

ประสิทธิภาพของตัวกลางเปลือกหอยนางรมในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด
ด้วยถังกรองไร้อากาศ

นางสาวเพ็ญศรี ศรีกิตติชัยกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFICIENCY OF OYSTER SHELL MEDIA TO TREAT ACIDIC WASTEWATER IN
ANAEROBIC FILTER TANK**



Miss Pensri Srikittichaikul

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

**Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2009**

Copyright of Chulalongkorn University

เพ็ญศรี ศรีกิตติชัยกุล : ประสิทธิภาพของตัวกลางเปลือกหอยนางรมในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดด้วยถังกรองไร้อากาศ (EFFICIENCY OF OYSTER SHELL MEDIA TO TREAT ACIDIC WASTEWATER IN ANAEROBIC FILTER TANK.) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์, 156 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดด้วยถังกรองไร้อากาศ โดยใช้เปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งเป็นตัวกลางในถังกรองไร้อากาศและปรับพีเอชของน้ำเสียให้เหมาะสมต่อการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเดินระบบบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นและเป็นแบบต่อเนื่อง ทำการทดลองเพื่อหาตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย โดยศึกษาการปรับพีเอชน้ำเสียระหว่างเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เวลา 1 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ในขั้นตอนแรกเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาสามารถปรับพีเอชได้ดีกว่า จึงได้เลือกใช้เปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาเป็นตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสีย และขั้นตอนสุดท้ายของการศึกษาเป็นการเดินระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้เปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตรตามลำดับ และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย คือ 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียทุกชุดการทดลอง ผลการทดลองพบว่า ปริมาณเปลือกหอยนางรมและระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดด้วยถังกรองไร้อากาศ คือ ร้อยละ 20 โดยปริมาตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถปรับพีเอชน้ำเสียจาก 3.3 เป็น 6.95 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยสูงถึงร้อยละ 95, 95 และ 97 ตามลำดับ

ภาควิชา ...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม... ถายมือชื่อนิติศเพ็ญศรี ศรีกิตติชัยกุล.....
สาขาวิชา ...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม... ถายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักธ.ค.....
ปีการศึกษา.....2552.....

##5070595021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : ANAEROBIC, ANAEROBIC FILTER TANK, ACIDIC WASTEWATER,
OYSTER SHELL, PACKING MEDIA

PENSRI SRIKITTICHAIKUL : EFFICIENCY OF OYSTER SHELL MEDIA TO
TREAT ACIDIC WASTEWATER IN ANAEROBIC FILTER TANK.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF THARES SRISATIT, Ph.D., 156 pp.

The objective of this research was to study the acidic wastewater treatment efficiency by anaerobic filter tank using oyster shell waste as packing media and pH adjustment the experimental reactor was operated by continuous up-flow anaerobic filter tank. In the first experiment was conducted to find the optimum oyster shell for wastewater treatment operation by studying the ability of oyster shell which was inactivated and activated at temperature 700, 800 and 900 °C for 1 and 2 hours, respectively for pH adjustment of wastewater. The results revealed that the inactivated oyster shell could adjust pH better than activated oyster shell. Thus, inactivated oyster shell was selected for being packing media in wastewater treatment system. Finally, the wastewater treatment system operation studies were performed by using inactivated oyster shell 0, 5, 10, 15 and 20 % by volume and the hydraulic retention times were 12, 18 and 24 hours, respectively. From the wastewater treatment efficiencies in every experiments, the results showed that the optimum oyster shell amount and hydraulic retention time for the acidic wastewater treatment by anaerobic filter tank was 20% by volume and hydraulic retention time was 24 hours which the maximum pH in reactor could be adjusted form 3.3 to 6.95 and the maximum efficiency removal for chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD) and suspended solid (SS) up to 95, 95 and 97% respectively.

Department :Environmental Engineering..... Student's Signature : Pensri Srikittichaiikul

Field of Study : ...Environmental Engineering.... Advisor's Signature : T. Srisatit

Academic Year :2009.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้แนวทางและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขาวงกตเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พุทธวงษ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติม และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์เพื่อใช้ในการงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการกำจัดมูลฝอย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณบริษัท ศรีไทย ฟู้ดเซอร์วิส จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เรื่องน้ำเสียในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือ แนะนำต่างๆ เกี่ยวกับการทำงานวิจัย และขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการดำเนินเรื่องเกี่ยวกับงานวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและคุณป้า ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา จนสามารถประสบความสำเร็จด้วยดี ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ณ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	4
2.1.1 แบบที่เรียที่สำคัญในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	4
2.1.2 ปฏิชีวนเคมีในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	5
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	9
2.2 ถังกรองไร้อากาศ	15
2.2.1 ข้อมูลทั่วไป	15
2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของถังกรองไร้อากาศ	16
2.2.3 ลักษณะการทำงานของถังกรองไร้อากาศ	17
2.2.4 รูปแบบของถังกรองไร้อากาศ	17
2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศ	19
2.2.6 ความด้อยเสถียรภาพของปฏิบัติการไร้ออกซิเจน	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 หอยนางรม	24
2.3.1 ชนิดของหอยนางรม	24
2.3.2 ประโยชน์ของหอยนางรม	25
2.3.3 ลักษณะของหอยนางรม	25
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	31
3.1 แผนการวิจัย	31
3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา	33
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	33
3.4 การศึกษาชนิดของตัวกลางเปลือกหอยนางรมเพื่อใช้เป็นตัวกลาง ในถังกรองไร้อากาศ	35
3.4.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผา	35
3.4.2 การเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม	35
3.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ระหว่างตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม	36
3.5 การเตรียมการทดลอง	36
3.5.1 การเตรียมตัวกลาง	36
3.5.2 การบรรจุตัวกลางลงในถังกรองไร้อากาศ	37
3.5.3 การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสีย	37
3.6 การศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศ	39
3.7 การศึกษาพื้นที่ผิวและลักษณะพื้นผิวของตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ใช้ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 สรุปแผนการวิจัย	40
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง	41
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียโรงงานซอสปรุงรส	41
4.2 ผลการศึกษาชนิดของตัวกลางเปลือกหอยนางรมเพื่อใช้เป็นตัวกลาง ในถังกรองไร้อากาศ	42
4.2.1 ผลการศึกษาของค่าประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผา ...	42
4.2.2 การเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม	42
4.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ระหว่างตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและตัวกลางเปลือกหอยนางรม ที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม	44
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศ	47
4.3.1 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร	47
4.3.2 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร	53
4.3.3 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10 โดยปริมาตร	59
4.3.4 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร	65
4.3.5 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร	72
4.4 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของเปลือกหอยนางรม	79
4.4.1 ผลการศึกษาพื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรรูพรุนของตัวกลางเปลือกหอยนางรม	79
4.4.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของตัวกลางเปลือกหอยนางรม	80
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	83
5.1 สรุปผลการวิจัย	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง	85
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก. การคำนวณที่ใช้ในการวิจัย	88
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ...	92
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองเพื่อเลือกตัวกลางเปลือกหอยนางรม	100
ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์หน้าเสี่ยทุกชุดการทดลอง	106
ภาคผนวก จ. ภาพประกอบการทดลอง	153
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	156



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของอ็อกซิเจนที่ผลิตต่อการทำงานของแบคทีเรีย ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน	11
ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ($\text{NH}_3 - \text{N}$) ที่มีผลต่อแบคทีเรีย ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน	13
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	15
ตารางที่ 2.4 ค่าโออาร์พี (ORP) ของปฏิกิริยาประเภทต่างๆ	23
ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีที่พบในเปลือกหอยนางรม	26
ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง	32
ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์ของพารามิเตอร์ต่างๆ	33
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดในการเก็บวิเคราะห์น้ำในแต่ละพารามิเตอร์ต่างๆ	39
ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียโรงงานซอสปรุงรสที่ใช้ในงานวิจัย	41
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรรูพรุนของตัวกลางเปลือกหอยนางรม	80
ตารางที่ ค-1 ผลการเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสม.....	101
ตารางที่ ค-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียระหว่างเปลือกหอย นางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม	104
ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง	107
ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง	130

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของระบบปฏิกิริยาเคมีในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	6
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการย่อยสลายของแบคทีเรียพวกสร้างกรด	8
รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการย่อยสลายของแบคทีเรียพวกสร้างมีเทน	8
รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการทำลายพิษของโลหะหนัก (Heavy Metals) โดยซัลไฟด์ (S ²⁻) ในสภาวะที่ไร้อากาศ	12
รูปที่ 2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศแบบจุลินทรีย์ยึดเกาะติดอยู่กับตัวกลาง (ก) ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (ข) ถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง	18
รูปที่ 2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศชนิด UASB Reactor	18
รูปที่ 2.7 ตัวกลางหिनกรวดที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศ	20
รูปที่ 2.8 ตัวกลางกรองชนิดโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ลักษณะต่างๆที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศ	20
รูปที่ 2.9 ลักษณะของหอยนางรม	25
รูปที่ 3.1 ลักษณะถังกรองไร้อากาศที่ใช้ในงานวิจัย	34
รูปที่ 3.2 เปลือกหอยนางรมที่ใช้ในงานวิจัย	34
รูปที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	38
รูปที่ 3.3 แผนผังการวิจัย	40
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียกับเวลา ที่จำนวน 0.001 โมล ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่เผาและที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	43
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียกับเวลา ที่จำนวน 0.010 โมล ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่เผาและที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	43
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช (pH) ของน้ำเสียกับเวลาของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณต่างๆในการเติมน้ำเสียรอบที่ 1	45
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช (pH) ของน้ำเสียกับเวลาของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณต่างๆ ในการเติมน้ำเสียรอบที่ 2	45
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช (pH) ของน้ำเสียกับเวลาของเปลือกหอยนางรมที่ไม่เผา ซึ่งมีปริมาณต่างๆ ในการเติมน้ำเสียรอบที่ 1	46

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช (pH) ของน้ำเสียน้ำกับเวลาของเปลือกหอยนางรมที่ไม่เผา ซึ่งมีปริมาณต่างๆ ในการเติมน้ำเสียน้ำรอบที่ 247

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน.....48

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน49

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน50

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน51

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน52

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพความเป็นด่างไปคาร์บอนตกับระยะเวลาต่างๆ ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน53

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน54

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน55

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน56

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน57

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน58

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต่างไปคาร์บอเนต (HCO_3^-) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณ เปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน	59
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอย นางรมร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน.....	60
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมใน ระบบบำบัดร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	61
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมใน ระบบบำบัดร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	62
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือก หอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	63
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณ เปลือกหอยนางรมร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน	64
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต่างไปคาร์บอเนต (HCO_3^-) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณ เปลือกหอยนางรมร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน	65
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอย นางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	66
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมใน ระบบบำบัดร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	67
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมใน ระบบบำบัดร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	68
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือก หอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	69
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณ เปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน	70

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต่างไปคาร์บอเนต (HCO_3^-) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณ เปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน	71
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอย นางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	72
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่ปรับได้สูงสุด ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอย นางรมในระบบบำบัดและระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	73
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมใน ระบบบำบัดร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	74
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมใน ระบบบำบัดร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	75
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีที่สูงสุดกับปริมาณเปลือกหอย นางรม ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆ กัน	76
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือก หอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน	77
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณ เปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน	78
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต่างไปคาร์บอเนต (HCO_3^-) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณ เปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน	79
รูปที่ 4.39 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกหอยนางรมก่อนใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียที่กำลังขยาย 5,000 เท่า	81
รูปที่ 4.40 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกหอยนางรมหลังใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียปริมาณ ร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า	81
รูปที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา	93
รูปที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง	94

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข-3 ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง	95
รูปที่ ข-4 ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง	96
รูปที่ ข-5 ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง	97
รูปที่ ข-6 ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง	98
รูปที่ ข-7 ผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง	99
รูปที่ จ-1 การทดลองในการเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม	154
รูปที่ จ-2 การทดลองในการศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็น กรด ระหว่างตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม	154
รูปที่ จ-3 ลักษณะของเปลือกหอยนางรมก่อนนำมาใช้ในระบบบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศ	155
รูปที่ จ-4 ลักษณะของเปลือกหอยนางรมหลังใช้ในระบบบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศ	155

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการขยายตัวอย่างมาก ก่อให้เกิดปัญหาหามลพิษต่างๆ มากมาย เช่น ปัญหาหามลพิษทางอากาศ ทางดิน และที่สำคัญปัญหาหามลพิษทางน้ำ ซึ่งโรงงานต่างๆ ได้หาวิธีที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้น ระบบบำบัดมลพิษทางน้ำส่วนใหญ่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีทั้งระบบเติมอากาศ (Aerobic) และระบบไร้อากาศ (Anaerobic)

น้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีฤทธิ์เป็นกรด เป็นน้ำเสียที่ไม่เหมาะในการบำบัดโดยใช้ระบบไร้อากาศ เนื่องจากระบบไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะเป็นกลาง เพราะฉะนั้นน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดต้องใช้ในการบำบัดแบบระบบเติมอากาศในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายในด้านการเติมอากาศเป็นอย่างมาก

ในการบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้อากาศ ซึ่งเหมาะกับบริเวณที่ต้องจำกัดพื้นที่ และระบบบำบัดนี้ต้องมีตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ ตัวกลางที่นิยมใช้ส่วนมาก คือ หิน พลาสติก และวัสดุโปร่งอื่นๆ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด โดยระบบถังกรองไร้อากาศนั้นจำเป็นต้องมีการปรับพีเอช (pH) ให้มีลักษณะเป็นกลางโดยอาจเติมสารเคมี ซึ่งจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมี ในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดโดยใช้ถังกรองไร้อากาศนั้น ตัวกลางจะมีหน้าที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะเท่านั้น ไม่ได้มีหน้าที่ในการปรับพีเอช (pH) ของน้ำเสีย ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาตัวกลางที่ใช้ในระบบถังกรองไร้อากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งตัวกลางดังกล่าวต้องสามารถทำหน้าที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและสามารถปรับพีเอช (pH) ของน้ำเสียให้เป็นกลางได้ด้วย ซึ่งจะช่วยในการประหยัดพลังงานในระบบเติมอากาศและประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีเพื่อใช้ปรับพีเอช (pH) ในระบบไร้อากาศ

เปลือกหอยนางรมที่เหลือทิ้งจากการบริโภคมีอยู่อย่างมากมาย ปัจจุบันได้มีการนำเปลือกหอยไปใช้ในระบบกรองในตู้ปลาทะเล เนื่องจากสมบัติของเปลือกหอยนางรมเป็นหินปูน (CaCO_3) ส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถปรับพีเอช (pH) ของน้ำได้ ดังนั้นน่าจะสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดได้ โดยใช้เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและสามารถปรับพีเอช (pH) ของน้ำให้เหมาะสมในการบำบัดได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เปลือกหอยนางรมมาใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็น

กรดแบบระบบถังกรองไร้อากาศ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งและช่วยลดปัญหาขยะที่จะเกิดขึ้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยใช้เปลือกหอยนางรมเป็นตัวกลาง

1.2.2 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของเปลือกหอยนางรมที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อปริมาณของน้ำเสียที่จะบำบัด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3.2 เปลือกหอยนางรมเหลือทิ้ง นำมาจากจังหวัดชลบุรี

1.3.3 น้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่ใช้ในการบำบัดใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำจิ้มหรือซอสปรุงรสของบริษัท ศรีไทยฟู๊ด เซอร์วิส จำกัด

1.3.4 ใช้เชื้อจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ ซึ่งนำมาจากบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน)

1.3.5 เติมน้ำในระบบบำบัดแบบต่อเนื่อง โดยใช้แบบจำลองถังกรองไร้อากาศขนาดนาร่อง โดยใช้เปลือกหอยนางรมเป็นตัวกลาง

1.3.6 ถังกรองไร้อากาศบรรจุตัวกลางเปลือกหอยนางรมในปริมาณร้อยละ โดยปริมาตร 0, 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ

1.3.7 ทำการศึกษาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ต่างกันคือ 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ

1.3.8 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยวิเคราะห์น้ำเสียก่อนเข้าและออกจากระบบด้วยถังกรองไร้อากาศ โดยวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ พีเอช (pH) โออาร์พี (ORP) ซีโอดี (COD) บีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) และสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในการนำของเสียเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่และเพิ่มคุณค่าแก่ของเสีย

1.4.2 สามารถผลิตตัวกลางจากเปลือกหอยนางรม ที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีฤทธิ์เป็นกรดแบบระบบไร้อากาศได้เพื่อลดขั้นตอนในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสีย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

2.1.1 แบคทีเรียที่สำคัญในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

2.1.1.1 แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน แบคทีเรียนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนเลย (Obligate anaerobic) กับพวกที่ใช้ออกซิเจนได้บ้าง (Facultative anaerobic) ความสำคัญของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ สามารถสร้างกรดไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ และเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียที่สร้างกรดแบบธรรมดาและแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

2.1.1.2 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน เป็นแบคทีเรียที่มีการเติบโตช้า และมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก แบคทีเรียที่สร้างมีเทนนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. ชนิดแรกสร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยนำคาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงานจากไฮโดรเจน หลายชนิดใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารอาหารอย่างเดียว เพราะว่าแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ดังสมการ (2.1)

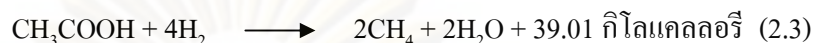


แบคทีเรียนี้จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช (pH) มาก ช่วงพีเอช (pH) ที่เหมาะสมต่อการเติบโตคือ 6.7-7.4 (McCarty, 1964) ซึ่งแบคทีเรียจะสร้างมีเทน ดังสมการ (2.2)

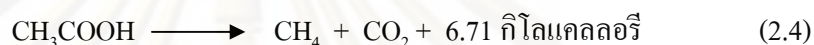


เราจะเรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่า Hydrogenotrophic methanogen

ข. ชนิดที่สองสร้างมีเทนจากกรดอะซิติก โดยใช้อะซิเตตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งจะให้พลังงานเพียงพอสำหรับการดำรงชีพ โดยการสร้างมีเทนจะเป็นดังสมการ (2.3)



นอกจากการสร้างมีเทนจากการออกซิเดชันไฮโดรเจน มีเทนส่วนใหญ่สร้างจากการแตกตัวของอะซิเตต ดังสมการ (2.4)

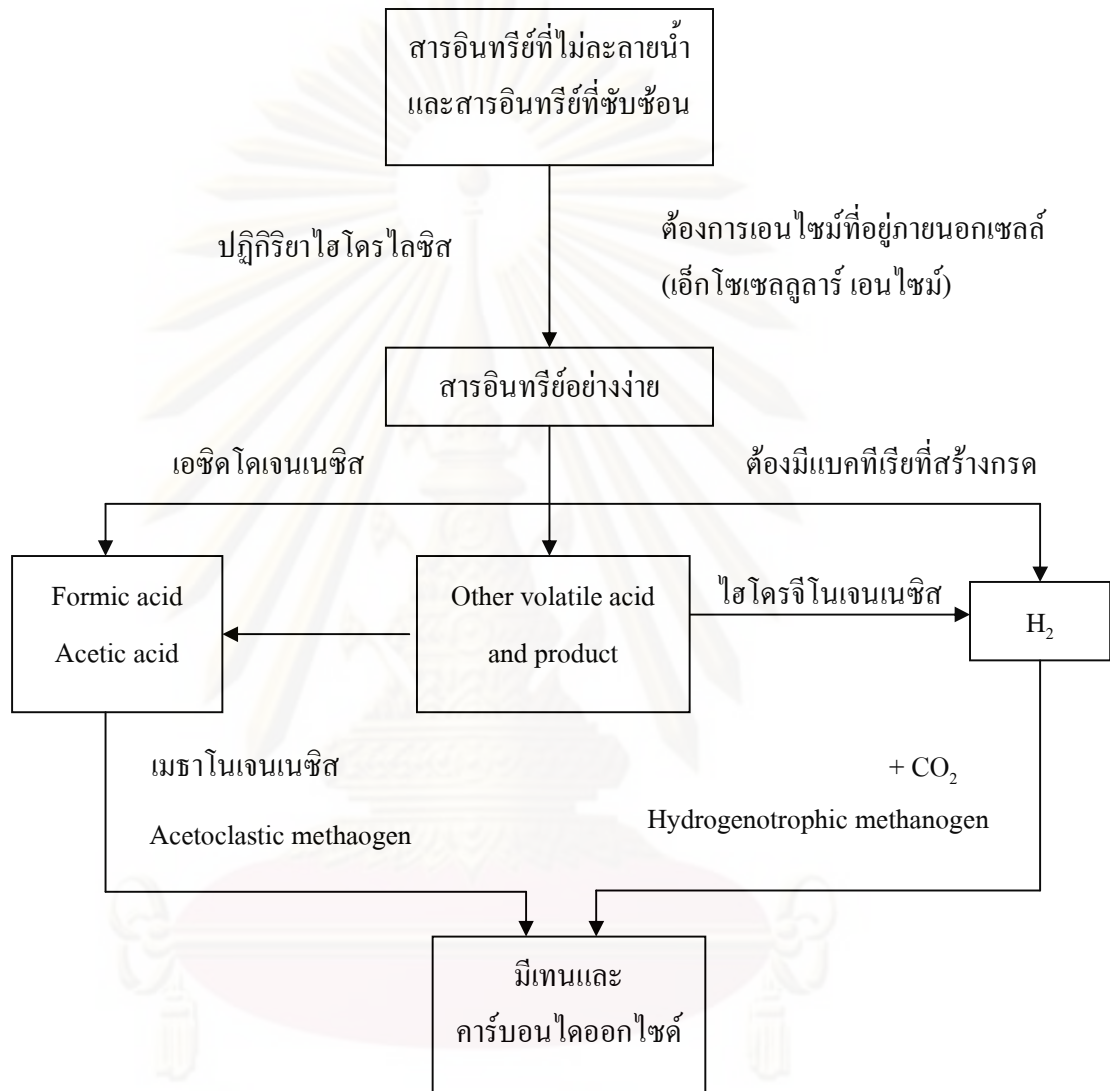


จะเห็นได้ว่าแบบนี้จะให้พลังงานน้อยกว่าแบบที่ออกซิเดชันไฮโดรเจน ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มี การชี้ชัดว่าส่วนไหนสำคัญกว่ากัน แต่สรุปได้ว่ากลไกในการสร้างมีเทนจะมีอะซิเตตเป็นตัวที่สำคัญที่สุด แบบที่เรียที่สร้างมีเทนเราเรียกว่า Acetoclastic methanogen

2.1.2 ปฏิชีวนะในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

ปฏิชีวนะที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ มีแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกันหลายกลุ่ม และมีความสัมพันธ์กันซับซ้อน กระบวนการทำงานของแบคทีเรียเหล่านี้สามารถอธิบายปฏิชีวนะที่เกิดขึ้นหลายปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของระบบปฏิชีวนะเคมีในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (มันติน, 2536)

ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้อากาศ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

2.1.2.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นการย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยการปล่อยเอนไซม์ของแบคทีเรียในการย่อยสาร ในขั้นตอนนี้ยังไม่มีการลดค่าซีโอดี แต่เป็นการย่อยสารโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง

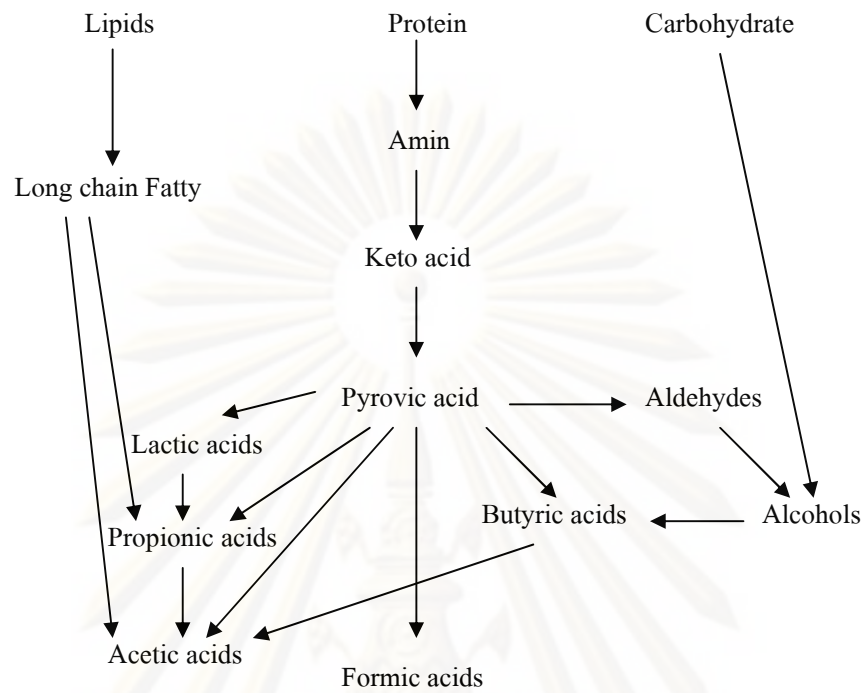
2.1.2.2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) ผลจากปฏิกิริยาแรกจะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะเซติก กรดโฟสโฟอีนิก กรดบิวไทริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว ดังรูปที่ 2.2

2.1.2.3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis) กรดไขมันระเหยที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) จะถูกแบคทีเรียอะซิโตจีนิก (Acetogenic) เปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำเท่านั้น

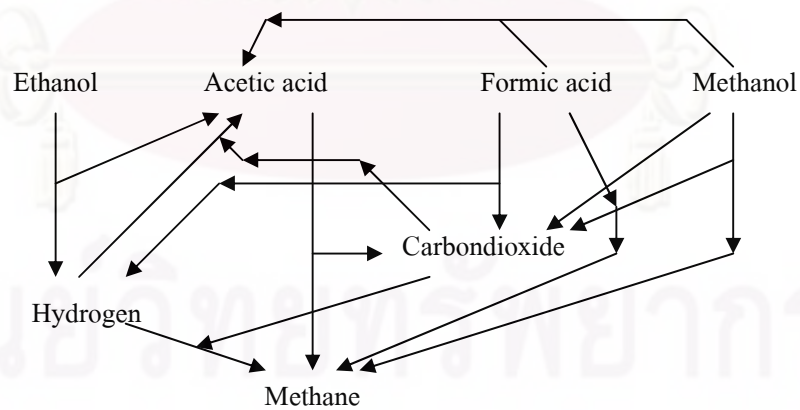
2.1.2.4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) จากกรดอะซิติก ไฮโดรเจน กรดฟอร์มิก และคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรด จะถูกใช้โดยแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งเพื่อสร้างมีเทน แบคทีเรียประเภทนี้เรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน กระบวนการสร้างมีเทน กรดอะซิติก และไฮโดรเจน จะถูกแบคทีเรียใช้สร้างมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สารตั้งต้นอื่นผลิตมีเทนได้ เช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก เป็นต้น ดังรูปที่ 2.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการย่อยสลายของแบคทีเรียพวกสร้างกรด
(ปิยะ, 2544 อ้างถึงโดย Henzen และ Harremoes, 1983)



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการย่อยสลายของแบคทีเรียพวกสร้างมีเทน
(ปิยะ, 2544 อ้างถึงโดย Henzen และ Harremoes, 1983)

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2.1.3.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ของแบคทีเรีย เพราะอุณหภูมิจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งจะทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโต ถ้าหากเอนไซม์ถูกทำลายจะทำให้เซลล์ของแบคทีเรียตายในที่สุด โดยขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงหนึ่ง จะมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น แบคทีเรียต่างชนิดกันจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างกัน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย จะมีผลทำให้มีการปรับตัว ซึ่งจะใช้เวลาาน ปฏิกริยาแบบไร้อากาศจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 2 ช่วง คือ 30-35 องศาเซลเซียส (Mesophilic rang) และช่วง 47-55 องศาเซลเซียส (Thermophilic rang) เมื่ออุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่าช่วงนี้แบคทีเรียจะทำงานได้ไม่ดี ประสิทธิภาพของระบบจะลดต่ำลง (มันสิน, 2536) ในต่างประเทศที่อยู่ในเขตนานจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำทิ้ง แต่สำหรับประเทศไทยนั้น ระบบบำบัดจะทำงานอยู่ในช่วง Mesophilic ได้เอง โดยไม่ต้องใช้ความร้อนช่วย และเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนสูงมาก จึงไม่นิยมออกแบบระบบบำบัดให้อยู่ในช่วง Thermophilic

อุณหภูมิมิผลต่อการผลิตก๊าซของแบคทีเรียอย่างมาก การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิเพียง 2-3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนอย่างมาก (Kotze และคณะ, 1969) ดังนั้นในการออกแบบระบบควรมีการป้องกันไม่ให้อุณหภูมิจนของระบบเปลี่ยนแปลงมากกว่า 1 องศาเซลเซียส/วัน (Henzen และ Harremoes, 1983; Stronach และคณะ, 1986)

2.1.3.2 พีเอช (pH)

นับว่ามีความสำคัญสำหรับการทำงานของถังกรองไร้อากาศ เพราะแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน มีความรู้สึกไวต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช (pH) มาก ค่าที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนมีค่าพีเอช (pH) ระหว่าง 6.7-7.4 (McCarty, 1964) โดยทั่วไปพีเอช (pH) ที่เหมาะสมอยู่ประมาณความเป็นกลาง

2.1.3.3 อายุตะกอนและระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (SRT and HRT)

อายุตะกอน (SRT) ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องกรองไร้อากาศไม่ควรต่ำกว่า 100 วัน ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีอัตราการเจริญเติบโตช้า ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ของเครื่องกรองก็เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการทำงานของระบบ ถ้าระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) มีค่ามาก จะผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูง

การลดค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ของเครื่องกรองจะทำให้แบคทีเรียมีระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียได้น้อยลง ซึ่งอาจมีผลดี คือ ทำให้ลดขนาดเครื่องกรองลงได้ แต่ถ้าหากเครื่องกรองทำงานในสถานะที่มีค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ต่ำเกินไป ก็จะมีผลให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้มาก ซึ่งมีผลให้ค่าอายุตะกอน (SRT) ลดลง และทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลงด้วย

2.1.3.4 สภาพความเป็นกรดและสภาพความเป็นด่าง (Acidity and Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างทั้งหมดจะมีความสำคัญน้อยกว่าสภาพด่างไบคาร์บอเนต เพราะในระบบไร้อากาศ สภาพด่างทั้งหมดจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ส่วนสภาพด่างไบคาร์บอเนตจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เมื่อมีกรดอินทรีย์ระเหยเกิดขึ้นในระบบ

ปัจจัยที่สำคัญกว่าสภาพความเป็นด่าง คือ อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดโวลลาไทล์ต่อระดับสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต ($VFA : HCO_3^-$) ทราบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดโวลลาไทล์น้อยกว่า 0.4 ระบบจะมีบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในขั้นที่ ฟือซ (pH) จะลดลงอย่างรวดเร็วถ้ากรดโวลลาไทล์มีการเพิ่มเพียงเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้ระหว่างการควบคุมจึงจำเป็นต้องตรวจอัตราส่วนนี้กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของมัน

2.1.3.5 ความเป็นพิษ (Toxic Materials)

น้ำทิ้งที่จะนำมาบำบัดโดยทางชีวภาพแบบไร้อากาศ จะต้องไม่มีสารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์หรือนินทรีย์ โดยบางชนิดจะเป็นพิษโดยตรง (Toxic) และบางชนิดจะยับยั้ง (Inhibited) การทำงานของแบคทีเรีย ซึ่งความรุนแรงของพิษหรือการยับยั้งนั้นจะเป็นปฏิกิริยา

โดยตรงกับความเข้มข้นของสารนั้นๆ (McCarty, 1964) แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีสารเหล่านี้อยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ก็อาจกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ สารที่เป็นพิษหรือยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพแบบไร้อากาศ แบ่งได้เป็น 5 ประเภท คือ

ก. กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile acids) เมื่อมีกรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มสูงขึ้นในระบบ จะทำให้พีเอช (pH) ลดลง จนเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ต้องมีการควบคุมการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นกรดโวลาทิลล์ ด้วยการเปลี่ยนกรดโวลาทิลล์เป็นก๊าซมีเทนให้สมดุลกัน โดยทั่วไประบบไร้อากาศควรมีปริมาณกรดโวลาทิลล์ประมาณ 50 - 500 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก (มันสิน, 2536)

การแก้พิษของกรดอินทรีย์ระเหยทำได้โดยการลดปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหย โดยการเติมสารปรับสภาพ (Buffer) เช่น NaHCO_3 และการใช้ระยะเวลาการเก็บกักน้ำ (HRT) อยู่ในระบบบำบัดนานๆ

ข. เกลือของสารอนินทรีย์ (Inorganic Salts) เกลือของสารอนินทรีย์ เช่น พวกธาตุอัลคาไล (Alkali) และอัลคาไลเอิร์ท (Alkali Earth) ได้แก่ โซเดียม, โพแทสเซียม, แคลเซียม และแมกนีเซียม เกลือของสารอนินทรีย์เหล่านี้จะแตกตัวให้อิออนประจุบวก (Cation) ที่เป็นพิษมากกว่าอิออนประจุลบ (Anion) โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของอิออนประจุบวกด้วยว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด (McCarty และ McKinney, 1961; Kugelman และ McCarty, 1965) แสดงดังตารางที่ 2.1

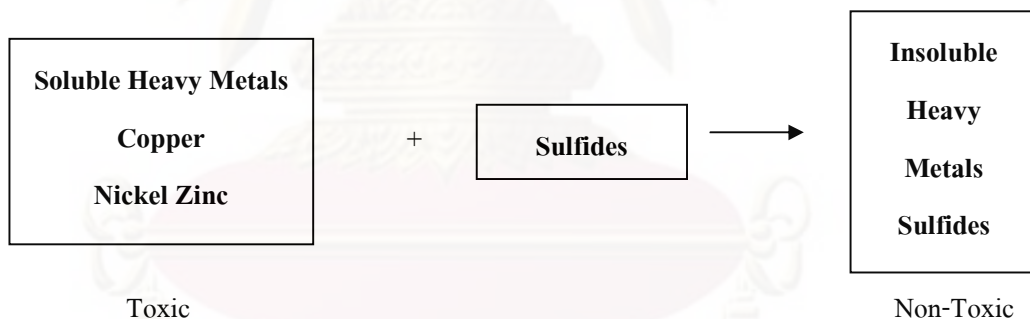
ตารางที่ 2.1 ปริมาณของอิออนประจุบวกที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดไร้อากาศ (ปียะ, 2544 อ้างถึงโดย McCarty, 1964)

ชนิดอิออนบวก	กระตุ้น (มก./ล.)	ยับยั้งปานกลาง (มก./ล.)	ยับยั้งมาก (มก./ล.)
โซเดียม	100-200	3,500-5,500	8,000
โพแทสเซียม	200-400	2,500-4,500	12,000
แคลเซียม	100-200	2,500-4,500	8,000
แมกนีเซียม	75-150	1,000-1,500	3,000

ไอออนประจุบวกแต่ละชนิดจะมีความรุนแรงไม่เท่ากัน โดยไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์ (Valency) ต่ำจะมีความเป็นพิษน้อยกว่าไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์สูงกว่า ซึ่งพิษของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะมากกว่าพิษของ Na^+ และ K^+ ถึง 10 เท่า

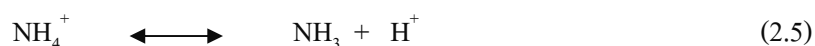
เราสามารถลดความเป็นพิษของไอออนประจุบวกได้โดยการทำให้ "Antagonism" (McCarty, 1964) กล่าวคือเมื่อมีไอออนประจุบวกซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดไร้อากาศอยู่ชนิดหนึ่ง เราสามารถลดความเป็นพิษของไอออนประจุบวกชนิดนั้นลงได้ โดยเติมไอออนประจุบวกอีกชนิดลงไป เช่น พิษของ Na^+ เข้มข้น 3,500 มก./ล. สามารถทำให้มันหมดไปได้ถ้ามี Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่มีความเข้มข้น 50-1,000 มก./ล. (McCarty และ McKinney, 1961) แต่ในทางตรงกันข้ามไอออนประจุบวกบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของไอออนบวกอีกชนิดหนึ่งได้ ซึ่งเรียกว่า "Synergism"

ค. โลหะหนัก (Heavy Metals) ได้แก่ แมงกานีส, สังกะสี, แคดเมียม, นิกเกิล, โคบอลต์, ทองแดงและโครเมียม ส่วนที่เป็นพิษคือส่วนที่ละลายน้ำเท่านั้น ความเข้มข้นละลายของโลหะหนักสามารถลดลงจนไม่เป็นพิษโดยการตกผลึกด้วยซัลไฟด์ (McCarty, 1964) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการทำลายพิษของโลหะหนัก (Heavy Metals) โดยซัลไฟด์ (S^{2-}) ในสภาวะที่ไร้อากาศ (ปิยะ, 2544 อ้างถึงโดย McCarty, 1964)

ง. แอมโมเนีย (Ammonia) แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพแบบไร้อากาศ มาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน (N) รวมอยู่ คือ โปรตีนหรือยูเรีย (Urea) ซึ่งไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยสารทั้งสองตัวนี้สามารถเปลี่ยนรูปไปมาได้ซึ่งขึ้นอยู่กับพีเอช (pH) ดังสมการ (2.5)



ถ้าพีเอช (pH) ต่ำกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางซ้าย แต่ถ้าพีเอช (pH) สูงกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวา ซึ่ง NH_3 จะยับยั้งการทำงานและเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่า NH_4^+ (McCarty, 1964) ขนาดความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน ($\text{NH}_3 - \text{N}$) ที่มีผลต่อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจน แสดงดังตารางที่ 2.2

การลดพิษของแอมโมเนียในโตรเจนทำได้การเจือจาง (Dilution) น้ำทิ้ง หรือทำการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ($\text{NH}_3 - \text{N}$) ที่มีผลต่อแบคทีเรียชนิดไร้อากาศ (ปิยะ, 2544 อ้างถึงโดย McCarty, 1964)

ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มก./ล.)	ผลกระทบต่อแบคทีเรียชนิดไร้อากาศ
50-100	มีประโยชน์
200-1,000	ไม่มีผลกระทบ
1,500-3,000	ยับยั้งการทำงานที่พีเอช (pH) สูง
มากกว่า 3,000	เป็นพิษ

จ. ซัลไฟด์ (Sulfide) พิษของซัลไฟด์ต่อแบคทีเรียดังนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณซัลไฟด์มาก หรือเกิดจากการย่อยสลายซัลเฟต (SO_4^{2-}) หรือโปรตีนในน้ำทิ้ง ซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพแบบไร้อากาศ มีทั้งที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่รวมอยู่ ถ้ารวมกับพวกโลหะหนักก็จะตกตะกอน ส่วนที่เหลือละลายน้ำอยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และสามารถเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริกได้ ความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายน้ำที่แบคทีเรียสามารถทนได้อยู่ระหว่าง 50-100 มก./ล. และเกิดความเป็นพิษขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 200 มก./ล. (McCarty, 1964) ซึ่งเราสามารถลดความเป็นพิษของซัลไฟด์ลงได้โดยการทำให้ซัลไฟด์ตกตะกอน ทำการเจือจางน้ำทิ้งหรือการแยกซัลไฟด์ออกจากน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

2.1.3.6 สารอินทรีย์ (Organic mater)

สารอินทรีย์บางชนิดสามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียชนิดไร้อากาศ ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohol) และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long Chain Fatty Acid) เช่น แอลกอฮอล์พวก เมทานอล (Methanol) และสามารถทำลายพิษสารอินทรีย์เหล่านี้ได้โดยการป้อนน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบบำบัดอย่างต่อเนื่อง (Continuous feed) เพื่อให้แบคทีเรียมีความคุ้นเคยและปรับตัวได้ แม้ว่าจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษสูง 10,000 มก./ล. ก็ตาม (McCarty, 1964) หรืออาจแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

2.1.3.7 ศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน (Oxidation-Reduction Potential)

ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปสู่อีกสารหนึ่ง เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Reaction) หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) ซึ่งเกิดจากผลรวมของปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน

ความแตกต่างด้านความสามารถให้หรือรับอิเล็กตรอนระหว่างปฏิกิริยาทั้งสอง อาจวัดได้ด้วยค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โปเทนเชียล หรือเรียกสั้นๆ ว่า โออาร์พี (ORP) ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในน้ำส่วนใหญ่มักเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยที่สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียมักเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ ซึ่งในระบบแบบไร้ออกซิเจนจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือกรดอะซิติกเป็นตัวรับอิเล็กตรอน แต่ถ้าค่าโออาร์พี (ORP) เป็นลบแสดงว่า เป็นตัวให้อิเล็กตรอน

ประโยชน์ของโออาร์พี (ORP) ในการบำบัดน้ำเสีย

- 1) ใช้เพื่อควบคุมปัญหาด้านกลิ่นจากโรงบำบัดน้ำเสีย
- 2) ควบคุมการเติมอากาศในขบวนการย่อยตะกอน
- 3) ควบคุมระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน
- 4) ควบคุมปัญหาที่เกิดจากออกซิแดนซ์ หรือรีดักแทนท์ในโรงงานอุตสาหกรรม

2.2 ถังกรองไร้อากาศ

2.2.1 ข้อมูลทั่วไป

Young และ McCarty (1969) ได้นำถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter : AF) มาพัฒนา โดยทำการพัฒนาต่อจากของเดิมซึ่ง Coulter และคณะ ได้สร้างไว้เมื่อ ค.ศ. 1957 ได้ทำการทดลองถังกรองไร้อากาศให้ไหลย้อนขึ้น เพื่อบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดีประมาณ 1,500-6,000 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีอัตราการรับน้ำเสีย 0.42-3.40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน การทดลองประสบผลสำเร็จจึงทำให้ถังกรองไร้อากาศได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้นและมีการใช้ถังกรองไร้อากาศอย่างกว้างขวาง เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ และถึงแม้ว่าในระยะต้นๆ จะยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดถังกรองไร้อากาศอยู่บ้าง แต่ก็ได้รับการพัฒนาจนสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้มีรายงานถึงการใช้ถังกรองไร้อากาศในระดับอุตสาหกรรม (ปิยะ, 2544 อ้างถึงโดย Christopher, 1994) แสดงดังตารางที่ 2.3 นอกจากนี้ระบบถังกรองไร้อากาศก็ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดในอัตราที่สูง คือสามารถรับสารอินทรีย์ได้สูงถึง 10-20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (Van และคณะ, 1994)

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

(ปิยะ, 2544 อ้างถึงโดย Christopher, 1994)

ระบบบำบัด	แหล่งน้ำเสีย	ปริมาณถึงปฏิกิริยา แบบไร้อากาศ (ลบ.ม.)	อัตราการรับสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)
ยูเอเอสบี	โรงงานกาแฟ	435	5.2
	โรงงานเยื่อกระดาษ	1,400	11.5
	โรงงานเครื่องดื่ม	3,800	10.7
	การผลิตยีสต์	500	7.4
ถังกรองไร้อากาศ	โรงกลั่นสุรา	8,600	15.0
	โรงงานแปรรูปมันฝรั่ง	1,750	8.0
	โรงงานเภสัชกรรม	1,840	7.1
	โรงงานผลิตนม	4,150	10.4
ถังหมักแบบสั้มผัส	วุ้น (Pectin)	3,000	4.2

2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของถังกรองไร้อากาศ

2.2.2.1 ข้อดีของถังกรองไร้อากาศ

ถังกรองไร้อากาศมีข้อดีกว่าระบบการทำงานและใช้ออกซิเจนหลายประการ ดังนี้

- การออกแบบ การก่อสร้าง การควบคุมดูแลระบบสามารถทำได้ง่าย
- น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่าของแข็งแขวนลอย และตะกอนของเสียต่ำ
- ระบบมีการผลิตตะกอนต่ำ
- ไม่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงใช้พลังงานในการเดินระบบ

น้อยกว่า

- ได้ก๊าซมีเทนที่นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการกำเนิดพลังงานรูปแบบต่างๆ ได้
- สามารถควบคุมอายุตะกอนจุลินทรีย์ (SRT) ได้โดยอิสระจากระยะเวลาเก็บกักน้ำ

(HRT) ภายในถัง

- ไม่ต้องการการหมุนเวียนตะกอนจุลินทรีย์ในระบบจนกระทั่งแล้วสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ต่ำๆ ในสถานะอณูภูมิปกติได้ โดยระบบไม่ล้มเหลว
- สามารถที่จะทำงานในการเติมน้ำเสียสู่ระบบเป็นพักๆ (Intermittent) ได้
- สามารถทำงานได้อย่างคงที่ (Stable) แม้ในสถานะ Shock Loading สามารถที่ทนต่ออัตราการรับสารอินทรีย์ หรือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือแม้แต่ปัจจัยแวดล้อม เช่น พีเอช และอุณหภูมิก็ตาม

2.2.2.2 ข้อเสียของถังกรองไร้อากาศ

- ไม่สามารถที่จะใช้ระบบกรองไร้อากาศกับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยสูงๆ ได้
- วัสดุกรองที่ดีซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงแต่มีราคาแพง เช่น ตัวกรองที่เป็นพลาสติกสังเคราะห์
- ต้องใช้เวลาในการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์นาน
- น้ำที่ออกจากระบบมีสีคล้ำ
- ไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้

2.2.3 ลักษณะการทำงานของถังกรองไร้อากาศ

การทำงานของระบบถังกรองไร้อากาศ เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน จุลชีพจะมีความเป็นอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ เกาะแบบหลวมๆ อยู่กับตัวกรอง และอีกลักษณะหนึ่งจะอยู่ในช่องว่างระหว่างตัวกลางกรอง ระบบของถังกรองไร้อากาศมีระยะเวลาเก็บกักตะกอนสูง และเป็นระบบที่ใช้เครื่องมือน้อย โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นถังกลม หรือถังสี่เหลี่ยมปิดมิดชิด เพื่อให้อยู่ในสถานะไร้อากาศ ภายในเครื่องกรองบรรจุด้วยตัวกรอง (Filter Media) ซึ่งมีช่องว่างพอสมควร ตัวกรองมีลักษณะคงทนไม่ผุกร่อนได้ง่าย เช่น พลาสติก หินบด กรวด หรือวัสดุสังเคราะห์ การไหลของน้ำที่เข้าสู่ระบบเป็นแบบปลั๊กโฟลว์ (Plug Flow) ซึ่งจะมีน้ำท่วมเต็มถังตลอดเวลา และเมื่อน้ำเสียไหลผ่านตามช่องว่างของตัวกรองซึ่งมีตะกอนแบคทีเรียสะสมอยู่แล้วนั้น จะเกิดการสัมผัสระหว่างแบคทีเรียกับน้ำที่ได้อย่างทั่วถึง แบคทีเรียที่เกาะหลวมๆ อยู่ตามผิวและช่องว่างของตัวกรอง จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

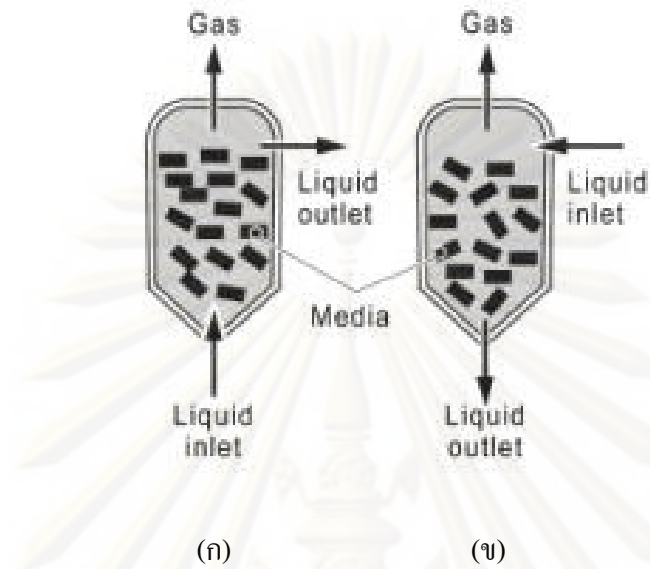
2.2.4 รูปแบบของถังกรองไร้อากาศ

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น หรือที่เรียกว่า ระบบประสิทธิภาพสูง (High Rate Process) โดยมีลักษณะที่สำคัญอยู่ที่กลไกการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบให้นานๆ ซึ่งกลไกดังกล่าวมีใช้อยู่ 2 วิธี (Van และคณะ, 1994) คือ

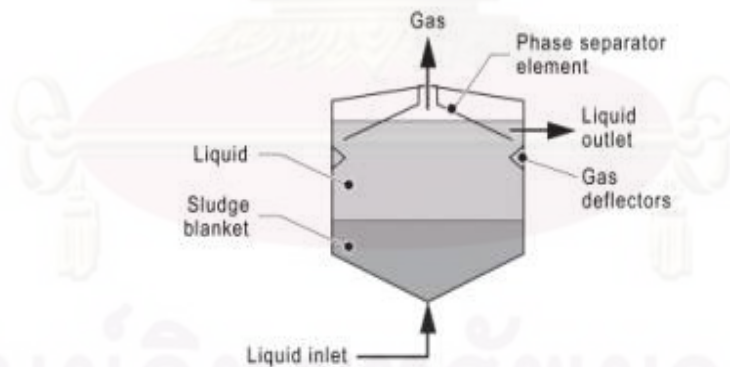
2.2.4.1 ระบบแบบจุลินทรีย์ยึดเกาะติดอยู่กับตัวกลาง ได้แก่ Anaerobic Up flow Filter, Downflow Filter, Sludge Bed Reactors (Fluidized Bed และ Expanded Bed) ดังรูปที่ 2.5

2.2.4.2 ระบบแบบจุลินทรีย์แขวนลอย ได้แก่ Contact Process ซึ่งเทียบได้กับระบบ AS หรือ Activated Sludge ในระบบการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ระบบนี้มีถังที่แยกถังตกตะกอนไว้ นอกถังกับแบบดั้งเดิมคือ UASB Reactor ซึ่งมีส่วนตกตะกอนอยู่ในถัง ดังรูปที่ 2.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศแบบจลนทรียี่ดเกาะติดอยู่กับตัวกลาง ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (ข) ถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง (www.lboro.ac.uk)



รูปที่ 2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศชนิด UASB Reactor (www.lboro.ac.uk)

2.2.5 ปฏิกิริยาที่มีผลต่อสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศ

การทำงานของถังกรองไร้อากาศ นอกจากจะมีปัจจัยเกี่ยวข้องกับด้านอื่นๆ คล้ายกับการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) โดยทั่วไปแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

2.2.5.1 ตัวกลาง

ตัวกลางที่ใช้ในถังกรอง เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะการสะสมของตะกอนแบคทีเรีย ตัวกลางที่ใช้โดยทั่วไปอาจจะเป็นอิฐ หิน เม็ดเซรามิก หรือพลาสติก เป็นต้น การเลือกใช้ตัวกลางต่างชนิดกันจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบแตกต่างกันไปด้วย หรือตัวกลางชนิดเดียวกันแต่มีขนาดแตกต่างกัน ก็จะพบความแตกต่างของผลการทำงานของถังกรองอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ทำตัวกลางแล้วขนาดและรูปร่างของตัวกลางยังมีผลต่อประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศด้วย นอกจากนี้ลักษณะผิวของตัวกลางก็มีอิทธิพลต่อการเกาะติดหรือแขวนลอย ในช่องว่างของชั้นตัวกลางของแบคทีเรียเช่นเดียวกัน ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะมีอิทธิพลถึงเวลากักตะกอนในระบบ

ตัวกลางที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ

- ตัวกลางจากธรรมชาติ เช่น หิน กรวด (รูปที่ 2.7) ซังข้าวโพด เป็นต้น
- ตัวกลางจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น พลาสติก (รูปที่ 2.8) เป็นต้น

ตัวกลางต่างชนิดกันก็จะมีคุณสมบัติต่างกัน การเลือกชนิดตัวกลางต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ราคาของชนิดตัวกลาง ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพดีต้องมีพื้นที่ผิวมาก และมีค่าความพรุนสูง เพื่อลดปัญหาการอุดตัน ปัญหาการเกิดการไหลลัดวงจร และปัญหาด้านไฮโดรลิก การใช้ตัวกลางที่เป็นหินกรวดจะมีผลต่อการออกแบบรากฐานในการที่จะรับน้ำหนักของโครงสร้างถัง การใช้ตัวกลางพลาสติกจะขจัดปัญหาด้านรากฐานเพราะมีน้ำหนักเบา แต่ตัวกลางนี้จะมีราคาสูงมาก เมื่อเทียบกับราคาของพวกหินกรวด



รูปที่ 2.7 ตัวกลางหินกรวดที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศ (www.praphansarn.com)



รูปที่ 2.8 ตัวกลางกรองชนิดโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ลักษณะต่างๆ ที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศ

(<http://www.thaitechno.net/productdetails.php?id=6408&uid=34896>)

ตัวกลางกรองที่ดีควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

- มีความสามารถในการยึดเกาะของฟิล์มชีวภาพได้ดี
- มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) สูง ปกติตัวกลางที่ใช้จะมีพื้นที่ผิว

จำเพาะอยู่ในช่วง 90-300 ตร.ม./ลบ.ม.-ปริมาตรตัวกลาง

- มีความเป็นรูพรุน และเมื่อเป็นชั้นกรองสามารถอัดแน่นได้
- มีความต้านทานของการไหลของน้ำต่ำ
- สามารถทนทานพอ ไม่แตกหักง่าย
- มีลักษณะรูปร่างคงที่ การไหลของน้ำจะได้สม่ำเสมอเมื่อผ่านชั้นตัวกลาง
- ไม่มีสารพิษ หรือโลหะหนักที่สามารถละลายน้ำได้เป็นองค์ประกอบ
- มีค่าความแตกต่างที่น้อยของความถ่วงจำเพาะระหว่างสารกรองและน้ำ เพื่อ

โครงสร้างถังกรองจะได้ไม่รับน้ำหนักมาก

- มีราคาถูกและจัดหาได้ง่าย
- มีความสะดวกและง่ายต่อการขนส่งประกอบและติดตั้ง

2.2.5.2 ความลึกและลักษณะการวางตัวของชั้นตัวกลาง

ความลึกและลักษณะการวางตัวของชั้นตัวกลางในถังกรอง เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งต่อกลไกการเก็บสะสมตะกอนแบคทีเรีย ซึ่งความลึกของชั้นตัวกลาง (Filter depth) มีผลต่อประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศ โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณก้นถังกรอง ชั้นตัวกลางตอนบนมีหน้าที่ช่วยดักตะกอนแบคทีเรียไม่ให้หลุดหายไปกับน้ำทิ้ง

2.2.5.3 ลักษณะของน้ำเสีย

ในการนำถังกรองไร้อากาศไปใช้ในงานกำจัดน้ำเสีย จะต้องคำนึงถึงส่วนประกอบของน้ำเสีย กล่าวคือ ต้องคำนึงถึงปริมาณสารอาหารที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในน้ำเสีย McCarty กล่าวว่าปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่แบคทีเรียต้องการอย่างน้อยต้องเป็นไปตามอัตราส่วน บีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (BOD : N : P) เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 และต้องระวังอย่าให้มีสารพิษ (Toxic Material) ซึ่งจะยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย

2.2.5.4 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ และภาระบรรทุกสารอินทรีย์

การเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนน้ำเสีย จะมีผลต่อระยะเวลาการเก็บกักน้ำโดยตรงและกระทบกระเทือนต่อแบคทีเรียซึ่งแขวนลอย หรือเกาะติดอยู่ตามช่องว่างของชั้นตัวกลาง เช่น การลดระยะเวลาเก็บกักน้ำหรือการเพิ่มอัตราการป้อนน้ำเสียในถังกรอง จะทำให้ตะกอนแบคทีเรียมีโอกาสหลุดลอยไปกับน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ระยะเวลาพักตะกอน (SRT) ลดลง และอาจทำลายสถานะสมดุลของกระบวนการชีวเคมีของระบบได้ ส่วนการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์หรือความเข้มข้นของน้ำเสีย จะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศได้ ทั้งนี้เพราะปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ซึ่งเป็นผลผลิตของแบคทีเรียสร้างกรด จะสะสมขึ้นในระบบอย่างรวดเร็ว จนถึงขั้นยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ในที่สุดระบบก็เสียสมดุลถึงขั้นล้มเหลวได้ ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย ได้แก่ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์มีเทนในส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ เป็นต้น เพื่อให้แน่ใจว่าอัตราการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่มีผลทำให้ระบบเสียสมดุล

2.2.6 ความด้อยเสถียรภาพของปฏิบัติการไร้ออกซิเจน

2.2.6.1 สาเหตุที่ทำให้มีความด้อยเสถียรภาพ เนื่องจาก

1) ความจำเป็นที่ต้องมีแบคทีเรีย 2 ประเภท อาศัยอยู่ร่วมกัน และต้องอาศัยซึ่งกันและกันอย่างมาก

2) ความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันของแบคทีเรีย การทำงานแบคทีเรียทั้งสองประเภทก็จะไม่สอดคล้องกัน โดยที่แบคทีเรียที่สร้างกรดมีความสามารถสูงกว่าแบคทีเรียที่สร้างก๊าซ

ถ้าการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองไม่สอดคล้องกัน จะทำให้ระบบได้รับความเสียหาย และระบบจะค่อยๆ มีประสิทธิภาพลดลง จนในที่สุดจะเกิดความล้มเหลวโดยสิ้นเชิง

2.2.6.2 สัญญาณเตือนของการเสถียรภาพของระบบ

1) ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ โดยปกติความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระบบประมาณ 200-400 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จะเป็นสัญญาณให้เห็นถึงการเสถียรภาพเกิดขึ้นกับระบบ คือ เกิดการชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน หรือทำให้การเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

2) ระดับความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต สภาพความเป็นด่างจะบ่งบอกให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) ว่ามีเหลืออยู่เท่าไรในระบบ ถ้ามีบัฟเฟอร์ต่ำ ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้พีเอช (pH) ลดลงได้อย่างมากและรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน แต่ถ้าสภาพความเป็นด่างสูงพอ ก็จะสามารถทนกับสภาพการเปลี่ยนแปลงของกรดโวลาทิลได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อพีเอช (pH) มากนัก ระดับสภาพความเป็นด่างที่เหมาะสมขึ้นกับคุณสมบัติและความเข้มข้นของน้ำทิ้ง โดยทั่วไประบบไร้อากาศควรมีสภาพความเป็นด่างประมาณ 1,500-2,000 มก./ล. (มันสิน, 2536)

3) ค่าโออาร์พี (ORP) ปฏิกริยาแต่ละประเภทจะมีค่าโออาร์พีประจำแต่ละปฏิกริยา แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าโออาร์พี (ORP) ของปฏิกริยาประเภทต่างๆ (มันสิน, 2536)

ประเภทของปฏิกริยา	โออาร์พี (มิลลิโวลท์)*
แอโรบิคออกซิเดชัน	+ 300
ไนตริฟิเคชัน	+100
ดีไนตริฟิเคชัน	0
การย่อยไร้อากาศ	
- สร้างกรดอินทรีย์	- 300
- สร้างมีเทน	-500

* Ag/Ag₂Cl₂ Reference Electrode

ถังย่อยไร้ออกซิเจนที่ทำงานได้ดีต้องมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -300 ถึง-500 มิลลิโวลท์ ถ้าค่าโออาร์พี (ORP) เป็นลบน้อยๆ หรือมีค่าเป็นบวก ย่อมแสดงปฏิกริยาการย่อยไร้อากาศเกิดขึ้นหรือไม่เกิดขึ้น

4) ระดับพีเอช (pH) ไม่ใช่สัญญาณที่เร็วพอที่จะบอกถึงการทำงานผิดพลาดของระบบได้ทันที เพราะความเสียหายของระบบจะเกิดขึ้นก่อนที่พีเอช (pH) ลดลง แต่อย่างไรก็ดี ข้อมูลพีเอช (pH) ก็ยังคงมีความสำคัญเพราะว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิด โดยเฉพาะชนิดที่สร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงแคบๆ ของพีเอช (pH) เท่านั้น ถ้าไม่มีการควบคุมพีเอช (pH) ให้เป็นกลาง การเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็จะถูกยับยั้ง ทำให้ระบบล้มเหลวได้ และการรักษาระดับพีเอช (pH) ให้เป็นกลางต้องทำเป็นเรื่องแรกเพื่อให้ระบบฟื้นตัวเมื่อระบบเสียสมดุล

5) อัตราการผลิตมีเทน เป็นเครื่องวัดโดยตรงของกิจกรรมทางเมตาบอลิซึม (Metabolic Activity) ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน การเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตมีเทนมีความสำคัญกว่าค่าปริมาณการผลิต เพราะเป็นสัญญาณที่บอกว่ามีคามผิดปกติเกิดขึ้นกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

6) สัญญาณอื่นๆ สัญญาณที่อาจบ่งชี้ถึงการเสียดุลของระบบไว้รออากาศอีกสองชนิด ได้แก่ ส่วนประกอบของก๊าซรวมและอัตราการผลิตก๊าซ การเสียดุลของแบคทีเรียประเภทสำคัญทั้งสองอย่างจะทำให้ปริมาณมีเทนลดลงต่ำ แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นซึ่งจะชี้ให้เห็นได้จากส่วนประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไป

2.3 หอยนางรม

2.3.1 ชนิดของหอยนางรม

หอยนางรม มีชื่อสามัญ คือ Oyster วงศ์ MOLLUSCA หอยนางรมนั้นมีหลายสายพันธุ์ แต่ที่นิยมเลี้ยงกันอยู่โดยทั่วไปนั้น แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ด้วยกันคือ

- 1) หอยนางรมพันธุ์เล็กหรือหอยนางรมปากจิบ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccostrea commercialis* หอยนางรมพันธุ์นี้มีเลี้ยงมากทางภาคตะวันออก
- 2) หอยตะโกรม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Crassostrea belcheri* เป็นหอยนางรมที่ค่อนข้างมีขนาดใหญ่
- 3) หอยตะโกรมกรมดำ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *C.lugubris* มีขนาดค่อนข้างใหญ่เช่นเดียวกับหอยตะโกรม

ทั้งหอยตะโกรมและตะโกรมกรมดำ แม้ว่าจะมีการเลี้ยงกันบ้างในภาคตะวันออก แต่การเลี้ยงส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตจังหวัดในภาคใต้

หอยนางรมจะพบอยู่ทั่วไปตามบริเวณน้ำตื้นชายเกาะ ชายฝั่งทะเล แหล่งน้ำที่มีอาณาเขตติดต่อกับทะเล หอยนางรมที่พบในประเทศไทยมีหลายชนิด ได้แก่ หอยนางรมปากจิบขนาดเล็ก และหอยนางรมพันธุ์โตที่มีชื่อว่า "หอยตะโกรม" ซึ่งจะพบมากในจังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี สุราษฎร์ธานี

2.3.2 ประโยชน์ของหอยนางรม

2.3.2.1 หอยนางรม มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นอาหารทะเลที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย

2.3.2.2 เปลือกหอยสามารถใช้ทำปูนขาว ซึ่งใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง การเกษตรกรรม อุตสาหกรรมหลายประเภทและใช้ปรับปรุงดินเปรี้ยวได้

2.3.2.3 เปลือกหอยสามารถใช้ผสมกับอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มแคลเซียมให้แก่สัตว์ในด้านปศุสัตว์ได้

2.3.2.4 สามารถสร้างเครื่องประดับอย่างเช่น ไข่มุก แต่อาจจะไม่สวยเท่าไข่มุกที่ได้จากหอยมุกเท่านั้น

2.3.3 ลักษณะของหอยนางรม

หอยนางรมเป็นหอยทะเลกาบ 2 ฝา มีกาบหนาแข็ง ซึ่งฝาทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.8 บางชนิดมีสีน้ำตาล หรือสีเทา กาบบนจะใหญ่และแบนกว่ากาบล่าง กาบล่างมีลักษณะโค้งเว้า จะเป็นส่วนที่มีตัวหอยติดอยู่ ด้านที่มีเนื้อฝังอยู่จะเว้าลึกลงไปคล้ายรูปถ้วย หรือจาน และยึดติดกับวัตถุแข็ง เช่น ก้อนหิน ไม้หลัก หรือเปลือกหอยที่จมอยู่ในทะเล ส่วนฝาปิดอีกด้านหนึ่งแบนบาง ขนาดความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร



รูปที่ 2.9 ลักษณะของหอยนางรม (<http://th.wikipedia.org>)

เปลือกหอยนางรมประกอบด้วยหินปูนร้อยละ 95 ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีที่พบในเปลือกหอยนางรม (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณร้อยละ
แคลเซียม (Ca)	53.6
คาร์บอน (C)	42.5
โซเดียม (Na)	0.33
แมกนีเซียม (Mg)	0.32
ซิลิกอน (Si)	0.17
ซัลเฟอร์ (S)	0.18
สตรอนเทียม (Sr)	0.11
ปริมาณความชื้น	0.59

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วชิรา สันพนวัฒน์, 2543 ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้ถังกรองชีวภาพแบบไหลลง โดยใช้เปลือกหอย ขนาด 5 - 10 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 2.52 กรัม/ลบ.ซม. เป็นตัวกลาง น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีซีโอดีประมาณ 300 มก./ล. และควบคุมอัตราส่วน ซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส ให้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียชุมชนหรือประมาณ 300 : 40 : 10 ตลอดจนการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 5 ชุด โดยชุดที่ 1 และ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาความสูงของชั้นตัวกรองที่เหมาะสม โดยความสูงที่ศึกษาคือ 2 และ 1.5 เมตรตามลำดับ และใช้ความเร็วไหลลงของน้ำเสียเท่ากับ 0.62 เมตร/ชั่วโมง พบว่า ถ้าต้องการควบคุมให้ระบบเดินได้ระยะเวลานานขึ้นและสามารถรับภาระบรทุกอินทรีย์เพิ่มขึ้นได้ต้องใช้ตัวกลางกรองสูง 1.5 เมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคือร้อยละ 95 ประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นร้อยละ 90 และประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 28 ส่วนชุดการทดลองที่ 3-5 ใช้ความสูงของชั้นกรอง 1.5 เมตร แต่แปรอัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่มขึ้นเป็น 1.08, 1.54 และ 2 เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

เท่ากับร้อยละ 95, 88 และ 80 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นร้อยละ 54, 24 และ 19 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดในโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 23, 23 และ 18 ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มภาระบรรทุกอินทรีย์จาก 3-10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ยังคงรักษาการกำจัดซีโอดีสูงๆ ไว้ได้ แต่อัตราการกำจัดในโตรเจนทั้งหมดลดลงอย่างเห็นได้ชัด

สรุปได้ว่าสามารถใช้เปลือกหอยเป็นตัวกลางในถังกรองชีวภาพในการกำจัดซีโอดีได้ เช่นเดียวกับการใช้ตัวกลางชนิดอื่น

ปิยะ พานิชปฐม, 2544 ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบถังกรองไร้อากาศ โดยศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกัก การหมุนเวียนน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี และซีโอดี จากการทดลองในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

การทดลองในห้องปฏิบัติการใช้แบบจำลองถังกรองไร้อากาศที่บรรจุตัวกลางเป็นหินขนาด 1-2 นิ้ว มีปริมาตรของถังภายหลังบรรจุตัวกลางเท่ากับ 10.985 ลิตร จำนวน 3 ถังต่อเรียงกันแบบอนุกรม และควบคุมค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่ป้อนเข้าระบบเท่ากับ 2,500 มก./ล. โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของถังกรองไร้อากาศ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5, 10 และ 15 วัน (ระยะเวลาเก็บกักน้ำในแต่ละถังเท่ากับ 5 วัน) ในกรณีที่ไม่มี การหมุนเวียนน้ำทิ้งและกรณีที่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้งในอัตราร้อยละ 150 ของปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ และที่ระยะเวลาเก็บกัก 2, 4 และ 6 วัน (ระยะเวลาเก็บกักในแต่ละถังเท่ากับ 2 วัน) พบว่า ถังกรองไร้อากาศมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 23, 35 และ 42 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5, 10 และ 15 วัน เมื่อทำการทดลองโดยหมุนเวียนน้ำทิ้งในอัตรา ร้อยละ 150 ของปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 20, 27 และ 31 ตามลำดับ ส่วนการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 2, 4 และ 6 วัน พบว่าถังกรองไร้อากาศมี ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11, 19 และ 25 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเพิ่ม ระยะเวลาเก็บกักส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดระบบเพิ่มสูงขึ้น และการหมุนเวียนน้ำทิ้งทำให้ ประสิทธิภาพในการบำบัดของถังกรองไร้อากาศต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด สารอินทรีย์ของถังกรองไร้อากาศขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย คืออัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี (BOD : COD) และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของถัง กรองไร้อากาศเพิ่มขึ้น

ส่วนการทดลองในภาคสนาม ใช้ถังขนาด 1,000 ลิตร ภายในบรรจุตัวกลางชนิด Cross Flow จำนวน 5 ถัง ต่อเรียงกันแบบอนุกรม โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของถังกรองไร้อากาศในภาคสนาม ที่ระยะเวลาเก็บกัก 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน (ระยะเวลาเก็บกักในแต่ละถังเท่ากับ 2 วัน) โดยไม่มีการควบคุมลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ป้อนเข้าระบบ พบว่า ถังกรองไร้อากาศมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี้อยู่เท่ากับร้อยละ 32, 43, 61, 70 และ 72 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ

ชเรศ พงษ์สาระนันท์กุล, 2540 ได้ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยระบบถังกรองไร้อากาศโดยตัวกลางที่ใช้เป็นเม็ดพลาสติกที่ลอยน้ำ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดยแต่ละชุดใช้กระบอกพีวีซีใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ความสูงของกระบอกสูงประมาณ 2.5 เมตร ภายในบรรจุตัวกลางเม็ดพลาสติกลอยอยู่ครั้งถึงมีความสูงของตัวกลาง 1.25 เมตร การป้อนน้ำเสียในการทดลองเป็นแบบไหลขึ้น ทำการทดลองกำจัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงคิดเป็นค่าซีโอดี เท่ากับ 825, 1650, 3,300, 3,850 และ 5,500 มก./ล. โดยกำหนดเวลากักน้ำเท่ากับ 9 ชั่วโมง คิดเป็นภาระบรรทุกอินทรีย์ 2.2, 4.4, 8.8, 10.26 และ 14.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จากการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 89, 77, 71, 47 และ 33 ตามลำดับ โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทนเท่ากับ 82, 59, 50, 48 และ 44 ตามลำดับ

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้ระบบถังกรองไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีค่าภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำ เมื่อภาระบรรทุกอินทรีย์สูงขึ้นจะมีประสิทธิภาพลดลง โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นสูงจะมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้พบว่า ข้อดีของตัวกลางกรองเม็ดพลาสติกซึ่งช่วยป้องกันตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมาจากระบบด้วย แต่ข้อเสียของตัวกลางดังกล่าวคือ อาจทำให้ระบบอุดตันได้ง่าย

โรมรัน ว่องวิไลรัตน์, 2542 ได้ศึกษาความสามารถของการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยระบบถังกรองไร้อากาศชนิดไฮบริดบรรจุตัวกลางพลาสติก โพลีเอทิลีน การทดลองใช้ถังกรองไร้อากาศจำนวน 2 ชุด ซึ่งทำด้วยพีวีซีใส รูปทรงกระบอกสูง 2.80 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.07 เมตร ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. สูง 22 มม. เปอร์เซนต์ช่องว่างเท่ากับ 90 และมีพื้นที่ผิว 109 ตร.ม./ลบ.ม. ของตัวกลางซึ่งลอยครั้งถึงตอนบนของถังกรอง โดยมีความสูงของชั้นตัวกลางเท่ากับ 1.25 เมตร การป้อนน้ำเสียเป็นแบบไหลขึ้น น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ใน

การทดลองมีค่าซีโอดี 5,500 มก./ล. ซึ่งตัวแปรอิสระที่แปรเปลี่ยนในรูปของอัตราการป้อนน้ำเสียเท่ากับ 7.5, 10, 15 และ 30 ลิตร/วัน คิดเป็นอัตราการอินทรีย์ 3.67, 4.89, 7.33 และ 14.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 96, 72, 64 และ 44 ตามลำดับ ค่าพีเอชน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 7.05, 6.88, 6.80 และ 6.41 ตามลำดับค่าไออาร์พีน้ำทิ้งเท่ากับ -315, -303, -319 และ -308 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ อุณหภูมิน้ำทิ้งเท่ากับ 30.9, 27.3, 30.1 และ 27.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าตะกอนแขวนลอยน้ำทิ้ง เท่ากับ 782, 796, 1,080 และ 1,198 มก./ล. ตามลำดับ ค่าสภาพความเป็นด่างในน้ำทิ้งเท่ากับ 1,432, 1,360, 1,229 และ 1,477 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ค่ากรดระเหยง่ายเท่ากับ 428, 583, 615 และ 935 มก./ล. ในเทอมกรดอะซิติกปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ เท่ากับ 9.2, 24.7, 29 และ 38.9 ลิตร/วัน ตามลำดับ ร้อยละของก๊าซมีเทนเท่ากับ 57.6, 52.9, 50.2 และ 50.3 ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.12, 0.24, 0.24 และ 0.27 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดตามลำดับ

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้ระบบถังกรองไร้อากาศชนิดไฮบริดจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีค่าอัตราการอินทรีย์ต่ำ เมื่ออัตราการอินทรีย์สูงขึ้นประสิทธิภาพจะลดลง นอกจากนี้เชื่อว่าตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนช่วยป้องกันตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้หลุดออกมาจากระบบ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงขึ้นเมื่อทำการทดลองที่อัตราการอินทรีย์ต่ำกว่า 14.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

Chian และ Dewalle ,1976 ได้ทำการศึกษาดังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ที่เจือจางแล้วกับน้ำเสียที่หลังจากบำบัดแล้ว พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ของน้ำเสียที่มีความเป็นกรดสูง ที่ช่วงการะบบรทุกอินทรีย์และภาระบรทุกอินทรีย์ที่มากเกินที่ระบบจะรับได้ เกิดการสร้างมีเทนร้อยละ 93 เมื่อซีโอดีถูกกำจัดออกจากระบบ ของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นเพียง 0.012 กรัม-ของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้/กรัม-ซีโอดีที่ถูกกำจัด เนื่องจากของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นน้อยและเชื้อจุลินทรีย์ที่ระยะเริ่มแรกของระบบจะเกิดการย่อยตะกอน ไม่มีการเติมสารอาหารที่ต้องการจนครบ 518 วันและปล่อยให้ซีโอดีต่อโพแทสเซียม (COD : K) และซีโอดีต่อไนโตรเจน (COD : N) ในอัตรา 4,360 : 1 และ 39 :1 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอาจจะเป็นไปได้ที่จะมีพิษของโลหะหนักอยู่ในระบบ ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยการเติมซัลไฟด์ในระบบ

Show และ Tay, 1998 ได้ทำการศึกษาโดยใช้ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น ซึ่งใช้ตัวกลางต่างชนิดกัน โดยอัตราบรรทุกอินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักเท่ากันทุกถังในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โพรตีน-คาร์โบไฮเดรต วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทดสอบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในตัวกลาง และระยะเวลาเก็บกักที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 16 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน ระบบถังกรองที่มีตัวกลางรูพรุนมาก มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 78 มีสาเหตุมาจากระยะเวลาสัมผัสกับแบคทีเรียมาก อย่างไรก็ตามถึงปฏิกิริยาที่มีตัวกลางรูพรุนกว้างๆ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 77 สาเหตุมาจากมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมาก ซึ่งต่างกับถังปฏิกิริยาที่มีตัวกลางพื้นผิวเรียบและรูพรุนต่ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 57 ถึงปฏิกิริยาที่มีตัวกลางที่เป็นรูพรุนกว้างๆ จะสามารถผลิตมีเทนได้ถึงร้อยละ 56-58 ส่วนถังปฏิกิริยาที่มีตัวกลางที่เป็นรูพรุนมากจะสามารถผลิตมีเทนได้ถึงร้อยละ 56 เมื่อเดินระบบที่ 12 และ 16 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน จากการศึกษาพบว่าถังกรองไร้อากาศจะล้มเหลวเมื่อภาระบรรทุกอินทรีย์มาก คล้ายกับว่าแบคทีเรียหลุดลอกออกจากระบบมากกว่าการเกิดการไหลล้นวงจร ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการอุดตันของระบบถังกรองไร้อากาศ

Gannoun และคณะ, 2008 ได้ทำการศึกษาการย่อยแบบไร้อากาศของน้ำเสียนมที่ใช้ทำเนย (CW) ซึ่งจะตรวจสอบระบบที่ประกอบไปด้วยการบำบัดน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบบำบัดโดยใช้ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (UAF) การบำบัดน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดเป็นการดำเนินการแก้ไขปัญหาก็จะเกิดขึ้นตลอดการบำบัดแบบไร้อากาศของน้ำเสีย เนื่องจากมีปริมาณไขมัน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตมาก และหลีกเลี่ยงปัญหาหลักของระบบถังกรองไร้อากาศคือ การอุดตันของถังกรองไร้อากาศ การบำบัดน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดโดยการเจือจางน้ำเสีย โดยลดซีโอดีลงร้อยละ 50 และของแข็งแขวนลอยร้อยละ 60 หลังจากทำให้น้ำเสียเปลี่ยนเป็นกรดโดยจุลินทรีย์ *Lactobacillus paracasei* ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส จนครบ 20 ชั่วโมง และปรับสภาพโดยใช้ปูนขาว ก่อนการบำบัดน้ำเสียจะป้อนน้ำเสียเข้าถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (UAF) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ตรวจสอบผลของภาระบรรทุกอินทรีย์ (OLR) และระยะเวลาพักน้ำ (HRT) ของน้ำเสียที่บำบัดน้ำเสียโดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศก่อนเข้าระบบบำบัดซีโอดีเฉลี่ยที่กำจัดออกได้ร้อยละ 80-90 ประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของซีโอดีเพิ่มขึ้นถึง 20 กรัม/ลิตร (ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 4 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน) และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะลดลงถึงร้อยละ 72 ผลิตมีเทน เท่ากับ 280 ลิตร/กก. ซีโอดีที่กำจัดออก ที่ระยะเวลาพักน้ำ เท่ากับ 2 วัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยทั้งหมดได้กระทำ ณ ห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) ขนาดนำร่อง (pilot scale)

ทำการศึกษารายละเอียดประกอบของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผาแล้ว ด้วยการนำเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาไปบดและร่อนผ่านตะแกรง และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ส่วนการศึกษารายละเอียดประกอบของเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วนั้น ทำได้โดยนำเปลือกหอยนางรมไปเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เวลา 1 และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ นำเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วนั้นไปบดและร่อนผ่านตะแกรง จากนั้นวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) เช่นเดียวกับเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา

ทำการเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งใช้เปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผาแล้ว ณ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ เป็นตัวปรับพีเอช (pH) ของน้ำเสีย และทำการเลือกเปลือกหอยนางรมที่สามารถปรับพีเอช (pH) ของน้ำให้เหมาะสมกับระบบบำบัดได้

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ระหว่างตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม โดยนำเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผาแล้วนั้นไปทุบและร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดประมาณ 1 นิ้ว นำเปลือกหอยนางรมที่ได้ไปใส่ในน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งใช้เปลือกหอยนางรมจำนวนร้อยละ 1, 5, 10, 15, และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียเมื่อใช้ตัวกลางต่างชนิดและจำนวนต่างกันที่ระยะเวลาต่างๆ จากนั้นทำการเลือกชนิดของเปลือกหอยนางรมระหว่างที่ไม่ได้เผาและที่เผาแล้วนั้นที่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียได้ดี เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการศึกษาทดลองต่อไป

ทำการศึกษาพื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรรูพรุนของตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ Brunauer-Emmett-Teller (BET) และลักษณะ

พื้นผิว โดยวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

การศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศโดยใช้เปลือกหอยนางรมเป็นตัวกลางนี้ ได้ใช้ถังน้ำทรงกระบอกเป็นถังกรองไร้อากาศ ซึ่งมีปริมาตรถังเท่ากับ 5.24 ลิตร มีฝาปิด ซึ่งการทดลองนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลองเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดในทุกชุดการทดลอง ในชุดการทดลองที่ 1 ใช้ตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ได้จากการศึกษาในขั้นต้น ทำการแปรค่าสัดส่วนของตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อปริมาตรของถังกรองไร้อากาศแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ โดยมีระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ต่างกันคือ 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองที่ 2 เป็นถังกรองไร้อากาศที่ไม่ใส่ตัวกลาง (มีน้ำเสียเพียงอย่างเดียว) ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งการทดลองทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง

ชุดการทดลองที่	ชนิดตัวกลาง	จำนวนตัวกลาง (ร้อยละโดยปริมาตร)	จำนวนตัวกลาง (กรัม)	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	อัตราการไหล (มล./นาที)
1	เปลือกหอยนางรม	5	203	12	5.64
				18	3.76
				24	2.82
		10	406	12	5.64
				18	3.76
				24	2.82
		15	609	12	5.64
				18	3.76
				24	2.82
		20	812	12	5.64
				18	3.76
				24	2.82
2	ไม่มี	0	0	เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1	

3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษาระสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดแบบถังกรองไร้อากาศที่ใช้ตัวกลางที่ผลิตจากเปลือกหอยนางรม และถังบำบัดน้ำเสียที่ไม่ได้ใช้ตัวกลาง โดยวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH), โออาร์พี (ORP), กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA), สภาพด่างทั้งหมด (Total Alkalinity), ของแข็งแขวนลอย (SS), บีโอดี (BOD), ซีโอดี (COD) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชุดการทดลอง ค่าที่ทำการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์ของพารามิเตอร์ต่างๆ

การวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์ / เครื่องมือวิเคราะห์
1. พีเอช (pH)	เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
2. โออาร์พี (ORP)	เครื่องวัดโออาร์พี (ORP meter)
3. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)	การไทเทรต (Titration Method)
4. สภาพด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)	การหาสภาพด่างด้วยวิธีอินดิเคเตอร์ (Alkalinity indicator)
5. ของแข็งแขวนลอย (SS)	การกรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (Filtered and dried at 105 °C)
6. บีโอดี (BOD)	การเจือจางสารละลาย (Dilution Method)
7. ซีโอดี (COD)	การรีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux Method)

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ถังพักน้ำเสียขนาด 20 ลิตร เพื่อป้อนน้ำเสียให้กับระบบถังกรองไร้อากาศ
- ถังกรองไร้อากาศ
ถังกรองเป็นถังทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.165 เมตร สูง 0.19 เมตร มีปริมาตรถังเท่ากับ 4.06 ลิตร (ถังภาคผนวก ก-1) มีฝาถังครอบด้านบนถึง ด้านบนและด้านล่างของถังเจาะรู เพื่อประกอบท่อที่จะนำน้ำเสียเข้าในตอกลง (Upflow) และประกอบท่อนำน้ำเสียออกและมีท่อก๊าซออกทางฝาด้านบน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะถังกรอง ไร้อากาศที่ใช้ในงานวิจัย

3. เปลือกหอยนางรม ที่ล้างสะอาดและอบที่ 105 องศาเซลเซียส จนแห้ง



รูปที่ 3.2 เปลือกหอยนางรมที่ใช้ในงานวิจัย

4. หัวเชื้อจุลินทรีย์ในการเริ่มต้นระบบนำมาจาก บริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน)

5. ถังเก็บน้ำที่บำบัดแล้ว

6. อุปกรณ์เครื่องแก้วและสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การศึกษาชนิดของตัวกลางเปลือกหอยนางรมเพื่อใช้เป็นตัวกลางในถังกรองใรร้ออากาศ

3.4.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผา

- 1) บดเปลือกหอยนางรมและร่อนผ่านตะแกรง
- 2) นำเปลือกหอยนางรมที่ได้ไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)
- 3) ส่วนเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วนั้นทำเช่นเดียวกับเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา แต่ให้ทำการเผาเปลือกหอยนางรมที่สะอาดและอบแห้งแล้วที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ ก่อนบดเปลือกหอย
- 4) เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและเผาที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

3.4.2 การเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

- 1) บดเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและเผาแล้ว ณ อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ แล้วร่อนผ่านตะแกรง
- 2) ชั่งน้ำหนักเปลือกหอยนางรมที่บดแล้วทั้งหมด จำนวน 0.001, 0.002, 0.004, 0.006, 0.008 และ 0.010 โมล (ภาคผนวก ก-2) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3) วัดค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด (เวลา 0 ชั่วโมง)
- 4) เติมน้ำเสียจำนวน 200 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีเปลือกหอยนางรม แกว่งให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้
- 5) วัดค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่ระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ
- 6) ศึกษาเปรียบเทียบแนวโน้มการปรับพีเอช (pH) น้ำเสียของเปลือกหอยนางรมทั้งหมด และเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่สามารถปรับพีเอช (pH) ให้เหมาะสมต่อระบบบำบัดแบบใรร้ออากาศได้ เพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป

3.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่า pH ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ระหว่างตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

- 1) นำเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา ไปทุบและร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดประมาณ 1 นิ้ว
- 2) ชั่งเปลือกหอยนางรมที่ทุบแล้วจำนวนร้อยละ 1 (5 กรัม), 5 (25 กรัม), 10 (50 กรัม), 15 (75 กรัม) และ 20 (100 กรัม) โดยปริมาตร ตามลำดับ (ภาคผนวก ก-3) ใส่ลงในบีกเกอร์
- 3) วัดค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด (เวลา 0 ชั่วโมง)
- 4) เติมน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด จำนวน 500 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ คนให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ (รอบที่ 1)
- 5) ทำการวัดค่าพีเอช (pH) ที่ระยะเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 24, 36, 48, 72, 96, 120, 144 และ 168 ชั่วโมง ตามลำดับ
- 6) เมื่อครบ 168 ชั่วโมงแล้ว ให้ทำการเทน้ำเสียในบีกเกอร์ทิ้ง และเติมน้ำเสียเข้าไปใหม่ในจำนวนเท่าเดิม (รอบที่ 2)
- 7) วัดค่าพีเอช (pH) ที่ระยะเวลาเช่นเดียวกับรอบที่ 1
- 8) ทำเช่นเดิมแต่ใช้เปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม
- 9) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและเผา เพื่อเลือกใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด

3.5 การเตรียมการทดลอง

3.5.1 การเตรียมตัวกลาง

ทำการทุบเปลือกหอยนางรมที่เลือกใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่ได้จากการศึกษาทดลองในข้อ 3.4 และร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดประมาณ 1 นิ้ว

3.5.2 การบรรจุตัวกลางลงในถังกรองใร้อากาศ

ชุดการทดลองที่ 1

บรรจุตัวกลางเปลือกหอยนางรมในถังน้ำแต่ละถัง ในอัตราส่วนของตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อปริมาตรของถังบำบัดแตกต่างกัน คือร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ (ดังภาคผนวก ก-4) ตามลำดับ

ชุดการทดลองที่ 2 (Blank)

ไม่มีการบรรจุตัวกลางลงในถังกรองใร้อากาศ (อัตราส่วนของตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อปริมาตรของถังบำบัด คือ ร้อยละ 0 โดยปริมาตร)

3.5.3 การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสีย

1) ติดตั้งเครื่องมือและจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนสารเคมีชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 4.2

2) วิเคราะห์น้ำเสียก่อนเติมลงในถังกรองใร้อากาศ โดยวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH), โออาร์พี (ORP), กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA), สภาพด่างทั้งหมด (Total Alkalinity), ของแข็งแขวนลอย (SS), บีโอดี (BOD), ซีโอดี (COD)โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.2

3) ผสมน้ำเสียกับเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใร้ออกซิเจน ในจำนวนร้อยละ 15 โดยปริมาตร โดยผสมกับน้ำเสียปริมาตร 4.06 ลิตร ปิดฝาถังให้สนิท ทิ้งไว้ 14 วัน สังเกตว่ามีก๊าซเกิดขึ้นจึงเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังกรอง ให้มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ (ดังภาคผนวก ก-5) ในอัตราการผลิตตามที่กำหนดดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองใรร้ออากาศ

1) วิเคราะห์น้ำเสียหลังจากออกจากถังกรองใรร้ออากาศในแต่ละถังทุกชุดการทดลอง โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับน้ำเสียก่อนเข้าถังกรองใรร้ออากาศ ซึ่งมีรายละเอียดในการเก็บวิเคราะห์น้ำดังตารางที่ 3.3

2) ทำการเดินระบบบำบัดจนประสิทธิภาพของระบบบำบัดคงที่หรือลดลง

3) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละพารามิเตอร์ต่างๆ ในแต่ละชุดการทดลอง เพื่อหาปริมาณอัตราส่วนของตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อปริมาตรของถังบำบัดและเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด โดยเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับระยะเวลาที่ใช้บำบัดน้ำเสีย

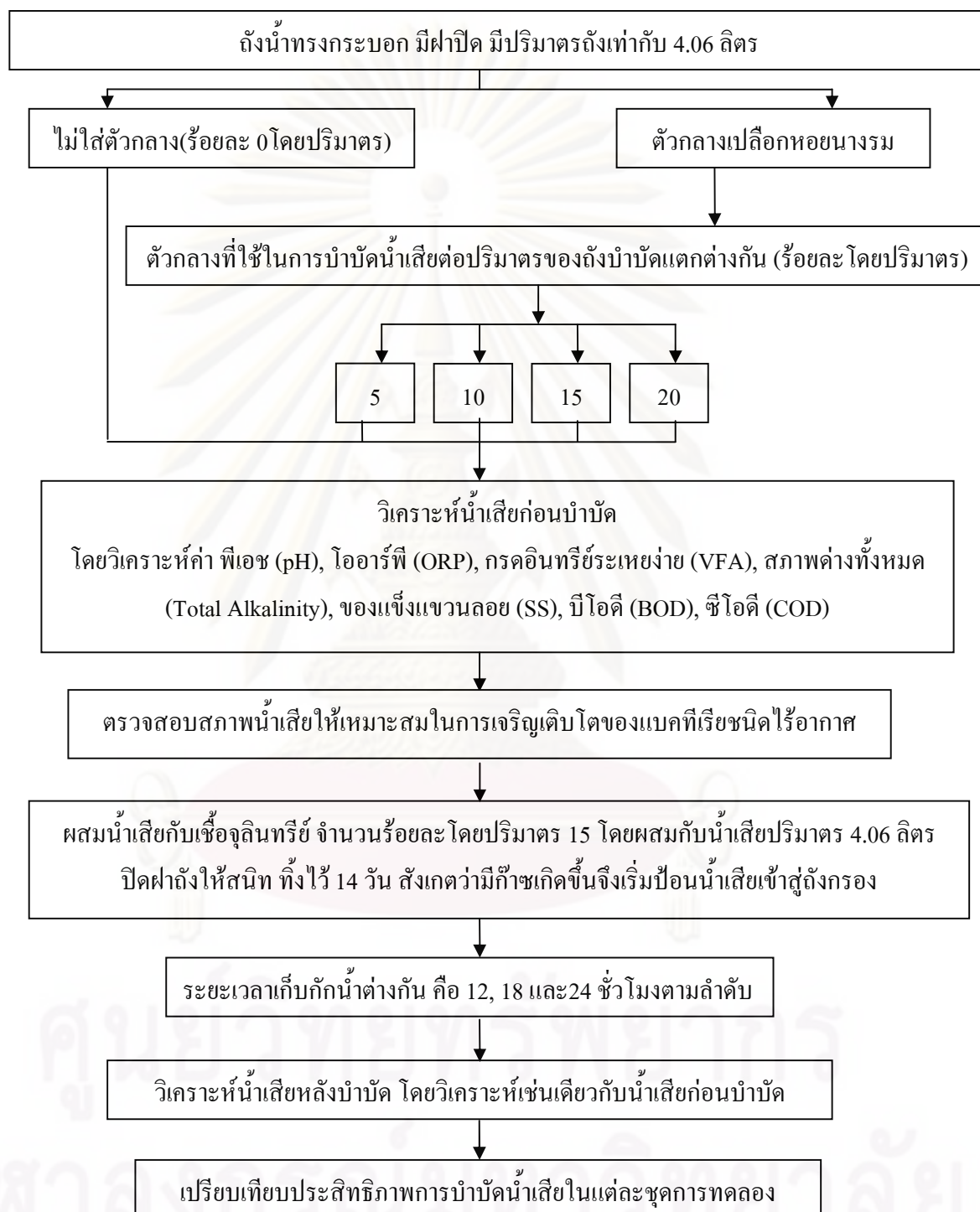
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดในการเก็บวิเคราะห์น้ำในแต่ละพารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
อุณหภูมิ, พีเอช, ไออาร์พี	ทุกวัน
ซีไอดี, บีไอดี, ของแข็งแขวนลอย, กรดอินทรีย์ระเหยง่าย, ค่าสภาพต่าง	ทุกๆ 2 วัน/ครั้ง

3.7 การศึกษาพื้นที่ผิวและลักษณะพื้นผิวของตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด

การศึกษาพื้นที่ผิวโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Brunauer-Emmett-Teller : BET) ของเปลือกหอยนางรมก่อนใช้เดินระบบบำบัดน้ำเสีย และลักษณะพื้นผิว โดยวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ของเปลือกหอยนางรมทั้งก่อนและหลังใช้เดินระบบบำบัดน้ำเสีย

3.8 สรุปแผนการวิจัย



รูปที่ 3.4 แผนผังการวิจัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียโรงงานขอสปรูรงรส

ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียของโรงงานขอสปรูรงรสที่ใช้ในงานวิจัย พบว่า น้ำเสียมีค่าพีเอช (pH) ค่อนข้างต่ำ คือ ประมาณ 3.5 ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด และมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) สูง เนื่องจากมีการใช้กรดอะซิติกในกระบวนการผลิตขอสปรูรงรส น้ำเสียจึงมีฤทธิ์เป็นกรด และกรดที่มีอยู่ในน้ำเสียสามารถระเหยได้ จึงมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) สูง และยังพบว่ามีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (SS) ค่อนข้างสูงอีกด้วย เนื่องมาจากมีเศษวัสดุคิปที่ใช้ในกระบวนการผลิตปนเปื้อนออกมากับน้ำเสีย และยังมีค่าบีโอดีและซีโอดีสูง เพราะในกระบวนการผลิตใช้วัสดุคิปที่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งลักษณะสมบัติของน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียโรงงานขอสปรูรงรสที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ค่าพารามิเตอร์
อุณหภูมิ	27-28 องศาเซลเซียส
พีเอช (pH)	ประมาณ 3.5
โออาร์พี (ORP)	140-160 มิลลิโวลต์
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)	800-900 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก
ของแข็งแขวนลอย (SS)	700-1,000 มก./ล.
บีโอดี (BOD)	8,000-10,000 มก./ล.
ซีโอดี (COD)	12,000-14,000 มก./ล.

4.2 ผลการศึกษาชนิดของตัวกลางเปลือกหอยนางรมเพื่อใช้เป็นตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ

4.2.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผา

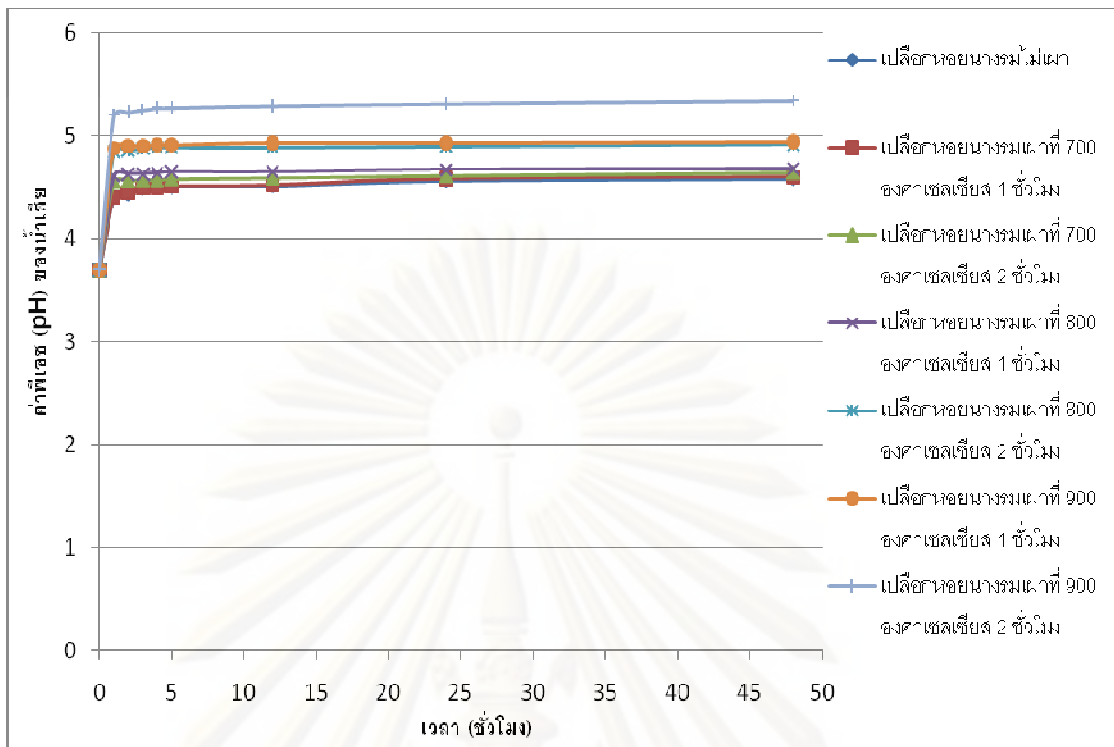
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) (ดังภาคผนวก ข) พบว่า ส่วนประกอบทางเคมีที่พบทั้งเปลือกหอยที่ไม่ได้เผาและที่เผา คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของเปลือกหอยนางรม และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใส่เผาเปลือกหอยนางรมมากขึ้น จะพบส่วนประกอบอีก 2 ชนิด คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) เพิ่มมากขึ้นด้วยแต่แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) จะมีปริมาณที่ลดลง เนื่องจากเมื่อแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ได้รับความร้อนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ได้ถ้ามีการสัมผัสกับความชื้น ดังสมการ (4.1)



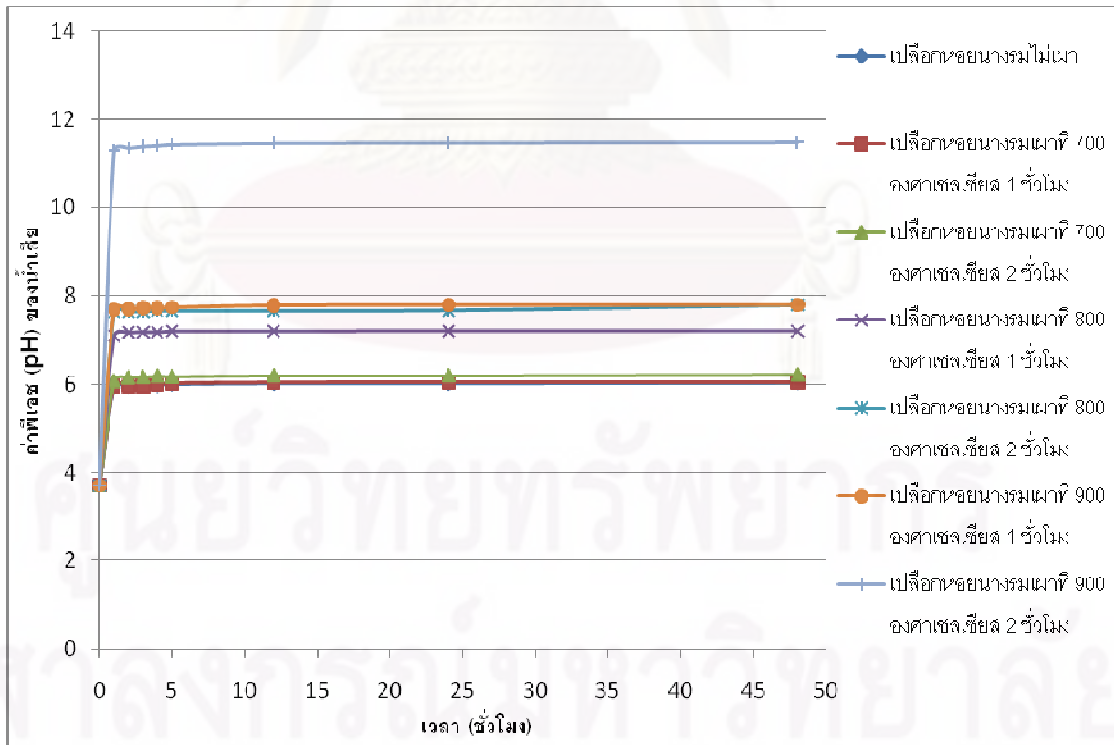
แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) มีความสามารถในการปรับค่าพีเอช (pH) ให้สูงขึ้นได้มากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) เป็นเบสแก่และมีความสามารถละลายน้ำดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) จึงมีความสามารถในการปรับค่าพีเอช (pH) ให้สูงขึ้นได้มากกว่า และพบว่าเมื่อเผาเปลือกหอยนางรมที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จะพบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ในปริมาณที่มาก ซึ่งมีปริมาณไม่แตกต่างจากเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ทั้งเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง

4.2.2 การเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

จากการทดลองโดยเปรียบเทียบการปรับพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมต่างๆ กัน (ดังภาคผนวก ค-1) พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่เผาเปลือกหอยนางรมมากขึ้น ที่จำนวนโมลของเปลือกหอยนางรมเท่ากัน การปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียจะเพิ่มมากขึ้นและจะมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อจำนวนโมลของเปลือกหอยนางรมเพิ่มมากขึ้น การปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสี้ยวกับเวลา ที่จำนวน 0.001 โมล ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่เผาและที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสี้ยวกับเวลา ที่จำนวน 0.010 โมล ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่เผาและที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

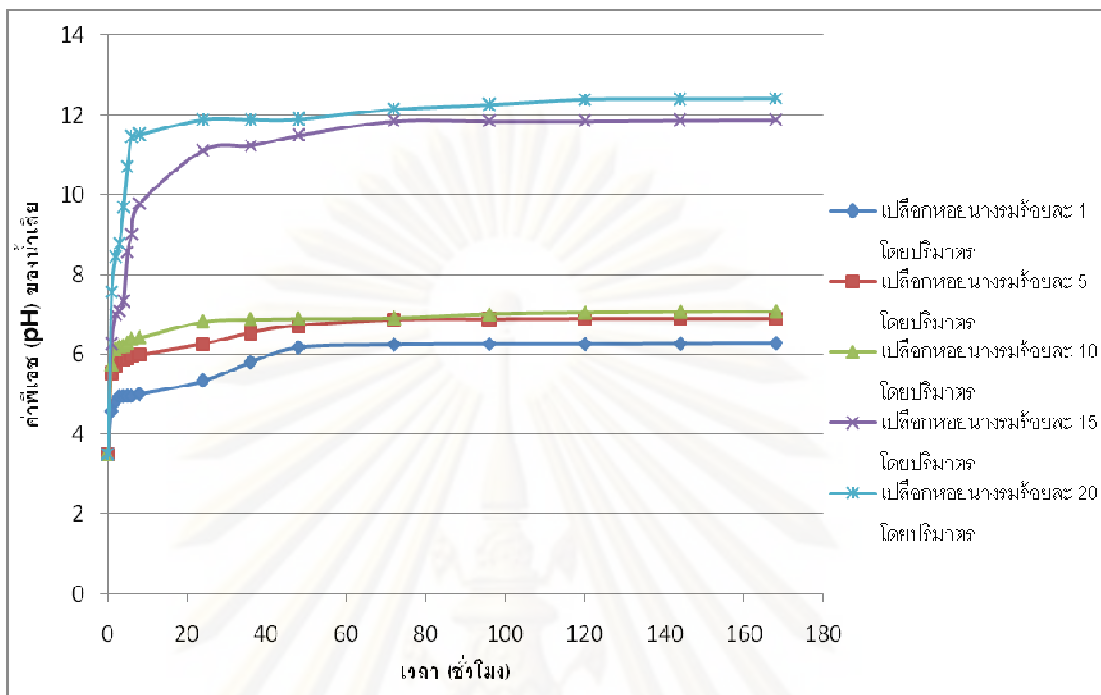
จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะพบว่าที่เปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จะสามารถปรับค่าพีเอช (pH) น้ำเสียได้มากที่สุด (พีเอช (pH) มีค่าเพิ่มขึ้นมาก) เมื่อจำนวนโมลของเปลือกหอยนางรมเพิ่มมากขึ้น การปรับพีเอช (pH) น้ำเสียก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่พบว่าที่จำนวนโมล 0.001 ค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้มีค่าแตกต่างกับที่จำนวนโมล 0.010 มาก (ที่ 0.001 โมล ค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้มีค่าประมาณ 5.5 แต่ที่ 0.010 โมล ค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้มีค่าประมาณ 11.5 ซึ่งเห็นว่ามีค่าแตกต่างกันมาก) ดังนั้นที่การเผาเปลือกหอยนางรม ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จึงไม่นำมาพิจารณาเป็นเปลือกหอยนางรมเผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง สามารถปรับค่าพีเอช (pH) น้ำเสียได้ดีกว่าเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 และ 2 ชั่วโมง และ ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกับเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง และพลังงานที่ต้องใช้เผาเปลือกหอยนางรม ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ต้องใช้พลังงานที่สูงกว่าการเผาเปลือกหอยนางรม ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ทั้งที่การปรับค่าพีเอช (pH) น้ำเสียมีค่าใกล้เคียงกัน จึงเลือกใช้เปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการศึกษาทดลองต่อไป

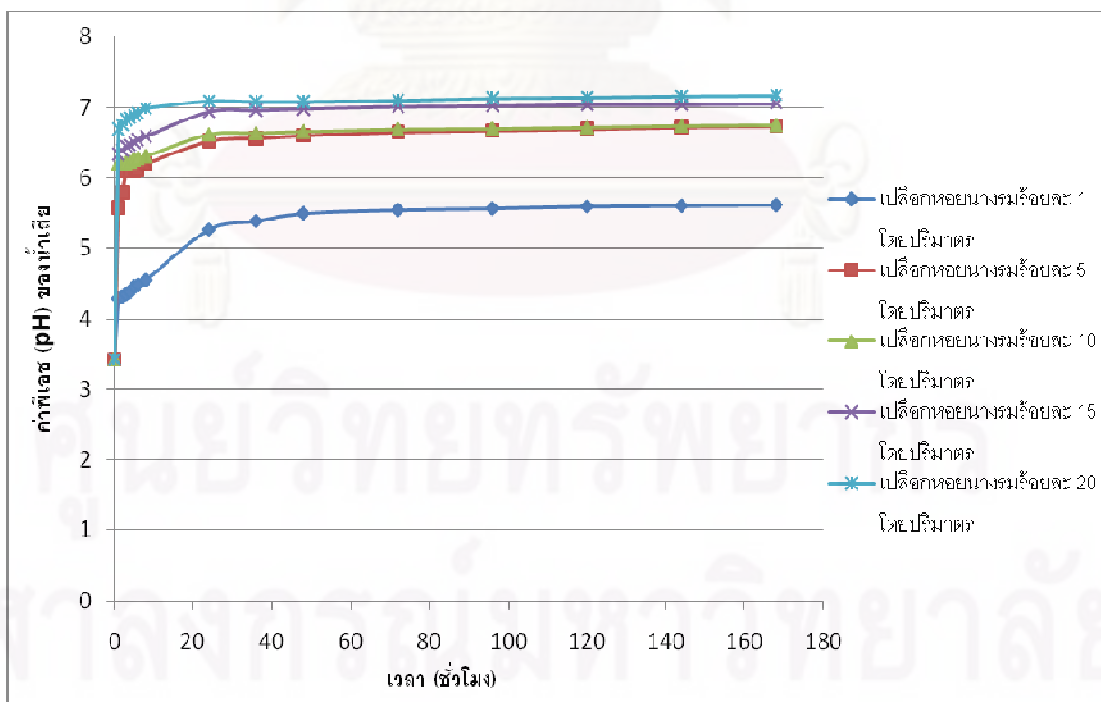
4.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ระหว่างตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสีย (ดังภาคผนวก ค-2) พบว่าเมื่อปริมาณเปลือกหอยนางรมทั้งไม่เผาและที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง มากขึ้น จะสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียให้มีค่าเพิ่มขึ้นมากด้วย ซึ่งเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จะสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียให้มีค่าเพิ่มขึ้นได้มากกว่าเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาในการเติมน้ำเสียทั้ง 2 รอบ ซึ่งในการเติมน้ำเสียรอบที่ 1 พบว่า ค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้มีค่าสูงสุดประมาณ 10-12 (ค่าพีเอชสูงมาก ไม่เหมาะต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ เนื่องจากจุลินทรีย์จะถูกยับยั้งการเจริญเติบโตได้) แต่ในการเติมน้ำเสียรอบที่ 2 พบว่า ค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้มีค่าสูงสุดประมาณ 6-7 เห็นได้ว่าค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้ในรอบที่ 1 นั้นมีค่าต่างกันอย่างมากกับค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้ในรอบที่ 2 ซึ่งค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้ในรอบที่ 2 มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่

ปรับได้ในรอบที่ 1 ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

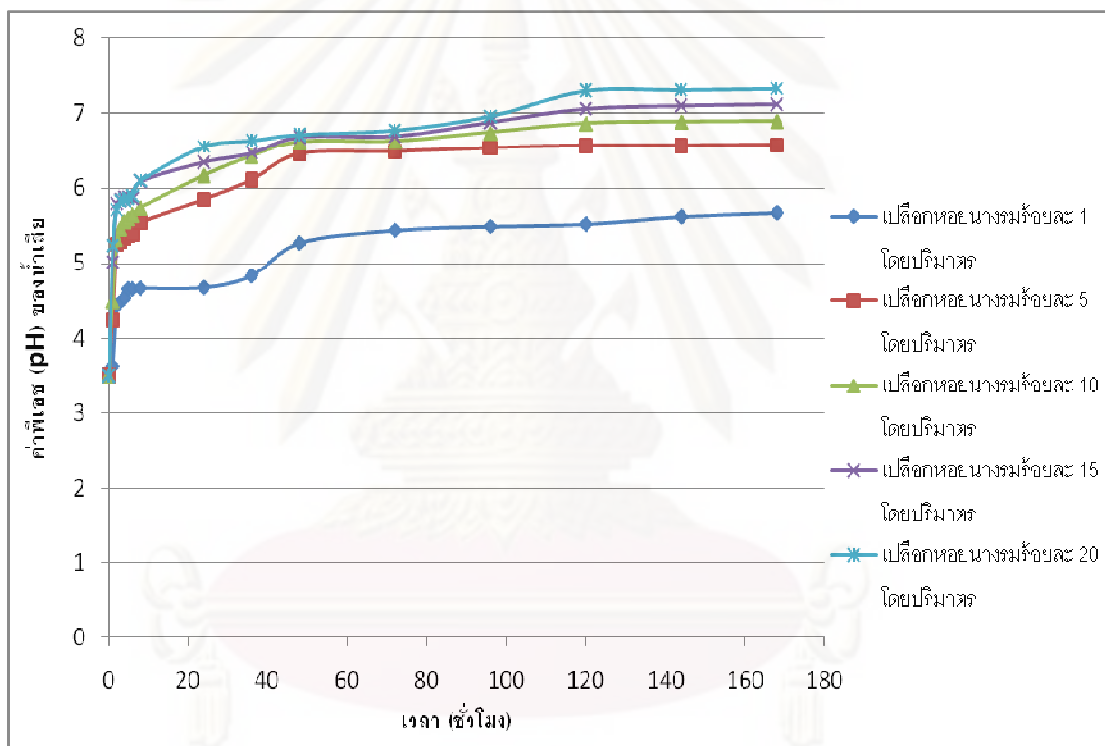


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช (pH) ของน้ำเสี้ยวกับเวลา ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณต่างๆ ในการเติมน้ำเสี้ยวรอบที่ 1

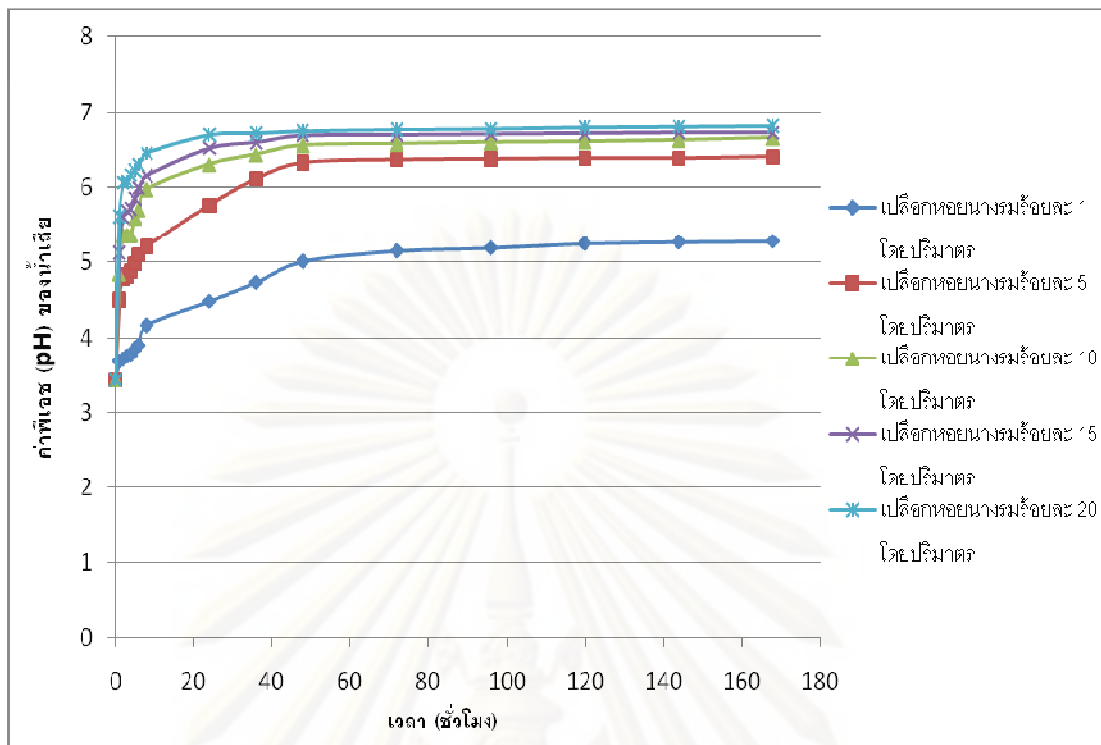


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช (pH) ของน้ำเสี้ยวกับเวลา ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณต่างๆ ในการเติมน้ำเสี้ยวรอบที่ 2

ซึ่งแตกต่างจากเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาที่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) น้ำเสียได้ดีในการเติมน้ำเสียทั้ง 2 รอบ โดยค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้ในการเติมน้ำเสียรอบที่ 1 มีค่าสูงสุดประมาณ 6.5-7.5 (ค่าพีเอชน้ำเสียที่ปรับได้มีค่าเป็นกลาง ซึ่งเหมาะสมต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ จุลินทรีย์สามารถดำรงชีพได้) และค่าพีเอช (pH) น้ำเสียที่ปรับได้ในการเติมน้ำเสียรอบที่ 2 มีค่าสูงสุดประมาณ 6-7 เห็นได้ว่าค่าพีเอช (pH) ที่ปรับได้ในการเติมน้ำเสียในรอบที่ 2 นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับค่าพีเอช (pH) ที่ปรับได้ในการเติมน้ำเสียในรอบที่ 1 ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 จึงได้เลือกใช้เปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาเป็นตัวกลางในระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศในงานวิจัยต่อไป เนื่องจากสามารถปรับค่าพีเอช (pH) น้ำเสียได้คงที่ และง่ายต่อการนำเปลือกหอยนางรมไปใช้งานด้วย (ไม่ต้องเผา)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช (pH) ของน้ำเสียกับเวลา ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่เผา ซึ่งมีปริมาณต่างๆ ในการเติมน้ำเสียรอบที่ 1



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช (pH) ของน้ำเสียกับเวลา ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา ซึ่งมีปริมาณต่างๆ ในการเติมน้ำเสียรอบที่ 1

4.3 ประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศ

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัด โดยมีตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา ปริมาณต่างๆ กัน คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยทำการศึกษาค่าพีเอช (pH), อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), โออาร์พี (ORP), ซีโอดี (COD), ของแข็งแขวนลอย (SS), บีโอดี (BOD), กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) และสภาพด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)

4.3.1 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร

4.3.1.1 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

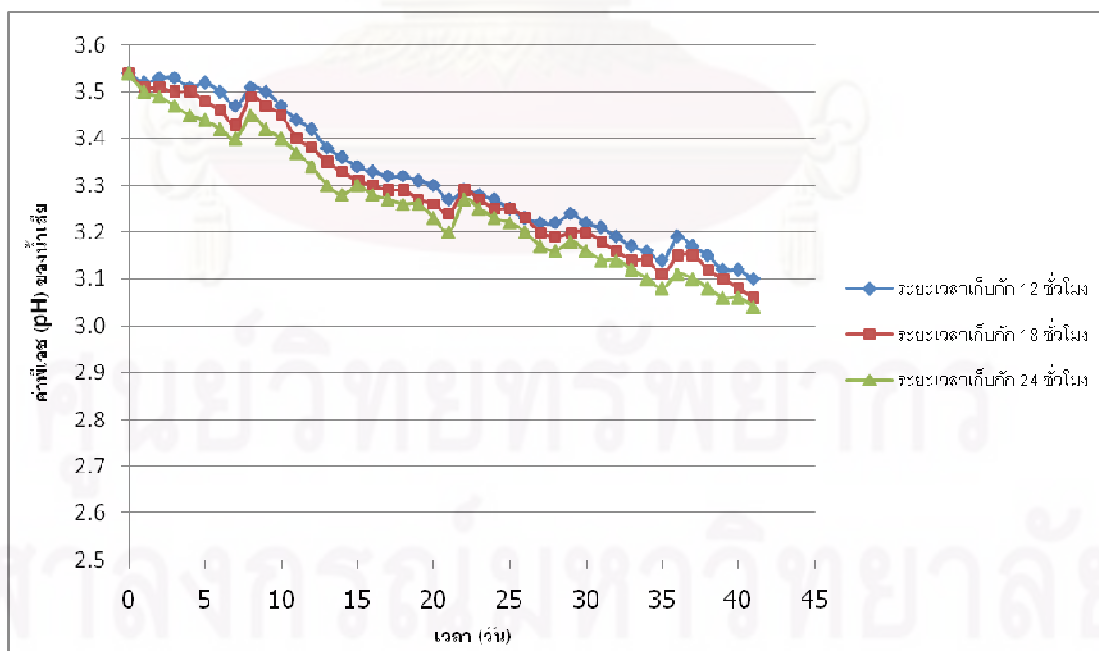
จากการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พบว่า ระบบบำบัดมีอุณหภูมิประมาณ 29-30 องศาเซลเซียส (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (มันลิน, 2536)

4.3.1.2 ค่าโออาร์พี (ORP)

จากการตรวจวัดค่าโออาร์พี (ORP) พบว่า ระบบบำบัดมีค่าโออาร์พี (ORP) ประมาณ -290 ถึง -320 มิลลิโวลต์ (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (มันสิน, 2536)

4.3.1.3 ค่าพีเอช (pH)

ผลจากการวัดค่าพีเอช (pH) ของระบบบำบัด (ดังภาคผนวก ง-1) พบว่า ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากระบบบำบัดไม่มีตัวกลางเปลือกหอยนางรม ซึ่งเปลือกหอยนางรมนี้จะทำหน้าที่ปรับพีเอช (pH) ให้กับน้ำเสียและให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ ดังนั้นระบบนี้จึงไม่มีเปลือกหอยนางรมช่วยปรับพีเอช (pH) ให้กับน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัด และประกอบกับในระบบเกิดกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) เพียงอย่างเดียว ไม่เกิดกระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) เนื่องจากค่าพีเอช (pH) ในระบบบำบัดไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ซึ่งพีเอช (pH) ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพ คือ 6.7-7.4 (McCarty, 1964) ค่าพีเอช (pH) จึงมีค่าที่ลดลงเรื่อยๆ ดังรูปที่ 4.7 เนื่องจากมีปริมาณกรดที่เพิ่มมากขึ้นจากกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) สะสมในระบบบำบัด

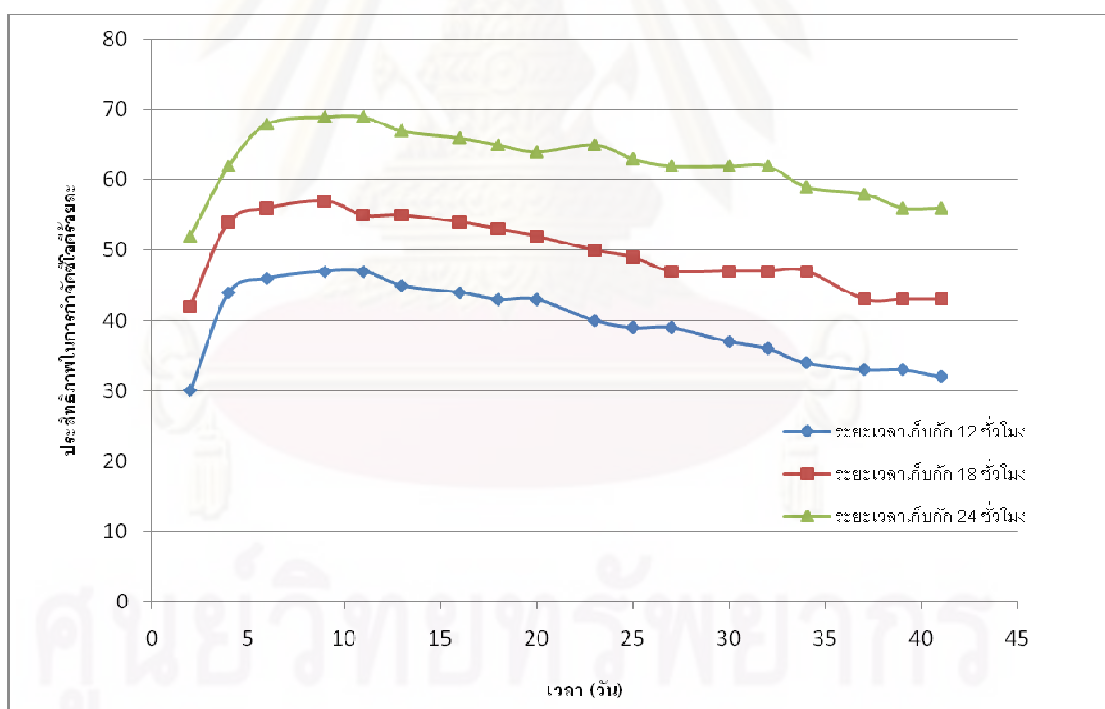


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

และจากรูปที่ 4.7 พบว่า เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) เพิ่มมากขึ้น ค่าพีเอช (pH) ของระบบบำบัดก็จะมีค่าน้อยกว่าค่าพีเอช (pH) ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) ที่น้อยกว่า กล่าวคือ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 24 ชั่วโมง จะเกิดกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) ได้มากกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 18 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 24 ชั่วโมง น้ำเสียมีระยะเวลาอยู่ในระบบนานกว่า 18 และ 12 ชั่วโมง จึงเกิดปฏิกิริยาได้นานมากขึ้น จึงเกิดกรดที่เกิดจากกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) มากกว่า ดังนั้นค่าพีเอช (pH) ในระบบบำบัดจึงมีค่าลดลงมากกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 18 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ

4.3.1.4 ค่าซีโอดี (COD)

จากผลการตรวจวัดค่าซีโอดี (COD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการบำบัดน้ำเสีย และจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง ดังรูปที่ 4.8



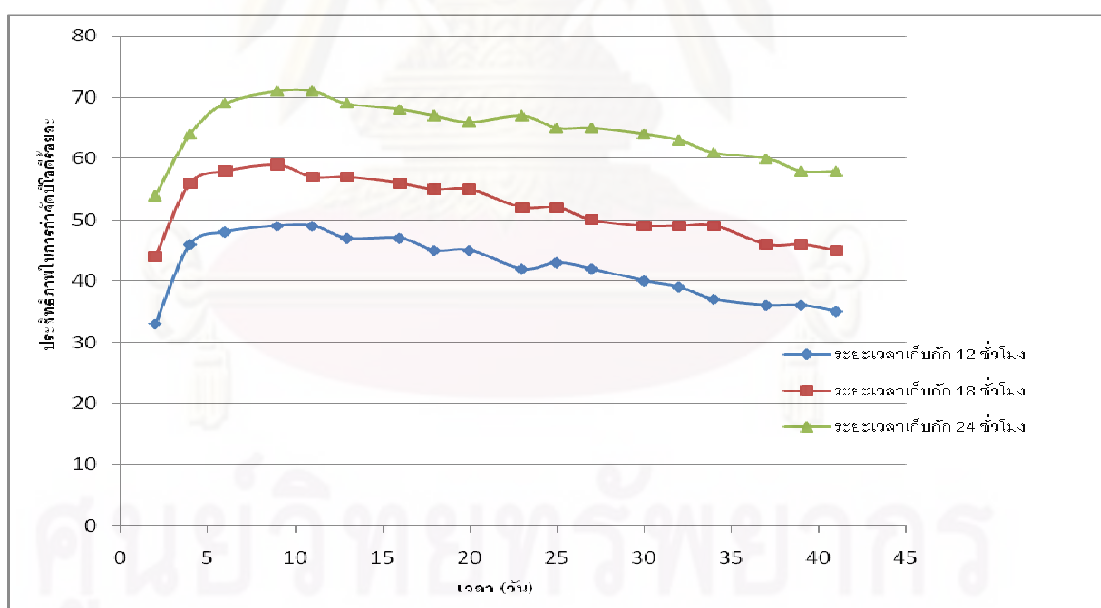
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากในระบบบำบัดเกิดกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) ค่าซีโอดีจึงลดลง

แต่เมื่อเวลาผ่านไป ในระบบบำบัดจะมีกรดเพิ่มขึ้น (พีเอชลดลงน้อยกว่า 3.3) แบคทีเรียสร้างกรดอาจเจริญเติบโตได้ไม่ดีมากนัก ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจึงลดลง และมีค่าลดลงเรื่อยๆ และพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากน้ำเสียอยู่ในระบบบำบัดนาน จึงเกิดปฏิกิริยาได้มากสามารถกำจัดซีโอดีได้มาก ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง (ภาระบรรทุกซีโอดี เท่ากับ 0.05-0.06 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 18 ชั่วโมง (ภาระบรรทุกซีโอดี เท่ากับ 0.06-0.07 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) และ 12 ชั่วโมง (ภาระบรรทุกซีโอดี เท่ากับ 0.09-0.11 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 69 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง

4.3.1.5 ค่าบีโอดี (BOD)

จากผลการตรวจวัดค่าบีโอดี (BOD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี (BOD) จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการกำจัดซีโอดี (COD) คือ ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี (BOD) จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.9

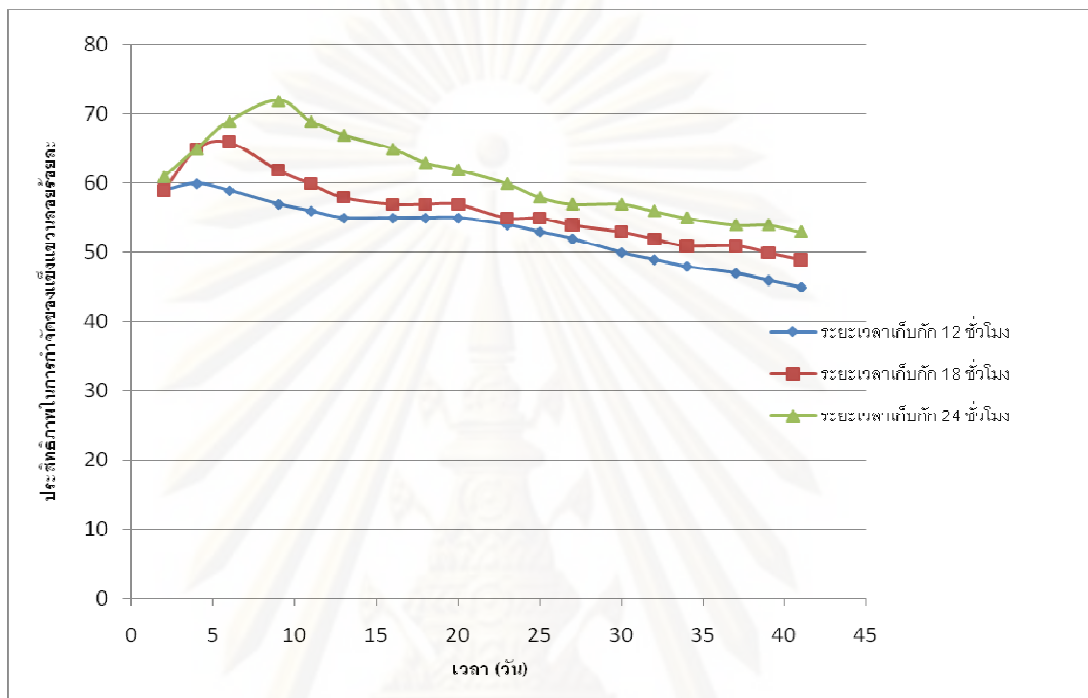


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 71 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง

4.3.1.6 ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

จากผลการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) (ตั้งภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย (SS) จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกและจะลดลง ดังรูปที่ 4.10

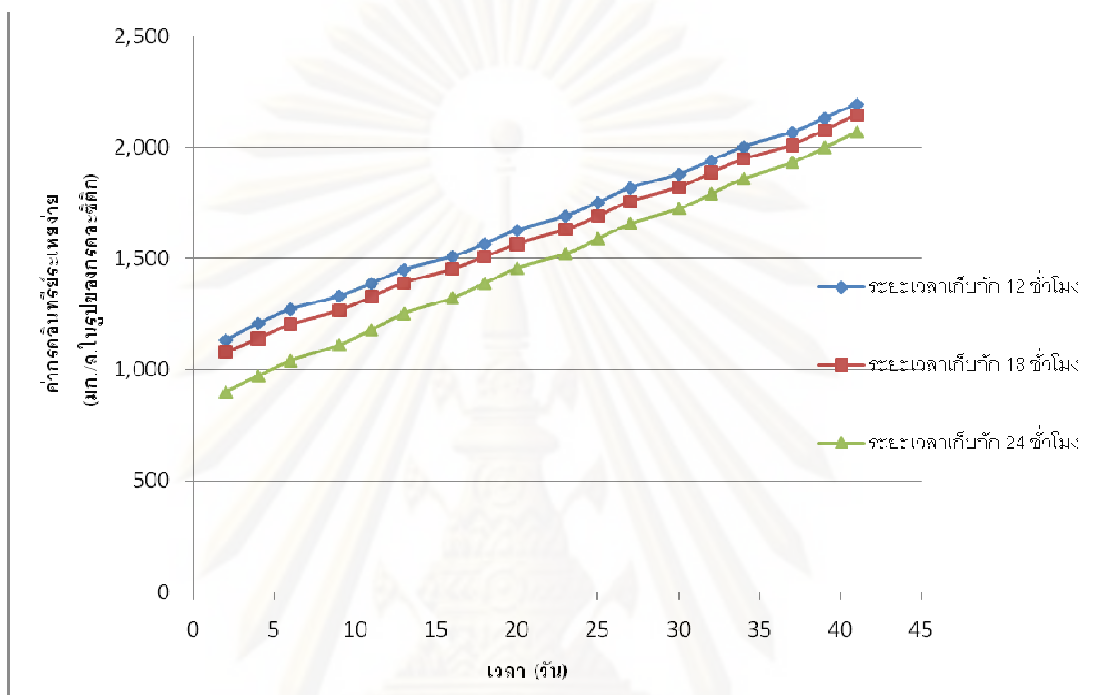


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

จากรูปที่ 4.10 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากในระบบบำบัดเกิดกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) ค่าของแข็งแขวนลอยจึงลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไป ในระบบบำบัดจะมีกรดเพิ่มขึ้น (พีเอชลดลงน้อยกว่า 3.3) แบคทีเรียสร้างกรดอาจเจริญเติบโตได้ไม่เต็มมากนัก ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยจึงลดลง และมีค่าลดลงเรื่อยๆ และพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากน้ำเสียอยู่ในระบบบำบัดนาน จึงเกิดปฏิกิริยาได้มากสามารถกำจัดได้มาก ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 18 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 72 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง แต่เนื่องจากระบบบำบัดไม่มีตัวกลางเปลือกหอยนางรมดังนั้น ในประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยจึงขึ้นอยู่กับกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว

4.3.1.7 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

จากผลการตรวจวัดค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ระบบบำบัด จะมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดังรูปที่ 4.11



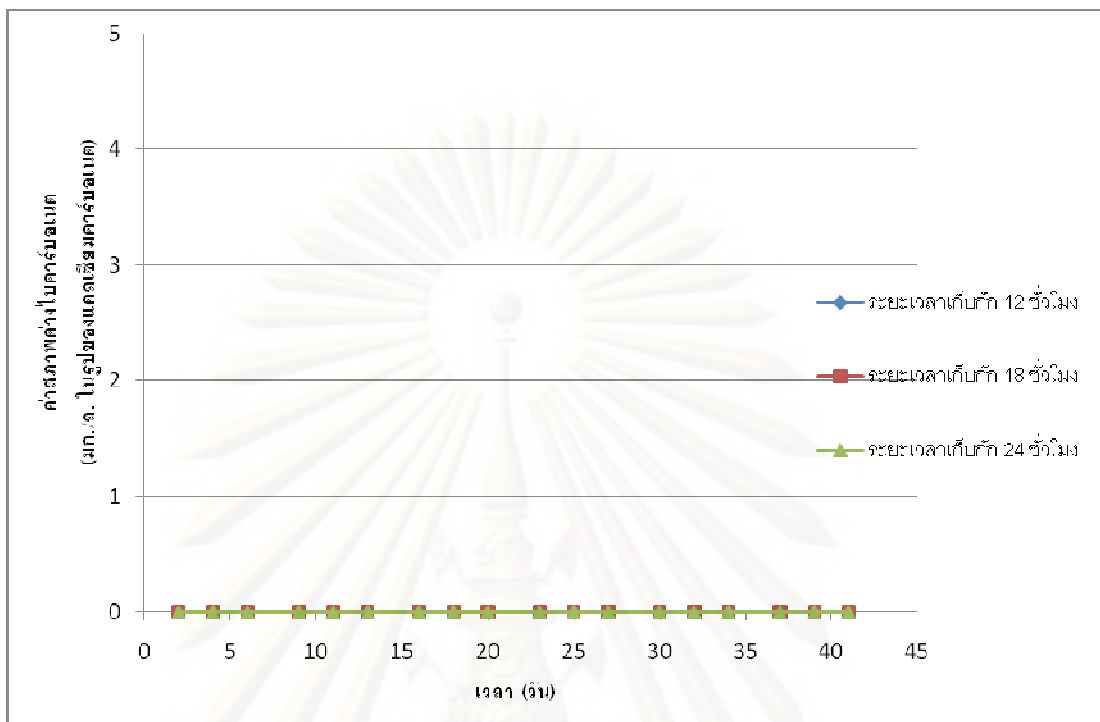
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.11 พบว่า ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากระบบบำบัดมีค่าพีเอช (pH) เป็นกรดมาก (พีเอชน้อยกว่า 3.5) ทำให้แบคทีเรียชนิดสร้างกรดทำงานได้ดีกว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ซึ่งแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถทนสภาพที่เป็นกรดได้ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจึงถูกยับยั้งการทำงาน ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Speece and McCarty, 1964) ไม่สามารถนำกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ที่เกิดจากระบวนการสร้างกรดไปใช้ได้ จึงมีแค่ปฏิกิริยาการสร้างกรดของแบคทีเรียสร้างกรดเท่านั้น เพราะฉะนั้นค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

4.3.1.8 สภาพด่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-)

ระบบบำบัดไม่สามารถหาค่าสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตได้ เนื่องจากน้ำเสียในระบบบำบัดมีสภาพเป็นกรด (pH น้อยกว่า 3.5) และไม่มีเปลือกหอยนางรมที่ทำหน้าที่ปรับพีเอช

(pH) ให้กับน้ำเสีย จึงไม่สามารถหาค่าได้ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพความเป็นด่าง ไบคาร์บอเนตกับระยะเวลาต่างๆ ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

4.3.2 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร

4.3.2.1 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

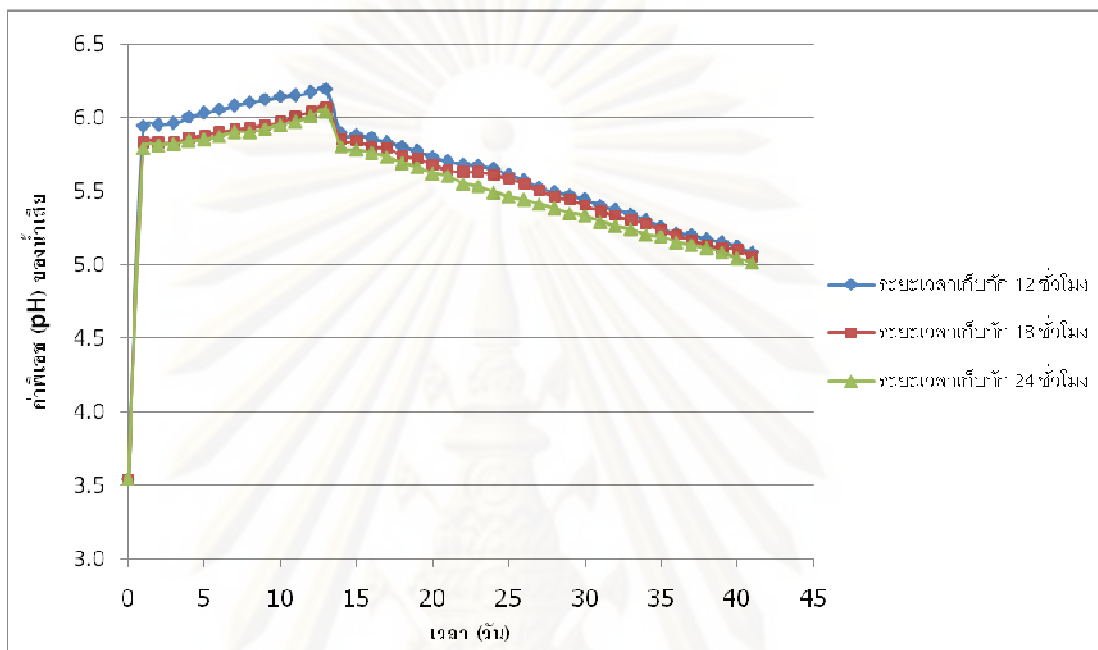
จากการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พบว่า ระบบบำบัดมีอุณหภูมิประมาณ 29-31 องศาเซลเซียส (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (มันสิน, 2536)

4.3.2.2 ค่าโออาร์พี (ORP)

จากการตรวจวัดค่าโออาร์พี (ORP) พบว่า ระบบบำบัดมีค่าโออาร์พี (ORP) ประมาณ -300 ถึง -330 มิลลิโวลท์ (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (มันสิน, 2536)

4.3.2.3 ค่าพีเอช (pH)

จากการวัดค่าพีเอช (pH) ของระบบบำบัด (ดังภาคผนวก ง-1) พบว่า ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.13



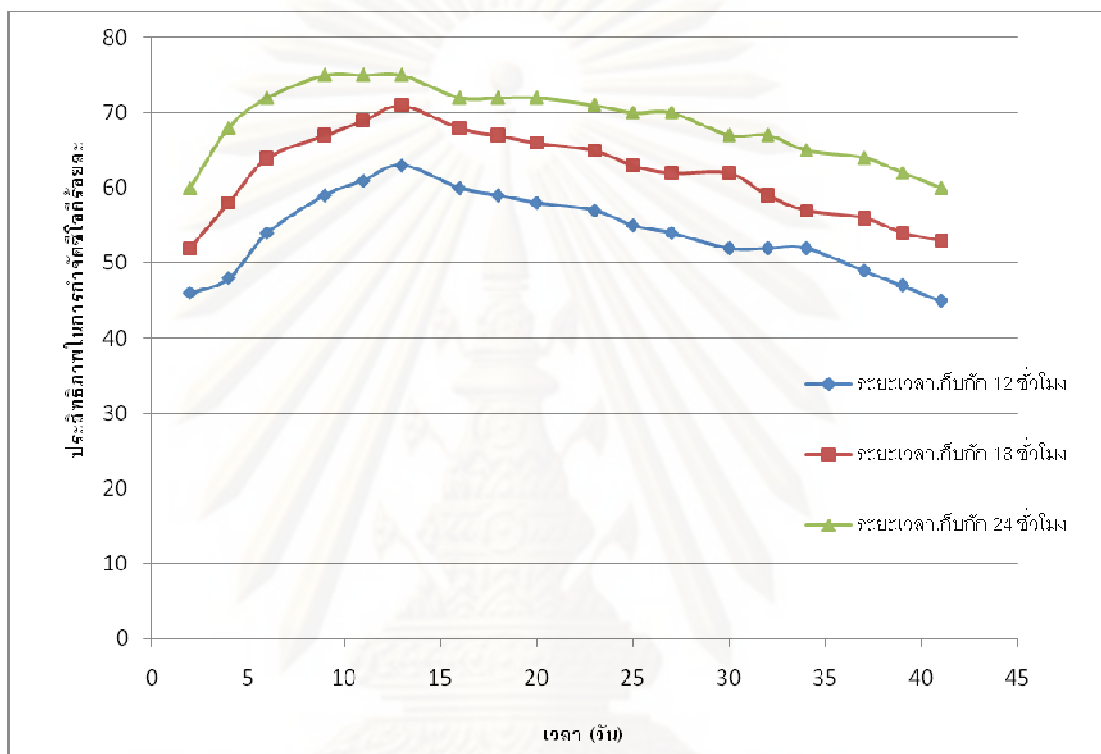
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

จากรูปที่ 4.13 พบว่า ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ค่าพีเอช ประมาณ 5.9-6.2) เนื่องจากในระบบบำบัดมีตัวกลางเปลือกหอยนางรม ซึ่งเปลือกหอยนางรมจะมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) ให้กับน้ำเสียได้ ดังนั้นค่าพีเอช (pH) ในระบบจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะมีค่าลดลง เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกหอยนางรมมีปริมาณลดลง กล่าวคือ เปลือกหอยผุ หรือว่าหมดอายุการใช้งานของเปลือกหอยนางรม จึงไม่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียให้เพิ่มขึ้นได้อีก ค่าพีเอช (pH) ของระบบจึงมีค่าลดลง ระยะเวลาที่ค่าพีเอช (pH) ของระบบสูงสุด คือ 13 วัน

4.3.2.4 ค่าซีโอดี (COD)

จากผลการตรวจวัดค่าซีโอดี (COD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการบำบัดน้ำเสีย และจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

ลดลง โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับที่จำนวนเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร แต่ระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจะมีระยเวลานานกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร ซึ่งระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด คือ 13 วัน ซึ่งมีจำนวนวันเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (13 วัน) ดังรูปที่ 4.14

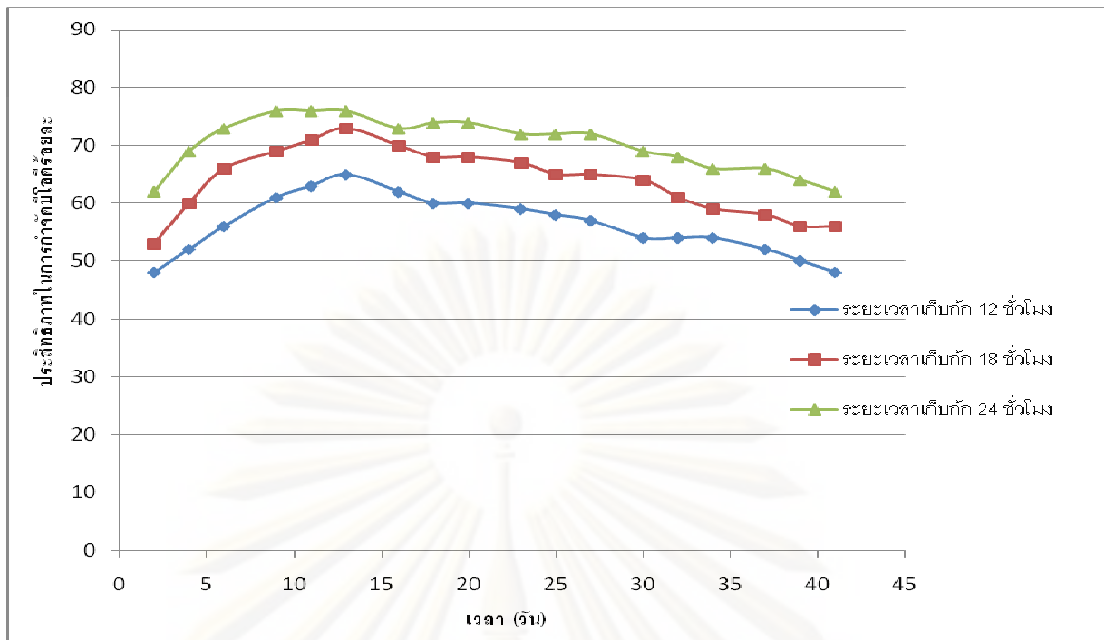


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 75 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร

4.3.2.5 ค่าบีโอดี (BOD)

จากผลการตรวจวัดค่าบีโอดี (BOD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี (BOD) จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการกำจัดซีโอดี (COD) คือ ประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี (BOD) จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.15



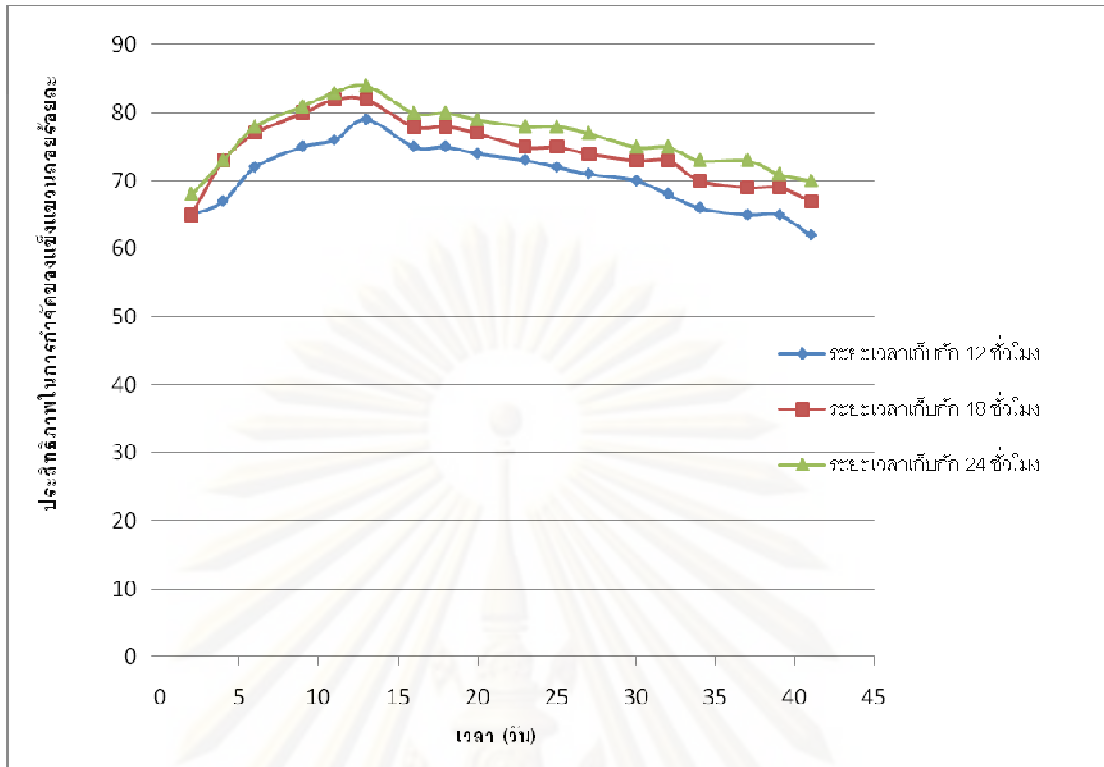
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 76 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร และระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีสูงสุด คือ 13 วัน ซึ่งมีจำนวนวันเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (13 วัน)

4.3.2.6 ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

จากผลการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย (SS) จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกและจะลดลง โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับที่จำนวนเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร แต่ระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นจะมีระยะเวลานานกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร ซึ่งระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด คือ 13 วัน ซึ่งมีจำนวนวันเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (13 วัน)

ดังรูปที่ 4.16

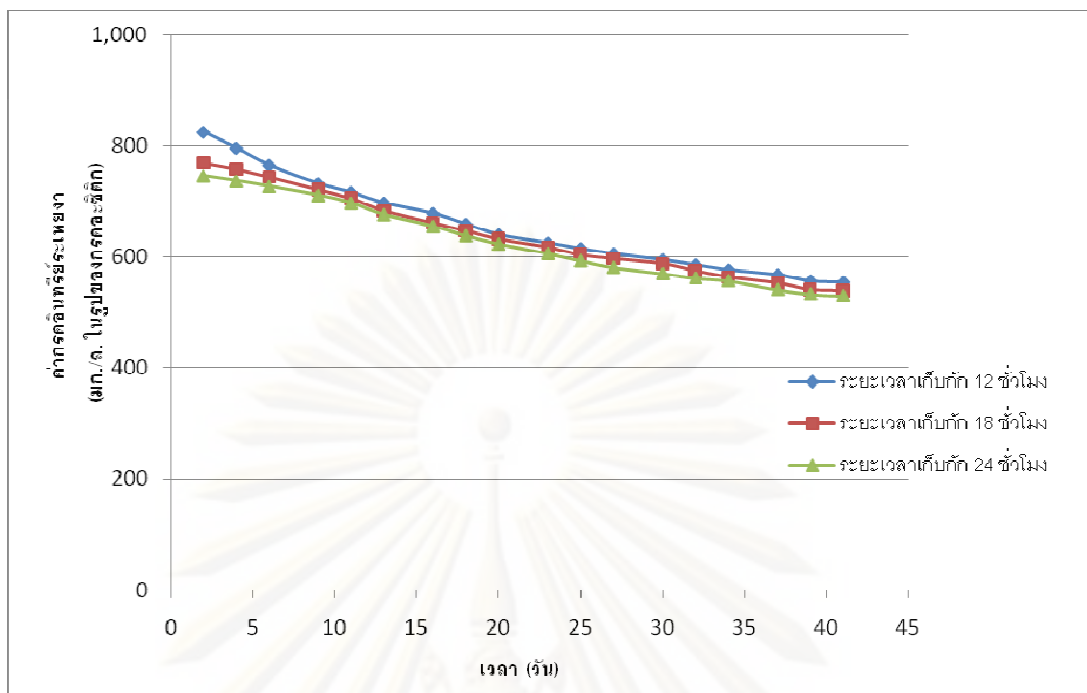


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 84 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 โดยปริมาตร เนื่องจากระบบบำบัดนี้มีเปลือกหอยนางรมปริมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร ซึ่งจะทำให้ที่กรองสารแขวนลอยต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียและเป็นที่อยู่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยในระบบนี้จึงสูงกว่าระบบที่ไม่มีเปลือกหอยนางรม (ร้อยละ 0 โดยปริมาตร) ที่มีแต่กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว

4.3.2.7 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

จากผลการตรวจวัดค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ระบบบำบัดจะมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังรูปที่ 4.17

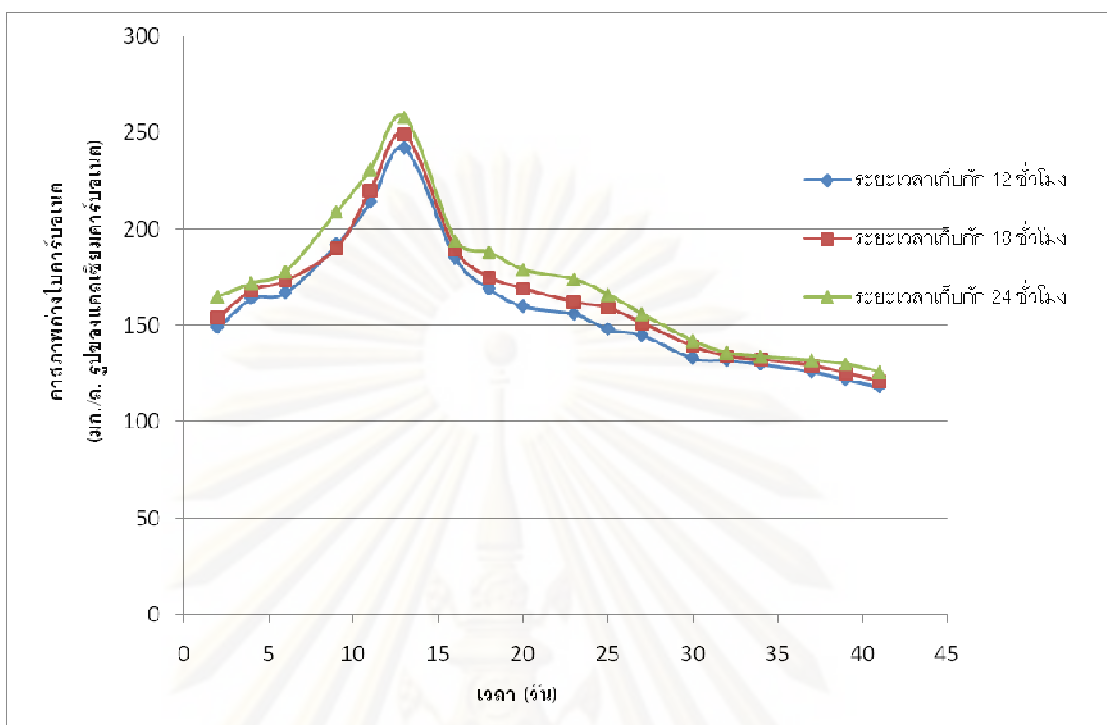


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.17 พบว่า ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลง (ลดลงทีละน้อย) เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากระบบบำบัดมีค่าพีเอช (pH) ประมาณ 5.9-6.2 (พีเอชมีค่าเกือบเป็นกลาง) แบคทีเรียที่สร้างกรดสามารถทำงานได้เป็นปกติ ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจมีการเจริญเติบโตได้แต่ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากน้ำเสียยังมีสภาพไม่เหมาะสมในการเจริญเติบโต ซึ่งค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต คือ 6.7-7.4 (McCarty, 1964) ซึ่งแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่เจริญเติบโตได้บ้างในระบบนี้จะใช้กรดอะซิติกในการสร้างมีเทน (Speece and McCarty, 1964) ทำให้ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลงแต่ลดลงไม่มาก เนื่องจากยังเกิดกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ที่แบคทีเรียสร้างกรดสร้างขึ้นมาเรื่อยๆ มากกว่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนใช้ไป

4.3.2.8 สภาพด่างไปคาร์บอเนต (HCO_3^-)

จากผลการตรวจสอบสภาพความเป็นด่างไปคาร์บอเนต (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า จะมีค่าสภาพความเป็นด่างไปคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยมีค่าสภาพด่างไปคาร์บอเนตสูงสุดประมาณ 200-250 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก และจะมีค่าลดลงเมื่อหมดอายุการใช้งานของเปลือกหอยนางรม (เปลือกหอยนางรมไม่สามารถให้ค่าสภาพด่างได้อีก) คือ หลังจาก 13 ซึ่งมีจำนวนวันเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (13 วัน) ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน

4.3.3 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10 โดยปริมาตร

4.3.3.1 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

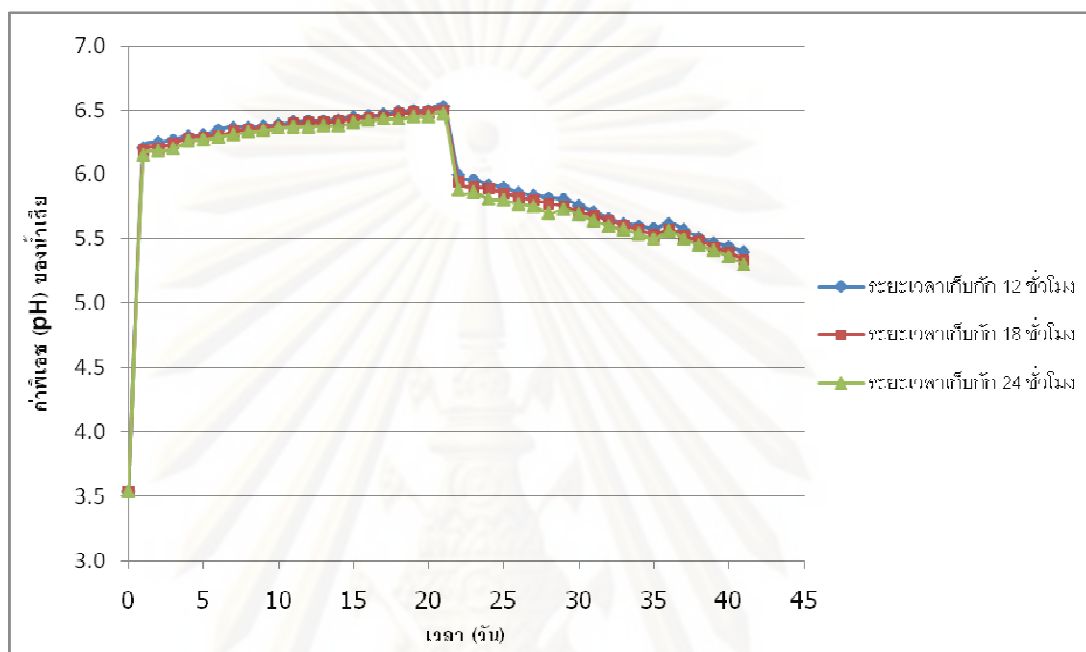
จากการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พบว่า ระบบบำบัดมีอุณหภูมิประมาณ 29-31 องศาเซลเซียส (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (มันสิน, 2536)

4.3.3.2 ค่าโออาร์พี (ORP)

จากการตรวจวัดค่าโออาร์พี (ORP) พบว่า ระบบบำบัดมีค่าโออาร์พี (ORP) ประมาณ -300 ถึง -340 มิลลิโวลต์ (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (มันสิน, 2536)

4.3.3.3 ค่าพีเอช (pH)

จากการวัดค่าพีเอช (pH) ของระบบบำบัด (ดังภาคผนวก ง-1) พบว่า ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.13

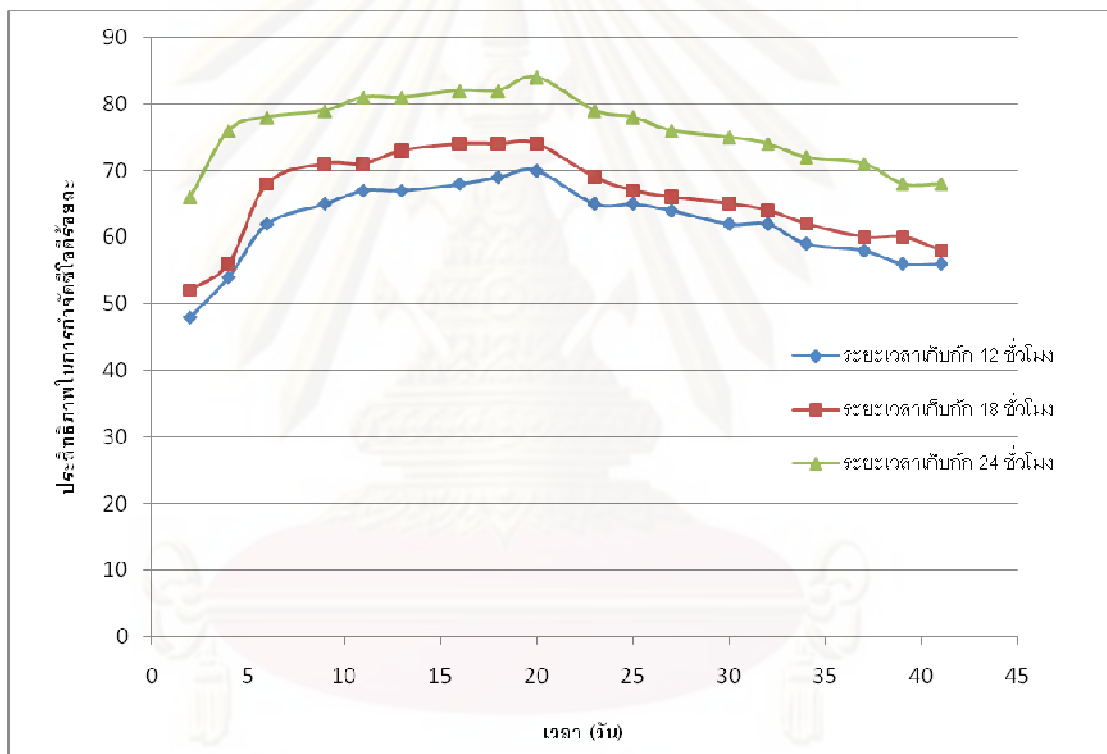


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสี้ยวในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

จากรูปที่ 4.19 พบว่า ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าพีเอช ประมาณ 6.0-6.5 ซึ่งค่าพีเอช (pH) ที่ปรับได้นั้นมีค่ามากกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 และ 0 โดยปริมาตร ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากในระบบบำบัดมีตัวกลางเปลือกหอยนางรมซึ่งเปลือกหอยนางรมจะมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) ให้กับน้ำเสี้ยวได้ ดังนั้นค่าพีเอช (pH) ในระบบจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะมีค่าลดลง เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกหอยนางรมมีปริมาณลดลง กล่าวคือเปลือกหอยผุ หรือว่าหมดอายุการใช้งานของเปลือกหอยนางรม จึงไม่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสี้ยวให้เพิ่มขึ้นได้อีก ค่าพีเอช (pH) ของระบบจึงมีค่าลดลง ระยะเวลาที่ค่าพีเอช (pH) ของระบบสูงสุด คือ 21 วัน

4.3.3.4 ค่าซีโอดี (COD)

จากผลการตรวจวัดค่าซีโอดี (COD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการบำบัดน้ำเสีย และจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับที่จำนวนเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 และ 5 โดยปริมาตร แต่ระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจะมีระยะเวลานานกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด คือ 20 วัน ซึ่งมีจำนวนใกล้เคียงกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (21 วัน) ดังรูปที่ 4.20

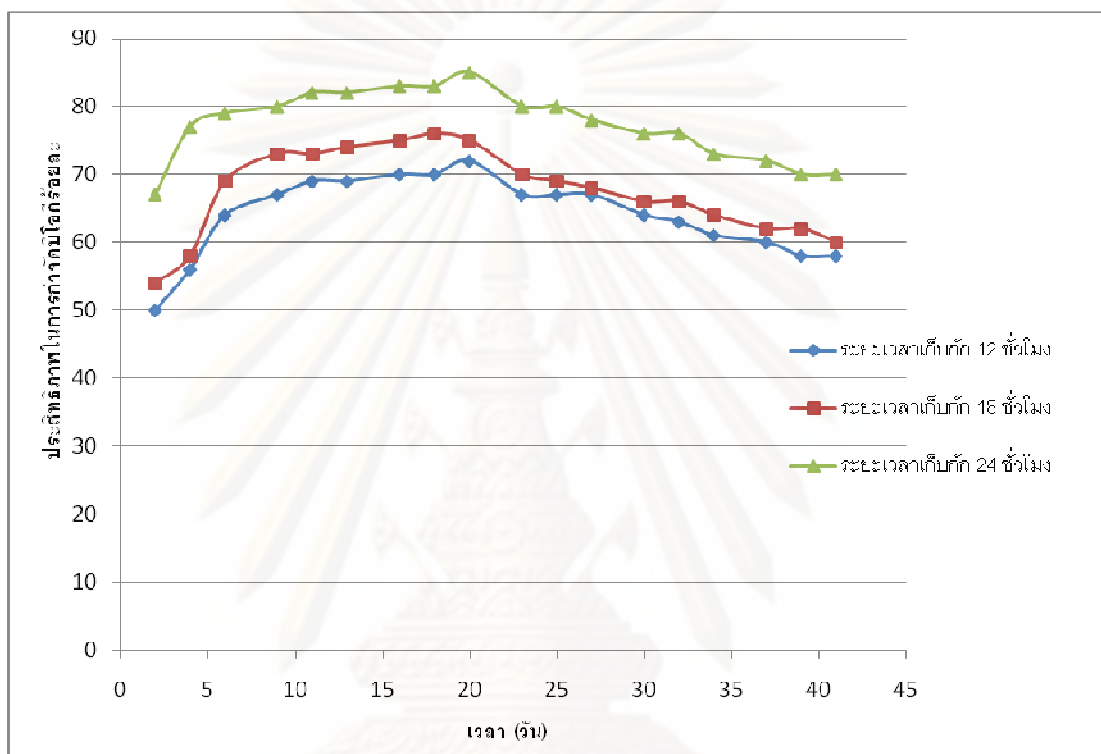


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 84 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ

4.3.3.5 ค่าบีโอดี (BOD)

จากผลการตรวจวัดค่าบีโอดี (BOD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี (BOD) จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการกำจัดซีโอดี (COD) คือ ประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี (BOD) จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.21

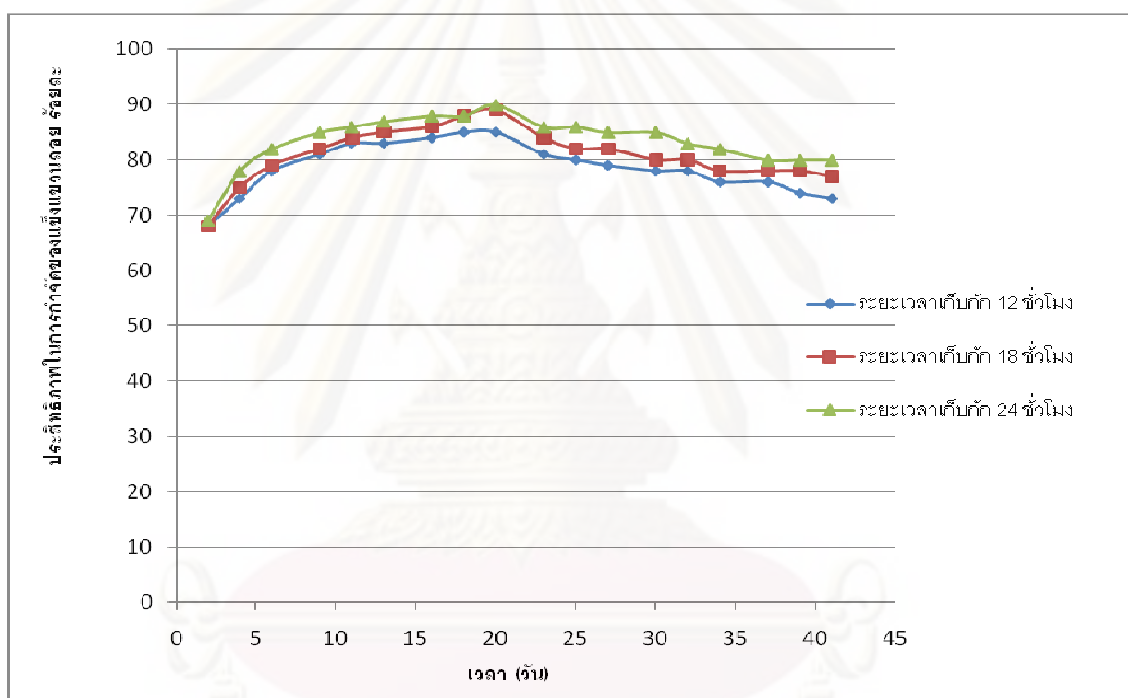


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 85 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ และระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีสูงสุด คือ 20 วัน ซึ่งมีจำนวนวันใกล้เคียงกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (21 วัน)

4.3.3.6 ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

จากผลการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย (SS) จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกและจะลดลง โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับที่จำนวนเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 และ 5 โดยปริมาตร แต่ระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นจะมีระยะเวลานานกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด คือ 20 วัน ซึ่งมีจำนวนวันใกล้เคียงกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (21 วัน) ดังรูปที่ 4.22

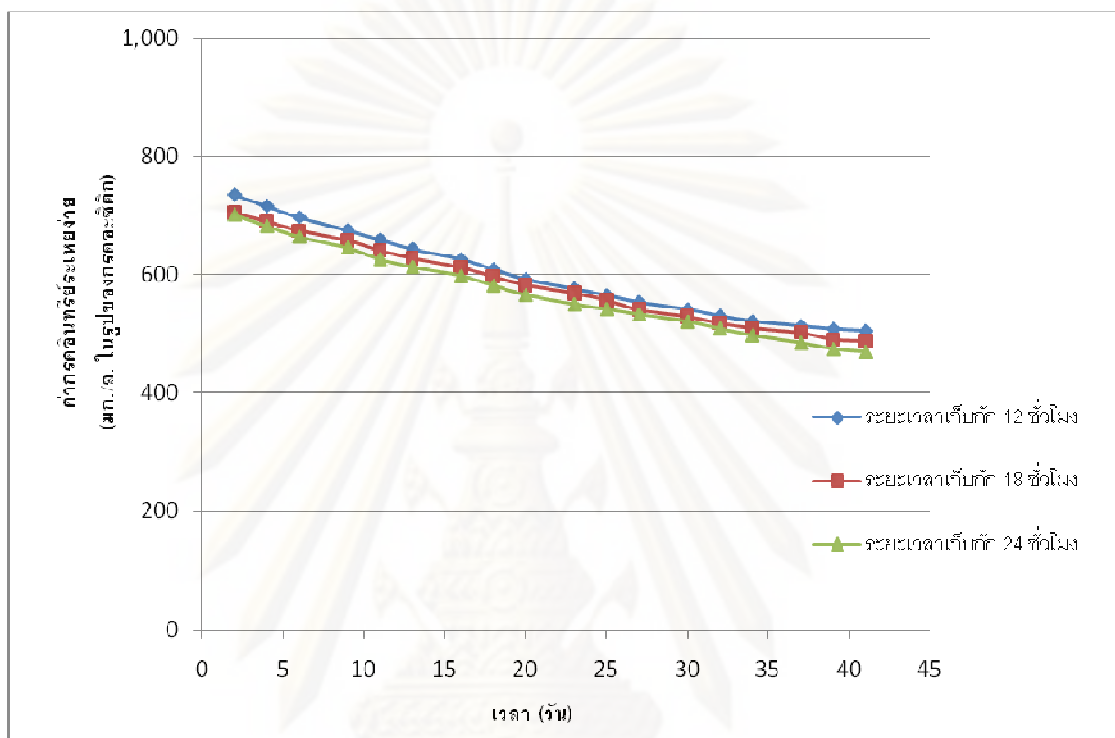


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 90 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ เนื่องจากระบบบำบัดนี้มีเปลือกหอยนางรมปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร ซึ่งจะทำหน้าที่กรองสารแขวนลอยต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียได้มากกว่าปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเป็นที่อยู่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้มากกว่า ดังนั้น ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยในระบบนี้จึงสูงกว่า

4.3.3.7 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

จากผลการตรวจวัดค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ระบบบำบัดจะมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังรูปที่ 4.23

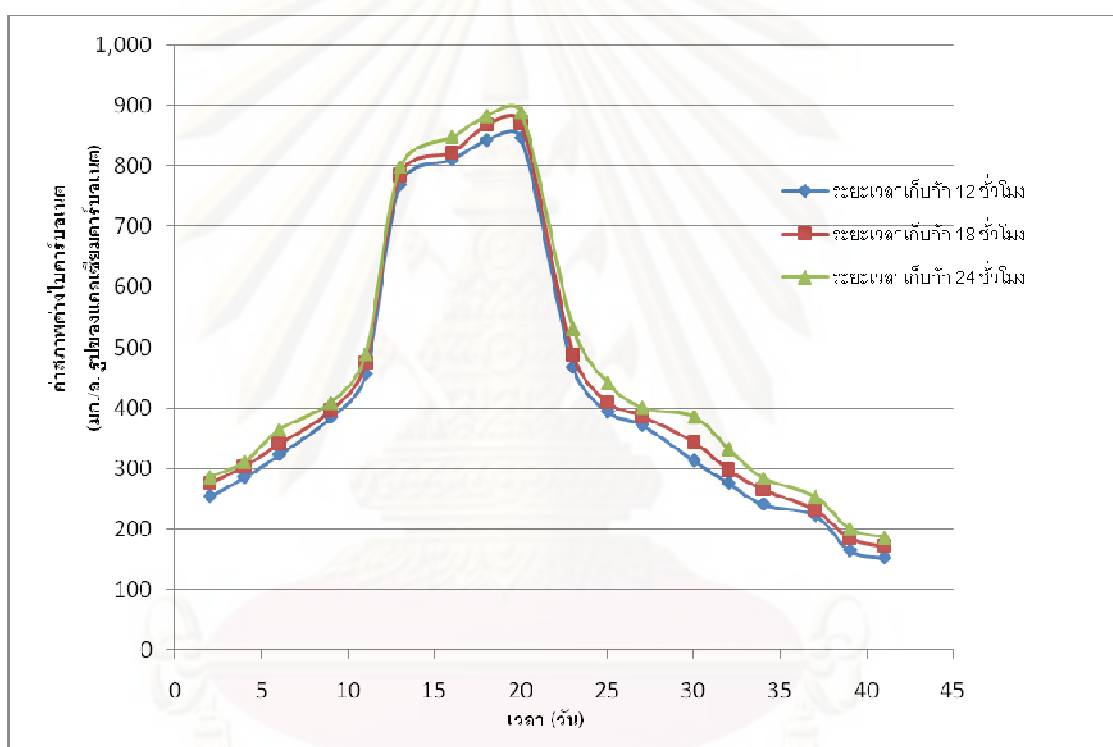


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.23 พบว่า ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลง (ลดลงทีละน้อย) เมื่อเวลาผ่านไป ในลักษณะเช่นเดียวกันกับระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร เนื่องจากระบบบำบัดมีค่าพีเอช (pH) ประมาณ 6.0-6.5 (pH มีค่าเกือบเป็นกลาง) แบคทีเรียที่สร้างกรดสามารถทำงานได้เป็นปกติ ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจมีการเจริญเติบโตได้แต่ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากน้ำเสียยังมีสภาพไม่เหมาะสมในการเจริญเติบโต ซึ่งค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต คือ 6.7-7.4 (McCarty, 1964) ซึ่งแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่เจริญเติบโตได้บ้างในระบบนี้จะใช้กรดอะซิติกในการสร้างมีเทน (Speece and McCarty, 1964) ทำให้ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลงแต่ลดลงไม่มาก เนื่องจากยังเกิดกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ที่แบคทีเรียสร้างกรดสร้างขึ้นมาเรื่อยๆ มากกว่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนใช้ไป เหตุผลเช่นเดียวกันกับระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร

4.3.3.8 สภาพต่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-)

จากผลการตรวจสอบสภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนต (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า จะมีค่าสภาพความเป็นต่างไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยมีค่าสภาพต่างไบคาร์บอเนตสูงสุด ประมาณ 800-900 มก./ล. ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีค่ามากกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 โดยปริมาตร เนื่องจากระบบนี้มีจำนวนเปลือกหอยนางรมมากกว่าจึงให้ค่าสภาพต่างไบคาร์บอเนตมากกว่า และจะมีค่าลดลงเมื่อหมดอายุการใช้งานของเปลือกหอยนางรม (เปลือกหอยนางรมไม่สามารถให้ค่าสภาพต่างไบคาร์บอเนตได้อีก) คือ หลังจาก 20 ซึ่งมีจำนวนวันเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (20 วัน) ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน

4.3.4 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร

4.3.4.1 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

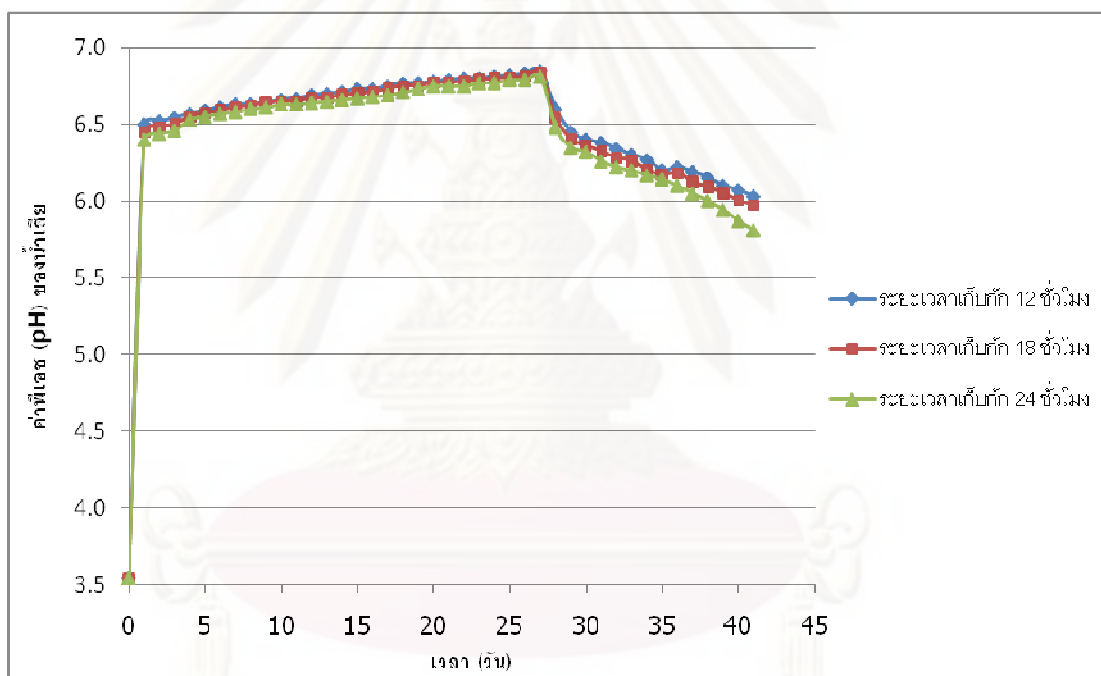
จากการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พบว่า ระบบบำบัดมีอุณหภูมิประมาณ 29-31 องศาเซลเซียส (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (มันลิน, 2536)

4.3.4.2 ค่าโออาร์พี (ORP)

จากการตรวจวัดค่าโออาร์พี (ORP) พบว่า ระบบบำบัดมีค่าโออาร์พี (ORP) ประมาณ -330 ถึง -360 มิลลิโวลต์ (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกองไร้อากาศ (มันสิน, 2536)

4.3.4.3 ค่าพีเอช (pH)

จากการวัดค่าพีเอช (pH) ของระบบบำบัด (ดังภาคผนวก ง-1) พบว่า ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.24



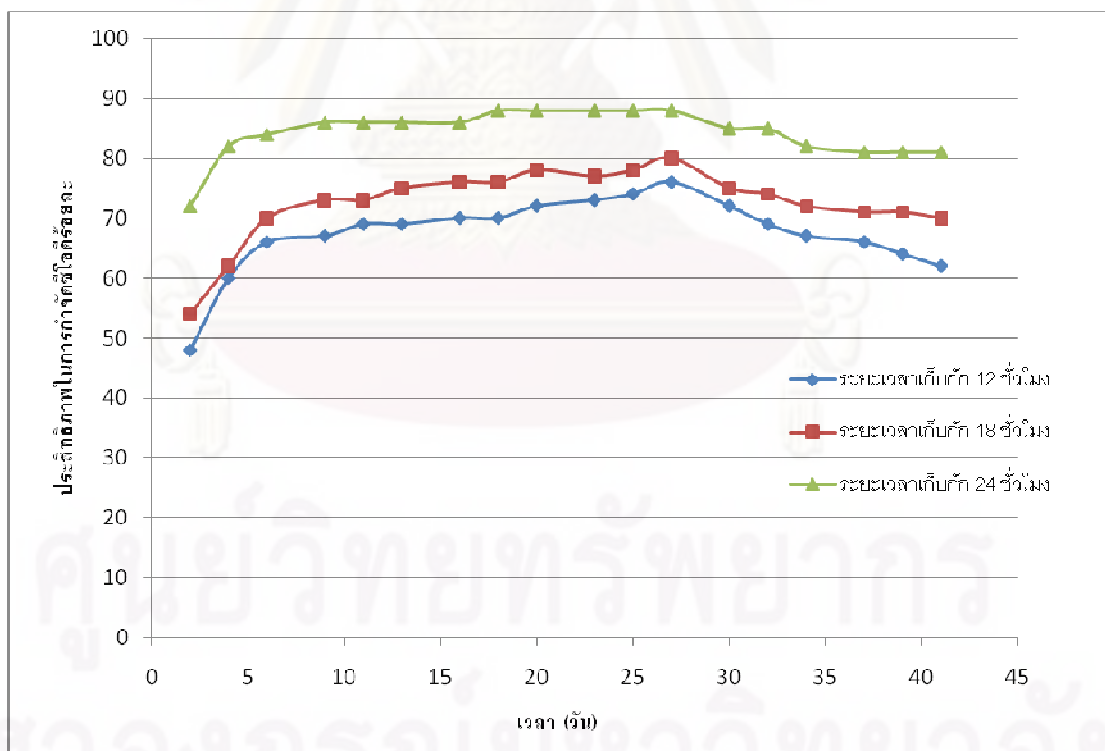
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

จากรูปที่ 4.25 พบว่า ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าพีเอช ประมาณ 6.5-7.0 ซึ่งค่าพีเอช (pH) ที่ปรับได้นั้นมีค่ามากกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากในระบบบำบัดมีตัวกลางเปลือกหอยนางรม ซึ่งเปลือกหอยนางรมจะมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) ให้กับน้ำเสียได้ ดังนั้นค่าพีเอช (pH) ในระบบจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะมีค่าลดลง

เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกหอยนางรมมีปริมาณลดลง กล่าวคือ เปลือกหอยฝุ่ หรือว่าหมดอายุการใช้งานของเปลือกหอยนางรม จึงไม่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียให้เพิ่มขึ้นได้อีก ค่าพีเอช (pH) ของระบบจึงมีค่าลดลง ระยะเวลาที่ค่าพีเอช (pH) ของระบบสูงสุด คือ 27 วัน

4.3.4.4 ค่าซีโอดี (COD)

จากผลการตรวจวัดค่าซีโอดี (COD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการบำบัดน้ำเสีย และจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับที่จำนวนเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0 และ 5 โดยปริมาตร แต่ระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจะมีระยะเวลานานกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงที่สุด คือ 27 วัน ซึ่งมีจำนวนเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (27 วัน) ดังรูปที่ 4.26

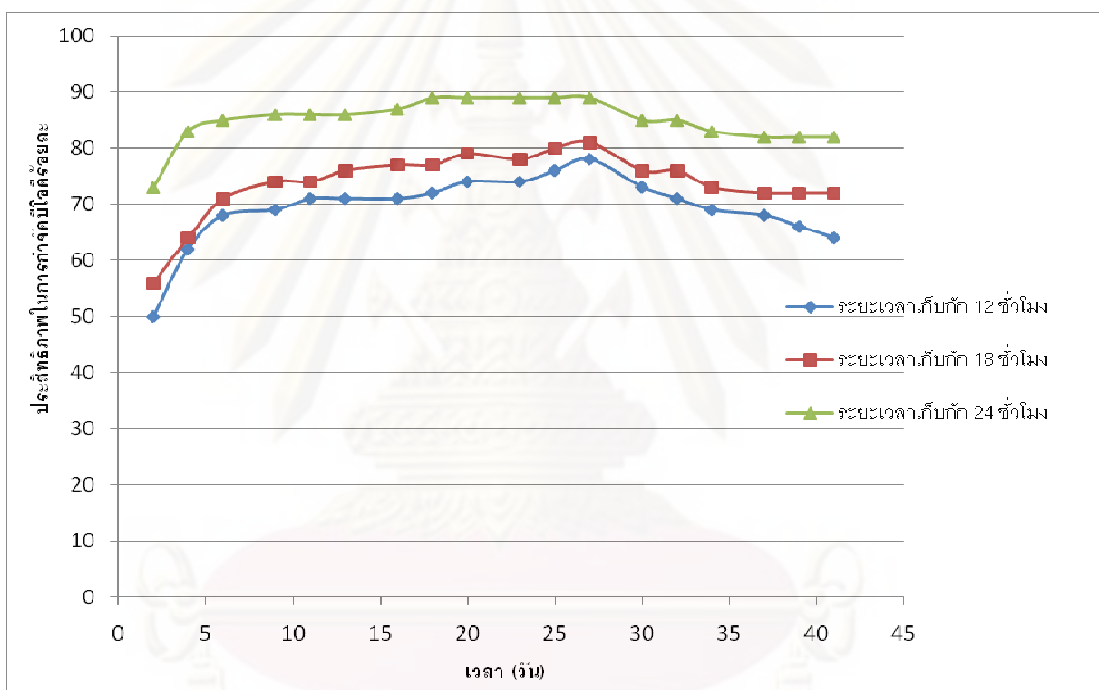


รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 88 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ

4.3.4.5 ค่าบีโอดี (BOD)

จากผลการตรวจวัดค่าบีโอดี (BOD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี (BOD) จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการกำจัดซีโอดี (COD) คือ ประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี (BOD) จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.27

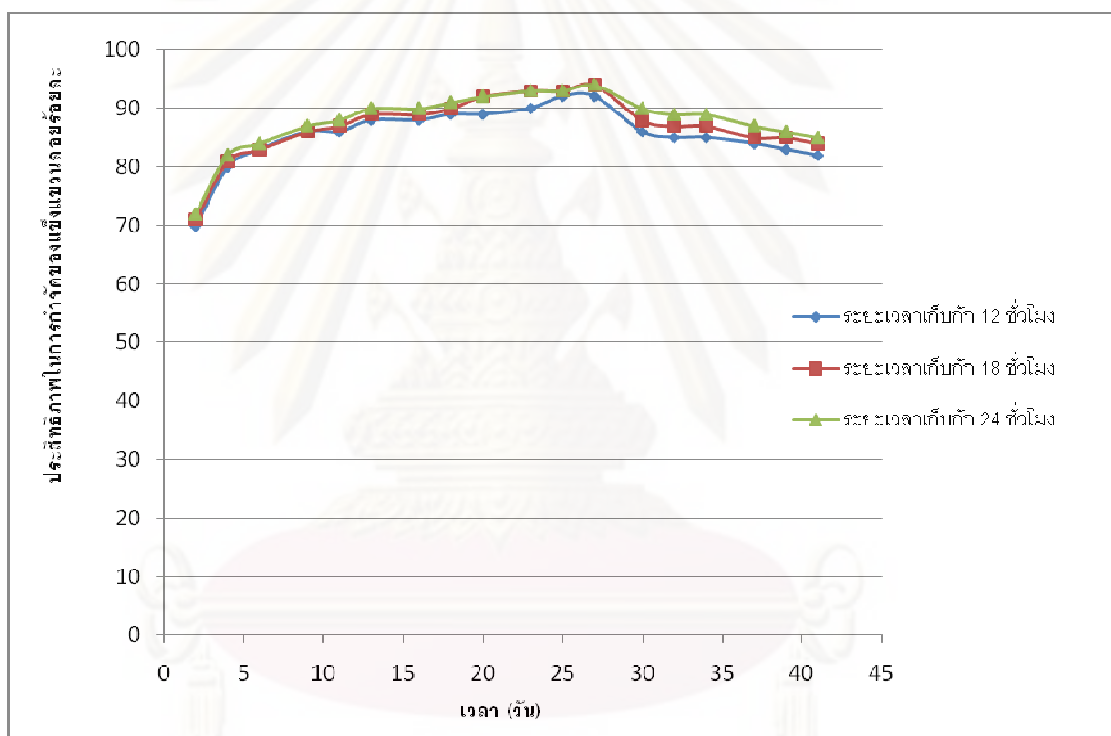


รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 89 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ และระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีสูงสุด คือ 27 วัน ซึ่งมีจำนวนวันเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (27 วัน)

4.3.4.6 ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

จากผลการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย (SS) จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกและจะลดลง โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับที่จำนวนเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0, 5 และ 10 โดยปริมาตร แต่ระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นจะมีระยะเวลานานกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุดที่สุด คือ 27 วัน ซึ่งมีจำนวนวันเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (27 วัน) ดังรูปที่ 4.28

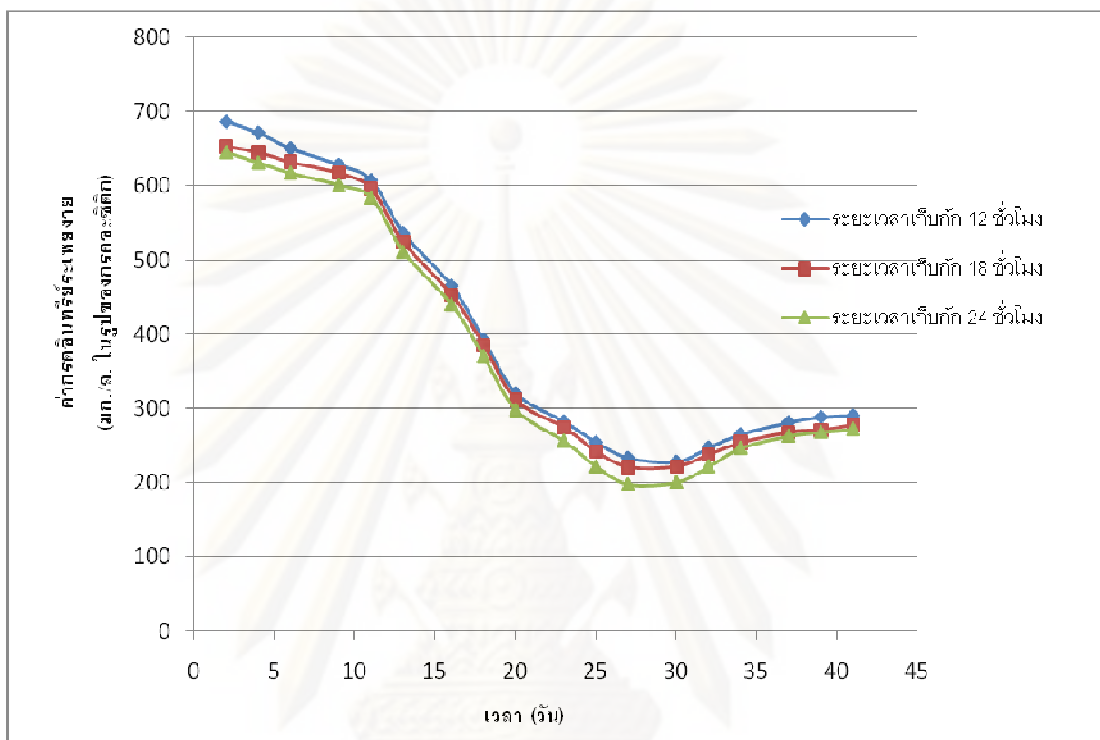


รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 94 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ เนื่องจากระบบบำบัดนี้มีเปลือกหอยนางรมปริมาณร้อยละ 15 โดยปริมาตร ซึ่งจะทำหน้าที่กรองสารแขวนลอยต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียได้มากกว่าปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 และ 10 โดยปริมาตร และเป็นที่อยู่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้มากกว่า ดังนั้น ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยในระบบนี้จึงสูงกว่า

4.3.4.7 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

จากผลการตรวจวัดค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ระบบบำบัด จะมีการกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังรูปที่ 4.29

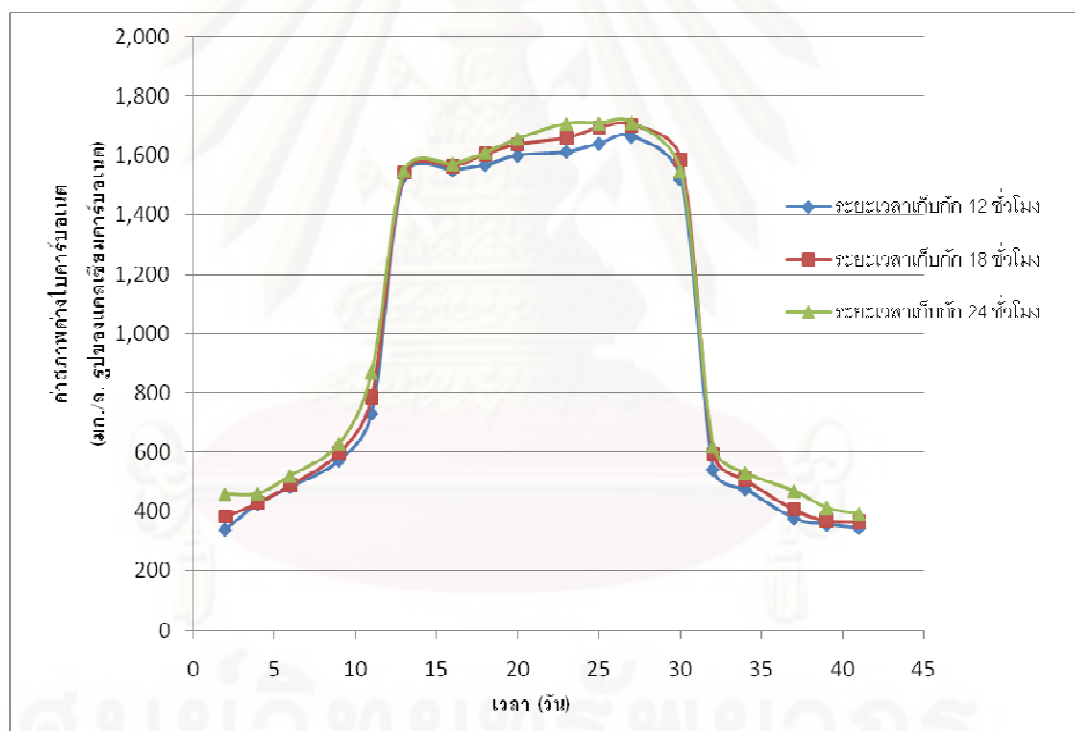


รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.29 ในช่วงแรกค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลงทีละน้อย เนื่องจากระบบมีค่าพีเอช (pH) ประมาณ 6.5-6.7 (pH มีค่าเกือบเป็นกลาง) แบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจมีการเจริญเติบโตได้แต่ไม่ดีเท่าที่ควร เช่นเดียวกับระบบที่ใส่เปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 และ 10 โดยปริมาตร และจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีการเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งในช่วงนี้พีเอช (pH) ของระบบมีค่าประมาณ 6.70-6.85 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ถูกนำไปใช้ในการสร้างมีเทนมาก จนมีค่าเกือบคงที่ในระยะเวลาหนึ่ง และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากระบบมีค่าพีเอช (pH) ลดลง (เปลือกหอยหมดอายุการใช้งาน) แบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจถูกยับยั้งการเจริญเติบโตหรือเติบโตได้น้อยกว่าในช่วงแรก ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่โดยรวมแล้วระบบจะมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ประมาณ 200-500 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (มันสิน, 2536)

4.3.4.8 สภาพด่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-)

จากผลการตรวจสอบสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า จะมีค่าสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยมีค่าสภาพด่างไบคาร์บอเนตสูงสุดประมาณ 1,500 มก./ล. ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (มันลิน, 2536) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับช่วงที่ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนตมากกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 10 และ 5 โดยปริมาตร เนื่องจากระบบนี้มีจำนวนเปลือกหอยนางรมมากกว่าจึงให้ค่าสภาพด่างไบคาร์บอเนตมากกว่า และจะมีค่าลดลงเมื่อหมดอายุการใช้งานของเปลือกหอยนางรม (เปลือกหอยนางรมไม่สามารถให้ค่าสภาพด่างได้อีก) คือ หลังจาก 27 ซึ่งมีจำนวนวันเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (27 วัน) ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพด่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน

4.3.5 ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร

4.3.5.1 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

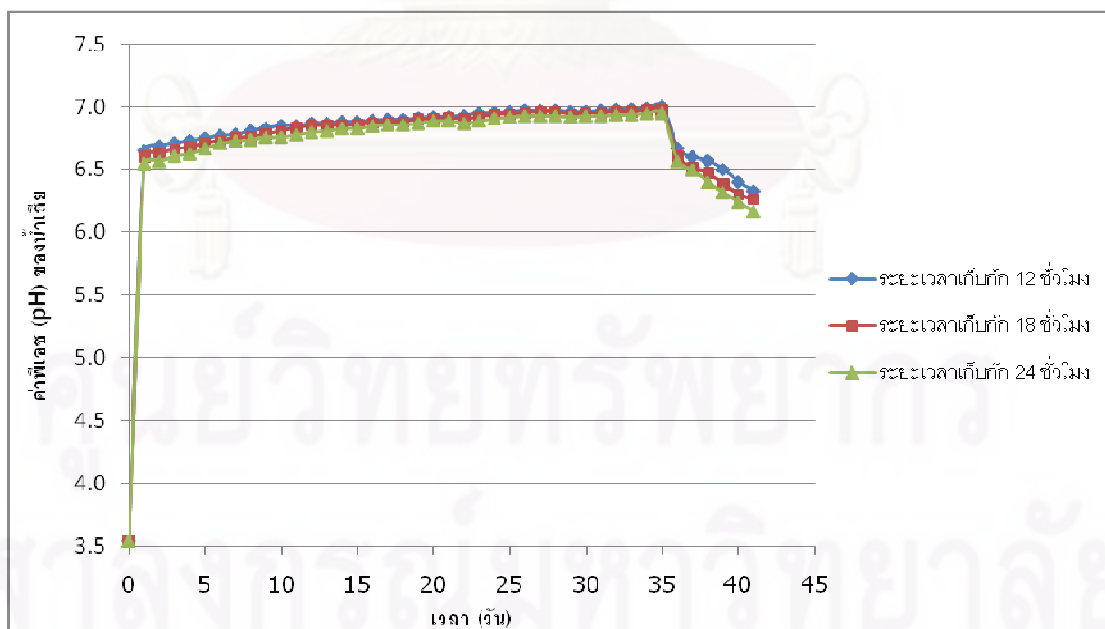
จากการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พบว่า ระบบบำบัดมีอุณหภูมิประมาณ 29-31 องศาเซลเซียส (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (มันลิน, 2536)

4.3.5.2 ค่าโออาร์พี (ORP)

จากการตรวจวัดค่าโออาร์พี (ORP) พบว่า ระบบบำบัดมีค่าโออาร์พี (ORP) ประมาณ -330 ถึง -370 มิลลิโวลต์ (ดังภาคผนวก ง-1) ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (มันลิน, 2536)

4.3.5.3 ค่าพีเอช (pH)

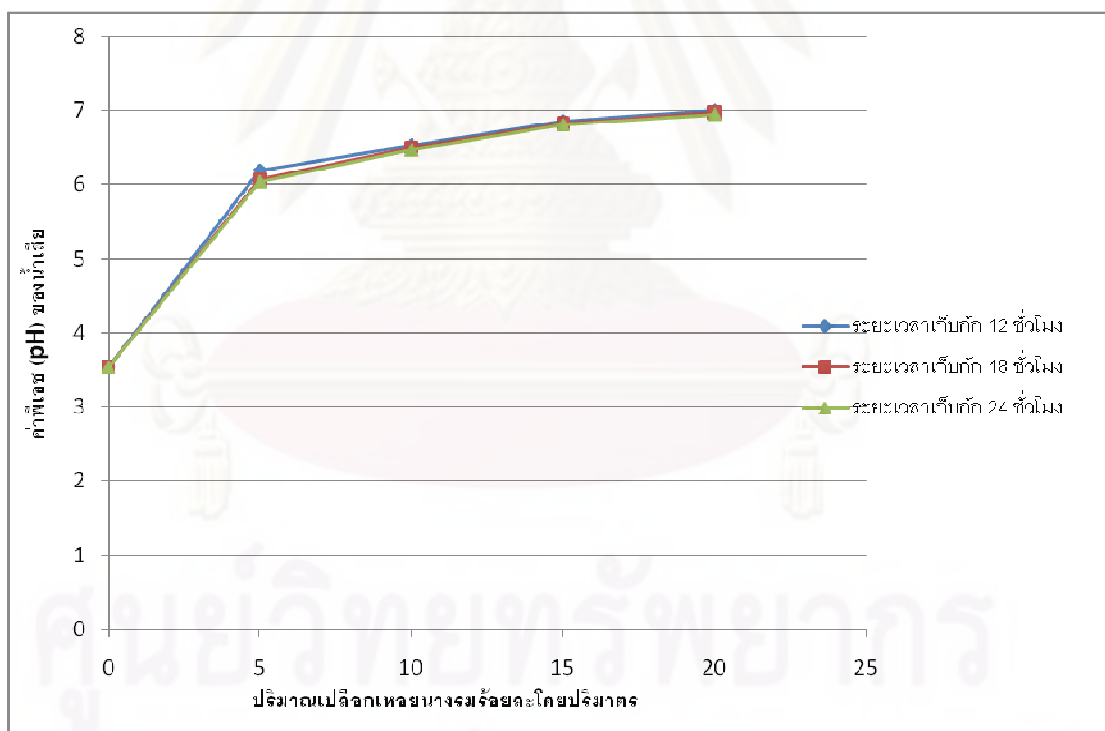
จากการวัดค่าพีเอช (pH) ของระบบบำบัด (ดังภาคผนวก ง-1) พบว่า ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บตก (HRT) ต่างกัน

จากรูปที่ 4.31 พบว่า ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าพีเอช ประมาณ 6.5-7.0 ค่าพีเอช (pH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากในระบบบำบัดมีตัวกลางเปลือกหอยนางรม ซึ่งเปลือกหอยนางรมจะมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) ให้กับน้ำเสียได้ ดังนั้นค่าพีเอช (pH) ในระบบจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะมีค่าลดลง เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกหอยนางรมมีปริมาณลดลง กล่าวคือเปลือกหอยผุ หรือว่าหมดอายุการใช้งานของเปลือกหอยนางรม จึงไม่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียให้เพิ่มขึ้นได้อีก ค่าพีเอช (pH) ของระบบจึงมีค่าลดลง ระยะเวลาที่ค่าพีเอช (pH) ของระบบสูงสุด คือ 35 วัน

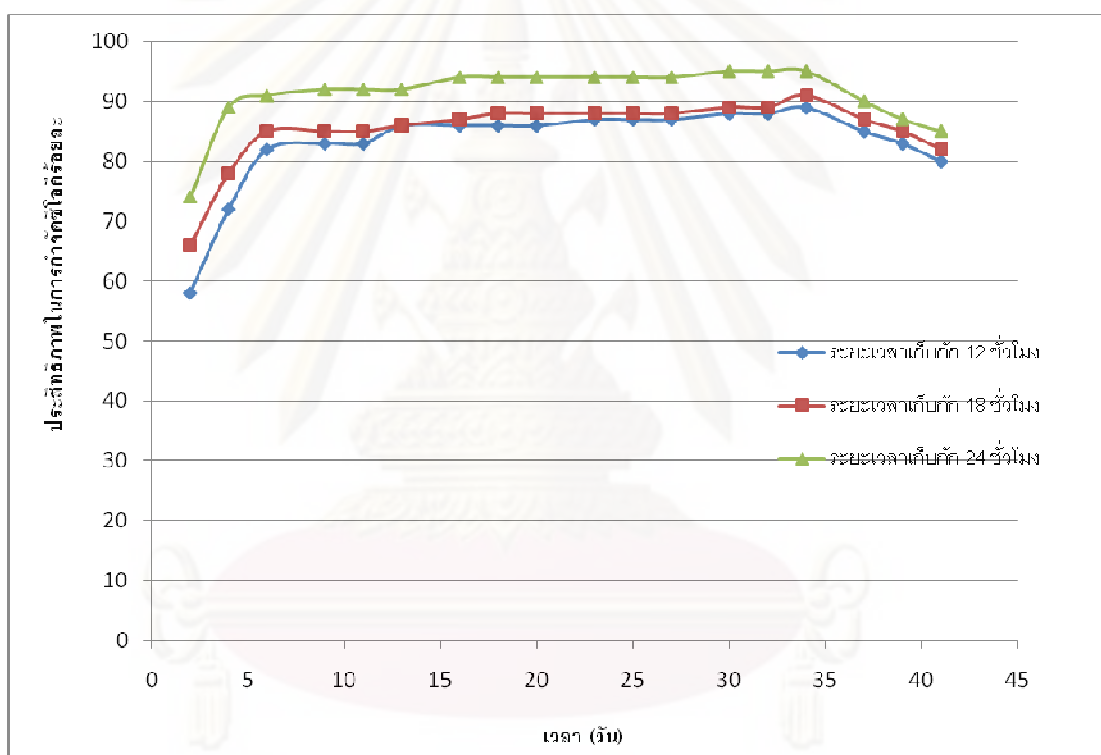
ซึ่งค่าพีเอช (pH) ที่ปรับได้นั้นมีค่ามากกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15, 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นได้ว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมมากจะมีประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ในระบบได้สูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมน้อยกว่า



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่ปรับได้สูงสุด ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดและระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

4.3.5.4 ค่าซีโอดี (COD)

จากผลการตรวจวัดค่าซีโอดี (COD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการบำบัดน้ำเสีย และจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับที่จำนวนเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร แต่ระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจะมีระยะเวลานานกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15, 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด คือ 34 วัน ซึ่งมีจำนวนใกล้เคียงกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (35 วัน) ดังรูปที่ 4.33

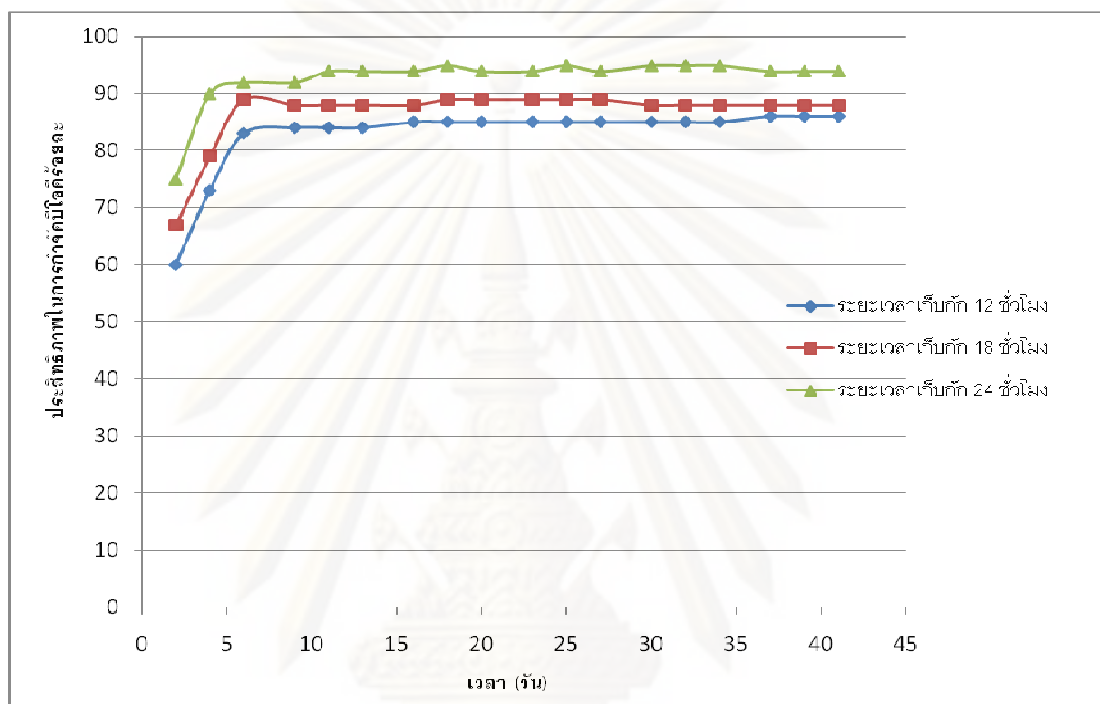


รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 95 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15, 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ

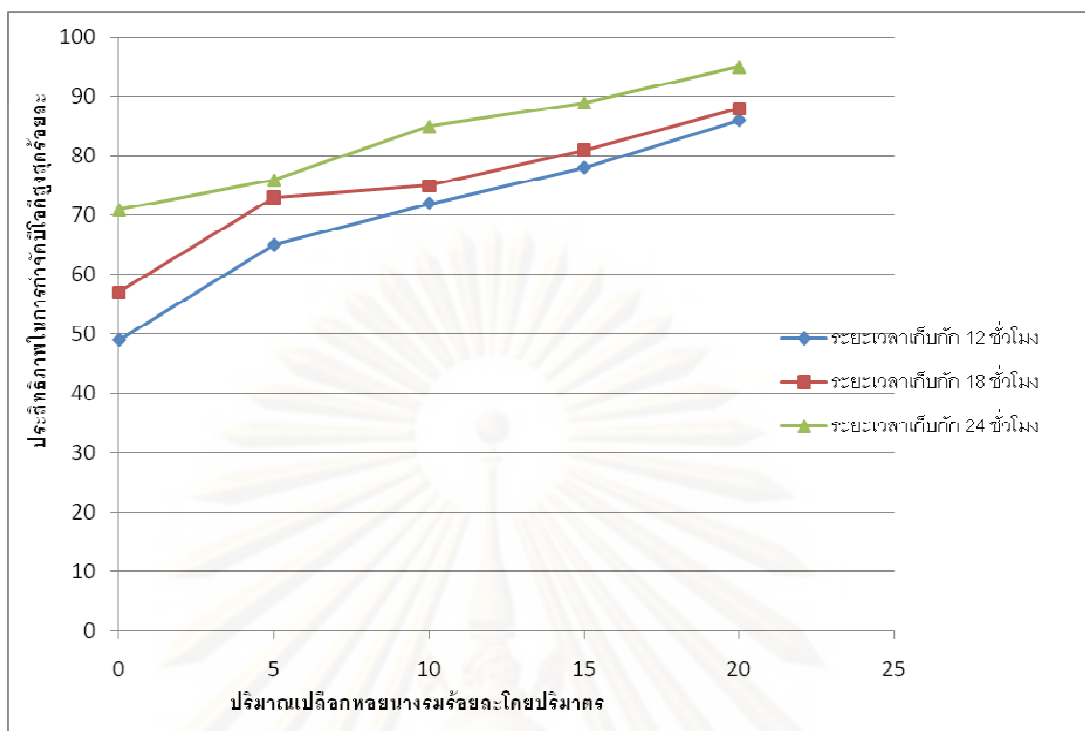
4.3.5.5 ค่าบีโอดี (BOD)

จากผลการตรวจวัดค่าบีโอดี (BOD) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี (BOD) จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการกำจัดซีโอดี (COD) คือ ประสิทธิภาพในการกำจัด บีโอดี (BOD) จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

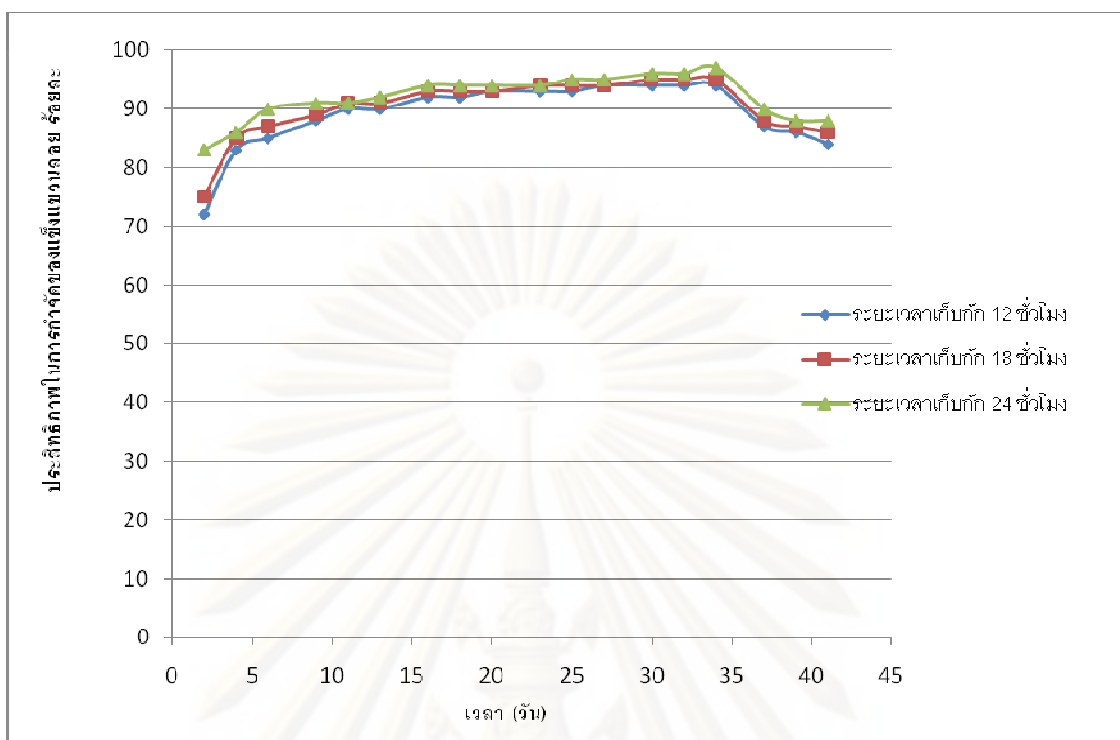
ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 95 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15, 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.35 พบว่าเมื่อระบบบำบัดมีจำนวนเปลือกหอยนางรมและระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีก็จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีที่สูงสุดกับปริมาณเปลือกหอยนางรม ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆ กัน

4.3.5.6 ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

จากผลการตรวจวัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย (SS) จะเพิ่มมากขึ้นและจะลดลง โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับที่จำนวนเปลือกหอยนางรมร้อยละ 0, 5 และ 10 โดยปริมาตร แต่ระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นจะมีระยเวลานานกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15, 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงที่สุด คือ 34 วัน ซึ่งมีจำนวนวันใกล้เคียงกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (35 วัน) ดังรูปที่ 4.36

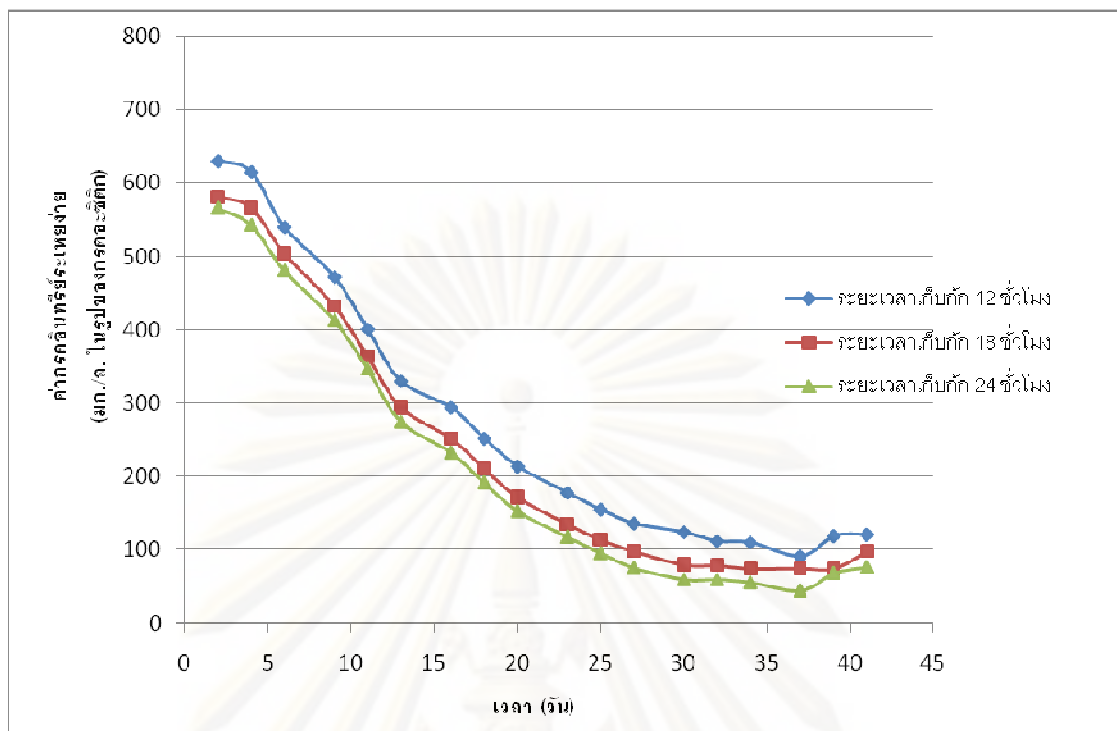


รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุดของระบบนี้คือร้อยละ 97 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15, 10, 5 และ 0 โดยปริมาตร ตามลำดับ เนื่องจากระบบบำบัดนี้มีเปลือกหอยนางรมปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร ซึ่งจะทำให้หน้าที่กรองสารแขวนลอยต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียได้มากกว่าปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 5 และ 10 โดยปริมาตร และเป็นที่อยู่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้มากกว่า ดังนั้น ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยในระบบนี้จึงสูงกว่า

4.3.5.7 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

จากผลการตรวจวัดค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า ระบบบำบัดจะมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังรูปที่ 4.37



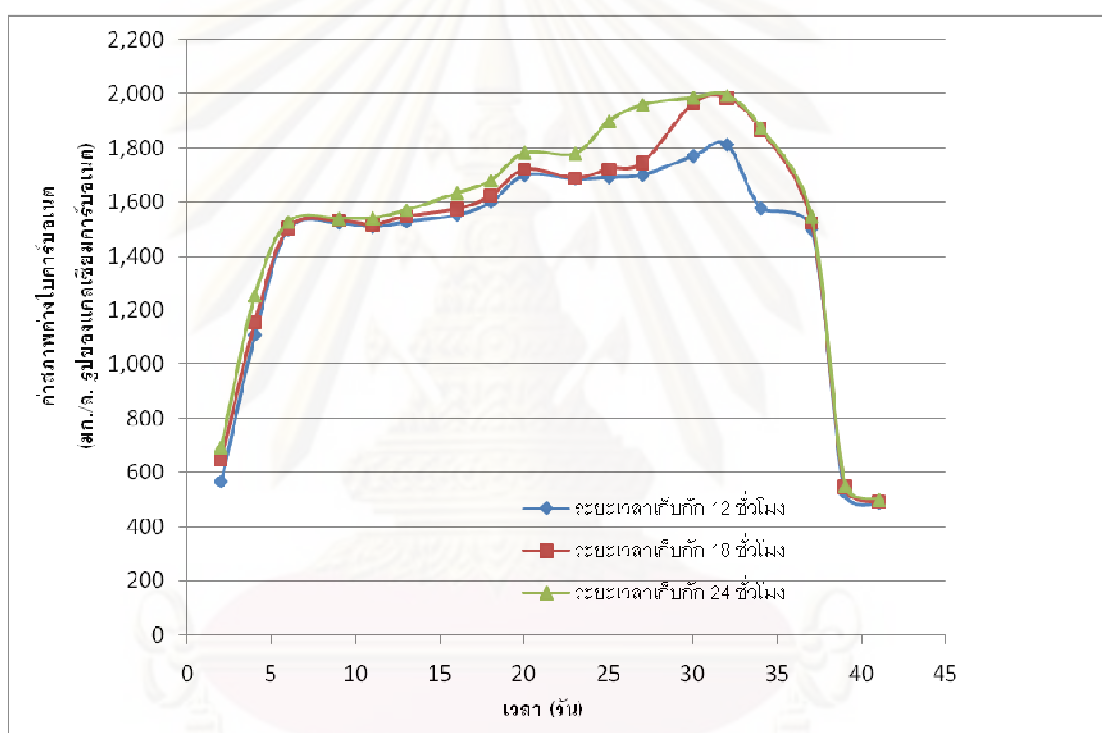
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.37 ในช่วงแรกค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากระบบ มีค่าพีเอช (pH) ประมาณ 6.7-7.0 (พีเอชมีค่าเกือบเป็นกลาง) แบคทีเรียที่สร้างมีเทน มีการเจริญเติบโตได้ดี (ระยะเวลาเร็วกว่าระบบที่ใส่เปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ถูกนำไปใช้ในการสร้างมีเทนมาก (ระยะเวลานานกว่าระบบที่ใส่เปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร) จนมีค่าเกือบคงที่ในระยะเวลาหนึ่ง และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากระบบมีค่าพีเอช (pH) ลดลง (เปลือกหอยหมดอายุการใช้งาน) แบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจถูกยับยั้งการเจริญเติบโตหรือเติบโตได้ไม่ดีกว่าในช่วงแรก ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่โดยรวมแล้วระบบจะมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ประมาณ 50-500 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (มันสิน, 2536)

4.3.5.8 สภาพด่างไปคาร์บอเนต (HCO_3^-)

จากผลการตรวจสอบสภาพความเป็นด่างไปคาร์บอเนต (ดังภาคผนวก ง-2) พบว่า จะมีค่าสภาพความเป็นด่างไปคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เช่นเดียวกับระบบที่ใส่เปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร แต่เกิดขึ้นเร็วกว่าระบบที่ใส่เปลือกหอยนางรมร้อยละ 15 โดยปริมาตร

โดยมีค่าสภาพด่างไบคาร์บอเนตสูงสุดประมาณ 1,500-2,000 มก./ล. ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (มันลิน, 2536) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับช่วงที่ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนตมากกว่าระบบที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 15, 10 และ 5 โดยปริมาตร เนื่องจากระบบนี้มีจำนวนเปลือกหอยนางรมมากกว่าจึงให้ค่าสภาพด่างไบคาร์บอเนตมากกว่า ทำให้ระบบมีความเป็นบัฟเฟอร์มาก และจะมีค่าลดลงเมื่อหมดอายุการใช้งานของเปลือกหอยนางรม (เปลือกหอยนางรมไม่สามารถให้ค่าสภาพด่างได้อีก) คือ หลังจาก 32 ซึ่งมีจำนวนวันเดียวกับระยะเวลาที่เปลือกหอยนางรมสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้สูงสุด (35 วัน) ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพด่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) กับระยะเวลาต่างๆ ที่ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆกัน

4.4 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของเปลือกหอยนางรม

4.4.1 ผลการศึกษาพื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรรูพรุนของตัวกลางเปลือกหอยนางรม

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรรูพรุนของตัวกลางเปลือกหอยนางรมด้วยเครื่องวิเคราะห์ Brunauer-Emmett-Teller (BET) แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรรูพรุนของตัวกลางเปลือกหอยนางรม

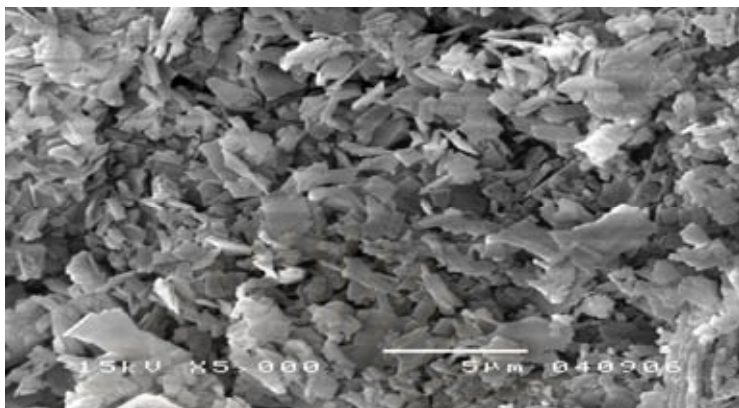
พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์	ปริมาณเปลือกหอยนางรมในระบบ (ร้อยละโดยปริมาตร)			
		5	10	15	20
พื้นที่ผิวจำเพาะ (Surface area)	3.3473 ตร.ม./ก.	679.5 ตร.ม. (203 ก.)	1,359 ตร.ม. (406 ก.)	2,038 ตร.ม. (609 ก.)	2,718 ตร.ม. (812 ก.)
ปริมาตรรูพรุน (Pore volume)	0.006991 ลบ.ซม./ก.	1.42 ลบ.ซม./ก. (203 ก.)	2.84 ลบ.ซม./ก. (406 ก.)	4.26 ลบ.ซม./ก. (609 ก.)	5.68 ลบ.ซม./ก. (812 ก.)
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (Pore diameter)	83.5417 อังสตรอม	83.5417 อังสตรอม	83.5417 อังสตรอม	83.5417 อังสตรอม	83.5417 อังสตรอม

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเปลือกหอยนางรมมีพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมาก สามารถที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้ดี ระบบที่มีจำนวนเปลือกหอยนางรมมากก็จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน มากขึ้นด้วย ช่วยให้จุลินทรีย์มีพื้นที่ยึดเกาะกับตัวกลางเปลือกหอยนางรมได้มากขึ้น ทำให้ระบบบำบัดเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้มากยิ่งขึ้น

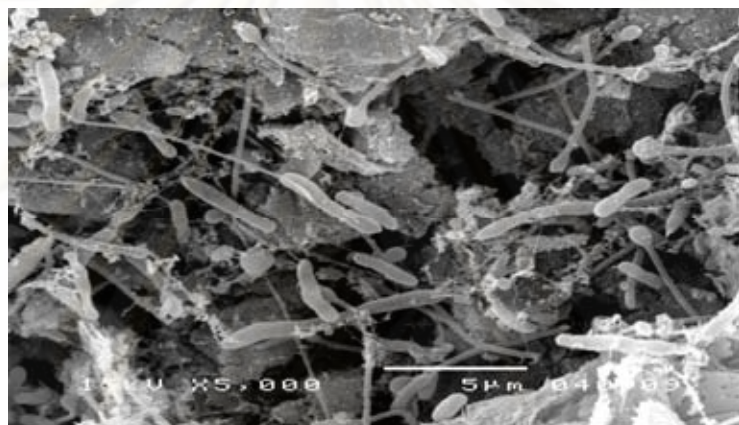
4.4.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวกลางเปลือกหอยนางรม

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ของเปลือกหอยนางรมก่อนนำไปใช้เป็นตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่า ลักษณะผิวของเปลือกหอยนางรมมีลักษณะขรุขระ และมีโพรงมาก ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะสามารถนำเปลือกหอยนางรมไปใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียได้ ดังรูปที่ 4.39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.39 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกหอยนางรมก่อนใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



รูปที่ 4.40 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกหอยนางรมหลังใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียปริมาณ ร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

จากรูปที่ 4.40 พบว่า ลักษณะพื้นผิวของเปลือกหอยนางรมหลังจากที่ใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาบำบัดน้ำเสีย 41 วัน (หลังเสร็จสิ้นการทดลอง) จะมีจุลินทรีย์เกาะอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเกาะอยู่ทั้งพื้นผิวและภายในรูพรุนของเปลือกหอยนางรม ส่วนระบบที่มีเปลือกหอยนางรมปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ ก็พบจุลินทรีย์ในลักษณะเช่นเดียวกัน การที่พบเชื้อจุลินทรีย์เกาะอยู่ที่เปลือกหอยนางรม แสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้โดยอาศัยเปลือกหอยนางรมเป็นตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียในถังกรองไร้อากาศได้ดี โดยจุลินทรีย์ที่พบเป็นจุลินทรีย์ชนิดมีโซฟิลิก (Mesophilic) ซึ่งเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-40 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิของระบบบำบัดมีค่าประมาณ 29-31 องศาเซลเซียส) และจุลินทรีย์ที่พบมีลักษณะเป็นแบบแท่งทรงกระบอกและแบบเกลียว

ดังนั้นระบบที่มีปริมาณตัวกลางเปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง สามารถให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดด้วยถังกรองไร้อากาศได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลอง ซึ่งมีค่าภาระบรทุกบีโอดี (BOD Loading) ประมาณ 0.03 - 0.04 กก.-บีโอดี/ลบ.ม.-วัน และภาระบรทุกซีโอดี (COD Loading) ประมาณ 0.05 - 0.06 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและหาสัดส่วนที่เหมาะสมของตัวกลางเปลือกหอยนางรมในระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศ โดยเดินระบบบำบัดแบบการไหลต่อเนื่อง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การศึกษาชนิดของตัวกลางเปลือกหอยนางรมเพื่อใช้เป็นตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ โดยการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมไม่ได้เผาและที่เผา พบว่า เปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาจะพบแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่เผาเปลือกหอยนางรม จะพบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) มากขึ้น แต่แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) จะลดลง

2. การศึกษาชนิดของตัวกลางเปลือกหอยนางรมเพื่อใช้เป็นตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ โดยการเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม พบว่า เปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง สามารถปรับค่าพีเอช (pH) น้ำเสียได้ดีกว่าเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 และ 2 ชั่วโมง และ 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันที่ 900 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง

3. การศึกษาชนิดของตัวกลางเปลือกหอยนางรมเพื่อใช้เป็นตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ โดยการศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ระหว่างตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม พบว่า เปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาที่สามารถปรับค่าพีเอช (pH) น้ำเสียได้เหมาะสมกว่าเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม โดยสามารถปรับค่าพีเอช (pH) ได้ไม่เกิน 12

4. การศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศ โดยใช้ตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา ปริมาตรร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่า ระบบที่มีจำนวนเปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลา

เก็บกักน้ำเสีย (HRT) 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดด้วยถังกรองไร้อากาศดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอย เท่ากับร้อยละ 95,95 และ 97 ตามลำดับ ดังนั้น สัดส่วนของตัวกลางเปลือกหอยนางรมและระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่เหมาะสมในระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศ คือ ปริมาณเปลือกหอยนางรมร้อยละ 20 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 24 ชั่วโมง

5.1 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยประสิทธิภาพของตัวกลางเปลือกหอยนางรมในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดด้วยถังกรองไร้อากาศ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศ โดยใช้ตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา จำนวนที่เพิ่มมากขึ้น เช่น ร้อยละ 30, 35, 40 โดยปริมาตร เป็นต้น และ/หรือเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) เช่น 36, 48, 60 ชั่วโมง เป็นต้น เพื่อให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดได้ดียิ่งขึ้น

2. ควรมีการศึกษาต่อเรื่องก๊าซมีเทน และ/หรือก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากการทดลอง และศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง

3. ถ้าต้องการให้น้ำทิ้งผ่านมาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม ควรมีการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Treatment) ต่อจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) เนื่องจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าบีโอดีและซีโอดีที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมทรัพยากรธรณี. 2548. โครงสร้างของเปลือกหอยนางรม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.dmr.go.th/board/data/0402.html>. [2004,13 ตุลาคม]
- ชเรศ พงษ์สาระนันท์กุล. 2540. การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเม็ดพลาสติกกลอยน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะ พานิชปฐม. 2544. การศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2536. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โรมรัน ว่องวิไลรัตน์. 2542. การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยถังกรองไร้อากาศชนิดไฮบริดที่ใช้ตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วชิรา สันพนวัฒน์. 2543. ถังกรองชีวภาพแบบไหลลงที่ใช้เปลือกหอยเป็นตัวกลางกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2007. หอยนางรม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://th.wikipedia.org>. [2007,18 มิถุนายน]
- คนทำงานแลกเปลี่ยนเรียนรู้. 2007. หิน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://gotoknow.org>. [2007, 20 มิถุนายน]
- ฐานข้อมูลอุตสาหกรรม โรงงาน. 2007. ตัวกลางพลาสติก [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.thaitechno.net/productdetails.php?id=6408&uid=34896>. [2007, 20 มิถุนายน]

ภาษาอังกฤษ

- Chian E. S. K. and Dewalle F. B. 1976. Treatment of high strength acidic wastewater with a completely mixed anaerobic filter. Water Research. 11 : 295-304.
- Gannoun, H., Khelifi, E., Bouallagui, H., Touhami, Y. and Hamdi, M. 2008. Ecological clarification of cheese whey prior to anaerobic digestion in upflow anaerobic filter. Bioresource Technology. 99 (2008) : 6105-6111.
- Henzen, M. and Harremoes, P. 1983. Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactor : a literature review. Water Science Technology. 15 : 1-4.
- Kotze, J.P., Thiel, P.G. and Hattingh, W.H. 1969. Anaerobic digestion to the characterization and control of anaerobic digestion. Water Research. 3 : 459-494.
- Kugelman, I.J. and McCarty, P.L. 1965. Cation toxicity and stimulation in anaerobic wastewater treatment. JWPCF. 37(1) : 97-116.
- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. J. Public Works. 9 : 107-112.
- McCarty, P.L. and McKinney, R.E. 1961. Volatile acid toxicity in anaerobic digestion. JWPCF. 33(3) : 223-232.
- Show, Y. K. and Tay, H. J. 1998. Influence of support media on biomass growth and retention in anaerobic filters. Water Research. 33(6) : 1471-1481.
- Speece, R.E. and McCarty, P.L. 1964. Nutrient Requirements and Biological Solids Accumulation in Anaerobic Digestion, Proceeding of 1st International Conference Water Pollution Resource, Pergamon Press, London.
- Stronach, S.M., Rudd T. and Lester, J.N. 1986. Anaerobic Digestion Process in Industrial Wastewater Treatment. Berlin, Springer Verlag.
- Van, H., Adrianus, C. and Littinga, G. 1994. Anaerobic sewage treatment : A practical Guide for Region with a Hot Climate. John Willey & Sons. Singapore, p.154
- Young, J.C. and McCarty, P.L. 1969. The anaerobic filter for waste treatment. Technical Report. 87 : 246
- WELL-Resource Centre Network for Water, Sanitation and Environmental Health. 2007. Anaerobic Processes in General [Online]. www.lboro.ac.uk. [2007, 20 June].



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
การคำนวณที่ใช้ในการวิจัย

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก-1 การคำนวณปริมาตรถังกรองใ้อากาศ

ถังกรองเป็นถังทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.165 เมตร (รัศมี 0.0825 เมตร) สูง 0.19 เมตร

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรถัง (ลูกบาศก์เมตร)} &= 3.14 \times \text{รัศมี}^2 \times \text{ความสูง} \\
 &= 3.14 \times (0.0825)^2 \times 0.19 \\
 &= 4.06 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\
 &= 4.06 \text{ ลิตร}
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ก-2 การคำนวณจำนวนโมลของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผา

หาจำนวน โมลของเปลือกหอยนางรม เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัย ดังสมการ (ก-1)

$$\text{จำนวน โมล (mol)} = \text{จำนวน (g)} / \text{น้ำหนักโมเลกุล} \quad (\text{ก-1})$$

เปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา

เปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผามี CaCO_3 (น้ำหนักโมเลกุล = 100) เป็นส่วนประกอบหลัก จึงนำมาคือน้ำหนักที่ต้องใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณ หาจำนวนเปลือกหอยนางรมที่ต้องใช้ จำนวน 0.001 mol

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวน (g)} &= 0.001 \text{ โมล} \times 100 \\
 &= 0.1 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นต้องใช้เปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาจำนวน 0.1 กรัม ซึ่งจะเท่ากับ 0.001 โมล

เปลือกหอยนางรมที่เผาแล้ว

เปลือกหอยนางรมที่เผามี CaO (น้ำหนักโมเลกุล = 56) เป็นส่วนประกอบหลัก จึงนำมาคือน้ำหนักที่ต้องใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณ หาจำนวนเปลือกหอยนางรมที่ต้องใช้ จำนวน 0.001 โมล

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวน (g)} &= 0.001 \text{ โมล} \times 56 \\
 &= 0.056 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นต้องใช้เปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วจำนวน 0.056 กรัม ซึ่งจะเท่ากับ 0.001 โมล

ภาคผนวก ก-3 การคำนวณปริมาณเปลือกหอยนางรมที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการปรับ pH

เปลือกหอยนางรม ปริมาณร้อยละ 1 โดยปริมาตร ในน้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร

น้ำเสี้ยว 100 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม 1 กรัม

น้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม $500/100 = 5$ กรัม

เปลือกหอยนางรม ปริมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร ในน้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร

น้ำเสี้ยว 100 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม 5 กรัม

น้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม $(500 \times 5)/100 = 25$ กรัม

เปลือกหอยนางรม ปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร ในน้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร

น้ำเสี้ยว 100 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม 10 กรัม

น้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม $(500 \times 10)/100 = 50$ กรัม

เปลือกหอยนางรม ปริมาณร้อยละ 15 โดยปริมาตร ในน้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร

น้ำเสี้ยว 100 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม 15 กรัม

น้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม $(500 \times 15)/100 = 75$ กรัม

เปลือกหอยนางรม ปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร ในน้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร

น้ำเสี้ยว 100 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม 20 กรัม

น้ำเสี้ยว 500 มิลลิลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม $(500 \times 20)/100 = 100$ กรัม

ภาคผนวก ก-4 การคำนวณปริมาณเปลือกหอยนางรมที่ใช้บรรจุในถังกรองไร้อากาศ

เปลือกหอยนางรม ปริมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร

ปริมาตรถัง 1 ลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม 50 กรัม

ปริมาตรถัง 4.06 ลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม $50 \times 4.06 = 203$ กรัม

เปลือกหอยนางรม ปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร

ปริมาตรถัง 1 ลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม 100 กรัม

ปริมาตรถัง 4.06 ลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม $100 \times 4.06 = 406$ กรัม

เปลือกหอยนางรม ปริมาณร้อยละ 15 โดยปริมาตร

ปริมาตรถัง 1 ลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม 150 กรัม

ปริมาตรถัง 4.06 ลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม $150 \times 4.06 = 609$ กรัม

เปลือกหอยนางรม ปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร

ปริมาตรถัง 1 ลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม 200 กรัม

ปริมาตรถัง 4.06 ลิตร ใช้เปลือกหอยนางรม $200 \times 4.06 = 812$ กรัม

ภาคผนวก ก-5 การคำนวณระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย (HRT)

อัตราการไหล = ปริมาตรถัง/ระยะเวลาเก็บกัก

ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 12 ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหล} &= \frac{(4.06 \text{ ลิตร}) \times (1 \text{ ชั่วโมง}) \times (1,000 \text{ มิลลิลิตร})}{(12 \text{ ชั่วโมง}) \times (60 \text{ นาที}) \times (1 \text{ ลิตร})} \\ &= 5.64 \text{ มิลลิลิตร/นาที} \end{aligned}$$

ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 18 ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหล} &= \frac{(4.06 \text{ ลิตร}) \times (1 \text{ ชั่วโมง}) \times (1,000 \text{ มิลลิลิตร})}{(18 \text{ ชั่วโมง}) \times (60 \text{ นาที}) \times (1 \text{ ลิตร})} \\ &= 3.76 \text{ มิลลิลิตร/นาที} \end{aligned}$$

ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 24 ชั่วโมง

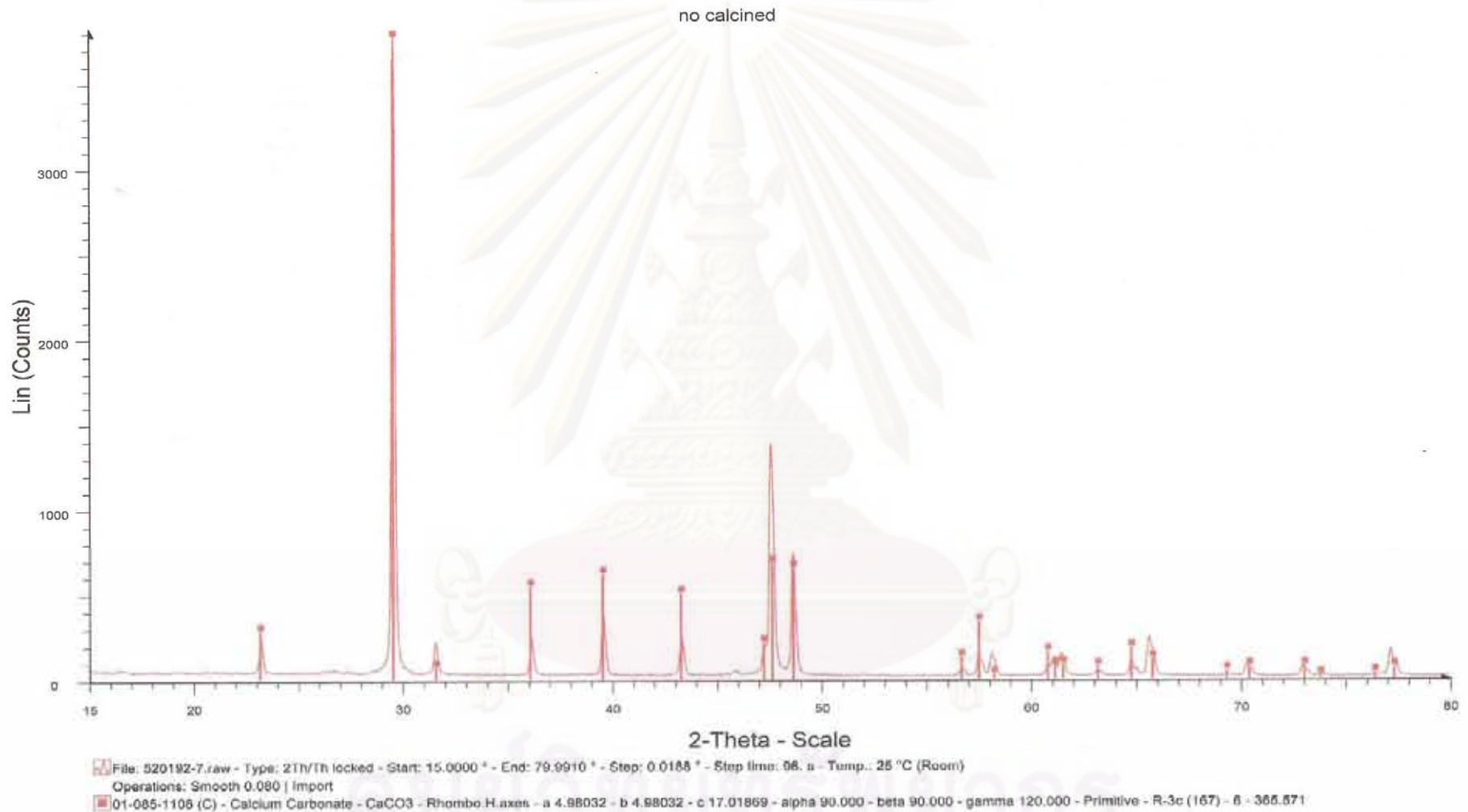
$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหล} &= \frac{(4.06 \text{ ลิตร}) \times (1 \text{ ชั่วโมง}) \times (1,000 \text{ มิลลิลิตร})}{(24 \text{ ชั่วโมง}) \times (60 \text{ นาที}) \times (1 \text{ ลิตร})} \\ &= 2.82 \text{ มิลลิลิตร/นาที} \end{aligned}$$



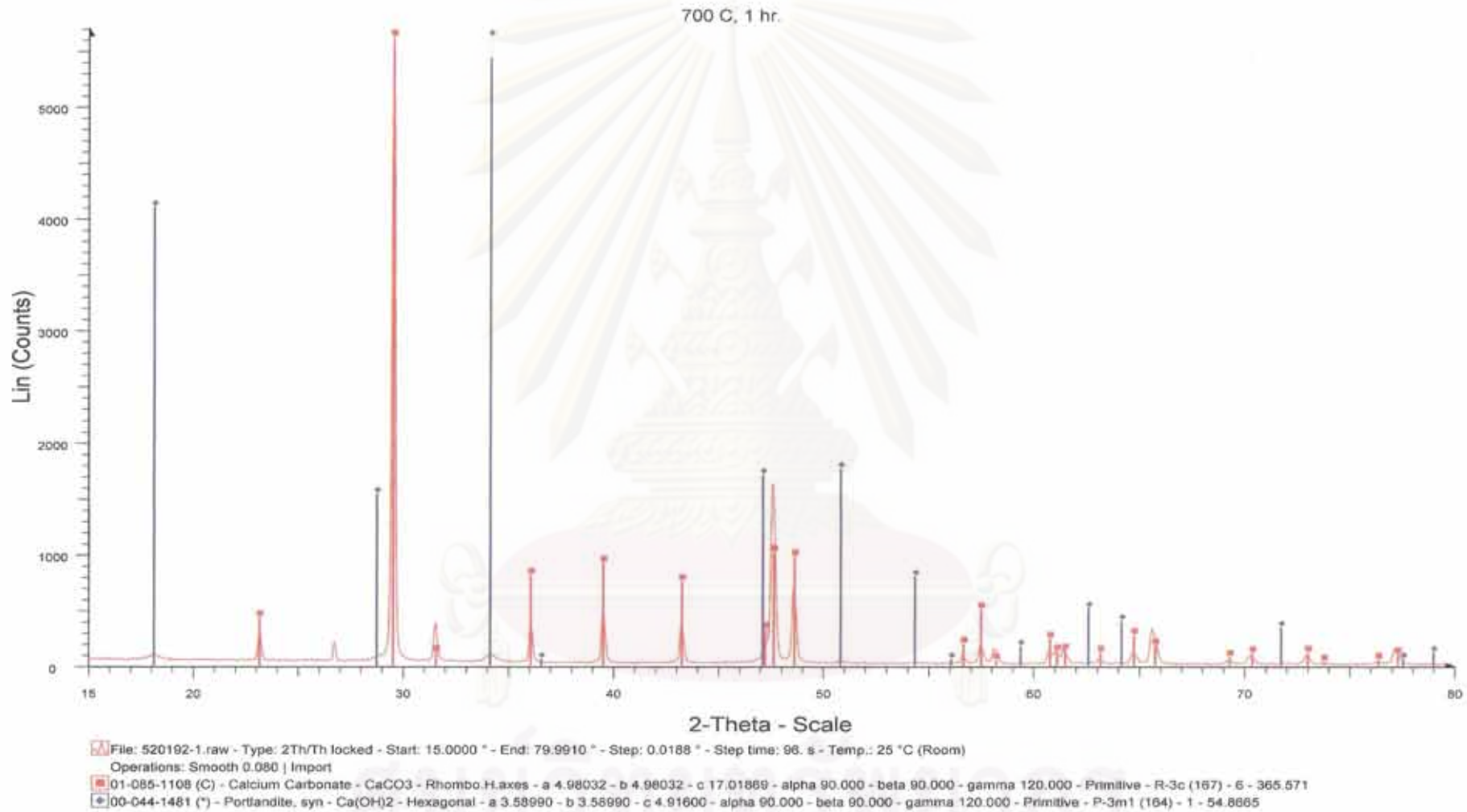
ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

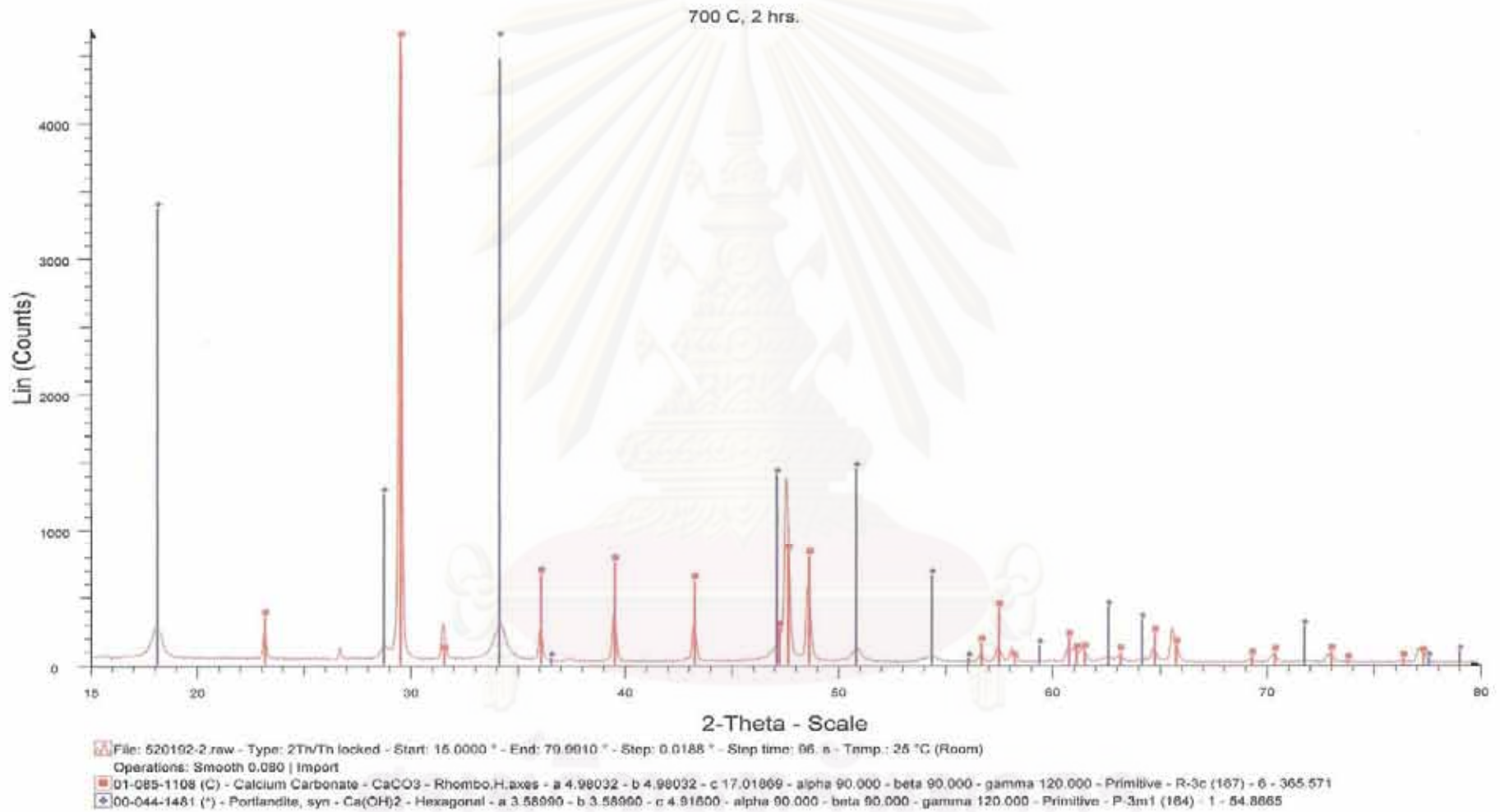
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



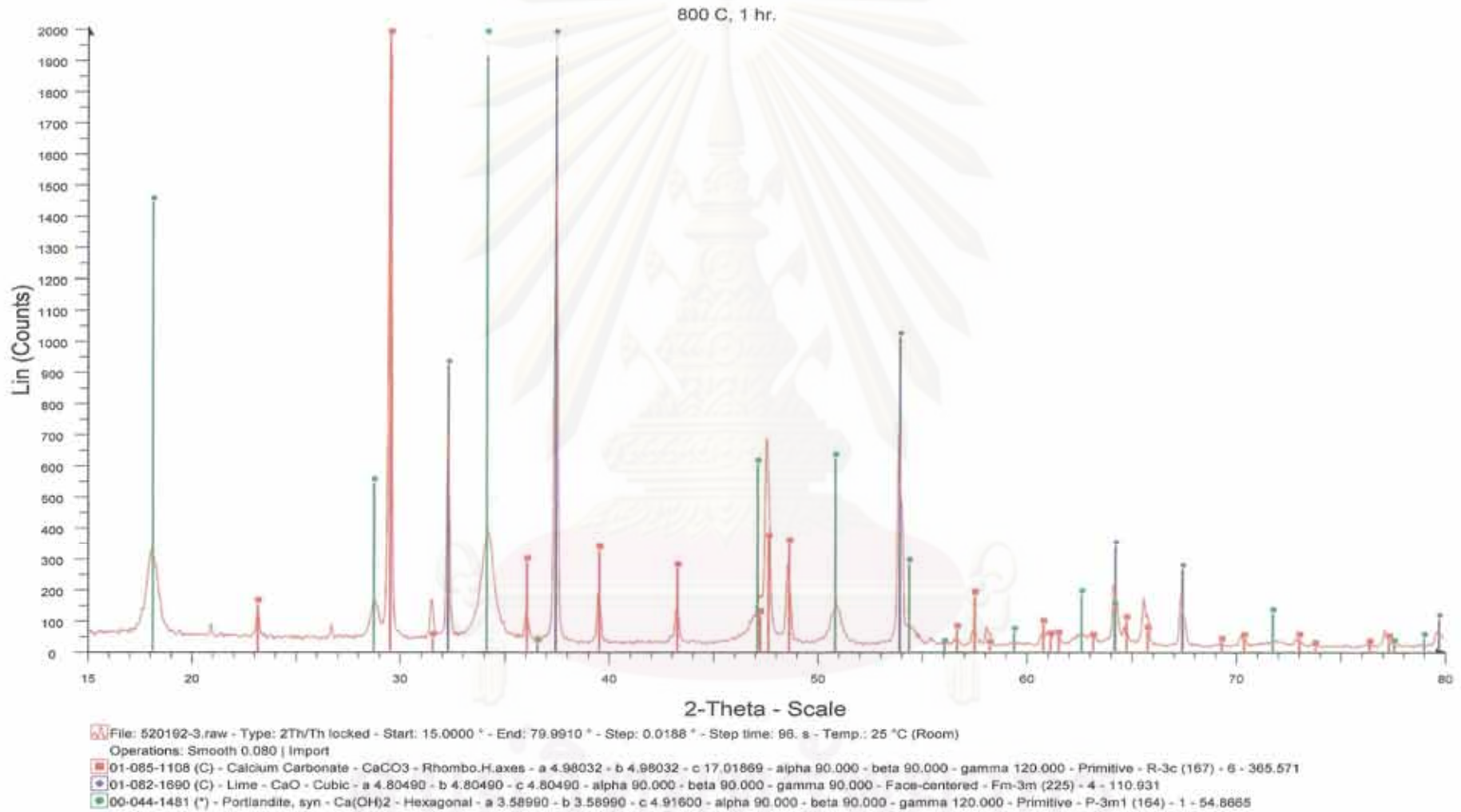
รูปที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผา



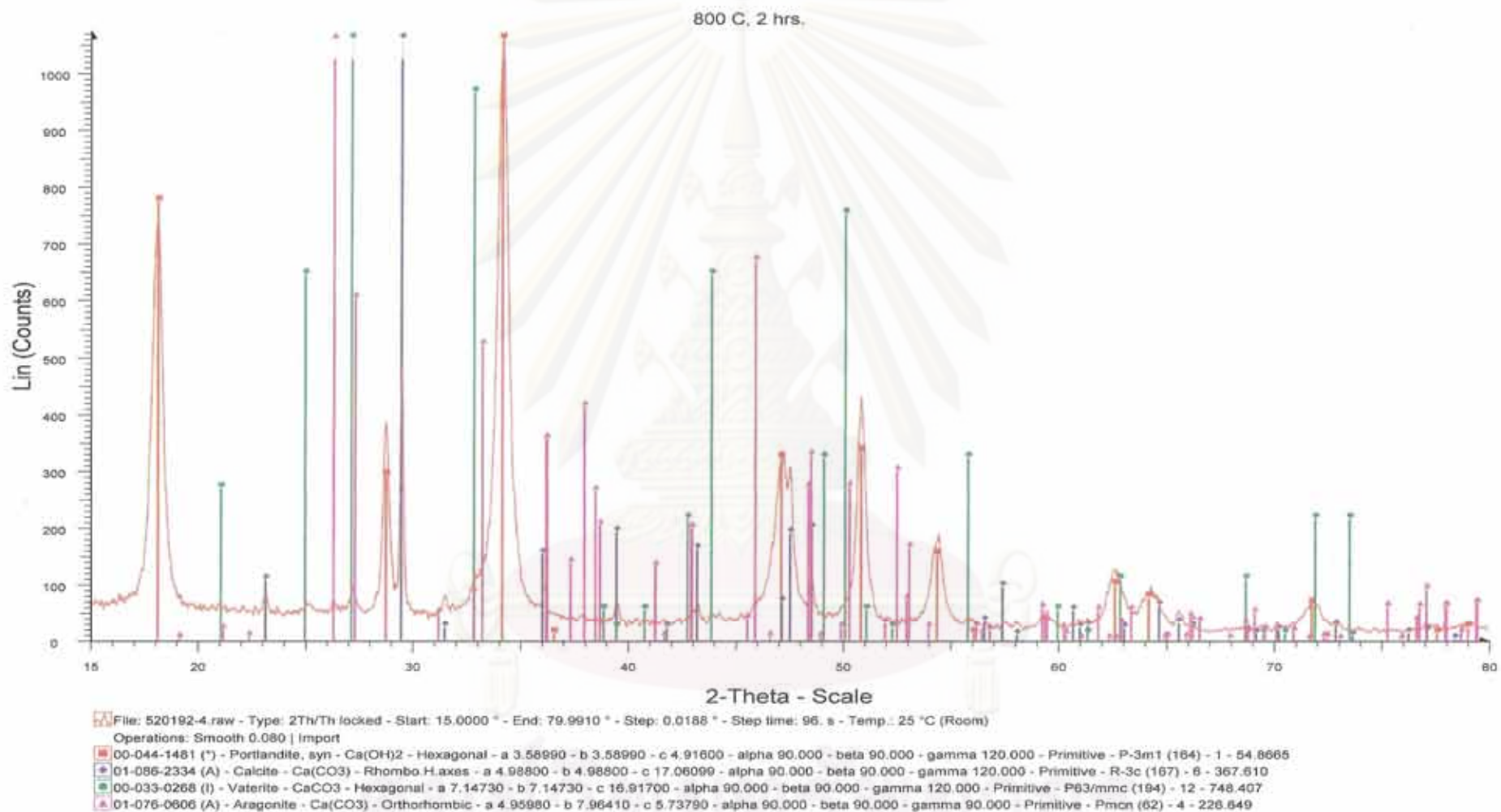
รูปที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง



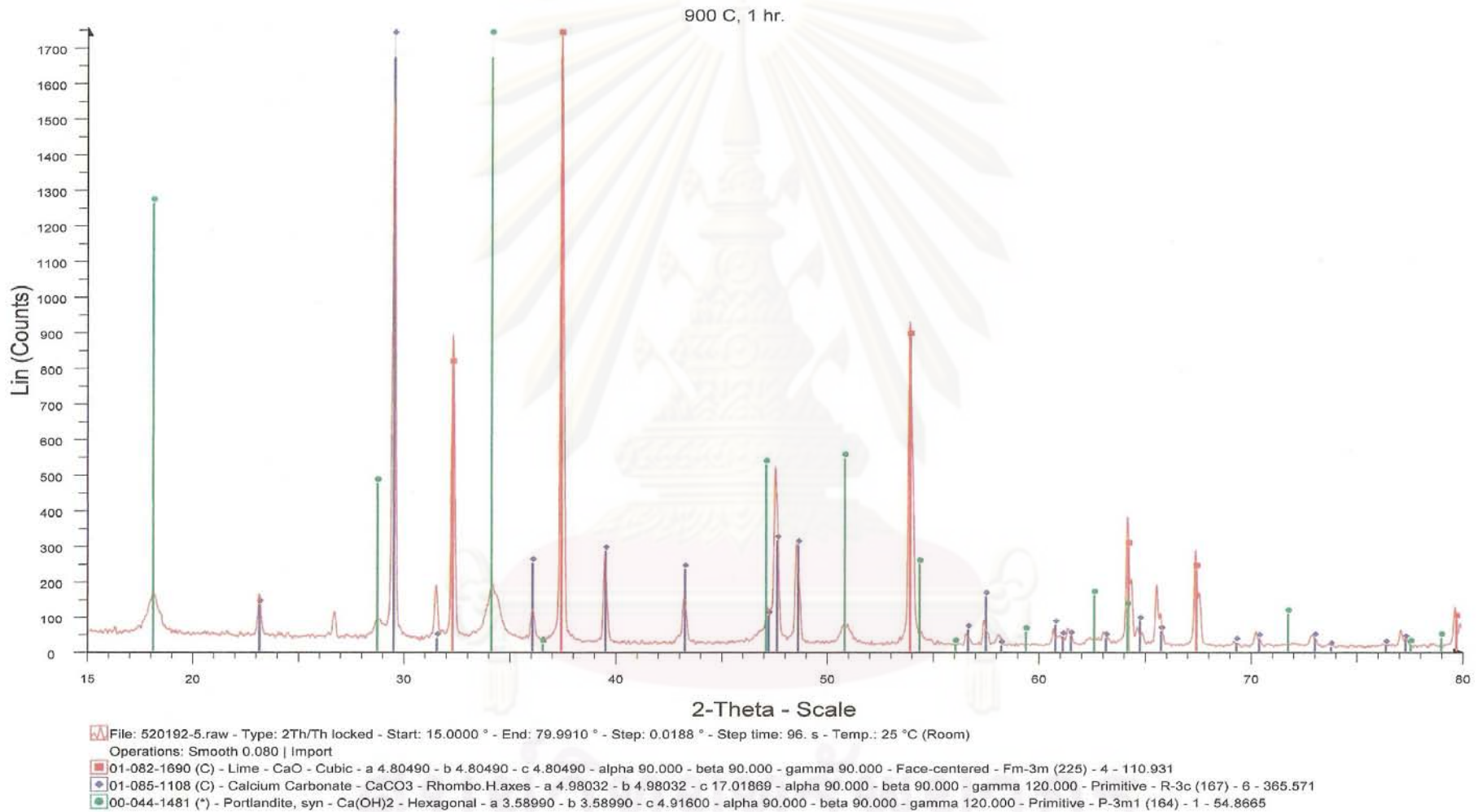
รูปที่ ข-3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง



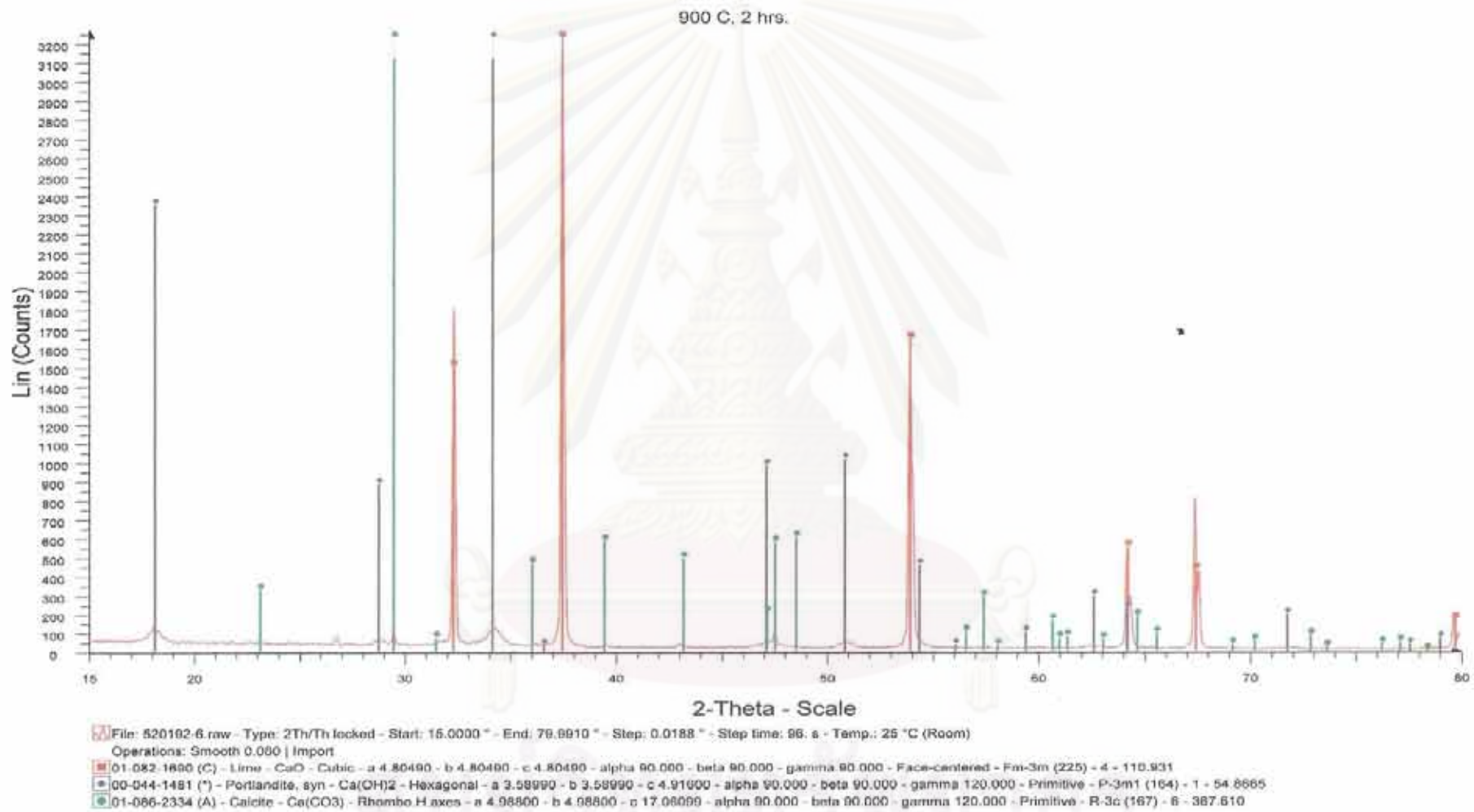
รูปที่ ข-4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ ข-5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ ข-6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ ๗-7 ผลการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง



ภาคผนวก ค

ผลการทดลองเพื่อเลือกตัวกลางเปลือกหอยนางรม

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

ตัวอย่างที่	โมล	อุณหภูมิที่เผา (องศาเซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชั่วโมง)	จำนวน (กรัม)	ค่า พีเอช (pH) ที่วัดได้ ณ เวลาต่างๆ (ชั่วโมง)								
					0	1	2	3	4	5	12	24	48
1	0.001	ไม่เผา	-	0.1006	3.70	4.40	4.43	4.49	4.50	4.50	4.51	4.56	4.58
2		700	1	0.0563	3.70	4.40	4.45	4.50	4.50	4.51	4.52	4.58	4.60
3			2	0.0561	3.70	4.55	4.56	4.57	4.57	4.58	4.59	4.61	4.64
4		800	1	0.0561	3.70	4.61	4.63	4.63	4.64	4.65	4.65	4.67	4.68
5			2	0.0561	3.70	4.85	4.86	4.88	4.89	4.89	4.89	4.90	4.92
6		900	1	0.0561	3.70	4.88	4.90	4.90	4.91	4.91	4.93	4.93	4.94
7			2	0.0560	3.70	5.20	5.23	5.25	5.27	5.27	5.29	5.31	5.34
8	0.002	ไม่เผา	-	0.2010	3.70	4.70	4.72	4.80	4.85	4.88	4.93	4.97	4.99
9		700	1	0.1127	3.70	4.72	4.74	4.82	4.87	4.89	4.95	4.98	5.01
10			2	0.1126	3.70	4.81	4.85	4.91	4.98	5.01	5.16	5.19	5.22
11		800	1	0.1128	3.70	4.92	4.94	4.95	4.99	5.10	5.21	5.29	5.32
12			2	0.1125	3.70	5.69	5.71	5.70	5.70	5.71	5.71	5.73	5.75
13		900	1	0.1125	3.70	5.71	5.75	5.78	5.80	5.80	5.83	5.85	5.87
14			2	0.1125	3.70	5.90	5.91	5.92	5.95	5.97	5.97	6.02	6.09

ตารางที่ ก-1 ผลการเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม (ต่อ)

ตัวอย่างที่	โมล	อุณหภูมิที่เผา (องศาเซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชั่วโมง)	จำนวน (กรัม)	ค่า พีเอช (pH) ที่วัดได้ ณ เวลาต่างๆ (ชั่วโมง)								
					0	1	2	3	4	5	12	24	48
15	0.004	ไม่เผา	-	0.4006	3.70	5.32	5.35	5.52	5.54	5.55	5.57	5.59	5.63
16		700	1	0.2242	3.70	5.34	5.35	5.53	5.56	5.59	5.65	5.68	5.71
17			2	0.2245	3.70	5.35	5.40	5.55	5.57	5.61	5.76	5.78	5.80
18		800	1	0.2247	3.70	5.75	5.90	6.10	6.15	6.17	6.20	6.22	6.24
19			2	0.2241	3.70	6.20	6.28	6.34	6.34	6.34	6.37	6.39	6.41
20		900	1	0.2247	3.70	6.25	6.38	6.45	6.44	6.47	6.50	6.52	6.55
21			2	0.2246	3.70	6.36	6.42	6.46	6.50	6.51	6.54	6.57	6.59
22		0.006	ไม่เผา	-	0.6002	3.70	5.62	5.65	5.70	5.73	5.75	5.80	5.84
23	700		1	0.3362	3.70	5.65	5.69	5.71	5.75	5.79	5.85	5.88	5.90
24			2	0.3364	3.70	5.72	5.83	5.85	5.85	5.87	6.00	6.04	6.06
25	800		1	0.3366	3.70	6.36	6.45	6.49	6.50	6.50	6.53	6.55	6.57
26			2	0.3367	3.70	6.69	6.70	6.73	6.73	6.75	6.77	6.79	6.80
27	900		1	0.3365	3.70	6.77	7.10	7.21	7.25	7.29	7.34	7.37	7.40
28			2	0.3363	3.70	7.55	7.84	8.11	8.27	8.35	8.40	8.45	8.47

ตารางที่ ก-1 ผลการเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม (ต่อ)

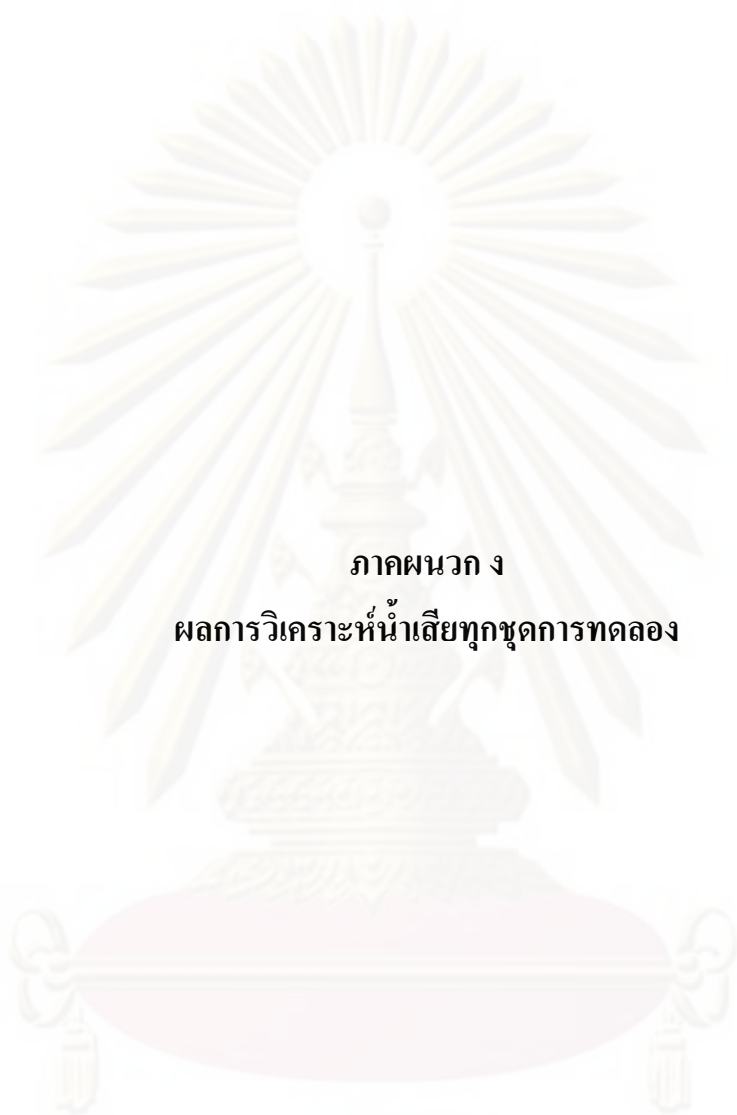
ตัวอย่างที่	โมล	อุณหภูมิที่เผา (องศาเซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชั่วโมง)	จำนวน (กรัม)	ค่า พีเอช (pH) ที่วัดได้ ณ เวลาต่างๆ (ชั่วโมง)								
					0	1	2	3	4	5	12	24	48
29	0.008	ไม่เผา	-	0.8001	3.70	5.75	5.79	5.83	5.89	5.90	5.96	5.98	6.00
30		700	1	0.4481	3.70	5.80	5.84	5.84	5.90	5.93	5.95	5.99	6.02
31			2	0.4485	3.70	5.93	5.97	6.02	6.04	6.05	6.10	6.12	6.15
32		800	1	0.4481	3.70	6.85	6.87	6.89	6.88	6.90	6.90	6.91	6.93
33			2	0.4483	3.70	7.50	7.55	7.58	7.57	7.57	7.59	7.60	7.61
34		900	1	0.4485	3.70	7.53	7.55	7.57	7.59	7.59	7.61	7.63	7.65
35			2	0.4485	3.70	8.57	8.97	9.82	9.91	9.97	10.73	10.85	10.93
36		0.010	ไม่เผา	-	1.0040	3.70	5.94	5.94	5.96	5.98	6.00	6.02	6.02
37	700		1	0.5613	3.70	5.96	5.96	5.97	5.99	6.02	6.04	6.05	6.05
38			2	0.5614	3.70	6.08	6.16	6.17	6.19	6.18	6.20	6.20	6.22
39	800		1	0.5613	3.70	7.10	7.17	7.18	7.18	7.20	7.20	7.21	7.21
40			2	0.5611	3.70	7.65	7.65	7.65	7.67	7.67	7.67	7.68	7.80
41	900		1	0.5614	3.70	7.70	7.71	7.73	7.73	7.74	7.79	7.80	7.80
42			2	0.5611	3.70	11.30	11.35	11.39	11.41	11.43	11.46	11.47	11.48

ตารางที่ ค-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียระหว่างเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

รอบ ที่	ตัวอย่าง ที่	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนเปลือกหอย		ค่า พีเอช (pH) ที่วัดได้ ณ เวลาต่างๆ (ชั่วโมง)															
				ร้อยละโดย ปริมาตร	กรัม	0	1	2	3	4	5	6	8	24	36	48	72	96	120	144	168
1	1	ไม่เผา	-	1	5	3.50	3.63	4.43	4.47	4.53	4.65	4.65	4.66	4.67	4.83	5.27	5.44	5.49	5.52	5.62	5.67
	2			5	25	3.50	4.24	5.25	5.29	5.35	5.37	5.40	5.54	5.85	6.11	6.46	6.49	6.54	6.57	6.57	6.58
	3			10	50	3.50	4.49	5.33	5.47	5.56	5.60	5.65	5.74	6.17	6.43	6.62	6.63	6.75	6.87	6.89	6.90
	4			15	75	3.50	5.02	5.80	5.84	5.88	5.88	5.86	6.09	6.35	6.47	6.69	6.70	6.89	7.07	7.11	7.13
	5			20	100	3.50	5.24	5.71	5.83	5.84	5.86	5.90	6.10	6.56	6.64	6.72	6.78	6.97	7.31	7.32	7.34
2	1	ไม่เผา	-	1	5	3.43	3.68	3.71	3.75	3.76	3.85	3.90	4.16	4.48	4.73	5.01	5.15	5.19	5.25	5.27	5.28
	2			5	25	3.43	4.50	4.78	4.82	4.88	4.98	5.10	5.21	5.76	6.11	6.32	6.36	6.37	6.38	6.38	6.40
	3			10	50	3.43	4.84	5.36	5.36	5.36	5.59	5.70	5.97	6.30	6.43	6.55	6.57	6.59	6.60	6.62	6.65
	4			15	75	3.43	5.12	5.60	5.68	5.71	5.85	5.99	6.15	6.51	6.59	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.72
	5			20	100	3.43	5.61	6.06	6.08	6.16	6.22	6.30	6.45	6.69	6.71	6.74	6.76	6.77	6.79	6.80	6.81

ตารางที่ ค-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียระหว่างเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและที่เผา ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม (ต่อ)

รอบ ที่	ตัวอย่าง ที่	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนเปลือกหอย		ค่าพีเอช (pH) ที่วัดได้ ณ เวลาต่างๆ (ชั่วโมง)															
				ร้อยละโดย ปริมาตร	กรัม	0	1	2	3	4	5	6	8	24	36	48	72	96	120	144	168
1	1	800	2	1	5	3.50	4.57	4.80	4.94	4.94	4.95	4.95	5.01	5.34	5.81	6.18	6.25	6.26	6.26	6.27	6.28
	2			5	25	3.50	5.54	5.69	5.94	5.87	5.92	5.96	5.99	6.26	6.54	6.72	6.86	6.87	6.88	6.88	6.88
	3			10	50	3.50	5.75	6.12	6.21	6.22	6.29	6.39	6.42	6.82	6.87	6.89	6.91	7.01	7.05	7.07	7.08
	4			15	75	3.50	6.27	7.00	7.09	7.34	8.57	9.01	9.79	11.13	11.25	11.50	11.86	11.86	11.86	11.88	11.89
	5			20	100	3.50	7.57	8.45	8.78	9.70	10.71	11.46	11.52	11.90	11.90	11.91	12.16	12.27	12.40	12.41	12.42
2	1	800	2	1	5	3.43	4.29	4.31	4.35	4.38	4.46	4.48	4.55	5.27	5.39	5.50	5.55	5.57	5.60	5.61	5.62
	2			5	25	3.43	5.58	5.80	6.09	6.09	6.09	6.12	6.20	6.52	6.56	6.60	6.65	6.67	6.69	6.72	6.73
	3			10	50	3.43	6.20	6.20	6.22	6.23	6.27	6.28	6.31	6.62	6.64	6.66	6.69	6.70	6.72	6.74	6.75
	4			15	75	3.43	6.34	6.39	6.45	6.46	6.50	6.54	6.59	6.94	6.96	6.98	7.01	7.02	7.04	7.04	7.05
	5			20	100	3.43	6.69	6.75	6.83	6.85	6.89	6.92	6.99	7.09	7.08	7.08	7.10	7.13	7.14	7.16	7.17



ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์น้ำเสียทุกชุดการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24					
1	√										28	3.54	144		
1		√	√					√			29	3.52	-298		
									√		29	3.51	-301		
										√	29	3.50	-304		
			√							√			29	5.94	-307
											√		30	5.83	-309
												√	30	5.79	-311
			√							√			29	6.21	-321
											√		30	6.18	-324
												√	30	6.15	-327
			√							√			30	6.50	-330
											√		30	6.45	-333
												√	30	6.40	-336
			√							√			30	6.65	-336
											√		30	6.60	-338
		√								30	6.55	-341			
2		√	√					√			29	3.53	-301		
									√		29	3.51	-303		
										√	30	3.49	-305		
			√							√			30	5.95	-308
											√		30	5.83	-311
												√	31	5.81	-314
			√							√			30	6.25	-321
											√		30	6.20	-325
		√								31	6.18	-329			

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24					
2 (ต่อ)		√						√			30	6.52	-333		
							√			√		31	6.48	-336	
												√	31	6.44	-338
									√	√			31	6.69	-339
									√		√		31	6.63	-341
												√	31	6.57	-344
3		√						√			28	3.53	-303		
			√							√		29	3.50	-305	
												√	29	3.47	-309
									√				29	5.96	-311
				√							√		30	5.83	-313
												√	30	5.82	-316
									√				30	6.27	-322
						√					√		30	6.24	-325
												√	30	6.20	-330
										√			31	6.54	-335
								√			√		30	6.50	-338
												√	30	6.46	-340
4		√						√			29	3.51	-308		
			√							√		30	3.50	-308	
												√	30	3.45	-309
									√				29	6.00	-314
				√							√		30	5.86	-316
												√	30	5.84	-319

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24			
	4 (ต่อ)		√			√			√				
									√		30	6.28	-326
										√	30	6.26	-332
								√			31	6.57	-336
							√		√		30	6.55	-341
										√	31	6.53	-344
								√			31	6.73	-346
									√		31	6.68	-348
										√	31	6.63	-351
5		√						√			30	3.52	-309
			√						√		29	3.48	-311
										√	29	3.44	-314
								√			30	6.03	-317
				√					√		30	5.88	-319
										√	30	5.85	-321
								√			31	6.31	-327
					√				√		31	6.29	-328
										√	30	6.27	-332
								√			30	6.59	-336
									√		30	6.57	-342
										√	31	6.55	-345
								√			31	6.75	-347
									√		31	6.71	-349
										√	31	6.67	-352
6		√						√			30	3.50	-309
			√						√		30	3.46	-312
										√	30	3.42	-315

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)			
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24						
6 (ต่อ)		√						√			30	6.05	-317			
				√						√		30	5.90	-320		
											√		31	5.87	-321	
										√			30	6.35	-327	
							√				√		31	6.30	-329	
												√		31	6.29	-333
										√				30	6.61	-335
									√		√			31	6.59	-336
												√		31	6.57	-344
										√				31	6.77	-347
								√			31	6.73	-349			
									√		31	6.71	-351			
2	√										28	3.51	152			
7		√						√			29	3.47	-309			
			√						√			29	3.43	-311		
											√		30	3.40	-316	
										√			29	6.08	-317	
							√				√		30	5.92	-322	
												√		30	5.90	-321
										√				29	6.37	-328
											√			30	6.33	-330
												√		30	6.31	-332
										√				30	6.63	-334
									√		√			30	6.61	-337
												√		31	6.58	-339
										√				31	6.78	-346
								√			31	6.75	-349			
									√		31	6.73	-352			

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24			
	8		√	√					√				
			√						√		30	3.49	-312
										√	30	3.45	-316
								√			30	6.10	-320
				√					√		30	5.93	-323
										√	30	5.90	-323
								√			30	6.37	-329
									√		30	6.35	-334
										√	30	6.33	-336
								√			31	6.63	-339
									√		31	6.62	-342
										√	31	6.60	-345
								√			30	6.81	-348
									√		31	6.76	-350
										√	31	6.74	-355
9		√	√					√			29	3.50	-314
			√						√		29	3.47	-317
										√	30	3.42	-318
								√			30	6.12	-321
				√					√		30	5.95	-324
										√	30	5.92	-327
								√			30	6.38	-331
									√		31	6.35	-334
										√	31	6.34	-336
								√			30	6.64	-340
									√		31	6.64	-342
										√	31	6.61	-345

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)	
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24				
9 (ต่อ)		√						√			31	6.83	-348	
							√		√		31	6.78	-350	
										√	31	6.76	-354	
10		√						√			29	3.47	-315	
			√						√		30	3.45	-319	
										√	30	3.40	-321	
								√			31	6.14	-322	
				√					√		30	5.97	-324	
										√	31	5.95	-327	
								√			30	6.39	-331	
									√		30	6.37	-334	
										√	30	6.36	-338	
								√			31	6.66	-340	
							√		√		31	6.65	-343	
										√	31	6.63	-345	
							√			31	6.85	-349		
								√		31	6.81	-352		
									√	31	6.76	-354		
11		√						√			30	3.44	-316	
			√						√		30	3.40	-319	
										√	31	3.37	-321	
								√			31	6.15	-322	
				√					√		31	6.01	-325	
										√	30	5.97	-327	
								√			30	6.41	-332	
							√		√		30	6.39	-336	
									√	31	6.37	-338		

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)	
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24				
11 (ต่อ)		√				√		√			31	6.67	-341	
									√		31	6.65	-343	
										√	31	6.63	-345	
							√	√			31	6.85	-351	
							√		√		31	6.83	-352	
										√	31	6.78	-355	
12		√						√			29	3.42	-317	
			√						√		30	3.38	-320	
										√	30	3.34	-321	
								√			30	6.17	-323	
				√					√		31	6.04	-325	
										√	31	6.01	-329	
								√			31	6.42	-332	
					√				√		31	6.40	-335	
										√	31	6.37	-338	
								√			30	6.69	-341	
						√			√		31	6.67	-344	
										√	31	6.64	-346	
							√			30	6.87	-351		
						√		√		31	6.85	-353		
									√	31	6.80	-355		
13		√						√			30	3.38	-316	
			√						√		30	3.35	-319	
										√	30	3.30	-321	
								√			29	6.19	-325	
				√					√		29	6.07	-327	
										√	30	6.04	-329	

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)	
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24				
13 (ต่อ)		√			√			√			30	6.42	-332	
									√		30	6.40	-334	
										√	30	6.38	-337	
								√			30	6.70	-340	
						√			√		30	6.67	-344	
										√	31	6.65	-347	
								√			31	6.87	-350	
							√		√		31	6.85	-353	
										√	31	6.81	-355	
3	√									28	3.51	159		
14		√						√			29	3.36	-315	
			√						√		29	3.33	-316	
										√	30	3.28	-320	
								√			29	5.89	-321	
				√					√		29	5.85	-322	
										√	30	5.80	-329	
								√			31	6.43	-335	
					√				√		31	6.41	-337	
										√	31	6.38	-337	
								√			30	6.71	-339	
						√			√		31	6.69	-345	
										√	31	6.66	-348	
							√			31	6.88	-350		
						√		√		31	6.85	-353		
									√	31	6.83	-354		
15		√						√			30	3.34	-313	
			√						√		29	3.31	-315	
									√		30	3.30	-320	

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24					
15 (ต่อ)		√						√			30	5.88	-321		
				√						√		31	5.84	-323	
											√		31	5.78	-325
										√			30	6.45	-335
							√				√		31	6.43	-337
												√	31	6.40	-339
										√			31	6.73	-341
								√			√		31	6.70	-346
												√	31	6.67	-349
										√			31	6.88	-351
									√		√		31	6.86	-355
												√	31	6.83	-358
16		√						√			29	3.33	-312		
			√						√		29	3.30	-315		
											√	30	3.28	-318	
									√			30	5.86	-320	
				√						√		30	5.80	-322	
											√	30	5.76	-324	
									√			30	6.46	-335	
							√				√		30	6.44	-337
												√	30	6.42	-341
										√			31	6.73	-343
								√			√		31	6.71	-346
												√	31	6.68	-349
							√			30	6.89	-353			
						√		√		31	6.87	-355			
									√	31	6.85	-359			

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)			
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24						
17		√						√			30	3.32	-311			
			√							√		30	3.29	-312		
											√		30	3.27	-316	
										√			30	5.83	-319	
				√							√		30	5.79	-320	
												√		30	5.73	-323
										√				30	6.47	-336
							√				√			30	6.45	-337
												√		30	6.43	-342
										√				31	6.75	-344
									√		√			31	6.73	-346
												√		31	6.69	-350
										√				31	6.90	-352
									√		√			31	6.88	-357
												√		31	6.86	-360
18		√						√			29	3.32	-312			
			√						√			29	3.29	-314		
											√		31	3.26	-316	
									√				30	5.80	-320	
				√						√			31	5.74	-322	
											√		31	5.69	-326	
										√				30	6.49	-335
							√				√			30	6.47	-337
												√		30	6.43	-342
										√				30	6.77	-344
									√		√			31	6.75	-346
												√		31	6.71	-350

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24			
	18 (ต่อ)		√						√				
							√		√		31	6.88	-356
										√	31	6.86	-359
19		√						√			29	3.31	-313
			√						√		30	3.27	-315
										√	30	3.26	-316
								√			30	5.77	-319
				√					√		30	5.72	-322
										√	30	5.66	-325
								√			30	6.50	-334
					√				√		30	6.48	-335
										√	30	6.45	-339
						√		√			30	6.77	-342
							√		√		31	6.75	-346
										√	31	6.73	-350
								√			30	6.91	-354
									√		31	6.90	-356
										√	31	6.87	-360
20		√						√			30	3.30	-314
			√						√		29	3.26	-315
										√	30	3.23	-317
								√			31	5.73	-321
				√					√		31	5.68	-324
										√	31	5.62	-326
								√			30	6.50	-333
					√				√		31	6.48	-335
										√	31	6.45	-338

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24			
	20 (ต่อ)		√				√		√				
									√		31	6.77	-345
										√	31	6.75	-349
								√			31	6.92	-355
							√		√		31	6.90	-357
										√	31	6.89	-360
4	√										28	3.51	151
21		√						√			30	3.27	-315
			√						√		30	3.24	-315
										√	30	3.20	-317
								√			30	5.70	-322
				√					√		30	5.64	-325
										√	30	5.60	-327
								√			30	6.53	-332
					√				√		30	6.50	-336
										√	30	6.47	-339
								√			31	6.79	-342
						√			√		31	6.77	-346
										√	31	6.75	-350
								√			30	6.92	-354
							√		√		31	6.91	-357
										√	31	6.89	-361
22		√						√			29	3.29	-314
			√						√		29	3.29	-315
										√	30	3.27	-318
								√			30	5.68	-321
				√					√		30	5.63	-325
										√	30	5.55	-327

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24			
	22 (ต่อ)		√			√			√				
									√		29	5.94	-331
										√	30	5.88	-335
								√			31	6.80	-343
						√			√		31	6.78	-347
										√	31	6.75	-351
								√			31	6.93	-355
							√		√		31	6.90	-357
										√	31	6.87	-361
23		√						√			29	3.28	-312
			√						√		29	3.27	-316
										√	29	3.25	-315
								√			30	5.67	-322
				√					√		31	5.63	-325
										√	31	5.53	-326
								√			31	5.96	-332
					√				√		30	5.90	-334
										√	30	5.86	-335
								√			31	6.80	-343
						√			√		31	6.79	-349
										√	31	6.77	-352
								√			31	6.95	-354
							√		√		31	6.92	-359
										√	31	6.89	-362
24		√						√			30	3.27	-311
			√						√		30	3.25	-316
										√	30	3.23	-318

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24					
24 (ต่อ)		√						√			30	5.65	-323		
				√						√		30	5.61	-325	
											√		30	5.49	-327
										√			30	5.92	-331
							√				√		30	5.89	-334
												√	30	5.81	-336
										√			31	6.81	-344
									√		√		30	6.80	-350
												√	31	6.77	-352
										√			31	6.95	-354
									√		√		31	6.94	-360
												√	31	6.91	-362
25		√						√			29	3.25	-310		
			√							√		29	3.25	-314	
											√	30	3.22	-315	
										√		30	5.61	-322	
				√							√	30	5.58	-325	
											√	30	5.46	-327	
										√		30	5.90	-333	
							√				√		30	5.85	-334
												√	30	5.80	-336
										√			31	6.82	-345
									√		√		30	6.80	-351
												√	31	6.79	-355
							√			31	6.96	-357			
						√		√		31	6.94	-361			
									√	31	6.92	-363			

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24					
								✓	✓	✓					
26		✓	✓					✓			30	3.23	-309		
									✓		30	3.23	-311		
										✓	30	3.20	-313		
				✓						✓			30	5.57	-320
											✓		30	5.55	-324
												✓	30	5.44	-325
					✓					✓			30	5.86	-332
											✓		30	5.82	-335
												✓	30	5.77	-337
								✓		✓			30	6.83	-347
											✓		31	6.81	-352
												✓	31	6.79	-355
									✓	✓			31	6.97	-357
											✓		31	6.95	-360
		✓								31	6.93	-363			
27		✓	✓					✓			29	3.22	-307		
									✓		30	3.20	-310		
										✓	30	3.17	-312		
				✓						✓			30	5.52	-319
											✓		30	5.50	-323
												✓	30	5.41	-325
					✓					✓			30	5.84	-333
											✓		30	5.80	-335
												✓	30	5.75	-337
								✓		✓			30	6.85	-351
	✓									30	6.83	-355			
		✓								30	6.81	-358			

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24			
	27 (ต่อ)		√						√				
							√		√		31	6.96	-360
										√	31	6.93	-363
28	√										28	3.51	161
		√						√			30	3.22	-308
			√						√		30	3.19	-311
										√	30	3.16	-312
								√			30	5.49	-320
				√					√		30	5.46	-323
										√	30	5.38	-326
								√			30	5.82	-334
					√				√		31	5.77	-336
										√	31	5.70	-338
								√			31	6.60	-344
						√			√		31	6.54	-349
										√	30	6.48	-353
								√			31	6.97	-356
							√		√		31	6.96	-359
										√	31	6.93	-364
29		√						√			29	3.24	-308
			√						√		29	3.20	-310
										√	29	3.18	-312
								√			31	5.47	-320
				√					√		30	5.44	-324
										√	30	5.35	-326
								√			30	5.81	-334
					√				√		30	5.75	-336
										√	30	5.73	-338

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)																																																								
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24																																																											
29 (ต่อ)		√					√				31	6.45	-347																																																								
																								31	6.40	-350																																											
																																					31	6.35	-353																														
																																																		30	6.96	-358																	
																																																															31	6.94	-361				
										29	3.22	-309																																																									
																							30	3.20	-311																																												
																																				30	3.16	-312																															
																																																	30	5.44	-320																		
																																																														30	5.40	-325					
										30	5.76	-335																																																									
																							30	5.70	-336																																												
																																				30	5.69	-338																															
																																																	30	6.40	-347																		
																																																														31	6.36	-355					
										31	6.96	-359																																																									
																							31	6.95	-362																																												
																																				31	6.93	-364																															
																																							31		√									29	3.21																		
																																																															30	3.18					
											30	5.40																																																									
																								30	5.36																																												
																																					30	5.29																															

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24					
31 (ต่อ)		√			√			√			30	5.71	-334		
									√		30	5.68	-335		
										√	30	5.64	-337		
								√			30	6.38	-348		
						√			√		30	6.32	-355		
										√	30	6.26	-358		
								√			30	6.97	-360		
							√		√		30	6.95	-362		
										√	31	6.93	-365		
32		√						√			29	3.19	-305		
			√						√		29	3.16	-307		
										√	30	3.14	-310		
								√			30	5.37	-318		
				√					√		30	5.33	-323		
										√	30	5.26	-325		
								√			30	5.66	-335		
					√				√		30	5.64	-335		
										√	30	5.60	-338		
								√			30	6.34	-347		
						√			√		30	6.28	-353		
										√	30	6.22	-356		
33		√						√			30	3.17	-306		
			√						√		30	3.14	-308		
										√	31	3.12	-311		
								√			30	6.98	-361		

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)	
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24				
33 (ต่อ)		√							√			31	5.34	-319
				√						√		31	5.30	-323
											√	30	5.24	-325
									√			31	5.62	-335
					√					√		31	5.60	-337
											√	31	5.57	-340
									√			31	6.30	-347
							√			√		31	6.26	-353
											√	31	6.20	-357
								√		√		31	6.98	-361
									√			31	6.96	-361
											√	31	6.94	-366
34		√							√			29	3.16	-305
				√						√		29	3.14	-306
											√	30	3.10	-309
									√			31	5.30	-320
					√					√		31	5.28	-322
											√	31	5.20	-323
									√			31	5.60	-334
						√				√		31	5.57	-335
											√	31	5.54	-338
							√			√		30	6.27	-345
											√	31	6.20	-355
											√	31	6.17	-356
							√		√		31	6.99	-360	
								√			31	6.97	-361	
										√	31	6.95	-364	

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24			
	5	√											
35		√						√			29	3.14	-305
			√						√		29	3.11	-306
										√	29	3.08	-308
								√			30	5.25	-319
				√					√		31	5.23	-321
										√	31	5.19	-323
								√			30	5.58	-335
					√				√		30	5.53	-335
										√	30	5.50	-337
								√			30	6.20	-344
						√			√		30	6.17	-354
										√	31	6.14	-357
							√		√		31	7.00	-362
										√	31	6.97	-363
										√	31	6.95	-365
36		√						√			30	3.19	-303
			√						√		30	3.15	-305
										√	29	3.11	-306
								√			31	5.21	-317
				√					√		30	5.20	-320
										√	30	5.15	-321
								√			30	5.62	-332
					√				√		30	5.57	-334
										√	30	5.56	-330
								√			30	6.22	-342
						√			√		30	6.18	-350
									√	30	6.10	-355	

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)	
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24				
36 (ต่อ)		√						√			30	6.67	-359	
							√		√		30	6.60	-359	
										√	30	6.57	-361	
37		√						√			29	3.17	-301	
			√						√		29	3.15	-303	
										√	30	3.10	-305	
								√			30	5.20	-315	
				√					√		31	5.16	-319	
										√	31	5.13	-319	
								√			31	5.57	-331	
					√				√		31	5.52	-332	
										√	31	5.50	-334	
								√			31	6.19	-339	
						√			√		31	6.12	-348	
										√	31	6.05	-351	
38		√						√			29	3.15	-300	
			√						√		29	3.12	-302	
										√	30	3.08	-305	
								√			30	5.17	-314	
				√					√		30	5.13	-317	
										√	30	5.11	-319	
								√			30	5.51	-330	
					√				√		30	5.48	-331	
										√	30	5.45	-333	
										√	30	5.45	-333	

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24			
38 (ต่อ)		√				√		√			31	6.15	-337
									√		30	6.09	-346
										√	31	6.00	-350
								√			30	6.57	-356
							√		√		30	6.47	-356
										√	31	6.40	-359
39		√						√			30	3.12	-301
			√						√		30	3.10	-302
										√	30	3.06	-303
								√			30	5.15	-315
				√					√		30	5.11	-317
										√	30	5.08	-318
								√			30	5.47	-328
					√				√		30	5.44	-331
										√	30	5.41	-333
								√			30	6.10	-336
						√			√		31	6.05	-344
										√	31	5.94	-348
							√			31	6.50	-355	
						√		√		31	6.38	-357	
									√	31	6.32	-359	
40		√						√			29	3.12	-300
			√						√		29	3.08	-301
										√	29	3.06	-303
								√			29	5.12	-313
				√					√		30	5.10	-315
										√	30	5.04	-317

ตารางที่ ง-1 ผลของอุณหภูมิ, พีเอช (pH) และโออาร์พี (ORP) ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิ โวลต์)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24			
	40 (ต่อ)		√			√			√				
									√		30	5.39	-330
										√	30	5.36	-332
								√			30	6.07	-334
						√			√		31	6.00	-343
										√	31	5.87	-346
								√			31	6.40	-353
							√		√		31	6.30	-355
										√	31	6.24	-358
41		√						√			30	3.10	-299
			√						√		29	3.06	-302
										√	30	3.04	-303
								√			30	5.08	-314
				√					√		30	5.05	-315
										√	30	5.01	-318
								√			30	5.40	-325
					√				√		30	5.33	-327
										√	30	5.30	-331
								√			30	6.03	-333
						√			√		31	5.97	-341
										√	31	5.81	-344
								√			31	6.33	-351
							√		√		31	6.26	-353
										√	31	6.17	-355

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเบลอ์กหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพด่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูปแคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
1	√										13,173	-	8,870	-	716	-	ND	844
		√						√			9,248	30	5,950	33	292	59	ND	1,133
			√						√		7,667	42	4,932	44	290	59	ND	1,080
										√	6,350	52	4,085	54	280	61	ND	904
								√			7,140	46	4,593	48	254	65	149	825
				√					√		6,350	52	4,128	53	248	65	154	769
										√	5,296	60	3,407	62	228	68	165	746
								√			6,876	48	4,424	50	226	68	254	735
					√				√		6,350	52	4,085	54	248	65	276	705
										√	4,505	66	2,898	67	222	69	287	701
								√			6,876	48	4,424	50	216	70	339	686
							√		√		6,086	54	3,915	56	206	71	384	653
										√	3,715	72	2,390	73	198	72	457	645

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพด่างไป คาร์บอนเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
1 (ต่อ)		√						√			5,559	58	3,576	60	198	72	566	630
							√		√		4,505	66	2,898	67	178	75	646	581
										√	3,451	74	2,220	75	124	83	695	566
2		√						√			7,403	44	4,763	46	298	58	ND	1,208
			√						√		6,086	54	3,915	56	254	65	ND	1,140
										√	5,032	62	3,237	64	250	65	ND	1,078
								√			6,613	50	4,254	52	238	67	164	791
				√					√		5,559	58	3,576	60	196	73	168	758
										√	4,242	68	2,729	69	194	73	172	737
								√			6,086	54	3,915	56	190	73	286	716
					√				√		5,823	56	3,746	58	176	75	305	690
										√	3,188	76	2,051	77	158	78	312	682

ตารางที่ ๓-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพด่างไป คาร์บอเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
2 (ต่อ)		√						√			5,296	60	3,407	62	142	80	426	671
									√		5,032	62	3,237	64	134	81	430	645
						√				√	2,398	82	1,543	83	130	82	460	631
								√			3,715	72	2,390	73	122	83	1108	615
							√		√		2,924	78	1,881	79	106	85	1155	566
										√	1,344	90	865	90	98	86	1255	543
3		√						√			7,114	46	4,577	48	266	63	ND	1,271
			√						√		5,796	56	3,729	58	244	66	ND	1,204
										√	4,215	68	2,712	69	223	69	ND	1,043
								√			6,060	54	3,899	56	168	77	167	765
							√		√		4,742	64	3,051	66	164	77	173	744
										√	3,689	72	2,373	73	160	78	178	727

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป การบ่อนด (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24										
3 (ต่อ)		√			√			√			5,006	62	3,221	64	154	78	323	697		
									√		4,215	68	2,712	69	150	79	341	675		
										√	2,898	78	1,864	79	132	82	365	664		
								√		√			4,479	66	2,881	68	124	83	482	650
											√		3,952	70	2,542	71	120	83	490	632
												√	2,108	84	1,356	85	118	84	520	617
									√	√			2,371	82	1,525	83	110	85	1500	540
											√		1,581	88	1,017	89	90	87	1503	504
												√	1,054	92	678	92	74	90	1527	481
2	√									12,910	-	8,693	-	771	-	ND	858			
4		√	√					√			6,876	47	4,424	49	335	57	ND	1,331		
									√		5,559	57	3,576	59	297	62	ND	1,267		
										√	3,978	69	2,559	71	219	72	ND	1,114		

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24										
4 (ต่อ)		√		√				√			5,296	59	3,407	61	194	75	192	732		
									√		4,242	67	2,729	69	158	80	190	721		
										√	3,188	75	2,051	76	144	81	209	711		
						√				√			4,505	65	2,898	67	148	81	385	675
											√		3,715	71	2,390	73	138	82	397	658
												√	2,661	79	1,712	80	118	85	410	645
							√			√			4,242	67	2,729	69	110	86	572	628
											√		3,451	73	2,220	74	106	86	599	617
												√	1,871	86	1,204	86	98	87	628	601
								√		√			2,134	83	1,373	84	94	88	1523	472
											√		1,607	88	1,034	88	84	89	1530	432
												√	1,080	92	695	92	72	91	1540	413

ตารางที่ ๕-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเบคทีเรียในน้ำ (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24										
5		√	√					√			6,876	47	4,424	49	336	56	ND	1,387		
									√		5,823	55	3,746	57	312	60	ND	1,328		
										√	3,978	69	2,559	71	242	69	ND	1,182		
			√							√			5,032	61	3,237	63	182	76	214	716
											√		3,978	69	2,559	71	138	82	220	705
												√	3,188	75	2,051	76	134	83	231	697
			√							√			4,242	67	2,729	69	134	83	456	659
											√		3,715	71	2,390	73	126	84	475	641
												√	2,398	81	1,543	82	110	86	489	626
			√							√			3,978	69	2,559	71	108	86	730	607
											√		3,451	73	2,220	74	98	87	784	596
												√	1,871	86	1,204	86	94	88	867	584

ตารางที่ ๖-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเบลอ์คหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
5 (ต่อ)		√						√			2,134	83	1,373	84	80	90	1509	401
							√		√		1,607	88	1,034	88	72	91	1517	364
										√	817	94	526	94	70	91	1542	347
6		√						√			7,140	45	4,593	47	344	55	ND	1,449
			√						√		5,823	55	3,746	57	324	58	ND	1,391
										√	4,242	67	2,729	69	252	67	ND	1,255
								√			4,769	63	3,068	65	160	79	242	697
				√					√		3,715	71	2,390	73	138	82	249	683
										√	3,188	75	2,051	76	124	84	258	676
								√			4,242	67	2,729	69	128	83	769	643
					√				√		3,451	73	2,220	74	116	85	785	628
										√	2,398	81	1,543	82	104	87	798	613

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)	
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24									
6 (ต่อ)		√					√	√			3,978	69	2,559	71	96	88	1531	536	
									√		3,188	75	2,051	76	84	89	1541	524	
										√	1,871	86	1,204	86	78	90	1548	511	
				√					√			2,134	83	1,373	84	76	90	1528	330
									√		1,607	88	1,034	88	69	91	1547	294	
										√	817	94	526	94	58	92	1571	275	
3	√										13,305	-	8,959	-	704	-	ND	865	
7		√	√					√			7,403	44	4,763	47	316	55	ND	1,509	
									√		6,086	54	3,915	56	302	57	ND	1,453	
										√	4,505	66	2,898	68	248	65	ND	1,325	
				√					√			5,296	60	3,407	62	176	75	185	678
									√		4,242	68	2,729	70	156	78	189	661	
										√	3,715	72	2,390	73	144	80	194	655	

ตารางที่ ๓-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเบลอ์คหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บ กัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24										
7 (ต่อ)		√			√			√			4,242	68	2,729	70	116	84	810	626		
									√		3,451	74	2,220	75	98	86	822	612		
										√	2,398	82	1,543	83	86	88	848	598		
								√		√			3,978	70	2,559	71	88	88	1550	465
											√		3,188	76	2,051	77	76	89	1562	453
												√	1,871	86	1,204	87	70	90	1571	440
										√			2,134	84	1,373	85	58	92	1553	294
											√		1,607	88	1,034	88	46	93	1575	252
												√	817	94	526	94	42	94	1633	233
8		√						√			7,614	43	4,898	45	314	55	ND	1,566		
									√		6,297	53	4,051	55	302	57	ND	1,509		
										√	3,926	70	2,918	67	260	63	ND	1,391		

ตารางที่ ๖-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลี่ยนแปลงของสาร (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอน (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอน)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)			
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24											
8 (ต่อ)		√		√				√			5,506	59	3,542	60	178	75	169	659			
									√		4,453	67	2,865	68	158	78	175	647			
										√	3,662	72	2,356	74	144	80	188	638			
							√				√			4,189	69	2,695	70	108	85	842	609
												√		3,399	74	2,187	76	86	88	868	597
													√	2,345	82	1,509	83	84	88	883	582
								√			√			3,926	70	2,526	72	80	89	1568	392
												√		3,135	76	2,017	77	72	90	1604	385
													√	1,554	88	1,000	89	62	91	1609	370
									√		√			2,081	84	1,339	85	56	92	1600	252
												√		1,554	88	1,000	89	46	93	1623	211
													√	764	94	492	95	42	94	1680	192

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ชีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ชีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพด่างไป คาร์บอเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)	
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24									
9		√	√					√			7,641	43	4,916	45	320	55	ND	1,627	
									√		6,323	52	4,068	55	304	57	ND	1,566	
										√	4,742	64	3,051	66	266	62	ND	1,459	
		√							√			5,533	58	3,560	60	180	74	160	640
										√		4,479	66	2,881	68	164	77	169	632
											√	3,689	72	2,373	74	146	79	179	623
		√				√			√			3,952	70	2,542	72	104	85	846	592
										√		3,425	74	2,203	75	80	89	871	583
											√	2,108	84	1,356	85	70	90	889	566
		√					√		√			3,689	72	2,373	74	74	89	1600	320
										√		2,898	78	1,864	79	58	92	1637	311
											√	1,581	88	1,017	89	56	92	1656	298

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเบลอ์คหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพด่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
9 (ต่อ)		√						√			2,108	84	1,356	85	48	93	1700	214
									√		1,581	88	1,017	89	46	93	1720	172
										√	790	94	508	94	40	94	1783	153
4	√										13,569	-	9,136	-	805	-	ND	855
10		√						√			8,167	40	5,254	42	374	54	ND	1,691
			√						√		6,850	50	4,407	52	362	55	ND	1,631
										√	4,742	65	3,051	67	326	60	ND	1,524
								√			5,796	57	3,729	59	214	73	156	625
				√					√		4,742	65	3,051	67	204	75	162	617
										√	3,952	71	2,542	72	178	78	174	606
								√			4,742	65	3,051	67	156	81	467	576
					√				√		4,215	69	2,712	70	132	84	488	569
										√	2,898	79	1,864	80	112	86	532	550

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
10 (ต่อ)		√						√			3,689	73	2,373	74	84	90	1612	282
									√		3,162	77	2,034	78	60	93	1659	274
							√			√	1,581	88	1,017	89	54	93	1707	256
								√			2,108	84	1,356	85	56	93	1686	178
									√		1,581	88	1,017	89	50	94	1688	135
										√	790	94	508	94	46	94	1780	118
11		√						√			8,141	39	5,237	43	382	53	ND	1,752
			√						√		6,824	49	4,390	52	366	55	ND	1,691
										√	4,980	63	3,204	65	340	58	ND	1,591
								√			6,033	55	3,881	58	224	72	148	615
							√			√	4,980	63	3,204	65	204	75	159	604
										√	3,926	70	2,526	72	180	78	166	593

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
11 (ต่อ)		√			√			√			4,716	65	3,034	67	164	80	394	565
									√		4,453	67	2,865	69	148	82	410	557
										√	2,872	78	1,848	80	112	86	442	542
								√			3,399	74	2,187	76	68	92	1640	254
									√		2,872	78	1,848	80	60	93	1693	242
										√	1,554	88	1,000	89	54	93	1708	222
								√			2,081	84	1,339	85	56	93	1692	155
									√		1,554	88	1,000	89	46	94	1722	114
										√	764	94	492	95	38	95	1900	96
12		√	√					√			8,167	39	5,254	42	390	52	ND	1,817
									√		7,114	47	4,577	50	370	54	ND	1,757
										√	5,006	62	3,221	65	344	57	ND	1,659

ตารางที่ ๖-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24										
12 (ต่อ)		√						√			6,060	54	3,899	57	230	71	145	606		
									√		5,006	62	3,221	65	206	74	151	597		
										√	3,952	70	2,542	72	184	77	156	581		
										√			4,742	64	3,051	67	170	79	372	553
											√		4,479	66	2,881	68	148	82	387	541
												√	3,162	76	2,034	78	124	85	401	533
										√			3,162	76	2,034	78	68	92	1664	233
											√		2,635	80	1,695	81	52	94	1700	221
												√	1,581	88	1,017	89	48	94	1710	198
										√			2,108	84	1,356	85	52	94	1701	136
											√		1,581	88	1,017	89	48	94	1745	98
												√	790	94	508	94	38	95	1960	76
5	√									10,407	-	7,007	-	816	-	ND	848			

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24										
13		√	√					√			6,587	37	4,238	40	404	50	ND	1,880		
									√		5,533	47	3,560	49	380	53	ND	1,821		
										√	3,952	62	2,542	64	354	57	ND	1,727		
			√							√			5,006	52	3,221	54	246	70	133	595
											√		3,952	62	2,542	64	224	73	139	588
												√	3,425	67	2,203	69	206	75	142	570
			√				√			√			3,952	62	2,542	64	182	78	313	541
											√		3,689	65	2,373	66	164	80	344	529
												√	2,635	75	1,695	76	124	85	386	521
			√					√		√			2,898	72	1,864	73	114	86	1520	228
											√		2,635	75	1,695	76	94	88	1586	222
												√	1,581	85	1,017	85	84	90	1546	201

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเบลอ์คหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
13 (ต่อ)		√						√			1,581	85	1,017	85	50	94	1771	124
									√		1,317	87	847	88	42	95	1965	80
										√	527	95	339	95	34	96	1987	60
14		√						√			6,613	36	4,254	39	418	49	ND	1,940
			√						√		5,559	47	3,576	49	390	52	ND	1,886
										√	3,978	62	2,559	63	362	56	ND	1,793
								√			5,032	52	3,237	54	264	68	132	586
				√					√		4,242	59	2,729	61	224	73	134	575
										√	3,451	67	2,220	68	208	75	136	562
								√			3,978	62	2,559	63	182	78	276	530
						√			√		3,715	64	2,390	66	166	80	298	518
										√	2,661	74	1,712	76	142	83	333	509

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
14 (ต่อ)		√						√			3,188	69	2,051	71	120	85	541	247
									√		2,661	74	1,712	76	108	87	595	238
							√			√	1,607	85	1,034	85	86	89	618	222
								√			1,607	85	1,034	85	50	94	1813	112
									√		1,344	87	865	88	42	95	1984	80
										√	553	95	356	95	34	96	1995	60
15		√						√			6,850	34	4,407	37	424	48	ND	2,002
			√						√		5,533	47	3,560	49	400	51	ND	1,947
									√		4,215	59	2,712	61	364	55	ND	1,861
								√			5,006	52	3,221	54	280	66	130	577
							√		√		4,479	57	2,881	59	244	70	132	564
										√	3,689	65	2,373	66	220	73	134	557

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24										
15 (ต่อ)		√			√			√			4,215	59	2,712	61	198	76	241	521		
									√		3,952	62	2,542	64	180	78	266	510		
										√	2,898	72	1,864	73	150	82	285	498		
								√		√			3,425	67	2,203	69	126	85	475	265
											√		2,898	72	1,864	73	110	87	508	254
												√	1,844	82	1,186	83	86	89	530	247
										√			1,581	85	1,017	85	52	94	1578	110
											√		1,317	87	847	88	42	95	1867	75
												√	527	95	339	95	28	97	1875	56
6	√									12,515	-	8,427	-	915	-	ND	865			
16		√	√					√			8,431	33	5,424	36	488	47	ND	2,068		
									√		7,114	43	4,577	46	448	51	ND	2,011		
										√	5,269	58	3,390	60	418	54	ND	1,934		

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24										
16 (ต่อ)		√		√				√			6,323	49	4,068	52	322	65	126	568		
									√		5,533	56	3,560	58	284	69	129	553		
										√	4,479	64	2,881	66	244	73	132	541		
						√				√			5,269	58	3,390	60	224	76	223	513
											√		5,006	60	3,221	62	198	78	232	502
												√	3,689	71	2,373	72	186	80	254	485
							√			√			4,215	66	2,712	68	148	84	376	281
											√		3,689	71	2,373	72	138	85	406	268
												√	2,371	81	1,525	82	122	87	468	263
								√		√			1,844	85	1,186	86	122	87	1500	91
											√		1,581	87	1,017	88	106	88	1523	75
												√	790	94	508	94	90	90	1548	45

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลี่ยนหยวนกรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)		
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24										
17		√	√					√			8,431	33	5,424	36	498	46	ND	2,131		
									√		7,114	43	4,577	46	456	50	ND	2,078		
										√	5,533	56	3,560	58	424	54	ND	2,001		
			√							√			6,587	47	4,238	50	322	65	122	557
											√		5,796	54	3,729	56	284	69	125	541
												√	4,742	62	3,051	64	268	71	130	533
			√							√			5,533	56	3,560	58	242	74	165	508
											√		5,006	60	3,221	62	200	78	186	491
												√	3,952	68	2,542	70	186	80	201	475
			√							√			4,479	64	2,881	66	158	83	357	288
											√		3,689	71	2,373	72	140	85	371	271
												√	2,371	81	1,525	82	130	86	411	268

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพต่างไป คาร์บอนेट (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอนेट)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
17 (ต่อ)		√						√			1,844	85	1,186	86	132	86	523	119
							√		√		1,581	87	1,017	88	120	87	547	86
										√	790	94	508	94	114	88	552	69
18		√						√			8,457	32	5,441	35	504	45	ND	2,196
			√						√		7,140	43	4,593	45	464	49	ND	2,147
										√	5,559	56	3,576	58	430	53	ND	2,071
								√			6,876	45	4,424	48	344	62	118	555
				√					√		5,823	53	3,746	56	306	67	121	539
										√	5,032	60	3,237	62	270	70	126	530
								√			5,559	56	3,576	58	244	73	153	505
						√			√		5,296	58	3,407	60	210	77	172	488
										√	3,978	68	2,559	70	186	80	187	470

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียทุกชุดการทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	น้ำตัวอย่าง		ปริมาณเปลือกหอยนางรม (ร้อยละโดยปริมาตร)					ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)			ซีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)	บีโอดี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด บีโอดี (ร้อยละ)	ของแข็ง แขวนลอย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด ของแข็ง แขวนลอย (ร้อยละ)	สภาพด่างไป คาร์บอเนต (มก./ล. ในรูป แคลเซียม คาร์บอเนต)	กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป กรดอะซิติก)
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	0	5	10	15	20	12	18	24								
18 (ต่อ)		√				√		√			4,769	62	3,068	64	166	82	344	290
									√		3,715	70	2,390	72	148	84	366	278
										√	2,398	81	1,543	82	138	85	392	272
			√					√			1,871	85	1,204	86	144	84	486	121
									√		1,607	87	1,034	88	132	86	491	98
										√	817	93	526	94	114	88	501	77



ภาคผนวก จ
ภาพประกอบการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ จ-1 การทดลองในการเลือกเปลือกหอยนางรมที่เผาแล้วเพื่อใช้เป็นเปลือกหอยนางรมที่เผา
ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม



รูปที่ จ-2 การทดลองในการศึกษาประสิทธิภาพในการปรับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสี้ยวที่มีฤทธิ์เป็น
กรด ระหว่างตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้เผาและตัวกลางเปลือกหอยนางรมที่เผา
ณ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม



รูปที่ จ-3 ลักษณะของเปลือกหอยนางรมก่อนนำมาใช้ในระบบบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศ



รูปที่ จ-4 ลักษณะของเปลือกหอยนางรมหลังใช้ในระบบบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเพ็ญศรี ศรีกิตติชัยกุล เกิดเมื่อวันที่ 20 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชวินิตบางแก้ว จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย