บทบาทของสารให้อิเล็กตรอนที่มีต่อการบำบัดน้ำเสีย ที่มีสีเอโซรีแอกทีฟด้วยระบบไร้ออกซิเจน

นายอรรถวุทธิ์ รื่นเริงใจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-487-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19306917X
16 ส.ค. 2545

ROLE OF ELECTRON DONOR ON THE ANAEROBIC TREATMENT OF AZO REACTIVE DYE WASTEWATER

Mr. Atthavute Ruenruengjai

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

Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

Acedemic Year 1998

ISBN 974-331-487-3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บทบาทของสารให้อิเล็กตรอนที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีสีเอโซรีแอกทีฟด้วยระบบไร้ออกซิเจน
โดย	นายอรรถวุทธิ์ รื่นเริงใจ
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อรรถวุทธิ์ รื่นเริงใจ : บทบาทของสารให้อิเลกตรอนที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีสีเอโซรีแอกทีฟด้วยระบบไร้ออกซิเจน (Role of Electron Donor on the Anaerobic Treatment of Azo Reactive Dye Wastewater) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 224 หน้า. ISBN 974-331-487-3

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาบทบาทของสารให้อิเลกตรอนที่มีต่อการกำจัดสีย้อมประเภทเอโซรีแอกทีฟด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน การศึกษาแบ่งออกเป็นการทดลอง 2 ชุด การทดลองชุดที่ 1 ใช้ระบบยูเอเอสบีที่มีเวลากักน้ำ 12 ชม. บำบัดน้ำย้อมสีแดง ส่วนชุดที่ 2 บำบัดน้ำย้อมสีน้ำเงินโดยมีถังเตรียมน้ำเสียทำหน้าที่เป็นถังกรด ตามด้วยระบบยูเอเอสบีที่มีเวลากักน้ำ 12 ชม. การทดลองทั้ง 2 ชุด ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเป็นน้ำเสียสีเข้มจากการย้อมครั้งที่ 1 มาเจือจาง และควบคุมให้มีความเข้มสี 100 เอสยู ทำการศึกษากับสารให้อิเลกตรอน(หรือสารอาหาร) 4 ประเภทได้แก่ น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน โดยใช้ความเข้มข้นสารอาหาร 500 มก./ล. (วัดในรูปซีโอดี) เปรียบเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่เติมสารให้อิเลกตรอน

ผลการทดลองกับน้ำย้อมสีแดงที่มีซีโอดีก่อนการเติมสารอาหาร 257 มก./ล. พบว่าระบบที่ใช้น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีประสิทธิภาพการลดสีเท่ากับ 53% 47% 45% และ 77% ตามลำดับ กำจัดซีโอดีได้ 29% 35% 45% และ 36% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับระบบควบคุม (ไม่ได้เติมสารให้อิเลกตรอน) ที่กำจัดสีและซีโอดีได้ 45% และ 11% ตามลำดับ เมื่อทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงินที่มีซีโอดีก่อนการเติมสารอาหาร 60 มก./ล. ประสิทธิภาพการลดสีเท่ากับ 67% 70% 76% และ 70% ตามลำดับ และกำจัดซีโอดีได้ 85% 83% 82% และ 81% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับระบบควบคุม (ไม่ได้เติมสารให้อิเลกตรอน) ที่กำจัดสีและซีโอดีได้ 10% และ 20% ตามลำดับ แสดงว่าการเติมสารอาหารเพิ่มทำให้ประสิทธิภาพการลดสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่เติม และประสิทธิภาพการลดสีน้ำย้อมสีน้ำเงินดีกว่าสีแดง ซึ่งน่าจะมาจากความแตกต่างของลักษณะสมบัติน้ำเสียและการมีถังกรด

สรุปได้ว่าการเติมสารอาหารที่จุลชีพสามารถนำไปใช้ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลดสีน้ำเงินของระบบไร้ออกซิเจนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยแสดงบทบาทที่ชัดเจนในกรณีของน้ำเสียสีย้อมซีโอดีต่ำ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าสีย้อมอะโซรีแอกทีฟน่าจะทำหน้าที่เป็นสารรับอิเล็กตรอน เพราะระบบสามารถลดสีได้มากขึ้นเมื่อมีการเติมสารให้อิเลกตรอนอื่นเพิ่ม นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่ใช่แบคทีเรียกลุ่มหลักในการกำจัดสี และสีย้อมสามารถลดลงได้อย่างมากในถังกรด

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต อรรถวุทธิ์ รื่นเริงใจ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C817861 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: ANAEROBIC DECOLOURISATION /REACTIVE DYES / AZO DYES / UASB

ATTHAVUTE RUENRUENGJAI: ROLE OF ELECTRON DONOR ON THE ANAEROBIC TREATMENT OF AZO REACTIVE DYE WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST. Ph.D. 224 pp. ISBN 974-331-487-3

The purpose of this study was to investigate a role of electron donor on the anaerobic treatment of azo reactive dye wastewater. There were two experimental sets in this study. The first set consisting of five UASB reactors with 12 hr. retention time each was applied to treat a red dye wastewater. While the second set consisting of five UASB reactors with 12 hr. retention time each and a feed tank as an acidification reactor was performed to treat a blue dye wastewater. In both experiments, the synthetic dye wastewater was diluted from concentrate wastewater of the first dying operation to obtain the coloration of 100 space unit (SU). The electron donors (substrates) used in each experimental set were cane sugar, methanol, fat and protein. The COD concentration of these substrates in each experiment was 500 mg/l. Both experiment sets had a reactor without any electron donor as a control unit.

In the red dye experiment, the COD concentration before adding the substrate was 257 mg/l. It was found that the decolorisation efficiency of the reactors with cane sugar, methanol, fat and protein were 53%, 47%, 45% and 77% respectively. While the COD removal in the corresponding reactors were 29%, 33%, 45% and 36% respectively. when compared the result with the control reactor the decolorisation efficiency and the COD removal were 46% and 11% respectively. In the blue dye experiment, the COD concentration before adding the substrate was 60 mg/l. It was found that the decolorisation efficiency of the reactors with cane sugar, methanol, fat and protein were 67%, 70%, 76% and 70% respectively, While the COD removal in the corresponding reactors were 85%, 83%, 82% and 81% respectively. when compared the result with the control reactor the decolorisation efficiency and the COD removal were 10% and 20% respectively. These results showed that the addition of electron donor increased the decolorising efficiency in blue dye wastewater more effectively than red dye wastewater. This may be due to acidification reactor in the blue dye experiment and also the difference in wastewater characteristics.

This can be concluded that the addition of the electron donor which is biodegradable will increase the decolorising efficiency of the anaerobic system. The electron donor plays an important role especially in the wastewater with low COD. The results indicated that the azo dye acted as electron acceptor because the decolorising efficiency was increased when more electron donor was added. In addition, it was found that methanogens may not play the major role in dye removal. The azo dye used in this study was largely decreased in the acidification reactor.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์แก่ผู้เขียน รวมทั้งช่วยส่งเสริมและเปิดโอกาสให้ผู้เขียนได้รู้จักและทดลองปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับงานด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ต่างๆ แก่ผู้เขียน

ขอขอบพระคุณ บริษัท แซนอี 68 แลบ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีบางส่วนเพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท อุตสาหกรรมรามาเท็กไทล์ (1998) จำกัด ที่อนุญาตให้นำน้ำเสียเพื่อมาใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในบริษัททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสียเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ มูลนิธิ ชิน โสภณพานิช ที่ให้ทุนอุดหนุนส่วนหนึ่งเพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโท ที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

และทุกความสำเร็จของผู้เขียนในวันนี้ เพราะมีครอบครัวที่คอยอยู่เบื้องหลัง

สารบัญ

เรื่อง หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ
กิตติกรรมประกาศ .....ฉ
สารบัญ .....ช
สารบัญตาราง .....ญ
สารบัญรูป .....ฐ
การเทียบศัพท์ .....ด

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา 1
1.2 แนวคิดเรื่องบทบาทของสารอาหารที่มีต่อการกำจัดสี ด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน 2
1.3 วัตถุประสงค์.....2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....3

บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....4
2.1 สีย้อม (dyes).....4
2.1.1 การมองเห็นสี 4
2.1.2 การจำแนกสีย้อม.....5
2.1.3 การนำสีย้อมผ้าไปใช้งาน 5
2.1.4 สีรีแอกทีฟ 6
2.1.5 กระบวนการย้อมผ้าฝ้าย 13
2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน 17
2.2.1 การถ่ายเทอิเลกตรอน 19
2.2.2 แนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน 20

เรื่อง หน้า

2.3 กระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน....21
2.3.1 ลักษณะทั่วไป....21
2.3.2 ระบบยูเอเอสบี....33
2.4 การกำจัดสีย้อมด้วยระบบไร้ออกซิเจน....40
2.5 การศึกษาที่ผ่านมา....43

บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย....48
3.1 แผนการทดลอง....48
3.2 แนวคิดการเลือกใช้สารอาหาร....49
3.3 การเตรียมน้ำเสีย....51
3.3.1 การเตรียมน้ำเสียชุดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง....51
3.3.1 การเตรียมน้ำเสียชุดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....52
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง....53
3.5 วิธีการเดินระบบ....59
3.5.1 วิธีปรับตั้งอัตราสูบ....60
3.5.2 วิธีเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อวิเคราะห์สัดส่วนก๊าซมีเทน....62
3.5.3 วิธีทำความสะอาดถังปฏิกิริยา....63
3.6 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์....63
3.6.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ....63
3.6.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ....64
3.6.3 วิธีวัดสีในหน่วย เอสยู....65

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์....69
4.1 การทดลองเดินระบบเพื่อหาเวลากัก (HRT) ที่เหมาะสม....69
4.2 ผลการทำงานของระบบไร้ออกซิเจนเมื่อใช้สารอาหารต่างๆ ในการบำบัดน้ำย้อมสีแดง....71
4.3 ผลการทำงานของระบบไร้ออกซิเจนเมื่อใช้สารอาหารต่างๆ ในการบำบัดน้ำย้อมสีน้ำเงิน....90

เรื่อง หน้า

4.4 อิทธิพลของสารอาหารแต่ละชนิดต่อการทำงานของระบบไร้ออกซิเจน.....116
4.4.1 ข้อดีและปัญหาของการใช้สารอาหารชนิดต่างๆ 116
4.4.2 ความสามารถในการกำจัดสี.....120
4.4.3 บทบาทของแหล่งคาร์บอนในการกำจัดสี 124
4.4.4 การกำจัดสีและการผลิตกาซชีวภาพ 127
4.5 ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากขอบเขตการวิจัย 130
4.5.1 การลดลงของสีในถังกรด 130
4.5.2 การลดลงของสีในขวดบีโอดี 136

บทที่ 5 ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 140

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 141

บทที่ 7 ข้อแนะนำสำหรับการทำวิจัยเพิ่มเติม 143

รายการอ้างอิง 144

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง.....147.
ภาคผนวก ข ผลการทดลองที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน.....168
ภาคผนวก ค ผลการวัดสัดส่วนกาซมีเทนน้ำย้อมสีน้ำเงิน.....184

ประวัติผู้วิจัย 224

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 กลุ่มรีแอกทีฟที่สำคัญ 12
2.2 ตัวอย่างแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้ 32
4.1 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองที่ 1 (น้ำย้อมสีแดง)....72
4.2 ค่าความเข้มสีและประสิทธิภาพการกำจัดสี (น้ำย้อมสีแดง)....73
4.3 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (น้ำย้อมสีแดง)....76
4.4 ปริมาณกาซที่เกิดขึ้นและค่าจากการคำนวณ (น้ำย้อมสีแดง)....87
4.5 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ การทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....92
4.6 ค่าความเข้มสีและประสิทธิภาพการกำจัดสี (น้ำย้อมสีน้ำเงิน)....96
4.7 ค่าซีโอดีระหว่างการทดลองด้วยน้ำย้อมสีแดงกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน....99
4.8 ค่าซีโอดี กรดไขมันระเหย และความเข้มสี การทดลองชุดที่ 2 (น้ำย้อมสีน้ำเงิน)....103
4.9 ค่าพีเอชระหว่างการทดลองด้วยน้ำย้อมสีแดงกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน....108
4.10 ค่าโออาร์พีระหว่างการทดลองด้วยน้ำย้อมสีแดงกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน....109
4.11 ปริมาณกาซที่ผลิตได้ในแต่ละวันของน้ำย้อมสีแดงและน้ำย้อมสีน้ำเงิน....111
4.12 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียสีแดงและสีน้ำเงินก่อนเติมสารอาหาร....124
4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีของการทดลองชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2....125
4.14 แผนการเปลี่ยนความเข้มข้นสารอาหารและความเข้มสี ในขวดบีโอดี....136

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบโครงสร้างสีรีแอกทีฟ 7
2.2 ตัวอย่างสีที่มีกลุ่มโครโมฟอร์แบบ Unmetallised Azo.....8
2.3 ตัวอย่างสีที่มีกลุ่มโครโมฟอร์แบบ Metal-Complex Azo 8
2.4 ตัวอย่างสีที่มีกลุ่มโครโมฟอร์แบบ Anthraquinone 9
2.5 ตัวอย่างสีที่มีกลุ่มโครโมฟอร์แบบ Phthalocyanine.....9
2.6 ตัวอย่างสีรีแอกทีฟแบบ Bifunctional ที่มีกลุ่มโครโมฟอร์เป็นแบบ Azo 9
2.7 ตัวอย่างปฏิกิริยาแบบ Nucleophilic Substitution 10
2.8 ตัวอย่างปฏิกิริยาแบบ Nucleophilic Addition 11
2.9 การเตรียมเส้นใยสำหรับการย้อม.....14
2.10 กระบวนการย้อมและตกแต่งผ้า 16
2.11 วิถีของอิเลกตร่อนและคาร์บอน ในกระบวนการหมักและการหายใจ 18
2.12 ค่าศักย์รีดักชั่นของครึ่งปฏิกิริยาต่างๆ 21
2.13 ไดอะแกรมของค่า pE° ของบางปฏิกิริยา 22
2.14 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย 23
2.15 ขั้นตอนอย่างง่ายในการสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้ออกซิเจน.....25
2.16 ปฏิกิริยาการสร้างกรดไขมันระเหยได้สภาวะที่ไฮโดรเจน
มีความดันพาร์เชียลต่ำและสูง.....28
2.17 ขั้นตอนของปฏิกิริยาไร้ออกซิเจน 30
2.18 ลักษณะระบบต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 34
2.19 ลักษณะชุดแยกกาซ น้ำ ตะกอนจุลินทรีย์.....36
2.20 โครงสร้างสี C.I. Reactive Red 141.....40
2.21 แนวคิดการสลายโครงสร้างสี C.I. Reactive Red 141 41
2.22 กลไกการสลายพันธะเอโซด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน 42

รูปที่ หน้า

3.1 แบบถังปฏิกิริยา....54
3.2 ลักษณะเชื้อเมื่อเริ่มเดินระบบ....56
3.3 แบบเครื่องวัดปริมาณกาซที่ปรับปรุงใหม่....57
3.4 ชุดทดลองที่ใช้ในการวิจัย (ภาพด้านหน้า)....58
3.5 ชุดทดลองที่ใช้ในงานวิจัย (ภาพด้านหลัง)....58
3.6 วิธีตรวจสอบอัตราสูบจากระดับน้ำในสายยางก่อนเข้าระบบ....61
3.7 วิธีเก็บตัวอย่างกาซด้วยหลอดสูญญากาศ....62
3.8 สีที่ปรากฏเมื่อมีการดูดกลืนคลื่นแสงแต่ละความยาวคลื่น....65
3.9 การวัดสีทุกช่วง 100 นาโนเมตร....66
3.10 ตัวอย่างข้อมูลจากเครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์....67
3.11 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวัดน้ำเสียด้วยเครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์....67
3.12 ตัวอย่างการวัดสีน้ำเสียที่มีการเปลี่ยนโทนสีหลังการบำบัด....68
4.1 สีในถังปฏิกิริยาแต่ละชุด เมื่อนำทุกระบบต่ออนุกรมกัน....70
4.2 สีที่ลดลงเนื่องจากสัมผัสอยู่กับเชื้อนาน....70
4.3 ค่าความเข้มสี ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง....75
4.4 ค่าซีโอดี ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง....77
4.5 ค่าสภาพด่างทั้งหมด ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง....79
4.6 ค่ากรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง....80
4.7 ค่าพีเอช ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง....82
4.8 ค่าไออาร์พี ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง....84
4.9 ปริมาณกาซชีวภาพ ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง....86
4.10 ค่าอุณหภูมิ ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง....89
4.11 ค่าความเข้มสี ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....95
4.12 ค่าซีโอดี ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....98
4.13 ค่าสภาพด่างทั้งหมด ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....102
4.14 ค่ากรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....105
4.15 ค่าพีเอช ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....107

รูปที่ หน้า

4.16 ค่าโออาร์พี ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....110
4.17 ปริมาณกาซชีวภาพ ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....112
4.18 อุณหภูมิ ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน....115
4.19 ลักษณะน้ำย้อมสีแดง ที่วัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์....121
4.20 ลักษณะน้ำย้อมสีแดง ก่อนและหลังการบำบัด....121
4.21 ลักษณะน้ำย้อมสีน้ำเงิน ที่วัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์....122
4.22 ลักษณะน้ำย้อมสีน้ำเงิน ก่อนและหลังการบำบัด....122
4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีของระบบ....125
4.24 ปริมาณกาซชีวภาพและสีน้ำย้อมสีแดงหลังการบำบัด....128
4.25 ปริมาณกาซชีวภาพและสีน้ำย้อมสีน้ำเงินหลังการบำบัด....129
4.26 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 1 (Blank)
ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด....131
4.27 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 2 (น้ำตาลทราย)
ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด....133
4.28 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 3 (เมทธานอล)
ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด....134
4.29 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 4 (ไขมัน)
ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด....134
4.30 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 5 (โปรตีน)
ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด....135
4.31 การลดลงของสีย้อมในขวดบีโอดี....138

การเทียบศัพท์

ภาษาไทย	ภาษาอังกฤษ
กลุ่มเข้าทำปฏิกิริยา	Reactive Group
การขจัดสิ่งสกปรก	Scouring
การชุบมัน	Mercerizing
การดูดกลืนคลื่นแสง	Absorbance
การปั่นเหวี่ยง	Centrifugal
การฟอกขาว	Bleaching
การลอกแป้ง	Desizing
โครโมฟอร์	Chromophore
โคเอนไซม์	Coenzyme
ถังควบคุมความดัน	Head Tank
พันธะโควาเลนท์	Covalent Bond
ระบบใช้ออกซิเจน	Aerobic System
ระบบไร้ออกซิเจน, ระบบไร้อากาศ	Anaerobic System
ศักย์รีดักชัน	Reduction Potential
สารรับอิเลกตรอน	Electron Acceptor
สารให้อิเลกตรอน	Electron Donor
สารอาหาร	Substrate
สีย้อม	Dyes
สีย้อมรีแอกทีฟ	Reactive Dyes
สีย้อมเอโซรีแอกทีฟ	Azo Reactive Dyes
ออกโซโครม	Auxochromes
แอกติเวเต็ดสลัดจ์	Activated Sludge