

การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางโดยใช้ถังกรองไร้อากาศ



นาย ทัยศักดิ์ ธรรมกุล

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0083-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF A PETROCHEMICAL WASTEWATER FROM THE UPSTREAM  
PETROCHEMICAL INDUSTRY USING AN ANAEROBIC FILTER



Mr. THAISAK THAMMAKUL

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0083-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางโดยใช้ถังกรองไร้อากาศ

โดย

นาย ทัยศักดิ์ ธรรมกุล


สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

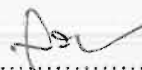
อาจารย์ที่ปรึกษา

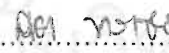
อาจารย์ ดร.สุธา ชาวเขียว


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

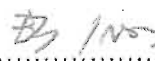
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สุวี ชาวเขียว)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร.สุธา ชาวเขียว)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

ท้ายศักดิ์ ธรรมกุล : การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางโดยใช้ถังกรองไร้อากาศ

(TREATMENT OF A PETROCHEMICAL WASTEWATER FROM THE UPSTREAM PETROCHEMICAL INDUSTRY USING AN ANAEROBIC FILTER) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สุธา ขาวเรีเยว, 116 หน้า.

ISBN 974-13-0083-2.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางด้วยระบบถังกรองไร้อากาศ การทดลองใช้ถังกรองไร้อากาศจำนวน 2 ชุด ทำด้วยอะคริลิกใส รูปทรงกระบอก สูง 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีโพรไพลีน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร สูง 22 มิลลิเมตร เเปอร์เซ็นต์ช่องว่าง 95% และมีพื้นที่ผิว 187 ตร.ม./ลบ.ม. การป้อนน้ำเสียเป็นแบบไหลขึ้น น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริง นำมาจากโรงงานปิโตรเคมี แห่งชาติ ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ.ระยอง โรงงานแห่งนี้ผลิตผลิตภัณฑ์สายโอเลฟินส์ ซึ่งจัดเป็นประเภทของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง ในการทดลองมีการแปรเปลี่ยนค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.58 0.67 0.83 0.87 0.95 1.11 1.20 และ 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีคิดเป็นร้อยละ 84.03 83.31 81.45 84.41 74.71 77.18 82.31 และ 79.96 ตามลำดับ ค่าพีเอชน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 7.59 7.52 7.46 7.43 7.41 7.47 7.44 และ 7.34 ตามลำดับ ค่าไออาร์พีน้ำทิ้ง เท่ากับ -242 -258 -329 -270 -320 -337 -341 และ -323 มิลลิโวลท์. ตามลำดับ เเปอร์เซ็นต์การกำจัดไขมันและน้ำมัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.67 0.83 0.87 0.95 1.11 1.20 และ 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เท่ากับ 68.3% 79.4% 84.6% 84.2% 78.8% 89.8% และ 83.8% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.67 0.83 และ 0.87 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มากกว่า 92% ในการทดลองครั้งนี้ พบว่าเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นน้อยมากจนไม่สามารถทำการวัดปริมาณได้ ทั้งนี้เกิดจากผลของความเป็นพิษจากสารประกอบต่างๆที่มีอยู่ในน้ำเสียประเภทนี้ ทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซ ดังนั้นจึงได้มีการทำการทดลองส่วนเพิ่มเติม เพื่อศึกษาพารามิเตอร์บางตัว ได้แก่ สารประกอบซัลเฟต ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาดังกล่าว ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.00 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จากการทดลอง พบว่ามีปริมาณซัลเฟตอยู่ในปริมาณสูง คือ มากกว่า 900 มก./ล. ซึ่งเป็นปริมาณที่พอจะทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบได้ และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีคิดเป็นร้อยละ 57.23 และ 51.53 ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางโดยใช้ถังกรองไร้อากาศ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้น มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ และแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีจะลดลง เมื่อค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
*(Handwritten signatures and names)*

## 4070288021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : ANAEROBIC FILTER / ANAEROBIC TREATMENT / PETROCHEMICAL WASTEWATER

THAISAK THAMMAKUL : TREATMENT OF A PETROCHEMICAL WASTEWATER FROM THE UPSTREAM PETROCHEMICAL INDUSTRY USING AN ANAEROBIC FILTER.

THESIS ADIVISOR : SUTHA KHADHIAR ,Ph.D. , [116] pp. ISDN 974-13-0083-2.

In the last decade, petrochemical industry in Thailand has grown up rapidly. As a result, petrochemical wastewater should be more concerned. This paper presents the treatment efficiency of a petrochemical wastewater by using 2 laboratory scale upflow anaerobic filters. The reactors made from acrylic material with 1.0 meter height and 0.1 meter inside diameter. The wastewater was brought from National petrochemical Public Company limited (NPC) which is an upstream petrochemical industry, locate at Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong province. This study focused on treatment efficiency of anaerobic filter by varying organic loading as the variable parameter as follows: 0.58, 0.67, 0.83, 0.87, 0.95 ,1.11, 1.20 and 1.78 kg.COD/m<sup>3</sup> – day.

According to the experiment data, the COD removal efficiencies were 84.03,83.31,81.45, 84.41, 74.71, 77.18, 82.31 and 79.96%, respectively. The pH of the effluent were 7.59, 7.52, 7.46, 7.43, 7.41, 7.47, 7.44 and 7.34 and the ORP were -242, -258, -329, -270, -320,-337, -341 and -323 mV., respectively. While organic loading were 0.67, 0.83, 0.87, 0.95 ,1.11, 1.20 and 1.78 kg.COD/m<sup>3</sup> – day, the grease & oil removal efficiencies were 68.3, 79.4, 84.6, 84.2, 78.8, 89.8 and 83.8% ,respectively. In addition the study showed that the biogas was not produced due to inhibition from toxic compounds and poor biodegradability of some substrate compounds present in this wastewater. Additional experiments were conducted to study parameters that can inhibit the methanogenic activity, at organic loading 2.50 and 3.00 kg.COD/m<sup>3</sup> – day. Sulfate is expected to be the main cause of the problem. The experiment indicated that the sulfate concentration in the wastewater was presented at high concentration, more than 900 mg./l,so this was a cause of the biogas inhibition. The COD removal efficiencies were 57.23 and 51.53%, respectively. However, that data showed the COD removal efficiency was more than 80% at organic loading less than 1.0 kg.COD/m<sup>3</sup> – day and it would drop with increasing organic loading.

Department Environmental Engineering

Field of study Environmental Engineering

Academic year 2000

Student's signature Thaisak T.

Advisor's signature S. On

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย และขอแสดงความขอบคุณไว้ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สุธา ขาวเขียว อาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือหลายๆอย่าง และได้ชี้แนะแนวทางที่ดีในการทำงานวิจัยนี้ โดยตลอด

ขอขอบพระคุณ กรรมการการสอบทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำที่ดีในการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ มูลนิธิ ชินโสภณพิช ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณมณฑวรรณ พิประกาศ และเจ้าหน้าที่คนอื่นๆ ของบริษัท ปีโตรเคมี แห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความเอื้อเฟื้อ ในการเก็บน้ำเสียทุกครั้ง นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ บริษัท วินสตาร์ จำกัด ในการสนับสนุนตัวกลางพลาสติกที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ หลายคนที่ไม่ได้เอ่ยนามถึง ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อในหลายๆสิ่ง ในระหว่างการทำงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆที่คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำวิธีทำการทดลองบางส่วน รวมทั้ง คุณอุเทน ที่ให้ความกรุณาให้ยืมอุปกรณ์การพิมพ์ ระหว่างทำเล่ม

สุดท้าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ เป็นอย่างสูง ที่คอยให้กำลังใจ ดูแล และส่งเสริมการศึกษากับผู้วิจัยตลอดมา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฌ
สารบัญภาพ .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 จุลชีวและชีวเคมีของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ .....	4
2.2 แบคทีเรียในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ .....	4
2.3 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการหมักแบบไร้อากาศ .....	5
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ .....	7
2.5 ประเภทของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ .....	11
2.6 ระบบไร้อากาศ .....	19
2.7 ถังกรองไร้อากาศ .....	22
2.8 ความด้อยเสถียรภาพของปฏิบัติการไร้อากาศ .....	26
2.9 แนวคิดในการเลือกใช้ระบบถังกรองไร้อากาศบำบัดน้ำเสีย จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้น ทาง .....	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	35
3.1 แผนการทดลอง .....	35
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	36
3.3 น้ำเสียจากจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้น ทาง ที่ใช้ในการทดลอง .....	37
3.4 การดำเนินการทดลอง .....	41
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย .....	41
3.6 วิธีการวิเคราะห์ .....	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล .....	43
4.1 ผลการดำเนินการวิจัย .....	43
4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ที่อัตราภาระบรรจุ สารอินทรีย์ต่างๆ ของถังกรองไร้อากาศ .....	48
4.3 ผลการวิเคราะห์การทดลอง .....	67
4.4 ผลการทดลองส่วนเพิ่มเติมเอศศึกษาผลของซัลเฟตต่อการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบบำบัด .....	70

## สารบัญ (ต่อ)

๗

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ .....	81
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	81
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	82
รายการอ้างอิง .....	84
ภาคผนวก ก. ....	88
ภาคผนวก ข. ....	103
ประวัติผู้เขียน .....	116



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดด้วยบ่อไร้อากาศแบบปิด .....	20
2.2 ค่าไออาร์พีของปฏิกิริยาประเภทต่างๆ .....	27
3.1 การเปลี่ยนแปลงค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 โดยการเปลี่ยนอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ .....	35
3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 2 โดยการเปลี่ยนอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ .....	36
3.3 คุณสมบัติของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี .....	37
3.4 ตัวแปรตามที่วิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ .....	41
4.1 สรุปชุดการทดลองที่ 1 (ถังกรองไร้อากาศถังที่ 1) .....	44
4.2 สรุปชุดการทดลองที่ 2 (ถังกรองไร้อากาศถังที่ 2) .....	44
4.3 ค่าเฉลี่ยพีเอชของถังกรองไร้อากาศ .....	49
4.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของถังกรองไร้อากาศ .....	50
4.5 ค่าเฉลี่ยไออาร์พีของถังกรองไร้อากาศ .....	55
4.6 ค่าเฉลี่ยไขมันและน้ำมันของถังกรองไร้อากาศ .....	59
4.7 ค่าเฉลี่ยซีโอดีและเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศ .....	63
4.8 แสดงชุดการทดลองส่วนเพิ่มเติม .....	71
4.9 เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทน ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี .....	78

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนอย่างง่ายของกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้อากาศ .....	6
2.2 ปฏิกิริยาการทำลายพิษของโลหะโดยซัลไฟด์ในสภาวะไร้อากาศ .....	10
2.3 ถังย่อยแบบอัตราต่ำ .....	12
2.4 ถังย่อยแบบอัตราสูง.....	12
2.5 ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน .....	13
2.6 ระบบถังย่อยแบบสัมผัส .....	13
2.7 ระบบถังย่อยแบบสองเฟส.....	14
2.8 ถังกรองไร้อากาศ .....	15
2.9 ระบบชั้นลอยตัวไร้ออกซิเจน.....	16
2.10 ระบบยูเอเอสบี .....	17
2.11 ระบบจานหมุนชีวภาพไร้อากาศ .....	18
2.12 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ .....	19
3.1 รูปแสดงขนาดของถังกรองไร้อากาศ.....	38
3.2 รูปแสดง Flow Diagram ของถังกรองไร้อากาศ .....	39
3.3 ตัวกลางพลาสติกที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศ .....	40
3.4 อุปกรณ์ของถังกรองไร้อากาศ .....	42
4.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยพีเอช ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	45
4.2 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ .....	45
4.3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยค่าไออาร์พี ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ .....	46
4.4 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้ง ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	47
4.5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ .....	48
4.6 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	48
4.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1.....	51
4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 2.....	53
4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พี ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1.....	56
4.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พี ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 2 .....	58
4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไขมันและน้ำมัน ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1.....	60

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไขมันและน้ำมัน ที่อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 2 .....	61
4.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี ที่ค่าอัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 .....	64
4.14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี ที่ค่าอัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ของถังกรองไร้อากาศถังที่ 2 .....	66
4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศ .....	69
4.16 กราฟแสดงระยะเวลาเก็บกักต่างๆ และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี .....	70
4.17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิที่ค่าอัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 .....	71
4.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พีที่ค่าอัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3. กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 .....	72
4.19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของไขมันและน้ำมันที่ค่าอัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 .....	73
4.20 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดที่ค่าอัตราภาวะบรรจุ สารอินทรีย์ 2.50 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 .....	74
4.21 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซิลเฟตและซิลไฟด์ ที่ค่าอัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 .....	75
4.22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าและปริมาณกรดไขมันระเหย ที่ค่าอัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 .....	76

## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันพบว่า ปัญหามลพิษทางน้ำ ถือว่าเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมปัญหาหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์หลายๆอย่าง จะต้องมีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากน้ำ ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆเหล่านั้นเป็นผลตามมา ไม่ว่าจะเป็นจากชุมชนบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม หรือการเกษตรกรรม ล้วนแล้วจะส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อแม่น้ำลำคลอง หากมีการปล่อยน้ำเสียเหล่านั้นโดยปราศจากการบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ และในปัจจุบันนี้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากเป็นระบบค่อนข้างมีความยืดหยุ่นตัวสูง และเป็นระบบบำบัดที่ประหยัดพลังงาน

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นน้ำเสียประเภทหนึ่งประกอบไปด้วยสารอินทรีย์เคมีมากมายหลายชนิด จากงานวิจัยที่เคยมีการศึกษากันไว้ก่อนหน้านี้เกี่ยวกับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี พบว่า เป็นน้ำเสียที่มีความเป็นพิษและยากต่อการบำบัด น้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะประกอบด้วยสารประกอบมากมายหลายชนิด ได้แก่ สารประกอบพวกออร์กาโนคลอไรด์ (Organochlorinated compounds : C<sub>2</sub>- C<sub>5</sub> ) , สารประกอบอะโรมาติกส์ (Aromatic compounds : benzene ,toluene ,ethylbenzene) , โพลีอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอน (Polyaromatic hydrocarbons : PAH) , ไนโตรเอมีน และ ไนโตรอะโรมาติกส์ (Nitrosamines and Nitroaromatics) , ฟีนอล ( Phenols ) และ โลหะหนัก ( Heavy metals )

ในประเทศที่มีการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมาก่อน เป็นระยะเวลาอันยาวนาน อย่างเช่นประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ตระหนักถึงผลกระทบ และให้ความสำคัญ ต่อของเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้เป็นอย่างมาก ได้มีการจัดตั้งกองทุนขึ้นเพื่อบำบัดและควบคุมของเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ เพื่อไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของของเสียและสารพิษ ที่อาจจะเป็นผลก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพของประชาชนได้ ในประเทศไทย อุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 10 กว่าปีที่ผ่านมา จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะศึกษาถึงคุณสมบัติของน้ำเสีย และวิธีการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ ที่มีอยู่ในประเทศไทย

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง (Upstream Petrochemical Industry) เป็นอุตสาหกรรมที่มีการผลิต ผลิตภัณฑ์หลักสองชนิด คือ ผลิตภัณฑ์สายโอเลฟิน และผลิตภัณฑ์สายอะโรมาติก ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานปิโตรเคมี แห่งชาติ (NPC) ซึ่งเป็นโรงงานที่ผลิต ผลิตภัณฑ์สายโอเลฟิน ผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานแห่งนี้ คือ เอทีลิน และโพรพีลิน จากกระบวนการขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรม ประเภทนี้ พบว่า ก่อให้เกิดปริมาณน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารประกอบอะโรมาติก และสารอื่นๆ ในปริมาณมหาศาล น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นน้ำเสียที่มาจากส่วนต่างๆ ภายในโรงงานปิโตรเคมี แห่งชาติ จึงทำให้น้ำเสียประเภทนี้มี ความซับซ้อนของส่วนประกอบมากขึ้น

ในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาถึงความเหมาะสม ความเป็นไปได้ และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง โดยใช้วิธีบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางโดยใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสีย แบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)
2. เพื่อศึกษาถึงค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง โดยใช้ถังกรองไร้อากาศ

### ขอบเขตของการวิจัย

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง โดยใช้ถังกรองไร้อากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ
2. เพื่อหาความเป็นไปได้และเหมาะสม สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง โดยการใช้อ่างกรองไร้อากาศ

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อหาประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางด้วยระบบถังกรองไร้อากาศ

2. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการนำบาดเสี่ยจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วยระบบไร้อากาศต่อไป
3. เป็นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการนำบาดน้ำเสี่ยจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 จุลชีวะและชีวเคมีของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ มีลักษณะแตกต่างจากกระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ คือ ไม่มีออกซิเจนอิสระซึ่งเป็นสารรับอิเล็กตรอนมาเกี่ยวข้อง โดยปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการหมัก เป็นปฏิกิริยาที่สารอินทรีย์ถูกเปลี่ยน โดยจุลินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆเล็กน้อย โดยมีลักษณะเป็นขั้นตอนที่ซับซ้อน

### 2.2 แบคทีเรียในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมี 2 ชนิด ได้แก่

#### 2.2.1 แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน

แบคทีเรียชนิดนี้ประกอบด้วย 2 พวก คือ แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Obligate anaerobes) และ แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนบ้าง (Facultative anaerobes) โดยแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะผลิตไฮโดรเจนจากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ และทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและแบคทีเรียที่สร้างกรดแบบธรรมดา

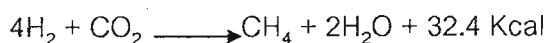
#### 2.2.2 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะเจริญเติบโตได้ช้าและยังเป็นเซลล์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.2.2.1 แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยนำคาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงานจากไฮโดรเจน หลายชนิดใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารอาหารอย่างเดียวเพราะว่าแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ดังสมการ

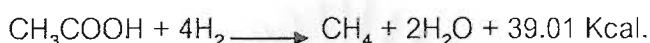


โดยแบคทีเรียชนิดนี้จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH มากโดยช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ 6.7 - 7.4 (McCarty, 1964) ซึ่งจะสร้างมีเทนดังสมการต่อไปนี้

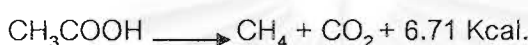


โดยจะเรียกแบคทีเรียชนิดนี้ว่า Hydrogenotrophic methanogen ( เป็นผู้บริโภคน  $\text{H}_2$  )

2.2.2.2 แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติกโดยใช้อะซิเตดเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งจะใช้พลังงานพอเพียงสำหรับการดำรงชีพ โดยการสร้างมีเทนเป็นดังสมการต่อไปนี้



นอกจากการสร้างมีเทนจากการออกซิเดชันไฮโดรเจน มีเทนส่วนใหญ่ยังสร้างจากการแตกตัวของอะซิเตด ดังสมการ



พบว่าแบบนี้จะให้พลังงานน้อยกว่าแบบที่ออกซิเดชันไฮโดรเจนในปัจจุบันไม่มีการชี้ชัดว่าส่วนไหนสำคัญกว่ากัน แต่พอสรุปได้ว่า กลไกการสร้างมีเทนจะมีอะซิเตดเป็นตัวสำคัญสุด โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทน เรียกว่า Acetoclastic methanogen

## 2.3 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการหมักแบบไร้อากาศ

แบ่งออกเป็น 4 ลำดับขั้นตอน คือ

### 2.3.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิส เป็นกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ให้กลายเป็นโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยการปล่อยเอนไซม์ของแบคทีเรียในการย่อยสลาย ในขั้นตอนนี้ยังไม่มีการลดค่าซีไอดี แต่เป็นการย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง

### 2.3.2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลจากปฏิกิริยาแรกจะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว

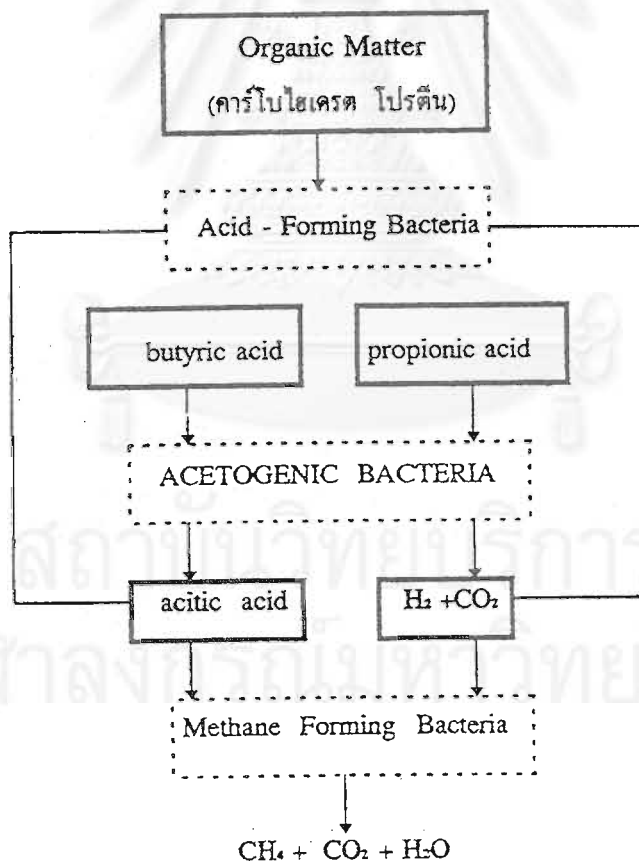


### 2.3.3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด จะถูกแบคทีเรียอะซิโตจีนิค (Acetogenic) เปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำเท่านั้น กระบวนการสร้างมีเทน กรดอะซิติก และไฮโดรเจน จะถูกแบคทีเรียใช้สร้างมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรตอื่นผลิตมีเทนได้ เช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก

### 2.3.4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติก ไฮโดรเจน กรดฟอร์มิก และคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรด จะถูกใช้โดยแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งเพื่อสร้างมีเทน แบคทีเรียประเภทนี้เรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนอย่างง่ายของกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้อากาศ  
ที่มา: อรุณี, 2539

## 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

### 2.4.1 อุณหภูมิ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมมีอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงการทำงานของ มีโซฟิลิกแบคทีเรีย (Mesophilic Bacteria) จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30 - 40 °C และช่วงการทำงานของเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (Thermophilic Bacteria) จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 45 - 55 °C โดยอุณหภูมินั้นมีผลต่อการผลิตก๊าซของแบคทีเรียเป็นอย่างมาก การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิแม้เพียง 2-3 °C จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซมีเทนเป็นอย่างมาก

Rintala และ Lettinga (1992) ได้ศึกษาถึงการเพิ่มอุณหภูมิจาก 37 °C ถึง 55°C ต่อการบำบัดแบบแอนแอโรบิกของของเสียกรดที่มีซัลเฟตสูง โดยกล่าวว่าประสิทธิภาพในการกำจัดอะซิเตดและไฟโพรโอเนท มีค่าเกินกว่า 80-90% ในระบบ UASB โดยบำบัดที่อุณหภูมิ 37 °C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของ UASB ถึง 55°C โดยเพิ่ม 1-3 องศาเซลเซียส/วัน แสดงผลว่าเกิดการหยุดอย่างสมบูรณ์ของการเปลี่ยนแปลงไฟโพรโอเนทและซัลเฟตที่อุณหภูมิ 48°C และการเปลี่ยนแปลงของอะซิเตดที่อุณหภูมิ 51-53 °C การเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (2-4 ชั่วโมง) จะหยุดประสิทธิภาพการบำบัดทั้งหมดที่อุณหภูมิ 55 °C

### 2.4.2 พีเอช

ค่าพีเอช (pH) เป็นตัวที่จะบ่งชี้ถึงสภาพภายในของระบบหมักแบบไร้อากาศได้ แต่จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงเข้ามา เมื่อค่าของกรดระเหยง่าย (volatile acids) มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่าพีเอชจึงเป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงผลออกมาได้ชัด สำหรับการแก้ไขสภาวะในระบบหมักแบบไร้อากาศเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของกรดระเหยง่าย แต่อย่างไรก็ตามค่าพีเอช ยังเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมระบบการหมักแบบไร้อากาศ โดยพีเอช ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.7 -7.4 (McCarty, 1964) ซึ่งเหมาะแก่การทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

### 2.4.3 ระยะเวลากักน้ำ (HRT) และ อายุสลัดจ์ (SRT)

อายุสลัดจ์เป็นตัวแปรอีกตัวหนึ่งซึ่งมีอิทธิพลต่อการทำงานของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ Mueller และ Mancini (1977) ได้สรุปว่า อายุสลัดจ์ที่เหมาะสมในการทำงานของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ ไม่ควรต่ำกว่า 100 วัน ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนอัตราการเจริญเติบโตช้า ส่วนระยะเวลาที่มีค่ามากจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูง

การลดค่าระยะเวลากักน้ำของเครื่องกรองจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสน้ำเสียได้น้อยลง ซึ่งอาจมีผลดี คือ ทำให้ขนาดของถังปฏิกรณ์ลดลงได้ แต่หากถังปฏิกรณ์ทำงานในสภาวะที่มีค่า

ระยะเวลาที่น้ำต่ำเกินไป ก็จะมีทำให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดจากระบบได้มาก ซึ่งมีผลให้ค่าอายุ สลัดจ์ลดลง และ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลงด้วย

#### 2.4.4 สภาพความเป็นต่าง

สภาพความเป็นต่างทั้งหมดจะมีความสำคัญน้อยกว่าสภาพต่างไบคาร์บอเนต เพราะใน ระบบไร้อากาศ สภาพต่างทั้งหมดจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ส่วนสภาพต่างไบคาร์บอเนตจะ ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เมื่อมีการดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) เกิดขึ้นในระบบ

ปัจจัยที่สำคัญกว่าสภาพความเป็นต่าง คือ อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย ง่ายต่อระดับสภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนต (VFA:HCO<sub>3</sub>) ตราบใดที่อัตราส่วนความเข้มข้น ของกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) น้อยกว่า 0.4 ระบบจะมีบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในขั้นที่พีเอช จะลดลงอย่างรวดเร็วถ้ากรดไขมันระเหยง่าย มีการเพิ่ม เพียงเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้ระหว่างการควบคุมจึงจำเป็นต้องตรวจค่าอัตราส่วนนี้กับอัตราการ เปลี่ยนแปลงของมัน

#### 2.4.5 ความเป็นพิษ

##### 2.4.5.1 กรดระเหยง่าย

โดยจะมีผลต่อแบคทีเรียในระบบไร้อากาศ เพราะจะทำให้พีเอชลดลง ดังนั้น ระบบจะประสบความสำเร็จ ต้องมีการควบคุมการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นกรดระเหยง่ายกับ การเปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นก๊าซมีเทนให้สมดุลกัน โดยทั่วไประบบไร้อากาศควรจะมีปริมาณ กรดระเหยง่ายประมาณ 50-500 มก./ ลิตร(วัดในเทอมกรดอะซิติก)

##### 2.4.5.2 แอมโมเนีย

เป็นอีกสารหนึ่งที่เกิดจากการย่อยตะกอนจากน้ำเสียชุมชนซึ่งเป็นพิษต่อ แบคทีเรีย เกิดจากการที่โปรตีนสลายตัว ไนโตรเจนจะถูกปล่อยในรูปของแอมโมเนีย โดย แอมโมเนียจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) หรือแอมโมเนียอิสระ (NH<sub>3</sub>) ขึ้นกับค่า พีเอชของระบบ ถ้าค่าพีเอช เท่ากับ 7.2 หรือต่ำกว่า แอมโมเนียเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของ แอมโมเนียมไอออนซึ่งพิษน้อย

Dennis และคณะ(1990) ศึกษาถึงผลของแอมโมเนียต่อการย่อยแบบแอนแอโร บิคของสารอินทรีย์สาร โดยศึกษาการย่อยแบบมีไซฟิติก (การย่อยทางชีวะที่มีอุณหภูมิน้อยกว่า

45°C ) ของอะซีเตด โฟไฟรโอเนต และของผสมระหว่างโฟไฟรโอเนคกับอะซีเตด โดยศึกษาใน ขวดเซรุ่มแบบแบดซ์ ผลที่ได้ คือ แอมโมเนียจะส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่ใช้อะซีเตดมากกว่า พวกจุลินทรีย์ที่ใช้โฟไฟรโอเนตหรือจุลชีพโทรฟิกันอื่นๆ ผลการยับยั้งจะรุนแรงน้อยลงถ้าในถัง ปฏิกรณมีซัลเฟต เพราะจะทำให้อินทรีย์สารจับตัวจมลงโดย Sulfate-Reducing Bacteria

#### 2.4.5.3 แคทไอออนของโลหะเบา

เนื่องจากการที่จะต้องควบคุมระบบรักษาค่าพีเอช ให้เป็นกลาง จึงต้องมีการเติม เบส ทำให้ต้องมีการระมัดระวังแคทไอออนของโลหะเบาที่เกี่ยวข้องกับเบสเกือบทั้งหมด ซึ่ง สามารถให้ผลเป็นพิษ แคทไอออนของโลหะเบาเหล่านี้ได้แก่ โซเดียม โปตัสเซียม แคลเซียม และ แมงกานีส

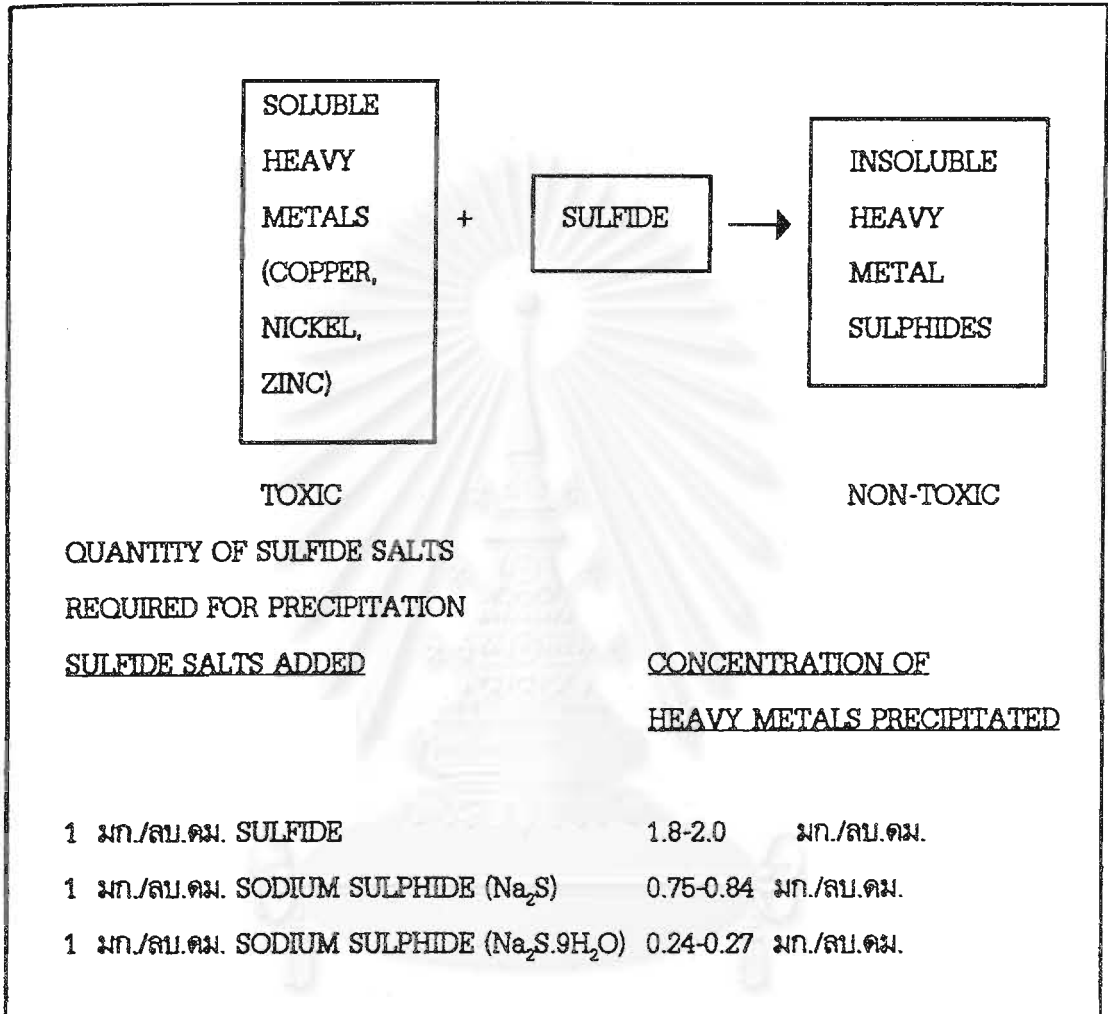
#### 2.4.5.4 ซัลไฟด์

เกิดในระบบไร้อากาศจากการรีดักชันของซัลเฟต ที่มีอยู่ในกระแสเข้า และใน การสลายตัวของโปรตีน ถ้าความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายมากกว่า 200 ก./ลบ.ม. ปฏิกริยาของ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนจะถูกยับยั้ง การเติมโลหะหนักเข้าไปจับกับซัลไฟด์สร้างผลึกที่ไม่ ละลาย (Lawrence และคณะ, 1964)

#### 2.4.5.5 โลหะหนัก

โลหะหนักที่เป็นพิษ คือ ส่วนที่ละลายน้ำได้เท่านั้น ความเข้มข้นส่วนที่ละลายนั้น สามารถลดลงจนไม่เป็นพิษโดยการตกผลึกด้วยซัลไฟด์ (Lawrence และคณะ, 1964) ดังแสดงใน ภาพที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาการทำลายพิษของโลหะโดยซัลไฟด์ในสภาวะไร้อากาศ  
ที่มา : McCarty, 1964

2.4.6 ศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน (Oxidation - Reduction Potential)

ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปสู่อีกสารหนึ่ง เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ( Oxidation-Reduction Reaction ) หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) ซึ่งเกิดจากผลรวมของปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน

ความแตกต่างด้านความสามารถให้หรือรับอิเล็กตรอนระหว่างปฏิกิริยาทั้งสอง อาจวัดได้ด้วยค่าออกซิเดชัน-รีดักชันโพเทนเชียล หรือเรียกสั้นๆว่า โออาร์พี (ORP) ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในน้ำส่วนใหญ่มักเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยที่สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียมักเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ ซึ่งในระบบไร้อากาศจะมีคาร์บอนไดออกไซด์ หรือกรดอะซิติกเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ถ้าค่าโออาร์พี เป็นบวกแสดงว่ามีความสามารถในการรับอิเล็กตรอน แต่ถ้าค่า ORP เป็นลบแสดงว่าเป็นตัวให้อิเล็กตรอน

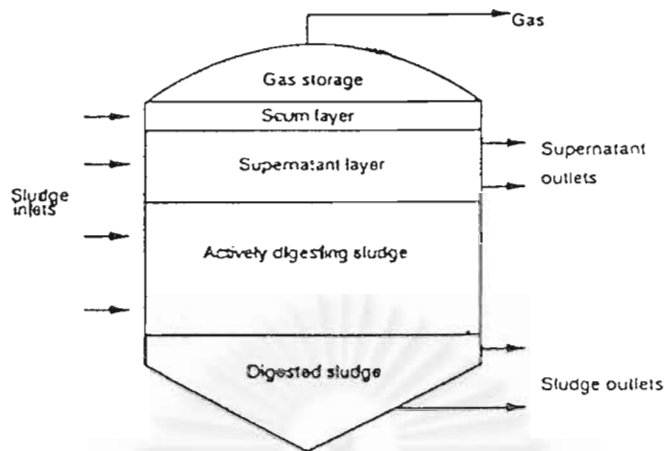
ประโยชน์ของ ORP ในการบำบัดน้ำเสีย

1. ใช้เพื่อควบคุมปัญหาด้านกลิ่นจากการบำบัดน้ำเสีย
2. ควบคุมการเติมอากาศในกระบวนการย่อยตะกอน
3. ควบคุมระบบหมักแบบไร้อากาศ
4. ควบคุมปัญหาที่เกิดจากออกซิเดนต์ หรือรีดักแทนท์ในโรงงานอุตสาหกรรม

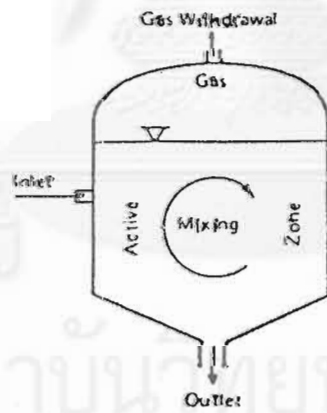
## 2.5 ประเภทของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

### 2.5.1 ถังย่อยสลัดจ์ (Sludge Digester)

ระบบนี้ใช้ย่อยสลัดจ์ซึ่งเป็นตะกอนอินทรีย์ ส่วนประกอบหลักของระบบนี้แสดงใน ภาพที่ 2.3 และภาพที่ 2.4 ภาพที่ 2.3 เป็นถังย่อยที่ไม่มีกวนตะกอนและไม่ปรับอุณหภูมิให้กับสลัดจ์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถังจึงช้าและไม่ทั่วถึง ถังแบบนี้จึงเรียกว่า ถังย่อยแบบอัตราต่ำ (low rate digester) ภาพที่ 2.4 เป็นถังย่อยแบบที่มีการกวนและมีการปรับอุณหภูมิ ปฏิกิริยาการย่อยสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าแบบแรก ถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่า ถังย่อยแบบอัตราสูง (high rate digester) ส่วนภาพที่ 2.5 เป็นแบบที่มีการแยกตะกอนออกจากน้ำ ถ้าต้องการย่อยสารอินทรีย์ปริมาณเดียวกัน ถังย่อยแบบอัตราสูงจะมีขนาดเล็กกว่าแบบอัตราต่ำ

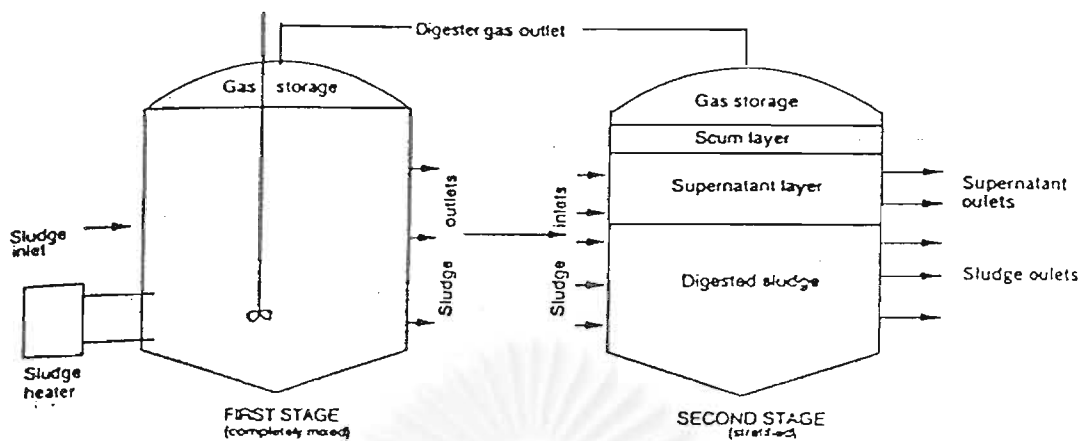


ภาพที่ 2.3 ถังย่อยแบบอัตราต่ำ  
ที่มา : Bitton, 1994



สถาบันน้ำเสียบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

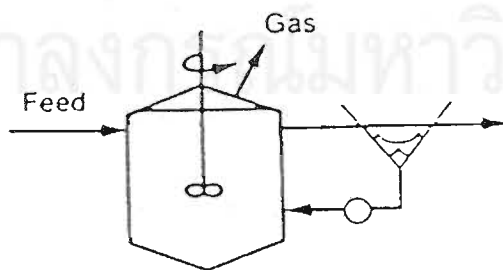
ภาพที่ 2.4 ถังย่อยแบบอัตราสูง  
ที่มา : Bitton, 1994



ภาพที่ 2.5 ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน  
ที่มา: Bitton, 1994

### 2.5.2 ถังย่อยแบบสัมผัสผิ (Anaerobic Contact)

ถังย่อยแบบนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลาย ถังย่อยแบบสัมผัสผินี้อาจเป็นถังปฏิกริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้ (ภาพที่ 2.6) ดังนั้นถังย่อยแบบสัมผัสผิจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบเอเอส จนกระทั่งในบางครั้งอาจเรียกถังย่อยตะกอนแบบนี้ว่า เป็นระบบเอเอสแบบไร้อากาศ (anaerobic activated sludge) อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเหมือนกับระบบเอเอส การสะสมแบคทีเรียให้คงอยู่ไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้ดีเหมือนสลัดจ์ของระบบเอ-เอส จึงมีการหลุดหนีของสลัดจ์เกิดขึ้น ในปัจจุบันระบบถังย่อยแบบสัมผัสผิจึงแทบเหลือแต่ชื่อ เนื่องจากไม่มีผู้นำไปใช้

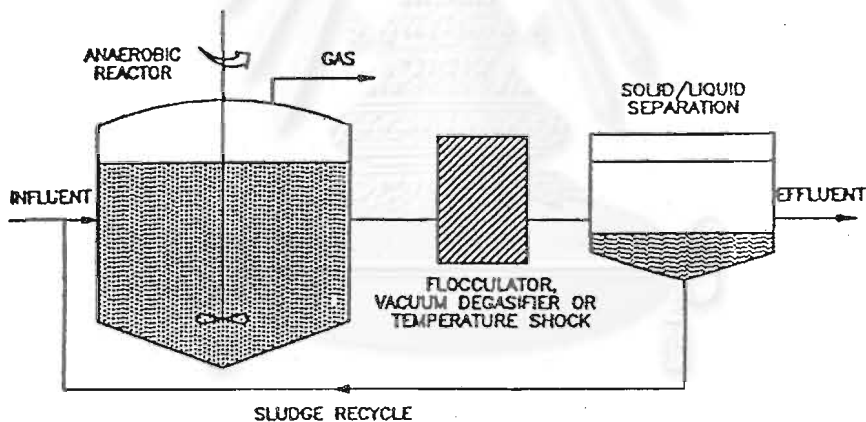


ภาพที่ 2.6 ระบบถังย่อยแบบสัมผัสผิ  
ที่มา: Metcalf & Eddy, 1991



### 2.5.3 ถังย่อยแบบแยกเชื้อ

ได้มีความพยายามในการออกแบบถังย่อยสัจด์แบบแยกประเภท เพื่อให้แบคทีเรียสร้างกรดและสร้างมีเทนเติบโตอยู่ในถังย่อยคนละใบ ลักษณะเช่นนี้เชื่อว่าแบคทีเรียแต่ละชนิดจะทำงานได้เต็มกำลัง และเป็นการใช้ประโยชน์จากถังปฏิกริยาอย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังเชื่อว่าการควบคุมการทำงานของถังย่อยมีความสะดวกยิ่งขึ้น ภาพที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของถังย่อยแบบแยกเชื้อที่ใช้พีเอชเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังย่อย ในถังใบแรกซึ่งมีพีเอชประมาณ 6 จะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้างกรด ส่วนถังใบที่สอง ซึ่งมีค่าพีเอชประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างมีเทน การควบคุมพีเอชแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรก จะถูกปล่อยทิ้งออกไปจากถังเพื่อมิให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างกรด



ภาพที่ 2.7 ระบบถังย่อยแบบสองเฟส

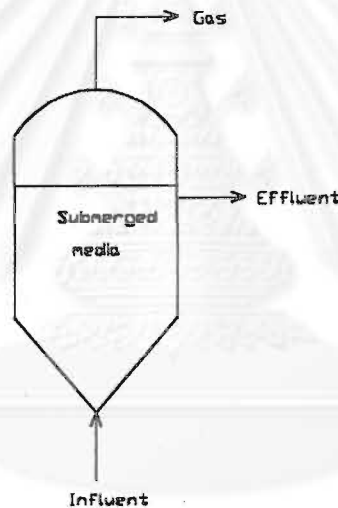
ที่มา: Malina, 1992

### 2.5.4 ถังกรองแบบไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

ภาพที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองแบบไร้อากาศ ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ถังสูงที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5-2 นิ้ว หรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลเข้าจากข้างล่างขึ้นข้างบน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วม

ตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรองน้ำที่ไหลออกมาจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก โดยปกติถังย่อยแบบเครื่องกรองมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดาเพราะใช้เวลาที่น้ำต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไร้อากาศมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไขปัญหที่สำคัญ คือ ต้องหาวิธีการกระจายน้ำเสียให้ไหลเข้าถังกรองให้ได้ อย่างสม่ำเสมอ เรื่องการอุดตันก็เป็นปัญหาเหมือนกัน แต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาได้โดยให้มีการตกตะกอนน้ำเสียก่อนส่งเข้าถังกรองไร้อากาศ

ถังกรองไร้อากาศแบบนี้มีข้อดีมากกว่าแบบอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว เนื่องจากมีความสามารถในการเก็บเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ทำให้มีความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีไม่สูงมากได้



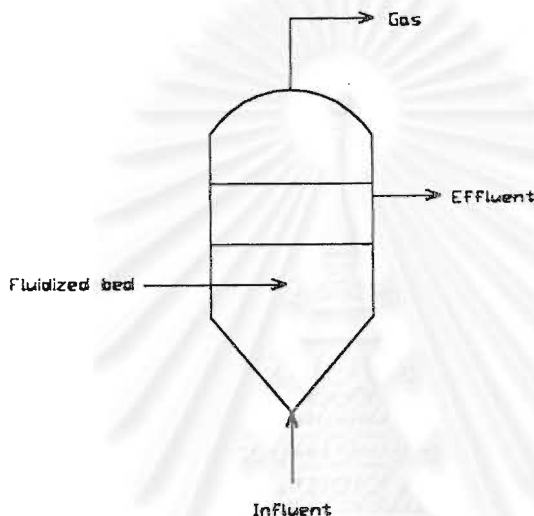
ภาพที่ 2.8 ถังกรองไร้อากาศ

ที่มา: มั่นสิน ,2536

### 2.5.5 ระบบชั้นลอยตัวไร้ออกซิเจน (Anaerobic Fluidized Bed หรือ AFB)

ระบบนี้คล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองไร้อากาศตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน จัดเป็นระบบ Fixed Film แบบไร้อากาศที่มีสารตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายเป็นที่จับเกาะของแบคทีเรีย (ภาพที่2.9) อัตราการไหลของน้ำเสียจะต้องสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ทราย

แอนทราไซด์ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครื่องกรองไร้อากาศ) ทำให้ระบบนี้มีแบคทีเรียจำนวนมากอาศัยอยู่ในระบบ อัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะการทำงานซึ่งต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลาก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบและควบคุมระบบหลายอย่าง และต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่น ระบบเช่นนี้จึงยังไม่ได้ได้รับความนิยม



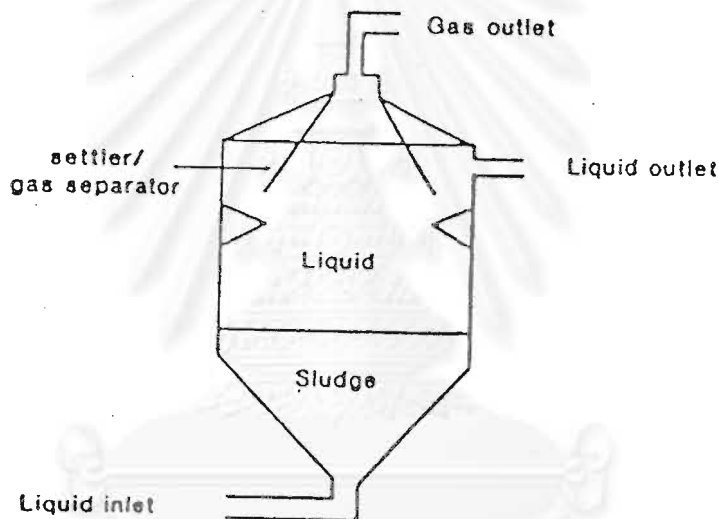
ภาพที่ 2.9 ระบบชั้นลอยตัวไร้ออกซิเจน  
ที่มา: มั่นสิน, 2536

#### 2.5.6 ระบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

การที่ต้องมีสารตัวกลางอยู่ในระบบเครื่องกรองไร้อากาศ และระบบ AFB ทำให้ถึงปฏิกรณ์ต้องเสียปริมาตรใช้และต้องเสียค่าจ่ายเชื้อสารตัวกลางเป็นจำนวนมาก วิศวกรจึงคิดค้นระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ระบบใหม่นี้มีทิศทางการไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบนโดยไม่มีตัวกลาง แต่แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถึงปฏิกรณ์จะทำให้เม็ดแบคทีเรียลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ไม่จมลงก้นถัง อนึ่ง การเลี้ยงแบคทีเรียไร้อากาศให้เป็นเม็ดใหญ่นั้นเป็นเรื่องยาก ผู้ใช้ระบบนี้จึงมีเทคนิคต่างๆ ในการทำให้เกิดชั้นสลัดจ์ภายในถังปฏิกรณ์

และถือเป็นความรู้เฉพาะด้วย ระบบนี้มีรายงานว่าใช้กันมากในประเทศแถบอเมริกาใต้ และมีใช้ในยุโรปบางประเทศ

จุดอ่อนของระบบคือ การสร้างชั้นสลัดจ์เป็นเรื่องยาก และอาจถือว่าเป็นเรื่องไม่ธรรมชาติของแบคทีเรียไร้อากาศที่จะมีการจับกันเป็นกลุ่มฟลอค วิศวกรที่นำระบบนี้ไปใช้และประสบความสำเร็จอ้างว่าระบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบอื่น และสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงได้ เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าแบบอื่น ระบบ UASB นี้มักออกแบบให้มีอุปกรณ์แยกตะกอนแบคทีเรียให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้งด้วยเสมอ (ภาพที่ 2.10)



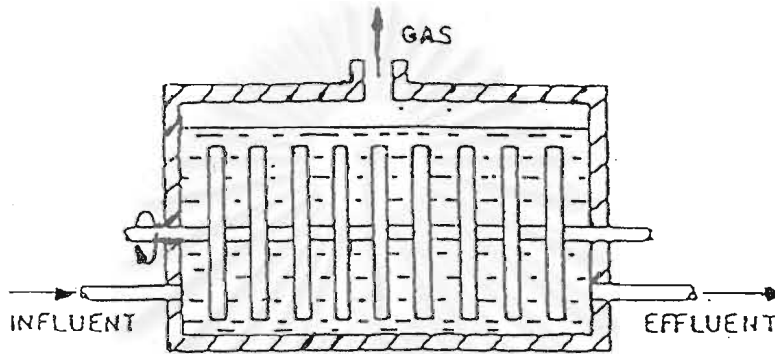
ภาพที่ 2.10 ระบบยูเอเอสบี

ที่มา: Bitton , 1994

### 2.5.7 ระบบจานหมุนชีวภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Rotating Biological Contactor หรือ AnRBC)

ได้เริ่มมีการทดลองโดย Tait และ Friedman, 1980 โดยใช้บำบัดน้ำเสียที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากต้องการลดการใช้พลังงานในการสูบน้ำเสียให้หมุนเวียนในระบบ AFB และนำข้อดีของระบบฟิล์มตรึง (Fixed Film) และจานหมุนชีวภาพธรรมดา (RBC) มาใช้ใน

ระบบไร้ออกซิเจน ลักษณะของระบบก็คล้ายคลึงกับระบบงานหมุนชีวภาพธรรมดา เพียงแต่มีฝาปิดเพื่อมิให้สัมผัสอากาศจากภายนอกและมีช่องระบายก๊าซออกทางตอนบน (ดังภาพที่ 2.11) ผลปรากฏว่าแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดีบนผิวแผ่นงาน มีคำอ้างว่า ระบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นอย่างกะทันหันได้ดี

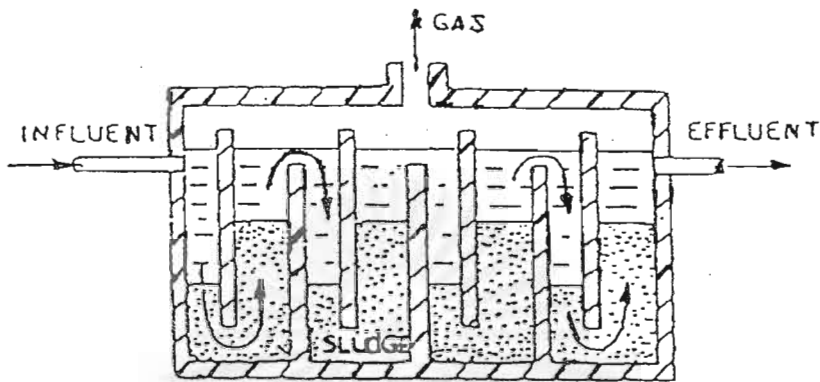


ภาพที่ 2.11 ระบบงานหมุนชีวภาพไร้ออกซิเจน

ที่มา : มั่นสิน,2536

#### 2.5.8 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor หรือ ABR)

ลักษณะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน คือ มีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลมุดขึ้นมุดลง อยู่ในแนวนอน (ภาพที่ 2.12) ถึงปฏิกิริยาจึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมาก เหมือนของระบบไร้ออกซิเจนแบบอื่นๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ ข้อดีของระบบนี้คือ เป็นระบบที่มีพื้นที่ผิวน้ำมากทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ การแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำได้ดีและง่ายเช่นกัน ลักษณะดังกล่าวทำให้การเก็บกักเซลล์สามารถกระทำอย่างได้ผลดี จึงมีมวลแบคทีเรียสะสมอยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก การบำบัดน้ำเสียจึงสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราสูง



ภาพที่ 2.12 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

ที่มา : มั่นสิน, 2536

### 2.5.9 ป้อนบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

กระบวนการไร้อากาศแบบนี้เป็นแบบง่ายที่สุด โดยมักเป็นปอดดินขนาดใหญ่ที่มีความลึก 3-4 เมตร และไม่มีฝาปิด มีเวลากักน้ำนานหลายวัน ภายในระยะเวลาดังกล่าว น้ำเสียจะถูกย่อยด้วยปฏิกิริยาแบบไร้อากาศ บ่อยครั้งมีขนาดใหญ่ จึงต้องใช้ที่ดินจำนวนมากในการสร้าง นอกจากนั้นยังอาจจะมีกลิ่นไม่ดี ระบบบ่อไร้อากาศจึงเหมาะสำหรับใช้ในชนบทหรือชนเมืองซึ่งราคาที่ดินไม่สูงนัก

### 2.6 ระบบไร้อากาศ (Anaerobic system)

เมื่อเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียโดยระบบไร้อากาศกับระบบมีอากาศ ระบบไร้อากาศมีข้อดีคือ

- ไม่ใช้พลังงานในการดำเนินการ
- ไม่มีปัญหาเมื่อมีภาวะบรรทุกลินทรีย์สูง ยกเว้นสภาวะการเกิดกรดไขมันตอนแรกของระบบ (ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงได้)
- มีการเกิดตะกอนเพิ่มขึ้นน้อยมาก (น้อยกว่า 0.3 กิโลกรัม ของแข็งทั้งหมดต่อกิโลกรัม บีโอดีที่ถูกกำจัด)

### 2.6.1 บ่อไร้อากาศแบบเปิด (Anaerobic pond)

โดยทั่วไปการใช้ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศในประเทศไทย จะเป็นระบบบ่อเปิดต่อกันหลายบ่อ ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียดังแสดงในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดด้วยบ่อไร้อากาศแบบเปิด

ข้อดี	ข้อเสีย
1.การก่อสร้างระบบทำได้ง่าย 2.การดำเนินการไม่ซับซ้อนและมีการบำรุงรักษาน้อย	1.ต้องใช้พื้นที่มาก (ภาชนะบรรจุทุกเชิงปริมาตรของชีโอดีที่สามารถรับได้ถึง 1-5 กก./ลบ.ม.วัน) 2.ประสิทธิภาพของระบบควรจำกัดเพียง 60-70% ของปีโอดีที่เข้า เพื่อให้มีอัตราส่วนของสารอาหารให้เพียงพอ(C/N/P) ต่อการบำบัดแบบมีอากาศก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ 3.ไม่สามารถเก็บก๊าซชีวภาพได้ 4.มีกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกรดอินทรีย์ถ้าภาชนะบรรจุสูงมากเกินไป 5.การทิ้งตะกอนออกไปทำได้ไม่ต่อเนื่อง

ในระบบบ่อไร้อากาศการออกแบบและดำเนินการต้องพิจารณาถึงการตกจมของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่ออกจากโรงงาน และตกตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศด้วย ซึ่งมีผลทำให้ปริมาตรของของแข็งแขวนลอยในบ่อเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาเก็บกักลดลง และค่าภาระบรรจุเชิงปริมาตรของชีโอดีที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดต่ำลง การใช้งานระบบบ่อไร้อากาศแบบปิดพบว่ามีตะกอนลอย (scum) อยู่มาก ซึ่งจะคลุมพื้นผิวส่วนบนของบ่อ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างบ่อกับบรรยากาศเกิดน้อย หากสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดกรดในช่วงแรกของบ่อได้ ก็จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

#### สิ่งที่จำเป็นสำหรับการสร้างระบบไร้อากาศ

- มีโครงสร้างทางเข้าและออกที่ดี เพื่อกระจายการไหล และหลีกเลี่ยงการไหลผ่านอย่างรวดเร็ว
- ควรมั่นใจว่าคั่นกันของบ่อมีความมั่นคงและกักเก็บน้ำเสียไว้ได้

- ถ้ามีบ่อต่อกันมากกว่า 1 บ่อ บ่อแรกไม่ควรมีภาระบรรทุกเชิงปริมาตรเกิน 5 กก.ซีไอดีลบ.ม./วัน และมีการควบคุมพีเอชในบ่อแรก โดยมีการวนกลับที่เหมาะสม
- ควรให้มีความชันของขอบข้างของบ่อ(1/1.5)
- การนำตะกอนจากบ่อไปทิ้งอาจทำให้บ่อนั้นๆ ไม่ได้ใช้งาน จึงควรมีการสำรองบ่อเอาไว้

การตัดสินใจว่าควรจะใช้ระบบนี้หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ปัจจัยหลักที่จะต้องพิจารณา คือ ราคาของที่ดิน และสภาพโดยรอบโรงงาน เช่น ความหนาแน่นของประชากร และชุมชนที่อาจได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ และความสามารถในการนำกากกลับมาใช้ก็เป็นสิ่งที่ควรพิจารณา

## 2.6.2 บ่อไร้อากาศแบบปิด

ระบบบ่อไร้อากาศแบบปิดมีหลายแบบ ดังนี้

- บ่อแบบขั้นตอนเดียว (one-stage-reactor) และบ่อแบบสองขั้นตอน (two-stage-reactor) ซึ่งในการดำเนินการ ขั้นแรกเป็นการเกิดกรด (acidifying) มีก๊าซหลักเกิดขึ้น คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และขั้นที่ 2 เป็นการเกิดก๊าซมีเทน (methanogenic)
- ชนิดของบ่อผลิตก๊าซมีเทน (Methane-reactors) ได้แก่
  - \* ถังปฏิกรณ์แบบกวนผสมบูรณ์ (Completely mixed reactors)
  - \* ถังปฏิกรณ์แบบชั้นตรึง (Fixed bed reactors)
  - \* ถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี (UASB-reactor)

จากการมีแอมโมเนีย แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส เป็นองค์ประกอบของน้ำเสียจากโรงงานบางประเภท จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งจะก่อให้เกิดการตกตะกอนขึ้นภายใต้สภาวะของการเกิดก๊าซมีเทน ถ้าหากเลือกถังปฏิกรณ์แบบชั้นตรึง ควรมีการพิจารณาว่าการตกตะกอนของสารประกอบนี้จะทำให้เกิดการอุดตันหรือไม่

โดยทั่วไปในบ่อแบบไร้อากาศควรมีการป้องกันการเปลี่ยนแปลงของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งทำได้โดยใช้บ่อลดความร้อนเป็นบ่อรองรับน้ำเสีย (buffer basin) เพื่อป้องกันบ่อแบบไร้อากาศอย่างต่อเนื่อง

การใช้ถังหมักแบบปิดจำเป็นต้องมีตะแกรงเพื่อแยกของแข็งขนาดใหญ่ (course) และบางครั้งอาจมีการเกิดฟองขึ้นภายในถังหมัก ซึ่งจะต้องมีการเติมสารลดการเกิดฟอง วัสดุที่ใช้



เป็นโครงสร้างของบ่อ ควรมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของกรดที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางชีวภาพ (โดยเฉพาะในรูปของก๊าซ).

## 2.7 ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

### 2.7.1 ลักษณะทั่วไป

2.7.1.1 ความสูงของถังกรอง จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของถังกรองไร้อากาศ ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นไปถึงระดับหนึ่ง จากนั้นความสูงจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ

บุญสิน สุภควงศ์ (2521) ใช้ถังกรองไร้อากาศบำบัดน้ำทิ้งจากบ้านพักอาศัย สรุปว่าการทำงานของถังกรองไร้อากาศลึก 0.50 เมตร และ ลึก 1.00 เมตร ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกันมาก

โรมรัน ศรีสัมฤทธิ์ (2525) ศึกษาถึงการผลิตก๊าซชีวภาพจากถังกรองไร้อากาศที่ใช้อินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง กล่าวว่าการลดซีโอดีส่วนใหญ่ของถังกรองไร้อากาศเกิดอยู่ในช่วงภายใน 0.30 เมตร วัดจากก้นถังกรอง การใช้ถังกรองขนาดที่มีความสูงไม่มากนักต่อกันอย่างอนุกรม อาจจะทำให้ผลดีกว่า ถังกรอง ถังเดียวที่มีความสูงมากๆ อย่างไรก็ตามในการออกแบบถังกรองไร้อากาศเพื่อการใช้งานจริงๆ ซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าภาระอินทรีย์ อย่างกะทันหัน ความสูงของถังกรองจึงไม่ควรน้อยกว่า 1.20 เมตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้การทำงานของถังกรองล้มเหลว

ดังนั้นโดยทั่วไปความสูงของถังกรองจะอยู่ในช่วง 1.00 - 1.80 เมตร ความสูงของถังกรองที่น้อยกว่านี้อาจมีโอกาสทำให้น้ำทิ้งมีการไหลลัดวงจรได้ง่าย (Short Circuit) ส่วนความสูงที่มากกว่า 1.80 เมตร ดูเหมือนจะเป็นการสิ้นเปลืองมากกว่าเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้เพิ่มขึ้นจากเดิม เพราะจากงานวิจัยจะเห็นว่า กิจกรรมของแบคทีเรียส่วนใหญ่จะเกิดตอนล่างที่บริเวณ 0.30 เมตร จากก้นถัง แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความสูงของถังกรองจะต้องสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดและเวลากักน้ำ (HRT) ทั้งนี้เพื่อให้แบคทีเรียมีเวลาอยู่ในถังกรองได้นาน

2.7.1.2 ชนิดและคุณสมบัติของตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ ตัวกลางที่บรรจุภายในถังกรองไร้อากาศ มีหน้าที่กั้นไม่ให้เซลล์แบคทีเรียหลุดออกจากระบบ อีกทั้งยังเป็นที่ยึด

เกาะของแบคทีเรีย ซึ่งจะมีผลทำให้เซลล์หลุดออกจากระบบน้อย เซลล์จึงอยู่ในระบบนานมีค่า SRT สูง ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงด้วย

ตัวกลางที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ

- ตัวกลางจากธรรมชาติ เช่น หิน กรวด ชังข้าวโพด เป็นต้น
- ตัวกลางจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น พลาสติก เป็นต้น

ตัวกลางต่างชนิดกัน จะมีคุณสมบัติต่างกัน การเลือกชนิดตัวกลางต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ราคาของชนิดตัวกลาง ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพดีต้องมีพื้นที่ผิวมาก และมีค่าความพรุนสูง เพื่อลดปัญหาการอุดตันปัญหาการเกิดการไหลลัดวงจร และปัญหาด้านไฮโดรลิก การใช้ตัวกลางที่เป็นหินกรวดจะมีผลต่อการออกแบบฐานรากในการรับน้ำหนักของโครงสร้างถัง การใช้ตัวกลางพลาสติกจะขจัดปัญหาด้านฐานรากเพราะน้ำหนักเบา แต่ตัวกลางพวกนี้จะมีราคาสูงมาก เมื่อเทียบกับราคาของพวกหิน กรวด

Allaoui และ Forster (1994) ได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวกลางที่รองรับชนิดต่างๆ ต่อการเริ่มระบบ Anaerobic Expanded Bed Reactor โดยงานวิจัยนี้อธิบายถึงผลของการศึกษาเปรียบเทียบตัวกลางรองรับชนิดต่างๆ คือ ทราบ หินภูเขาไฟ และแก้วเผาไฟ โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ 2 แหล่ง คือ จากโรงงานผลิตไอศกรีม และโรงงานผลิตน้ำส้มสายชู ผลแสดงให้เห็นว่าตัวกลางที่มีความพรุนมากกว่าจะเกิดแบคทีเรียได้ดีกว่าตัวกลางที่มีความพรุนน้อย นอกจากนี้ในน้ำเสียจากโรงงานไอศกรีมจะแสดงผลการยับยั้งน้อยลง เมื่อตัวกลางมีความพรุนมากกว่า

วิชัย ชินบุรพา (1996) ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเป็นหิน เศษคอนกรีต และพลาสติก บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ พบว่าระยะเวลาที่น้ำ 12 ชั่วโมงถังที่มีตัวกลางพลาสติกให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด 93.2% แต่อย่างไรก็ตาม ถังที่มีหินและเศษคอนกรีตเป็นตัวกลางก็มีประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกัน คือ มีค่าเท่ากับ 92.6% และ 92.2% ตามลำดับ และตัวกลางพลาสติกที่มีความสามารถในการกักเซลล์จุลินทรีย์ไว้ในระบบ และเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า เนื่องจากมีความพรุนที่สูงสุดเท่ากับ 94.38% ซึ่งสูงกว่าหิน และเศษคอนกรีตที่ใช้เป็นตัวกลาง มีความพรุนเท่ากับ 43.36% และ 53.45% ตามลำดับ

2.7.1.3 ลักษณะการวางตัวกลาง ตัวกลางในระบบถังกรองไร้อากาศมีความสำคัญต่อระบบเพราะจะทำให้ระบบกักตะกอนได้นานขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะการวางชั้นตัวกลางก็มีส่วนเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบได้เช่นเดียวกัน โดยทั่วไปของ

ระบบถังกรองไร้อากาศเราพบว่า กิจกรรมของแบคทีเรีย ส่วนใหญ่จะอยู่ทางตอนล่าง ส่วนตอนบนจะทำหน้าที่กักเซลล์ให้อยู่ในระบบ

เจษฎา ศรีศึก (2527) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของความลึกและตำแหน่งของชั้นตัวกลางต่อสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศ โดยวางชั้นตัวกลาง 4 ลักษณะ คือ ตัวกลางเต็มถึง ตัวกลางลอย 25% ของความสูงถังกรอง ตัวกลางลอยครึ่งถังกรอง และตัวกลางจมครึ่งถังกรอง ในการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ปรากฏว่าถังกรองที่มีตัวกลางลอยอีก 2 ลักษณะ ก็มีแนวโน้มที่จะทำงานได้ดีขึ้น สำหรับถังกรองที่มีตัวกลางจมครึ่งถังกรอง ปรากฏว่ามีสมรรถนะไม่ดีนัก เนื่องจากมีตะกอนแบคทีเรียหลุดไปจากถังกรองมาก

Oleszkiewicz (1988) ได้ศึกษาลักษณะการจัดวางตัวกลางของระบบแอนไฮบริด 3 ลักษณะ คือ ตัวกลางแบบสุ่ม ตัวกลางแบบซ้อนกันในแนวตั้ง และแบบไม่มีตัวกลาง โดยมีตัวกลางลอย 40% ของปริมาตรถัง จากการทดลองพบว่าถังที่มีตัวกลางวางแบบสุ่ม มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดีที่สุด สำหรับถังที่มีตัวกลางวางซ้อนกันและถังที่ไม่มีตัวกลาง เกิดจากไหลลัดวงจรในขณะที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์สูง

จิตรเทพ ประสิทธิ์อยู่คู่ล (2535) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำเสียจากถังกรอง โดยใช้ถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางครึ่งถังจม การทดลองได้ใช้กระบอกพีวีซีไชนาเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว มีความสูง 2.50 เมตร บรรจุโพลีม้วนผสมพลาสติกทำหน้าที่เป็นตัวกรอง มีความสูงชั้นตัวกลาง 1.26 เมตร ทดลองกำจัดน้ำเสีย ความเข้มข้นต่ำมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 147 มก./ล. มีปริมาณ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ในน้ำเสียเฉลี่ย  $1.54 \times 10^7$  MPN/100ml. ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฮโดรลิกไหลตติง 0.27, 0.18, 0.07 และ 0.06 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร-วัน ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพในการลดโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ร้อยละ 88, 96, 98 และ 99 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีร้อยละ 61, 71, 72 และ 74 ตามลำดับ

2.7.1.4 คุณสมบัติของน้ำเสีย น้ำเสียที่นำมาใช้กับถังกรองไร้อากาศควรมีคุณสมบัติ ดังนี้ คือ

- มีอาหารเสริมเพียงพอต่อจุลชีพที่ไม่ใช้ออกซิเจน
- ปราศจากสารพิษที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย
- มีปริมาณสารแขวนลอยต่ำเพื่อขจัดปัญหาการอุดตันของระบบ

## 2.7.2 ข้อดี-ข้อเสียของถังกรองไร้อากาศ

### 2.7.2.1 ข้อดี

1. การทำงานของระบบถังกรองไร้อากาศ แบคทีเรียจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่นี้เป็นก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ส่วนน้อยเท่านั้นที่จะเปลี่ยนเป็นเซลล์ ซึ่งมีผลให้ลดปัญหาในการกำจัดตะกอนส่วนเกินที่จะเกิดขึ้น
2. ให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
3. เซลล์ของแบคทีเรียจะถูกสะสมอยู่ในถังกรองมากขึ้นตลอดเวลา ทำให้ถังกรองมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น
4. ต้องการอาหารเสริมสร้าง (nutrient) น้อยกว่าระบบชีววิทยาแบบใช้อากาศ
5. การฟื้นตัวของระบบเกิดขึ้นได้เร็ว
6. เนื่องจากไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน
7. ถังกรองไร้อากาศไม่ต้องการแยกตะกอนแบคทีเรีย ออกจากน้ำทิ้งที่ไหลออกจากถังกรองกลับมาใช้อีก เพราะตัวกลางจะทำหน้าที่กรองแบคทีเรียเอาไว้แล้ว
8. ตะกอนหลุดออกไปกับน้ำทิ้งน้อย เนื่องจากมีตัวกรองคอยกั้น

### 2.7.2.2 ข้อเสีย

1. มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และบางครั้งมีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น
2. ไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยสูง เพราะอาจจะทำให้มีปัญหาอุดตันได้
3. ในกรณีตัวกลางเป็นหิน จะทำให้จำเป็นต้องมีฐานรากของโครงสร้างที่แข็งแรงใหญ่โต ทำให้สิ้นเปลืองค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น แต่กรณีตัวกลางเป็นพวกวัสดุสังเคราะห์ น้ำหนักจะเบา แต่มีข้อเสียที่ราคาแพง
4. การทำงานภาคปฏิบัติจริง ๆ ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการกระจายน้ำซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการไหลลัดทาง (short circuit) ได้
5. กำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้น้อย
6. ระยะเวลาในการเริ่มต้นการทำงานของระบบ (start up) ใช้เวลานานกว่าระบบใช้อากาศ

## 2.8 ความด้อยเสถียรภาพของปฏิบัติการไร้อากาศ

### 2.8.1 สาเหตุที่ทำให้มีความด้อยเสถียรภาพเนื่องจาก

1. ความจำเป็นที่ต้องมีแบคทีเรีย 2 ประเภทอาศัยอยู่ร่วมกัน และต้องอาศัยซึ่งกันและกัน

2. ความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมของแบคทีเรีย การทำงานของแบคทีเรียทั้งสองประเภทก็จะไม่สอดคล้องกัน โดยที่แบคทีเรียที่สร้างกรดมีความสามารถสูงกว่าแบคทีเรียที่สร้างก๊าซ ถ้าการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองไม่สอดคล้องกัน จะทำให้ระบบได้รับความเสียหาย และระบบจะค่อยๆมีประสิทธิภาพลดลง จนในที่สุดจะเกิดความล้มเหลวโดยสิ้นเชิง

### 2.8.2 สัญญาณเตือนของการเสถียรภาพของระบบ

1. ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ โดยปกติความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระบบจะมีค่าประมาณ 200-400 มิลลิกรัม/ลิตร(เทอมของกรดอะซิติก) แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จะเป็นสัญญาณให้เห็นถึงการเสถียรภาพเกิดขึ้นกับระบบ คือ เกิดการชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน หรือทำให้การเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

2. ระดับความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต สภาพความเป็นด่างจะบ่งบอกให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์(Buffer Capacity) ว่ามีเหลืออยู่เท่าไรในระบบ ถ้ามีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้พีเอชลดลงได้อย่างมากและเร็ว ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน แต่สภาพความเป็นด่างสูงพอ ก็จะสามารถทนกับสภาพการเปลี่ยนแปลงของกรดระเหยง่าย (volatile acids) ได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าพีเอชมากนัก ระดับสภาพความเป็นด่างที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและความเข้มข้นของน้ำทิ้ง โดยทั่วไประบบไร้อากาศควรมีสภาพความเป็นด่างประมาณ 1,500 - 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร

3. ค่าโออาร์พี (ORP) ปฏิกริยาแต่ละประเภทจะมีค่าโออาร์พีประจำของแต่ละปฏิกริยาดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าโออาร์พีของปฏิกิริยาประเภทต่างๆ

ประเภทของปฏิกิริยา	โออาร์พี (มิลลิโวลท์)
แอโรบิคออกซิเดชัน	+300
ไนโตรฟิกเคชัน	+100
ดีไนโตรฟิกเคชัน	0
การย่อยไร้อากาศ	
-สร้างกรดอินทรีย์	-300
-สร้างมีเทน	-500

\*Ag/Ag<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> Reference Electrode

ที่มา : มั่นสิน, 2536

ถังย่อยไร้อากาศที่ทำงานได้ดี ต้องมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลท์ ถ้าโออาร์พีเป็นลบน้อยๆ หรือมีค่าเป็นบวก ย่อมแสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยไร้อากาศเกิดขึ้นน้อยหรือไม่เกิดขึ้น

4.ระดับพีเอช ไม่ใช่เป็นสัญญาณที่เร็วพอที่จะบอกถึงการทำงานของระบบได้ทันทั่วทั้งที่ เพราะความเสียหายของระบบจะเกิดขึ้นก่อนที่พีเอชจะลดลง แต่อย่างไรก็ดีข้อมูลของพีเอชก็ยังมีความสำคัญเพราะว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิด โดยเฉพาะชนิดที่สร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชแคบๆเท่านั้น ถ้าไม่มีการควบคุมพีเอชให้เป็นกลาง การเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็จะถูกยับยั้ง ทำให้ระบบล้มเหลวได้ และการรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลางต้องทำเป็นเรื่องแรกเพื่อให้ระบบฟื้นตัวเมื่อระบบเสียสมดุล

5.อัตราการผลิตมีเทน เป็นเครื่องวัดโดยตรงของ Metabolic Activity ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน การเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตมีเทนมีความสำคัญกว่าค่าปริมาณการผลิต เพราะเป็นสัญญาณที่บอกว่าจะมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

6.สัญญาณอื่นๆ สัญญาณที่อาจบอกถึงการเสียสมดุลของระบบไร้อากาศอีกสองชนิด ได้แก่ ส่วนประกอบของก๊าซรวมและอัตราการผลิตก๊าซ การเสียสมดุลย์ของแบคทีเรียประเภทสำคัญทั้งสองอย่างจะทำให้ปริมาณมีเทนลดต่ำ แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากส่วนประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไป

## 2.9 แนวคิดในที่เลือกใช้ระบบถังกรองไร้อากาศบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ต้นทาง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ นำมาจากโรงงานปิโตรเคมี แห่งชาติ ซึ่งเป็นโรงงานผลิต โอลิฟินส์ ประกอบด้วย แอททีลีน (Ethylene) และ โพรไพลีน (Propylene) เป็นผลิตภัณฑ์หลัก จากกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ทั้งสอง พบว่าก่อให้เกิดน้ำเสียในอัตราที่สูงมาก คือ ประมาณ 1,240 ลบ.ม/ชั่วโมง โดยน้ำเสียจากฝ่ายผลิตบางส่วน ของโรงงาน จะถูกแยกส่วนที่เป็นน้ำมันออก บางส่วนด้วยการทำให้ล้น(spilling) ก่อนจะถูกรวบรวมมาเก็บไว้ในถังปรับให้เท่า (Equalizing Tank) โรงงานนี้ใช้ระบบบำบัดแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge) ในการบำบัดน้ำเสีย จากการไปเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงาน เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง พบว่า ในบริเวณระบบ บำบัดน้ำเสีย และพื้นที่ใกล้เคียง จะมีกลิ่นของน้ำเสียรุนแรงมาก การเติมอากาศในระบบบำบัด แบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ เป็นการไล่อากาศ (stripping) ทำให้สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ระเหยแยกตัวออกจากน้ำเสีย ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศกับบริเวณนั้นได้ (Engledrecht and Ewing, 1962) จากการที่เคยมีการศึกษาพบว่า สารเหล่านี้ เป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ ด้วย เหตุนี้ ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบปิด จึงน่าจะช่วยแก้ปัญหานี้ได้ และ ระบบถังกรองไร้อากาศ เป็นระบบบำบัดแบบหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจาก เป็นระบบที่ง่ายต่อการ ควบคุม สามารถรับค่าภาระบรรทุกอินทรีย์ได้สูง และนอกจากนี้ ยังได้ก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นผล ผลิตจากระบบบำบัดไปใช้เป็นพลังงานได้ต่อไป

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธเรศ พงษ์สาระนันท์กุล (2540) ได้ศึกษาความสามารถของการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยระบบถังกรองไร้อากาศโดยตัวกลางที่ใช้เป็นพลาสติกที่ลอยน้ำ โดยถังปฏิกรณ์ขนาด เสียผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูงประมาณ 2.5 ม. ภายในบรรจุตัวกลางเม็ดพลาสติกลอยอยู่ครึ่งถังบน มีความสูงของชั้นตัวกลาง 1.25 ม. การป้อนน้ำเสียในการทดลองเป็นแบบไหลขึ้น ทำการทดลอง บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงคิดเป็นค่าซีโอดี 825 , 1650 , 3300 และ 5500 มก./ล. โดยกำหนด เวลาเก็บกักน้ำเท่ากับ 9 ชั่วโมง คิดเป็นค่าภาระบรรทุกอินทรีย์ 2.2 , 4.4 , 8.8 , 10.26 และ 14.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี คิดเป็นร้อยละ 89 , 77 , 71 , 47 และ 33% ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน 82 , 59 , 50 , 48 และ 44 % ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ว่าการใช้ระบบถังไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีค่า ภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำ เมื่อภาระบรรทุกอินทรีย์สูงขึ้นจะมีประสิทธิภาพลดลง โดยเฉพาะที่ความ

เข้มข้นสูงจะมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้พบว่าข้อดีของตัวกรองเม็ดพลาสติกซึ่งช่วยป้องกันตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมาจากระบบด้วย แต่ข้อเสียของตัวกรองดังกล่าว คือ อาจทำให้ระบบอุดตันได้ง่าย

Nel และ คณะ (1984) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีความเป็นกรด (acidic petrochemical effluent) โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี (UASB) พบว่าถังปฏิกรณ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดี เท่ากับ 83% เมื่อใช้เวลาเก็บกัก 1.78 วัน รับภาระบรรทุก 7.255 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน อัตราการเกิดก๊าซเท่ากับ 2.64 ลบ.ม./ลบ.ม.-วัน ประกอบด้วยก๊าซมีเทนมากกว่า 90% นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มภาระบรรทุก จะทำเป็นผลให้ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ลดลงอย่างรวดเร็ว

Canavas - Diaz และ Howelt (1986) ได้ศึกษาขั้นตอนในการเริ่มระบบบำบัด (startup) ของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นฟิล์มตรึงที่มีการไหลลง (anaerobic downflow fixed film percolating reactor) โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานทำเนยในการศึกษา โดยที่ระบบจะทำงานที่ปริมาณ 1/3 ของถังปฏิกรณ์เพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดในการผลิตก๊าซ ที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายมวล (mass transfer) (เมื่อ 2/3 ของจุลินทรีย์ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ในถังปฏิกรณ์ไม่จม) ผลการทดลองพบว่า จะเป็นการลดผลกระทบจากปริมาณกรดไขมัน (VFA) ที่สูงขึ้น และสภาพเป็นกรด ซึ่งเกิดจากการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน (methanogenic) ด้วยวิธีใหม่นี้ จะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเริ่มระบบ เพื่อให้เกิดแบคทีเรียประเภทที่สร้างมีเทน และประเภทที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจน (acetogenic) ในชั้นตัวกลางพลาสติกสั้นลง ระยะเวลาในการเริ่มระบบจะลดลงเหลือประมาณ 35 วัน โดยที่ระบบสามารถรับภาระบรรทุกได้ 8 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน หลังจากเริ่มระบบ 35 วัน

Nel and Britz (1986) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำให้เป็นกลาง (Neutralizing) ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีสภาพเป็นกรด (acidic petrochemical effluent) ก่อนที่จะบำบัดด้วยถังไร้อากาศแบบตรึงชั้นที่มีทิศทางไหลลงของน้ำเสียแบบไหลลง (a downflow anaerobic fixed bed reactor) การทำให้เป็นกลางที่พีเอช ประมาณ 6 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) พบว่าต้องใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) มากกว่า 3 กรัม/ลิตร ซึ่งจะเป็นอันตราย ดังนั้นจึงมีการลดปริมาณการใช้ โซเดียม แล้วเพิ่มปริมาณสารอัลคาไลน์ (alkaline) ชนิดอื่นเข้าไป ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ผลการทดลองพบว่า จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น ในการทดลองขั้นสุดท้ายของการ



ศึกษานี้พบว่า ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีพีเอช 3.95 ภาระบรทุกอินทรีย์เท่ากับ 10.37 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ใช้เวลาเก็บกัก 1.35 วัน และมีประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันได้สูงถึง 94%

Britz และคณะ (1988) ได้ศึกษาปริมาณความต้องการใช้ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ที่ความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่จะมีผลต่อการควบคุมการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบชั้นตรึง ที่มีทิศการไหลของน้ำแบบไหลลง (downflow fixed-bed anaerobic reactor) สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ในการศึกษาขั้นแรกใช้ ยูเรีย จะเป็นแหล่งทดแทนแอมโมเนีย เป็นส่วนที่ให้ไนโตรเจนกับระบบ ในการศึกษาขั้นที่สองพบว่า ความเข้มข้นของฟอสเฟตที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของถังปฏิกรณ์ สามารถลดลงจาก 115 มก./ล. จนกระทั่งถึง 8 มก./ล. ในรูปของ  $PO_4\text{-P}$  โดยไม่พบว่ามีความเข้มข้นฟอสเฟตปนออกมาในน้ำทิ้ง ในการศึกษาขั้นสุดท้าย พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสามารถลดลงจาก 1060 มก./ล.จนกระทั่งถึง 45 มก./ล. ในรูปของ ทีเคเอ็น (TKN) จากการใช้ความเข้มข้นของ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ปริมาณต่ำนี้ ประสิทธิภาพการทำงานของระบบยังคงสามารถลดซีไอดีได้มากกว่า 95%

Macarie และคณะ (1992) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกรดเทอริฟทาลิค (terephthalic acid plant) โดยใช้กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศแบบยูเอเอสบี (UASB) และ แบบชั้นฟิล์มตรึงในตัวกลางแบบหลอดที่มีทิศทางการไหลของน้ำแบบไหลลง (a downflow tubular fixed film reactor) น้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ได้มีการตกตะกอนและ ทำให้เป็นกลางก่อนจะป้อน จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสำหรับถังยูเอเอสบี ที่ภาระบรทุกอินทรีย์ 2.2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ได้เท่ากับ 43.9 % ใช้เวลาเก็บกัก 3.2 วัน และสำหรับถังปฏิกรณ์แบบชั้นฟิล์มตรึง มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดี ได้เท่ากับ 74.9% ที่ภาระบรทุกอินทรีย์ 1.89 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ใช้เวลาเก็บกัก 3.4 วัน จากประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีกว่าของถังปฏิกรณ์ชั้นฟิล์มตรึง สามารถบอกได้ถึงปริมาณวีเอสเอส (VSS) ที่มีมากกว่า และความสามารถทนต่อความเป็นพิษ (toxicity) ที่เกิดจากสารประกอบอะโรมาติกได้ดีกว่า

Jules และ Galze (1992) ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ UASB ที่มีการควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิได้ เพื่อศึกษากระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการบำบัด โดยเพิ่มอุณหภูมิช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic :  $35^{\circ}\text{C}$ ) เป็น 45, 55, 64 และ  $75^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ มีภาระบรทุก COD ประมาณ 47 ก./ล.-วัน จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจากช่วงมีโซฟิลิก ให้สูงขึ้นโดยทันที จะทำให้การผลิตก๊าซมีเทนลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการตายของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (methanogenesis) แต่พบว่าแบคทีเรียเหล่านี้จะเกิดขึ้นใหม่ในระยะเวลา 5

และ 10 วัน เมื่อระดับอุณหภูมิเท่ากับ  $55^{\circ}\text{C}$  และ  $64^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ แต่ที่ระดับอุณหภูมิเท่ากับ  $75^{\circ}\text{C}$  จะเกิดการผลิตของก๊าซมีเทนน้อยมาก อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิสูงที่  $75^{\circ}\text{C}$  ได้ แต่จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ระดับอุณหภูมิช่วงมีโซฟิลิก

Sharma และ คณะ (1994) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จากโรงงานผลิตไดเมททิล เทอริฟทาเลท (Dimethyl terephthalate : DMT) โดยใช้กระบวนการบำบัดไร้อากาศแบบมีตัวกลางสำหรับจุลินทรีย์ยึดเกาะ (Biomass support particles : BSP) พบว่า จะเกิดการย่อยซีโอดี และเกิดก๊าซชีวภาพ หลังจาก มีการเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีให้มากขึ้นอีก 25% และระบบจะกลับสู่สภาวะปกติ ภายในระยะเวลา 25-30 วัน เมื่อระดับความเข้มข้นของ DMT ลดลงจนไม่มีความเป็นพิษ ( non-toxic level) อย่างไรก็ตาม ผลกระทบดังข้างต้นจะเกิดขึ้นอีกครั้ง เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นซีโอดี ให้มากขึ้นอีก 75% ในขณะที่ความเข้มข้นของมวลชีวภาพที่มีเพิ่มขึ้นถึง 7,000 มก./ล. เมื่อมีระยะเวลาการเก็บกักสลัดจ์มากกว่า 200 วัน เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของมวลชีวภาพ 2,000 มก./ล. ในช่วง 8-10 วันแรก ที่เริ่มระบบ ในระบบที่ไม่มีตัวกลาง(BSP) ให้จุลินทรีย์เกาะ พบว่าไม่สามารถทนต่อสภาพความเป็นพิษของฟอร์มอลดีไฮด์ (Formaldehyde) ได้ดีนัก ประมาณ 125 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีชั้นตัวกลาง BSP ซึ่งจะสามารถทนต่อความเป็นพิษของฟอร์มอลดีไฮด์ ได้สูงถึง 375 มก./ล. นอกจากนั้นระบบที่มี BSP จะมีความสามารถในการฟื้นตัว (recover) ได้เร็ว จากสภาวะที่มีความเป็นพิษ โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 15 วัน ซึ่งน้อยกว่าระบบที่ไม่มี BSP จะใช้ระยะเวลาประมาณ 25-30 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบที่มี BSP เป็นประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียประเภท DMT

Borja และ Banks (1995) ทำการศึกษาสมรรถนะในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent) โดยเปรียบเทียบระหว่าง การบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศ (AF) และ การบำบัดด้วย Fluidize bed reactor (FBR) โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิช่วงมีโซฟิลิก (  $35^{\circ}\text{C}$  ) โดยการประเมินวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ซีโอดี , กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ส่วนประกอบของก๊าซและปริมาณก๊าซที่เกิด ตัวกลางยึดเกาะของจุลินทรีย์ในระบบ FBR ใช้ทรายซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-0.5 มม. และใช้ดินเหนียวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 มม. เป็นตัวกลางยึดเกาะในระบบ AF โดยทั้งสองระบบทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 1 ลิตร ระบบ AF ใช้เวลาเริ่มต้นการทำงานของระบบ(start up) 1.5-4.5 วัน ส่วนระบบ FBR ใช้เวลาเริ่มต้นการทำงานของระบบ 6 ชม. หลังจากทีระบบมีความคงตัว พบว่าทั้งสองระบบสามารถลดค่าซีโอดี ได้มากกว่า 90% ที่ระยะเวลาเก็บกัก 6 ชม. โดยให้รับภาระบรรทุกซีโอดี ที่ 10 ก./ล.-วัน แต่เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกให้มากขึ้นพบว่า ระบบ FBR จะมีประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่า แม้จะเพิ่ม

ภาวะบรรทุ กซีไอดีถึง 40 ก./ล.-วัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 6ชม. ระบบ FBR สามารถลดค่าซีไอดีได้ถึง 78% ในขณะที่ระบบ AF ไม่สามารถรับภาวะบรรทุ กซีไอดี ที่เกิน 20 ก./ล.-วัน ได้เนื่องจากเกิดปัญหาการอุดตัน ทั้งสองระบบจะมีสภาพการทำงานใกล้เคียงกันเมื่อรับความเข้มข้นของซีไอดี 1 ก./ล. ในขณะที่เมื่อซีไอดีมากกว่า 2.2 ก./ล. ระบบ AF สามารถกำจัดซีไอดี มากที่สุดได้เท่ากับ 17.0 ก./ล.-วัน ในขณะที่ระบบ FBR รับภาวะบรรทุ กซีไอดีได้ 31.2 ก./ล.-วัน ความแตกต่างดังกล่าวเนื่องมาจากข้อจำกัดในด้านการแพร่ และปริมาณเซลล์ของจุลินทรีย์ที่น้อยกว่าในระบบ AF

ในทั้งสองระบบอัตราการเกิดก๊าซและปริมาณของกรดอินทรีย์ที่เกิด จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นที่เข้าสู่ระบบ การเพิ่มขึ้นของภาวะบรรทุ กหนึ่งเท่าตัว จะทำให้กรดอินทรีย์เกิดขึ้นในปริมาณที่สูงมาก โดยเฉพาะ กรดอะซิติก และกรดโพไฟโอนิก เช่นเดียวกับการเพิ่มของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Kwong และ Fang (1996) ใช้ระบบยูเอเอสบี และถังกรองไร้อากาศ แบบไหลขึ้น โดยทั้ง 2 ถังมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 104 มม. สูง 100 มม. ขนาด 8.5 ลิตร ต่อแบบขนานกันโดยในถังกรองไร้อากาศ บรรจุด้วยตัวกลางพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. พื้นที่ผิวสัมผัส 235 ตร.ม./ลบ.ม. บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงที่มีแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสม และเพิ่มค่าซีไอดีในน้ำเสียจาก 3,000 มก./ลิตร จนถึง 45,000 มก./ลิตร ในรูปของค่าภาวะบรรทุ กสารอินทรีย์ระหว่าง 3 ถึง 90 ก.ซีไอดี/ลิตร-วัน พบว่าทั้งระบบถังกรองไร้อากาศและยูเอเอสบี สามารถกำจัดซีไอดีไปได้ 96.8% และ 96.9% ตามลำดับ ขณะที่ค่าภาวะบรรทุ กสารอินทรีย์ระหว่าง 3 ถึง 10 ก.ซีไอดี/ลิตร-วัน สำหรับค่าภาวะบรรทุ กสารอินทรีย์ตั้งแต่ 10 ถึง 90 ก.ซีไอดี/ลิตร-วัน สามารถกำจัดได้ เท่ากัน คือ 95.3 % แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบี และถังกรองไร้อากาศต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Schonberg และคณะ (1997) ได้ศึกษาความเป็นพิษที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และกระบวนการสร้างมีเทน โดยใช้น้ำเสีย 3 ประเภทของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแห่งหนึ่ง คือ กรดอะคริลิก (acrylic acid) , แอททีลีนออกไซด์ (ethylene oxide) และ น้ำเสียรวมจากส่วนต่างๆของโรงงาน (total waste) โดยน้ำเสียแต่ละประเภทจะมีส่วนประกอบ และความเข้มข้นของสารต่างๆแตกต่างกันไป จากการบำบัดด้วยวิธีไร้อากาศ พบว่า เมื่อใช้น้ำเสียประเภทน้ำเสียรวมจากส่วนต่างๆของโรงงาน จะเกิดไม่เกิดการยับยั้ง (inhibition) ต่อการย่อยของจุลินทรีย์ที่ไม่คุ้นเคยกับน้ำเสีย (unacclimated culture) ที่ความเข้มข้นที่ไอซี ประมาณ 250 มก./ล. แต่จะเกิดการยับยั้งที่ค่าความเข้มข้นที่ไอซีประมาณ 450 มก./ล. สำหรับน้ำเสียประเภทอะคริลิก จะเกิดการยับยั้งการย่อยของจุลินทรีย์ที่ไม่มีความคุ้นเคยกับน้ำเสีย เมื่อความเข้มข้นที่ไอซี 269 มก./ล. แต่สำหรับ

จุลินทรีย์ที่มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียประเภทนี้ จะเกิดการยับยั้งเมื่อความเข้มข้น ทีโอซีเท่ากับ 643 มก./ล.

Fajardo และคณะ (1997) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบอินทรีย์ ที่มีผลต่อการยับยั้ง (inhibition) การทำงานของจุลินทรีย์ในการบำบัดแบบไร้อากาศในถังย่อย (digester) สำหรับบำบัดน้ำเสียจากการผลิตกรดเทอริฟทริก (purified terephthalic acid : PTA) และ ไดเมททิว เทอริฟทาเลท (dimethylterephthalate : DMT) จากการศึกษาพบว่า การทำงานของแบคทีเรียจำพวก hydrogenotrophic methanogenic จะลดลง 50% เมื่อความเข้มข้นของ 4 - carboxybenzaldehyde (4-CBA) , p-toluic (P-tol) และ terephthalic (TA) เท่ากับ 5.4 ,34 และ มากกว่า 100 มิลลิโมล ตามลำดับ และในการทดลองที่มีความเข้มข้นสูงสุด (10 มิลลิโมล) ของสารประกอบเดียวกันนี้ พบว่า การทำงานของแบคทีเรียจำพวก acetoclastic metanogenic จะลดลง 12%

Garcia-Calderon และ คณะ (1998) ได้ศึกษาถึงผลของการสะสมตัวของมวลชีวภาพ (Biomass) ที่เกิดขึ้นจากการบำบัดไร้อากาศในถังปฏิกรณ์ชั้นฟลูอิดไดซ์ แบบไหลลง ( down-flow anaerobic fluidized bed reactor) โดยในการทดลองได้ใช้ถังปฏิกรณ์มีปริมาณ 5 ลิตร สูง 1 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.08 เมตร ใช้ตัวกลางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.966 มิลลิเมตร ผลจากการทดลองที่อัตราการไหลค่าต่างๆ และได้ค่าพารามิเตอร์การขยายตัวของชั้นตัวกลาง ที่ค่าต่างๆ ทำให้ได้ค่าความหนาของชั้นของมวลชีวภาพ ที่จะใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบพิจารณา ผลความแตกต่างของแบบจำลองที่เป็นการไหลขึ้น(upflow) และการไหลลง (downflow)

Garcia-Calderon และ คณะ (1998) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทำไวน์ โดยใช้ระบบไร้อากาศแบบฟลูอิดไดซ์แบบไหลลง ( down-flow fluidized bed) โดยใช้ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลว ซึ่งเป็นการดัดแปลงจากระบบฟลูอิดไดซ์ที่มีอยู่ทั่วไป ตัวกลางที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.968 มิลลิเมตร มีความหนาแน่น 280 กก./ลบ.ม. ใช้อัตราไหลต่ำสุดที่ 2.3 ม./ชม. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จะลดลงเวลาเก็บกัก (HRT) จาก 3.3 วัน เป็น 1.3 วัน เมื่อความเข้มข้นของทีโอซี (TOC)ไว้ ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการลด ทีโอซีได้ 85% ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์ 4.5กก.ทีโอซี/ลบ.ม.-วัน ประโยชน์หลักๆของระบบนี้คือ ใช้พลังงานน้อย เพราะว่าการอัตราไหลต่ำ เพื่อให้เกิดการฟลูอิดไดซ์ ไม่ต้องมีอุปกรณ์สำหรับการตกตะกอน เนื่องจากการสะสม

ตัวที่บริเวณก้นถึง ทำให้การระบายน้ำทิ้งทำได้ง่าย และเมื่อชิ้นตัวกลางมีความหนาแน่นมากกว่า 1,000 กก./ลบ.ม. ก็สามารถฟื้นตัว (recover) ได้ง่าย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 แผนการทดลอง

การทดลองทั้งหมดกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองศึกษาโดยใช้แบบจำลองถังกรองไร้อากาศจำนวน 2 ถังกรองไร้อากาศถัง ที่มีลักษณะเหมือนกัน และในถังกรองไร้อากาศแต่ละถัง ทำการทดลองจำนวน 4 ชุดทดลอง โดยดำเนินการทดลองไปตามค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ แต่ละชุดทดลองใช้เวลาในการทดลองประมาณ 40 วัน หรือจนกว่าระบบคงตัว (steady state) ซึ่งมีตัวแปรเปลี่ยนอิสระที่ทำการศึกษามีตัวแปรเดียว คือ อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (organic loading rate) โดยจะแปรเปลี่ยนในรูปแบบของอัตราการป้อนน้ำเสีย ที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง มีค่าประมาณ 1,500 มก.ซีไอดี/ลิตร

ตารางที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 โดยการเปลี่ยนอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ ดังนี้

ค่าการระบรทุกอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ค่าประมาณความเข้มข้น สารอินทรีย์ในน้ำเสีย (มก.ซีไอดี/ลิตร)	อัตราการป้อนน้ำ เสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)
0.76	1,500	4	1.96
1.15	1,500	6	1.31
1.53	1,500	8	0.98
2.29	1,500	12	0.65

**ตารางที่ 3.2** การเปลี่ยนแปลงค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ในถังกรองไร้อากาศถังที่2 โดยการเปลี่ยนอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ ดังนี้

ค่าการระบรทุกอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ค่าประมาณความเข้มข้น สารอินทรีย์ในน้ำเสีย (มก.ซีไอดี/ลิตร)	อัตราการป้อนน้ำ เสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)
1.15	1,500	6	1.31
1.91	1,500	10	0.79
2.68	1,500	14	0.56
3.44	1,500	18	0.44

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.2.1 ถังกรองไร้อากาศ

ตัวถังกรองทำด้วยท่ออะคริลิกใส ทรงกระบอกสูง 100 ซม. มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. พื้นที่หน้าตัด 78.54 ตร.ซม. มีปริมาตรประมาณ 7.85 ลิตร ดังแสดงในภาพที่ 3.2

#### 3.2.2 ตัวกลางภายในถังกรอง

ตัวกลางที่ใช้ในการวิจัยเป็นพลาสติกที่ผลิตจากโพลีโพรไพลีน (Polypropylene) มีลักษณะเป็นวงแหวน ดังแสดงในภาพที่ 3.3 บรรจุภายในถังกรองโดยมีความหนาของชั้นตัวกลางเท่ากับ 100 ซม. ลักษณะตัวกลางของตัวกลางพลาสติกที่ใช้ มีลักษณะดังนี้

- |  |       |             |
|--|-------|-------------|
| 1. เส้นผ่านศูนย์กลาง                     | 65.00 | มิลลิเมตร   |
| 2. ความสูง                               | 22.00 | มิลลิเมตร   |
| 3. เปอร์เซนต์ช่องว่างในหนึ่งหน่วยปริมาตร | 95%   |             |
| 4. พื้นที่ผิว                            | 187   | ตร.ม./ลบ.ม. |
| 5. น้ำหนัก                               | 45    | กก./ลบ.ม.   |

### 3.2.3 ถังเก็บน้ำเสียและน้ำทิ้ง

เป็นถังพลาสติกขนาดประมาณ 20 ลิตร ใช้ในการพักน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ก่อนป้อนเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ และรับน้ำทิ้งซึ่งผ่านถังกรองไร้อากาศ

### 3.2.4 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ

น้ำเสียถูกสูบเข้าถังกรองไร้อากาศทางด้านล่าง และไหลออกทางด้านบนของถัง โดยทำงานในลักษณะไหลต่อเนื่อง เครื่องสูบน้ำที่ใช้เป็นแบบรีดสาย (Peristaltic pump)

### 3.2.5 ถังเก็บก๊าซ

เป็นถังเก็บก๊าซโดยการแทนที่น้ำด้วยก๊าซ

## 3.3 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางที่ใช้ในการทดลอง

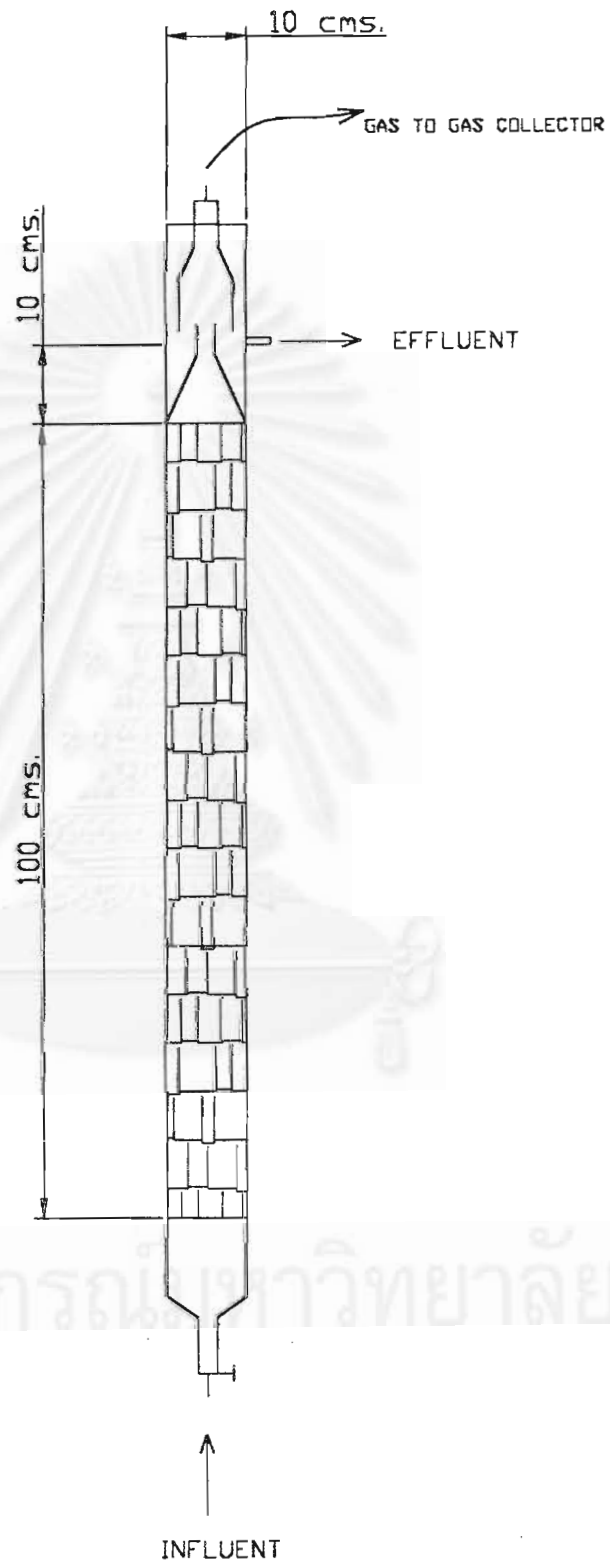
น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ เป็นน้ำเสียที่นำมาจากโรงงานปิโตรเคมีแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางเก็บน้ำเสีย ที่อุณหภูมิ 4 °C คุณสมบัติของน้ำเสียประเภทนี้ โดยทั่วไปมีลักษณะดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

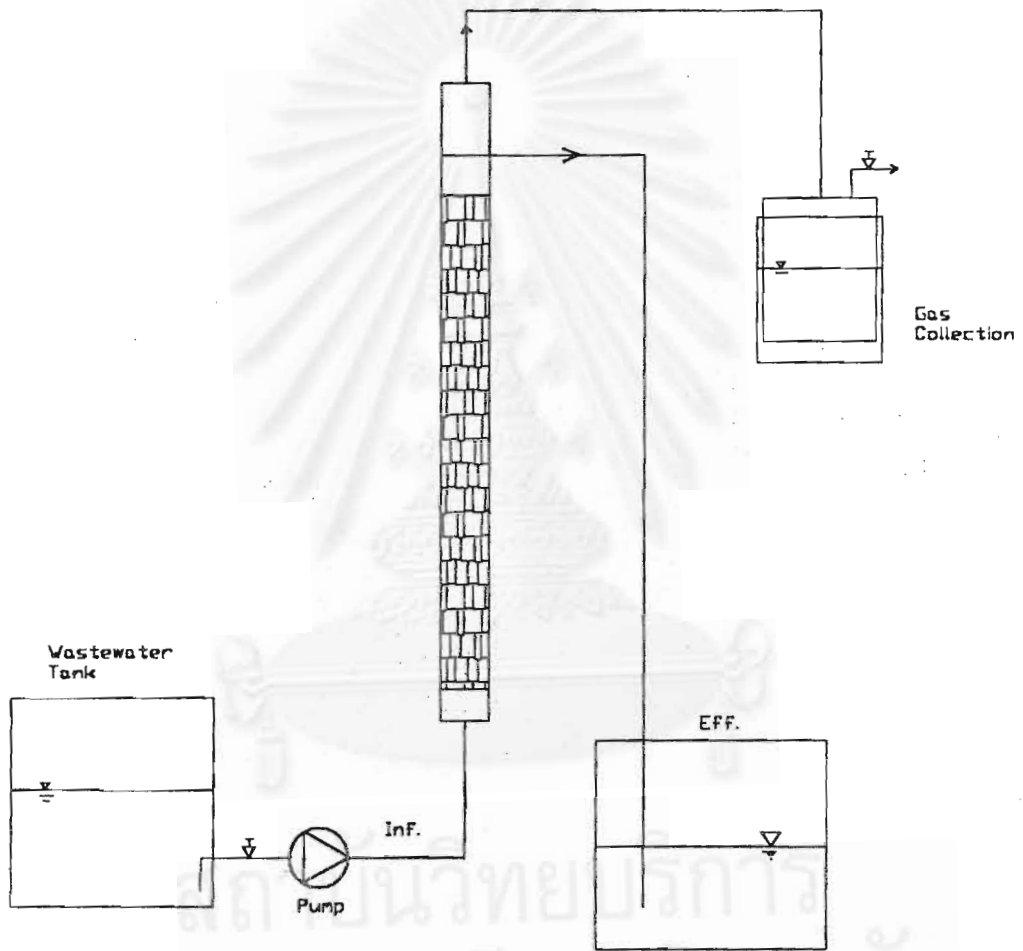
พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	เฉลี่ย
พีเอช ; pH	4.3 ~ 5.2	4.1
ซีไอดีทั้งหมด ; TCOD(mg/l)	4,120 ~ 4,950	4,580
บีไอดี <sub>5</sub> ; BOD <sub>5</sub> (mg/l)	1,150 ~ 1,360	1,200
ไนโตรเจนทั้งหมด ; TN (mg/l)	20 ~ 25	22.5
ฟอสเฟตทั้งหมด ; TP (mg/l)	7 ~ 10	8.5
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ; TSS (mg/l)	41 ~ 83	62
แมงกานีส ; Mn (mg/l)	18 ~ 22	20
โคบอล ; Co (mg/l)	7 ~ 9	8

ที่มา : T.J. Park และ คณะ (1996)

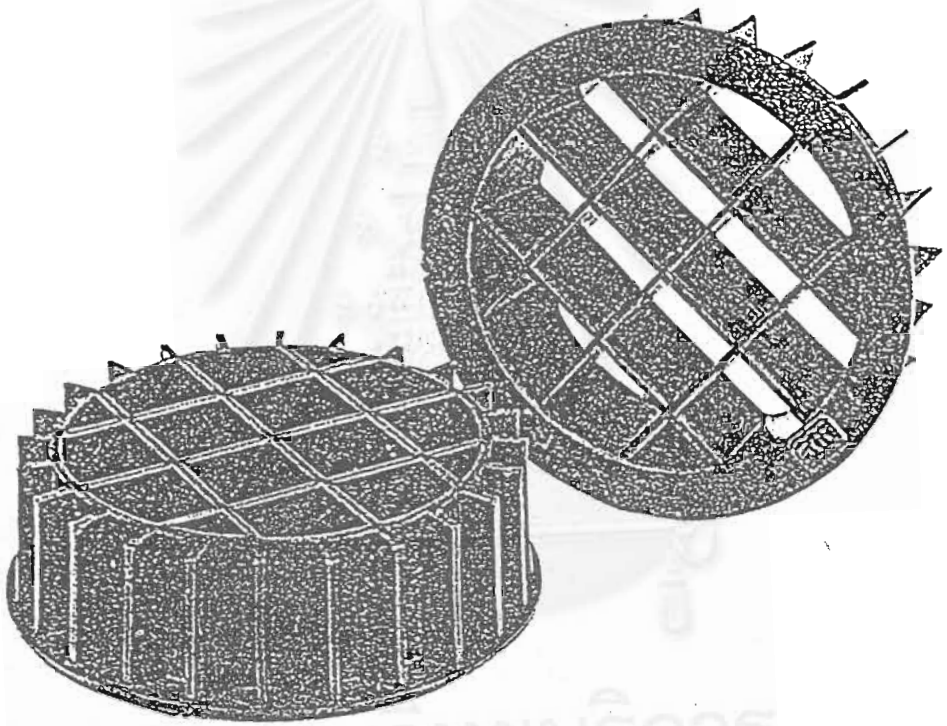




ภาพที่ 3.1 รูปแสดงขนาดของถังกรองไร้อากาศ



ภาพที่ 3.2 รูปแสดง Flow Diagram ของถังกรองไว้อากาศ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3.3 ตัวกลางพลาสติกที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศ

### 3.4 การดำเนินการทดลอง

เริ่มต้นด้วยการประกอบแบบจำลองถังกรองไร้อากาศ ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งตัวถังกรองไร้อากาศ ใช้เป็นท่ออะคริลิกใส ขนาดเท่ากันจำนวน 2 ถัง การเริ่มต้นระบบ (Start up) ทำโดยเติมหัวเชื้อ (seed) ที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบีของบริษัท บุญรอดเบอร์เวอรี่ จำกัด เติมลงในถังกรอง แล้วป้อนน้ำเสียสังเคราะห์จนระบบมีความคงตัว (steady) หลังจากนั้นจึงเริ่มเปลี่ยนมาใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์ และลดปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ลดเรื่อยๆ จนกระทั่งใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเพียงอย่างเดียว โดยเริ่มป้อนด้วยภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำที่ความเข้มข้น 0.76 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และ 1.15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เพื่อให้หัวเชื้อ เกิดความคุ้นเคยกับน้ำเสีย หลังจากทีระบบมีความคงตัวจึงเปลี่ยนภาระบรรทุก ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

### 3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ ในถังเก็บน้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ ถัง และในถังเก็บน้ำทิ้ง ของทั้งสองถังกรองไร้อากาศ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์

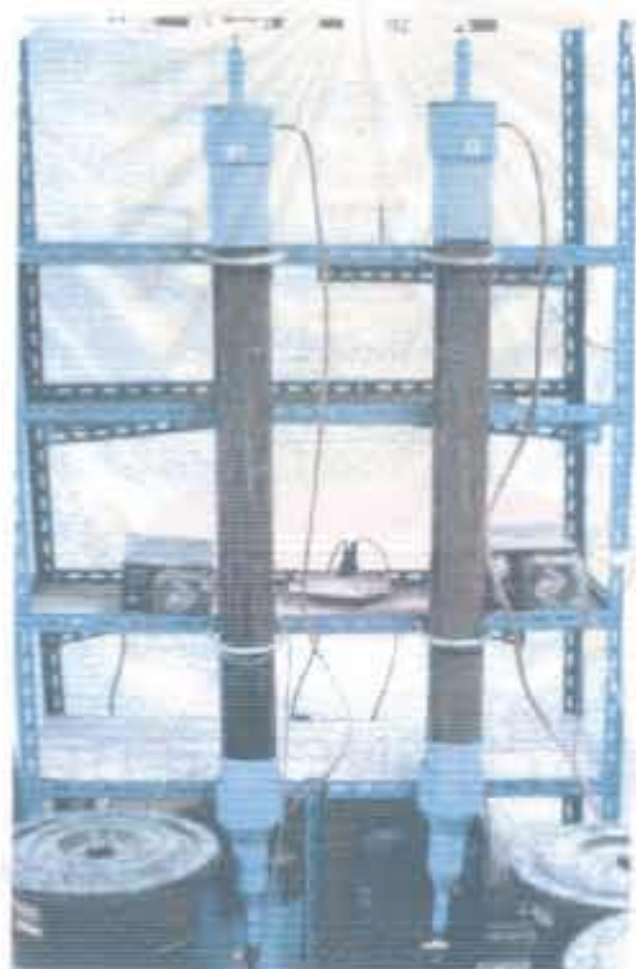
ค่าแปรเปลี่ยนตาม	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
ซีโอดีทั้งหมด (Total COD)	A	A
อุณหภูมิ (Temperature)	A	A
พีเอช (pH)	A	A
ไขมันและน้ำมัน (Oil & Grease)	B	B
ค่าโออาร์พี (ORP)	-	B
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume)	-	B

หมายเหตุ A หมายถึง ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง

B หมายถึง ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

### 3.6 วิธีที่ใช้วิเคราะห์

- |                      |                                     |
|----------------------|-------------------------------------|
| 1. ซีโอดี            | : Closed Reflux, Titrimetric Method |
| 2. พีเอช             | : ใช้เครื่องวัดพีเอช                |
| 3. ไอออนพีพี         | : ใช้เครื่องวัดไอออนพีพี            |
| 4. ปริมาณก๊าซ        | : ใช้วิธีวัดแบบแทนที่น้ำ            |
| 5. ไนโตรเจนและน้ำมัน | : Standard Method                   |



ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ของถังกรองน้ำอากาศ

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการดำเนินการวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้ ใช้ถึงปฏิกรณ์ สำหรับทำการศึกษาระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศ จำนวน 2 ชุด มีปริมาตรเท่ากัน คือ 7.8 ลิตร การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง แสดงดังในภาพที่ 3.4 เริ่มการทดลองโดยใช้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีของบริษัท บุญรอดเบอร์เวอรี่ จำกัด นำมาเป็นเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นของระบบถังกรองไร้อากาศ ในระยะแรกของการเริ่มระบบ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ มีค่าซีโอดี ประมาณ 1,000 มก./ลิตร บ้อนให้แก่ระบบ โดยเริ่มบ้อนน้ำเสียสังเคราะห์จากอัตราการใช้ 5 ลิตร/วัน และเพิ่มอัตราการใช้จนถึง 10 ลิตร/วัน ซึ่งคิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้เท่ากับ 0.64 และ 1.28 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว การศึกษาสภาวะคงตัว (Steady state) ของระบบ ศึกษาได้จากผลทดลองที่มี ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งคงที่ และเกิดการผลิตก๊าซที่มีปริมาณสม่ำเสมอ ระยะเวลาใช้ประมาณ 3 เดือน จากนั้นจึงเริ่มใช้น้ำเสียจริง จากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง ผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเริ่มที่อัตราส่วน 1:4 และเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณน้ำเสียจริงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งใช้น้ำเสียจริงทั้งหมดบ้อนให้แก่ระบบ ช่วงเวลาการเปลี่ยนจากน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นน้ำเสียจริงนี้ ใช้ระยะเวลา 1 เดือน

จากการทดลอง พบว่า เมื่อเริ่มมีการผสมน้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางลงไป ปริมาณก๊าซที่เกิดจะเริ่มลดลง และเกิดขึ้นน้อยมาก จนไม่สามารถวัดได้เมื่อเปลี่ยนเป็นน้ำเสียจริงทั้งหมด การทดลองได้แบ่งถึงปฏิกรณ์ ออกเป็น 2 ชุดการทดลอง โดยเริ่มบ้อนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง เท่ากับ 4 และ 6 ลิตร/วัน ให้กับถังกรองไร้อากาศถึงที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากนั้นเก็บข้อมูล และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จะเพิ่มอัตราการใช้บ้อนน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ข้อจำกัดในการทดลองครั้งนี้ คือ การใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางมีการแปรเปลี่ยนของคุณสมบัติน้ำเสีย และมีปริมาณจำกัด จึงไม่สามารถเพิ่มอัตราการใช้บ้อนน้ำเสียให้มีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ให้มีค่าเพิ่มขึ้นได้ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 สรุปชุดการทดลองที่ 1 (ถังกรองไร้อากาศถังที่ 1)

การทดลอง ที่	อัตราการป้อน น้ำเสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นซีโอดี ของน้ำเสีย (มก./ล)	อัตราภาระบรรทุกสาร อินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)
1	4	46.8	1130	0.58
2	6	31.2	1130	0.87
3	8	23.4	650	0.67
4	12	15.6	620	0.95
5	12.5	15.0	750	1.20

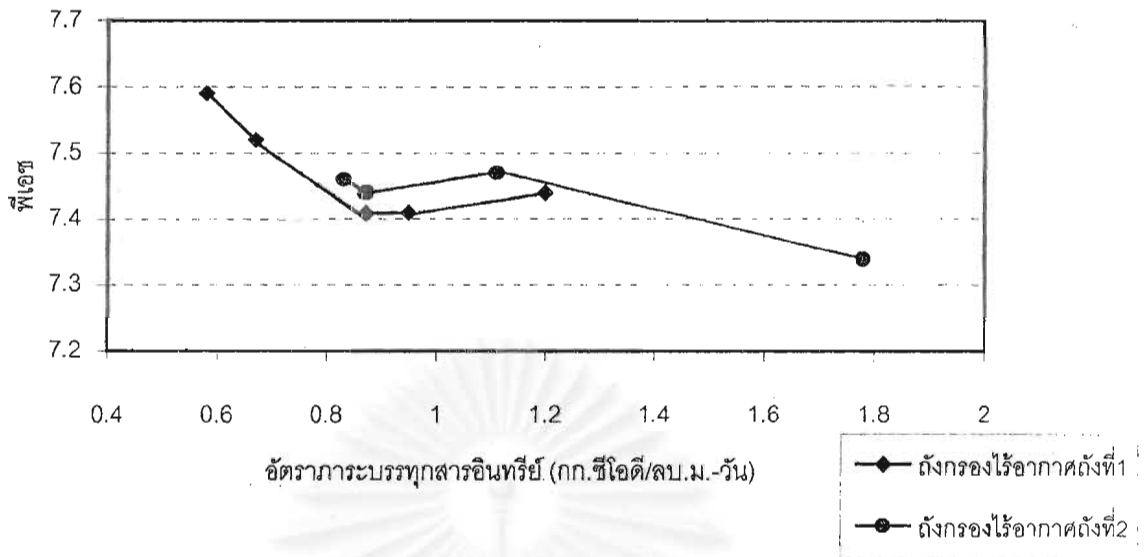
ตารางที่ 4.2 สรุปชุดการทดลองที่ 2 (ถังกรองไร้อากาศถังที่ 2)

การทดลอง ที่	อัตราการป้อน น้ำเสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นซีโอดี ของน้ำเสีย (มก./ล)	อัตราภาระบรรทุกสาร อินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)
1	6	31.2	1130	0.87
2	10	18.7	1130	0.83
3	14	13.4	620	1.11
4	18.5	10.1	750	1.78

#### 4.1.1 ผลการทดลองของถังกรองไร้อากาศ

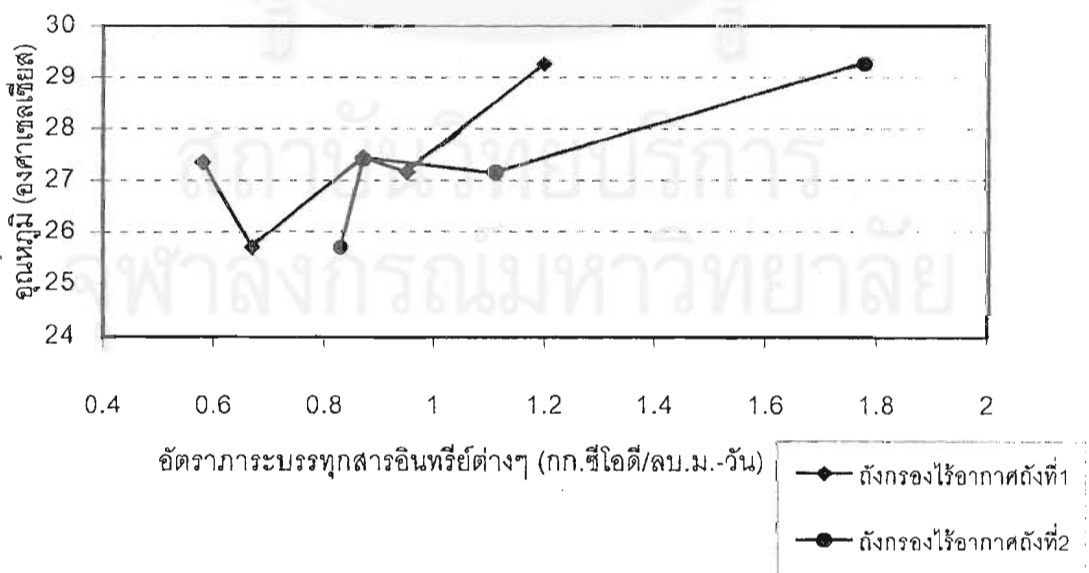
ผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆดังในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ได้แสดงไว้ในตาราง ก.1 – ก.9 ตามลำดับ ในภาคผนวก ก. จากผลการทดลองของพารามิเตอร์ต่างๆ จะแสดงการทำงานของถังกรองไร้อากาศ ดังนี้

ค่าพีเอชในน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.58 0.87 0.67 0.95 และ 1.20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 7.59 7.41 7.52 7.41 และ 7.44 ตามลำดับ สำหรับถังกรองใบที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.87 0.83 1.11 และ 1.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 7.44 7.46 7.47 และ 7.34 ตามลำดับ จะพบว่า ค่าพีเอชของถังกรองไร้อากาศทั้งสองถังมีค่าใกล้เคียงกัน และมีช่วงของการเปลี่ยนน้อย เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ คือ อยู่ระหว่าง 7.3-7.6 ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยพีเอชที่อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ต่างๆ

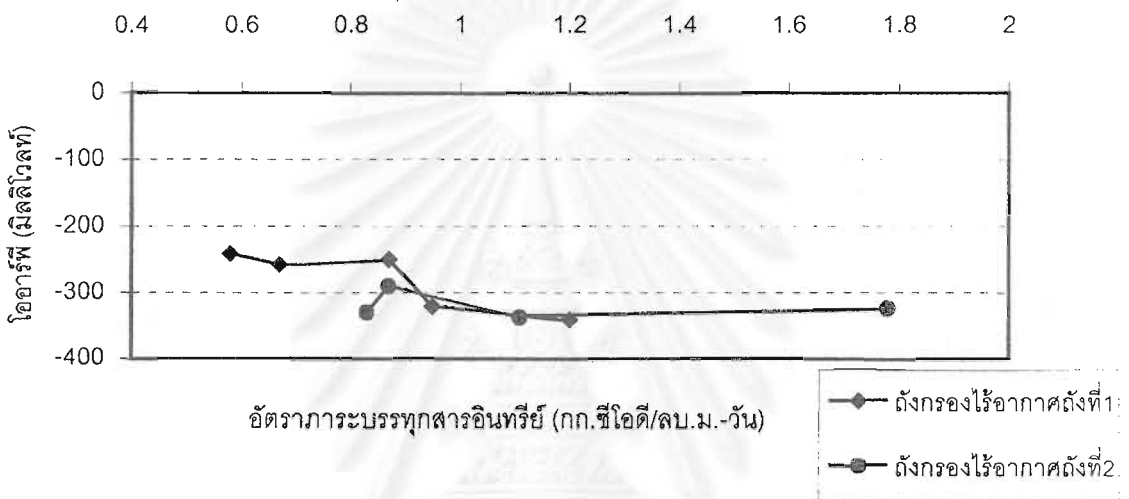
ค่าอุณหภูมิในน้ำทิ้งของดั่งกรองไว้อากาศดังที่1 ที่อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.58 0.87 0.67 0.95 และ 1.20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 27.35 27.44 25.69 27.16 และ 29.25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับดั่งกรองใบที่ 2 ที่อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.87 0.83 1.11 และ 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 27.40 25.69 27.16 และ 29.25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิของน้ำทิ้งจากดั่งกรองทั้งสองดังจะมีค่าเท่ากัน และมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิห้องขณะทำการทดลอง



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ต่างๆ

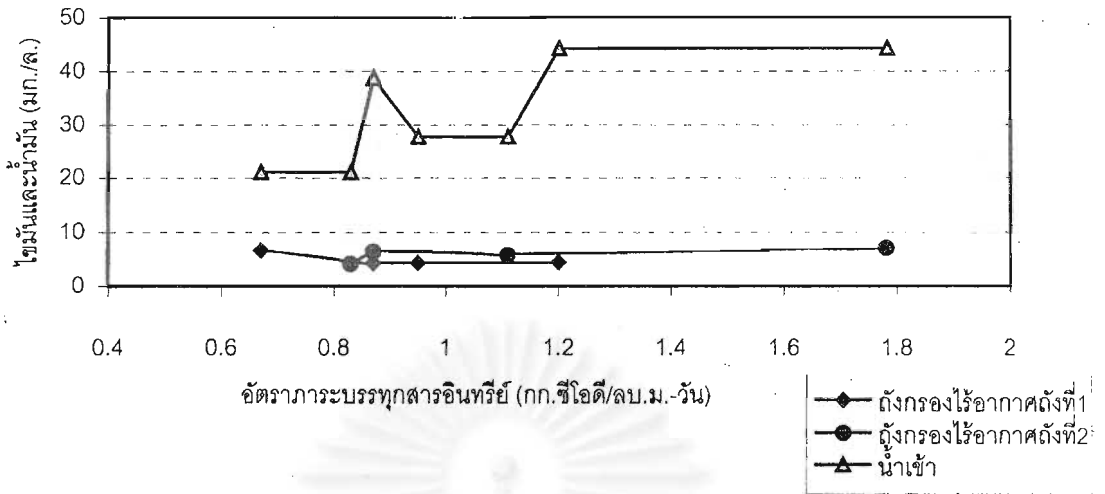


ค่าไออาร์พีในน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.58 0.87 0.67 0.95 และ 1.20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ -242 -250 -258 -320 และ -341 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ สำหรับถังกรองใบที่ 2 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.87 0.83 1.11 และ 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ -290 -329 -337 และ -323 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ พบว่าค่าไออาร์พีมีค่าสูงที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่ำในถังกรองที่ 1 และในระยะแรกของการเริ่มระบบบำบัดแบบไร้อากาศ



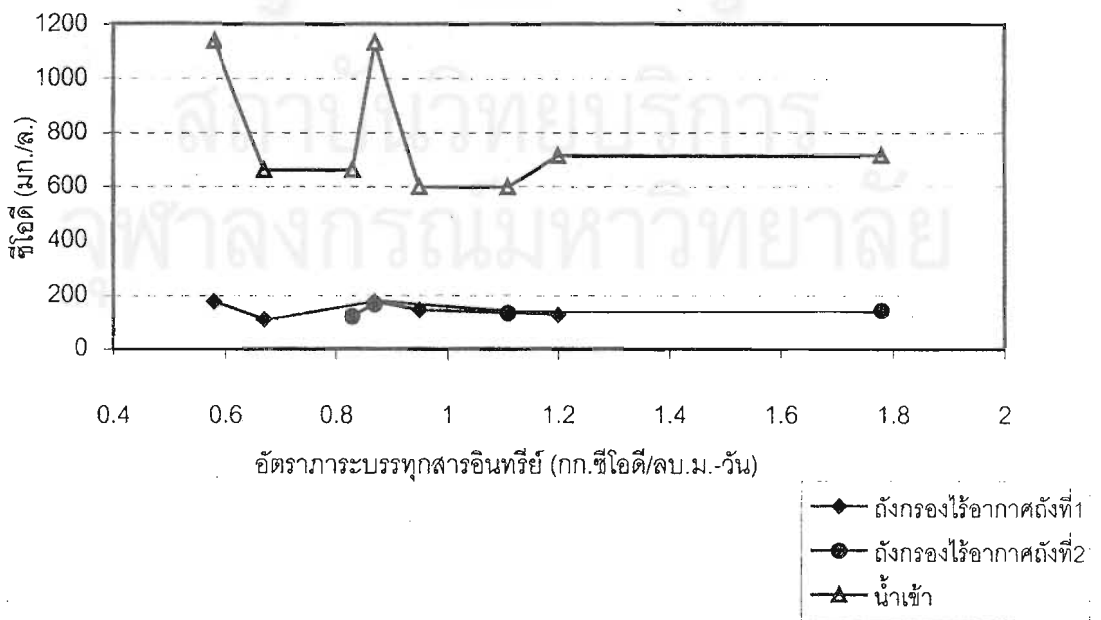
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยค่าไออาร์พีที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

ค่าไขมันและน้ำมัน (Grease & Oil) ในน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.87 0.67 0.95 และ 1.20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 4.5 6.69 4.38 และ 4.5 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับถังกรองใบที่ 2 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.87 0.83 1.11 และ 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 6.56 4.35 5.88 และ 4.5 มก./ล. ตามลำดับ

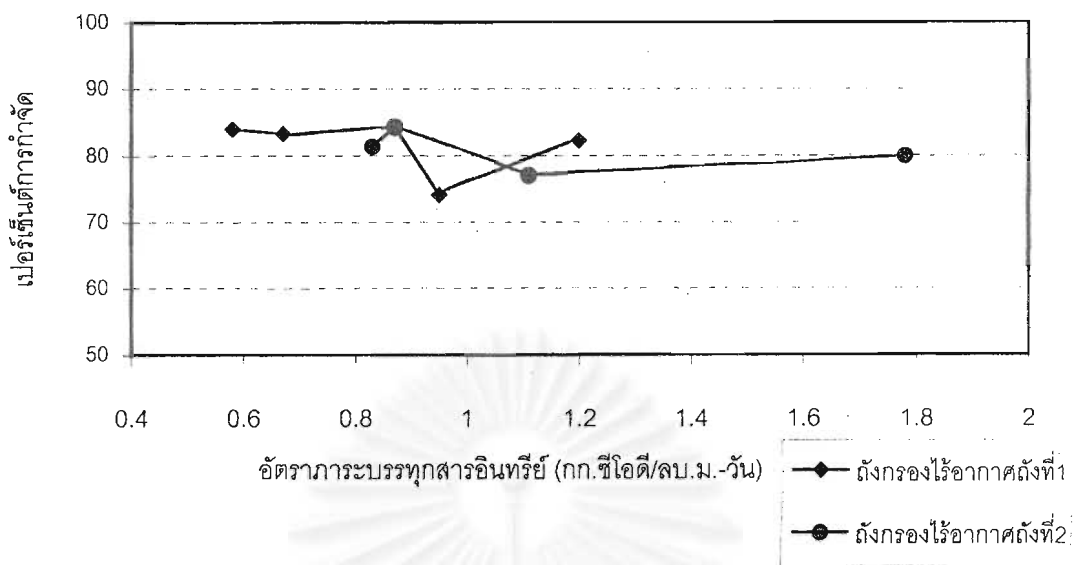


ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 ที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.58 0.87 0.67 0.95 และ 1.20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีเท่ากับ 178 177 112 149 และ 129 มก./ล. ตามลำดับ และ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 84.03% 84.35% 83.31% 74.17% และ 82.31% ตามลำดับ สำหรับถังกรองถังที่ 2 ที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.87 0.83 1.11 และ 1.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีเท่ากับ 170 124 236 และ 146 มก./ล. ตามลำดับ และ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 84.47% 81.45% 76.55% และ 79.96% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และ 4.6



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

ปริมาณก๊าซที่เกิดจากถังกรองไร้อากาศ พบว่า ในระยะแรกที่เริ่มต้นระบบ (Start up) ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์บ้อนเข้าถังกรองไร้อากาศ จะเกิดก๊าซขึ้น แต่เมื่อเริ่มบ้อนน้ำเสียจริงผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาณก๊าซ ที่เกิดจะเริ่มลดลง และเกิดก๊าซขึ้นน้อยมากจนไม่สามารถวัดได้ หรือ อาจจะไม่เกิดขึ้นเลย เมื่อบ้อนน้ำเสียจริง

#### 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ของถังกรองไร้อากาศ

##### 4.2.1 ค่าพีเอช

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าเฉลี่ยค่าพีเอชในน้ำทิ้งจากทั้งสองถังปฏิกรณ์ มีค่าใกล้เคียงกัน มีความแปรเปลี่ยนน้อยมาก คือ จะอยู่ในระหว่าง 7.3-7.6 ซึ่งก็เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียในระบบ บำบัดแบบไร้อากาศ ค่าของพีเอชน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทางที่นำมาใช้จะมีค่าไม่เท่ากัน ในการเก็บตัวอย่างมาใช้ในแต่ละครั้ง จึงทำให้เป็นการยากที่ใช้ค่าพีเอชในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มภาระบำบัดทุกสารอินทรีย์ให้แก่ระบบ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าพีเอชของน้ำเสียที่บ้อนก็อยู่ในช่วงที่แตกต่างกันไม่มากนัก คือ อยู่ในช่วง 6.7-7.2 ซึ่งไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของถังกรองไร้อากาศแต่อย่างใด จากค่าพีเอชในน้ำทิ้งของถังไร้อากาศทั้งสอง พอจะได้กล่าวว่า การเพิ่มค่าภาระบำบัดทุกสารอินทรีย์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง ในช่วง 0.58 – 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลง

ค่าพีเอชในถังกรองน้อยมาก การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ แสดงไว้ในภาพที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยพีเอชของถังกรองไร้อากาศ

อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการป้อนน้ำเสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	พีเอช	
			น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
ถังปฏิกรณ์ 1				
0.58	4	46.8	6.87	7.59
0.87	6	31.2	6.85	7.41
0.67	8	23.4	7.17	7.52
0.95	12	15.6	7.1	7.41
1.20	12.5	15.0	6.75	7.44
ถังปฏิกรณ์ 2				
0.87	6	31.2	6.87	7.44
0.83	10	18.7	7.17	7.46
1.11	14	13.4	7.1	7.47
1.78	18.5	10.1	6.79	7.34

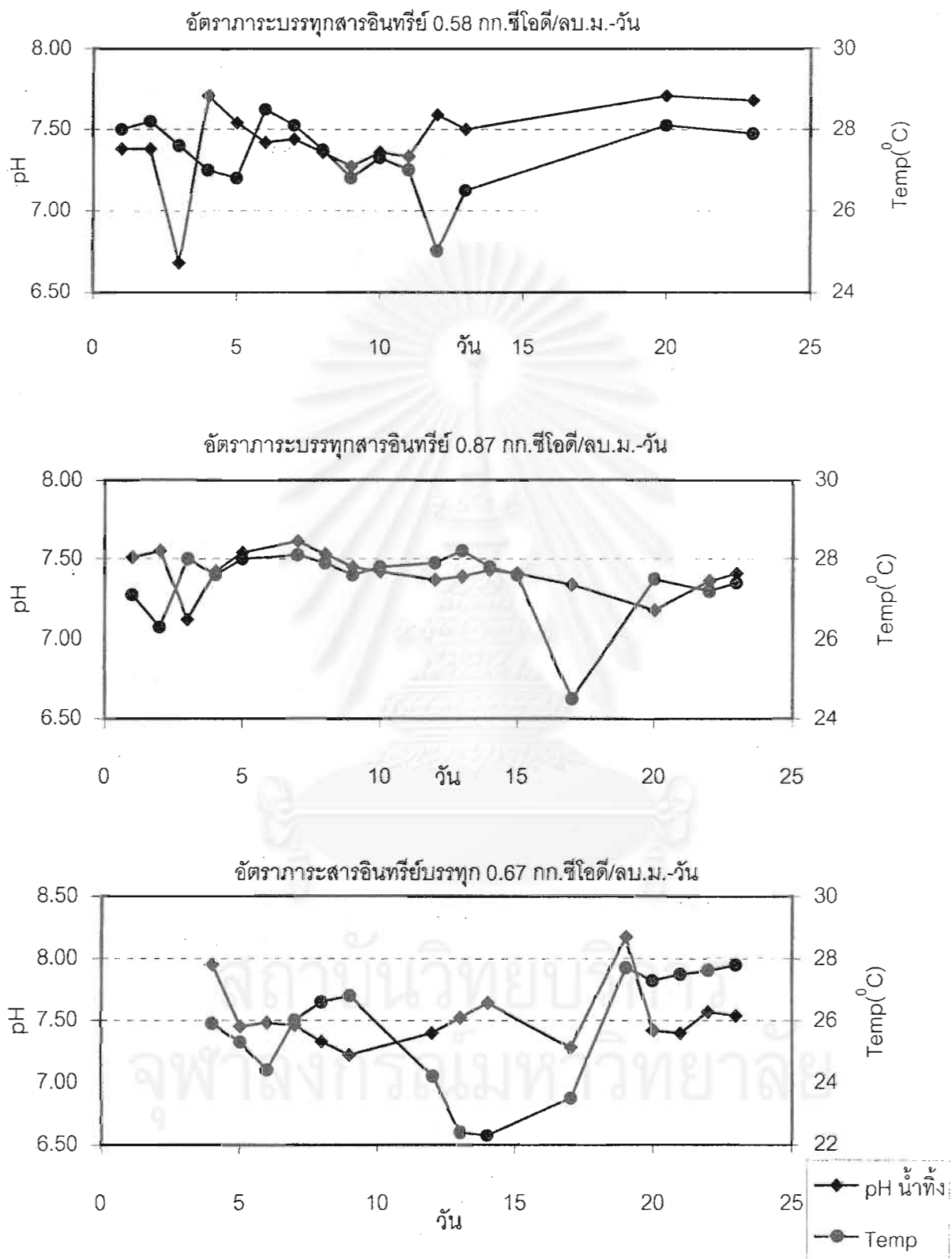
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.2 อุณหภูมิ

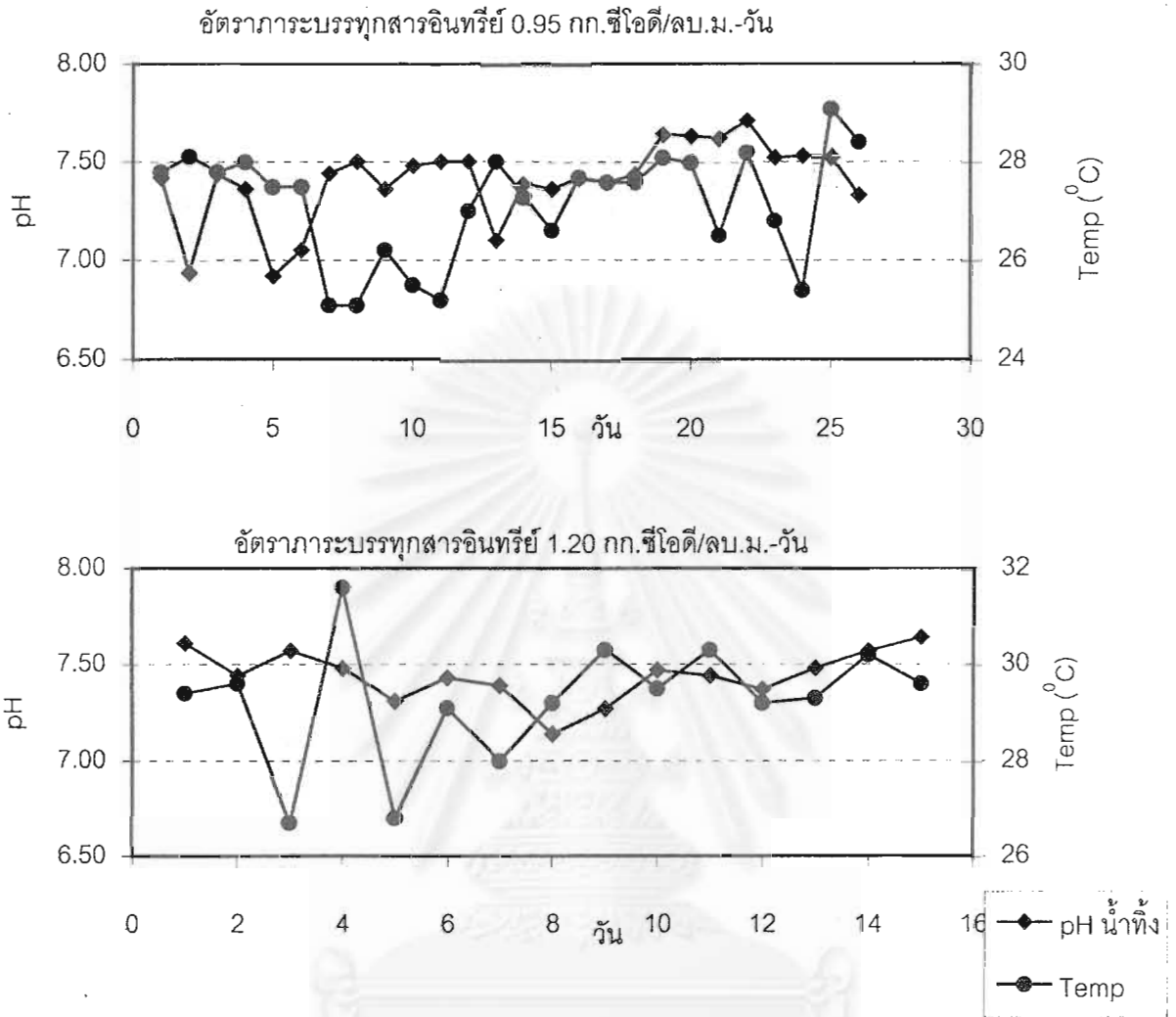
จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในน้ำทิ้ง จากถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 25 – 30 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศ จะแปรผันตามอุณหภูมิห้องขณะทดลองและตามฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ จะแสดงไว้ในภาพที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของถังกรองไร้อากาศ

อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการป้อนน้ำเสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)	อุณหภูมิของน้ำทิ้ง (องศาเซลเซียส)
ถังปฏิกรณ์ 1			
0.58	4	46.8	27.35
0.87	6	31.2	27.44
0.67	8	23.4	25.69
0.95	12	15.6	27.16
1.20	12.5	15.0	29.25
ถังปฏิกรณ์ 2			
0.87	6	31.2	27.4
0.83	10	18.7	25.69
1.11	14	13.4	27.16
1.78	18.5	10.1	29.25



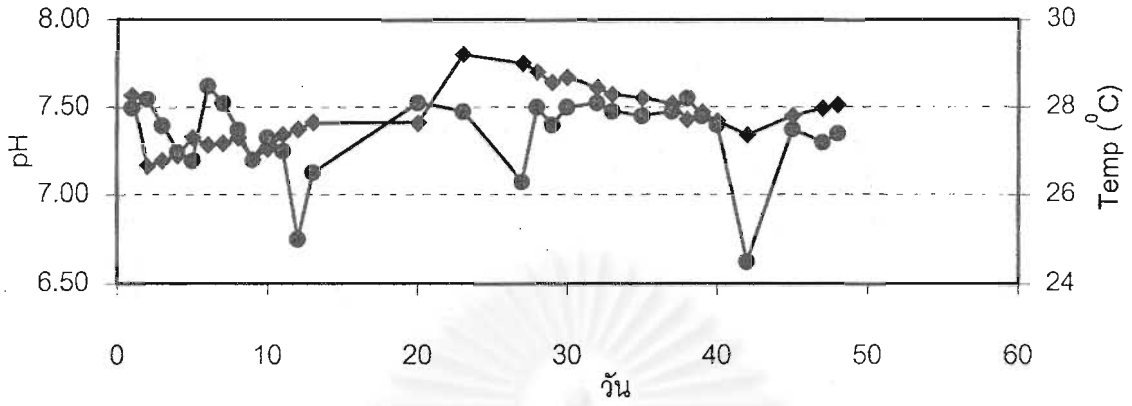
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิ ที่ค่าอัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศที่ 1



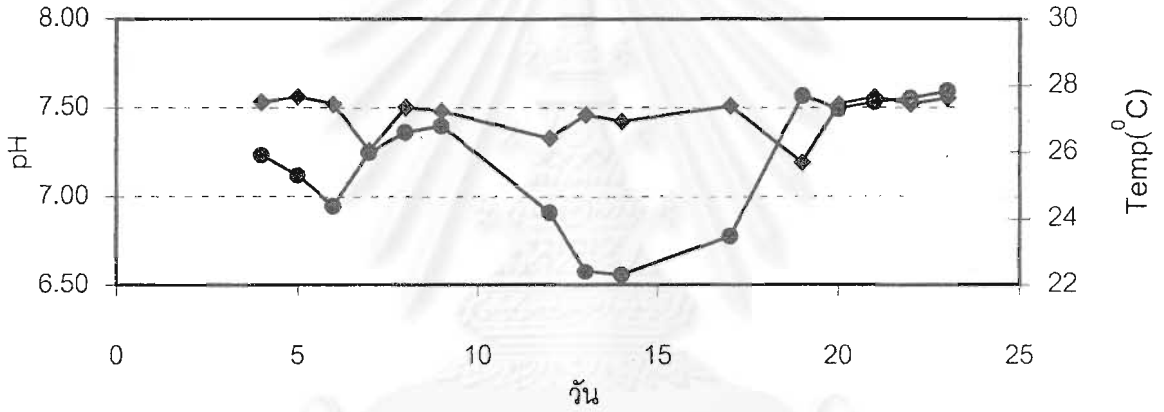
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิ ที่ค่าอัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศที่ 1 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

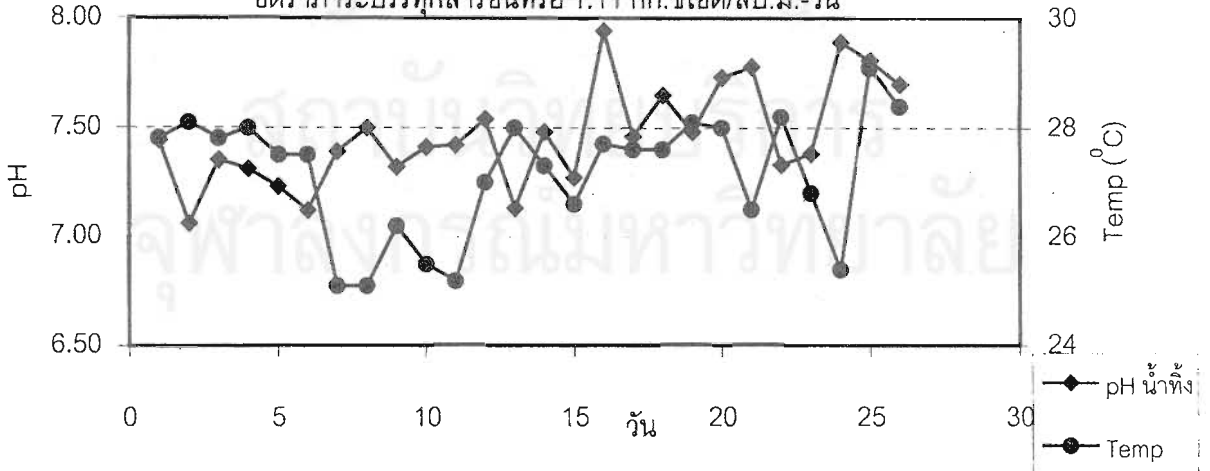
อัตราภาระบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.87 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



อัตราภาระบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

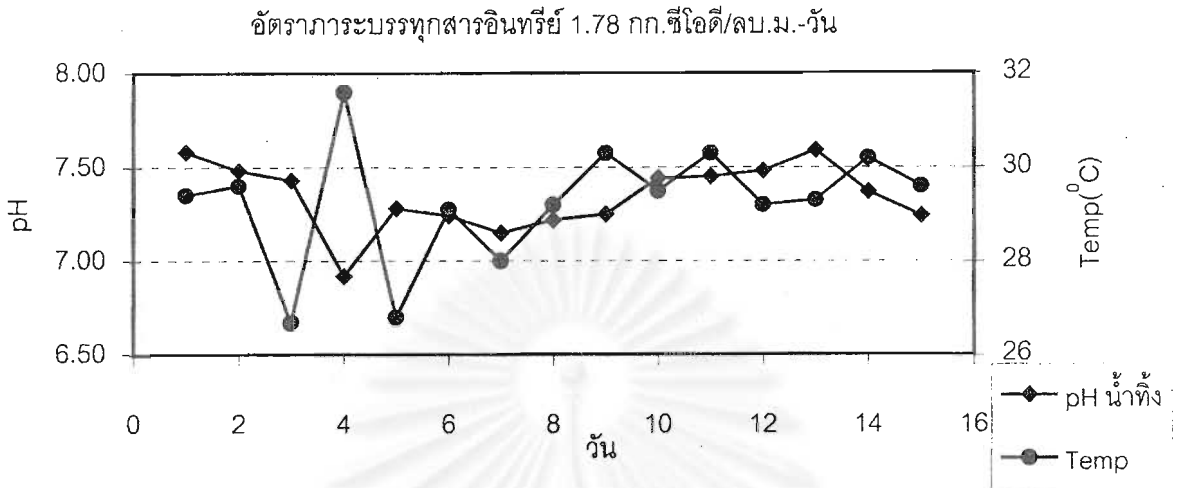


อัตราภาระบรรทุกลสารอินทรีย์ 1.11 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิ ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกลสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศที่ 2





ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิที่ค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 2 (ต่อ)

#### 4.2.3 ค่าไออาร์พี

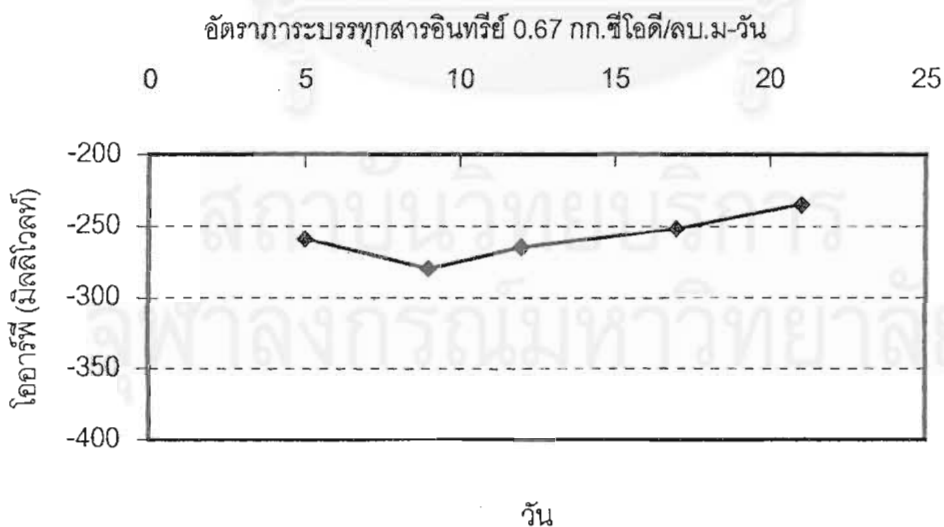
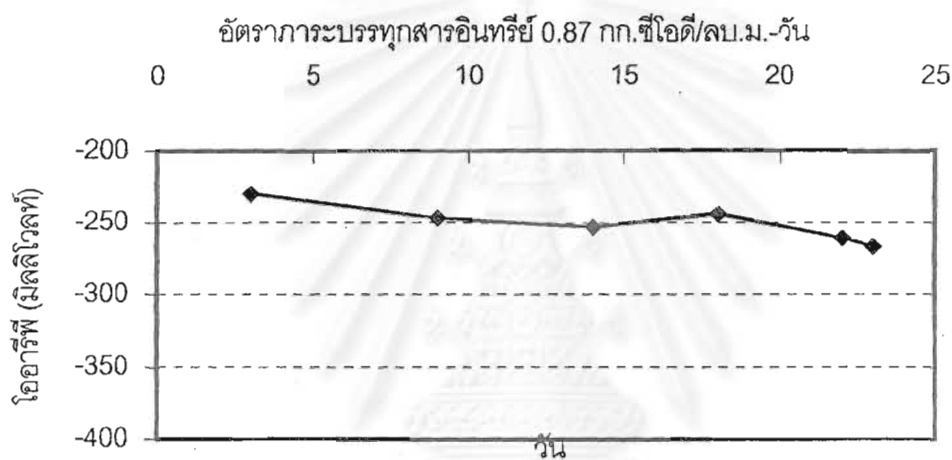
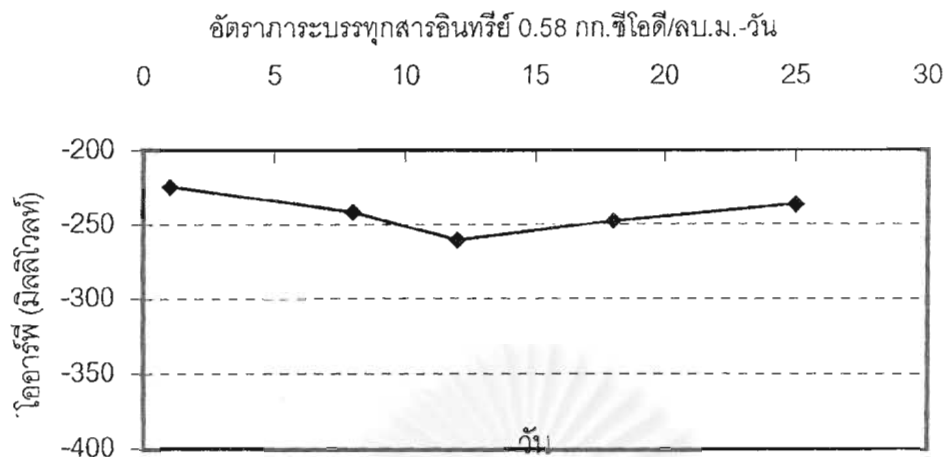
จากตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยไออาร์พีของถังกรองไร้อากาศทั้งสองถัง พบว่า ค่าไออาร์พีในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ ค่าไออาร์พีในถังกรองไร้อากาศถังที่ 2 ค่อนข้างจะมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยไออาร์พีของถังกรองไร้อากาศทั้งสองถัง จะมีค่า ใกล้เคียงกัน เมื่ออยู่ในระยะปลายของการทดลอง ที่ อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ มีค่าประมาณ 1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์มากกว่า 1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน คือ จะมีค่าอยู่ระหว่าง -320 ถึง -340 มิลลิโวลต์ การเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พีของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ จะแสดงไว้ในภาพที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยไออาร์พีของถังกรองไร้อากาศ

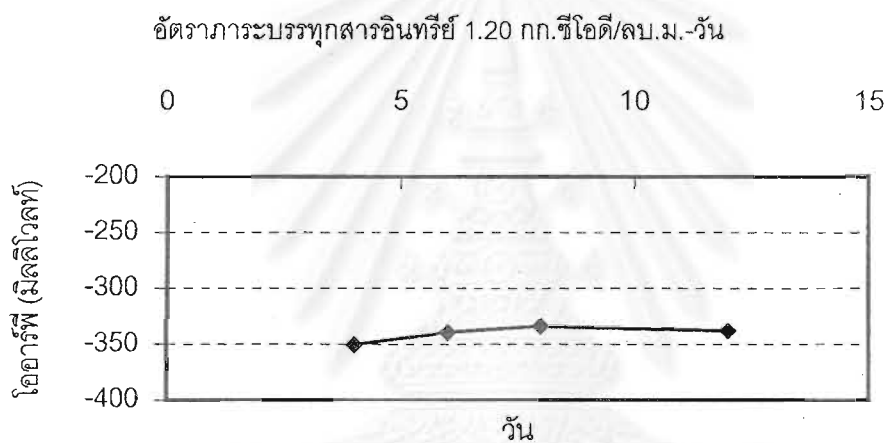
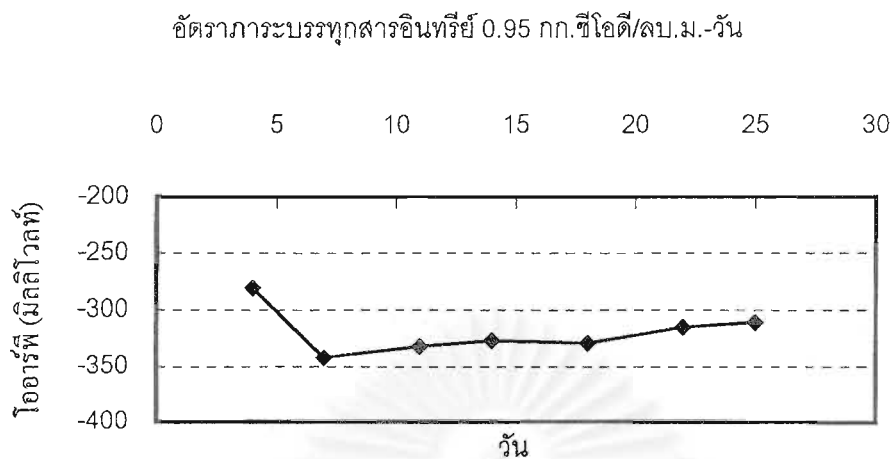
อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการป้อนน้ำเสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ค่าไออาร์พีของน้ำทิ้ง (มิลลิโวลท์)
ถังปฏิกรณ์ 1			
0.58	4	46.8	-242
0.87	6	31.2	-250
0.67	8	23.4	-258
0.95	12	15.6	-320
1.20	12.5	15.0	-341
ถังปฏิกรณ์ 2			
0.87	6	31.2	-290
0.83	10	18.7	-329
1.11	14	13.4	-337
1.78	18.5	10.1	-323

#### 4.2.4 ค่าไขมันและน้ำมัน

จากตารางที่ 4.5 เป็นค่าเฉลี่ยไขมันและน้ำมันในน้ำเสียและน้ำทิ้ง จากถังกรองไร้อากาศ ทั้งสองถัง พบว่า ค่าที่แสดงออกมา ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบ เพื่อแสดงนัยสำคัญของการลดปริมาณไขมันและน้ำมัน ที่มีต่อการเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ได้ เนื่องจาก ค่าปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย ที่นำมาจากโรงงานปิโตรเคมีแห่งชาติ ในแต่ละครั้ง มีความแปรปรวนมาก อีกทั้ง มีข้อจำกัด เกี่ยวกับความละเอียดของอุปกรณ์ในการทดลอง จึงทำให้ค่าไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้ง ซึ่งมีอยู่ปริมาณน้อยเกิดการเบี่ยงเบนได้มาก ภาพที่ 4.11 และ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของไขมันและน้ำมัน ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง ที่ค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศ ถังที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

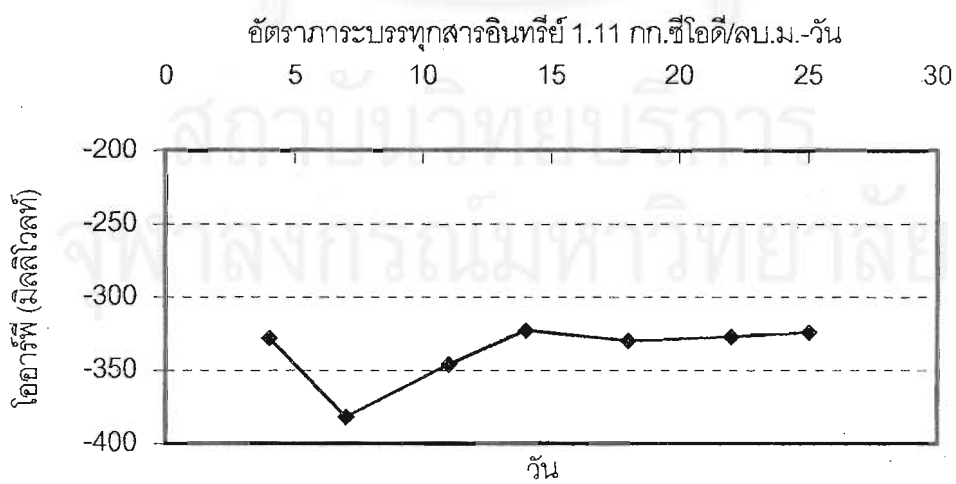
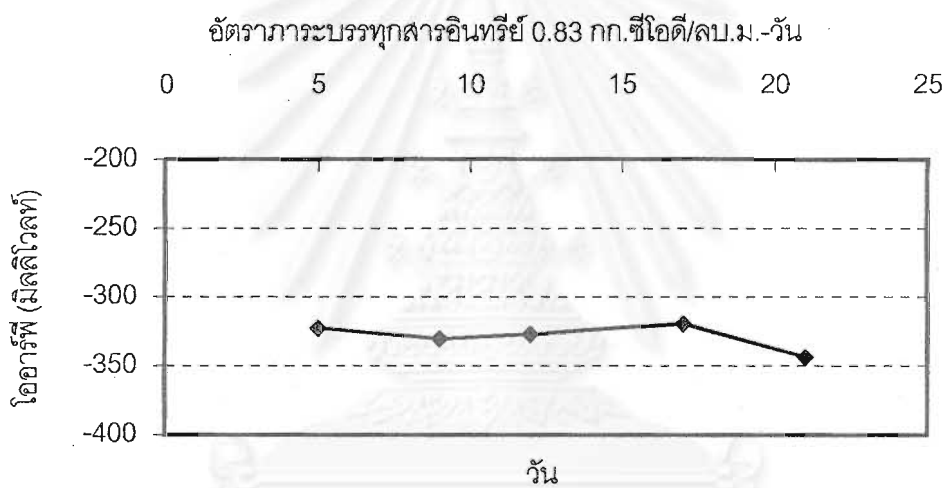
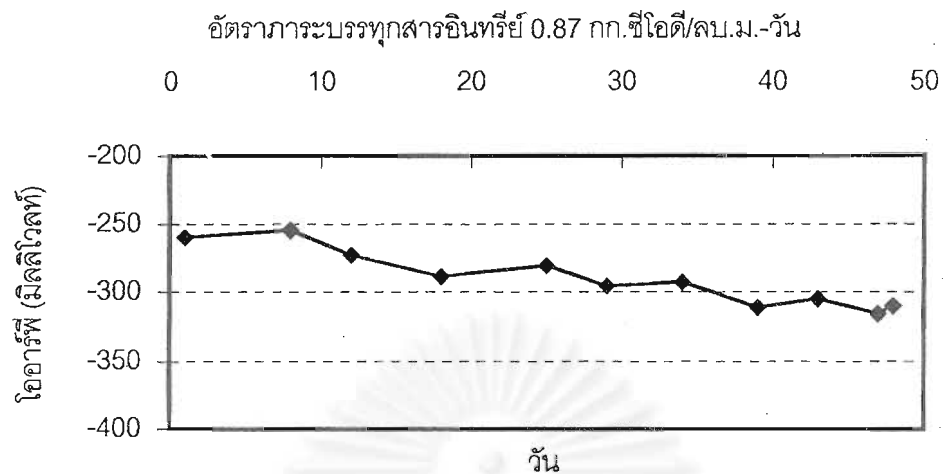


ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พี ที่ค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศที่ 1

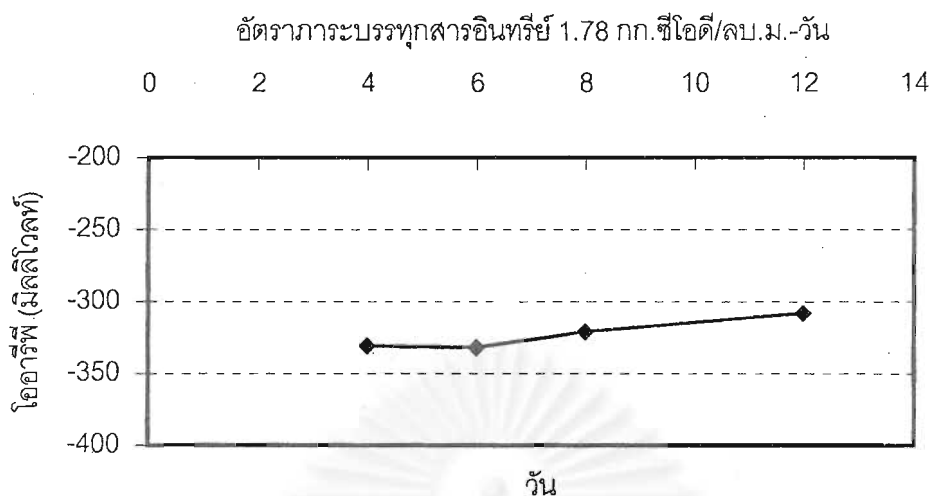


ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พี ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศที่ 1 (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พี ที่ค่าอัตราการระบอร์ทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศที่ 2

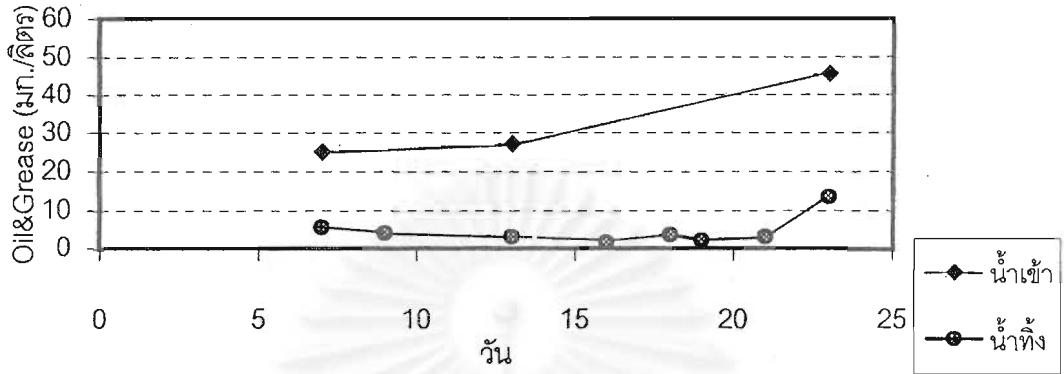


ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พี ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศที่ 2 (ต่อ)

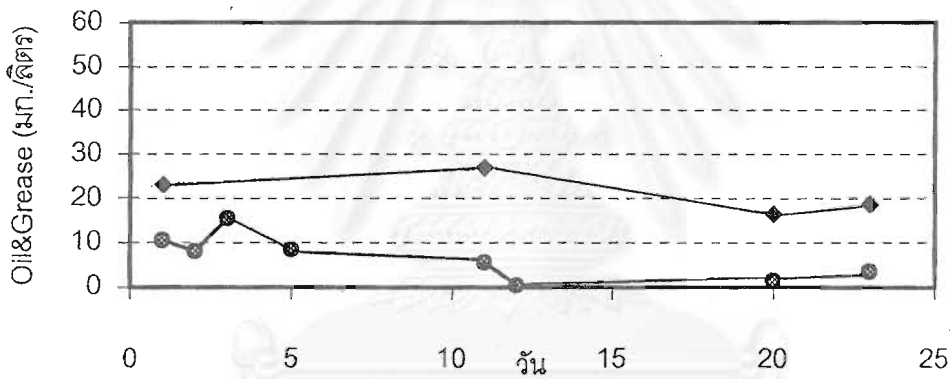
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยไขมันและน้ำมันของถังกรองไร้อากาศ

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการป้อนน้ำเสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)		%การกำจัดไขมันและน้ำมัน
			น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	
ถังปฏิกรณ์ 1					
0.87	6	31.2	32.5	4.5	86.2
0.67	8	23.4	21.1	6.69	68.3
0.95	12	15.6	27.67	4.38	84.2
1.20	12.5	15.0	44.25	4.5	89.8
ถังปฏิกรณ์ 2					
0.87	6	31.2	38.67	6.56	83.0
0.83	10	18.7	21.1	4.35	79.4
1.11	14	13.4	27.67	5.88	78.8
1.78	18.5	10.1	44.25	7.17	83.8

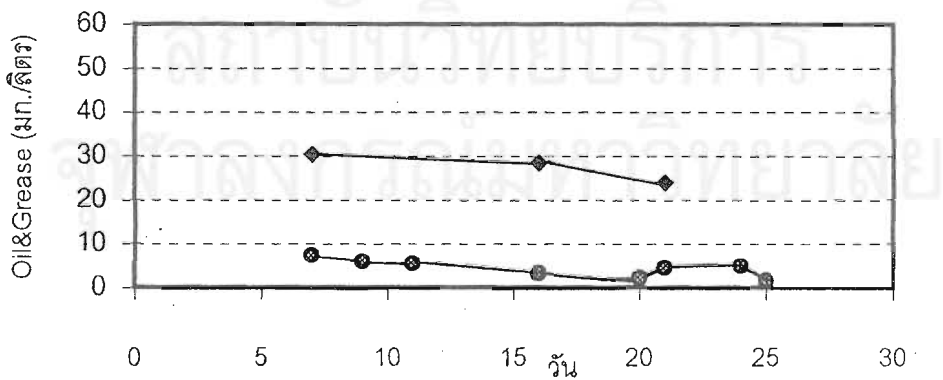
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.87 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



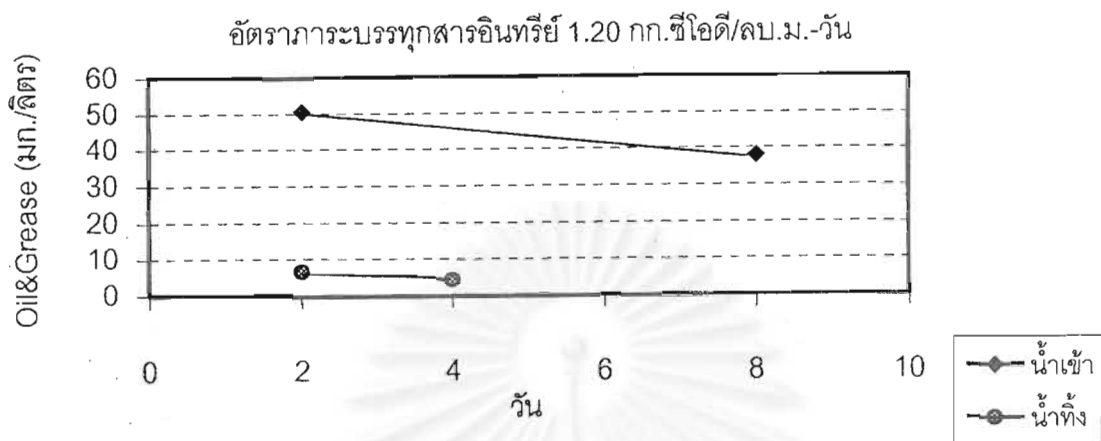
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.95 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

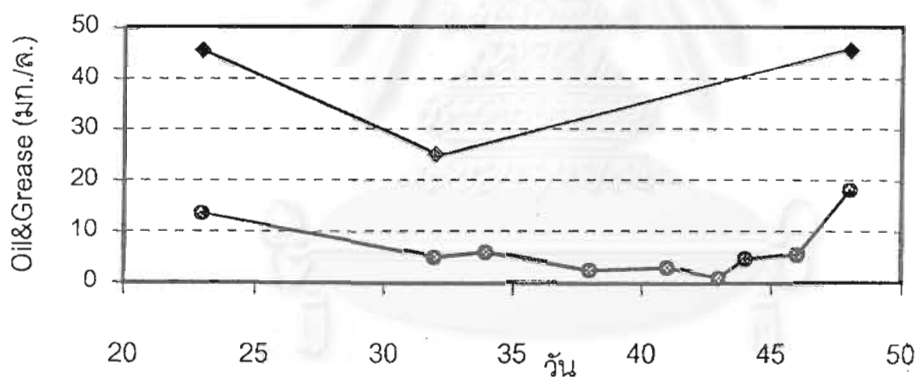


ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของไขมันและน้ำมันในน้ำเข้าและน้ำทิ้ง ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1

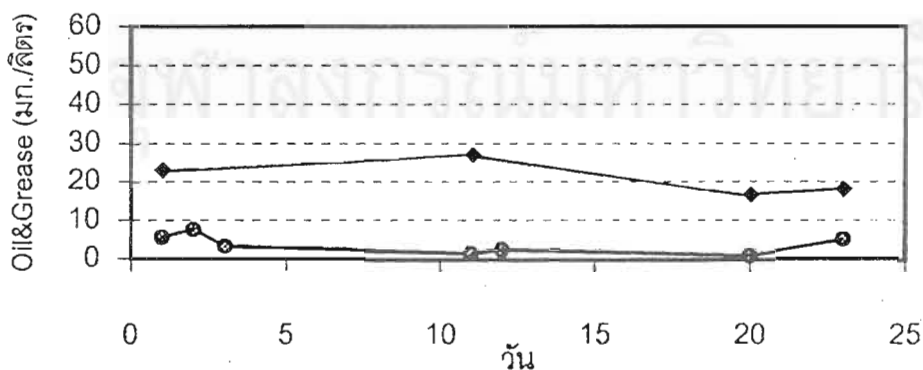


ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของไขมันและน้ำมันในน้ำเข้าและน้ำทิ้ง ที่ค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 (ต่อ)

อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.87 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

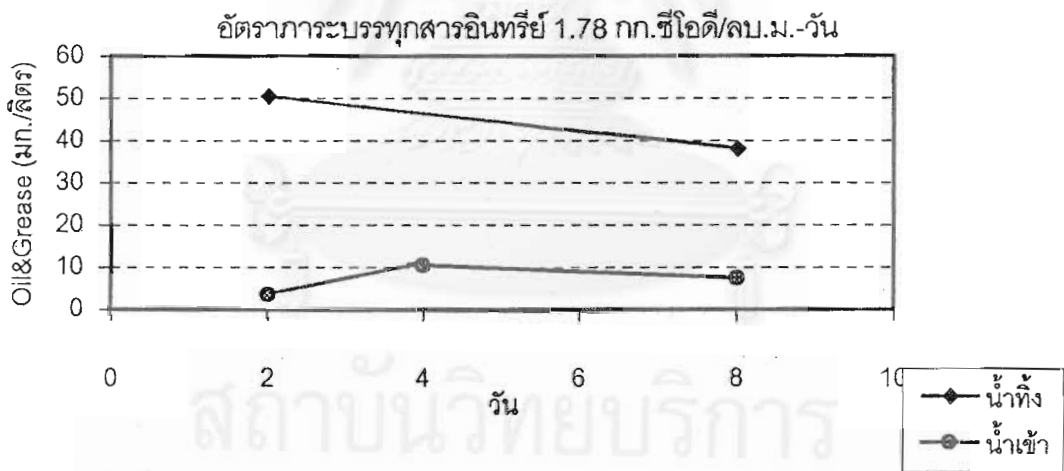
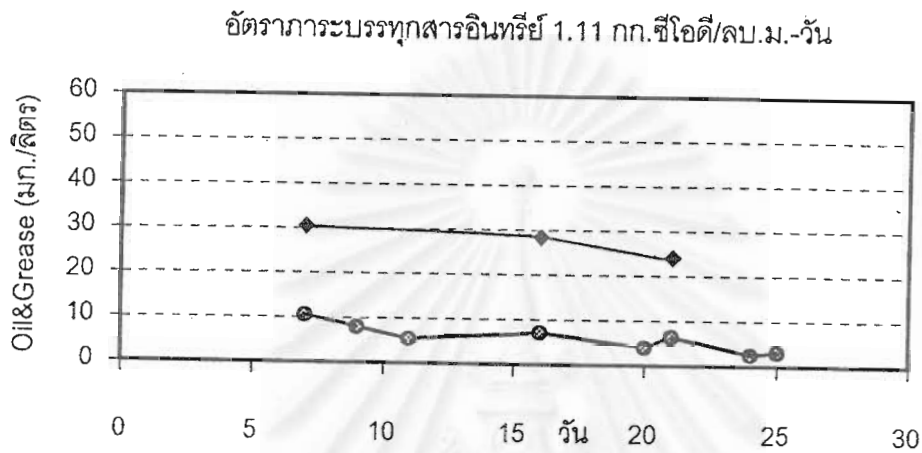


อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.83 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของไขมันและน้ำมันในน้ำเข้าและน้ำทิ้ง ที่ค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 2





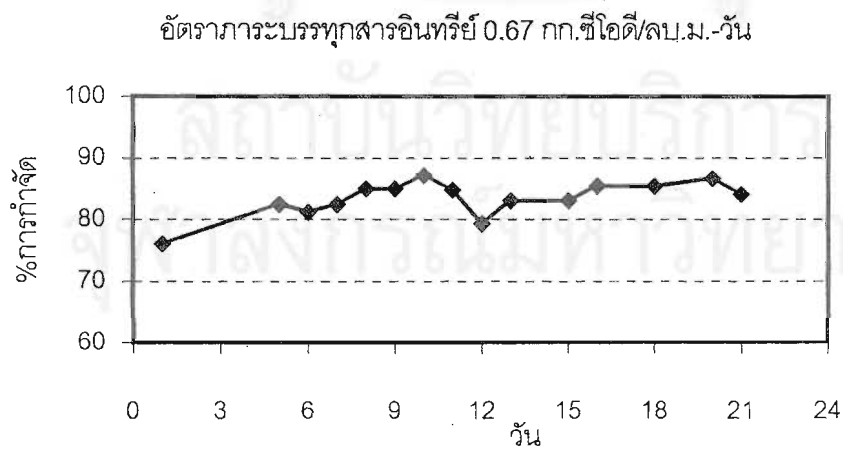
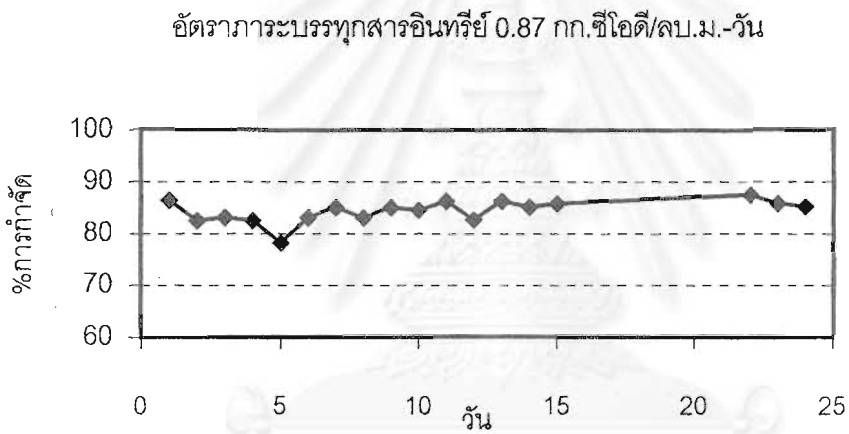
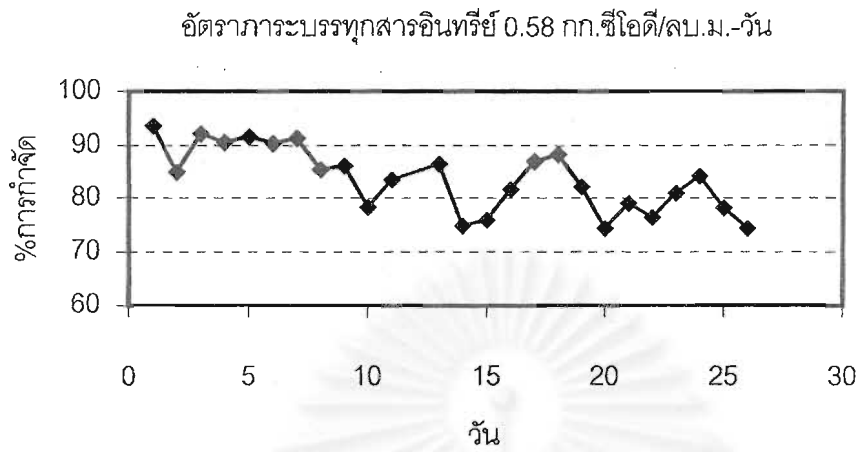
ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของไขมันและน้ำมันในน้ำเข้าและน้ำทิ้ง ที่ค่าภาระ  
บรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ในถังกรองไร้อากาศถึงที่ 2 (ต่อ)

#### 4.2.5 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

จากตาราง 4.7 ค่าเฉลี่ยซีไอดีและเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอดีของถังกรองไร้อากาศ จะเห็นว่าค่าซีไอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากเป็นน้ำเสียจริง จากโรงงานปิโตรเคมี แห่งชาติ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดข้อจำกัด ในการควบคุมและเพิ่มค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ และด้วยเหตุนี้ ค่าซีไอดีของน้ำทิ้ง จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้เมื่อเพิ่มการะบรทุกสารอินทรีย์ให้แก่ระบบได้ ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลอง พบว่า ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งยังมีแนวโน้ม แปรผันตามค่าซีไอดีของน้ำเข้า ดังนั้นการนำค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอดี จะแสดงนัยสำคัญเปรียบเทียบได้ชัดเจนกว่าค่าซีไอดีของน้ำทิ้ง จากประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี พบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อ เพิ่มอัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ให้แก่ระบบ

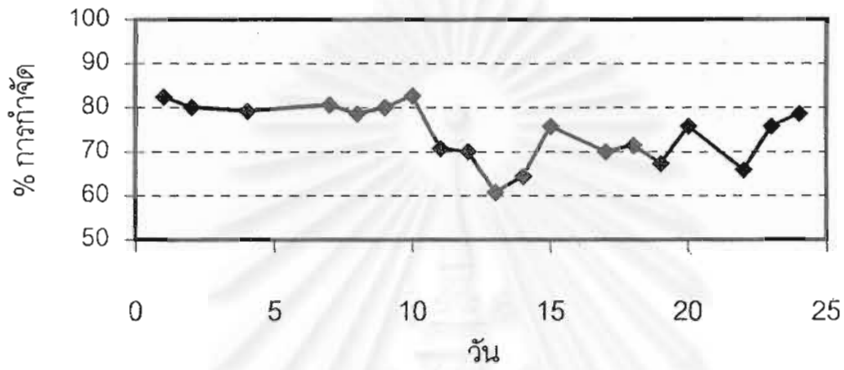
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของถังกรองไร้อากาศ

อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการป้อนน้ำเสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ซีไอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)
			น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	
ถึงปฏิกรณ์ 1					
0.58	4	46.8	1135	178	84.03
0.87	6	31.2	1130	177	84.35
0.67	8	23.4	662	112	83.31
0.95	12	15.6	596	149	74.17
1.20	12.5	15.0	713	129	82.31
ถึงปฏิกรณ์ 2					
0.87	6	31.2	1076	170	84.47
0.83	10	18.7	662	124	81.45
1.11	14	13.4	596	136	77.18
1.78	18.5	10.1	713	146	79.96

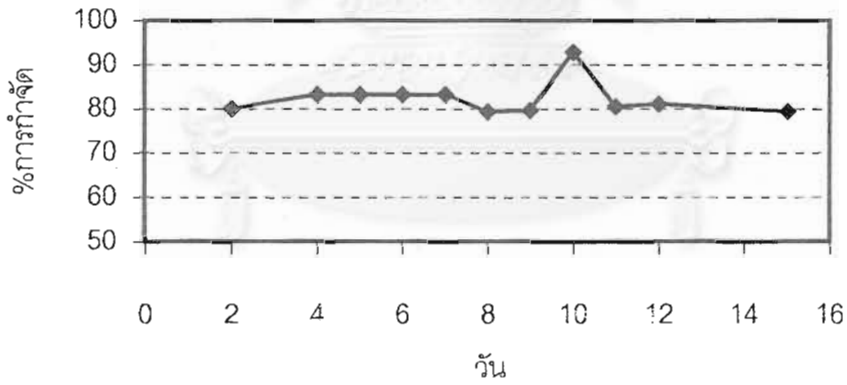


ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอดี ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกลูกสารอินทรีย์ต่างๆของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1

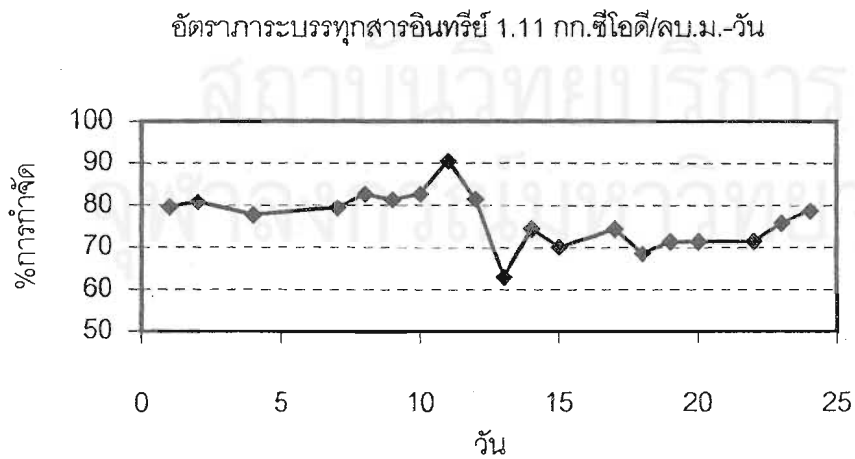
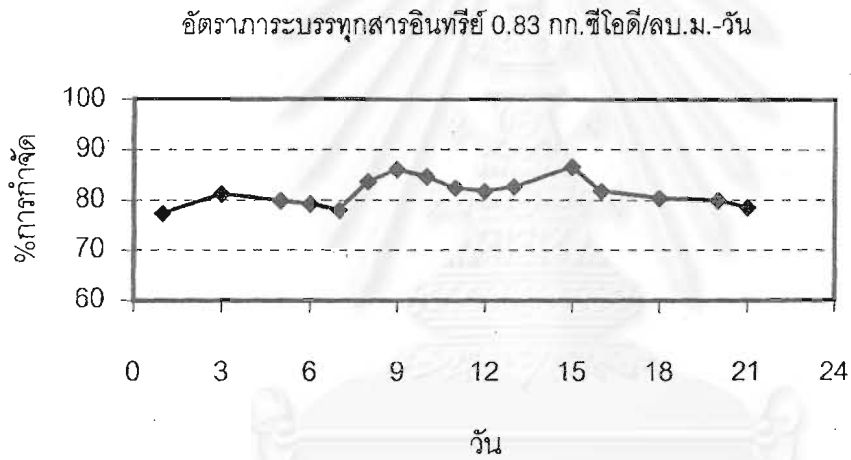
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.95 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

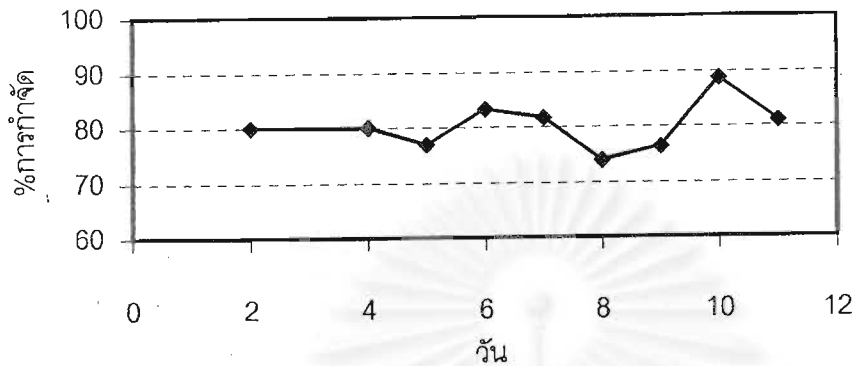


ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆของถังกรองไร้อากาศถังที่ 1(ต่อ)



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอดี ที่ค่าอัตราภาวะบรรเทาทุกสารอินทรีย์ต่างๆของถังกรองไร้อากาศถังที่ 2

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอดี ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆของถังกรองไร้อากาศครั้งที่ 2 (ต่อ)

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์การทดลอง

##### 4.3.1 ผลการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อค่าพีเอชในน้ำทิ้ง

จากการผลการทดลอง พบว่า การเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ ในช่วง 0.58 – 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ไม่มี ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชนัก ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบมาก คือ อยู่ระหว่าง 7.3 - 7.6 ทั้งนี้ เกิดจาก ความเสถียรและปริมาณบัฟเฟอร์ของระบบมีมากเพียงพอให้ระบบมีความสมดุล รวมทั้ง ค่าพีเอชของน้ำเสีย ที่ป้อนเข้าสู่ระบบถังกรองไร้อากาศ ค่อนข้างใกล้เคียงพีเอชเป็นกลาง ในการทดลอง โดยใช้ น้ำเสียจริงจากโรงงานปิโตรเคมีแห่งชาติ ซึ่งเป็นน้ำเสียจากส่วนต่างๆของ โรงงาน ไม่ว่าจะเป็นจาก น้ำเสียส่วนการผลิต น้ำทิ้งครัว โรงอาหาร น้ำทิ้งจากคณงาน และอื่นๆ ทำให้น้ำเสียมีการปรับสภาพให้มีความคงตัวเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าพีเอชในน้ำเสีย มีค่าความแปรเปลี่ยนไม่มากนัก คือ ประมาณ 6.7 – 7.2 ซึ่งค่าพีเอชจัดอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ จากที่เคยมีการศึกษาของนักวิจัยบางท่าน พบว่า พีเอช ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.7-7.4 (McCarty,1964) และ อยู่ในช่วง 6.5 – 8.0 (Clark and Speece,1974) ดังนั้น จึงพอกกล่าวได้ว่า น้ำเสียจากโรงงาน ปิโตรเคมี โรงงานนี้มีค่า พีเอช ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับ

#### 4.3.2 ผลการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์ที่มีต่อค่าไออาร์พีในน้ำทิ้ง

จากการผลการทดลอง พบว่า ค่าไออาร์พีในช่วงแรก ที่เพิ่งเริ่มทดลอง จะมีค่าติดลบน้อย คือ ประมาณ -240 ถึง -290 มิลลิโวลท์ ทั้งนี้ เกิดจาก ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ยังไม่มีความเสถียร แต่เมื่อทำการทดลองไป ระยะเวลาหนึ่ง พร้อมๆกับการเพิ่ม ภาระบรรทุksารอินทรีย์ ให้แก่ระบบ พบว่า ค่าไออาร์พี จะเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง -320 ถึง -340 มิลลิโวลท์ ซึ่งค่าไออาร์พีที่มีค่าน้อยกว่า -300 มิลลิโวลท์ เป็นค่าบ่งชี้ว่า เกิดปฏิกิริยาการย่อยแบบไร้อากาศ

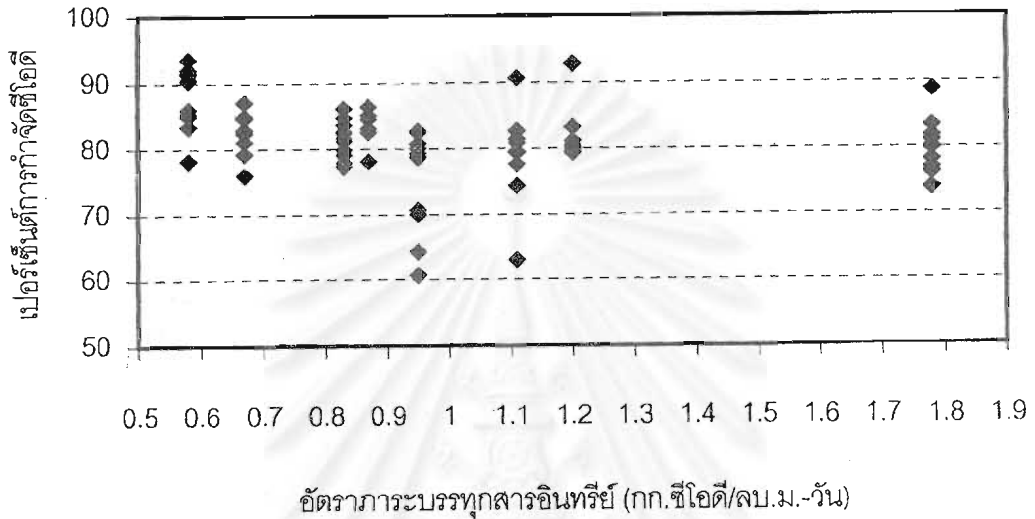
#### 4.3.3 ผลการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้ง

จากการทดลอง เนื่องจากใช้น้ำเสียจริง จากโรงงานปิโตรเคมี แห่งชาติ ทำให้ค่าไขมันและน้ำมันในน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองในแต่ละครั้งมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้น การวิเคราะห์ผลการทดลองครั้งนี้จึงขอกล่าวไว้กว้างๆ ว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดไขมันและน้ำมัน ยังคงมีค่ามากกว่า 80% เมื่อรับอัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์ เท่ากับ 1.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และมีระยะเวลาเก็บกัก ประมาณ 1.5 ชั่วโมง อีกทั้ง ค่าปริมาณไขมันและน้ำมัน ในน้ำทิ้ง ก็อยู่ใกล้เคียง มาตรฐานน้ำทิ้ง (ไม่เกิน 5 มก./ล.) คือ อยู่ระหว่าง 4.3 – 7.2 มก./ล. นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์หาค่าไขมันและน้ำมัน ผลที่ได้ค่อนข้างมีความผิดพลาดได้มาก เนื่องจาก มีข้อจำกัดของเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองที่ใช้ มีค่าความละเอียดน้อย

#### 4.3.4 ผลการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานปิโตรเคมีต้นทางในการทดลอง ทำให้การควบคุมค่าอัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์ ที่ป้อนเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ ไม่สามารถแปรตามการเพิ่มของอัตราป้อนน้ำเสียเข้าได้ อีกทั้งน้ำเสียที่นำมาจากโรงงานมีปริมาณจำกัด จึงทำให้ค่าอัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์ช่วงการเปลี่ยนแปลงน้อย ผลการทดลองที่ได้จึงอาจแสดงแนวโน้มและนัยสำคัญของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีออกมาไม่ชัดเจนนัก จากการทดลองในถังกรองไร้อากาศ ทั้งสองถัง ที่อัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์ ในช่วง 0.58 – 1.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มจะ ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์ จนถึงประมาณ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในระยะแรกของการเพิ่ม จากผลการทดลองที่ อัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์ 0.95 และ 1.11 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แต่เมื่อ ทำการทดลอง โดยเพิ่มอัตราภาระบรรทุksารอินทรีย์

เป็น 1.20 และ 1.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ถึงกรองไร้อากาศถึงที่ 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเกิดจาก ระบบบำบัด มีความเสถียรมากขึ้น และมีการปรับตัวให้รับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นได้

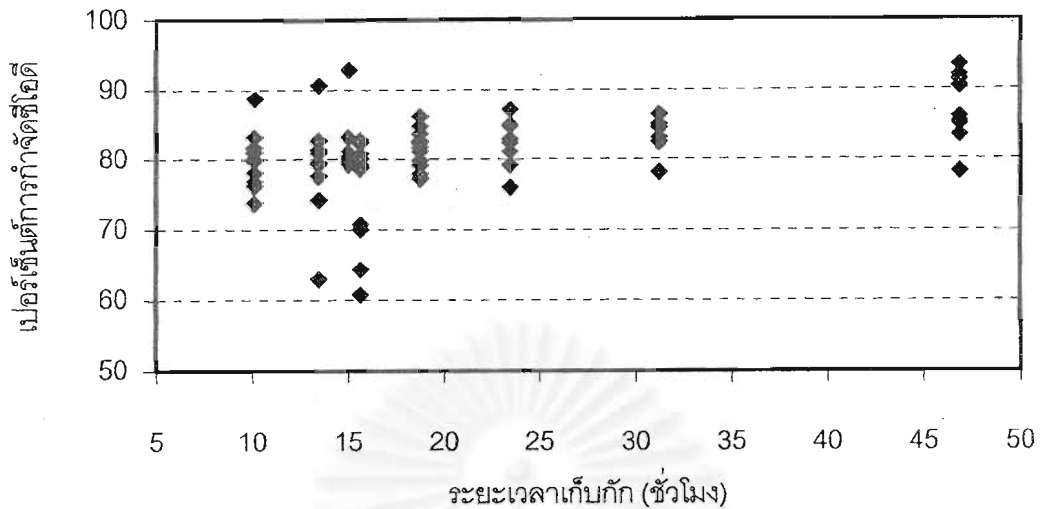


ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศ

#### 4.3.5 ผลการลดระยะเวลาเก็บกักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากการทดลอง พบว่า แม้จะมีการลดเวลาเก็บกักมากกว่า 4 เท่า คือ จากระยะเวลาเก็บกักประมาณ 46 ชั่วโมง เหลือ ประมาณ 10 ชั่วโมง แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังกรองไร้อากาศ ลดลง เพียงเล็กน้อยเท่านั้น คือ จาก 84% เป็นประมาณ 80% ดังนั้นจึงพอจะกล่าวได้ว่า ระยะเวลาเก็บกัก ในช่วง 10 – 46 ชั่วโมง ของระบบถังกรองไร้อากาศ ที่รับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่า ประมาณ 0.58 – 1.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ใกล้เคียงกัน





ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงระยะเวลาเก็บกักต่างๆและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

#### 4.4 ผลการทดลองส่วนเพิ่มเติมเพื่อศึกษาผลของซัลเฟตต่อการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบบำบัด

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า ในระยะเริ่มทำการทดลองระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ป้อนให้เข้าไป พบว่า ระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศ มีการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น แต่เมื่อใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในการป้อนเข้าไปแทน พบว่า ไม่สามารถรวบรวมปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก ทำให้มีความดันไม่เพียงพอที่จะเอาชนะความดันพาร์เซี่ยลเหนือน้ำ ซึ่งอาจมีผลให้ก๊าซที่เกิดขึ้นละลายน้ำได้เกือบทั้งหมด ในการทดลองส่วนเพิ่มเติมนี้ ได้ทำการศึกษา โดยใช้ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มากกว่าค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ได้ทำการศึกษาผ่านมา ซึ่งเป็นค่าที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า น่าจะเป็นค่าที่เพียงพอที่จะให้ระบบบำบัดเสียเสถียรภาพได้ นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษาวารามิเตอร์ที่คาดว่าจะสาเหตุหนึ่ง ในการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน ซึ่งได้แก่ ปริมาณซัลเฟต ดังที่จะกล่าวถึงจากการศึกษาที่ผ่านมา (งานวิจัย) ดังที่จะกล่าวถึงต่อไป

โดยในการทดลองนี้ ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากถังกรองไร้อากาศที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

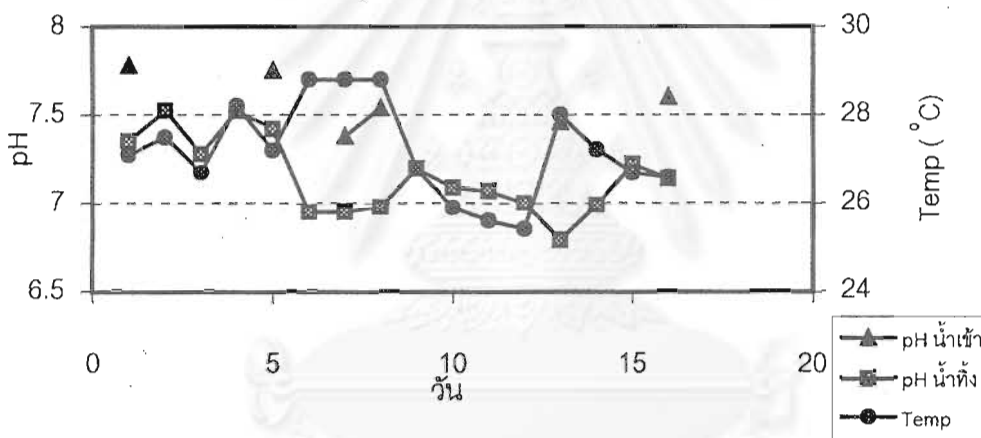
ตารางที่ 4.8 แสดงชุดการทดลองส่วนเพิ่มเติม

การทดลองเพิ่ม ที่	อัตราการป้อน น้ำเสีย (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นซีโอดี ของน้ำเสีย (มก./ล.)	อัตราการบำบัดทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)
1	17.5	10.7	1130	2.50
2	20	9.36	1130	3.00

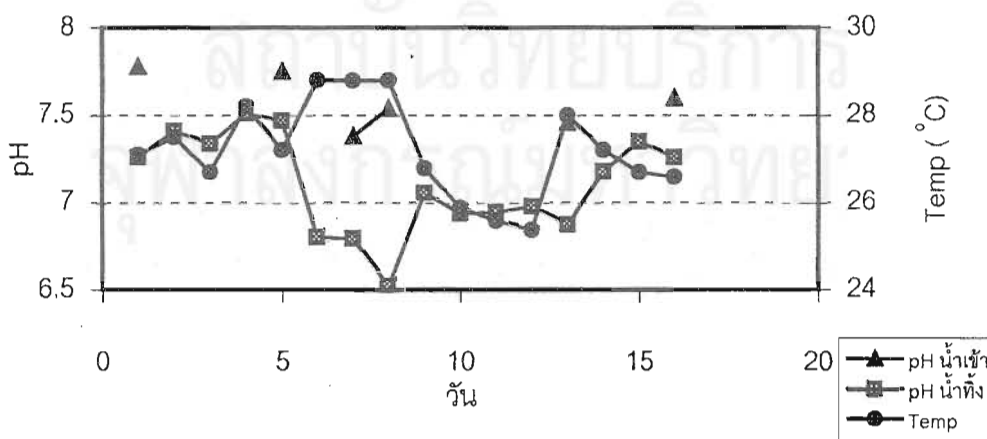
ผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ทั้งสองชุดการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ ก.10 และ ก.11 ในภาคผนวก ก.

#### 4.4.1 ค่าพีเอชและอุณหภูมิ

อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 2.50 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

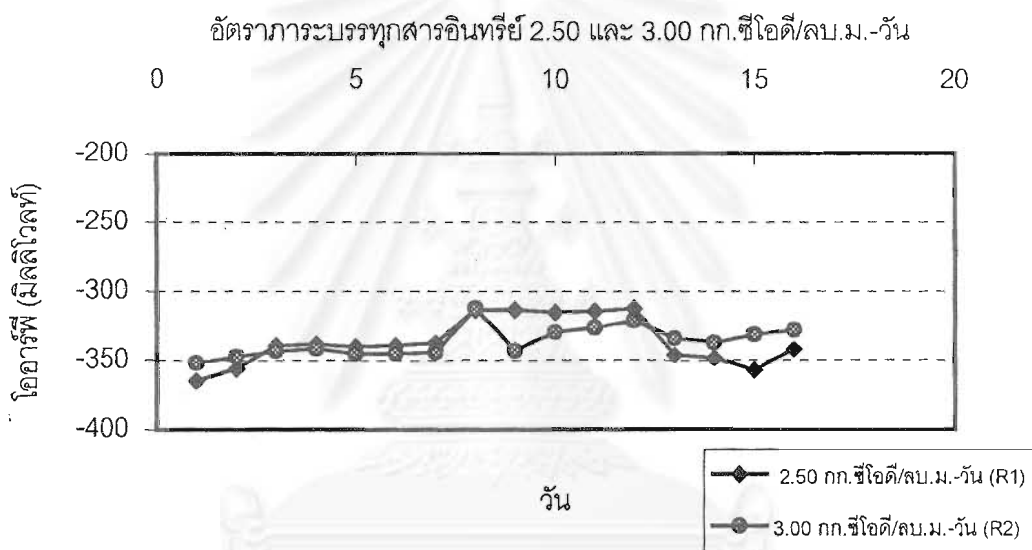


ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิที่ค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.00 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถึงที่ 1 และ 2

จากภาพที่ 4.17 พบว่า ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศทั้งสองถัง มีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 7-7.5 และ ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากกรองที่ 1 และ 2 เท่ากับ 7.1 และ 7.15 ตามลำดับ จากผลการทดลองจะพบว่า ค่าพีเอชน้ำทิ้งจะมีค่าต่ำกว่าพีเอชน้ำเข้า ทั้งนี้เกิดจากในระบบบำบัดเกิดการผลิตกรดไขมันระเหย (VFA) เพิ่มขึ้น อีกทั้ง สภาพต่างที่มีอยู่ในระบบที่เพิ่มขึ้น ก็เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบมีความคงตัว จึงทำให้ค่าพีเอชในระบบมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

ส่วนอุณหภูมิของน้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศทั้งสองถัง จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอุณหภูมิภายนอก

#### 4.4.2 ค่าไออาร์พี

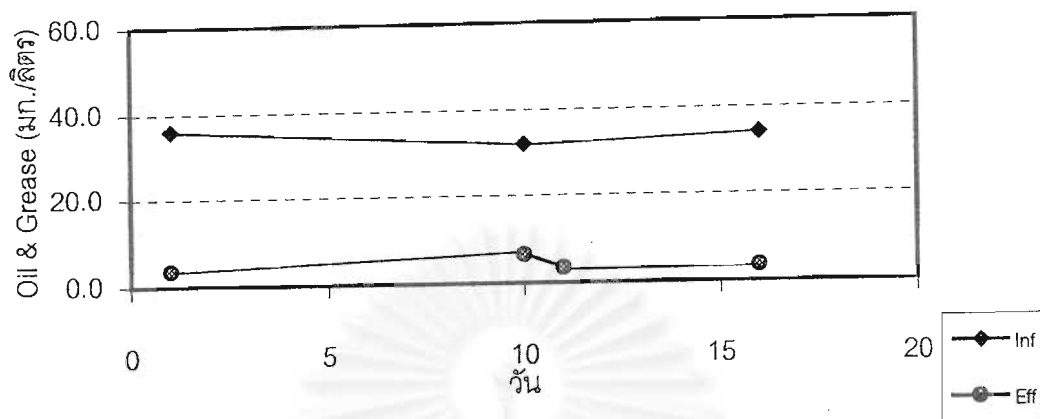


ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พีที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.00 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2

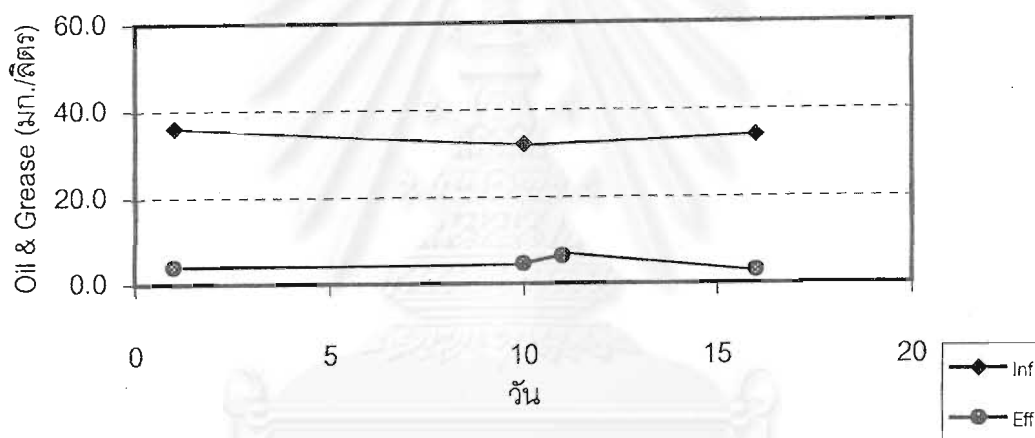
จากภาพที่ 4.18 พบว่าค่าไออาร์พีของน้ำเสียจากถังกรองไร้อากาศทั้งสองถังมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือ มีค่าอยู่ระหว่าง -300 ถึง -350 มิลลิโวลต์ และค่าเฉลี่ยไออาร์พีของถังกรองที่ 1 และ 2 จะมีค่าเท่ากับ -335 และ -336 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ และ เมื่อนำค่าไออาร์พีจากการทดลองส่วนเพิ่มเติม มาเปรียบเทียบกับค่าไออาร์พี จากการทดลองที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ พบว่า ค่าไออาร์พีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ประมาณ 1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าไออาร์พี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.5-3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ดังนั้นจึงจะพอกกล่าวได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไปถึงค่าช่วงหนึ่ง ระบบบำบัดไร้อากาศก็ยังคงระดับค่าไออาร์พีไว้ไม่เปลี่ยนแปลงนัก

#### 4.4.3 ไขมันและน้ำมัน

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2.50 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 3.00 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

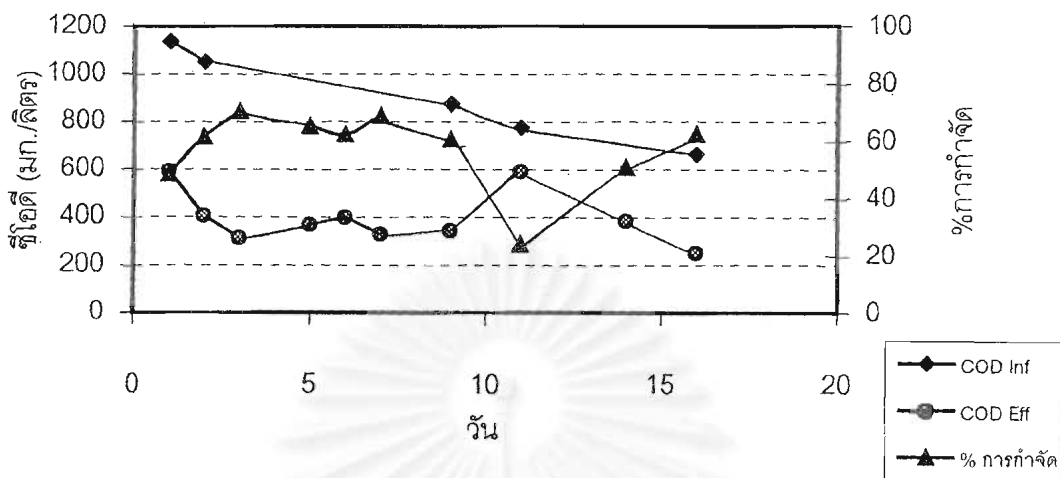


ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของไขมันและน้ำมันที่ค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.00 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2

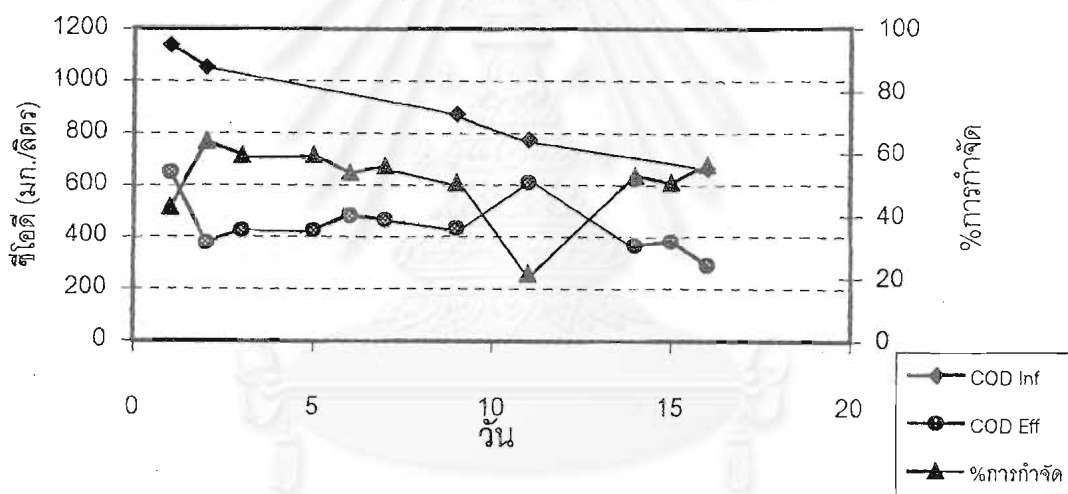
จากภาพที่ 4.19 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณไขมันและน้ำมันของระบบ คือ สามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมันที่ออกจากระบบ ได้มากกว่า 85% มีค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากถังกรองถังที่ 1 และ 2 เท่ากับ 4.47 และ 4.45 มก./ล. ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ ประสิทธิภาพดังกล่าว ก็จะขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำเสียที่เข้าระบบด้วย ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ มีปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำเสียค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ผ่านมาก คือ มีค่าประมาณ 34 มก./ล.

#### 4.4.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 2.50 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 3.00 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

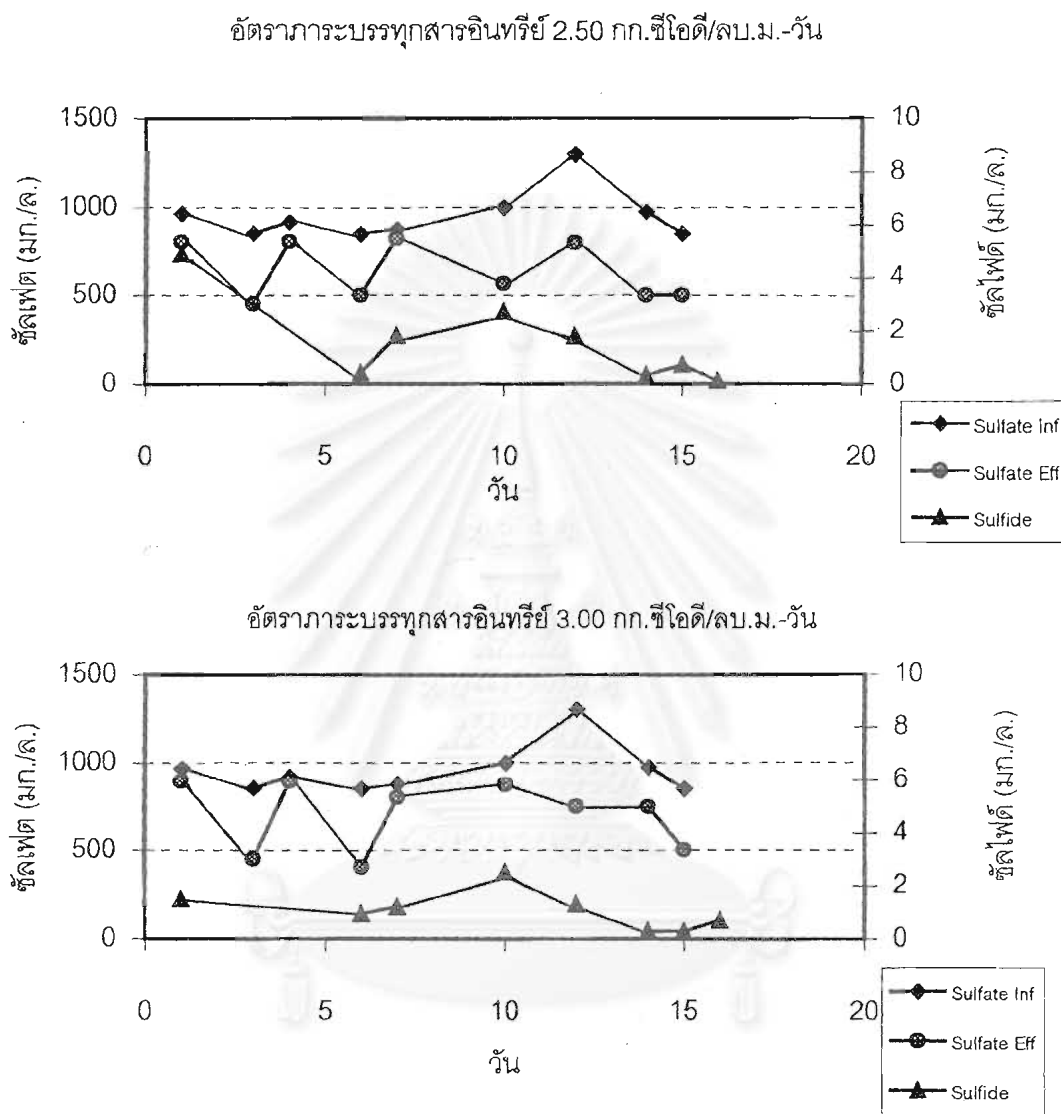


ภาพที่ 4.20 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดที่ค่าอัตราภาระ

บรทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.00 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันในถังกรองไร้อากาศถึงที่ 1 และ 2

จากภาพที่ 4.20 แสดงค่าซีโอดีของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ของระบบที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 2.5 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากกราฟ จะเห็นว่า ค่าความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำเสียที่เก็บรักษาไว้ จึงทำให้ซีโอดีบางส่วนมีการย่อยสลายไป ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากถังกรองถึงที่ 1 และ 2 จากการทดลองครั้งนี้ มีค่าค่อนข้างสูง คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 397 และ 446 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้เท่ากับ 57% และ 51% ตามลำดับ จากการทดลองที่ผ่านมาพอจะสรุปโดยรวมได้ว่า ประสิทธิภาพการกำจัด มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มภาระบรทุกสารอินทรีย์ให้แก่ระบบ

## 4.4.5 ซัลเฟตและซัลไฟด์

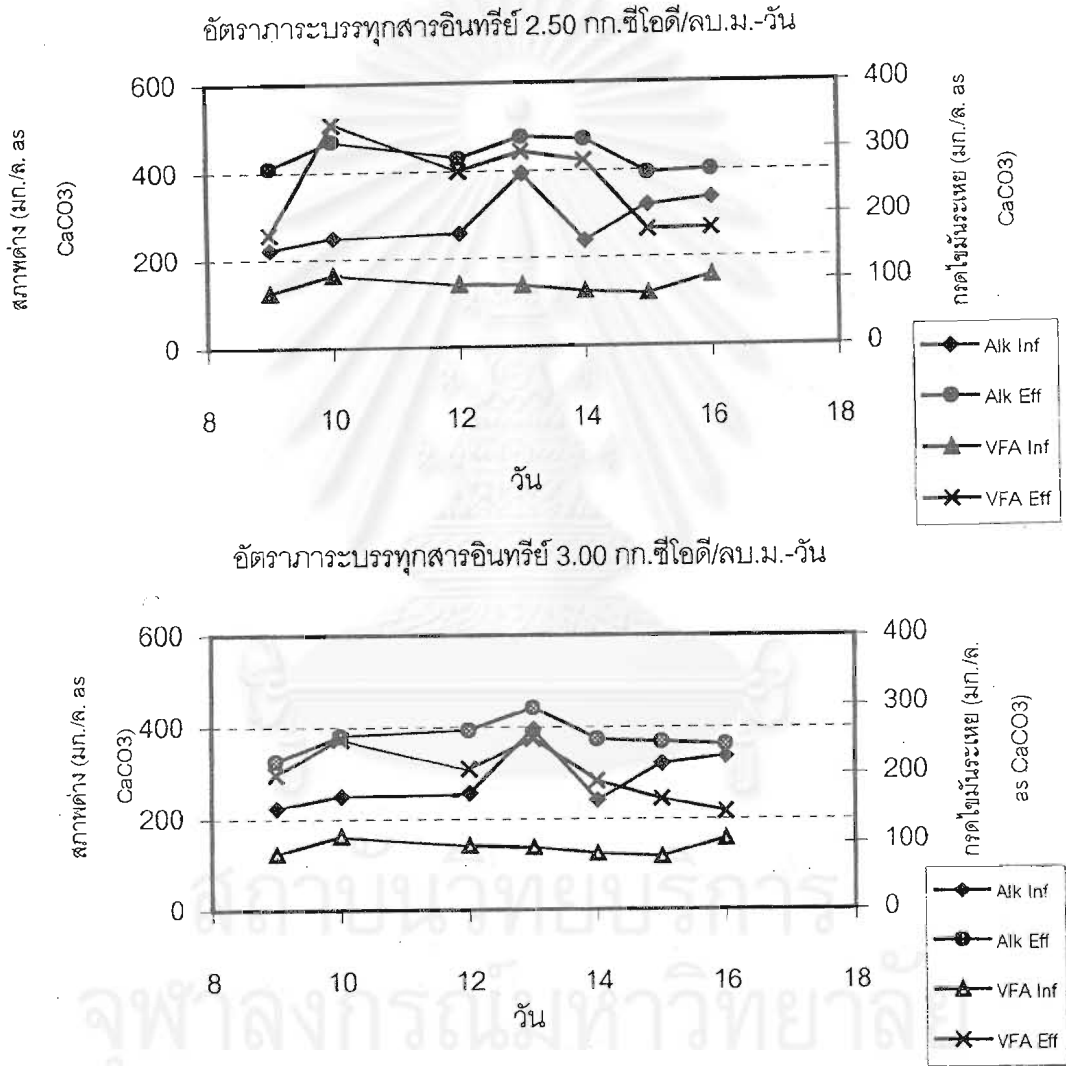


ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์ ที่ค่าอัตราภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.00 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2

จากภาพที่ 4.21 แสดงปริมาณซัลเฟตในน้ำเสีย มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 800-1300 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 953 มก./ล. ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่สูงมาก ส่วนปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์ในน้ำทิ้ง จากถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 จะมีค่าปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยประมาณ 638 และ 702 มก./ล. และ ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ย ประมาณ 1.59 และ 1.15 มก./ล. ตามลำดับ จากทดลองพบว่าปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น มีปริมาณมาก และทั้งนี้ ปริมาณซัลเฟตบางส่วนก็หายออกไปจากสมดุลมวลของซัลเฟต อาจเกิดจากเกิดการตกผลึกในรูปต่างๆของสารประกอบซัลเฟต

เช่น  $\text{CaSO}_4$  เป็นต้น และซัลเฟตบางส่วน ก็เป็นอยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ )<sub>g</sub> และไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ จากผลการทดลองนี้พอจะกล่าวได้ว่า ระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศไม่เหมาะที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูง เพราะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตได้น้อย

4.4.6 สภาพต่างและกรดไขมันระเหย



ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงสภาพต่างและปริมาณกรดไขมันระเหย ที่ค่าอัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 2.50 และ 3.00 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังกรองไร้อากาศถึงที่ 1 และ 2

จากภาพที่ 4.22 แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาพต่างของน้ำทิ้งและน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ พบว่า ค่าสภาพต่างของน้ำทิ้งจะมีค่าสูงกว่าค่าสภาพต่างของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ โดยสภาพต่างน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 289 มก./ล. หินปูนและค่าเฉลี่ยสภาพต่างของน้ำทิ้ง จากถังกรองไร้อากาศถึง

จากการทดลองกรดไขมันในน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 138 มก./ล. และค่าเฉลี่ยกรดไขมันในน้ำทิ้ง จากถังกรองไร้อากาศถังที่ 1 และ 2 เท่ากับ 244 และ 200 มก./ล. ตามลำดับ

#### 4.4.7 ผลของสารประกอบซัลเฟตที่มีต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

Yada M. และคณะ (1987) ศึกษาถึงการแข่งขันกันระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในการใช้อะซิเตดเป็นสารอาหารในระยะยาว โดยใช้ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบไร้ออกซิเจนแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed) ในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าเมื่อปริมาณอะซิเตดถูกกำจัดจะทำให้ทั้งอัตราการผลิตก๊าซมีเทนและมวลจุลชีพของแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่ปริมาณของซัลเฟตที่ถูกรีดิวซ์และมวลจุลชีพของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถของแบคทีเรียซัลเฟตในการเอาชนะแบคทีเรียสร้างมีเทนในฟิล์มชีวะได้ ที่ระดับความเข้มข้นของอะซิเตดต่างๆ ผลการวิเคราะห์น้ำออกในช่วงอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่ำจะได้ค่าเฉลี่ยของอะซิเตดเท่ากับ 1.7 มก./ล. คาร์บอนและซัลเฟต 78.5 มก./ล. แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของอะซิเตดที่เข้าระบบสูง แบคทีเรียสร้างมีเทนจะกลายเป็นแบคทีเรียที่มีบทบาทมากกว่า

Harada H. และคณะ (1994) ได้ศึกษาถึงการอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนในกระบวนการไร้อากาศโดยใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 3 ถังที่มีลักษณะเหมือนกัน และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งและน้ำตาลซูโครสเป็นสารอาหารหลัก โดยเตรียมให้มีความเข้มข้นเทียบเท่ากับค่าซีโอดี 500 มก./ล. คงที่ทุกๆ ถังปฏิกรณ์ ขณะที่แปรค่าความเข้มข้นซัลเฟตในแต่ละถังปฏิกรณ์เท่ากับ 30 , 150 และ 600 มก./ล. ตามลำดับ จากสมมูลมวลซีโอดีและซัลเฟตตลอดช่วงการทดลอง 180 วัน พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นซัลเฟต อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะลดลง เนื่องจากซีโอดีจะถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมากขึ้น และที่ค่าความเข้มข้นซัลเฟตสูงสุด พบว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีบทบาทในการย่อยซีโอดีสูงถึง 75% นอกจากนั้นยังมีการนำตัวอย่างสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์มาทดสอบหาค่าอัตราการผลิตมีเทนจำเพาะ (specific methanogenic activities; SMAs) พบว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตช่วยในการย่อยสลายกลูโคสได้ดีกว่าแบคทีเรียประเภทสร้างกรดและยังมีบทบาทที่สำคัญในการลดการสะสมของโพธิโอเนต นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชอบที่จะใช้ไฮโดรเจนด้วยเช่นกัน สำหรับการแข่งขันกันเพื่อใช้อะซิเตด พบว่า ในช่วงแรกของการแข่งขันแบคทีเรียผลิตมีเทนที่ใช้อะซิเตด จะออกซิไดส์อะซิเตดได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลา



การแข่งขันนานขึ้น แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตก็สามารถปรับตัวและเอาชนะแบคทีเรียสร้างมีเทนในการออกซิไดส์อะซิเตดได้

**ตารางที่ 4.9** เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี (ดัดแปลงจากงานของ Harada, 1994)

COD:SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Loading Rate	%electron flow	
		SRB	MPB
16.67	1.0	5.8	94.2
	1.5	5.4	94.6
	2.0	5.0	95.0
	2.5	5.3	94.7
	3.0	4.8	95.3
3.33	1.0	22.8	77.2
	1.5	30.4	69.9
	2.0	26.9	73.1
	2.5	34.0	66.0
	3.0	26.3	73.7
0.833	1.0	38.9	61.1
	1.5	44.8	55.2
	2.0	59.6	40.4
	2.5	60.4	39.6
	3.0	74.9	25.1

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้อย่างชัดเจนถึงความสามารถในการแย่งใช้สารอาหารที่เพิ่มขึ้นของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เมื่อค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตลดลง

อนุตร เปียงแก้ว (2542) ได้ศึกษาการควบคุมระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันด้วยปริมาณซัลเฟตและชนิดของแหล่งคาร์บอน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดที่ 1 ใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนการทดลองที่ 2 ใช้อะซิเตดเป็นแหล่งคาร์บอน แต่ละชุดการทดลองใช้ถังปฏิกรณ์ขนาดเดียวกัน บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำเสียเท่ากับ 42 , 84 และ 840 มก./ล. คิดเป็นอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 16 , 6 และ 0.6 ตามลำดับ โดยใช้ความเข้มข้นซีโอดีคงที่เท่ากับ 500 มก./ล. ในอัตราไหล 8 ลิตร/วัน

จากการศึกษา พบว่า ในการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งใช้อะซิเตดเป็นแหล่งคาร์บอน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 96.8% ,96.7% และ 93.5% ตามลำดับ ระดับการเกิดรีดิวซ์ซัลเฟต รีดักชันเท่ากับ 80% ,82% และ 72% ตามลำดับ ปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 11.5 , 22 และ 200 มก./ล. ตามลำดับ ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้เท่ากับ 1,350 , 1254 และ 0 มล./วัน ตามลำดับ

จากการศึกษาที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของซัลเฟตเท่ากับ 840 มก./ล. (ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 900 มก./ล.) เป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตก๊าซของระบบ คือ ปริมาณที่วัดได้เท่ากับ 0 มล./วัน

จากที่ได้ทำการทดลองเพิ่มเติม และมีการวิเคราะห์ซัลเฟต ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีปริมาณซัลเฟต มากกว่า 900 มก./ล. ซึ่งถือได้ว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก และจากงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้มีผู้วิจัยไว้ พบว่า สารประกอบของซัลเฟต มีผลยับยั้งต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจาก แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต สามารถย่อยสลายกลูโคส ได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างกรด และยังสามารถออกซิไดส์ไฮโดรเจนได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน (Harada H. และคณะ,1993) นอกจากนี้ อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต ก็เป็นปัจจัยหนึ่ง ที่เป็นตัวจำกัดการเติบโตของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต กล่าวคือ เมื่ออัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตลดลง แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะใช้ตัวให้และรับอิเล็กตรอน ซึ่งก็คือ ซีโอดีและซัลเฟตที่ดีกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน (Isa และ คณะ,1986)

จากอัตราส่วนของซีโอดีต่อซัลเฟต ในส่วนที่ทำการทดลองเพิ่มนี้ จะประมาณเท่ากับ 0.95 ที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.50 และ 3.00 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อนำค่าดังกล่าว มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เคยได้มีการศึกษาไว้ก่อน (Harada และ คณะ 1994) พบว่า ความสามารถในการแย่งใช้สารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะดีกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้พอจะอธิบาย สาเหตุที่ทำให้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ที่ทำการวิจัยครั้งนี้ เกิดการผลิตก๊าซได้ในปริมาณน้อยมาก และไม่สามารถหาค่าได้

นอกเหนือจากสารประกอบซัลเฟตที่มีผลยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียแล้ว ยังมี พารา มิเตอร์ อื่นๆ ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ที่เป็นสารยับยั้งได้ ซึ่งได้แก่ สารประกอบอะโร มาติก (Fajardo และคณะ,1997) และ สารประกอบออลอนบวก

อิออนบวกที่ได้รับความสนใจ คือ  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Na}^+$  ถึงแม้ว่า  $\text{Ca}^{2+}$  จะไม่เป็นพิษโดยตรงต่อแบคทีเรีย อย่างไรก็ตามในระบบที่มีปริมาณซัลเฟตสูง การเกิดผลึกของแคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4$ ) และจับตัวบนผิวของมวลจุลชีพ อาจก่อให้เกิดการจำกัดการถ่ายเทสารอาหารเข้าสู่เซลล์ได้ Lenttiga และ คณะ (1987) (อ้างโดย Visser, 1994) โดยระดับความเข้มข้นของ  $\text{Ca}^{2+}$  เท่ากับ 400 มก./ล. ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าวได้ถ้ามีปริมาณซัลเฟตสูง นอกจากนี้การเกิดผลึกของแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) จะทำให้ปริมาณฟอสเฟตไม่เพียงพอต่อความต้องการของแบคทีเรียได้ Callander และ Barford (1983), Lettinga และ คณะ (1987) (อ้างโดย Visser, 1994)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษา การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วยถังกรองไร้อากาศ ครั้งนี้ ใช้ถังกรองไร้อากาศ ที่มีลักษณะเหมือนกัน 2 ถัง มีความสูง 1.0 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีโพรไพลีน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร สูง 22 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์ช่องว่าง 95% และมีพื้นที่ผิว 187 ตร.ม./ลบ.ม. การเรียงตัวของตัวกลาง เป็นแบบสุ่ม น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานปิโตรเคมี แห่งชาติ ซึ่งมีค่าความสกปรกแตกต่างกัน ในแต่ละครั้งที่ เก็บตัวอย่างมาใช้ อีกทั้งปริมาณน้ำเสียที่นำในแต่ละครั้ง มีปริมาณจำกัด ทำให้สิ่งเหล่านี้เป็น ข้อจำกัดในการทำงานวิจัยครั้งนี้ การป้อนน้ำเสียเป็นแบบ ไหลชั้น ซึ่งตัวแปรอิสระที่แปรเปลี่ยนเป็นอัตราการป้อนน้ำเสีย เท่ากับ 4 6 8 10 12 12.5 14 และ 18.5 ลิตร/วัน คิดเป็นอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.58 0.87 0.67 0.83 1.20 1.11 และ 1.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ได้ผลสรุปดังนี้

1. ประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันของถังกรองไร้อากาศ มีค่ามากกว่า 68%
2. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศ มีค่ามากกว่า 74% ที่อัตราภาระบรรทุกสารต่ำกว่า 1.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แต่เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2.5 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงเหลือ ประมาณ 57% และ 52% ตามลำดับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้แก่ระบบ
3. จากการทดลอง พบว่า น้ำเสียจากโรงงานปิโตรเคมี จะมีกลิ่นค่อนข้างรุนแรง เป็นกลิ่นคล้ายกลิ่นน้ำมัน และเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากถังกรองไร้อากาศกลิ่นเหล่านี้จะหายไปได้บ้างบางส่วน
4. ปริมาณซัลเฟตซึ่งมีอยู่ในปริมาณมาก ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นสาเหตุ

หนึ่งที่ทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน และเป็นสิ่งด้อยสิ่งหนึ่งของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

จากผลการทดลองโดยรวม พอจะสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปิโตรเคมีแห่งชาติ ด้วยถังกรองไร้อากาศ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.58 – 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีความเป็นไปได้ และเหมาะสม สำหรับใช้เป็นการบำบัดขั้นต้น เป็นการลดความสกปรกของน้ำเสีย ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียอื่นต่อไป ทั้งนี้ เนื่องจาก ระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศ เป็นระบบที่ง่ายต่อการควบคุม ประหยัดพลังงาน และจากการทดลองยังพบว่า ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งใช้ระยะเวลาเก็บกัก น้อยที่สุด คือ ประมาณ 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพที่กำจัดซีไอดียังคงมีค่ามาก คือ ประมาณ 80%

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัย พบว่า การทดลองมีประเด็นที่น่าสนใจสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไปดังนี้ คือ

1. ทำการทดลองที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ โดยเพิ่มค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ให้มากที่สุด จนกระทั่ง ถังกรองไร้อากาศเสียสมดุล
2. ในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ควรดำเนินการทดลองในพื้นที่ใกล้เคียงแหล่งกำเนิดน้ำเสีย เพื่อสะดวกในการทำงานวิจัย และ ควรทำการทดลองในบริเวณพื้นที่ ที่มีภาวะระบายอากาศดี เป็นพื้นที่โล่ง เพราะสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ที่มีอยู่มากมายหลายชนิด ในน้ำเสียประเภทนี้ เป็นสารก่อมะเร็ง
3. ศึกษาหาสาเหตุและสารประกอบที่เป็นพิษในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ที่ต้นเหตุยับยั้ง การผลิตก๊าซชีวภาพของระบบถังกรองไร้อากาศ
4. ทำการทดลองด้วยกระบวนการโคเมแทบอลิซึม (Co-Metabolism) เพื่อเป็นการเพิ่มสารอาหารอื่น ให้แก่น้ำเสียประเภทนี้ จากการที่เคยมีการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ค่า COD:N:P ในน้ำเสียจากโรงงานปิโตรเคมี แห่งชาติ มีค่าประมาณ 98.26 : 0.8 : 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า น้ำเสียประกอบด้วยสารอาหารประเภท ไนโตรเจนน้อย ในการทำงานวิจัยครั้งต่อไป อาจมีการควบคุม และเพิ่มสารอาหารอื่นที่มีความจำเป็นให้แก่น้ำเสียประเภทนี้ ซึ่งอาจช่วยให้ระบบบำบัดมี

ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น สามารถทำให้เกิดการผลิตก๊าซชีวภาพด้วย ซึ่งผู้วิจัยได้ลองทำการทดลองในช่วงสุดท้ายเมื่อเปิดการทดลอง (ช่วงแรก ก่อนที่จะทำการทดลองเพิ่มเติม) โดยการเพิ่มปริมาณซีโอดีให้แก่ น้ำเสีย ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า เกิดการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้น

5. การทดลองอาจใช้วัสดุตัวกลางอื่นที่มีพื้นผิวเพิ่มขึ้น อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

6. ทำการทดลองโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศระบบอื่น เพื่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้นทาง ประเภทนี้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- จิตรเทพ ประสิทธิ์อยู่ศีล. ประสิทธิภาพการกำจัดโคไลฟอร์มแบคทีเรียในน้ำเสียจากถังเกรอะโดยใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางครึ่งถังจม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
- ธเรศ พงษ์สาระนันท์กุล. การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเม็ดพลาสติกลอยน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- บุญสิน สุภัทวงศ์. การใช้ถังกรองไร้อากาศทำความสะอาดน้ำโสโครกจากบ้านพักอาศัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.
- มันลิน ต้นทุลเวศม์. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน. เอกสารฝึกอบรมการสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- โรมรัน ศรีสัมฤทธิ์. การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้สารอินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- ศุภณีย์ ใจเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, บริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมจำกัด และบริษัท วิศวกรรมอุตสาหกรรม จำกัด. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี, 2540.
- อนุตร เปียงแก้ว. การควบคุมระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันด้วยปริมาณซัลเฟตและชนิดของแหล่งคาร์บอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- อรุณี ศุภสินสาริต. ก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียโรงเบียร์ด้วยระบบ UASB. สิ่งแวดล้อม ปีที่ 1 ฉบับที่ 5 (กันยายน – ตุลาคม, 2539) : 30-36.

### ภาษาอังกฤษ

- Allaoui, K. and Forster, C.F. An Examination of Different Support Media in Relation to the Start-up Anaerobic Expanded Bed Reactors. Environmental Technology, ,

Vol.15 (1994) : 887-894

Bitton G. Wastewater Microbiology. New York,USA.:Wiley-Liss Inc.,1994

Borja ,R.;and Banks,C.J. Comparison of an Anaerobic filter and Anaerobic Fluidized Bed Reactor Treating Palm Oil Mill Effluent. Process Biochemistry. ,Vol.30, No.6 (1995) : 511-521.

Britz , T.J. , Noeth , C. and Lategan , P.M. Nitrogen and Phosphate Requirements for the Anaerobic Digestion of a Petrochemical Effluent. Water Research. , Vol. 22 , No.2 (1988) : 163-169

Callado N.H. and Foresti E. Response of an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor to increasing sulfate concentrations. 47<sup>th</sup> Purdue Industrial Waste Conference Proceedings. (1992) :437-443

Canovas -Diaz ,M. and Howellt ,J.A. Stratified Ecology Techniques in the Startup of an Anaerobic Downflow Fixed Film Percolating Reactor. Biotechnology and Bioengineering. , Vol.30 , August (1987) :289-296

Fajardo , C. , Guyot ,J.P. , Macarie , H. and Monroy , O. Inhibition of Anaerobic Digestion by Terephthalic Acid and its Aromatic by products. Water science and Technology. , Vol.36 , No. 6-7 (1997) :83-90

Garcia-Calderon , D. ,Buffiere, P. , Moletta , R. and Elmaleh , S. Influence of Biomass Accumulation on Bed Expansion Characteristics of a Down-Flow Anaerobic Fluidize-Bed Reactor. Biotechnology and Bioengineering. , Vol.57 , No.2 ,January (1998) :136-144

Garcia-Calderon , D. ,Buffiere, P. , Moletta , R. and Elmaleh , S. Anaerobic Digestion of Wine Distillery Wastewater in Down-flow Fluidized Bed. Water Research. , Vol.32 , No.12 (1998) : 3593-3600

Harada H., Uemura S. and Komonoi K. Interaction between sulfate reducing bacteria and methane producing bacteria in UASB reactors fed with low strength wastes containing different levels of sulfate. Water Research. , Vol.28, No.2 (1994) : 355-367

Isa Z.,Grusenmeyer S. and Verstraete W. Sulfate reduction relative to methane production in high-rate anaerobic digestion : microbiol aspects. Applied and Environmental Microbiology. Vol.51 , No.3 (1986) : 572-579



- Jones , H.R. Environmental Control in the Organic and Petrochemical Industries 1971.  
USA : Noyes Data Corporation.,1971.
- Jules B. van Lier . and Gatze Lettinga. 49 Permanent Increase of The Process  
Temperature of Mesophilic Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) Reactors to 46,  
55 ,64 and 75 °C. 47th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings. (1992) :  
445-459
- Kwong T. S. and Fang H. H. P. Anaerobic degradation of comstarch in wastewater in two  
upflow reactor. Journal of Environmental Engineering 122 (1996) : 9-17
- Malind JF. and Poland FG. Design of anaerobic processes for the treatment of industrial  
and municipal waste. Technomic Publishing Company, USA ,1992
- Macarie , H. ,Noyola , A. and Guyot , J.P. Anaerobic Treatment of a Petrochemical  
Wastewater from a Terephthalic Acid Plant . Water Science and Technology. ,  
Vol. 25 , No. 7 (1992) : 223-235
- McCarty P.L. Anaerobic waste treatment fundamental. (Public Work,Texas,897 p.,1964.  
Metcalf and Eddy. Wastewater Engineering Treatment , Disposal and Reuse.  
3<sup>rd</sup>-ed. Singapore : McGraw-Hill Book Company Inc., 1995
- Nel , L.H. , De Haast , J. and Britz , T.J. Anaerobic Digestion of a Petrochemical Effluent  
Using an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. Biotechnology Letters.  
,Vol.68 , No.11 (1984) : 741-746
- Nel , L.H. and Britz , T.J. The Influence of Different Substrate pH values on the  
Performance of a Downflow Anaerobic Fixed Bed Reactor Treating a  
Petrochemical Effluent. Biotechnology Letters ,Vol.8 , No.4 (1986) : 293-298
- Ngo H.H. and Vigeneswaran S. Application of Downflow Floating Medium  
Flocculation/Prefilter (Off) - Coarse Sand Filter (CSF) in Nutrient removal. Water  
Science and Technology. , Vol.33 , No. 8 (1996) : 63-70
- Park T.J. , Lee K.H. , Kim D.S. and Kim C.W. Petrochemical Wastewater Treatment  
with Aerated Submerged Fixed-Film Reactor (ASFFR) under High Organic  
Loading Rate. Water Science and Technology. , Vol.34 , No.10 (1996) : 9-16
- Schonberg J., Bhattacharya K., Madura L., Mason H. and Conway A. Evaluation of  
Anaerobic treatment of selected petrochemical wastes. Journal of Hazardous  
Materials. 54 (1997) : 47-63

- Sharma S. , Ramakrishna C. , Desai ,J.D. and Bhatt N.M. Anaerobic Biodegradation of a Petrochemical Waste-water Using Biomass Support Particles. Applied Microbiology and Biotechnology. , Vol.40 , No.5 (1993) : 768-771
- Pavlostathis G. , Beydili , Misra, Prytula and Yeh. Anaerobic processs. Water Environment Research. ,Vol.69,No.4 (1997) : 500-521
- Tail S.J. and Friedman A.A. Anaerobic Rotating Biological Contactor for Carbonaceous Wastewater. J.WPCF, Vol. 52 , No.8 (1980) : 2257-2269
- Visser A. Anaerobic treatment of sulfate containing wastewater. International Training Course on Anaerobic and Low Cost Treatment of Wastewater and Wastes. 10 to 21 October, 1994, Asian Institute of Technology. Thailand,1994.
- Yada M. , Kitagawa M. and Miyaji Y. Long term competition between sulfate-reducing bacteria and methane producing bacteria for acetate in anaerobic biofilm. Water Research. Vol. 21 , No.2 (1987) :1547-1556



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.1 ผลการทดลองของถังกรองไร้อากาศที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.58 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 1)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.		
1	26/8/42	1288	84	93.50	6.85	7.38	-225	28.0
2	27/8/42	-	194	84.93	6.89	7.38	-	28.2
3	28/8/42	1491	118	92.07	-	6.68	-	27.6
4	30/8/42	-	141	90.54	-	7.71	-	27.0
5	31/8/42	-	127	91.48	-	7.54	-	26.8
6	1/9/42	-	145	90.27	-	7.42	-	28.5
7	2/9/42	-	130	91.28	-	7.44	-	28.1
8	6/9/42	818	120	85.33	-	7.36	-242	27.5
9	7/9/42	1118	156	86.05	-	7.27	-	26.8
10	9/9/42	-	244	78.18	-	7.36	-	27.3
11	10/9/42	-	186	83.36	-	7.33	-	27.0
12	13/9/42	788	-	-	-	7.59	-261	25.0
13	14/9/42	-	108	86.29	-	7.50	-	26.5
14	15/9/42	-	199	74.75	-	-	-	-
15	16/9/42	1238	300	75.77	-	-	-	-
16	18/9/42	1500	278	81.47	-	-	-	-
17	20/9/42	1088	143	86.86	-	-	-	-
18	21/9/42	-	128	88.24	-	-	-248	-
19	22/9/42	-	195	82.08	-	-	-	-
20	23/9/42	-	281	74.17	-	7.71	-	28.1
21	24/9/42	-	229	78.95	-	-	-	-
22	27/9/42	886	211	76.19	-	-	-	-
23	28/9/42	-	169	80.93	-	7.68	-	27.9
24	29/9/42	-	141	84.09	-	-	-	-
25	30/9/42	-	194	78.10	-	-	-237	-
26	2/10/42	-	228	74.27	-	-	-	-

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ก.2 ผลการทดลองของถังกรองไร้อากาศที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.87 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 1)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
1	4/10/42	1130	153	86.44	6.85	7.51	-	-	-	27.1
2	5/10/42	-	198	82.51	-	7.55	-	-	-	26.3
3	6/10/42	-	191	83.13	-	7.12	-	-	-230	28.0
4	7/10/42	-	198	82.51	-	7.42	-	-	-	27.6
5	8/10/42	-	247	78.13	-	7.54	-	-	-	28.0
6	9/10/42	-	191	83.13	-	-	-	-	-	-
7	11/10/42	-	169	85.01	-	7.61	25.0	5.5	-	28.1
8	12/10/42	-	191	83.13	-	7.53	-	-	-	27.9
9	13/10/42	-	169	85.01	-	7.45	-	4.0	-247	27.6
10	14/10/42	-	175	84.52	-	7.42	-	-	-	27.8
11	15/10/42	-	154	86.35	-	-	-	-	-	-
12	16/10/42	-	195	82.71	-	7.37	-	-	-	27.9
13	18/10/42	-	154	86.35	-	7.39	27.0	3.0	-	28.2
14	20/10/42	-	168	85.13	-	7.43	-	-	-253	27.8
15	21/10/42	-	161	85.74	-	7.41	-	-	-	27.6
16	26/10/42	-	-	-	-	-	-	1.5	-	-
17	29/10/42	-	-	-	-	7.34	-	-	-	24.5
18	2/11/42	-	-	-	-	-	-	3.5	-244	-
19	9/11/42	-	-	-	-	-	-	2.0	-	-
20	10/11/42	-	-	-	-	7.18	-	-	-	27.5
21	12/11/42	-	-	-	-	-	-	3.0	-	-
22	13/11/42	-	141	87.56	-	7.36	-	-	-261	27.2
23	29/11/42	-	160	85.84	-	7.41	45.5	13.5	-267	27.4
24	30/11/42	-	168	85.13	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ก.3 ผลการทดลองของถังกรองไร้อากาศที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 1)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
1	2/12/42	680	163	76.04	-	-	23.0	10.5	-	-
2	3/12/42	-	-	-	-	-	-	8.0	-	-
3	4/12/42	-	-	-	-	-	-	15.5	-	-
4	7/12/42	-	-	-	7.14	7.95	-	-	-	25.9
5	8/12/42	-	120	82.35	-	7.45	-	8.5	-259	25.3
6	9/12/42	-	129	81.09	-	7.48	-	-	-	24.4
7	12/12/42	-	120	82.35	-	7.46	-	-	-	26.0
8	14/12/42	-	103	84.87	-	7.33	-	-	-	26.6
9	15/12/42	-	103	84.87	-	7.22	-	-	-280	26.8
10	17/12/42	-	88	87.06	-	-	-	-	-	-
11	21/12/42	-	104	84.71	-	-	27.0	5.5	-	-
12	22/12/42	655	136	79.24	7.2	7.4	-	0.5	-265	24.2
13	23/12/42	-	112	82.90	-	7.52	-	-	-	22.4
14	26/12/42	-	-	-	-	7.64	-	-	-	22.3
15	27/12/42	-	112	82.90	-	-	-	-	-	-
16	28/12/42	-	96	85.34	-	-	-	-	-	-
17	29/12/42	-	-	-	-	7.28	-	-	-252	23.5
18	30/12/42	-	96	85.34	-	-	-	-	-	-
19	3/1/43	-	-	-	-	8.17	-	-	-	27.7
20	5/1/43	-	88	86.56	-	7.42	16.5	1.5	-	27.3
21	10/1/43	650	104	84.00	-	7.4	-	-	-235	27.5
22	12/1/43	-	-	-	-	7.57	-	-	-	27.6
23	13/1/43	-	-	-	-	7.54	18.0	3.5	-	27.8

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ก.4 ผลการทดลองของถังกรองไร้อากาศที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.95 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 1)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
1	14/1/43	625	110	82.40	-	7.42	-	-	-	27.8
2	17/1/43	-	125	80.00	7.45	6.94	-	-	-	28.1
3	18/1/43	-	-	-	-	7.44	-	-	-	27.8
4	19/1/43	-	130	79.20	-	7.36	-	-	-285	28.0
5	21/1/43	-	-	-	7.23	6.92	-	-	-	27.5
6	24/1/43	-	-	-	-	7.05	-	-	-	27.5
7	28/1/43	621	120	80.67	7.33	7.44	30.5	7.5	-342	25.1
8	29/1/43	-	132	78.67	-	7.50	-	-	-	25.1
9	31/1/43	-	124	80.01	-	7.36	-	6.0	-	26.2
10	1/2/43	-	108	82.66	-	7.48	-	-	-	25.5
11	2/2/43	560	164	70.71	-	7.50	-	5.5	-332	25.2
12	4/2/43	-	168	70.00	-	7.50	-	-	-	27.0
13	7/2/43	-	220	60.71	-	7.10	-	-	-	28.0
14	9/2/43	-	200	64.29	6.39	7.39	-	-	-327	27.3
15	10/2/43	-	136	75.71	-	7.36	-	-	-	26.6
16	11/2/43	-	-	-	-	7.42	28.5	3.0	-	27.7
17	12/2/43	-	168	70.00	-	7.40	-	-	-	27.6
18	16/2/43	-	160	71.43	-	7.44	-	-	-329	27.6
19	18/2/43	-	184	67.14	-	7.64	-	-	-	28.1
20	23/2/43	-	136	75.71	-	7.63	-	2.0	-	28.0
21	27/2/43	-	-	-	-	7.62	24.0	4.5	-	26.5
22	28/2/43	-	192	65.71	-	7.71	-	-	-315	28.2
23	29/2/43	-	136	75.71	-	7.52	-	-	-	26.8
24	1/3/43	580	120	78.57	-	7.53	-	5.0	-	25.4
25	10/3/43	-	-	-	-	7.53	-	1.5	-311	29.1
26	13/3/43	-	-	-	-	7.33	-	-	-	28.4

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ก.5 ผลการทดลองของถังกรองไร้อากาศที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ถึงปฏิกรณ์ 1)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
1	18/3/43	-	-	-	6.74	7.61	-	-	-	29.4
2	20/3/43	771	154	79.99	-	7.44	50.5	6.5	-	29.6
3	21/3/43	-	-	-	6.81	7.57	-	-	-	26.7
4	23/3/43	-	129	83.24	6.88	7.48	-	4.5	-351	31.6
5	24/3/43	-	129	83.24	-	7.31	-	-	-	26.8
6	28/3/43	-	129	83.24	-	7.43	-	-	-340	29.1
7	29/3/43	-	129	83.24	-	7.39	-	-	-	28.0
8	3/4/43	685	142	79.33	6.75	7.14	38.0	2.5	-334	29.2
9	4/4/43	-	140	79.55	-	7.27	-	-	-	30.3
10	20/4/43	693	50	92.78	6.81	7.47	-	-	-	29.5
11	24/4/43	-	136	80.38	-	7.44	-	-	-	30.3
12	25/4/43	703	133	81.08	-	7.37	-	-	-338	29.2
13	26/4/43	-	-	-	-	7.48	-	-	-	29.3
14	27/4/43	-	-	-	6.77	7.57	-	-	-	30.2
15	28/4/43	-	145	79.37	-	7.64	-	-	-	29.6

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ตาราง ก.6 ผลการทดลองของถังกรองใ้้อากาศที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.87 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 2)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
1	26/8/42	1288	124	90.41	6.85	7.57	-	-	-260	28.0
2	27/8/42	-	168	86.98	6.89	7.17	-	-	-	28.2
3	28/8/42	1491	136	90.85	-	7.20	-	-	-	27.6
4	30/8/42	-	136	90.85	-	7.23	-	-	-	27.0
5	31/8/42	-	118	92.07	-	7.33	-	-	-	26.8
6	1/9/42	-	145	90.24	-	7.29	-	-	-	28.5
7	2/9/42	-	130	91.31	-	7.30	-	-	-	28.1
8	6/9/42	818	135	83.56	-	7.33	-	-	-255	27.5
9	7/9/42	1118	200	82.11	-	7.20	-	-	-	26.8
10	9/9/42	-	165	85.26	-	7.26	-	-	-	27.3
11	10/9/42	-	179	83.98	-	7.34	-	-	-	27.0
12	13/9/42	788	-	-	-	7.37	-	-	-273	25.0
13	14/9/42	-	143	81.81	-	7.41	-	-	-	26.5
14	15/9/42	-	214	72.87	-	-	-	-	-	-
15	16/9/42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	18/9/42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	20/9/42	1088	-	-	-	-	-	-	-	-
18	21/9/42	-	203	81.38	-	-	-	-	-289	-
19	22/9/42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	23/9/42	-	222	79.63	-	7.41	-	-	-	28.1
21	24/9/42	-	218	79.96	-	-	-	-	-	-
22	27/9/42	886	-	-	-	-	-	-	-	-
23	28/9/42	-	184	79.29	-	7.80	45.5	13.5	-	27.9
24	29/9/42	-	168	81.04	-	-	-	-	-	-
25	30/9/42	-	-	-	-	-	-	-	-281	-
26	2/10/42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	5/10/42	-	-	-	-	7.75	-	-	-	26.3
28	6/10/42	1130	181	83.98	-	7.70	-	-	-	28.0
29	7/10/42	-	-	-	-	7.64	-	-	-296	27.6

ตาราง ก.6 (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
30	8/10/42	-	-	-	-	7.67	-	-	-	28.0
31	9/10/42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	11/10/42	-	-	-	-	7.61	25.0	5.0	-	28.1
33	12/10/42	-	212	81.26	-	7.57	-	-	-	27.9
34	13/10/42	-	-	-	-	-	-	6.0	-293	-
35	14/10/42	-	175	84.52	-	7.55	-	-	-	27.8
36	15/10/42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	16/10/42	-	-	-	-	7.52	-	-	-	27.9
38	18/10/42	-	-	-	-	7.43	-	2.5	-	28.2
39	20/10/42	-	-	-	-	7.47	-	-	-311	27.8
40	21/10/42	-	209	81.50	-	7.42	-	-	-	27.6
41	26/10/42	-	-	-	-	-	-	3.0	-	-
42	29/10/42	-	-	-	-	7.34	-	-	-	24.5
43	2/11/42	-	-	-	-	-	-	1.0	-305	-
44	9/11/42	-	-	-	-	-	-	4.5	-	-
45	10/11/42	-	-	-	-	7.45	-	-	-	27.5
46	12/11/42	-	-	-	-	-	-	5.5	-	-
47	13/11/42	-	175	84.52	-	7.49	-	-	-316	27.2
48	29/11/42	-	160	85.84	-	7.51	45.5	18.0	-310	27.4
49	30/11/42	-	152	86.55	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.7 ผลการทดลองของถังกรองใ้ร้อากาศที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 2)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
1	2/12/42	680	154	77.31	-	-	23.00	5.50	-	-
2	3/12/42	-	-	-	-	-	-	7.40	-	-
3	4/12/42	-	129	81.09	-	-	-	3.20	-	-
4	7/12/42	-	-	-	7.14	7.53	-	-	-	25.9
5	8/12/42	-	137	79.84	-	7.56	-	-	-323	25.3
6	9/12/42	-	142	79.12	-	7.52	-	-	-	24.4
7	12/12/42	-	150	77.94	-	7.26	-	-	-	26.0
8	14/12/42	-	111	83.62	-	7.50	-	-	-	26.6
9	15/12/42	-	94	86.13	-	7.48	-	-	-331	26.8
10	17/12/42	-	104	84.71	-	-	-	-	-	-
11	21/12/42	-	120	82.35	-	-	27.00	1.50	-	-
12	22/12/42	655	120	81.68	7.2	7.33	-	2.50	-328	24.2
13	23/12/42	-	114	82.60	-	7.46	-	-	-	22.4
14	26/12/42	-	-	-	-	7.42	-	-	-	22.3
15	27/12/42	-	88	86.56	-	-	-	-	-	-
16	28/12/42	-	120	81.68	-	-	-	-	-	-
17	29/12/42	-	-	-	-	7.51	-	-	-320	23.5
18	30/12/42	-	129	80.31	-	-	-	-	-	-
19	3/1/43	-	-	-	-	7.19	-	-	-	27.7
20	5/1/43	-	132	79.85	-	7.52	16.50	1.00	-	27.3
21	10/1/43	650	140	78.46	-	7.56	-	-	-344	27.5
22	12/1/43	-	-	-	-	7.52	-	-	-	27.6
23	13/1/43	-	-	-	-	7.55	18.00	5.00	-	27.8

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ก.8 ผลการทดลองของถังกรองไร้อากาศที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1.11 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 2)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
1	14/1/43	625	128	79.52	-	7.44	-	-	-	27.8
2	17/1/43	-	120	80.80	7.45	7.06	-	-	-	28.1
3	18/1/43	-	-	-	-	7.35	-	-	-	27.8
4	19/1/43	-	140	77.60	-	7.31	-	-	-328	28.0
5	21/1/43	-	-	-	7.23	7.23	-	-	-	27.5
6	24/1/43	-	-	-	-	7.12	-	-	-	27.5
7	28/1/43	621	128	79.33	7.33	7.39	30.5	10.5	-382	25.1
8	29/1/43	-	108	82.66	-	7.50	-	-	-	25.1
9	31/1/43	-	116	81.33	-	7.32	-	8.0	-	26.2
10	1/2/43	-	108	82.66	-	7.41	-	-	-	25.5
11	2/2/43	560	53	90.57	-	7.42	-	5.5	-346	25.2
12	4/2/43	-	104	81.43	-	7.54	-	-	-	27.0
13	7/2/43	-	208	62.86	-	7.13	-	-	-	28.0
14	9/2/43	-	144	74.29	6.39	7.48	-	-	-323	27.3
15	10/2/43	-	168	70.00	-	7.27	-	-	-	26.6
16	11/2/43	-	-	-	-	7.94	28.5	7.0	-	27.7
17	12/2/43	-	144	74.29	-	7.46	-	-	-	27.6
18	16/2/43	-	176	68.57	-	7.65	-	-	-330	27.6
19	18/2/43	-	160	71.43	-	7.48	-	-	-	28.1
20	23/2/43	-	160	71.43	-	7.73	-	4.0	-	28.0
21	27/2/43	-	-	-	-	7.78	24.0	6.5	-	26.5
22	28/2/43	-	160	71.43	-	7.33	-	-	-327	28.2
23	29/2/43	-	136	75.71	-	7.38	-	-	-	26.8
24	1/3/43	580	120	78.57	-	7.89	-	2.5	-	25.4
25	10/3/43	-	-	-	-	7.81	-	3.0	-324	29.1
26	13/3/43	-	-	-	-	7.70	-	-	-	28.4

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ก.9 ผลการทดลองของถังกรองไร้อากาศที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ดังปฏิกรณ์ 2)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	temp °C
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
1	18/3/43	-	-	-	6.74	7.58	-	-	-	29.4
2	20/3/43	771	154	79.99	-	7.48	50.5	3.5	-	29.6
3	21/3/43	-	-	-	-	7.43	-	-	-	26.7
4	23/3/43	-	154	80.04	-	6.92	-	10.5	-331	31.6
5	24/3/43	-	179	76.85	-	7.28	-	-	-	26.8
6	28/3/43	-	129	83.24	-	7.24	-	-	-332	29.1
7	29/3/43	-	142	81.65	-	7.15	-	-	-	28.0
8	3/4/43	685	179	73.93	6.75	7.22	38	7.5	-321	29.2
9	4/4/43	-	162	76.34	-	7.25	-	-	-	30.3
10	20/4/43	693	79	88.65	6.81	7.44	-	-	-	29.5
11	24/4/43	-	132	80.95	-	7.45	-	-	-	30.3
12	25/4/43	703	142	79.80	-	7.48	-	-	-308	29.2
13	26/4/43	-	-	-	-	7.59	-	-	-	29.3
14	27/4/43	-	-	-	-	7.37	-	-	-	30.2
15	28/4/43	-	154	78.09	-	7.24	-	-	-	29.6

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.10 ผลการทดลองของถังกรองใ้้อากาศที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 2.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 1 )

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH		Oil&Grease (mg/l)		ORP (mv)	Temp (°C)
		Inf.	Eff.		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.		
1	13/12/43	1136	590	48.06	7.78	7.35	36.0	3.5	-365	27.1
2	14/12/43	1050	406	61.33	-	7.52	-	-	-356	27.5
3	15/12/43	-	314	70.10	-	7.28	-	-	-339	26.7
4	18/12/43	-	-	-	-	7.52	-	-	-338	28.2
5	19/12/43	-	368	64.95	7.75	7.42	-	-	-340	27.2
6	20/12/43	-	397	62.19	-	6.95	-	-	-339	28.8
7	21/12/43	-	329	68.67	7.38	6.95	-	-	-337	28.8
8	22/12/43	-	-	-	7.54	6.98	-	-	-313	28.8
9	23/12/43	873	346	60.37	-	7.20	-	-	-313	26.8
10	24/12/43	-	-	-	-	7.09	32.0	6.5	-315	25.9
11	27/12/43	775	588	24.13	-	7.07	-	3.4	-314	25.6
12	28/12/43	-	-	-	-	7.00	-	-	-312	25.4
13	2/1/44	-	-	-	7.46	6.79	-	-	-346	28.0
14	3/1/44	-	384	50.45	-	6.99	-	-	-348	27.2
15	4/1/44	-	-	-	-	7.22	-	-	-357	26.7
16	5/1/44	664	252	62.05	7.60	7.14	34.0	3.5	-342	26.6

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.10 (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	Sulfate (mg/l)		Sulfide (mg/l)	Alk (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )		VFA (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	
		Inf.	Eff.	Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
1	13/12/43	965	804	4.9	-	-	-	-
2	14/12/43	-	-	-	-	-	-	-
3	15/12/43	853	450	-	-	-	-	-
4	18/12/43	917	804	-	-	-	-	-
5	19/12/43	-	-	-	-	-	-	-
6	20/12/43	850	500	0.4	-	-	-	-
7	21/12/43	875	824	1.8	-	-	-	-
8	22/12/43	-	-	-	-	-	-	-
9	23/12/43	-	-	-	224	410	125	172
10	24/12/43	1000	565	2.7	250	470	164	338
11	27/12/43	-	-	-	-	-	-	-
12	28/12/43	1300	800	1.8	258	430	142	266
13	2/1/44	-	-	-	394	478	138	296
14	3/1/44	975	500	0.3	240	472	124	282
15	4/1/44	850	500	0.7	320	394	118	176
16	5/1/44	-	-	0.1	336	400	158	178

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลง

ตาราง ก.11 ผลการทดลองของถังกรองใ้อากาศที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 2 )

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD (mg/l)		%COD removed	pH	il&Grease (mg/l)		ORP (mv)	Temp (°C)
		Inf.	Eff.		Inf.	Inf.	Eff.		
1	13/12/43	1136	649	42.87	7.78	36.0	4	-352	27.1
2	14/12/43	1050	379	63.90	-	-	-	-347	27.5
3	15/12/43	-	425	59.52	-	-	-	-343	26.7
4	18/12/43	-	-	-	-	-	-	-341	28.2
5	19/12/43	-	426	59.43	7.75	-	-	-345	27.2
6	20/12/43	-	484	53.90	-	-	-	-345	28.8
7	21/12/43	-	465	55.71	7.38	-	-	-344	28.8
8	22/12/43	-	-	-	7.54	-	-	-312	28.8
9	23/12/43	873	432	50.52	-	-	-	-343	26.8
10	24/12/43	-	-	-	-	32	4.5	-329	25.9
11	27/12/43	775	609	21.42	-	-	6.3	-326	25.6
12	28/12/43	-	-	-	-	-	-	-321	25.4
13	2/1/44	-	-	-	7.46	-	-	-334	28.0
14	3/1/44	-	366	52.77	-	-	-	-337	27.2
15	4/1/44	-	384	50.45	-	-	-	-331	26.7
16	5/1/44	664	290	56.33	7.60	34	3.0	-328	26.6

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตาราง ก.11 (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	Sulfate (mg/l)		Sulfide (mg/l)	Alk (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )		VFA (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	
		Inf.	Eff.	Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
1	13/12/43	965	896	1.5	-	-	-	-
2	14/12/43	-	-	-	-	-	-	-
3	15/12/43	853	450	-	-	-	-	-
4	18/12/43	917	896	-	-	-	-	-
5	19/12/43	-	-	-	-	-	-	-
6	20/12/43	850	405	0.93	-	-	-	-
7	21/12/43	875	800	1.2	-	-	-	-
8	22/12/43	-	-	-	-	-	-	-
9	23/12/43	-	-	-	224	326	125	198
10	24/12/43	1000	875	2.5	250	380	164	250
11	27/12/43	-	-	-	-	-	-	-
12	28/12/43	1300	750	1.3	258	393	142	206
13	2/1/44	-	-	-	394	442	138	250
14	3/1/44	975	750	0.3	240	374	124	188
15	4/1/44	850	500	0.3	320	368	118	162
16	5/1/44	-	-	0.7	336	362	158	144

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ภาคผนวก ข.

ตาราง ข.1 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราการระบวรทุกสารอินทรีย์ 0.58 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถึงปฏิกรณ์ 1)

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
พีเอช	เฉลี่ย	6.87	7.59
	ค่าเบี่ยงเบน	0.03	25
	จำนวนตัวอย่าง	2	15
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	-	27.35
	ค่าเบี่ยงเบน	-	0.9
	จำนวนตัวอย่าง	-	15
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-242
	ค่าเบี่ยงเบน	-	5
	จำนวนตัวอย่าง	-	5
ซีโอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	1135	178
	ค่าเบี่ยงเบน	269	58
	จำนวนตัวอย่าง	9	25
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	เฉลี่ย	-	84.03
	ค่าเบี่ยงเบน	-	6.04
	จำนวนตัวอย่าง	-	25

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ข.2 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 0.87 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ถึงปฏิกรณ์ 1)

ตัวแปร	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
พีเอช	เฉลี่ย	7.41
	ค่าเบี่ยงเบน	0.124
	จำนวนตัวอย่าง	17
อุณหภูมิ ( °C)	เฉลี่ย	27.44
	ค่าเบี่ยงเบน	0.88
	จำนวนตัวอย่าง	17
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-250
	ค่าเบี่ยงเบน	13.14
	จำนวนตัวอย่าง	6
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	4.5
	ค่าเบี่ยงเบน	3.8
	จำนวนตัวอย่าง	8
ซีไอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	177
	ค่าเบี่ยงเบน	25
	จำนวนตัวอย่าง	18
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)	เฉลี่ย	84.35
	ค่าเบี่ยงเบน	2
	จำนวนตัวอย่าง	18

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.3 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ดังปฏิกรณ์ 1)

ตัวแปร	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	
พีเอช	เฉลี่ย	7.17	7.52
	ค่าเบี่ยงเบน	0.04	0.25
	จำนวนตัวอย่าง	2	15
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	-	25.69
	ค่าเบี่ยงเบน	-	1.92
	จำนวนตัวอย่าง	-	15
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-258
	ค่าเบี่ยงเบน	-	16.57
	จำนวนตัวอย่าง	-	5
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	21.1	6.69
	ค่าเบี่ยงเบน	4.8	5
	จำนวนตัวอย่าง	4	8
ซีไอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	662	112
	ค่าเบี่ยงเบน	16	20
	จำนวนตัวอย่าง	3	15
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)	เฉลี่ย	-	83.31
	ค่าเบี่ยงเบน	-	3
	จำนวนตัวอย่าง	-	15

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.4 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.95 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ถึงปฏิกรณ์ 1)

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
พีเอช	เฉลี่ย	7.1	7.41
	ค่าเบี่ยงเบน	0.48	0.19
	จำนวนตัวอย่าง	4	26
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	-	27.16
	ค่าเบี่ยงเบน	-	1.11
	จำนวนตัวอย่าง	-	26
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-320
	ค่าเบี่ยงเบน	-	18.66
	จำนวนตัวอย่าง	-	7
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	27.67	4.38
	ค่าเบี่ยงเบน	2.72	1.93
	จำนวนตัวอย่าง	3	7
ซีไอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	596	149
	ค่าเบี่ยงเบน	32	33
	จำนวนตัวอย่าง	4	19
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)	เฉลี่ย	-	74.17
	ค่าเบี่ยงเบน	-	6.39
	จำนวนตัวอย่าง	-	19

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.5 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราการระบวรทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถึงปฏิกรณ์ 1)

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
พีเอช	เฉลี่ย	6.75	7.44
	ค่าเบี่ยงเบน	0.05	0.13
	จำนวนตัวอย่าง	6	15
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	-	29.25
	ค่าเบี่ยงเบน	-	1.25
	จำนวนตัวอย่าง	-	15
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-341
	ค่าเบี่ยงเบน	-	7.27
	จำนวนตัวอย่าง	-	4
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	44.25	4.5
	ค่าเบี่ยงเบน	8.83	2
	จำนวนตัวอย่าง	2	3
ซีโอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	713	129
	ค่าเบี่ยงเบน	39	27
	จำนวนตัวอย่าง	4	11
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	เฉลี่ย	-	82.31
	ค่าเบี่ยงเบน	-	3.86
	จำนวนตัวอย่าง	-	11

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ข.6 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.87 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ถึงปฏิกรณ์ 2)

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
พีเอช	เฉลี่ย	6.87	7.44
	ค่าเบี่ยงเบน	0.03	0.17
	จำนวนตัวอย่าง	2	30
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	-	27.4
	ค่าเบี่ยงเบน	-	0.9
	จำนวนตัวอย่าง	-	30
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-290
	ค่าเบี่ยงเบน	-	20.7
	จำนวนตัวอย่าง	-	11
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	38.67	6.56
	ค่าเบี่ยงเบน	11.84	5.56
	จำนวนตัวอย่าง	3	9
ซีไอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	1076	170
	ค่าเบี่ยงเบน	241	32
	จำนวนตัวอย่าง	14	25
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)	เฉลี่ย	-	84.47
	ค่าเบี่ยงเบน	-	4.69
	จำนวนตัวอย่าง	-	25

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ตาราง ข.7 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.83 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ดังปฏิกรณ์ 2)

ตัวแปร	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	
พีเอช	เฉลี่ย	7.17	7.46
	ค่าเบี่ยงเบน	0.04	0.11
	จำนวนตัวอย่าง	2	15
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	-	25.6
	ค่าเบี่ยงเบน	-	1.92
	จำนวนตัวอย่าง	-	15
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-329
	ค่าเบี่ยงเบน	-	9.31
	จำนวนตัวอย่าง	-	5
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	21.1	4.35
	ค่าเบี่ยงเบน	4.8	2.3
	จำนวนตัวอย่าง	4	7
ซีไอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	662	124
	ค่าเบี่ยงเบน	16	19
	จำนวนตัวอย่าง	3	16
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)	เฉลี่ย	-	81.45
	ค่าเบี่ยงเบน	-	2.78
	จำนวนตัวอย่าง	-	16

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.8 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราการระบพรทุกสารอินทรีย์ 1.11 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 2)

ตัวแปร	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	
พีเอช	เฉลี่ย	7.1	7.47
	ค่าเบี่ยงเบน	0.48	0.23
	จำนวนตัวอย่าง	4	26
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	-	27.16
	ค่าเบี่ยงเบน	-	1.11
	จำนวนตัวอย่าง	-	26
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-337
	ค่าเบี่ยงเบน	-	21.22
	จำนวนตัวอย่าง	-	7
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	27.67	5.88
	ค่าเบี่ยงเบน	3.33	2.7
	จำนวนตัวอย่าง	3	8
ซีโอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	596	136
	ค่าเบี่ยงเบน	32	34
	จำนวนตัวอย่าง	4	19
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	เฉลี่ย	-	77.18
	ค่าเบี่ยงเบน	-	6.42
	จำนวนตัวอย่าง	-	19

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.9 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ถึงปฏิกรณ์ 2)

ตัวแปร	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
พีเอช	เฉลี่ย	7.34
	ค่าเบี่ยงเบน	0.19
	จำนวนตัวอย่าง	15
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	29.25
	ค่าเบี่ยงเบน	1.28
	จำนวนตัวอย่าง	15
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-323
	ค่าเบี่ยงเบน	11.17
	จำนวนตัวอย่าง	4
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	7.17
	ค่าเบี่ยงเบน	3.51
	จำนวนตัวอย่าง	3
ซีไอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	146
	ค่าเบี่ยงเบน	28
	จำนวนตัวอย่าง	11
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)	เฉลี่ย	79.96
	ค่าเบี่ยงเบน	3.91
	จำนวนตัวอย่าง	11

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ข.10 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2.50 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ถึงปฏิกรณ์ 1)

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
พีเอช	เฉลี่ย	7.59	7.15
	ค่าเบี่ยงเบน	0.16	0.22
	จำนวนตัวอย่าง	6	16
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	-	27.21
	ค่าเบี่ยงเบน	-	1.1
	จำนวนตัวอย่าง	-	16
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-335.88
	ค่าเบี่ยงเบน	-	17.44
	จำนวนตัวอย่าง	-	16
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	34	4.47
	ค่าเบี่ยงเบน	2	1.5
	จำนวนตัวอย่าง	3	4
ซีไอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	899.6	397.4
	ค่าเบี่ยงเบน	193.8	110.5
	จำนวนตัวอย่าง	5	10
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)	เฉลี่ย	-	57.23
	ค่าเบี่ยงเบน	-	13.57
	จำนวนตัวอย่าง	-	10
ซัลเฟต (มก./ล.)	เฉลี่ย	953.89	638.56
	ค่าเบี่ยงเบน	142.23	163.46
	จำนวนตัวอย่าง	9	9
ซัลไฟด์ (มก./ล.)	เฉลี่ย	-	1.59
	ค่าเบี่ยงเบน	-	1.62
	จำนวนตัวอย่าง	-	8
สภาพต่าง (มก./ล. หินปูน)	เฉลี่ย	288.86	436.29
	ค่าเบี่ยงเบน	62.32	36.49
	จำนวนตัวอย่าง	7	7
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน)	เฉลี่ย	138.43	244
	ค่าเบี่ยงเบน	17.59	67.86
	จำนวนตัวอย่าง	7	7

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตาราง ข.11 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 3.00 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังปฏิกรณ์ 2)

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
พีเอช	เฉลี่ย	7.59	7.10
	ค่าเบี่ยงเบน	0.16	0.28
	จำนวนตัวอย่าง	6	16
อุณหภูมิ (°C)	เฉลี่ย	-	27.21
	ค่าเบี่ยงเบน	-	1.1
	จำนวนตัวอย่าง	-	16
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-336.13
	ค่าเบี่ยงเบน	-	27.21
	จำนวนตัวอย่าง	-	16
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	เฉลี่ย	34	4.45
	ค่าเบี่ยงเบน	2	1.38
	จำนวนตัวอย่าง	3	4
ซีไอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	899.6	446.3
	ค่าเบี่ยงเบน	193.8	104.73
	จำนวนตัวอย่าง	5	10
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)	เฉลี่ย	-	51.53
	ค่าเบี่ยงเบน	-	11.45
	จำนวนตัวอย่าง	-	10
ซัลเฟต (มก./ล.)	เฉลี่ย	953.89	702.44
	ค่าเบี่ยงเบน	142.23	197.46
	จำนวนตัวอย่าง	9	9
ซัลไฟด์ (มก./ล.)	เฉลี่ย	-	1.15
	ค่าเบี่ยงเบน	-	0.72
	จำนวนตัวอย่าง	-	8
สภาพด่าง (มก./ล. หินปูน)	เฉลี่ย	288.86	377.86
	ค่าเบี่ยงเบน	62.32	35.12
	จำนวนตัวอย่าง	7	7
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน)	เฉลี่ย	138.43	199.7
	ค่าเบี่ยงเบน	17.59	40.34
	จำนวนตัวอย่าง	7	7

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

### ประวัติผู้เขียน

นายทัยศักดิ์ ธรรมกุล เกิดวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2518 ที่อำเภอเมือง จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2540



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย