



การปรับปรุงการย่อยสลายแบบไร้อากาศของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม  
ด้วยกระบวนการโอโซนชั้น

**Ozonation Pretreatment for Improving Biodegradability of Palm Oil Mill  
Effluent in Anaerobic Digestion**

ชัยลักษณ์ หลักแหลม

**Tanyaluk Laklam**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Environmental Management**

**Prince of Songkla University**

**2553**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงการย่อยสลายแบบไร้อากาศของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการ โอ โชนะชั้น
ผู้เขียน	นางสาวชญลักษณ์ หลีกแหลม
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2552

### บทคัดย่อ

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำที่สำคัญของภาคใต้ น้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีความเข้มข้นมากจึงทำให้ยากแก่การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ จึงนำวิธีการปรับสภาพด้วยโอ โชนะชั้นมาใช้เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปที่ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ในการทดลองนี้ได้ศึกษาการเปรียบเทียบรอบการทำงาน (Cycle Time; CT) 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ของระบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอ โชนะชั้น โดยเดินระบบที่ระยะกักพักชลศาสตร์ (HRT) 10, 7 และ 5 วัน พบว่า สำหรับน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอ โชนะชั้น การเดินระบบ ที่ CT 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD สูงสุด โดยที่ HRT 10 และ 7 วัน มีค่าเท่ากับร้อยละ 64.2 และ 54.7 ตามลำดับ และที่ HRT 5 วัน ระบบเกิดสถานะล้มเหลว โดยสามารถกำจัด TCOD เพียงร้อยละ 6.7, 14.1, และ 16.4 ที่ CT 48, 24 และ 12 ชั่วโมง ชั่วโมง ตามลำดับ

จากการทดลองแรก ได้เลือก CT 12 ชั่วโมง ในการเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอ โชนะชั้น พบว่าระบบไม่สามารถดำเนินได้โดยไม่มี การปรับพีเอช ดังนั้นจึงมีการปรับ pH น้ำเสียให้อยู่ในช่วง 6.8 -7.2 จากนั้นเมื่อเดินระบบ พบว่า ASBR สามารถกำจัด TCOD ได้ เพียงร้อยละ 28.0, 30.8 และ 28.6 ที่ HRT 10, 7, และ 5 วัน ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และผลิตก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเพียงร้อยละ 20.5-26.3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการ โอ โชนะชั้นมีความเหมาะสมต่อการบำบัดด้วยระบบไร้อากาศ ASBR และระบบสามารถดำเนินได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่รอบการทำงานสั้นกว่า ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าด้วย

<b>Thesis Title</b>	Ozonation Pretreatment for Improving Biodegradability of Palm Oil Mill Effluent in Anaerobic Digestion
<b>Author</b>	Miss Tanyaluk Laglam
<b>Major Program</b>	Environmental Management
<b>Academic Year</b>	2009

### **ABSTRACT**

Palm oil mill is an essential point source of wastewater in southern Thailand. The palm oil mill effluent (POME) contains complex organics in high concentration which is difficult to be degraded biologically. Therefore, ozonation pretreatment was applied to reduce substance complexity of this wastewater. The objective of this study was to investigate the performance of anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) treating ozonated and raw (non-ozonated) POME under different operational cycle times (CT) at 12, 24 and 48 hours and hydraulic retention times (HRT) of 10, 7, and 5 days. It was found that with ozonated POME, the system had highest TCOD removal efficiency under CT at 12 hours, 64.3 and 54.7 percent at HRT 10 and 7 days, respectively. However, under HRT 5 days the system failed and could remove TCOD only 6.7, 14.1, and 16.4 percent at CT 48, 24, and 12, respectively.

As a result, the CT at 12 hours was then selected to use in the subsequent experiment with non-ozonated POME. It was found that the ASBR could not sustain internal pH, thus, pH adjustment of the wastewater to 6.8-7.2 was carried out. Nevertheless, TCOD removal could reach only 28.0, 30.8, and 28.6 percent at HRT 10, 7, and 5 days, respectively, which were not statistically different. Methane content in the biogas were at 20.5-26.3 percent. The results suggest that pre-ozonation is beneficial to enhance anaerobic degradation of POME while the shorter cycle time is preferable in order to obtain higher organic removal efficiency for ASBR system.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำในการทำวิจัย การค้นคว้าและการเขียนวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ ประธานกรรมการ และ ผศ.ดร.นฤกุล อินทรสังขา กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่สละเวลาอันมีค่าซึ่งในการให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัทเอเซียเน้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการสนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณนางสาวพัชรวรรณ รัตนอุบล (เป็ล), นางสาวศันสนีย์ วงศ์ชนะ (ปอย), นางสาวอุมาพร ปรีชา (พี่กุ่ม) และเพื่อนๆสาขาการจัดการสิ่งแวดล้อมรุ่นที่ 18

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่ให้กำลังใจ กำลังทรัพย์และโอกาสในการศึกษามาโดยตลอด รวมทั้งพี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ และเจ้าหน้าที่ในคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ตลอดจนทุกๆ ท่านที่มีได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ชัญลักษณ์ หลีกแหลม

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการตารางภาคผนวก	(10)
รายการภาพประกอบ	(15)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(18)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์	28
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	28
1.5 ขอบเขตการวิจัย	28
2 วิธีการวิจัย	29
2.1 วิธีดำเนินการวิจัย	29
2.1.1 การศึกษาลักษณะน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	29
2.1.2 การศึกษาลักษณะน้ำเสีย	31
2.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ASBR จำลองในห้องปฏิบัติการ	33
2.1.4 การเริ่มต้นเดินระบบ (Start Up)	33
2.1.5 สภาวะการทดลองที่ศึกษา	34
2.1.6 การศึกษาค่าชีวภาพ	37
2.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	37
2.2 วัสดุ	37
2.3 อุปกรณ์	37

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	39
3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	39
3.2 ผลการทดลองของระบบบำบัด ASBR จำลองในห้องปฏิบัติการ	40
3.2.1 ศึกษาผลของ Cycle Time ต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	40
3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	58
3.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	70
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	76
4.1 บทสรุป	76
4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม	77
บรรณานุกรม	78
ภาคผนวก	87
ประวัติผู้เขียน	133

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1-1 ลักษณะของน้ำทิ้งจากชั้นตอนต่างๆในการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มและน้ำในบ่อรวมน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	7
1-2 การเปรียบเทียบระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน	10
1-3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยระบบไร้อากาศแบบ ASBR	17
1-4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน	26
2-1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย	31
2-2 ลักษณะการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนขั้น	35
2-3 ความถี่ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเข้าและน้ำทิ้งจากระบบบำบัด ASBR	35
2-4 ลักษณะการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	36
3-1 ลักษณะน้ำเสียก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนขั้น	39
3-2 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	40
3-3 pH, VFA, Alkalinity และ VFA/Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ที่เดินระบบ ด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนขั้นเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว	46
3-4 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนขั้นเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว	49
3-5 ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนขั้นเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว	50
3-6 ประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนขั้นเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว	52
3-7 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนขั้นเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว	56



## รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
3-8 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD, SCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	58
3-9 pH, VFA, Alkalinity และ VFA/Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ที่เดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	63
3-10 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	69
3-11 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD, SCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	69
3-12 ลักษณะของน้ำเสียเข้าระบบซึ่งไม่มีการปรับ pH ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	71
3-13 ประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	75

## รายการตารางภาคผนวก

ตารางผนวก	หน้า
ก-1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน	88
ก-2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน	92
ก-3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน	96
ก-4 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสียและน้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	100
ก-5 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสียและน้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น (ไม่มีการปรับ pH)	106
ข-1 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม	110
ข-2 ช่วงของค่า BOD <sub>5</sub> และวิธีการเจือจางน้ำ	118
ค-1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพน้ำทิ้งในพารามิเตอร์ต่างๆของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10, 7 และ 5 วัน เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	119
ค-2 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย pH ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	119
ค-3 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย VFA ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	120

## รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
ค-4	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสี้ยวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	120
ค-5	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย VFA/Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสี้ยวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	120
ค-6	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสี้ยวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	121
ค-7	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสี้ยวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	121
ค-8	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสี้ยวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	121
ค-9	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Observed Methane Yield ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสี้ยวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	122
ค-10	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า pH ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสี้ยวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	122
ค-11	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า VFA ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสี้ยวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	122

## รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
ค-12	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	123
ค-13	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า VFA/Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	123
ค-14	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	123
ค-15	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	124
ค-16	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	124
ค-17	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Observed Methane Yield ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	124
ค-18	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า pH ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	125
ค-19	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า VFA ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	125

## รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
ค-20	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	125
ค-21	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า VFA/Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	126
ค-22	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	126
ค-23	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	126
ค-24	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	127
ค-25	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Observed Methane Yield ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	127
ค-26	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพน้ำทิ้งในพารามิเตอร์ต่างๆของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	128
ค-27	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย pH ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	129

## รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
ค-28	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย VFA ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	129
ค-29	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	130
ค-30	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย VFA/Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	130
ค-31	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	131
ค-32	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	131
ค-33	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	132
ค-34	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Observed Methane Yield ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว	132

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1	4
1-2	5
1-3	11
1-4	12
1-5	16
1-6	22
1-7	23
1-8	24
2-1	29
2-2	30
2-3	32
2-4	33
3-1	41
3-2	42
3-3	45
3-4	47
3-5	48

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3-6	ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	48
3-7	ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับ CT ต่อประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR	49
3-8	ประสิทธิภาพการกำจัด BOD <sub>5</sub> ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	51
3-9	ประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	52
3-10	ประสิทธิภาพการกำจัด Oil and Grease ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	53
3-11	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	55
3-12	ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับ CT ต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR	56
3-13	Observed Methane Yield ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	57
3-14	ลักษณะของระบบ ASBR ทั้ง 4 ระบบที่มี Cycle Time ที่เหมาะสมกับ HRT	59
3-15	pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	60
3-16	VFA (a), Alkalinity (b) และ VFA/Alkalinity (c) ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	62
3-17	ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	64



## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3-18	ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	64
3-19	ประสิทธิภาพการกำจัด BOD <sub>5</sub> ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	65
3-20	ประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	66
3-21	ประสิทธิภาพการกำจัด Oil and Grease ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	67
3-22	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	68
3-23	Observed Methane Yield ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น	69
3-24	pH (a), VFA (b) และ VFA/Alkalinity (c) ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นและน้ำเสียไม่มีการปรับ pH	72
3-25	TCOD (a), SCOD (b) และ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (c) ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น (น้ำเสียไม่มีการปรับ pH)	74

## สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

Alkalinity	=	ความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอน ส่วนใหญ่เกิดจากองค์ประกอบของสารละลายคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต
ASBR	=	Anaerobic Sequencing Batch Reactor คือ ระบบไร้อากาศที่มีลักษณะเป็นถังเดียวมีการเปิดและปิดเครื่องกวน การย่อยสลาย ตกตะกอนและสูบน้ำเข้า-ออกภายในถังเดียวกัน
BOD <sub>5</sub>	=	Biochemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ชนิดที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ
CT	=	Cycle Time คือ รอบการทำงาน
Effluent	=	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ
HRT	=	Hydraulic Retention Time คือ ระยะเวลาที่กักขังของเหลว หรือ ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักอยู่ในถังปฏิกรณ์
Influent	=	น้ำเสียที่เข้าระบบ
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solids คือ ปริมาณหรือความเข้มข้น โดยประมาณของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์
MLVSS	=	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids คือ ปริมาณอินทรีย์สารที่เป็นของแข็งที่ระเหยไปหลังจากนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500±50 องศาเซลเซียส และใช้เป็นตัวแทนมวลของจุลินทรีย์
OLR	=	Organic Loading Rate คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน
OL <sub>cycle</sub>	=	Organic Loading Cycle คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละรอบการทำงาน (Cycle Time: CT)
Range	=	ช่วงของข้อมูลต่ำสุดและสูงสุด

SCOD	= Soluble Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในรูปที่ละลายอยู่ในน้ำด้วยวิธีทางเคมี
SD	= Standard Deviation ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SRT	= Sludge Retention Time คือ ระยะกักเก็บตะกอน
SS	= Suspended Solids คือ ส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้
TCOD	= Total Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมีทั้งในรูปของแข็งและรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ
VFA	= Volatile Fatty Acid คือ กรดอินทรีย์ที่มี C อะตอม ไม่เกิน 6 สามารถละลายน้ำได้น้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถกลิ่นได้ที่ความดันบรรยากาศ
$\bar{X}$	= Mean คือ ค่าเฉลี่ย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปาล์มเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางธุรกิจน้ำมันเพื่อการบริโภคและยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น สบู่ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป นมข้นหวาน เนยเทียม เป็นต้น ส่งผลให้ในปัจจุบันอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในภาคได้กำลังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและในอนาคตน้ำมันปาล์มยังจะมีบทบาทสำคัญในการใช้ผลิตไบโอดีเซล ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง โดยแหล่งผลิตปาล์มที่สำคัญของโลกคือ ประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซีย สำหรับในประเทศไทยยังมีการผลิตที่น้อยมากดังประเมินได้จากมีพื้นที่เก็บเกี่ยวประมาณ 2,026 ล้านไร่ จากการสำรวจพบว่า ผลผลิตปาล์มน้ำมันในปี พ.ศ. 2550 มีประมาณ 6,390 ล้านตัน (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2550) ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ดังนั้นกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดแผนยุทธศาสตร์การส่งเสริมให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิต ส่งผลให้การขยายตัวของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมเหล่านี้ยังไม่มีการบริหารจัดการของเสียที่ดีเท่าที่ควร เช่น มาตรฐานการกำจัดกากของเสียและมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม เป็นต้น อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจัดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำที่สำคัญแหล่งหนึ่ง โดยในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก การสกัดน้ำมันปาล์มดิบเกิดน้ำเสียประมาณ 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อผลปาล์มสด 1 ตัน (ไฟฟ้าและอุตสาหกรรม, 2546) นอกจากนี้ยังมีเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากจากกระบวนการผลิต เช่น เส้นใยปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลาปาล์ม รวมถึงกากตะกอนอีกจำนวนมากสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำในกระบวนการผลิตได้ ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนของการล้างผลปาล์มและขั้นตอนของการแยกน้ำออกจากปาล์มมีสิ่งสกปรกปะปนอยู่ในรูปของไขมัน น้ำมัน กากตะกอน และมลสารในรูป TCOD, BOD<sub>5</sub> และ SS เท่ากับ 52.45, 26.58 และ 12.88 กิโลกรัมตามลำดับ (อรัญ หันพงษ์ศักดิ์กุล และคณะ, 2539) ทำให้จุลินทรีย์ยากแก่การย่อยสลาย ปัจจุบันจึงมีเทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้สำหรับการย่อยสลายหรือการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) คือ วิธีโอโซนเนชั่น (Ozonation) เนื่องจากโอโซนสามารถสลายพันธะเคมีของสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ง่ายขึ้น และยังสามารถปรับปรุงน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (เนติยา ตันทชุนห์, 2544)

จากการศึกษาพบว่า กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเริ่มมีบทบาทที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียมากขึ้น เนื่องจากสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ได้สูงรวมทั้งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบสามารถนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานได้อีกด้วย (Metcelf and Eddy, 2004) โดยระบบไร้อากาศมีทั้งแบบบ่อและแบบถังหมักไร้อากาศ โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ เนื่องจากใช้พื้นที่น้อยและไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบ่อ ถังหมักไร้อากาศแบบเอเอสบีอาร์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor: ASBR) เป็นระบบที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactors: SBR) ที่มีลักษณะเป็นถังเดี่ยว มีการควบคุมการปิด-เปิดเครื่องเติมอากาศ การย่อยสลายและตกตะกอนภายในถังเดียวกัน ขั้นตอนคล้ายกันต่างกันที่เป็นการบำบัดแบบไร้อากาศ ที่สามารถสร้างจุลินทรีย์ชนิดเม็ดได้ (Granular Biomass) เป็นระบบแบบตะกอนแขวนลอย (Suspended Growth) ที่มีการเดินระบบในรูปแบบของ Fed Batch System เป็นระบบที่เอื้ออำนวยในการตกตะกอนชีวภาพในถังปฏิกรณ์ มีการเดินระบบในระยะเวลาที่เก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time: HRT) สั้นและมีระยะเก็บตะกอน (Sludge Retention Time: SRT) ยาวนาน มีการเติมน้ำเสียที่รอบการทำงาน (Cycle Time) แตกต่างกันซึ่งมีรายงานการศึกษาในระบบ ASBR โดยใช้น้ำเสียชุมชน ที่รอบการทำงาน 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่า รอบการทำงานที่ 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมด (TCOD) สูงกว่ารอบการทำงาน 12 ชั่วโมง (ศิริเพ็ญ เจริญชัยชรากุล, 2545) ซึ่งจะเห็นได้ว่ารอบการทำงานที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในรูปซีโอดีทั้งหมดด้วย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น พร้อมทั้งศึกษาผลของรอบการทำงาน (Cycle Time) ต่อประสิทธิภาพของระบบ ASBR เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อบรรเทาปัญหามลพิษที่เกิดจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มให้น้อยลงได้

## 1.2 การตรวจเอกสาร

### 1.2.1 ปาล์มน้ำมัน

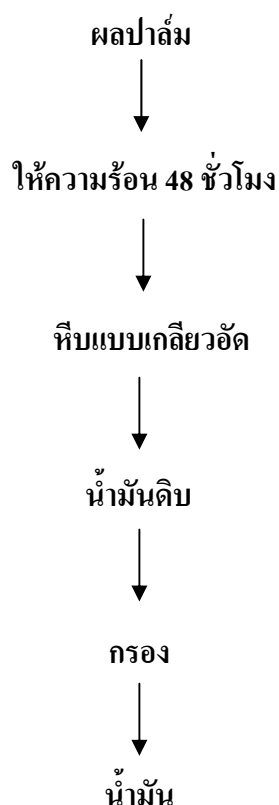
ปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่จัดอยู่ในตระกูลปาล์มเช่นเดียวกับมะพร้าว จาก อินทผาลัม และตาลโตนด มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในทวีปแอฟริกาซึ่งพบมากอยู่ทางฝั่งตะวันตกแต่มี บางส่วนขึ้นกระจายไปทางฝั่งตะวันออกไปถึงเกาะมาดากาสกา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปลูกในเชิงธุรกิจอยู่ในปัจจุบัน ต่อมาสันนิษฐานว่าปาล์มน้ำมันได้ แพร่หลายเข้าไปในทวีปอเมริกาใต้ในช่วงยุคล่าอาณานิคม โดยทั่วไปปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ เจริญเติบโตได้ดีในแถบมรสุมที่มีฝนตกชุกอย่างสม่ำเสมอตลอดปีไม่น้อยกว่า 2,000 มิลลิเมตร ปาล์มน้ำมันได้ถูกนำเข้ามาปลูกในทวีปเอเชียราวปี พ.ศ. 2491 สำหรับประเทศไทยนั้นเริ่มมีการ ปลูกปาล์มน้ำมันในเชิงการค้าเป็นครั้งแรกที่จังหวัดกระบี่และสตูล ต่อมาได้มีการปลูกปาล์มกัน อย่างแพร่หลายในหลายจังหวัดโดยเฉพาะจังหวัดทางภาคใต้ (ผาสูก กุลละวณิชย์ และคณะ, 2528) จังหวัดที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดคือ กระบี่ รองลงมาคือ สุราษฎร์ธานี ชุมพร ตรัง สตูล ชลบุรี พังงา และประจวบคีรีขันธ์ ตามลำดับ และมีพื้นที่ปลูกน้ำมันปาล์มทั่วประเทศทั้งสิ้น 2,906,671 ไร่ ทั้งนี้พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ทางภาคใต้ ในปี 2550 มีผลผลิตรวมทั้งประเทศ 6,390,000 ตัน (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2550) จึงทำให้เกิดอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มในภาคใต้ซึ่ง เนื่องมาจากปริมาณผลผลิตและพื้นที่ปลูกปาล์มส่วนใหญ่อยู่ทางภาคใต้ด้วย

### 1.2.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

#### 1.2.2.1 กระบวนการผลิตแบบหีบหรือสกัดผสม

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้น้ำในปริมาณน้อยซึ่งใช้ความร้อนจากฟืนใน การอบผลปาล์มโดยใช้เวลาในการอบ 48 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้น้ำหนักจะหายไปประมาณร้อยละ 30 หลังจากนั้นผลปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องหีบแบบเกลียวอัด (Screw Press) น้ำมันที่ได้จะถูกทำให้ ร้อนและผ่านเข้าเครื่องกรองแบบอัดหลายชั้น (Filter Press) เพื่อขจัดสิ่งเจือปนออก (กุนูรหાયาม ยา มิรุเต็ง, 2551) สุดท้ายได้เป็นน้ำมันจากผลปาล์มและเมล็ดในรวมกัน ซึ่งน้ำมันที่ได้จะมีราคาต่ำกว่า น้ำมันบริสุทธิ์ที่ผลิตจากเนื้อเยื่อผลปาล์มเพียงอย่างเดียว (จุฑารัตน์ หนูสุข, 2546) แสดง กระบวนการสกัดแบบหีบหรือสกัดผสมดังภาพประกอบที่ 1-1



ภาพประกอบที่ 1-1 กระบวนการสกัดแบบหีบหรือสกัดผสม  
ที่มา : ญูรหายน ยามิรุเต็ง (2551)

#### 1.2.2.2 กระบวนการผลิตแบบหีบเปียกหรือสกัดแยก

กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบมาตรฐานคือ กระบวนการผลิตแบบหีบเปียก (Standard Wet Process) เป็นการสกัดน้ำมันปาล์มแยกกันระหว่างน้ำมันจากเนื้อเยื่อผลปาล์มกับน้ำมันจากเมล็ดในซึ่งจะใช้ไอน้ำและความร้อนในการอบนึ่งผลปาล์มให้เปื่อยนิ่มที่อุณหภูมิระหว่าง 120-130 องศาเซลเซียส ที่ความดันประมาณ 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลาประมาณ 40-60 นาที จากนั้นแยกทะลายนอกโดยการป้อนเข้าเครื่องแยกผลปาล์มซึ่งเป็นทรงกระบอกกลวงหมุนด้วยความเร็วประมาณ 23 รอบต่อนาที ในส่วนของทะลายนอกจะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาเผา ส่วนผลปาล์มที่แยกได้จะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์มโดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นรูปถังทรงกระบอก ซึ่งภายในมีใบพัดและจะมีการเติมน้ำร้อนลงไปเล็กน้อย สำหรับการกวนผลปาล์มให้เส้นใยฉีกแยกออกจากเมล็ดและเซลล์น้ำมันเกิดการแตกตัว การกวนจะเกิดขึ้นประมาณ 15-20 นาที จากนั้นจึงป้อนเข้าเครื่องหีบแบบอัดเกลียว (Screw Press) น้ำมันที่ได้จะถูกแยกเอาสิ่งเจือปนและทำให้สะอาดยิ่งขึ้นจนได้เป็นน้ำมันปาล์มดิบเพื่อรอจำหน่ายต่อไป ซึ่ง





### 1.2.3 ปริมาณและลักษณะน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจากผลปาล์มเกือบทั้งหมดเกิดจากน้ำที่ใช้ในระหว่างกระบวนการสกัดน้ำมันซึ่งมาจาก 5 แหล่งใหญ่ คือ

1.2.3.1 น้ำนึ่งปาล์ม เป็นน้ำทิ้งจากการอบทะลายปาล์มด้วยไอน้ำ น้ำส่วนนี้มีน้ำมันอยู่แต่มีสารแขวนลอยต่ำและไม่มีสภาพเป็นอิมัลชัน (Emulsion) โดยทั่วไปการอบทะลายปาล์ม 25 ตัน จะมีน้ำนึ่งปาล์มเกิดขึ้นประมาณ 2.0-3.0 ลูกบาศก์เมตร

1.2.3.2 น้ำทิ้งจากเครื่องแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน น้ำทิ้งส่วนนี้เกิดมากที่สุดและเป็นน้ำทิ้งที่มีของแข็งแขวนลอยมาก กรณีที่ใช้ Decanter ในการแยกน้ำและกากของแข็งออกจากน้ำมัน จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.35 ลูกบาศก์เมตร/วัตถุดิบ 1 ตันทะลายปาล์มสด และในกรณีที่ใช้ Separator จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.65 ลูกบาศก์เมตร / วัตถุดิบ 1 ตันทะลายปาล์มสด

1.2.3.3 น้ำทิ้งจากการล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องมือที่ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้ง ได้แก่

1) เครื่องแยกกวาดทราย ต้องทำการล้างทุกครั้งชั่วโมงใช้น้ำในการล้างประมาณ 0.05-0.1 ลูกบาศก์เมตร/ครั้ง

2) เครื่องแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมันเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งต้องมีการล้างทำความสะอาดซึ่งจะมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นครั้งละ 0.2-0.5 ลูกบาศก์เมตร

3) เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง ต้องทำการล้างทุก 20-30 นาที ในการล้างจะใช้น้ำครั้งละ 0.05-0.06 ลูกบาศก์เมตร

1.2.3.4 น้ำจากการหล่อเย็นหม้อกำเนิดไอน้ำและเครื่องระเหย เป็นน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยต่ำและยังสะอาดอยู่

1.2.3.5 น้ำสลัดจ์จากเครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge) เกิดขึ้นประมาณ 0.03 - 0.15 ลูกบาศก์เมตร/ตันทะลายปาล์มสด (อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และคณะ, 2539)

ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำทิ้ง (พูนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ, 2533) ได้แก่ น้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ น้ำทิ้งจากเครื่องแยก Decanter หรือ Separator ก่อนที่จะไหลไปรวมกันเป็นน้ำทิ้งรวมในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงาน โดยน้ำทิ้งจากทั้ง 3 ส่วน จะมีคุณลักษณะ ดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ลักษณะของน้ำทิ้งจากขั้นตอนต่างๆในการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มและน้ำในบ่อรวม น้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ปัจจัยคุณภาพ	น้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ	น้ำจากเครื่อง Decanter หรือ Separator	น้ำทิ้งจากบ่อรวม
Color	Brown	Brown-Blackish Brown	Dark Brown
pH	4.84-5.35	4.16-5.35	4.05-4.62
BOD <sub>5</sub>	22,800-41,985	21,000-68,550	54,750-60,000
COD	45,360-80,146	38,246-105,955	80,523-115,934
Volatile Acid (as acetic acid)	998-7,125	535-1,838	3,100-5,800
Alkalinity	37.50-1,576	48-86.50	68-200
Oil and Grease	20.90-1,103	4.70-1,130	16-2,500
Total Solid ( TS )	26,367-76,733	25,634-118,570	49,453-88,508
Volatile Solid (VS)	24,415-67,635	23,056-108,590	42,063-81,872
Suspended Solid (SS)	6,100-26,000	2,900-40,000	18,500-52,000
Ammonia Nitrogen	7.70-66.30	22.80-61.60	27-61
Organic Nitrogen	22.40-1,287	518.50-1,352	551-1,172

หมายเหตุ ทุกค่ามีหน่วยเป็น mg/L ยกเว้นสีและพีเอช

ที่มา: ดัดแปลงจากพุนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ (2533)

#### 1.2.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 3 ประเภท คือ

**1.2.4.1 การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment)** เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมัน และน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ เช่น ตะแกรงคัดขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตะกอน เป็นต้น ซึ่งเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก ดังเช่นการทดลองของ พุนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ (2544) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ถังกรอง ซึ่งบรรจุวัสดุต่างๆ ได้แก่ ทรายละเอียด ทรายหยาบ ถ่านกัมมันต์ และสำลี เป็นชั้นๆในภาชนะทรงสูง พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการกรองมีค่าสีลดลงร้อยละ 32 ซึ่งค่าสีที่ลดลงอาจเนื่องจากการดูดซับ และการกรองเอาตะกอนและสีของน้ำทิ้งโดยวัสดุต่างๆ ทำให้อำนาจสีของน้ำทิ้งลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปสารแขวนลอยและน้ำมันอาจไปอุดตัน

ระหว่างอนุภาคของวัสดุต่างๆ และการศึกษาของ ปริญา มาลัยลอย (2548) ที่ศึกษาการบำบัดเบื้องต้นแบบกายภาพ-เคมี ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบ UASB โดยส่วนของการบำบัดเบื้องต้น พบว่า กระบวนการกรองด้วยชั้นทรายกรองและการกรองด้วยชั้นทรายกรองร่วมกับชั้นถ่านกรองนั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยทั้งสองกระบวนการสามารถลดค่า SS ได้มากกว่าร้อยละ 99 ในขณะที่การกรองด้วยชั้นถ่านสามารถลดค่า TCOD, VFA ลงได้ร้อยละ 45 และ 77 ตามลำดับ ส่วนการกรองด้วยชั้นทรายกรองร่วมกับชั้นถ่านกรองนั้นสามารถลดค่า TCOD ลงได้ร้อยละ 64 และลดค่า VFA ลงได้ร้อยละ 76.7 เมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมาบำบัดต่อด้วยระบบ UASB มีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD ถึงร้อยละ 60

**1.2.4.2 การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment)** เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่า pH สูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค (น้ำเงิน จันทรมณี, 2549) เช่นการศึกษาของ ปาริชาติ หมิ่นสีเทา (2547) ได้ทำการศึกษากำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดบางส่วนจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ 3 ค่า คือ 8, 10 และ 12 โวลต์ ปรับเปลี่ยนค่าเวลาเก็บกัก 4 ค่า คือ 20, 30, 40 และ 90 นาที เมื่อนำน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่า ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ 30 นาที เป็นสถานะที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ TCOD สูงสุดเท่ากับร้อยละ 85.89 และ 56.88 ตามลำดับ

**1.2.4.3 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment)** เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobe) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobe) ก็ได้ (น้ำเงิน จันทรมณี, 2549) ซึ่งจุดประสงค์หลักของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ คือ การลดปริมาณมลพิษอินทรีย์ในน้ำเสียโดยการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ดังนั้นเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์นี้จึงจำเป็นต้องมีการจัดการกับสถานะต่างๆ ในระบบบำบัดให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ให้มากที่สุด เพื่อให้อัตราการกินอาหารสูงสุด ซึ่งการบำบัดทางชีวภาพก็จะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน กับกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่ง

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เป็นการบำบัดให้เกิดการย่อยสลายมลพิษอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีส่วนร่วมในกระบวนการมีหลากหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย โปรโตซัว จุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำมาเป็นประโยชน์ในการดำรงชีวิต เจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนเซลล์ ส่วนกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนนั้นมีการใช้อย่างแพร่หลายเพราะว่ามีขีดความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง อัตราการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ต่อสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายมีค่าต่ำ และมีค่าพลังงานที่เป็นบวกในเทอมของสมดุลสมการพลังงาน เนื่องจากกระบวนการมีผลพลอยได้เป็นก๊าซมีเทน ที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ ซึ่งได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ดังเช่น Chotwattanasak (2004) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบ CSTR จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด จังหวัดกระบี่ โดยระบบ CSTR มีขนาดของถังปฏิกรณ์เท่ากับ  $2,100 \text{ m}^3$  ทำการทดลองที่ HRT 14, 10, 7 และ 6.5 วัน หรือที่ OLR 2.43, 5.09, 6.50 และ 8.70  $\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$  ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ HRT 7 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด BOD สูงสุดเท่ากับร้อยละ 96 และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ  $4,295 \text{ m}^3/\text{d}$  ในขณะที่ หนาแน่น รักรวม (2549) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเช่นกัน แต่ใช้ระบบ ASBR ถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ลิตร โดยเดินระบบภายใต้สภาวะเทอร์โมฟิลิกและมีไซฟิลิก แบบขั้นตอนเดียวที่ OLR 0.5-5.0  $\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$  หรือที่ HRT 2-10 วัน และแบบสองขั้นตอนที่ OLR 2.2-2.3  $\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$  หรือที่ HRT 2 วัน พบว่า การเดินระบบแบบขั้นตอนเดียวด้วยถังปฏิกรณ์เทอร์โมฟิลิกและมีไซฟิลิก มีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD เท่ากับร้อยละ 51.42-78.98 และ 52.36-75.47 ตามลำดับ โดยระบบมีประสิทธิภาพบำบัดสูงสุดที่ HRT 10 วัน ส่วนการเดินระบบแบบสองขั้นตอนทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์มีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD ใกล้เคียงกัน ซึ่งเห็นได้ว่าแม้จะเป็นการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเหมือนกัน แต่เมื่อใช้น้ำเสียคนละแหล่ง รูปแบบของระบบบำบัด และสภาวะของระบบบำบัดที่ต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่างกัน

นอกจากนั้นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนยังมีการใช้พลังงานในการเดินระบบที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนดังแสดงในตารางที่ 1-2 (ชลกาญจน์ ชาติดวงเพชร, 2551)

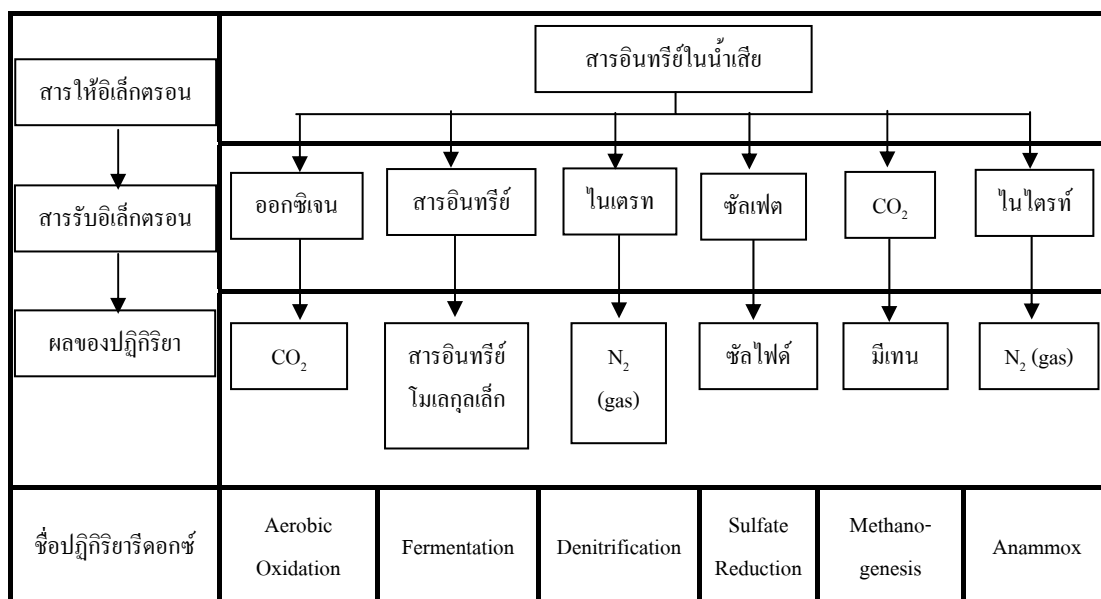
ตารางที่ 1-2 การเปรียบเทียบระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน

การเปรียบเทียบ	ใช้ออกซิเจน	ไร้ออกซิเจน
ความต้องการพลังงาน	0.7–1 kw/kgTCOD	0.07–0.1 kw/kgTCOD
พลังงานที่ผลิตได้	-	0.25–0.35 m <sup>3</sup> of Methane gas/kgTCOD
อัตราการผลิตมวลชีวภาพ	0.2–0.6 kg/1 kg Biomass	0.03–0.1 kg/ 1 kg Biomass
คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด	BOD 0.02 g/L ของแข็งแขวนลอย 0.03 g/L แอมโมเนีย 0.005 g/L	BOD 0.05-1 g/L ของแข็งแขวนลอย 0.1–0.5 g/L แอมโมเนียไม่สามารถกำจัดได้
อัตราการบรรทุกมลพิษอินทรีย์ที่สามารถรองรับได้	0.5–2 kg/m <sup>3</sup> -day	2–25 kg/m <sup>3</sup> -day
ความเข้มข้นของน้ำเสียที่สามารถรองรับได้	COD 0.2–2.5 g/L ของแข็งแขวนลอย < 0.2 g/L	COD 3-100 g/L ของแข็งแขวนลอย < 10 g/L

ที่มา : ชลกาญจน์ ซาคิดวงเพชร (2551)

### 1.2.5 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ปฏิกิริยาทั่วไปในกระบวนการย่อยสลายมลพิษอินทรีย์ในน้ำเสียมีพื้นฐานเดียวกันคือ เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบ ออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction) หรือ รีดอกซ์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นระหว่างสารที่ให้อิเล็กตรอนและสารที่รับอิเล็กตรอน สารอินทรีย์หรือมลสารในน้ำเสียจะเป็นสารที่ให้อิเล็กตรอนเนื่องจากมีพลังงานอยู่สูงและสารอื่นในน้ำเสียเป็นสารที่รับอิเล็กตรอน ซึ่งถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอื่น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนเตรต หรือซัลเฟต ปฏิกิริยาจะเป็นแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยาชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการไร้อากาศอากาศจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ดังภาพประกอบที่ 1-3 (มันลิน ตันทุลเวศน์, 2542)



ภาพประกอบที่ 1-3 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย  
ที่มา : มั่นสิน ตันทุลเวศน์ (2542)

### 1.2.5.1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน

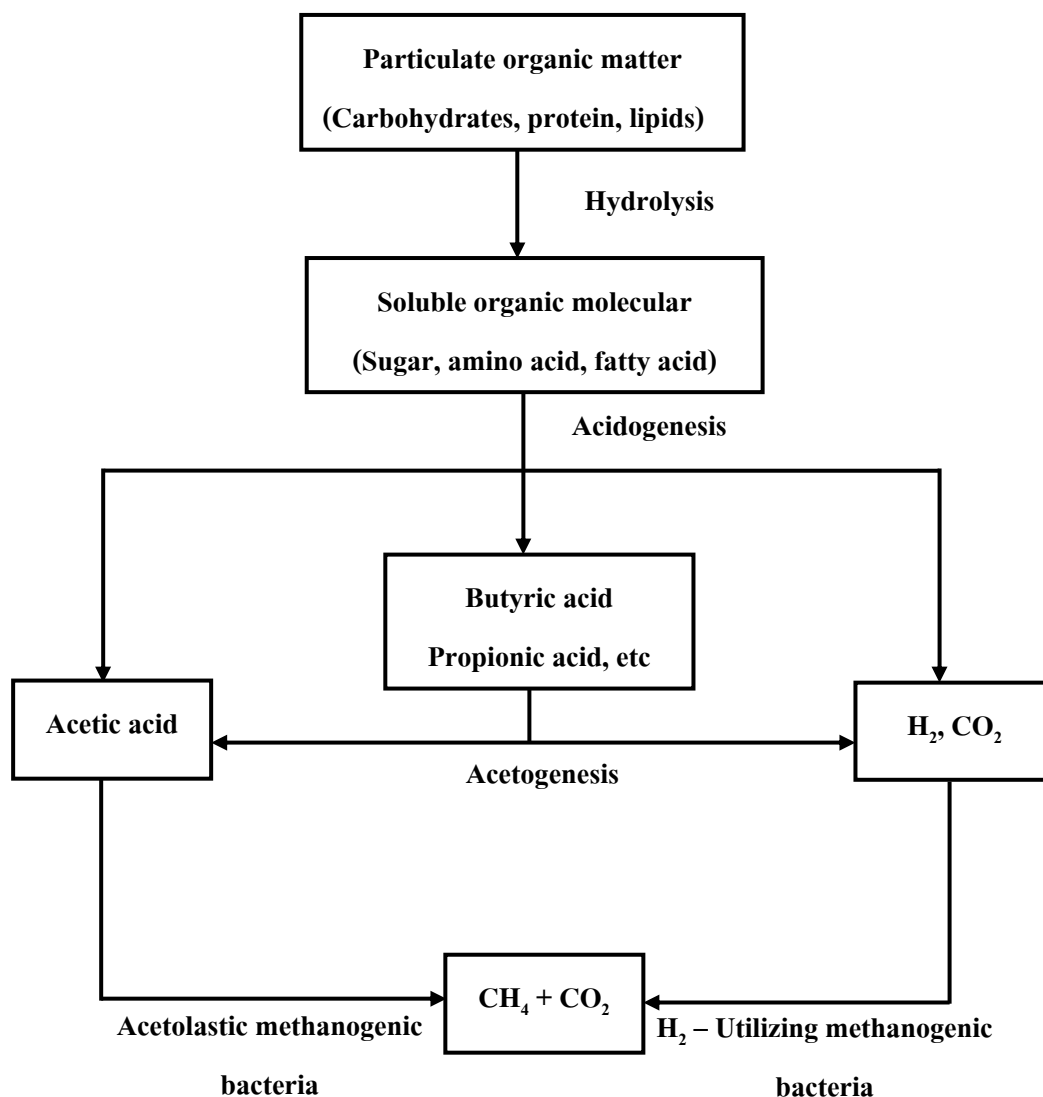
กระบวนการแบบไร้ออกซิเจนเป็นระบบที่ซับซ้อน มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ร่วมกันหลายกลุ่ม ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์มีทั้งแบบแข่งขันกันและพึ่งพาอาศัยกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูปเนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มต่อกัน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง เป็นการพึ่งพาอาศัยกันแต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่สามารถใช้ได้เหมือนกัน ก็จะมีความสัมพันธ์แบบแข่งขันกัน จุลชีพที่อาศัยอยู่รวมกันนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ และเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปต่างๆ เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น แต่สารอินทรีย์ในระบบจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มใด ขึ้นกับปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมของระบบ (ภาพประกอบที่ 1-4) ลำดับขั้นตอนของปฏิกิริยาชีวเคมีที่ใช้ในการย่อยสลายมลพิษอินทรีย์ โดยกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนจะสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ (Hydrolysis)

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)



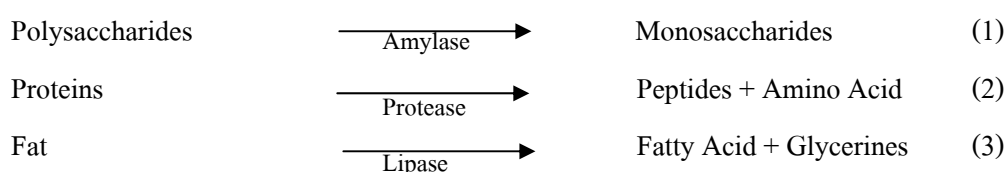
ภาพประกอบที่ 1-4 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Malina และ Pohland (1992) และ Appel และคณะ (2008)

### ขั้นตอนที่ 1 การย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ (Hydrolysis)

กระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยในขั้นตอนนี้กลุ่มแบคทีเรียที่เรียกว่า *Hydrolytic Bacteria* จะปล่อยเอนไซม์ที่ผลิตจากภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกเซลล์เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อาทิเช่น เอนไซม์อะไมเลสถูกใช้ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เอนไซม์ไลเปสในการย่อย

ไขมันให้กลายเป็นกรดไขมัน เป็นต้น (อรรถัย ทิมพงษ์, 2548) การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเกิดก่อนข้างเข้า เพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น pH อุณหภูมิ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรของมลพิษอินทรีย์ โดยถ้าการย่อยสลายมลพิษอินทรีย์ชนิดนั้นมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรต่ำ จะต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานกว่าจะได้มลพิษอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ดังนั้นจึงพบว่า การย่อยสลายแป้ง โปรตีน ไขมัน และเซลลูโลส จะต้องใช้ระยะเวลาแตกต่างกันไป ในส่วนปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์สารอินทรีย์ประเภทไขมันให้เปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันและกลีเซอริน นั้นใช้เวลานานที่สุด โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีสมการดังนี้



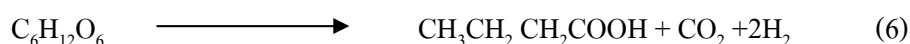
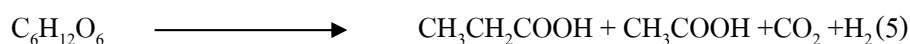
### ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตจากกระบวนการไฮโดรไลซิส เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวกรดอะมิโน กรดไขมันจะถูกกลุ่มแบคทีเรียที่เรียกว่า *Fermentative Acidogenic Bacteria* ดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นอาหารและใช้ในการผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids; VFAs) เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดอะเซติก กรดบิวไทริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีการบ่อนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว นอกจากนี้ยังได้ไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย ส่วนชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสับสเตรตและความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำแต่ในสภาวะที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูงจะถูกย่อยสลายเป็นกรดบิวไทริกและกรดโพรไพโอนิก เป็นต้นโดยปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้สามารถเขียนสมการได้ ดังนี้ คือ (อรรถัย ทิมพงษ์, 2548)

เมื่อความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ



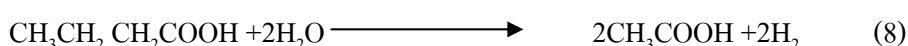
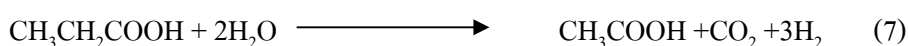
เมื่อความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง





### ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

ขั้นตอนนี้แบคทีเรีย Acetogenic Bacteria มีบทบาทที่สำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนในกระบวนการสร้างกรด และกระบวนการสร้างมีเทน และปฏิกิริยานี้ถือว่ามี ความสำคัญในการลดปัญหาการสะสมของกรดระเหย และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุ ที่ยับยั้งการสร้างมีเทนได้ ซึ่งแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะทำการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอน อะตอมมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดโพรไพโอนิก และ กรดบิวไทริก ให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นมีความ ต้องการสับสเตรต (Substrate) เฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก และไฮโดรเจน ในการ สร้างมีเทน ซึ่งการกระบวนการย่อยสลายกรดโพรไพโอนิกและกรดบิวไทริกให้กลายเป็นกรดอะซิติก สามารถกระทำได้ในสภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเท่านั้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เขียนสมการได้ดังนี้



### ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายมลพิษสารอินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) จะใช้กรดอะซิติกและไฮโดรเจน ซึ่งเป็นผลของปฏิกิริยาจากแบคทีเรียที่สร้างกรดเพื่อจะสร้างก๊าซมีเทนขึ้น และนอกจากกรดอะซิติก, ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรต (Substrate) อย่างง่ายบางชนิดในการสร้างก๊าซมีเทน เช่น กรดฟอร์มิก เมทานอล ได้เช่นกัน ซึ่งในขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ 2 ประเภท คือ จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนได้จากกรดอะซิติก (Acetoclastic Methanogen Bacteria) และจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนได้จากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{H}_2$ -Utilizing Methanogenic Bacteria) การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเป็นการลดค่า COD ในน้ำเสียและได้ผลผลิตเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งการประมาณพลังงานเคมีที่อยู่ในรูปของ COD น้ำเสีย มากกว่าร้อยละ 90 จะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเขียนได้ดังนี้



### 1.2.6 ระบบบำบัดแบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ASBR เป็นระบบที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) ที่มีลักษณะเป็นถังเดียวมีการเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศ การย่อยสลายและการตกตะกอนเกิดขึ้นภายในถังเดียวกัน ขั้นตอนส่วนใหญ่ของระบบ ASBR จะคล้ายกับระบบ SBR แต่จะต่างกันที่เป็นการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ที่สามารถสร้างจุลินทรีย์ชนิดเม็ดได้ (Granular Biomass) เป็นระบบแบบตะกอนแขวนลอย (Suspended Growth) ที่มีการเดินระบบในรูปแบบของ Fed Batch System ซึ่งสามารถสร้างสภาวะที่เอื้ออำนวยในการตกตะกอนชีวภาพในถังปฏิกรณ์ ถือเป็นกระบวนการคัดเลือกและพัฒนาเม็ดจุลินทรีย์ให้เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่ทำให้สามารถเดินระบบในระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ที่สั้น และมีการกักเก็บตะกอน (SRT) ที่นาน (ชนาวัฒน์ รักกมล, 2549)

#### 1.2.6.1 กลไกการทำงานของระบบ ASBR

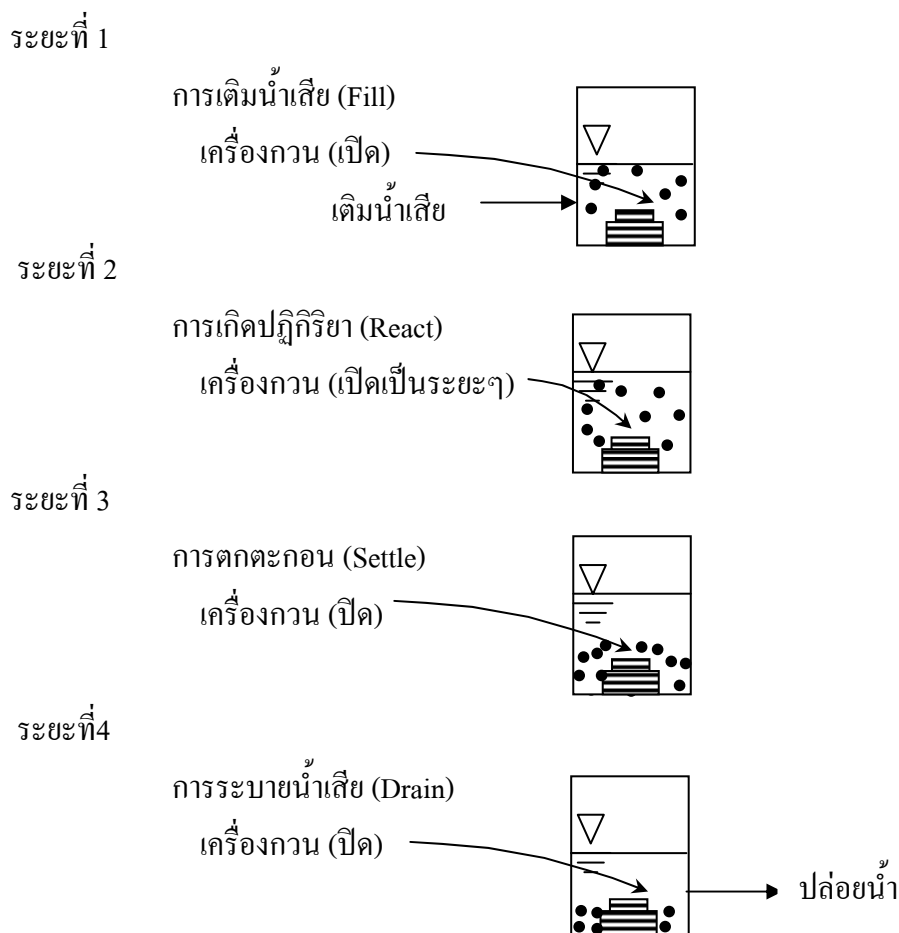
Tchobanoglous และ Burton (2003) กล่าวถึงการบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพของระบบ ASBR ในถังปฏิกรณ์ การเดินระบบแบ่งเป็น 4 ระยะ โดยแต่ละช่วงเวลาจะมีชื่อเรียกเฉพาะตามหน้าที่เริ่มต้นของช่วงเวลา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-5 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1) ระยะการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ (Substrate Feed Phase) เป็นระยะที่มีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์จากทางเข้าของน้ำเสียซึ่งมีการดำเนินการต่อจากการระบายน้ำเสียออกจากถังปฏิกรณ์ ซึ่งภายในถังจะมีน้ำและตะกอน (Mixed Liquor) จากวัฏจักรก่อนเหลืออยู่

2) ระยะการเกิดปฏิกิริยา (React Phase) เป็นระยะที่ถังปฏิกรณ์ทำงานภายใต้สภาวะที่สัดส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food/Microorganism: F/M) สูงและมีการกวนเกิดขึ้นเป็นระยะๆ เพื่อทำให้การสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์และมวลชีวภาพเป็นไปอย่างทั่วถึง ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายสารมลพิษและการผลิตก๊าซเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในตอนปลายของระยะนี้สัดส่วนของ F/M และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดลง ซึ่งสภาวะนี้จะเอื้ออำนวยให้มวลชีวภาพในถังปฏิกรณ์เกิดการตกตะกอนและแยกน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วได้ง่าย

3) ระยะการตกตะกอนของมวลชีวภาพ (Quiescent Settle Phase) เป็นระยะการแยกตัวของตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วซึ่งอุปกรณ์ในการกวนจะต้องหยุดการทำงาน ระยะนี้ต้องไม่นานเกินไป ส่วนใหญ่ใช้เวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง

4) ระยะการระบายน้ำเสีย (Decant Phase) เป็นระยะที่มีการปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกรณ์ ระยะนี้ต้องใช้เวลาไม่นานเกินไปและจะต้องไม่มีตะกอนหลุดออกจากระบบและเป็นช่วงที่รอรับน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์



ภาพประกอบที่ 1-5 กลไกการทำงานของระบบ ASBR

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tchobanoglous และ Burton (2003) อ้างอิงถึง ธนาวัฒน์ รักกมล (2549)

### 1.2.6.2 การบำบัดน้ำเสียโดยระบบไร้อากาศแบบ ASBR

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวนี้สามารถลดปัญหาการใช้พลังงานและการทำงานของระบบไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังได้ก๊าซมีเทนเป็นผลพลอยได้ ซึ่งระบบบำบัดที่กำลังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนาอีกระบบหนึ่ง คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ASBR (Anaerobic Sequencing Batch Reactor; ASBR) (อรทัย ทิมพงษ์, 2548) ซึ่งระบบนี้ได้มีการนำมาศึกษาบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 1-3 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ถึงแม้จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย ASBR เหมือนกัน แต่เมื่อใช้แหล่งน้ำเสียที่ต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียชนิดนั้นๆ ต่างกัน รวมไปถึงการกำหนดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น HRT หรือ OLR เป็นต้น

ตารางที่ 1-3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยระบบไร้อากาศแบบ ASBR

อ้างอิง	วิธีการวิจัยและผลการศึกษา
Mockaitis และคณะ (2006)	ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตชีสด้วยระบบ ASBR ที่มีขนาดของถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ลิตร โดยมีการป้อนน้ำเสียที่ความเข้มข้นของ COD 500, 1000, 2000, 4000 mg/L และ OLR ที่ 0.6-4.8 mg COD/L.d พบว่าระบบสามารถกำจัด COD ได้ถึงร้อยละ 90
Ndegwa และคณะ (2007)	ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มหมูด้วยระบบ ASBR ที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส และความถี่ของรอบการทำงานที่ 1 รอบ/วัน และ 3 รอบ/วัน ที่ HRT 4 วัน พบว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส รอบการทำงาน 1 รอบ/วัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด
ชลกาญจน์ ชาติดวงเพชร (2551)	ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มได้มีการลดปริมาณไขมันและน้ำมันบางส่วนด้วยจุลินทรีย์ย่อยไขมันก่อนที่จะป้อนเข้าระบบ พบว่าที่ HRT 72 ชั่วโมง ระบบสามารถบำบัด TCOD ได้ร้อยละ 80 ในขณะที่ HRT 48 ชั่วโมง ระบบสามารถบำบัด TCOD ได้ร้อยละ 60
Xiangwen และคณะ (2008)	ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์ด้วยระบบ ASBR ซึ่งจะควบคุม OLR ระหว่าง 1.5 ถึง 5.0 kg COD/m <sup>3</sup> .d และ HRT 1 วัน พบว่า ระบบสามารถกำจัด COD ได้มากกว่าร้อยละ 90
Luo และคณะ (2009)	ศึกษาการบำบัดเศษมันสำปะหลังที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเอทานอลด้วยระบบ ASBR ที่ HRT 10, 7 และ 5 วัน กำหนดความเข้มข้น SS เท่ากับ 30 g/L พบว่าที่ HRT 10 วันมีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD เท่ากับร้อยละ 90.8

### 1.2.6.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบ ASBR (ธนาววัฒน์ รักกมล, 2549)

#### ข้อดีของระบบ ASBR

1. เป็นระบบที่ก่อสร้างได้ง่าย ไม่ซับซ้อนเนื่องจากเป็นถังใบเดียวที่มีการสูบน้ำเข้า-ออก การทำปฏิกิริยา การตกตะกอนและการกวนภายในถังใบเดียวกัน
2. ระบบมีความยืดหยุ่นในการบำบัดและสามารถที่จะปรับการทำงานให้เหมาะสมกับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบได้
3. สามารถสร้างสภาวะที่เอื้ออำนวยในการตกตะกอนชีวภาพในถังปฏิกิริยาได้ดี

4. มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ที่สั้น และมีการกักเก็บตะกอน (SRT) ที่ยาว

#### ข้อเสียของระบบ ASBR

1. ในช่วงของเริ่มต้นการเดินระบบ (Start-up) ต้องสร้างให้เกิดตะกอนแบบเม็ดตะกอน (Granular Sludge) จึงใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ต้องมีการควบคุมระดับ pH ในระบบให้เหมาะกับการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทน คือควบคุมค่าความเป็นด่างให้มีปริมาณเพียงพอ

#### 1.2.6.4 สถานะแวดล้อมที่มีความเหมาะสมของระบบไร้อากาศแบบ ASBR

##### 1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการไม่ใช้อากาศ อุณหภูมิที่เหมาะสมมี 2 ช่วงที่ก่อให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นในระบบได้ดี คือ การทำงานของแบคทีเรียที่เจริญที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic Bacteria) ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30-40 °C ซึ่งประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างร้อนเหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มนี้มาก และช่วงการทำงานของแบคทีเรียที่เจริญที่อุณหภูมิสูง (Thermophilic Bacteria) ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50-60 °C ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นได้ปกติเมื่อในมีอุณหภูมิอย่างน้อย 20 °C และพบว่าถ้าระบบอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 15-40 °C (ช่วง Mesophilic) อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะเพิ่มขึ้นเกือบเป็นสองเท่าเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C ในช่วง Mesophilic (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) จากการศึกษาของ Cail และ Barford (1985) พบว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบกึ่งต่อเนื่อง ภายใต้สถานะ Mesophilic โดยมีอัตราการย่อยสลายอินทรีย์อยู่ที่ 6-12 kgCOD/m<sup>3</sup>.d และ HRT เฉลี่ย 5-6 วันสามารถลดค่า COD ได้มากกว่าร้อยละ 97 และ Chin และ Wong (1983) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้ระบบถังหมักไร้อากาศที่มีการควบคุมอย่างสมบูรณ์ภายใต้สถานะอุณหภูมิช่วง 55±1 °C ที่ HRT 15 วันหรือมากกว่า พบว่าสามารถกำจัด COD ได้มากกว่าร้อยละ 90

##### 2) พีเอช (pH)

ระบบบำบัดแบบไร้อากาศค่า pH สามารถบ่งชี้ถึงสภาพภายในระบบได้ ซึ่ง pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6 - 8.0 เพราะว่าเมื่อมี pH ต่ำกว่า 6.6 จะทำให้เกิดก๊าซ CO<sub>2</sub> มากกว่าปกติและเกิดกลิ่นเหม็นพร้อมกับฝ้าตะกอนลอยขึ้นมามาก เมื่อ pH สูงกว่า 7.7-8.0 จะทำให้จุลินทรีย์สร้างมีเทนน้อยลงและเชื้อง้ำหาก pH สูงขึ้นถึง 9.9 ระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์จะไม่ทำงาน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ดังนั้นค่า pH ที่นิยมใช้ควบคุมระบบไร้อากาศอยู่ในช่วง 6.8-7.2

เพราะแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดสามารถปรับตัวได้ในช่วง pH ที่กว้างกว่า ดังนั้นการควบคุม pH จึงมุ่งเน้นให้เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนมากกว่า (มันลิน ตันทูลเวศน์ และ มั่นรักษ์ ตันทูลเวศน์, 2542) การควบคุม pH ให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมโดยการควบคุมปริมาณกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid; VFA) และปริมาณด่าง (Alkalinity) กระทำได้โดยการเติมสารเคมีเพื่อควบคุม pH ได้แก่ ปูนขาวโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซดาแอช ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) เป็นต้น

### 3) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA)

VFA หรือ กรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิกและกรดบิวไทรก ซึ่งกรดอินทรีย์เหล่านี้เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของจุลินทรีย์สร้างกรด และยังเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการสร้างมีเทนซึ่งในสภาวะปกติ VFA จะถูกนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพเป็นผลให้ VFA ในระบบบำบัดลดลง ถ้าในระบบมีปริมาณ VFA เพิ่มขึ้นและมีการสะสมทำให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทนที่อ่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นปริมาณ VFA ที่ถูกสร้างขึ้นและสะสมในระบบต้องมีความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยควรมีค่าอยู่ในช่วง 50-500 mg/L as  $\text{CH}_3\text{COOH}$  หากปริมาณ VFA มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 2,000 mg/L as  $\text{CH}_3\text{COOH}$  จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

### 4) สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

ค่าสภาพเป็นด่างมีความสำคัญมากต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ เป็นตัวที่บ่งชี้เสถียรภาพของระบบ เมื่อระบบบำบัดมีค่าตัวนี้สูงแสดงว่า ระบบมีบัฟเฟอร์สูงสามารถรักษาระดับ pH ให้คงตัวได้นานเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ VFA ที่เกิดขึ้นในระบบซึ่งสภาพความเป็นด่างที่มีความสำคัญคือ สภาพด่างไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3^-$ ) เพราะจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เมื่อมีกรดไขมันระเหยง่ายเกิดขึ้นในระบบโดยมีเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างมีเทนและปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยต่อระดับสภาพด่างไบคาร์บอเนต (VFA/ $\text{HCO}_3^-$ ) คือ ถ้าอัตราส่วนนี้ต่ำกว่า 0.4 ระบบบำบัดจะมีบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในขั้นที่ pH จะลดลงอย่างรวดเร็ว (ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธีศักดิ์, 2540)

กรณีที่ระบบมีปริมาณความเป็นด่างไบคาร์บอเนตไม่เพียงพอที่จะควบคุมให้ระบบที่มี pH ที่เหมาะสมได้ ต้องมีการเติมสารเคมีที่ทำให้ระบบมีบัฟเฟอร์สูงขึ้น สารเคมีที่ใช้แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. ประเภทที่เพิ่มความเป็นด่างไบคาร์บอเนตให้แก่ระบบโดยตรง เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต

2. ประเภทที่เติมเข้าไปเพื่อไปจับคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนให้เป็นไบคาร์บอเนต เช่น ปูนขาว (อริสรา เสาะซิว, 2548 )

### 5) ความเป็นพิษ (Toxic)

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศต้องไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ เช่น สารทำความสะอาด โลหะหนักต่างๆ แก๊สอินทรีย์ เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทนมีความอ่อนไหวต่อสารพิษเมื่อเทียบกับจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และกลุ่มสร้างกรด ซึ่งถ้าหากในระบบมีสารพิษอยู่ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนหยุดการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถจำแนกสารพิษที่ส่งผลต่อระบบบำบัดไร้อากาศได้ดังนี้

1. กรดระเหยง่าย ถ้ามีการสะสมจะทำให้ pH ลดลง จึงต้องควบคุมการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นกรดระเหยง่ายให้สมดุลกับอัตราการเกิดก๊าซมีเทน โดยทั่วไประบบไร้อากาศควรมีปริมาณกรดระเหยง่ายประมาณ 50-500 mg/L as  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธีศักดิ์, 2540)

2. แอมโมเนีย เกิดจากการสลายตัวของโปรตีน และไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ ซึ่งจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) หรือแอมโมเนียอิสระ ( $\text{NH}_3$ ) นั้นขึ้นอยู่กับค่า pH ของระบบ ถ้าค่า pH เท่ากับ 7.2 หรือต่ำกว่า แอมโมเนียเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไอออนซึ่งมีค่าความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาชีวเคมีในกระบวนการสร้างมีเทน

3. โลหะหนัก แบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการธาตุจำเป็น 4 ชนิดคือ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิลและซัลเฟอร์ในปริมาณที่ต่ำมาก หากในระบบมีปริมาณโลหะหนักสูงเกินไป เกิดความเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบบำบัด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

### 6) การกวน (Mixing)

การกวนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้จุลินทรีย์กับน้ำเสียได้สัมผัสกันทั่วถึงตลอดเวลา ทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียเกิดขึ้นได้ดี ถ้าการกวนมีไม่ทั่วถึงอาจเกิดการตกตะกอนทำให้จุลินทรีย์ส่วนหนึ่งตกตะกอนอยู่ในถัง ซึ่งเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีไม่เหมือนกันในถังบำบัดเดียวกัน ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

การกวนพอเพียงสามารถควบคุม pH ได้สามารถรักษาสภาวะแวดล้อมในระบบได้สม่ำเสมอ และสามารถทำให้ขั้นตอนปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดก๊าซมีเทนเป็นไปได้อย่างดีไม่ทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายต่าง ๆ ในระบบ จากทั้งหมดจะเห็นว่าระบบจำเป็นต้องมีการกวนที่ดีอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ทุก ๆ สิ่งภายในถังบำบัดเหมือนกันทั่วถึง เพื่อช่วยการควบคุมระบบให้เป็นไป

อย่างถูกต้อง (ศรีณพิชญ์ สุพานิช, 2549) ซึ่ง Rodrigues และคณะ (2003) ศึกษาอิทธิพลของอัตราการกวนในระบบ ASBR ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มี COD เท่ากับ 500 mg/L อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในถังขนาด 2 ลิตร ที่ Cycle time 8 ชั่วโมง ใช้อัตราการกวนที่ 25, 50 และ 75 รอบต่อนาที พบว่า อัตราการกวนที่ 50 รอบต่อนาทีมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุดเท่ากับร้อยละ 80

### 7) รอบการทำงาน (Cycle Time)

หนึ่งวัฏจักร (Cycle Time) หรือเท่ากับ 1 รอบการทำงานโดยในระบบ ASBR ประกอบด้วยการทำงาน 4 ลำดับขั้นตอน ได้แก่ การเติมน้ำเสียเข้าเพื่อจะบำบัด การทำปฏิกิริยาจะมีการกวน (Mixing) เพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสีย การตกตะกอน และการปล่อยน้ำใสออก ซึ่งเท่ากับ 1 วัฏจักร (Cycle Time) ใช้เวลา 3 - 24 ชั่วโมง (ปารินดา สุขสบาย, 2539) ซึ่งการกำหนดรอบการทำงานในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิดนั้นก็แตกต่างกันไป ดังเช่น Ratuznei และคณะ (2003) ศึกษาในระบบ ASBR โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า Cycle Time ที่ 8 ชั่วโมง จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 86 แต่เมื่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเนยแข็งด้วยระบบ ASBR ที่ Cycle Time เท่ากับ 8 ชั่วโมงเหมือนกัน สามารถกำจัด COD ได้ถึงร้อยละ 90 (Mockaitis *et al.*, 2006) ในขณะที่ Bouallagui และคณะ (2004) บำบัดของเสียจากตลาดพวกผักและผลไม้โดยใช้ระบบ ASBR ภายใต้สภาวะ Mesophilic ที่ Cycle Time เท่ากับ 24 ชั่วโมง สามารถกำจัด COD ได้ถึงร้อยละ 96 และเมื่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ด้วยระบบ ASBR มีการใช้ Cycle Time ที่ 6 ชั่วโมง HRT 10 วัน ทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด COD ที่ร้อยละ 78.98 (ธนาวัฒน์ รักษมถ, 2549) จะเห็นได้ว่า แม้จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียและรอบการทำงานเดียวกัน แต่เป็นน้ำเสียคนละชนิดก็มีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของระบบแตกต่างกัน

#### 1.2.7 กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน

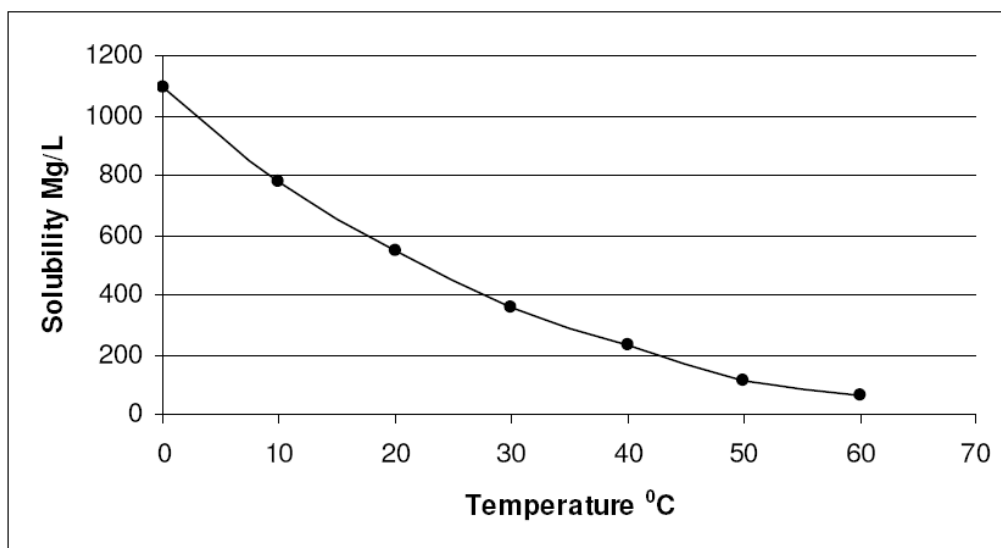
โอโซน ( $O_3$ ) คือ รูปแบบหนึ่งของก๊าซออกซิเจนที่สามารถทำปฏิกิริยา Oxidation กับสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ได้เกือบทุกชนิด ซึ่งผลพลอยได้จากปฏิกิริยานี้คือการย่อยสลายพันธะของสารทั้งในน้ำและอากาศ โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรที่มีสีน้ำเงินสามารถมองเห็นได้ชัดเจน และเปลี่ยนเป็นออกซิเจนได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน นอกจากนี้โอโซนยังเป็นก๊าซพิษที่ทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง หากได้รับโดยตรงในปริมาณที่มีความเข้มข้นสูงจะเป็นอันตรายโดยตรงต่อปอดและตา ทำให้เยื่อหุ้มสมองอักเสบ (วีระพงษ์ เลิศรัตนเทวี, 2548)



### 1.2.7.1 หลักการทำงานของโอโซน

#### 1) การละลายของโอโซนในน้ำ

การละลายน้ำของโอโซนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและแรงดันของโอโซนในสถานที่เป็นก๊าซ ซึ่งความสามารถในการละลายของก๊าซในน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ดังนั้นควรทำการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ดังภาพประกอบที่ 1-6



ภาพประกอบที่ 1-6 การละลายของโอโซนในน้ำ

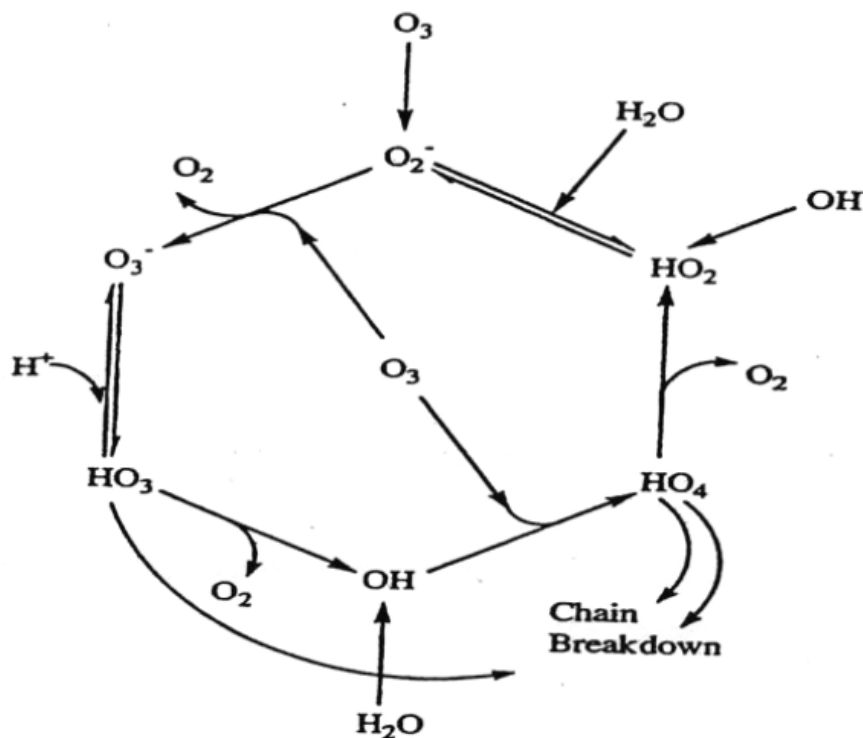
ที่มา : Lin และ Yeh (1993)

#### 2) ปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนในน้ำ

โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรและสลายตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและ pH สูงขึ้น กลไกการสลายตัวของโอโซนในน้ำธรรมชาติจะซับซ้อนกว่าในน้ำบริสุทธิ์ เพราะในน้ำธรรมชาติจะมีสารประกอบต่างๆ ซึ่งอาจเป็นตัวก่อ (Initiator) เช่น ฟอรัมต,  $\text{HO}_2^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{OH}^0$  หรือตัวกระตุ้น (Promotor) เช่น ฟอรัมตและ Primary Alcohol หรือ สารยับยั้ง (Inhibitor) เช่น คาร์บอนเนต ไบคาร์บอนเนต และ Tertiary Alcohol ของการสลายตัวของโอโซน

อนุมูล Hydroxide ion ( $\text{OH}^-$ ) เป็นตัวชักนำของการสลายตัวของโอโซน ครึ่งชีวิตของโอโซนจึงค่อนข้างสั้นในสภาพที่เป็นด่าง โดยที่ pH 10 ครึ่งชีวิตของโอโซนในน้ำบริสุทธิ์ประมาณ 20-30 นาที สารประกอบอินทรีย์ในธรรมชาติยังเป็นตัว Inhibitor และ Promotor ของปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซน สำหรับการสลายตัวของโอโซนเป็นออกซิเจน โดยการแตกตัวให้ Radical ต่างๆ ได้แก่ Hydroxyl Radical ( $\text{OH}^0$ ),  $\text{HO}_3$ , HO และ Super oxide ( $\text{O}_2$ ) ดังภาพประกอบที่

1-7 Radical ต่างๆที่เกิดขึ้นจะมีความว่องไวมากในการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ (Gottschalk *et al.*, 2000)



ภาพประกอบที่ 1-7 ปฏิกิริยาการแตกตัวของโอโซนในน้ำ

ที่มา : Langlais และคณะ (1991)

### 3) ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างโอโซนกับสารประกอบอินทรีย์

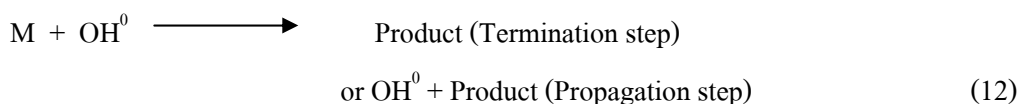
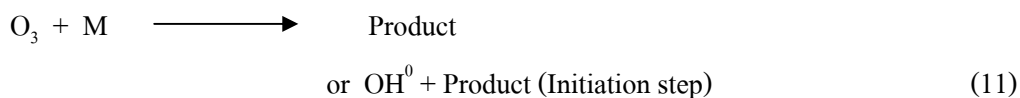
โอโซนจะเข้าไปจับกับโมเลกุลของสารปนเปื้อนและทำการย่อยสลายโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสาร หลังการทำปฏิกิริยาโอโซนจะแปรสภาพกลับไปเป็นก๊าซออกซิเจน สำหรับรูปแบบการเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซน จะมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ลักษณะ ดังนี้

กลไกแรก คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรง (Direct oxidation) โอโซนจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์บริเวณพันธะคู่ ( $C=C$   $C=C-O-R$   $C=C-X$ ) หรืออะตอมที่มีประจุลบ (N P O S และ Nucleophilic C) สาร Aromatics ที่มีหมู่ OH  $CH_3$  หรือ CHO อยู่ตรงบริเวณอโรจะทำปฏิกิริยากับโอโซนได้ดี (High reactivity) แต่ถ้ามีหมู่  $NO_2$ ,  $CO_2H$  หรือ CHO ปฏิกิริยาจะเกิดช้า

ส่วนกลไกแบบที่สอง คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอ้อม (Indirect oxidation) สารอินทรีย์ถูกทำปฏิกิริยากับ Free radical ที่เกิดขึ้นแรก ได้แก่  $OH^{\bullet}$  และ  $HO_2^{\bullet}$  ซึ่งประจุที่แตกออก

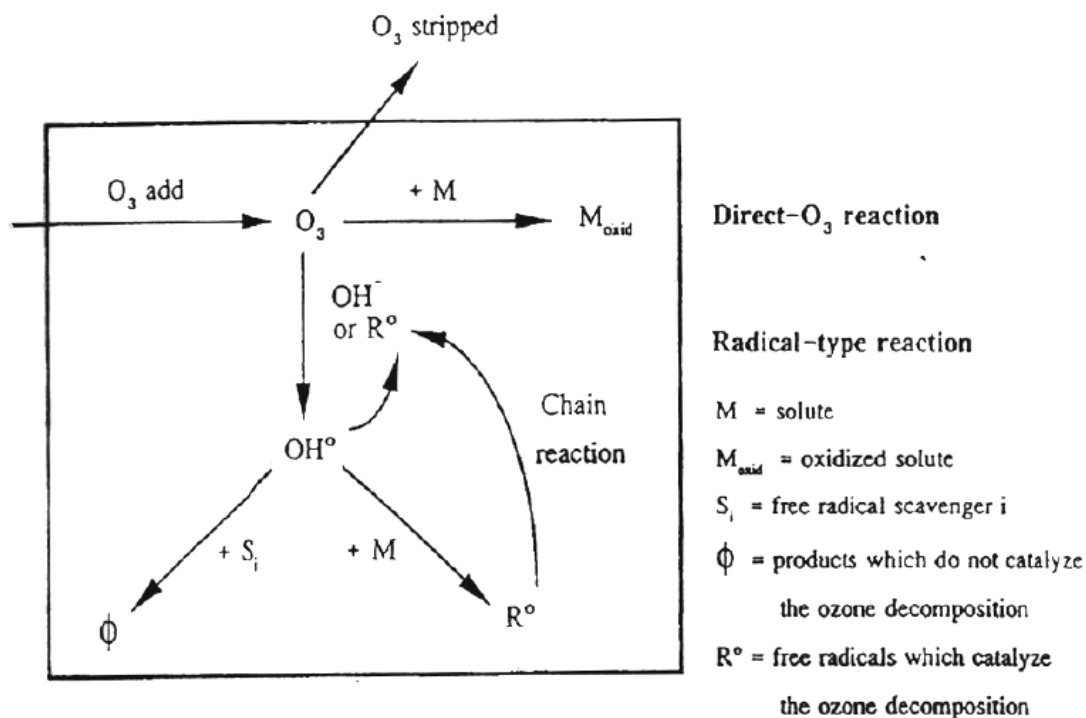
เหล่านี้จะสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก ได้แก่ สารอินทรีย์ประเภท Acid, Aldehydes, Ketone และพวก Less High Activated Aromatic

ปฏิกิริยาทั้ง 2 ขั้นตอนแสดงในสมการที่ (1) และ (2) ดังนี้



เมื่อ M คือ สารอินทรีย์

โดยทั้งสองกลไกจะมีรูปแบบการเกิดปฏิกิริยาของโอโซน ดังภาพประกอบที่ 1-8 (สุเมธ ขวเดช, 2541; Gottschalk *et al.*, 2000)

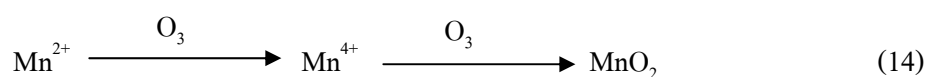
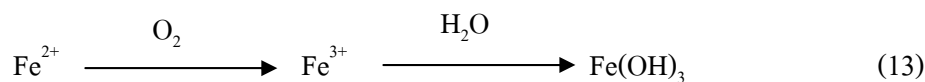


ภาพประกอบที่ 1-8 ปฏิกิริยาของโอโซนในของเหลว  
 ที่มา : วราภรณ์ กัลยาเลิศ (2540)

### 1.2.7.2 ประโยชน์ของการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน

โอโซนเป็นสารที่ไม่เสถียร สามารถแตกตัวได้ Radical ต่างๆ ซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ต่างๆ จึงมีประโยชน์ดังนี้

1) สามารถออกซิไดซ์สารอนินทรีย์ ซึ่งโอโซนจะกำจัดโลหะหนักโดยการออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสในรูปของสารละลายน้ำ ( $\text{Fe}^{2+}$  และ  $\text{Mn}^{2+}$ ) ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ( $\text{Fe}^{3+}$  และ  $\text{Mn}^{3+}$ ) ดังสมการ 13 และ 14 ถ้าใช้โอโซนร่วมกับด่างในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสามารถลดค่า pH ที่ต้องการในการตกตะกอนให้ต่ำลงได้ ซึ่งช่วยประหยัดการใช้กรดในการปรับให้เป็นกลางลงได้ (นวพรพร ลักษณานุรักษ์, 2545)



2) โอโซนช่วยในการกำจัดกลิ่นที่เกิดจากสารประกอบสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เช่น ซัลเฟอร์ (Sulfur) ในโตรเจน (Nitrogen) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดกลิ่นในน้ำเสีย การเติมโอโซนลงในน้ำประมาณ 1-2 mg/L โอโซนจะออกซิไดซ์สารประกอบเหล่านี้ (ชารกมล ถาวรพานิช, 2543)

3) โอโซนสามารถใช้แทนสารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอน ซึ่งโอโซนมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนประจุที่ผิวน้ำให้เป็นกลางอนุภาคจะรวมตัวเป็นก้อน แล้วถูกกำจัดไปโดยการตกตะกอน

4) โอโซนช่วยออกซิไดซ์สีในน้ำเสีย โดยโอโซนจะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสี (ส่วนหนึ่งของโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ดูดซับแสงที่สามารถมองเห็นได้) ทำให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดสี (ไม่ดูดซับแสงที่สามารถมองเห็นได้) ซึ่งกระบวนการโอโซนขั้นต้นสามารถลดสีลงได้ แต่ไม่ถึงกับกำจัดสีได้ทั้งหมด (นวพรพร ลักษณานุรักษ์, 2545) จากการศึกษาของ พนา เมฆตรง (2544) ศึกษาการกำจัดสี (Color) ในน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้โอโซน ซึ่งกำหนดระยะเวลาในการเติมโอโซนที่แตกต่างกันโดยทดลองแบบ Batch Test เติมโอโซนที่ 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที, 1 ชั่วโมง, 1 ชั่วโมง 30 นาที, 2 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 30 นาที, 3 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมงโดยใช้เครื่องผลิตโอโซนที่มีอัตราการผลิต 250 mg/hr พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 97 ที่ระยะการเติมโอโซน 6 ชั่วโมง ประสิทธิภาพ

ในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 43 ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีและการบำบัด COD มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเติมโอโซนเพิ่มขึ้น

จากประโยชน์ดังกล่าวมาแล้วและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโอโซนไปใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆดังแสดงในตารางที่ 1-4 จะเห็นได้ว่าโอโซนมีผลกระทบโดยตรงในการกำจัดสี และเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ ควรใช้เป็นกระบวนการบำบัดก่อนเข้าสู่ระบบ Anaerobic Digestion ในระบบบำบัดน้ำเสียและประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทอื่น

ตารางที่ 1-4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน

อ้างอิง	วิธีวิจัยและผลการศึกษา
Liakou และคณะ (1997)	ศึกษาการบำบัดเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอขั้นต้นด้วยโอโซนน้ำเสียซึ่งประกอบไปด้วยสีย้อมคือ Azo dye (Orange II) และสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งมีค่า BOD <sub>5</sub> /COD ต่ำ (น้อยกว่า 0.1) ทำให้เกิดปัญหาในการบำบัดทางระบบทางชีวภาพจึงได้ทำการศึกษาการออกซิไดส์สีย้อมด้วยโอโซน ไปเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ซึ่งผลที่ได้คือสามารถลดค่า COD และ ทำให้เกิด Biodegradable Intermediate ได้แก่ Oxalate Formate และ Benzenesulfonate
Alfajara และคณะ (1999)	ศึกษากระบวนการโอโซนชั้นในน้ำเสียจากโรงกลั่นเหล้าเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และกำจัดสีของ Polymeric Pigment ที่เรียกว่า Melanoidins จากการทดลองสามารถกำจัด COD ได้ร้อยละ 16 กำจัดสีได้ร้อยละ 80 เพิ่มสัดส่วน BOD <sub>5</sub> /COD ได้ร้อยละ 40 (จาก 0.3 เป็น 0.5) และลดมวลโมเลกุลของ Melanoidins ได้ร้อยละ 10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโอโซนมีผลกระทบโดยตรงในการกำจัดสี และเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ จึงเสนอว่าควรใช้เป็นกระบวนการบำบัดก่อนเข้าสู่ระบบ Anaerobic Digestion ในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ และประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทอื่น

ตารางที่ 1-4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีวิจัยและผลการศึกษา
เนติยา ตันตชฌนท์ (2544)	ศึกษาการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียโรงงานผลิตเครื่องสำอาง ก่อนเข้าระบบบำบัดทางชีวภาพโดยกระบวนการโอโซนชั้นเมื่อทดลองแบบกะ พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือภาระบรรทุก 3,000 mg/L ที่ pH 7 และระยะเวลา Contact Time 2.5 ชั่วโมง สามารถลด COD เท่ากับร้อยละ 75 และ BOD <sub>5</sub> เท่ากับร้อยละ 62 ส่วน BOD <sub>5</sub> /COD เพิ่มขึ้นจาก 0.35 เป็น 0.53 เมื่อนำมาบำบัดต่อด้วยกระบวนการทางชีวภาพให้ผลในการบำบัดรวมสูงขึ้น COD เท่ากับร้อยละ 96.90 BOD เท่ากับร้อยละ 99.33
ภาณุมาศ พวงแก้ว (2548)	ศึกษาการย่อยสลายฟีนอลด้วยกระบวนการโอโซนชั้น โดยการทดลองจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟีนอล 25, 50 และ 100 mg/L จากการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟีนอลด้วยกระบวนการโอโซนชั้น ได้แก่ ปริมาณโอโซน, ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น และ pH และกระบวนการโอโซนชั้นภายใต้สภาวะต่างๆ ที่ทำการทดลองให้ผลการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 24.56-97.13 โดยให้ผลการกำจัดฟีนอลสูงสุดที่ pH 10 ความเข้มข้นฟีนอล 25 mg/L ปริมาณโอโซน 132.96 mg นอกจากนี้ยังศึกษาสัดส่วนโมลฟีนอลต่อโมลโอโซน (Mole Phenol/Mole Ozone) พบว่าให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.181 การทำปฏิกิริยาระหว่างโอโซนและฟีนอล จะเกิดขึ้นทันทีที่มีการเติมโอโซนและการสลายตัวอย่างรวดเร็วของโอโซนทำให้ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาไม่มีผลต่อการกำจัดฟีนอลของกระบวนการโอโซนชั้น
กุนทรหายน ยามิรุเต็ง (2551)	ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่า การใช้น้ำเสีย pH 7 อัตราการให้ก๊าซโอโซน 4,000 mg/hr และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที มีผลให้สัดส่วนของการย่อยสลายทางชีวภาพ (BOD <sub>5</sub> /COD) ของน้ำเสียเพิ่มขึ้นจาก 0.566 เป็น 0.903

### 1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของรอบการทำงาน (Cycle time) ต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบเอเอสบีอาร์ (ASBR)
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ (ASBR) ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มระหว่างผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบประสิทธิภาพและปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบเอเอสบีอาร์ (ASBR) ที่ Cycle time ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มระหว่างผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น และนอกจากนี้สามารถนำข้อมูลจากการวิจัยไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม หรือประยุกต์ใช้กับโรงงานที่มีน้ำเสียลักษณะใกล้เคียงกันต่อไป

### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 การวิจัยครั้งนี้ทำในระดับห้องปฏิบัติการ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งจำลองระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบเอเอสบีอาร์ (ASBR) ขนาด 4 ลิตร โดยมีปริมาตรตามที่ต้องการ (Working Volume) 2 ลิตร และจะเดินระบบบำบัดที่ HRT ต่างๆ เพื่อศึกษาผลของ Cycle time ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ ASBR หลังจากนั้นศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มระหว่างผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น โดยการวิจัยครั้งนี้จะใช้น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัทเอเชียน้ำมันปาล์ม อำเภอบางลิศ จังหวัดกระบี่

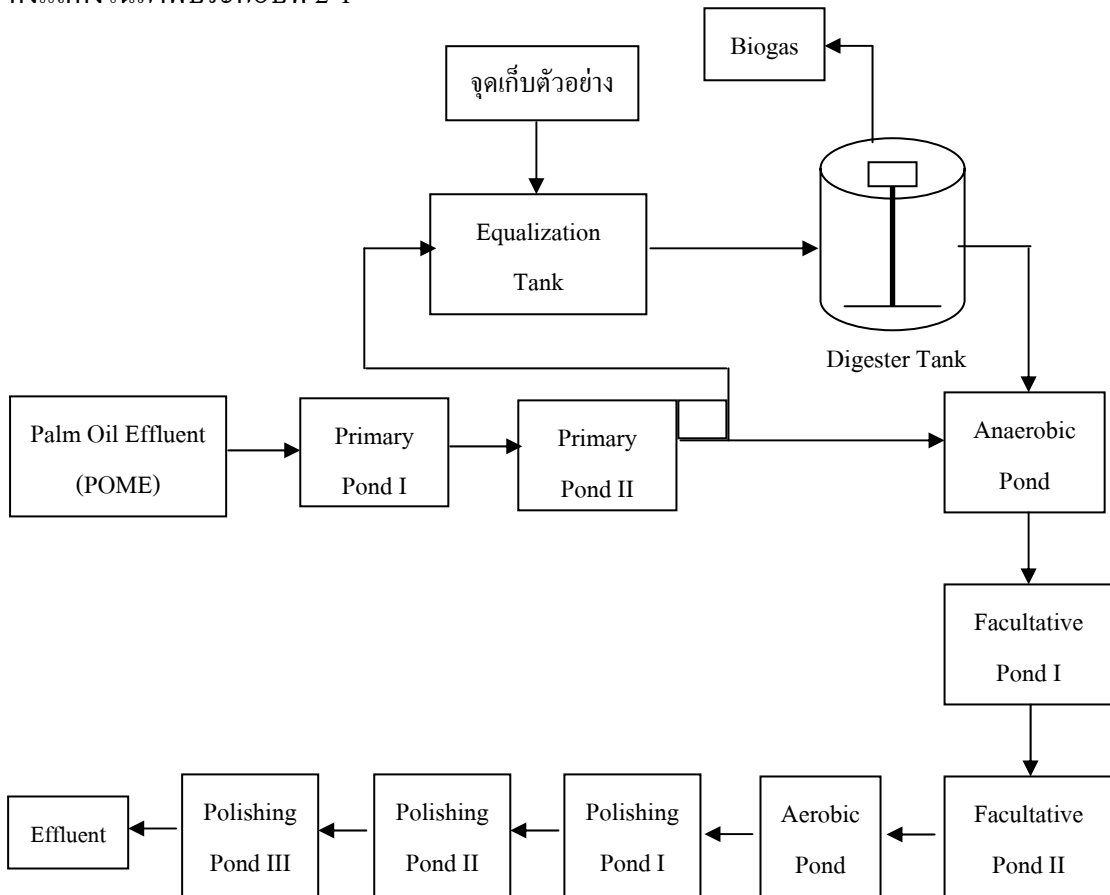
1.5.2 วิเคราะห์น้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วในพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้คือ pH, Temperature, Oil and Grease, BOD<sub>5</sub>, COD, Volatile Fatty Acid, Alkalinity, SS MLSS และ MLVSS ตามวิธีการของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 2005) และมีการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น โดยการแทนที่น้ำและวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ รวมถึงการนำค่าผลการทดลองมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระหว่างชุดการทดลองที่ศึกษา

## บทที่ 2 วิธีการวิจัย

### 2.1 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 2.1.1 การศึกษาลักษณะน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

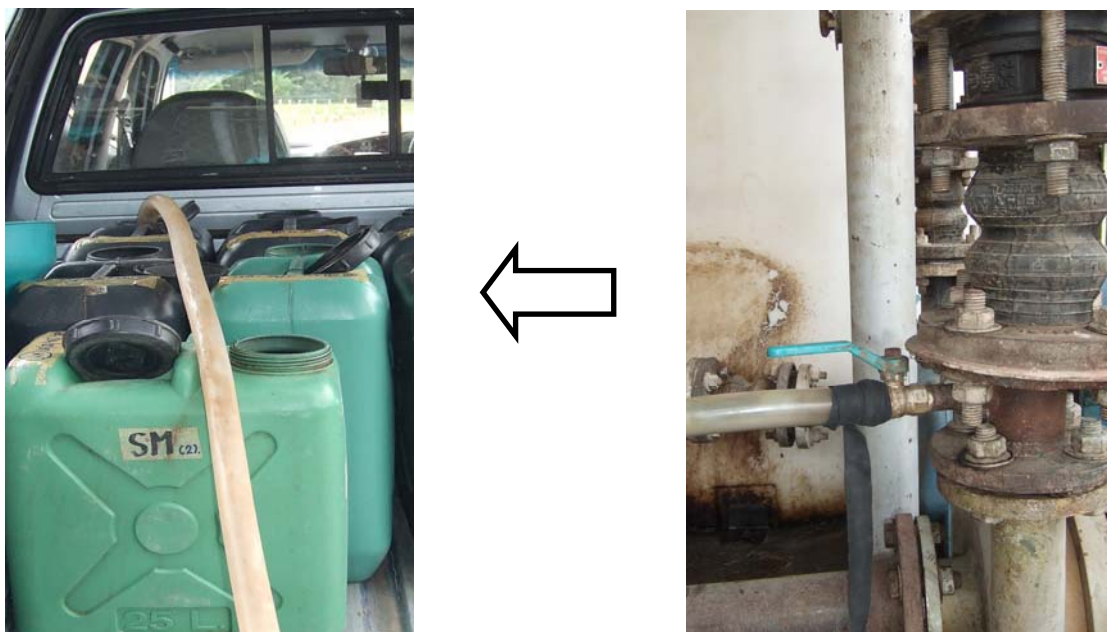
2.1.1.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่มีการสกัดแยกน้ำมันโดยใช้เครื่อง Decanter ของบริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตจะผ่านบ่อดักไขมัน และถังปรับสภาพน้ำเสีย (Equalization Tank, EQ) ก่อนจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digester) ของโรงงาน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-1



ภาพประกอบที่ 2-1 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่



2.1.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากก๊อกลงด้านล่างของถัง Equalization Tank ดังภาพประกอบที่ 2-2 แล้วนำมาเก็บรักษาสภาพไว้ที่ห้องเย็น (อุณหภูมิ 4 °C) ของคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม และทำการศึกษาลักษณะพื้นฐานของน้ำเสียโดยใช้พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นวิธีตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 2005) ดังแสดงในตารางที่ 2-1



ภาพประกอบที่ 2-2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากก๊อกลงด้านล่างของถัง Equalization Tank ที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัทเอเซีย น้ำมันปาล์ม อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่

ตารางที่ 2-1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำเสีย

Parameters	Method
Temperature	Thermometer
pH	pH meter
Oil and Grease	Soxhlet Extraction Method
BOD <sub>5</sub>	5-Day BOD Test
TCOD	Close reflux, Titrimetric Method
SCOD	Filter (Pore Size 1.3-1.5 µm)/ Close reflux, Titrimetric Method
Volatile Fatty Acids	Direct Titration Method*
Alkalinity	Direct Titration Method*
Suspended Solid (SS)	Gravimetric Method
MLSS	Gravimetric Method
MLVSS	Gravimetric Method

ที่มา : APHA, AWWA และ WEF (2005)

\* คือ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย และ World Environment Center (2540)

### 2.1.2 การศึกษาลักษณะน้ำเสีย

นำน้ำเสียจากในตู้เย็นมาตั้งทิ้งไว้ (ข้ามคืน) เพื่อเกิดแยกชั้นซึ่งไขมันจะลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำเสียหลังจากนั้นจุดเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำเสียขึ้นมาผสมกันในถังก่อนนำไปทำการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสำหรับการทดลองที่ 1 การใช้น้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น และการทดลองที่ 2 ใช้น้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

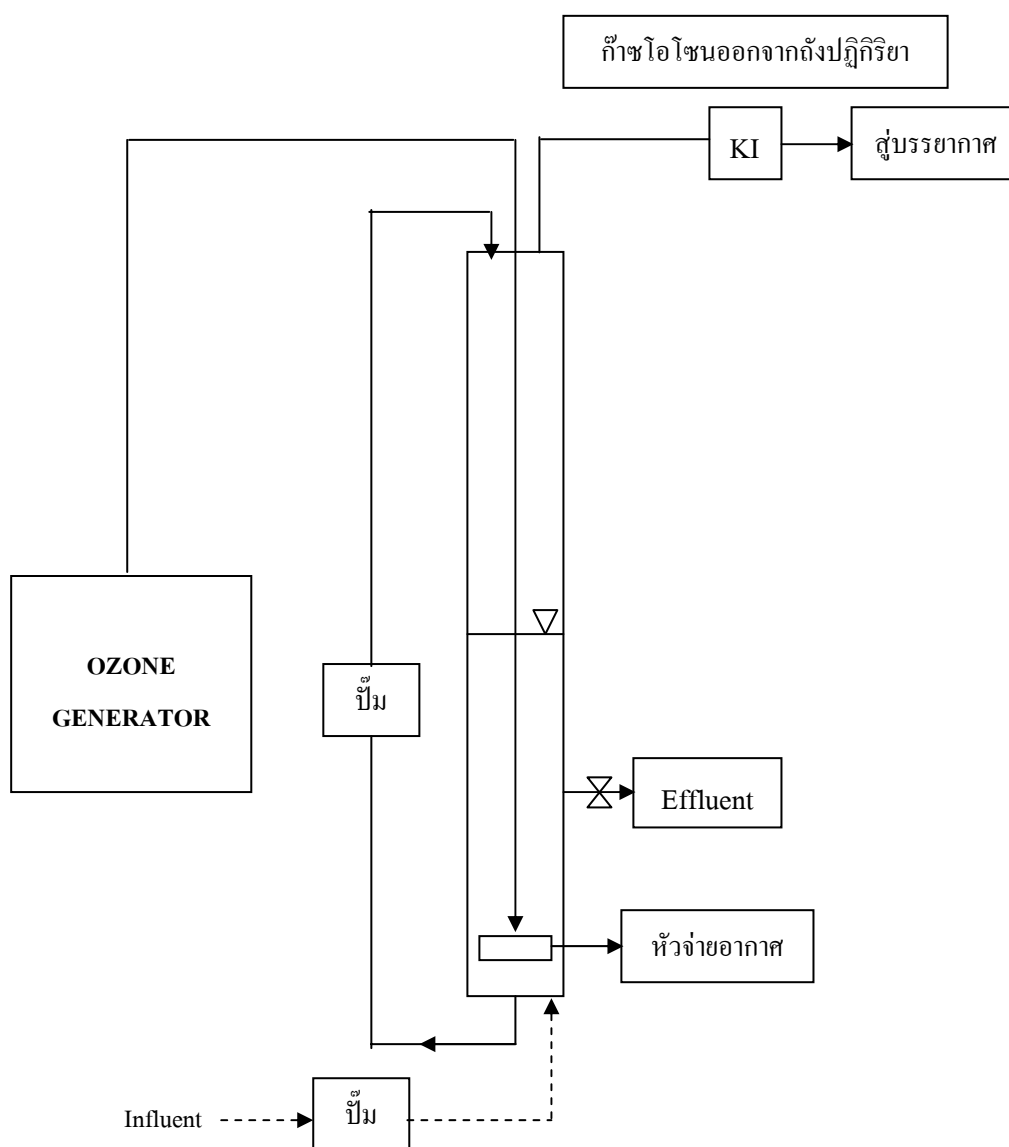
#### 2.1.2.1 การเตรียมน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

นำน้ำเสียจากการเตรียมใน 2.1.2 เติมในถังปฏิกรณ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 13 เซนติเมตร สูง 200 เซนติเมตร ทำจากท่ออะคริลิกใส ปริมาตร 5 ลิตร ทำการป้อนโอโซนที่อัตรา 4,000 mg/hr โดยใช้หัวจ่ายอากาศ (หัวทราย) ที่อยู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์เป็นตัวกระจายโอโซนเพื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (ภาพประกอบที่ 2-3) และควบคุมอัตราการผลิตโอโซนตามค่าที่กำหนดไว้ให้คงที่ตลอดช่วงการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังจากเติมโอโซนไป 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียหลังจากผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น ดังพารามิเตอร์ที่แสดงในตารางที่ 2-1 ส่วน โอโซนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับน้ำ (Excess Ozone) ถูกกำจัด

ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการออกซิไดซ์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (กุนูรหา ยาม ยามิรุเต็ง, 2551)

### 2.1.2.2 การเตรียมน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนเข้มข้น

นำน้ำเสียมาจากการเตรียมใน 2.1.2 มาปรับ pH ด้วย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  6 N ให้น้ำเสียมีค่า pH เท่ากับ  $7.2 \pm 0.1$  ก่อนป้อนเข้าระบบบำบัด



ภาพประกอบที่ 2-3 การปรับสภาพน้ำเสียด้วยวิธีโอโซนเข้มข้น

### 2.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ASBR จำลองในห้องปฏิบัติการ

#### แบบจำลองระบบบำบัด ASBR (ภาพประกอบที่ 2-4)

2.1.3.1 ถังปฏิกรณ์ มีลักษณะเป็นขวดแก้วสีชา ขนาด 4 ลิตร โดยใช้ปริมาตรตามที่ต้องการ (Working Volume) 2 ลิตร

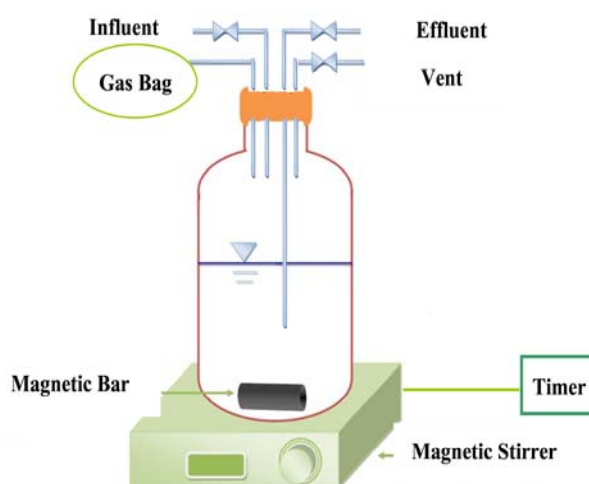
2.1.3.2 จุกยาง ใช้จุกยางขนาดเบอร์ 13 ซึ่งพอดีกับปากขวดแก้วที่ใช้เป็นถังปฏิกรณ์ และเจาะรูให้มีขนาดพอดีกับแท่งแก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร จำนวน 4 รู

2.1.3.3 ถุงเก็บก๊าซ ใช้ถุงเก็บก๊าซขนาด 3 ลิตร

2.1.3.4 Magnetic Stirrer และ Magnetic Bar ทำหน้าที่ช่วยกวนให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียส่งเข้ามาบำบัดโดยจะกวนเป็นเวลา 1 นาทีทุกๆ 30 นาที

2.1.3.5 Timer เป็นตัวควบคุมเวลาในการทำงานของ Magnetic Stirrer

2.1.3.6 Syringe ใช้สำหรับป้อนและเก็บตัวอย่างน้ำเสีย



ภาพประกอบที่ 2-4 แบบจำลองระบบบำบัด ASBR

#### 2.1.4 การเริ่มต้นเดินระบบ (Start up)

ในการทดลองนี้ระบบจำลองแบบไร้อากาศ ASBR ทำจากขวดแก้วสีชาขนาด 4 ลิตร โดยใช้ปริมาตรตามที่ต้องการ (Working Volume) 2 ลิตร โดยเริ่มต้นเดินระบบมีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed) ที่นำมาจากถังปฏิกรณ์ชนิด Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด ซึ่งนำมาหาค่า MLSS ก่อน ซึ่งกำหนดให้ค่า MLSS ในแต่ละถังปฏิกรณ์เท่ากับ 22,000 mg/L เมื่อเติมหัวเชื้อตั้งต้นแล้วจะทำการเติมน้ำเสียเข้าระบบจนได้ปริมาตรปิดปากขวดด้วยจุกยางพันทับด้วยพาราฟิล์มใส่อากาศใน

ระบบออกโดยผ่านก๊าซไนโตรเจน (flush) บริเวณช่องว่างด้านบนเหนือระดับของเหลวเป็นเวลา 3 นาที ทิ้งไว้ 1 คืนหลังจากนั้นจึงทำการเดินระบบที่ HRT 10 วันเพื่อไม่ให้เกิด Shock Load ต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ และเพื่อให้หัวเชื้อจุลินทรีย์ปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสียใหม่ จากนั้นทำการเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable Condition) และเริ่มทำการเปลี่ยนแปลงการทดลองที่ HRT ต่างๆ เมื่อประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm$  ร้อยละ 10

### 2.1.5 สถานะการทดลองที่ศึกษา

**2.1.5.1 ระยะเวลาการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของ Cycle Time (CT) ต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น**

นำน้ำเสียที่เก็บมาจากถังปรับสภาพน้ำเสีย (Equalization Tank, EQ) ของ บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด ที่ผ่านการเตรียมน้ำเสีย (ข้อ 2.1.2) มาผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น โดยป้อนโอโซนที่อัตรา 4,000 mg/hr เป็นเวลา 30 นาที วิเคราะห์หาลักษณะของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีโอโซนชั้น แล้วจึงทำการทดลองเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ASBR พร้อมกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ CT 12, CT 24 และ CT 48 ชั่วโมง โดยเริ่มเดินระบบที่ HRT 10 วันเพื่อให้หัวเชื้อจุลินทรีย์ปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสียใหม่จนกระทั่งระบบ ASBR ทั้ง 3 ชุดการทดลองเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable Condition) โดยดูจากประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีค่าใกล้เคียงกันเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm$  ร้อยละ 10 หลังจากนั้นทำการเปลี่ยน HRT มาที่ 7 และ 5 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2-2) ซึ่งแต่ละการทดลองทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียโดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆและความถี่ในการตรวจวิเคราะห์ดังตารางที่ 2-3 ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะถูกเก็บในถุงเก็บก๊าซแล้วนำไปวัดปริมาณก๊าซโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ

ตารางที่ 2-2 ลักษณะการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนเนชั่น

HRT (d)	Q (L/cycle)			Influent TCOD (mg/L)	OLR (kgCOD/m <sup>3</sup> .d)	OL <sub>cycle</sub> * (kgCOD/m <sup>3</sup> .cycle)		
	CT	CT	CT			CT	CT	CT
	12 h	24 h	48 h			12 h	24 h	48 h
10	0.100	0.200	0.400	65,240±4,436	7.61±4.24	3.26±0.22	6.52±0.44	13.04±0.88
7	0.143	0.286	0.572	63,458±2,810	10.57±5.87	4.53±0.20	9.06±0.40	18.13±0.80
5	0.200	0.400	0.800	58,352±2,861	13.61±7.56	5.83±0.28	11.67±0.57	23.34±1.14

หมายเหตุ : \* OL<sub>cycle</sub> คำนวณได้จากสมการ

$$OL_{cycle} = \left( \frac{COD \times CT}{HRT \times 24} \right) \frac{kgCOD}{m^3 \cdot cycle}$$

ตารางที่ 2-3 ความถี่ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเข้าและน้ำทิ้งจากระบบบำบัด ASBR

Parameters	Frequency of monitoring
Temperature	ทุกวัน
pH	ทุกวัน
Biogas production	ทุกวัน
TCOD	ทุก 4 วัน
SCOD	ทุก 4 วัน
Volatile Fatty Acids	ทุก 4 วัน
Alkalinity	ทุก 4 วัน
SS	ทุก 4 วัน
Oil and Grease	ก่อนเปลี่ยน HRT
BOD <sub>5</sub>	ก่อนเปลี่ยน HRT
MLSS	สิ้นสุดการทดลอง
MLVSS	สิ้นสุดการทดลอง

### 2.1.5.2 ระยะเวลาทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีโอโซนชั้น

ในการทดลองนี้ได้คัดเลือก Cycle Time ที่เหมาะสมในแต่ละ HRT ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดจากผลการทดลองระยะที่ 1 มาใช้ในการเดินระบบต่อในการทดลองนี้ คือ HRT 10 วัน CT 12 ชั่วโมง (HRT 10-12), HRT 7 วัน CT 12 ชั่วโมง (HRT 7-12), HRT 5 วัน CT 12 ชั่วโมง (HRT 5-12) และ HRT 5 วัน CT 24 ชั่วโมง (HRT 5-24) เริ่มต้นโดยนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed) ที่มีความเข้มข้นของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) ในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 22,000 mg/L มาเติมลงในถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถัง หลังจากนั้นป้อนน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น และปรับค่า pH น้ำเสียด้วย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ให้ได้  $7.2 \pm 0.1$  เพื่อให้มีสภาวะเหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบไร้อากาศ (ข้อ 2.1.2.2) เข้าระบบจนได้ปริมาตร 2 ลิตร และทำการทดลองเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ASBR พร้อมกันทั้ง 4 ระบบโดยมีลักษณะการทำงานของระบบดังตารางที่ 2-4 เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียโดยวิเคราะห์ พารามิเตอร์ต่างๆเหมือนระยะเวลาทดลองที่ 1 และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะถูกเก็บในถุงเก็บก๊าซแล้วจึงนำไปวัดโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ

ตารางที่ 2-4 ลักษณะการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

HRT (d)	CT (hr)	Q (L/d)	Influent TCOD (mg/L)	OLR (kgCOD/m <sup>3</sup> .d)	OL <sub>cycle</sub> (gCOD/L <sub>reactor</sub> .cycle)
10	12	0.20	64,635±3,562	6.46±0.35	3.24±0.05
7	12	0.29	64,635±3,562	9.37±0.51	4.62±0.08
5	12	0.40	64,635±3,562	12.92±0.71	6.48±0.11
5	24	0.40	64,635±3,562	12.92±0.71	12.96±0.23

### 2.1.5.3 ระยะเวลาทดลองที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น โดยใช้ผลการศึกษาจากระยะการทดลองที่ 1 และ 2

### 2.1.6 การศึกษาก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันถูกวัดปริมาณโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ สำหรับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะทำการตรวจวัด ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) ของบริษัท Hewlette Packard รุ่น HP6890N สำหรับ Detector ที่ใช้คือ Thermal Conductivity Detector (TCD) โดยส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### 2.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทดลองนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัด ซึ่งใช้การประมวลผลโดยโปรแกรมทางสถิติ คือ โปรแกรม SPSS (Statistical Packages for the Social Science) โดยวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (Analysis of variance; One-way ANOVA) และใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## 2.2 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

**2.2.1 ตัวอย่างน้ำเสีย** จากกระบวนการผลิตผ่านบ่อดักไขมัน และถังปรับสภาพน้ำเสีย (Equalization tank, EQ) ก่อนจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic digester) ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัทเอเชียนน้ำมันปาล์ม อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่

**2.2.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed)** นำมาจากถังปฏิกรณ์ชนิด Continuous Stirred tank Reactor (CSTR) ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด

**2.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์** (ระบุในภาคผนวก ข)

**2.2.4 สารเคมีที่ใช้ปรับ pH น้ำเสีย** คือ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  6 N

## 2.3 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

**2.3.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง** ได้แก่

- 1) ขวด โพลีเอทิลีนขนาด 100 และ 180 mL
- 2) แกลลอนพลาสติกขนาด 10 และ 35 L



### 2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

- 1) Touch mixer ผลิตภัณฑ์ Fisher Scientific รุ่น 231
- 2) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Metter Toledo รุ่น PB1502
- 3) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Metter Toledo รุ่น AB204
- 4) เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) ผลิตภัณฑ์ WTW รุ่น pH526
- 5) ตู้อบความร้อนแห้ง (Hot air oven) ผลิตภัณฑ์ Contherm รุ่น 240M
- 6) เตาเผา (Furnace) ผลิตภัณฑ์ Thermolyne รุ่น 6000
- 7) เครื่องลดปริมาตรตัวอย่าง (Rotary Evaporator) ผลิตภัณฑ์ Buchi รุ่น R-114
- 8) เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) และเตาไฟฟ้า (Hot plate) ผลิตภัณฑ์ Framo รุ่น M 21/1
- 9) เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) ผลิตภัณฑ์ GAST รุ่น 0296
- 10) ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) ผลิตภัณฑ์ Sanplatec
- 11) ตู้บ่มบีโอดี (BOD Incubator) ผลิตภัณฑ์ ภายในประเทศ
- 12) เตาย่อยสลายตัวอย่างสำหรับซีโอดีแบบปิด (Heating Blocks) ผลิตภัณฑ์ J.P Selecta รุ่น R.A.T
- 13) ชุดสกัดซอกซ์เลต (Soxhlet Extraction Apparatus) ผลิตภัณฑ์ Selecta รุ่น 6002316

### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

##### 3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีการสกัดแยกน้ำมันโดยใช้เครื่อง Decanter ของบริษัทเอเชียน้ำมันปาล์ม อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตจะผ่านถึงปรับสภาพน้ำเสีย (Equalization Tank, EQ) ก่อนจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digester) ของโรงงาน น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ น้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นซึ่งใช้ในการทดลองที่ 1 จะใช้วิธีการเดียวกับทดลองของ ญูรหยา ยามิรุเต็ง (2551) โดยมีการศึกษาลักษณะของน้ำเสียก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น จากตารางที่ 3-1 ลักษณะของน้ำเสียภายหลังผ่านโอโซนมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองของ ญูรหยา ยามิรุเต็ง (2551) โดยพบว่าค่า pH และ BOD<sub>5</sub>/TCOD เพิ่มขึ้นจากน้ำเสียก่อนผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น และน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นใช้ในการทดลองที่ 2 ซึ่งมีการปรับ pH ของน้ำเสียเพื่อให้เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ ASBR และมีการศึกษาลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-1 ลักษณะน้ำเสียก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

Parameter	Non Ozonated*	Ozonated
pH	4.05±0.02	4.03±0.04
Temperature (°C)	28.00±0.20	28.20±0.20
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	280±36	243±28
Volatile Fatty Acids (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	4,386±160	4,660±222
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	20,758±655	22,649±603
TCOD (mg/L)	58,144±1,472	56,181±3,704
SCOD (mg/L)	30,789±849	32,506±1,523
SS (mg/L)	22,783±2,535	19,633±1,000
BOD <sub>5</sub> /TCOD	0.29±0.11	0.40±0.05
SCOD/TCOD	0.55±0.03	0.55±0.04

หมายเหตุ : \* คือน้ำเสียที่ไม่มีการปรับ pH

ตารางที่ 3-2 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

Parameter	Non Ozonated*	Ozonated
pH	7.13±0.13	4.36±0.17
Temperature (°C)	27.07±0.72	25.90±0.98
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	10,672±909	1,158±451
Volatile Fatty Acids (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	3,028±358	2,597±420
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	24,288±1,483	30,274±16,879
TCOD (mg/L)	64,635±3,562	64,091±6,606
SCOD (mg/L)	40,162±2,301	32,731±4,743
SS (mg/L)	30,763±1,290	28,032±4,098
Oil and Grease (mg/L)	1,655**	2,390±1,678
BOD <sub>5</sub> /TCOD	0.37±0.02	0.49±0.27
SCOD/TCOD	0.62±0.07	0.51±0.06

หมายเหตุ : \* คือ น้ำเสียมีการปรับ pH ให้มีค่า 7.2±0.1

\*\* ทำการทดลองแก่ซ้ำเดียว

### 3.2 ผลการทดลองของระบบบำบัด ASBR จำลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองครั้งนี้แบ่งเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองแรกเป็นการศึกษา Cycle Time ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นด้วยระบบ ASBR ที่ HRT ต่างๆ หลังจากนั้น นำสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 มาเดินระบบน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

#### 3.2.1 ศึกษาผลของ Cycle Time ต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

##### 3.2.1.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในระยะเริ่มต้นเดินระบบ (Start-Up) ของระบบ ASBR

ในการเริ่มระบบบำบัดน้ำเสีย ASBR จำลองในห้องปฏิบัติการเริ่มต้นโดยนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed) มาเติมในถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง คือ CT 12, CT 24 และ CT 48 ชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 3-1 ซึ่งเดินระบบพร้อมกันและมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) เท่ากับ 22,000 mg/L เติมน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นเข้าระบบ

จนได้ปริมาตร 2 ลิตร หลังจากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าระบบโดยเริ่มต้นเดินระบบที่ HRT 10 วัน จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable Condition) โดยดูจากประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่มีค่าใกล้เคียงกันและเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm$  ร้อยละ 10 จากนั้นเปลี่ยนมาเดินระบบด้วย HRT 7 วัน และ 5 วัน ตามลำดับ ซึ่งลักษณะการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนเนชั่นดังแสดงในตารางที่ 2-2 แล้วทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียดังพารามิเตอร์ต่อไปนี้



ภาพประกอบที่ 3-1 ลักษณะของระบบ ASBR ทั้ง 3 ระบบที่มี cycle time 12, 24 และ 48 ชั่วโมง

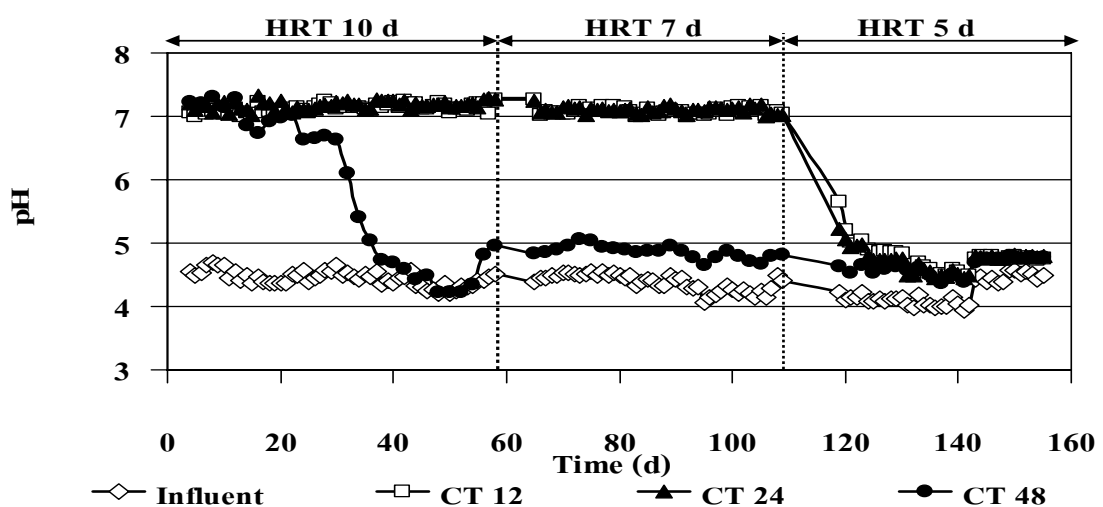
### 3.2.1.2 ผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนเนชั่นโดยระบบ ASBR

#### ก) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR อยู่ในช่วง  $24.6-27.3$  °C เมื่อทำการเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่าน้ำทิ้งที่ออกจากระบบทั้ง 3 ชุดการทดลองในแต่ละ HRT นั้น มีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกับน้ำเสียเข้าระบบ

### ข) พีเอช (pH)

ค่า pH ของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $4.42 \pm 0.06$  และจากการเดินระบบที่ HRT 10 วันพบว่าชุดการทดลอง CT 12 และ 24 ชั่วโมง ที่สภาวะคงตัวน้ำทิ้งจากระบบมี pH อยู่ที่  $7.18 \pm 0.08$  และ  $7.23 \pm 0.05$  ตามลำดับ อยู่ในช่วง pH 6.8-7.2 ซึ่งเป็นช่วงค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทน (มันซิน ดันทูลเวสส์, 2542) ในขณะที่ชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง จากภาพประกอบที่ 3-2 พบว่าเมื่อเดินระบบจนถึงวันที่ 10 ของการทดลองค่า pH น้ำทิ้งมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากระบบเกิด Shock Load เพราะปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีปริมาณที่มากในแต่ละครั้ง (ตารางที่ 2-2) ส่งผลให้ปฏิกิริยาการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็น VFA เพิ่มขึ้น ทำให้จุลินทรีย์สร้างมีเทนนำ VFA ไปสร้างก๊าซชีวภาพไม่ทัน เกิดการสะสมของ VFA ในปริมาณที่สูงเป็นผลให้ pH ลดลง เมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ HRT 7 วัน พบว่าชุดการทดลอง CT 12 และ 24 ชั่วโมง มีค่า pH น้ำทิ้งจากระบบใกล้เคียงกันและสูงกว่าชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง (ภาพประกอบที่ 3-2) แต่เมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบ HRT 5 วัน ค่า pH น้ำทิ้งจากระบบทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 4.62-4.77 ซึ่งต่ำกว่าช่วงค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทน (pH 6.8-7.2) เนื่องจากที่ HRT ต่ำมีปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเพิ่มมากขึ้นหรือ OLR เพิ่มขึ้นซึ่งก็จะเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์สร้างกรดมากกว่าจุลินทรีย์สร้างมีเทน เป็นผลให้จุลินทรีย์สร้างกรดเจริญเติบโตได้ดีทำให้อัตราการสร้าง VFA สูงขึ้นเกิดการสะสมของ VFA ในระบบจึงทำให้ pH ลดลงดังแสดงในตารางที่ 3-3



ภาพประกอบที่ 3-2 pH น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนเข้มข้นที่ HRT ต่างๆ

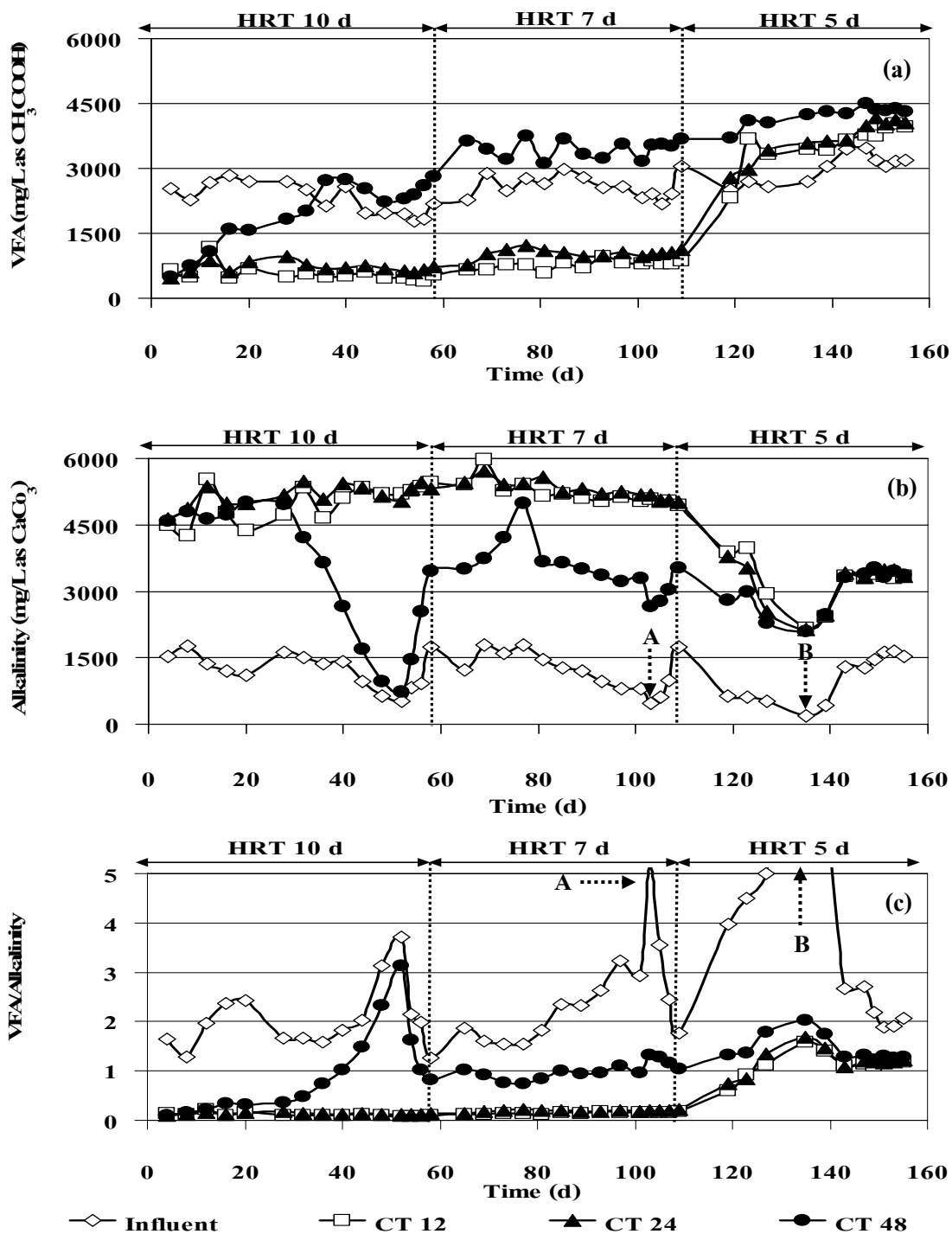
### ก) กรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids; VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

VFA เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์สร้างมีเทน ทั้งนี้ ปริมาณ VFA ที่สร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์สร้างกรดหากมีมากเกินไปจนเกิดสะสมในระบบส่งผลให้ pH ลดลงและเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบได้ จากการเดินระบบ ASBR ค่า VFA น้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 1,790-3,466 mg /L as  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และจากภาพประกอบที่ 3-3 (a) เห็นได้ว่า น้ำทิ้งจากการบำบัดมี VFA เหลือที่ไม่เกิน 2,000 mg/L as  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ในชุดการทดลอง CT 12 และ 24 ชั่วโมงที่ HRT 10 วัน และ HRT 7 วัน ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับระบบหมักแบบไร้อากาศ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2543) อีกทั้งมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง แต่ชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง ค่า VFA ของช่วงเริ่มต้นเดินระบบมีแนวโน้มสูงขึ้นจนมากกว่าค่า VFA น้ำเสียเข้าระบบ ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบในปริมาณที่มากซึ่งจุลินทรีย์สร้างมีเทนมีการเจริญเติบโตที่ช้าเพราะต้องใช้เวลาในการปรับตัวให้คุ้นชินกับสภาวะแวดล้อมในระบบส่งผลให้อัตราการเปลี่ยน VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นช้าทำให้มีการสะสมของ VFA ในปริมาณที่สูงซึ่งสังเกตได้ว่าค่า pH ของน้ำทิ้งจากระบบก็มีค่าลดลง (ตารางที่ 3-3) และเมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ HRT 5 วัน ค่า VFA ของน้ำทิ้งจากชุดการทดลอง CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าสูงขึ้นจาก HRT 7 วัน ถึง 4.71, 3.92 และ 1.25 เท่า ตามลำดับ อีกทั้งยังมีค่าสูงกว่าค่า VFA น้ำเสียเข้าระบบ นอกจากนี้พบว่าค่า VFA ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ของทุกชุดการทดลอง (CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง) จะเพิ่มขึ้นตาม HRT ที่ลดลง (ตารางที่ 3-3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Luo และคณะ (2009) ที่นำเศษมันสำปะหลังที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเอทานอลมาบำบัดด้วยระบบ ASBR ที่ HRT 10, 7, และ 5 วัน พบว่า ค่า VFA จะเพิ่มขึ้นตาม HRT ที่ลดลงเช่นเดียวกับการศึกษาของรมชัช ไชยศรี (2549) ซึ่งนำน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มมาบำบัดด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนในถัง UASB และ UFAF โดยการเพิ่ม OLR เป็นแบบขั้นตอนจาก 2.5 ถึง 17.5  $\text{gCOD/m}^3\cdot\text{day}$  (HRT ลดจาก 20 ถึง 2.86 วัน) พบว่า ค่า VFA จะเพิ่มขึ้นตาม OLR ที่เพิ่มขึ้น (HRT ต่ำลง)

เมื่อพิจารณา Alkalinity ของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 523-3,466 mg/L as  $\text{CaCO}_3$  พบว่า เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว จากภาพประกอบที่ 3-3 (b) Alkalinity ของน้ำทิ้งจากชุดการทดลอง CT 12 และ 24 ชั่วโมง ที่ HRT 10 และ 7 วัน มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง แต่ชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง เมื่อเดินระบบมาได้สักระยะหนึ่ง Alkalinity มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับปริมาณ VFA ที่เพิ่มสูงขึ้น (ภาพประกอบ 3-3 (a)) แสดงว่าสภาพด่างที่มีอยู่ในระบบไม่เพียงพอสำหรับต้านทานการเพิ่มสูงขึ้นของ VFA ที่เกิดขึ้นในระบบ สังเกตได้จากค่า pH ของน้ำทิ้งที่ลดลงอย่างรวดเร็ว (ภาพประกอบ 3-2) และเมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ HRT 5 วัน จากภาพประกอบที่ 3-3(b) และตารางที่ 3-3 ปริมาณ Alkalinity ของชุดการทดลอง CT 12, 24 และ

48 ชั่วโมง มีค่าลดลงจากการเดินระบบที่ HRT 7 วัน และสังเกตได้ว่าค่า Alkalinity มีแนวโน้มลดลงตาม HRT ที่ต่ำลง (OLR สูง) เพราะปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น(ตารางที่ 2-2) เป็นผลให้จุลินทรีย์สร้างกรดสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็น VFA ได้มาก แต่จุลินทรีย์สร้างมีเทนนำไปผลิตก๊าซชีวภาพไม่ทันเกิดการสะสม VFA ในปริมาณที่สูง Alkalinity ที่มีอยู่ในระบบไม่เพียงพอต่อการเพิ่มขึ้นของ VFA ที่เกิดขึ้นในระบบได้

อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFA/Alkalinity) มีความสำคัญต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงค่าบัฟเฟอร์ที่มีอยู่ในระบบ จากภาพประกอบที่ 3-3 (c) พบว่า การเดินระบบที่ HRT 10 และ 7 วัน ชุดการทดลอง CT 12 และ 24 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว VFA/Alkalinity มีค่าต่ำกว่า 0.4 นั่นคือระบบสามารถที่จะรักษาระดับของ VFA/Alkalinity ได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูงสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพกรดที่เกิดขึ้นได้ แต่ชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง หลังจากเดินระบบได้สักระยะหนึ่ง พบว่า VFA/Alkalinity มีแนวโน้มมากกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในช่วง pH ที่กำลังลดลงอย่างรวดเร็ว (ภาพประกอบที่ 3-2) และเมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ HRT 5 วัน พบว่า ชุดการทดลอง CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมงมีค่า VFA/Alkalinity สูงกว่า 0.8 แสดงได้ว่าระบบมีสภาวะบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอสำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า pH ซึ่งเห็นได้จาก Alkalinity ที่มีค่าลดลง (ภาพประกอบ 3-3 (b)) นอกจากนี้เมื่อสังเกตน้ำเข้าระบบจะเห็นว่าที่ HRT 7 และ 5 วัน เมื่อทำการเดินระบบเป็นระยะเวลา 103 (จุด A) และ 135 (จุด B) วัน มีค่า VFA/Alkalinity เท่ากับ 5.17 และ 13.46 ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาน้ำเสียไว้เป็นเวลานานทำให้เกิดการหมักมีผลให้ VFA ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ส่งผล Alkalinity มีค่าลดลง ดังภาพประกอบ 3-3 (a) และ (b)



ภาพประกอบที่ 3-3 VFA (a), Alkalinity (b) และ VFA/Alkalinity (c) ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น



ตารางที่ 3-3 pH, VFA, Alkalinity และ VFA/Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ที่เดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

HRT (d)	Cycle time (h)	Parameter (Effluent)			
		pH	VFA (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	VFA/Alkalinity
10	12	7.18±0.08 <sup>A</sup>	461±52 <sup>B</sup>	5293±112 <sup>A</sup>	0.08±0.01 <sup>B</sup>
	24	7.23±0.05 <sup>A</sup>	656±54 <sup>B</sup>	5260 ± 163 <sup>A</sup>	0.12±0.01 <sup>B</sup>
	48	4.51±0.34 <sup>B</sup>	2466±239 <sup>A</sup>	1832 ±1147 <sup>B</sup>	1.78±0.91 <sup>A</sup>
7	12	7.08±0.05 <sup>a</sup>	813±41 <sup>c</sup>	5024±53 <sup>a</sup>	0.16±0.01 <sup>b</sup>
	24	7.06±0.07 <sup>a</sup>	1017±57 <sup>b</sup>	5092±77 <sup>a</sup>	0.20±0.01 <sup>b</sup>
	48	4.76±0.05 <sup>b</sup>	3448±195 <sup>a</sup>	3056±361 <sup>b</sup>	1.15±0.15 <sup>a</sup>
5	12	4.75±0.84 <sup>u</sup>	3886±115 <sup>n</sup>	3329±40 <sup>n</sup>	1.16±0.04 <sup>u</sup>
	24	4.78±0.01 <sup>n</sup>	4072±75 <sup>u</sup>	3422±94 <sup>n</sup>	1.19±0.02 <sup>u</sup>
	48	4.77±0.01 <sup>n</sup>	4376±67 <sup>n</sup>	4316±83 <sup>n</sup>	1.28±0.03 <sup>n</sup>

หมายเหตุ : <sup>AB</sup> อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p < 0.05$ )

<sup>abc</sup> อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p < 0.05$ )

<sup>กขค</sup> อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

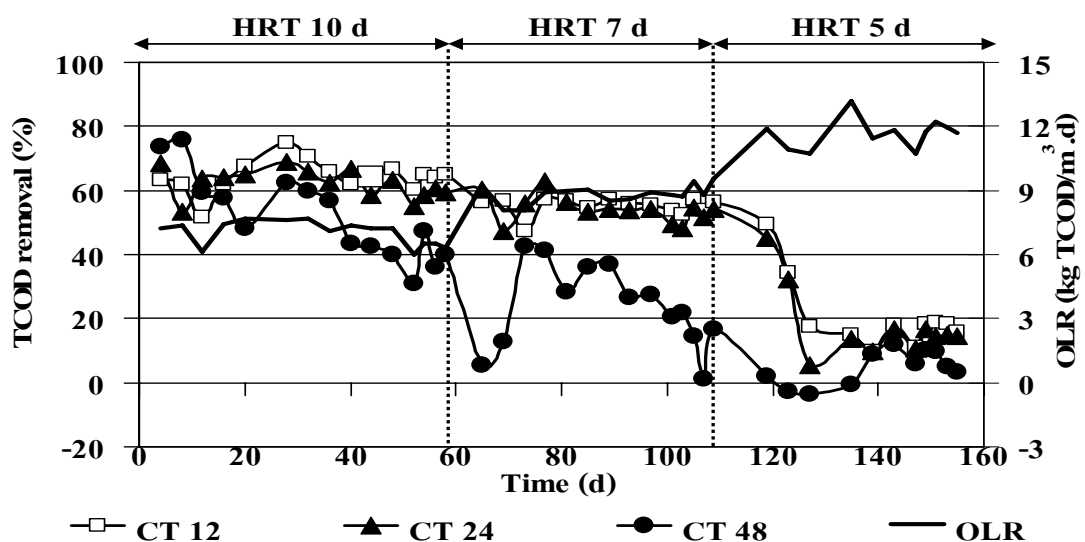
( $p < 0.05$ )

### ง) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (Chemical Oxygen Demand Removal : COD Removal)

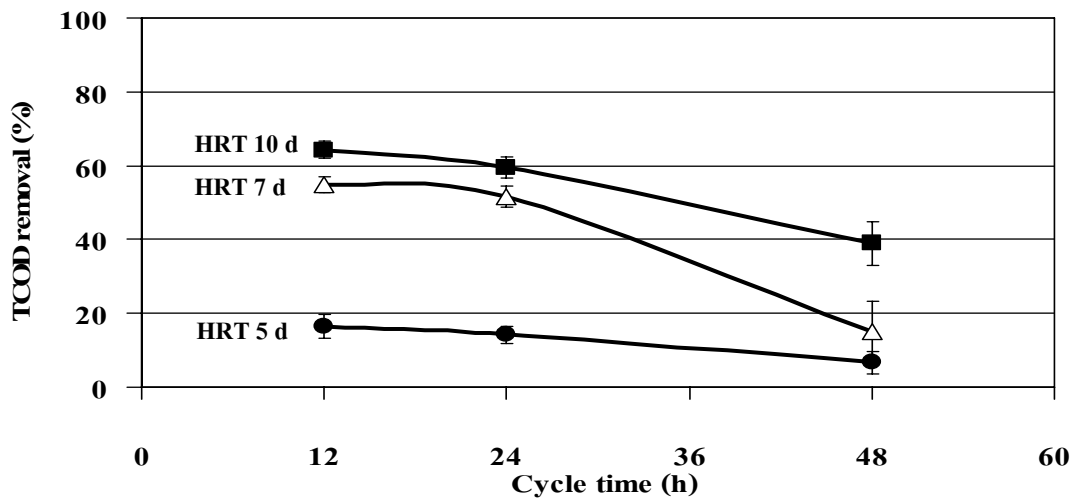
การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ได้มีการวิเคราะห์ซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand: TCOD) และซีโอดีละลายน้ำ (Soluble Chemical Oxygen Demand: SCOD) ค่า TCOD และ SCOD ของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 53,516–77,000 mg/L และ 27,170–46,733 mg/L ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่า TCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ในช่วงเริ่มต้นระบบมีความแปรปรวนเนื่องจากเป็นช่วงที่จุลินทรีย์กำลังปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสียและจากภาพประกอบที่ 3-4 และ 3-6 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD, SCOD ของระบบ

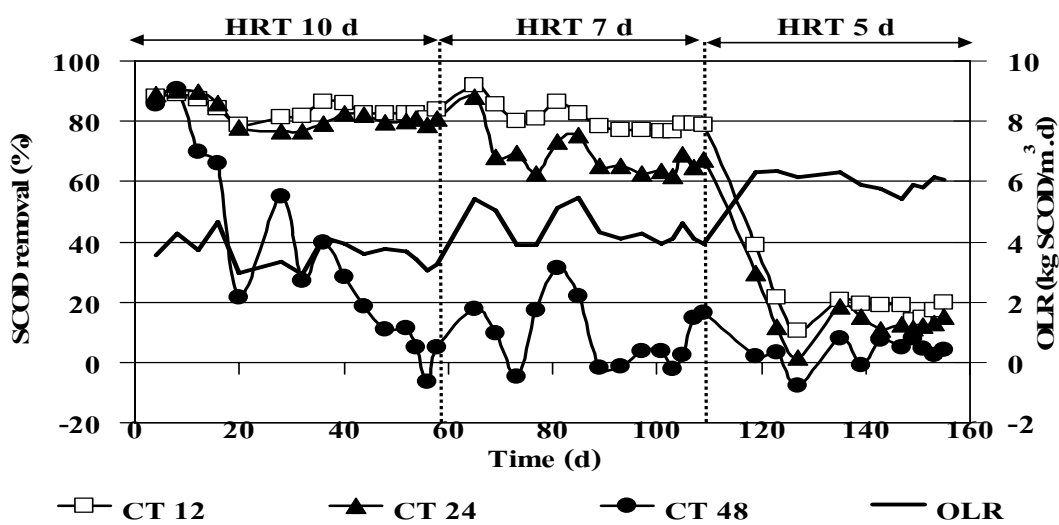
ASBR ทั้งชุดการทดลอง CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเดินระบบที่ HRT 10 วัน ชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD สูงสุดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 64.2 และ 82.4 ตามลำดับ (ตารางที่ 3-4 และ 3-5) ส่วนชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง หลังจากเดินระบบได้สักระยะหนึ่ง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD มีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าร้อยละ 60 เมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบด้วย HRT 7 วัน พบว่า ที่ชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD สูงสุดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 54.76 และ 80.14 ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเดินระบบด้วย HRT 5 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลองมีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และ SCOD ต่ำกว่าร้อยละ 20 นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD มีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ลดลง (ตารางที่ 3-4 และ 3-5) เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นก๊าซชีวภาพลดลง จึงทำให้เหลือ COD ตกค้างในรูป VFA สูงขึ้นเป็นผลให้ pH ลดลง และส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนซึ่งเป็นกลุ่มที่อ่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง CT กับประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และ SCOD พบว่า เมื่อความถี่ในการป้อนน้ำเสียเพิ่มขึ้น (CT ลดลง) ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และ SCOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 3-5 และ 3-7) เนื่องจากความถี่ในการป้อนน้ำเสียเพิ่มขึ้นปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนในแต่ละครั้ง ( $OL_{cycle}$ ) มีค่าน้อย ทำให้ระบบไม่เกิด Shock load อัตราการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็น VFA และอัตราการเปลี่ยน VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นอย่างสมดุลสังเกตได้จากระบบมีการสะสมตัวของ VFA ต่ำ (ตารางที่ 3-3)



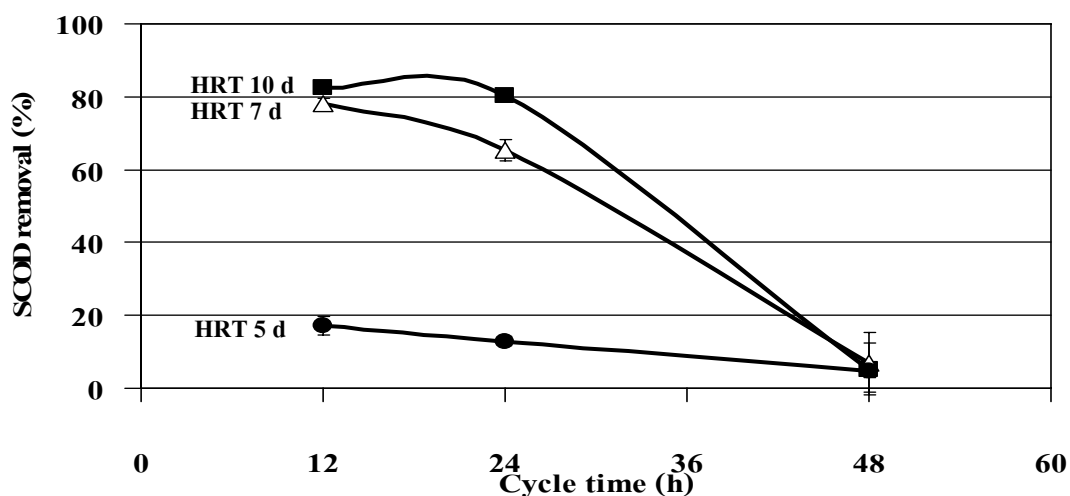
ภาพประกอบที่ 3-4 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีไอโซเนชั่น



ภาพประกอบที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับ CT ต่อประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR



ภาพประกอบที่ 3-6 ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น



ภาพประกอบที่ 3-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับ CT ต่อประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR

ตารางที่ 3-4 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว

HRT (d)	Cycle time (h)	TCOD (mg/L)				Removal (%)
		Influent		Effluent		
		Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	
10	12			22,266–24,000	23,269±707	64.2±2.3
	24	60,266–72,333	65,240±4,436	25,466–27,040	26,336±746	59.4±2.9
	48			34,346–43,466	39,765±3,645	38.9±6.0
7	12			28,272–29,073	28,661±375	54.7±2.1
	24	61,113–66,880	63,458±2,810	29,834–31,565	30,590±747	51.7±2.9
	48			47,704–60,908	53,996±5,521	14.8±8.3
5	12			47,626–49,550	48,709±822	16.4±3.3
	24	53,516–61,008	58,352±2,861	47,880–52,030	50,024±1,595	14.1±2.2
	48			50,350–56,842	54,375±2,756	6.7±3.0

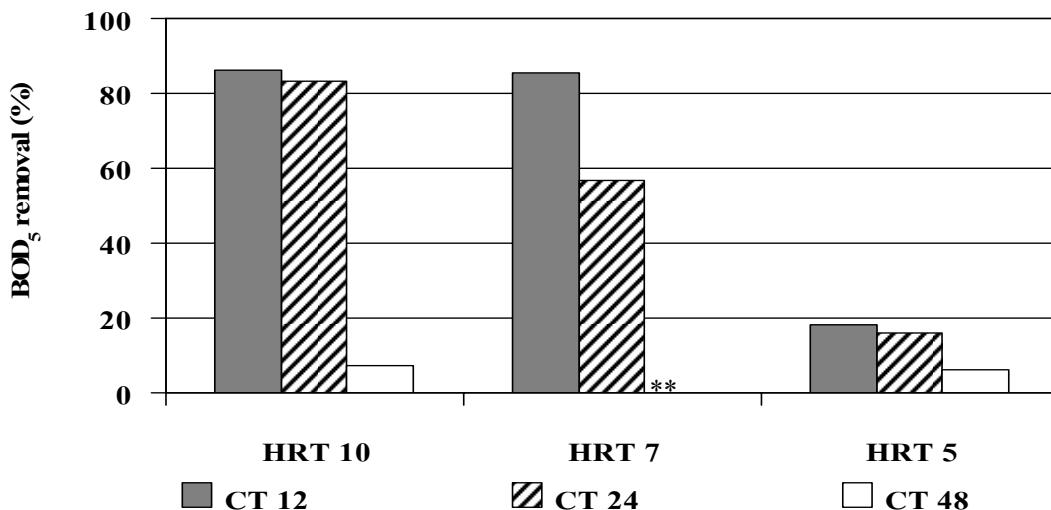
ตารางที่ 3-5 ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว

HRT (d)	Cycle time (h)	SCOD (mg/L)				
		Influent		Effluent		Removal (%)
		Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	
10	12			5,280–6,600	6,010±521	82.4±1.0
	24	30,400–37,666	34,253±3,004	6,213–7,600	6,797±605	80.1±0.8
	48			30,720–33,600	32,309±1,033	5.2±7.1
7	12			5,862–6,692	6,319±380	78.1±1.4
	24	27,477–32,268	29,001±1,921	8,998–10,964	10,022±697	65.3±2.9
	48			23,193–31,505	27,006±3,421	7.0±8.2
5	12			24,016–25,333	24,733±593	17.0±2.6
	24	27,170–30,652	29,337±1,369	25,282–26,590	25,850±514	12.9±1.3
	48			27,056–29,953	28,182±1,280	4.8±2.1

จ) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand Removal : BOD<sub>5</sub> Removal)

ค่า BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ที่สถานะคงตัวอยู่ในช่วง 16,283–32,703 mg/L จากภาพประกอบที่ 3-8 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ของชุดการทดลอง CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมงเมื่อเดินระบบ ที่ HRT 10, 7 และ 5 วัน พบว่า ชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> สูงสุดเท่ากับร้อยละ 86.3, 85.6 และ 18.1 ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลอง CT 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> มีแนวโน้มลดลงตาม HRT ที่ต่ำลง ในขณะที่ชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมงประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ต่ำกว่าร้อยละ 10 ทุกการทดลอง (HRT 10, 7 และ 5 วัน) และสังเกตเห็นได้ว่าที่ HRT 7 วัน ชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ต่ำกว่าร้อยละ 0 สาเหตุมาจากช่วงที่ผู้วิจัยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียนั้นตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บมาอาจไม่ใช่ตัวอย่างที่แท้จริง ส่งผลให้เมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียไปวิเคราะห์หาค่า BOD<sub>5</sub> น้ำทิ้งจึงมีค่าสูงกว่า BOD<sub>5</sub> น้ำเสียเข้าระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> มีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ต่ำลง สอดคล้องกับการศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบ MABR ที่ HRT 6-0.13 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD<sub>5</sub> แปรผันตาม HRT ที่ลดลง โดยค่าประสิทธิภาพการกำจัด

BOD<sub>5</sub> ที่ HRT 6 วัน เท่ากับร้อยละ 90 แต่เมื่อเดินระบบด้วย HRT 0.13 วัน ประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ลดลงเหลือ ร้อยละ 60 (Bodkhe, 2009)



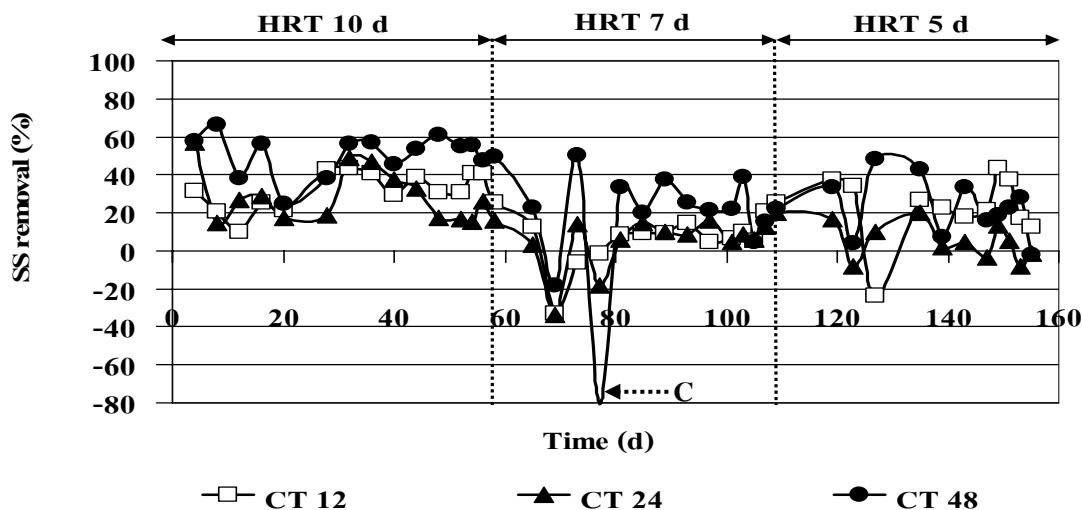
หมายเหตุ : \*\* คือ ค่า BOD<sub>5</sub> removal ของ HRT 7 วัน CT 48 ชั่วโมง เป็นค่าติดลบ

ภาพประกอบที่ 3-8 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงาน สกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีไอโซเนชั่น

#### จ) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid Removal : SS Removal)

ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 15,116–35,383 mg/L และผลของความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ทุกชุดการทดลองค่อนข้างมีความแปรปรวน เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ ASBR เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่า เมื่อเดินระบบที่ HRT 10 และ 7 วัน ชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัด SS สูงสุดเฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 53.8 และ 20.6 ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3-9 และ ตารางที่ 3-6) อาจเนื่องจากที่ HRT 10 และ 7 วันชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ต่ำ (ภาพประกอบที่ 3-11) จึงไม่เกิดการดันยกตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์หรือ SS จากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบส่งผลให้ปริมาณ SS ของน้ำทิ้งจากระบบมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลอง CT 12 และ 24 ชั่วโมง แต่ในช่วงการเดินระบบที่ HRT 7 วัน ของวันที่ 77 ในการเดินระบบ ประสิทธิภาพการกำจัด SS ต่ำมาก (จุด C) เนื่องจากระบบเกิดการสะสม SS จนถึงระดับที่มีกรเก็บตัวอย่าง ทำให้ตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบที่เก็บมาวิเคราะห์พบ SS ในปริมาณมาก เมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ HRT 5 วัน พบว่า ชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัด SS สูงสุด ซึ่ง

สัมพันธ์กับประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ที่สูงสุดเช่นกัน (ภาพประกอบที่ 3-4) แสดงว่าระบบสามารถที่จะเปลี่ยน SS ไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด



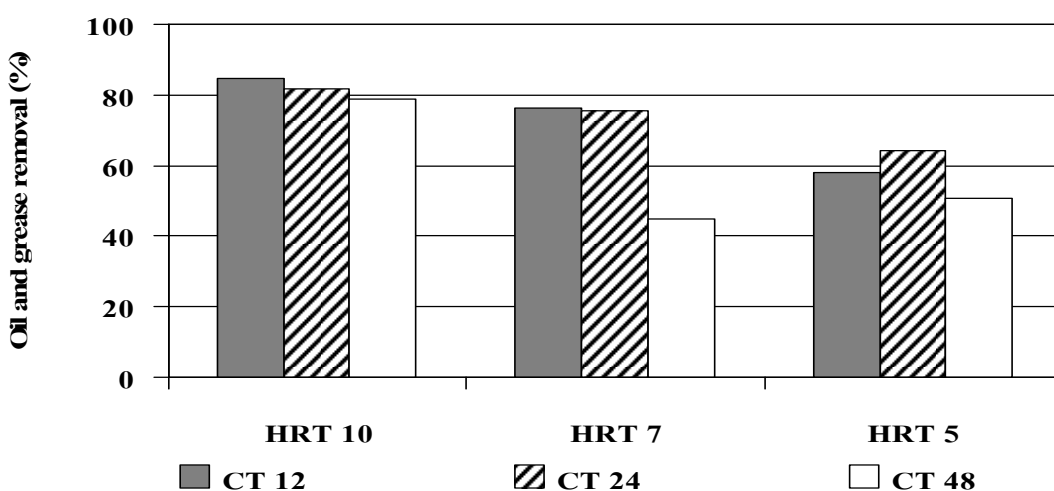
ภาพประกอบที่ 3-9 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

ตารางที่ 3-6 ประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว

HRT (d)	Cycle time (h)	SS (mg/L)				Removal (%)
		Influent		Effluent		
		Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	
10	12			16,566–23,766	20,313±2,760	33.8±6.8
	24	26,716–34,416	30,740±3,250	20,766–28,366	25,180±3,362	18.2±4.3
	48			13,383–14,566	14,056±567	53.8±5.1
7	12			26,333–28,933	27,653±1,181	13.7±9.1
	24	29,633–35,383	32,243±2,370	28,333–29,500	28,846±601	10.1±6.2
	48			19,600–28,866	25,536±4,041	20.6±12.6
5	12			16,766–24,516	20,456±3,076	26.4±13.2
	24	25,033–29,900	28,000±1,974	21,366–23,566	22,650±956	18.68±8.2
	48			24,666–28,466	26,670±1685	4.67±2.6

### ข) ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease Removal)

ค่า Oil and Grease ของน้ำเสียเข้าตลอดการทดลองที่สภาวะคงตัวอยู่ในช่วง 4,213–5,540 mg/L จากภาพประกอบที่ 3-10 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด Oil and Grease ของระบบ ASBR จากชุดการทดลอง CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่ HRT 10, 7 และ 5 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด Oil and Grease สูงสุดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 84.7, 76.3 และ 57.9 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัด Oil and Grease มีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ต่ำลง เนื่องมาจากปริมาณสารอินทรีย์ป้อนเข้าสู่ระบบมากขึ้นระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียในระบบน้อยลง (HRT ต่ำลง) จึงทำให้ระบบไม่สามารถที่จะกำจัดน้ำมันและไขมันได้หมด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor; ASBR) แบบเทอร์โมฟิลิกและมีโซฟิลิกในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่า เมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น (2.0-5.0 kg/m<sup>3</sup>.day) หรือ HRT ต่ำลง ประสิทธิภาพการกำจัด Oil and Grease จะลดลง (ชนาวัฒน์ รักกมล, 2549) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัด Oil and Grease ของระบบ ASBR ทั้งชุดการทดลอง CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเดินระบบที่ HRT 10 และ 7 วัน ชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพกำจัด Oil and Grease สูงสุด แต่ในขณะที่เดินระบบที่ HRT 5 วัน ชุดการทดลอง CT 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพกำจัด Oil and Grease สูงสุดทั้งนี้อาจมีการสะสมของ Oil and Grease ซึ่งไปเกาะตามผนังถังปฏิกรณ์ และชุดการทดลองดังกล่าวจะสังเกตได้ว่ามี Oil and Grease เกาะติดอยู่ตามถังปฏิกรณ์มากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อีกทั้งยังสัมพันธ์กับอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพที่เพิ่มขึ้นสูงด้วย (ภาพประกอบที่ 3-11)



ภาพประกอบที่ 3-10 ประสิทธิภาพการกำจัด Oil and Grease ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น



### ข) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production)

จากภาพประกอบที่ 3-11 พบว่าการเดินระบบ ASBR ชุดการทดลอง CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ที่ HRT 10 วัน พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในช่วงแรกของการเดินระบบมีค่าใกล้เคียงกันทุกชุดการทดลอง แต่หลังจากเดินระบบได้สักระยะหนึ่งอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง มีแนวโน้มค่อยๆ ลดลง สอดคล้องกับ ค่า pH และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ที่ลดลงเช่นกัน (ภาพประกอบที่ 3-2 และ 3-4) เมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ HRT 7 วัน ชุดการทดลอง CT 12 และ 24 ชั่วโมง มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นจาก HRT 10 วัน เท่ากับ 1.4 และ 1.25 เท่า ส่วนชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และเมื่อทำการเปลี่ยนมาเดินระบบที่ HRT 5 วัน ชุดการทดลอง CT 12 และ 24 ชั่วโมง มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง และในระบบมีการสะสม VFA เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ pH ลดลง จึงไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทน และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง CT กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ จะพบว่า เมื่อความถี่ในการป้อนน้ำเสียเพิ่มขึ้น (CT ลดลง) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 3-12) สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ที่แนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ในการป้อนน้ำเสียเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 3-5 และ 3-7)

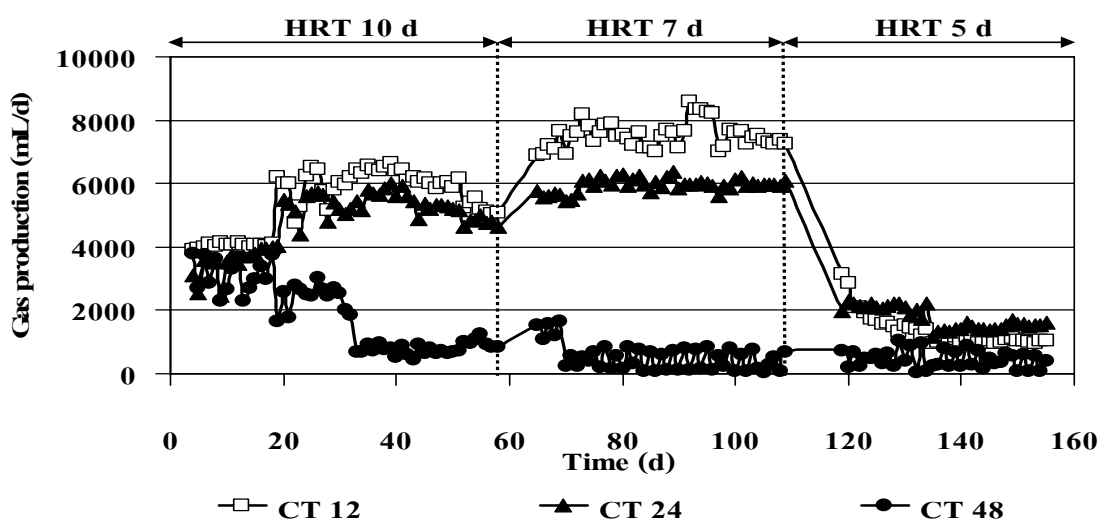
สำหรับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพซึ่งประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน ( $N_2$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และก๊าซมีเทน (Methane:  $CH_4$ ) ของระบบ ASBR จากตารางที่ 3-7 ชุดการทดลอง CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเดินระบบที่ HRT 10, 7 และ 5 วัน ชุดการทดลอง CT 24 ชั่วโมง มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 68, 59.09 และ 44.97 ตามลำดับ แต่ชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมงมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 65.37, 1.47, 3.88 ตามลำดับ และพบว่าเมื่อ HRT ต่ำลงองค์ประกอบของก๊าซมีเทนลดลงเช่นเดียวกับการกำจัด TCOD และ SCOD (ภาพประกอบที่ 3-4 และ 3-6) สอดคล้องกับการศึกษาของ Chotwattanasak (2004) ซึ่งศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจากแหล่งเดียวกันด้วยระบบ CSTR โดยทดลองที่ HRT 14, 10, 7 และ 6.5 วัน พบว่า ทุกการทดลององค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมากกว่าร้อยละ 60 อีกทั้งยังลดลงตาม HRT ที่ลดลง

เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 15 โดยจากภาพประกอบที่ 3-13 พบว่า การเดินระบบ ASBR ด้วย HRT 10 วัน ที่ CT 12 และ 24 ชั่วโมงนั้นอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ เท่ากับ 0.41 และ 0.42  $L_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$  ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าแนะนำทางทฤษฎี ( $0.35 L_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ ) (Metcelf and Eddy, 2004) ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาของ

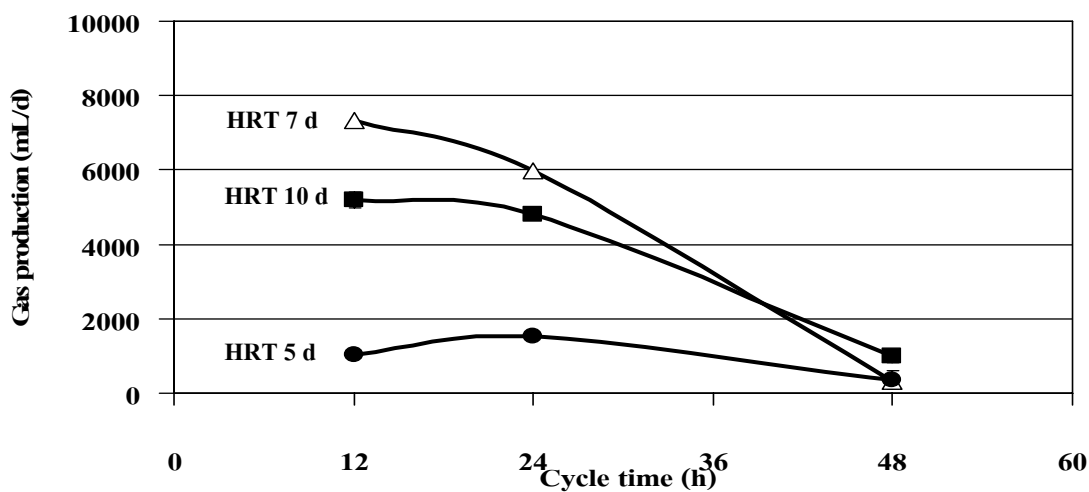
Faisal และ Unno (2001) ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบ MABR (Modified anaerobic baffled reactor) กำหนดสถานะที่ HRT 3-10 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 87.4-95.3 ค่าอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD อยู่ในช่วง 0.32-0.42  $L_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$

แต่ชุดการทดลอง CT 48 ชั่วโมง มีอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD น้อยกว่าค่าทางทฤษฎีทุกการทดลอง (HRT 10, 7 และ 5 วัน) เป็นผลมาจากการเกิด Shock Load ของระบบจากการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในปริมาณที่สูงในแต่ละครั้ง (ตารางที่ 2-2) ซึ่งจะสังเกตว่าค่า pH ของน้ำทิ้งจากระบบที่มีค่าลดลง ส่วน VFA/Alkalinity มีค่าสูงกว่าค่าแนะนำในการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่ 0.4-0.8 ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทนซึ่งเห็นได้จากประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD (ภาพประกอบที่ 3-4 และ 3-6) และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ลดลง (ภาพประกอบที่ 3-11) เมื่อเดินระบบด้วย HRT 7 วันพบว่าชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง มีค่า Observed Methane Yield สูงสุด (ภาพประกอบที่ 3-13) เมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบด้วย HRT 5 วัน พบว่าทุกชุดการทดลองอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD น้อยกว่าค่าทางทฤษฎี ( $0.35 L_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ ) ซึ่งมีความสอดคล้องกับองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพที่มีแนวโน้มลดลงที่สภาวะดังกล่าว (ภาพประกอบที่ 3-11 และ ตารางที่ 3-8)

$$\text{Observed Methane Yield } (L_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}) = \frac{\text{Total Biogas Production (L/d)} \times \% \text{Methane}}{[\text{TCOD}_{\text{in}}(\text{g/L}) - \text{TCOD}_{\text{out}}(\text{g/L})] \times Q(\text{L/d})} \quad (15)$$



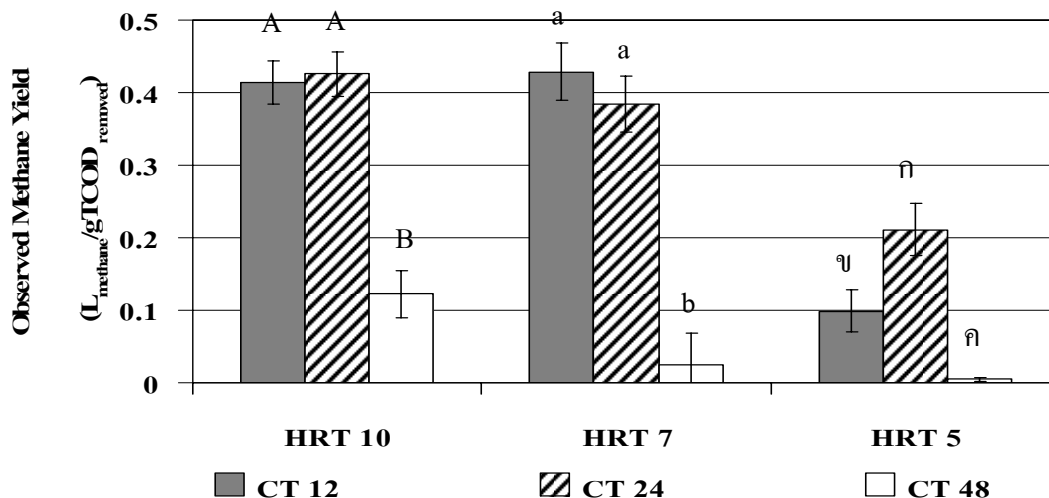
ภาพประกอบที่ 3-11 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น



ภาพประกอบที่ 3-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับ CT ต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR

ตารางที่ 3-7 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

HRT (d)	Cycle time (h)	Biogas Composition (%)		
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	12	64.06	32.63	3.31
	24	68.21	27.41	4.38
	48	65.37	9.72	24.91
7	12	57.85	38.32	3.83
	24	59.10	37.02	3.87
	48	3.88	89.28	6.84
5	12	35.77	48.26	15.97
	24	44.97	45.02	10.01
	48	1.47	61.44	37.09



หมายเหตุ : AB อักษรที่แตกต่างกันใน HRT เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ab อักษรที่แตกต่างกันใน HRT เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

กข อักษรที่แตกต่างกันใน HRT เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ภาพประกอบที่ 3-13 Observed Methane Yield ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

จากการทดลองระยะที่ 1 เป็นการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นโดยระบบ ASBR เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมนำมาเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในแต่ละชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลอง CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ภายใต้ HRT 10, 7 และ 5 วัน พบว่า เมื่อเดินระบบ ASBR ที่ HRT 10 และ 7 วัน ชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD รวมถึงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ในขณะที่เมื่อเดินระบบที่ HRT 5 วัน ชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD สูงสุด แต่ชุดการทดลอง CT 24 ชั่วโมง มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด (ตารางที่ 3-8)

ตารางที่ 3-8 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD, SCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

HRT (d)	CT (h)	OL <sub>cycle</sub> (gCOD/L <sub>reactor</sub> ·Cycle)	TCOD Removal (%)	SCOD Removal (%)	Biogas Production (mL/d)	Observed Methane Yield (L <sub>methane</sub> /gTCOD <sub>removed</sub> )
10	12	3.26±0.22	64.2±2.3 <sup>A</sup>	82.4 ±1.0 <sup>A</sup>	5,202±219 <sup>A</sup>	0.41±0.02 <sup>A</sup>
	24	6.52±0.44	59.4±2.9 <sup>A</sup>	80.1±0.8 <sup>A</sup>	4,802±122 <sup>B</sup>	0.42±0.03 <sup>A</sup>
	48	13.04±0.88	38.9±6.0 <sup>B</sup>	5.2 ±7.0 <sup>B</sup>	992±172 <sup>C</sup>	0.09±0.02 <sup>B</sup>
7	12	4.53±0.20	54.7±2.0 <sup>a</sup>	78.1±1.3 <sup>a</sup>	7,320±66 <sup>a</sup>	0.42±0.02 <sup>a</sup>
	24	9.06±0.40	51.7±2.8 <sup>a</sup>	65.3±2.9 <sup>b</sup>	5,988±60 <sup>b</sup>	0.38±0.03 <sup>a</sup>
	48	18.13±0.80	14.8±8.2 <sup>b</sup>	7.0±8.1 <sup>c</sup>	330±272 <sup>c</sup>	0.21±0.03 <sup>b</sup>
5	12	5.83±0.28	16.4±3.2 <sup>n</sup>	17.0±2.6 <sup>n</sup>	1,020±35 <sup>u</sup>	0.12±0.03 <sup>u</sup>
	24	11.67±0.57	14.1±2.2 <sup>n</sup>	12.9±1.3 <sup>u</sup>	1,548±39 <sup>n</sup>	0.02±0.04 <sup>n</sup>
	48	23.34±1.14	6.7±3.0 <sup>u</sup>	4.8±2.0 <sup>n</sup>	352±251 <sup>n</sup>	0.004±0.003 <sup>n</sup>

หมายเหตุ : <sup>ABC</sup> อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p < 0.05$ )

<sup>abc</sup> อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p < 0.05$ )

<sup>กขค</sup> อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p < 0.05$ )

### 3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

#### 3.2.2.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในระยะเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up) ของระบบ ASBR

ในการเริ่มระบบบำบัดน้ำเสีย ASBR จำลองในห้องปฏิบัติการเริ่มต้นโดยนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed) มาเติมลงในถังปฏิกรณ์ซึ่งเดินระบบพร้อมกันทั้ง 4 ถัง คือ HRT 10 วัน CT 12 ชั่วโมง (HRT 10-12), HRT 7 วัน CT 12 ชั่วโมง (HRT 7-12), HRT 5 วัน CT 12 ชั่วโมง (HRT 5-12) และ HRT 5 วัน CT 24 ชั่วโมง (HRT 5-24) ดังภาพประกอบที่ 3-14 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นจากการทดลอง

ที่ 1 โดยมีความเข้มข้นของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) ในถังปฏิกิริยาเท่ากับ 22,000 mg/L เติมน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น (ข้อ 2.1.2.2) เข้าระบบจนได้ปริมาตร 2 ลิตร ซึ่งลักษณะการทำงานของระบบแสดงในตารางที่ 2-4 หลังจากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าระบบ จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable Condition) พิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่มีค่าใกล้เคียงกันและเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm$  ร้อยละ 10 แล้วทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียดังพารามิเตอร์ต่อไปนี้



ภาพประกอบที่ 3-14 ลักษณะของระบบ ASBR ทั้ง 4 ระบบที่มี cycle time ที่เหมาะสมกับ HRT

### 3.2.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการนำเสียบำบัดโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น โดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 ที่มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD, SCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ซึ่งได้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ HRT 10 วัน CT 12 ชั่วโมง (HRT 10-12), HRT 7 วัน CT 12 ชั่วโมง (HRT 7-12), HRT 5 วัน CT 12 ชั่วโมง (HRT 5-12) และ HRT 5 วัน CT 24 ชั่วโมง (HRT 5-24) มาเดินระบบในการทดลองที่ 2 ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

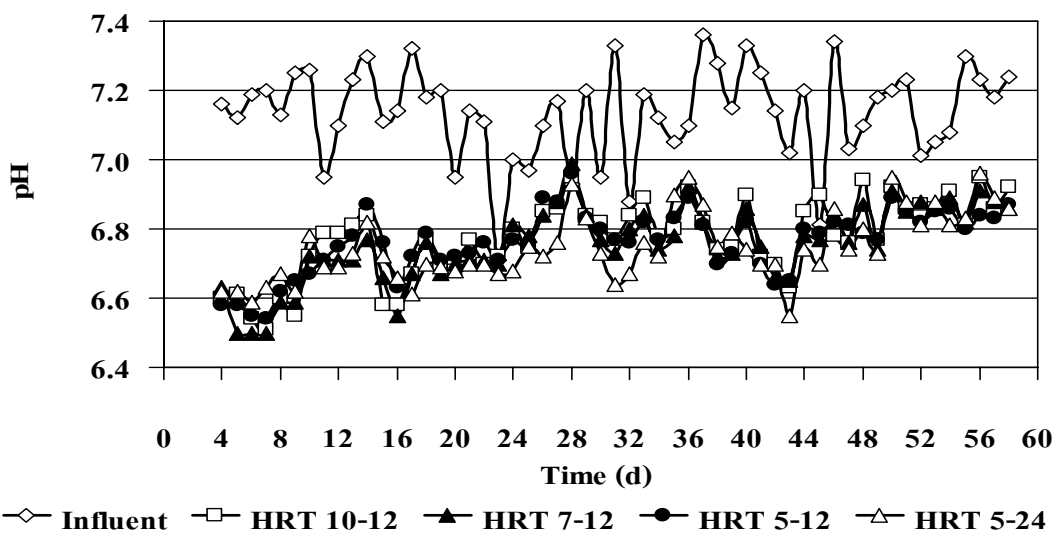
## 1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียบำบัดโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่สภาวะต่างๆ

### ก) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 25.60–28.30 °C ส่วนน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ ASBR ชุดการทดลอง HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับน้ำเข้าระบบ คืออยู่ในช่วง 24.70-28.50 °C

### ข) พีเอช (pH)

ค่า pH ของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $7.13 \pm 0.13$  เนื่องจากมีการปรับ pH น้ำเสียเข้าระบบให้ได้ค่าอยู่ในช่วง 6.8-7.2 (มันลิน ตันทูลเวศน์, 2542) เพื่อให้เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยมีจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทนทำงานร่วมกัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จากภาพประกอบที่ 3-15 ค่า pH ของน้ำทิ้งจากทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.84–6.89 และจะเห็นว่าได้ว่าทุกชุดการทดลองค่า pH ของน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่าค่า pH ของน้ำเสียที่เข้าระบบ ทั้งนี้เพราะระบบสร้าง VFA ในปริมาณที่สูงซึ่งมิได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ทันมีการสะสมของปริมาณ VFA ในระบบสอดคล้องกับ VFA ของทุกชุดการทดลองที่เพิ่มสูงขึ้น (ภาพประกอบ 3-16 (a))



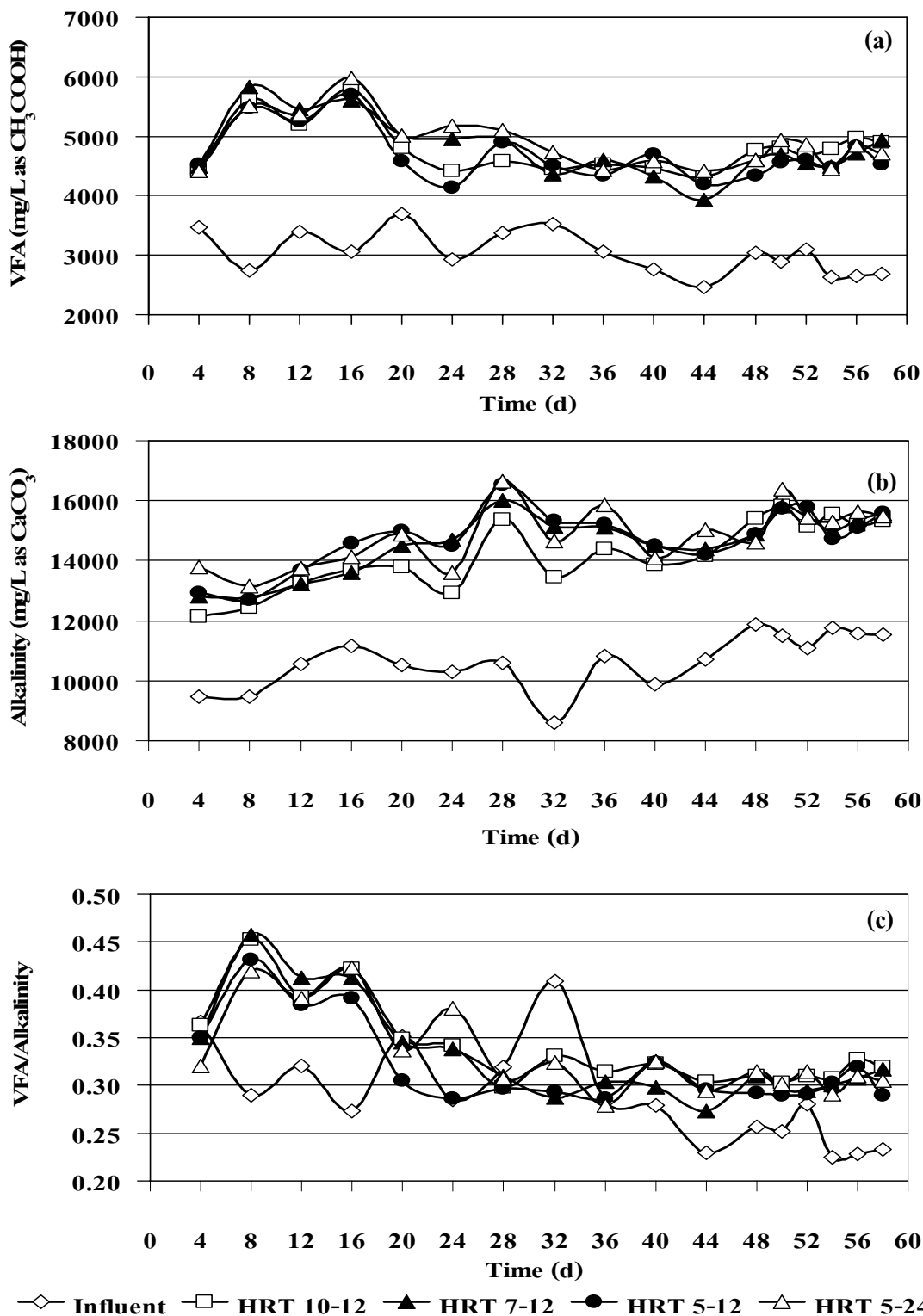
ภาพประกอบที่ 3-15 pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

### ค) กรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids; VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

ในช่วงแรกน้ำเสียเข้าระบบมีค่าต่ำกว่า pH 4 ซึ่ง ไพอเซซฐ์ ธรรมชาติ (2544) กล่าวไว้ว่าหาก pH ต่ำกว่า 4.5 จะส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทนอย่างรุนแรงซึ่งอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นมีปรับ pH น้ำเสียที่เข้าระบบให้อยู่ในช่วง 6.8-7.2 ส่งผลให้ Alkalinity ของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูงอยู่ที่  $10,672 \pm 909$  mg/L as  $\text{CaCO}_3$  และเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่าน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ทุกชุดการทดลองมีค่า Alkalinity ที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เท่ากับ  $15,404 \pm 286$ ,  $15,437 \pm 302$ ,  $15,401 \pm 455$  และ  $15,653 \pm 416$  mg/L as  $\text{CaCO}_3$  ที่ชุดการทดลอง HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-16 (b)

ค่า VFA ของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ย  $3,028 \pm 358$  mg/L พบว่าในช่วงเริ่มต้นเดินระบบทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นจากนั้นลดลงจนค่อนข้างคงที่ ดังภาพประกอบที่ 3-16 (a) และที่สภาวะคงตัวจะเห็นได้ว่าค่า VFA ของน้ำทิ้งทุกชุดการทดลองนั้นมีค่าสูงกว่าค่าแนะนำสำหรับระบบหมักแบบไร้อากาศที่  $2,000$  mg/L as  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2543) ซึ่งสอดคล้องกับค่า Alkalinity ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3-9) และเมื่อพิจารณาในภาพประกอบที่ 3-16 (c) ค่า VFA/Alkalinity ของทุกชุดการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 0.28-0.32 ซึ่งต่ำกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีบัฟเฟอร์เพียงพอสามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลง VFA ที่เกิดขึ้นระบบ





ภาพประกอบที่ 3-16 VFA (a), Alkalinity (b) และ VFA/Alkalinity (c) ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

ตารางที่ 3-9 pH, VFA, Alkalinity และ VFA/Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR ที่เดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

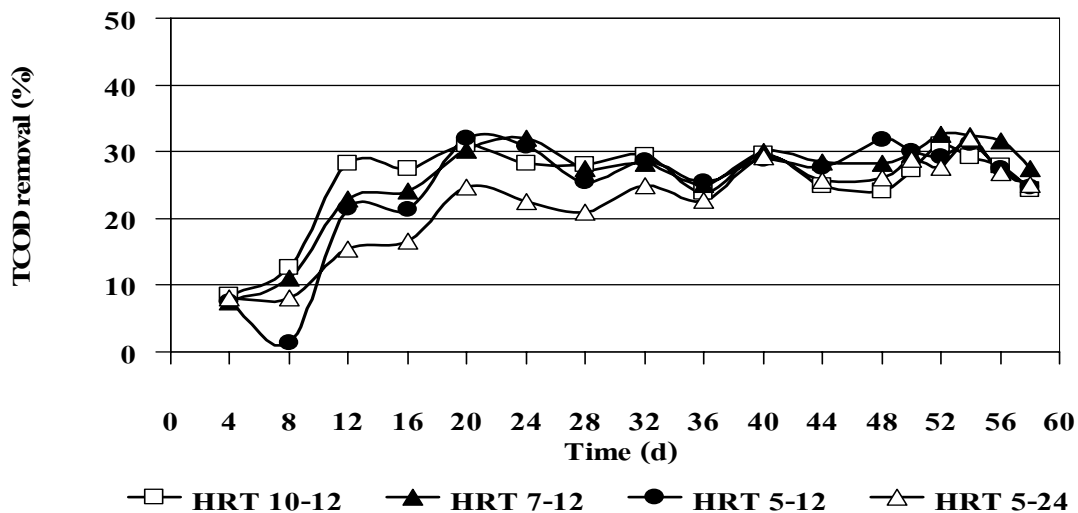
HRT (d)	Cycle time (h)	Parameter (Effluent)			
		pH	VFA (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	VFA/Alkalinity
10	12	6.89±0.05	4,826±111	15,404 ±286	0.31±0.00
7	12	6.87±0.03	4,694±173	15,437 ±302	0.30±0.00
5	12	6.84 ±0.02	4,598±138	15,401±455	0.29±0.00
5	24	6.87±0.05	4,762±186	15,653±416	0.30±0.01

### ง) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (Chemical Oxygen Demand Removal : COD Removal)

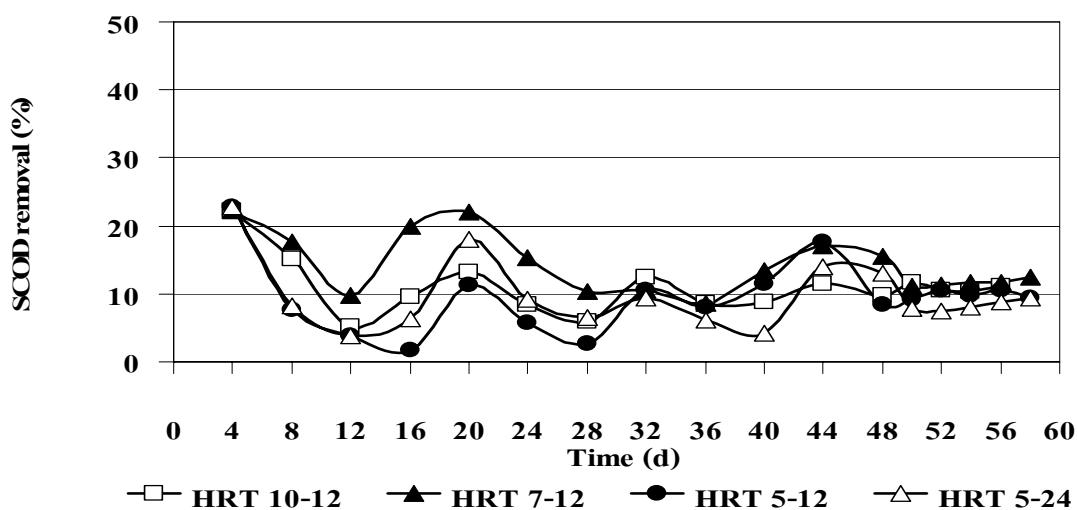
การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ได้มีการวิเคราะห์ซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand: TCOD) และซีโอดีละลายน้ำ (Soluble Chemical Oxygen Demand: SCOD) ค่า TCOD และ SCOD ของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 37,208-69,516 mg/L และ 37,208-47,200 mg/L ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่าชุดการทดลอง HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เท่ากับร้อยละ 28, 30.8, 28.6 และ 28.1 ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3-17) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด SCOD พบว่า เมื่อ HRT ต่ำลงประสิทธิภาพการกำจัด SCOD มีแนวโน้มลดลง (ภาพประกอบที่ 3-18) เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2-4) ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ไปเป็น VFA เพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการเปลี่ยน VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพต่ำลง ทำให้ระบบสะสม VFA ในปริมาณสูงจึงส่งผลให้ pH ลดลง (ภาพประกอบที่ 3-15) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sánchez และคณะ (2005) ซึ่งศึกษาผลของอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มหมูโดยใช้ระบบ UASB พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ลดลง ตาม OLR ที่เพิ่มขึ้น (HRT ต่ำลง) เช่นเดียวกับการศึกษาของ กิตติชิตรเดช (2538) ใช้ระบบบำบัดไร้อากาศแบบ UASB มาบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำอัดลม ที่ HRT

24, 12, 8, 6 และ 4 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD มีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ลดลง



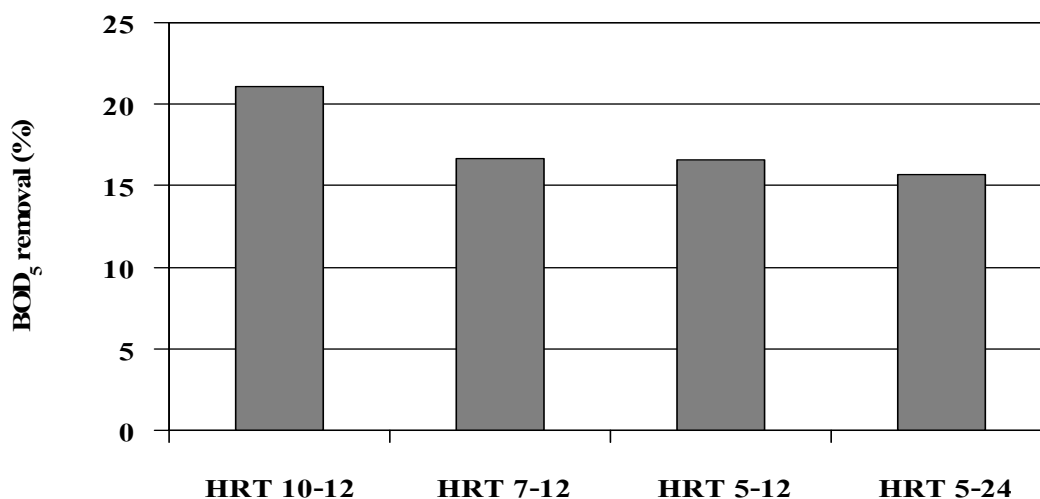
ภาพประกอบที่ 3-17 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น



ภาพประกอบที่ 3-18 ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

จ) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand Removal : BOD<sub>5</sub> Removal)

ค่า BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ที่สภาวะคงตัวมีค่า 27,680 mg/L ประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ทุกชุดการทดลอง (HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24) มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 30 ดังภาพประกอบที่ 3-19 โดยพบว่าเมื่อ HRT ต่ำลงประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> มีแนวโน้มลดลงซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ที่มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน (ภาพประกอบที่ 3-17 และ 3-18) ทั้งนี้เพราะระบบมีการสะสมของ VFA จากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2-4) ส่งผลให้จุลินทรีย์สร้างมีเทนเป็นกลุ่มที่อ่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อมอาจถูกยับยั้งหรือตายไปทำให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

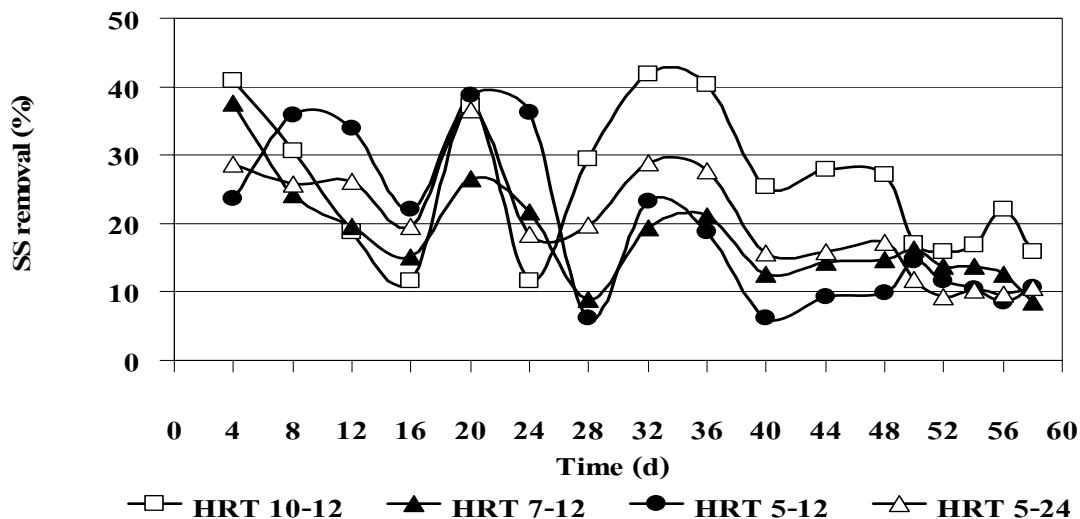


ภาพประกอบที่ 3-19 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

ฉ) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid Removal : SS Removal)

ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียเข้าระบบ ASBR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 27,533–32,983 mg/L เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว ชุดการทดลอง HRT 10-12 มีประสิทธิภาพการกำจัด SS สูงสุดเท่ากับร้อยละ 17.53 จากภาพประกอบที่ 3-20 สอดคล้องกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นจึงไม่เกิดการยกตัวของชั้นตะกอนหรือ SS จากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในระบบ (ภาพประกอบที่ 3-22) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด SS ของชุดการทดลอง HRT 7-12, HRT

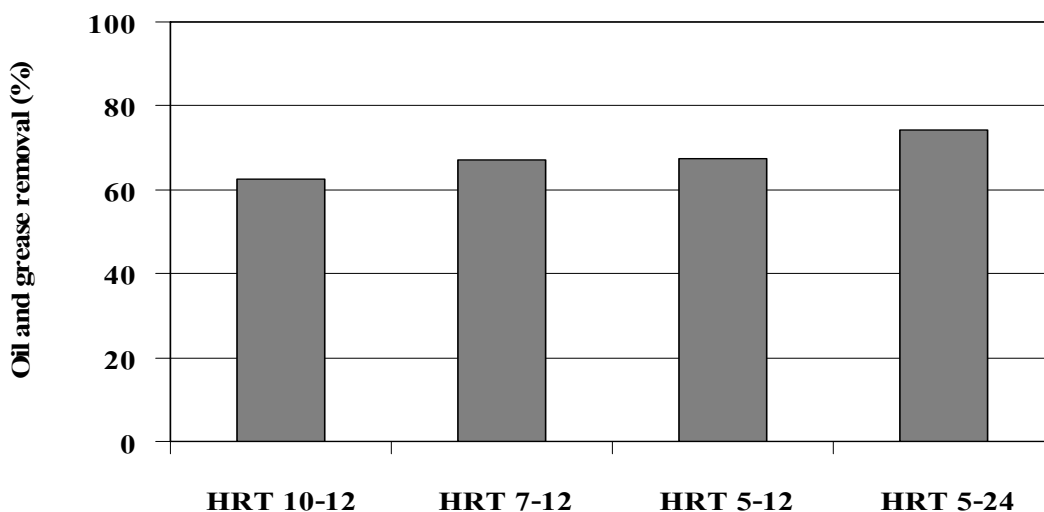
5-12 และ HRT 5-24 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) มีค่าเท่ากับร้อยละ 12.99, 11.13 และ 10.34 ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัด SS ลดลงตาม HRT ที่ต่ำลง



ภาพประกอบที่ 3-20 ประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

### ข) ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease Removal)

จากภาพประกอบที่ 3-21 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด Oil and Grease ของชุดการทดลอง HRT 10-12, HRT 7-12 และ HRT 5-12 มีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับร้อยละ 62.5, 66.9 และ 67.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าชุดการทดลอง HRT 5-24 มีประสิทธิภาพการกำจัด Oil and Grease สูงสุด อาจเนื่องมาจากที่ CT 24 ชั่วโมง มีการป้อนน้ำเสีย 1 ครั้ง/วัน น้ำเสียจึงมีระยะเวลาอยู่ในระบบนานส่งผลให้มีระยะเวลาในการย่อยสลาย Oil and Grease นานกว่า CT 12 ชั่วโมง ที่มีการป้อนน้ำเสีย 2 ครั้ง/วัน ทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายของ Oil and Grease ที่มีอยู่ในน้ำเสียเกิดขึ้นน้อย เพราะโดยทั่วไปกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของ Oil and Grease นั้นเกิดขึ้นได้ช้าและใช้เวลานาน (อรทัย ทิมพงษ์, 2548) อีกทั้งยังสอดคล้องกับอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 3-22)



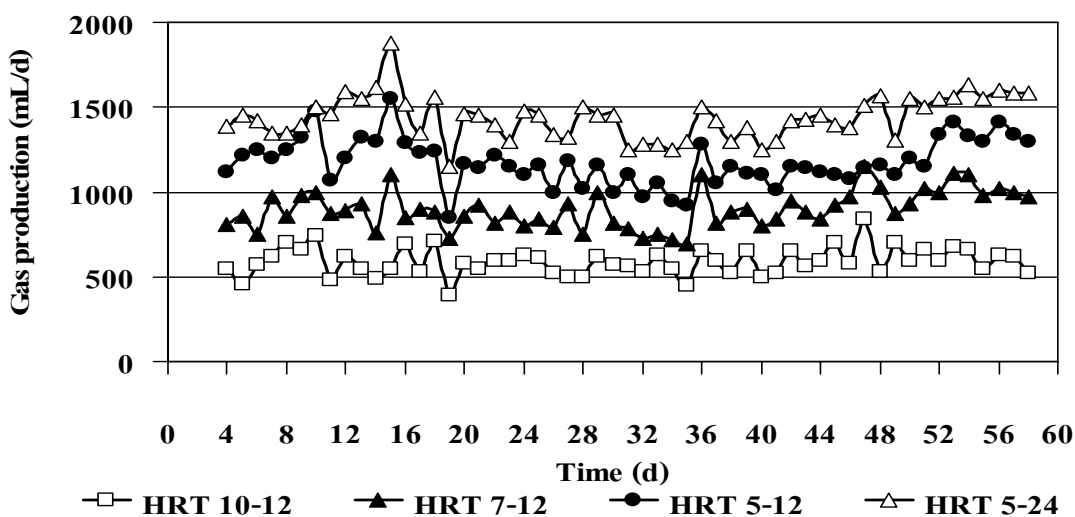
ภาพประกอบที่ 3-21 ประสิทธิภาพการกำจัด Oil and grease ของระบบ ASBR เมื่อเดิน ระบบด้วย น้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

#### ข) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production)

การเดินระบบ ASBR ชุดการทดลอง HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่า ชุดการทดลอง HRT 5-24 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยสูงสุด และนอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อ HRT ต่ำลงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 3-22) เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบสูงขึ้น (ตาราง 2-4) จุลินทรีย์สร้างกรดผลิต VFA ได้มากขึ้น จุลินทรีย์สร้างมีเทนสามารถเปลี่ยน VFA ไปเป็นเป็นก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น ดังเช่นการทดลองบำบัดของเสียจากตลาดพวกผักและผลไม้โดยใช้ระบบ ASBR ภายใต้สภาวะ Mesophilic ที่ OLR เท่ากับ 3.7, 7.5, 10.1 gCOD/L.d พบว่า เมื่อ OLR เพิ่มสูงขึ้น (HRT ต่ำลง) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Bouallagui *et al.*, 2004)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบจากระบบ ASBR จะประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน ( $N_2$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และก๊าซมีเทน (Methane:  $CH_4$ ) พบว่า ชุดการทดลอง HRT 10-12 มีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดอีกทั้งเมื่อ HRT ต่ำลงองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 3-10) อาจเกิดจากการผลิต VFA สูงกว่าการใช้ VFA จึงมีการสะสมของ VFA ในปริมาณที่สูงจนอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทน ส่งผลให้องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพต่ำลงเช่นการทดลองของ Tekin และ Dalgiç (2000) นำกากของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันมะกอกมาบำบัดโดยใช้ระบบไร้อากาศแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) และกำหนด TS เท่ากับร้อยละ 10 ที่สภาวะ HRT เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 วัน พบว่า เมื่อ HRT ลดต่ำลงองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มลดลง

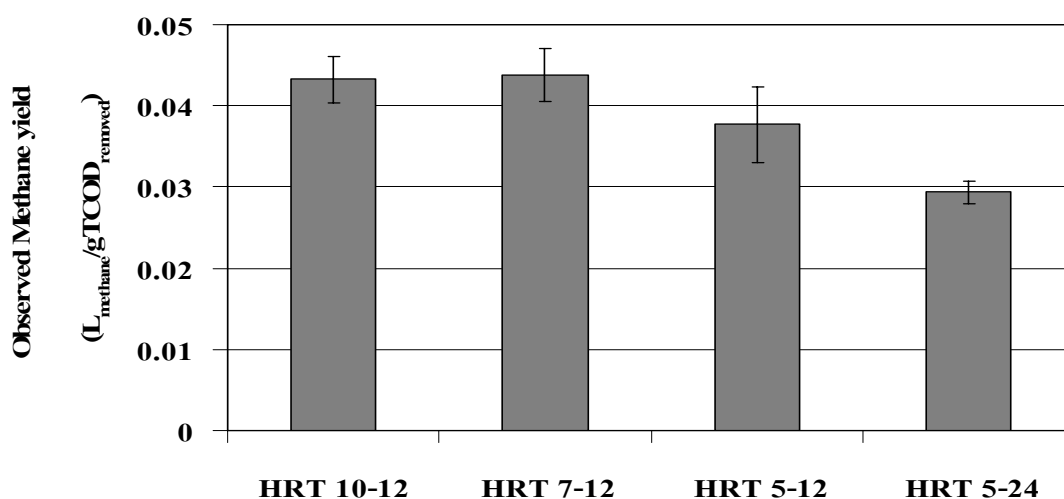
ผลจากการเปรียบเทียบอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ของชุดการทดลองที่ HRT 10-12 และ HRT 7-12 พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่ไม่มีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เท่ากับ 0.043 และ 0.044  $L_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$  ตามลำดับ แต่ชุดการทดลอง HRT 5 วัน CT 24 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 0.029  $L_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$  (ภาพประกอบที่ 3-23) ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่มีเมเทนอลลดลงเมื่อ HRT ต่ำลง (ตารางที่ 3-10) และสังเกตได้ว่าอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD ทุกชุดการทดลองมีค่าที่ต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี ( $0.35 L_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ ) เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกบำบัดไปไม่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพทั้งหมด แม้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD หรืออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ จะเกิดขึ้นสูงก็ตาม เพราะ สารอินทรีย์บางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ และอีกส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของ SS ที่ตกตะกอนอยู่ในระบบ



ภาพประกอบที่ 3-22 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

ตารางที่ 3-10 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

HRT (d)	Cycle time (h)	Biogas Composition (%)		
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	12	26.25	69.81	3.94
7	12	22.88	75.30	1.82
5	12	20.57	77.95	1.48
5	24	14.45	84.00	1.55



ภาพประกอบที่ 3-23 Observed Methane Yield ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

ตารางที่ 3-11 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD, SCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

HRT (d)	CT (h)	OL <sub>cycle</sub> (gCOD/L <sub>reactor</sub> ·Cycle)	TCOD	SCOD	Biogas	Observed Methane
			Removal (%)	Removal (%)	Production (mL/d)	Yield (L <sub>methane</sub> /gTCOD <sub>removed</sub> )
10	12	3.24±0.05	27.9±2.5	10.3±1.3	596±58	0.04±0.00
7	12	4.62±0.08	30.7±2.1	11.6±0.5	1,014±51	0.04±0.00
5	12	6.48±0.11	28.5±2.5	9.8±0.6	1,336±45	0.03±0.00
5	24	12.96±0.23	28.0±2.5	8.3±0.7	1,588±29	0.02±0.00



### 3.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

การบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบ ASBR แบ่งเป็น 2 ระยะการทดลองโดยระยะการทดลองที่ 1 เป็นการเดินระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น พบว่า การเดินระบบด้วย HRT 10-12 , HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น นำมาสู่ระยะการทดลองที่ 2 โดยเป็นการเดินระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นด้วยสภาวะที่เหมาะสมจากระยะการทดลองที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ASBR ดังแสดงในตารางที่ 3-13 ซึ่งแบ่งพิจารณาเป็น 2 ลักษณะ คือ สภาวะในการเดินระบบ และ ประสิทธิภาพของระบบ ASBR ดังนี้

#### 3.2.3.1 สภาวะในการเดินระบบ ASBR

สภาวะในการเดินระบบ ASBR จะพิจารณาในส่วนของ pH, VFA, Alkalinity และ VFA/Alkalinity จากตารางที่ 3-13 เห็นได้ว่าเมื่อเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นมีสภาวะภายในระบบดีกว่าการเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น (ปรับ pH น้ำเสีย) สังเกตได้จากที่ HRT 10 และ 7 วัน ค่า VFA/Alkalinity ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.4 นั่นคือระบบสามารถที่จะรักษาระดับของ VFA/Alkalinity ได้อย่างสม่ำเสมอ และเป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบมีกำลังบำบัดสูงสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพกรดที่เกิดขึ้นได้ สอดคล้องกับค่า pH ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดและสร้างมีเทนในระบบ ซึ่งก็คือ 6.8-7.2 (มันสิน ตันทุลเวศน์, 2542) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Alvarez (2005) ที่มีการนำน้ำเสียมาผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยโอโซนก่อนเข้าสู่ระบบ ASBR เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซน และมีการปรับ pH ของน้ำเสียทั้งสองชนิดก่อนเข้าระบบบำบัดแบบ ASBR ให้มีค่าประมาณ 7.2 ด้วย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  พบว่า การเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนมีประสิทธิภาพของระบบดีกว่าการใช้น้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซน แต่ในการทดลองของผู้วิจัยในครั้งนี้ น้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นจะไม่มีมีการปรับ pH น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ ASBR แต่สามารถเดินระบบได้อย่างต่อเนื่องสังเกตจากสภาวะในระบบดังแสดงในตารางที่ 3-13

และเมื่อทดลองเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น (ไม่มีมีการปรับ pH ของน้ำเสีย) ซึ่งผลการทดลองแสดงในภาพประกอบที่ 3-24 จะเห็นว่า สภาวะของระบบทั้ง 4 ชุดการทดลองอยู่ในสภาวะล้มเหลว ซึ่งดูได้จาก ค่า VFA/Alkalinity ที่มีค่าสูงกว่า 0.8

และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดลง (ภาพประกอบที่ 3-25) ดังนั้นน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นจึงต้องมีการปรับ pH เพื่อให้ระบบดำเนินต่อไปได้

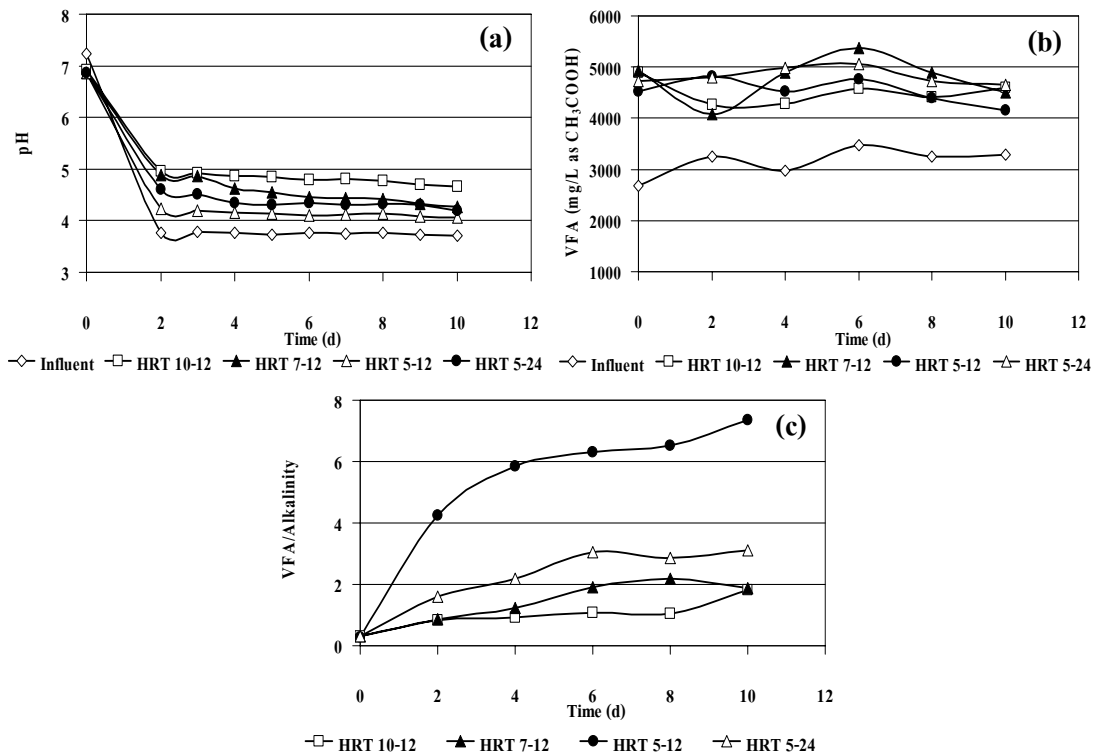
จากผลการทดลองบ่งชี้ได้ว่าการปรับสภาพน้ำเสียด้วยวิธีโอโซนชั้นมีส่วนช่วยปรับสภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบให้มีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ASBR ซึ่งค่า Alkalinity มีความสัมพันธ์กับค่า pH ของน้ำเสีย สังเกตได้จากน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น (ไม่มีการปรับ pH น้ำเสีย) ไม่สามารถตรวจพบค่า Alkalinity เนื่องจากมี pH ต่ำกว่า 4 (ตารางที่ 3-12) แต่เมื่อนำน้ำเสียมาผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น ทำให้ค่า pH และ Alkalinity เพิ่มขึ้น และอาจเนื่องมาจากโอโซนมีส่วนช่วยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้มีโมเลกุลเล็กลง สอดคล้องกับสัดส่วน SCOD/TCOD ของน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นและค่า SS ที่ลดลง หลังจากผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซน (ตารางที่ 3-1) ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ได้แก่ สารกลุ่มโปรตีน เป็นต้น โดยโอโซนทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง คือ แอมโมเนีย ซึ่งสามารถรวมตัวกับน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) กับไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3^-$ ) ดังสมการที่ 16 เป็นผลให้บัฟเฟอร์ในระบบเพียงพอต่อการต้านทาน VFA ที่เกิดขึ้น (Speece, 1996)



ตารางที่ 3-12 ลักษณะของน้ำเสียเข้าระบบซึ่งไม่มีการปรับ pH ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

Parameter	Non Ozonated	Ozonated
pH	3.75±0.02	4.36±0.17
Volatile Fatty Acids (mg/L as $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	3,249±174	2,597±420
Alkalinity (mg/L as $\text{CaCO}_3$ )	N/A	1,158±451

หมายเหตุ : N/A คือไม่พบข้อมูล

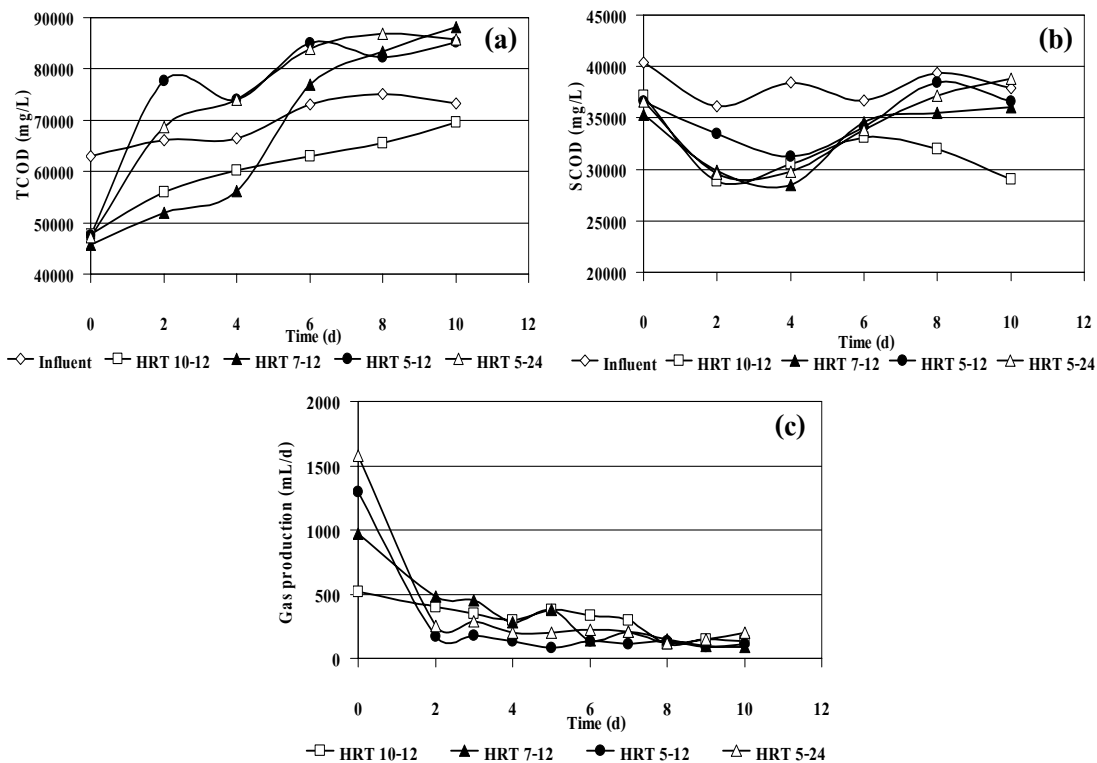


ภาพประกอบที่ 3-24 pH (a), VFA (b) และ VFA/Alkalinity (c) ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นและน้ำเสียไม่มีการปรับ pH

### 3.2.3.2 ประสิทธิภาพของระบบ ASBR

การเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นมีสถานะในการเดินระบบดีกว่าการใช้น้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น (ปรับ pH น้ำเสีย) เนื่องจากสถานะในระบบมีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD, SCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบดีกว่าเช่นกัน สอดคล้องกับการศึกษาการใช้วิธีโอโซนชั้นในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง พบว่าสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูป TCOD ได้ร้อยละ 75 และลด BOD ได้ร้อยละ 62 ทำให้สารอินทรีย์ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้น (BOD/TCOD เพิ่มจาก 0.35 เป็น 0.53) (เนติยา ตันทชุณห์, 2544) และนอกจากนี้มีการใช้โอโซนในการบำบัด Cherry Stillage จากกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง และสารอื่นๆ เช่น แตนนิน สารกลุ่มฟีนอล โดยทำการปรับสภาพด้วยโอโซน สามารถกำจัดสารกลุ่มฟีนอลได้มากกว่าร้อยละ 75 ซึ่งสารกลุ่มฟีนอลมีผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดและมีเทน ในน้ำเสียปาล์มก็

มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบเช่นกัน (Kawser and Nash, 2000; Nang *et al.*, 2007; and Zahrim *et al.*, 2009) หลังจากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนแล้วมาทำการบำบัดทางด้านชีวภาพด้วยระบบ ASBR พบว่า การบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนมีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD สูงกว่าร้อยละ 80 และมีอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD สูงกว่าการเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยโอโซน (Alvarez, 2005) การเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดีกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นทั้งที่มีการปรับและไม่ปรับ pH น้ำเสีย เนื่องด้วยคุณสมบัติของโอโซนที่สามารถสลายพันธะของโมเลกุลสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนที่มีโครงสร้างที่ง่ายขึ้นและเล็กลง ส่งผลให้น้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นนั้นมีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ASBR โดยการเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียที่ไม่มีการปรับ pH มีสถานะล้มเหลวในการเดินระบบ เห็นได้จากค่า TCOD และ SCOD ของน้ำทิ้งซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำเข้าระบบ และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ลดลงอย่างมากจากการเดินระบบด้วยน้ำเสียที่มีการปรับ pH (ภาพประกอบที่ 3-25) และเนื่องด้วยการปรับสภาพน้ำเสียด้วยวิธีโอโซนชั้นจัดอยู่ในขั้นตอน Hydrolysis (Carballa, 2007) ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการบำบัดน้ำเสียแบบ ASBR



ภาพประกอบที่ 3-25 TCOD (a), SCOD (b) และ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (c) ของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น (น้ำเสียไม่มีการปรับ pH)

ตารางที่ 3-13 ประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

Parameter	Treatment							
	HRT 10-12		HRT 7-12		HRT 5-12		HRT 5-24	
	Ozonated	Non ozonated*	Ozonated	Non ozonated*	Ozonated	Non ozonated*	Ozonated	Non ozonated*
pH	7.18±0.08 <sup>a</sup>	6.89±0.05 <sup>c</sup>	7.08±0.05 <sup>b</sup>	6.87±0.03 <sup>c</sup>	4.75±0.01 <sup>d</sup>	6.84±0.02 <sup>c</sup>	4.78±0.01 <sup>d</sup>	6.87±0.05 <sup>c</sup>
VFA (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	461±52 <sup>f</sup>	4,826±111 <sup>a</sup>	813±41 <sup>c</sup>	4674±173 <sup>ab</sup>	3,886±115 <sup>d</sup>	4,598±138 <sup>b</sup>	4,072±75 <sup>c</sup>	4,762±186 <sup>ab</sup>
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	5,293±112 <sup>b</sup>	15,404±286 <sup>a</sup>	5,024±53 <sup>b</sup>	15,437±302 <sup>a</sup>	3,329±40 <sup>c</sup>	15,401±455 <sup>a</sup>	3,422±94 <sup>c</sup>	15,653±416 <sup>a</sup>
VFA/Alk	0.08±0.01 <sup>d</sup>	0.31±0.01 <sup>b</sup>	0.16±0.01 <sup>c</sup>	0.30±0.01 <sup>b</sup>	1.16±0.04 <sup>a</sup>	0.29±0.01 <sup>b</sup>	1.19±0.02 <sup>a</sup>	0.30±0.01 <sup>b</sup>
TCOD Removal (%)	64.2±2.3 <sup>a</sup>	27.9±2.5 <sup>c</sup>	54.7±2.0 <sup>b</sup>	30.7±2.19 <sup>c</sup>	16.4±3.2 <sup>d</sup>	28.5±2.5 <sup>c</sup>	14.1±2.2 <sup>d</sup>	28.0±2.5 <sup>c</sup>
SCOD Removal (%)	82.4±1.0 <sup>a</sup>	10.3±1.3 <sup>c</sup>	78.1±1.3 <sup>b</sup>	11.6±0.5 <sup>de</sup>	17.0±2.6 <sup>c</sup>	9.8±0.6 <sup>cf</sup>	12.9±1.3 <sup>d</sup>	8.3±0.7 <sup>f</sup>
Gas Production (mL/d)	5,202±219 <sup>b</sup>	596±58 <sup>f</sup>	7,320±66 <sup>a</sup>	1,014±51 <sup>c</sup>	1,020±35 <sup>c</sup>	1,336±45 <sup>d</sup>	1,548±39 <sup>c</sup>	1,588±29 <sup>c</sup>
Methane Yield (L <sub>methane</sub> /gTCOD <sub>removed</sub> )	0.41±0.02 <sup>a</sup>	0.04±0.00 <sup>d</sup>	0.42±0.03 <sup>a</sup>	0.04±0.00 <sup>d</sup>	0.09±0.02 <sup>c</sup>	0.03±0.00 <sup>d</sup>	0.21±0.03 <sup>b</sup>	0.03±0.00 <sup>d</sup>

หมายเหตุ : <sup>abcdef</sup> อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* คือ น้ำเสียมมีการปรับ pH ให้มีค่า 7.2±0.1

## บทที่ 4

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 4.1 บทสรุป

การศึกษาผลของรอบการทำงานในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นโดยระบบเอเอสบีอาร์ แบ่งการศึกษาเป็น 2 ระยะการทดลอง โดยระยะการทดลองแรกเป็นการเดินระบบ ASBR ซึ่งมีรอบการทำงาน (Cycle time, CT) แตกต่างกัน คือ ชุดการทดลอง CT 12 , CT 24 และ CT 48 ชั่วโมง จะใช้น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นมีการเดินระบบเริ่มต้นด้วย HRT 10 วัน ก่อนเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวก็เปลี่ยนมาเดินระบบด้วย HRT 7 และ 5 วัน ตามลำดับ ทำการศึกษา CT ที่เหมาะสมต่อการเดินระบบทุก HRT แล้วนำสภาวะดังกล่าวมาทำการทดลองในระยะการทดลองที่ 2 เป็นการเดินระบบด้วยน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถสรุปได้ดังนี้

##### 4.1.1 การบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นโดยระบบ ASBR

การเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น พบว่า การเดินระบบ ASBR ชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง ที่ HRT 10 และ 7 วัน มีค่า pH และ VFA อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบส่วนค่า VFA/Alkalinity มีค่าต่ำกว่า 0.4 นั้นแสดงว่า ระบบมีบัฟเฟอร์เพียงพอสามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลง VFA ที่เกิดขึ้นระบบอีกทั้งประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD, SCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าการเดินระบบที่ชุดการทดลอง CT 24 และ 48 ชั่วโมง ในขณะที่การเดินระบบด้วย HRT 5 วัน พบว่า VFA/Alkalinity ในระบบมีค่าสูงกว่า 0.8 ทุกชุดการทดลอง แสดงว่า ระบบกำลังอยู่ในช่วง pH ที่กำลังลดลงอย่างรวดเร็ว นั้นเห็นได้จาก pH ของน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเข้าระบบ โดยชุดการทดลองที่ CT 12 และ CT 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD ใกล้เคียงกัน แต่ชุดการทดลอง CT 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัด SCOD สูงกว่า ในขณะที่ CT 24 ชั่วโมง มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่า CT 12 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และ SCOD มีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ลดลง (OLR เพิ่มขึ้น) และเมื่อความถี่ในการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากขึ้นประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

#### 4.1.2 การบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น โดยระบบ ASBR

จากการทดลองระยะที่ 1 ชุดการทดลองที่มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD, SCOD และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ได้แก่ HRT 10 วัน CT 12 ชั่วโมง, HRT 7 วัน CT 12 ชั่วโมง, HRT 5 วัน CT 12 ชั่วโมง และ HRT 5 วัน CT 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสถานะที่เหมาะสม เพื่อนำมาเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น โดยน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีการปรับ pH นำให้ได้ค่า  $7.2 \pm 0.1$  เพื่อให้เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ จากการทดลองพบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่า pH ของน้ำทิ้งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ค่า VFA/Alkalinity มีค่าต่ำกว่า 0.4 และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ทั้ง 4 ชุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด SCOD นั้น เมื่อ HRT ต่ำลงประสิทธิภาพการกำจัด SCOD มีแนวโน้มลดลง และพบว่าเมื่อความถี่ในการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากขึ้นประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีปริมาณน้อยในแต่ละครั้ง ทำให้การเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็น VFA ของจุลินทรีย์สร้างกรดที่เกิดขึ้นสามารถเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพโดยจุลินทรีย์สร้างมีเทนได้ทัน

#### 4.1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้งหมด การเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 และ 7 วัน CT 12 ชั่วโมง มีความเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดีกว่า HRT 5 วัน และ การเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีโอโซนชั้น มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดีกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีโอโซนชั้น เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีโอโซนชั้นนั้น เป็นการปรับสภาพน้ำเสียให้โครงสร้างสารเคมีในน้ำเสียที่มีความซับซ้อนกลายเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลงง่ายต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ASBR

#### 4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

ควรศึกษาการบำบัดขั้นต้นเพื่อดึงเอาส่วนของไขมันออกจากน้ำเสีย เช่น การใช้สารเคมี หรือ ใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายไขมัน เนื่องจากไขมันเป็นปัญหาต่อการบำบัดในขั้นตอนการบำบัดทางชีวภาพ



การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในระดับ lab scale ควรมีการศึกษางานวิจัยนี้ในระดับ Pilot scale โดยใช้สถานะของโรงงานในการเดินระบบเพื่อพิจารณาหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ควรศึกษาการเดินระบบที่รอบการทำงานต่ำกว่า 12 ชั่วโมง ซึ่งอาจจะส่งผลให้ระบบ ASBR มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

## บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2549. การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร.

กิตติ ชีรสเรศ. 2538. การศึกษาระดับห้องปฏิบัติการของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำอัดลมโดยกระบวนการยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต.

กุนทรหายน ยามิรุเต็ง. 2551. การบำบัดเบื้องต้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีโอโซนเนชั่น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จุฑารัตน์ หนูสุข. 2546. การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม(สหสาขา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชลกาญจน์ ซาดิควงเพชร. 2551. ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกซีแควนซิงแบทรีแอกเตอร์ (เอเอสบีอาร์) ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์สาทรณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขานาามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธนาวัฒน์ รักกมล. 2549. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดเอเอสบีอาร์ แบบเทอร์โมฟิลิกและมีโซฟิลิกในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธีศักดิ์. 2540. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร.
- ธารกมล ถาวรพานิช. 2543. ผลของโอโซนที่มีต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นวพรรษ ลักษณะานูรกิจ. 2545. การบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยขั้นต้นด้วยกระบวนการโอโซนขั้นต้น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เนติยา ตัณฑุณหทัย. 2544. การลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดโดยกระบวนการโอโซนเนชัน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- น้ำเงิน จันทรมณี. 2549. ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนโดยโซเดียมไนไตรท์ในระบบเอเอสบีอาร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปริญญา มาลัยลอย. 2548. การศึกษาผลของการบำบัดเบื้องต้นแบบกายภาพ-เคมีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มโดยถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปาริชาติ หมั่นสีทา. 2547. การกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดบางส่วนโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปารินดา สุขสบาย. 2539. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานปลาตู้น้ำกระป๋องโดยระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ผาสุก กุลละวณิชย์, สันหทัย กลิ่นพิกุล, สุเมธชา กุลละวณิชย์, สุรเชษฐ์ ธีระมณี และจาตุรงค์ แซ่ลี่. 2528. โครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มขนาดเล็กตามพระราชดำริ (คู่มือการเกษตร). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

- พนา เมฆตรง และคณะ. 2544. การกำจัดสีในน้ำเสียของโรงงานน้ำมันปาล์มโดยใช้โอโซน. โครงการงานเลขที่ EnE8/2544 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พูนสุข ประเสริฐสรรพ, เสาวลักษณ์ จิตบรรเจิดกุลและอรัญ หันพงศ์กิตติกุล. 2533. กระบวนการผลิต การใช้ประโยชน์วัสดุเศษเหลือทิ้งและคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม. ว.สงขลานครินทร์. 12 (2) :169-176.
- พูนสุข ประเสริฐสรรพ, อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และ โสภา จันทภาโส. 2544. เปรียบเทียบการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ. ว.สงขลานครินทร์. 23(ฉบับพิเศษ): 807-819.
- ไพเชษฐ์ ธรรมภาน. 2541. ผลของระยะเวลาเก็บน้ำของถังปฏิกริยาสร้างกรดต่อการบำบัดน้ำเสียสุกร โดยกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไฟฟ้าและอุตสาหกรรม. 2546. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) ในโรงสกัดน้ำมันปาล์ม. ว.ประหยัดพลังงาน :82-85.
- ภาณุมาศ พวงแก้ว. 2548. กระบวนการโอโซนเนชันในการย่อยสลายฟีนอล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์ และ มันรัชต์ ตันฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่มที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่มที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รณชัย ไชยศรี. 2549. กระบวนการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนของน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มในถังปฏิกรณ์ UASB และ UFAF. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- วราภรณ์ กัลยาเลิศ. 2540. การบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซน. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
- วีระพงษ์ เลิศรัตนเทวี. 2548. การลดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานสุราโดยกระบวนการโอโซนชั้น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริเพ็ญ เชิญชัยชรากุล. 2545. การลดช่วงเวลาในการเดินระบบแอนแอโรบิกเอสบีอาร์ (ASBR) ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารจากน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศรัณย์พิชญ์ สุพานิช. 2549. การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดแบบ เอ เอส บี อาร์ (Anaerobic Sequence Batch Reactor) ระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากไอโซมิล. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์สถิติการเกษตร. 2550. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2550. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. โครงการการพัฒนาดัชนีสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมไทย (ออนไลน์)/ 5 กุมภาพันธ์ 2550 ค้นหาได้จาก <http://www.tei.or.th/bep/envperfeval/palm/10.cfm>.
- สมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย และ World Environment Center. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สุเมธ ชวเดช. 2541. การพัฒนากระบวนการออกซิเดชันโอโซนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร
- อรทัย ทิมพงษ์. 2548. ความสามารถสูงสุดของระบบเอเอสบีอาร์ในการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในการบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อรรณู หันพงศ์กิตติกุล, พูนสุข ประเสริฐสรรพ และ กัลยา ศรีสุวรรณ. 2539. แนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- อริศรา เสาะซึ้ง. 2548. ผลของการกวนด้วยก๊าซต่อสมรรถนะของถังปฏิกริยาเยอเอสบี. วิทยานิพนธ์  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Alfara, C.G., Migo, V.P., Amarante, J.A., Dallo, R.F. and Matsumura, M. 1999. Ozone  
treatment of distillery slope waste. IAWQ In Asia-Pacific Regional Conference 7th ed.  
Taipei : 565-570.
- APHA, AWWA and WEF. 2005. **Standard Methods for The Examination of Water and  
Wastewater**. 20<sup>th</sup> ed. Maryland : am public health assoc.
- Alvarez, M. P., Beltrán, J. F and Rodriguez, M. E. 2005. Integration of ozonation and an  
Anaerobic Sequencing Batch Reactor (AnSBR) for the treatment of cherry stillage.  
**Biotechnol. Prog.** 21: 1543-1551.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J. and Dewil, R. 2008. Principles and potential of the anaerobic  
digestion of waste-activitied sludge. **Progress in Energy and Combustion Science.**  
34:755-781.
- Bodkhe, S. Y. 2009. A modified anaerobic baffled reactor for municipal wastewater treatment. **J.  
Environ. Manage.** 90: 2488-2493.
- Bouallagui, H., Torrijos, M., Gadon, J. J., Moletta, R., Ben Cheikh, R., Touhami, Y., Delgenes, J.  
P. and Hamdi, M. 2004. Two-phases anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes :  
bioreactors performance. **Biochem. Eng. J.** 21: 193-197.
- Cail, D. G. and Barford, J. P. 1985. Thermophilic semi-continous anaerobic digestion of palm oil  
mill effluent. **Agr Wastes.** 13: 295-304.
- Carballa, M., Manterola, G., Larrea, L., Ternes, T., Omil, F. and Lema, J. M. 2007. Influence of  
ozone pre-treatment sludge anaerobic digestion : removal of pharmaceutical and personal  
care products. *Chemosphere.* 67: 1444-1452.
- Chin, K. K. and Wong, K. K. 1983. Thermophilic anaerobic digestion of palm oil mill effluent.  
**Water Res.** 11: 993-995.

- Chotwattanasak, J. 2004. Treatment of palm oil mill effluent by high rate anaerobic digester. Master degree of science in environmental technology. King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Faisal, M. and Unno, H. 2001. Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. **Biochem. Eng. J.** 9: 25-31.
- Gottschalk, C., Libra, J. A. and Saupe, A. 2000. **Ozonation of water and wastewater.** Germany. WILEY-VCH.Inc.
- Kawser, J. MD and Nash, F. A. 2000. Oil palm shell as a source of phenol. **J Oil Palm Research.** 12: 86-94.
- Langlais, B., Reckhow, C. A. and Brink, D. R. 1991. **Ozone in water treatment : application and engineering.** Chelsea. Lewis Publil. Inc.
- Liakou, S., Pavlou, S. and Lyberatos, G. 1997. Ozonation of azo dyes. **Water Sci. Technol.** 35(4): 279-286.
- Lin, S. H. and Yeh, K. L. 1993. Looking to treat wastewater try ozone. **Chem. Eng.** 6: 112-116.
- Luo, G., Xie, L. and Zhou, Q. 2009. Enhanced treatment efficiency of an anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) on cassava stillage with high solids content. **J. Biosci. Bioeng.** 107(6): 641-645.
- Malina, J. F. and Pohland, F. G. 1992. Design of anaerobic process for the treatment of industrial and municipal waste. **Water Quality Management Library.** 7: 131.
- Metcalf and Eddy. 2004. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse.** 4<sup>th</sup>. New York: McGraw – Hill.
- Mockaitis, G., Ratusznei, S.M., Rodrigues, J.A.D., Zaiat, M. and Foresti, E. 2006. Anaerobic whey treatment by a stirred sequencing batch reactor (ASBR): effect of organic loading and supplemented alkalinity. **J. Environ. Manage.** 79: 198-206.

- Nang, H. L. L., May, C. Y., Ngan, M. A. and Hock, C. C. 2007. Extraction and identification of water-soluble compounds in palm-pressed fiber by SC-CO<sub>2</sub> and GC-MS. **American Journal of Environmental Science**. 3(2):54-59
- Ndegwa, P.M., Hamilton, D.W., Lalman, J.A. and Cumba, H.J. 2007. Effects of cycle-frequency and temperature on the performance of anaerobic sequencing batch reactors (ASBR) treating swine waste. **Bioresour. Technol.**
- Ratusznei, S.M., Rodrigues, J.A.D., Camargo, E.F.M., Zaiat, M. and Borzani, W. 2003. Feasibility of a stirred anaerobic sequencing batch reactor containing immobilized biomass for wastewater treatment. **Bioresour. Technol.** 75(2): 127-132.
- Rodrigues, J. A. D, Ratusznei, S. M., Camargo, E. F. M. and Zaiat, M. 2003. Influence of agitation rate on the performance of an anaerobic sequencing batch reactor containing granulated biomass treating low-strength wastewater. **Adv Environ Res** .7: 405-410.
- Sánchez, E., Borja, R., Travieso, L., Martín, A. and Colmenarejo, M. F. 2005. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. **Bioresour. Technol.** 96: 335-344.
- Speece, R. E. 1996. **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater**. America: Archae Press.
- Tchobanoglous, G. and Burton, F. L. 2003. **Wastewater Engineering. Treatment Disposal Reuse**. 4<sup>th</sup> ed Singapore: Mc Graw Hill.
- Tekin, A. R. and Dalgıç. A. C. 2000. Biogas production from olive pomace. **Resour. Conserv. Recy.** 30: 301-313.
- Xiangwen, S., Zhaohua, P. D. T. and Xinghua, J. 2008. Treatment of brewery wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). **Bioresour. Technol.**



Zahrim, A. Y., Rachel, F. M., Menaka, S. M., Su, S. Y., Melvin, F. and Chan, E. S. 2009. Decolourisation of anaerobic palm oil mill effluent via activated sludge-granular activated carbon. **World Applied Sciences**. 5: 126-129.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**  
**ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียและน้ำทิ้ง**

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
4	Influent	4.55	1,533	2,523	72,600	35,680	33,900	-	-	-
	12	7.06	4,500	646	26,506	4,193	23,322	-	-	3,900
	24	7.20	4,636	480	22,773	3,960	14,600	-	-	3,120
	48	7.22	4,586	503	19,040	5,093	14,277	-	-	3,810
8	Influent	4.67	1,766	2,283	7,333	42,933	19,466	-	-	-
	12	7.08	4,266	490	28,000	4,800	15,411	-	-	4,030
	24	7.07	4,873	603	34,266	4,166	16,622	-	-	3,500
	48	7.30	4,806	760	17,866	3,966	6,555	-	-	3,640
12	Influent	4.55	1,366	2,680	61,600	37,333	28,511	-	-	-
	12	7.12	5,536	1,183	29,706	4,826	25,711	-	-	4,170
	24	7.23	5,356	870	22,240	3,833	20,944	-	-	3,465
	48	7.28	4,626	1,066	25,040	11,266	17,577	-	-	3,670

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
16	Influent	4.46	1,193	2,833	73,933	46,733	23,233	-	-	-
	12	7.23	4,770	476	27,973	7,406	17,266	-	-	4,080
	24	7.32	4,990	613	26,506	6,540	16,522	-	-	3,950
	48	6.75	4,740	1,593	31,173	15,920	10,111	-	-	3,380
20	Influent	4.36	1,116	2,703	77,000	29,600	24,544	-	-	-
	12	7.10	4,366	676	24,800	6,253	19,366	-	-	6,020
	24	7.25	4,986	846	26,933	6,586	20,288	-	-	5,490
	48	6.99	5,013	1,570	39,946	23,173	18,494	-	-	2,600
24	Influent	4.58	-	-	-	-	-	-	-	-
	12	7.10	-	-	-	-	-	-	-	6,250
	24	7.11	-	-	-	-	-	-	-	5,620
	48	6.63	-	-	-	-	-	-	-	2,480
28	Influent	4.58	1,623	2,693	76,006	33,600	28,450	-	-	-
	12	7.24	4,733	490	19,093	6,253	16,333	-	-	5,160
	24	7.19	5,186	956	23,160	7,786	23,100	-	-	4,800
	48	6.69	4,963	1,876	28,560	15,053	17,633	-	-	2,460

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
32	Influent	4.54	1,506	2,510	76,533	29,266	24,483	-	-	-
	12	7.15	5,333	563	22,346	5,386	13,783	-	-	6,215
	24	7.24	5,483	766	25,946	6,853	12,433	-	-	5,200
	48	6.10	4,220	2,013	30,613	21,333	10,700	-	-	1,860
36	Influent	4.46	1,353	2,143	71,266	41,333	27,300	-	-	-
	12	7.10	4,660	490	24,373	5,600	16,083	-	-	6,450
	24	7.13	5,093	680	26,906	8,533	14,516	-	-	5,670
	48	5.04	3,643	2,720	30,613	24,800	11,683	-	-	730
40	Influent	4.37	1,400	2,570	73,666	39,333	27,700	-	-	-
	12	7.22	5,113	513	27,866	5,466	19,516	-	-	6,400
	24	7.25	5,446	706	24,400	6,866	17,266	-	-	5,610
	48	4.70	2,660	2,736	41,600	28,266	15,150	-	-	540
44	Influent	4.32	966	1,966	72,600	35,866	31,300	-	-	-
	12	7.20	5,336	620	25,973	6,173	19,133	-	-	6,040
	24	7.20	5,350	740	29,973	6,440	21,000	-	-	4,880
	48	4.42	1,690	2,526	41,813	29,146	14,566	-	-	940

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
48	Influent	4.21	626	1,966	72,333	37,666	34,416	-	-	-
	12	7.22	5,197	480	24,000	6,600	23,766	-	-	6,010
	24	7.18	5,160	670	26,666	7,600	28,366	-	-	5,320
	48	4.23	960	2,230	43,466	33,600	13,500	-	-	740
52	Influent	4.33	523	1,940	60,266	36,733	32,016	-	-	-
	12	7.13	5,193	460	23,840	6,413	22,100	-	-	5,260
	24	7.16	5,040	633	27,040	7,280	26,666	-	-	4,640
	48	4.23	730	2,290	41,546	32,586	14,366	-	-	1,000
54	Influent	4.33	830	1,790	65,266	34,066	32,566	-	-	-
	12	7.19	5,263	416	22,906	5,946	19,233	-	-	5,580
	24	7.21	5,310	586	26,906	6,480	27,633	-	-	4,820
	48	4.35	1,466	2,396	34,346	32,320	14,466	-	-	1,100
56	Influent	4.41	916	1,820	65,000	30,400	27,983	-	-	-
	12	7.21	5,356	410	23,333	5,813	16,566	-	-	5,110
	24	7.26	5,463	656	25,466	6,413	20,766	-	-	4,770
	48	4.81	2,550	2,600	41,600	32,320	14,566	-	-	920

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
58	Influent	4.51	1,730	2,176	63,333	32,400	26,716	26,004	5,100	-
	12	7.27	5,456	540	22,266	5,280	19,900	3,573	777	5,080
	24	7.26	5,326	736	25,600	6,213	22,466	4,322	930	4,650
	48	4.95	3,456	2,813	37,866	30,720	13,383	24,070	1,080	860

หมายเหตุ ตารางภาคผนวกที่ ก-1 นำไปสร้างภาพประกอบที่ 3-2, 3-3, 3-4, 3-6, 3-8, 3-9, 3-10 และ 3-11

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
65	Influent	4.38	1,220	2,276	34,960	38,005	27,366	-	-	-
	12	7.26	5,410	660	28,224	3,016	23,933	-	-	6,880
	24	7.25	5,463	776	2,583	4,584	26,466	-	-	5,750
	48	4.84	3,516	3633	61,525	31,300	21,116	-	-	1,550

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
69	Influent	4.47	1,796	2,880	56,700	35,280	22,550	-	-	-
	12	7.07	5,970	660	24,360	5,012	29,966	-	-	7,660
	24	7.07	5,710	1036	29,820	11,172	30,066	-	-	5,630
	48	4.90	3,730	3436	49,560	31,864	26,666	-	-	1,650
73	Influent	4.49	1,600	2,483	56,713	27,260	25,433	-	-	-
	12	7.17	5,266	766	29,819	5,389	27,000	-	-	8,170
	24	7.15	5,416	1133	25,066	8,272	21,900	-	-	6,100
	48	5.07	4,206	3,203	32,586	28,576	12,583	-	-	520
77	Influent	4.55	1,800	2,773	62,604	27,197	15,116	-	-	-
	12	7.16	5,423	780	26,796	5,236	15,366	-	-	7,850
	24	7.13	5,440	1230	23,286	10,098	17,916	-	-	6,070
	48	4.93	4,983	3,746	36,797	22,509	27,266	-	-	850
81	Influent	4.45	1,450	2,353	62,894	35,841	27,033	-	-	-
	12	7.15	5,150	580	27,277	4,924	24,733	-	-	7,430
	24	7.11	5,586	1090	27,526	9,537	25,366	-	-	5,920
	48	4.89	3,673	3110	45,079	24,648	18,050	-	-	830



ตารางภาคผนวกที่ ก-2 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
85	Influent	4.42	1,263	2,966	63,373	38,347	29,783	-	-	-
	12	7.12	5,210	823	28,712	6,634	27,033	-	-	7,150
	24	7.14	5,256	1056	29,617	9,415	25,333	-	-	5,720
	48	4.87	3,643	3670	40,610	29,901	23,883	-	-	700
89	Influent	4.49	1,193	2,780	59,830	30,256	25,650	-	-	-
	12	7.10	5,103	706	25,668	6,547	23,300	-	-	7,640
	24	7.19	5,316	970	27,404	10,515	23,133	-	-	6,370
	48	4.95	3,500	3,320	37,696	30,817	16,050	-	-	740
93	Influent	4.29	970	2,550	60,166	28,690	28,288	-	-	-
	12	7.05	5,040	956	26,473	6,624	24,100	-	-	8,350
	24	7.10	5,200	986	27,866	9,981	25,866	-	-	5,960
	48	4.78	3,370	3,240	44,080	29,032	21,100	-	-	750
97	Influent	4.18	793	2,566	62,744	30,016	30,716	-	-	-
	12	7.12	5,126	810	27,918	6,835	29,200	-	-	7,010
	24	7.14	5,240	1,060	28,654	11,251	25,700	-	-	5,600
	48	4.77	3,230	3,556	45,533	28,876	24,133	-	-	550

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
101	Influent	4.21	796	2,330	61,578	27,477	29,633	-	-	-
	12	7.16	5,026	790	28,434	6,415	27,700	-	-	7,680
	24	7.15	5,166	970	31,132	10,034	28,333	-	-	6,200
	48	4.79	3,290	3,166	49,017	26,397	23,100	-	-	590
103	Influent	4.20	466	2,413	61,113	28,717	3,233	-	-	-
	12	7.14	5,093	866	29,073	6,692	28,933	-	-	7,450
	24	7.18	5,180	1,016	31,565	10,964	29,500	-	-	5,990
	48	4.72	2,660	3,543	47,704	29,381	19,600	-	-	750
105	Influent	4.24	613	2,176	66,154	32,268	30,300	-	-	-
	12	7.17	5,006	790	28,272	6,647	28,700	-	-	7,390
	24	7.19	5,050	1,033	29,834	10,010	28,533	-	-	5,970
	48	4.68	2,766	3,560	60,908	31,505	28,866	-	-	600
107	Influent	4.29	980	2,403	61,566	28,830	33,666	-	-	-
	12	7.08	5,046	806	28,470	5,980	26,600	-	-	7,270
	24	7.05	5,063	1050	29,834	10,106	29,500	-	-	5,970
	48	4.80	3,033	3523	60,908	24,552	28,483	-	-	510

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
109	Influent	4.40	1,730	3,043	66,880	27,712	35,383	16,283	5,540	-
	12	7.05	4,946	873	29,056	5,862	26,333	2,355	1,310	7,250
	24	7.03	5,003	1,126	30,464	8,988	28,366	7,064	1,350	6,090
	48	4.82	3,533	3,690	55,808	23,193	27,633	21,293	3,050	700

หมายเหตุ ตารางภาคผนวกที่ ก-2 นำไปสร้างภาพประกอบที่ 3-2, 3-3, 3-4, 3-6, 3-8, 3-9, 3-10 และ 3-11

ตารางภาคผนวกที่ ก-3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสีย, น้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
119	Influent	4.23	633	2,513	59,428	31,622	31,783	-	-	-
	12	5.66	3,890	2,323	29,953	19,348	19,866	-	-	3,130
	24	5.22	3,780	2,793	32,540	22,193	25,533	-	-	1,980
	48	4.63	2,796	3,703	58,148	30,988	24,733	-	-	710

ตารางภาคผนวกที่ ก-3 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
123	Influent	4.22	600	2,693	54,720	31,666	27,800	-	-	-
	12	5.05	3,970	3,673	35,922	24,826	18,366	-	-	1,950
	24	4.98	3,523	2,966	37,189	27,866	22,400	-	-	2,100
	48	4.66	2,980	4,093	56,189	30,653	24,550	-	-	490
127	Influent	4.08/	513	2,566	53,605	30,653	24,283	-	-	-
	12	4.88	2,946	3,330	44,110	27,428	29,966	-	-	1,600
	24	4.74	2,540	3,433	50,734	30,126	27,066	-	-	2,150
	48	4.60	2,276	4,050	55,641	33,070	29,883	-	-	650
131	Influent	4.03	-	-	-	-	-	-	-	-
	12	4.65	-	-	-	-	-	-	-	1,460
	24	4.48	-	-	-	-	-	-	-	1,850
	48	4.57	-	-	-	-	-	-	-	880
135	Influent	4.02	200	2,693	65,803	31,540	31,683	-	-	-
	12	4.59	2,170	3,436	55,936	24,978	23,233	-	-	980
	24	4.56	2,133	3,593	56,696	25,738	21,100	-	-	1,150
	48	4.50	2,103	4,246	66,322	29,032	27,966	-	-	260

ตารางภาคผนวกที่ ก-3 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
139	Influent	4.15	433	3,040	57,214	29,516	25,766	-	-	-
	12	4.59	2,420	3,416	51,537	23,763	19,883	-	-	1,150
	24	4.57	2,470	3,636	51,537	25,016	22,900	-	-	1,420
	48	4.52	2,470	4,323	52,201	29,779	19,883	-	-	680
143	Influent	4.42	1,293	3,443	59,040	28,712	24,250	-	-	-
	12	4.75	3,336	3,653	48,525	23,228	19,833	-	-	950
	24	4.79	3,403	3,656	49,301	25,556	24,166	-	-	1,420
	48	4.70	3,306	4,272	51,927	26,590	20,966	-	-	720
147	Influent	4.36	1,276	3,466	53,516	27,170	25,033	-	-	-
	12	4.74	3,300	3,783	47,626	24,016	19,750	-	-	1,000
	24	4.75	3,310	3,973	47,880	25,282	23,533	-	-	1,410
	48	4.75	3,400	4,490	50,350	27,056	24,666	-	-	380
149	Influent	4.57	1,456	3,180	58,900	29,450	29,616	-	-	-
	12	4.78	3,393	3,750	48,133	25,333	16,766	-	-	1,130
	24	4.80	3,516	4,173	49,146	26,093	21,366	-	-	1,690
	48	4.80	3,540	4,356	52,883	27,106	28,383	-	-	570

ตารางภาคผนวกที่ ก-3 (ต่อ)

Time (d)	CT (h)	Parameter								
		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
151	Influent	4.52	1,626	3,056	61,008	29,078	29,900	-	-	-
	12	4.76	3,333	3,930	49,550	24,750	18,716	-	-	1,040
	24	4.78	3,480	4,040	52,030	25,494	23,566	-	-	1,570
	48	4.76	3,323	4,343	55,118	27,726	28,466	-	-	600
153	Influent	4.52	2,653	3,160	59,752	30,652	27,266	-	-	-
	12	4.76	3,290	4,020	48,836	25,297	22,533	-	-	960
	24	4.80	3,473	4,113	50,905	26,590	22,750	-	-	1,520
	48	4.78	3,453	4,373	56,842	29,953	26,083	-	-	580
155	Influent	4.48	1,540	3,176	58,583	30,336	28,183	32,703	4,213	-
	12	4.76	3,333	3,950	49,400	24,269	24,516	26,800	1,770	1,030
	24	4.79	3,330	4,063	50,160	25,789	22,033	27,448	1,500	1,600
	48	4.78	3,366	4,316	56,683	29,070	25,750	30,692	2,070	400

หมายเหตุ ตารางภาคผนวกที่ ก-3 นำไปสร้างภาพประกอบที่ 3-2, 3-3, 3-4, 3-6, 3-8, 3-9, 3-10 และ 3-11

ตารางภาคผนวกที่ ก-4 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสียและน้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น

Time (d)	HRT (d)	CT (h)	Parameter								
			pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
4	Influent		7.16	9,470	3,476	53,600	47,200	31,183	-	-	-
	10	12	6.60	12,143	4,410	49,024	36,480	23,816	-	-	550
	7	12	6.63	12,816	4,490	49,536	36,480	19,483	-	-	810
	5	12	6.58	12,933	4,523	49,536	36,736	22,250	-	-	1,120
	5	24	6.62	13,773	4,416	49,280	36,736	18,433	-	-	1,390
8	Influent		7.13	9,480	2,746	68,083	41,166	32,983	-	-	-
	10	12	6.60	12,446	5,630	59,533	38,000	21,166	-	-	700
	7	12	6.59	12,766	5,836	60,546	37,746	24,983	-	-	860
	5	12	6.62	12,706	5,483	67,133	34,960	24,483	-	-	1,250
	5	24	6.67	13,160	5,520	62,573	33,946	22,866	-	-	1,350
12	Influent		7.10	10,573	3,393	67,133	39,266	27,533	-	-	-
	10	12	6.79	13,246	5,200	48,133	37,746	18,216	-	-	620
	7	12	6.71	13,220	5,460	51,680	37,746	22,150	-	-	890
	5	12	6.75	13,686	5,260	52,693	37,240	20,333	-	-	1,200
	5	24	6.69	13,733	5,373	56,746	35,466	22,366	-	-	1,590

ตารางภาคผนวกที่ ก-4 (ต่อ)

Time (d)	HRT (d)	CT (h)	Parameter								
			pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
16	Influent		7.14	11,173	3,053	68,510	37,975	31,216	-	-	-
	10	12	6.58	13,726	5,800	49,724	37,324	24,350	-	-	690
	7	12	6.55	13,613	5,613	51,956	35,588	26,483	-	-	850
	5	12	6.63	14,566	5,706	53,940	34,348	25,133	-	-	1,290
	5	24	6.66	14,126	5,986	57,164	30,380	27,583	-	-	1,520
20	Influent		6.95	10,506	3,686	69,516	38,638	30,883	-	-	-
	10	12	6.68	13,806	4,813	47,982	34,273	18,883	-	-	580
	7	12	6.70	14,513	5,013	48,500	31,686	22,666	-	-	860
	5	12	6.72	15,000	4,580	47,206	33,497	19,583	-	-	1,170
	5	24	6.68	14,873	5,006	52,380	30,134	19,366	-	-	1,460
24	Influent		7.00	10,293	2,933	66,183	37,208	30,066	-	-	-
	10	12	6.80	12,920	4,420	47,500	35,086	19,150	-	-	630
	7	12	6.81	14,673	4,960	44,966	33,820	23,556	-	-	800
	5	12	6.77	14,486	4,146	45,726	34,073	24,533	-	-	1,100
	5	24	6.68	13,600	5,173	51,300	31,540	26,583	-	-	1,480



ตารางภาคผนวกที่ ก-4 (ต่อ)

Time (d)	HRT (d)	CT (h)	Parameter								
			pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
28	Influent		6.93	10,586	3,380	64,706	38,180	32,483	-	-	-
	10	12	6.95	15,353	4,580	46,490	37,168	30,466	-	-	500
	7	12	6.99	16,006	4,953	46,981	35,696	29,566	-	-	750
	5	12	6.96	16,520	4,906	48,208	35,941	26,066	-	-	1,020
	5	24	6.93	16,633	5,106	51,152	34,224	22,916	-	-	1,500
32	Influent		6.88	8,606	3,520	65,720	39,370	30,050	-	-	-
	10	12	6.84	13,440	4,453	46,376	35,216	23,066	-	-	530
	7	12	6.80	15,160	4,353	47,120	35,712	24,233	-	-	730
	5	12	6.76	15,346	4,506	46,872	34,472	21,400	-	-	970
	5	24	6.67	14,646	4,740	49,352	35,216	17,466	-	-	1,280
36	Influent		7.10	10,826	3,066	63,040	38,560	29,200	-	-	-
	10	12	6.92	14,386	4,520	48,000	35,456	23,716	-	-	650
	7	12	6.92	15,113	4,593	47,232	36,224	23,050	-	-	1,100
	5	12	6.89	15,206	4,346	46,976	35,200	21,100	-	-	1,280
	5	24	6.95	15,866	4,426	48,768	35,200	17,416	-	-	1,500

ตารางภาคผนวกที่ ก-4 (ต่อ)

Time (d)	HRT (d)	CT (h)	Parameter								
			pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
40	Influent		7.39	9,893	2,766	63,333	38,633	29,566	-	-	-
	10	12	6.90	13,860	4,473	44,586	34,200	27,733	-	-	500
	7	12	6.86	14,500	4,320	44,333	36,986	25,866	-	-	800
	5	12	6.82	14,500	4,693	45,093	35,213	24,916	-	-	1,100
	5	24	6.74	14,100	4,580	44,840	33,440	22,050	-	-	1,250
44	Influent		7.20	10,706	2,460	61,570	41,673	30,083	-	-	-
	10	12	6.85	14,160	4,306	46,248	34,341	27,266	-	-	600
	7	12	6.78	14,393	3,933	43,992	35,845	25,783	-	-	840
	5	12	6.80	14,200	4,200	44,493	36,848	25,283	-	-	1,120
	5	24	6.74	15,026	4,420	45,746	34,592	21,700	-	-	1,450
48	Influent		7.10	11,866	3,040	63,373	40,416	31,816	-	-	-
	10	12	6.94	15,400	4,773	48,112	36,989	28,650	-	-	530
	7	12	6.87	14,873	4,600	45,525	35,178	27,150	-	-	1,030
	5	12	6.79	14,873	4,346	43,197	36,472	26,300	-	-	1,160
	5	24	6.80	14,620	4,593	46,818	34,144	23,188	-	-	1,570

ตารางภาคผนวกที่ ก-4 (ต่อ)

Time (d)	HRT (d)	CT (h)	Parameter								
			pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
50	Influent		7.20	11,486	2,893	64,283	39,741	31,616	-	-	-
	10	12	6.92	15,826	4,800	46,740	36,100	27,033	-	-	600
	7	12	6.91	15,820	4,686	45,220	36,606	26,483	-	-	930
	5	12	6.89	15,753	4,566	44,966	35,086	27,883	-	-	1,200
	5	24	6.95	16,366	4,940	45,726	35,340	26,250	-	-	1,550
52	Influent		7.01	11,080	3,100	65,600	40,960	31,050	-	-	-
	10	12	6.87	15,126	4,680	45,184	37,682	27,416	-	-	600
	7	12	6.88	15,446	4,540	44,160	36,352	26,750	-	-	1,000
	5	12	6.82	15,793	4,593	46,464	36,608	28,150	-	-	1,340
	5	24	6.81	15,453	4,853	47,488	36,352	26,133	-	-	1,550
54	Influent		7.08	11,766	2,640	65,410	41,385	30,933	-	-	-
	10	12	6.91	15,546	4,786	46,252	37,572	27,700	-	-	660
	7	12	6.89	14,986	4,493	44,268	38,068	26,666	-	-	1,100
	5	12	6.86	14,746	4,473	45,012	37,076	27,750	-	-	1,330
	5	24	6.81	15,306	4,460	44,516	36,580	25,700	-	-	1,630

ตารางภาคผนวกที่ ก-4 (ต่อ)

Time (d)	HRT (d)	CT (h)	Parameter								
			pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
56	Influent		7.23	11,573	2,646	65,720	42,005	31,566	-	-	-
	10	12	6.95	15,186	4,973	47,368	38,564	28,900	-	-	630
	7	12	6.91	15,380	4,720	44,888	38,316	27,600	-	-	1,020
	5	12	6.84	15,113	4,833	47,616	37,324	28,516	-	-	1,410
	5	24	6.96	15,646	4,840	48,112	37,076	24,583	-	-	1,600
58	Influent		7.24	11,546	2,686	63,016	40,375	30,750	27,680	1,655	-
	10	12	6.92	15,333	4,893	47,753	36,606	27,500	21,853	620	520
	7	12	6.86	15,553	4,933	45,726	36,606	28,133	23,070	547	970
	5	12	6.87	15,600	4,526	47,500	37,113	27,483	23,090	540	1,300
	5	24	6.86	15,493	4,720	47,246	35,340	25,883	23,330	427	1,580

หมายเหตุ ตารางภาคผนวกที่ ก-4 นำไปสร้างภาพประกอบที่ 3-15, 3-16, 3-17, 3-18, 3-19, 3-20, 3-21 และ 3-22

ตารางภาคผนวกที่ ก-5 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีน้ำเสียและน้ำทิ้งและปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น (ไม่มีการปรับ pH)

Time (d)	HRT (d)	CT (h)	Parameter								
			pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
0	Influent		7.24	N/A	2,686	63,016	40,375	N/A	-	-	-
	10	12	6.92	N/A	4,893	47,753	37,113	N/A	-	-	520
	7	12	6.86	N/A	4,933	45,726	35,340	N/A	-	-	970
	5	12	6.87	N/A	4,526	47,500	36,606	N/A	-	-	1,300
	5	24	6.86	N/A	4,720	47,246	36,606	N/A	-	-	1,580
2	Influent		3.77	0	3,246	66,183	36,100	28,766	-	-	-
	10	12	4.95	5053	4,273	55,986	28,880	23,733	-	-	400
	7	12	4.89	4806	4,073	51,933	29,893	18,366	-	-	480
	5	12	4.23	1133	4,813	77,773	33,440	33,650	-	-	170
	5	24	4.6	3006	4,793	68,653	29,640	30,716	-	-	250

ตารางภาคผนวกที่ ก-5 (ต่อ)

Time (d)	HRT (d)	CT (h)	Parameter								
			pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
4	Influent		3.76	0	2,980	66,500	38,475	30,667	-	-	-
	10	12	4.87	4,586	4,280	60,293	30,526	28,200	-	-	300
	7	12	4.63	3,960	4,886	56,240	28,500	23,833	-	-	280
	5	12	4.16	773	4,526	73,973	31,285	32,650	-	-	130
	5	24	4.35	2,293	4,980	73,973	29,766	34,266	-	-	200
6	Influent		3.76	0	3,466	73,006	36,660	30,933	-	-	-
	10	12	4.8	4,226	4,580	62,917	33,088	27,016	-	-	330
	7	12	4.46	2,806	5,380	76,954	34,592	27,900	-	-	140
	5	12	4.11	753	4,760	84,976	34,090	30,500	-	-	130
	5	24	4.34	1,660	5,066	83,973	33,840	32,783	-	-	220
8	Influent		3.76	0	3260	75,020	39,370	30,083	-	-	-
	10	12	4.78	4,166	4,413	65,472	31,992	28,466	-	-	110
	7	12	4.41	2,253	4,900	83,328	35,464	35,050	-	-	150
	5	12	4.14	673	4,386	82,336	38,440	37,750	-	-	130
	5	24	4.33	1,660	4,733	86,800	37,200	33,683	-	-	120

ตารางภาคผนวกที่ ก-5 (ต่อ)

Time (d)	HRT (d)	CT (h)	Parameter								
			pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD	Oil & Grease	Gas
10	Influent		3.71	0	3,293	73,320	37,913	29,583	-	1,815	-
	10	12	4.66	2,526	4,593	69,685	29,077	26,816	-	1,146	130
	7	12	4.27	2,403	4,513	88,234	36,096	34,166	-	2,460	90
	5	12	4.06	566	4,160	85,226	36,096	30,650	-	2,046	110
	5	24	4.2	1,503	4,660	85,728	38,853	34,850	-	1,893	200

หมายเหตุ ตารางภาคผนวกที่ ก-5 นำไปสร้างภาพประกอบที่ 3-24 และ 3-25

## ภาคผนวก ข

### วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

#### 1. การวิเคราะห์ซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand: TCOD)

##### โดยวิธี Dichromate Closed Reflux Method

##### หลักการ

โดยส่วนมากสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดส์ ภายใต้สภาวะการรีฟลักซ์ในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นและกรดโครมิกที่มีอุณหภูมิสูง

สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำจะถูกออกซิไดส์โดยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่ทราบความเข้มข้นและมีปริมาตรมากเกินพอที่ทราบจำนวน หลังจากรีฟลักซ์วัดหาปริมาณโพแทสเซียม ไดโครเมตที่เหลือ โดยนำไปไทเทรตกับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณของโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดส์จากสารอินทรีย์ได้

##### อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) Distillation vessel
- 2) Oven
- 3) Vacuum pump
- 4) เครื่องแก้ว ได้แก่ บีกเกอร์, บิวเรต, ปิเปต, กระบอกตวง และขวดวัดปริมาตร

##### สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.100 N

ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 4.903 g ที่อบแห้งอุณหภูมิ 150 ° C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใส่น้ำกลั่น 500 mL ค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 mL เติมเมอร์คิวรีซัลเฟต 33.3 g เจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L

##### การคำนวณ

$$\text{ความเข้มข้นของ } K_2Cr_2O_7 \text{ (N)} = \frac{\text{น้ำหนัก } K_2Cr_2O_7 \text{ ที่ชั่งได้ (g)}}{49.03} \times \frac{99.0}{100}$$

- 2) กรดซัลฟูริกเกรด



เติม  $\text{AgSO}_4$  25.3 g ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.5 L ตั้งทิ้งไว้ 1-2 d เพื่อให้  $\text{AgSO}_4$  ละลาย

3) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.100 N

ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) 39.2 g ในน้ำกลั่น เดิมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 mL แล้วปรับปริมาตรเป็น 1L

นำ FAS ไป Standardize ทุกครั้งที่ใช้งานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.100 N โดยเปิดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.100 N 5 mL ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 10 mL ค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกรีเอเจนต์ ทิ้งให้เย็น เติมเฟอร์ไรต์ 2-3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จนได้สีน้ำตาล

#### การคำนวณ

$$\text{ความเข้มข้นของ FAS (N)} = \frac{\text{ปริมาตร } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ ที่ใช้ (mL)} \times \text{ความเข้มข้นของ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (N)}}{\text{ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)}}$$

4) สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10- ฟีนันโทรีน โมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline Monohydrate) 1.485 g และเฟอร์รัสซัลเฟต 0.695 g ในน้ำกลั่น เจือจางให้ได้ 100 mL

#### วิธีวิเคราะห์

1) เลือกใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่างน้ำ และสารเคมีที่เหมาะสม ตามตารางภาคผนวกที่ ข-1

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม

ขนาดของหลอดย้อย สลาย (mm)	ตัวอย่างน้ำ (mL)	สารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (mL)	กรดซัลฟูริก รีเอเจนต์ (mL)	ปริมาตรทั้งหมด (mL)
16 x 100	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150	10.0	6.0	14.0	30.0

2) ปิเปตตัวอย่างน้ำใส่ในหลอดย่อยสลาย เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลาย คือ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 6 mL

3) ค่อยๆ เท กรดซัลฟูริกเอเจนต์ 14 mL ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น เขย่าเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

4) นำหลอด COD ไปย่อยที่ 150 °C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

5) เปิดฝาจุก เติมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ประมาณ 2-3 หยด เขย่าให้เข้ากัน ไทเทรตด้วย FAS 0.100 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง

#### การคำนวณ

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 14 \times 1000}{V}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (mL)

B = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างน้ำ (mL.)

N = ความเข้มข้นของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (N)

V = ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ (mL)

## 2. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid: SS)

โดยวิธี **gravimetric method** (APHA, AWWA and WEF, 2005)

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. glass filler disks (whatman GF/C หรือ gelman type A ) ซึ่งไม่มีสารอินทรีย์ติดอยู่

2. เครื่องมือสำหรับกรอง

2.1 fillter older ใช้ gooch crucible adapter หรือ menbrane fillter funnel

2.2 ถ้วยกรองความจุ 25 มิลลิลิตร สำหรับ Glass Fillter ขนาด 2.2 เซนติเมตร

3. ขวดดูด (suction flask) ความจุ 500 มิลลิลิตร

4. เครื่องดูดสุญญากาศ

#### วิธีการวิเคราะห์

1) อบกระดาศกรองที่วางในอะลูมิเนียมฟรอย ให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก

- 2) เลือกปริมาณน้ำตัวอย่างที่ได้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร
- 3) วางกระดาษกรองบนกรวยที่ต่อกับเครื่องดูดสูญญากาศ
- 4) ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก แล้วเปิดเครื่องดูดสูญญากาศ เพื่อให้กระดาษกรองติดกับกรวย
- 5) กรองตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้วโดยอาศัยแรงดึงจากเครื่องดูดอากาศ
- 6) ปิดเครื่องดูดสูญญากาศ ใช้คีบคีบกระดาษกรอง แล้วนำไปใส่อะลูมิเนียมฟรอยอันเดิม จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 7) ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

#### การคำนวณ

$$\text{Suspended Solid (mg/l)} = [(A-B) \times 1000] / \text{ml sample}$$

- โดยที่
- |   |   |
|---|---|
| A | = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม) |
| B | = น้ำหนักกระดาษกรองหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม) |

### 3. เอ็มแอลวีเอสเอส (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid : MLVSS)

โดยวิธี gravimetric method (APHA, AWWA and WEF, 2005)

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. จานระเหย
2. เตาอบแห้ง
3. เดสิคเคเตอร์
4. เครื่องชั่งอย่างละเอียด
5. เตาเผาที่อุณหภูมิ  $500 \pm 50$  องศาเซลเซียส

#### วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมจานระเหย โดยนำไปเผาที่  $500 \pm 50$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งหาน้ำหนัก
2. นำจานระเหยที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปหาปริมาณ MLSS
3. นำจานระเหยที่หา MLSS แล้วไปเผาที่  $500 \pm 50$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
4. ปล่อยให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนักสารที่เหลือ

#### การคำนวณ

$$\text{MLVSS (mg)} = \text{ปริมาณ MLVSS (mg)} - \text{ปริมาณของแข็งที่เหลือหลังการเผา (mg)}$$

#### 4. กรดไขมันระเหยง่ายและสภาพต่าง ( Total Alkalinity and Volatile fatty acid Alkalinity)

##### โดยวิธี Titration Method

##### อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่องวัด pH
- 2) บิวเรต ขนาด 25 mL
- 3) เตาไฟฟ้า (Hot plate)
- 4) เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Sterrer)
- 5) บีกเกอร์ ขนาด 100 mL

##### สารเคมี

- 1) สารละลายกรดซัลฟูริก 0.02 N

เติมน้ำในขวดปรับปริมาตรก่อนขวด เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 28 mL จะให้ความเข้มข้น

1 N นำกรดซัลฟูริก 1 N 20 mL เจือจางให้ได้ปริมาตร 1 L

- 2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 g ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 L

##### วิธีวิเคราะห์

- 1) นำตัวอย่างน้ำ 50 mL ที่ผ่านการเหวี่ยง centrifuge รินเฉพาะส่วนใส ตวงใส่บีกเกอร์ใบละ 50 mL
- 2) นำมาไทเทรตด้วยกรดซัลฟูริก 0.02 N จนมีพีเอชเท่ากับ 4.5 บันทึกปริมาตรที่ใช้ แล้วไทเทรตต่อจนพีเอชเท่ากับ 3.0
- 3) นำไปต้มให้เดือด (อย่าให้เหลือปริมาตรน้อย ให้ใกล้เคียงกับปริมาตรเริ่มต้น) ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 4) ไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.02 N จนพีเอชเท่ากับ 4.0 จดปริมาตรเริ่มต้นไทเทรตต่อจนพีเอชเท่ากับ 7 จดปริมาตรสิ้นสุด

##### การคำนวณ

$$\text{Alk. (mg CaCO}_3\text{ /L)} = \frac{\text{ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรต (mL)} \times \text{N} \times 50,000}{\text{V}}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรต (N)

V = ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ (mL)

$$\text{VFA (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{\text{ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (mL) x N x 50,000}{V}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (N)

V = ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ (mL)

## 5. น้ำมัน และไขมัน (Oil and Grease)

โดยวิธี soxhlet extraction method (APHA, AWWA and WEF, 2005)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดสกัดชอกส์เลต
2. เครื่องดูดสุญญากาศ
3. เครื่องอังน้ำ
4. ขวดสกัด (extraction flask)
5. กระดาษกรองเบอร์ 40
6. เอกซ์แทรกชันทิมเบิล (extraction thimble paper)
7. ฝ้ามัสลินตัดเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร
8. Glass beads
9. Electric heating mantle

### สารเคมี

1. conc. HCl
2. ตัวทำละลาย
  - 2.1 เฮกเซน (n-Hexane) จุดเดือด 49 องศาเซลเซียส
  - 2.2 methyl-tert-butyl ether (MTBE) จุดเดือด 55-56 องศาเซลเซียส
3. diatomaceous-silica filter acid suspension , 10 กรัมต่อลิตรของน้ำกลั่น
4. solvent mixture, 80 เปอร์เซ็นต์ n-Hexane / 20 เปอร์เซ็นต์ MTBE (v/v)

### วิธีวิเคราะห์

1. เก็บตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร (หรือปริมาณน้อยกว่า) แล้วปรับ pH ให้น้อยกว่า 2 ด้วย conc.. HCl ในอัตราประมาณ 5 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 ลิตร
2. เตรียมแผ่นกรองดูดซับน้ำมันโดยวางฝ้ามัสลินบนที่กรอง แล้วปูทับด้วย กระดาษกรองเบอร์ 40 ในกรวยบุคเนอร์ แล้วจึงเท diatomaceous-silica filter acid suspension 10 กรัม/ลิตร

จำนวน 100 มิลลิลิตรลงไป ใช้เครื่องดูดสุญญากาศดูดน้ำออกแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 1 ลิตร  
 ควบน้ำออกจนแห้ง

3. กรองตัวอย่างน้ำที่เตรียมจากข้อ 1 ผ่านบนกระดาษกรองดูดซับน้ำมันอยู่ (ข้อ 2 ) ควบน้ำออกจน  
 แห้ง

4. ใช้คีมคีบกระดาษกรอง นำไปใส่ในทิมเบิลใช้สำหรับสกัดไขมัน เช่น ไขมันที่ติดด้วย  
 บุคเนอร์ให้หมด แล้วนำสำลีใส่ในทิมเบิลด้วย

5. นำทิมเบิลไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใส่เม็ดแก้วให้  
 เต็มทิมเบิล

6. ชั่งน้ำหนักขวดที่ใช้สกัด ซึ่งได้ทำให้แห้งและมีน้ำหนักคงที่ (อบแห้งที่อุณหภูมิ 103  
 องศาเซลเซียส)

7. นำทิมเบิลใส่ในชุดชอกเลต ทำการสกัดโดยใช้ เฮกเซนเป็นตัวทำละลายด้วยอัตรา 20  
 รอบ/ชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

8. กลั่นเฮกเซนจากขวดสกัดในเครื่องอังไอน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ออกจนแห้ง  
 (สามารถนำเฮกเซนกลับไปใช้ได้)

9. นำขวดสกัดให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักสมมุติเท่ากับ B กรัม  
 การคำนวณ

$$\text{Oil and Grease (mg/L)} = [(B - A) \times 10^6] \times 280 / \text{ml. sample}$$

## 6. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

โดยวิธี 5-Days BOD test

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Incubation Bottle ขนาด 250-300 มิลลิลิตรพร้อมจุกปิดสนิท
2. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร และขาตั้งบิวเรต
3. กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร
4. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
5. ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส

สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่มีคุณภาพสูง เพื่อใช้สำหรับเตรียมน้ำสำหรับการเจือจาง ควรมีทองแดงน้อยกว่า 0.01 มก./ลิตร และปราศจากคลอรีน คลอรามิน Caustic Alkalinity สารอินทรีย์และกรด

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เตรียมโดยสารละลาย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  8.5 กรัม  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  33.4 กรัม  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  21.75 กรัม และ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้มีค่า pH เท่ากับ 7.2

3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เตรียมโดยละลาย  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  22.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เตรียมโดยละลาย anhydrous  $\text{CaCl}_2$  27.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ เตรียมโดยละลาย  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.25 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. สารละลายกรดและด่าง 1 N เพื่อปรับ pH ให้เป็นกลาง

6.1 กรดเตรียมโดยค่อยๆเติม conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  28 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นพร้อมคน แล้วปรับปริมาตรจนได้ 1 ลิตร

6.2 ด่าง เตรียมโดยละลาย 40 กรัม  $\text{NaOH}$  ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรจนได้ 1 ลิตร

7. สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 N ละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  1.575 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ไม่อยู่ตัวต้องเตรียมในวันที่จะใช้

### วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่จะใช้ 1 ลิตร ใสลงในภาชนะที่สะอาด

1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ เฟอร์ริกคลอไรด์ โดยเติมสารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำสำหรับใช้เจือจาง 1 ลิตร

1.3 เป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์

2.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรด ต้องปรับ pH ให้เป็น 6.5-7.5 ด้วยกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 N หรือด่าง  $\text{NaOH}$  1 N

2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนตกค้าง โลหะหนัก หรือสารที่เป็นพิษชนิดอื่น เจือปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็นพิเศษ

3. วิธีการทำเจือจาง

3.1 เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างมาทำการเจือจางที่คาดว่า จะให้ค่า  $\text{BOD}_5$  อยู่ในช่วงที่กำหนดแล้วเลือกเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าและต่ำกว่า ที่อยู่ติดกันตามตารางผนวก 5 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ค่า  $\text{BOD}_5$  โดยประมาณก่อน

3.2 ค่อยๆรินน้ำ สำหรับการเจือจาง 700-800 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร พยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

3.3 เติมตัวอย่างน้ำตามจำนวนที่ต้องการ แล้วเติมน้ำสำหรับการทำเจือจางจนได้ ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.4 คนให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วเสียบจุกยางไว้ที่ปลาย ชักขึ้นลงเบาๆ โดยระวังอย่าให้ เกิดฟองอากาศ

3.5 ค่อยๆรินตัวอย่างน้ำที่ผสมเข้ากันดีแล้ว ใส่ในขวด BOD ที่แห้งและสะอาด จนเต็ม 3 ขวด ปิดจุกให้สนิท นำไปเก็บในตู้ Incubator ที่ 20 องศาเซลเซียส 2 ขวด ส่วนขวดที่เหลือนำไป หาค่า DO ทันที เพื่อทราบค่า DO ที่จุดเริ่มต้น

3.6 ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2-3.5 สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างที่เจือจางที่ต่ำกว่าและสูงกว่า ตามลำดับ

4. การหาค่า DO ที่จุดเริ่มต้น ( $D_1$ ) โดยใช้วิธี Azide Modification

5. การเพาะเลี้ยง

เพาะเลี้ยงโดยเก็บ 2 ขวด ของแต่ละเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมีอุณหภูมิ  $20 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จึงนำมาหาปริมาณ DO ( $D_2$ )

6. การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง

รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางแต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงในขวด BOD 2 ขวด แล้วเอาขวดหนึ่งเพาะ ที่ 20 องศาเซลเซียส ส่วนอีกขวดหนึ่งนำไปหาค่า DO ทันที ผลต่างของ DO ที่ได้ไม่ควรเกินกว่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร และถ้าจะให้ดีไม่ควรลดเกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร

7. การพิจารณาผลเพื่อคำนวณค่า BOD

ผลที่นำเชื้อถือและจะใช้คำนวณนั้น จะต้องมียุทธวิธี ปริมาณ DO อย่างน้อย 1 มิลลิลิตร/ลิตร และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัม/ลิตร ของตัวอย่างน้ำที่ทำการเจือจางจึงทำ ให้ค่า  $BOD_5$  ที่คำนวณออกมาถูกต้องที่สุด



ตารางภาคผนวกที่ ข-2 ช่วงของค่า BOD<sub>5</sub> และวิธีการเจือจางน้ำ

ช่วงค่า บีโอดี	% น้ำตัวอย่าง
20,000 – 70,000	0.01
10,000 – 35,000	0.02
4,000 – 14,000	0.05
2,000 – 7,000	0.1
1,000 – 3,500	0.2
400 – 1,400	0.5
200 – 700	1.0
100 - 350	2.0
40 – 140	5.0
20 – 70	10.0
10 – 35	20.0
4 – 14	50.0
0 – 7	100

## ภาคผนวก ค

## ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ ค-1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพน้ำทิ้งในพารามิเตอร์ต่างๆของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10, 7 และ 5 วัน เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

Parameter	p-value		
	HRT 10 d	HRT 7 d	HRT 5 d
pH	0.000	0.000	0.018
VFA (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	0.000	0.000	0.001
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	0.000	0.000	0.146*
VFA/Alkalinity	0.000	0.000	0.001
TCOD removal (%)	0.000	0.000	0.000
SCOD removal (%)	0.000	0.000	0.000
Gas production (mL/d)	0.000	0.000	0.000
Methane yield (L <sub>methane</sub> /gTCOD <sub>removed</sub> )	0.000	0.000	0.000

หมายเหตุ คือ \* ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ ค-2 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย pH ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	7.18	
24	7.23	
48		4.51

ตารางภาคผนวกที่ ค-3 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย VFA ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12		461
24		656
48	2466	

ตารางภาคผนวกที่ ค-4 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	5,293	
24	5,260	
48		1,832

ตารางภาคผนวกที่ ค-5 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย VFA/Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12		0.08
24		0.12
48	1.78	

ตารางภาคผนวกที่ ค-6 ผลการจับกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	64.2	
24	59.4	
48		38.9

ตารางภาคผนวกที่ ค-7 ผลการจับกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	82.4	
24	80.1	
48		5.2

ตารางภาคผนวกที่ ค-8 ผลการจับกลุ่มค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05		
	1	2	3
12	5,202		
24		4,802	
48			992

ตารางภาคผนวกที่ ค-9 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Methane yield ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	0.41	
24	0.42	
48		0.12

ตารางภาคผนวกที่ ค-10 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า pH ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	7.08	
24	7.06	
48		4.76

ตารางภาคผนวกที่ ค-11 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า VFA ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05		
	1	2	3
12			813
24		1,017	
48	3,496		

ตารางภาคผนวกที่ ค-12 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	5,024	
24	5,092	
48		3,056

ตารางภาคผนวกที่ ค-13 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า VFA/Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12		0.16
24		0.20
48	1.15	

ตารางภาคผนวกที่ ค-14 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	54.7	
24	54.7	
48		14.8

ตารางภาคผนวกที่ ค-15 ผลการจับกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05		
	1	2	3
12	78.1		
24		65.3	
48			7.0

ตารางภาคผนวกที่ ค-16 ผลการจับกลุ่มค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05		
	1	2	3
12	7,320		
24		5,988	
48			350

ตารางภาคผนวกที่ ค-17 ผลการจับกลุ่มค่าเฉลี่ย Meyhane yield ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 7 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	0.42	
24	0.38	
48		0.02

ตารางภาคผนวกที่ ค-18 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า pH ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสีย ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12		4.75
24	4.78	
48	4.77	4.77

ตารางภาคผนวกที่ ค-19 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า VFA ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05		
	1	2	3
12			3,886
24		4,072	
48	4,376		

ตารางภาคผนวกที่ ค-20 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05
	1
12	3,329
24	3,422
48	3,416



ตารางภาคผนวกที่ ค-21 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยค่า VFA/Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12		1.16
24		1.19
48	1.28	

ตารางภาคผนวกที่ ค-22 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05	
	1	2
12	16.4	
24	14.1	
48		6.7

ตารางภาคผนวกที่ ค-23 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05		
	1	2	3
12	17.0		
24		12.9	
48			4.8

ตารางภาคผนวกที่ ค-24 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05		
	1	2	3
12		1,020	
24	1,548		
48			352

ตารางภาคผนวกที่ ค-25 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Metnane yield ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 5 วัน CT 12, 24 และ 48 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05		
	1	2	3
12		0.099	
24	0.211		
48			0.004

ตารางภาคผนวกที่ ก-26 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพน้ำทิ้งในพารามิเตอร์ต่างๆของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

Parameter	p-value Treatment**
pH	0.000*
VFA (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	0.000*
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	0.000*
VFA/Alkalinity	0.000*
TCOD removal (%)	0.000*
SCOD removal (%)	0.000*
Gas production (mL/d)	0.000*
Methane yield (L <sub>methane</sub> /gTCOD <sub>removed</sub> )	0.000*

หมายเหตุ คือ \* ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\*\* ชุดการทดลองทั้งหมด 8 ชุดการทดลอง ได้แก่

- น้ำเสียผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น HRT 10 d CT 12 h (O-10-12)
- น้ำเสียไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น HRT 10 d CT 12 h (N-10-12)
- น้ำเสียผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น HRT 7 d CT 12 h (O-7-12)
- น้ำเสียไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น HRT 7 d CT 12 h (N-7-12)
- น้ำเสียผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น HRT 5 d CT 12 h (O-5-12)
- น้ำเสียไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น HRT 5 d CT 12 h (N-5-12)
- น้ำเสียผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น HRT 5 d CT 24 h (O-5-24)
- น้ำเสียไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้น HRT 5 d CT 24 h (N-5-24)

ตารางภาคผนวกที่ ค-27 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย pH ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05			
	1	2	3	4
O-10-12	7.18			
N-10-12			6.89	
O-7-12		7.08		
N-7-12			6.87	
O-5-12				4.75
N-5-12			6.84	
O-5-24				4.78
N-5-24			6.87	

ตารางภาคผนวกที่ ค-28 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย VFA ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05					
	1	2	3	4	5	6
O-10-12						461
N-10-12	4,826					
O-7-12					825	
N-7-12	4,674	4,674				
O-5-12				3,886		
N-5-12		4,598				
O-5-24			4,072			
N-5-24	4,762	4,762				

ตารางภาคผนวกที่ ค-29 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05		
	1	2	3
O-10-12		5,293	
N-10-12	15,404		
O-7-12		5,024	
N-7-12	15,437		
O-5-12			3,329
N-5-12	15,401		
O-5-24			3,422
N-5-24	15,653		

ตารางภาคผนวกที่ ค-30 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย VFA/Alkalinity ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05			
	1	2	3	4
O-10-12				0.08
N-10-12		0.31		
O-7-12			0.16	
N-7-12		0.30		
O-5-12	1.16			
N-5-12		0.29		
O-5-24	1.19			
N-5-24		0.30		

ตารางภาคผนวกที่ ค-31 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05			
	1	2	3	4
O-10-12	64.2			
N-10-12			27.9	
O-7-12		54.7		
N-7-12			30.7	
O-5-12				16.4
N-5-12			28.5	
O-5-24				14.2
N-5-24			28.0	

ตารางภาคผนวกที่ ค-32 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05					
	1	2	3	4	5	6
O-10-12	82.4					
N-10-12					10.4	
O-7-12		78.1				
N-7-12				11.6	11.6	
O-5-12			17.1			
N-5-12					9.9	9.9
O-5-24				12.9		
N-5-24						8.3

ตารางภาคผนวกที่ ค-33 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05					
	1	2	3	4	5	6
O-10-12		5,202				
N-10-12						596
O-7-12	7,320					
N-7-12					1,014	
O-5-12					1,020	
N-5-12				1,336		
O-5-24			1,548			
N-5-24			1,588			

ตารางภาคผนวกที่ ค-34 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ย Methane yield ของระบบ ASBR เมื่อเดินระบบด้วยน้ำเสียที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนชั้นที่ HRT 10-12, HRT 7-12, HRT 5-12 และ HRT 5-24 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

CT	Subset for alpha = .05			
	1	2	3	4
O-10-12	0.41			
N-10-12				0.04
O-7-12	0.42			
N-7-12				0.04
O-5-12			0.09	
N-5-12				0.03
O-5-24		0.21		
N-5-24				0.02

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวรัชฎลักษณ์ หลักแหลม	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4910920013	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการ อุตสาหกรรม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2548

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

รัชฎลักษณ์ หลักแหลม และ สุเมธ ไชยประพัทธ์. 2552. “การปรับปรุงการย่อยสลายของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในการบำบัดแบบไร้อากาศด้วยกระบวนการโอโซนชั้น”. ในการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 ระหว่างวันที่ 10 – 11 กันยายน 2552. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.