

การบำบัดน้ำเสียจากสาโดยใช้ระบบแอนแอโรบิก
ไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ



นาย อิศระ รัตนปริยานุช

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN: 974-17-3772-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF DISTILLERY SLOP WASTEWATER BY ANAEROBIC
HYBRID FILTER WITH PRE-ACIDIFICATION TANK

Mr. Isara Ratanapariyanuch

สถาบันวิทยบริการ

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 2003

ISBN 974-17-3772-6

อิศระ รัตนปริยานุช : การบำบัดน้ำเสียกากสาโดยใช้ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มี
ถังหมักกรดน้ำ (TREATMENT OF DISTILLERY SLOP WASTEWATER BY
ANAEROBIC HYBRID FILTER WITH PRE-ACIDIFICATION TANK) อ.ที่ปรึกษา : รศ.
ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 169 หน้า. ISBN: 974-17-3772-6

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์
ที่มีถังหมักกรดน้ำในการบำบัดน้ำกากสา ทำการทดลองโดยใช้น้ำกากสาเข้มข้นจากบ่อบำบัดแบบ
ไร้ออกซิเจนมาทำการเจือจาง และใช้น้ำตาลเป็นสารอาหารปฐมภูมิ โดยมีอัตราส่วน ซีโอดีของน้ำ
กากสาต่อซีโอดีของน้ำตาลเป็น 1:3 การทดลองมีค่าภาระบรทุกอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีโอดี/
ลบ.ม.-วัน การศึกษาแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน การทดลองขั้นที่หนึ่งทำการศึกษาระยะเวลาเก็บกัก
ที่เหมาะสมของถังหมักกรดในแต่ละภาระบรทุกอินทรีย์ การทดลองขั้นที่สองใช้ถังหมักกรดที่มี
เวลาเก็บกักที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองขั้นที่หนึ่งมาทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแอน-
แอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ ผลการศึกษาจากการทดลองขั้นที่หนึ่งพบว่าที่ภาระ
บรทุกอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในถังหมักกรดเท่ากับ
6 6 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 16.7% 17.3% 14.9% และ
14.9% ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดสี 21.2% 21.7% 20.9% และ 19.5% ตามลำดับ
ส่วนผลการทดลองในขั้นที่สองพบว่า ที่ภาระบรทุกอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 65.6% 64.1% 55.4% และ 52.0% ตามลำดับ มีประสิทธิภาพ
การกำจัดสี 28.1% 25.2% 22.8% และ 20.0% ตามลำดับ และมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 7.0
10.0 8.0 และ 5.0 ลิตร/วัน ตามลำดับ เมื่อเติมธาตุไนคิลและโคบอลท์ในน้ำเสียเข้าระบบในอัตรา
ส่วน ซีโอดีต่อไนคิล และ ซีโอดีต่อโคบอลท์ เป็น 100:0.01 และ 100:0.01 ตามลำดับพบว่าที่ภาระ
บรทุกอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเป็น
68.3% 66.6% 58.5% และ 52.7% ตามลำดับ มีประสิทธิภาพลดสีไม่แตกต่างโดยมีประสิทธิภาพ
28.3% 25.4% 22.2% และ 19.9% ตามลำดับ และมีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเป็น 8.32%
10.88% 8.51% และ 5.32% ตามลำดับ สรุปได้ว่าถังหมักกรดมีส่วนสำคัญในการกำจัดน้ำกาก
สา ประสิทธิภาพของระบบบำบัดโดยรวมลดลงเมื่อภาระบรทุกอินทรีย์เพิ่มขึ้น ไนคิล และโค
บอลท์มีส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา...2546.....

##4470666021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : ANAEROBIC HYBRID FILTER / COLOR REMOVAL / DISTILLERY SLOP /
ACIDIFICATION

ISARA RATANAPARIYANUCH : TREATMENT OF DISTILLERY SLOP WASTEWATER
BY ANAEROBIC HYBRID FILTER WITH PRE-ACIDIFICATION TANK. THESIS ADVISOR
: ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., 169 PP. ISBN: 947-17-
3772-6

The purpose of this research was to investigate the efficiency of anaerobic hybrid filter with pre-acidification tank for treatment of distillery slop. The experiment was carried out by using diluted wastewater from concentrated distillery slop from an anaerobic pond. The primary substrate used was sugar. The COD ratio of distillery slop to sugar was 1:3. The organic loading rate was varied at 4, 5, 6 and 7 kg-COD/m³-day. There were two experiment sets in this study. The first experiment comprised of various retention time of acidification tank in each organic loading rate. In the second set, the experiment was carried out by using the suitable retention time of acidification tank obtained from the first experiment in order to study the efficiency of anaerobic hybrid filter with pre-acidification tank. In the first experiment, it was found that at the organic loading rate of 4, 5, 6 and 7 kg-COD/m³-day, the suitable retention time of acidification tanks were 6, 6, 12 and 24 hour, respectively. While the COD removal in the corresponding acidification tanks were 16.7%, 17.3%, 14.9% and 14.9%, respectively, the color removal efficiency were 21.2%, 21.7%, 20.9% and 19.5%, respectively. In the second experiment, it was found that at the organic loading rate of 4, 5, 6 and 7 kg-COD/m³-day, the COD removal efficiency in the corresponding reactors were 65.6%, 64.1%, 55.4% and 52.0%, respectively. the color removal efficiency were 28.1%, 25.2%, 22.8% and 20.0%, respectively. The biogas of the corresponding reactors were 7.0, 10.0, 8.0 and 5.0 liter /day, respectively. The additional of Ni and Co to treatment system at the ratio of 100:0.01 and 100:0.01 of COD to Ni or Co, consequently, increased in COD removal efficiency to 68.3%, 66.8%, 58.5% and 52.7% at organic loading of 4, 5, 6 and 7 kg-COD/m³-day, respectively, however, indifferent of color removal was obtained, equivalent to 28.3%, 25.4%, 22.2% and 19.9%, respectively. Furthermore, biogas was increased to 8.32, 10.88, 8.51 and 5.32 liter / day, respectively. It can be concluded that the acidification tank play an important role in color removal from distillery slop. The overall efficiency of this treatment system was decreased when the organic loading rate was increased, moreover, Ni and Co were important to the increasing of system efficiency.

Department Environmental Engineering Student's signature.....
Field of Study Environmental Engineering Advisor's signature.....
Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอน รวมทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำการทดลองวิจัยนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนร่วมจาก โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม และของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท ปทุมธานี บริวเวอรี่ จำกัด ที่ให้ตะกอนจุลินทรีย์เพื่อเริ่มต้นเดินระบบ

ขอขอบพระคุณ บริษัท สุราแสงโสม จำกัด ที่อนุญาตให้นำน้ำเสียเพื่อมาใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในบริษัททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสียเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ทนุชิน โสภณพนิช และ ทนุภัฏทิติวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ จนทำให้สามารถทำวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ของสถาบัน ฯ ที่เอื้อเฟื้อและให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ GC

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ทางภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ นิสิตปริญญาโท และนิสิตในกลุ่มวิจัยของ อ.เพ็ชรพร ที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

ท้ายที่สุดต้องขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	
1	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 จุลชีววิทยาของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน.....	3
2.1.1 ข้อได้เปรียบของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน.....	3
2.1.1.1 ความต้องการพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย.....	3
2.1.1.2 การผลิตสัลไฟด์.....	4
2.1.2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน.....	7
2.1.2.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis).....	7
2.1.2.2 การสร้างกรด (Acidogenesis).....	7
2.1.2.3 การสร้างอะซิเตท (Acetogenesis).....	8
2.1.2.4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis).....	8
2.2 ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์.....	9
2.2.1 ความเป็นมาและลักษณะของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์.....	9
2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์.....	13
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์.....	15
2.2.3.1 อุณหภูมิ.....	15
2.2.3.2 พีเอช สภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย.....	15
2.2.3.3 สารอาหารเสริม.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3.4 สารพิษ.....	17
2.2.4 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบแอนแควโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์.....	18
2.3 ความสำคัญของไอออนโลหะกับจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	20
2.3.1 ประโยชน์และโทษของโลหะต่อระบบดำรงชีวิตแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	21
2.3.2 บทบาทและผลกระทบของการเติมธาตุникเกิดและโคบอลท์ ในระบบยูเอเอสพี.....	23
2.4 ระบบยูเอเอสพีแบบมีถังหมักกรด.....	25
2.4.1 ลักษณะทั่วไปของถังหมักกรด.....	25
2.4.2 ข้อดีของการมีถังหมักกรด.....	26
2.4.3 เกณฑ์การออกแบบถังหมักกรด.....	28
2.5 มลพิษที่เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานสุรา.....	30
2.5.1 สีนํ้าตาลเข้มข้นในนํ้ากากสุรา.....	30
2.5.2 การบำบัดนํ้ากากสุรา.....	33
2.5.2.1 กระบวนการบำบัดทางเคมี.....	33
2.5.2.2 กระบวนการบำบัดแบบเคมีไฟฟ้า.....	34
2.5.2.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ.....	35
บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย.....	41
3.1 แผนการทดลอง.....	41
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	43
3.2.1 ถังปฏิกรณ์ (ระบบแอนแควโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์).....	43
3.2.2 ถังพักน้ำเสียสังเคราะห์.....	43
3.2.3 ถังกรด.....	43
3.2.4 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์.....	43
3.2.5 เครื่องวัดก๊าซ.....	43
3.2.6 ตัวกลางภายในถังกรอง.....	44
3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	47
3.4 การดำเนินการทดลอง.....	47
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย.....	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 วิธีที่ใช้วิเคราะห์.....	52
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	53
4.1 ผลการทดลองการศึกษาวงเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของถังหมักกรด.....	53
4.1.1 ค่า พีเอช และค่าไออาร์พี.....	54
4.1.2 กรดระเหยง่ายและสภาพต่างทั้งหมด.....	56
4.1.3 ตะกอนแขวนลอยและตะกอนเวลาไหล.....	60
4.1.4 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี.....	62
4.1.5 สีและประสิทธิภาพการกำจัดสี.....	65
4.1.6 ค่า บีไอดี และค่า ทีไอซี.....	71
4.1.7 ค่ากรดระเหยง่ายจากการวิเคราะห์ด้วย GC.....	71
4.1.8 เปอร์เซ็นต์การหมักกรดในถังหมักกรด.....	74
4.2 การเลือกปัจจัยความเหมาะสมของเวลาเก็บกักของถังหมักกรด.....	74
4.3 ผลการทดลองการศึกษาระบบแอนแอมโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ.....	78
4.3.1 ค่าพีเอชและไออาร์พี.....	81
4.3.2 ค่ากรดระเหยง่ายและสภาพต่างทั้งหมด.....	83
4.3.3 ตะกอนแขวนลอยและตะกอนเวลาไหล.....	87
4.3.4 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี.....	92
4.3.5 สีและประสิทธิภาพการกำจัดสี.....	94
4.3.6 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ.....	97
4.3.7 ค่า บีไอดี และ ค่าทีไอซี.....	99
4.3.8 ค่ากรดระเหยง่ายจากการวิเคราะห์ด้วย GC.....	100
4.3.9 ค่าการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก.....	101
4.3.10 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	102
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	104
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	104
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	105
รายการอ้างอิง.....	106

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก.ผลการทดลองขั้นที่ 1.....	115
ภาคผนวก ข.ผลการทดลองขั้นที่ 2.....	138
ภาคผนวก ค.ผลวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วย GC.....	158
ภาคผนวก ง.ผลวิเคราะห์แก๊สชีวภาพด้วย GC.....	165
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	169



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าพลังงานอิสระและอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกปล่อยออกมาต่อการออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์.....	7
2.2 เปรียบเทียบระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน.....	6
2.3 ข้อดีข้อเสียของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์.....	14
2.4 บทบาทของโลหะบางตัวในปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	23
2.5 ค่าจุลศาสตร์ต่างๆ ของแบคทีเรียมีโซฟิลิก(Mesophilic Bacteria).....	26
2.6 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบถังหมักกรดสำหรับน้ำเสีย.....	29
ประเภทต่าง ๆ ในระบบบำบัดไร้ออกซิเจน	
2.7 คุณลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุรากรมสรรพสามิต.....	32
2.8 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าแห้ง.....	32
3.1 รายละเอียดการทดลองขั้นที่ 1.....	42
3.2 รายละเอียดการทดลองขั้นที่ 2.....	42
3.3 แสดงคุณสมบัติของตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง	44
3.4 ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ การทดลองขั้นที่ 1.....	50
3.5 ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ การทดลองขั้นที่ 2.....	50
4.1 ค่าเฉลี่ยพีเอชในสภาวะคงตัวของระบบ.....	54
4.2 ค่าเฉลี่ยไออาร์พีในสภาวะคงตัวของระบบ.....	56
4.3 ค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในสภาวะคงตัวของระบบ.....	58
4.4 ค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดในสภาวะคงตัวของระบบ.....	60
4.5 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยในสภาวะคงตัวของระบบ.....	60
4.6 ค่าเฉลี่ยตะกอนเวลาไหลในสภาวะคงตัวของระบบ.....	62
4.7 ค่าเฉลี่ยซีไอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ในสภาวะคงตัวของระบบ.....	65
4.8 ค่าเฉลี่ยสีและประสิทธิภาพการกำจัดสีในสภาวะคงตัวของระบบ.....	68
4.9 ค่าเฉลี่ยพีเอชในสภาวะคงตัวของระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ.....	81
4.10 ค่าเฉลี่ยไออาร์พีในสภาวะคงตัวของระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ.....	83
4.11 ค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในสภาวะคงตัวของระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ.....	85

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 ค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ.....	87
4.13 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ.....	89
4.14 ค่าเฉลี่ยตะกอนเวลาไหลในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ.....	89
4.15 ค่าเฉลี่ยซีไอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ.....	92
4.16 ค่าเฉลี่ยสี และประสิทธิภาพการกำจัดสีในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ.....	96
4.17 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซ และอัตราการผลิตมีเทน ในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ.....	98
4.18 ปริมาณโลหะหนักที่วัดได้จากการทดลอง และเปอร์เซ็นต์การใช้โลหะหนัก.....	101

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สັດส่วนของกาสรสร้าง (anabolism)และการทำสลาย (catabolism) สารอินทรีย์สำหรับการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน.....	4
2.2 ลำดับการเกิดปฏิกิริยาสำหรับระบบไร้ออกซิเจนของสารประกอบอินทรีย์ซับซ้อน (ตัวเลขคือสັດส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของซีไอดี)	10
2.3 ดังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์.....	12
2.4 ผลของปริมาณโลหะต่าง ๆ ต่อการทำงานของระบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	22
2.5 แสดงโครงสร้างของโคเอนไซม์ F430 ที่มีนิกเกิลเป็นไอออนศูนย์กลาง.....	24
2.6 แสดงโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยโคบอลต์ของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน	24
2.7 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา	31
3.1 ตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนที่ใช้ในการวิจัย.....	44
3.2 ดังปฏิกรณ์ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์.....	45
3.3 ก๊าซมิเตอร์ (GAS METER).....	46
3.4 ดังหมักกรดที่ใช้ในงานวิจัย.....	46
3.5 ผังการทดลองแบบเบตซ์ซ์ของดังหมักกรดในการหาค่าเวลาเก็บกักที่เหมาะสม.....	48
3.6 แสดงแผนผังการไหลของระบบยูเอเอสพีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ.....	49
4.1 ค่าพีเอชตลอดการทดลอง.....	55
4.2 ค่าไออาร์พีตลอดการทดลอง.....	57
4.3 ค่ากรดระเหยง่ายตลอดการทดลอง.....	59
4.4 ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลอง.....	61
4.5 ค่าตะกอนแขวนลอยตลอดการทดลอง.....	63
4.6 ค่าตะกอนเวลาไหลตลอดการทดลอง.....	64
4.7 ซีไอดีตลอดการทดลอง.....	66
4.8 เปอร์เซนต์การกำจัดซีไอดีตลอดการทดลอง.....	67
4.9 สีที่สามารถลดได้จากดังหมักกรดที่ภาาระบรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.....	68
4.10 ค่าสีตลอดการทดลอง.....	69
4.11 เปอร์เซนต์การกำจัดสีตลอดการทดลอง.....	70
4.12 ผลจากการวิเคราะห์ ทีไอซี ซีไอดี และ บีไอดี ตลอดการทดลอง.....	72
4.13 ผลจากการวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วยวิธี GC ตลอดการทดลอง.....	73

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์การหมักกรดตลอดการทดลอง.....	75
4.15 เปอร์เซนต์การกำจัดสีและเปอร์เซนต์การหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	76
4.16 เปอร์เซนต์การกำจัดสีและเปอร์เซนต์การหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	76
4.17 เปอร์เซนต์การกำจัดสีและเปอร์เซนต์การหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	77
4.18 เปอร์เซนต์การกำจัดสีและเปอร์เซนต์การหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	77
4.19 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรนำ.....	79
4.20 ภาพถังหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.....	80
4.21 ค่าพีเอชตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรนำ.....	82
4.22 ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรนำ.....	84
4.23 ค่ากรดระเหยง่ายตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรนำ....	86
4.24 ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ที่มีถังหมักกรรนำ.....	88
4.25 ค่าตะกอนแขวนลอยตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ที่มีถังหมักกรรนำ.....	90
4.26 ค่าตะกอนเวลาไหลตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ที่มีถังหมักกรรนำ.....	91
4.27 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรนำ.....	93
4.28 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิก ไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรนำ.....	94
4.29 ค่าสีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรนำ.....	95
4.30 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดสีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิก ไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรนำ.....	96
4.31 สีที่สามารถลดได้จากระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรนำ ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.....	97

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ตลอดการทดลองระบบบำบัดแอนแวนโรบิก ไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ.....	98
4.33 ผลการวิเคราะห์ ทีไอซี ซีไอดี และ บีไอดี จากการทดลองระบบบำบัดแอนแวนโรบิก ไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ.....	99
4.34 ผลการวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC จากการทดลองระบบบำบัดแอนแวนโรบิก ไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ.....	100
4.35 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของตะกอนจุลินทรีย์.....	103



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการผลิตสุร่าเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งใช้เชื้อยีสต์ในการหมัก และนำน้ำหมักมากลั่นเป็นสุร่า ส่วนที่เหลือจากการกลั่นเรียกว่าน้ำกากส่า (Distillery Slop) ซึ่งมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สูงมาก สีน้าตาลเข้มข้นในน้ำกากส่านั้นจะเกิดจากสารพวก คาราเมล (Caramel) และ เมลานอยดิน (Melanoidin) ซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก มีสภาพเป็นคอลลอยด์ และมีประจุลบ (Kato และ Tsuchida, 1981)

จากที่กล่าวข้างต้น น้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นแล้วยังคงมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงถึง 30,000-35,000 มก./ลิตร และยังคงมีความเข้มข้นของสีอยู่มาก (โรงงานสุร่าแสงโสม, 2535) ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมึระบบบำบัดที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์และสี ของน้ำกากส่า ซึ่งวิธีกำจัดสีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจาก คาราเมล และเมลานอยดินอยู่ในสภาพของคอลลอยด์ แต่ก็เป็นกรลึนเปลือ่งสารเคมีและทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงตามไปด้วย ดังนั้นระบบบำบัดที่เหมาะสมควรใช้ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic treatment) ซึ่งนอกจากเสียค่าใช้จ่ายต่ำแล้วระบบยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ (bio gas) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ด้วย แต่น้ำกากส่ามีส่วนที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากจึงนำกระบวนการโคเมตาบอลิซึม (Cometabolism) ร่วมกับการบำบัดในระบบไร้ออกซิเจน โดยใช้น้ำตาลเป็นสารอาหารปฐมภูมิ ซึ่งพบว่ามึประสิทธิภาพในการลดสีในน้ำกากส่าได้ดี (วันชัย, 2545) และนำไปผ่านระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก ไฮบริดฟิลเตอร์ (Anaerobic Hybrid Filter) มาทำงานร่วมกัน อย่างไรก็ตามน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดสามารถลดสีได้ไม่มากนัก ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเลือกใช้ถังหมักกรดน้ำระบบ แอนแอโรบิก ไฮบริดฟิลเตอร์ ซึ่งจากการวิจัยของ อำพรธณ (2543) พบว่า กรดอะซิติก ซึ่งเกิดจาก *Acetic acid Bacteria* สามารถลดสีของน้ำกากส่าได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งกรดนี้สามารถเกิดจากแบคทีเรียสร้างกรดในถังหมักกรด โดยถังหมักกรดไม่เพียงแต่สามารถลดสีของน้ำกากส่าได้บางส่วนแล้ว ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ในน้ำกากส่าด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่ทำงานร่วมกับถังหมักกรด
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำกากส่าด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่ทำงานร่วมกับถังหมักกรด
3. ศึกษาผลของการเติมธาตุไนโตรเจน และโคบอลต์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี และสีน้ำกากส่าด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์
4. ศึกษาอัตราภาวะบรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดซีโอดี และสีน้ำกากส่า

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้ทำที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ขนาด 13.85 ลิตรจำนวน 4 ถัง ที่เหมือนกัน และถังหมักกรดจำนวน 4 ถัง น้ำเสียที่ใช้จะเป็นน้ำเสียจากโรงงานสุราที่เป็นส่วนของน้ำกากส่า จากโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม การทดลองใช้ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิปกติ ตัวกลางที่ใช้ในการวิจัยเป็นตัวกลางพลาสติกที่มีขายในท้องตลาดสำหรับใช้ในงานบำบัดน้ำเสียจริงที่มีรูปร่างและพื้นที่ผิวแน่นอน

การทดลองนี้จะนำน้ำกากส่ามาเจือจางโดยน้ำประปาให้ได้ค่า ซีโอดี ตามที่ต้องการ และเติมน้ำตาลซึ่งเป็นสารอาหารปฐมภูมิให้มีอัตราส่วน ซีโอดีของน้ำกากส่าต่อซีโอดีของน้ำตาล เป็น 1:3 โดยในขั้นแรกทำการศึกษาระยะเวลาเก็บกักทางชีวศาสตร์ที่เหมาะสมของถังหมักกรดในแต่ละภาวะบรทุกอินทรีย์ และในขั้นต่อไปจะทำการป้อนน้ำเสียที่ผ่านถังหมักกรดที่ศึกษาระยะเวลาเก็บกักทางชีวศาสตร์ที่เหมาะสมแล้วผ่านไปสู่อ่างแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ซึ่งมีเวลาเก็บกักน้ำ 36 ชั่วโมงเท่ากันทุกการทดลอง ตะกอนจุลชีพที่ใช้ในระบบได้มาจากบริษัทปทุมธานีบริวเวอรี สารอาหารที่เติมได้แก่ธาตุไนโตรเจนและโคบอลต์ โดยเติมที่อัตราส่วน ซีโอดี ต่อ นิกเกิล และ ซีโอดี ต่อ โคบอลต์ เท่ากับ 100:0.01 และ 100:0.01 ตามลำดับ โดยทำการเติมภายหลังระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้วเป็นเวลา 10 วัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 จุดชีววิทยาของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบรีดิวซ์ ซึ่งมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งเป็นสารให้อิเล็กตรอน และสารอื่นเป็นสารรับอิเล็กตรอนหากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบใช้ออกซิเจน ออกซิเจนจะเป็นสารรับอิเล็กตรอน แต่หากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบไร้ออกซิเจน สารรับอิเล็กตรอนจะเป็นสารอื่นเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไนเตรต เป็นต้น

2.1.1 ข้อได้เปรียบของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการไร้ออกซิเจนมีหน้าที่ 2 ประการคือ บำบัดสลัดจ์ หรือสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์ และการบำบัดน้ำเสีย

2.1.1.1 ความต้องการพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย

ในระบบบำบัดไร้ออกซิเจนจะได้มีเทนเป็นพลังงานที่สำคัญ จำนวนของพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นสามารถประมาณได้ง่าย ๆ ดังนี้ สมมุติ 80 เปอร์เซ็นต์ของสารอินทรีย์ในน้ำเข้าของระบบบำบัดไร้ออกซิเจนจะถูกย่อยสลาย โดย 1 กก.ซีโอดี/วัน จะเปลี่ยนเป็นมีเทน 800 ก./วัน ซึ่งมีเทนจะให้ความร้อน $2.98 \text{ กค./ก.ซีโอดี}^*$ (ดูตารางที่ 2.1) = $2.98 \times 800 = 2400 \text{ กค./ก.ซีโอดี} = 117 \text{ วัตต์}$ คูณแฟกเตอร์ 0.3 เพื่อแปลงพลังงานนี้ไปเป็นรูปพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นพลังงานไฟฟ้า 35 วัตต์ นี้จะถูกสร้างได้จากสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/วัน

ส่วนการบำบัดโดยใช้ออกซิเจน ต้องการออกซิเจน(ตัวออกซิแดนท์) ซึ่งมันไม่ใช่สิ่งปกติที่มีในน้ำเสีย จึงต้องการอุปกรณ์ช่วยบางอย่าง เช่น ใช้เครื่องเติมอากาศทางกล โดยทั่วไป ความต้องการออกซิเจนต่ำสุดสำหรับการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมีค่าประมาณ 1 ใน 3 ของการย่อยสลายมวลซีโอดี อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติความต้องการนี้จะมีค่าสูงกว่าค่าในทางทฤษฎีเสมอ เนื่องจากการย่อยสลายตัวเองของมวลจุลินทรีย์ (endogeneous respiration) ระบบบำบัดโดยทั่วไปต้องการออกซิเจนสำหรับการออกซิเดชันสารอินทรีย์ประมาณ 0.5 ถึง 0.75 กก.ออกซิเจน/กก.ซีโอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการเดินระบบ ซึ่งหมายความว่า จะต้องการ ออกซิเจน 0.5-0.75 กก./วัน สำหรับสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/วัน สำหรับเครื่องเติมอากาศส่วนใหญ่ต้องการพลังงานสำหรับการ

เคลื่อนย้ายออกซิเจนจากบรรยากาศไปสู่ภูมิภาคน้ำของระบบน้ำเสีย 1 กว.-ชม./กก.ออกซิเจน** หรือ 42 วัตต์/กก.ออกซิเจน-วัน ยิ่งไปกว่านั้นต้องรักษาอัตราการถ่ายเทออกซิเจนไว้ที่ 0.5-0.75 กก.ออกซิเจน/วัน พลังงานที่ต้องการจะอยู่ในช่วง 20-30 วัตต์ ในทางตรงกันข้าม กระบวนการบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจน จะได้พลังงาน 35 วัตต์ สำหรับสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/วัน ดังนั้นมันจึงเป็นที่แน่ชัดว่าระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนมีข้อได้เปรียบกว่ามาก

*กก. คือ กิโลแคลอรี

**กว. คือ กิโลวัตต์

***1cal = 1.1632x10⁻⁶ kW-h (Metcalf & Eddy,1991)

2.1.1.2 การผลิตสัลดจ์

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทั้งหมดจะมีการผลิตสัลดจ์ส่วนเกินซึ่งจะต้องมีการกำจัดออกจากระบบ สัลดจ์เกิดจากส่วนผสมของของแข็งอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งมันเกิดจากฟล็อกกุเลชันของของแข็งแขวนลอยอนินทรีย์และเกิดการประสานรวมตัวกับส่วนผสมของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต และของแข็งอินทรีย์ที่ไม่ได้ถูกย่อยสลายทางชีวภาพที่มีจุดเริ่มต้นมาจากฟล็อกกุเลชันและการดูดติดของอนุภาคสารอินทรีย์และสิ่งที่เหลือจากการย่อยสลายตัวเองที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากแบคทีเรียสลายตัว

ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น สัมประสิทธิ์ยิลด์ (yield coefficient) และอัตราการสลายตัว สำหรับแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนสูงกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ในระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจน การผลิตสัลดจ์จะสูงขึ้นถ้าอาหารไม่ได้มีเพียงกรดไขมันระเหย (VFA) (0.02 มก.วีเอสเอส/กก.ซีโอดี) เพราะในปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปแบบไร้ออกซิเจน มีจุลินทรีย์หลายชนิดที่ทำงานเกี่ยวข้องกัน ดังนั้นการผลิตสัลดจ์ส่วนเกินในระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอาจจะมีค่าถึง 0.10 มก.วีเอสเอส/กก.-ซีโอดี ถ้าสัลดจ์ชีวภาพถูกผลิตจากสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน หรือ สูงกว่าเมื่อมีสารอินทรีย์ที่ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ

การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน	การย่อยสลายเพื่อสร้างมีเทน
การใช้ 33%	การใช้ 97%
การสร้าง 67%	การสร้าง 3%

รูปที่ 2.1 สัดส่วนของการสร้าง (anabolism)และการทำลาย (catabolism) สารอินทรีย์สำหรับการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน (Van Haandel และคณะ,1994)

ตารางที่ 2.1 ค่าพลังงานอิสระและอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาต่อการออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์ (Van Haandel และคณะ, 1994)

สารประกอบอินทรีย์	พลังงานอิสระที่ถูกปลดปล่อย			N _{el} (el/C-atom)
	กค./โมล (kcal/mol)	กค./ก.ซีโอดี (kcal/g COD)	กค./ก.ทีโอดี kcal/g TOC	
1 Oxalic acid	82	5.13	3.44	1
2 Formic acid	68	4.29	5.71	2
3 Citric acid	916	3.58	7.16	3
4 Glucose	686	3.57	9.53	4
5 Lactic acid	326	3.39	9.05	4
6 Acetic acid	207	3.23	8.62	4
7 Glycerine	387	3.45	9.39	4.67
8 Phenol	723	3.22	10.01	4.67
9 Ethylene glycol	281	3.51	11.69	5
10 Benzene	761	3.17	10.55	5
11 Acetone	410	3.20	12.18	5.33
12 Palmitic acid	2338	3.18	12.18	5.75
13 Cyclohexene	901	3.12	12.48	6
14 Ethylene	314	3.27	13.08	6
15 Ethanol	312	3.25	13.00	6
16 Methanol	165	3.44	13.76	6
17 Ethane	344	3.07	14.33	7
18 Methane	191	2.98	15.88	8

N_{el} คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมา

อัตราการสลายตัวที่ต่ำมากของจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญที่สุดของกระบวนการนี้ที่เหนือกว่าการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนสำหรับบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยเฉพาะที่มีการผลิตเป็นฤดู เช่น น้ำตาล มันฝรั่ง การผลิตไวน์ แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะยังคงมีชีวิตอยู่ได้หลายเดือนแม้ไม่มีการให้อาหาร ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะสลายตัวในสองสามสัปดาห์

ถึงแม้ว่าแบคทีเรียใช้ออกซิเจนจะมีการสลายตัวเร็ว แต่มวลชีวภาพจะยังสูงเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ยึดติดมีค่าสูง ของแข็งที่ถูกผลิตขึ้นจะยังคงมีสัดส่วนของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตสูง ซึ่งยังจะมีการสลายตัวต่อไปอีก ดังนั้นสลัดจ์ที่ถูกผลิตในระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ออกซิเจนจะไม่คงตัวถ้าไม่เก็บมันไว้ในที่พิเศษที่มีระบบเติมอากาศ (มากกว่า 30 – 50 วัน ขึ้นกับอุณหภูมิ) สัดส่วนของแบคทีเรียที่มีชีวิตจะลดลงถ้ามันอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนแต่ไม่มีอาหาร (ถังหมักเติมออกซิเจน) หรือ ในถังหมักไร้ออกซิเจน ที่ซึ่งสัดส่วนของของแข็งชีวภาพที่ถูกย่อยสลายได้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ขนาดของถังทำคงตัว (stabilisation tank) โดยทั่วไปมักจะมีขนาดพอๆ กับถังปฏิกรณ์ในระบบของมัน และค่าใช้จ่ายในการทำให้สลัดจ์คงตัวประมาณ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ ของค่าใช้จ่ายในการบำบัดทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกัน ของแข็งชีวภาพจากระบบบำบัดไร้ออกซิเจนจะมีความคงตัวดีกว่า ดังนั้น สลัดจ์ส่วนเกินจากระบบบำบัดไร้ออกซิเจนจึงไม่ต้องการระบบบำบัดเพิ่มเติมนอกจากการรีดน้ำออกจากสลัดจ์

มันเป็นที่แน่ชัดว่าธรรมชาติและสโตยคิโอเมตรีของระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบบำบัดที่ใช้ออกซิเจน ข้อได้เปรียบนี้สรุปไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน (Van Haandel และคณะ, 1994)

ข้อเปรียบเทียบ	ระบบใช้ออกซิเจน	ระบบไร้ออกซิเจน
ความต้องการพลังงาน (วัตต์/กก.ซีไอดี-วัน)	20-30	-35 (ได้พลังงาน)
การผลิตสลัดจ์ (กก.วีเอสเอส/กก.ซีไอดี)	0.2-0.3	0.05-0.15
ลักษณะของสลัดจ์ส่วนเกิน	ไม่คงตัว	มีเสถียรภาพ
ความทนทานของจุลินทรีย์เมื่อไม่มีอาหาร	น้อยกว่า 2 สัปดาห์	หลายเดือน

2.1.2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โมเลกุลใหญ่ที่ซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้เป็นก๊าซชีวภาพต้องการสารตัวกลางจากจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันหลายกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ที่ปรับปรุงจาก Gujer และ Zehnder, 1982 ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.2.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการแตกสลายโพลิเมอร์ (Polymer break-down) สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบละลายน้ำ โดยแบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอก โปรตีนจะถูกย่อยเป็นโพลีเปปไทด์ และกรดอะมิโนในที่สุด คาร์โบไฮเดรตจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาล (โมโนและไดแซคคาไรด์) และไขมันจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันชนิดยาว และกลีเซอรินโดยทั่วไปอัตราไฮโดรไลซิสสามารถจำกัดอัตราทั้งหมดในถังหมักไร้ออกซิเจน โดยที่อัตราการเปลี่ยนรูปของไขมันจะช้าลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

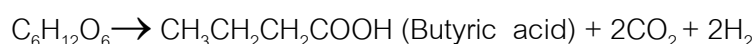
2.1.2.2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

สารประกอบละลายน้ำที่ถูกสร้างขึ้นในขั้น ไฮโดรไลซิสได้แก่ น้ำตาล กรด-ไขมัน และกรดอะมิโน จะถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์แบคทีเรียพวกสร้างกรด เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน โดยผ่านกระบวนการหมัก ภายในเซลล์ และเปลี่ยนรูปเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid) ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid) กรดบิวทิริก (Butyric acid) เป็นต้น รวมทั้งได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน โดยการเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยชนิดใดจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ และความดันย่อยของไฮโดรเจนในขณะนั้น เช่น การย่อยสลายน้ำตาลเป็นกรดอะซิติกโดยผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Emden-Meyerhoff Pathway ในกรณีที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจนสูงและต่ำเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

กรณีที่ความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ



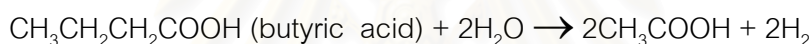
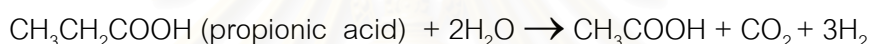
กรณีที่ความดันย่อยของไฮโดรเจนสูง



ส่วนกรดไขมันชนิดยาวจะเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน ภายใต้ความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ และเปลี่ยนเป็นกรดไพรูโพนิกและกรดบิวทิริกภายใต้ความดันย่อยไฮโดรเจนสูง

2.1.2.3 การสร้างอะซิเตต (Acetogenesis)

แบคทีเรียสร้างมีเทน ผลิตมีเทนโดยใช้กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมธิลลามีน แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมได้ ดังนั้นพวกแบคทีเรีย Acetogenic จึงมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างไฮโดรเจน (Hydrogen Producing acetogenic bacteria) สามารถเปลี่ยนกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมเช่น กรดบิวทิริก กรดไพรูโพนิก ให้เป็นกรด อะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ ดังสมการ



แบคทีเรียประเภทนี้จะมีส่วนช่วยไม่ให้เกิดการสะสมตัวของกรดบิวทิริก และกรดไพรูโพนิก ในถังปฏิกริยาซึ่งเป็นเหตุให้พีเอชลดต่ำลงจนยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้

2.1.2.4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

การสร้างมีเทนมักจะเป็นขั้นจำกัดอัตรา (rate limiting Step) ในกระบวนการหมักทั้งหมด (ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิต่ำอาจเป็นกระบวนการไฮโดรไลซิส) มีเทนถูกสร้างจาก อะซิเตต หรือจากการรับอิเล็กตรอนของคาร์บอนไดออกไซด์ (ไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน) โดยแบคทีเรียอะซิโตโทรฟิก (Acetotrophic) และไฮโดรจีโนโทรฟิก (Hydrogenotrophic) ตามลำดับ



แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จะโตเร็วกว่าพวกใช้อะซิเตต (Henzen และ Harremoes, 1983) ดังนั้นการสร้างมีเทนจากอะซิเตตจึงมักจะเป็นอัตราจำกัดการแปลงรูปของสารโมเลกุลใหญ่ที่ซับซ้อนในน้ำเสียให้เป็นก๊าซชีวภาพ

กลุ่มแบคทีเรียที่ต่างกันที่เกี่ยวข้องในการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ทั้งหมดในกระบวนการสร้าง (anabolic) และการทำลาย (catabolic) ก่อให้เกิดการปลดปล่อยผลิตภัณฑ์จากการหมักที่ต่างกัน

มวลชีวภาพใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปลงรูปทั้งสี่ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อความสะดวก สามกระบวนการแรก บางครั้งจะถูกรวมอยู่ด้วยกัน และเรียกว่าการสร้างกรด (acid fermentation) ในขณะที่ขั้นที่ 4 เรียกว่าการสร้างมีเทน (methane fermentation)

สิ่งสำคัญสองอย่างที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักไร้ออกซิเจน คือ

- การกำจัดสารอินทรีย์ (ซีไอดี) ระหว่างการสร้างกรดถูกจำกัดโดยการปล่อยไฮโดรเจน ดังแสดงในรูป 2.2 มีเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ของสารอินทรีย์เท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนจากการใช้ไฮโดรเจน ดังนั้น เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในระบบบำบัดไร้ออกซิเจนคือ การสร้างมีเทนจากอะซิเตตที่เพียงพอ

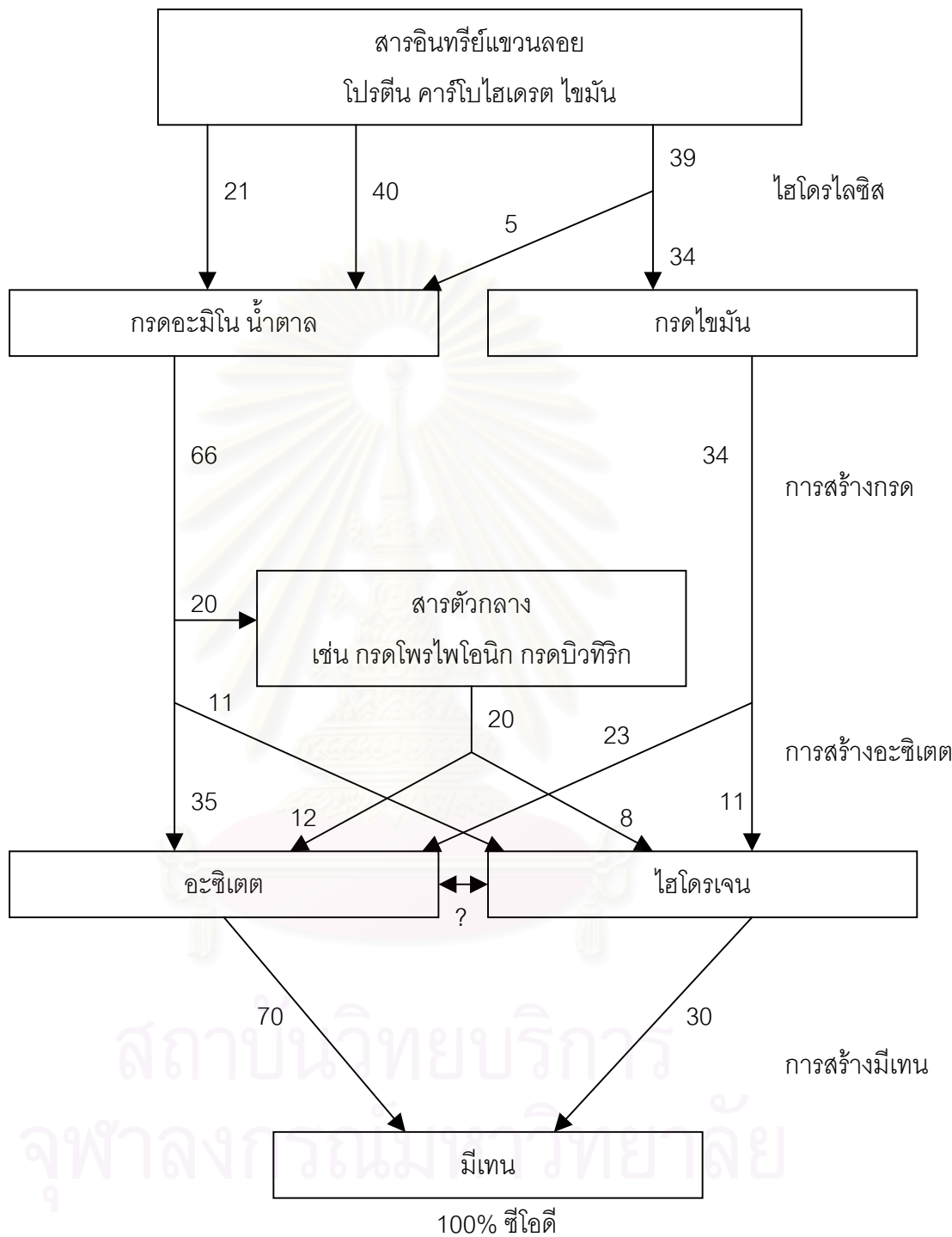
- การสร้างกรดทำให้พีเอชลดลงเนื่องจากการสร้างกรดไขมันระเหย และสารตัวกลาง (intermediates) อื่น ๆ ที่แตกตัวและให้โปรตอนในขณะที่การสร้างมีเทนจะเกิดขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าใกล้เคียง 7 เท่านั้น ดังนั้นความไร้เสถียรภาพอาจจะเกิดขึ้นได้เมื่ออัตราการกำจัดกรดโดยการสร้างมีเทนลดลงหลังจากการผลิตกรดเพิ่มขึ้น การสร้างกรดสุทธิจะทำให้พีเอชลดลง และนั่นจะทำให้การสร้างมีเทนลดลง โดยทั่วไปสิ่งนี้เรียกว่า การหมิ่นเปรี้ยว (souring) ที่มักจะเกิดในถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจน และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การเดินระบบล้มเหลว อันตรายจากกลิ่นเหม็นเปรี้ยวนี้อาจหลีกเลี่ยงได้โดยการรักษาสัดส่วนของการสร้างกรด และมีเทนให้สมดุลกัน ซึ่งทำได้โดยการรักษาสภาพต่าง และบีโพรไว้ในระดับสูง

2.2 ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์

2.2.1 ความเป็นมาและลักษณะของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์

-ถังกรองไร้อากาศ (anaerobic filter) ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Young และ McCarty ในปี 1969 โดยมีพื้นฐานจากพัฒนาในช่วงเริ่มแรกของ Coulter และคณะ, 1957 กระบวนการกรองไร้อากาศได้ถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอย่างมาก แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือระบบนี้จะเสียค่าใช้จ่ายของตัวกลางอย่างมากซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายไปกับโครงสร้างที่ต้องรับน้ำหนักมากเช่นกัน (Speece, 1983) ถังกรองไร้อากาศขนาดใหญ่ (full scale) มีการนำไปใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมมาก เทียบกับน้ำเสียชุมชนแทบจะไม่มีนำไปใช้

-ระบบยูเอเอสพีถูกพัฒนาขึ้นในช่วงทศวรรษ 1970 โดย Lettinga และคณะ ที่มหาวิทยาลัย Wageningen ในประเทศเนเธอร์แลนด์ แรกเริ่มระบบนี้ใช้กับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง โรงบำบัดขนาดใหญ่หลายแห่งกำลังเดินระบบอยู่และหลายแห่งก็กำลังก่อสร้าง โรงบำบัดขนาดใหญ่ที่กำลังเดินระบบอยู่นั้นอยู่ในประเทศเขตร้อน ส่วนในประเทศเขตอบอุ่นระบบนี้ยังอยู่ในขั้นการทดลองเท่านั้น



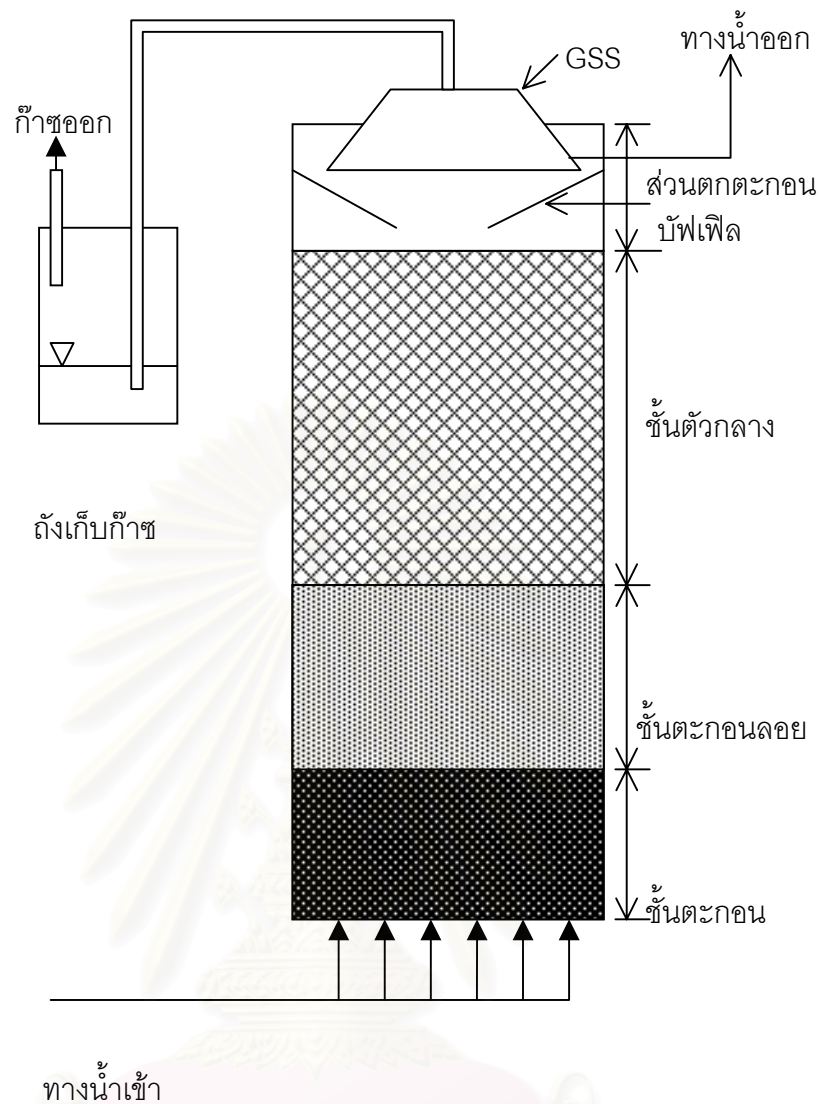
รูปที่ 2.2 ลำดับการเกิดปฏิกิริยาสำหรับระบบไร้ออกซิเจนของสารประกอบอินทรีย์ซับซ้อน (ตัวเลขคือสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของซีไอดี) (Van Haandel และคณะ, 1994)

- Guiot และ Vanden Berg (1984) ได้เริ่มทำการค้นคว้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบ แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่ประเทศแคนาดาซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของระบบยูเอเอสบี และถัง กรองไร้อากาศเข้าด้วยกันทำให้ระบบดังกล่าวสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำไปจนถึงสูง ได้ (Guiot และคณะ, 1984 นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงให้ระบบสามารถลดความสกปรก จากน้ำเสียชนิดต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการที่มีจุลชีพหลากหลายชนิดแตกต่างกันมาเจริญเติบโต ร่วมกันในตัวกลางพลาสติก ถึงแม้ว่าอัตราการเจริญของจุลชีพดังกล่าว จะช้าก็ตาม

ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์เริ่มเป็นที่นิยมในระยะ 10 ปีให้หลังมานี้ ไม่ได้เป็นที่นิยม เพียงแต่ในประเทศในแถบยุโรปเท่านั้น แต่ความนิยมยังมาถึงประเทศในกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียง ด้วย ซึ่งใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้ก็ยังคงไม่ เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารแขวนลอยสูง เพราะอาจเกิดการยับยั้งการเกิด เม็ดของสลัดจ์ ทำให้กิจกรรมการผลิตก๊าซมีเทนอ่อนแอลง

ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์จะประกอบไปด้วยชั้นของสลัดจ์อยู่บริเวณชั้นล่างของ ถังปฏิกรณ์ คล้ายกับระบบยูเอเอสบี และนอกจากนั้นยังมีชั้นของตัวกลาง (อาจใช้เป็นตัวกลาง พลาสติก) ที่ทำงานคล้ายกับถังกรองไร้อากาศจัดวางอยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ (Young และ McVarty, 1969) ซึ่งโดยทั่วไปนั้น ภายในระบบของยูเอเอสบีจะประกอบด้วยมวลชีวะ (Bioactivity) สูง ในขณะที่ชั้นตัวกลางพลาสติกจะเป็นที่เจริญเติบโตของจุลชีพชนิดเกาะติดซึ่งตัวกลางจะช่วยกัก เก็บมวลชีวะให้คงอยู่กับระบบโดยที่ประสิทธิภาพของระบบ จะขึ้นอยู่กับการสัมผัสน้ำเสียกับทั้ง จุลชีพที่แขวนลอยที่อยู่ในส่วนล่างและจุลชีพที่เกาะติดซึ่งอยู่ในส่วนบนของปฏิกรณ์

น้ำเสียจะเข้าสู่ระบบที่กั้นถังและไหลผ่านเข้าไปยังถังปฏิกรณ์ ซึ่งภายในถังจะเป็นมวลชีวะ เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเป็นจุลชีพพวก hydrolytic bacteria และ fermentative bacteria ซึ่งเจริญเติบโตอยู่บริเวณชั้นล่างของถังปฏิกรณ์ โดยที่การเติบโตของสลัดจ์เป็นสิ่งที่ สำคัญอย่างหนึ่งในระบบนี้ ดังนั้นระบบจึงควรมีการสะสมของมวลชีวะให้มากที่สุด (Punal และ คณะ, 1999)



รูปที่ 2.3 ถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ (Van Haandel และคณะ, 1994)

รูปที่ 2.3 เป็นแผนภาพแสดงระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์พร้อมกับส่วนประกอบที่สำคัญ ส่วนประกอบที่สำคัญคือ อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย หรือ GSS (Gas-Solid Separator) และชั้นตัวกลาง GSS จะติดตั้งอยู่ที่จุดบนสุดของถังปฏิกรณ์ คือที่โซนตกตะกอน น้ำเสียที่เข้ามาถังจะต้องไหลอย่างสม่ำเสมอจากทางด้านล่างของถัง ผ่านชั้นสลัดจ์และชั้นตัวกลาง เข้าไปยังโซนตกตะกอนจนไปถึงอุปกรณ์แยกก๊าซ ตะกอนแขวนลอย

ชั้นตัวกลางจะเป็นส่วนที่ป้องกันไม่ให้เกิดสลัดจ์จากชั้นสลัดจ์ซึ่งอาจจะมีฟองก๊าซเกาะอยู่ หลุดออกไปจากถังเพราะเมื่อมันมาชนกับชั้นตัวกลางเม็ดสลัดจ์ขนาดใหญ่จะตกกลับลงไปยังชั้นสลัดจ์อีก แต่ก็อาจจะมีฟล็อกของจุลินทรีย์ขนาดเล็กที่อาจจะหลุดลอยออกจากชั้นตัวกลางได้ซึ่งจะถูกดักไว้โดย GSS อีกต่อหนึ่ง

ผนังด้านข้างที่เอียงของ GSS ทำให้พื้นที่การไหลของของเหลวในโซนตกตะกอนเพิ่มขึ้น เมื่อของเหลวเข้าใกล้ผิวน้ำ ความเร็วไหลขึ้นของของเหลวจะลดลงเมื่อของเหลวไหลผ่านออกไป ตรงจุดที่ปล่อยน้ำออก ความเร็วของเหลวที่ลดลงทำให้ ฟล็อกของสลัดจ์ที่ไหลเข้ามายังโซนตกตะกอนสามารถรวมตัวกัน สลัดจ์ที่รวมตัวกันมากขึ้นที่ GSS จะหนักมากขึ้นและเมื่อน้ำหนักของมันมากกว่าแรงเสียดทานที่พยุงให้มันอยู่บนผิวน้ำเอียง ๆ ของ GSS ได้ มันก็จะตกลงไปในโซนย่อยสลายอีก กลายเป็นมวลส่วนหนึ่งของชั้นสลัดจ์ที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เข้ามา ดังนั้นการมี GSS อยู่ที่ส่วนบนของโซนย่อยสลาย ทำให้ระบบสามารถรักษาชั้นสลัดจ์ไว้ได้ ขณะที่ของแข็งแขวนลอยบางส่วนอาจหลุดออกไปได้

ฟองก๊าซจะขึ้นไปสู่ผิวของของเหลวและก๊าซซึ่งอยู่ภายใต้ GSS ผิวน้ำนี้อาจจะมีระดับเดียวกันกับผิวของอากาศและน้ำในโซนตกตะกอน หรืออาจจะมีระดับต่ำกว่าถ้ามีความดันของก๊าซอยู่ด้วย ฟล็อกของสลัดจ์ที่จับอยู่กับฟองก๊าซอาจ会上ไปจนถึงผิวของส่วนดักก๊าซ แต่มันจะตกลงมาสู่ชั้นตัวกลางเมื่อฟองก๊าซหลุดออกไปแล้ว

2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์

ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบัน รวมทั้งสามารถแยกเชื้อแบคทีเรีย เช่น พวก แบคทีเรียสร้างมีเทน ออกมาเป็นเชื้อบริสุทธิ์ได้สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของแบคทีเรียพวกไร้ออกซิเจน ได้มากขึ้น การใช้ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ในการบำบัดน้ำเสีย มีข้อดีข้อเสียดังตารางที่ 2.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ข้อดีข้อเสียของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. การก่อสร้างและควบคุมทำได้ง่าย	1. ระบบต้องการการดูแลและควบคุมอย่างใกล้ชิด
2. ไม่ต้องการใช้ไฟฟ้าและเครื่องจักรกลทำให้เงินลงทุนเริ่มแรกของระบบไม่มากนัก	2. ในบางสภาพต้องการแลกเปลี่ยนความร้อนเงินลงทุนเริ่มแรกของระบบจะสูง
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบขนาดเล็กไปจนถึงระบบขนาดใหญ่ได้	3. ระบบไม่สามารถใช้เป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์ในตัวเองได้เนื่องจากมีสารตัวกลางต่าง ๆ เหลืออยู่ทำให้น้ำออกมี BOD สูง
4. เกิดตะกอนน้อยและตะกอนที่ได้มีความคงตัวสูงสามารถทำ Dewatering ได้ง่าย	4. อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์ต่ำทำให้การตอบรับการเปลี่ยนแปลงของระบบช้า
5. สามารถหยุดระบบได้เป็นเวลานาน ระบบสามารถฟื้นตัวได้เร็ว เหมาะกับอุตสาหกรรมที่ทำงานเป็นฤดู	5. ระยะเวลาในการเริ่มต้นการทำงานของระบบใช้เวลานานกว่าระบบใช้อากาศ
6. ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้ ส่วนตะกอนใช้ทำปุ๋ยได้	6. ในระบบมีก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและน้ำทิ้งอาจมีสีดำจากสารประกอบโลหะซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น
7. ระบบต้องการอาหารเสริม ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส น้อยกว่าระบบใช้ออกซิเจน	7. ระบบกำจัด ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้น้อย
8. ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารพิษบางอย่างได้เช่นพวก Halogen Solvent	8. สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากจะยังคงเหลือไม่สามารถทิ้งโดยตรงได้
9. เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงและสามารถลดความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ	9. จะมีปัญหาเกี่ยวกับการกระจายน้ำ และเส้นทางการไหล ทำให้เกิดการไหลลัดวงจรและส่วนที่ไหลไปไม่ถึงจะเกิด Death zone
10. ตะกอนที่หลุดออกไปกับน้ำน้อยเนื่องจากมีตัวกรองกันขวาง	10. ระบบอาจเกิดการอุดตันภายในตัวกลางเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน ๆ

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์

2.2.3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

ระบบยูเอเอสบีสามารถแบ่งช่วงการทำงานในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ 3 ช่วงคือ

- ช่วงการทำงานของเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic) มีอุณหภูมิประมาณ 50-65 °C
- ช่วงการทำงานของมีโซฟิลิค (Mesophilic) มีอุณหภูมิประมาณ 20-45 °C
- ช่วงการทำงานของไซโคฟิลิค (psychrophilic) มีอุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C

แม้ว่าในช่วงเทอร์โมฟิลิค จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิค แต่นิยมให้แบคทีเรียอยู่ในช่วง มีโซฟิลิค ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน เนื่องจากพบว่าเทอร์โมฟิลิคจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่า ส่วนในช่วงไซโคฟิลิค มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นน้อยมาก และในส่วนของกระบวนการย่อยสลาย (Hydrolysis) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอจึงมีความสำคัญกว่า ที่จะให้มีอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด

2.2.3.2 พีเอช สภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย (pH, Alkalinity, Volatile fatty acid)

ค่าพีเอช สภาพความเป็นด่าง และกรดไขมันระเหย มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนต้องการพีเอชอยู่ในช่วงประมาณ 6.8-7.2 ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนแบคทีเรียชนิดที่สร้างกรดมักสามารถปรับตัวได้ในช่วงที่มีพีเอชกว้างกว่า คือประมาณ 5-8.5 ดังนั้นค่าพีเอชจึงมีความสำคัญต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนมากกว่า กรดไขมันระเหยที่ผลิตโดยพวกแบคทีเรียที่สร้างกรด ปกติควรมีค่าอยู่ในระบบประมาณ 200-400 มก./ล ในรูปของกรดอะซิติก โดยถ้าประมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะเป็นสัญญาณแสดงว่าระบบจะเสถียรสมดุล พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดโพรพิอิก มากกว่า 1000 มก./ล. จะแสดงความเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตจะเป็นตัวแสดงให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ (buffer capacity) ของระบบ ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำไม่พอเพียง ปริมาณของกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสภาพดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นถ้าระบบมีกำลังของบัฟเฟอร์มากพอ โดยทั่วไปในการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ควรมีสภาพความเป็นด่างประมาณ 2,000-5,000 มก./ล. และอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก) ต่อสภาพความเป็นด่าง ไบคาร์บอเนต

(มก./ล.ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) ซึ่งเป็นการแสดงค่ากำลังของบัพเฟอร์ทางหนึ่ง โดยถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังของบัพเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมากกว่า 0.8 แสดงว่ามีกำลังของบัพเฟอร์ต่ำ อาจทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงได้

สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมพีเอชของระบบได้แก่ ต่างแก่ไปคาร์บอเนต หรือ คาร์บอเนตให้แก่ระบบ ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้เติมให้ระบบเช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี เป็นการเติมไบคาร์บอเนตให้แก่ระบบโดยตรง แต่ราคามักจะสูงกว่าสารอื่น

2.2.3.3 สารอาหารเสริม (Nutrient)

การบำบัดด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนมีข้อดีอย่างหนึ่งคือ มีเซลล์จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นมาน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้น จึงต้องการสารอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสต่ำกว่า McCarty, 1964 กล่าวว่า จุลินทรีย์ต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอย่างน้อยควรมีอัตราส่วน $\text{BOD:N:P} = 100:1.1:0.2$ ในปัจจุบันพบว่าแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนต้องการธาตุบางอย่างในปริมาณน้อย แต่ขาดไม่ได้ มิฉะนั้นระบบไม่อาจดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพได้ ธาตุดังกล่าวได้แก่ เหล็ก โคบอลท์ นิกเกิล และซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์) แต่อย่างไรก็ดีการเติมธาตุดังกล่าวให้กับแบคทีเรียทำลำบาก เนื่องจากซัลไฟด์สามารถทำให้โลหะต่าง ๆ ตกผลึกแยกออกจากน้ำได้เช่น เหล็กรวมกับซัลไฟด์เป็นผลิตภัณฑ์ไม่ละลายน้ำ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ได้ ปัจจุบันอาจทำได้โดยเติม Yeast Extract หรือ Milorganite ให้แก่ระบบโดยตรง

2.2.3.4 สารพิษ (Toxic)

ในระบบบำบัดต้องไม่มีสารพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ อาทิเช่น ซัลไฟด์ โลหะหนักต่างๆ กลีโอกซินทรีย์ และแอมโมเนีย เป็นต้น ความรุนแรงของพิษขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้นๆ โดยถ้ามีความเข้มข้นมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่ใช้ในระบบ อย่างไรก็ตามสารพิษบางชนิดอาจทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียได้เมื่อมีความเข้มข้นที่เหมาะสม

- พิษของซัลไฟด์ ในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นอาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้หรือไม่ละลายน้ำขึ้นอยู่กับอิออนบวกที่รวมตัวอยู่ ซัลไฟด์ที่รวมตัวกับโลหะหนักจะไม่ละลายน้ำและตกตะกอนลงได้ จึงไม่เป็นอันตรายต่อจุลชีพ ส่วนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในรูปของกรดอ่อน ซึ่งสามารถแตกตัวได้

McCarty (1964) พบว่าจุลชีพในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนสามารถทนต่อซัลไฟด์ที่ละลายน้ำในปริมาณ 50-100 กรัมต่อลบ.ม. และสามารถทนได้ถึง 200 กรัมต่อลบ.ม. ถ้ามีการทำให้เคยชินเสียก่อน แต่ถ้าความเข้มข้นสูงมากกว่า 200 กรัมต่อลบ.ม. จะเป็นพิษต่อจุลชีพทันที

Eis และคณะ (1983) ได้ศึกษาผลของสารประกอบกำมะถัน พบว่าผลกระทบส่วนใหญ่ของกำมะถันต่อการทำงานของระบบคือ ทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งจะลดประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของระบบ ส่วนผลกระทบของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จะทำให้พีเอชลดลงและเพิ่มความต้องการในการเติมพวกต่างให้แก่ระบบ เพื่อรักษาพีเอชของระบบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับจุลชีพที่สร้างก๊าซมีเทน

- พิษของโลหะหนัก เช่น Cu Ni Cr Pb Zn Hg เป็นต้น อีออนของโลหะหนักเหล่านี้แสดงความเป็นพิษเมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย แต่ถ้ารวมตัวกับซัลไฟด์ จะได้เกลือซัลไฟด์ของโลหะหนักซึ่งอยู่ในรูปของตะกอนที่ไม่ละลายน้ำและไม่เป็นพิษต่อจุลชีพในระบบ

Lawrence และ McCarthy (1965) กล่าวว่า เมื่อซัลเฟตของทองแดง ($CuSO_4$) สังกะสี ($ZnSO_4$) นิกเกิล ($NiSO_4$) และเหล็ก ($FeSO_4$) ถูกป้อนเข้าสู่ระบบจะมีผลต่อการผลิตก๊าซเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะซัลเฟตจะถูกรีดิวส์ไปเป็นซัลไฟด์ ซึ่งสามารถรวมกับโลหะหนักกลายเป็นโลหะหนักซัลไฟด์ที่ไม่ละลายน้ำ

- พิษของแอมโมเนีย โดยทั่วไปปริมาณแอมโมเนียในระบบบำบัดไร้ออกซิเจน เกิดจากการย่อยสลายสารพวกที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีน และ ยูเรีย เป็นต้น ซึ่งแอมโมเนียที่เกิดขึ้นนั้นอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอีออน (NH_4^+) หรือในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และจะอยู่ในรูปไหนมากกว่ากันนั้นขึ้นอยู่กับพีเอชหรือความเข้มข้นของไฮโดรเจนอีออน

McCarty (1964) รายงานว่า ที่พีเอชสูงกว่า 7.4 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน 1,500 ถึง 3,000 กรัมต่อลบ.ม. จะมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของจุลชีพ และถ้าความเข้มข้นมากกว่า 3,000 กรัมต่อลบ.ม. จะเป็นพิษต่อจุลชีพที่ทุกๆค่าพีเอช

Hobson และ Shaw (1976) ได้ศึกษาอิทธิพลของแอมโมเนียไนโตรเจนกับจุลชีพ *ethanobacterium formicum* พบว่าขีดจำกัดของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อจุลชีพเป็นไปตามที่ McCarthy ได้รายงานไว้

- พิษของสารอินทรีย์ สารอินทรีย์บางชนิดมีผลยับยั้งหรือเป็นพิษต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนได้ เช่น พวกแอลกอฮอล์ สารประกอบประเภทอะโรมาติก และกรดไขมันที่มีโซ่ยาว เป็นต้น

Johnson และ Young (1976) กล่าวว่า ผลการยับยั้งของสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นพิษ มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติต่างๆ ของสารประกอบอินทรีย์นั้นๆ เช่น คุณสมบัติการละลายน้ำ การย่อยสลายทางชีวภาพ และคุณสมบัติการดูดซับ เป็นต้น

Noack (1980) ได้รายงานว่ามีปริมาณฟีนอล (Phenol) ร้อยละ 0.1-0.4 ของปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบ มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของระบบ และจะเป็นพิษทันทีเมื่อมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบ

2.2.4 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์

เนื่องจากระบบหลักที่ใช้งานทั่วไป (ยูเอเอสบี และยูเอเอฟ) ในแต่ละระบบก็มีจุดอ่อนตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ระยะเวลาจึงได้มีการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบ (hybrid system) ขึ้นมาเพื่อเอาจุดดีของแต่ละระบบหลักไปใช้รวมกัน

Guiot และ Vanden Berg (1984) ได้เริ่มทำการค้นคว้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ โดยใช้ถังหมักขนาด 4.25 ลิตร (เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 9.6 ซม. ความสูงของของเหลว 62 ซม.) ด้านบนเติมตัวถังกลางกรองมีปริมาตร 1/3 (filter media) ทำด้วยวงแหวนพลาสติกแบบสุ่ม ให้อยู่ในแผ่นตะแกรงกรอง และมีการเวียนน้ำกลับ (recycle) ประมาณ 5.4 เท่าของอัตราป้อนน้ำเสีย ทำการทดลองที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 5 ถึง 51 กก.ซีไอดี/ม³-วัน ด้วยน้ำเสียที่ทำจากน้ำตาลสังเคราะห์โดยมีค่าซีไอดี 2,500 มก/ล. อัตรากำจัดค่าซีไอดี สูงสุด 96% ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5 ถึง 25 กก.ซีไอดี/ม³-วัน เวลาเก็บกัก (HRT) เท่ากับ 13 ถึง 26 ชม. และได้ศึกษาการกวนผสมด้วย Tritium tracer ปรากฏว่ามีการผสมอย่างสมบูรณ์ทั่วทั้งถังอุณหภูมิในการหมัก 27°C

Guiot และ Vanden Berg (1985) ทดลองเพิ่มเติมโดยใช้ถังหมักแบบ แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ โดยใช้น้ำเสีย และสภาวะการทดลองเหมือนเดิม โดยพบว่าที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่ำกว่า 25 กก.ซีไอดี/ม³-วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีจะไม่ขึ้นกับค่า VSS แต่ถ้าอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงกว่า 25 กก.ซีไอดี/ม³-วัน ที่ VSS 20.2 กรัม/ลิตร อัตรากำจัดซีไอดีมีค่าคงที่ไม่เพิ่มตามอัตราป้อนสารอินทรีย์ แต่ที่ VSS 28.5 กรัม/ลิตร อัตรากำจัดซีไอดีจะเพิ่มตามอัตราป้อนสารอินทรีย์ นอกจากนี้ยังสรุปผลของสารอินทรีย์กับ VSS ที่มีประสิทธิภาพกำจัดซีไอดีเท่ากับ 96% ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5 ถึง 25 กก.ซีไอดี/ม³-วัน ประสิทธิภาพกำจัดซีไอดีเท่ากับ 63 % ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 36 กก.ซีไอดี/ม³-วัน ที่ VSS = 20.2 กรัมVSS/ลิตร และที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 64 % อัตราป้อนสารอินทรีย์ 51 กก.ซีไอดี/ม³-วัน ที่ VSS 28.5 กรัมVSS/ลิตร

Guiot และคณะ (1986) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระบบบยูเอเอสบีกับระบบ แอนแอโรบิก ไฮบริดฟิลเตอร์ โดยใช้ค่าซีโอดีต่างกัน (10.6 5.6 2.6 กรัมซีโอดี/ลิตร) การทดลองแบ่งเป็น 3 ช่วงอัตราเจือจาง ช่วงที่ 1 dilution rate 1.0 ลิตร/วัน (วันที่ 15 – 67) ช่วงที่ 2 dilution rate 1.9 ลิตร/วัน (วันที่ 68 ถึง 151) ช่วงที่ 3 dilution rate 3 ลิตร/วัน (วันที่ 152 ถึง 174) ตลอดเวลาทดลองอัตราสารอินทรีย์จะอยู่ประมาณ 10 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน ในช่วงแรกประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดีของระบบบยูเอเอสบี 95% ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ 96% ในช่วงที่สอง ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบบยูเอเอสบี 87% ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ 96% ในช่วงที่ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของบยูเอเอสบี 83% ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ยังคงที่ตลอดคือ 96% ส่วนการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ระบบบยูเอเอสบี 22.4 กรัม VSS/ลิตร ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ 25.2 กรัม VSS/ลิตร ขนาดตะกอนจุลินทรีย์เมื่อสิ้นสุดการทดลองระบบบยูเอเอสบีมีค่าเฉลี่ยขนาดตะกอน [(>3 มม. 11%) (3 – 2 มม. 32%) และ (2 – 1.2 มม. 58%)] ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์มีค่าเฉลี่ยขนาดตะกอน [(>3 มม. 23%) (3 – 2 มม. 35%) และ (2-1.2 มม. 42%)] จะสังเกตได้ว่าระบบบยูเอเอสบีมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบยูเอเอสบี

Crawford และ Teletzke (1986) ได้พัฒนาระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ขนาด industrial scale (2,500) น้ำเสีย 3,280 m^3 /วัน HRT 32 ถึง 47 ชม. ซีโอดีเฉลี่ย 11,000 mg/L . อัตราสารอินทรีย์ 6.1 กก.ซีโอดี/ m^3 -วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีที่ละลาย 72 และ 73% ตามลำดับ

Britz และคณะ (1990) ใช้ถังหมักระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ขนาด 1.9 ลิตร บำบัดน้ำเสีย leachate จาก municipal and landfill ซึ่งมีค่าซีโอดี 1,800 mg/L การทดลองในสภาวะมีโซฟิลิก mesophilic ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 90% ที่อัตราสารอินทรีย์ 14.53 kg . ซีโอดี/ m^3 -วัน และมากกว่า 80 % ที่อัตราสารอินทรีย์ 20.54 kg . ซีโอดี/ m^3 -วัน Biogas Yield อยู่ในประมาณ 5.11 และ 6.89 m^3/m^3 ที่ เวลาเก็บกัก (HRT) 1.2 และ 0.9 วันตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ของก๊าซที่ผลิตได้อยู่ระหว่าง 65 และ 75% ตามลำดับ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้น มากขึ้น เมื่อเกิดสภาวะ overload คือ propionic acid

Takashi และคณะ (1993) ได้ทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ในระดับโรงงาน นำร่องซึ่งมีปริมาตร 10.4 m^3 ตัวกลางกรองที่ใช้เป็น polypropylen ball rings อัตราสารอินทรีย์ สูงสุด 30 kg . ซีโอดี/ m^3 -วัน มีเวลาเก็บกัก (HRT) เท่ากับ 6 ชม. พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 95% บีโอดี เท่ากับ 70% กรดอินทรีย์ระเหยต่ำกว่า 60 mg/L .

Iza และคณะ (1992) ได้ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจากกองขยะชุมชนใน ส่วนของการปฏิบัติการจากระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ชนิดนำร่อง พบว่า ถ้าเราสามารถ

ทราบถึงองค์ประกอบของสัดส่วนสารอินทรีย์จะสามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น ที่ระยะเวลาพักเก็บทาง ชลศาสตร์ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า การเดินระบบในระยะเวลาสั้นก็ควรมีระบบบำบัดเบื้องต้นเพื่อกำจัดโลหะหนัก และลดปริมาณการเปลี่ยนไปเป็นแร่ธาตุของสลัดจ์ (sludge mineralization) โดยกิจกรรมจำเพาะของการผลิตมีเทน (specific methanogenic activity) ของสลัดจ์จะไม่ถูกระทบ

Tilche และคณะ (1994) ได้ทำการศึกษามูลของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ต่อการกำจัดสารอาหาร (nutrient removal) โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาดนำร่องในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงหมู ซึ่งระบบโดยรวมนั้นจะติดตั้งด้วยระบบย่อยสลายและระบบดีไนตริฟิเคชันลงไปด้วย น้ำเสียจะถูกกรองก่อน จะส่งเข้าไปยังระบบที่อุณหภูมิ mesophilic ซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสามารถกำจัดได้ร้อยละ 96 สำหรับซีไอดี ร้อยละ 92 สำหรับไนโตรเจนและ ร้อยละ 92 สำหรับฟอสฟอรัส ส่วนระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศสามารถลดปริมาณได้ 80% ของปริมาณที่มาจากระบบดีไนตริฟิเคชันทั้งหมด

Timur และ Ozturk (1997) ได้ทำการทดลองใช้ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์บำบัดน้ำเสียจากกองขยะชุมชนที่มีอายุประมาณ 3.5 ปี ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง โดยทำการทดลองที่สภาวะ mesophilic ตลอดระยะเวลา 20 เดือนของการทดลอง พบว่าเมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำเสีย ตั้งแต่ 1.25-4.49 กรัมที่ไอซีต่อลิตร ระยะเวลาพักเก็บทางชลศาสตร์ตั้งแต่ 5.1-0.9 วัน พบว่าระบบมีความสามารถในการกำจัดที่ไอซีถึง 81.4 % ที่ภาวะบรรทุกอินทรีย์ 1.2 กก.ที่ไอซี/ม.³-วัน และที่ระยะเวลาพักเก็บทางชลศาสตร์ 2.4 วัน โดยที่อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเกิดขึ้นเฉลี่ย 0.742 ลบ.ม.ของมีเทนต่อกิโลกรัมของที่ไอซีที่ถูกกำจัด

V.Blonskaja A.Menert และ R.Vilu (2003) ได้ทำการศึกษาระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกแบบ 2 ขั้นตอน โดยในขั้นแรกใช้ระบบแอนแอโรบิกฟิลเตอร์ และในขั้นที่สองใช้ระบบยูเอเอสบี กับน้ำเสียจากโรงงานสุรา โดยมีเวลาเก็บกักในขั้นแรก จาก 9 ถึง 19 วัน ที่ภาวะบรรทุกอินทรีย์ 2.5 ถึง 5.1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และในขั้นที่สองมีเวลาพักเก็บ 20 ถึง 39 วัน ที่ ภาวะบรรทุกอินทรีย์ 0.65 ถึง 2.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยการทดลองสามารถลด ซีไอดีได้ 54%และ93% ในแต่ละขั้นตอนตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละขั้นแรกและขั้นที่สอง เฉลี่ย 1 และ 6 ลิตร/วัน ตามลำดับ

2.3 ความสำคัญของไอออนโลหะกับจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ความสัมพันธ์ของไอออนโลหะกับจุลชีพนั้นมีการอ้างถึงกันอย่างกว้างขวางว่า มีหน้าที่ในการควบคุมความดันออสโมติก เป็นสารเชื่อมประสานโครงสร้าง (Structural Glue) เป็นหัวใจของ

คะตะลิสต์ของปฏิกิริยานับร้อยภายในเซลล์ Silva และ Williams (1991) กล่าวว่า จุลชีพนำโลหะเข้าเซลล์โดยไม่ได้เลือกชนิดแต่เป็นไปตามสภาพแวดล้อมที่เซลล์จุลชีพนั้นอาศัยอยู่ แต่นักวิจัยกลุ่มนี้เชื่อว่าจุลชีพมีความสามารถในการเลือกจับไอออนที่ไม่ต้องการออกจากเซลล์ได้ อย่างไรก็ตาม Collins และ Stotzky (1989) ได้สรุปว่ากลไกการขนส่งไอออนโลหะเข้าสู่เซลล์ของจุลชีพทั่วไปอาจแบ่งออกเป็นกลุ่มดังนี้

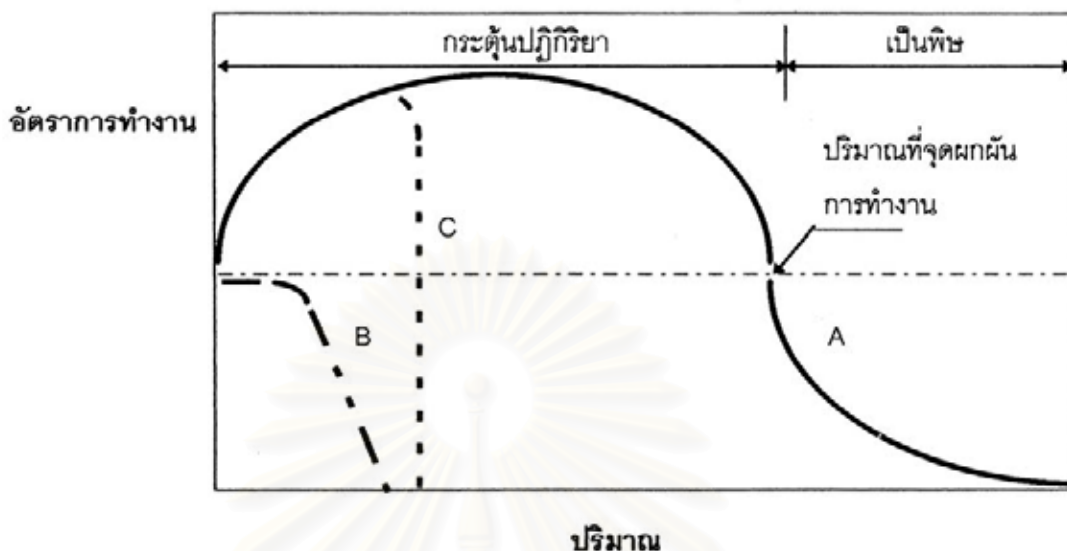
- 1) การอาศัยพาหะสำหรับไอออนสารอาหารที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตเช่น Mg^{+2} Ca^{+2} Mn^{+2}
- 2) ช่องทางเฉพาะเจาะจงสำหรับโลหะบางชนิด โดยการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับลิแกนด์เฉพาะ เช่น สารประกอบที่นำเหล็กเข้าเซลล์ (Siderphores หรือ ferrichromes)
- 3) ช่องทางเข้าที่ไม่เฉพาะเจาะจง โดยไอออนโลหะนั้นจะรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอาหาร แล้วเข้าสู่เซลล์โดยช่องทางการนำสารอาหาร
- 4) การอาศัยผ่านห่วงโซ่อาหาร โดยโลหะหนัก อาจถูกสะสมอยู่ในตัวจุลชีพและส่งต่อไปยังสิ่งมีชีวิตอื่น โดยตัวจุลชีพนั้นเป็นอาหาร

2.3.1 ประโยชน์และโทษของโลหะต่อระบบดำรงชีวิตแบบไม่ใช้ออกซิเจน

โดยทั่วไปในระบบไม่ใช้ออกซิเจน โลหะมีบทบาทดังนี้

- 1) เป็นคะตะลิสต์ต่อปฏิกิริยามากมาย
- 2) เป็นตัวช่วยลดหรือยับยั้งพิษของซัลไฟด์
- 3) เป็นสื่อกลาง(agent) ที่ช่วยจับสารอาหารเช่น ฟอสเฟต
- 4) เป็นสารพิษหรือตัวยับยั้งต่อจุลชีพ
- 5) เป็นตัวกระตุ้นการเพิ่มมวลจุลชีพจากการเป็นคะตะลิสต์ต่อปฏิกิริยาเช่น กระตุ้นการทำงานของจุลชีพสร้างมีเทนที่ใช้อะซิเตตเป็นอาหาร ช่วยในการรวมกลุ่มของจุลชีพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 ผลของปริมาณโลหะต่าง ๆ ต่อการทำงานของระบบไม่ใช้ออกซิเจน (Oleszkiewicz และ Sharma, 1990)

เส้นกราฟรูป A (—) แสดงผลของโลหะที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตในระบบจะเห็นได้ว่าหากเติมในปริมาณที่สูงเกินไปก็จะเป็นพิษต่อระบบได้ เช่น Ni Co Fe เป็นต้น

เส้นกราฟรูป B (—) แสดงผลของโลหะที่ไม่จำเป็นและเป็นพิษ ดังนั้นนอกจากจะไม่ช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบนั้น หากเติมมากเกินไปจะยับยั้งต่อปฏิกิริยาเช่น เบริลเลียม ดีบุก

เส้นกราฟรูป C (----) แสดงถึงปรากฏการณ์ที่มักเกิดในระบบที่เลี้ยงจุลชีพแบบคละพันธุ์ เช่น ถังย่อยตะกอน ที่การเพิ่มปริมาณโลหะขึ้นเรื่อยๆ จะช่วยกระตุ้นการทำงานแต่ถึงจุดหนึ่งก็ทำให้ระบบล้มเหลวอย่างฉับพลัน

จุลชีพที่สร้างมีเทนมีความต้องการสิ่งแวดล้อมบางอย่างที่เฉพาะตัว ที่อาจขาดไปในสภาวะปกติ ดังตารางที่ 2.4 ที่แสดงว่าธาตุบางอย่างที่จุลชีพต้องการในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล และซิลเฟอร์ (ในรูปของซัลไฟด์) จากการศึกษาของ Takashima และ Speece, 1988 ได้วิเคราะห์จุลชีพสร้างมีเทน 10 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณโลหะที่ประกอบในเซลล์ ดังนี้ $Fe \gg Zn > Ni > Co = Mo > Cu$

2.3.2 บทบาทและผลกระทบของการเติมธาตุเหล็กและโคบอลต์ในระบบยูเอเอสบี

การเจริญเติบโตของแบคทีเรียผลิตมีเทน นอกจากต้องการปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมเช่น อาหารเสริม และสภาพแวดล้อมที่พอเหมาะแล้ว แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนยังมีลักษณะพิเศษคือ มีความต้องการธาตุบางชนิด เช่น นิกเกิลและโคบอลท์ เป็นต้น ในปริมาณที่เล็กน้อย แต่ถ้าขาดอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงหรือล้มเหลวได้ ซึ่งนิกเกิลและโคบอลท์ เป็นธาตุ ทรานสิชันที่มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า บทบาทของนิกเกิลที่มีต่อแบคทีเรียผลิตมีเทน คือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโคเอนไซม์ F_{430} ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ซึ่งโคเอนไซม์ F_{430} แสดงดังรูปที่ 2.5 ความสำคัญของโคบอลท์ คือเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างระดับโมเลกุลของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ดังแสดงในรูปที่ 2.6

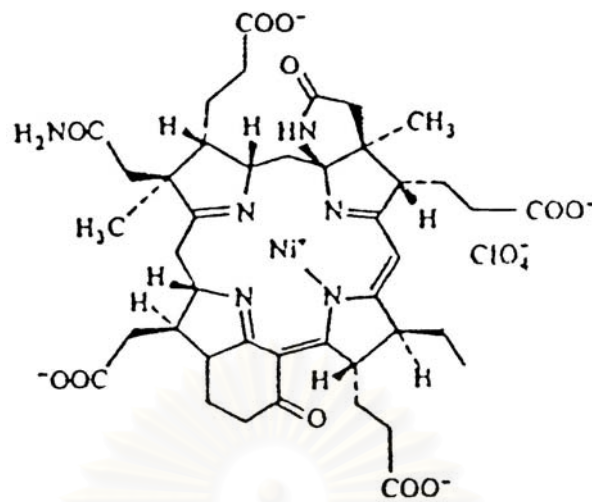
ตารางที่ 2.4 บทบาทของโลหะบางตัวในปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Oleszkiewicz และ Sharma,1990)

เลขอะตอม	โลหะ	หน้าที่	อ้างอิง
24	Cr	คาดว่าไม่จำเป็น	Brock et.al,1984
25	Mn	สร้างเสถียรภาพให้ methyltransferase, ปฏิกิริยารีดอกซ์	Fisher,1973 Perry&Silver,1982
26	Fe	ธาตุจำเป็นในไซโตโครม, ใน ferredoxin hydrogenase ,ใน CODH, ใน formate dehydrogenase(FDH)	Brock et. al ,1984
27	Co	พบในคอรีนอยด์, CODH	Schonhet et. al,1979
28	Ni	CODH ,การสังเคราะห์ Coenzyme A, โคแฟคเตอร์ F-430, CH_3 -CoM reductase, สร้างเสถียรภาพให้ DNA, RNA	Thauer et. al, 1980 Hausinger, 1987
29	Cu	Superoxide dimutase(SODM) และ hydrogenase ใน MPB, ใน Facultative anaerobes และ Clostridia	Kirby et al,1981 Jones et al,1987
30	Zn	Hydrogenase ใน MPB และ SRB, FDH, SODM	Kirby et al,1981 Adams et al,1986
34	Se	Hydrogenase, FDH ใน MPB และ Clostridia	Stadtman,1980 Jones&Stadtman
42	Mo	พบใน FDH, inhibitor ใน SRB	Schauer&Ferry,1982
74	w	พบใน FDH, ใน 20 MPB, จำเป็นใน acetogenic Clostridia, มีผลหักล้างกับ Mo	Ljungdahl& Andreesen,1975

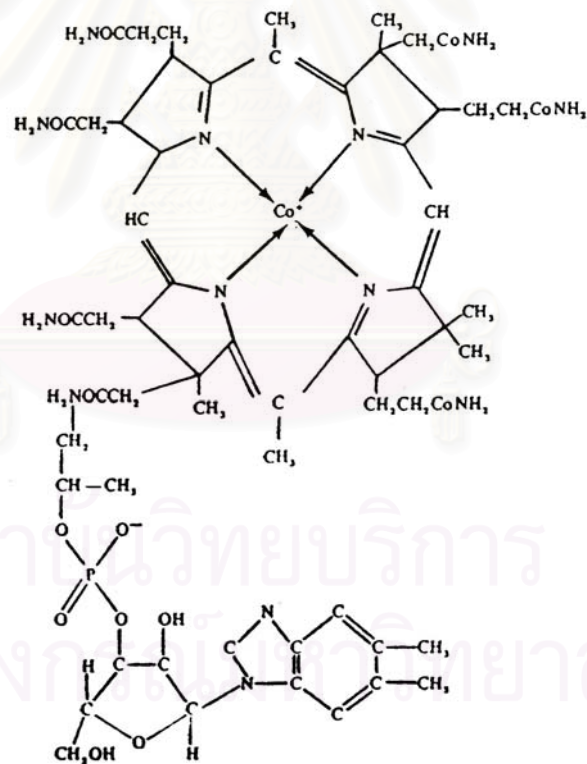
โดยที่ CODH คือ CO dehydrogenase FDH คือ Formate dehydrogenase

SODH คือ Superoxide dimutase MPB คือ Methane producer

SRB คือ Sulfate reducing bacteria



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของโคเอนไซม์ F₄₃₀ ที่มีนิกเกิลเป็นไอออนศูนย์กลาง
(Silva&Williams,1991)



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยโคบอลท์ของแบคทีเรียที่ผลิตวิตามิน (Stafford,
1980)

ชำนาญ (2538) พบว่าประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียสับปะรดที่มีความเข้มข้นสูง จะสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเติมธาตุ นิกเกิลและโคบอลต์ ที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 9 และ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยใช้อัตราส่วน ซีไอดีต่อนิกเกิล และ ซีไอดีต่อโคบอลต์ เท่ากับ 100 ต่อ 0.01 และ 100 ต่อ 0.01 ตามลำดับ ผลของการเติมธาตุนิกเกิลและโคบอลต์ทำให้ลดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหย โดยเฉพาะกรดโพโรไพออนิก

ณรงค์ศักดิ์ (2539) พบว่าการเติมโคบอลต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีได้อย่างมาก และทำให้ตะกอนมีสีดำคล้ำ ขณะที่การเติมนิกเกิลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเช่นกันแต่ไม่โดดเด่น ในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำสับปะรดเข้มข้น ที่ภาวะบรรทุก 12 และ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และมีอัตราส่วนของ ซีไอดีต่อไอออนของนิกเกิล และโคบอลต์ที่เติม เท่ากับ 100:0.008:0.008 ตามลำดับ

2.4 ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังหมักกรด

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของถังหมักกรด

ระบบไร้ออกซิเจน เป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งแบคทีเรียที่มีความสำคัญสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ แบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งมีความแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องของสภาพทางกายภาพ ความต้องการอาหาร อัตราการเจริญเติบโต และความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมต่างกัน แบคทีเรียที่สร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว ทำให้เจริญเติบโตอยู่ในลักษณะฟล็อกได้ง่าย ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ในขณะที่แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้า ทำให้สามารถเจริญเติบโตอยู่ในลักษณะที่แน่นได้ ค่าจลศาสตร์ต่าง ๆ ของแบคทีเรียแสดงในตารางที่ 2.5 การเจริญเติบโตของแบคทีเรียหลายชนิดเหล่านี้ในถังปฏิกรณ์ไบโอเดียว ย่อมจะต้องเกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมกับแบคทีเรียกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในที่สุด ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลง ในทางทฤษฎี การแยกระบบออกเป็น 2 ขั้นตอน จะทำให้ระบบแต่ละขั้นตอนมีประสิทธิภาพสูงสุดในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับแบคทีเรียแต่ละชนิด

Pohland และ Ghost ,1971 อ้างถึงใน Fang และคณะ,1995 ได้แนะนำให้แยกระบบไร้ออกซิเจนเป็น 2 ถังปฏิกรณ์ ถังไบแรกสำหรับขั้นตอนไฮโดรไลซิส และขั้นตอนการสร้างกรด ขั้นตอนทั้งสองนี้ไม่สามารถแยกออกจากกันได้โดยเด็ดขาด เนื่องจากแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องเป็นชนิดเดียวกัน ส่วนถังไบที่ 2 สำหรับการสร้างอะซิติกและขั้นตอนการสร้างมีเทน เพราะแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกต้องอาศัยแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารอาหาร ช่วยรักษาความดัน

พาร์เซียลของไฮโดรเจนให้ต่ำเพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ และการแยกถังออกจากกันโดยสมบูรณ์ไม่มีความจำเป็น การควบคุมระบบทำได้ยาก (Lettinga และ Hulshoff, 1991)

ตารางที่ 2.5 ค่าจลศาสตร์ต่างๆ ของแบคทีเรีย Mesophilic (Thaveesri, 1994)

แบคทีเรีย	สารอาหาร	q (gCOD/gVSS.d)	K _s (mgCOD/l)	μ _{max} (d ⁻¹)	b (d ⁻¹)	Y (gVSS/gCOD)
Acidogenic	คาร์โบไฮเดรต	1.33-70.6	22.5-630	7.2-30	6.1	0.14-0.17
Acetogenic	C ₅ , C ₄ , C ₃ กรดไขมัน	6.2-17.1	12-500	0.13-1.2	0.01-0.027	0.025-0.047
Methanogenic	กรดอะซิติก	2.6-11.6	11-421	0.08-0.7	0.004-0.037	0.01-0.054
	H ₂ /CO ₂	1.92-90	4.8x10 ⁻⁵ -0.6	0.05-4.07	0.088	0.017-0.054
Methanosaeta Sohngeniei	กรดอะซิติก	3.7-8.0	30-45	0.11-0.16	-	0.02-0.03
Methanosarcina barkeri	กรดอะซิติก	8.8-15	320	0.44-0.60	-	0.04-0.05

2.4.2 ข้อดีของการมีถังหมักกรด

การแยกแบคทีเรีย 2 กลุ่มดังกล่าวข้างต้นมีข้อดีหลายประการ ทั้งในเรื่องกำลังของบัพเฟอร์ที่ต้องเติมให้ สารอาหารที่เพียงพอสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน และยังสามารถรับภาระบรรทุกอินทรีย์เพิ่มขึ้นอีกด้วย เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง และน้ำเสียที่มีความซับซ้อนมากและเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง

ถังหมักกรดป้องกันถังสร้างมีเทน จากสภาวะที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรียมีเทนเช่น การเพิ่มภาระอินทรีย์ของระบบอย่างกะทันหัน การมีสารพิษเข้าสู่ระบบ หรือจากสภาวะที่แปรปรวน ต่าง ๆ (Ghosh และคณะ, 1975; Bull และคณะ, 1984) ทั้งนี้เป็นเพราะแบคทีเรียสร้างกรดสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า Malaspina และคณะ (1996) พบว่าถังหมักกรดช่วยให้ค่าพีเอชของระบบคงที่ เพิ่มเสถียรภาพให้ระบบในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเนยแข็ง ขณะที่ Shin และคณะ (1992) พบว่าถังหมักกรดสามารถลดปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงกลั่นเหล้าได้ถึง 35-65% การลดลงของปริมาณซัลเฟตในถังหมักกรด คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการที่ซัลเฟตสามารถหลุดออกมาจากถังหมักกรดได้ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ค่าพีเอชในถังประมาณ 6.5 Lettinga และ Hulshoff (1991) กล่าวว่าถังหมักกรดในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแป้งมันฝรั่ง เพื่อใช้กำจัดซัลไฟด์และโปรตีนในน้ำเสีย ซึ่งซัลไฟด์เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ ส่วนโปรตีนทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ พีรพงษ์, 2530 ศึกษาการบำบัด

น้ำเสียจากโรงงานผลิตนม ถั่วเหลืองและน้ำอัดลมด้วยระบบ ยูเอเอสบี พบว่าการใช้ถังหมักกรดช่วยลดปัญหาจากน้ำเสียที่ค่อนข้างเป็นพิษเนื่องจากยาฆ่าเชื้อโรคและน้ำยาทำความสะอาด

การมีถังหมักกรดทำให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นได้ ซึ่งเป็นผลมาจากโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในถังมีเทนน้อยลง อีกทั้งน้ำเสียยังถูกย่อยให้เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายต่อได้อย่างรวดเร็วในถังสร้างมีเทน (Cohen และคณะ, 1982; Sutton และคณะ, 1994; Bull และคณะ, 1984; Aoki และคณะ, 1991; Stadlbauer และคณะ, 1994)

ถังหมักกรดช่วยป้องกันการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของแบคทีเรียสร้างกรด เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวของระบบไร้ออกซิเจน (anaerobic bulking) ในถังสร้างมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้เร็วกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนและผลิตสารโพลี-เมอร์ (extracellular polymer) ออกมาจำนวนมาก (Yoda และคณะ, 1989) จากการศึกษาพบว่าถังสร้างกรดจำเป็นสำหรับระบบที่ภาระสูง ๆ เพื่อป้องกันการเกิดการหลุดออกของเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ เนื่องจากมีแบคทีเรียสร้างกรดแบบเส้นใยจำนวนมากเกิดขึ้นในระบบ (Whitsuki และคณะ, 1992; Alphenaar, 1994)

นอกจากนี้ ถังหมักกรดยังช่วยป้องกันผลเสีย อันเนื่องมาจากอนุภาคแขวนลอยเข้าไปในระบบ ซึ่ง Lettinga และ Hulshoff, 1991 กล่าวว่า ในระบบยูเอเอสบีการมีอนุภาคแขวนลอยปริมาณสูงในน้ำเสียมีผลต่อการทำงานของระบบ โดยอนุภาคแขวนลอยจะติดผิวแบคทีเรียที่เป็นฟล็อก ชัดขวางการรวมตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้การเจริญเติบโตของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ช้า และเม็ดตะกอนรวมตัวไม่แข็งแรง อนุภาคแขวนลอยย่อยสลายยากและสะสมในชั้นตะกอนจุลินทรีย์ จะทำให้การทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนต่อปริมาณลดลง เพราะปริมาณตะกอนในชั้นตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคแขวนลอยที่สะสมแทนที่จะเป็นจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ ทั้งนี้เพราะสภาพเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไม่แข็งแรง จนมีความหนาแน่นของเม็ดตะกอนลดลง กรณีที่อนุภาคแขวนลอยเป็นพวกไขมันก็จะทำให้เกิดการลอยตัวและหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ได้เช่นกัน ในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีถังหมักกรด การย่อยสลายอนุภาคแขวนลอยจะเกิดขึ้นในถังหมักกรดก่อน เป็นการป้องกันอนุภาคแขวนลอยสะสมในถังสร้างมีเทน (Ghosh และคณะ, 1975; Lettinga และคณะ, 1986; Sayed และคณะ, 1993) กล่าวคือถังหมักกรดช่วยเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้กลายเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำและย่อยสลายง่าย Endo และ Tohya, 1985 พบว่าถังหมักกรดช่วยแก้ปัญหการเกิดขึ้นสแก้มลอยในการบำบัดน้ำเสียไฮโครก ป้องกันการหลุดออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ

ถึงหมักกรดยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพอื่น ๆ ทำให้ประหยัด ทั้งนี้เพราะถึงหมักกรดจะเปลี่ยนน้ำเสียที่ซับซ้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นกรดไขมันระเหยอย่างง่ายสำหรับเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ในระบบ เช่น ระบบ Biological Nutrient Removal และระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน (Alexiu และคณะ, 1994)

2.4.3 เกณฑ์การออกแบบถังหมักกรด

Lettinga และ Hulshoff (1991) แนะนำให้ใช้ถังกวนผสมอย่างสมบูรณ์เป็นถังหมักกรด และพักน้ำเสีย (balance tank) ที่มีอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถดัดแปลงนำมาใช้เป็นถังหมักกรดได้ Alexiu และคณะ (1994) แนะนำให้ใช้ถังหมักกรดเป็นแบบง่ายที่สุด ทั้งในด้านการออกแบบและดำเนินการ และไม่ควรจะมีค่าลงทุนและค่าดำเนินการที่สูงจนเกินไป

1) อุณหภูมิและพีเอช

อุณหภูมิที่เหมาะสมของของถังหมักกรดขึ้นกับค่าพีเอชที่เลือกใช้ Zoetemeyer และคณะ, 1982a, 1982b กล่าวว่า อุณหภูมิของถังหมักกรดควรอยู่ในช่วง mesophilic หรือ thermophilic โดยช่วง mesophilic จะมีส่วนประกอบของกรดที่คงที่กว่า โดยส่วนประกอบของกรดจะขึ้นกับอุณหภูมิและอัตราส่วนการเจือจาง ค่าพีเอชที่เหมาะสมของถังหมักกรดอยู่ระหว่าง 5.8-6.2 และอัตราการสร้างกรดจะลดลงอย่างรวดเร็วที่พีเอชต่ำกว่า 5 (Lettinga และ Hulshoff, 1991)

2) ระยะเวลาพักน้ำ

Lettinga และ Hulshoff (1991) แนะนำว่าระยะเวลาพักน้ำในถังหมักกรดควรอยู่ระหว่าง 6 ถึง 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยเลือกระยะเวลาพักน้ำที่ทำให้เกิดการหมักกรด 20-40% การทำให้เกิดกรดโดยสมบูรณ์ไม่ใช่สิ่งจำเป็น ซึ่งทำให้ต้องเสียเงินลงทุนและเสียค่าดำเนินการที่สูงขึ้นและยังเป็นผลเสียต่อระบบ เนื่องจากอาจมีแบคทีเรียสร้างกรดจำนวนมากปนเข้าไปในถังสร้างมีเทน ทำให้เกิดผลเสียต่อเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์และการทำงานของระบบได้

การเลือกเวลาพักน้ำของถังหมักกรด ขึ้นกับระยะเวลาที่ทำให้เกิดปริมาณกรดที่เหมาะสมคือไม่ก่อให้เกิดผลเสียกับระบบสร้างมีเทนในขั้นต่อไป โดยต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมากแต่ปริมาณกรดที่ได้ไม่แตกต่างกันนักด้วย เช่น Alexiu และคณะ (1994) พบว่าเวลาพักน้ำเสียในถังหมักกรดจากการผลิตกาแฟ 24 ชั่วโมงจะเกิดกรด 50% ในขณะที่เวลาพักน้ำ 6 ชั่วโมง จะเกิดกรด 40% การลดเวลาพักน้ำส่งผลให้ขนาดของถังลดลง เป็นการประหยัดการลงทุนทางหนึ่ง ดังนั้นการศึกษาระยะเวลาพักน้ำที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียแต่ละชนิด เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบถังหมักกรดสำหรับการใช้งานจริงต่อไป

ถึงหมักกรดไม่มีเกณฑ์การออกแบบตายตัว ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ อาศัยจากการศึกษาที่ผ่านมา โดยขึ้นกับลักษณะและชนิดของน้ำเสียแต่ละประเภท ค่าพารามิเตอร์ของถึงหมักกรดที่ใช้ในการศึกษาต่าง ๆ ที่ผ่านมาแสดงในตารางที่ 2.6

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเวลากักน้ำที่เหมาะสมส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 12 ชั่วโมง (Alexiou และคณะ, 1994)

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบถึงหมักกรดสำหรับน้ำเสียประเภทต่าง ๆ ในระบบบำบัดไร้ออกซิเจน (รวบรวมโดยเนตรนภา, 2540)

ประเภทน้ำเสีย	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	เวลากักน้ำ (ชั่วโมง)	การเกิดกรด	อ้างอิง
กลูโคส	6.0	37	-	-	Zoetemeyer, 1982a, 1982b
	5.8	30	24	-	Alphenaar, 1994
น้ำตาล	4.8	30	3	-	Lettinga, 1980
แป้งมันสำปะหลัง	4.5-4.7	30-32	12	1200 mg/l	Lwin, 1996
	7.0	37	24	-	ธาดา, 1987
กาแฟ	6.0	37	6	40-50%	Alexiou, 1994
	4.5	45	3	-	Lozuchowska, 1995
กากน้ำตาล	4.0-5.0	35-37	4.7	60%	Yoda, 1997
	6	35	3.4	50%	Romli, 1994
น้ำเสียชุมชน	-	18	4	-	Sayed, 1993
เนยแข็ง	6.5	-	-	23-28%	Malaspina, 1996
	4.5	35	9.6	70%	Garcia, 1991
โรงเบียร์	5.9±0.3	32	7±2	20%	Stadlbauer, 1994
มูลหมู	-	36	4	-	Cseh., 1984
นมผง	5.0-5.5	35	12	85%	Anderson, 1994
แป้ง	6.2	35±2	12	67%	Zhang, 1994

2.5 มลพิษที่เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานสุรา

น้ำทิ้งจากโรงงานสุราส่วนใหญ่จะมาจากกระบวนการผลิตสุราในแต่ละขั้นตอน ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งสามารถแบ่งน้ำเสียจากโรงงานสุรา แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- น้ำเสียประเภทเจือจาง ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำที่มีอุณหภูมิสูง น้ำล้างพื้น
- น้ำเสียประเภทเข้มข้น ได้แก่ น้ำกากสา น้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูง ได้แก่ น้ำจากการพ่นเข้า (Blow Down) เครื่องกำเนิดไอน้ำ และน้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็นในหม้อสำหรับทำให้น้ำกลายเป็นไอ (Condenser) ของเครื่องกลั่นสุรา

น้ำกากสาเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ของโรงงาน ซึ่งเหลือทิ้งจากระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการหมัก จากรายงานของ Underkofler และ Hickley (1954) พบว่าน้ำกากสาโดยทั่วไปมีความเป็นกรด อุณหภูมิสูง มีสีเข้ม ของแข็งที่ละลายอยู่มีประมาณ 7-10 เปอร์เซ็นต์ และมีสารอินทรีย์อยู่สูง ซึ่งมีค่า บีโอดี สูงถึง 18,000-30,000 มิลลิกรัม / ลิตร

ไชยยุทธ และคณะ (2524) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของน้ำกากสาจากโรงงานสุรา 32 โรงงาน ในความควบคุมของกรมสรรพสามิต พบว่ามีความเป็นกรดและอุณหภูมิสูงมาก ค่า บีโอดี สูงถึง 27,475 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า ซี.ไอ.ดี. สูงถึง 118,098 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงใน ตารางที่ 2.7

สำหรับต่างประเทศ เช่น ในยุโรปได้นำน้ำกากสาไปทำให้เข้มข้นหรือทำให้แห้งเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ (Underkofler และ Hickley, 1954; Chang และ Hong, 1984; Wang และคณะ 1980) ซึ่งองค์ประกอบของน้ำกากสาที่ทำให้แห้ง แสดงในตารางที่ 2.8

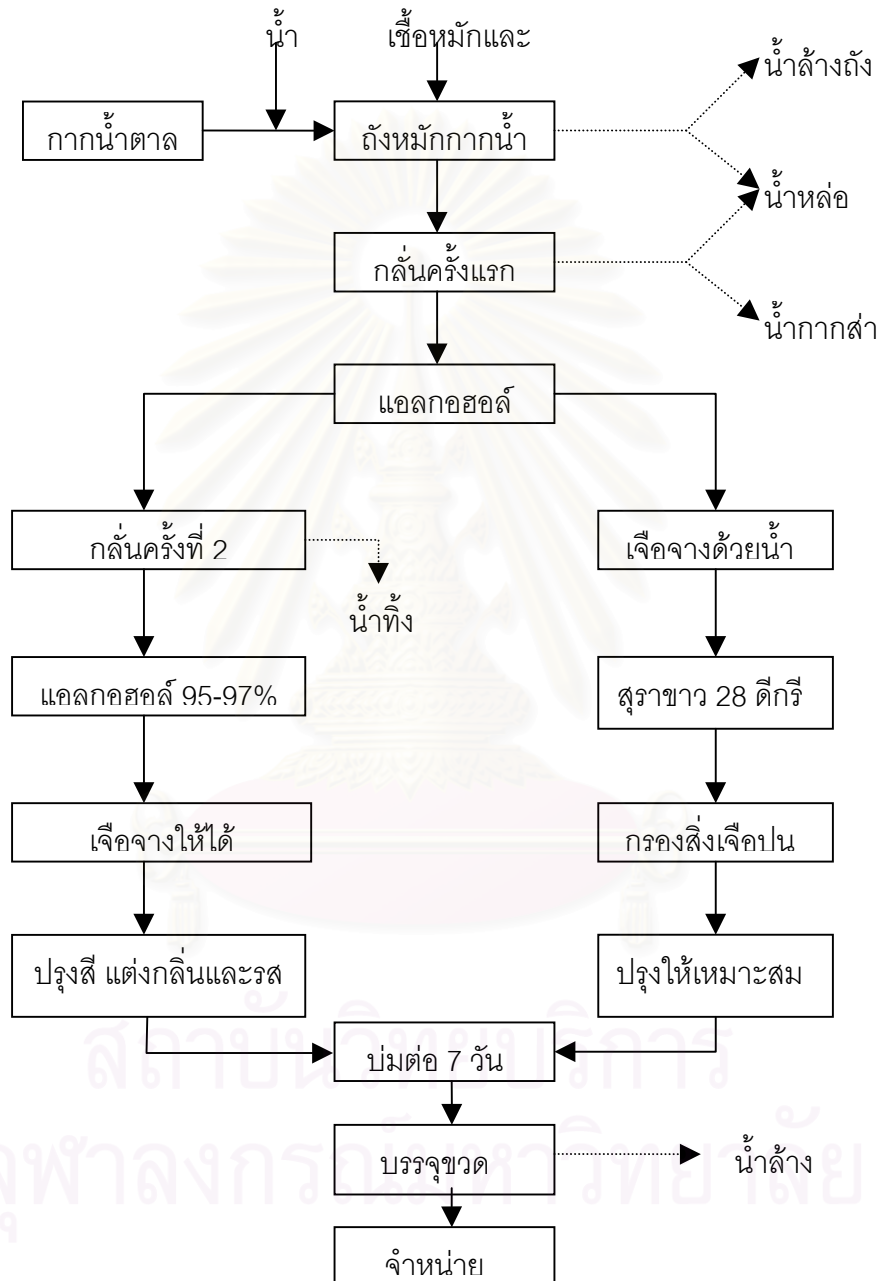
2.5.1 สีนํ้าตาลเข้มในน้ำกากสา

สีของน้ำกากสานั้นเกิดจากสีของกากน้ำตาลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย สารที่ก่อให้เกิดสีมี 2 ชนิด ได้แก่

คาราเมล (caramel) ของน้ำตาลต่าง ๆ เป็นสารประกอบที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากน้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไป ในระหว่างการผลิตน้ำตาลทราย คาราเมลมีสีดำสนิท ส่วนมากใช้ประโยชน์ในการทำเป็นส่วนผสมที่ทำให้เกิดสีในอาหาร เช่น ซีอิ๊ว ซอสปรุงรสสุรา และเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลมต่าง ๆ เป็นต้น

เมลานอยดิน (Melanoidin) เป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบ maillard reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาควบนั่น (condensation) ของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ กับสารประกอบไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน (amino acid) (Gomya และคณะ

,1972 ; Okada, Ohta และ Ebine, 1981) จากการศึกษาโครงสร้างโมเลกุล โดยใช้วิธี electrolysis พบว่า melanoidin มีประจุลบ (Kato และ Tsuchida, 1981) สารนี้เป็นสารย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่น้ำลำคลอง



รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา
(กองวิศวกรรมสิ่ง แวดล้อม, 2524)

ตารางที่ 2.7 คุณลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุรากรมสรรพสามิต
(32 โรงงาน)

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	3.66
อุณหภูมิ	88.60 องศาเซลเซียส
ซีไอดี	118,098.00 มิลลิกรัม/ลิตร
บีไอดี	27,475.00 มิลลิกรัม/ลิตร
สารที่แขวนลอย	11,319.00 มิลลิกรัม/ลิตร
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	75,829.00 มิลลิกรัม/ลิตร
ของแข็งระเหย	58,523.00 มิลลิกรัม/ลิตร
สารที่ตกตะกอน	26.67 มิลลิกรัม/ลิตร
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	935.00 มิลลิกรัม/ลิตร
ฟอสฟอรัส	115.20 มิลลิกรัม/ลิตร
โปแตสเซียม	4,763.00 มิลลิกรัม/ลิตร
ซัลเฟต	3,718.00 มิลลิกรัม/ลิตร
ปริมาณบีไอดีต่อวัน	3,806.00 กิโลกรัม/วัน

ที่มา : ไชยยุทธ (2524)

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าแห้ง

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
แร่ธาตุต่าง ๆ	28.5 – 29.0
น้ำตาลคอบเปอร์รีดิทซ์*	0.0 – 12.0
โปรตีน	8.0 – 10.0
กรดระเหยง่าย	1.0 – 2.0
กรดแลคติก	4.0 - 5.0
กรดอินทรีย์	1.0 – 2.0
กลีเซอรอล	5.0 - 6.0
ซีผึ้งและอื่น ๆ	12.0 – 22.0

ที่มา : Underkofler และ Hickley (1954)

*น้ำตาลคอบเปอรริติวซ์ คือ กลูโคสและฟรุคโตส ที่เรียกว่า น้ำตาลคอบเปอรริติวซ์นั้น ก็มีความหมายถึงคุณสมบัติของสารละลายน้ำตาลอินเวท(กลูโคสและฟรุคโตส) ที่สามารถรีติวซ์พวกสารประกอบทองแดง หรือ คิวพริคซัลเฟต(จุนสีสะตุ) แล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินสดได้ด้วยการไทเทรตกับสารละลายที่เป็นต่างของเกลือโซเดียม เป็น คิวพลัสออกไซด์(คิวไพรท์) ที่มีจุดวาบสี(end point) เป็นสีแดงอิฐ ดังนั้นเมื่อพุดถึงน้ำตาลคอบเปอรริติวซ์ก็คือ การพุดถึงคุณสมบัติของมันนั่นเอง (อัสวิทย์, 2542)

2.5.2 การบำบัดน้ำกากส่า

เนื่องจากน้ำกากส่าในโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุราทำให้เกิดปัญหามลภาวะของแม่น้ำลำคลองที่ถูกปนเปื้อน จำเป็นจะต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งเสียก่อน โดยการแยกสิ่งสกปรกต่าง ๆ ตลอดจนสน้ำตาลเข้มข้นของน้ำกากส่า นั้น ให้มีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะในแหล่งน้ำระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนต่าง ๆ จะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งชุมชน โดยปัจจัยที่ควรพิจารณา คือ ชนิดและปริมาณของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนสภาพที่จะใช้ในการสร้างระบบ โดยระบบที่นิยมใช้ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางเคมี เคมีไฟฟ้า และ ทางชีวภาพ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.5.2.1 กระบวนการบำบัดทางเคมี

การตกตะกอนสน้ำกากส่าด้วยสารเคมี (chemical coagulation) โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ เช่น สารส้ม ปูนขาวและเพอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) จากการศึกษพบว่าสารเคมีที่เหมาะสมที่สุด คือ สารส้ม รองลงมาคือ เพอร์ริคคลอไรด์ และปูนขาว โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนสน้ำกากส่า คือ สารส้ม 5 กิโลกรัมต่อน้ำกากส่าที่ผ่านขั้นตอนที่ 2 แล้ว 1 ลูกบาศก์เมตร หรือ 35 กิโลกรัมต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเสียค่าใช้จ่าย 197 บาทต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์เมตร (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2525)

นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาการกำจัดสีเมลานอยดินด้วยเคมี คือ (Hayase และคณะ, 1984) ได้ทำการศึกษพบว่าเมื่อใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสกำจัดสีเมลานอยดิน ในสภาวะที่เหมาะสมจะกำจัดสีเมลานอยดินได้ถึง 65% ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้นทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และย่อยสลายเมลานอยดินจากเหตุผลนี้จึงใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาทำการทดแทนเอนไซม์ดังกล่าว โดยการใส่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณความเข้มข้นเหมาะสมที่สุด คือ 6.72% ที่พีเอช 2 ระดับคือเป็นกลาง 7.0 และเป็นด่าง 10.0 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

28 ชั่วโมง เมลานอยดินจะถูกย่อยสลายลง 64 และ 97 % ตามลำดับ เมลานอยดินที่ถูกย่อยสลายลงนี้เป็นเมลานอยดินที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 5,300 – 3,500

Hayase และคณะ (1984) แยกเมลานอยดินในน้ำกากส่าโดยใช้สารรวมตะกอนอนินทรีย์ชนิดการค้า (commercial inorganic flocculant) ที่มีสูตรทางเคมี $[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$ ประสิทธิภาพในการกำจัดสี 32 87 และ 94% เมื่อใช้กำจัดสีน้ำกากส่าสด น้ำทิ้งที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายแบบชีวภาพกับระบบบ่อบำบัด ตามลำดับ ทีโอซี ลดลง 21% สำหรับน้ำกากส่าสด และประมาณ 73% สำหรับระบบย่อยสลายทางชีวภาพและระบบที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายทางชีวภาพและระบบบ่อ ในน้ำกากส่าสดมีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนอยู่มากพอสมควรทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง การเติมแคลเซียมออกไซด์ 30 กรัมต่อลิตรน้ำกากส่าจะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีเป็น 93%

Alfajara และคณะ (2000) ได้ใช้ โอโซน ในการบำบัดน้ำกากส่าซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี 80%และช่วยการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้น 40% แต่สามารถกำจัด COD ได้เพียง 16% เท่านั้น และยังพบอีกว่า เมลานอยดินมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง 10% ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ได้ว่าการแตกสลายตัวของ โพลีเมอร์ เล็กน้อย

Suntud และคณะ (2000) ได้ทำการตกตะกอนของสีน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดด้วยการเติมอากาศและทิ้งให้ตกตะกอน ด้วย ปูนขาว และ เฟอร์ริกคลอไรด์ ซึ่งใช้ปริมาณ 50 และ 60 กรัมต่อลิตร ตามลำดับซึ่งใช้เวลาในการตกตะกอน 96 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ 95.25% และ 99.65% ตามลำดับ

การกำจัดสีของเมลานอยดินด้วยวิธีการทางเคมียังมีอีกหลายรูปแบบซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายสูง เช่น การดูดซับด้วย แอคติเวตเตดคาร์บอน หรือ การตกตะกอน ด้วยสารเคมีบางอย่าง เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต เฟอร์ริกซัลเฟต สารส้ม ปูนขาว และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แต่เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง เช่น การตกตะกอนด้วยสารส้ม ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงถึง 197 บาท ต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ก็เป็นสารเคมีที่มีราคาแพงมาก (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2525)

2.5.2.2 กระบวนการบำบัดแบบเคมีไฟฟ้า

Uhrich (1989) สร้างระบบทดลองกำจัดสีน้ำเสียที่มีสีขุ่น และโลหะหนักเป็นสารเจือปน การทำงานของระบบเริ่มจากน้ำเสียถูกสูบผ่านเซลล์อิเล็กโทรไลต์ (electrolytic cell) ที่มีขั้วไฟฟ้าบวกเป็นโลหะเหล็กหรือโลหะผสมเหล็ก (iron alloy) ขั้วไฟฟ้าบวกจะให้เหล็กเฟอร์รัส (ferrous iron) ซึ่งทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน ที่มีมาจากขั้วไฟฟ้าลบสารนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนร่วม (coprecipitation) กับสีขุ่นและโลหะหนักในรูปของเฟอร์รัสไฮ-

ดรอกไซด์ (ferrous hydroxide) ที่ไม่ละลายน้ำ ผลการทดลองโดยใช้สี Indigo dye ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ปรับพีเอชเป็น 8.38 ใช้อัตราการไหลตั้งแต่ 0.4-2 แกลลอนต่อนาที น้ำทิ้งที่ออกจากระบบจะใส และไม่มีสี (clear colorless solution) แต่ถ้าใช้ Atlntic Paper Red Liquid ความเข้มข้น 9.1 พีพีเอ็ม พีเอชเริ่มต้น 7.4 และปรับเป็น 8.48 ก่อนเข้าระบบ ค่าที่ดีคือที่ 0.3 แกลลอนต่อนาที 12.5 โวลต์ แต่ต้องนำกลับมาบำบัดใหม่หลายครั้ง

Thomas และคณะ (1989) ได้สร้างระบบ water clarification apparatus และวิธีการกำจัดสีและสารอินทรีย์ใน บ่อสี (dye lagoon) ซึ่งประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าลบบนตั้งอยู่ที่ทางออก และขั้วไฟฟ้าบวกเป็นแผ่นตะแกรงเหล็กติดตั้งอยู่ในกรอบ มีหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 480 โวลต์ ต่อกับเครื่องแปลงไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสตรงขนาด 100 กิโลวัตต์ สามารถใช้งานในช่วง 100 โวลต์ ถึง 400 โวลต์ หรือกระแสไฟฟ้า 80-640 แอมแปร์ ความหนาแน่นกระแสเฉลี่ย 0.00016 และ 0.00128 แอมแปร์ต่อตารางฟุต

อานนท์ (2537) ได้ใช้ระบบยูวีโอเอฟ และระบบเคมีไฟฟ้าในการขจัดสารอินทรีย์และสี โดยระบบยูวีโอเอฟได้ทำการควบคุมอุณหภูมิในช่วง 28-35°C และมีภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือ 7.53 กก.ซีไอดี/ม.³-วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 68.18% และนำไปบำบัดต่อด้วยระบบเคมี ไฟฟ้า โดยขั้วไฟฟ้าทำด้วยเหล็กแผ่นธรรมดา โดยใช้ค่ากักเก็บทางพลศาสตร์เป็นเวลา 0.66 ชม. โดยสามารถลดสีได้ 89.90%

2.5.2.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีทางชีวภาพ โดยร่วมกับกระบวนการบำบัดไร้ออกซิเจน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Ohmomo และคณะ (1988a) พบว่าแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ในกลุ่มของแลคติกแอซิดแบคทีเรีย สามารถลดความเข้มข้นน้ำกากส่าได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความสามารถในการลดความเข้มข้นของเชื้อราในกลุ่ม Basidiomycetes และ Ascomycetes การเจริญและความสามารถในการลดความเข้มข้นน้ำกากส่านั้นไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำกากส่าในอุตสาหกรรม และพบว่าเมื่อนำแบคทีเรียไม่ต้องการออกซิเจนนี้ไปตรึงด้วยเจลแคลเซียมอัลจิเนต จะสามารถลดความเข้มข้นน้ำกากส่าได้เพิ่มขึ้น 1.6 เท่า ของการใช้เซลล์อิสระ ทั้งนี้เนื่องจากการที่นำเซลล์ของแบคทีเรียไปใส่ในเจลนั้น เป็นการปรับสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมแก่เชื้อมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ เซลล์ที่ถูกตรึงนั้นยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลายครั้ง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าลงไปได้

สันทัด (2527) พบว่าเชื้อราสายพันธุ์ D-90 ที่อยู่ในกลุ่ม Deuteromycetes สามารถลดความเข้มข้นน้ำตาลได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 10 วัน โดยมีการเติมน้ำตาลกลูโคส 2.5 % เปอร์เซ็นต์ และยีสต์สกัด 0.2 เปอร์เซ็นต์ พีเอช เท่ากับ 6.0 และมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นไม่ต่ำกว่า 0.15 เปอร์เซ็นต์ นำเชื้อรา D-90 ไปทำการลดความเข้มข้นน้ำกากส่าสด น้ำกากส่าหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และน้ำกากส่าหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ พบว่าน้ำกากส่าสดเหมาะสมที่สุดสำหรับเชื้อรา D-90 ซึ่งสามารถลดความเข้มข้นน้ำกากส่าได้ 91.0 % ในเวลา 10 วัน และยังลดระดับ บีโอดี ได้ 81.0 % ในเวลา 12 วัน ในขณะที่น้ำกากส่าหลังผ่านระบบน้ำเสียแบบไร้อากาศ และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ ลดความเข้มข้นน้ำกากส่าได้เพียง 65 และ 60 % ตามลำดับ และลดระดับ บี.โอดี. ได้ 95.5 และ 93.4 % ตามลำดับ

Sirianuntapiboon Chairattanawan และ Ohmomo (1988) ได้นำราสายพันธุ์ D-90 ที่ได้จากการคัดสายพันธุ์ในประเทศไทยมาทำการศึกษาการกำจัดสีน้ำกากส่าต่อ โดยใช้กากส่าจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบการไร้อากาศ และใช้อากาศตามลำดับ มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี โดยนำ BOD และ COD จากการทดลองพบว่ารา D-90 สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ประมาณ 90% ในเวลา 10 วัน และลดค่า BOD ได้ 80% เมื่อเลี้ยงรา D-90 ในสารละลายสีน้ำกากส่า หรือ เมลานอยดินที่ได้จากโรงงานผลิต เอทานอลที่ผสมด้วยกลูโคส 2.5 % โซเดียมไนเตรท 0.2 % โปแตสเซียมได-ไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1% แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05% และนำไปผ่านการตกตะกอน ระเหย และ ไดอะไลซิสนำมาปรับความเข้มข้นของสีด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร วัดได้ค่าเท่ากับ 3.5 ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.0 เลี้ยงที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 10 วัน เมื่อการทดลองใช้น้ำกากส่าที่ไม่ได้เติมสารอาหารลงไปพบว่ารา D-90 สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้เพียง 17.5% และในสภาวะที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อจะสามารถกำจัดสีได้ 70% ในเวลา 11 วันและลดค่า BOD ได้ 90% ในเวลา 15 วัน เมื่อทำการกำจัดสีเมลานอยดินในระบบกึ่งต่อเนื่อง (fedbatch) พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ประมาณ 80% ในเวลา 10 วันและลดค่า BOD ได้ 70%

Ohmomo และคณะ (1988a) ได้คัดเลือกจุลินทรีย์พวกกึ่งไม่ใช้อากาศ (facultative anaerobe) ที่มีความสามารถกำจัดสีน้ำกากส่า (melanoidin-decolorizing activity) หรือ MDA โดยคัดเลือกมาจากบ่อเก็บน้ำกากส่าในโรงงานผลิตเอทานอลพบว่าแบคทีเรียบางสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่าได้โดยเฉพาะ *Lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W-NS สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 28 % เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วย กลูโคส 1.0 % ยีสต์ 0.2 % เปปโตน 0.3 % โปแตสเซียมได-ไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1% แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05 % ในสารละลายสีน้ำกากส่าเมลานอยดินที่ได้จากโรงงานผลิตเอทานอล เตรียมสารละลายสีน้ำกากส่าด้วยวิธีการเดียวกันกับวิธีการข้างต้น ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7.3 ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต

เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 5 วัน เมื่อทำการปรับปรุงการกำจัดสีน้ำกากส่าด้วยวิธีการตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจีเนตแล้ว พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้เพิ่มมากขึ้นเป็น 40 %

Ohmomo และคณะ (1988b) ได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำกากส่าแบบระบบต่อเนื่องด้วยแบคทีเรีย *Lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W-NS ที่ตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจีเนตแล้ว ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีกลูโคส 1% ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 90 % ในเวลา 1 เดือน ในระหว่างนี้ต้องเติม เปปโตน 0.05 % ลงในน้ำกากส่านั้นด้วย และเมื่อทำการทดลองในถังหมักแบบคอลัมน์ (column-type reactor) พบว่าไม่สามารถบำรุงรักษาเชื้อได้และความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่าจะลดลงครึ่งหนึ่งในเวลา 5 วัน ถ้าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7.3 การกำจัดสีก็จะลดลงอีก

อำพรธน (2543) ได้ใช้เชื้อ Acetic acid bacteria รหัส D39 พบว่ามีความสามารถในการลดสีในน้ำกากส่าในอาหารเหลว Molasses Pigment Medium ได้สูงสุดประมาณ 45% โดยกลไกการลดสีน้ำกากส่าของเชื้อ เกิดโดยการดูดซับสีเมลานอยดินไว้ที่ผิวของเซลล์ และเกิดจากกรด อะซิติกที่เชื้อผลิตทำให้เกิดการตกตะกอนสีของน้ำกากส่า ซึ่งกลไกทั้งสองนี้ไม่มีผลต่อการลดขนาดเม็ดสีเมลานอยดิน

Young-Ho Ahn, Kyung-Sok Min และ Richard Speece (2001) ได้ศึกษาระบบบำบัดแวนแวนโรบิกที่มีถังหมักกรดน้ำ ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา ที่ภาวะบรรทุกอินทรีย์ 34-39 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีเวลาเก็บกักของถังหมักกรดที่ 0.75 ถึง 4 ชั่วโมง และเวลาเก็บกักในถังสร้างมีเทน 3 วัน สามารถลดซีไอดีในถังสร้างกรดได้ 20 ± 4 และมีอัตราการผลิตมีเทน 0.08 ± 0.003 ลิตร โดยอัตราส่วนการหมักกรดที่ 0.42 ± 0.02 และระบบโดยรวมสามารถลด ซีไอดีได้ 80%

ทรงพล (2544) ได้ใช้ระบบยูเอเอสพีที่ทำงานร่วมกับถังกรองไร้อากาศในการบำบัดสีน้ำกากส่า โดยใช้เวลากักเก็บ 36 ชั่วโมง อัตราเร็วในการไหล 7.5 ลิตรต่อวัน และภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กก.ซีไอดี/ม.³-วัน และตัวกลางที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือตัวกลางทรงกลม และตัวกลางวงแหวน โดยพบว่าตัวกลางทรงกลมมีประสิทธิภาพในการกักเก็บเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ตัวกลางแบบวงแหวน

วันชัย (2545) ได้ใช้ระบบยูเอเอสพีที่ทำงานร่วมกับถังกรองไร้อากาศในการบำบัดสีน้ำกากส่า และสารอาหารปฐมภูมิ คือ น้ำตาล และนมถั่วเหลือง โดยใช้เวลากักเก็บ 36 ชั่วโมง อัตราเร็วในการไหล 7.5 ลิตรต่อวัน และโดยมีอัตราส่วนของ COD ของสารอาหารปฐมภูมิ ต่อ COD ของน้ำกากส่าเป็น 3 ต่อ 1 ซึ่งพบว่า น้ำตาลกำจัดสีน้ำกากส่าได้มีประสิทธิภาพดีที่สุด และน้ำตาลมีประสิทธิภาพในการลด COD ได้มากที่สุด

สุจินต์ (2527) กล่าวว่าประเทศไทยมีวิธีการบำบัดน้ำกากส่าหลายระบบด้วยกันในอดีตตามความเหมาะสม ดังนี้

1. การระเหยและการเผา ซึ่งระบบนี้ได้เคยใช้กับโรงงานสุราบางยี่ขัน 1 และโรงงานสุราบางยี่ขัน 2 จังหวัดปทุมธานี โดยจะเคี่ยวน้ำกากส่าให้มีความเข้มข้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายน้ำมันเตาชั้น หรือกากน้ำตาลชั้น จากนั้นก็นำไปฉีดเข้าเตาเผาภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส วิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยาก ราคาแพง แล้วยังทำให้เกิดมลภาวะของอากาศ คือมีเถ้าถ่านปลิวออกมามากมาย และมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาสู่อากาศเป็นจำนวนมาก มีกลิ่นเหม็นรุนแรง และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตแต่ผลพลอยได้คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเตาในระบบหมักได้

2. การระเหย วิธีนี้มักใช้ทดลองกับน้ำกากส่าปริมาณน้อย ๆ โดยการเคี่ยวในกระทะขนาดใหญ่ที่มีปล่องระบายควันออก วิธีนี้ก็ต้องใช้พลังงานมากเช่นกันโดยน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้น้ำมันเตาถึง 28 ลิตร หรือคิดเป็นเงิน 126 บาทต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร จะทำให้มีความเข้มข้นขึ้น 20 เท่าจากเดิม และน้ำกากส่าเข้มข้นที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการเกษตรได้ดี

3. การหมักในถังหมักไร้อากาศ และกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอน วิธีนี้เคยมีการสร้างที่โรงงานสุรา จังหวัดภูเก็ต และโรงงานสุราไทยท่า จังหวัดนนทบุรี โดยการหมักน้ำกากส่าในถังหมัก เพื่อให้ได้แก๊สมีเทนมาใช้แทนน้ำมันเตา แก๊สมีเทนที่ได้ประมาณ 15–20 ลูกบาศก์เมตร ต่อ น้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร น้ำกากส่าที่ผ่านการหมักนี้แล้ว จะมีค่า บีโอดี ลดลงประมาณ 80% ซึ่งจะต้องนำไปบำบัดโดยกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอน ซึ่งจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก คือ ประมาณ 100–200 บาท ต่อ น้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตามน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอนยังมีสีเข้มอยู่และมีค่า บีโอดี สูงเกินกว่าข้อกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรมและกระบวนการบำบัดนี้ค่อนข้างซับซ้อน ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญควบคุมการทำงานของระบบ แต่ใช้เนื้อที่น้อย

4. การทำปุ๋ยหมัก วิธีการโดยการขนเอาวัตถุดิบเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว เป็นต้น โดยนำมากองแล้วฉีดพ่นชานอ้อยด้วยน้ำกากส่า แล้วทำการกลับกองชานอ้อยเพื่อให้เกิดสภาพอากาศถ่ายเทได้โดยสะดวก นอกจากนี้ยังต้องเร่งการหมักด้วยการใส่เชื้อหมักเพื่อให้เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น เมื่อกระบวนการหมักสมบูรณ์แล้วจะได้ปุ๋ยหมักสีดำเข้มและมีประโยชน์ในการเกษตร วิธีนี้ลงทุนครั้งแรกต่ำแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงมาก คือ ประมาณ 100 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร และจะทำได้ดีในฤดูแล้งเท่านั้น เพราะฤดูฝนจะมีปัญหาเกี่ยวกับการกลับกองปุ๋ย

5. การทำบ่อเก็บกักและลานตาก วิธีนี้ได้แก่ การขุดบ่อเก็บกักน้ำกากส่าตลอดฤดูฝน 6 เดือน ซึ่งระยะนี้จะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ค่า บีโอดี อาจลดลงตั้งแต่ 80–90 % แต่ก็ยังมีค่าสูงอยู่คือ ประมาณ 3,000–6,000 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ จึงต้องนำไปบำบัดต่อด้วยการระบายน้ำกากส่านี้ มาตากแห้งบนลานตากในฤดูแล้งอีก 6 เดือน โดยที่ลานตาก

นี้จะทำหน้าที่คล้ายนาเกลือ และอัตราการระเหยประมาณ 4 มิลลิเมตร/วัน กากสาแห้งที่ได้สามารถใช้เป็นปุ๋ยในทางการเกษตรได้ดีมาก

6. ใช้รดถนน เนื่องจากน้ำกากสาที่มีสารลิกนินอยู่ทำให้มีความเหนียวแน่นมากกว่าน้ำ และสามารถยึดฝุ่นให้อยู่แน่นคล้ายยางมะตอย และจะไม่มีฝุ่นไปนานกว่า 2 สัปดาห์ ดังนั้นจึงนำมารดถนนลูกรังได้ดี วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะฤดูแล้งเท่านั้น

7. เป็นอาหารปลา เป็นการใช้กากสาเป็นอาหารทางอ้อมแก่ปลา เพราะน้ำกากสาจะใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก เช่น แพลงค์ตอน ซึ่งเป็นอาหารแก่ปลาอีกต่อหนึ่งจากผลการทดลองพบว่า ถ้าใช้น้ำกากสาสดในอัตรา 0.6 ส่วนในพันส่วนต่อ 2 สัปดาห์ จะทำให้ปลาผลิตเติบโตได้สูงสุด วิธีนี้มีข้อจำกัดตรงที่ใช้น้ำกากสาได้น้อยมาก กล่าวคือ บ่อขนาด 1 ไร่ ลึก 1 เมตร จะใช้น้ำกากสาเพียง 7 ลูกบาศก์เมตรต่อ 2 สัปดาห์ ซึ่งถ้าใช้น้ำกากสามากเกินไปจะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง น้ำเกิดเน่าเหม็น และปลาอาจตายได้

8. ใช้ในการเกษตรโดยตรง โดยการปล่อยน้ำกากสาเข้านาข้าว ไร่อ้อยโดยตรง โดยใส่ในฤดูแล้งหรือขณะที่นาว่างอยู่หลังการเก็บเกี่ยว

นอกจากนี้ กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2525) ทำการทดลองหาแนวทางการบำบัดน้ำกากสาจากโรงงานสุราที่เหมาะสมในประเทศไทย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการทดลองบำบัดน้ำกากสาโดยใช้ระบบไร้อากาศ โดยเลี้ยงตะกอนใน ระบบไร้อากาศ (anaerobic activated sludge) จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการลดระดับ ซีโอดี และ บีโอดี เฉลี่ย 80 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยังมีแก๊สมีเทนเกิดขึ้นอีกด้วย

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดลองบำบัดน้ำกากสาต่อจากกระบวนการบำบัดขั้นที่ 1 โดยระบบ ใช้อากาศเพื่อลดค่า ซีโอดี และ บีโอดี ให้ต่ำลงอีก ผลการทดลอง พบว่า ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพ ต่อเมื่อน้ำกากสามีค่า ซีโอดี อยู่ในช่วง 6–8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันโดยลดระดับของ ซีโอดี ได้ 40–50 % และระดับของ บีโอดี 85–90 % ดังนั้นจึงต้องเจือจางน้ำกากสาที่ออกจากระบบ บำบัดขั้นที่ 1 อย่างน้อย 2 เท่า

ขั้นตอนที่ 3 เป็นวิธีทางเคมี ในการตกตะกอนสีในน้ำกากสาด้วยสารเคมี โดยทดลองใช้ สารเคมีชนิดต่าง ๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) พบว่าสารเคมีที่เหมาะสมที่สุด คือ สารส้ม รองลงมาคือ เฟอร์ริกคลอไรด์ และปูนขาว ปริมาณสารส้มที่พอเหมาะในการตกตะกอนสีน้ำกากสา คือ 5 กิโลกรัมต่อน้ำกากสาที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่ 2 ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร หรือ 35 กิโลกรัมต่อน้ำกากสาสด 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดค่าใช้จ่ายแล้วตกประมาณ 197 บาทต่อน้ำกากสาสด 1 ลูกบาศก์เมตร

ระบบการบำบัดน้ำกากส่า ส่วนใหญ่อาศัยวิธีทางชีววิทยาในการปรับปรุงคุณภาพน้ำซึ่ง อาจจะใช้ระบบการบำบัดด้วยวิธีไร้อากาศ และใช้อากาศ โดยระบบการบำบัดดังกล่าวเป็นเพียง การลดระดับของซีไอดี และ บีไอดี ให้ต่ำลงอยู่ในระดับที่ไม่เป็นปัญหาเกี่ยวกับมลภาวะเมื่อทิ้งลงในแหล่งน้ำ แต่ไม่สามารถลดความเข้มข้นของน้ำกากส่าได้ (Tozawa และคณะ, 1979) ดังนั้นน้ำกากส่าดังกล่าวจึงต้องผ่านการบำบัดอีกขั้นตอนหนึ่ง ก่อนจะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งปัจจุบัน ได้อาศัยวิธีทางเคมีตกตะกอนสีน้ำกากส่า แต่ผลที่ได้ยังไม่เป็นที่พอใจตลอดจนต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นจึงมีผู้สนใจที่จะหาวิธีการทางชีววิทยาในการลดความเข้มข้นน้ำกากส่าโดยเชื้อจุลินทรีย์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยทั้งหมดกระทำที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองกระทำโดยใช้ถังหมักกรดซึ่งมีเวลากักเก็บต่าง ๆ กัน และปฏิกรณ์ระบบแอนแอมโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จำนวน 4 ชุด ซึ่งออกแบบและสร้างให้มีลักษณะเหมือนกัน บรรจุตัวกลางพลาสติกแบบทรงกลมในลักษณะครึ่งถังลอย ความสูงของตัวกลางเท่ากับ 1.25 ม. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเก็บกักเซลล์ได้ดี ทรงพล (2544) และทำการเติมสารอาหารปฐมภูมิในน้ำเสียโดยมีอัตราส่วน 3:1 ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดดีที่ที่ดีที่สุดจากการทดลอง วันชัย (2545)

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยทำการทดลองหาความเหมาะสมของถังหมักกรดที่ภาวะบรรทุกต่าง ๆ กันซึ่งจะทำการทดลองตามตารางที่ 3.1 เพื่อหาเวลากักเก็บที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในการกำจัด และหาเปอร์เซ็นต์การหมักกรด โดยเปอร์เซ็นต์การหมักกรดที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20-40% ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำเสียซึ่งจะทำการหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการ ทดลองขั้นที่ 1 จะใช้เวลาประมาณ 6 เดือน ส่วนในขั้นตอนที่ 2 จะนำน้ำที่ผ่านถังหมักกรดที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ เข้าสู่ปฏิกรณ์ระบบแอนแอมโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี โดยการทดลองในขั้นที่ 2 นี้จะทำการทดลองตามตารางที่ 3.2 ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบในการทดลองจะใช้เวลาประมาณ 4 เดือน โดยตัวแปรที่ศึกษาคือประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำกากส่าของระบบกับการเติมธาตุไนโตรเจนและโคบอลต์ โดยทำการควบคุมอัตราการป้อนน้ำเสียให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 7.5 ลิตรต่อวัน และเวลากักเก็บน้ำเสีย 36 ชั่วโมง ทรงพล (2544) เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้วจะทำการเติมธาตุไนโตรเจนและ โคบอลต์ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ที่อัตราส่วน ซีไอดี ต่อ นิกเกิล และ ซีไอดี ต่อ โคบอลต์ เท่ากับ 100:0.01 และ 100:0.01 ตามลำดับ ชำนาญ(2538)เป็นเวลา 10 วัน

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการทดลองขั้นที่ 1

การทดลองชุดที่	การทดลองที่	ซีไอดี (มก./ล.)		ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	เวลากักเก็บน้ำถึงหมักกรด(ชม.)	อัตราสูบน้ำ (ลิตร/วัน)
		น้ำกากส่า	สารอาหารปฐุมภูมิ			
1	1	1,500	4,500	4	3	7.5
	2	1,500	4,500	4	6	7.5
	3	1,500	4,500	4	12	7.5
	4	1,500	4,500	4	24	7.5
2	1	1,875	5,625	5	3	7.5
	2	1,875	5,625	5	6	7.5
	3	1,875	5,625	5	12	7.5
	4	1,875	5,625	5	24	7.5
3	1	2,250	6,750	6	3	7.5
	2	2,250	6,750	6	6	7.5
	3	2,250	6,750	6	12	7.5
	4	2,250	6,750	6	24	7.5
4	1	2,625	7,875	7	3	7.5
	2	2,625	7,875	7	6	7.5
	3	2,625	7,875	7	12	7.5
	4	2,625	7,875	7	24	7.5

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดการทดลองขั้นที่ 2

การทดลองชุดที่	การทดลองที่	เวลากักเก็บน้ำ (ชม.)		ซีไอดี (มก./ล.)		ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราสูบน้ำ (ลิตร/วัน)	การเติมนิกเกิล และโคบอลท์
		ถึงหมักกรด	ถึงไฮบริดยูเอเอสบี	น้ำกากส่า	สารอาหารปฐุมภูมิ			
1	1	6	36	1,500	4,500	4	7.5	ไม่เติม
	2	6	36	1,500	4,500	4	7.5	เติม
2	1	6	36	1,875	5,625	5	7.5	ไม่เติม
	2	6	36	1,875	5,625	5	7.5	เติม
3	1	12	36	2,250	6,750	6	7.5	ไม่เติม
	2	12	36	2,250	6,750	6	7.5	เติม
4	1	24	36	2,625	7,875	7	7.5	ไม่เติม
	2	24	36	2,625	7,875	7	7.5	เติม

หมายเหตุ เวลาเก็บกักในถึงหมักกรดใช้ค่าที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองหาค่าเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของถึงหมักกรด จากการทดลองขั้นที่ 1

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ถังปฏิกรณ์ (ระบบแอนแอโรบิกไฮดรอลิฟิลเตอร์)

ตัวถังปฏิกรณ์ทำด้วยพีวีซีใส รูปทรงกระบอกสูง 2.80 เมตร (ส่วนบน 0.30 เมตร เป็นชุดเก็บก๊าซ) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.07 เมตร พื้นที่หน้าตัดประมาณ 0.0045 ตร.ม. มีปริมาตร 0.01125 ลบ.ม. ดังแสดงในรูปที่ 3.2

ตอนบนและตอนล่างสุดของถังปฏิกรณ์จะประกอบด้วยฝาครอบทำด้วยแผ่นพีวีซีใสหนา 10 มม. ชั้นนี้ยึดแน่นตลอดตามแนวของเส้นรอบวงประกอบแผ่นประเก็นยางหนา 2 มม. ฝาครอบด้านบนและด้านล่างนี้จะเจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. เพื่อประกอบท่อที่จะนำน้ำเสียเข้าในตอนล่าง (upflow) และประกอบท่อที่จะนำน้ำเสีย และก๊าซออกจากถังด้านบน โดยภายในถังด้านบนจะเป็นระบบแยกก๊าซชีวภาพ ซึ่งต่อสู่เครื่องวัดปริมาณก๊าซ ส่วนน้ำทิ้งจะไหลออกจากระบบผ่านทางท่อน้ำเสีย

3.2.2 ถังพักน้ำเสียสังเคราะห์

เป็นถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร ใช้ในการพักน้ำเสียเข้าก่อนสู่ระบบบำบัด

3.2.3 ถังหมักกรด

เป็นถังอะคริลิกขนาด 10 ลิตร มีทางน้ำเข้า-ออก โดยสามารถปรับเปลี่ยนเวลากักเก็บ ให้มีเวลาเก็บกักที่เหมาะสมตามเวลาที่ได้จากการทดลองแรก

3.2.4 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์

น้ำเสียถูกสูบน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ทางตอนล่างและไหลออกทางตอนบนโดยมีการทำงานในลักษณะไหลต่อเนื่อง เครื่องสูบน้ำเสียที่ใช้เป็น แบบรีดสายในอัตรา 7.5 ลิตรต่อวัน

3.2.5 เครื่องวัดก๊าซ

เครื่องวัดก๊าซใช้แบบเดียวกับที่ออกแบบโดยศักดิ์ชัย, 2527 ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจะวัดผลรวมของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และแสดงออกมาเป็นตัวเลขบนเครื่องวัด โดยก๊าซจะผ่านทางตอนล่างของเครื่องวัดก๊าซและระบายทิ้งออกสู่ภายนอกทางตอนบนของเครื่อง

3.2.6 ตัวกลางภายในถังกรอง

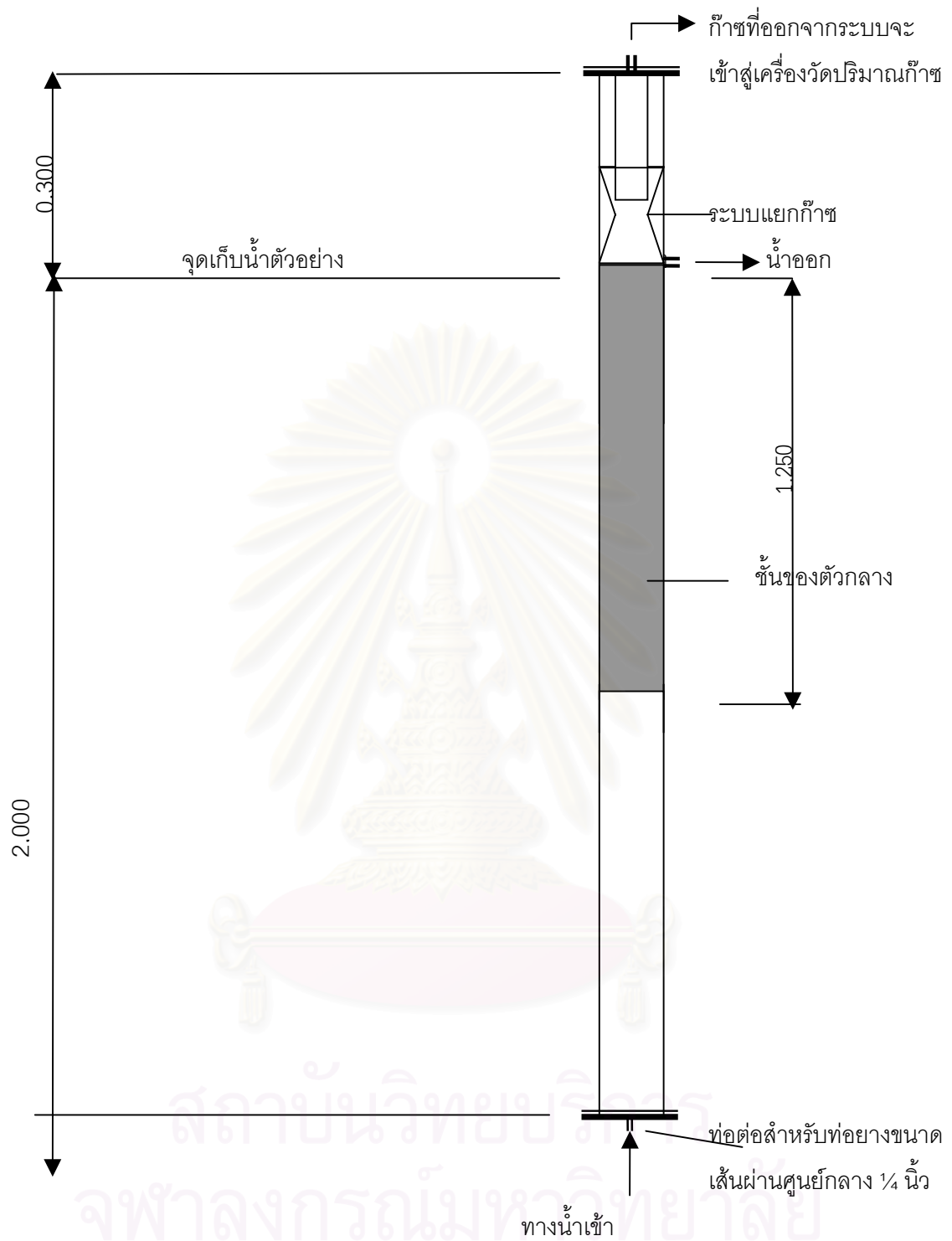
ตัวกลางที่ใช้ในการวิจัยเป็นพลาสติกที่ผลิตจากโพลีโพรพิลีนที่มีลักษณะเป็นวงแหวนจะถูกระบายอยู่ในถังปฏิกรณ์ โดยจะระบายให้มีลักษณะลอยครึ่งถึงตอนบน ทำให้มีความสูงของชั้นตัวกลางทั้งหมดเท่ากับ 1.25 เมตร ลักษณะของตัวกลางพลาสติกที่ใช้เป็นตัวกลางจะมีลักษณะ ดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

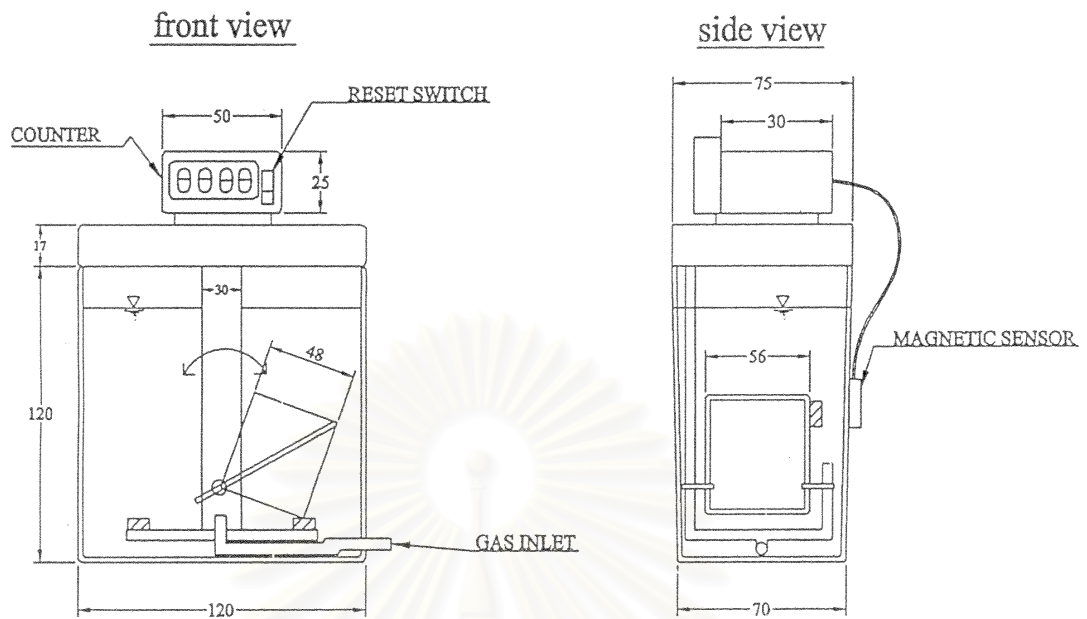
คุณสมบัติของตัวกลาง	ตัวกลางทรงกลม
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (มม.)	70
เปอร์เซ็นต์ช่องว่างในหนึ่งหน่วยปริมาตร	135
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ม.ต่อลบ.ม.)	35
น้ำหนัก (กก.ต่อลบ.ม.)	96
วัตถุดิบที่ใช้ผลิต	โพลีโพรพิลีน
จำนวนชิ้นต่อลบ.ม.	4,000



รูปที่ 3.1 ตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 3.2 ถึงปฏิบัติการระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์



รูปที่ 3.3 ก๊าซมิเตอร์ (GAS METER)

ที่มา : คัดัดัดัด, 2527



รูปที่ 3.4 ดั้งหมักกรดที่ใช้ในการวิจัย

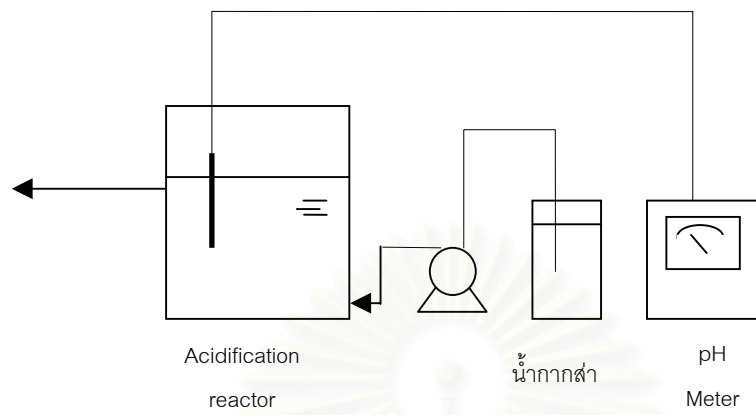
3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานสุราที่เป็นส่วนของน้ำกากส่า จากโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม นำมาเจือจางด้วยน้ำประปาให้ได้ซีโอดีประมาณ 1,500 มก./ล. และทำการเติมสารอาหารปฐมภูมิในอัตราส่วน 3:1

3.4 การดำเนินการทดลอง

ในการทดลองขั้นที่ 1 ทำการทดลองโดยการป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่อง ให้น้ำเสียผ่านถังหมักกรด ทำการวัดค่าการหมักกรดของน้ำเสีย และ เปรอร์เซ็นต์การกำจัดซี หลังจากทดลองผ่านถังหมักกรดแบบต่อเนื่องจนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ แล้วจึงทำการเพิ่ม ภาระบรรทุกเพิ่มขึ้นไป ตามตารางที่ 3.1 ทำการหาเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของถังสร้างกรดในแต่ละภาระบรรทุก

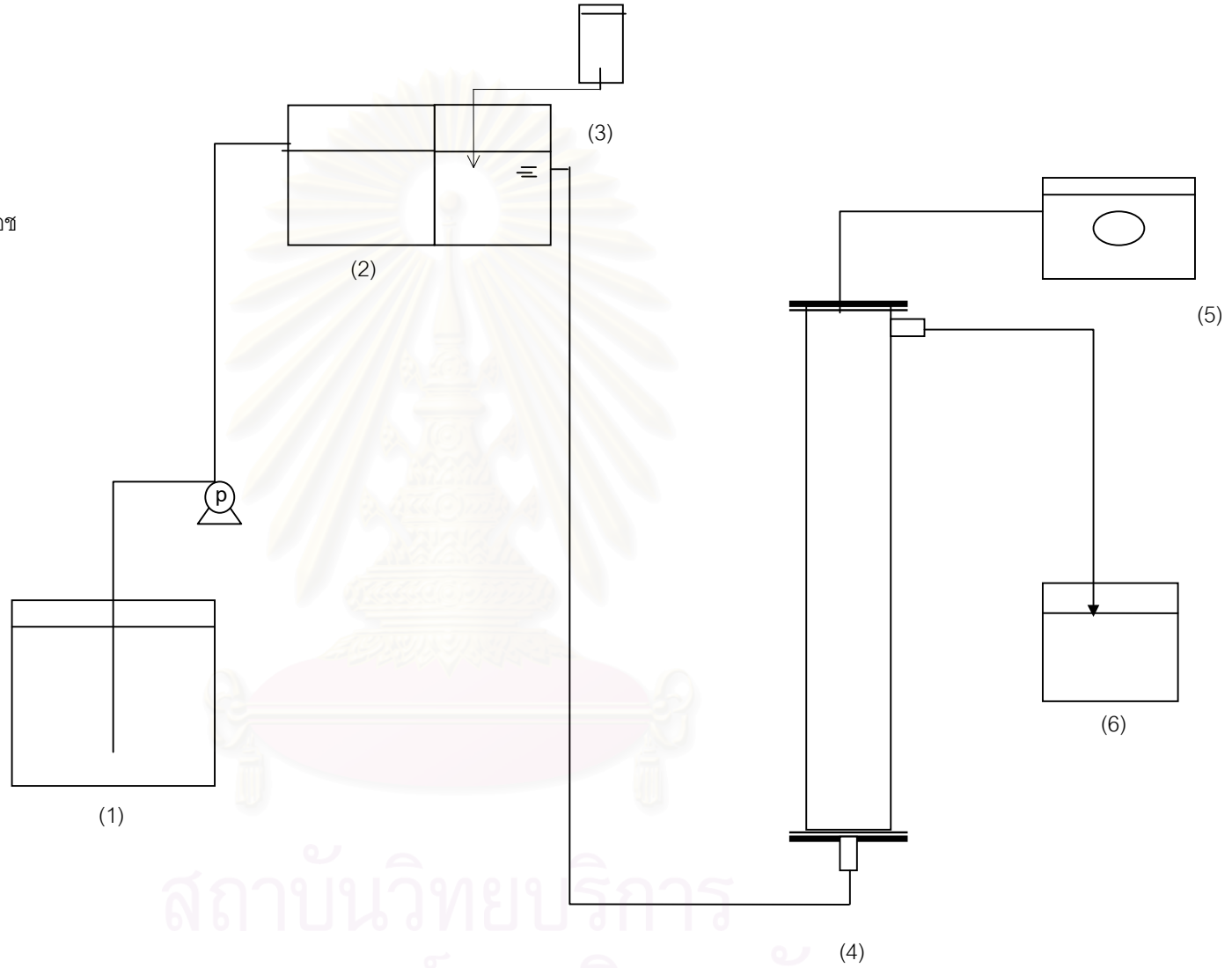
ในการทดลองขั้นที่ 2 ทำการเริ่มต้นระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์นี้ใช้กระบอกรับพีวีซีบรรจุตัวกลางพลาสติกในปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรถัง จะได้ถึงปฏิกิริยาสำหรับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งภายในกระบอกรับพีวีซีใส่จะบรรจุตัวกลางพลาสติก โดยใส่ให้มีความสูงของชั้นตัวกลางประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของกระบอกรับพีวีซีจากด้านบนลงมา จะได้ความสูงของชั้นตัวกลางเป็น 1.25 ม. หลังจากนั้นเติม seed ที่นำมาจากระบบยูเอเอสพีจำนวน 5 ลิตร (seed ที่นำมาเติมนี่จะทำการเลี้ยงให้ชินกับน้ำเสียที่ใช้วิจัย โดยการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์วันละ 10%ของความเข้มข้นซีโอดีที่กำหนด) หลังจากนั้นเติมน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยลงไปจนเต็มกระบอกรับพีวีซี แล้วปิดฝาชั้นน้อดให้แน่น เมื่อต่อท่อน้ำทิ้งของระบบและติดตั้งกระบอกรับพีวีซี ซึ่งด้านบนของกระบอกรับพีวีซีเป็นชุดแยกก๊าซต่อเข้ากับเครื่องวัดก๊าซเรียบร้อยแล้ว ตรวจสอบจนแน่ใจว่าไม่มีการรั่วซึม ก็ตั้งทิ้งไว้ให้จุลินทรีย์ดำเนินการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นประมาณ 10 วัน เมื่อสังเกตเห็นมีก๊าซเกิดขึ้นที่เครื่องวัดก๊าซแล้วก็ถือว่า จุลินทรีย์พร้อมที่จะรับน้ำเสียใหม่ จึงเริ่มป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ สู่ระบบทั้งสองถึงทางด้านล่าง โดยเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยอัตรา 7.5 ลิตร/วัน เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ โดยน้ำเสียแต่ละภาระบรรทุกอินทรีย์ จะผ่านถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกักที่เหมาะสม ก่อนจะผ่านเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ โดยถังปฏิกรณ์จะมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเป็น 36 ชั่วโมง ภายหลังจากที่ระบบทำงานเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) จนเพียงพอสำหรับที่จะวิเคราะห์การทำงานของระบบได้แล้ว ก็จะมาทำการเติมสารอาหารคือธาตุไนโตรเจนและโคบอลต์ และทำการวิเคราะห์การทำงานของระบบ ซึ่งคาดว่าจะใช้เวลาในการทดลองและเก็บข้อมูลการทำงานของระบบทั้งหมดประมาณ 9 เดือน



รูปที่ 3.5 ผังการทดลองของถังหมักกรดในการหาค่าเวลาเก็บกักที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- (1) ถังพักน้ำเสียสังเคราะห์
- (2) ถังหมักกรด
- (3) ชุดสายน้ำเกลือควบคุมพีเอช
- (4) ถังปฏิกรณ์
- (5) เครื่องวัดก๊าซซีวีภาพ
- (6) ถังรับน้ำทิ้ง



รูปที่ 3.6 แสดงแผนผังการไหลของระบบยูเอเอสพีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย

เก็บผลการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนกระทั่งระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นจะเก็บผลการทดลองต่ออีกประมาณ 5-7 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลดีแล้ว

ส่วนการเก็บตัวอย่างน้ำนั้น ถึงปฏิกรณ์ที่ไม่มีถังหมักกรด จะทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ ที่ถังพักก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด และน้ำที่ผ่านจากระบบบำบัดแล้ว หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เราต้องการ และถึงปฏิกรณ์ที่มีถังหมักกรดนำ จะทำการเก็บตัวอย่าง 3 จุด คือ ที่ถังพักก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด ที่ถังหมักกรดก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด และน้ำที่ผ่านจากระบบบำบัดแล้ว หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เราต้องการซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ การทดลองขั้นที่ 1

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง	
	ถังพักน้ำ	ถังหมักกรด
ซีไอดี	A	A
บีไอดี	C	-
กรดไขมันระเหยง่าย	A	A
สภาพความเป็นด่างทั้งหมด	A	A
ไออาร์พี	A	A
ตะกอนแขวนลอย	A	A
ตะกอนโวลูไทล์	A	A
พีเอช	A	A
ลี้	A	A
คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด	C	C
กรดไขมันอิสระ (C2-C5)	C	C

หมายเหตุ A หมายถึง ตัวแปรตามที่วิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง

B หมายถึง ตัวแปรตามที่วิเคราะห์ 3 ครั้ง หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

C หมายถึง ตัวแปรตามที่วิเคราะห์ 1 ครั้งหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ การทดลองขั้นที่ 2

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง		
	ถังพักน้ำ	ถังหมักกรด	น้ำทิ้ง
ซีไอดี	A	A	A
บีไอดี	C	-	C
กรดไขมันระเหยง่าย	A	A	A
สภาพความเป็นด่างทั้งหมด	A	A	A
ไออาร์พี	A	A	A
ตะกอนแขวนลอย	A	A	A
ตะกอนเวลาไหล	A	A	A
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	-	-	A
พีเอช	A	A	A
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	-	-	B
ดี	A	A	A
คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด	C	C	C
กรดไขมันอิสระ (C2-C5)	C	C	C
วิเคราะห์ปริมาณ Ni และ Co	C	C	C

หมายเหตุ A หมายถึง ตัวแปรตามที่วิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง

B หมายถึง ตัวแปรตามที่วิเคราะห์ 3 ครั้ง หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

C หมายถึง ตัวแปรตามที่วิเคราะห์ 1 ครั้งหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

3.6 วิธีที่ใช้วิเคราะห์

1. ซีไอดี : Closed Reflux, Titrimetric Method
2. บีไอดี : Standard Method
3. พีเอส : Glass Electrode Method
4. โออาร์พี : ORP Meter
5. กรดระเหยง่าย : Titration Method
6. สภาพความเป็นด่างทั้งหมด : Titration Method
7. ตะกอนแขวนลอยและ
ตะกอนโคลาไธล์ : Gravimetric Method
8. ปริมาณก๊าซทั้งหมด : Count Meter เครื่องมือที่ออกแบบโดยศักดิ์ชัย, 2527
9. เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน : Gas Chromatography
11. สี : Spectrophotometer
12. SEM (วิเคราะห์เมื่อจบการทดลอง): วิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือจากศูนย์เครื่องมือจุฬาฯ
13. TOC : TOC analyzer
14. กรดไขมันอิสระ : Gas Chromatography
15. ปริมาณโลหะหนัก : Atomic Absorption

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองการศึกษาหาเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของถังหมักกรด

ในการทดลองขั้นตอนนี้ใช้ถังปฏิกรณ์ที่ทำจากถังพลาสติกใส ที่มีเวลาเก็บกักเก็บน้ำแตกต่างกัน 4 ถัง คือ 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง โดยแต่ละถังจะมีแผ่นกั้นภายในเพื่อให้น้ำไม่เกิดการไหลลัดวงจร จากนั้นจะนำน้ำเสียกากส่าที่ผสมน้ำตาลเป็นสารอาหารปฐุมภูมิ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 ใส่ทิ้งไว้ในถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ใบ เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้เกิดการหมักกรดในขั้นแรก จากนั้นทำการป้อนน้ำเสียกากส่าที่ผสมน้ำตาลเป็นสารอาหารปฐุมภูมิ แบบต่อเนื่อง โดยมีอัตราป้อนน้ำเสียที่ 7.5 ลิตร/วัน ภายหลังจากที่ระบบทำงานเข้าสู่สภาวะคงตัว จึงทำการวิเคราะห์การทำงานของระบบเรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มทำการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของน้ำเสียต่อไปเรื่อยๆ ตามตารางที่ 3.1

สำหรับการทดลองการศึกษาหาเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของถังหมักกรด จะใช้กากส่า จากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก ที่โรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม เป็นน้ำเสียในการทดลอง โดยทำการเก็บน้ำ 2 ครั้ง โดยทำการเก็บน้ำในเดือนตุลาคม 2545 และเดือนพฤษภาคม 2546 จึงทำการทดลองเสร็จสิ้น ตัวอย่างน้ำทั้ง 2 ครั้ง มีค่าซีไอดีที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ย 27,214 และ 25,940 มก./ล.ตามลำดับ ดังนั้นจึงเจือจางน้ำกากส่าที่ใช้ทดลองในปริมาณเท่ากัน ทำให้น้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

ในการทดลองศึกษาหาเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของถังหมักกรด ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 232 วัน ดังแสดงวันที่ทำการทดลองในตาราง ก.1 และ ก.2 โดยการทดลองศึกษาหาความเหมาะสมของถังหมักกรดที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน กว่าที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวต้องใช้เวลานานถึง 48 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ เนื่องจากมีการลดลงของอุณหภูมิอากาศ ในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน จนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ประกอบกับการเพิ่งเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าถังหมักกรด และเมื่อต้นเดือนธันวาคม อุณหภูมิของอากาศจึงค่อยสูงขึ้น จึงทำให้ระบบต้องใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่สภาวะคงตัวนานกว่าที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ

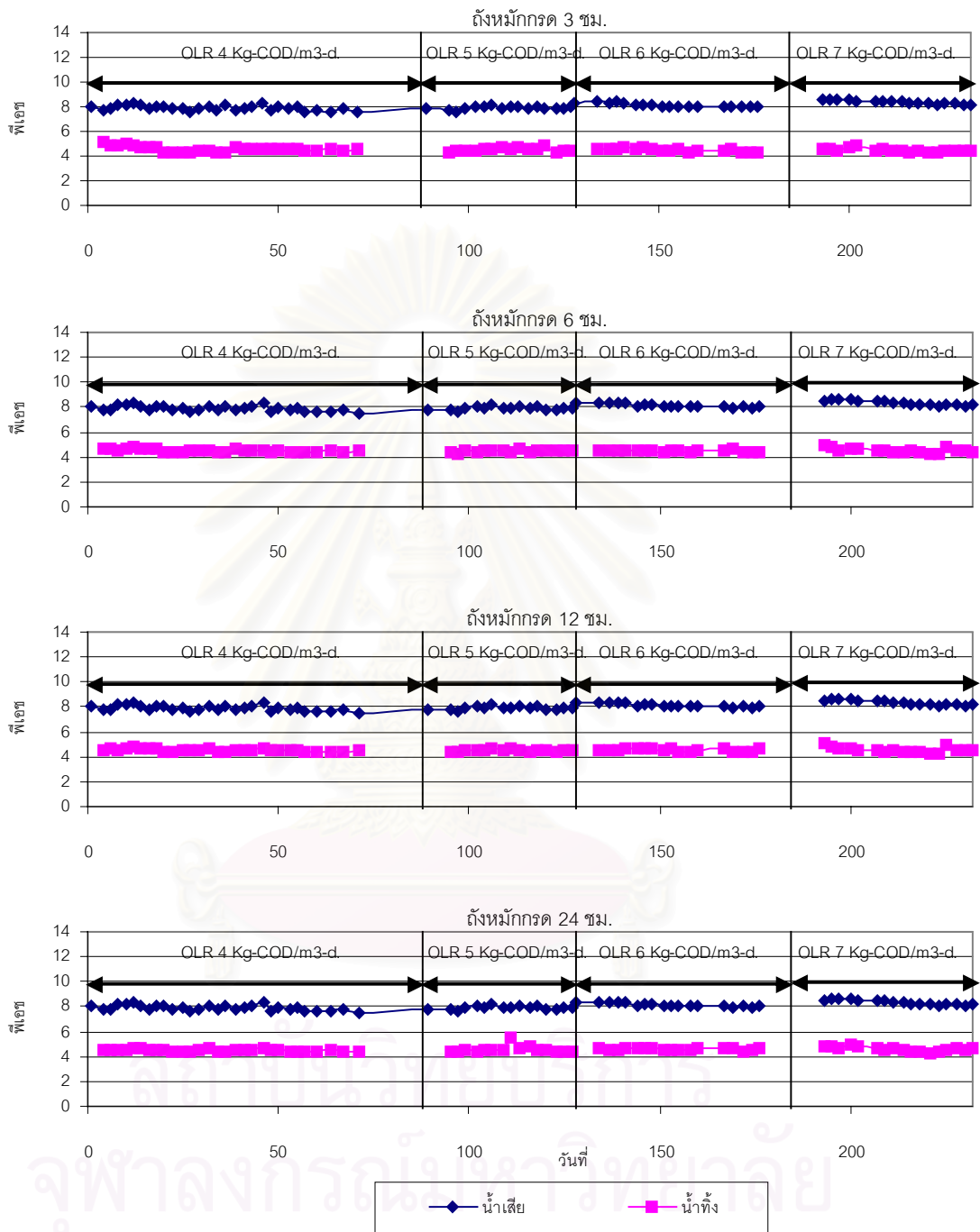
4.1.1 ค่า พีเอช และค่าไออาร์พี

พีเอช

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยพีเอชในภาวะคงตัวของระบบ โดยน้ำเสียก่อนเข้าในระบบที่ภาวะคงตัวจะมีพีเอชเฉลี่ยสูงขึ้นเล็กน้อยตามภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากน้ำเสียที่นำมาทดลองได้มีการปรับสภาพต่างด้วยปูนขาวจากโรงบำบัดโรงงานสุราแสงโสม ดังนั้นเมื่อใช้น้ำเสียปริมาณเพิ่มขึ้นตามภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้พีเอชเฉลี่ยในน้ำเสียที่ทดลองมีค่าสูง ขึ้นตามไปด้วย โดยน้ำเสียมีค่าพีเอชเฉลี่ย 7.33 7.92 8.01 และ 8.19 ที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ พีเอชเฉลี่ยในน้ำออกจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลองโดยมีค่าพีเอชเฉลี่ยในช่วง 4.39 – 4.67 โดยไม่ขึ้นกับภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น และในช่วงพีเอชดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับถึงสร้างกรดจากการศึกษาที่ผ่านมา ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และรูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยพีเอชในสภาวะคงตัวของระบบ

เวลาพัก เก็บในถัง หมักกรด (ชั่วโมง)	พีเอช							
	ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	
	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก
3	7.73±0.15 (n=9)	4.53±0.07 (n=9)	7.92±0.08 (n=6)	4.55±0.16 (n=6)	8.01±0.04 (n=5)	4.39±0.10 (n=5)	8.19±0.07 (n=4)	4.47±0.02 (n=4)
6		4.44±0.06 (n=9)		4.51±0.05 (n=6)		4.49±0.12 (n=5)		4.56±0.13 (n=4)
12		4.45±0.05 (n=9)		4.46±0.04 (n=6)		4.52±0.13 (n=5)		4.67±0.24 (n=4)
24		4.45±0.03 (n=9)		4.52±0.13 (n=6)		4.56±0.11 (n=5)		4.56±0.08 (n=4)



รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชตลอดการทดลอง

ไออาร์พี

ค่าไออาร์พีเป็นค่าที่บ่งบอกแนวโน้มของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบจากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าไออาร์พีในน้ำเสียก่อนเข้าระบบทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าเป็นบวกและมีค่าเฉลี่ย 19 ถึง 29 มิลลิโวลท์ ส่วนน้ำออกมีค่าไออาร์พีเป็นลบเฉลี่ยอยู่ในช่วง -115 ถึง -130 มิลลิโวลท์ ซึ่งมีค่ามากกว่าในระบบแอนแอโรบิกทั่วไป ซึ่งมีค่าไออาร์พีเฉลี่ยในช่วง -250 ถึง -350 เนื่องจากในถังหมักกรดมีเพียงปฏิกิริยาในชั้นไฮโดรไลซิส และชั้นสร้างกรดเท่านั้น ทำให้ปฏิกิริยารับจ่ายอิเล็กตรอนไม่สมบูรณ์ จากการทดลองพบว่าภาวะบรรทุสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าไออาร์พีในระบบ โดยรูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าไออาร์พีตลอดการทดลอง

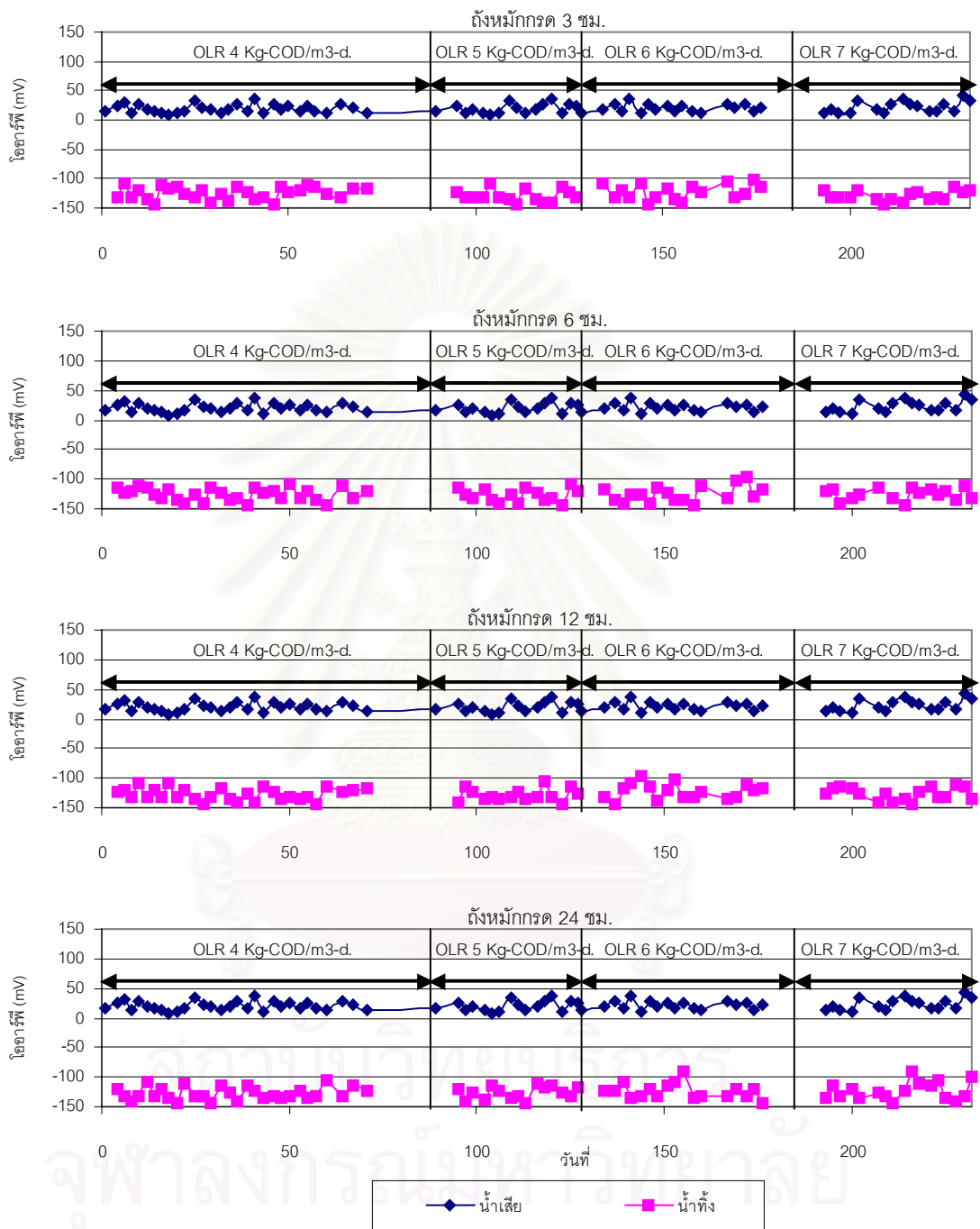
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยไออาร์พีในสภาวะคงตัวของระบบ

เวลาดักเก็บในถังหมักกรด (ชั่วโมง)	ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)							
	ภาวะบรรทุสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุสารอินทรีย์ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	
	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก
3		-119±7 (n=9)		-131±11 (n=6)		-116±13 (n=5)		-127±9 (n=4)
6	19±5 (n=9)	-126±12 (n=9)	24±9 (n=6)	-128±12 (n=6)	22±5 (n=5)	-115±6 (n=5)	29±11 (n=4)	-124±11 (n=4)
12		-128±10 (n=9)		-126±13 (n=6)		-123±10 (n=5)		-123±13 (n=4)
24		-126±11 (n=9)		-119±8 (n=6)		-130±9 (n=5)		-121±19 (n=4)

4.1.2 กรดระเหยง่ายและสภาพต่างทั้งหมด

กรดระเหยง่าย

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของกรดระเหยง่าย ในส่วนของน้ำเสียเข้าจะมีค่าน้อยมากและใกล้เคียงกันในแต่ละภาวะบรรทุสารอินทรีย์ ส่วนน้ำที่ผ่านระบบ พบว่ามีกรดระเหยง่ายเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักที่นานขึ้นในแต่ละภาวะบรรทุสารอินทรีย์ ซึ่งค่ากรดระเหยง่ายที่เพิ่มขึ้นนี้แสดงว่าน้ำเสียมีการหมักกรดที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาเก็บกักนานขึ้น ดังเช่นที่ภาวะบรรทุสารอินทรีย์ที่ 4 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำออกจากถังหมักกรดมีค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่าย 742 868 1046 และ 1182 มก./ล. as CH₃COOH ที่เวลาดักเก็บในถังหมักกรด 3 6 12 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เวลาในถังหมักกรดที่เพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวแต่ค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายไม่ได้



รูปที่ 4.2 ค่าโออาร์พีตลอดการทดลอง

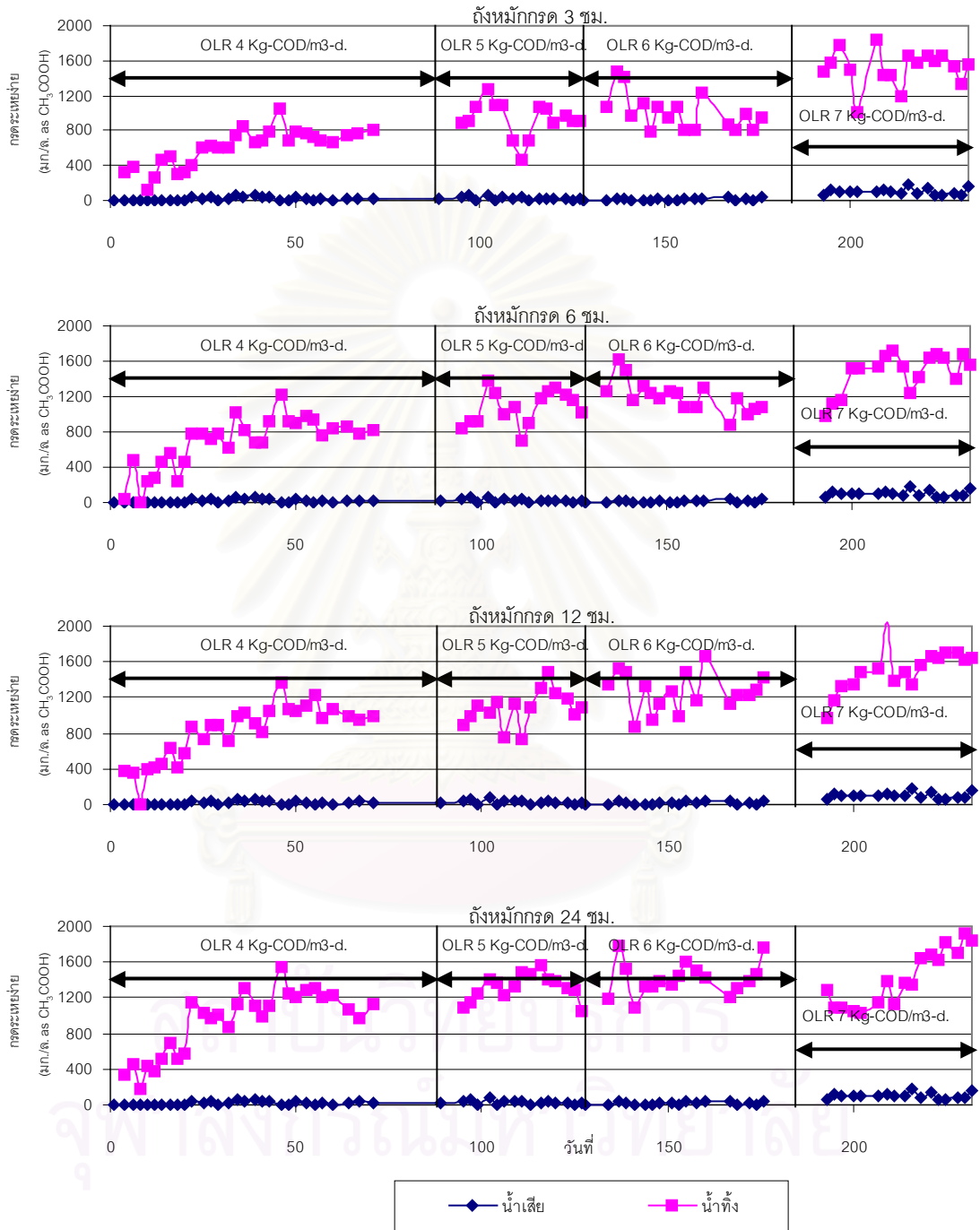
เพิ่มขึ้นเท่าตัวตามกันแสดงว่าอัตราการหมักกรดจะลดลงตามเวลาเก็บกักที่นานขึ้น จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเวลากักน้ำที่เหมาะสมของถังหมักกรดส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 12 ชั่วโมง (Alexiu และคณะ, 1994) นอกจากนี้กรดระเหยง่ายจะเพิ่มมากขึ้นตามภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่มากขึ้นระบบมีความต้องการสภาพต่างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากการทดลองน้ำออกที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาเก็บกัก 6 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยกรดระเหยต่ำกว่าที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เล็กน้อย ที่เวลาเก็บกักเดียวกัน เนื่องจากช่วงกลางของการทดลองที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำเสียที่เก็บจากโรงงานในรอบแรกได้หมด จึงไปทำการเก็บน้ำเสียรอบสอง ซึ่งลักษณะของน้ำเสียจริงจากโรงงานจะมีซีไอดีต่างกันอยู่บ้างเล็กน้อย ในรูปที่ 4.3 แสดงค่ากรดระเหยง่ายตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในสภาวะคงตัวของระบบ

เวลากักเก็บ ในถังหมัก กรด (ชั่วโมง)	กรดระเหยง่าย (มก./ล. as CH ₃ COOH)							
	ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	
	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก
3		742±48 (n=9)		969±80 (n=6)		884±81 (n=5)		1518±133 (n=4)
6	18±13 (n=9)	868±74 (n=9)	18±10 (n=6)	1193±101 (n=6)	19±18 (n=5)	1042±109 (n=5)	93±42 (n=4)	1573±127 (n=4)
12		1046±86 (n=9)		1223±164 (n=6)		1262±107 (n=5)		1672±38 (n=4)
24		1182±112 (n=9)		1334±169 (n=6)		1424±208 (n=5)		1784±87 (n=4)

สภาพต่างทั้งหมด

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสภาพต่างของน้ำเสียนี้อาจเพิ่มขึ้นตามภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการปรับ พีเอช ของน้ำเสียด้วยปูนขาวจากทางโรงงาน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ส่วนน้ำที่ผ่านถังหมักกรดจากการทดลองพบว่า สภาพต่างในแต่ละภาวะบรรทุksารอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกัน และจากการคำนวณค่า ปริมาณกรดระเหยง่ายต่อปริมาณสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่ผ่านถังหมักกรดมีค่ามากกว่า 0.3 - 0.5 ในทุกการทดลอง แสดงว่าน้ำเสียที่ผ่านถังหมักกรดจำเป็นต้องมีการเติมสภาพต่างด้วยไซเดียมไบคาร์บอเนตให้เหมาะสมเสีย ก่อนจึงป้อนน้ำเข้าสู่ถึงปฏิกรณ์แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ต่อไป ในรูปที่ 4.4 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.3 ค่ากรดระเหยง่ายตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดในสภาวะคงตัวของระบบ

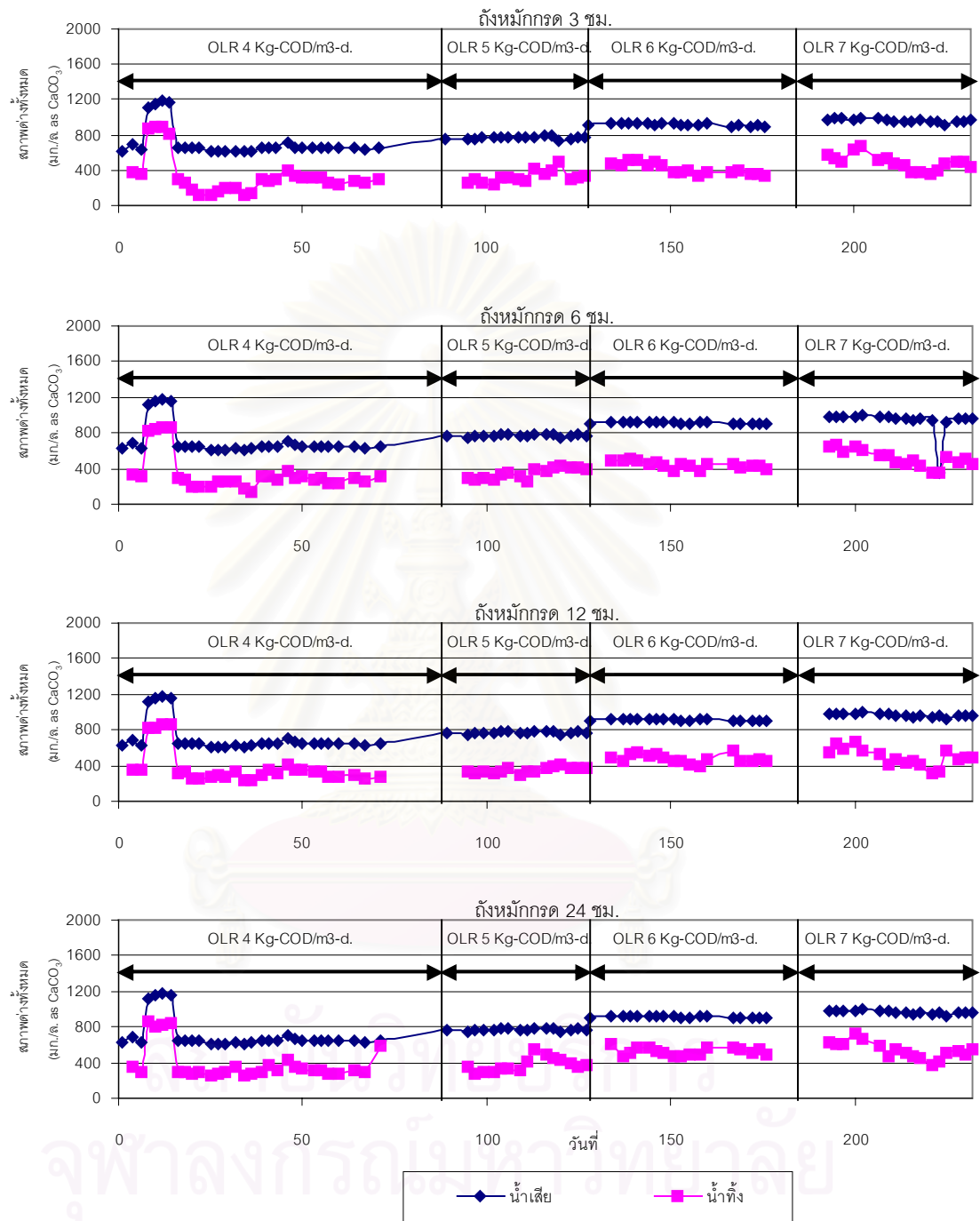
เวลากักเก็บใน ถังหมักกรด (ชั่วโมง)	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. as CaCO ₃)							
	ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	
	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก
3	652±8 (n=9)	290±36 (n=9)	768±19 (n=6)	369±74 (n=6)	898±4 (n=5)	364±21 (n=5)	951±26 (n=4)	473±31 (n=4)
6		278±32 (n=9)		402±23 (n=6)		472±21 (n=5)		495±36 (n=4)
12		303±37 (n=9)		379±16 (n=6)		481±54 (n=5)		509±46 (n=4)
24		341±93 (n=9)		410±50 (n=6)		534±32 (n=5)		496±22 (n=4)

4.1.3 ตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลูไทล์

ตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลูไทล์ในน้ำทิ้งที่สภาวะคงตัว จากการทดลองพบว่าตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลูไทล์ของน้ำผ่านระบบมีค่าต่ำเนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ผ่านการตกตะกอนจากบ่อในระบบบำบัด ที่โรงงานสุราแสงโสมแล้ว ค่าเฉลี่ยตะกอนโวลูไทล์มีค่าประมาณ 70-90 % ของตะกอนแขวนลอย รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 แสดงค่าตะกอนแขวนลอย และตะกอนโวลูไทล์ตลอดการทดลอง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยในสภาวะคงตัวของระบบ

เวลากักเก็บใน ถังหมักกรด (ชั่วโมง)	ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)							
	ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	
	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก
3	121±23 (n=9)	95±33 (n=9)	143±17 (n=6)	105±21 (n=6)	160±39 (n=5)	208±28 (n=5)	153±27 (n=4)	127±37 (n=4)
6		88±16 (n=9)		141±40 (n=6)		154±31 (n=5)		161±41 (n=4)
12		93±9 (n=9)		105±17 (n=6)		131±14 (n=5)		124±26 (n=4)
24		84±11 (n=9)		90±16 (n=6)		122±22 (n=5)		138±16 (n=4)



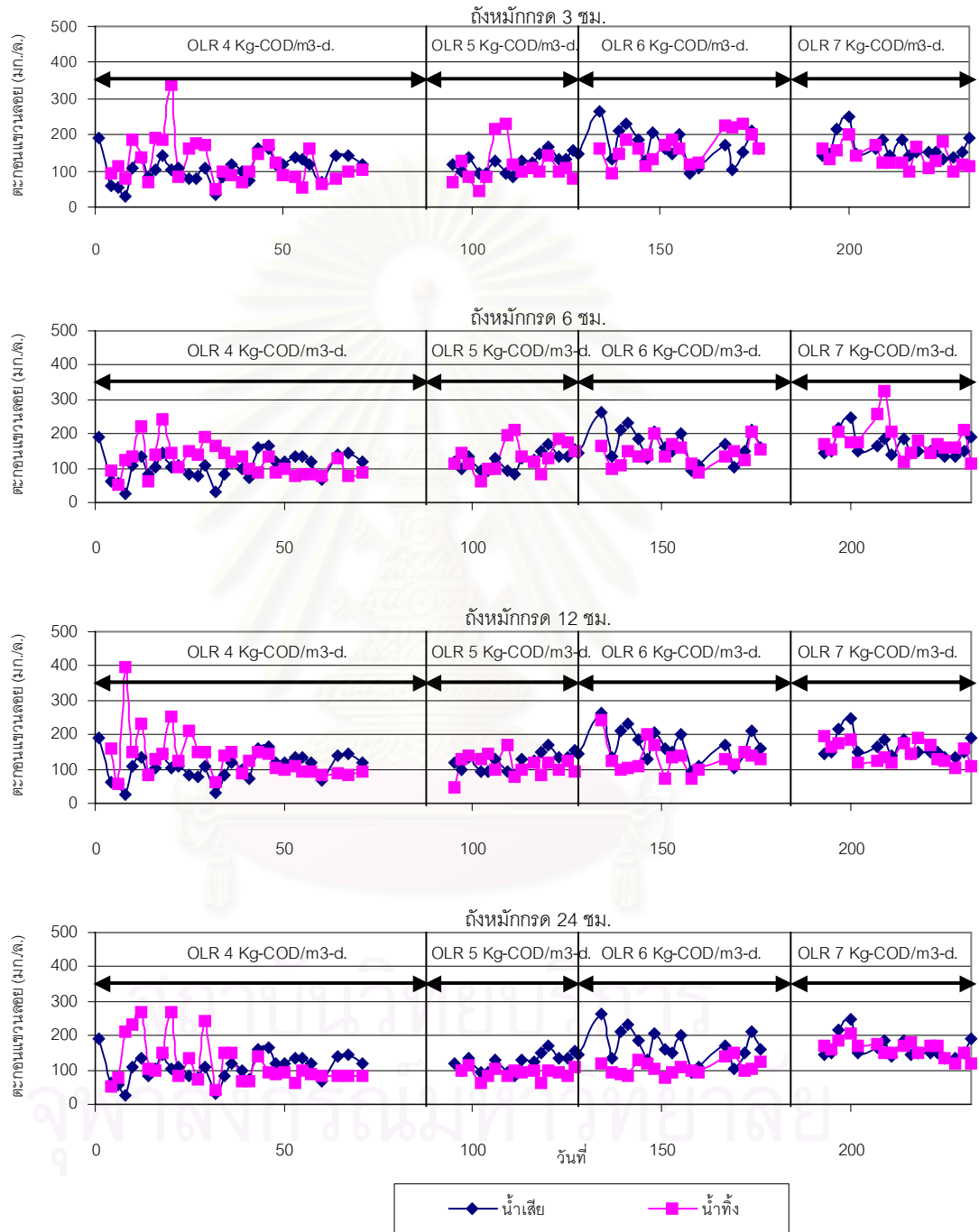
รูปที่ 4.4 ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยตะกอนโวลลาไทล์ในสภาวะคงตัวของระบบ

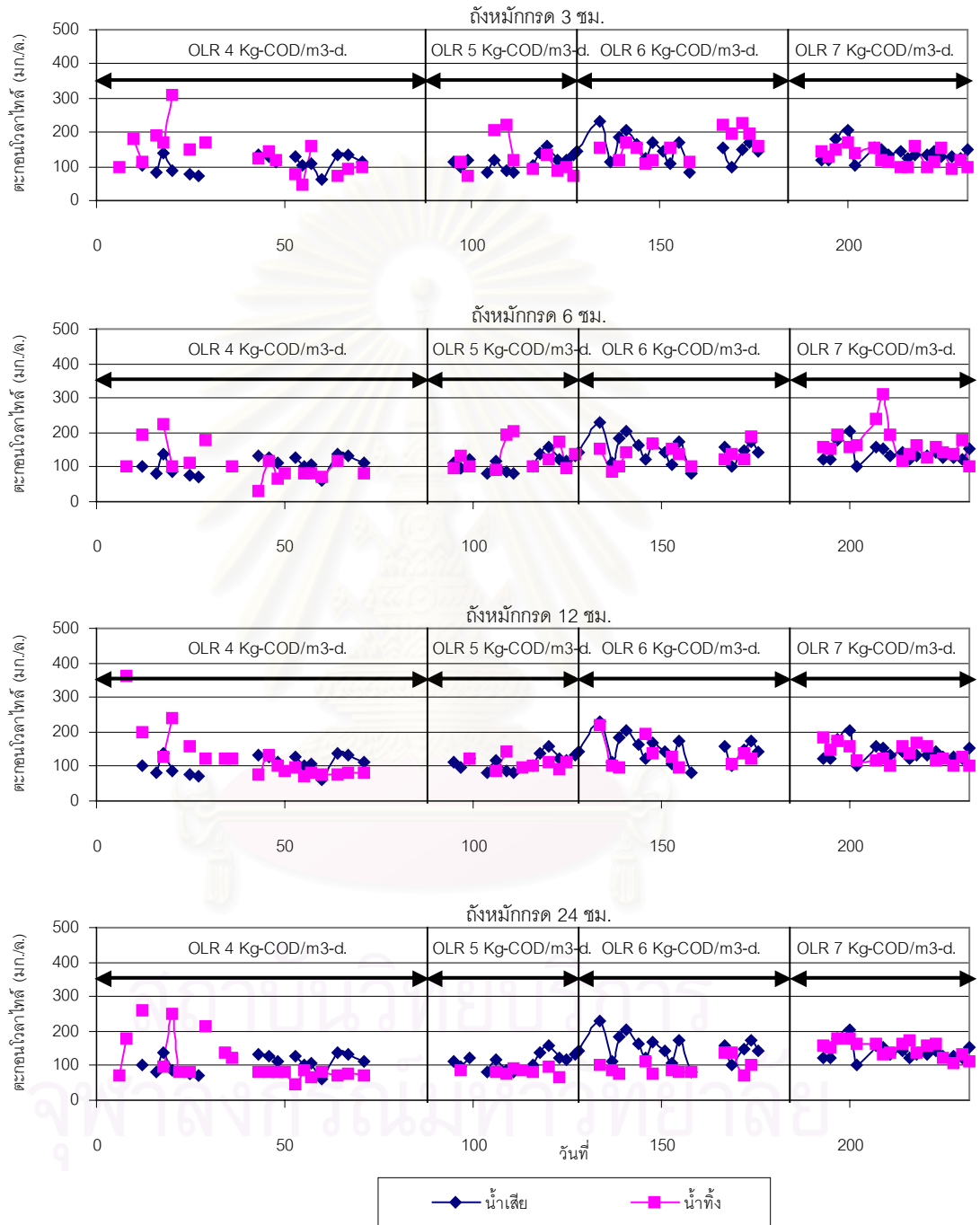
เวลากักเก็บใน ถังหมักกรด (ชั่วโมง)	ตะกอนโวลลาไทล์ (มก./ล.)							
	ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	
	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก
3		95±36 (n=9)		97±24 (n=6)		200±24 (n=5)		115±29 (n=4)
6	112±24 (n=9)	83±16 (n=9)	129±20 (n=6)	127±30 (n=6)	129±20 (n=5)	127±30 (n=5)	133±13 (n=4)	142±31 (n=4)
12		84±9 (n=9)		105±9 (n=6)		105±9 (n=5)		113 ± 13 (n=4)
24		74±13 (n=9)		81±16 (n=6)		81±16 (n=5)		128±11 (n=4)

4.1.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในแต่ละการทดลองโดยมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 14-20 % โดยภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง โดยพบว่าที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีสูงสุดคือ 20.4% ที่เวลาเก็บกักในถังหมักกรด 24 ชั่วโมง แต่ที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ที่เท่ากันเวลาเก็บกักในถังหมักกรดแตกต่างกันพบว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากถังหมักกรดจะทำหน้าที่ในเปลี่ยนสารอาหารที่เป็นสารประกอบละลายน้ำ ซึ่งถูกสร้างขึ้นในชั้น ไฮโดรไลซิสได้แก่ น้ำตาล กรด-ไขมัน และกรดอะมิโน จะถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์แบคทีเรียพวกสร้างกรด เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน โดยผ่านกระบวนการหมัก ภายในเซลล์ และเปลี่ยนรูปเป็นกรดระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid) กรดบิวทิริก (Butyric acid) เป็นต้น รวมทั้งได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ซึ่งการกำจัดซีโอดีในถังหมักกรดแบคทีเรียจะใช้สารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสารอาหารบางส่วนจะเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการหมัก โดยกรดระเหยง่ายที่เกิดจากกระบวนการหมักไม่ได้ถูกใช้ไป จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีไม่สูงนัก รูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 แสดงซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลอง ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ค่าตะกอนแขวนลอยตลอดการทดลอง



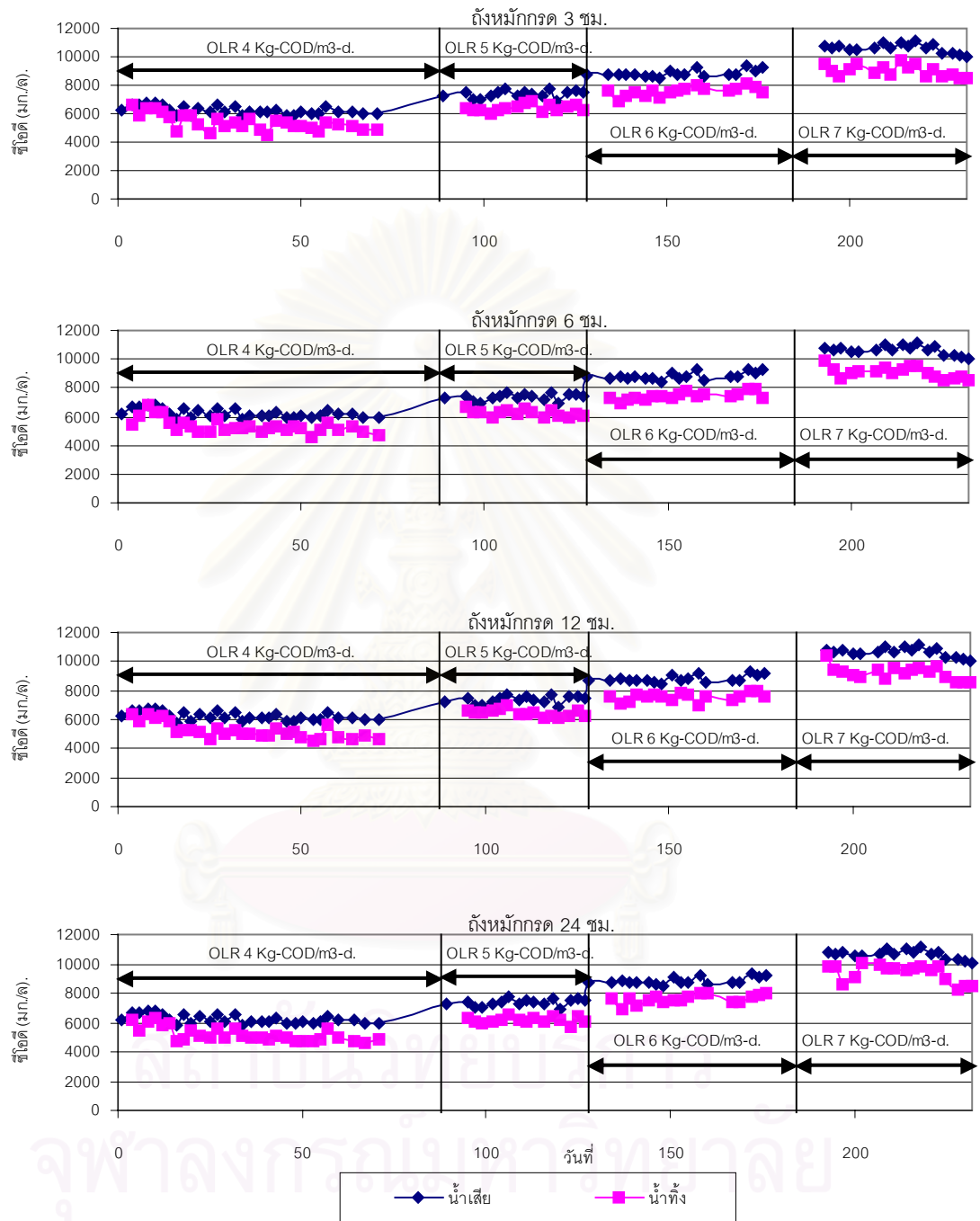
รูปที่ 4.6 ค่าตะกอนเวลาไหลตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยซีไอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ในสภาวะคงตัวของระบบ

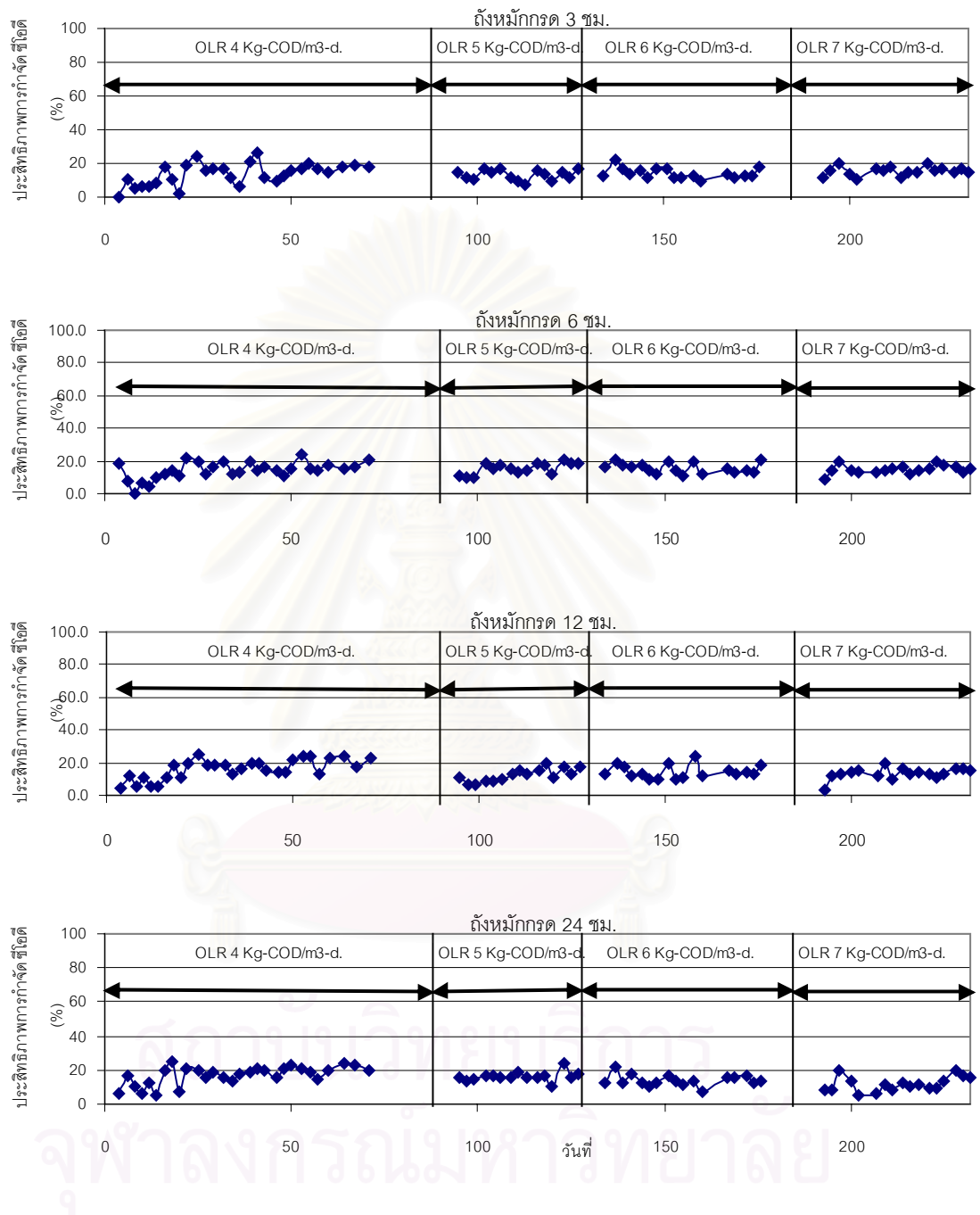
เวลาเก็บ ในถังหมัก กรด (ชั่วโมง)	ซีไอดี (มก./ล.)											
	ภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			ภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			ภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			ภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน		
	น้ำ เสีย	น้ำ ออก	%การ กำจัด	น้ำ เสีย	น้ำ ออก	%การ กำจัด	น้ำ เสีย	น้ำ ออก	%การ กำจัด	น้ำ เสีย	น้ำ ออก	%การ กำจัด
3	6083 ±158 (n=9)	5056 ±187 (n=9)	16.9 ±2.3 (n=9)	7405 ±291 (n=6)	6396 ±238 (n=6)	13.6± 2.7 (n=6)	9019 ±270 (n=5)	7788 ±255 (n=5)	13.6 ±2.8 (n=5)	10206 ±124 (n=4)	8600 ±124 (n=4)	15.7 ±1.0 (n=4)
6		5066 ±297 (n=9)	16.7 ±3.9 (n=9)		6120 ±168 (n=6)	17.3 ±2.9 (n=6)		7634 ±288 (n=5)	15.3 ±3.0 (n=5)		8617 ±127 (n=4)	15.6 ±1.5 (n=4)
12		8450 ±331 (n=9)	20.3 ±4.2 (n=9)		6257 ±163 (n=6)	15.4 ±3.1 (n=6)		7672 ±251 (n=5)	14.9 ±2.2 (n=5)		8650 ±211 (n=4)	15.2 ±1.6 (n=4)
24		4847 ±274 (n=9)	20.4 ±2.8 (n=9)		6151 ±253 (n=6)	16.8 ±4.5 (n=6)		7683 ±285 (n=5)	14.8 ±1.6 (n=5)		8800 ±294 (n=4)	14.9 ±2.8 (n=4)

4.1.5 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยของซีไอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีมีค่าใกล้เคียงกันมากในแต่ละภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ โดยมีประสิทธิภาพในช่วง 18-23 % ซึ่งภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีลดลง เช่น ที่เวลาเก็บกักในถังหมักกรด 24 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 22.8 23.0 21.0 และ 19.5 % ที่ภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ และที่ภาวะบรรทุกลำอินทรีย์เดียวกันเวลาเก็บกักในถังหมักกรดแตกต่างกัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เช่นที่ภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 20.5 21.7 20.3 และ 23 % ที่เวลาเก็บกักในถังหมักกรด 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่ภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เป็นภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ที่มี ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในถังหมักกรดสูงที่สุดในแต่ละเวลาเก็บกักในถังหมักกรด



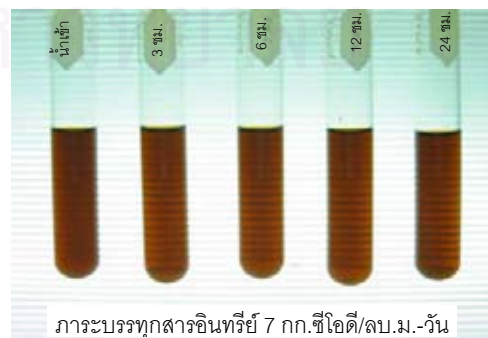
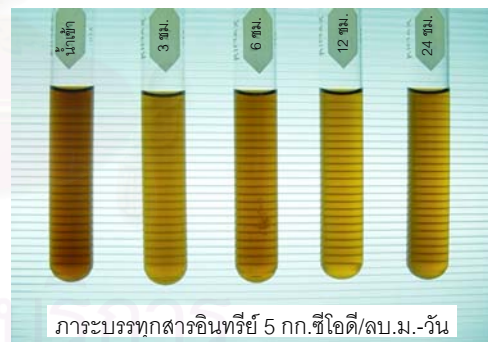
รูปที่ 4.7 ซีโอดีตลอดการทดลอง



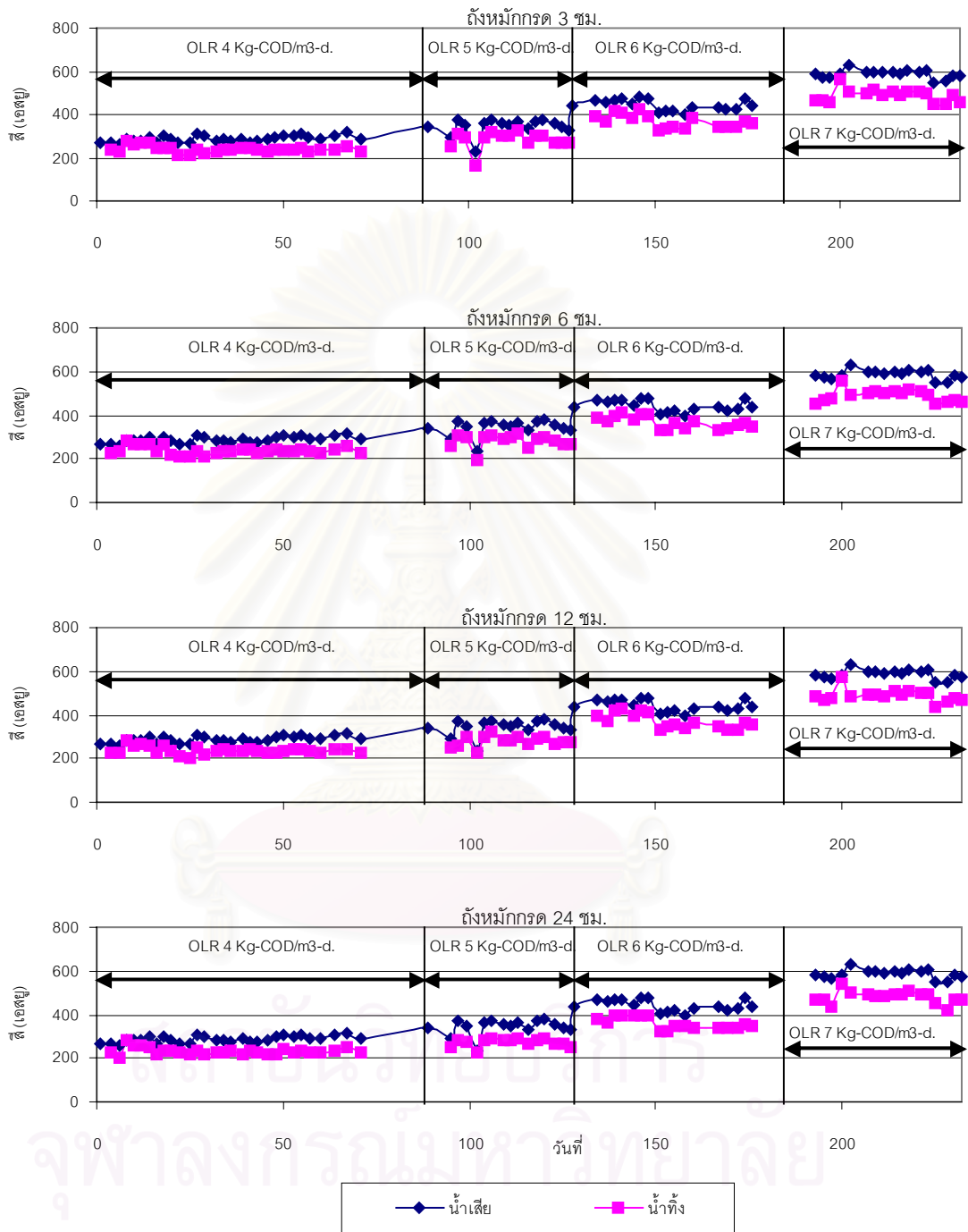
รูปที่ 4.8 เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดีตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยสีและประสิทธิภาพการกำจัดสีในภาวะคงตัวของระบบ

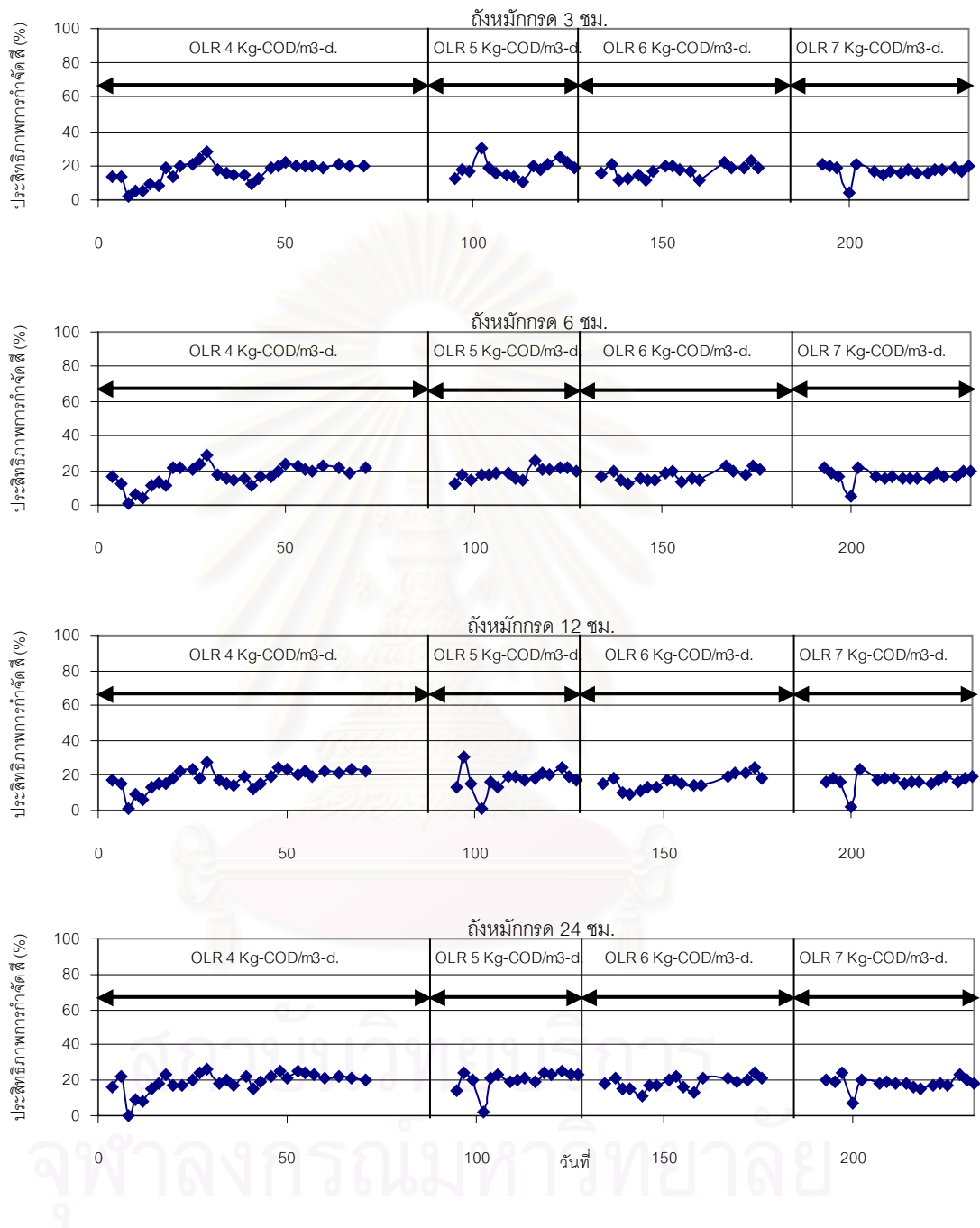
เวลาพัก เก็บใน ถังหมัก กรด (ชั่วโมง)	สี (เอสยู)											
	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน		
	น้ำ เสีย	น้ำ ออก	%การ กำจัด	น้ำ เสีย	น้ำ ออก	%การ กำจัด	น้ำ เสีย	น้ำ ออก	%การ กำจัด	น้ำ เสีย	น้ำ ออก	%การ กำจัด
3	300 ± 10 (n=9)	240 ± 7 (n=9)	20.2 ±0.9 (n=9)	352 ± 20 (n=6)	279 ± 17 (n=6)	20.5 ±2.4 (n=6)	438 ± 21 (n=5)	350 ± 12 (n=5)	20.1 ±2.1 (n=5)	565 ± 18 (n=4)	461 ± 17 (n=4)	18.4 ±1.5 (n=4)
6		237 ± 10 (n=9)	21.2 ±1.7 (n=9)		275 ± 19 (n=6)	21.7 ±2.1 (n=6)		348 ± 13 (n=5)	20.5 ±2.5 (n=5)		461 ± 5 (n=4)	18.4 ±1.9 (n=4)
12		234 ± 8 (n=9)	22.2 ±1.5 (n=9)		280 ± 12 (n=6)	20.3 ±2.6 (n=6)		347 ± 13 (n=5)	20.9 ±2.1 (n=5)		460 ± 15 (n=4)	18.4 ±1.5 (n=4)
24		232 ± 9 (n=9)	22.8 ±1.9 (n=9)		270 ± 13 (n=6)	23 ± 2.0 (n=6)		346 ± 7 (n=5)	21.0 ±2.1 (n=5)		461 ± 21 (n=4)	19.5 ±2.6 (n=4)



รูปที่ 4.9 สีที่สามารถลดได้จากถังหมักกรดที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.10 ค่าสีตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.11 เปอร์เซนต์การกำจัดสัลดการทดลอง

4.1.6 ค่า บีโอดี และค่า ทีโอดี

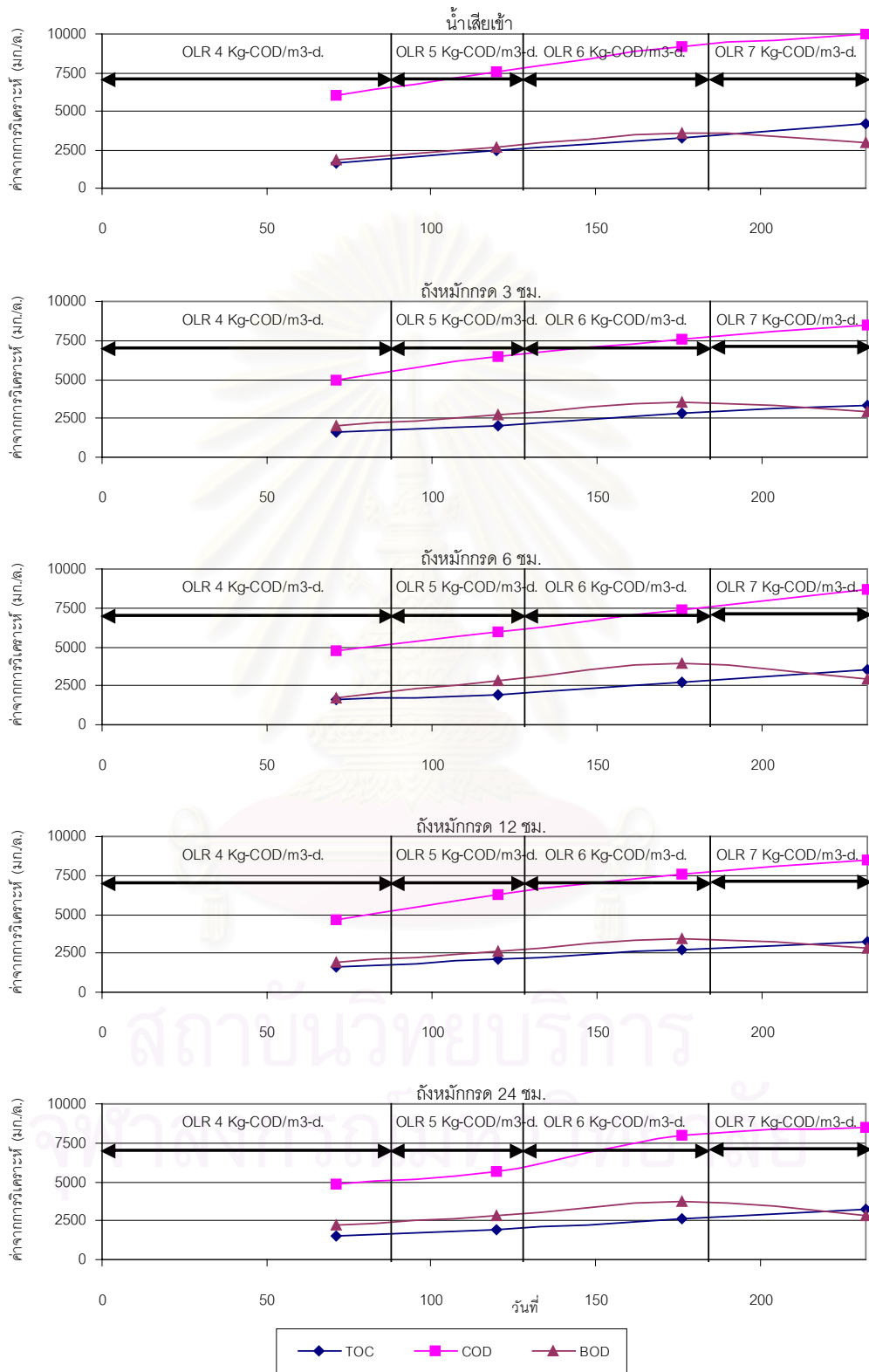
ค่า บีโอดี และค่า ทีโอดี จะทำการวิเคราะห์ 1 ครั้งภายหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว โดยค่าที่ทำการวิเคราะห์อยู่ในตารางที่ ก.19 และวันที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ ได้แสดงในตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์บีโอดี และซีโอดีจะกระทำทันที ส่วนการวิเคราะห์ทีโอดี หากยังไม่สามารถส่งวิเคราะห์ได้ทันทีจะทำการเก็บตัวอย่างในตู้เย็นที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ให้เร็วที่สุด ตัวอย่างที่เก็บนี้ไม่สามารถเก็บรักษาโดยใช้กรด เพื่อรักษาสภาพตัวอย่างได้ เนื่องจากเมื่อทำการเติมกรดลงในน้ำตัวอย่าง จะทำให้น้ำตัวอย่างเกิดการตกตะกอนซึ่งทำให้ค่าเปลี่ยนแปลงมากไปกว่าเดิม การเก็บตัวอย่างจึงเลือกเก็บในวันที่สามารถส่งวิเคราะห์ได้เร็วที่สุดเท่าที่ทำได้ ในการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ได้ทำการเก็บน้ำตัวอย่างไว้เพื่อรอการวิเคราะห์ แต่เกิดปัญหาเนื่องจากไฟดับเป็นเวลานานทำให้น้ำตัวอย่างเกิดการหมักต่อไป โดยสังเกตได้จากการเปิดขวดตัวอย่างแล้วเกิดแรงดันในขณะเปิดและได้กลิ่นก๊าซ ทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไป และในการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมอินทรีย์ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน การวิเคราะห์ ทีโอดี ได้ใช้สารที่ทำค่ามาตรฐานที่มีเจ้าหน้าที่เตรียมไว้ก่อนแล้วจึงทำให้ผลการทดลองมีแนวโน้มต่างออกไปเล็กน้อย

จากการทดลองพบว่า ค่าบีโอดี ในแต่ละภาควิชาวิศวกรรมอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกันแต่ยังมีความต่างกับค่าซีโอดี อยู่มาก โดยมีค่าบีโอดีเพียงประมาณ 1 ใน 3 ของค่า ซีโอดีเท่านั้น โดยค่า บีโอดี เป็นค่าที่บ่งบอกว่ามีสารที่แบคทีเรียย่อยสลายได้มีปริมาณมากน้อยแค่ไหน จากค่าบีโอดีต่อ ซีโอดีดังกล่าว แสดงว่าน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก

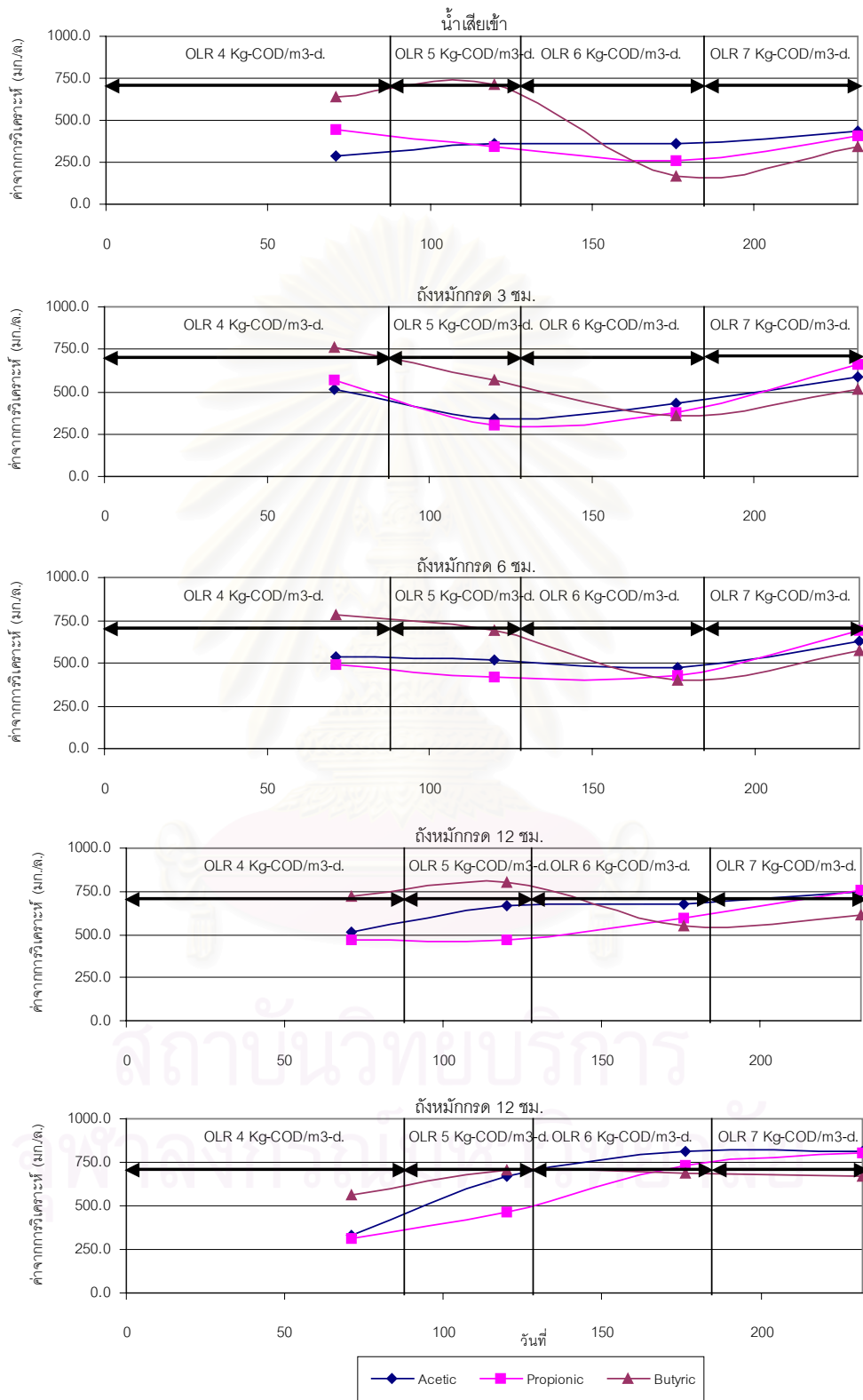
จากการทดลองพบว่าค่า ทีโอดี มีค่าลดลงตามระยะเวลาเก็บกักที่เพิ่มขึ้น โดยลดลงในช่วง 10-20% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ ทีโอดีได้กระทำเพียงครั้งเดียวภายหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว จึงไม่สามารถบ่งบอกแนวโน้มของการทดลองได้อย่างแม่นยำเท่าที่ควร

4.1.7 ค่ากรดระเหยง่ายจากการวิเคราะห์ด้วย GC

การวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วยวิธี GC จะทำการวิเคราะห์ 1 ครั้งภายหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว การวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วยวิธี GC ได้ใช้เครื่อง Hewlett Packard 6890 plus ใช้ คอลัมน์ Model Alltech C12100 250°C Max เป็น Packed Column Porapak P100/120 ใช้ Detector แบบ FID ใช้อุณหภูมิ 250/200/250 °C ได้ทำการวิเคราะห์ 4 ครั้ง โดยครั้งการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมอินทรีย์ 4 และ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ใช้ปริมาณตัวอย่างในการ



รูปที่ 4.12 ผลจากการวิเคราะห์ ทีไอซี ซีไอดี และ บีไอดี ตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.13 ผลจากการวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วยวิธี GC ตลอดการทดลอง

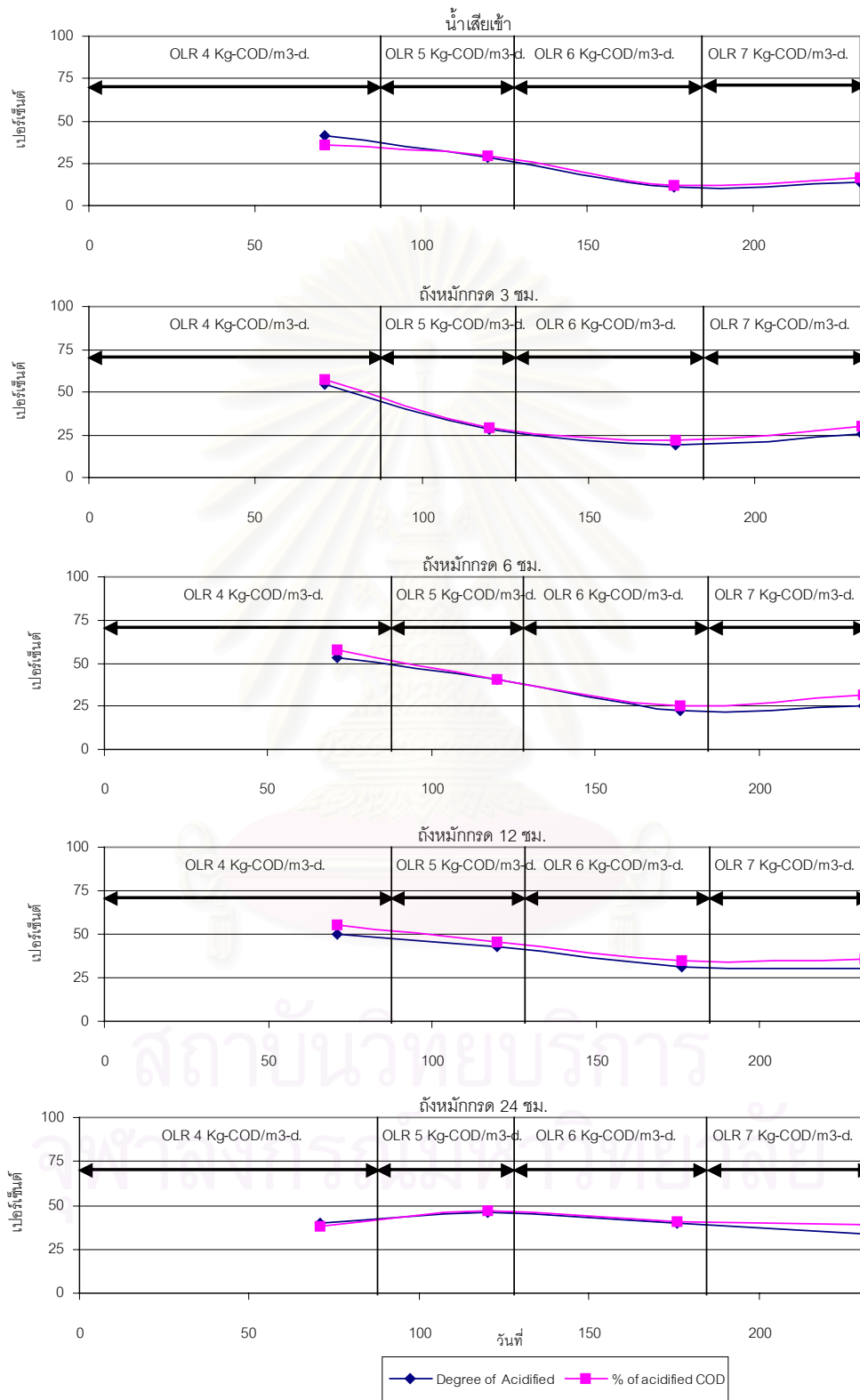
วิเคราะห์ 1 ไมโครลิตร ส่วนในการทดลองที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 และ 7 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์ 2 ไมโครลิตร เนื่องจากได้ทำการฉีดที่ 1 ไมโครลิตร แล้วตัว Detector ไม่สามารถวัดได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณในการใช้ตัวอย่างวิเคราะห์ จึงต้องทำสมการมาตรฐาน 2 ค่า ดังแสดงใน ตารางที่ ค.1 และ ค.2 การวิเคราะห์กรรถระเหยง่าย เครื่องมือวิเคราะห์สามารถวิเคราะห์กรรถระเหยง่ายได้ แค่ 3 ตัว โดยเมื่อใช้ตัวอย่างวิเคราะห์แล้ว ไม่เกิดจุดสูงสุดของกราฟเมื่อเวลาผ่านไป และจากการวิเคราะห์พบว่า กรดอะซิติก กรดโพรไพออนิก และกรดบิวทริก มีจุดสูงสุดตามเวลาโดยประมาณเป็น 2 3 และ 4.5 นาทีตามลำดับ จากการทำการสมการมาตรฐานเพื่อใช้ในการคำนวณพบว่ากราฟไม่ผ่านจุด 0,0 ทำให้ผลการคำนวณที่ความเข้มข้นของกรรถระเหยง่าย ปริมาณต่ำ (ต่ำกว่า 1000 มก./ล. as CH₃COOH) มีความผิดพลาดสูง แต่ผลการคำนวณค่ากรรถระเหยง่ายจาก GC มีความใกล้เคียงกับผลการทดลองจากการไตรเตรชั่นเมื่อปริมาณกรรถระเหยง่ายมีความเข้มข้นสูง ผลการวิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ ค.4 ค.5 ค.6 และ ค.7 รูปที่ 4.13 แสดงผลจากการวิเคราะห์กรรถระเหยง่ายด้วยวิธี GC ตลอดการทดลอง

4.1.8 เปอร์เซ็นต์การหมักกรดในถังหมักกรด

ตารางที่ ค.8 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหมักกรดของถังหมักกรดแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ โดยจากการคำนวณพบว่า เปอร์เซ็นต์การหมักกรดเพิ่มขึ้นตามเวลากักเก็บที่นานขึ้น ที่เวลาเก็บกักนานขึ้นการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของการหมักกรดมีค่าลดลง ในการทดลองพบว่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้องเพิ่มเวลากักเก็บให้นานขึ้นเพื่อให้มีเปอร์เซ็นต์การหมักกรดมีค่าเท่าเดิม โดยผลการวิเคราะห์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันยกเว้นการทดลองที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เนื่องจาก เกิดปัญหาไฟดับดังที่กล่าวไว้แล้ว ทำให้เปอร์เซ็นต์การหมักกรดเกิดการผิดพลาดไป ในรูปที่ 4.14 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหมักกรดตลอดการทดลอง

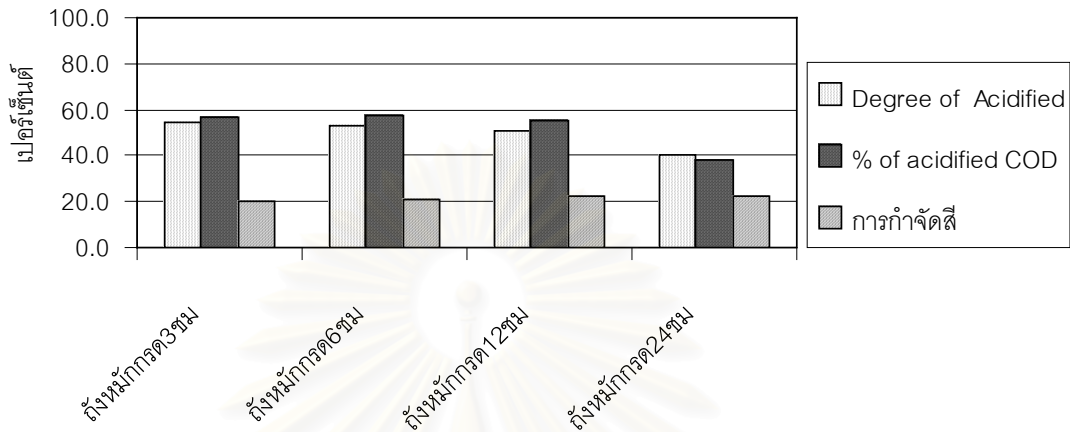
4.2 การเลือกปัจจัยความเหมาะสมของเวลากักเก็บกักของถังหมักกรด

การเลือกเวลากักเก็บกักของถังหมักกรดในงานวิจัยนี้มีเกณฑ์ในการเลือกคือ เปอร์เซ็นต์การหมักกรดต้องอยู่ในช่วง 20-40 % และมีประสิทธิภาพในการลดสีที่ดีที่สุด ในแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ทำการทดลอง และเมื่อเกิดกรณีที่ไม่สามารถตัดสินใจได้เนื่องจากมีการผิดพลาดจากการทดลองจะใช้พารามิเตอร์อื่น ๆ เช่นระยะเวลาเก็บกัก ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่หลุดออก แนวโน้มการหมักกรด ที่ได้จากการทดลองในการช่วยกำหนดปัจจัยความเหมาะสมเพิ่มเติม



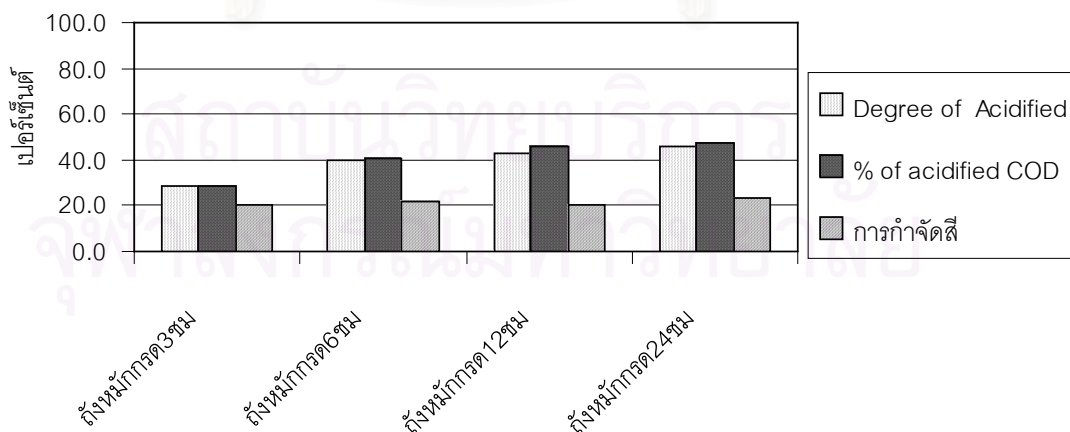
รูปที่ 4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์การหมักกรดตลอดการทดลอง

ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
 เลือกถังหมักกรดที่เวลา 24 ชม. เนื่องจากมี เปอร์เซ็นต์การหมักกรดที่ 38.6 % และมี
 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสียี่ที่ดีที่สุด 19.5 %



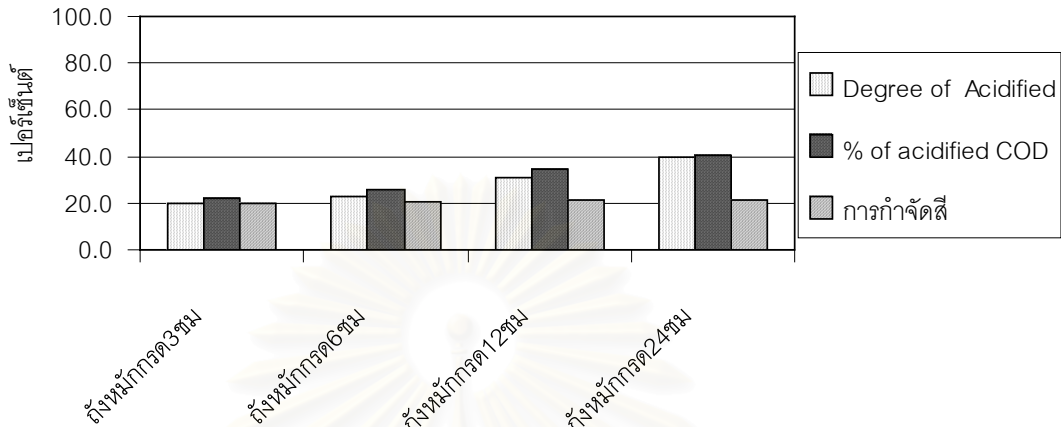
รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสียี่และเปอร์เซ็นต์การหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์
 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
 เลือกถังหมักกรดที่เวลา 12 ชม. เนื่องจากมี เปอร์เซ็นต์การหมักกรดที่ 34 % และมีการลด
 สียี่ที่เท่ากันกับถังหมักกรด 24 ชม. โดยมีการเปอร์เซ็นต์การกำจัดสียี่ 21%



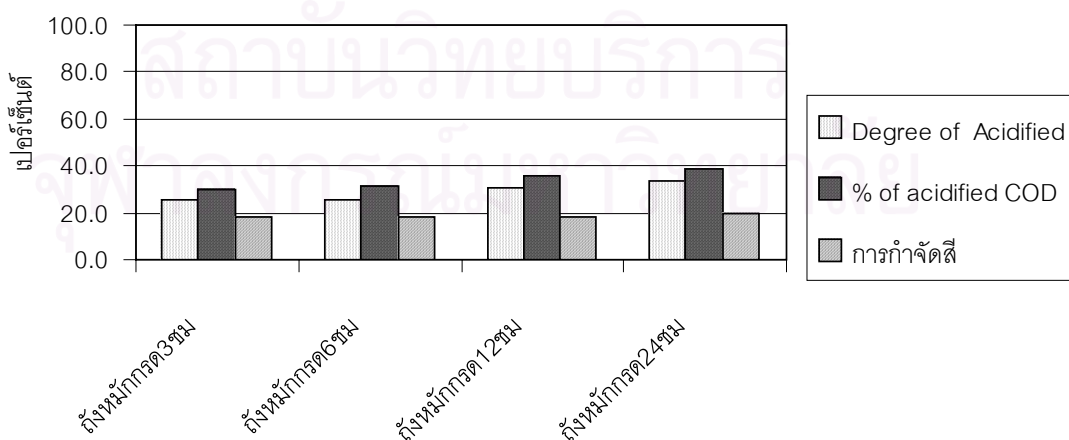
รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสียี่และเปอร์เซ็นต์การหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์
 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
 เลือกถังหมักกรดที่เวลา 6 ชม. เนื่องจากมี เปอร์เซ็นต์การหมักกรดที่ 40.6 % และมี
 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสี 21.2 % ซึ่งสูงกว่าถังหมักกรด 12 ชม.



รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีและเปอร์เซ็นต์การหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์
 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
 เลือกถังหมักกรดที่เวลา 6 ชม. เนื่องจากค่ากรดระเหยง่ายในแต่ละภาวะบรทุกสาร
 อินทรีย์ จะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก แต่ค่าที่ไอซี ที่วัดได้ในแต่ละภาวะบรทุกสารอินทรีย์แตกต่างกัน
 ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จะไม่เกิน 6 ชม.
 ซึ่งสาเหตุที่ไม่เลือก ถังหมักกรด 3 ชม. เนื่องจาก การทดลองมี เซลล์แบคทีเรียหลุดออกมามาก
 เพราะเวลาและพื้นที่เก็บกักเซลล์น้อย (ดูจากค่า ตะกอนเวลาไหล) ทำให้การตกตะกอนของสี ใน
 ถังหมักกรด 3 ชม.ไม่ดีนัก



รูปที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีและเปอร์เซ็นต์การหมักกรดที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์
 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

4.3 ผลการทดลองการศึกษาระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ

ในงานวิจัยนี้ใช้ถังปฏิกรณ์ที่แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่ทำจากท่อพีวีซี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 2 เมตร ปริมาตรเก็บกัก 0.01385 ลบม. กำหนดให้มีระยะเวลาเก็บกักนาน 36 ชั่วโมงเท่ากัน จำนวน 4 ชุด โดยในแต่ละชุดจะมีถังหมักกรดน้ำ ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกักนาน 6 6 12 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และเมื่อน้ำเสียผ่านถังหมักกรดแล้วจะเข้าสู่ถังปรับพีเอชเพื่อปรับสภาพน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิกรณ์ ให้มีพีเอชที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน (พีเอช 6.8 - 7.5) ในถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ในการปรับพีเอชน้ำเสียจะใช้ สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ปรับพีเอชจนน้ำเสียมีพีเอชใกล้เคียง 7 โดยทำไตเตรตน้ำเสียที่ผ่านถังหมักกรดด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.1 N เพื่อหาปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมในการปรับพีเอชของน้ำที่ผ่านถังหมักกรดในแต่ละภาวะบรรทุกอินทรีย์ การเติมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตในแต่ละการทดลองจะเติมในปริมาณ 100 มล./วัน เพื่อให้มีผลกระทบต่อภาระการย่อยสลายในการวัดสีให้น้อยที่สุด ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ในแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ไม่เท่ากัน โดยที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.32 1.84 2.37 และ 2.89 N ตามลำดับ การควบคุมปริมาณการเติมจะทำได้ด้วยปั๊มรีดสายที่มีอัตราไหลต่ำ

ในการเริ่มระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ได้ทำการเริ่มระบบตั้งแต่เดือนมีนาคม 2546 โดยจะทำการเติมเชื้อตะกอนแอนแอโรบิก ที่นำมาจากระบบยูเอเอสพีของบริษัททพุมธานีบริวเวอรี จำกัด จำนวน 5 ลิตร (เชื้อตะกอนที่นำมาเติมนี้อาจต้องทำการเลี้ยงให้คุ้นเคยกับน้ำกากส่าที่ใช้ในการวิจัย โดยใช้น้ำกากส่าและน้ำตาลซึ่งเป็นสารอาหารปฐมภูมิที่อัตราส่วน 1 ต่อ 3 ที่มีความเข้มข้นของซีไอดี 500 มก./ล.ใส่ตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนทรงกลมลอยน้ำ จำนวน 14 ชิ้น ซึ่งมีความสูงประมาณ 1 ใน 3 ของถังปฏิกรณ์ จากนั้นเติมน้ำเสียจนเต็ม ตั้งทิ้งไว้ให้จุลินทรีย์ดำเนินการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณ 10 วัน เมื่อสังเกตเห็นมีก๊าซเกิดขึ้นที่เครื่องวัดก๊าซ แสดงว่า จุลินทรีย์เริ่มมีความคุ้นเคย และพร้อมที่จะรับน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง จึงเริ่มทำการปล่อยน้ำออกจากท่อเก็บตัวอย่างด้านบน และทำการเติมน้ำเสียใหม่เข้าในถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ในการเพิ่มความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์จะเพิ่มความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำเสียขึ้นทีละน้อย จนกระทั่งได้ความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำเสียตามที่ต้องการในแต่ละถังปฏิกรณ์ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ในการเริ่มระบบ จะใช้ค่าพีเอชและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น โดยจะทำการคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.8 ถึง 7.5 และคอยสังเกตว่าก๊าซที่ออกมีปริมาณคงที่หรือไม่ การเริ่มระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ในการทดลองนี้

ใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 4 เดือน และ ทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิก- ไฮบริดฟิลเตอร์ ในแต่ละภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์จนกระทั่ง ทำการศึกษาหาเวลาเก็บกักในถังหมักกรดเสร็จจึงทำการป้อนน้ำเสียที่ผ่านถังหมักกรดเข้าสู่ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ทั้ง 4 ถังทางด้านล่าง ในการศึกษาระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 74 วัน ดังแสดงวันที่ทำการทดลองและการเก็บตัวอย่างในการวิเคราะห์ ในตาราง ข.1 และ ข. 2

ในการศึกษาผลการเติมนิกเกิล และโคบอลต์ ต่อระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำได้ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 10 วัน โดยเริ่มในวันที่ 24 ส.ค.2546 จนถึงวันที่ 3 ก.ย. 2546 ดังแสดงวันที่ทำการทดลองและการเก็บตัวอย่างในการวิเคราะห์ ในตาราง ข.1 และ ข. 2



รูปที่ 4.19 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ



ถึงหมักกรดเวลาเก็บกัก
6 ชั่วโมง

(ก.)



ถึงหมักกรดเวลาเก็บกัก
6 ชั่วโมง

(ข.)



ถึงหมักกรดเวลาเก็บกัก
12 ชั่วโมง

(ค.)



ถึงหมักกรดเวลาเก็บกัก
24 ชั่วโมง

(ง.)

รูปที่ 4.20 ภาพถึงหมักกรดที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ

- (.) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- (.) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- (.) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- (.) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

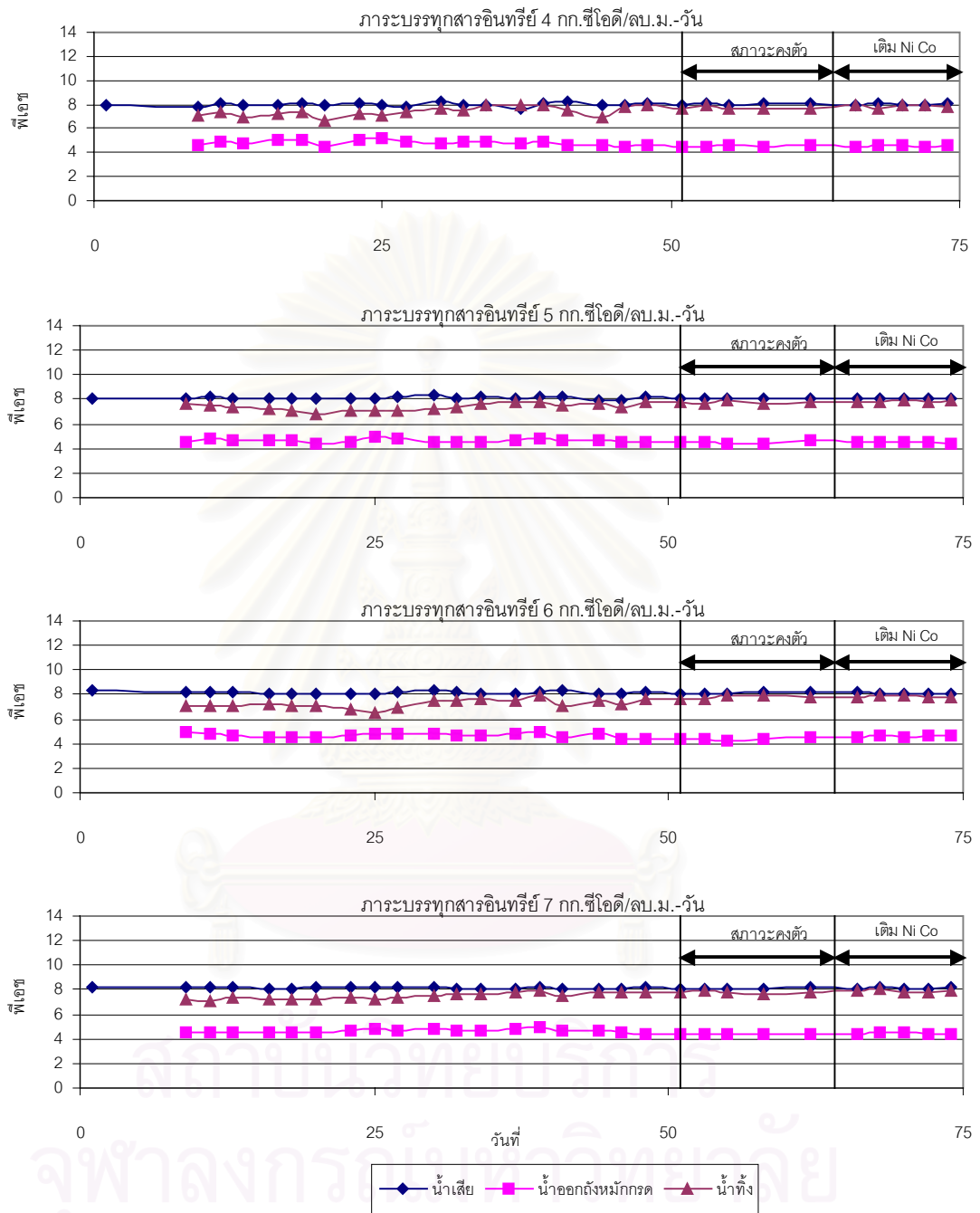
4.3.1 ค่าพีเอชและไออาร์พี

พีเอช

จากตารางที่ 4.9 แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยในสภาวะคงตัว จากการทดลองพบว่าพีเอชในน้ำเสียเริ่มต้นจะแตกต่างกันตามปริมาณน้ำเสียที่ใช้ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยโดยที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าพีเอชเฉลี่ยที่ 8.02 8.08 8.12 และ 8.13 ตามลำดับ เนื่องจากน้ำเสียที่นำมาจากโรงงานมีการปรับสภาพต่างดังที่กล่าวในตอนต้น ส่วน พีเอชในถังหมักกรดจะลดลงตามอัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น และเวลาเก็บกักที่นานขึ้นโดยที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าพีเอชเฉลี่ย 4.51 4.48 4.39 และ 4.37 ตามลำดับ พีเอชในน้ำทิ้งจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีการปรับพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านถังหมักกรดก่อนเข้าสู่ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ และเมื่อเติมนิกเกิล และโคบอลต์ พบว่า พีเอชของน้ำในถังหมักกรดมีค่าสูงขึ้น แสดงว่า นิกเกิล และโคบอลต์ไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในถังหมักกรด พีเอชในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นจากเดิมเล็กน้อย เป็นผลมาจากนิกเกิล และ โคบอลต์ไปเพิ่มประสิทธิภาพแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนทำให้สามารถใช้กรดระเหยง่ายได้เพิ่มขึ้น ทำให้กรดระเหยง่ายในน้ำออกลดลงส่งผลให้พีเอชน้ำออกสูงขึ้นเล็กน้อย รูปที่ 4.21 แสดงค่าพีเอชตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยพีเอชในสภาวะคงตัวของระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์
ที่มีถังหมักกรดน้ำ

ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	พีเอช					
	ก่อนเติมนิกเกิลและโคบอลต์			หลังเติมนิกเกิลและโคบอลต์		
	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง
4	8.02±0.01 (n=5)	4.51±.08 (n=5)	7.72±0.10 (n=5)	8.00±0.03 (n=3)	4.59±0.05 (n=3)	7.91±0.06 (n=3)
5	8.08±0.03 (n=5)	4.48±0.10 (n=5)	7.74±0.10 (n=5)	8.09±0.03 (n=3)	4.48±0.02 (n=3)	7.83±0.08 (n=3)
6	8.12±0.04 (n=5)	4.39±0.06 (n=5)	7.78±0.13 (n=5)	8.11±0.03 (n=3)	4.62±0.05 (n=3)	7.79±0.07 (n=3)
7	8.13±0.08 (n=5)	4.37±0.29 (n=5)	7.77±0.10 (n=5)	8.15±0.10 (n=3)	4.46±0.05 (n=3)	7.82±0.04 (n=3)



รูปที่ 4.21 ค่าพีเอชตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ

ไออาร์พี

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าไออาร์พีในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นเมื่อผ่านระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ แสดงว่ามีปฏิกริยารับจ่ายอิเล็กตรอนที่สมบูรณ์มากขึ้นโดยจะมีค่าไออาร์พีในเกณฑ์เฉลี่ยทั่วไปของระบบแอนแอโรบิกคือ -250 ถึง -350 โดยน้ำทิ้งภายหลังจากการเติมนิกเกิล และโคบอลท์ พบว่า มีค่าไออาร์พีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 5 6 และ 7กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าไออาร์พีเฉลี่ยก่อนเติมนิกเกิล และโคบอลท์ -272 -270 -268 และ -302 มิลลิโวลท์ มีค่าไออาร์พีเฉลี่ยหลังเติมนิกเกิล และโคบอลท์ -231 -278 -228 และ -230 ตามลำดับ รูปที่ 4.22 แสดงค่าไออาร์พีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์

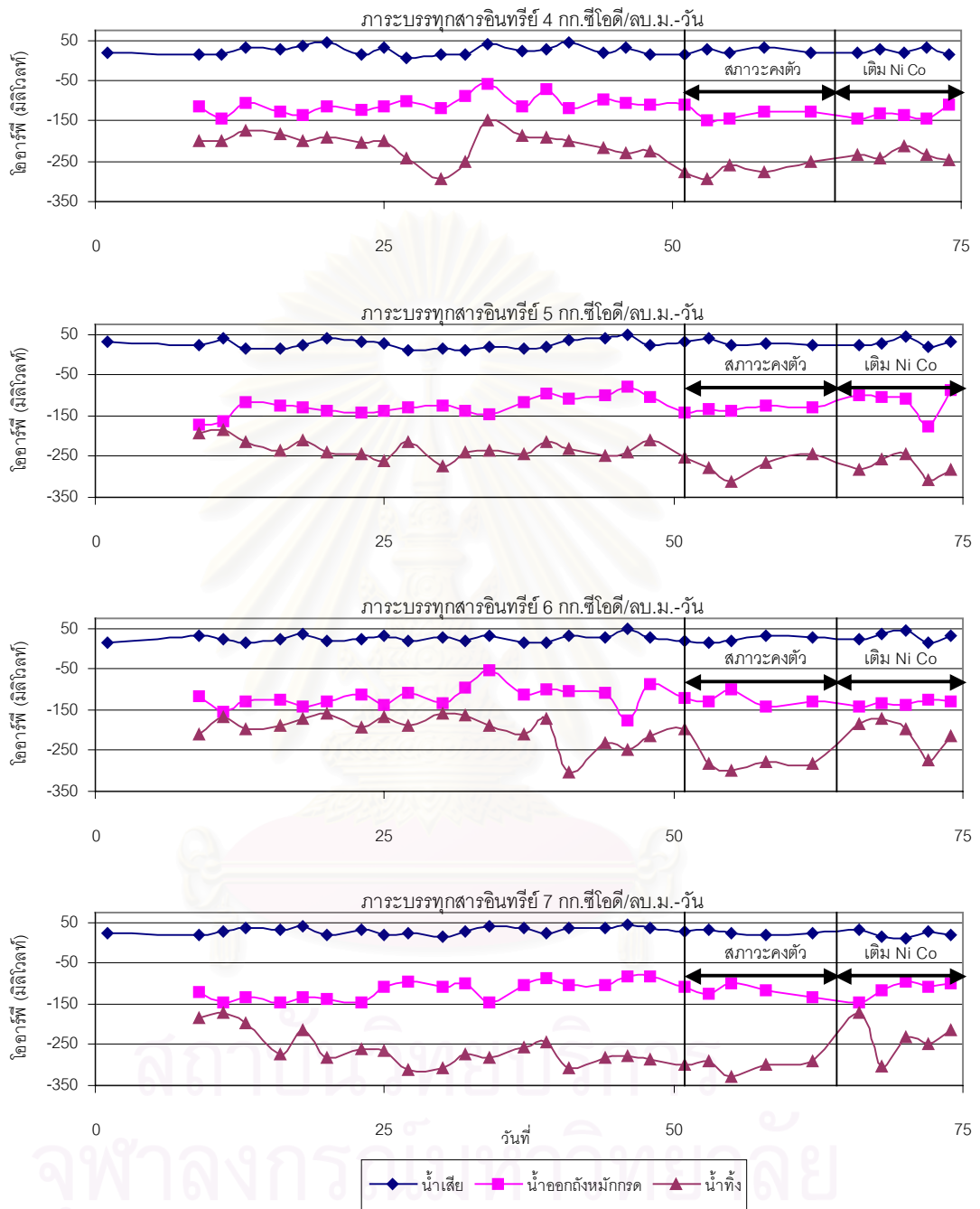
ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยไออาร์พีในสภาวะคงตัวของระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)					
	ก่อนเติมนิกเกิลและโคบอลท์			หลังเติมนิกเกิลและโคบอลท์		
	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง
4	22±7 (n=5)	-131±16 (n=5)	-272±17 (n=5)	23±9 (n=3)	-130±19 (n=3)	-231±18 (n=3)
5	30±7 (n=5)	-134±6 (n=5)	-270±6 (n=5)	32±12 (n=3)	-123±42 (n=3)	-278±35 (n=3)
6	23±7 (n=5)	-124±15 (n=5)	-268±42 (n=5)	31±15 (n=3)	-131±7 (n=3)	-228±40 (n=3)
7	26±5 (n=5)	-116±14 (n=5)	-302±16 (n=5)	19±7 (n=3)	-100±6 (n=3)	-230±16 (n=3)

4.3.2 ค่ากรดระเหยง่ายและสภาพต่างทั้งหมด

ค่ากรดระเหยง่าย

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่าย จากการทดลองน้ำเสียเข้าระบบจะไม่พบค่ากรดระเหยง่ายเลย ส่วนค่ากรดระเหยง่ายในน้ำเสียที่ผ่านถังหมักกรดก่อนการเติม นิกเกิล และ โคบอลท์ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำการศึกษาความเหมาะสมของถังหมักกรดที่ผ่านมา ค่ากรดระเหยง่ายในน้ำเสียที่ผ่านถังหมักกรดหลังการเติม นิกเกิล และ โคบอลท์ มีค่าลดลงแสดงว่า นิกเกิล และโคบอลท์ไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในถังหมักกรดและน้ำทิ้งก่อนการเติม



รูปที่ 4.22 ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ

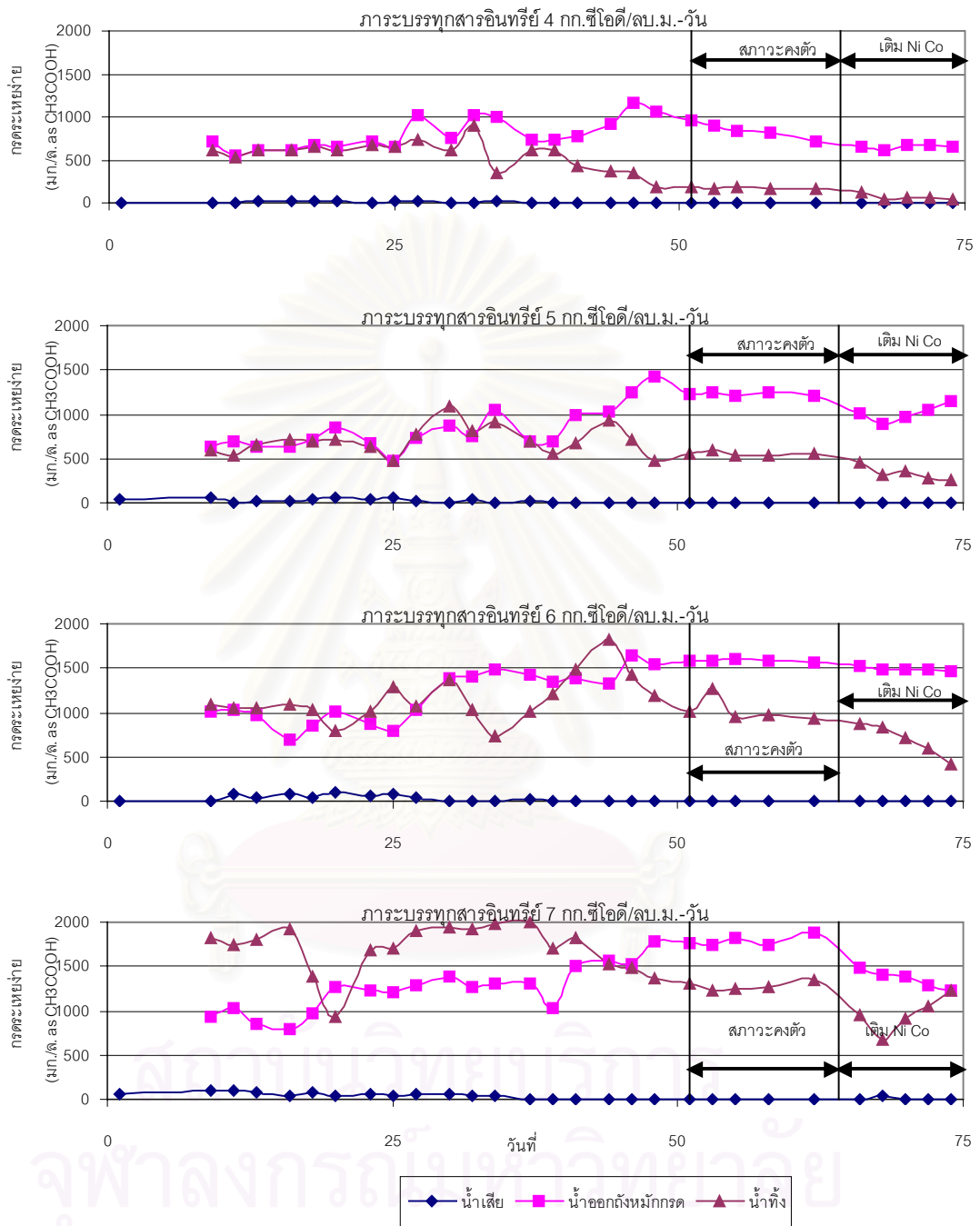
นิกเกิล และ โคบอลต์พบว่ายังคงมีกรดระเหยง่ายอยู่แต่มีปริมาณไม่สูงมากนักที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 4 และ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และมีกรดระเหยง่ายมีปริมาณสูงที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงว่ากรดระเหยง่ายที่ผลิตจากถังหมักกรด ถูกแบคทีเรียสร้างมีเทนใช้ไม่หมด และเนื่องจากกรดระเหยง่ายที่มีมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง ส่วนน้ำทิ้งหลังการเติม นิกเกิล และ โคบอลต์พบว่า ค่ากรดระเหยง่ายลดลงมากโดย นิกเกิล และ โคบอลต์ไปเพิ่มประสิทธิภาพแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนทำให้สามารถใช้กรดระเหยง่ายได้เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้นด้วย รูปที่ 4.23 แสดงกรดระเหยง่ายตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในสภาวะคงตัวของระบบบำบัดแวนแวนโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	กรดระเหยง่าย (มก./ล. as CH ₃ COOH)					
	ก่อนเติมนิกเกิลและโคบอลต์			หลังเติมนิกเกิลและโคบอลต์		
	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง
4	0±0 (n=5)	848±93 (n=5)	173±11 (n=5)	0±0 (n=3)	669±20 (n=3)	54±9 (n=3)
5	0±0 (n=5)	1231±20 (n=5)	557±25 (n=5)	0±0 (n=3)	1057±86 (n=3)	300±34 (n=3)
6	0±0 (n=5)	1583±11 (n=5)	1027±138 (n=5)	0±0 (n=3)	1477±7 (n=3)	576±142 (n=3)
7	0±0 (n=5)	1792±61 (n=5)	1280±45 (n=5)	0±0 (n=3)	1299±78 (n=3)	1061±166 (n=3)

สภาพต่างทั้งหมด

ค่าเฉลี่ยสภาพต่างของน้ำเสียแสดงในตารางที่ 4.12 จากการทดลองพบว่าสภาพต่างที่เติมให้กับระบบสามารถทำให้ค่าพีเอชน้ำออกอยู่ประมาณ 7.7 ทั้งก่อนและหลังเติมนิกเกิล และ โคบอลต์ อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.3-0.5 แต่พบว่าระบบบำบัดแบบแวนแวนโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำกลับมีประสิทธิภาพลดลงในภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรดระเหยง่ายที่มีมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน



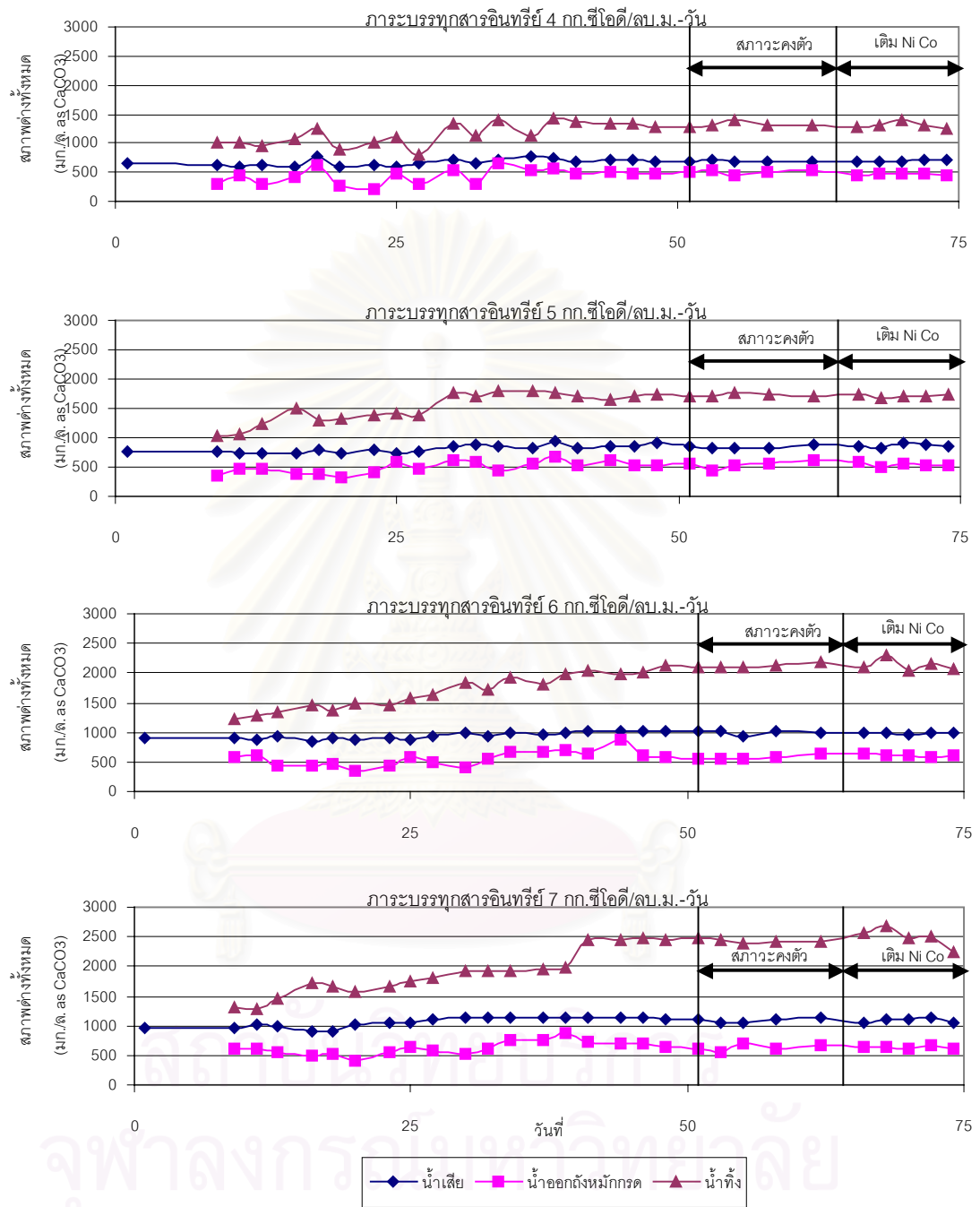
รูปที่ 4.23 ค่าการระเหยง่ายตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ที่มีถังหมักกรดน้ำ

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด
แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ

ภาวะบรรทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ. ม.-วัน)	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. as CaCO ₃)					
	ก่อนเติมนิกเกิลและโคบอลท์			หลังเติมนิกเกิลและโคบอลท์		
	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง
4	693±20 (n=5)	506±34 (n=5)	1319±37 (n=5)	701±20 (n=3)	464±9 (n=3)	1314±62 (n=3)
5	838±23 (n=5)	543±61 (n=5)	1724±24 (n=5)	874±40 (n=3)	541±22 (n=3)	1712±10 (n=3)
6	993±42 (n=5)	579±38 (n=5)	2124±36 (n=5)	985±11 (n=3)	601±26 (n=3)	2087±66 (n=3)
7	1092±42 (n=5)	628±52 (n=5)	2425±31 (n=5)	1089±46 (n=3)	633±35 (n=3)	2404±151 (n=3)

4.3.3 ตะกอนแขวนลอยและตะกอนไเวลาไทล์

ตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยและตะกอนไเวลาไทล์ในน้ำทิ้งที่สภาวะคงตัว จากการทดลองพบว่าตะกอนแขวนลอยและตะกอนไเวลาไทล์ของน้ำผ่านระบบมีค่าต่ำ เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านถังแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์สามารถเก็บกักเซลล์ไว้ในระบบได้ดี อีกทั้งน้ำเสียที่ใช้มีค่าตะกอนแขวนลอยและตะกอนไเวลาไทล์ต่ำดังที่กล่าวมาในข้างต้น ค่าเฉลี่ยตะกอนไเวลาไทล์มีค่าประมาณ 70-90 % ของตะกอนแขวนลอย รูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 แสดงค่าตะกอนแขวนลอย และตะกอนไเวลาไทล์ตลอดการทดลอง ตามลำดับ



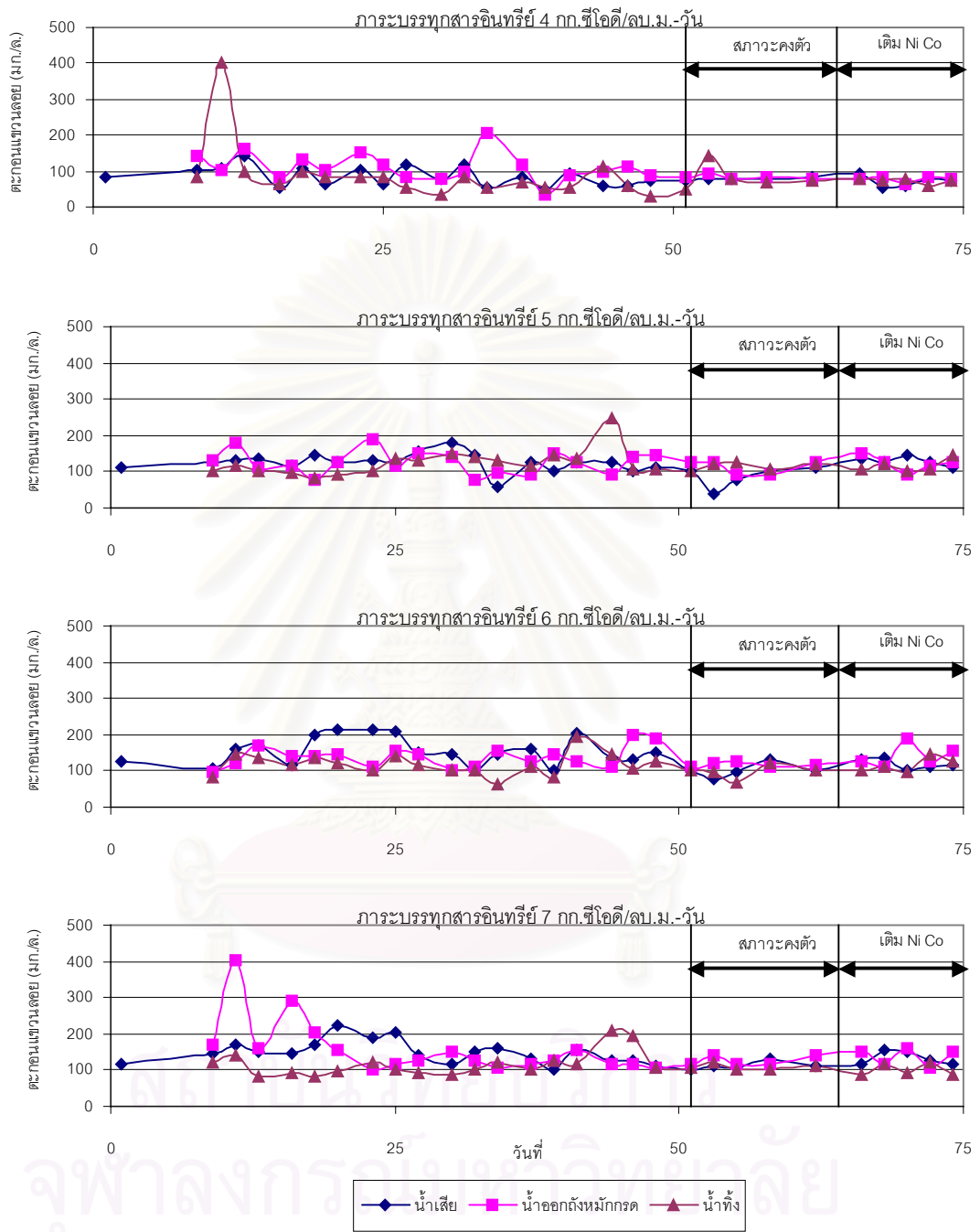
รูปที่ 4.24 ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด
แอนแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีถังหมักกรดน้ำ

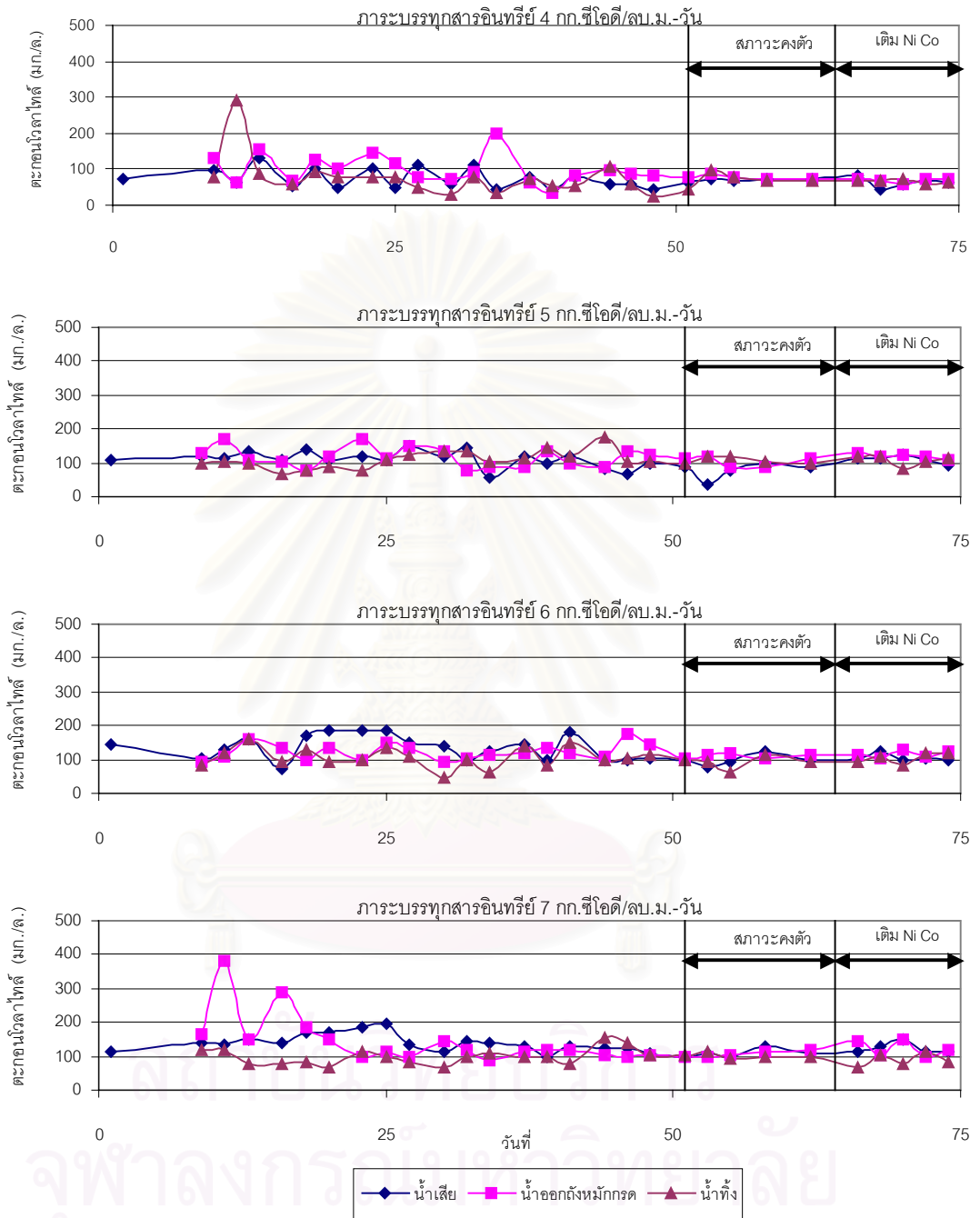
ภาวะบรรทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ. ม.-วัน)	ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)					
	ก่อนเติมไนโตรเจนและโคบอลต์			หลังเติมไนโตรเจนและโคบอลต์		
	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง
4	76±4 (n=5)	82±6 (n=5)	82±34 (n=5)	69±8 (n=3)	75±10 (n=3)	71±10 (n=3)
5	88±29 (n=5)	112±18 (n=5)	115±11 (n=5)	128±14 (n=3)	111±18 (n=3)	119±10 (n=3)
6	103±19 (n=5)	118±7 (n=5)	97±19 (n=5)	111±6 (n=3)	157±30 (n=3)	121±24 (n=3)
7	113±11 (n=5)	126±13 (n=5)	110±7 (n=5)	132±18 (n=3)	140±28 (n=3)	100±17 (n=3)

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยตะกอนเวลาไหลในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด
แอนแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีถังหมักกรดน้ำ

ภาวะบรรทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ. ม.-วัน)	ตะกอนเวลาไหล (มก./ล.)					
	ก่อนเติมไนโตรเจนและโคบอลต์			หลังเติมไนโตรเจนและโคบอลต์		
	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำถังหมักกรด	น้ำทิ้ง
4	70±4 (n=5)	78±7 (n=5)	70±19 (n=5)	63±6 (n=3)	68±7 (n=3)	64±8 (n=3)
5	78±25 (n=5)	104±15 (n=5)	106±11 (n=5)	108±8 (n=3)	116±4 (n=3)	99±16 (n=3)
6	98±17 (n=5)	110±7 (n=5)	91±17 (n=5)	100±4 (n=3)	120±11 (n=3)	107±20 (n=3)
7	108±12 (n=5)	106±8 (n=5)	102±7 (n=5)	124±21 (n=3)	121±28 (n=3)	91±19 (n=3)



รูปที่ 4.25 ค่าตะกอนแขวนลอยตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ



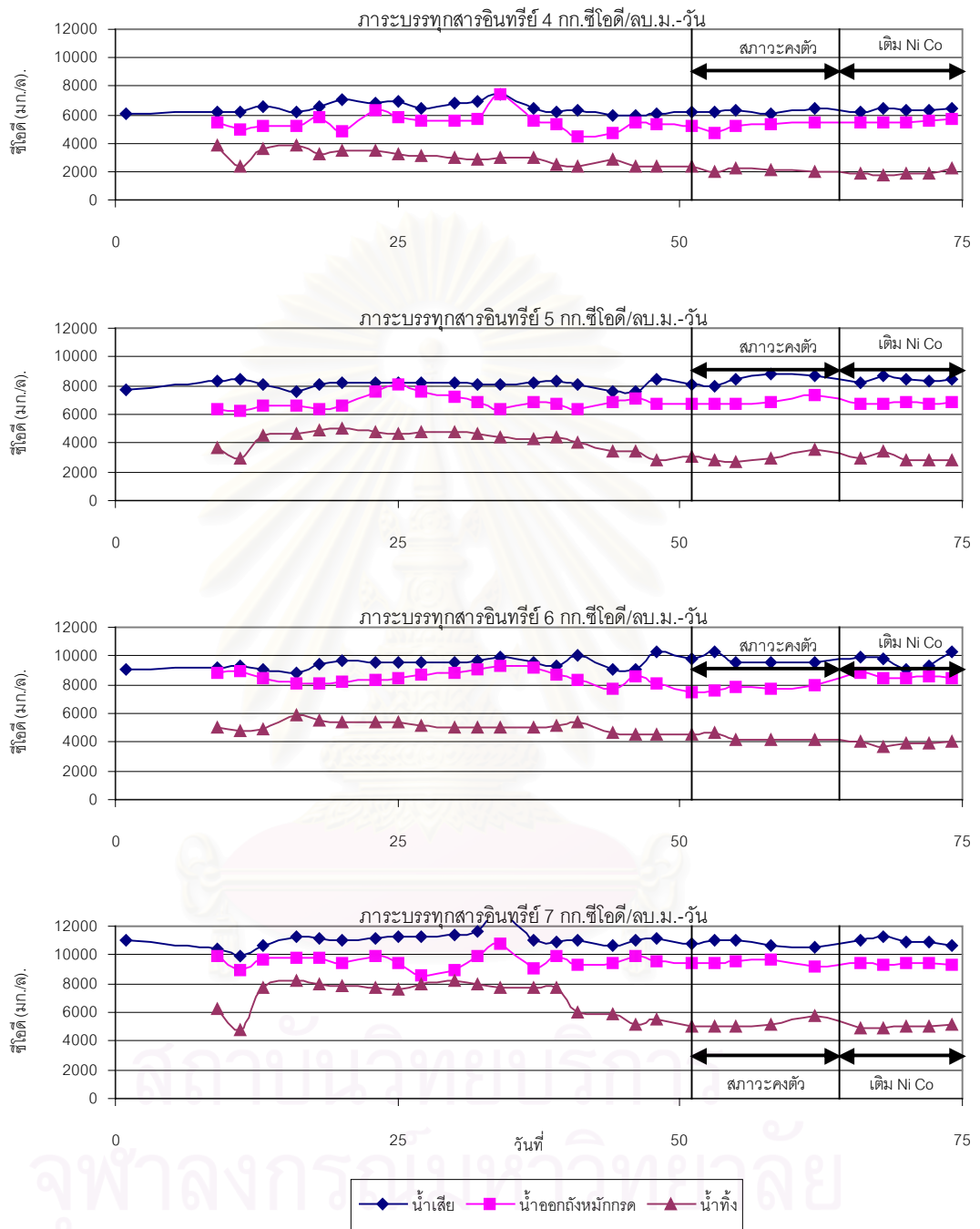
รูปที่ 4.26 ค่าตะกอนไวลาไทล์ตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ

4.3.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

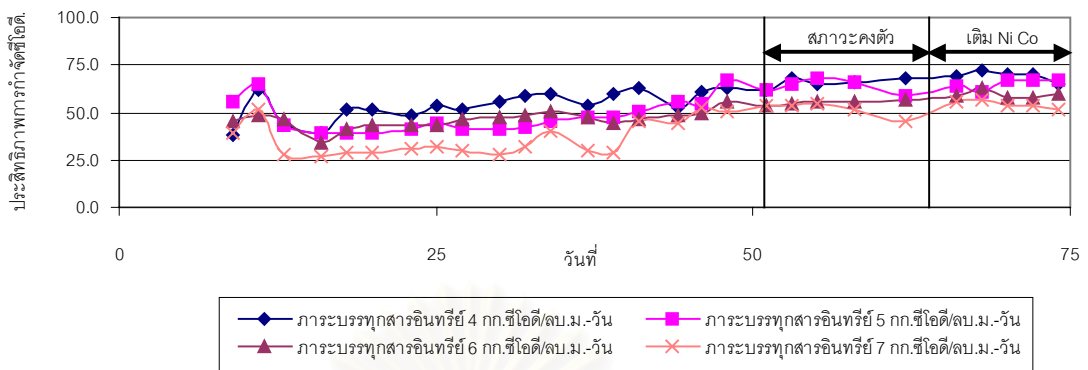
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในสภาวะคงตัวของระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักگردนำ จากการทดลองพบว่าที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลง โดยภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 4 และ 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงใกล้เคียงกัน ภายหลังจากเติมนิกเกิลและโคบอลท์ในระบบเป็นเวลา 10 วันพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นไม่มากเนื่องจากยังคงมีกรดระเหยง่ายเหลืออยู่มากในน้ำทิ้ง เนื่องจากเป็นช่วงการปรับตัวของระบบ โดยประสิทธิภาพสูงสุดของระบบบำบัดที่ทำการทดลองอยู่ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ 68.3 % แต่ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดีอยู่ที่ 66.6 % ซึ่งมีความเหมาะสมในแง่การเจือจางน้ำ เพื่อให้ซีโอดีน้ำเสียเข้ามีความเข้มข้นตามที่ต้องการมากกว่า รูปที่ 4.27 และ รูปที่ 4.28 แสดงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลอง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในสภาวะคงตัวของระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักگردนำ

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ซีโอดี (มก./ล.)							
	ก่อนเติมนิกเกิลและโคบอลท์				หลังเติมนิกเกิลและโคบอลท์			
	น้ำเสีย	น้ำถังหมักگرد	น้ำทิ้ง	% การกำจัด	น้ำเสีย	น้ำถังหมักگرد	น้ำทิ้ง	% การกำจัด
4	6245 ±112 (n=5)	5180 ±298 (n=5)	2145 ±151 (n=5)	65.6±2.7 (n=5)	6344 ±81 (n=3)	5555 ±166 (n=3)	2011 ±221 (n=3)	68.3±3.1 (n=3)
5	8361 ±370 (n=5)	6896 ±263 (n=5)	3002 ±351 (n=5)	64.1±3.7 (n=5)	8402 ±164 (n=3)	6820 ±75 (n=3)	2807 ±361 (n=3)	66.6±3.5 (n=3)
6	9751 ±290 (n=5)	7697 ±172 (n=5)	4348 ±241 (n=5)	55.4±1.3 (n=5)	9570 ±598 (n=3)	8459 ±52 (n=3)	3967 ±104 (n=3)	58.5±1.5 (n=3)
7	10809 ±216 (n=5)	9471 ±151 (n=5)	5184 ±337 (n=5)	52.0±3.9 (n=5)	10772 ±142 (n=3)	9399 ±76 (n=3)	5089 ±98 (n=3)	52.7±1.5 (n=3)



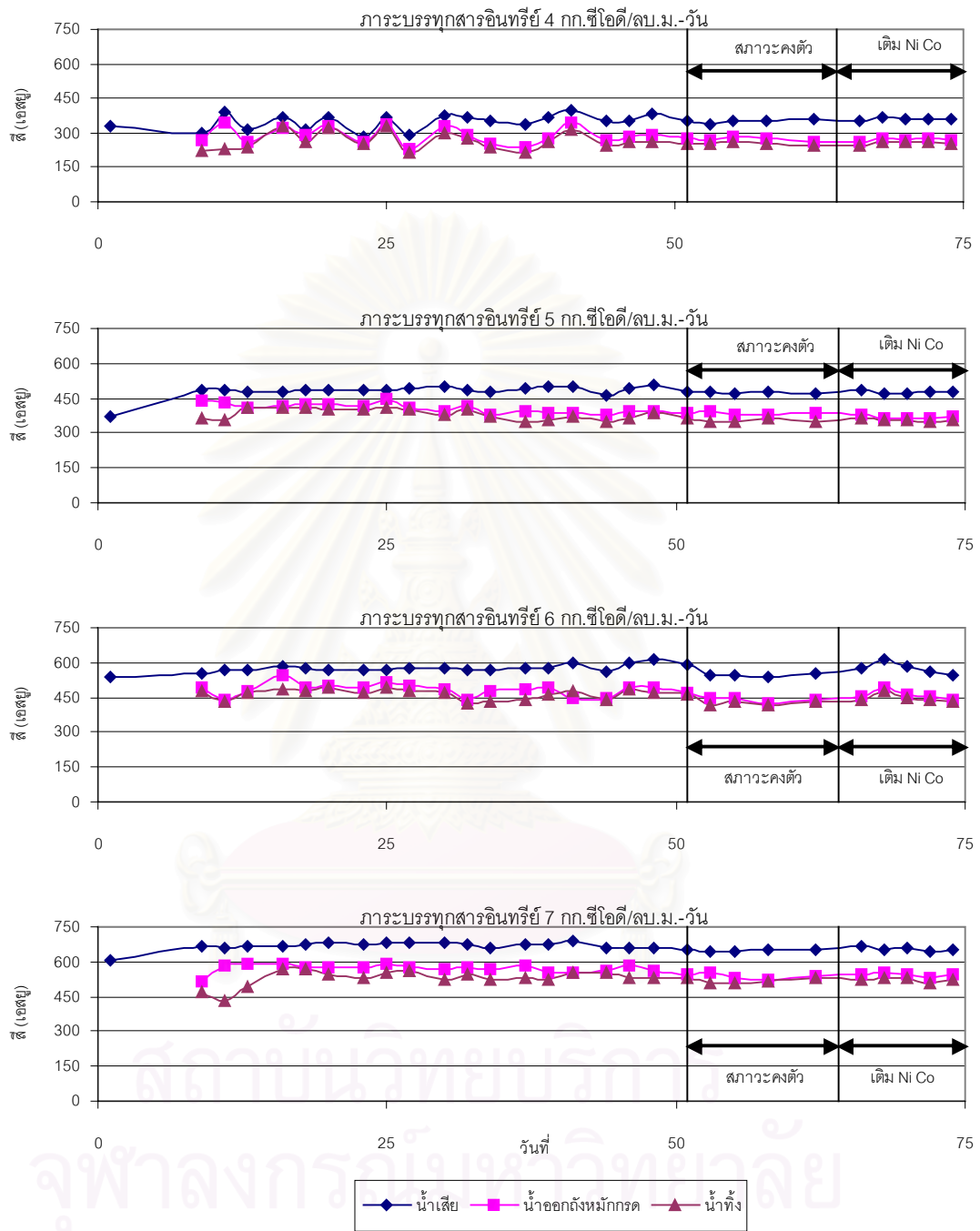
รูปที่ 4.27 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ



รูปที่ 4.28 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ

4.3.5 สีและประสิทธิภาพการกำจัดสี

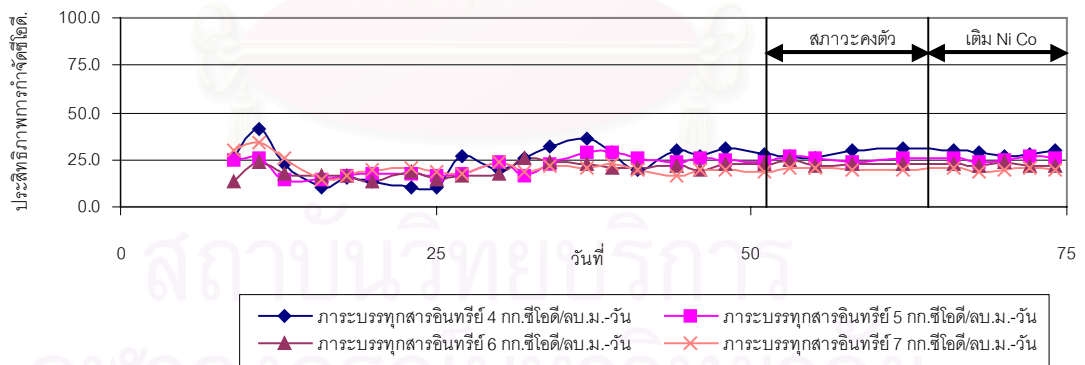
ตารางที่ 4.16 แสดงสีและประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบำบัด จากการทดลองพบว่าการเติมนิกเกิล และ โคบอลท์ ให้กับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดไฮบริดฟิลเตอร์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่า นอกจากนี้ยังพบว่าภาวะบรรทุสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง โดยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดไฮบริดฟิลเตอร์ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นจากถังหมักกรดเพียงเล็กน้อย เท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กลไกการกำจัดสีของระบบเกิดขึ้นในช่วงการหมักกรด ซึ่งกรดที่เกิดจากถังหมักกรดและแบคทีเรียในถังหมักกรดจะช่วยในการตกตะกอนและดูดซับสีของน้ำกากส่าไว้ และเมื่อมีการเติมนิกเกิล และ โคบอลท์ พบว่าการลดระเหยง่ายลดลงเล็กน้อยแต่ไม่ส่งผลต่อการกำจัดสีของระบบในถังสร้างกรด จากการสังเกตพบว่าคราบเมือกของแบคทีเรียสร้างกรดในถังหมักกรดจะมีสีน้ำตาลเข้มคล้ายสีน้ำกากส่า ซึ่งผลการทดลองสอดคล้อง กับงานวิจัยของ อำพรธณ (2543) และนอกจากนี้พบว่า การมีถังสร้างกรดแยกจากระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากขึ้นกว่าการใช้ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์แต่เพียงอย่างเดียวจากงานวิจัยของ วันชัย (2545) รูปที่ 4.29 และ รูปที่ 4.30 แสดงค่าสี และประสิทธิภาพการกำจัดสีตลอดการทดลอง ตามลำดับ



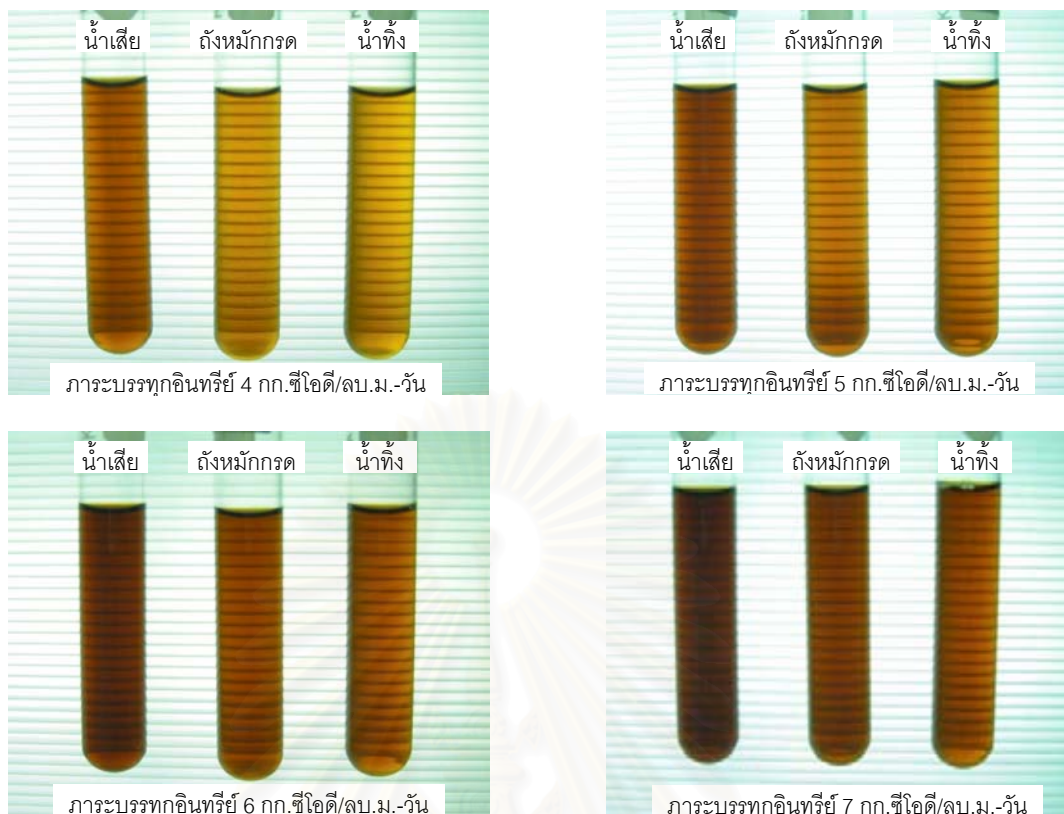
รูปที่ 4.29 ค่าสีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยสี และประสิทธิภาพการกำจัดสีในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด
แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ

ภาวะบรรทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ. ม.-วัน)	สี (เอสยู)							
	ก่อนเติมนิกเกิลและโคบอลท์				หลังเติมนิกเกิลและโคบอลท์			
	น้ำเสีย	น้ำถัง หมักกรด	น้ำทิ้ง	% การกำจัด	น้ำเสีย	น้ำถัง หมักกรด	น้ำทิ้ง	% การกำจัด
4	351±7 (n=5)	272±9 (n=5)	252±5 (n=5)	28.1±2.2 (n=5)	358±3 (n=3)	272±4 (n=3)	257±4 (n=3)	28.3±1.2 (n=3)
5	473±5 (n=5)	385±7 (n=5)	354±8 (n=5)	25.2±1.4 (n=5)	474±4 (n=3)	367±2 (n=3)	353±4 (n=3)	25.4±1.3 (n=3)
6	557±21 (n=5)	447±17 (n=5)	430±19 (n=5)	22.8±1.2 (n=5)	563±17 (n=3)	454±11 (n=3)	438±9 (n=3)	22.2±1 (n=3)
7	647±5 (n=5)	538±12 (n=5)	519±10 (n=5)	19.9±0.9 (n=5)	651±8 (n=3)	541±9 (n=3)	521±9 (n=3)	19.9±0.5 (n=3)



รูปที่ 4.30 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดสีตลอดการทดลองระบบแอนแอโรบิก
ไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ



รูปที่ 4.31 สีที่สามารถลดได้จากระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ
ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ

4.3.6 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ

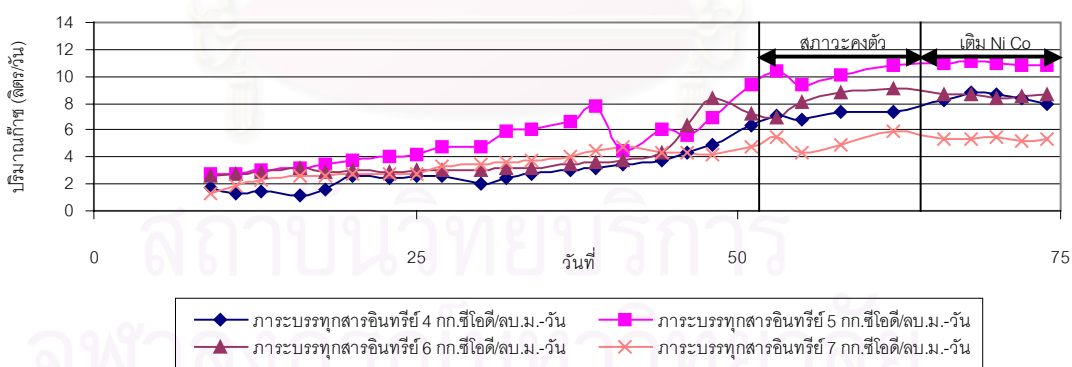
การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน ด้วยวิธี GC จะทำการวิเคราะห์ 1 ครั้งภายหลังระบบ
เข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน ได้ใช้เครื่อง Shimadzu GC 14 B ใช้
คอลัมน์ WG 100 Col. ¼ O.D. x 1.8 ม. ใช้ Detector แบบ TCD ใช้อุณหภูมิ 70/70/85 °C ใช้
ก๊าซฮีเลียมเป็น Carrier โดยมีความเร็ว 33 มล./นาที ใช้ปริมาณตัวอย่างในการวิเคราะห์ 1 มล.

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน ของระบบบำบัดแอน-
แอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำที่สภาวะคงตัว ในการทดลองพบว่าการเติม निकเกิด
และโคบอลท์ ให้กับระบบช่วยเพิ่มปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 5 6
และ 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ก่อนการเติม निकเกิดและโคบอลท์มีปริมาณก๊าซชีวภาพ 7 10 8 และ
5.1 ลิตร/วัน ตามลำดับ ภายหลังเมื่อเติม निकเกิดและโคบอลท์มีปริมาณก๊าซชีวภาพ 8.3 10.9 8.5
และ 5.3 ลิตร/วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่มากขึ้นในแต่ละภาวะ
บรรทุกสารอินทรีย์ อัตราส่วนในการเติม निकเกิดและโคบอลท์ ที่ใช้ในการทดลองที่ภาวะบรรทุกสาร

อินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ยังคงมากเกินไปจึงไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียส่งผลให้การผลิตก๊าซชีวภาพเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซ และอัตราการผลิตมีเทน ในสภาวะคงตัวของระบบบำบัด แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักگردนำ

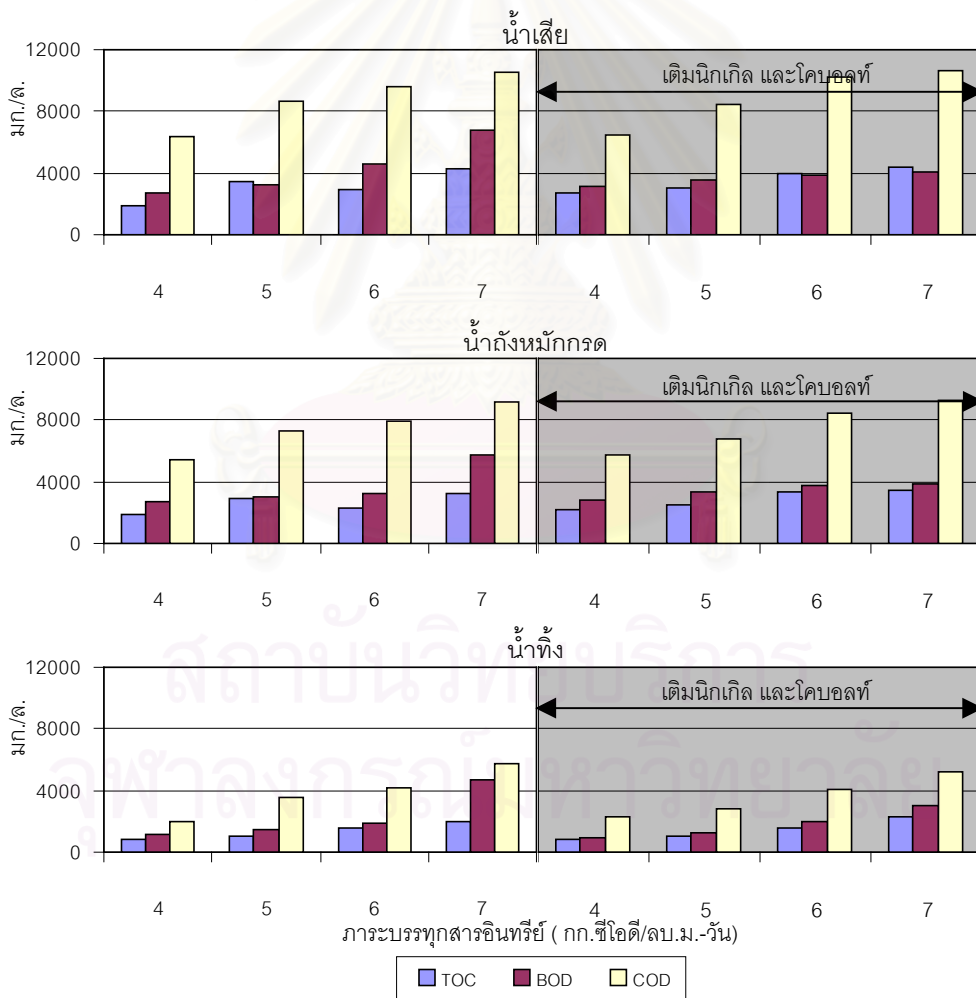
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ (ลิตร)	
	ก่อนเติม निकเกิดและโคบอลท์	หลังเติม निकเกิดและโคบอลท์
4	7.0±0.4 (n=5)	8.32±0.31 (n=3)
5	10.0±0.6 (n=5)	10.88±0.13 (n=3)
6	8.0±1 (n=5)	8.51±0.15 (n=3)
7	5.1±0.6 (n=5)	5.32±0.13 (n=3)



รูปที่ 4.32 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ตลอดการทดลองระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักگردนำ

4.3.7 ค่าบีโอดี และ ค่าทีโอดี

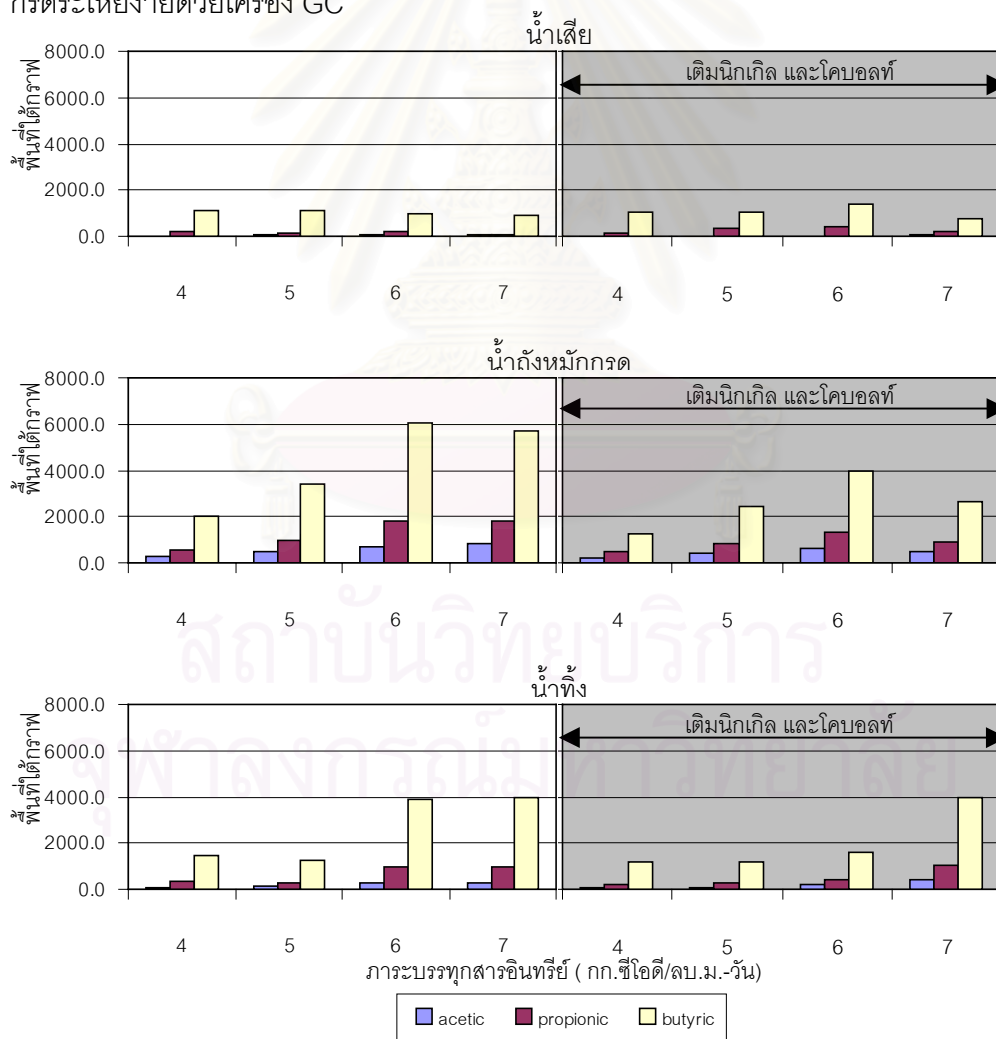
ค่า บีโอดี และค่า ทีโอดี จะทำการวิเคราะห์ 1 ครั้งภายหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว และทำการวิเคราะห์อีก 1 ครั้งหลังทำการเติม นิกเกิล และ โคบอลท์ ให้แก่ระบบ ตารางที่ ข.7 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดี และ ค่าทีโอดี ในการวิเคราะห์ ทีโอดีสำหรับการทดลองขั้นที่ 2 เจ้าหน้าที่คุมห้องปฏิบัติการได้เปลี่ยน Loop ที่ใช้ในการตรวจสอบตัวอย่างวิเคราะห์ จาก 1 มล. เป็น 5 มล. จึงทำให้ต้องเจือจางน้ำตัวอย่างเพื่อทำการวัดมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งอาจทำให้ค่าที่ได้ อาจมีการคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย จากการทดลองพบว่าค่าบีโอดี และ ทีโอดี มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ รูปที่ 4.33 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดี ซีโอดี และทีโอดี



รูปที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ ทีโอดี ซีโอดี และ บีโอดี จากการทดลองระบบบำบัดแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ

4.3.8 ค่ากรดระเหยง่ายจากการวิเคราะห์ด้วย GC

ตารางที่ ข.8 และ ข.9 แสดงค่ากรดระเหยง่ายจากการวิเคราะห์ด้วย GC จากการทดลองพบว่าค่ากรดระเหยง่ายของน้ำถังหมักกรดและ น้ำทิ้งมีค่าลดลง เมื่อเติม निकเกิด และ โคบอลท์ จากการทดลองพบว่าการเติม निकเกิด และโคบอลท์ จะช่วยลดการสะสมตัวของกรดไพรโอไพออนิกอย่างเห็นได้ชัด โดยหลังจากเติม निकเกิด และโคบอลท์ กรดไพรโอไพออนิกในน้ำทิ้งจะลดลง เมื่อการสะสมตัวของกรด ไพโรไพออนิกลดลงเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น จากการตรวจสอบกรดระเหยง่ายด้วย GC พบว่ามีปริมาณกรดบิวทริกต่ำเนื่องจากกรดบิวทริกจะถูกกำจัดได้ง่ายและเร็วกว่ากรดไพรโอไพออนิก ในการทดลองที่ภาวะบรรทุกอินทรีย์ที่ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณกรดไพรโอไพออนิก และบิวทริกสูงแต่ระบบยังคงมีประสิทธิภาพ เนื่องจากระบบมีสภาพต่างในปริมาณที่สูงพอทำให้สามารถรักษาค่าพีเอชไม่ให้ลดต่ำกว่า 6.8 รูปที่ 4.34 แสดงผลการวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC



รูปที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC จากการทดลองระบบบำบัดแวนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ

4.3.9 ค่าการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

ตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณนิกเกิล และ โคบอลต์ ที่เติมลงในน้ำเสียที่อัตราส่วน ซีโอดี ต่อ นิกเกิล และซีโอดี ต่อโคบอลต์ เท่ากับ 100:0.01 และ 100:0.01 ตามลำดับ โดยจะทำการเตรียม สารละลายนิกเกิลและโคบอลต์ที่ความเข้มข้น 20 มก./ลิตร ก่อนนำไปใช้ จากการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำเสีย และโลหะหนักในน้ำทิ้ง พบว่าปริมาณโลหะหนักที่เติมในการทดลองนี้มีค่าอยู่ที่ 0.7-1.4 มก./ล. ซึ่งทำให้น้ำออกมีปริมาณโลหะหนักอยู่ที่ 0.4-0.8 มก./ล. มีการหายไปของโลหะหนักคิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 30-50% แสดงว่าโลหะหนักที่เติมเข้าไปมากเกินไปจนเป็นพิษต่อ แบคทีเรียจากผลของการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่มีค่าลดลง ดังนั้นสามารถลดปริมาณการ เติมนิกเกิล และโคบอลต์ได้ เพื่อลดปริมาณโลหะหนักในน้ำออกไม่เกินมาตรฐานคือ ไม่เกิน 0.1 มก./ล.สำหรับนิกเกิล และ ไม่เกิน 0.1 มก./ล.สำหรับโคบอลต์

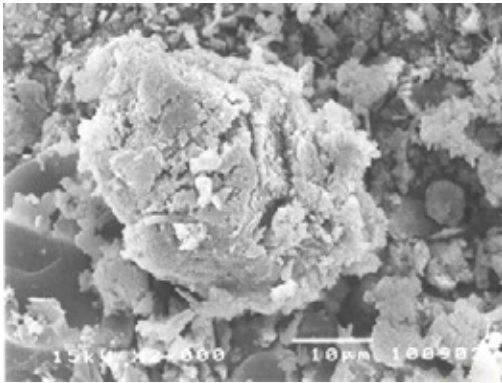
ตารางที่ 4.18 ปริมาณโลหะหนักที่วัดได้จากการทดลอง และเปอร์เซ็นต์การใช้โลหะหนัก

ภาวะบรรทุกสาร อินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ล)		เปอร์เซ็นต์การใช้โลหะหนัก	
		นิกเกิล	โคบอลต์	นิกเกิล	โคบอลต์
4	น้ำเสีย	0.722	0.786	36.15	46.31
	น้ำถึงหมักกรด	0.674	0.768		
	น้ำทิ้ง	0.461	0.422		
5	น้ำเสีย	0.878	0.959	33.49	43.69
	น้ำถึงหมักกรด	0.843	0.940		
	น้ำทิ้ง	0.584	0.540		
6	น้ำเสีย	1.015	1.080	30.54	46.85
	น้ำถึงหมักกรด	1.000	1.067		
	น้ำทิ้ง	0.705	0.574		
7	น้ำเสีย	1.151	1.312	23.81	38.41
	น้ำถึงหมักกรด	1.147	1.252		
	น้ำทิ้ง	0.877	0.808		

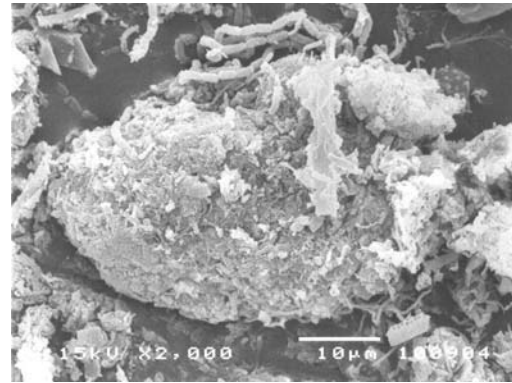
4.3.10 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้นระบบนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสพีของบริษัท ปทุมธานีบริวเวอรี่ จำกัด โดยตอนเริ่มต้นตะกอนมีลักษณะเป็นโคลนเหลวไม่เห็นเป็นเม็ดตะกอน จุลินทรีย์อย่างชัดเจน หลังจากทำการทดลองขั้นที่ 2 ก่อนเติมนิกเกิลและโคบอลท์ ได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ พบว่ายังมีลักษณะตะกอนเป็นโคลนเหลวสีน้ำตาล เมื่อดูด้วยตาเปล่าแต่มีลักษณะที่ก่อตัวเป็นเม็ดที่ใหญ่ขึ้นมากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ตอนเริ่มต้นระบบ และหลังจากเดินระบบจนถึงสิ้นสุดการทดลอง หลังเติมนิกเกิล และโคบอลท์ ได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์เพื่อทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscopy) พบว่าตะกอนมีลักษณะเป็นโคลนเหลวสีน้ำตาลปนดำ

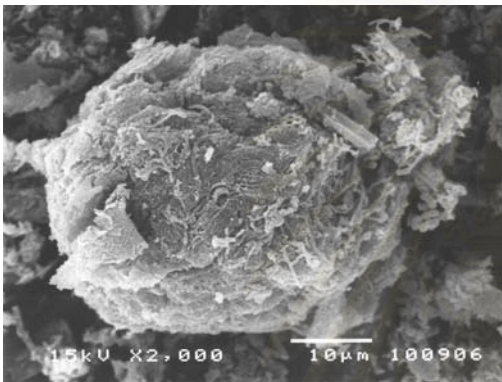
ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์มีลักษณะแตกต่างกัน บ้างเล็กน้อยโดยมีลักษณะเป็นเม็ดที่แน่นขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าแบคทีเรียมีลักษณะผิวนอกที่เรียบขึ้น และมีการฟอร์มตัวเป็นเม็ดมากขึ้น การจับตัวหรือรวมกันเป็นเม็ดได้นั้น Dolfig (1986) กล่าวว่าเกิดจาก Extracellular material ที่ช่วยยึดเซลล์ให้ติดกันได้ จากรูปที่ 4.35 พบว่าพื้นที่ผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะประกอบไปด้วย กลุ่มจุลชีพแบบเส้นใย(Methanotrix bacteria)เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะถักทอเป็นเปลือกนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ นอกจากนี้จะพบเห็นแบคทีเรียทรงกลม (Metanosarcina) และแบคทีเรียรูปแท่ง (Methanobrevibacter)



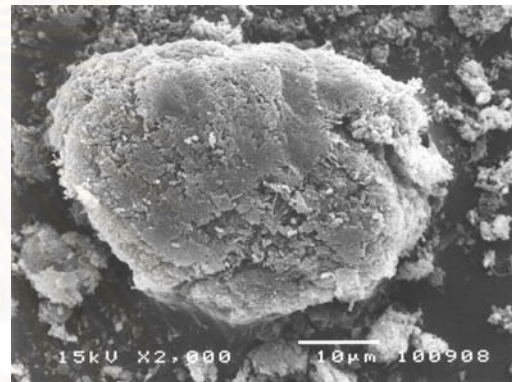
(ก.)



(ข.)



(ค.)



(ง.)

รูปที่ 4.35 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของตะกอนจุลินทรีย์

- . ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- . ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- . ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- . ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ถังหมักกรดมีประสิทธิภาพในการลดสีน้ำกากส่าได้ 18-20% โดยกลไกในการลดสีคือการดูดซับสีของน้ำกากส่าโดยแบคทีเรียสร้างกรดไว้ ซึ่งสามารถสังเกตเยื่อเมือกที่เป็นสีน้ำตาลได้ด้วยตาเปล่าในถังหมักกรด
2. เวลาเก็บที่ เหมาะสมของถังสร้างกรด ขึ้นอยู่กับปริมาณภาระบรรจุสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนไป จากการทดลองที่ภาระบรรจุสารอินทรีย์ 4 5 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีเวลาเก็บที่ที่เหมาะสมคือ 6 6 12 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ
3. การเติมธาตุไนโตรเจน และโคบอลท์ให้กับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดนำ มีแนวโน้มช่วยให้เสถียรภาพและประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นหลังจากเติมไนโตรเจนและโคบอลท์เป็นเวลา 10 วัน โดยที่ภาระบรรจุสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อเติมธาตุไนโตรเจนและโคบอลท์ลงไป ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 65.6% เป็น 68.3% เนื่องจากเป็นช่วงการปรับตัวของจุลินทรีย์ในระบบ
4. ปริมาณกรดโพโรไพออนิกและ บิวทิริกในน้ำทิ้งมีค่าต่ำลง เมื่อเติมธาตุไนโตรเจน และโคบอลท์ โดยที่ภาระบรรจุสารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณกรดโพโรไพออนิก และบิวทิริกสูงทำให้ประสิทธิภาพลดลง และหากสภาพต่างในระบบไม่เพียงพอจะมีแนวโน้มทำให้ระบบล้มเหลวได้
5. ตัวกลางกรองมีส่วนช่วยลดปริมาณตะกอนแขวนลอยที่หลุดออกมาได้ดี
6. ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสีอยู่ที่ถังหมักกรดโดยพบว่าแบคทีเรียในถังหมักกรดมีการดูดซับและตกตะกอนสี ส่วนประสิทธิภาพในการลดซีไอดีในถังหมักกรดมีค่าน้อยมาก ขณะที่การกำจัดซีไอดีสูงสุดอยู่ที่ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์แต่มีประสิทธิภาพในการลดสีได้น้อยมาก
7. ปริมาณก๊าซชีวภาพมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากเติมไนโตรเจน และโคบอลท์ เป็นเวลา 10 วัน โดยที่ภาระบรรจุสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพ

ภาพเพิ่มขึ้นจาก 7 ลิตร/วัน เป็น 8.32 ลิตร/วัน เนื่องจากเป็นช่วงการปรับตัวของ จุลลินทรีย์ในระบบ

8. ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่มากขึ้นทำให้ตะกอนจุลชีวมีการก่อตัวเป็นเม็ดที่แน่นขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดลองหาค่าความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ ที่นำมาใช้เริ่มต้นระบบ ก่อนการทดลองจริง เพื่อจะได้เริ่มต้นเดินระบบที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสม กับความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์
2. จากการทดลองระบบสามารถลดซีโอดีได้มีประสิทธิภาพไม่มากนัก เนื่องจากมีความเร็ว ในการไหลขึ้นต่ำทำให้การถ่ายเทสารอาหารเข้าสู่เซลล์ไม่ดี จึงควรมีการเวียนน้ำกลับ เพื่อเพิ่มความเร็วในการไหลขึ้น ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
3. เนื่องจากที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์สูง จะมีปริมาณกรดระเหยง่ายในน้ำออกอยู่มาก ควรทำการศึกษาผลของการเวียนน้ำกลับ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
4. ศึกษาปริมาณสภาพต่างที่ต้องใช้ในระบบ กรณีที่มีการหมุนเวียนน้ำ
5. ศึกษาผลของสารพิษเช่น ซัลเฟตที่มีต่อระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีที่มีถังหมัก กรดน้ำ
6. ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของธาตุникเกิดและโคบอลท์ ต่อระบบแอนแอโรบิก-ไฮบริดยูเอเอสบีที่มีถังหมักกรดน้ำ ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ กัน
7. ควรมีการทดลองโดยใช้น้ำเสียกากส่าสดกับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีที่มีถัง หมักกรดน้ำ เนื่องจากมีความคุ้มทุนในการลดซีโอดีและสีในน้ำกากส่ามากกว่าน้ำเสีย กากส่าที่ผ่านระบบบำบัดแล้ว

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ชำนาญ กายประสิทธิ์. 2538. การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. การแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุรา. การศึกษาเชิงปฏิบัติการเรื่องการพัฒนาการผลิตสุราและแอลกอฮอล์. ศูนย์ส่งเสริมการฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.
- ณรงค์ศักดิ์ ธิติธัญญานนท์. 2539. ผลกระทบของไฮดรอนิกเจลและโคบอลต์ต่อการทำงานของยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดิเรก ธนานนท์นิवास. 2534. การฟอกสีและผลิตโพลีซัคคาไรด์จากน้ำกากส่าโดยเชื้อรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทองพล ครามโกมุท. 2544. การกำจัดสีจากน้ำกากส่าโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวีชัย ธีระเศรษฐ์นันท์. 2540. การใ้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เนตรนภา ศรุตวราพงศ์. 2539. การใ้ยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปริยานุช ไวยมัย. 2534. การลดความเข้มข้นน้ำกากส่าโดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันลิน ตัณฑุลเวศม์. 2536. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน. เอกสารประกอบการสอนวิชาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันลิน ตัณฑุลเวศม์. 2538. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- โรมรัน ว่องวิไลรัตน์. 2540. การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยถังกรองไร้อากาศชนิดไฮบริดที่ใช้ตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วันชัย วงศ์เทียนชัย. 2545. ผลของสารอาหารปฐมภูมิต่อการกำจัดสีในน้ำกากส่าด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, กอง. 2524. แนวทางการกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุรากรมสรรพสามิต: ตอนที่ 2, สรุปผลการศึกษาทดลองกำจัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อม. 2525. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. สรุปผลการทดลองกำจัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ. แนวทางการกำจัดจากโรงงานสุรากรมสรรพสามิต. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. หน้า 1-73.
- สันทัต ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2527. การคัดเลือกเชื้อราเพื่อใช้ในการฟอกสีของน้ำกากส่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2527. การใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราในการผลิตไบโอแก๊สและทำปุ๋ยอินทรีย์ขนบ. จุลสารสภาวะแวดล้อมปีที่ 3. เล่มที่ 2 หน้า 1-4.
- สุรพล สายพานิช. 2542. ประสบการณ์การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนในประเทศไทย. เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โสภา ชินเวชกิจวานิชย์. 2540. การลดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศด้วยระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรรถวุทธิ รื่นเรใจ. 2541. บทบาทของสารให้อิเล็กทรอนิกส์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีสีเอโซรีแอกทีฟด้วยระบบไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อัศวิทย์ ปัทมะเวณ. 2542. ตามรอยน้ำตาล. กรุงเทพมหานคร. พี พรินท์ จำกัด.
- อานนท์ ดุษฎีพรรณ. 2538. การจัดสรรอินทรีย์และสีของน้ำกากส่าโดยกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนและแบบเคมีไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อำพรพรณ ชัยกุลเสรีวัฒน์. 2543. การศึกษากลไกการลดสีน้ำเสียจากโรงงานสุราโดย Acetic Acid Bacteria. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาษาอังกฤษ

- Alexiu, I. E., Anderson, G. K. and Evison, L. M. 1994. Design of pre-acidification reactors for the anaerobic treatment of industrial wastewaters. Water Science and Technology. 29 (9): 199-204.
- Alfafara, C.G. Migo, V.P. Amarant, J.A. Dallo, R.F. and Matsumura, M. 2000. Ozone treatment of distillery slop waste. Water Science and Technology. 24(3-4): 193-198.
- Alphenaar, P. A. 1994. Anaerobic granula sludge : Characterization and factors affection its funtioning .Ph.D.'s Thesis, Department Environmental Technology, Agricultural University Wageningeg.
- Anderson, G. K., Kasapgil, B., and Ince, O. 1994. Microbiological study of two-stage anaerobic digestion during start-Up. Water research. 28(11): 2383-2392.
- Andriaens, P. and Dunja, G.G. 1994. Cometabollic transformation of mono and dichlorophenyls and chlorohydroxybiphenyls by metathsnophic groundwater isolates. Environment Science Technology. 28(7): 1325-1330.
- Aoki, N., and Kawase, M. 1991. Development of high-performance thermophilic two-phase digestion process. Water Science and Technology. 23(7-9): 1147-1156.
- Blonskaja, V., menert, A., and Vilu, R. 2003. Use of two-stage anaerobic treatment for distillery waste. Advances in Environmental Research. 7:671-678.
- Britz,T.J.,Venter, C.A. and Tracey, R.P. 1990. Anaerobic treatment of municipal landfill lechate using and anaerobic hybrid digester. Biological Waste. 32:181-191.
- Bull, M. A., Sterritt, R. M. and Lester, J. N. 1984. An evaluation of single – and separated-phase anaerobic industrial wastewater treatment in fluidized bed reactors. Biotechnology and Bioengineering. 26: 1054-1065.
- Chang, C.H. and Hong, J. 1984. The effect of browning reaction on the yeast S. Cerviseae fermentation. Biotechnology and Bioengineering. 26:797-799.

- Cohen, A., Breure, A., van Andel, J.G. and Deursen, A. 1982. Influence of phase separation on the anaerobic digestion of glucose II: stability and kinetic responses to shock load. Water research. 16: 449-456.
- Coulter, J. B., Soneda, S., and Ettinger, M. B. 1957. Anaerobic contact process for sewage disposal. Sewage and Industrial wastes. 29: 468.
- Crawford, C.V. and Teletzke, G.K. 1986. Performance of hybrid anaerobic process. Proceeding 41st Ind. Was. Conf. Purdue Univ. West Lafayette. :1962-203
- Criddle, C.S. 1993. The kinetics of cometabolism. Biotechnology and Bioengineering. 41(11):1048-1056.
- Cseh T, Czako L, Toth J and Tengerdy RP. 1984. Two-phase anaerobic fermentation of liquid swine waste to methane. Biotechnology and Bioengineering. 26: 1425-1429.
- Dolfing, J. 1986. Granulation in UASB Reactor. Water Science and Technology. 18 (12):237-247
- Eis, B. J. 1983. The fate and effect of bisulfate in anaerobic treatment. Journal of Water Pollution Control Federation. 55: 1355.
- Endo, G., and Thoya, Y. 1985. Ecological study on anaerobic sludge bulking caused by filamentous bacterial growth in an aerobic contact process. Water Science and Technology. 20(11-12): 205-211.
- Fang, H. H. P., Li, Y.Y. and Chui, H.K. 1995. UASB treatment of wastewaters with concentrated mixed VFA. Journal of Environmental Engineering. 121(2).1995: 153-160.
- Ghoss, S., Conrad, JR. and Klass, DL. 1975. Anaerobic acidogenesis of waste water sludge. Journal of Water Pollution Control Federation. 47: 30-45.
- Gomya, T., Kato., Udak, J., Horiyoshi, M. and Fujimaki, M. 1972. Chemical properties studies on melanoidins prepared from fycine-xylose system. Agricultural and Biological Chemistry. 36:123-132.
- Guang, H. C., Ju-Chang H. and Irene, M. C. Lo. 1997. Removal of rate-limiting organic substances in a hybrid biological reactor. Water Science and Technology. 35 (6): 81-89, 1997.

- Guiot, S. R., Kenedy, K. J., and Van den burg, L. 1986. Comparison of the upflow anaerobic sludge blanket and sludge bed filter concept. Anaerobic treatment a grown up technology. Aquatech. 86: 15-19.
- Guiot, S. R. and Van den burg, L. 1984. Performance and biomass retention of an upflow anaerobic reactor combining a sludge blanket and a filter. Biotechnology and Bioengineering. 6: 161-164.
- Guiot, S. R. and Van den berg, L. 1985. Performance of an upflow anaerobic reactor combining a sludge blanket and filter treating sugar waste. Biotechnology and Bioengineering. 27: 800-806.
- Gujer, W., and Zehnder, A. J. B. 1982. Conversion processes in anaerobic digestion. Water Science and Technology. 65: 2030.
- Hayase, F., Kim, S.B. and Kato, H. 1984. Decolorization and degradation product of the melanoidin by hydrogen peroxide. Agricultural and Biological Chemistry. 48 (1):2711-2717.
- Henzen, M., and Harremoes, P. 1983. Anaerobic treatment waste water in fixed film reactors a literature review. Water Science and Technology. 15: 1.
- Hobson, R. N., and Shaw, B. G. 1976. Inhibition of methane production by methanobacterium formicium. Water Research. 10: 847-852.
- Iza, J. Keemam, P.J. and Switzenbaum, M.S. 1992. Anaerobic Treatment of municipal solid waste landfill leachate: operation of a pilot scale hybrid UASB/AF reactor. Water Science Technology. 25(7):255-264.
- Johnson, L. D., and Young, J. C. 1983. Inhibition of anaerobic digestion by organic priority pollutants. Journal of Water Pollution Control Federation. 55: 1441.
- Kato, H. and Tsuchida, H. 1981. Estimation of melanoidin structure by pyrolysis and oxidation. Food Nutrition Science. :147-156.
- Kozuchowska, J., and Evison, L. M. 1995. VFA production in pre-acidification systems without pH control. Environmental Technology. 16: 667-675.
- Lawrence, A. W., and McCarty, P. L. 1965. The role of sulfide in preventing heavy metal toxicity in anaerobic treatment. Journal of Water Pollution Control Federation. 37: 392.

- Lettinga, G. and Hulshoff. 1991. UASB-process design for variance types of wastewater. Water Science and Technology. 24(8): 87-107.
- Lettinga, G., and Hulshoff Pol, L. 1986. Advanced reactor design operation and economy. Water Science and Technology. 18(2): 99-108.
- Lettinga, G., Van Velsen, A.F.M., Hobma, S.M., de Zeeuw, W. and Klapwijk, A. 1980. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewaters treatment, especially for anaerobic treatment. Biotechnology and Bioengineering. 22: 699-734.
- Lwin, N. N. 1996. The Effect of Suspended Solids of Tapioca Starch Wastewater on the Performance of UASB Reactor .Master's Thesis, AIT
- Malaspina, F., Cillamere, C.M., Stan te, L. and Tilehe, A. 1996. Anaerobic treatment of cheese whey with a downflow-upflow hybrid reactor. Bioresource Technology. 55: 131-139.
- McCarty, P. L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamental. part I : Chemistry and Microbiology. Public Works. 95: 107-112.
- Ohmomo, S., Daengsubha, W., Yoshikawa, H., Yui, M., Nozaki, K., NakaJma, T. and Nakamura, I. 1988a. Screening of anaerobic bacteria with the ability of decolorize melanoidin. Agricultural and Biological Chemistry. 52(10):2429-2435.
- Ohmomo, S., Yhikawa, H., Nozaki, K., NakaJima, T. and Makamura, I. 1988b. Continuous decolorization of molasses waste water using immobilized Lactobacillus Hilliard cell. Agricultural and Biological Chemistry. 52(10):2437-2441.
- Okada, N., Ohta, T. and Edbine, H. 1981. Factor affecting the gel chromatogram patterns of non-dialyzable melanoidin during shaking in media. Nippon Nogeikagaka Kaishi. 55:407-414.
- Punal, A., Mendez-Pampin R.J., Lema, J. M. 1999. Characterization and comparison of biomass from single- and multi-fed upflow anaerobic filters. Bioresource Technology. 68: 293-300.
- Romli, M., Greenfield, P. F., and Lee, P. L. 1994. Effect of recycle on a two-phase high rate anaerobic wastewater treatment system. Water Science and Technology. 28(2): 475-482.

- Sayed, S. K. I., Spoel, H., and Truijen, G. J. P. 1993. A complete treatment of slaughterhouse waste water combined with sludge stabilization using two stage high rate UASB process. Water Science and Technology. 27(9): 83-90.
- Sirianuntapiboon, Chairattanawan and Ohmomo. 2000. Removal of color substances in molasses wastewater by combined biological and chemical processes. Thammasat International Journal Science Technology. 5(2):14-23
- Shin, H. S., BU, Lee, JJ and Paik, BC. 1992. Anaerobic digestion of distillery wastewater in a two-phase UASB system. Water Science and Technology. 25(7): 361-371.
- Speece, R. E. 1983. Anaerobic biotechnology for industrial waste water treatment. Environmental Science and Technology. 17: 146A.
- Stadlbauer, E. A., Oey, L.N., Weber, B., Jansen, K., Weidle, R., Lohr, H., Ohme, W. and Doll, G. 1994. Anaerobic purification of brewery wastewater in biofilm reactor with and without a methanation cascade. Water Science and Technology. 30 (12): 395-404.
- Stafford, D. A. 1980. Methane production from waste organic matter. CRC.
- Sutton, P. C., and Li, A. 1994. Single phase and two phase anaerobic stabilization in fluidized bed reactor. Water Science and Technology. 15(12): 395-404.
- Takashi, K., Takekiko, K., Minoru, T., Kazuhiro, T., Kazugiro, L. and Kou, S. 1993. Anaerobic treatment of thermal sludge conditioning liquor with granular sludge. Water Environment Research. 65:6-14
- Thaveesri, J. 1994. Granulation in UASB reactors: General introduction. Ph.D.'s Thesis, Faculty of Applied Biological Sciences, University of gent, Belgium.
- Tilche, A., Bortone, G., Former, G., Indulti, M., Stante, L. and Tesini O. 1994. Combination of anaerobic digestion and denitrification in a hybrid upflow anaerobic filter integrated in nutrient removal treatment plant. Water Science Technology. 30(12):405-414.
- Timur, H. and Oztuk, I. 1997. Anaerobic treatment of leachate using sequencing batch reactor and hybrid bed filter. Water Science Technology. 36(6-7):501-508.
- Uhrich, D. 1989. Method for removing dye stuffs from wastewater. U.S. Patent Number 4,880,510.

- Underkofler, L.A. and Hickley, J. 1954. Alcoholic fermentation of molasses. Industrial fermentation. New York : Chemical publishing, Co.
- Van Haandel, A. C. and Lettinga, G. 1994. Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate. Chichester : John Wiley & Son Ltd.
- Wang, L.H., Kuo, Y.C. and Chang, C.Y. 1980. Studies on the utilization of molasses alcohol slop : production of Feed yeast by continuous cultivation. Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society. 18(2):25-32.
- Yoda, M., Kitagawa, M., and Miyaji, Y. 1989. Granular sludge formation in the anaerobic expanded microcarrier bed process. Water Science and Technology. 21: 109-120.
- Young-Ho Ahn, Kyung-Sok Min and Richard E. Speece. 2001. Pre-acidification in anaerobic sludge bed process treating brewery wastewater. Water Research. 35(18):4267-4276.
- Young, J. C., and McCarty, P. L. 1969. The anaerobic filter for waste treatment. Journal of the Water Pollution Control Federation. 41: R160.
- Zhang, T. C., and Noike, T. 1994. Influence of retention time on reactor performance and bacterial trophic population in anaerobic digestion processes. Water Research. 28(1): 27-36.
- Zoetemeyer RJ, JC van den Heuvel and A. Cohen. 1982a. pH influence on acidogenic dissimulation of glucose in an anaerobic digester. Water Research. 16: 303-311.
- Zoetemeyer RJ, P. Amoldy, A. Cohen and C. Boelhouwer. 1982a. Influence of temperature on the anaerobic acidification of glucose in a mixed culture forming part of a two-stage digestion process. Water Research. 16: 313-321.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก. ผลการทดลองชั้นที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.1 แสดงวันที่ทำการทดลองขั้นที่ 1

การทดลองขั้นที่ 1	วันเริ่มต้นทำการทดลอง	วันที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว	วันสิ้นสุดการทดลอง
ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	1 พ.ย. 45 (วันที่ 1)	18 ธ.ค. 45 (วันที่ 48)	10 ม.ค. 46 (วันที่ 71)
ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	28 ม.ค.46 (วันที่ 89)	24 ก.พ. 46 (วันที่ 116)	7 มี.ค. 46 (วันที่ 127)
ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	8 มี.ค. 46 (วันที่ 128)	16 เม.ย. 46 (วันที่ 167)	25 เม.ย. 46 (วันที่ 176)
ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	4 พ.ค. 46 (วันที่ 185)	13 มิ.ย. 46 (วันที่ 225)	20 มิ.ย. 46 (วันที่ 232)

ตาราง ก.2 แสดงวันที่ทำการทดลองขั้นที่ 1 ในการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ตัวแปรตาม ที่วิเคราะห์ 1 ครั้งหลังจากระบบเข้าสู่ภาวะคงที่

การทดลองขั้นที่ 1	วันที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ตัวแปรตาม
ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	10 ม.ค. 46 (วันที่ 71)
ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	28 ก.พ. 46 (วันที่ 120)
ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	25 เม.ย. 46 (วันที่ 176)
ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	20 มิ.ย 46 (วันที่ 232)

ตาราง ก.3 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 3 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
1	1/พย/45	6240	-	-	271	-	-	0	-	618	-	190	-	-	-	8.01	-	16	-
4	4/พย/45	6652	6652	0.0	270	234	13.3	0	321	688	376	60	92	-	-	7.77	5.14	24	-131
6	6/พย/45	6635	5937	10.5	262	228	13.3	0	378	634	366	56	112	-	100	7.81	4.79	31	-109
8	8/พย/45	6780	6428	5.2	282	277	1.7	0	-	1118	871	28	76	-	-	8.15	4.91	13	-133
10	10/พย/45	6780	6340	6.5	280	265	5.5	0	113	1150	882	108	184	-	180	8.14	5.07	27	-121
12	12/พย/45	6604	6164	6.7	281	267	5.0	0	265	1183	882	136	136	104	112	8.33	4.92	19	-135
14	14/พย/45	6222	5712	8.2	297	270	9.2	0	473	1161	817	84	68	-	-	8.12	4.7	15	-143
16	16/พย/45	5814	4794	17.5	269	246	8.6	0	510	645	290	104	192	84	192	7.82	4.65	13	-110
18	18/พย/46	6528	5814	10.9	302	245	18.9	0	302	645	258	144	184	140	172	8.06	4.65	8	-116
20	20/พย/46	5916	5814	1.7	284	245	13.7	0	321	645	183	104	336	88	308	8.05	4.35	11	-114
22	22/พย/46	6426	5202	19.0	269	216	19.6	31.5	413	645	124	108	84	-	-	7.82	4.29	16	-125
25	25/พย/47	6120	4615	24.6	268	212	20.9	26.2	605	613	123	80	160	76	148	7.91	4.27	33	-131
27	27/พย/48	6575	5563	15.4	311	236	24.1	31.5	633	613	161	76	176	72	-	7.6	4.33	22	-121
29	29/พย/49	6120	5100	16.7	301	217	28.0	5.25	605	613	188	108	172	-	168	7.84	4.4	18	-142
32	2/ธค/45	6521	5417	16.9	279	229	18.2	21	605	624	194	32	48	-	-	7.99	4.42	12	-127
34	4/ธค/45	5871	5174	11.9	282	237	15.9	52.5	756	613	113	84	96	-	-	7.76	4.33	19	-139
36	6/ธค/45	6070	5672	6.6	278	239	14.3	36.75	841	618	134	116	88	-	-	8.1	4.29	27	-114
39	9/ธค/45	6120	4857	20.6	287	244	15.1	52.5	662	645	296	100	68	-	-	7.75	4.69	16	-124

ตาราง ก.4 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 6 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
1	1/พย/45	6240	-	-	271	-	-	0	-	618	-	190	-	-	-	8.01	-	16	-
4	4/พย/45	6652	5438	18.3	270	227	16.0	0	38	688	333	60	92	-	-	7.77	4.68	24	-114
6	6/พย/45	6635	6112	7.9	262	231	12.1	0	473	634	323	56	52	-	-	7.81	4.69	31	-124
8	8/พย/45	6780	6780	0.0	282	280	0.9	0	-	1118	828	28	124	-	104	8.15	4.56	13	-119
10	10/พย/45	6780	6340	6.5	280	263	6.3	0	246	1150	839	108	132	-	-	8.14	4.72	27	-111
12	12/พย/45	6604	6340	4.0	281	270	4.1	0	284	1183	871	136	224	104	196	8.33	4.84	19	-113
14	14/พย/45	6222	5610	9.8	297	265	11.0	0	454	1161	871	84	64	-	-	8.12	4.73	15	-126
16	16/พย/45	5814	5110	12.1	269	233	13.2	0	567	645	301	104	140	84	-	7.82	4.66	13	-133
18	18/พย/46	6528	5610	14.1	302	268	11.2	0	246	645	280	144	244	140	224	8.06	4.63	8	-117
20	20/พย/46	5916	5304	10.3	284	222	21.8	0	454	645	204	104	144	88	104	8.05	4.36	11	-136
22	22/พย/46	6426	4998	22.2	269	211	21.7	32	784	645	188	108	104	-	-	7.82	4.33	16	-142
25	25/พย/47	6120	4916	19.7	268	212	20.9	26	775	613	199	80	152	76	112	7.91	4.37	33	-127
27	27/พย/48	6575	5765	12.3	311	236	23.9	32	728	613	247	76	140	72	-	7.6	4.47	22	-140
29	29/พย/49	6120	5100	16.7	301	214	29.0	5	784	613	247	108	192	-	180	7.84	4.51	18	-114
32	2/ธค/45	6521	5217	20.0	279	229	18.0	21	614	624	247	32	164	-	-	7.99	4.5	12	-124
34	4/ธค/45	5871	5174	11.9	282	238	15.7	53	1030	613	183	84	144	-	-	7.76	4.41	19	-136
36	6/ธค/45	6070	5274	13.1	278	238	14.5	37	822	618	145	116	120	-	100	8.1	4.32	27	-132
39	9/ธค/45	6120	4954	19.1	287	242	15.8	53	690	645	306	100	132	-	-	7.75	4.62	16	-143

ตาราง ก.5 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 12 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
1	1/พย/45	6240	-	-	271	-	-	0	-	618	-	190	-	-	-	8.01	-	16	-
4	4/พย/45	6652	6386	4.0	270	223	17.3	0	378	688	344	60	160	-	-	7.77	4.59	24	-124
6	6/พย/45	6635	5850	11.8	262	222	15.2	0	359	634	355	56	56	-	-	7.81	4.65	31	-119
8	8/พย/45	6780	6428	5.2	282	281	0.5	0	-	1118	828	28	396	-	360	8.15	4.57	13	-131
10	10/พย/45	6780	6076	10.4	280	255	8.9	0	397	1150	817	108	148	-	-	8.14	4.65	27	-109
12	12/พย/45	6604	6252	5.3	281	265	5.6	0	416	1183	860	136	232	104	200	8.33	4.77	19	-133
14	14/พย/45	6222	5916	4.9	297	257	13.5	0	454	1161	860	84	84	-	-	8.12	4.73	15	-121
16	16/พย/45	5814	5202	10.5	269	227	15.5	0	643	645	323	104	128	84	-	7.82	4.64	13	-131
18	18/พย/46	6528	5304	18.8	302	257	14.8	0	416	645	333	144	144	140	128	8.06	4.68	8	-109
20	20/พย/46	5916	5304	10.3	284	231	18.5	0	567	645	258	104	252	88	240	8.05	4.45	11	-133
22	22/พย/46	6426	5202	19.0	269	208	22.7	32	879	645	263	108	124	-	-	7.82	4.41	16	-121
25	25/พย/47	6120	4615	24.6	268	205	23.6	26	737	613	269	80	212	76	160	7.91	4.47	33	-135
27	27/พย/48	6575	5361	18.5	311	254	18.2	32	898	613	290	76	150	72	-	7.6	4.46	22	-143
29	29/พย/49	6120	4998	18.3	301	218	27.5	5	898	613	274	108	152	-	124	7.84	4.53	18	-133
32	2/ธค/45	6521	5317	18.5	279	230	17.5	21	718	624	328	32	64	-	-	7.99	4.63	12	-117
34	4/ธค/45	5871	5075	13.6	282	239	15.3	53	983	613	226	84	140	-	124	7.76	4.42	19	-136
36	6/ธค/45	6070	5075	16.4	278	238	14.4	37	1021	618	226	116	148	-	124	8.1	4.41	27	-142
39	9/ธค/45	6120	4954	19.1	287	232	19.3	53	907	645	296	100	88	-	-	7.75	4.55	16	-127

ตาราง ก.6 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 24 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
1	1/พย/45	6240	-	-	271	-	-	0	-	618	-	190	-	-	-	8.01	-	16	-
4	4/พย/45	6652	6208	6.7	270	226	16.1	0	340	688	355	60	52	-	-	7.77	4.49	24	-119
6	6/พย/45	6635	5500	17.1	262	204	22.4	0	454	634	301	56	76	-	72	7.81	4.51	31	-132
8	8/พย/45	6780	6076	10.4	282	282	0.1	0	170	1118	871	28	212	-	180	8.15	4.49	13	-140
10	10/พย/45	6780	6340	6.5	280	255	8.9	0	435	1150	796	108	232	-	-	8.14	4.49	27	-131
12	12/พย/45	6604	5811	12.0	281	259	7.9	0	378	1183	828	136	268	104	260	8.33	4.62	19	-109
14	14/พย/45	6222	5916	4.9	297	251	15.6	0	510	1161	849	84	104	-	-	8.12	4.63	15	-133
16	16/พย/45	5814	4692	19.3	269	220	18.2	0	699	645	290	104	100	84	-	7.82	4.52	13	-121
18	18/พย/46	6528	4890	25.1	302	233	22.9	0	510	645	301	144	152	140	96	8.06	4.53	8	-135
20	20/พย/46	5916	5508	6.9	284	236	17.0	0	567	645	280	104	268	88	252	8.05	4.48	11	-143
22	22/พย/46	6426	5100	20.6	269	224	16.7	32	1153	645	285	108	84	-	80	7.82	4.42	16	-110
25	25/พย/47	6120	4916	19.7	268	214	20.1	26	1021	613	263	80	132	76	84	7.91	4.43	33	-132
27	27/พย/48	6575	5563	15.4	311	235	24.2	32	973	613	274	76	70	72	-	7.6	4.44	22	-132
29	29/พย/49	6120	4998	18.3	301	221	26.6	5	1011	613	301	108	240	-	212	7.84	4.55	18	-143
32	2/ธค/45	6521	5518	15.4	279	230	17.8	21	869	624	349	32	40	-	-	7.99	4.63	12	-114
34	4/ธค/45	5871	5075	13.6	282	225	20.1	53	1125	613	253	84	152	-	136	7.76	4.43	19	-127
36	6/ธค/45	6070	4975	18.0	278	231	17.2	37	1304	618	269	116	148	-	124	8.1	4.44	27	-140
39	9/ธค/45	6120	4954	19.1	287	222	22.7	53	1106	645	301	100	68	-	-	7.75	4.49	16	-114

ตาราง ก.11 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 3 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
128	8/มีค/46	8742	-	-	439	-	-	0	-	902	-	146	-	142	-	8.3	-	12	-
134	14/มีค/46	8717	7661	12.1	467	392	16.0	0	1071	926	485	264	160	232	156	8.41	4.59	19	-109
137	17/มีค/46	8805	6868	22.0	458	365	20.3	30	1467	922	451	132	92	112	-	8.32	4.54	27	-133
139	19/มีค/46	8717	7220	17.2	465	414	11.0	20	1413	926	514	212	148	184	116	8.36	4.58	16	-121
141	21/มีค/46	8742	7518	14.0	470	412	12.5	0	963	931	509	232	184	204	168	8.31	4.66	36	-131
144	24/มีค/46	8680	7291	16.0	447	383	14.5	0	1116	931	461	188	164	164	156	8.09	4.63	11	-109
146	26/มีค/46	8619	7585	12.0	480	426	11.1	5	783	917	500	128	112	124	108	8.14	4.7	28	-143
148	28/มีค/46	8447	7068	16.3	476	395	17.0	25	1080	922	451	208	132	168	116	8.17	4.57	19	-133
151	31/มีค/46	9050	7499	17.1	407	325	20.3	10	945	921	373	160	172	144	-	8.04	4.47	24	-117
153	2/เมย/46	8699	7687	11.6	416	335	19.5	0	1062	907	369	148	184	108	156	8.03	4.45	16	-136
155	4/เมย/46	8757	7761	11.4	418	346	17.3	30	810	902	393	200	160	172		8.02	4.53	25	-142
158	7/เมย/46	9230	8026	13.0	399	332	16.8	25	801	917	330	92	116	80	112	8.05	4.29	16	-114
160	9/เมย/46	8587	7798	9.2	431	383	11.0	30	1224	922	369	108	124	-	-	8	4.41	13	-124
167	16/เมย/46	8742	7577	13.3	434	339	21.8	35	864	897	369	172	224	156	220	8.04	4.44	27	-106
169	18/เมย/46	8742	7771	11.1	421	343	18.5	0	810	902	395	104	222	100	198	7.96	4.54	21	-132
172	21/เมย/46	9325	8159	12.5	425	343	19.2	25	990	897	350	152	232	148	228	8.04	4.33	26	-126
174	23/เมย/46	9059	7902	12.8	474	366	22.8	0	810	902	365	212	200	172	196	7.97	4.31	14	-102
176	25/เมย/46	9227	7532	18.4	438	358	18.3	35	945	892	340	160	164	144	160	8.03	4.34	22	-113

ตาราง ก.12 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 6 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
128	8/มีค/46	8742	-	-	439	-	-	0	-	902	-	146	-	142	-	8.3	-	12	-
134	14/มีค/46	8717	7308	16.2	467	391	16.2	0	1269	926	500	264	164	232	152	8.41	4.53	19	-117
137	17/มีค/46	8805	6956	21.0	459	368	19.8	30	1611	922	490	132	96	112	88	8.32	4.5	27	-136
139	19/มีค/46	8717	7220	17.2	465	399	14.2	20	1494	926	519	212	108	184	104	8.36	4.57	16	-142
141	21/มีค/46	8742	7343	16.0	470	412	12.3	0	1161	931	500	232	148	204	144	8.31	4.53	36	-127
144	24/มีค/46	8680	7205	17.0	447	377	15.8	0	1314	931	461	188	136	164	-	8.09	4.52	11	-127
146	26/มีค/46	8619	7412	14.0	480	408	14.9	5	1233	917	466	128	140	124	-	8.14	4.56	28	-140
148	28/มีค/46	8447	7412	12.3	476	405	14.8	25	1179	922	437	208	200	168	168	8.17	4.49	19	-114
151	31/มีค/46	9050	7326	19.0	407	333	18.1	10	1269	921	373	160	132	144	-	8.04	4.41	24	-124
153	2/เมย/46	8699	7485	14.0	416	335	19.4	0	1233	907	446	148	168	108	152	8.03	4.46	16	-136
155	4/เมย/46	8757	7761	11.4	418	361	13.6	30	1080	902	422	200	160	172	136	8.02	4.46	25	-135
158	7/เมย/46	9230	7424	19.6	399	339	15.0	25	1071	917	373	92	112	80	100	8.05	4.39	16	-143
160	9/เมย/46	8587	7600	11.5	431	371	13.9	30	1305	922	461	108	88	-	-	8	4.52	13	-110
167	16/เมย/46	8742	7382	15.6	434	333	23.2	35	882	897	451	172	132	156	120	8.04	4.57	27	-132
169	18/เมย/46	8742	7577	13.3	421	339	19.3	0	1179	902	415	104	152	100	136	7.96	4.65	21	-101
172	21/เมย/46	9325	7965	14.6	425	352	17.1	25	1008	897	439	152	124	148	120	8.04	4.39	26	-97
174	23/เมย/46	9059	7902	12.8	474	367	22.6	0	1053	902	434	212	204	172	188	7.97	4.38	14	-129
176	25/เมย/46	9227	7343	20.4	438	350	20.2	35	1089	892	398	160	156	144	-	8.03	4.44	22	-117

ตาราง ก.13 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 12 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
128	8/มีค/46	8742	-	-	439	-	-	0	-	902	-	146	-	142	-	8.3	-	12	-
134	14/มีค/46	8717	7572	13.1	467	398	14.8	0	1341	926	490	264	240	232	220	8.41	4.54	19	-133
137	17/มีค/46	8805	7044	20.0	459	375	18.2	30	1530	922	451	132	124	112	104	8.32	4.48	27	-143
139	19/มีค/46	8717	7220	17.2	465	416	10.4	20	1494	926	529	212	100	184	96	8.36	4.58	16	-116
141	21/มีค/46	8742	7693	12.0	470	428	9.0	0	864	931	543	232	104	204	-	8.31	4.61	36	-109
144	24/มีค/46	8680	7552	13.0	447	399	10.9	0	1323	931	514	188	108	164	-	8.09	4.6	11	-97
146	26/มีค/46	8619	7757	10.0	480	417	13.0	5	954	917	538	128	200	124	192	8.14	4.72	28	-114
148	28/มีค/46	8447	7585	10.2	476	411	13.6	25	1134	922	485	208	168	168	136	8.17	4.62	19	-137
151	31/มีค/46	9050	7326	19.0	407	335	17.8	10	1269	921	441	160	72	144	--	8.04	4.5	24	-119
153	2/เมย/46	8699	7890	9.3	416	345	17.0	0	990	907	456	148	132	108	128	8.03	4.65	16	-102
155	4/เมย/46	8757	7761	11.4	418	354	15.3	30	1485	902	421	200	140	172	96	8.02	4.41	25	-131
158	7/เมย/46	9230	7022	23.9	399	342	14.3	25	1161	917	388	92	72	80	-	8.05	4.38	16	-133
160	9/เมย/46	8587	7600	11.5	431	367	14.7	30	1656	922	466	108	96	-	-	8	4.49	13	-124
167	16/เมย/46	8742	7382	15.6	434	350	19.3	35	1134	897	576	172	128	156	-	8.04	4.71	27	-135
169	18/เมย/46	8742	7577	13.3	421	332	21.0	0	1233	902	451	104	112	100	105	7.96	4.44	21	-131
172	21/เมย/46	9325	7965	14.6	425	334	21.4	25	1224	897	453	152	148	148	136	8.04	4.42	26	-111
174	23/เมย/46	9059	7902	12.8	474	360	24.0	0	1296	902	464	212	140	172	124	7.97	4.45	14	-121
176	25/เมย/46	9227	7532	18.4	438	357	18.6	35	1422	892	461	160	128	144	-	8.03	4.6	22	-118

ตาราง ก.14 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 24 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
128	8/มีค/46	8742	-	-	439	-	-	0	-	902	-	146	-	142	-	8.3	-	12	-
134	14/มีค/46	8717	7661	12.1	467	383	17.8	0	1179	926	601	264	116	232	104	8.41	4.63	19	-124
137	17/มีค/46	8805	6868	22.0	459	363	20.9	30	1791	922	470	132	92	112	88	8.32	4.48	27	-122
139	19/มีค/46	8717	7661	12.1	465	393	15.4	20	1521	926	519	212	88	184	76	8.36	4.57	16	-109
141	21/มีค/46	8742	7169	18.0	470	399	15.1	0	1089	931	567	232	84	204	-	8.31	4.61	36	-134
144	24/มีค/46	8680	7552	13.0	447	397	11.2	0	1323	931	563	188	128	164	-	8.09	4.65	11	-133
146	26/มีค/46	8619	7757	10.0	480	398	16.9	5	1332	917	529	128	120	124	112	8.14	4.62	28	-119
148	28/มีค/46	8447	7412	12.3	476	393	17.5	25	1395	922	514	208	104	168	76	8.17	4.6	19	-131
151	31/มีค/46	9050	7499	17.1	407	324	20.4	10	1350	921	470	160	76	144	-	8.04	4.56	24	-114
153	2/เมย/46	8699	7485	14.0	416	323	22.2	0	1449	907	475	148	92	108	88	8.03	4.56	16	-109
155	4/เมย/46	8757	7761	11.4	418	350	16.3	30	1602	902	495	200	108	172	80	8.02	4.53	25	-92
158	7/เมย/46	9230	8026	13.0	399	345	13.5	25	1503	917	495	92	96	80	80	8.05	4.49	16	-135
160	9/เมย/46	8587	7995	6.9	431	341	20.9	30	1431	922	567	108	92	-	-	8	4.71	13	-131
167	16/เมย/46	8742	7382	15.6	434	341	21.3	35	1206	897	577	172	140	156	136	8.04	4.69	27	-133
169	18/เมย/46	8742	7382	15.6	421	342	18.7	0	1314	902	541	104	148	100	140	7.96	4.62	21	-121
172	21/เมย/46	9325	7771	16.7	425	340	19.8	25	1377	897	512	152	96	148	72	8.04	4.42	26	-133
174	23/เมย/46	9059	7902	12.8	474	358	24.4	0	1467	902	547	212	104	172	100	7.97	4.48	14	-121
176	25/เมย/46	9227	7980	13.5	438	346	21.1	35	1755	892	495	160	124	144	-	8.03	4.6	22	-143

ตาราง ก.15 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 3 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
185	4/พค/46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
193	12/พค/46	10778	9499	11.9	584	465	20.3	54	1476	975	567	144	160	120	144	8.54	4.56	13	-119
195	14/พค/46	10687	9042	15.4	575	463	19.5	120	1575	985	543	148	132	120	128	8.56	4.52	19	-131
197	16/พค/46	10789	8613	20.2	569	460	19.2	108	1782	985	500	216	156	180	148	8.58	4.46	13	-133
200	19/พค/46	10517	9066	13.8	585	563	3.8	96	1503	980	635	248	200	204	172	8.57	4.69	11	-133
202	21/พค/46	10542	9470	10.2	632	503	20.4	96	1008	994	669	148	144	104	140	8.5	4.81	33	-121
207	26/พค/46	10631	8844	16.8	598	498	16.7	96	1836	985	524	164	172	156	156	8.48	4.45	18	-135
209	28/พค/46	10998	9224	16.1	599	511	14.6	120	1431	980	529	184	124	152	116	8.42	4.54	12	-143
211	30/พค/46	10643	8692	18.3	593	491	17.2	108	1431	960	485	140	124	132	112	8.39	4.42	27	-136
214	2/มีย/46	10998	9756	11.3	600	508	15.3	90	1188	955	460	188	122	144	96	8.37	4.48	36	-142
216	4/มีย/46	10810	9202	14.9	591	486	17.7	186	1647	951	373	144	100	124	96	8.24	4.3	28	-127
218	6/มีย/46	11095	9510	14.3	606	508	16.0	84	1566	970	378	152	168	132	160	8.26	4.36	24	-124
221	9/มีย/46	10666	8567	19.7	596	502	15.7	138	1656	946	364	152	108	132	96	8.26	4.33	16	-136
223	11/มีย/46	10841	9092	16.1	604	498	17.6	60	1593	960	388	152	128	144	112	8.13	4.33	16	-132
225	13/มีย/46	10309	8619	16.4	546	448	17.9	58.8	1647	912	485	132	180	128	156	8.23	4.48	27	-136
228	16/มีย/46	10298	8792	14.6	553	450	18.6	88.2	1541	960	490	136	96	128	92	8.26	4.46	15	-114
230	18/มีย/46	10170	8464	16.8	583	486	16.7	70.5	1332	960	490	152	120	124	116	8.11	4.45	42	-124
232	20/มีย/46	10045	8525	15.1	576	459	20.3	152.8	1552	970	427	192	112	152	96	8.15	4.48	33	-119

ตาราง ก.16 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 6 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
185	4/พค/46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
193	12/พค/46	10778	9862	8.5	584	455	22.1	54	990	975	655	144	172	120	156	8.54	4.89	13	-121
195	14/พค/46	10687	9225	13.7	575	469	18.5	120	1125	985	669	148	156	120	152	8.56	4.86	19	-117
197	16/พค/46	10789	8697	19.4	569	475	16.5	108	1152	985	597	216	208	180	192	8.58	4.58	13	-142
200	19/พค/46	10517	9066	13.8	585	555	5.1	96	1512	980	640	248	176	204	160	8.57	4.62	11	-133
202	21/พค/46	10542	9112	13.6	632	496	21.5	96	1521	994	601	148	176	104	164	8.5	4.64	33	-125
207	26/พค/46	10631	9202	13.4	598	501	16.2	96	1539	985	558	164	260	156	240	8.48	4.55	18	-114
209	28/พค/46	10998	9410	14.4	599	508	15.2	120	1665	980	548	184	324	152	312	8.42	4.52	12	-
211	30/พค/46	10643	9046	15.0	593	498	16.1	108	1719	960	466	140	204	132	192	8.39	4.4	27	-132
214	2/มีย/46	10998	9224	16.1	600	506	15.7	90	1548	955	451	188	120	144	116	8.37	4.4	36	-143
216	4/มีย/46	10810	9559	11.6	591	498	15.6	186	1242	951	500	144	144	124	136	8.24	4.51	28	-113
218	6/มีย/46	11095	9510	14.3	606	515	15.0	84	1422	970	437	152	180	132	164	8.26	4.42	24	-124
221	9/มีย/46	10666	9092	14.8	596	506	15.1	138	1647	946	354	152	144	132	128	8.26	4.3	16	-118
223	11/มีย/46	10841	8742	19.4	604	492	18.5	60	1674	349	349	152	168	144	156	8.13	4.31	16	-126
225	13/มีย/46	10309	8564	16.9	546	455	16.8	59	1647	912	538	132	160	128	144	8.23	4.74	27	-119
228	16/มีย/46	10298	8619	16.3	553	460	16.7	88	1403	960	475	136	160	128	140	8.26	4.5	15	-136
230	18/มีย/46	10170	8792	13.5	583	467	20.0	71	1688	960	509	152	212	124	180	8.11	4.53	42	-111
232	20/มีย/46	10045	8494	15.4	576	460	20.1	153	1555	970	456	192	112	152	104	8.15	4.45	33	-131

ตาราง ก.17 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 12 ชม.


วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff
185	4/พค/46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
193	12/พค/46	10778	10413	3.4	584	486	16.7	54	972	975	540	144	196	120	184	8.54	5.09	13	-127
195	14/พค/46	10687	9408	12.0	575	469	18.5	120	1161	985	655	148	164	120	148	8.56	4.86	19	-117
197	16/พค/46	10789	9338	13.4	569	474	16.7	108	1323	985	582	216	176	180	172	8.58	4.6	13	-114
200	19/พค/46	10517	9066	13.8	585	575	1.7	96	1341	980	674	248	188	204	160	8.57	4.73	11	-116
202	21/พค/46	10542	8934	15.3	632	485	23.1	96	1476	994	572	148	120	104	116	8.5	4.58	33	-126
207	26/พค/46	10631	9381	11.8	598	495	17.1	96	1521	985	524	164	124	156	116	8.48	4.56	18	-140
209	28/พค/46	10998	8869	19.4	599	491	18.1	120	2034	980	412	184	136	152	120	8.42	4.37	12	-126
211	30/พค/46	10643	9579	10.0	593	486	18.1	108	1386	960	466	140	120	132	104	8.39	4.48	27	-142
214	2/มีย/46	10998	9224	16.1	600	507	15.5	90	1494	955	432	188	176	144	160	8.37	4.4	36	-136
216	4/มีย/46	10810	9381	13.2	591	496	16.0	186	1350	951	441	144	144	124	140	8.24	4.43	28	-143
218	6/มีย/46	11095	9510	14.3	606	509	15.9	84	1557	970	403	152	192	132	168	8.26	4.36	24	-124
221	9/มีย/46	10666	9267	13.1	596	502	15.6	138	1656	946	315	152	172	132	156	8.26	4.23	16	-113
223	11/มีย/46	10841	9617	11.3	604	500	17.3	60	1638	960	325	152	128	144	116	8.13	4.3	16	-133
225	13/มีย/46	10309	8964	13.0	546	439	19.7	59	1697	912	577	132	124	128	120	8.23	5.02	27	-132
228	16/มีย/46	10298	8574	16.7	553	463	16.3	88	1711	960	478	136	104	128	100	8.26	4.48	15	-111
230	18/มีย/46	10170	8536	16.1	583	474	18.7	71	1629	960	489	152	160	124	128	8.11	4.58	42	-114
232	20/มีย/46	10045	8525	15.1	576	466	19.1	153	1652	970	492	192	108	152	104	8.15	4.58	33	-136

ตาราง ก.18 ผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรทุกอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรดที่มีเวลาเก็บกัก 24 ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD remove	Colour (SU)		%Colour remove	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	
		Inf	Eff		inf	eff		inf	eff	inf	eff	Inf	Eff	inf	eff	inf	eff		
185	4/พค/46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
193	12/พค/46	10778	9865	8.5	584	467	20.0	54	1278	975	631	144	168	120	156	8.54	4.76	13	-136
195	14/พค/46	10687	9773	8.6	575	467	18.9	120	1098	985	606	148	160	120	152	8.56	4.83	19	-114
197	16/พค/46	10789	8613	20.2	569	433	23.8	108	1080	985	601	216	184	180	180	8.58	4.68	13	-132
200	19/พค/46	10517	9066	13.8	585	544	6.9	96	1044	980	723	248	204	204	180	8.57	4.99	11	-121
202	21/พค/46	10542	10006	5.1	632	503	20.4	96	1035	994	669	148	168	104	164	8.5	4.8	33	-135
207	26/พค/46	10631	9917	6.7	598	492	17.7	96	1152	985	582	164	176	156	164	8.48	4.69	18	-127
209	28/พค/46	10998	9756	11.3	599	486	18.9	120	1377	980	480	184	148	152	132	8.42	4.52	12	-132
211	30/พค/46	10643	9756	8.3	593	487	17.9	108	1125	960	553	140	152	132	140	8.39	4.62	27	-143
214	2/มีย/46	10998	9579	12.9	600	492	18.0	90	1359	955	514	188	168	144	164	8.37	4.55	36	-124
216	4/มีย/46	10810	9738	9.9	591	493	16.5	186	1350	951	475	144	180	124	176	8.24	4.4	28	-92
218	6/มีย/46	11095	9862	11.1	606	511	15.6	84	1638	970	441	152	152	132	136	8.26	4.38	24	-110
221	9/มีย/46	10666	9617	9.8	596	494	17.1	138	1683	946	373	152	172	132	156	8.26	4.28	16	-114
223	11/มีย/46	10841	9791	9.7	604	492	18.5	60	1629	960	407	152	168	144	164	8.13	4.37	16	-106
225	13/มีย/46	10309	8964	13.0	546	453	17.1	59	1820	912	504	132	136	128	124	8.23	4.54	27	-136
228	16/มีย/46	10298	8274	19.7	553	424	23.3	88	1708	960	535	136	116	128	108	8.26	4.68	15	-140
230	18/มีย/46	10170	8447	16.9	583	467	19.9	71	1917	960	496	152	152	124	132	8.11	4.53	42	-132
232	20/มีย/46	10045	8525	15.1	576	469	18.6	153	1846	970	540	192	120	152	112	8.15	4.66	33	-99

ตาราง ค.ก19 ผลการวิเคราะห์ค่า TOC,COD และ BOD

OLR kg COD/m ³ -d	น้ำเสียเข้า (mg/l)			ถังหมักกรด3ชม(mg/l)			ถังหมักกรด6ชม(mg/l)			ถังหมักกรด12ชม(mg/l)			ถังหมักกรด24ชม(mg/l)		
	TOC	COD	BOD	TOC	COD	BOD	TOC	COD	BOD	TOC	COD	BOD	TOC	COD	BOD
4	1649	5986	1825	1652	4913	2000	1655	4735	1725	1638	4645	1900	1471	4824	2200
5	2458	7546	2675	2070	6442	2700	1953	5981	2800	2158	6258	2650	1916	5705	2850
6	3228	9227	3550	2801	7532	3550	2734	7343	3900	2773	7532	3475	2644	7980	3700
7	4171	10045	3000	3285	8525	2975	3526	8694	2900	3249	8525	2800	3207	8525	2850



ภาคผนวก ข. ผลการทดลองชั้นที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.1 แสดงวันที่ทำการทดลองขั้นที่ 2

การทดลองขั้นที่ 2	วันเริ่มต้นทำการทดลอง	วันที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวก่อนเต็มนิกเกิดและโคบอลท์	วันที่เต็มนิกเกิดและโคบอลท์	วันสิ้นสุดการทดลอง
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	21 มิ.ย. 46 (วันที่ 1)	11 ส.ค. 46 (วันที่ 51)	24 ส.ค. 46 (วันที่ 64)	3 ก.ค. 46 (วันที่ 74)
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	21 มิ.ย. 46 (วันที่ 1)	11 ส.ค. 46 (วันที่ 51)	24 ส.ค. 46 (วันที่ 64)	3 ก.ค. 46 (วันที่ 74)
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	21 มิ.ย. 46 (วันที่ 1)	11 ส.ค. 46 (วันที่ 51)	24 ส.ค. 46 (วันที่ 64)	3 ก.ค. 46 (วันที่ 74)
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	21 มิ.ย. 46 (วันที่ 1)	11 ส.ค. 46 (วันที่ 51)	24 ส.ค. 46 (วันที่ 64)	3 ก.ค. 46 (วันที่ 74)

ตาราง ข.2 แสดงวันที่ทำการทดลองขั้นที่ 2 ในการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ตัวแปรตาม ที่วิเคราะห์ 1 ครั้งหลังจากระบบเข้าสู่ภาวะคงที่

การทดลองขั้นที่ 2	วันที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ตัวแปรตามก่อนเต็มนิกเกิดและโคบอลท์	วันที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ตัวแปรตามหลังเต็มนิกเกิดและโคบอลท์
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	22 ส.ค. 46 (วันที่ 62)	3 ก.ค. 46 (วันที่ 74)
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	22 ส.ค. 46 (วันที่ 62)	3 ก.ค. 46 (วันที่ 74)
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	22 ส.ค. 46 (วันที่ 62)	3 ก.ค. 46 (วันที่ 74)
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	22 ส.ค. 46 (วันที่ 62)	3 ก.ค. 46 (วันที่ 74)

ตาราง ข.3 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 6 ซม.

วันที่	ว/ด/ป	COD			%COD remove	Colour (SU)			%Colour remove	VFA			ALK		
		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff
1	21/มีย/46	6120				332				0			645		
9	30/มีย/46	6240	5438	3862	38.1	301	267	222	26.2	0	708	608	612	301	1012
11	2/กค/46	6222	4998	2346	62.3	388	345	228	41.2	0	555	528	606	431	1018
13	4/กค/46	6521	5217	3641	44.2	310	264	241	22.3	21	620	608	623	306	962
16	7/กค/46	6220	5217	3812	38.7	365	321	326	10.7	23	608	608	596	430	1076
18	9/กค/46	6575	5765	3214	51.1	310	287	262	15.5	21	680	663	784	612	1251
20	11/กค/46	7022	4815	3411	51.4	371	332	322	13.2	23	644	617	586	271	902
23	14/กค/46	6780	6340	3484	48.6	280	262	251	10.4	0	708	675	618	204	1018
25	16/กค/46	6920	5819	3210	53.6	371	337	331	10.8	23	659	644	596	475	1096
27	18/กค/46	6442	5521	3108	51.8	290	232	213	26.6	21	1020	725	645	284	813
30	21/กค/46	6766	5572	2985	55.9	376	330	302	19.7	0	749	608	717	523	1343
32	23/กค/46	6974	5681	2886	58.6	367	289	274	25.3	0	1020	888	655	311	1142
34	25/กค/46	7363	7363	2985	59.5	355	250	240	32.4	11	996	353	708	649	1396
37	28/กค/46	6442	5521	3012	53.2	340	239	218	35.9	0	738	617	765	545	1124
39	30/กค/46	6169	5373	2486	59.7	369	274	264	28.5	0	732	608	737	562	1425
41	1/สค/46	6266	4406	2318	63.0	395	347	316	20.0	0	776	423	698	475	1367

ตาราง ข.3 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรรทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 6 ชม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	COD			%COD remove	Colour (SU)			%Colour remove	VFA			ALK		
		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff
44	4/สค/46	5973	4759	2817	52.8	349	267	246	29.6	0	917	358	717	504	1338
46	6/สค/46	5973	5385	2316	61.2	349	280	257	26.4	0	1164	353	717	465	1348
48	8/สค/46	6120	5355	2295	62.5	382	289	262	31.4	0	1058	185	698	485	1280
51	11/สค/46	6175	5246	2360	61.8	352	272	253	28.1	0	963	185	681	515	1286
53	13/สค/46	6215	4685	2008	67.7	340	271	250	26.5	0	899	167	727	523	1299
55	15/สค/46	6311	5163	2236	64.6	351	285	261	25.6	0	846	185	679	446	1382
58	18/สค/46	6120	5346	2102	65.7	355	273	250	29.6	0	816	162	681	511	1310
62	22/สค/46	6402	5460	2017	68.5	359	260	248	30.9	0	716	166	698	533	1319
66	26/สค/46	6175	5464	1906	69.1	349	264	243	30.4	0	654	123	681	446	1286
68	28/สค/46	6398	5470	1761	72.5	364	273	259	28.8	0	611	37	669	465	1319
70	30/สค/46	6311	5382	1876	70.3	356	269	259	27.2	0	683	64	679	473	1382
72	1/กย/46	6285	5572	1890	69.9	361	276	260	28.0	0	679	52	717	465	1299
74	3/กย/46	6437	5712	2266	64.8	358	271	252	29.61	0	646	47	708	455	1261

หมายเหตุ ตารางที่เป็นช่องสีเทาเป็นวันที่มีการเติมนิเกิลและโคบอลท์

ตาราง ข.3 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 6 ชม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	SS			VSS			pH			ORP			Gas
		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	
1	21/มีย/46	84			72			8.01			18			
9	30/มีย/46	104	140	84	98	132	78	7.81	4.65	7.1	14	-116	-198	1.71
11	2/กค/46	108	104	400	64	64	292	8.09	4.93	7.33	16	-146	-200	1.23
13	4/กค/46	140	164	100	132	154	86	8	4.81	6.87	31	-107	-175	1.42
16	7/กค/46	56	84	64	52	68	60	7.96	5.06	7.16	26	-128	-184	1.21
18	9/กค/46	108	132	96	104	128	92	8.06	5.12	7.31	37	-134	-199	1.58
20	11/กค/46	62	104	84	48	100	80	8	4.41	6.6	45	-116	-193	2.55
23	14/กค/46	104	152	84	100	148	76	8.03	4.98	7.22	16	-121	-204	2.41
25	16/กค/46	62	120	84	48	116	76	8	5.26	7.12	31	-112	-200	2.66
27	18/กค/46	116	84	52	112	80	48	7.78	4.85	7.32	8	-101	-241	2.61
30	21/กค/46	76	80	32	60	72	28	8.28	4.79	7.63	17	-118	-294	2.08
32	23/กค/46	120	96	82	112	92	78	7.99	4.94	7.51	16	-87	-252	2.51
34	25/กค/46	52	208	52	44	200	32	7.96	4.87	8	42	-59	-149	2.68
37	28/กค/46	84	116	68	76	64	72	7.64	4.77	7.91	25	-113	-189	3.01
39	30/กค/46	48	36	56	44	32	52	8.04	4.89	7.96	27	-69	-193	3.21
41	1/สค/46	92	88	56	80	84	52	8.24	4.56	7.57	44	-118	-199	3.46

ตาราง ข.3 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 6 ชม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	SS			VSS			pH			ORP			Gas
		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	
44	4/สค/46	60	100	112	56	96	108	7.99	4.62	7	21	-96	-216	3.82
46	6/สค/46	60	112	60	56	88	56	7.99	4.51	7.73	31	-104	-231	4.36
48	8/สค/46	72	88	28	44	84	24	8.06	4.57	7.95	14	-110	-224	4.84
51	11/สค/46	72	84	48	64	80	44	8.01	4.51	7.66	13	-109	-276	6.38
53	13/สค/46	76	92	140	72	88	96	8.04	4.41	7.89	27	-149	-294	7.03
55	15/สค/46	76	80	80	68	76	76	8.01	4.55	7.68	18	-143	-261	6.73
58	18/สค/46	76	82	70	72	72	68	8.02	4.46	7.72	31	-125	-279	7.30
62	22/สค/46	84	76	72	72	72	68	8.03	4.63	7.63	19	-128	-251	7.32
66	26/สค/46	92	76	76	84	72	68	7.89	4.51	7.87	20	-146	-236	8.16
68	28/สค/46	52	84	72	44	68	68	8.02	4.64	7.72	28	-132	-243	8.76
70	30/สค/46	60	64	80	56	60	72	8	4.62	7.98	19	-137	-213	8.62
72	1/กย/46	76	84	60	68	72	56	7.98	4.54	7.88	34	-144	-233	8.33
74	3/กย/46	72	76	72	64	72	64	8.03	4.62	7.86	17	-109	-248	8.01

หมายเหตุ ตารางที่เป็นช่องสีเทาเป็นวันที่มีการเติมเมล็ดและโคบอลท์

ตาราง ข.4 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 6 ชม.

วันที่	ว/ด/ป	COD			%COD remove	Colour (SU)			%Colour remove	VFA			ALK		
		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff
1	21/มีย/46	7720				373				35			776		
9	30/มีย/46	8266	6311	3654	55.8	482	441	363	24.7	55	624	596	756	363	1036
11	2/กค/46	8466	6222	2958	65.1	484	430	358	26.0	0	696	537	742	475	1052
13	4/กค/46	8040	6590	4532	43.6	478	412	410	14.2	15	642	648	722	462	1231
16	7/กค/46	7642	6621	4615	39.6	481	420	410	14.8	17	638	714	722	368	1493
18	9/กค/46	8124	6398	4918	39.5	486	421	407	16.3	40	710	693	780	397	1296
20	11/กค/46	8226	6621	5016	39.0	485	422	401	17.3	69	846	710	742	334	1319
23	14/กค/46	8184	7620	4811	41.2	483	418	398	17.6	30	672	635	785	417	1368
25	16/กค/46	8216	8116	4615	43.8	487	450	409	16.0	56	476	485	742	591	1411
27	18/กค/46	8203	7629	4781	41.7	489	407	401	18.0	25	729	768	766	483	1396
30	21/กค/46	8160	7164	4776	41.5	501	391	382	23.8	0	864	1094	863	620	1779
32	23/กค/46	8142	6832	4667	42.7	482	417	403	16.4	30	746	813	876	580	1692
34	25/กค/46	8056	6368	4378	45.7	479	381	369	23.0	0	1049	917	863	441	1789
37	28/กค/46	8218	6847	4316	47.5	491	396	347	29.3	10	695	702	815	564	1781
39	30/กค/46	8359	6766	4378	47.6	501	387	356	28.9	0	687	564	930	679	1775
41	1/สค/46	8029	6364	4014	50.0	501	384	374	25.4	0	987	669	822	543	1716

ตาราง ข.4 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 6 ชม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	COD			%COD remove	Colour (SU)			%Colour remove	VFA			ALK		
		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff
44	4/สค/46	7539	6897	3371	55.3	460	382	349	24.1	0	1023	935	863	630	1658
46	6/สค/46	7539	7148	3406	54.8	489	392	362	26.0	0	1242	705	863	523	1707
48	8/สค/46	8415	6693	2816	66.5	508	396	384	24.4	0	1428	474	902	533	1726
51	11/สค/46	8029	6740	3040	62.1	475	389	362	23.8	0	1218	546	843	562	1714
53	13/สค/46	7936	6789	2773	65.1	475	393	346	27.2	0	1251	599	834	455	1694
55	15/สค/46	8415	6693	2677	68.2	466	382	348	25.3	0	1217	537	814	517	1755
58	18/สค/46	8764	6917	2941	66.4	479	376	364	24.0	0	1255	542	824	562	1743
62	22/สค/46	8662	7343	3577	58.7	471	386	350	25.7	0	1216	562	873	620	1716
66	26/สค/46	8184	6740	2944	64.0	486	376	361	25.7	0	1016	462	843	580	1726
68	28/สค/46	8667	6769	3430	60.4	471	362	358	24.0	0	882	317	824	504	1687
70	30/สค/46	8415	6897	2816	66.5	469	366	354	24.5	0	976	355	902	547	1692
72	1/กย/46	8359	6764	2795	66.6	477	364	351	26.4	0	1054	287	876	535	1707
74	3/กย/46	8432	6800	2810	66.67	475	371	355	25.26	0	1140	258	843	541	1736

หมายเหตุ ตารางที่เป็นช่องสีเทาเป็นวันที่มีการเติมนิเกิลและโคบอลท์

ตาราง ข.4 ผลการทดลองแอนไอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 6 ซม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	SS			VSS			pH			ORP			Gas
		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	
1	21/มีย/46	112			108			8.01			31			
9	30/มีย/46	128	132	102	116	128	98	8.05	4.54	7.67	25	-172	-194	2.705
11	2/กค/46	132	180	116	112	172	104	8.17	4.83	7.47	40	-163	-184	2.81
13	4/กค/46	136	112	104	132	108	100	8.09	4.66	7.32	15	-117	-214	2.99
16	7/กค/46	116	116	96	108	104	68	8.09	4.64	7.21	17	-124	-234	3.12
18	9/กค/46	148	80	84	140	76	76	8.09	4.61	7.11	24	-128	-211	3.41
20	11/กค/46	124	124	92	108	120	88	8.08	4.4	6.78	42	-138	-239	3.82
23	14/กค/46	132	188	102	120	172	76	8.01	4.46	7.01	33	-142	-244	4.01
25	16/กค/46	124	116	136	108	112	108	8.02	4.96	7.09	28	-139	-262	4.21
27	18/กค/46	156	152	132	152	148	124	8.26	4.78	7.12	11	-131	-213	4.83
30	21/กค/46	180	140	152	116	136	132	8.33	4.57	7.23	16	-124	-274	4.82
32	23/กค/46	148	80	140	144	76	136	8.1	4.57	7.31	13	-137	-241	5.92
34	25/กค/46	60	96	132	56	88	104	8.14	4.58	7.62	18	-144	-236	6.13
37	28/กค/46	128	92	116	116	88	112	8.12	4.6	7.71	17	-117	-243	6.6
39	30/กค/46	104	152	148	96	136	144	8.15	4.8	7.78	21	-96	-213	7.8
41	1/สค/46	124	124	136	120	96	116	8.26	4.6	7.44	36	-107	-233	4.53

ตาราง ข.4 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 6 ชม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	SS			VSS			pH			ORP			Gas
		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	
44	4/สค/46	124	92	248	80	88	176	7.97	4.67	7.64	39	-98	-248	6.07
46	6/สค/46	104	140	108	68	132	104	7.97	4.49	7.4	49	-80	-238	5.6
48	8/สค/46	112	148	108	96	124	104	8.17	4.54	7.71	23	-103	-211	6.87
51	11/สค/46	104	128	100	88	112	96	8.09	4.47	7.78	31	-141	-252	9.39
53	13/สค/46	40	124	120	36	120	116	8.04	4.48	7.68	42	-135	-279	10.34
55	15/สค/46	80	92	128	76	88	120	8.06	4.37	7.87	25	-137	-312	9.38
58	18/สค/46	104	92	108	100	88	104	8.09	4.44	7.61	28	-124	-264	10.05
62	22/สค/46	112	124	120	88	112	96	8.13	4.64	7.74	23	-131	-242	10.88
66	26/สค/46	136	152	108	111	128	116	8.09	4.55	7.72	25	-99	-282	10.92
68	28/สค/46	124	128	120	112	120	116	8.12	4.52	7.84	27	-104	-256	11.12
70	30/สค/46	148	92	100	124	124	84	8.07	4.51	7.88	44	-106	-242	10.98
72	1/กย/46	124	116	108	108	116	102	8.09	4.48	7.73	21	-177	-308	10.87
74	3/กย/46	112	124	148	92	108	112	8.11	4.45	7.89	31	-87	-284	10.79

หมายเหตุ ตารางที่เป็นช่องสีเทาเป็นวันที่มีการเติมเมล็ดและโคบอลท์

ตาราง ข.5 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรรณำ ที่ภาวะบรทุก 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรรต 12 ชม.

วันที่	ว/ด/ป	COD			%COD remove	Colour (SU)			%Colour remove	VFA			ALK		
		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff
1	21/มีย/46	9050				541				0			906		
9	30/มีย/46	9160	8766	4988	45.5	553	491	481	13.0	0	1011	1091	897	576	1231
11	2/กค/46	9282	8914	4753	48.8	567	438	434	23.5	82	1031	1043	868	625	1290
13	4/กค/46	9106	8431	4876	46.5	571	481	472	17.3	30	965	1047	921	441	1354
16	7/กค/46	8828	8026	5819	34.1	580	549	484	16.6	82	696	1094	858	426	1457
18	9/กค/46	9416	8112	5516	41.4	576	496	481	16.5	45	846	1023	892	460	1376
20	11/กค/46	9631	8226	5417	43.8	571	497	493	13.7	92	1014	785	877	344	1475
23	14/กค/46	9588	8364	5400	43.7	570	490	467	18.1	60	866	1001	902	451	1463
25	16/กค/46	9536	8427	5417	43.2	571	512	490	14.2	86	794	1296	868	596	1575
27	18/กค/46	9541	8659	5108	46.5	573	498	476	16.9	40	1035	1073	921	484	1637
30	21/กค/46	9553	8757	4975	47.9	572	483	472	17.5	0	1385	1376	984	419	1836
32	23/กค/46	9654	9060	4993	48.3	569	443	424	25.5	0	1400	1026	931	543	1725
34	25/กค/46	9951	9354	4975	50.0	568	479	434	23.6	0	1490	723	979	669	1931
37	28/กค/46	9565	9160	5015	47.6	574	486	441	23.2	15	1418	1001	968	676	1813
39	30/กค/46	9359	8754	5174	44.7	576	490	459	20.3	0	1344	1199	979	688	1989
41	1/สค/46	9987	8323	5364	46.3	600	450	476	20.7	0	1394	1481	1018	640	2046

ตาราง ข.5 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรรทุก 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 12 ซม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	COD			%COD remove	Colour (SU)			%Colour remove	VFA			ALK		
		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff
44	4/สค/46	9106	7674	4654	48.9	559	450	439	21.5	0	1323	1817	1008	863	1969
46	6/สค/46	9106	8519	4564	49.9	600	495	483	19.5	0	1640	1428	1016	601	2007
48	8/สค/46	10327	8032	4546	56.0	613	491	472	23.0	0	1542	1181	1028	572	2114
51	11/สค/46	9817	7522	4520	54.0	594	473	462	22.2	0	1593	1011	1024	549	2106
53	13/สค/46	10231	7554	4685	54.2	549	450	413	24.8	0	1578	1269	1018	552	2099
55	15/สค/46	9562	7841	4207	56.0	548	448	429	21.7	0	1596	953	921	563	2104
58	18/สค/46	9541	7659	4184	56.1	541	428	416	23.1	0	1576	961	1011	591	2127
62	22/สค/46	9603	7908	4142	56.9	554	438	430	22.4	0	1570	939	989	640	2186
66	26/สค/46	9915	8757	4046	59.2	574	452	441	23.2	0	1527	876	981	640	2106
68	28/สค/46	9736	8438	3616	62.9	611	491	481	21.3	0	1493	823	979	610	2308
70	30/สค/46	9106	8427	3875	57.4	582	463	446	23.4	0	1484	704	972	622	2040
72	1/กย/46	9359	8519	3948	57.8	559	456	439	21.5	0	1476	602	993	572	2162
74	3/กย/46	10245	8432	4080	60.18	549	442	429	21.86	0	1470	423	989	610	2059

หมายเหตุ ตารางที่เป็นช่องสีเทาเป็นวันที่มีการเติมนิเกิลและโคบอลท์

ตาราง ข.5 ผลการทดลองแอนไอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 12 ซม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	SS			VSS			pH			ORP			Gas
		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	
1	21/มีย/46	128			142			8.3			15			
9	30/มีย/46	108	96	84	104	92	80	8.23	4.92	7.1	31	-117	-211	2.59
11	2/กค/46	160	120	144	128	108	120	8.21	4.83	7.09	23	-156	-168	2.68
13	4/กค/46	168	168	136	162	158	158	8.16	4.66	7.11	17	-131	-198	2.92
16	7/กค/46	116	140	116	72	132	92	8.09	4.54	7.16	25	-124	-187	3.13
18	9/กค/46	200	140	136	172	96	128	8.1	4.51	7.08	36	-143	-170	2.91
20	11/กค/46	216	144	120	188	136	92	8.11	4.48	7.01	20	-130	-160	3.06
23	14/กค/46	212	110	104	184	96	96	8.04	4.65	6.82	26	-112	-191	2.82
25	16/กค/46	208	156	140	188	148	136	8.01	4.74	6.44	32	-136	-169	3.09
27	18/กค/46	152	148	116	148	136	108	8.16	4.75	6.98	20	-106	-187	3.01
30	21/กค/46	144	100	104	140	92	44	8.28	4.78	7.51	28	-133	-159	2.99
32	23/กค/46	104	112	100	100	104	96	8.14	4.69	7.55	19	-95	-164	3.12
34	25/กค/46	144	156	64	124	112	60	8.11	4.66	7.63	34	-54	-189	3.22
37	28/กค/46	160	128	112	144	116	140	8.12	4.82	7.56	17	-114	-211	3.42
39	30/กค/46	100	148	84	96	136	80	8.15	4.97	7.95	14	-99	-172	3.64
41	1/สค/46	204	124	196	180	120	148	8.28	4.55	7.13	32	-104	-303	3.76

ตาราง ข.5 ผลการทดลองแอนไอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 12 ซม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	SS			VSS			pH			ORP			Gas
		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	
44	4/สค/46	136	112	144	96	108	100	8.02	4.75	7.48	28	-106	-231	4.38
46	6/สค/46	132	200	108	96	176	104	8.04	4.44	7.24	48	-177	-246	6.42
48	8/สค/46	152	188	124	104	144	112	8.21	4.37	7.57	29	-87	-214	8.36
51	11/สค/46	104	112	100	100	104	96	8.09	4.36	7.67	21	-120	-195	7.16
53	13/สค/46	80	120	96	76	112	92	8.13	4.39	7.65	15	-130	-283	6.89
55	15/สค/46	96	128	68	92	120	64	8.07	4.31	7.95	18	-100	-301	8.13
58	18/สค/46	132	112	120	124	104	112	8.16	4.41	7.88	32	-140	-276	8.82
62	22/สค/46	104	116	100	100	112	92	8.16	4.47	7.75	30	-131	-283	9.04
66	26/สค/46	132	128	104	104	112	92	8.15	4.55	7.83	26	-141	-184	8.61
68	28/สค/46	136	112	112	124	104	108	8.13	4.61	7.96	37	-135	-172	8.72
70	30/สค/46	104	188	96	96	128	84	8.08	4.58	7.87	45	-137	-196	8.35
72	1/กย/46	112	128	144	104	108	116	8.111	4.62	7.74	16	-124	-273	8.54
74	3/กย/46	116	156	124	100	124	120	8.13	4.67	7.75	31	-131	-214	8.65

หมายเหตุ ตารางที่เป็นช่องสีเทาเป็นวันที่มีการเติมนิเกิลและโคบอลท์

ตาราง ข.6 ผลการทดลองแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 24 ชม.

วันที่	ว/ด/ป	COD			%COD remove	Colour (SU)			%Colour remove	VFA			ALK		
		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff
1	21/มีย/46	11046				605				54			962		
9	30/มีย/46	10421	9865	6287	39.7	668	513	467	30.1	96	936	1824	974	601	1320
11	2/กค/46	9894	8914	4753	52.0	662	586	434	34.4	105	1031	1743	1008	625	1290
13	4/กค/46	10681	9617	7762	27.3	665	588	493	25.9	84	848	1797	986	549	1470
16	7/กค/46	11236	9832	8226	26.8	669	589	571	14.6	47	794	1922	916	504	1721
18	9/กค/46	11147	9756	7940	28.8	674	574	566	16.0	84	978	1392	908	534	1671
20	11/กค/46	11036	9430	7825	29.1	681	576	545	20.0	46	1269	935	1013	421	1571
23	14/กค/46	11196	9862	7743	30.8	676	578	534	21.0	54	1224	1689	1044	553	1674
25	16/กค/46	11260	9484	7624	32.3	681	589	555	18.5	38	1199	1710	1046	630	1761
27	18/กค/46	11278	8613	7961	29.4	682	576	562	17.6	60	1278	1910	1120	587	1820
30	21/กค/46	11344	8956	8160	28.1	684	565	520	24.0	52	1385	1942	1144	527	1925
32	23/กค/46	11687	9917	7915	32.3	677	576	548	19.1	45	1268	1914	1134	625	1922
34	25/กค/46	12936	10747	7761	40.0	662	571	522	21.1	35	1305	1976	1125	746	1930
37	28/กค/46	11020	9066	7761	29.6	671	584	531	20.9	0	1301	1998	1125	762	1956
39	30/กค/46	10946	9951	7761	29.1	673	551	523	22.3	0	1040	1710	1134	873	1978
41	1/สค/46	10967	9302	5973	45.5	688	552	551	19.9	0	1499	1817	1144	717	2454

ตาราง ข.6 ผลการทดลองแอนไอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 24 ชม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	COD			%COD remove	Colour (SU)			%Colour remove	VFA			ALK		
		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff
44	4/สค/46	10673	9422	5925	44.5	659	557	552	16.2	0	1560	1535	1125	708	2444
46	6/สค/46	10976	9889	5168	52.9	658	581	532	19.1	0	1518	1490	1128	698	2489
48	8/สค/46	11092	9562	5502	50.4	660	564	528	20.0	0	1781	1376	1105	630	2451
51	11/สค/46	10820	9476	4996	53.8	651	542	530	18.6	0	1764	1314	1110	618	2474
53	13/สค/46	10996	9466	5068	53.9	642	554	509	20.7	0	1746	1235	1057	552	2434
55	15/สค/46	11042	9562	4972	55.0	642	530	510	20.6	0	1817	1248	1037	685	2395
58	18/สค/46	10643	9622	5107	52.0	648	522	518	20.1	0	1746	1264	1121	615	2417
62	22/สค/46	10545	9227	5779	45.2	654	541	527	19.4	0	1887	1340	1134	669	2405
66	26/สค/46	10976	9430	4906	55.3	664	544	526	20.8	0	1476	957	1057	652	2564
68	28/สค/46	11220	9365	4914	56.2	653	550	531	18.7	47	1399	670	1096	640	2667
70	30/สค/46	10842	9484	4998	53.9	656	547	529	19.4	0	1385	903	1105	615	2466
72	1/กย/46	10865	9376	5076	53.3	642	531	511	20.4	0	1278	1046	1125	673	2514
74	3/กย/46	10608	9338	5193	51.0	654	544	524	19.9	0	1234	1234	1037	611	2231

หมายเหตุ ตารางที่เป็นช่องสีเทาเป็นวันที่มีการเติมนิเกิลและโคบอลท์

ตาราง ข.6 ผลการทดลองแอนไอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถังหมักกรวด 24 ชม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	SS			VSS			pH			ORP			Gas
		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	
1	21/มีย/46	116			112			8.18			23			
9	30/มีย/46	144	168	120	140	164	116	8.23	4.5	7.15	18	-121	-184	1.37
11	2/กค/46	172	404	140	132	380	120	8.25	4.53	7.09	27	-145	-172	1.81
13	4/กค/46	152	160	84	148	152	76	8.26	4.55	7.31	35	-134	-196	2.38
16	7/กค/46	148	292	92	140	288	76	8.13	4.56	7.16	31	-146	-273	2.59
18	9/กค/46	172	204	84	168	186	80	8.11	4.53	7.18	42	-132	-214	2.62
20	11/กค/46	224	156	96	168	148	68	8.15	4.48	7.21	20	-137	-282	2.68
23	14/กค/46	188	104	120	184	96	112	8.15	4.66	7.3	32	-144	-262	2.70
25	16/กค/46	204	116	100	196	112	96	8.15	4.74	7.27	19	-109	-266	2.71
27	18/กค/46	140	128	92	136	96	84	8.26	4.68	7.41	24	-97	-310	3.25
30	21/กค/46	116	152	88	112	144	68	8.21	4.78	7.51	17	-109	-307	3.41
32	23/กค/46	152	124	104	144	116	100	8.1	4.73	7.58	29	-99	-273	3.66
34	25/กค/46	160	108	120	140	88	108	8.07	4.72	7.63	41	-147	-282	3.82
37	28/กค/46	132	116	104	128	112	100	8.11	4.81	7.82	36	-103	-256	4.08
39	30/กค/46	100	124	124	96	120	96	8.19	4.97	7.95	25	-87	-242	4.42
41	1/สค/46	156	156	116	128	116	76	8.1	4.6	7.55	38	-104	-308	4.70

ตาราง ข.6 ผลการทดลองแอนไอโอมิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรวดน้ำ ที่ภาวะบรทุก 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ถึงหมักกรด 24 ชม.(ต่อ)

วันที่	ว/ด/ป	SS			VSS			pH			ORP			Gas
		Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	Inf	Acid	Eff	
44	4/สค/46	128	116	208	124	104	156	8.02	4.61	7.71	37	-102	-284	4.27
46	6/สค/46	128	116	192	124	100	140	8.02	4.52	7.72	47	-83	-276	4.26
48	8/สค/46	112	108	108	106	104	104	8.22	4.35	7.72	37	-83	-287	4.23
51	11/สค/46	102	116	108	96	100	104	8.1	4.41	7.76	30	-109	-299	4.82
53	13/สค/46	112	140	120	108	96	112	8.09	4.35	7.86	32	-123	-292	5.53
55	15/สค/46	108	116	104	100	104	92	8.09	4.34	7.82	26	-99	-330	4.29
58	18/สค/46	132	116	104	128	112	100	8.11	4.38	7.61	18	-117	-301	4.94
62	22/สค/46	112	140	112	108	116	100	8.27	4.39	7.79	24	-135	-289	5.92
66	26/สค/46	116	152	88	112	144	68	8.09	4.41	7.86	31	-144	-172	5.34
68	28/สค/46	156	116	116	128	104	104	8.14	4.46	8.02	14	-117	-303	5.39
70	30/สค/46	152	160	92	148	152	76	8.1	4.52	7.82	13	-96	-231	5.44
72	1/กย/46	128	108	120	112	96	112	8.08	4.44	7.78	27	-107	-246	5.19
74	3/กย/46	116	152	88	112	116	84	8.27	4.42	7.86	18	-98	-214	5.32

หมายเหตุ ตารางที่เป็นช่องสีเทาเป็นวันที่มีการเติมนิเกิลและโคบอลท์

ตาราง ข.7 ผลการวิเคราะห์ค่า TOC,COD และ BOD

ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	จุดเก็บตัวอย่าง	ก่อนเติม निकเกิด และ โคบอลท์			หลังเติม निकเกิด และ โคบอลท์		
		TOC	COD	BOD	TOC	COD	BOD
4	น้ำเสีย	1894	6402	2725	2669	6437	3100
	น้ำถังหมักกรด	1850	5460	2700	2189	5712	2850
	น้ำทิ้ง	809	2017	1200	872	2266	950
5	น้ำเสีย	3486	8662	3200	2984	8432	3575
	น้ำถังหมักกรด	2956	7343	2975	2510	6800	3325
	น้ำทิ้ง	1029	3577	1425	1090	2810	1225
6	น้ำเสีย	2907	9603	4600	3980	10245	3900
	น้ำถังหมักกรด	2269	7908	3250	3327	8432	3750
	น้ำทิ้ง	1592	4142	1900	1531	4080	1975
7	น้ำเสีย	4297	10545	6775	4394	10608	4100
	น้ำถังหมักกรด	3222	9227	5775	3456	9338	3900
	น้ำทิ้ง	1958	5779	4675	2346	5193	3000

ตาราง ข.8 ผลคำนวณการวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC ในการทดลองขั้นที่ 2 ก่อนเติม
นิกเกิดและโคบอลท์

ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	จุดเก็บตัวอย่าง	acetic		propionic		butyric		Total Acidity (mg/l as CH ₃ COOH)	
		area	mg/l	area	mg/l	area	mg/l	GC	Titration
4	น้ำเสีย	20.4	205.6	225.0	256.5	1118.8	221.1	564.3	0.0
	น้ำถังหมักกรด	287.3	424.0	545.7	333.9	1984.4	266.8	876.7	716.0
	น้ำทิ้ง	102.4	272.7	319.1	279.2	1480.5	240.2	662.8	166.0
5	น้ำเสีย	55.7	234.5	164.6	241.9	1135.4	222.0	582.0	0.0
	น้ำถังหมักกรด	506.3	603.2	991.3	441.5	3435.6	343.4	1195.3	1216.0
	น้ำทิ้ง	117.7	285.3	292.5	272.8	1247.2	227.9	661.8	562.0
6	น้ำเสีย	57.2	235.7	223.8	256.2	974.8	213.5	589.0	0.0
	น้ำถังหมักกรด	715.4	774.3	1779.8	631.8	6022.7	480.0	1613.9	1570.0
	น้ำทิ้ง	292.7	428.4	942.1	429.6	3875.0	366.6	1026.7	939.0
7	น้ำเสีย	100.1	270.8	87.8	223.4	938.4	211.6	596.2	0.0
	น้ำถังหมักกรด	857.1	890.3	1818.6	641.2	5686.4	462.3	1725.4	1887.0
	น้ำทิ้ง	271.7	411.2	976.6	437.9	3930.7	369.6	1018.3	1340.0

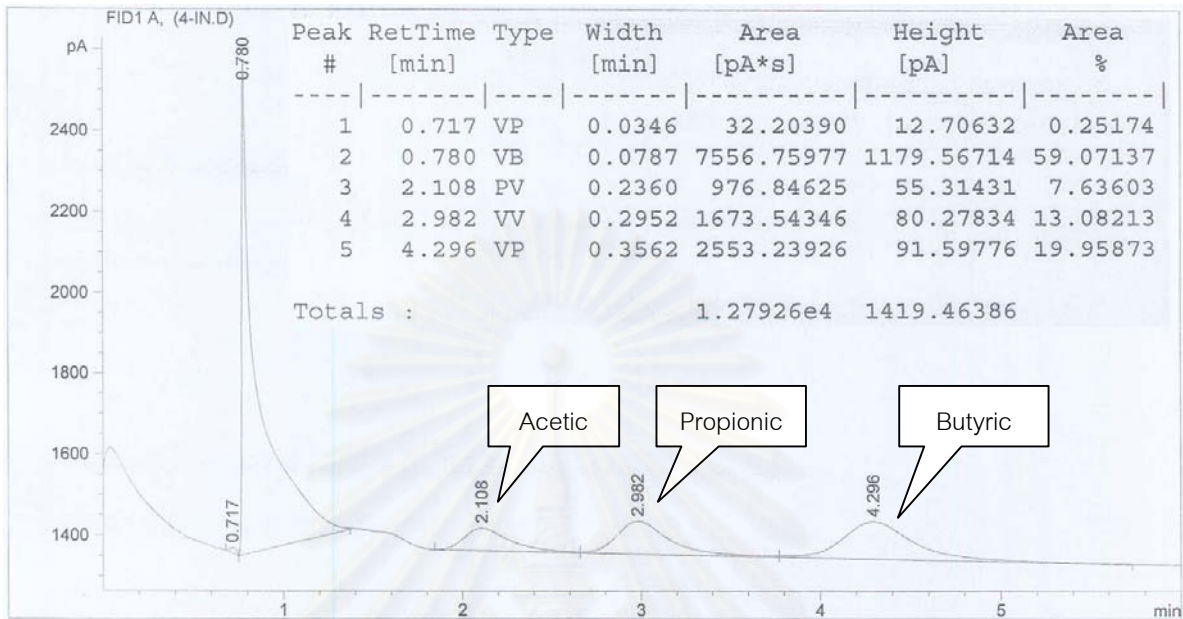
ตาราง ข.9 ผลคำนวณการวิเคราะห์กรดระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC ในการทดลองขั้นที่ 2 หลังเติมนิกเกิลและโคบอลท์

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	จุดเก็บตัวอย่าง	acetic		propionic		butyric		Total Acidity (mg/l as CH ₃ COOH)	
		area	mg/l	area	mg/l	area	mg/l	GC	Titration
4	น้ำเสีย	5.1	193.1	161.1	241.1	1036.0	216.7	536.3	0.0
	น้ำถังหมักกรด	206.7	358.0	471.7	316.1	1242.3	227.6	769.5	646.0
	น้ำทิ้ง	75.6	250.8	224.5	256.4	1173.7	224.0	611.4	47.0
5	น้ำเสีย	11.5	198.4	327.1	281.1	1021.4	216.0	573.6	0.0
	น้ำถังหมักกรด	398.9	515.3	815.4	399.0	2416.1	289.6	1036.3	1140.0
	น้ำทิ้ง	87.6	260.6	296.8	273.8	1149.9	222.7	634.5	258.0
6	น้ำเสีย	21.1	206.2	389.5	296.2	1379.7	234.9	606.5	0.0
	น้ำถังหมักกรด	603.3	682.6	1346.1	527.1	3940.3	370.1	1362.3	1470.0
	น้ำทิ้ง	211.0	361.6	392.6	297.0	1615.4	247.3	771.0	423.0
7	น้ำเสีย	102.4	272.7	179.7	245.6	740.9	201.1	609.0	0.0
	น้ำถังหมักกรด	514.9	610.3	876.8	413.8	2639.8	301.4	1151.3	1234.0
	น้ำทิ้ง	397.4	514.1	1067.4	459.9	3988.1	372.6	1141.0	1234.0

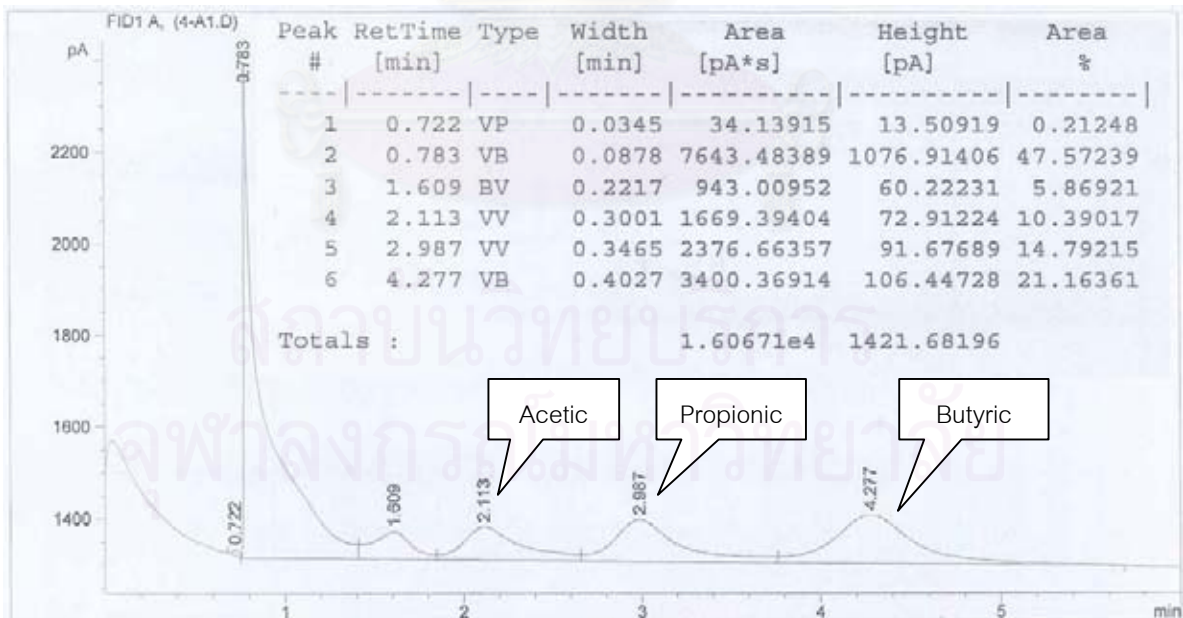


ภาคผนวก ค. ผลวิเคราะห์กระดาษถ่ายด้วย GC

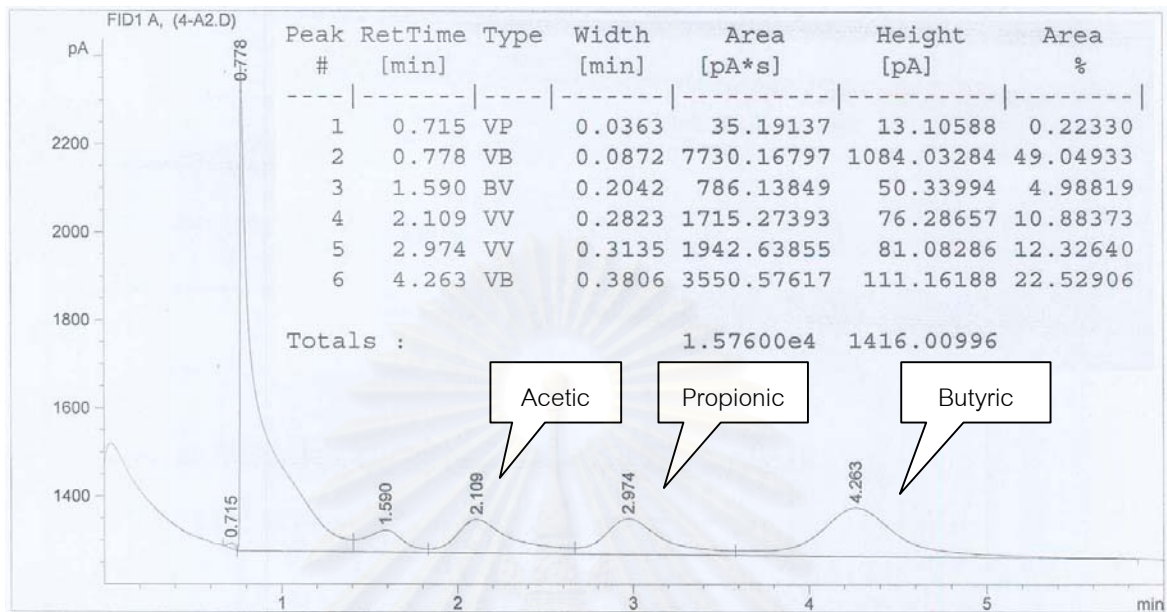
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



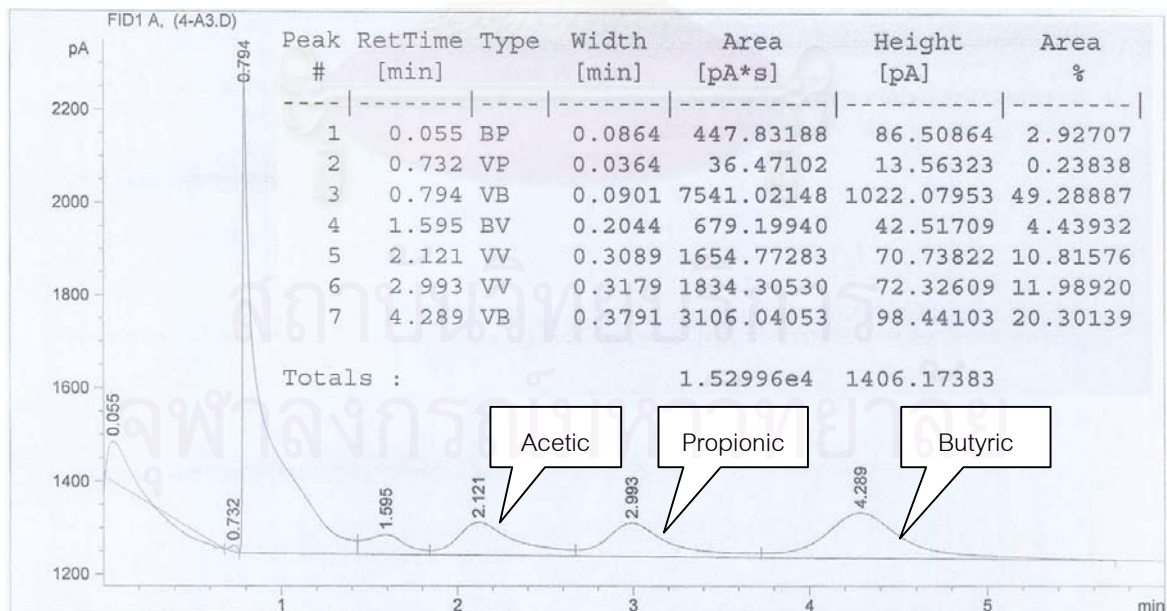
รูปที่ 1 การทดลองครั้งที่ 1 ภาวะบรรทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำเข้า



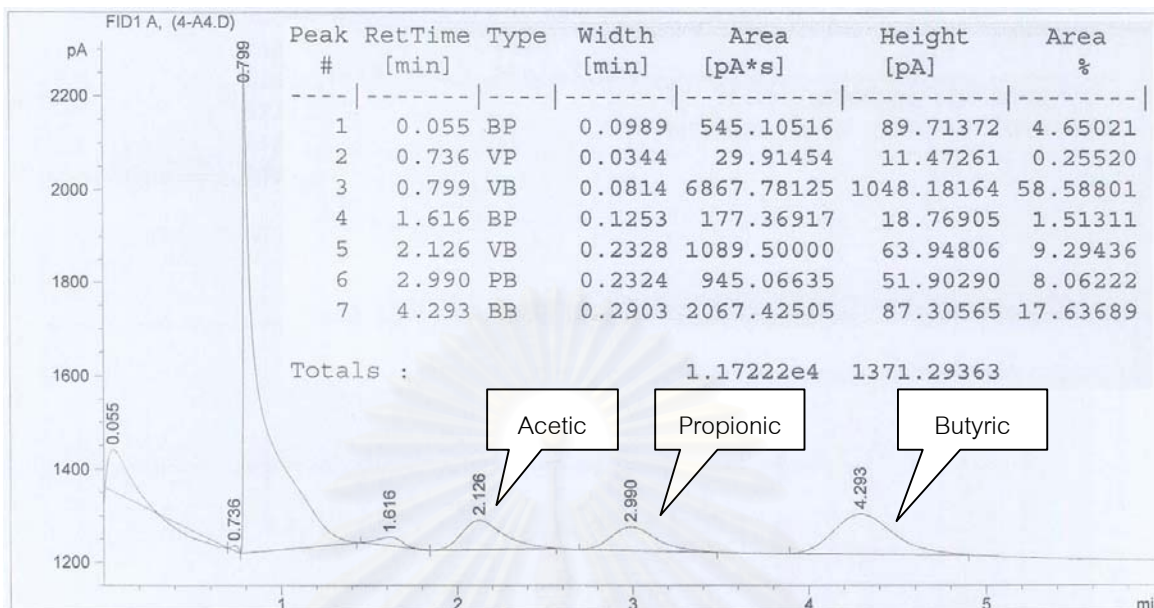
รูปที่ 2 การทดลองครั้งที่ 1 ภาวะบรรทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำถึงหมักกรด 3 ชั่วโมง



รูปที่ 3 การทดลองขั้นที่ 1 ภาวะบรรจุทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำค้างหมักกรด 6 ชั่วโมง



รูปที่ 4 การทดลองขั้นที่ 1 ภาวะบรรจุทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำค้างหมักกรด 12 ชั่วโมง



รูปที่ 5 การทดลองขั้นที่ 1 ภาวะบรรทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำถึงหมักกรด 24 ชั่วโมง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ Degree of Acidification และ Percentage of Acidified COD

$$\text{Degree of Acidification} = \frac{\text{Carbon Content of VFA (mg/l)}}{\text{TOC (mg/l)}} (\%)$$

$$\text{Percentage of Acidified COD} = \frac{\text{COD of VFA (mg/l)}}{\text{Filtered of COD (mg/l)}} (\%)$$

ตาราง ค.1 การทำสมการมาตรฐาน กรดไขมันระเหยง่ายสำหรับภาวะบรรทุกอินทรีย์ 4 และ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

	Area Standard (mg/l)			สมการ	R ²
	500	1000	2000		
Acetic	1400.32	2395.20	6337.72	y = 0.2896x + 188.62	0.98
Propionic	1839.13	3745.72	10686.30	y = 0.1627x + 284.2	0.9839
Butyric	1677.52	3992.98	11995.2	y = 0.1401x + 341.69	0.9862

หมายเหตุ มาตรฐาน กรดไขมันระเหยง่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC โดยใช้ปริมาตร 1 ไมโครลิตร สำหรับภาวะบรรทุกอินทรีย์ 4 และ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตาราง ค.2 การทำมาตรฐาน กรดไขมันระเหยง่ายสำหรับภาวะบรทุกอินทรีย์

6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

	Area Standard (mg/l)			สมการ	R ²
	500	1000	2000		
Acetic	464.81	880.67	2239.22	$y = 0.8183x + 188.92$	0.9885
Propionic	1487.23	2968.55	7529.00	$y = 0.2414x + 202.18$	0.9908
Butyric	7243.07	14699.80	35090.60	$y = 0.0528x + 162.03$	0.9948

หมายเหตุ มาตรฐาน กรดไขมันระเหยง่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC โดยใช้ปริมาตร 2 ไมโครลิตร สำหรับภาวะบรทุกอินทรีย์ 6 และ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และในการทดลองทดลอง
ครั้งที่ 2

ตาราง ค.3 Conversion Factor for VFA

VFA	Carbon(%)	COD eq. g/l
Acetic	40.00	1.066
Propionic	48.64	1.512
Butyric	54.53	1.816

ที่มา Alexiou และคณะ 1994

ตาราง ค.4 ผลคำนวณการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC ในการทดลองครั้งที่ 1
ที่ภาวะบรทุก 4กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

OLR 4 kg-COD/m ³ -d	Acetic		Propionic		Butyric		Total Acidity (mg/l as CH ₃ COOH)	
	Area	mg/l	Area	mg/l	Area	mg/l	GC	Titration
น้ำเสียเข้า	976.8	290.9	1673.5	443.3	2553.2	635.5	1083.7	20.0
หมักกรด 3 ชม.	1669.3	517.1	2376.6	568.8	3400.3	762.2	1497.9	801.0
หมักกรด 6 ชม.	1715.2	532.1	1942.6	491.3	3550.5	784.6	1465.5	819.0
หมักกรด 12 ชม.	1654.7	512.3	1834.3	472.0	3106.0	718.2	1384.7	990.0
หมักกรด 24 ชม.	1089.5	327.7	945.0	313.4	2067.4	562.9	965.6	1125.0

ตาราง ค.5 ผลคำนวณการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC ในการทดลองขั้นที่ 1
ที่ภาระบรทุก 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

OLR 5 kg-COD/m ³ -d	Acetic		Propionic		Butyric		Total Acidity (mg/l as CH ₃ COOH)	
	Area	mg/l	Area	mg/l	Area	mg/l	GC	Titration
น้ำเสียเข้า	1190.6	360.8	1095.7	340.2	3096.4	716.8	1125.3	25.0
หมักกรด 3 ชม.	1131.5	341.5	875.8	301.0	2082.1	565.1	970.8	963.0
หมักกรด 6 ชม.	1668.1	516.7	1525.4	416.9	2895.5	686.7	1323.0	1215.0
หมักกรด 12 ชม.	2114.5	662.5	1819.9	469.4	3646.3	799.0	1587.9	1197.0
หมักกรด 24 ชม.	2146.8	673.1	1774.2	461.3	3035.5	707.6	1529.6	1314.0

ตาราง ค.6 ผลคำนวณการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC ในการทดลองขั้นที่ 1
ที่ภาระบรทุก 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน


OLR 6 kg-COD/m ³ -d	Acetic		Propionic		Butyric		Total Acidity (mg/l as CH ₃ COOH)	
	Area	mg/l	Area	mg/l	Area	mg/l	GC	Titration
น้ำเสียเข้า	210.0	360.8	228.0	257.2	135	169.2	684.7	35.0
หมักกรด 3 ชม.	290.9	427.0	722.9	376.7	3635.7	354.0	973.8	945.0
หมักกรด 6 ชม.	348.3	473.9	939.2	428.9	4539.2	401.7	1095.5	1089.0
หมักกรด 12 ชม.	592.1	673.4	1638.0	597.6	7378.2	551.6	1534.0	1422.0
หมักกรด 24 ชม.	763.5	813.7	2206.4	734.8	9887.6	684.1	1875.9	1755.0

ตาราง ค.7 ผลคำนวณการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC ในการทดลองขั้นที่ 1
ที่ภาระบรทุก 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

OLR 7 kg-COD/m ³ -d	Acetic		Propionic		Butyric		Total Acidity (mg/l as CH ₃ COOH)	
	Area	mg/l	Area	mg/l	Area	mg/l	GC	Titration
น้ำเสียเข้า	299.6	434.1	851.3	407.7	3416.6	342.4	998.1	152.8
หมักกรด 3 ชม.	487.1	587.5	1896.4	660.0	6600.2	510.5	1470.7	1552.2
หมักกรด 6 ชม.	530.2	622.8	2019.3	689.6	7700.0	568.6	1569.6	1555.3
หมักกรด 12 ชม.	688.3	752.1	2289.5	754.9	8475.2	609.5	1779.7	1652.2
หมักกรด 24 ชม.	762.1	812.6	2502.6	806.3	9539.9	665.7	1920.2	1846.3

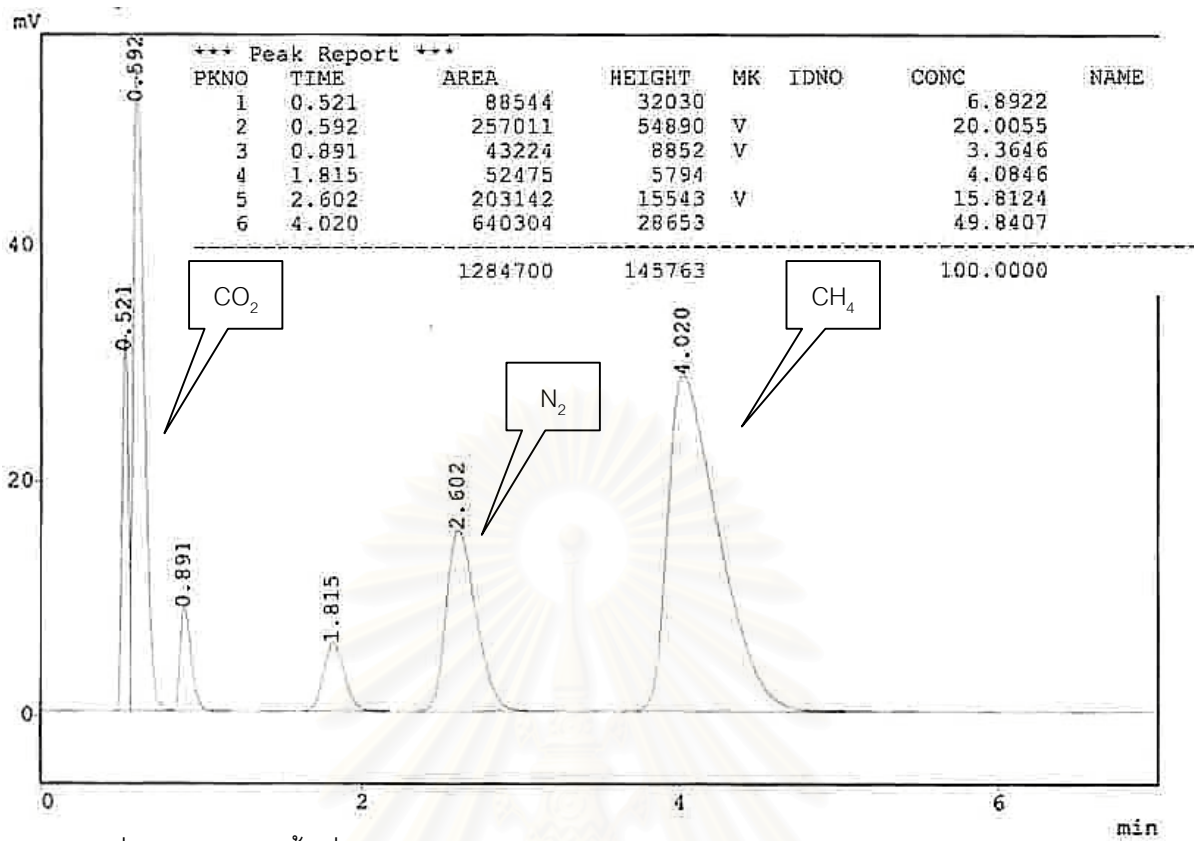
ตาราง ค.8 ผลการคำนวณ Degree of Acidification และ Percentage of Acidified COD

OLR kg COD/m ³ -d	น้ำเสียเข้า		ถังหมักกรด3ชม		ถังหมักกรด6ชม		ถังหมักกรด12ชม		ถังหมักกรด24ชม	
	Degree of Acidified	% of acidified COD	Degree of Acidified	% of acidified COD	Degree of Acidified	% of acidified COD	Degree of Acidified	% of acidified COD	Degree of Acidified	% of acidified COD
4	0.412	0.357	0.544	0.569	0.532	0.578	0.504	0.552	0.401	0.383
5	0.285	0.292	0.286	0.286	0.401	0.406	0.430	0.458	0.459	0.473
6	0.112	0.117	0.195	0.221	0.226	0.256	0.310	0.348	0.399	0.404
7	0.134	0.169	0.254	0.299	0.254	0.315	0.308	0.358	0.337	0.386

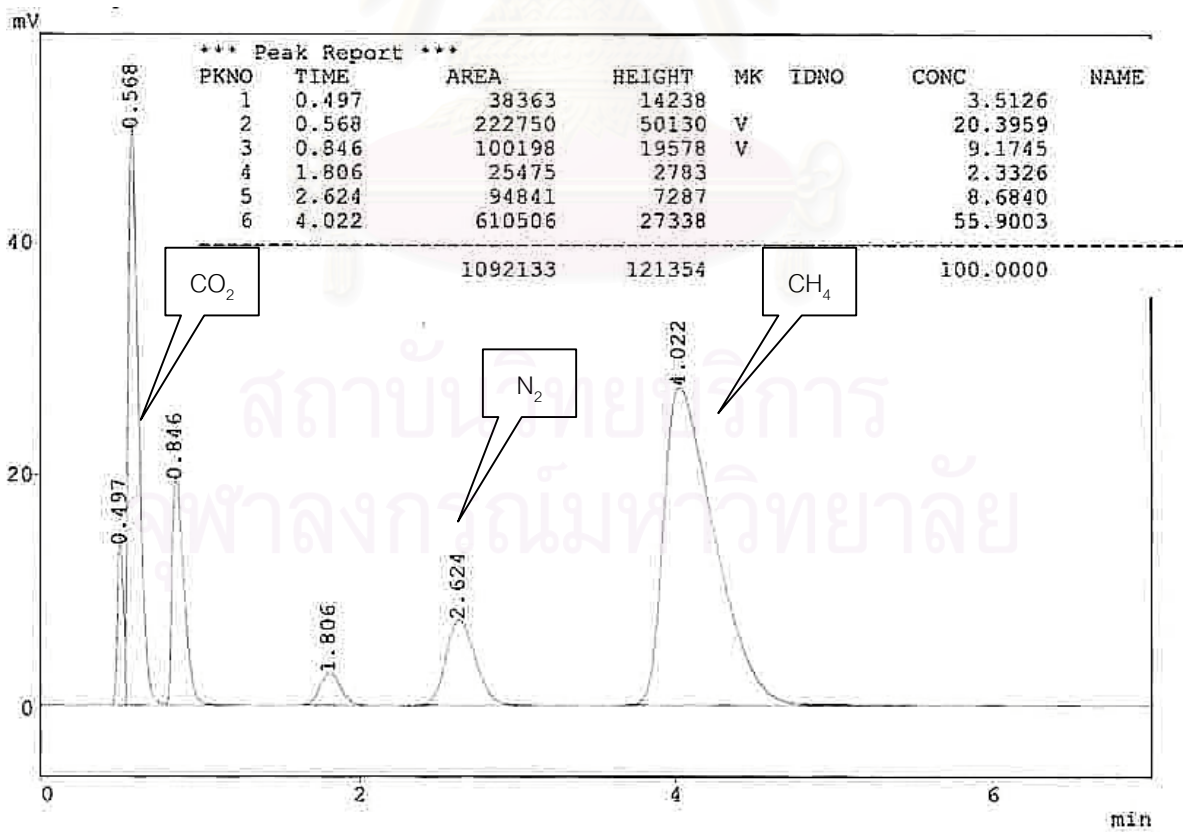


ภาคผนวก ง. ผลวิเคราะห์แก๊สชีวภาพด้วย GC

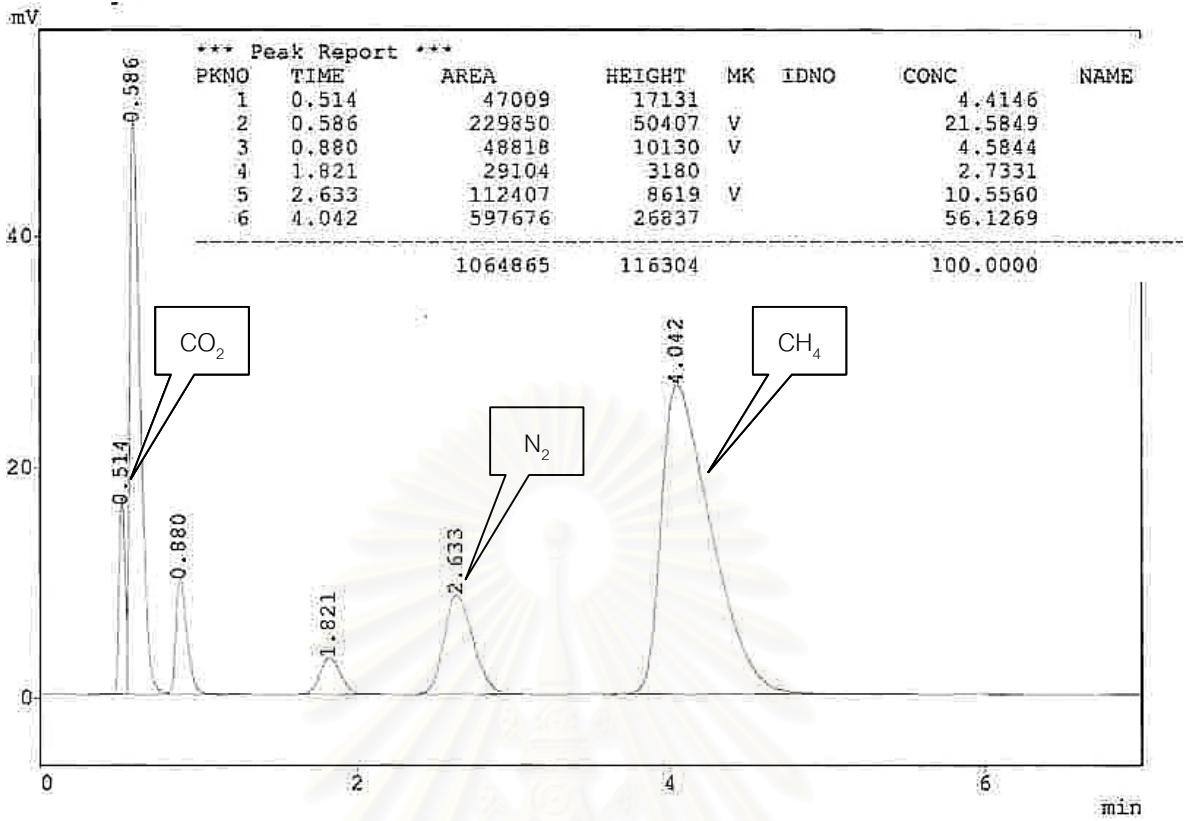
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



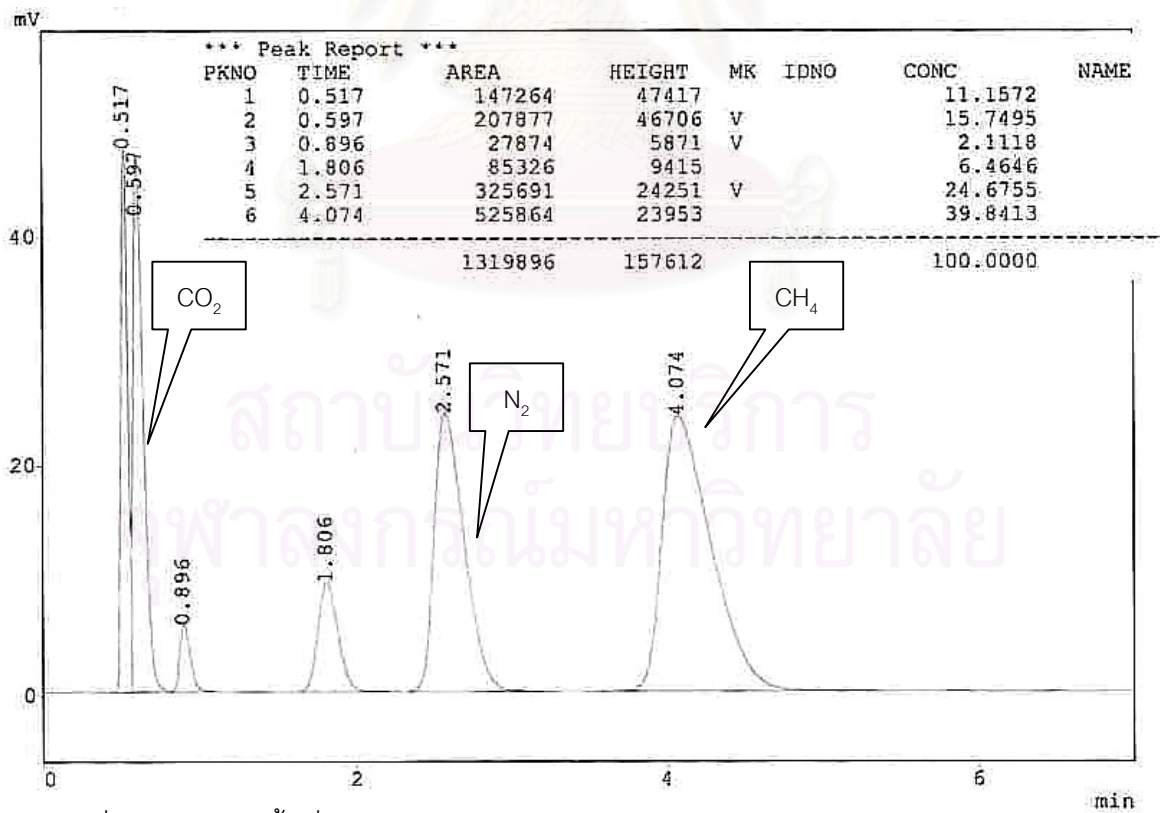
รูปที่ 1 การทดลองขั้นที่ 2 ภาวะบรรทุก 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาเก็บกักถึงหมักกรด 6 ชม



รูปที่ 2 การทดลองขั้นที่ 2 ภาวะบรรทุก 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาเก็บกักถึงหมักกรด 6 ชม



รูปที่ 3 การทดลองขั้นที่ 2 ภาวะบรรทุก 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาเก็บกักถึงหมักกรด 12 ชม



รูปที่ 4 การทดลองขั้นที่ 2 ภาวะบรรทุก 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาเก็บกักถึงหมักกรด 24 ชม

ตาราง ง.1 ค่าจำนวนโมลเทียบเท่าพื้นที่ใต้กราฟจากการทดลอง

ชนิดตัวอย่าง	แก๊ส	พื้นที่ใต้กราฟ	%ที่มีในตัวอย่าง	จำนวนโมล	จำนวนโมลต่อพื้นที่ใต้กราฟ
Std. CH ₄	CH ₄	960633	99.99	4.087E-5	4.25E-11
อากาศ	CO ₂	662276	0.032	1.299E-8	1.96E-14
	N ₂	1809892	78.09	3.191E-5	1.75E-11

ตาราง ง.2 ค่าการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์มีเทนในแก๊สชีวภาพก่อนใส่ निकเกิดและโคบอลท์ที่สภาวะคงตัว

ภาวะบรรจุทุก สารอินทรีย์ กก.ซีโอดี/ลบ. ม.-วัน	ก่อนใส่ निकเกิดและโคบอลท์						เปอร์เซ็นต์ มีเทน
	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวนโมล			
	CO ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	CH ₄	
4	585843	273989	941742	1.1573E-08	4.8331E-06	4.0075E-05	89.2
5	394375	239107	952083	7.7906E-09	4.2178E-06	4.0516E-05	90.6
6	328906	255106	747314	6.4973E-09	4.5000E-06	3.1802E-05	87.6
7	197530	268964	507144	3.9020E-09	4.7444E-06	2.1581E-05	82.0

ตาราง ง.3 ค่าการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์มีเทนในแก๊สชีวภาพหลังใส่ निकเกิดและโคบอลท์ที่สภาวะคงตัว

ภาวะบรรจุทุก สารอินทรีย์ กก.ซีโอดี/ลบ. ม.-วัน	หลังใส่ निकเกิดและโคบอลท์						เปอร์เซ็นต์ มีเทน
	พื้นที่ใต้กราฟ			จำนวนโมล			
	CO ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	CH ₄	
4	257011	203142	640304	5.0770E-09	3.5834E-06	2.7248E-05	88.4
5	222750	94841	610506	4.4002E-09	1.6729E-06	2.5980E-05	93.9
6	229850	112407	597676	4.5405E-09	1.9828E-06	2.5434E-05	92.8
7	207877	325691	525864	4.1064E-09	5.7451E-06	2.2378E-05	79.6

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย อิศระ รัตนปริยานุช เกิดเมื่อวันที่ 14 มกราคม 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตวิศวกรรมศาสตร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปี พ.ศ.2543 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบริหารวิทยาศาสตร สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย