

ผลของจำนวนแผ่นกั้นและอัตรากระบรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้น
โดยระบบเอปอาร์



นางสาวนิรมล กรีอารีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

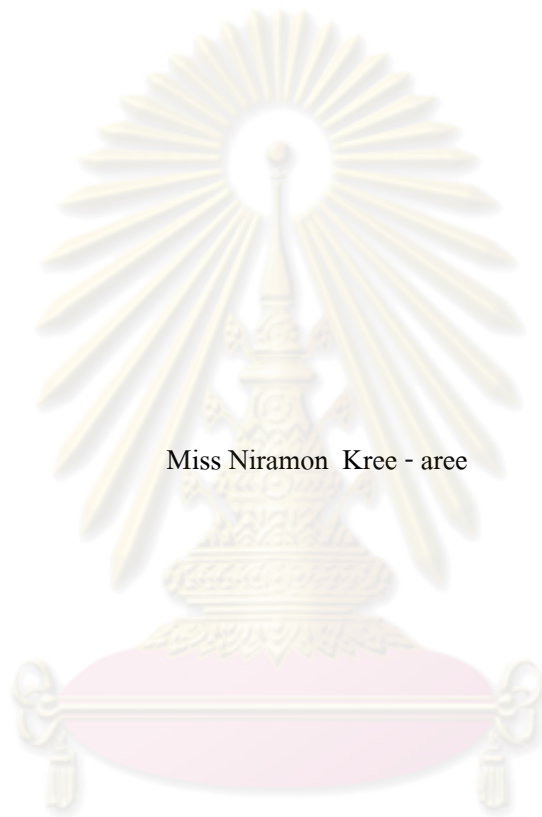
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF BAFFLE NUMBER AND ORGANIC LOADING RATE ON CONCENTRATED
LATEX WASTEWATER TREATMENT USING ANAEROBIC BAFFLED REACTOR
SYSTEM



Miss Niramon Kree - aree

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ผลของจำนวนแผ่นกั้นและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มี

ต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้น โดยระบบเอบีอาร์

โดย

นางสาวนิรมล กรีอารีย์

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

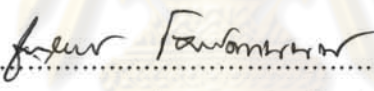
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)


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


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


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


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สมชาย คารารัตน์)

นิรมล กรีอารีย์ : ผลของจำนวนแผ่นกั้นและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้น โดยระบบเอบีอาร์. (Effects of Baffle Number and Organic Loading Rate on Concentrated Latex Wastewater Treatment Using Anaerobic Baffled Reactor System) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 174 หน้า.

น้ำเสียที่เกิดจากโรงงานยางชั้นมีการปนเปื้อนสารเคมีต่างๆ มากมาย เช่น ชัลเฟตที่เกิดจากการเติมกรดซัลฟิวริกในกระบวนการผลิต เพื่อให้เนื้อยางจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีความเป็นกรดสูง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำ งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงจำนวนแผ่นกั้นหรือจำนวนห้องในถังปฏิกรณ์และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้น โดยใช้ระบบเอบีอาร์ ในงานวิจัยใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีจำนวนแผ่นกั้นต่างกันดังนี้ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาตรการใช้งาน 14 ลิตร กำหนดระยะเวลาพักพักชดสาศตร์ (HRT) คงที่เท่ากับ 5 วัน และใช้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน จากผลการทดลองพบว่า ระบบเอบีอาร์ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดทุกพารามิเตอร์ โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเฉลี่ยคือ 89.92 %, 92.77 % และ 93.84 % ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 79.40 %, 82.32% และ 85.99 % ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตใกล้เคียงกันคือ 97.71 %, 97.42 % และ 98.30 % (ตามลำดับ) เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 85.31 %, 86.93 % และ 89.07 % ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 85.66 %, 87.71 % และ 90.12 % สามารถลดซัลเฟตได้ถึง 98.78 %, 98.57 % และ 99.25 % (ตามลำดับ) และเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง ดังนี้ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเฉลี่ยคือ 74.14 %, 78.40 % และ 80.36 % ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 86.05 %, 82.29 % และ 87.18 % สามารถลดซัลเฟตได้ 98.19 %, 98.42 % และ 99.50 % (ตามลำดับ) จากผลการทดลองจำนวนแผ่นกั้นมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีและของแข็งแขวนลอย โดยที่ระบบเอบีอาร์ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพสูงสุดและเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา..... 2552.....

ลายมือชื่อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5087155420 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : BAFFLE NUMBER / LATEX WASTEWATER / ANAEROBIC BAFFLED REACTOR SYSTEM

NIRAMON KREE - AREE : EFFECTS OF BAFFLE NUMBER AND ORGANIC LOADING RATE ON CONCENTRATED LATEX WASTEWATER TREATMENT USING ANAEROBIC BAFFLED REACTOR SYSTEM. ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAVALIT RATANATUMSAKUL, Ph.D., 174 pp.

The concentrated latex wastewater contains various chemicals such as sulfate which is resulted from large amount of sulfuric acid used in production process to catch latex. So this process make negative effect on the environment, especially water pollution to natural water resources. The objective of this study was to investigate the performance of anaerobic baffled reactor (ABR) in treating concentrated latex wastewater by varying baffle number or compartments in reactors and organic loading rates (OLR). ABR reactors consisting of 3, 5 and 7 baffles with the same total working volume of 14 L were used in this study. Each ABR was operated at HRT 5 days with OLR 1, 2 and 3 kgCOD / m³ – day. From the results, it was found that the reactor with 7 baffles had the highest removal efficiencies for all parameters. At OLR 1 kgCOD / m³ – day. ABRs with 3, 5 and 7 baffles had average COD removal performance were 89.92 %, 92.77 % and 93.84 % respectively. Suspended solid removal performance were 79.40 %, 82.32 % and 85.99 % respectively, ABRs almost completely removed sulfate from wastewater as removal percentages at 97.71 %, 97.42 % and 98.30 %, respectively. When OLR was increased to 2 kgCOD / m³ – day. ABRs with 3, 5 and 7 baffles had average COD removal at 85.31 %, 86.93 % and 89.07 %, respectively; average suspended solid removal at 85.66 %, 87.71 % and 90.12 %, respectively; average sulfate removal at 98.19 %, 98.42 % and 99.50 %, respectively.

Field of Study : Environmental Science.....

Student's Signature

Academic Year : 2009.....

Advisor's Signature

Niramon Kreearee
Chavalit Ratanatumsakul

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่า ในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆในการศึกษา และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จน สำเร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โหมยตานนท์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และ ดร. สมชาย ดารารัตน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็น รวมทั้งกรุณาสละเวลาอันมี ค่าเป็นกรรมการสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้เอื้อเพื่อ สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่าน รวมทั้งพี่ และ เพื่อน ๆ ที่มี ส่วนเกี่ยวข้องให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่จากโรงงานยางชั้น จังหวัดตรังที่ให้ความช่วยเหลือและส่งน้ำเสีย มาใช้ในการวิจัยและขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่บริษัท ไทยอีสเทิร์น รีบเบอร์ จำกัด ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้วิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง และ เพื่อน ๆ ซึ่งเป็นผู้ให้การ สนับสนุนทางด้านการศึกษาและเป็นผู้คอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้

คุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้ คุณพ่อ คุณแม่ และครู อาจารย์ใน สถาบันการศึกษาที่ผู้วิจัยได้ศึกษามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญตารางภาคผนวก.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ณ
สารบัญภาพภาคผนวก.....	ธ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ.....	4
2.1.1 ความหมายของระบบไม่ใช้อากาศ.....	4
2.1.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไม่ใช้อากาศ.....	5
2.1.3 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบไม่ใช้อากาศ.....	5
2.1.4 ประเภทแบคทีเรียในกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ.....	15
2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไม่ใช้อากาศ.....	20
2.1.6 ข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	23
2.1.7 สมดุลมวลของชีโอดี และซัลเฟอร์ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อมีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสีย.....	24
2.2 ระบบเอปียอร์ (Anaerobic Baffled Reactor: ABR).....	28
2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบเอปียอร์.....	29

2.2.2	ข้อดีและข้อเสียของระบบเอปปีอาร์.....	30
2.2.3	ก๊าซชีวภาพ (biogas).....	30
2.3	ยางพารา.....	31
2.3.1	ประวัติยางพารา.....	31
2.3.2	ยางพาราเข้าสู่ประเทศไทย.....	32
2.3.3	กระบวนการผลิตน้ำยางข้น.....	33
2.4	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
3.	วิธีดำเนินงานวิจัย.....	44
3.1	แผนการทดลอง.....	44
3.1.1	การออกแบบและสร้างระบบเอปปีอาร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.1.2	การเตรียมน้ำเสีย.....	45
3.1.3	การเดินระบบ.....	45
3.1.4	การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล.....	45
3.2	การออกแบบและจัดทำระบบเอปปีอาร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	46
3.2.1	ตั้งปฏิกรณ์ระบบเอปปีอาร์.....	46
3.2.2	ชุดวัดปริมาณก๊าซ.....	48
3.2.3	ถังเก็บน้ำเสียและรองรับน้ำเสีย.....	48
3.2.4	เส้นท่อ.....	48
3.3	การเตรียมน้ำเสีย.....	50
3.4	การเดินระบบ.....	50
3.4.1	การเริ่มต้นระบบ (start up).....	50
3.4.2	การเดินระบบ.....	52
3.5	การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	54
3.6	ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....	55
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	57
4.1	ผลการศึกษาน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	57
4.2	ผลการทดลองของระบบบำบัดน้ำเสีย.....	58
4.2.1	ระยะเริ่มต้นเดินระบบ (start up).....	58
4.2.2	การเดินระบบเอปปีอาร์ภายใต้ระยะเวลาที่กักขัง 5 วัน ทั้ง 3 อัตรา ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR).....	58

4.2.2.1 อุณหภูมิ.....	58
4.2.2.2 พีเอช.....	59
4.2.2.3 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD).....	62
4.2.2.4 สภาพด่าง (alkalinity).....	68
4.2.2.5 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids: VFAs).....	71
4.2.2.6 ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS).....	78
4.2.2.7 การกำจัดซัลเฟต(sulfate removed)และ การเกิดซัลไฟด์(sulfide)..	82
4.2.2.8 การเกิดก๊าซชีวภาพ (biogas production).....	90
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอปียาร์ของแต่ละถังปฏิกรณ์ (3, 5 และ 7 แผ่นกั้น) แต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สภาวะคงตัว.....	96
4.3.1 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD).....	96
4.3.2 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity).....	98
4.3.3 ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS).....	99
4.3.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟต (sulfate removal).....	100
4.4 สมดุลมวลของสารในระบบ.....	102
4.4.1 สมดุลมวลของซีโอดี.....	102
4.4.2 สมดุลมวลของซัลเฟอร์.....	104
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	106
รายการอ้างอิง.....	107
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก.....	117
ภาคผนวก ข.....	127
ภาคผนวก ค.....	163
ภาคผนวก ง.....	169
ภาคผนวก จ.....	170
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	174

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียบางกลุ่มในจีส Clostridium.....	17
2.2	สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้.....	19
2.3	ข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	23
2.4	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบเอบีอาร์.....	30
2.5	ปริมาณและการส่งออกของพารา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 – 2551.....	37
3.1	ลักษณะของถังปฏิกรณ์เอบีอาร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	4
3.2	แผนการทดลองทั้ง 3 ชุด.....	52
3.3	พารามิเตอร์และวิธีที่ใช้วิเคราะห์.....	54
3.4	ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 (อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน).....	55
3.5	ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ 2 (อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน).....	56
3.6	ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ 3 (อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน).....	56
4.1	สมบัติของน้ำเสียจากโรงงานยางชั้นที่วิเคราะห์ได้ก่อนทำการบำบัด.....	57
4.2	อุณหภูมิของน้ำเสียที่ออกจากระบบ.....	59
4.3	พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1,2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	59
4.4	ชีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	63
4.5	สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	68
4.6	กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	72

ตารางที่	หน้า	
4.7	ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	79
4.8	ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียาร์ ที่อัตราการระบรทุก สารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	83
4.9	ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และ ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียาร์ ที่อัตราการระบรทุก สารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	88
4.10	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระ บรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	90
4.11	สัดส่วนก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระ บรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	93
4.12	อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อชีโอดีที่ถูกกำจัดของระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้นที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	95
4.13	ค่า % COD recovery ของการทดลอง ของระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ...	102
4.14	เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow) ของระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น.....	104
4.15	% sulfur recovery ของระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น	105

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ก - 1	104
ข - 1	122
ค - 1	127
ค - 2	128
ค - 3	129
ค - 4	130
ค - 5	131
ค - 6	132
ค - 7	133
ค - 8	134

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ค - 9 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อ ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	135
ค - 10 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3 ถึง ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	136
ค - 11 ผลการวิเคราะห์พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน...	137
ค - 12 ผลการวิเคราะห์ชีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3 ถึง ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	138
ค - 13 ผลการวิเคราะห์สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3 ถึง ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	139
ค - 14 ผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	140
ค - 15 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อ ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	141
ค - 16 ผลการวิเคราะห์ซัลเฟตของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3 ถึง ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	142
ค - 17 ผลการวิเคราะห์ซัลไฟด์ของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3 ถึง ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	143
ค - 18 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อ ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	144

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ค – 19 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	145
ค – 20 ผลการวิเคราะห์พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน...	146
ค – 21 ผลการวิเคราะห์ชีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	147
ค – 22 ผลการวิเคราะห์สภาพค่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	148
ค - 23 ผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	149
ค - 24 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	150
ค - 25 ผลการวิเคราะห์ซัลเฟตของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	151
ค – 26 ผลการวิเคราะห์ซัลไฟด์ของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	152
ค – 27 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน	153
ค – 28 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพค่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 3 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	154

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ค – 29 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอบีอาร์ขนาด 5 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	155
ค – 30 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอบีอาร์ขนาด 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	156
ค – 31 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอบีอาร์ขนาด 3 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	157
ค – 32 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอบีอาร์ขนาด 5 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	158
ค – 33 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอบีอาร์ขนาด 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	159
ค – 34 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอบีอาร์ขนาด 3 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	160
ค - 35 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอบีอาร์ขนาด 5 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	161
ค – 36 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอบีอาร์ขนาด 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	162

สารบัญภาพ

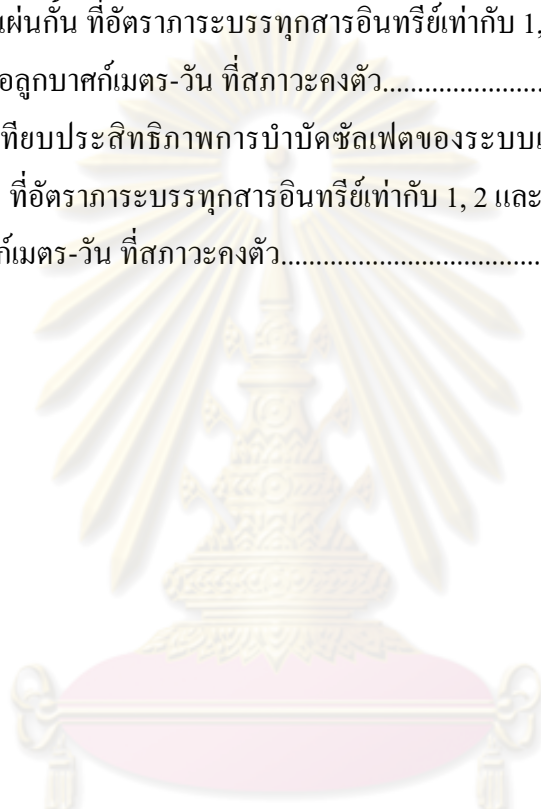
ภาพที่	หน้า	
2.1	ขั้นตอนการย่อยสลายไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตแบบไม่ใช้อากาศ.....	6
2.2	การเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยาไม่ใช้อากาศ.....	9
2.3	ขั้นตอนปฏิกิริยาไม่ใช้อากาศ.....	15
2.4	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอปียอร์.....	28
2.5	น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยางพารา	34
2.6	กรรมวิธีการผลิตน้ำยางข้นด้วยวิธีการปั่นแยก.....	35
3.1	แผนผังการดำเนินการวิจัย.....	44
3.2	รายละเอียดของถังปฏิกรณ์ระบบเอปียอร์ที่ใช้ในการวิจัย.....	47
3.3	ลักษณะของถังปฏิกรณ์ระบบเอปียอร์ที่ใช้ในการวิจัย.....	48
3.4	แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์และระบบบำบัดน้ำเสียเอปียอร์ในการวิจัย.....	49
3.5	ระบบเอปียอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัย.....	50
3.6	แผนภาพขั้นตอนการทดลอง.....	53
3.7	หลอดเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพขนาด 5 มิลลิลิตร.....	55
4.1	ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานยางข้นก่อนทำการบำบัด.....	58
4.2	พิเศษของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตรา การบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	60
4.3	พิเศษของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตรา การบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	61
4.4	พิเศษของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตรา การบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	61
4.5	ชีโอดีและประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ เอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัม ชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	64
4.6	ชีโอดีและประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ เอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัม ชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	64

ภาพที่	หน้า	
4.7	ชีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดชีไอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ เอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัม ชีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	65
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดชีไอดี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน	66
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดชีไอดี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน	67
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดชีไอดี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน	67
4.11	สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตรา ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	69
4.12	สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตรา ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	70
4.13	สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตรา ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	70
4.14	กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	73
4.15	กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	74
4.16	กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	74
4.17	อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจาก ระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	76

ภาพที่	หน้า
4.18 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	77
4.19 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	77
4.20 ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	80
4.21 ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	81
4.22 ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	81
4.23 ชัลเฟตน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดชัลเฟตของระบบเอปีอาร์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	84
4.24 ชัลเฟตน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดชัลเฟตของระบบเอปีอาร์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	85
4.25 ชัลเฟตน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดชัลเฟตของระบบเอปีอาร์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	85
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดชัลเฟต ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน..	86
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดชัลเฟต ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน..	86

ภาพที่		หน้า
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟต ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน..	87
4.29	ซัลไฟด์น้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการ บรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	89
4.30	ซัลไฟด์น้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการ บรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	89
4.31	ซัลไฟด์น้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการ บรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	90
4.32	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ในแต่ละวัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวที่อัตราการบรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	91
4.33	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ในแต่ละวัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราการบรทุก สารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	92
4.34	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ในแต่ละวัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราการบรทุก สารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	92
4.35	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการ บรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน.....	93
4.36	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน.....	94
4.37	อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรทุกสารอินทรีย์ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อ ลูกบาศก์เมตร-วัน	96
4.38	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน ที่สภาวะคงตัว.....	97

ภาพที่	หน้า	
4.39	เปรียบเทียบอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียที่ออกจากระบบ เอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ที่สภาวะคงตัว.....	98
4.40	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ที่สภาวะคงตัว.....	100
4.41	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ที่สภาวะคงตัว.....	101



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่		หน้า
ข – 1	เครื่องวัดพีเอช (pH meter).....	118
ข – 2	ตู้อบ (hot air oven).....	123
จ – 1	บ่อบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศของ โรงงานยางชั้นแห่งหนึ่งที่น่าเชื่อจูลินทรีย์มา ใช้ในการทดลอง.....	169
จ – 2	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอปียาร์.....	169



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญในหลายประเทศในทวีปเอเชีย ได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย จีน เวียดนาม ศรีลังกา ฟิลิปปินส์ รวมถึงประเทศไทย ประเทศไทยมีพื้นที่ในการเพาะปลูกยางพาราเป็นอันดับ 2 ของทวีป แต่มีปริมาณการส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลก ในปี 2549 ไทยส่งออกยางพาราสูงถึง 3.056 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 205,361.45 ล้านบาท ผลผลิตเพื่อการส่งออกส่วนใหญ่มาจากภาคใต้ถึง 88 % (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) กระบวนการผลิตน้ำยางรมีขั้นตอนที่ก่อให้เกิดมลพิษทั้งทางด้านน้ำและอากาศ โดยเฉพาะมลพิษทางด้านน้ำ มีขั้นตอนที่ก่อให้เกิดน้ำเสียไม่ว่าจะเป็น การล้างทำความสะอาด การเติมสารเพื่อให้น้ำยางจับตัว หรือการปั่น โดยมีปริมาณการใช้น้ำ 1.8 – 15.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำยางรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) มีการใช้สารเคมีระหว่างขั้นตอนการจับตัวของเนื้อยางคือกรดซัลฟิวริก ทำให้มีการปนเปื้อนของซัลเฟต น้ำเสียที่ออกจากอุตสาหกรรมชนิดนี้จึงมีสภาพความเป็นกรดสูง หากมีการจัดการกับน้ำเสียชนิดนี้โดยไม่ถูกต้องอาจก่อให้เกิดปัญหาตามมา

การจัดการกับน้ำเสียของโรงงานยางรมโดยทั่วไปนิยมใช้การบำบัดทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบบ่อหมักแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic pond) ระบบบ่อผึ่ง (oxidation pond) และแอกติเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge: AS) (กัญญารัตน์และคณะ, 2550) ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวมีข้อดีคือง่ายต่อการควบคุมและค่าใช้จ่ายในระบบต่ำ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่ในการบำบัดมาก ส่งกลิ่นเหม็นเนื่องจากเป็นระบบเปิด การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพไร้ออกซิเจนแบบปิด นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมในด้านการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูง เนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อยกว่ากระบวนการบำบัดแบบใช้อากาศ ลดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น เนื่องจากเป็นระบบปิดและได้พลังงานทดแทนคือก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น แต่ระบบนี้ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ช้า ใช้ระยะเวลาบำบัดนาน จึงได้มีการปรับปรุงพัฒนาระบบ ซึ่งการเลือกใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีรูปแบบของถังปฏิกรณ์อยู่หลายชนิด โดยการบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศส่วนใหญ่ใช้ระบบยูเอสบีและระบบบ่อบำบัดที่ไม่ใช้อากาศ เมื่อนำระบบบ่อบำบัดมาดัดแปลงโดยใช้แผ่นกั้นในแนวนอนออกเป็นส่วนๆ จะมีลักษณะเป็นระบบเอปียอร์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงจำนวนแผ่นกั้นหรือจำนวนห้องในถังปฏิกรณ์และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางรม ซึ่งผลจากการทดลองสามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพของระบบเอปียอร์ในการบำบัดน้ำเสียยางรม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเอปียาร์ สำหรับบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้น
2. ศึกษาผลของจำนวนแผ่นกั้น (baffles) หรือจำนวนห้อง (compartments) ในถังปฏิกรณ์ และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้น โดยใช้ระบบเอปียาร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้ในการเดินระบบเอปียาร์คือน้ำเสียจากโรงงานยางชั้น
2. งานวิจัยนี้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยสร้างแบบจำลองระบบเอปียาร์ 3 ถัง มีจำนวนแผ่นกั้นของถังปฏิกรณ์ต่างกัน ดังนี้ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ระบบเอปียาร์ที่จำลองขึ้นมีลักษณะโดยทั่วไปเป็นถังปฏิกรณ์ทรงสี่เหลี่ยมทำด้วยอะคริลิก กว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 28 เซนติเมตร ปริมาตร 20 ลิตร แบ่งออกเป็นหน่วยบำบัดย่อยด้วยแผ่นกั้น 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น แต่ละถังมีปริมาตรใช้งาน (working volume) รวม 14 ลิตร
3. ปัจจัยที่ใช้ในการทำวิจัย ได้แก่
 - ใช้อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 3 ค่า ได้แก่ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง
 - กำหนดระยะเวลาพักพิชผลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time: HRT) 5 วัน
 - ใช้เวลาในการเดินระบบ 30 วันในแต่ละอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์
4. พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบมีดังนี้ พีเอช (pH), อุณหภูมิ (temperature), สภาพด่าง (alkalinity), กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid: VFAs), ซีโอดี (COD), ของแข็งแขวนลอย (TSS), ซัลเฟต (SO_4^{2-}), ซัลไฟด์ (S^{2-})

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบผลของจำนวนแผ่นกั้นที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้น โดยใช้ระบบเอปียาร์
2. ทราบผลของอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้น โดยใช้ระบบเอปียาร์
3. เป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางชั้น ได้ก้ำชชีวภาพเป็นผลพลอยได้ สามารถเป็นแหล่งพลังงานทดแทน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. การจัดเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
2. ดำเนินการเก็บน้ำเสียจากโรงงานตัวอย่าง
3. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
4. ทำการทดลองให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย
5. ทำการเก็บตัวอย่างและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
6. อภิปรายและสรุปผลการทดลอง เขียนวิทยานิพนธ์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

2.1.1 ความหมายของระบบไม่ใช้อากาศ

ในความหมายของวิศวกรที่ปรึกษานั้น ระบบไม่ใช้อากาศหมายถึงระบบชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสีย (หรือสลัดจ์) ทุกแบบที่ไม่ได้ใช้ออกซิเจนอิสระเป็นตัวสุดท้ายในการรับอิเล็กตรอน

ในปัจจุบัน ระบบไม่ใช้อากาศ หมายถึง ระบบบำบัดชีวภาพที่ใช้กระบวนการชีวเคมีต่อไปนี้

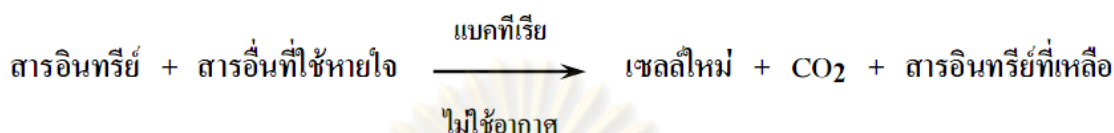
- ไฮโดรไลซิส
- การสร้างกรดไขมันระเหย (acidogenesis)
- การสร้างอะซิเตท (acetogenesis)
- การสร้างมีเทน (methanogenesis)

ระบบที่เดินต่อเนื่อง (ต้องเปิดเครื่องเติมอากาศตลอดเวลา) และบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน จึงมีการปรับปรุงระบบให้เป็นแบบทีละเท (batch) ซึ่งในขณะที่ระบบไม่มีการเติมอากาศ ถูกมองว่าเป็นระบบแบบไม่ใช้อากาศด้วย เพราะถือว่าช่วงที่ไม่มีการเติมอากาศนั้น จะไม่มีออกซิเจนอิสระอยู่ในน้ำ (หรือมีน้อยมาก) จนแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศมีบทบาทเด่นขึ้นมา

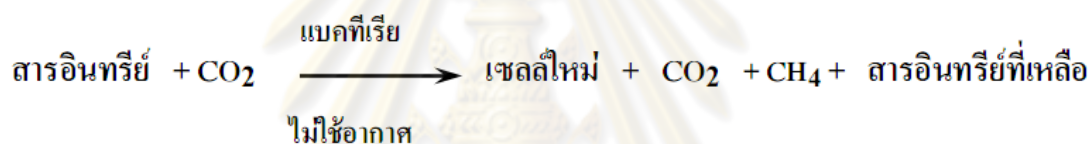
มันลิน (2542) กล่าวว่าสภาวะแวดล้อมแบบไม่ใช้อากาศ หมายถึง สภาวะที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำน้อย จนไม่เพียงพอต่อการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ ในสภาวะเช่นนี้ สารตัวสุดท้ายที่รับอิเล็กตรอนเป็นสารอินทรีย์ กระบวนการนี้เรียกว่า เฟอร์เมนเตชัน (fermentation) แต่ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอนินทรีย์จะเรียกการหายใจแบบนี้ว่าการหายใจแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic respiration) ซึ่งการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศหรือไม่ใช้ออกซิเจนนี้จะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน (non - methanogenic bacteria) และกลุ่มที่สร้างมีเทน (Methane Production Bacteria: MPB)

2.1.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไม่ใช้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไม่ใช้อากศนั้นเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่หายใจด้วยสารอื่นที่ไม่ใช้อากาศเป็นผู้ทำลายสารอินทรีย์ จุลินทรีย์ชนิดนี้จึงไม่เหมือนกับจุลินทรีย์ที่หายใจด้วยอากาศ



ภายหลังการบำบัดสารอินทรีย์จะเหลืออยู่มากแต่จะมีเซลล์ใหม่เกิดขึ้นน้อย โดยทั่วไปมักเข้าใจกันว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศหมายถึงระบบไม่ใช้อากาศ หมายถึงระบบไม่ใช้อากาศที่ผลิตก๊าซมีเทนซึ่งเป็นระบบที่อาศัยจุลินทรีย์ที่หายใจด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) การบำบัดน้ำเสียจึงเขียนแทนด้วยสมการดังนี้

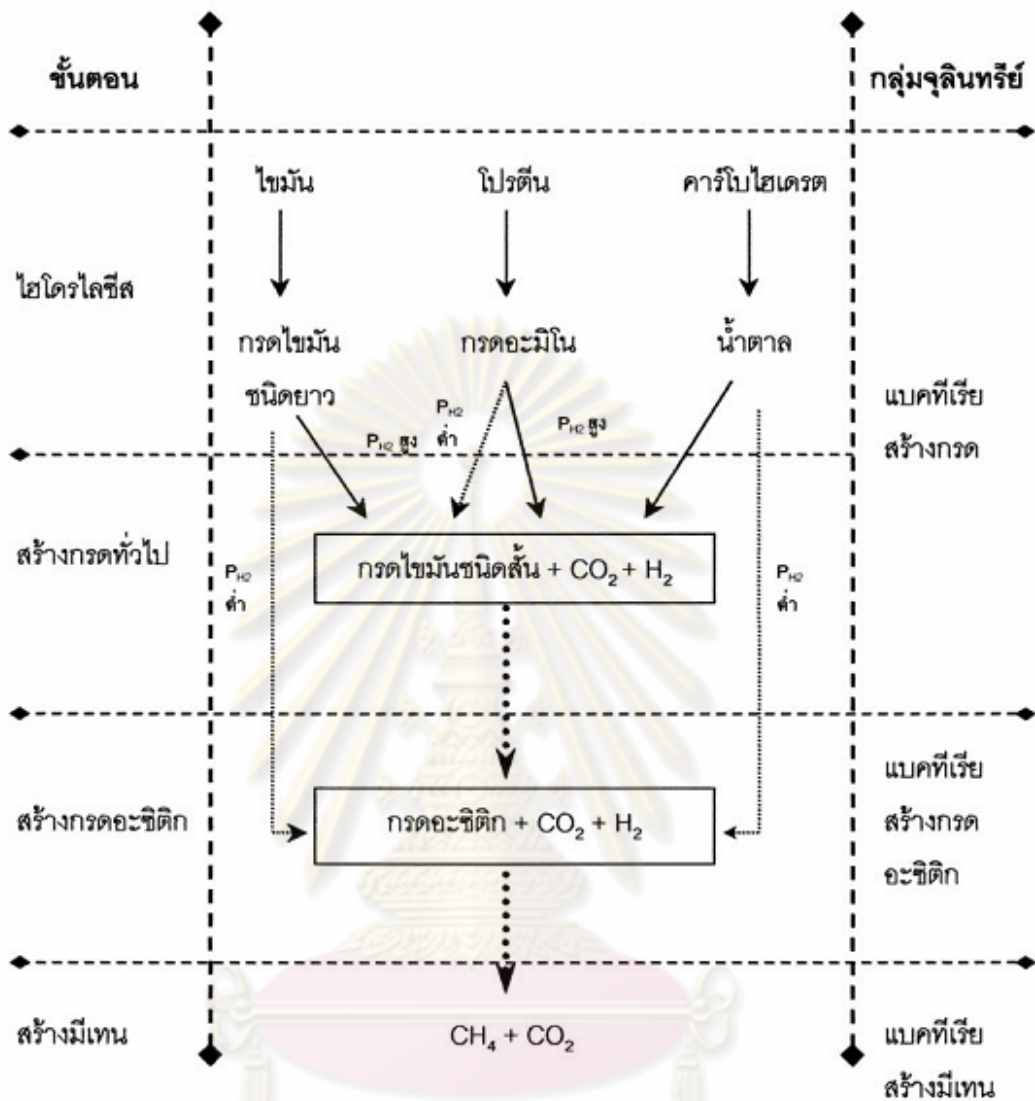


แต่แท้ที่จริงแล้ว ในโลกของแบคทีเรียไม่ใช้อากาศยังมีจุลินทรีย์ที่ไม่ได้หายใจด้วย CO₂ หรือ O₂ อีกหลายชนิด จุลินทรีย์เหล่านี้มีชีวิตอยู่ได้โดยหายใจสารอื่น เช่น NO₃, SO₄, Fe₂O₃, FeOOH, MnO₂ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.1.3 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบไม่ใช้อากาศ

2.1.3.1 ไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

แบคทีเรียใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน แต่การนำเอาสารอินทรีย์ไปใช้ของแบคทีเรีย จะต้องขนส่งสารอินทรีย์เข้าไปในเซลล์เสียก่อน จากนั้นจึงเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นภายในเซลล์และได้พลังงานในการดำรงชีวิต การขนส่งสารอินทรีย์ขนาดใหญ่จะไม่สามารถขนส่งเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีขนาดเล็กลง ในกระบวนการไม่ใช้อากาศ แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียสร้างกรดจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ เช่น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น ให้มีขนาดเล็กลงเป็นพวกน้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาว โดยการผลิตเอนไซม์ขึ้นภายในเซลล์และปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ ขั้นตอนไฮโดรไลซิสนี้เป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างช้าและเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของปฏิกิริยา ความเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ พีเอช พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น ทำให้เวลาย่อยสลายต่างกัน

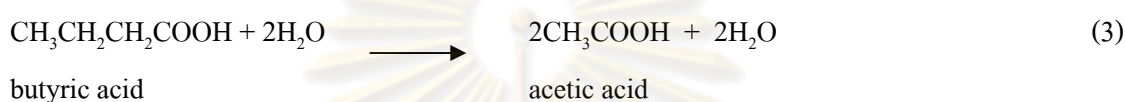
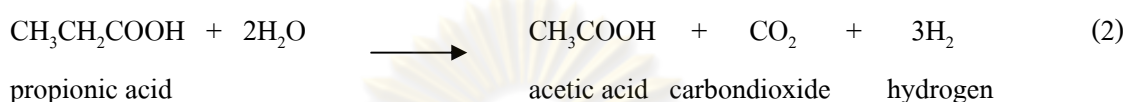
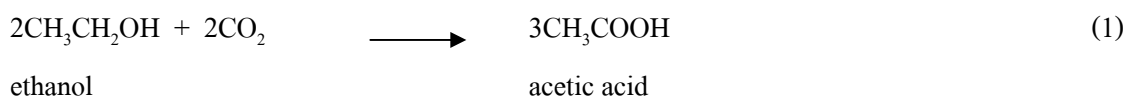


ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการย่อยสลายไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตแบบไม่ใช้ออกาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

2.1.3.2 การสร้างกรด (acid formation)

หลังจากขั้นตอนไฮโดรไลซิส สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกย่อยให้เล็กลงกลายเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลเล็กและถูกแบคทีเรียสร้างกรดขนส่งเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียที่ทำหน้าที่สร้างกรดในกระบวนการไม่ใช้ออกาศเป็นพวก obligate anaerobes และ facultative แต่แบคทีเรียพวก obligate anaerobes มีจำนวนมากกว่า จึงเป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักที่ทำหน้าที่ผลิตกรด ได้แก่ แบคทีเรียหลายๆ กลุ่มของ Pseudomonas, Flavobacterium, Alcaligenes, Escherichia และ Aerobacter ได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ กรดไขมันระเหยง่าย คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะถูก

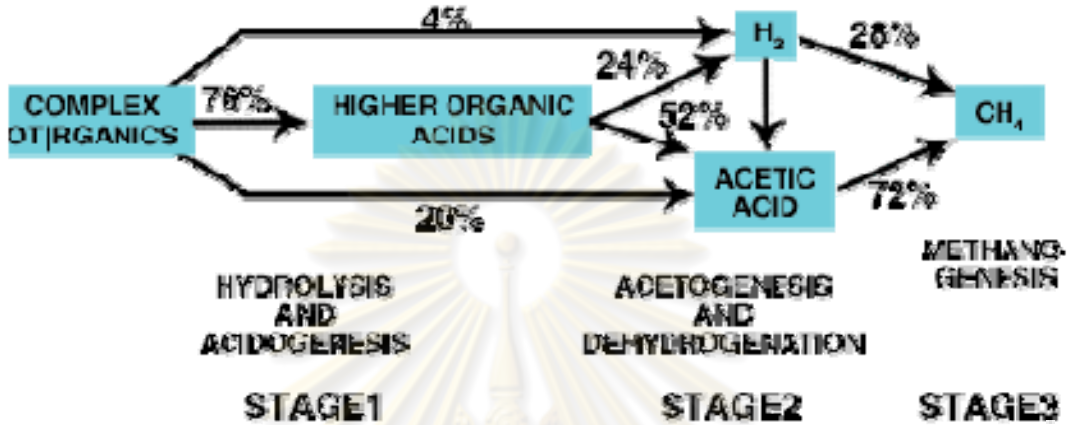
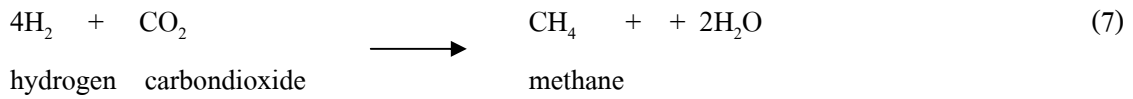
เปลี่ยนไปเป็นมีเทน โดยเฉพาะกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และแลคติก จะเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่เปลี่ยนรูปไปเป็นมีเทนโดยกลุ่ม MPB ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาแรกๆ ดังสมการที่ 1, 2 และ 3



นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่สร้างกรดบางชนิดสามารถใช้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้เกิดโมเลกุลของไฮโดรเจน (H_2) ขึ้น โดยไฮโดรเจนของโมเลกุลดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนไปเป็นมีเทนหรือใช้เป็นสารอาหารของกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่ม Sulfate Reducing Bacteria (SRB) ในการเกิดซัลเฟตรีดักชัน (sulfate reduction) แต่ถ้าหากไม่มีการสร้างไฮโดรเจนหรือไฮโดรเจนถูกใช้หมดไป จุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดจะใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทน ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ตัวอื่นๆ เช่น กรดแลคติก เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล เป็นต้น จุลินทรีย์สร้างกรดหรือกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน มีความสามารถในการสร้างผลิตภัณฑ์หลักที่ต่างกัน จำแนกเป็นจุลินทรีย์ที่สร้างไฮโดรเจนสามารถสร้างกรดได้และจุลินทรีย์ที่สร้างกรดไม่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้ ซึ่งปฏิกิริยาสุดท้ายจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์จำพวกนี้คือ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิก โดยสามารถแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดได้ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) กลุ่มจุลินทรีย์ที่สร้างกรดอะซิติกเพียงอย่างเดียว (homoacetogenic bacteric) โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และแหล่งคาร์บอน และใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นกรดอะซิติก

2) กลุ่มจุลินทรีย์สร้างกรดอะซิติกที่ผลิตไฮโดรเจนได้ หรือเรียกว่า H_2 - producing acetogenic acetogenic จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะใช้กรดไขมันระเหยง่ายที่ไม่ใช่กรดอะซิติกหรือแอลกอฮอล์เป็นแหล่งอาหาร โดยจะสร้างกรดอะซิติกและไฮโดรเจนที่เป็นอาหารของ MPB ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เชื่อมการทำงานระหว่างจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์กลุ่มนี้ไม่สามารถทำงานได้เพียงลำพัง เพราะจะทำให้เกิดการสะสมของไฮโดรเจนที่ผลิตออกมา ส่งผลให้จุลินทรีย์สร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงต้อง



ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยาไม่ใช้อากาศ (เกรียงศักดิ์, 2547)

2.1.3.4 ซัลเฟตรีดักชัน (sulfate reduction)

การบำบัดแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียที่มีซัลเฟตหรือสารประกอบซัลเฟอร์ ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นจากการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะเกิดขึ้น 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาสร้างมีเทน (methanogenesis) และปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันหรือ sulfidogenesis โดยซัลเฟตรีดักชันเป็นกระบวนการไม่ใช้อากาศ อาศัย SRB พวกที่สามารถใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย โดยมีสารอินทรีย์เป็นสารให้อิเล็กตรอน คือ โมเลกุลของไฮโดรเจนหรืออะซิเตท ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเช่นเดียวกับขั้นตอนการสร้างมีเทนโดยปกติ ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตแบบไม่ใช้อากาศจึงมักจะพบ SRB อยู่ร่วมกับจุลินทรีย์สร้างกรดและ MPB เสมอ เช่น *Desulfotribidrio* ซึ่งใช้ไฮโดรเจนหรือสารประกอบอะซิเตทหรือสารอินทรีย์อื่นเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและได้ผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยาเป็นซัลไฟด์ (S²⁻) ดังแสดงในสมการที่ 8 โดยซัลไฟด์ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันซัลเฟตมีส่วนสำคัญต่อการทำงานของระบบ กล่าวคือ ซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นซัลไฟด์โดยกลุ่มจุลินทรีย์ SBR (สมการที่ 8) ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นสามารถรวมตัวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยถ้าพีเอชของน้ำเสยอยู่ในช่วง 6 - 8 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเป็นไปตามสมการที่ 9 และ 10 (Metcalf and Eddy, 2004)

จะเห็นว่าปฏิกิริยารีดักชันซัลเฟตจะได้ซัลไฟด์จากการรีดิวซ์ด้วย SRB ซึ่งซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของซัลไฟด์ที่ละลาย (dissolved sulfide) คืออออนซัลไฟด์ (S^{2-}) อออนไบซัลไฟด์ (HS^-) และไฮโดรเจนซัลไฟด์อิสระ (H_2S) โดยสัดส่วนของซัลไฟด์ที่ละลายในน้ำขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ คือพีเอชของน้ำมากกว่า 8 ซัลไฟด์ละลายอยู่ในรูปไบซัลไฟด์และอออนซัลไฟด์ ส่วนไฮโดรเจนซัลไฟด์อิสระจะมีสัดส่วนที่ละลายอยู่ในน้ำน้อยมาก ดังนั้นที่พีเอชมากกว่า 9 จะไม่ส่งผลกระทบต่อเรื่องกลิ่นเหม็นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ถ้าพีเอชน้อยกว่า 9 สัดส่วนของไฮโดรเจนซัลไฟด์อิสระจะมีสัดส่วนเพิ่มมากขึ้นโดยพีเอชเท่ากับ 7 ไฮโดรเจนซัลไฟด์อิสระมีสัดส่วนละลายน้ำ 50 % ส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นของไฮโดรเจนซัลไฟด์

- แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria: SRB)

สิ่งมีชีวิตในธรรมชาติทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นพืชชั้นสูง สาหร่าย รา และเซลล์ของพวกโพรคาริโอตหลายชนิดสามารถใช้ซัลเฟตเป็นแหล่งซัลเฟอร์ในการสร้างเซลล์ แต่ความสามารถในการใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจำกัดอยู่ในแต่แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเท่านั้น แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนโดยเด็ดขาด (*Desulfovibrio sp.* ก่อนข้างจะทนต่อออกซิเจนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตบางสปีชีส์รีดิวซ์ในเตรทเป็นแอมโมเนียได้ด้วย) จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียเคโมเฮเทโรทรอป คาร์บอนซัพพลายและเจริญเติบโตโดยรับพลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ลักษณะเด่นของแบคทีเรียกลุ่มนี้ คือ ความสามารถในการรีดิวซ์ซัลเฟตให้เปลี่ยนเป็นรูปของซัลไฟด์ เนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนโมเลกุลหรือสารอินทรีย์หลายชนิด ในกรณีที่สารให้อิเล็กตรอนคือไฮโดรเจนโมเลกุลหรืออะซิเตท ขั้นตอนดังกล่าวนี้จัดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่นเดียวกับขั้นตอนการสร้างมีเทนตามปกติ ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีซัลเฟตมากจึงมักพบแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอยู่ร่วมกับแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนอยู่เสมอ แต่จุลินทรีย์ดังกล่าวใช้สารอาหารเดียวกัน จึงอาจเกิดการแย่งอาหารกันภายในระบบได้ สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ได้ดังนี้

1) การแข่งขันระหว่างแบคทีเรียสร้างอะซิเตทและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตถึงแม้ว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะมีความสามารถในการใช้สารอาหารที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมสูงได้ (*Desulfoarculus* และ *Thermodesulforhabdus* ใช้กรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมได้สูงถึง 18 อะตอม) แต่ความสามารถดังกล่าวก็จำกัดอยู่เฉพาะบางชนิด สารอาหารที่ใช้ได้โดยทั่วไปมีเพียง ไฮโดรเจน, แล็กเตท และไพรูเวต เท่านั้น ส่วนสารอาหารอื่นนอกเหนือจากนี้จะมีข้อจำกัดในการใช้มากขึ้นการแข่งขันเพื่อแย่งใช้สารอาหารกับแบคทีเรียสร้างอะซิเตทจึงน่าจะเกิดขึ้นค่อนข้าง

รุนแรงในสารอาหารทั้งสามชนิดนี้ แต่โพรวอดเป็นสารอินเทอร์มีเดียที่สำคัญมากในกระบวนการหมัก ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ไม่ใช้อากาศมีเส้นทางที่หลากหลายมากขึ้นหากมีซัลเฟตอยู่ในระบบด้วย

- กรณีอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตสูง ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตสูง ความเข้มข้นของซัลเฟตจะเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในระบบ ทำให้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่ใช้ไฮโดรเจนได้เปรียบในการแย่งใช้ซัลเฟต เป็นเหตุให้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่ออกซิไดส์กรดอินทรีย์โดยตรงไม่อาจแข่งขันกับแบคทีเรียสร้างอะซิเตทได้เส้นทางการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นผ่านการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างอะซิเตท และแบคทีเรียสร้างมีเทน ได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

- กรณีอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตต่ำ กรณีนี้ซัลเฟตในระบบมีอย่างจำกัด แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตแต่ละกลุ่มไม่ต้องแย่งใช้ซัลเฟตกันเองจึงคาดว่าสารอินทรีย์ในระบบน่าจะถูกย่อยสลายผ่านทางแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตว่าเป็นชนิดย่อยสลายสมบูรณ์ จากปัจจัยทางจุลศาสตร์ของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตพบว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายไม่สมบูรณ์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่า เส้นทางการย่อยสลายสารอินทรีย์น่าจะเกิดผ่านแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตชนิดย่อยสลายไม่สมบูรณ์ และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่บริโภคอะซิเตทได้คาร์บอนไดออกไซด์และซัลไฟด์เป็นผลิตภัณฑ์หลัก

2) การแข่งขันระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนในการแย่งใช้ไฮโดรเจน ไฮโดรเจนเป็นสารอินเทอร์มีเดียที่สำคัญในกระบวนการไม่ใช้อากาศ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยทั่วไปแล้ว ประมาณ 20 – 30 % ของซีโอดีจะถูกย่อยสลายผ่านทางไฮโดรเจน ซึ่งทั้งแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนต่างก็สามารถใช้เป็นสารอาหารได้

3) การแข่งขันระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนในการแย่งใช้อะซิเตท อะซิเตทเป็นสารอินเทอร์มีเดียที่สำคัญที่สุดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากประมาณ 70 % ของซีโอดีที่ถูกกำจัดจะถูกย่อยสลายผ่านอะซิเตท ซึ่งในกระบวนการไม่ใช้อากาศที่มีซัลเฟต แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนต่างก็แข่งขันกันเพื่อใช้อะซิเตทที่มีอยู่ในระบบ

ถ้าหากในระบบมีปริมาณซัลเฟตสูงก็มีโอกาสเกิดการหายใจแบบใช้ซัลเฟต หากในระบบมีซัลไฟด์มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงอาจล้มเหลวได้ ดังสรุปได้ดังนี้

- ชัลเฟตสามารถรีดิวซ์เป็นชัลไฟด์จะเป็นตัวการสำคัญที่จะไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน

- ชัลไฟด์ทำให้ความต้องการออกซิเจนในน้ำทิ้งสูงขึ้น

- ไฮโดรเจนชัลไฟด์ที่ปล่อยออกมาจะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นและปัญหาการกัดกร่อนอย่างรุนแรง

- เกิดการแข่งขันระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ชัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนในการแย่งชิงไฮโดรเจนและตัวให้อิเล็กตรอนอื่นๆ เช่น อะซิเตท เมทานอล ฟอ์เมทและโพธิโอเนต เป็นต้น ทำให้มีเทนลดลง

- เกิดชัลเฟตรีดักชันทำให้แหล่งคาร์บอนของแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลง ทำให้ผลิตมีเทนได้น้อยลง

- บางส่วนของชัลไฟด์กลายเป็นไฮโดรเจนชัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ หากนำก๊าซชีวภาพนี้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ต้องกำจัดไฮโดรเจนชัลไฟด์ออกก่อน แต่จะเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเป็นมลพิษ

ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับตัวของแบคทีเรียรีดิวซ์ชัลเฟต

1) อุณหภูมิ โดยทั่วไปแบคทีเรียรีดิวซ์ชัลเฟตที่ได้รับการเลี้ยงเชื้อที่บริสุทธิ์ จะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในช่วง 30 – 40 °C ซึ่งจัดอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อแบคทีเรียรีดิวซ์ชัลเฟตค่อนข้างมาก

2) ความต้องการเกลือและความทนต่อเกลือ

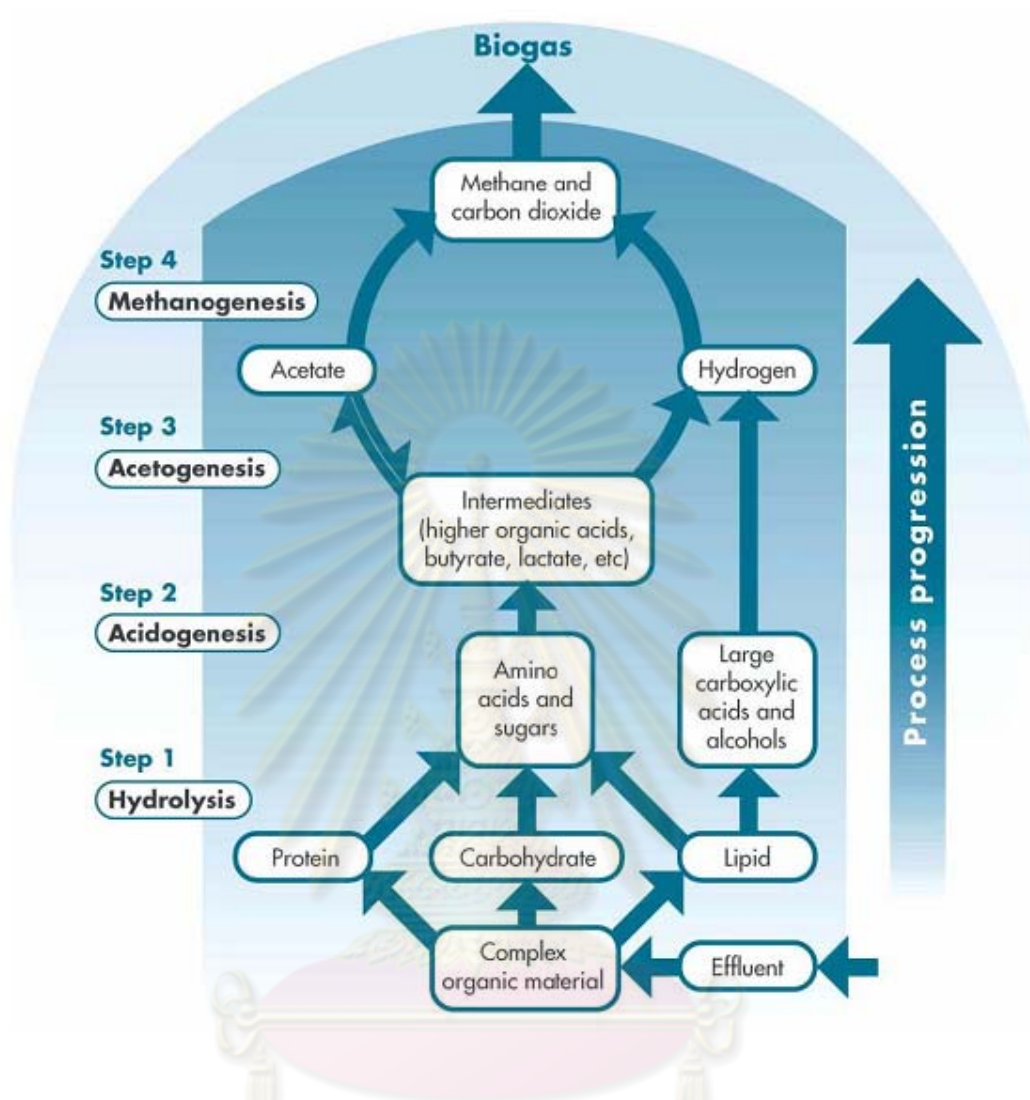
ความต้องการเกลือแบคทีเรียรีดิวซ์ชัลเฟตขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแบคทีเรียซึ่งแยกเป็นพวกที่ได้จากแหล่งน้ำเค็มหรือแหล่งน้ำกร่อยกับพวกที่ได้จากแหล่งน้ำจืดแบคทีเรียรีดิวซ์ชัลเฟตที่ได้จากแหล่งน้ำเค็มหรือแหล่งน้ำกร่อยมักต้องการปริมาณเกลือในระดับหนึ่งจึงจะเจริญเติบโตได้ดี และในทางตรงกันข้ามถ้าแบคทีเรียรีดิวซ์ชัลเฟตกลุ่มนี้มาเลี้ยงในสภาพที่มีความเค็มต่ำก็จะได้ผลทางลบต่อการเจริญเติบโต ชนิดและปริมาณเกลือสำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ชัลเฟตจากแหล่งน้ำเค็มที่เหมาะสมคือ โซเดียมคลอไรด์ 20 กรัมต่อลิตร และแมกนีเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัมต่อลิตร นอกเหนือจากเกลือทั้งสองชนิดนี้แล้ว บางสายพันธุ์ยังต้องการแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำ 0.5 กรัมต่อลิตร ปริมาณเกลือที่ต้องการจะลดลงสำหรับกลุ่มที่มาจากน้ำกร่อย ส่วนแบคทีเรียรีดิวซ์ชัลเฟตที่มาจากน้ำจืดจะถูกยับยั้งการเจริญเติบโตได้ ถ้ามีโซเดียมคลอไรด์ในระดับที่ความเข้มข้นเท่ากับที่มีอยู่ในน้ำทะเล (ประมาณ 27 กรัมต่อลิตร)

3) พีเอช

พีเอชที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง คือ ประมาณ 7 และถูกยับยั้งเมื่อมีค่าพีเอชต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า 9 อย่างไรก็ตามพบว่าปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน สามารถเกิดขึ้นได้ในแหล่งน้ำจากเหมืองแร่ซึ่งมีค่าพีเอชประมาณ 3 – 4 แต่เมื่อนำแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจากแหล่งน้ำนี้มาเพาะเชื้อและทดสอบกลับพบว่าถูกยับยั้งการเจริญเติบโตเมื่อพีเอชต่ำกว่า 6 ทำให้เกิดข้อสันนิษฐานว่า แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่อยู่ในแหล่งน้ำเหมืองแร่อาจมีสภาพแวดล้อมเล็ก ๆ เช่น โปรง หรือชอกหินขนาดเล็กมาก ๆ หรือสภาพแวดล้อมในระดับโมเลกุลรอบ ๆ ตัวของแบคทีเรีย ซึ่งมีค่าพีเอชที่สูงกว่าพีเอชของทั้งระบบ โดยค่าพีเอชที่สูงขึ้นในช่องว่างขนาดเล็กอาจจะเกิดจากผลของปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตพบว่า เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ไฮโดรเจนอออน ส่งผลให้การใช้สารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสร้างสภาพต่าง เช่น ไบคาร์บอเนต หรือ ไบซัลไฟด์ให้กับระบบ แต่ในกรณีการเกิดซัลเฟตรีดักชันของสารอาหารที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมาก ผลของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารจะผลิตไฮโดรเจนอออนขึ้นมาทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงได้ อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมเมื่อพิจารณาไฮโดรเจนอออนร่วมกับไบคาร์บอเนตหรือไบซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันสามารถพิจารณาได้ว่า ถ้าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์หนีออกจากตัวกลางได้ ปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันมักทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้นเสมอ

4) ความมีชีวิตรอดในสภาวะที่มีออกซิเจน

แม้ว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจัดเป็นแบคทีเรียทนต่อออกซิเจนไม่ได้แม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ก็พบว่ายังสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนอิสระอยู่ชั่วคราวได้ และสามารถฟื้นตัวได้เมื่อกลับเข้าสู่สภาพไม่มีออกซิเจน นอกจากนี้พบว่าซัลไฟด์ที่อยู่ในตัวกลางมีบทบาทต่อผลกระทบของออกซิเจนที่มีผลต่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตบางสายพันธุ์ในลักษณะที่ต่างกันไป ในกรณีที่มีซัลไฟด์พร้อมกับออกซิเจนมีผลกระทบทางลบมากกว่ากรณีที่มีออกซิเจนเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนปฏิกิริยาไม่ใช้ออกาศ (Wheatley, 1997 อ้างถึงใน กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.1.4 ประเภทแบคทีเรียในกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกาศ

2.1.4.1 แบคทีเรียสร้างกรดไขมัน (acidogenic bacteria)

ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไม่ใช้ออกาศ กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกาศชนิดเด็ดขาด (obligate anaerobes) มากกว่าชนิด facultative ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียชนิดเด็ดขาดนี้มีจำนวนมากกว่า แบคทีเรียไม่ใช้ออกาศชนิดเด็ดขาดที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหย ก็คือ กลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ จึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวกแป้งและ โปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลากหลายชนิดเช่น กรดบิวทริก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซีโตน เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionibacterium ที่ผลิตกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดอะซิติกจากกรดแลกติก

2.1.4.2 แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (acetogenic bacteria)

เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าวมาแล้ว และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนสารเหล่านี้ให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อให้สามารถดูดซึมเข้าไปในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยง่ายโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น แบ่งออกได้ 2 ชนิด ดังนี้

- แบคทีเรียผลิตอะซิเตอย่างเดี่ยว (homoacetogenic bacteria) แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน) ผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า acetyl-CoA เช่น แบคทีเรีย *Acetobacterium woodii* และ *Clostridium aceticum* สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโตโทรฟิก (autotrophic) คือ ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอนและใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอน เพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดอะซิติก



อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic) ก็ได้โดยการหมักน้ำตาลดังสมการข้างล่าง



แบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส *Clostridium* พบอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างไขมันระเหยง่ายทั่วไป (acidogenic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จึงมีเมตาบอลิซึมหลายแบบดังตารางที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียบางกลุ่มในจีส Clostridium (Medigan et al., 1997)

ลักษณะสำคัญ	ผลผลิตและลักษณะอื่น	ชนิด
1. ย่อยคาร์โบไฮเดรต		
ย่อยเซลลูโลสได้	อะซิเตท แลกเตท	<i>C. cellobioparum</i>
	ซัสติเนท ไฮโดรเจน เอทานอล	<i>C. thermocellum</i>
	คาร์บอนไดออกไซด์	
ย่อยน้ำตาล แป้งและเปกติน (pectin) ได้ บางชนิดตรึงไนโตรเจนได้	ผลผลิตคือ อะซิโตน บิวทานอล เอทานอล ไอโซโพรพิโนล บิวทิเรต อะซิเตท โพรพิโอเนท ซัสติเนท ไฮโดรเจนและ คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. butyricum</i> <i>C. acetobutylicum</i> <i>C. pasteurianum</i> <i>C. perfringens</i> <i>C. thermosulfurogenes</i>
ย่อยน้ำตาลให้เป็นกรดอะซิติกได้	ผลิตอะซิเตทจากคาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. aceticum</i> <i>C. thermoaceticum</i> <i>C. formicoaceticum</i>
ย่อยเฉพาะ pentoses หรือ methylpentoses ได้	ผลผลิตคือ อะซิเตท โพรพิโอเนท n-bิวทานอล ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. methylpentosum</i>
2. ย่อยโปรตีนและกรดอะมิโนได้		
	ผลผลิตคือ อะซิเตท กรดไขมันระเหยอื่น แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. sporogenes</i> <i>C. tetani</i>
	อาจให้ไฮโดรเจน	<i>C. botulinum</i>
อาจย่อยน้ำตาลได้	ผลผลิตคือ บิวทิเรตและอะซิเตท อาจผลิตเอกโซทอกซิน (exotoxins)	<i>C. tetanomorphum</i>
ย่อยสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม	โพรพิโอเนท อะซิเตท และ คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. propionicum</i>
3. ย่อยคาร์โบไฮเดรตหรือกรดอะมิโน		
	อะซิเตท ฟอว์เมท มีไอโซบิวไทเรท และไอโซวาเลอเรท (isovalerate) เล็กน้อย	<i>C. bifermentans</i>
4. ย่อยพิวรีน (purine)		
	อะซิเตท, purines, forming acetate, คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย	<i>C. acidurici</i>
5. ย่อยเอทานอลเป็นกรดไขมัน		
	ใช้อะซิเตทเป็นสารรับอิเล็กตรอน	<i>C. kluyveri</i>

- แบคทีเรียสร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ (H_2 - Producing acetogenic bacteria) แบคทีเรียชนิดนี้ใช้กรดไขมันระเหยง่าย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทนอย่างไรก็ดี แบคทีเรียชนิดนี้ไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพัง ทั้งนี้เมื่อมีการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติกจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้น จะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อน แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทในตรงนี้เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจนได้

การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกและแบคทีเรียที่สร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า syntrophy และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เพียงลำพัง นั่นคือ แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะสร้างอาหารให้แก่แบคทีเรียที่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็ช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียชนิดนี้อยู่ในกลุ่ม *Syntrophomonas* และกลุ่ม *Syntrophobacter* แบคทีเรีย *Syntrophomonas wolfei* ย่อยกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 4 ถึง 8 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติกไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนแบคทีเรีย *Syntrophobacter wolinii* จะย่อยกรดไพรูวอิกให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน

2.1.4.3 แบคทีเรียสร้างมีเทน

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศชนิดเค็ดขาด ไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้ถึงแม้จะมีปริมาณเล็กน้อยก็ตาม จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทโรโทรฟดำรงชีวิตและเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประมาณ 10 ชนิดเท่านั้น ดังตารางที่ 2.2

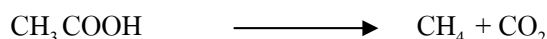
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

สับสเตรตประเภทคาร์บอนไดออกไซด์		
คาร์บอนไดออกไซด์		
$\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2$	\longrightarrow	$\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$; $\Delta G^{0'} = -131 \text{ kJ/reaction}$
ฟอร์มเมต, HCOO^-		
$4 \text{HCOO}^- + 4 \text{H}^+$	\longrightarrow	$\text{CH}_4 + 3 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$; $\Delta G^{0'} = -145 \text{ kJ/reaction}$
คาร์บอนมอนอกไซด์		
$4 \text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O}$	\longrightarrow	$\text{CH}_4 + 3 \text{CO}_2$; $\Delta G^{0'} = -210 \text{ kJ/reaction}$
สับสเตรตประเภทเมทิล		
methanol, CH_3OH		
$4 \text{CH}_3\text{OH}$	\longrightarrow	$3 \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$; $\Delta G^{0'} = -319 \text{ kJ/reaction}$
methylamine, CH_3NH_2		
$4 \text{CH}_3\text{NH}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	\longrightarrow	$3 \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 4 \text{NH}_3$; $\Delta G^{0'} = -230 \text{ kJ/reaction}$
dimethylamine, $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$		
$(\text{CH}_3)_2\text{NH} + 2 \text{H}_2\text{O}$	\longrightarrow	$3 \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2 \text{NH}_3$; $\Delta G^{0'} = -230 \text{ kJ/reaction}$
trimethylamine, $(\text{CH}_3)_3\text{N}$		
$4 (\text{CH}_3)_3\text{N} + 6 \text{H}_2\text{O}$	\longrightarrow	$9 \text{CH}_4 + 3 \text{CO}_2 + 4 \text{NH}_3$; $\Delta G^{0'} = -666 \text{ kJ/reaction}$
methylmercaptan, CH_3SH		
dimethylsulfide, $(\text{CH}_3)_2\text{S}$		
อะซิเตท		
acetate, CH_3COO^-		
$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$	\longrightarrow	$\text{CH}_4 + \text{CO}_2$; $\Delta G^{0'} = -31 \text{ kJ/reaction}$

สารอาหารชนิดอื่นนอกเหนือจากนี้ไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันระเหยง่าย เช่น บิวทิริกหรือโพรพิโอนิก ซึ่งปกติเป็นสารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ได้ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด ตามชนิดของสารอาหารที่ใช้ได้แก่

- เมทานोजินที่บริโภคนเฉพาะอะซิเตท (obligate acetoclastic methanogen) เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ตามสมการดังนี้



- เมทานोजินที่บริโภคนเฉพาะไฮโดรเจน (obligate hydrogenotrophic methanogen หรือ hydrogen utilizer) เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ดังสมการนี้



นอกจากก๊าซไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นแหล่งอาหารเพียงอย่างเดียวได้ เพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

- เมทานोजินที่บริโภคได้ทั้งไฮโดรเจนและอะซิเตท (hydrogenotrophic / acetoclastic methanogen) เป็นแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ทั้งจากกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจน แต่ใช้ไฮโดรเจนได้ดีกว่า

2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไม่ใช้อากาศ

เนื่องจากกระบวนการไม่ใช้อากาศประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่มทำงานต่อเนื่องกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการรักษาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมแก่จุลินทรีย์นั้นๆ นอกจากระบบยังต้องไร้อากาศแล้วยังต้องคำนึงถึงปัจจัยดังนี้

1) อุณหภูมิ การย่อยสารอินทรีย์ในกระบวนการไม่ใช้อากาศนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมมีอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงการทำงานของมีโซฟิลิกแบคทีเรีย (mesophilic bacteria) ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30 – 40 °C และช่วงการทำงานของเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (therophilic bacteria) ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 45 - 55 °C โดยอุณหภูมิจะมีการผลิตก๊าซของแบคทีเรีย การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิมิผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนต่อระบบ

2) พีเอช ค่าพีเอชเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพภายในระบบของกระบวนการไม่ใช้อากาศ แต่การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เมื่อค่าของกรดไขมันระเหยง่าย มีการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นช้า ดังนั้น ค่าพีเอชจึงเป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงผลออกมาได้ช้าสำหรับการแก้ไขสภาวะในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของกรดไขมันระเหยง่าย อย่างไรก็ตามค่าพีเอชยังเป็นตัวสำคัญในการควบคุมระบบ โดยที่พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.7 – 7.4 ซึ่งเหมาะแก่การทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

3) ระยะเวลาที่กักพักรักษา (Hydraulic Retention Time: HRT) คือ ระยะเวลาที่น้ำในระบบเป็นระยะเวลาที่แบคทีเรียสัมผัสกับน้ำเสีย การลดเวลาการกักพักรักษาจะทำให้ขนาดของถังปฏิกรณ์ลดลง แต่หากระยะเวลาการกักพักรักษาเกินไป ตะกอนของแบคทีเรียจะหลุดออกมาได้มาก ซึ่งมีผลทำให้อายุของสลัดจ์ลดลงและทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง อายุของสลัดจ์ที่เหมาะสมในการทำงานของระบบไร้ออกซิเจนควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 100 วัน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545) ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตช้า อายุของสลัดจ์ที่มีค่ามากจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูง

4) สภาพความเป็นด่าง (alkalinity) ในระบบไม่ใช้อากาศสภาพต่าง ทั้งหมดจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย สภาพความเป็นด่างที่มีความสำคัญคือ สภาพด่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) เพราะจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ เมื่อมีกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เกิดขึ้นในระบบ ปัจจัยที่สำคัญกว่าสภาพด่างคืออัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายต่อระดับสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (VFAs : HCO_3^-) ที่อัตราส่วน (VFAs : HCO_3^-) น้อยกว่า 0.4 ระบบจะมีบัฟเฟอร์สูง และถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในขั้นที่พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้ากรดไขมันระเหยง่ายมีการเพิ่มเล็กน้อย

5) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid: VFAs) กรดไขมันระเหยง่ายเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูกรวมที่เรียกว่าพวกสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารและแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจะมีส่วนสำคัญต่อค่าพีเอชของระบบ คือ เมื่อมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสูงขึ้น พีเอชจะต่ำลง ระดับของกรดอะซิติกที่มีค่าเกิน 800 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออัตราส่วนของกรดโพรไพโอเนตต่อกรดอะซิติกเกิน 1.4 จะทำให้ระบบเกิดการล้นไหลได้ อัตราของการเปลี่ยนกรดโพรไพโอเนตไปเป็นกรดอะซิติกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมดุลของระบบ โดยที่ถ้ามีกรดโพรไพโอเนตเหลืออยู่ในถังเป็นปริมาณมากอัตราการเกิดก๊าซก็จะลดลงทำให้ระบบล้นไหลได้

6) สารอาหาร (nutrient) สารอาหารแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลัก (macronutrient) ได้แก่ คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) และ สารอาหารรอง (micronutrient) ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) และนิกเกิล (Ni) ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนอย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 150 : 1.1 : 0.2 โดยใช้คาร์บอนในการสังเคราะห์พลังงานไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ดังนั้นในการควบคุม

สภาวะที่เหมาะสมจึงต้องใส่สารอาหารให้เพียงพอแก่ความต้องการเพราะของเสียที่เข้าสู่ระบบนั้น มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

7) สารพิษ (toxic substance) สารบางอย่างถ้ามีความเข้มข้นสูงเกินไปจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพิษ ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่

- ไอออนประจุบวกของโลหะเบา (light metal cation) ไอออนประจุบวกของโลหะเบา ได้แก่ โซเดียม (Na^+) โพแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ซึ่งเกิดขึ้นมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชในระบบจะมีผลเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ซึ่งความเป็นพิษของมันเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนประจุบวกของโลหะเบาด้วยว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าใด ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาแต่ละชนิดรุนแรงไม่เท่ากัน ไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์น้อยกว่าไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 ซึ่งพิษของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะมากกว่าพิษของ Na^+ และ K^+ ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีวาเลนซ์สูงขึ้นความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่นั่นสามารถลดลงได้ถ้ามีไอออนประจุบวกของโลหะเบาอีกชนิดหนึ่งอยู่ด้วย โดยจะทำให้ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาชนิดแรกลดลง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า antagonism แต่ในทางตรงกันข้าม ไอออนประจุบวกของโลหะเบาบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาอีกชนิดหนึ่งเมื่อมีอยู่ร่วมกันเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า synergism

- ก๊าซบางชนิด

- แอมโมเนีย (ammonia) เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยไนโตรเจนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เช่น โปรตีนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยทั้งสองตัวนี้จะเปลี่ยนไปมาได้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 จะมี NH_4^+ มากกว่า แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 จะมี NH_3 มากกว่าซึ่งจะยับยั้งการทำงานและมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์มากกว่า NH_4^+ แอมโมเนียเมื่ออยู่ในรูปของ NH_3 จะเป็นพิษก็ต่อเมื่อมีความเข้มข้นประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในรูปของ NH_4^+ จะเป็นพิษเมื่อมีความเข้มข้นสูงเท่ากับ 7,000 - 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

- ซัลไฟด์ (sulfide) เกิดขึ้นในระบบไร้ออกซิเจนจากซัลเฟต (sulfate) ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ หรือเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์ เช่น โปรตีน ซึ่งซัลไฟด์ที่ละลายน้ำเท่านั้น และที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์โลหะหนักทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์สร้างผลึกที่ไม่ละลายน้ำขึ้นดังนั้นการเติมโลหะบางชนิด

เช่น เหล็กสามารถลดความเป็นพิษของซัลไฟด์ละลายได้ ซัลไฟด์จะถูกแยกออกมาอยู่ในรูปของก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนั้นความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายขึ้นอยู่กับพีเอชของของเหลวและ ส่วนประกอบของก๊าซ

- โลหะหนัก (heavy metal) ได้แก่ เหล็ก ดีบุก ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม นิกเกิล เป็นต้น ซึ่งไอออนของโลหะหนักเหล่านี้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับว่าเกลือของโลหะหนักนั้นจะละลายน้ำได้มากน้อยเพียงใด และพิษของโลหะหนักจะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีอยู่ในของเสียนั้น เพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์จะรวมตัวกับโลหะหนักเกิดเป็นเกลือซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลายน้ำและตกตะกอน ถ้าของเสียนั้นมีปริมาณซัลไฟด์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ก็จะต้องเติมเกลือซัลไฟด์หรือเกลือซัลเฟตลงไป เกลือทั้งสองชนิดจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ทำให้สามารถลดพิษของโลหะหนักลงได้

2.1.6 ข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (จารุณี, 2545)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เหมาะสำหรับบำบัดน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นสูง	1. ระบบต้องการการดูแลและควบคุมอย่างใกล้ชิด เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มจุลินทรีย์หลักไม่คงที่
2. เป็นระบบที่ทำงานได้อย่างดีที่อุณหภูมิห้อง	2. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำ ทำให้การตอบรับการเปลี่ยนแปลงของระบบค่อนข้างช้า
3. เหมาะสำหรับใช้ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ธรรมชาติ ตะกอนที่เกิดขึ้น ไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ และใช้ประโยชน์สามารถนำตะกอนมาปรับสภาพดินหรือปุ๋ยได้	3. สารอินทรีย์สังเคราะห์บางอย่างด้านทานการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจึงจำกัดการใช้ระบบ และโดยทั่วไปน้ำที่ออกจากระบบจะมีสารอินทรีย์ละลายที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้มากพอทำให้ไม่สามารถทิ้งได้โดยตรง
4. ปฏิกริยาขั้นสุดท้ายได้ก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลผลิตหลักที่มีค่า	4. ในบางสภาพต้องการการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้เงินทุนเริ่มแรกค่อนข้างสูง

2.1.7 สมดุลมวลของซีโอดี และซัลเฟอร์ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อมีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสีย

2.1.7.1 สมดุลมวลซีโอดี

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีซัลเฟตเข้ามาเกี่ยวข้องนั้น จะมีการแข่งขันกันระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในการใช้สารอาหาร ดังนั้นในการวัดว่าแบคทีเรียชนิดใดสามารถใช้สารอาหารได้ในสัดส่วนเท่าใด สามารถวัดได้คร่าว ๆ ด้วยปริมาณซีโอดีที่ถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ

ซีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทั้งที่แบคทีเรียย่อยสลายได้และไม่สามารถย่อยสลายได้ ในน้ำเสียเกิดจากการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยา ดังสมการ



ปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ซีโอดีคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นต้องอาศัยสารออกซิไดซ์อย่างแรงและต้องเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้นและมีอุณหภูมิสูง

จากหลักการของการวิเคราะห์ซีโอดีที่ใช้สารออกซิไดซ์อย่างรุนแรงย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นค่าซีโอดีจึงเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำได้ แต่การใช้สารออกซิไดซ์ที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง เช่น ไดโครเมต ทำให้สารให้อิเล็กตรอนอื่นในระบบที่ไม่เป็นสารอินทรีย์ที่ให้อิเล็กตรอนกับไดโครเมต และเปลี่ยนไปอยู่ในอีกรูปหนึ่ง เช่น ซัลไฟด์ไอออนถูกออกซิไดซ์โดยไดโครเมตเป็นซัลเฟต เป็นต้น ดังนั้นการวัดซีโอดีจึงไม่ได้เป็นการวัดสารอินทรีย์ในน้ำเพียงอย่างเดียว แต่เป็นการวัดปริมาณสารให้อิเล็กตรอนในน้ำทั้งหมด ดังนั้นต้องพยายามกำจัดสารให้อิเล็กตรอนอื่น ๆ ในน้ำก่อนการวัดค่าซีโอดี เช่น การปรับพีเอชของน้ำเสียให้ต่ำลงเพื่อให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย เป็นต้น

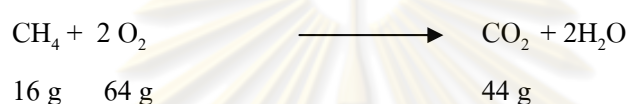
สมดุลมวลของซีโอดีก่อนและหลังกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถพิจารณาได้ดังสมการด้านล่าง

$$\% \text{ COD recovery} = [(\text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD}) / \text{COD}_{\text{in}}] \times 100$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{in}} &= \text{ชีโอดีทั้งหมดก่อนเข้าระบบ} \\ \text{soluble COD}_{\text{eff}} &= \text{ชีโอดีละลายหลังผ่านระบบ} \\ \text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} &= \text{ชีโอดีในรูปก๊าซมีเทน} \\ \text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} &= \text{ชีโอดีในรูปมีเทนละลายน้ำ} \\ \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD} &= \text{ชีโอดีที่ถูกใช้ในกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน} \end{aligned}$$

ได้จากสมการข้างล่าง



จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า มีเทน 16 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับออกซิเจน 64 กรัม เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แสดงว่า มีเทน 1 มิลลิกรัม มีค่าเทียบเท่ากับชีโอดี 4 มิลลิกรัม โดย $\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$ หาได้จากการวัดปริมาตรก๊าซทั้งหมดและการวัดเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในปริมาตรก๊าซทั้งหมด แล้วจึงเปลี่ยนปริมาตรก๊าซที่คำนวณได้เป็น โมลของก๊าซมีเทน ด้วยกฎของก๊าซส่วน $\text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$ คำนวณโดยใช้ทฤษฎีของเฮนรี่

- ชีโอดีในรูปก๊าซมีเทนหาได้จาก

$$\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} = (\text{total gas volume} \times \% \text{CH}_4 / 24.86) \times 16 \times 4 / Q$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} &= \text{ชีโอดีในรูปก๊าซมีเทน (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \\ \text{total gas volume} &= \text{ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (มิลลิลิตรต่อวัน)} \\ \% \text{CH}_4 &= \text{เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน} \\ 24.86 &= \text{ปริมาตรก๊าซ 1 โมล ที่ } 30^\circ\text{C (ลิตร)} \\ & \quad (\text{ปริมาตรก๊าซ 1 โมลที่ } 0^\circ\text{C} = 22.4 \text{ ลิตร}) \\ Q &= \text{อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลิตรต่อวัน)} \\ 16 &= \text{น้ำหนักของมีเทน 1 กรัม (กรัม)} \\ 4 &= \text{ชีโอดีของก๊าซมีเทน 1 กรัม (กรัม)} \end{aligned}$$

- ซีโอดีในรูปมีเทนละลายน้ำในน้ำออกหาได้จาก

$$\text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} = K_{\text{CH}_4} \times \text{partial pressure of CH}_4 \times 16,000 \times 4$$

$$\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} = (\text{total gas volume} \times \% \text{CH}_4 / 24.86) \times 16 \times 4 / Q$$

เมื่อ

$$K_n = \text{ค่าคงที่ของเฮนรีสำหรับก๊าซมีเทนที่ } 30^\circ\text{C (โมลต่อลิตร)}$$

$$= 12.4 \times 10^{-4}$$

$$\text{partial pressure of CH}_4 = \text{ความดันพาร์เซิลของก๊าซมีเทน (สัดส่วนก๊าซมีเทน)}$$

ส่วน $\Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD}$ คำนวณได้จากสมการข้างล่าง



จากสมการข้างต้น ซัลเฟตที่ลดลง 576 กรัม เกิดจากการใช้สารอินทรีย์ 342 กรัม กลายเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ 204 กรัม และสารอินทรีย์ 342 กรัม คิดเป็นซีโอดีได้ 384 กรัม นั่นคือ ซัลเฟตที่ลดลง 576 กรัม จะใช้ซีโอดี 384 กรัม เกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ 204 กรัม เพราะฉะนั้น ค่า $\Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD}$ คำนวณได้จากซัลเฟตที่ลดลง 3 มิลลิกรัม เกิดจากการใช้ซีโอดีเทียบเท่า 2 มิลลิกรัม

% COD recovery ใช้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยดูจากเปอร์เซ็นต์ของมวลซีโอดีที่ออกจากระบบต่อเปอร์เซ็นต์ของมวลซีโอดีที่เข้าระบบ

นอกจากนี้จากสมดุลมวลของซีโอดีที่สร้างขึ้นยังทำให้สัดส่วนซีโอดีที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยเรียกว่า เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน ซึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ electron flow to MPB} = \frac{[(\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \text{soluble CH}_{4\text{gas}}) / (\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD})] \times 100}$$

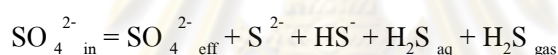
$$\% \text{ electron flow to SRB} = \frac{[(\Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD}) / (\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD})] \times 100}$$

เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนเราสามารถเปรียบเทียบการแข่งขันระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตโดยแบคทีเรียชนิดใดที่มีเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนมากกว่าจะเป็นแบคทีเรียที่มีความโดดเด่น (predominate) มากกว่าในระบบนั้นๆ

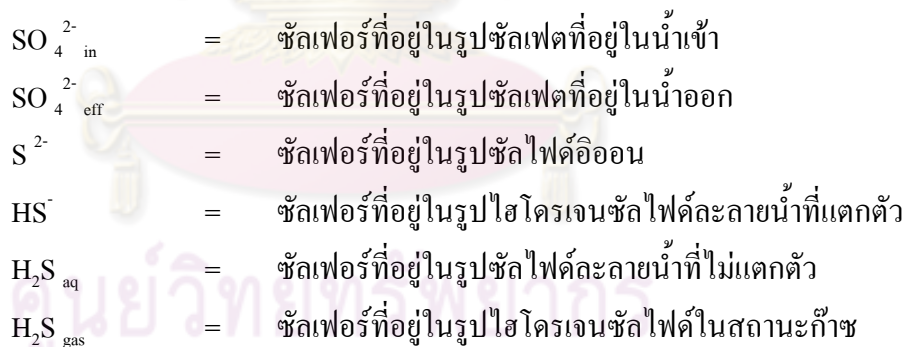
2.1.7.2 สมดุลมวลของซัลเฟอร์

เมื่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ โดยซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีหลายรูปแบบ ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในวัฏภาคก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว HS^- และ S^{2-} ในวัฏภาคของเหลว รวมถึงซัลไฟด์ที่ตกตะกอนผลึกกับโลหะหนักเป็นตะกอนผลึกของโลหะซัลไฟด์ โดยสภาวะสมดุลระหว่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัวสามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของเฮนรี ส่วนสัดส่วนระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว HS^- และ S^{2-} สามารถดูได้จากพีเอชของระบบบำบัด

สมดุลมวลของซัลเฟอร์ในระบบหาได้จาก



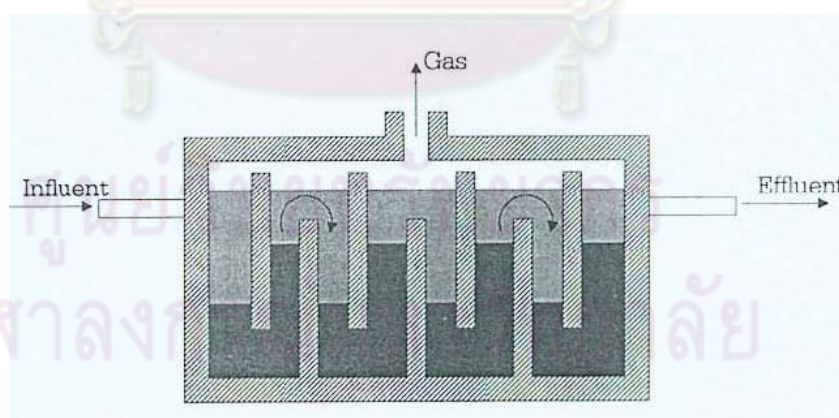
เมื่อ



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

2.2 ระบบเอปีโออาร์ (Anaerobic Baffled Reactor: ABR)

ระบบเอปีโออาร์ถูกออกแบบริเริ่มพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 (Barber and Stuckey, 1999) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถังหรือบ่อ หลักการทำงานของระบบเอปีโออาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีอัตราการผลิตสูง ซึ่งอาศัยหลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) คัดแปลงเป็นระบบเอปีโออาร์ โดยเป็นระบบที่มีแผ่นกั้น (baffle) ขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ตามแนวยาวของถัง เพื่อบังคับทิศทางการไหลของน้ำขึ้นลงในแนวดิ่งของน้ำเสียเข้าสู่ระบบสลับกันไปมาหลายครั้ง ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ความสกปรกของน้ำเสียลดลง สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มาก (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2551) ระบบนี้สามารถรับปริมาณชีโอดีได้สูงถึง 110 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน (เกรียงศักดิ์, 2539) และยังสามารถลดการสูญเสียเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้เกิดการสะสมมวลจุลินทรีย์ในระบบเป็นจำนวนมาก และเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียที่ของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กๆ นอกจากนี้ยังเป็นระบบที่มีการจัดทิศทางการไหลของน้ำเสียขึ้นลงทำให้มีความเร็วได้สูงถึง 0.2 – 0.4 เมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นความเร็วการไหลของน้ำเสียมากกว่าระบบที่บำบัดน้ำเสียแบบไหลขึ้น (upflow) ถึง 2 เท่า ดังนั้นระบบเอปีโออาร์จึงน่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบยูเอเอสบี โดยระบบเอปีโออาร์มีรูปร่างเป็นถังสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจตุรัส ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอปีโออาร์ (มันสิน, 2542)

2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบเอปียาร์

นอกจากปัจจัยดังที่กล่าวข้างต้นแล้ว ระบบเอปียาร์ยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบอีก ดังนี้

1) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่ใช้ในการกำหนดความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน การปรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้มีค่าแตกต่างกันทำได้โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของเสียที่เข้าระบบ หรือเปลี่ยนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ซึ่งการเปลี่ยนอัตราป้อนสารอินทรีย์จะมีผลต่อระยะเวลาที่กักพัชชศาสตร์ด้วย

2) การกวน (mixing) เป็นสิ่งสำคัญในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีหลักการคือทำให้สารอินทรีย์อยู่ในสภาพแขวนลอยเพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการเกิดการสะสมของสารอินทรีย์ตามจุดต่างๆของถังปฏิกรณ์ และทำให้ของเหลวภายในถังหมักมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน

3) จำนวนแผ่นกั้น (baffles) หรือจำนวนห้อง (compartments) โครงสร้างของระบบเอปียาร์ประกอบด้วยแผ่นกั้นขวางหลายๆ แผ่นติดตั้งอยู่ภายในระบบทำให้สามารถแบ่งเป็นหน่วยย่อยหรือเป็นห้อง ซึ่งทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของน้ำเสียให้สัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นลงสลับไปมา เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ทำให้ความสกปรกของน้ำเสียลดลง ดังนั้นจำนวนแผ่นกั้นจึงน่าจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของระบบ

2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอปียาร์

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบเอปียาร์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ไม่ต้องใช้เครื่องจักรสำหรับกวนผสม	1. ถ้าหากออกแบบระบบเอปียาร์ไม่ลึกพอ จะทำให้เกิดปัญหาในการเดินระบบ คือ ความเร็วของการไหลขึ้นของน้ำเสีย (upflow velocity)
2. ออกแบบระบบง่าย ค่าดำเนินงานต่ำ	2. ถ้าเดินระบบที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) มากเกินไปอาจเกิดการหลุดออก (wash out) ของตะกอนจากระบบได้ และอาจกระตุ้นการเกิดช่องว่างระหว่างชั้นตะกอนกับแผ่นกั้น (dead space)
3. ลดการอุดตันในระบบ	
4. การกักเก็บเม็ดตะกอนจะถูกดักและตกตะกอนอยู่ในแต่ละห้อง (compartments)	
5. สามารถกักเก็บตะกอนในระบบหรือป้องกันการหลุดออกของตะกอนได้ดี มีมวลเซลล์สะสมในระบบสูง	
6. HRT ในการบำบัดสั้น	
7. มีพื้นที่ผิวของน้ำเสียมาก จุลินทรีย์จึงมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่น	
8. มีระยะเวลาการกักเก็บตะกอนนานมีเสถียรภาพรับปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง	
9. มีการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ที่มีอยู่ภายในระบบ	

2.2.3 ก๊าซชีวภาพ (biogas)

การบำบัดน้ำเสียเป็นปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งของโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมทางการเกษตร ทุกโรงงานจะต้องจัดสรรงบประมาณในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบอื่นๆ ตามมาซึ่งงบประมาณดังกล่าวอาจเป็นจำนวนเงินไม่ใช่น้อย ถ้าหากสามารถใช้ประโยชน์จากการบำบัดน้ำเสียได้จะทำให้การลงทุนในระบบบำบัดน้ำเสียมีความคุ้มค่ายิ่งขึ้น ภายหลังจากเกิดวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจและราคาน้ำมันสูงขึ้น หลายหน่วยงานได้เร่งจัดหาแหล่งพลังงานที่ทดแทนการใช้น้ำมันในภาคผลิตต่างๆ หนึ่งในจำนวนพลังงานทดแทนที่เริ่มนิยมนำมาใช้คือก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งโรงงานสามารถใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพได้หลายประการทั้งในรูปของความร้อน แสงสว่างและไฟฟ้า

ก๊าซชีวภาพ (biogas) คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จากภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ก๊าซชีวภาพนี้จะประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ดังนี้ (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2550)

ก๊าซมีเทน (CH ₄)	50 - 70 %
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	30 - 50 %
ก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH ₃) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S) และไอน้ำ (H ₂ O)	

2.3 ยางพารา

2.3.1 ประวัติยางพารา

ยางพาราเป็นพืชที่มีประวัติความเป็นมาอันยาวนาน จัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีอายุยืนยาว เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ใบมักจะรวมเป็นพุ่มที่ส่วนปลายของกิ่ง แต่ละก้านใบแยกออกเป็น 3 ใบ ในทางพฤกษศาสตร์ยางพารามีชื่อวิทยาศาสตร์ *Hevea brasiliensis* (A. Juss.) Muell. Arg. ชื่อวงศ์ Euphobiaceae ชื่อสามัญ Para Rubber ยางพาราเริ่มจากการเดินทางไปพบทวีปอเมริกาของ โคลัมบัส ในราวปี พ.ศ.2036 หรือเป็นเวลาประมาณ 509 ปีมาแล้ว ต่อมาได้มีการสำรวจหลายคณะ เดินทางไปภายหลัง พบเห็นชาวอินเดียแดงซึ่งเป็นคนพื้นเมืองในอเมริกาได้ นำลูกบอลยางเล็กๆ มาเล่นเกมและเห็นเป็นของแปลกที่มีวัตถุกระดอนขึ้นลงได้ ชาวอินเดียแดงเรียกต้นยางว่า คาอูห์ซุค (caoutchouc) แปลว่า ต้นไม้ที่ร้องไห้ เพราะเมื่อต้นยางถูกของมีคมจะมีน้ำยางหยดไหลคล้ายหยดน้ำตา ชาวอินเดียแดงนำยางมาทำของใช้ต่างๆ เช่น ขวดหรือภาชนะที่ทำจากยาง และรองเท้ายางที่ทำงานง่าย ๆ โดยใช้เท้าจุ่มลงในน้ำยางแล้วยกมาปล่อยให้แห้ง ทำหลายๆ ครั้งจะได้รองเท้ายางที่แนบสนิทเหมือนสวมถุงเท้า คณะนักสำรวจจากยุโรปเดินทางกลับได้มีผู้นำยางจากเมืองพารา (para) ซึ่งเป็นเมืองท่าแถบลุ่มน้ำอะเมซอนอเมริกาใต้ และเมื่อถึงยุโรปแล้วได้พบโดยบังเอิญว่า ถ้านำยางมาถูรอยดินสอจะลบรอยดินสอได้ (rubber) ชื่อ ยางพารา หรือ pararubber จึงเป็นชื่อที่ติดปากคนทั่วโลก ตั้งแต่นั้นมา

การค้นคว้าพัฒนาทางอุตสาหกรรมในยุโรปขยายตัวอย่างรวดเร็ว เริ่มจากนำน้ำยางสดไปเคลือบผ้าทำผ้ายางกันฝนได้ นำไปผลิตทำที่รองรับความยืดหยุ่นของเครื่องยนต์ ใช้ทางการแพทย์ ทำอุปกรณ์กีฬาและของเล่นต่างๆ แต่ที่สำคัญแล้วใช้เป็นปริมาณมากที่สุด คือ ใช้ในอุตสาหกรรมทำยางรถยนต์ และใช้เทคโนโลยีสูงสุด ได้แก่ การทำล้อเครื่องบิน นอกจากนี้ยังใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ พลาสติก ฟันอ่อน ฟองน้ำ ทำให้เราได้นั่งได้นอนที่นุ่มๆ แสนสบาย ยางพาราจึงเป็นต้นไม้ที่สวรรค์ประทานมา เพื่อความผาสุกของมวลมนุษยชาติ

2.3.2 ยางพาราเข้าสู่ประเทศไทย

ยางพาราพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่ประเทศไทยผลิตส่งออกตลาดโลกเป็นอันดับ 3 รองลงมาจากอินโดนีเซียและมาเลเซียนั้นก็เป็ผลงานชิ้นหนึ่งจากความริเริ่มความพยายาม และความตั้งใจจริงของพระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี ผู้ที่ถือว่าเป็นบิดาแห่งยาง เมื่อ 80 ที่แล้วมา ต้นยางพาราเข้ามาปลูกในประเทศไทย ตั้งแต่สมัยที่ยังใช้ชื่อว่า “สยาม” ประมาณกันว่าควรเป็นหลัง พ.ศ. 2425 ซึ่งช่วงนั้น ได้มีการขยายเมล็ดกล้ายางพารา จากพันธุ์ 22 ต้น นำไปปลูกในประเทศต่าง ๆ ของทวีปเอเชีย และมีหลักฐานเด่นชัดว่า เมื่อ ปี พ.ศ. 2442 พระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี (คอซิมบี๊ ณ ระนอง) เป็นผู้เหมือนหนึ่ง “บิดาแห่งยาง” เป็นผู้ที่ได้นำต้นยางพารามาปลูกที่อำเภอ กันตัง จังหวัดตรัง เป็นครั้งแรก จากนั้นพระยารัษฎานุประดิษฐ์ ได้ส่งคนไปเรียนวิธีปลูกยางเพื่อมา สอนประชาชน นักเรียนของท่านที่ส่งไปก็ล้วนแต่เป็นเจ้าเมือง นายอำเภอ กำนัน และผู้ใหญ่บ้าน ทั้งสิ้น พร้อมกันนั้นท่านก็สั่งให้กำนัน ผู้ใหญ่บ้าน นำพันธุ์ยางไปแจกจ่าย และส่งเสริมให้ราษฎร ปลูกทั่วไป ซึ่งในยุคนั้น อาจกล่าวได้ว่าเป็นยุคตื่นยาง และชาวบ้านเรียกยางพารานี้ว่า ยางเทศา ต่อมารัฐได้นำเข้ามามาปลูกเป็นสวนยางมากขึ้นและได้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางไปในจังหวัด ภาคใ้รวม 14 จังหวัด ตั้งแต่ชุมพรลงไปถึงจังหวัดที่ติดชายแดนประเทศมาเลเซีย จนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางทั้งประเทศประมาณ 12 ล้านไร่ กระจายกันอยู่ในภาคใ้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งปลูกยางใหม่ การพัฒนาอุตสาหกรรมยางของประเทศได้ เจริญรุดหน้าเรื่อยมาจนทำให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตและส่งออกยางได้มากที่สุดในโลก

ความคิดที่จะนำยางพาราเข้ามาปลูกในประเทศไทย เกิดขึ้นเมื่อ พระยารัษฎานุ ประดิษฐ์มหิศรภักดีเดินทางไปดูงาน ในประเทศมลายู เห็นชาวมลายูปลูกยางกันมีผลดีมากก็เกิด ความสนใจที่จะนำยางเข้ามาปลูกในประเทศไทยแต่พันธุ์ยาง สมัยนั้น ฝรั่งซึ่งเป็นเจ้าของสวนยาง หวงมาก ทำให้ไม่สามารถนำพันธุ์ยางกลับมาได้ ในการเดินทางครั้งนั้น จนกระทั่ง พ.ศ. 2444 พระสถลสถานพิทักษ์ เดินทางไปที่ประเทศอินโดเซีย จึงมีโอกาสนำกล้ากลับมาได้ โดยเอากล้ายาง มาหุ้มรากด้วยสาติชุนบน้ำ แล้วหุ้มทับด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์อีกชั้นหนึ่งจึงบรรจุลงลังไม้ นำมา ใส้เรือกลไฟซึ่งเป็นเรือส่วนตัวของพระสถลสถานพิทักษ์ รีบเดินทางกลับประเทศไทยทันที ยางที่ นำมาครั้งนี้มีจำนวนถึง 4 ลัง ด้วยกันพระสถลสถานพิทักษ์ ได้นำมาปลูกไว้ที่บริเวณหน้าบ้านพัก ที่ อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง ซึ่งปัจจุบันนี้ยังเหลือให้เห็นเป็นหลักฐานเพียงต้นเดียว อยู่บริเวณหน้า สหกรณ์การเกษตรกันตัง และจากยางรุ่นแรกนี้ พระสถลสถานพิทักษ์ ได้ขยายเนื้อที่ปลูกออกไป จนมีเนื้อที่ปลูกประมาณ 45 ไร่ นับได้ว่า พระสถลสถานพิทักษ์ คือผู้เป็นเจ้าของสวนยางคนแรก ของประเทศไทย

2.3.3 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางข้น คือ น้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content: DRC) ไม่ต่ำกว่า 60 % การผลิตน้ำยางข้นสามารถทำได้ 4 วิธีด้วยกัน คือ วิธีการระเหยด้วยน้ำ (evaporation) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming) วิธีปั่นแยก (centrifuging) และวิธีแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทย ใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง ดังภาพที่ 2.6

น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวข้นคล้ายน้ำนมที่มีขนาดอนุภาค 0.05 - 0.5 ไมครอน ในน้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 25 - 45 % ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ ฤดูกาล และกรรมวิธีการกรีดยาง โดยทั่วไปน้ำยางสดประกอบด้วยสารที่เป็นของแข็งทั้งหมด 36 % เนื้อยางแห้ง 33 % โปรตีนและไขมัน 1.0 - 1.2 % คาร์โบไฮเดรตและเถ้า 10 % ความหนาแน่นประมาณ 0.975 - 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีพีเอชประมาณ 6.5 - 7.0 (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) มีวิธีการผลิตดังนี้

1) การรับน้ำยางสด น้ำยางสดจะถูกรักษาสภาพไม่ให้จับตัวด้วยแอมโมเนียและ TMTD / ZnO และถูกถ่ายผ่านตะแกรงกรองลงสู่รางรับน้ำยางสด จากนั้นน้ำยางสดจะไหลจากรางรับน้ำยางสดลงสู่บ่อรับน้ำยางสด ในขั้นตอนนี้จะเกิดกลิ่นเหม็นของไอระเหยแอมโมเนีย เนื่องจากมีการฟุ้งกระจายของแอมโมเนียระหว่างการถ่ายน้ำยางสด และจำเป็นต้องมีการล้างทำความสะอาดบ่อรับน้ำยางสดทุกวัน เนื่องจากมีการเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอนแมกนีเซียม และมีการจับตัวของยางที่ผนังบ่อ ซึ่งอาจทำให้น้ำยางสดมีการปนเปื้อนได้

2) การเตรียมน้ำยางสด ต้องมีการปรับสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสมด้วยการเติมแอมโมเนีย เพื่อให้มีปริมาณแอมโมเนียเกินกว่า 0.4 % โดยน้ำหนัก และเติม Diammonium Hydrogen Phosphate (DAP) เพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็นจีแป็งและทิ้งไว้ 1 คืน สำหรับน้ำยางที่มีแมกนีเซียมสูง น้ำยางที่จะนำมาปั่นควรจะมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm (parts per million) และเมื่อปั่นแล้วควรมีไม่เกิน 20 ppm นอกจากนี้ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid:VFAs) ไม่ควรเกิน 0.05 % หากเกิน ให้นำไปผสมกับน้ำยางสดที่มีค่าไม่เกิน 0.05 %

3) การปั่นแยก อาศัยหลักการ คือ น้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายคอลลอยด์ ที่ประกอบด้วยส่วนอนุภาคของยางแขวนลอยระจัดกระจายอยู่ในเซรุ่ม และเนื่องจากอนุภาคยางเหล่านี้เบากว่าเซรุ่มจึงลอยตัวสู่ผิวหน้าน้ำยางและมีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน ซึ่งอัตราการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้น การปั่นจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูด และเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง ซึ่งช่วยแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนเซรุ่ม ในการปั่นแยกน้ำยางสด จะได้น้ำยาง 2 ส่วน คือ น้ำยางข้นและหางน้ำยาง โดยน้ำยางข้นจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 60 %

4) การไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง หางน้ำยางที่ได้จากกระบวนการปั่นยางจะถูกนำไปไล่แอมโมเนียออก เพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟิวริกในการตกตะกอนเพื่อผลิตยางสгим ถ้าหางน้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียสูง จะต้องใช้กรดในการตกตะกอนเป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง ด้วยการใส่กรดไล่แอมโมเนียหรือเครื่องกวาน

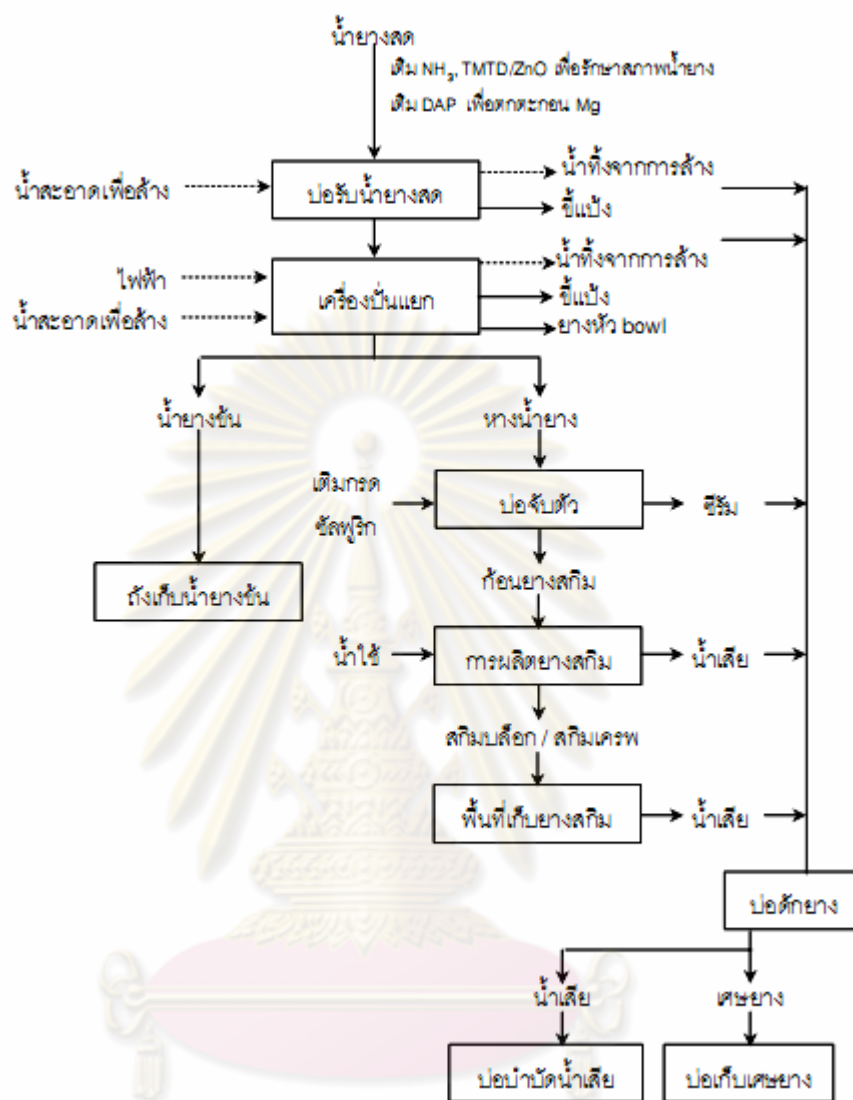
5) การผลิตยางสгим หางน้ำยางที่ผ่านการไล่แอมโมเนียแล้ว จะถูกเติมด้วยกรดซัลฟิวริกเพื่อให้เนื้อยางจับตัวกันในขั้นตอนนี้จะได้ก้อนยางสгимที่จับตัวกันและสามารถนำไปขายได้ นอกจากนี้ก้อนยางสгимนี้สามารถนำไปผลิตเป็นยางสгимเครพหรือสгимบล็อคต่อไป ดังนั้นการผลิตยางสгимเครพ โดยการนำก้อนยางสгимผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อนและล้างน้ำเพื่อชำระกรดออกจากนั้นรีดยางให้เป็นแผ่นและนำไปอบในเตาอบแล้วบรรจุหีบห่อ และการผลิตยางสгимบล็อค โดยการนำก้อนยางสгимผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อนและล้างน้ำเพื่อชำระกรดออก จากนั้นรีดยางให้เป็นแผ่นและนำยางไปตัดด้วยเครื่องตัดย่อยแล้วนำไปอบในเตาอบ นำมาอัดแท่งและบรรจุหีบห่อ

6) การดักยาง (แยกยางขายจากบ่อ) เป็นการดักจับเนื้อยางที่ปะปนมากับน้ำเสียจากขบวนการต่างๆ เช่น การตกค้ำงในบารับน้ำยางสดเครื่องปั่นยาง และบ่อเก็บน้ำยางขึ้น ด้วยการเติมโพลิเมอร์ต่างๆ หรือจากบ่อดักยาง ซึ่งยางที่ได้จะสามารถนำไปขายในราคาที่ต่ำ เนื่องจากมีคุณภาพไม่ดี

7) การเตรียมสารละลายแอมโมเนีย ในกรณีที่โรงงานไม่ได้ใช้แอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียแห้งหรือแอมโมเนียเหลว แต่ใช้ในรูปสารละลายแอมโมเนียหรือน้ำแอมโมเนีย โรงงานต้องเตรียมสารละลายแอมโมเนียให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นประมาณ 10 % ซึ่งในการเตรียมสารละลายแอมโมเนียผสมกับน้ำจะเกิดความร้อน และส่งผลให้แอมโมเนียระเหยออกจากสารละลายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที่ 2.5 น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดต้นยางพารา (นิรนาม, 2550)



ภาพที่ 2.6 กรรมวิธีการผลิตน้ำยางชั้นด้วยวิธีการปั่นแยก (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ตารางที่ 2.5 ปริมาณและการส่งออกยางพารา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 – 2551 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร, 2552)

เดือน	2545		2546		2547		2548		2549		2550		2551	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
มกราคม	254,890	4,970.71	317,725	10,363.95	253,536	11,155.63	272,991	11,629.85	254,474	15,185.41	264,835	14,531.69	285,172	20,591.7
กุมภาพันธ์	215,881	4,398.32	326,993	11,193.48	269,172	11,954.64	259,370	10,751.76	264,470	16,503.31	247,871	15,480.92	231,867	18,160.2
มีนาคม	229,858	5,170.16	319,282	11,532.13	264,763	11,945.67	263,417	11,371.46	263,341	17,903.35	249,423	16,835.01	245,239	18,990.9
เมษายน	180,210	4,416.85	212,220	7,983.71	209,323	9,741.74	207,522	9,131.29	203,481	13,912.02	199,795	13,379.98	210,976	15,906.3
พฤษภาคม	176,720	4,174.93	218,882	7,863.58	219,634	10,232.72	216,099	9,685.03	214,925	14,983.14	197,907	13,491.61	210,299	16,225.5
มิถุนายน	234,523	5,821.33	231,656	8,186.98	220,291	10,520.84	201,729	9,237.54	212,509	16,311.40	220,283	15,177.33	214,381	17,750.5
กรกฎาคม	222,304	6,073.03	251,020	8,783.30	250,270	11,842.52	240,418	12,004.62	236,044	19,803.69	244,750	16,300.91	257,850	23,844.0
สิงหาคม	233,890	6,486.03	220,323	7,880.80	251,418	11,523.84	271,397	15,393.75	268,569	20,925.92	278,119	17,435.41	256,397	23,390.8
กันยายน	270,261	8,255.08	265,523	9,884.10	175,208	7,594.21	264,357	14,927.80	264,393	18,467.86	250,647	16,008.51	277,473	24,573.0
ตุลาคม	277,704	9,042.47	245,494	9,811.26	338,214	15,445.06	242,525	14,161.71	276,871	17,401.84	268,473	17,396.49	267,235	21,649.6
พฤศจิกายน	256,241	8,383.30	218,593	9,778.36	278,223	12,741.43	269,061	16,014.93	299,763	17,709.10	264,179	18,738.21	188,070	12,500.5
ธันวาคม	233,183	7,413.97	280,055	12,565.11	291,566	12,905.91	243,305	14,558.71	297,930	16,254.41	279,846	19,580.30	187,113	10,045.2
รวม	2,785,665	74,606.18	3,107,766	115,826.76	3,021,618	137,604.21	2,952,191	148,868.45	3,056,770	205,361.45	2,966,128	194,356.37	2,832,072	223,628.3

หมายเหตุ: ปริมาณ มีหน่วยเป็นตัน มูลค่า มีหน่วยเป็นล้านบาท

โรงงานผลิตน้ำยางข้นจัดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งทางน้ำและทางอากาศที่สำคัญแห่งหนึ่ง น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีการเจือปนของสารเคมีมากมายในระหว่างขั้นตอนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งซัลเฟต ซึ่งมาจากการใช้ซัลเฟตระหว่างขั้นตอนการจับตัวของเนื้อยาง คือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ทำให้น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมนี้มีความเป็นกรดสูง หากมีการจัดการกับน้ำเสียอย่างไม่มีประสิทธิภาพแล้ว ย่อมก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่าง ๆ ตามมา ซึ่งในปัจจุบันมีการจัดการกับน้ำเสียของโรงงานยางข้นจะนิยมใช้วิธีการบำบัดทางชีวภาพ ได้แก่ระบบบ่อหมักไร้อากาศ ระบบบ่อฝั่ และแอกติเวเตดสลัดจ์ อย่างไรก็ตามระบบบ่อฝั่มักเป็นที่นิยมใช้เนื่องจากควบคุมดูแลง่าย มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ต้องใช้พื้นที่มากในการบำบัดและส่งกลิ่นเหม็น เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบเปิด การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้อากาศแบบปิดน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาแก้ปัญหาน้ำเสียได้ และยังมีการใช้พลังงานในการเดินระบบน้อยกว่ากระบวนการใช้อากาศ และยังคงเรื่องกลิ่นเหม็นเพราะเป็นระบบปิด ปัจจุบันได้มีการพัฒนาปรับปรุงเกี่ยวกับเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งระบบเอปีอาร์เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับการปรับปรุงการทำงานมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) โดยใช้แผ่นกั้นแบ่งเป็นหน่วยย่อยหรือห้องภายในระบบสำหรับการจัดทิศทางการไหลของน้ำเสีย ทำให้เพิ่มความสามารถในการกักเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติคุณ และ วิชาญ (มปป.) ศึกษาถึงอิทธิพลของสารประกอบซัลเฟอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ โดยมีตัวแปรได้แก่ ค่า COD และ COD/SO_4^{2-} ratio โดยการทดลองเป็นการเดินระบบแบบทีละเท โดยใช้ขนาดถังปฏิกรณ์ขนาด 30 ลิตร จากนั้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD ในช่วง 5,000 – 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ COD/SO_4^{2-} ratio ในช่วง 1 - 4 กับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าเมื่อ COD เริ่มต้นมีค่า 5,000, 6,000, 7,000 และ 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ COD/SO_4^{2-} ratio เริ่มต้นมีค่าคงที่คือเท่ากับ 3 แล้ว ปริมาณก๊าซเฉลี่ยที่ควรเกิดตามทฤษฎีจะมีค่าเป็น 1,596.7, 964.2, 2,314.2 และ 2,664.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อค่า COD มีค่าคงที่คือ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้ว COD/SO_4^{2-} ratio เริ่มต้นมีค่าเป็น 1, 2 และ 4 จะทำให้ได้ปริมาณก๊าซเฉลี่ยที่ควรเกิดตามทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 1,478.4, 1,548.4 และ 1,614.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับและสุดท้ายเมื่อทำการทดลองให้ COD มีค่าคงที่คือ 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้ว COD/SO_4^{2-} ratio เริ่มต้นมีค่าเป็น 1, 2 และ 4 จะทำให้ได้ปริมาณก๊าซที่ควรเกิดตามทฤษฎีมีค่า 2,528.4, 2,256.8 และ 2,121 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากระบบมีค่า VFA/alkalinity ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ประเภทที่สร้างมีเทนแล้วจะทำให้การเกิดก๊าซและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (% COD removal) มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยแต่ในทางตรงกันข้าม หากในระบบมีสัดส่วนของปริมาณ COD/SO₄²⁻ ratio น้อยแสดงว่ามีปริมาณ SO₄²⁻ อยู่มากก็จะทำให้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณน้อยลงซึ่งในการทดลองไม่สามารถเก็บก๊าซตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนได้เนื่องจากภายในถังปฏิกรณ์ มีปริมาตรว่างเว้นส่วนบนมากกว่าปริมาตรของก๊าซที่ควรเกิดตามทฤษฎีจึงทำให้แรงดันของก๊าซภายในมีค่าน้อยเกินไปจนทำให้ไม่สามารถวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดได้

ทวิศักดิ์ และคณะ (2549) ศึกษาเรื่องการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทใหม่ โดยใช้ระบบเอปียาร์ขนาดถังปฏิกรณ์แบ่งออกเป็น 4 ห้อง การวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงผลของปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อกระบวนการฟอกล้างกากที่มีค่าซีโอดีเข้าสู่ระบบเฉลี่ยเท่ากับ 500, 625, 785 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกันคือ 96.03, 95.96, 95.88 และ 97.38 % ตามลำดับ และเมื่อทำการศึกษาระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ที่ 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ใกล้เคียงกันคือ 97.29, 96.42, 97.56, 96.71 และ 97.38 % ตามลำดับ แต่เมื่อลดระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์เหลือ 12 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลงเหลือ 89.34 % ส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสรีที่ระยะเวลาที่กักพักผลศาสตร์ 72 ชั่วโมง สามารถบำบัดสารอินทรีย์และลดสีได้ 92.39 และ 98.13 % ตามลำดับ

ธนภัทร์ (2549) ศึกษาสมรรถนะของระบบเอปียาร์ที่บำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ถึงปฏิกรณ์ที่ใช้ขนาด 5 ห้องโดยใช้น้ำเสียแบบไม่เจือจางและเจือจาง 10 เท่า ซึ่งมีสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีประมาณ 150,000-180,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งแขวนลอย 12,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยตรวจสอบจากประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี รวมทั้งการกำจัดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ พบว่าถังปฏิกรณ์ที่รับน้ำเสียแบบเจือจาง 10 เท่า มีความสามารถในการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ที่เข้าระบบได้มากกว่าถังปฏิกรณ์ที่รับน้ำเสียแบบไม่เจือจาง โดยสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ถึง 7 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสีย 60 % ค่าซีโอดีน้ำออกจากระบบอยู่ที่ประมาณ 6,800 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีของแข็งแขวนลอยประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของถังปฏิกรณ์ที่รับน้ำเสียแบบไม่เจือจางสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ได้เพียง 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดการ

ทดลองมีประสิทธิภาพ 50 % ค่าซีโอดีน้ำออกจากระบบอยู่ที่ประมาณ 70,000 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีของแข็งแขวนลอยประมาณ 26,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

Bachmann และคณะ (1985) ศึกษาลักษณะและการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบบเอปียอร์ กล่าวว่าระบบเอปียอร์ถูกพัฒนาและใช้บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ข้อดีของระบบ คือ เป็นระบบที่มีเสถียรภาพสูง มีความเสี่ยงในการอุดตันเชื้อจุลินทรีย์และการหลุดออกของเชื้อจุลินทรีย์น้อย ไม่จำเป็นต้องมีระบบเก็บสะสมก๊าซและระบบแยกเชื้อจุลินทรีย์ โดยในการทดลองระบบรับอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ ได้ถึง 36 กรัมซีโอดีต่อลิตร - วัน โดยมีอัตราการกำจัดซีโอดีได้มากถึง 24 กรัมซีโอดีต่อลิตร-วัน มีสมมติฐานว่าถึงปฏิกรณ์แบบเอปียอร์เป็นแบบครึ่งฟิล์ม การศึกษาในรูปแบบที่เหมือนจริงแต่ย่อขนาดลงมีความจำเป็นในการหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องระบบที่จะส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพดีและมีราคาที่เหมาะสม

Barber และ Stuckey (1999) ถึงปฏิกรณ์แบบเอปียอร์ถูกออกแบบริเริ่มพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 และมีข้อดีหลายประการเหนือกว่าระบบอื่นๆ เช่น ระบบยูเอเอสบี และระบบถังไร้อากาศ คือ สามารถรับการเปลี่ยนแปลงอัตราการสารอินทรีย์ได้มาก เชื้อจุลินทรีย์สามารถอยู่ในระบบได้นาน อัตราการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ต่ำ แยกส่วนระหว่างจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้ ในส่วนหลังเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถป้องกันสารพิษหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น เช่น ค่าพีเอชและอุณหภูมิ โครงสร้างทางกายภาพของระบบเอปียอร์จำเป็นจะต้องมีการปรับปรุง เช่น การเติมส่วนที่เป็นกรบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ จะทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียที่บำบัดได้ยากใช้ถึงปฏิกรณ์หลายขั้นตอน รวมทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่าย

Boopathy และคณะ (1999) ทำการศึกษาสมรรถนะของระบบเอปียอร์ที่บำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่น ระบบเอปียอร์มีขนาด 5 ห้อง ข้อดีของระบบเอปียอร์คือ มีเสถียรภาพสูง มีความเสี่ยงในการอุดตันและการหลุดออกของเชื้อจุลินทรีย์น้อย สามารถกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 90 % น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นของซีโอดีถึง 51 กรัมต่อลิตร ระยะเวลาที่กักพักเซลล์ 14 วัน ผลการทดลองปรากฏว่า สามารถลดซีโอดีได้ 70 - 78 % และยังมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงสุดในห้องที่ 4 และ 5 ประมาณ 0.59 และ 0.62 ลิตรต่อกรัม ของของแข็งที่ระเหยได้ (volatile solids) ที่ใส่เข้าไปในระบบ 4 กรัมของแข็งที่ระเหยได้ต่อลิตรต่อวัน (g / VSS / l / day)

Grobicki และ Stuckey (1991) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอปียอร์ประกอบด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ดำเนินการทดลองสำหรับถึงปฏิกรณ์ 4 ถึง ในช่วงที่มีระยะเวลาที่กักพักเซลล์ที่เหมาะสม เพื่อให้ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพดี จากการทดลองพบว่า ในถึงปฏิกรณ์ที่ระยะเวลาที่กักพักเซลล์ 20 ชั่วโมง จะมีการกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 95 % และมีปริมาณจุลินทรีย์

ที่ออกจากระบบในปริมาณน้อย นอกจากนี้ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่ำและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์มาก ยังสามารถมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้สูงอีกด้วย เพื่อจะหาค่าที่เหมาะสมของอัตราการเกิดปฏิกิริยา จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระดับสูง ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และความจำกัดในการถ่ายเทมวลในระบบและจะพบว่าฟอर्मेटเป็นสารตัวกลางที่สำคัญภายใต้กระบวนการที่มีอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์สูง

Nachaiyasit และ Stuckey (1997) ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอบีอาร์ขนาด 10 ลิตร มีทั้งหมด 8 ห้อง เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีแต่ละระยะเวลากักพักชลศาสตร์ยังคงเดิมโดยใช้ความสามารถในการกำจัดซีโอดีและคุณภาพของเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนแปลงอัตราอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์อย่างกะทันหันเป็นตัวบ่งบอก การทดลองนี้ใช้น้ำเสียที่สังเคราะห์จากคาร์โบไฮเดรต (ซูโครส) และโปรตีน (โปรตีนที่สกัดออกมาจากสัตว์) ใช้ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 ชั่วโมง ค่าซีโอดี 4 กรัมต่อลิตร (4.8 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร - วัน) ที่ 35 °C เป็นระยะเวลา 1 เดือน ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 98 % จากนั้นเปลี่ยนมาป้อนน้ำเสียจริงที่ค่าซีโอดีเท่ากับ 8 กรัมต่อลิตร (9.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร - วัน) ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 20 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดียังไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของค่าซีโอดีเป็น 15 กรัมต่อลิตร (18 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร - วัน) ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลงไปเป็น 90 % พบว่าภายในถังปฏิกรณ์แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วง acidification ช่วง methanation และช่วงที่มีการผสมกันระหว่าง acidification และ methanation จุดประสงค์ที่คงปริมาณของแข็งในถังปฏิกรณ์ไว้สูง เพื่อช่วยเพิ่มความเสถียรของระบบ ไม่ใช่เพื่อเพิ่มซีโอดีในระบบ โครงสร้างของถังปฏิกรณ์แบบเอบีอาร์จะป้องกันจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่ให้สัมผัสกับค่าพีเอชต่ำระหว่างเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในระบบอย่างกะทันหันและยังปรับปรุงให้ระบบมีเสถียรภาพ ยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากส่วนที่ 1 มีค่าพีเอชต่ำและมีความเข้มข้นของน้ำเสียสูงจุลินทรีย์จะผลิตอะซิเตตและบิวทิเรตมากกว่าฟอर्मेटและโพรไพโอเนต ผลการทดลองที่ได้ซึ่งมีทิศทางต่างจากผลการทดลองที่ได้ในอดีตแสดงให้เห็นว่า ฟอर्मेट ไม่ได้เป็นตัวนำพาอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญในระบบ ยกเว้นในสภาวะที่มี high mixing และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในระบบแบบกะทันหัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากความแตกต่างทางโครงสร้างของกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบ ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าถังปฏิกรณ์แบบเอบีอาร์ เป็นถังปฏิกรณ์ที่ถูกรอกแบบมาเพื่อเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

Hutnan และคณะ (1991) ศึกษาถึงเชื้อจุลินทรีย์ชนิดที่มีการผลิตก๊าซมีเทนและไม่ผลิตก๊าซมีเทนของระบบเอปียอร์ โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยแป้งและเพปโตน โดยศึกษาที่ค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 3.5 และ 10.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร - วัน โดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอปียอร์กับระบบยูเอเอสบีในสภาวะเดียวกัน ซึ่งใช้แป้งในการศึกษาความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติก ใช้ น้ำตาลกลูโคสในการศึกษาปฏิกิริยาการผลิตกรดและใช้โซเดียมอะซิเตตในการศึกษาปฏิกิริยาการผลิตก๊าซมีเทน โซเดียมไบคาร์บอเนตจะถูกเติมเพื่อรักษาระดับพีเอช ผลการวิเคราะห์พบว่าความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติก 36.8 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม-วัน ปฏิกิริยาการผลิตกรด 38.1 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม - วัน และปฏิกิริยาการผลิตก๊าซมีเทน 1.51 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม - วัน (ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร - วัน) เทียบกับระบบยูเอเอสบีที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ เดียวกัน จะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติก 36.52 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม-วัน ปฏิกิริยาการผลิตกรด 1.12 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม-วัน และการเกิดก๊าซมีเทน 0.66 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม - วัน

Foxon และคณะ (2004) โครงการนี้เป็นการศึกษาถึงความเหมาะสมของของระบบเอปียอร์ สำหรับการบำบัดน้ำเสียและระบบสุขาภิบาลในชุมชน มีการออกแบบระบบให้มีการรองรับของแข็งในปริมาณสูงและสามารถเก็บกักน้ำเสียเพื่อการบำบัดในอัตราสูง ระบบเอปียอร์ขนาด 3,000 ลิตร (ถังปฏิกรณ์แบ่งออกเป็น 8 ห้อง) ที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน ทำให้ค่าชีโอดีที่ผ่านการบำบัดต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าระยะเวลาพักกักพลศาสตร์ 22 ชั่วโมง และยังพบว่าเชื้อโรคในน้ำมีปริมาณลดลง (E. coli และ total coliforms) จากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณน้ำเสียและปริมาณอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ ที่เข้าระบบในปริมาณต่ำจะสามารถกำจัดชีโอดีและเชื้อโรคได้ดีกว่าระบบที่ถูกป้อนเข้าด้วยน้ำเสียและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่มากเกินไป โครงการนี้มีระยะในการศึกษารวม 5 เดือน

She และคณะ (2006) ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และสมรรถนะของระบบเอปียอร์เมื่อใช้ซูโครสเป็นสารอาหาร โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 90 ลิตร แบ่งออกเป็น 4 ห้อง ในการศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และอิทธิพลของอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ และอัตราส่วนของ NaHCO_3 ต่อชีโอดีในถังปฏิกรณ์ นอกจากนี้ถังปฏิกรณ์แบบเอปียอร์ยังจะช่วยแยกส่วนของจุลินทรีย์และถ้ามีการเติม bentonite หรือ granular active carbon ก็ช่วยในการสร้างเม็ดตะกอน โดยการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะเกิดหลังจากเดินระบบไปแล้ว 75 วัน เม็ดตะกอนที่เกิดจาก granular active carbon จะมีการพัฒนาขึ้นเร็วกว่า ขนาดใหญ่กว่าและมีการอัดแน่นที่ดีกว่า การทดลองที่ระยะเวลาพักกักพลศาสตร์ 20 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ เปลี่ยนจาก 2.15 ไปเป็น 6.29 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ประสิทธิภาพการ

กำจัดซีโอดีจะไม่ลดลง โดยจะยังคงอยู่ที่ 91 - 93 % แต่มีการเพิ่มขึ้นของค่าซีโอดีในน้ำเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่าง NaHCO_3 ต่อซีโอดีลง ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วง 87 - 92 % ซึ่งค่าที่ได้ก็เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่มากนัก จากการกระจายตัวของจุลินทรีย์และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายทั้งสี่ส่วนของถังปฏิกรณ์ สามารถสรุปได้ดังนี้ มีการแยกส่วนของเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์แบบเอปียอร์

Wang และคณะ (2004) ศึกษาสมรรถนะและลักษณะการทำงานของระบบเอปียอร์ การทดลองนี้ทำในห้องปฏิบัติการ ใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ห้อง โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid: VFAs) ที่แตกต่างกัน และพบว่า อะซิเตทเป็นตัวกลางสำคัญในขั้นตอนการย่อยสลายกลูโคสให้เปลี่ยนเป็นกรด ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายจะลดลงตามความยาวของถังปฏิกรณ์ การวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจากห้องที่ 1 ถึงห้องที่ 5 ในขณะที่ก๊าซไฮโดรเจนมีปริมาตรลดลงในส่วนแรก และไม่พบก๊าซไฮโดรเจนในสองส่วนสุดท้ายของถังปฏิกรณ์ ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนของตะกอนแบบไร้อากาศในแต่ละส่วนของถังปฏิกรณ์ขึ้นอยู่กับสารอาหาร มีการเสนอแนะว่าปริมาณที่เหมาะสมสำหรับถังปฏิกรณ์ในแต่ละส่วนของถังปฏิกรณ์ขึ้นอยู่กับความสามารถในการนำสารอาหารไปใช้และความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม ระบบเอปียอร์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าถ้าได้รับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ในปริมาณสูงและสามารถนำไปใช้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมแม้ว่าจะมีตัวยับยั้งหรือขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา

Vossoughi และคณะ (2003) ศึกษาสมรรถนะของระบบเอปียอร์ เพื่อลดอัตราส่วนระหว่างซีโอดีต่อซัลเฟต น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 3000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 1 วัน ที่อุณหภูมิ 35 °C ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ขนาด 5 ห้อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนระหว่างซีโอดีต่อซัลเฟตมีการเปลี่ยนแปลงจาก 16.7 เป็น 6 เนื่องจากความเข้มข้นของซัลเฟตเพิ่มจาก 180 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดีไม่ลดลงแต่มีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การบำบัดซีโอดีและซัลเฟตสูงสุดอยู่ที่ 86 และ 97 % (ตามลำดับ) และมากกว่า 65 % ของปริมาณการบำบัดจะอยู่ในส่วนแรกของถังปฏิกรณ์

Selcuk และ Sponza (2005) ศึกษาสมรรถนะของระบบเอปียอร์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี p - nitrophenol (PNP) เป็นส่วนประกอบ (ระบบเอปียอร์นั้นสามารถกำจัดซีโอดี กรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) p - aminophenol (PAP) และผลิตก๊าซมีเทน) ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 240 วัน ถังปฏิกรณ์ถูกแบ่งออกเป็น 4 ห้อง ความเข้มข้นของ PNP ลดลงจาก 700 เป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับอัตราภาระ PNP ที่ใส่เข้าไปในระบบคือ 0.97 และ 67.9 กรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร-วัน ประสิทธิภาพการกำจัด PNP และซีโอดี คือ 99 % และ 90 % ที่อัตราภาระ PNP สูงถึง 33.9 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร - วัน (ตามลำดับ) ถึงแม้ว่าจะมีการปรับตัวให้เข้าสิ่งแวดล้อมของ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน หลังจากนั้นประสิทธิภาพของการกำจัดก็จะลดลงเหลือ 79 % การกำจัดซีโอดีจะมีประสิทธิภาพสูงในส่วนที่ 1 ของถังปฏิกรณ์ คือ 78 - 93 % และจะลดลง ในส่วนที่ 2 และ 3 ของถังปฏิกรณ์ การกำจัดซีโอดีจะมีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 99 % เมื่อภาระ PNP เท่ากับ 8.32 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร - วัน ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 2,160 – 2,460 มิลลิลิตรต่อวันและ 950 – 1,250 มิลลิลิตรต่อวัน หรือประมาณ 44 - 52 % สำหรับอัตราภาระ PNP 4.36 ถึง 33.9 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร - วัน ที่อัตราภาระ PNP ระหว่าง 33.9 และ 67.9 มิลลิลิตรต่อวัน ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 2,160 และ 960 มิลลิลิตรต่อวัน ประมาณ 44 % ของความเข้มข้นทั้งหมดของกรดไขมันที่ระเหยได้ (TVFA) จะพบในส่วนที่ 1 ของถังปฏิกรณ์ประมาณ 50 - 200 มิลลิลิตรต่อลิตร

Krishna และคณะ (2007) ศึกษาถึงการไ้ระบบเอป็อาร์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสภาพการละลายต่ำ น้ำเสียที่ใช้มีค่าซีโอดีประมาณ 500 มิลลิลิตรต่อลิตร ใช้ระบบเอป็อาร์ที่แบ่ง ถังปฏิกรณ์ออกเป็น 8 ห้อง ค่าเฉลี่ยของ total COD (COD_T) และ soluble COD (COD_S) ที่ระยะเวลา กักพักชลศาสตร์ 8 ชั่วโมง ประมาณ 50 และ 40 มิลลิลิตรต่อลิตร (ตามลำดับ) ในขณะที่ระยะเวลา กักพักชลศาสตร์ 10 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยของ COD_T และ COD_F ประมาณ 47 และ 37 มิลลิลิตรต่อลิตร (ตามลำดับ) การกำจัดซีโอดีและบีโอดีเฉลี่ย มากกว่า 90 %

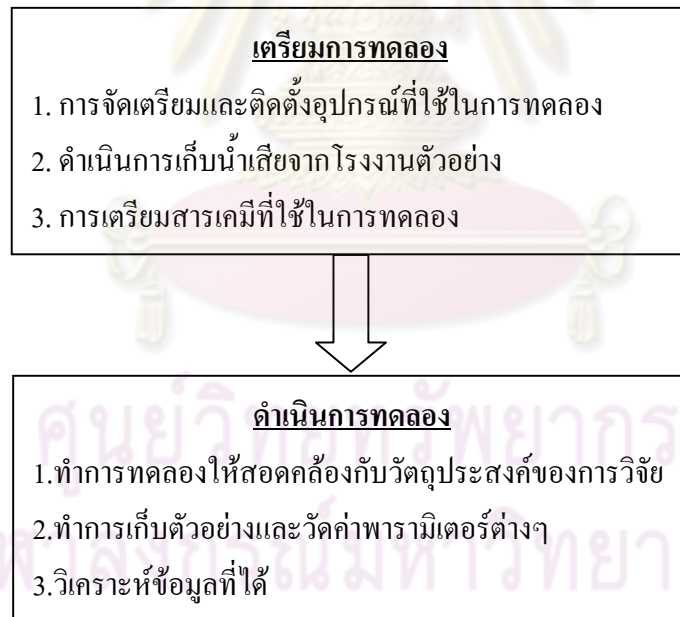
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การศึกษานี้ได้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศึกษาผลของจำนวนของแผ่นกั้นของระบบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและผลของอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว กำหนดระยะเวลาที่กักพัชลศาสตร์ 5 วัน แปรผันจำนวนของแผ่นกั้นของถังปฏิกรณ์ ได้แก่ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 3 ค่า ได้แก่ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ระบบเอปอาร์ที่มีการไหลของน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่อง ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง แผนการทดลองดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการวิจัย

3.1.1 การออกแบบและสร้างระบบเอปียอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีจำนวน 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ปริมาตรน้ำในระบบ 14 ลิตร ทำด้วยวัสดุอะคริลิกใส อย่างละ 1 ถัง โดยในการออกแบบและจัดทำถังปฏิกรณ์จะนำเอาข้อดีต่างๆ จากงานวิจัยเกี่ยวกับระบบเอปียอร์ที่ผ่านมานำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมในการทดลอง ได้แก่ ออกแบบให้สัดส่วนความกว้างของส่วนที่น้ำไหลลงและไหลขึ้นมีความเหมาะสมเพื่อช่วยให้เกิดการกักพักตะกอนได้ดีโดยไม่เพิ่ม deadspace มากนัก และออกแบบให้ส่วนปลายของแผ่นกั้นระหว่างส่วนที่น้ำไหลลงและไหลขึ้นทำมุม 45 องศา กับแนวราบ เพื่อช่วยเพิ่มการผสมผสานและสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ในส่วนล่างของห้อง และลดการเกิด deadspace

3.1.2 การเตรียมน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากโรงงานยางชั้น โดยเจือจางน้ำเสียเข้าระบบให้มีค่าซีโอดีเท่ากับ 5,000, 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เดิมธาตุอาหารที่จำเป็นก่อนป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบเอปียอร์

3.1.3 การเดินระบบ

การดำเนินการวิจัยในช่วงแรกจะเป็นการเริ่มต้นระบบ (start up) เพื่อให้หัวเชื้อจุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสียและระบบ มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็น ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งแขวนลอย และค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว เมื่อระบบมีความคงตัวแล้วจึงทำการทดลองศึกษาผลของจำนวนของแผ่นกั้นของระบบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและผลของอัตราภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้นต่อไป

3.1.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและก๊าซชีวภาพมาวัดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องและเก็บผลการทดลองที่สภาวะคงตัวเป็นเวลา 30 วัน แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผลและสรุปผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่กำหนดไว้

3.2 การออกแบบและจัดทำระบบเอปียาร์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์การทดลอง 3 ชุด แต่ละชุดมีลักษณะเหมือนกันยกเว้น จำนวนแผ่นกั้นของถังปฏิกรณ์ที่มีจำนวนต่างกัน ดังตารางที่ 3.1

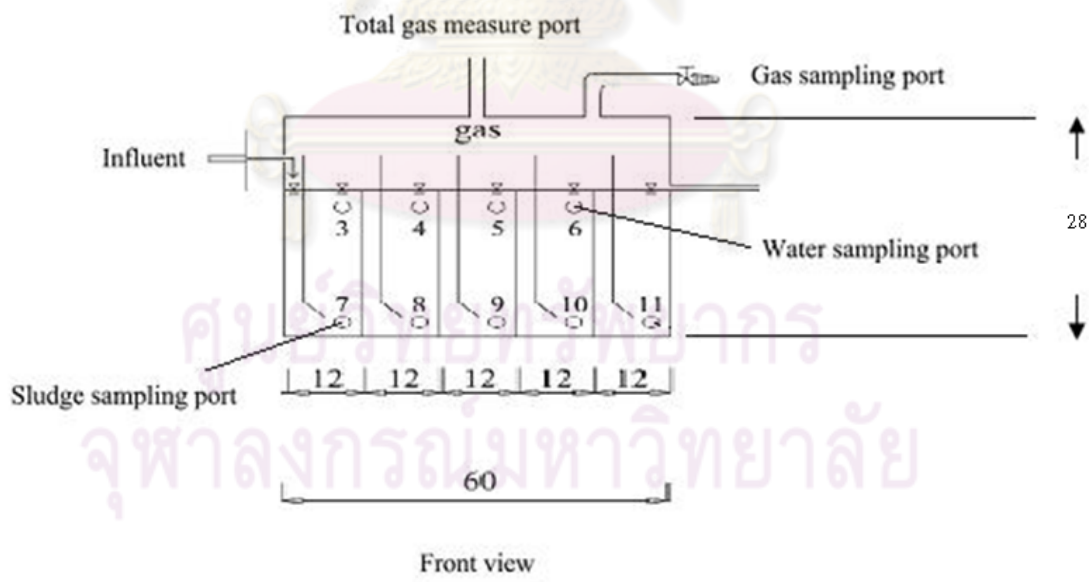
3.2.1 ถังปฏิกรณ์ระบบเอปียาร์

ในการทดลองจะใช้ถังปฏิกรณ์ระบบเอปียาร์รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งหมดจำนวน 3 ถังปฏิกรณ์ (จากชุดการทดลองซึ่งมีจำนวนแผ่นกั้นของถังปฏิกรณ์ต่างกัน) ถังปฏิกรณ์ทำจากวัสดุอะคริลิกใส กว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 28 เซนติเมตร ปริมาตร 20 ลิตร แบ่งออกเป็นหน่วยบำบัดย่อยด้วยแผ่นกั้น 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น แต่ละถังมีปริมาตรใช้งาน (working volume) รวม 14 ลิตร มีการติดตั้งแผ่นกั้นในแนวตั้ง (vertical baffles) โดยในแต่ละห้องจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่น้ำไหลลง (down comer) และส่วนที่น้ำไหลขึ้น (up comer) ส่วนปลายของแผ่นกั้นระหว่างส่วนที่น้ำไหลลงและไหลขึ้นจะทำมุม 45 องศากับแนวราบ ซึ่งมีข้อดีคือช่วยบังคับทิศทางหลักของการไหลของน้ำส่วนที่ไหลขึ้นให้อยู่ในแนวตรงกลาง ทำให้ช่วยเพิ่มการผสมผสานและสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ในส่วนล่างของห้อง และลดการเกิด deadspace บริเวณส่วนที่น้ำไหลขึ้นและในบริเวณทิศทางที่มีการไหลของน้ำได้ ส่วนบนของถังปฏิกรณ์มีช่องต่อไปยังชุดอุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำและช่องเก็บตัวอย่างก๊าซ มีจุดรับน้ำเสียเข้าระบบและจุดระบายน้ำเสียออกจากระบบ และมีการติดตั้งจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียซึ่งลักษณะของถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.2 – ภาพที่ 3.3

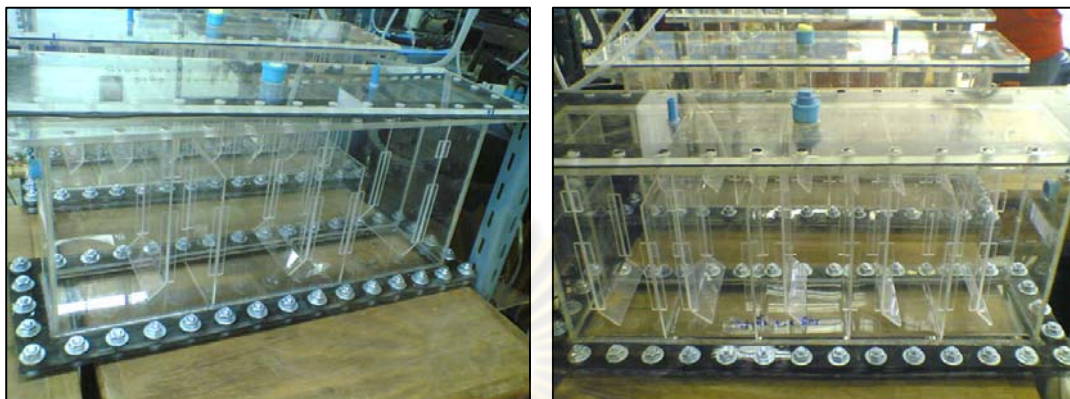
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของถังปฏิกรณ์ระบบเอปิวาร์ที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะของถังปฏิกรณ์	รายละเอียด
1. ปริมาตรบรรจุน้ำของถัง	14 ลิตร
2. จำนวนแผ่นกั้น	
ถังปฏิกรณ์ที่ 1	3 แผ่นกั้น
ถังปฏิกรณ์ที่ 2	5 แผ่นกั้น
ถังปฏิกรณ์ที่ 3	7 แผ่นกั้น
3. ขนาดถัง	
ความกว้าง	12 เซนติเมตร
ความยาว	60 เซนติเมตร
ความสูง	28 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.2 รายละเอียดของถังปฏิกรณ์ระบบเอปิวาร์ที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 3.3 ลักษณะของถังปฏิกรณ์ระบบเอปิวาร์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.2 ชุดวัดปริมาณก๊าซ

จะประกอบด้วยกระบอกตวงจำนวน 2 อัน (แต่ละอันมีขนาดต่างกันเช่นในการทดลองใช้ขนาด 1,000 มิลลิลิตรและ 250 มิลลิลิตรประกบกัน) บรรจุน้ำที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 2 เชื่อมต่อกับถังปฏิกรณ์ด้วยสายยางซิลิโคน เมื่อมีก๊าซเกิดขึ้นโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ ทั้งนี้ใช้สเกลของกระบอกตวงเป็นตัวบ่งบอกเพื่อนับก๊าซชีวภาพ

3.2.3 ถังเก็บน้ำเสียและรองรับน้ำเสีย

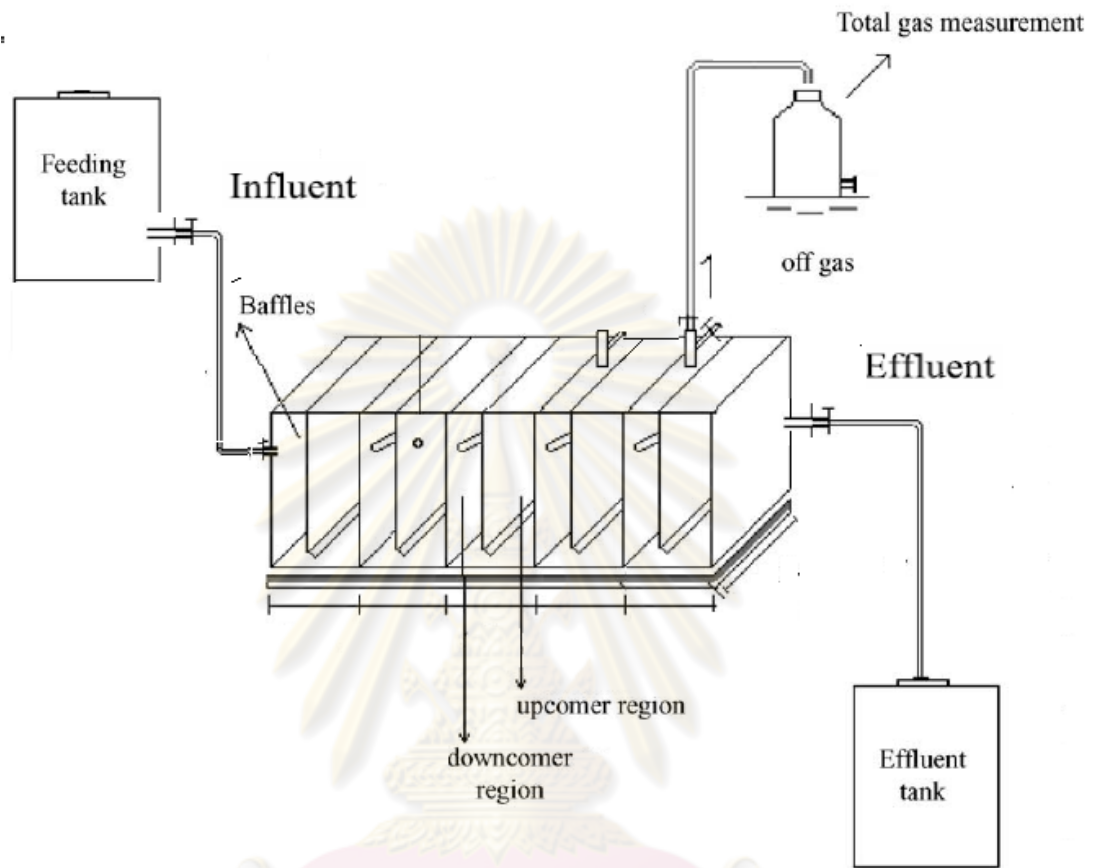
ใช้เป็นถังเก็บน้ำเสียก่อนนำน้ำเสียเข้าระบบ และรองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

3.2.4 เส้นท่อ

เป็นทรงกลมทำด้วยซิลิโคนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.9 เซนติเมตร ใช้สำหรับเป็นท่อทางน้ำเข้าและน้ำออก และส่งก๊าซชีวภาพไปยังตัวเก็บก๊าซ

อุปกรณ์สามารถประกอบและติดตั้งได้ดังภาพที่ 3.4 และระบบเอปิวาร์จำลองที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ในการทดลองดังภาพที่ 3.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.4 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์และระบบบำบัดน้ำเสียเอปอาร์ในการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.5 ระบบเอปปีอาร์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัย

3.3 การเตรียมน้ำเสีย

นำน้ำเสียจากโรงงานยางชั้น มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ พีเอช (pH), อุณหภูมิ (temperature), สภาพด่าง (alkalinity), กรดไขมันระเหยง่าย, ซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย (TSS), ซัลเฟต (SO_4^{2-}), ซัลไฟด์ (S^{2-}) จากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำประปาจนมีค่าซีโอดีเท่ากับ 5,000, 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมธาตุอาหารที่จำเป็นให้เหมาะสมแก่การเจริญของหัวเชื้อจุลินทรีย์ในระบบ จากนั้นจึงนำน้ำเสียที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียเข้าระบบได้แก่ ซีโอดี พีเอช และอุณหภูมิ ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบเอปปีอาร์

3.4 การเดินระบบ

3.4.1 การเริ่มต้นระบบ (start up)

การเริ่มต้นเดินระบบแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือถึงปฏิกรณ์ขนาด 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น โดยป้อนน้ำเสียที่ใช้มีค่าซีโอดี 3 ค่า ได้แก่ 5,000, 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ถึงปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถึง (ที่มีจำนวนแผ่นกั้นต่างกัน) ที่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก (หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศของโรงงานยางชั้นแห่งหนึ่งดังภาพภาคผนวกที่ จ - 1 และ จ - 2) ทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่องโดยทำการวัดพารามิเตอร์ เมื่อ

ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจึงทำการศึกษามลของจำนวนของแผ่นกั้นของระบบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้น

การทดลองชุดที่ 1

1. เตรียมน้ำเสียจากโรงงานยางชั้นโดยเจือจางให้มีค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เติมหาตุอาหารที่จำเป็นก่อนป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบเอปียอร์ วิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสียก่อนเข้าระบบ ได้แก่ พีเอช, อุณหภูมิ, สภาพค่า, กรดไขมันระเหยง่าย, ซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย, ซัลเฟต, ซัลไฟด์

2. ปรับค่าระยะเวลาพักชดสาศตร์ของระบบเอปียอร์ให้มีค่าเท่ากับ 5 วัน

3. เดินระบบโดยการป้อนน้ำเสียจากโรงงานยางชั้นที่เจือจางให้มีค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกขนาดต่างกันคือ ขนาด 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น

4. วิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสียที่ออกจากระบบ ได้แก่ พีเอช, อุณหภูมิ, สภาพค่า, กรดไขมันระเหยง่าย, ซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย, ซัลเฟต, ซัลไฟด์ เดินระบบสู่สภาวะคงตัวประมาณ 30 วัน

การทดลองชุดที่ 2

การทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 (ข้อ 1- 4) แต่เจือจางน้ำเสียให้มีค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เดินระบบสู่สภาวะคงตัวประมาณ 30 วัน

การทดลองชุดที่ 3

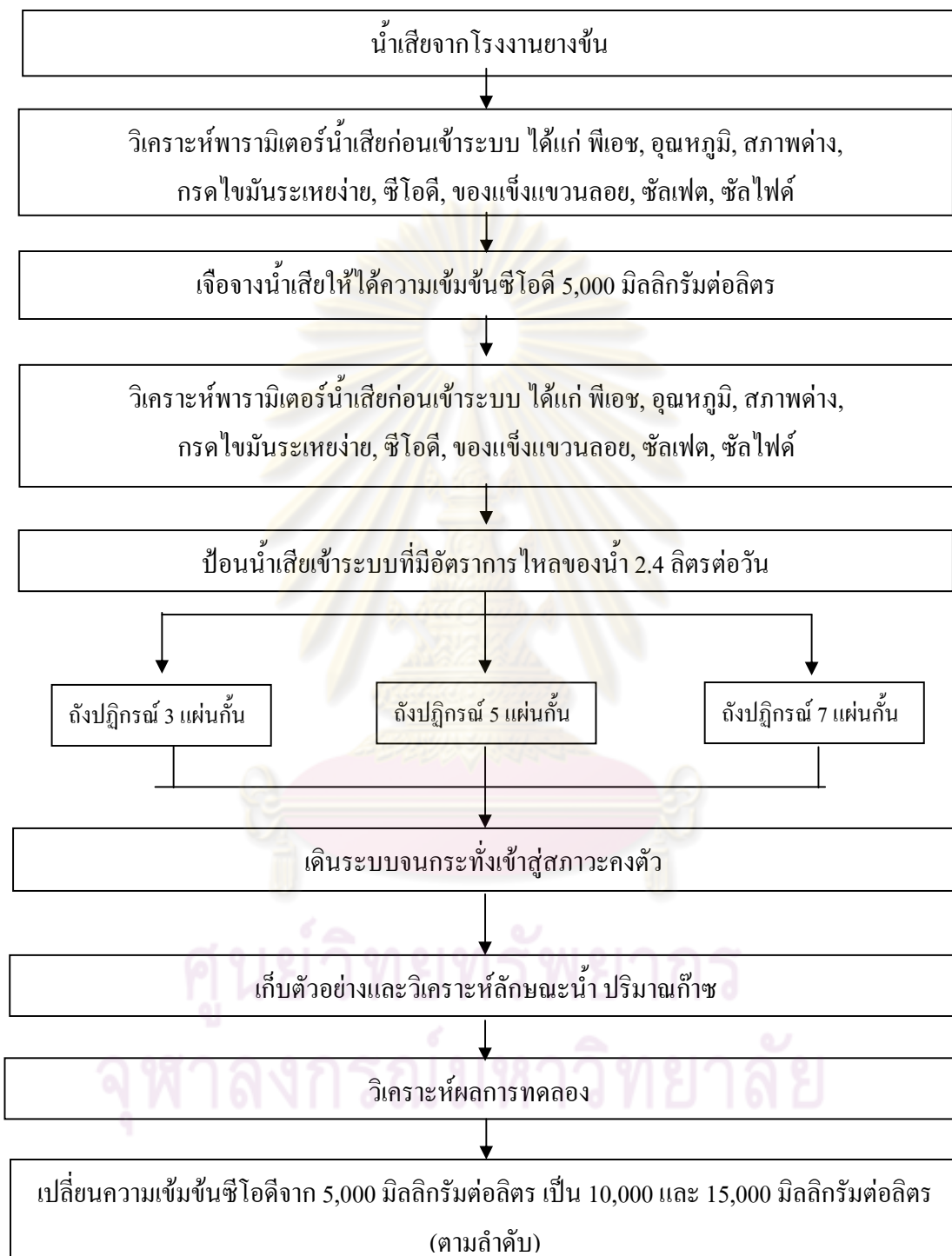
การทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 (ข้อ 1-4) แต่เจือจางน้ำเสียให้มีค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เดินระบบสู่สภาวะคงตัวประมาณ 30 วัน

3.4.2 การเดินระบบ

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงเริ่มศึกษาผลของจำนวนของแผ่นกั้นของระบบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางชั้นรวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียและก๊าซ มาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เก็บผลการทดลองเป็นเวลา 30 วัน แผนการทดลองและแผนภาพขั้นตอนการทดลองแสดงได้ในตารางที่ 3.2 และภาพที่ 3.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองทั้ง 3 ชุด

การทดลองที่	ถังปฏิกรณ์ 14 ลิตร (แผ่นกั้น)	ระยะเวลาพัก ชดสาศตร์ (วัน)	ซีโอดีน้ำเสีย เข้าระบบ (มก.ต่อลิตร)	อัตราภาระ บรรทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีโอดีต่อ ลบ.ม.-วัน)	อัตราการ ไหลน้ำเสียเข้า ระบบ (ลิตรต่อวัน)
1	3	5	5,000	1	2.8
	5				
	7				
2	3	5	10,000	2	2.8
	5				
	7				
3	3	5	15,000	3	2.8
	5				
	7				



ภาพที่ 3.6 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง

3.5 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้จะเก็บตัวอย่างน้ำ 2 จุด คือ น้ำเสียที่เข้าระบบซึ่งเก็บจากถังพักน้ำเสียและน้ำเสียที่ออกจากระบบซึ่งเก็บจากถังพักน้ำออก แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ตามคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย ดร.มันลีน ตันทุลเวสม์ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานขงขึ้นและผลของอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวดังตารางที่ 3.3

การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพทำได้โดยดูดเก็บตัวอย่างก๊าซด้วยหลอดเก็บก๊าซดังภาพที่ 3.7 โดยเลือกจุดเก็บตัวอย่างบริเวณด้านบนของถังปฏิกรณ์ แล้วนำตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography) ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดตรวจวัดโดยใช้การแทนที่ของน้ำ

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีที่ใช้วิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
พีเอช	pH meter	3 ครั้งต่อสัปดาห์
อุณหภูมิ	thermometer	3 ครั้งต่อสัปดาห์
สภาพด่าง	titration method	3 ครั้งต่อสัปดาห์
กรดไขมันระเหยง่าย	titration method	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ซีโอดี	closed reflux 1, titrimetric	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ของแข็งแขวนลอย	total suspended solid	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ซัลเฟต	turbidimeter method	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ซัลไฟด์	iodometric method	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ก๊าซชีวภาพ	วัดปริมาตรแบบแทนที่น้ำ	ทุกวัน
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	gas chromatography	วิเคราะห์หลังสิ้นสุดทดลอง



ภาพที่ 3.7 หลอดเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพขนาด 5 มิลลิลิตร

3.6 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่พิจารณาในการทดลอง ประกอบด้วย ตัวแปรคงที่ (fixed variable), ตัวแปรอิสระ (independent variables), และตัวแปรตาม (dependent variables) ซึ่งแต่ละขั้นตอน มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.4, 3.5 และ 3.6

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 (อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน)

ตัวแปรคงที่	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม
1. ระยะเวลาที่กักพักขลศาสตร์ 5 วัน	1. ถึงปฏิกรณ์ขนาด 3, 5 และ 7 แพนกัน	1. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (ชีโอดี, ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด, ซัลเฟต, ซัลไฟด์)
2. อัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ 2.8 ลิตรต่อวัน	2. อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน	2. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบ (พีเอช, อุณหภูมิ, สภาพต่าง, กรดไขมันระเหย, ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด, เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน)

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน)

ตัวแปรคงที่	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม
1. ระยะเวลาพักพักชด ศาสตร์ 5 วัน	1. ถังปฏิกรณ์ขนาด 3, 5 และ 7 แ่งน้ัน	1.ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (ซีโอดี, ปริมาณของแข็งแขวนลอย ทั้งหมด, ซัลเฟต, ซัลไฟด์)
2. อัตราการไหลน้ำเสียเข้า ระบบ 2.8 ลิตรต่อวัน	2.อ ต ร า ภ า ระ บ ร ร ทู ก สารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน	2.พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์เพื่อ ตรวจสอบการทำงานของระบบ (พีเอช, อุณหภูมิ, สภาพต่าง, กรด ไขมันระเหย, ปริมาณก๊าซชีวภาพ ทั้งหมด, เเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน)

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองที่ 3 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน)

ตัวแปรคงที่	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม
1. ระยะเวลาพักพักชด ศาสตร์ 5 วัน	1. ถังปฏิกรณ์ขนาด 3, 5 และ 7 แ่งน้ัน	1.ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (ซีโอดี, ปริมาณของแข็งแขวนลอย ทั้งหมด, ซัลเฟต, ซัลไฟด์)
2. อัตราการไหลน้ำเสียเข้า ระบบ 2.8 ลิตรต่อวัน	2.อ ต ร า ภ า ระ บ ร ร ทู ก สารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน	2.พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์เพื่อ ตรวจสอบการทำงานของระบบ (พีเอช, อุณหภูมิ, สภาพต่าง, กรด ไขมันระเหย, ปริมาณก๊าซชีวภาพ ทั้งหมด, เเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากโรงงานยางชั้น โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำเสียจากบ่อรวม ตลอดการทดลองได้มีการเก็บน้ำเสียจากบ่อรวมของโรงงานยางชั้นจำนวน 7 ครั้ง (เมษายน 2551 ถึง มีนาคม 2552) จากการสังเกตเบื้องต้นพบว่าน้ำเสียจากโรงงานยางชั้นมีกลิ่นเหม็น น้ำเสียยังคงมีเศษเนื้อเยื่อที่หลงเหลือหลังจากการจับตัวอยู่บางส่วน โดยแขวนลอยและรวมตัวเป็นก้อนอยู่บนผิวหน้าของน้ำเสีย น้ำเสียที่เก็บมาเมื่อนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นมีลักษณะดังตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียก่อนทำการบำบัดดังภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติของน้ำเสียจากโรงงานยางชั้นที่วิเคราะห์ได้ก่อนทำการบำบัด

ลักษณะ	น้ำเสีย
พีเอช	5.04 – 5.24
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	26.2 – 28.5
ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	11,424 – 17,934
กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	3,525 – 4,063
สภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	1,570 – 1,725
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	670 – 1,756
ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,036 – 1,738

น้ำเสียจากโรงงานยางชั้นมีสมบัติเป็นกรดสูงมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.04 – 5.24 จากการสังเกตพบว่าน้ำเสียยังคงมีเศษเนื้อเยื่อที่หลงเหลือหลังจากการจับตัวอยู่บางส่วน โดยแขวนลอยหรือรวมตัวจับเป็นก้อนอยู่บนผิวหน้าของน้ำเสีย และยังพบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายมีค่าสูงถึง 3,525 – 4,063 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH เนื่องจากบ่อที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเกิดกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน และมีการใช้กรดฟอร์มิก (HCOOH) ในกระบวนการผลิตยางแท่ง จึงทำให้น้ำเสียมีกรดไขมันระเหยง่ายอยู่สูง นอกจากนี้ซัลเฟตในน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงถึง 1,036 – 1,738 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการเติมกรดซัลฟิวริกในขั้นตอนการจับตัวหางน้ำยาง เพื่อให้เนื้อเยื่อจับตัวกันเป็นก้อนและทำให้น้ำเสียมีสภาพเป็นกรด ถ้าหากโรงงาน

มีการจัดการที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นที่มาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือ ก๊าซไข่เน่า



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานยางชั้นก่อนทำการบำบัด

4.2 ผลการทดลองของระบบบำบัดน้ำเสีย

4.2.1 ระยะเริ่มต้นเดินระบบ (start up)

การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสียเอปียอร์ จำลองในห้องปฏิบัติการ เริ่มต้นโดยการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศจากโรงงานยางชั้นในจังหวัดชลบุรี เติมลงไปจนถึงปฏิกรณ์ประมาณ 30 % ของปริมาตรถึงปฏิกรณ์ ทำการป้อน (feed) น้ำเสียเข้าระบบ ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 5 วัน (HRT 5 วัน) ให้ตะกอนจุลินทรีย์ปรับตัวเข้ากับน้ำเสียทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ (3, 5 และ 7 แผ่นกั้น)

4.2.2 การเดินระบบเอปียอร์ภายใต้ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 5 วัน ทั้ง 3 อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ (OLR)

จุดประสงค์หลักของการทดลองนี้ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบเอปียอร์ เนื่องจากถึงปฏิกรณ์มีจำนวนแผ่นกั้นต่างกัน และที่อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ต่างกัน คือ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ภายใต้ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์เดียวกันทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์คือ 5 วัน โดยเดินระบบเป็นเวลา 90 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าระบบเอปียอร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์อยู่ในช่วง $27.6 - 23.5^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิเฉลี่ย $27.7 \pm 1.37^{\circ}\text{C}$ ส่วนอุณหภูมิน้ำที่ออกจากระบบมีค่าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิของน้ำเสียที่ออกจากระบบ

อัตราภาระ บรรทุก	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)					
	เอปียาร์ - 3 แผ่นกั้น		เอปียาร์ - 5 แผ่นกั้น		เอปียาร์ - 7 แผ่นกั้น	
	ช่วง	$\bar{x} \pm \text{SD}$	ช่วง	$\bar{x} \pm \text{SD}$	ช่วง	$\bar{x} \pm \text{SD}$
1	30.0 – 24.6	27.9 \pm 1.78	30.5 – 24.9	28.2 \pm 1.67	30.5 – 24.6	27.9 \pm 1.72
2	29.9 – 25.1	27.2 \pm 1.33	29.8 – 25.0	27.2 \pm .29	30.0 – 25.1	27.2 \pm 1.40
3	28.8 – 26.3	27.7 \pm 0.75	29.0 – 26.5	27.7 \pm 0.69	28.6 – 26.4	27.7 \pm 0.68

หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

เมื่อนำอุณหภูมิของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 (ตารางภาคผนวกที่ ก-1) ที่กำหนดอุณหภูมิน้ำทิ้งไม่เกิน 40°C แล้วพบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถยอมรับได้

4.2.2.2 พีเอช

จากการทดลองค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ อยู่ในช่วง 5.00 – 7.51 ค่าเฉลี่ย 5.49 ± 0.70 ส่วนพีเอชน้ำที่ออกจากระบบมีค่าดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.2 – 4.4

ตารางที่ 4.3 พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

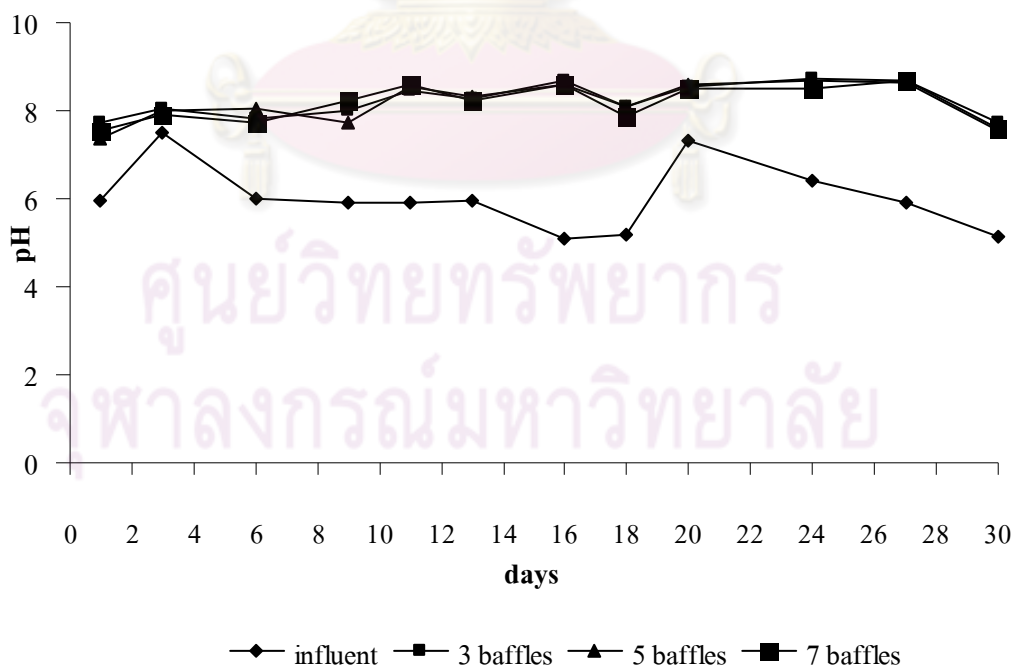
อัตราภาระ บรรทุก	สารอินทรีย์*	น้ำเสียเข้าระบบ	พีเอช		
			น้ำเสียออกจากระบบเอปียาร์		
			3 แผ่นกั้น	5 แผ่นกั้น	7 แผ่นกั้น
1	ช่วง	5.11 – 7.51	7.71 – 8.73	7.37 – 8.66	7.56 – 8.68
	\bar{x}	6.03	8.23 \pm 0.38	8.18 \pm 0.46	8.17 \pm 0.42
2	ช่วง	5.04 – 5.22	7.17 – 8.49	7.09 – 8.51	7.28 – 8.60
	\bar{x}	5.39	7.88 \pm 0.49	7.87 \pm 0.53	7.94 \pm 0.51
3	ช่วง	5.05 – 5.24	8.18 – 8.65	8.26 – 8.59	8.31 – 8.58
	\bar{x}	5.14	8.37 \pm 0.15	8.40 \pm 0.10	8.44 \pm 0.09

หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

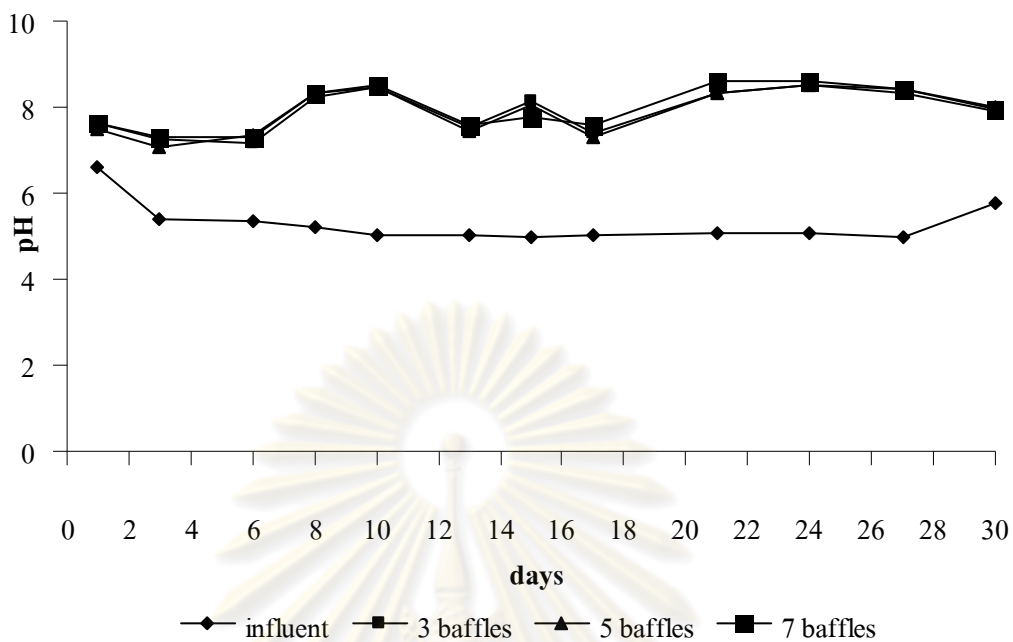
จากตารางพบว่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้น โดยในช่วง อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบยังสามารถรักษา ค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบ แต่เมื่ออัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มเป็น 2 และ 3 กิโลกรัม ชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีความเป็นด่าง มากกว่าน้ำที่ออกจากระบบ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใน กระบวนการซัลเฟตรีดักชันซึ่งมีการนำไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไปใช้ในปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ ดังสมการ



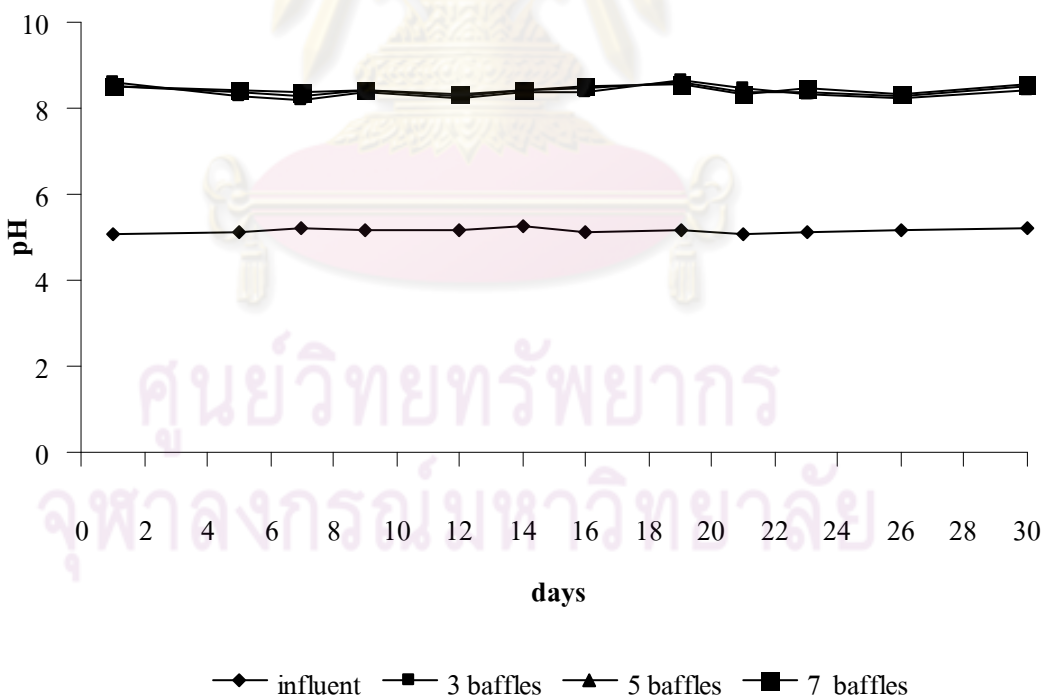
โดยพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6 – 7.6 ถ้าพีเอชมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพลดลง (Rittmann and McCarty, 2001) จากการทดลองพีเอชของระบบ สูงกว่า 7.6 จะส่งผลต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (Methane Production Bacteria: MPB) ทำให้ กระบวนการทำงานเกิดซ้ำมีการผลิตมีเทนน้อยลง หรือระบบหยุดการย่อยสลายสารอินทรีย์ (เกรียงศักดิ์, 2543) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์กับ มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 (ตารางภาคผนวกที่ ก – 1) พบว่า พีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



ภาพที่ 4.2 พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุก สารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.3 พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.4 พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

4.2.2.3 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ได้มีการวิเคราะห์ซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบและเจือจางน้ำเสียให้มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัม ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ซีโอดีจะเท่ากับ 5,000, 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามลำดับ) และเมื่อเดินระบบทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ จนเข้าสู่ภาวะคงตัวที่ระยะเวลาที่พหุคูณศาสตร์ 5 วัน พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียาร์ 3 แผ่นกั้น มีปริมาณซีโอดีของน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ 504.7 ± 69.1 , $1,346.4 \pm 113.11$ และ $4,738.6 \pm 91.35$ มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามลำดับ) สามารถบำบัดซีโอดี เฉลี่ย 89.92 %, 85.31 % และ 71.35 % (ตามลำดับ) ส่วนระบบเอปียาร์ 5 แผ่นกั้น มีปริมาณซีโอดีของน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ 370.4 ± 98.3 , $1,197.7 \pm 93.45$ และ $3,991.6 \pm 112.38$ มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามลำดับ) สามารถบำบัดซีโอดี เฉลี่ย 92.77 %, 86.83 % และ 78.40 % (ตามลำดับ) และระบบเอปียาร์ 7 แผ่นกั้นมีปริมาณซีโอดีของน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ 304.8 ± 72.2 , $1,001.3 \pm 123.29$ และ $3,804.5 \pm 84.47$ มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามลำดับ) สามารถบำบัดซีโอดี เฉลี่ย 75.14 %, 78.40 % และ 80.36 % (ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4.4 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.5 – 4.7

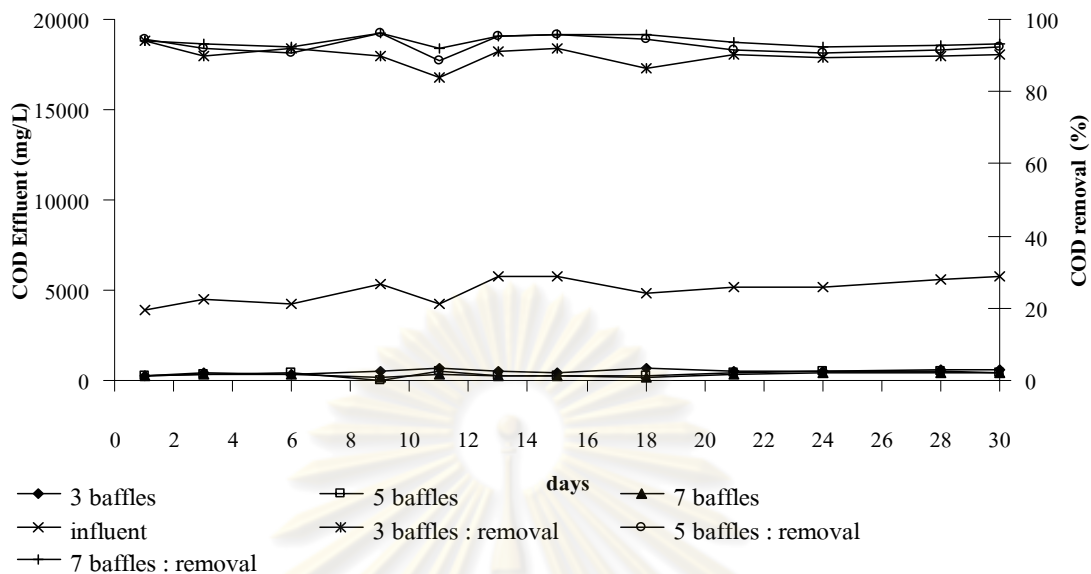
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ซีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระ
 บรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

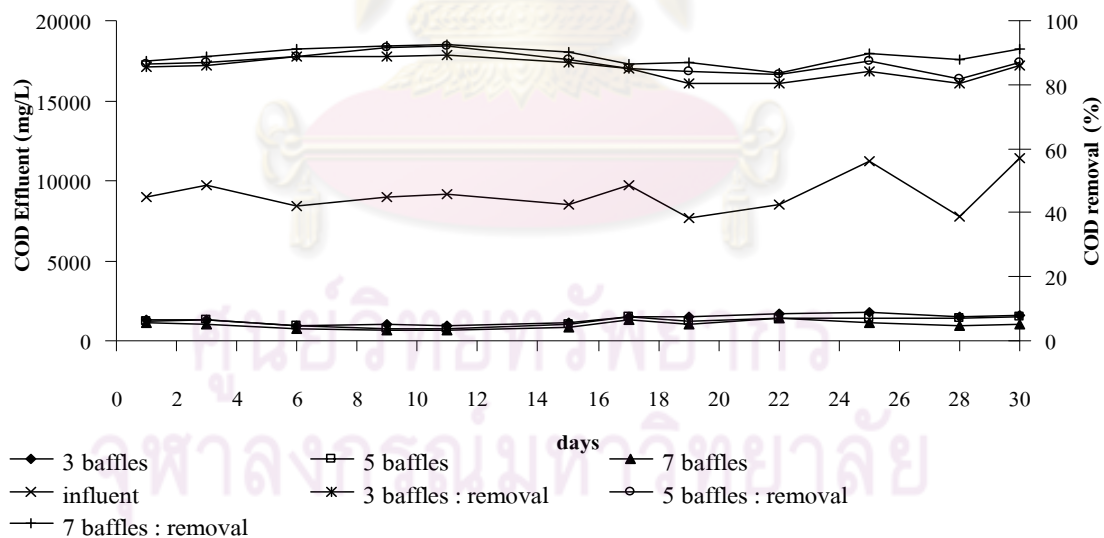
อัตราภาระ บรรทุก สารอินทรีย์*	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำเสียออกจากระบบเอปียาร์			
		3 แผ่นกั้น	5 แผ่นกั้น	7 แผ่นกั้น	
1	ช่วง	3,897.1– 5,017.0	225.0-679.0	218.0 – 487.0	204.0-402.5
	$\bar{x} \pm SD$	5,017.1 \pm 377.0	504.7 \pm 69.1	370.4 \pm 98.3	304.8 \pm 72.2
	% การ บำบัด	-	89.92 \pm 2.66	92.77 \pm 2.42	93.84 \pm 1.54
2	ช่วง	7,680.4–1,424.0	933.1-1755.0	736.0-1484.0	699.2-1390.0
	$\bar{x} \pm SD$	8,324.3 \pm 1,190.9	1,346.4 \pm 113.11	1,197.7 \pm 93.48	1,001.3 \pm 123.29
	% การ บำบัด	-	85.31 \pm 3.04	86.93 \pm 3.15	89.07 \pm 2.66
3	ช่วง	13,056.0–7,934.0	1,483.1-4950.0	1,822.8-4224.0	819.3-3978.0
	$\bar{x} \pm SD$	16,122.5 \pm 588.04	4,738.6 \pm 91.35	3,991.6 \pm 112.38	,3804.5 \pm 84.84
	% การ บำบัด	-	71.53 \pm 0.88	76.07 \pm 1.12	77.21 \pm 1.07

หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

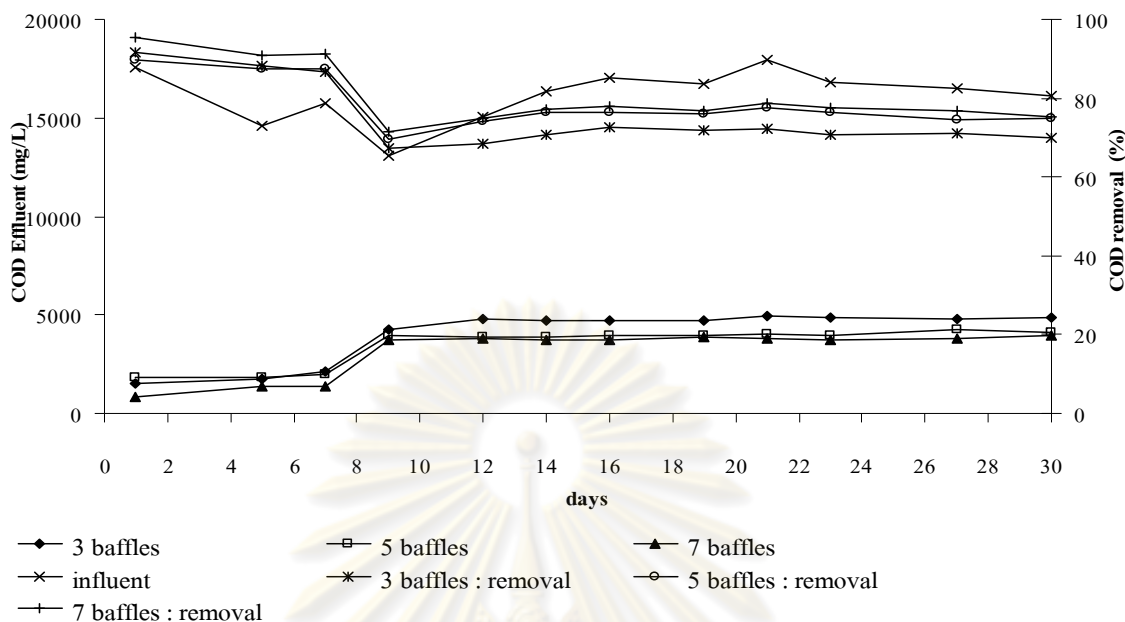
ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.5 ซีโอดีและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



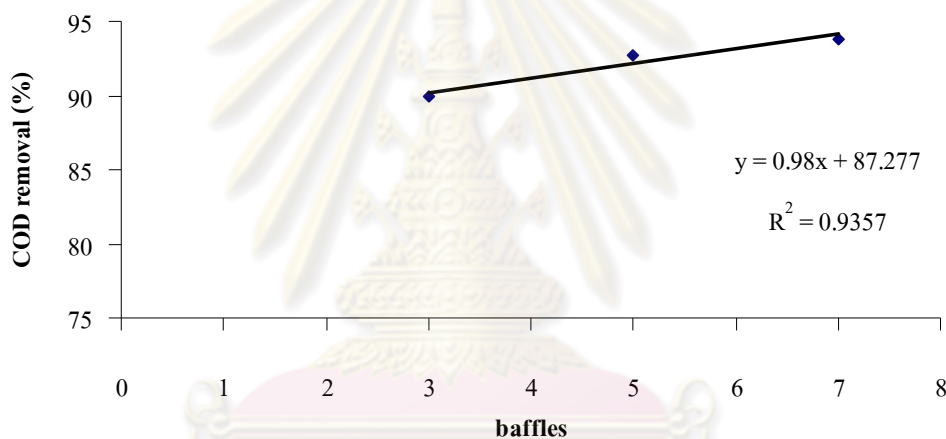
ภาพที่ 4.6 ซีโอดีและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.7 ซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

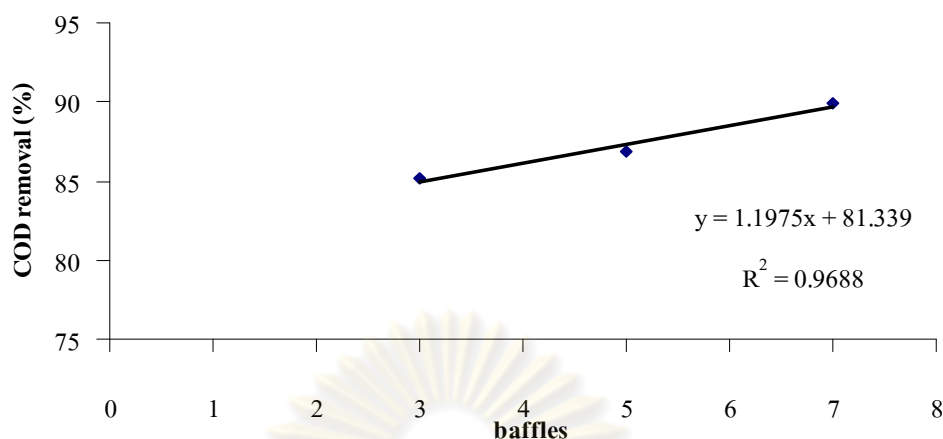
จากผลการทดลองเดินระบบที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ (1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน) ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีมีแนวโน้มลดลง โดยที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์น้อยที่สุด (1 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน) ระบบเอปีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีได้สูงสุด และเมื่อเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ เป็น 2 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีจะลดลงจนกระทั่งเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีจะต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์หรือความเข้มข้นของน้ำเสียนั้น ทำให้อัตราการบำบัดซีไอดีเพิ่มขึ้น จะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบได้ ทั้งนี้เพราะปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งเป็นผลผลิตของแบคทีเรียสร้างกรดจะสะสมขึ้นในระบบอย่างรวดเร็วจนถึงขั้นยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ในที่สุดระบบก็จะเสียสมดุลและถึงขั้นล้มเหลวได้ ระบบที่ดีต้องมีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมและไม่ควรสูงเกินไป (ปิยะ, 2544) และเมื่อพิจารณาแต่ละถึงปฏิบัติการพบว่า ระบบเอปีอาร์ 7 แผ่นกั้นมีประสิทธิภาพดีสุดในการบำบัดซีไอดีไม่ว่าจะเป็นที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่ระดับใด น้ำเสียที่ออกจากระบบเอปีอาร์ 7 แผ่นกั้น จะมีปริมาณซีไอดีเฉลี่ยต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับในแต่ละ

ถึงปฏิกรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนแผ่นกั้นในระบบเอปียาร์มากขึ้น เป็นการเพิ่มโอกาสการสัมผัสสื่อน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ เมื่อน้ำเสียสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีกว่า จะทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ความสกปรกของน้ำเสียก็ลดลง ซีโอดีในน้ำเสียจึงลดลง ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจึงเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ คือ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน กับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 (ตารางภาคผนวกที่ ก - 1) แล้วพบว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานอยู่มาก และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีแล้วพบว่า มีความสัมพันธ์กันในแนวเส้นตรง ดังภาพที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 (तालลำดับ)



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากภาพที่ 4.8 สมการความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี คือ $y = 0.98x + 87.277$ เมื่อจำนวนแผ่นกั้นมากขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากภาพที่ 4.9 จำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีความสัมพันธ์กันในลักษณะเส้นตรง มีสมการคือ $y = 1.1975x + 81.339$ โดยเมื่อแผ่นกั้นมีจำนวนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากภาพที่ 4.10 จำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีความสัมพันธ์กันในลักษณะเช่นเดียวกับที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 1 และ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน คือในแนวเส้นตรง มีสมการคือ $y = 1.305x + 71.442$ โดยเมื่อแผ่นกั้นมีจำนวนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้น

4.2.2.4 สภาพต่าง (alkalinity)

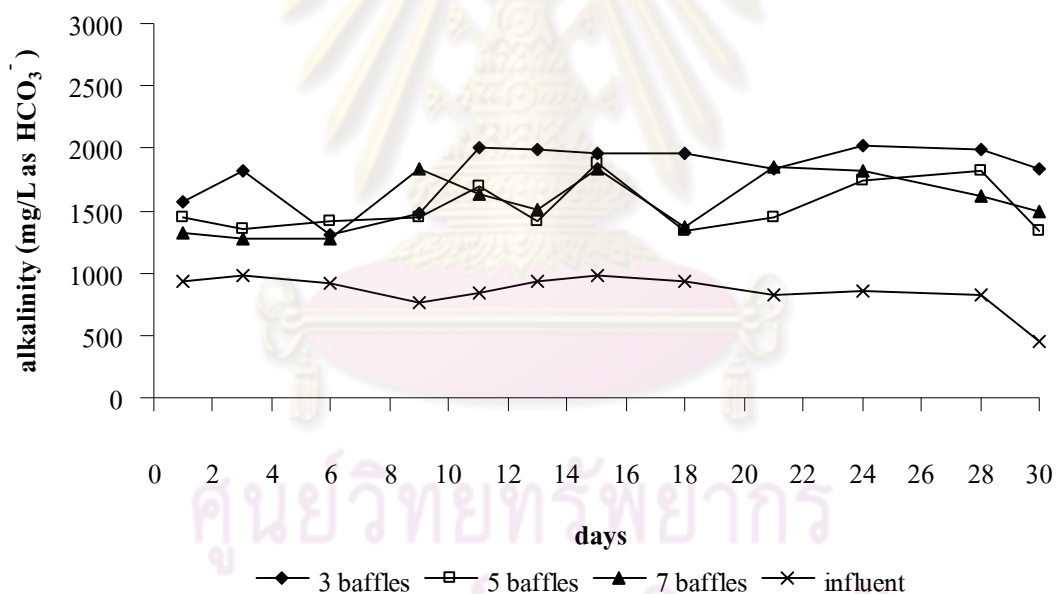
ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 และ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าสภาพต่างเฉลี่ย 886 ± 69.92 มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^- และ 781 ± 98.80 มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^- (ตามลำดับ) ระบบเอปียาร์ 3 แผ่นกั้น มีค่าสภาพต่างของน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ $1,813 \pm 74.56$ และ $1,793 \pm 86.49$ มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^- (ตามลำดับ) ระบบเอปียาร์ 5 แผ่นกั้น มีค่าสภาพต่างของน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ $1,528 \pm 115.26$ และ 1776 ± 117.07 มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^- (ตามลำดับ) ระบบเอปียาร์ 7 แผ่นกั้น มีค่าสภาพต่างของน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ $1,566 \pm 150.74$ และ 1782 ± 107.97 มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^- (ตามลำดับ) และเมื่ออัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ค่าสภาพต่างของน้ำเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ $1,645 \pm 63.46$ มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^- ส่วนน้ำออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีค่าเท่ากับ $2,549 \pm 61.78$, $2,350 \pm 95.11$ และ $2,424 \pm 63.50$ มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^- (ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4.5 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.11 – 4.13

ตารางที่ 4.5 สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

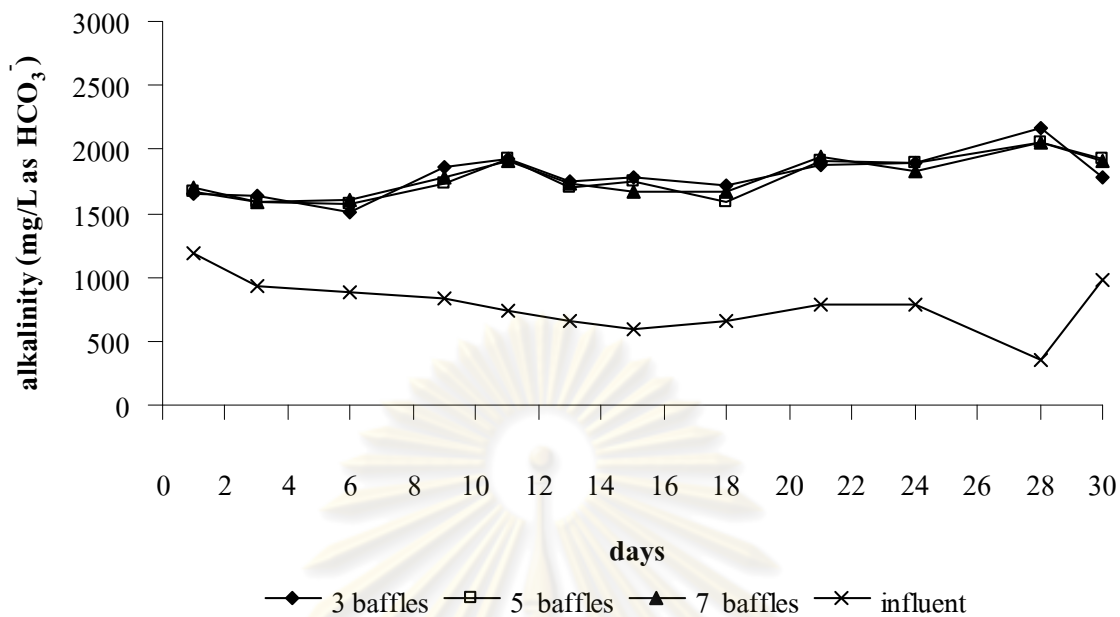
อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์*	ช่วง $\bar{x} \pm \text{SD}$	สภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)			
		น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำเสียออกจากระบบเอปียาร์		
			3 แผ่นกั้น	5 แผ่นกั้น	7 แผ่นกั้น
1	ช่วง	250 - 976	1,298-2,017	1,335-1,875	1,275-1,844
	$\bar{x} \pm \text{SD}$	886 ± 195.55	$1,814 \pm 239.01$	$1,528 \pm 195.23$	$1,566 \pm 228.20$
2	ช่วง	1,188 - 350	1,513-2,163	1,575-2,050	1,587-2,050
	$\bar{x} \pm \text{SD}$	781 ± 211	$1,793 \pm 167.77$	$1,776 \pm 159.70$	$1,782 \pm 211.10$
3	ช่วง	1570 - 1725	2,100-2,725	1,725-2,595	1,725-2,736
	$\bar{x} \pm \text{SD}$	1645 ± 63.46	$2,549 \pm 201.04$	$2,350 \pm 305.22$	$2,424 \pm 343.69$

หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

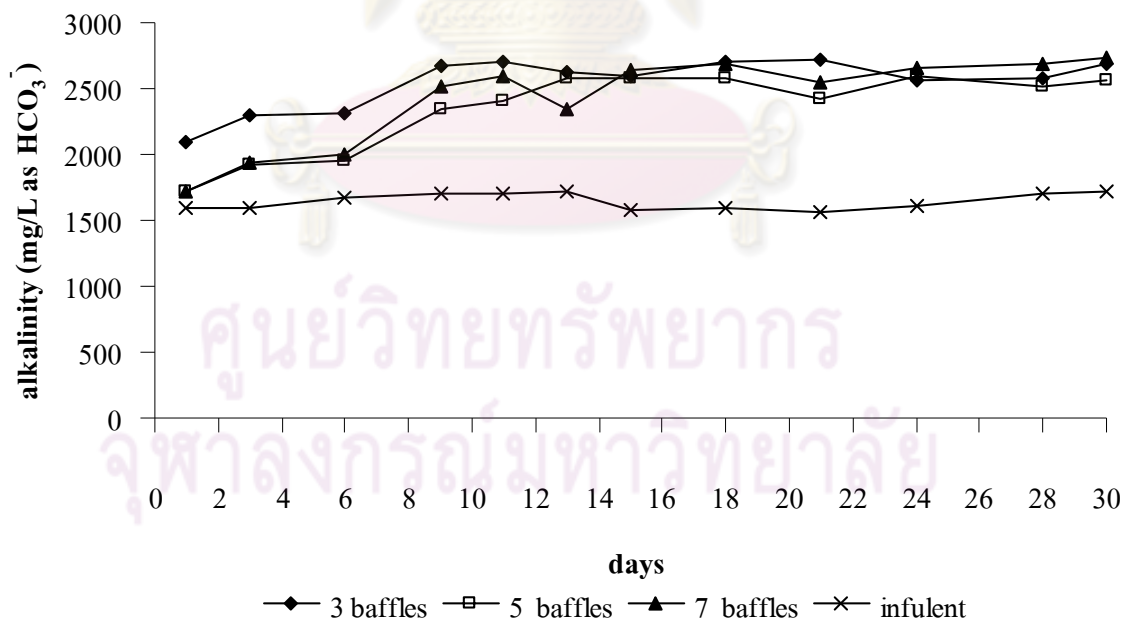
อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนการสร้างกรดเพิ่มขึ้น ขณะที่เกิดขั้นตอนการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นก๊าซชีวภาพช้ากว่า จึงทำให้ความต้านทานความเป็นกรดหรือสภาพด่างมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากน้ำเสียเข้าระบบมีสภาพต่างมากเกินพอที่จะต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชในระบบได้ดี เพราะกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในขั้นตอนการผลิตกรดจุลินทรีย์จะผลิตกรดไขมันระเหยง่ายออกมา ระบบต้องมีสภาพด่างสูงพอที่จะสะเทินกรดไขมันระเหยง่าย ต้องมีสภาพด่างที่มากเกินต่อการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายเป็นก๊าซชีวภาพ (ปิยะ, 2544) นอกจากนี้สภาพด่างที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการละลายน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ได้เป็นไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) สามารถทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบส่งผลให้สภาพด่างเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน โดยทั่วไปแล้วระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนควรมีสภาพด่างประมาณ 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^- (มันสินและมันรัชย์, 2545)



ภาพที่ 4.11 สภาพด่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.12 สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระ
บรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.13 สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระ
บรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

4.2.2.5 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids: VFAs)

จากผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน (ตามลำดับ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,793 \pm 182.12$ มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH $2,010 \pm 246.45$ มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH และ $3,748 \pm 165.72$ มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH (ตามลำดับ) กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเข้ามีปริมาณมาก เนื่องจากเกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน และมีการใช้กรดฟอร์มิกในกระบวนการผลิต จึงทำให้น้ำเสียมีกรดไขมันระเหยง่ายสูง เมื่อเดินระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ทั้งระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น พบว่า ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากระบบเท่ากับ 255 ± 63.92 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH 493 ± 22.35 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH และ 508 ± 106.65 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH (ตามลำดับ) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากระบบเท่ากับ 394 ± 87.78 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH 435 ± 75.40 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH และ 366 ± 50.92 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH (ตามลำดับ) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากระบบเท่ากับ $1,129 \pm 78.52$ มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH $1,045 \pm 105.99$ มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH และ 998 ± 45.75 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH (ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4.6 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.14 - 4.15

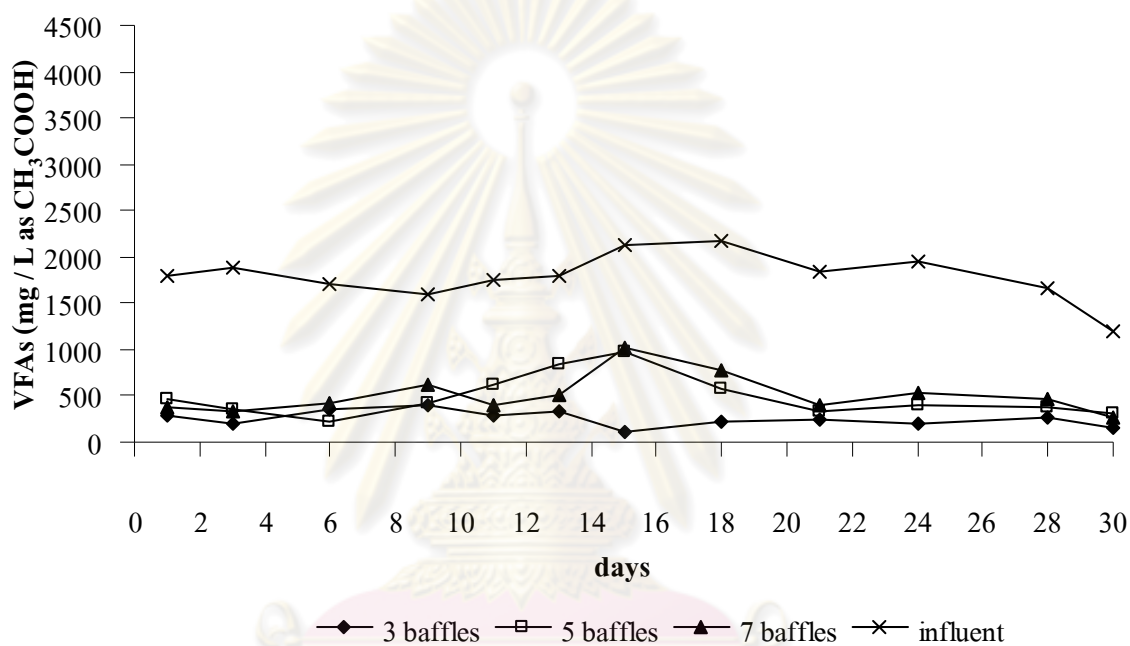
ตารางที่ 4.6 กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้นที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์*	กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH ₃ COOH)	น้ำเสียออกจากระบบเอปียาร์			
		น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำเสียออกจากระบบเอปียาร์		
			3 แผ่นกั้น	5 แผ่นกั้น	7 แผ่นกั้น
1	ช่วง	834 - 976	113 - 391	226 - 975	255 - 1013
	$\bar{x} \pm SD$	1,793 \pm 182.12	255 \pm 63.92	493 \pm 22.35	508 \pm 106.65
2	ช่วง	2,010 - 2,350	292 - 556	256 - 584	208 - 578
	$\bar{x} \pm SD$	2,010 \pm 246.45	394 \pm 87.87	435 \pm 75.40	366 \pm 50.92
3	ช่วง	3,524 - 4,063	463 - 1396	563 - 1350	250 - 1330
	$\bar{x} \pm SD$	3,748 \pm 165.72	1,129 \pm 78.52	1,045 \pm 105.99	998 \pm 45.75

หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

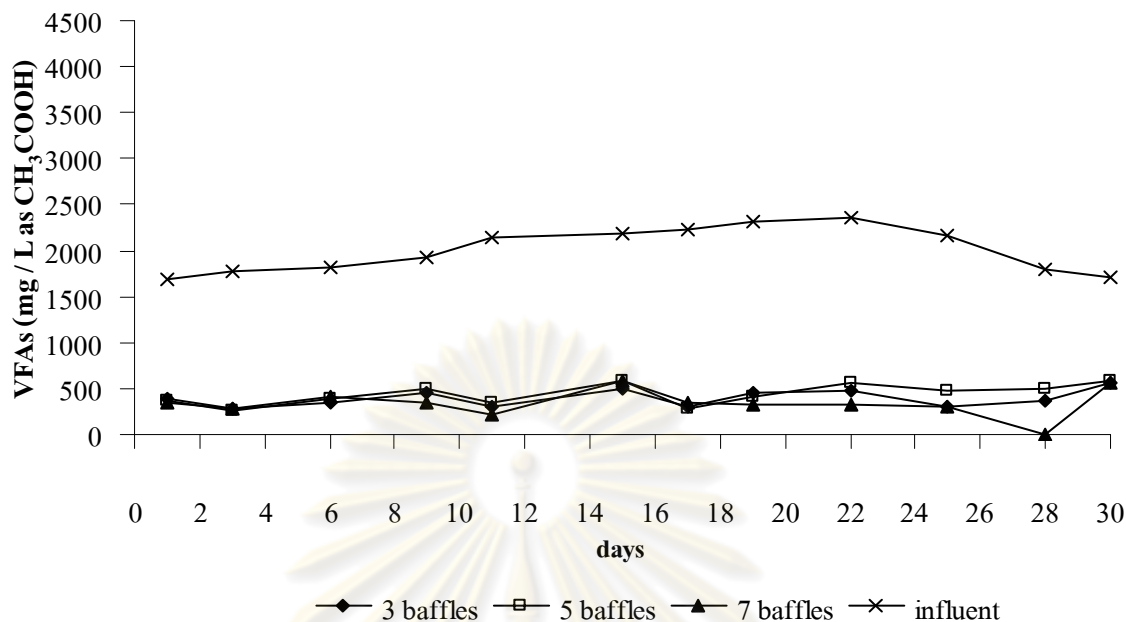
จากตารางพบว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายมีแนวโน้มลดลง ทุก ๆ ถึงปฏิกรณ์น้ำเสียที่ออกจากระบบจะมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำเสียก่อนเข้าระบบ โดยที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 และ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์มีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากระบบเพิ่มปริมาณมากขึ้น โดยถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น มีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายมากที่สุด รองลงมาคือ 5 และ 7 แผ่นกั้น (ตามลำดับ) ดังนั้นสามารถอธิบายได้ว่าสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียถูกย่อยสลายให้เป็นกรดไขมันระเหยง่ายก่อนย่อยต่อไปเป็นขั้นสุดท้ายให้เป็นก๊าซมีเทน ระบบที่ทำงานได้ดีเป็นระบบที่ย่อยกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นก๊าซมีเทนได้มากที่สุดซึ่งมีผลทำให้กรดไขมันระเหยง่ายเหลือน้อยที่สุด ส่วนระบบที่ทำงานได้ไม่ดีไม่สามารถย่อยกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นก๊าซมีเทนย่อมมีกรดไขมันระเหยง่ายสะสมอยู่มาก โดยปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 50 – 500 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH₃COOH และไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH₃COOH (มันสีนและมันรักษ์, 2545) ระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 และ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบยังสามารถทำงานได้ดีเนื่องจากปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่เมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบทำงานได้แยกลง จะเห็นได้จากมีการ

สะสมของกรดไขมันระเหยง่าย เนื่องจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะต้องมีแบคทีเรีย acetogen สำหรับย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ทั้งหลายให้กลายเป็น HAc (ซึ่งเป็นกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอน 2 อะตอม) แต่เนื่องจากมีเพียงแต่ HAc เท่านั้นที่สามารถถูกย่อยเป็นมีเทนได้ ถ้าไม่สามารถให้เปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายให้กลายเป็น HAc ได้ กรดไขมันระเหยง่ายจะสะสมในระบบ (เท่ากับมีซีโอดีสะสมอยู่ในระบบ)

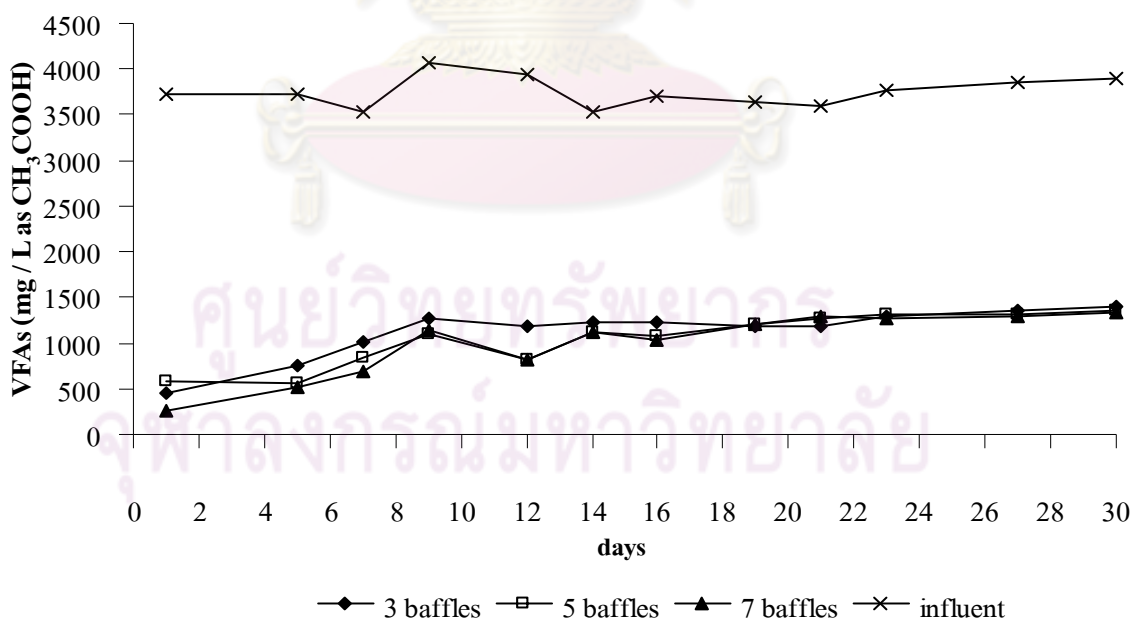


ภาพที่ 4.14 กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้นที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.15 กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

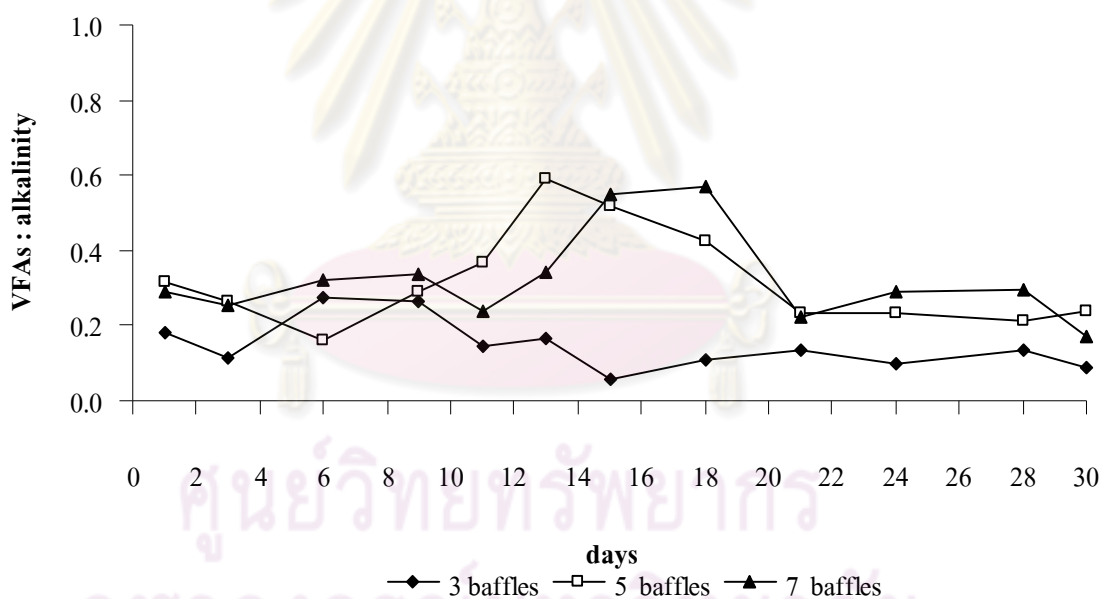


ภาพที่ 4.16 กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

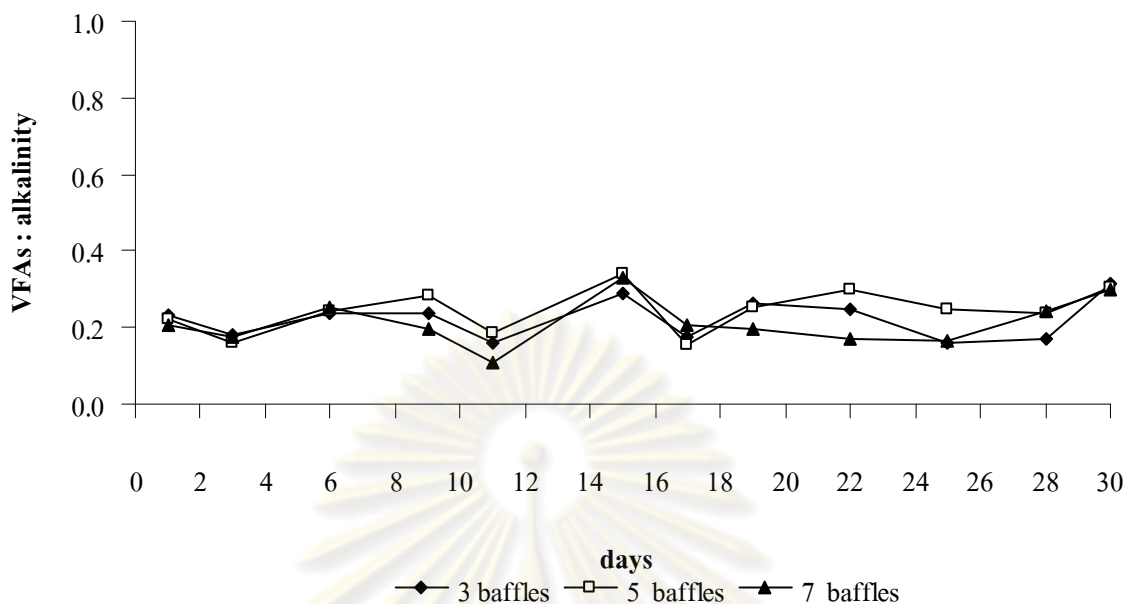
ก) อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)

อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง มีความสำคัญต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความจุบัฟเฟอร์ของระบบ โดยกรดไขมันระเหยง่ายเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบ โดยที่สภาพด่างทำหน้าที่รักษาสมดุลของระบบ เปรียบเสมือนบัฟเฟอร์ของระบบมีผลทำให้พีเอชของระบบอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง และแสดงถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบซึ่งรักษาระบบให้มีพีเอชค่อนข้างคงที่และทนต่อการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยง่ายได้ ถ้ากรดอินทรีย์ในระบบมีมากเกินไปจะมีผลทำให้สภาพด่างเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์ขนาด 3 แผ่นกั้น มีอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 ± 0.06 ส่วนระบบเอปียอร์ 5 แผ่นกั้น มีอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.32 ± 0.13 และระบบเอปียอร์ 7 แผ่นกั้น มีอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.32 ± 0.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในระบบเอปียอร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างมีค่าน้อยกว่า 0.4 (ดังตารางภาคผนวกที่ ค-28, ค-29 และ ค-30 และสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.17) ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์ขนาด 3 แผ่นกั้น มีอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 ± 0.05 ส่วนระบบเอปียอร์ 5 แผ่นกั้น มีอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.24 ± 0.06 และระบบเอปียอร์ 7 แผ่นกั้น มีอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.21 ± 0.06 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างของระบบเอปียอร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ มีค่าน้อยกว่า 0.4 (ดังตารางภาคผนวกที่ ค-31, ค-32 และ ค-33 และสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.18) ซึ่งสอดคล้องกับพีเอชของระบบอยู่ในระดับที่เป็นกลาง แต่เมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์ขนาด 3 แผ่นกั้น มีอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ย 0.44 ± 0.08 ส่วนระบบเอปียอร์ 5 แผ่นกั้น มีอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 ± 0.08 จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างของ 1 และ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีค่าสูงเกิน 0.4 แต่ยังไม่เกิน 0.8 ซึ่งเป็นค่าที่พอร์รับได้แต่ระบบเอปียอร์ 7 แผ่นกั้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เดียวกันอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ย 0.40 ± 0.11 ดังตารางภาคผนวกที่ ค-34, ค-35 และ ค-36 ค่าที่ได้ต่ำกว่า 0.4 พอดี (ดังภาพที่ 4.19) จะสังเกตได้จากปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอัตราการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ช้า ทำให้เกิดการสะสมตัวของกรดไขมัน

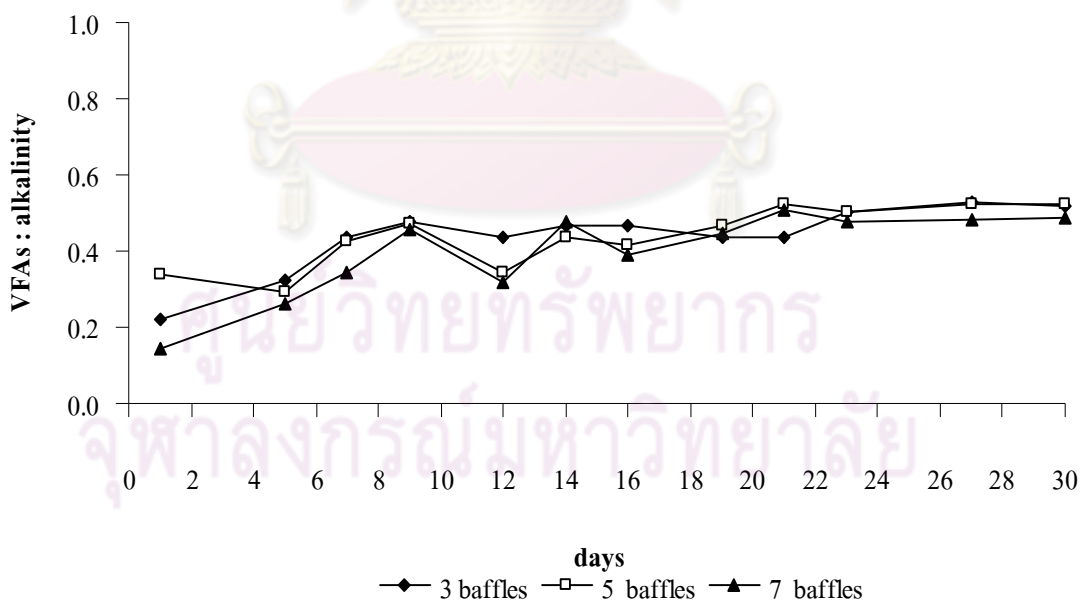
ระเหยง่ายภายในระบบ โดยทั่วไปอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง ถ้าน้อยกว่า 0.4 ถือได้ว่าระบบยังคงทำงานได้ดี เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบสามารถปรับตัวทำงานกับน้ำเสียได้ดี และสามารถรักษาระดับกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างได้อย่างดี เพราะมีกำลังบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มากกว่า 0.8 แล้วระบบมีบัฟเฟอร์ต่ำ ระบบอาจเกิดการล้มเหลวได้ (กิตติคุณ และวิชาญ, 2549) ซึ่งบ่งชี้ได้ว่า ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 และ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอบีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ มีเสถียรภาพในการทำงานดี แต่เมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างมีค่าสูงขึ้น แต่ก็สูงขึ้นไม่มาก ระบบยังคงรับได้และยังคงมีเสถียรภาพในการทำงานอยู่ ในการใช้งานจริง ผลการทดลองข้างต้นเป็นค่าที่รับได้ เพราะในการทดลองไม่ได้มีการใช้สารเคมีปรับค่าต่างของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ นั่นหมายถึง เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและลดต้นทุนการผลิต



ภาพที่ 4.17 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.18 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ เอปปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.19 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ เอปปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

4.2.2.6 ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)

ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 285 ± 82.16 มิลลิกรัมต่อลิตร 653 ± 233.38 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 800 ± 354.15 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามลำดับ) เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดด้วยระบบเอปียอร์มีลักษณะดังภาพภาคผนวกที่ จ-3 จากการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ พบว่า อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่ออกจากระบบของถังปฏิกรณ์เอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยดังนี้ เท่ากับ 56 ± 13.54 มิลลิกรัมต่อลิตร 48 ± 21.87 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 36 ± 16.43 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามลำดับ) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่ออกจากระบบของถังปฏิกรณ์เอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยดังนี้ เท่ากับ 80 ± 16.16 มิลลิกรัมต่อลิตร 66 ± 18.70 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 54 ± 19.45 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามลำดับ) และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่ออกจากระบบของถังปฏิกรณ์เอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยดังนี้ เท่ากับ 93 ± 30.86 มิลลิกรัมต่อลิตร 115 ± 36.78 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 81 ± 23.08 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามลำดับ) ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยของระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เท่ากับ 79.40 %, 80.97 % และ 85.99 % (ตามลำดับ) ส่วนระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เท่ากับ 85.66 %, 87.71 % และ 90.12 % (ตามลำดับ) และระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เท่ากับ 86.05 %, 82.29 % และ 87.18 % (ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4.7

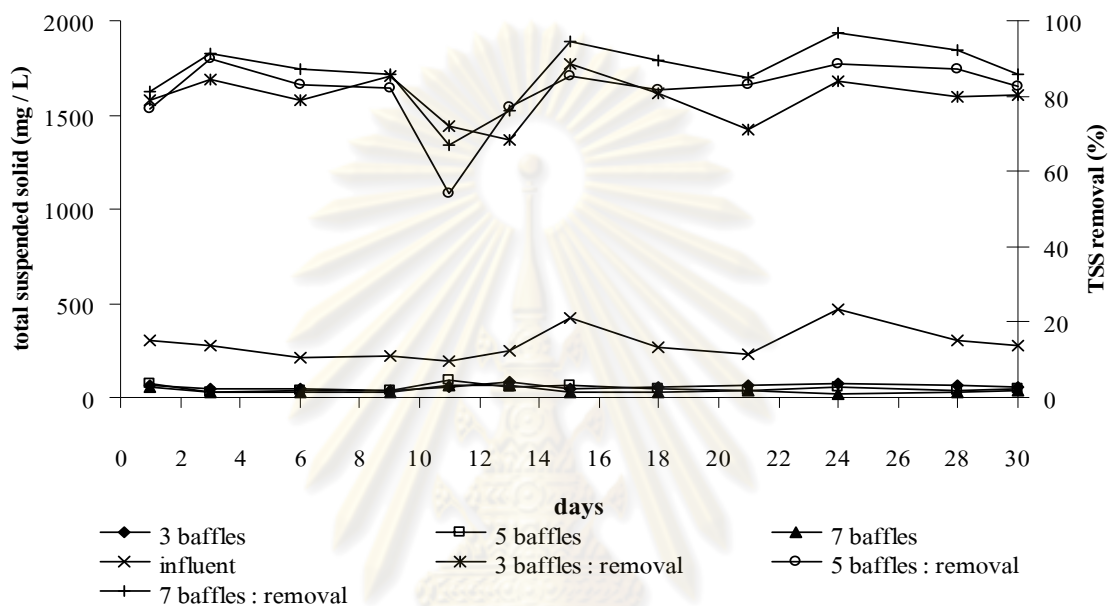
ตารางที่ 4.7 ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์*	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำเสียออกจากระบบเอปียาร์			
		3 แผ่นกั้น	5 แผ่นกั้น	7 แผ่นกั้น	
1	ช่วง	197 - 465	33 - 79	27 - 90	14 - 65
	$\bar{x} \pm SD$	285 ± 82.16	56 ± 13.54	51 ± 17.31	36 ± 16.43
	% การบำบัด	-	79.40 ± 6.10	82.32 ± 9.30	85.99 ± 8.30
2	ช่วง	220 - 1,040	60 - 110	30 - 95	10 - 80
	$\bar{x} \pm SD$	653 ± 233.38	80 ± 16.16	66 ± 18.70	54 ± 19.45
	% การบำบัด	-	85.66 ± 8.15	87.71 ± 7.55	90.12 ± 7.77
3	ช่วง	800 - 1,756	60 - 150	35 - 175	55 - 115
	$\bar{x} \pm SD$	800 ± 354.15	93 ± 30.86	115 ± 36.78	81 ± 23.08
	% การบำบัด	-	86.05 ± 7.04	82.29 ± 8.19	87.18 ± 5.62

หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

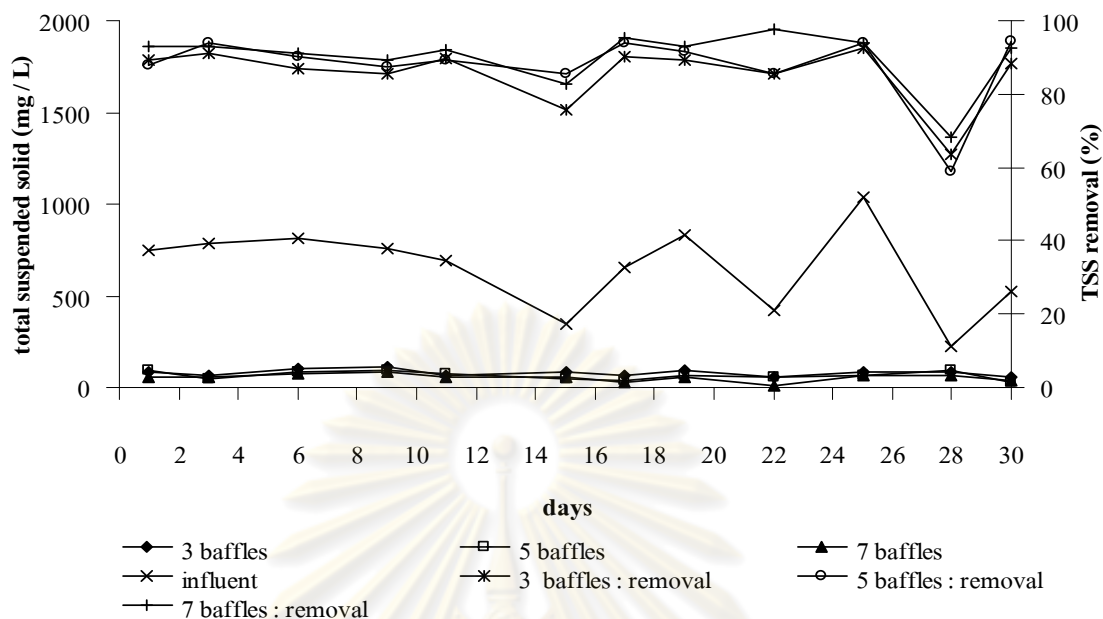
ประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยของระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการไม่ว่าจะเป็นถึงปฏิบัติการที่มีขนาด 3, 5 หรือ 7 แผ่นกั้น ยังคงมีประสิทธิภาพสูง น้ำเสียที่ออกจากระบบมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยลดลง (ภาพที่ 4.20 - 4.22) โดยทั้ง 3 อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ ถึงปฏิบัติการขนาด 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด เนื่องจากระบบเอปียาร์มีแผ่นกั้นที่สามารถดักและตกตะกอนของแข็งแขวนลอยได้ดี แม้ น้ำเสียนั้นจะมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยอยู่สูงและมีการเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ก็ตาม (ชีโอดีเพิ่ม) โดยเฉพาะภายในแผ่นกั้นที่ 1 ของแต่ละถึงปฏิบัติการจะมีตะกอนขวนอนกั้นอยู่ นั่นเป็นเพราะเศษยางที่ปะปนมากับน้ำเสีย แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยก็ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539 ที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการและทั้ง 3 อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ยังคงมีประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอยของระบบเมื่อทำการวิเคราะห์

ความสัมพันธ์ทางสถิติแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยของระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่า 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

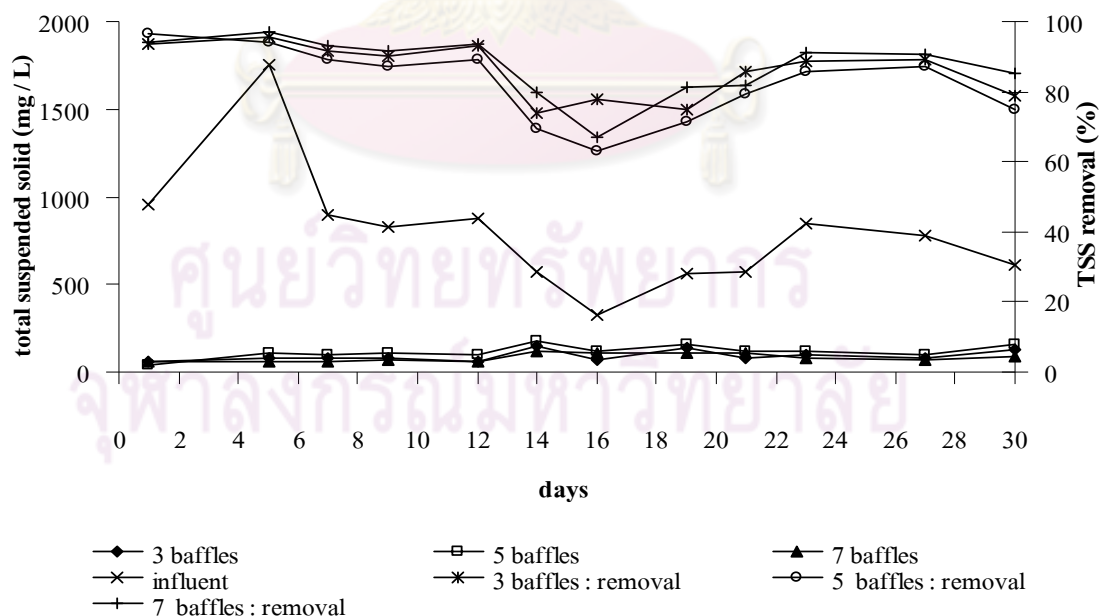


ภาพที่ 4.20 ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.21 ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย ที่อัตราการบรรทุกทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.22 ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย ที่อัตราการบรรทุกทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

4.2.2.7 การกำจัดซัลเฟต (sulfate removed) และ การเกิดซัลไฟด์ (sulfide)

การกำจัดซัลเฟตทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะอาศัยกลไกการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม SRB (Sulfate Reduction Bacteria) ซึ่งทำหน้าที่รีดิวซ์ซัลเฟตให้กลายเป็นซัลไฟด์ ในการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงการกำจัดซัลเฟตและการเกิดซัลไฟด์

ก) การกำจัดซัลเฟต

ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียเข้าระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 852 ± 111.26 , $1,048 \pm 388.26$ และ $1,362 \pm 229.99$ มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามลำดับ) เมื่อทำการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ พบว่า อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่ออกจากระบบของถังปฏิกรณ์เอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 19.37 ± 7.25 , 21.76 ± 8.12 และ 14.70 ± 6.39 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟต คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การบำบัด 97.71 %, 97.42 % และ 98.30 % (ตามลำดับ) ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่ออกจากระบบของถังปฏิกรณ์ เอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 11.76 ± 6.25 , 12.83 ± 8.38 และ 8.02 ± 7.01 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การบำบัด 98.78 %, 98.57 % และ 99.25 % (ตามลำดับ) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่ออกจากระบบของถังปฏิกรณ์เอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 23.94 ± 3.66 , 20.56 ± 8.77 และ 6.38 ± 3.24 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟต คิดเป็น 98.19 %, 98.42 % และ 99.50 % (ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียาร์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

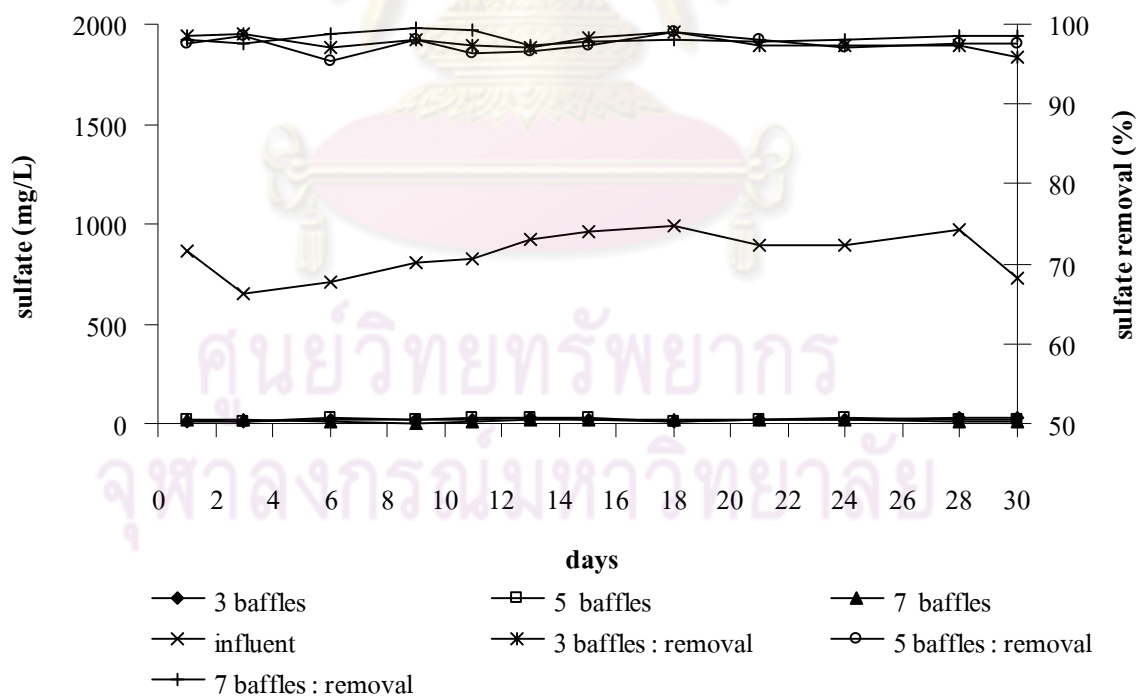
อัตราภาระ บรรทุก สารอินทรีย์*	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำเสียออกจากระบบเอปียาร์			
		3 แผ่นกั้น	5 แผ่นกั้น	7 แผ่นกั้น	
1	ช่วง	648 - 990	7.10 – 30.15	8.97 – 32.96	4.61 – 23.92
	$\bar{x} \pm SD$	851 ± 111.26	19.37 ± 7.25	21.76 ± 8.12	14.70 ± 6.39
	% การ บำบัด	-	97.71 ± 0.90	97.42 ± 1.01	98.30 ± 0.67
2	ช่วง	220 – 1,040	3.98 – 26.41	2.11 – 32.02	1.96 – 23.92
	$\bar{x} \pm SD$	$1,048 \pm 388.26$	11.71 ± 5.20	12.83 ± 8.38	8.02 ± 7.01
	% การ บำบัด	-	98.78 ± 0.71	98.57 ± 1.21	99.25 ± 0.54
3	ช่วง	800 – 1,756	18.94 – 31.40	5.67 – 31.40	1.80 – 11.85
	$\bar{x} \pm SD$	$1,361 \pm 299.99$	23.94 ± 3.66	20.56 ± 8.77	6.38 ± 3.24
	% การ บำบัด	-	98.19 ± 0.48	98.42 ± 0.80	99.50 ± 0.30

หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

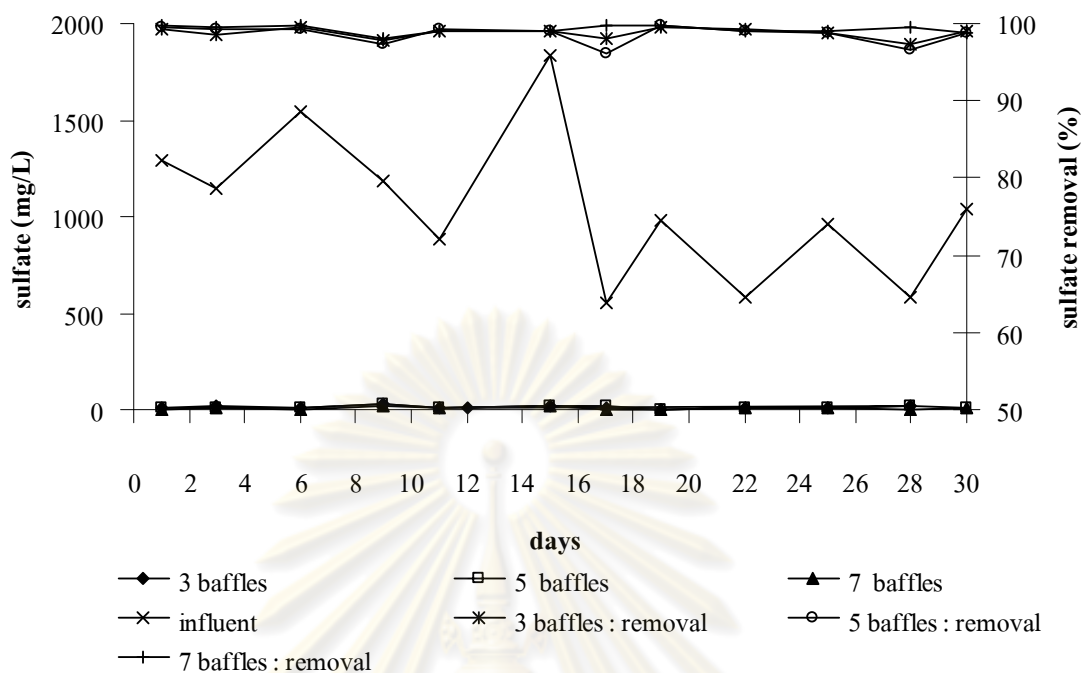
จากตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของซัลเฟตน้ำเสียเข้าและออกมีค่าต่างกันทั้ง 3 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ระบบเอปียาร์ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ดังภาพที่ 4.23 – 4.25 ในถึงปฏิกรณ์ที่มีความเข้มข้นของซัลเฟตต่ำประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ในถึงปฏิกรณ์จะสูง เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตของระบบ เอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่า 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สามารถอธิบายได้ว่า ระบบมีตะกอนจุลินทรีย์ SRB อยู่ ซึ่งทำหน้าที่รีดิวซ์ซัลเฟตกลายเป็นซัลไฟด์ ในกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน ในช่วงเริ่มต้นระบบจุลินทรีย์จะต้องปรับตัวให้คุ้นเคยและสามารถดำรงชีวิตให้อยู่ในน้ำเสียดังกล่าวให้ได้ และเมื่อทำการทดลองต่อไปพบว่าความเข้มข้นของซัลเฟต และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตค่อนข้างคงที่ แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตซึ่งเป็นแบคทีเรียที่

เกี่ยวข้องกับการกำจัดซัลเฟตนั้นสามารถเจริญเติบโตขึ้นได้ในน้ำเสียนี้ และเปลี่ยนรูปซัลเฟตไปอยู่ในรูปอื่น และเมื่อพิจารณาจำนวนแผ่นกั้น การกำจัดซัลเฟตจะเกิดในแผ่นกั้นที่ 1 มากที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพประมาณ 75 % ในทุก ๆ ระยะเวลาที่กักพักรักษาตัว เนื่องจากบริเวณแผ่นกั้นที่ 1 ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียเป็นหน่วยแรกจะพบกับความเข้มข้นของซัลเฟตมากที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณแผ่นกั้นอื่นที่ตามมา SRB มีการปรับตัวและอาจเกิดการคัดเลือกสายพันธุ์รวมทั้งการเพิ่มประชากรของ SRB ภายในบริเวณแผ่นกั้นที่ 1 เมื่อเดินระบบช่วงระยะเวลาหนึ่ง ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตสูงที่อัตราการระบบทุกสารอินทรีย์สูงก็ตาม (ระยะเวลากักพักรักษาตัวต่ำ)

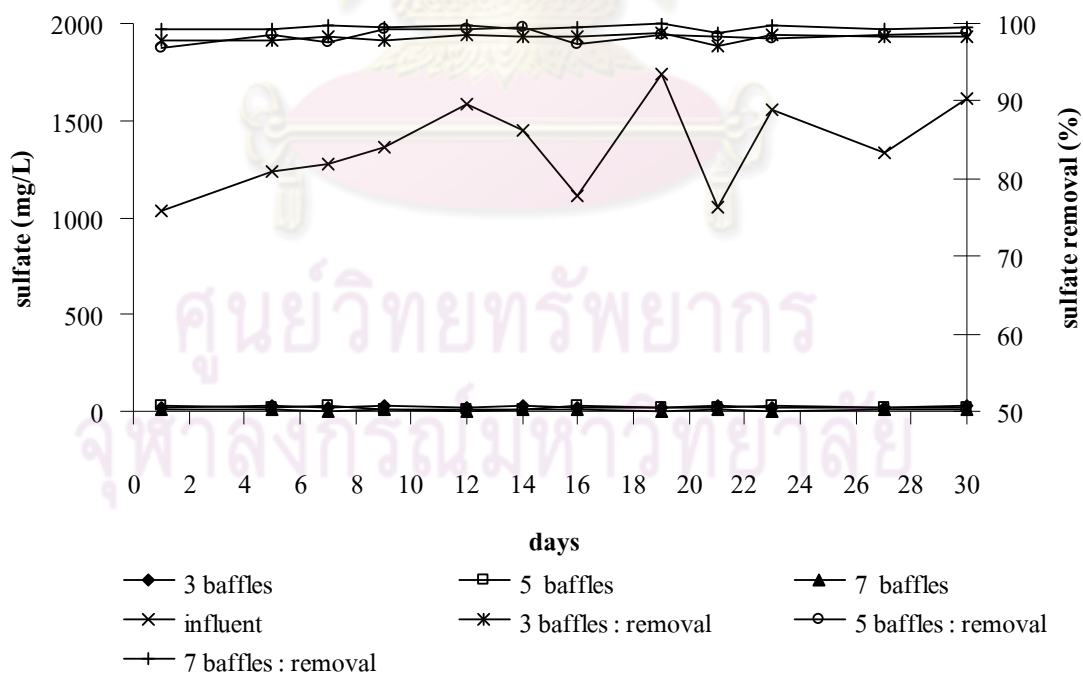
เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟต พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกันไม่ว่าระบบจะมีจำนวนแผ่นกั้นต่างกันและที่อัตราการระบบทุกสารอินทรีย์ต่างๆ Wang and Banks (2007) ทำการศึกษาการกำจัดซัลเฟตในน้ำชะมูลฝอยด้วยระบบตัวกรองไร้อากาศที่อัตราการระบบทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 4.58 กิโลกรัมซีไอต่อลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่า ระบบสามารถกำจัดซัลเฟตได้ 84.90 % ปริมาณซัลเฟตตลอดการทดลอง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตในระบบเอปียอร์ พบว่ามีความสัมพันธ์กัน ดังภาพที่ 4.26 – 4.28



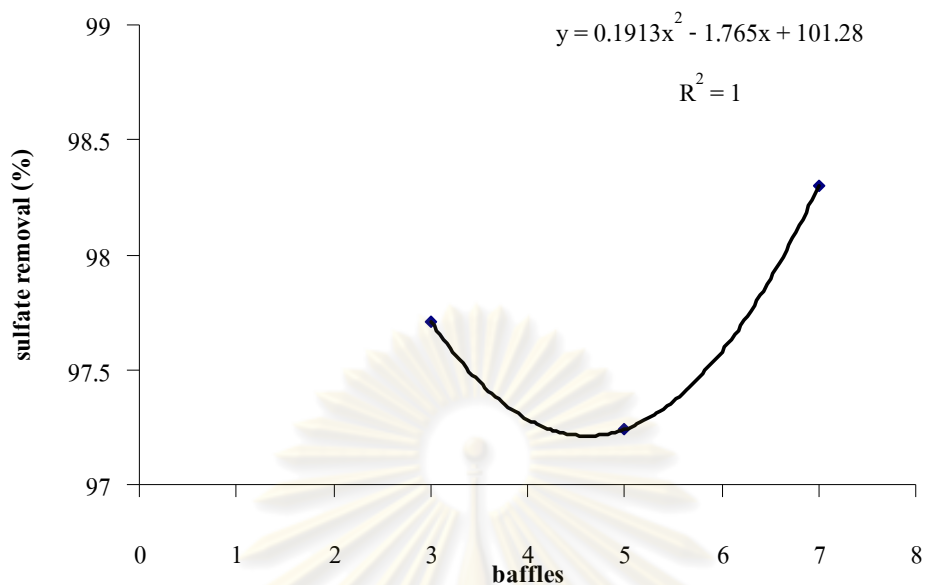
ภาพที่ 4.23 ซัลเฟตน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียอร์ ที่อัตราการระบบทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีไอต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.24 ซัลเฟตน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียอร์ ที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัม ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

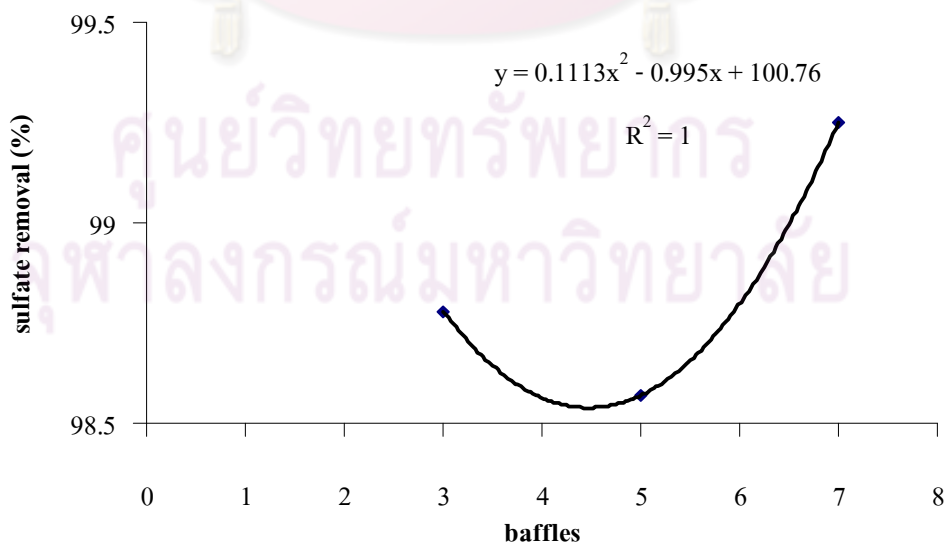


ภาพที่ 4.25 ซัลเฟตน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียอร์ ที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัม ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



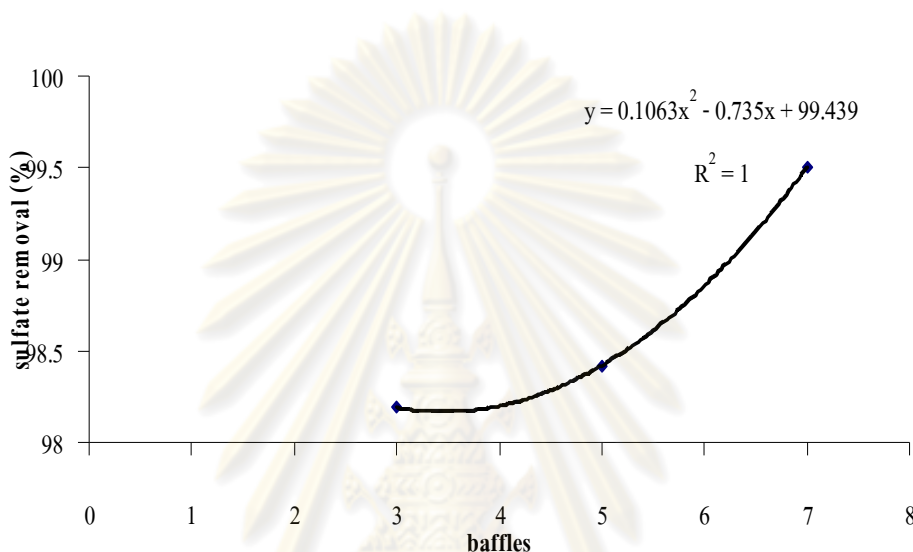
ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟต ที่อัตราภาระ
บรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากภาพที่ 4.26 เมื่อนำจำนวนแผ่นกั้นของระบบเอปียาร์และ
ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์กัน พบว่า จำนวนแผ่นกั้นและ
ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตมีความสัมพันธ์กันในลักษณะพาราโบลาที่มีสมการคือ
 $y = 0.1913x^2 - 1.76x + 101.28$ โดยมีจุดต่ำสุดอยู่ที่ (3.12, 97.21)



ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟต ที่อัตราภาระ
บรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากภาพที่ 4.27 เมื่อนำจำนวนแผ่นกั้นของระบบเอปียาร์และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์กัน พบว่า จำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตมีความสัมพันธ์กันในลักษณะพาราโบลาที่มีสมการคือ $y = 0.113x^2 - 0.995x + 100.76$ โดยมีจุดต่ำสุดอยู่ที่ (4.40 , 98.57)



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟต ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากภาพที่ 4.28 เมื่อนำจำนวนแผ่นกั้นของระบบเอปียาร์และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์กัน พบว่า จำนวนแผ่นกั้นและประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตมีความสัมพันธ์กันในลักษณะพาราโบลาที่มีสมการคือ $y = 0.1063x^2 - 0.735x + 99.439$ โดยมีจุดต่ำสุดอยู่ที่ (3.46 , 98.17)

ข) การเกิดซัลไฟด์

ซัลเฟอร์ส่วนใหญ่อยู่ในภาพของซัลเฟตในสภาวะไร้ออกซิเจน แบคทีเรียบางชนิด เช่น SRB จะใช้ซัลเฟตเป็นสารรับอิเล็กตรอนทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มันสิน, 2542) น้ำเสียที่เข้าระบบจะมีซัลไฟด์น้อยมาก ดังนั้นที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีความเข้มข้นของซัลไฟด์ในน้ำเฉลี่ย 31.72 ± 9.99 , 83.9 ± 72.28 และ 24.91 ± 13.76 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการทดลองเดินระบบ พบว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบมีความเข้มข้นของซัลไฟด์มากขึ้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีความเข้มข้นของซัลไฟด์เท่ากับ

94.45 ± 40.78, 154.90 ± 73.30 และ 166.83 ± 65.56 มิลลิลิตรต่อลิตร (ตามลำดับ) ส่วนที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีความเข้มข้นของซัลไฟด์เท่ากับ 160.78 ± 96.30, 175.01 ± 116.10 และ 188.31 ± 121.80 มิลลิลิตรต่อลิตร (ตามลำดับ) และที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีความเข้มข้นของซัลไฟด์เท่ากับ 167.15 ± 27.60, 239.63 ± 44.17 และ 206.18 ± 61.49 มิลลิลิตรต่อลิตร (ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4.9

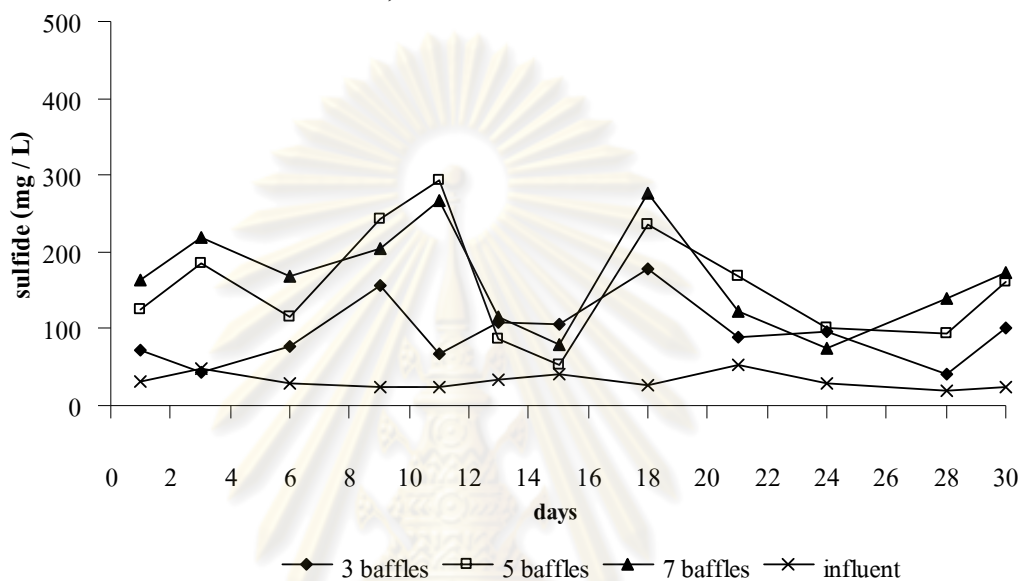
ตารางที่ 4.9 ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียาร์ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์*	ช่วง $\bar{x} \pm SD$	ซัลไฟด์ (มิลลิลิตรต่อลิตร)		
		เอปียาร์ – 3 แผ่นกั้น	เอปียาร์ – 5 แผ่นกั้น	เอปียาร์ – 7 แผ่นกั้น
1	ช่วง	40.00 – 94.47	53.33 – 293.33	73.33 – 275.67
	$\bar{x} \pm SD$	94.47 ± 40.78	154.90 ± 73.30	166.83 ± 65.56
2	ช่วง	26.67 – 333.33	26.40 – 413.33	66.01 – 400.00
	$\bar{x} \pm SD$	160.78 ± 96.30	175.01 ± 116.10	206.18 ± 61.49
3	ช่วง	112.67 – 210.30	164.33 – 312.00	122.00 – 301.33
	$\bar{x} \pm SD$	167.15 ± 27.60	239.63 ± 44.17	206.18 ± 61.49

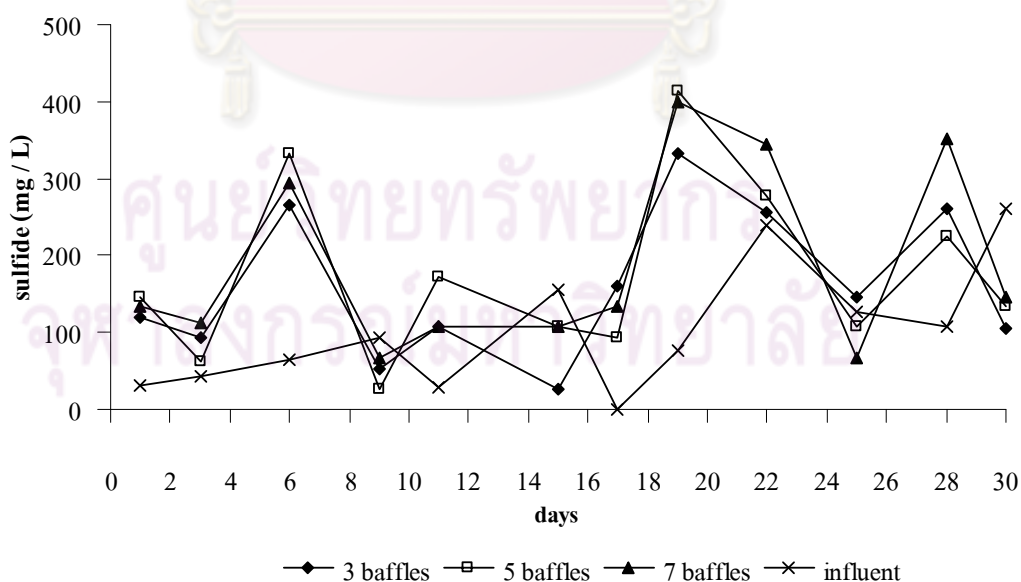
หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

น้ำเสียที่ออกจากระบบมีความเข้มข้นของซัลไฟด์เพิ่มขึ้นในทุกอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีความเข้มข้นของซัลไฟด์มากที่สุด รองลงมาคือที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 และ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (ระยะเวลาพักพักชลดลดลง) ปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ซัลเฟตของน้ำเสียเข้าระบบมีมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันสูงขึ้น ทำให้เกิดการแตกตัวของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ ทำให้มีปริมาณซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของซัลไฟด์ในแต่ละถังปฏิกรณ์ พบว่า ความเข้มข้นของซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนแผ่นกั้นเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านระบบที่มีจำนวนแผ่นกั้นมากขึ้นความเข้มข้นของ

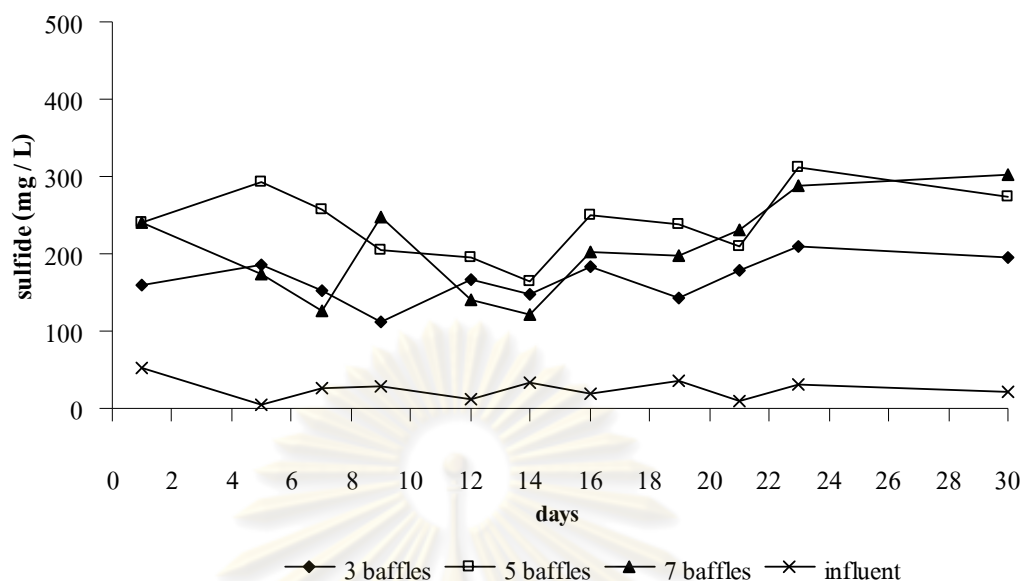
ซัลไฟด์ในแต่ละถังปฏิกรณ์มีค่าต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเข้าแต่ละถังกล่าวคือ ถังปฏิกรณ์ใดมีซัลเฟตในน้ำเสียเข้าสูง ความเข้มข้นของซัลไฟด์ในถังนั้นจะมีค่าสูง แต่ถังปฏิกรณ์ใดมีซัลเฟตน้ำเข้าต่ำ ความเข้มข้นของซัลไฟด์ก็จะต่ำด้วย ดังภาพที่ 4.29 – 4.31 อย่างไรก็ตามในสถานะไร้ออกซิเจนซัลไฟด์เริ่มเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนเมื่อซัลไฟด์ในระบบมีความเข้มข้นมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (ธีระพงษ์, 2545)



ภาพที่ 4.29 ซัลไฟด์น้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.30 ซัลไฟด์น้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.31 ซัลไฟด์น้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

4.2.2.8 การเกิดก๊าซชีวภาพ (biogas production)

ก) ปริมาณก๊าซชีวภาพ

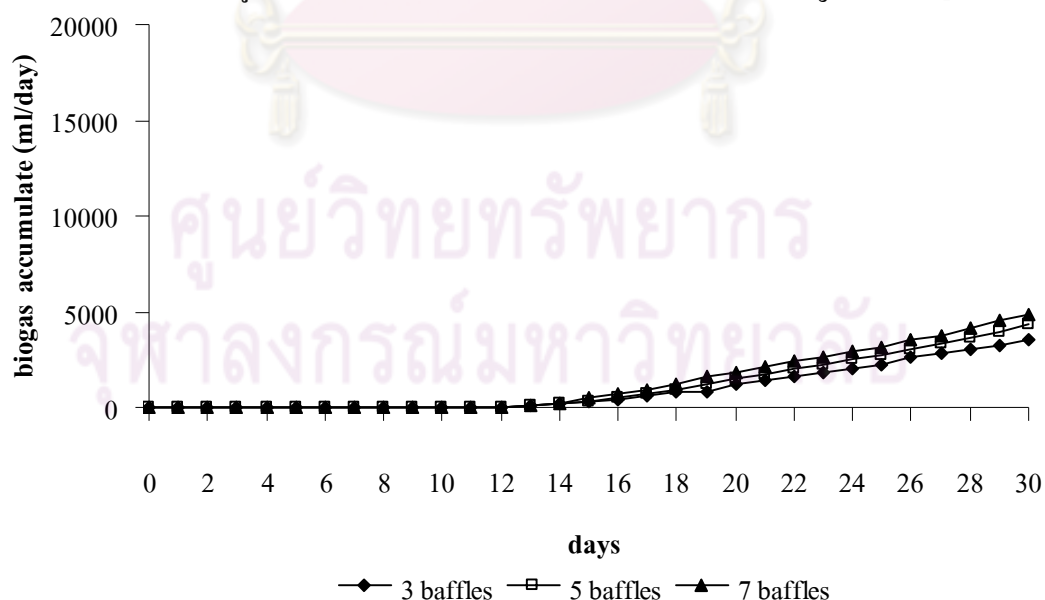
การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียเอปียอร์ ใช้หลักการแทนที่น้ำ ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบจะเป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์สองกลุ่มรวมกัน คือ กลุ่มที่ผลิตกรดและ MPB จากการทดลองระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการทดลองระบบมีการผลิตก๊าซชีวภาพดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

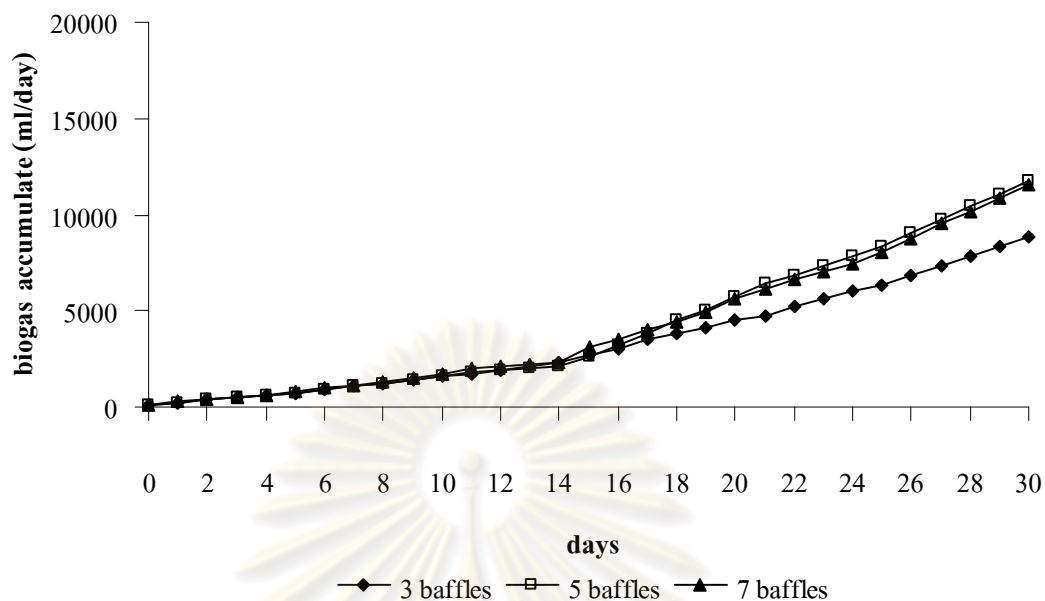
อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์*	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น (มิลลิลิตรต่อวัน)		
	เอปียอร์ – 3 แผ่นกั้น	เอปียอร์ – 5 แผ่นกั้น	เอปียอร์ - 7 แผ่นกั้น
1	178.16	210.81	241.48
2	223.55	328.55	320.00
3	896.25	1,152.92	1,154.58

หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

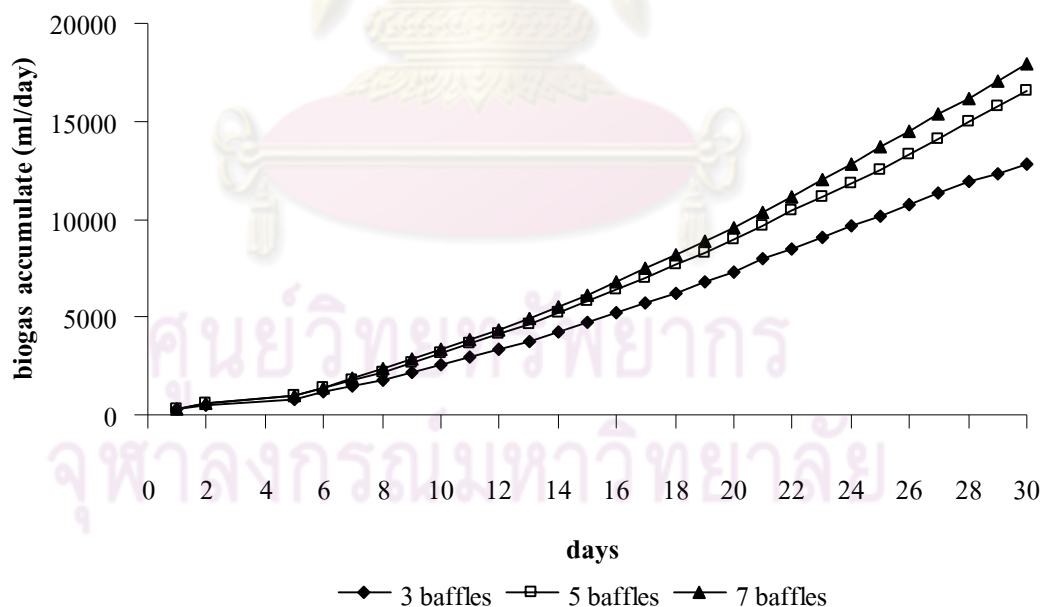
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น (ระยะเวลาพักพักชลดต่ำลง) โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำสุด (1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน) ระบบเอปปีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการมีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 178.16, 210.81 และ 241.48 มิลลิลิตรต่อวัน ของระบบ เอปปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น (ตามลำดับ) และเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ อาจอธิบายได้ว่าสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดจะเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ ในช่วงแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีไม่มากนัก เนื่องจากเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ปรับตัว ทำให้อัตราการใช้สารอินทรีย์ในช่วงแรกมีไม่มาก เมื่อสารอินทรีย์ถูกใช้ไปน้อยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นก็น้อย แต่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวปริมาณก๊าซชีวภาพเริ่มเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ น้ำเสียมีซัลเฟตอยู่ด้วย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้ก๊าซชีวภาพลดลง เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความสามารถในการละลายน้ำสูง ทำให้อยู่ในรูปละลายน้ำมากกว่ารูปก๊าซ โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นสูงสุด 896.25, 1,152.92 และ 1,154.58 มิลลิลิตรต่อวัน ของระบบเอปปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น (ตามลำดับ) ดังภาพที่ 4.32 – 4.34 และเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นได้ดังภาพที่ 4.35 เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติแล้วพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอปปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่า 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



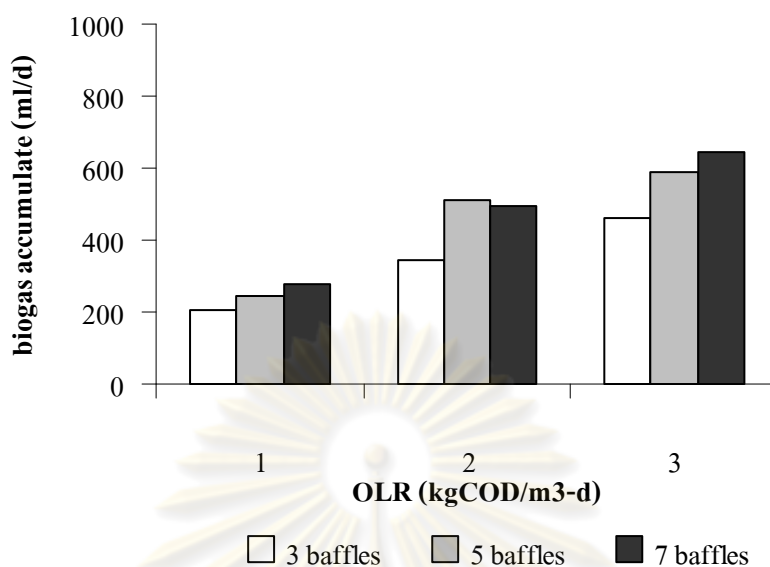
ภาพที่ 4.32 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอปปีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ในแต่ละวัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.33 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ในแต่ละวัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.34 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ในแต่ละวัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.35 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

ข) สัดส่วนก๊าซมีเทน

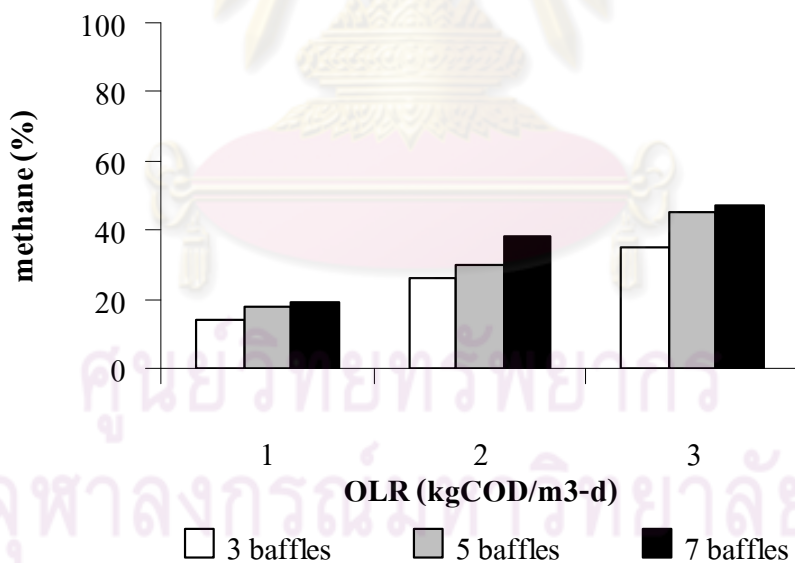
จากการทดลองพบว่า ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเอปียอร์ ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สัดส่วนก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

อัตราภาระ บรรทุก สารอินทรีย์*	สัดส่วนก๊าซมีเทน		
	เอปียอร์ - 3 แผ่นกั้น มีเทน (%)	เอปียอร์ - 5 แผ่นกั้น มีเทน (%)	เอปียอร์ - 7 แผ่นกั้น มีเทน (%)
1	14.19	17.85	19.24
2	26.07	30.08	37.92
3	35.02	45.42	47.07

หมายเหตุ: * มีหน่วยเป็นกิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียเอปาร์ขนาด 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และทุกๆ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ระบบจะมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปาร์ขนาด 7 แผ่นกั้น และ 5 แผ่นกั้น มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันคือ 19.24 % และ 17.85 % ส่วนระบบเอปาร์ขนาด 3 แผ่นกั้น มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเท่ากับ 14.19 % และเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นดังจะเห็นได้จากการทดลอง ซึ่งระบบเอปาร์ขนาด 7 แผ่นกั้น มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเท่ากับ 37.92 % ระบบเอปาร์ขนาด 5 แผ่นกั้น และ 3 แผ่นกั้น มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเท่ากับ 30.08 % และ 26.07 % (ตามลำดับ) และเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นอีกเป็น 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนสูงขึ้นอีก โดยที่ระบบเอปาร์ขนาด 7 แผ่นกั้น และ 5 แผ่นกั้นมีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันคือ 47.07 % และ 45.42 % (ตามลำดับ) และรองลงมาคือ ระบบเอปาร์ขนาด 3 แผ่นกั้น มีเปอร์เซ็นต์มีเทนเท่ากับ 35.02 % (แสดงดังภาพที่ 4.36)



ภาพที่ 4.36 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบเอปาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซมีเทนก็เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น สารอินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้น แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (MPB) ก็จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน โดยที่สารอินทรีย์มาก แบคทีเรียก็มีอาหารมากสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มาก

ค) อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัดของระบบเอปอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.37 (การคำนวณดังภาคผนวก ฉ)

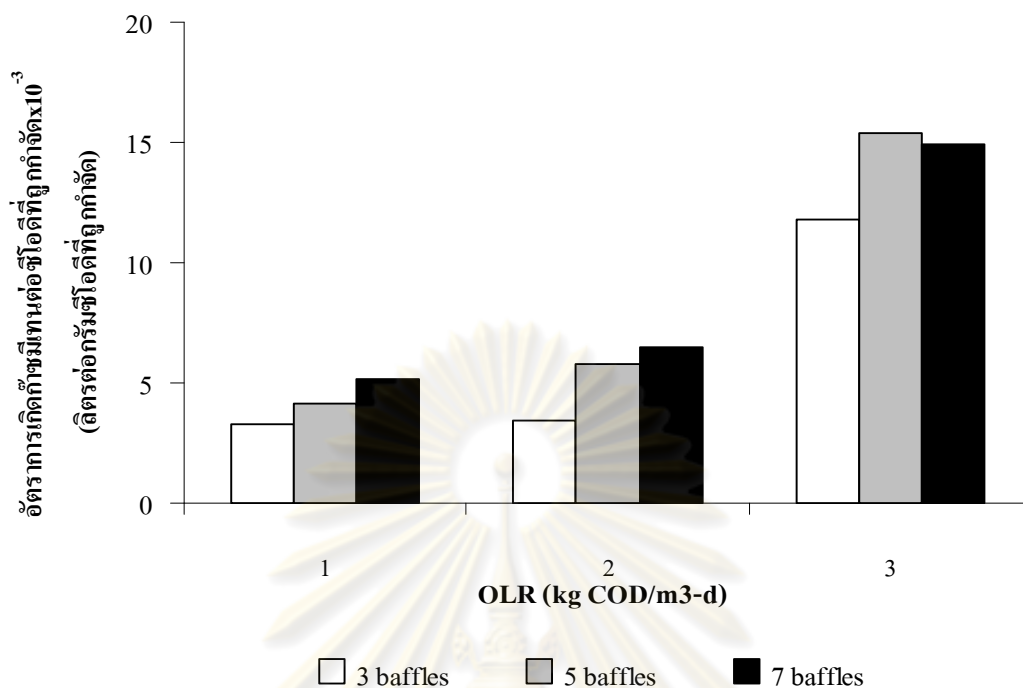
ตารางที่ 4.12 อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัดของระบบเอปอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

ระบบเอปอาร์ (แผ่นกั้น)	ปริมาณก๊าซที่ เกิดขึ้น (ลิตรต่อวัน)	% มีเทน	ปริมาณซีไอดี (ลิตรต่อวัน)		อัตราการเกิด มีเทนต่อซีไอดี ที่ถูกกำจัด $\times 10^{-3}$ (ลิตรต่อกรัม)
			เข้า	ออก	
3*	0.178	0.232	5.017	0.505	3.267
5*	0.210	0.259	5.017	0.370	4.172
7*	0.241	0.282	5.017	0.305	5.158
3**	0.224	0.301	8.324	1.346	3.441
5**	0.328	0.351	8.324	1.197	5.767
7**	0.350	0.379	8.324	1.001	6.472
3***	0.896	0.420	16.122	4.739	11.812
5***	1.153	0.454	16.122	3.999	15.417
7***	1.155	0.471	16.122	3.147	14.959

หมายเหตุ : * ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

** ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

*** ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน



ภาพที่ 4.37 อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

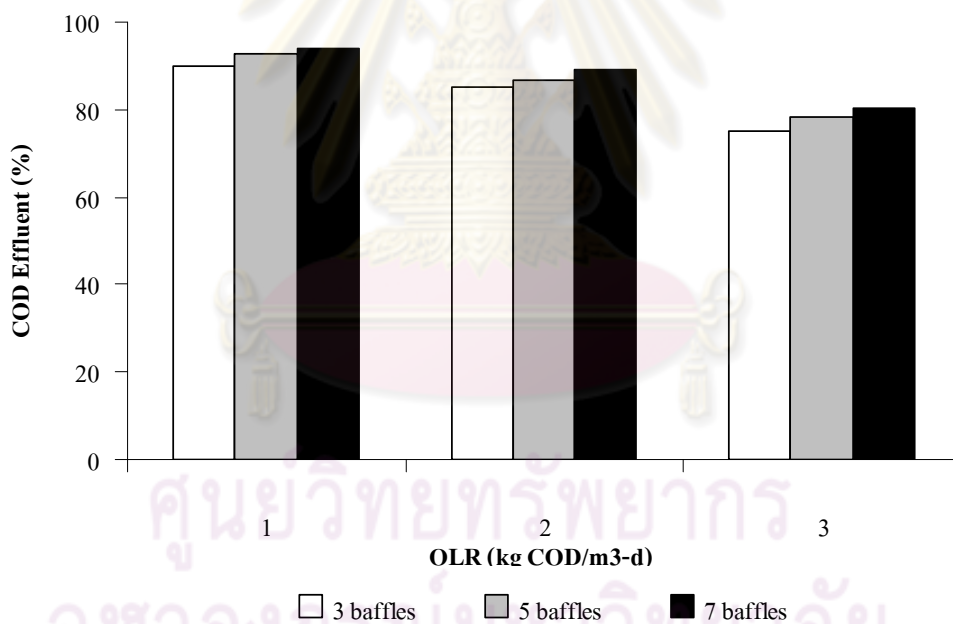
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอปียาร์ของแต่ละถังปฏิกรณ์ (3, 5 และ 7 แผ่นกั้น) แต่ละอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์

จุดประสงค์หลักของการทดลองนี้เพื่อต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบเมื่อใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีจำนวนแผ่นกั้นต่างกันและที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ ภายใต้การควบคุมสภาวะการทำงานเดียวกัน ที่ระยะเวลาพักผลศาสตร์ 5 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

การศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของระบบ จากการทดลองบำบัดน้ำเสียของระบบเอปียาร์ขนาด 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างกัน พบว่าที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียาร์ 3 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 89.92 % ระบบเอปียาร์ 5 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 92.77 %

การศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของระบบ จากการทดลองบำบัดน้ำเสียของระบบเอปียอร์ขนาด 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์ต่างกัน พบว่าที่อัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์ 3 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 89.92 % ระบบเอปียอร์ 5 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 92.77 % ระบบเอปียอร์ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 89.92 % ส่วนที่อัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์ 3 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 85.18 % ระบบเอปียอร์ 5 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 86.83 % และระบบเอปียอร์ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 88.97 % และที่อัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์ 3 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 75.14 % ระบบเอปียอร์ 5 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 78.40 % และระบบเอปียอร์ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 80.36 % ดังภาพที่ 4.38



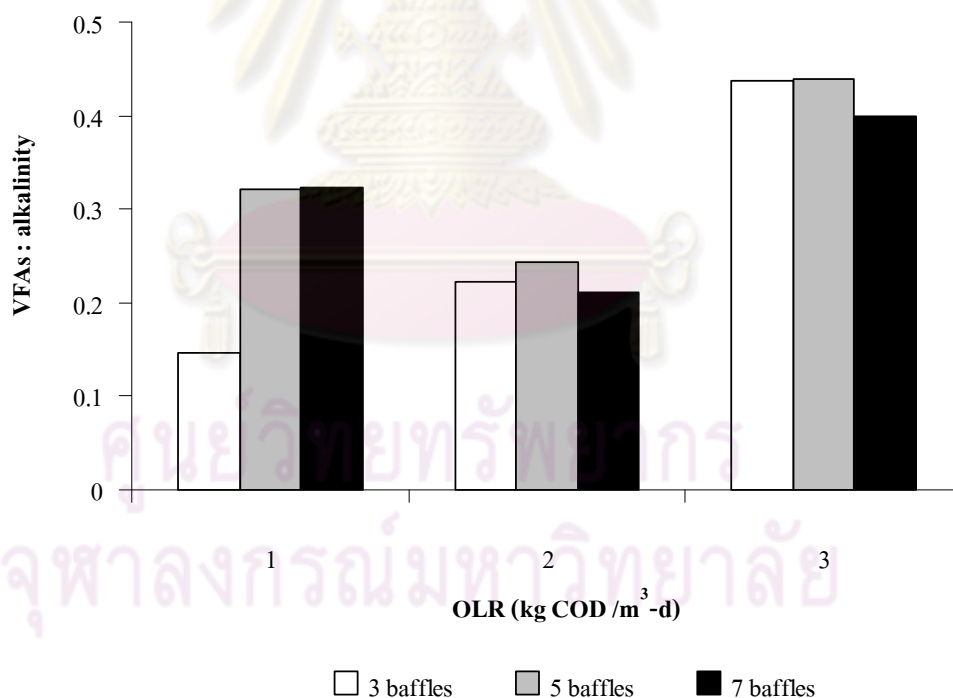
ภาพที่ 4.38 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ที่สภาวะคงตัว

จากภาพที่ 4.38 พบว่าที่อัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด และในแต่ละถึงปฏิกรณ์ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่ออัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัด

ลดลงและในแต่ละถังปฏิกรณ์พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าต่างกัน โดยถังปฏิกรณ์ขนาด 7 แผ่นกั้นจะมีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ 5 แผ่นกั้น และ 3 แผ่นกั้น ของแต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เนื่องจากการเพิ่มจำนวนแผ่นกั้น เป็นการเพิ่มโอกาสการสัมผัสของน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ เมื่อน้ำเสียสามารถสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ได้มากขึ้น จะทำให้เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์มากขึ้น ความสกปรกของน้ำเสียจึงลดลง เมื่อทดสอบความสัมพันธ์กันทางสถิติแล้วพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีของแต่ละถังปฏิกรณ์ และเมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีของระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่า 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3.2 อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)

อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความจุของบัฟเฟอร์ของระบบ

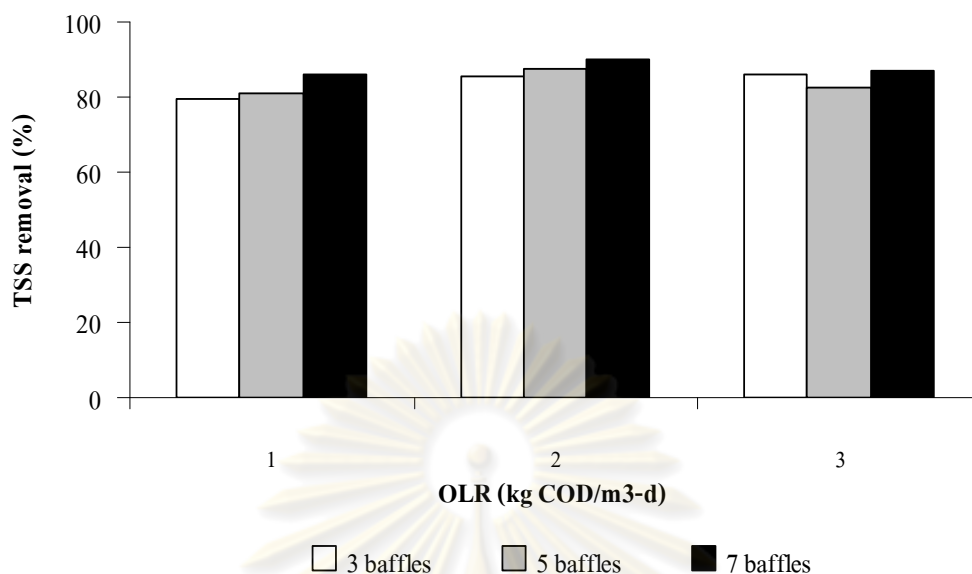


ภาพที่ 4.39 เปรียบเทียบอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากภาพที่ 4.39 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 และ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างมีค่าต่ำกว่า 0.4 แสดงว่าระบบยังคงมีเสถียรภาพในการทำงานคืออยู่ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างของระบบเอปียาร์ 3 และ 5 แผ่นกั้น มีค่าเกินกว่า 0.4 เล็กน้อย ส่วนที่ระบบเอปียาร์ 7 แผ่นกั้น อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.4 พอดี เมื่อทดสอบความสัมพันธ์กันทางสถิติแล้วพบว่า ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างของแต่ละถึงปฏิกรณ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ และระบบยังคงมีเสถียรภาพในการทำงานได้ดี ถึงแม้ว่าในการทดลองจะไม่มีการใช้สารเคมีปรับค่าต่างของน้ำเสีย ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการใช้งานจริง เพราะเป็นการประหยัดและลดต้นทุนการผลิต

4.3.3 ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid: TSS)

ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าระบบเอปียาร์ของ 3 ถึงปฏิกรณ์ (3, 5 และ 7 แผ่นกั้น) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่า ระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้ดี ดังนี้ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วันระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 79.40 %, 80.97 % และ 85.99 % (ตามลำดับ) เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วันระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 85.66 %, 87.71 % และ 90.12 % (ตามลำดับ) และเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยลดลงดังนี้ 86.05 %, 82.29 % และ 87.18 % (ตามลำดับ) ดังภาพที่ 4.40



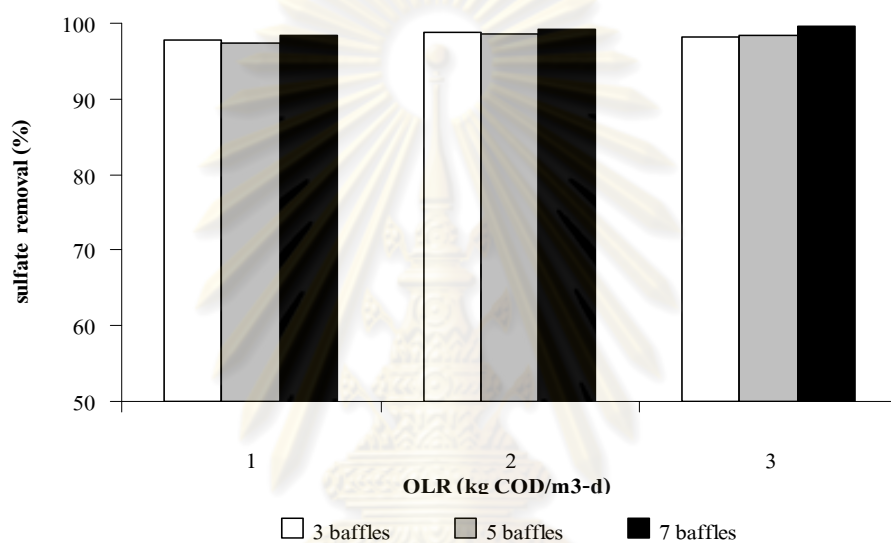
ภาพที่ 4.40 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากภาพที่ 4.40 พบว่าระบบเอปียอร์ มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดของแข็งแขวนลอยแม้ว่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้น (ซีโอดีเพิ่ม) โดยที่ระบบเอปียอร์ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด เนื่องจากระบบเอปียอร์มีลักษณะเป็นแผ่นกั้นแบ่งออกเป็นหน่วยย่อยหลายหน่วยย่อย สามารถดักจับและตกตะกอนของแข็งแขวนลอยได้ดี โดยจะเห็นว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงเมื่อเทียบกับน้ำเสียก่อนการบำบัด และเมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยของระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟต (sulfate removal)

จากการทดลองน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณซัลเฟตลดลง ดังนี้ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตเท่ากับ 97.17 %, 97.42 % และ 98.30 % (ตามลำดับ) เมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตเท่ากับ 98.78 %, 98.57 % และ 99.25 % (ตามลำดับ) และที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตเท่ากับ 98.19 %, 98.42 % และ 99.50 %

(ตามลำดับ) ดังภาพที่ 4.41 เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 1 และ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.41 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของระบบเอปียอร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วันที่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 สมดุลมวลของสารในระบบ

4.4.1 สมดุลมวลของซีโอดี

การพิจารณาสมดุลมวลของซีโอดีในงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยดูจากค่า % recovery ของข้อมูลที่ได้ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าสัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟต โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบบทบาทของแบคทีเรียทั้งสองชนิดในความสามารถในการแย่งชิงใช้สารอาหารในระบบ

งานวิจัยนี้ซีโอดีของน้ำเข้าเป็นซีโอดีของสารอินทรีย์ ซึ่งเกิดจากน้ำเสียข้างขึ้น เมื่อน้ำเสียผ่านระบบค่าซีโอดีของน้ำเข้าจะเปลี่ยนรูปไปจากกิจกรรมการดำรงชีวิตของแบคทีเรียในระบบ สำหรับทฤษฎีเกี่ยวกับสมดุลมวลซีโอดีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อมีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสียดังนั้น ตัวอย่างคำนวณสมดุลมวลของสารในระบบแสดงในภาคผนวก จ โดยผลการคำนวณของข้อมูลของการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่า % COD recovery ของการทดลอง ของระบบเอบีอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น

ระบบ เอบีอาร์ (แผ่นกั้น)	ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ก๊าซทั้งหมด ต่อวัน (มล.)	% CH ₄	% recovery
	เข้า	ออก	เข้า	ออก			
3*	5,000	504.7	851	19.31	178	23.19	22.34
5*	5,000	370.4	851	21.79	210	25.85	19.95
7*	5,000	304.8	851	14.70	241	28.24	24.61
3**	8,324	1,346.4	1,048	3.98	223	30.07	42.56
5**	8,324	1,197.7	1,048	12.83	328	35.08	40.43
7**	8,324	1,001.3	1,048	8.02	350	37.92	22.19
3***	16,122	4,738.6	1,361	23.94	896	42.02	37.28
5***	16,122	3,991.6	1,361	20.56	1,100	45.42	33.37
7***	16,122	3,804.5	1,361	6.38	1,154	47.07	32.53

หมายเหตุ : * ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน
 ** ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน
 *** ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากค่า % COD recovery จะเห็นได้ว่าจุดอ่อนอย่างหนึ่งคือ ไม่สามารถหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรียได้ ดังนั้น ค่า % COD recovery ที่ได้ในทุกการทดลองจึงน้อยกว่าความเป็นจริงเสมอ โดยจากงานวิจัยของอนุตร (2542) กล่าวถึงชีวเคมีของแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนว่าแบคทีเรียประเภทนี้จะได้พลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งถ้าหากเปรียบเทียบกับแบคทีเรียประเภทที่ใช้ออกซิเจนแล้วเห็นได้อย่างชัดเจนกล่าวคือ แบคทีเรียประเภทที่ใช้ออกซิเจนได้พลังงานจากการย่อยสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เทียบเท่ากับ 38 ATP แต่ถ้าเป็นแบคทีเรียประเภทไม่ใช้ออกซิเจนแล้วจะได้พลังงานรวมเพียง 7 ATP เท่านั้น พลังงานส่วนนี้ยังถูกแบคทีเรียหลายชนิดใช้ ดังนั้นค่ายึดตัวของแบคทีเรียประเภทนี้จึงมีค่าประมาณ 10 % ของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายเท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์ และเมื่อพิจารณาสาเหตุที่ทำให้ค่า % COD recovery น้อยกว่า 100 นั้น สาเหตุมาจากไม่สามารถวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์และที่ถูกใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ นอกจากนี้ยังอาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นอาจเกิดการรั่วไหลในขณะเก็บตัวอย่าง ทำให้ไม่สามารถเก็บก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด ส่งผลต่อปริมาตรของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ % COD recovery ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 100 %

จากข้อมูลค่าสัดส่วนซีโอดีในรูปมีเทน สัดส่วนซีโอดีที่ถูกใช้ในกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน จะนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน(% electron flow) หรือสัดส่วนการใช้ซีโอดีระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เพื่อเปรียบเทียบบทบาทของแบคทีเรียทั้งสองชนิดในระบบ โดยสัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียทั้งสองชนิด ในแต่ละถังปฏิกรณ์แสดงดังตารางที่ 4.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow) ของระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น

ระบบเอปียาร์ (แผ่นกั้น)	เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow)	
	แบคทีเรียสร้างมีเทน (MPB)	แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB)
3*	9.52	90.48
5*	11.86	88.13
7*	9.12	90.58
3**	10.96	80.04
5**	16.42	83.76
7**	17.01	83.00
3***	29.87	70.13
5***	35.67	64.33
7***	37.28	62.72

หมายเหตุ : * ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน
 ** ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน
 *** ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

4.4.2 สมดุลมวลของซัลเฟอร์

การพิจารณาสมดุลมวลของซัลเฟอร์ในงานวิจัยนี้ เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่แสดงให้เห็นความน่าเชื่อถือของข้อมูล และใช้ตรวจสอบย้อนกลับถึงความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่างในส่วนที่เกี่ยวข้องกับซัลเฟอร์ โดยเป็นการมองเห็นในแง่ของของซัลเฟอร์ที่เข้าและออกระบบเพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงชีโอดีที่เข้าระบบ (ซึ่งกำหนดให้ซัลเฟตเป็นรูปของสารประกอบซัลเฟอร์เพียงอย่างเดียวที่ถูกป้อนเข้าระบบ) โดยผลการคำนวณค่า % sulfur recovery ของการทดลองดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 % sulfur recovery ของระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น

ระบบเอปียาร์ (แผ่นกั้น)	ความเข้มข้นของ ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ซัลไฟด์ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ซัลไฟด์ในรูปก๊าซ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		% sulfur recovery
	เข้า	ออก	รูป	รูป	รูป	รูป	
			ซัลไฟด์	ซัลเฟต	ซัลไฟด์	ซัลเฟต	
3*	851	19.37	94.41	283.23	301.40	80.73	45.04
5*	851	21.76	154.90	464.70	301.40	80.73	66.65
7*	851	14.70	166.83	498.90	301.40	80.73	69.84
3**	1,048	11.71	160.78	482.34	371.17	99.42	56.63
5**	1,048	12.83	175.01	525.03	371.17	99.42	60.81
7**	1,048	8.02	206.18	618.54	371.17	99.42	48.09
3***	1,361	23.94	167.15	501.45	482.02	129.11	48.09
5***	1,361	20.56	239.63	718.89	482.02	129.11	63.82
7***	1,361	6.38	206.18	618.57	482.02	129.11	55.41

หมายเหตุ : * ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน
 ** ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน
 *** ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าในทุกถังปฏิกรณ์ค่า % sulfur recovery จะมีค่าน้อยกว่า 100 สาเหตุเนื่องจากความดันพาร์เซียลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และซัลไฟด์ละลายน้ำจะลดลงเมื่อตัวอย่างน้ำสัมผัสกับอากาศ ซึ่งทำให้ค่าซัลไฟด์น้ำออกทั้งหมดที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนี้การที่ค่าซัลไฟด์น้ำออกทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง ยังมีสาเหตุมาจากซัลเฟอร์ส่วนหนึ่งอยู่ในรูปตะกอนผลึกโลหะซัลไฟด์ และอีกส่วนหนึ่งถูกใช้และสะสมอยู่ในเซลล์แบคทีเรีย เนื่องจากซัลเฟอร์เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อแบคทีเรียในระบบ ซึ่งปริมาณซัลเฟอร์ทั้งสองส่วนนี้ไม่สามารถวัดได้ ทำให้ข้อมูลส่วนนี้ไป % sulfur recovery จึงมีค่าน้อยกว่า 100 % เสมอ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดเอปอาร์ มีจำนวนแผ่นกั้นต่างกันคือ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น ที่เดินระบบโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานยางชั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ที่ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 5 วัน พบว่าโครงสร้างของถังปฏิกรณ์มีลักษณะเป็นแผ่นกั้นขวางหลาย ๆ แผ่นติดตั้งอยู่ภายในระบบสามารถแบ่งออกเป็นหน่วยย่อย ซึ่งทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของน้ำเสียให้สัมผัสกับชั้นตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ความสกปรกของน้ำเสียดลดลง โดยสามารถบำบัดซีโอดีและของแข็งแขวนลอยได้มากกว่า 70 % มีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตได้มากกว่า 90 %

2. น้ำเสียเข้าระบบมีค่าเป็นกรด เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอปอาร์แล้วพบว่าน้ำเสียมีค่าพีเอชสูงขึ้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน กล่าวคือระบบสามารถรักษาระดับพีเอชของน้ำเสียได้ ซึ่งในการทดลองไม่ได้ใช้สารเคมีในการปรับค่าต่างก่อนนำน้ำเสียเข้าระบบ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียลงได้

3. ในการวิจัยได้ใช้ระบบเอปอาร์ที่มีจำนวนแผ่นกั้นต่างกันคือ 3, 5 และ 7 แผ่นกั้น พบว่าสภาวะการทำงานของถัง 3 ถังปฏิกรณ์ที่มีจำนวนแผ่นกั้นต่างกัน สามารถกำจัดซีโอดีได้ โดยระบบเอปอาร์ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูงสุด และมีแนวโน้มว่าจำนวนแผ่นกั้นมากขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงขึ้น สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยระบบเอปอาร์ 7 แผ่นกั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุดเช่นเดียวกัน โดยลักษณะโครงสร้างของระบบเอปอาร์ที่เป็นแผ่นกั้น สามารถดักของแข็งแขวนลอยได้ดี และประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตของเอปอาร์แต่ละถังปฏิกรณ์ (มีแผ่นกั้นต่างกัน) พบว่า ระบบเอปอาร์ 7 แผ่นกั้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตสูงที่สุด เนื่องจากการบำบัดซัลเฟตจะเกิดขึ้นได้ดีที่หน่วยย่อยที่ 1 เพราะเป็นส่วนแรกที่พบกับน้ำเสีย ซึ่งมีปริมาณซัลเฟตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับหน่วยย่อยอื่นที่ตามมา จึงทำให้เกิดการรีดิวซ์ซัลเฟตในส่วนนี้ได้มากที่สุด SRB มีการปรับตัวและอาจมีการคัดเลือกสายพันธุ์เพิ่มจำนวนประชากรภายในหน่วยย่อยที่ 1 เมื่อเดินระบบจึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดซัลเฟต

4. ในการวิจัยได้ศึกษาถึงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างกัน พบว่า เมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น (ซีโอดีเพิ่มขึ้น) ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบลดลง โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพ

ในการบำบัดสูงสุดในทุกพารามิเตอร์ เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 และ 3 กิโลกรัม ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาส่วนต่อจากระบบเอบีอาร์ เพื่อหาระบบที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดซีโอดี เนื่องจากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ออกจากระบบยังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 อยู่มาก

2. ควรมีการศึกษาค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มากขึ้น อาจจะใช้ น้ำเสียจริงจากโรงงาน โดยไม่ต้องมีการเจือจาง และควรมีการศึกษาถึงการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าระบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

3. เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบมีส่วนของก๊าซมีเทนน้อยมากเมื่อเทียบกับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบอื่น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นก่อนการนำไปใช้ประโยชน์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. เล่ม1.
กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. เล่ม2.
กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ อุตสาหกรรมยางขึ้น.
นนทบุรี: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2545. ตำรา
ระบบบำบัดมลพิษทางน้ำ. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กัญญารัตน์ สฤษฏ์พงศ์ทิรณ, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และ กัลยารัตน์ ศรีสุวรรณ. 2550. ผลการปรับพี
เอชด้วยเถ้าไม้ยางพาราและอัตราส่วนการสูบลบน้ำทิ้งต่อสมรรถภาพการทำงานของถัง
ปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางขึ้น.วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2550. องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
http://www.peane.com/PEEMA/april_2550.html [20 มกราคม 2551]
- กิตติคุณ แสงนิล และ วิชาญ เจริญพานิชย์กุล. 2549. อิทธิพลของสารประกอบซัลเฟอร์ที่มีผลต่อ
ประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรสยามการพิมพ์.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สยามสแตนเนอริชฟ
พลายสี.

- จารุณี เรียมพิมพ์. 2545. จลศาสตร์การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กระบวนการสัมผัสแอนแอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ทวีศักดิ์ หอมดอกไม้ และคณะ. 2549. การพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ สำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชนภัทร์ ชาญธวัชชัย. 2549. สมรรถนะของระบบเอปียอร์ที่บำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธีระพงษ์ วิมลจิตรานนท์. 2545. การเปรียบเทียบสมรรถนะการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกร แบบไร้อากาศด้วยระบบถังกรองไร้อากาศและระบบถังสัมผัสไร้อากาศแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2539. ฉบับที่ 3 ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539.
- ปิยะ พานิชปฐม. 2544. การศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบถังไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นรินาม. 2550. น้ำยางพารา. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.oknation.net> [19 มิถุนายน 2551]
- มันสิน ตันกุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร : แชน. อี.68คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์
- มันสิน ตันกุลเวศม์ และ มันรัชย์ ตันกุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2551. ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไร้อากาศ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.efe.or.th/home.php?ds=preview&back=content&mid=cM>. [17 กุมภาพันธ์ 2552]
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. สถิติเพื่อการส่งออกยางพารา [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th>. [19 มิถุนายน 2550]
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถิติเพื่อการส่งออกยางพารา [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.thainr.com/th/detail-stat.php?statID=47> [15 กรกฎาคม 2552]
- อนุตร เปียงแก้ว. 2542. การควบคุมระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันด้วยปริมาณซัลเฟตและชนิดของแหล่งคาร์บอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- American Public Health Association. 1992. American Water Work Association and Water Pollution Control Federation. 18th ed. New York : APHA.
- Bachmann, A., Beard, V. L. and McCarty, P. L. 1985. Performance Characteristics of the Anaerobic Baffled Reactor. Water Research. Vol. 19: No 1: pp. 99-106.
- Baloch, M.I. and Akunna, J.C. 2003. Granular Bed Baffled (Grabbr) : Solution to a Two – Phase Anaerobic Digestion System. Journal Environmental Management. Vol. 129: No. 11: pp. 1015 – 1021.
- Boopathy, R., Larsen, V. F. and Senior, E. 1998. Performance of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) in treating Distillery Waste Water from a Scotch Whisky Factory. Biomass. Vol. 16: No. 2: pp. 133-143.
- Barber, P. and Stuckey, C. 1999. The Use of the Anaerobic Baffled reactor (ABR) for Wastewater Treatment: review. Water Research. Vol. 33: No. 7: pp. 1559-1578.

- Foxon, K.M. 2004. The Anaerobic Baffled Reactor (ABR): An Appropriate Technology for On-Site Sanitation. Water Institute of South Africa (WISA). Biennial Conference. 2-6 May. South Africa
- Grobiki, A. and Stuckey, D.C. 1991. Performance of the Anaerobic Baffled Reactor Under Steady – State and Shock Loading Conditions. Biotechnology and Bioengineering. Vol. 37: No. 4: pp. 344 – 355.
- Hutnan, M., Mrafkova., Drtil, M. and Derco, J. 1991. Methanogenic and Nonmethanogenic Activity of Granulated Sludge in Anaerobic Baffled Reactor. Chem. Papers. Vol. 53: No. 6: pp. 374 – 378.
- Krishna, G.T., Kumar, P. and Kumar, P.D. 2007. Treatment of Low - Strength Soluble Wastewater using an Anaerobic Baffled Reactor (ABR). Journal Environmental Management. Vol. 90: No. 1: pp. 166 – 176.
- Madigan T.M., Martinko J.M. and Parker J. 1997. Brock Biology of Microorganisms. 8th ed. USA.: prentice Hall International.
- MetCalf and Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. New York : McGraw – Hill, Inc.
- Mizuno, O., Li, Y.Y. and Noike, T. 1998. The Behavior of Sulfate – Reducing Bacteria in Acidogenic Phase of Anaerobic Digestion. Water Research. Vol. 32: No. 5: 1626 - 1634.
- Nachaiyasit, S. and Stuckey, D.C. 1997. The Effect of Shock Load on the Performance of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR). 1. Step Changes in Feed Concentration at Constant Retention Time. Water Research. Vol. 31: No. 11: pp. 2737 – 2746.
- Rittmann, B.E. and McCarty, P.L. 2001. Environmental Biotechnology. New York : McGraw – Hill, Inc.

- Selcuk, O.K. and Sponza, D.T. 2005. Treatment Efficiencies of a Sequential Anaerobic Baffled Reactor (ABR) / Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) System at Increasing p – Nitrophenol and COD Loading Rates. Process Biochemistry. Vol. 41: No. 1: pp. 1484 – 1492.
- She, Z., Zheng, X., Yang, B., Jin, C. and Gac, M. 2006. Granule Development and Performance in Sucrose Fed Anaerobic Baffled Reactor. Journal of Biotechnology. Vol. 122: No. 2: pp. 198-208.
- Vossoughi, M., Shakeri, M. and Alemzadeh, I. 2003. Performance of Anaerobic Baffled Reactor Treating Synthetic Wastewater Influent by Decreasing COD/SO₄²⁻ Ratios. Chemical Engineering and Processing. Vol. 42: No. 1: pp. 811 – 816.
- Wang, J., Huang, Y. and Zhao, X. 2004. Performance Characteristics of the Anaerobic Baffled Reactor. Biosource Technology. Vol. 93: No. 2: pp. 205-208.
- Wang, Z. and Banks, C.J. 2007. Treatment of high – Sulphate – Rich Alkaline Leachate using an Anaerobic Filter. Waste Management. Vol. 27: No. 5: pp. 359 - 366.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางภาคผนวกที่ ก – 1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด-เบส (pH value)	5.5-9.0	pH meter
2. ของแข็งละลายได้ (total dissolved solids)	<ul style="list-style-type: none"> ● ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ● น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (salinity) เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือลงสู่ทะเลค่าของแข็งละลายได้ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าของแข็งละลายได้ที่มียู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 -105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (suspended solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (glass fiber filter disc)
4. อุณหภูมิ (temperature)	ไม่เกิน 40 °C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	ไทเทรต
7. ไซยาไนต์	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	กลั่นและตามด้วยวิธี pyridine

ตารางภาคผนวกที่ ก – 1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
(cyanide as HCN)		barbituric acid
8. น้ำมันและไขมัน (fat, oil and grease)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันในแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของ โรงงาน อุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อลิตร	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (phenols)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (free chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	iodometric method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	gas chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 °C (Biochemical Oxygen Demand: BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือแตกต่างกันในแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร	azide modification ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ total kjeldahl nitrogen)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันในแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของ โรงงาน อุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (chemical oxygen demand: COD)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันในแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของ โรงงาน อุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุม	potassium dichromate digestion

ตารางภาคผนวกที่ ก – 1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	ดัชนีคุณภาพน้ำ
	มลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร	
16. โลหะหนัก (heavy metal)		atomic absorption spectro
16.1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	photometry ชนิด direct
16.2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (hexavalent chromium)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	aspiration หรือวิธี plasma emission spectroscopy ชนิด
16.3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (trivalent chromium)	ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร	Inductively Coupled Plasma: ICP
16.4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
16.5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร	
16.6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
16.7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	atomic absorption spectro
16.8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	photometry ชนิด direct
16.9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	aspiration หรือวิธี plasma emission spectroscopy ชนิด
16.10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	Inductively Coupled plasma : ICP
16.11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร	
16.12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร	atomic absorption cold vapour technique

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

1. พีเอช

1.1 หลักการ

พีเอช (positive potential of the hydrogen ions) เป็นค่าที่บอกระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน $[H^+]$ ในน้ำ ซึ่งน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 25 °C จะมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเท่ากับ 1/1,000,000 โมลต่อลิตร การบอกความเข้มข้นดังกล่าวนี้ไม่สะดวก Soreson ได้จัดให้พีเอชสเกลอยู่ในช่วง 0 ถึง 14 และให้ พีเอช 7 แทนความเป็นกลาง น้ำที่มีค่าเป็นกรดจะมีพีเอชต่ำกว่า 7 น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่างจะมีค่าพีเอชสูงกว่า 7 และสามารถคำนวณได้จากสูตรได้ดังจากสูตรดังนี้

$$pH = -\log[H^+]$$

เมื่อ $[H^+]$ คือ ความเข้มข้นไอออนไฮโดรเจน, โมลต่อลิตร

1.2 วิธีวิเคราะห์

วิธีวัดด้วยเครื่องวัดพีเอช (pH meter) เป็นที่นิยมในปัจจุบันมากเนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็วและได้ผลที่แน่นอน ถึง ± 0.1 หน่วย แต่มีข้อเสียคือมีราคาแพง นอกจากนี้สามารถใช้วัดน้ำตัวอย่างที่มีความขุ่นหรือมีสีสูง แม้กระทั่งน้ำไฮโดรคลอริกก็ตาม ข้อควรระวังคือ การดูแลรักษาอิเล็กโทรดนอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่อการวัดเช่นกัน เพราะการเปลี่ยนแปลงในศักย์ไฟฟ้าต่อหน่วยพีเอชจะแปรผันกับอุณหภูมิซึ่งสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดย เครื่องวัดพีเอชจะมีปุ่มเพื่อปรับชดเชยอุณหภูมิ ในการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอชนั้นผู้วัดจะต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบค่าพีเอชที่แน่นอนเพื่อปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานก่อนที่จะทำการวัดพีเอชของสารตัวอย่าง ในการวัดพีเอชนั้นมีเครื่องมือสำหรับวัดค่าพีเอชทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม โดยในห้องปฏิบัติการนั้นจะวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอช(pH meter) ดังภาพภาคผนวกที่ ข – 1



ภาพภาคผนวกที่ ข – 1 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

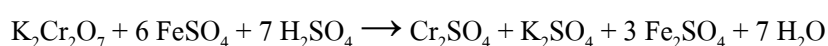
2. ซีโอดี (COD) วิธีรีฟลักซ์ปิด แบบไดเตรชัน

2.1 หลักการ

เมื่อผสมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตกับกรดซัลฟิวริกจะได้สารละลายผสมระหว่างกรดโครมิกและกรดกำมะถันซึ่งสารละลายผสมนี้มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงมากในสภาวะที่ร้อน



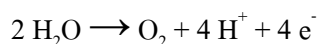
เมื่อเติมสารละลายผสมกรดโครมิกและกรดซัลฟิวริกนี้ลงในตัวอย่างที่มีสารประกอบอินทรีย์อยู่จะเกิดการออกซิไดซ์เมื่อทำให้ของผสมนี้ร้อน เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะมีสารประกอบโพแทสเซียมไดโครเมตเหลืออยู่ในปฏิกิริยาซึ่งปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลืออยู่นี้จะสามารถหาได้โดยการไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ ดังปฏิกิริยาในสมการ



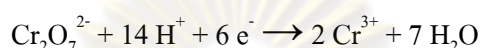
เมื่อทราบปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในตัวอย่างแล้ว ในการเทียบปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ออกมาเป็นปริมาณออกซิเจนเทียบเท่า่นั้น ทำได้โดยการใช้อัตราส่วนปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมต 1 โมล ต่อ ปริมาณ

ออกซิเจน 1.5 โมล ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโพแทสเซียมไดโครเมตอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เพียงพอจะทำให้โพแทสเซียมไดโครเมตสลายตัวให้ออกซิเจนดังสมการ

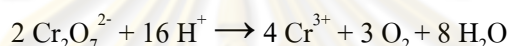
ครึ่งปฏิกิริยาของน้ำ



ครึ่งปฏิกิริยาของไดโครเมต



ปฏิกิริยารวม



จากสมการจะพบว่าไดโครเมต 1 โมล จะสลายตัวให้ออกซิเจน 1.5 โมล (48 กรัม) ฉะนั้นเมื่อทราบว่าใช้ปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตไปจำนวนเท่าใดก็สามารถเทียบเป็นการใช้ปริมาณออกซิเจนเทียบเท่าได้

2.2 สารเคมี

1.2.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate digestion, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0.0167 โมลต่อลิตร ออบสารโพแทสเซียมไดโครเมตที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำสารโพแทสเซียมไดโครเมตที่อบแล้วมา 4.913 กรัม เติมน้ำกลั่นให้ได้ประมาณ 500 มิลลิลิตร เติม กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตรและสารปรอทซัลเฟต (HgSO_4) 33.3 กรัม เมื่อสารต่างๆละลายจนหมด เติมน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

1.2.2 สารละลายผสม sulfuric acid – silver sulfate เตรียมสารละลายผสมระหว่างซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) และ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ในอัตราส่วน 5.5 กรัมของซิลเวอร์ซัลเฟตต่อ 1 กิโลกรัม ของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วันให้ ซิลเวอร์ซัลเฟตละลาย

1.2.3 สารละลาย ferroin indicator ละลายสาร 1, 10 - phenanthroline monohydrate จำนวน 1.485 กรัม และสาร $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 695 มิลลิกรัมในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

1.2.4 สารละลายมาตรฐาน Ferrous Ammonium Sulfate (FAS) 0.10 โมลต่อลิตร นำสาร $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ มา 39.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20

มิลลิลิตร ทำให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร หาความเข้มข้นที่แน่นอน (standardize) ของสารละลายมาตรฐาน FAS ทุกครั้งที่ใช้ ดังนี้

ก) นำหลอดทดสอบมา 3 หลอด เติมสารต่าง ๆ ตามลำดับในแต่ละหลอด ดังนี้

- น้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร
- สารละลายมาตรฐาน potassium dichromate digestion 0.0167 M จำนวน 1.5 มิลลิลิตร

- สารละลายผสม sulfuric acid - silver sulfate 3.5 มิลลิลิตร

ข) ปิดฝาให้สนิท กลับหลอดไปมาหลายๆ ครั้งเพื่อให้สารผสมเข้ากัน

ค) ทำให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง เติมสารละลาย ferroin indicator 1-2 หยด

ง) นำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS

molarity ของสารละลายมาตรฐาน FAS = $\frac{\text{ปริมาตรของ } 0.0167 \text{ M } K_2Cr_2O_7 \text{ ที่ใช้ (ml)} \times 0.1}{\text{ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการ titrate (มิลลิลิตร)}}$

จ) สารละลายมาตรฐาน Potassium Hydrogen Phthalate (KHP) บดสาร potassium hydrogen phthalate ($HOOC-C_6H_4-COOK$) ให้ละเอียดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ $120^\circ C$ จนได้น้ำหนักคงที่ นำสารที่อบแล้วมา 4,250 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารมาตรฐานที่มีค่าซีไอดีเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมของออกซิเจนต่อลิตร เก็บไว้ในตู้เย็นได้ 3 เดือน

ฉ) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

2.3 การเก็บและรักษาตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างในขวดแก้วหรือขวด polyethylene หรือเทียบเท่า ถ้าไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันทีให้เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นในปริมาณที่จะทำให้พีเอชตัวอย่างน้อยกว่า 2 (สำหรับตัวอย่างที่มีเป็นกลางให้เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร ต่อน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร) แล้วนำตัวอย่างแช่เย็นไว้โดยให้วิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 28 วัน

2.4 วิธีวิเคราะห์

1.4.1. ข้อควรระวัง

- ควรใส่ถุงมือกันกรดขณะเขย่าหลอดทดสอบ
- ในกรณีตัวอย่างมีตะกอนขนาดใหญ่ ให้ปั่นตัวอย่างเพื่อให้ตะกอนมีขนาดเล็กลง เป็นเนื้อเดียวกันก่อน

- ในการทดสอบให้ใช้ไมโครปิเปตขนาด 1- 5 มิลลิลิตร
- เลือกตัวอย่างอย่างน้อย 10 % ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมดมาทำ spiked duplicate

recovery

2.4.2 เขียนชื่อตัวอย่างน้ำ หรือเขียนหมายเลขแทนตัวอย่างน้ำก็ได้ ติดไว้ข้างหลอดทดสอบ จดหมายเลขและชื่อตัวอย่างลงในสมุดบันทึกให้ตรงกับหมายเลขในหลอดทดสอบ

2.4.3 วิเคราะห์

1. ล้างหลอดย่อยสลาย (digestion tubes) และฝาจุกด้วยกรดซัลฟิวริก 20 % ก่อนนำไปใช้ เพื่อป้องกัน การปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์

2. เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม ตามตารางภาคผนวกที่

ข - 1

หมายเหตุ ในกรณีที่ใช้น้ำยาลย่อยสลายสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate digestion solution) ความเข้มข้น 0.0167 โมลาร์ ค่าซีไอดีของตัวอย่างน้ำ ควรอยู่ระหว่าง 50 - 400 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าซีไอดีมากกว่านี้จะต้องทำการเจือจางตัวอย่างน้ำนั้นก่อน เพื่อให้ตัวอย่างน้ำที่เจือจางแล้วมีซีไอดีอยู่ในช่วงของการวิเคราะห์

การปิเปตตัวอย่างน้ำในปริมาณน้อยๆควรใช้ความระมัดระวังอย่างมากเนื่องจาก อาจเกิดความ ผิดพลาดได้ง่าย วิธีที่อาจจะนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหานี้คือการชั่งรีเอเจนต์และตัวอย่าง รวมทั้งสารละลาย อื่นๆที่ใช้แทนการปิเปตโดยต้องคำนวณหาความหนาแน่นของสารละลายหรือรีเอเจนต์ที่ใช้ หรืออาจจะ ใช้ไมโครปิเปตแทนก็ได้

3. นำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลายหรือแอมพูลที่เตรียมไว้ เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลายซึ่งได้แก่ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

4. ค่อยๆเทกรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ลงในหลอดโดยให้กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ไหลลงก้นหลอดแก้วเพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นตัวอย่างน้ำและน้ำยาลย่อยสลาย

5. ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่นหรือถ้าใช้แอมพูลก็ให้เชื่อมให้สนิท แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลายๆ ครั้งเพื่อ ผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

ข้อควรระวัง -ในขณะที่ผสมในภาชนะให้ใส่หน้ากากป้องกัน (face shield) และให้ใส่ถุงมือเพื่อกันความร้อนด้วย ต้องผสมของผสมให้เข้ากันให้ดีก่อนนำไปรีฟลักซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่เฉพาะที่ ก้นหลอด เพราะอาจทำให้ระเบิดได้

6. นำหลอดทดลองเหล่านี้ไปใส่ในเครื่องย่อยสลาย (block digestion) หรือตู้อบ (hot air oven) ดังภาพภาคผนวกที่ ข - 2 ซึ่งได้ทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 150°C ก่อน ใช้เวลารีฟลักซ์ นาน 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง โดยนำหลอดทดลองมาวางไว้ใน test tube rack (ที่วางหลอดทดลอง) หมายเหตุ ฝาจุกของหลอดทดลองที่อาจเกิดการชำรุดในขณะที่ทำการย่อยสลายในเตาอบ จะทำให้เกิดการ ปนเปื้อนและทำให้มีการสูญหายของสารอินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงควรที่จะต้องระมัดระวังสำหรับการย่อย สลายในเตาอบจะใช้อุณหภูมิที่ $150 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

7. เปิดฝาจุก แล้วจึงใส่แท่งแม่เหล็กที่หุ้มด้วยทีเอฟอี (TFE- coated magnetic bar) ถ้าใช้ แอมพูลให้เทของผสมลงในภาชนะที่ใหญ่กว่าเพื่อนำไปไทเทรต เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 0.05 - 0.1 มิลลิลิตร (1 หรือ 2 หยด) คน โดยใช้เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) อย่างเร็วในขณะที่ไทเทรตด้วย 0.1 โมลาร์ เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (ferrous ammonium sulfate) จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากฟ้ามเขียวเป็นน้ำตาลแดง ถึงแม้บางครั้งสีฟ้ามเขียวอาจจะกลับมาให้เห็นอีกในระยะเวลาอันสั้นก็ตาม ให้ถือว่าจุดยุติอยู่ที่สีน้ำตาลแดงครั้งแรก

8. ด้วยวิธีทำแนวเดียวกันแต่ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ โดยการรีฟลักซ์น้ำกลั่น (blank) แล้วไทเทรต แบบลงค์ซึ่งมีรีเอเจนต์และปริมาตรน้ำกลั่นเท่ากับปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่ใช้

9. ด้วยวิธีทำเช่นเดียวกันแต่ใช้สารละลายซีโอดีมาตรฐานแทนตัวอย่างน้ำ โดยใช้รีเอเจนต์ต่าง ๆ เหมือนกับที่ใช้กับตัวอย่างน้ำแล้วคำนวณหาค่าซีโอดีเพื่อตรวจสอบวิธีการวิเคราะห์ว่าถูกต้องหรือไม่

ตารางภาคผนวกที่ ข - 1 ปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่างๆของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย

ขนาดของภาชนะ ย่อยสลาย (มิลลิเมตร)	ตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)	สารละลายในการ ย่อยสลาย (มิลลิลิตร)	กรดซัลฟิวริก รีเอเจนต์ (มิลลิลิตร)	ปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร)
หลอดย่อยสลาย				
16 x 100	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150	10.0	6.0	14.0	30.0

2.5 การคำนวณ

$$\text{COD (mg O}_2\text{/l)} = \frac{(A - B) \cdot M \cdot 8,000}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง, มิลลิลิตร}}$$

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน FAS ที่ใช้สำหรับ blank, มิลลิลิตร

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน FAS ที่ใช้สำหรับ ตัวอย่าง, มิลลิลิตร

M = molarity ของสารละลายมาตรฐาน FAS ที่คำนวณได้จากการ standardize



ภาพภาคผนวกที่ ข – 2 ตู้อบ (hot air oven)

3. ของแข็งแขวนลอย (TSS)

3.1 หลักการ

นำตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง GF/C ที่ทราบน้ำหนัก ตะกอนที่ติดอยู่บนกระดาษกรองจะนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C และทำให้แห้งในโถทำแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มคือน้ำหนักของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดต่อปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- โถดูดความชื้น (desiccator)
- ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 -105 °C

- เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance) สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- กระดาษกรอง GF/C (glass fiber filter) เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร
- เครื่องดูดสุญญากาศ (suction pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศ
- ถ้วยระเหย (evaporating dishes)

3.3 วิธีวิเคราะห์

3.3.1 นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง

3.3.2 ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C สมมติให้น้ำหนัก A กรัม วางบนถ้วยอลูมิเนียมฟอยล์

3.3.3 ต่อชุดเครื่องมือสำหรับกรอง ใช้ปากคีบหยิบกระดาษกรอง GF/C วางบนกรวยบุคเนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้งติดต่อกันแต่ละครั้งใช้น้ำกลั่นประมาณ 20 มิลลิลิตร เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อ เพื่อให้ดูดน้ำล้างจนแห้ง ทิ้งน้ำล้างไป

3.3.4 เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้โดยพิจารณาจากตัวอย่างน้ำ ถ้าน้ำขุ่นมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมาก ควรใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำน้อย แต่ถ้าตัวอย่างใส ควรใช้ปริมาตรตัวอย่างมาก เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน เทตัวอย่างที่ทราบปริมาตรกรอง เทต่อเนื่องกันจนหมดใช้น้ำกลั่นฉีดล้างภาชนะที่ใช้ตวงตัวอย่างและฉีดน้ำกลั่นที่ด้านข้างกรวยบุคเนอร์รวมทั้งบนกระดาษกรอง GF/C ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดน้ำออกจนแห้ง ปิดเครื่อง

3.3.5 ใช้ปากคีบหนีบขอบกระดาษกรอง GF/C ขึ้นวางบนถ้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C อย่างน้อยเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง สมมติให้น้ำหนักเป็น B กรัม

3.4 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \{(B - A) / C\} \times 10^6$$

A = น้ำหนักกระดาษกรองอย่างเดียว (กรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง (กรัม)

C = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

4. ซัลเฟต (sulfate) วิธีวัดความขุ่น

4.1 หลักการ

ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกซึ่งมีกลีเซอรอล ซัลเฟตสามารถทำปฏิกิริยากับแบเรียมคลอไรด์ และเกิดคอลลอยด์ของแบเรียมซัลเฟตซึ่งสามารถวัดปริมาณได้ในรูปของความขุ่น

4.2 วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวยเติมคอนดิชันนิงรีเอเจนต์ (ผสมกลีเซอรอล 50 มิลลิลิตร กับสารละลายที่ประกอบด้วยกรดเกลือเข้มข้น 30 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร เอทานอล 95 % จำนวน 100 มิลลิลิตร โซเดียมคลอไรด์ 75 กรัม) 5 มิลลิลิตร ผสมและกวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็ก ในขณะที่เดียวกันเติมผลึกแบเรียมคลอไรด์ประมาณ 1 ซ่อนชา เริ่มจับเวลาทันที

2. ตั้งเครื่องกวนไว้ครบ 1 นาที หยุดกวน นำไปวัดความขุ่น ภายในเวลา 10 นาที นำไปอ่านค่าซัลเฟตจากกราฟมาตรฐาน

3. การเตรียมกราฟมาตรฐาน เตรียมสารละลายซัลเฟต ให้มีความเข้มข้น 500, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 และ 3,000 ไมโครกรัม โดยเปิดสารมาตรฐานซัลเฟตมา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดรูปกรวยแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในแต่ละขวด แล้วทำเหมือนการวิเคราะห์ตัวอย่าง นำค่าที่วัดได้แต่และความเข้มข้นมาเขียนกราฟมาตรฐาน

4.3 การคำนวณ

$$\text{SO}_4 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} = \frac{\text{ไมโครกรัมซัลเฟต/ปริมาณน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}{\text{ค่าจากกราฟมาตรฐาน}}$$

5. ซัลไฟด์ (sulfide) วิธีไอโอดเมตริก

5.1 หลักการ

ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ไอโอดีนออกซิไดส์ซัลไฟด์ให้เป็นซัลเฟอร์ซึ่งมีปริมาณไอโอดีนสมมูลกับซัลไฟด์ แล้ววัดปริมาณไอโอดีนที่เหลือโดยการไทเทรตกับโซเดียมไธโอซัลเฟต

5.2 วิธีวิเคราะห์

1. หยดสารละลายตั้งกะสีอะซิเตด 0.45 มิลลิลิตร ลงในขวดปิโอติ 300 มิลลิลิตร แล้วเติมตัวอย่างน้ำ 300 มิลลิลิตร หรือน้อยกว่าแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบเป็น 300 มิลลิลิตร แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล 0.3 มิลลิลิตร ปิดจุกโดยไม่ให้มีช่องว่างของอากาศอยู่ภายในขวด

เขย่าขวดไปมาแรงๆ จนกระทั่งเกิดผลึกของสังกะสีซัลไฟด์ ตั้งทิ้งไว้นาน 30 นาที เพื่อให้ผลึกตกตะกอน

2. รินน้ำใส่ทิ้งและกรองผลึกผ่านกระดาษกรอง GF/C เก็บกระดาษกรองที่มีผลึกไว้วิเคราะห์ต่อไป

3. ใส่กระดาษกรองที่มีผลึกของสังกะสีซัลไฟด์ในขวดรูปกรวยและเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

4. เติมกรดไฮโดรคลอริกจำนวน 6 นอร์มัล จำนวน 2 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายไอโอดีน 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ในขณะที่ตัวอย่างควรจะมีสีเหลืองของไอโอดีน ถ้าไม่มีสีเหลืองเกิดขึ้นให้เติมสารละลายไอโอดีนลงไปอีก 5 มิลลิลิตร เพื่อให้เกิดสี ถ้าไม่มีสีให้เติมสารละลายไอโอดีนจนกระทั่งเกิดสี และจดปริมาณของสารละลายไอโอดีนทั้งหมด

5. นำสารละลายในขวดรูปกรวยมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์จนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป จดปริมาตรที่ไทเทรต

5.3 การคำนวณ

ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $\{[(A \times B) - (C \times D)] \times 16,000\} / \text{ปริมาตรตัวอย่าง}$

โดยที่	A	=	ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายไอโอดีนที่ใช้
	B	=	ความเข้มข้น (N) ของสารละลายไอโอดีน
	C	=	ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้
	D	=	ความเข้มข้น (N) ของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียยางชั้นและน้ำเสียยางชั้นที่ออกจากระบบเอปียาร์

ตารางภาคผนวกที่ ค-1 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถัง
ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อ
ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	อุณหภูมิ (°C)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถังปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
09/11/2551	28.9	25.9	25.8	25.6
11/11/2551	29.5	28.0	28.5	28.0
12/11/2551	29.0	30.0	30.3	29.0
14/11/2551	29.5	30.0	30.5	30.5
17/11/2551	28.5	29.0	29.5	29.1
18/11/2551	28.1	28.4	28.2	28.2
19/11/2551	28.0	28.5	28.5	28.4
20/11/2551	28.6	28.6	28.7	28.7
24/11/2551	28.7	24.6	26.7	25.7
26/11/2551	28.7	28.6	28.3	28.9
27/11/2551	26.3	28.2	28.0	27.8
02/12/2551	28.2	25.0	24.9	24.6
เฉลี่ย	28.5	27.9	28.5	27.9
สูงสุด	29.5	30.0	30.5	30.5
ต่ำสุด	26.3	24.6	24.9	24.6

ตารางภาคผนวกที่ ค - 2 ผลการวิเคราะห์ฟิโชนของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ฟิโชน			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
09/11/2551	5.96	7.71	7.37	7.56
11/11/2551	7.51	8.03	7.98	7.93
12/11/2551	6.00	7.80	8.06	7.72
14/11/2551	5.89	7.98	7.72	8.24
17/11/2551	5.93	8.45	8.55	8.61
18/11/2551	5.96	8.26	8.34	8.22
19/11/2551	5.11	8.69	8.61	8.58
20/11/2551	5.16	8.11	8.07	7.88
24/11/2551	7.32	8.53	8.57	8.49
26/11/2551	6.39	8.73	8.66	8.51
27/11/2551	5.93	8.68	8.65	8.68
02/12/2551	5.15	7.75	7.54	7.59
เฉลี่ย	6.03	8.23	8.18	8.17
สูงสุด	7.51	8.73	8.66	8.68
ต่ำสุด	5.11	7.71	7.37	7.56

ตารางภาคผนวกที่ ค – 3 ผลการวิเคราะห์ซีไอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3 ถึง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีไอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
09/11/2551	3896.5	225.0	218.0	237.0
11/11/2551	4500.0	450.0	360.0	312.5
12/11/2551	4225.0	334.0	399.5	328.0
14/11/2551	5376.0	545.0	207.0	207.0
17/11/2551	4225.0	679.0	487.0	349.0
18/11/2551	5736.0	499.0	257.0	257.0
19/11/2551	5730.0	465.0	250.5	246.7
20/11/2551	4800.0	652.8	265.2	204.0
24/11/2551	5200.0	514.5	450.0	334.1
26/11/2551	5150.0	550.0	473.5	385.8
27/11/2551	5605.0	578.0	485.8	402.5
02/12/2551	5762.0	564.0	428.0	393.5
เฉลี่ย	5017.1	504.7	370.4	304.8
สูงสุด	5762.0	679.0	487.0	402.5
ต่ำสุด	3896.5	225.0	218.0	204.0

ตารางภาคผนวกที่ ค - 4 ผลการวิเคราะห์สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3
ถังปฏิกรณ์ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อ
ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	สภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของHCO ₃ ⁻)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถังปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
09/11/2551	934	1,575	1,447	1,320
11/11/2551	975	1,821	1,360	1,275
12/11/2551	910	1,298	1,416	1,275
14/11/2551	769	1,470	1,452	1,833
17/11/2551	837	2,012	1,688	1,625
18/11/2551	925	1,988	1,412	1,500
19/11/2551	976	1,962	1,875	1,837
20/11/2551	937	1,954	1,335	1,363
24/11/2551	825	1,828	1,449	1,844
26/11/2551	850	2,017	1,738	1,819
27/11/2551	817	1,997	1,820	1,612
02/12/2551	250	1,841	1,344	1,490
เฉลี่ย	834	1,814	1,528	1,566
สูงสุด	976	2,017	1,875	1,844
ต่ำสุด	250	1,298	1,335	1,275

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 5 ผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
เอบิอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัม
ซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH ₃ COOH)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
09/11/2551	1,785	285	460	380
11/11/2551	1,892	208	358	327
12/11/2551	1,711	354	226	412
14/11/2551	1,604	391	423	618
17/11/2551	1,751	288	625	388
18/11/2551	1,805	331	837	513
19/11/2551	2,129	113	975	1013
20/11/2551	2,175	212	570	778
24/11/2551	1,850	245	337	410
26/11/2551	1,959	202	403	531
27/11/2551	1,653	274	382	476
02/12/2551	1,200	162	321	255
เฉลี่ย	1,793	255	493	508
สูงสุด	2,175	391	975	1013
ต่ำสุด	1,200	113	226	255

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค - 6 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบ
เอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัม
ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
09/11/2551	300	63	70	57
11/11/2551	273	43	27	23
12/11/2551	209	44	35	27
14/11/2551	223	33	40	32
17/11/2551	197	55	90	65
18/11/2551	250	79	57	60
19/11/2551	425	48	62	24
20/11/2551	270	52	50	29
24/11/2551	233	67	40	35
26/11/2551	465	75	53	14
27/11/2551	300	60	38	23
02/12/2551	273	54	48	39
เฉลี่ย	285	56	51	36
สูงสุด	465	79	90	65
ต่ำสุด	197	33	40	14

ตารางภาคผนวกที่ ค - 7 ผลการวิเคราะห์ซัลเฟตของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียอร์ทั้ง 3 ถัง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถังปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
09/11/2551	865.60	12.39	21.30	16.38
11/11/2551	647.53	7.10	8.97	15.51
12/11/2551	709.83	19.87	32.96	7.98
14/11/2551	803.29	15.36	16.44	4.61
17/11/2551	827.90	21.43	29.53	5.07
18/11/2551	925.41	26.41	32.02	23.92
19/11/2551	959.06	17.38	26.10	22.05
20/11/2551	990.21	8.97	9.28	19.87
24/11/2551	896.75	23.61	16.72	18.94
26/11/2551	896.75	23.95	27.06	17.38
27/11/2551	974.63	25.79	22.67	13.82
02/12/2551	725.41	30.15	18.03	10.84
เฉลี่ย	851.86	19.37	21.76	14.70
สูงสุด	990.21	30.15	32.96	23.92
ต่ำสุด	647.53	7.10	8.97	4.61

ตารางภาคผนวกที่ ค – 8 ผลการวิเคราะห์ซัลไฟด์ของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
09/11/2551	31.00	72.00	124.00	162.33
11/11/2551	47.00	43.33	185.33	219.67
12/11/2551	29.00	77.27	1150.13	169.25
14/11/2551	25.00	155.33	243.33	203.33
17/11/2551	23.00	66.67	293.33	265.67
18/11/2551	34.00	108.00	86.67	116.00
19/11/2551	40.00	106.67	53.33	80.00
20/11/2551	26.67	178.33	236.33	275.67
24/11/2551	52.00	88.67	168.33	123.33
26/11/2551	30.00	97.33	100.00	73.33
27/11/2551	19.00	40.00	93.00	140.00
02/12/2551	24.00	100.00	160.00	173.33
เฉลี่ย	31.72	94.47	154.90	166.83
สูงสุด	52.00	178.33	293.33	275.67
ต่ำสุด	19.00	40.00	53.33	73.33

ตารางภาคผนวกที่ ค - 9 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
เอบีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัม
ซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ก๊าซชีวภาพทั้งหมด (มิลลิลิตรต่อวัน)		
	น้ำออก		
	ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
09/11/2551	20	10	10
10/11/2551	20	25	40
11/11/2551	50	50	60
12/11/2551	80	100	110
14/11/2551	140	160	240
16/11/2551	115	200	270
18/11/2551	205	160	215
19/11/2551	225	235	300
20/11/2551	170	250	340
21/11/2551	230	295	270
22/11/2551	160	240	315
23/11/2551	190	270	220
24/11/2551	215	230	240
25/11/2551	230	300	265
27/11/2551	200	180	240
28/11/2551	360	330	400
29/11/2551	175	215	250
30/11/2551	205	320	385
01/12/2551	270	290	350
02/12/2551	310	350	300
เฉลี่ย	179	211	241
สูงสุด	360	350	400
ต่ำสุด	20	10	10

ตารางภาคผนวกที่ ค - 10 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3
ถังปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อ
ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	อุณหภูมิ (°C)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถังปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
07/12/2551	23.5	25.1	25.0	25.1
09/12/2551	25.2	25.5	25.9	25.5
11/12/2551	25.2	25.1	25.2	25.1
14/12/2551	25.2	28.0	27.8	27.6
17/12/2551	28.0	28.2	28.1	28.2
20/12/2551	28.1	27.2	27.0	27.2
22/12/2551	28.1	27.2	27.4	27.3
24/12/2551	27.4	26.6	26.1	25.8
26/12/2551	26.0	27.2	27.6	27.7
28/12/2551	30.0	29.9	29.8	30.0
30/12/2551	28.7	27.2	27.3	27.2
01/12/2551	27.9	28.2	28.1	28.3
03/01/2552	28.3	28.1	28.1	28.1
05/01/2552	28.0	27.4	27.7	28.0
เฉลี่ย	27.1	27.2	27.2	27.2
สูงสุด	30.0	29.9	29.8	30.0
ต่ำสุด	23.5	25.1	25	25.1

ตารางภาคผนวกที่ ค- 11 ผลการวิเคราะห์ฟิโชน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปปีอาร์ทั้ง 3 ถึง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ฟิโชน้ำ			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
07/12/2551	6.61	7.62	7.47	7.61
09/12/2551	5.39	7.25	7.09	7.28
11/12/2551	5.35	7.17	7.33	7.28
14/12/2551	5.22	7.25	7.09	7.28
17/12/2551	5.04	8.25	8.32	8.32
20/12/2551	5.03	8.47	8.48	8.49
22/12/2551	5.00	7.52	7.45	7.56
24/12/2551	5.03	8.12	8.05	7.76
26/12/2551	5.05	7.41	7.28	7.58
28/12/2551	5.05	8.33	8.34	8.60
30/12/2551	5.00	7.34	7.44	7.48
01/01/2552	5.77	7.49	7.47	7.77
03/01/2552	5.295	7.93	7.99	7.89
05/01/2552	6.61	8.49	8.51	8.60
07/01/2552	5.00	8.49	8.51	8.60
09/01/2552	6.61	8.33	8.40	8.44
11/01/2552	5.39	8.42	8.60	8.40
เฉลี่ย	5.35	7.88	7.87	7.94
สูงสุด	5.22	8.49	8.60	8.60
ต่ำสุด	5.04	7.17	7.09	7.28

ตารางภาคผนวกที่ ค – 12 ผลการวิเคราะห์ซีไอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีไอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
07/12/2551	8,935.0	1,276.9	1,215.6	1,142.0
09/12/2551	9,680.0	1,344.0	1,267.2	1,063.7
11/12/2551	8,430.0	933.1	931.5	741.1
14/12/2551	8,947.1	982.6	736.0	699.2
17/12/2551	9,172.0	981.3	736.0	699.2
20/12/2551	8,509.0	1,128.9	1,030.9	854.6
22/12/2551	9,757.0	1,460.0	1,480.0	1,320.0
24/12/2551	7,680.0	1,509.1	1,228.8	1,017.6
26/12/2551	8,472.0	1,682.0	1,430.0	1,390.0
28/12/2551	11,200.0	1,755.0	1,413.0	1,142.0
30/12/2551	7,756.8	1,519.6	1,418.9	938.9
02/01/2552	11,424.0	1,584.2	1,484.0	1,006.7
เฉลี่ย	8,323.6	1,346.4	1,197.7	1,001.3
สูงสุด	11,424.0	1,755.0	1,484.0	1,390.0
ต่ำสุด	7,680.0	933.1	736.0	699.2

ตารางภาคผนวกที่ ค – 13 ผลการวิเคราะห์สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3
ถังปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อ
ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	สภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของHCO ₃ ⁻)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถังปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
07/12/2551	1,188	1,650	1,664	1,695
09/12/2551	925	1,630	1,593	1,587
11/12/2551	875	1,513	1,575	1,608
14/12/2551	839	1,864	1,728	1,776
17/12/2551	739	1,918	1,925	1,914
20/12/2551	663	1,743	1,700	1,738
22/12/2551	588	1,781	1,750	1,662
24/12/2551	658	1,713	1,595	1,676
26/12/2551	793	1,885	1,905	1,935
28/12/2551	780	1,888	1,900	1,825
30/12/2551	350	2,163	2,050	2,050
02/01/2552	975	1,775	1,928	1,915
เฉลี่ย	1,188	1,650	1,664	1,695
สูงสุด	925	1,630	1,593	1,587
ต่ำสุด	875	1,513	1,575	1,608

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค - 14 ผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
เอบีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัม
ซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH ₃ COOH)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิบัติการ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิบัติการ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิบัติการ 7 แผ่นกั้น
07/12/2551	1,688	382	371	349
09/12/2551	1,782	292	256	278
11/12/2551	1,828	355	384	402
14/12/2551	1,928	444	488	350
17/12/2551	2,150	308	354	208
20/12/2551	2,175	501	581	578
22/12/2551	2,238	312	275	340
24/12/2551	2,313	453	401	324
26/12/2551	2,350	466	570	325
28/12/2551	2,172	301	469	300
30/12/2551	1,800	363	488	493
02/01/2552	1,700	556	584	568
เฉลี่ย	2,010	394	435	366
สูงสุด	2,350	556	584	578
ต่ำสุด	1,688	292	256	208

ตารางภาคผนวกที่ ค – 15 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
เอบีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัม
ซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิบัติการ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิบัติการ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิบัติการ 7 แผ่นกั้น
07/12/2551	750	80	90	53
09/12/2551	785	70	49	55
11/12/2551	814	105	80	72
14/12/2551	757	110	95	80
17/12/2551	690	70	75	55
20/12/2551	350	85	50	60
22/12/2551	650	65	40	30
24/12/2551	835	90	70	60
26/12/2551	420	60	60	10
28/12/2551	1,040	80	65	65
30/12/2551	220	80	90	70
02/01/2552	520	60	30	40
เฉลี่ย	653	80	66	54
สูงสุด	1,040	110	95	80
ต่ำสุด	220	60	30	10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค - 16 ผลการวิเคราะห์ซัลเฟตของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
07/12/2551	1,296.00	10.45	7.77	3.38
09/12/2551	1,148.00	16.44	9.59	6.48
11/12/2551	1,540.00	7.41	10.21	2.74
14/12/2551	1,180.66	26.41	32.02	23.92
17/12/2551	880.00	7.72	5.85	7.72
20/12/2551	1,831.33	16.60	15.82	18.00
22/12/2551	553.23	10.26	22.05	1.96
24/12/2551	984.37	3.98	2.11	2.11
26/12/2551	585.22	4.92	5.38	5.23
28/12/2551	959.06	11.79	11.79	8.68
30/12/2551	585.22	15.82	19.56	2.74
02/01/2552	1,036.94	9.28	11.77	13.33
เฉลี่ย	1,048.34	11.76	12.83	8.02
สูงสุด	1,831.33	26.41	32.02	23.92
ต่ำสุด	553.23	3.98	2.11	1.96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 17 ผลการวิเคราะห์ซัลไฟด์ของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3
ถังปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อ
ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถังปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
07/12/2551	30.67	120.00	146.67	133.33
09/12/2551	42.34	93.33	63.33	112.67
11/12/2551	64.33	266.67	333.33	293.33
14/12/2551	92.41	52.81	26.40	66.01
17/12/2551	27.7227	106.67	173.33	106.67
20/12/2551	156.33	26.67	106.67	106.67
22/12/2551	0.1	160.53	93.33	133.33
24/12/2551	76.366	333.33	413.33	400.00
26/12/2551	240.00	256.67	278.67	344.33
28/12/2551	127.00	146.67	106.67	66.67
30/12/2551	106.67	260.00	225.33	350.67
02/01/2552	260.00	106.00	133.00	146.00
เฉลี่ย	83.99	160.78	175.01	188.31
สูงสุด	260.00	333.33	413.33	400.00
ต่ำสุด	0.10	26.67	26.40	66.01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 18 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
เอบิอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัม
ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ก๊าซชีวภาพทั้งหมด (มิลลิลิตรต่อวัน)		
	น้ำออก		
	ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
07/12/2551	140	235	350
08/12/2551	40	50	100
09/12/2551	80	100	100
10/12/2551	100	120	100
11/12/2551	450	500	750
12/12/2551	350	650	410
13/12/2551	420	540	490
14/12/2551	380	740	400
16/12/2551	300	520	600
17/12/2551	350	700	680
18/12/2551	250	660	440
19/12/2551	500	430	510
20/12/2551	360	490	400
22/12/2551	400	540	450
23/12/2551	300	470	620
26/12/2551	490	650	690
27/12/2551	550	700	750
28/12/2551	450	720	650
29/12/2551	490	650	730
30/12/2551	530	720	700
เฉลี่ย	347	509	496
สูงสุด	550	740	750
ต่ำสุด	40	50	100

ตารางภาคผนวกที่ ค – 19 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอบีอาร์ทั้ง 3
ถังปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อ
ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	อุณหภูมิ (°C)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถังปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
10/01/2552	26.2	26.3	26.5	26.4
12/01/2552	26.5	26.8	26.9	26.9
15/01/2552	26.8	27.0	27.3	27.2
16/01/2552	27.2	28.8	29.0	28.6
18/01/2552	28.3	28.5	28.0	28.2
20/01/2552	28.5	28.3	28.4	28.23
22/01/2552	28.1	27.5	27.6	27.6
24/01/2552	27.5	28.2	28.3	28.5
27/01/2552	28.5	27.8	27.5	27.6
29/01/2552	27.6	27.2	27.3	27.1
31/01/2552	27.0	28.0	28.0	28.1
02/02/2552	28.1	27.9	27.8	27.6
เฉลี่ย	27.5	27.7	27.7	27.7
สูงสุด	28.5	28.8	29.0	28.6
ต่ำสุด	26.2	26.3	26.5	26.4

ตารางภาคผนวกที่ ค - 20 ผลการวิเคราะห์พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	พีเอช			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
10/01/2552	5.08	8.62	8.51	8.53
12/01/2552	5.11	8.27	8.35	8.44
15/01/2552	5.19	8.18	8.29	8.35
16/01/2552	5.14	8.36	8.41	8.43
18/01/2552	5.16	8.24	8.30	8.34
20/01/2552	5.24	8.39	8.42	8.44
22/01/2552	5.10	8.35	8.45	8.52
24/01/2552	5.15	8.65	8.59	8.57
27/01/2552	5.05	8.46	8.37	8.33
29/01/2552	5.11	8.33	8.39	8.45
31/01/2552	5.17	8.21	8.26	8.31
02/02/2552	5.19	8.43	8.50	8.58
เฉลี่ย	5.14	8.37	8.40	8.44
สูงสุด	5.24	8.65	8.59	8.58
ต่ำสุด	5.05	8.18	8.26	8.31

ตารางภาคผนวกที่ ค - 21 ผลการวิเคราะห์ซีไอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปอาร์ทีทั้ง 3 ถัง
ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีไอดีต่อ
ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถังปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถังปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
10/01/2552	17,542.0	1,483.1	1,822.8	819.3
12/01/2552	14,563.0	1,731.8	1,849.9	1,338.2
15/01/2552	15,744.0	2,094.0	1,974.0	1,368.5
16/01/2552	13,056.0	4,250.0	3,955.2	3,705.6
18/01/2552	15,072.0	4,760.8	3,886.4	3,789.2
20/01/2552	16,322.9	4,750.0	3,867.0	3,750.0
22/01/2552	17,049.0	4,694.0	3,988.0	3,762.2
24/01/2552	16,730.0	4,730.0	3,977.9	3,862.5
27/01/2552	17,934.0	4,950.0	4,002.0	3,805.2
29/01/2552	16,777.0	4,890.0	3,950.0	3,748.0
31/01/2552	16,530.0	4,792.0	4,224.0	3,840.0
02/02/2552	16,150.0	4,831.0	4,076.2	3,978.0
เฉลี่ย	15,030.3	3,996.4	3,464.5	3,147.2
สูงสุด	17,934.0	4,950.0	4,224.0	3,978.0
ต่ำสุด	14,563.0	1,483.1	1,822.8	819.3

ตารางภาคผนวกที่ ค - 22 ผลการวิเคราะห์สภาพต่างของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3
ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อ
ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	สภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของHCO ₃ ⁻)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
10/01/2552	1,588	2,100	1,725	1,725
12/01/2552	1,588	2,300	1,925	1,938
15/01/2552	1,675	2,315	1,960	2,005
16/01/2552	1,708	2,675	2,344	2,519
18/01/2552	1,706	2,711	2,400	2,593
20/01/2552	1,725	2,630	2,576	2,350
22/01/2552	1,575	2,600	2,584	2,638
24/01/2552	1,593	2,709	2,580	2,690
27/01/2552	1,570	2,725	2,425	2,550
29/01/2552	1,602	2,563	2,610	2,662
31/01/2552	1,698	2,575	2,513	2,686
02/02/2552	1,715	2,683	2,570	2,738
เฉลี่ย	1,645	2,549	2,351	2,424
สูงสุด	1,725	2,725	2,610	2,738
ต่ำสุด	1,570	2,100	1,725	1,725

ตารางภาคผนวกที่ ค - 23 ผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
เอบีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัม
ซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH ₃ COOH)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
10/01/2552	3,736	463	581	250
12/01/2552	3,725	744	563	506
15/01/2552	3,538	1,013	831	688
16/01/2552	4,063	1,275	1,106	1,150
18/01/2552	3,931	1,181	825	827
20/01/2552	3,525	1,225	1,119	1,125
22/01/2552	3,713	1,219	1,071	1,031
24/01/2552	3,631	1,188	1,206	1,206
27/01/2552	3,588	1,188	1,263	1,294
29/01/2552	3,775	1,294	1,306	1,275
31/01/2552	3,850	1,360	1,320	1,295
02/02/2552	3,900	1,396	1,350	1,330
เฉลี่ย	3,748	1,129	1,045	998
สูงสุด	4,063	1,396	1,350	1,330
ต่ำสุด	3,525	463	563	250

ตารางภาคผนวกที่ ค – 24 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
เอบีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัม
ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
10/01/2552	960	60	35	55
12/01/2552	1,756	80	105	55
15/01/2552	900	75	97	61
16/01/2552	831	82	105	69
18/01/2552	875	60	95	55
20/01/2552	570	150	175	115
22/01/2552	325	72	120	108
24/01/2552	566	142	161	107
27/01/2552	572	83	117	104
29/01/2552	850	98	121	77
31/01/2552	780	83	99	72
02/02/2552	612	130	154	91
เฉลี่ย	800	93	115	81
สูงสุด	1,756	150	175	115
ต่ำสุด	325	60	35	55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค - 25 ผลการวิเคราะห์ซัลเฟตของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
10/01/2552	1,036.93	22.05	31.40	6.48
12/01/2552	1,239.43	26.72	17.38	8.34
15/01/2552	1,270.58	22.05	31.09	3.98
16/01/2552	1,364.04	28.28	8.66	5.54
18/01/2552	1,582.11	23.61	12.71	2.49
20/01/2552	1,450.63	25.17	5.67	10.21
22/01/2552	1,114.82	18.94	28.28	6.48
24/01/2552	1,737.87	19.33	23.91	1.80
27/01/2552	1,052.51	31.40	18.62	11.85
29/01/2552	1,550.96	22.36	30.77	2.74
31/01/2552	1,332.89	21.72	19.25	9.59
02/02/2552	1,610.52	25.64	18.94	7.09
เฉลี่ย	1,361.94	23.94	20.56	6.38
สูงสุด	1,737.87	31.40	31.40	11.85
ต่ำสุด	1,036.93	18.94	5.67	1.80

ตารางภาคผนวกที่ ค - 26 ผลการวิเคราะห์ซัลไฟด์ของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอปียาร์ทั้ง 3 ถึง
 ปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อ
 ลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	น้ำเข้า	น้ำออก		
		ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
10/01/2552	53.33	160.00	240.00	240.00
12/01/2552	4.00	186.67	293.33	173.33
15/01/2552	26.67	153.33	256.33	127.33
16/01/2552	28.00	112.67	203.67	247.00
18/01/2552	13.00	166.00	195.00	140.33
20/01/2552	34.00	148.67	164.33	122.00
22/01/2552	18.33	184.33	250.00	201.33
24/01/2552	35.00	143.00	237.00	197.67
27/01/2552	9.66	177.67	210.30	230.67
29/01/2552	30.00	210.30	312.00	287.00
31/01/2552	22.00	196.00	274.00	301.33
เฉลี่ย	24.91	167.15	239.63	206.18
สูงสุด	53.33	210.30	312.00	301.33
ต่ำสุด	4.00	112.67	164.33	122.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค - 27 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
เอบีอาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัม
ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

วัน เดือน ปี	ก๊าซชีวภาพทั้งหมด (มิลลิลิตรต่อวัน)		
	นำออก		
	ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
10/01/2552	250	240	360
11/01/2552	220	540	590
12/01/2552	670	750	950
13/01/2552	800	1,000	1,000
14/01/2552	920	1,420	1,300
15/01/2552	750	1,300	1,000
16/01/2552	1120	1,380	1,450
17/01/2552	770	1,020	850
18/01/2552	1050	1,200	1,250
19/01/2552	980	1,380	1,270
21/01/2552	850	1,320	1,460
22/01/2552	945	1,400	1,250
23/01/2552	880	1,340	1,110
24/01/2552	810	1,200	900
25/01/2552	960	1,050	1,350
26/01/2552	1010	1,120	1,200
27/01/2552	865	1,250	1,200
28/01/2552	950	1,080	1,150
29/01/2552	1,000	1,130	1,200
30/01/2552	990	1,200	1,330
31/01/2552	1,200	1,300	1,470
01/02/2552	1,370	1,340	1,400
03/02/2552	1,000	1,280	1,370
03/02/2552	1,150	1,430	1,300

ตารางภาคผนวกที่ ค - 27 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
เอปียาร์ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่อัตรากระบวนการทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัม
ซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน (ต่อ)

วัน เดือน ปี	ก๊าซชีวภาพทั้งหมด (มิลลิลิตรต่อวัน)		
	น้ำออก		
	ถึงปฏิกรณ์ 3 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 5 แผ่นกั้น	ถึงปฏิกรณ์ 7 แผ่นกั้น
เฉลี่ย	896	1,153	1,155
สูงสุด	1,370	1,430	1,470
ต่ำสุด	220	240	360

ตารางภาคผนวกที่ ค - 28 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 3 แผ่นกั้น ที่อัตรากระบวนการทุก
สารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	สภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	อัตราส่วนของกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
285	1,575	0.18
208	1,821	0.11
354	1,298	0.27
391	1,470	0.27
288	2,012	0.14
331	1,988	0.17
113	1,962	0.06
212	1,954	0.11
245	1,828	0.13
202	2,017	0.10
274	1,997	0.14
162	1,841	0.09

ตารางภาคผนวกที่ ค – 29 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 5 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	สภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	อัตราส่วนของกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
460	1,447	0.29
358	1,360	0.20
226	1,416	0.17
423	1,452	0.29
625	1,688	0.31
837	1,412	0.42
975	1,875	0.50
570	1,335	0.29
337	1,449	0.18
403	1,738	0.20
382	1,820	0.19
321	1,344	0.17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 30 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	สภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	อัตราส่วนของกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
380	1,320	0.29
327	1,275	0.26
412	1,275	0.32
618	1,833	0.34
388	1,625	0.24
513	1,500	0.34
1013	1,837	0.55
778	1,363	0.57
410	1,844	0.22
531	1,819	0.29
476	1,612	0.30
255	1,490	0.17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 31 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 3 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	สภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	อัตราส่วนของกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
382	1,650	0.23
292	1,630	0.18
355	1,512	0.23
444	1,863	0.24
308	1,917	0.16
501	1,742	0.29
312	1,780	0.18
453	1,712	0.26
466	1,885	0.25
301	1,887	0.16
363	2,162	0.17
556	1,775	0.31

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 32 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 5 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	สภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	อัตราส่วนของกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
371	1,664	0.22
256	1,593	0.16
384	1,575	0.24
488	1,728	0.28
354	1,925	0.18
581	1,700	0.34
275	1,750	0.16
401	1,595	0.25
570	1,905	0.30
469	1,900	0.25
488	2,050	0.24
584	1,928	0.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 33 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	สภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	อัตราส่วนของกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
349	1,695	0.21
278	1,587	0.18
402	1,607	0.25
350	1,775	0.20
208	1,913	0.11
578	1,737	0.33
340	1,662	0.20
324	1,675	0.19
325	1,935	0.17
300	1,825	0.16
493	2,050	0.24
568	1,914	0.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 34 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 3 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	สภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	อัตราส่วนของกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
463	2,100	0.22
744	2,300	0.32
1,013	2,315	0.44
1,275	2,675	0.48
1,181	2,711	0.44
1,225	2,630	0.47
1,219	2,600	0.47
1,188	2,709	0.44
1,188	2,725	0.44
1,294	2,563	0.50
1,360	2,575	0.53
1,396	2,683	0.52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 35 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 5 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	สภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	อัตราส่วนของกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
581	1,725	0.34
563	1,925	0.29
831	1,960	0.42
1,106	2,344	0.47
825	2,400	0.34
1,119	2,576	0.43
1,071	2,584	0.41
1,206	2,580	0.47
1,263	2,425	0.52
1,306	2,610	0.50
1,320	2,513	0.53
1,350	2,570	0.53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ ค – 36 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity) ของน้ำเสียที่ออกจากระบบเอปียาร์ขนาด 7 แผ่นกั้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตรของ CH_3COOH)	สภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรของ HCO_3^-)	อัตราส่วนของกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFAs : alkalinity)
250	1,725	0.14
506	1,938	0.26
688	2,005	0.34
1,150	2,519	0.46
827	2,593	0.32
1,125	2,350	0.48
1,031	2,638	0.39
1,206	2,690	0.45
1,294	2,550	0.51
1,275	2,662	0.48
1,295	2,686	0.48
1,330	2,738	0.49

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for windows

1. การวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าสำคัญประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และซัลเฟตของระบบเอปี่อาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกัน ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

Oneway

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	98.882	2	49.441	9.666	.000
	Within Groups	168.791	33	5.115		
	Total	267.674	35			
SULFATE	Between Groups	4.770	2	2.385	3.135	.057
	Within Groups	25.102	33	.761		
	Total	29.872	35			
SS	Between Groups	283.700	2	141.850	2.201	.127
	Within Groups	2126.694	33	64.445		
	Total	2410.395	35			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) BAFFLED	(J) BAFFLED	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
COD	3.00	5.00	-2.8533*	.92330	.004	-4.7318	-.9749
		7.00	-3.9275*	.92330	.000	-5.8060	-2.0490
	5.00	3.00	2.8533*	.92330	.004	.9749	4.7318
		7.00	-1.0742	.92330	.253	-2.9526	.8043
	7.00	3.00	3.9275*	.92330	.000	2.0490	5.8060
		5.00	1.0742	.92330	.253	-.8043	2.9526
SULFATE	3.00	5.00	.2850	.35606	.429	-.4394	1.0094
		7.00	-.5892	.35606	.107	-1.3136	.1352
	5.00	3.00	-.2850	.35606	.429	-1.0094	.4394
		7.00	-.8742*	.35606	.020	-1.5986	-.1498
	7.00	3.00	.5892	.35606	.107	-.1352	1.3136
		5.00	.8742*	.35606	.020	.1498	1.5986
SS	3.00	5.00	-1.5692	3.27733	.635	-8.2369	5.0986
		7.00	-6.5825	3.27733	.053	-13.2503	.0853
	5.00	3.00	1.5692	3.27733	.635	-5.0986	8.2369
		7.00	-5.0133	3.27733	.136	-11.6811	1.6544
	7.00	3.00	6.5825	3.27733	.053	-.0853	13.2503
		5.00	5.0133	3.27733	.136	-1.6544	11.6811

*. The mean difference is significant at the .05 level.

2. การวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าสำคัญประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และซัลเฟต ของระบบเอปียาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน

Oneway

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	86.573	2	43.286	4.617	.017
	Within Groups	309.356	33	9.374		
	Total	395.929	35			
SULFATE	Between Groups	2.919	2	1.460	1.931	.161
	Within Groups	24.943	33	.756		
	Total	27.862	35			
SS	Between Groups	119.751	2	59.876	.824	.448
	Within Groups	2398.474	33	72.681		
	Total	2518.225	35			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) BAFFLED	(J) BAFFLED	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
COD	3.00	5.00	-1.6433	1.24996	.198	-4.1864	.8997	
		7.00	-3.7875*	1.24996	.005	-6.3306	-1.2444	
	5.00	3.00	1.6433	1.24996	.198	-.8997	4.1864	
		7.00	-2.1442	1.24996	.096	-4.6872	.3989	
	7.00	3.00	3.7875*	1.24996	.005	1.2444	6.3306	
		5.00	2.1442	1.24996	.096	-.3989	4.6872	
	SULFATE	3.00	5.00	.2092	.35493	.560	-.5129	.9313
			7.00	-.4717	.35493	.193	-1.1938	.2504
5.00		3.00	-.2092	.35493	.560	-.9313	.5129	
		7.00	-.6808	.35493	.064	-1.4029	.0413	
7.00		3.00	.4717	.35493	.193	-.2504	1.1938	
		5.00	.6808	.35493	.064	-.0413	1.4029	
SS		3.00	5.00	-2.0483	3.48045	.560	-9.1294	5.0327
			7.00	-4.4625	3.48045	.209	-11.5435	2.6185
	5.00	3.00	2.0483	3.48045	.560	-5.0327	9.1294	
		7.00	-2.4142	3.48045	.493	-9.4952	4.6669	
	7.00	3.00	4.4625	3.48045	.209	-2.6185	11.5435	
		5.00	2.4142	3.48045	.493	-4.6669	9.4952	

*. The mean difference is significant at the .05 level.

3. การวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าสำคัญประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และซัลเฟต ของระบบเอปอาร์ 3, 5 และ 7 แผ่นกัน ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์ เมตร-วัน

Oneway

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	167.197	2	83.599	1.497	.239
	Within Groups	1842.580	33	55.836		
	Total	2009.777	35			
SULFATE	Between Groups	11.778	2	5.889	18.314	.000
	Within Groups	10.611	33	.322		
	Total	22.390	35			
TSS	Between Groups	157.234	2	78.617	.968	.391
	Within Groups	2681.258	33	81.250		
	Total	2838.492	35			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) BAFFLED	(J) BAFFLED	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
COD	3.00	5.00	-3.2592	3.05057	.293	-9.4656	2.9473
		7.00	-5.2258	3.05057	.096	-11.4323	.9806
	5.00	3.00	3.2592	3.05057	.293	-2.9473	9.4656
		7.00	-1.9667	3.05057	.524	-8.1731	4.2398
	7.00	3.00	5.2258	3.05057	.096	-.9806	11.4323
		5.00	1.9667	3.05057	.524	-4.2398	8.1731
SULFATE	3.00	5.00	-.2317	.23150	.324	-.7027	.2393
		7.00	-1.3125*	.23150	.000	-1.7835	-.8415
	5.00	3.00	.2317	.23150	.324	-.2393	.7027
		7.00	-1.0808*	.23150	.000	-1.5518	-.6098
	7.00	3.00	1.3125*	.23150	.000	.8415	1.7835
		5.00	1.0808*	.23150	.000	.6098	1.5518
TSS	3.00	5.00	3.7642	3.67991	.314	-3.7227	11.2510
		7.00	-1.1225	3.67991	.762	-8.6093	6.3643
	5.00	3.00	-3.7642	3.67991	.314	-11.2510	3.7227
		7.00	-4.8867	3.67991	.193	-12.3735	2.6002
	7.00	3.00	1.1225	3.67991	.762	-6.3643	8.6093
		5.00	4.8867	3.67991	.193	-2.6002	12.3735

*. The mean difference is significant at the .05 level.

4. การวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าสำคัญประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และซัลเฟตของระบบเอปอาร์ 3 แผ่นกัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

Oneway

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	1366.988	2	683.494	22.992	.000
	Within Groups	980.998	33	29.727		
	Total	2347.986	35			
TSS	Between Groups	334.022	2	167.011	3.061	.060
	Within Groups	1800.596	33	54.564		
	Total	2134.618	35			
sulfate	Between Groups	6.906	2	3.453	6.701	.004
	Within Groups	17.005	33	.515		
	Total	23.911	35			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) OLR	(J) OLR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
COD	1	2	4.73333*	2.22588	.041	.2047	9.2619
		3	14.77917*	2.22588	.000	10.2506	19.3078
	2	1	-4.73333*	2.22588	.041	-9.2619	-.2047
		3	10.04583*	2.22588	.000	5.5172	14.5744
	3	1	-14.77917*	2.22588	.000	-19.3078	-10.2506
		2	-10.04583*	2.22588	.000	-14.5744	-5.5172
TSS	1	2	-6.25417*	3.01561	.046	-12.3895	-.1189
		3	-6.65083*	3.01561	.034	-12.7861	-.5155
	2	1	6.25417*	3.01561	.046	.1189	12.3895
		3	-.39667	3.01561	.896	-6.5320	5.7386
	3	1	6.65083*	3.01561	.034	.5155	12.7861
		2	.39667	3.01561	.896	-5.7386	6.5320
sulfate	1	2	-1.07083*	.29306	.001	-1.6671	-.4746
		3	-.47833	.29306	.112	-1.0746	.1179
	2	1	1.07083*	.29306	.001	.4746	1.6671
		3	.59250	.29306	.051	-.0037	1.1887
	3	1	.47833	.29306	.112	-.1179	1.0746
		2	-.59250	.29306	.051	-1.1887	.0037

*. The mean difference is significant at the .05 level.

5. การวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าสำคัญประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และซัลเฟต ของระบบเอปอาร์ 5 แผ่นกัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

Oneway

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	1251.923	2	625.962	34.466	.000
	Within Groups	599.333	33	18.162		
	Total	1851.256	35			
TSS	Between Groups	305.619	2	152.810	1.590	.219
	Within Groups	3170.785	33	96.084		
	Total	3476.404	35			
sulfate	Between Groups	9.658	2	4.829	17.628	.000
	Within Groups	9.040	33	.274		
	Total	18.698	35			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) OLR	(J) OLR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
COD	1	2	5.94333*	1.73981	.002	2.4037	9.4830
		3	14.37333*	1.73981	.000	10.8337	17.9130
	2	1	-5.94333*	1.73981	.002	-9.4830	-2.4037
		3	8.43000*	1.73981	.000	4.8903	11.9697
	3	1	-14.37333*	1.73981	.000	-17.9130	-10.8337
		2	-8.43000*	1.73981	.000	-11.9697	-4.8903
TSS	1	2	-6.73333	4.00176	.102	-14.8750	1.4083
		3	-1.31750	4.00176	.744	-9.4591	6.8241
	2	1	6.73333	4.00176	.102	-1.4083	14.8750
		3	5.41583	4.00176	.185	-2.7258	13.5575
	3	1	1.31750	4.00176	.744	-6.8241	9.4591
		2	-5.41583	4.00176	.185	-13.5575	2.7258
sulfate	1	2	-.95333*	.21367	.000	-1.3881	-.5186
		3	-1.20167*	.21367	.000	-1.6364	-.7669
	2	1	.95333*	.21367	.000	.5186	1.3881
		3	-.24833	.21367	.253	-.6831	.1864
	3	1	1.20167*	.21367	.000	.7669	1.6364
		2	.24833	.21367	.253	-.1864	.6831

*. The mean difference is significant at the .05 level.

6. การวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าสำคัญประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และซัลเฟต ของระบบเอปอาร์ 7 แผ่นกัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

Oneway

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	1118.285	2	559.143	24.921	.000
	Within Groups	740.397	33	22.436		
	Total	1858.682	35			
TSS	Between Groups	108.691	2	54.345	.802	.457
	Within Groups	2235.046	33	67.729		
	Total	2343.736	35			
sulfate	Between Groups	9.658	2	4.829	17.628	.000
	Within Groups	9.040	33	.274		
	Total	18.698	35			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) OLR	(J) OLR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
COD	1	2	4.87333*	1.93375	.017	.9391	8.8076
		3	13.48083*	1.93375	.000	9.5466	17.4151
	2	1	-4.87333*	1.93375	.017	-8.8076	-.9391
		3	8.60750*	1.93375	.000	4.6733	12.5417
	3	1	-13.48083*	1.93375	.000	-17.4151	-9.5466
		2	-8.60750*	1.93375	.000	-12.5417	-4.6733
TSS	1	2	-4.13417	3.35978	.227	-10.9697	2.7014
		3	-1.19083	3.35978	.725	-8.0264	5.6447
	2	1	4.13417	3.35978	.227	-2.7014	10.9697
		3	2.94333	3.35978	.387	-3.8922	9.7789
	3	1	1.19083	3.35978	.725	-5.6447	8.0264
		2	-2.94333	3.35978	.387	-9.7789	3.8922
sulfate	1	2	-.95333*	.21367	.000	-1.3881	-.5186
		3	-1.20167*	.21367	.000	-1.6364	-.7669
	2	1	.95333*	.21367	.000	.5186	1.3881
		3	-.24833	.21367	.253	-.6831	.1864
	3	1	1.20167*	.21367	.000	.7669	1.6364
		2	.24833	.21367	.253	-.1864	.6831

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ภาคผนวก จ



ภาพภาคผนวกที่ จ-1 บ่อบำบัดน้ำเสียไม่ใช่อากาศของโรงงานยางชั้นแห่งหนึ่งที่นำเชื้อจุลินทรีย์มาใช้ในการทดลอง



ภาพภาคผนวกที่ จ-2 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอปอาร์

ภาคผนวก จ

การคำนวณอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดและสมดุลมวลของสารในระบบ

1. ตัวอย่างการคำนวณอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด

จากข้อมูลตารางที่ 4.12 ในถังปฏิกรณ์ระบบเอบีอาร์ 5 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 2.8 ลิตรต่อวัน

ซีโอดีน้ำเข้า	16,122	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดีน้ำออก	3,991	มิลลิกรัมต่อลิตร
ก๊าซทั้งหมดต่อวัน	1,152	มิลลิลิตรต่อวัน
สัดส่วนก๊าซมีเทน	45.42	%

จากสูตร

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด = ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น/ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น = ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (ลิตรต่อวัน) x เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด = ค่าซีโอดีน้ำเข้าถัง (กรัมซีโอดีต่อวัน) - ค่าซีโอดีน้ำทิ้ง (กรัมซีโอดีต่อวัน)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น} &= 1.1529 \text{ ลิตรต่อวัน} \\ \text{สัดส่วนก๊าซมีเทน} &= 0.4542 \\ \text{ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าระบบเอบีอาร์ต่อวัน} &= (16,122/1,000) \times 2.8 \\ &= 45.1416 \text{ กรัมซีโอดีต่อวัน} \\ \text{ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่ออกจากระบบเอบีอาร์ต่อวัน} &= (3,991/1,000) \times 2.8 \\ &= 11.1765 \text{ กรัมซีโอดีต่อวัน} \\ \therefore \text{อัตราการเกิดมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด} &= (1.1529 \times 0.4542) / (45.1416 - 11.1765) \\ &= 15.4175 \times 10^{-3} \\ &\text{ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

2. ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลของชีโอดี

จากข้อมูลในตารางที่ 4.13 ในถังปฏิกรณ์ระบบเอปียาร์ 5 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบายทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 2.8 ลิตรต่อวัน

ชีโอดีน้ำเข้า	16,122	มิลลิกรัมต่อลิตร
ชีโอดีน้ำออก	3,991	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตน้ำเข้า	1361.00	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตน้ำออก	20.56	มิลลิกรัมต่อลิตร
ก๊าซทั้งหมดต่อวัน	1,100	มิลลิลิตร
สัดส่วนก๊าซมีเทน	45.42 %	

จากสูตร

$$\% \text{ COD recovery} = [(\text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD}) / \text{COD}_{\text{in}}] \times 100$$

เมื่อ

COD_{in}	=	ชีโอดีทั้งหมดก่อนเข้าระบบ
$\text{soluble COD}_{\text{eff}}$	=	ชีโอดีละลายหลังผ่านระบบ
$\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$	=	ชีโอดีในรูปก๊าซมีเทน
$\text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$	=	ชีโอดีในรูปมีเทนละลายน้ำ
$\Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD}$	=	ชีโอดีที่ถูกใช้ในกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน

แทนค่า

$\text{soluble COD}_{\text{eff}}$	=	3991 มิลลิกรัมต่อลิตร
$\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$	=	$(\text{total gas volume} \times \% \text{CH}_4 / 24.86) \times 16 \times 4 / Q$
	=	$(0.4542 \times 1,100 / 24.86) \times 16 \times 4 / 2.8$
	=	459.37 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปชีโอดี
$\text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$	=	$K_{\text{hCH}_4} \times \text{partial pressure of CH}_4 \times 16,000 \times 4$
	=	$12.40 \times 10^{-4} \times 0.4542 \times 16,000 \times 4$
	=	36.045 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปชีโอดี

$$\begin{aligned} \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD} &= (\text{ซัลเฟตเข้า} - \text{ซัลเฟตออก}) \times 2/3 \\ &= (\text{ซัลเฟตที่ถูกรีดิวซ์ 1 มิลลิกรัม ต้องใช้ซัลไฟต์ 2/3 มิลลิกรัม}) \\ &= (1,361 - 20.56) \times 2/3 \\ &= 893.63 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปซัลไฟต์} \\ \therefore \% \text{ COD recovery} &= [(3991+459.37+36.045+893.63) / 16,122] \times 100 \\ &= 33.37 \% \end{aligned}$$

3. สัดส่วนการใช้ซัลไฟต์ของแบคทีเรียในระบบ

จากข้อมูลในตารางที่ 4.14 ในถังปฏิกรณ์ระบบเอปียอร์ 5 แผ่นกั้น ที่อัตราการระบายทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซัลไฟต์ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 2.8 ลิตรต่อวัน

จากสูตร

$$\% \text{ electron flow to MPB} = \frac{[(\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \text{soluble CH}_{4\text{gas}})]}{[(\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD})]} \times 100$$

$$\% \text{ electron flow to SRB} = \frac{[(\Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD})]}{[(\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \text{soluble CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \Delta \text{SO}_4^{2-} - \text{COD})]} \times 100$$

แทนค่า

$$\% \text{ electron flow to MPB} = \frac{[(459.37 + 36.046)]}{[(459.37 + 36.046 + 893.63)]} \times 100 = 35.67 \%$$

$$\begin{aligned} \% \text{ electron flow to SRB} &= \frac{893.63}{(459.37 + 36.046 + 893.63)} \times 100 \\ &= 64.33 \% \end{aligned}$$

4. ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลของซัลเฟอร์

จากข้อมูลในตารางที่ 4.14 ในถังปฏิกรณ์ระบบเอปียาร์ 5 แผ่นกั้น ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 2.8 ลิตรต่อวัน

ซัลเฟตน้ำเข้า	1361.00	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตน้ำออก	20.56	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลไฟด์น้ำออก	239.63	มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปซัลไฟด์
ทั้งหมด		

จากสูตร
เมื่อ

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

$\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{in}}$	=	ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำเข้า
$\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{eff}}$	=	ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำออก
S^{2-}	=	ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์อออน
HS^-	=	ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่แตกตัว
$\text{H}_2\text{S}_{\text{aq}}$	=	ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว
$\text{H}_2\text{S}_{\text{gas}}$	=	ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะก๊าซ

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

ซัลไฟด์ทั้งหมด	=	239.63 x 3 (ซัลไฟด์ 1 กรัม มาจากซัลเฟต 3 กรัม)
	=	718.89 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปซัลเฟต
ซัลไฟด์ในรูปก๊าซ	=	ก๊าซซัลไฟด์ x ปริมาณชุดคักก๊าซ x 3 / Q
	=	(204 x 1,361 / 576) x 0.25 x 3 / 2.8
	=	129.11 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปซัลเฟต
$\therefore \% \text{ sulfur}$	=	$[(20.56 + 718.89 + 129.11) / 1,361] \times 100$
recovery	=	63.62 %

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนิรมล กรีอารีย์ เกิดวันที่ 20 พฤษภาคม 2528 ณ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ในปีการศึกษา 2549 และเข้ารับการศึกษต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย