

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249384

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ ด้วยสารช่วยตกตะกอน

นางสาวบุษผกา ชนบุษผันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

600253865



249384

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบบไร้อากาศ - เดิมอากาศ ด้วยสารช่วยลดสี



นางสาวปณณภา ธนบุญนันท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 9 7 0 8 2 8 8 2 1

EFFICIENCY OF TEXTILE WASTEWATER TREATMENT BY
ANAEROBIC-AEROBIC PROCESS USING DECOLORANT ADDITION

Miss Punnapa Tanapunyanun

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบบ
ไร้อากาศ - เติมอากาศ ด้วยสารช่วยลดสี

โดย

นางสาวปณณภา ธนบุญนนท์

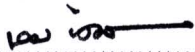
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

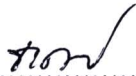
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

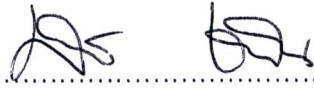
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

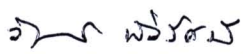
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

 คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะน์ พึ่งรัตมี)

 กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ชจรงค์ดี โกศลมนตรี)

ปทุมณฑา ธนปทุมพันธ์ : ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบบ
ไร้อากาศ-เติมอากาศ ด้วยสารช่วยลดสี. (Efficiency of Textile Wastewater
Treatment by Anaerobic-Aerobic Process Using Decolorant Addition)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน, 129 หน้า.

249384

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วย
ถังปฏิกริยาแบบแบทช์ที่มีการเดินระบบแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ โดยศึกษาอายุตะกอน 3
ค่า คือ 96 44 และ 29 วัน และศึกษาผลกระทบของการใส่ผงถ่านกัมมันต์ เพอริกคลอไรด์
และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการทำงานของระบบ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากนมขาดมัน
เนย และสีชนิด Reactive Black 5 ที่มีค่าความเข้มข้นสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ
7000 เอดีเอ็มไอ ค่าซีไอดีเริ่มต้น 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่า อายุตะกอนที่
เหมาะสม คือ 29 วัน และอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ คือ 0.2 วัน⁻¹ โดยมีสีถูกกำจัดในสภาวะ
ไร้อากาศ 0.20-0.34 เอดีเอ็มไอต่อวัน และซีไอดีถูกกำจัดในสภาวะเติมอากาศ 0.35-0.47
มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี 80 เปอร์เซ็นต์ และสี 75
เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 200-500 มิลลิกรัมต่อลิตร
มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีและสีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 9.92 และ 18.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
การเติมเพอริกคลอไรด์ความเข้มข้น 50-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า มีประสิทธิภาพการ
บำบัดค่าซีไอดีและสีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 12.62 และ 15.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของ
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 50-800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ของสี ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถังปฏิกริยาแบบไร้อากาศ-เติมอากาศนี้สามารถกำจัดซีไอดี
และสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสารช่วยลดสีที่มี
ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อคำนึงถึงเรื่องค่าใช้จ่าย คือ ผงถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้น 200
มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิติ.....ปทุมณฑา.....ธนปทุมพันธ์.....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553.....

4970828821 : MAJOR Environmental Engineering

KEYWORDS : Batch Reactor / Anaerobic-Aerobic Wastewater Treatment / Textile Wastewater / Decolorant

PUNNAPA TANAPUNYANUN : EFFICIENCY OF TEXTILE WASTEWATER TREATMENT BY ANAEROBIC-AEROBIC PROCESS USING DECOLORANT ADDITION. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. SARUN TEJASEN, Ph.D., 129 pp.

249384

This research studied the efficiency of using batch reactors operating in sequential anaerobic-aerobic conditions to treat textile wastewater. Controlled sludge ages were 29, 44, and 96 days. Effects of adding conventional decolorants such as activated carbon, ferric chloride, and hydrogen peroxide were also studied. Wastewater representing textile wastewater were synthesized using non-fat milk and reactive black 5 color having initial COD of 5,000 mg/L and color of 100 mg/L or 7,000 ADMI unit. Sludge age of 29 days and F/M ratio was 0.2 day^{-1} was found to have the best efficiency, resulting in COD and color removal of 80% and 75%, respectively. Color was removed during anaerobic condition with a rate of 0.20-0.34 ADMI unit/day, and COD was removed during aerobic condition with a rate of 0.35-0.47 mg-COD/L/d. Addition of 200-500 mg/L activated carbon or 50-1,000 mg/L ferric chloride increased COD removal efficiency by 9.92-12.67% and color removal efficiency by 15.51-18.67%, respectively. Hydrogen peroxide was not resulted in color removal. The results showed that anaerobic-aerobic batch reactors can effectively remove both COD and color in textile wastewater treatment. Addition of 200 mg/L activated carbon achieved best efficiency and was the most cost effective.

Department : Environmental Engineering.... Student's Signature ปณณพ, ธนพัฒน์
Field of Study : Environmental Engineering.. Advisor's Signature AS
Academic Year : 2010.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษาแนะแนวทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องมาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรศ ศรีสติย ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดจน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ ฝั่งรัมย์ และ ดร.ขจรศักดิ์ โกศลมนตรี ที่ได้ให้คำปรึกษาจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยให้คำชี้แนะ ให้ความช่วยเหลืองานด้านเอกสาร และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณรามนรี เนตรวิเชียร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง และศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ ผู้จัดการห้องปฏิบัติการ บริษัท Dystar Thai Co.,Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์สีเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ บริษัท เสริมสุข จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยอัมบริก้า เคมีคัลส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

ขอบขอบคุณ และพี่ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และดูแลกันและกันในระหว่างการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา น้องชาย ซึ่งสนับสนุน ส่งเสริม และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	3
2.3 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย.....	5
2.3.1 สีย้อม.....	6
2.3.2 สารเคมีที่ใช้ช่วยในกระบวนการฟอกย้อมรวมทั้งสารเคมี ที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ.....	10
2.3.3 สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย.....	10
2.3.4 เศษเส้นใย.....	13
2.3.5 สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ.....	13
2.4 พันธะไอโซ.....	14
2.5 สีย้อมรีแอกทีฟ.....	15
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย.....	16
2.7 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม.....	17
2.8 การบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม.....	19

2.8.1 การกำจัดสึด้วยวิธีการทางกายภาพ.....	19
2.8.2 การกำจัดสึด้วยวิธีการทางเคมี.....	21
2.8.3 การกำจัดสึด้วยวิธีการทางชีวภาพ.....	23
2.9 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์.....	29
2.9.1 หลักการทำงานของระบบเอสปีอาร์.....	29
2.9.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสปีอาร์.....	30
2.10 การควบคุมอายุสลัดจ์.....	32
2.11 แนวทางการนำผลที่ได้จากงานวิจัยไปใช้ในการออกแบบระบบจริง.....	33
2.12 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	46
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย.....	46
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	46
3.3 วิธีการทดลอง.....	47
3.3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	47
3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	48
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	59
3.5 การวัดสี.....	59
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	60
4.1 การเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลชีพ.....	60
4.1.1 การเดินระบบกับน้ำเสียจริง.....	60
4.1.2 การเดินระบบใหม่ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์.....	62
4.2 ผลการศึกษาการหาอายุตะกอนที่เหมาะสม.....	62
4.3 ผลการศึกษาการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ การเดินระบบบำบัด แบบเติมอากาศ และการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	70
4.4 ผลการศึกษาผลกระทบของการใส่สารช่วยลดสีที่มีต่อการทำงานของ ของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	72
4.4.1 ผลของผงถ่านกัมมันต์.....	72
4.4.2 ผลของเฟอริกคลอไรด์.....	75

4.4.3 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	78
4.5 การนำไปใช้ในการออกแบบระบบจริง.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	80
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	80
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	81
รายการอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง.....	88
ภาคผนวก ข. รายการคำนวณ.....	119
ภาคผนวก ค. วิธีการวิเคราะห์ผล.....	124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	129

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงลักษณะของโครโมฟอร์ และออกซิโครมของสีย้อม..... 7
2.2	การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพและเคมี และแนวทางการบำบัด..... 11
2.3	ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์..... 18
2.4	ความสามารถในการกำจัดซีไอดีและสีของน้ำเสียจากการย้อม สีรีแอกทีฟโดยระบบแพคท์..... 39
2.5	ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกำจัดสีและซีไอดี จากงานวิจัยที่ผ่านมา..... 40
2.6	ความเข้มข้นของเพอร์คัลโลไรด์ที่ใช้ในการกำจัดสีและซีไอดี..... 43
3.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษา..... 47
3.2	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์..... 59
4.1	ผลการคำนวณหาค่าอายุตะกอนจากการทิ้งน้ำ 1 2.5 และ 4 ลิตร..... 66
4.2	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเดินระบบแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และ แบบไร้อากาศ-เติมอากาศ..... 72
ก.1	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 1..... 89
ก.2	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 2..... 91
ก.3	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 3..... 93
ก.4	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 4..... 95
ก.5	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 5..... 97
ก.6	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 6..... 99
ก.7	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 7..... 101
ก.8	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 8..... 103
ก.9	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 9..... 105
ก.10	ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ..... 107
ก.11	ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ..... 107
ก.12	ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบเติมอากาศ..... 108
ก.13	ผลการทดลองผงถ่านกัมมันต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 109

ตารางที่	หน้า
ก.14 ผลการทดลองผงถ่านกัมมันต์ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	110
ก.15 ผลการทดลองผงถ่านกัมมันต์ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	111
ก.16 ผลการทดลองผงถ่านกัมมันต์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	112
ก.17 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	113
ก.18 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	114
ก.19 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	115
ก.20 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	116
ก.21 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	117
ก.22 ผลการทดลองถังควบคุม.....	118
ค.1 ตารางการคำนวณค่า CIE Tristimulus ในการคำนวณหาหน่วยสีเอดีเอ็มไอ.....	126

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ.....	4
2.2	โครงสร้างของสี Reactive Black 5.....	16
2.3	การบำบัดสีเอโซและกลุ่มอะโรมาติกเอมีนของสภาวะไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	27
2.4	การทำงานของระบบเอสปีอาร์.....	30
2.5	ระบบบำบัดเอสปีอาร์แบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	31
2.6	ถังปฏิกริยาระบบแบบแบทช์.....	33
2.7	ถังปฏิกริยาระบบ Plug Flow	34
2.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/r_A$ กับ C_A	35
2.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/r_A$ กับ C_A	36
2.10	สมดุลมวลของระบบบำบัด.....	37
3.1	แผนผังสรุปขั้นตอนการทดลอง.....	48
3.2	แผนผังสรุปการเลี้ยงเชื้อจุลชีพโดยใช้น้ำเสียจริง.....	50
3.3	แผนผังสรุปการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์.....	52
3.4	แผนผังสรุปการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศและแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	54
3.5	แผนผังสรุปการดำเนินการชุดการทดลองที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์และเพอริกคลอไรด์.....	56
3.6	แผนผังสรุปการดำเนินการชุดการทดลองที่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ขั้นที่ 1.....	57
3.7	แผนผังสรุปการดำเนินการชุดการทดลองที่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ขั้นที่ 2.....	58
4.1	การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีเทียบกับเวลาของการเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลชีพ.....	60
4.2	การเปลี่ยนแปลงของสีเทียบกับเวลาของการเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลชีพ.....	61
4.3	การศึกษากการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำตะกอน 1 ลิตร.....	63
4.4	การศึกษากการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำตะกอน 2.5 ลิตร.....	64
4.5	การศึกษากการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำตะกอน 4 ลิตร.....	65

รูปที่		หน้า
4.6	ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและสีต่อเวลา ในสภาวะไร้อากาศ.....	67
4.7	ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและสีต่อเวลา ในสภาวะเติมอากาศ.....	67
4.8	อัตราการบำบัดค่าซีไอดีและสีในสภาวะไร้อากาศ.....	68
4.9	อัตราการบำบัดค่าซีไอดีและสีในสภาวะเติมอากาศ.....	69
4.10	ผลการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	71
4.11	ผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 0 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	73
4.12	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีและสีที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์.....	74
4.13	ผลของการเติมเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0 50 100 200 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	76
4.14	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีและสีที่มีการเติมเฟอริกคลอไรด์.....	77
4.15	ผลของการทำอาร์เทสต์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	78