การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วด้วยถังกรองไร้อากาศ

นายชลกร มณีสว่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2744-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20829847

TREATMENT OF LEAD CONTAMINATED WASTEWATER BY ANAEROBIC FILTER

Mr. Cholakorn Maneesawang

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 2002

ISBN 974-17-2744-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วด้วยถังกรองไร้อากาศ
โดย	นายชลกร มณีสว่าง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

ชลกร มณีสว่าง : การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วด้วยถังกรองไร้อากาศ. (TREATMENT OF LEAD CONTAMINATED WASTEWATER BY ANAEROBIC FILTER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 129 หน้า. ISBN 974-17-2744-5

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของระบบถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นน้ำอ้อยปนเปื้อนตะกั่วซึ่งนำมาจากห้องปฏิบัติการวัดระดับซูโครสในน้ำอ้อยของโรงงานผลิตน้ำตาลทราย โดยกำหนดอัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ 8.64 ลิตร/วัน ระยะเวลาเก็บกัก 26 ชั่วโมง ถังปฏิกรณ์ประกอบขึ้นจากอะคลีลิกใสทรงกระบอกสูง 140 ซม.เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. มีปริมาตร 11 ลิตร ภายในบรรจุตัวกลางสูง 120 ซม.ปริมาตร 9.425 ลิตร ทำจากท่อพีวีซีชนิดบางเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม.ตัดเป็นรูปวงแหวนหนา 10-15 มม.

การทดลองแรกศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบโดยใช้น้ำอ้อยปราศจากโลหะหนัก พบว่าเมื่อป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดี 2,000 มก./ล. คิดเป็นภาระสารอินทรีย์ 1.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน เติมซัลเฟต 135 มก./ล. คิดเป็นอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 15 ต่อ 1 ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 98.72 มีความเข้มข้นซีโอดีในน้ำออกเท่ากับ 26 มก./ล. เกิดซัลไฟด์ร้อยละ 25.39 ของซัลเฟตที่เติม ความเข้มข้นซัลไฟด์ในน้ำออกเท่ากับ 34.33 มก./ล. และเมื่อเพิ่มภาระสารอินทรีย์เป็น 3.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ด้วยการป้อนน้ำเสียซีโอดี 4,000 มก./ล. พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลงเหลือร้อยละ 83.96 ซึ่งมีค่าซีโอดีในน้ำออกสูงถึง 612 มก./ล. แต่ยังเกิดซัลไฟด์ร้อยละ 31.57 ของซัลเฟตที่เติม และมีความเข้มข้นซัลไฟด์ในน้ำออกเท่ากับ 42.37 มก./ล.

การทดลองป้อนน้ำเสียที่เป็นน้ำอ้อยปนเปื้อนตะกั่วโดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเข้าเป็น 5 และ 10 มก./ล. พบว่าที่ภาระสารอินทรีย์ 1.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเท่ากับร้อยละ 89.86 และ 96.25 ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นตะกั่วละลายในน้ำออกเท่ากันคือ 0.48 มก./ล. และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดียังคงมีค่าเท่าเดิม และเมื่อเพิ่มภาระสารอินทรีย์เป็น 3.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าระบบยังคงมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วใกล้เคียงกับที่ภาระสารอินทรีย์ 1.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ดังมีความเข้มข้นตะกั่วละลายในน้ำออกและประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับ 0.43 และ 0.36 มก./ล. และร้อยละ 91.34 และ 96.08 ที่ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเข้าเท่ากับ 5 และ 10 มก./ล. ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2545

4270270921 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: ANAEROBIC FILTER / LEAD / SULFATE REDUCING BACTERIA

CHOLAKORN MANEESAWANG : TREATMENT OF LEAD CONTAMINATED WASTEWATER BY ANAEROBIC FILTER. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.ORATHAI CHAVALPARIT, 129pp. ISBN 974-17-2744-5

This research studied the optimum condition of the treatment of lead-contaminated cane juice from sucrose-measurement lab by anaerobic filter. Three identical reactors were consisted of clear acrylic cylinders, 140 cm. in height and 10 cm. in diameter.Total volume ,11 liters, of each reactor was filled with 9.425 liters of PVC rings,15 mm. in diameter and 10-15 mm. in length.Feeding rate was 8.64 liters/day ,equal to 26 hours detention time.

The reactors were fed, without heavy metal, by cane juice in the first experimental runs. One was fed with COD concentration of 2,000 mg/L, equal to 1.83 kg.COD/m^3/d, as well as sulfate concentration of 135 mg/L, it was found that the COD removal efficiency was 98.72% with effluent COD concentration equal to 26 mg/L and effluent sulfide concentration was 34.33 mg/L, equal to 25.39% of influent sulfate concentration. However, it was found, when another one was performed at a volumetric organic loading rate of 3.67 kg.COD/m^3/d by feeding COD concentration of 4,000 mg/L, that the COD removal efficiency decreased to 83.96% with rising effluent COD concentration equal to 612 mg/L while effluent sulfide concentration was 42.37 mg/L, equal to 31.57% of influent sulfate concentration.

The second experimental runs were performed with lead-contaminated can juice by vary lead concentrations to 5 and 10 mg/L respectively. One was run at the volumetric organic loading rate of 1.83 kg.COD/m^3/d and was found that lead removal efficiencies were 89.86% and 96.25% respectively with the same effluent dissolved lead concentration ,0.48 mg/L, while COD removal efficiencies were consistent and almost the same value as in previous experiment. However, another one was increased the volumetric organic loading rate to 3.67 kg.COD/m^3/d and was found that lead removal efficiencies closed by the values at the lower rate as it resulted in dissolved lead concentrations and lead removal efficiencies of 0.43,0.36 mg/L and 91.34%,96.08% respectively.

Department Environmental Engineering Student's signature Cholakorn Maneesawang

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature Orathai Chavalparit

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

กว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ก็ต้องขอรับความช่วยเหลือจากทุกท่านดังนี้

รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาแนะแนวทางในการทำวิจัยในห้องปฏิบัติการ เอาใส่ใจกับทุกประเด็นในการเขียนวิทยานิพนธ์ของผู้เขียน ให้กำลังใจผู้เขียนสู้กับทุกปัญหาในการทำวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์ ให้ความช่วยเหลือผู้เขียนโดยไม่เคยปฏิเสธแม้จะเป็นนอกเวลาราชการ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้ความกรุณาตรวจสอบชี้แนะเพื่อแก้ไขบางส่วนในวิทยานิพนธ์ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

มูลนิธิ ชิน โสภณพนิช ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ซึ่งเป็นทุนเดียวที่ผู้เขียนได้รับตลอดระยะเวลาที่ทำวิจัยหากไม่นับทุนสนับสนุนจากครอบครัวของผู้เขียนเอง

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer

อาจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ ให้กำลังใจและคำปรึกษาตลอดมา และเป็นผู้ศึกษาเกี่ยวกับแหล่งของน้ำเสียในงานวิจัยนี้มาก่อน

บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียและช่วยเหลือในการขนส่ง

คุณโสภา ชินเวศกิจวานิชย์ และ คุณอนุตร เปี่ยงแก้ว ให้กับปรึกษาในการทำวิจัยไม่น้อย ให้ความช่วยเหลือในการค้นข้อมูลหลายอย่าง

ขอขอบคุณพิเศษสำหรับ คุณพิมภัทรา ทันด่วน กำลังใจของผู้เขียน ผู้ที่ทำให้ผู้เขียนมุ่งมั่นทำวิจัยเพื่อที่จะได้ขอพบในงานรับปริญญา และขอขอบคุณ คุณสันติ ศรีวานิชภูมิ เปรียบเสมือนน้องชายอีกคนของผู้เขียน ให้ความช่วยเหลือในการถ่ายภาพในห้องปฏิบัติการเพื่อประกอบการเขียนวิทยานิพนธ์และให้แรงใจมาตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนที่ให้กำลังใจทุกคน ได้แก่ พี่หมู พี่ใหม่ พี่ตี๋ใหญ่ พี่ชวน พี่หนุ่ย(มข) พี่หนุ่ย(มก) พี่ยอด พี่หนุ่ม พี่ดา คุณก้อง โอ ตุลชัย ปุ๋ย สอง หมู เต้น อิ๊ก แอร์ บอย รุ่นน้องทุกคนที่ไม่ได้เอ่ยนาม

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ทุ่มเทเพื่อนิสิตแม้ต้องทำงานล่วงเวลา

ท้ายที่สุดของมอบปริญญามหาบัณฑิตแด่มารดาผู้มอบความรักแก่ผู้เขียนไม่เคยขาด แด่บิดาผู้ล่วงลับผู้มีคำสั่งให้ผู้เขียนต้องเป็นอภิชาติบุตรเพื่อทดแทนพระคุณท่าน ผู้เขียนขอแสดงวิทยานิพนธ์และปริญญาฉบับนี้ไว้เป็นหลักฐาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์ 1

1.2 คำสำคัญ 2

1.3 ความเป็นมา 2

บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย 3

2.1 วัตถุประสงค์ 3

2.2 ขอบเขตการวิจัย 3

บทที่ 3 ทบทวนเอกสาร 4

3.1 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน 4

3.2 ฟิล์มชีวภาพ 6

3.2.1 กระบวนการเกิดฟิล์มชีวภาพ 6

3.2.2 การหลุดลอก 7

3.3 ระบบถังกรองไร้อากาศ 8

3.3.1 ลักษณะทั่วไป 8

3.3.2 ค่าออกแบบ 10

3.3.3 ข้อได้เปรียบของระบบถังกรองไร้อากาศเทียบกับระบบชีวภาพอื่นๆ 15

3.3.4 ข้อเสียเปรียบ 16

3.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงาน 17

3.3.6 สัญญาณเตือนของการเสียสมดุลของระบบ 19

หน้า

3.4 การกำจัดโลหะหนักของจุลชีพแอนแอโรบิค 22
3.4.1 ความเป็นพิษของโลหะหนัก 23
3.5 แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต 25
3.6 น้ำอ้อยปนเปื้อนตะกั่วจากห้องปฏิบัติการ 27
3.6.1 การใช้สารเคมีในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย 27
3.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

บทที่ 4 แผนงานวิจัย 33
4.1 ตัวแปรในงานวิจัย 33
4.1.1 ตัวอิสระที่ต้องการศึกษา 33
4.1.2 ตัวอิสระที่จะควบคุมให้มีค่าคงที่ 33
4.1.3 ตัวแปรตาม 33
4.2 แผนการทดลอง 34
4.2.1 การทดลองที่ 1 34
4.2.2 การทดลองที่ 2 35
4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 37
4.3.1 ถังกรองไร้อากาศ 37
4.3.2 อุปกรณ์ป้อนน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ 41
4.3.3 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซแบบแทนที่น้ำ 41
4.4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง 43
4.4.1 จุดเก็บตัวอย่าง 43
4.4.2 วิธีเก็บตัวอย่าง 45
4.4.3 เทคนิคการวิเคราะห์ค่าซีโอดี 46

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 48
5.1 การศึกษาสมรรถนะของระบบถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสีย
ปราศจากตะกั่ว 48
5.1.1 การทดลองป้อนน้ำเสียความเข้มข้นซีโอดี 2,000 มก/ล 48
5.1.2 การทดลองป้อนน้ำเสียความเข้มข้นซีโอดี 4,000 มก/ล. 55

หน้า

5.1.3 การทดลองป้อนน้ำเสียความเข้มข้นซีโอดี 5,000 มก/ล 62
5.1.4 สมดุลมวลของซีโอดี 66
5.1.5 สมดุลมวลซัลเฟอร์ 67
5.1.6 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบถังกรองไร้อากาศในการทดลองที่ 1 69
5.2 การศึกษาความสามารถของระบบถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารตะกั่ว 74
5.2.1 การทดลองป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 2,000 มก./ล 74
5.2.2 การทดลองป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 4,000 มก./ล 81
5.2.3 สรุปสมรรถนะของระบบถังกรองไร้อากาศเมื่อถูกป้อนด้วยน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่ว 89
5.3 การปรับผลการวิจัย 94
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 97
6.1 สรุปผลการทดลอง 97
6.2 ข้อเสนอแนะ 97

รายการอ้างอิง 99

ภาคผนวก 102
ภาคผนวก ก. ผลการการทดลอง 103
ภาคผนวก ข. ผลวิเคราะห์ก๊าซ 121
ภาคผนวก ค. มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม 123

ประวัติผู้เขียน 129

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบระบบกรองไร้ออกซิเจนแบบไหลขึ้นและไหลลง 10
ตารางที่ 3.2 ค่าความเข้มข้นมวลจุลชีพและค่าพารามิเตอร์ในการดำเนินงานของระบบถังกรองไร้อากาศ 14
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของตัวกลางที่บรรจุในระบบถังกรองไร้อากาศ 15
ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ไร้ออกซิเจน 20
ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ไร้ออกซิเจน 21
ตารางที่ 3.6 ค่าโออาร์พีของปฏิกิริยายาประเภทต่างๆ 21
ตารางที่ 3.8 ผลของสารพิษที่มีต่อการผลิตก๊าซมีเทน 25
ตารางที่ 3.9 ค่าความเข้มข้นสุงสุดที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใดๆต่อระบบกรองไร้ออกซิเจนที่มีจุลชีพที่ถูกทำให้คุ้น (Acclimatized) มาก่อน 25
ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองป้อนน้ำเสียปราศจากตะกั่ว 34
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนเจือจาง 35
ตารางที่ 4.3 แผนการทดลองป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่ว 36
ตารางที่ 4.4 ลักษณะของถังกรองไร้อากาศ 39
ตารางที่ 4.5 รายละเอียดของตัวกลางที่บรรจุภายในถังกรองไร้อากาศ 39
ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารที่เติมลงในน้ำเสีย 10 ลิตร 43
ตารางที่ 4.7 รายละเอียดการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง 45
ตารางที่ 5.1 สรุปข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองป้อนน้ำเสียซีโอดี 2,000 มก./ล. 49
ตารางที่ 5.2 สรุปข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองป้อนน้ำเสียซีโอดี 4,000 มก./ล. 56
ตารางที่ 5.3 สรุปข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองป้อนน้ำเสียซีโอดี 5,000 มก./ล. 62
ตารางที่ 5.4 ค่าร้อยละของ COD recovery ในการทดลองที่ 1 67
ตารางที่ 5.5 ค่าร้อยละของ Sulfur recovery ในการทดลองที่ 1 68
ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศในการทดลองที่ 1 69
ตารางที่ 5.7 ค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำทิ้งจากระบบที่ป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 2,000 มก/ล. 75
ตารางที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำทิ้งจากระบบที่ป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 4,000 มก/ล 82
ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบลักษณะน้ำทิ้งจากระบบที่ป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 2,000 และ 4,000 มก/ล 89
ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ในน้ำทิ้งกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม 95

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสถานะสารอินทรีย์ภายใต้ภาวะไร้อากาศ	5
รูปที่ 3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำเสียป้อนเข้ากับอัตราการขยายตัวของตัวกลางในถังปฏิกรณ์	9
รูปที่ 4.1	ถังกรองไร้อากาศในงานวิจัย	37
รูปที่ 4.2	มาตราส่วนของถังกรองไร้อากาศในงานวิจัย	38
รูปที่ 4.3	ตัวกลางพีวีซีชนิดบางภายในถังปฏิกรณ์	40
รูปที่ 4.4	อุปกรณ์แยกสามสถานะ	40
รูปที่ 4.5	ช่องเก็บตัวอย่างตะกอนในถังปฏิกรณ์	41
รูปที่ 4.6	อุปกรณ์เก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำ	42
รูปที่ 4.7	เส้นทางการไหลของก๊าซเข้าสู่อุปกรณ์เก็บก๊าซ	42
รูปที่ 4.8	จุดเก็บตัวอย่าง	44
รูปที่ 4.9	ลักษณะการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อส่งวิเคราะห์	46
รูปที่ 4.10	การกำจัดซัลไฟด์ด้วยการปรับพีเอชร่วมกับการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าในแนวนอน	47
รูปที่ 5.1	ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในการทดลองป้อนน้ำเสียซีโอดี 2,000 มก./ล.	51
รูปที่ 5.2	ค่าซัลเฟต ซัลไฟด์ พีเอช สภาพด่าง กรดไขมันระเหย ของแข็งแขวนลอยการทดลองป้อนน้ำเสียซีโอดี 2,000 มก./ล.	53
รูปที่ 5.3	ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในการทดลองป้อนน้ำเสียซีโอดี 4,000 มก./ล.	58
รูปที่ 5.4	ค่าซัลเฟต ซัลไฟด์ พีเอช สภาพด่าง กรดไขมันระเหย ของแข็งแขวนลอยการทดลองป้อนน้ำเสียซีโอดี 4,000 มก./ล.	60
รูปที่ 5.5	ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในการทดลองป้อนน้ำเสียซีโอดี 5,000 มก./ล.	64
รูปที่ 5.6	พีเอช ปริมาณก๊าซ กรดไขมันระเหย สภาพด่าง ในการทดลองป้อนน้ำเสียซีโอดี 5,000 มก./ล.	65
รูปที่ 5.7	เปรียบเทียบภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศในงานวิจัยนี้	70

หน้า

รูปที่ 5.8 ตะกั่วและประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 76
รูปที่ 5.9 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 79
รูปที่ 5.10 ซัลเฟต ซัลไฟด์ ปริมาณก๊าซ ของแข็งแขวนลอย อุณหภูมิ พีเอช 79
รูปที่ 5.11 ตะกั่วและประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 83
รูปที่ 5.12 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 84
รูปที่ 5.13 ซัลเฟต ซัลไฟด์ ปริมาณก๊าซ ของแข็งแขวนลอย อุณหภูมิ พีเอช 79
รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบตะกั่วในน้ำออกเมื่อป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่ว 90
รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่ว 90
รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบซีโอดีน้ำออก 92
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 92
รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอย 93
รูปที่ 5.19 แผนผังการทำงานของระบบถังกรองไร้อากาศแบบสองขั้น 95