การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

นางสาวดารินทร์ ภูกิ่งงาม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF BIODIESEL WASTEWATER USING ANAEROBIC BAFFLED REACTOR

Miss Darin Phukingngam

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	การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน
โดย	นางสาวดารินทร์ ภูกิ่งงาม
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. สมชาย ดารารัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร. สมชาย ดารารัตน์)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. เคชา พิมพิสุทธิ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดารินทร์ ภูกิ่งงาม : การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (TREATMENT OF BIODIESEL WASTEWATER USING ANAEROBIC BAFFLED REACTOR) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อาจารย์ ดร. สมชาย ดารารัตน์, 164 หน้า

การวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และผลของอัตราภาระซีโอดีที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวโดยใช้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี ทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีจำนวนห้อง 5 ห้อง ขนาดปริมาตรน้ำในระบบ 22 ลิตร เดินระบบแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง ที่เวลากักพักชลศาสตร์คงที่ 10 วัน ผลการวิจัยพบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมันมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 98.45–99.05 99.01–99.41 79.05-100.00 69.86-100.00 และ 41.79-83.82 ตามลำดับ ระบบมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.19 - 0.38 และ 0.12-0.28 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในช่วงร้อยละ 63.78 – 74.45 การเพิ่มอัตราภาระซีโอดีให้สูงขึ้นในช่วงอัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 0.5 – 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารต่างๆ ในน้ำเสีย ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 1.5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดสูงสุด เท่ากับร้อยละ 99.41 0.38 และ 0.28 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีตามระยะทางของระบบพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเกิดขึ้นสูงสุดในห้องที่ 1 จากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางของระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา .... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.... ลายมือชื่อนิสิต..........ดารินทร์ ภูกิ่งงาม......

สาขาวิชา............วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..........

ปีการศึกษา..........2551.................... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม..........

##4970317421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : ANAEROBIC TREATMENT/ BIODIESEL WASTEWATER/ ANAEROBIC BAFFLED REACTOR/ BIOGAS

DARIN PHUKINGNGAM : TREATMENT OF BIODIESEL WASTEWATER USING ANAEROBIC BAFFLED REACTOR. ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., CO-ADVISOR : SOMCHAI DARARAT, Ph.D., 164 pp.

The aim of this research were investigated the performance of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for treating biodiesel wastewater and studied the effect of organic loading rate (OLR) on ABR efficiency. Wastewater used in this study was collected from biodiesel production process with alkali-catalyzed transesterification of waste vegetable oil. Such wastewater was pretreated using chemical precipitation process before fed to ABR reactors. The five-compartment ABRs with a working volume of 22 l. were run continuously in room temperature at constant HRT of 10 days. OLR was varied from 0.5 to 3.0 kg-COD/m^3-day.

The result showed that the removal efficiencies of total COD, soluble COD, methanol, glycerol and FOG were 98.45 – 99.05%, 99.01 – 99.41%, 79.05-100.00%, 69.86-100.00% and 41.79-83.82%, respectively at OLR of 0.5-3.0 kg-COD/m^3-day. The biogas yield and methane yield were 0.19 – 0.38 and 0.12-0.28 l/gCOD removed, respectively. The result from biogas analysis showed that ratio of methane in biogas was ranged from 63.78% to 74.45%. The COD removal efficiency and biogas yield were increased with increase OLR from 0.5 to 1.5 kg-COD/m^3-day. The optimum OLR was occurred at OLR of 1.5 kg-COD/m^3-day, the highest COD removal efficiency and biogas yield (methane yield) were achieved at 99.41% and 0.38 (0.28) l/gCOD removed, respectively. Result from COD profile in each compartment of ABR showed that COD removal efficiency was occurred in the first compartment and decreased gradually along with the following compartments.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : ....Environmental Engineering.... Student's Signature :....Darin Phukingngam....

Field of Study : ...Environmental Engineering.... Advisor's Signature:..............................

Academic Year : ...2008.......................... Co-Advisor's Signature..............................

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้เป็นมากกว่าอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ สำหรับทุกสิ่ง ทุกคำแนะนำ ทุกความช่วยเหลือในทุกด้าน และขอบพระคุณในไมตรีจิตและความปรารถนาดีอันมีค่ายิ่งที่อาจารย์มีให้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร. สมชาย ดารารัตน์ ที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาในการทดลอง อีกทั้งถ่ายทอดประสบการณ์ที่มีประโยชน์และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ ดร. เดชา พิมพิสุทธิ์ และอาจารย์ ดร. ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล สำหรับคำแนะนำและความกรุณาในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ รวมทั้งความปรารถนาดีที่มีให้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจาก “ทุน 90 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช” จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่อนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเพื่อนนิสิตนักศึกษาจากสถาบันอื่นๆ สำหรับความช่วยเหลือในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบพระคุณคุณปริญญา เลิศสถิตย์พงษ์ คุณเอนกประชา แก้วมณี และคุณอนุศักดิ์ เจิมเจริญ บริษัทบางจาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวกในเรื่องน้ำเสียไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณในน้ำใจของบริษัท Water Tech & Service Co., Ltd. ที่อนุเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนทางเคมี

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาคฯ ทุกฝ่าย และเพื่อนพ้อง พี่น้อง ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสำหรับทุกๆ กำลังใจและทุกความช่วยเหลือ

ขอขอบคุณคุณอดิศักดิ์ ล้วนวิเศษสำหรับไมตรีจิต กำลังใจ และความช่วยเหลือที่มีให้เสมอ

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่มอบความรักและพลังใจที่มีค่ายิ่งใหญ่ให้ตลอดมา ส่งผลให้ผู้ทำวิทยานิพนธ์มีวันนี้ได้

คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้เพื่อทดแทนพระคุณแก่บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ทุกท่าน และแผ่นดินไทย ที่ผู้ทำวิทยานิพนธ์เคารพและรักยิ่ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ

กิตติกรรมประกาศ.. ฉ

สารบัญ.. ช

สารบัญตาราง.. ญ

สารบัญภาพ.. ฎ

บทที่ 1 บทนำ.. 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.. 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.. 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 4

2.1 ไบโอดีเซล.. 4

2.1.1 ประวัติการวิจัยพัฒนาไบโอดีเซล และการใช้ไบโอดีเซลในประเทศไทย...... 4

2.1.2 ประเภทของไบโอดีเซล.. 5

2.1.3 วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล.. 6

2.1.4 การผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.. 7

2.1.5 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และตัวอย่างการจัดการน้ำเสียไบโอดีเซลในประเทศไทย.. 10

2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน.. 13

2.2.1 กลไกการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน.. 13

2.2.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง.. 15

2.2.3 การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย.. 19

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน.. 20

2.3 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.. 24

2.3.1 การศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.. 25

2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.. 26

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 28

หน้า

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดและการจัดการน้ำเสีย และของเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และการบำบัดน้ำเสียจำพวกน้ำมัน.................... 28

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.......... 31

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย………………………………………………………………… 35

3.1 แผนการวิจัย…………………………………………………………………... 35

3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง…………………………………........................... 35

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง……………………………………….. 37

3.3.1 ชุดระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.. 37

3.3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี.......... 41

3.3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการทดลอง.. 41

3.4 การเตรียมน้ำเสีย……………………………………………………............... 42

3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง……………………………………………………….. 44

3.6 การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ... 46

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผล………………………………………..... 50

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง.. 50

4.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซล... 50

4.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลหลังผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี.. 52

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล.. 54

4.2.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำเสียไบโอดีเซลของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.. 56

4.2.2 ประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียไบโอดีเซล………………………………………………………... 77

4.2.3 สภาวะการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล... 82

4.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 97

หน้า

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล…………………………………………………........... 99

4.4 ผลการศึกษาตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบ........................…....................... 103

4.4.1 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง.. 103

4.4.2 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่พบในห้องต่างๆ ของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้บำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล... 106

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ……………………………………………… 115

5.1 สรุปผลการวิจัย……………………….. 115

5.2 ข้อเสนอแนะ.. 116

รายการอ้างอิง... 118

ภาคผนวก…….. 123

ภาคผนวก ก ผลการทดลอง……………………………………………….................. 124

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์... 164

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลของ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน).. 10

ตารางที่ 2.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานไบโอดีเซลต้นแบบจังหวัดเชียงใหม่หลังผ่านการแยกน้ำมันและไขมันออกแล้ว.. 12

ตารางที่ 2.3 สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้.. 18

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน........ 19

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีผลกระตุ้นและยับยั้ง........... 22

ตารางที่ 2.6 ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน.. 27

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการทดลองเดินระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ 37

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง.................. 40

ตารางที่ 3.3 จุดเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.. 48

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลที่เกิดจากกระบวนการล้างครั้งที่ 2............. 51

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำเสียไบโอดีเซลก่อนและหลังการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี.. 53

ตารางที่ 4.3 ระยะเวลาการเดินระบบและวันที่ทำการเก็บข้อมูลผลการทดลอง...................... 54

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ... 58

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดซีโอดีกรองที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ................................ 61

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดเมทานอลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.................................. 64

ตารางที่ 4.7 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ...................... 69

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดกลีเซอรอลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ................................. 71

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ......................... 74

หน้า

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียไบโอดีเซลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ 79
ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนของน้ำเสียประเภทต่างๆ 81
ตารางที่ 4.12 สรุปค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ 82
ตารางที่ 4.13 สรุปสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ 85
ตารางที่ 4.14 สรุปกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ 88
ตารางที่ 4.15 สรุปสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ 91
ตารางที่ 4.16 สรุปอุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ 94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภาพการผลิตไบโอดีเซลของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)............ 9
รูปที่ 2.2 แผนผังแนวทางการจัดการน้ำเสีย บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)........... 11
รูปที่ 2.3 กลไกการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน.. 15
รูปที่ 2.4 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน………………………………..….............................. 24
รูปที่ 3.1 ลักษณะชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.. 38
รูปที่ 3.2 ชุดระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง.. 38
รูปที่ 3.3 ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง.. 40
รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำที่ใช้ในการทดลอง... 41
รูปที่ 3.5 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง.. 45
รูปที่ 3.6 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ก๊าซ และตะกอนจุลินทรีย์.. 46
รูปที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียไบโอดีเซลที่เกิดจากกระบวนการล้างครั้งที่ 2.................................. 50
รูปที่ 4.2 ลักษณะน้ำเสียไบโอดีเซลก่อนและหลังการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี 52
รูปที่ 4.3 ปริมาณซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ 57
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 68
รูปที่ 4.5 ปริมาณซีโอดีกรองและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ 60
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 61
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 62
รูปที่ 4.8 ปริมาณเมทานอลและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ 65
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดเมทานอลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 66
รูปที่ 4.10 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ 68
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 70
รูปที่ 4.12 ปริมาณกลีเซอรอลและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ 72
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกลีเซอรอลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ 73

หน้า

รูปที่ 4.14 ปริมาณน้ำมันและไขมันและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ 75

รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 76

รูปที่ 4.16 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 78

รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ…………………..…... 80

รูปที่ 4.18 พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ............................. 83

รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 84

รูปที่ 4.20 สภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่าง............ 86

รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 87

รูปที่ 4.22 ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ 89

รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 90

รูปที่ 4.24 สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ 92

รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 93

รูปที่ 4.26 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ......................... 95

รูปที่ 4.27 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ 96

รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ.. 97

รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง และปริมาณของแข็งแขวนลอยตามระยะทางของระบบที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน........................... 100

รูปที่ 4.30 สภาวะการทำงานตามระยะทางของระบบ.. 101

รูปที่ 4.31 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง... 103

รูปที่ 4.32 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง 105

รูปที่ 4.33 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังสิ้นสุดการทดลอง... 106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

		หน้า
รูปที่ 4.34	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายในห้องที่ 1..	108
รูปที่ 4.35	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายในห้องที่ 2..	110
รูปที่ 4.36	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายในห้องที่ 3..	112
รูปที่ 4.37	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายในห้องที่ 4..	114

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากปัญหาวิกฤติการณ์ด้านพลังงาน และความจำเป็นในการใช้เชื้อเพลิงทั้งในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งความจำเป็นในการรักษาสภาพแวดล้อมและลดผลกระทบอันเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งกำลังก่อให้เกิดปัญหาระดับโลก ทำให้ในหลายประเทศมีความพยายามที่จะแสวงหาแหล่งพลังงานทางเลือกเพื่อการพึ่งพาตนเองทางด้านพลังงาน และเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสภาพแวดล้อมในอนาคต

ไบโอดีเซลนับเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ Ma และ Hanna (1999) กล่าวว่าไบโอดีเซลกลายเป็นแหล่งพลังงานที่น่าสนใจมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและผลิตได้จากทรัพยากรที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ เช่น น้ำมันจากพืช และไขมันสัตว์ โดยสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจะมีการปล่อยมลพิษที่ต่ำก่อให้เกิดผลดีต่อสิ่งแวดล้อม ในส่วนของประเทศไทยหลังจากปีพ.ศ. 2548 ที่คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบแผนปฏิบัติการการพัฒนาและส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 10 ในปี 2555 หรือ 8.5 ล้าน ล./วัน (นเรศ และคณะ, 2549) ส่งผลให้ปัจจุบันมีหน่วยงานและผู้ให้ความสนใจในการผลิตไบโอดีเซลเป็นจำนวนมาก ในขณะที่การจัดการของเสียและการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลยังคงมีการศึกษาและพัฒนาอยู่ในวงจำกัด ทำให้ในอนาคตปัญหาดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หากยังไม่มีการเตรียมการหาวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนนับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปริมาณสูงในปัจจุบัน Herbert และ Chan (1997) ได้กล่าวถึงข้อดีของการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนไว้ว่า มีข้อดีเหนือกว่าการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนหลายประการทั้งในด้านการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเติมอากาศ ความสามารถในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงได้ อีกทั้งมีความต้องการสารอาหารที่ต่ำและเกิดมวลจุลชีพในปริมาณน้อยอีกด้วย โดยหนึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนที่น่าสนใจคือ ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor: ABR) เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ระบบมีความสามารถในการฟื้นตัวจากภาวะที่มีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ

มากเกินไปได้ มีระยะเวลาในการกักพักมลสารได้นาน และเกิดปริมาณตะกอนจุลชีพที่ต่ำ ที่สำคัญคือมีความสามารถในการแยกกระบวนการสร้างกรดและการสร้างมีเทนออกจากกันได้ตามความยาวของถังปฏิกรณ์เนื่องจากเกิดการพัฒนาของกลุ่มจุลชีพที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม (Kuscu และ Sponza, 2006) งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการทดลองศึกษาการนำระบบ ABR ไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในหลายประเภท เช่น น้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม การกลั่นสุรา การผลิตเยื่อกระดาษ และน้ำเสียชุมชน เป็นต้น แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำระบบ ABR มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาก่อน งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และผลของอัตราภาระซีโอดีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ซึ่งผลจากการทดลองทำให้สามารถบอกถึงประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล รวมถึงความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียดังกล่าวได้ นำไปสู่การประยุกต์ใช้เป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เพื่อรองรับการแก้ไขปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการขยายตัวของการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

2. ศึกษาผลของอัตราภาระซีโอดีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้จะทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. ทำการทดลองโดยแปรผันค่าอัตราภาระซีโอดี 6 ค่า ได้แก่ 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่อุณหภูมิห้อง โดยกำหนดเวลากักพักชลศาสตร์คงที่ 10 วัน

2. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยนำน้ำเสียมาผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี

3. ใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการไหลของน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่อง ถังปฏิกรณ์ระดับห้องปฏิบัติการ มีจำนวนห้อง 5 ห้อง ซึ่งมีปริมาตรบรรจุน้ำของถังรวม 22 ลิตร

4. พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ซีโอดี ซีโอดีกรอง ของแข็งแขวนลอย เมทานอล น้ำมันและไขมัน กลีเซอรอล สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย พีเอช อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน และโครงสร้างภายในของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบผลของอัตราภาระซีโอดีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และผลที่มีต่อประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียดังกล่าวโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

2. เพื่อเป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้

3. เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อยอดเพิ่มเติมนำไปสู่การประยุกต์ใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล

2.1.1 ประวัติการวิจัยพัฒนาไบโอดีเซล และการใช้ไบโอดีเซลในประเทศไทย

การวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลเริ่มต้นจาก Rudolf Diesel ผู้ซึ่งได้ทดลองนำเอาน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์เป็นครั้งแรก นับจากนั้นจึงได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่เริ่มสนใจศึกษาและพัฒนาเพื่อนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นแหล่งพลังงานดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่อยู่ในสภาวะวิกฤติ เช่น ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1 และ 2 รวมทั้งในช่วงที่เกิดวิกฤติพลังงานในปี ค.ศ. 1970 (Raneses และคณะ, 1999) และจากการที่ปัจจุบันได้เกิดปัญหาราคาของน้ำมันดิบที่เพิ่มสูงขึ้น ปัญหาขีดจำกัดของแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิล รวมถึงความกังวลเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าว ทำให้เกิดความสนใจในการที่จะนำเอาน้ำมันพืชและไขมันสัตว์มาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลมากขึ้น (Ma และ Hanna, 1999)

ในปัจจุบันไบโอดีเซลเริ่มเป็นที่ยอมรับในระดับผู้ผลิตอุตสาหกรรมยานยนต์แล้ว ทำให้เกิดมีโรงงานผลิตไบโอดีเซลเกิดขึ้นมากมายทั้งในยุโรปและอเมริกา สำหรับในประเทศไทยได้มีการทำการศึกษาและวิจัยด้านไบโอดีเซลในหลายองค์กรทั้งหน่วยงานของรัฐและสถาบันการศึกษา โดยมีการดำเนินการทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ และในระดับกึ่งอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรมอู่ทหารเรือ และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นต้น (พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กรม, 2549)

จากนโยบายของรัฐบาลไทยที่ต้องการส่งเสริมให้มีการผลิตไบโอดีเซลจากผลผลิตทางการเกษตรในประเทศเพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ทำให้รัฐบาลได้ตั้งเป้าหมายไว้ว่าในปี 2555 จะมีการใช้น้ำมันดีเซลในประเทศไทยจำนวน 85 ล้านลิตร/วัน ทั้งนี้หากสามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสูตร B10 (มีอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันดีเซลร้อยละ 90 และไบโอดีเซลร้อยละ 10) ได้ก็จะทำให้ลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 8.5 ล้านลิตร/วัน (นเรศ และคณะ, 2549)

2.1.2 ประเภทของไบโอดีเซล ที่นำมาใช้งานแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้ (พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กรม, 2549)

1. ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ ไบโอดีเซลชนิดนี้เป็นการนำเอาน้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว หรือน้ำมันสัตว์มาใช้โดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบไม่ต้องผสมสารเคมีอื่น ซึ่งไบโอดีเซลชนิดนี้ใช้ได้กับเฉพาะเครื่องยนต์รอบต่ำ มีคุณสมบัติแตกต่างจากดีเซลมาก ทำให้เครื่องยนต์สันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสะดุด และเกิดตะกรันขาวติดอยู่ในถังน้ำมัน ทำให้เครื่องยนต์มีความหนืดเมื่ออุณหภูมิต่ำลง มีผลต่อการสตาร์ทเครื่องทำให้เครื่องติดยากหรืออาจไม่ติดเลย

2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม เป็นการผสมน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ที่กล่าวมากับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เช่น

- โคโคดีเซล (coco-diesel) ที่ อ. ทับสะแก จ. ประจวบคีรีขันธ์ เป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด
- ปาล์มดีเซล (palm-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

เป็นต้น ไบโอดีเซลชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลทางการเกษตร การแปลงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลทำให้ลดปัญหาเรื่องความหนืดของเครื่องยนต์และการสตาร์ทเครื่องลงไปได้ แต่ก็ยังมีปัญหาในเรื่องของการอุดตันของไส้กรองเครื่องยนต์ที่จะเกิดการอุดตันได้เร็วกว่าปกติ

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นประเภทของไบโอดีเซลตามความหมายสากลที่นานาชาติรู้จักและยอมรับกันเนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ผ่านกระบวนการแปรรูปตามกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นการนำเอาน้ำมันพืชหรือสัตว์มาผ่านกรรมวิธีทางเคมีเพื่อเปลี่ยน Triglycerides ให้อยู่ในรูปของ Monoalcohol Fatty Acid Ester โดยจะเรียกชื่อตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาว่าเป็นเมทิลเอสเตอร์ (Methyl esters) หรือ เอทิลเอสเตอร์ (Ethyl esters)

นอกจากนี้กรรมวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในการแปรรูปน้ำมันพืชโดยใช้เอทานอลเป็นสารตั้งต้นยังสามารถผลิต Palm Oil Di-Ethyl Ester (PODEE) ซึ่งสามารถนำไปผสมใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้เป็นอย่างดี และยังสามารถผลิตไขสบู่และกลีเซอรอล (Glycerol) ได้ ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์มีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้จุดติดไฟได้ง่ายกว่า การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ เกิดคาร์บอนไดออกไซด์น้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำลายสิ่งแวดล้อม ไม่มีปัญหาเรื่องความหนืดและสามารถใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงอย่างรถยนต์ได้

2.1.3 วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล (บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน), 2550)

1. ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยขณะนี้ เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น คือ มีต้นทุนการผลิตต่ำ ให้ผลตอบแทนกำไรต่อไร่สูงถึงประมาณ 4,000 บาทต่อปี จึงมีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการปลูกปาล์มพันธุ์ดีทดแทนพืชอื่นๆ ที่มีรายได้ต่ำกว่า

2. ถั่วเหลือง เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีปริมาณการผลิตถั่วเหลืองสูงถึงกว่า 30 ล้านตันต่อปี นอกจากนี้ยังมีประเทศอิตาลีซึ่งนิยมใช้ถั่วเหลืองในการผลิตไบโอดีเซล

3. เมล็ดเรพ เรพเป็นพืชล้มลุกประเภทวัชพืชที่พบอยู่ทั่วไปในทวีปยุโรป เมล็ดมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ เหมือนเมล็ดงา ปัจจุบันเมล็ดเรพเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดในยุโรป คือ มีส่วนแบ่งในการผลิตถึงร้อยละ 80 ของวัตถุดิบอื่นๆ ทั้งหมด

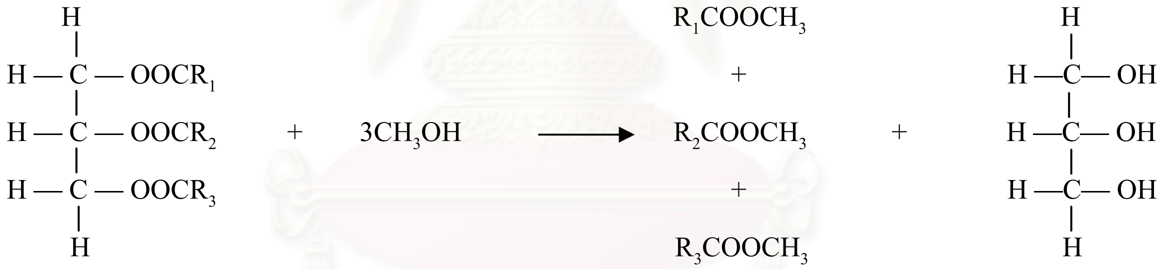
4. สบู่ดำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Jatropha curcas Linn. โดยสบู่ดำเป็นพืชน้ำมันที่เพาะปลูกง่ายไม่ต้องดูแลมาก ทนต่อสภาพแล้งและน้ำท่วมทำให้ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วทุกภาค แม้แต่ในพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้น้อย น้ำมันที่บีบจากผลสบู่ดำสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการเกษตรแทนน้ำมันดีเซลได้ทันที โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ แต่มีปัญหาด้านคุณภาพบางประการ อาทิค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลถึง 10 เท่า ทำให้ไม่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงทั่วไปได้ จำเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแปลงเป็นไบโอดีเซลก่อนนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลปกติเพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

5. น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว เป็นวัตถุดิบอีกประเภทหนึ่งที่ควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซล เพราะนอกจากจะเป็นประโยชน์ด้านพลังงานแล้ว ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขอีกด้วย โดยในช่วง 20 ปี ที่ผ่านมาพบว่าทั่วโลกมีอัตราเฉลี่ยในการบริโภคน้ำมันพืชเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 4 ต่อปี เนื่องจากวิถีการบริโภคที่หันมานิยมอาหารประเภทจานด่วนที่ปรุงด้วยการทอดมากขึ้น ทำให้มีน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวนมากที่ซึ่งจำเป็นต้องหาวิธีจัดการ โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข ซึ่งประเทศที่พัฒนาแล้วนิยมนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีการดำเนินการอย่างเป็นรูปธรรมในปัจจุบัน

2.1.4 การผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

วิธีการผลิตไบโอดีเซลมีหลายวิธี เช่น การผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้สารด่างหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล การฉายรังสีอุลตราโซนิค และวิธีการสลายตัวด้วยความร้อนโดยใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น โดยวิธีการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากสามารถเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นไบโอดีเซลได้มากโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ง่ายและใช้เวลาสั้น (Suehara และคณะ, 2005)

ไบโอดีเซลเป็นชื่อที่ใช้เรียกเชื้อเพลิงที่เป็นสารเอสเตอร์ (Ester) ที่ได้จากปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวเรียกว่า “transesterification” ตัวอย่างปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเมทานอลแสดงได้ดังสมการ



ไตรกลีเซอไรด์ เมทานอล เมทิลเอสเทอร์ กลีเซอรอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปฏิกิริยาทางเคมีชนิดทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และเมทานอลจะทำให้ได้สารเมทิลเอสเตอร์ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ต้องการ และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ (คณะกรรมาธิการการพลังงาน, 2545) เนื่องจากการที่ไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการทรานส์ เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากกระบวนการปิโตรเคมีจึงเป็นไปได้ว่าไบโอดีเซลน่าจะถูกนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลในอนาคต (Kusdiana และ Saka, 2004)

ในส่วนของประเทศไทยได้นิยมนำเอากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในระดับชุมชน โรงเรียนและหน่วยงานต่างๆ รวมถึงในระดับอุตสาหกรรม

บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของบริษัทที่มีการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกระบวนการผลิตไบโอดีเซลของบริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) (อัญชลี ศรีรังสรรค์, 2551) มีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

1. การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะถูกเตรียมให้เหมาะสมก่อนเข้าทำปฏิกิริยา โดยหากเป็นน้ำมันปาล์มดิบจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแยกยางเหนียว และลดกรดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ส่วนวัตถุดิบจากน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วจะถูกนำมากรองแล้วจึงนำไปขจัดน้ำออก

2. การเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเมทานอลต้องไม่มีน้ำเจือปนเกินกว่าร้อยละ 1 การเตรียมสารละลาย โดยการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5-5 ส่วน ละลายในเมทานอล 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในวัตถุดิบ หากกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงก็ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนที่สูงขึ้น

3. การทำปฏิกิริยา น้ำมันที่ถูกขจัดน้ำแล้วจะถูกทำให้มีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ลงไปอย่างช้าๆ (เติมให้หมดภายใน 10 นาที) สัดส่วนน้ำมันต่อสารละลายแอลกอฮอล์โดยน้ำหนักเท่ากับ 5 ต่อ 1 ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลาประมาณ 15 นาที ด้วยอัตราการกวนปานกลาง (500 รอบ/นาที) อุณหภูมิในช่วงนี้ลดลงเหลือประมาณ 65 องศาเซลเซียส การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรีน ซึ่งปฏิกิริยานี้ผันกลับได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหยุดกวนเพื่อแยกกลีเซอรีนออก โดยจะแยกตัวออกจากชั้นเมทิลเอสเตอร์ตกลงมาที่ก้นถัง ทำให้ชั้นเมทิลเอสเทอร์จะเหลือกลีเซอรีนอยู่น้อย ปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะสามารถดำเนินต่อไปอย่างช้าๆ เมื่อทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง น้ำมันก็จะทำปฏิกิริยาไปมากกว่าร้อยละ 95

4. การแยกกลีเซอรีน กลีเซอรีนจะถูกถ่ายออกใส่ภาชนะโดยการถ่ายออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ในขณะที่ยังร้อนอยู่เพราะหากทิ้งไว้ให้เย็น ชั้นกลีเซอรีนจะกลายเป็นของแข็ง

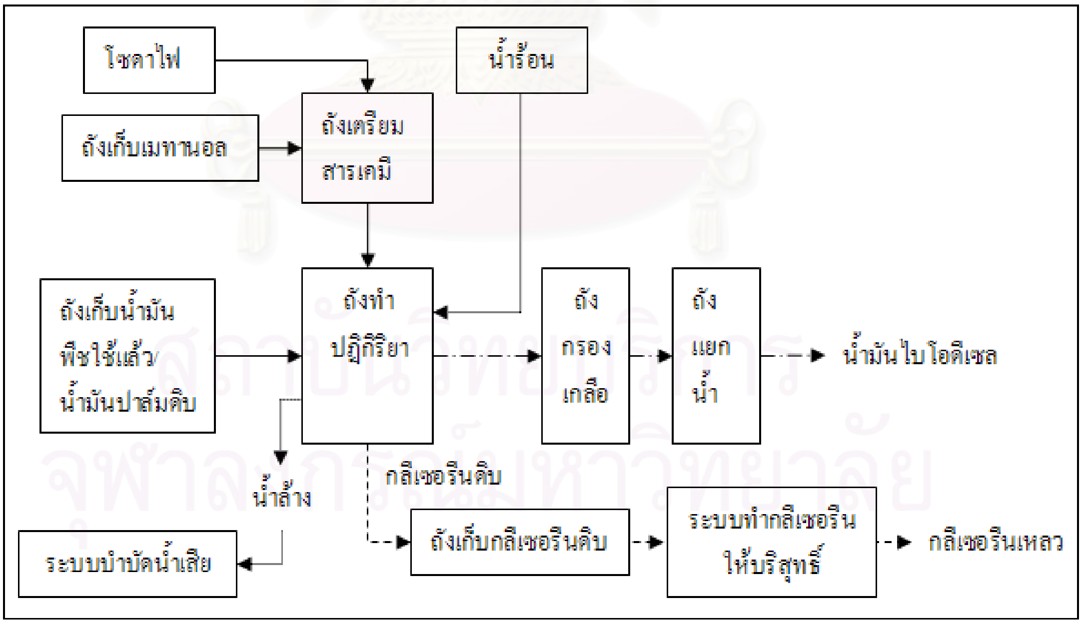
5. การล้างสิ่งปนเปื้อนออก เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ยังปนเปื้อนด้วยสารอื่นๆ เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไขมันอิสระหรือน้ำมัน กลีเซอรีนที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและ

น้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดออกด้วยการล้างด้วยน้ำอุ่นหลายๆ ครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละครั้งประมาณ 1 ต่อ 4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ เมื่อเติมน้ำเพียงพอแล้วรอให้น้ำแยกชั้นออกจากเมทิลเอสเทอร์เป็นเวลาพอสมควร (ประมาณ 5-10 นาที) จากนั้นจึงถ่ายน้ำออกทางด้านล่าง เติมน้ำอุ่นเพื่อล้างใหม่อีกครั้ง โดยการล้างจะล้าง 4-5 ครั้ง

6. การบำบัดกลีเซอรีน กลีเซอรีนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจะแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง จึงต้องทำการบำบัดโดยใช้สารละลายกรดเพื่อทำให้กลีเซอรีนที่ผ่านการบำบัดอยู่ในรูปของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

7. การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย เมื่อล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้ว ขั้นตอนสุดท้าย คือการขจัดน้ำที่หลงเหลือในชั้นเมทิลเอสเทอร์ออก ซึ่งกระทำโดยการกรองด้วยถังกรองเกลือและเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็สามารถนำไปเก็บเพื่อใช้งานต่อไป

8. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล โดยองค์ประกอบจะเป็นสารจำพวกเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งจะนำเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่กำหนด นอกจากนี้ยังมีกลีเซอรีนดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล โดยเป็นสารที่มีคุณค่าทางความร้อนและเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เมื่อผ่านการบำบัดจะได้เป็นกลีเซอรีนเหลวและจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อป้อนเข้าหม้อไอน้ำ



รูปที่ 2.1 แผนภาพการผลิตไบโอดีเซลของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

ที่มา : บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน), 2550

2.1.5 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และตัวอย่างการจัดการน้ำเสียไบโอดีเซลในประเทศไทย

1. น้ำเสียและการจัดการน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลของ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เกิดจากการล้างสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ออกจากเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ โดยสารที่ปนเปื้อน เช่นสบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไขมันอิสระหรือน้ำมัน กลีเซอรีนที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมดจะถูกกำจัดออกด้วยการล้างด้วยน้ำอุ่นประมาณ 4-5 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละครั้งประมาณ 1 ต่อ 4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน), 2550) โดยลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลของ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลของ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) (อัญชลี ศรีรังสรรค์, 2551)

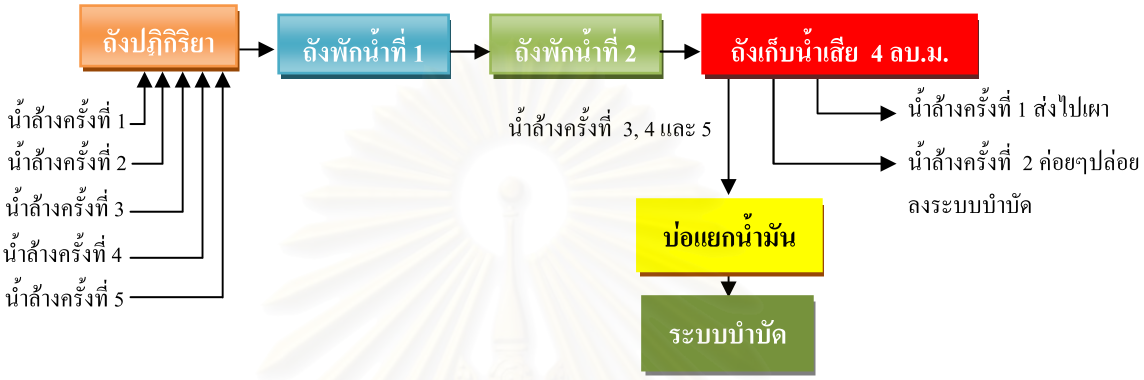
พารามิเตอร์	ปริมาณความเข้มข้น				
	น้ำล้างครั้งที่ 1	น้ำล้างครั้งที่ 2	น้ำล้างครั้งที่ 3	น้ำล้างครั้งที่ 4	น้ำล้างครั้งที่ 5
1.พีเอช	9.62	10.33	9.12	9.46	7.68
2.ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	20,450	675	60	40	30
3.ซีโอดี (มก./ล.)	712,800	107,950	19,483	7,774	2,495
4.น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	17,880	10,880	9,100	6,280	1,020
5.กลีเซอรอล (มก./ล.)	42,237	3,126	952	933	764
6.เมทานอล (มก./ล.)	257,917	56,016	14,406	2,574	421

น้ำเสียไบโอดีเซลที่เกิดจากขั้นตอนการล้างสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ออกจากเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ก่อให้เกิดน้ำเสียจากน้ำล้างครั้งที่ 1-5 ซึ่งทางบริษัทมีรายละเอียดการจัดการน้ำเสียดังกล่าวดังนี้

1. น้ำล้างครั้งที่ 1 พบว่ามีค่าซีโอดีสูงมาก ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบชีวภาพ จึงไม่สามารถบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานได้ ดังนั้นทางบริษัทจึงกำจัดโดยการส่งเผานอกโรงงานโดยบริษัทรับกำจัดของเสียเอกชน

2. น้ำล้างครั้งที่ 2 ยังคงมีค่าซีโอดีสูงมาก ดังนั้นจึงต้องทำการปล่อยเข้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ในอัตราที่ต่ำ ซึ่งมีอัตราการปล่อยน้ำเสียประมาณ 180-240 ล./ชม.

3. น้ำล้างครั้งที่ 3 4 และ 5 นำมาผสมรวมกันและปล่อยเข้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานโดยตรง โดยมีอัตราการปล่อยน้ำเสียประมาณ 720 ล./ชม.



รูปที่ 2.2 แผนผังแนวทางการจัดการน้ำเสีย บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)
ที่มา : บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน), 2550

2. น้ำเสียและการจัดการน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลชุมชน กรณีศึกษาโรงงาน ไบโอดีเซลต้นแบบจังหวัดเชียงใหม่

โรงงานไบโอดีเซลต้นแบบจังหวัดเชียงใหม่ผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีกำลังการผลิต 2,000 ล./วัน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ น้ำมันปาล์มร้อยละ 70 และน้ำมันพืชที่ใช้แล้วร้อยละ 30 ใช้เมทานอลเป็นสารทำปฏิกิริยา และใช้โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา โดยนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาปรับพีเอช 6 และให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำมันขยายตัวและไม่จับตัวกันเป็นไข แล้วจึงทำการลดอุณหภูมิเหลือ 57-62 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมเมทานอลที่มีโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 20 ลิตรต่อน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว 1,000 ลิตร หลังจากนั้นทำการกวนประมาณ 2 ชั่วโมง จะเกิดการแยกชั้นของเอสเทอร์และกลีเซอรีน ทำการแยกกลีเซอรีนออกจากเอสเทอร์ แล้วล้างเอสเทอร์ด้วยน้ำที่มีลักษณะเป็นกรดเล็กน้อย โดยล้างประมาณ 3-4 ครั้งแล้วจึงนำเอสเทอร์ที่ล้างแล้วมาเก็บยังถังเก็บไบโอดีเซล ในกระบวนการนี้จะได้ไบโอดีเซลประมาณ 95 ลิตร และกลีเซอรีนเป็นผลพลอยได้ 10 ลิตร

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเกิดจากขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้โดยใช้น้ำบาดาลที่มีค่าพีเอชประมาณ 6 เติมลงในถังล้างในอัตราส่วนน้ำมันไบโอดีเซล:น้ำล้าง เท่ากับ 1:1 ทำการล้างรวม 4 ครั้ง โดยน้ำล้างในสองครั้งแรกจะมีความสกปรกมาก มีการปนเปื้อนของ

น้ำมัน กลีเซอรีน สบู่ เมทานอล และสารด่าง น้ำเสียจากการล้างในสองครั้งแรกจะมีการระบายน้ำเข้าสู่ระบบบำบัด ส่วนน้ำล้างครั้งที่ 3 และ 4 ซึ่งมีความสกปรกต่ำจะถูกถ่ายลงถังเก็บไว้เพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่เป็นน้ำล้างครั้งที่ 1- 2 อีกครั้ง โดยน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลครั้งที่ 1-2 จะถ่ายทิ้งลงรางระบายน้ำเข้าสู่บ่อดักไขมันเพื่อแยกไขมันออก ส่วนน้ำเสียจะไหลเข้าบ่อตกตะกอน 3 บ่อ ก่อนที่จะไหลเข้าบ่อผึ่งจำนวน 2 บ่อ ต่อไป (พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กรม, 2549)

ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลชุมชนจากโรงงานไบโอดีเซลต้นแบบจังหวัดเชียงใหม่หลังผ่านการแยกน้ำมันและไขมันออกโดยวิธีทางกายภาพแล้วแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานไบโอดีเซลต้นแบบจังหวัดเชียงใหม่หลังผ่านการแยกน้ำมันและไขมันออกแล้ว (ปัณภัทร เจริญสาคร, 2549)

พารามิเตอร์	ปริมาณความเข้มข้น		มาตรฐานน้ำทิ้ง
	ก่อนแยกไขมัน	หลังแยกไขมัน	
1.พีเอช	10.6	10.44	5-9
2.ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	2,890	584	50
3.ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	-	4,131	-
4.ซีโอดี (มก./ล.)	124,500	58,620	120
5.บีโอดี (มก./ล.)	-	37,500	20
6.น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	-	2,300	5
7.ทีเคเอน (มก./ล.)	-	7	100
8.ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	-	N.D.	-
9.กลีเซอรอล (มก./ล.)	-	47,237	-
10.เมทานอล (มก./ล.)	-	12,750	-

หมายเหตุ : N.D. คือ ตรวจวัดไม่พบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

2.2.1 กลไกการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

1. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาวตามลำดับ ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรียโดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ดังกล่าวจนมีโมเลกุลเล็กจนสามารถผ่านเซลล์เมมเบรนเข้าสู่ภายในเซลล์แบคทีเรียสร้างกรดได้ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นค่อนข้างช้าจึงเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

2. การสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์เพื่อนำไปใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น อะซิติก บิวไทริก โพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก ชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสับสเตรตและความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อยสลายกลายเป็นอะซิติกและไฮโดรคาร์บอนภายใต้สภาวะที่ความดันของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลายกลายเป็นบิวไทริกและโพรไพโอนิกเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง น้ำตาลถูกย่อยสลายเป็นอะซิติก ไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านวิธี Embden-Meyerhof ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำ หากไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูงผลผลิตที่ได้ คือ กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

3. การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis)

แบคทีเรียอะซิโตจีนิก (แบคทีเรียสร้างอะซิเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนในการสร้างมีเทน การผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการซับสเตรตเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นซับสเตรตในการผลิตมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียอะซิโตจีนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย)

มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศสำหรับการย่อยสลายกรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก ตามลำดับ

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$$

$$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$$

ขั้นตอนที่ 3 นี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง

4. การสร้างมีเทน

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด

$$CH_3COOH + H_2O \longrightarrow CH_4 + H_2CO_3$$

$$4H_2 + H_2CO_3 \longrightarrow CH_4 + 3H_2O$$

กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยต่างๆให้เป็นกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนเสียก่อนจึงจะใช้ผลิตมีเทนได้ นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียอาจใช้ซับสเทรตอย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก (HCOOH)

$$4CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$$

$$4HCOOH \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$$

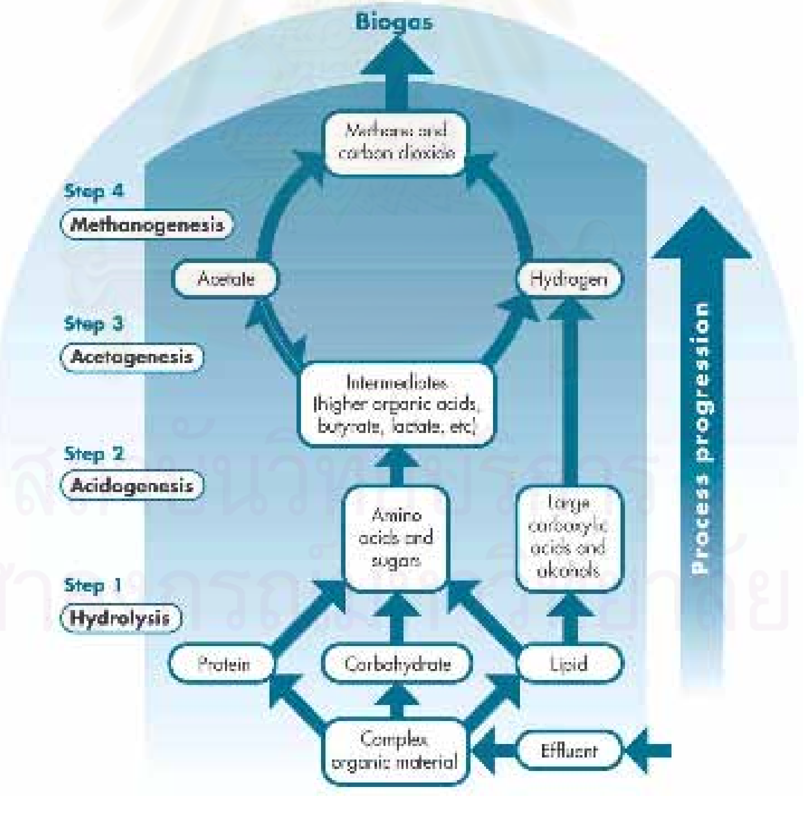
แผนภาพแสดงกลไกการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนแสดงในรูปที่ 2.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง ประเภทของแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสามารถจำแนกได้ดังนี้ (ควบคุมมลพิษ. กรม, 2546)

1. แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria)

ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไร้ออกซิเจน กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียไม่ใช้อากาศชนิดเด็ดขาด (Obligate Anaerobes) มากกว่าชนิด Facultative ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียชนิดเด็ดขาดมีจำนวนมากกว่า แบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิดเด็ดขาดที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหยก็คือกลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบจึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวกแป้งหรือโปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดบิวไทริก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซีโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionicbacterium ที่ผลิตกรดโพรไพออนิก (Propionic Acid) และกรดอะซิติกจากกรดแลกติก



รูปที่ 2.3 กลไกการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Wheatley และคณะ, 1997)

2. แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria)

เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าวข้างต้น และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลที่เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้จึงมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อให้สามารถดูดซึมเข้าไปใช้ได้ในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

- **แบคทีเรียผลิตอะซิเตทอย่างเดียว (Homoacetogenic Bacteria)** แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้อากาศ) ผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Acetyl-CoA ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ ได้แก่ Acetobacterium woodii และ Clostridium aceticum สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโทโทรฟิก (autotrophic) คือ ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอน และก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดอะซิติก

$$2CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2O \qquad \text{Autotrophic}$$

อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮทเธอโรโทรฟิก (Heterotrophic) ก็ได้โดยการหมักน้ำตาลดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3CH_3COOH \qquad \text{Heterotrophic}$$

แบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส Clostridium พบอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดไขมันระเหยทั่วไป (Acidogenic Bacteria) และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (Acetogeneic Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จึงมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ

- **แบคทีเรียที่สร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ (H_2-Producing Acetogenic Bacteria)** แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอลล์เป็นสารอาหาร และสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญเพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ดีแบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพังทั้งนี้เพราะเมื่อมีการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติกไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้นจะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อนแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทในตรงนี้เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจนได้

การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกและแบคทีเรียสร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า Syntrophy และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าอยู่เพียงลำพัง นั่นคือแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะสร้างอาหารให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็ช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียสร้างกรด

3. แบคทีเรียสร้างมีเทน

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียไม่ใช้อากาศชนิดเด็ดขาดไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้มีเพียงเล็กน้อย จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮทเธอโรโทรพดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประมาณ 10 ชนิดเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.3

สารอาหารชนิดอื่นนอกเหนือจากนี้ ไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันระเหย เช่น บิวทิริกหรือโพรไพรออนิกซึ่งปกติเป็นสารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ได้

แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด ตามชนิดของสารอาหารที่ใช้ได้แก่

- **เมทานอเจนที่บริโภคเฉพาะอะซิเตท (Obligate Acetoclastic Methanogen)**

เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ตามสมการดังนี้

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

- **เมทานอเจนที่บริโภคเฉพาะไฮโดรเจน (Obligate Hydrogenotrophic Methanogen หรือ Hydrogen Utilizer)**

เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ตามสมการดังนี้

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

นอกจากก๊าซไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นแหล่งอาหารเพียงอย่างเดียวได้เพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้

ตารางที่ 2.3 สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ซับสเตรตประเภทคาร์บอนไดออกไซด์
คาร์บอนไดออกไซด์
$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$; $\Delta G^{0'} = -131$ kJ/reaction
ฟอร์เมต, $HCOO^-$
$4HCOO^- + 4H^+ \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$; $\Delta G^{0'} = -145$ kJ /reaction
คาร์บอนมอนอกไซด์, CO
$4CO + 2H_2O \longrightarrow CH_4 + 3CO_2$; $\Delta G^{0'} = -210$ kJ/reaction
ซับสเตรตประเภทเมทิล
Methanol, CH_3OH
$4CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$; $\Delta G^{0'} = -319$ kJ/reaction
Methylamine, CH_3NH^+
$4CH_3NH_3^+ + 2H_2O \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4NH_4^+$; $\Delta G^{0'} = -230$ kJ/reaction
Dimethylamine, $(CH_3)_2NH_2^+$
$(CH_3)_2NH_2^+ + 2H_2O \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2NH_4^+$; $\Delta G^{0'} = -230$ kJ/reaction
Trimethylamine, $(CH_3)_3NH^+$
$4(CH_3)_3NH^+ + 6H_2O \longrightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_4^+$; $\Delta G^{0'} = -666$ kJ/reaction
Methylmercaptan, CH_3SH
Dimethylsulfide,$(CH_3)S$
อะซิเตท
Acetate, CH_3COO^-
$CH_3COO^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + CO_2$; $\Delta G^{0'} = -31$ kJ/reaction

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

● **เมทานอเจนที่บริโภคได้ทั้งไฮโดรเจนและอะซิเตท (Hydrogenotrophic/ Acetoclastic Methanogen)** เป็นแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ทั้งจากกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจน แต่ใช้ไฮโดรเจนได้ดีกว่า

2.2.3 การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนเริ่มนิยมแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆเพราะสามารถประหยัดพลังงานในการเติมอากาศและยังได้พลังงานที่เกิดจากระบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ ก๊าซมีเทน เป็นต้น ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ในการหุงต้มทำอาหารได้และใช้ในการต้มน้ำในหม้อต้มน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมได้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีดังนี้ คือ

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

เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

สารอินทรีย์ในน้ำเสีย	ปริมาณผลิตก๊าซชีวภาพ
กิโลกรัมซีโอดีของน้ำเสียที่ถูกกำจัด	0.38 ลบ.ม. มีเทน
กิโลกรัมซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ	0.30 – 0.38 ลบ.ม. มีเทน 0.46 – 0.62 ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพ
กิโลกรัม VSS เข้าระบบ	0.45 – 0.60 ลบ.ม. มีเทน 0.69 – 0.92 ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพ

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

เนื่องจากในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2 กลุ่มที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่ แบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างก๊าซมีเทนและแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาสภาวะแวดล้อมให้มีสภาพที่เหมาะสมที่จะทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้อยู่ด้วยกันได้เป็นอย่างดี ในการที่จะควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องทำให้จุลินทรีย์นี้อยู่ในสภาวะสมดุลกันซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและปัจจัยทางด้านการทำงาน (Grady และคณะ, 1999)

1. ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (environmental factor)

1) อุณหภูมิ การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วง คือ อุณหภูมิระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส (mesophilic temperature) จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้เรียกว่า mesophilic bacteria และอุณหภูมิระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส (thermophilic temperature) จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้เรียกว่า thermophilic bacteria ในช่วง thermophilic temperature อัตราเร็วของปฏิกิริยาและประสิทธิภาพของระบบจะมากกว่าในช่วง mesophilic temperature (Ahn และ Forster, 2002 อ้างถึงใน อาริยา วิรัชวรกุล, 2546) แต่ระบบการหมักที่อุณหภูมิสูงมีข้อเสียคือ thermophilic bacteria ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่า mesophilic bacteria การควบคุมระบบจึงมีความเสี่ยงสูงต่อการล้มเหลวของระบบและยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของระบบอีกด้วย

2) พีเอช (pH) เป็นปัจจัยที่สำคัญของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนที่ต้องรักษาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 6.5 - 7.5 (Acher และ Kirsop, 1991 อ้างถึงใน อาริยา วิรัชวรกุล, 2546) ถ้าพีเอชมีค่าสูงหรือต่ำกว่านี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง โดยถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงต่ำอย่างรวดเร็วเพราะที่สภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างมีเทนเนื่องจากแบคทีเรียเหล่านี้ใช้กรดอินทรีย์ระเหยไม่ทันทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยถูกสะสมเพิ่มมากขึ้น พีเอชจึงลดต่ำลงอย่างรวดเร็วโดยหากลดต่ำลงถึงช่วง 4.5 - 5.0 จะทำให้ methanogenic bacteria หยุดการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยการเติมสารเคมีจำพวกด่างลงไป เช่น ปูนขาว (CaO) โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) โซดาไฟ (NaOH) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เป็นต้น หรืออาจจะลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบลง

3) กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid: VFA) กรดอินทรีย์ระเหยเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูกแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารและแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยจะมีส่วนสำคัญต่อค่าพีเอชของระบบ คือ เมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงขึ้นพีเอชจะต่ำลง ระดับของกรดอะซิติกที่มีค่าเกิน 800 มก./ล. หรืออัตราส่วนของกรดโพรไพโอนิกต่อกรดอะซิติกเกิน 1.4 จะทำให้ระบบเกิดการล้มเหลวได้ อัตราของการเปลี่ยนกรดโพรไพโอนิกไปเป็นกรดอะซิติกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมดุลของระบบ โดยที่ถ้ามีกรดโพรไพโอนิกเหลืออยู่ในถังเป็นปริมาณมากอัตราการเกิดก๊าซก็จะลดลงทำให้ระบบล้มเหลวได้

4) ความเป็นด่าง (alkalinity) ความเป็นด่างในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนตที่เกิดมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ความเป็นด่างนี้จะเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีให้แก่ระบบที่จะควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ เมื่อความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยภายในระบบเพิ่มสูงขึ้นความเป็นด่างไบคาร์บอเนตก็จะถูกทำลายไป การทำลายความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์นี้เป็นสาเหตุทำให้พีเอชลดลง

5) สารอาหาร (nutrient) 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) ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนอย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 150 : 1.1 : 0.2 โดยใช้คาร์บอนในการสังเคราะห์พลังงาน ไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ดังนั้นในการควบคุมสภาวะให้เหมาะสมจึงต้องใส่สารอาหารให้เพียงพอแก่ความต้องการเพราะของเสียที่เข้าสู่ระบบนั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

6) สารพิษ (Toxic substance) สารบางอย่างถ้ามีความเข้มข้นสูงเกินไปจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพิษ ตัวอย่างสารพิษได้แก่

● **ไอออนประจุบวกของโลหะเบา (light metal cation)** ไอออนประจุบวกของโลหะเบา ได้แก่ โซเดียม (Na^{+}) โพแทสเซียม (K^{+}) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ซึ่งเกิดขึ้นมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชในระบบจะมีผลเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ซึ่งความเป็นพิษของมันเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปริมาณของไอออนประจุบวกของโลหะเบาด้วยว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าใดแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีผลกระตุ้นและยับยั้ง (McCarty, 1964 อ้างถึงใน อาริยา วิรัชวรกุล, 2546)

ไอออนประจุบวก	ความเข้มข้น (มก./ล.)		
	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

ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาแต่ละชนิดรุนแรงไม่เท่ากัน ไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีวาเลนซีเท่ากับ 1 จะมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์น้อยกว่าไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีวาเลนซีเท่ากับ 2 ซึ่งพิษของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะมากกว่าพิษของ Na^{+} และ K^{+} ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีวาเลนซีสูงขึ้น ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบานั้นสามารถลดลงได้ถ้ามีไอออนประจุบวกของโลหะเบาอีกชนิดหนึ่งอยู่ด้วย โดยจะทำให้ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาชนิดแรกลดลง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า antagonism แต่ในทางตรงกันข้ามไอออนประจุบวกของโลหะเบาบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาอีกชนิดหนึ่งเมื่อมีอยู่ร่วมกัน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า synergism

● **ก๊าซบางชนิด**

- แอมโมเนีย (ammonia) เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยไนโตรเจนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เช่น โปรตีนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยทั้งสองตัวนี้จะเปลี่ยนไปมาได้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 จะมี NH_4^+ มากกว่า แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 จะมี NH_3 มากกว่าซึ่งจะยับยั้งการทำงานและมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์มากกว่า NH_4^+ แอมโมเนียเมื่ออยู่ในรูปของ NH_3 จะเป็นพิษก็ต่อเมื่อมีความเข้มข้นประมาณ 100 มก./ล. แต่ในรูปของNH_4^+ จะเป็นพิษเมื่อมีความเข้มข้นสูงเท่ากับ 7,000 - 9,000 มก./ล.

- ซัลไฟด์ (sulfide) เกิดขึ้นในระบบไร้ออกซิเจนจากซัลเฟต (sulfate) ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ หรือเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์ เช่น โปรตีน ซึ่งซัลไฟด์ที่ละลายน้ำเท่านั้น และที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 200 มก./ล. จึงจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ โลหะหนักทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์สร้างผลึกที่ไม่ละลายน้ำขึ้นดังนั้นการเติมโลหะบางชนิด เช่น เหล็กสามารถลดความเป็นพิษของซัลไฟด์ละลายได้ ซัลไฟด์จะถูกแยกออกมาอยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนั้นความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายขึ้นอยู่กับพีเอชของของเหลวและส่วนประกอบของก๊าซ

- โลหะหนัก (heavy metal) ได้แก่ เหล็ก ดีบุก ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แคดเมียม โคบอลท์ โครเมียม นิกเกิล เป็นต้น ซึ่งอิออนของโลหะหนักเหล่านี้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับว่าเกลือของโลหะหนักนั้นจะละลายน้ำได้มากน้อยเพียงใด และพิษของโลหะหนักจะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีอยู่ในของเสียนั้น เพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์จะรวมตัวกับโลหะหนักเกิดเป็นเกลือซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลายน้ำและตกตะกอน ถ้าของเสียมีปริมาณซัลไฟด์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ก็จะต้องเติมเกลือซัลไฟด์หรือเกลือซัลเฟตลงไป เกลือทั้งสองชนิดจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ทำให้สามารถลดพิษของโลหะหนักลงได้

2. ปัจจัยทางด้านการทำงาน (operational factor)

1) อัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่ใช้ในการกำหนดความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน การปรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้มีค่าแตกต่างกันทำได้โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของของเสียที่เข้าระบบ หรือเปลี่ยนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ซึ่งการเปลี่ยนอัตราการป้อนสารอินทรีย์จะมีผลต่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ด้วย

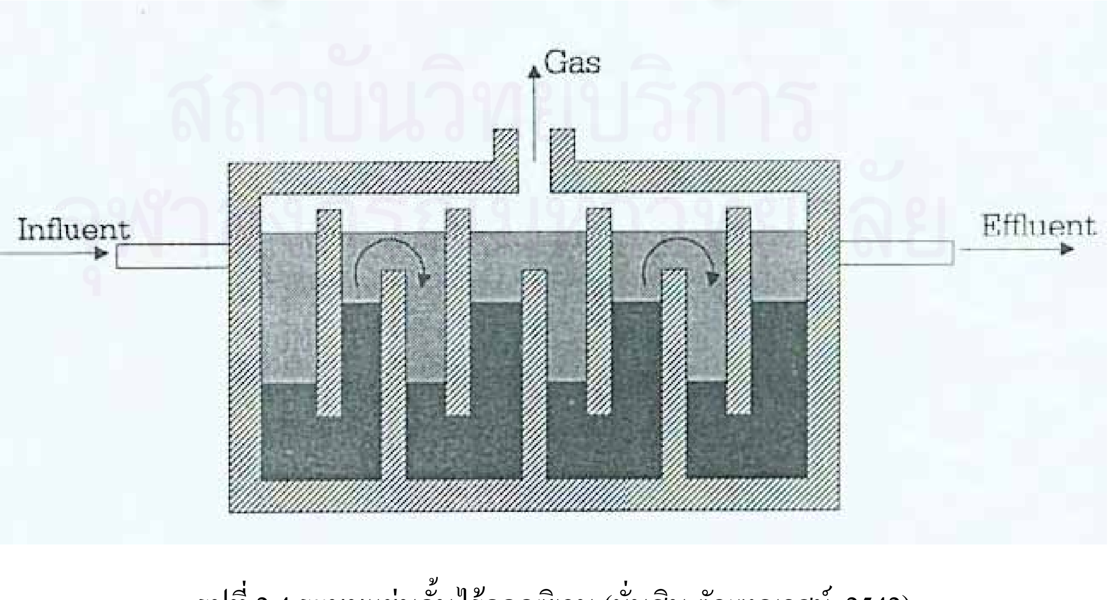
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) เวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อัตราเร็วของการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลากักพักสารอินทรีย์จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นก็จะลดลงจนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบ (wash out) ในอัตราที่เร็วกว่าจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลวได้ สามารถแก้ไขการที่จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบได้โดยการเพิ่มเวลากักพักชลศาสตร์ให้นานขึ้น นอกจากนี้เวลากักพักชลศาสตร์จะเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบอีกด้วย

3) การกวน (mixing) เป็นสิ่งสำคัญในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีหลักการคือทำให้สารอินทรีย์อยู่ในสภาพแขวนลอยเพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการเกิดการสะสมของสารอินทรีย์ตามจุดต่างๆ ของถังปฏิกรณ์ และทำให้ของเหลวภายในถังหมักมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน

2.3 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor: ABR)

ลักษณะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนประกอบด้วยชุดแผ่นกั้นในแนวตั้งเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลลงและไหลขึ้นผ่านแผ่นกั้นดังกล่าวเพื่อให้น้ำเสียสัมผัสกับตะกอนจุลชีพได้มากขึ้น (Grover, Marwaha และ Kennedy, 1999) แบคทีเรียภายในถังปฏิกรณ์จะเคลื่อนที่ขึ้นอย่างช้าๆ และตกตะกอนลงตามลักษณะของการไหลและการเกิดก๊าซ แต่จะเคลื่อนที่ไหลลงด้วยอัตราเร็วที่ต่ำ (Barber และ Stuckey, 1999)



รูปที่ 2.4 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.3.1 การศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนได้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย McCarty และคณะ ที่มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด (McCarty, 1981 อ้างถึงใน Wang, Huang และ Zhao, 2004) จากนั้นจึงมีการศึกษาและพัฒนาระบบมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการออกแบบคิดค้นระบบ ABR ในระยะแรกนั้นแรงผลักดันหลักเกิดจากความต้องการเพิ่มความสามารถในการกักพักของแข็งไว้ในระบบ แต่ต่อมาได้มีการประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่บำบัดได้ยากซึ่งประกอบด้วยของแข็งในปริมาณที่สูง หรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างระบบ (Barber และ Stuckey, 1999)

Fannin และคณะ (1981 อ้างถึงใน Barber และ Stuckey, 1999) ได้ทดลองเพิ่มแผ่นกั้นแนวดิ่งในระบบไหลตามยาวสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสาหร่ายทะเลเข้มข้น (high solids sea kelp slurry) เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบในการรักษาปริมาณของแบคทีเรียผลิตมีเทน โดยให้อัตราภาระคงที่ 1.6 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าเมื่อจำนวนแผ่นกั้นเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30 จนมีค่ามากกว่าร้อยละ 55 การศึกษาในระยะต่อมา Bachmann และคณะ (1983 อ้างถึงใน Barber และ Stuckey, 1999) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบแผ่นกั้น 2 แบบ คือ ระบบที่มีส่วนที่น้ำไหลลงขนาดปกติและเมื่อปรับขนาดให้แคบลงพบว่าอัตราการผลิตมีเทนและประสิทธิภาพของระบบจะดีขึ้นแต่สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพลดลง

ต่อมามีการพัฒนาการออกแบบผสมผสานหลายอย่างเข้าด้วยกันเป็นครั้งแรกโดย Tilche และ Yang (1987 อ้างถึงใน Barber และ Stuckey, 1999) โดยแรงจูงใจหลักในการเปลี่ยนแปลงมาจากความต้องการเพิ่มระยะกักพักของแข็งในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง โดยระบบที่ใช้จะมีขนาดห้องใหญ่กว่าที่เคยใช้มา และมีห้องรวมตะกอนของแข็งเพิ่มขึ้นมาหลังจากห้องสุดท้ายของระบบเพื่อคอยเก็บของแข็งที่หลุดออกไปจากระบบแผ่นกั้นเพื่อทำการหมุนเวียนกลับมาในห้องที่ 1 อีกครั้ง มีการเติมตัวกลาง Pall rings ที่ตำแหน่งผิวน้ำในห้องที่ 1 และ 2 ส่วนในห้องที่ 3 เติมตัวกลางที่มีลักษณะเป็นท่อนลูกฟูกใส่เป็นชั้นหนากว่าใน 2 ห้องแรก โดยตัวกลางจะช่วยรักษาตะกอนชีวภาพในห้องที่ 1 ไม่ให้ลอยขึ้นไปเนื่องจากการผลิตก๊าซที่มากจะลดความหนาแน่นของตะกอนจุลชีพ

Chynoweth และคณะ (1980 อ้างถึงใน Barber และ Stuckey, 1999) พบว่าการรีไซเคิลน้ำออกกลับเข้าสู่ระบบในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำออกจะเพิ่มมีเทนได้มากกว่าร้อยละ 30 Nachaiyasit (1995 อ้างถึงใน Barber และ Stuckey, 1999) พบว่า dead space จะเพิ่มมากขึ้นเป็น 2 เท่าโดยมีค่าประมาณร้อยละ 40 เมื่อสัดส่วนการหมุนเวียนตะกอนเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 2 Barber และ

Stuckey (1999) กล่าวว่าการปั่นกวนที่เกิดขึ้นในระบบที่มีการรีไซเคิลน้ำเข้าสู่ระบบจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกส่วนที่สร้างกรดและส่วนที่สร้างมีเทนออกจากกันลดลงบางส่วน และระบบที่มีจำนวนห้องมากกว่าจะสามารถต้านทานต่อปริมาณน้ำและสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบมากเกินไปได้

2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

ระบบ ABR เป็นระบบทางชีวภาพอัตราสูงที่มีข้อได้เปรียบมากมายเหนือระบบอื่นๆ ได้แก่ มีความต้านทานต่อปริมาณน้ำเสียและสารอินทรีย์ที่เข้าระบบมากเกินไปได้ (Barber และ Stuckey, 1999) นอกจากนี้การไหลขึ้นลงของของเหลวในระบบช่วยลดการหลุดออกนอกระบบของแบคทีเรียโดยไม่ต้องใช้ตัวกลางชนิดอยู่กับที่ใดๆ (Bachmann, Beard และ McCarty, 1985 อ้างถึงใน Grover, Marwaha และ Kennedy, 1999)

Weiland และ Rozzi กล่าวว่าข้อได้เปรียบที่ชัดเจนที่สุดของระบบ ABR คือ สามารถแยกขั้นตอนการสร้างกรดและการสร้างมีเทนออกจากกันได้ตามความยาวของถัง จึงมีคุณสมบัติคล้ายกับระบบสองเฟสที่ปราศจากปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมระบบและปัญหาค่าใช้จ่ายที่สูง (Weiland และ Rozzi, 1991 อ้างถึงใน Barber และ Stuckey, 1999) Cohen และคณะ (1982 อ้างถึงใน Barber และ Stuckey, 1999) พบว่าการเดินระบบแบบสองเฟสสามารถเพิ่มกิจกรรมการสร้างกรดและมีเทนโดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของแบคทีเรียสร้างกรดในห้องที่หนึ่ง และกลุ่มของแบคทีเรียที่แตกต่างกันจะสามารถพัฒนาได้ภายใต้สภาวะที่กลุ่มแบคทีเรียนั้นชอบอาศัยอยู่ (Barber และ Stuckey, 1999)

รูปร่างของระบบ ABR มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีความแปรปรวนของทั้งอัตราการไหลและความเข้มข้น โดยที่ยังคงมีอัตราการกำจัดที่สูง (Nachaiyasit, 1995 อ้างถึงใน Grover, Marwaha และ Kennedy, 1999) ระบบ ABR อาจจะเป็นวิถีทางที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำที่ประกอบด้วยอนุภาคแขวนลอยได้ (Eastman และ Ferguson, 1981 อ้างถึงใน Langenhoff, Intrachandra และ Stuckey, 2000) เมื่อบำบัดน้ำเสียที่มีคอลลอยด์ ส่วนประกอบของระบบจะช่วยเพิ่มการไฮโดรไลซิสของอนุภาคในส่วนหน้าของถังปฏิกรณ์เนื่องจากมีพีเอชต่ำ เกิดการแยกของระยะการสร้างมีเทน และมีเวลากักพักตะกอนสูง (Langenhoff, Intrachandra และ Stuckey, 2000)

ข้อดีของระบบ ABR ที่เหนือกว่าระบบอื่นๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Barber และ Stuckey, 1999)

การก่อสร้าง
1. ออกแบบง่าย
2. ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในระบบ
3. ไม่ใช้เครื่องจักรในการกวนผสม
4. การก่อสร้างไม่แพง
5. มีปริมาตรช่องว่างภายในถังสูง
6. ลดการอุดตัน
7. ลดการขยายตัวของชั้นตะกอน
8. การลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ
ตะกอนจุลินทรีย์
1. สามารถนำไปใช้ได้กับกรณีที่ตะกอนจุลชีพที่ตกตะกอนยาก
2. อัตราการเกิดตะกอนต่ำ
3. มีระยะเวลาการกักพักของแข็งในระบบสูง
4. เกิดการกักพักชีวมวลโดยไม่ต้องการตัวกลางหรือห้องตกตะกอนของแข็ง
5. ไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยแบ่งก๊าซหรือตะกอนเพิ่มเติม
การเดินระบบ
1. มี HRT ต่ำ
2. สามารถเดินระบบแบบไม่ต่อเนื่องได้
3. ระบบยังมีความคงตัวได้ดี แม้จะมีการรับภาระทางชลศาสตร์ที่มากขึ้นอย่างกระทันหัน
4. ป้องกันสารพิษที่เข้ามาในระบบได้
5. สามารถควบคุมระบบได้ในระยะเวลายาวโดยไม่เกิดการสูญเสียตะกอน
6. ระบบมีความสามารถในการคงตัวสูงแม้มีภาระสารอินทรีย์สูงขึ้นอย่างกระทันหัน

ข้อเสียของการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการก่อสร้างขนาดจริง ได้แก่ จำเป็นต้องสร้างถังให้ตื้นเพื่อรักษาความเร็วไหลขึ้นของของเหลวและก๊าซให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ รวมทั้งปัญหาในการรักษาการกระจายของน้ำเข้าระบบให้มีความสม่ำเสมอ (Barber และ Stuckey, 1999)

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดและการจัดการน้ำเสียและของเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และการบำบัดน้ำเสียจำพวกน้ำมัน

Bodik และคณะ (2009) ศึกษาการนำกลีเซอรอลซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการกำจัดไนเตรทโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ที่น้ำเสียมีสัดส่วนของค่า BOD_5/N ต่ำเพียง 1.7:1 จากผลการทดลองพบว่าการเติมกลีเซอรอลในถังปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้มากกว่าการไม่เติมกลีเซอรอลถึง 2.0-5.0 มก.ไนเทรต-ไนโตรเจน/ล. ต่อปริมาณกลีเซอรอล 100 ล.

Phalakornkule และคณะ (2009) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนขนาดเล็กกรณีศึกษาในจังหวัดชุมพร ทางตอนใต้ของประเทศไทย โดยพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันสัตว์ซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานของไบโอดีเซลไทยที่กำหนดไว้นั้นสามารถนำไปใช้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตรได้โดยตรงโดยปราศจากปัญหาในการเดินเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน และช่วยลดการนำเข้าแหล่งพลังงานจากต่างประเทศได้ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลดังกล่าว มีค่าซีโอดีและน้ำมันและไขมันในปริมาณที่สูงเท่ากับ 138,000 และ 79,600 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งส่งผลยับยั้งกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ การเติมอลูมินัมซัลเฟตปริมาณ 3 กก./ลบ.ม.น้ำเสีย จะช่วยกำจัดน้ำมันและไขมันรวมถึงซีโอดีได้ดี โดยมีปริมาณซีโอดีและน้ำมันและไขมันคงเหลือเท่ากับ 54,300 และ 1,000 มก./ล. ตามลำดับ แต่น้ำเสียหลังการบำบัดทางเคมีจะมีพีเอชและสภาพด่างทั้งหมดที่ต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับพีเอช และเติมด่างเพื่อเพิ่มกำลังบัฟเฟอร์ รวมทั้งเติมแหล่งไนโตรเจนให้กับระบบ เมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วมาทำการบำบัดด้วยถังหมักแบบไร้ออกซิเจน พบว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 90 ในเวลา 30 วัน โดยมีค่าซีโอดีลดลงจาก 54,300 มก./ล. เหลือเพียง 5,650 มก./ล. ส่วนปริมาณน้ำมันและไขมันมีค่าลดลง เหลือต่ำกว่า 1,000 มก./ล. ซึ่งในอนาคตอันใกล้นี้จะมีการศึกษาและพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลชุมชนของโครงการต่อไป

ปัณภัทร เจริญสาคร (2549) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ ศึกษาการบำบัดทางเคมีโดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสีย ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ และสารโคแอกกูแลนท์เอด จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ การปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ร่วมกับการใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล. หรือ การปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ร่วมกับการใช้โพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลิเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. โดยสามารถกำจัดน้ำมันและไขมัน ซีโอดี บีโอดี กลีเซอรอล และเมทานอล เท่ากับร้อยละ 98 38-41 29-41 16-23 และ 25-33 ตามลำดับ ผลการศึกษาการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนทางเคมี พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน คือ ที่ซีโอดีเริ่มต้น 3,000 มก./ล. โดยใช้เวลาในการบำบัดซีโอดีให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเท่ากับ 4 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ซีโอดีกรอง และเมทานอล มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 93 96 และ 99 ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน คือ ที่ค่าซีโอดีเริ่มต้นน้อยกว่า 5,200 มก./ล. โดยใช้เวลาในการบำบัดซีโอดีให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเท่ากับ 13 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ซีโอดีกรอง และเมทานอลสูงถึงร้อยละ 98 99 และ 98 ตามลำดับ

Ito และคณะ (2005) ศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและเอทานอลจากน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ประกอบด้วยกลีเซอรอลโดยกระบวนการหมักด้วยเชื้อ *Enterobacter aerogenes* HU-101 โดยเจือจางน้ำเสียด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อสังเคราะห์และเติมสารสกัดยีสต์ร่วมกับทริพโตนเพื่อเร่งการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและเอทานอล เมื่อใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ในการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนและเอทานอลที่ผลิตได้จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียไบโอดีเซลและกลีเซอรอลบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำน้ำเสียไบโอดีเซลที่ประกอบด้วยกลีเซอรอลมาทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นเท่ากัน พบว่าอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจน และเอทานอลของน้ำเสียไบโอดีเซลที่ประกอบด้วยกลีเซอรอลจะมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ ซึ่งสาเหตุบางส่วนอาจเกิดจากน้ำเสียไบโอดีเซลมีส่วนประกอบของเกลือในปริมาณที่สูง การทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกลางพบว่าอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสูงสุดจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์มีค่า 80 มิลลิโมล/ล.-ชั่วโมง และเกิดเอทานอล 0.8 โมล/โมลกลีเซอรอล ขณะที่น้ำเสียไบโอดีเซลจะมีอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจน 30 มิลลิโมล/ล.-ชั่วโมง แต่เมื่อนำวัสดุที่ทำจากเซรามิคที่มีรูพรุนมาใช้เป็นตัวกลางช่วยในการยึดเกาะของจุลชีพ พบว่าอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสูงสุดมีค่าสูงถึง 63 มิลลิโมล/ล.-ชั่วโมง และเกิดเอทานอล 0.85 โมล/โมลกลีเซอรอล

Suehara และคณะ (2005) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลที่ใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ยีสต์ *Rhodotorula mucilaginosa* ในการย่อยสลายน้ำมัน โดยควบคุมพีเอชเริ่มต้นที่ 6.8 และเติมสารอาหาร ได้แก่ แหล่งไนโตรเจน yeast extract KH_2PO_4 และ $MgSO_4.7H_2O$ ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำเสีย พบว่าน้ำเสียดิบจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลมีค่าพีเอชและปริมาณน้ำมันที่สามารถถูกสกัดได้ด้วยเฮกเซนสูงและพบไนโตรเจนในปริมาณที่ต่ำ แหล่งของไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์คือยูเรีย โดยมีค่า C/N ratio ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 17 – 68 ความเข้มข้นของ yeast extract ที่เหมาะสมคือ 1 ก./ล. นอกจากนี้ยังพบว่าหากมีปริมาณของแข็งในชั้นน้ำที่ได้จากการสกัดแยกน้ำมันออกด้วยเฮกเซนเกิน 2.14 ก./ล. จะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งเมื่อนำน้ำเสียดิบมาทำการเจือจางด้วยน้ำในปริมาตรเท่ากันก่อนการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมข้างต้น พบว่าจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันสูงมากกว่าร้อยละ 98

Jou และ Huang (2003) ทำการศึกษาโครงการนำร่องในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมันโดยใช้ระบบบำบัดแบบฟิล์มชีวภาพ โดยในการเริ่มต้นเดินระบบใช้ความเข้มข้นหัวเชื้อ 8,000 มก./ล. และใช้เวลากักเก็บ 8 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับร้อยละ 85 - 90 และในอนาคตจะทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบนี้กับระบบตะกอนเร่ง ต่อไป

Saatci และคณะ (2001) ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำมันจากโรงงานน้ำมันพืชโดยใช้กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีโดยใช้ปูนขาว สารส้ม และเฟอร์ริคคลอไรด์ในการตกตะกอน รวมทั้งการใช้กระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อใช้ปูนขาวทำการตกตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันพืชจะสามารถกำจัดซีโอดี และน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 63.19 - 80.66 และ 76.95 - 83.38 ตามลำดับ สารส้มสามารถกำจัดซีโอดี และน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 88.14 - 92.99 และ 69.89 - 92.11 ตามลำดับ เฟอร์ริคคลอไรด์สามารถกำจัดซีโอดี และน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 94.66 - 96.25 และ 93.81 - 86.16 ตามลำดับ และการใช้กระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลายสามารถกำจัดซีโอดี และน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 17.65 - 69.12 และ 93.8 - 86.16 ตามลำดับ

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

She และคณะ (2006) ศึกษาการเกิดเม็ดของตะกอนจุลินทรีย์ (กรานูล) ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ และสัดส่วนของ $NaHCO_3$/COD ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีจำนวนห้อง 4 ห้องขนาด 90 ลิตรและใช้น้ำเสียซูโครสสังเคราะห์ในการทดลอง เมื่อทดลองเติมคาร์บอนแบบเม็ด (GAC) เปรียบเทียบกับดินเบนโทไนท์ (bentonite) ซึ่งเติมร่วมกับโพลิเมอร์ชนิด polyacrylamide เพื่อเร่งการเกิดกรานูล พบว่ากรานูลจะเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ภายใน 75 วันและ GAC มีผลให้ประสิทธิภาพการเกิดกรานูลสูงสุด โดยทำให้เกิดกรานูลในเวลาอันรวดเร็วและมีขนาดใหญ่กว่า เมื่อทำการทดลองแปรผันค่าอัตราภาระสารอินทรีย์จาก 2.15 ถึง 6.29 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยให้เวลากักพักชลศาสตร์คงที่ 20 ชั่วโมงพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไม่ลดลงแม้อัตราภาระสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นโดยพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 91 – 93 เมื่อทดลองแปรผันสัดส่วนของ $NaHCO_3$/COD จาก 0.5 ถึง 0.05 พบว่าการลดลงของสัดส่วน $NaHCO_3$/COD ไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากนัก โดยมีค่าอยู่ช่วงร้อยละ 87 – 92 เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของแบคทีเรียและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยพบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีความสามารถในการแยกเฟสและชนิดของแบคทีเรียออกจากกันได้เป็นอย่างดี

Wang, Huang และ Zhao (2004) ศึกษาประสิทธิภาพและคุณลักษณะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนจำนวน 5 ห้องในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าในสภาวะที่มีกรดไขมันระเหยชนิดต่างกัน อะซิเตทจะเป็นสารตัวกลางหลักในขั้นตอนการสร้างกรดของการย่อยสลายกลูโคส ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยจะลดลงตามความยาวของถังปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบพบว่าความเข้มข้นของมีเทนจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างคงที่จากห้องที่ 1 ไปยังห้องที่ 5 ขณะที่ปริมาณไฮโดรเจนจะลดลงเรื่อยๆ จากห้องที่ 1 และไม่พบไฮโดรเจนใน 2 ห้องสุดท้าย ความว่องไวในการผลิตมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ในห้องต่างๆ ขึ้นอยู่กับสารอาหาร โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนที่อาศัยอยู่ในแต่ละห้องจะต้องปรับตัวให้เหมาะสมกับความสามารถในการนำสารอาหารไปใช้และสภาวะแวดล้อมที่จำเพาะเจาะจง นอกจากนี้ยังพบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีศักยภาพในการรับอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงกว่าภายใต้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า และสามารถนำไปใช้ในกรณีที่มีสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมและมีสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้

Dama และคณะ (2003) ศึกษารูปแบบการไหลภายในระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเพื่อพิจารณาลักษณะและองค์ประกอบของแผ่นกั้น (baffle) ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียและทดสอบการตกตะกอนของของแข็งในระบบ โดยในการทดลองจะใช้ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนขนาด 10 ลิตร จำนวน 8 ห้องทดลอง ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ computational fluid dynamics (CFD) ในการติดตามรูปแบบการไหลของสีในน้ำ จากการทดลองพบว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวของส่วนที่น้ำไหลขึ้น (up-flow region) จะทำให้เกิดการกักพักตะกอนได้ดีขึ้นแต่หากมากเกินไปจะก่อให้เกิด deadspace ได้ โดยการติดตั้งแผ่นกั้นในตำแหน่งด้านข้างของห้องโดยให้สัดส่วนความกว้างของส่วนที่น้ำไหลลง (down-flow region) ต่อส่วนที่น้ำไหลขึ้นเท่ากับ 1 : 3 จะทำให้เกิดการกักพักตะกอนได้ดีโดยไม่เพิ่ม deadspace มากนัก ซึ่งได้ผลดีกว่าการติดตั้งแผ่นกั้นไว้ตำแหน่งตรงกลางของห้อง นอกจากนี้ยังพบว่าความกว้างของห้อง (window width) ที่มากจะทำให้ลดการหมุนวนของน้ำได้ดี และแผ่นกั้นที่มีส่วนปลายตรงจะทำให้เกิด deadspace ขึ้นบริเวณส่วนที่น้ำไหลขึ้นและบริเวณทิศทางที่มีการไหล ส่วนแผ่นกั้นที่มีส่วนปลายทำมุม 45 องศากับพื้นราบจะช่วยลด deadspace ดังกล่าวได้ และพบว่าการตกตะกอนของของแข็งในห้องที่ 1 จะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าในห้องที่ 3

Faisal และ Unno (2001) วิเคราะห์จลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพ (Modified Anaerobic Baffled Reactor: MABR) โดยปรับปรุงถังปฏิกรณ์ต้นแบบของ Bachmann และคณะ ซึ่งทำการทดลองในปีคศ. 1985 โดยเพิ่มความสูงของถังปฏิกรณ์ และปรับเปลี่ยนปริมาตรของห้องในส่วนท้ายของถังปฏิกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคขนาดเล็ก ติดตั้งแผ่นกั้นที่มีส่วนปลายทำมุม 45 องศากับพื้นราบ และให้สัดส่วนความกว้างของส่วนที่น้ำไหลขึ้นต่อส่วนที่น้ำไหลลงเท่ากับ 4 : 1 เพื่อลดความเร็วของน้ำในส่วนที่น้ำไหลขึ้นและบังคับทิศทางให้น้ำเสียไหลอยู่ในบริเวณส่วนกลางของห้อง พบว่าระบบ MABR สามารถผลิตมีเทนได้อยู่ในช่วง 0.32 – 0.42 ล. มีเทน/ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 67.3 - 71.2 เมื่อใช้เวลากักพักชลศาสตร์ 3 – 10 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและไขมันรวมทั้งน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 87.4 – 95.3 และ 44.1 – 91.3 ตามลำดับที่เวลากักพักชลศาสตร์ 3 วันจะเกิดกรดไขมันระเหยรวม 1,450 มก./ล. โดยพบว่าค่าจะลดลงเหลือ 608 มก./ล. เมื่อเพิ่มเวลากักพักชลศาสตร์เป็น 10 วัน สมการจลศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในการบำบัดน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบ MABR โดยพบว่าสมการสามารถอธิบายถึงการผลิตมีเทนในการทดลองและพฤติกรรม (behavior) ของถังปฏิกรณ์ได้ดี

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

Langenhoff และ Stuckey (2000) ศึกษาการเริ่มต้นระบบและประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นสารละลายเจือจางของสารที่โครงสร้างซับซ้อน หรือน้ำเสียที่เป็นคอลลอยด์ (นม หรือคอลลอยด์ของข้าวรวมกับอาหารสุนัข 500 มก.ซีโอดี/ล.) โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ล. ที่มีจำนวนห้อง 8 ห้องในการทดลอง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลากักพักชลศาสตร์ 80 ชั่วโมงลดลงต่อเนื่องจนกระทั่งถึง 6 ชั่วโมง พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้สูงกว่าร้อยละ 80 ในถังปฏิกรณ์หนึ่งของระบบ ABR ที่เดินระบบเป็นเวลา 2 วันที่เวลากักพักชลศาสตร์เพียง 1.3 วัน ภายใต้อัตราการไหลที่สูงพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 40 พบการเกิดจุลชีพที่ละลายน้ำได้ (SMP) ในปริมาณสูงกว่าในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารที่เป็นคอลลอยด์ ซึ่งอาจเกิดจากความสามารถในการละลายและองค์ประกอบที่แตกต่างกันทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่ำกว่าในกรณีของน้ำเสียที่เป็นนมเล็กน้อย องค์ประกอบของมวลชีวภาพไม่ส่งผลต่อการผลิต SMP แต่เมื่อเวลากักพักชลศาสตร์มีค่าลดลงจะทำให้การผลิต SMP เพิ่มขึ้น มีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพของสารเพื่อประเมินกิจกรรมของมวลชีวภาพที่มีต่อชนิดของน้ำเสียที่แตกต่างกันและความสามารถในการย่อยสลาย พบว่ากิจกรรมในช่วงเริ่มต้นของจุลชีพทั้งในน้ำเสียที่เป็นสารละลายเจือจางของสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนและน้ำเสียที่เป็นคอลลอยด์ต่างอยู่ในระดับที่สูงเช่นเดียวกัน และการไฮโดรไลซิสของของแข็งไม่ได้เป็นการจำกัดอัตราการย่อยสลายแต่อย่างใด การศึกษาเวลากักพักโดยพิจารณาผลของคุณลักษณะของระบบ เช่น เวลากักพักชลศาสตร์ องค์ประกอบของแข็ง และตำแหน่งการป้อนน้ำเสียที่มีต่อคุณลักษณะการไหลของของเหลว และการเกิด dead space ในแต่ละถังของระบบ ABR พบว่าในการปั่นป่วน หรือการเกิด dead space ในสภาวะการทดสอบที่ต่างกันจะมีความแตกต่างเล็กน้อย โดย dead space ที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 20 – 37 และรูปแบบการไหลในระบบแสดงให้เห็นถึงการมีพฤติกรรมอยู่ระหว่างระบบไหลตามยาวและการผสมในอุดมคติ

Grover, Marwaha และ Kennedy (1999) ศึกษาการใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนและผลของค่าพีเอช อุณหภูมิ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ และอัตราภาระสารอินทรีย์ที่มีต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบต่อเนื่องของน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ พบว่าการกำจัดซีโอดีเกิดขึ้นได้สูงสุดประมาณร้อยละ 60 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลากักพักชลศาสตร์ 2 วัน พีเอชเท่ากับ 8 และอุณหภูมิเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่าเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มากกว่า 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเกิดความเป็นพิษและทำให้ระบบไม่คงตัว

โดยสรุปแล้วในการทดลองนี้ได้อ้างอิงงานวิจัยใน 2 ส่วน ได้แก่ การออกแบบถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี ดังนี้

1. การออกแบบถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีการออกแบบถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจน โดยอ้างอิงงานวิจัยของ Dama และคณะ (2003) โดยติดตั้งแผ่นกั้นให้มีสัดส่วนความกว้างของส่วนที่น้ำไหลลงและไหลขึ้นมีค่าเท่ากับ 1 : 3 รวมทั้งบริเวณส่วนปลายของแผ่นกั้นระหว่างส่วนที่น้ำไหลลงและไหลขึ้นออกแบบให้ทำมุม 45 องศากับแนวราบ ซึ่งมีข้อดีคือช่วยบังคับทิศทางหลักของการไหลของน้ำส่วนที่ไหลขึ้นให้อยู่ในแนวตรงกลาง ทำให้ช่วยเพิ่มการผสมผสานและสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ในส่วนล่างของห้อง และลดการเกิด deadspace ในบริเวณส่วนที่น้ำไหลขึ้นและบริเวณทิศทางที่มีการไหลของน้ำได้

2. การบำบัดน้ำเสียขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี ได้อ้างอิงสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยวิธีทางเคมีจากงานวิจัยของปัณภัทร เจริญสาคร (2549) โดยทำการปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ร่วมกับการใช้โพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลิเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. ในส่วนของสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน ในการวิจัยนี้ได้เริ่มทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 5,000 มก./ล.ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของซีโอดีที่ใกล้เคียงกับค่าแนะนำในการวิจัยดังกล่าว ทั้งนี้ได้เลือกใช้เวลากักพักชลศาสตร์เท่ากับ 10 วัน เนื่องจากการเลือกใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนและเดินระบบแบบต่อเนื่อง คาดว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลได้สูงกว่าในกรณีเดินระบบแบบแบตช์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และผลของอัตราภาระซีโอดีที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน โดยกำหนดให้เวลากักพักชลศาสตร์คงที่ 10 วัน แปรผันอัตราภาระซีโอดี 6 ค่า ได้แก่ 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีจำนวนห้อง 5 ห้อง ขนาดปริมาตรน้ำในระบบ 22 ลิตร จำนวน 3 ถัง ทำการทดลองโดยเดินระบบแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง

เนื่องจากการทดลองได้มีการแปรผันอัตราภาระซีโอดีทั้งหมด 6 ค่า ดังนั้นจึงทำการเดินระบบทั้งหมด 2 รอบ โดยเดินระบบรอบละ 3 ชุดการทดลอง การทดลองรอบที่ 1 ได้ทำการเดินระบบพร้อมกันทั้ง 3 ถัง เพื่อแปรผันค่าอัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 และ 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จากนั้นจึงเดินระบบในรอบที่ 2 เพื่อแปรผันค่าอัตราภาระซีโอดี 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ โดยรายละเอียดการทดลองเดินระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยนำน้ำเสียมาผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี โดยการปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ร่วมกับการใช้โพลิอลูมิเนียมคลอไรด์และโพลิเมอร์ประจุบวก เพื่อกำจัดไขมันและน้ำมัน และทำการเจือจางน้ำเสียก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองและพารามิเตอร์ที่ต้องทำการวิเคราะห์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวมีดังนี้

<u>ตัวแปรอิสระที่ต้องทำการศึกษา</u> คือ

- อัตราภาระซีโอดี 6 ค่า ได้แก่ 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

<u>ตัวแปรตามที่ต้องทำการวิเคราะห์</u>

- ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่

ซีโอดี (Total Chemical Oxygen Demand: T-COD)
ซีโอดีกรอง (Soluble Chemical Oxygen Demand: S-COD)
เมทานอล
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)
น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease: FOG)
กลีเซอรอล

- พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบสภาวะการทำงานของระบบ ได้แก่

สภาพด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)
กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid: VFA)
พีเอช และอุณหภูมิ (pH and Temperature)
ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด
ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน

<u>ตัวแปรควบคุมที่ต้องกำหนดให้คงที่</u> ได้แก่

เวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน
อัตราไหลน้ำเสียเข้าระบบ 2.2 ล./วัน
พีเอชน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในช่วง 6.8-7.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

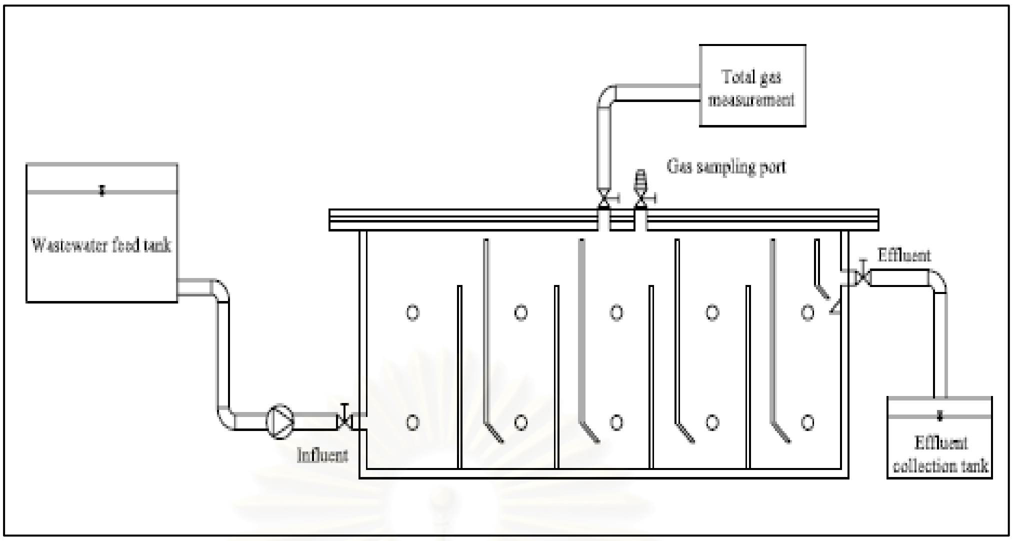
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการทดลองเดินระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

ถังปฏิกรณ์	ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบ (มก./ล.)	อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	เวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ (ล./วัน)
การทดลองรอบที่ 1				
ABR1	5,000	0.5	10	2.2
ABR2	7,000	0.7	10	2.2
ABR3	10,000	1.0	10	2.2
การทดลองรอบที่ 2				
ABR1	15,000	1.5	10	2.2
ABR2	21,000	2.1	10	2.2
ABR3	30,000	3.0	10	2.2

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ชุดระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

ลักษณะชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1 ชุดระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองที่มีลักษณะเหมือนกันทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งในแต่ละชุดประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจนขนาดปริมาตรน้ำในระบบ 22 ลิตร จำนวน 1 ถัง ชุดอุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำ 1 ชุด เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ 1 เครื่อง ถังพักน้ำเสียเข้าระบบและถังพักน้ำออกจากระบบอย่างละ 1 ใบ โดยชุดระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ลักษณะชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.2 ชุดระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1) ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

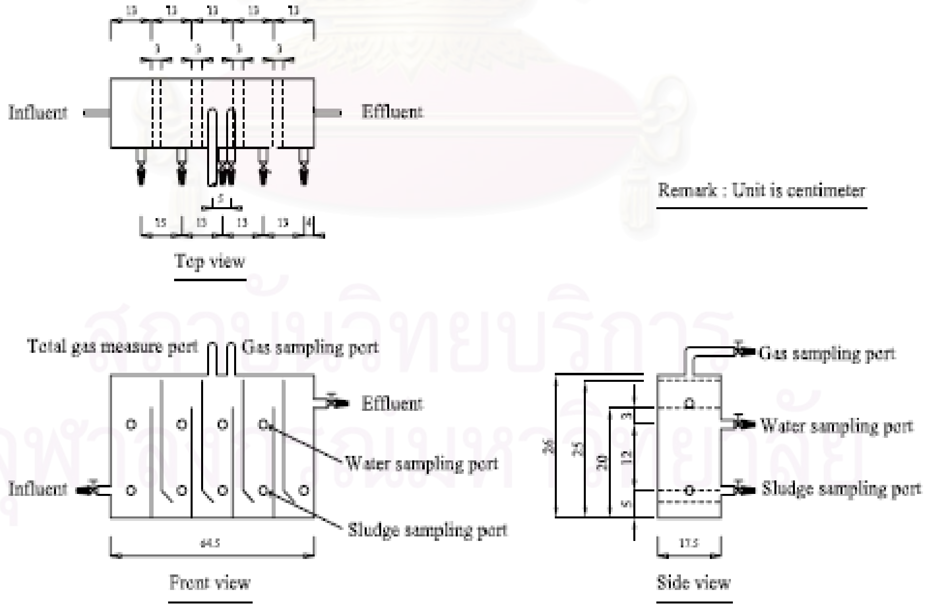
การทดลองนี้ได้มีการออกแบบและจัดทำถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำจากวัสดุอะครีลิคใสจำนวน 3 ถัง ถังปฏิกรณ์มีปริมาตรน้ำในระบบ 22 ลิตร ประกอบด้วยจำนวนห้อง 5 ห้อง ในแต่ละห้องจะมีการติดตั้งแผ่นกั้นในแนวตั้ง (Vertical baffles) ซึ่งทำให้ในแต่ละห้องถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่น้ำไหลลง (downcomer) และส่วนที่น้ำไหลขึ้น (upcomer) โดยในการออกแบบและจัดทำถังปฏิกรณ์นี้จะมีการนำเอาข้อดีต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยเกี่ยวกับระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ผ่านมา นำมาร่วมประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม ได้แก่ มีการติดตั้งแผ่นกั้นให้มีส่วนที่น้ำไหลลงและส่วนที่น้ำไหลขึ้นมีความกว้าง 3 และ 9 เซนติเมตรตามลำดับ ทำให้สัดส่วนความกว้างของส่วนที่น้ำไหลลงและไหลขึ้นมีค่าเท่ากับ 1 : 3 ซึ่งจะช่วยให้เกิดการกักพักตะกอนได้ดีโดยไม่เพิ่ม deadspace มากนักซึ่งได้ผลดีกว่าการติดตั้งแผ่นกั้นไว้ตำแหน่งตรงกลางของห้อง (Dama และคณะ, 2003) ส่วนปลายของแผ่นกั้นระหว่างส่วนที่น้ำไหลลงและไหลขึ้นจะทำมุม 45 องศากับแนวราบซึ่งมีข้อดีคือช่วยบังคับทิศทางหลักของการไหลของน้ำส่วนที่ไหลขึ้นให้อยู่ในแนวตรงกลาง ทำให้ช่วยเพิ่มการผสมผสานและสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนจุลชีพในส่วนล่างของห้อง และลดการเกิด deadspace ในบริเวณส่วนที่น้ำไหลขึ้นและบริเวณทิศทางที่มีการไหลของน้ำได้ (Dama และคณะ, 2003; Amirfakhri, Vossoughi และ Soltanieh, 2006) ส่วนบนของถังปฏิกรณ์มีช่องต่อไปยังชุดอุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำรวมทั้งช่องเก็บตัวอย่างก๊าซ มีจุดรับน้ำเสียเข้าระบบและจุดระบายน้ำเสียออกจากระบบ รวมทั้งมีการติดตั้งจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ในห้องต่างๆ อีกด้วย ซึ่งคุณลักษณะของถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.3

2) ชุดอุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำ

การทดลองนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยใช้ชุดอุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำที่ทำจากวัสดุอะคลีริคใส ซึ่งมีการติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อนับจำนวนการพลิกของอุปกรณ์ที่ทราบปริมาตรก๊าซที่ถูกแทนที่น้ำอย่างแน่นอน ซึ่งจะสามารถใช้คำนวณหาปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ โดยชุดอุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำแสดงดังรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง

คุณลักษณะของถังปฏิกรณ์	รายละเอียด
1. ปริมาตรบรรจุน้ำของถัง	22 ลิตร
2. จำนวนห้อง	5 ห้อง
3. ขนาดถัง	
- ความยาว	64.5 เซนติเมตร
- ความกว้าง	17.5 เซนติเมตร
- ความสูง	26.0 เซนติเมตร
4. ลักษณะของแผ่นกั้น	ส่วนปลายยาว 3 เซนติเมตร โดยทำมุม 45 องศากับแนวราบ



รูปที่ 3.3 ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง (ตัวเลขแสดงในหน่วยเซนติเมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำที่ใช้ในการทดลอง

3) เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

ในแต่ละชุดการทดลองจะมีเครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบชุดการทดลองละ 1 เครื่อง เพื่อใช้สูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยอัตราการไหล 2.2 ล./วัน เนื่องจากเป็นการสูบน้ำเข้าระบบในช่วงอัตราการไหลที่ต่ำจึงเลือกใช้เครื่องสูบแบบรีดสาย (Peristaltic pump)

4) ถังพักน้ำเสียเข้าระบบและถังพักน้ำออกจากระบบ

ในแต่ละชุดการทดลองจะมีถังพักน้ำเสียเข้าระบบและถังพักน้ำออกจากระบบชุดการทดลองละ 1 ใบ โดยจะใช้ถังพลาสติกขนาด 10 ลิตร และ 30 ลิตร ตามลำดับ

3.3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย ชุดทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) ในส่วนของสารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย กรดซัลฟูริคซึ่งใช้เป็นสารปรับพีเอช โพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium Chloride: PAC) และโพลิเมอร์ชนิดประจุบวก เกรดทางการค้า จากบริษัท Water Tech & Service Co., Ltd. ซึ่งใช้เป็นสารโคแอกกูแลนท์และโคแอกกูแลนท์เอด ตามลำดับ

3.3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลอง

3.4 การเตรียมน้ำเสีย

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว เกิดจากขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ออกไป น้ำเสียไบโอดีเซลจึงประกอบไปด้วยมลสารต่างๆ ทั้งที่เป็นสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาหรือที่ไม่ทำปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์พลอยได้และผลิตภัณฑ์ร่วมที่เกิดจากปฏิกิริยา รวมถึงสารปนเปื้อนต่างๆ ที่มีอยู่ในสารตั้งต้นปนเปื้อนอยู่ในปริมาณมาก

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีการเติมสารด่างเพื่อใช้ในการเร่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาและเพิ่มผลผลิตจากปฏิกิริยา ดังนั้นสารด่างที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาไม่หมดจึงถูกชะล้างออกมาในน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียไบโอดีเซลมีค่าพีเอชสูง นอกจากนี้น้ำเสียไบโอดีเซลจะมีปริมาณซีโอดีและซีโอดีกรองสูงมาก เนื่องจากมีองค์ประกอบของเมทานอล กลีเซอรอล น้ำมันและไขมัน รวมทั้งของแข็งทั้งหมดปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะเมทานอลพบว่ามีปริมาณสูงมาก เนื่องมาจากในการผลิตไบโอดีเซลจะต้องมีการเติมเมทานอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นให้เกินพอเพื่อช่วยในการเพิ่มสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาให้มากขึ้น

ในส่วนของกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดจากปฏิกิริยาจะถูกแยกออกจากเมทิลเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น เนื่องจากมีความหนาแน่นจำเพาะสูงกว่าเมทิลเอสเทอร์และไม่ละลายในน้ำมัน จึงถูกแยกออกได้ง่าย แต่เนื่องจากในปฏิกิริยาการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามักเกิดปฏิกิริยาการทำสบู่ (Saponification) ซึ่งได้สบู่เป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากปฏิกิริยา โดยการเกิดสบู่นี้เองจะทำให้การแยกกลีเซอรอลออกจากเมทิลเอสเทอร์ทำได้ยากยิ่งขึ้นเนื่องจากสบู่จะช่วยลดแรงตึงผิวทำให้เมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอลเกิดเป็นอิมัลชันได้ จึงต่างละลายอยู่ในชั้นอิมัลชันของสบู่ดังกล่าว เมื่อแยกออกจากกันได้ไม่หมดจึงถูกชะล้างมาอยู่ในน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียไบโอดีเซลพบกลีเซอรอลรวมทั้งน้ำมันและไขมันในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันและไขมัน รวมทั้งกรดไขมันอิสระบางส่วนซึ่งนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา หากทำปฏิกิริยาไม่หมดก็จะถูกชะล้างปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียไบโอดีเซลอีกทางหนึ่งด้วย

การกำจัดน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียไบโอดีเซลจึงค่อนข้างมีขีดจำกัดแตกต่างจากการกำจัดน้ำเสียที่มีน้ำมันปนเปื้อนอยู่โดยทั่วไป เนื่องจากน้ำมันและไขมันดังกล่าวโดยส่วนใหญ่จะละลายอยู่ในชั้นสบู่ร่วมกับกลีเซอรอล ซึ่งโดยทั่วไปกลีเซอรอลจะละลายได้ดีในน้ำและเมทานอล ทำให้ยากต่อการแยกไขมันออกจากน้ำเสียดังกล่าวได้ การบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมีจึงเป็นวิธีการในการที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันและไขมันดังกล่าว โดยมีข้อดีเพิ่มเติมคือสามารถกำจัดชั้นสบู่ได้อีกทางหนึ่ง เนื่องจากพบว่าการปรับพีเอชน้ำเสียเริ่มต้นก่อนการ

ตกตะกอนทางเคมีด้วยกรดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสบู่ให้เป็นกรดไขมันซึ่งจะทำให้ถูกกำจัดได้ง่ายขึ้นโดยการรวมตะกอนและตกตะกอนด้วยสารเคมี และนอกจากนี้ยังเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกกรดไขมันออกจากกลีเซอรอลได้อีกทางหนึ่งด้วย (Ooi และคณะ, 2001)

น้ำเสียไบโอดีเซลหลังผ่านการบำบัดขั้นต้นนี้ จะยังคงเหลือซีโอดีอยู่ในปริมาณมากเนื่องมาจากเมทานอลและกลีเซอรอลถูกกำจัดไปได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งจะต้องนำไปบำบัดต่อไป ทั้งนี้น้ำเสียหลังการบำบัดขั้นต้นนี้จะสามารถป้องกันปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อการบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพได้ เช่น ปัญหาไขมันเคลือบตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาตะกอนอืดและลดประสิทธิภาพในการถ่ายเทมลสารผ่านเซลล์จุลินทรีย์ ปัญหาการอุดตันของไขมันในระบบ เป็นต้น (Cammorota M.C. และ Freire D.M.G., 2006) เนื่องจากน้ำเสียหลังการบำบัดขั้นต้นไม่พบปริมาณทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมด อีกทั้งน้ำเสียหลังผ่านการตกตะกอนทางเคมีจะมีพีเอชต่ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเติมแหล่งไนโตรเจน และฟอสฟอรัสกับจุลินทรีย์ในระบบ รวมทั้งทำการปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าระบบให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ก่อนที่จะป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบต่อไป

การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ในเบื้องต้นจะทำการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมีเพื่อกำจัดไขมันและน้ำมันก่อนนำมาใช้ในการทดลอง โดยการปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นให้มีค่าเท่ากับ 4 โดยใช้กรดซัลฟิวริค จากนั้นจึงนำมาตกตะกอนทางเคมีด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยเติมโพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. แล้วทำการกวนเร็วที่ 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 นาที และเติมโพลิเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล. แล้วทำการกวนช้าที่ 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงแยกเอาส่วนที่เป็นน้ำใสด้านล่างมาทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย น้ำมันและไขมัน เมทานอล กลีเซอรอล พีเอช ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัส

ก่อนนำน้ำเสียมาใช้ป้อนเข้าสู่ระบบจะทำการเติมธาตุอาหารที่จำเป็นให้เหมาะสมแก่การเจริญของจุลชีพในระบบ โดยพิจารณาให้มีอัตราส่วน COD : N : P : Fe เท่ากับ 150 : 1.1 : 0.2 : 0.33 โดยแหล่งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็กที่ใช้ ได้แก่ ยูเรีย K_2HPO_4 และ $FeCl_2$ ตามลำดับ แล้วจึงทำการเจือจางน้ำเสียให้มีความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้ในการทดลองด้วยน้ำประปา จากนั้นทำการปรับพีเอชน้ำเสียให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.8 – 7.2 ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ ABR ต่อไป

3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง

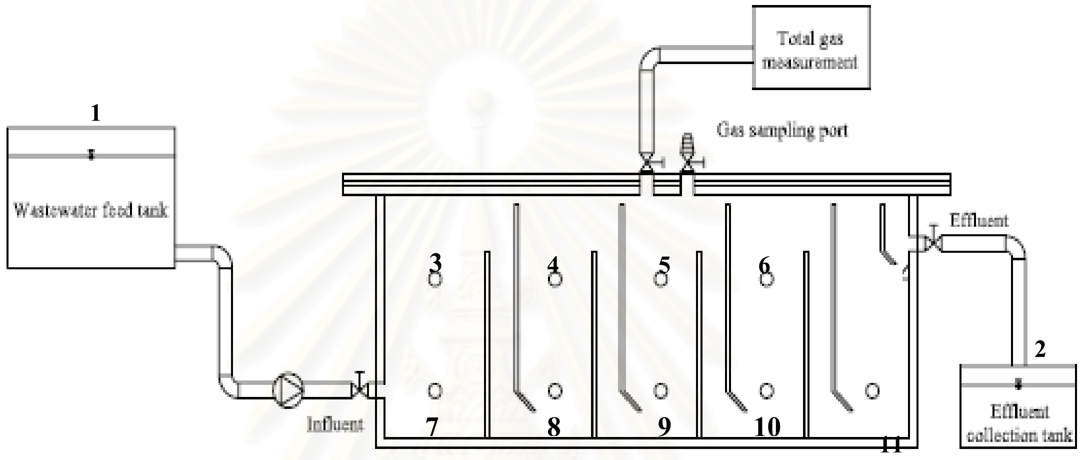
การเดินระบบทำได้โดยการนำน้ำเสียที่เตรียมไว้ตามหัวข้อ 3.4 ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีการเติมตะกอนจุลินทรีย์แอนแอโรบิคให้มีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสเท่ากับ 30,000 มก./ล. โดยตะกอนจุลินทรีย์ดังกล่าวนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบีของบริษัทผลิตน้ำอัดลมแห่งหนึ่ง ทำการเดินระบบต่อเนื่องโดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็น ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งแขวนลอย และค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจึงเริ่มศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และผลของอัตราภาระซีโอดีที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียตามระยะทางของระบบ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ก๊าซ และตะกอนจุลินทรีย์มาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ โดยเก็บผลการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แผนภาพขั้นตอนการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.5 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง

3.6 การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ในการทดลองนี้จะเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำซึ่งมีทั้งหมด 6 จุด แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ตาม Standard Methods for examination of water and wastewater (American Public Health Association, 1995) โดยจุดเก็บตัวอย่างน้ำ ก๊าซ และตะกอนจุลินทรีย์แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ก๊าซ และตะกอนจุลินทรีย์

จากรูปที่ 3.6 จุดเก็บตัวอย่างน้ำมีทั้งหมด 6 จุด ได้แก่

จุดที่ 1	น้ำเสียที่เข้าระบบเก็บจากถังพักน้ำเสีย	(หมายเลข 1)
จุดที่ 2	น้ำเสียที่ออกจากระบบเก็บจากถังพักน้ำออก	(หมายเลข 2)
จุดที่ 3-6	น้ำเสียในระบบเก็บจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำห้องที่ 1 – 5	(หมายเลข 3-6 และ 11)

โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และผลของอัตราภาระซีโอดีที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียตามระยะทางของระบบตามแผนการเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วตามที่แสดงดังตารางที่ 4.3

การเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อนำไปวิเคราะห์หาร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ระบบผลิตได้นั้นจะทำการเก็บตัวอย่างก๊าซโดยใช้ถุงเก็บก๊าซ ณ จุดเก็บตัวอย่างก๊าซบริเวณด้านบนของถังปฏิกรณ์ แล้วนำตัวอย่างก๊าซชีวภาพไปวิเคราะห์หาร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ต่อไป

การเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์โดยวิธี Gravimetric method และศึกษาลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy; SEM) จะเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์จากจุดเก็บตัวอย่างบริเวณด้านล่างของถังปฏิกรณ์ในห้องที่ 1 – 4 (หมายเลข 7 -10) ตามลำดับ

จุดเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 จุดเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง				ความถี่ในการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือที่ใช้
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	จุดเก็บก๊าซ	น้ำ/ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ		
1. ซีโอดี	/	/		/	จ , พ , ศ	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด
2. ปริมาณของแข็งแขวนลอย	/	/		/	จ , พ , ศ	Gravimetric method[*1]
3. น้ำมันและไขมัน	/	/			จ , พ , ศ	วิธีการสกัดด้วยกรวยแยก
4. เมทานอล	/	/			จ , พ , ศ	เครื่อง GC[*2]
5. กลีเซอรอล	/	/			จ , พ , ศ	เครื่อง HPLC [*3]
6. สภาพด่างทั้งหมด		/		/	จ , พ , ศ	วิธีไตเตรต
7. กรดไขมันระเหย		/		/	จ , พ , ศ	วิธีไตเตรต
8. พีเอช และอุณหภูมิ	/	/		/	ทุกวัน	เครื่องวัดพีเอช เทอร์โมมิเตอร์
9.ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด			/		ทุกวัน	วัดปริมาตรก๊าซแบบแทนที่น้ำ
10. ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน			/		สุ่มตรวจ	เครื่อง GC[*3]
11. โครงสร้างภายในของตะกอนจุลินทรีย์				/	ก่อนและหลังการทดลอง	SEM

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ

*1 วิธีวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids Dried) อบแห้งที่ 103-105 ^{0}ซ

*2 เครื่องยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-7AG ใช้คอลัมน์ คือ Porepak Q ยาว 2 ม. และใช้ตัวตรวจวัด (Detector) คือ FID ก๊าซตัวพา (Carrier gas) คือ ก๊าซไนโตรเจน

*3 เครื่องยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-3A ใช้คอลัมน์ คือ Lichrocart-C_{18} ขนาด 250*4.0 มม. และใช้ตัวตรวจวัด คือ Refractive Index Detector ยี่ห้อ LDC รุ่น Refracto Monitor TV Mobile phase: 0.1% aq. Phosphoric acid (v/v)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผล

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซล

น้ำเสียไบโอดีเซลที่เกิดจากกระบวนการล้างครั้งที่ 2 ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สารด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว แสดงดังรูปที่ 4.1 โดยลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียไบโอดีเซลที่พบ คือ น้ำเสียอยู่ในสถานะของเหลวสีขาวขุ่นอมเหลืองอ่อน มีกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมัน เมื่อนำน้ำเสียดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำเสีย พบว่าน้ำเสียไบโอดีเซลมีความเป็นด่างสูง โดยมีค่าพีเอชเท่ากับ 10.32 อีกทั้งมีค่าซีโอดีสูงถึง 56,363 มก./ล. นอกจากนี้ยังพบว่ามีน้ำมันและไขมัน กลีเซอรอล ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียไบโอดีเซลในปริมาณมาก เท่ากับ 3,265 2,369 6,223 และ 430 มก./ล. ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมทานอลพบว่ามีความเข้มข้นสูงถึง 40,314 มก./ล. เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียไบโอดีเซล พบว่าน้ำเสียไบโอดีเซลมีปริมาณไนโตรเจนในรูปของค่าทีเคเอ็นเพียง 14 มก./ล. และไม่พบฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียไบโอดีเซลแต่อย่างใด โดยลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำเสียไบดีเซลที่เกิดจากกระบวนการล้างครั้งที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียไบโอดีเซลที่เกิดจากกระบวนการล้างครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลที่เกิดจากกระบวนการล้างครั้งที่ 2

พารามิเตอร์	ปริมาณความเข้มข้น (มก./ล.)	
	น้ำเสียไบโอดีเซล	มาตรฐานน้ำทิ้ง
พีเอช	10.32	5 - 9
ซีโอดี	56,363	120
ซีโอดีกรอง	51,000	-
ของแข็งทั้งหมด	6,223	-
ของแข็งแขวนลอย	430	50
น้ำมันและไขมัน	3,265	5
เมทานอล	40,314	-
กลีเซอรอล	2,369	-
ทีเคเอ็น	14	100
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	N.D.	N.D.

* หมายเหตุ ความเข้มข้นในหน่วย มก./ล. ทุกพารามิเตอร์ยกเว้นพีเอช

การที่น้ำเสียไบโอดีเซลมีค่าพีเอชสูงนั้น มีสาเหตุเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีการเติมสารด่างเพื่อใช้ในการเร่งอัตราเร็วของปฏิกิริยา และเพิ่มผลผลิตจากปฏิกิริยา ดังนั้นสารด่างที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาไม่หมดจึงถูกชะล้างออกมาในน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียไบโอดีเซลมีค่าพีเอชสูงถึง 10.32 ส่วนสาเหตุที่น้ำเสียไบโอดีเซลมีปริมาณซีโอดี และซีโอดีกรองสูงมากเนื่องจากมีองค์ประกอบของเมทานอล กลีเซอรอล น้ำมันและไขมัน รวมทั้งของแข็งทั้งหมดปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะเมทานอลมีปริมาณสูงถึง 40,314 มก./ล. เนื่องมาจากในการผลิตไบโอดีเซลจะต้องมีการเติมเมทานอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นให้เกินพอเพื่อช่วยในการเพิ่มสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาให้มากขึ้น

ส่วนสาเหตุที่น้ำเสียไบโอดีเซลมีปริมาณกลีเซอรอล และน้ำมันและไขมันในปริมาณที่สูง เนื่องจากในปฏิกิริยาการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามักเกิดปฏิกิริยาการทำสบู่ (Saponification) ซึ่งได้สบู่เป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากปฏิกิริยา โดยการเกิดสบู่นี้เองจะทำให้การแยกกลีเซอรอลออกจากเมทิลเอสเทอร์ทำได้ยากยิ่งขึ้น เนื่องจากสบู่ทำให้เมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอลเกิดเป็นอิมัลชันได้ จึงต่างละลายอยู่ในชั้นอิมัลชันของสบู่ เมื่อแยกออกจากกันได้ไม่หมดจึงถูกชะล้างมาอยู่ในน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียไบโอดีเซลพบกลีเซอรอลรวมทั้งน้ำมันและไขมันในปริมาณสูง โดยมีกลีเซอรอลในน้ำเสียปริมาณ 2,369 มก./ล. นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันและไขมัน รวมทั้งกรดไขมันอิสระบางส่วนซึ่งนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา หากทำปฏิกิริยาไม่หมดก็จะถูกชะ

ล้างปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียไบโอดีเซลอีกทางหนึ่งด้วย ทำให้พบปริมาณน้ำมันและไขมันสูงถึง 3,265 มก./ล. นั่นเอง

4.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลหลังผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมีโดยการปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 4 ด้วยกรดซัลฟิวริค ร่วมกับการใช้โพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ 62.5 มก./ล. และโพลิเมอร์ประจุบวก 1.25 มก./ล.แล้ว พบว่าน้ำเสียไบโอดีเซลหลังการบำบัดขั้นต้นมีความใสมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียก่อนการบำบัดขั้นต้นซึ่งเดิมมีสีขาวขุ่นอมเหลืองอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 นอกจากนี้ยังพบว่ากลิ่นเหม็นหืนของน้ำมันลดลงจากเดิมอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมีแล้ว พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียหลังการตกตะกอนทางเคมี มีค่าลดลงเท่ากับ 3.96 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการปรับพีเอชของน้ำเสียให้เท่ากับ 4 ด้วยกรดซัลฟิวริคในขั้นตอนการตกตะกอนทางเคมี ลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำเสียไบโอดีเซลก่อนและหลังการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมีแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่าการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมีสามารถกำจัดน้ำมันและไขมัน ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยได้สูงถึงร้อยละ 96.02 80.83 และ 84.19 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง เมทานอล และกลีเซอรอล เท่ากับ ร้อยละ 21.39 31.37 12.41 และ 6.20 ตามลำดับ โดยน้ำเสียหลังการตกตะกอนทางเคมีจะมีปริมาณซีโอดี ซีโอดีกรอง ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย น้ำมันและไขมัน เมทานอล และกลีเซอรอล เหลืออยู่เท่ากับ 44,000 35,000 1,193 68 130 35 312 2,221 และ 2,290 มก./ล. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังไม่พบค่าทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียไบโอดีเซลหลังการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมีอีกด้วย

รูปที่ 4.2 ลักษณะน้ำเสียไบโอดีเซลก่อนและหลังการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำเสียไบโอดีเซลก่อนและหลังการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (มก./ล.)		ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
	ก่อนการบำบัดขั้นต้น	หลังการบำบัดขั้นต้น	
พีเอช	10.32	3.96	-
ซีโอดี	56,363	44,000	21.93
ซีโอดีกรอง	51,000	35,000	31.37
ของแข็งทั้งหมด	6,223	1,193	80.83
ของแข็งแขวนลอย	430	68	84.19
น้ำมันและไขมัน	3,265	130	96.02
เมทานอล	40,314	35,312	12.41
กลีเซอรอล	2,369	2,221	6.20
ทีเคเอ็น	14	N.D.	100.00
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	N.D.	N.D.	-

* หมายเหตุ ความเข้มข้นในหน่วย มก./ล. ทุกพารามิเตอร์ยกเว้นพีเอช

สาเหตุที่การบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมีสามารถกำจัดน้ำมันและไขมัน ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยได้สูง เนื่องจากโพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ที่เติมลงไปจะทำลายเสถียรภาพของอนุภาคน้ำมัน อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ รวมทั้งทำลายอิมัลชัน ด้วยกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ โดยโพลิอลูมิเนียมคลอไรด์ที่เติมลงไปจะเกิดการแตกตัวเป็นอิออนคอมเพล็กซ์ชนิดต่างๆ ที่สามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบได้ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าซีต้าโพเทนเชียลเพิ่มขึ้นจนอำนาจประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ลดลงหรือเป็นกลาง เป็นผลให้อนุภาคคอลลอยด์ที่เดิมทีกระจายตัวอยู่ในชั้นอิมัลชันเกิดการรวมตัวกันได้มากขึ้น จากนั้นโพลิเมอร์ประจุบวกจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมเกาะจับอนุภาคน้ำมันและคอลลอยด์ต่างๆ ในน้ำ ทำให้อนุภาคดังกล่าวซึ่งสูญเสียเสถียรภาพ เกาะติดกันแล้วลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ทำให้สามารถแยกไขมันและน้ำมันรวมถึงของแข็งในน้ำเสียออกไปได้ (ปัณภัทร เจริญสาคร, 2549)

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล

การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ได้แก่ 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ทำการทดลองรวมทั้งสิ้น 6 ชุดการทดลอง โดยใช้ถังปฏิกรณ์ทั้งหมดจำนวน 3 ถัง เดินระบบพร้อมกันครั้งละ 3 ชุดการทดลอง รวม 2 รอบ การทดลองเริ่มต้นเดินระบบโดยป้อนน้ำเสียให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสียก่อนประมาณ 2 เดือนแล้วจึงเริ่มทำการทดลอง ระยะเวลาการเดินระบบและวันที่ทำการเก็บข้อมูลผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ระยะเวลาการเดินระบบและวันที่ทำการเก็บข้อมูลผลการทดลอง

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาที่ทำการทดลอง	วันที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว	วันที่ทำการเก็บข้อมูลผลการทดลองที่สภาวะคงตัว
<u>**ถังปฏิกรณ์ที่ 1**</u>			
การเดินระบบรอบที่ 1 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	วันที่ 1 - 31 (รวม 31 วัน)	วันที่ 12 ของการเดินระบบ (ใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว 12 วัน)	วันที่ 19 22 24 26 29 และ 31 (รวมระยะเวลานาน 2 สัปดาห์)
การเดินระบบรอบที่ 2 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	วันที่ 32 - 68 (รวม 37 วัน)	วันที่ 52 ของการเดินระบบ (ใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว 21 วัน)	วันที่ 56 59 61 63 66 และ 68 (รวมระยะเวลานาน 2 สัปดาห์)
<u>**ถังปฏิกรณ์ที่ 2**</u>			
การเดินระบบรอบที่ 1 0.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	วันที่ 1 - 31 (รวม 31 วัน)	วันที่ 12 ของการเดินระบบ (ใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว 12 วัน)	วันที่ 19 22 24 26 29 และ 31 (รวมระยะเวลานาน 2 สัปดาห์)
การเดินระบบรอบที่ 2 2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	วันที่ 32 - 70 (รวม 39 วัน)	วันที่ 49 ของการเดินระบบ (ใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว 18 วัน)	วันที่ 58 61 63 66 68 และ 70 (รวมระยะเวลานาน 2 สัปดาห์)
<u>**ถังปฏิกรณ์ที่ 3**</u>			
การเดินระบบรอบที่ 1 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	วันที่ 1 - 31 (รวม 31 วัน)	วันที่ 15 ของการเดินระบบ (ใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว 15 วัน)	วันที่ 19 22 24 26 29 และ 31 (รวมระยะเวลานาน 2 สัปดาห์)
การเดินระบบรอบที่ 2 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	วันที่ 32 - 72 (รวม 41 วัน)	วันที่ 58 ของการเดินระบบ (ใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว 27 วัน)	วันที่ 61 63 65 68 70 และ 72 (รวมระยะเวลานาน 2 สัปดาห์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่จะแสดงต่อไปนี้ จะกล่าวถึงผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเมื่อทำการเดินระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ได้แก่ 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ โดยแสดงผลการวิจัยทีละพารามิเตอร์ เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลของระบบที่อัตราภาระซีโอดีที่แตกต่างกันได้อย่างชัดเจน และสรุปอัตราภาระซีโอดีสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล และผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียไบโอดีเซลในหัวข้อสุดท้าย โดยหัวข้อการแสดงผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำเสียไบโอดีเซลของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

แสดงผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำเสีย ได้แก่ ซีโอดี ซีโอดีกรอง เมทานอล ของแข็งแขวนลอย กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมัน ที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

2. ประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียไบโอดีเซล

แสดงผลการศึกษาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ และปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

3. สภาวะการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล

แสดงข้อมูลสภาวะการทำงานของระบบตลอดการทดลอง ได้แก่ พีเอช สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด และอุณภูมิ ที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ โดยภาพรวม และสรุปอัตราภาระซีโอดีสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล และผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียไบโอดีเซล รวมทั้งเปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนของน้ำเสียไบโอดีเซลกับน้ำเสียประเภทต่างๆ

โดยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล ที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ได้แก่ 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงได้ดังนี้

4.2.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำเสียไบโอดีเซลของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

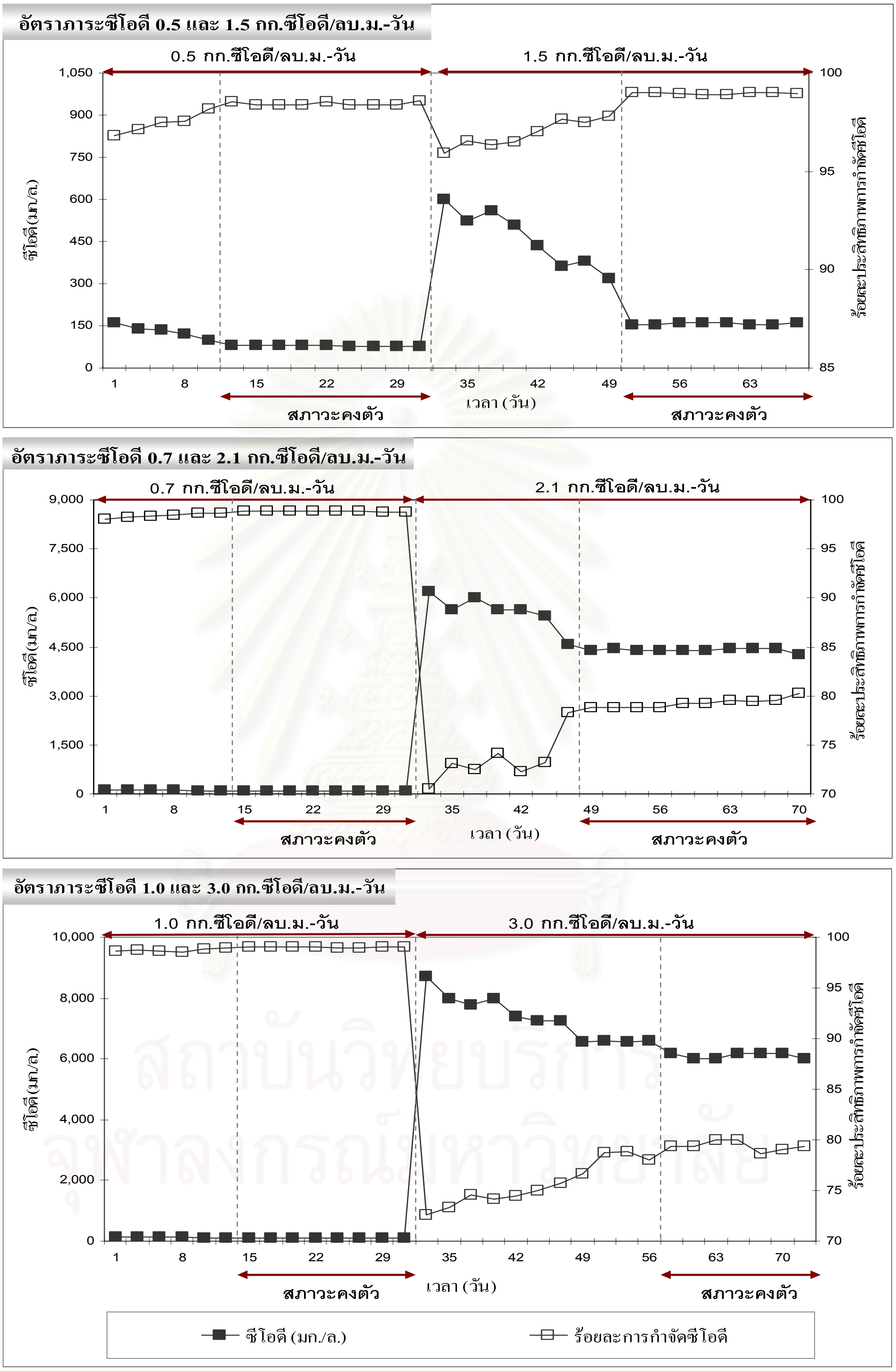
ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดมลสารในน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงได้ดังนี้

1) ซีโอดี

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดซีโอดีที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ตลอดการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาผลการทดลองโดยภาพรวมพบว่า ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีค่อนข้างสูงโดยพบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงกว่าร้อยละ 79 ในทุกชุดการทดลอง และที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจนน้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้

จากผลการทดลอง พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5–1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีใกล้เคียงกัน โดยที่สภาวะคงตัวพบว่าระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 98.45 – 99.05 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้น ประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดซีโอดีจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามหากทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีให้สูงถึง 2.1 และ 3.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แล้ว ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 79.55 และ 79.42 ตามลำดับ

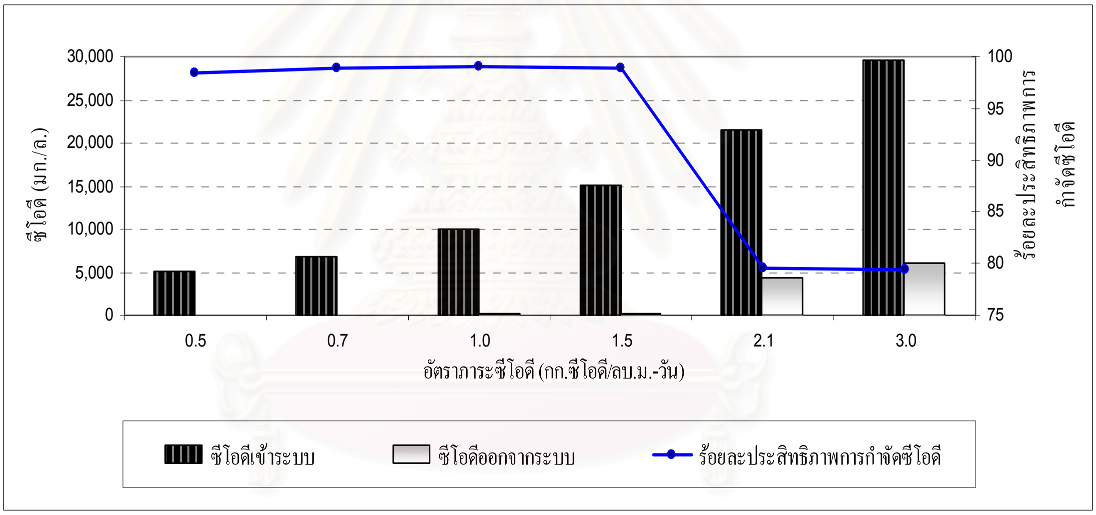
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำเสียเข้าระบบจะมีค่าเฉลี่ยซีโอดีเท่ากับ 5,058 6,854 10,024 15,131 21,548 และ 29,630 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยซีโอดีเท่ากับ 78 80 96 158 4,406 และ 6,097 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 98.45 98.83 99.05 98.95 79.55 และ 79.42 ตามลำดับ โดยผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ปริมาณซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ซีโอดีเข้าระบบ (มก./ล.)	ซีโอดีออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัดซีโอดี
0.5	5,058	78	98.45
0.7	6,854	80	98.83
1.0	10,024	96	99.05
1.5	15,131	158	98.95
2.1	21,548	4,406	79.55
3.0	29,630	6,097	79.42



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

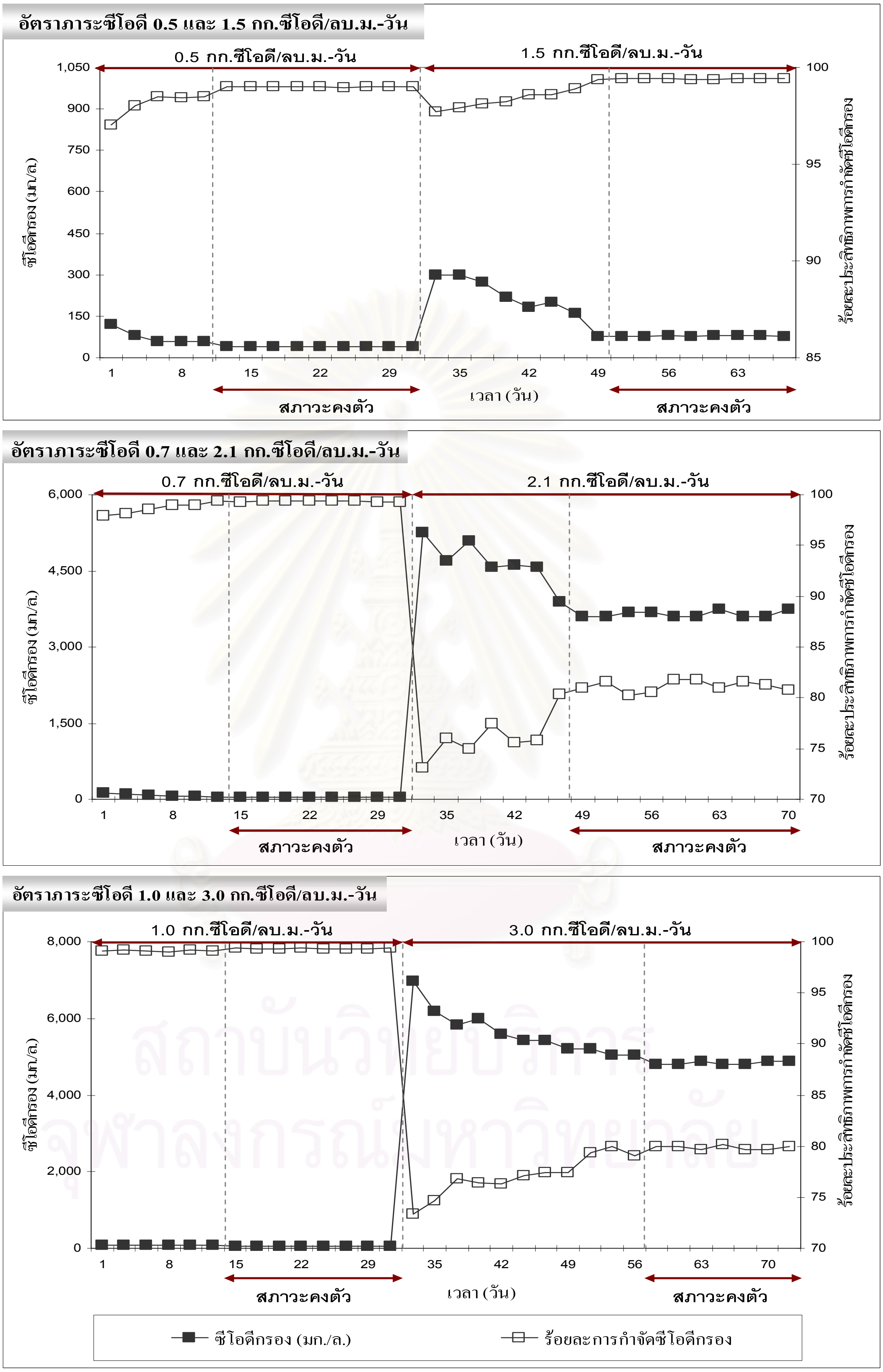
2) ซีโอดีกรอง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดซีโอดีกรองของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ ตลอดการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาผลการทดลองโดยภาพรวม พบว่ามีความคล้ายคลึงกันกับในกรณีของซีโอดี โดยพบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกรองค่อนข้างสูง โดยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองสูงกว่าร้อยละ 79 ในทุกชุดการทดลอง โดยที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดถึงร้อยละ 99.41

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกรองของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นที่อัตราภาระซีโอดี 0.5–1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกรองมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 99.01 – 99.41 แต่อย่างไรก็ตามหากทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีให้สูงถึง 2.1 และ 3.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แล้ว ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดจะลดลงเหลือร้อยละ 81.34 และ 79.88 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดซีโอดีกรองที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำเสียเข้าระบบจะมีค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองเท่ากับ 3,990 5,920 8,929 13,462 19,563 และ 24,044 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองเท่ากับ 40 40 59 79 3,650 และ 4,838 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองคิดเป็นร้อยละ 99.01 99.33 99.34 99.41 81.34 และ 79.88 ตามลำดับ โดยผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.6

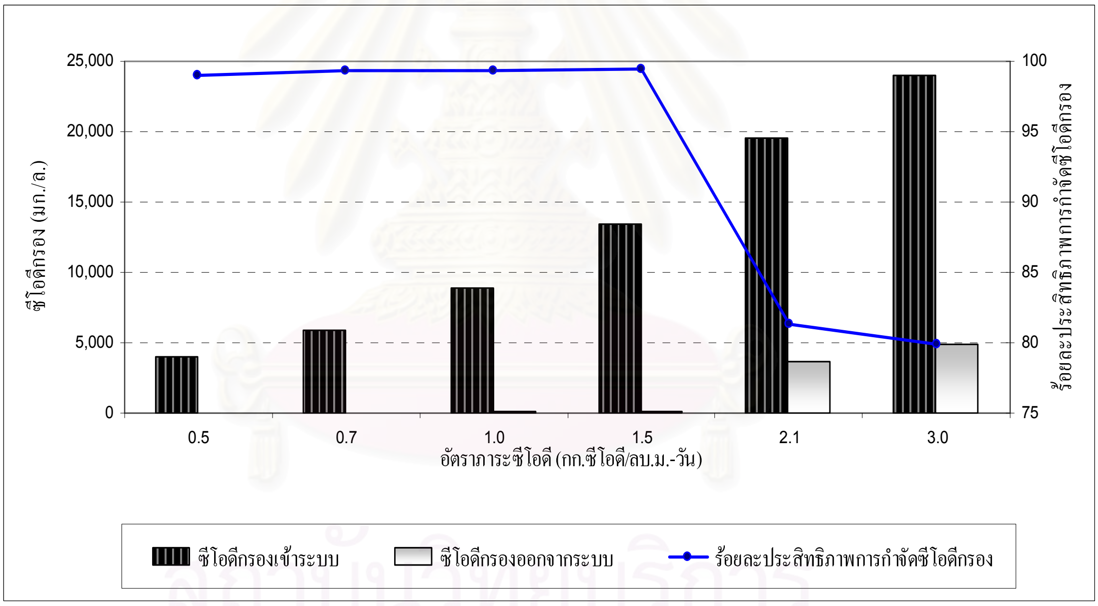
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



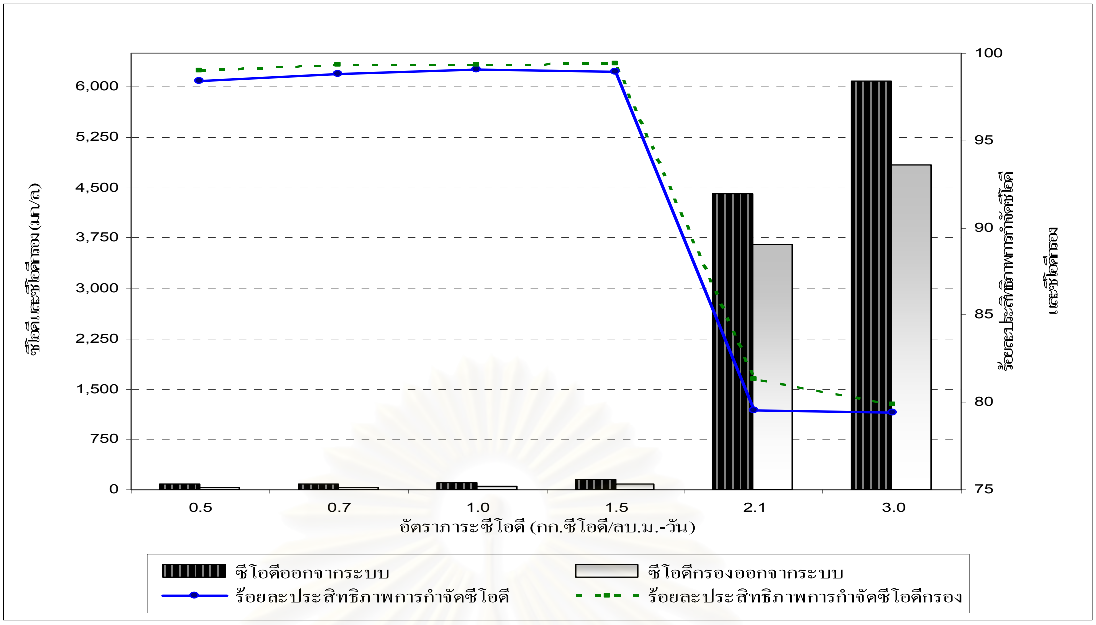
รูปที่ 4.5 ปริมาณซีโอดีกรองและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดซีโอดีกรองที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ซีโอดีกรอง เข้าระบบ (มก./ล.)	ซีโอดีกรอง ออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีโอดีกรอง
0.5	3,990	40	99.01
0.7	5,920	40	99.33
1.0	8,929	59	99.34
1.5	13,462	79	99.41
2.1	19,563	3,650	81.34
3.0	24,044	4,838	79.88



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองที่สภาวะคงตัว ของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและซีโอดีกรองในน้ำเสียค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองสูงกว่าร้อยละ 98 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำเสีย ได้แก่ ชนิดของซับสเทรต น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีเมทานอลเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง ซึ่งเมทานอลจัดได้ว่าเป็นสารอาหารที่แบคทีเรียนำไปใช้ได้ง่าย เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ขนาดเล็ก ประกอบไปด้วยคาร์บอนเพียง 1 อะตอม อีกทั้งยังเป็นสารอาหารที่แบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างมีเทนบางชนิดสามารถนำไปใช้โดยเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้โดยตรง ทำให้ระบบสามารถย่อยสลายเมทานอลให้เป็นก๊าซมีเทนได้ดี ระบบจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองสูง ปัจจัยเรื่องชนิดของระบบบำบัด เนื่องจากการทดลองได้เลือกใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนซึ่งสามารถกักพักตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี และมีการแบ่งห้องเพื่อเพิ่มเวลาในการสัมผัสระหว่างมลสารและตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ทั้งยังช่วยแยกกระบวนการสร้างกรดและสร้างมีเทนออกจากกันได้บางส่วน ซึ่งช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองเมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดี พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน หากทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเข้าสู่สภาวะคงตัวได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีจนสูงกว่า 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันแล้ว จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและซีโอดีกรองลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีซึ่งในการทดลองนี้เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของซับสเทรตที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งซับสเตรทดังกล่าวจะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของซับสเทรตจะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบให้สูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองสูงขึ้นตามไปด้วย Ge-Fu Zhu และคณะ (2008) ได้อธิบายถึงสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีไว้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของซับสเทรตจะช่วยเพิ่มฟลักซ์ของซับสเทรตในการผ่านเข้าไปในแบคทีเรีย ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพ

ส่วนในกรณีที่เมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีจนสูงกว่า 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แล้วส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและซีโอดีกรองลดลงอย่างชัดเจน อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากความเข้มข้นของซับสเทรตที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าสูงทำให้ซับสเทรตบางส่วนเกิดการไฮโดรไลซิสไม่สมบูรณ์ในห้องแรกๆ ของระบบ ซับสเทรตบางส่วนจะเกิดการไฮโดรไลซิสในห้องถัดๆ มาของระบบ ส่งผลให้ซับสเทรตบางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนได้ไม่หมดจึงปรากฏออกมาในรูปซีโอดีและซีโอดีกรองในน้ำออกจากระบบที่สูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองลดลง นอกจากนี้ความเข้มข้นของซับสเตรทอาจมีค่าสูงจนถึงจุดที่อาจเกิดการจำกัดอัตราการเจริญเติบโตแบคทีเรียได้ในบางส่วน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อซับสเทรตเข้าสู่ระบบมากจะทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยสูงเนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนนำกรดไขมันระเหยดังกล่าวไปใช้ได้ไม่ทัน ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียสร้างมีเทน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองจึงลดลง นอกจากนี้เมทานอลซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำเสีย หากมีความเข้มข้นสูงมากๆ จะทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ อ้างอิงจากการทดลองของ Blum และ Speece ในปีค.ศ. 1991 พบว่าความเข้มข้นของเมทานอลที่สูงขึ้นจะยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียเมทานอเจน โดยมีค่า IC_{50} อยู่ที่ความเข้มข้น 22,000 มก./ล. ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยของเมทานอลเข้าระบบเท่ากับ 16,181 และ 23,431 มก./ล. ย่อมส่งผลให้แบคทีเรียสร้างมีเทนถูกยับยั้งการเจริญได้ ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและซีโอดีกรองจึงลดลง (Speece, R.E., 1996)

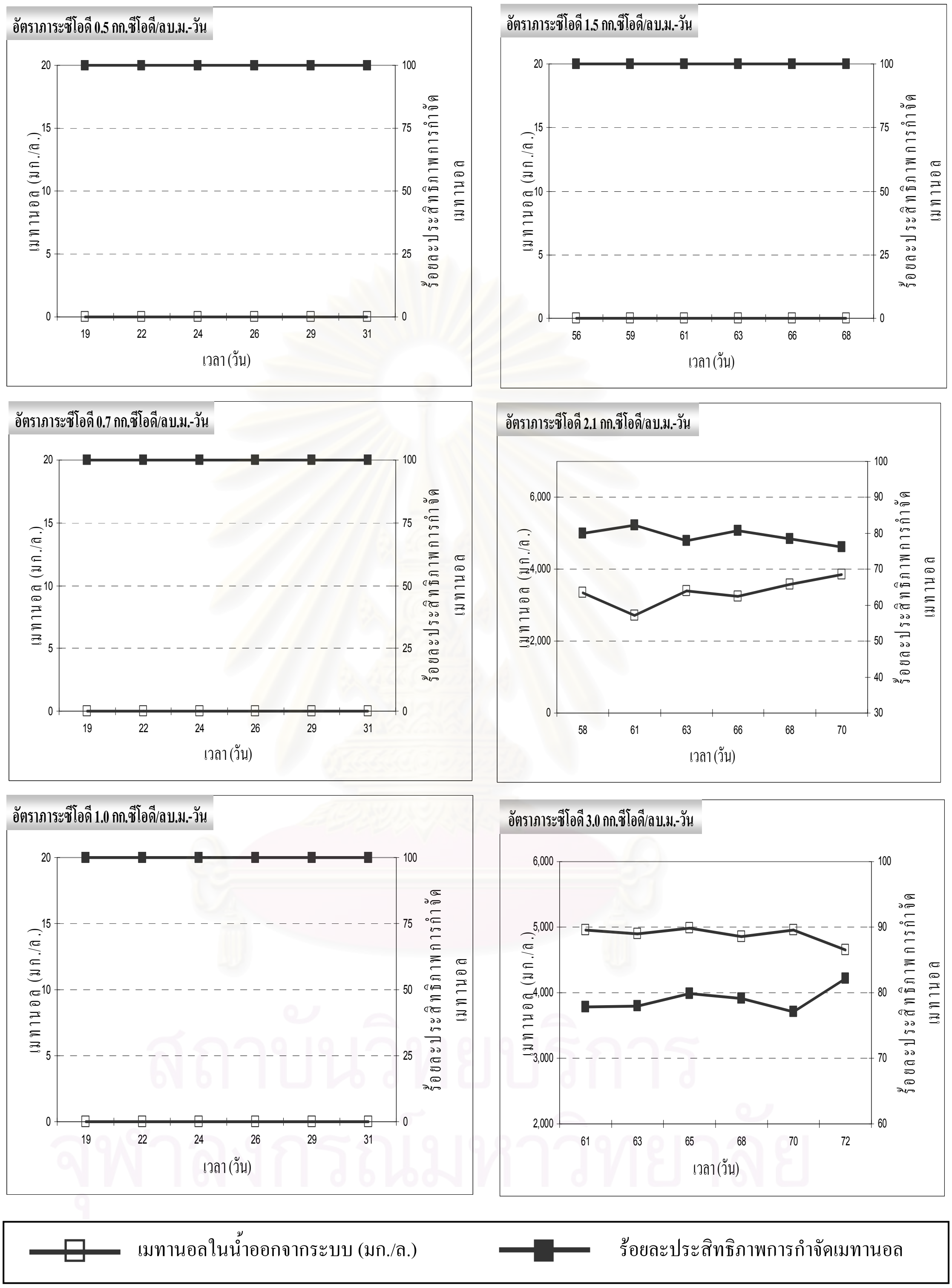
3) เมทานอล

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดเมทานอล ที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.6 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลได้สูงมาก และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดเมทานอลเมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดี พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5–1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน หากทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดเมทานอลจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยพบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 1.0 และ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยของเมทานอลเข้าระบบเท่ากับ 3,629 5,484 7,842 และ 12,021 มก./ล. ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลได้ทั้งหมด โดยไม่พบปริมาณเมทานอลคงเหลืออยู่ในน้ำที่ออกจากระบบ

เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของเมทานอลเข้าระบบเท่ากับ 16,183 และ 23,431 มก./ล. ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลจะลดต่ำลง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเมทานอลคิดเป็นร้อยละ 79.28 และ 79.05 ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของเมทานอลที่เหลือในน้ำออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 3,354 และ 4,883 มก./ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดเมทานอลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

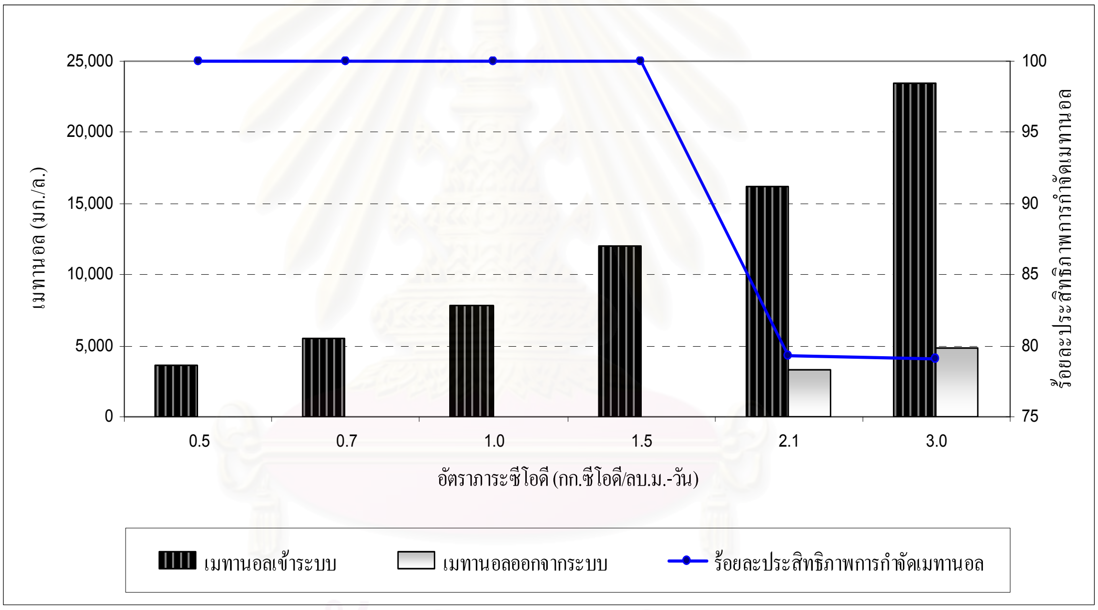
อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	เมทานอล เข้าระบบ (มก./ล.)	เมทานอล ออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัดเมทานอล
0.5	3,629	0	100
0.7	5,484	0	100
1.0	7,842	0	100
1.5	12,021	0	100
2.1	16,183	3,354	79.28
3.0	23,431	4,883	79.05



รูปที่ 4.8 ปริมาณเมทานอลและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อซีโอดีและซีโอดีกรอง เมทานอลจัดได้ว่าเป็นสารอาหารที่แบคทีเรียนำไปใช้ได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นสารอาหารที่แบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างมีเทนบางชนิดสามารถนำไปใช้โดยเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้โดยตรง ทำให้ระบบสามารถย่อยสลายเมทานอลให้เป็นก๊าซมีเทนได้ดี ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลสูงมาก ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งพบว่าหากทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดเมทานอลจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 - 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลได้ทั้งหมด โดยไม่พบปริมาณเมทานอลคงเหลืออยู่ในน้ำที่ออกจากระบบ เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลจะลดต่ำลง เนื่องจากความเข้มข้นของเมทานอลในอัตราภาระซีโอดีดังกล่าวอยู่ในระดับที่สูงจนอาจส่งผลให้แบคทีเรียสร้างมีเทนภายในระบบถูกยับยั้งการเจริญได้บางส่วน



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดเมทานอลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

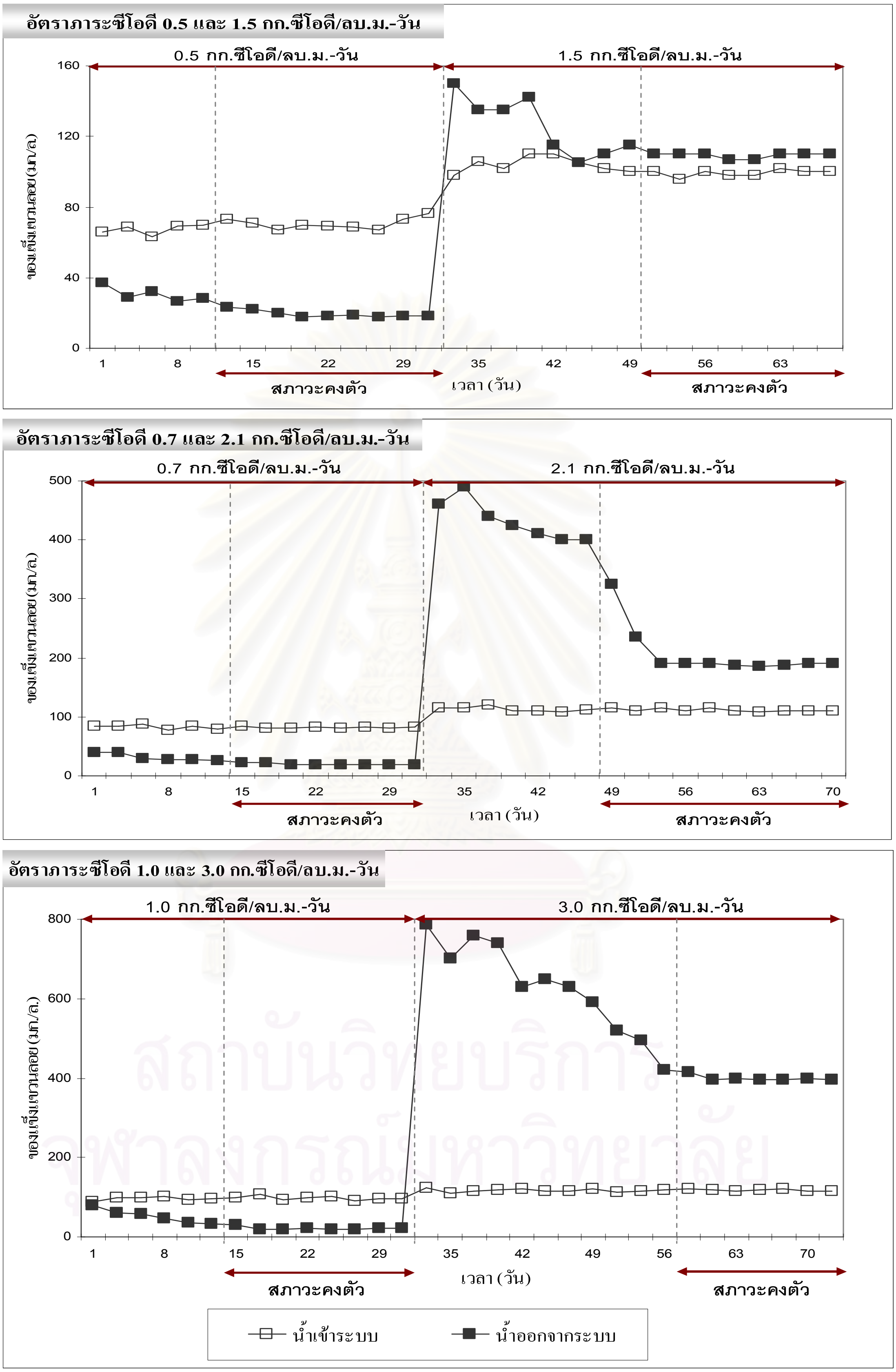
4) ของแข็งแขวนลอย

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าระบบ และในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน จากรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.7 พบว่าในทุกอัตราภาระซีโอดี น้ำเสียที่เข้าระบบจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 71-117 มก./ล. ผลการกำจัดของแข็งแขวนลอยพบว่าในช่วงของอัตราภาระซีโอดีที่ต่ำและสูงมีแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่แตกต่างกันดังนี้

ที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 และ 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ 74.38 77.28 และ 78.70 ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เหลือในน้ำออกจากระบบเท่ากับ 18 19 และ 21 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่อัตราภาระซีโอดีดังกล่าวข้างต้น ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่สูงจนน้ำออกจากระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้

แตกต่างกันกับที่อัตราภาระซีโอดี 1.5-3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งพบว่าในช่วงแรกของการเดินระบบจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยปนเปื้อนในน้ำออกจากระบบสูงมาก เมื่อเดินระบบไปได้ในระยะหนึ่งจนแบคทีเรียในระบบเริ่มคุ้นเคยกับน้ำเสีย ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบจึงค่อยๆ ลดลง แต่ทั้งนี้เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบก็ยังคงสูงกว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าระบบเช่นเดิม โดยที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เหลือในน้ำออกจากระบบเท่ากับ 109 188 และ 397 มก./ล. ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบมีค่าร้อยละการกำจัดติดลบคิดเป็นร้อยละ 9.37 70.33 และ 240.59 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

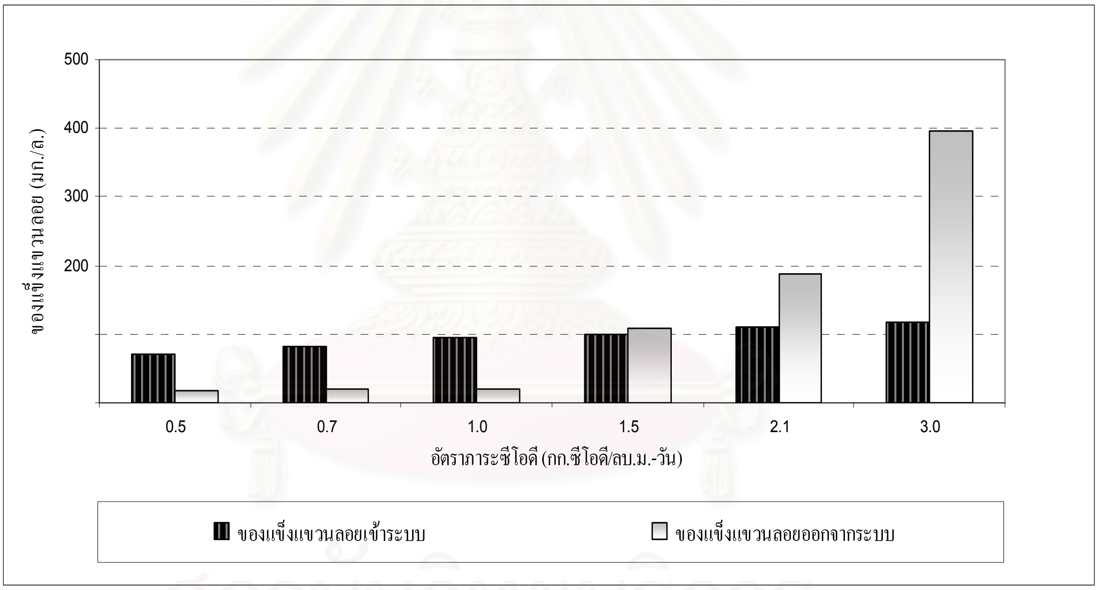
ตารางที่ 4.7 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ของแข็งแขวนลอยเข้าระบบ (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัดของแข็งแขวนลอย
0.5	71	18	74.38
0.7	82	19	77.28
1.0	96	21	78.70
1.5	100	109	-9.37
2.1	111	188	-70.33
3.0	117	397	-240.59

ในทุกอัตราภาระซีโอดี น้ำเสียที่เข้าระบบจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 71-117 มก./ล. เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยส่วนใหญ่ถูกกำจัดไปแล้วในขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้นทางเคมี เมื่อพิจารณาแนวโน้มประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ในรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบจะเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีขึ้นอีกจนถึง 1.5-3.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบจะสูงกว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าระบบ และทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบมีค่าร้อยละการกำจัดติดลบ โดยจากการสังเกตพบว่าของแข็งแขวนลอยที่ปนเปื้อนในน้ำออกจากระบบมีลักษณะเป็นตะกอนเบาขนาดเล็กกว่า 1 มม. ไม่พบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เป็นเม็ดสมบูรณ์ปนเปื้อนในน้ำออกจากระบบแต่อย่างใด โดยสมมติฐานเบื้องต้นของสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบมีค่าร้อยละการกำจัดติดลบมีอยู่ 2 ประการ ได้แก่

สมมติฐานแรกเมื่ออัตราภาระซีโอดีเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในระบบ ฟองก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจำนวนมากเมื่อเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์เพื่อแยกตัวออกไปจากชั้นน้ำจะพัดพาเอาอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในชั้นตะกอนฟุ้งขึ้นไปบนผิวน้ำ ทำให้ของแข็งแขวนลอยเบาหรือที่มีขนาดเล็กซึ่งตกตะกอนภายในระบบไม่ทันปนเปื้อนออกมาทางน้ำออกระบบ

สมมติฐานที่สองของแข็งแขวนลอยที่พบอาจเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกชะออกมาจากระบบ (wash out) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าความสามารถของระบบในการกักพักจุลชีพลดลงเมื่ออัตราภาระซีโอดีเพิ่มขึ้น ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบว่าปริมาณของเซลล์ตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกชะออกจากระบบส่งผลกระทบต่อการเดินระบบในระยะยาวหรือไม่ ซึ่งพิจารณาได้จากการตรวจสอบว่าปริมาณการเกิดของจุลินทรีย์ในระบบสูงกว่าปริมาณของจุลินทรีย์ที่ถูกชะออกจากระบบหรือไม่ เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีเมทานอลเป็นองค์ประกอบหลัก ผู้วิจัยจึงอ้างอิงค่ายีลด์ของแบคทีเรียเมทานอเจนในการใช้ซับสเทรตที่เป็นเมทานอล ซึ่งมีค่า Yield = 3.8 ก./โมล เมทานอล (Ahring, B. K. และคณะ, 2003) ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมากที่สุดมาใช้ในการคำนวณ โดยผลการคำนวณพบว่าปริมาณการเกิดของจุลินทรีย์ในระบบสูงกว่าปริมาณของจุลินทรีย์ที่ถูกชะออกจากระบบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกชะออกจากระบบไม่ส่งผลกระทบต่อการเดินระบบในระยะยาวแต่อย่างใด



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

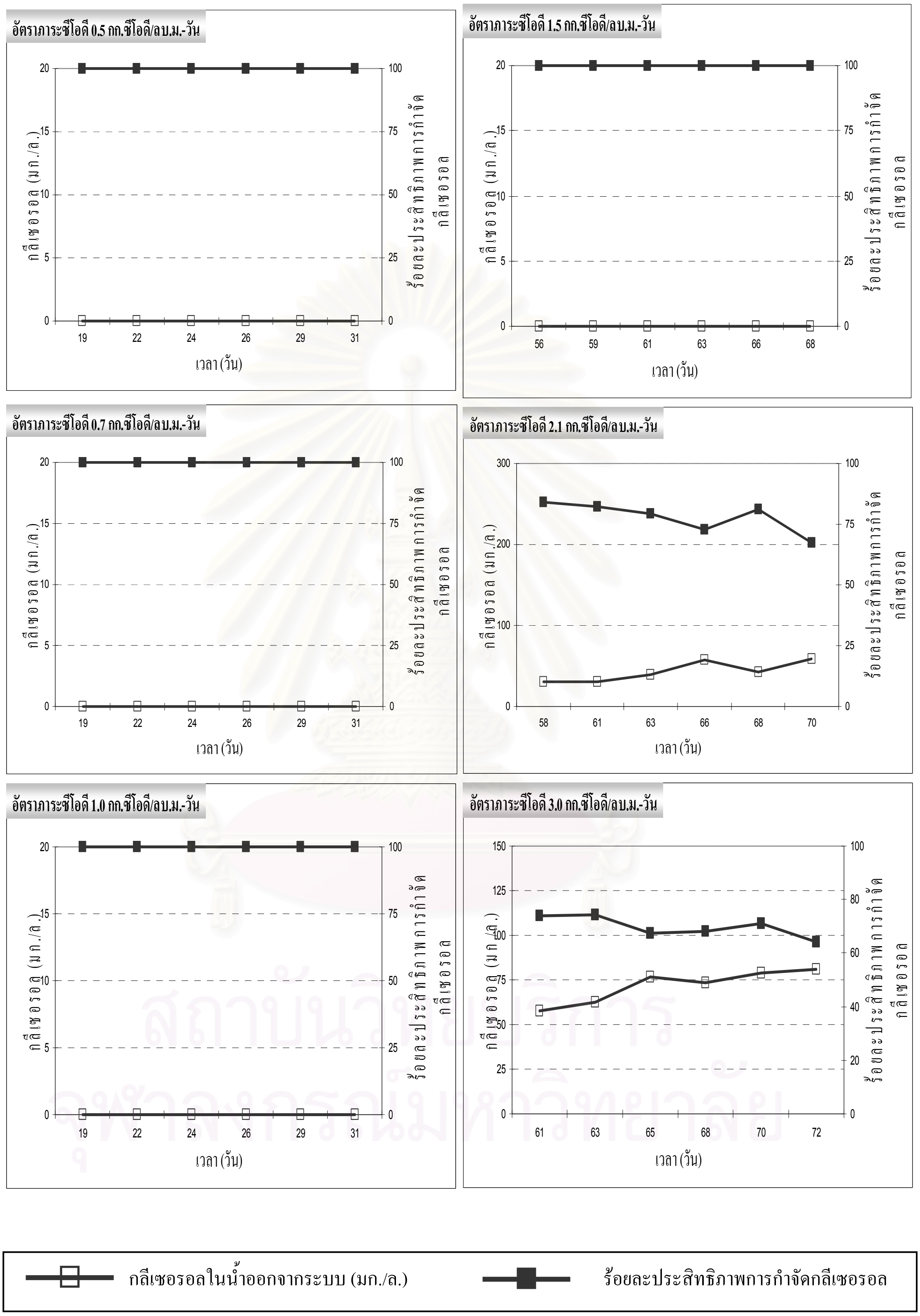
5) กลีเซอรอล

ประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดกลีเซอรอลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่ามีความคล้ายคลึงกันกับในกรณีของเมทานอล โดยเมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.8 จะพบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5–1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลได้สูงมาก และประสิทธิภาพการกำจัดกลีเซอรอลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดี โดยพบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 1.0 และ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของกลีเซอรอลเข้าระบบเท่ากับ 52 62 80 และ 95 มก./ล. ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลได้ทั้งหมด โดยไม่พบปริมาณกลีเซอรอลคงเหลืออยู่ในน้ำที่ออกจากระบบ เช่นเดียวกันกับในกรณีของเมทานอล

เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของกลีเซอรอลเข้าระบบเท่ากับ 195 และ 238 มก./ล. ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลจะลดต่ำลง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดกลีเซอรอลคิดเป็นร้อยละ 77.87 และ 69.86 ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของกลีเซอรอลที่เหลือในน้ำออกจากระบบเท่ากับ 43 และ72 มก./ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดกลีเซอรอลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	กลีเซอรอล เข้าระบบ (มก./ล.)	กลีเซอรอล ออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด กลีเซอรอล
0.5	52	0	100
0.7	62	0	100
1.0	80	0	100
1.5	95	0	100
2.1	195	43	77.87
3.0	238	72	69.86

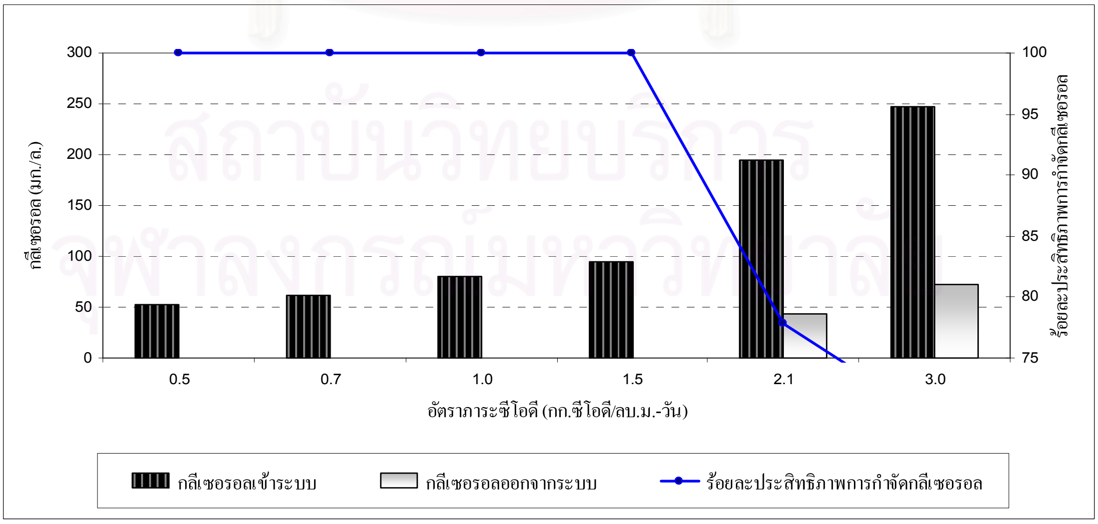


รูปที่ 4.12 ปริมาณกลีเซอรอลและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกลีเซอรอลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่า ที่อัตราภาระซีโอดี 0.5–1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน หากทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดกลีเซอรอลจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 - 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลได้ทั้งหมด โดยไม่พบปริมาณกลีเซอรอลคงเหลืออยู่ในน้ำออกจากระบบ เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลจะลดต่ำลง

ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Ito และคณะ (2005) ซึ่งได้ทำการศึกษาการผลิตไฮโดรเจนและเอทานอลจากกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งพบว่ายีลด์ของไฮโดรเจนและเอทานอลจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนและเอทานอลระหว่างกรณีที่ใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ซึ่งเป็นเกรดทางการค้า และกรณีที่ใช้กลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล พบว่าอัตราการผลิตไฮโดรเจนในกรณีที่ใช้กลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะต่ำกว่าในกรณีที่ใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งได้มีการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นทางเคมีก่อนซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับกลีเซอรอลในระดับหนึ่ง ดังนั้นที่ความเข้มข้นไม่สูงนักแบคทีเรียจึงเกิดการย่อยสลายกลีเซอรอลได้ดีมาก เนื่องจากกลีเซอรอลในน้ำเสียเป็นแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์นำไปใช้สร้างพลังงาน และเจริญเติบโตได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลโดยการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีจนถึงระดับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการย่อยสลายกลีเซอรอลจึงลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์ถูกยับยั้งการเจริญ



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกลีเซอรอลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

6) น้ำมันและไขมัน

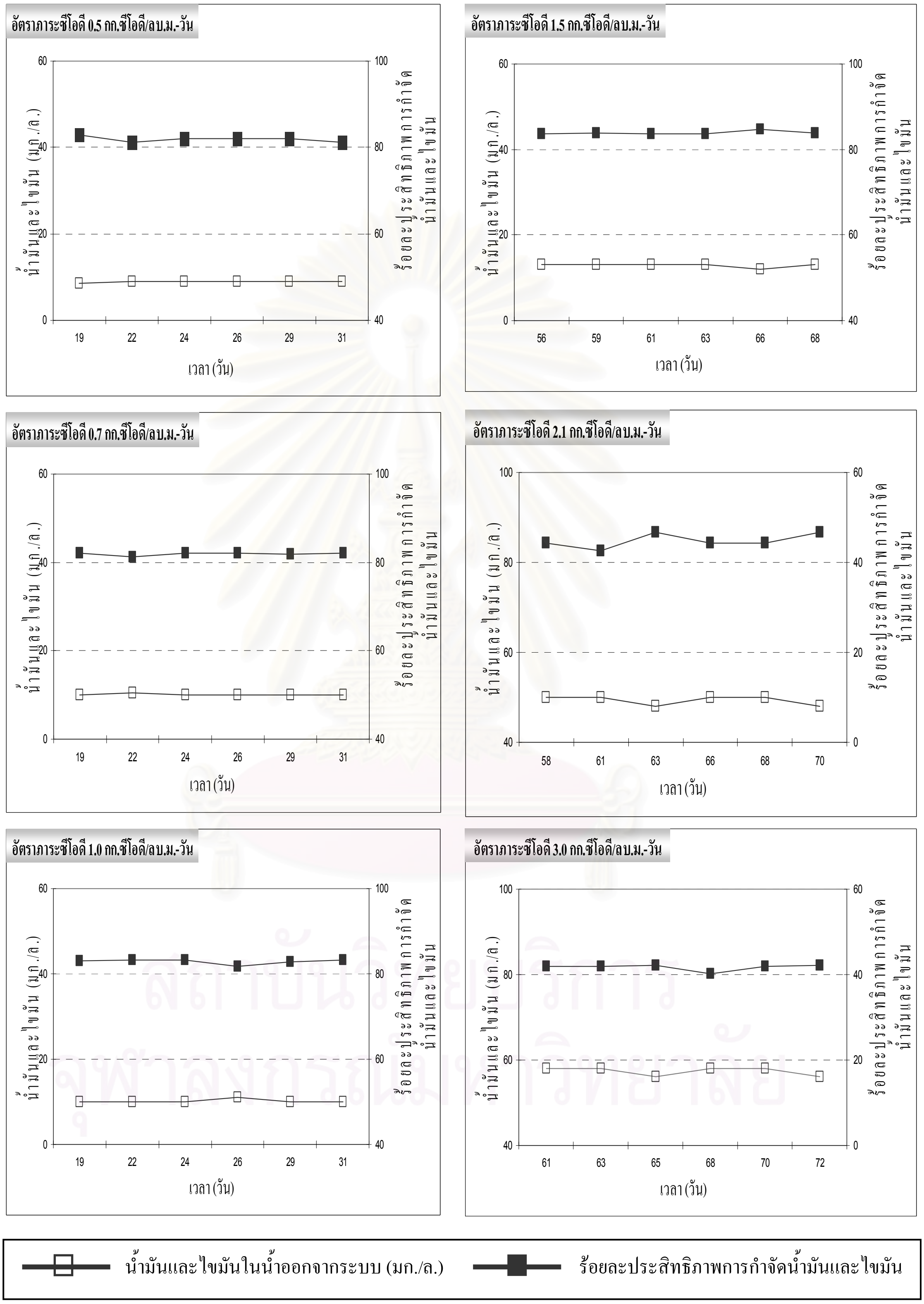
ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณาผลการทดลองโดยภาพรวม พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

ค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.9 พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 1.0 และ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันโดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 81.92 81.94 82.91 และ 83.82 ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันและไขมันที่เหลือในน้ำออกจากระบบมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9 10 10 และ 13 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่อัตราภาระซีโอดีดังกล่าวข้างต้น ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันค่อนข้างสูง แต่ทั้งนี้น้ำออกจากระบบยังคงมีปริมาณน้ำมันและไขมันสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้

เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันจะลดต่ำลง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันคิดเป็นร้อยละ 44.87 และ 41.79 ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันและไขมันที่เหลือในน้ำออกจากระบบมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 49 และ 57 มก./ล. ตามลำดับ

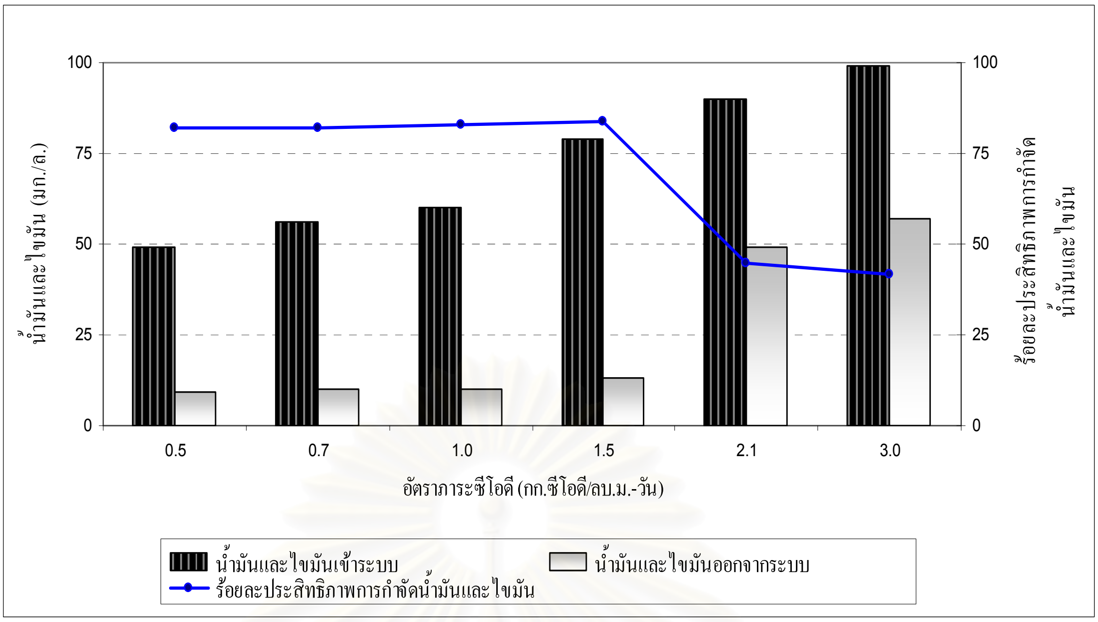
ตารางที่ 4.9 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	น้ำมันและไขมันเข้าระบบ (มก./ล.)	น้ำมันและไขมันออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัดน้ำมันและไขมัน
0.5	49	9	81.92
0.7	56	10	81.94
1.0	60	10	82.91
1.5	79	13	83.82
2.1	90	49	44.87
3.0	99	57	41.79



รูปที่ 4.14 ปริมาณน้ำมันและไขมันและประสิทธิภาพการกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันค่อนข้างสูง เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าสูงสุดที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันคิดเป็นร้อยละ 83.82 แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันจะลดต่ำลง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและไขมันคิดเป็นร้อยละ 44.87 และ 41.79 ตามลำดับ

จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของระบบบำบัดทางชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบ อันมีสาเหตุเนื่องมาจากน้ำมันและไขมันเป็นกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำ ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายยาวนานกว่าสารอินทรีย์หลายชนิด อีกทั้งหากมีปริมาณที่สูงเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในระบบได้ เนื่องจากน้ำมันจะลดอัตราการถ่ายเทมลสารสู่เซลล์ และยังเป็นต้นเหตุของการทำให้ตะกอนลอยอืดและระบบอุดตันด้วยไขมัน แต่หากอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ไม่สูงเกินไปน้ำมันและไขมันจัดเป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่ให้พลังงานแก่จุลินทรีย์สูง ดังนั้นเมื่อน้ำมันและไขมันเข้าสู่ระบบในปริมาณต่ำ เช่น ในกรณีอัตราภาระซีโอดีต่ำจุลินทรีย์ยังคงสามารถย่อยสลายได้โดยไม่ถูกยับยั้งการเจริญ และเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันสูงขึ้นในระดับที่จุลินทรีย์ยังสามารถย่อยสลายไป

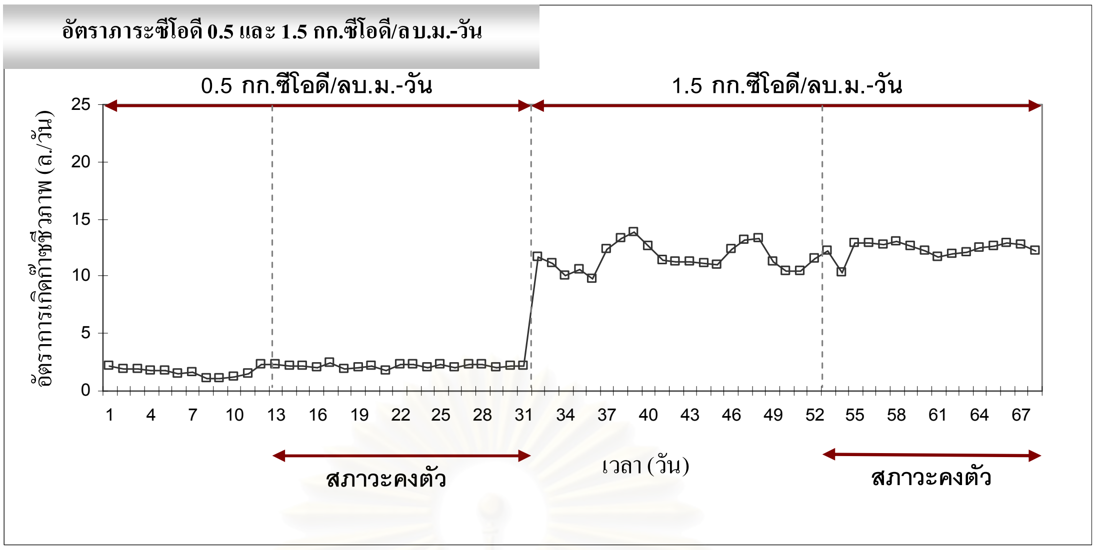
ใช้เป็นพลังงานได้ทัน จะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบให้สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันสูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้นจนถึงความเข้มข้นระดับหนึ่ง จุลินทรีย์จะไม่สามารถย่อยสลายน้ำมันและไขมันดังกล่าวได้ทัน อีกทั้งยังเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในระบบได้ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น จึงส่งผลให้ที่อัตราภาระซีโอดีสูงประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันจึงลดลง

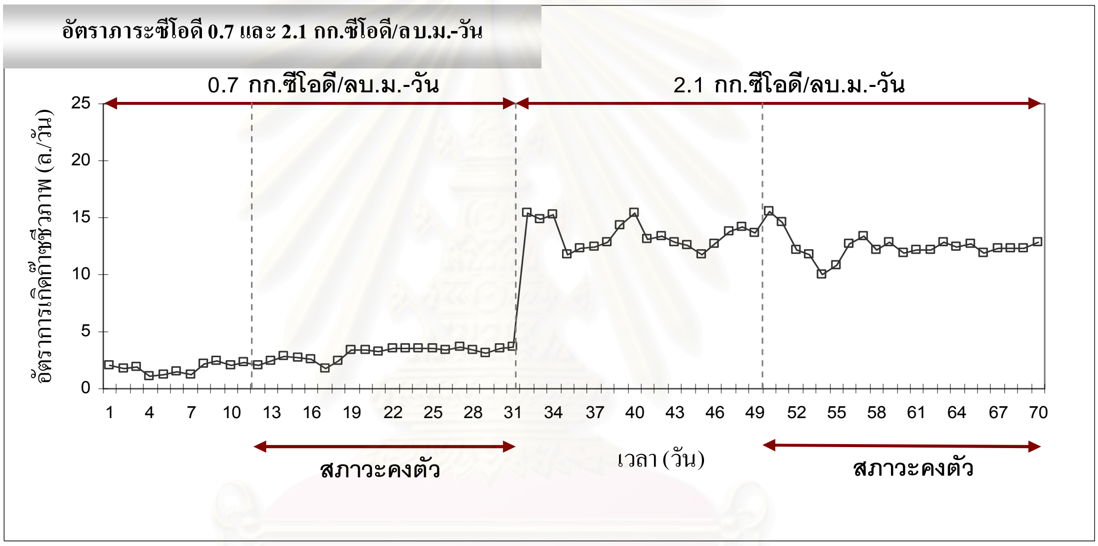
4.2.2 ประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียไบโอดีเซล

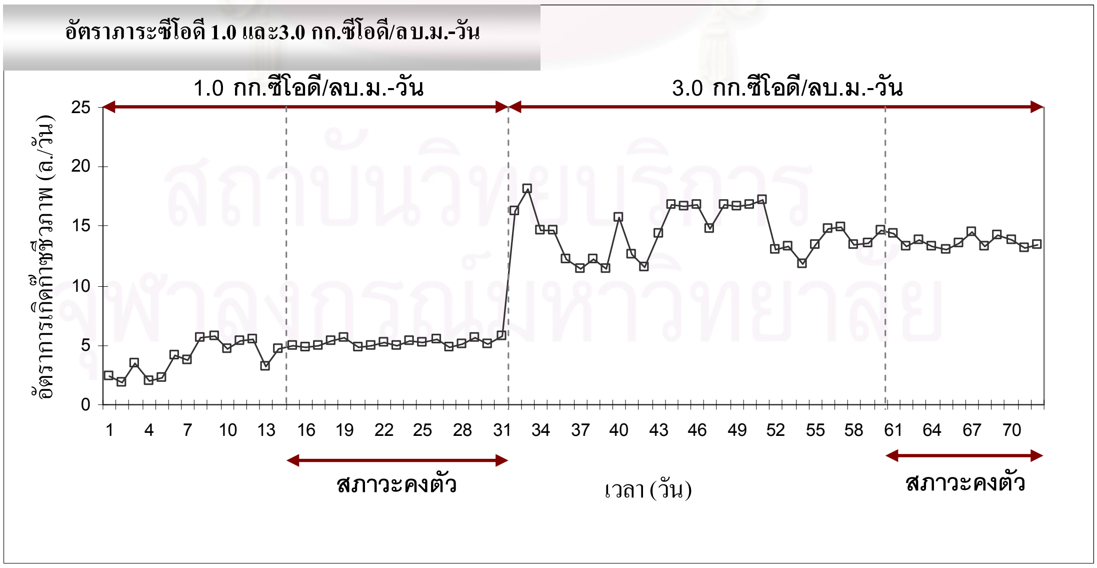
ประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียไบโอดีเซล พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีให้มีค่าสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.16 พิจารณาผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียไบโอดีเซลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ จากตารางที่ 4.10 แล้ว จะพบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 1.0 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็นลำดับโดยมีค่าเท่ากับ 2.11 3.44 5.52 12.42 12.49 และ 13.63 ล./วัน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ พบว่ามีค่าเฉลี่ยแปรผันอยู่ในช่วงร้อยละ 63.78 – 74.45 โดยที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 1.0 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าโดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 63.78 67.51 69.00 74.45 71.60 และ 71.50 ล./วัน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด พบว่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราภาระซีโอดีเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.5 - 1.5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยพบว่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 0.19 - 0.38 และ 0.12 - 0.28 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ โดยที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่ามีค่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดสูงสุดเท่ากับ 0.38 และ 0.28 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ จากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีเป็น 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดจะเริ่มลดลง โดยมีค่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.33 และ 0.26 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ และปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดมีค่าเท่ากับ 0.24 และ0.19 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ







รูปที่ 4.16 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียไบโอดีเซลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

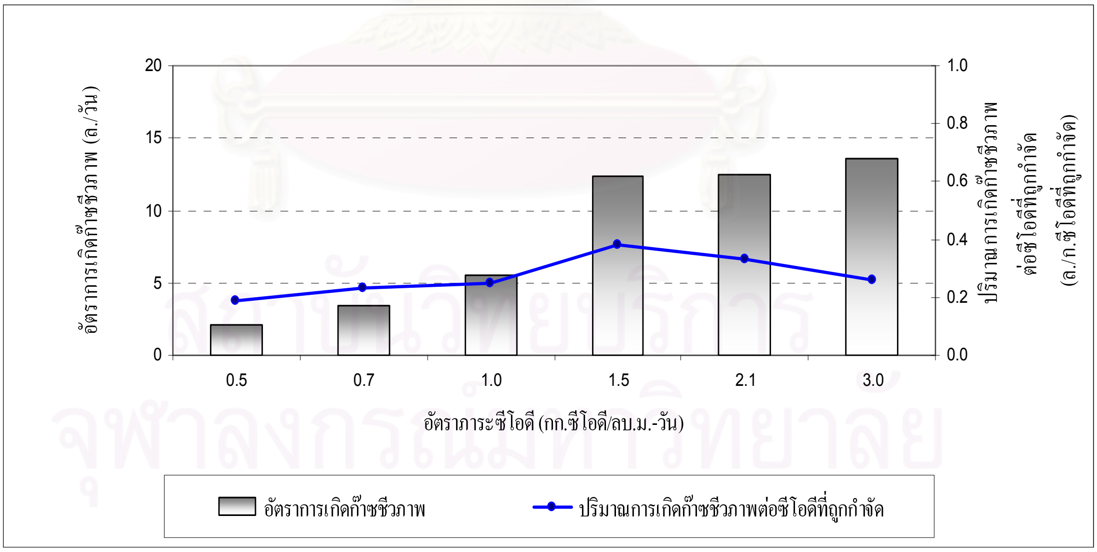
อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
0.5	2.11	63.78	0.19	0.12
0.7	3.44	67.51	0.23	0.16
1.0	5.52	69.00	0.25	0.17
1.5	12.42	74.45	0.38	0.28
2.1	12.49	71.60	0.33	0.24
3.0	13.63	71.50	0.26	0.19

รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่าเมื่ออัตราภาระซีโอดีเพิ่มสูงขึ้น อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ สาเหตุเนื่องมาจากในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนหากกระบวนการย่อยสลายซับสเทรตดำเนินไปจนสิ้นสุดกระบวนการแล้ว ซับสเทรตที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียจะนำเอาสารอาหารที่ได้จากซับสเทรตมาใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีจะทำให้ปริมาณซับสเทรตที่เข้าสู่ระบบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทนให้สูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ

แต่เนื่องจากการวัดอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเป็นเพียงการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบในแต่ละวันโดยมิได้คำนึงถึงปริมาณซับสเทรตในระบบที่ถูกใช้ไป ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าแท้จริงแล้วซับสเทรตได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพในปริมาณที่มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราภาระซีโอดีเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.5 - 1.5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีเป็น 2.1 และ 3.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทน

ในก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากมีการเพิ่มความเข้มข้นของซับสเทรตที่เข้าระบบมากเกินไป จะส่งผลให้แบคทีเรียสร้างกรดเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และจะสร้างกรดไขมันระเหยในระบบขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งหากกรดไขมันระเหยมีปริมาณสูงเกินกว่าที่แบคทีเรียสร้างมีเทนจะสามารถย่อยสลายและนำไปใช้ได้ทัน จะทำให้ระบบเสียสมดุลได้ เนื่องจากกรดไขมันระเหยที่สะสมในระบบในปริมาณสูง จะทำให้พีเอชในระบบลดลงและยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Zhou, W. และคณะ, 2006) ส่งผลให้เมื่อเพิ่มอัตราภาระซีโอดีเป็น 2.1 และ 3.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ทั้งปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มลดลงนั่นเอง

ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิจัยเกี่ยวกับอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนของน้ำเสียชนิดอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น การบำบัดน้ำเสียไนโตรเบนซีน น้ำเสียจากการผลิตยาแผนจีน น้ำเสียพาราไนโตรฟีนอล น้ำเสียซูโครส เป็นต้น ซึ่งต่างพบว่าเมื่ออัตราภาระซีโอดี หรือ ความเข้มข้นของซับสเทรตเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่ออัตราภาระซีโอดีหรือ ความเข้มข้นของซับสเทรตเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะส่งผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพลดลง (Kuscu, O. S. และ Sponza, D. T., 2009; Liu, X.; Ren, N. และ Yuan, Y., 2009; Kuscu, O. S. และ Sponza, D. T., 2006; She, Z. และคณะ, 2006)



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนของน้ำเสียประเภทต่างๆ (ดัดแปลงจาก Cavaleiro, A.J. และคณะ, 2008)

ประเภทน้ำเสีย	ประเภทระบบ	เวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	อ้างอิง
น้ำเสียไอศกรีม	UASB	1.6	2.2	0.19	Hawkes และคณะ (1995)
น้ำเสียน้ำมันปาล์ม	MABR	3-10	1.6-5.3	0.32-0.42	Faisal และ Unno (2001)
น้ำเสียน้ำมันจาก - เมล็ดทานตะวัน	UASB	2-2.8	1.6-7.8	0.16-0.35	Saatci และคณะ (2003)
น้ำเสียฟาร์มปศุสัตว์	UASB	0.3-0.1	13-30	0.20-0.28	Torkian และคณะ (2003)
น้ำเสียไบโอดีเซล	ABR	10	0.5-3.0	0.12-0.28	งานวิจัยนี้

จากตารางที่ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนของน้ำเสียไบโอดีเซล กับน้ำเสียประเภทต่างๆ พบว่าน้ำเสียไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ โดยมีความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 0.12-0.28 ล./ก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับศักยภาพของน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ ที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบ

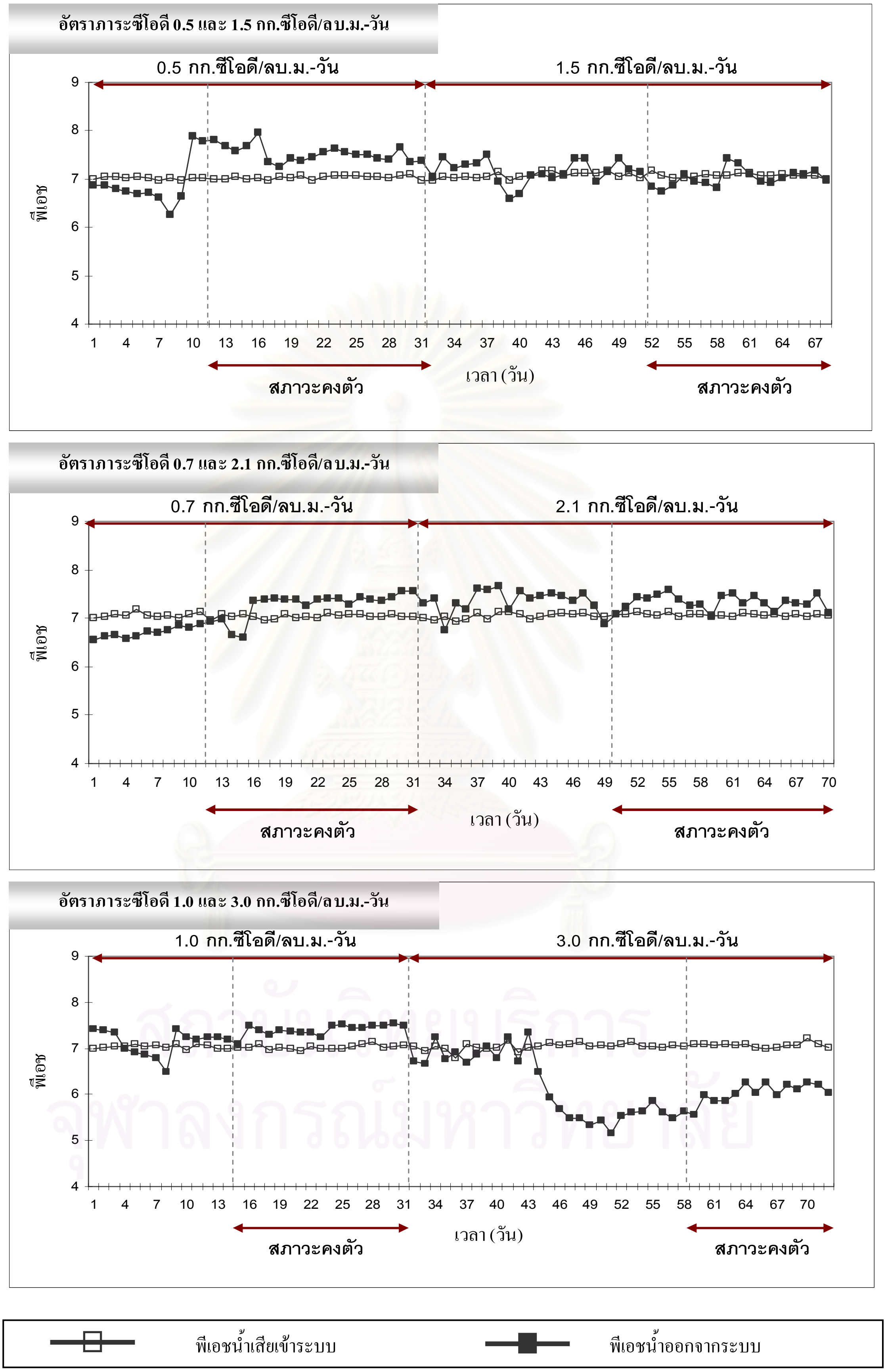
4.2.3 สภาวะการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล

1) พีเอช

แนวโน้มค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.18 และค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่าที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ น้ำเสียเข้าระบบมีค่าพีเอชโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.03 – 7.08 เนื่องจากในการเตรียมน้ำเสียก่อนป้อนเข้าระบบได้ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียจาก 3.96 ให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนพีเอชน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.51 7.44 7.45 7.07 7.30 และ 6.07 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พีเอชของน้ำออกจากระบบจะมีค่าอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.07-7.51 ยกเว้นในกรณีอัตราภาระซีโอดี 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งพบว่าพีเอชของน้ำออกจากระบบมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราภาระซีโอดีอื่นๆ โดยมีค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.07

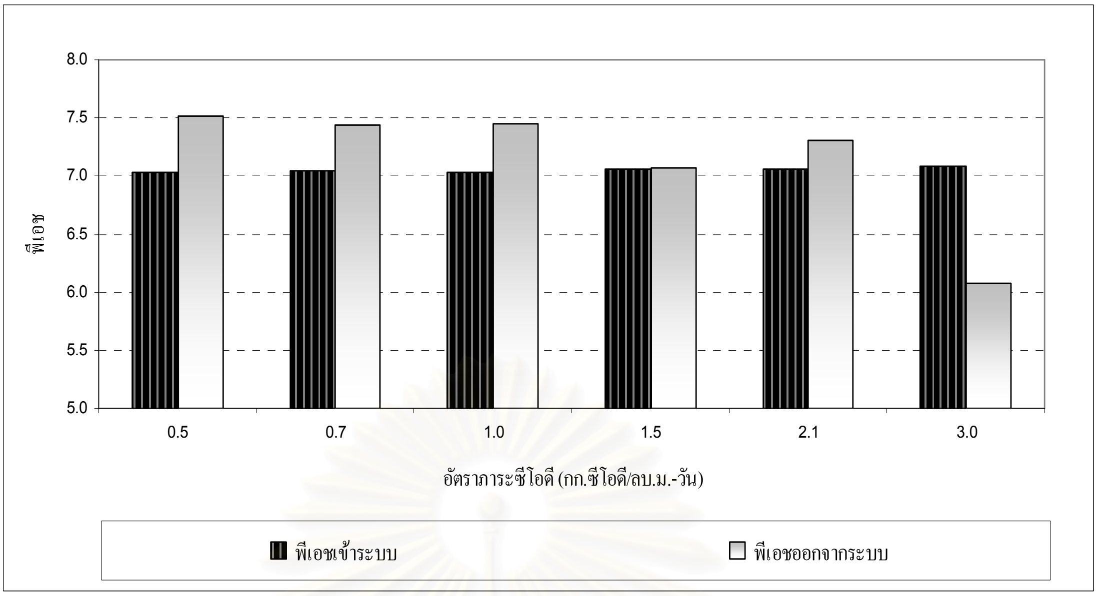
ตารางที่ 4.12 สรุปค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	พีเอชเข้าระบบ	พีเอชออกจากระบบ
0.5	7.03	7.51
0.7	7.05	7.44
1.0	7.03	7.45
1.5	7.06	7.07
2.1	7.06	7.30
3.0	7.08	6.07



รูปที่ 4.18 พีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

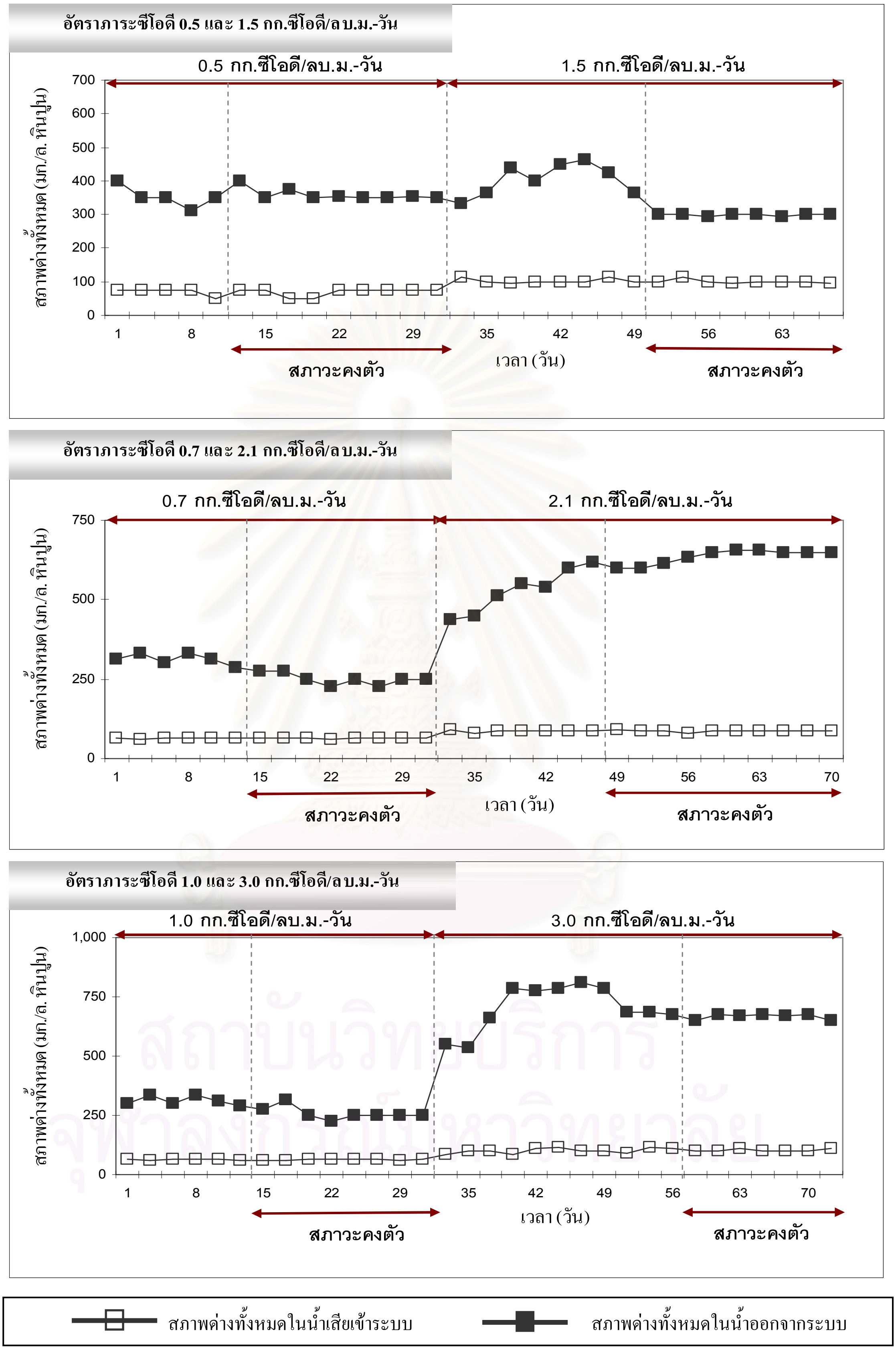
จากรูปที่ 4.19 เมื่อเปรียบเทียบพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พีเอชของน้ำเสียออกจากระบบจะมีพีเอชเป็นกลาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีสภาวะการทำงานที่เป็นปกติ ยกเว้นในกรณีที่เพิ่มอัตราภาระซีโอดีเป็น 3.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าพีเอชของน้ำเสียออกจากระบบจะมีค่าลดลงเหลือ 6.07 โดยอัตราภาระซีโอดีที่สูงอาจก่อให้เกิดการเสียสมดุลระหว่างปริมาณแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบได้ ซึ่งส่งผลให้แบคทีเรียสร้างกรดผลิตกรดไขมันระเหยขึ้นจำนวนมาก เมื่อแบคทีเรียสร้างมีเทนนำกรดไขมันระเหยไปใช้ไม่ทันจึงเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยในระบบ ส่งผลให้ค่าพีเอชในระบบลดลง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ระบบเกิดการขาดสภาวะสมดุลและอาจนำไปสู่การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบได้ (Zhou, W. และคณะ, 2006)

2) สภาพด่างทั้งหมด

จากตารางที่ 4.13 สรุปสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 63-104 มก./ล. หินปูน และสภาพด่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 1.0 1.5 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 352 242 246 298 652 และ 669 มก./ล. หินปูน ตามลำดับ รูปที่ 4.20 แสดงสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของทุกอัตราภาระซีโอดีมีทิศทางไปในทางเดียวกันคือ สภาพด่างทั้งหมดในน้ำออกจากระบบจะมีค่าสูงกว่าในกรณีของน้ำเสียเข้าระบบในทุกอัตราภาระซีโอดี

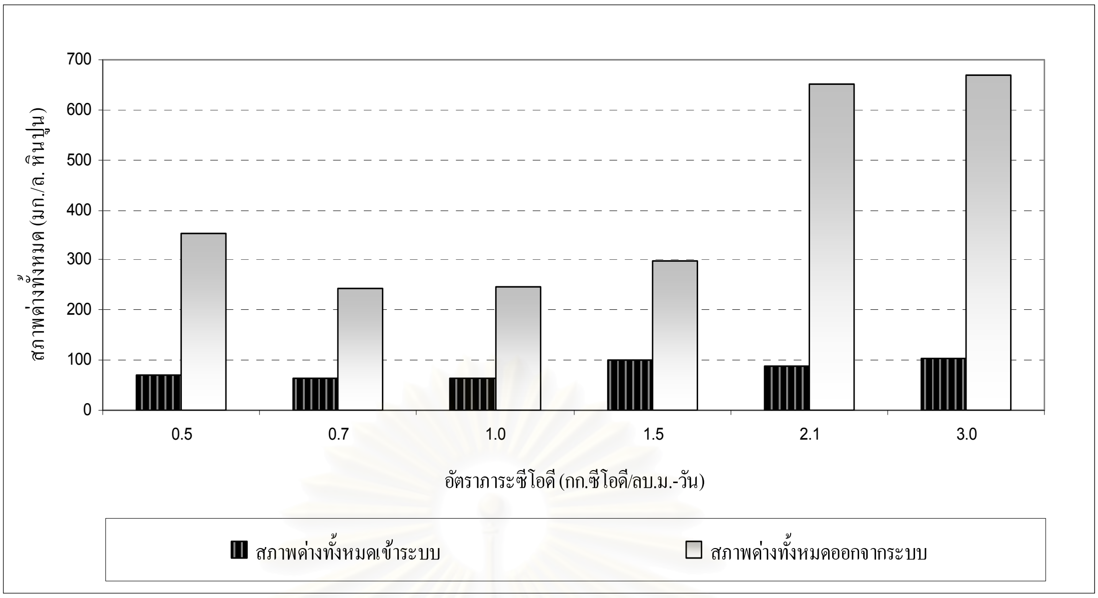
ตารางที่ 4.13 สรุปสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	สภาพด่างทั้งหมดเข้าระบบ (มก./ล. หินปูน)	สภาพด่างทั้งหมดออกจากระบบ (มก./ล. หินปูน)
0.5	71	352
0.7	63	242
1.0	63	246
1.5	99	298
2.1	87	652
3.0	104	669



รูปที่ 4.20 สภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่า สภาพด่างทั้งหมดในน้ำออกจากระบบจะมีค่าสูงกว่าในกรณีของน้ำเสียเข้าระบบในทุกอัตราภาระซีโอดี โดยเฉพาะที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 2.1 และ 3.0 มก./ล. หินปูน สภาพด่างทั้งหมดในน้ำออกจากระบบจะมีค่าสูงกว่าที่อัตราภาระซีโอดีอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 652 และ 669 มก./ล. หินปูน ตามลำดับ สาเหตุที่สภาพด่างทั้งหมดในน้ำออกจากระบบมีค่าสูงกว่าในกรณีของน้ำเสียเข้าระบบในทุกอัตราภาระซีโอดี อาจเนื่องมาจากการที่ในน้ำเสียไบโอดีเซลเข้าระบบ มีสบู่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสารนี้จัดเป็นสารที่เมื่อเกิดเมทาบอลิซึมแล้วจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสภาพด่างทั้งหมดในระบบได้ (Speece, R.E., 1996) ส่งผลให้สภาพด่างทั้งหมดในน้ำออกจากระบบจะมีค่าสูงกว่าในกรณีของน้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนมากในกรณีที่มีอัตราภาระซีโอดีสูงๆ ซึ่งน้ำเสียจะมีสบู่และกรดซัลฟิวริคเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูงกว่าที่อัตราภาระซีโอดีต่ำนั่นเอง

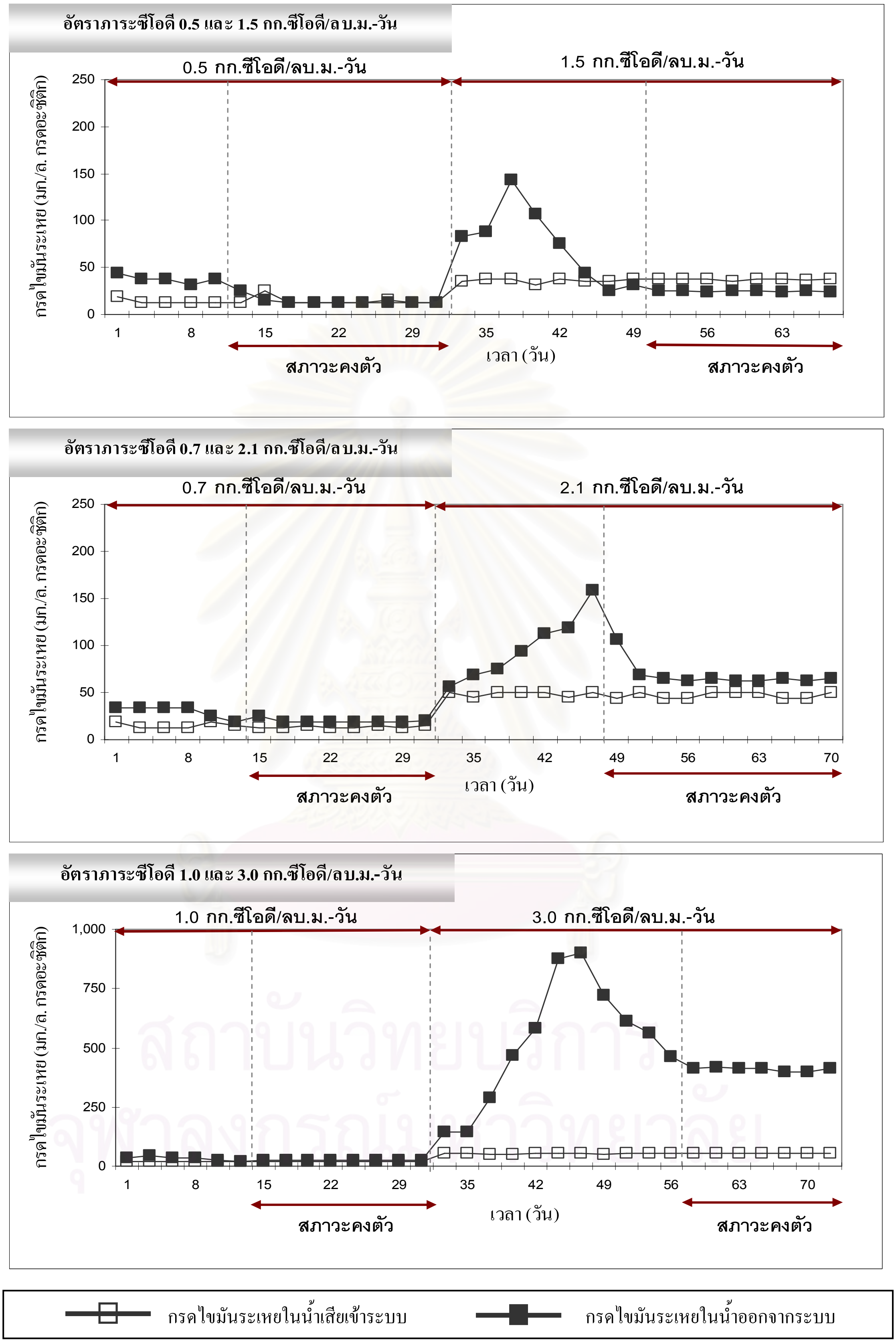
3) กรดไขมันระเหย

ตารางที่ 4.14 สรุปกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าระบบที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 1.0 2.1 และ 3.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13 14 19 37 48 และ 55 มก./ล. กรดอะซิติก ตามลำดับ และกรดไขมันระเหยของน้ำออกจากระบบในแต่ละชุดการทดลองจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12 19 24 25 64 และ 410 มก./ล. กรดอะซิติก ตามลำดับ แนวโน้มปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.22 พบว่ากรดไขมันระเหยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน คือ มีปริมาณกรดไขมันระเหยทั้งในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบอยู่ในระดับที่ต่ำ ยกเว้นในกรณีที่มีอัตราภาระซีโอดีสูง คือ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งพบว่ามีกรดไขมันระเหยในน้ำออกจากระบบสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับที่พบในอัตราภาระซีโอดีอื่นๆ

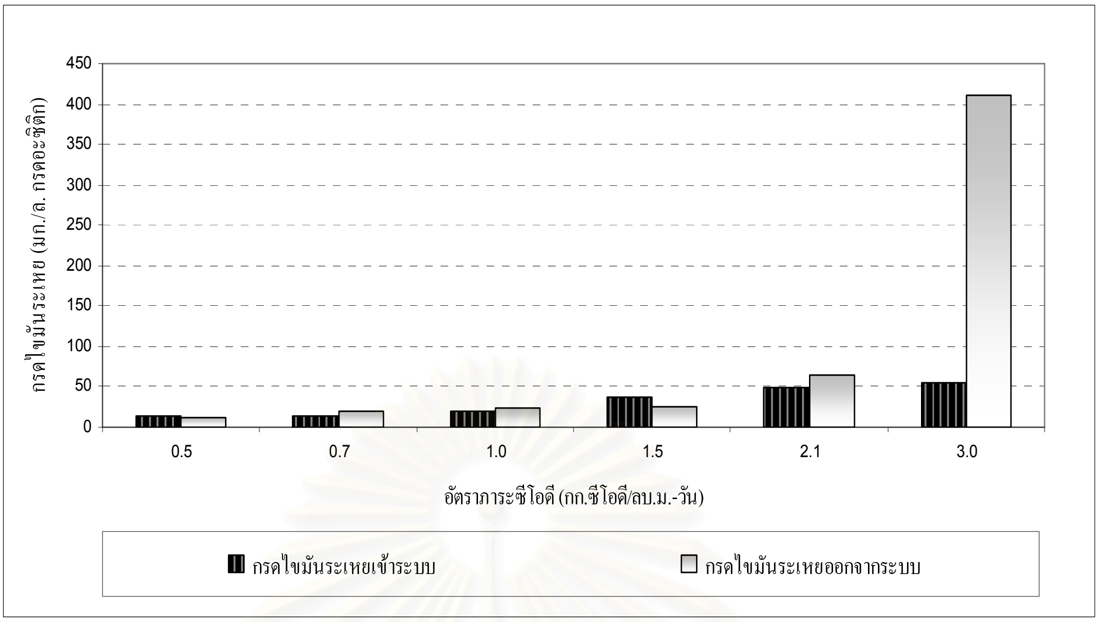
ตารางที่ 4.14 สรุปกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	กรดไขมันระเหยเข้าระบบ (มก./ล. กรดอะซิติก)	กรดไขมันระเหยออกจากระบบ (มก./ล. กรดอะซิติก)
0.5	13	12
0.7	14	19
1.0	19	24
1.5	37	25
2.1	48	64
3.0	55	410

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.22 ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัว ของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

เมื่อทำการเปรียบเทียบกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ ดังรูปที่ 4.23 พบว่าน้ำเสียเข้าระบบในทุกอัตราภาระซีโอดีมีปริมาณกรดไขมันระเหยไม่สูงมากนักเนื่องจากมีการเติมสารด่างให้กับน้ำเสียก่อนทำการป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อปรับพีเอช ส่วนน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่ามีปริมาณกรดไขมันระเหยต่ำโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 12-64 มก./ล. กรดอะซิติก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาวะการเดินระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แตกต่างกันกับที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งพบว่ามีกรดไขมันระเหยในน้ำออกจากระบบสูงเท่ากับ 410 มก./ล. กรดอะซิติก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยขึ้นในระบบจนนำไปสู่การลดลงของค่าพีเอช (Ahring, B. K. และคณะ, 2003) สอดคล้องกับค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบที่พบว่ามีค่าต่ำกว่าในอัตราภาระซีโอดีอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด

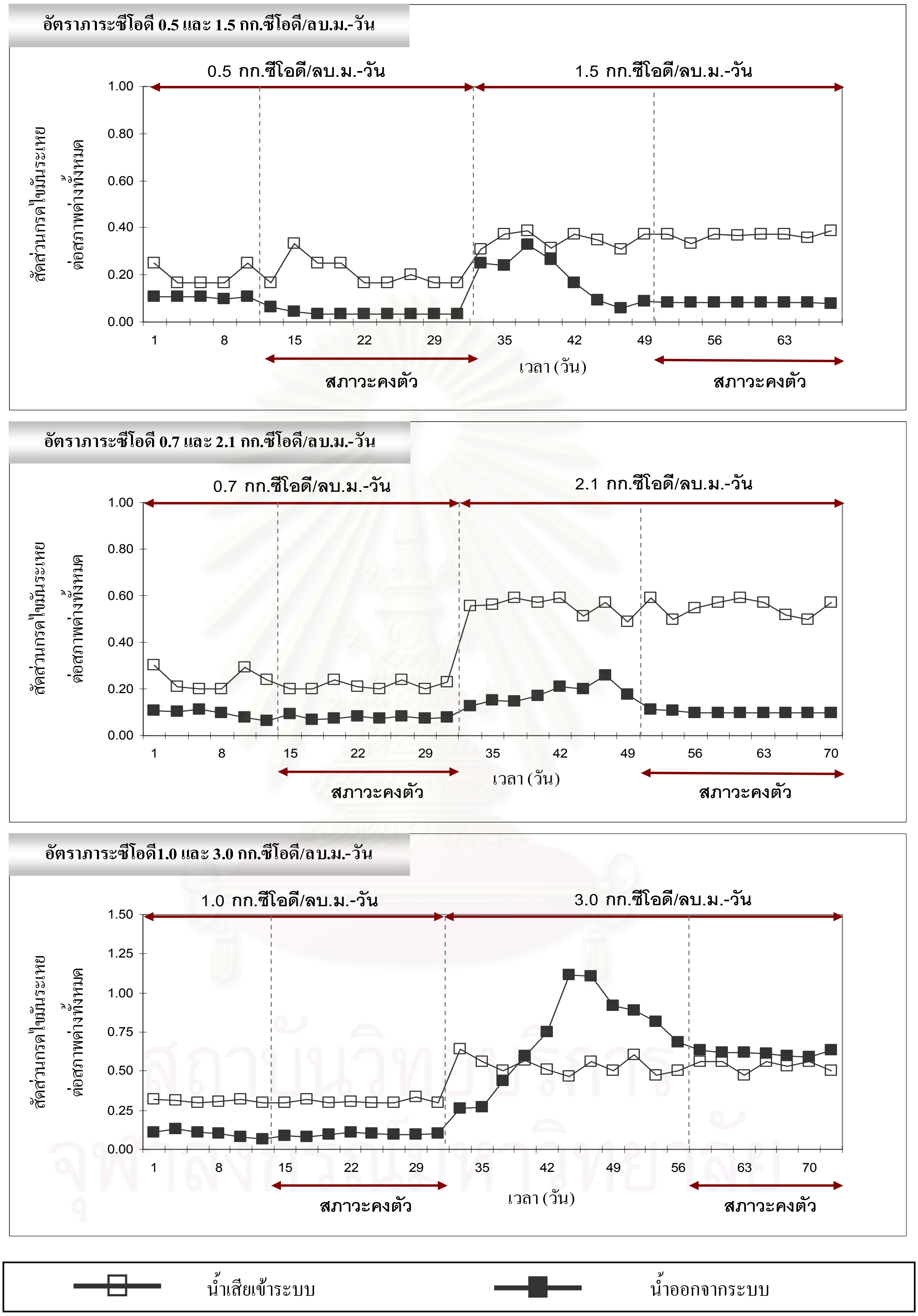
4) สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด

เมื่อพิจารณาสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 0.5 0.7 1.0 2.1 และ 3.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.19 0.22 0.31 0.37 0.55 และ 0.53 ตามลำดับ และมีสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 0.08 0.10 0.08 0.10 และ 0.61 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-2.1 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.04-0.10 แต่ในกรณีที่อัตราภาระซีโอดี 3.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบมีค่าสูงถึง 0.61 โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.24

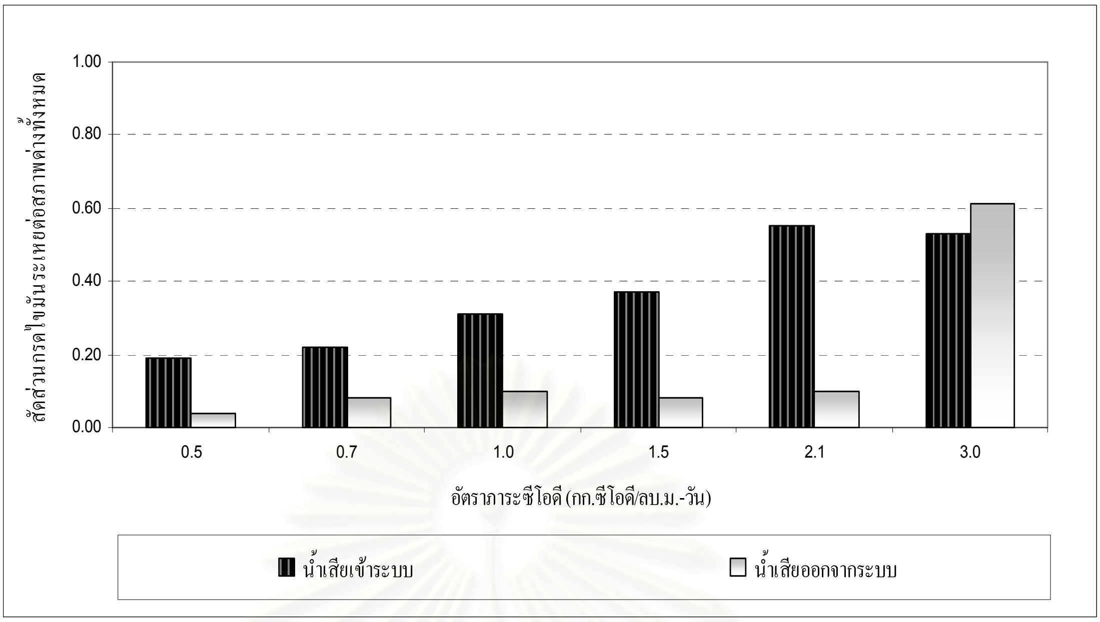
ตารางที่ 4.15 สรุปสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
0.5	0.19	0.04
0.7	0.22	0.08
1.0	0.31	0.10
1.5	0.37	0.08
2.1	0.55	0.10
3.0	0.53	0.61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ
ที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

จากรูปที่ 4.25 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่ามีสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดต่ำกว่า 0.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาวะการเดินระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ยังทำงานได้ดี (ควบคุมมลพิษ. กรม, 2546) ส่วนในกรณีอัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบมีค่าสูงถึง 0.61 สาเหตุเนื่องมาจากที่อัตราภาระซีโอดีที่สูงจะเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยภายในระบบจำนวนมาก ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อพีเอชและกรดไขมันระเหยง่าย ทำให้สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบมีค่าสูงตามไปด้วย

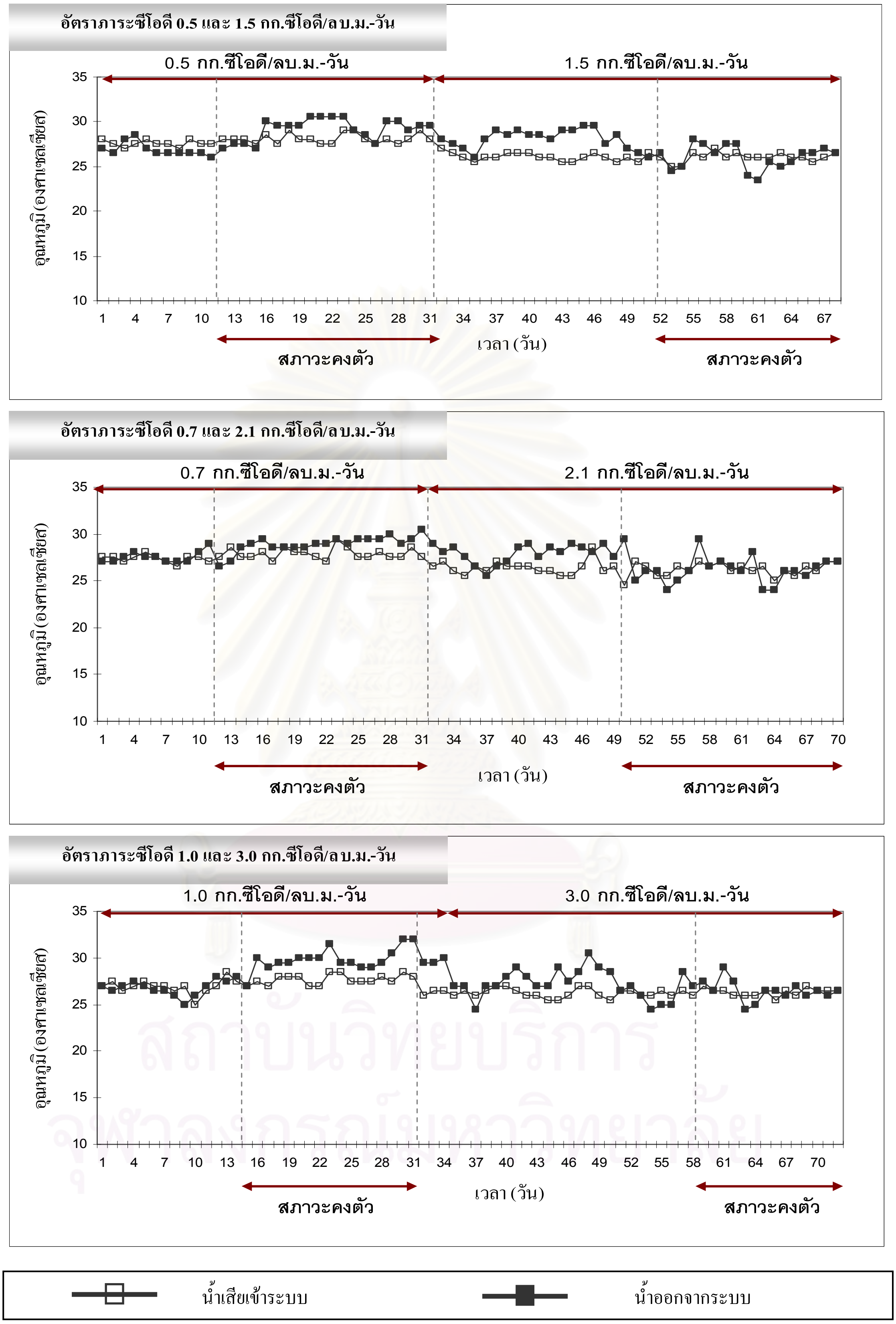
5) อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบอัตราภาระซีโอดีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.26 พบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 0.7 1.0 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่สภาวะคงตัว อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 28.00 27.67 27.75 26.17 26.42 และ 26.33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 29.17 29.25 30.08 26.08 26.00 และ 26.67 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 สรุปอุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

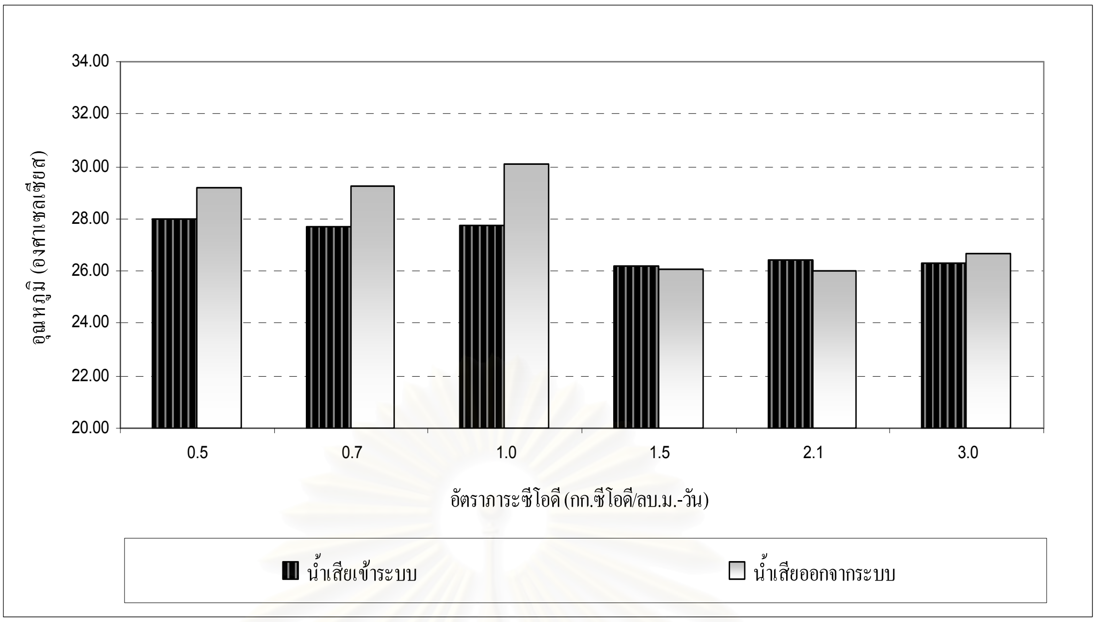
อัตราภาระซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อุณหภูมิเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว (องศาเซลเซียส)	
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
0.5	28.00	29.17
0.7	27.67	29.25
1.0	27.75	30.08
1.5	26.17	26.08
2.1	26.42	26.00
3.0	26.33	26.67

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



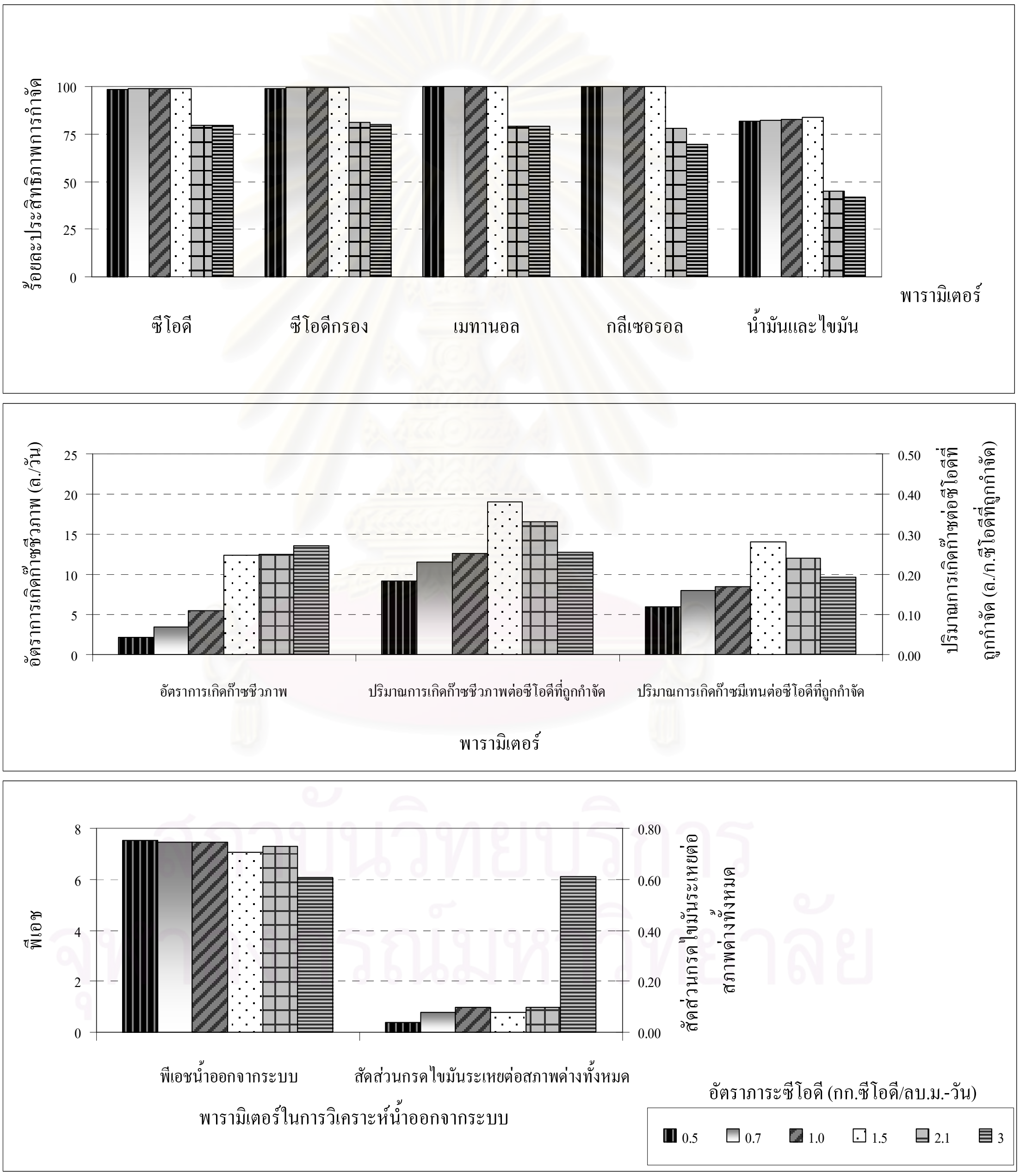
รูปที่ 4.27 อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ

จากรูปที่ 4.27 พบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีต่างๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26.17-28.00 องศาเซลเซียส ซึ่งมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงบ้างตามอุณหภูมิห้องในขณะดำเนินการเดินระบบ แต่ทั้งนี้อุณหภูมิดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน โดยอยู่ในช่วงอุณหภูมิมีโซฟิลิค คือช่วงที่มีอุณหภูมิประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส (Ahring, B. K. และคณะ, 2003)

ส่วนอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบ พบว่ามีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิห้องในขณะทำการเดินระบบ โดยพบว่าอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบแบ่งได้เป็นสองกลุ่มตามช่วงฤดูกาลที่เดินระบบ ได้แก่ ชุดแรกที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ทำการเดินระบบในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม อุณหภูมิห้องโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 31.12 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าอุณหภูมิห้องโดยเฉลี่ยดังกล่าวมีค่าสูงกว่าในการทดลองชุดที่สองที่ทำการเดินระบบที่อัตราภาระซีโอดี 1.5-3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งทำการเดินระบบในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม อุณหภูมิห้องโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 29.57 องศาเซลเซียส ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดี 0.5-1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดี 1.5-3.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันนั่นเอง

4.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ โดยภาพรวมทั้งในด้านประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดมลสารต่างๆ ศักยภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ และลักษณะน้ำออกจากระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีต่างๆ

จากรูปที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่อัตราภาระซีโอดีต่างกัน พบว่าอัตราภาระซีโอดีส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล โดยที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 0.5 – 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน การเพิ่มอัตราภาระซีโอดีให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารต่างๆ ในน้ำเสีย ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย แต่หากมีการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีต่อไปจนถึงอัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพดังกล่าวจะมีแนวโน้มลดลง

โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 – 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน พบว่าที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลสูงสุด โดยร้อยละประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีกรอง เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.41 100.00 100.00 และ 83.82 ตามลำดับ และมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.38 และ 0.28 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 74.45

การเพิ่มอัตราภาระซีโอดีเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของซับสเทรตที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งความเข้มข้นของซับสเทรตที่มากขึ้นนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบให้สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารต่างๆ เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของซับสเทรตที่มากขึ้นยังเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทน ส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยเมื่อพิจารณาลักษณะน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระซีโอดีดังกล่าว พบว่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดต่างมีค่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่เป็นอันตรายต่อระบบ

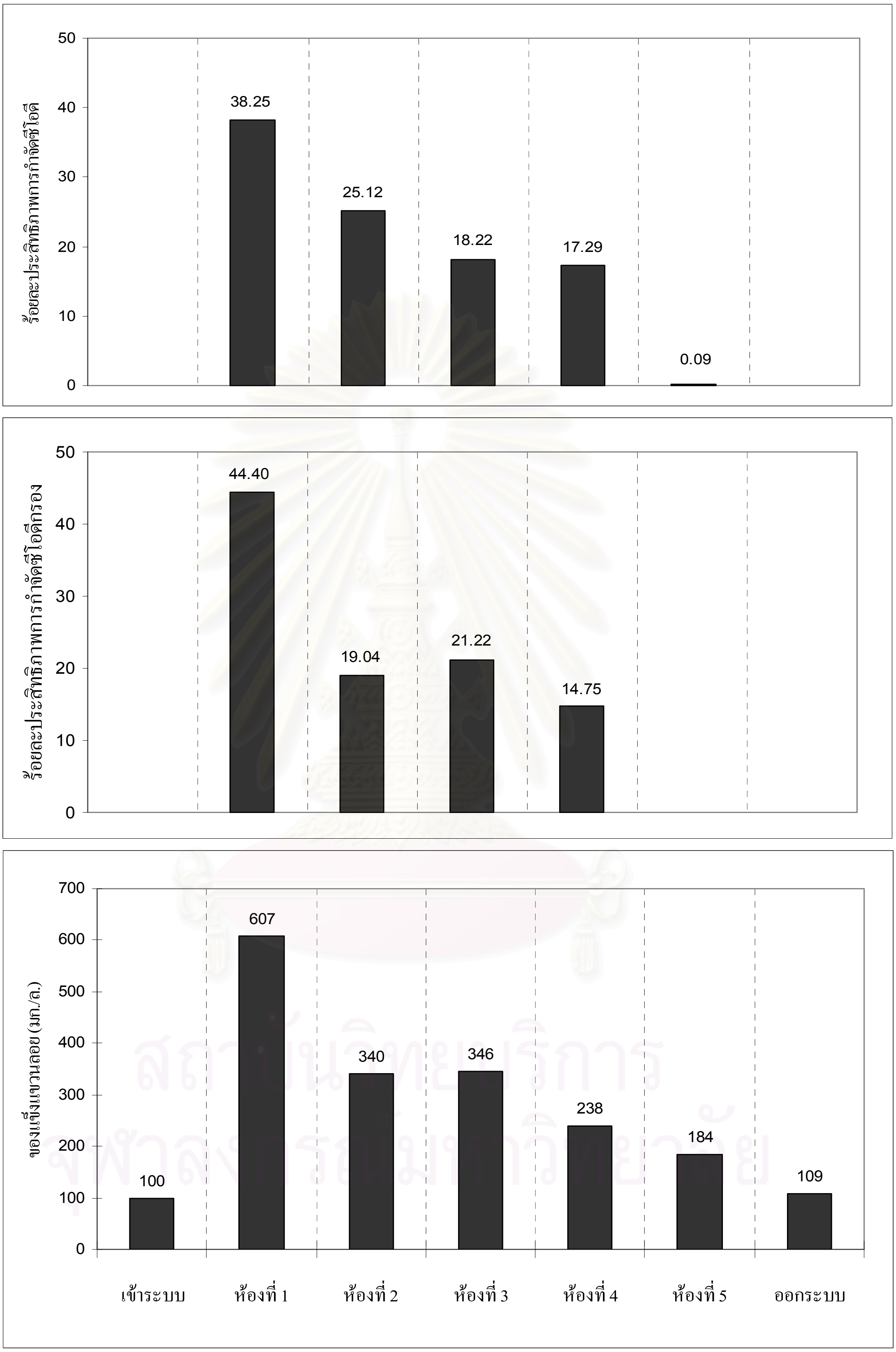
ส่วนในกรณีที่เพิ่มอัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 2.1 และ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดมลสาร รวมทั้งปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีแนวโน้มลดลงนั้น อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากความเข้มข้นของซับสเทรตที่อัตราภาระซีโอดีดังกล่าวมีค่าสูง ทำให้ซับสเทรตบางส่วนเกิดการไฮโดรไลซิสไม่สมบูรณ์ในห้องแรกๆ ของระบบ กระบวนการไฮโดรไลซิสจึงเลื่อนไปเกิดขึ้นในห้องถัดๆ ไป ส่งผลให้ซับสเทรตบางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนได้ไม่ทัน

จึงปรากฏออกมาในรูปของซีโอดี รวมทั้งมลสารในน้ำออกจากระบบที่สูง นอกจากนี้ความเข้มข้นของซับสเตรทบางชนิดอาจมีค่าสูงจนถึงจุดที่อาจเกิดการจำกัดอัตราการเจริญเติบโตแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ ทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณที่สูง ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบ ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารต่างๆ รวมทั้งปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จึงมีแนวโน้มลดลง

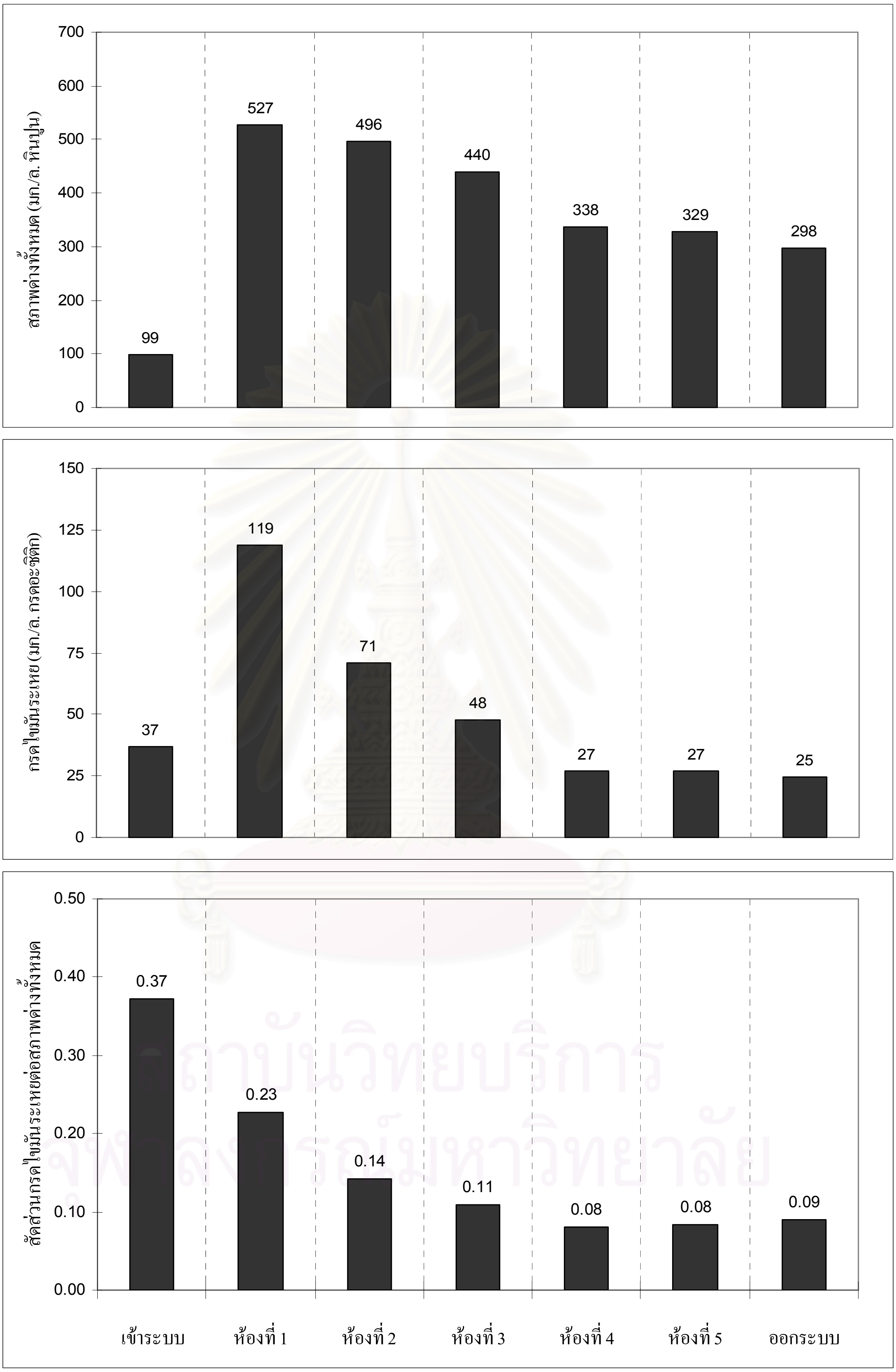
ทั้งนี้จากผลการทดลองพบว่าเพื่อประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารและการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดจำเป็นที่จะต้องมีการเจือจางน้ำเสียให้มีความเข้มข้นของซีโอดีเข้าระบบเท่ากับ 15,000 มก./ล. ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นแบบไร้ออกซิเจน และข้อจำกัดอีกประการหนึ่ง คือ ที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน น้ำออกจากระบบยังคงมีค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันในระดับที่สูงเกินกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอื่นๆ ต่อไปหลังจากการบำบัดด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน เพื่อให้น้ำทิ้งมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล

เพื่อให้การอธิบายลักษณะการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลในสภาวะที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำเสีย และมีการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดมีความชัดเจนยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพตามระยะทางของระบบที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง และปริมาณของแข็งแขวนลอย ตามระยะทางของระบบ รวมทั้งศึกษาสภาวะการทำงานตามระยะทางของระบบ ได้แก่ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด โดยทำการเก็บข้อมูลผลการทดลองในทุกห้องของถังปฏิกรณ์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวนานเป็นเวลาสองสัปดาห์ ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะการทำงานตามระยะทางของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลที่สภาวะคงตัวของอัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.29 และ 4.30



รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง และปริมาณของแข็งแขวนลอยตามระยะทางของระบบที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.30 สภาวะการทำงานตามระยะทางของระบบ

จากรูปที่ 4.29 และ 4.30 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองภายในระบบจะเกิดขึ้นสูงสุดในห้องที่ 1 โดยมีค่าร้อยละการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองเท่ากับ 38.25 และ 44.40 ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองจึงลดลงในห้องถัดมา เมื่อพิจารณาค่ากรดไขมันระเหยภายในระบบ พบว่ากรดไขมันระเหยจำนวนมากถูกสร้างขึ้นภายในห้องที่ 1 จากนั้นปริมาณกรดไขมันระเหยจึงค่อยๆ ลดลงตามระยะทางของระบบ

จากแนวโน้มดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองได้สูงสุดภายในห้องที่ 1 ของระบบ มลสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน ย่อยสลายได้ยาก หรือ สารที่ย่อยสลายไม่ทันในห้องที่ 1 ก็จะเลื่อนไปย่อยสลายในห้องถัดๆ ไปของระบบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองในห้องถัดๆ มาจึงลดลง (Wu, H. และคณะ, 2006) ปริมาณของแข็งแขวนลอยภายในระบบมีค่าสูงสุดที่ห้องที่ 1 และมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางของระบบ ส่วนค่ากรดไขมันระเหยที่พบในปริมาณมากที่ห้องที่ 1 ของระบบ แสดงให้เห็นว่าเกิดการไฮโดรไลซิสและการสร้างกรดขึ้นมากภายในห้องที่ 1 (She, Z. และคณะ, 2006; Akunna, J.C. และ Clark, M., 2000) ค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่บ่งบอกถึงเสถียรภาพภายในระบบ หากมีค่าต่ำกว่า 0.4 แสดงว่าระบบยังอยู่ในสภาวะที่มีความคงตัว แต่หากมีค่าสูงเกิน 0.8 แสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะที่ไม่คงตัว และระบบอาจล้มเหลวได้ (Kuscu, O. S. และ Sponza, D. T., 2006) ซึ่งจากการทดลองเมื่อพิจารณาสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดภายในระบบ พบว่ามีค่าสูงสุดในห้องที่ 1 จากนั้นจึงลดลงตามระยะทางของระบบ โดยมีค่าโดยเฉลี่ยตลอดระยะทางภายในระบบอยู่ในช่วง 0.08-0.23 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบอยู่ในสภาวะที่คงตัว ส่วนในกรณีของสภาพด่างทั้งหมด พบว่ามีค่าสูงในห้องแรกๆ ของระบบอาจมีสาหตุเนื่องจากสบู่ในน้ำเสียซึ่งเมื่อเกิดเมทาบอลิซึมแล้วจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสภาพด่างทั้งหมดในระบบได้ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อสภาพด่างทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ผลการศึกษาตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบ

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล ทั้งในส่วนของลักษณะภายนอกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยผลการศึกษาตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลแสดงได้ดังนี้

4.4.1 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากระบบยูเอเอสบีจากโรงงานผลิตน้ำอัดลม ดังนั้นลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลองจึงยังคงความเป็นเม็ดตะกอนให้เห็นอย่างชัดเจน โดยมีสีน้ำตาลอ่อนอมเทา รูปร่างค่อนข้างกลม ดังรูปที่ 4.31 ก่อนการทดลองในระหว่างรอการเดินระบบ ได้นำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มาเก็บไว้ในถังภาชนะปิดที่ภายในบรรจุน้ำเสียไบโอดีเซลเจือจางที่มีค่าซีโอดีประมาณ 100 มก./ล. นานประมาณ 60 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียชนิดใหม่ แล้วจึงนำเอาตะกอนจุลินทรีย์ดังกล่าวมาทำการศึกษาลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์โดยมีผลการศึกษาดังนี้

รูปที่ 4.31 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง

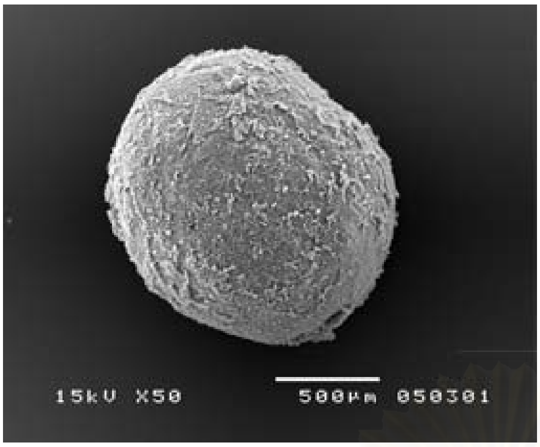
ผลการศึกษาลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy; SEM) พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะทางกายภาพ และกลุ่มแบคทีเรียที่พบดังรูปที่ 4.32

<u>โครงสร้างบริเวณผิวชั้นนอก</u> จากรูปที่ 4.32 ก) แสดงลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีรูปร่างเป็นเม็ดกลมที่ค่อนข้างสมบูรณ์ และมีผิวนอกค่อนข้างเรียบ รูปที่ 4.32 ข) แสดงกลุ่มแบคทีเรียที่พบในบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรียที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ซึ่งจากรูปพบกลุ่มแบคทีเรียที่มีรูปร่างแตกต่างกันหลากหลายชนิดอาศัยอยู่ร่วมกันที่บริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยพบทั้งแบคทีเรียกลุ่มที่มีรูปร่างแบบท่อน (Rod shape) รูปร่างแบบกลม (Spherical shape) และแบคทีเรียที่เป็นกลุ่มเส้นใย (Filamentous) โดยพบว่าแบคทีเรียกลุ่มเด่น คือ แบคทีเรียที่มีรูปร่างแบบกลม และแบคทีเรียกลุ่มเส้นใย

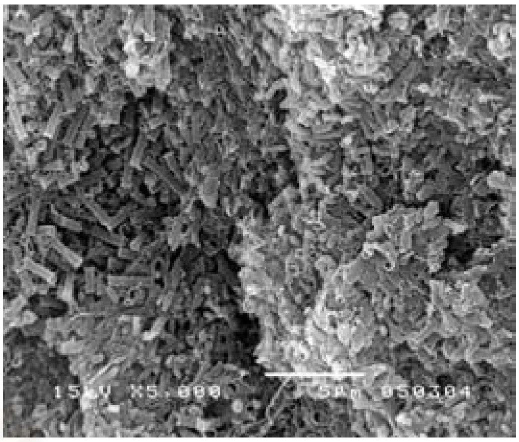
<u>โครงสร้างภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์</u> จากรูปที่ 4.32 ค) แสดงลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 75 เท่า พบว่ามีความหนาแน่นของแบคทีเรียมากสม่ำเสมอตลอดทั้งเม็ด เมื่อพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่พบภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณชั้นนอกและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แสดงได้ดังรูปที่ 4.32 ง) และ 4.32 จ) ตามลำดับ

จากรูป 4.32 ง) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นนอก จะพบกลุ่มแบคทีเรียที่มีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำกว่าที่บริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนแบคทีเรีย โดยพบเพียงแบคทีเรียแบบท่อนจำนวนมากซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มเด่นเพียงชนิดเดียวที่พบในบริเวณดังกล่าว ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างและความเป็นไปได้ของแบคทีเรียดังกล่าวกับงานวิจัยอื่นๆ ที่มีการระบุชนิดแบคทีเรียและรูปถ่าย SEM ของกลุ่มแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนแล้ว คาดว่าแบคทีเรียบางส่วนที่พบร่วมกับแบคทีเรียแบบท่อนอาจเป็น *Methanosaeta* (Najafpour, G.D. และคณะ, 2006; Ahring, B.K., 2003; Sallis, P.J. และ Uyanik, S., 2003) ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้มีลักษณะเป็นท่อนยาว และพบมากในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

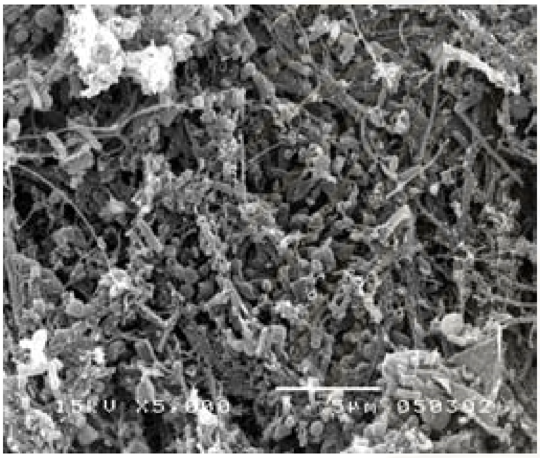
จากรูป 4.32 จ) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นใน จะพบกลุ่มแบคทีเรียที่มีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำ โดยพบเพียงแบคทีเรียแบบท่อนจำนวนมาก และเป็นแบคทีเรียกลุ่มเด่นเพียงชนิดเดียวเช่นเดียวกันกับกลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นนอก

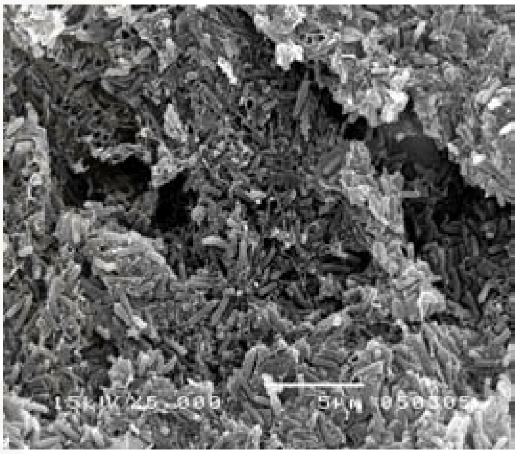


ก) ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



ง) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นนอก





ข) แบคทีเรียที่พบบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จ) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นใน

ค) ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง)

รูปที่ 4.32 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง

4.4.2 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่พบในห้องต่างๆ ของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้บำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล

หลังสิ้นสุดการทดลอง เมื่อพิจารณาลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ พบว่ายังคงความเป็นเม็ดตะกอนให้เห็นชัดเจนเช่นเดิม โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีสีเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลอมเทาเข้ม โดยรวมมีรูปร่างและขนาดที่หลากหลายขึ้นกว่าเดิม ดังรูปที่ 4.33

รูปที่ 4.33 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อนำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากห้องต่างๆ ในระบบบำบัดแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลหลังจากสิ้นสุดการทดลองที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มาทำการศึกษาลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในห้องต่างๆ มีลักษณะทางกายภาพ และกลุ่มแบคทีเรียที่พบ แสดงได้ดังนี้

1) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่พบในห้องที่ 1

<u>โครงสร้างบริเวณผิวชั้นนอก</u> จากรูปที่ 4.34 ก) แสดงลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีรูปร่างเป็นเม็ดกลมที่ค่อนข้างสมบูรณ์ และบริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์พบการเจริญของแบคทีเรียรอบๆ เม็ดตะกอนหนาแน่นขึ้นกว่าเดิม ทำให้สังเกตเห็นว่าที่ผิวของเม็ดตะกอนมีลักษณะขรุขระมากขึ้นกว่าที่พบในช่วงก่อนการทดลอง

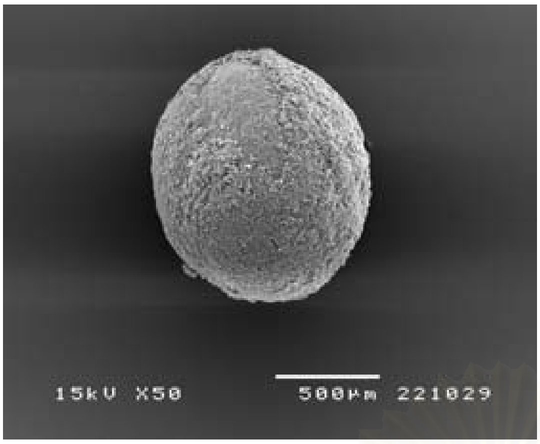
รูปที่ 4.34 ข) แสดงกลุ่มแบคทีเรียที่พบในบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ซึ่งจากรูปพบกลุ่มแบคทีเรียที่มีรูปร่างหลากหลายชนิดอาศัยอยู่ร่วมกัน ได้แก่ แบคทีเรียรูปร่างท่อน รูปร่างกลม และแบคทีเรียกลุ่มเส้นใย แต่กลุ่มแบคทีเรียที่เด่นและพบเป็นจำนวนมากที่สุดจะเป็นแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน คือ *Methanosarcina* ซึ่งมีลักษณะภายนอกที่สังเกตได้ชัดเจนคือ จะมีลักษณะกลมบู้บี้ จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ (ควบคุมมลพิษ. กรม, 2546)

<u>โครงสร้างภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์</u> จากรูปที่ 4.34 ค) แสดงลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 75 เท่า พบว่ามีความหนาแน่นของแบคทีเรียมากสม่ำเสมอตลอดทั้งเม็ด นอกจากนี้ยังพบช่องทางเดินก๊าซซึ่งทำให้เกิดรอยแยกขนาดเล็กที่บริเวณภายในเม็ดตะกอน เมื่อพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่พบในบริเวณภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณชั้นนอกและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แสดงได้ดังรูปที่ 4.34 ง) และ 4.34 จ) ตามลำดับ

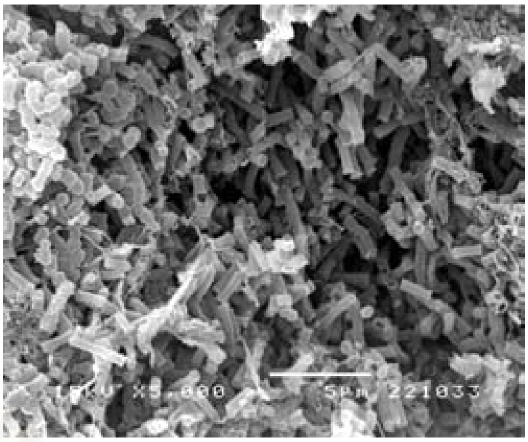
จากรูป 4.34 ง) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นนอกจะพบกลุ่มแบคทีเรียที่มีความหลากหลายทางชีวภาพที่ต่ำ โดยพบเพียงแบคทีเรียแบบท่อนซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนโดยแบคทีเรียที่พบมากที่สุดมีลักษณะเป็นท่อนยาวปลายตัดซึ่งคาดว่าจะเป็นแบคทีเรีย *Methanosaeta*

จากรูป 4.34 จ) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นใน จะพบกลุ่มแบคทีเรียแบบกลม เจริญอยู่เป็นแบคทีเรียกลุ่มเด่นในปริมาณที่ไม่มากนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

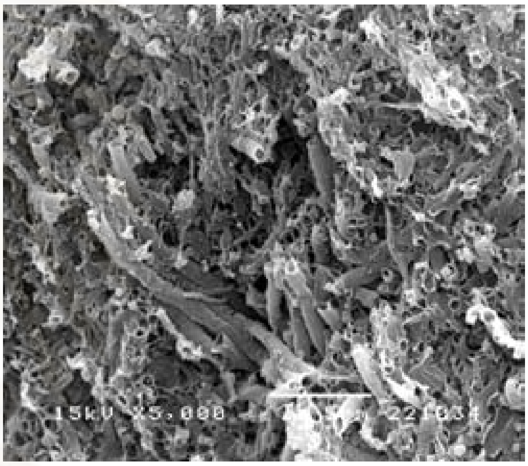


ก) ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



ง) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นนอก

ข) แบคทีเรียที่พบบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



จ) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นใน

ค) ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง)

รูปที่ 4.34 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายในห้องที่ 1

2) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่พบในห้องที่ 2

โครงสร้างบริเวณผิวชั้นนอก จากรูปที่ 4.35 ก) แสดงลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีรูปร่างเป็นเม็ดกลมที่ค่อนข้างสมบูรณ์ มีขนาดเล็กกว่าในห้องที่ 1 และบริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์พบการเจริญของแบคทีเรียรอบๆ เม็ดตะกอนหนาแน่นต่ำกว่าในห้องที่ 1

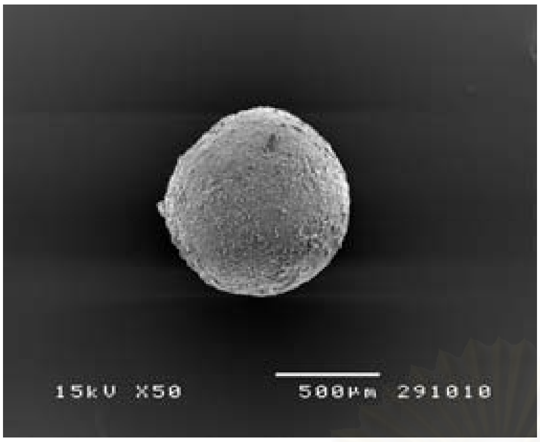
รูปที่ 4.35 ข) แสดงกลุ่มแบคทีเรียที่พบในบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ซึ่งจากรูปพบว่าแบคทีเรียกลุ่มหลักที่พบ ได้แก่ แบคทีเรียที่มีลักษณะกลมบู้บี้ จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ เหมือนกับที่พบในบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรียห้องที่ 1 ซึ่งคาดว่าจะเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทน คือ *Methanosarcina*

โครงสร้างภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากรูปที่ 4.35 ค) แสดงลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 75 เท่า พบว่ามีความหนาแน่นของแบคทีเรียมากสม่ำเสมอตลอดทั้งเม็ด พบช่องทางเดินก๊าซซึ่งทำให้เกิดรอยแยกขนาดเล็กที่บริเวณภายในเม็ดตะกอน โดยกลุ่มแบคทีเรียที่พบในบริเวณภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณชั้นนอกและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แสดงได้ดังรูปที่ 4.35 ง) และ 4.35 จ) ตามลำดับ

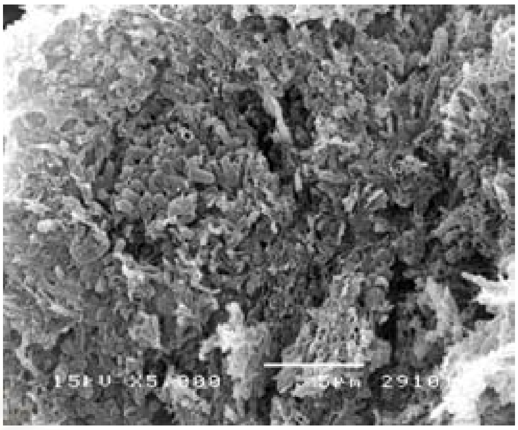
จากรูป 4.35 ง) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นนอกจะพบเพียงแบคทีเรียแบบท่อนจำนวนไม่มากนัก

จากรูป 4.35 จ) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นใน จะพบกลุ่มแบคทีเรียแบบกลม เจริญอยู่เป็นแบคทีเรียกลุ่มเด่น และพบแบคทีเรียแบบท่อนปะปนอยู่ในปริมาณที่ไม่มากนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

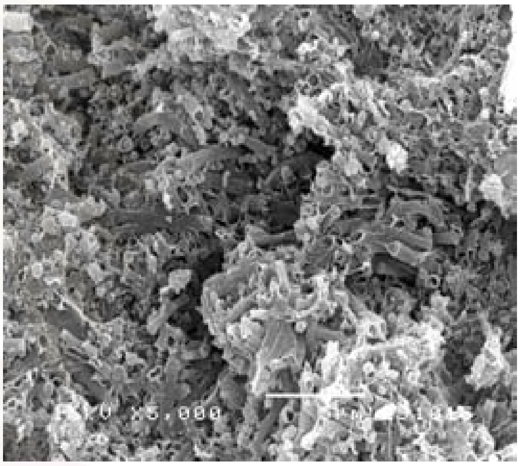


ก) ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

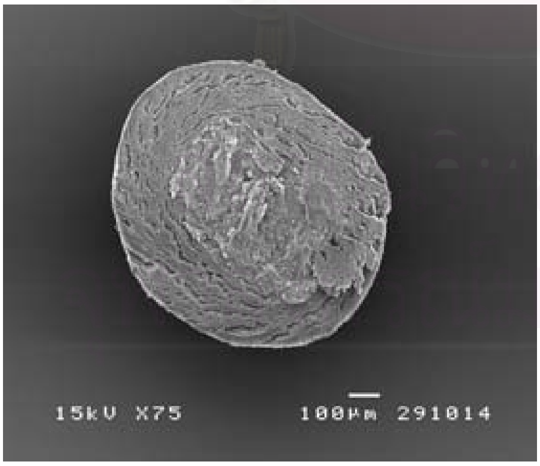


ง) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นนอก

ข) แบคทีเรียที่พบบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



จ) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นใน



ค) ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง)

รูปที่ 4.35 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายในห้องที่ 2

3) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่พบในห้องที่ 3

โครงสร้างบริเวณผิวชั้นนอก จากรูปที่ 4.36 ก) แสดงลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีรูปร่างเป็นเม็ดกลมสมบูรณ์ บริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์พบการเจริญของแบคทีเรียรอบๆ เม็ดตะกอน

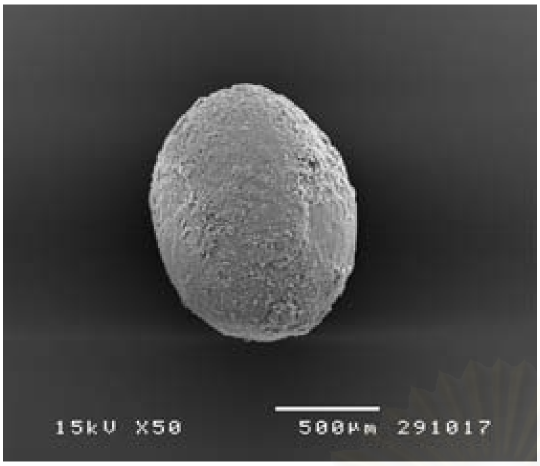
รูปที่ 4.36 ข) แสดงกลุ่มแบคทีเรียที่พบในบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรียที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ซึ่งจากรูปพบว่าแบคทีเรียกลุ่มหลักที่พบ ได้แก่ แบคทีเรียลักษณะกลมบู้บี้ ซึ่งคาดว่าจะเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทน คือ *Methanosarcina* ซึ่งส่วนใหญ่พบในลักษณะที่เป็นเซลล์เดี่ยว นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียจำพวกเส้นใยและรูปร่างแบบท่อนเป็นแบคทีเรียกลุ่มรองในปริมาณที่ไม่มากนัก

โครงสร้างบริเวณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากรูปที่ 4.36 ค) แสดงลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 75 เท่า พบว่าแบคทีเรียมีความหนาแน่นสม่ำเสมอตลอดทั้งเม็ด พบช่องทางเดินก๊าซขนาดเล็กภายในเม็ดตะกอนเหมือนในห้องอื่นๆ แต่มีปริมาณที่น้อยกว่า เมื่อพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่พบในบริเวณภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณชั้นนอกและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แสดงได้ดังรูปที่ 4.36 ง) และ 4.36 จ) ตามลำดับ

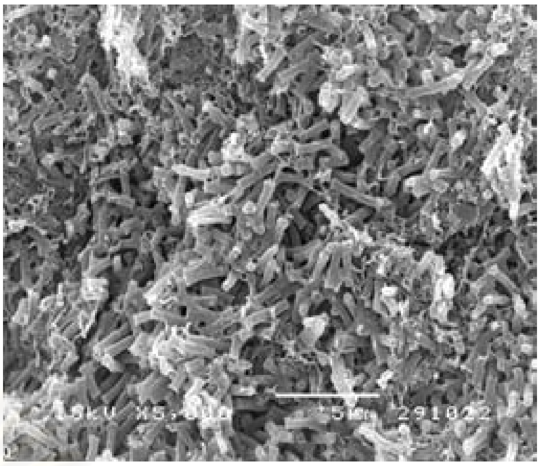
จากรูป 4.36 ง) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นนอกจะพบกลุ่มแบคทีเรียรูปร่างแบบท่อนซึ่งคาดว่าจะเป็นแบคทีเรีย *Methanosaeta* อยู่เป็นจำนวนมาก

จากรูป 4.36 จ) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นใน จะพบกลุ่มแบคทีเรียแบบกลมบู้บี้ ซึ่งคาดว่าจะเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทน คือ *Methanosarcina* ซึ่งส่วนใหญ่พบในลักษณะที่เป็นเซลล์เดี่ยวเจริญอยู่เป็นแบคทีเรียกลุ่มเด่นในปริมาณที่ไม่มากนัก

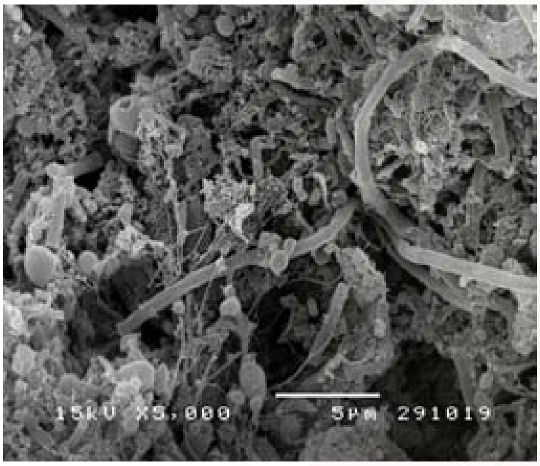
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



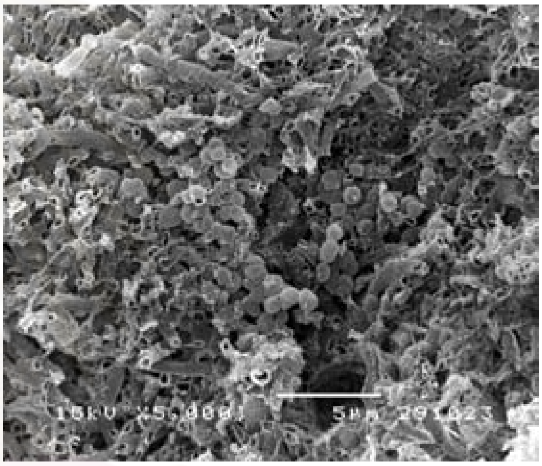
ก) ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



ง) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นนอก



ข) แบคทีเรียที่พบบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



จ) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นใน

ค) ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง)

รูปที่ 4.36 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายในห้องที่ 3

4) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่พบในห้องที่ 4

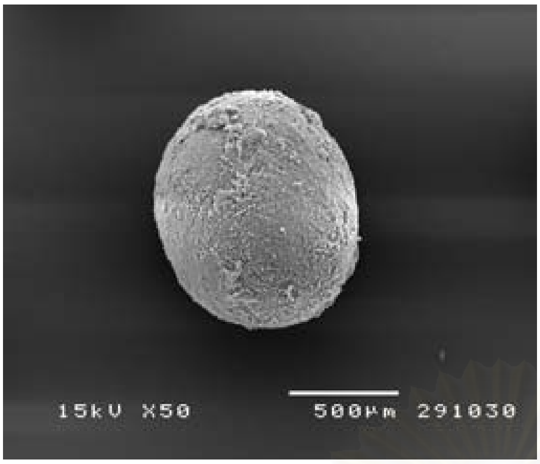
โครงสร้างบริเวณผิวชั้นนอก จากรูปที่ 4.37 ก) แสดงลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีรูปร่างเป็นเม็ดกลมสมบูรณ์ บริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์พบการเจริญของแบคทีเรียรอบๆ เม็ดตะกอนในปริมาณที่ไม่มากนัก

รูปที่ 4.37 ข) แสดงกลุ่มแบคทีเรียที่พบในบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรียที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ซึ่งจากรูปพบว่าแบคทีเรียกลุ่มหลักที่พบ ได้แก่ แบคทีเรียลักษณะกลมบู้บี้ ซึ่งคาดว่าจะเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทน คือ *Methanosarcina* ซึ่งส่วนใหญ่พบในลักษณะที่เป็นเซลล์เดี่ยวจำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียจำพวกรูปร่างแบบท่อนเป็นแบคทีเรียกลุ่มรองในปริมาณที่น้อย

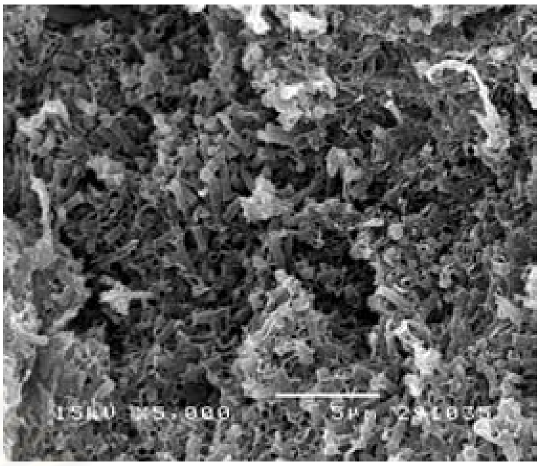
โครงสร้างภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากรูปที่ 4.37 ค) แสดงลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 75 เท่า พบว่าแบคทีเรียมีความหนาแน่นสม่ำเสมอตลอดทั้งเม็ด พบช่องทางเดินก๊าซขนาดเล็กภายในเม็ดตะกอน เมื่อพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่พบในบริเวณภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณชั้นนอกและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แสดงได้ดังรูปที่ 4.37 ง) และ 4.37 จ) ตามลำดับ

จากรูป 4.37 ง) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นนอก พบว่ามีแบคทีเรียอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก โดยส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียรูปร่างแบบท่อนที่มีลักษณะเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์

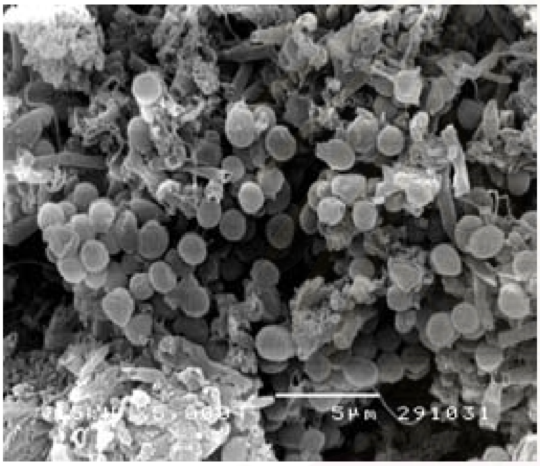
จากรูป 4.37 จ) เมื่อนำเม็ดตะกอนมาผ่าตามขวางแล้วพิจารณากลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณเม็ดตะกอนชั้นใน พบว่ามีแบคทีเรียอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก โดยส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียรูปร่างแบบท่อนที่มีลักษณะเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์เช่นเดียวกันกับที่พบในเม็ดตะกอนชั้นนอก



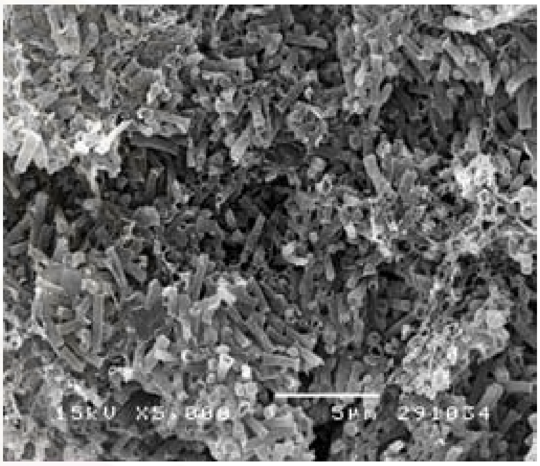
ก) ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



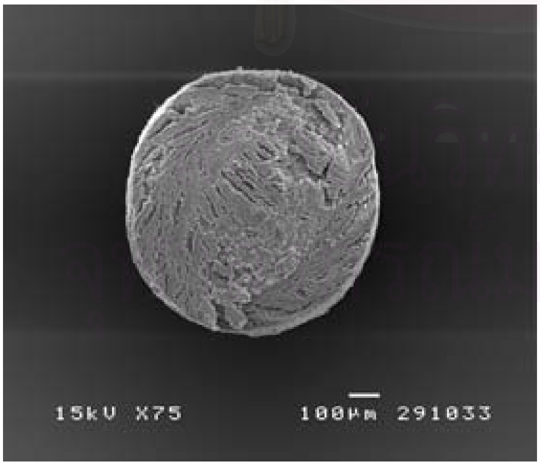
ง) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นนอก



ข) แบคทีเรียที่พบบริเวณผิวชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



จ) แบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชั้นใน



ค) ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง)

รูปที่ 4.37 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายในห้องที่ 4

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการตกตะกอนทางเคมี โดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน โดยศึกษาผลของอัตราภาระซีโอดีที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่เวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล โดยพบว่าที่เวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน และปรับเปลี่ยนอัตราภาระซีโอดีตั้งแต่ 0.5 ถึง 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซีโอดีกรอง เมทานอล น้ำมันและไขมัน และกลีเซอรอล มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 98.45 – 99.05 99.01–99.41 79.05-100.00 41.79-83.82 และ 69.86-100.00 ตามลำดับ

2. ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูง โดยพบว่าที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 – 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.19 - 0.38 และ 0.12-0.28 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในช่วงร้อยละ 63.78 – 74.45

3. อัตราภาระซีโอดีมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล โดยพบว่าการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีสูงขึ้นในช่วงอัตราภาระซีโอดีตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารต่างๆ ในน้ำเสีย ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และจากนั้นหากมีการเพิ่มอัตราภาระซีโอดีต่อไปประสิทธิภาพดังกล่าวของระบบจะมีแนวโน้มลดลง

4. ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลสูงสุด ที่อัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน โดยมีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีกรอง เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมันโดยเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 99.41 100.00 100.00 และ 83.82 ตามลำดับ มีปริมาณซีโอดีกรอง เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมันคงเหลือโดยเฉลี่ยเท่ากับ 79 0 0 และ 13 มก./ล. ตามลำดับ และมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

สูงสุด โดยปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.38 และ 0.28 ล./ก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 74.45

5. เมื่อเดินระบบที่สภาวะที่ดีที่สุดพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองเกิดขึ้นสูงสุดในห้องที่ 1 โดยมีร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีกรองเท่ากับ 38.25 และ 44.40 ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางของระบบ เช่นเดียวกันกับค่ากรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด

6. แบคทีเรียกลุ่มเด่นที่พบในระบบ คือ แบคทีเรียรูปร่างกลม และแบคทีเรียแบบท่อน โดยจะพบแบคทีเรียดังกล่าวในปริมาณมากที่ห้องที่ 1 และ 2

5.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1. ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลสูงสุด ที่เวลากักพักชลศาสตร์ 10 วัน และอัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าน้ำออกจากระบบยังคงมีค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมันในระดับที่สูงเกินกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอื่นๆ ต่อไปหลังจากการบำบัดด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน เพื่อให้น้ำทิ้งมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

2. หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารและการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด จำเป็นต้องเจือจางน้ำเสียก่อนเข้าระบบให้มีความเข้มข้นของซีโอดีเท่ากับ 15,000 มก./ล. โดยอาจหมุนเวียนน้ำทิ้งมาเจือจาง ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นแบบไร้ออกซิเจนต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม

1. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ควรมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบเพิ่มเติม เช่น ศึกษาผลของเวลากักพักชลศาสตร์ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบเพื่อลดระยะเวลากักพักชลศาสตร์ ศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในระบบ เป็นต้น

2. ควรศึกษาแนวทางการลดค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอชน้ำเสีย รวมถึงแนวทางในการนำพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพจากระบบมาใช้ประโยชน์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

3. เนื่องจากในปัจจุบันการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลยังมีอยู่อย่างจำกัด แนวทางในการศึกษาทดลองจึงสามารถทำได้อีกในหลากหลายแนวทาง ทั้งในเชิงของการศึกษาศักยภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยระบบบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ รวมถึงการศึกษาในเชิงลึก เช่น จลนพลศาสตร์ของการบำบัด การพัฒนากรานูลและชนิดของแบคทีเรียในระบบ เป็นต้น นอกจากนี้ควรเน้นการทดลองในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเดินระบบแบบต่อเนื่อง เพื่อนำไปสู่การขยายผลโดยทำการทดสอบในระบบจริงต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. เล่ม 4. (ม.ป.ท.).

คณะกรรมาธิการพลังงาน. 2545. พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล. กรุงเทพมหานคร: แปลน พริ้นท์ติ้ง.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2546. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นเรศ สัตยารักษ์, ประภาส วิชากุล, พฤฒิชัย จงเลิศวณิชกุล, อรรถพล กฤษ์พิบูลย์, ฉวีวรรณ เกียรติโชคชัยกุล, พวงทิพย์ ศิลปศาสตร์, พัชรีพร หาญสกุล, วิศักดิ์ วัฒนะศัพท์, เอมอร ชีพสุมล, วรวิทย์ โพธิสุข, อัจฉรา วรธรรมพินิจ, ฐิติ ด่านอำไพ, ทวารัฐ สูตะบุตร และ วารุณี เตยต่อวงค์. 2549. ทิศทางพลังงานไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักประชาสัมพันธ์ กระทรวงพลังงาน.

บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน). 2550. ไบโอดีเซล [online]. Available from: http://www.bangchak.co.th/th/energyDetail.asp?id=14. [2007, July 10].

ปัณภัทร เจริญสาคร. 2549. การบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. 2549. โครงการส่งเสริมการใช้ ไบโอดีเซลใน กทม. และเชียงใหม่ (เฟส 2) (ที่ปรึกษาเพื่อออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียพร้อมอุปกรณ์ประกอบ). กรุงเทพมหานคร.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: แซน. อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์.

อัญชลี ศรีรังสรรค์. 2551. การบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อาริยา วิรัชวรกุล. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

Ahring, B.K. 2003. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology 81 Biomethanation I. Berlin: Springer.

Ahring, B.K. 2003. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology 82 Biomethanation II. Berlin: Springer.

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

American Public Health Association. 1995. Standard methods for examination of water and wastewater. 19th ed. Washington, DC: American Public Health Association.

Amirfakhri, J.; Vossoughi, M.; and Soltanieh, M. 2006. Assessment of desulfurization of natural gas by chemoautotrophic bacteria in an anaerobic baffled reactor (ABR). Chemical Engineering and Processing 45: 232-237.

Barber, W. P., and Stuckey, D. C. 1999. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: A review. Water Research 33: 1559-1578.

Bodik, I.; Blstakova, A.; Sedlacek, S.; and Hutnan, M. 2009. Biodiesel waste as source of organic carbon for municipal WWTP denitrification. Bioresource Technology 100: 2452-2456.

Cammarota, M.C., and Freire, D.M.G. 2006. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. Bioresource Technology 97: 2195-2210.

Cavaleiro, A.J.; Pereira, M.A.; and Alves, M. 2008. Enhancement of methane production from long chain fatty acid based effluents. Bioresource Technology 99: 4086-4095.

Dama, P.; Govender, K.; Huang, T.; Foxon, K.; Bell, J.; Brouckeart, C.; Buckley, C.; Naidoo, V.; and Stuckey, D. 2003. Flow patterns in an anaerobic baffled reactor[online]. London: Imperial College of Science, Technology and Medicine. Available from: http://www.nu.ac.za. [2006, December 12]

Faisal, M., and Unno, H. 2001. Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. Biochemical Engineering Journal 9: 25-31.

Ge-Fu Zhu; Jian-Zheng Li; Peng Wu; Hui-Zheng Jin; and Zheng Wang. 2008. The performance and phase separated characteristics of an anaerobic baffled reactor treating soybean protein processing wastewater. Bioresource Technology 99: 8027-8033.

Grady; C.P.L., Jr.; Daigger, G.T.; and Lim, H.C. 1999. Biological wastewater Treatment. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc.

Grover, R.; Marwaha, S. S.; and Kennedy, J. F. 1999. Studies on the use of an anaerobic baffled reactor for the continuous anaerobic digestion of pulp and paper mill black liquors. Process Biochemistry 34: 653-657.

Herbert, H. and Chan, O.C. 1997. Toxicity of phenol towards anaerobic biogranules. Water Research 31: 2229-2242.

Ito, T.; Nakashimada,Y.; Senba, K.; Matsui, T.; and Nishio, N. 2005. Hydrogen and Ethanol production from glycerol-containing waste discharged after biodiesel manufacturing process. Journal of Bioscience and Bioengineering 100: 260-265.

Jou, G., and Huang, G. C. 2003. A pilot study for oil refinery wastewater treatment using a fixed–film bioreactor. Advances in Environmental Research 7: 463-469.

Kuscu, O. S., and Sponza, D. T. 2005. Performance of anaerobic baffled reactor (ABR) treating synthetic wastewater containing p-nitrophenol. Enzyme and Microbial Technology 36: 888-895.

Kuscu, O. S., and Sponza, D. T. 2006. Treatment efficiencies of a sequential anaerobic baffled reactor (ABR)/completely stirred tank reactor (CSTR) system at increasing *p*-nitrophenol and COD loading rates. Process Biochemistry 41: 1484-1492.

Kuscu, O. S., and Sponza, D. T. 2009. Effect of nitrobenzene concentration and hydraulic retention time on the treatment of nitrobenzene in sequential anaerobic baffled reactor (ABR)/continuously stirred tank reactor (CSTR) system. Bioresource Technology 100: 2162-2170.

Kusdiana, D., and Saka, S. 2004. Effect of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment. Bioresource Technology 91: 289-295.

Langenhoff, A. M., and Stuckey, D. C. 2000. Treatment of dilute wastewater using an anaerobic baffled reactor: Effect of low temperature. Water Research 34: 3867-3875.

Langenhoff, A. M.; Intrachandra, N.; and Stuckey, D. C. 2000. Treatment of dilute soluble and colloidal wastewater using an anaerobic baffled reactor: Influence of hydraulic retention time. Water Research 34: 1307-1317.

Liu, X.; Ren, N.; and Yuan, Y. 2009. Performance of a periodic anaerobic baffled reactor fed on Chinese traditional medicine industrial wastewater. Bioresource Technology 100: 104-110.

Ma, F., and Hanna, M. A. 1999. Biodiesel production: A review. Bioresource Technology 70: 1-15.

Najafpour, G.D.; Zinatizadeh, A.A.L.; Mohamed, A.R.; Isa, H. M.; and Nasrollahzadeh, H. 2006. High-rate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an upflow anaerobic sludge-fixe film bioreactor. Process Biochemistry 41: 370-379.

Ooi, T.L., Yong, K.C. Wanyunus, W.M.Z., Hazimah A.H., Dzulkefly, K. 2001. Crude glycerine Recovery from Glycerol residue Waste from a palm Kernel oil Methyl Ester Plant. Journal of Oil Palm Research 13: 16-22.

Phalakornkule, C,; Petiruksakul, A.; and Puthavithi, W. 2009. Biodirsrl production in a small community; Case study in Thailand. Resources, Conservation and Recycling 53: 129-135.

Raneses, A. R.; Glaser, L. K.; Price J. M.; and Duffield, J. A. 1999. Potential biodiesel markets and their economic effects on the agricultural sector of the United States. Industrial Crops and Products 9: 151-162.

Saatci, Y.; Hasar, H.; and Cici, M. 2001. Treatability of vegetable oil industry effluents through physical–chemical methods. Fresenius Environmental Bulletin 10: 854 – 858.

Sallis, P. J., and Uyanik, S. 2003. Granule development in a split-feed anaerobic baffled reactor. Bioresource Technology 89: 255-265.

She, Z.; Zheng, X.; Yang, B.; Jin, C.; and Gao, M. 2006. Granule development and performance in sucrose fed anaerobic baffled reactors. Journal of Biotechnology 122: 198-208.

Speece, R.E.. 1996. Anaerobic Biotechnology for industrial wastewaters. Nashville, Tennessee: Archae Press.

Suehara, K.; Kawamoto, Y.; Fujii, E.; Kohda, J.; Nakano, Y.; and Yano, T. 2005. Biological treatment of wastewater discharged from biodiesel fuel production plant with alkali-catalyzed transesterification. Journal of Bioscience and Bioengineering 100: 437-442.

Wang, J.; Huang, Y.; and Zhao, X. 2004. Performance and characteristics of an anaerobic baffled reactor. Bioresource Technology 93: 205-208.

Wheatley, A.D.; Fisher, M.B.; and Grobicki, A.M.W. 1997. Applications of anaerobic digestion for the treatment of industrial wastewaters in Europe. Water and Environmental Management 11: 39-46.

Zhou, W.; Imai, T.; Ukita, M.; Li, F.; and Yuasa, A. 2007. Effect of loading rate on the granulation process and granular activity in a bench scale UASB reactor. Bioresource Technology 98: 1386-1392.

Zhu, G.; Li, J.; Wu, P.; Jin, H.; and Wang, Z. 2008. The performance and phase separated characteristics of an anaerobic baffled reactor treating soybean protein processing wastewater. Bioresource Technology 99: 8027-8033.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดี ซีโอดีกรอง และของแข็งแขวนลอย

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
1	8/9/2551	5,000	160	96.80	4,068	120	97.05	66	37	43.68
3	10/9/2551	4,839	140	97.11	4,068	80	98.03	69	29	57.66
5	12/9/2551	5,455	136	97.51	4,000	60	98.50	63	32	49.47
8	15/9/2551	4,839	120	97.52	3,871	60	98.45	69	27	61.35
10	17/9/2551	5,455	100	98.17	4,000	60	98.50	70	28	59.53
12	19/9/2551	5,455	80	98.53	4,000	40	99.00	73	24	67.95
15	22/9/2551	5,000	80	98.40	4,000	40	99.00	71	22	69.01
17	24/9/2551	5,000	80	98.40	4,000	40	99.00	67	20	70.21
19	26/9/2551	5,000	80	98.40	4,000	40	99.00	70	18	74.37
22	29/9/2551	5,455	80	98.53	4,000	39	99.03	69	18	73.79
24	1/10/2551	4,839	77	98.40	3,871	40	98.97	69	19	72.89
26	3/10/2551	4,839	77	98.40	4,068	41	99.00	67	18	73.56
29	6/10/2551	4,762	76	98.40	4,000	39	99.03	73	18	75.45
31	8/10/2551	5,455	77	98.58	4,000	40	99.00	77	18	76.20
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		5,058	78	98.45	3,990	40	99.01	71	18	74.38
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		316.77	1.57	0.08	64.22	0.80	0.02	3.54	0.28	1.24
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

125

ตารางที่ ก-1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมัน (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	เมทานอล (มก./ล.)			กลีเซอรอล (มก./ล.)			น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
19	26/9/2551	3,894	0	100.00	54	0	100.00	50	9	83.00
22	29/9/2551	3,755	0	100.00	55	0	100.00	48	9	81.25
24	1/9/2551	3,905	0	100.00	49	0	100.00	50	9	82.00
26	3/10/2551	3,642	0	100.00	52	0	100.00	50	9	82.00
29	6/10/2551	3,420	0	100.00	56	0	100.00	50	9	82.00
31	8/10/2551	3,158	0	100.00	47	0	100.00	48	9	81.25
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		3,629	0	100.00	52	0	100.00	49	9	81.92
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		292.56	0.00	0.00	3.53	0.00	0.00	1.03	0.20	0.65
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

126

ตารางที่ ก-1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	8/9/2551	75	400	19	44	0.25	0.11
3	10/9/2551	75	350	13	38	0.17	0.11
5	12/9/2551	75	350	13	38	0.17	0.11
8	15/9/2551	75	313	13	31	0.17	0.10
10	17/9/2551	50	350	13	38	0.25	0.11
12	19/9/2551	75	400	13	25	0.17	0.06
15	22/9/2551	75	350	25	15	0.33	0.04
17	24/9/2551	50	375	13	13	0.25	0.03
19	26/9/2551	50	350	13	13	0.25	0.04
22	29/9/2551	75	355	13	13	0.17	0.04
24	1/10/2551	75	350	13	13	0.17	0.04
26	3/10/2551	75	350	15	13	0.20	0.04
29	6/10/2551	75	355	13	12	0.17	0.03
31	8/10/2551	75	350	13	13	0.17	0.04
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		71	352	13	12	0.19	0.04
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		10.21	2.58	1.02	0.20	0.03	0.00
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	8/9/2551	2.19	7.00	6.88	28.00	27.00
2	9/9/2551	1.86	7.04	6.86	27.50	26.50
3	10/9/2551	1.97	7.05	6.78	27.00	28.00
4	11/9/2551	1.83	7.03	6.74	27.50	28.50
5	12/9/2551	1.76	7.04	6.69	28.00	27.00
6	13/9/2551	1.49	7.02	6.72	27.50	26.50
7	14/9/2551	1.69	6.98	6.61	27.50	26.50
8	15/9/2551	1.08	7.01	6.26	27.00	26.50
9	16/9/2551	1.02	6.98	6.63	28.00	26.50
10	17/9/2551	1.29	7.03	7.89	27.50	26.50
11	18/9/2551	1.54	7.02	7.79	27.50	26.00
12	19/9/2551	2.26	7.00	7.81	28.00	27.00
13	20/9/2551	2.29	7.00	7.67	28.00	27.50
14	21/9/2551	2.15	7.05	7.58	28.00	27.50
15	22/9/2551	2.21	7.00	7.67	27.50	27.00
16	23/9/2551	2.00	7.03	7.95	28.50	30.00
17	24/9/2551	2.45	6.98	7.35	27.50	29.50

128

ตารางที่ ก-1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
18	25/9/2551	1.87	7.04	7.25	29	29.50
19	26/9/2551	2.07	7.01	7.43	28	29.50
20	27/9/2551	2.14	7.07	7.38	28	30.50
21	28/9/2551	1.75	6.97	7.45	27.5	30.50
22	29/9/2551	2.27	7.04	7.56	27.5	30.50
23	30/9/2551	2.25	7.06	7.62	29	30.50
24	1/10/2551	2.06	7.06	7.55	29	29.00
25	2/10/2551	2.30	7.06	7.49	28	28.50
26	3/10/2551	2.03	7.05	7.49	27.5	27.50
27	4/10/2551	2.25	7.04	7.42	28	30.00
28	5/10/2551	2.24	7.02	7.39	27.5	30.00
29	6/10/2551	2.05	7.07	7.65	28	29.00
30	7/10/2551	2.22	7.1	7.34	29	29.50
31	8/10/2551	2.19	6.96	7.38	28	29.50
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล		2.11	7.03	7.51	28.00	29.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		0.10	0.04	0.10	0.55	0.98
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

129

ตารางที่ ก-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดี ซีโอดีกรอง และของแข็งแขวนลอย

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
1	8/9/2551	7,273	140	98.08	6,000	122	97.97	85	40	52.94
3	10/9/2551	7,000	120	98.29	6,000	110	98.17	84	40	52.38
5	12/9/2551	6,667	110	98.35	5,806	81	98.60	87	30	65.52
8	15/9/2551	7,273	110	98.49	6,102	62	98.98	77	28	63.21
10	17/9/2551	7,273	100	98.63	6,207	62	99.00	84	28	66.27
12	19/9/2551	7,273	100	98.63	6,207	41	99.33	79	25	68.35
15	22/9/2551	7,000	80	98.86	5,806	41	99.29	85	23	72.94
17	24/9/2551	6,774	80	98.82	6,000	40	99.33	81	22	73.39
19	26/9/2551	7,119	81	98.86	6,102	40	99.34	81	18	77.52
22	29/9/2551	7,000	80	98.86	6,000	39	99.35	83	19	77.11
24	1/10/2551	6,774	80	98.82	5,806	39	99.33	81	19	77.20
26	3/10/2551	7,000	80	98.86	6,000	40	99.33	82	18	77.50
29	6/10/2551	6,667	81	98.78	5,806	41	99.30	81	19	76.60
31	8/10/2551	6,563	80	98.78	5,806	40	99.31	82	18	77.74
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		6,854	80	98.83	5,920	40	99.33	82	19	77.28
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		218.68	0.70	0.04	129.99	0.80	0.02	0.69	0.34	0.41
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

130

ตารางที่ ก-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมัน (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	เมทานอล (มก./ล.)			กลีเซอรอล (มก./ล.)			น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
19	26/9/2551	5,127	0	100.00	62	0	100.00	56	10	82.14
22	29/9/2551	5,487	0	100.00	68	0	100.00	56	11	81.25
24	1/9/2551	5,964	0	100.00	59	0	100.00	56	10	82.14
26	3/10/2551	5,395	0	100.00	64	0	100.00	56	10	82.14
29	6/10/2551	5,644	0	100.00	60	0	100.00	55	10	81.82
31	8/10/2551	5,289	0	100.00	58	0	100.00	56	10	82.14
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		5,484	0	100.00	62	0	100.00	56	10	81.94
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		293.05	0.00	0.00	3.71	0.00	0.00	0.41	0.20	0.36
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	8/9/2551	63	312	19	33	0.30	0.11
3	10/9/2551	60	333	13	33	0.21	0.10
5	12/9/2551	63	300	13	33	0.20	0.11
8	15/9/2551	63	333	13	33	0.20	0.10
10	17/9/2551	65	313	19	25	0.29	0.08
12	19/9/2551	63	288	15	19	0.24	0.07
15	22/9/2551	63	275	13	25	0.20	0.09
17	24/9/2551	63	275	13	19	0.20	0.07
19	26/9/2551	63	250	15	19	0.24	0.08
22	29/9/2551	60	225	13	19	0.21	0.08
24	1/10/2551	63	250	13	19	0.20	0.08
26	3/10/2551	63	225	15	19	0.24	0.08
29	6/10/2551	63	250	13	19	0.20	0.08
31	8/10/2551	65	250	15	20	0.23	0.08
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		63	242	14	19	0.22	0.08
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		1.60	12.91	1.37	0.31	0.02	0.00
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	8/9/2551	1.99	7.00	6.54	27.50	27.00
2	9/9/2551	1.79	7.02	6.62	27.50	27.00
3	10/9/2551	1.88	7.07	6.64	27.00	27.50
4	11/9/2551	1.09	7.05	6.58	27.50	28.00
5	12/9/2551	1.19	7.17	6.63	28.00	27.50
6	13/9/2551	1.45	7.05	6.72	27.50	27.50
7	14/9/2551	1.25	7.04	6.70	27.00	27.00
8	15/9/2551	2.14	7.06	6.75	26.50	27.00
9	16/9/2551	2.39	7.00	6.85	27.50	27.00
10	17/9/2551	2.05	7.08	6.81	27.50	28.00
11	18/9/2551	2.24	7.12	6.89	27.00	29.00
12	19/9/2551	2.00	6.95	6.92	27.50	26.50
13	20/9/2551	2.43	7.08	6.99	28.50	27.00
14	21/9/2551	2.88	7.04	6.64	27.50	28.50
15	22/9/2551	2.75	7.08	6.59	27.50	29.00
16	23/9/2551	2.55	7.03	7.37	28.00	29.50
17	24/9/2551	1.74	6.96	7.38	27.00	28.50

133

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 0.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
18	25/9/2551	2.48	6.97	7.41	28.50	28.50
19	26/9/2551	3.35	7.08	7.39	28.00	28.50
20	27/9/2551	3.43	7.01	7.39	28.00	28.50
21	28/9/2551	3.26	7.02	7.25	27.50	29.00
22	29/9/2551	3.57	7.01	7.38	27.00	29.00
23	30/9/2551	3.52	7.10	7.41	29.50	29.50
24	1/10/2551	3.50	7.06	7.42	28.50	29.00
25	2/10/2551	3.46	7.08	7.28	27.50	29.50
26	3/10/2551	3.37	7.07	7.43	27.50	29.50
27	4/10/2551	3.59	7.03	7.38	28.00	29.50
28	5/10/2551	3.43	7.02	7.37	27.50	30.00
29	6/10/2551	3.12	7.07	7.44	27.50	29.00
30	7/10/2551	3.55	7.02	7.55	28.50	29.50
31	8/10/2551	3.70	7.02	7.55	27.50	30.50
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล		3.44	7.05	7.44	27.67	29.25
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		0.20	0.03	0.06	0.52	0.69
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

134

ตารางที่ ก-3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดี ซีโอดีกรอง และของแข็งแขวนลอย

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
1	8/9/2551	10,000	140	98.60	8,710	80	99.08	87	80	8.05
3	10/9/2551	10,000	130	98.70	9,000	70	99.22	98	60	38.78
5	12/9/2551	10,476	140	98.66	9,153	80	99.13	100	58	42.00
8	15/9/2551	9,524	140	98.53	8,136	80	99.02	102	48	52.94
10	17/9/2551	10,313	120	98.84	9,000	70	99.22	94	36	61.70
12	19/9/2551	9,524	100	98.95	8,000	72	99.10	96	33	65.63
15	22/9/2551	10,000	97	99.03	9,153	60	99.34	98	30	69.39
17	24/9/2551	10,000	97	99.03	9,000	60	99.33	106	20	81.13
19	26/9/2551	10,000	94	99.06	9,000	60	99.33	94	20	78.72
22	29/9/2551	10,000	97	99.03	9,000	58	99.35	98	21	78.57
24	1/10/2551	9,677	97	99.00	8,710	58	99.33	102	20	80.39
26	3/10/2551	9,677	97	99.00	8,710	60	99.31	92	20	78.26
29	6/10/2551	10,476	95	99.09	9,000	60	99.33	96	21	78.13
31	8/10/2551	10,313	94	99.09	9,153	60	99.34	96	21	78.13
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		10,024	96	99.05	8,929	59	99.34	96	21	78.70
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		325.30	1.49	0.04	179.61	1.00	0.01	3.44	0.55	0.86
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

135

ตารางที่ ก-3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมัน (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	เมทานอล (มก./ล.)			กลีเซอรอล (มก./ล.)			น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
19	26/9/2551	7,810	0	100.00	79	0	100.00	59	10	83.05
22	29/9/2551	7,954	0	100.00	82	0	100.00	60	10	83.33
24	1/9/2551	7,745	0	100.00	80	0	100.00	60	10	83.33
26	3/10/2551	7,895	0	100.00	76	0	100.00	60	11	81.67
29	6/10/2551	8,004	0	100.00	79	0	100.00	58	10	82.76
31	8/10/2551	7,643	0	100.00	81	0	100.00	60	10	83.33
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		7,842	0	100.00	80	0	100.00	60	10	82.91
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		135.37	0.00	0.00	2.07	0.00	0.00	0.84	0.41	0.65
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	8/9/2551	63	300	20	33	0.32	0.11
3	10/9/2551	60	333	19	44	0.31	0.13
5	12/9/2551	63	300	19	33	0.30	0.11
8	15/9/2551	65	333	20	33	0.31	0.10
10	17/9/2551	63	313	20	25	0.32	0.08
12	19/9/2551	63	288	19	19	0.30	0.07
15	22/9/2551	63	275	19	25	0.30	0.09
17	24/9/2551	63	313	20	25	0.32	0.08
19	26/9/2551	63	250	19	24	0.30	0.10
22	29/9/2551	65	225	20	24	0.31	0.11
24	1/10/2551	63	250	19	25	0.30	0.10
26	3/10/2551	63	250	19	24	0.30	0.10
29	6/10/2551	60	250	20	24	0.33	0.10
31	8/10/2551	63	250	19	25	0.30	0.10
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		63	246	19	24	0.31	0.10
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		1.60	10.21	0.65	0.52	0.01	0.00
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

137

ตารางที่ ก-3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	8/9/2551	2.48	7.00	7.42	27.00	27.00
2	9/9/2551	1.89	7.02	7.38	27.50	26.50
3	10/9/2551	3.50	7.04	7.33	26.50	27.00
4	11/9/2551	2.00	7.03	6.98	27.00	27.50
5	12/9/2551	2.24	7.09	6.91	27.50	27.00
6	13/9/2551	4.19	7.04	6.87	27.00	26.50
7	14/9/2551	3.74	7.06	6.80	27.00	26.50
8	15/9/2551	5.66	7.01	6.50	26.50	26.00
9	16/9/2551	5.78	7.08	7.42	27.00	25.00
10	17/9/2551	4.69	6.97	7.24	25.00	26.00
11	18/9/2551	5.38	7.10	7.20	26.50	27.00
12	19/9/2551	5.46	7.06	7.25	27.00	28.00
13	20/9/2551	3.25	7.00	7.25	28.50	27.50
14	21/9/2551	4.73	6.98	7.18	27.50	28.00
15	22/9/2551	4.95	7.02	7.10	27.00	27.00
16	23/9/2551	4.79	7.01	7.49	27.50	30.00
17	24/9/2551	4.96	7.08	7.40	27.00	29.00

138

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
18	25/9/2551	5.37	6.96	7.30	28.00	29.50
19	26/9/2551	5.66	7.02	7.40	28.00	29.50
20	27/9/2551	4.83	6.98	7.36	28.00	30.00
21	28/9/2551	4.95	6.94	7.34	27.00	30.00
22	29/9/2551	5.20	7.04	7.35	27.00	30.00
23	30/9/2551	5.03	6.98	7.24	28.50	31.50
24	1/10/2551	5.38	6.98	7.50	28.50	29.50
25	2/10/2551	5.19	6.98	7.51	27.50	29.50
26	3/10/2551	5.46	7.03	7.45	27.50	29.00
27	4/10/2551	4.85	7.08	7.43	27.50	29.00
28	5/10/2551	5.13	7.14	7.50	28.00	29.50
29	6/10/2551	5.64	7.01	7.48	27.50	30.50
30	7/10/2551	5.13	7.05	7.54	28.50	32.00
31	8/10/2551	5.78	7.07	7.50	28.00	32.00
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล		5.52	7.03	7.45	27.75	30.08
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		0.21	0.03	0.06	0.52	1.07
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6

139

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดี ซีโอดีกรอง และของแข็งแขวนลอย

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
2	12/9/2551	14,710	600	95.92	13,161	300	97.72	98	150	-53.06
4	14/9/2551	15,273	525	96.56	14,400	300	97.92	106	135	-27.36
7	17/9/2551	15,273	560	96.33	14,400	273	98.11	102	135	-32.35
9	20/9/2551	14,545	509	96.50	12,387	218	98.24	110	143	-29.55
11	21/9/2551	14,545	436	97.00	13,161	182	98.62	110	115	-4.55
14	24/9/2551	15,529	364	97.66	14,118	200	98.58	105	105	0.00
16	26/9/2551	15,200	380	97.50	14,400	160	98.89	102	110	-7.84
18	28/9/2551	14,710	320	97.82	12,387	77	99.38	100	115	-15.00
21	1/10/2551	15,484	155	99.00	13,935	77	99.44	100	110	-10.00
23	3/10/2551	15,200	155	98.98	13,935	77	99.44	96	110	-14.58
25	5/10/2551	15,200	160	98.95	13,600	80	99.41	100	110	-10.00
28	8/10/2551	14,710	160	98.91	12,387	77	99.37	98	107	-9.18
30	10/10/2551	14,710	160	98.91	12,387	80	99.35	98	107	-9.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

140

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดี ซีโอดีกรอง และของแข็งแขวนลอย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
32	12/10/2551	15,484	155	99.00	14,400	80	99.44	102	110	-7.84
35	15/10/2551	15,484	155	99.00	14,400	80	99.44	100	110	-10.00
37	17/10/2551	15,200	160	98.95	13,600	77	99.43	100	110	-10.00
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		15,131	158	98.95	13,462	79	99.41	100	109	-9.37
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		350.31	2.67	0.04	906.53	1.33	0.04	1.51	1.55	0.85
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมัน (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	เมทานอล (มก./ล.)			กลีเซอรอล (มก./ล.)			น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
25	5/12/2551	11,157	0	100.00	117	0	100.00	79	13	83.54
28	8/12/2551	12,343	0	100.00	91	0	100.00	80	13	83.75
30	10/12/2551	11,853	0	100.00	99	0	100.00	79	13	83.54
32	12/12/2551	11,886	0	100.00	83	0	100.00	79	13	83.54
35	15/12/2551	13,639	0	100.00	98	0	100.00	79	12	84.81
37	17/12/2551	11,248	0	100.00	81	0	100.00	80	13	83.75
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		12,021	0	100.00	95	0	100.00	79	13	83.82
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		906.75	0.00	0.00	13.09	0.00	0.00	0.52	0.41	0.49
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

142

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
2	12/9/2551	113	333	35	83	0.31	0.25
4	14/9/2551	100	363	38	88	0.38	0.24
7	17/9/2551	97	438	38	144	0.39	0.33
9	20/9/2551	100	400	31	106	0.31	0.27
11	21/9/2551	100	450	38	75	0.38	0.17
14	24/9/2551	100	463	35	44	0.35	0.09
16	26/9/2551	113	425	35	25	0.31	0.06
18	28/9/2551	100	363	38	31	0.38	0.09
21	1/10/2551	100	300	38	25	0.38	0.08
23	3/10/2551	113	300	38	25	0.33	0.08
25	5/10/2551	100	295	38	24	0.38	0.08
28	8/10/2551	97	300	36	25	0.37	0.08
30	10/10/2551	100	300	38	25	0.38	0.08

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

143

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
32	12/10/2551	100	295	38	24	0.38	0.08
35	15/10/2551	100	300	36	25	0.36	0.08
37	17/10/2551	97	300	38	24	0.39	0.08
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		99	298	37	25	0.37	0.08
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		1.55	2.58	0.92	0.55	0.01	0.00
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	11/11/2551	11.74	6.96	7.04	27.00	28.00
2	12/11/2551	11.15	7.04	7.44	26.50	27.50
3	13/11/2551	10.05	7.02	7.22	26.00	27.00
4	14/11/2551	10.55	7.04	7.30	25.50	26.00
5	15/11/2551	9.81	7.01	7.33	26.00	28.00
6	16/11/2551	12.39	7.05	7.49	26.00	29.00
7	17/11/2551	13.30	7.14	6.94	26.50	28.50
8	18/11/2551	13.85	6.98	6.60	26.50	29.00
9	19/11/2551	12.61	7.04	6.70	26.50	28.50
10	20/11/2551	11.37	7.06	7.08	26.00	28.50
11	21/11/2551	11.22	7.18	7.09	26.00	28.00
12	22/11/2551	11.29	7.18	7.01	25.50	29.00
13	23/11/2551	11.13	7.07	7.10	25.50	29.00
14	24/11/2551	11.06	7.11	7.42	26.00	29.50
15	25/11/2551	12.32	7.11	7.43	26.50	29.50
16	26/11/2551	13.13	7.13	6.95	26.00	27.50
17	27/11/2551	13.35	7.17	7.15	25.50	28.50

145

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
18	28/11/2551	11.31	7.05	7.42	26.00	27.00
19	29/11/2551	10.47	7.12	7.19	25.50	26.50
20	30/11/2551	10.39	7.02	7.14	26.50	26.00
21	1/12/2551	11.53	7.17	6.83	26.00	26.50
22	2/12/2551	12.25	7.08	6.74	25.00	24.50
23	3/12/2551	10.32	7.02	6.87	25.00	25.00
24	4/12/2551	12.94	7.03	7.10	26.50	28.00
25	5/12/2551	12.87	7.04	6.94	26.00	27.50
26	6/12/2551	12.75	7.09	6.92	27.00	26.50
27	7/12/2551	12.98	7.06	6.81	26.00	27.50
28	8/12/2551	12.67	7.08	7.42	26.50	27.50
29	9/12/2551	12.26	7.11	7.32	26.00	24.00
30	10/12/2551	11.70	7.11	7.10	26.00	23.50
31	11/12/2551	12.00	7.08	6.95	26.00	25.50
32	12/12/2551	12.13	7.07	6.92	26.50	25.00
33	13/12/2551	12.45	7.10	7.01	26.00	25.50
34	14/12/2551	12.59	7.07	7.12	26.00	26.50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

146

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
35	15/12/2551	12.89	7.07	7.10	25.50	26.50
36	16/12/2551	12.78	7.08	7.18	26.00	27.00
37	17/12/2551	12.27	7.00	6.96	26.50	26.50
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล		12.42	7.06	7.07	26.17	26.08
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		0.47	0.04	0.19	0.41	1.56
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

147

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดี ซีโอดีกรอง และของแข็งแขวนลอย

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
2	10/9/2551	21,000	6,182	70.56	19500	5250	73.08	115	460	-300.00
4	12/9/2551	21,000	5,636	73.16	19500	4688	75.96	115	490	-326.09
6	14/9/2551	21,818	6,000	72.50	20364	5091	75.00	120	440	-266.67
9	17/9/2551	21,818	5,636	74.17	20364	4582	77.50	110	425	-286.36
11	19/9/2551	20,364	5,636	72.32	18909	4618	75.58	110	410	-272.73
13	21/9/2551	20,364	5,455	73.21	18909	4582	75.77	108	400	-270.37
16	24/9/2551	21,176	4,588	78.33	19765	3882	80.36	112	400	-257.14
18	26/9/2551	20,800	4,400	78.85	18909	3600	80.96	115	325	-182.61
20	28/9/2551	21,000	4,452	78.80	19500	3600	81.54	110	235	-113.64
23	1/10/2551	20,800	4,400	78.85	18600	3677	80.23	115	190	-65.22
25	3/10/2551	20,800	4,400	78.85	18909	3677	80.55	110	190	-72.73
27	5/10/2551	21,176	4,400	79.22	19765	3600	81.79	115	190	-65.22
30	8/10/2551	21,176	4,400	79.22	19765	3600	81.79	110	187	-70.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

148

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดี ซีโอดีกรอง และของแข็งแขวนลอย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
32	10/10/2551	21,760	4,452	79.54	19,650	3,750	80.92	108	185	-71.30
34	12/10/2551	21,677	4,452	79.46	19,500	3,600	81.54	110	187	-70.00
37	15/10/2551	21,818	4,452	79.60	19,200	3,600	81.25	110	190	-72.73
39	17/10/2551	21,677	4,280	80.26	19,500	3,750	80.77	110	190	-72.73
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		21,548	4,406	79.55	19,563	3,650	81.34	111	188	-70.33
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		292.41	66.67	0.38	213.95	77.46	0.44	2.35	2.14	2.79
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมัน (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	เมทานอล (มก./ล.)			กลีเซอรอล (มก./ล.)			น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
27	5/12/2551	16,784	3,354	80.02	190	30	84.10	90	50	44.44
30	8/12/2551	15,271	2,710	82.25	175	31	82.42	87	50	42.53
32	10/12/2551	15,428	3,400	77.96	188	39	79.37	90	48	46.67
34	12/12/2551	16,897	3,241	80.82	210	57	72.75	90	50	44.44
37	15/12/2551	16,622	3,568	78.54	225	42	81.10	90	50	44.44
39	17/12/2551	16,098	3,849	76.09	180	58	67.49	90	48	46.67
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		16,183	3,354	79.28	195	43	77.87	90	49	44.87
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		703.24	379.49	2.20	19.15	12.43	6.42	1.22	1.03	1.58
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
2	10/9/2551	90	438	50	56	0.56	0.13
4	12/9/2551	80	450	45	69	0.56	0.15
6	14/9/2551	85	513	50	75	0.59	0.15
9	17/9/2551	88	550	50	94	0.57	0.17
11	19/9/2551	85	538	50	113	0.59	0.21
13	21/9/2551	88	600	45	119	0.51	0.20
16	24/9/2551	88	617	50	158	0.57	0.26
18	26/9/2551	90	600	44	106	0.49	0.18
20	28/9/2551	85	600	50	69	0.59	0.11
23	1/10/2551	88	613	44	65	0.50	0.11
25	3/10/2551	80	635	44	63	0.55	0.10
27	5/10/2551	88	650	50	65	0.57	0.10
30	8/10/2551	85	655	50	63	0.59	0.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

151

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
32	10/10/2551	88	655	50	63	0.57	0.10
34	12/10/2551	85	650	44	65	0.51	0.10
37	15/10/2551	88	650	44	63	0.50	0.10
39	17/10/2551	88	650	50	65	0.57	0.10
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		87	652	48	64	0.55	0.10
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		1.29	2.58	3	1	0.04	0.00
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	9/11/2551	15.45	7.00	7.32	26.50	29.00
2	10/11/2551	14.91	6.96	7.42	27.00	28.00
3	11/11/2551	15.33	7.02	6.74	26.00	28.50
4	12/11/2551	11.72	6.93	7.32	25.50	27.50
5	13/11/2551	12.28	6.97	7.19	26.50	26.50
6	14/11/2551	12.48	7.11	7.62	26.00	25.50
7	15/11/2551	12.79	6.98	7.58	27.00	26.50
8	16/11/2551	14.28	7.13	7.67	26.50	27.00
9	17/11/2551	15.36	7.12	7.17	26.50	28.50
10	18/11/2551	13.13	7.07	7.55	26.50	29.00
11	19/11/2551	13.39	6.98	7.42	26.00	27.50
12	20/11/2551	12.80	7.02	7.45	26.00	28.50
13	21/11/2551	12.52	7.09	7.52	25.50	28.00
14	22/11/2551	11.76	7.11	7.45	25.50	29.00
15	23/11/2551	12.75	7.08	7.35	26.50	28.50
16	24/11/2551	13.78	7.11	7.50	28.50	28.00
17	25/11/2551	14.21	7.02	7.27	26.00	29.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
18	26/11/2551	13.71	7.02	6.87	26.50	27.50
19	27/11/2551	15.60	7.09	7.07	24.50	29.50
20	28/11/2551	14.59	7.08	7.23	27.00	25.00
21	29/11/2551	12.14	7.12	7.44	26.50	26.00
22	30/11/2551	11.72	7.07	7.41	25.50	26.00
23	1/12/2551	10.00	7.06	7.49	25.50	24.00
24	2/12/2551	10.87	7.12	7.59	26.50	25.00
25	3/12/2551	12.71	7.02	7.38	26.00	26.00
26	4/12/2551	13.42	7.07	7.26	27.00	29.50
27	5/12/2551	12.14	7.09	7.28	26.50	26.50
28	6/12/2551	12.90	7.05	7.03	27.00	27.00
29	7/12/2551	11.90	7.05	7.46	26.00	26.50
30	8/12/2551	12.15	7.03	7.50	26.50	26.00
31	9/12/2551	12.19	7.10	7.31	26.00	28.00
32	10/12/2551	12.87	7.08	7.45	26.50	24.00
33	11/12/2551	12.45	7.05	7.31	25.00	24.00
34	12/12/2551	12.71	7.07	7.14	26.00	26.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 2.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
35	13/12/2551	11.84	7.04	7.36	25.50	26.00
36	14/12/2551	12.29	7.07	7.30	26.50	25.50
37	15/12/2551	12.28	7.03	7.29	26.00	26.50
38	16/12/2551	12.32	7.07	7.51	27.00	27.00
39	17/12/2551	12.82	7.06	7.11	27.00	27.00
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล		12.49	7.06	7.30	26.42	26.00
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		0.34	0.03	0.16	0.38	1.05
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดี ซีโอดีกรอง และของแข็งแขวนลอย

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
2	10/9/2551	31,875	8,727	72.62	26,250	6982	73.40	125	785	-528.00
4	12/9/2551	30,000	8,000	73.33	24,375	6182	74.64	110	700	-536.36
6	14/9/2551	30,500	7,765	74.54	25,100	5818	76.82	115	760	-560.87
9	17/9/2551	30,909	8,000	74.12	25,455	6000	76.43	117	740	-532.48
11	19/9/2551	29,091	7,412	74.52	23,636	5600	76.31	120	630	-425.00
16	21/9/2551	29,091	7,273	75.00	23,636	5419	77.07	115	650	-465.22
16	24/9/2551	30,000	7,273	75.76	24,000	5419	77.42	115	630	-447.83
18	26/9/2551	28,000	6,545	76.62	23,000	5200	77.39	120	590	-391.67
20	28/9/2551	30,968	6,581	78.75	25,161	5200	79.33	113	520	-360.18
23	1/10/2551	30,968	6,545	78.86	25,161	5032	80.00	115	495	-330.43
25	3/10/2551	30,000	6,581	78.06	24,000	5032	79.03	117	420	-258.97
27	5/10/2551	30,000	6,194	79.35	24,000	4800	80.00	120	415	-245.83
30	8/10/2551	29,091	6,000	79.38	24,000	4800	80.00	117	395	-237.61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ ซีโอดี ซีโอดีกรอง และของแข็งแขวนลอย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
32	10/10/2551	30,000	6,000	80.00	24,000	4,875	79.69	115	400	-247.83
34	12/10/2551	30,968	6,194	80.00	24,250	4,800	80.21	117	395	-237.61
37	15/10/2551	29,032	6,194	78.67	23,636	4,800	79.69	120	395	-229.17
39	17/10/2551	29,600	6,194	79.08	24,000	4,875	79.69	115	400	-247.83
41	19/10/2551	29,091	6,000	79.38	24,375	4,875	80.00	115	395	-243.48
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		29,630	6,097	79.42	24,044	4,838	79.88	117	397	-240.59
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		757.08	106.01	0.52	254.55	41.08	0.22	1.97	2.58	7.23
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ เมทานอล กลีเซอรอล และน้ำมันและไขมัน (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	เมทานอล (มก./ล.)			กลีเซอรอล (มก./ล.)			น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)		
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด
30	8/12/2551	22,407	4,957	77.88	222	58	73.95	100	58	42.00
32	10/12/2551	22,275	4,893	78.03	242	62	74.32	100	58	42.00
34	12/12/2551	24,809	4,982	79.92	235	77	67.41	97	56	42.27
37	15/12/2551	23,262	4,854	79.13	230	73	68.08	97	58	40.21
39	17/12/2551	21,662	4,955	77.13	274	79	71.17	100	58	42.00
41	19/12/2551	26,169	4,657	82.21	227	81	64.25	97	56	42.27
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		23,431	4,883	79.05	238	72	69.86	99	57	41.79
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		1,728.33	120.52	1.83	18.79	9.48	3.97	1.64	1.03	0.79
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
2	10/9/2551	88	550	56	144	0.64	0.26
4	12/9/2551	100	538	56	144	0.56	0.27
6	14/9/2551	100	663	50	288	0.50	0.43
9	17/9/2551	88	788	50	469	0.57	0.60
11	19/9/2551	110	775	56	581	0.51	0.75
16	21/9/2551	113	788	53	875	0.47	1.11
16	24/9/2551	100	813	56	900	0.56	1.11
18	26/9/2551	100	788	50	720	0.50	0.91
20	28/9/2551	88	688	53	613	0.61	0.89
23	1/10/2551	113	688	53	560	0.47	0.81
25	3/10/2551	113	675	56	463	0.50	0.69
27	5/10/2551	100	650	56	413	0.56	0.63
30	8/10/2551	100	675	56	420	0.56	0.62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

159

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	
		เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
32	10/10/2551	113	670	53	413	0.47	0.62
34	12/10/2551	100	675	56	412	0.56	0.61
37	15/10/2551	100	670	53	400	0.53	0.60
39	17/10/2551	100	675	56	400	0.56	0.59
41	19/10/2551	113	650	56	413	0.50	0.63
ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สภาวะคงตัว		104	669	55	410	0.53	0.61
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		6.45	9.70	1.62	7.94	0.04	0.02
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

160

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช อุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
1	9/11/2551	16.25	7.03	6.72	26.00	29.50
2	10/11/2551	18.12	6.95	6.67	26.50	29.50
3	11/11/2551	14.64	7.04	7.23	26.50	30.00
4	12/11/2551	14.66	7.00	6.76	26.00	27.00
5	13/11/2551	12.21	6.78	6.91	26.50	27.00
6	14/11/2551	11.47	7.09	6.70	26.00	24.50
7	15/11/2551	12.29	7.02	6.87	26.50	27.00
8	16/11/2551	11.39	6.98	7.03	27.00	27.00
9	17/11/2551	15.78	7.01	6.80	27.00	28.00
10	18/11/2551	12.65	7.17	7.23	26.50	29.00
11	19/11/2551	11.55	6.92	6.72	26.00	28.00
12	20/11/2551	14.44	7.01	7.34	26.00	27.00
13	21/11/2551	16.76	7.03	6.48	25.50	27.00
14	22/11/2551	16.62	7.11	5.94	25.50	29.00
15	23/11/2551	16.84	7.07	5.68	26.00	27.50
16	24/11/2551	14.84	7.09	5.47	27.00	28.50
17	25/11/2551	16.76	7.13	5.47	27.00	30.50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

161

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช อุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
18	26/11/2551	16.62	7.03	5.33	26.00	29.00
19	27/11/2551	16.84	7.07	5.43	25.50	28.50
20	28/11/2551	17.25	7.03	5.16	26.50	26.50
21	29/11/2551	13.10	7.10	5.54	26.50	27.00
22	30/11/2551	13.28	7.14	5.61	26.00	26.00
23	1/12/2551	11.82	7.03	5.63	26.00	24.50
24	2/12/2551	13.39	7.05	5.87	26.50	25.00
25	3/12/2551	14.83	7.02	5.61	26.00	25.00
26	4/12/2551	14.93	7.07	5.47	26.50	28.50
27	5/12/2551	13.43	7.05	5.64	26.00	27.00
28	6/12/2551	13.53	7.10	5.56	27.00	27.50
29	7/12/2551	14.72	7.08	5.98	26.50	26.50
30	8/12/2551	14.39	7.07	5.87	26.50	29.00
31	9/12/2551	13.24	7.08	5.87	26.00	27.50
32	10/12/2551	13.78	7.06	6.02	26.00	24.50
33	11/12/2551	13.24	7.08	6.26	26.00	25.00
34	12/12/2551	13.10	7.02	6.04	26.50	26.50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่อัตราภาระซีโอดี 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงพารามิเตอร์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ พีเอช อุณหภูมิน้ำเสีย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	พีเอช		อุณหภูมิน้ำเสีย (องศาเซลเซียส)	
			เข้าระบบ	ออกจากระบบ	เข้าระบบ	ออกจากระบบ
35	13/12/2551	13.59	7.00	6.25	25.50	26.50
36	14/12/2551	14.57	7.02	5.98	26.50	26.00
37	15/12/2551	13.28	7.07	6.21	26.00	27.00
38	16/12/2551	14.22	7.07	6.12	27.00	26.00
39	17/12/2551	13.82	7.21	6.25	26.50	26.50
40	18/12/2552	13.13	7.08	6.21	26.50	26.00
41	19/12/2553	13.39	7.02	6.04	26.50	26.50
ค่าเฉลี่ยของข้อมูล		13.63	7.08	6.07	26.33	26.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)		0.47	0.07	0.14	0.26	1.44
จำนวนข้อมูลที่สภาวะคงตัว (n)		6	6	6	6	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวดารินทร์ ภูกิ่งงาม เกิดเมื่อวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2525 ที่อำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนโกมลวิทยาคาร จังหวัดหนองคาย ศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสตรีราชินูทิศ จังหวัดอุดรธานี และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2547 หลังจากจบการศึกษาได้ทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิศวกรรมที่บริษัทไทย-เยอรมัน เซรามิค อินดัสทรี่ จำกัด (มหาชน) จังหวัดสระบุรี ดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม และสิ่งแวดล้อมภายในโรงงาน เป็นระยะเวลา 1 ปี จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย