

การใช้ยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียเข้มข้นสูง



นาย ชำนาญ กายประสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2538

ISBN 974 - 632 - 888 - 3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16๕๐18.23

USING UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET  
FOR HIGH STRENGTH WASTEWATER TREATMENT



Mr. Chamnan Kayparside

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974 - 632 - 888 - 3

พิมพ์ค้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



ชำนานูญ ภายใต้ประสิทธิ์ : การใช้ยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียเข้มข้นสูง ( USING UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET FOR HIGH STRENGTH WASTEWATER TREATMENT )

อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. มั่นสิน ตันกุลเวศม์ , 156 หน้า. ISBN 974 - 632 - 888 - 3

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียเข้มข้นสูง โดยใช้ถังยูเอเอสบีขนาด 192 ลิตรจำนวน 2 ถัง ที่มีอุปกรณ์แยกก๊าซ - ตะกอนแขวนลอยแตกต่างกัน น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้น้ำสับประรดเข้มข้นมาเจือจางให้มีค่าซีโอดีประมาณ 9,000 และ 12,000 มก./ล. ป้อนเข้าสู่ถังยูเอเอสบีทั้งสองดังอย่างต่อเนื่องภายใต้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ทำให้มีค่าออร์แกนิกไหลคดถึง 9.0 และ 12.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ และได้มีการเติมไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เพื่อให้มีอัตราส่วน ซีโอดี ต่อ ไนโตรเจน ต่อ ฟอสฟอรัส ในอัตราส่วน 100 ต่อ 3 ต่อ 1

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูง ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ออร์แกนิกไหลคดถึง 9.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.- วัน สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 80 - 90 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 431 - 561 ลิตร/วัน โดยมีก๊าซมีเทนในสัดส่วนร้อยละ 70 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนประมาณ 0.22 - 0.24 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และที่ออร์แกนิกไหลคดถึง 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถลดค่าซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 83 - 90 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 565 - 641 ลิตร/วัน มีก๊าซมีเทนในสัดส่วนร้อยละ 69 - 73 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนประมาณ 0.22 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ความแตกต่างของอุปกรณ์แยกก๊าซ - ตะกอนแขวนลอย ไม่ได้แสดงผลที่แตกต่างต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญ และสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเติมธาตุนิเกิลและโคบอลท์ ที่ออร์แกนิกไหลคดถึง 9.0 และ 12.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.- วัน ข้อที่ควรสังเกตในท้ายที่สุดคือ ระบบยูเอเอสบี จะทำงานได้ดีดังกล่าวข้างต้นก็ต่อเมื่อมีการเติมนิเกิลและโคบอลท์ให้กับน้ำเสียด้วย มิฉะนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจะลดลงเป็นอย่างมาก อัตราส่วน ซีโอดี ต่อ นิเกิล และซีโอดี ต่อ โคบอลท์ เท่ากับ 100 ต่อ 0.01 และ 100 ต่อ 0.01 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา วิศวกรรม สาขาโบบล  
ปีการศึกษา 253๕

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....




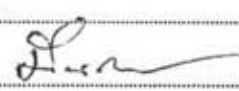
## C517447: MAJOR SANITARY ENGINEERING  
KEY WORD: UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET / GRANULATION  
CHAMNAN KAYPARSIDC : USING UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET  
FOR HIGH STRENGTH WASTEWATER TREATMENT. THESIS ADVISOR :  
ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 156 pp.  
ISBN 974-632-888-3

The aim of this research was to study the performance of UASB in treating high strength wastewater. By using two 192 - l UASB reactors, with different type of gas - solids separator (GSS), synthetic waste was prepared by diluting the pineapple juice concentrate with tap water to obtain COD concentration of approximate 9,000 and 12,000 mg/l. Both UASB reactors were fed continuously under hydraulic retention time of 24 hours, resulting in organic loading of 9.0 and 12.0 kgCOD/m<sup>3</sup>-day. N and P were added as macronutrient in order to obtain COD:N:P ratio of 100:3:1.

Experimental results showed that UASB was able to treat high strength wastewater with high performance. At the organic loading of 9.0 kgCOD/m<sup>3</sup>-day, approximate 80 - 90% COD removal was achieved, total biogas production was found averaged 431 - 561 l/d. Methane percentage in biogas was found to be approximate 70% and methane yield was approximate 0.22 - 0.24 m<sup>3</sup>/kgCOD removed. At the organic loading of 12.0 kgCOD/m<sup>3</sup>-day, approximate 83 - 90% COD removal was achieved, total biogas production was found averaged 565 - 641 l/d. Methane percentage in biogas was found to be approximate 69 - 73% and methane yield was approximate 0.22 m<sup>3</sup>/kgCOD removed. Different types of GSS did not showed any effects on UASB performance. Finally it should be reported that high performances of UASB were obtained only when Ni and Co were added as trace nutrient. Otherwise, the performance of UASB dropped markedly at both organic loading of 9.0 and 12.0 kgCOD/m<sup>3</sup>-day. COD : Ni and COD : Co ratio should be 100 : 0.01 and 100 : 0.01 respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล  
ปีการศึกษา 2538

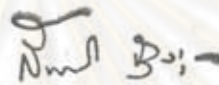
ลายมือชื่อนิสิท   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หัวข้อวิทยานิพนธ์  
โดย  
ภาควิชา  
อาจารย์ที่ปรึกษา

การใช้ยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียเข้มข้นสูง  
นายชำนาญ ภายประสิทธิ์  
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
รองศาสตราจารย์ ดร.มันลิน ตันตุลเวศม์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

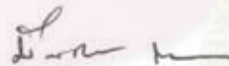


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ อึ้งสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



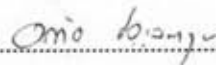
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.มันลิน ตันตุลเวศม์)



.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)



.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ขวลาภาฤทธิ์)



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตันกุลเวศม์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณา  
อบรมสั่งสอน รวมทั้งให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องต่าง ๆ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถทำการทดลองวิจัยนี้  
สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและถูกต้องพร้อมทั้งให้แง่คิดในเชิงวิชาการที่มีประโยชน์ต่อผู้วิจัยอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อีระ เกรอด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์  
สุจิตตานนท์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ชาวลาภาฤทธิ์ ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และ  
ให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการแก่ผู้วิจัย รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้  
มอบความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณบริษัท แชน.อี. 68 คอนซัลติง เอ็นจิเนียร จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อ เชื้อจุลินทรีย์  
ดั่งยูเอเอสบี และอื่นๆอีกมากมาย จนทำให้การวิจัยสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณสมชาย กิตติสุภรณ์พันธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างดั่งยูเอเอสบีขึ้นมา  
ได้ และคุณสมเกียรติ ชัยประเสริฐ ที่ได้ให้คำแนะนำทางด้านคอมพิวเตอร์

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ทางภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและ  
อำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือทั้งในด้านกำลังใจและกำลังกาย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ จนทำให้สามารถทำการวิจัย  
สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดต้องขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน และให้กำลังใจ  
แก่ผู้วิจัยตลอดมา หากวิทยานิพนธ์นี้พอมีคุณประโยชน์อยู่บ้าง ก็ขอบขอบคุณดีนั้นกลับไปให้  
ครอบครัวของผู้วิจัยได้รับไว้



## สารบัญ

## หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ท
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....	2
3. ทฤษฎีและแนวความคิด.....	3
3.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้ออกซิเจน.....	3
3.2 บทบาทของไฮโดรเจนที่มีต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน.....	16
3.3 ระบบยูเอเอสบี.....	20
3.3.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี.....	20
3.3.2 ข้อดีข้อเสียของระบบยูเอเอสบี.....	22
3.3.3 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	23
3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	26
3.4.1 อุณหภูมิ.....	26
3.4.2 พีเอช สภาพความเป็นต่างและกรดอินทรีย์ระเหย.....	26
3.4.3 สารอาหารเสริม.....	27
3.4.4 สารพิษ.....	27
3.4.5 อิทธิพลของซัลเฟตต่อระบบยูเอเอสบี.....	30
3.4.6 การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ.....	32
3.4.7 ออร์แกนิกโหลดคิง.....	32
3.4.8 การกระจายน้ำเข้าสู่ถังปฏิกริยา.....	32
3.4.9 ศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน.....	32

## สารบัญ ( ต่อ )

บทที่	หน้า
3.5 กลไกการเกิดเม็ดหรือเกล็ดตะกอน.....	36
4. ผลงานวิจัยและการศึกษาระบบยูเอเอสบีที่ผ่านมา.....	39
5. แผนงานและการดำเนินการวิจัย.....	42
5.1 แผนการทดลอง.....	42
5.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	42
5.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้.....	44
5.4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ.....	50
5.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ.....	50
5.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	50
5.4.3 การวัดและวิเคราะห์ปริมาณก๊าซ.....	53
6. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	54
6.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์.....	54
6.2 พีเอชของระบบยูเอเอสบี.....	55
6.3 การสะสมกรดอินทรีย์ระเหย สภาพต่างรวม และอัตราส่วนของ กรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างรวมภายในถังและน้ำทิ้งที่ออกจากถังยูเอเอสบี.....	59
6.4 ค่าไออาร์พีภายในถังยูเอเอสบี.....	71
6.5 การหลุดออก ( wash out ) ของตะกอนแขวนลอยและ ค่าความขุ่นของระบบยูเอเอสบี .....	75
6.6 ประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการลดค่าซีไอดี.....	82
6.7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	86
6.8 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ตามความสูงของถังยูเอเอสบี.....	92
6.8.1 ค่าพีเอช .....	92
6.8.2 ค่าไออาร์พี .....	92
6.8.3 ค่าสภาพต่างรวม .....	96



## สารบัญ ( ต่อ )

บทที่	หน้า
6.8.4 กรดอินทรีย์ระเหย.....	96
6.8.5 อัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างๆรวม .....	96
6.8.6 ค่าตะกอนแขวนลอย .....	96
6.8.7 การเปลี่ยนแปลงซีไอดี .....	101
6.9 บทบาทและผลของการเติมธาตุไนเจลและโคบอลต์ต่อการสะสมของ กรดไพโรอิกในระบบยูเอเอสบี .....	101
6.10 ลักษณะจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....	109
6.11 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าออร์แกนิกโหลดคิงและการเติมไนเจล และโคบอลต์ต่อพารามิเตอร์ต่างๆตลอดช่วงเวลาการทดลอง.....	111
7. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	117
7.1 สรุปผลการทดลอง.....	117
7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยที่นำศึกษาต่อ.....	118
รายการอ้างอิง.....	119
ภาคผนวก ก. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์และราคาสารเคมี.....	123
ภาคผนวก ข. การคำนวณอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด.....	125
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลอง.....	126
ประวัติผู้เขียน.....	156

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย.....	3
3.2 แสดงขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน.....	4
3.3 แสดงการย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะที่มี LOW และ HIGH H <sub>2</sub> PARTIAL PRESSURE .....	6
3.4 แสดงการสร้างกรดอินทรีย์ระเหยภายใต้สภาวะที่ LOW และ HIGH H <sub>2</sub> PARTIAL PRESSURE .....	18
3.5 แสดงการเปลี่ยนค่าพลังงานอิสระเมื่อ Hydrogen partial pressure มีค่าเปลี่ยนแปลง.....	19
3.6 ลักษณะของระบบต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน.....	21
3.7 แสดงลักษณะทั่วไปของถังปฏิกิริยาแบบ UASB.....	24
3.8 แสดงระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ที่มีผลกระทบต่อระบบ.....	31
3.9 แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ และอัตราับสารอินทรีย์ระหว่างขั้นตอนการเกิดเม็ดจุลินทรีย์ในถัง UASB.....	37
3.10 แสดงปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ตามความสูงของถัง UASB.....	37
5.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือทดลองของถังยูเอสบี.....	45
5.2 แสดงแบบรายละเอียดส่วนประกอบถัง UASB ถังที่ 1.....	46
5.3 แสดงแบบรายละเอียดส่วนประกอบถัง UASB ถังที่ 2.....	48
5.4 แสดงอุปกรณ์เครื่องเก็บก๊าซ.....	51
6.1 แสดงค่าพีเอชของระบบในการทดลองชุดที่ 1.....	56
6.2 แสดงค่าพีเอชของระบบในการทดลองชุดที่ 2.....	57
6.3 แสดงค่าพีเอชของระบบในการทดลองชุดที่ 3.....	58
6.4 แสดงค่าสภาพต่างรวม กรดอินทรีย์ระเหย และ อัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างรวมภายในถังยูเอสบี ในการทดลองชุดที่ 1 .....	60
6.5 แสดงค่าสภาพต่างรวม กรดอินทรีย์ระเหย และ อัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างรวม ของน้ำทิ้งจากถังยูเอสบี ในการทดลองชุดที่ 1 .....	61

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
6.6 แสดงค่าสภาพต่างรวม กรดอินทรีย์ระเหย และ อัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างรวมภายในถังยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 2 .....	62
6.7 แสดงค่าสภาพต่างรวม กรดอินทรีย์ระเหย และ อัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างรวม ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 2 .....	63
6.8 แสดงค่าสภาพต่างรวม กรดอินทรีย์ระเหย และ อัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างรวมภายในถังยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 3 .....	64
6.9 แสดงค่าสภาพต่างรวม กรดอินทรีย์ระเหย และ อัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างรวม ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 3 .....	65
6.10 แสดงค่าไออาร์พีภายในถังยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 1.....	72
6.11 แสดงค่าไออาร์พีภายในถังยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 2.....	73
6.12 แสดงค่าไออาร์พีภายในถังยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 3.....	74
6.13 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยภายในถังในการทดลองชุดที่ 1.....	76
6.14 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยภายในถังในการทดลองชุดที่ 2.....	76
6.15 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยภายในถังในการทดลองชุดที่ 3.....	76
6.16 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีในการทดลองชุดที่ 1 .....	77
6.17 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีในการทดลองชุดที่ 2 .....	78
6.18 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีในการทดลองชุดที่ 3 .....	79
6.19 แสดงค่าความขุ่นของน้ำทิ้งจากถังในการทดลองชุดที่ 1.....	77
6.20 แสดงค่าความขุ่นของน้ำทิ้งจากถังในการทดลองชุดที่ 2.....	78
6.21 แสดงค่าความขุ่นของน้ำทิ้งจากถังในการทดลองชุดที่ 3.....	79
6.22 แสดงความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับความขุ่นน้ำทิ้งถังยูเอเอสบี 1.....	81
6.23 แสดงความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับความขุ่นน้ำทิ้งถังยูเอเอสบี 2.....	81
6.24 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของระบบในการทดลองชุดที่ 1.....	83
6.25 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของระบบในการทดลองชุดที่ 2.....	84
6.26 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของระบบในการทดลองชุดที่ 3.....	85
6.27 แสดงปริมาณของก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์มีเทนในการทดลองชุดที่ 1.....	87
6.28 แสดงปริมาณของก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์มีเทนในการทดลองชุดที่ 2.....	88
6.29 แสดงปริมาณของก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์มีเทนในการทดลองชุดที่ 3.....	89

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
6.30 แสดงอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมซีไอดีที่ถูกกำจัดในการทดลองชุดที่ 1 .....	91
6.31 แสดงอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมซีไอดีที่ถูกกำจัดในการทดลองชุดที่ 2 .....	91
6.32 แสดงอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมซีไอดีที่ถูกกำจัดในการทดลองชุดที่ 3 .....	91
6.33 แสดงค่าพีเอชที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของถังยูเอเอสบีทั้งสองถังที่ ออร์แกนิกโหลดคิง 9.0 และ 12.0 กก.ซีไอดี / ลบ. ม. - วัน .....	93
6.34 แสดงค่าไออาร์พีที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของถังยูเอเอสบีทั้งสองถังที่ ออร์แกนิกโหลดคิง 9.0 และ 12.0 กก.ซีไอดี / ลบ. ม. - วัน .....	94
6.35 แสดงค่าสภาพต่างรวมที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของถังยูเอเอสบีทั้งสองถังที่ ออร์แกนิกโหลดคิง 9.0 และ 12.0 กก.ซีไอดี / ลบ. ม. - วัน .....	95
6.36 แสดงค่ากรดอินทรีย์ระเหยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของถังยูเอเอสบีทั้งสองถังที่ ออร์แกนิกโหลดคิง 9.0 และ 12.0 กก.ซีไอดี / ลบ. ม. - วัน .....	97
6.37 แสดงค่าอัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างรวมที่ระดับ ความสูงต่าง ๆ ของถังยูเอเอสบีทั้งสองถังที่ ออร์แกนิกโหลดคิง 9.0 และ 12.0 กก.ซีไอดี / ลบ. ม. - วัน .....	98
6.38 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของถังยูเอเอสบีทั้งสองถังที่ ออร์แกนิกโหลดคิง 9.0 และ 12.0 กก.ซีไอดี / ลบ. ม. - วัน .....	99
6.39 แสดงค่าซีไอดีที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของถังยูเอเอสบีทั้งสองถังที่ ออร์แกนิกโหลดคิง 9.0 และ 12.0 กก.ซีไอดี / ลบ. ม. - วัน .....	100
6.40 แสดงนิเกิลซึ่งเป็นองค์ประกอบของโคเคนไนม์ $F_{430}$ .....	102
6.41 แสดงโคบอลต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างโมเลกุลแบคทีเรีย .....	102
6.42 แสดงความเข้มข้นของกรดไพออนิกภายในถังยูเอเอสบีที่ 1 ตรวจสอบโดยเครื่อง GC .....	104
6.43 แสดงความเข้มข้นของกรดไพออนิกของน้ำที่มาจากถังยูเอเอสบีที่ 1 ตรวจสอบโดยเครื่อง GC .....	105
6.44 แสดงความเข้มข้นของกรดไพออนิกภายในถังยูเอเอสบีที่ 2 ตรวจสอบโดยเครื่อง GC .....	106

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
6.45 แสดงความเข้มข้นของกรดโพพิออนิกของน้ำทิ้งจากถังยูเอสบีที่ 2 ตรวจสอบโดยเครื่อง GC .....	107
6.46 แสดงลักษณะรูปพรรณของแบคทีเรียชนิด <i>Methanothrix</i> .....	110
6.47 แสดงลักษณะรูปพรรณของแบคทีเรียชนิด <i>Methanosarcina</i> .....	110
6.48 แสดงลักษณะของเม็ดจุลินทรีย์ในการทดลอง.....	112
6.49 แสดงจุลินทรีย์ในเม็ดที่มีลักษณะคล้ายกับ <i>Methanothrix</i> .....	113
6.50 แสดงจุลินทรีย์ในเม็ดที่มีลักษณะทรงกลมคล้าย <i>Methanosarcina</i> .....	113
6.51 แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าออร์แกนิกไหลคดิงและการเติมนิเกิลและ โคบอลต์ต่อพารามิเตอร์ต่างๆตลอดช่วงการทดลองของถังที่ 1 .....	114
6.52 แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าออร์แกนิกไหลคดิงและการเติมนิเกิลและ โคบอลต์ต่อพารามิเตอร์ต่างๆตลอดช่วงการทดลองของถังที่ 2 .....	115

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการแบ่งประเภทของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน .....	8
3.2 แสดงจำนวนโรงบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบ UASB ก่อนเดือนกันยายน คศ. 1990 .....	22
3.3 แสดงข้อดีข้อเสียของระบบ UASB.....	23
3.4 วัตถุประสงค์ในการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ ( GSS device ).....	25
3.5 ความเข้มข้นที่กระตุ้น และยับยั้งของประจุบวก.....	28
3.6 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลยับยั้งประสิทธิภาพ 50 % ต่อระบบไร้ออกซิเจน.....	29
3.7 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจน ต่อระบบแบบไร้ออกซิเจน.....	30
3.8 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับค่า ORP ที่วัดในสภาพไร้ออกซิเจน.....	35
5.1 การเปลี่ยนแปลงค่าออร์แกนิกโหลดคิง เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำเสีย ที่ใช้ในการทดลอง .....	43
5.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย .....	43
5.3 ลักษณะเฉพาะของถัง UASB ทั้งสองถังที่ใช้ในการทดลอง.....	44
5.4 แผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	52
6.1 แสดงเวลาในแต่ละช่วงการทดลอง.....	54
6.2 ค่าเฉลี่ยของพีเอชของระบบ.....	55
6.3 ค่าเฉลี่ยสภาพต่างรวมของระบบ.....	66
6.4 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยที่วัดด้วยเครื่อง GAS CHROMATOGRAPHY.....	68
6.5 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยเฉลี่ยภายในถังและน้ำทิ้งจากถัง.....	70
6.6 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพความเป็นต่างรวม.....	70
6.7 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในถังยูเอเอสบี.....	75
6.8 ค่าตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยภายในถังยูเอเอสบีและที่หลุดออกจากถัง.....	80
6.9 ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีเฉลี่ยของถังยูเอเอสบี.....	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.10 ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นและเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน.....	90
6.11 ค่าเฉลี่ยอัตราการเกิดก๊าซมีเทน.....	92
6.12 ผลของการเติมนิเกิลและโคบอลต์ต่อระบบยูเอเอสบีของถังที่ 1 .....	108
6.13 ผลของการเติมนิเกิลและโคบอลต์ต่อระบบยูเอเอสบีของถังที่ 2 .....	108



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย