 7320.19 | 56.73 | 32.93 |
| 180 | -223 | 0.04 | 31.8 | 7.06 | 151.11 | 6800.94 | 56.73 | |
| 300 | -246 | 0.07 | 32.7 | 6.99 | 141.93 | 6002.26 | 43.64 | 28.22 |
| 480 | -254 | 0.06 | 32.3 | 6.9 | 129.1 | 5111.87 | 48 | |
| 660 | -254 | 0.07 | 31.6 | 6.85 | 123.5 | 4550.00 | 48 | 27.05 |
| 840 | -245 | 0.09 | 31.5 | 6.82 | 119.75 | 4042.15 | 48 | 22.93 |
| 870 | 3 | 3.39 | 31.6 | 7.92 | 119.09 | 3932.53 | 56.73 | 17.05 |
| 900 | 10 | 3.75 | 31.6 | 8.04 | 117.16 | 3931.11 | 56.73 | 15.1 |
| 1050 | 17 | 5.29 | 31.3 | 8.24 | 111.25 | 3661.08 | 56.73 | 8.26 |
| 1230 | 31 | 5.85 | 31.1 | 8.36 | 108.2 | 3444.25 | 56.73 | |
| 1380 | 27 | 5.79 | 30.8 | 8.36 | 102.91 | 3435.43 | 56.73 | 6.6 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-3 โพรไฟล์การทดลองที่ 1.3 เวลาแอนแอโรบิก 18 ชั่วโมง

| Time(min) | ORP | DO(mg/L) | Temp(C) | pH | SU | ADMI | COD(mg/L) | TKN(mg/L) |
|-----------|------|----------|---------|------|--------|---------|-----------|-----------|
| 0 | | | | 7.58 | 245.1 | 9945.34 | 1092.83 | 62.19 |
| 5 | 67 | 1.24 | 30.3 | 7.39 | 220.28 | 9288.52 | 792.84 | 52.63 |
| 15 | -237 | 0.09 | 30.4 | 7.22 | 208.44 | 9005.42 | 471.42 | 49.70 |
| 30 | -332 | 0.07 | 30.5 | 6.99 | 195.85 | 8823.61 | 128.57 | 45.30 |
| 60 | -359 | 0.05 | 30.7 | 7.07 | 178.05 | 8346.37 | 107.14 | 43.10 |
| 90 | -363 | 0.05 | 30.9 | 7.09 | 164.13 | 7670.38 | 107.14 | |
| 120 | -371 | 0.05 | 31.1 | 7.02 | 151.82 | 6966.09 | 107.14 | 40.00 |
| 180 | -368 | 0.06 | 31.4 | 7.03 | 142.11 | 6440.16 | 107.14 | |
| 300 | -376 | 0.05 | 32.1 | 6.95 | 131.54 | 5451.02 | 85.71 | 39.80 |
| 480 | -375 | 0.06 | 32.3 | 6.97 | 115.72 | 4511.31 | 72.86 | |
| 720 | -364 | 0.07 | 31 | 6.91 | 106.94 | 3519.41 | 72.86 | 38.30 |
| 840 | -358 | 0.09 | 30.5 | 6.78 | 95.43 | 2832.78 | 61.1 | 37.50 |
| 1080 | -354 | 0.09 | 29.9 | 6.85 | 85.4 | 2479.81 | 68.57 | 33.52 |
| 1110 | -27 | 3.29 | 30.1 | 7.69 | 84.5 | 2428.25 | 68.57 | 25.87 |
| 1140 | -22 | 2.27 | 30.2 | 7.88 | 83.86 | 2398.62 | 85.71 | 18.82 |
| 1260 | -14 | 2.62 | 30.5 | 8.04 | 80.65 | 2245.98 | 61.1 | 17.93 |
| 1380 | 2 | 3.14 | 30.7 | 8.05 | 78.94 | 2152.86 | 61.1 | 17.35 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-4 โพรไฟล์การทดลองที่ 2.1 อัตราส่วน สี : น้ำตาล 1:0

| Time(min) | ORP | Temp(C) | DO | pH | SU | ADMI | COD | TKN |
|-----------|-----|---------|------|------|--------|---------|-------|------|
| 0 | 155 | 30.8 | 3.85 | 7.20 | 242.22 | 9736.89 | 62.95 | 9.13 |
| 5 | 158 | 31.1 | 3.61 | 7.38 | 238.56 | 9676.82 | 62.95 | |
| 15 | 153 | 31.4 | 3.29 | 7.28 | 235.65 | 9601.42 | 59.02 | |
| 30 | 150 | 31.3 | 2.58 | 7.27 | 236.61 | 9695.82 | 62.95 | |
| 60 | 146 | 31.2 | 1.72 | 7.24 | 239.28 | 9651.97 | 62.95 | 9.13 |
| 90 | 134 | 31.1 | 0.75 | 7.02 | 234.62 | 9632.86 | 62.95 | |
| 120 | 125 | 31.0 | 0.17 | 7.13 | 237.94 | 9643.94 | 62.95 | 9.13 |
| 180 | 105 | 30.9 | 0.08 | 6.98 | 235.41 | 9651.22 | 59.02 | |
| 300 | 102 | 30.9 | 0.08 | 6.88 | 235.70 | 9656.73 | 6688 | 9.13 |
| 480 | 66 | 30.5 | 0.08 | 6.86 | 232.42 | 9493.61 | 59.02 | |
| 720 | 60 | 29.7 | 0.08 | 7.04 | 239.84 | 9550.15 | 59.02 | 9.13 |
| 900 | 37 | 29.8 | 0.08 | 7.05 | 238.82 | 9555.82 | 62.95 | 9.13 |
| 1080 | 26 | 29.8 | 0.1 | 7.03 | 237.56 | 9557.94 | 62.95 | 9.13 |
| 1110 | 72 | 29.7 | 5.92 | 7.58 | 236.98 | 9568.42 | 62.95 | 6.77 |
| 1140 | 114 | 29.7 | 6.22 | 7.76 | 236.01 | 9614.68 | 62.95 | 6.77 |
| 1260 | 129 | 29.9 | 6.38 | 7.67 | 237.51 | 9682.93 | 62.95 | 6.77 |
| 1380 | 135 | 30.6 | 5.38 | 7.53 | 242.80 | 9743.26 | 62.95 | 6.77 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-5 โพรไฟล์การทดลองที่ 2.2 อัตราส่วน สี : น้ำตาล 1:10

| Time(min) | ORP | Temp(C) | DO | pH | SU | ADMI | COD | TKN |
|-----------|------|---------|------|------|--------|----------|--------|-------|
| 0 | | | | 7.47 | 249.44 | 10020.86 | 579.05 | 44.75 |
| 5 | 24 | 28.6 | 0.39 | 7.10 | 230.80 | 9406.14 | 277.69 | |
| 15 | 8 | 28.6 | 0.20 | 6.97 | 225.21 | 9294.02 | 154.71 | |
| 30 | -14 | 28.9 | 0.13 | 7.10 | 218.73 | 9019.64 | 91.24 | |
| 60 | -88 | 29.3 | 0.08 | 7.19 | 202.26 | 8486.72 | 79.34 | 35.52 |
| 90 | -205 | 29.7 | 0.08 | 7.17 | 188.91 | 8175.68 | 67.44 | |
| 120 | -243 | 30.0 | 0.07 | 7.17 | 180.34 | 7856.75 | 63.47 | 32.85 |
| 180 | -260 | 30.4 | 0.07 | 7.12 | 172.83 | 7651.91 | 67.44 | |
| 300 | -255 | 30.9 | 0.08 | 7.07 | 163.08 | 7498.77 | 71.41 | 26.65 |
| 480 | -265 | 30.5 | 0.09 | 7.04 | 161.86 | 7286.46 | 67.44 | |
| 720 | -268 | 30.0 | 0.08 | 7.00 | 156.48 | 6898.74 | 63.47 | 21.2 |
| 900 | -268 | 29.6 | 0.09 | 6.95 | 147.82 | 6734.65 | 63.47 | 20.02 |
| 1080 | -269 | 29.7 | 0.05 | 7.00 | 144.64 | 6313.72 | 67.44 | 20.02 |
| 1110 | -4 | 29.7 | 5.78 | 8.05 | 145.07 | 6309.51 | 67.44 | 16.19 |
| 1140 | 5 | 29.7 | 5.71 | 8.12 | 144.80 | 6401.29 | 67.44 | 13.25 |
| 1260 | 31 | 29.8 | 6.29 | 8.36 | 147.01 | 6362.83 | 67.44 | 8.83 |
| 1380 | 36 | 30.0 | 6.89 | 8.06 | 147.04 | 6419.10 | 67.44 | 7.54 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-6 โพรไฟล์ตอนที่ 2.3 อัตราส่วน สี : น้ำตาล 1:15

| Time(min) | ORP | Temp(C) | DO | pH | SU | ADMI | COD | TKN |
|-----------|------|---------|------|------|--------|---------|--------|-------|
| 0 | 127 | 29.7 | 2.28 | 7.56 | 245.92 | 9578.83 | 835 | 57.71 |
| 5 | 116 | 29.8 | 0.54 | 7.10 | 225.08 | 9345.36 | 396.69 | |
| 15 | 18 | 29.9 | 0.15 | 6.98 | 218.52 | 9148.75 | 238.02 | |
| 30 | -250 | 29.9 | 0.09 | 7.01 | 206.19 | 8937.81 | 190.31 | |
| 60 | -300 | 30.1 | 0.08 | 7.17 | 185.95 | 8402.33 | 83.31 | 39.45 |
| 90 | -296 | 30.2 | 0.07 | 7.20 | 174.23 | 7750.19 | 79.34 | |
| 120 | -294 | 30.4 | 0.07 | 7.16 | 164.63 | 7448.99 | 55.54 | 35.33 |
| 180 | -287 | 30.6 | 0.07 | 7.12 | 160.41 | 6901.68 | 55.54 | |
| 300 | -286 | 31.0 | 0.09 | 7.08 | 148.37 | 6350.02 | 55.54 | 31.80 |
| 480 | -284 | 30.8 | 0.11 | 6.99 | 140.24 | 5662.22 | 71.41 | |
| 720 | -260 | 30.4 | 0.09 | 6.94 | 128.11 | 4773.34 | 59.5 | 30.91 |
| 900 | -259 | 30.2 | 0.09 | 6.94 | 118.45 | 4243.15 | 71.41 | 30.62 |
| 1080 | -225 | 29.9 | 0.05 | 6.93 | 111.43 | 3712.26 | 67.44 | 30.33 |
| 1110 | -18 | 29.9 | 3.88 | 7.88 | 105.44 | 3692.38 | 67.44 | 24.44 |
| 1140 | -5 | 30.0 | 4.34 | 8.13 | 104.29 | 3631.97 | 55.54 | 19.43 |
| 1260 | 5 | 30.1 | 5.15 | 8.26 | 102.36 | 3563.95 | 59.5 | 12.63 |
| 1380 | 35 | 30.6 | 5.62 | 8.31 | 99.79 | 3460.39 | 59.5 | 11.4 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-7 โพรไฟล์การทดลองที่ 3.1 อัตราการหมุนเวียนน้ำ 700 ลิตรต่อวัน

| Time (min) | ORP | DO(mg/L) | Temp(C) | pH | SU | ADMI | COD(mg/L) | TKN(mg/L) |
|------------|------|----------|---------|------|--------|---------|-----------|-----------|
| 0 | -10 | 4.12 | 28.7 | 7.82 | 245.74 | 9900.32 | 1613.16 | 90.77 |
| 5 | -155 | 0.24 | 29.3 | 7.1 | 221.72 | 9165.72 | 688.52 | |
| 15 | -217 | 0.14 | 29.4 | 6.95 | 199.38 | 8859.86 | 462.29 | |
| 30 | -275 | 0.11 | 29.5 | 7.04 | 184.29 | 8662.24 | 157.38 | |
| 60 | -315 | 0.09 | 29.6 | 7.3 | 168.19 | 7932.11 | 129.84 | 69.5 |
| 90 | -328 | 0.07 | 29.8 | 7.29 | 147.06 | 7244.48 | 129.84 | |
| 120 | -340 | 0.07 | 29.9 | 7.33 | 126.21 | 6472.73 | 129.84 | 65.5 |
| 180 | -352 | 0.07 | 29.7 | 7.2 | 115.65 | 5918.51 | 114.1 | |
| 300 | -357 | 0.08 | 29.7 | 7.38 | 103.45 | 4848.36 | 78.69 | 54.46 |
| 480 | -356 | 0.07 | 28.9 | 7.17 | 97.98 | 3849.59 | 102.29 | |
| 720 | -359 | 0.07 | 28.7 | 7.12 | 90.62 | 2750.32 | 102.29 | 54.46 |
| 900 | -360 | 0.08 | 28 | 7.24 | 81.82 | 2210.6 | 82.46 | |
| 1080 | -361 | 0.08 | 27.9 | 7.18 | 69.42 | 1752.37 | 82.46 | 53.07 |
| 1110 | -109 | 1.83 | 28.1 | 8.15 | 65.49 | 1599.83 | 78.69 | 44.69 |
| 1140 | -74 | 2.45 | 28.1 | 8.25 | 62.92 | 1457.52 | 78.69 | 41.9 |
| 1260 | 11 | 2.89 | 28.6 | 8.29 | 60.59 | 1389.54 | 78.69 | |
| 1380 | 29 | 3.44 | 29.1 | 8.36 | 59.92 | 1298.64 | 82.46 | 27.93 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-8 โพรไฟล์การทดลองที่ 3.2 อัตราการหมุนเวียนน้ำ 300 ลิตรต่อวัน

| Time (min) | ORP | DO(mg/L) | Temp(C) | pH | SU | ADMI | COD(mg/L) | TKN(mg/L) |
|------------|------|----------|---------|------|--------|---------|-----------|-----------|
| 0 | 2 | 4.51 | 28.8 | 7.82 | 245.74 | 9900.32 | 1613.16 | 90.77 |
| 5 | -85 | 0.23 | 29.5 | 7.23 | 224.06 | 9305.64 | 688.52 | |
| 15 | -148 | 0.11 | 29.8 | 7.1 | 203.52 | 9067.46 | 580.32 | |
| 30 | -284 | 0.1 | 30.2 | 7.07 | 189.77 | 8813.49 | 472.13 | |
| 60 | -305 | 0.09 | 29.7 | 7.21 | 174.73 | 8143.94 | 279.34 | 74.71 |
| 90 | -329 | 0.08 | 30.1 | 7.28 | 152.75 | 7505.54 | 204.59 | |
| 120 | -338 | 0.07 | 30.1 | 7.65 | 133.43 | 6646.91 | 141.64 | 64.94 |
| 180 | -349 | 0.07 | 30.2 | 7.27 | 119.37 | 6268.83 | 86.56 | |
| 300 | -354 | 0.07 | 30.1 | 7.48 | 109.83 | 5078.8 | 98.36 | 58.65 |
| 480 | -355 | 0.07 | 29.9 | 7.09 | 102.34 | 4144.31 | 98.36 | |
| 720 | -355 | 0.08 | 30 | 7.19 | 95.85 | 3153.06 | 86.56 | 60.05 |
| 900 | -356 | 0.06 | 29.7 | 7.16 | 90.83 | 2511.34 | 86.56 | |
| 1080 | -359 | 0.06 | 28.6 | 7.08 | 75.98 | 2286.86 | 86.56 | 55.86 |
| 1110 | -94 | 1.53 | 28.5 | 8.11 | 73.49 | 2174.67 | 98.36 | 53.07 |
| 1140 | -54 | 2.14 | 28.5 | 8.31 | 70.42 | 2064.33 | 82.46 | 43.29 |
| 1260 | 12 | 3.12 | 28.9 | 8.3 | 68.89 | 1878.06 | 86.56 | |
| 1380 | 24 | 4.05 | 29.7 | 8.34 | 67.66 | 1711.06 | 86.56 | 27.93 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-9 โพรไฟล์การทดลองที่ 3.3 อัตราการหมุนเวียนน้ำ 500 ลิตรต่อวัน

| Time (min) | ORP | DO(mg/L) | Temp(C) | pH | SU | ADMI | COD(mg/L) | TKN(mg/L) |
|------------|------|----------|---------|------|--------|---------|-----------|-----------|
| 0 | 10 | 4.62 | 28.9 | 7.82 | 244.44 | 9884.85 | 1625.8 | 87.98 |
| 5 | -73 | 0.31 | 29.2 | | 219.84 | 9211.74 | 774.19 | |
| 15 | -112 | 0.11 | 29.5 | 7.05 | 203.06 | 8954.08 | 612.47 | |
| 30 | -214 | 0.12 | 29.8 | 7.00 | 188.53 | 8756.43 | 464.52 | |
| 60 | -298 | 0.09 | 29.8 | 7.12 | 172.94 | 8059.41 | 156.82 | 74.01 |
| 90 | -354 | 0.07 | 29.9 | 7.14 | 151.34 | 7402.23 | 114.56 | |
| 120 | -352 | 0.07 | 29.9 | 7.15 | 129.31 | 6527.53 | 114.56 | 67.03 |
| 180 | -354 | 0.07 | 29.8 | 7.01 | 118.16 | 6066.75 | 98.76 | |
| 300 | -355 | 0.07 | 29.9 | 6.97 | 107.97 | 4990.88 | 98.76 | 53.07 |
| 480 | -355 | 0.06 | 29.7 | 7.05 | 101.26 | 4075.56 | 84.53 | |
| 720 | -355 | 0.06 | 29.6 | 6.95 | 93.82 | 2920.04 | 84.53 | 54.46 |
| 900 | -356 | 0.07 | 29.5 | 6.83 | 84.26 | 2405.5 | 92.16 | |
| 1080 | -355 | 0.08 | 28.9 | 6.89 | 77.51 | 2054.72 | 92.16 | 58.65 |
| 1110 | -117 | 1.86 | 28.8 | 7.95 | 71.69 | 1857.43 | 84.53 | 57.27 |
| 1140 | -64 | 2.14 | 28.7 | 8.26 | 69.25 | 1789.82 | 84.53 | 46.78 |
| 1260 | 10 | 3.12 | 28.8 | 8.34 | 66.84 | 1576.5 | 84.53 | |
| 1380 | 23 | 4.05 | 29.5 | 8.35 | 64.56 | 1507.23 | 84.53 | 28.63 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
ข้อมูลมวลจุลชีพในการทดลองต่างๆ

ตาราง จ-1 มวลจุลชีพที่เกาะบนวัสดุตัวกลางในการทดลองต่างๆ

| การทดลองที่ | อัตราส่วนสีต่อซีไอดี | ซีไอดีเข้า (มก./ล.) | มวลจุลชีพ (mgCell/gMedia) | |
|-------------|----------------------|---------------------|---------------------------|--------|
| | | | 110 °C | 550 °C |
| 1.1 | 1:20 | 1087.30 | 57.45 | 50.81 |
| 1.2 | 1:20 | 1087.30 | 56.62 | 50.11 |
| 1.3 | 1:20 | 1087.30 | 56.92 | 50.30 |
| 2.1 | 1:0 | 53.82 | 9.18 | 7.80 |
| 2.2 | 1:10 | 579.35 | 51.75 | 44.80 |
| 2.3 | 1:15 | 840.84 | 55.70 | 49.97 |
| 3.1 | 1:30 | 1625.32 | 64.90 | 53.26 |
| 3.2 | 1:30 | 1625.32 | 63.11 | 51.46 |
| 3.3 | 1:30 | 1625.32 | 66.62 | 54.98 |

ตาราง จ-2 มวลจุลชีพในน้ำส่วนใสเหนือวัสดุตัวกลางในการทดลองต่างๆ

| การทดลองที่ | แอนแอโรบิก | | แอโรบิก | |
|-------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.) | เอ็มแอลวีเอสเอส(มก./ล.) | เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.) | เอ็มแอลวีเอสเอส(มก./ล.) |
| 1.1 | 42 | 36 | 1120 | 920 |
| 1.2 | 28 | 24 | 807 | 682 |
| 1.3 | 27 | 23 | 660 | 550 |
| 2.1 | 8 | 7 | 74 | 64 |
| 2.2 | 24 | 21 | 125 | 102 |
| 2.3 | 26 | 22 | 635 | 534 |
| 3.1 | 35 | 31 | 2100 | 1810 |
| 3.2 | 30 | 27 | 1520 | 1250 |
| 3.3 | 33 | 28 | 1820 | 1519 |

ภาคผนวก จ

การคำนวณอายุสลัดจ์ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงพื้นที่ผิววัสดุตัวกลาง และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตรน้ำเสีย

1. การคำนวณอายุสลัดจ์

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองหาค่าอายุสลัดจ์ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ค่าโดยที่สภาวะการทำงานของระบบที่สภาวะเดียวกันคือ เวลาพักแวนแอโรบิก-แอโรบิกเป็น 18-5 ชม. และจำนวนเท่าการหมุนเวียนน้ำเพื่อการผสมในถังปฏิกรณ์ 100 เท่า โดยที่

$$\text{อายุสลัดจ์(วัน)} = \text{มวลแบคทีเรียในระบบ/มวลแบคทีเรียที่ถ่ายออกในแต่ละวัน}$$

ซึ่งมวลแบคทีเรียในระบบสามารถหาได้จากการสุ่มวัสดุตัวกลางที่มีแบคทีเรียเกาะเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้วมาหาปริมาณแบคทีเรียที่เกาะโดยใช้เครื่องอูลตราโซนิก และมวลแบคทีเรียที่ถ่ายออกในแต่ละวันเป็นมวลแบคทีเรียที่ออกมากับน้ำออก(เอสเอส)เฉลี่ย เพราะเนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่มีการล้างย่นระบบซึ่งได้ผลตามตาราง จ-1

ตาราง จ-1 ผลมวลแบคทีเรียและอายุสลัดจ์

| การทดลองที่ | มวลแบคทีเรียในระบบ (มก.) | เอสเอส (มก.) | อายุสลัดจ์ (วัน) |
|-------------|--------------------------|--------------|------------------|
| 2.2 | 76590 | 28 | 608 |
| 2.3 | 82436 | 50 | 366 |
| 1.3 | 84242 | 77 | 243 |
| 3.3 | 98598 | 260 | 84 |

2. การคำนวณภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงพื้นที่ผิววัสดุตัวกลาง (Area Organic Loading Rate ; AOLR)

$$\text{AOLR} = (\text{ซีโอดีที่ถูกกำจัด} * \text{ปริมาตรน้ำที่เติมเข้าระบบต่อวัน}) / (\text{พื้นที่ผิววัสดุตัวกลาง} * \text{น้ำหนักวัสดุตัวกลาง})$$

ตัวอย่างการคำนวณการทดลองที่ 2.2

| | | |
|------------------------|------|----------------------|
| ซีไอดีเข้าระบบ | 579 | มก./ล. |
| ซีไอดีออกจากระบบ | 53 | มก./ล. |
| เติมน้ำเสียเข้า/วัน | 4.5 | ลิตร |
| พื้นที่ผิววัสดุตัวกลาง | 0.63 | ตร.ม./ก.วัสดุตัวกลาง |

$$AOLR = (526 * 4.5) / (0.63 * 1480) = 0.0025 \text{ ก.ซีไอดี/วัน-ตร.ม.}$$

3. การคำนวณภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตรน้ำเสีย (Volumetric Organic Loading Rate ; VOLR)

$$VOLR = (\text{ซีไอดีที่ถูกกำจัด} * \text{ปริมาตรน้ำที่เติมเข้าระบบต่อวัน}) / (\text{ปริมาตรน้ำเสียในถังปฏิกริยา})$$

ตัวอย่างการคำนวณการทดลองที่ 2.2

| | | |
|-----------------------------|-----|--------|
| ซีไอดีเข้าระบบ | 579 | มก./ล. |
| ซีไอดีออกจากระบบ | 53 | มก./ล. |
| เติมน้ำเสียเข้าระบบ | 4.5 | ลิตร |
| ปริมาตรน้ำเสียในถังปฏิกริยา | 5 | ลิตร |

$$VOLR = (526 * 4.5) / (5) = 0.47 \text{ กก.ซีไอดี/วัน-ลบ.ม.}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรณภา ประทุมแก้ว เกิดวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดนครปฐม สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร) ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี การศึกษา 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย