

การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการร่วมของการออกซิเดชันขั้นสูง  
การเติมสารอาหารร่วมและยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด

นายปริญญา เอื้อสุนทรานัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

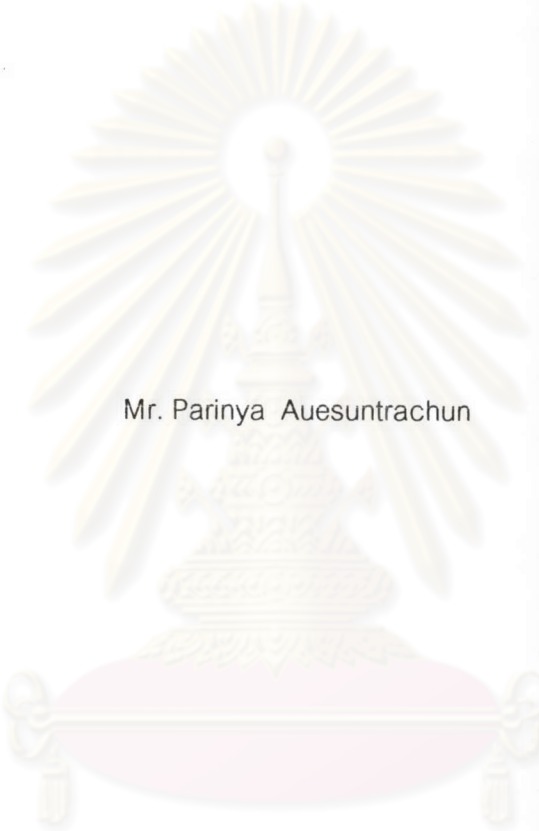
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2520-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I2104451x

LANDFILL LEACHATE TREATMENT USING ADVANCE OXIDATION PROCESSES,  
CO-SUBSTRATE AND UASB WITH ACID TANK



Mr. Parinya Auesuntrachun

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-17-2520-5

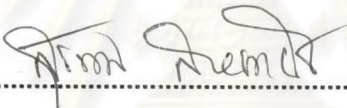
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการร่วมของการออกซิเดชันขั้นสูง  
การเติมสารอาหารร่วมและยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด  
โดย นาย ปริญญา เอื้อสุนทรานัน  
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

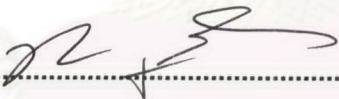
---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช )

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

  
..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร.วิเศษ ศรีสถิตย์ )

  
..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเหียร )

ปริญญา เอื้อสุนทรราชาน : การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการร่วมของการออกซิเดชันขั้นสูง การเติมสารอาหารร่วมและยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด( LANDFILL LEACHATE TREATMENT USING ADVANCE OXIDATION PROCESSES, CO-SUBSTRATE AND UASB WITH ACID TANK )  
 อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล, 257 หน้า. ISBN 974-17-2520-5

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารอินทรีย์จากน้ำชะมูลฝอยโดยใช้กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงร่วมกับการเติมสารอาหารร่วมในระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด โดยทดลองมี 3 ขั้นตอนคือ

ขั้นแรกทำการศึกษานาบทบาของสารอาหารร่วมที่มีต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยระบบไร้อากาศ โดยทดลองจะแบ่งเป็น 3 ชุด โดยสารอาหารร่วมที่เลือกใช้คือ น้ำตาลทรายและนมถั่วเหลือง อัตราส่วนระหว่างซีโอดี น้ำชะมูลฝอยต่อซีโอดีสารอาหารร่วมเท่ากับ 1:0 (ชุดควบคุม) 1:1 1:2 และ 1:4 โดยน้ำชะมูลฝอยที่ใช้มีซีโอดีประมาณ 1000 มก./ล. เวลาพักในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 2 วัน จากการทดลองพบว่า ระบบยูเอเอสบีที่มีการเติมน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วมด้วยอัตราส่วนน้ำชะมูลฝอยต่อน้ำตาลทรายเท่ากับ 1:1 มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยน้ำออกจากระบบมีสีและซีโอดีน้อยกว่าน้ำออกจากระบบชุดควบคุม 15% และ 7% ตามลำดับ

ขั้นที่สองทำการศึกษากระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยกระบวนการที่เลือกมาศึกษามีดังนี้ การเติมโอโซน การใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ปฏิกริยาเฟนตัน โดยความเข้มข้นโอโซนที่ใช้เติมแปรผันตั้งแต่ 100 200 และ 400 มก./ล-ชั่วโมง อัตราส่วนโดยโมลของ  $O_3 / H_2O_2$  ที่ใช้คือ 2:1 1:1 และ 1:2 ปฏิกริยาเฟนตันใช้  $H_2O_2$  เข้มข้นตั้งแต่ 500 ถึง 2000 มก./ล. โดยอัตราส่วนโดยโมลของ  $H_2O_2 : Fe^{2+}$  ที่ใช้คือ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 จากผลการทดลองพบว่าปฏิกริยาเฟนตันสามารถกำจัดสีและซีโอดีได้ดีที่สุดเมื่อใช้  $H_2O_2$  เข้มข้น 2000 มก./ล. อัตราส่วน  $H_2O_2 : Fe^{2+}$  เท่ากับ 10:1 เวลาในการทำปฏิกริยา 30 นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีเท่ากับ 90% และ 76% ตามลำดับ ส่วนการใช้โอโซนและโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถกำจัดสีได้ 85 % ถึง 94% แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำเพียง 27% ถึง 35 % เท่านั้น

ขั้นตอนสุดท้ายทำศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีเมื่อนำปฏิกริยาเฟนตันมาใช้ร่วมกับการเติมน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วม โดยเลือกอัตราส่วนของน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วมเท่ากับ 1:1 ส่วนปฏิกริยาเฟนตันใช้  $H_2O_2$  เข้มข้น 2000 มก./ล. อัตราส่วน  $H_2O_2 : Fe^{2+}$  เท่ากับ 10:1 เวลาในการทำปฏิกริยา 30 นาที จากการทดลองพบว่า การนำน้ำชะมูลฝอยมาบำบัดด้วยปฏิกริยาเฟนตันจากนั้นนำไปเข้าระบบยูเอเอสบีจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีมากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีเท่ากับ 90% และ 85% ตามลำดับ ส่วนการเติมน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วมไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดี

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต \_\_\_\_\_ ปริญญา เอื้อสุนทรราชาน  
 สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_  
 ปีการศึกษา 2545 \_\_\_\_\_

##4270411021:MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: AOPs /LEACHATE /COSUBSTRATE /UASB

PARINYA AUESUNTRACHUN : LANDFILL LEACHATE TREATMENT USING ADVANCE  
OXIDATION PROCESSES, CO-SUBSTRATE AND UASB WITH ACID TANK.

THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL. Ph.D. 257 pp.

ISBN 974-17-2520-5

The objective of this research was to study the color and organic removal efficiency using Advance Oxidation Processes (AOPs) and Co-substrate on landfill leachate treatment by UASB with acid tank. There were three phases of experiments

The first phase of experimets was studying a role of co-substrate on the anaerobic treatment of landfill leachate. There were 3 experimental sets in this study. The co-substrate in each experimental set were cane sugar and soy milk. The ratio of leachate COD: Co-substrate COD were varied to 1:0 (controlling set), 1:1, 1:2 and 1:4. The diluted leachate COD was about 1000 mg/l and HRT was kept to be 2 days. From experiments, it was found that using cane sugar as co-substrate with ratio of leachate : sugar = 1:1 gave the best result. When compare the result with controlling set the color removal and the COD removal were 15% and 17% respectively.

The second phase was studying AOPs on leachate treatment. The AOPs choosed to study were  $O_3$ ,  $O_3 / H_2O_2$  and Fenton's reaction.  $O_3$  dosage were varied to 100, 200 and 400 mg/l-hour.  $O_3 / H_2O_2$  ratio were varied to 2:1, 1:1 and 1:2 by mole. Fenton's reaction varied  $H_2O_2$  dosage from 500 to 2000 mg/l.  $H_2O_2 : Fe^{2+}$  varied to 2:1, 5:1, 10:1, 20:1 and 30:1. From experiment the Fenton's reaction could remove 90% of color and 76% of COD when used  $H_2O_2$  dosage 2000 mg/l,  $H_2O_2 : Fe^{2+} = 10:1$  and 30 minutes for reaction time. In case of using  $O_3$  and  $O_3 / H_2O_2$ , its could remove color about 85-94% but could remove COD about 27-35% only.

The last phase was studying the color and COD removal efficiency of using Fenton's reaction and co-substrate on leachate treatment. According to phase 1 and 2, the Fenton's reaction used  $H_2O_2$  dosage 2000 mg/l,  $H_2O_2 : Fe^{2+} = 10:1$ , reaction time 30 minutes and the ratio of leachate per cane sugar equal 1:1. from the experiment it was found that using Fenton's reaction followed by UASB provided the best result. This method could remove COD 85% and remove color 90%. While Adding co-substrate did not improve the decolorization efficiency and COD removal.

Department Environmental Engineering Student Signature Parinya auesuntrachun

Field of Study Environmental Engineering Adviser Signature Chawalit Pittai

Acedemic Year 2002

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนความคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์แก่ผู้เขียน

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ต่าง ๆ แก่ผู้เขียน

ขอขอบพระคุณ คุณ มาชัย และ คุณ วิทยา และเจ้าหน้าที่ประจำสถานฝังกลบ เทศบาลปทุมธานี ทุกคนที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำชะมูลฝอยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นิสิตปริญญาโท ที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้คำสั่งสอน กำลังใจ และความสนับสนุนทุกด้านจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ซ
สารบัญรูป .....	ณ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 บทนำ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย .....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิด</b>	
2.1 น้ำชะมูลฝอย .....	5
2.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย .....	6
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและลักษณะสมบัติ .....	10
2.2 การบำบัดน้ำชะมูลฝอย .....	12
2.3 การบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยากและเป็นพิษ .....	15
2.3.1 ลักษณะของน้ำเสียที่ย่อยยากและเป็นพิษ .....	15
2.3.2 ลักษณะของระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารย่อยยาก (Xocs) .....	16
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารย่อยยาก (Xocs) .....	16
2.4 การกำจัดสารย่อยยาก(Xocs) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ .....	17
2.4.1 Growth-Linked Biodegradation .....	17
2.4.2 Cometabolism Biodegradation .....	19
2.4.2.1 แบบจำลองของโคตาเมตาบอลิซึม .....	20
2.4.2.2 ชนิดและปริมาณสารอาหารปฐมภูมิที่ต้องการในโคเมตาบอลิซึม .....	23
2.5 กลไกการกำจัดที่ไม่ได้เกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพ .....	25
2.5.1 การระเหย .....	25
2.5.2 การดูดติด .....	25

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.3 การตกตะกอน .....	26
2.6 การกำจัด Xocs โดยกระบวนการทางเคมี .....	26
2.6.1 การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย .....	27
2.6.1.2 การผลิตโอโซน .....	28
2.6.1.3 การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์ .....	28
2.6.2 การใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสีย .....	32
2.6.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาในการใช้โอโซน ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ .....	32
2.6.3 ปฏิกิริยาเฟนตัน .....	33
2.6.3.1 การเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีเฟนตันกับสารอินทรีย์ .....	34
2.6.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน .....	34
2.7 ระบบยูเอเอสบี .....	36
2.7.1 ที่มาของระบบยูเอเอสบี .....	36
2.7.2 ลักษณะของระบบยูเอเอสบี .....	37
2.7.3 ข้อดีของระบบยูเอเอสบี .....	39
2.7.4 ข้อเสียของระบบยูเอเอสบี .....	39
2.7.5 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบยูเอเอสบี .....	40
2.8 ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด .....	41
2.8.1 ลักษณะทั่วไปของถังสร้างกรด .....	41
2.8.2 ข้อดีของการมีถังสร้างกรด .....	42
2.8.3 เกณฑ์การออกแบบถังสร้างกรด .....	43
2.9 การศึกษาที่ผ่านมา .....	44
2.9.1 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน .....	44
2.9.2 การบำบัดด้วยกระบวนการโคเมตาบอลิซึม .....	47
2.9.3 การบำบัดด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง .....	49



## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

## บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง .....	52
3.1.1 การหาชนิดและอัตราส่วนความเข้มข้นของสารอาหารร่วม ต่อน้ำชะมูลฝอยที่เหมาะสม .....	53
3.1.2 การหากระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่เหมาะสมมาใช้ .....	53
3.1.2.1 การบำบัดด้วยการเติมโอโซนเพียงอย่างเดียว .....	53
3.1.2.2 การบำบัดด้วยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ .....	54
3.1.2.3 การบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน .....	54
3.1.3 การนำกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่เหมาะสมมาใช้ร่วมกับ ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด โดยมีการเปรียบเทียบผล ของการเติมสารอาหารร่วมในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ด้วย AOPs ก่อนนำเข้าสู่ระบบ .....	54
3.2 ขั้นตอนในการทดลอง .....	55
3.2.1 การหาชนิดและอัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารอาหาร ร่วมต่อน้ำชะมูลฝอย .....	55
3.2.2 การหากระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่เหมาะสม .....	56
3.2.2.1 การบำบัดด้วยการเติมโอโซนเพียงอย่างเดียว .....	56
3.2.2.2 การบำบัดด้วยการเติมโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ .....	56
3.2.2.3 การบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน .....	56
3.2.3 การนำกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่เหมาะสมมาใช้ร่วมกับ ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด โดยมีการเปรียบเทียบผล ของการเติมสารอาหารร่วมในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ด้วย AOPs ก่อนนำเข้าสู่ระบบ .....	57
3.3 การเตรียมน้ำเสีย .....	57
3.3.1 น้ำชะมูลฝอย .....	57
3.3.2 สารอาหารที่เติม .....	58
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	61
3.5 การเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ .....	62

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5.1 จุดเก็บตัวอย่าง-----	62
3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง-----	65
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์</b>	
4.1 ผลการดำเนินการวิจัย-----	67
4.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง-----	68
4.2 ผลการทดลองชุดที่ 1 อัตราส่วนน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารรวม 1:1-----	69
4.2.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด-----	69
4.2.2 ความเข้มข้นและประสิทธิภาพการลดสี-----	73
4.2.3 สภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย-----	76
4.2.4 บีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด-----	79
4.2.5 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่าย-----	82
4.2.6 พีเอช-----	83
4.2.7 ไออาร์พี-----	87
4.2.8 ก๊าซมีเทน-----	89
4.2.9 อุณหภูมิ-----	90
4.3 ผลการทดลองชุดที่ 2 อัตราส่วนน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารรวม 1:2-----	90
4.3.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด-----	90
4.3.2 ความเข้มข้นและประสิทธิภาพการลดสี-----	94
4.3.3 สภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย-----	97
4.3.4 บีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด-----	100
4.3.5 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่าย-----	103
4.3.6 พีเอช-----	106
4.3.7 ไออาร์พี-----	106
4.3.8 ก๊าซมีเทน-----	109
4.3.9 อุณหภูมิ-----	110
4.4 ผลการทดลองชุดที่ 2 อัตราส่วนน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารรวม 1:2-----	110
4.4.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด-----	110
4.4.2 ความเข้มข้นและประสิทธิภาพการลดสี-----	114

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4.3 สภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย -----	117
4.4.4 บีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด -----	121
4.4.5 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่าย -----	121
4.4.6 พีเอช -----	127
4.4.7 ไออาร์พี -----	127
4.4.8 ก๊าซมีเทน -----	130
4.4.9 อุณหภูมิ -----	131
4.5 สรุปผลการทดลองการเติมสารอาหารร่วมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด -----	131
4.5.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี -----	131
4.5.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี -----	132
4.5.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี -----	133
4.6 ผลการทดลองการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซน -----	135
4.6.1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซน -----	135
4.6.2 การหาเวลาและปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่เหมาะสม ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย -----	136
4.7 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ -----	139
4.7.1 การหาพีเอชที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ -----	139
4.7.2 การหาความเข้มข้น อัตราส่วนโดยโมลของ $O_3 : H_2O_2$ และเวลา ที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้โอโซนร่วมกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 -----	140
4.8 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน -----	145
4.8.1 การหาความเข้มข้นและอัตราส่วนโดยโมลของ $H_2O_2 : Fe^{2+}$ ที่เหมาะสม -----	145
4.9 ผลการทดลองชุดที่ 4 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยปฏิกิริยาเฟนตัน ร่วมกับการเติมสารอาหารร่วม -----	151
4.9.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด -----	151
4.9.2 ความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสี -----	155
4.9.3 บีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด -----	158

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.9.4 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่าย	161
4.9.5 พีเอช	164
4.9.6 ไออาร์พี	166
4.9.7 ก๊าซมีเทน	166
4.9.8 อุณหภูมิ	166
4.10 การเปลี่ยนแปลงของซีโอดีทั้งหมดในถังยูเอเอสบี	168
4.10.1 การดูดซีโอดีในถังยูเอเอสบี	168
4.10.2 การละลายน้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น	171
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	176
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม	178
<b>รายการอ้างอิง</b>	179
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก ผลการทดลองชุดที่ 1	187
ภาคผนวก ข ผลการทดลองชุดที่ 2	194
ภาคผนวก ค ผลการทดลองชุดที่ 3	201
ภาคผนวก ง ผลการทดลองชุดที่ 4	208
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์บีโอดีตลอดการทดลอง	215
ภาคผนวก ฉ ผลการทดลองการบำบัดด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง	218
ภาคผนวก ช ผลการวัดสัดส่วนก๊าซมีเทนตลอดการทดลอง	231
ภาคผนวก ซ รูปของระบบยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง	238
ภาคผนวก ฌ รูปแสดงการกำจัดสีโดยปฏิกิริยาเฟนตัน ที่อัตราส่วน $H_2O_2 : Fe^{2+}$ ต่าง ๆ	240
ภาคผนวก ฎ รูปแสดงการกำจัดสีในการทดลองชุดที่ 4	242

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก การคำนวณปริมาตรและราคาสารเคมีที่ใช้ในปฏิกิริยาเฟนตัน.....	244
ภาคผนวก ก การถ่ายเทมวลของไอโซนและการทดลองหาความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง.....	247
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	257



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบใหม่และเก่า	8
ตารางที่ 2.2 ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยที่สถานกำจัดอ่อนนุชในปี พ.ศ.2535	9
ตารางที่ 2.3 ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยจากสถานฝังกลบลาดกระบัง ช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2542	10
ตารางที่ 2.4 กระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำจัดน้ำชะมูลฝอย	13
ตารางที่ 2.5 ปริมาณสารอาหารปฐมภูมิที่ใช้ในการย่อยสลาย TCE	24
ตารางที่ 2.6 ศักย์ออกซิเดชันของสารชนิดต่าง ๆ	27
ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างของสารที่เป็นตัวเริ่ม (Initiators) ตัวส่งเสริม(Promoters) และตัวยับยั้ง (Scavengers) การสลายตัวของไอโซน	31
ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองหาชนิดและอัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสม ของสารอาหารร่วมต่อน้ำชะมูลฝอย	58
ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองการนำกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่เหมาะสม มาใช้ร่วมกับระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด โดยมีการเปรียบเทียบผล ของการเติมสารอาหารร่วมในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วย AOPs ก่อนนำเข้าระบบ	59
ตารางที่ 3.3 แผนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์	65
ตารางที่ 3.4 ระยะเวลาที่คาดไว้ในการวิจัย	66
ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่สถานฝังกลบเทศบาล ปทุมธานี อำเภอ ลาดหลุมแก้ว จ. ปทุมธานี	68
ตารางที่ 4.2 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองชุดที่ 1	70
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองชุดที่ 1	83
ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองชุดที่ 1	91
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองชุดที่ 2	106
ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองชุดที่ 3	111
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองชุดที่ 3	124
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้กระบวนการ AOPs ต่าง ๆ	149

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.9	สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองชุดที่ 4	152
ตารางที่ 4.10	ค่าเฉลี่ยของแรงแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองชุดที่ 3	124
ตารางที่ 4.11	ดูลซีโอดีในถังยูเอเอสบีของการทดลองชุดที่ 1	169
ตารางที่ 4.12	ดูลซีโอดีในถังยูเอเอสบีของการทดลองชุดที่ 2	169
ตารางที่ 4.13	ดูลซีโอดีในถังยูเอเอสบีของการทดลองชุดที่ 3	170
ตารางที่ 4.14	ดูลซีโอดีในถังยูเอเอสบีของการทดลองชุดที่ 4	170
ตารางที่ 4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดกับเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	175

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การเกิดและแพร่กระจายของน้ำชะมูลฝอย	5
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของ BOD/COD, COD/TOC, VS/FS และ pH ของน้ำชะมูลฝอยกับอายุของสถานที่ฝังกลบ	12
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอย	14
รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบสมการ Monod กับ สมการ Haldane	21
รูปที่ 2.5 การผลิตโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าแรงสูง	28
รูปที่ 2.6 แสดงกลไกการสลายตัวของโอโซนทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม	31
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมของ AOPs แบบเติม $O_3$	59
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมของ AOPs แบบเติม $O_3$ ร่วมกับ $H_2O_2$	60
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมของ AOPs แบบปฏิกิริยาเฟนตัน	60
รูปที่ 3.4 แบบถังปฏิกิริยาเยื่อเอเอสบีและถังสร้างกรด	63
รูปที่ 3.5 การติดตั้งระบบเยื่อเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดที่ใช้ในการทดลอง	64
รูปที่ 4.1 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองชุดที่ 1	71
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพเฉลี่ยการกำจัดซีไอดีของระบบเยื่อเอเอสบีชุดต่างๆ ตลอดการทดลองชุดที่ 1	72
รูปที่ 4.3 สรุปค่าซีไอดีของการทดลองชุดที่ 1	73
รูปที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นตลอดการทดลองชุดที่ 1	74
รูปที่ 4.5 สรุปค่าความเข้มข้นตลอดการทดลองชุดที่ 1	75
รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดซีไอดีของระบบเยื่อเอเอสบีชุดต่างๆ ตลอดการทดลองชุดที่ 1	76
รูปที่ 4.7 สภาพต่างตลอดการทดลองชุดที่ 1	77
รูปที่ 4.8 ค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองชุดที่ 1	78
รูปที่ 4.9 ค่าบีไอดีตลอดการทดลองชุดที่ 1	80
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพเฉลี่ยการกำจัดบีไอดีของระบบเยื่อเอเอสบีชุดต่างๆ ตลอดการทดลองชุดที่ 1	81
รูปที่ 4.11 สรุปค่าบีไอดีน้ำออกตลอดการทดลองชุดที่ 1	82
รูปที่ 4.12 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองชุดที่ 1	84
รูปที่ 4.13 ค่าของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองชุดที่ 1	85



## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.14 ค่าพีเอชตลอดการทดลองชุดที่ 1	86
รูปที่ 4.15 ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองชุดที่ 1	88
รูปที่ 4.16 อัตราการผลิตก๊าซต่อวันตลอดการทดลองชุดที่ 1	89
รูปที่ 4.17 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองชุดที่ 2	92
รูปที่ 4.18 สรุปค่าซีไอดีของการทดลองชุดที่ 2	93
รูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพเฉลี่ยการกำจัดซีไอดีของระบบยูเอเอสปีชุดต่างๆ ตลอดการทดลองชุดที่ 2	94
รูปที่ 4.20 ค่าความเข้มข้นสีตลอดการทดลองชุดที่ 2	95
รูปที่ 4.21 สรุปค่าความเข้มข้นสีตลอดการทดลองชุดที่ 2	96
รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดสีของระบบยูเอเอสปีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองชุดที่ 2	97
รูปที่ 4.23 สภาพต่างตลอดการทดลองชุดที่ 2	98
รูปที่ 4.24 ค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองชุดที่ 2	99
รูปที่ 4.25 ค่าบีไอดีตลอดการทดลองชุดที่ 2	101
รูปที่ 4.26 สรุปค่าบีไอดีน้ำออกตลอดการทดลองชุดที่ 2	102
รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพเฉลี่ยการกำจัดบีไอดีของระบบยูเอเอสปีชุดต่างๆ ตลอดการทดลองชุดที่ 2	102
รูปที่ 4.28 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองชุดที่ 2	104
รูปที่ 4.29 ค่าของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองชุดที่ 2	105
รูปที่ 4.30 ค่าพีเอชตลอดการทดลองชุดที่ 2	107
รูปที่ 4.31 ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองชุดที่ 2	108
รูปที่ 4.32 อัตราการผลิตก๊าซต่อวันตลอดการทดลองชุดที่ 2	109
รูปที่ 4.33 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองชุดที่ 3	112
รูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพเฉลี่ยการกำจัดซีไอดีของระบบยูเอเอสปีชุดต่างๆ ตลอดการทดลองชุดที่ 3	113
รูปที่ 4.35 สรุปค่าซีไอดีของการทดลองชุดที่ 3	114
รูปที่ 4.36 ค่าความเข้มข้นสีตลอดการทดลองชุดที่ 3	115
รูปที่ 4.37 สรุปค่าความเข้มข้นสีตลอดการทดลองชุดที่ 3	116

## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.38 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดสีของระบบยูเอเอสปีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	117
รูปที่ 4.39 สภาพต่างตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	119
รูปที่ 4.40 ค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	120
รูปที่ 4.41 ค่าบีโอดีตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	122
รูปที่ 4.42 ประสิทธิภาพเฉลี่ยการกำจัดบีโอดีของระบบยูเอเอสปีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	123
รูปที่ 4.43 สรุปค่าบีโอดีน้ำออกตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	123
รูปที่ 4.44 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	125
รูปที่ 4.45 ค่าของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	126
รูปที่ 4.46 ค่าพีเอชตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	128
รูปที่ 4.47 ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	129
รูปที่ 4.48 อัตราผลิตก๊าซต่อวันตลอดการทดลองชุดที่ 3 .....	130
รูปที่ 4.49 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดซีโอดีโดยการเติมสารอาหารร่วม ที่อัตราส่วนต่าง ๆ .....	132
รูปที่ 4.50 สรุปค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของการทดลองชุดที่ 1 2 และ 3 .....	132
รูปที่ 4.51 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดสีโดยการเติมสารอาหารร่วม ที่อัตราส่วนต่าง ๆ .....	133
รูปที่ 4.52 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดบีโอดีของการทดลองชุดที่ 1 2 และ 3 .....	132
รูปที่ 4.53 สรุปค่าบีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของการทดลองชุดที่ 1 2 และ 3 .....	134
รูปที่ 4.54 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีโดยเติมไอโชน 200 มก./ล.* ชั่วโมงที่พีเอชต่าง ๆ .....	135
รูปที่ 4.55 ประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยเติมไอโชน 200 มก./ล.* ชั่วโมงที่พีเอชต่าง ๆ .....	135
รูปที่ 4.56 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีโดยการเติมไอโชน 100 200 และ 400 มก./ล.* ชั่วโมง ที่พีเอช 11 .....	136
รูปที่ 4.57 ประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยการเติมไอโชน 100 200 และ 400 มก./ล.* ชั่วโมง ที่พีเอช 11 .....	137
รูปที่ 4.58 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของซีโอดีและเวลาของการเติมไอโชน เข้มข้น 400 มก./ล.* ชั่วโมงที่พีเอช 11 .....	138

## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.59 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของความเข้มข้นและเวลา ของการเติมโอโซนเข้มข้น 400 มก./ล.*ชั่วโมงที่พีเอช 11	138
รูปที่ 4.60 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีไอดีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดย โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ $O_3: H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 โดยเติม $O_3$ ที่ความเข้มข้น 200 มก./ล.*ชั่วโมง ด้วยเวลา 180 นาที ที่พีเอช 3 5 7 9 และ 11	139
รูปที่ 4.61 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดย โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซน ที่ความเข้มข้นเข้มข้น 100 มก./ล.*ชั่วโมงด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ $O_3: H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที	140
รูปที่ 4.62 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดย โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซน ที่ความเข้มข้นเข้มข้น 100 มก./ล.*ชั่วโมง ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ $O_3: H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที	141
รูปที่ 4.63 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดย โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซน ที่ความเข้มข้นเข้มข้น 200 มก./ล.*ชั่วโมงด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ $O_3: H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที	141
รูปที่ 4.64 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดย โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซน ที่ความเข้มข้นเข้มข้น 200 มก./ล.*ชั่วโมงด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ $O_3: H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที	142
รูปที่ 4.65 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดย โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซน ที่ความเข้มข้นเข้มข้น 400 มก./ล.*ชั่วโมงด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ $O_3: H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที	142

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 4.66 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดย ไอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมไอโซน ที่ความเข้มข้นเข้มข้น 400 มก./ล. ชั่วโมง ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ $O_3: H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาดั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที	143
รูปที่ 4.67 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของซีไอดีและเวลา ในการเติมไอโซนเข้มข้น 400 มก./ล.* ชั่วโมงโดยใช้อัตราส่วน $O_3: H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 11	144
รูปที่ 4.68 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของความเข้มข้นและเวลา ในการเติมไอโซนเข้มข้น 400 มก./ล.* ชั่วโมงโดยใช้อัตราส่วน $O_3: H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 11	144
รูปที่ 4.69 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม $H_2O_2$ ที่ความเข้มข้น 500มก./ล. ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของ $H_2O_2: Fe^{2+}$ เท่ากับ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 โดยทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลา 180 นาที	146
รูปที่ 4.70 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม $H_2O_2$ ที่ความเข้มข้น 1000มก./ล. ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของ $H_2O_2: Fe^{2+}$ เท่ากับ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 โดยจะทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลา 180 นาที	146
รูปที่ 4.71 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม $H_2O_2$ ที่ความเข้มข้น 1500มก./ล. ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของ $H_2O_2: Fe^{2+}$ เท่ากับ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 โดยจะทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลา 180 นาที	147
รูปที่ 4.72 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม $H_2O_2$ ที่ความเข้มข้น 2000มก./ล. ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของ $H_2O_2: Fe^{2+}$ เท่ากับ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 โดยจะทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลา 180 นาที	147
รูปที่ 4.73 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม $H_2O_2$ ที่ความเข้มข้น 2000มก./ล. ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของ $H_2O_2: Fe^{2+}$ เท่ากับ 10:1 โดย ทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลาดั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที	148
รูปที่ 4.74 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีโดยกระบวนการ AOPs ต่างๆ	150
รูปที่ 4.75 ประสิทธิภาพในการบำบัดสีโดยกระบวนการ AOPs ต่างๆ	150
รูปที่ 4.76 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองชุดที่ 4	153

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.77 สรุปค่าซีไอดีในน้ำออกตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 154

รูปที่ 4.78 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีด้วยวิธีต่าง ๆ  
 ตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 155

รูปที่ 4.79 ค่าความเข้มข้นตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 156

รูปที่ 4.80 สรุปค่าความเข้มข้นในน้ำออกตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 157

รูปที่ 4.81 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีด้วยวิธีต่าง ๆ  
 ตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 157

รูปที่ 4.82 ค่าบีไอดีตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 159

รูปที่ 4.83 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดบีไอดีด้วยวิธีต่าง ๆ  
 ตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 160

รูปที่ 4.84 แสดงค่าบีไอดีเฉลี่ยในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ  
 ตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 161

รูปที่ 4.85 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 162

รูปที่ 4.86 ค่าของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 163

รูปที่ 4.87 ค่าพีเอชตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 165

รูปที่ 4.88 ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองชุดที่ 4 ..... 167

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย