

ผลของภาวะการป้อนซีไอดีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ
จากน้ำเสียจากสาโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน



นางสาวชุติมา ฉันทพิลากร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF COD LOADING RATE ON BIOGAS PRODUCTION FROM DISTILLERY
SLOP WASTEWATER BY ANAEROBIC BAFFLED REACTOR



Miss Chutima Chanpalakorn

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

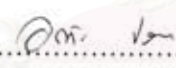
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการการป้อนซีโอดีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ
จากน้ำเสียจากสาโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน
โดย นางสาวชุตินา ฉันท์พลากร
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์

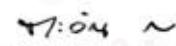
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนिरองวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. จุฬารัตน์ กำเนิดเพชร)

ชุตติมา ฉันทพิลากร : ผลของภาระการป้อนซีไอดีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากสาโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (EFFECT OF COD LOADING RATE ON BIOGAS PRODUCTION FROM DISTILLERY SLOP WASTEWATER BY ANAEROBIC BAFFLED REACTOR) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์, 90 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการกำจัดซีไอดีจากน้ำเสียกากสา โดยใช้ระบบบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ระดับห้องปฏิบัติการ ขนาด 20 ลิตร จำนวน 3 ชุดทดลอง ในแต่ละชุดการทดลอง ทำการควบคุมอัตราการไหลคงที่ เท่ากับ 1.5 3 และ 5 ลิตร/วัน โดยมีความเข้มข้นซีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นค่าภาระซีไอดีที่ใช้ในการทดลอง อยู่ระหว่าง 0.30-3.78 กก.ซีไอดี /ลบ.ม.-วัน จากการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และ การกำจัดซีไอดี ที่อัตราการไหลเดียวกัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าสูงขึ้น เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นซีไอดีเข้าระบบ และจากการเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นซีไอดีสูงสุด ที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 15,000 มก./ล. ในอัตราการไหลที่ 1.5 3 และ 5 ลิตร/วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของที่อัตราการไหล 5 ลิตร/วัน มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 31.13 ลิตร/วัน โดยคิดเป็น 2 และ 4.5 เท่า ของการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการไหล 3 และ 1.5 ลิตร/วัน ตามลำดับ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงที่สุด มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 80

จากการทดลองสรุปได้ว่า ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากสา โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.621 ลิตร ต่อ 1 กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัดที่ค่าภาระซีไอดี เท่ากับ 3.78 กก.ซีไอดี /ลบ.ม.-วัน

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....ชุตติมา ฉันทพิลากร.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....Ornita / 22
ปีการศึกษา.....2551.....

##4970284321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: ANAEROBIC BAFFLED REACTOR/ DISTILLERY SLOP WASTEWATER/ COD REMOVAL / BIOGAS PRODUCTION

CHUTIMA CHANPALAKORN: EFFECT OF COD LOADING RATE ON BIOGAS PRODUCTION FROM DISTILLERY SLOP WASTEWATER BY ANAEROBIC BAFFLED REACTOR. ADVISOR: ASSOC. PROF ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 90 pp.

In the study is the investigation of biogas production and COD removal efficiency from distillery wastewater, A laboratory scale anaerobic baffled reactor with a liquid volume of 20 liters is used. There are 3 experiments in this study. In each experiments flow rate was controlled at 1.5, 3 and 5 l/d with the average COD concentration of 4500, 7500, and 15000 mg/l whereas the calculation of COD loading between the range of 0.30-3.78 kg.COD/m³-d. According to the result, the result shown that at the same of flow rate, COD removal efficiency and biogas production tended to be higher when COD concentration had been increased. In addition, at the highest COD concentration of 15,000 mg/l with the flow rate of 1.5, 3 and 5 liters per day, COD removal efficiency showed indifferent results. However, the flow rate of 5 l/d proposed the highest rate of biogas production by 31.13 l/d. It was considered 2 and 4.5 times of biogas production at the flow rate of 3 and 1.5 liters per day, respectively. Likewise, the study result indicated the highest biogas production with 80.01% of Methane.

In conclude, there is potential for biogas production of distillery slop wastewater by ABR. The highest biogas production was 0.621 l/gCOD removed at COD loading rate of 3.78 kg.COD./m³-d.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department:.....Environmental Engineering..... Student's Signature..... *Chutima Chanpalakorn*
Field of Study:..Environmental Engineering..... Advisor's Signature..... *Orathai Chavalparit*
Academic year:2008.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ฐเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ ดร. จุฬารัตน์ กำเนิดเพชร อาจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน และถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนเพื่อใช้ในการงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

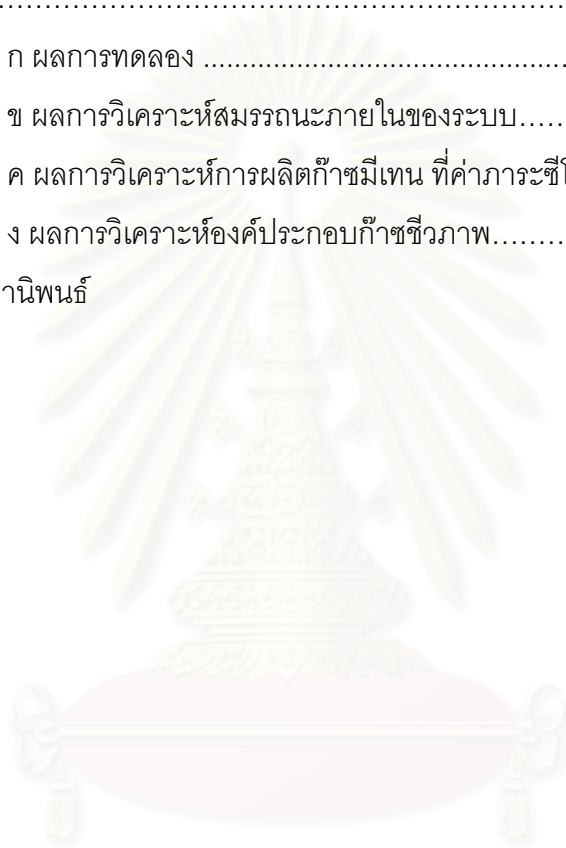
ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และหลายๆ สำหรับทุกๆ ความช่วยเหลือที่มีให้จนประสบความสำเร็จ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฅ |
| สารบัญภาพ..... | ญ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 น้ำเสียกากส่า..... | 3 |
| 2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... | 9 |
| 2.3 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน..... | 16 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 23 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 30 |
| 3.1 แผนการทดลอง..... | 30 |
| 3.2 การทดลองเดินระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน..... | 30 |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 39 |
| 4.1 ลักษณะน้ำเสีย..... | 39 |
| 4.2 ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์..... | 39 |
| 4.3 ประสิทธิภาพของระบบ..... | 40 |
| 4.4 สภาวะการทำงาน..... | 48 |
| 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดที่ค่าภาระซีโอดีต่างๆ..... | 54 |
| 4.6 สมรรถนะภายในของระบบ..... | 60 |
| 4.7 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์..... | 64 |

| | |
|---|----|
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... | 67 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 67 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 68 |
| รายการอ้างอิง..... | 69 |
| ภาคผนวก..... | 73 |
| ภาคผนวก ก ผลการทดลอง | 74 |
| ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์สมรรถนะภายในของระบบ..... | 78 |
| ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์การผลิตก๊าซมีเทน ที่ค่าภาระซีไอดีต่างๆ..... | 82 |
| ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ..... | 84 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 90 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--------------|--|
| ตารางที่ 2.1 | คุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสุรา..... 5 |
| ตารางที่ 2.2 | ลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย..... 7 |
| ตารางที่ 2.3 | สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้..... 15 |
| ตารางที่ 2.4 | ปริมาณผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน 16 |
| ตารางที่ 2.5 | ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน..... 19 |
| ตารางที่ 2.6 | ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีผลกระตุ้นและยับยั้ง..... 21 |
| ตารางที่ 3.1 | ตัวแปรที่ทำการศึกษาในชุดการทดลองเดินระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน..... 33 |
| ตารางที่ 3.2 | ค่าอัตราการระเหยไอดีในการทดลอง..... 35 |
| ตารางที่ 3.3 | แผนการเก็บตัวอย่างเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวและวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ 38 |
| ตารางที่ 4.1 | ค่าการระเหยไอดีเข้าระบบ และค่าการระเหยไอดีที่กำจัด ในแต่ละชุดทดลอง..... 41 |
| ตารางที่ 4.2 | ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่ค่าความเข้มข้นซีไอดีต่างๆ ในแต่ละชุดทดลอง.. 44 |
| ตารางที่ 4.3 | อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย และ อัตราการผลิตก๊าซต่อ 1 กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด ในแต่ละชุดทดลอง..... 46 |
| ตารางที่ 4.4 | ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละค่าการระเหยไอดี..... 57 |
| ตารางที่ 4.5 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียกากส่าของระบบอื่นๆ..... 58 |
| ตารางที่ 4.6 | ปริมาณตะกอนจุลชีพก่อน และหลังการทดลอง ของแต่ละชุดทดลอง..... 65 |

สารบัญญภาพ

| | หน้า |
|-------------|---|
| รูปที่ 2.1 | กรรมวิธีการผลิตสุรากลับจากกากน้ำตาล..... 4 |
| รูปที่ 2.2 | กลไกการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 11 |
| รูปที่ 2.3 | ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน..... 16 |
| รูปที่ 3.1 | รูปแสดงองค์ประกอบของระบบการทดลอง..... 31 |
| รูปที่ 3.2 | ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน..... 32 |
| รูปที่ 3.3 | รายละเอียดถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจน..... 32 |
| รูปที่ 3.4 | จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ก๊าซ และตะกอนจุลชีพ..... 37 |
| รูปที่ 4.1 | ลักษณะน้ำเสียกากสา..... 39 |
| รูปที่ 4.2 | ผลของอัตราภาระซีโอดีในแต่ละการทดลอง..... 40 |
| รูปที่ 4.3 | ซีโอดีน้ำเข้า-ออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในชุด ABR 1..... 42 |
| รูปที่ 4.4 | ซีโอดีน้ำเข้า-ออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในชุด ABR 2..... 42 |
| รูปที่ 4.5 | ซีโอดีน้ำเข้า-ออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในชุด ABR 3..... 43 |
| รูปที่ 4.6 | อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในค่าความเข้มข้นของซีโอดีต่างๆ ในชุด ABR 1..... 45 |
| รูปที่ 4.7 | อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในค่าความเข้มข้นของซีโอดีต่างๆ ในชุด ABR 2..... 45 |
| รูปที่ 4.8 | อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในค่าความเข้มข้นของซีโอดีต่างๆ ในชุด ABR 3..... 46 |
| รูปที่ 4.9 | ของแข็งแขวนลอยเข้า-ออกจากระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดของชุด ABR 1..... 47 |
| รูปที่ 4.10 | ของแข็งแขวนลอยเข้า-ออกจากระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดของชุด ABR 2..... 48 |
| รูปที่ 4.11 | ของแข็งแขวนลอยเข้า-ออกจากระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดของชุด ABR 3..... 48 |
| รูปที่ 4.12 | กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยและสภาพต่าง ทั้งหมด ในชุด ABR 1..... 50 |
| รูปที่ 4.13 | กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยและสภาพต่าง ทั้งหมด ในชุด ABR 2..... 50 |
| รูปที่ 4.14 | กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยและสภาพต่าง ทั้งหมด ในชุด ABR 3..... 51 |
| รูปที่ 4.15 | ค่าพีเอชน้ำเข้า-ออก ในชุด ABR 1..... 52 |
| รูปที่ 4.16 | พีเอชน้ำเข้า-ออก ในชุด ABR 2..... 52 |
| รูปที่ 4.17 | พีเอชน้ำเข้า-ออก ในชุด ABR 3..... 52 |
| รูปที่ 4.18 | อุณหภูมิภายในระบบในแต่ละชุดทดลอง..... 53 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

| | | |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 4.19 | โอราร์พีของน้ำเสียในระบบ ในแต่ละชุดทดลอง..... | 54 |
| รูปที่ 4.20 | ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทน และ ร้อยละก๊าซมีเทน ในค่าการระชีไอดี ต่างๆ..... | 55 |
| รูปที่ 4.21 | การผลิตก๊าซต่อชีไอดีที่ถูกกำจัด ของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ในค่าการระชีไอดีต่างๆ... | 55 |
| รูปที่ 4.22 | ประสิทธิภาพการกำจัดชีไอดีและของแข็งแขวนลอย ในค่าการระชีไอดีต่างๆ..... | 58 |
| รูปที่ 4.23 | พีเอช ในค่าการระชีไอดีต่างๆ..... | 58 |
| รูปที่ 4.24 | สัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในค่าการระชีไอดีต่างๆ..... | 59 |
| รูปที่ 4.25 | ประสิทธิภาพการกำจัดชีไอดีในแต่ละส่วนของระบบ ของชุด ABR 1..... | 59 |
| รูปที่ 4.26 | ประสิทธิภาพการกำจัดชีไอดีในแต่ละส่วนของระบบ ของชุดการทดลองที่ 2..... | 60 |
| รูปที่ 4.27 | ประสิทธิภาพการกำจัดชีไอดีในแต่ละส่วนของระบบ ของชุดการทดลองที่ 3..... | 60 |
| รูปที่ 4.28 | ประสิทธิภาพการกำจัดชีไอดีภายในระบบ ของค่าการระชีไอดีที่ 3.78 กก.ชีไอดี/ลบ.ม.- วัน..... | 61 |
| รูปที่ 4.29 | กรดไขมันระเหยภายในระบบ ของค่าการระชีไอดีที่ 3.78 กก.ชีไอดี/ลบ.ม.-วัน..... | 61 |
| รูปที่ 4.30 | ของแข็งแขวนลอย ภายในระบบ ของค่าการระชีไอดี ที่ 3.78 กก.ชีไอดี/ลบ.ม.-วัน..... | 62 |
| รูปที่ 4.31 | ปริมาณตะกอนจุลชีพภายในระบบ ในชุด ABR 1..... | 65 |
| รูปที่ 4.32 | ปริมาณตะกอนจุลชีพภายในระบบ ในชุด ABR 2..... | 66 |
| รูปที่ 4.33 | ปริมาณตะกอนจุลชีพภายในระบบ ในชุด ABR 3..... | 66 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนพลังงานเพิ่มมากขึ้น ทำให้ราคาการนำเข้าพลังงานในรูปแบบน้ำมันสูงขึ้น ภาครัฐจึงมีนโยบายสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนกันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น พลังงานจากชีวมวล เป็นต้น การใช้พลังงานทดแทนจากชีวมวลของภาคอุตสาหกรรมมีหลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้พลังงานทดแทนของผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน นั่นก็คือ ก๊าซชีวภาพ (ชวลิต, 2549)

การใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน นิยมใช้กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม เนื่องจากมีความสกปรก ในรูปของซีโอดีสูงมาก โดยน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุรา เป็นหนึ่งในน้ำเสียดังกล่าว ที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง โดยมีซีโอดีสูงถึง 300,000 มิลลิกรัม/ลิตร (ไปรยา, 2550) ซึ่งหากใช้กระบวนการบำบัดแบบอื่น เช่น กระบวนการบำบัดทางเคมี หรือ ทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน จะก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองทั้งค่าใช้จ่ายและพลังงาน ดังนั้นการใช้การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงมีข้อได้เปรียบทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ และสามารถนำก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกด้วย (Faisal, 2001)

ระบบบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน มีจุดเด่นที่ สามารถกำจัดน้ำเสียที่มีอัตราภาระสารอินทรีย์สูงๆได้ โดยไม่เกิดปัญหาการตันเนื่องจากระบบมีพื้นที่ส่วนที่ว่างมาก ถึงปฏิกรณ์มีระบบคล้ายกับระบบยูเอเอสบีที่ต่อแบบอนุกรมกัน ซึ่งไม่ต้องการการเกิดเม็ดตะกอนของจุลชีพในการเดินระบบ ใช้ระยะเวลาในการเริ่มเดินระบบน้อยกว่าระบบอื่น รวมทั้งการที่มีชุดแผ่นกั้นแนวตั้งต่อเรียงกัน ทำให้น้ำเสียมีการไหลขึ้น-ลง และสามารถสัมผัสกับ กลุ่มจุลชีพได้อย่างต่อเนื่อง และข้อดีที่สำคัญที่สุดของระบบนี้ คือ ระบบสามารถแยกกระบวนการสร้างกรดและสร้างมีเทนออกจากกันตามความยาวของถังได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นระบบที่มี 2 phase โดยปราศจากปัญหาในการควบคุม และค่าใช้จ่ายที่สูง (Barber, 1999) โดยงานวิจัยชิ้นนี้ ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดซีโอดี จากน้ำเสียกากสา โดยใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียกากส่า โดยใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1.2.2 ศึกษาผลของภาระซีโอดีของน้ำเสียกากส่าต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการกำจัดซีโอดีของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1.2.3 ศึกษาสมรรถนะภายในของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่สภาวะคงตัว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิตั้งที่ 35 องศาเซลเซียส ห้องปฏิบัติการภาคทฤษฎี วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตของการวิจัยต่างๆ ดังนี้

1.3.1 ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor) ระดับห้องปฏิบัติการ ปริมาณน้ำในระบบ 20 ลิตร จำนวน 3 ถัง

1.3.2 น้ำเสียกากส่า จากโรงงานผลิตสุรา จังหวัดสมุทรสาคร

1.3.3 เปรียบเทียบค่าของภาระซีโอดี ตั้งแต่ 0.32-3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยปรับเปลี่ยนซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ 3 ค่า คือ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. และปรับเปลี่ยนอัตราการไหล 3 ค่า ได้แก่ 1.5 3 และ 5 ลิตร/วัน

1.3.4 พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย พีเอช กรดไขมันระเหย สภาพความเป็นด่างทั้งหมด โออาร์พี (Oxidation-Reduction Potential) อุณหภูมิ ปริมาตรก๊าซทั้งหมด ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน และปริมาณตะกอนจุลชีพ (Sludge) ในระบบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 พัฒนาระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพเหมาะสม สำหรับน้ำเสียกากส่า

1.4.2 สามารถใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ทางโรงงานในการนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียได้ต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียกากสา

น้ำเสียกากสา คือ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสุรา และการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในกระบวนการผลิตของโรงงาน 2 ประเภทนี้ มีกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกัน (ในกรณีที่ใช้วัตถุดิบจากกากน้ำตาลเหมือนกัน) โดยน้ำเสียกากสา จะเกิดขึ้นในขั้นตอนการกลั่นแอลกอฮอล์ลำดับที่ 1 ซึ่งลักษณะของน้ำเสียกากสาของการผลิตสุรา และการผลิตเอทานอล ค่อนข้างมีลักษณะใกล้เคียงกัน

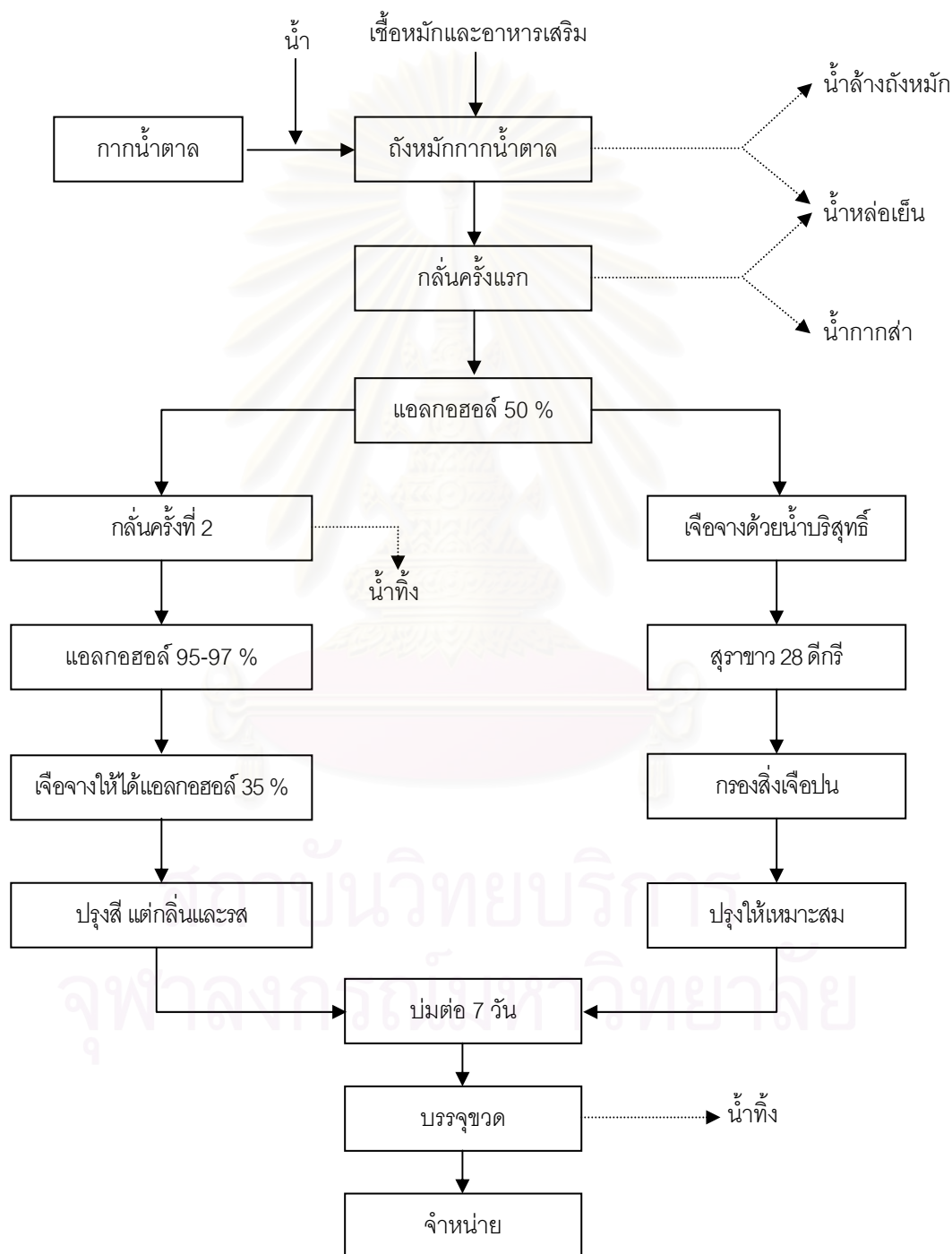
2.1.1 กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ได้แก่ (รูปที่ 2.1) (สุจินต์, 2525)

1) การหมักกากน้ำตาล (Fermentation) กากน้ำตาล (molasses) เป็นผลิตผลที่เหลือจากกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกได้ต่อไปอีก มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมัก มีค่าประมาณร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่า แล้วจึงใส่เชื้อหมัก (yeast) และอาหารเสริม การหมักใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง จะได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 8 – 10 โดยปริมาตร ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักนี้เรียกว่า เบียร์ (beer) หรือแมช (mash) หรือน้ำสา ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น

2) การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation) น้ำสาถูกส่งมายังหอกลั่นแรก เพื่อกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกมา ได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 50 ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้นี้ถูกนำไปผลิตเป็นสุราขาว และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตร

3) การผลิตสุราขาว (Raw Alcohol Production) ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ ร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก จะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 28 โดยปริมาตร หรือ 28° (28 degree) เรียกว่า สุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก ปิ้งให้เหมาะสมและนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

4) การผลิตสุราผสม (Blended Liquor Production) นำแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งที่สอง มาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือ 35° (35 degree) แล้วเติมสี สมนุไฟร และส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองและบ่มต่อประมาณ 7 วัน ก่อนบรรจุลงขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 2.1 กรรมวิธีการผลิตสุรากลั่นจากกากน้ำตาล (สุจินต์, 2525)

2.1.2 ประเภทของน้ำเสียจากโรงงานสุรา

น้ำเสียจากโรงงานสุรา แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) น้ำเสียประเภทเข้มข้น น้ำเสียส่วนนี้มีซีไอดีสูงประมาณ 100,000 – 300,000 มก./ล. ได้แก่ น้ำล้างถังหมัก และน้ำกากส่า ปริมาณน้ำเสียขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตของแต่ละโรงงาน เนื่องจากน้ำล้างถังหมักมีปริมาณน้อยประมาณ 5 – 10 ลบ.ม./วัน (กรมสรรพสามิต, 2526) น้ำเสียทั้งสองจึงนำมาบำบัดรวมกัน

2) น้ำเสียประเภทเจือจาง เป็นน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำ ประมาณ 10 - 450 มก./ล. (กรมสรรพสามิต, 2526) ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำหล่อเย็น และน้ำใช้จากอาคารบ้านเรือน เป็นต้น น้ำเสียประเภทนี้ไม่นำมาบำบัดรวมกับน้ำกากส่า เนื่องจากมีค่า BOD แตกต่างกันมากและมีปริมาณสูง การแยกบำบัดจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่า

ตารางที่ 2.1 คุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสุรา

| ประเภทน้ำเสีย | คุณสมบัติโดยเฉลี่ย | | ปริมาณน้ำเสียต่อวัน คิดเป็นเท่าของน้ำกากส่า |
|-------------------------|--------------------|-------------------|--|
| | บีโอดี (มก./ลิตร) | ซีโอดี (มก./ลิตร) | |
| 1. น้ำกากส่า | 27,500 | 118,000 | 1 |
| 2. น้ำหล่อคอนเดนเซอร์ | 27 | 53 | 18 |
| 3. น้ำหล่อถังหมัก | 160 | 223 | 8 |
| 4. น้ำแช่ข้าวเหนียว | 1,344 | 2,246 | น้อยมาก |
| 5. น้ำล้างขวด | 100 | 220 | 0.5 |
| 6. น้ำตกเก้าในหม้อไอน้ำ | - | 24 | น้อยมาก |

ที่มา : ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524

จากเอกสารโครงการก่อสร้างสุราใหม่ กรมสรรพสามิต, 2526 ซึ่งสำรวจคุณภาพของน้ำเสียประเภทต่างๆ ของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่งทั่วประเทศ โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (สวท.) แสดงดังตารางที่ 2.2 พบว่า น้ำกากส่า มีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 56,970 – 193,600 มก./ล. คิดเป็นค่าเฉลี่ย เท่ากับ 118,100 มก./ล. และมีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) เฉลี่ย 75,830 มก./ล. ส่วนน้ำล้างขวดและน้ำหล่อเย็นคอนเดนเซอร์ มีค่าความสกปรกในรูป BOD และ ซีโอดี น้อยกว่าน้ำกากส่ามาก

2.1.3 ลักษณะของน้ำกากส่า

ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2524) ได้ศึกษาถึงลักษณะของน้ำกากส่าในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 2.2 โดยพบว่ามีความ บีโอดี 27,475 มก./ล. ซีโอดี 118,098 มก./ล. ค่าของแข็งแขวนลอย 11,319 มก./ล. โดยมีค่าของแข็งทั้งหมด สูงถึง 75,829 มก./ล.

ภาศลัย ใจรังสี (2547) น้ำกากส่าเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ของโรงงานซึ่งเกิดจากกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ ลักษณะของน้ำกากส่าจะอยู่ในรูปของเหลวสีน้ำตาลโดยมีสารอาหารสำหรับพืชในปริมาณพอสมควรที่จะนำไปเป็นปุ๋ยหรืออาหารได้ ส่วนสีน้ำตาลเข้มในน้ำกากส่านั้นเกิดจากสองสาเหตุด้วยกัน คือ เกิดจากสีของคาราเมลจากน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่มีเหลือในกากน้ำตาล ที่ยีสต์ไม่สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ ซึ่งคาราเมลจากน้ำตาลนั้นเป็นสารประกอบที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการที่น้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไป และ เกิดจากสีของสารเมลานอยดินซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวระหว่างน้ำตาลชนิดต่างๆ กับกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิสูง โดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยา บราวนิง (Browning Reaction) ซึ่งมีสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม และมีผลทำให้กากน้ำตาลและน้ำกากส่ามีสีน้ำตาลเข้มด้วย สารนี้เป็นสารที่ถูกละลายได้ยากจึงเป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ (วันชัย, 2545)

น้ำกากส่าแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กากส่าขาว ได้จากการใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต และ กากส่าแดง ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ น้ำกากส่าจากโรงงานสุราเกือบทุกแห่งของประเทศไทยเป็นชนิดกากส่าแดงมีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยปกติที่อัตราการผลิต 4,500 เทตวัน (1 เท = 20 ลิตร) จะมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 3.5 เท่า ของอัตราการผลิต (มาลี, 2530)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย

| ลักษณะ | | ค่าเฉลี่ย |
|----------------------------------|-----------------|-----------|
| pH | - | 3.7 |
| อุณหภูมิ | องศาเซลเซียส | 88.6 |
| COD | มิลลิกรัม/ลิตร | 118,098 |
| BOD | มิลลิกรัม/ลิตร | 27,475 |
| Suspended Solids | มิลลิกรัม/ลิตร | 11,319 |
| Total Solids | มิลลิกรัม/ลิตร | 75,829 |
| Total Volatile Solids | มิลลิกรัม/ลิตร | 58,523 |
| Settleable Solids | มิลลิกรัม/ลิตร | 27 |
| Total-N | มิลลิกรัม/ลิตร | 935 |
| PO ₃ ⁻³ -P | มิลลิกรัม/ลิตร | 115 |
| K | มิลลิกรัม/ลิตร | 4,763 |
| SO ₄ ⁻² | มิลลิกรัม/ลิตร | 3,718 |
| BOD load | กิโลกรัม/วัน | 3,806 |
| BOD load | กิโลกรัม/เท* | 2.77 |
| ปริมาณน้ำเสีย | ลูกบาศก์เมตร/เท | 0.106 |

ที่มา : ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524

หมายเหตุ : * 1 เท เท่ากับ 20 ลิตร

2.1.4 การบำบัดน้ำกากส่า

เนื่องจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของแม่น้ำลำคลอง จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งเสียก่อน ซึ่งจะเป็นแบบใด นั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนต่างๆ โดยปัจจัยที่ควรพิจารณา คือ ชนิด และปริมาณน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนคุณภาพที่จะใช้ในการสร้างระบบบำบัด (วันชัย, 2545) โดยระบบที่นิยมใช้ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางเคมี เคมีไฟฟ้า และกระบวนการทางชีวภาพ

2.1.4.1 กระบวนการบำบัดทางเคมี

การตกตะกอนสีน้ำจากสาด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) โดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) จากการศึกษาพบว่าสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนสีน้ำจากสาด้วยสารเคมี คือ สารส้ม รองลงมาคือเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) และปูนขาว โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีน้ำจากสา คือสารส้ม 35 กิโลกรัม ต่อ น้ำจากสาสด 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเสียค่าใช้จ่าย 197 บาท ต่อ น้ำจากสาสด 1 ลบ.ม.(สถาบันสิ่งแวดล้อม และ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2525)

2.1.4.2 กระบวนการเคมีไฟฟ้า

กระบวนการนี้ใช้หลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบอิเล็กโทรไลติกเซลล์ซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว และสารละลายนำไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถังปฏิกิริยาที่ใช้โลหะเป็นขั้วไฟฟ้าจะเกิดปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนหรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักหรือองค์ประกอบของสีในน้ำ (ปาริชาติ, 2547) ซึ่งการนำกระบวนการนี้มาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำจากสานั้น ส่วนใหญ่ใช้เพื่อการกำจัดสีในน้ำจากสา

2.1.4.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

กระบวนการนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท หลักๆ คือ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งการบำบัดน้ำจากสาที่มีลักษณะสารอินทรีย์ในปริมาณสูงนั้น ทำให้กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้รับความสนใจมากกว่า ดังนั้น จึงนิยมใช้กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการแรกในการบำบัด และใช้กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการบำบัดถัดไป

การใช้กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียววันนั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวต้องการพลังงานปริมาณมากในการเติมอากาศ หรือการทำให้เย็น (cooling) ฯลฯ นอกจากนั้น ร้อยละ 50 ของปริมาณซีโอดี จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสลัดจ์ (ซึ่งตรงข้ามกับกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน ที่มีการเปลี่ยนปริมาณซีโอดีมากกว่าร้อยละ 50 เป็นก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (Satyawali and Balakrishnan, 2008)

2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

Herbert และ Chan (1997) ได้กล่าวถึงข้อได้เปรียบของการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนว่า การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อได้เปรียบเหนือการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน นั่นคือประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งนำไปใช้เป็นพลังงานได้ ซึ่งระบบนี้ต้องการปริมาณธาตุอาหารต่ำ และภาคตะกอนที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพ (Faisal และ Unno, 2001)

2.2.1 กลไกการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (มันลิน, 2542) แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

2.2.1.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

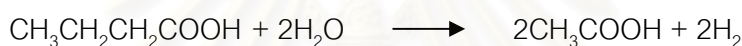
ไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ชนิดยาว ตามลำดับ ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรีย โดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมา เพื่อใช้ในการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่อีกครั้ง ให้มีโมเลกุลเล็กจนสามารถผ่านเซลล์เมมเบรนเข้าสู่ภายในเซลล์แบคทีเรียสร้างกรดได้ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นค่อนข้างช้าจึงเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.2.1.2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตจากขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อนำไปใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น อะซิติก บิวไทริก โพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจน กับคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก ชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสารตั้งต้นและความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อยสลาย กลายเป็น อะซิติกและไฮโดรคาร์บอน ภายใต้สภาวะที่ความดันของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลาย กลายเป็น บิวไทริกและโพรไพโอนิก เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง น้ำตาลถูกย่อยสลายเป็นอะซิติก ไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผ่านวิธี Embden-Meyerhof ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำ หากไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูงผลผลิตที่ได้ คือกรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

2.2.1.3 การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis)

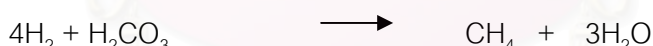
แบคทีเรียอะซิโตจีนิค (แบคทีเรียสร้างอะซิเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนในการสร้างมีเทน การผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้น ต้องการสารตั้งต้นเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่อาจใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียอะซิโตจีนิค (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็น กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศสำหรับการย่อยสลายกรดบิวไทริก และกรดไพโรไพโอนิก ตามลำดับ



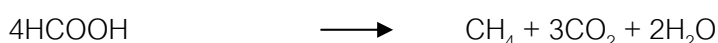
ขั้นตอนที่ 3 นี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูงได้

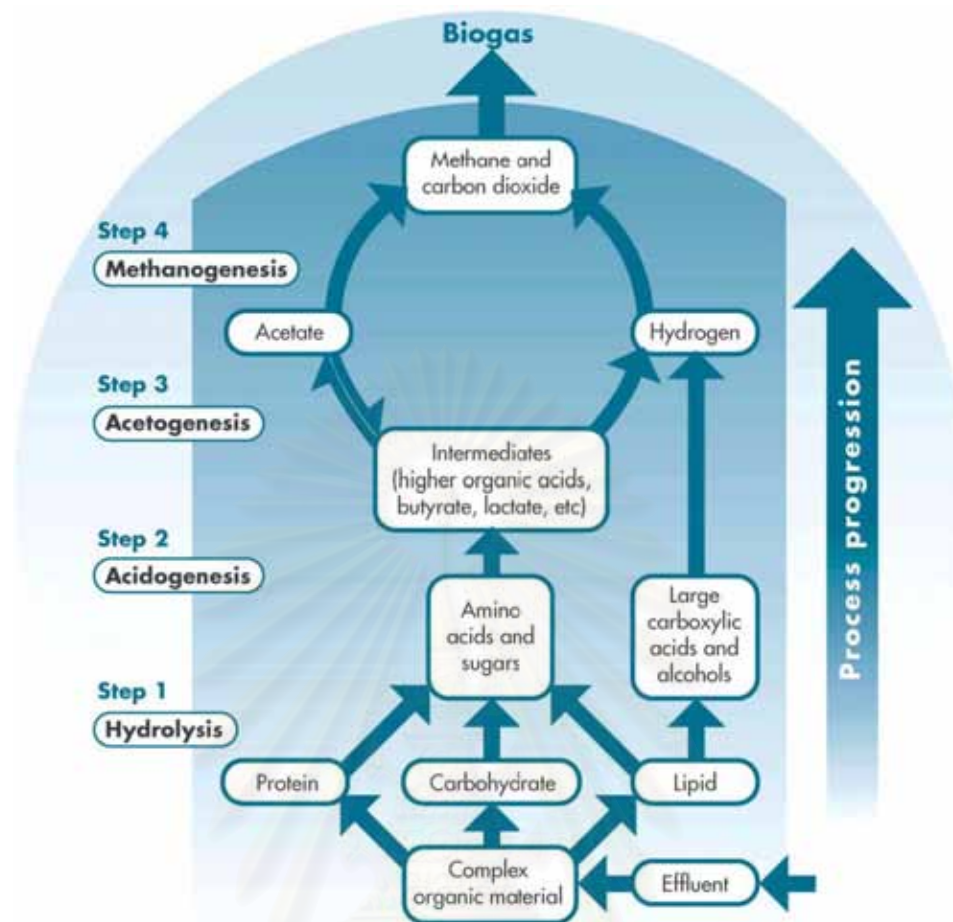
2.2.1.4 การสร้างมีเทน

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน



กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดไขมันระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนเสียก่อน จึงจะใช้ผลิตมีเทนได้ นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียอาจใช้สารตั้งต้น อย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมทานอล และ กรดฟอร์มิก (HCOOH)





รูปที่ 2.2 กลไกการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.2.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถจำแนกได้ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

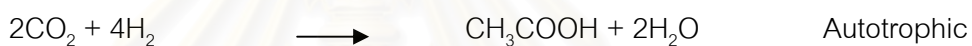
2.2.2.1 แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria)

ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจน (Obligate Anaerobes) มากกว่าชนิด Facultative ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียชนิดนี้มีจำนวนมากกว่า แบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหยคือกลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบจึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวกแป้งหรือโปรตีน ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดบิวไทริก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล และอะซิโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionicbacterium ที่ผลิตกรดโพรไพโอนิก และกรดอะซิติกจากกรดแลคติก

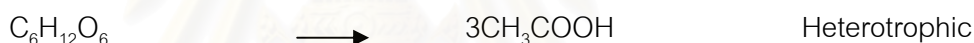
2.2.2.2 แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria)

เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าวข้างต้น และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลที่เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้ จึงมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน เพื่อให้สามารถดูดซึมเข้าไปใช้ได้ ในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

แบคทีเรียผลิตอะซิเตทอย่างเดียว (Homoacetogenic Bacteria) แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน) ผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Acetyl-CoA ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ได้แก่ *Acetobacterium woodii* และ *Clostridium aceticum* สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบ ออโทโทรฟิก (autotrophic) คือ ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอน และก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดอะซิติก



อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic) ก็ได้โดยการหมักน้ำตาลดังสมการ



แบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส *Clostridium* พบอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดไขมันระเหยทั่วไป และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก แบคทีเรียกลุ่มนี้จึงมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ

แบคทีเรียที่สร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ (H₂-Producing Acetogenic Bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหารในการสร้างกรดอะซิติก และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญเพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ตามแบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพัง ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติกไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้นจะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อน แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทในตรงนี้ เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจนได้

การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกและแบคทีเรียสร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า Syntrophy และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าอยู่เพียงลำพัง นั่นคือแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะสร้างอาหารให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็ช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียสร้างกรด

2.2.2.3 แบคทีเรียสร้างมีเทน

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนชนิดเด็ดขาด ไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้มีเพียงเล็กน้อย จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทอโรโทรฟ (Chemoheterotroph) ดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประมาณ 10 ชนิดเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 3.2 สารอาหารชนิดอื่นนอกเหนือจากนี้ไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันระเหย เช่น บิวทิริก หรือไพโรไพรออนิก ซึ่งปกติเป็นสารอาหารของแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟต แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ได้ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด ตามชนิดของสารอาหารที่ใช้ ได้แก่

เมทานोजินที่บริโภคนเฉพาะอะซิเตท (Obligate Acetoclastic Methanogen)

เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ตามสมการดังนี้



เมทานोजินที่บริโภคนเฉพาะไฮโดรเจน (Obligate Hydrogenotrophic Methanogen

หรือ Hydrogen Utilizer) เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตก๊าซมีเทน โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ตามสมการดังนี้



นอกจากก๊าซไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นแหล่งอาหารเพียงอย่างเดียวได้ เพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้

เมทานोजินที่บริโภคนได้ทั้งไฮโดรเจนและอะซิเตท (Hydrogenotrophic/Acetoclastic Methanogen) เป็นแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ทั้งจากกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจน แต่ใช้ไฮโดรเจนได้ดีกว่า

2.2.3 การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจน เริ่มนิยมแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะสามารถประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และยังได้พลังงานทดแทนที่เกิดจากระบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ ก๊าซมีเทน เป็นต้น ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ในการหุงต้มทำอาหารได้และใช้ในการต้มน้ำในหม้อต้มน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมได้ (เกรียงศักดิ์, 2543)

โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีดังนี้ คือ (อาริยา วิรัชวรกุล, 2546)

| | | |
|--|--------|-------|
| ก๊าซมีเทน (CH_4) | ร้อยละ | 55-65 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) | ร้อยละ | 35-45 |
| ก๊าซไนโตรเจน (N_2) | ร้อยละ | 0-8 |
| ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) | ร้อยละ | 0-1 |
| ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) | ร้อยละ | 0-1 |

เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

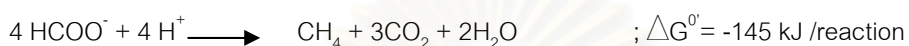
ตารางที่ 2.3 สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

อาหารประเภทคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์



ฟอร์มเมต, HCOO^-

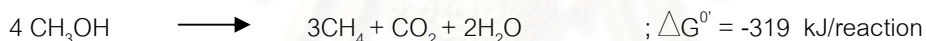


คาร์บอนมอนอกไซด์, CO

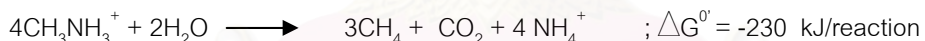


อาหารประเภทเมทิล

Methanol, CH_3OH



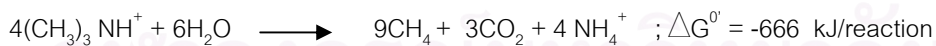
Methylamine, CH_3NH^+



Dimethylamine, $(\text{CH}_3)_2 \text{NH}_2^+$



Trimethylamine, $(\text{CH}_3)_3 \text{NH}^+$



Methylmercaptan, CH_3SH

Dimethylsulfide, $(\text{CH}_3)_2\text{S}$

อะซิเตท

Acetate, CH_3COO^-

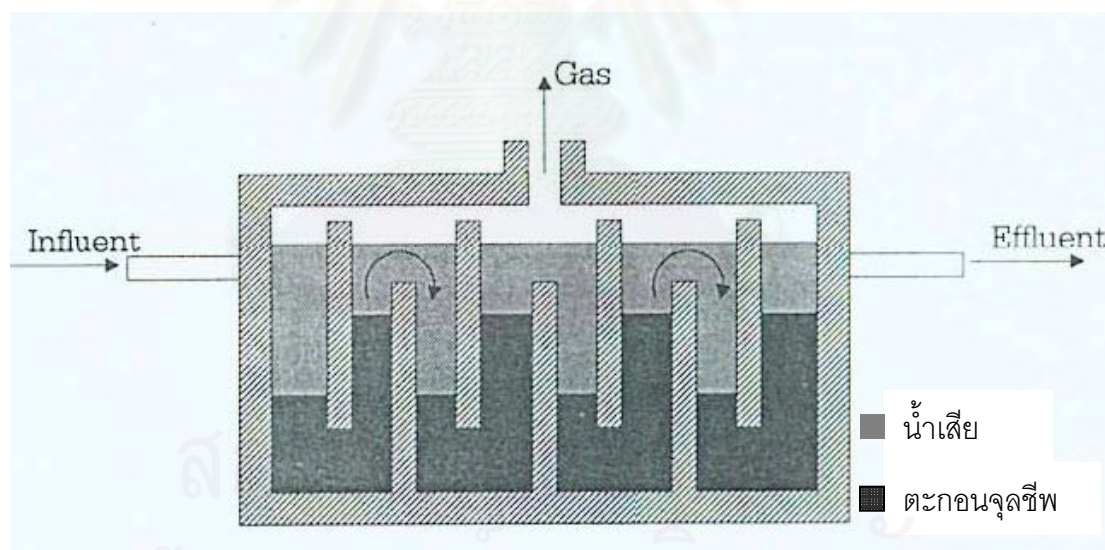


ตารางที่ 2.4 ปริมาณผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (เกรียงศักดิ์, 2543)

| สารอินทรีย์ในน้ำเสีย | ปริมาณผลิตก๊าซชีวภาพ |
|-------------------------------------|---|
| กิโลกรัมซีโอดีของน้ำเสียที่ถูกกำจัด | 0.38 ลบ.ม. มีเทน |
| กิโลกรัมซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ | 0.30–0.38 ลบ.ม. มีเทน 0.46–0.62 ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพ |

2.3 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor: ABR)

ลักษณะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ประกอบด้วย ชุดแผ่นกั้นในแนวตั้ง เพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลลงและไหลขึ้นผ่านแผ่นกั้นดังกล่าว เพื่อให้ น้ำเสียสัมผัสกับตะกอนจุลชีพได้มากขึ้น แบคทีเรียภายในถังปฏิกรณ์จะเคลื่อนที่ขึ้นอย่างช้าๆ และตกตะกอนลงตามลักษณะของการไหลและการเกิดก๊าซ แต่จะเคลื่อนที่ไหลลงด้วยอัตราเร็วที่ต่ำ (Barber และ Stuckey, 1999)



รูปที่ 2.3 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (มันสิน, 2542)

2.3.1 การศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนได้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย McCarty และคณะ ที่มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด จากนั้นจึงมีการศึกษาและพัฒนา ระบบมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการออกแบบคิดค้นระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ในระยะแรกนั้นแรงผลักดันหลักเกิดจากความต้องการเพิ่มความสามารถในการกักพักของแข็งไว้ในระบบ แต่ต่อมาได้มีการประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่บำบัดได้ยาก ซึ่ง

ประกอบด้วยของแข็งในปริมาณที่สูงหรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างระบบ จากงานวิจัยและการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับระบบบำบัดแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ของ Barber และ Stuckey (1999) พบว่า

ในปี ค.ศ. 1981 ได้มีการทดลองโดยเพิ่มแผ่นกั้นแนวตั้งในระบบไหลตามยาวสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสาหร่ายทะเลเข้มข้น (high solids sea kelp slurry) เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบในการรักษาปริมาณของแบคทีเรียผลิตมีเทน โดยให้อัตราการระสาดอินทรีย์คงที่ที่ 1.6 กิโลกรัมชีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าเมื่อจำนวนแผ่นกั้นเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30 จนมีค่ามากกว่าร้อยละ 55 การศึกษาในระยะต่อมา Bachmann และคณะ ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบแผ่นกั้น 2 แบบ คือ ระบบที่มีส่วนที่น้ำไหลลงขนาดปกติและเมื่อปรับขนาดส่วนที่น้ำไหลลงให้แคบกว่าระบบแรกพบว่าอัตราการผลิตมีเทนและประสิทธิภาพของระบบจะดีขึ้นแต่สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพลดลง

ต่อมาได้มีการพัฒนาการออกแบบ และผสมผสานหลายอย่างเข้าด้วยกันในระบบเป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1987 โดย Tilche และ Yang ซึ่งแรงจูงใจหลักในการเปลี่ยนแปลงมาจากความต้องการเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บของแข็งในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง โดยระบบที่ใช้จะมีขนาดห้องใหญ่กว่าที่เคยใช้มา และมีห้องรวมตะกอนของแข็งเพิ่มขึ้นมาจากห้องสุดท้ายของระบบเพื่อคอยเก็บของแข็งที่หลุดออกไปจากระบบแผ่นกั้น เพื่อทำการหมุนเวียนกลับมาในห้องที่ 1 อีกครั้ง มีการเติมตัวกลาง Pall rings ที่ตำแหน่งผิวน้ำในห้องที่ 1 และ 2 ส่วนในห้องที่ 3 เติมตัวกลางที่มีลักษณะเป็นท่อนลูกฟูกใส่เป็นชั้นหนากว่าใน 2 ห้องแรก โดยตัวกลางจะช่วยรักษาตะกอนชีวภาพในห้องที่ 1 ไม่ให้ลอยขึ้นไปเนื่องจากการผลิตก๊าซที่มากจะลดความหนาแน่นของตะกอนจุลชีพ

ส่วนการรีไซเคิลน้ำในระบบ ได้มีการทำการศึกษา โดย Chynoweth และคณะ พบว่า การรีไซเคิลในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำออก จะเพิ่มมีเทนได้มากกว่าร้อยละ 30 และจากการศึกษาของ Nachaiyasit (1995) พบว่า dead space จะเพิ่มมากขึ้นเป็น 2 เท่า โดยมีค่าประมาณร้อยละ 40 เมื่อสัดส่วนการหมุนเวียนตะกอนเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 2 Barber และ Stuckey (1999) กล่าวว่า การปั่นกววนที่เกิดขึ้นในระบบที่มีการรีไซเคิลทำให้ประสิทธิภาพในการแยกส่วนที่สร้างกรดและส่วนที่สร้างมีเทนออกจากกันลดลงบางส่วน และระบบที่มีจำนวนห้องมากกว่าจะสามารถต้านทานต่อปริมาณน้ำและสารอินทรีย์ที่เข้าระบบมากเกินไปได้

2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน เป็นระบบทางชีวภาพอัตราสูงที่มีข้อได้เปรียบมากมายเหนือระบบอื่นๆ ได้แก่ มีความต้านทานต่อปริมาณน้ำและสารอินทรีย์ที่เข้าระบบมากเกินไปได้ (Barber และ Stuckey, 1999) นอกจากนี้การไหลขึ้นลงของของเหลวในระบบช่วยลดการหลุดออกนอกระบบของแบคทีเรียโดยไม่ต้องใช้ตัวกลางชนิดอยู่กับที่ใดๆ (Bachmann, Beard และ McCarty, 1985 อ้างถึงใน Grover, Marwaha และ Kennedy, 1999)

Weiland และ Rozzi (1991) กล่าวว่าข้อได้เปรียบที่ชัดเจนที่สุดของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน คือ สามารถแยกขั้นตอนการสร้างกรดและการสร้างมีเทนออกจากกันได้ตามความยาวของถัง จึงมีลักษณะคล้ายกับระบบสองเฟสที่ปราศจากปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมระบบและปัญหาค่าใช้จ่ายที่สูง Cohen และคณะ (1982) พบว่าการเดินระบบแบบสองเฟส สามารถเพิ่มกิจกรรมการสร้างกรดและมีเทนโดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของแบคทีเรียสร้างกรดในห้องที่หนึ่ง และกลุ่มของแบคทีเรียที่แตกต่างกันจะสามารถพัฒนาได้ภายใต้สภาวะที่กลุ่มแบคทีเรียนั้นชอบอาศัยอยู่ (อ้างใน Barber และ Stuckey, 1999)

รูปร่างของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีความแปรปรวนของทั้งอัตราการไหลและความเข้มข้น โดยที่ยังคงมีอัตราการกำจัดที่สูง (Grover, Marwaha และ Kennedy, 1999) ระบบนี้อาจจะเป็นวิถีทางที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำที่ประกอบด้วยอนุภาคแขวนลอยได้ (Langenhoff, Intrachandra และ Stuckey, 1999) เมื่อบำบัดน้ำเสียที่มีคอลลอยด์ ส่วนประกอบของระบบจะช่วยเพิ่มการย่อยสลาย (hydrolysis) ของอนุภาคในส่วนหน้าของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากมีพีเอชต่ำ เกิดการแยกของระยะการสร้างมีเทน และมีเวลากักพักตะกอนสูง (Langenhoff, Intrachandra และ Stuckey, 2000)

ข้อดีของระบบ ABR ที่เหนือกว่าระบบอื่นๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ข้อเสียของการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นในระดับน้ำรองและในการก่อสร้างขนาดจริง ได้แก่ จำเป็นต้องสร้างถังให้ตันเพื่อรักษาความเร็วไหลขึ้นของของเหลวและก้ำกัให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ และปัญหาในการรักษาการกระจายของน้ำเข้าระบบให้มีความสม่ำเสมอ (Barber และ Stuckey, 1999)

ตารางที่ 2.5 ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Barber และ Stuckey, 1999)

| ด้านการก่อสร้าง | ด้านตะกอนสลัดจ์ | ด้านการเดินระบบ |
|--|--|---|
| 1. ออกแบบง่าย | 1. ไม่จำเป็นต้องใช้ตะกอน | 1. HRT ต่ำ |
| 2. ไม่มีการเคลื่อนไหวของ ชั้นส่วนในระบบ | จุลินทรีย์ที่ ตกตะกอนได้ | 2. สามารถควบคุมแบบ ไม่ต่อเนื่องได้ |
| 3. ไม่ใช้เครื่องจักรในการ ผสม | 2. อัตราการผลิตตะกอนต่ำ | 3. มีความคงตัวของระบบได้ดี แม้จะรับภาระทางชีวศาสตร์ ที่มากขึ้นอย่างกะทันหัน |
| 4. การก่อสร้างไม่แพง | 3. มีระยะเวลาการกักพัก ของแข็งในระบบสูง | 4. ป้องกันสารพิษที่เข้ามาใน ระบบได้ |
| 5. มีปริมาตรช่องว่างสูง | 4. เกิดการกักพักชีวมวลใน ระบบเองโดยไม่ต้องใช้ | 5. สามารถควบคุมระบบได้ใน ระยะเวลายาวโดยไม่เกิด การสูญเสียตะกอน |
| 6. ลดการอุดตัน | ตัวกลาง หรือ | 6. มีความสามารถในการคงตัว ของระบบสูงแม้มีภาระ สารอินทรีย์สูงขึ้นอย่าง กะทันหัน |
| 7. ลดการขยายตัวของชั้น ตะกอน | ห้องตกตะกอนของแข็ง | |
| 8. การลงทุนและค่าใช้จ่าย ในการเดินระบบต่ำ | 5. ไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ เพื่อทำการแยกก๊าซ หรือ ตะกอนสลัดจ์ | |

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (อาริยา, 2546)

เนื่องจากในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ประกอบด้วย จุลินทรีย์ 2 กลุ่มที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่ แบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน และแบคทีเรียพวกที่สร้าง ก๊าซมีเทน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาสภาวะแวดล้อมให้มีสภาพเหมาะสมที่จะทำให้จุลินทรีย์ เหล่านี้อยู่ด้วยกันได้เป็นอย่างดี ในการที่จะควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้อง ทำให้จุลินทรีย์นี้อยู่ในสภาวะสมดุลกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ปัจจัยทางด้าน สิ่งแวดล้อมและปัจจัยทางด้านการทำงาน

2.3.3.1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (อาริยา, 2546)

อุณหภูมิ การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนมีอุณหภูมิที่เหมาะสม อยู่ 2 ช่วง คือ อุณหภูมิระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส (mesophilic temperature) จุลินทรีย์ที่ทำงาน ในช่วงนี้เรียกว่า mesophilic bacteria และอุณหภูมิระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส (thermophilic

temperature) จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้เรียกว่า thermophilic bacteria ในช่วง thermophilic temperature อัตราเร็วของปฏิกิริยาและประสิทธิภาพของระบบจะมากกว่าในช่วง mesophilic temperature แต่ระบบการหมักที่อุณหภูมิสูงมีข้อเสียคือ thermophilic bacteria ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่า mesophilic bacteria การควบคุมระบบจึงมีความเสี่ยงสูงต่อการล้มเหลวของระบบและยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของระบบอีกด้วย

พีเอช เป็นปัจจัยที่สำคัญของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนที่ต้องรักษาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 6.5-7.5 ถ้าพีเอชมีค่าสูงหรือต่ำกว่านี้ ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง โดยถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงตัวอย่างรวดเร็ว เพราะที่สภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียเหล่านี้ใช้กรดไขมันระเหยไม่ทัน ทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยถูกสะสมเพิ่มมากขึ้น พีเอชจึงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยหากลดต่ำลงถึงช่วง 4.5-5.0 จะทำให้ methanogenic bacteria หยุดการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยการเติมสารเคมีจำพวกต่างลงไป เช่น ปูนขาว (CaO) โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) โซดาไฟ (NaOH) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) เป็นต้น หรืออาจจะลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบลง

กรดไขมันระเหย กรดไขมันระเหยเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูกแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารและแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดไขมันระเหยจะมีส่วนสำคัญต่อค่าพีเอชของระบบ คือ เมื่อมีปริมาณกรดไขมันระเหยสูงขึ้น พีเอชจะต่ำลง ระดับของกรดอะซิติกที่มีค่าเกิน 800 มก./ล. หรืออัตราส่วนของกรดไพรโอไนคต่อกรดอะซิติกเกิน 1.4 จะทำให้ระบบเกิดการล้มเหลวได้ อัตราของการเปลี่ยนกรดไพรโอไนคไปเป็นกรดอะซิติก จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมดุลของระบบ โดยที่ถ้ามี กรดไพรโอไนคเหลืออยู่ในถังเป็นปริมาณมากอัตราการเกิดก๊าซก็จะลดลงทำให้ระบบล้มเหลวได้

ความเป็นด่าง ความเป็นด่างในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนตที่เกิดมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ความเป็นด่างนี้จะเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีให้แก่ระบบที่จะควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ เมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยภายในระบบเพิ่มสูงขึ้นความเป็นด่างไบคาร์บอเนตก็จะถูกทำลายไป การทำลายความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์นี้เป็นสาเหตุทำให้พีเอชลดลง

สารอาหาร สารอาหารแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลัก (macronutrient) ได้แก่ คาร์บอน(C) ไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส(P) และกำมะถัน(S) และสารอาหารรอง (micronutrient) ได้แก่ แคลเซียม(Ca) แมกนีเซียม(Mg) สังกะสี(Zn) แมงกานีส(Mn) ทองแดง(Cu) โคบอลต์(Co) เหล็ก(Fe) และนิกเกิล(Ni) ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์

ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนอย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วน COD: N: P เท่ากับ 100: 2.2: 0.4 (สุเมธ, 2539) โดยใช้คาร์บอนในการสังเคราะห์พลังงาน ไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ดังนั้นในการควบคุมสภาวะให้เหมาะสม จึงต้องใส่สารอาหารให้เพียงพอแก่ความต้องการเพราะของเสียที่เข้าสู่ระบบนั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

สารพิษ (toxic substance) สารบางอย่างถ้ามีความเข้มข้นสูงเกินไปจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพิษ ตัวอย่างสารพิษได้แก่

- ไอออนประจุบวกของโลหะเบา (light metal cation) ได้แก่ โซเดียม (Na^+) โพแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ซึ่งเกิดขึ้นมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชในระบบ จะมีผลเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ซึ่งความเป็นพิษของมันเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปริมาณของไอออนประจุบวกของโลหะเบาด้วยว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าใดแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีผลกระตุ้นและยับยั้ง

(McCarty, 1964 อ้างถึงใน อาริยา, 2546)

| ไอออนประจุบวก | ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร) | | |
|---------------|------------------------------|---------------|--------------------|
| | กระตุ้น | เริ่มยับยั้ง | ยับยั้งอย่างรุนแรง |
| โซเดียม | 100 - 200 | 3,500 - 5,500 | 8,000 |
| โพแทสเซียม | 200 - 400 | 2,500 - 4,500 | 12,000 |
| แคลเซียม | 100 - 200 | 2,500 - 4,500 | 8,000 |
| แมกนีเซียม | 75 - 150 | 1,000 - 1,500 | 3,000 |

ความเป็นพิษของไอออนประจุบวก ของโลหะเบาแต่ละชนิดรุนแรงไม่เท่ากัน ไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์น้อยกว่า ไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 ซึ่งพิษของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะมากกว่าพิษของ Na^+ และ K^+ ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีวาเลนซ์สูงขึ้น ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบา นั้นสามารถลดลงได้ถ้ามีไอออนประจุบวกของโลหะเบาอีกชนิดหนึ่งอยู่ด้วย โดยจะทำให้ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาชนิดแรกลดลงซึ่ง

ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า antagonism แต่ในทางตรงกันข้ามไอออนประจุบวกของโลหะบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาอีกชนิดหนึ่งเมื่อมีอยู่ร่วมกัน เรียกว่า synergism

- ก๊าซบางชนิด

แอมโมเนีย เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยไนโตรเจนภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน เช่น โปรตีนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยทั้งสองตัวนี้จะเปลี่ยนไปมาได้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชถ้าพีเอช ต่ำกว่า 7.2 จะมี NH_4^+ มากกว่า แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 จะมี NH_3 มากกว่าซึ่งจะยับยั้งการทำงานและมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์มากกว่า NH_4^+ แอมโมเนียเมื่ออยู่ในรูปของ NH_3 จะเป็นพิษก็ต่อเมื่อมีความเข้มข้นประมาณ 100 มก./ล. แต่ในรูปของ NH_4^+ จะเป็นพิษเมื่อมีความเข้มข้นสูงเท่ากับ 7,000 - 9,000 มก./ล.

ซัลไฟด์ เกิดขึ้นในระบบไร้ออกซิเจนจากซัลเฟต(sulfate) ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ หรือเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์ เช่น โปรตีน ซึ่งซัลไฟด์ที่ละลายน้ำเท่านั้น และที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตรจึงจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ โลหะหนักทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์สร้างผลึกที่ไม่ละลายน้ำขึ้นดังนั้นการเติมโลหะบางชนิด เช่น เหล็กสามารถลดความเป็นพิษของซัลไฟด์ละลายได้ ซัลไฟด์จะถูกแยกออกมาอยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนั้นความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายขึ้นอยู่กับพีเอชของของเหลวและส่วนประกอบของก๊าซ

- โลหะหนัก (heavy metal) ได้แก่ เหล็ก ดีบุก ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม นิกเกิล เป็นต้น ซึ่งไอออนของโลหะหนักเหล่านี้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับว่าเกลือของโลหะหนักนั้นจะละลายน้ำได้มากน้อยเพียงใด และพิษของโลหะหนักจะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีอยู่ในของเสีย นั้นเพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์จะรวมตัวกับโลหะหนักเกิดเป็นเกลือซัลไฟด์ ซึ่งไม่ละลายน้ำและตกตะกอน ถ้าของเสียมีปริมาณซัลไฟด์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ก็จะต้องเติมเกลือซัลไฟด์หรือเกลือซัลเฟตลงไป เกลือทั้งสองชนิดจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนทำให้สามารถลดพิษของโลหะหนักลงได้

2.3.3.2 ปัจจัยทางด้านการทำงาน (operation alfactor)

อัตราการสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่ใช้ในการกำหนดความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน การปรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้มีค่าแตกต่างกันทำได้โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของของเสียที่เข้าสู่ระบบ

หรือเปลี่ยนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไปซึ่งการเปลี่ยนอัตราการป้อนสารอินทรีย์จะมีผลต่อระยะเวลาที่กักพักรักษาด้วย

เวลากักพักรักษา(Hydraulic Retention Time, HRT) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน อัตราเร็วของการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการกักพักรักษาอินทรีย์จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งต่อจากนั้นก็ลดลงจนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบ(wash out) ในอัตราที่เร็วกว่าจุลินทรีย์ที่เพิ่มจำนวนขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลวได้ สามารถแก้ไขการที่จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบได้โดยการเพิ่มเวลากักพักรักษาให้นานขึ้น นอกจากนี้เวลากักพักรักษาจะเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบอีกด้วย

การกวน(mixing) เป็นสิ่งสำคัญในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน โดยมีหลักการ คือทำให้สารอินทรีย์อยู่ในสภาพแขวนลอยเพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ป้องกันการเกิดการสะสมของสารอินทรีย์ตามจุดต่างๆ ของถังปฏิกรณ์ และทำให้ของเหลวภายในถังหมักมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การบำบัดน้ำกากส่า

กัณฑมาศ สุทธิเรืองวงศ์ (2538) ศึกษาการกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำกากส่าด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ระบบการทดลองใช้เซลล์อิเล็กโทรด 3 ชนิด คือ ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ เหล็ก และอะลูมิเนียม จัดเรียงอิเล็กโทรดแบบโมโนพาร์ ทำการทดลองเป็นแบบกะและใช้ไฟฟ้ากระแสตรงโดยทำการทดลองที่อัตราเจือจางน้ำกากส่า 5 10 และ 20 เท่า จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีและสารอินทรีย์ได้แก่ ความต่างศักย์ไฟฟ้า พื้นที่ผิวอิเล็กโทรด และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด ระบบที่ใช้ไทเทเนียมเคลือบด้วยแพลทินัมสีดำ

ทรงพล ครามโกมุท (2544) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดสีและซีไอดีของน้ำกากส่าด้วยระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้ออกซิเจนจำนวน 2 คอลัมน์ ซึ่งภายในคอลัมน์จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนที่แตกต่างกัน การทดลองจะใช้คอลัมน์จำนวน 2 ชุดที่ทำด้วยวัสดุพีวีซีใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. และสูง 2800 มม. โดยภายในคอลัมน์ที่ 1 จะบรรจุตัวกลางโพลีเอทิลีนรูปวงแหวนที่มีพื้นที่ผิว 187 ตร.ม./ลบ.ม. ของตัวกลาง ในขณะที่ภายในคอลัมน์ที่ 2 จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนรูปทรงกลมที่มีพื้นที่ผิว

135 ตร.ม./ลบ.ม.ของตัวกลาง และกำหนดให้ความสูงของชั้นตัวกลางภายในคอลัมน์ทั้งสองเท่ากัน คือ 1.25 ม. และทำการป้อนน้ำเสียกากสาเป็นแบบไหลขึ้นที่อัตราสูบ 7.5 ลิตรต่อวัน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีไอดีของน้ำกากสาเป็น 3,500 และ 4,500 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นอัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีของคอลัมน์ที่หนึ่งเท่ากับร้อยละ 58 และ 65 และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี เท่ากับร้อยละ 55 และ 65 ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ และคอลัมน์ที่ 1 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีร้อยละ 41 และ 45 และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีร้อยละ 45 และ 51 ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

สุเมธ ชวเดช (2539) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำกากสาโดยใช้ระบบยูเอเอสบี ปริมาตร 34.7 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 ซม. สูง 172 ซม. ทำการทดลองโดยควบคุมที่อุณหภูมิสูง 55 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำหล่อชั้นนอกถัง จากผลการทดลองอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสม คือ 5.2 และ 7.2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน สำหรับการกำจัดซีไอดีสูงสุด และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ตามลำดับ สำหรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่สูงสุดของการทดลอง คือ 10.1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบ เท่ากับร้อยละ 44 และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.099 ลบ.ม./กก.ซีไอดีเข้าระบบ

วันชัย วงศ์เทียนชัย (2545) ทำการศึกษามวลของสารอาหารปฐมภูมิที่มีผลต่อการกำจัดซีไอดีและซีไอดีในน้ำกากสา ด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุดตามปริมาณสารอาหารที่ใช้ต่อซีไอดีน้ำกากสา คือ 1: 1 1: 2 และ 1: 3 ตามลำดับ การทดลองทั้ง 3 ชุดใช้น้ำกากสาเข้มข้นจากบ่อบำบัดไร้ออกซิเจน เจือจางให้มีซีไอดีประมาณ 1,500 มก./ล. สารอาหารที่เติม ได้แก่ น้ำตาล¹ นมถั่วเหลือง และน้ำตาล²(เป็นน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองเท่ากับปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในส่วนประกอบของนมถั่วเหลือง เพื่อให้ในการเปรียบเทียบ) ถึงปฏิกิริยาที่ใช้ทำด้วยท่อพีวีซี รูปทรงกระบอกสูง 2 ม. มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.084 ม. ภายในมีการบรรจุตัวกลางทรงกลม ให้ลอยอยู่ทางด้านบนของถังปฏิกิริยา โดยชั้นของตัวกลางมีความสูงทั้งหมด 0.7 ม. ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองใช้ถังปฏิกิริยาแบบเดียวกัน จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า การเติมสารอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีโดยนมถั่วเหลืองให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเคียงกับน้ำตาล และการเพิ่มอัตราส่วนซีไอดีสารอาหารต่อซีไอดีน้ำกากสานั้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเพิ่มขึ้นในสารอาหารประเภทนมถั่วเหลือง ส่วนในกรณีของน้ำตาล¹ และน้ำตาล² ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ภาศัลย์ ใจรังสี(2547) ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา โดยใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนซึ่งจมตัวอยู่ในถังปฏิกิริยาชีวภาพ โดยศึกษาน้ำกากสาที่ออกจากหมัก

โดยการศึกษาได้ดำเนินการทดลองในสัดส่วนของระบบทดลอง น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบนำมาจากน้ำกากส่าที่ออกจากหมักแล้วนำมาเจือจางด้วยน้ำประปา 227 200 และ 133 เท่า สำหรับค่าภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22 0.25 และ 0.375 กก.ซีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ตามลำดับ ในการวิจัยแบ่งเป็น 3 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราการเติมอากาศที่ 60 นาที และ 90 นาที ผลปรากฏว่า การกำจัดซีโอดี ฟอสฟอรัส และสี มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่รอบการเติมอากาศ 90 นาที สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่าเล็กน้อย คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงสรุปได้ว่า รอบการเติมอากาศที่ 60 นาทีเพียงพอต่อการดำเนินการในงานวิจัยนี้ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของภาระสารอินทรีย์ที่มีต่อระบบ ซึ่งใช้ค่าภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22 0.25 และ 0.375 กก.ซีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน สามารถสรุปได้ว่าภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ คุณภาพน้ำออกในแต่ละชุดการทดลองผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอายุตะกอนที่มีต่อระบบ ผลปรากฏว่า อายุตะกอนที่ 50 วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการดำเนินการมากกว่า โดยที่คุณภาพน้ำใกล้เคียงกัน และผ่านมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จากทั้ง 3 การทดลองสรุปได้ว่า ระบบที่เหมาะสมคือ รอบการเติมอากาศ 60 นาที และควบคุมอายุตะกอนที่ 50 วัน ซึ่งสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 96.67 กำจัดไนโตรเจนได้ ร้อยละ 87.77 กำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 98.32 กำจัดสีได้ ร้อยละ 32.39 และมีค่าใช้จ่ายโดยไม่รวมค่าเสื่อมราคา 220 บ./ลบ.ม.

Bories (1988) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียกากส่าจากกากน้ำตาล โดยใช้ระบบบำบัดแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ ชนิดไม่ใช้อากาศ ขนาด 10 ลบ.ม. ภายในถังปฏิกรณ์บรรจุด้วยตัวกลางพลาสติกพีวีซี (พื้นที่ผิว เท่ากับ 230 ตร.ม./ลบ.ม.) ทำการศึกษาโดยใช้อัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วง 14.2-20.4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาการกักเก็บเท่ากับ 3.3-2.5 วัน จากการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 6.5-8.4 ลบ.ม./ลบ.ม.ของถังปฏิกรณ์-วัน ซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 50-55 และ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 60-73

Shao (2008) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำกากส่า โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AnSBR ขนาด 45 ลิตร โดยมีรอบการกวนผสม เท่ากับ 150 รอบ/นาที ทำการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิประมาณ 33 ± 1 องศาเซลเซียส ค่าภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มต้นเดินระบบ คือ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน หลังจากนั้นทำการเพิ่มค่าภาระสารอินทรีย์จนกระทั่งถึง 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยใช้ระยะเวลา กักเก็บน้ำ เท่ากับ 1 วัน จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี มีค่าสูงถึง ร้อยละ 90 โดยมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 0.48 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด และองค์ประกอบก๊าซมีเทน มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 68 ของก๊าซชีวภาพทั้งหมด

Farina (2004) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำกากส่า โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AnSBR ขนาด 180 ลิตร ทำการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิ ประมาณ 35 องศาเซลเซียส ค่าภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 4-5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี มีค่าประมาณ ร้อยละ 70-80 โดยมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน เท่ากับ 0.30-0.35 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด และองค์ประกอบก๊าซมีเทน มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 50-80 ของก๊าซชีวภาพทั้งหมด

2.4.2 การบำบัดน้ำเสียโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

She และคณะ (2006) ศึกษาการเกิดเม็ดของตะกอนจุลชีพ ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์และสัดส่วนของ $\text{NaHCO}_3/\text{COD}$ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีจำนวนห้อง 4 ห้อง ปริมาตร 90 ลิตร และใช้น้ำเสียซูโครสสังเคราะห์ในการทดลอง เมื่อทดลองเติมคาร์บอนแบบเม็ด (GAC) เปรียบเทียบกับดินเบนโทไนท์ (bentonite) ซึ่งเติมร่วมกับโพลิเมอร์ชนิด polyacrylamide เพื่อเร่งการเกิดตะกอนจุลชีพ พบว่า ตะกอนจุลชีพจะเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ภายใน 75 วัน และ GAC มีผลให้ประสิทธิภาพการเกิดตะกอนจุลชีพสูงสุด โดยทำให้เกิดตะกอนจุลชีพในเวลาอันรวดเร็วและมีขนาดใหญ่กว่า เมื่อทำการทดลองแปรผันค่าอัตราภาระสารอินทรีย์จาก 2.15 ถึง 6.29 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยให้เวลากักพักชลศาสตร์คงที่ 20 ชม. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไม่ลดลงแม้อัตราภาระสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 91-93 เมื่อทดลองแปรผันสัดส่วนของ $\text{NaHCO}_3/\text{COD}$ จาก 0.5 ถึง 0.05 พบว่าการลดลงของสัดส่วน $\text{NaHCO}_3/\text{COD}$ ไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากนัก โดยมีค่าอยู่ช่วงร้อยละ 87-92 เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของแบคทีเรียและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยพบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีความสามารถในการแยกชั้นตอนและชนิดของแบคทีเรียออกจากกันได้เป็นอย่างดี

Wang, Huang และ Zhao (2004) ศึกษาประสิทธิภาพและคุณลักษณะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน จำนวน 5 ห้องในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ในสถานะที่มีกรดไขมันระเหยชนิดต่างกัน อะซิเตทจะเป็นสารตัวกลางหลักในขั้นตอนการสร้างกรดของการย่อยสลายกลูโคส ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยจะลดลงตามความยาวของถังปฏิกรณ์ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบพบว่าความเข้มข้นของมีเทนจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างคงที่จากห้องที่ 1 ไปยังห้องที่ 5 ขณะที่ปริมาณไฮโดรเจนจะลดลงเรื่อยๆ จากห้องที่ 1 และไม่พบไฮโดรเจนใน 2 ห้องสุดท้าย ความว่องไวในการผลิตมีเทนของตะกอนจุลชีพในห้องต่างๆ ขึ้นอยู่กับสารอาหาร โดยกลุ่มจุลชีพที่ไม่ใช้ออกซิเจนที่อาศัยอยู่ในแต่ละห้องจะต้องปรับตัวให้เหมาะสมกับความสามารถในการนำสารอาหารไปใช้และสภาวะแวดล้อมที่จำเพาะเจาะจง นอกจากนี้ยัง

พบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีศักยภาพในการรับอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงกว่าภายใต้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า และสามารถนำไปใช้ในกรณีที่มีสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมและมีสารยับยั้งการเจริญของจุลชีพได้

Dama และคณะ (2003) ศึกษารูปแบบการไหลภายในระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเพื่อพิจารณาลักษณะและองค์ประกอบของแผ่นกั้นที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย และทดสอบการตกตะกอนของของแข็งในระบบ ในการทดลองจะใช้ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนขนาด 10 ลิตร จำนวน 8 ห้อง ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ computational fluid dynamics (CFD) ในการติดตามรูปแบบการไหลของสีในน้ำ จากการทดลองพบว่า การเพิ่มพื้นที่ผิวของส่วนที่น้ำไหลขึ้น (up-flow region) จะทำให้เกิดการกักพักตะกอนได้ดีขึ้นแต่หากมากเกินไปจะก่อให้เกิด dead space ได้ โดยการติดตั้งแผ่นกั้นในตำแหน่งด้านข้างของห้องโดยให้สัดส่วนความกว้างของส่วนที่น้ำไหลลง (down-flow region) ต่อส่วนที่น้ำไหลขึ้นเท่ากับ 1 : 3 จะทำให้เกิดการกักพักตะกอนได้ดีโดยไม่เพิ่ม dead space มากนักซึ่งได้ผลดีกว่าการติดตั้งแผ่นกั้นไว้ตำแหน่งตรงกลางของห้อง พบว่าความกว้างของห้อง (window width) ที่มากจะทำให้ลดการหมุนวนของน้ำได้ดี และแผ่นกั้นที่มีส่วนปลายตรงจะทำให้เกิด dead space ขึ้นบริเวณส่วนที่น้ำไหลขึ้นและบริเวณทิศทางที่มีการไหล ส่วนแผ่นกั้นที่มีส่วนปลายทำมุม 45 องศา กับพื้นราบจะช่วยลด dead space ดังกล่าวได้ และพบว่า การตกตะกอนของของแข็งในห้องที่ 1 จะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าในห้องที่ 3

Faisal และ Unno (2001) วิเคราะห์จุลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพ (Modified Anaerobic Baffled Reactor: MABR) โดยปรับปรุงถึงปฏิกรณ์ต้นแบบของ Bachmann และคณะ ซึ่งทำการทดลองในปี ค.ศ. 1985 โดยเพิ่มความสูงของถังปฏิกรณ์ และปรับเปลี่ยนปริมาตรของห้องในส่วนท้ายของถังปฏิกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคขนาดเล็ก ติดตั้งแผ่นกั้นที่มีส่วนปลายทำมุม 45 องศา กับพื้นราบ และให้สัดส่วนความกว้างของส่วนที่น้ำไหลขึ้นต่อส่วนที่น้ำไหลลงเท่ากับ 4 : 1 เพื่อลดความเร็วของน้ำในส่วนที่น้ำไหลขึ้นและบังคับทิศทางให้น้ำเสียไหลอยู่ในบริเวณส่วนกลางของห้อง พบว่าระบบเอ็มเอบีอาร์ สามารถผลิตมีเทนได้อยู่ในช่วง 0.32– 0.42 ลิตรมีเทน/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 67.3-71.2 เมื่อใช้เวลากักพักขลศาสตร์ 3–10 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและไขมันรวมทั้งน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 87.4–95.3 และร้อยละ 44.1–91.3 ตามลำดับ ที่เวลากักพักขลศาสตร์ 3 วัน จะเกิดกรดไขมันระเหยรวม 1,450 มก./ล. โดยพบว่าค่าจะลดลงเหลือ 608 มก./ล. เมื่อเพิ่มเวลากักพักขลศาสตร์เป็น 10 วัน สมการจุลศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในการบำบัดน้ำเสียจากการสกัด

น้ำมันปาล์มโดยระบบเอ็มเอบีอาร์ โดยพบว่าสมการสามารถอธิบายถึงการผลิตมีเทนในการทดลองและพฤติกรรม (behavior) ของถังปฏิกรณ์ได้ดี

Akunna และ Clark (2000) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ Granular-bed anaerobic baffled reactor: GRABBR ในการบำบัดน้ำเสียจากการกลั่นสุรา พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงได้ดีและมีเสถียรภาพ กำจัดซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 80 เมื่อมีค่าภาระสารอินทรีย์ 4.75 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จุลชีพที่พบในระบบคือแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยพบแยกกันในส่วนต้นและส่วนท้ายของระบบตามลำดับ ระบบ GRABBR มีการกักพักของตะกอนสูง และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่วัดได้มีค่าประมาณ 80 มก./ล.ในทุกสภาวะการทดลอง

Langenhoff และ Stuckey (2000) ศึกษาการเริ่มต้นระบบและประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นสารละลายเจือจางของสารที่โครงสร้างซับซ้อน หรือน้ำเสียที่เป็นคอลลอยด์ (นมหรือคอลลอยด์ของข้าวรวมกับอาหารสุนัข 500 มก.ซีโอดี/ล.) โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร ที่มีจำนวนห้อง 8 ห้อง ในการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลาที่กักพักเซลล์ 80 ชม. ลดลงต่อเนื่องจนกระทั่งถึง 6 ชม. พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้สูงกว่าร้อยละ 80 ในถังปฏิกรณ์หนึ่งของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ที่เดินระบบเป็นเวลา 2 วัน ที่เวลาที่กักพักเซลล์เพียง 1.3 วัน ภายใต้อัตราการไหลที่สูงพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 40 พบการเกิดจุลชีพที่ละลายน้ำได้ (SMP) ในปริมาณสูงกว่าในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารที่เป็นคอลลอยด์ ซึ่งอาจเกิดจากความสามารถในการละลายและองค์ประกอบที่แตกต่างกันทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่ำกว่าในกรณีของน้ำเสียที่เป็นนมเล็กน้อย องค์ประกอบของตะกอนสลัดจ์ไม่ส่งผลต่อการผลิต SMP แต่เมื่อ HRT มีค่าลดลงจะทำให้การผลิต SMP เพิ่มขึ้น มีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพของสารเพื่อประเมินกิจกรรมของตะกอนสลัดจ์ที่มีต่อชนิดของน้ำเสียที่แตกต่างกันและความสามารถในการย่อยสลาย พบว่ากิจกรรมในช่วงเริ่มต้นของจุลชีพทั้งในน้ำเสียที่เป็นสารละลายเจือจางของสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน และน้ำเสียที่เป็นคอลลอยด์ต่างอยู่ในระดับที่สูงเช่นเดียวกัน และการไฮโดรไลซิสของของแข็งไม่ได้เป็นการจำกัดอัตราการย่อยสลายแต่อย่างใด การศึกษาเวลาที่กักพักโดยพิจารณาผลของคุณลักษณะของระบบ เช่น ระยะเวลาการเก็บกักน้ำ (HRT) องค์ประกอบของแข็ง และตำแหน่งการป้อนน้ำเสียที่มีต่อคุณลักษณะการไหลของของเหลวและการเกิด dead space ในแต่ละถังของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนพบว่ามีความแตกต่างเล็กน้อยในการปั่นป่วน หรือการเกิด dead space ในสภาวะการทดสอบที่ต่างกัน โดย dead space ที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 20-37 และรูปแบบการไหลในระบบแสดงให้เห็นถึงการมีพฤติกรรมอยู่ระหว่างระบบไหลตามยาวและการผสมในอุดมคติ

Boopathy (1988) ทำการศึกษาสมรรถนะของระบบบำบัดแ่่นกั้นไร้ออกซิเจน ในการ บำบัดน้ำเสียจากสาจากโรงงาน Scotch Whisky ถึงปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาด เท่ากับ 6.3 ลิตร (ปริมาตรในการทำงาน) ทำการทดลองโดยใช้ค่าภาระสารอินทรีย์ 3 ค่า คือ 2.2 2.58 และ 3.46 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน ทำการควบคุมอุณหภูมิ และ ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส และ 15 วัน ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า ที่ภาระสารอินทรีย์ เท่ากับ 3.46 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน มีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดซีไอดีสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี สูงถึง ร้อยละ 90 และ ตลอดจนการทดลองมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ เท่ากับ ร้อยละ 65-75

Boopathy (1991) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากสา โดยใช้ระบบบำบัดแ่่นกั้นไร้ออกซิเจน (Hybrid Anaerobic Baffled Reactor) ถึงปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาด เท่ากับ 165 ลิตร โดยแบ่งเป็นห้องที่ใช้ในการทำงาน 3 ห้อง ขนาดห้องละ 50 ลิตร และห้องสุดท้ายที่ใช้ในการ ตกตะกอน มีขนาด 15 ลิตร ภายในถึงปฏิกรณ์ มีการบรรจุตัวกลางบริเวณผิวน้ำ บริเวณ 3 ห้องแรก เพื่อลดการหลุดของจุลชีพ ในการทดลองได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ช่วง ในช่วงแรก เป็น ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ ช่วงที่ 2 และ 3 เป็นช่วงที่เพิ่มค่าภาระสารอินทรีย์ให้มีค่าเท่ากับ 10 และ 12.25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ และช่วงสุดท้าย ทำการเปลี่ยนน้ำเสียจากน้ำกากสา (Molasses alcohol stillage) เป็น น้ำกากสาดิบที่มีค่าความเข้มข้นสูงมาก (Raw concentrated molasses) โดยช่วงนี้ ทำการเพิ่มค่าภาระสารอินทรีย์ จนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 28 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จากผลการทดลอง พบว่า ค่าภาระสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดซีไอดีในการทดลอง มีค่า เท่ากับ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี เท่ากับ 77% ประสิทธิภาพ การผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 741 ลิตร/วัน และมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 75 ของก๊าซ ชีวภาพทั้งหมด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิตั้งที่ ๓๐ องศาเซลเซียส ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการศึกษาผลของการบำบัดน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียและระยะเวลาการเก็บกักที่เหมาะสม ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียโรงงานสุรากระทิงแดง โดยใช้ระบบบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ปริมาตรน้ำในระบบ 20 ลิตร จำนวน 3 ถัง ทำการทดลองโดยใช้ ค่าของอัตราภาระซีไอดี ระหว่าง 0.32-3.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยปรับเปลี่ยนค่าซีไอดีในช่วง 4,500-15,000 มก./ล. และใช้อัตราการไหลที่ 1.5 3 และ 5 ลิตรต่อวัน(ระยะเวลาที่เก็บกักเก็บน้ำ เท่ากับ 14 7 และ 4 วัน ตามลำดับ) ในแต่ละชุดทดลอง

3.2 การทดลองเดินระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ชุดทดลองระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนประกอบด้วย 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

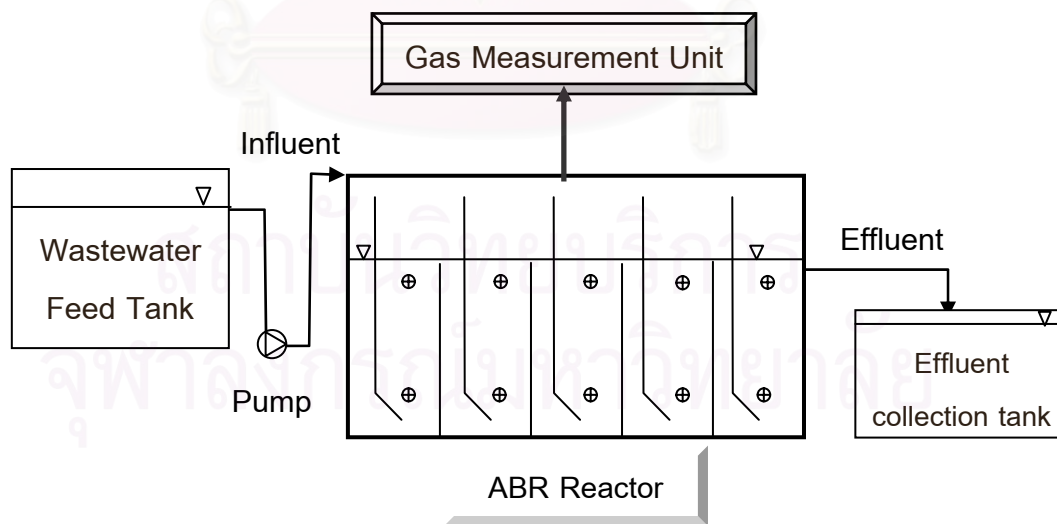
- ถังพักน้ำเสีย เป็นถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร ใช้พักน้ำเสียก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ
- เครื่องควบคุมน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยน้ำเสียจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบทางด้านข้างตอนบนของถังปฏิกรณ์และไหลออกทางตอนบนของปลายถัง โดยมีการทำงานในลักษณะไหลต่อเนื่อง และมีการใช้วาล์วเปิด-ปิดทางน้ำเพื่อเป็นการควบคุมการไหล
- ถังปฏิกรณ์ (ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน: Anaerobic Baffled Reactor)
- เครื่องวัดก๊าซ ใช้หลักการแทนที่น้ำ

3.2.2 ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจนหรือระบบเอบีอาร์

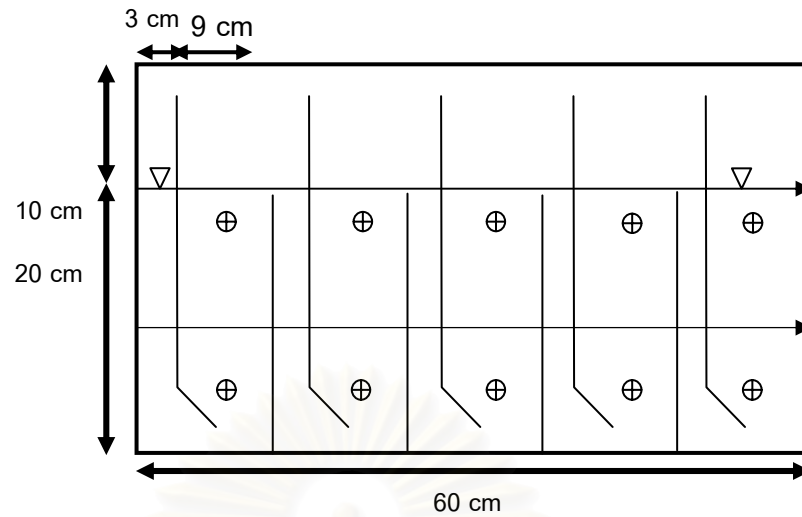
ใช้ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีจำนวนห้อง 5 ห้อง ปริมาตรห้องละ 4 ลิตร ปริมาตรน้ำในระบบ 20 ลิตร ทำจากวัสดุแก้วใสจำนวน 3 ถัง จากการศึกษาผลของงานวิจัยของ Dama และคณะ(2003) พบว่า สัดส่วนต่อความกว้างของทางน้ำไหลลงและไหลขึ้น รวมทั้ง

ลักษณะของแผ่นกั้นของทางน้ำไหลขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ งานวิจัยนี้จึงเลือกออกแบบโดยใช้ค่าอัตราส่วนความกว้างของทางน้ำไหลลงและไหลขึ้น ประมาณ 1 : 3 เพื่อช่วยให้เกิดการกักพักตะกอนได้ดี และออกแบบให้ส่วนปลายทางด้านล่างของแผ่นกั้นระหว่างส่วนที่น้ำไหลลงและไหลขึ้นทำมุม 45 องศา กับแนวราบเพื่อช่วยเพิ่มการผสมผสานและสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ในส่วนล่างของห้อง

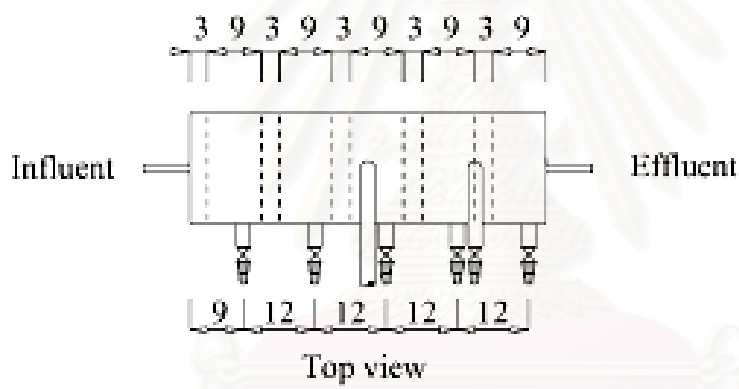
โดยรายละเอียดของถังปฏิกรณ์มีขนาด 0.3 ม. x 0.15 ม. x 0.6 ม. (ความสูง x ความกว้าง x ความยาว) โดยมีความสูงของน้ำในถัง 0.2 ม. ความกว้างของทางน้ำลง (downcomer) และทางน้ำขึ้น (upcomer) 3 และ 9 ซม. ตามลำดับ ส่วนปลายของแผ่นกั้นระหว่างส่วนที่น้ำไหลลงและไหลขึ้นจะทำมุม 45 องศา กับแนวราบ มีความยาว 5 ซม. เพื่อช่วยบังคับทิศทางหลักของการไหลของน้ำส่วนที่ไหลขึ้นให้อยู่ในตรงแนวกลาง ทำให้ช่วยเพิ่มการผสมผสานและสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ในส่วนล่างของห้อง และลดการเกิด dead space ที่บริเวณส่วนที่น้ำไหลขึ้นและในบริเวณทิศทางที่มีการไหลของน้ำได้ (Dama และคณะ, 2003; Amirfakhri, Vossoughi และ Soltanieh, 2006) บริเวณด้านข้างของถังมีท่อเพื่อรับน้ำเสียเข้าสู่ระบบ และจุดปล่อยน้ำเสียออกจากระบบ ในการทดลองแต่ละห้องจะมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนจุลินทรีย์อย่างละจุดอยู่บริเวณใต้ระดับน้ำประมาณ 5 ซม. และ บริเวณเหนือกั้นถังประมาณ 2 ซม. ตามลำดับ ส่วนด้านบนของถังปฏิกรณ์มีช่องต่อไปยังชุดอุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำและช่องเก็บตัวอย่าง (รูปที่ 3.2 และ 3.3)



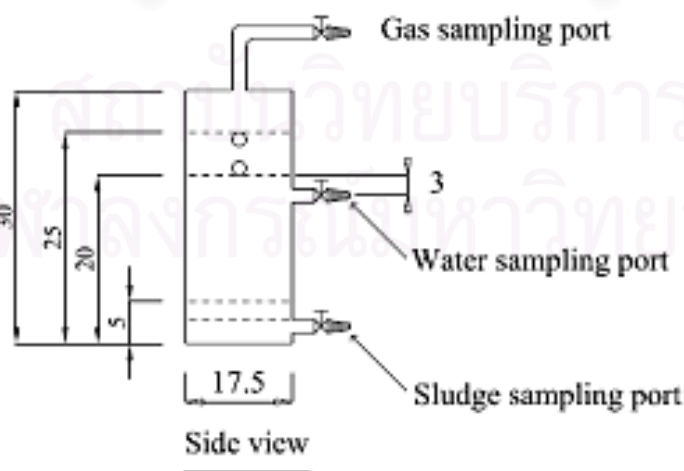
รูปที่ 3.1 รูปแสดงองค์ประกอบของระบบการทดลอง



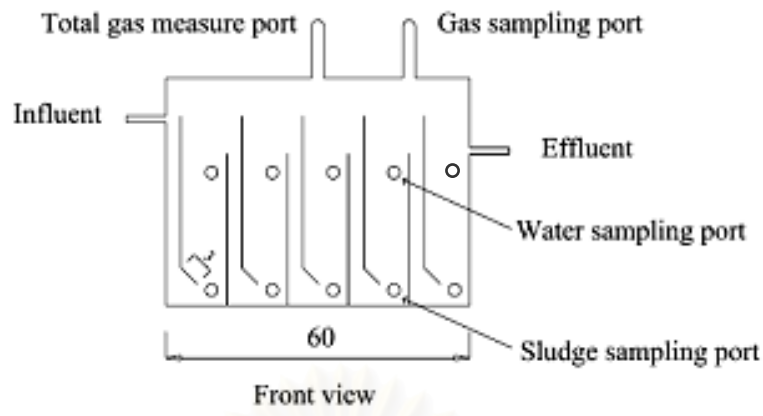
รูปที่ 3.2 ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน



Remark : Unit is centimeter



รูปที่ 3.3 รายละเอียดถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน (ตัวเลขแสดงในหน่วยเซนติเมตร)



รูปที่ 3.3 (ต่อ) รายละเอียดถึงปฏิกรณ์แผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน (ตัวเลขแสดงในหน่วยเซนติเมตร)

3.2.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองและพารามิเตอร์ที่ต้องทำการวิเคราะห์สำหรับชุดทดลองแบบระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวมีดังนี้ (ดังตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในชุดการทดลองเดินระบบแผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน

| ตัวแปร | ค่าที่ใช้ในการทดลอง |
|---------------------------------|---|
| ตัวแปรคงที่ | |
| - ปริมาตรถังปฏิกรณ์ | 20 ลิตร |
| ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา | |
| - ซีโอดีตั้งต้นของน้ำเสีย | 3 ค่า ได้แก่ ซีโอดี 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. |
| - อัตราการไหล | 3 ค่า ได้แก่ 1.5 3 และ 5 ลิตร/วัน (ระยะเวลาพักเก็บน้ำเท่ากับ 14 7 และ 4 วัน ตามลำดับ) |
| - อัตราการระชีโอดี | 8 ค่า ได้แก่ 0.32 0.50 0.72 1.11 1.17 2.04 2.12 และ 3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน |
| ตัวแปรตาม | |
| - ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด | |
| - องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ | |
| - ของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS) | |
| - ซีโอดีกรอง | |
| - สภาพความเป็นต่าง | |
| - กรดไขมันระเหย | |
| - ไออาร์พี | |
| - พีเอช | |

3.2.4 การเตรียมน้ำเสีย

นำน้ำเสียจากสายจากกระบวนการผลิตสุรา (ขั้นตอนการกลั่นลำดับที่1) ของโรงงานสุรา มาทำการวิเคราะห์ลักษณะเบื้องต้นของน้ำเสีย ได้แก่ ซีโอดี ซีโอดีกรอง พีเอช สภาพต่างรวม ปริมาณไนโตรเจนรวม ปริมาณฟอสฟอรัส เพื่อศึกษาความเพียงพอของปริมาณสารอาหาร และใช้ในการปรับค่าซีโอดี พีเอช และสภาพความเป็นต่าง

ทำการเจือจางน้ำเสียให้มีความเข้มข้นซีโอดีที่เหมาะสม 3 ความเข้มข้น (ในช่วง 4,500-15,000 มก./ล.) โดยเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 2,000 มก./ล. เพื่อรักษาสภาพต่างในระบบ จากนั้นจึงนำน้ำเสียที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ ได้แก่ ซีโอดี พีเอช และอุณหภูมิ ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

3.2.5 การเริ่มต้นระบบ (Start up)

ทำการป้อนน้ำเสียที่เตรียมไว้ในขั้นต้นอย่างต่อเนื่อง เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง ที่มีการเติมตะกอนจุลชีพที่ได้จากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยแต่ละชุดการทดลองใช้ความเข้มข้นของซีโอดีและอัตราการไหลของน้ำเข้าเริ่มต้น เท่ากับ 4,500 มก./ล. และ 1.5 ลิตร/วัน เท่ากันทั้ง 3 ชุดทดลอง ทำการวิเคราะห์ พีเอช สภาพความเป็นต่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหย ซีโอดีของน้ำออกจากระบบ และปริมาณก๊าซที่ออกจากระบบ ดำเนินการจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

3.2.6 การเดินระบบ

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จึงเริ่มดำเนินการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการบำบัดน้ำเสียจากสาย โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซีโอดี และ อัตราการไหล ในแต่ละชุดการทดลอง ดังตารางที่ 3.2 ทำการดำเนินการจนกระทั่งระบบคงที่ ในแต่ละค่าภาวะซีโอดี จึงทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียตามระยะทางของระบบ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ก๊าซชีวภาพ มาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ โดยเก็บผลการทดลองเป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราภาวะซีโอดีที่ต่างกัน ในสภาวะการทดลอง

จากตารางที่ 3.2 ถัง ABR 1 จะมีการเดินระบบที่ค่าภาวะซีโอดี 0.32 0.54 และ 1.07 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ระยะเวลาเก็บน้ำเท่ากับ 14 วัน โดยควบคุมอัตราการไหล ที่ 1.5 ลิตร/วัน) ถัง ABR 2 มีการเดินระบบที่ค่าภาวะซีโอดี 0.64 และ 2.14 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ระยะเวลาเก็บน้ำเท่ากับ 7 วัน โดยควบคุมอัตราการไหล ที่ 3 ลิตร/วัน) ถัง ABR 3 มีการเดินระบบที่ค่าภาวะซีโอดี 1.13 1.88 และ 3.75 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ระยะเวลาเก็บน้ำเท่ากับ 4 วัน โดยควบคุมอัตราการไหล ที่ 5 ลิตร/วัน)

ดังนั้น ค่าภาระซีไอดีทั้งหมดที่ได้จากการทดลองเดินระบบ และมีการเก็บวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดและการผลิตก๊าซชีวภาพ จะพิจารณาที่ค่าภาระซีไอดี 8 ค่า ได้แก่ 0.32 0.54 0.64 1.07 1.13 1.88 2.14 และ 3.75 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางที่ 3.2 ค่าอัตราภาระซีไอดีในการทดลอง

| ค่าความเข้มข้นซีไอดี (มก./ล.) | ค่าภาระซีไอดี (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน) | | |
|-------------------------------|--|---|---|
| | ชุด ABR 1 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 14 วัน) | ชุด ABR 2 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 7 วัน) | ชุด ABR 3 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 4 วัน) |
| 4500 * | 0.32 (0.31)* | 0.32 (0.32)* | 0.32 (0.31)* |
| 4500 | - | 0.64 (0.72) | 1.13 (1.17) |
| 7500 | 0.54 (0.50) | 1.07 ** | 1.88 (2.04) |
| 15000 | 1.07 (1.11) ** | 2.14 (2.12) | 3.75 (3.78) |

หมายเหตุ: * ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ ทั้ง 3 ชุดการทดลอง จะใช้อัตราการไหลที่ 1.5 ล./ว. เท่ากัน และทำการเก็บวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในช่วงที่ระบบคงตัวของ ค่าภาระซีไอดี ที่ 0.32 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วันที่ชุดการทดลองที่ 2

** ค่าภาระซีไอดีที่ 1.07 มีซ้ำกัน จึงเลือกดำเนินการที่ชุดการทดลองที่ 1

(...) ค่าภาระซีไอดีที่เดินระบบจริง เนื่องจาก เมื่อทำการทดลองจริงน้ำเสียที่เตรียมไม่สามารถควบคุมให้มีความเข้มข้นคงที่ได้

3.2.7 ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการบำบัดซีไอดีของน้ำเสียจากสุรา จากโรงงานสุรา โดยใช้ ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ขนาด 20 ลิตร จำนวน 3 ถัง ที่ความเข้มข้นซีไอดีของน้ำเสีย ที่ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. โดยแต่ละถังมีอัตราการไหลที่ต่างกัน 3 อัตรา คือ 1.5 3 และ 5 ลิตร/วัน ซึ่งมีระยะเวลาพักเก็บน้ำ เท่ากับ 14 7 และ 4 วัน ตามลำดับ

ตะกอนจุลชีพที่ใช้ในการทดลอง นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน แบบสัมผัส (Anaerobic Contact) จากโรงงานสุรา เติมตะกอนจุลชีพเข้าระบบในแต่ละชุดการทดลอง เท่ากัน โดยใส่ปริมาณร้อยละ 40 ของถังปฏิกรณ์ จากนั้นเริ่มต้นเดินระบบโดยทำการป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นประมาณ 4,500 มก./ล. จนเต็มปริมาตรถัง หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ ทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในอัตราการไหลที่ 1.5 ลิตร/วัน ในทุกชุดการทดลอง เพื่อเป็นการปรับสภาพให้ตะกอนจุลชีพคุ้นเคยกับน้ำเสีย เมื่อระบบเริ่มคงที่ ทำการดำเนินการตามแผนการที่เตรียมไว้ (ตารางที่ 3.2)

ในชุด ABR 1 ได้ทำการทดลองโดยใช้อัตราการไหลที่ 1.5 ล./ว. ที่ความเข้มข้นซีไอดี 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. (ในช่วงการทดลองที่ค่าซีไอดี 4,500 มก./ล. ได้ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในชุดการทดลองที่ 2 เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลาในการดำเนินการ ดังนั้น ในส่วนของการอภิปรายผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่นำมาอภิปรายในค่าภาวะซีไอดีค่านี้ (ซีไอดี 4,500 มก./ล.) จะนำค่ามาจากช่วงเริ่มต้นเดินระบบของชุดการทดลองที่ 2) ในการทดลองชุดนี้ได้ทำการเพิ่มความเข้มข้นค่าซีไอดี จาก 4,500 เป็น 7,500 และ 15,000 มก./ล. ในวันที่ 46 และ 88 ตามลำดับ แต่ละค่าความเข้มข้น พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ในวันที่ 46 (จากชุดการทดลองที่ 2) 74 และ 111 ตามลำดับ

ในชุด ABR 2 ทำการทดลองโดยใช้อัตราการไหลที่ 3 ล./ว. ที่ความเข้มข้นซีไอดี 4,500 และ 15,000 มก./ล. ในการทดลองชุดนี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลจาก 1.5 ล./ว. เป็น 3 ล./ว. และเพิ่มความเข้มข้นซีไอดี จาก 4,500 เป็น 15,000 มก./ล. ในวันที่ 85 และ 113 ตามลำดับ พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ในวันที่ 92 และ 123 ตามลำดับ

ในชุด ABR 3 ทำการทดลองโดยใช้อัตราการไหลที่ 5 ล./ว. ที่ความเข้มข้นซีไอดี 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. ในการทดลองชุดนี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลจาก 1.5 ล./ว. เป็น 5 ล./ว. และทำการเพิ่มความเข้มข้นค่าซีไอดี จาก 4,500 เป็น 7,500 และ 15,000 มก./ล. ในวันที่ 46 88 และ 109 ตามลำดับ พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ในวันที่ 67 99 และ 123 ตามลำดับ

ระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง ใช้เวลาทั้งหมด ประมาณ 150 วัน

3.2.8 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล

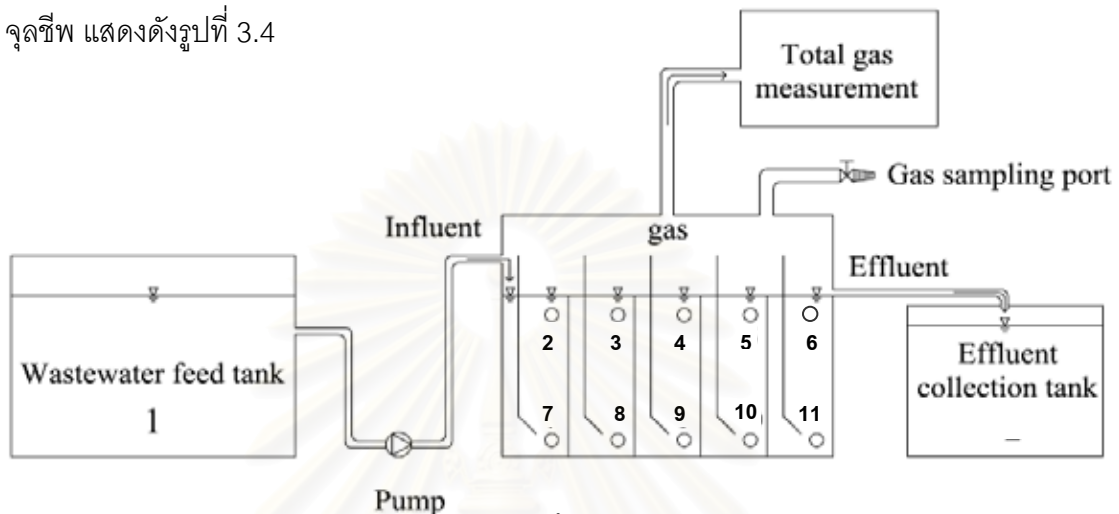
การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียภายในห้องสุดท้ายของถังปฏิกรณ์ และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียภายในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่กำหนด (ดังตารางที่ 3.3)

การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ ในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จะทำการวัดปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวัน โดยใช้หลักการแทนที่น้ำ และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจะทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ

การเก็บตัวอย่างตะกอนจุลชีพ ทำการเก็บตัวอย่างเพียง 2 ครั้ง คือ ก่อนเริ่มเดินระบบ และหลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นลงแล้ว โดยเก็บตัวอย่างตะกอนบริเวณส่วนล่างของภายในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ แล้วทำการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยได้ ในตะกอนจุลชีพ

- จุดเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์

การทดลองนี้จะเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำซึ่งมีทั้งหมด 6 จุด แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ตาม Standard Methods for examination of water and wastewater (American Public Health Association, 1995) โดยจุดเก็บตัวอย่างน้ำ ก๊าซชีวภาพ และตะกอนจุลชีพ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ก๊าซ และตะกอนจุลชีพ

จากรูปที่ 3.4 จุดเก็บตัวอย่างน้ำมีทั้งหมด 6 จุด ได้แก่

จุดที่ 1 น้ำเสียที่เข้าระบบเก็บจากถังพักน้ำเสีย (หมายเลข 1)

จุดที่ 2-6 น้ำเสียในระบบเก็บจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำห้องที่ 1-5 (หมายเลข 2-6)

โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาผลของอัตราภาระชีโอดีที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการบำบัดน้ำเสีย กากส่าจาก โรงงานสุรา รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียตามระยะทางของระบบ ตามแผนการเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ด้วยถุงเก็บก๊าซ ขนาด 1 ลิตร ณ จุดเก็บตัวอย่างก๊าซบริเวณด้านบนของถังปฏิกรณ์ แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ หาร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ต่อไป ในส่วนของปริมาณก๊าซทั้งหมดจะทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดปริมาตรแบบแทนที่น้ำ

การเก็บตัวอย่างตะกอนเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนโดยวิธี Gravimetric method จะเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างบริเวณด้านล่างของถังปฏิกรณ์ในห้องที่ 1-5 (หมายเลข 7-11) ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 แผนการเก็บตัวอย่างเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว และ วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

| พารามิเตอร์ | จุดเก็บตัวอย่าง | | | | ความถี่ในการวิเคราะห์ | วิธีวิเคราะห์/ เครื่องมือที่ใช้ |
|------------------------------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | น้ำเข้าระบบ | น้ำออกจากระบบ | จุดเก็บก๊าซ | น้ำและตะกอนในระบบ | | |
| 1. ซีไอดี | / | / | | / | 3 ครั้ง/สัปดาห์ 3 ครั้ง | วิธีฟลักซ์ แบบปิด |
| 2. ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS) | | | | / | 3 ครั้ง/ระบบคงที่ | Gravimetric method |
| 3. สภาพต่างทั้งหมด | / | / | | / | 3 ครั้ง/สัปดาห์ 3 ครั้ง | วิธีไตเตรต |
| 4. กรดไขมันระเหย | / | / | | / | 3 ครั้ง/สัปดาห์ 3 ครั้ง | วิธีไตเตรต |
| 5. ไออาร์พี | / | / | | | ทุกวัน | เครื่องวัดไออาร์พี |
| 6. พีเอช, อุณหภูมิ | / | / | | | ทุกวัน | เครื่องวัดพีเอช |
| 7. ปริมาณก๊าซทั้งหมด | | | / | | ทุกวัน | วัดปริมาตรก๊าซแบบแทนที่น้ำ |
| 8. ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน | | | / | | 1 ครั้ง | เครื่อง GC |

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำเสียกากส่า ที่ออกจากกระบวนการผลิตสุรา โรงงานสุรา กระทั่งแดง จ.สมุทรสาคร ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมา 2 ครั้ง ลักษณะทั่วไปของน้ำเสีย มีสีน้ำตาลถึงดำ มีสารแขวนลอยอนุภาคเล็ก และกลิ่นของน้ำเสียค่อนข้างแรง ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า น้ำเสียมีพีเอชในช่วง 4.1 – 4.51 ค่าซีโอดีกรอง และไม่กรอง มีค่าประมาณ 85,740 และ 104,570 มก./ล. ตามลำดับ ปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยได้ เท่ากับ 12,575 และ 9,790 มก./ล. ตามลำดับ โดยตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บมาทั้ง 2 ครั้ง มีลักษณะโดยรวมใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียกากส่า

4.2 ลักษณะตะกอนจุลชีพ

ตะกอนจุลชีพที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสีย แบบ Anaerobic Contact จากโรงงานสุรามีลักษณะคล้ายโคลนชั้นเหลว สีค่อนข้างดำเข้มกว่าน้ำเสีย เกิดฟองก๊าซบริเวณด้านบน มีกลิ่นฉุน โดยการทดลองทำการใส่ตะกอนจุลชีพเข้าระบบ ปริมาณ ร้อยละ 40 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์

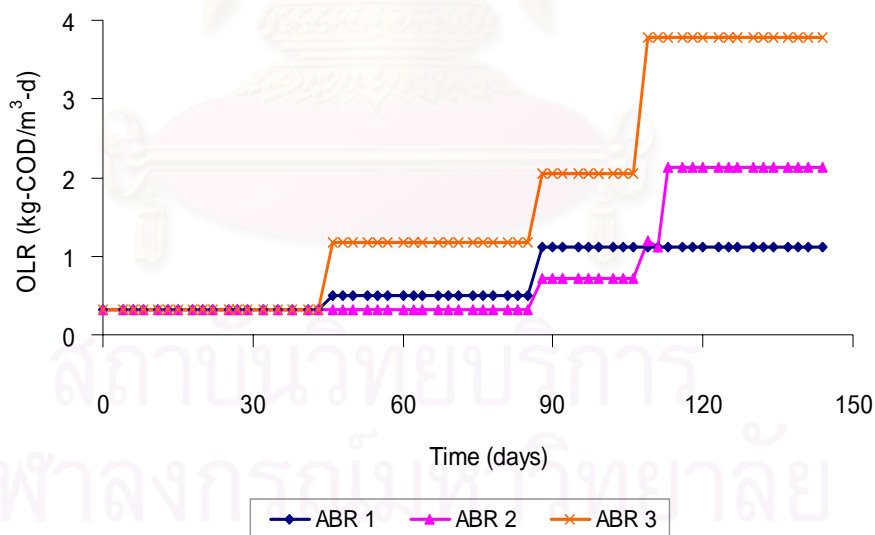
ตะกอนจุลชีพ ที่ใช้ในการทดลองมี พีเอช ประมาณ 7.1 ค่าซีโอดีกรอง และไม่กรอง มีค่าประมาณ 11,770 และ 89,700 มก./ล. ตามลำดับ ปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย เท่ากับ 91,450 และ 51,040 มก./ล. ตามลำดับ

4.3 ประสิทธิภาพของระบบ

4.3.1 ค่าอัตราภาระซีโอดี

ค่าภาระซีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสีย สามารถบ่งบอกถึงขีดความสามารถของระบบในการรองรับปริมาณสารอินทรีย์ได้ ซึ่งค่าภาระซีโอดีจะมีค่าสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสีย และประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียนั้นๆ

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการทดลองในช่วงค่าภาระซีโอดี เท่ากับ 0.32- 3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ดังรูปที่ 4.2 จากการทดลองเมื่อค่าภาระซีโอดีเพิ่มขึ้น ทั้งจากการเพิ่มอัตราไหล หรือ เพิ่มความเข้มข้นของซีโอดี เข้าระบบ พบว่า ระบบมีค่าการกำจัดภาระซีโอดีสูงขึ้น เช่นกัน (ดังตารางที่ 4.2) จึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบมีความสามารถในการรองรับภาระซีโอดีสูงสุด ที่ได้ทำการทดลอง คือ 3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเท่ากับ 4วัน)



รูปที่ 4.2 ผลของอัตราภาระซีโอดีในแต่ละการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ค่าภาระซีโอดีเข้าระบบ และค่าภาระซีโอดีที่ถูกกำจัด ในแต่ละชุดทดลอง

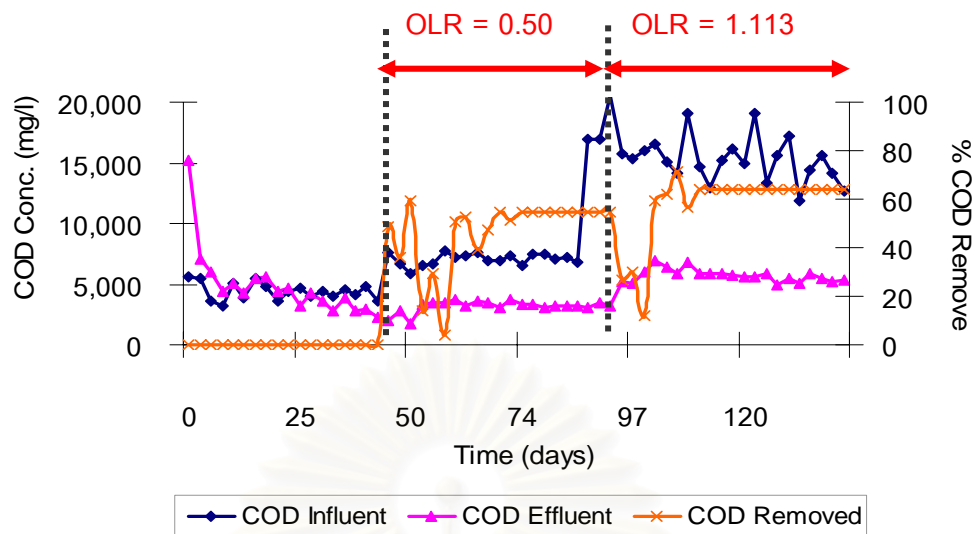
| ภาระซีโอดีเข้าระบบ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) | | | ค่าภาระซีโอดีที่ถูกกำจัด (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) | | |
|--|-----------|-----------|--|-----------|-----------|
| ชุด ABR 1 | ชุด ABR 2 | ชุด ABR 3 | ชุด ABR 1 | ชุด ABR 2 | ชุด ABR 3 |
| 0.32 | 0.72 | 1.17 | 0.17 | 0.41 | 0.56 |
| 0.50 | - | 2.04 | 0.27 | - | 1.18 |
| 1.11 | 2.12 | 3.78 | 0.71 | 1.38 | 2.51 |

หมายเหตุ: - ไม่ได้ทำการทดลอง

4.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

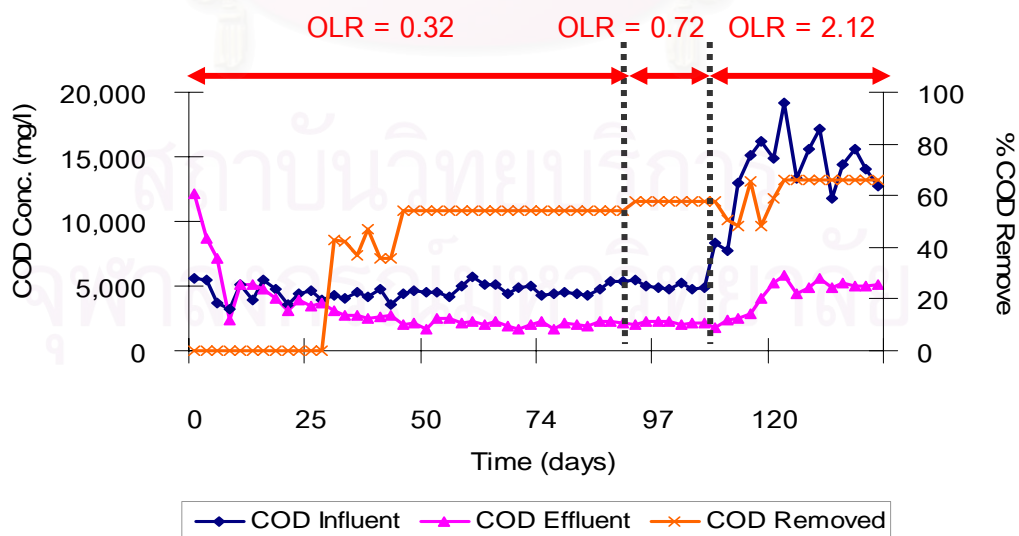
การบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถสังเกตได้จากประสิทธิภาพของการกำจัดสิ่งสกปรกในน้ำ หรือ ค่าซีโอดี หากระบบมีสภาวะการทำงานที่ดีและมีประสิทธิภาพ ความสามารถในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าสูงตามไปด้วย (ธนภัทร์, 2549) โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของน้ำเสีย ในแต่ละค่าภาระซีโอดี ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีเข้าระบบ ในช่วงต้นของการเดินระบบ ค่าซีโอดีของน้ำออกมีค่าสูงขึ้น (ประสิทธิภาพลดต่ำลง) เนื่องจากมีการปรับตัวของจุลชีพในระบบให้คุ้นเคยกับภาระการรับสารอินทรีย์ใหม่ และเมื่อได้ทำการเดินระบบต่อเนื่อง ซีโอดีของน้ำออกจะค่อยๆลดลง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น ตามลำดับ จนกระทั่งค่าซีโอดีน้ำออกมีค่าคงที่ (แตกต่างกันไม่เกิน ร้อยละ 5) บ่งบอกถึงสภาวะคงตัวของระบบ ซึ่งจะนำค่าซีโอดีในช่วงระบบมีสภาวะคงตัวมาคำนวณประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย ในแต่ละชุดการทดลอง

ในชุด ABR 1 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 14 วัน) จากผลการทดลองป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 1.5 ลิตร/วัน และปรับเปลี่ยน ค่าความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าระบบ ที่ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ในช่วงวันที่ 46-92 74-92 และ 111-141 ตามลำดับ คิดเป็นค่าภาระซีโอดีเท่ากับ 0.32 0.50 และ 1.11 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเข้มข้นของซีโอดีน้ำออกจากระบบเฉลี่ย 2,084 3,233 และ 5,548 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ร้อยละ 54 55 และ 64 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.3)



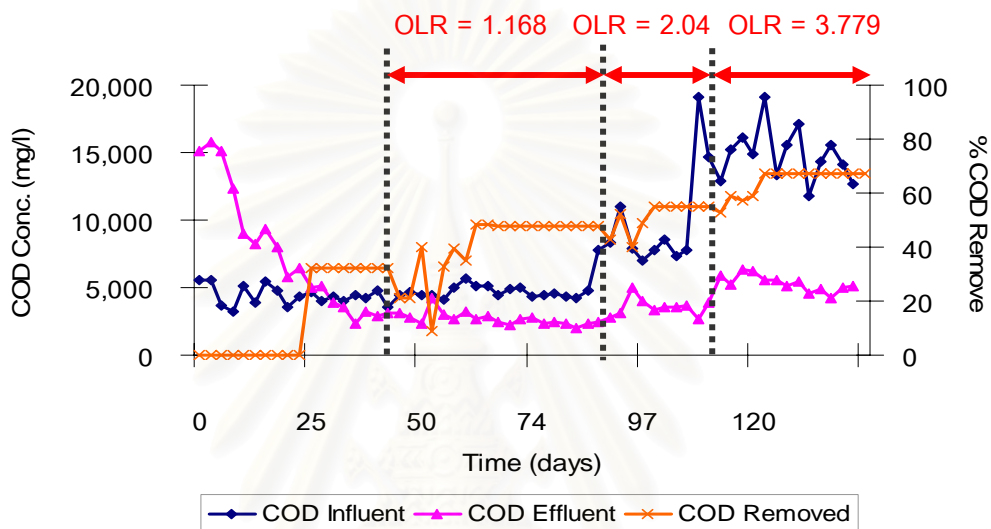
รูปที่ 4.3 ซีโอดีน้ำเข้า-ออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในชุด ABR 1

ในชุด ABR 2 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 7 วัน) จากผลการทดลองบ่อน้ำเสียที่อัตราการไหล 3 ลิตร/วัน และปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเข้าระบบ ที่ 4,500 และ 15,000 มก./ล. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ในช่วงวันที่ 92-109 และ 123-141 ตามลำดับ คิดเป็นค่าภาระซีโอดี เท่ากับ 0.72 และ 2.12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเข้มข้นของซีโอดีน้ำออกจากระบบ เฉลี่ย 2,139 และ 5,134 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ร้อยละ 58 และ 66 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.4 ซีโอดีน้ำเข้า-ออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในชุด ABR 2

และในชุด ABR 3 (ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 4 วัน) จากผลการทดลองป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 5 ลิตร/วัน และปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเข้าระบบ ที่ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ในช่วงวันที่ 67-89 99-111 และ 123-141 ตามลำดับ คิดเป็นค่าภาระซีโอดีเท่ากับ 1.17 2.04 และ 3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเข้มข้นของซีโอดีน้ำออกจากระบบ เฉลี่ย 2,426 3,449 และ 5,024 มก./ล.ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 48 55 และ 67 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ซีโอดีน้ำเข้า-ออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในชุด ABR 3

ในแต่ละชุดการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อภาระซีโอดีสูงขึ้น อาจเนื่องมาจาก จุลชีพมีความคุ้นเคยกับน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดการเจริญเติบโตทั้งด้านคุณภาพของจุลชีพ และปริมาณเซลล์ที่เพิ่มขึ้น รวมไปถึงการได้รับอาหารเข้าระบบได้ทั่วถึง เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำเสีย และ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการกวนผสมในระบบ เมื่อระยะเวลาในการดำเนินการทดลองมากขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าเท่ากัน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกันทุกชุดการทดลอง แม้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำแตกต่างกัน จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน จากงานวิจัยของ ทวีศักดิ์และคณะ(2006) และ AkunnaและClark (2000) พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกัน แม้จะมีระยะเวลาการกักเก็บต่างกัน โดยงานวิจัยทั้ง 2 อ้างว่า ช่วงค่าภาระสารอินทรีย์ที่ทำการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการเพิ่มค่าภาระสารอินทรีย์ โดยมีค่าสูงกว่า 5 เท่า จากค่าภาระสารอินทรีย์เริ่มต้น พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด

ซีโอดีลดลงอย่างชัดเจน ในทั้ง 2 งานวิจัย โดยงานวิจัยชิ้นนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าภาระสารอินทรีย์ที่ค่าความเข้มข้นซีโอดีเท่ากัน พบว่ามีค่าภาระสารอินทรีย์ แตกต่างกันไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับขีดความสามารถในการรองรับสารอินทรีย์ จากความเข้มข้นของซีโอดีเข้าระบบด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ค่าความเข้มข้นซีโอดีต่างๆ ในแต่ละชุดทดลอง

| ค่าความเข้มข้นซีโอดี (มก./ล.) | ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%) | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | ชุด ABR 1 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 14 วัน) | ชุด ABR 2 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 7 วัน) | ชุด ABR 3 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 4 วัน) |
| 4500 | 54 | 58 | 48 |
| 7500 | 55 | - | 55 |
| 15000 | 64 | 66 | 67 |

หมายเหตุ: - ไม่ได้ทำการทดลอง

4.3.3 การผลิตก๊าซชีวภาพ

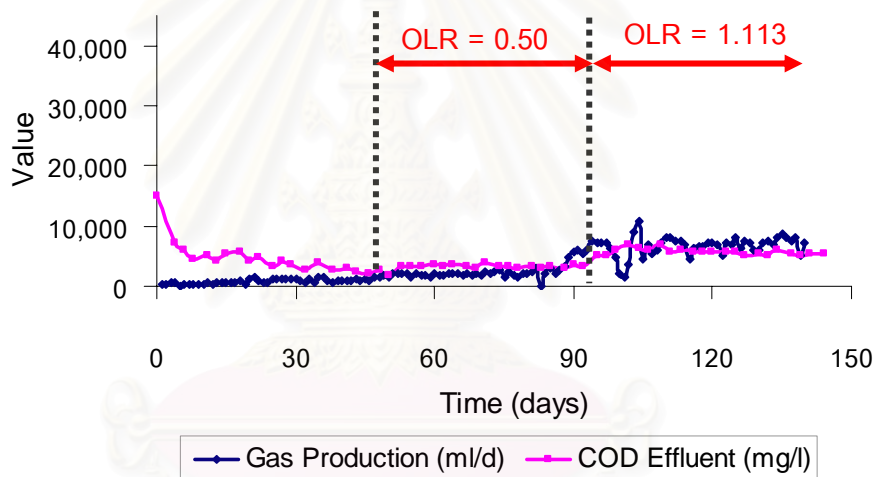
ในชุด ABR 1 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 14 วัน) เมื่อทำการดำเนินการทดลองที่ค่าซีโอดีของน้ำเข้าระบบ เท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. คิดเป็นค่าภาระซีโอดีเท่ากับ 0.32 0.50 และ 1.11 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วันพบว่า ในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว การผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยต่อวันของระบบ มีค่าเท่ากับ 1.3 2.2 และ 7 ล./ว ตามลำดับ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดนั้น มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 73 80 และ 89 เมื่อทำการเปรียบเทียบการผลิตก๊าซผลิตชีวภาพต่อการกำจัดซีโอดีของน้ำเสีย พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.36 0.38 และ 0.47 ลิตร/กรัมซีโอดีถูกกำจัด ตามลำดับ

ในชุด ABR 2 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 7 วัน) เมื่อทำการดำเนินการทดลองที่ค่าซีโอดีของน้ำเข้าระบบ เท่ากับ 4,500 และ 15,000 มก./ล. คิดเป็นค่าภาระซีโอดี เท่ากับ 0.72 และ 2.12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า ในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว การผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยต่อวันของระบบ มีค่าเท่ากับ 2.3 และ 15.4 ล./ว ตามลำดับ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 89 และ 74 เมื่อทำการเปรียบเทียบการผลิตก๊าซผลิตชีวภาพต่อการกำจัดซีโอดีของน้ำเสีย พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.26 และ 0.54 ลิตร/กรัมซีโอดีถูกกำจัด ตามลำดับ

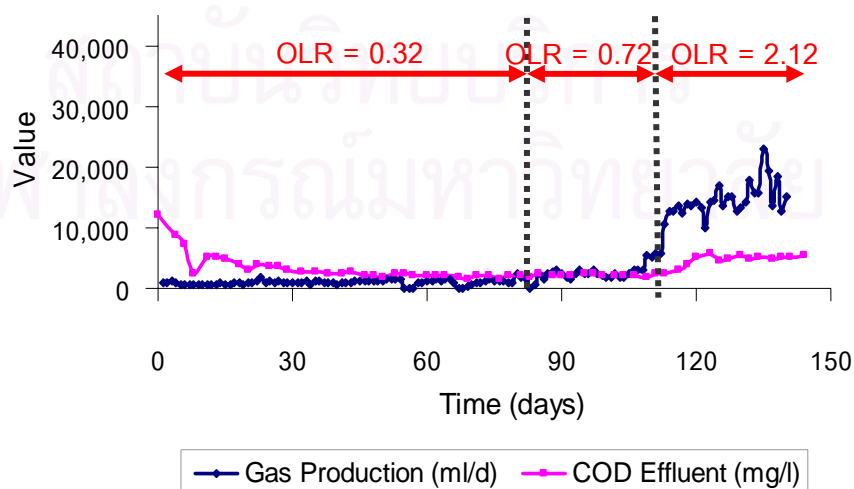
ในชุด ABR 3 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 4 วัน) เมื่อทำการดำเนินการทดลองที่ค่าซีโอดีของน้ำเข้าระบบ เท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. คิดเป็น ค่าภาระซีโอดีเท่ากับ 1.17 2.04 และ 3.78 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า ในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว การผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยต่อวันของระบบ มีค่าเท่ากับ 4.5 9.3 และ 31.1 ล./ว. ตามลำดับ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด มีก๊าซมีเทนเป็น

องค์ประกอบ ร้อยละ 86 80 และ 80 เมื่อทำการเปรียบเทียบการผลิตก๊าซผลิตชีวภาพต่อการกำจัดซีโอดีของน้ำเสีย พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.4 0.4 และ 0.62 ลิตร/กรัมซีโอดีถูกกำจัด ตามลำดับ

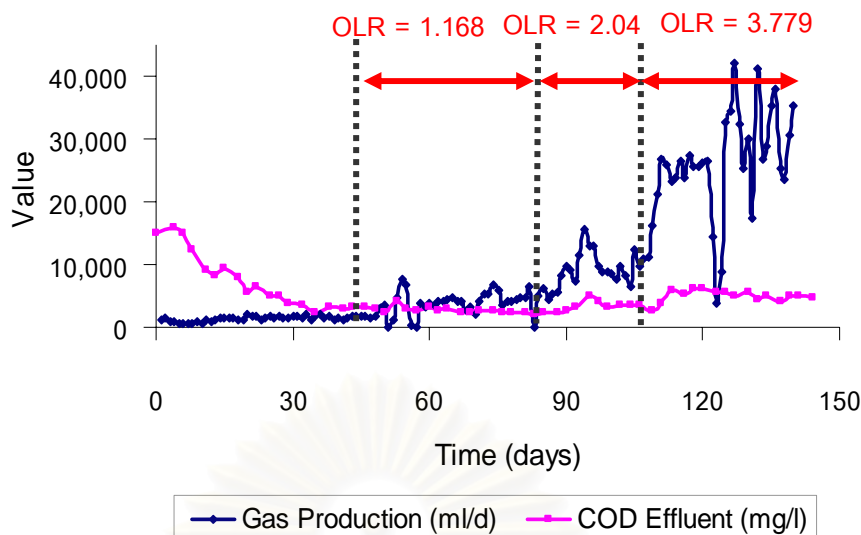
จากผลการทดลองของแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากัน (ค่าอัตราการไหลคงที่) การเพิ่มค่าความเข้มข้นของซีโอดีเข้าระบบนั้น มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพมากขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของระบบ เช่น ปัจจัยของอุณหภูมิ ดังจะเห็นในผลการทดลอง ในช่วงวันที่ 9 – 19 มกราคม 2551 (วันที่ทำการทดลอง วันที่ 99-109) อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่ำลงในทุกชุดการทดลอง ซึ่งมีผลมาจากช่วงเวลาดังกล่าว เป็นช่วงที่อุณหภูมิของอากาศต่ำลงมาก ซึ่งวัดจากน้ำภายในระบบ มีอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 22.8 องศาเซลเซียส (ดังรูป 4.18) ซึ่งส่งผลต่อสภาพการทำงานของจุลชีพภายในระบบ ทำให้อัตราการผลิตก๊าซในช่วงเวลาดังกล่าว ลดลงในทุกชุดทดลอง



รูปที่ 4.6 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในค่าความเข้มข้นของซีโอดีต่างๆ ในชุด ABR 1



รูปที่ 4.7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในค่าความเข้มข้นของซีโอดีต่างๆ ในชุด ABR 2



รูปที่ 4.8 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในค่าความเข้มข้นของชีโอดีต่างๆ ในชุด ABR 3

ตารางที่ 4.3 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย และ อัตราการผลิตก๊าซต่อ 1 กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ในแต่ละชุดทดลอง

| Influence COD(mg/l) | COD ที่ถูกกำจัด (mg/l) | | | การผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย (l/d) | | | อัตราการผลิตก๊าซต่อ 1 กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด (ล./ก.ชีโอดีถูกกำจัด) | | |
|------------------------|---------------------------|-------|--------|----------------------------------|-------|-------|---|-------|-------|
| | ABR 1 | ABR 2 | ABR 3 | ABR 1 | ABR 2 | ABR 3 | ABR 1 | ABR 2 | ABR 3 |
| 4,500 | 2,441 | 2,900 | 2,246 | 1.3 | 2.3 | 4.5 | 0.36 | 0.26 | 0.4 |
| 7,500 | 3,233 | - | 4,711 | 2.2 | - | 9.3 | 0.38 | - | 0.4 |
| 15,000 | 9,966 | 9,642 | 10,020 | 7.0 | 15.6 | 31.1 | 0.47 | 0.54 | 0.62 |

หมายเหตุ: - ไม่ได้ทำการทดลอง

4.3.4 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

จากการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียเข้าระบบที่มีชีโอดีเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. พบว่ามีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าระบบ เท่ากับ 780 1,100 1,720 มก./ล. ตามลำดับ

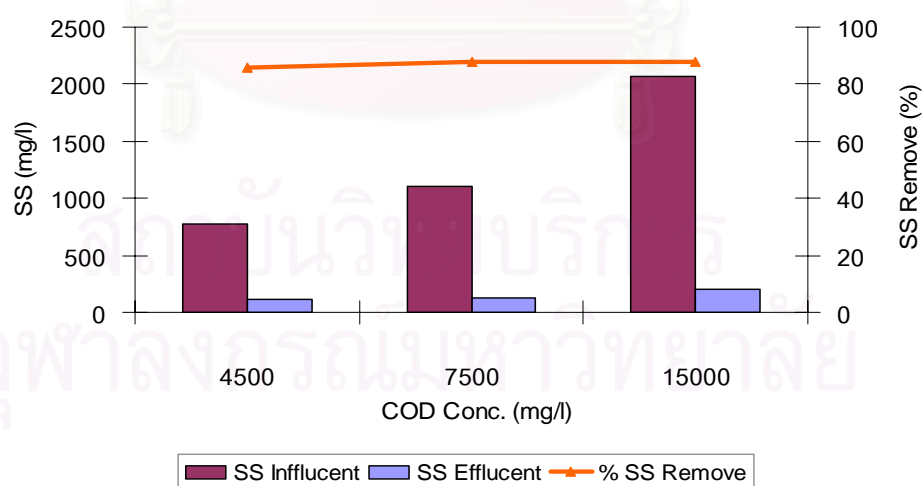
ในชุด ABR 1 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 14 วัน) ในช่วงสภาวะคงตัว ของช่วงการทดลอง ที่มีค่าความเข้มข้นชีโอดีที่ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออก มีค่าเท่ากับ 108 131 และ 203 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 86 88 และ 90 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.9)

ในชุด ABR 2 (ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 7 วัน) ในช่วงสภาวะคงตัว ของช่วงการทดลอง ที่มีค่าความเข้มข้นซีโอดีที่ 4,500 และ 15,000 มก./ล. พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออก มีค่าเท่ากับ 90 และ 188 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 88 และ 91 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.10)

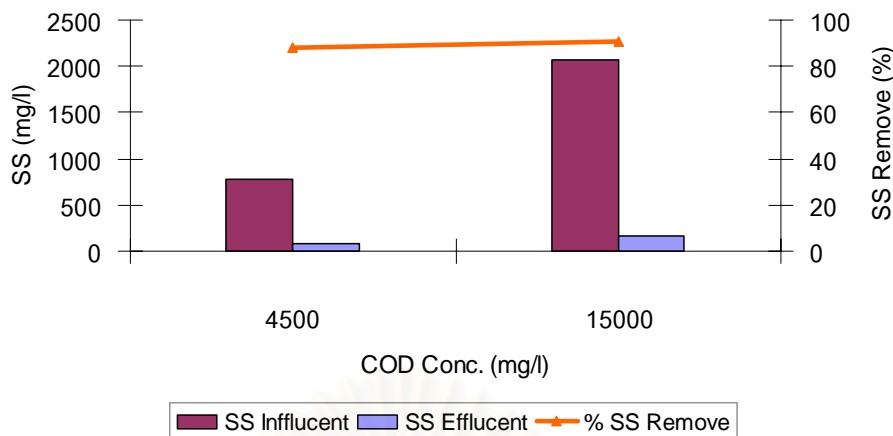
ในชุด ABR 3 (ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 4 วัน) ในช่วงสภาวะคงตัว ของช่วงการทดลอง ที่มีค่าความเข้มข้นซีโอดีที่ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออก มีค่าเท่ากับ 250 204 และ 220 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 68 81 และ 89 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.11)

จากผลการทดลอง พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เมื่อทำการเพิ่มค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ ทำให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียหลุดออกจากระบบมากขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจาก อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงขึ้น ทำให้เกิดความปั่นป่วนของน้ำเสียในระบบมากขึ้น จึงยากต่อการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยได้ แต่กรณีของชุดการทดลองที่ 3 พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยที่หลุดมากับน้ำเสีย มีค่าใกล้เคียงกันทั้งหมด ทั้งที่อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าทั้ง 2 ชุดการทดลองแรก ทำให้สามารถคาดได้ว่า ที่อัตราการไหลของชุดการทดลองดังกล่าวมีความเหมาะสม ทำให้ความปั่นป่วนของน้ำเสียจากการเกิดก๊าซชีวภาพภายในการทดลองนี้ ไม่สามารถส่งผลกระทบต่อระบบได้

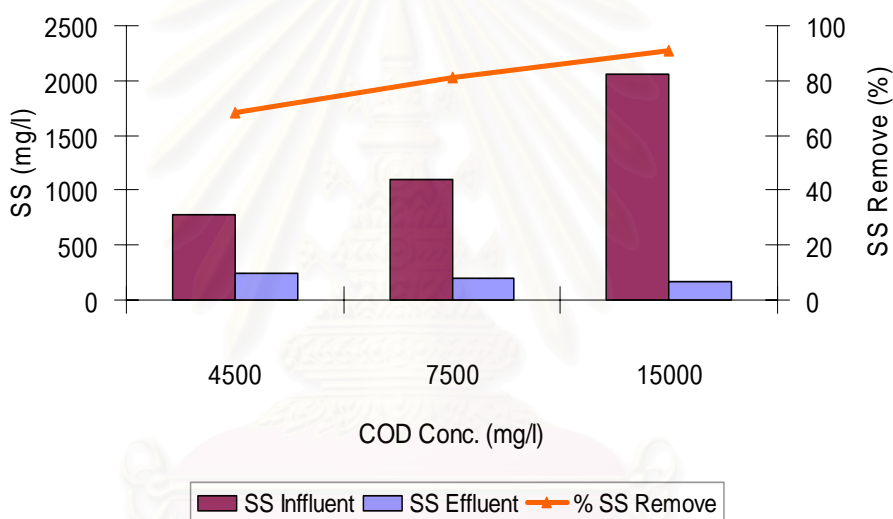
อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลอง สังเกตได้ว่า ประสิทธิภาพการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย ในแต่ละชุดการทดลอง มีค่าเพิ่มขึ้น แม้จะมีการเพิ่มค่าความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ



รูปที่ 4.9 ค่าของแข็งแขวนลอยเข้า-ออกจากระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดของชุด ABR 1



รูปที่ 4.10 ค่าของแข็งแขวนลอยเข้า-ออกจากระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดของชุด ABR 2



รูปที่ 4.11 ค่าของแข็งแขวนลอยเข้า-ออกจากระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดของชุด ABR 3

4.4 สภาวะการทำงาน

4.4.1 ค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างรวม และ อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียเข้าระบบที่มีซีไอดีเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. พบว่ามีค่ากรดไขมันระเหยในน้ำเสีย 1,013 1,657 3,191 มก./ล.ของกรดอะซิติก ตามลำดับ และมีสภาพต่างทั้งหมดในน้ำเสีย 1,567 1,584 2,084 มก./ล.ของหินปูนตามลำดับ

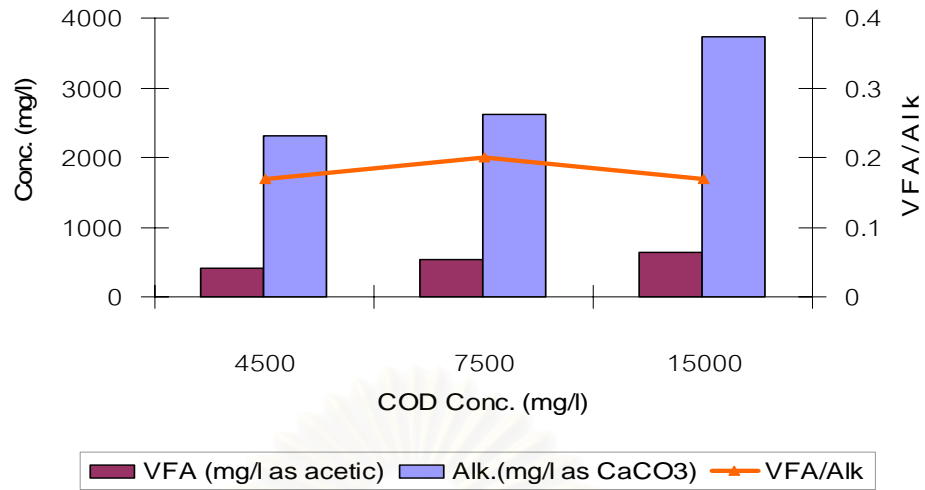
ในชุด ABR 1 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 14 วัน) ในการทดลองช่วงน้ำเสียที่มีซีไอดี เท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล พบว่า น้ำเสียที่ออกจากระบบในช่วงสภาวะคงตัวของแต่ละค่าความเข้มข้น ซีไอดีเข้าระบบ ทั้ง 3 ความเข้มข้น มีกรดไขมันระเหยออกมา เท่ากับ 404 532 และ 639 มก./ล.ของ

กรดอะซิติก และมีสภาพต่างทั้งหมด เท่ากับ 2,302 2,622 และ 3,727 มก./ล.ของหินปูน โดยสามารถคิดเป็น ค่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างรวม เท่ากับ 0.17 0.2 และ 0.17 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.12)

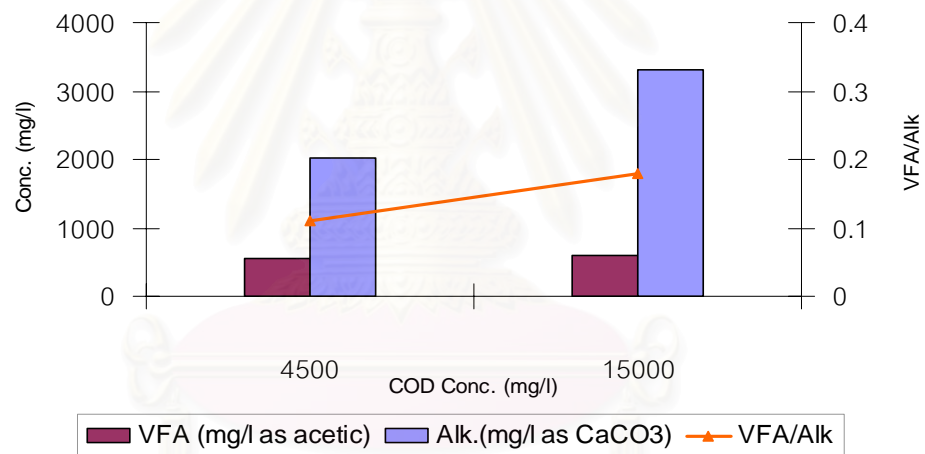
ในชุด ABR 2 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 7 วัน) ในการทดลองช่วงน้ำเสียที่มีค่าซีโอดี เท่ากับ 4,500 และ 15,000 มก./ล พบว่า น้ำเสียที่ออกจากระบบในช่วงสภาวะคงตัวของแต่ละค่าความเข้มข้นซีโอดี เข้าระบบ ทั้ง 2 ความเข้มข้น มีกรดไขมันระเหยออกมา เท่ากับ 549 และ 588 มก./ล.ของ กรดอะซิติก และมีสภาพต่างทั้งหมด เท่ากับ 2,020 และ 3,301 มก./ล.ของหินปูน โดยสามารถคิดเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างรวม เท่ากับ 0.11 และ 0.18 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.13)

ในชุด ABR 3 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 4 วัน) ในการทดลองช่วงน้ำเสียที่มีค่าซีโอดี เท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล พบว่า น้ำเสียที่ออกจากระบบในช่วงสภาวะคงตัวของแต่ละค่าความเข้มข้น ซีโอดีเข้าระบบ ทั้ง 3 ความเข้มข้น มีกรดไขมันระเหยออกมา เท่ากับ 515 363 และ 656 มก./ล.ของ กรดอะซิติก และมีสภาพต่างทั้งหมด เท่ากับ 2,144 2,445 3,372 มก./ล.ของหินปูน โดยสามารถ คิดเป็น ค่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างรวม เท่ากับ 0.24 0.15 และ 0.19 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.14)

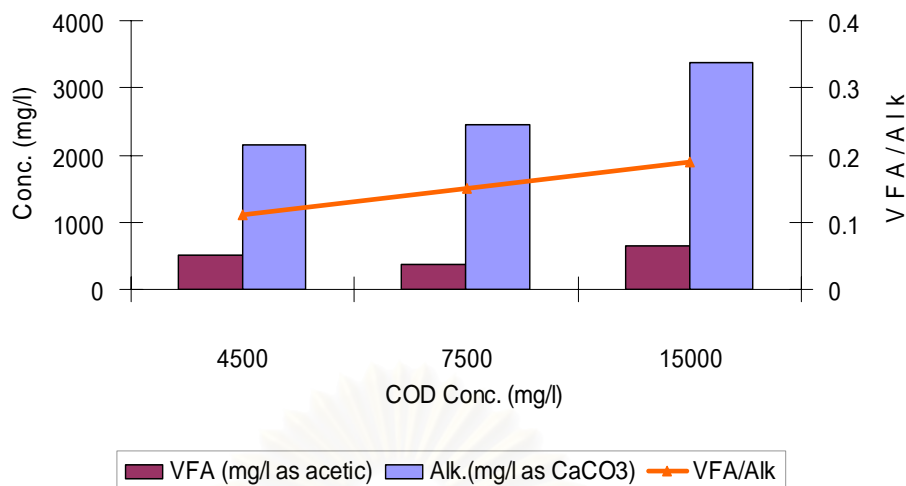
จากผลการทดลอง พบว่า ทั้ง 3 ชุดทดลอง ระบบมีแนวโน้มที่จะเกิดการสะสมของ กรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสีย จากการทดลอง พบว่า ค่ากรดไขมันระเหยของทุกชุดทดลอง มีค่าต่ำกว่า 800 มก./ล.ของกรดอะซิติก ซึ่งสามารถบอกได้ ว่าสภาวะการทำงานของระบบมีความเหมาะสม หรือ จุลินทรีย์มีสภาวะแวดล้อมในการทำงานเหมาะสม (อาริยา, 2546) ส่วนค่าสภาพต่างทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้น ซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสร้าง ไบคาร์บอเนต(HCO_3^-) จากการ ทำปฏิกิริยากันระหว่าง ไฮดรอกไซด์ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จาก กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน (Movahedian, 2007) ประกอบกับสภาพต่างทั้งหมดในน้ำเสียเข้า ระบบ มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน และในทุกชุดการทดลองพบว่า อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพ ต่างทั้งหมด มีค่า ต่ำกว่า 0.4 ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในการบ่งบอกความเหมาะสมของสภาวะ แวดล้อมในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้อย่างชัดเจน (อาริยา, 2546)



รูปที่ 4.12 ค่ากรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมด ในชุด ABR 1



รูปที่ 4.13 ค่ากรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมด ในชุด ABR 2



รูปที่ 4.14 ค่ากรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมด ในชุด ABR 3

4.4.2 พีเอช อุณหภูมิ ไออาร์พี

พีเอช อุณหภูมิ ไออาร์พี เป็น ส่วนหนึ่งของปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน โดยพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์นี้ สามารถบ่งบอกความเหมาะสมต่อการทำงานเบื้องต้น ได้สะดวกและรวดเร็วที่สุด โดยที่พีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียมีเทน ในกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน ควรอยู่ระหว่าง 6.8-7.2 ช่วงอุณหภูมิ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ในกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน ในช่วง เมโซฟิลิก คือ 8-45 องศาเซลเซียส และ ไออาร์พีของปฏิกิริยานำบัดน้ำเสียเพื่อสร้างมีเทน มีค่าน้อยกว่า -200 มิลลิโวลท์ (มันลิน, 2542) ซึ่งจากการทดลองพบว่า ผลการทดลองของพารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าดังนี้

พีเอช

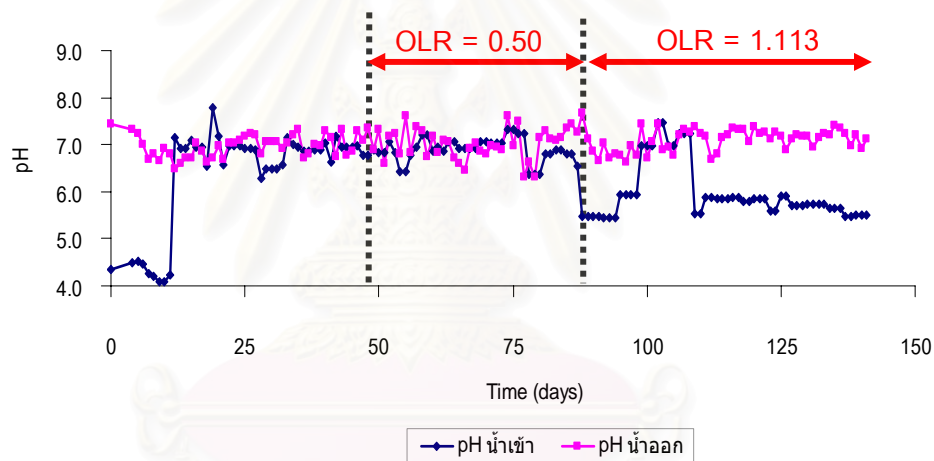
ในชุด ABR 1 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 14 วัน) เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบที่ความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. นั้น มีพีเอชของน้ำเข้าระบบเฉลี่ย เท่ากับ 7.1 6.9 และ 6.0 ตามลำดับ ในน้ำเสียออกจากระบบ พบว่ามีค่าพีเอชเฉลี่ย เท่ากับ 7.1 7 และ 7.2 ตามลำดับ (ดังรูป 4.15)

ในชุด ABR 2 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 7 วัน) เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบที่ความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 4,500 และ 15,000 มก./ล. นั้น มีพีเอชของน้ำเข้าระบบเฉลี่ย เท่ากับ 7.1 และ 5.7 ตามลำดับ ในน้ำเสียออกจากระบบ พบว่ามีพีเอชเฉลี่ย เท่ากับ 7 และ 7.2 ตามลำดับ (ดังรูป 4.16)

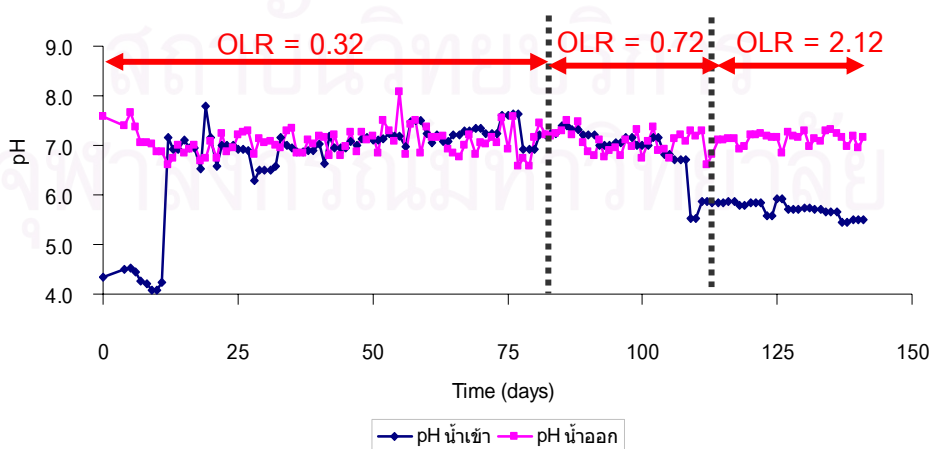
ในชุด ABR 3 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 4 วัน) 3 เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบที่ความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. นั้น มีพีเอชของน้ำเข้าระบบเฉลี่ย เท่ากับ 7.2 6.4 5.8

ตามลำดับ ในน้ำเสียออกจากระบบ พบว่ามีพีเอชเฉลี่ย เท่ากับ 7.1 7 และ 7.2 ตามลำดับ (ดังรูป 4.17)

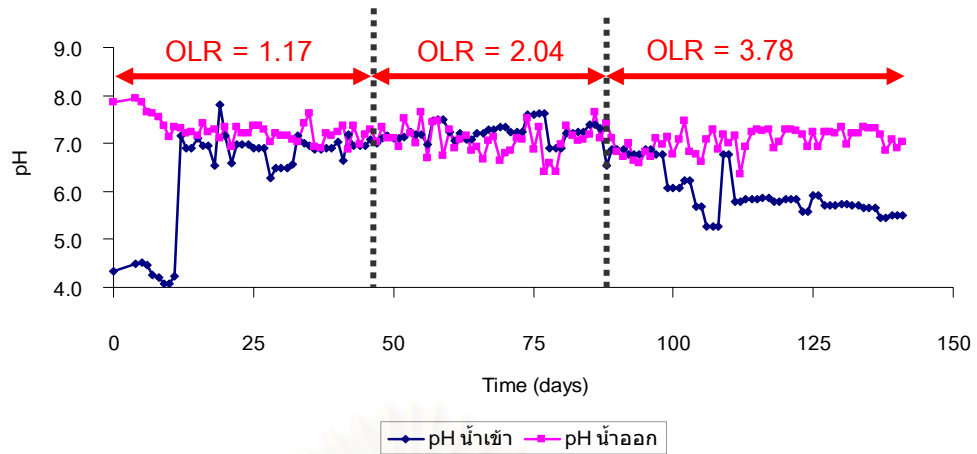
จากข้อมูลข้อต้น ในแต่ละชุดทดลอง พบว่า พีเอชน้ำเข้ามีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าสูงขึ้น เนื่องจาก กรดไขมันระเหยในน้ำเสียมีปริมาณเพิ่มขึ้น (จาก 1,013 1,617 และ 3,191 มก./ล.ของอะซิติก ที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. ตามลำดับ) ประกอบกับการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (2 ก./ล.) ปริมาณเท่ากันในทุกชุดการทดลองนั้น ทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีค่าลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ตาม พีเอชของน้ำเสียออกจากระบบนั้น มีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดทดลอง (7-7.2) ทั้งนี้ เนื่องมาจากสภาพต่างทั้งหมดในระบบมีค่าสูง (ประมาณ 2,000-3,700 มก./ล.ของหินปูน) จึงทำให้พีเอชน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้น ประกอบกับ สัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด มีค่าต่ำกว่า 0.4 จึงทำให้ระบบมีกำลังบัฟเฟอร์เพียงพอ ที่จะรักษาให้มีพีเอชค่อนข้างคงที่และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันระเหยได้ (มันสิน, 2542)



รูปที่ 4.15 พีเอชน้ำเข้า-ออก ในชุด ABR 1



รูปที่ 4.16 พีเอชน้ำเข้า-ออก ในชุด ABR 2



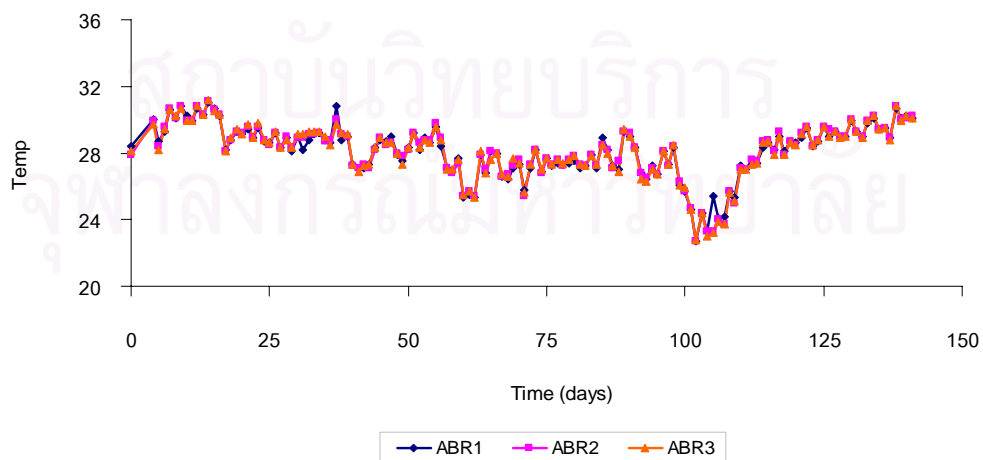
รูปที่ 4.17 พีเอชน้ำเข้า-ออก ในชุด ABR 3

อุณหภูมิ (ดังรูป 4.18)

ในชุด ABR 1 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 14 วัน) เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. นั้น ในน้ำเสียออกจากระบบ พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.1 27.3 และ 28 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ในชุด ABR 2 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 7 วัน) เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 4,500 และ 15,000 มก./ล. นั้น ในน้ำเสียออกจากระบบ พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25.5 และ 29.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ในชุด ABR 3 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 4 วัน) เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบที่ค่าความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. นั้น ในน้ำเสียออกจากระบบ พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27.6 25.6 และ 29.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 อุณหภูมิภายในระบบในแต่ละชุดทดลอง

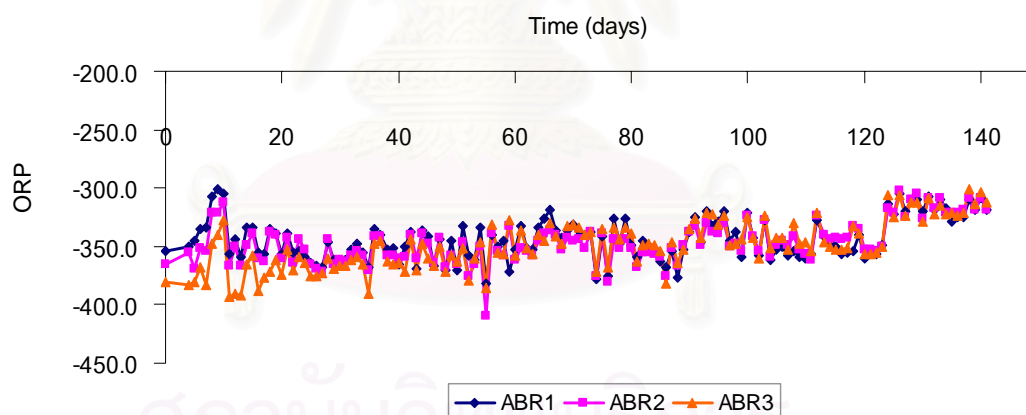
ไออาร์พี (ดังรูป 4.19)

ในชุด ABR 1 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 14 วัน) เมื่อทำการบ่อน้ำเสียเข้าระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. นั้น ในน้ำเสียออกจากระบบ พบว่ามีไออาร์พีเฉลี่ยเท่ากับ -354 -346 และ -336 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

ในชุด ABR 2 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 7 วัน) เมื่อทำการบ่อน้ำเสียเข้าระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 4,500 และ 15,000 มก./ล. นั้น ในน้ำเสียออกจากระบบ พบว่ามีไออาร์พีเฉลี่ยเท่ากับ -343 และ -323 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

ในชุด ABR 3 (ระยะเวลาเก็บน้ำ 4 วัน) เมื่อทำการบ่อน้ำเสียเข้าระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. นั้น ในน้ำเสียออกจากระบบ พบว่ามีไออาร์พีเฉลี่ยเท่ากับ -349 -340 และ -323 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า ในทุกชุดการทดลอง ค่าพารามิเตอร์ ทั้ง 3 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อสภาวะการทำงานของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ถึงสภาวะการทำงานของระบบการทดลอง มีสภาวะแวดล้อมในการทำงานในช่วงที่เหมาะสม (มันลิน, 2542)



รูปที่ 4.19 ไออาร์พีของน้ำเสียในระบบ ในแต่ละชุดทดลอง

4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดที่ค่าภาระซีโอดีต่างๆ

4.5.1 การผลิตก๊าซชีวภาพ

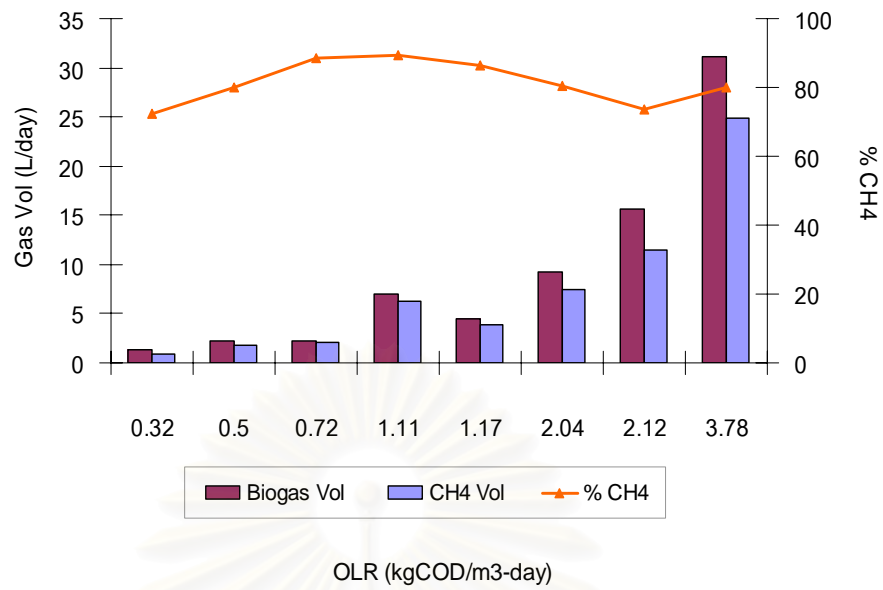
จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และ ก๊าซมีเทน มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อค่าภาระซีโอดีเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าภาระซีโอดี เท่ากับ 0.32 0.50 0.72 1.11 2.12 และ 3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน อัตราการผลิต เท่ากับ 1.3 2.2 2.3 7 15.6

และ 31.1 ล./วัน ตามลำดับ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 73 80 89 89 74 และ 80 ตามลำดับ ทำให้มีปริมาณการผลิตก๊าซมีเทน เท่ากับ 1 1.7 2 6.2 11.5 และ 24.9 ล./วัน ตามลำดับ (ดังรูป ที่ 4.20)

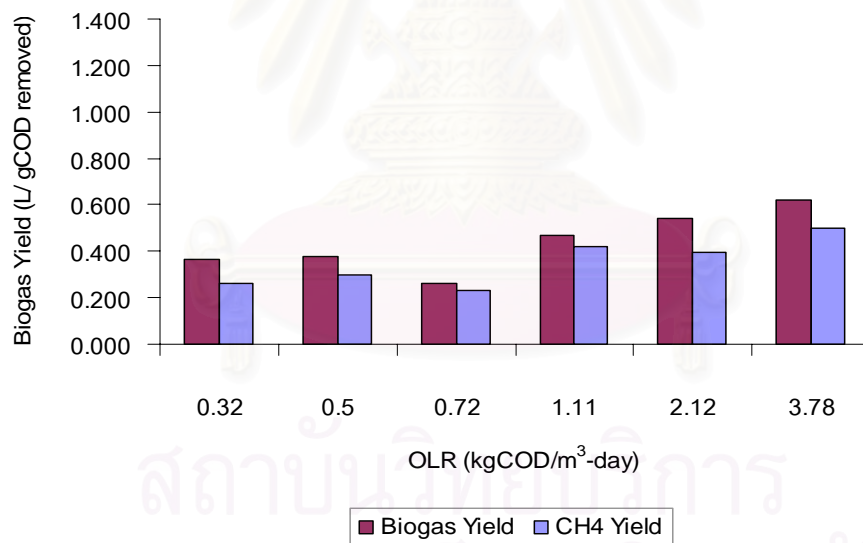
จากการศึกษา ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ และ ก๊าซมีเทน ต่อการกำจัดชีโอดี ดังรูป 4.21 พบว่า แนวโน้มของการผลิตก๊าซทั้ง 2 สูงขึ้นเมื่อภาวะชีโอดีเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าภาวะชีโอดีสูงสุด ที่ 3.78 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทน ในการกำจัดชีโอดี 1 กรัม เท่ากับ 0.62 และ 0.5 ลิตร ตามลำดับ หากทำการคำนวณเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นของการใช้น้ำเสียจากโรงงานสุรา โดยไม่เจือจางน้ำเสีย (ดังตารางที่ 4.4) พบว่า น้ำเสียดิบ ปริมาตร 1 ลบ.ม. สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เท่ากับ 195 ลบ.ม. (คิดจากค่าภาวะชีโอดี 3.78 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน) พลังงานความร้อนของก๊าซมีเทน 1 ลบ.ม. สามารถทดแทนน้ำมันเตาได้ประมาณ 0.67 ลิตร (กระทรวงพลังงาน, 2552) ดังนั้น ผลผลิตจากการบำบัดน้ำเสียดิบ 1 ลบ.ม. สามารถให้ก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ถึง 131 ลิตร

จากรูป 4.20 ที่ค่าภาวะชีโอดีที่ 2.12 และ 3.78 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าร้อยละก๊าซมีเทน มีค่าลดลง โดยอาจมีสาเหตุจากการที่ระบบมีกรดไขมันระเหยเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนได้ (Movahedian, 2007)

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ในแต่ละค่าภาวะชีโอดี ดังตารางที่ 4.4 พบว่าที่ค่าภาวะชีโอดี เท่ากับ 0.32 และ 0.72 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณการผลิตมีเทนต่อ น้ำเสียดิบ 1 ลบ.ม. สูงกว่า ที่ค่าภาวะชีโอดี 3.78 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน เนื่องจากมีข้อได้เปรียบในด้านการคำนวณ (ดังภาคผนวก ค) กล่าวคือ ความเข้มข้นชีโอดีที่ใช้ในการทดลอง ที่ค่าภาวะชีโอดีที่ 0.32 และ 0.72 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 4,500 มก./ล. ในขณะที่ภาวะชีโอดีที่ 3.78 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีความเข้มข้นชีโอดี เท่ากับ 15,000 มก./ล. จึงทำให้การเทียบกลับเป็นความเข้มข้นของชีโอดีของน้ำเสียดิบที่ค่าภาวะชีโอดี 0.32 และ 0.72 จึงได้เปรียบจากค่าการเจือจางน้ำเสียที่มีค่าสูงกว่า คือ 20 เท่า ในขณะที่ภาวะชีโอดีที่ 3.78 มีค่าการเจือจางน้ำเพียง 6.25 เท่า ทั้งที่การผลิตมีเทนต่อน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ที่ค่าภาวะชีโอดีที่ 3.78 มีค่าสูงกว่า ภาวะชีโอดีที่ 0.32 และ 0.72 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน เท่ากับ 2.4 และ 2.3 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทน และ ร้อยละก๊าซมีเทน ที่ค่าภาระซีโอดีต่างๆ



รูปที่ 4.21 การผลิตก๊าซต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ที่ค่าภาระซีโอดีต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละค่าภาระซีไอดี

| ค่าภาระซีไอดี (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน) | การผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน) | การผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/วัน) | การผลิตก๊าซมีเทน (ลบ.ม.) ต่อ 1 ลบ.ม. ของ น้ำเสียดิบ |
|--|---------------------------------|--------------------------------|--|
| 0.32 | 1.3 | 1 | 257 |
| 0.50 | 2.2 | 1.7 | 179 |
| 0.72 | 2.3 | 2 | 269 |
| 1.11 | 7 | 6.2 | 163 |
| 2.12 | 15.6 | 11.5 | 149 |
| 3.78 | 31.1 | 24.9 | 195 |

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียกากส่า ในประเภทของถังปฏิกรณ์ต่างชนิดกัน (ดังตาราง 4.5) พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีไอดีของน้ำเสียที่ถูกกำจัดของงานวิจัยอื่น ๆ ที่ทำการรวบรวมข้อมูลมานั้น มีค่าอยู่ในช่วง 0.08-0.50 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยชิ้นนี้ ที่ค่าภาระซีไอดีสูงสุดในการทดลอง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 0.621 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่างานวิจัยอื่นที่ได้นำมา

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากสาขาระบบอื่นๆ

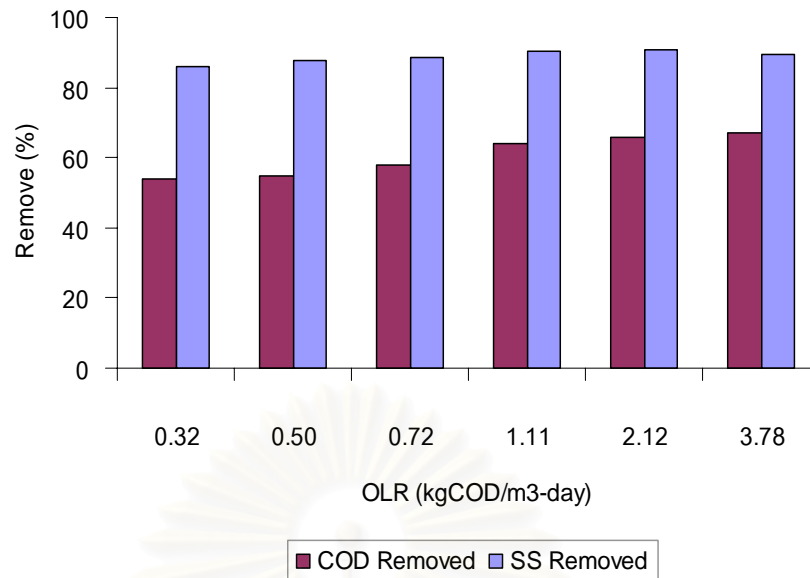
| Type of Reactor | Volume | OLR (kg-COD/m ³ -d) | %COD Removal | %CH ₄ | Biogas Production (l)/ g COD removed | Reference |
|---------------------|----------------------|--------------------------------|--------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| ABR (งานวิจัยนี้) | 20 L | 3.78 | 67 | 80 | 0.621* | |
| Anaerobic Filter | 21 L | 0.42-3.4 | 60 | - | - | Russo et al., 1985 |
| Downflow Fixed-Film | 10 m ³ | 14.2-20.4 | 60-73 | 50-55 | 0.0006 * | Bories et al., 1988 |
| HABR | 165 L | 20 | 77 | 75 | 0.083 * | Boopathy and Tilche, 1991 |
| ABR | 6 L | 3.5 | 91 | 65-75 | - | Boopathy et al., 1988 |
| GRABBR | 35 L | 0.99-4.75 | 80-92 | 60-70 | 0.347-0.165 * | Akunna and Clark, 2000 |
| UASB | 4,300 m ³ | 6 | 85 | - | - | Boopathy, 1988 |
| ASBR | 45 L | 5 | 90 | 68 | 0.480 | Shao et al., 2008 |
| ASBR | 180 L | 3-4 | 70-80 | 50-80 | ~0.375-0.438 ** | Farina et al., 2004 |
| UASB | 1875 m ³ | 10 | 65-70 | - | 0.500 | West, 2004 |
| UASB | 34.7 L | 5.2, 7.1 | 50.3, 44 | 68, 63 | 0.275, 0.325 * | สุเมธ, 2539 |

หมายเหตุ: * คำนวณจากค่า Biogas Production(l/d)/ (COD Removed*flow rate)

** คำนวณจาก CH₄ Production(l/gCOD removed) *100 / %CH₄

4.5.2 ประสิทธิภาพการกำจัด

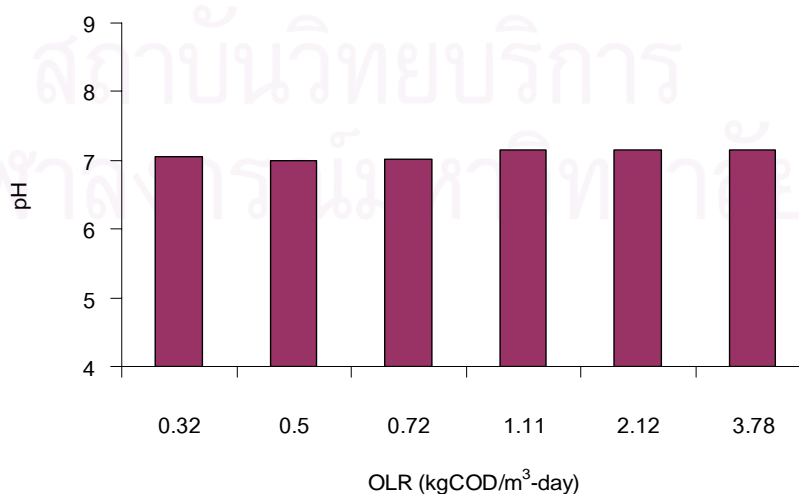
จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และ ของแข็งแขวนลอย ที่ค่าภาระซีโอดี เท่ากับ 0.32 0.50 0.72 1.11 2.12 และ 3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 54 55 58 64 66 และ 67 ตามลำดับ) แต่ ประสิทธิภาพการกำจัด ของแข็งแขวนลอย มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละค่าภาระซีโอดี (ดังรูป ที่ 4.22)



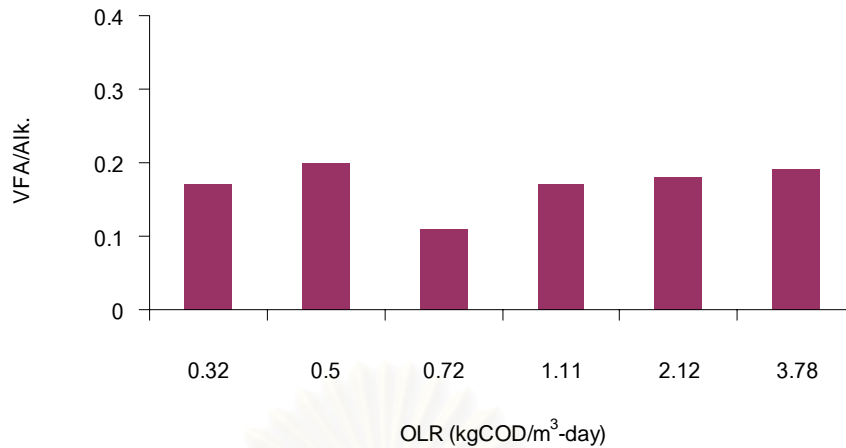
รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและของแข็งแขวนลอย ที่ค่าภาระซีไอดีต่างๆ

4.4.3.3 พีเอช และอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมด

จากรูปที่ 4.23 และ 4.24 แสดงค่าพีเอช และ ค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในแต่ละค่าภาระซีไอดี พบว่า ในแต่ละค่าภาระซีไอดี มีค่าพีเอชเฉลี่ย ค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 7-7.2 ซึ่งเป็นช่วงพีเอชที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนกรณีของสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด พบว่า ในแต่ละค่าภาระซีไอดีไม่มีแนวโน้มของค่าสัดส่วนดังกล่าวอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด ของช่วงการทดลองนี้ มีค่าระหว่าง 0.11-0.24 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากระบบที่ทำงานได้ไม่ดีจะมีค่าของสัดส่วนนี้ สูงกว่า 0.4 (มันสิน, 2542)



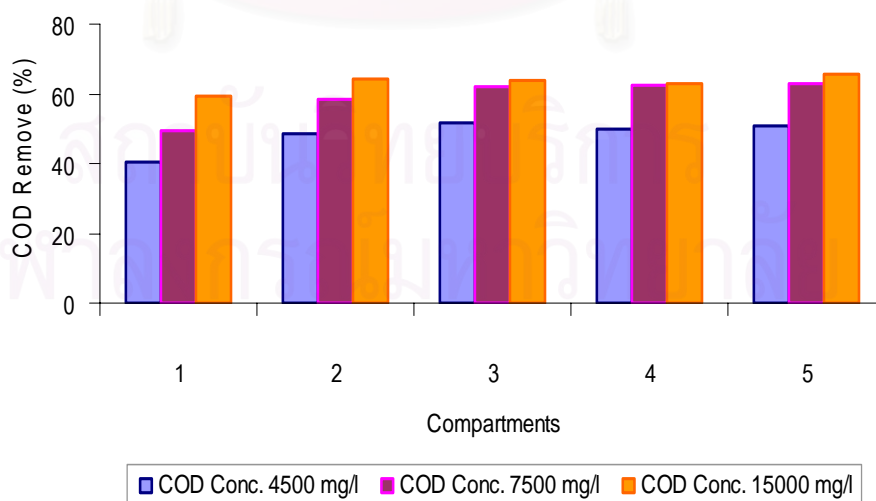
รูปที่ 4.23 พีเอช ที่ค่าภาระซีไอดีต่างๆ



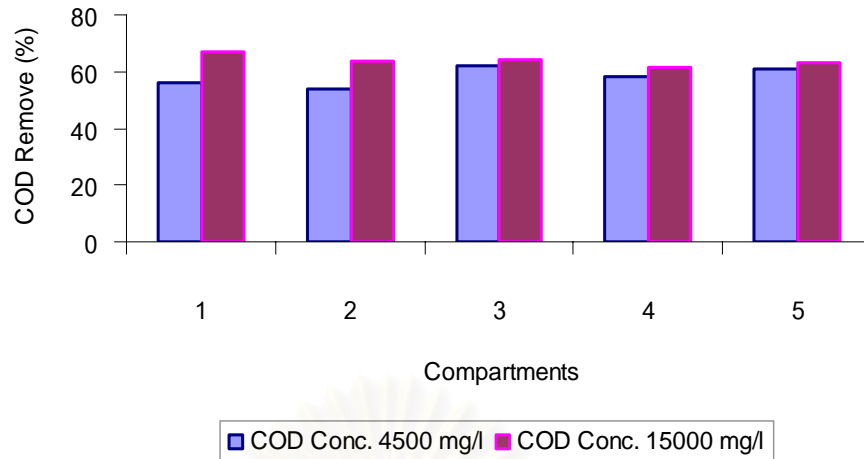
รูปที่ 4.24 สัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดที่ค่าภาระซีโอดีต่างๆ

4.6 สมรรถนะภายในของระบบ

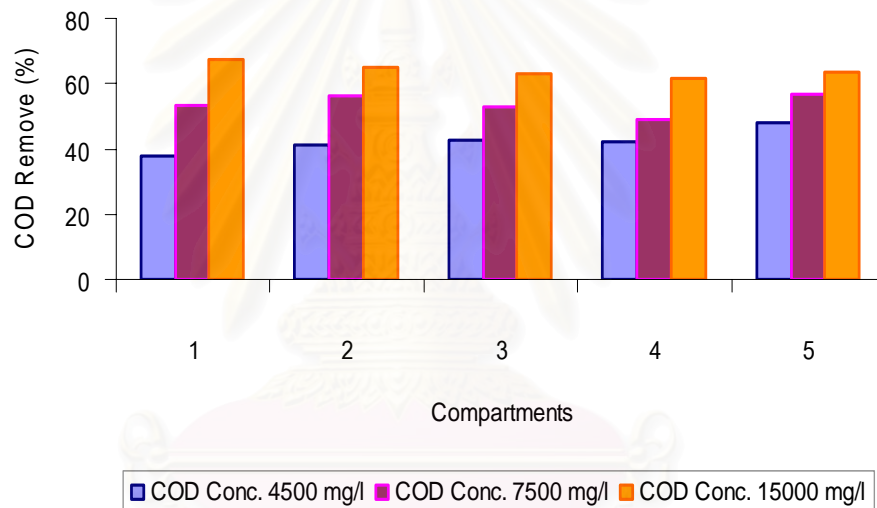
จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีภายในแต่ละห้องของระบบ ABR 1 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 14 วัน) ABR 2 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 7 วัน) และ ABR 3 (ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 4 วัน) จากรูป 4.2.5 4.2.6 และ 4.2.7 ตามลำดับ พบว่า ในแต่ละชุดการทดลอง ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแต่ละห้องจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อทำการเพิ่มค่าความเข้มข้นของซีโอดีที่ใช้ในการทดลอง และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี จากห้องแรก จนกระทั่งห้องสุดท้าย พบว่า การกำจัดซีโอดีมีประสิทธิภาพสูงสุดในห้องแรก ส่วนภายในห้องที่ 2 – 5 ประสิทธิภาพของแต่ละชุดทดลองไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน อาจเนื่องมาจาก การเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาภายในระบบ ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละส่วนของระบบ ของชุด ABR 1



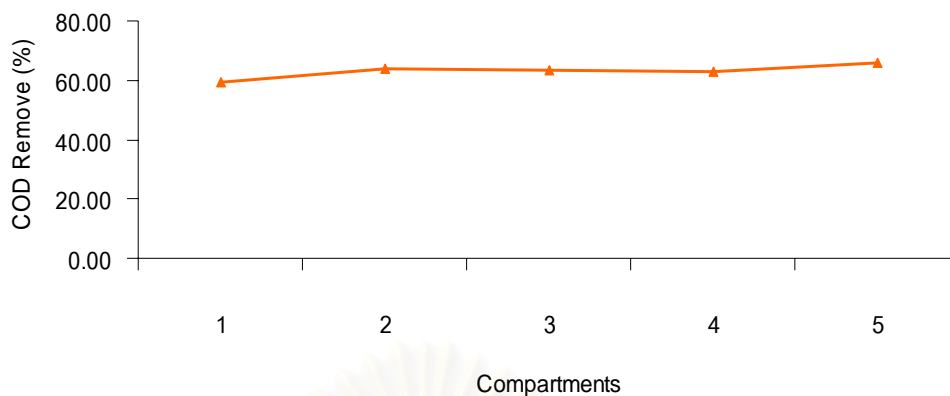
รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละส่วนของระบบ ของชุด ABR 2



รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละส่วนของระบบ ของชุด ABR 3

จากข้อมูลข้างต้น พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงสุด เท่ากับ 67 % โดยเป็นประสิทธิภาพของระบบในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งทำการทดลองโดยควบคุมอัตราการไหล เท่ากับ 5 ลิตร/วัน และ ค่าความเข้มข้นของซีโอดีเข้าระบบที่ 15,000 มก./ล. จึงเลือกค่าการระซีโอดีที่ค่าสูงสุดนี้ เพื่อมาศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะภายในของระบบ

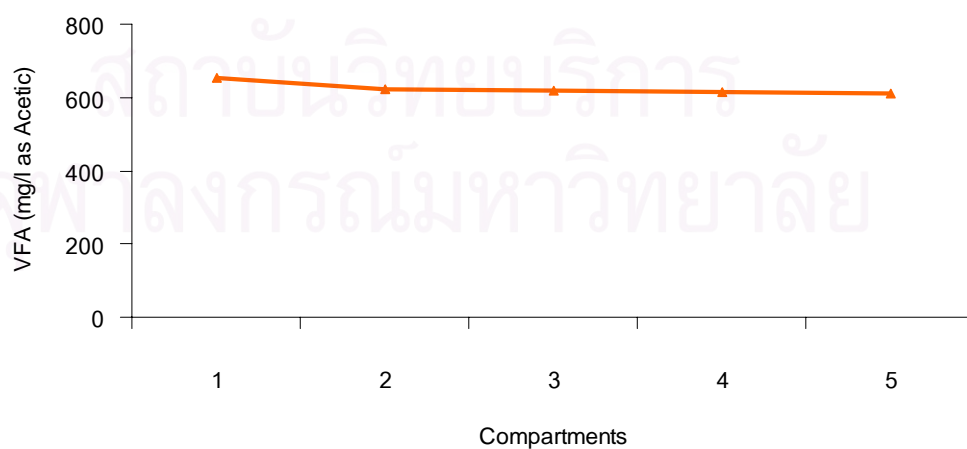
จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในแต่ละห้อง ของ ค่าการระซีโอดีนี้ (ดังรูปที่ 4.28) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดภายในห้องแรก โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึง 90% ของการกำจัดซีโอดีของระบบทั้งหมด



รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีภายในระบบ ของค่าภาระซีไอดีที่ 3.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

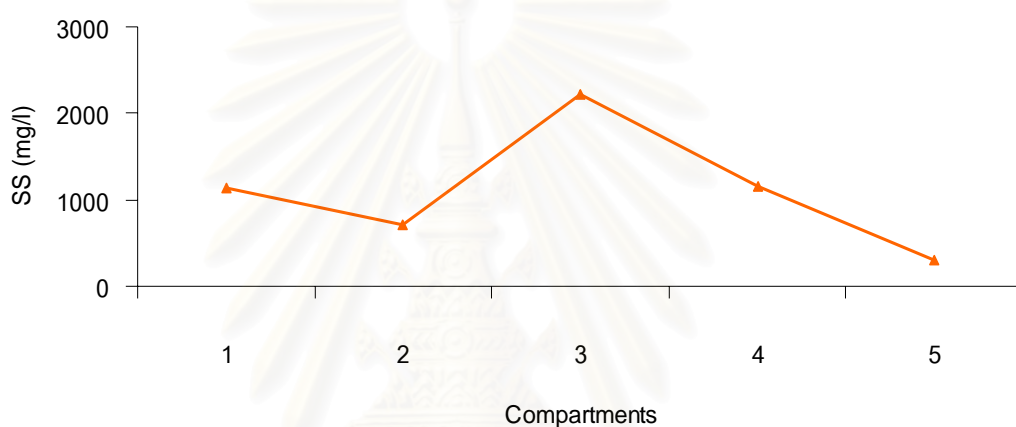
จากงานวิจัยของ Akunna (2000) สามารถบ่งบอกถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอย่างคร่าวๆได้ โดยศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันระเหยภายในแต่ละห้อง โดยปกติระบบบำบัดชนิดนี้ ภายในห้องแรกๆมีค่าของกรดไขมันระเหยสูง และค่อยๆลดลงในห้องถัดไป

จากการเปรียบเทียบค่ากรดไขมันระเหยในแต่ละห้อง (ดังรูปที่ 4.29) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันระเหยน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์น้ำเสียที่เข้าระบบพบว่า มีค่ากรดไขมันระเหยน้ำเข้า ประมาณ 3,200 มก.ของกรดอะซิติก/ลิตร จึงทำให้ทราบว่า กรดไขมันระเหยของน้ำเข้าได้ลดลงภายในห้องแรก สูงถึงร้อยละ 80 จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่า ระบบอาจมีการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้ตั้งแต่ภายในห้องแรก หากต้องการทราบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดต้องทำการวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมันระเหย หรือ ชนิดของจุลินทรีย์ ภายในแต่ละห้อง



รูปที่ 4.29 ค่ากรดไขมันระเหยภายในระบบ ของค่าภาระซีไอดีที่ 3.78 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

จากการเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยในแต่ละห้อง (ดังรูปที่ 4.30) พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มภายในแต่ละห้องส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงจากห้องแรก และ มีค่าต่ำสุดในห้องสุดท้าย ส่วนภายในห้องที่ 3 และ 4 มีค่าของแข็งแขวนลอยสูงกว่าห้องอื่น ยังไม่สามารถบ่งบอกถึงสาเหตุได้อย่างแน่ชัด แต่จากการคาดการณ์นั้น พบว่าบริเวณห้องดังกล่าวเป็นตำแหน่งเดียวกันกับทางออกของก๊าซด้านบนของถัง อาจจะมีผลจากความดันของก๊าซ หรืออาจมีสาเหตุจากภายในห้องดังกล่าวมีการเกิดฟองก๊าซ ทำให้ของแข็งภายในห้องดังกล่าวฟุ้งกระจาย ขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง จึงมีผลทำให้ ค่าของแข็งแขวนลอยปนออกมากับตัวอย่างน้ำที่เก็บมาวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษารายละเอียดในเรื่องนี้ต่อไป



รูปที่ 4.30 ค่าของแข็งแขวนลอย ภายในระบบ ของค่าภาระซีโอดีที่ 3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ในงานวิจัยนี้ ค่าภาระซีโอดีสูงสุดที่ทำการทดลอง มีค่าเท่ากับ 3.78 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 4 วัน) ซึ่งจากการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆภายในระบบ พบว่าที่ค่าภาระซีโอดีที่สูงสุดนี้ มีประสิทธิภาพทั้งการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดซีโอดีสูงสุด เมื่อเทียบกับค่าภาระซีโอดีอื่นๆที่ทำการทดลอง ประกอบกับสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด พีเอช อุณหภูมิ และ ไออาร์พี มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงบ่งบอกได้ว่า ที่ค่าภาระซีโอดีสูงสุดที่ทำการทดลองเป็นค่าเหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ ในกรณีของแนวโน้มของค่าการกำจัดซีโอดี กรดไขมันระเหย และค่าของแข็งแขวนลอยในแต่ละห้องของค่าภาระซีโอดีค่านี้ สามารถคาดการณ์ได้ว่า การเพิ่มค่าภาระซีโอดีมากขึ้น โดยการป้อนน้ำเสียให้มีความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเข้าระบบสูงกว่า 15,000 มก./ล. สามารถทำได้ แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีอาจลดลง เนื่องจาก ผลของการศึกษาสมรรถนะภายในของระบบที่ค่าภาระซีโอดีสูงสุด พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และการใช้กรดไขมันระเหย ในแต่ละห้อง สามารถบ่งบอกได้ว่าที่ค่าภาระซีโอดีสูงสุดนี้ ระบบสามารถทำงานได้อย่าง

เต็มประสิทธิภาพ(ดังรูปที่ 4.29) หากภาวะซีไอดีเพิ่มขึ้นมากกว่านี้ อาจเกิดการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันระเหย ซึ่งมีผลต่อจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน ประกอบกับ ของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกจากระบบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบได้

4.7 ปริมาณตะกอนจุลชีพ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนจุลชีพภายในระบบของแต่ละชุดทดลอง ทั้งก่อนการทดลอง และ หลังจากการทดลองสิ้นสุดลง

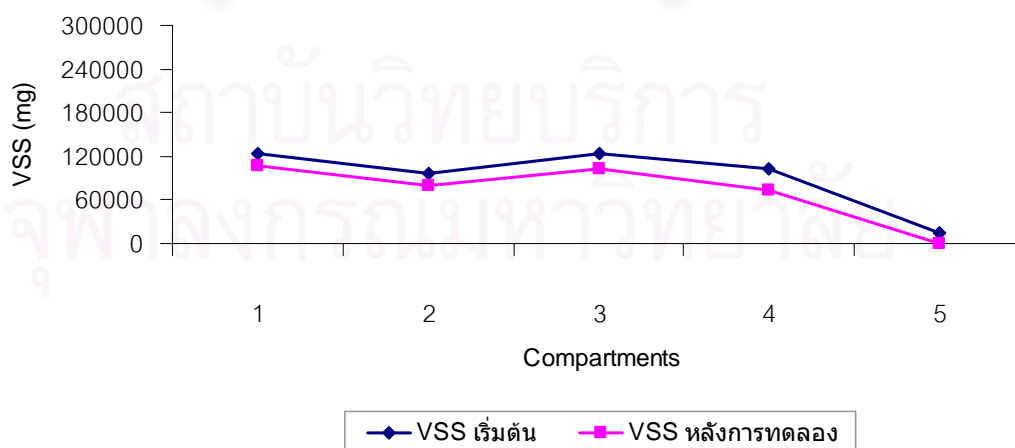
จากตารางที่ 4.6 พบว่า ในทุกชุดทดลอง ปริมาณตะกอนจุลชีพภายในระบบ (จากค่าของแข็งแขวนลอยระเหย) ของช่วงก่อนการทดลอง มีค่าสูงกว่าหลังการทดลอง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างตะกอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบนั้น ไม่ได้ทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ จึงทำให้ตะกอนจุลชีพ ตกตะกอนหนาแน่นบริเวณส่วนล่างของถัง ประกอบกับหลังการทดลองนั้น ชั้นตะกอนได้มีการขยายตัวสูงขึ้น จากความเร็วของน้ำเสียไหลขึ้นของน้ำเสีย และก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และจากการสังเกตของผู้ทดลองเอง เห็นได้ว่าช่วงก่อนการทดลอง ชั้นตะกอนอัดตัวกันแน่นคล้ายโคลนชั้น แต่เมื่อดำเนินการทดลองจนกระทั่งการทดลองสิ้นสุดลง พบว่า ชั้นตะกอนมีการเรียงตัวกันแบบหลวมๆ มีรอยแยกของชั้นตะกอน พร้อมทั้งมีฟองก๊าซเล็กๆอยู่ภายในชั้นตะกอน

การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนจุลชีพทั้งหมดภายในระบบ(โดยการวัดความสูงของชั้นตะกอน * พื้นที่หน้าตัดของห้อง * ความเข้มข้นของ VSS ในหน่วย มก./ล.) พบว่า ในชุด ABR 1 และ ชุด ABR 2 หลังการทดลอง มีปริมาณตะกอนจุลชีพภายในแต่ละห้องส่วนใหญ่ ต่ำกว่าก่อนการทดลอง (ดังรูป 4.31 และ 4.32) ส่วนในชุด ABR 3 หลังการทดลอง มีปริมาณตะกอนจุลชีพภายในแต่ละห้องส่วนใหญ่ สูงกว่า ก่อนการทดลอง (ดังรูป 4.33) ซึ่งในชุด ABR 1 และ ABR 2 อาจมีการหลุดของจุลชีพ ในช่วงที่มีการเพิ่มค่าภาวะซีไอดีสูงขึ้น โดยสังเกตจากการหลุดของของแข็งแขวนลอยสูงขึ้น เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของซีไอดีน้ำเข้าระบบ ส่วนในกรณีของ ABR 3 ภายในห้องที่ 4 เห็นได้ว่ามีปริมาณจุลชีพสูงกว่าห้องอื่นๆ อาจเป็นเพราะจากการที่มีการฟุ้งของชั้นตะกอนภายในห้องที่ 3 (จากรูป 4.30) จึงทำให้มีการสะสมภายในบริเวณห้องนี้มากขึ้น ประกอบกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ได้รับสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง จึงทำให้ชุดการทดลองนี้มีปริมาณจุลชีพโดยรวมหลังการทดลอง สูงกว่าช่วงก่อนการทดลอง

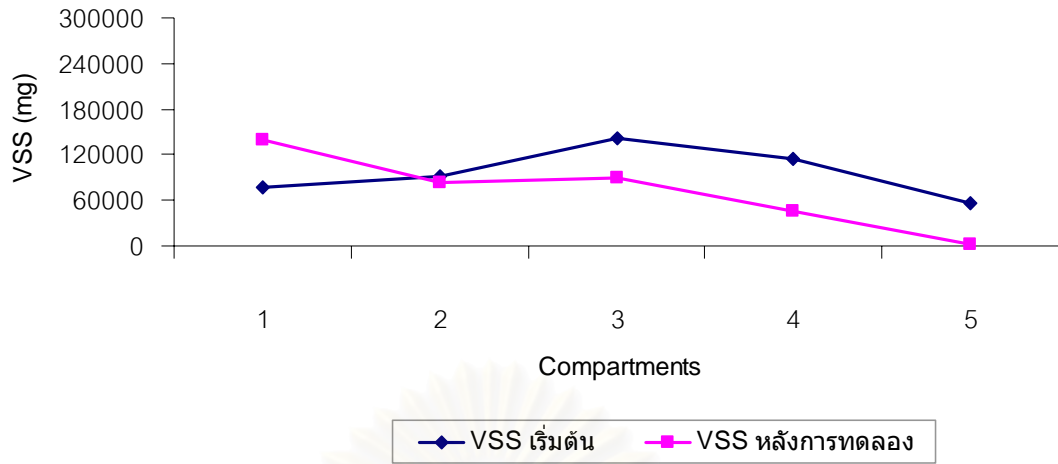
ตารางที่ 4.6 ปริมาณตะกอนจุลชีพก่อน และหลังการทดลอง ของแต่ละชุดทดลอง

| ชุดทดลอง | ห้องที่ | ก่อนทดลอง | | | หลังทดลอง | | |
|----------|---------|---------------|-----------|------------|---------------|-----------|------------|
| | | Seed Vol. (L) | SS (mg/l) | VSS (mg/l) | Seed Vol. (L) | SS (mg/l) | VSS (mg/l) |
| ABR 1 | 1 | 1.6 | 187250 | 76950 | 2.8 | 64800 | 38250 |
| | 2 | 1.6 | 112650 | 60700 | 2.1 | 58050 | 37650 |
| | 3 | 1.6 | 178650 | 76900 | 2.2 | 111650 | 46800 |
| | 4 | 1.6 | 146050 | 64800 | 1.7 | 101100 | 43250 |
| | 5 | 1.6 | 12800 | 8950 | 0.3 | 740 | 620 |
| ABR 2 | 1 | 1.6 | 94950 | 48750 | 4 | 50400 | 34700 |
| | 2 | 1.6 | 110900 | 57450 | 1.9 | 74500 | 43450 |
| | 3 | 1.6 | 163400 | 88000 | 2.5 | 60650 | 35850 |
| | 4 | 1.6 | 137800 | 71100 | 1.6 | 51100 | 28750 |
| | 5 | 1.6 | 62900 | 34900 | 0.5 | 4940 | 3360 |
| ABR 3 | 1 | 1.6 | 111950 | 58400 | 3 | 65350 | 42450 |
| | 2 | 1.6 | 125100 | 64500 | 2 | 79750 | 44450 |
| | 3 | 1.6 | 113650 | 60400 | 2.5 | 71600 | 45550 |
| | 4 | 1.6 | 118950 | 64050 | 3 | 103700 | 62600 |
| | 5 | 1.6 | 114400 | 61050 | 0.8 | 119250 | 72500 |

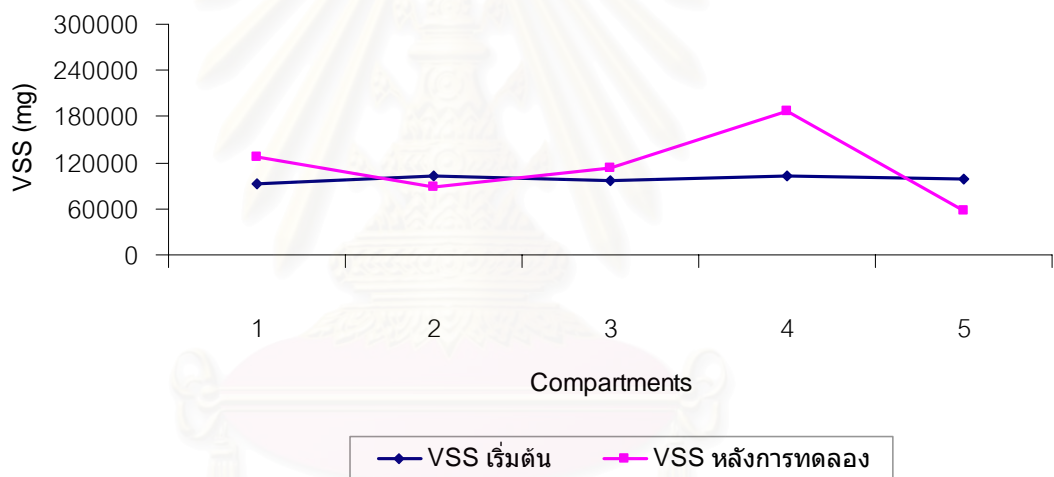
หมายเหตุ: Seed Vol. = ความสูงของชั้นตะกอนจุลชีพ * พื้นที่หน้าตัดของห้อง



รูปที่ 4.31 ค่าปริมาณตะกอนจุลชีพภายในระบบ ในชุด ABR 1



รูปที่ 4.32 ค่าปริมาณตะกอนจุลชีพภายในระบบ ในชุด ABR 2



รูปที่ 4.33 ค่าปริมาณตะกอนจุลชีพภายในระบบ ในชุด ABR 3

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาค่าผลของภาวะซีไอดี ต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัดน้ำเสียกากส่า โดยใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ขนาด 20 ลิตร ซึ่งแบ่งการทดลอง เป็น 3 ชุดทดลอง โดยแต่ละชุดทดลองทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ โดยมีระยะเวลาที่เก็บน้ำเท่ากับ 14 7 และ 4 วัน (จากการควบคุมอัตราการไหลที่ 1.5 3 และ 5 ลิตร/วัน) ทำการทดลองใช้ค่าความเข้มข้นของซีไอดีน้ำเสียเข้าระบบ เท่ากับ 4,500 7,500 และ 15,000 มก./ล. ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปผล ได้ดังนี้

5.1.1 จากการศึกษาโดยใช้ระบบบำบัดแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ในการบำบัดน้ำเสียกากส่า พบว่า ในชุดทดลองที่มีระยะเวลาที่เก็บน้ำเท่ากัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ของถังแขวนลอย และการผลิตก๊าซชีวภาพ มีค่าสูงขึ้น เมื่อทำการป้อนน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของซีไอดีเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ จากการทดลองที่ทำการป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีไอดีสูงสุดที่ใช้ทดลอง (15,000 มก./ล.) พบว่า ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น ระยะเวลาที่เก็บน้ำต่ำลง โดยที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำ เท่ากับ 4 วัน การผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่า ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำ เท่ากับ 7 และ 14 วัน เท่ากับ 2 และ 4.5 เท่า ตามลำดับ และเมื่อคิดเป็นปริมาณก๊าซมีเทน พบว่า มีค่าสูงกว่า ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำ เท่ากับ 7 และ 14 วัน เท่ากับ 2.2 และ 4 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและของถังแขวนลอยมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้ง 3 อัตราการไหล ซึ่งชุดทดลองที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดซีไอดีน้ำเสียสูงสุด มีสภาวะการทดลอง ที่ความเข้มข้นซีไอดีของน้ำเสีย เท่ากับ 15,000 มก./ล. และระยะเวลาการกักเก็บน้ำ เท่ากับ 4 วัน (โดยมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการกำจัดซีไอดี เท่ากับ 31 ลิตร/วัน และ ร้อยละ 67 ตามลำดับ)

5.1.2 ค่าภาวะซีไอดีที่เพิ่มมากขึ้นขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการกำจัดซีไอดีของน้ำเสีย มีค่าสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดของถังแขวนลอยไม่แตกต่างกัน

5.1.3 ในชุดการทดลองส่วนมาก การกำจัดซีไอดีเกิดขึ้นสูงสุด ภายในห้องที่ 1 การกำจัดของถังแขวนลอย จะเกิดขึ้นภายในห้องท้ายๆของถังปฏิกรณ์ และกรดไขมันระเหยจะค่อยๆลดลงจากห้องแรกจนกระทั่งห้องสุดท้าย แต่ในกรณีที่มีค่าภาวะซีไอดีสูงสุดที่ทำการทดลองพบว่า แต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ กรดไขมันระเหยมีค่าใกล้เคียงกัน

5.1.4 สภาวะการทำงานต่างๆ ของระบบ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ไออาร์พี กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และ อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมด ในการทดลอง พบว่า แต่ละพารามิเตอร์ มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อสภาวะการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไม่ใช้ออกซิเจน

5.1.5 เมื่อคำนวณจากน้ำเสียจริง ปริมาตร 1 ลบ.ม. พบว่า ระบบบำบัดที่ใช้ในการทดลอง สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เท่ากับ 195 ลบ.ม. ซึ่งสามารถทดแทนการใช้ก๊าซธรรมชาติได้ถึง 131 ลิตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อมีประโยชน์ในการวิจัยต่อไป มีแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม ดังนี้

5.2.1 ศึกษาที่ค่าภาระซีโอดีสูงขึ้น โดยอาจทดลองที่ค่าความเข้มข้นซีโอดีสูงขึ้น หรือ ลดระยะเวลาพักเก็บน้ำ โดยการเพิ่มอัตราการไหล

5.2.2 ศึกษาอัตราการหมุนเวียนน้ำในระบบ เพื่อทดสอบดูประสิทธิภาพการบำบัด และการผลิตก๊าซชีวภาพ

5.2.3 ศึกษาชนิดของกรดไขมันระเหย และ ชนิดของจุลชีพ ในแต่ละห้อง เพื่อศึกษาประเภทปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดของระบบบำบัดประเภทนี้ โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในระบบ ที่ค่าภาระซีโอดีที่ต่างกัน

5.2.4 ศึกษาคุณภาพของจุลินทรีย์ในระบบ โดยทำการวิเคราะห์ค่า SMA (specific methane activity) เพิ่มเติม

5.2.5 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ โดยประยุกต์ระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เช่น การเพิ่มตัวกลางภายในระบบเพื่อลดการหลุดของตะกอนจุลชีพ หรือ สร้างตะกอนเม็ด ให้แก่ระบบ โดยการใช้สารสร้างตะกอน(Coagulant aid) ที่เหมาะสม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัณฑ์มาศ สุทธิเรืองวงศ์. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมการบำบัดน้ำเสีย. เล่ม 4. (ม.ป.ท.), 2543.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร:
ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- ชวลิต รัตนธรรมสกุล. เทคโนโลยีการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงาน
อุตสาหกรรมโดยระบบบำบัดชีวภาพไร้อากาศแบบอีจีเอสบี. วิศวกรรมสาร 59 เล่มที่ 1
(มกราคม - กุมภาพันธ์ 2549): 88-91.
- ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. การแก้ไขปัญหาการน้ำเสียจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุรา. การสัมมนาเชิง
ปฏิบัติการเรื่องการพัฒนาการผลิตสุราและแอลกอฮอล์. ศูนย์ส่งเสริมการฝึกอบรม
การเกษตรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม, 2524.
- ทรงพล ครามโกมุท. การบำบัดน้ำเสียจากสาหร่ายโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรอง
ไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2544.
- ทวีศักดิ์ หอมดอกไม้ และ คณะ. การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ สำหรับผลิตภัณฑ์
ชุมชนประเภทใหม่ [online]. 2549. แหล่งที่มา:
http://www.tistr.or.th/thesis/P8/Somchai/Choochai_2006/Choochai_mar_2006.pdf
[15 เมษายน 2552].
- ธนภัทร์ ชาญธวัชชัย. สมรรถนะของระบบเอเปอาร์ที่บำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอลจาก
กากน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.
- ไปรยา เขยไสย. การย่อยสลายน้ำเสียโรงกลั่นเอทานอลโดยจุลินทรีย์แอนแอโรบิก [CD-ROM].
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [ผู้เผยแพร่ CD1017], 2550.
[20 กรกฎาคม 2550].
- พลังงาน, กระทรวง กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ก๊าซชีวภาพ [online]. 2552.
แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=174> [23 มีนาคม 2552]

ภาคศิษฐ์ใจริงสี่. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

มาลี วิชาจารย์. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

มันสิน ตัณฑุลเวศม์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: แชน. อี.68 คอนซัลตติ้ง เอ็นจิเนียรส์, 2542.

วันชัย วงศ์เทียนชัย. ผลของสารอาหารปฐุมภูมิต่อการกำจัดสีในน้ำกากส่า ด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

สถาบันสิ่งแวดล้อม และ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. สรุปผลการทดลองกำจัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ แนวทางการกำจัดจากโรงงานสุรา. หน้า 1-73 กรุงเทพมหานคร, 2525

สรรพสามิต, กรม. กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และ สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. แนวทางการกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุรากลุ่มสรรพสามิต: ตอนที่ 2 สรุปผลการศึกษาทดลองกำจัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ. กรุงเทพมหานคร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2526

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. ผลงานวิจัยการกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา. วิศวกรรมสาร 38 เล่มที่ 1 (กุมภาพันธ์ 2528): 88-91.

สุเมธ ชวเดช. การเพิ่มประสิทธิภาพระบบหมักแบบยูเอเอสบี โดยควบคุมอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิค. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

อาริยา วิรัชวรกุล. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546.

ภาษาอังกฤษ

Akunna, J. C., and Clark, M. Performance of a granular-bed anaerobic baffled reactor (GRABBR) treating whisky distillery wastewater. *Bioresource Technology* 74 (2000): 257-261.

- Barber, W. P., and Stuckey, D. C. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: A review. Water Research 33 (1999): 1559-1578.
- Boopathy, R., Larsen, V.F. and Senior, E. Performance of Anaerobic Baffled Reactor(ABR) in treating distillery wastewater from Scotch Whisky Factory. Biomass 16 (1988): 133-143.
- Boopathy, R., and Tilche, A. Anaerobic digestion of high strength molasses wastewater using Hybrid Anaerobic Baffled Reactor. Water research 25 (1991): 785-790.
- Bories, A., Raynal, J. and Bazile, F. Anaerobic digestion of high-strength distillery wastewater (cane molasses stillage) in fixed-film reactor. Biological wastes. 23 (1988): 785-790.
- Dama, P.; Govender, K.; Huang, T.; Foxon, K.; Bell, J.; Brouckart, C.; Buckley, C.; Naidoo, V.; and Stuckey, D. Flow patterns in an anaerobic baffled reactor[online]. London: Imperial College of Science, Technology and Medicine, 2003. Available from: <http://www.nu.ac.za>. [2006, December 12]
- Faisal, M., and Unno, H. Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. Biochemical Engineering Journal 9 (2001): 25-31.
- Farina, R., Cellamare, C. M., Stante, L., and Giordano, A. Pilot scale anaerobic sequencing batch reactor for distillery wastewater Treatment. [Online]. Italy: Agency for New technologies, Energy and Environment, 2004. Available from: <http://www.bologna.enea.it/ambtd/articoli/04-09-27-montreal-ASBR.pdf>. [2007, October 13]
- Langenhoff, A. M.; Intrachandra, N.; and Stuckey, D. C. Treatment of dilute soluble and colloidal wastewater using an anaerobic baffled reactor: Influence of hydraulic retention time. Water Research 34 (2000): 1307-1317.
- Langenhoff, A. M., and Stuckey, D. C. Treatment of dilute wastewater using an anaerobic baffled reactor: Effect of low temperature. Water Research 34 (2000): 3867-3875.
- Movahedyan, H., Assadi, A., and Parvaresh, A. Performance Evaluation of an Anaerobic Baffled Reactor Treating Wheat Flour Starch Industry Wastewater. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng 4 (2007): 77-84.

- Russo, C., Sant'Anna, G.L. and Carvalho Pereira, S.E.D. An anaerobic filter applied to the treatment of distillery wastewaters. Agriculture wastes. 14 (1985): 301-303.
- Satyawali, Y. and Balakrishman, M. Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: A review. Journal of Environmental Management 86 (February 2008): 481-497.
- She, Z.; Zheng, X.; Yang, B.; Jin, C.; and Gao, M. Granule development and performance in sucrose fed anaerobic baffled reactors. Journal of Biotechnology 122 (2006): 198-208.
- Shao, X., Peng, D., Teng, Z., and Ju, X. Treatment of brewery wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). Bioresource Technology 99 (2008): 3182–3186.
- Wang, J.; Huang, Y.; and Zhao, X. Performance and characteristics of an anaerobic baffled reactor. Bioresource Technology 93 (2004): 205-208.
- West, S. Co-Generation Opportunities Utilizing Sugar Industry Wastewater Through the Use of Biological Treatment Systems. [Online]. Philippines: Electricity Supply Industry in Transition: Issues and Prospect for Asia 14-16 January 2004. Available from:
http://www.cogen3.net/doc/countryinfo/philippines/CogenOpporUtilizingSugarWastewater_steward.pdf [2007, October 13].



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก-1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สภาวะคงตัว ของชุด ABR 1

| พารามิเตอร์ | ซีโอดี 4,500 มก./ล. | | ซีโอดี 7,500 มก./ล. | | ซีโอดี 15,000 มก./ล. | |
|--|---------------------|--------|---------------------|--------|----------------------|--------|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | น้ำเข้า | น้ำออก | น้ำเข้า | น้ำออก |
| พีเอช | 7.1 | 7 | 6.9 | 7 | 6 | 7.2 |
| อุณหภูมิ (°C) | | 28.1 | | 27.3 | | 28 |
| โออาร์พี (mV) | | -354 | | -346 | | -336 |
| สภาพต่างทั้งหมด (mg/l) | 1567 | 2302 | 1584 | 2622 | 2084 | 3727 |
| กรดไขมันระเหย (mg/l) | 1013 | 404 | 1657 | 532 | 3191 | 639 |
| สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด | 0.65 | 0.17 | 1.05 | 0.2 | 1.53 | 0.17 |
| ของแข็งแขวนลอย (mg/l) | 780 | 108 | 1100 | 131 | 1720 | 203 |
| ซีโอดี (mg/l) | 4525 | 2084 | 7045 | 3233 | 15514 | 5548 |
| ภาวะซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) | 0.32 | | 0.50 | | 1.11 | |
| การผลิตก๊าซชีวภาพ(L/d) | 1.3 | | 2.2 | | 7 | |
| มีเทน (%) | 73 | | 80 | | 89 | |
| การกำจัดซีโอดี (%) | 54 | | 55 | | 64 | |
| การกำจัด SS (%) | 86 | | 88 | | 90 | |

หมายเหตุ: สภาพต่างทั้งหมด มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตรในรูปของหินปูน

กรดไขมันระเหย มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตรในรูปของกรดอะซิติก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก-2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สภาวะคงตัว ของชุด ABR 2

| พารามิเตอร์ | ซีไอดี 4,500 มก./ล. | | ซีไอดี 15,000 มก./ล. | |
|--|---------------------|--------|----------------------|--------|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | น้ำเข้า | น้ำออก |
| พีเอช | 7.1 | 7 | 5.7 | 7.2 |
| อุณหภูมิ (°C) | | 26 | | 29.5 |
| โออาร์พี (mV) | | -344 | | -323 |
| สภาพต่างทั้งหมด (mg/l) | 1567 | 2020 | 2084 | 3301 |
| กรดไขมันระเหย (mg/l) | 1013 | 549 | 3191 | 588 |
| สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด | 0.65 | 0.11 | 1.53 | 0.18 |
| ของแข็งแขวนลอย (mg/l) | 780 | 90 | 1720 | 188 |
| ซีไอดี (mg/l) | 5038 | 2139 | 14776 | 5134 |
| ภาวะซีไอดี (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน) | 0.72 | | 2.12 | |
| การผลิตก๊าซชีวภาพ(L/d) | 2.3 | | 15.6 | |
| มีเทน (%) | 89 | | 74 | |
| การกำจัดซีไอดี (%) | 58 | | 66 | |
| การกำจัด SS (%) | 88 | | 91 | |

หมายเหตุ: สภาพต่างทั้งหมด มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตรในรูปของหินปูน

กรดไขมันระเหย มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตรในรูปของกรดอะซิติก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

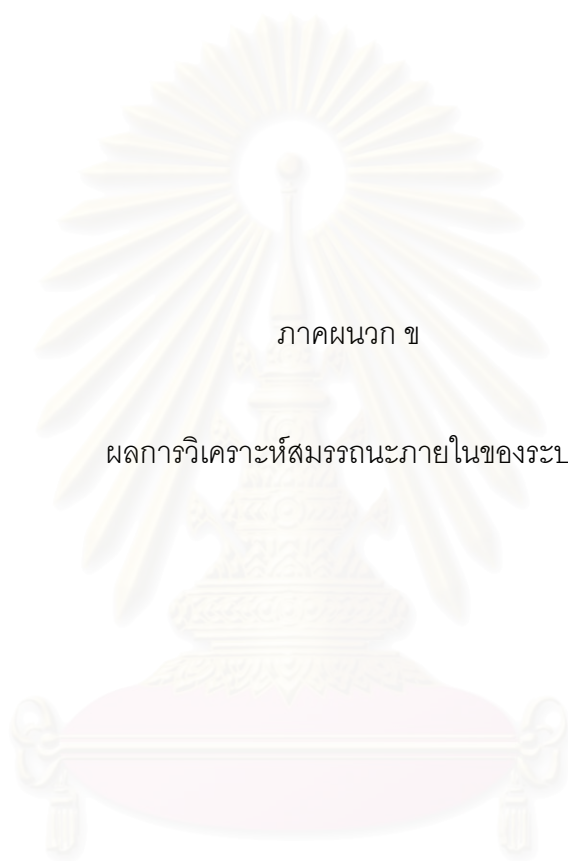
ภาคผนวก ก-3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สภาวะคงตัว ของชุด ABR 3

| พารามิเตอร์ | ซีโอดี 4,500 มก./ล. | | ซีโอดี 7,500 มก./ล. | | ซีโอดี 15,000 มก./ล. | |
|--|---------------------|--------|---------------------|--------|----------------------|--------|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | น้ำเข้า | น้ำออก | น้ำเข้า | น้ำออก |
| พีเอช | 7.2 | 7.1 | 6.4 | 7 | 5.8 | 7.2 |
| อุณหภูมิ (°C) | | 27.6 | | 25.6 | | 29.4 |
| โออาร์พี (mV) | | -349 | | -340 | | -323 |
| สภาพต่างทั้งหมด (mg/l) | 1567 | 2144 | 1584 | 2445 | 2084 | 3372 |
| กรดไขมันระเหย (mg/l) | 1013 | 515 | 1657 | 363 | 3191 | 656 |
| สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด | 0.65 | 0.24 | 1.05 | 0.15 | 1.53 | 0.19 |
| ของแข็งแขวนลอย (mg/l) | 780 | 250 | 1100 | 204 | 1720 | 220 |
| ซีโอดี (mg/l) | 4672 | 2426 | 8160 | 3449 | 15043 | 5024 |
| ภาวะซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) | 1.17 | | 2.04 | | 3.78 | |
| การผลิตก๊าซชีวภาพ(L/d) | 4.5 | | 9.3 | | 31.1 | |
| มีเทน (%) | 86 | | 80 | | 80 | |
| การกำจัดซีโอดี (%) | 48 | | 55 | | 67 | |
| การกำจัด SS (%) | 68 | | 81 | | 89 | |

หมายเหตุ: สภาพต่างทั้งหมด มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตรในรูปของหินปูน

กรดไขมันระเหย มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตรในรูปของกรดอะซิติก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะภายในของระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข-1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละห้องของชุดการทดลองที่ 1 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 4,500 มก./ล.

| พารามิเตอร์ | ห้องที่ | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| COD (mg/l) | 2823 | 2653 | 2588 | 2615 | 2353 |
| SS (mg/l) | 798 | 693 | 622 | 294 | 158 |
| VSS (mg/l) | 492 | 461 | 439 | 235 | 145 |
| pH | 7.25 | 7.28 | 7.39 | 7.40 | 7.31 |
| VFA (mg/l as Acetic) | 627 | 559 | 465 | 442 | 444 |
| Alk (mg/l as CaCO ₃) | 2124 | 2242 | 2325 | 2397 | 2400 |

ภาคผนวก ข-2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละห้องของชุดการทดลองที่ 1 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 7,500 มก./ล.

| พารามิเตอร์ | ห้องที่ | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| COD (mg/l) | 3293 | 3081 | 3317 | 3581 | 3055 |
| SS (mg/l) | 51288 | 435 | 253 | 269 | 193 |
| VSS (mg/l) | 32788 | 327 | 213 | 231 | 120 |
| pH | 7.08 | 7.58 | 7.68 | 7.67 | 7.42 |
| VFA (mg/l as Acetic) | 762 | 625 | 594 | 595 | 600 |
| Alk (mg/l as CaCO ₃) | 2417 | 2409 | 2628 | 2856 | 2611 |

ภาคผนวก ข-3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละห้องของชุดการทดลองที่ 1 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 15,000 มก./ล.

| พารามิเตอร์ | ห้องที่ | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| COD (mg/l) | 5055 | 5399 | 5763 | 5962 | 5659 |
| SS (mg/l) | 4030 | 392 | 405 | 257 | 304 |
| VSS (mg/l) | 2752 | 349 | 339 | 225 | 257 |
| pH | 7.23 | 7.26 | 7.30 | 7.34 | 7.33 |
| VFA (mg/l as Acetic) | 578 | 630 | 633 | 679 | 629 |
| Alk (mg/l as CaCO ₃) | 3394 | 3500 | 3611 | 3689 | 3506 |

ภาคผนวก ข-4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละห้องของชุดการทดลองที่ 2 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 4,500 มก./ล.

| พารามิเตอร์ | ห้องที่ | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| COD (mg/l) | 2215 | 2297 | 1901 | 2108 | 1716 |
| SS (mg/l) | 610 | 374 | 518 | 183 | 116 |
| VSS (mg/l) | 454 | 320 | 408 | 156 | 105 |
| pH | 6.99 | 7.02 | 7.09 | 7.07 | 7.07 |
| VFA (mg/l as Acetic) | 139 | 137 | 133 | 142 | 156 |
| Alk (mg/l as CaCO ₃) | 1988 | 2011 | 2059 | 2031 | 2085 |

ภาคผนวก ข-5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละห้องของชุดการทดลองที่ 2 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 15,000 มก./ล.

| พารามิเตอร์ | ห้องที่ | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| COD (mg/l) | 4895 | 5385 | 5295 | 5708 | 5427 |
| SS (mg/l) | 11758 | 450 | 484 | 287 | 244 |
| VSS (mg/l) | 9802 | 344 | 394 | 247 | 207 |
| pH | 7.39 | 7.34 | 7.32 | 7.36 | 7.31 |
| VFA (mg/l as Acetic) | 580 | 563 | 586 | 594 | 571 |
| Alk (mg/l as CaCO ₃) | 3153 | 3316 | 3414 | 3400 | 3389 |

ภาคผนวก ข-6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละห้องของชุดการทดลองที่ 3 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 4,500 มก./ล.

| พารามิเตอร์ | ห้องที่ | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| COD (mg/l) | 2791 | 2396 | 2265 | 2344 | 2290 |
| SS (mg/l) | 622 | 707 | 498 | 393 | 165 |
| VSS (mg/l) | 472 | 485 | 401 | 316 | 149 |
| pH | 7.37 | 7.44 | 7.49 | 7.43 | 7.38 |
| VFA (mg/l as Acetic) | 490 | 402 | 392 | 415 | 379 |
| Alk (mg/l as CaCO ₃) | 1647 | 2074 | 2022 | 2111 | 2023 |

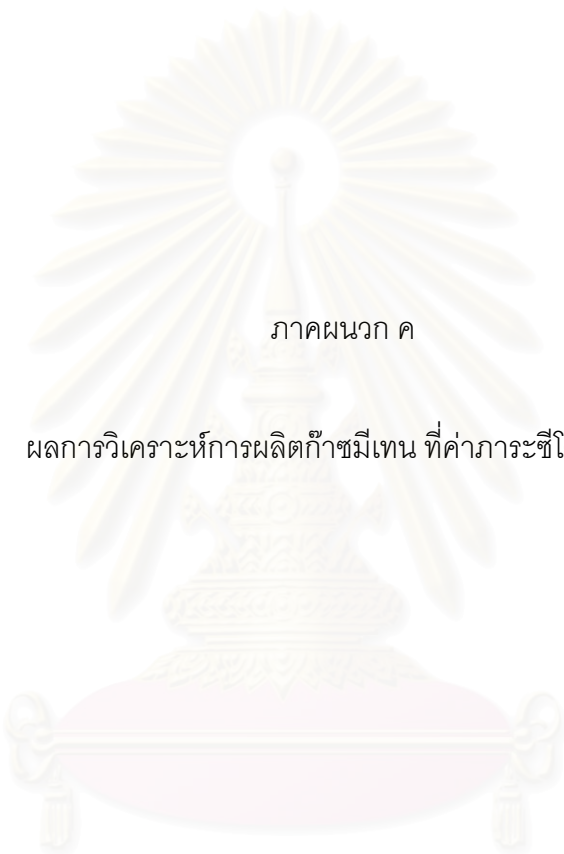
ภาคผนวก ข-7 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละห้องของชุดการทดลองที่ 3 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 7,500 มก./ล.

| พารามิเตอร์ | ห้องที่ | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| COD (mg/l) | 4139 | 3376 | 3086 | 3057 | 3030 |
| SS (mg/l) | 1176 | 1502 | 746 | 571 | 240 |
| VSS (mg/l) | 848 | 1107 | 500 | 356 | 125 |
| pH | 6.93 | 7.11 | 7.12 | 7.08 | 7.03 |
| VFA (mg/l as Acetic) | 680 | 325 | 282 | 267 | 335 |
| Alk (mg/l as CaCO ₃) | 2187 | 2303 | 2379 | 2384 | 2405 |

ภาคผนวก ข-8 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละห้องของชุดการทดลองที่ 3 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 15,000 มก./ล.

| พารามิเตอร์ | ห้องที่ | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| COD (mg/l) | 6108 | 5395 | 5474 | 5551 | 5164 |
| SS (mg/l) | 1143 | 710 | 2218 | 1146 | 295 |
| VSS (mg/l) | 1063 | 643 | 1339 | 872 | 214 |
| pH | 7.43 | 7.44 | 7.40 | 7.35 | 7.42 |
| VFA (mg/l as Acetic) | 580 | 617 | 618 | 592 | 602 |
| Alk (mg/l as CaCO ₃) | 3189 | 3350 | 3431 | 3307 | 3244 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์การผลิตก๊าซมีเทน ที่ค่าภาระซีไอดีต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์การผลิตก๊าซมีเทน ที่ค่าภาระซีโอดีต่างๆ

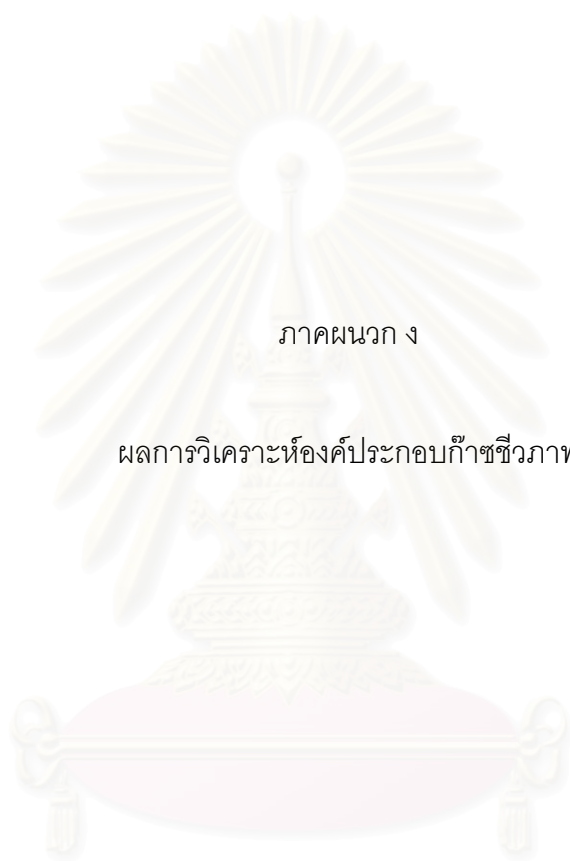
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------|---------------------------------|------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------|--|--|-------------------------------------|--|---|
| OLR | Influent COD Conc. (mg/l) | HRT (d) | gas production (L/d) | Biogas Yield (L/gCOD Removed) | CH ₄ (%) | CH ₄ production (L/d) | CH ₄ Yield (L/gCOD Removed) | ปริมาณน้ำ เสียดิบที่ใช้ (L/d) | ปริมาณมีเทนที่เกิด ต่อน้ำเสียที่ใช้ใน การทดลอง (L/L) | ปริมาณมีเทนที่ เกิดต่อ น้ำเสียดิบ (L/L) |
| 0.32 | 4500 | 14 | 1.3 | 0.363 | 72.54 | 1 | 0.263 | 0.75 | 12.9 | 257 |
| 0.50 | 7500 | 14 | 2.2 | 0.376 | 79.96 | 1.7 | 0.301 | 0.12 | 14.3 | 179 |
| 0.72 | 4500 | 7 | 2.3 | 0.262 | 88.53 | 2 | 0.232 | 0.15 | 13.5 | 269 |
| 1.11 | 15000 | 14 | 7 | 0.468 | 89.17 | 6.2 | 0.418 | 0.24 | 26.0 | 163 |
| 2.12 | 15000 | 7 | 15.6 | 0.539 | 73.6 | 11.5 | 0.396 | 0.48 | 23.9 | 149 |
| 3.78 | 15000 | 4 | 31.1 | 0.621 | 80.01 | 24.9 | 0.497 | 0.80 | 31.1 | 195 |

หมายเหตุ: คอลัมน์ 9 คือ ปริมาณน้ำเสียดิบที่ใช้ ในการเตรียมให้มีความเข้มข้นที่ต้องการในแต่ละการทดลอง โดยจะคิดปริมาณน้ำเสียดิบทั้งหมดที่ใช้ต่อ 1 วัน

คอลัมน์ 10 คือ ปริมาณมีเทนที่เกิดต่อน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง(เป็นค่าความเข้มข้นของน้ำเสียในแต่ละการทดลอง) คำนวณจาก คอลัมน์ 7 / คอลัมน์ 9

คอลัมน์ 11 คือ ปริมาณมีเทนที่เกิดต่อน้ำเสียดิบ(เป็นค่าความเข้มข้นของน้ำเสียดิบที่นำมาจาก โรงงาน) คำนวณจาก คอลัมน์ 10 * ค่า การเจือจางของน้ำเสีย
ในแต่ละชุดทดลอง

ค่าการเจือจางของชุดทดลองที่ใช้ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า เท่ากับ 4500 7500 และ 15000 มก./ล. เท่ากับ 20 12.5 และ 6.25 เท่า ตามลำดับ

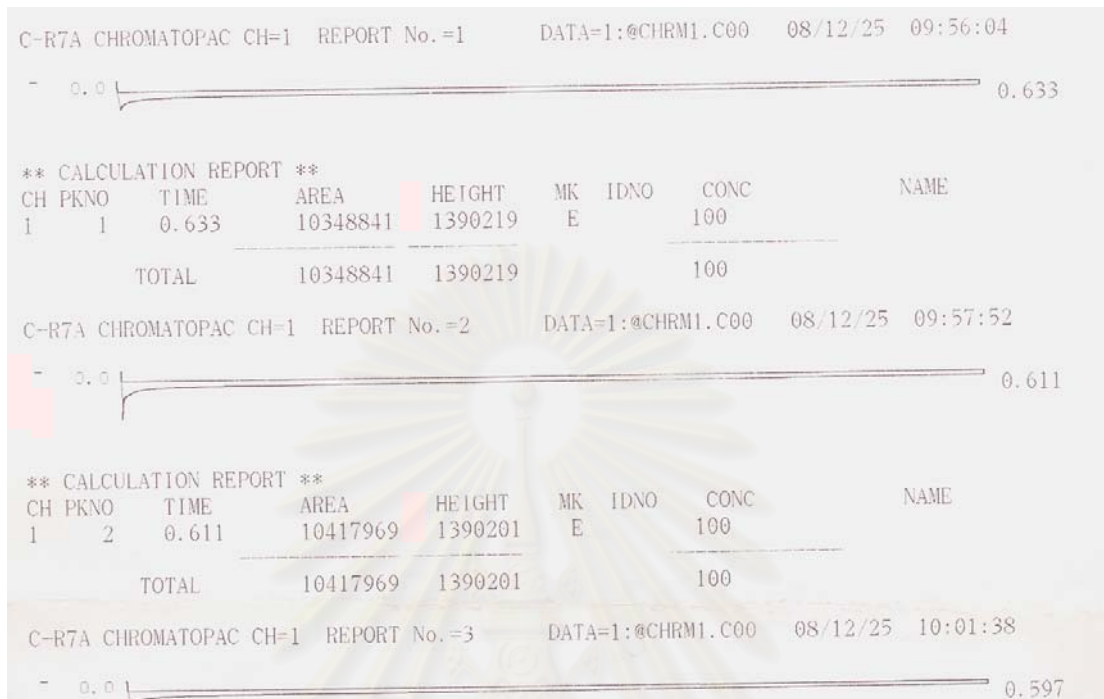


ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

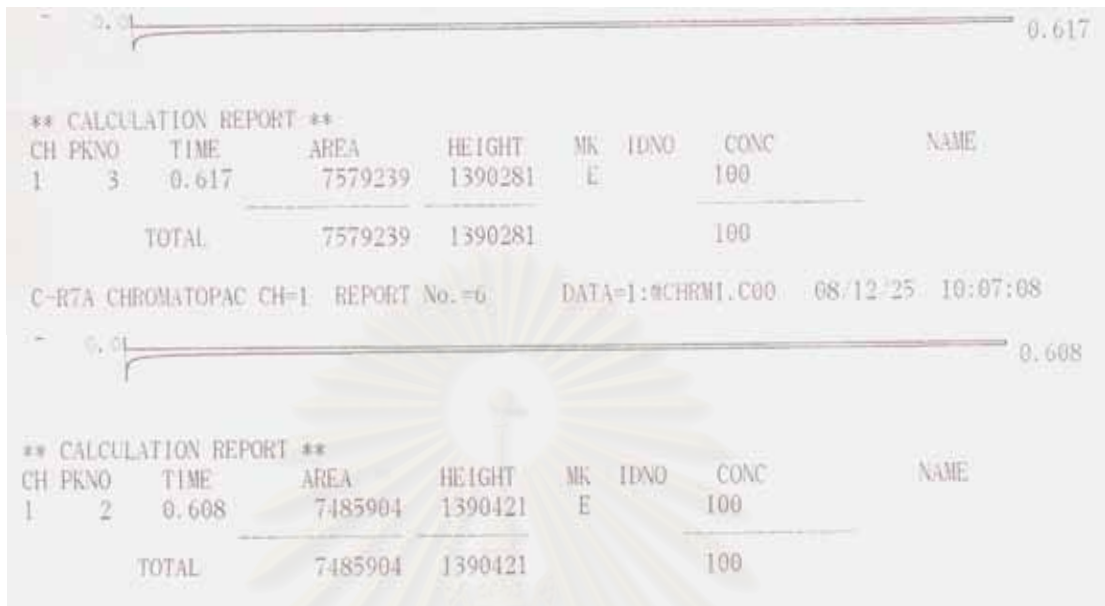
ภาคผนวก ง-1 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของ ก๊าซมาตรฐาน (Standard Gas) ครั้งที่ 1



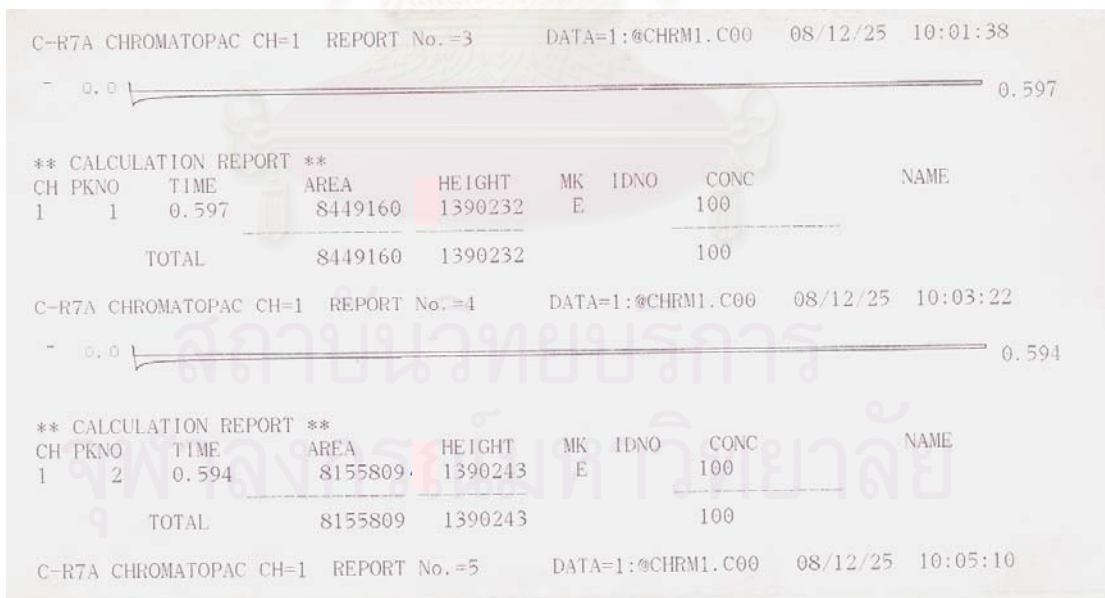
ภาคผนวก ง-2 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของ ก๊าซมาตรฐาน (Standard Gas) ครั้งที่ 2



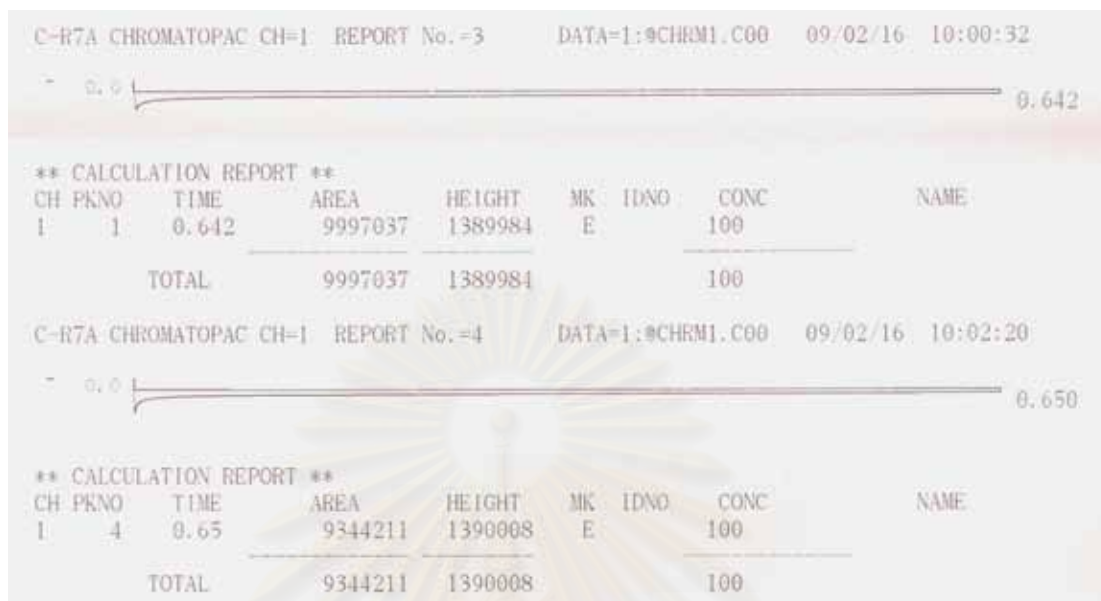
ภาคผนวก ง-3 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของชุดการทดลองที่ 1 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 4,500 มก./ล.



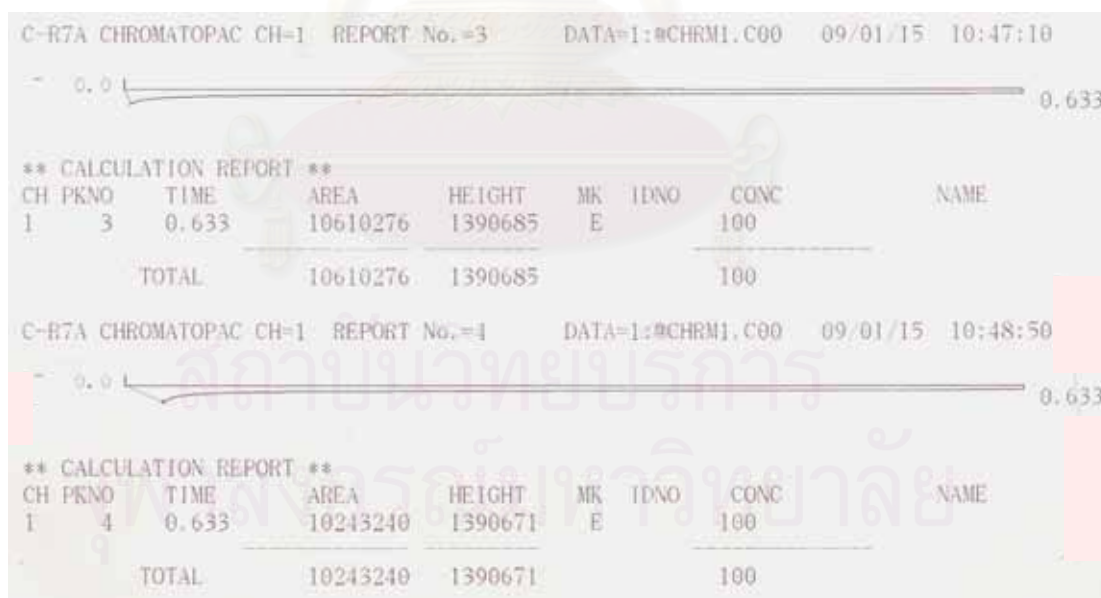
ภาคผนวก ง-4 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของชุดการทดลองที่ 1 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 7,500 มก./ล.



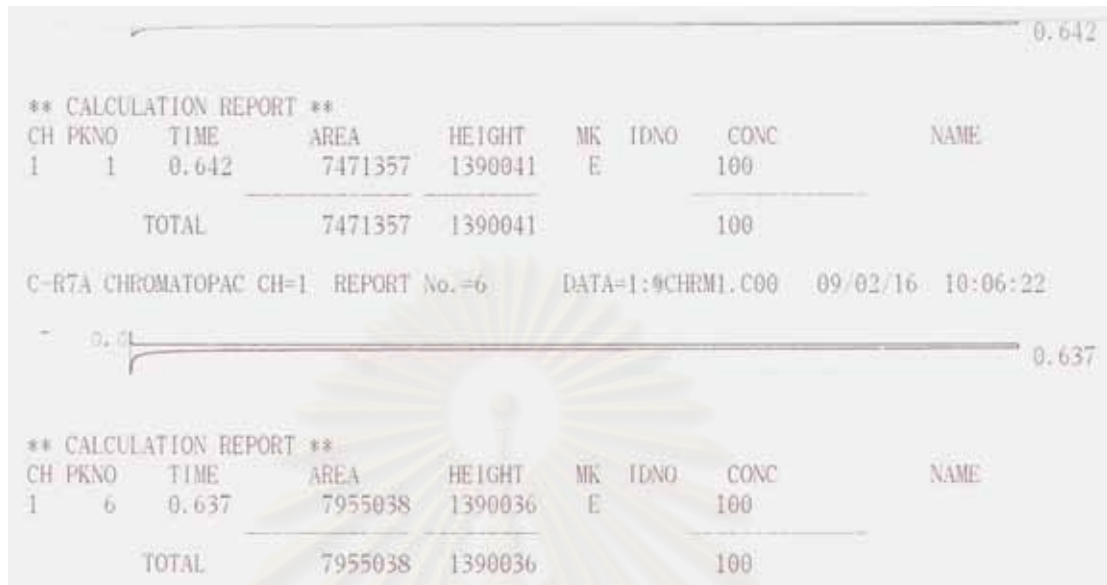
ภาคผนวก ง-5 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของชุดการทดลองที่ 1 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 15,000 มก./ล.



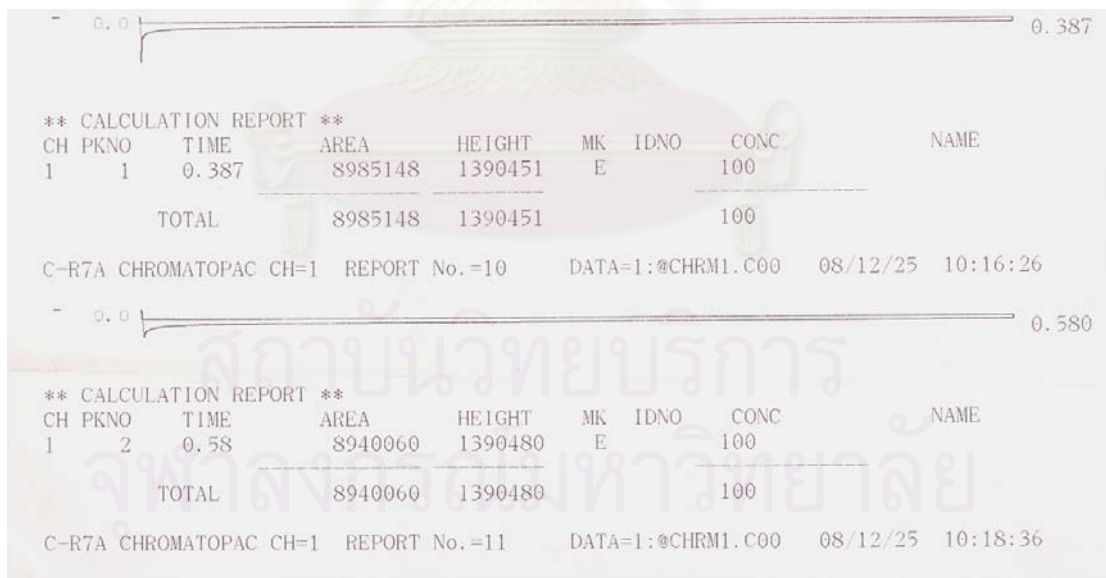
ภาคผนวก ง-6 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของชุดการทดลองที่ 2 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 4,500 มก./ล.



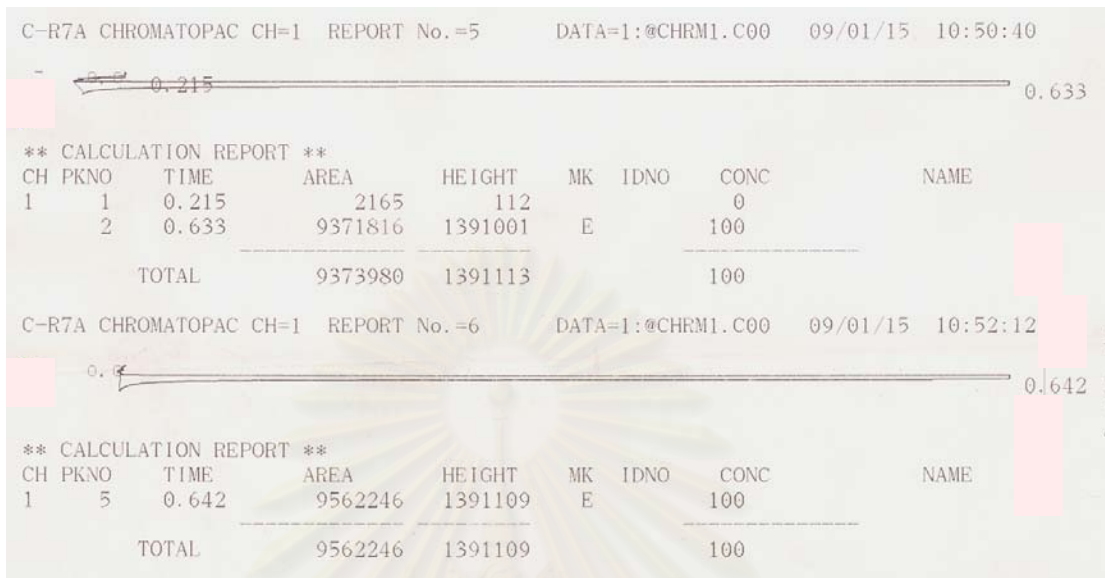
ภาคผนวก ง-7 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของชุดการทดลองที่ 2 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 15,000 มก./ล.



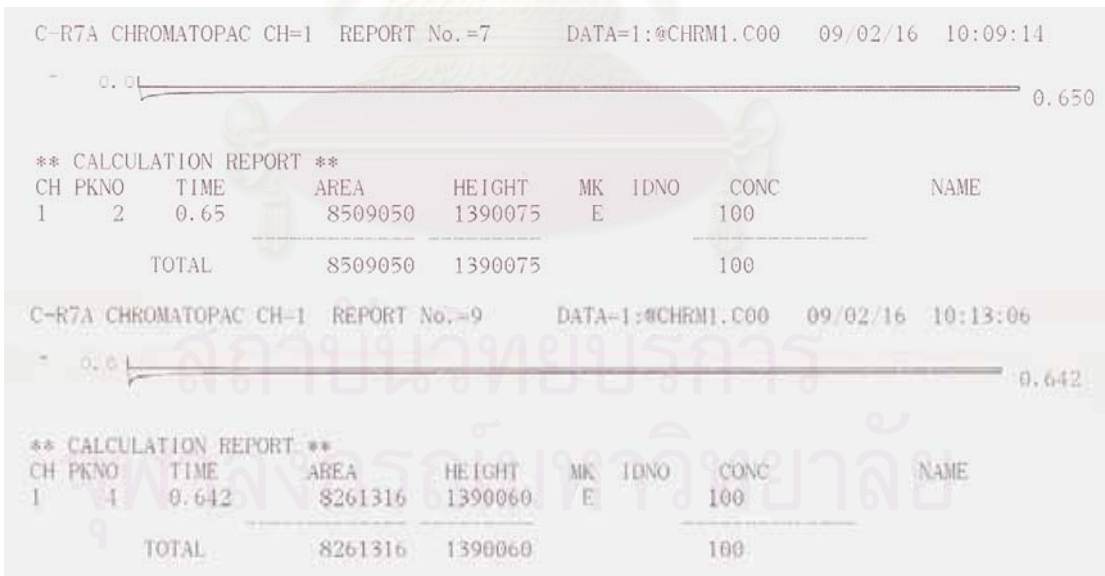
ภาคผนวก ง-8 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของชุดการทดลองที่ 3 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 4,500 มก./ล.



ภาคผนวก ง-9 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของชุดการทดลองที่ 3 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 7,500 มก./ล.



ภาคผนวก ง-10 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนของชุดการทดลองที่ 3 ที่ค่าซีไอดี เท่ากับ 15,000 มก./ล.



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชุติมา ฉันท์พลากร เกิดเมื่อวันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2527 ที่กรุงเทพฯ สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย