

ผลของพีเอชและอัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ต่อการลดซัลเฟตในระบบบยูเอเอสบี
สำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้น

นางสาวกนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF pH AND ORGANIC LOADING RATE ON SULFATE REDUCTION
IN UASB SYSTEM FOR TREATMENT OF CONCENTRATED LATEX WASTEWATER



Miss Kanokkan Kanjanawat

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

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของพีเอชและอัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ต่อการลดค่าพีเอช
ในระบบยูเอเอสบีสำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางชั้น

โดย

นางสาวกนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์

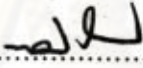
สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

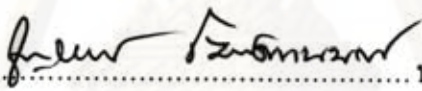
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

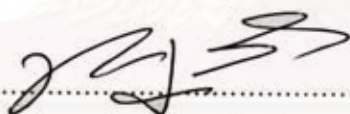
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

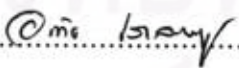

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

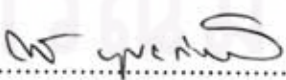
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาตวิทย์ โฆษิตานนท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์ : ผลของพีเอชและอัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ต่อการลดซัลเฟตในระบบยูเอเอสบีสำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้น. (EFFECTS OF pH AND ORGANIC LOADING RATE ON SULFATE REDUCTION IN UASB SYSTEM FOR TREATMENT OF CONCENTRATED LATEX WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 220 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของพีเอชและอัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ต่อการลดซัลเฟตในระบบยูเอเอสบีสำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้น งานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยทั้ง 2 ช่วงการทดลองใช้น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โดยช่วงการทดลองที่ 1 กำหนดอัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน กำหนดค่าพีเอชเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 และในช่วงการทดลองที่ 2 ทำการศึกษาเช่นเดียวกับช่วงการทดลองที่ 1 โดยทำการเพิ่มค่าอัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์เป็น 1, 2 และ 3 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

ผลการทดลองช่วงที่ 1 พบว่าที่อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์เป็น 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน และกำหนดค่าพีเอชเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 69.52, 72.34, 75.05 และ 70.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 93.58, 93.73, 94.10 และ 92.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 53.40, 53.30, 44.89 และ 43.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการทดลองช่วงที่ 2 พบว่าที่อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์เป็น 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน และกำหนดค่าพีเอชเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 62.42, 66.22, 67.51 และ 64.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 71.54, 72.82, 79.19 และ 75.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 45.60, 43.89, 45.89 และ 47.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์เป็น 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 39.39, 56.63, 67.18 และ 55.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 57.84, 63.92, 72.59 และ 60.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 50.70, 59.64, 64.79 และ 47.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์เป็น 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 29.98, 37.43, 44.88 และ 38.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 26.79, 43.11, 49.29 และ 48.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 39.32, 50.59, 55.41 และ 49.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดลองทั้ง 2 ช่วง ระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับซีไอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย ที่ค่าพีเอช 7 ดังนั้นพีเอชและอัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....
ปีการศึกษา..... 2552.....

ลายมือชื่อผู้จัดทำ กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5087102120 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : UASB/ pH / SULFATE

KANOKKAN KANJANAWAT : EFFECTS OF pH AND ORGANIC LOADING RATE ON SULFATE REDUCTION IN UASB SYSTEM FOR TREATMENT OF CONCENTRATED LATEX WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 220 pp.

This research aims to study effects of pH and organic loading rate on sulfate reduction in UASB system for treatment of concentrated latex wastewater. The research was divided into 2 experiments. Both experiments used the same concentrated latex wastewater. The first experiment with the organic loading rate $0.5 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ and operated with pH 5, 6, 7 and 8.5 and the second experiment do it same as the first experiment by varying organic loading rates to 1, 2 and 3 $\text{kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$.

The first experiment, it was found that at organic loading rate $0.5 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ and operated with pH 5, 6, 7 and 8.5, removal percentages for suspended solid were 69.52, 72.34, 75.05 and 70.68 %, respectively ; for COD were 93.58, 93.73, 94.10 and 92.96 %, respectively ; and for sulfate were 53.40, 53.30, 44.89 and 43.53 %, respectively.

The second experiment, it was found that at organic loading rate $1 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ and operated with pH 5, 6, 7 and 8.5, removal percentages for suspended solid were 62.42, 66.22, 67.51 and 64.72 %, respectively ; for COD were 71.54, 72.82, 79.19 and 75.22 %, respectively ; and for sulfate were 45.60, 43.89, 45.89 และ 47.55 %, respectively. Also, at organic loading rate $2 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, removal percentages for suspended solid were 39.39, 56.63, 67.18 and 55.89 %, respectively ; for COD were 57.84, 63.92, 72.59 and 60.32 %, respectively ; and for sulfate were 50.70, 59.64, 64.79 และ 47.87 %, respectively. Moreover, it was found that at organic loading rate $3 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, removal percentages for suspended solid were 29.98, 37.43, 44.88 and 38.43 %, respectively ; for COD were 26.79, 43.11, 49.29 and 48.38 %, respectively ; and for sulfate were 39.32, 50.59, 55.41 and 49.81 %, respectively.

From both experiments, the UASB system had the best performance for COD, Sulfate and Suspended Solid at pH 7. Therefore, pH and organic loading rate seem to significantly affect the UASB system performance.

Field of Study : Environmental Science

Student's Signature :

Academic Year : 2009

Advisor's Signature :

Kanokkan Kanjanawat
Chavalit Ratanatamskul

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆในการศึกษา และตรวจทานแก้ไข วิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ ดร. สาโรช บุญยกิจสมบัติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการร่วมเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ พร้อมทั้งช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณามอบทุนสนับสนุนในการ ทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท พุ่งสงสีสวัสดิ์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสีย ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการขนส่งน้ำเสียเพื่อใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ เพื่อใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวก ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เรื่อยมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุน และส่งเสริมทางการศึกษา ตลอดจนจนคอยเป็นกำลังใจที่ดีให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์ทรัพยากรพยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 นัยางธรรมชาติ.....	4
2.2 นัยางชั้น.....	5
2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment).....	10
2.3.1 กลไกพื้นฐานของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.....	10
2.3.2 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	12
2.3.3 ชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน..	15
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน...	16
2.4 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket ; UASB).....	22
2.4.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี.....	22
2.4.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	22
2.4.3 วัตถุประสงค์ในการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas – Solid Separator ; GSS) สำหรับระบบยูเอเอสบี.....	24
2.4.4 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี.....	25

2.5	กระบวนการซัลเฟตรีดักชัน.....	26
2.5.1	วัฏจักรซัลเฟอร์ทางชีวภาพ (The Biological Sulfur Cycle).....	26
2.5.2	ปฏิกิริยาชีวเคมีการใช้ซัลเฟต (Sulfate Reduction).....	28
2.5.3	แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria).....	33
2.5.4	ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับตัวของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต.....	34
2.6	สมดุลมวลของซีโอดีและซัลเฟอร์ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อมีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสีย.....	36
2.6.1	สมดุลมวลของซีโอดี.....	36
2.6.2	สมดุลมวลของซัลเฟอร์.....	39
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	43
3.1	แผนการทดลอง.....	44
3.2	การเตรียมน้ำเสีย.....	44
3.2.1	ลักษณะของน้ำเสีย.....	44
3.2.2	การเตรียมน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น.....	45
3.3	ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	45
3.4	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	47
3.4.1	ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี.....	47
3.4.2	เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ.....	49
3.4.3	ถังพักน้ำเสีย.....	49
3.4.4	อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซ.....	49
3.5	การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน.....	50
3.6	การเดินและการควบคุมระบบ.....	52
3.6.1	การเดินระบบ.....	52
3.6.2	การควบคุมระบบ.....	52
3.7	การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	54
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	55
4.1	ผลการวิจัย.....	55
4.1.1	ผลการศึกษากการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดย ระบบยูเอเอสบี (ช่วงการทดลองที่ 1).....	55

4.1.2 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นโดย ระบบยูเอเอสบี (ช่วงการทดลองที่ 2).....	79
4.2 การวิจารณ์ผลของพีเอชและอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพใน ระบบยูเอเอสบีสำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางชั้น (ช่วงการทดลองที่ 1 และ 2)	143
4.2.1 ซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด.....	143
4.2.2 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัด.....	150
4.2.3 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด.....	156
4.3 สมดุลมวลสารของระบบ.....	163
4.3.1 สมดุลมวลของซีไอดี.....	163
4.3.2 สมดุลมวลของซัลเฟต.....	166
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	168
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	168
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	170
รายการอ้างอิง.....	171
ภาคผนวก.....	175
ภาคผนวก ก ผลการทดลองช่วงที่ 1.....	176
ภาคผนวก ข ผลการทดลองช่วงที่ 2.....	184
ภาคผนวก ค การคำนวณสมดุลมวลของสารในระบบ.....	208
ภาคผนวก ง การคำนวณอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด.....	211
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	212
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	220

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
1.1	ลักษณะน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น.....	1
2.1	ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	4
2.2	สัดส่วนของสารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง.....	6
2.3	ปริมาณสารอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	20
2.4	ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	21
2.5	ตัวเลขออกซิเดชันของตัวอย่างชนิดธาตุซัลเฟอร์และสารประกอบของธาตุซัลเฟอร์.....	26
3.1	แผนการดำเนินการทดลอง.....	44
3.2	ลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น.....	44
3.3	ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	46
3.4	พารามิเตอร์ของน้ำตัวอย่าง วิธีวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์.....	54
4.1	ผลการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).	56
4.2	ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	57
4.3	ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	58
4.4	ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	60
4.5	ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	62
4.6	ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	65
4.7	ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	68
4.8	ปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	71

ตารางที่	หน้า
4.9 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	73
4.10 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	76
4.11 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	77
4.12 ผลการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)...	80
4.13 ผลการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)...	81
4.14 ผลการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)...	82
4.15 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	83
4.16 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	83
4.17 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	84
4.18 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	88
4.19 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	89
4.20 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	89
4.21 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	92
4.22 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	92
4.23 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	93
4.24 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	98

ตารางที่	หน้า
4.39 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	133
4.40 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	133
4.41 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	133
4.42 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	137
4.43 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	138
4.44 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	137
4.45 ค่า %COD recovery.....	164
4.46 เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow).....	166
4.47 ค่า %sulfur recovery.....	167
ก.1 พีเอชของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	176
ก.2 อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	176
ก.3 ชีโอดีของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	177
ก.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดชีโอดีของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	178
ก.5 ชัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	179
ก.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดชัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	179
ก.7 ชัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	180

ตารางที่	หน้า	
ก.8	กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	181
ก.9	สภาพต่างของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	181
ก.10	ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	182
ก.11	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	182
ก.12	ก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	183
ข.1	พีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	184
ข.2	อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	184
ข.3	ซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	185
ข.4	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	186
ข.5	ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	186
ข.6	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	187
ข.7	ซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	188
ข.8	กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	188
ข.9	สภาพต่างของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	189

ตารางที่	หน้า	
ข.10	ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	189
ข.11	เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	190
ข.12	ก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	191
ค.1	พีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	192
ค.2	อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	192
ค.3	ซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	193
ค.4	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	194
ค.5	ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	194
ค.6	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	195
ค.7	ซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	196
ค.8	กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	196
ค.9	สภาพต่างของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	197
ค.10	ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	198
ค.11	เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	198

ตารางที่	หน้า
ค.12	ก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)..... 199
ง.1	พีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)..... 200
ง.2	อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)..... 200
ง.3	ซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)..... 201
ง.4	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)..... 202
ง.5	ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)..... 202
ง.6	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksาร อินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)..... 203
ง.7	ซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)..... 204
ง.8	กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)..... 204
ง.9	สภาพต่างของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)..... 205
ง.10	ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)..... 206
ง.11	เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะ บรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)..... 206
ง.12	ก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)..... 207
จ.1	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยารักษาด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน..... 212

ตารางที่	หน้า	
๑.2	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำเสีย อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราการะบรทุก สารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	213
๑.3	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	214
๑.4	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของ น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราการะ บรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	215
๑.5	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	216
๑.6	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำเสีย อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราการะบรทุก สารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	217
๑.7	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	218
๑.8	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของ น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราการะ บรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	219

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ผังการผลิตน้ำยางข้นโดยการปั่น.....	8
2.2	ภาพตัดตามยาวของถังปั่นน้ำยางข้น.....	9
2.3	กระบวนการผลิตน้ำยางข้นและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต.....	10
2.4	ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย.....	11
2.5	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดแบบ ไม่ใช้ออกซิเจน.....	14
2.6	ลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	24
2.7	วัฏจักรซัลเฟอร์ทางชีวภาพ.....	27
2.8	ผลของ pH ที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	30
2.9	การตกตะกอนโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์และซัลไฟด์.....	30
2.10	การแข่งขันระหว่างซัลเฟตรีดักชันแบบคทีเรียกับเมทาโนเจนิคแบคทีเรียหรือ อะซิโตเจนิคแบคทีเรีย.....	32
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างซัลเฟตและออกซิเจนในการเป็นตัวรับอิเล็กตรอน.....	32
3.1	ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.2	ถังปฏิกรณ์จำลองยูเอเอสบี.....	47
3.3	แบบจำลองถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี.....	48
3.4	เครื่องสูบน้ำเสียแบบ Diaphragm Pump.....	49
3.5	อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ.....	50
3.6	น้ำเสียในถังพักน้ำเข้าระบบ.....	51
3.7	น้ำทิ้งไหลออกจากระบบด้านบน.....	51
3.8	อุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator ; GSS).....	52
4.1	ค่าพีเอชของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ ลบ.ม./วัน).....	58
4.2	ค่าอุณหภูมิของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	59
4.3	ค่าสภาพต่างของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	61

ภาพที่	หน้า
4.4 ค่ากรดไขมันระเหยของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	64
4.5 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	66
4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	67
4.7 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	69
4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	70
4.9 ปริมาณซัลเฟตตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	72
4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	72
4.11 ปริมาณซัลไฟด์ตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	75
4.12 ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	75
4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	77
4.14 สัดส่วนก๊าซมีเทนตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	78
4.15 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.5ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	78
4.16 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	86
4.17 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	87

ภาพที่	หน้า
4.18 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	87
4.19 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	90
4.20 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	91
4.21 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	91
4.22 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	95
4.23 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	96
4.24 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	97
4.25 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	101
4.26 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	102
4.27 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	103
4.28 ค่าของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	108
4.29 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	108
4.30 ค่าของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	109
4.31 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน).....	109

ภาพที่	หน้า
4.46 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	130
4.47 ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	130
4.48 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	131
4.49 ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	131
4.50 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	132
4.51 ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	132
4.52 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	135
4.53 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	135
4.54 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	136
4.55 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพต่ออัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2.....	136
4.56 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	139
4.57 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	139
4.58 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	140
4.59 เปรียบเทียบสัดส่วนก๊าซมีเทนต่ออัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2.....	140

ภาพที่	หน้า
4.60 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์เท่ากับ 1ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	141
4.61 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์เท่ากับ 2ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	141
4.62 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์เท่ากับ 3ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน).....	142
4.63 เปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดต่ออัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2.....	142
4.64 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 ที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน.....	144
4.65 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 2 ที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 1 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน.....	144
4.66 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 2 ที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 2 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน.....	145
4.67 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 2 ที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน.....	145
4.68 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตต่ออัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2.....	147
4.69 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับค่าพีเอชที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน.....	148
4.70 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับค่าพีเอชที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน.....	148
4.71 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับค่าพีเอชที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน.....	149
4.72 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับค่าพีเอชที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน.....	149
4.73 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 ที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน.....	151

ภาพที่		หน้า
4.88	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับค่าพีเอชที่อัตรา การบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	161
4.89	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับค่าพีเอชที่อัตรา การบำบัดทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	162
4.90	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกับค่าพีเอชที่อัตราการบำบัดทุก สารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน.....	162



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นจัดว่าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญแหล่งหนึ่งของภาคใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางน้ำและทางอากาศ น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีการปนเปื้อนมลพิษต่างๆ มากมาย เนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นจะมีลักษณะสารอินทรีย์และสารประกอบซัลเฟตสูง ซึ่งมาจากการใช้สารเคมีระหว่างขั้นตอนการจับตัวของเนื้อยางจากการใช้กรดซัลฟูริก (แกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์, 2539) ทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมชนิดนี้มีสภาพความเป็นกรดสูง และหากมีการจัดการน้ำเสียที่ไม่มีประสิทธิภาพจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม ลักษณะน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นแสดงดังในตารางที่ 1 ตารางที่ 1.1 ลักษณะน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ลักษณะ	น้ำเสีย
พีเอช	5.72
อุณหภูมิ (°C)	30.0
ซีโอดี (มก./ลิตร)	7996
ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	1128
ซัลไฟด์ทั้งหมด (มก./ลิตร)	<1
ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ (มก./ลิตร)	<1
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ลิตร)	<1
ซัลเฟต (มก./ลิตร)	1102

อีกทั้งระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นมากกว่าร้อยละ 95 เป็นระบบบ่อธรรมชาติ เมื่อบำบัดเสร็จแล้วมีการปล่อยน้ำทิ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติ ก่อให้เกิดปัญหากลิ่นรบกวน นอกจากนี้กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น ยังมีประสิทธิภาพที่ไม่เพียงพอ ทำให้คุณภาพน้ำทิ้งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีซัลเฟตเข้ามาเกี่ยวข้องจะมีการแข่งขันกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ในการใช้สารอาหารซึ่งสามารถวัดได้คร่าว ๆ ด้วยปริมาณซีโอดีที่ถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียแต่ละชนิด

โดยเฉพาะแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนจัดเป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญต่อขั้นตอนสุดท้ายในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีซัลเฟต โดยแบคทีเรียทั้งสองชนิดต่างก็สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารอนินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต มีลักษณะเด่นคือ ความสามารถในการรีดิวซ์ซัลเฟตให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ นอกจากนี้จากเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow) สามารถเปรียบเทียบการแข่งขันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยแบคทีเรียชนิดใดที่มีเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนมากกว่าจะเป็นแบคทีเรียที่มีความโดดเด่น (Predominate) มากกว่าในระบบนั้น ๆ ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการคือ ค่าพีเอช ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชและความเป็นด่าง มีผลต่อการจับตัวของไอออนลบกับโลหะไอออนในน้ำ (precipitation) เกิดการตกตะกอนและเกิดการดูดซับมวลจุลินทรีย์ ซึ่งในแต่ละค่าพีเอชที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มต่าง ๆ ดังที่กล่าวข้างต้น

การศึกษานี้จึงได้เลือกระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket,UASB) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ได้รับความนิยมสูงในต่างประเทศ สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ได้สูงและสามารถป้องกันไม่ให้อินทรีย์หลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอื่น ระบบยูเอเอสบีนี้เป็นระบบจุลินทรีย์แบบแขวนลอยโดยตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์จะถูกเลี้ยงให้จับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ และสามารถตกตะกอนได้ดี ส่งผลให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง นอกจากนี้จุดเด่นของระบบยูเอเอสบี อีกประการหนึ่ง ได้แก่ การผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือ ก๊าซมีเทนเป็นผลพลอยได้อีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ พีเอชและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองเหล่านี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ระบบยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพีเอชต่อการลดซัลเฟตโดยใช้ระบบยูเอเอสบีสำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้น
2. เพื่อศึกษาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่แต่ละค่าพีเอชต่อการลดซัลเฟตโดยใช้ระบบยูเอเอสบีสำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังปฏิกรณ์จำลองยูเอเอสพีที่มีลักษณะเหมือนกันทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยถังปฏิกรณ์แต่ละชุดจะมีส่วนย่อยสลายทำจากท่ออะคริลิกใสมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.4 เซนติเมตร สูง 1.06 เมตร มีปริมาตรกักเก็บน้ำทั้งหมด 2.43 ลิตรทำการติดตั้งและเดินระบบที่บริเวณชั้นที่ 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จังหวัดตรัง ซึ่งเป็นตัวแทนน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

3. ศึกษาผลของพีเอชและอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้นโดยใช้ระบบยูเอเอสพี โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วงการทดลองดังนี้ ช่วงการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของพีเอชและอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ โดยปรับค่าพีเอชของถังปฏิกรณ์แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ และอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 2 วัน ในช่วงนี้ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน และในช่วงการทดลองที่ 2 ทำการศึกษาเช่นเดียวกับช่วงการทดลองที่ 1 โดยทำการเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ เป็น 1, 2 และ 3 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

4. วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ซีไอดี ชัลเฟต ชัลไฟด์ทั้งหมด สภาพต่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย ของแข็งแขวนลอย และก๊าซชีวภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสพีสามารถบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับค่าพารามิเตอร์ ซีไอดีและชัลเฟต

2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิจัยไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นต่อไป

3. ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเป็นที่ยอมรับและแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากราคาไม่สูงเกินไป มีประสิทธิภาพสูง ให้ผลตอบแทนในรูปของก๊าซชีวภาพซึ่งใช้เป็นพลังงานทดแทนได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีพีเอชประมาณ 6.5 – 7.0 ความหนืดไม่แน่นอน มีส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุ ต้นยาง การกรีด และฤดูกาล (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2525) ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ (กลุ่มยางพารา, 2533)

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
ของแข็งทั้งหมด	22-48
เนื้อยางแห้ง	20-45
โปรตีน	1.5
เรซิน	2.0
คาร์โบไฮเดรต	1.0
สารอินทรีย์	0.5
น้ำ (ในปริมาณที่รวมแล้วเป็น)	100

ส่วนประกอบของน้ำยางสดแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2525)

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (dry rubber sheet) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม มีสูตรเคมีดังนี้ $(C_5H_8)_n$ เรียกชื่อทางเคมีว่า โพลีไอโซพรีน (polyisoprene) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 100,000 รูปร่างของอนุภาคยางเป็นรูปกลมหรือรูปลูกแพร์ ขนาด 0.05 – 5 ไมครอน มีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ เคลื่อนที่แบบบราวเนียนไปมาตลอดเวลา ยางมีความยืดหยุ่นได้เนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่ของยางแต่ละโมเลกุลเป็นของสายโมเลกุลที่เกิดจากหน่วยย่อยไอโซพรีนต่อเนื่องกัน ยางชิ้นหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยขดของสายโมเลกุลที่พันกันอยู่อย่างยุ่งเหยิง สายโมเลกุลเหล่านี้มีสมบัติถูกหักงอหรือยืดได้ การดึงหรือยืดขึ้นยางก็เท่ากับยืดสายโมเลกุลของยางให้คลายออก แต่เมื่อปล่อยคืนให้ความเป็นอิสระกับขึ้นยางสายโมเลกุลยางก็จะพยายามหดตัวกลับมาขดอยู่ในสภาพเดิม ปริมาณความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นยาง

แข็งทั้งหมดในน้ำยากับปริมาณเนื้อเยื่อแห้งประมาณร้อยละ 3 แต่ถ้าเป็นกรณีของน้ำยากที่ปั่นทำให้ขึ้นแล้ว ความแตกต่างดังกล่าวลดเหลือเพียงประมาณร้อยละ 1-2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและการปรับเครื่องปั่น

2. ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยาง (non rubber sheet) เป็นส่วนประกอบอื่น ๆ ทั้งหมดที่ไม่ใช่ส่วนที่เป็นยาง ประกอบด้วย

2.1 คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่เป็นพวกแอลเมธิลโลโนซิทอล (L-Methylinositol) ส่วนคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ ซึ่งมีอยู่จำนวนน้อย ได้แก่ กลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส และกาแลคโตส น้ำตาลเหล่านี้เมื่อถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid) เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพรไพโอนิก

2.2 โปรตีนและกรดอะมิโน มีหลายชนิดที่สำคัญคือ

2.2.1 แอลฟา โกลบูลิน (α - Globulin) เป็นโปรตีนที่มีสมบัติ surface active จะอยู่บนรอยต่อระหว่างน้ำและอากาศ และน้ำมันกับน้ำได้ทันที ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในกรด ต่างและเกลือ มี Isoelectric point ที่ pH เท่ากับ 4.8 ซึ่งเป็นจุดที่ใกล้เคียงกับน้ำยากมาก

2.2.2 เฮวาลิน (hevalin) จะอยู่ที่อนุภาคของเม็ดยาง และละลายอยู่ในชั้นน้ำ มีค่า Isoelectric Point ที่ pH เท่ากับ 4.5 มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบอยู่ร้อยละ 5 เมื่อน้ำยากเกิดการ บูดเน่า โปรตีนส่วนหนึ่งละลายน้ำให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน ซึ่งทำให้กลิ่นเหม็นได้

2.2.3 องค์ประกอบอื่น ๆ มีสารพวกที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนอิสระ เช่น โคลีน (choline) เมธิลลามีน (methylamine) กรดอินทรีย์ (organic acid) กรดอินทรีย์ (inorganic acid) อนุมูลของสารอินทรีย์โดยเฉพาะฟอสเฟต และคาร์บอนเนต และอนุมูลของโลหะ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเป็นพวกเหล็ก แมกนีเซียม โซเดียม ทองแดง นอกจากนี้ยังมีไซยาไนด์ประมาณร้อยละ 0.25

2.2 น้ำยางข้น

น้ำยางธรรมชาติที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เป็นน้ำยางที่ได้ผ่านกระบวนการทำเป็นน้ำยางข้น (concentrating process) แล้วจากวิธีใดวิธีหนึ่ง ได้แก่ การทำครีม (creaming process) การระเหยน้ำ (evaporation process) และการใช้เครื่องปั่น (centrifuging process) น้ำยางที่ผลิตจากกรรมวิธีการใช้เครื่องปั่นเป็นน้ำยางข้นที่มีปริมาณการผลิตมากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณการผลิตน้ำยางข้นทั้งหมด ในประเทศไทยนั้นทำการผลิตน้ำยางข้นโดยใช้เครื่องปั่นเพียงอย่างเดียว

น้ำยางชั้นจากการปั่น (centrifuge-concentrated latex) ของไทยมี 2 ชนิด คือ น้ำยางชั้นชนิดที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียมาก (HA, High Ammonia) และชนิดที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียน้อย (LA – TZ, Low Ammonia)

ตารางที่ 2.2 สัดส่วนของสารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง (วารสารณ์ ขจรไชยกูล, 2537)

ชนิดน้ำยาง	สารรักษาสภาพน้ำยาง (ร้อยละ)*
High Ammonia (HA)	0.7 Ammonia + 0.035 lauric acid
Low Ammonia – Tetramethylthiuram)	0.2 Ammonia + 0.013 TMTD
Disulphide/Zinc Oxide (LA-TZ)	+ 0.013 ZnO + 0.035 lauric acid

* ร้อยละของสารเคมีที่ใช้เป็นน้ำหนักต่อน้ำหนักยาง

นอกจากนี้ น้ำยางชนิดที่ใช้ปริมาณแอมโมเนียน้อยรักษาสภาพ ยังมีการใช้สารช่วยกลุ่มอื่นๆ อีกขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต เช่น Zinc Diethyldithiocarbamate (ZDC) + lauric, boric acid + lauric, sodium pentachlorophenate (ห้ามใช้สาร pentachlorophenate ในการนำน้ำยางชั้นไปใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสร่างกายและ/หรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางแพทย์ เพราะสารชนิดนี้เป็นสารพิษ)

2.2.1 สมบัติและการใช้งานน้ำยางชั้นชนิดต่าง ๆ

2.2.1.1 น้ำยางชั้นจากการปั่นชนิดแอมโมเนียมาก (HA Centrifuged Latex)

น้ำยางชั้นชนิดนี้ใช้ในงานการผลิตผลิตภัณฑ์ ที่จะใช้สัมผัสกับอาหาร และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ข้อเสียของน้ำยาง HA คือมีกลิ่นฉุนของแอมโมเนีย และจำเป็นต้องไล่ก๊าซแอมโมเนียในขณะการนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

2.2.1.2 น้ำยางชั้นจากการปั่นชนิดแอมโมเนียน้อย (LA Centrifuged Latex)

น้ำยางชั้นจากการปั่นชนิดที่รักษาด้วยแอมโมเนียน้อย มีการผลิตจำหน่ายในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

ก. Tetramethylthiuram disulphide / Zinc Oxide (LA-TZ) เป็นชนิดที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดในกลุ่มนี้ การรักษาสภาพโดยใช้สารเคมีผสมระหว่างไทยแรมกับซิงค์ออกไซด์ช่วยสารเคมีหลัก คือ แอมโมเนีย มีการใช้งานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ข. Sodium Pentachlorophenate Preserved (LA-SPP) น้ำยางชนิดนี้มีความเสถียรของสถานะคอลลอยด์ (colloid) ของน้ำยางที่ดีที่สุด มีความเสถียรทางกลและความเสถียรทางเคมีมาก (High Mechanical and ZnO stability) ดังนั้นจึงเหมาะในงานขึ้นรูปที่ในกระบวนการผลิตต้องการสมบัติเหล่านี้ ซึ่งได้แก่ งานผลิตยางฟองน้ำรองพรม เป็นต้น ข้อเสีย

ของน้ำยางชนิดนี้คือสีของผลผลิตคล้ายกับน้ำยางจากการปั่นที่รักษาด้วยระบบอื่น ๆ และมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ของบางประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศเยอรมัน

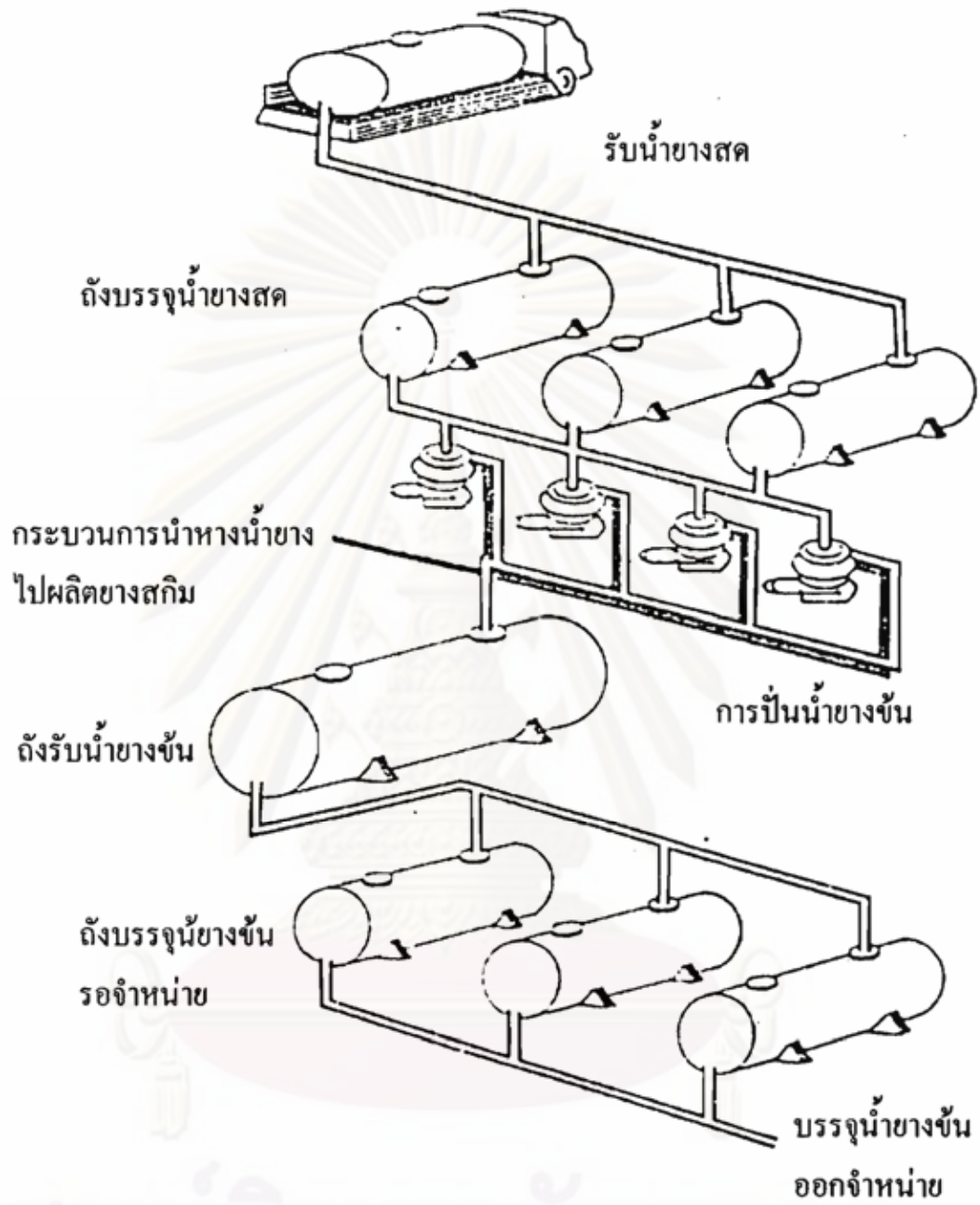
ค. Zinc Diethyldithiocarbamate Preserved (LA-ZDC) น้ำยางชนิดนี้คล้ายคลึงกับน้ำยางชนิด HA และมีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเพราะ ZDC เป็นสารเร่งที่ยอมรับในวงการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้สัมผัสอาหาร ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ZDC ที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะใช้ในปริมาณซึ่งใช้รักษาน้ำยางมาก (การใช้ ZDC รักษา น้ำยางร้อยละ 0.1 โคนน้ำหนัก)

ง. Boric Acid Preserved (LA-BA) น้ำยาง (LA-BA) มีสีค่อนข้างจางกว่าพวก HA หรือ LA-ZDC ดังนั้นจึงมักใช้กันในโรงงานผลิตพวกที่ต้องการสีจาง ๆ แต่น้ำยางชนิดนี้มีความเสถียรค่อนข้างต่ำกว่าน้ำยางที่รักษาด้วยสารเคมีระบบอื่น ๆ

2.2.2 การผลิตน้ำยางข้น (วารสารณ์ ขจรไชยกูล, 2537)

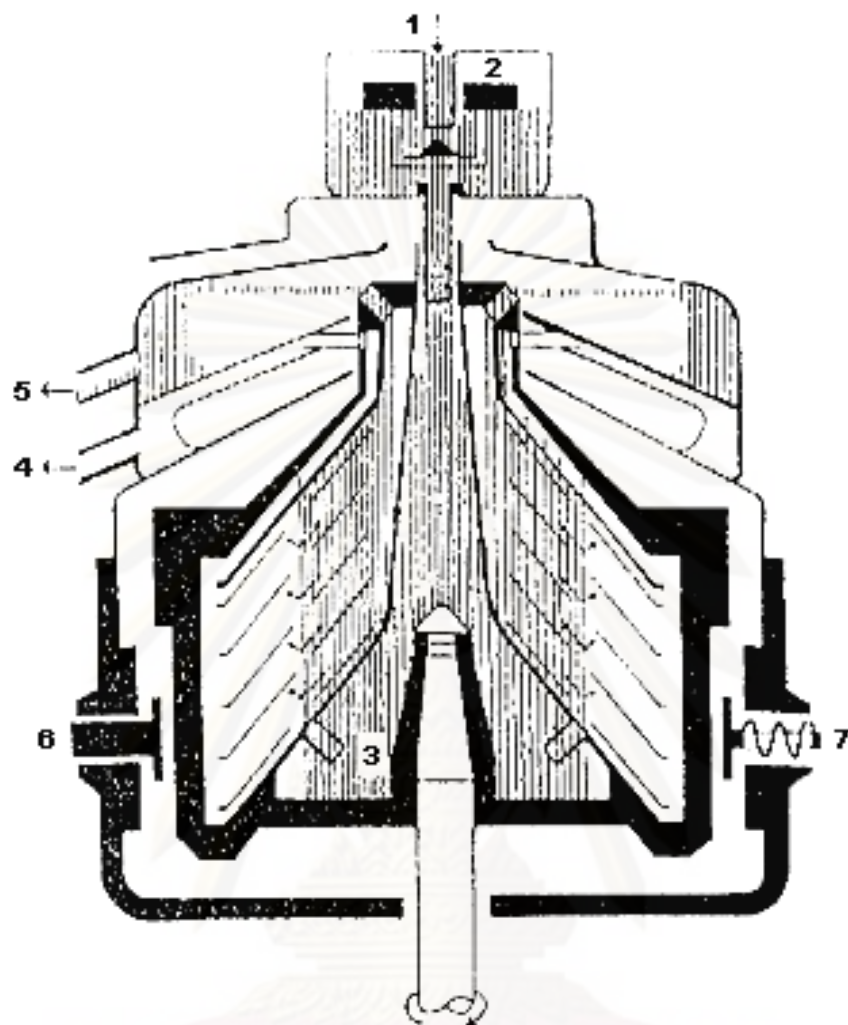
น้ำยางข้นส่วนใหญ่ผลิตจากกรรมวิธีการปั่นน้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 25-35 ซึ่งได้รักษาสภาพไว้ด้วยแอมโมเนีย ขนส่งน้ำยางสดไปยังโรงงานผลิต จากนั้นทำการทดสอบหาปริมาณเนื้อยาง ทดสอบระดับการรักษาสภาพน้ำยาง โดยการหาจำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA No, Volatile Fatty Acid No) และการทดสอบหาปริมาณธาตุแมกนีเซียม เมื่อตรวจสอบสภาพน้ำยางสดถูกต้องแล้วจะเติม DAHP (Diammonium Hydrogen Phosphate) เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมในถึงรวมอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ก่อนการนำเข้าสู่เครื่องปั่น

ภาพที่ 2.1 แสดงผังการผลิตน้ำยางข้นโดยการปั่น โดยน้ำยางสดจะไหลจากถังรวมเข้าสู่เครื่องปั่น ซึ่งจะทำการปั่นอย่างต่อเนื่องประมาณ 250-450 ลิตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและการตั้งเครื่อง เครื่องปั่นจะแยกน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้น (ปริมาณเนื้อยางแห้ง มากกว่าร้อยละ 60) และหางน้ำยาง (skim latex) (ปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 3-8) และจะแยกสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางออกด้วย ส่วนของหางน้ำยางจะถูกทำเป็น สกิมแท่ง หรือสกิมครีม โดยการได้แอมโมเนียออก ทำให้จับตัวผ่านเครื่องรีดครีม หรือเครื่องทำยางแท่ง แล้วอบแห้ง ส่วนน้ำยางข้นจะถูกอัดด้วยแก๊สแอมโมเนียหรือเติมน้ำแอมโมเนีย และปั๊มหรือไหลเข้าสู่ถังผสม รอการตรวจสอบคุณภาพให้ถูกต้องก่อนการบรรจุถังเพื่อจำหน่าย ภาพที่ 2.2 แสดงภาพตัดตามยาวของถังปั่นน้ำยางข้น ส่วนภาพที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต



ภาพที่ 2.1 ผังการผลิตน้ำข้างชั้นโดยการปั้ (วารสารณ์ ขจรไชยกูล, 2537)

ศูนย์วิทยุโทรคมนาคม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.2 ภาพตัดตามยาวของถังรับน้ำอย่างชื้น (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2537)

เมื่อ: 1 คือ ท่อรับน้ำอย่าง

2 คือ หม้อพักและลูกกลอย

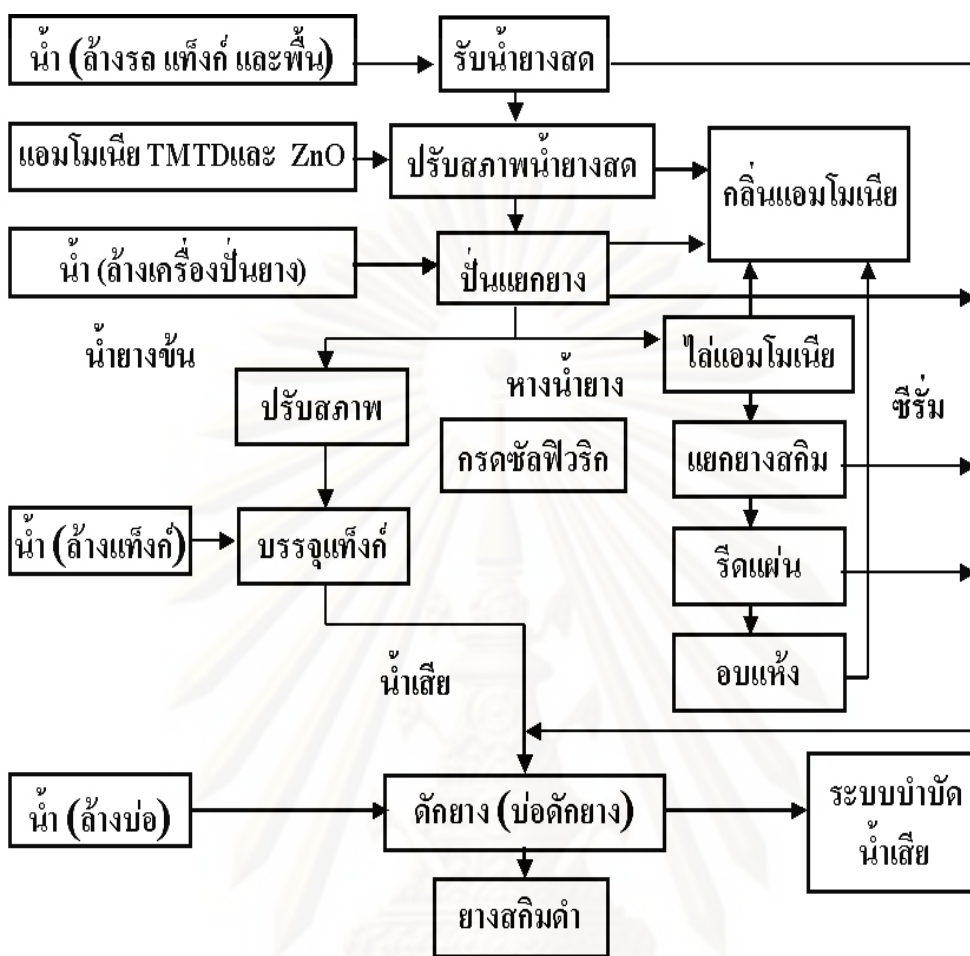
3 คือ ท่อจ่าย

4 คือ ทางออกทางน้ำอย่าง

5 คือ ทางออกน้ำอย่างชื้น

6 คือ เบรกเชิงกล

7 คือ เบรกแม่เหล็ก



ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตน้ำอย่างขุ่นและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

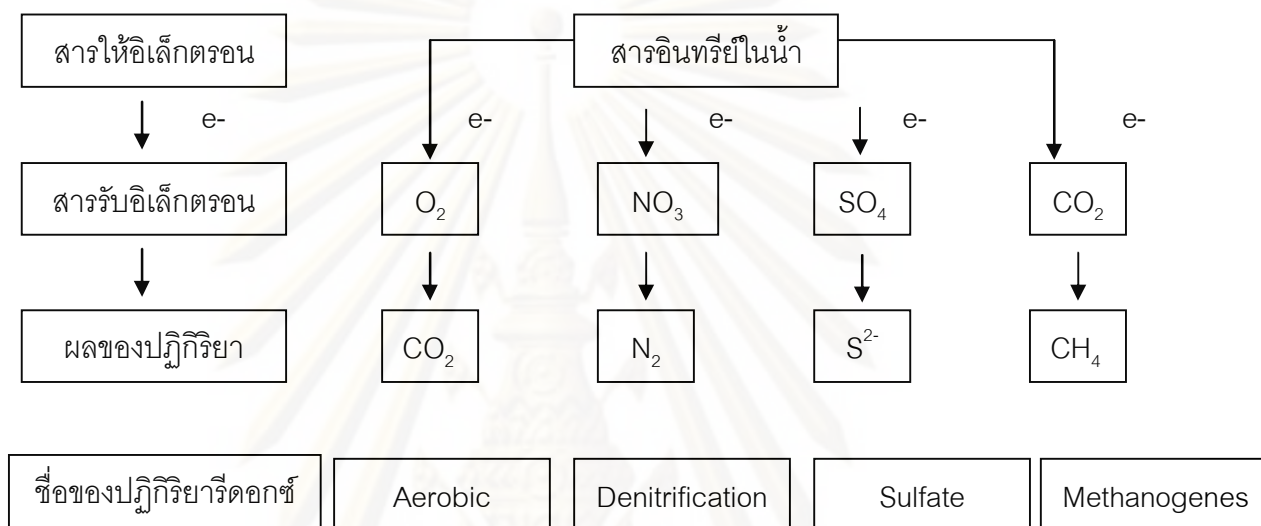
2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment)

2.3.1 กลไกพื้นฐานของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

กลไกพื้นฐานในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนหรือแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีพื้นฐานเดียวกัน คือ เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยจะเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้อิเล็กตรอน (Electron donor) และสารรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) ซึ่งสารให้อิเล็กตรอนในน้ำเสียจะเป็นสารอินทรีย์หรือมลสารในน้ำเสีย ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานให้กับจุลินทรีย์ ในขณะที่สารรับอิเล็กตรอนในน้ำเสียจะมีหลายชนิด และมักจะเป็นสารอย่างอื่นที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ เช่น ออกซิเจน ไนเตรต ซัลเฟต เป็นต้น เมื่อเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์จะได้พลังงานขึ้นมาจำนวนหนึ่ง โดย

พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อนและอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการดำรงชีวิตและสร้างเซลล์ใหม่

เนื่องจากในน้ำเสียมีสารรับอิเล็กตรอนอยู่หลายชนิด ทำให้ผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต่างกันไปด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ชนิดของสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายจะสามารถจำแนกกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ดังรูป



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

จากภาพที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่างจากกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ตรงที่สารรับอิเล็กตรอนไม่ใช่ออกซิเจน แต่เป็นสารอื่น ๆ ในน้ำเสีย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนเตรท เป็นต้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสารรับอิเล็กตรอน โดยสิ่งที่จะกำหนดว่าจะมีปฏิกิริยาชนิดใดเกิดขึ้นก่อน คือ สภาพน้ำเสียในขณะนั้นว่า มีสารให้อิเล็กตรอนชนิดใดในน้ำเสีย

ในน้ำเสียประเภทหนึ่งๆ กรณีที่มีสารรับอิเล็กตรอนหลายชนิด เมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็นหลัก จะสามารถเรียงลำดับปฏิกิริยาตามปริมาณพลังงานที่ได้รับจากมากไปน้อยตามชนิดของสารรับอิเล็กตรอน ในกรณีที่ย่อยสารอินทรีย์เดียวกันได้ดังนี้คือ ออกซิเจน ไนเตรท ซัลเฟต และคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ และโอกาสจากมากไปน้อยที่ปฏิกิริยาต่าง ๆ จะเกิดขึ้นจะเป็นไปตามลำดับดังกล่าวด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามยังต้องพิจารณาปัจจัยด้านอื่น เช่น ปัจจัยทางไคเนติก และปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ช่วงอุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญ และปัจจัยที่สำคัญที่จำเป็นที่จะต้องพิจารณาร่วมด้วย คือปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์

กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถใช้ประโยชน์ได้ 2 รูปแบบ คือ การทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากถังตกตะกอนชั้นต้น หรือถังตกตะกอนชั้นสุดท้ายมีความคงตัว (Stability) ซึ่งกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้อาจเป็นถังหมักแบบธรรมดา (Conventional Anaerobic Digestion) หรือ ถังหมักแบบสองเฟส (Two-Phase Anaerobic Digestion) และประโยชน์อีกรูปแบบหนึ่งคือ ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการที่ใช้ ได้แก่ ระบบถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact) ระบบเครื่องกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB) เป็นต้น

นอกจากนี้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนยังมีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งแตกต่างจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนอย่างเด่นชัดหลายประการ ได้แก่

- ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยา
- มีอัตราการสร้างตะกอนต่ำมาก
- ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ
- ไม่สามารถลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้เหลือต่ำมากได้
- ความมีเสถียรภาพในการทำงานของระบบต่ำ
- แยกตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำออก (Effluent) ไม่ค่อยได้

2.3.2 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในน้ำเสีย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (Sam-soon และคณะ, 1987 อ้างถึงใน ภูคำ พิมจักร, 2546)

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นต้น ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น กรดอะมิโน น้ำตาลและกรดไขมัน ตามลำดับ โดยแบคทีเรียหลายจำพวก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกแบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียเหล่านี้จะปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ ซึ่งจะลดพลังงานกระตุ้นเป็นการช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น โอนเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาเป็นโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยา และสารที่ทำปฏิกิริยา ดังนั้นเอนไซม์ที่ปล่อยแบคทีเรียออกมาออกเซลล์ จึงขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสีย เช่น แป้งและไกลโคเจน ต้องใช้เอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ไขมันและลิปิดต้องใช้เอนไซม์ไลเปส (Lipase) โปรตีนต้องใช้เอนไซม์โปรตีเอส (Protease)

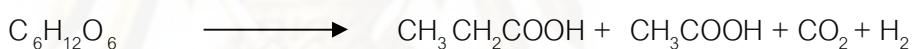
ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)

ผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดเล็ก จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน โดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) ภายในเซลล์ แล้วเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) เช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) และ กรดบิวทิริก (Butyric Acid) เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย โดยชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสารอินทรีย์ และความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจน (Hydrogen Partial Pressure) ในขณะนั้น ในสภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ จะได้ผลผลิตคือ กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน แต่เมื่อความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง จะได้กรดโพรไพโอนิก กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ดังสมการด้านล่าง

สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ



สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง



ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

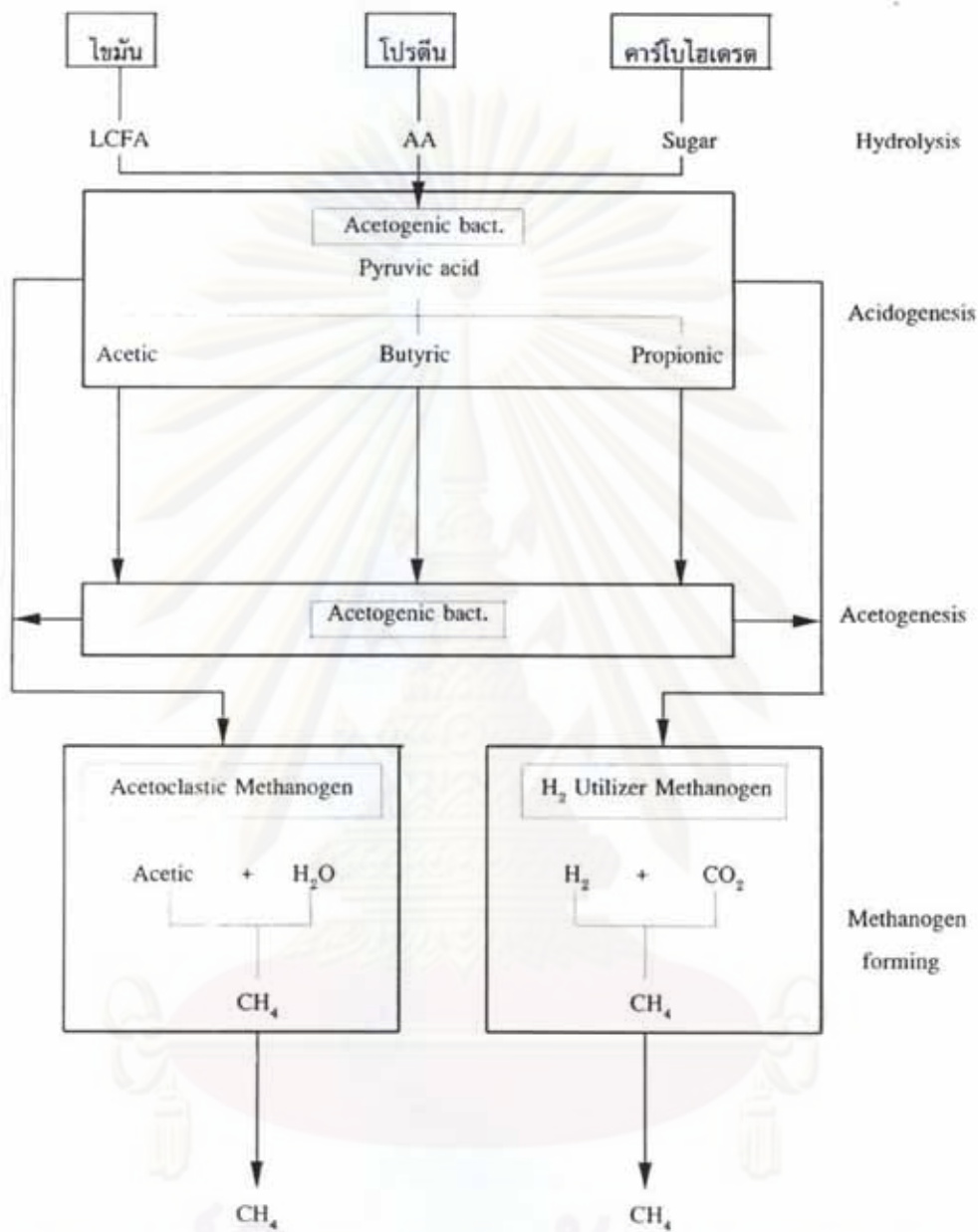
แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยและขั้นตอนการสร้างมีเทน กล่าวคือ กรดไขมันระเหยที่ผลิตขึ้นจากขั้นตอนที่ 2 จะเป็นสารอาหารให้แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic) แต่เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก กรดโพรไพโอนิกเป็นสารอาหารได้ จึงต้องอาศัยแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน เพื่อให้แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทนใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานในการสร้างก๊าซมีเทนออกมา ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน ดังสมการด้านล่าง



ซึ่งสารอื่นนอกเหนือจากกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สารตั้งต้น (Substrate) อย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิด ในการสร้างก๊าซมีเทน เช่น เมทานอล และ กรดฟอร์มิก



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (มันสัน ตันกุลเวศม์, 2542)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.3 ชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นระบบที่ซับซ้อน มีจุลินทรีย์หลายกลุ่มอาศัยอยู่ร่วมกัน ซึ่งความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีทั้งแบบพึ่งพาอาศัยกันและแบบแข่งขันกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์หลายกลุ่ม โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งจะถูกย่อยสลายต่อโดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง เกิดเป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถถูกใช้โดยจุลินทรีย์หลายกลุ่ม จะเกิดเป็นความสัมพันธ์แบบแข่งขันกัน จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน เป็นต้น แต่สารอินทรีย์จะถูกใช้โดย จุลินทรีย์กลุ่มใด และถูกใช้ในสัดส่วนเท่าใดขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลให้จุลินทรีย์กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเด่นที่สุดในระบบ หากพิจารณาในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่โดดเด่น คือ แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ทำงานร่วมกัน โดยมีผลิตภัณฑ์หลักของระบบ คือ ก๊าซมีเทน

แบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1.) กลุ่มแบคทีเรียสร้างกรด (Acid Forming Bacteria)

แบคทีเรียสร้างกรด จัดเป็น Facultative Anaerobic Bacteria ซึ่งไม่ต้องการออกซิเจนอิสระ แต่สามารถทนได้ ถ้ามีปริมาณน้อย ๆ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลงจนเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) แบคทีเรียกลุ่มนี้มักพบในน้ำเสียทั่ว ๆ ไป เช่น Clostridium Coliform Bacteria กลุ่มแบคทีเรียพวกนี้จะทำการย่อยสลายสารเหล่านี้ให้มีโมเลกุลเล็กลง โดยการปล่อยเอนไซม์ออกมาจากเซลล์ ซึ่งเอนไซม์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับประเภทของสารที่จะถูกย่อยต่อไปให้เป็นกรดไขมันระเหย พร้อมทั้งมีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นด้วย กรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในขั้นแรกนี้ ได้แก่ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดไพรูโวนิกเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้น จะส่งผลให้ค่าพีเอชลดต่ำลง ถ้าหากสภาพต่าง (Alkalinity) ไม่เพียงพอ จะทำให้ค่าพีเอชต่ำกว่า 6.4 ซึ่งจะทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงได้

2.) กลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Forming Bacteria)

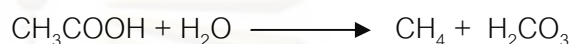
แบคทีเรียสร้างมีเทน จัดเป็นพวก Obligate Anaerobic Bacteria จะดำรงชีวิตอยู่ในที่ที่ไม่มีออกซิเจน ถ้ามีเพียงเล็กน้อยก็จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ส่งผลให้การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนล้มเหลว คือไม่มีการสร้างก๊าซมีเทนจากกรดไขมันระเหย แบคทีเรียกลุ่มนี้ พบได้ในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง หรือที่อับอากาศ เช่น ดินเลนตามก้นแม่น้ำ ทะเลสาบ

ได้แก่ พวก Methanobacterium, Methanosarcina และ Methanococcus โดยจะทำหน้าที่ย่อยกรดไขมันระเหย และแอลกอฮอล์จากการย่อยในขั้นตอนแรก เพื่อเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

แบคทีเรียสร้างมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

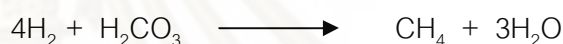
- Obligate Acetoclastic Methanogen สามารถใช้กรดอะซิติก

ได้เพียงอย่างเดียวเป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการด้านล่าง



- Obligate Hydrogenotrophic Methanogen (H - utilizer)

เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างมีเทนได้ โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ดังสมการด้านล่าง



- Hydrogenotrophic / Acetoclastic Methanogen เป็น

แบคทีเรียที่สามารถสร้างมีเทนได้จากกรดอะซิติก หรือไฮโดรเจน แต่จะชอบใช้ไฮโดรเจนมากกว่า

แบคทีเรียพวกสร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ ในช่วงที่มีพีเอชแคบประมาณ 6.8 – 7.2 และอุณหภูมิก็มีผลต่อการเจริญเติบโต รวมทั้งมักจะมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำ (Specific Growth Rate) ทำให้ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นได้ช้า และมักเป็นขั้นตอนในการจำกัดอัตราการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิ มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

- ช่วงเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic) อุณหภูมิประมาณ 50 – 60 องศาเซลเซียส

- ช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) อุณหภูมิประมาณ 20 – 45 องศาเซลเซียส เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Kazuaki และคณะ, 1998) ทำให้ในช่วงเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic) มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) แต่โดยทั่วไปในการบำบัดน้ำเสียจะควบคุมให้แบคทีเรียในระบบอยู่ในช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) เนื่องจากในในช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic)

ไม่ต้องใช้พลังงานสูง และพวกเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic) จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่า ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ จึงมีความสำคัญมากกว่าจะทำให้มีอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิแม้เพียง 2 -3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซมีเทนอย่างมาก

2) พีเอช (pH)

ค่าพีเอช มีความสำคัญต่อการทำงานของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน โดยทั่วไปแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 6.5 – 7.8 ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียสองกลุ่มหลัก โดยแบคทีเรียสร้างมีเทนจะมีความไวต่อค่าพีเอชมากที่สุด โดยที่ขั้นตอนนี้จะเกิดได้ดีในช่วงพีเอช 6.5 – 8.2 แต่เมื่อพีเอชต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว และสามารถทนได้ต่ำสุดเพียง 5.5 ในขณะที่แบคทีเรียสร้างกรดสามารถทำงานได้ดีที่พีเอช 6.0 – 6.5 และทนได้ต่ำถึง 4.5 (สุเมธ ชวเดช, 2540)

3) กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid)

กรดไขมันระเหยเกิดจากการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด โดยสารอินทรีย์ที่เข้ามาจะถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงและสามารถละลายน้ำได้ เพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นได้ง่ายขึ้น สำหรับในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ทำงานได้ดี ควรจะมีความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยในรูปของกรดอะซิติกประมาณ 200 – 400 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของกรดมีความสำคัญมากกว่าปริมาณของกรด โดยระบบยังสามารถทำงานได้ดีที่ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะแสดงถึงการเสียสมดุลของระบบ ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทั้งนี้อาจเนื่องจากการชะลอตัวของการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนหรือการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

4) สภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนต (Alkalinity as bicarbonate)

สภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนตบอกให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer capacity) ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำปริมาณกรดที่เพิ่มเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้พีเอชลดลงอย่างรวดเร็วและมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน ระดับสภาพต่างที่จะทำให้มีกำลังบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับประเภทและความเข้มข้นของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ก็มีโอกาที่จะเกิดกรดได้มาก ดังนั้นกำลังบัฟเฟอร์ของระบบจะต้องเพิ่มขึ้น โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ควรมีสภาพต่างประมาณ 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าต่ำกว่านี้เสถียรภาพของระบบจะต่ำ ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยในรูปกรดอะซิติก ต่อระดับของสภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนต ระบบจะมีกำลังบัฟเฟอร์สูง เมื่ออัตราส่วนนี้ น้อยกว่า 0.4 ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าพีเอชของระบบกำลังจะลดลงอย่างรวดเร็ว

5.) โออาร์พี (ORP)

โออาร์พี (Oxidation Reduction Potential) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึง ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) หรือความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของสารละลาย โดยแสดง ปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบ โดยทั่วไปจะวัด โออาร์พีได้ค่าเป็นบวกในน้ำที่มีออกซิเจนหรือไนเตรท ซึ่งแสดงว่าน้ำนี้ความสามารถในการ รับอิเล็กตรอนได้ดี และวัดโออาร์พีมีค่าเป็นลบในน้ำเสียที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งแสดงว่าน้ำนี้ มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้น้อย แต่ให้อิเล็กตรอนได้ดี ค่าโออาร์พีที่เหมาะสมสำหรับ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วง -500 ถึง -300 มิลลิโวลท์

6.) ประเภทสารอาหารในน้ำเสีย (Substrate)

สารอาหารในน้ำเสีย เกี่ยวข้องโดยตรงกับชนิดของแบคทีเรียในระบบ และประสิทธิภาพในการย่อยสลาย โคนในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารอาหารที่ต่างชนิดกัน มีอัตราการย่อยสลายที่ช้าเร็วต่างกัน โดยสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตจะให้อัตราการย่อย สลายที่เร็วกว่าโปรตีนและไขมัน

7.) สารอาหารเสริม (Nutrient)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีข้อดีประการหนึ่ง คือ มีเซลล์จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้น จึงต้องการสารอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ต่ำกว่าแบบใช้ออกซิเจน สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์ต้องการธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยควรมี อัตราส่วนอย่างน้อย BOD:N:P = 100:1.1:0.2 หรือ COD:N:P = 350:5:1 นอกจากนี้อัตราส่วน ระหว่าง COD ต่อ N ยังมีผลต่อลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วย โดยทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ มีลักษณะเป็นปุย เมื่ออัตราส่วนดังกล่าวสูงถึง 100:10

แบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการธาตุบางอย่างในปริมาณน้อย แต่ ขาดไม่ได้ (Trace element) มีฉะนั้นระบบอาจไม่ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพได้ ธาตุต่าง ๆ เช่น เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล และซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์) อย่างไรก็ตาม การเติมธาตุดังกล่าวให้กับ แบคทีเรียเป็นการลำบาก เนื่องจากซัลไฟด์สามารถทำให้โลหะต่าง ๆ ตกผลึกแยกออกจากน้ำได้ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ได้ ปัจจุบันอาจทำได้โดยการเติม Yeast extract ให้แก่ระบบ

โดยตรงในอัตราที่ไม่ต่ำกว่า 1.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย ซึ่ง Yeast extract เป็นอาหารที่สมบูรณ์ไปด้วยธาตุและสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่แบคทีเรียต้องการเล็กน้อยแต่จำเป็น ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณสารอาหารสำหรับระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

8.) สารพิษ (Toxic)

น้ำเสียที่นำมาผ่านระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะต้องไม่มีสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้น ถ้าหากสารเหล่านี้ปริมาณน้อยก็จะมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ สารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ ได้แก่

- กรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหย ถ้าถูกสร้างขึ้นมากในปริมาณที่สูงเกินไปในสภาวะที่มีสารอินทรีย์เข้ามามาก หากระบบมีกำลังบำบัดไม่เพียงพอจะทำให้พีเอชของระบบลดลง ส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้

- แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่คือ โปรตีนหรือยูเรีย โดยทั้งนี้ไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ดังสมการ



จากสมการอธิบายได้ว่า ปริมาณของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช โดยถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางซ้าย ทำให้เกิดแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ขึ้น แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวา ทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยที่รูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จะเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่าในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ที่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ในขณะที่แบคทีเรียสามารถทนความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ได้สูงถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสารอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Speece, 1996)

สารเคมี	ความเข้มข้นในถังปฏิกรณ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
NH_4Cl	400
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	400
KCl	400
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	300
$\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	50
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	80
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	40
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10
KI	10
$(\text{NaPO}_3)_6$	10
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.5
NH_4VO_3	0.5
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
ZnCl_2	0.5
$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
H_3BO_3	0.5
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
Na_2SeO_3	0.5
Cysteine	10
NaHCO_3	6000

ตารางที่ 2.4 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (McCarty, 1994)

แอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ผลต่อระบบ
50 – 200	ปริมาณพอเหมาะ
200 – 1,000	ยังไม่เกิดผลเสีย
1,500 – 3,000	เริ่มยับยั้งเมื่อพีเอชสูง
> 3,000	เป็นพิษโดยตรง

- ซัลไฟด์

ซัลไฟด์ มีความจำเป็นต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยซัลไฟด์ปริมาณเพียงเล็กน้อย คือ 1 – 25 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นสารที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน แต่เมื่อน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณซัลไฟด์มากกว่า 100 – 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ (มันลีน ตันซูลเวสม์, 2536) ทั้งนี้ ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นอาจรวมตัวกับเหล็ก นิกเกิล ทำให้เกิดการตกตะกอนของซัลไฟด์แยกออกจากน้ำเสียได้ ซึ่งเป็นการกำจัดซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบได้อีกทางหนึ่ง

- อีออนและโลหะหนัก

อีออนและโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงเกินปริมาณหนึ่งจะเกิดความเป็นพิษต่อระบบได้ อีออนที่สำคัญ ได้แก่ Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} และ S^{2-} โดยปกติอีออนบวกจะมีความเป็นพิษมากกว่าอีออนลบ นอกจากนี้อีออนบวกที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะมีพิษต่อแบคทีเรียน้อยกว่าอีออนที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของอีออนบวกจะเพิ่มขึ้นเมื่อวาเลนซ์สูงขึ้น และน้ำหนักอะตอมเพิ่มมากขึ้น ส่วนโลหะหนักได้แก่ แมงกานีส แคดเมียม สังกะสี นิกเกิล โคบอลต์ ทองแดง และโครเมียม โลหะหนักเหล่านี้เป็นพิษเมื่ออยู่ในรูปของอีออน ความเป็นพิษของโลหะหนักลดลง หากในน้ำเสียมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถรวมกับโลหะหนักเกิดเป็นเกลือของโลหะหนัก ซึ่งไม่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตาม อีออนบางชนิดจำเป็นต้องมีในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อเป็นสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

- สารอินทรีย์

สารอินทรีย์บางชนิด จะยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน สารพวกนี้ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohol) และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long -Chain Fatty Acid) ซึ่งความเป็นพิษของสารอินทรีย์สามารถลดได้ โดยการนำน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์

เข้าสู่ระบบบำบัดอย่างสม่ำเสมอ (Continuous Feed) เพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยและปรับตัวได้ แม้ว่าจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ถึง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตรก็ตาม หรืออาจแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีลงไป เพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

2.4 ระบบยูเอเอสบี

2.4.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB)

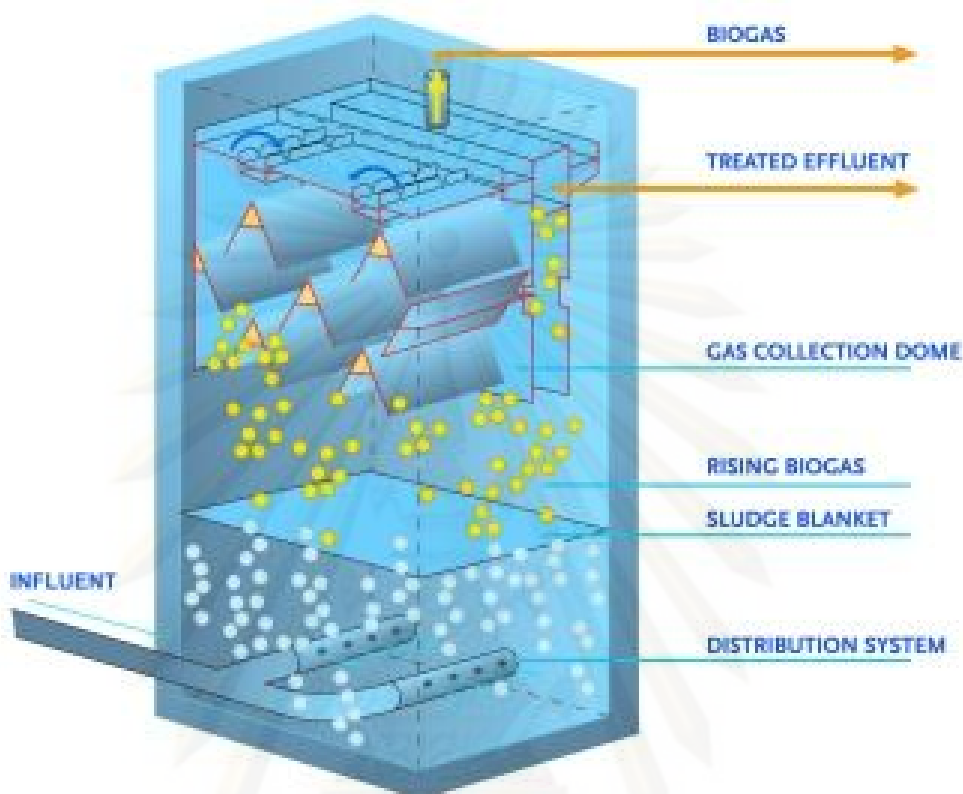
ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาในเวลาไม่มากนัก โดย (Stander, 1996) พบว่าการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้มีอยู่ในถังหมักเป็นจำนวนมาก โดยการติดตั้งถังตกตะกอนไว้ด้านบนของถังหมัก จะทำให้ใช้เวลาในการบำบัดน้ำเสียสั้นลง และยังสามารถที่จะรับปริมาณน้ำเสียเข้าระบบได้มากขึ้นด้วย การมี High loading rate จะทำให้เกิดก๊าซ ซึ่งทำให้เกิดการผสมที่ดีในชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) และชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) ต่อมา (Lettinga และคณะ, 1980) ได้พัฒนาระบบยูเอเอสบีโดยการเลี้ยงจุลินทรีย์เกิดการรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดี พร้อมทั้งพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยในการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ เรียกว่า อุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator ; GSS) เพื่อช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากขึ้น ทำให้ระบบยูเอเอสบีสามารถเก็บกักจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ดียิ่งขึ้น

2.4.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการปล่อยน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีและไหลขึ้นสู่ด้านบนของถัง โดยไม่มีสารตัวกลางมาช่วยในการพองมวลจุลินทรีย์ ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีจะเป็นถังรูปทรงสี่เหลี่ยม หรือรูปทรงกระบอกก็ได้ ซึ่งลักษณะถังจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- 1) ส่วนที่เป็นถังหมักและระบบป้อนน้ำเสีย (Feed inlet system) อยู่ที่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์
- 2) ส่วนที่เป็นถังตกตะกอนอยู่ที่ส่วนบนของถังปฏิกรณ์ โดยจะมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator ; GSS) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย แผ่นกั้นเอียงทำมุมประมาณ 45 – 60 องศา นอกจากนี้ ยังช่วยในการป้องกันไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่ฟุ้งกระจายโดยก๊าซชีวภาพหลุดออกไปจากถังปฏิกรณ์

น้ำเสียถูกปั๊มเข้าสู่ทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี โดยผ่านระบบกระจายน้ำเสีย เพื่อกระจายน้ำเสียเข้าหลาย ๆ จุดตามพื้นที่หน้าตัดของบ่อ เมื่อน้ำเสียไหลผ่านชั้นตะกอน จุลินทรีย์จะเกิดการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการย่อยสลาย สารอินทรีย์ในน้ำเสีย เกิดเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซเหล่านี้จะเกาะติดอยู่กับ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ประกอบกับความเร็วของน้ำเสียที่ไหลขึ้น ทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอน จุลินทรีย์ ขึ้นสู่ด้านบน ซึ่ง (Heertjes และ Van der Meer, 1983) กล่าวว่า ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใน ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีนี้เมื่อลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนของถัง จะช่วยให้เกิดการกวนผสมและเกิดการสัมผัส ที่ทั่วถึงระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นสู่ส่วนบนของถังจะปะทะกับ แผ่นกั้นของอุปกรณ์แยกสามสถานะ ทำให้เกิดการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ ออกจากกัน ก๊าซที่เกาะมากับกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์จะถูกแยกออก โดยจะลอยตัวขึ้นไปยังส่วนบน ผ่านท่อเก็บก๊าซ เพื่อลำเลียงก๊าซที่ได้ไปยังอุปกรณ์เก็บก๊าซ น้ำเสียจะถูกแยกออกจากตะกอน จุลินทรีย์ และไหลล้นออกไปนอกถัง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์จะถูกดักไว้และตกลงไปยังส่วนล่าง ของถัง โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่รวมตัวกันเป็นเม็ดที่มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก สามารถ ตกตะกอนได้ดี จะตกลงมาบริเวณส่วนล่างสุดของถังปฏิกรณ์ ซึ่งบริเวณส่วนล่างนี้เรียกว่า ชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) ในขณะที่บริเวณเหนือชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) ขึ้นไป จะเป็นชั้นตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดเล็กตกลงมาเรียกว่า ชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) เป็นชั้นที่ตะกอนมีความสามารถในการตกตะกอนได้น้อยกว่าชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วการที่ระบบล้มเหลว เนื่องมาจากการที่ไม่สามารถสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดีและมากพอ ทำให้จุลินทรีย์หลุดออกไปพร้อมกับน้ำทิ้ง ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี แสดงภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบี

2.4.3 วัตถุประสงค์ในการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas – Solid Separator ; GSS) สำหรับระบบยูเอเอสบี (Lettinga และ Hulshoff, 1991) มีดังนี้

- 1) เพื่อแยกและนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นออกจากถังปฏิกรณ์
- 2) เพื่อป้องกันการหลุดออก (Wash out) ของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น
- 3) เพื่อให้ตะกอนตกกลับไปด้านล่างของถังปฏิกรณ์
- 4) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) ขยายตัวและฟุ้งกระจายอย่างรวดเร็วเข้าไปในส่วนตกตะกอน
- 5) เพื่อเป็นการทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพที่ดีขึ้น

2.4.4 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีมีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี มีดังนี้

- 1) ต้องการพลังงานในการเดินระบบต่ำ เนื่องจากไม่มีการเติมอากาศและไม่ใช้เครื่องจักรกล
- 2) ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ จึงลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลง
- 3) มีความเหมาะสมที่จะใช้ในระบบบำบัดทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่และในพื้นที่ชุมชนเขตนอกเมือง
- 4) ใช้สารอาหารน้อยและต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำกว่า เมื่อเทียบกับจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน
- 5) ปริมาณสลัดจ์ (Sludge) ที่ต้องกำจัดจากระบบน้อยกว่าระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน และตะกอนที่ได้มีความคงตัวสูง ลดภาระในการกำจัดตะกอนต่อไป
- 6) ได้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ (ก๊าซมีเทน) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้
- 7) สามารถป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหลุดออกจากระบบได้ดีกว่า ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนแบบอื่น
- 8) สามารถหยุดระบบได้เป็นเวลานานโดยไม่มีปัญหา และการเริ่มต้นระบบใหม่สามารถกระทำได้ง่าย ระบบฟื้นตัวได้เร็ว จึงเหมาะกับอุตสาหกรรมที่ทำงานเป็นฤดู

ข้อเสีย มีดังนี้

- 1) ใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบ (Start up) นานมาก เนื่องจากต้องเลี้ยงจุลินทรีย์ให้จับตัวกันเป็นเม็ด ระบบจึงมีประสิทธิภาพที่ดี
- 2) ต้องควบคุมปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ และควบคุมอัตราการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ (Wash out) ให้เกิดน้อยที่สุด
- 3) ระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ
- 4) จุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการเจริญเติบโตในช่วงพีเอชที่ค่อนข้างแคบ ประมาณ 6.5 – 7.2
- 5) การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้ผลผลิตต่าง ๆ ที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น

6) ระบบต้องการการดูแลและควบคุมอย่างใกล้ชิด การเดินระบบต้องอาศัยผู้ควบคุมที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างมาก เนื่องจากการควบคุมสภาพการทำงานที่สมดุลระหว่างแบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างมีเทนทำได้ยาก

7) ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไม่สามารถเป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์ในตัวเองได้ เนื่องจากยังคงมีสารตัวกลาง (intermediate) ต่าง ๆ เหลืออยู่ ทำให้น้ำทิ้งมีค่า ซีโอดีสูง ประสิทธิภาพในการลดบีโอดีต่ำ

2.5 กระบวนการซัลเฟตรีดักชัน

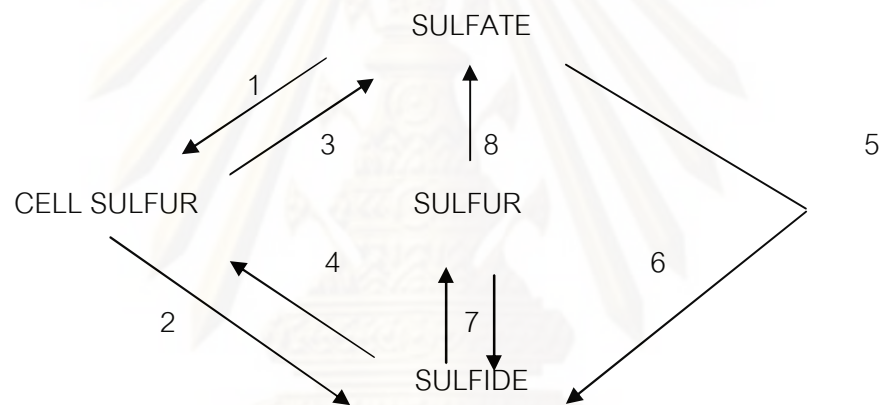
2.5.1 วัฏจักรซัลเฟอร์ทางชีวภาพ (The Biological Sulfur Cycle)

ซัลเฟอร์เป็นธาตุในหมู่ที่ 6 ตามตารางธาตุ เมื่อซัลเฟอร์อยู่ในรูปสารประกอบจะมีระดับเลขออกซิเดชันอยู่ระหว่าง -2 ถึง +6 โดยมีค่าที่สำคัญคือ -2, 0, +2, +4 และ +6 ในทางเคมีซัลเฟตและซัลไฟด์จัดว่าเป็นสารประกอบของธาตุซัลเฟอร์รูปที่มีความคงตัวมากที่สุด โดยตารางที่ 2.3 แสดงระดับเลขออกซิเดชันของตัวอย่างชนิดของธาตุซัลเฟอร์และสารประกอบของธาตุซัลเฟอร์ที่พบในธรรมชาติ

ตารางที่ 2.5 ตัวเลขออกซิเดชันของตัวอย่างชนิดธาตุซัลเฟอร์และสารประกอบของธาตุซัลเฟอร์ (อุรุซา เศรษฐจักรกิจ, 2542)

รูปของธาตุหรือสารประกอบซัลเฟอร์	ระดับเลขออกซิเดชัน
สารอินทรีย์ซัลเฟอร์ Organic S (R-SH)	-2
รูปซัลไฟด์ Sulfide (H_2S)	-2
ธาตุซัลเฟอร์ Elemental Sulfur (S^0)	0
ไทโอซัลเฟต Thio sulfate ($S_2O_3^{2-}$)	+2 (average per S)
เตตระไทโอเนต Tetra thionate ($S_4O_6^{2-}$)	+2.5 (average per S)
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ Sulfur dioxide (SO_2)	+4
รูปซัลไฟท์ Sulfite (SO_3^{2-})	+4
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ Sulfur trioxide (SO_3)	+6
ซัลเฟต Sulfate (SO_4^{2-})	+6

ในทางชีวภาพซัลเฟอร์เป็นธาตุที่มีความสำคัญกับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เนื่องจากซัลเฟอร์เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ เอนไซม์ และโปรตีนต่าง ๆ สารประกอบซัลเฟอร์ในรูปออกไซด์หลายชนิดทำหน้าที่เป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระของจุลินทรีย์บางกลุ่ม และในทางกลับกันสารประกอบซัลเฟอร์ในรูปรีดิวซ์บางรูปก็จะถูกใช้เป็นสารให้อิเล็กตรอนสำหรับการดำรงชีพของจุลินทรีย์บางกลุ่มได้เช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงไปมาโดยจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ ระหว่างสารประกอบซัลเฟอร์ในรูปออกไซด์จากปฏิกิริยาซัลเฟตหรือซัลเฟตรีดักชันกับสารประกอบของซัลเฟอร์ในรูปรีดิวซ์จากปฏิกิริยาซัลไฟด์หรือซัลเฟอร์ออกซิเดชัน เรียกว่า วัฏจักรซัลเฟอร์ทางชีวภาพ (The Biological Sulfur Cycle) ซึ่ง (Fauque,1995 อ้างถึงใน อรุษา เศรษฐ์ธวัช, 2542) แบ่งวัฏจักรซัลเฟอร์ทางชีวภาพเป็น 2 ส่วน คือ Assimilatory และ Dissimilatory แสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 วัฏจักรซัลเฟอร์ทางชีวภาพ

CELL SULFUR includes sulfur bound in bacteria, fungi, animals and plants

1. Assimilatory sulfate reduction by bacteria, plants and fungi
2. Death and Decomposition by bacteria and fungi
3. Sulfate excretion by animals
4. Sulfide assimilatory by bacteria (and some plants)
5. Dissimilatory sulfate reduction
6. Dissimilatory elemental sulfur reduction
7. Chemolithotrophic and photolithotrophic sulfide reduction
8. Chemolithotrophic and photolithotrophic sulfur oxidation

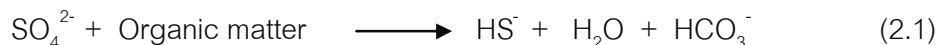
ภาพที่ 2.13 วัฏจักรซัลเฟอร์ทางชีวภาพ (The Biological Sulfur Cycle) (Fauque,1995 อ้างถึงใน อรุษา เศรษฐ์ธวัช, 2542)

จากรูปที่ 2.13 วัฏจักรซัลเฟอร์ทางชีวภาพในส่วนของ Assimilatory ประกอบด้วยการเกิด Assimilatory ของซัลเฟตและซัลไฟด์ (1 และ 4) รวมทั้งการปลดปล่อยสารประกอบของซัลเฟอร์จากการขับถ่ายของเซลล์ที่มีชีวิต และการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว (2 และ 3) โดยการเกิด Assimilatory Reduction ของซัลเฟตและซัลไฟด์เป็นการดึงซัลเฟตและซัลไฟด์เข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา สาหร่ายเซลล์เดียว และพืช เป็นต้น เพื่อตอบสนองต่อการสร้างสารประกอบซัลเฟอร์ในรูปรีดิวซ์ที่จำเป็นต่อเซลล์ เช่นการสร้างกรดอะมิโนบางชนิดที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น Cysteine, Cystine และ Methionine เป็นต้น รวมทั้งการสร้างวิตามินหรือ Growth Factor บางชนิดที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น Biotin, Liponic Acid และ Thiamin เป็นต้น นอกจากนั้นการขับถ่ายของเซลล์ที่มีชีวิตจะมีการปลดปล่อยสารประกอบของซัลเฟอร์ออกภายนอกเซลล์ในรูปแบบของซัลเฟต และการตายของสิ่งมีชีวิตรวมทั้งการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วโดยแบคทีเรียและเชื้อรา จะมีการปลดปล่อยสารประกอบซัลเฟอร์ออกภายนอกเซลล์ในรูปแบบซัลไฟด์ก็เป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรซัลเฟอร์ทางชีวภาพในด้าน Assimilatory ซึ่งจะเห็นได้ว่าในส่วน Assimilatory นี้ซัลเฟตและซัลไฟด์ที่เข้าสู่เซลล์จะไม่ถูกนำมาใช้สำหรับการสร้างพลังงาน สำหรับการดำรงชีวิต และการเจริญเติบโตของเซลล์ และจะไม่เกี่ยวข้องกับธาตุซัลเฟอร์ Elemental Sulfur (S^0) ซึ่งไม่สามารถถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้โดยตรง ส่วน Dissimilatory จะเป็นการใช้สารประกอบของซัลเฟอร์ในทุก ๆ รูป ทั้งรีดิวซ์และรูปออกซิไดซ์และธาตุซัลเฟอร์ เพื่อนำมาใช้สำหรับการสร้างพลังงานในการเจริญเติบโตของเซลล์ โดยเฉพาะแบคทีเรีย ซึ่งประกอบด้วย Reductive Process (5 และ 6) และ Oxidative Processes (7 และ 8) โดยตัวอย่างกลุ่มปฏิกิริยาของ Oxidative Processes คือ Microbial Chemotrophic and Phototrophic Sulfur Sulfate Oxidation เป็นการนำซัลเฟอร์และซัลไฟด์เป็นสารให้อิเล็กตรอนสำหรับการดำรงชีวิต และตัวอย่างกลุ่มปฏิกิริยาของ Reductive Processes คือ Microbial Sulfate and Sulfur Reduction เป็นการนำสารประกอบของซัลเฟอร์ในรูปออกซิไดซ์ และธาตุซัลเฟอร์ทำหน้าที่เป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ

2.5.2 ปฏิกิริยาชีวเคมีการใช้ซัลเฟต (Sulfate Reduction)

ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนอิสระ ซัลเฟตในน้ำเสียสามารถถูกนำไปใช้เป็นแหล่งให้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งเรียกว่า sulfate reducing bacteria (SRB) โดยได้พลังงานจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างซัลเฟตกับสารอินทรีย์ ดังแสดงในสมการที่ 2.1

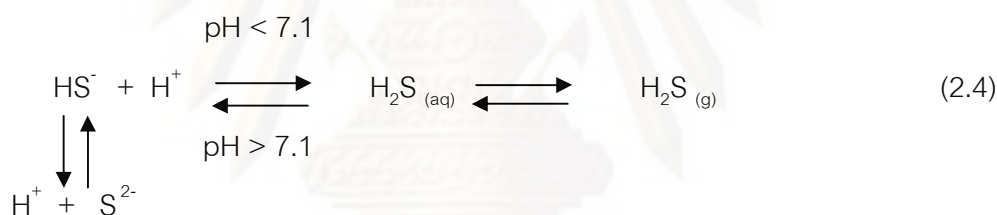
SRB



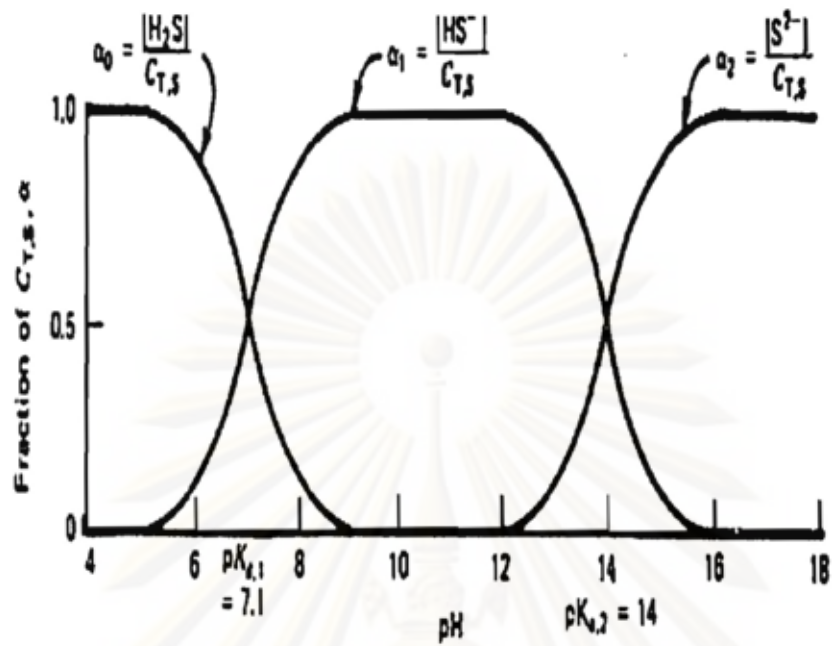
เช่น แบคทีเรียพวก *Desulfovibrio* ได้พลังงานจากปฏิกิริยาตามสมการที่ 2.2 และ 2.3



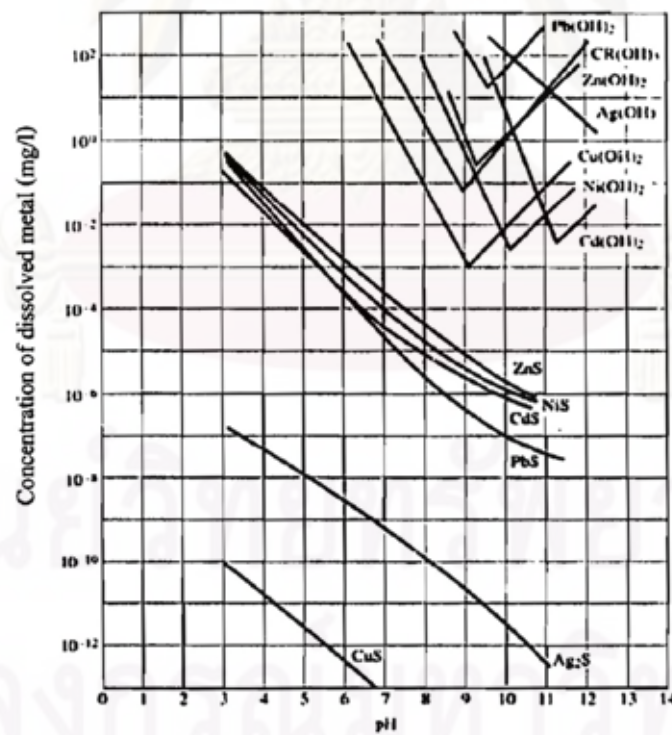
จะเห็นว่าปฏิกิริยาชีวเคมีของการรีดิวซ์ซัลเฟต โดย sulfate reducing bacteria นี้ จะได้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นเหม็นรบกวน มักจะเกิดในท่อระบายน้ำเสียทั่วไป และในบ่อหมักแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในน้ำเสียและอุณหภูมิได้ดี ดังนั้นการเกิดกลิ่นเหม็นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นี้ จึงเกิดขึ้นทั่วไปไม่ว่าระบบหมักเหล่านั้นจะอยู่ในสภาพใดก็ตาม ความรุนแรงของกลิ่นเหม็นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นี้ มีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสีย ดังแสดงในสมการที่ 2.4 (Oliver และคณะ, 1996)



จะเห็นได้ว่าภายใต้สภาพเป็นกรดระบบหมักจะมีกลิ่นเหม็นรุนแรงขึ้น ดังนั้นในการควบคุมปัญหากลิ่นรบกวนในระบบหมัก จึงต้องปรับค่า pH ให้สูงกว่า 7 ขึ้นไป ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ในระบบหมักทั่วไปที่อยู่ในสภาพที่เป็นกลาง (pH ประมาณ 7) จะเกิดปฏิกิริยารวมตัวระหว่างโลหะไอออนกับซัลไฟด์เป็นตะกอนดำของโลหะซัลไฟด์ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 จึงทำให้ตะกอนในระบบหมักเป็นสีดำ แต่ถ้าในกรณีระบบหมักนั้นมีสภาพเป็นกรด หรืออยู่ในสภาวะ acidogenesis จะไม่เกิดการตกตะกอนของโลหะซัลไฟด์ ดังนั้นตะกอนจะมีสีเทา และมีกลิ่นเหม็นรุนแรง



ภาพที่ 2.8 ผลของ pH ที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Chung และ Choi, 1993)



ภาพที่ 2.9 การตกตะกอนโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์และซัลไฟด์ (Wesley, 2000)

ในถังปฏิกริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic reactor) ที่ใช้บำบัดน้ำเสีย ที่มีซัลเฟตหรือซัลไฟด์มักจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกริยาซัลเฟตรีดักชัน โดยแบคทีเรียที่เรียกว่า ซัลเฟตและซัลไฟด์ สามารถถูกใช้ไปเป็นเสมือนตัวรับอิเล็กตรอน โดยซัลเฟตรีดิวซ์ซิงแบคทีเรีย (SRB) จะรีดิวซ์ซัลเฟตและซัลไฟด์ ให้อยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้ จะมีผลทำให้ขบวนการผลิตมีเทน (methane production) ลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก SRB จะใช้แหล่งอาหารเดียวกันกับอะซิโตเจนิคและเมทาโนเจนิคแบคทีเรีย ดังแสดงในภาพที่ 2.10 ซัลเฟตรีดิวซ์ซิงแบคทีเรีย สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ตามแหล่งอาหารที่ใช้ได้ดังนี้ 23

1. ไฮโดรเจน ออกซิไดซิง ซัลเฟต รีดิวซ์เซอร์ (hydrogen-consuming sulfate reducing bacteria, HSRB)
2. อะซิเตท ออกซิไดซิง ซัลเฟต รีดิวซ์เซอร์ (acetate-consuming bacteria, ASRB)
3. ซัลเฟต รีดิวซ์เซอร์ พวกที่ใช้กรดไขมัน ที่มีโมเลกุลซับซ้อน (fatty acid consuming bacteria, FASRB)

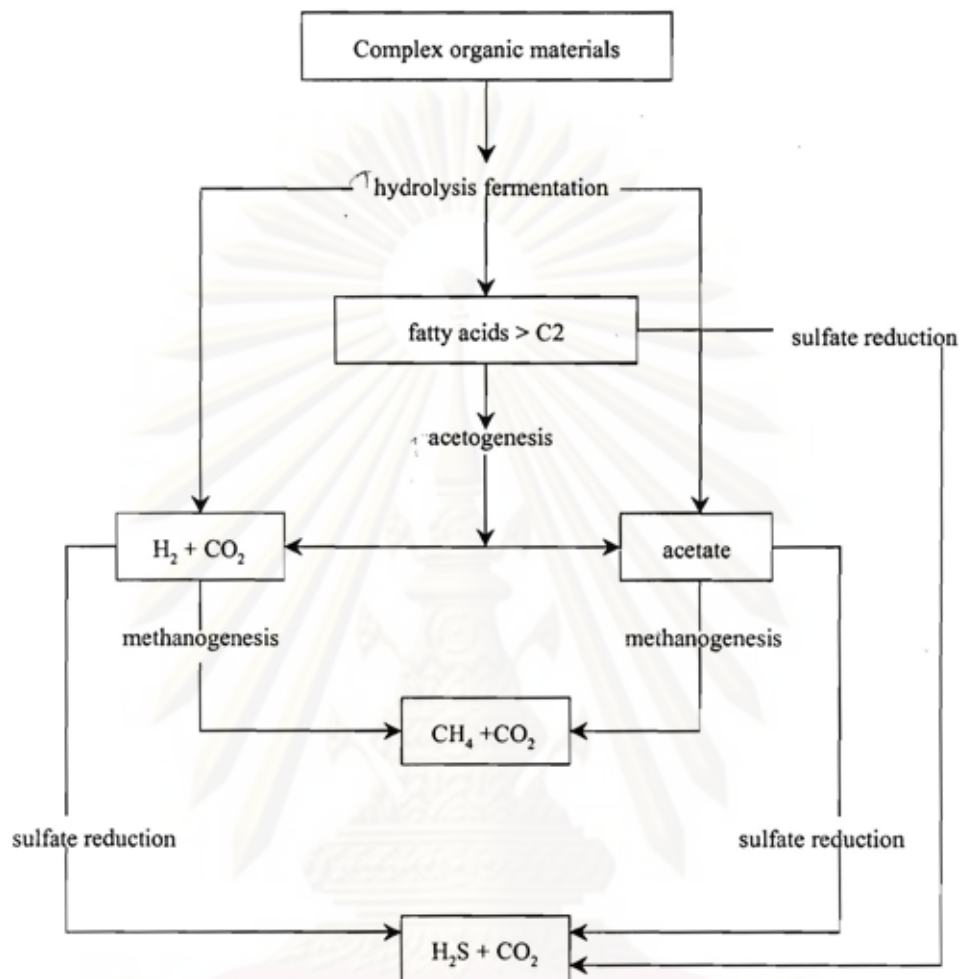
โดยในกลุ่มสุดท้ายจะพบว่า กรดไขมันดังกล่าวจะถูกออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และน้ำ (H_2O) แต่พบว่ายังมี FASRB บางตัวที่เกิดปฏิกริยาไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะให้อะซิเตทเป็นผลผลิตสุดท้าย (end product) ในภาวะที่มีซัลเฟต พบว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้ว จะพบว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ สามารถละลายน้ำได้ดีกว่ามีเทน ด้วยเหตุนี้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำจะเพิ่มค่า COD ในน้ำ (1 g H_2S -S จะให้ COD 2 g) นั่นหมายความว่าในภาวะที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง 24

ปฏิกริยาซัลเฟตรีดักชัน จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ หากพบว่าในน้ำเสียนั้นมีปริมาณซีโอดีที่เกินพอ หรือมีสัดส่วนของ กรัม - COD / กรัม - SO_4^{2-} เกินกว่า 0.68 ดังแสดงในภาพที่ 2.11

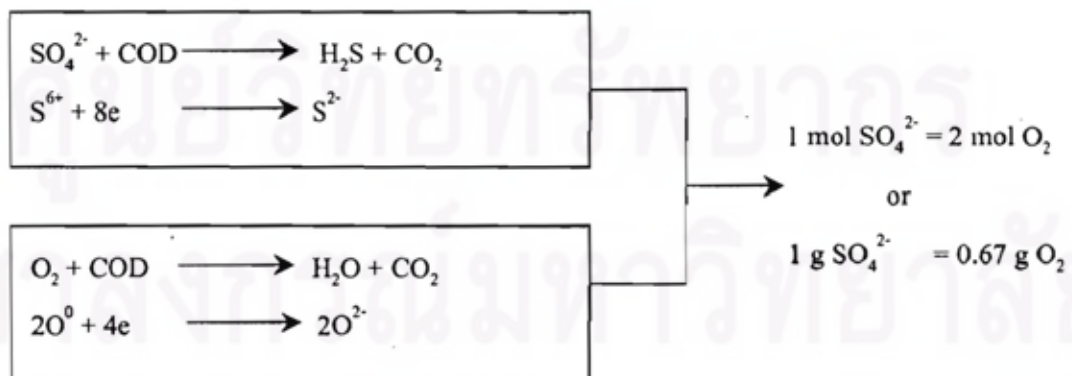
ปัจจัยที่มีผลในการผลิตซัลไฟด์ในกระบวนการรีดักชันซัลเฟต

- ก. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และสารอาหารในน้ำเสีย
- ข. ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสีย
- ค. ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำเสีย

พบว่า กระบวนการรีดักชันซัลเฟตจะสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงที่มีค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำระหว่าง 0.1 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยถ้าออกซิเจนละลายน้ำมีค่ามากกว่า 1.0 กระบวนการรีดักชันซัลเฟตจะถูกขัดขวาง เพราะว่ามีค่า redox potential (ORP) มากขึ้น มีผลไปยังการทำงานของแบคทีเรีย *Desulfovibrio* จากการศึกษา พบว่า ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะไม่เกิดขึ้นจนกว่าแบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนที่ละลายน้ำและไนเตรทหมดไปก่อน ตามสมการที่ 2.



ภาพที่ 2.10 การแข่งขันระหว่างซัลเฟตรีดักชันแบคทีเรีย กับเมทาโนเจนิคแบคทีเรียหรืออะซิโตเจนิคแบคทีเรีย (Rinzema and Lettinga, 1998)



ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างซัลเฟตและออกซิเจนในการเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Lettinga และคณะ, 1994)



ง. pH จากอัตราส่วนของ H_2S และ HS^- ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า pH ซึ่งค่า pH ที่แบคทีเรียรีดักชันซัลเฟตสามารถทนอยู่ได้คือ ค่าตั้งแต่ 5.5 – 9.0 แต่ค่าที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ 7.5 – 8.0

จ. อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา จะมีอัตราการผลิตซัลไฟด์เพิ่มขึ้น 7% ทั้งนี้ อุณหภูมิที่เพิ่มอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 – 30 องศาเซลเซียส 25

2.5.3 แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria)

สิ่งมีชีวิตในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป ไม่ว่าจะเป็นพืชชั้นสูง สหราชอาณาจักร และเซลล์ของพวกโปรคาริโอตหลายชนิด สามารถใช้ซัลเฟตเป็นแหล่งซัลเฟอร์ในการสร้างเซลล์ แต่ความสามารถในการใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจำกัดอยู่ในแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเท่านั้น แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนเด็ดขาด (*Desulfovibrio sp.*) ค่อนข้างจะทนต่อออกซิเจนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตบางสปีชีส์สามารถรีดิวซ์ในเตรตเป็นแอมโมเนียได้ด้วย จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮโทรโทรฟ ดำรงชีพและเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ลักษณะเด่นของแบคทีเรียกลุ่มนี้ คือ ความสามารถในการรีดิวซ์ซัลเฟตให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ เนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนโมเลกุลหรือสารอินทรีย์หลายชนิด ในกรณีที่สารให้อิเล็กตรอนคือไฮโดรเจนโมเลกุลหรืออะซิเตท ขั้นตอนดังกล่าวนี้จัดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีซัลเฟต จึงมักจะพบแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอยู่ร่วมกับแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนอยู่เสมอ

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตหลายชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ด้วยการรีดิวซ์ในเตรตให้เป็นแอมโมเนียได้ในกรณีที่มีในเตรต หรือสามารถใช้ไฮโอซัลเฟต ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) และซัลเฟอร์ (S^0) ได้ด้วย นอกจากนี้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตยังสามารถใช้สารอินทรีย์บางตัวเป็นแหล่งพลังงานโดยการเกิดกระบวนการหมัก (Fermentation) ได้ในกรณีที่ไม่มีซัลเฟตหรือตัวรับอิเล็กตรอนตัวอื่นซึ่งโดยทั่วไปแล้ว แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถหมักไพรูเวตเป็นอะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนได้เมื่อไม่มีซัลเฟต แต่ไม่สามารถหมักแลคเตตหรือเอทานอลได้ เพราะได้พลังงานไม่เพียงพอต่อการดำรงชีพ ดังนั้นในกรณีที่ไม่มีซัลเฟตอยู่ แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตบางส่วนก็สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ แต่พลังงานที่ได้จากกระบวนการหมักมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ได้จากการ

รีดิวซ์ซัลเฟต ดังนั้นแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะใช้ซัลเฟตในระบบให้หมดก่อนจึงจะหันไปใช้กระบวนการหมัก (Fermentation)

2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับตัวของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต

1.) อุณหภูมิ

โดยทั่วไปแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อบริสุทธิ์ (Pure Culture) จะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในช่วง 30 -40 องศาเซลเซียส ซึ่งจัดอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตค่อนข้างมาก โดย(Visser และคณะ, 1992 อ้างถึงใน Visser, 1994) พบว่าการซัลเฟตรีดักชันโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในดินตะกอนน้ำเค็มลดลงระหว่าง 2 – 3.9 เท่า เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจากช่วงที่เหมาะสม 10 องศาเซลเซียส

2.) ความต้องการเกลือและความทนต่อเกลือ

ความต้องการเกลือของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแบคทีเรีย ซึ่งแยกเป็นพวกที่ได้จากแหล่งน้ำเค็มหรือแหล่งน้ำกร่อยกับพวกที่ได้จากแหล่งน้ำจืด แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่ได้จากแหล่งน้ำเค็มหรือแหล่งน้ำกร่อยมักต้องการปริมาณเกลือในระดับหนึ่งจึงเจริญเติบโตได้ดี และในทางตรงข้าม ถ้านำแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตกลุ่มนี้มาเลี้ยงในสภาพที่มีความเค็มต่ำก็จะได้ผลในทางลบต่อการเจริญเติบโต ชนิดและปริมาณของเกลือสำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจากแหล่งน้ำเค็มที่เหมาะสมคือ โซเดียมคลอไรด์ 20 กรัมต่อลิตร และแมกนีเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัมต่อลิตร นอกเหนือจากเกลือทั้งสองชนิดนี้แล้ว บางสายพันธุ์ยังต้องการแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำ 0.5 กรัมต่อลิตร ปริมาณความต้องการเกลือจะลดลงสำหรับกลุ่มที่มาจากน้ำกร่อย ส่วนแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่มาจากน้ำจืดอาจถูกยับยั้งการเจริญเติบโตได้ถ้ามีโซเดียมคลอไรด์ในระดับที่เข้มข้นเท่ากับที่มีอยู่ในน้ำทะเล (ประมาณ 27 กรัมต่อลิตร)

3.) พีเอช

พีเอชที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง คือ ประมาณ 7 และมักถูกยับยั้งเมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า 9 อย่างไรก็ตามพบว่าปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันสามารถเกิดขึ้นได้ในแหล่งน้ำจากเหมืองแร่ซึ่งมีค่าพีเอชประมาณ 3-4 แต่เมื่อนำแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจากแหล่งน้ำนี้มาเพาะเชื้อและทดสอบกลับพบว่าถูกยับยั้งการเจริญเติบโตเมื่อพีเอชต่ำกว่า 6 ทำให้เกิดข้อสันนิษฐานว่า แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่อยู่ในแหล่งน้ำของเหมืองแร่อาจมีสภาพแวดล้อมเล็ก ๆ เช่น โฟรง หรือชอกหินขนาดเล็กมาก ๆ (Microniches) หรือสภาพแวดล้อมในระดับโมเลกุลรอบ ๆ ตัวของแบคทีเรีย (Microenvironment) ซึ่งมีค่าพีเอช

ที่สูงกว่าพีเอชของทั้งระบบ โดยค่าพีเอชที่สูงขึ้นในช่องว่างขนาดเล็กอาจเกิดจากผลของปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสร้างสภาพต่าง เช่น ไบคาร์บอเนต หรือไบซัลไฟด์ให้กับระบบ แต่ในกรณีการเกิดซัลเฟตรีดักชันของสารอาหารที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมาก ผลของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารจะผลิตไฮโดรเจนอิออนขึ้นมา ทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงได้ อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมเมื่อพิจารณาไฮโดรเจนอิออนร่วมกับไบคาร์บอเนตหรือไบซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันสามารถพิจารณาได้ว่า ถ้าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์หนีออกจากตัวกลางได้ ปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันมักทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้นเสมอ

4.) ความมีชีวิตรอดในสภาวะที่มีออกซิเจน

แม้ว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจัดเป็นแบคทีเรียชนิดทนออกซิเจนไม่ได้แม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ก็พบว่ายังสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนอิสระอยู่ชั่วคราวได้ และสามารถฟื้นตัวได้เมื่อกลับเข้าสู่สภาพไม่มีออกซิเจน นอกจากนี้พบว่ามีซัลไฟด์ที่อยู่ในตัวกลางมีบทบาทต่อผลกระทบของออกซิเจนที่มีผลต่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตบางสายพันธุ์ในลักษณะที่แตกต่างกัน ในกรณีที่มีซัลไฟด์พร้อมกับออกซิเจนมีผลกระทบทางลบมากกว่ากรณีที่มีออกซิเจนเพียงอย่างเดียว

5.) การเปลี่ยนรูปร่างลักษณะหรือการจับกลุ่มของเซลล์และเซลล์ชนิดเส้นใย (Morphological Adaptation or Aggregating Cells Gliding Filaments)

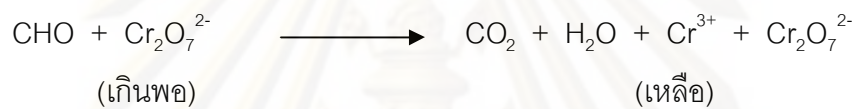
การรวมกลุ่มของเซลล์แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอาจเกิดจากการปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต เช่น ค่าพีเอช อุณหภูมิ การมีสารให้อิเล็กตรอนหรือเกลือที่อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม หรือการมีออกซิเจนในตัวกลาง ในสภาวะดังกล่าวแบคทีเรียจะแสดงลักษณะผิดปกติ (Morbid) เช่น เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากการบวมหรือหยุดการเคลื่อนที่จากเดิมที่เคลื่อนที่ได้ นอกจากสาเหตุจากการปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมแล้ว อาจเป็นลักษณะปกติที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตบางสายพันธุ์ อย่างไรก็ตามพบว่าข้อดีของการรวมกลุ่มหรือการเกาะติดผนังก็คือ จะเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงสารอาหารที่เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตได้ดีกว่าเซลล์ที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลาง

2.6 สมดุลมวลของซีโอดี และซัลเฟอร์ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อมีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสีย

2.6.1 สมดุลมวลของซีโอดี

เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีซัลเฟตเข้ามาเกี่ยวข้อง จะมีการแข่งขันกันระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในการใช้สารอาหาร ดังนั้นการวัดว่าแบคทีเรียชนิดใดสามารถใช้สารอาหารได้ในสัดส่วนเท่าใด สามารถวัดได้คร่าว ๆ ด้วยปริมาณซีโอดีที่ถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียแต่ละชนิด

ซีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทั้งที่แบคทีเรียย่อยสลายได้และไม่สามารถย่อยสลายได้ในน้ำเสียเกิดการเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยา ดังสมการ



ส่วนสารจำพวกกรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยาแทน ซึ่งปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ซีโอดี คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นต้องอาศัยสารออกซิไดซ์อย่างแรง และต้องเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้นและอุณหภูมิสูง

จากหลักการของการวิเคราะห์ซีโอดีที่ใช้สารออกซิไดซ์อย่างแรงย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นค่าซีโอดีจึงเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำได้ แต่การใช้สารออกซิไดซ์ที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง เช่น ไดโครเมต ทำให้สารอิเล็กตรอนอื่นในระบบที่ไม่เป็นสารอินทรีย์ที่ให้อิเล็กตรอนกับไดโครเมต และเปลี่ยนไปอยู่ในอีกรูปหนึ่ง เช่น ซัลไฟด์ไอออนถูกออกซิไดซ์โดยไดโครเมตเป็นซัลเฟต เป็นต้น ดังนั้นการวัดซีโอดีจึงไม่ได้เป็นการวัดสารอินทรีย์ในน้ำเพียงอย่างเดียว แต่เป็นการวัดปริมาณสารให้อิเล็กตรอนในน้ำทั้งหมด ดังนั้นต้องพยายามกำจัดสารให้อิเล็กตรอนอื่น ๆ ในน้ำก่อนการวัดซีโอดี เช่น การปรับพีเอชของน้ำเสียให้ต่ำลงเพื่อไล่ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย เป็นต้น

สมดุลมวลของซีโอดีก่อนและหลังกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถพิจารณาได้ดังสมการด้านล่างนี้

$$\text{COD}_{\text{in}} = \text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_4_{\text{gas}} \text{COD} + \text{COD}_{\text{acc}} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ

$$\text{COD}_{\text{in}} = \text{ซีโอดีทั้งหมดก่อนเข้าระบบ}$$

$$\text{soluble COD}_{\text{eff}} = \text{ซีโอดีละลายหลังผ่านระบบ}$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_4_{\text{gas}} \text{ COD} &= \text{ชีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน} \\ \text{COD}_{\text{acc}} &= \text{ชีโอดีที่ถูกสะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์} \end{aligned}$$

โดย

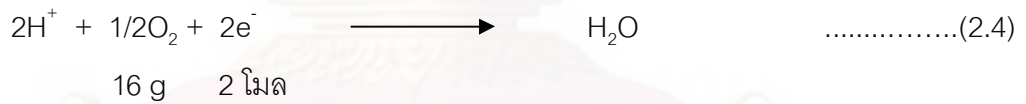
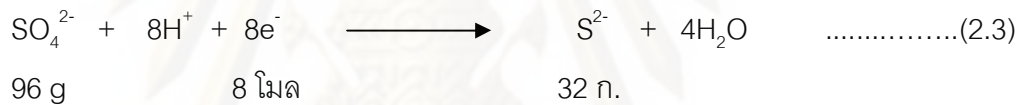
$$\text{soluble COD}_{\text{eff}} = \Delta\text{SO}_4^{2-} - \text{COD} + \text{soluble CH}_4 - \text{COD} + \text{soluble organic COD} \dots(2..2)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \Delta\text{SO}_4^{2-} - \text{COD} &= \text{ชีโอดีที่ถูกใช้สำหรับรีดิวซ์ซัลเฟตให้เปลี่ยนเป็นซัลไฟด์} \\ \text{soluble CH}_4 - \text{COD} &= \text{ชีโอดีที่เกิดจากมีเทนละลายน้ำ} \\ \text{soluble organic COD} &= \text{ชีโอดีในรูปกรดอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์อื่นที่ไม่ถูก} \\ &\quad \text{ย่อยสลายด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน} \end{aligned}$$

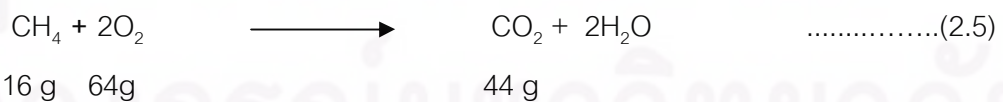
ค่า COD_{in} และ $\text{soluble COD}_{\text{eff}}$ เป็นค่าที่วัดได้โดยตรงจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ส่วน

ค่า $\text{CH}_4_{\text{gas}} - \text{COD}$, $\text{soluble CH}_4 - \text{COD}$ และ $\Delta\text{SO}_4^{2-} - \text{COD}$ หาได้ทางอ้อมด้วยการคำนวณจาก Stoichiometric ดังนี้ คือ



จากสมการที่ 2.3 ซัลเฟตที่ลดลง 96 กรัม เกิดจากการรับอิเล็กตรอน 8 โมล กลายเป็นซัลไฟด์ 32 กรัม และจากสมการที่ 2.4 อิเล็กตรอน 2 โมล คิดเทียบเป็นชีโอดีได้ 16 กรัม นั่นคือซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น 32 กรัม มาจากซัลเฟตที่ลดลง 96 กรัม และมีค่าเทียบเท่ากับชีโอดี 64 กรัม เพราะฉะนั้น การหาค่า $\Delta\text{SO}_4^{2-} - \text{COD}$ ก็คำนวณได้จากซัลเฟตที่ลดลง โดยซัลเฟตที่ลดลง 3 มิลลิกรัม เทียบเท่ากับชีโอดี 2 มิลลิกรัม

ส่วน $\text{CH}_4 - \text{COD}$ (ทั้ง $\text{CH}_4_{\text{gas}} - \text{COD}$ และ $\text{soluble CH}_4 - \text{COD}$) คำนวณจากสมการที่ 2.5



จากสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า มีเทน 16 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับออกซิเจน 64 กรัม เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แสดงว่ามีเทน 1 มิลลิกรัม มีค่าเทียบเท่ากับชีโอดี 4 มิลลิกรัม โดย $\text{CH}_4_{\text{gas}} - \text{COD}$ หาได้จากการวัดปริมาตรก๊าซทั้งหมดและการวัดร้อยละของก๊าซมีเทน

ในปริมาตรก๊าซทั้งหมด แล้วจึงเปลี่ยนปริมาตรก๊าซที่คำนวณได้เป็นจำนวนโมลของก๊าซมีเทนด้วยกฎของก๊าซ ส่วน soluble CH₄– COD คำนวณโดยใช้ทฤษฎีของเฮนรี

- ซีไอดีในรูปของก๊าซมีเทนหาได้จาก

$$CH_4 - COD = (Total\ gas\ volume \times \% CH_4 \times 16 \times 4) / (24.86 \times Q)$$

เมื่อ

- CH_{4 gas} – COD = ซีไอดีในรูปของก๊าซมีเทน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
- Total gas volume = ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (มิลลิลิตรต่อวัน)
- % CH₄ = ร้อยละของก๊าซมีเทน
- 24.86 = ปริมาตรก๊าซ 1 โมล ที่ 30 °C (ลิตร) (ปริมาตรก๊าซ 1 โมล ที่ 0 °C = 22.4 ลิตร)
- Q = อัตราการไหลของน้ำเสียต่อวัน (ลิตรต่อวัน)
- 16 = น้ำหนักของมีเทน 1 โมล (กรัม)
- 4 = ซีไอดีของก๊าซมีเทน 1 กรัม (กรัม)

- ซีไอดีในรูปมีเทนละลายน้ำในน้ำออกหาได้จาก

$$Soluble\ CH_4 - COD = K_{hCH_4} \times Partial\ Pressure\ of\ CH_4 \times 16,000 \times 4$$

เมื่อ

- K_h = ค่าคงที่ของเฮนรีสำหรับก๊าซมีเทนที่ 30 °C (โมล/ลิตร)
- = 12.4 × 10⁻⁴

Partial Pressure of CH₄ = ความดันพาร์เชียลของก๊าซมีเทน (สัดส่วนก๊าซมีเทน)

ส่วนซีไอดีที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์จุลชีพเป็นซีไอดีส่วนที่ไม่สามารถวัดได้ แต่ถ้าเราตั้งสมมติฐานว่า ซีไอดีที่ถูกย่อยสลายและไม่สามารถตรวจสอบได้ คือ ซีไอดีที่ถูกสะสมอยู่ในเซลล์จุลชีพ เมื่อพิจารณาสมการ 2.1 และ 2.2 จะได้

$$COD_{acc} = COD_{in} - \Delta SO_4^{2-} - COD - soluble\ organic\ COD - soluble\ CH_4 - COD - CH_4\ gas\ COD \dots\dots\dots(2.6)$$

สมการ 2.6 ใช้ในการทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยดูจากร้อยละของมวลซีโอดีที่ออกจากระบบต่อร้อยละของมวลซีโอดีเข้าระบบ เรียกว่า %COD recovery แต่จากสมการที่ 2.6 ค่าซีโอดีไม่สามารถตรวจสอบได้ คือซีโอดีที่ถูกเปลี่ยนสะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ ดังนั้นค่า %recovery จะมีค่าเป็น 100% เสมอ แต่ในความเป็นจริงที่จะวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ถูกต้องทั้งหมด 100% เป็นไปได้ยาก ถ้าพิจารณาโดยถือว่าซีโอดีที่หายไปจากการเปลี่ยนเป็นเซลล์จุลินทรีย์มีค่าน้อย เนื่องจากเป็นระบบไร้ออกซิเจนที่มีเวลากักเซลล์ยาวนาน ค่า Yield observed มีค่าต่ำมาก สามารถตัดทิ้งได้โดยไม่ต้องนำมาพิจารณา ประโยชน์ที่ได้ก็คือสามารถตรวจสอบความน่าเชื่อถือในการทำงานทั้งหมดได้จากสมมูลมวลของซีโอดีที่ถูกสร้างขึ้นมาและจากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น %COD recovery สามารถหาได้จากสมการ 2.7

$$\% \text{COD recovery} = \frac{\Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD} + \text{soluble organic COD} + \text{soluble CH}_4 - \text{COD} + \text{CH}_{4 \text{ gas}} - \text{COD}}{\text{COD}_{\text{in}}} \dots\dots\dots(2.7)$$

นอกจากนั้น จากสมมูลมวลของซีโอดีที่สร้างขึ้นยังทำให้หาสัดส่วนซีโอดีที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยเรียกว่า เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน ซึ่งหาได้จากสมการ 2.8 – 2.9

$$\% \text{electron flow to MBP} = [(\text{CH}_4 - \text{COD}) / (\text{CH}_4 - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD})] \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\% \text{electron flow to SRB} = [(\Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD}) / (\text{CH}_4 - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD})] \dots\dots\dots (2.9)$$

จากเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน เราสามารถเปรียบเทียบการแข่งขันระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยที่แบคทีเรียชนิดใดที่มีเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนมากกว่าจะเป็นแบคทีเรียที่มีความโดดเด่น (Predominate) มากกว่าในระบบนั้น ๆ

2.6.2 สมมูลมวลของซัลเฟต

เมื่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ โดยซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในวัฏภาคก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว HS⁻ และ S⁻ ในวัฏภาคของเหลว รวมถึงซัลไฟด์ที่ตกตะกอนผลึกกับโลหะหนักเป็นตะกอนผลึกของโลหะซัลไฟด์ โดยสภาวะสมดุลระหว่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัวสามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของเฮนรี ส่วนสัดส่วนระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว HS⁻ และ S⁻ สามารถดูได้จากพีเอชของระบบบำบัด

สมดุลมวลของซัลเฟอร์ในระบบหาได้จาก

$$\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{in}} = \text{SO}_4^{2-}{}_{\text{eff}} + \text{S}^{2-} + \text{HS}^- + \text{H}_2\text{S}_{\text{aq}} + \text{H}_2\text{S}_{\text{gas}} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

เมื่อ

$$\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{in}} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำเข้า}$$

$$\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{eff}} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่ออก}$$

$$\text{S}^{2-} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์ไอออน}$$

$$\text{HS}^- = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่แตกตัว}$$

$$\text{H}_2\text{S}_{\text{aq}} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว}$$

$$\text{H}_2\text{S}_{\text{gas}} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะก๊าซ}$$

และ

$$\% \text{sulfur recovery} = [(\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{eff}} + \text{S}^{2-} + \text{HS}^- + \text{H}_2\text{S}_{\text{aq}} + \text{H}_2\text{S}_{\text{gas}}) / \text{SO}_4^{2-}{}_{\text{in}}] \times 100 \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วนิดา วรเกริกกุลชัย (2533) ทำการศึกษาสมรรถนะของการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลโค โดยระบบถังกรองชั้นตะกอนจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนแบบไหลขึ้น ถังปฏิกรณ์มีปริมาตร 9.12 ลิตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 2 วัน การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุด มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4.32, 6.47 และ 8.06 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ย 8,800, 13,119, และ 16,348 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 59.58, 49.78 และ 50.18 ก๊าซมีเทนร้อยละ 71.11, 57.59 และ 59.94

อุรษา เศรษฐศิริกิจ (2542) ทำการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์และความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตที่มีต่อระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชัน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีระดับห้องปฏิบัติการ ลักษณะเหมือนกัน 3 ถัง ใช้ น้ำเสียสังเคราะห์โดยมีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอนและโซเดียมซัลเฟตเป็นแหล่งซัลเฟต และเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสารบัฟเฟอร์ อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตที่ทำการทดลองคือ 4 และ 2 โดยใช้ความเข้มข้นซีโอดี 5 ค่า คือ 400, 600, 800, 1,000 และ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 4 ประสิทธิภาพในการเกิดซัลเฟตรีดักชันสูงถึง 92.7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความเข้มข้นของซีโอดี 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพในการเกิดซัลเฟตรีดักชันสูงเท่ากับ 95.1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความเข้มข้นของซีโอดี 1,000 และ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ในทุก ๆ การทดลอง โดยค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้ซีโอดีระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต มีค่าเท่ากับ 82.0 เปอร์เซ็นต์

MPB / 18.0 เปอร์เซ็นต์ SRB และ 62.9 เปอร์เซ็นต์ MPB / 37.1 เปอร์เซ็นต์ SRB ที่อัตราส่วน ซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การแปรค่าความเข้มข้น ซีโอดีและซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้ระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันเพิ่มขึ้น

อนุตร เปียงแก้ว (2542) ทำการศึกษาการควบคุมระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันด้วย ปริมาณซัลเฟตและชนิดของแหล่งคาร์บอน โดยใช้ น้ำตาลทรายและอะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอน แต่ละชุดป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซัลเฟตเป็น 42, 84 และ 840 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดีคงที่ตลอดการทดลองคือ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 12, 6 และ 0.6 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 0.6, 6 และ 12 ระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันมีค่าเท่ากับ 66, 87 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อใช้น้ำตาล ทราย และ เท่ากับ 72, 82 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อใช้อะซิเตท ซึ่งเมื่ออัตราส่วนซีโอดีต่อ ซัลเฟตมีค่ามากกว่า 6 การเกิดซัลเฟตรีดักชันจะเกิดได้เต็มที่ เนื่องจากมีซีโอดีอยู่ในระบบมากเกินไป พอ ขณะที่ซัลเฟตอยู่อย่างจำกัด ซัลเฟตในระบบจึงถูกรีดิวซ์เกือบทั้งหมด ในขณะที่เมื่ออัตราส่วน ซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 0.6 ระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันจะมีค่าลดลง เนื่องจากในระบบมีซัลเฟต อยู่มากเกินไป ในขณะที่มีซีโอดีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นความเข้มข้นของซีโอดีจึงเป็นตัวควบคุม ระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชัน นอกจากนี้ จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า การใช้อะซิเตท เป็นแหล่งคาร์บอนทำให้ระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำตาลทราย

อลิสรา วงศ์กิตติวิมล (2543) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียน้ำยางชัน โดยถังปฏิกรณ์ไฮบริด แบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 1.5, 2.5, 4 และ 6 วัน การทดลอง แบ่งเป็น 2 ชุด ชุดแรกมีระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 1.5 และ 2.5 วัน และชุดที่สองมีระยะเวลาในการ เก็บกักน้ำ 4 วัน และ 6 วัน ค่าความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ย 6,428 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 6,281 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเฉลี่ย 2.07 และ 1.50 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการ กำจัดซีโอดีทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1.5, 2.5, 4 และ 6 วัน มีค่าเฉลี่ย 40.9, 59.0, 80.8 และ 83.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Dague และ Hopskins (1970) ทำการศึกษาพบว่า พีเอชของกระบวนการหมักแบบ ไม่ใช้ออกซิเจนต่ำกว่า 6.5 จะยับยั้งการเจริญเติบโตของมีเทนแบคทีเรีย โดยไม่คำนึงถึงปริมาณ ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหย นอกจากนี้ยังพบว่าถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีค่าพีเอช ต่ำกว่า 6.5 และปริมาณความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะ ไม่มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.8 – 7.2 และมีปริมาณความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มจากเดิมไปเป็น 7,000 มิลลิกรัมต่อ ลิตร และค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.8 – 7.2 พบว่าก๊าซที่เกิดขึ้นจะมีมากขึ้น นอกจากนี้ถ้าค่าพีเอชของ

ระบบมีค่าต่ำ 6.2 จะทำให้เกิดไฮโดรเจนออกซิเจนจำนวนมากภายในระบบ ซึ่งเป็นพิษรุนแรงต่อมีเทนแบคทีเรีย ทำให้ระบบเสียสมดุลย์และการทำงานของระบบล้มเหลว

Koster และคณะ (1986) ทำการศึกษาการยับยั้งปฏิกิริยาการผลิตมีเทนของสไลด์จ์ที่จับตัวเป็นเม็ดตะกอนจากถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีซึ่งใช้อะซิเตทเป็นสารอาหารที่ระดับพีเอชต่าง ๆ โดยทำการทดสอบในขวดซีรัมและปิดขวดสนิท ซึ่งจะทำให้พีเอชมีค่าคงที่ และทำให้ซัลไฟด์ไม่สามารถหนีออกจากระบบได้ จากการศึกษาพบว่า ความเป็นพิษเนื่องจากซัลไฟด์สัมพันธ์กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว โดยในช่วงพีเอช 6.4 – 7.2 ถูกยับยั้งที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรของซัลเฟอร์ ในช่วงพีเอช 7.8 – 8.0 ถูกยับยั้งที่ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตรของซัลเฟอร์ ซึ่งเขาได้แสดงความคิดเห็นว่า ลักษณะการเกาะตัวของแบคทีเรียที่เป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะทำให้ทนต่อความเป็นพิษของซัลไฟด์ได้สูงขึ้น เพราะจะเกิดความแตกต่าง (Gradient) ระหว่างพีเอชในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และพีเอชของระบบ ที่ทำให้พีเอชส่วนในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์สูงขึ้น

Resis และคณะ (1992) ทำการศึกษาผลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยนำเชื้อจากถังปฏิกรณ์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่รับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของซัลเฟตและกรดแลคติกสูงมาเพาะเลี้ยง โดยใช้แลกเตดและซัลเฟตเป็นสารอาหารช่วงพีเอชที่ทำการศึกษาคือ 5.8 – 7.0 จากการศึกษาพบว่า อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อค่าพีเอชเป็น 6.7 และไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันมีผลโดยตรงต่อการยับยั้งแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 547 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถฟื้นตัวได้เมื่อไล่ซัลไฟด์ออกจากตัวกลางแล้ว

Zoetemeyer และคณะ (1982) ได้ศึกษาถึงผลของค่าพีเอชที่มีต่อกระบวนการสร้างกรดของกลูโคส 1 เปอร์เซนต์ โดยใช้ถังกวนผสม (CSTR) เป็นถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการสร้างกรดในการทดลอง ซึ่งมีความเร็วในการกวน 500 รอบต่อนาทีตลอดการทดลอง โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งทดลองเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดในช่วง 4.5 – 7.9 ซึ่งผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าที่พีเอช เท่ากับ 6 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อกระบวนการสร้างกรด โดยมีค่า growth rate สูงสุดคือ 0.33 ต่อชั่วโมง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและจะใช้ถังปฏิกรณ์จำลองระบบยูเอเอสพีลักษณะเหมือนกันทั้ง 4 ชุด ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเดินระบบที่บริเวณชั้นที่ 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขั้นตอนดำเนินงานทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง โดยทั้ง 2 ช่วงการทดลองใช้น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นดังนี้

3.1 ช่วงการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของพีเอชและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในระบบยูเอเอสพี เริ่มต้นระบบโดยใช้น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรม น้ำยางชั้นและจุลินทรีย์กลุ่มไร้ออกซิเจนสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำการเดินระบบต่อเนื่องด้วยระบบยูเอเอสพีโดยกำหนดอัตราการอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน อัตราการสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 1.215 ลิตรต่อวัน และระยะเวลาเก็บน้ำ 2 วัน กำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบ ดังนี้

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าพีเอช เท่ากับ 5

ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ค่าพีเอช เท่ากับ 6

ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ค่าพีเอช เท่ากับ 7

ถังปฏิกรณ์ที่ 4 ค่าพีเอช เท่ากับ 8.5

การทดลองในช่วงนี้ศึกษาผลของค่าพีเอชและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของน้ำเข้าและน้ำออก ทั้ง 4 ถังปฏิกริยา ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ซีโอดี ซัลเฟต ซัลไฟด์ทั้งหมด สภาพต่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย ของแข็งแขวนลอย และก๊าซชีวภาพ

3.2 ช่วงการทดลองที่ 2 ทำการศึกษาเช่นเดียวกับช่วงการทดลองที่ 1 โดยทำการเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน เดินระบบต่อเนื่องด้วยระบบยูเอเอสพี ตามแผนการดำเนินการทดลอง สามารถแสดงดังในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินการทดลอง

ถึง ปฏิกรณ์	พีเอช (pH)	ซีโอดีน้ำเสีย เข้าระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อัตราการระบรทุก สารอินทรีย์ (ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	เวลากักพัก ชลศาสตร์ (วัน)	อัตราการ ไหลน้ำเสีย เข้าระบบ (ลิตรต่อวัน)
1	5	1,000	0.5	2	1.215
2	6	2,000	1.0	2	1.215
3	7	4,000	2.0	2	1.215
4	8.5	6,000	3.0	2	1.215

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของน้ำเข้าและน้ำออกทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์

3.2 การเตรียมน้ำเสีย

3.2.1 ลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น ซึ่งได้ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียมาบ้างแล้ว ลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น

พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด
พีเอช (pH)	4.74 – 5.18
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.2 – 28.5
ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	11,424 – 17,934
ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,036 – 1,738
ซัลไฟด์ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	120 - 155
สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตรของHCO ₃)	1,570 – 1,725
กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร CH ₃ COOH)	3,535 – 4,063
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	325 – 1,755

3.2.2 การเตรียมน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น

ก่อนนำน้ำเสียเข้าระบบจะทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก่อนตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อทำการเจือจางน้ำเสียโดยใช้น้ำประปาให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการในการทดลองนี้ จากนั้นทำการปรับค่าพีเอชในถังน้ำเข้าเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในการปรับค่าพีเอชในแต่ละถังปฏิกรณ์

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การเริ่มต้นเดินระบบ (Startup) จะใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์เหมือนกัน 4 ชุด และทำการทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทดลอง ดังนี้

3.3.1 ตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge) ที่ใช้ในการทดลองเป็นแอนแอโรบิกสลัดจ์ (Anaerobic Sludge) จากระบบยูเอเอสพีของระบบบำบัดน้ำเสียจากบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดตะกอนสีน้ำตาล ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2 ทำการปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำเป็นการเริ่มต้นระบบ (Start up) โดยการเติมตะกอนจุลินทรีย์ลงในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีทั้ง 4 ชุด ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถัง จากนั้นสูบน้ำเสียจริงเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดีต่ำ ๆ ก่อน จึงค่อย ๆ เพิ่มอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นสูบน้ำเสียจริงที่ทำกรปรับค่าพีเอชในถังน้ำเข้าเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่อัตราการสูบน้ำเสียเข้าระบบ 1.215 ลิตรต่อวัน เป็นเวลาประมาณ 2 เดือน

3.3.3 การเดินระบบในช่วงการทดลองที่ 2 ใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น เช่นเดียวกับช่วงการทดลองที่ 1 โดยทำการเพิ่มอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีโอดีเป็น 2,000, 4,000, และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลาประมาณ 3 เดือน

งานวิจัยนี้ใช้ระยะเวลาทดลองรวมทั้งหมดประมาณ 5 เดือน ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการดำเนินการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ขั้นตอน	การดำเนินการทดลอง	พ.ศ.2551		พ.ศ.2552			
		พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.
1.	ศึกษาผลของพีเอชและอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นในระบบยูเอเอสพี และเริ่มต้นเลี้ยงเชื้อในระบบเพื่อปรับความคุ้นเคยกับน้ำเสีย						
2.	ทำการศึกษาต่อจากการทดลองช่วงที่ 1 โดยทำการเพิ่มอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์						

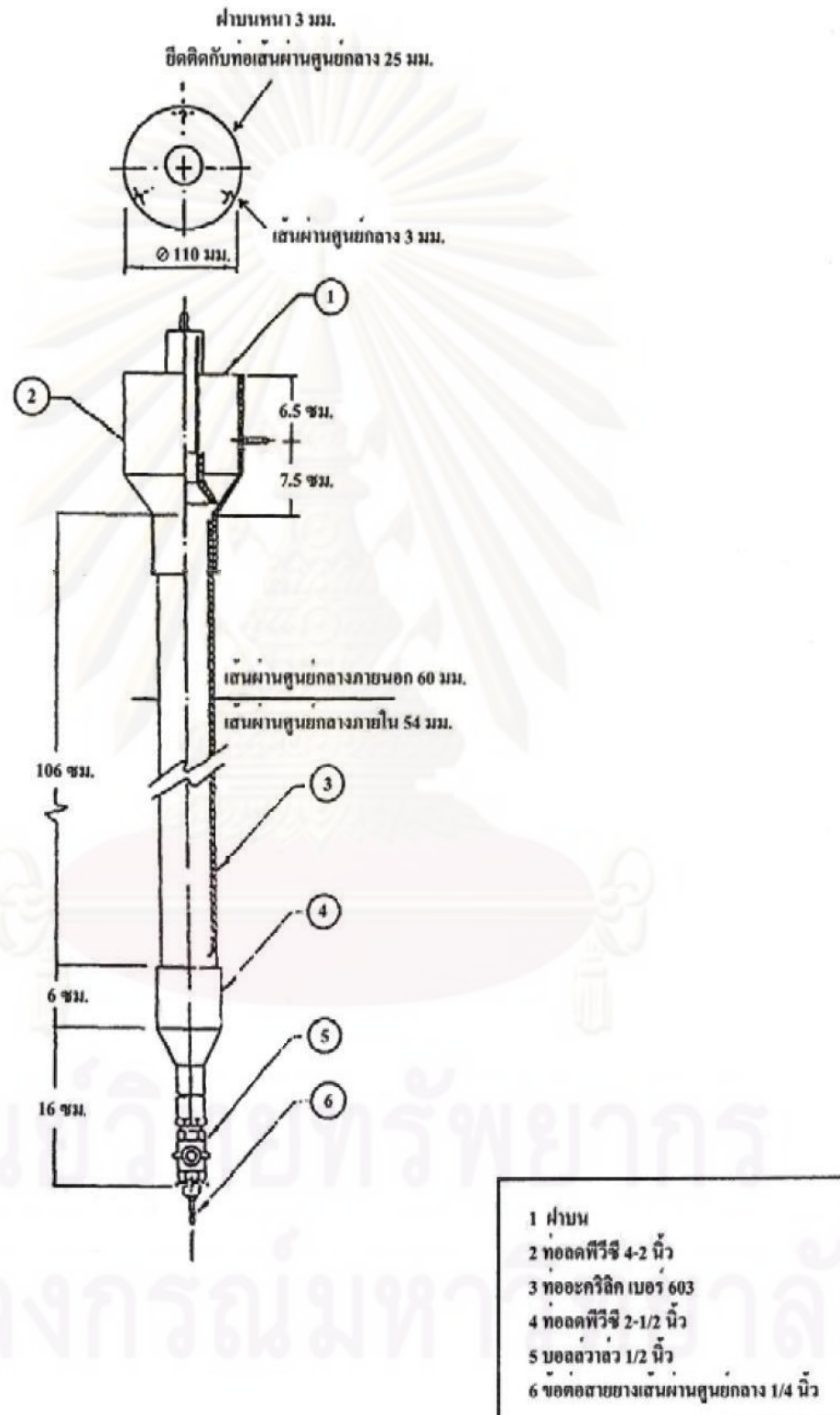
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

ใช้แบบจำลองระบบยูเอเอสบีระดับห้องปฏิบัติการ โดยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี 1 ชุด จะมี ส่วนย่อยสลาย ทำจากท่ออะคริลิกใสมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.4 เซนติเมตร มีส่วนย่อยสลาย สูง 1.06 เมตร ปริมาตรกักเก็บน้ำทั้งหมด 2.43 ลิตร ด้านบนมีชุดอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator ; GSS) ทำจากท่อพีวีซี ซึ่งรายละเอียดแบบจำลองถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ถังปฏิกรณ์จำลองยูเอเอสบี



ภาพที่ 3.3 แบบจำลองตั้งปฏิบัติการยูเอเอสบี

3.4.2 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ

ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี 1 ชุด ประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำ 1 ตัว สำหรับสูบน้ำเสียเข้าระบบ เครื่องสูบน้ำที่ใช้เป็นแบบ Diaphragm Pump ยี่ห้อ Prominent Diaphragm Metering Pump รุ่น BT4A1000PPE200AA010 แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 เครื่องสูบน้ำเสียแบบ Diaphragm Pump

3.4.3 ถังพักน้ำเสีย

ถังพักน้ำเสียเข้าระบบจะใช้ถังพลาสติก	ขนาดความจุ 5 ลิตร	จำนวน 4 ถัง
ถังพักน้ำทิ้งออกจากระบบจะใช้ถังพลาสติก	ขนาดความจุ 5 ลิตร	จำนวน 4 ถัง
การเตรียมน้ำเสียเข้าระบบจะใช้ถังพลาสติก	ขนาดความจุ 20 ลิตร	จำนวน 1 ถัง

3.4.4 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซ

ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี 1 ชุด ประกอบด้วยอุปกรณ์วัดก๊าซจำนวน 1 ชุด ทำงานโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ โดยมีกระบอกแทนที่น้ำบรรจุน้ำเต็มหลอด ทำการปรับพีเอชของน้ำให้ต่ำกว่า 3 เพื่อป้องกันการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจะไปแทนที่น้ำที่บรรจุอยู่ในกระบอกแทนที่น้ำ ปริมาณก๊าซที่วัดได้คือปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากระบบ แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

3.5 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน

ทำการติดตั้งถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี จำนวน 4 ชุดการทดลอง ที่บริเวณชั้น 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลักการทำงานของระบบยูเอเอสบีและการติดตั้งเครื่องมือแสดงดังภาพที่ 3.6 และภาพที่ 3.7 โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้

3.5.1 น้ำเสียในถังพักน้ำเสียจะถูกสูบเข้าทางตอนล่างของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow)

3.5.2 น้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี จะไหลออกทางตอนบนของถังปฏิกรณ์ต่อไปยังถังพักน้ำทิ้ง

3.5.3 ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี จะไหลผ่านอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator ; GSS) ทางด้านบนของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีไปยังอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซแบบแทนที่น้ำ แสดงดังภาพที่ 3.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.6 น้ำเสียในถังพักน้ำเข้าระบบ



ภาพที่ 3.7 น้ำทิ้งไหลออกจากระบบด้านบน



ภาพที่ 3.8 อุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator ; GSS)

3.6 การเดินและการควบคุมระบบ

3.6.1 การเดินระบบ

ระบบยูเอเอสพีที่ใช้ในการวิจัย จะมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ยูเอเอสพีโดยตรง ซึ่งการป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์โดยตรงมีข้อเสียที่สำคัญคือ ในกรณีที่น้ำเสียในถังพักน้ำเสียหมดจะทำให้มีการสูบน้ำอากาศเข้าสู่ระบบได้ ซึ่งจะเป็นการนำออกซิเจนเข้าไปในถังปฏิกรณ์ ทำให้เกิดผลเสียต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องหาทางป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้น โดยทำการประเมินเวลาที่น้ำเสียจะหมดถึงในแต่ละวัน เพื่อจะได้เตรียมน้ำใหม่สำหรับการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในแต่ละวันได้ทันเวลา และเผื่อระวังไม่ให้เครื่องสูบน้ำสูบน้ำเสียจนแห้งหมดถึงพักน้ำเสีย

3.6.2 การควบคุมระบบ

การควบคุมระบบสำหรับงานวิจัยนี้ จะทำการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ของระบบให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในขอบเขตการทดลอง เพื่อควบคุมการทดลองให้ได้ผลที่มีความถูกต้องมากที่สุด โดยจะทำการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1) อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบในงานวิจัยนี้ กำหนดไว้ที่ 1.215 ลิตรต่อวินาทีทั้งหมด ทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ เมื่อเริ่มทำการเดินระบบจะต้องทำการวัดอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำให้ได้ตามที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ควมน้ำมันสังเกตุปริมาณน้ำในถังพักน้ำเสียเข้าระบบที่หมดในแต่ละวัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประเมินอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำ โดยส่วนใหญ่แล้วเมื่อทำการทดลองไปช่วงระยะหนึ่ง อัตราการสูบน้ำเสียของเครื่องสูบน้ำจะลดลง เพราะเกิดเมือกสารอินทรีย์หรือแบคทีเรียเกาะติดด้านในของสายยางที่ใช้

2) สภาพแวดล้อมทางกายภาพ

ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่สำคัญที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ คือ แสงสว่างและอุณหภูมิ เนื่องจากถ้าแสงสว่างสามารถส่องผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์ได้ จะทำให้เกิดตะไคร่น้ำขึ้นบริเวณผนังด้านในของถังปฏิกรณ์ โดยตะไคร่น้ำนี้จะสังเคราะห์แสงและผลิตออกซิเจนออกมาภายในถังปฏิกรณ์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องป้องกันไม่ให้แสงสว่างส่องผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์ได้ โดยการใช้ถุงพลาสติกดำคลุมรอบถังปฏิกรณ์ด้านนอกที่ทำจากอะคริลิกใส และจะต้องคลุมในลักษณะที่สามารถแกะหรือเปิดออกได้ง่าย เพื่อให้สามารถตรวจลักษณะของแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังปฏิกรณ์ได้โดยง่าย

การควบคุมอุณหภูมิ จะทำในกรณีที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิลดลงกว่าสภาพอากาศปกติทั่วไป ซึ่งอุณหภูมิที่ลดต่ำมากจะมีผลกระทบโดยตรงต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทมีโซฟิลิค (Mesophilic) โดยจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20 – 45 องศาเซลเซียส และเนื่องจากสภาพอากาศของกรุงเทพฯ โดยทั่วไปแล้วจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทมีโซฟิลิค (Mesophilic) อยู่แล้ว ดังนั้นปัจจัยด้านอุณหภูมิจึงไม่มีผลกระทบมากนัก

3) อุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบ

การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบให้ทำงานได้อย่างปกติเป็นสิ่งสำคัญอีกด้านหนึ่ง โดยสิ่งที่จำเป็นจะต้องทำ ได้แก่ การล้างทำความสะอาดถังพักน้ำเสีย การตรวจสอบไม่ให้เกิดการอุดตันของตะกอนภายในท่อสายยาง การตรวจสอบสภาพความเสื่อมที่อาจเกิดขึ้นกับสายยาง เช่น การเกิดรูรั่ว ซึ่งจะต้องทำการเปลี่ยนสายยางใหม่ เพื่อควบคุมอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียให้เท่ากับที่กำหนด ตลอดจนตรวจสอบการอุดตันของหัวปั๊มของเครื่องสูบน้ำ และอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอย่างสม่ำเสมอ

3.7 การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.7.1 รายละเอียดของวิธีวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ พารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของน้ำตัวอย่าง วิธีวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่
พีเอช (pH)	pH Meter	A
อุณหภูมิ (Temperature)	Thermometer	A
ซีโอดี (COD)	Close Reflux	A
ซัลเฟต (Sulfate)	Turbidimetric Method	A
ซัลไฟด์ทั้งหมด (Sulfide)	Iodometric Method	A
สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity)	Direct Titration Method	B
กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid)	Direct Titration Method	B
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	กรองด้วยกระดาษ GF/C	B
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	วัดปริมาตรก๊าซแบบแทนที่น้ำ	C
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	GC (Gas Chromatography)	D

- หมายเหตุ
- A คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง
 - B คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์วันละ 2 ครั้ง
 - C คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์วันละ 1 ครั้ง
 - D คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์หลังสิ้นสุดช่วงการทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นโดยระบบยูเอเอสบี (ช่วงการทดลองที่ 1)

การทดลองนี้เป็นการทดลองในช่วงที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของพีเอชและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่อการลดซัลเฟตในการบำบัดน้ำเสียน้ำยางชั้น โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ อัตราการสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 1.215 ลิตรต่อวัน และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดีในช่วงการทดลองนี้เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ ผลการทดลองที่ได้ตลอดการทดลองทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย โดยคำนวณเมื่อระบบอยู่สภาวะคงตัว (Steady State) ซึ่งสามารถจำแนกตามตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้

4.1.1.1 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบสำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ ส่วนน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.41, 8.53, 8.50 และ 8.59 ตามลำดับ ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

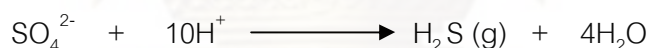
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

พารามิเตอร์	อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน								
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5		
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	5	8.41	6	8.53	7	8.50	8.5	8.59
	SD.	(0.00)	(0.35)	(0.00)	(0.31)	(0.00)	(0.19)	(0.00)	(0.23)
อุณหภูมิ (temperature)	เฉลี่ย	27.0	27.7	26.9	27.4	26.9	27.4	26.9	27.4
(องศาเซลเซียส)	SD.	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(0.9)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)
สภาพด่าง (Alkalinity)	เฉลี่ย	142	166	143	175	151	176	161	176
(มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต)	SD.	(30)	(31)	(22)	(35)	(14)	(21)	(18)	(46)
กรดไขมันระเหย (VFA)	เฉลี่ย	358	45	390	40	382	46	370	45
(มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของกรดอะซิติก)	SD.	(57)	(11)	(28)	(11)	(33)	(10)	(47)	(10)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	0.40	0.27	0.37	0.23	0.40	0.26	0.45	0.26
	SD.	(0.07)	(0.03)	(0.06)	(0.03)	(0.04)	(0.03)	(0.08)	(0.03)
ของแข็งแขวนลอย (SS)	เฉลี่ย	72	22	72	20	72	18	72	21
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(10)	(7)	(10)	(5)	(10)	(7)	(10)	(7)
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย	เฉลี่ย	-	69.52	-	72.34	-	75.05	-	70.68
	SD.	-	(9.19)	-	(5.21)	-	(6.68)	-	(8.64)
ซีไอดี (COD)	เฉลี่ย	1,206	77	1,206	76	1,206	71	1,206	85
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(169)	(13)	(169)	(13)	(169)	(12)	(169)	(15)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย	-	93.58	-	93.73	-	94.10	-	92.96
	SD.	-	(0.96)	-	(0.74)	-	(1.03)	-	(1.09)
ซัลเฟต (SO_4^{2-})	เฉลี่ย	85	40	85	40	85	47	85	48
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(7)	(13)	(7)	(10)	(7)	(9)	(7)	(10)
ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย	-	53.40	-	53.30	-	44.89	-	43.53
	SD.	-	(12.71)	-	(9.49)	-	(7.01)	-	(8.08)
ซัลไฟด์ (S^2)	เฉลี่ย	1.20	15.74	1.20	16.57	1.20	21.04	1.20	14.49
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(0.45)	(2.43)	(0.45)	(2.53)	(0.45)	(3.67)	(0.45)	(3.12)
ก๊าซชีวภาพ (Biogas)	เฉลี่ย	-	135	-	151	-	164	-	128
(มิลลิลิตรต่อวัน)	SD.	-	(22)	-	(26)	-	(36)	-	(22)

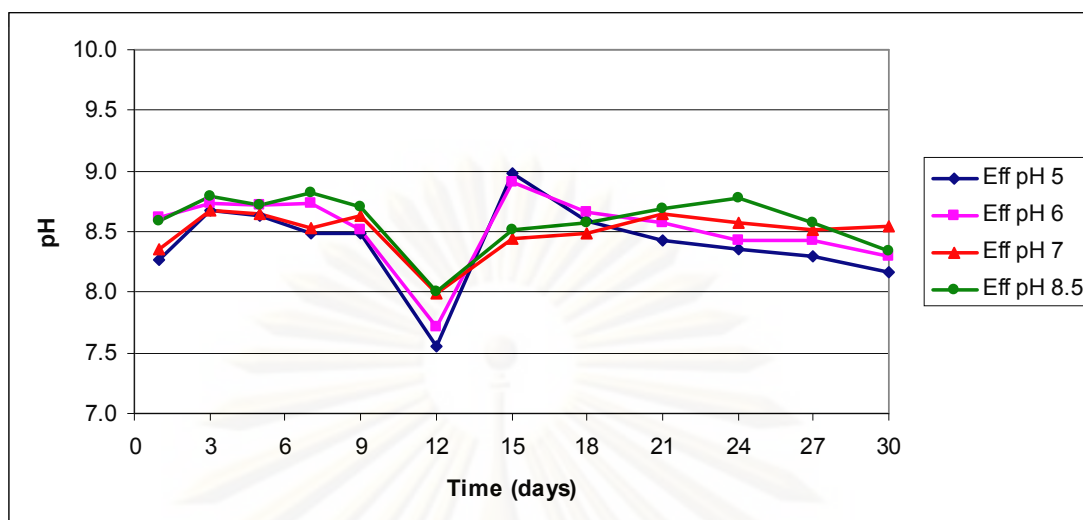
ตารางที่ 4.2 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

พีเอช	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	-	7.55	-	7.72	-	7.99	-	8.01
ค่าสูงสุด	-	8.98	-	8.91	-	8.67	-	8.82
ค่าเฉลี่ย	5.00	8.41	6.00	8.53	7.00	8.50	8.50	8.59

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำ ทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ มีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของน้ำเข้าระบบ การที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกมีค่าเพิ่มมากขึ้น นั้น เนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยพวกแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน ซึ่งจะมีการนำไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไปใช้ ในปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ (S^{2-}) สมการการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงดังนี้



การนำเอาไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไปใช้ และการเกิดไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะทำให้ในระบบมีสภาพความเป็นกรดลดลง จึงทำให้พีเอชของระบบสูงขึ้นได้ และจากการทดลอง จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ ช่วง 6.6 – 7.6 แต่เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในระบบก็มีค่าต่ำ โดยอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในระบบของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่มีค่าพีเอชเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ มีค่าเป็น 0.27, 0.23, 0.26 และ 0.26 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ pH 5, 6, 7 และ 8.5 มีค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพทั้งหมดมีค่าไม่เกินกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบำบัดสูง



ภาพที่ 4.1 ค่าพีเอชของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

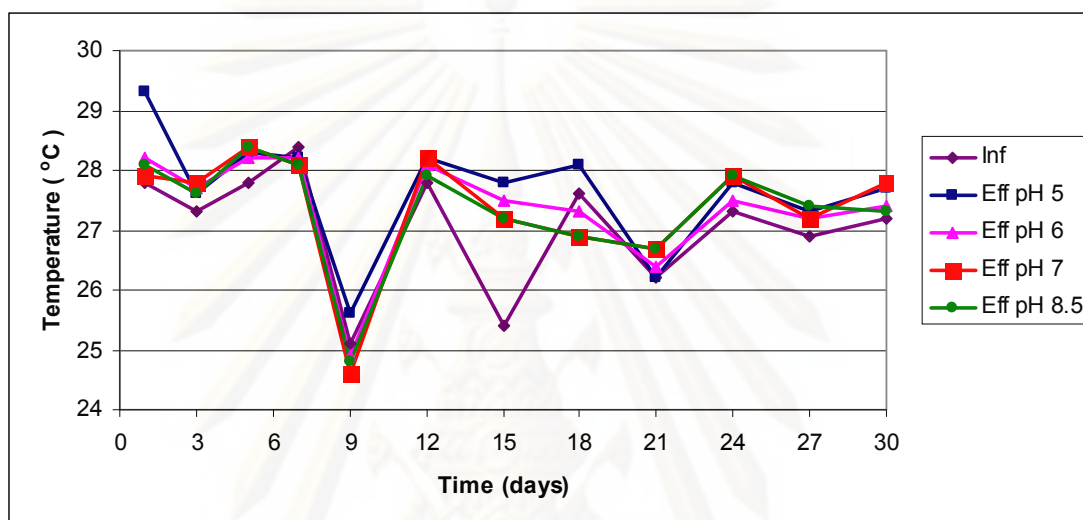
4.1.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่พีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 ของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ กำหนดอัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน น้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.7, 27.4, 27.4 และ 27.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	25.1	25.6	25.1	24.9	25.1	24.6	25.1
ค่าสูงสุด	28.4	29.3	28.4	28.2	28.4	28.4	28.4	28.4
ค่าเฉลี่ย	27.1	27.7	27.1	27.4	27.1	27.4	27.1	27.4

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกของทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้า แต่ไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งค่าอุณหภูมิตลอดการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ อยู่ในช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

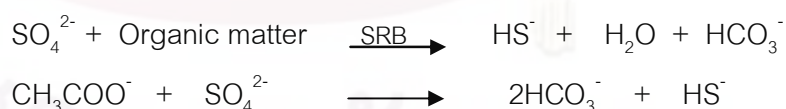
4.1.1.3 สภาพต่างทั้งหมด (Alkalinity)

ค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำอย่างชั้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ กำหนดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 142, 143, 151 และ 161 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนสภาพต่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 166, 175, 176 และ 176 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าสภาพต่างทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3

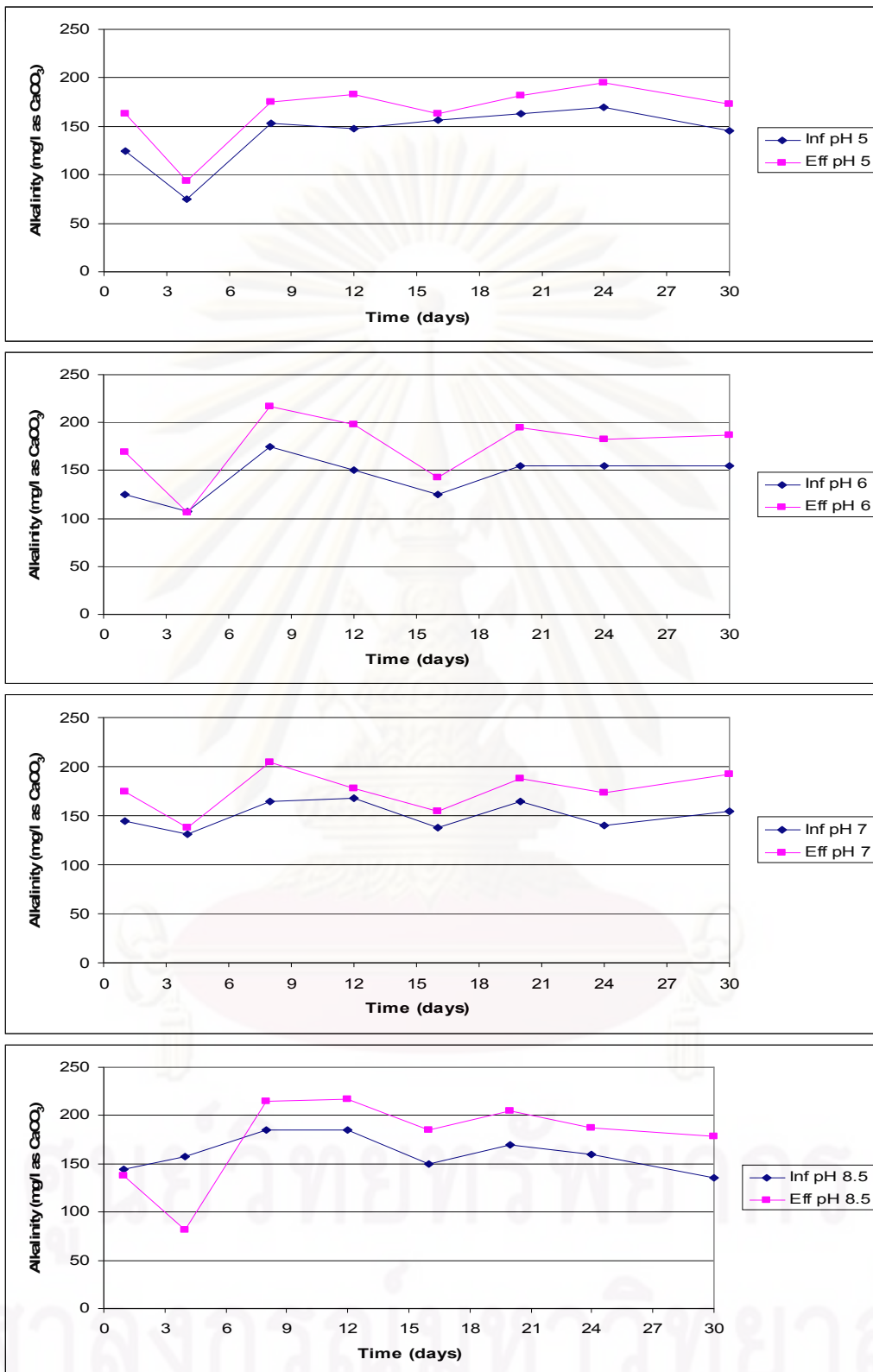
ตารางที่ 4.4 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน)

สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	75	94	107	106	131	138	135	81
ค่าสูงสุด	170	195	175	217	168	205	185	217
ค่าเฉลี่ย	142	166	143	175	151	176	161	176

ในการทดลองนี้ได้ทำการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เพื่อปรับพีเอชของน้ำเข้าระบบที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าสภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ยของน้ำออกทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเข้าในระบบ การที่สภาพต่างทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดกระบวนการซัลเฟตรีดักชันดังที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.1.1.1 นอกจากนี้ค่าความเป็นต่างที่เกิดขึ้น อาจมาจากต่างในรูปของสภาพต่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^- Alkalinity) สภาพต่างจากซัลไฟด์ (HS^- Alkalinity) และสภาพต่างจากเกลือของกรดอินทรีย์ (Volatile fatty acid – Alkalinity) ที่เกิดจากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันในน้ำเสียที่มีสารประกอบของซัลเฟต ดังสมการ



จากงานวิจัยของ (ขนิษฐา หทัยสมิทธ์, 2547) ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียประเภทเดียวกัน โดยระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดของถังปฏิกรณ์แล้วจะมีค่าพีเอชและค่าความเป็นต่างเพิ่มขึ้นเช่นกัน เช่นเดียวกับกับงานวิจัยของ(อลิสรา วงศ์กิตติวิมล, 2543) ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น แต่ใช้ถังปฏิกรณ์ไฮบริดแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่ามีค่าพีเอชและค่าความเป็นต่างเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงว่าการบำบัดน้ำเสียประเภทนี้จะเกิดความเป็นต่างในระบบขึ้นเองได้ จึงทำให้พีเอชของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.3 ค่าสภาพต่างของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.1.4 กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid)

ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสี้ยวอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยกำหนดอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 358, 390, 382 และ 370 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่ากรดไขมันระเหยของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45, 40, 46 และ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่ากรดไขมันระเหยของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

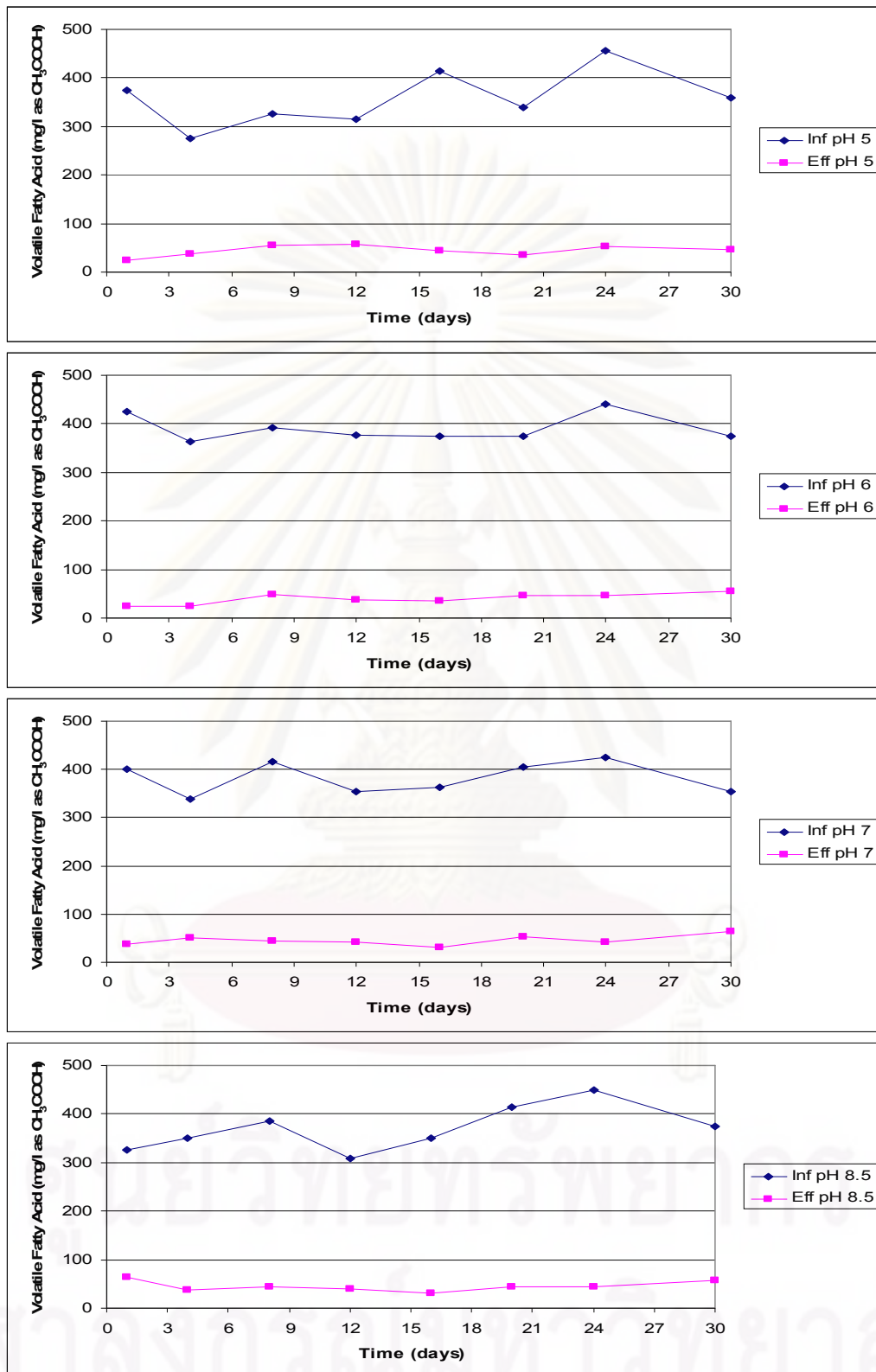
กรดไขมัน ระเหย (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	275	25	363	25	338	30	308	30
ค่าสูงสุด	455	58	440	54	425	65	450	63
ค่าเฉลี่ย	358	45	390	40	382	46	370	45

จากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยของน้ำออกของทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์มีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าระบบ แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันระเหยมีแนวโน้มว่าจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจำนวนตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีปริมาณที่มากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 2 เดือน ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นระบบจึงทำให้ค่ากรดไขมันระเหยถูกย่อยกลายเป็นกรดอะซิติกและแปรเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพต่อไป ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการสำคัญที่หลีกเลี่ยงการสะสมของกรดอินทรีย์และไฮโดรเจนในปริมาณที่สูง ซึ่งสามารถที่จะยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนได้ จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น พบว่า ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยกำหนดค่าความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 358, 390, 382 และ 370 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่ากรดไขมันระเหยของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45, 40, 46 และ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่ากรดไขมันระเหยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และปริมาณกรดไขมัน

ระเหยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลง แสดงว่าแบคทีเรียที่อยู่ในระบบมีการใช้กรดไขมันระเหยเป็นอาหารและสร้างเซลล์ ซึ่งปริมาณกรดไขมันระเหยที่ลดลงสอดคล้องกับค่าซีไอดีที่ลดลงจากการทดลองในช่วงแรกนี้ แสดงให้เห็นว่าที่อัตราภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ต่ำ ๆ ที่ใช้ในช่วงการทดลองนี้ ซึ่งให้เห็นว่าที่อัตราภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ต่ำ ๆ นี้ ค่าพีเอชที่แตกต่างกันไม่ค่อยมีผลต่อการลดลงของปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำที่ออกจากระบบมากนัก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.4 ค่ากรดไขมันระเหยของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.1.5 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยาล้างขั้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยกำหนดอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22, 20, 18 และ 21 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 69.52, 72.34, 75.05 และ 70.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.5 – 4.6

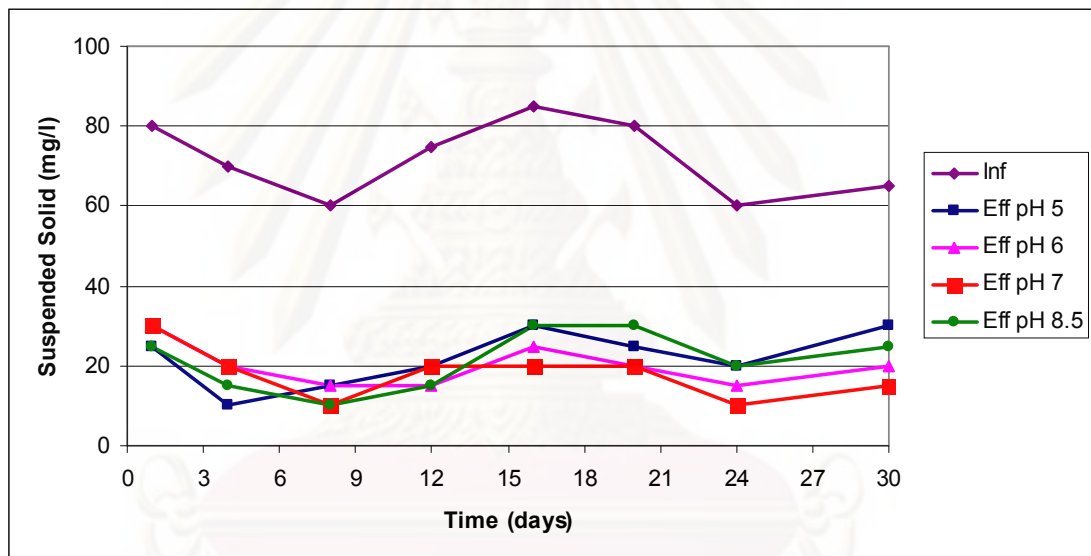
ตารางที่ 4.6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	60	10	60	15	60	10	60	10
ค่าสูงสุด	85	30	85	30	85	30	85	30
ค่าเฉลี่ย	72	22	72	20	72	18	72	21
ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	69.52	-	72.34	-	75.05	-	70.68

จากตารางที่ 4.6 ภาพที่ 4.5 - 4.6 พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าของการทดลองทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ มีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากน้ำเสียในช่วงการทดลองที่ 1 กำหนดค่าซีโอดีเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำน้ำเสียจริงไปเจือจาง ทำให้ได้ตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยน้อย ลักษณะตัวอย่างน้ำเสียที่ได้หลังจากเจือจางแล้วมีลักษณะใส ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกเฉลี่ยที่ค่าพีเอช 5 และ 8.5 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่าที่ค่าพีเอช 7 เป็นเพราะ ที่ค่าพีเอช 5 และ 8.5 เป็นช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ

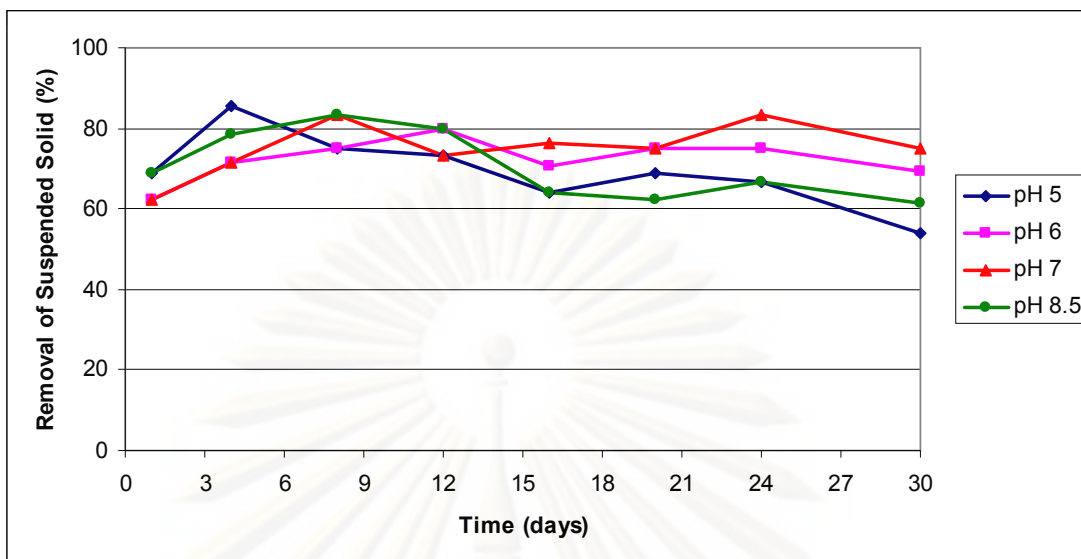
แบบที่เรียบง่ายไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งที่ค่า 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด สืบเนื่องจากน้ำที่ออกจากระบบมีพวกตะกอน และเศษยางปะปนมากับน้ำที่ออกน้อยกว่า ซึ่งแตกต่างจากถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5 มีปริมาณค่อนข้างมาก ส่วนที่พีเอช 6 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างใกล้เคียงกัน

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดของแข็งแขวนลอยระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถัง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.2)



ภาพที่ 4.5 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอต์/ลบ.ม./วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.1.6 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าซีโอดีของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยกำหนดอัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าซีโอดีน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,206 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77, 76, 71 และ 85 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 93.58, 93.73, 94.10 และ 92.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 – 4.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองครั้งที่ 1 (อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

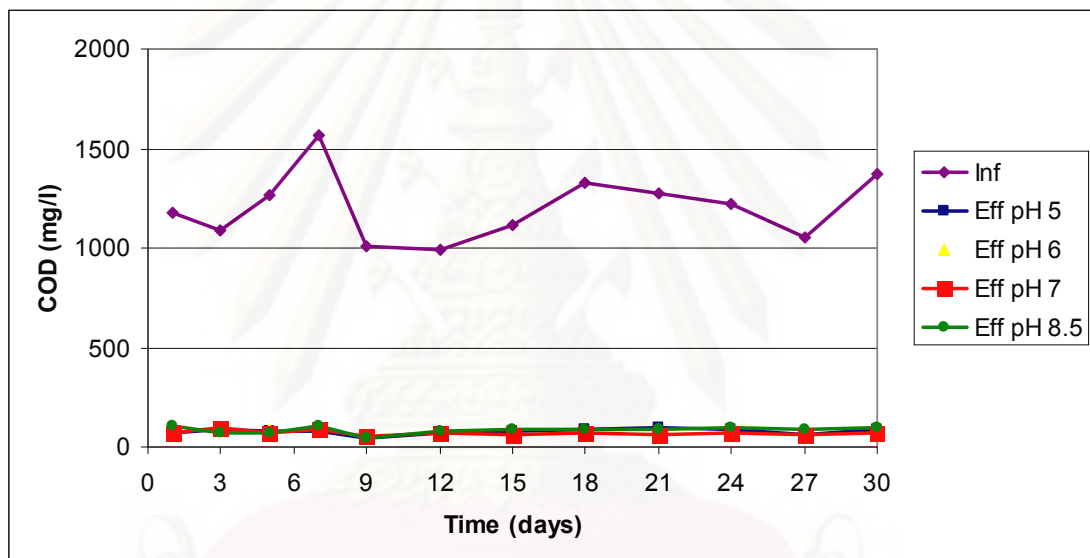
ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	991	48	991	45	991	51	991	48
ค่าสูงสุด	1569	93	1569	93	1569	93	1569	105
ค่าเฉลี่ย	1206	77	1206	76	1206	71	1206	85
ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	93.58	-	93.73	-	94.10	-	92.96

ก่อนการเดินระบบจริง ผู้วิจัยได้ทำการปรับสภาพความคุ่นเคยของตะกอนจุลินทรีย์ เพื่อให้จุลินทรีย์ที่นำมาจากบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) ได้คุ้นเคยกับน้ำเสียน้ำยางชัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน โดยให้ความเข้มข้นของซีโอดีที่เติมให้กับระบบในช่วงแรกจะเติมที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อน เมื่อระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จึงทำการเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเข้าเป็น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรตลอดการทดลองในช่วงการทดลองที่ 1 เนื่องจากน้ำเข้าระบบในช่วงแรกที่กำหนดมีค่าซีโอดีอยู่ที่ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่จากค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบที่เตรียมได้มีค่าเท่ากับ 1,206 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากการเตรียมน้ำเสียเข้าระบบในแต่ละวันของผู้ทำการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีในน้ำออกและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีค่อนข้างจะคงที่

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 – 4.8 จะเห็นได้ว่าถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าซีโอดีน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,206 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77, 76, 71 และ 85 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 93.58, 93.73, 94.10 และ 92.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) ได้เร็ว เนื่องจากการทดลองในช่วงนี้มีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ มีค่า 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

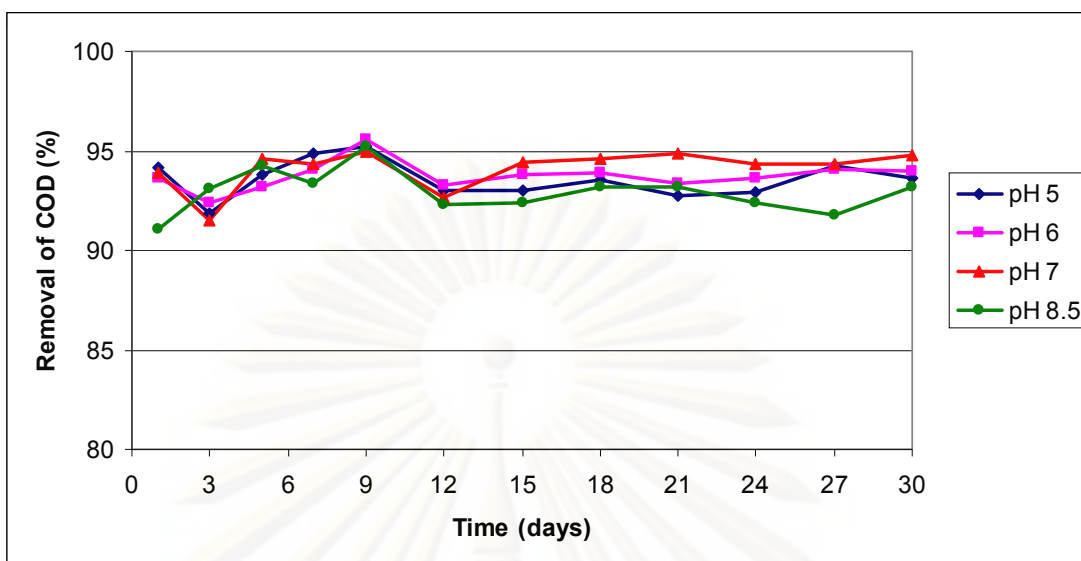
คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของซีไอดีค่อนข้างน้อย อีกทั้งแบคทีเรียคุ้นเคยกับน้ำเสียแล้วเพราะทำต่อจากความเข้มข้นของซีไอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีสูงขึ้น

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดซีไอดีระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถัง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.2)



ภาพที่ 4.7 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.1.7 ซัลเฟต (Sulfate) และประสิทธิภาพการกำจัด

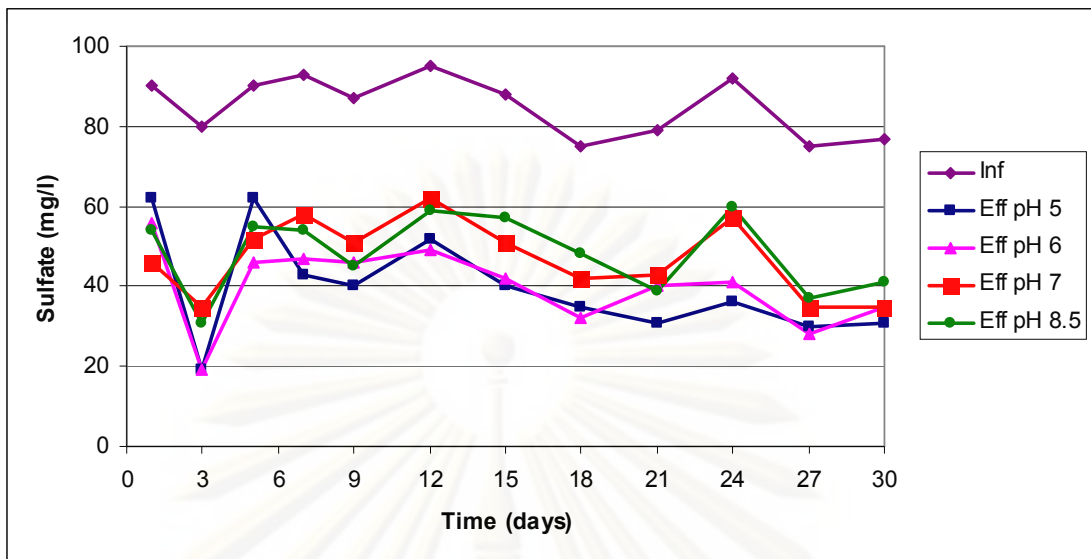
ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยกำหนดอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณซัลเฟตของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณซัลเฟตของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40, 40, 47 และ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 53.40, 53.30, 45.51 และ 43.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 – 4.10

ตารางที่ 4.8 ปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของช่วงการทดลองที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

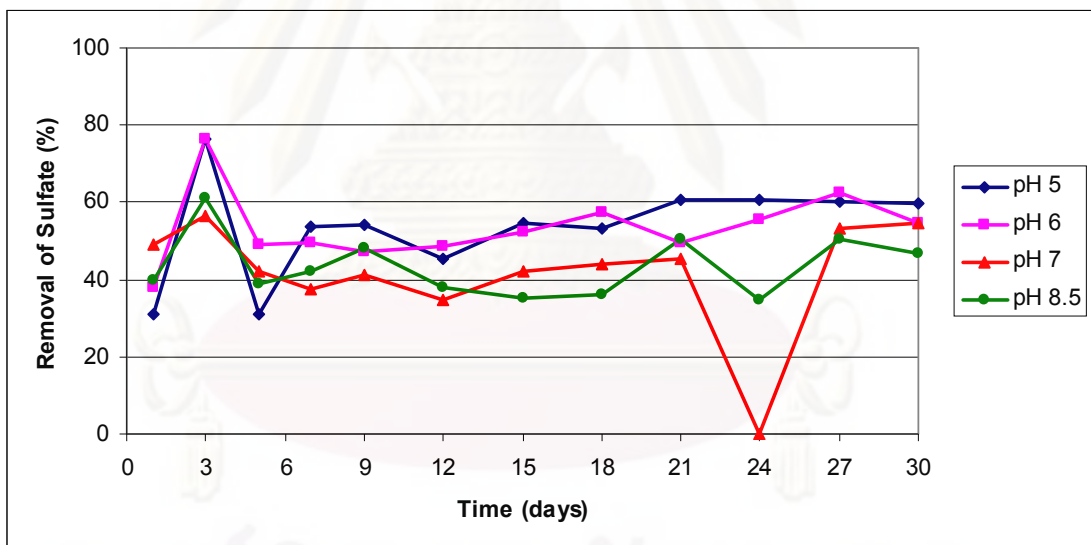
ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	75	19	75	19	75	35	75	31
ค่าสูงสุด	95	62	95	56	95	62	95	60
ค่าเฉลี่ย	85	40	85	40	85	47	85	48
ประสิทธิภาพการ กำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	53.40	-	53.30	-	44.89	-	43.53

จากตารางที่ 4.8 และ ภาพที่ 4.9 - 4.10 พบว่าปริมาณซัลเฟตในน้ำออก ประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างใกล้เคียงกัน สำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 คือค่าพีเอชที่ 5 และ 6 แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดซัลเฟตนั้น สามารถเจริญเติบโตขึ้นมาในน้ำเสียนี้ได้ และเปลี่ยนรูปซัลเฟตไปอยู่ในรูปอื่น ๆ ได้ ทำให้ปริมาณซัลเฟตในน้ำออกลดลง ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดสำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1 แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่ค่าพีเอช 5 - 6 ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ ส่วนที่พีเอช 7 และ 8.5 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างน้อยกว่าพีเอช 5 และ 6 อาจเป็นเพราะแบคทีเรียไม่สามารถทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้นได้อย่างเหมาะสม หรือแบคทีเรียอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับถึงปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5 และ 6

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดซัลเฟตระหว่างถึงปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถึง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.2)



ภาพที่ 4.9 ปริมาณซัลเฟตตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

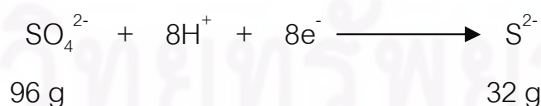
4.1.1.8 ซัลไฟด์ (Sulfide)

ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยกำหนดอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณซัลไฟด์ของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.74, 16.57, 21.04 และ 14.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณซัลไฟด์ของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

ซัลไฟด์ (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	0.46	12.56	0.46	12.45	0.46	13.34	0.46
ค่าสูงสุด	1.95	19.54	1.95	20.65	1.95	24.54	1.95	23.43
ค่าเฉลี่ย	1.20	15.74	1.20	16.57	1.20	21.04	1.20	14.49

จากตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.11 – 4.12 จะเห็นว่า ปริมาณซัลไฟด์น้ำออกของทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าระบบ การที่ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยของน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในการเปลี่ยนซัลเฟตในระบบให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์ สมการการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว แสดงได้ดังนี้

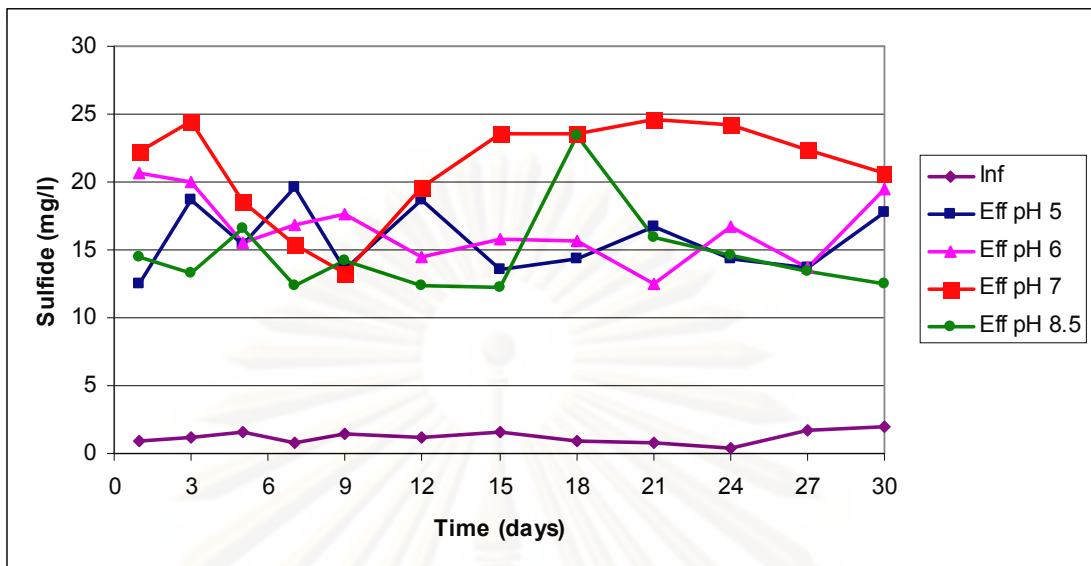


จากสมการ ซัลเฟตและซัลไฟด์มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 96 และ 32 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นตามหลักทฤษฎีซัลเฟตที่ลดลง 3 กรัม จะเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ 1 กรัม จากปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นระบบจะเป็นผลดีต่อแบคทีเรียภายในถึงปฏิกรณ์ เนื่องจากซัลไฟด์เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อแบคทีเรียในระบบ จากงานวิจัยของ (Resis และคณะ, 1992) พบว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันจะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เมื่อความ

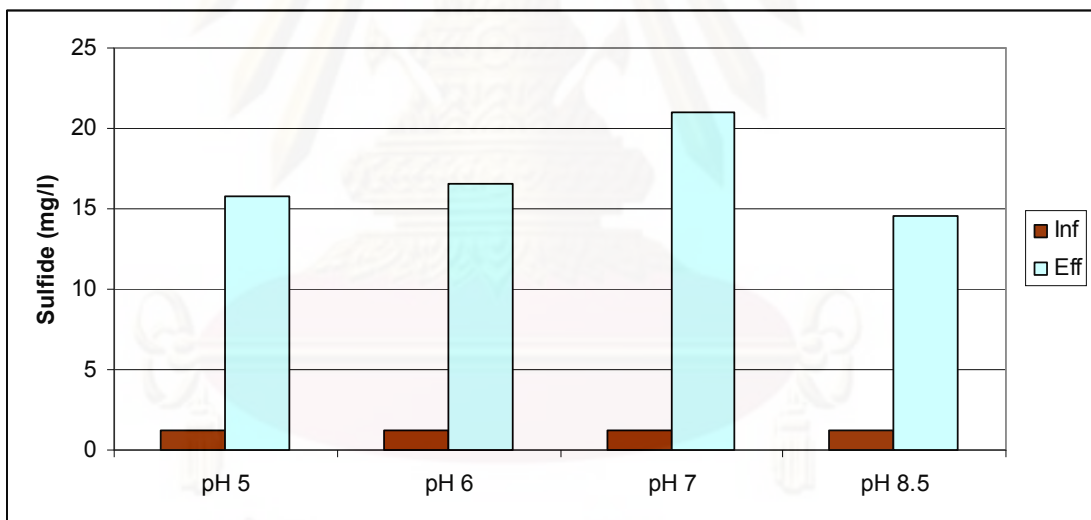
เข้มข้นเท่ากับ 547 มิลลิกรัมต่อลิตร และงานวิจัยของ (Koster และคณะ,1986) พบว่า ในช่วงพีเอช 6.4 – 7.2 การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะถูกยับยั้งที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร และในช่วงพีเอช 7.8 – 8.0 ถูกยับยั้งที่ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากปริมาณซัลไฟด์ของน้ำออกของทุกถังปฏิกรณ์มีปริมาณต่ำกว่า ดังนั้นซัลไฟด์จึงไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบ และจากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น พบว่าถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอชเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 มีปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณซัลไฟด์ของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.74, 16.57, 21.04 และ 14.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณซัลไฟด์ในน้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 2 เดือนในการเลี้ยงเชื้อตะกอนจุลินทรีย์อาจเป็นผลทำให้จำนวนตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีปริมาณที่มากขึ้น ทำให้แบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้ค่าซัลไฟด์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอชที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณซัลไฟด์ในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าแตกต่างกัน โดยที่ค่าพีเอช 7 มีปริมาณซัลไฟด์ของน้ำที่ออกจากระบบมากที่สุด แสดงว่าถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 7 สามารถกำจัดซัลเฟตได้มากที่สุด แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการกำจัดซัลเฟตที่มากขึ้นเนื่องจากซัลเฟตจะเปลี่ยนรูปเป็นซัลไฟด์ตามหัวข้อตรวจเอกสารทฤษฎีที่ได้กล่าวมา และประกอบกับจำนวนแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่สามารถกำจัดซัลเฟตได้มากที่สุดสำหรับถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 7 ส่วนถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5, 6 และ 8.5 มีปริมาณซัลไฟด์ของน้ำที่ออกจากระบบค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟต

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.11 ปริมาณซัลไฟด์ตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.12 ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

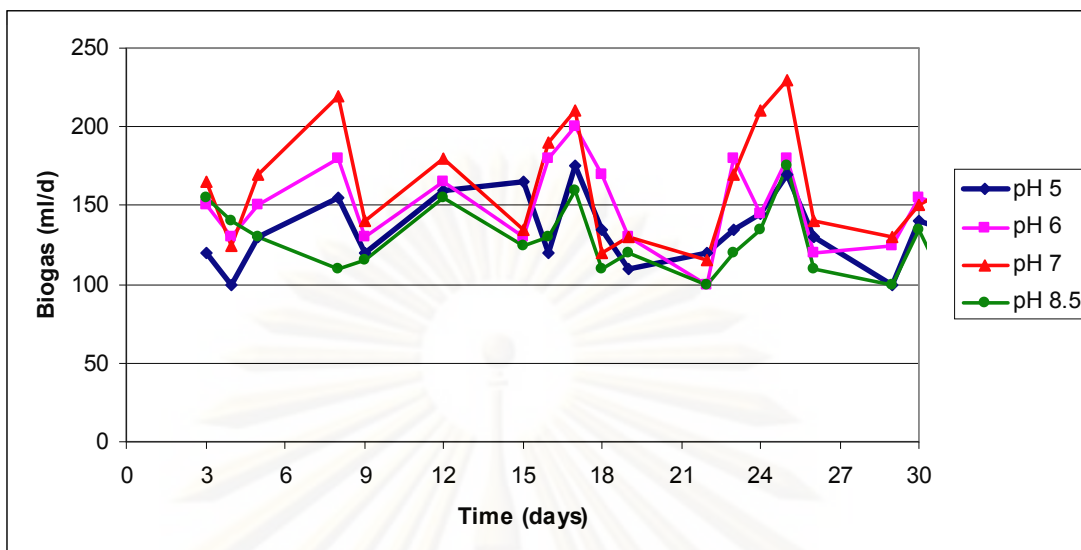
4.1.1.9 ก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่ค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 ของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.13

จากตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.13 จะพบว่า ในช่วงแรกๆ ของการเริ่มต้นเดินระบบนั้น ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีไม่มากนัก เนื่องจากเป็นช่วงปรับตัวของจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้อัตราการใช้สารอินทรีย์ในช่วงแรกนี้จึงมีไม่มากนัก เมื่อสารอินทรีย์ถูกใช้ในปริมาณน้อย ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณน้อยตามไปด้วย แต่เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเริ่มมีเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้การที่น้ำเสียมีซัลเฟตอยู่ด้วย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นนั้น จะส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงได้ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความสามารถในการละลายน้ำสูงมาก ทำให้อยู่ในรูปละลายน้ำมากกว่าอยู่ในรูปก๊าซ

จากงานวิจัยของ (ชนิษฐา หทัยสมิทธิ์, 2547) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มาจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นเช่นเดียวกันโดยใช้ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีน้อยมาก โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณ 300 – 500 มิลลิลิตรต่อวัน ซึ่งสอดคล้องกับวิจัยนี้ที่มีปริมาณก๊าซชีวภาพค่อนข้างน้อยเช่นเดียวกัน นอกจากนี้จากการที่ pH 7 มีปริมาณก๊าซมากนั้น อาจเกิดจากอยู่ในช่วงที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถทำงานได้ดี จากการศึกษาของ (McCarty, 1964) ได้กล่าวไว้ว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วง 6.6. – 7.6 และเนื่องจากอัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์ต่ำ ทำให้ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์จากน้ำเสียน้ำยางชั้นมีค่าค่อนข้างน้อย ซึ่งจะทำให้เห็นว่าอัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์ส่งผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบ ตารางที่ 4.10 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5
ค่าต่ำสุด	100	100	115	100
ค่าสูงสุด	175	200	230	175
ค่าเฉลี่ย	135	151	164	128



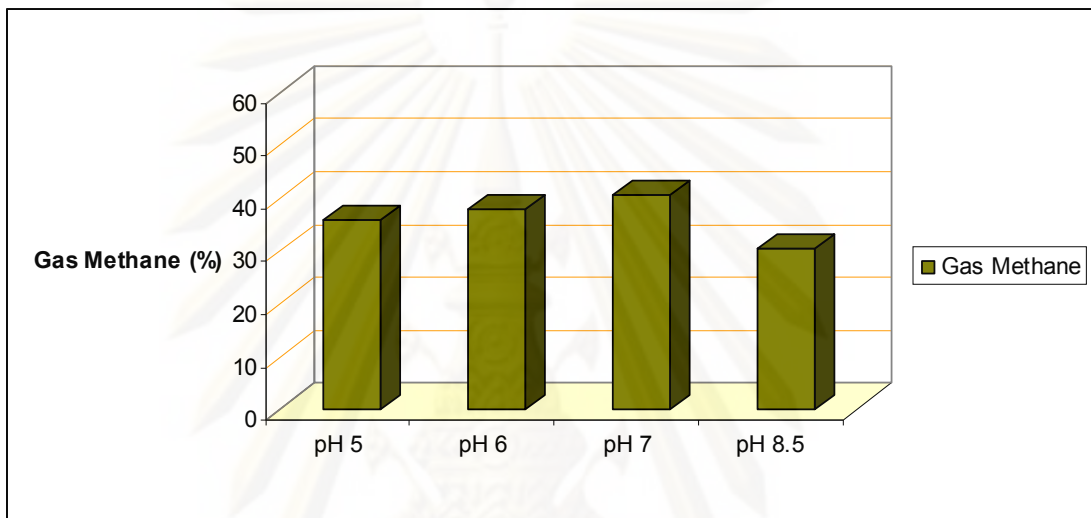
ภาพที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรจุทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.1.10 สัดส่วนก๊าซมีเทน

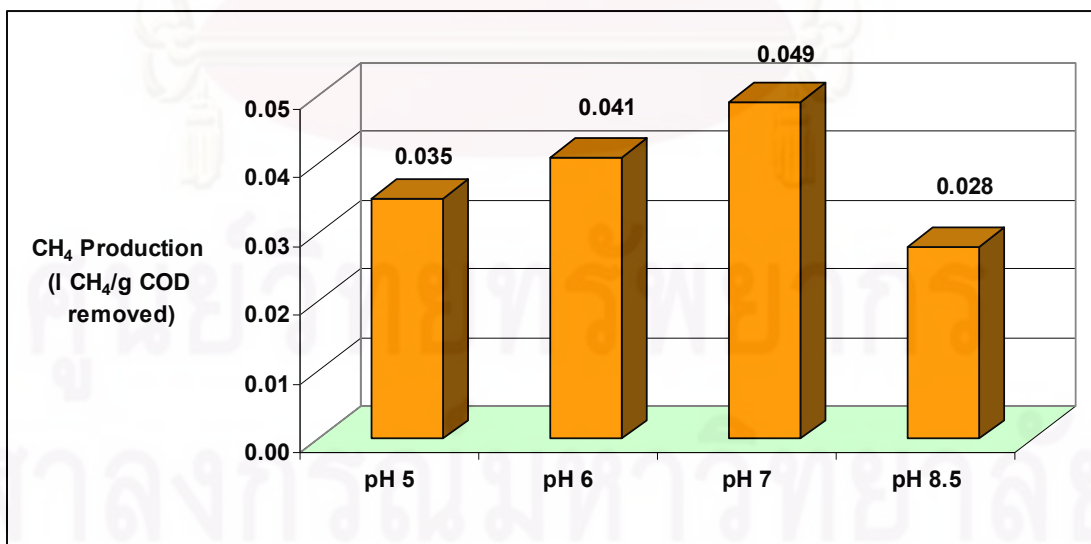
สัดส่วนก๊าซมีเทนของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่ค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 ของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยอัตราภาวะบรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีสัดส่วนก๊าซมีเทนเท่ากับ 35.83, 37.78, 40.45 และ 30.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สัดส่วนก๊าซมีเทนของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.14 ส่วนอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.035, 0.041, 0.049 และ 0.028 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด แสดงดังภาพที่ 4.15 ตารางที่ 4.11 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

สัดส่วน ก๊าซ มีเทน(%)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8.5
	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง
ค่าเฉลี่ย	35.83	37.78	40.45	30.39

จากการทดลองนี้ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีน้อยมาก โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 200 – 500 มิลลิลิตรต่อวัน และเมื่อนำไปวิเคราะห์สัดส่วนก๊าซมีเทน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.14 จะเห็นว่ามีสัดส่วนก๊าซมีเทนค่อนข้างน้อย ซึ่งสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ดีควรมีค่าประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนถูกยับยั้งการทำงานจากซัลเฟตและซัลไฟด์ที่มากับน้ำเสีย



ภาพที่ 4.14 สัดส่วนก๊าซมีเทนตลอดการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราการบรรจทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.15 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด (อัตราการบรรจทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.2 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นโดยระบบยูเอเอสบี (ช่วงการทดลองที่ 2)

การทดลองนี้เป็นการทดลองในช่วงที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเปรียบเทียบผลของพีเอชและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการลดค่าพีเอชและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น โดยกำหนดค่าพีเอชเหมือนกับช่วงที่ 1 และทำการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ตามลำดับ คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดีในช่วงการทดลองนี้เท่ากับ 2,000 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ตลอดการทดลองทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.12 – 4.14 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย โดยคำนวณเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State) ซึ่งสามารถจำแนกตามตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

พารามิเตอร์	อัตราภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน								
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5		
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	5.00	8.10	6.00	8.24	7.00	8.33	8.50	8.43
	SD.	(0.00)	(0.35)	(0.00)	(0.25)	(0.00)	(0.25)	(0.00)	(0.27)
อุณหภูมิ (temperature)	เฉลี่ย	26.1	26.4	26.0	26.5	26.0	26.6	26.0	26.6
(องศาเซลเซียส)	SD.	(1.4)	(1.6)	(1.4)	(1.5)	(1.4)	(1.5)	(1.4)	(1.4)
สภาพด่าง (Alkalinity)	เฉลี่ย	284	363	378	446	441	478	408	483
(มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต)	SD.	(113)	(97)	(119)	(105)	(143)	(146)	(111)	(130)
กรดไขมันระเหย (VFA)	เฉลี่ย	1,117	417	1,147	504	1,083	424	1,064	465
(มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของกรดอะซิติก)	SD.	(440)	(233)	(442)	(284)z	(379)	(250)	(342)	(211)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	0.25	-	0.37	-	0.42	-	0.40	-
	SD.	(0.06)	-	(0.13)	-	(0.07)	-	(0.10)	-
ของแข็งแขวนลอย (SS)	เฉลี่ย	138	53	138	46	138	46	138	49
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(27)	(18)	(27)	(17)	(27)	(12)	(97)	(15)
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย	เฉลี่ย	-	62.42	-	66.22	-	67.51	-	64.72
	SD.	-	(7.95)	-	(9.93)	-	(3.20)	-	(4.97)
ซีไอดี (COD)	เฉลี่ย	2,205	653	2,205	625	2,205	488	2,205	578
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(294)	(404)	(294)	(362)	(294)	(372)	(294)	(368)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย	-	71.54	-	72.82	-	79.19	-	75.22
	SD.	-	(14.63)	-	(12.69)	-	(13.01)	-	(13.86)
ซัลเฟต (SO ₄ ²⁻)	เฉลี่ย	238	133	238	135	238	131	238	127
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(60)	(59)	(60)	(57)	(60)	(53)	(60)	(51)
ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย	-	45.60	-	43.89	-	45.89	-	47.55
	SD.	-	(14.39)	-	(16.27)	-	(12.71)	-	(12.45)
ซัลไฟด์ (S ²⁻)	เฉลี่ย	5.59	29.11	5.59	30.01	5.59	40.33	5.59	23.33
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(1.81)	(10.49)	(1.81)	(8.53)	(1.81)	(9.65)	(1.81)	(6.58)
ก๊าซชีวภาพ (Biogas)	เฉลี่ย	-	197	-	209	-	310	-	255
(มิลลิลิตรต่อวัน)	SD.	-	(22)	-	(34)	-	(49)	-	(58)

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

พารามิเตอร์	อัตราภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน								
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5		
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	5.00	8.08	6.00	8.28	7.00	8.44	8.50	8.56
	SD.	(0.00)	(0.07)	(0.00)	(0.12)	(0.00)	(0.11)	(0.00)	(0.08)
อุณหภูมิ (temperature)	เฉลี่ย	27.8	28.7	27.9	28.7	27.9	28.7	28.0	28.7
(องศาเซลเซียส)	SD.	(1.30)	(1.13)	(1.30)	(1.21)	(1.30)	(1.08)	(1.30)	(1.29)
สภาพด่าง (Alkalinity)	เฉลี่ย	534	952	652	1,118	766	1,249	883	1,319
(มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต)	SD.	(58)	(66)	(61)	(50)	(47)	(81)	(94)	(57)
กรดไขมันระเหย (VFA)	เฉลี่ย	1,137	661	1,200	617	1,242	609	1,244	581
(มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของกรดอะซิติก)	SD.	(106)	(37)	(66)	(85)	(90)	(96)	(149)	(124)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	0.47	0.69	0.54	0.55	0.62	0.49	0.71	0.44
	SD.	(0.03)	(0.06)	(0.05)	(0.04)	(0.05)	(0.03)	(0.06)	(0.02)
ของแข็งแขวนลอย (SS)	เฉลี่ย	251	151	251	109	251	80	251	110
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(26)	(8)	(26)	(23)	(26)	(9)	(26)	(22)
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย	เฉลี่ย	-	39.39	-	56.63	-	67.18	-	55.89
	SD.	-	(6.25)	-	(7.69)	-	(5.86)	-	(9.16)
ซีไอดี (COD)	เฉลี่ย	3,981	1,665	3,981	1,366	3,981	1,105	3,981	1,599
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(482)	(319)	(482)	(292)	(482)	(226)	(482)	(377)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย	-	57.84	-	63.92	-	72.59	-	60.32
	SD.	-	(9.68)	-	(9.58)	-	(5.34)	-	(9.11)
ซัลเฟต (SO_4^{2-})	เฉลี่ย	253	125	253	102	253	89	253	132
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(17)	(23)	(17)	(22)	(17)	(17)	(17)	(28)
ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย	-	50.70	-	59.64	-	64.79	-	47.87
	SD.	-	(7.66)	-	(7.87)	-	(4.66)	-	(10.10)
ซัลไฟด์ (S^2)	เฉลี่ย	38.70	46.61	38.70	52.86	38.70	64.87	38.70	42.63
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(7.79)	(10.67)	(7.79)	(11.64)	(7.79)	(11.12)	(7.79)	(9.84)
ก๊าซชีวภาพ (Biogas)	เฉลี่ย	-	369	-	367	-	422	-	403
(มิลลิลิตรต่อวัน)	SD.	-	(43)	-	(30)	-	(52)	-	(39)

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

พารามิเตอร์	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน								
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5		
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	5.00	7.21	6.00	8.36	7.00	8.47	8.50	8.56
	SD.	(0.00)	(0.76)	(0.00)	(0.05)	(0.00)	(0.03)	(0.00)	(0.06)
อุณหภูมิ (temperature)	เฉลี่ย	30.0	30.9	30.0	30.7	30.0	30.7	30.0	30.8
(องศาเซลเซียส)	SD.	(0.7)	(0.5)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.8)
สภาพด่าง (Alkalinity)	เฉลี่ย	1,290	1,612	1,405	2,085	1,607	2,207	1,769	2,259
(มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต)	SD.	(188)	(148)	(105)	(352)	(116)	(232)	(76)	(287)
กรดไขมันระเหย (VFA)	เฉลี่ย	2,235	1,746	2,171	1,449	2,296	1,234	2,211	1,219
(มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของกรดอะซิติก)	SD.	(134)	(214)	(209)	(118)	(170)	(253)	(138)	(293)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	0.58	1.08	0.65	0.69	0.70	0.56	0.80	0.54
	SD.	(0.08)	(0.08)	(0.06)	(0.06)	(0.07)	(0.08)	(0.06)	(0.08)
ของแข็งแขวนลอย (SS)	เฉลี่ย	517	360	517	321	517	285	517	318
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(59)	(39)	(59)	(44)	(59)	(36)	(59)	(33)
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย	เฉลี่ย	-	29.98	-	37.43	-	44.88	-	38.43
	SD.	-	(9.42)	-	(5.54)	-	(3.18)	-	(1.66)
ซีไอดี (COD)	เฉลี่ย	6,872	5,097	6,872	3,939	6,872	3,510	6,872	3,581
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(544)	(1546)	(544)	(967)	(544)	(918)	(544)	(984)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย	-	26.79	-	43.11	-	49.29	-	48.38
	SD.	-	(20.00)	-	(12.53)	-	(11.91)	-	(12.87)
ซัลเฟต (SO_4^{2-})	เฉลี่ย	501	303	501	251	501	226	501	255
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(38)	(46)	(38)	(86)	(38)	(72)	(38)	(77)
ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย	-	39.32	-	50.59	-	55.41	-	49.81
	SD.	-	(9.19)	-	(14.88)	-	(12.62)	-	(14.09)
ซัลไฟด์ (S^2)	เฉลี่ย	60.37	74.31	60.37	89.18	60.37	92.05	60.37	83.79
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD.	(11.91)	(12.35)	(11.91)	(15.50)	(11.91)	(13.01)	(11.91)	(10.81)
ก๊าซชีวภาพ (Biogas)	เฉลี่ย	-	175	-	437	-	497	-	468
(มิลลิลิตรต่อวัน)	SD.	-	(99)	-	(40)	-	(61)	-	(40)

4.1.2.1 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำเสียค่าอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบสำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยน้ำออกที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.10, 8.24, 8.33 และ 8.43 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.08, 8.28, 8.44 และ 8.56 ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.21, 8.36, 8.47 และ 8.56 ตามลำดับ ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.15 – 4.17 และภาพที่ 4.16 – 4.18

ตารางที่ 4.15 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

พีเอช	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	-	7.57	-	7.76	-	7.90	-	7.87
ค่าสูงสุด	-	8.61	-	8.62	-	8.85	-	9.05
ค่าเฉลี่ย	5.00	8.10	6.00	8.24	7.00	8.33	8.50	8.43

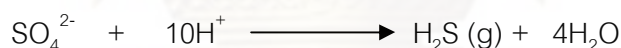
ตารางที่ 4.16 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

พีเอช	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	-	7.95	-	8.06	-	8.25	-	8.46
ค่าสูงสุด	-	8.19	-	8.49	-	8.63	-	8.73
ค่าเฉลี่ย	5.00	8.08	6.00	8.28	7.00	8.44	8.50	8.56

ตารางที่ 4.17 ค่าพีเอชของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

พีเอช	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	-	5.73	-	8.26	-	8.39	-	8.48
ค่าสูงสุด	-	8.18	-	8.42	-	8.53	-	8.70
ค่าเฉลี่ย	5.00	7.21	6.00	8.36	7.00	8.47	8.50	8.56

จากตารางที่ 4.15 – 4.17 และภาพที่ 4.14 - 4.16 จะเห็นได้ว่า ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ มีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของน้ำเข้าระบบ การที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกมีค่าเพิ่มมากขึ้นนั้น เนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยพวกแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน ซึ่งจะมีการนำไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไปใช้ในปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ (S^{2-}) สมการการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงดังนี้

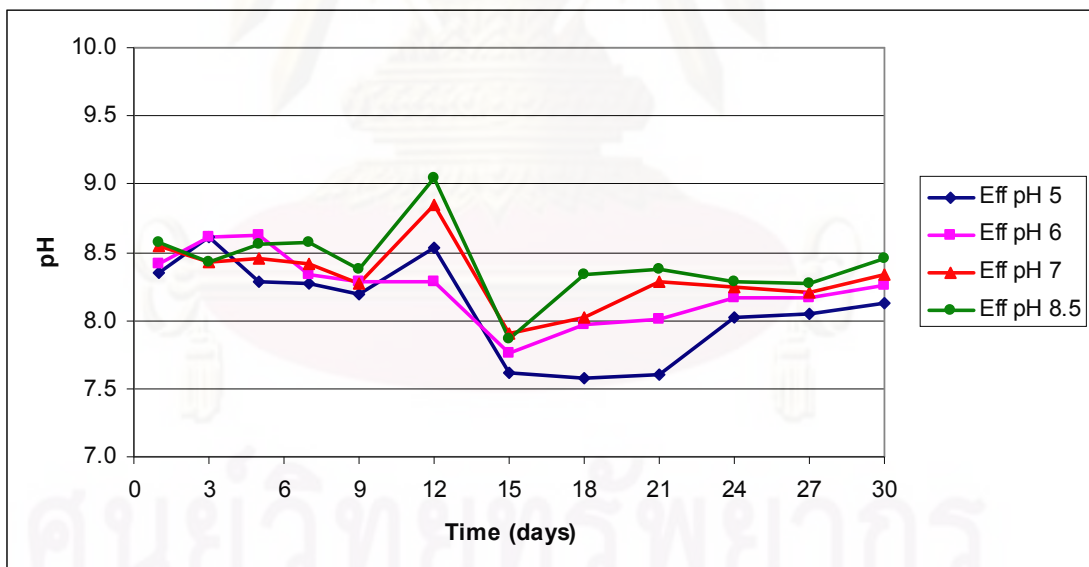


- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของค่าพีเอชน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ โดยที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.10, 8.24, 8.33 และ 8.43 ตามลำดับ การที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นนั้น อาจมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในการปรับพีเอชของน้ำที่เข้าระบบ และการเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันดังที่ได้กล่าวข้างต้น เนื่องจากในน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นมีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ

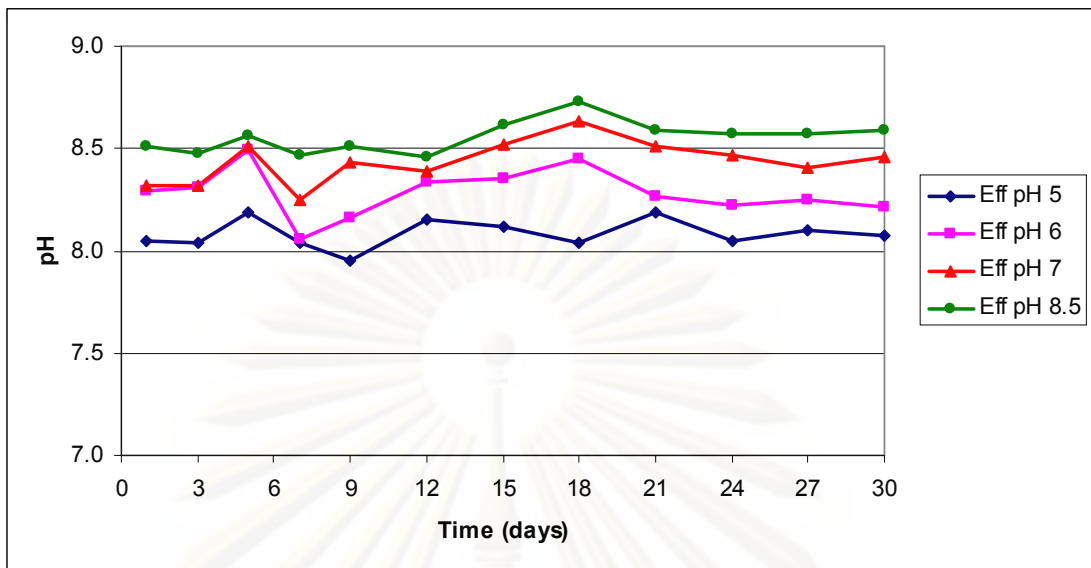
- อัตราการระบวรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของค่าพีเอชน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.08, 8.28, 8.44 และ 8.56 ตามลำดับ การที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นนั้น อาจมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในการปรับพีเอชของน้ำที่เข้าระบบ และการเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันดังที่ได้กล่าวข้างต้น เนื่องจากในน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยาล้างพิมพ์มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ ช่วง 6.6 – 7.6 แต่เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในระบบก็มีค่าต่ำ โดยอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในระบบของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่มีค่าพีเอชเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ มีค่าเป็น 0.69, 0.55, 0.49 และ 0.44 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ pH 5, 6, 7 และ 8.5 มีค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพทั้งหมดมีค่าสูงกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบำบัดที่ต่ำ แต่ถึงอย่างไรก็ตามค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพทั้งหมดไม่ควรเกิน 0.8

- อัตราการระบวรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของค่าพีเอชน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.21, 8.36, 8.47 และ 8.56 ตามลำดับ การที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นนั้น อาจมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในการปรับพีเอชของน้ำที่เข้าระบบ และการเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันดังที่ได้กล่าวข้างต้น เนื่องจากในน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยาล้างพิมพ์มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ จากการศึกษาของ (McCarty, 1964) กล่าวว่าไว้ว่าค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ของระบบที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 6.6 – 7.6 (Dague และ Hopkins, 1970) พบว่า ถ้าพีเอชของระบบมีค่าต่ำกว่า 6.2 จะทำให้เกิดไฮโดรเจนอิออนมาก ซึ่งเป็นพิษอย่างรุนแรงต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนและทำให้ระบบล้มเหลวได้ แต่เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในระบบก็มีค่าต่ำ โดยอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในระบบของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่มีค่าพีเอชเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ มีค่าเป็น 1.08, 0.69, 0.56 และ 0.54 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ pH 6, 7 และ 8.5 มีค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพทั้งหมดมีค่าสูงกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบำบัดที่ต่ำ แต่ถึงอย่างไรก็ตามค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพทั้งหมดไม่ควรเกิน 0.8 ส่วน pH 5 พบว่าสูงถึง 1.08 ซึ่งแสดงว่าระบบไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรีย สอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีได้น้อยลง

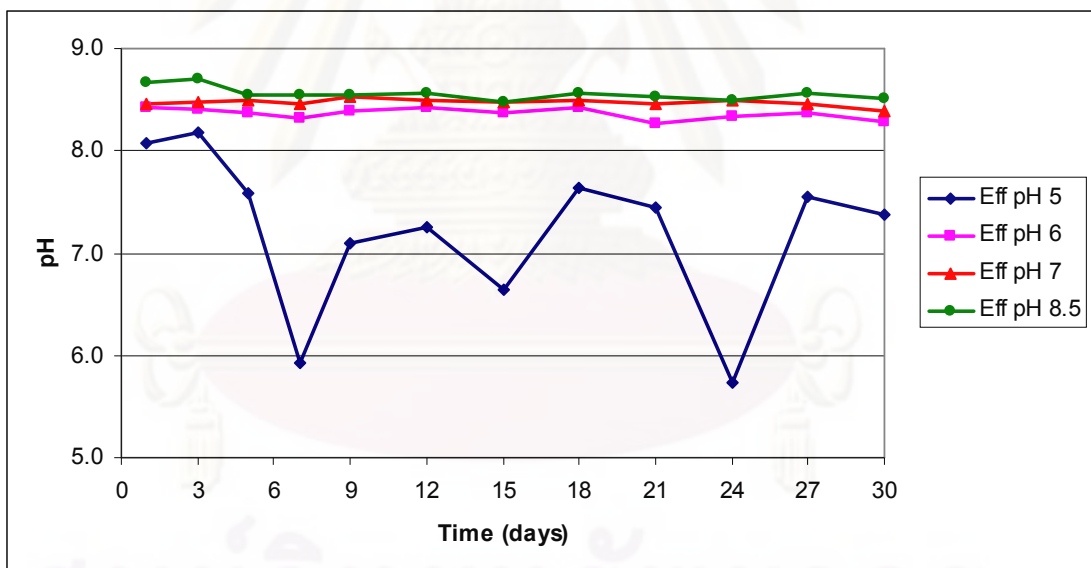
จากผลการทดลองดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (อลิสรา วงศ์กิตติวิมล, 2543) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียประเภทเดียวกันแต่ใช้ถังปฏิกรณ์ไฮบริดแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดของถังปฏิกรณ์แล้วจะมีพีเอชและความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งแสดงว่าการบำบัดน้ำเสียประเภทนี้จะเกิดความเป็นด่างในระบบขึ้นเองได้ จึงทำให้พีเอชของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าน้ำที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชค่อนข้างสูง แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าที่ pH 5 น้ำที่ออกจากระบบแตกต่างจากถังปฏิกรณ์อื่นๆ คือ pH ลดลงอย่างรวดเร็ว อาจเนื่องมาจากการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้กับระบบ ทำให้ระบบไม่สามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นได้ สังเกตเห็นว่าภายในระบบแบคทีเรียไม่สามารถทำงานได้ (Shock Load) ในสภาวะที่มีความเป็นกรดมาก ๆ โดยน้ำที่ออกจากระบบจะมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นเหมือนกับน้ำเข้า ซึ่งโดยปกติน้ำที่ออกจากระบบจะมีลักษณะใส หรืออาจเกิดจากการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เข้าไปในระบบ ทำให้กำดั่งบัพเฟอร์ลดลงอย่างรวดเร็ว และสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้เพียง 10 – 20 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.16 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.17 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.18 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.2 อุณหภูมิ (Temperature)

ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียค่าอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบสำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยน้ำเข้าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 26.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 26.4, 26.5, 26.6 และ 26.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน น้ำเข้ามีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.7, 28.7, 28.9 และ 28.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน น้ำเข้ามีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.9, 30.7, 30.7 และ 30.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.18 – 4.20 และภาพที่ 4.19 – 4.21 ตารางที่ 4.18 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	23.1	23.4	23.1	23.7	23.1	23.7	23.1
ค่าสูงสุด	28.1	28.3	28.1	28.2	28.1	28.4	28.1	28.4
ค่าเฉลี่ย	26.0	26.4	26.0	26.5	26.0	26.6	26.0	26.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	25.2	26.3	25.2	26.3	25.2	26.7	25.2
ค่าสูงสุด	29.1	30.1	29.1	29.8	29.1	30.2	29.1	30.1
ค่าเฉลี่ย	27.9	28.7	27.9	28.7	27.9	28.9	27.9	28.8

ตารางที่ 4.20 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

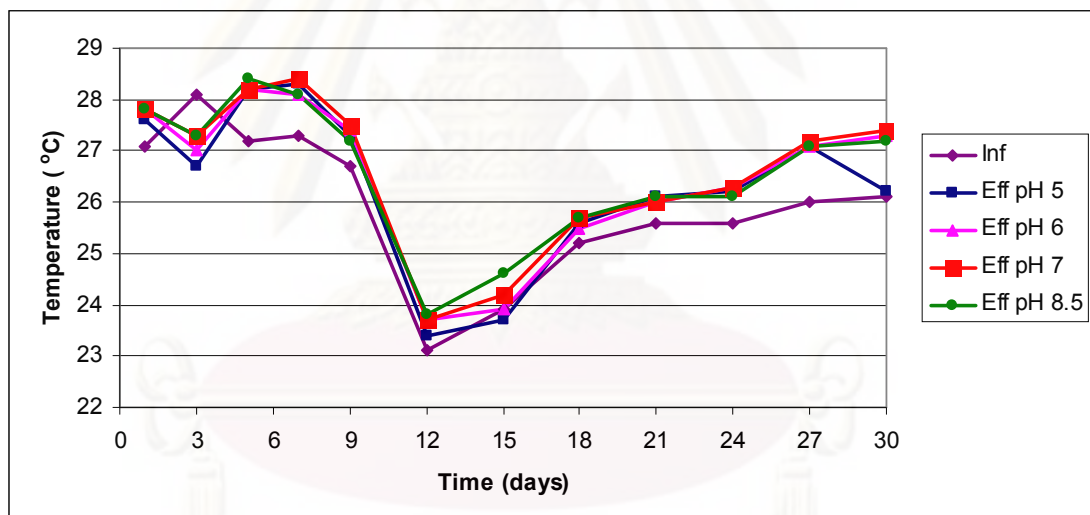
อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	28.7	29.7	28.7	29.4	28.7	29.4	28.7
ค่าสูงสุด	31.1	31.5	31.1	31.4	31.1	31.5	31.1	31.5
ค่าเฉลี่ย	29.9	30.9	29.9	30.7	29.9	30.7	29.9	30.8

- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.18 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกของทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าอุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกที่ต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลซึ่งจะอยู่ในช่วงฤดูหนาว อย่างไรก็ตาม ค่าอุณหภูมิตลอดการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ อยู่ในช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 45 องศาเซลเซียส

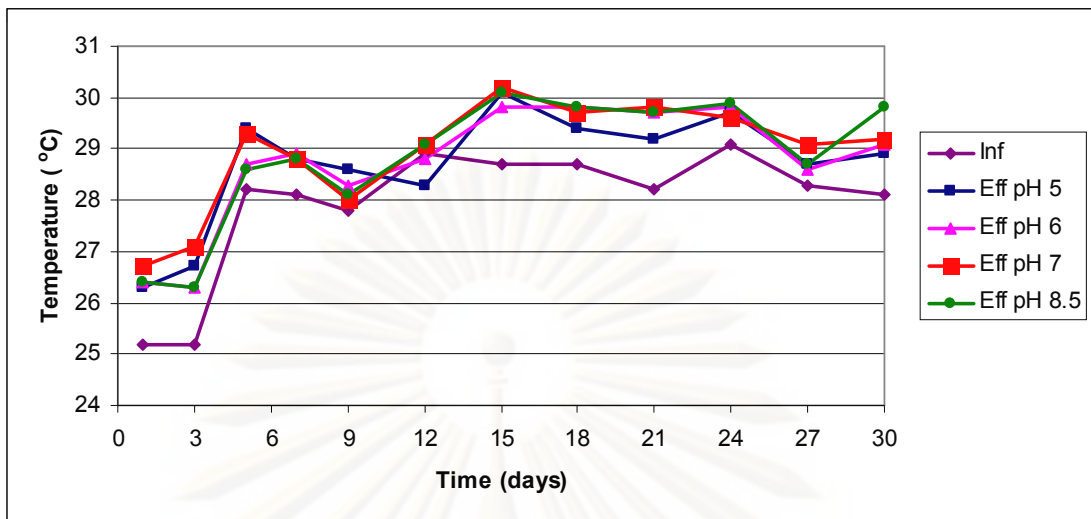
- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกของทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล

จะอยู่ในช่วงฤดูร้อน สภาพอากาศบริเวณภายนอกจึงส่งผลต่ออุณหภูมิน้ำในการทดลองได้เช่นกัน ซึ่งค่าอุณหภูมิตลอดการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ อยู่ในช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 45 องศาเซลเซียส

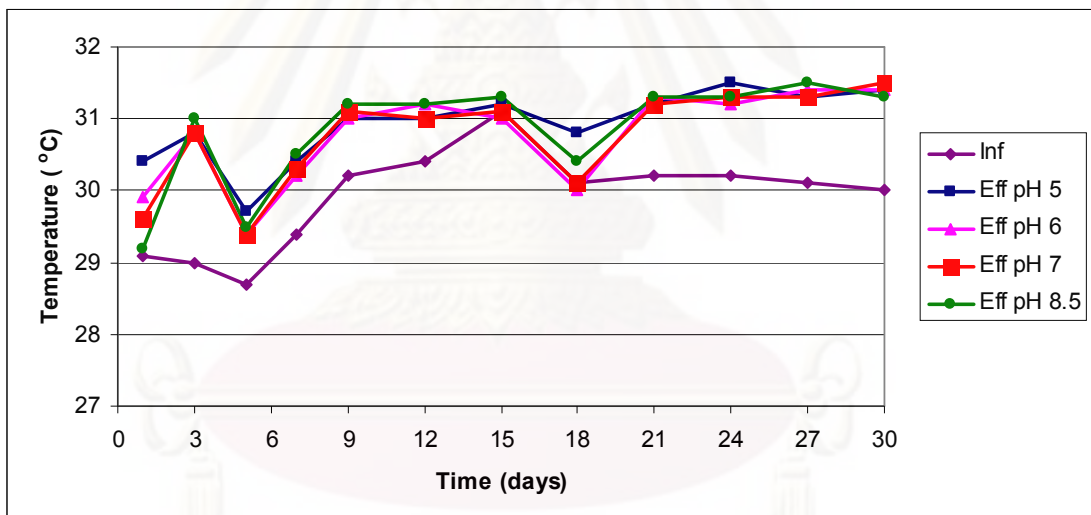
- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากตารางที่ 4.20 และภาพที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกของถัง 4 ถึงปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล จะอยู่ในช่วงฤดูร้อน สภาพอากาศบริเวณภายนอกจึงส่งผลต่ออุณหภูมิน้ำในการทดลองได้เช่นกัน ซึ่งค่าอุณหภูมิตลอดการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ อยู่ในช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.19 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.20 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.21 ค่าอุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.2.3 สภาพต่างทั้งหมด (Alkalinity)

ค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียค่าอุตสาหกรรมน้ำอย่างขึ้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบสำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยน้ำเข้าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 284, 378, 441 และ 408 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 363,

446, 478 และ 483 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ น้ำเข้าที่อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 534, 652, 766 และ 883 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 952, 1,118, 1,249 และ 1,319 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และน้ำเข้าที่อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 1,290, 1,405, 1,607 และ 1,769 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 1,612, 2,085, 2,207 และ 2,259 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองครั้งที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.21 – 4.23 และภาพที่ 4.22 – 4.24

ตารางที่ 4.21 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	113	225	175	300	200	300	225	325
ค่าสูงสุด	469	535	462	531	557	635	513	663
ค่าเฉลี่ย	284	363	378	446	441	478	408	483

ตารางที่ 4.22 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	435	878	552	1,065	695	1,138	715	1,235
ค่าสูงสุด	605	1,070	743	1,215	831	1,378	995	1,405
ค่าเฉลี่ย	534	952	652	1,118	766	1,249	883	1,319

ตารางที่ 4.23 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

สภาพต่าง ทั้งหมด (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	1,215	1,456	1,228	1,882	1,338	2,018	1,625
ค่าสูงสุด	1,685	1,882	1,557	2,919	1,719	2,737	1,856	2,950
ค่าเฉลี่ย	1,290	1,612	1,405	2,085	1,607	2,207	1,769	2,259

สภาพต่างมีความสำคัญต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียมาก เนื่องจากเป็นตัวควบคุมและรักษาพีเอชของน้ำเสียในถึงปฏิกรณ์ให้มีค่าคงที่ โดยเฉพาะในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน กระบวนการในการทำงานของระบบจะมีขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหย ดังนั้นหากสภาพต่างมีค่าไม่เพียงพอจะทำให้พีเอชลดต่ำลงจนทำให้ระบบล้มเหลวได้

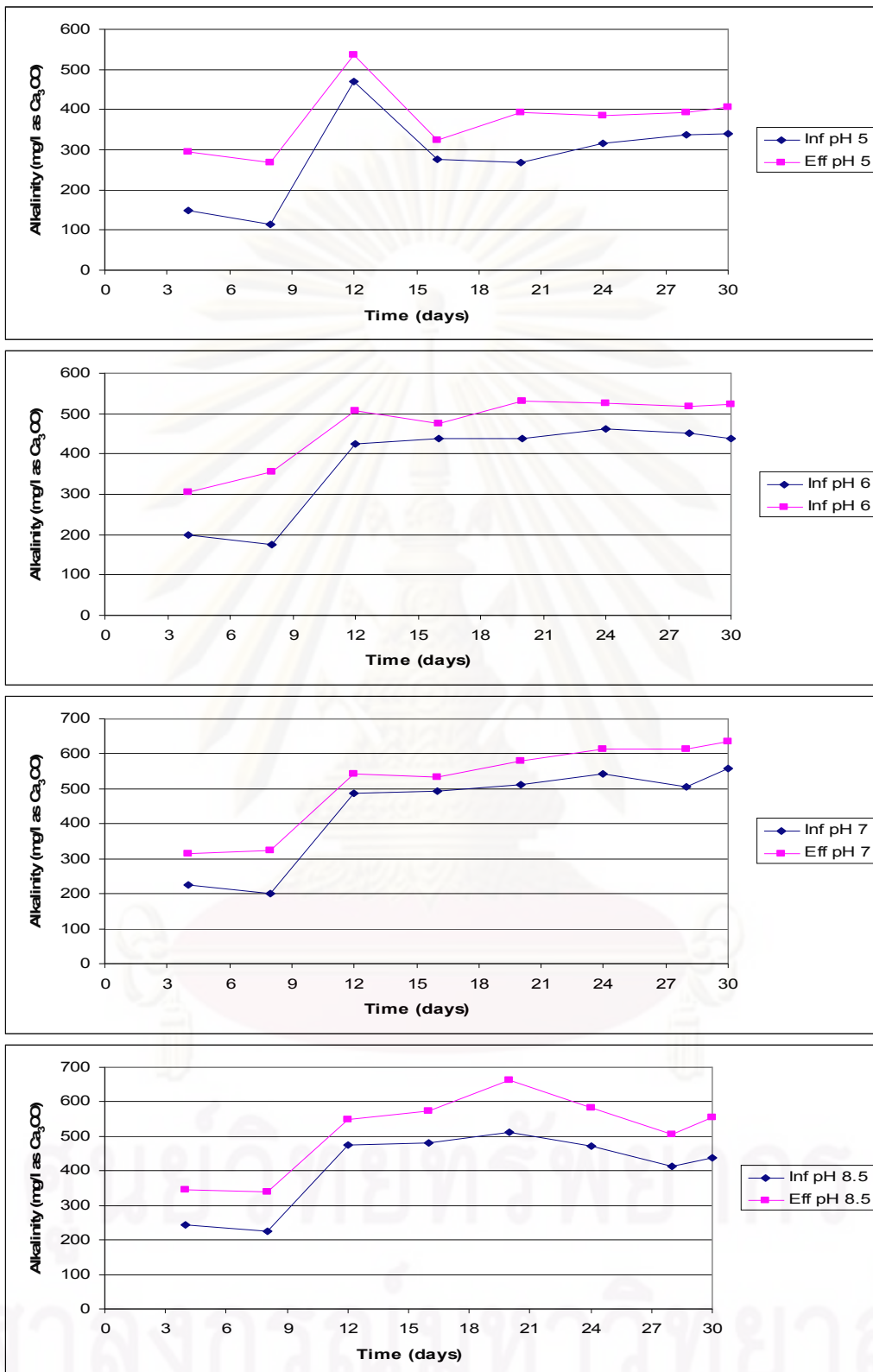
จากตารางที่ 4.21 – 4.23 และภาพที่ 4.22 – 4.24 จะเห็นได้ว่า จากความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต จากการศึกษาของ (McCarty, 1964) ค่าความเป็นต่างในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ในระบบไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อป้องกันไม่ให้ pH ลดต่ำลงจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบ

- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยน้ำเข้ามีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 284, 378, 441 และ 408 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 363, 446, 478 และ 483 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่เข้าระบบจะมีค่าต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้ว่าค่าสภาพต่างทั้งหมดในน้ำเข้าที่ทำการทดลอง จะต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อพิจารณาจากพีเอชน้ำออกจากระบบ พีเอชไม่ได้ลดลงไปจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบ และเมื่อพิจารณาค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำออกที่ค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 ระบบมีค่าเฉลี่ยของน้ำออกเพิ่มขึ้น ซึ่งเห็นว่ามีค่าสูงกว่าในน้ำเข้า แสดงว่าระบบมีการสร้างความเป็นต่างขึ้นเอง ดังนั้นจึงมีบัฟเฟอร์เพียงพอถึงแม้ว่าค่าความเป็นต่างในน้ำเข้ามีค่าต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

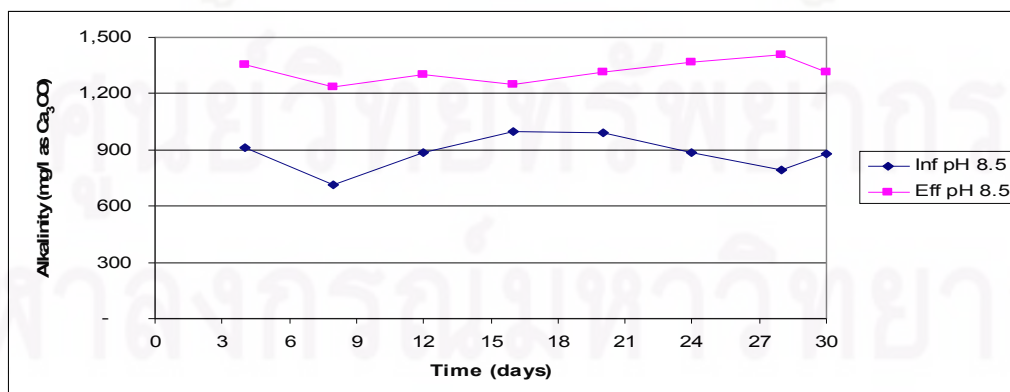
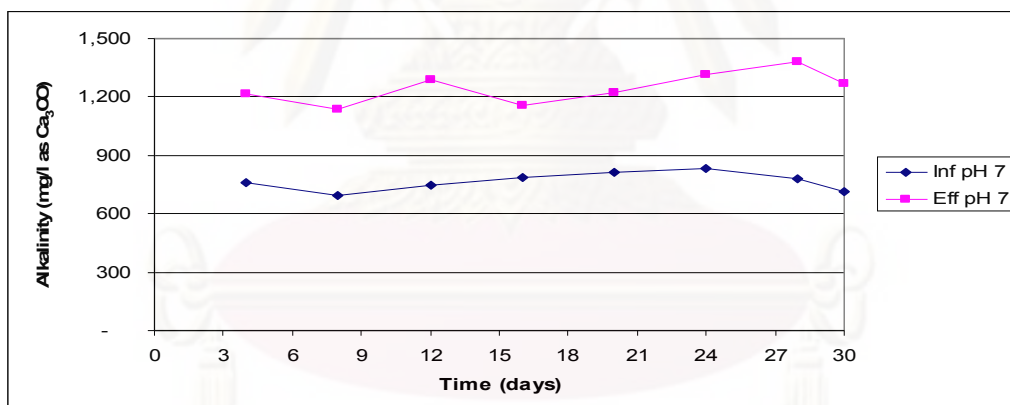
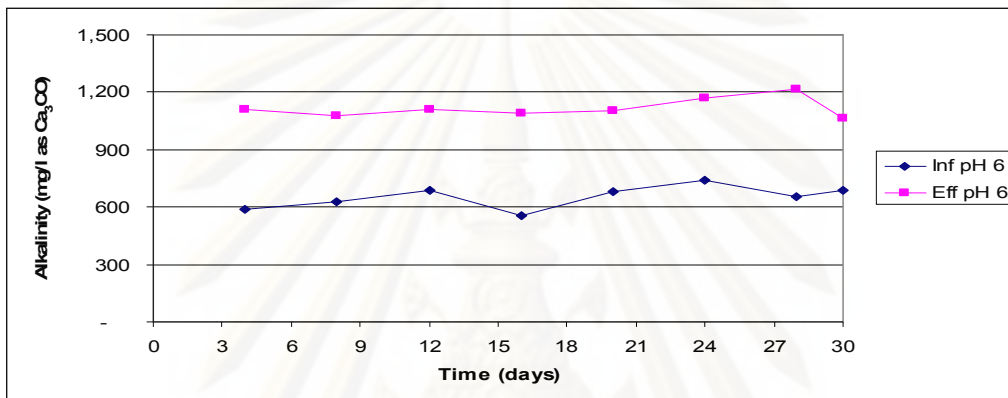
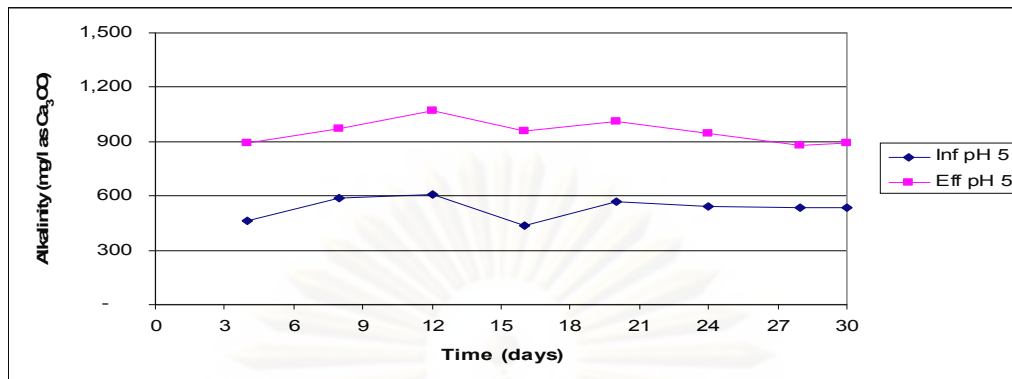
- อัตราการระบวรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ โดยที่ถึงปฏิบัติการที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยน้ำเข้ามีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 534, 652, 766 และ 883 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 952, 1,118, 1,249 และ 1,319 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่เข้าระบบจะมีค่าต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกันกับที่ความเข้มข้นของซีไอดีเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเห็นว่าน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่าในน้ำเข้า แสดงว่าระบบมีการสร้างความเป็นต่างขึ้นเอง ดังนั้นจึงมีบัพเฟออร์เพียงพอถึงแม้ว่าค่าความเป็นต่างในน้ำเข้ามีค่าต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

- อัตราการระบวรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ โดยที่ถึงปฏิบัติการที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยน้ำเข้ามีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 1,290, 1,405, 1,607 และ 1,769 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 1,612, 2,085, 2,207 และ 2,259 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่เข้าระบบจะมีค่าสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงทำให้ระบบมีกำลังบัพเฟออร์เพียงพอ

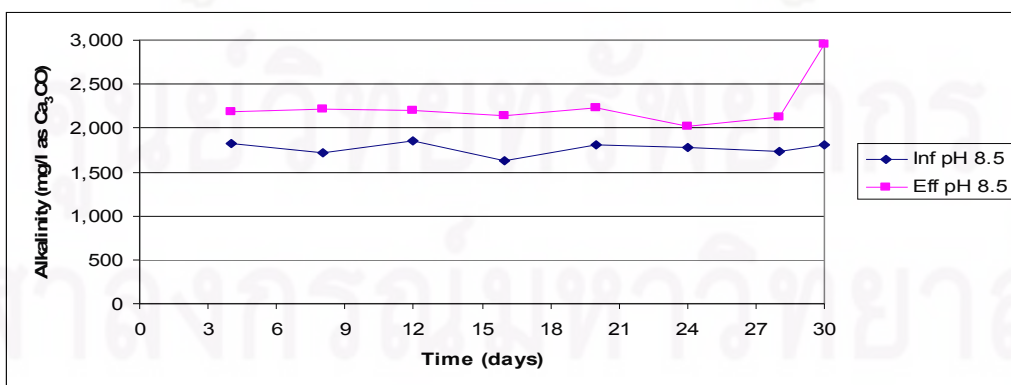
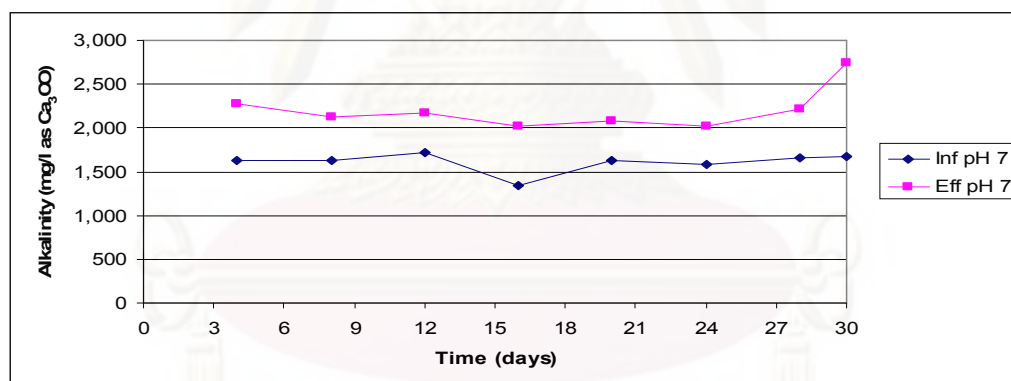
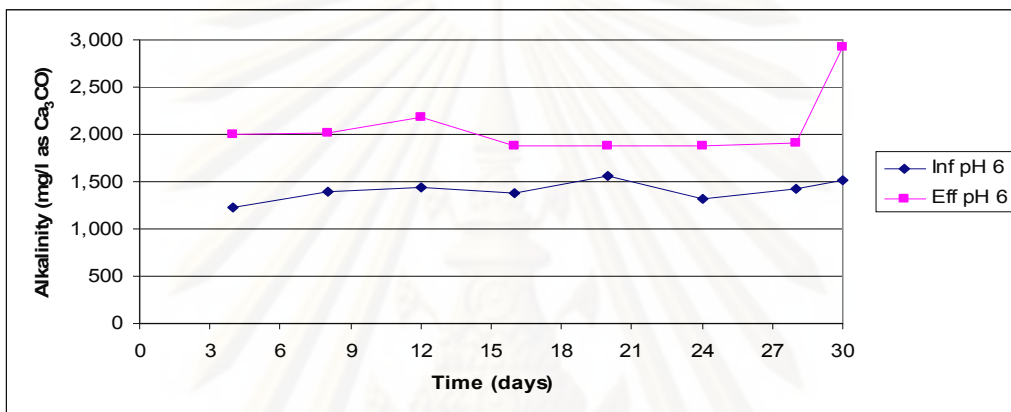
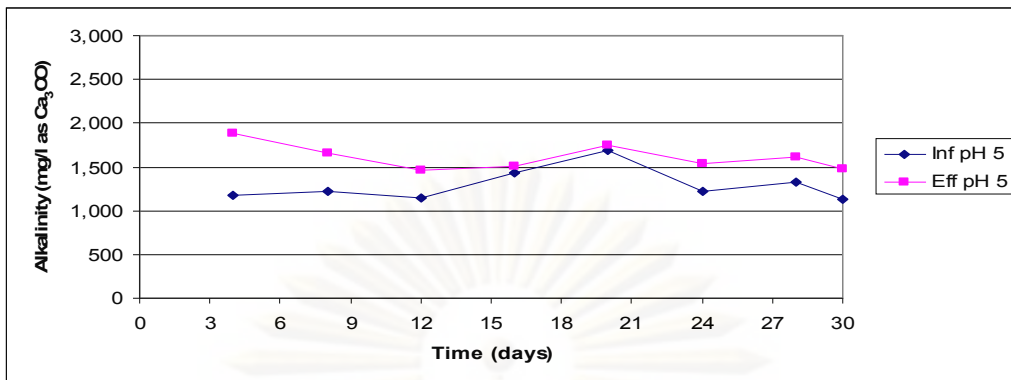
นอกจากนี้ค่าความเป็นต่างที่เกิดขึ้นเองในระบบนั้น ส่วนหนึ่งมาจากไบคาร์บอเนต และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-) ที่เกิดขึ้นในระบบจากปฏิกิริยารีดักชันซัลเฟตที่มีในน้ำเข้าระบบ โดยแบคทีเรียกลุ่ม Sulfate Reducing Bacteria (SRB) (Oleszkiewich, 1986) และเป็นที่น่าสังเกตว่าแนวโน้มสภาพต่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ ซึ่งเป็นไปตามสมการการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีซัลเฟตเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ได้ซัลไฟด์และสภาพต่างเป็นผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 4.22 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.23 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.24 ค่าสภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.2.4 กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid)

ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียค่าอุตสาหกรรมน้ำอย่างชั้นที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบสำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.24 – 4.26 และภาพที่ 4.25 – 4.27 ตารางที่ 4.24 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

กรดไขมัน ระเหย (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	550	75	300	75	387	50	531
ค่าสูงสุด	1,363	863	1,463	875	1,375	713	1,375	725
ค่าเฉลี่ย	1,117	417	1,147	504	1,083	424	1,064	465

ตารางที่ 4.25 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

กรดไขมัน ระเหย (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	1,025	612	1,105	512	1,093	547	1,015
ค่าสูงสุด	1,335	715	1,283	793	1,385	835	1,045	867
ค่าเฉลี่ย	1,137	661	1,200	617	1,242	609	1,244	581

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.26 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

กรดไขมัน ระเหย (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4	
	pH 5		pH 6		pH 7		pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	2,025	1,400	2,015	1,300	2,028	875	2,062	813
ค่าสูงสุด	2,419	2,038	2,563	1,665	2,593	1,562	2,488	1,615
ค่าเฉลี่ย	2,235	1,746	2,171	1,449	2,296	1,234	2,211	1,219

- อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของกรดไขมันระเหยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยน้ำเข้ามีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 1,117, 1,147, 1,083 และ 1,064 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 417, 504, 424 และ 465 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

- อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของกรดไขมันระเหยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยน้ำเข้ามีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 1,137, 1,200, 1,242 และ 1,244 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 661, 617, 609 และ 581 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จากตารางที่ 4.25 และ ภาพที่ 4.26 จะเห็นได้ว่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกจากระบบมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์

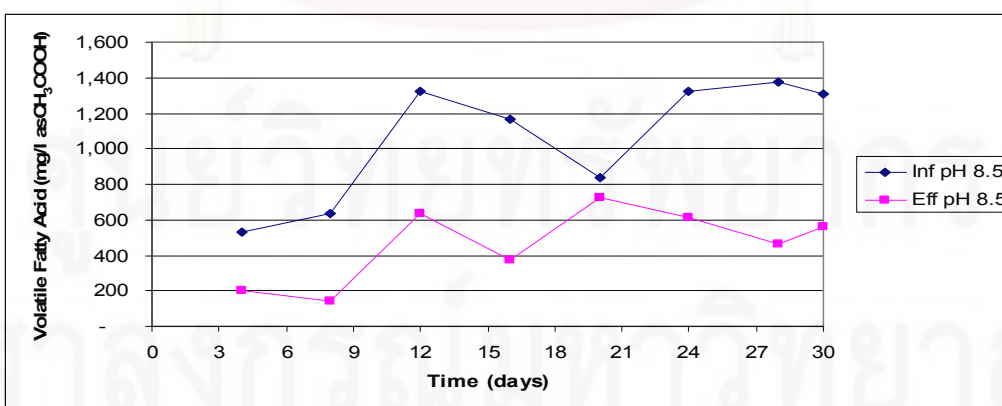
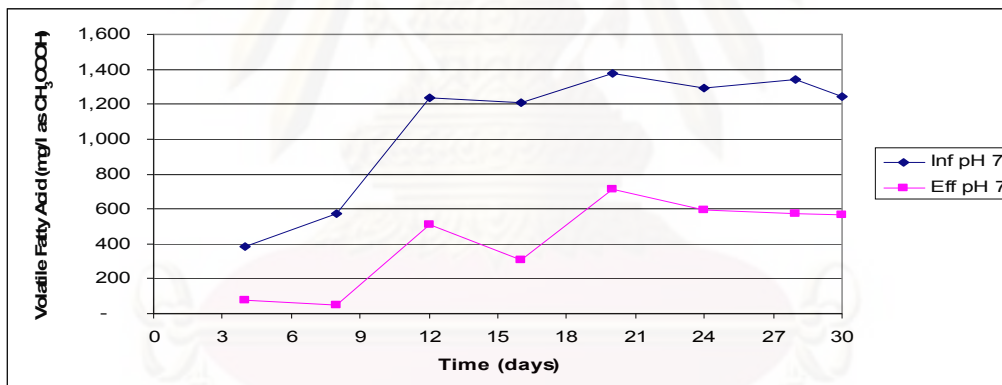
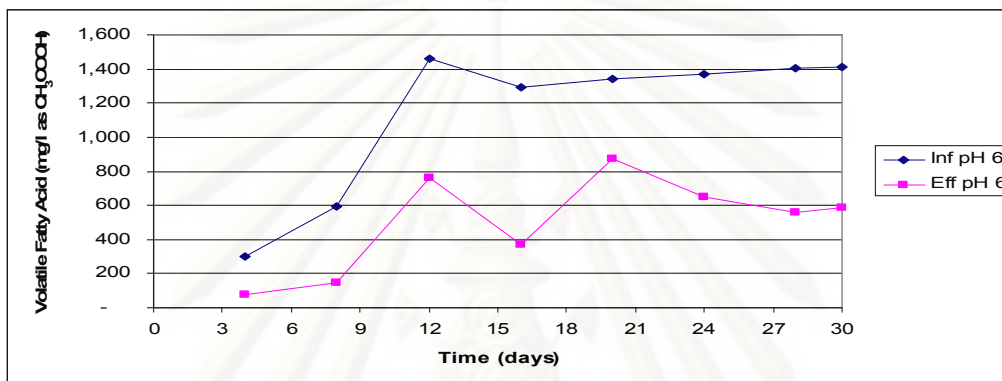
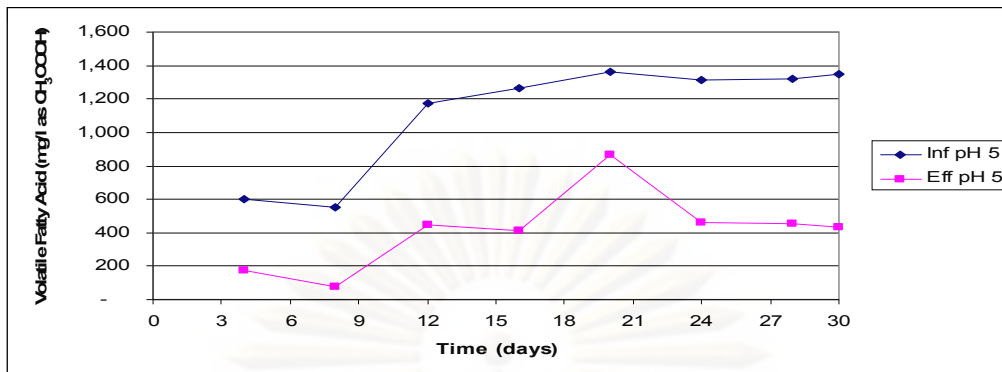
- อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของกรดไขมันระเหยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยน้ำเข้ามีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 2,235, 2,171, 2,296 และ 2,211 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 1,746, 1,449, 1,234 และ 1,219 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า ค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำเข้า ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์เกิดเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยให้เป็นก๊าซมีเทนได้ ทำให้มีปริมาณกรดไขมันระเหยหลุดออกมากับน้ำออกไม่มาก

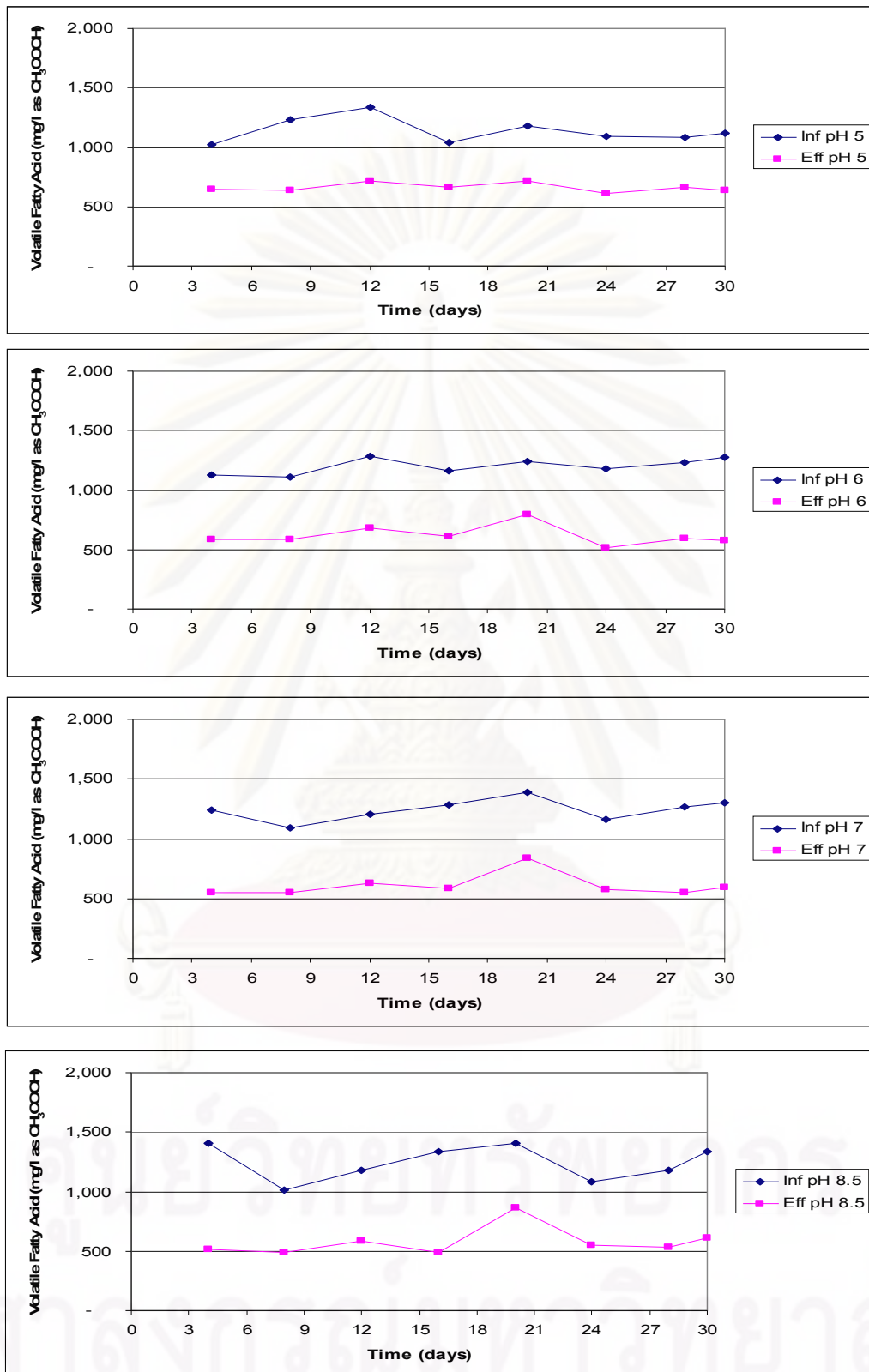
ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับค่าซีไอดีที่รับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น จากตารางที่ 4.24 – 4.26 และภาพที่ 4.25 – 4.27 จะเห็นได้ว่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกจากระบบมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อย ๆ ทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ตามอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถใช้กรดอินทรีย์ที่แบคทีเรียสร้างกรดผลิตขึ้นมาได้หมดจึงไม่เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยในระบบ ทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำออกจากถังปฏิกริยามีค่าลดน้อยลง



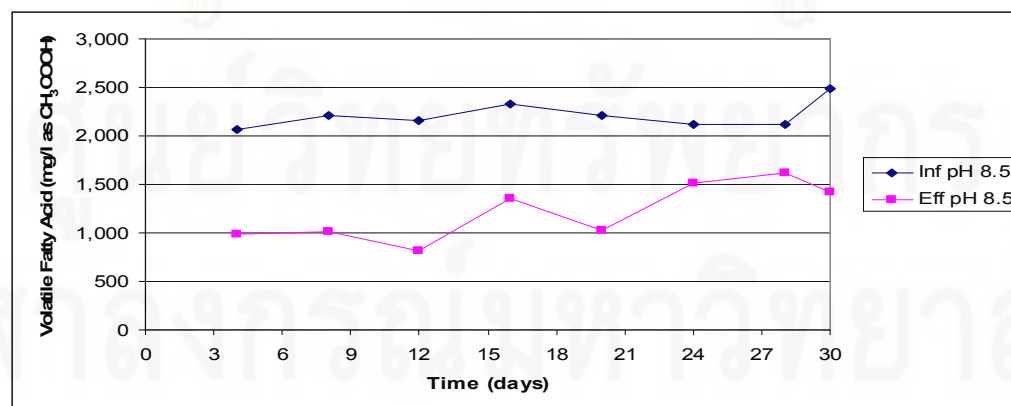
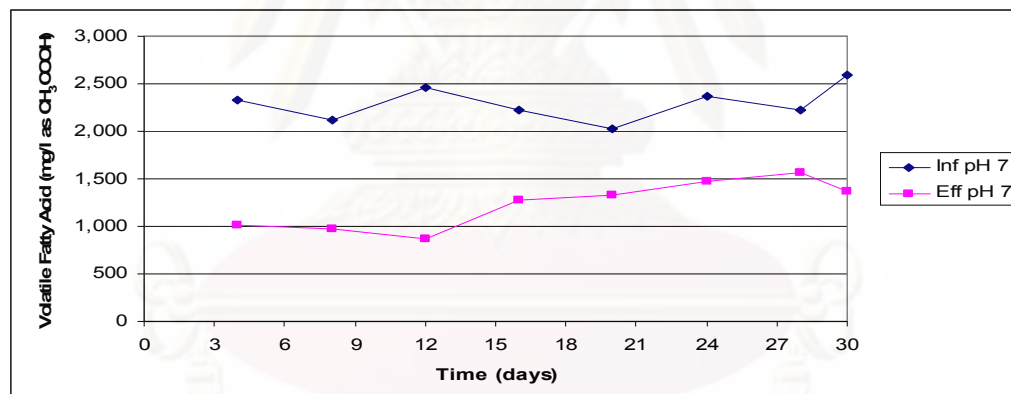
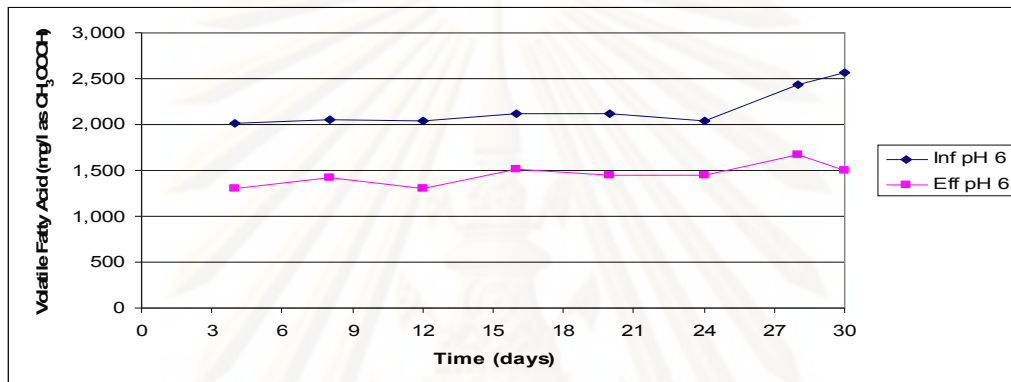
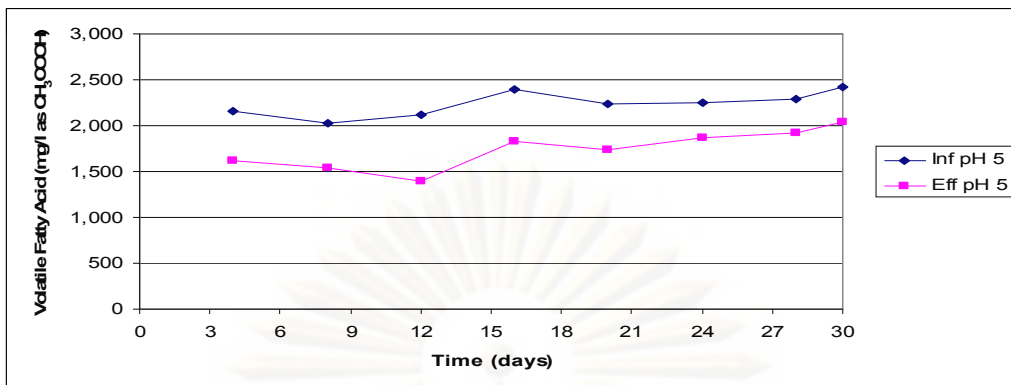
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.25 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.26 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.27 ค่ากรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.2.5 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่อัตราาระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบสำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยน้ำเข้าที่อัตราาระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 138 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 53, 46, 46 และ 49 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 62.42, 66.22, 67.51 และ 64.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ น้ำเข้าที่อัตราาระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 251 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 151, 109, 80 และ 110 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 39.37, 56.63, 67.18 และ 55.89 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และน้ำเข้าที่อัตราาระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 517 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 360, 321, 285 และ 318 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 29.98, 37.43, 44.88 และ 38.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.27 – 4.29 และภาพที่ 4.28 – 4.33 ตารางที่ 4.27 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราาระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	95	25	95	10	95	25	95	30
ค่าสูงสุด	180	80	180	65	180	65	180	70
ค่าเฉลี่ย	138	53	138	46	138	46	138	49
ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	62.42	-	66.22	-	67.51	-	64.72

ตารางที่ 4.28 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ของแข็ง แขวนลอย (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	215	139	215	85	215	60	215
ค่าสูงสุด	280	165	280	140	280	91	280	130
ค่าเฉลี่ย	251	151	251	109	251	80	251	110
ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	39.37	-	56.63	-	67.18	-	55.89

ตารางที่ 4.29 ปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ของแข็ง แขวนลอย (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	415	305	415	237	415	222	415
ค่าสูงสุด	605	466	605	389	605	340	605	372
ค่าเฉลี่ย	517	360	517	321	517	285	517	318
ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	29.98	-	37.43	-	44.88	-	38.43

- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 138 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 53, 46, 46 และ 49 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 62.42, 66.22, 67.51 และ 64.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากตารางที่ 4.27 และ ภาพที่ 4.28 – 4.29 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าของการทดลองทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ มีค่าไม่คงที่ เนื่องจากน้ำตัวอย่างที่เก็บมาจากโรงงานมีลักษณะเป็นสีขาวอมเหลืองขุ่น ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย โดยที่ pH 7 ระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุด เนื่องจากเป็นสภาวะที่แบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศสามารถดำรงชีพและเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะนี้ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่า ทำให้ตะกอนในถังปฏิกรณ์ฟุ้งกระจายมากกว่า ทั้งนี้ น้ำเสียจากระบวนการผลิตน้ำยางชั้นนั้นเป็นน้ำเสียที่มีสารประกอบที่ซับซ้อนย่อยสลายได้ยาก จึงต้องใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น และพบว่าที่ pH 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมของการทำงาน ของแบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศ ส่วนที่ pH 5 และ pH 8.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยค่อนข้างน้อยกว่า

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดของแข็งแขวนลอยระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถึง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.4)

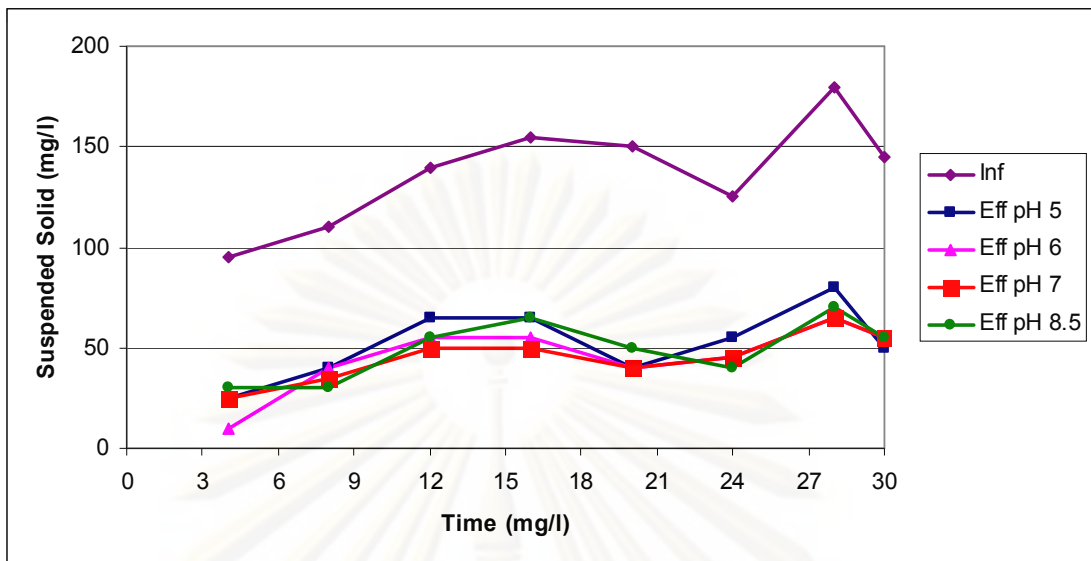
- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 251 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 151, 109, 80 และ 110 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 39.37, 56.63, 67.18 และ 55.89 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากตารางที่ 4.28 และ ภาพที่ 4.30 – 4.31 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีที่ลดลง โดยที่ pH 5 ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนที่ pH 7 ประสิทธิภาพค่อนข้างใกล้เคียงกัน

กับที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ส่วนที่ pH 6 และ pH 8.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างใกล้เคียงกัน

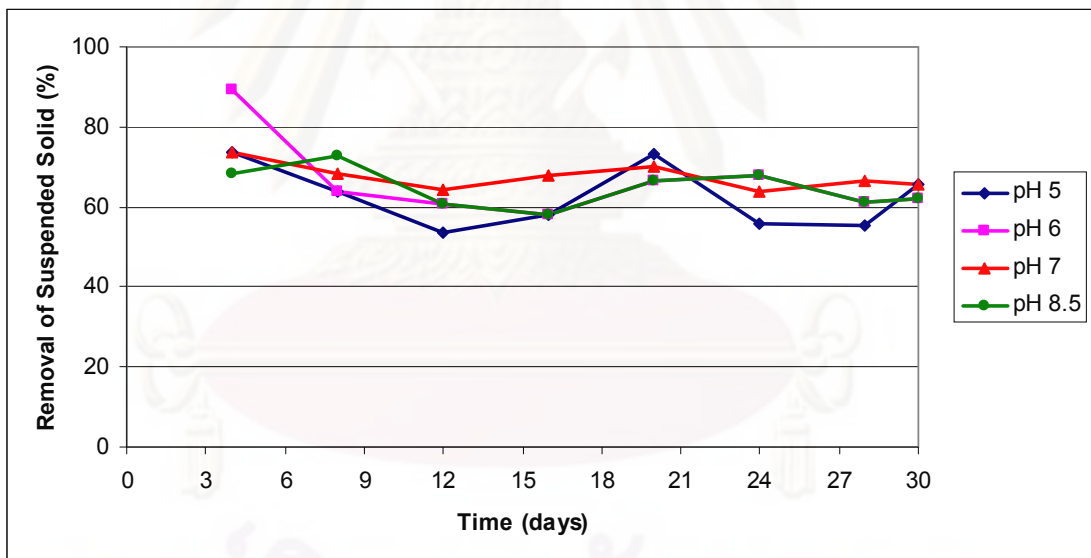
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดของแข็งแขวนลอยระหว่างถึงปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถึง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.6)

- อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 517 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ เท่ากับ 360, 321, 285 และ 318 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 29.98, 37.43, 44.88 และ 38.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากตารางที่ 4.29 และ ภาพที่ 4.32 – 4.33 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง โดยที่เมื่อเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าประสิทธิภาพค่อย ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ pH 5 ประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเช่นเดียวกัน และสังเกตจากน้ำที่ออกจากระบบ พบว่า มีพวกเศษยาง และพวกตะกอนหลุดออกมาเป็นจำนวนมาก แสดงว่าในน้ำเสียน้ำยางขึ้นต้องทำการปรับสภาพให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของระบบ ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าน้ำเสียจริงที่เก็บมาจากโรงงานมีค่าพีเอชประมาณ 4.74 – 5.18 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ จึงจำเป็นต้องทำการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ส่วนที่ pH 6 และ 8.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างใกล้เคียงกัน และที่ pH 7 สามารถระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุด และจากการสังเกตของผู้ทำการทดลอง พบว่า ปัญหาการอุดตันของสายยางของน้ำที่ออกจากระบบ เนื่องจากมีพวกเศษยางที่แห้ง เกาะติดจับบริเวณสายยางด้านใน ทำให้น้ำไม่สามารถไหลออกได้ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่มีค่า pH 5 จะพบปัญหาบ่อยสุด

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดของแข็งแขวนลอยระหว่างถึงปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถึง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.8)

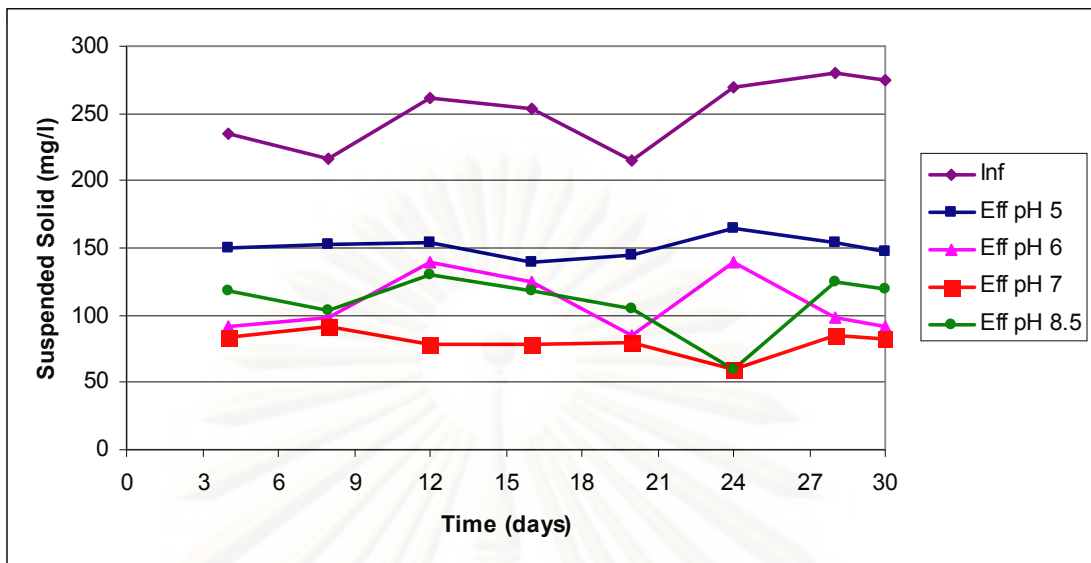


ภาพที่ 4.28 ค่าของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

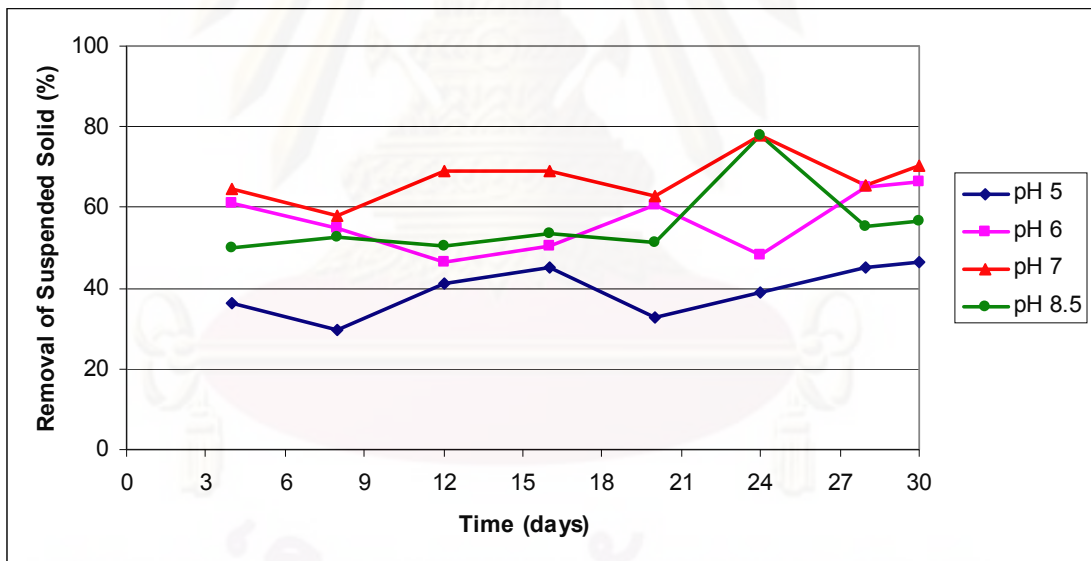


ภาพที่ 4.29 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

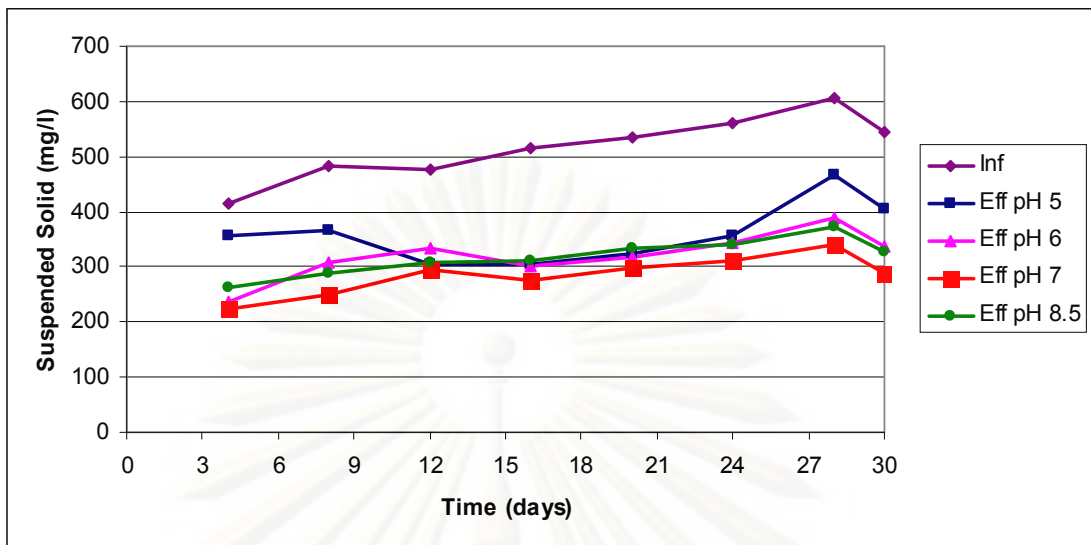


ภาพที่ 4.30 ค่าของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

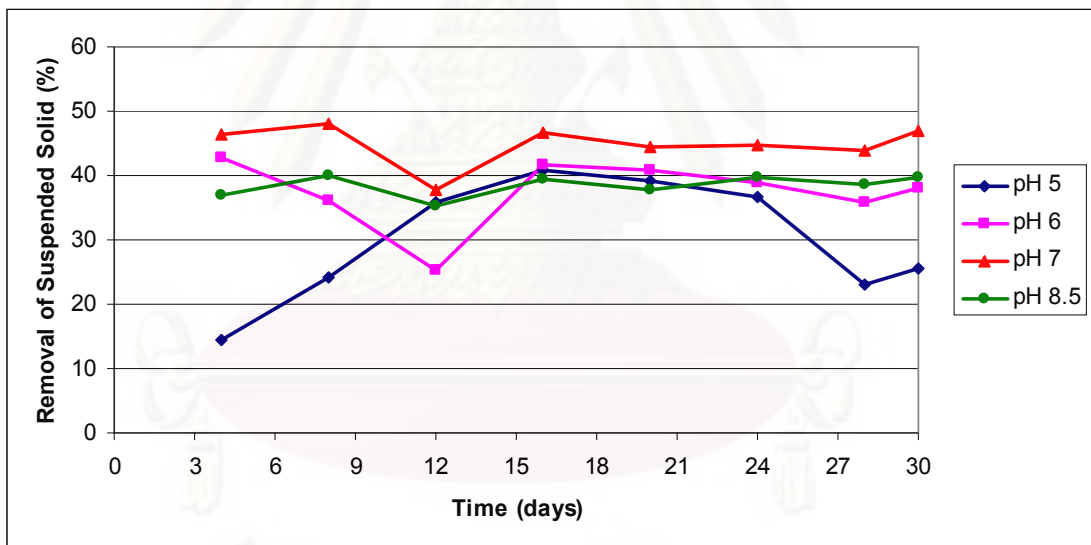


ภาพที่ 4.31 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.32 ค่าของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.33 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.6 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าซีโอดีของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบสำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยน้ำเข้าที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 2,205 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 653, 625, 488 และ 578 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 71.54, 72.82, 79.19 และ 75.22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ น้ำเข้าที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 3,981 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 1,665, 1,366, 1,105 และ 1,599 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 57.84, 63.92, 72.59 และ 60.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และน้ำเข้าที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 6,872 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 5,097, 3,939, 3,510 และ 3,581 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 26.79, 43.11, 49.29 และ 48.38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.30 – 4.32 และภาพที่ 4.34 – 4.39

ตารางที่ 4.30 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	1,895	200	1,895	187	1,895	163	1,895	127
ค่าสูงสุด	2,698	1,401	2,698	1,284	2,698	1,421	2,698	1,264
ค่าเฉลี่ย	2,205	653	2,205	625	2,205	488	2,205	578
ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	71.54	-	72.82	-	79.19	-	75.22

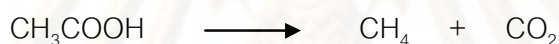
ตารางที่ 4.31 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	3,234	1,283	3,234	923	3,234	728	3,234	1,030
ค่าสูงสุด	4,608	2,170	4,608	1,880	4,608	1,330	4,608	2,130
ค่าเฉลี่ย	3,981	1,665	3,981	1,366	3,981	1,105	3,981	1,599
ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	57.84	-	63.92	-	72.59	-	60.32

ตารางที่ 4.32 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	5,888	1,568	5,888	1,470	5,888	1,307	5,888	1,241
ค่าสูงสุด	8,102	6,403	8,102	5,096	8,102	4,448	8,102	4,575
ค่าเฉลี่ย	6,872	5,097	6,872	3,939	6,872	3,510	6,872	3,581
ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	26.79	-	43.11	-	49.29	-	48.38

- อัตราการระบรวทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองพบว่าค่าซีไอดีของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ โดยที่ถึงปฏิบัติการที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 2,205 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 653, 625, 488 และ 578 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 71.54, 72.82, 79.19 และ 75.22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากตารางที่ 4.30 และภาพที่ 4.34 – 4.35 จะเห็นได้ว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดซีไอดีได้มากที่สุด พบว่าอยู่ที่ถึงปฏิบัติการที่ 3 คือ pH 7 การที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนจะใช้กรดอินทรีย์ที่ย่อยง่ายโดยเฉพาะกรดอะซิติกเป็นสารอาหารในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งกรดอินทรีย์เป็นอาหารของพวกแบคทีเรียสร้างมีเทนจะมาจากกระบวนการอะซิโตเจเนซิสและอะซิโตเจเนซิส ซึ่งเกิดจากพวกแบคทีเรียสร้างกรดทำการย่อยสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น พวกคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำอย่างขึ้นไปเป็นกรดอินทรีย์ต่าง ๆ



นอกจากนี้ค่าซีไอดีที่ลดลงยังสามารถเกิดจากกระบวนการรีดักชันของสารประกอบซัลเฟตในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากพวกแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน จะได้ไบคาร์บอเนต และไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นผลิตภัณฑ์ ดังสมการเกิดในกระบวนการของพวก Hydrogen consuming SRB และ Acetate – consuming SRB ดังสมการ



หรือเนื่องจากอัตราการระบรวทุกสารอินทรีย์ที่มีค่าต่ำ คือมีค่า 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบยูเอเอสพีซึ่งเป็นระบบที่สามารถกักเซลล์ของแบคทีเรียให้อยู่ในระบบได้เป็นจำนวนมากโดยไม่หลุดไปกับน้ำออก ปริมาณอาหารที่เข้ามาเมื่อเทียบกับจำนวนเซลล์แบคทีเรียที่มีอยู่จึงมีค่าต่ำ แบคทีเรียในระบบจึงสามารถกินสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้ามาในระบบได้ทัน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง สามารถลดค่าซีไอดีให้มีค่าต่ำได้ ส่วนที่ pH 5 และ pH 6 ระบบสามารถกำจัดซีไอดีได้น้อย อาจเป็นเพราะแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่อยู่ในระบบไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตหรืออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดซีโอไซด์ระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถัง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.4)

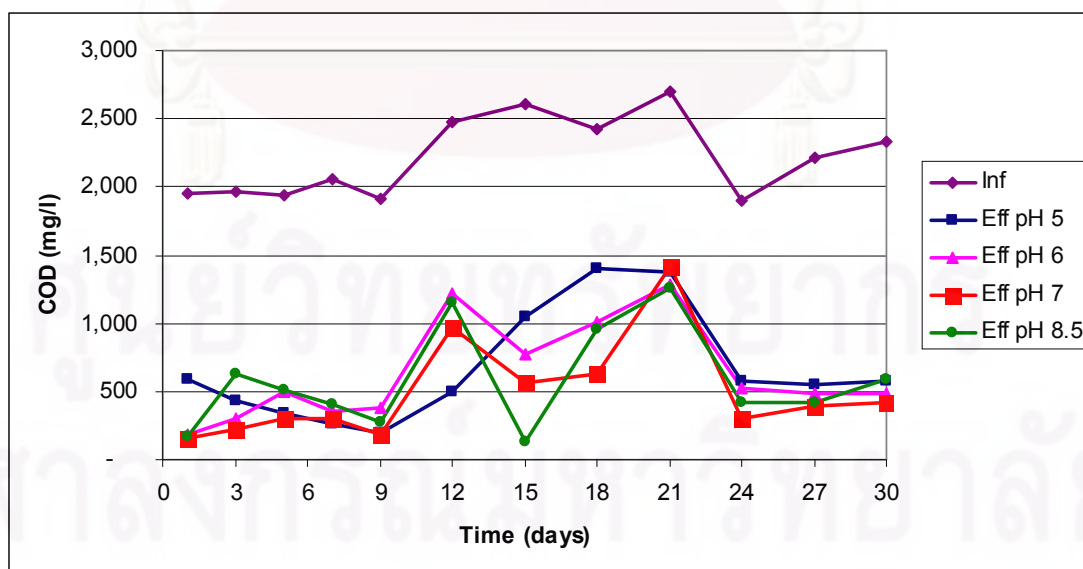
- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอไซด์/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลอง พบว่าค่าซีโอไซด์ของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ โดยที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีค่าซีโอไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 3,981 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าซีโอไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 1,665, 1,366, 1,105 และ 1,599 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 57.84, 63.92, 72.59 และ 60.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากตารางที่ 4.31 และภาพที่ 4.36 - 4.37 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์ลดลง ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้จุลินทรีย์ในระบบบำบัดเพิ่มมากขึ้น และค่าพีเอชที่ต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์แตกต่างกัน โดยที่ pH 7 สามารถกำจัดซีโอไซด์ได้มากที่สุด แสดงว่าแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถทำงานได้ดีในสภาวะนี้ นอกจากนี้จากผลการทดลอง สังเกตได้ว่าที่ pH 5 ของทุกความเข้มข้นของซีโอไซด์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยที่สุด แสดงว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียน้ำอย่างขึ้นได้น้อย และแบคทีเรียไม่สามารถอยู่ได้ในสภาวะที่ pH ต่ำ ๆ สังเกตเห็นได้จากการฟุ้งของตะกอน โดยเฉพาะที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอไซด์/ลบ.ม./วัน เกิดค่อนข้างน้อย และปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดซีโอไซด์ระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถัง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.6)

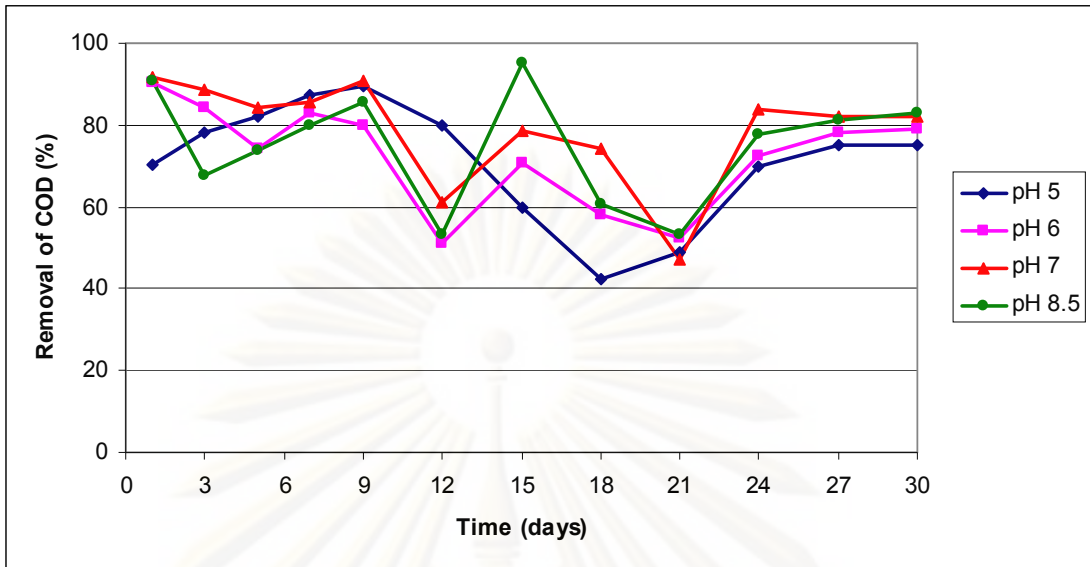
- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอไซด์/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลอง พบว่าค่าซีโอไซด์ของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ โดยที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีค่าซีโอไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 6,872 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าซีโอไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 5,097, 3,939, 3,510 และ 3,581 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 26.79, 43.11, 49.29 และ 48.38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากตารางที่ 4.32 และ ภาพที่ 4.38 - 4.39 จะเห็นได้ว่า ในระยะแรก ๆ ก่อนการเพิ่มอัตราการระบรทุก

สารอินทรีย์ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้มากอยู่ อาจเป็นเพราะอยู่ในช่วงของการปรับตัวของแบคทีเรียในระบบ และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ สังเกตได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ขึ้นเรื่อย ๆ จากอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน จนถึงอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้จุลินทรีย์ในระบบรับภาระเพิ่มมากขึ้น และค่าพีเอชที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแตกต่างกัน โดยที่ pH 7 สามารถกำจัดซีโอดีได้มากที่สุด แสดงว่าแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถทำงานได้ดีในสภาวะนี้ ส่วนที่ pH 8.5 ประสิทธิภาพค่อนข้างใกล้เคียงกันกับที่ pH 7 นอกจากนี้จากผลการทดลอง สังเกตได้ว่าที่ pH 5 ของทุกความเข้มข้นของซีโอดี มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยที่สุด แสดงว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียน้ำยากขึ้นได้น้อย และแบคทีเรียไม่สามารถอยู่ได้ในสภาวะที่ pH ต่ำ ๆ สังเกตเห็นได้จากการฟุ้งของตะกอน โดยเฉพาะที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน เกิดค่อนข้างน้อย และปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด

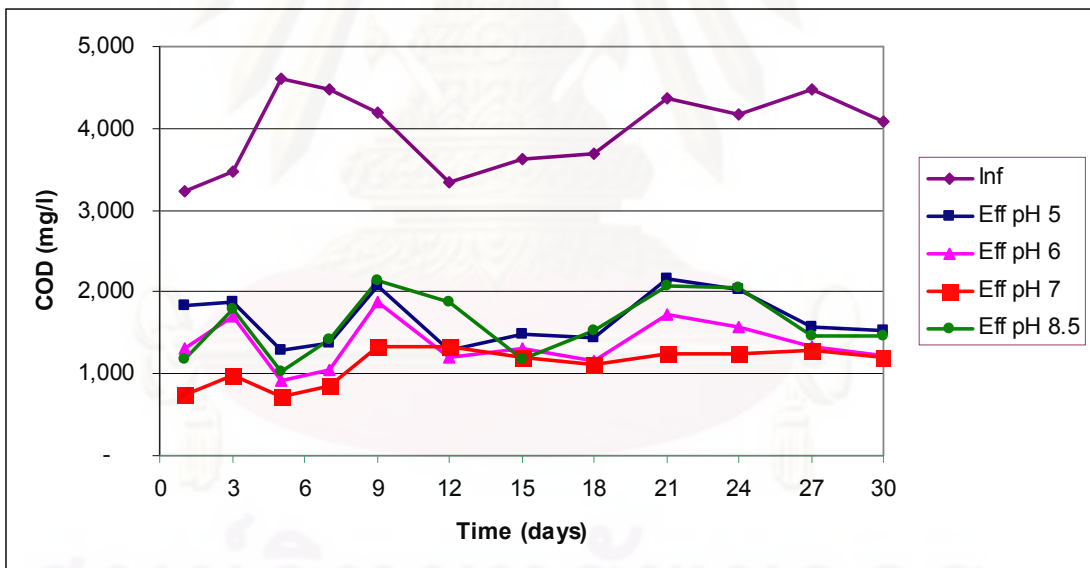
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีระหว่างถึงปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถึง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.8)



ภาพที่ 4.34 ค่าซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

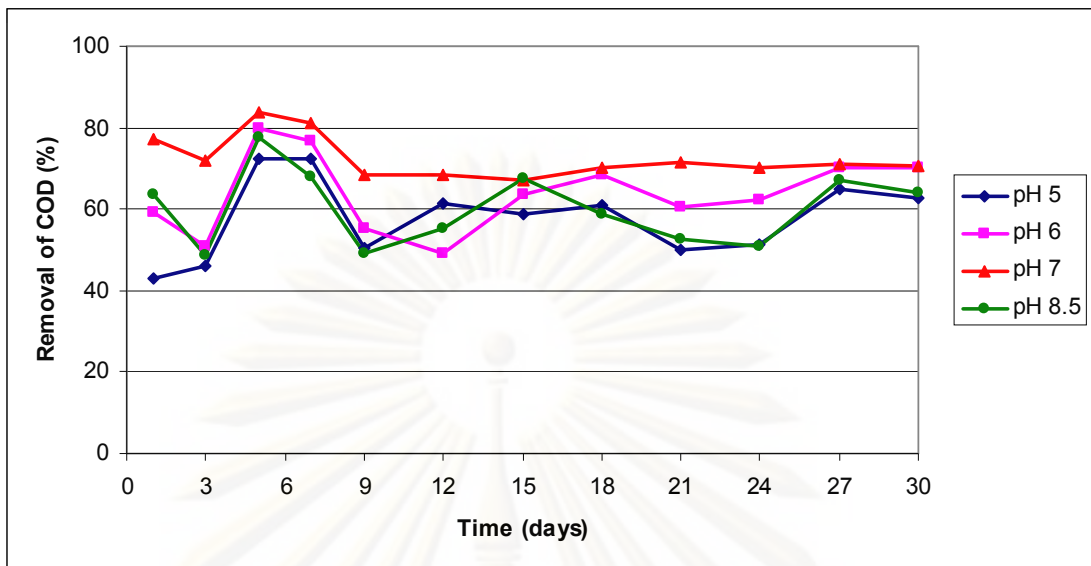


ภาพที่ 4.35 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

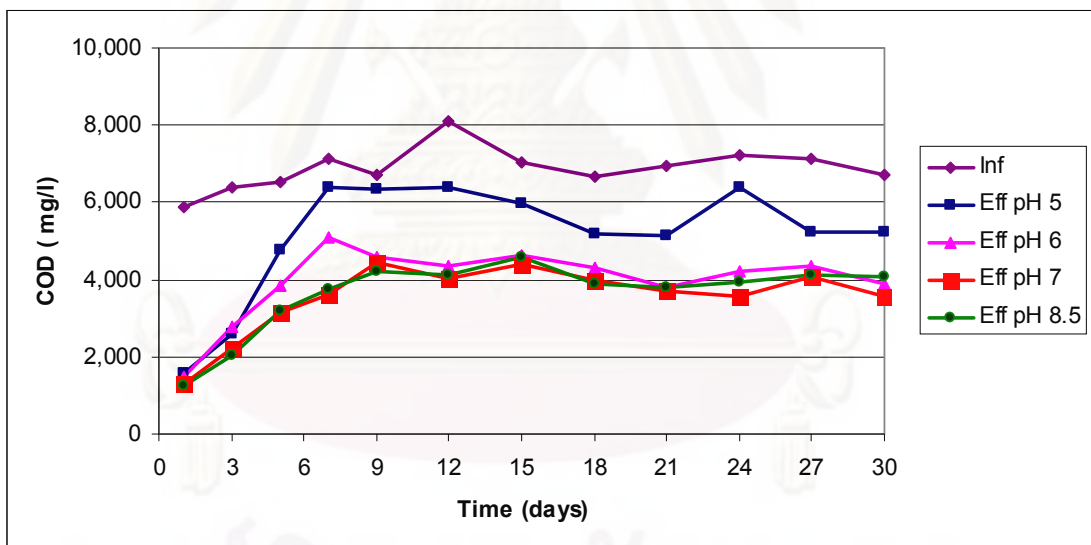


ภาพที่ 4.36 ค่าซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

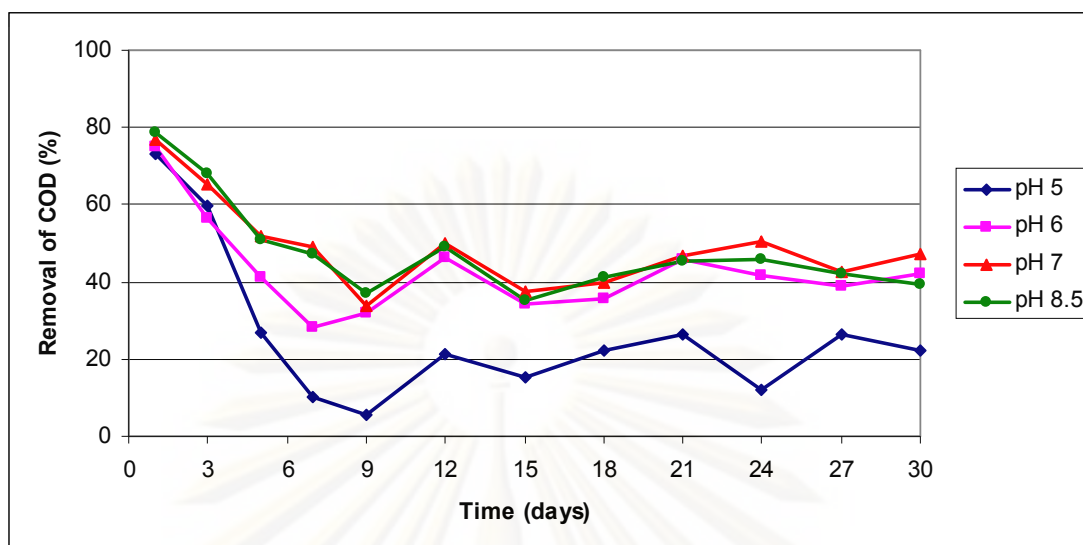


ภาพที่ 4.37 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.38 ค่าซีโอดีของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.39 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.2.7 ซัลเฟต (Sulfate) และประสิทธิภาพการกำจัด

ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยาล้างที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบสำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยน้ำเข้าที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 238 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 133, 135, 131 และ 127 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 45.60, 43.89, 45.89 และ 47.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ น้ำเข้าที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 253 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 125, 102, 89 และ 132 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟต 50.70, 59.64, 64.79 และ 47.87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และน้ำเข้าที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 501 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 303, 251, 226 และ 255 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 39.32, 50.59, 55.41 และ 49.81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณซัลเฟต และประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.33 – 4.35 และภาพที่ 4.40 – 4.45

ตารางที่ 4.33 ปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของช่วงการทดลองที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	124	64	124	49	124	61	124	58
ค่าสูงสุด	298	242	298	220	298	236	298	208
ค่าเฉลี่ย	238	133	238	135	238	131	238	127
ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	45.60	-	43.89	-	45.89	-	47.55

ตารางที่ 4.34 ปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของช่วงการทดลองที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	223	80	223	74	223	65	223	77
ค่าสูงสุด	283	153	283	136	283	118	283	164
ค่าเฉลี่ย	253	125	253	102	253	89	253	132
ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	50.70	-	59.64	-	64.79	-	47.87

ตารางที่ 4.35 ปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของช่วงการทดลองที่ 2 (อัตราการระบวรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	410	295	410	99	410	105	410
ค่าสูงสุด	562	378	562	367	562	302	562	355
ค่าเฉลี่ย	501	303	501	251	501	226	501	255
ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	39.32	-	50.59	-	55.41	-	49.81

- อัตราการระบวรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองพบว่าปริมาณซัลเฟตของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 238 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 133, 135, 131 และ 127 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 45.60, 43.89, 45.89 และ 47.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากตารางที่ 4.33 และ ภาพที่ 4.40 – 4.41 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ค่อนข้างใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองสังเกตได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตลดลงอย่างมาก หลังจากที่เพิ่มอัตราการระบวรทุกสารอินทรีย์ให้กับระบบจาก 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน เป็น 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน อาจเป็นเพราะแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตยังไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะดังกล่าวได้

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดซัลเฟตระหว่างถึงปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถึง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.4)

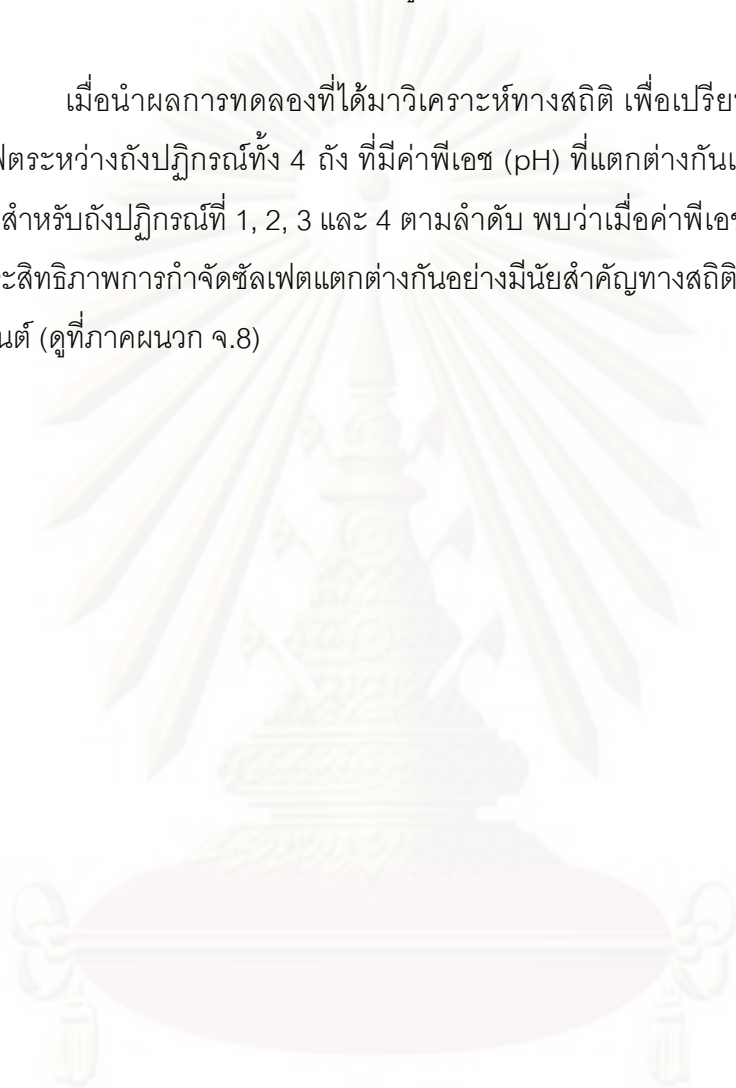
- อัตราการบรรเทาทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองพบว่าปริมาณซัลเฟตของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ โดยที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 253 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 125, 102, 89 และ 132 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 50.70, 59.64, 64.79 และ 47.87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากตารางที่ 4.34 และ ภาพที่ 4.42 – 4.43 จากการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าที่ pH 7 สามารถกำจัดซัลเฟตได้มากที่สุด ส่วน pH 6 ประสิทธิภาพค่อนข้างใกล้เคียงกัน แสดงว่าระบบมีปฏิริยาซัลเฟตรีดักชันเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งในแต่ละถังปฏิกรณ์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในแต่ละถังปฏิกรณ์ที่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ จึงใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มากขึ้น ส่งผลให้ค่าซีไอดี และปริมาณซัลเฟตลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่วนการรีดิวซ์ของซัลเฟตในถังปฏิกรณ์ที่ pH 5 และ 8.5 พบว่า ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่อยู่ในระบบไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ในสภาวะดังกล่าว และเมื่อพิจารณาถึงสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) จะอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง คือประมาณ 7 และมักถูกยับยั้งเมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า 9

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดซัลเฟตระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถัง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.6)

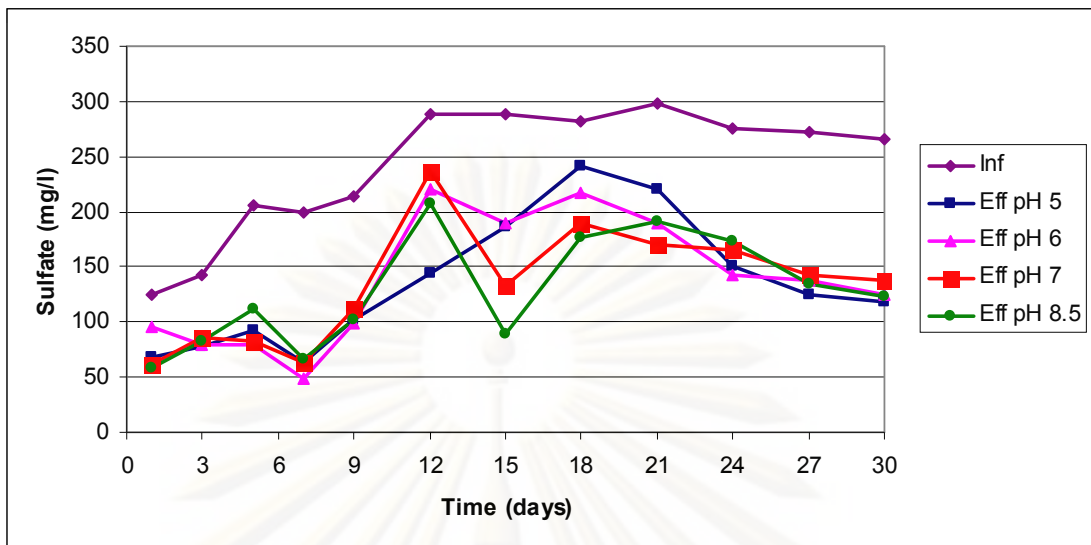
- อัตราการบรรเทาทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองพบว่าปริมาณซัลเฟตของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ โดยที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 501 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 303, 251, 226 และ 255 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 39.32, 50.59, 55.41 และ 49.81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากตารางที่ 4.35 และ ภาพที่ 4.44 – 4.45 จะเห็นได้ว่าที่ pH 7 สามารถกำจัดซัลเฟตได้มากที่สุด ส่วน pH 6 และ pH 8.5 ประสิทธิภาพค่อนข้างใกล้เคียงกัน แสดงว่าระบบมีปฏิริยาซัลเฟตรีดักชันเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนที่ pH 5 ประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี และจากการที่เพิ่มอัตราการบรรเทาทุกสารอินทรีย์ขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความ

เข้มข้นของสารอินทรีย์ในระบบมากขึ้น ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำเสียที่มีซัลเฟตปนอยู่ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ก็จะทำให้ยิ่งไปเพิ่มความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเข้า จะทำให้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถแย่งใช้ซัลไฟด์ได้มากขึ้น ซัลไฟด์จึงถูกนำไปใช้ในการรีดิวซ์ซัลเฟตให้กลายเป็นซัลไฟด์ได้มากขึ้น

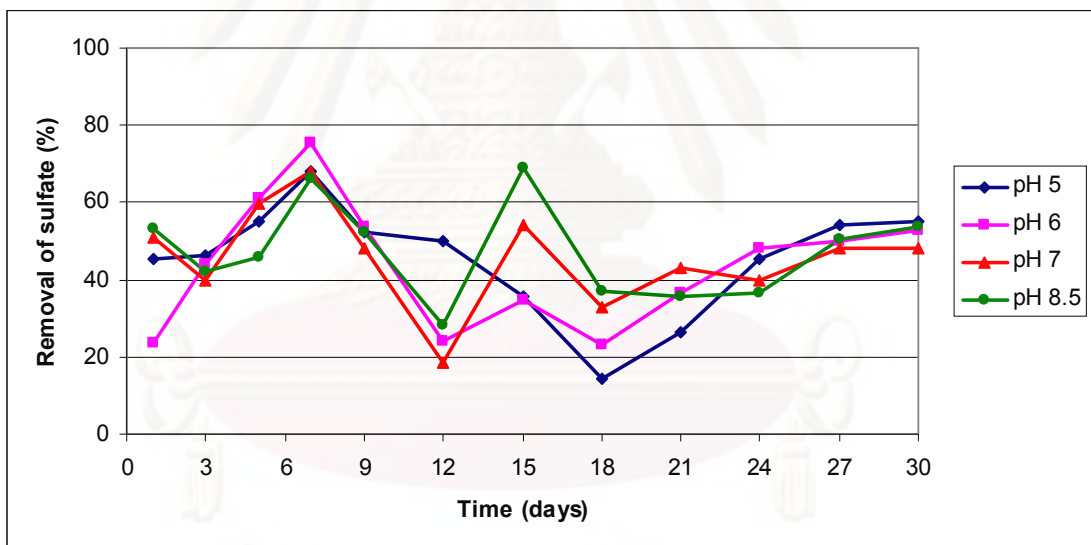
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำจัดซัลเฟตระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถัง ที่มีค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ.8)



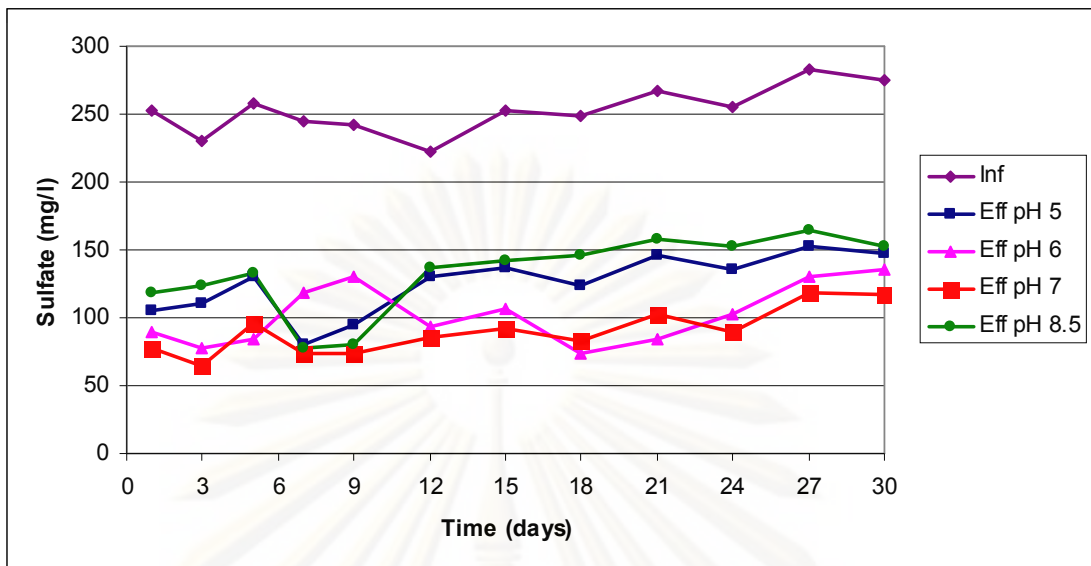
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



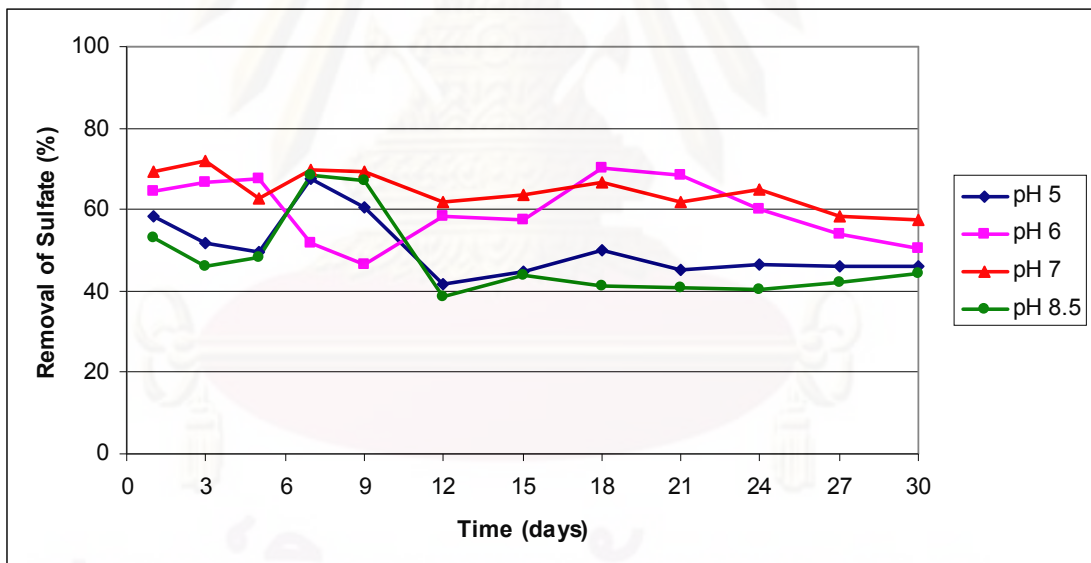
ภาพที่ 4.40 ปริมาณซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.41 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

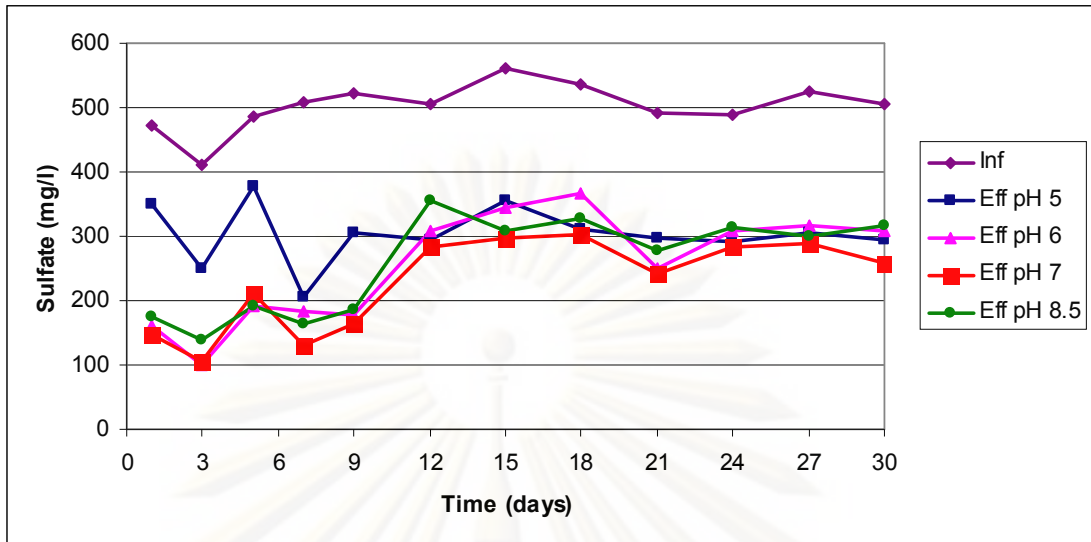


ภาพที่ 4.42 ปริมาณซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

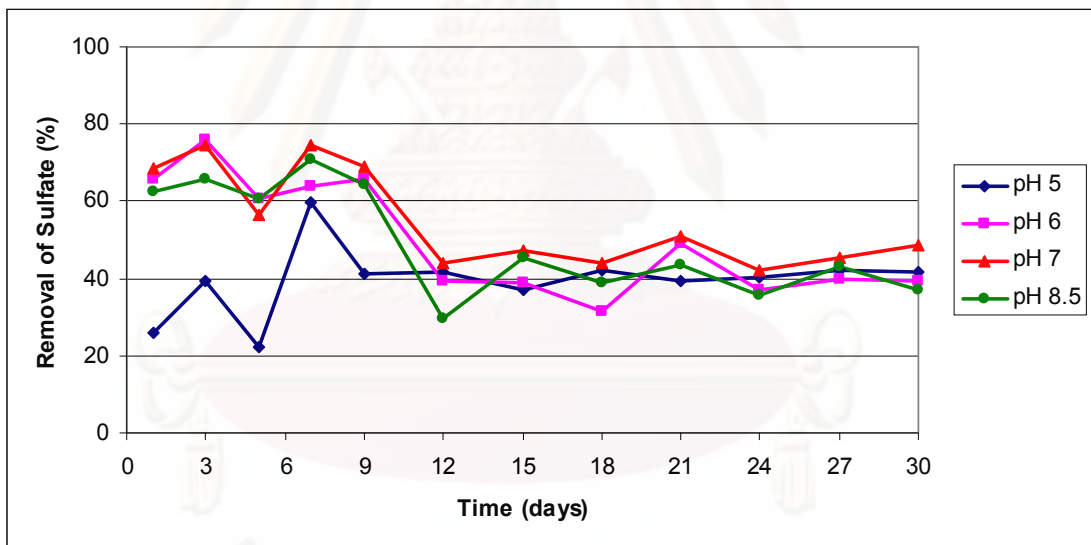


ภาพที่ 4.43 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.44 ปริมาณซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.45 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

4.1.2.8 ซัลไฟด์ (Sulfide)

ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยกำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบสำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 ตามลำดับ โดยน้ำเข้าที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 5.59 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจาก

ระบบมีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 29.11, 30.01, 40.33 และ 23.33 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ น้ำเข้าที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 38.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 46.61, 52.86, 64.87 และ 42.63 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และน้ำเข้าที่อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 60.37 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบ มีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 74.31, 89.18, 92.05 และ 83.79 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.36 – 4.38 และภาพที่ 4.46 – 4.51 ตารางที่ 4.36 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

ซัลไฟด์ (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	3.43	19.45	3.43	13.33	3.43	23.78	3.43
ค่าสูงสุด	9.34	53.33	9.34	42.22	9.34	55.53	9.34	33.45
ค่าเฉลี่ย	5.59	29.11	5.59	30.01	5.59	40.33	5.59	23.33

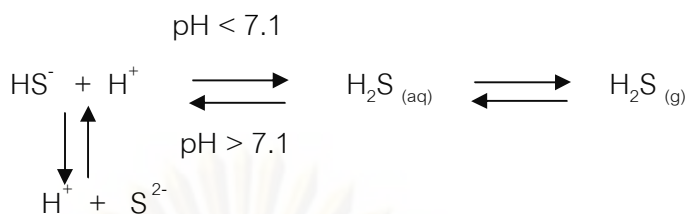
ตารางที่ 4.37 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

ซัลไฟด์ (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5		ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6		ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7		ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
	ค่าต่ำสุด	27.78	34.05	27.78	23.56	27.78	43.98	27.78
ค่าสูงสุด	56.45	65.27	56.45	65.98	56.45	78.34	56.45	63.34
ค่าเฉลี่ย	38.70	46.61	38.70	52.86	38.70	64.87	38.70	42.63

ตารางที่ 4.38 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ซัลไฟด์ (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3		ถึงปฏิกรณ์ที่ 4	
	pH 5		pH 6		pH 7		pH 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่าต่ำสุด	43.54	55.78	43.54	61.45	43.54	75.84	43.54	65.89
ค่าสูงสุด	84.46	91.81	84.46	120.08	84.46	122.39	84.46	98.67
ค่าเฉลี่ย	60.37	74.31	60.37	89.18	60.37	92.05	60.37	83.79

- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองพบว่าปริมาณซัลไฟด์ของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 5.59 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 29.11, 30.01, 40.33 และ 23.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากตารางที่ 4.36 และ ภาพที่ 4.46 – 4.47 จะเห็นได้ว่าปริมาณซัลไฟด์ของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่าปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้า ทั้งนี้เกิดจากปฏิกิริยาซัลฟไตรดักชัน โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มากขึ้น ทำให้ค่าซีโอดี และปริมาณซัลเฟตลดลง ส่งผลให้ค่าซัลไฟด์มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าซัลไฟด์สามารถอยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ ดังสมการด้านล่าง และค่าพีเอชของน้ำเสียในการทดลองมีค่าพีเอชสูงกว่า 7.1 ดังนั้นค่าซัลไฟด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนมากกว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ ซึ่งจะมีผลดีเพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำมีความเป็นพิษมากกว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของไอออน ทั้งนี้ค่า pH 7 มีปริมาณซัลไฟด์ของน้ำที่ออกจากระบบมากที่สุดเฉลี่ย 40.33 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าระบบสามารถรีดิวซ์ซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ ส่งผลให้ปริมาณซัลไฟด์มีค่าเพิ่มขึ้น แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถทำงานได้ดีในสภาวะดังกล่าว ส่วนที่ค่า pH 6 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 30.01 มิลลิกรัมต่อลิตร รองจาก pH 7 และที่ค่า pH 5 และ 8.5 มีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ย 29.11 และ 23.33 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและซัลเฟต

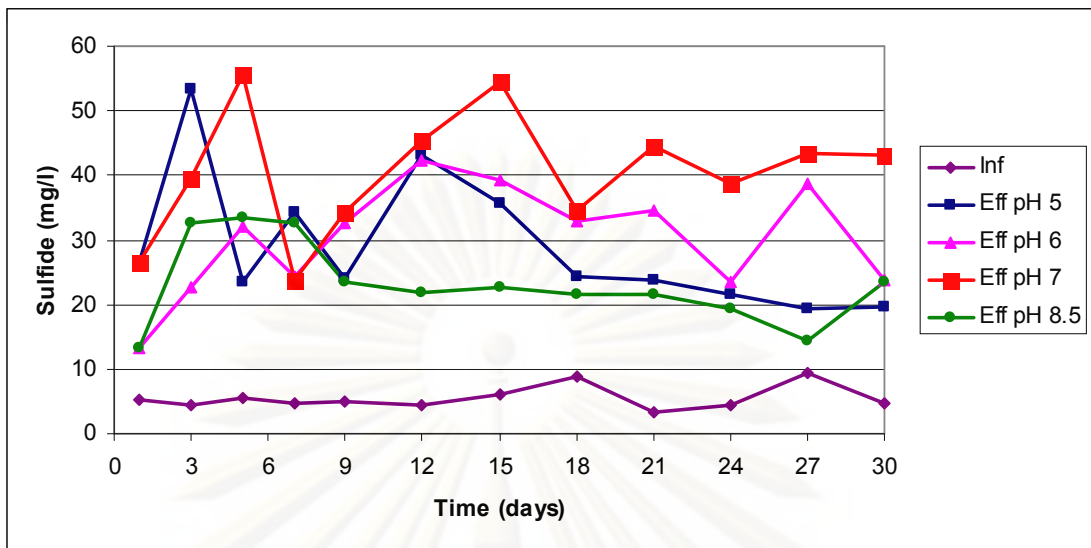


- อัตราภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองพบว่าปริมาณซัลไฟด์ของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 38.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 46.61, 52.86, 64.87 และ 42.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากตารางที่ 4.37 และ ภาพที่ 4.48 - 4.49 จากการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าที่ pH 7 มีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและซัลเฟต โดยซัลเฟตที่ลดลงนี้จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ ดังนั้นการที่ซัลเฟตลดลงมากก็จะเกิดซัลไฟด์มากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับที่ความเข้มข้นของซีโอดีเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

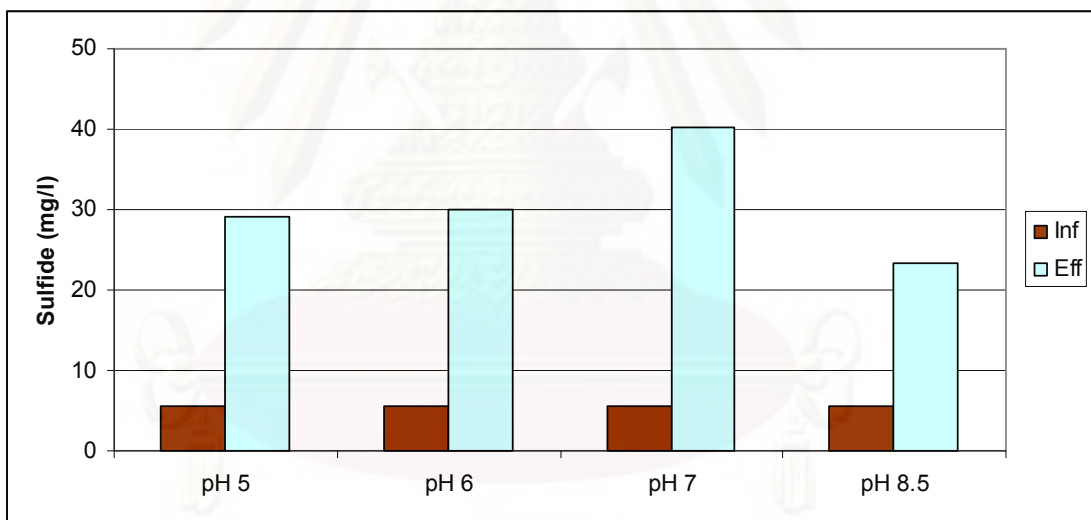
- อัตราภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองพบว่าปริมาณซัลไฟด์ของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 60.37 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 74.31, 89.18, 92.05 และ 83.79 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จากตารางที่ 4.38 และ ภาพที่ 4.50 - 4.51 จากการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าที่ pH 7 มีปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟต โดยซัลเฟตที่ลดลงนี้จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ ดังนั้นการที่ซัลเฟตลดลงมากก็จะเกิดซัลไฟด์มากขึ้น และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ในแต่ละอัตราภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์จะมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเข้าของแต่ละอัตราภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ โดยค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ในน้ำออกจะแปรผันไปในทางเดียวกับความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเข้า กล่าวคือถ้าความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเข้ามีค่าสูง ค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์จะมีค่าสูง แต่ถ้าความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเข้ามีค่าต่ำ ค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์จะมีค่าต่ำ

จากงานวิจัยของ (Speece, 1983) ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำสูงสุดที่มีเทนแบคทีเรียทนได้คือ 145 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นว่าค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำจากการทดลองของ Speece นั้นมีค่าสูงกว่าค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำที่ได้จากการทดลองนี้อยู่มาก จึงทำให้พวกมีเทนแบคทีเรียยังมีชีวิตอยู่ได้ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของ

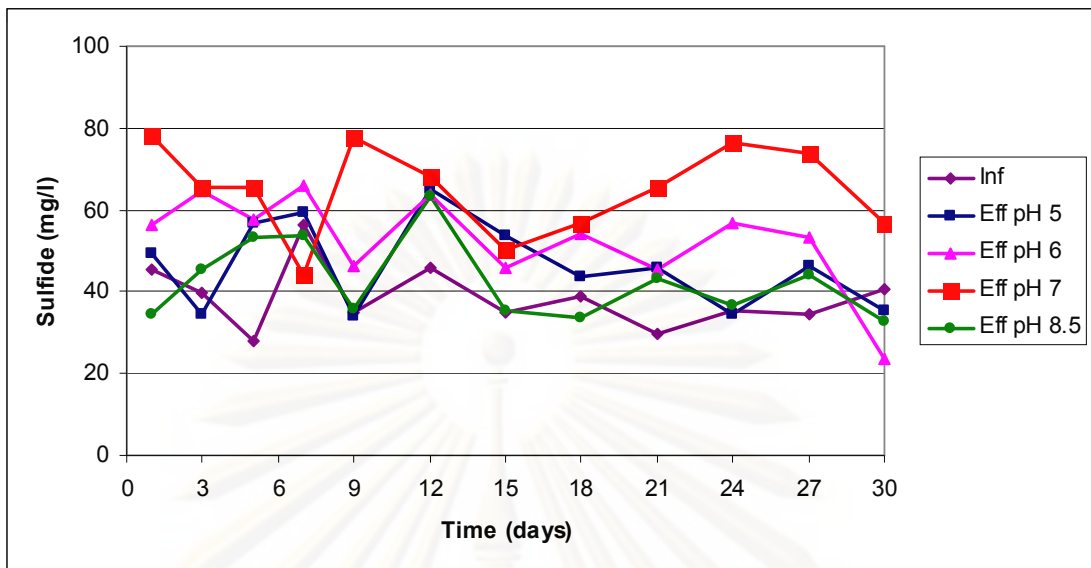
$H_2S_{(aq)}$ ก็ยังมีผลต่อการผลิตมีเทน ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าปริมาณก๊าซเกิดขึ้นน้อยมาก จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น ปริมาณซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ปริมาณการผลิตก๊าซทั้งหมดลดน้อยลง เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้ ความเป็นพิษของซัลไฟด์ขึ้นอยู่กับ pH ในระบบ เนื่องจากความเป็นพิษที่ไปยับยั้งการทำงานของ methanogenic bacteria คือซัลไฟด์ที่อยู่ในรูป H_2S เพราะโมเลกุลของ H_2S สามารถซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปได้ง่ายกว่าซัลไฟด์รูปอื่น ๆ และจากการศึกษาของ (Iens, 1998) พบว่า ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีค่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (pH 7) ทำให้เกิดการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน ร้อยละ 50 เท่ากับ 250 และ 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 6.4 – 7.2 และ 7.8 – 8.0 การยับยั้งการทำงานของ MPB จะขึ้นอยู่กับ pH ที่ pH ต่ำ MPB สามารถทนความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงกว่าที่ pH สูง แต่ถ้า pH ต่ำมาก ซัลไฟด์ทั้งหมดในน้ำจะอยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์มาก ซึ่งก็จะเป็นอันตรายต่อ MPB ในระบบ แต่โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็จะทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของ MPB แล้ว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ พบว่าสัดส่วนของก๊าซมีเทนค่อนข้างน้อย



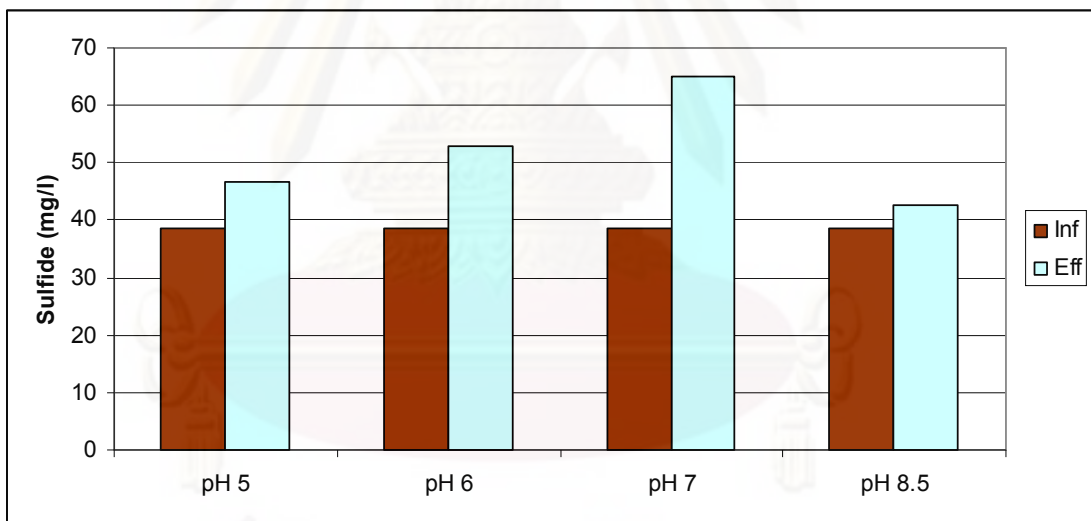
ภาพที่ 4.46 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



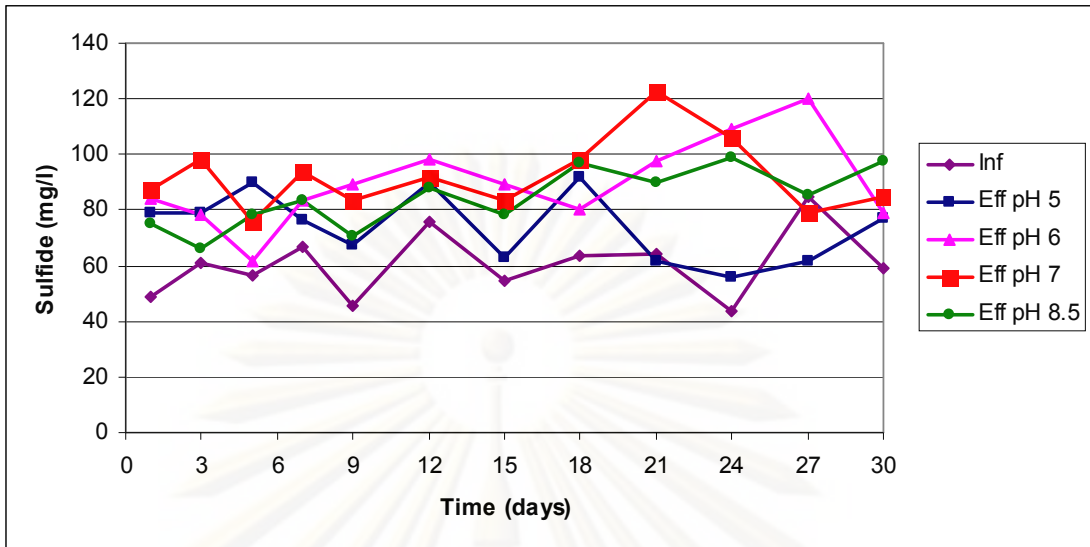
ภาพที่ 4.47 ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



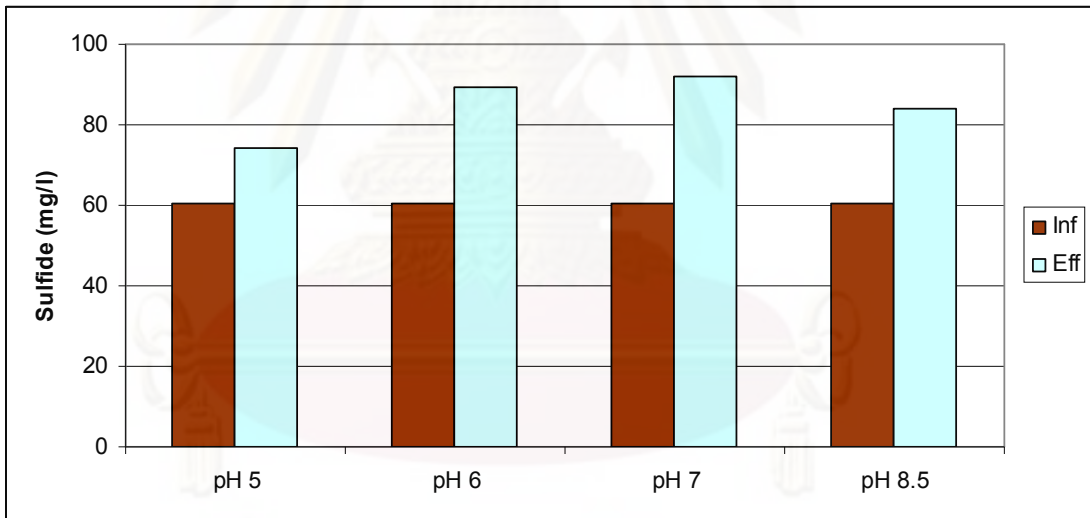
ภาพที่ 4.48 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.49 ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.50 ปริมาณซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.51 ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.9 ก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่มีค่าพีเอชเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 ของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดัง ตารางที่ 4.39 – 4.41 และภาพที่ 4.52 – 4.55 ตารางที่ 4.39 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5
ค่าต่ำสุด	150	150	225	190
ค่าสูงสุด	240	280	380	380
ค่าเฉลี่ย	197	209	310	255

ตารางที่ 4.40 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน)

ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5
ค่าต่ำสุด	300	320	350	330
ค่าสูงสุด	440	420	550	480
ค่าเฉลี่ย	369	367	422	403

ตารางที่ 4.41 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน)

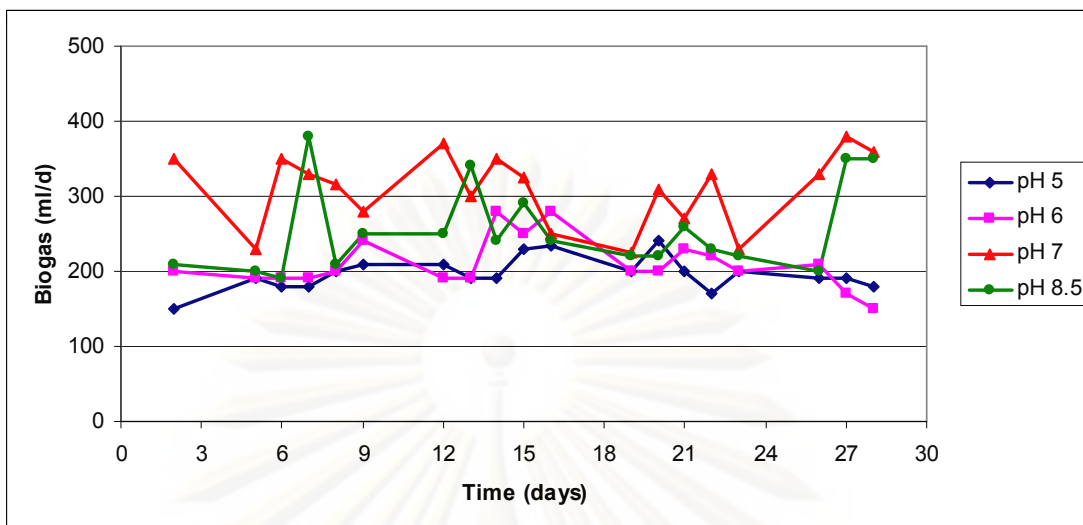
ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5
ค่าต่ำสุด	80	390	420	400
ค่าสูงสุด	400	540	650	550
ค่าเฉลี่ย	175	437	497	468

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบ เนื่องจากเกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปริมาณการเกิดก๊าซและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นจะอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ และสภาพแวดล้อมของระบบ เช่น พีเอช อุณหภูมิ เป็นต้น จากผลการดังกล่าว จะพบว่า การเพิ่มขึ้นของก๊าซชีวภาพเป็นไปตามอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น

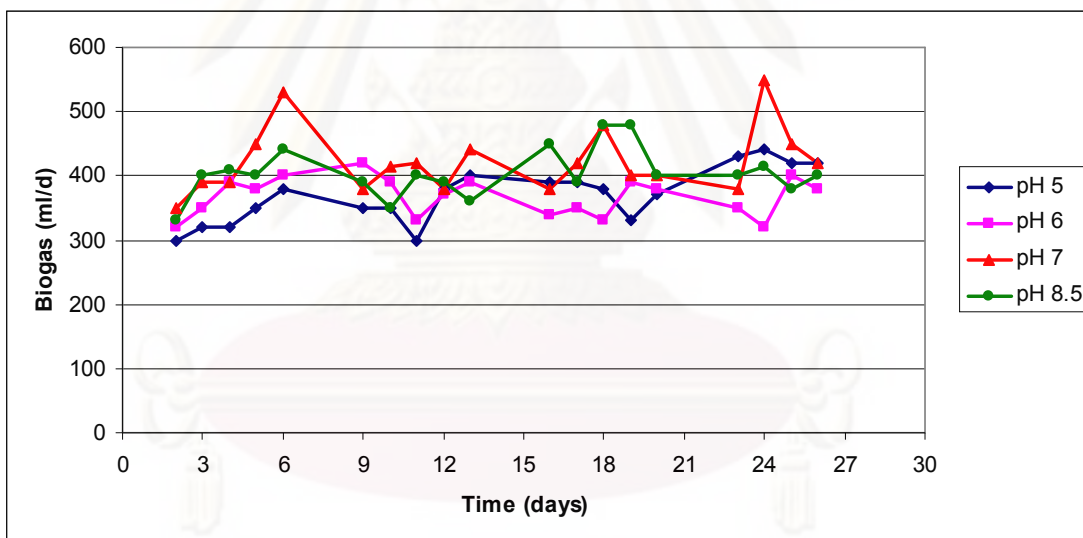
จากตารางที่ 4.39 – 4.41 และภาพที่ 4.52 – 4.55 จะพบว่า ในช่วงแรกๆ ของการเริ่มต้นเดินระบบนั้น ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีไม่มากนัก เนื่องจากเป็นช่วงปรับตัวของจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้อัตราการใช้สารอินทรีย์ในช่วงแรกนี้จึงมีไม่มากนัก เมื่อสารอินทรีย์ถูกใช้ในปริมาณน้อย ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณน้อยตามไปด้วย แต่เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเริ่มมีเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้การที่น้ำเสียมีซัลเฟตอยู่ด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นนั้น จะส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงได้ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความสามารถในการละลายน้ำสูงมาก ทำให้อยู่ในรูปละลายน้ำมากกว่าอยู่ในรูปก๊าซ นอกจากนี้เป็นผลมาจากค่าพีเอชที่มีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ มีค่าพีเอชมากกว่า 8 ทุกถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีค่าสูงเกินไปไม่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ขนิษฐา หทัยสมิทธิ์, 2547) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มาจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเช่นเดียวกัน โดยใช้ระบบยูเอเอสบีแบบสองชั้นตอน พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีน้อยมาก โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณ 300 – 500 มิลลิลิตรต่อวัน นอกจากนี้จากการที่ pH 7 มีปริมาณก๊าซมากนั้น อาจเกิดจากอยู่ในช่วงที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถทำงานได้ดี จากการศึกษาของ (McCarty, 1964) ได้กล่าวไว้ว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วง 6.6. – 7.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร

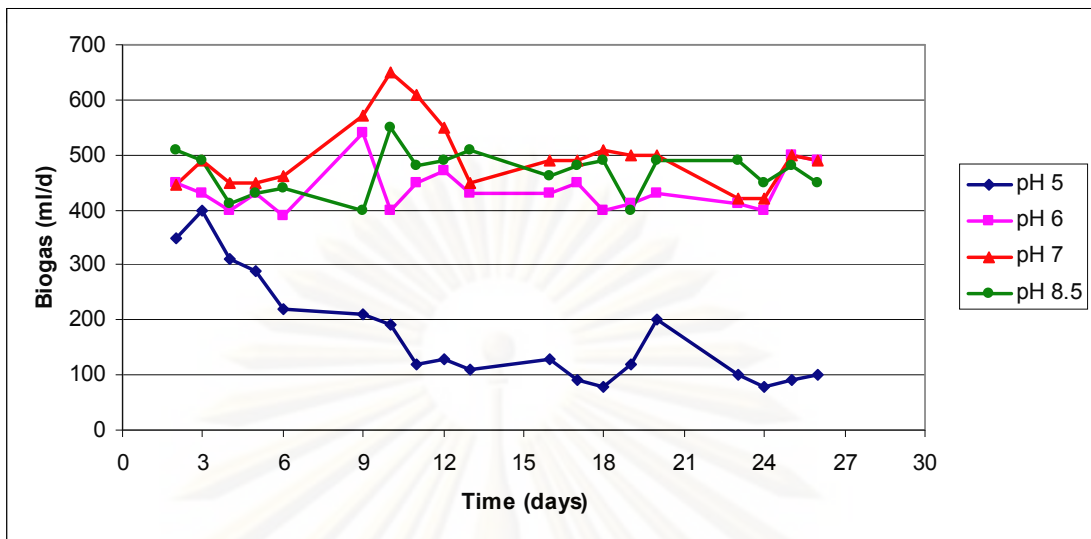
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



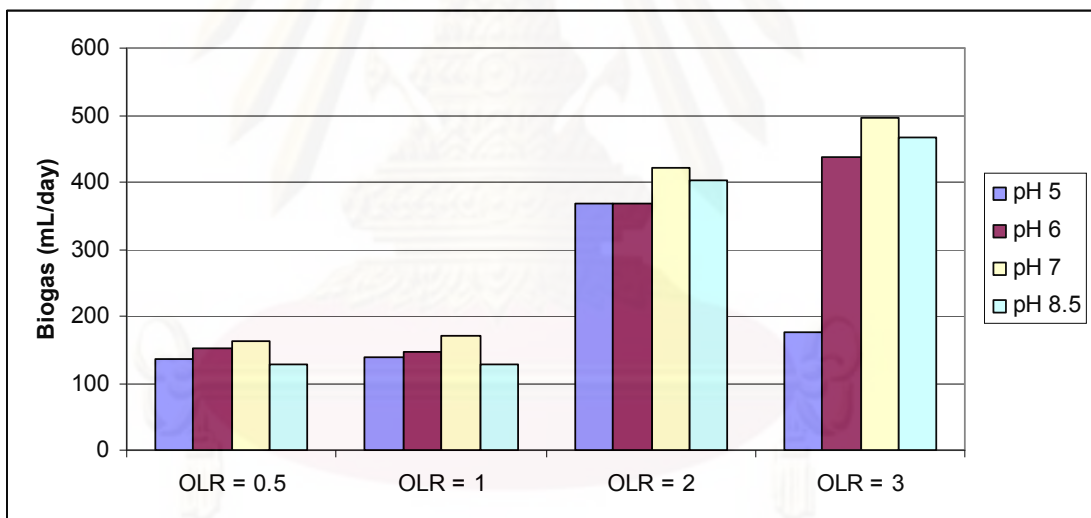
ภาพที่ 4.52 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกลบสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.53 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกลบสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.54 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรจุทกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.55 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพต่ออัตราภาระบรจุทกสารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2

4.1.2.10 สัดส่วนก๊าซมีเทน

สัดส่วนก๊าซมีเทนของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่ค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 ของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยที่อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีสัดส่วนก๊าซมีเทนเท่ากับ 26.65, 31.88, 45.35 และ 24.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีสัดส่วนก๊าซมีเทนเท่ากับ 40.68, 45.92, 53.44 และ 30.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีสัดส่วนก๊าซมีเทนเท่ากับ 23.59, 52.67, 60.54 และ 60.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สัดส่วนก๊าซมีเทนของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.42 – 4.44 และภาพที่ 4.56 – 4.59 ส่วนที่อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.028, 0.035, 0.067 และ 0.032 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด แสดงดังภาพที่ 4.60 ส่วนที่อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.053, 0.053, 0.065 และ 0.042 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด แสดงดังภาพที่ 4.61 ส่วนที่อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.019, 0.065, 0.074 และ 0.070 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด แสดงดังภาพที่ 4.62 ตารางที่ 4.42 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

สัดส่วน ก๊าซมีเทน (%)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5
	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง
ค่าเฉลี่ย	26.65	31.88	45.35	24.67

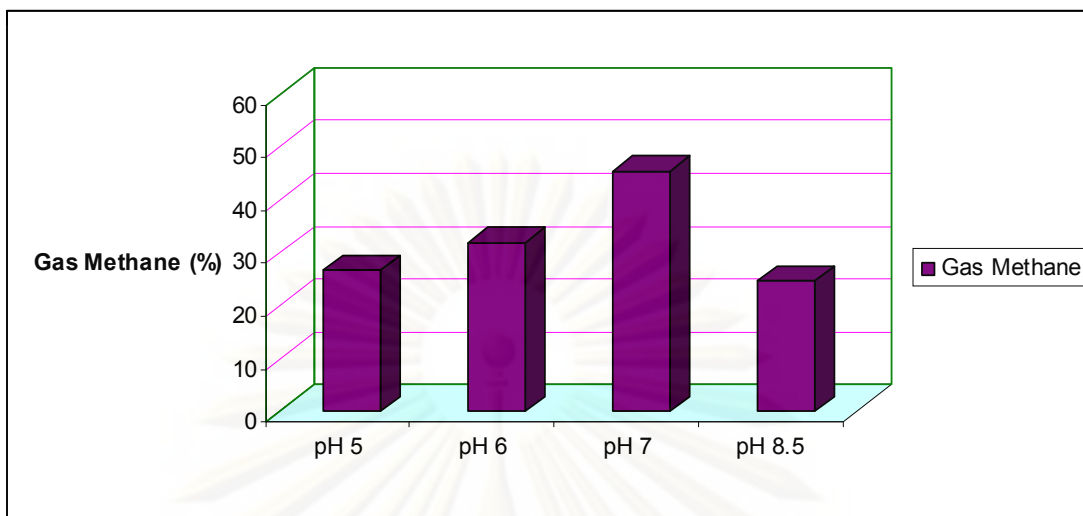
ตารางที่ 4.43 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน)

สัดส่วน ก๊าซมีเทน (%)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5
	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง
ค่าเฉลี่ย	40.68	45.92	53.44	30.37

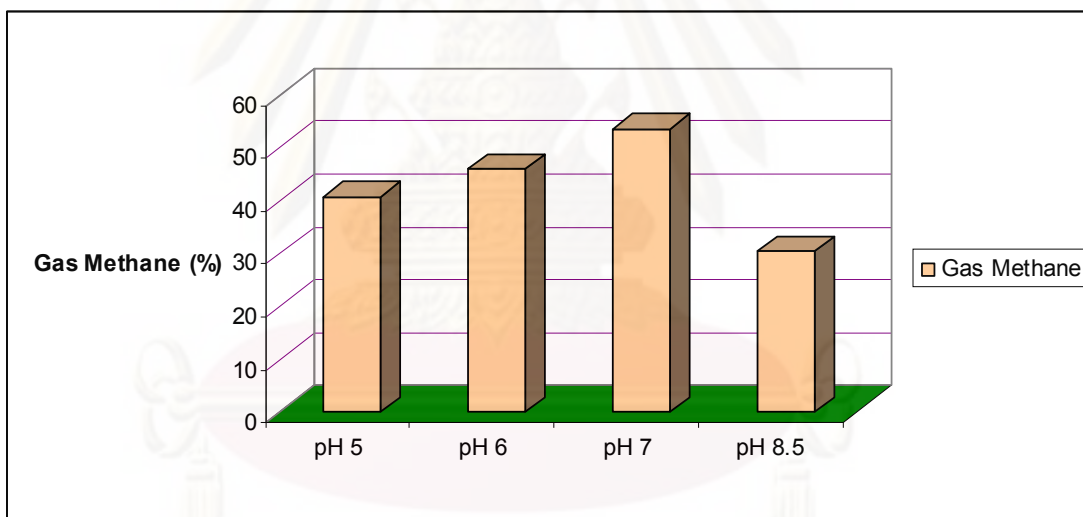
ตารางที่ 4.44 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน)

สัดส่วน ก๊าซมีเทน (%)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 pH 5	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 pH 6	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 pH 7	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 pH 8.5
	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง	ผลการทดลอง
ค่าเฉลี่ย	23.59	52.67	60.54	60.05

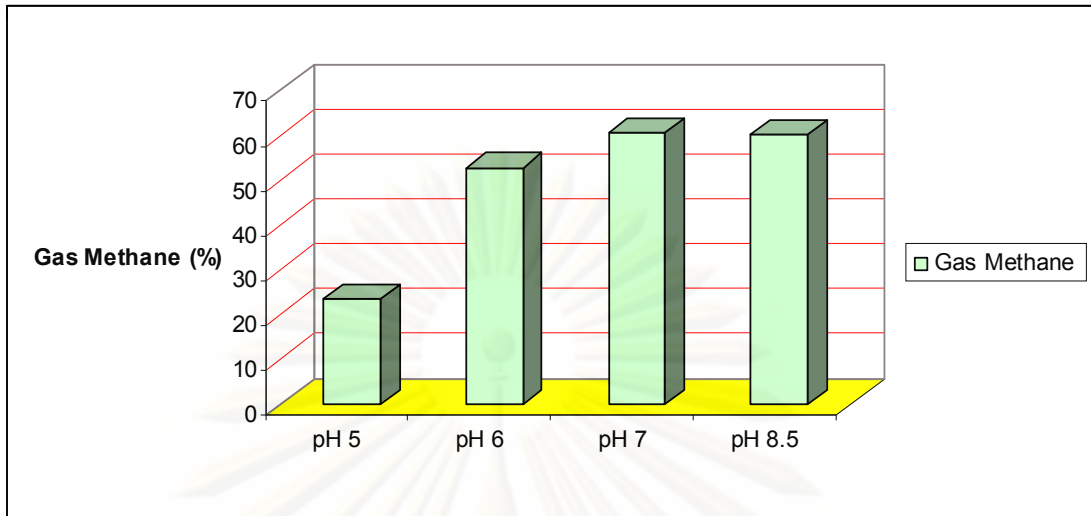
จากตารางที่ 4.42 – 4.44 และภาพที่ 4.56 – 4.59 จะเห็นว่า จากการพิจารณา ปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบของถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5, 6, 7 และ 8.5 พบว่าปริมาณ ก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้น จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำ และเมื่อพิจารณาค่าชีโอดีที่ถูกใช้ไปในการเกิดปฏิกิริยา รีดักชันซัลเฟตมีค่าสูง แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) นั้นเข้าไปแย่งอาหารกับแบคทีเรีย สร้างมีเทน (MPB) จึงมีการผลิตก๊าซมีเทนออกมาน้อย และจากการทดลองนี้ พบว่าปริมาณก๊าซ ชีวภาพมีน้อยมาก โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 200 – 500 มิลลิลิตรต่อวัน ซึ่งสัดส่วนของก๊าซมีเทน ที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ดีควรมีค่าประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ การที่เป็น เช่นนี้เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนถูกยับยั้งการทำงานจากซัลเฟตและซัลไฟด์ที่มากับน้ำเสีย ซึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ชนิษฐา หทัยสมิทธิ์, 2547) พบว่า การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ประเภทเดียวกัน มีการผลิตก๊าซมีเทนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้จากงานวิจัยของ (Lin และคณะ, 2001) ที่พบว่าค่าความเข้มข้นของซัลเฟตที่ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ของซัลเฟอร์สามารถ ยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน 50 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 30 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่สามารถ ผลิตก๊าซมีเทนได้เพียง 23.39 – 60.54 เปอร์เซ็นต์



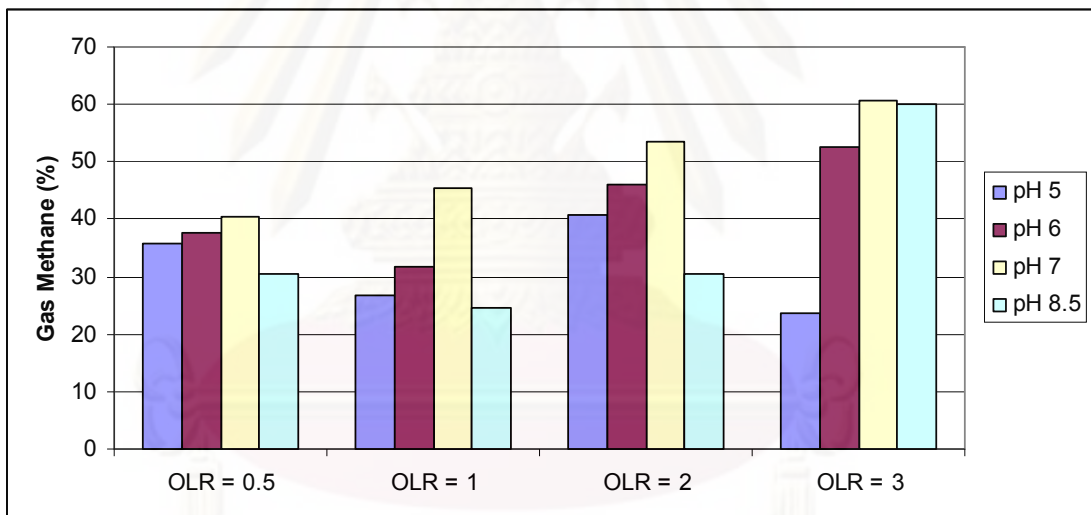
ภาพที่ 4.56 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.57 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

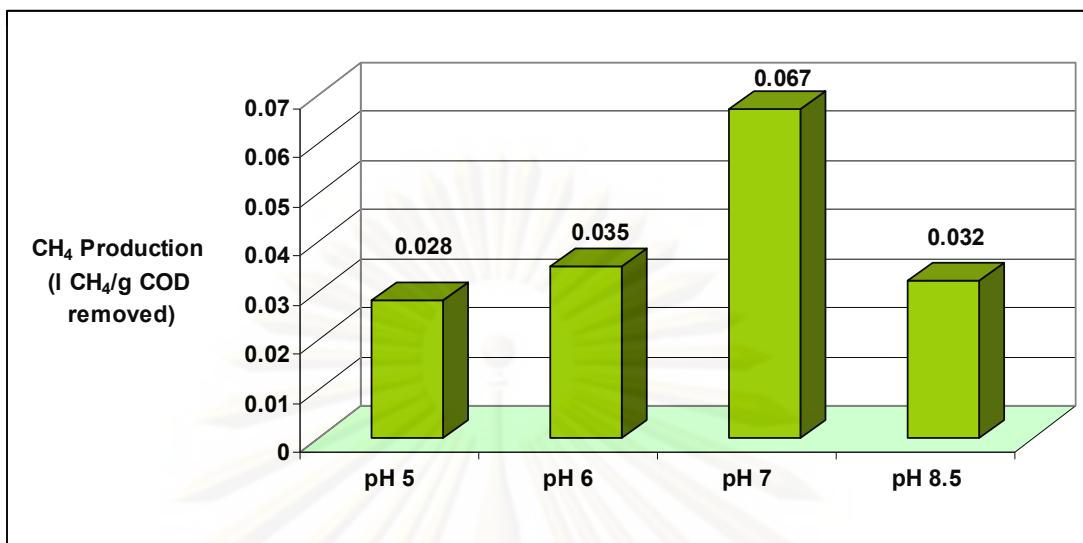


ภาพที่ 4.58 สัดส่วนก๊าซมีเทนของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

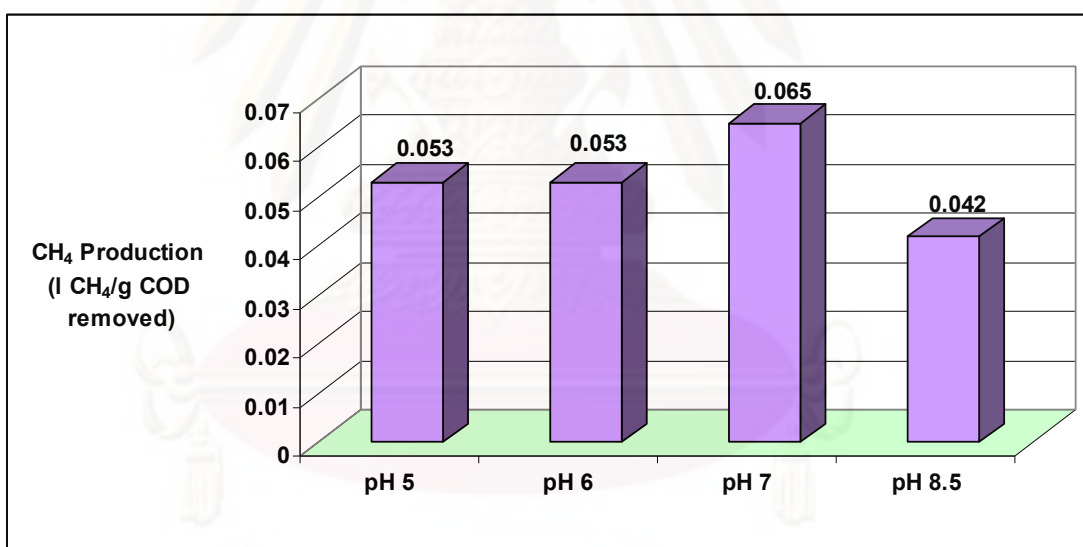


ภาพที่ 4.59 เปรียบเทียบสัดส่วนก๊าซมีเทนต่ออัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2

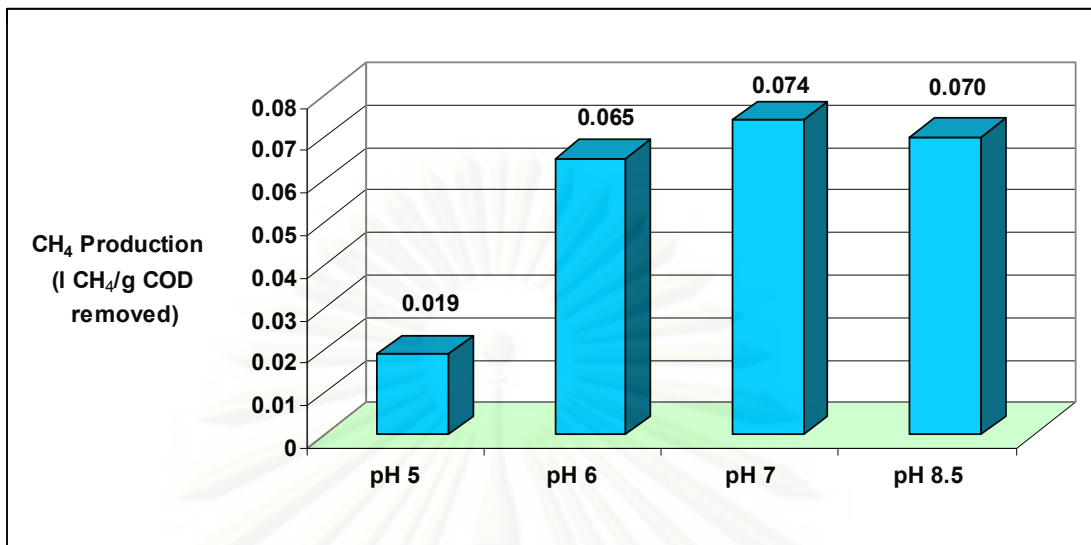
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



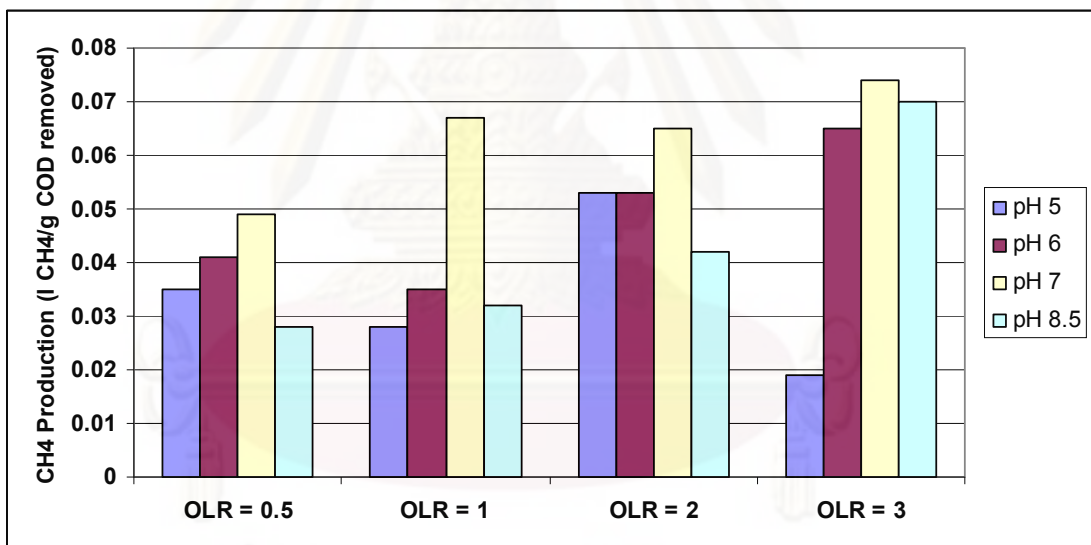
ภาพที่ 4.60 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (อัตราภาะระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.61 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (อัตราภาะระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.62 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)



ภาพที่ 4.63 เปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2

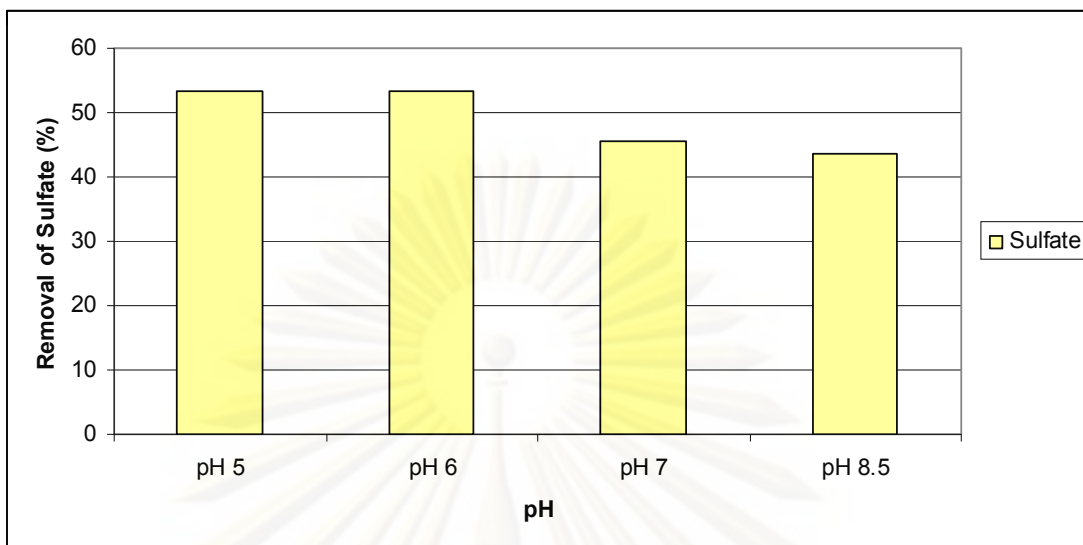
4.2 การวิจารณ์ผลของพีเอชและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการลดซัลเฟตและประสิทธิภาพในระบบยูเอเอสพีสำหรับการบำบัดน้ำเสียอย่างขั้น (ช่วงการทดลองที่ 1 และ 2)

4.2.1 ซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด

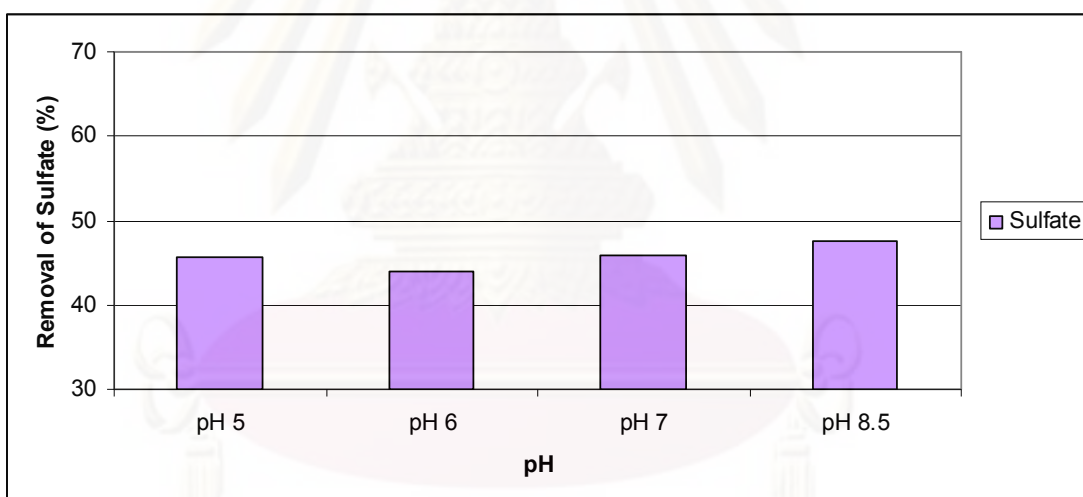
จากผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ) กำหนดค่าพีเอช ให้แก่ระบบเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 53.40, 53.30, 44.89 และ 43.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแสดงได้ดังภาพที่ 4.64 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดี 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 45.60, 43.89, 45.89 และ 47.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแสดงได้ ดังภาพที่ 4.65 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดี 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 50.70, 59.64, 64.79 และ 47.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแสดงได้ดังภาพที่ 4.66 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดี 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 39.32, 50.59, 55.41 และ 49.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแสดงได้ดังภาพที่ 4.67

ศูนย์วิทยทรัพยากร

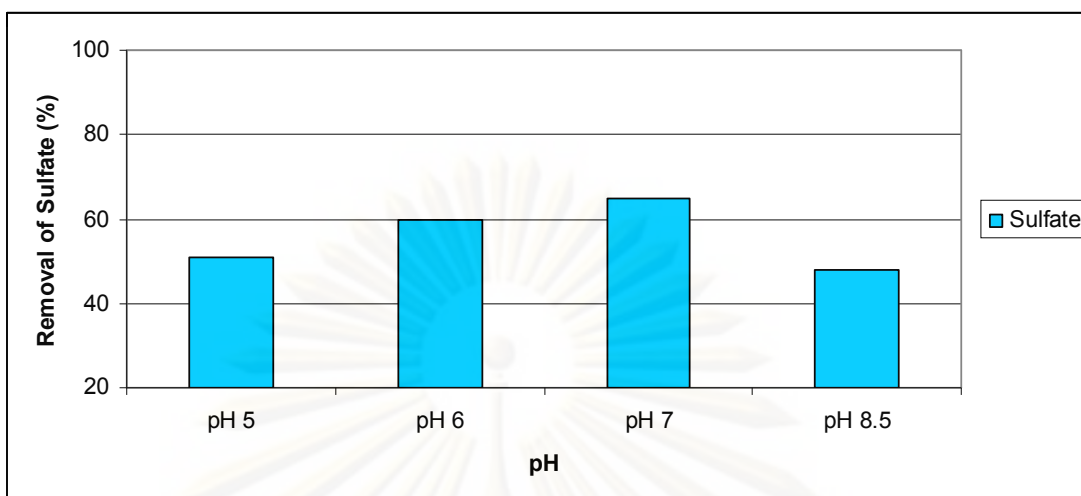
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



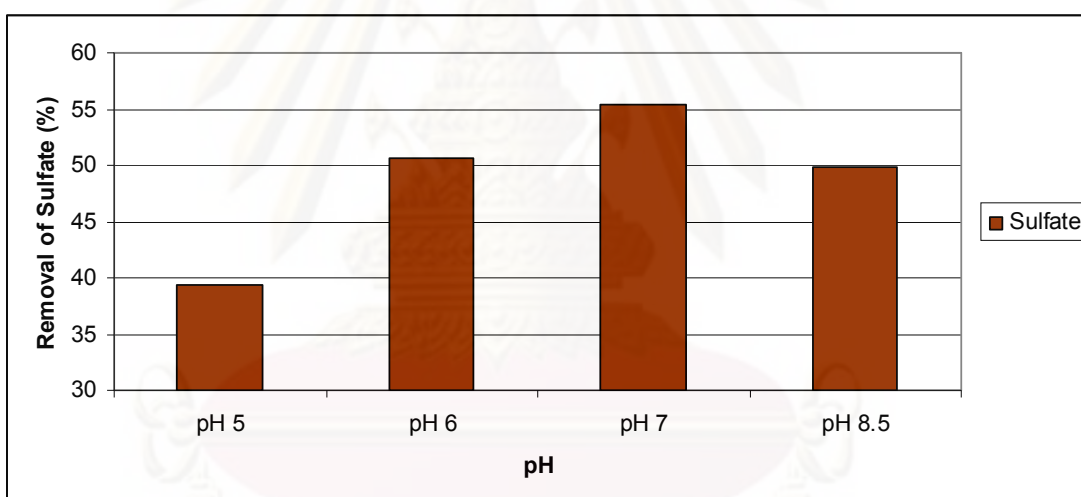
ภาพที่ 4.64 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.65 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 2 ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 1 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.66 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชที่ต่างกันของการทดลองช่วงที่ 2 ที่อัตรา
การะบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.67 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชที่ต่างกันของการทดลองช่วงที่ 2 ที่อัตรา
การะบรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

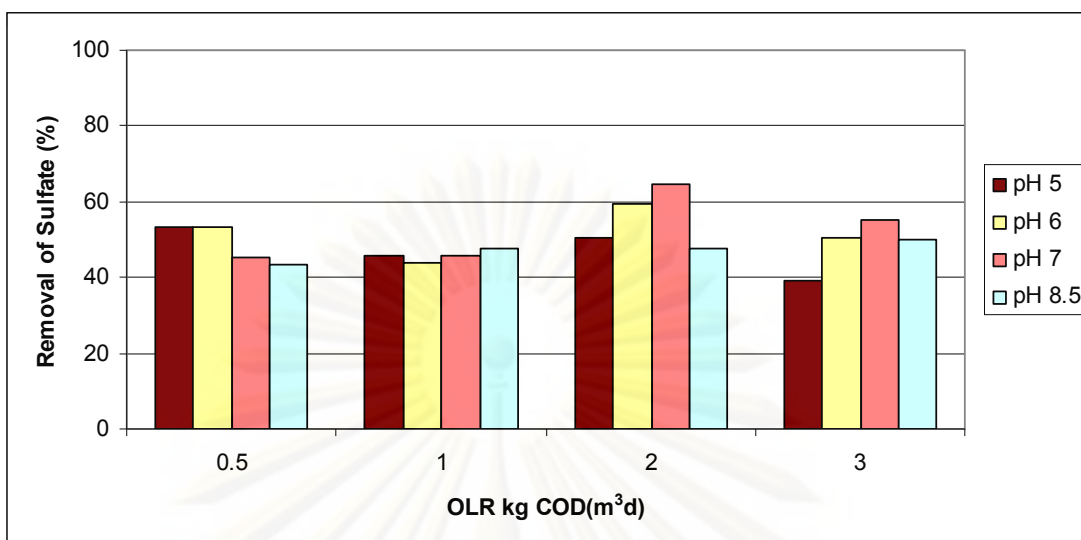
จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า ที่อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตสูงสุด โดยพบว่าที่ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีค่าพีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยสูงสุด อาจเนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่อยู่ในระบบสามารถทำงานได้ดีในสภาวะนี้ ส่งผลให้ซัลเฟตที่อยู่ในระบบลดน้อยลง จากนั้นได้ทำการเพิ่มอัตราการะบรทุกสารอินทรีย์เป็น 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน พบว่า ที่อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ที่ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีค่าพีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเช่นกัน เนื่องจาก

สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนกับซัลเฟตเพื่อเปลี่ยนไปเป็นซัลไฟด์ ดังนั้นเมื่อซัลเฟตในน้ำลดลงมาก นั่นแสดงว่ามีการใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียมากเช่นกัน คือการที่ซัลเฟตถูกกำจัดได้มาก ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะสูงตามไปด้วย ซึ่งการที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีค่าพีเอช 7 นี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตสูงกว่าถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 4 ที่มีค่าพีเอช 5, 6 และ 8.5 ตามลำดับ กล่าวคือ เป็นผลจากการปรับพีเอชที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อ Activity ของจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้ถึงปฏิกรณ์ที่มีการปรับพีเอชที่แตกต่างกันมีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตแตกต่างกัน ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกลับน้อยกว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน อาจเป็นเพราะระบบยังไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะดังกล่าวได้ทัน

จากงานวิจัยของ (อุรธา เศรษฐฐีริกิจ, 2542) พบว่า ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 4 และ 2 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเท่ากับ 92.7 และ 95.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ในทุกการทดลอง และอีกงานวิจัยหนึ่งของ (อนุตร เปียงแก้ว, 2542) ที่พบว่า เมื่ออัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 0.6, 6 และ 12 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเท่ากับ 66, 87 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งต่างจากงานวิจัยนี้ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตและซีโอดีต่ำ คือ ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ เป็นผลจากการที่ในน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นมีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ โดยซัลเฟตทำหน้าที่เป็นสารรับอิเล็กตรอน ทำให้เกิดการแข่งขันกันแย่งใช้สารอินทรีย์ระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ซึ่งการที่แบคทีเรียชนิดใดจะสามารถชนะแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ได้อย่างเด็ดขาด และกลายเป็นแบคทีเรียที่โดดเด่นในระบบได้นั้นจะต้องพิจารณาปัจจัยหลายอย่างร่วมกัน

ประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการกำจัดซัลเฟตต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2 แสดงได้ดังภาพที่ 4.68 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ถึงปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตสูงกว่าถึงปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอช 5 และ 8.5 ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอช 7 และ 8.5 ประสิทธิภาพค่อนข้างใกล้เคียงกัน

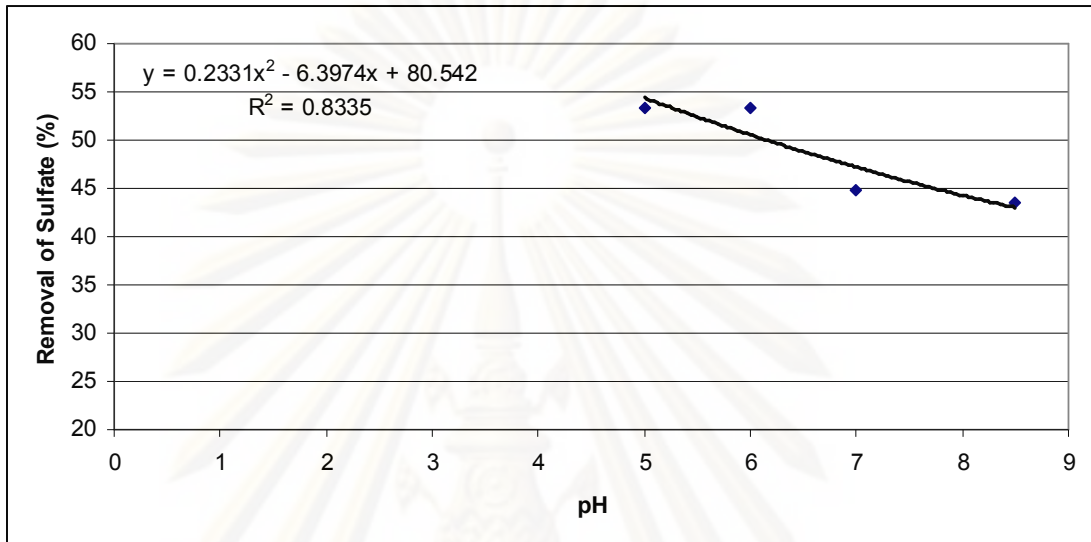
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



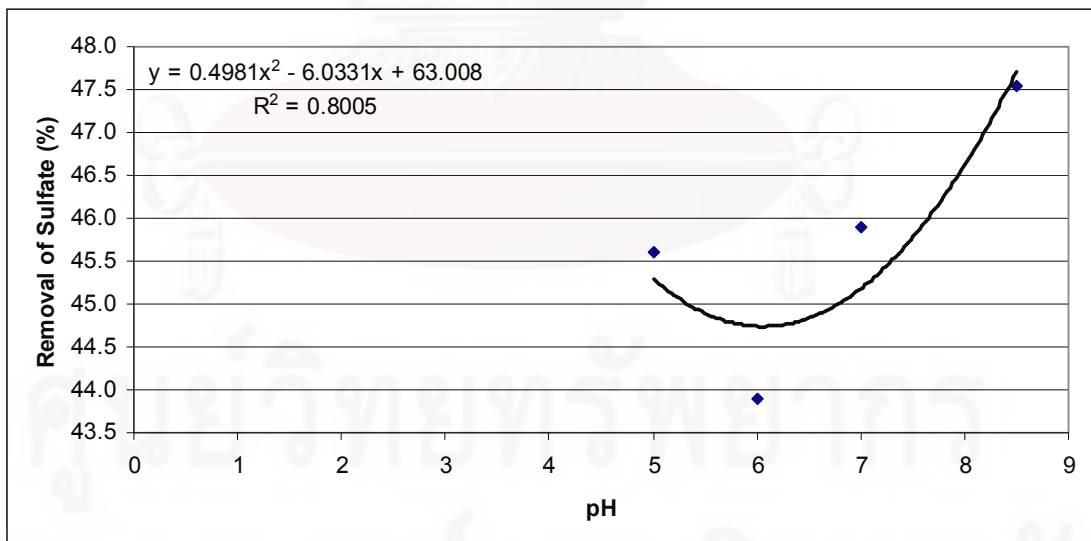
ภาพที่ 4.68 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองครั้งที่ 1 และ 2

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชต่างๆปัจจัยหนึ่งที่มีผลให้การกำจัดซัลเฟตสำหรับการทดลองในครั้งนี้คือสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ เนื่องจากในน้ำเสียมีจุลินทรีย์ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสมจะส่งผลต่อจุลินทรีย์ในระบบ โดยแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพออกจากระบบ ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์ดังกล่าวอยู่ในสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ จะทำให้การกำจัดซัลเฟตก็ย่อมเกิดต่ำลงเช่นกัน และเมื่อนำประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีที่ได้มาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์กับค่าพีเอช พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นกราฟพาราโบลาหงาย สามารถแสดงดังภาพที่ 4.69 – 4.70 โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.2331x^2 - 6.3974x + 80.542$ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = -0.4981x^2 + 6.0331x + 63.008$ ส่วนความสัมพันธ์เป็นกราฟพาราโบลาคว่ำ สามารถแสดงดังภาพที่ 4.71 – 4.72 โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -4.7625x^2 + 63.767x - 149.71$ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -3.3446x^2 + 48.161x - 117.89$ จากสมการเมื่อคำนวณหาจุดสูงสุดของกราฟเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมและประสิทธิภาพที่สามารถกำจัดซีโอดีที่เกิดขึ้นได้สูงสุด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 6.7 สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 63.73 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุก

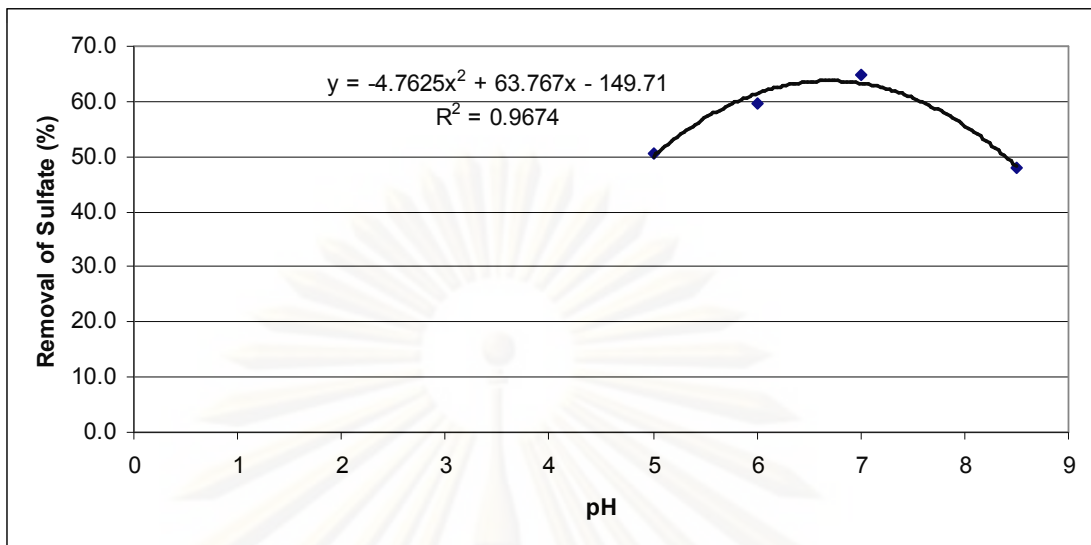
สารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 7.2 สามารถกำจัดซีไอดีสูงสุด 55.43 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 และ 1.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ไม่สามารถหาจุดสูงสุดได้เนื่องจากได้กราฟเป็นพาราโบลาหงาย



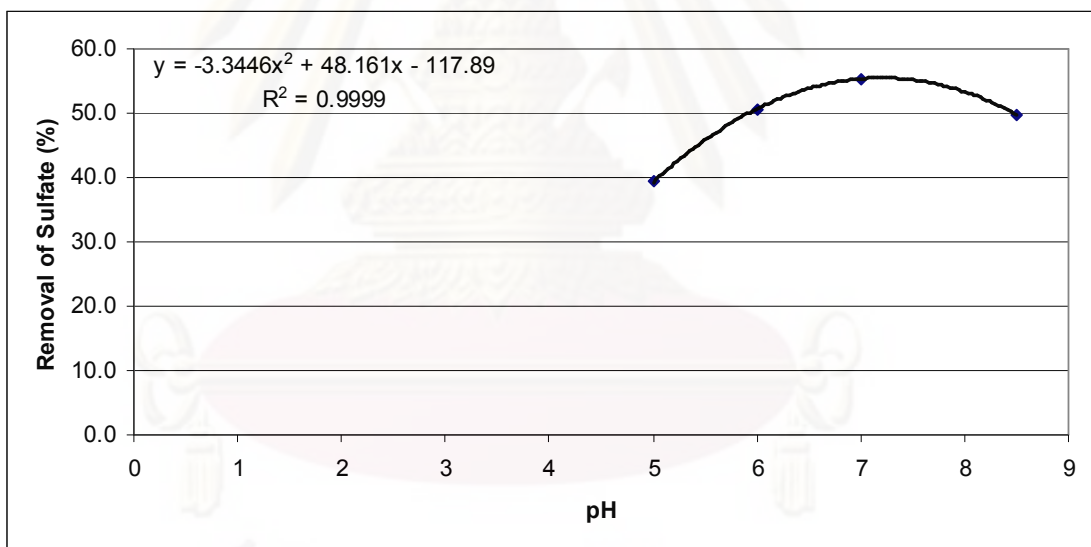
ภาพที่ 4.69 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.70 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.71 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับค่าพีเอชที่อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.72 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตกับค่าพีเอชที่อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

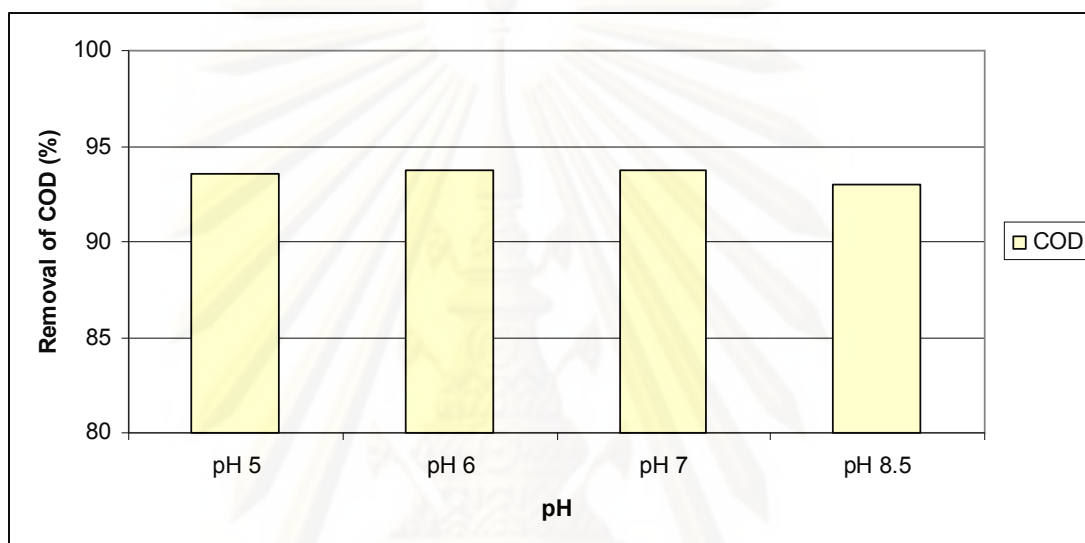
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

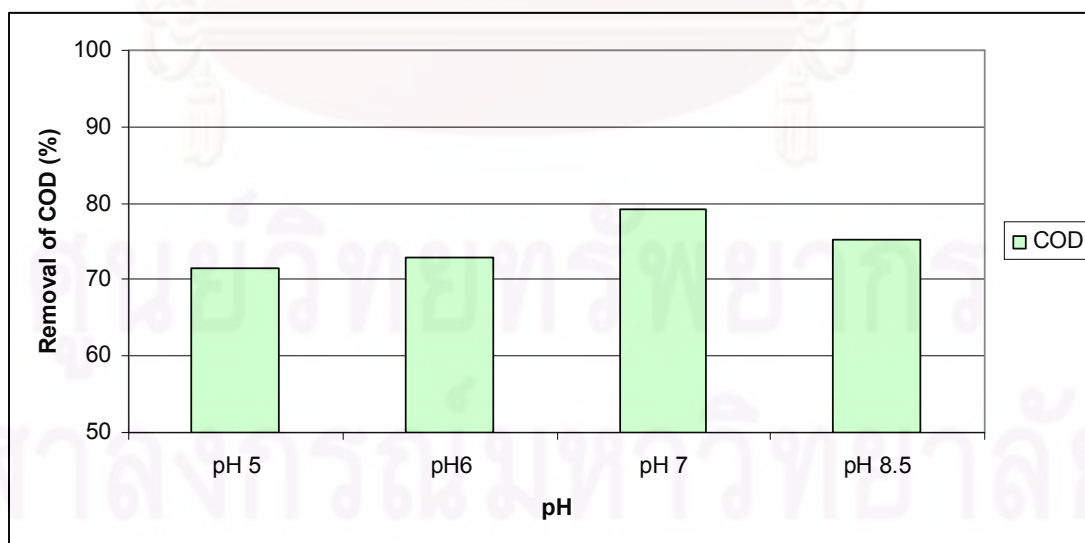
จากผลการทดลองที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 0.5, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ) กำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 93.58, 93.73, 94.10 และ 92.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแสดงได้ดังภาพที่ 4.73 ที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีโอดี 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 71.54, 72.82, 79.19 และ 75.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแสดงได้ดังภาพที่ 4.74 ที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีโอดี 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 57.84, 63.92, 72.59 และ 60.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแสดงได้ดังภาพที่ 4.75 ที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีโอดี 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 26.79, 43.11, 49.29 และ 48.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแสดงได้ดังภาพที่ 4.76

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า ที่อัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุด โดยพบว่าที่ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีค่าพีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดไม่แตกต่างกันมาก อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของซีโอดีค่อนข้างต่ำ โดยการสังเกตจากน้ำเสียที่นำมาเจือจาง มีลักษณะค่อนข้างใส จากนั้นได้ทำการเพิ่มอัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์เป็น 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน พบว่า เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ขึ้นเรื่อยๆเป็น 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ตามลำดับ ผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อเพิ่มอัตราภาวะบรรทุksารอินทรีย์ขึ้นเรื่อยๆ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้จุลินทรีย์ในระบบบำบัดเพิ่มมากขึ้น และค่าพีเอชที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแตกต่างกัน โดยที่ pH 7 สามารถกำจัดซีโอดีได้

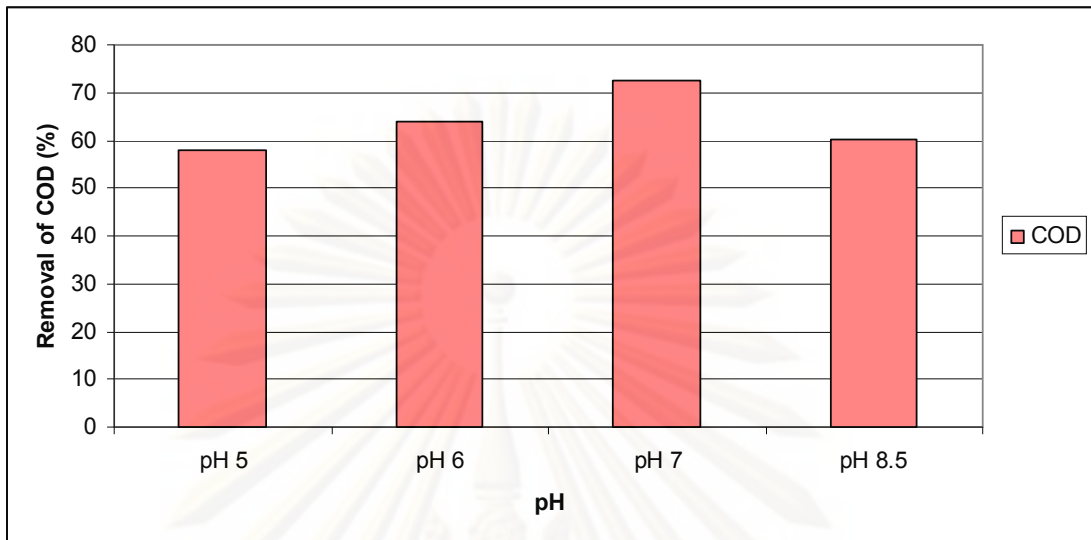
มากที่สุด แสดงว่าแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถทำงานได้ดีในสภาวะนี้ นอกจากนี้ จากผลการทดลอง สังเกตได้ว่าที่ pH 5 ของทุกความเข้มข้นของซีโอดี มีประสิทธิภาพในการกำจัด น้อยที่สุด แสดงว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ง่ายขึ้นได้น้อย และแบคทีเรียไม่ สามารถอยู่ได้ในสภาวะที่ pH ต่ำ ๆ สังเกตเห็นได้จากการฟุ้งของตะกอน โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น ของซีโอดีที่ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เกิดค่อนข้างน้อย และปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ลดลงอย่าง เห็นได้ชัด



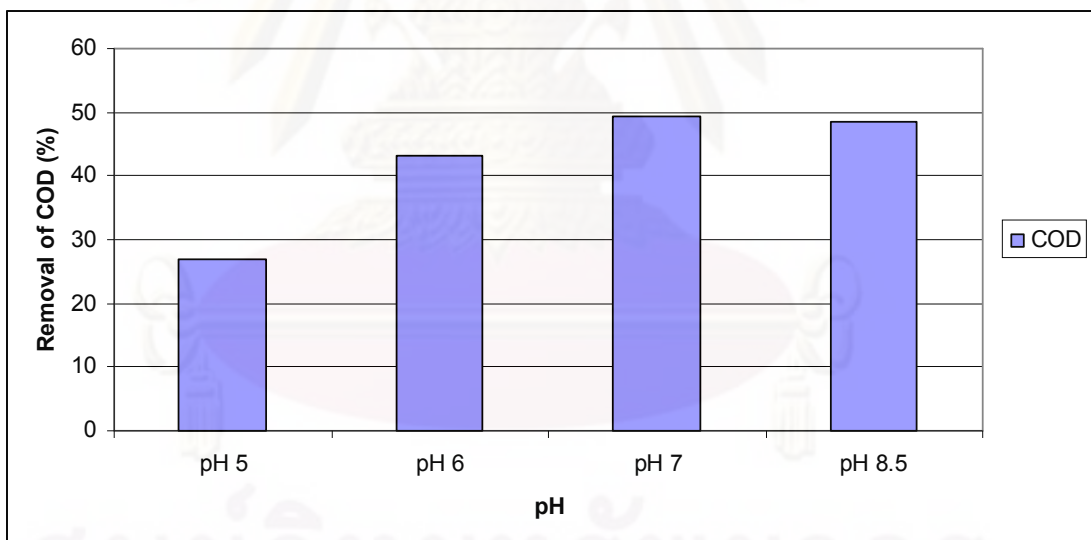
ภาพที่ 4.73 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.74 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 2 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

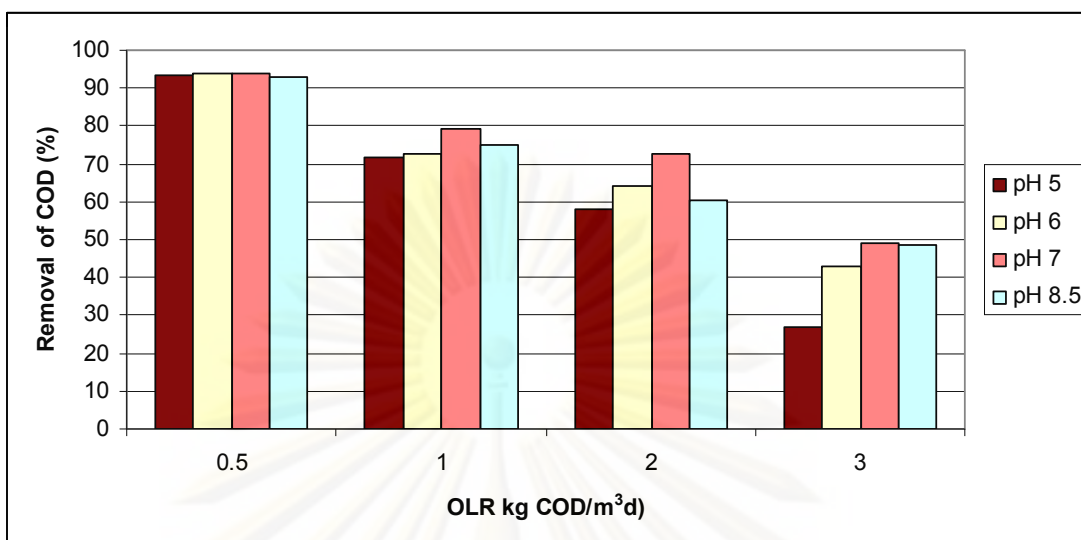


ภาพที่ 4.75 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ค่าพีเอชที่ต่างกันของการทดลองช่วงที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.76 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ค่าพีเอชที่ต่างกันของการทดลองช่วงที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

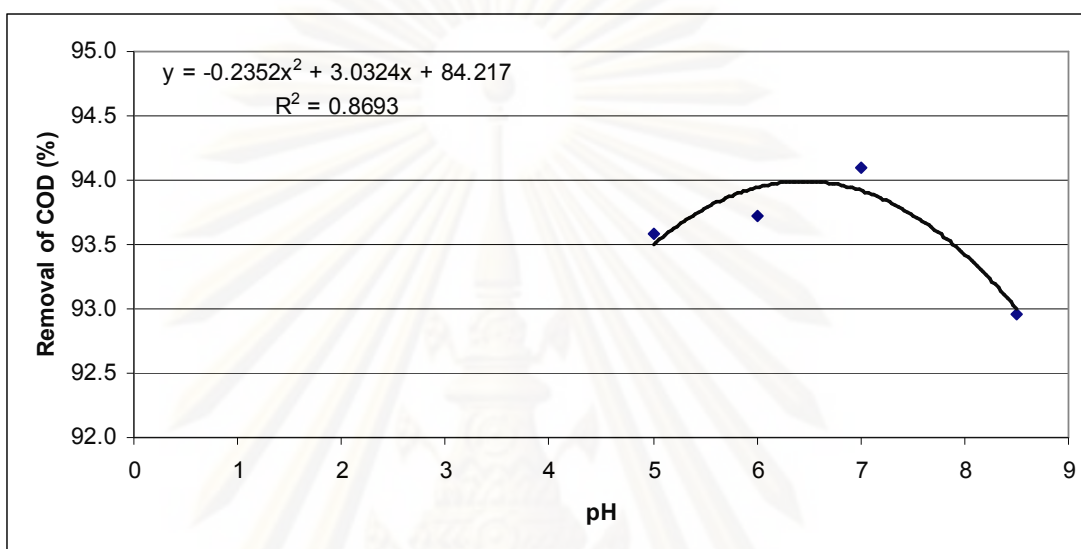
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



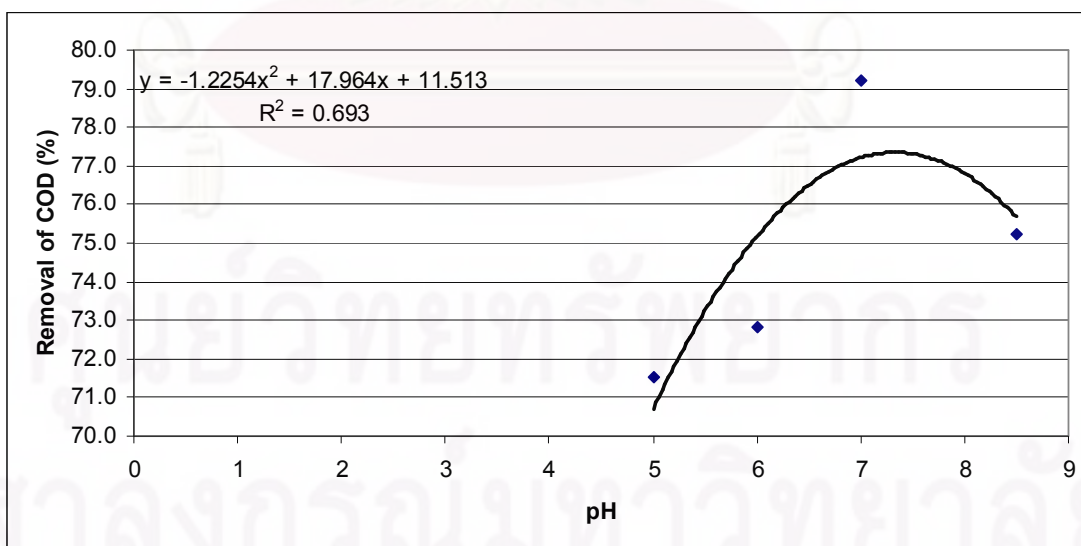
ภาพที่ 4.77 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ค่าพีเอชต่างๆปัจจุบันหนึ่งที่มีผลให้การกำจัดซีโอดีสำหรับการทดลองในครั้งนี้คือสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของระบบเนื่องจากในน้ำเสียมีจุลินทรีย์ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสมจะส่งผลต่อจุลินทรีย์ในระบบ โดยแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพออกจากระบบ ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์ดังกล่าวอยู่ในสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงานของ จุลินทรีย์ในระบบ จะทำให้การกำจัดซีโอดีก็ย่อมเกิดต่ำลงเช่นกัน และเมื่อนำประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีที่ได้มาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์กับค่าพีเอช พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นกราฟพาราโบลาคว่ำ สามารถแสดงดังภาพที่ 4.78 – 4.81 โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = -0.2352x^2 + 3.0324x + 84.217$ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = -1.2254x^2 + 17.964x + 11.513$ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -3.6323x^2 + 50.227x - 103.59$ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -3.6247x^2 + 54.96x - 157.07$ จากสมการเมื่อคำนวณหาจุดสูงสุดของกราฟเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมและประสิทธิภาพที่สามารถกำจัดซีโอดีที่เกิดขึ้นได้สูงสุด พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 6.5 สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 93.99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 7.3

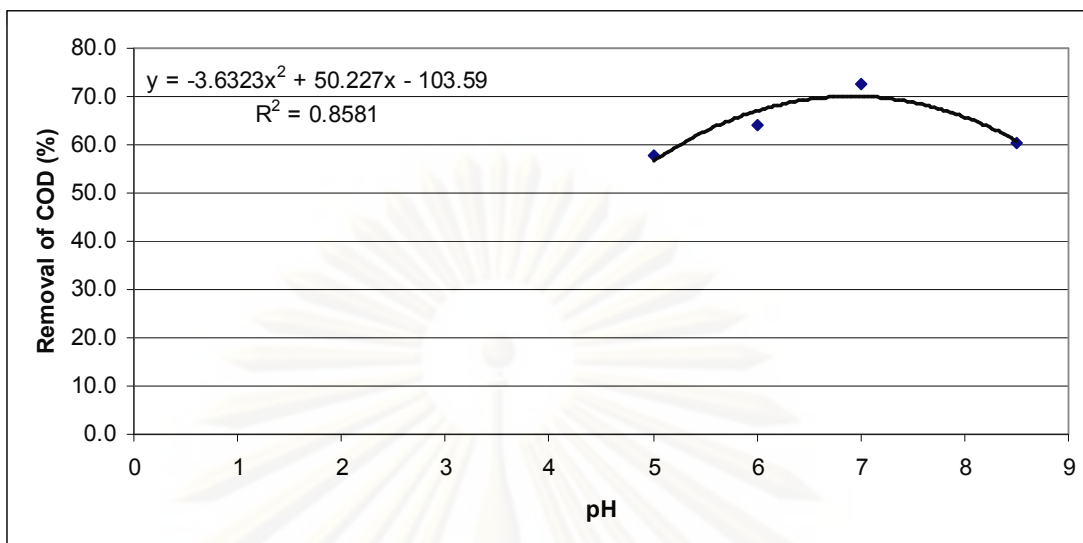
สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 77.35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 6.9 สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 70.05 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 7.6 สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 51.27 เปอร์เซ็นต์



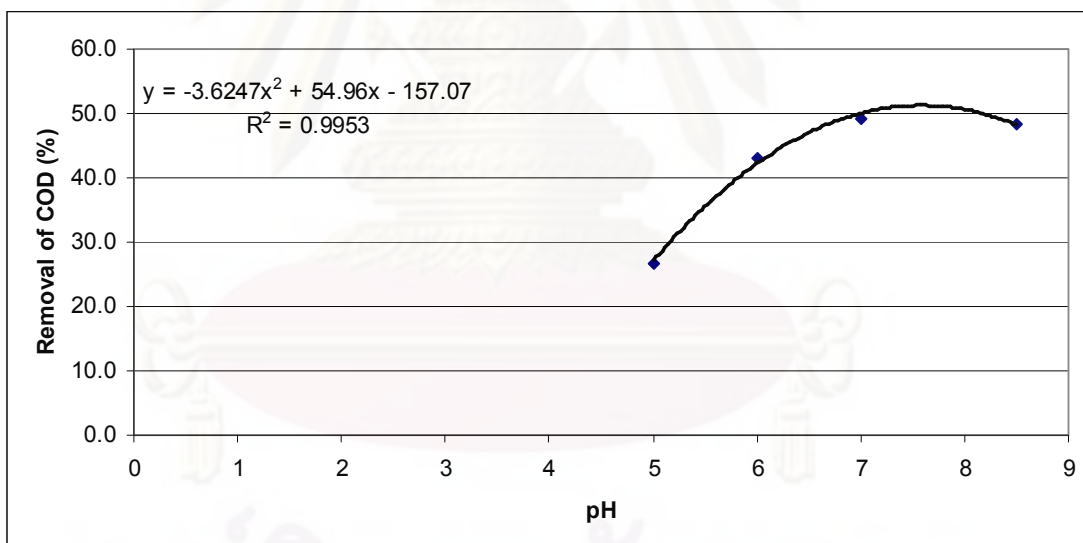
ภาพที่ 4.78 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.79 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.80 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.81 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

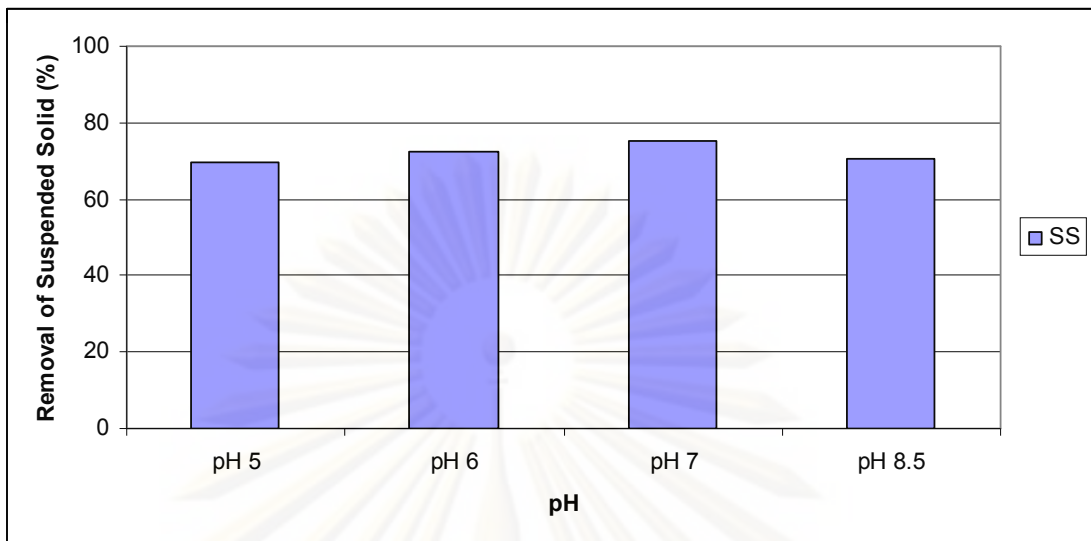
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

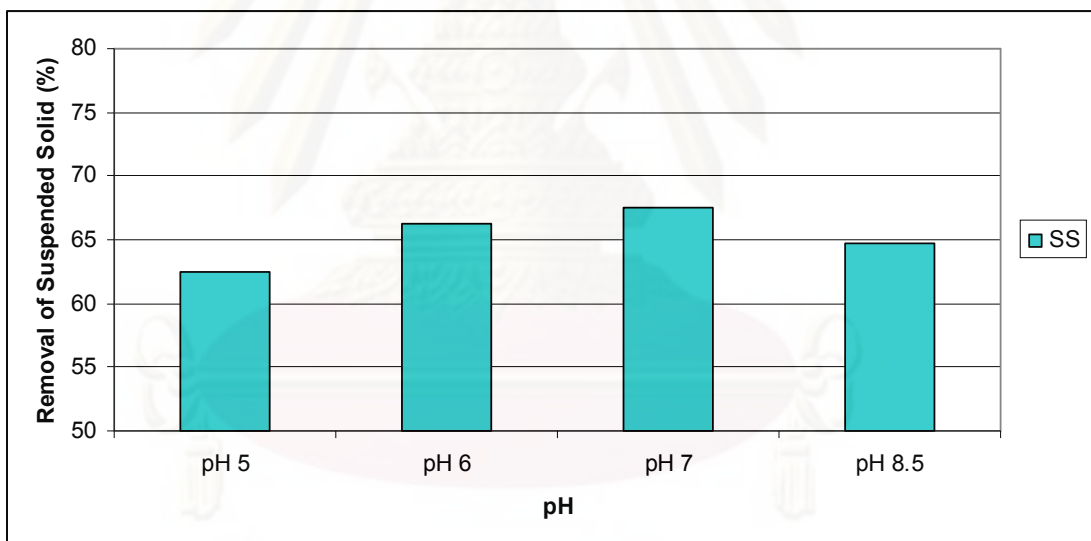
จากผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 และ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก จ) กำหนดค่าพีเอชให้แก่ระบบเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8.5 สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 69.52, 72.34, 75.05 และ 70.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแสดงได้ดังภาพที่ 4.82 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดี 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 62.42, 66.22, 67.51 และ 64.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแสดงได้ดังภาพที่ 4.83 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดี 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 39.37, 56.63, 67.18 และ 55.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแสดงได้ดังภาพที่ 4.84 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน คิดในรูปของความเข้มข้นซีไอดี 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 29.98, 37.43, 44.88 และ 38.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแสดงได้ดังภาพที่ 4.85

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด โดยพบว่าที่ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีค่าพีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากเป็นสภาวะที่แบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศสามารถดำรงชีพและเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะนี้ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่า ทำให้ตะกอนในถังปฏิกรณ์ฟุ้งกระจายมากกว่า ทั้งนี้ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นนั้นเป็นน้ำเสียที่มีสารประกอบที่ซับซ้อนย่อยสลายได้ยาก จึงต้องใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น และพบว่าที่ pH 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศ ส่วนที่ pH 5 และ pH 8.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยค่อนข้างน้อยกว่า เมื่อทำการเพิ่มอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เป็น 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./

วัน พบว่าที่ pH 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยสูงสุด ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วันจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีที่ลดลง โดยที่ pH 5 ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนที่ pH 7 ประสิทธิภาพค่อนข้างใกล้เคียงกันกับที่ความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ pH 6 และ pH 8.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างใกล้เคียงกัน และที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าแนวโน้มของปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 น้ำเข้ามีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 517 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ เท่ากับ 360, 321, 285 และ 318 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 29.98, 37.43, 44.88 และ 38.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากภาพที่ 4.86 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง โดยที่เมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าประสิทธิภาพค่อย ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ pH 5 ประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเช่นเดียวกัน และสังเกตจากน้ำที่ออกจากระบบ พบว่า มีพวกเศษยาง และพวกตะกอนหลุดออกมาเป็นจำนวนมาก แสดงว่าในน้ำเสียน้ำยางชั้นต้องทำการปรับสภาพให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของระบบ ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าน้ำเสียจริงที่เก็บมาจากโรงงานมีค่าพีเอชประมาณ 4.74 – 5.18 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ จึงจำเป็นต้องทำการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ส่วนที่ pH 6 และ 8.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างใกล้เคียงกัน และที่ pH 7 สามารถระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุด และจากการสังเกตของผู้ทำการทดลอง พบว่า ปัญหาการอุดตันของสายยางของน้ำที่ออกจากระบบเนื่องจากมีพวกเศษยางที่แข็ง เกาะติดจับบริเวณสายยางด้านใน ทำให้น้ำไม่สามารถไหลออกได้ โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่มีค่า pH 5 จะพบปัญหาบ่อยสุด

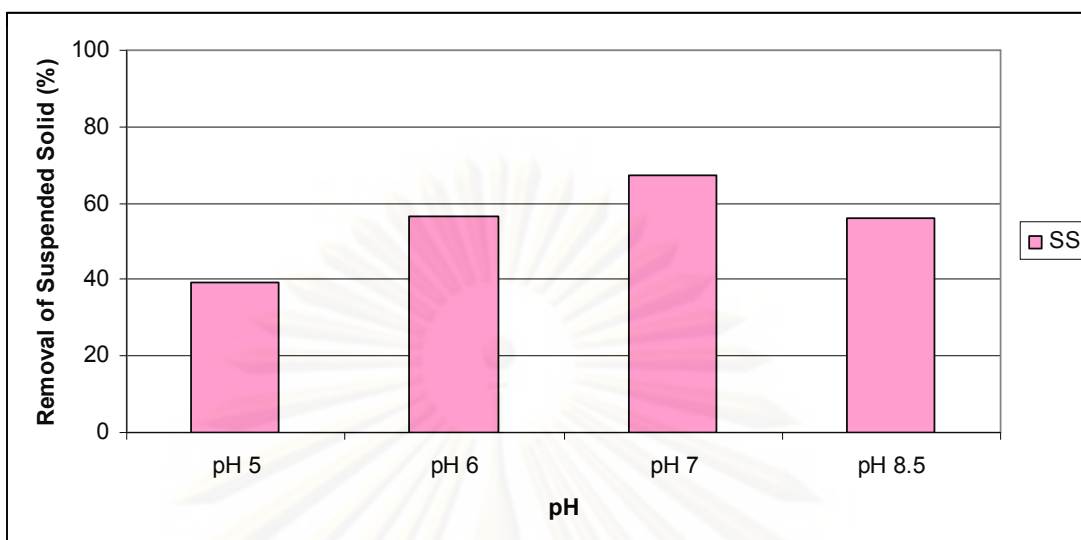


ภาพที่ 4.82 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลอง ช่วงที่ 2 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

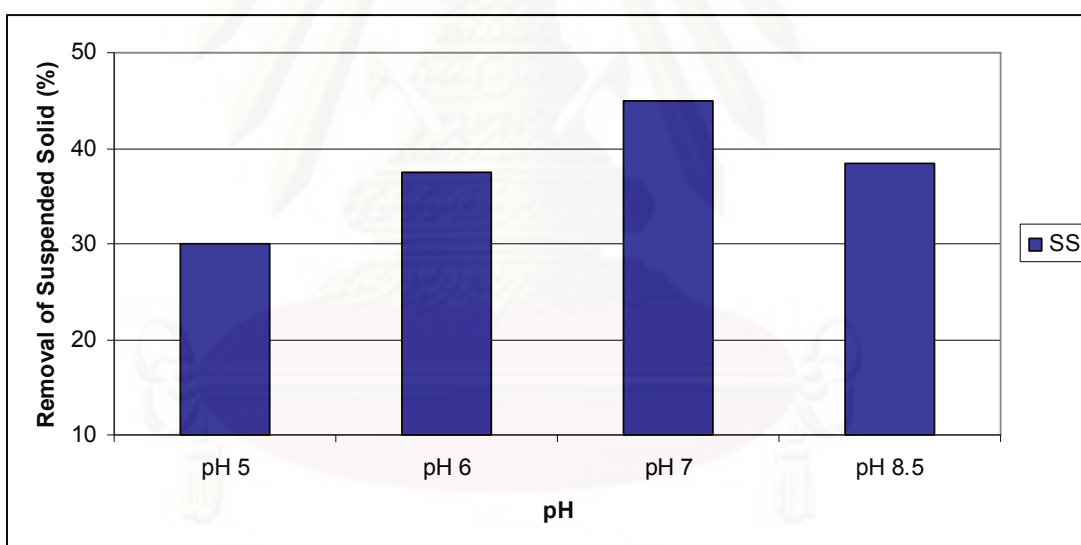


ภาพที่ 4.83 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลอง ช่วงที่ 2 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

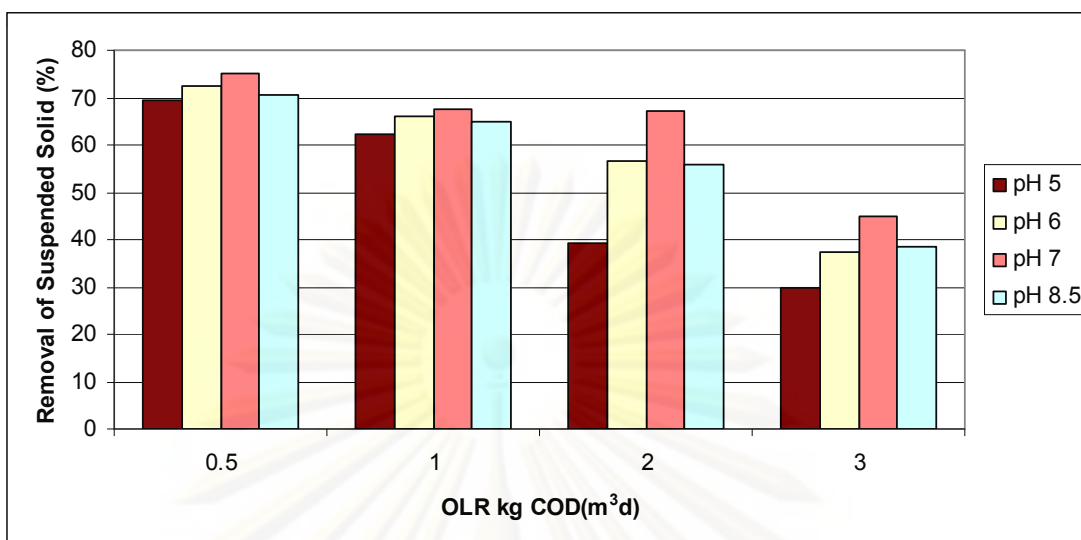
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.84 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลอง ช่วงที่ 2 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน



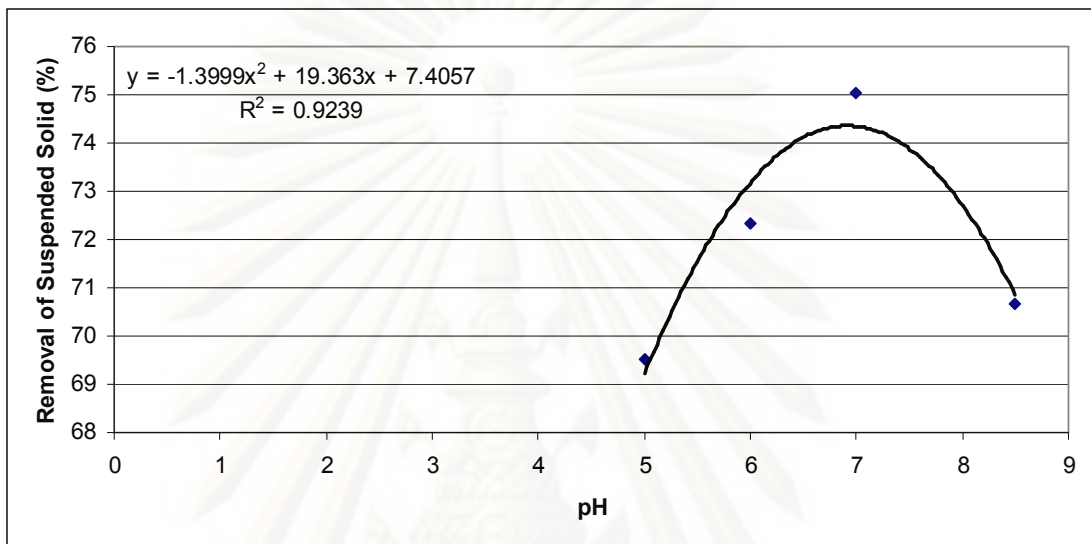
ภาพที่ 4.85 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลอง ช่วงที่ 2 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน



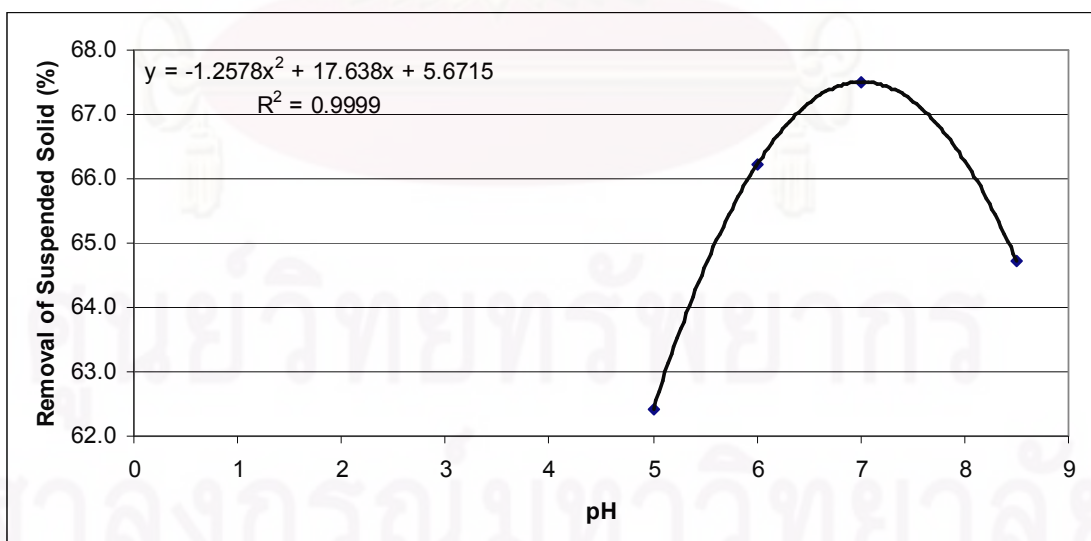
ภาพที่ 4.86 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ค่าพีเอชต่างๆ ปัจจัยหนึ่งที่มีผลให้การกำจัดของแข็งแขวนลอยสำหรับการทดลองในครั้งนี้คือสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ เนื่องจากในน้ำเสียมีจุลินทรีย์ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสมจะส่งผลต่อจุลินทรีย์ในระบบ โดยแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพออกจากระบบ ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์ดังกล่าวอยู่ในสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ จะทำให้การกำจัดของแข็งแขวนลอยก็ย่อมเกิดต่ำลงเช่นกัน และเมื่อนำประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ได้มาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์กับค่าพีเอช พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นกราฟพาราโบลาคว่ำ สามารถแสดงดังภาพที่ 4.87 – 4.90 โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -1.3999x^2 + 19.363x + 7.4057$ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -1.2578x^2 + 17.638x + 5.6715$ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -5.7329x^2 + 82.347x - 229.58$ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -2.8803x^2 + 41.582x - 106.56$ จากสมการเมื่อดำเนินการหาจุดสูงสุดของกราฟเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมและประสิทธิภาพที่สามารถกำจัดซีโอดีที่เกิดขึ้นได้สูงสุด พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 6.9 สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 74.36 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

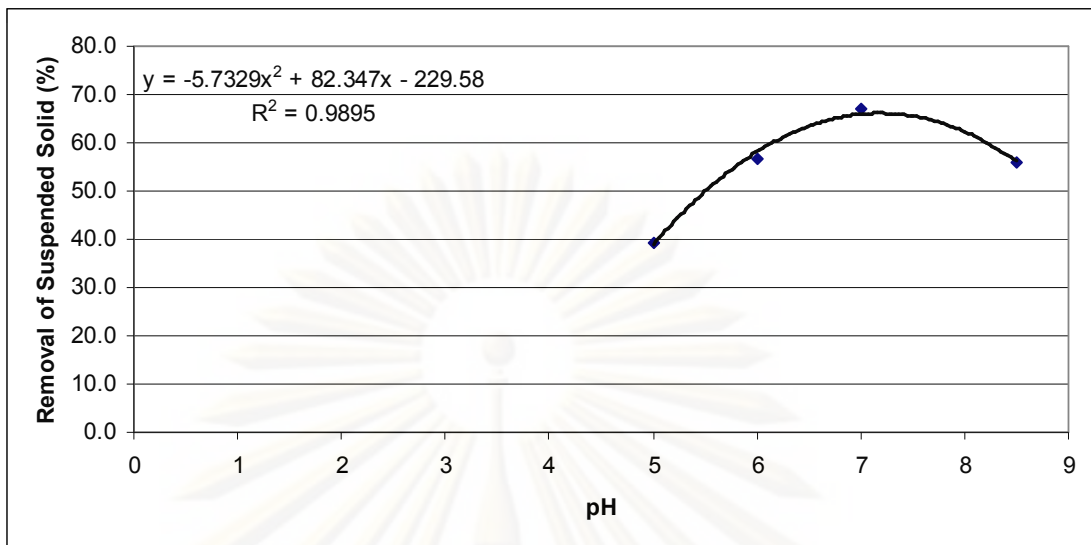
ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 7.0 สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 67.51 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาระ
 บรรทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 7.2 สามารถกำจัดซีโอดี
 สูงสุด 66.14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าพีเอชที่
 เหมาะสมที่สุดคือ 7.2 สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 43.51 เปอร์เซ็นต์



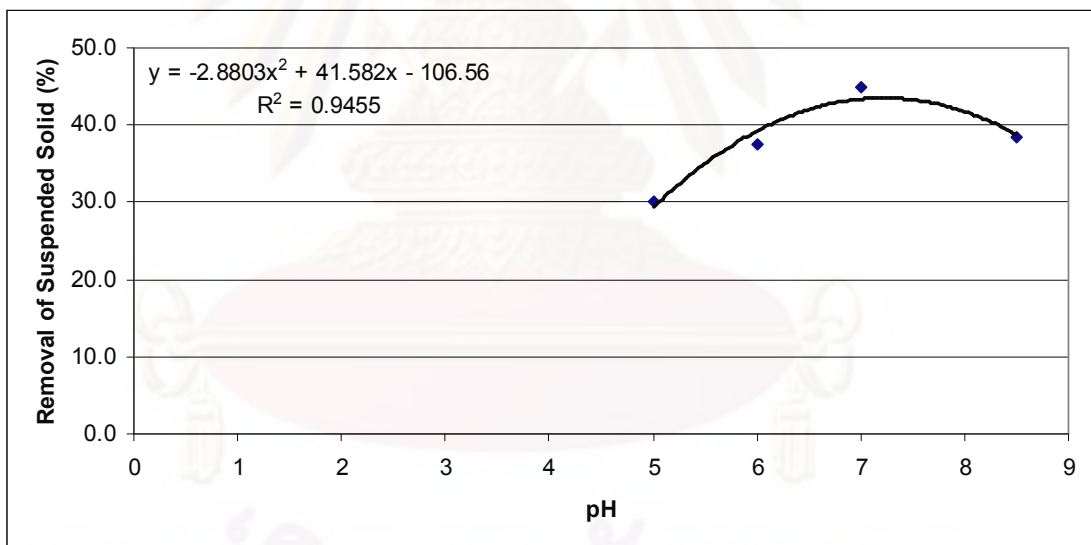
ภาพที่ 4.87 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับค่าพีเอชที่อัตราภาระ
 บรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.88 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับค่าพีเอชที่อัตราภาระ
 บรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.89 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ 2.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 4.90 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกับค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 สมดุลมวลสารของระบบ

4.3.1 สมดุลมวลของซีโอดี

การพิจารณาสมดุลมวลของซีโอดีในงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยดูจากค่า %recovery ของข้อมูลที่ได้ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณสัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียสร้างแบคทีเรีย และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นค่าในการพิจารณาเปรียบเทียบบทบาทของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ในความสามารถในการแย่งใช้สารอาหารภายในระบบ

งานวิจัยนี้ซีโอดีของน้ำเข้าเป็นซีโอดีของสารอินทรีย์ ซึ่งเกิดจากน้ำเสียในอ่างชั้นที่อยู่ในระบบ เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ให้กับแบคทีเรีย เมื่อน้ำเสียผ่านระบบค่าซีโอดีของน้ำเข้าดังกล่าว จะเปลี่ยนรูปไปจากกิจกรรมการดำรงชีพของแบคทีเรียในระบบ สำหรับทฤษฎีเกี่ยวกับสมดุลมวลซีโอดีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อมีซัลเฟตในน้ำเสียด้วยนั้น แสดงในหัวข้อ 2.6 และตัวอย่างการคำนวณสมดุลของสารในระบบแสดงในภาคผนวก ค โดยการคำนวณข้อมูลของการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน แสดงดังตารางที่ 4.45

จาก % COD recovery จะเห็นได้ว่าจุดอ่อนอย่างหนึ่งคือ ไม่สามารถหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรียได้ ดังนั้นค่า % COD recovery ที่ได้ในทุกการทดลองจึงน้อยกว่าความเป็นจริงเสมอ โดยจากงานวิจัยของอนุตร เปียงแก้ว (2542) กล่าวถึงชีวเคมีของแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนว่า แบคทีเรียประเภทนี้จะได้พลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งถ้าหากเปรียบเทียบเทียบกับแบคทีเรียประเภทที่ใช้ออกซิเจนแล้วจะเห็นได้อย่างชัดเจน กล่าวคือ แบคทีเรียประเภทที่ใช้ออกซิเจนได้พลังงานจากการย่อยสลายกลูโคส 1 โมเลกุลเทียบเท่ากับ 38 ATP แต่ถ้าเป็นแบคทีเรียประเภทไม่ใช้ออกซิเจนแล้ว จะได้พลังงานรวมเพียง 7 ATP เท่านั้น พลังงานส่วนนี้ยังถูกใช้โดยแบคทีเรียหลายชนิด ดังนั้นค่า yield ของแบคทีเรียประเภทนี้จึงมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายเท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์

ตารางที่ 4.45 ค่า %COD recovery

อัตราภาระ บรรทุก สารอินทรีย์ (ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)	ถัง ปฏิกรณ์ ที่	ซีโอดี (mg/L)		ซัลเฟต (mg/L)		ก๊าซ ทั้งหมด ต่อวัน (mL)	% CH ₄	% recovery
		เข้า	ออก	เข้า	ออก			
0.5	1	1,206	77	85	40	135	35.83	19.73
	2	1,206	76	85	40	151	37.78	21.29
	3	1,206	71	85	47	164	40.45	22.30
	4	1,206	85	85	48	128	30.39	17.93
1.0	1	2,205	653	238	133	197	26.65	38.79
	2	2,205	625	238	135	209	31.88	39.04
	3	2,205	488	238	131	310	45.35	40.15
	4	2,205	578	238	127	255	24.67	36.50
2.0	1	3,981	1,665	253	125	369	40.68	52.77
	2	3,981	1,366	253	102	367	45.92	46.73
	3	3,981	1,105	253	89	422	53.44	43.57
	4	3,981	1,599	253	132	403	30.37	52.41
3.0	1	6,872	5,097	501	303	175	23.59	77.64
	2	6,872	3,939	501	251	437	52.67	67.45
	3	6,872	3,510	501	226	497	60.54	63.72
	4	6,872	3,581	501	255	468	60.05	63.86

หมายเหตุ : ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าพีเอช = 5

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าพีเอช = 6

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าพีเอช = 7

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าพีเอช = 8.5

เมื่อพิจารณาสาเหตุที่ทำให้ % COD recovery มีค่าน้อยกว่า 100 นั้น สาเหตุมาจากไม่สามารถวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์ และถูกใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดได้ นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซที่เก็บได้ อาจเกิดการรั่วไหลในขณะเก็บตัวอย่าง ทำให้ไม่สามารถเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด ส่งผลต่อปริมาตรของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ค่า % COD recovery ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลค่าสัดส่วนซีไอดีในรูปมีเทน สัดส่วนซีไอดีที่ถูกใช้ในกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน จะนำมาใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow) หรือสัดส่วนการใช้ซีไอดีระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เพื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบบทบาทระหว่างแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดในระบบ โดยเปอร์เซ็นต์สัดส่วนการใช้ซีไอดีของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดในแต่ละปฏิกรณ์ แสดงดังตารางที่ 4.46

จากตารางที่ 4.46 จะเห็นได้ว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.5, 1.0 และ 2.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในทุกถังปฏิกรณ์ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนหรือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนการใช้ซีไอดีของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะมีค่ามากกว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต นั่นคือ ในทุกถังปฏิกรณ์แบคทีเรียสร้างมีเทนยังคงเป็นแบคทีเรียที่โดดเด่นในระบบ และสามารถใช้อีไอดีได้มากที่สุด ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จะเห็นได้ว่าในถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 6, 7 และ 8.5 ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนหรือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนการใช้ซีไอดีของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะมีค่ามากกว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต นั่นคือ ในถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 6, 7 และ 8.5 แบคทีเรียสร้างมีเทนยังคงเป็นแบคทีเรียที่โดดเด่นในระบบ และสามารถใช้อีไอดีได้มากที่สุด และเมื่อพิจารณาถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 5 พบว่า เปอร์เซ็นต์การไหลของไหลของอิเล็กตรอนของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (55.42 %) มีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนของแบคทีเรียสร้างมีเทน (44.58 %) แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียที่มีความโดดเด่นในระบบ แต่เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ค่าพีเอชเท่ากับ 5 แล้ว พบว่า ระบบสามารถกำจัดซัลเฟตได้น้อย เมื่อเทียบกับถังปฏิกรณ์ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 6, 7 และ 8.5 อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดที่สูงขึ้นจาก 60 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 74 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอาจทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนถูกยับยั้งการทำงาน แต่เหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นเพียงข้อสันนิษฐานเท่านั้น

ตารางที่ 4.46 เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow)

อัตราภาระ บรรทุก สารอินทรีย์ (ก.ก. ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)	ถึงปฏิกรณ์ที่	เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow)	
		แบบที่เรียสร้างมีเทน (MPB)	แบบที่เรียรีดิวิซ์ซัลเฟต (SRB)
0.5	1. ค่าพีเอช เท่ากับ 5	81.36	18.64
	2. ค่าพีเอช เท่ากับ 6	83.41	16.59
	3. ค่าพีเอช เท่ากับ 7	87.46	12.54
	4. ค่าพีเอช เท่ากับ 8.5	81.20	18.80
1.0	1. ค่าพีเอช เท่ากับ 5	65.41	34.59
	2. ค่าพีเอช เท่ากับ 6	70.88	29.12
	3. ค่าพีเอช เท่ากับ 7	82.40	17.60
	4. ค่าพีเอช เท่ากับ 8.5	67.38	32.62
2.0	1. ค่าพีเอช เท่ากับ 5	80.41	19.59
	2. ค่าพีเอช เท่ากับ 6	79.63	20.37
	3. ค่าพีเอช เท่ากับ 7	82.67	17.33
	4. ค่าพีเอช เท่ากับ 8.5	83.46	16.54
3.0	1. ค่าพีเอช เท่ากับ 5	44.58	55.42
	2. ค่าพีเอช เท่ากับ 6	76.02	23.98
	3. ค่าพีเอช เท่ากับ 7	78.93	21.07
	4. ค่าพีเอช เท่ากับ 8.5	79.68	20.32

4.3.2 สมดุลมวลของซัลเฟอร์

การพิจารณาสมดุลมวลของซัลเฟอร์ในงานวิจัยนี้ เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูล และใช้ตรวจสอบย้อนกลับถึงความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่างในส่วนที่เกี่ยวข้องกับซัลเฟอร์ โดยจะเป็นการมองในแง่ของซัลเฟอร์ที่เข้าและออกจากระบบเพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงซีไอดีที่เข้าระบบ (ซึ่งกำหนดให้ซัลเฟตเป็นรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ชนิดเดียวที่ถูกป้อนเข้าระบบ) โดยผลการคำนวณ % sulfur recovery ของการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.0 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน แสดงดังตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 ค่า %sulfur recovery

อัตราภาวะ บรทุก สารอินทรีย์ (ก.ก.ซีโอดี/ ลบ.ม./วัน)	ถังปฏิกรณ์ ที่	ซัลเฟต (mg/L)		ซัลไฟด์ (mg/L)		H ₂ S (mg/L ในรูป ซัลเฟต)	% sulfur recovery
		เข้า	ออก	เข้า	ออก		
0.5	1	85	40	1.20	15.74	18.58	124.47
	2	85	40	1.20	16.57	18.58	127.40
	3	85	47	1.20	21.04	18.58	151.41
	4	85	48	1.20	14.49	18.58	129.47
1.0	1	238	133	5.59	29.11	52.03	114.44
	2	238	135	5.59	30.01	52.03	116.54
	3	238	131	5.59	40.33	52.03	127.74
	4	238	127	5.59	23.33	52.03	104.63
2.0	1	253	125	38.70	46.61	48.98	124.04
	2	253	102	38.70	52.86	48.98	122.36
	3	253	89	38.70	64.87	48.98	131.46
	4	253	132	38.70	42.63	48.98	122.08
3.0	1	501	303	60.37	74.31	109.53	126.84
	2	501	251	60.37	89.18	109.53	125.74
	3	501	226	60.37	92.05	109.53	122.09
	4	501	255	60.37	83.79	109.53	122.93

หมายเหตุ : ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าพีเอช = 5

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าพีเอช = 6

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าพีเอช = 7

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าพีเอช = 8.5

จากตารางที่ 4.47 จะเห็นได้ว่า %sulfur recovery มีค่าใกล้เคียง 100 % มาก แสดงให้

เห็นถึงความผิดพลาดในการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์ที่มีไม่มาก ข้อมูลที่ได้มีระดับ
ความน่าเชื่อถือสูง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาผลของพีเอชและอัตราภาวะบรรทุทสารอินทรีย์ต่อการลดซัลเฟตในระบบยูเอเอสปีสำหรับการบำบัดน้ำเสียอย่างชัน การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยกำหนดค่าพีเอชของถังปฏิกรณ์ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 และอัตราภาวะบรรทุทสารอินทรีย์เป็น 0.5, 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ช่วงการทดลองที่ 1 ทำการศึกษาผลของพีเอชและอัตราภาวะบรรทุทสารอินทรีย์ต่อการลดซัลเฟต โดยกำหนดค่าพีเอชของถังปฏิกรณ์ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 และอัตราภาวะบรรทุทสารอินทรีย์เป็น 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 69.52, 72.34, 75.05 และ 70.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 93.58, 93.73, 94.10 และ 92.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 53.40, 53.30, 44.89 และ 43.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าพีเอชที่แตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกัน ส่วนซีไอดี และซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสรุปได้ว่าพีเอช 7 ระบบยูเอเอสปีมีประสิทธิภาพดีที่สุด

5.1.2 ช่วงการทดลองที่ 2 ทำการศึกษาผลของพีเอชและอัตราภาวะบรรทุทสารอินทรีย์ต่อการลดซัลเฟต โดยกำหนดค่าพีเอชของถังปฏิกรณ์ที่แตกต่างกันเป็น 5, 6, 7 และ 8.5 และเพิ่มอัตราภาวะบรรทุทสารอินทรีย์เป็น 1, 2 และ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน โดยที่อัตราภาวะบรรทุทสารอินทรีย์เป็น 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 62.42, 66.22, 67.51 และ 64.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 71.54, 72.82, 79.19 และ 75.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 45.60, 43.89, 45.89 และ 47.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าพีเอชที่แตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยซีไอดี และซัลเฟตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสรุปได้ว่าพีเอช 7 ระบบยูเอเอสปีมีประสิทธิภาพดีที่สุด ที่อัตราภาวะบรรทุทสารอินทรีย์เป็น 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 39.39, 56.63, 67.18 และ 55.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ

57.84, 63.92, 72.59 และ 60.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 50.70, 59.64, 64.79 และ 47.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าพีเอชที่แตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสรุปได้ว่าพีเอช 7 ระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพดีที่สุด และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 29.98, 37.43, 44.88 และ 38.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 26.79, 43.11, 49.29 และ 48.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 39.32, 50.59, 55.41 และ 49.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่าพีเอชที่แตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี และซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสรุปได้ว่าพีเอช 7 ระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพดีที่สุด

5.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสียดังนั้น จะสามารถสร้างสภาพต่างให้เพิ่มขึ้นในระบบได้ เนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะนำเอากรดภายในระบบไปใช้ ทำให้สภาพกรดภายในระบบลดลง ส่งผลให้สภาพต่างโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาผลของพีเอชต่อการลดซัลเฟต ในลักษณะการเดินระบบที่ต่างกัน และการใช้อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นหรือมีการหมุนเวียนน้ำเสียออกกลับมานำบำบัดใหม่ เป็นต้น แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

5.2.2 ควรมีการนำน้ำเสียจากโรงงานที่มีความเข้มข้นซัลเฟตโดยไม่ต้องเจือจางน้ำเสียก่อนมาทดลองใช้กับระบบยูเอเอสบี เพื่อดูว่าระบบยูเอเอสบีสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริงได้หรือไม่

5.2.3 ควรมีการศึกษาถึงผลของซัลไฟด์ที่สะสมในระบบ เมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลานาน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ อุตสาหกรรม
ยางขึ้น. นนทบุรี: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.
- กลุ่มยางพารา. 2533. คู่มือเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร เรื่องยางพารา. กองส่งเสริมพืชพันธุ์
กรมส่งเสริมการเกษตร : 14 – 15.
- แกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์. 2539. การประเมินสภาพไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศ
ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำตาล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะการ
จัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชนิษฐา หทัยสมิทธ์. 2547. การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำตาลขึ้นโดยระบบยูเอเอสพีแบบ
สองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จันทิมา สกุลพานิชย์. 2548. การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรทสูงโดยใช้ระบบยูเอเอสพี.
วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภูคำ พิมจักร. 2546. การใช้กระบวนการยูเอเอสพี-แอร์เนอกซิก-แอร์โบริกในการบำบัดน้ำเสียที่มี
ความเค็มและไนโตรเจนสูงจากน้ำเสียสะพานปลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต.
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2536. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน. ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วนิดา วรกรีกุลชัย. 2533. สมรรถนะของการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลโคด้วยเครื่องกรองชั้นตะกอน
จุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาวิชา
อนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2525. น้ำตาล. เอกสารทางวิชาการเลขที่ 109. ศูนย์วิจัยยางสงขลา : 218.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2537. ผลิตภัณฑ์จากน้ำตาลธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ
เกษตร : 1-30.

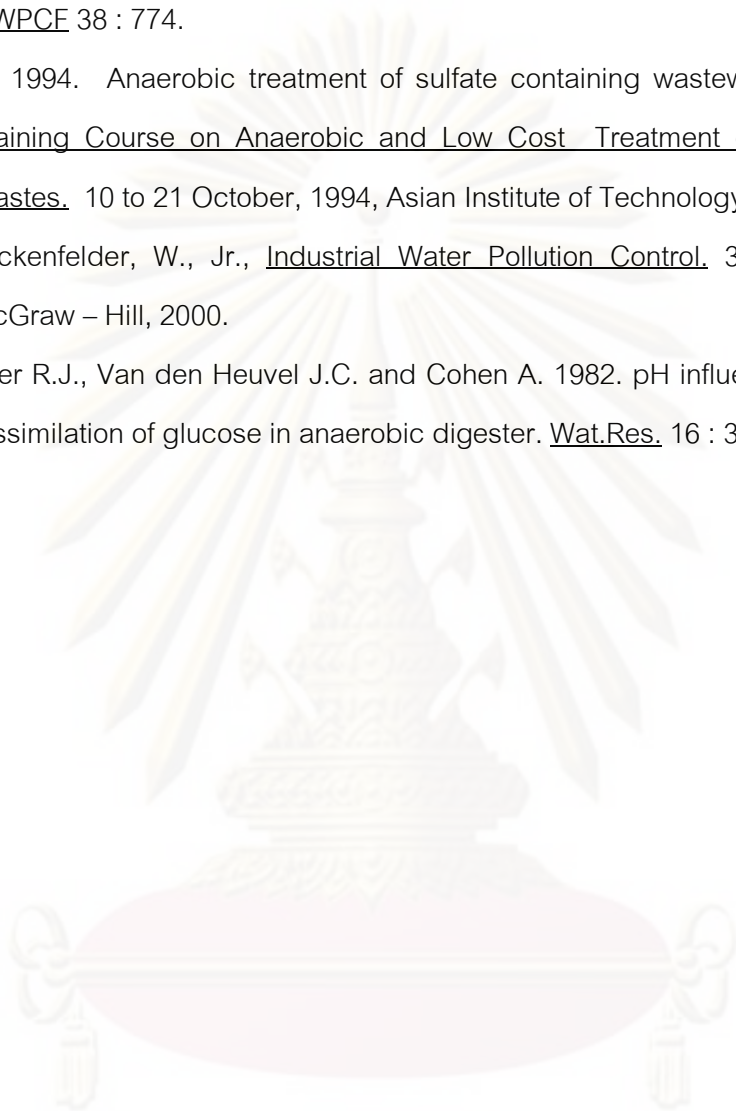
- สุเมธ ชวเดช. 2540. รายงานการวิจัยระบบยูเอเอสบี – ตัวกลางกรองแบบอนุภูมิสูงและสองชั้นตอนสำหรับบำบัดน้ำกากส่าและผลิตภัณฑ์ก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- อนุตร เปียงแก้ว. 2542. การควบคุมระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันด้วยปริมาณซัลเฟตและชนิดของแหล่งคาร์บอน. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อลิศรา วงศ์กิตติวิมล. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยถังปฏิกรณ์ไฮบริดแบบไม่ใช้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อุรษา เศรษฐธีรภิจ. 2542. ผลของความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตต่อระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชัน วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Bryant, M.P., Wolin, E.A., Wolin, M.J. and Wlofe, R.S. 1967. A Symbiotic Association of Two Species of Bacteria. Reach Microbiol 59 : 20 - 31
- Chung, Y.C. and Choi, Y.S., 1993. Microbial Activity and Performance of an Anaerobic Reactor Combining a Filter and a Sludge Bed. Water Science and Technology 27 : 187 – 194.
- Dague, R.R., and Hopkins R. 1970. Digestion on Fundamentals Applied to Digesters Recovery. Journal Water Pollution Control Federation 9 : 1667 – 1675.
- Heertjes, P.M., and Van der Meer, R.R. 1983. Mathematic description of wastewater in upflow reactors. Biotechnology and Bioengineering 25 : 25 – 31.
- Kazuaki, S., Hideki, H., and Akiyoshi, O. 1998. Granulation and Sludge retainment during start – up of a thermophilic UASB reactor. Water Science and Technology 38 : 347 – 357.
- King, AH., Ogea, J. and Sutton, J.W. 1973. Air Flotation-Biological Oxidation of Synthetic Rubber and Latex Wastewater. Project 12110GLP Program Element IBBO 36 Project Officer.Texas : 1-2.

- Koster, I.W., Rinzema, A., De Vett, A.L., and Lettinga, G. 1986. Sulfide inhibition of the methanogenic activity of granular sludge at various pH levels. Water Research 20(12) : 1561-1567.
- Lens, P.N.L., Visser, A., Janssen, A.J.H., Hulshoff Pol, L.W. and Lettinga, G., 1998. "Biotechnological Treatment of Sulfate-Rich Wastewater." Critical Review in Environmental Science and Technology. 28(1) : 41 – 88.
- Lettinga, G., Hulshoff Pol, L.W. and Zeeman, G. 1994. Chemistry and Microbiology of Anaerobic Digestion. 1st International Course on Anaerobic and Low Cost Treatment Wastes and Wastewater. Wageningen Agricultural University. Netherland : 1 – 6.
- Lettinga, G., Hulshoff Pol, L.W. 1991. UASB-Process design for various types of wastewater. Water Science and Technology 24(8) : 87 – 107.
- Lettinga, G., Roersm, R., and Grin, P. 1980. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperature using a granular bed UASB reactor. Biotechnology and Bioengineering 22 : 1701 – 1723.
- Lin, C.Y., Chang F.Y., and Chang, C.H. 2001. Toxic Effect of Sulfur Compounds on Anaerobic Biogranule. Journal of Hazarduos Material 87 : 11 - 21
- McCarty, P.L. 1994. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Public Work 12.
- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Public Work 95.
- Oleszkiewicz, J.A. and Hilton, B.L. 1986. Anaerobic Treatment of High – Sulfate Wastes. Canadian Journal of Civil Engineering 13 : 423 – 428.
- Oliver, J.H. Jin, M., Chen, L.H. and Robert, L.B. 1996. Sulfate Reducing Bacteria. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 26 : 155 – 187.
- Resis, M.A.M., Lemos, P.C., Almeida, J.S., and Carrondo, M.J.T. 1992. Effect of hydrogen sulfide on growth of sulfate reducing bacteria. Biotechnology and Bioengineering 40 : 593-600.
- Rinzema, A. and Lettinga, G. 1998. Anaerobic Treatment of Sulfate Containing Wastewater. Biotreatment System. Edited by Wise, D.L., Boca Ration, CRC press : 65 – 109.
- Speece, R.E. 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater. Tennessee : Archae press.

- Speece, RE. 1983. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. Environmental Science and Technology 17 : 416A.
- Standers, G.J. 1996. Water pollution research-a key to wastewater management. J.WPCE 38 : 774.
- Visser, A. 1994. Anaerobic treatment of sulfate containing wastewater. International Training Course on Anaerobic and Low Cost Treatment of Wastewater and Wastes. 10 to 21 October, 1994, Asian Institute of Technology, Thailand.
- Wesley Eckenfelder, W., Jr., Industrial Water Pollution Control. 3rd ed. New York : McGraw – Hill, 2000.
- Zoetemeyer R.J., Van den Heuvel J.C. and Cohen A. 1982. pH influence on acidogenic dissimilation of glucose in anaerobic digester. Wat.Res. 16 : 303 – 311.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองครั้งที่ 1

ตาราง ก.1 พีเอชของการทดลองครั้งที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	พีเอช							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/12/2551	5.00	8.27	6.00	8.62	7.00	8.35	8.50	8.59
5/12/2551	5.00	8.67	6.00	8.74	7.00	8.67	8.50	8.79
8/12/2551	5.00	8.63	6.00	8.72	7.00	8.65	8.50	8.72
10/12/2551	5.00	8.49	6.00	8.73	7.00	8.53	8.50	8.82
12/12/2551	5.00	8.48	6.00	8.51	7.00	8.63	8.50	8.70
15/12/2551	5.00	7.55	6.00	7.72	7.00	7.99	8.50	8.01
17/12/2551	5.00	8.98	6.00	8.91	7.00	8.44	8.50	8.52
19/12/2551	5.00	8.59	6.00	8.66	7.00	8.48	8.50	8.58
22/12/2551	5.00	8.42	6.00	8.57	7.00	8.65	8.50	8.69
24/12/2551	5.00	8.35	6.00	8.42	7.00	8.57	8.50	8.77
26/12/2551	5.00	8.29	6.00	8.43	7.00	8.51	8.50	8.58
29/12/2551	5.00	8.17	6.00	8.29	7.00	8.55	8.50	8.34
Min	-	7.55	-	7.72	-	7.99	-	8.01
Max	-	8.98	-	8.91	-	8.67	-	8.82
Average	5.00	8.41	6.00	8.53	7.00	8.50	8.50	8.59
SD.	0.00	0.35	0.00	0.31	0.00	0.19	0.00	0.23

ตาราง ก.2 อุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/12/2551	27.8	29.3	27.8	28.2	27.8	27.9	27.8	28.1
5/12/2551	27.3	27.6	27.3	27.7	27.3	27.8	27.3	27.6
8/12/2551	27.8	28.3	27.8	28.2	27.8	28.4	27.8	28.4
10/12/2551	28.4	28.2	28.4	28.2	28.4	28.1	28.4	28.1
12/12/2551	25.1	25.6	25.1	24.9	25.1	24.6	25.1	24.8

ตาราง ก.2 คุณหมุมิของการทดลองช่วงที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	คุณหมุมิ (องศาเซลเซียส)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
15/12/2551	27.8	28.2	27.8	28.1	27.8	28.2	27.8	27.9
17/12/2551	25.4	27.8	25.4	27.5	25.4	27.2	25.4	27.2
19/12/2551	27.6	28.1	27.6	27.3	27.6	26.9	27.6	26.9
22/12/2551	26.2	26.2	26.2	26.4	26.2	26.7	26.2	26.7
24/12/2551	27.3	27.8	27.3	27.5	27.3	27.9	27.3	27.9
26/12/2551	26.9	27.3	26.9	27.2	26.9	27.2	26.9	27.4
29/12/2551	27.2	27.7	27.2	27.4	27.2	27.8	27.2	27.3
Min	25.1	25.6	25.1	24.9	25.1	24.6	25.1	24.8
Max	28.4	29.3	28.4	28.2	28.4	28.4	28.4	28.4
Average	27.1	27.7	27.1	27.4	27.1	27.4	27.1	27.4
SD.	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0

ตาราง ก.3 ซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบวมทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/12/2551	1,178	69	1,178	75	1,178	72	1,178	105
5/12/2551	1,090	89	1,090	83	1,090	93	1,090	75
8/12/2551	1,266	78	1,266	86	1,266	68	1,266	73
10/12/2551	1,569	81	1,569	93	1,569	89	1,569	104
12/12/2551	1,008	48	1,008	45	1,008	51	1,008	48
15/12/2551	991	69	991	67	991	73	991	76
17/12/2551	1,115	78	1,115	69	1,115	62	1,115	85
19/12/2551	1,325	85	1,325	81	1,325	72	1,325	90
22/12/2551	1,275	93	1,275	85	1,275	65	1,275	87
24/12/2551	1,225	87	1,225	78	1,225	69	1,225	93
26/12/2551	1,055	61	1,055	63	1,055	60	1,055	87
29/12/2551	1,372	88	1,372	83	1,372	72	1,372	93

ตาราง ก.3 ซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
Min	991	48	991	45	991	51	991	48
Max	1,569	93	1,569	93	1,569	93	1,569	105
Average	1,206	77	1,206	76	1,206	71	1,206	85
SD.	169	13	169	13	169	12	169	15

ตาราง ก.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
3/12/2551	94.14	93.63	93.89	91.09
5/12/2551	91.83	92.39	91.47	93.11
8/12/2551	93.84	93.21	94.63	94.23
10/12/2551	94.84	94.07	94.33	93.37
12/12/2551	95.24	95.54	94.94	95.24
15/12/2551	93.04	93.24	92.63	92.33
17/12/2551	93.00	93.81	94.44	92.38
19/12/2551	93.58	93.89	94.57	93.21
22/12/2551	92.71	93.33	94.90	93.18
24/12/2551	92.90	93.63	94.37	92.41
26/12/2551	94.22	94.03	94.31	91.75
29/12/2551	93.59	93.95	94.75	93.22
Min	91.83	92.39	91.47	91.09
Max	95.24	95.54	94.94	95.24
Average	93.58	93.73	94.10	92.96
SD.	0.96	0.74	1.03	1.09

ตาราง ก.5 ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/12/2551	90	62	90	56	90	46	90	54
5/12/2551	80	19	80	19	80	35	80	31
8/12/2551	90	62	90	46	90	52	90	55
10/12/2551	93	43	93	47	93	58	93	54
12/12/2551	87	40	87	46	87	51	87	45
15/12/2551	95	52	95	49	95	62	95	59
17/12/2551	88	40	88	42	88	51	88	57
19/12/2551	75	35	75	32	75	42	75	48
22/12/2551	79	31	79	40	79	43	79	39
24/12/2551	92	36	92	41	92	57	92	60
26/12/2551	75	30	75	28	75	35	75	37
29/12/2551	77	31	77	35	77	35	77	41
Min	75	19	75	19	75	35	75	31
Max	95	62	95	56	95	62	95	60
Average	85	40	85	40	85	47	85	48
SD.	7	13	7	10	7	9	7	10

ตาราง ก.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟต			
	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8.5
3/12/2551	31.11	37.78	48.89	40.00
5/12/2551	76.25	76.25	56.25	61.25
8/12/2551	31.11	48.89	42.22	38.89
10/12/2551	53.76	49.46	37.63	41.94
12/12/2551	54.02	47.13	41.38	48.27
15/12/2551	45.26	48.42	34.74	37.89
17/12/2551	54.55	52.27	42.05	35.23
19/12/2551	53.33	57.33	44.00	36.00

ตาราง ก.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟต			
	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8.5
22/12/2551	60.76	49.37	45.57	50.63
24/12/2551	60.87	55.44	38.04\	34.78
26/12/2551	60.00	62.67	53.33	50.67
29/12/2551	59.74	54.55	54.55	46.75
Min	31.11	37.78	34.74	34.78
Max	76.25	76.25	56.25	61.25
Average	53.40	53.30	45.51	43.53
SD.	12.71	9.49	7.01	8.08

ตาราง ก.7 ซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/12/2551	0.95	12.56	0.95	20.65	0.95	22.23	0.95	14.45
5/12/2551	1.15	18.75	1.15	19.98	1.15	24.46	1.15	13.32
8/12/2551	1.54	15.45	1.54	15.56	1.54	18.55	1.54	16.54
10/12/2551	0.77	19.54	0.77	16.89	0.77	15.45	0.77	12.32
12/12/2551	1.45	13.55	1.45	17.67	1.45	13.34	1.45	14.22
15/12/2551	1.25	18.67	1.25	14.45	1.25	19.65	1.25	12.32
17/12/2551	1.52	13.55	1.52	15.78	1.52	23.56	1.52	12.23
19/12/2551	0.88	14.34	0.88	15.65	0.88	23.54	0.88	23.43
22/12/2551	0.75	16.65	0.75	12.45	0.75	24.54	0.75	15.89
24/12/2551	0.46	14.34	0.46	16.67	0.46	24.21	0.46	14.54
26/12/2551	1.73	13.66	1.73	13.65	1.73	22.32	1.73	13.43
29/12/2551	1.95	17.76	1.95	19.44	1.95	20.65	1.95	12.44
Min	0.46	12.56	0.46	12.45	0.46	13.34	0.46	12.23
Max	1.95	19.54	1.95	20.65	1.95	24.54	1.95	23.43
Average	1.20	15.74	1.20	16.57	1.20	21.04	1.20	14.59
SD.	0.45	2.43	0.45	2.53	0.45	3.67	0.45	3.12

ตาราง ก.8 กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/12/2551	375	25	425	25	400	38	325	63
4/12/2551	275	38	363	25	338	50	350	38
9/12/2551	325	55	393	48	415	45	385	45
11/12/2551	315	58	377	38	355	42	308	40
16/12/2551	415	45	375	35	362	30	350	30
18/12/2551	340	36	375	47	405	52	415	45
23/12/2551	455	53	440	47	425	42	450	45
25/12/2551	360	47	375	54	355	65	375	57
Min	275	25	363	25	338	30	308	30
Max	455	58	440	54	425	65	450	63
Average	358	45	390	40	382	46	370	45
SD.	57	11	28	11	33	10	47	10

ตาราง ก.9 สภาพต่างของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	สภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/12/2551	125	163	125	169	144	175	144	138
4/12/2551	75	94	107	106	131	138	157	81
9/12/2551	153	175	175	217	165	205	185	215
11/12/2551	148	183	150	198	168	178	185	217
16/12/2551	156	163	125	143	138	155	150	185
18/12/2551	163	182	155	195	165	188	170	205
23/12/2551	170	195	155	182	140	173	160	187
25/12/2551	145	173	155	187	155	192	135	178
Min	75	94	107	106	131	138	135	81
Max	170	195	175	217	168	205	185	217
Average	142	166	143	175	151	176	161	176
SD.	30	31	22	35	14	21	18	46

ตาราง ก.10 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/
ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/12/2551	80	25	80	30	80	30	80	25
4/12/2551	70	10	70	20	70	20	70	15
9/12/2551	60	15	60	15	60	10	60	10
11/12/2551	75	20	75	15	75	20	75	15
16/12/2551	85	30	85	25	85	20	85	30
18/12/2551	80	25	80	20	80	20	80	30
23/12/2551	60	20	60	15	60	10	60	20
25/12/2551	65	30	65	20	65	15	65	25
Min	60	10	60	15	60	10	60	10
Max	85	30	85	30	85	30	85	30
Average	72	22	72	20	72	18	72	21
SD.	10	7	10	5	10	7	10	7

ตาราง ก.11 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์
0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอย			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/12/2551	68.75	62.50	62.50	68.75
4/12/2551	85.71	71.43	71.43	78.57
9/12/2551	75.00	75.00	83.33	83.33
11/12/2551	73.33	80.00	73.33	80.00
16/12/2551	64.11	70.59	76.47	64.11
18/12/2551	68.75	75.00	75.00	62.50
23/12/2551	66.67	75.00	83.33	66.67
25/12/2551	53.85	69.23	75.00	61.54
Min	53.85	62.5	62.5	61.54
Max	85.71	80	83.33	83.33
Average	69.52	72.34	75.05	70.68
SD.	9.19	5.21	6.68	8.64

ตาราง ก.12 ก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 1 (อัตราภาวะบวมทุกสัปดาห์อินทรีย์ 0.5 ก.ก.ชีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
3/12/2551	120	150	165	155
4/12/2551	100	130	125	140
5/12/2551	130	150	170	130
8/12/2551	155	180	220	110
9/12/2551	120	130	140	115
12/12/2551	160	165	180	155
15/12/2551	165	130	135	125
16/12/2551	120	180	190	130
17/12/2551	175	200	210	160
18/12/2551	135	170	120	110
19/12/2551	110	130	130	120
22/12/2551	120	100	115	100
23/12/2551	135	180	170	120
24/12/2551	145	145	210	135
25/12/2551	170	180	230	175
26/12/2551	130	120	140	110
29/12/2551	100	125	130	100
30/12/2551	140	155	150	135
31/12/2551	135	150	160	100
Min	100	100	115	100
Max	175	200	230	175
Average	135	151	164	128
SD.	22	26	36	22

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองครั้งที่ 2

ตาราง ข.1 พีเอชของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	พีเอช							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/1/2552	5.00	8.35	6.00	8.42	7.00	8.55	8.50	8.57
5/1/2552	5.00	8.61	6.00	8.61	7.00	8.43	8.50	8.43
7/1/2552	5.00	8.28	6.00	8.62	7.00	8.46	8.50	8.56
9/1/2552	5.00	8.27	6.00	8.33	7.00	8.42	8.50	8.57
12/1/2552	5.00	8.19	6.00	8.29	7.00	8.27	8.50	8.37
14/1/2552	5.00	8.53	6.00	8.29	7.00	8.85	8.50	9.05
16/1/2552	5.00	7.62	6.00	7.76	7.00	7.90	8.50	7.87
19/1/2552	5.00	7.57	6.00	7.97	7.00	8.02	8.50	8.34
21/1/2552	5.00	7.60	6.00	8.01	7.00	8.29	8.50	8.37
23/1/2552	5.00	8.02	6.00	8.17	7.00	8.25	8.50	8.28
26/1/2552	5.00	8.05	6.00	8.17	7.00	8.2	8.50	8.27
28/1/2552	5.00	8.13	6.00	8.26	7.00	8.33	8.50	8.45
Min	-	7.57	-	7.76	-	7.90	-	7.87
Max	-	8.61	-	8.62	-	8.85	-	9.05
Average	5.00	8.10	6.00	8.24	7.00	8.33	8.50	8.43
SD.	0.00	0.35	0.00	0.25	0.00	0.25	0.00	0.27

ตาราง ข.2 อุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/1/2552	27.1	27.6	27.1	27.8	27.1	27.8	27.1	27.8
5/1/2552	28.1	26.7	28.1	27.0	28.1	27.3	28.1	27.3
7/1/2552	27.2	28.2	27.2	28.2	27.2	28.2	27.2	28.4
9/1/2552	27.3	28.3	27.3	28.1	27.3	28.4	27.3	28.1
12/1/2552	26.7	27.3	26.7	27.4	26.7	27.5	26.7	27.2
14/1/2552	23.1	23.4	23.1	23.7	23.1	23.7	23.1	23.8

ตาราง ข.2 คุณหมุมิของการทดลองช่วงที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	คุณหมุมิ (องศาเซลเซียส)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
16/1/2552	23.9	23.7	23.9	23.9	23.9	24.2	23.9	24.6
19/1/2552	25.2	25.6	25.2	25.5	25.2	25.7	25.2	25.7
21/1/2552	25.6	26.1	25.6	26.0	25.6	26.0	25.6	26.1
23/1/2552	25.6	26.2	25.6	26.3	25.6	26.3	25.6	26.1
26/1/2552	26.0	27.1	26.0	27.1	26.0	27.2	26.0	27.1
28/1/2552	26.1	26.2	26.1	27.3	26.1	27.4	26.1	27.2
Min	23.1	23.4	23.3	23.7	23.2	23.7	23.1	23.8
Max	28.3	28.3	28.1	28.2	28.5	28.4	28.1	28.4
Average	26.1	26.4	26.0	26.5	26.0	26.6	26.0	26.6
SD.	1.4	1.6	1.4	1.5	1.4	1.5	1.4	1.4

ตาราง ข.3 ซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/1/2552	1,950	583	1,950	187	1,950	163	1,950	175
5/1/2552	1,963	427	1,963	305	1,963	219	1,963	632
7/1/2552	1,933	342	1,933	495	1,933	305	1,933	510
9/1/2552	2,056	257	2,056	353	2,056	295	2,056	410
12/1/2552	1,907	200	1,907	384	1,907	178	1,907	276
14/1/2552	2,482	500	2,482	1,215	2,482	970	2,482	1,156
16/1/2552	2,613	1,047	2,613	767	2,613	557	2,613	127
19/1/2552	2,423	1,401	2,423	1,011	2,423	627	2,423	952
21/1/2552	2,698	1,382	2,698	1,284	2,698	1,421	2,698	1,264
23/1/2552	1,895	575	1,895	525	1,895	305	1,895	418
26/1/2552	2,217	551	2,217	482	2,217	396	2,217	419
28/1/2552	2,326	575	2,326	491	2,326	415	2,326	592
Min	1,895	200	1,895	187	1,895	163	1,895	127
Max	2,698	1,401	2,698	1,284	2,698	1,421	2,698	1,264
Average	2,205	653	2,205	625	2,205	488	2,205	578
SD.	294	404	294	362	294	372	294	368

ตาราง ข.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/1/2552	70.10	90.41	91.64	91.03
5/1/2552	78.25	84.46	88.84	67.80
7/1/2552	82.31	74.39	84.22	73.62
9/1/2552	87.50	82.83	85.65	80.06
12/1/2552	89.51	79.86	90.67	85.53
14/1/2552	79.88	51.05	60.92	53.42
16/1/2552	59.93	70.65	78.68	95.14
19/1/2552	42.18	58.27	74.12	60.71
21/1/2552	48.78	52.41	47.33	53.15
23/1/2552	69.66	72.30	83.91	77.94
26/1/2552	75.15	78.26	82.14	81.10
28/1/2552	75.28	78.89	82.16	83.15
Min	42.18	51.05	47.33	53.15
Max	89.51	90.41	91.64	95.14
Average	71.54	72.82	79.19	75.22
SD.	14.63	12.69	13.01	13.86

ตาราง ข.5 ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/1/2552	124	68	124	95	124	61	124	58
5/1/2552	143	77	143	80	143	86	143	83
7/1/2552	205	92	205	80	205	83	205	111
9/1/2552	199	64	199	49	199	64	199	67
12/1/2552	214	102	214	99	214	111	214	102
14/1/2552	289	145	289	220	289	236	289	208
16/1/2552	289	186	289	189	289	133	289	89
19/1/2552	282	242	282	217	282	189	282	177
21/1/2552	298	220	298	189	298	170	298	192

ตาราง ข.5 ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
23/1/2552	275	150	275	142	275	165	275	174
26/1/2552	273	125	273	137	273	142	273	135
28/1/2552	265	119	265	125	265	137	265	123
Min	124	64	124	49	124	61	124	58
Max	298	242	298	220	298	236	298	208
Average	238	133	238	135	238	131	238	127
SD.	60	59	60	57	60	53	60	51

ตาราง ข.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟต			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/1/2552	45.16	23.39	50.81	53.23
5/1/2552	46.15	44.06	39.86	41.96
7/1/2552	55.12	60.98	59.51	45.85
9/1/2552	67.84	75.38	67.84	66.33
12/1/2552	52.34	53.74	48.13	52.34
14/1/2552	49.83	23.88	18.34	28.03
16/1/2552	35.64	34.60	53.98	69.20
19/1/2552	14.18	23.05	32.98	37.23
21/1/2552	26.17	36.58	42.95	35.57
23/1/2552	45.45	48.36	40.00	36.73
26/1/2552	54.21	49.82	47.99	50.55
28/1/2552	55.09	52.83	48.30	53.58
Min	14.18	23.05	18.34	28.03
Max	67.84	75.38	67.84	69.2
Average	45.60	43.89	45.89	47.55
SD.	14.39	16.27	12.71	12.45

ตาราง ข.7 ซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/1/2552	5.23	26.67	5.23	13.33	5.23	26.67	5.23	13.33
5/1/2552	4.53	53.33	4.53	22.54	4.53	39.56	4.53	32.56
7/1/2552	5.54	23.45	5.54	32.21	5.54	55.53	5.54	33.45
9/1/2552	4.65	34.33	4.65	24.34	4.65	23.78	4.65	32.56
12/1/2552	4.93	23.98	4.93	32.65	4.93	34.23	4.93	23.48
14/1/2552	4.48	43.23	4.48	42.22	4.48	45.32	4.48	21.79
16/1/2552	6.07	35.55	6.07	39.33	6.07	54.39	6.07	22.56
19/1/2552	8.93	24.45	8.93	32.89	8.93	34.54	8.93	21.45
21/1/2552	3.43	23.85	3.43	34.66	3.43	44.56	3.43	21.43
23/1/2552	4.34	21.43	4.34	23.43	4.34	38.77	4.34	19.45
26/1/2552	9.34	19.45	9.34	38.69	9.34	43.43	9.34	14.45
28/1/2552	4.80	19.59	4.80	23.79	4.80	43.22	4.80	23.45
Min	3.43	19.45	3.43	13.33	3.43	23.78	3.43	13.33
Max	9.34	53.33	9.34	42.22	9.34	55.53	9.34	33.45
Average	5.52	29.11	5.52	30.01	5.52	40.33	5.52	23.33
SD.	1.81	10.49	1.81	8.53	1.81	9.65	1.81	6.58

ตาราง ข.8 กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
6/1/2552	600	175	300	75	387	75	531	200
8/1/2552	550	75	594	150	575	50	638	144
13/1/2552	1,175	450	1,463	763	1,238	512	1,325	638
15/1/2552	1,263	413	1,294	369	1,206	306	1,169	376
20/1/2552	1,363	863	1,338	875	1,375	713	838	725
22/1/2552	1,315	463	1,366	652	1,295	593	1,323	615
27/1/2552	1,322	457	1,405	562	1,342	575	1,375	463
29/1/2552	1,345	436	1,412	587	1,245	565	1,310	560

ตาราง ข.8 กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
Min	550	75	300	75	387	50	531	144
Max	1,363	863	1,463	875	1,375	713	1,375	725
Average	1,117	417	1,147	504	1,083	424	1,064	465
SD.	440	233	442	284	379	250	342	211

ตาราง ข.9 สภาพต่างของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	สภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
6/1/2552	150	294	200	306	225	313	244	344
8/1/2552	113	269	175	356	200	325	225	338
13/1/2552	469	535	425	506	488	544	475	550
15/1/2552	275	325	438	475	494	535	482	575
20/1/2552	269	394	438	531	513	481	513	663
22/1/2552	315	385	462	525	544	615	472	582
27/1/2552	337	394	452	517	505	613	414	507
29/1/2552	340	405	437	523	557	635	439	555
Min	113	225	175	300	200	300	225	325
Max	469	535	462	531	557	635	513	663
Average	284	375	378	467	441	508	408	514
SD.	113	97	119	105	143	146	111	130

ตาราง ข.10 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
6/1/2552	95	25	95	10	95	25	95	30
8/1/2552	110	40	110	40	110	35	110	30
13/1/2552	140	65	140	55	140	50	140	55
15/1/2552	155	65	155	55	155	50	155	65

ตาราง ข.10 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
20/1/2552	150	40	150	40	150	40	150	50
22/1/2552	125	55	125	45	125	45	125	40
27/1/2552	180	80	180	65	180	65	180	70
29/1/2552	145	50	145	55	145	55	145	55
Min	95	25	95	10	95	25	95	30
Max	180	80	180	65	180	65	180	70
Average	138	53	138	46	138	46	138	49
SD.	27	18	27	17	27	12	27	15

ตาราง ข.11 เปอร์เซนต์การกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกลบสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซนต์การกำจัดของแข็งแขวนลอย			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
6/1/2552	73.68	89.47	73.68	68.42
8/1/2552	63.64	63.64	68.18	72.72
13/1/2552	53.57	60.71	64.29	60.71
15/1/2552	58.06	58.06	67.74	58.06
20/1/2552	73.33	66.67	70.00	66.67
22/1/2552	56.00	68.00	64.00	68.00
27/1/2552	55.55	61.11	66.67	61.11
29/1/2552	65.52	62.07	65.52	62.07
Min	53.57	58.06	64.00	58.06
Max	73.68	89.47	73.68	72.72
Average	62.42	66.22	67.51	64.72
SD.	7.95	9.93	3.20	4.97

ตาราง ข.12 ก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรบทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/1/2552	150	200	350	210
5/1/2552	190	190	230	200
6/1/2552	180	190	350	190
7/1/2552	180	190	330	380
8/1/2552	200	200	315	210
9/1/2552	210	240	280	250
12/1/2552	210	190	370	250
13/1/2552	190	190	300	340
14/1/2552	190	280	350	240
15/1/2552	230	250	325	290
16/1/2552	235	280	250	240
19/1/2552	200	200	225	220
20/1/2552	240	200	310	220
21/1/2552	200	230	270	260
22/1/2552	170	220	330	230
23/1/2552	200	200	230	220
26/1/2552	190	210	330	200
27/1/2552	190	170	380	350
28/1/2552	180	150	360	350
Min	150	150	225	190
Max	240	280	380	380
Average	197	209	310	255
SD.	22	34	49	58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 พีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตรากระบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	พีเอช							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH =8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/2/2552	5.00	8.05	6.00	8.29	7.00	8.32	8.50	8.51
4/2/2552	5.00	8.04	6.00	8.31	7.00	8.32	8.50	8.48
6/2/2552	5.00	8.19	6.00	8.49	7.00	8.51	8.50	8.56
9/2/2552	5.00	8.04	6.00	8.06	7.00	8.25	8.50	8.47
11/2/2552	5.00	7.95	6.00	8.16	7.00	8.43	8.50	8.51
13/2/2552	5.00	8.15	6.00	8.34	7.00	8.39	8.50	8.46
16/2/2552	5.00	8.12	6.00	8.35	7.00	8.52	8.50	8.62
18/2/2552	5.00	8.04	6.00	8.45	7.00	8.63	8.50	8.73
20/2/2552	5.00	8.19	6.00	8.27	7.00	8.51	8.50	8.59
23/2/2552	5.00	8.05	6.00	8.22	7.00	8.47	8.50	8.57
25/2/2552	5.00	8.10	6.00	8.25	7.00	8.41	8.50	8.57
27/2/2552	5.00	8.07	6.00	8.21	7.00	8.46	8.50	8.59
Min	-	7.95	-	8.06	-	8.25	-	8.46
Max	-	8.19	-	8.49	-	8.63	-	8.73
Average	5.00	8.08	6.00	8.28	7.00	8.44	8.50	8.56
SD.	0.00	0.07	0.00	0.12	0.00	0.11	0.00	0.08

ตาราง ค.2 คุณหมุมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตรากระบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	คุณหมุมิ (องศาเซลเซียส)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH =8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/2/2552	25.2	26.3	25.2	26.4	25.2	26.4	25.2	26.4
4/2/2552	25.2	26.7	25.2	26.3	25.2	26.3	25.2	26.3
6/2/2552	28.2	29.4	28.2	28.7	28.2	28.7	28.2	28.6
9/2/2552	28.1	28.8	28.1	28.9	28.1	28.8	28.1	28.8
11/2/2552	27.8	28.6	27.8	28.3	27.8	28.0	27.8	28.1
13/2/2552	28.9	28.3	28.9	28.8	28.9	29.1	28.9	29.1
16/2/2552	28.7	30.1	28.7	29.8	28.7	30.2	28.7	30.1
18/2/2552	28.7	29.4	28.7	29.8	28.7	29.7	28.7	29.8
20/2/2552	28.2	29.2	28.2	29.7	28.2	29.8	28.2	29.7

ตาราง ค.2 คุณหมุมิของการทดลองช่วงที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	คุณหมุมิ (องศาเซลเซียส)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
23/2/2552	29.1	29.7	29.1	29.8	29.1	29.6	29.1	29.7
25/2/2552	28.3	28.7	28.3	28.6	28.3	28.9	28.3	28.7
27/2/2552	28.1	28.9	28.1	29.1	28.1	29.2	28.1	28.9
Min	25.1	26.3	25.2	26.3	25.2	26.3	25.1	26.3
Max	29.1	30.1	29.1	29.8	29.1	30.2	29.2	30.1
Average	27.8	28.7	27.9	28.7	27.9	28.7	28.0	28.7
SD.	1.30	1.13	1.30	1.21	1.30	1.08	1.30	1.29

ตาราง ค.3 ซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/2/2552	3,234	1,842	3,234	1,316	3,234	733	3,234	1,184
4/2/2552	3,478	1,882	3,478	1,709	3,478	979	3,478	1,786
6/2/2552	4,608	1,283	4,608	923	4,608	728	4,608	1,030
9/2/2552	4,471	1,368	4,471	1,048	4,471	844	4,471	1,426
11/2/2552	4,203	2,080	4,203	1,880	4,203	1,330	4,203	2,130
13/2/2552	3,346	1,296	3,346	1,200	3,346	1,330	3,346	1,880
16/2/2552	3,616	1,490	3,616	1,313	3,616	1,195	3,616	1,176
18/2/2552	3,698	1,440	3,698	1,160	3,698	1,120	3,698	1,520
20/2/2552	4,375	2,170	4,375	1,720	4,375	1,250	4,375	2,072
23/2/2552	4,172	2,030	4,172	1,563	4,172	1,248	4,172	2,043
25/2/2552	4,478	1,569	4,478	1,335	4,478	1,290	4,478	1,472
27/2/2552	4,090	1,526	4,090	1,225	4,090	1,209	4,090	1,463
Min	3,234	1,283	3,234	923	3,234	728	3,234	1,030
Max	4,608	2,170	4,608	1,880	4,608	1,330	4,608	2,130
Average	3,981	1,665	3,981	1,366	3,981	1,105	3,981	1,599
SD.	482	319	482	292	482	226	482	377

ตาราง ค.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/2/2552	43.04	59.31	77.33	63.39
4/2/2552	45.89	50.86	71.85	48.65
6/2/2552	72.16	79.97	83.98	77.65
9/2/2552	72.31	76.56	81.12	68.11
11/2/2552	50.51	55.27	68.36	49.32
13/2/2552	61.27	49.32	68.36	55.27
16/2/2552	58.79	63.69	66.95	67.48
18/2/2552	61.06	68.63	69.97	58.90
20/2/2552	50.04	60.69	71.42	52.64
23/2/2552	51.34	62.49	70.09	51.03
25/2/2552	64.96	70.19	71.19	67.13
27/2/2552	62.69	70.05	70.44	64.23
Min	43.04	49.32	66.95	48.65
Max	72.31	79.97	83.98	77.65
Average	57.84	63.92	72.59	60.32
SD.	9.68	9.58	5.34	9.11

ตาราง ค.5 ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/2/2552	252	105	252	90	252	77	252	118
4/2/2552	230	111	230	77	230	65	230	124
6/2/2552	258	130	258	84	258	96	258	133
9/2/2552	245	80	245	118	245	74	245	77
11/2/2552	242	95	242	130	242	74	242	80
13/2/2552	223	130	223	93	223	85	223	137
16/2/2552	252	137	252	107	252	92	252	142
18/2/2552	249	124	249	74	249	83	249	146
20/2/2552	267	146	267	84	267	102	267	158

ตาราง ค.5 ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
23/2/2552	255	136	255	102	255	90	255	152
25/2/2552	283	153	283	130	283	118	283	164
27/2/2552	275	148	275	136	275	117	275	153
Min	223	80	223	74	223	65	223	77
Max	283	153	283	136	283	118	283	164
Average	253	125	253	102	253	89	253	132
SD.	17	23	17	22	17	17	17	28

ตาราง ค.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟต			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/2/2552	58.33	64.29	69.44	53.17
4/2/2552	51.74	66.52	71.74	46.09
6/2/2552	49.61	67.44	62.79	48.45
9/2/2552	67.35	51.84	69.80	68.57
11/2/2552	60.74	46.28	69.42	66.94
13/2/2552	41.70	58.30	61.88	38.57
16/2/2552	44.63	57.54	63.49	43.65
18/2/2552	50.20	70.28	66.67	41.37
20/2/2552	45.32	68.54	61.80	40.82
23/2/2552	46.67	60.00	64.71	40.39
25/2/2552	45.94	54.06	58.30	42.05
27/2/2552	46.18	50.55	57.45	44.36
Min	41.7	46.28	57.45	38.57
Max	67.35	70.28	71.74	68.57
Average	50.70	59.64	64.79	47.87
SD.	7.66	7.87	4.66	10.10

ตาราง ค.7 ซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/2/2552	45.43	49.34	45.43	56.34	45.43	78.34	45.43	34.44
4/2/2552	39.67	34.65	39.67	64.64	39.67	65.54	39.67	45.34
6/2/2552	27.78	56.76	27.78	57.56	27.78	65.33	27.78	53.46
9/2/2552	56.45	59.44	56.45	65.98	56.45	43.98	56.45	53.67
11/2/2552	35.07	34.05	35.07	46.45	35.07	77.83	35.07	35.64
13/2/2552	45.68	65.27	45.68	63.95	45.68	67.92	45.68	63.34
16/2/2552	34.76	53.89	34.76	45.64	34.76	50.06	34.76	35.53
18/2/2552	39.06	43.66	39.06	54.34	39.06	56.81	39.06	33.55
20/2/2552	29.91	45.64	29.91	45.61	29.91	65.67	29.91	43.33
23/2/2552	35.32	34.64	35.32	56.89	35.32	76.56	35.32	36.64
25/2/2552	34.65	46.43	34.65	53.32	34.65	73.65	34.65	44.01
27/2/2552	40.59	35.54	40.59	23.56	40.59	56.79	40.59	32.55
Min	27.78	34.05	27.78	23.56	27.78	43.98	27.78	32.55
Max	56.45	65.27	56.45	65.98	56.45	78.34	56.45	63.34
Average	38.70	46.61	38.70	52.86	38.70	64.87	38.70	42.63
SD.	7.79	10.67	7.79	11.64	7.79	11.12	7.79	9.84

ตาราง ค.8 กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/2/2552	1,025	650	1,125	582	1,236	550	1,405	513
5/2/2552	1,235	635	1,105	582	1,093	548	1,015	487
10/2/2552	1,335	715	1,283	683	1,205	632	1,182	586
12/2/2552	1,035	662	1,165	615	1,287	586	1,338	492
17/2/2552	1,175	715	1,237	793	1,385	835	1,405	867
19/2/2552	1,093	612	1,181	512	1,162	575	1,087	550
24/2/2552	1,085	663	1,235	593	1,270	547	1,178	537
26/2/2552	1,115	635	1,272	575	1,298	595	1,340	615

ตาราง ค.8 กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
Min	1,025	612	1,105	512	1,093	547	1,015	487
Max	1,335	715	1,283	793	1,385	835	1,405	867
Average	1,137	661	1,200	617	1,242	609	1,244	581
SD.	106	37	66	85	90	96	149	124

ตาราง ค.9 สภาพต่างของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	สภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/2/2552	465	895	589	1,110	758	1,219	915	1,355
5/2/2552	585	972	625	1,080	695	1,138	715	1,235
10/2/2552	605	1,070	686	1,107	745	1,286	887	1,305
12/2/2552	435	955	552	1,092	785	1,155	995	1,252
17/2/2552	565	1,012	683	1,105	815	1,225	992	1,315
19/2/2552	543	943	743	1,168	831	1,318	887	1,368
24/2/2552	537	878	652	1,215	780	1,378	791	1,405
26/2/2552	535	892	684	1,065	715	1,272	882	1,317
Min	435	878	552	1,065	695	1,138	715	1,235
Max	605	1,070	743	1,215	831	1,378	995	1,405
Average	534	952	652	1,118	766	1,249	883	1,319
SD.	58	66	61	50	47	81	94	57

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.10 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/2/2552	235	150	235	92	235	83	235	118
5/2/2552	217	153	217	98	217	91	217	103
10/2/2552	262	154	262	140	262	78	262	130
12/2/2552	253	139	253	125	253	78	253	118
17/2/2552	215	145	215	85	215	80	215	105
19/2/2552	270	165	270	140	270	60	270	60
24/2/2552	280	154	280	98	280	85	280	125
26/2/2552	275	147	275	92	275	82	275	119
Min	215	139	215	85	215	60	215	60
Max	280	165	280	140	280	91	280	130
Average	251	151	251	109	251	80	251	110
SD.	26	8	26	23	26	9	26	22

ตาราง ค.11 เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอย			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
3/2/2552	36.17	60.85	64.68	49.79
5/2/2552	29.49	54.84	58.06	52.53
10/2/2552	41.22	46.56	69.17	50.38
12/2/2552	45.06	50.59	69.17	53.36
17/2/2552	32.56	60.47	62.79	51.16
19/2/2552	38.89	48.15	77.78	77.78
24/2/2552	45.00	65.00	65.64	55.36
26/2/2552	46.55	66.55	70.18	56.73
Min	29.49	46.56	58.06	49.79
Max	46.55	66.55	77.78	77.78
Average	39.37	56.63	67.18	55.89
SD.	6.25	7.69	5.86	9.16

ตาราง ค.12 ก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรพทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/2/2552	300	320	350	330
3/2/2552	320	350	390	400
4/2/2552	320	390	390	410
5/2/2552	350	380	450	400
6/2/2552	380	400	530	440
9/2/2552	350	420	380	390
10/2/2552	350	390	415	350
11/2/2552	300	330	420	400
12/2/2552	380	370	380	390
13/2/2552	400	390	440	360
16/2/2552	390	340	380	450
17/2/2552	390	350	420	390
18/2/2552	380	330	480	480
19/2/2552	330	390	400	480
20/2/2552	370	380	400	400
23/2/2552	430	350	380	400
24/2/2552	440	320	550	415
25/2/2552	420	400	450	380
26/2/2552	420	380	420	400
Min	300	320	350	330
Max	440	420	550	480
Average	369	367	422	403
SD.	43	30	52	39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง.1 พีเอชของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	พีเอช							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH =8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/3/2552	5.00	8.08	6.00	8.42	7.00	8.45	8.50	8.67
4/3/2552	5.00	8.18	6.00	8.41	7.00	8.47	8.50	8.70
6/3/2552	5.00	7.58	6.00	8.37	7.00	8.50	8.50	8.54
9/3/2552	5.00	5.92	6.00	8.32	7.00	8.45	8.50	8.55
11/3/2552	5.00	7.09	6.00	8.39	7.00	8.53	8.50	8.54
13/3/2552	5.00	7.25	6.00	8.42	7.00	8.49	8.50	8.57
16/3/2552	5.00	6.65	6.00	8.37	7.00	8.48	8.50	8.48
18/3/2552	5.00	7.64	6.00	8.42	7.00	8.49	8.50	8.56
20/3/2552	5.00	7.45	6.00	8.26	7.00	8.45	8.50	8.53
23/3/2552	5.00	5.73	6.00	8.33	7.00	8.49	8.50	8.50
25/3/2552	5.00	7.55	6.00	8.37	7.00	8.45	8.50	8.57
27/3/2552	5.00	7.37	6.00	8.29	7.00	8.39	8.50	8.51
Min	-	5.73	-	8.26	-	8.39	-	8.48
Max	-	8.18	-	8.42	-	8.53	-	8.70
Average	5.00	7.21	6.00	8.36	7.00	8.47	8.50	8.56
SD.	0.00	0.76	0.00	0.05	0.00	0.03	0.00	0.06

ตาราง ง.2 อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH =8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/3/2552	29.1	30.4	29.1	29.9	29.1	29.6	29.1	29.2
4/3/2552	29.0	30.8	29.0	30.8	29.0	30.8	29.0	31.0
6/3/2552	28.7	29.7	28.7	29.4	28.7	29.4	28.7	29.5
9/3/2552	29.4	30.4	29.4	30.2	29.4	30.3	29.4	30.5
11/3/2552	30.2	31.0	30.2	31.0	30.2	31.1	30.2	31.2
13/3/2552	30.4	31.0	30.4	31.2	30.4	31.0	30.4	31.2
16/3/2552	31.1	31.2	31.1	31.0	31.1	31.1	31.1	31.3
18/3/2552	30.1	30.8	30.1	30.0	30.1	30.1	30.1	30.4
20/3/2552	30.2	31.2	30.2	31.3	30.2	31.2	30.2	31.3

ตาราง ง.2 คุณหมุมิของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	คุณหมุมิ (องศาเซลเซียส)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
23/3/2552	30.2	31.5	30.2	31.2	30.2	31.3	30.2	31.3
25/3/2552	30.1	31.3	30.1	31.4	30.1	31.3	30.1	31.5
27/3/2552	30.0	31.4	30.0	31.4	30.0	31.5	30.0	31.3
Min	28.7	29.7	28.9	29.4	29.0	29.4	29.0	29.2
Max	31.1	31.5	31.2	31.4	31.4	31.5	31.3	31.5
Average	30.0	30.9	30.0	30.7	30.0	30.7	30.0	30.8
SD.	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8

ตาราง ง.3 ซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/3/2552	5,888	1,568	5,888	1,470	5,888	1,307	5,888	1,241
4/3/2552	6,370	2,570	6,370	2,761	6,370	2,221	6,370	2,031
6/3/2552	6,530	4,768	6,530	3,840	6,530	3,136	6,530	3,200
9/3/2552	7,142	6,403	7,142	5,096	7,142	3,626	7,142	3,757
11/3/2552	6,713	6,336	6,713	4,576	6,713	4,448	6,713	4,224
13/3/2552	8,102	6,379	8,102	4,355	8,102	4,048	8,102	4,109
16/3/2552	7,047	5,985	7,047	4,637	7,047	4,418	7,047	4,575
18/3/2552	6,654	5,184	6,654	4,288	6,654	4,000	6,654	3,904
20/3/2552	6,960	5,120	6,960	3,776	6,960	3,712	6,960	3,808
23/3/2552	7,238	6,368	7,238	4,224	7,238	3,584	7,238	3,936
25/3/2552	7,114	5,252	7,114	4,350	7,114	4,075	7,114	4,122
27/3/2552	6,705	5,225	6,705	3,889	6,705	3,542	6,705	4,063
Min	5,888	1,568	5,888	1,470	5,888	1,307	5,888	1,241
Max	8,102	6,403	8,102	5,096	8,102	4,448	8,102	4,575
Average	6,872	5,097	6,872	3,939	6,872	3,510	6,872	3,581
SD.	544	1546	544	967	544	918	544	984

ตาราง ง.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/3/2552	73.37	75.03	77.08	78.92
4/3/2552	59.65	56.66	65.13	68.12
6/3/2552	26.98	41.19	51.98	51.00
9/3/2552	10.35	28.35	49.23	47.40
11/3/2552	5.62	31.83	33.74	37.08
13/3/2552	21.27	46.25	50.04	49.28
16/3/2552	15.07	34.20	37.31	35.08
18/3/2552	22.09	35.56	39.89	41.33
20/3/2552	26.44	45.75	46.67	45.29
23/3/2552	12.02	41.64	50.48	45.62
25/3/2552	26.55	38.85	42.72	42.06
27/3/2552	22.07	42.00	47.17	39.40
Min	5.62	28.35	33.74	35.08
Max	73.37	75.03	77.08	78.92
Average	26.79	43.11	49.29	48.38
SD.	20.00	12.53	11.91	12.87

ตาราง ง.5 ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/3/2552	472	150	472	162	472	148	472	176
4/3/2552	410	149	410	99	410	105	410	140
6/3/2552	485	378	485	191	485	210	485	191
9/3/2552	508	205	508	183	508	130	508	163
11/3/2552	522	206	522	178	522	163	522	185
13/3/2552	505	295	505	307	505	282	505	355
16/3/2552	562	355	562	344	562	297	562	307
18/3/2552	537	312	537	367	537	302	537	328
20/3/2552	492	298	492	250	492	242	492	278

ตาราง ง.5 ซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
23/3/2552	489	292	489	307	489	283	489	314
25/3/2552	526	305	526	317	526	288	526	300
27/3/2552	505	295	505	307	505	259	505	318
Min	410	149	410	99	410	105	410	140
Max	562	378	562	367	562	302	562	355
Average	501	270	501	251	501	226	501	255
SD.	38	46	38	86	38	72	38	77

ตาราง ง.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟตของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซัลเฟต			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/3/2552	25.85	65.68	68.64	62.71
4/3/2552	39.27	75.85	74.39	65.85
6/3/2552	22.06	60.62	56.70	60.62
9/3/2552	59.65	63.98	74.41	70.67
11/3/2552	41.38	65.90	68.77	64.56
13/3/2552	41.58	39.21	44.16	29.70
16/3/2552	36.83	38.79	47.15	45.37
18/3/2552	41.90	31.66	43.76	38.92
20/3/2552	39.43	49.19	50.81	43.50
23/3/2552	40.29	37.22	42.13	35.79
25/3/2552	42.02	39.73	45.25	42.97
27/3/2552	41.58	39.21	48.71	37.03
Min	22.06	31.66	42.13	29.70
Max	59.65	75.85	74.41	70.67
Average	39.32	50.59	55.41	49.81
SD.	9.19	14.88	12.62	14.09

ตาราง ง.7 ซัลไฟด์ของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/3/2552	49.08	78.87	49.08	84.34	49.08	87.56	49.08	75.03
4/3/2552	60.98	78.81	60.98	78.45	60.98	98.45	60.98	65.89
6/3/2552	56.54	89.89	56.54	61.45	56.54	75.84	56.54	78.06
9/3/2552	67.08	76.12	67.08	83.36	67.08	93.59	67.08	83.31
11/3/2552	45.67	67.56	45.67	89.35	45.67	83.45	45.67	70.89
13/3/2552	75.54	89.67	75.54	98.02	75.54	92.09	75.54	87.94
16/3/2552	54.34	62.87	54.34	89.33	54.34	83.35	54.34	78.08
18/3/2552	63.89	91.81	63.89	80.02	63.89	98.13	63.89	97.09
20/3/2552	64.03	61.47	64.03	97.34	64.03	122.39	64.03	89.98
23/3/2552	43.54	55.78	43.54	109.49	43.54	106.24	43.54	98.67
25/3/2552	84.46	61.83	84.46	120.08	84.46	79.01	84.46	85.61
27/3/2552	59.31	76.98	59.31	78.93	59.31	84.54	59.31	97.89
Min	43.54	55.78	43.54	61.45	43.54	75.84	43.54	65.89
Max	84.46	91.81	84.46	120.08	84.46	122.39	84.46	98.67
Average	60.37	74.31	60.37	89.18	60.37	92.05	60.37	83.79
SD.	11.91	12.35	11.91	15.50	11.91	13.01	11.91	10.81

ตาราง ง.8 กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/3/2552	2,157	1,622	2,015	1,305	2,327	1,007	2,062	992
5/3/2552	2,025	1,535	2,048	1,420	2,125	972	2,213	1,015
10/3/2552	2,113	1,400	2,038	1,300	2,463	875	2,163	813
12/3/2552	2,392	1,835	2,112	1,512	2,227	1,282	2,325	1,355
17/3/2552	2,237	1,735	2,125	1,446	2,028	1,335	2,211	1,022
19/3/2552	2,250	1,875	2,035	1,445	2,372	1,480	2,112	1,515
24/3/2552	2,287	1,925	2,435	1,665	2,230	1,562	2,115	1,615
26/3/2552	2,419	2,038	2,563	1,500	2,593	1,363	2,488	1,425

ตาราง ง.8 กรดไขมันระเหยของการทดลองช่วงที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
Min	2,025	1,400	2,015	1,300	2,028	875	2,062	813
Max	2,419	2,038	2,563	1,665	2,593	1,562	2,488	1,615
Average	2,235	1,746	2,171	1,449	2,296	1,234	2,211	1,219
SD.	134	214	209	118	170	253	130	293

ตาราง ง.9 สภาพต่างของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	สภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/3/2552	1,175	1,882	1,228	2,002	1,625	2,275	1,825	2,193
5/3/2552	1,215	1,663	1,392	2,016	1,622	2,124	1,715	2,217
10/3/2552	1,150	1,456	1,444	2,181	1,719	2,175	1,856	2,194
12/3/2552	1,425	1,515	1,375	1,885	1,338	2,025	1,625	2,135
17/3/2552	1,685	1,755	1,557	1,882	1,635	2,085	1,815	2,235
19/3/2552	1,218	1,536	1,315	1,882	1,582	2,018	1,772	2,025
24/3/2552	1,325	1,615	1,417	1,915	1,665	2,215	1,728	2,125
26/3/2552	1,125	1,475	1,512	2,919	1,669	2,737	1,813	2,950
Min	1,125	1,456	1,228	1,882	1,338	2,018	1,625	2,025
Max	1,685	1,882	1,557	2,919	1,719	2,737	1,856	2,950
Average	1,290	1,612	1,405	2,085	1,607	2,207	1,769	2,259
SD.	188	148	105	352	116	232	76	287

ตาราง ง.10 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	pH = 5		pH = 6		pH = 7		pH = 8.5	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3/3/2552	415	255	415	237	415	222	415	262
5/3/2552	482	265	482	308	482	250	482	289
10/3/2552	475	305	475	335	475	295	475	307
12/3/2552	515	305	515	300	515	275	515	312
17/3/2552	535	325	535	317	535	297	535	333
19/3/2552	562	356	562	344	562	311	562	339
24/3/2552	605	366	605	389	605	340	605	372
26/3/2552	545	305	545	337	545	289	545	328
Min	415	255	415	237	415	222	415	262
Max	605	366	605	389	605	340	605	372
Average	517	310	517	321	517	285	517	318
SD.	59	39	59	44	59	36	59	33

ตาราง ง.11 เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งแขวนลอย			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
3/3/2552	14.46	42.89	46.51	36.87
5/3/2552	24.27	36.10	48.13	40.04
10/3/2552	35.79	25.26	37.89	35.37
12/3/2552	40.78	41.75	46.60	39.42
17/3/2552	39.25	40.75	44.49	37.76
19/3/2552	36.65	38.79	44.66	39.68
24/3/2552	22.98	35.70	43.80	38.51
26/3/2552	25.69	38.17	46.97	39.82
Min	14.46	25.26	37.89	35.37
Max	40.78	42.89	48.13	40.04
Average	29.98	37.43	44.88	38.43
SD.	9.42	5.54	3.18	1.66

ตาราง ง.12 ก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2 (อัตราภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)

วัน/เดือน/ปี	ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)			
	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8.5
2/3/2552	350	450	445	510
3/3/2552	400	430	490	490
4/3/2552	310	400	450	410
5/3/2552	290	430	450	430
6/3/2552	220	390	460	440
9/3/2552	210	540	570	400
10/3/2552	190	400	650	550
11/3/2552	120	450	610	480
12/3/2552	130	470	550	490
13/3/2552	110	430	450	510
16/3/2552	130	430	490	460
17/3/2552	90	450	490	480
18/3/2552	80	400	510	490
19/3/2552	120	410	500	400
20/3/2552	200	430	500	490
23/3/2552	100	410	420	490
24/3/2552	80	400	420	450
25/3/2552	90	500	500	480
26/3/2552	100	490	490	450
Min	80	390	420	400
Max	400	540	650	550
Average	175	437	497	468
SD.	99	40	61	40

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การคำนวณสมดุลมวลของสารในระบบ

ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลของซีโอดี

จากข้อมูลในตารางที่ 4.14 ของการทดลอง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 1.215 ลิตรต่อวัน

ซีโอดีเข้า	6,872	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดีออก	5,097	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตเข้า	501	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตออก	303	มิลลิกรัมต่อลิตร
ก๊าซทั้งหมดต่อวัน	175	มิลลิลิตรต่อวัน
สัดส่วนของก๊าซมีเทน	23.59	เปอร์เซ็นต์

จากสมการ 2.7 ในหัวข้อ 2.6

$$\% \text{COD recovery} = \frac{\Delta \text{SO}_4^{2-} \text{-COD} + \text{soluble organic COD} + \text{soluble CH}_4 \text{-COD} + \text{CH}_{4 \text{ gas}} \text{COD}}{\text{COD}_{\text{in}}} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\begin{aligned} \Delta \text{SO}_4^{2-} \text{COD} &= (\text{ซัลเฟตเข้า} - \text{ซัลเฟตออก}) \times 2/3 \\ &= (501 - 303) \times 2/3 \\ &= 132 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปซีโอดี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{soluble organic COD} &= \text{ซีโอดีออก} \\ &= 5,097 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{soluble CH}_4 \text{-COD} &= K_{\text{hCH}_4} \times \text{Partial Pressure of CH}_4 \times 16,000 \times 4 \\ &= 12.4 \times 10^{-4} \times 0.2359 \times 16,000 \times 4 \\ &= 18.72 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_{4 \text{ gas}} \text{COD} &= (\text{Total gas volume} \times \% \text{CH}_4 / 24.86) \times 16 \times 4/Q \\ &= (175 \times 0.2359 / 24.86) \times 16 \times 4 / 1.215 \\ &= 87.44 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{COD recovery} &= \frac{(132 + 5,097 + 18.72 + 87.44) \times 100}{6,872} \\ &= 77.64 \% \end{aligned}$$

สัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียในระบบ

จากสมการที่ 2.8 และ 2.9 ในหัวข้อ 2.6

$$\% \text{electron flow to MBP} = [(\text{CH}_4 - \text{COD}) / (\text{CH}_4 - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD})] \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\% \text{electron flow to SRB} = [(\Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD}) / (\text{CH}_4 - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD})] \dots\dots\dots (2.9)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \% \text{electron flow to MBP} &= [(87.44 + 18.72) / (87.44 + 18.72 + 132)] \times 100 \\ &= 44.58 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{electron flow to SRB} &= [(132) / (87.44 + 18.72 + 132)] \times 100 \\ &= 55.42 \% \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลของซัลเฟอร์

จากข้อมูลในตารางที่ 4.14 ของการทดลอง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 1.215 ลิตรต่อวัน

ซัลเฟตเข้า	501	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตออก	303	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลไฟด์ในน้ำออกทั้งหมด	74.31	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลไฟด์ในรูปก๊าซ	109.53	มิลลิกรัมต่อลิตร

จากสมการ 2.13 ในหัวข้อ 2.6

$$\% \text{sulfur recovery} = [(\text{SO}_4^{2-} \text{ eff} + \text{S}^{2-} + \text{HS}^- + \text{H}_2\text{S}_{\text{aq}} + \text{H}_2\text{S}_{\text{gas}}) / \text{SO}_4^{2-} \text{ in}] \times 100 \dots\dots\dots(2.13)$$

เมื่อ

$$\text{SO}_4^{2-} \text{ in} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำเข้า}$$

$$\text{SO}_4^{2-} \text{ eff} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำออก}$$

$$\text{S}^{2-} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์อิสระ}$$

$$\text{HS}^- = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่แตกตัว}$$

$$\text{H}_2\text{S}_{\text{aq}} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว}$$

$$\text{H}_2\text{S}_{\text{gas}} = \text{ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะก๊าซ}$$

โดย $\text{S}^{2-} + \text{HS}^- + \text{H}_2\text{S}_{\text{aq}}$ คือ ปริมาณซัลไฟด์น้ำออกทั้งหมด

$$\text{ซัลไฟด์ทั้งหมด} = 74.31 \times 3 \text{ (ซัลไฟด์ 1 กรัม มาจากซัลเฟต 3 กรัม)}$$

$$= 222.93 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปซัลเฟต}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ซัลไฟด์ในรูปก๊าซ} &= \text{ก๊าซซัลไฟด์} \times \text{ปริมาตรชุดดักก๊าซ} \times 3 / Q \\
 &= 177.43 \times 0.25 \times 3 / 1.215 \\
 &= 109.53 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปซัลเฟต} \\
 \text{ดังนั้น \%sulfur recovery} &= [(303 + 222.93 + 109.53) / 501] \times 100 \\
 &= 126.84 \%
 \end{aligned}$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การคำนวณอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด

การคำนวณอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด = ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น/ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น = ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (ลิตร/วัน) x เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด = ค่าซีโอดีน้ำเข้าถัง (กรัมซีโอดี/วัน) – ค่าซีโอดีน้ำออก (กรัมซีโอดี/วัน)

ตัวอย่าง ที่อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่พีเอช 7

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น 0.497 ลิตร/วัน

เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน 60.54 %

ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสปีต่อวัน $(6.872)(1.215) = 8.35$ กรัมซีโอดี/วัน

ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสปีต่อวัน $(3.510)(1.215) = 4.27$ กรัมซีโอดี/วัน

ดังนั้น

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด = $(0.497 \text{ ลิตร/วัน})(0.6054) / (8.35 - 4.27) \text{ กรัมซีโอดี/วัน}$
 $= 0.074 \text{ ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด}$

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA)

อัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

ประสิทธิผลการกำจัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
ของแข็งแขวนลอย				
pH = 5	8	69.5213	9.18685	3.24804
pH = 6	8	72.3438	5.21386	1.84338
pH = 7	8	75.0488	6.68371	2.36305
pH = 8.5	8	70.6838	8.64010	3.05474
Total	32	71.8994	7.52273	1.32984
Model Fixed Effects			7.59779	1.34311
Random Effects				1.34311
ซีโอดี				
pH = 5	12	93.5775	0.95555	0.27584
pH = 6	12	93.7267	0.74150	0.21405
pH = 7	12	94.1025	1.03032	0.29743
pH = 8.5	12	92.9600	1.09450	0.31595
Total	48	93.5217	1.02196	0.14751
Model Fixed Effects			0.96468	0.13924
Random Effects				0.23776
ซัลเฟต				
pH = 5	12	53.3967	12.71233	3.66973
pH = 6	12	53.2967	9.48844	2.73908
pH = 7	12	44.8875	7.01311	2.02451
pH = 8.5	12	43.5250	8.08312	2.33340
Total	48	48.7765	10.35689	1.49489
Model Fixed Effects			9.56758	1.38096
Random Effects				2.65331

ตารางที่ ๑.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำเสีย
อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA)

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งแขวนลอย					
Between Group	137.994	3	45.998	0.797	0.506
Within Group	1616.341	28	57.726		
Total	1754.335	31			
ซีไอดี					
Between Group	8.141	3	2.714	2.916	0.045
Within Group	40.946	44	0.931		
Total	49.087	47			
ซัลเฟต					
Between Group	1013.765	3	337.922	3.692	0.019
Within Group	4027.699	44	91.539		
Total	5041.464	47			

ตารางที่ ๑.3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA)

อัตราการระบรวทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
ของแข็งแขวนลอย				
pH = 5	8	62.4188	7.95217	2.81152
pH = 6	8	66.2163	9.93457	3.51240
pH = 7	8	67.5100	3.20992	1.13488
pH = 8.5	8	64.7200	4.96763	1.75632
Total	32	65.2163	6.93998	1.22683
Model Fixed Effects			7.01630	1.24032
Random Effects				1.24032
ซีโอดี				
pH = 5	12	71.5442	14.63390	4.22444
pH = 6	12	72.8150	12.68767	3.66261
pH = 7	12	79.1900	13.00897	3.75537
pH = 8.5	12	75.2208	13.85583	3.99983
Total	48	74.6925	13.45372	1.94188
Model Fixed Effects			13.56784	1.95835
Random Effects				1.95835
ซัลเฟต				
pH = 5	12	45.5983	14.38820	4.15351
pH = 6	12	43.8892	16.26626	4.69567
pH = 7	12	45.8908	12.71207	3.66966
pH = 8.5	12	47.5500	12.44713	3.59318
Total	48	45.7321	13.64478	1.96945
Model Fixed Effects			14.03691	2.02605
Random Effects				2.02605

ตารางที่ ๑.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำเสีย
อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA)

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งแขวนลอย					
Between Group	114.668	3	38.223	0.776	0.517
Within Group	1378.396	28	49.228		
Total	1493.064	31			
ซีไอดี					
Between Group	407.324	3	135.775	0.738	0.535
Within Group	8099.798	44	184.086		
Total	8507.122	47			
ซัลเฟต					
Between Group	80.931	3	26.977	0.137	0.937
Within Group	8669.533	44	197.035		
Total	8750.464	47			

ตารางที่ ๑.5 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA)
อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
ของแข็งแขวนลอย				
pH = 5	8	39.3675	6.25081	2.21000
pH = 6	8	56.6263	7.69061	2.71904
pH = 7	8	67.1838	5.85965	2.07170
pH = 8.5	8	55.8863	9.16353	3.23980
Total	32	54.7659	12.29202	2.17294
Model Fixed Effects			7.35738	1.30061
Random Effects				5.74478
ซีไอดี				
pH = 5	12	57.8383	9.67827	2.79388
pH = 6	12	63.9192	9.57637	2.76446
pH = 7	12	72.5883	5.34424	1.54275
pH = 8.5	12	60.3167	9.11224	2.63048
Total	48	63.6656	10.06879	1.45330
Model Fixed Effects			8.61640	1.24367
Random Effects				3.22557
ซัลเฟต				
pH = 5	12	50.7008	7.65672	2.21030
pH = 6	12	59.6367	7.87196	2.27244
pH = 7	12	64.7908	4.66220	1.34586
pH = 8.5	12	47.8692	10.10015	2.91566
Total	48	55.7494	10.21169	1.47393
Model Fixed Effects			7.81573	1.12810
Random Effects				3.92051

ตารางที่ ๑.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำเสีย
อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA)

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งแขวนลอย					
Between Group	3168.238	3	1056.079	19.510	0.000
Within Group	1515.667	28	54.131		
Total	4683.906	31			
ซีไอดี					
Between Group	1498.222	3	499.407	6.727	0.001
Within Group	3266.663	44	74.242		
Total	4764.886	47			
ซัลเฟต					
Between Group	2213.334	3	737.778	12.078	0.000
Within Group	2687.765	44	61.086		
Total	4901.098	47			

ตารางที่ ๑.7 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA)
อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
ของแข็งแขวนลอย				
pH = 5	8	29.9838	9.42411	3.33192
pH = 6	8	37.4263	5.53901	1.95833
pH = 7	8	44.8812	3.17969	1.12419
pH = 8.5	8	38.4337	1.66129	0.58735
Total	32	37.6813	7.66293	1.35463
Model Fixed Effects			5.75249	1.01691
Random Effects				3.05127
ซีไอดี				
pH = 5	12	26.7900	19.99656	5.77251
pH = 6	12	43.1092	12.52645	3.61607
pH = 7	12	49.2867	11.91109	3.43844
pH = 8.5	12	48.3817	12.87360	3.71629
Total	48	41.8919	16.90042	2.43937
Model Fixed Effects			14.70015	2.12178
Random Effects				5.21495
ซัลเฟต				
pH = 5	12	39.3200	9.18605	2.65178
pH = 6	12	50.5867	14.87926	4.29527
pH = 7	12	55.4067	12.62240	3.64377
pH = 8.5	12	49.8075	14.08564	4.06617
Total	48	48.7802	13.80044	1.99192
Model Fixed Effects			12.87930	1.85897
Random Effects				3.38777

ตารางที่ ๑.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกันของน้ำเสีย
อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA)

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งแขวนลอย					
Between Group	893.782	3	297.927	9.003	0.000
Within Group	926.553	28	33.091		
Total	1820.335	31			
ซีโอดี					
Between Group	3916.185	3	1305.395	6.041	0.002
Within Group	9508.156	44	216.094		
Total	1820.335	47			
ซัลเฟต					
Between Group	1652.689	3	550.896	3.321	0.028
Within Group	7298.565	44	165.876		
Total	8951.254	47			

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2528 จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมต้นและมัธยมปลาย จากโรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎ์ ฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม (เกียรตินิยมอันดับ 1) ได้รับรางวัลเรียนดีประเภทเหรียญเงิน จากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย