การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลโดยระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน

นายฤทธิชัย รัตนมุกดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WASTEWATER TREATMENT FROM ETHANOL DISTILLERY PROCESS BY TWO-PHASE UASB

Mr. Rittichai Rattanamukda

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลโดยระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน
โดย	นายฤทธิชัย รัตนมุกดา
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชา ขาวเธียร)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน)

....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ชัยพร ภู่ประเสริฐ)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ขจรศักดิ์ โกศลมนตรี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฤทธิชัย รัตนมุกดา : การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลโดยระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน. (Wastewater Treatment from Ethanol Distillery Process by Two-phase UASB) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. ศรัณย์ เตชะเสน, 179 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ ค่าพีเอชในถังสร้างกรด และค่าอัตราการเวียนน้ำกลับ ต่อประสิทธิภาพและการทำงานของระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล โดยใช้ถังสร้างกรดชนิดถังกวนผสมสมบูรณ์ ขนาด 1.7 ลิตร ต่ออนุกรมกับถังสร้างมีเทนชนิดยูเอเอสบี ขนาด 10 ลิตร อัตราสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง โดยถังสร้างกรดมีระยะเวลากักน้ำนาน 0.5 วัน และถังสร้างมีเทนชนิดยูเอเอสบีมีระยะเวลากักน้ำนาน 2.8 วัน และศึกษาผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8, 7.0, 10.0, 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ศึกษาผลของค่าพีเอชในถังสร้างกรด ที่ 5.97, 5.53 และ 5.15 และศึกษาอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 0, 1, 2 และ 3 เท่าของอัตราสูบน้ำเข้าระบบกระทำที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอนสามารถบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 - 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีการกำจัดซีโอดีละลายได้ใกล้เคียงกันเท่ากับ 57.8 ± 0.3% สัดส่วนการผลิตก๊าซมีเทนประมาณ 0.24 - 0.31 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราการบำบัดจำเพาะ 0.066 – 0.129 กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด-วัน/กรัมของตะกอนจุลินทรีย์ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบเริ่มล้มเหลวและล้มเหลว ตามลำดับ ทั้งที่ค่าพีเอช และค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ระบบยังทำงานได้ ดังนั้นอาจเกิดจากปัจจัยอื่นเช่น ความเป็นพิษของน้ำเสีย ค่าซีโอดีที่สูงมาก และความแตกต่างกันของน้ำเสีย เนื่องจากการเดินระบบบำบัดของโรงงาน การลดค่าพีเอชในถังสร้างกรดจากค่าพีเอชประมาณ 6 ถึง 5 เป็นการลดปริมาณการเติมด่างได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และไม่ได้มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญ และการเพิ่มอัตราส่วนการเวียนน้ำกลับ เป็นการลดปริมาณการเติมด่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่า ในระหว่างระยะเวลา 10 วัน ที่ค่าอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 ไม่ต้องมีการเติมด่างเพิ่มในการเดินระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ฤทธิชัย รัตนมุกดา
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2552

5070602721 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : TWO-PHASE / ACIDIFICATION TANK / UASB / ACIDOGENESIS / METHANOGENESIS / RECYCLE

RITTICHAI RATTANAMUKDA : WASTEWATER TREATMENT FROM ETHANOL DISTILLERY PROCESS BY TWO-PHASE UASB.THESIS ADVISOR :SARUN TEJASEN, Ph.D., 179 pp.

The aim of this research was to study the result of organic loading rates, pH in acid reactor, and recycle ratio for the performance of two-phase UASB in treating wastewater from ethanol distillery process. CSTR acidification tank (1.7 L) was connected to 10 L-UASB tank in series, while the flow rate was kept constant at 3.5 L/d throughout all experiments. The retention time of acidification tank and UASB tank was 0.5 d and 2.8 d, respectively. The studying organic loading rates were 3.8, 7.0, 10.0, 11.7, and 13.0 kgCOD/m^3-d. The studying pH in acid reactor were 5.97, 5.53, and 5.15 and recycle ratio were 0, 1, 2, and 3, using organic loading rate of 5.0 kgCOD/m^3-d.

Results showed that two-phase UASB worked efficiently at organic loading rate of 3.8 – 10.0 kgCOD/m^3-d, soluble COD removal efficiencies were 57.8 ± 0.3 %. Approximate methane yield were 0.24 - 0.31 L/gCOD removed. Approximate specific substrate removal rates were 0.066 – 0.129 gCOD removed-d/gMLSS. At organic loading rates of 11.7 and 13.0 kgCOD/m^3-d, two-phase UASB efficiency decreased and failed although pH and VFA/ALK were in suitable level. This might happen from other reasons such as toxicity, very high COD and different wastewater due to factory operating system. Decreasing pH in acid reactor from 6 to 5 reduced alkalinity addition by 50% and did not significantly affect on two-phase UASB. Increasing recycle ratio significantly reduced alkalinity addition and recycle ratio of 3 did not need any alkalinity addition during 10 days of two-phase UASB operation.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : ENVIRONMENTAL ENGINEERING Student's Signature ....
Field of Study : ENVIRONMENTAL ENGINEERING Advisor's Signature ....
Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. ศรัณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาให้แนวทาง คำปรึกษา และข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ชัยพร ภู่ประเสริฐ และ ดร. ขจรศักดิ์ โกศลมนตรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นแนวทางที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือของห้องปฏิบัติการวิจัยและบัณฑิต รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเรื่องข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ นาย กิตติคุณ ตรุยานนท์ ผู้ร่วมทำวิจัย ที่ได้ให้แนวทาง คำปรึกษา และข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดมา

ขอขอบคุณบริษัท เสริมสุข จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อ เชื้อจุลินทรีย์ถังยูเอเอสบี จนทำให้การวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณโรงงาน น้ำตาลไทยเอทานอลที่จัดหาน้ำเสียในการทำงานวิจัยและให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ จนทำให้สามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง ทุกๆ คน ที่อบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุน และคอยช่วยเหลือ รวมทั้งเป็นกำลังใจในการศึกษา จนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การบำบัดชีวภาพแบบไร้ออกซิเจ น	4
2.2 ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	17
2.3 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	19
2.4 ระบบยูเอเอสบี	25
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบ บUASB	27
2.6 ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด	33
2.7 ความสำคัญของการหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบี	35
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	41
3.1 แผนการทดลอง	41
3.2 การเตรียมน้ำเสีย	42
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	43
3.4 แผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ	49
3.5 การติดตั้งถังปฏิกิริยาและหลักการทำงาน	51
3.6 การดูแลรักษาระบบ	53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.. 54

4.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (Start-up)... 54

4.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ 55

4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด.. 75

4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}).. 93

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 113

5.1 สรุปผลการวิจัย.. 113

5.2 ข้อเสนอแนะ 114

รายการอ้างอิง.. 115

ภาคผนวก... 120

ภาคผนวก ก การเตรียมน้ำเสียและราคาสารเคมี 120

ภาคผนวก ข การคำนวณมีเทนยีลด์จากผลการทดลอง 125

ภาคผนวก ค การคำนวณอัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ .... ………………. 126

ภาคผนวก ง การคำนวณยีลด์และมีเทนยีลด์ทางทฤษฎี.. 127

ภาคผนวก จ ข้อมูลผลการทดลองตลอดการวิจัย 128

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.. 179

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 ครึ่งปฏิกิริยาของระบบทางชีวภาพ 9
ตารางที่ 2.2 สารอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ 13
ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของอิออนและโลหะหนักที่มีผลต่อการบำบัดแบบไร้อากาศ....... 15
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของก๊าซมีเทน 18
ตารางที่ 2.5 ข้อดีและข้อเสียของระบบ UASB.. 25
ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอิออนบวก 29
ตารางที่ 2.7 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน.............. 30
ตารางที่ 2.8 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 31
ตารางที่ 2.9 ค่าจลนพลศาสตร์ต่างๆของแบคทีเรีย Mesophillic.. .. 34
ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง 42
ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย 16 ลิตร.. 43
ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 43
ตารางที่ 3.4 แผนการเก็บ และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ 50
ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาแต่ละช่วงการทดลอง 55
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 56
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 7.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 57
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 58
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 11.7 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 59
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 60
ตารางที่ 4.7 ค่าพีเอชของระบบ ในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์............... 61
ตารางที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) ของระบบ ในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์.......... 62
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย
ในช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์.................................. 64
ตารางที่ 4.10 ค่าปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ของระบบ
ในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์.. 64
ตารางที่ 4.11 ค่าปริมาณสภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต)
ของระบบในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์.. 65

ตารางที่ 4.12 ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ ในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์............ 67
ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ ในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์............ 68
ตารางที่ 4.14 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์............ 71
ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยในระบบยูเอเอสบี ค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียขาเข้า และค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี (ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราภาระสารอินทรีย์)............ 74
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.97............ 76
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.53............ 77
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.15............ 78
ตารางที่ 4.19 ค่าพีเอชของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรด............ 79
ตารางที่ 4.20 ค่าอุณหภูมิของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรด............ 80
ตารางที่ 4.21 ค่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด............ 82
ตารางที่ 4.22 ค่าปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ของระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด............ 82
ตารางที่ 4.23 ค่าสภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ของระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด............ 83
ตารางที่ 4.24 ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด............ 84
ตารางที่ 4.25 ประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด............ 86
ตารางที่ 4.26 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด............ 89
ตารางที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยในระบบยูเอเอสบี ค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียขาเข้า และค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี (ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด)............ 91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และไม่มีอัตราการเวียนน้ำกลับ.. 94
ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1.. 95
ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 2.. 96
ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3.. 97
ตารางที่ 4.32 ค่าพีเอชของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ......... 98
ตารางที่ 4.33 ค่าอุณหภูมิของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ..... 99
ตารางที่ 4.34 ค่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.)ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย ในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเวียนน้ำกลับ.. 101
ตารางที่ 4.35 ค่าปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ.. 101
ตารางที่ 4.36 ค่าสภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ.. 102
ตารางที่ 4.37 ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ.. 103
ตารางที่ 4.38 ประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ.. 106
ตารางที่ 4.39 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ........................ 108
ตารางที่ 4.40 ค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยในระบบยูเอเอสบี ค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียเข้า และค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี (ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ)................................ 111

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
รูปที่	2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์พวกสร้างกรด	5
รูปที่	2.2 ปฏิกิริยาการสร้างกรดไขมันระเหยใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียล H_2 สูงและต่ำ...	6
รูปที่	2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ	11
รูปที่	2.4 ผลของกรดอินทรีย์ที่มีต่อสามารถในการตกตะกอนของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	16
รูปที่	2.5 บ่อเกรอะ	20
รูปที่	2.6 ถังกรองไร้อากาศ	21
รูปที่	2.7 ถังหมักแบบสัมผัส	21
รูปที่	2.8 ระบบ Anaerobic Attached Film Expanded Bed...	22
รูปที่	2.9 ระบบ Anaerobic Rotating Biological Contactor…………………………….	23
รูปที่	2.10 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ …………………………………………………….	24
รูปที่	2.11 ระบบยูเอเอสบี ………………………………………………………………..	24
รูปที่	2.12 แสดงลักษณะทั่วไปของถังปฏิกิริยาแบบ UASB…………………………….	26
รูปที่	2.13 แสดงระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีผลต่อระบบ ………..	31
รูปที่	3.1 ถังสร้างกรดที่ใช้ในการทดลอง	45
รูปที่	3.2 ถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง	46
รูปที่	3.3 ขวดพักน้ำเสียที่ออกจากถังสร้างกรด	47
รูปที่	3.4 เครื่องสูบน้ำเสีย ชนิดรีดสาย	47
รูปที่	3.5 เครื่องสูบน้ำเสียหมุนเวียน ชนิดไดอะแฟรม	48
รูปที่	3.6 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ ตามแบบของศักดิ์ชัย (2527)...	48
รูปที่	3.7 ผังแสดงระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน	52
รูปที่	4.1 หัวเชื้อจุลินทรีย์จากบริษัท เสริมสุข จำกัด	54
รูปที่	4.2 ภาพรวมของค่าพีเอชในระบบ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์.....	62
รูปที่	4.3 ภาพรวมของอุณหภูมิในระบบ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์....	63

รูปที่ 4.4 ภาพรวมของค่ากรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์...... 66
รูปที่ 4.5 ภาพรวมของค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์.. 69
รูปที่ 4.6 ภาพรวมของค่าอัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์.. 70
รูปที่ 4.7 ภาพรวม การผลิตก๊าซทั้งหมดและก๊าซมีเทนของระบบในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์.. 72
รูปที่ 4.8 ภาพรวมของ มีเทนยีลด์ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์.............. 73
รูปที่ 4.9 ภาพรวมค่าตะกอนแขวนลอยของระบบในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์.. 75
รูปที่ 4.10 ภาพรวมของค่าพีเอชในระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด.. 80
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด........ 81
รูปที่ 4.12 ภาพรวมของค่ากรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด.. 85
รูปที่ 4.13 ภาพรวมของ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด.. 87
รูปที่ 4.14 ค่าอัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด.. 88
รูปที่ 4.15 ภาพรวมการผลิตก๊าซทั้งหมดและก๊าซมีเทนของระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด.. 90
รูปที่ 4.16 ภาพรวมของมีเทนยีลด์ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด 91
รูปที่ 4.17 ค่าตะกอนแขวนลอยของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด.. 92
รูปที่ 4.18 ภาพรวมของค่าพีเอชในระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ.. 99
รูปที่ 4.19 ภาพรวมของอุณหภูมิในระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ.. 100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.20 ภาพรวมของค่ากรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ........ 104
รูปที่ 4.21 ภาพรวมของ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ........ 106
รูปที่ 4.22 ค่าอัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ........ 107
รูปที่ 4.23 ภาพรวมการผลิตก๊าซทั้งหมดและก๊าซมีเทนของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ........ 109
รูปที่ 4.24 ภาพรวมของ มีเทนยีลด์ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ. 110
รูปที่ 4.25 ค่าตะกอนแขวนลอยของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ........ 112

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและในขณะนี้แนวโน้มราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลกมีราคาที่สูงขึ้น ด้วยเหตุนี้ประเทศไทยจึงมีความพยายามในการพึ่งพาตนเองโดยใช้พลังงานทดแทน ซึ่งสามารถผลิตได้เองเพื่อลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ หนึ่งในพลังงานทดแทนก็คือการใช้เอทานอลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยผสมเข้ากับน้ำมันเบนซินกลายเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยจากข้อมูลของกระทรวงพลังงาน ซึ่ง ได้กำหนดเป้าหมายให้มีการใช้เอทานอลเพื่อทดแทน MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether) ซึ่งเป็นสารเพิ่มออกเทนในน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่ว ในน้ำมันเบนซิน 95 วันละ 1 ล้านลิตร ในปี 2549 และให้มีการใช้เอทานอล วันละ 3 ล้านลิตร เพื่อทดแทน MTBE ในน้ำมันเบนซิน 95 และทดแทนเนื้อน้ำมันในน้ำมันเบนซิน 91 ภายในปี 2554 จำนวนผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงมีทั้งหมด 45 ราย รวมกำลังการผลิต 10 ,875 ,000 ลิตร/วัน ปัจจุบันมีโรงงานที่แล้วเสร็จและทำการผลิตแล้ว 8 ราย รวมกำลังการผลิต 1,055,000 ลิตร/วัน และอยู่ระหว่างการก่อสร้าง 11 ราย รวมกำลังการผลิต 1,870,000 ลิตร/วัน ซึ่งในการผลิตเอทานอล 1 ลบ.ม. ทำให้เกิดน้ำเสีย 10 ลบ.ม. (โดยประมาณ) มีค่าซีโอดีสูงประมาณ 80,000-100 ,000 มก./ล. มีพีเอชต่ำ กลิ่นแรง และมีสีน้ำตาลเข้ม นอกจากนั้นในน้ำเสียยังมีธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม อีกเป็นจำนวนมาก

การผลิตเอทานอลโดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษมากที่สุด โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากและความเข้มข้นสูง ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาอันร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อม จากข้อมูลโรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทย เมื่อก่อสร้างโรงงานเสร็จครบทุกราย ซึ่งจะมีกำลังผลิตประมาณวันละ 10 ล้านลิตร/วัน ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นโดยประมาณคือ 10,000 ลบ.ม./วัน ที่ค่าซีโอดีน้ำทิ้งประมาณ 80,000 – 100 ,000 มก./ล. จะเกิดปริมาณมลพิษขึ้นถึงวันละ 8 ,000 -10 ,000 ตันซีโอดี/วัน ดังนั้นการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเอทานอลจึงมีความสำคัญเพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียมีอยู่หลายวิธี เช่น กระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน หรือการใช้วิธีทางกายภาพ-เคมี แต่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ กระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในการบำบัดเบื้องต้น เนื่องจากสามารถลดค่าบีโอดีลงได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะเดียวกันยังได้พลังงานกลับคืนมาในรูปก๊าซชีวภาพด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลด้วยระบบไร้ออกซิเจนเป็นที่นิยมใช้กันมาก เช่นระบบบ่อ แต่ก็มีปัญหาจากการใช้พื้นที่มาก ปัญหาเรื่องกลิ่น และการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน ส่วนระบบอัตราสูง(High Rate) จะนิยมใช้กันมากเช่นกัน เนื่องจากถังปฏิกิริยาแบบอัตราสูงมีข้อดีคือ เวลากักน้ำและเวลากักตะกอนไม่เกี่ยวข้องกัน ทำให้จุลชีพแบบไร้ออกซิเจนซึ่งเจริญเติบโตช้า สามารถคงอยู่ได้ในถังปฏิกิริยา โดยไม่ขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำเสีย

แต่เนื่องจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน มีวิถีการย่อยสลายที่ซับซ้อน ยากต่อการทำความเข้าใจ ยากต่อการออกแบบและดำเนินการให้ถูกต้องและเหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้ระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในการทำงานต่างๆ ซึ่งสามารถทำให้ใช้ค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจริง ซึ่งจะทำให้สามารถวางแผนตามความเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดในเรื่องค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ที่มีต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอล

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของค่าพีเอชในถังสร้างกรด ที่มีต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอล

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของอัตราการเวียนน้ำกลับ (Recycle Rate Ratio) ที่มีต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอล

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้ทำที่ห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำเสียอุตสาหกรรมจริงจากโรงงานผลิตเอทานอลด้วยกากน้ำตาล มีการเตรียมน้ำเสียโดยการเจือจางด้วยน้ำ ประปา ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน ขนาดห้องปฏิบัติการ และดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการทดลองกระทำที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 , 7.0, 10.0, 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยค่อยๆเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า ในขณะที่อัตราสูบน้ำเข้าระบบเป็น 3.5 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง เพื่อหาค่าอัตราภาระสารอินทรีย์สูงสุดที่ระบบสามารถรับได้ และศึกษาผลของค่าพีเอชในถังสร้างกรดที่มีผลต่อระบบ โดยควบคุมค่าพีเอชในถังสร้างกรดไว้ที่ 5.97 , 5.53 และ 5.15 รวมทั้ง ศึกษาผลของ

อัตราการหมุนเวียนน้ำกลับที่มีต่อระบบยูเอเอสบี ที่อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})เท่ากับ 0 , 1, 2 และ 3 โดยมีการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน โดยระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในการทำงานต่างๆเช่น อัตราภาระสารอินทรีย์ ค่าพีเอชในถังสร้างกรด และอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})

1.4.2 สามารถใช้ค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจริง

1.4.3 สามารถใช้ค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อการวางแผนความเหมาะสม (Optimization) หาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้มีค่าดำเนินการน้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำบัดชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน

การบำบัดชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนหรือแบบแอนแอโรบิค อาศัยการดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ในการย่อยสลายสารอาหารเปลี่ยนเป็นเซลล์ใหม่และก๊าซชีวภาพ มักใช้ในการบำบัดน้ำที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง เนื่องจากระบบย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนมีค่าใช้จ่ายสำหรับในการบำบัดต่ำกว่าแบบใช้ออกซิเจนมาก สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย แต่ข้อเสียที่สำคัญคือแบคทีเรียที่ใช้ในระบบบำบัดเจริญเติบโตช้าต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบยาวนานมาก

2.1.1 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลาย ๆ ชนิดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ สารอินทรีย์ประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันอยู่ในรูปของของแข็งและสารละลายโมเลกุลใหญ่ย่อยสลายไปเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงไปโดยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมี 4 ขั้นตอนหลัก

ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยไร้ออกซิเจน

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซีส (Hydrolysis)

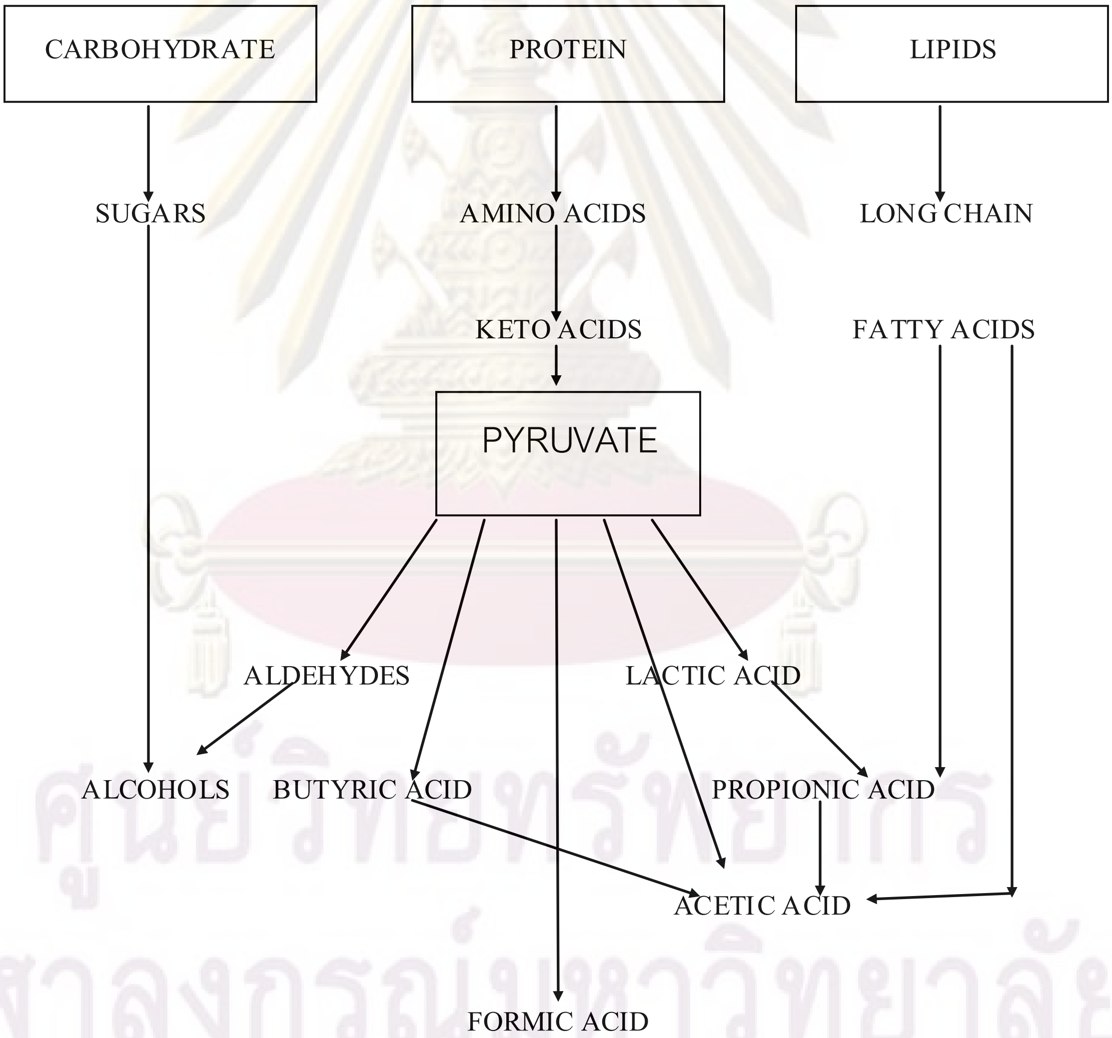
การที่สารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organic) ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก ตัวอย่างเช่น การย่อยสลายโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกลูโคส เพื่อให้สามารถนำเข้าไปในเซลล์ได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสซึ่งจุลินทรีย์จะใช้เอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากเซลล์ (extracellura enzyme) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตที่เกิดจากขั้นตอนที่ 1 จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของแบคทีเรีย โดยผ่านกระบวนการเฟอร์เมนเตชั่น (fermentation) ซึ่งผลสุดท้ายจะมีทั้งสารที่อยู่ในรูปรีดิวส์และรูปออกซิไดซ์ ผลิตผลที่เป็นรูปออกซิไดซ์ส่วนใหญ่ได้แก่ กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม ปฏิกิริยาในการสร้างกรดอินทรีย์เหล่านี้เรียกว่า เอซิดโดเจนิซีส และแบคทีเรียที่รับผิดชอบเรียกว่า แบคทีเรียสร้างกรด ผลิตผลเป็นรูปรีดิวส์เป็นสารอินทรีย์หลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาวะแวดล้อมถังปฏิกรณ์ เช่น

- แบคทีเรียสร้างกรดบางชนิดสามารถใช้อิออนของไฮโดรเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนแทนสารอินทรีย์ ทำให้เกิดโมเลกุลของไฮโดรเจนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา ในกรณีเช่นนี้จะไม่มีผลปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวส์เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก

- แบคทีเรียบางตัวนั้นสามารถใช้กรดอินทรีย์ขนาดใหญ่หรือสารอินทรีย์อื่นในการสร้างกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่เรียกว่า ไฮโดรจีโนเจนนิซีส เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน เพราะฉะนั้นแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนจึงเป็นแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจรวมเรียกได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์พวกสร้างกรดแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์พวกสร้างกรด

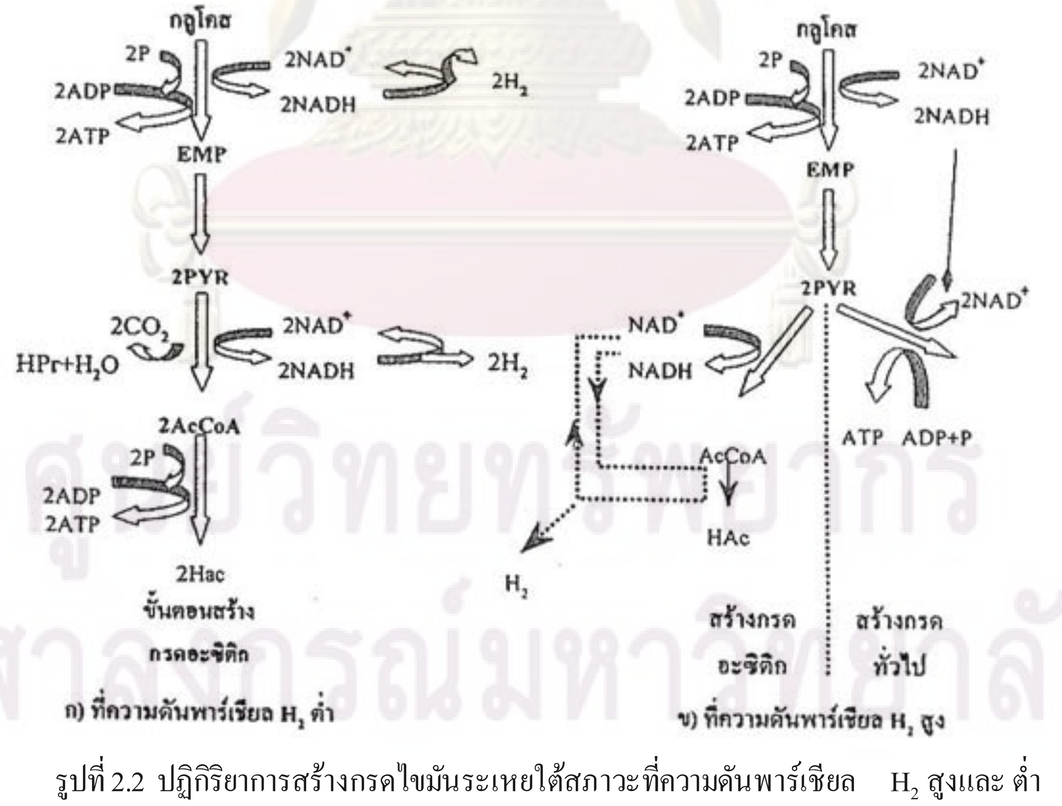
(Jeris และ McCarty, 1962)

พบว่าไฮโดรเจนถูกใช้ในการรีดิวส์คาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นมีเทน ดังนั้น การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สร้างและไม่สร้างมีเทนจึงเป็นประโยชน์ร่วมกัน แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนจะให้กรดอะซิติกและสารอินทรีย์อย่างง่ายแก่แบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งในการสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน

ผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปในเซลล์ เพื่อใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก , กรดบิวทิริก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กและชนิดของผลิตที่ได้ขึ้นกับปัจจัย 2 ประการ คือ

- ชนิดของสับสเตรท
- ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น

ตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อยสลายเป็นอะซิติก และ ไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่มีค่าต่ำและจะย่อยสลายกลายเป็นกรดโพรพิโอนิก , กรดบิวทิริก เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง น้ำตาลถูกย่อยสลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผ่านวิธี Embden – Meyerhof ภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่ต่ำ หากไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง ผลผลิตที่ได้คือ กรดอะซิติก, กรดโพรพิโอนิก, กรดบิวทิริก, ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการสร้างกรดไขมันระเหยใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียล H_2 สูงและ ต่ำ

ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (acetogenesis)

แบคทีเรียอะซิโตเจนิก (แบคทีเรียสร้างอะซิเตท) เป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นสับสเตรทในการผลิตมีเทนได้โดยตรง เนื่องจากการผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการสับสเตรทเฉพาะเจาะจงมากได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลลามีน (methylamine) แบคทีเรียอะซิโตเจนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า 2 x 10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9 x 10^{-3} บรรยากาศ สำหรับการย่อยสลายกรดบิวทิริกและกรดโพรพิโอนิกตามลำดับ

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2 \quad ...(2.1)$$

$$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + H_2 \quad ...(2.2)$$

ขั้นตอนที่ 3 นี้จะเกิดขึ้นเฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนที่มีความดันพาร์เชียลต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนที่มีความดันพาร์เชียลสูง

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (methanogenesis)

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนเจริญเติบโตเกิดได้ช้ามาก และยังเป็นเซลล์ที่จำเพาะต่อชนิดอาหารมากและบอบบาง เช่น ไม่อาจทนต่อออกซิเจนแม้ปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม หรือไม่อาจเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ภายนอกช่วงพีเอชระหว่าง 6.8 – 7.2 ได้ จะพบว่าสับสเตรทที่แบคทีเรียทุกชนิดสามารถใช้ได้มีเพียงไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์และกรดฟอร์มิก และมีแบคทีเรียเพียงชนิดเดียวที่ใช้กรดอะซิติกและเมทานอลได้ ดังนั้นจะเห็นว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทนต้องการสารอินทรีย์บางชนิดอย่างเจาะจง กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้ ทำให้ต้องมีสารอีกจำนวนมากที่ตกค้างอยู่ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ระบบไร้ออกซิเจนมักไม่สามารถลดซีโอดีของน้ำเสียให้เหลือต่ำเท่ากับกรณีของระบบที่ใช้ออกซิเจนได้

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. แบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้จากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน (hydrogenotrophic methanogen หรือ hydrogen utilizer) กล่าวคือ ได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานจำนวนมากจากไฮโดรเจน แบคทีเรียชนิดนี้สามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสับสเตรทเพียงอย่างเดียวได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่ากรดฟอร์มิกสามารถเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O + 32.4\ kcal \quad ...(2.3)$$

2. แบคทีเรียสร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (acetolastic methanogen) พบว่ามีเทนส่วนใหญ่ ประมาณ 72% ได้มาจากการแตกตัวของกรดอะซิติกดังนี้

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 + 6.71\ kcal \quad ...(2.4)$$

แต่อย่างไรก็ดียังมีข้อสงสัยว่าปฏิกิริยา (2.4) นี้ จะสามารถให้พลังงานพอเพียงในการดำรงชีวิตของเซลล์หรือไม่ (ทั้งนี้เพราะตามทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์ อาจพิสูจน์ได้ว่าสมการ (2.4) ได้พลังงานไม่เพียงพอในการดำรงชีวิตของเซลล์) การเปลี่ยนอะซิเตทให้เป็นมีเทนอาจเกิดขึ้นได้ด้วยปฏิกิริยาที่มีไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานดังนี้

$$CH_3COOH + 4H_2 \longrightarrow 2CH_4 + 2H_2O + 39.01\ kcal \quad ...(2.5)$$

ในปฏิกิริยาอันนี้กรดอะซิติกเป็นสารตัวสุดท้ายในการรับอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจนพลังงานที่ได้สูงกว่าที่ได้จากสมการ (2.4) มาก และเชื่อว่าเพียงพอสำหรับการดำรงชีวิตของเซลล์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 สมการของปฏิกิริยาทางชีวภาพ (Stoichiometry of Biological Reactions)

$$R = f_eR_a + f_sR_{cs} - R_d$$

ขณะที่ R = overall balanced reaction

f_e = fraction of electron donor used for energy

R_a = half reaction for electron acceptor

f_s = fraction of electron donor used for cell synthesis

R_{cs} = half reaction for synthesis of cell tissue

R_d = half reaction for electron donor

$f_s + f_e = 1$

ตารางที่2.1 ครึ่งปฏิกิริยาของระบบทางชีวภาพ (Metcalf & Eddy, 2003)

Reaction number	Half reaction	$\triangle G^o$ (W),[b] kJ per electron equivalent
	Reaction for bacteria cell synthesis (R_{cs})	
1.	Ammonia as nitrogen source: $(1/5)CO_2 + (1/20)HCO_3^- + (1/20)NH_4^+ + H^+ + e^- = (1/20)C_5H_7O_2N + (9/20)H_2O$	
2.	Nitrate as nitrogen source: $(1/28)NO_3^- + (5/28)CO_2 + (29/28)H^+ + e^- = (1/28)C_5H_7O_2N + (11/28)H_2O$	
	Reaction for electron acceptors (R_a)	
3.	Nitrite: $(1/3)NO_2^- + (4/3)H^+ + e^- = (1/6)N_2 + (2/3)H_2O$	-93.23
4.	Oxygen: $(1/4)O_2 + H^+ + e^- = (1/2)H_2O$	-78.14
5.	Nitrate: $(1/5)NO_3^- + (6/5)H^+ + e^- = (1/10)N_2 + (3/5)H_2O$	-71.67
6.	Sulfite: $(1/6)SO_3^{2-} + (5/4)H^+ + e^- = (1/12)H_2S + (1/12)HS^- + (1/2)H_2O$	13.60
7.	Sulfate: $(1/8)SO_4^{2-} + (19/16)H^+ + e^- = (1/16)H_2S + (1/16)HS^- + (1/2)H_2O$	21.27
8.	Carbon dioxide (methane fermentation) $(1/8)CO_2 + H^+ + e^- = (1/8)CH_4 + (1/4)H_2O$	24.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่2.1 ครึ่งปฏิกิริยาของระบบทางชีวภาพ (ต่อ)

Reaction number	Half reaction	$\triangle G^{o}$ (W),[b] kJ per electron equivalent
Reaction for electron donors (R_d)		
Organic donors (heterotrophic reactions)		
9.	Domestic wastewater: $(9/50)CO_2 + (1/50)NH_4^+ + (1/50)HCO_3^- + H^+ + e^- = (1/50)C_{10}H_{19}O_3N + (9/25)H_2O$	31.80
10.	Protein: $(8/33)CO_2 + (2/33)NH_4^+ + (31/33)H^+ + e^- = (1/66)C_{16}H_{24}O_5N_4 + (27/66)H_2O$	32.22
11.	Formate: $(1/2)HCO_3^- + H^+ + e^- = (1/2)HCOO^- + (1/2)H_2O$	48.07
12.	Glucose: $(1/4)CO_2 + H^+ + e^- = (1/24)C_6H_{12}O_6 + (1/4)H_2O$	41.96
13.	Carbohydrate: $(1/4)CO_2 + H^+ + e^- = (1/4)CH_2O + (1/4)H_2O$	41.84
14.	Methanol: $(1/6)CO_2 + H^+ + e^- = (1/6)CH_3OH + (1/6)H_2O$	37.51
15.	Pyruvate: $(1/5)CO_2 + (1/10)HCO_3^- + H^+ + e^- = (1/10)CH_3COCOO^- + (2/5)H_2O$	35.78
16.	Ethanol: $(1/6)CO_2 + H^+ + e^- = (1/12)CH_3CH_2OH + (1/4)H_2O$	31.79
17.	Propionate: $(1/7)CO_2 + (1/14)HCO_3^- + H^+ + e^- = (1/14)CH_3CH_2COO^- + (5/14)H_2O$	27.91
18.	Acetate: $(1/8)CO_2 + (1/8)HCO_3^- + H^+ + e^- = (1/8)CH_3COO^- + (3/8)H_2O$	27.68
19.	Grease: $(4/23)CO_2 + H^+ + e^- = (1/46)C_8H_{16}O + (15/46)H_2O$	27.61

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน (สุรพล สายพานิช, 2540)

ปัจจัยและสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าพีเอช กรดอินทรีย์ ความเป็นด่าง สารอาหารที่จำเป็นและสารพิษเป็นต้น ดังนั้นในการควบคุมกระบวนการให้มีเสถียรภาพ และประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นจะต้องควบคุมปัจจัย และสภาวะแวดล้อมให้พอเหมาะ

1. อุณหภูมิ (Temperature)

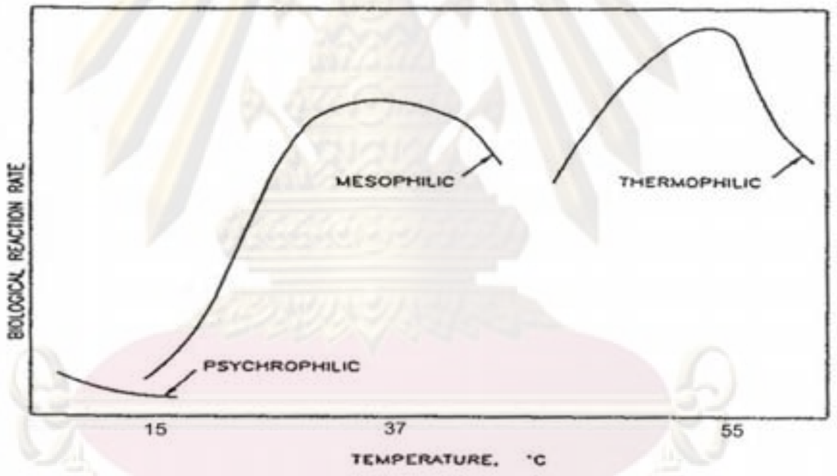
อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก จุลินทรีย์ส่วนมากจะดำรงชีพอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 99 องศาเซลเซียส เพราะจุลินทรีย์มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

1) Psychophilic Range ช่วงอุณหภูมิ 5 – 15 องศาเซลเซียส

2) Mesophilic Range ช่วงอุณหภูมิ 35 – 37 องศาเซลเซียส

3) Thermophilic Range ช่วงอุณหภูมิ 50 – 55 องศาเซลเซียส

ในแต่ละช่วงอุณหภูมิก็จะมีจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดย Mesophilic Range เป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่าในช่วง Psychophilic Range มาก แต่น้อยกว่าในช่วง Thermophilic Range เพียงเล็กน้อย ซึ่งต้องการพลังงานในการควบคุมต่ำกว่า Psychophilic Range และมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (สุรพล สายพานิช, 2540)

สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิของน้ำเสียส่วนมากจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 28-33 องศาเซลเซียส และในถังปฏิกิริยาอุณหภูมิจะสูงขึ้นประมาณ 3 - 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ดังนั้นจึงจัดอยู่ในช่วง Mesophilic Range โดยไม่ต้องให้ความร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

2. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อจุลินทรีย์ในแง่ของการเจริญเติบโต ได้ตั้งสมมติฐานว่าค่าพีเอชที่แตกต่างกันจะมีปริมาณไฮโดรเจนอิออนแตกต่างกันไป ซึ่งทำให้ค่าความต่างศักย์ของเคมีไฟฟ้า ของการขนถ่ายสารอาหารและกำจัดของเสียออกจากเซลล์เปลี่ยนแปลง โดยที่ค่าพีเอช

ต่ำๆ จะมีปริมาณไฮโดรเจนอิออนอยู่มากทำให้การซึมเข้าและออกจากเซลล์เป็นไปได้ยากเป็นเหตุให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตและการตายของจุลินทรีย์

ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์พวกสร้างมีเทนจะลดลงอย่างมาก แต่ถ้าต่ำกว่า 5.0 จะยับยั้งการเจริญเติบโตและตาย สำหรับจุลินทรีย์พวกสร้างกรดมีความสามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ต่ำกว่า 4.5 โดยที่ไม่เป็นอันตราย เนื่องจากธรรมชาติของจุลินทรีย์นี้ ซึ่งเมื่อย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วจะได้กรดอินทรีย์ และที่ค่าพีเอชสูงกว่า 8 การเกิดก๊าซมีเทนก็จะลดลงเช่นกัน

Speece (1996) เห็นว่าพีเอช ควรอยู่ในช่วง 6.6 ถึง 8.2 หากพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว การควบคุมสภาพกรดและด่าง กระทำโดยควบคุมอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างไม่ให้เกิน 0.4 โดยเติมด่าง ($NaHCO_3$) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าที่พีเอช 4.2 มีจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเปลี่ยนเมทานอลเป็นมีเทน

3. กรดอินทรีย์ และค่าความเป็นด่าง (Volatile Fatty Acid and Total Alkalinity)

กรดอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริค และกรดโพรพิโอนิกเป็นต้น แต่โดยส่วนใหญ่จะเป็นกรดอะซิติกในสภาพพีเอชเป็นกลาง กรดอินทรีย์เหล่านี้จะอยู่ในรูปของกรดอะซิติก กรดบิวทิริค และกรดโพรพิโอนิก ในระบบที่อยู่ในสภาวะสมดุลย์ อัตราการสร้างกรดและอัตราการใช้กรดเพื่อสร้างมีเทนของจุลินทรีย์จะเท่ากัน แต่ถ้าอยู่ในสภาวะไม่สมดุลอัตราการสร้างกรดสูงกว่า จะเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ซึ่งทำให้ค่าพีเอชลดลงและทำให้ระบบล้มเหลวไปในที่สุด กรดอินทรีย์ก็มีความเป็นพิษโดยตรงกับจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นเกินกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ก็อาจจะทดสอบได้ถึงความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ดังนั้น การควบคุมค่าพีเอชจึงเป็นกลไกสำคัญในการควบคุมระบบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชจะขึ้นอยู่กับปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffer capacity) ในระบบ ถ้าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์พอเพียง การเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชอย่างกะทันหันจึงเป็นไปได้ยาก ซึ่งจะทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. สารอาหาร (Nutrient)

เพื่อให้การสร้างเซลล์จุลินทรีย์เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ควบคุมอัตราส่วนบีโอดีต่อไนโตรเจนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (BOD : N : P) ประมาณ 100 : 1.1 : 0.2 หรือ ซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อ ฟอสฟอรัส (COD : N : P) ประมาณ 350 : 5 : 1 นอกจากนี้ พบว่าโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก นิเกิล โคบอลต์ มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งสารอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Speece, 1996)

สารเคมี	มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสีย
$NaHCO_3$	6,000
NH_4Cl	400
$(NH_4)_2HPO_4$	80
$(NaPO_3)_6$	10
$(Na_2S.9H_2O)$	300
KCl	400
$CaCl_2.2H_2O$	50
$MgSO_4.7H_2O$	400
$FeCl_2.4H_2O$	40
$CoCl_2.6H_2O$	10
KI	10
$NiCl_2.6H_2O$	0.5
$ZnCl_2$	0.5
$AlCl_3.6H_2O$	0.5
H_3BO_3	0.5
$CuCl_2.2H_2O$	0.5
$MnCl_2.4H_2O$	0.5
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.5
Na_2SeO_4	0.5
NH_4VO_3	0.5
$Na_2WO_4.2H_2O$	0.5

5. โออาร์พี (Oxidation Reduction Potential, ORP)

เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) โดยแสดงปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบ โดยทั่วไปจะวัดค่าโออาร์พีได้ค่าบวกในน้ำที่มีออกซิเจนหรือไนเตรท และวัดค่าโออาร์พีเป็นลบเมื่อน้ำเสียอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน โออาร์พีจะแสดงถึงความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของสารละลาย ถ้าวัดค่าโออาร์พีมีค่าบวกมากๆ แสดงว่าสารละลายนี้มีความสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดี สำหรับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้น้อยหรือมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดีและมีค่าโออาร์พีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลท์

6. สารพิษ (Toxic Substance)

สารเคมีใดๆ ที่เข้าสู่ระบบเมื่อมีค่าความเข้มข้นถึงระดับหนึ่งแล้วมีผลให้ประสิทธิภาพ หรือเสถียรภาพของระบบลดลงสารนั้นจัดเป็นสารพิษ (Toxic) ความเป็นพิษต่อระบบมีได้ตั้งแต่การยับยั้งผลของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Inhibit) จนถึงการทำลายจุลินทรีย์

ซึ่งสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งทางชีววิทยา แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

- พิษของไอออนหรือโลหะหนัก (Ion or Heavy Metal Toxicity)

ระดับความเป็นพิษของไอออนหรือโลหะหนัก ถ้ามีมากเกินจำนวนหนึ่งก็จะทำให้เกิดการเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบได้ ไอออนที่สำคัญได้แก่ Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} และ S^{2-} และโดยปกติไอออนบวกจะมีความเป็นพิษมากกว่าไอออนลบ นอกจากนี้การศึกษายังพบว่าไอออนบวกที่มีเวเลนซี่เท่ากับ 1 จะมีพิษต่อจุลชีพน้อยกว่าไอออนที่มีเวเลนซี่เท่ากับ 2 ซึ่งพิษของ Ca^{2+} และ Mg^{2+}, Na^{+} และ K^{+} ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของไอออนบวกจะเพิ่มขึ้นเมื่อวาเลนซี่สูงขึ้น และน้ำหนักอะตอมมากขึ้น เราสามารถลดความเป็นพิษของไอออนบวกได้โดยการทำแอนทาโกนิสซึม (Antagonism) คือเมื่อไอออนบวกอยู่ร่วมกันในความเข้มข้นที่พอเหมาะสม พิษของไอออนบวกชนิดหนึ่งสามารถลดความเป็นพิษไอออนอีกชนิดหนึ่งได้เช่น พิษของ Na^{+} เข้มข้น 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้หมดไปได้ ถ้ามี Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 50 - 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในทางตรงกันข้าม ไอออนบวกบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของไอออนอีกชนิดหนึ่งเมื่ออยู่รวมกันเราเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า ซินเนอร์ยีสซึม (Synergism)

ส่วนพิษของโลหะหนักได้แก่ แมงกานีส , สังกะสี , แคดเมียม , นิกเกิล , โคบอลต์ , ทองแดง และโครเมียม โลหะหนักเหล่านี้จะอยู่ในน้ำทิ้งในรูปไอออน อนึ่งพิษของโลหะหนักจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)ที่มีอยู่ในน้ำเสียเพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถรวมกับโลหะหนักเกิดเป็นเกลือของโลหะหนักขึ้น ซึ่งจะไม่ละลายน้ำ

อย่างไรก็ตามไอออนบวกต่างๆ เหล่านี้ถ้ามีในปริมาณที่เหมาะสมยังเป็นสารอาหารที่จำเป็นเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งความเข้มข้นของอิออนและโลหะหนักที่มีผลต่อการบำบัดแบบไร้อากาศ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของอิออนและโลหะหนักที่มีผลต่อการบำบัดแบบไร้อากาศ (สุรพล สายพานิช, 2540)

สารพิษ	ความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Cu	1.0
Zn	5.0
Cr^{6+}	5.0
Cr^{3+}	2,000
Total Chromium	5.0
Ni	2.0
Cd	0.02
S	100
SO_4^{2-}	500
Ammonia	1,500
Na	3,500
K	2,500
Ca^{2+}	2,500
Mg^{2+}	1,000
Aerylonitrite	5.0
Benzene	50
C Cl	10
Chloroform	0.1
Pentechlorophenol	0.4
Cyanide	1.0

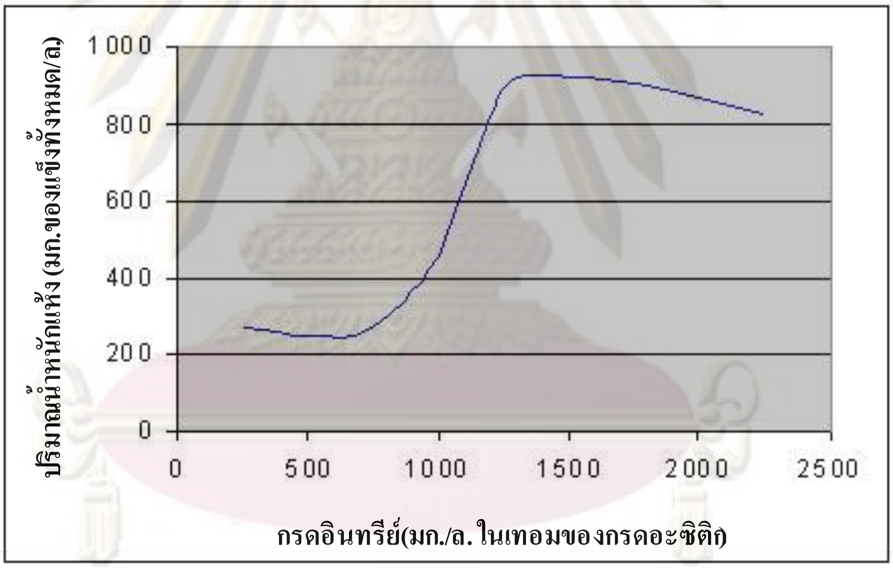
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- พิษของกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid Toxicity)

กรดไขมันระเหยเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน เพราะการที่เกิดกรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้น จะทำให้พีเอชลดลงซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์

- พิษของสารอินทรีย์ (Toxic Organic Material)

สารอินทรีย์บางชนิดจะไปยับยั้งการทำงานของจุลชีพชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ สารพวกนี้ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohol) และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long – Chain Fatty Acid) เช่น เมทานอล (Methanol) ซึ่งความเป็นพิษของสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถทำลายได้โดยการนำน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบบำบัดอย่างสม่ำเสมอ (Continuous Feed) เพื่อทำให้จุลชีพคุ้นเคยและปรับตัวได้ แม้ว่าจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์เป็นพิษถึง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ตาม หรืออาจแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีลงไป เพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ ซึ่งผลของกรดอินทรีย์ที่มีต่อสามารถในการตกตะกอนของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ผลของกรดอินทรีย์ที่มีต่อสามารถในการตกตะกอนของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Kotze และคณะ, 1969)

- พิษของก๊าซบางชนิด

พิษของแอมโมเนีย (Ammonia toxicity) แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย คือ พวกโปรตีนหรือปุ๋ยยูเรีย (Urea) ซึ่งไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยสารสองตัวนี้จะเปลี่ยนไปมาได้ขึ้นกับค่าพีเอช ดังสมการที่ 2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+ \quad (2.6)$$

ถ้าพีเอชสูงกว่า 8 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวาซึ่ง NH_3 จะยับยั้งการทำงาน และเป็นพิษต่อจุลชีพชนิดไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่า NH_4^+ ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนซึ่งวิเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการจะรวมทั้ง NH_4^+ และ NH_3

การลดพิษของแอมโมเนียไนโตรเจนทำได้โดยการเจือจาง (Dilution) น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดหรืออาจกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

พิษของซัลไฟด์ (Sulfide Toxicity) ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพวิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดการเป็นพิษของซัลไฟด์ต่อจุลชีพเมื่อน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีปริมาณของซัลไฟด์มากหรือเกิดการย่อยสลายของซัลเฟต (SO_4^{2-}) หรือเกิดการย่อยสลายโปรตีนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับไอออนบวกที่รวมอยู่ ถ้ารวมกับโลหะหนักก็จะตกตะกอนลงมา ส่วนที่เหลือจะละลายน้ำในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสามารถเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟุริค (H_2SO_4) ได้ จุลชีพชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระสามารถทนต่อซัลไฟด์ที่ละลายน้ำอันมีความเข้มข้น 50 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ความเข้มข้นที่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นพิษต่อจุลชีพชนิดนี้

การลดพิษของซัลไฟด์ทำได้โดยการทำให้ตกตะกอนของซัลไฟด์ การทำให้น้ำเจือจาง หรือโดยการแยกซัลไฟด์ออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

2.2 ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน ประมาณร้อยละ 60 – 70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 30 – 40 มีก๊าซไฮโดรเจน , ไฮโดรซัลไฟด์ , แอมโมเนีย และมีความชื้นปนอยู่เล็กน้อย คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่ถูกกำหนดโดยก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก ก๊าซชีวภาพมีค่าของความร้อนประมาณ 4 ,500 – 5,000 กิโลแคลลอรี่ต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทนที่ผสมอยู่ เนื่องจากก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงควรจะต้องทราบถึงคุณสมบัติของก๊าซมีเทน ดังตารางที่ 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของก๊าซมีเทน (Kotze และคณะ , 1968)

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Chemical formular	CH_4
Molecular weight	16.042
Boiling point at 14.696 psia (760 mm)	-258.68 ºF (-161.49 ºC) Freezing point
At 14.696 psia (760 mm)	-296.46 ºF (-182.48 ºC)
Critical pressure	673.1 psia (47.363 kg/cm)
Critical temperature	-116.5 ºF (-82.5 ºC)
Specific gravity : Liquid (at -263.2 ºF {-164 ºC}) Gas (at 77 ºF {25 ºC} and 14.696 psia {760 mm})	 0.415 0.000658
Specific volume at 60 ºF {25 ºC } & 14.696 psia (760 mm)	223.61 ft/lb (1.47 l/gm)
Calorific value at 60 ºF (15.5 ºC) & 14.696 psia (760 mm)	1,012 Btu/ft (38,130.71 KJ/m)
Air required for combustion ft/ft	9.53
Flammability limits	5 to 15 percent by volume
Octane ratio	130
Ignation temperature	1202 ºF (650 ºC)
Combustion equation	$CH_4 + O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$
O/CH for complete combustion	3.98 by weight
O/CH for complete combustion	2.0 by weight
O/CH for complete combustion	2.74 by weight
O/CH for complete combustion	1.00 by weight

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน (ศักดิ์ชัย สุริยจันทราทอง และ อุดร จารุรัตน์ , 2542 ; สุรพล สายพานิช , 2540)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน เป็นกระบวนการทางชีวภาพแบบหนึ่ง ซึ่งถูกพัฒนาและปรับปรุงมานานกว่า 100 ปี โดยอาศัยความรู้และความเข้าใจในกลไกการย่อยสลายที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ เป็นเหตุให้กระบวนการนี้มีหลายรูปแบบในปัจจุบัน และเชื่อว่าจะมีแบบต่างๆ เพิ่มขึ้นอีกมากในอนาคตอันใกล้นี้ อาจแบ่งชนิดของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนได้ดังนี้

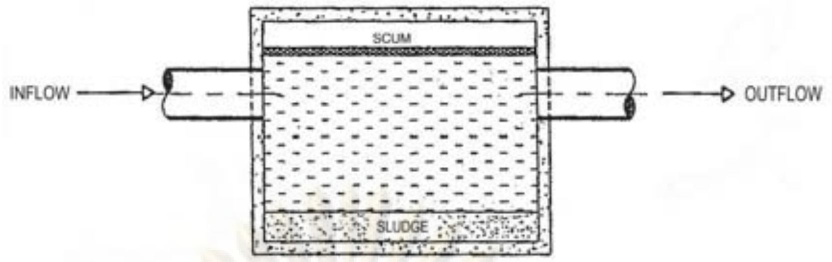
2.3.1 บ่อหมักไร้ออกซิเจน (Anaerobic Pond)

มักเป็นบ่อดินที่มีขนาดใหญ่เก็บกักน้ำได้หลายวัน นิยมสร้างให้มีความลึก 3 ถึง 5 เมตร (ลึกกว่านี้ก็ได้) สร้างอยู่กลางแจ้งจึงขึ้นอยู่กับธรรมชาติเป็นหลัก สำหรับประเทศเมืองหนาวจะมีปัญหาในฤดูหนาวประสิทธิภาพจะลดลง แต่สำหรับประเทศไทย ซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงและไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงจะไม่ค่อยพบปัญหาเรื่องความแปรปรวนของประสิทธิภาพ ปัญหาที่พบมักเกิดจากกลิ่นเหม็นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หากควบคุมไม่ดีพอ เช่น พีเอชต่ำกว่า 6.0 หรือบ่อรับภาระสารอินทรีย์สูงเกินกว่า 0.4 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็นต้น ระบบนี้จึงเหมาะสำหรับสร้างในบริเวณที่ไกลชุมชนและที่ดินราคาถูกเนื่องจากใช้เนื้อที่มาก

2.3.2 บ่อเกรอะ (Septic Tank)

นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนโดยเฉพาะจากส้วม ซึ่งอาจสร้างเป็นถังคอนกรีตกลมหรือสี่เหลี่ยมจะช่วยลดสารอินทรีย์ในเบื้องต้นได้ดี โดยเฉพาะอุจจาระจะถูกลดปริมาตรโดยถูกย่อยสลายกลายเป็นก๊าซ ทำให้ถังเกรอะสามารถใช้งานได้นานกว่าจะเต็ม

ลักษณะภายในถังแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนบนเป็นพวกวัตถุเบา (scum) ลอยอยู่ส่วนล่างเป็นพวกตะกอนหนัก ส่วนตรงกลางจะค่อนข้างใสกว่าส่วนอื่น การระบายน้ำจึงระบายจากส่วนกลางโดยใช้ผนังกั้นน้ำส่วนบนไว้ แล้วให้น้ำส่วนกลางไหลออกไป โดยทั่วไปมักรังเกียจว่าน้ำส่วนนี้ยังไม่สะอาดพอจึงมักใช้ถังซึม หรือลานซึมตามหลังเพื่อซึมน้ำดังกล่าวลงดินไป ซึ่งใช้ได้ดีเฉพาะบางพื้นที่ที่ดินมีลักษณะเหมาะสมโดยมีอัตราการซึมสูง เช่น ดินปนทราย แต่สำหรับกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นดินเหนียวมีอัตราการซึมต่ำจึงไม่เหมาะสมโดยมักเกิดปัญหาส้วมอืดเต็มเร็วเนื่องจากไม่สามารถซึมน้ำออกไปได้ทัน



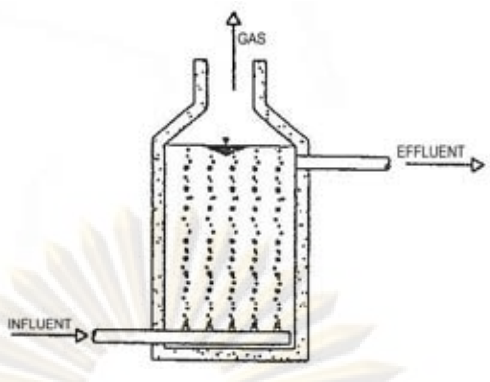
รูปที่ 2.5 บ่อเกรอะ : Septic tank (สุรพล สายพานิช, 2540)

2.3.3 ถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter)

เป็นระบบที่ใช้ปริมาตร และพื้นที่น้อยกว่า 2 ระบบแรก มีประสิทธิภาพดีกว่าแต่เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างมาก มีข้อดีที่สามารถรวบรวมก๊าซมีเทนมาใช้งานได้หากต้องการ น้ำเสียจะถูกป้อนจากส่วนล่างของระบบให้ล้นออกด้านบน โดยภายในระบบจะบรรจุตัวกลางเพื่อให้จุลินทรีย์เกาะอาศัย (โดยไม่หลุดไปโดยง่ายกับน้ำออก) และจุลินทรีย์บางส่วนที่มีความหนาแน่นมาก สามารถจมตัวสวนกระแสน้ำลงสู่ก้นถัง ตัวกลางที่ใช้อาจเป็นหิน (ขนาด 2 นิ้ว) หรือเป็นพลาสติกซึ่งมีรูปทรงต่างๆ ที่มีการผลิตขายมากมาย ทั้งนี้เพื่อจะสร้างให้ตัวกลางมีพื้นที่ผิวมากเมื่อเทียบกับปริมาตร ปัจจุบันตัวกลางพลาสติกได้รับความนิยมมากเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก และมีน้ำหนักเบาตลอดจนมีช่องว่างมาก ทำให้ขนาดของถังเล็กลงและฐานรากรับน้ำหนักน้อยลง จึงประหยัดค่าก่อสร้างโครงสร้างถัง อย่างไรก็ตามตัวกลางพลาสติกมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ต้องใช้งบประมาณในการลงทุนก่อสร้างค่อนข้างสูง

ระบบนี้มีจุดอ่อนบ้างหากน้ำเสียที่เข้ามีเศษวัสดุขนาดใหญ่มากจะทำให้เกิดการอุดตันระหว่างช่องว่างตัวกลางได้ น้ำเสียจะไหลอ้อมไปไม่สัมผัสกับจุลินทรีย์ที่เกาะติดบนตัวกลาง ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงเกิดการสูญเสียความดันมาก ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันที่ดีโดยการมีตะแกรงละเอียด หรือถังตะกอนเพื่อกำจัดเศษวัสดุเหล่านี้เสียก่อน นอกจากนี้การกระจายน้ำเสียอาจไม่ทั่วถึงในกรณีที่ถังกว้างเกินไปทำให้เกิดมุมอับ (Dead Zone) ซึ่งไม่เกิดประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย

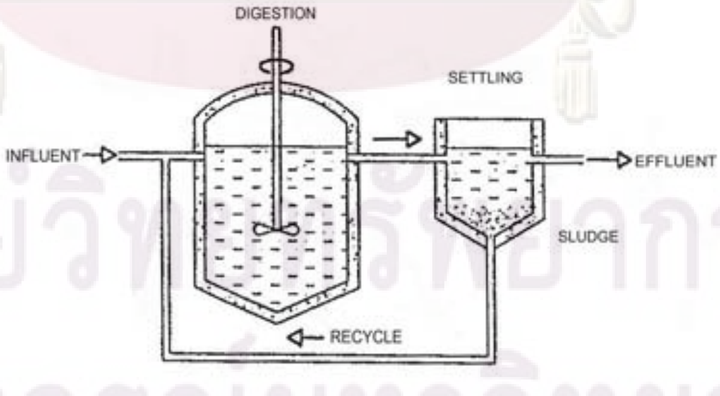
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 ถังกรองไร้อากาศ (สุรพล สายพานิช, 2540)

2.3.4 ถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact)

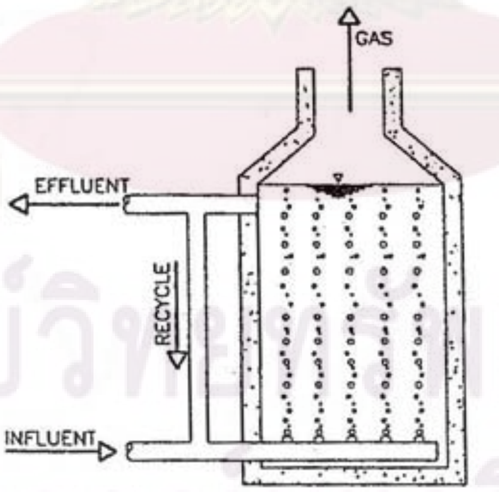
ถังย่อยแบบนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ถังย่อยสลายแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถังปฏิกิริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่มีก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้นถังย่อยแบบสัมผัสจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงระบบเอเอสจนกระทั่งในบางครั้งอาจเรียกถังย่อยแบบนี้ว่าเป็นระบบเอเอสแบบไร้อากาศ อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเหมือนกับระบบเอเอส การสะสมแบคทีเรียให้คงอยู่ในระบบไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้ดีเหมือนสลัดจ์ของระบบเอเอส จึงมีการหลุดออกเกิดขึ้นตลอดเวลาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันระบบถังย่อยแบบสัมผัสมีจำนวนน้อยมาก เนื่องจากไม่เป็นที่นิยม ระบบที่ยังคงใช้ได้จะมีความสามารถในการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ



รูปที่ 2.7 ถังหมักแบบสัมผัส (สุรพล สายพานิช, 2540)

2.3.5 ระบบชั้นลอยตัวแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Fluidized Bed หรือ AFB) หรือ Anaerobic Attached Film Fluidized Bed (AAFEB)

ระบบแบบนี้คล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจนตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นบน จัดเป็นระบบฟิล์มตรึง (Fixed Film) แบบไร้อากาศที่มีสารตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายเป็นที่จับเกาะของแบคทีเรียอัตราการไหลของน้ำเสียจะต้องสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลางตัวอย่าง สารตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ทรายแอนทราไซด์ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน) ทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดต่อหน่วยปริมาตร) สูงมาก ซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมหาศาลอยู่ในระบบ อัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ลักษณะการทำงานซึ่งต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลาก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบและควบคุมระบบหลายอย่างและต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่น ระบบเช่นนี้จึงยังไม่ได้รับความนิยม ข้อแตกต่างระหว่าง AFB และ Anaerobic Filter ก็คือในระบบ AFB จะมีการหมุนเวียนการไหลของน้ำเสียที่ไหลผ่านอนุภาคและปริมาตรขยายตัวของชั้นอนุภาคในอัตราที่สูงกว่าระบบ Anaerobic Filter แลขนาดอนุภาคของ Anaerobic Filter ที่ใช้มีขนาดโตกว่า คือ ประมาณ 400 ไมโครเมตร ส่วนระบบ AFB ใช้ 20 – 30 ไมโครเมตร ภายหลังปรากฏว่าในระบบ AFB ใช้อนุภาคใหญ่ถึง 50 – 100 ไมโครเมตร ลักษณะของระบบดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระบบ Anaerobic Attached Film Expanded Bed : AAFEB

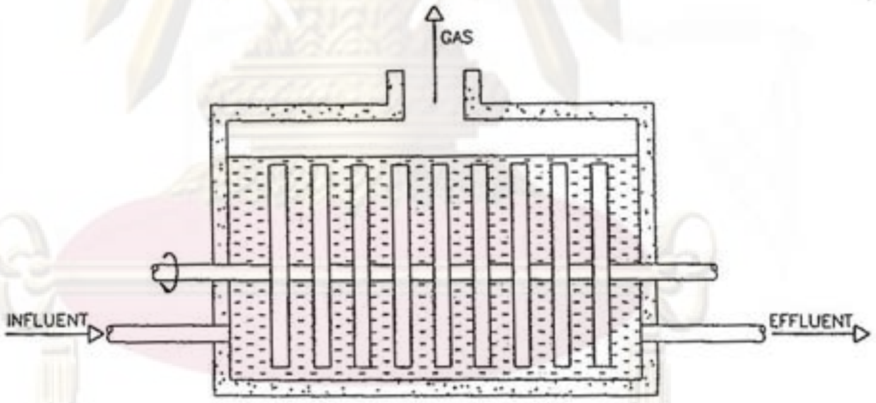
(สุรพล สายพานิช, 2540)

2.3.6 ระบบถังหมักแบบสองเฟส (Two – Phase Anaerobic Digestion)

เป็นระบบที่พัฒนาโดยตรงจากความรู้ทางชีวภาพ โดยได้แยกถังหมักออกเป็นสองถังตามลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ คือ ถังปฏิกิริยาสร้างกรดและถังปฏิกิริยาสร้างมีเทน เพื่อความสะดวกในการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์แต่ละประเภท ระบบนี้สามารถลดถังปฏิกิริยาลงได้ และง่ายต่อการควบคุมสภาวะแวดล้อมของระบบ แต่ต้องใช้ ผู้ชำนาญงานและต้องใช้เครื่องมือมาก

2.3.7 ระบบชีวหมุนแบบไร้อากาศ (Anaerobic Rotating Biological Contact) หรือ AnRBC

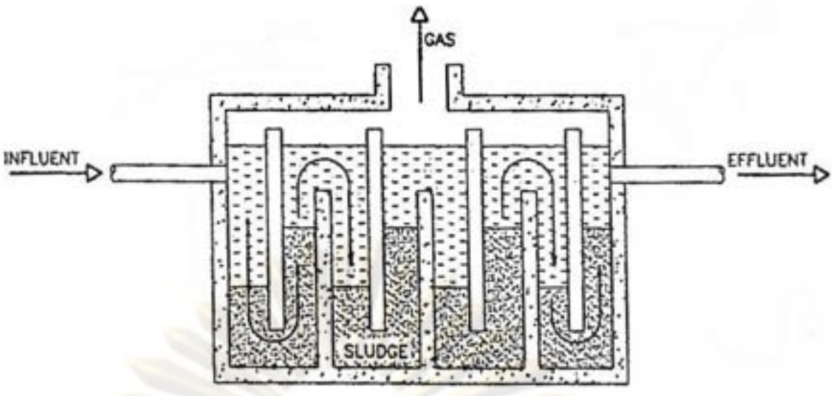
ได้เริ่มขึ้นมีการทดลองโดยนำข้อดีของกระบวนการฟิล์มตรึง (Fixed Film) กับจานหมุนชีวภาพ (RBC) เพื่อลดพลังงานในการสูบน้ำเสียให้หมุนเวียนในระบบ AFB และ AAFFB ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับระบบจานหมุนเพียงแต่เป็นระบบปิดเพื่อไม่ให้อากาศเข้ามาสัมผัสได้ ดังรูปที่ 2.9 Tait และ Firedman ซึ่งเป็นผู้เริ่มสร้างระบบนี้ พบว่าสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์และอัตราภาระบรรทุกการไหลของระบบที่สูงขึ้นทันทีได้ดี โดยจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเกาะผิวแผ่นจาน



รูปที่ 2.9 ระบบ Anaerobic Rotating Biological Contactor (สุรพล สายพานิช , 2540)

2.3.8 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Anaerobic Baffled Reactor) หรือ ABR

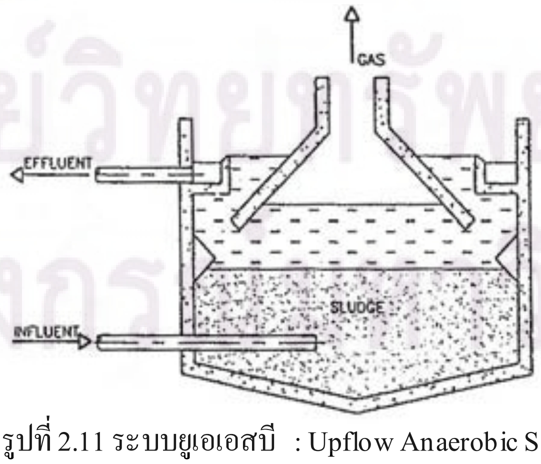
ถูกพัฒนาต่อจาก AnRBC โดย Bechman และคณะ ได้พบว่าการไม่หมุนแผ่นชีวะ (disc) จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุด ลักษณะของระบบ ดังรูปที่ 2.10 คือ มีแผ่นกั้นเพื่อบังคับทิศทางการไหลของน้ำเสียในแนวดิ่งโดยมีการสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ การที่พื้นที่ระหว่างน้ำเข้ากับก๊าซมากทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องแยกก๊าซออกจากตะกอนจุลินทรีย์อีกทั้งการไหลขึ้นและลงจะช่วยลดการสูญเสียเซลล์ของจุลินทรีย์ด้วย ระบบ ARB เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียที่เป็นสารละลาย ถ้าในน้ำเสียมีสารแขวนลอยอาจทำให้เกิดการเจือจางของมวลจุลชีพได้



รูปที่ 2.10 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ : Anaerobic Baffle Reactor
(สุรพล สายพานิช , 2540)

2.3.9 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

ระบบนี้ศึกษาโดย Dr. Lettinga ในปี คศ. 1972 ที่เนเธอร์แลนด์ สามารถขจัดข้อด้อยของระบบถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) กล่าวคือสามารถรักษาเก็บจุลินทรีย์ไว้ได้โดยไม่ต้องมีตัวกลาง แต่ให้ประสิทธิภาพดีกว่าในปริมาตรที่เท่ากัน โดยน้ำเสียจะถูกป้อนจากด้านล่างให้ไหลขึ้นผ่านชั้นจุลินทรีย์ ซึ่งถูกเลี้ยงไว้จนมีลักษณะเป็นเม็ดมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร ตะกอนเม็ดจุลินทรีย์ประกอบด้วยแบคทีเรียหลัก 3 กลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างอะซิเตต และแบคทีเรียสร้างมีเทน เกาะกันเป็นกลุ่มในเม็ดเดียวกัน ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ มีบทบาทอย่างสำคัญในกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ตะกอนเม็ดจุลินทรีย์ที่ดีมีค่าความหนาแน่นของแบคทีเรียอยู่จำนวนมาก และมีน้ำหนักเหมาะแก่การตกตะกอนลงสู่ก้นถัง โดยมีความเร็วการจมตัวอยู่ระหว่าง 2 ถึง 90 เมตรต่อชั่วโมง เพื่อมิให้หลุดไปกับน้ำออกเมื่อระบบถูกป้อนด้วยน้ำเสียให้มีความเร็วไหลขึ้นในช่วง 0.5 ถึง 1.5 เมตรต่อชั่วโมง ระบบจึงมีประสิทธิภาพดี



รูปที่ 2.11 ระบบยูเอเอสบี : Upflow Anaerobic Sludge Blanket
(สุรพล สายพานิช, 2540)

2.4 ระบบยูเอเอสบี (Upflow anaerobic sludge blanket)

2.4.1 ความเป็นมาของระบบ UASB

กระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนของระบบ UASB ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในเวลาไม่นานนัก ด้วย การเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้มีอยู่ในถังหมักได้เป็นจำนวนมาก โดยติดตั้งถังตกตะกอนไว้ตอนบนของถังหมัก จะทำให้ใช้เวลาในการบำบัดน้ำเสียสั้นลง และยังสามารถจะรับปริมาณน้ำเสียเข้าระบบได้มากขึ้นด้วย การมีอัตราภาระสารอินทรีย์สูง จะทำให้เกิดก๊าซ ซึ่งทำให้มีการผสมที่ดีในชั้นตะกอนนอน และชั้นตะกอนแขวนลอย Lettinga และคณะ ได้พัฒนาระบบดังกล่าว โดยเลี้ยงให้มีจุลินทรีย์เกาะตัวเป็นกลุ่มหรือเม็ด พร้อมทั้งพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ (Gas-solid separator, GSS device) จึงเริ่มมีการใช้ระบบ UASB เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน

2.4.2 ข้อดีข้อเสียของระบบ UASB

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากสภาวะความขาดแคลนพลังงานในปัจจุบันทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น รวมทั้งมีการแยกเชื้อแบคทีเรีย เช่น พวก Methanogenesis ออกมาเป็นเชื้อบริสุทธ์สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมของแบคทีเรียพวก anaerobic มากขึ้นการใช้ระบบ UASB ในการบำบัดน้ำเสีย มีข้อดีข้อเสียดังตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตาราง 2.5 แสดงข้อดีและข้อเสียของระบบ UASB

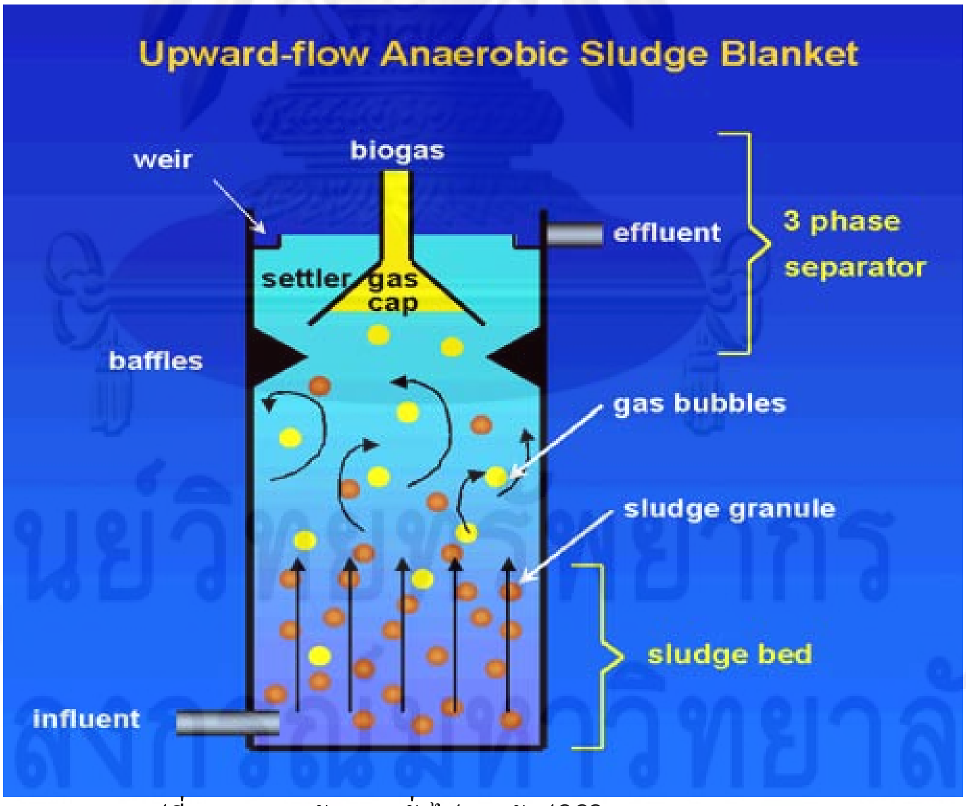
ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีความต้องการพลังงานต่ำ เนื่องจากไม่มีการเติมอากาศ	1. ต้องมีการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการกวน
2. ไม่ต้องใช้สารตัวกลาง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง	2. ต้องเลี้ยงจุลินทรีย์ให้จับตัวเป็นเม็ด มิฉะนั้นจะด้อยประสิทธิภาพ
3. เกิดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินน้อย	3. ต้องพยายามรักษาตะกอนของจุลินทรีย์ในระบบให้เหมาะสม และควบคุมการล้างออก
4. สามารถรับอัตราภาระสารอินทรีย์ ได้สูงขึ้น	4. ต้องใช้เวลานานในการ start-up ระบบค่อนข้างนาน
5. ผลผลิตที่ได้คือ ก๊าซชีวภาพ (ก๊าซมีเทน) สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้	5. แบคทีเรียโดยเฉพาะพวกผลิตมีเทน มีความสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในช่วงสภาวะเหมาะสมที่แคบ เช่น pH ประมาณ 6.8-7.2

2.4.3 ลักษณะและการทำงานของระบบ UASB

ระบบการทำงานแบบ UASB เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการฉีดพ่นน้ำเสียจากด้านล่างสู่ด้านบนของถังปฏิกิริยา โดยไม่ต้องมีสารตัวกลางหรือวัสดุใดมาช่วยในการพยุงมวลจุลินทรีย์ และลักษณะทั่วไปของถังปฏิกิริยาแบบ UASB จะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม หรือทรงกระบอกก็ได้ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.12 คือ

1. ส่วนที่เป็นถังหมักพร้อมด้วยระบบป้อนน้ำเสีย (Feed inlet system) ซึ่งอยู่ทางด้านล่างของถัง

2. ส่วนที่แยกน้ำ , ก๊าซ และตะกอนแขวนลอย ซึ่งอยู่ส่วนบนของถังหมัก โดยมีอุปกรณ์แยกก๊าซ, น้ำเสีย และตะกอนจุลินทรีย์ออกจากกัน ประกอบด้วยแผ่นเอียงทำมุมประมาณ 45-60 องศา นอกจากนี้ ยังช่วยในการป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่ฟุ้งกระจายโดยก๊าซชีวภาพหลุดออกไปจากถังหมัก ในการทำงานของระบบ UASB จะมีการเติมเชื้อแบคทีเรียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาจากนั้นทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความหนาแน่น และรวมเป็นเม็ดหรือเกล็ด ทำให้มีความเร็วในการจมตัวลงสู่ก้นถังปฏิกิริยาสูง (high settling velocity) รวมเป็นชั้นของ sludge bed ส่วนกลุ่มที่ความหนาแน่นต่ำ และมีความเร็วในการจมต่ำกว่าจะลอยอยู่เป็นชั้นของตะกอนแขวนลอย (sludge blanket)



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะทั่วไปของถังปฏิกิริยาแบบ UASB

(Franklin, 2001)

เมื่อน้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ด้านล่างของถังปฏิกิริยา จุลินทรีย์ก็ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้เกิดเซลล์ และก๊าซขึ้น โดยก๊าซที่เกิดขึ้น (ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน) และความเร็วของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ จะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ลอยสู่ด้านบน ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียกับตะกอนแขวนลอย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อน้ำเสียเคลื่อนที่จนถึงส่วนบนของถังซึ่งมี อุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสีย และตะกอนแขวนลอย ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นถูกแยกไปเก็บยังส่วนบน และไหลไปตามท่อสู่ที่เก็บก๊าซ ตะกอนจุลินทรีย์จะตกลงสู่ก้นถังปฏิกิริยา ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะไหลออกทางด้านบนของถัง

จะเห็นได้ว่า ปัจจัยสำคัญของระบบ UASB คือการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกาะเป็นเกล็ดหรือเม็ด ซึ่งมีความหนาแน่นและน้ำหนักมาก เพื่อที่จะตกตะกอนได้ดี เป็นสิ่งที่สำคัญของระบบนี้ เพราะถ้าไม่มีการรวมตัวเป็นเม็ด หรือเกล็ด จะทำให้เกิดการหลุดออก (wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์ได้ เป็นผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง หรืออาจล้มเหลวได้ นอกจากนี้การป้องกันน้ำเสียที่เข้าระบบไม่ให้เกิดเป็นช่อง (channeling) ก็เป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะมิฉะนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบลดลงได้

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ UASB

2.5.1 อุณหภูมิ (Temperature)

ระบบ UASB สามารถแบ่งช่วงการทำงานในช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสม สำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ 3 ช่วง คือ

- ช่วงการทำงานของเทอร์โมฟิลิค (Thermophillic) ช่วงนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 50-55 ^{o} ซ.
- ช่วงการทำงานของมีโซฟิลิค (Mesophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 35-37 ^{o} ซ.
- ช่วงการทำงานของไซโคฟิลิค (Phychrophilic) จะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 5-15 ^{o} ซ.

แม้ว่าในช่วงเทอร์โมเทอร์โมฟิลิค (Thermophillic) จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) แต่นิยมให้แบคทีเรียอยู่ในช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน เนื่องจากพบว่าพวกเทอร์โมฟิลิคจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่า ส่วนช่วงไซโคฟิลิค (Phychrophilic) ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นน้อยมากและในส่วนของการย่อยสลาย (Hydrolysis) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 20 ^{o} ซ. ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ จึงมีความสำคัญมากกว่าจะให้มีอุณหภูมิที่มีการย่อยสลายสูงสุด

2.5.2 พีเอช, สภาพความเป็นด่าง , กรดอินทรีย์ระเหย (pH, Alkalinity, Volatile Fatty Acid)

ค่าของพีเอช, สภาพความเป็นด่าง และ กรดอินทรีย์ระเหย มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนต้องการพีเอชอยู่ในช่วงประมาณ 6.5-7.2 ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.2

ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนแบคทีเรียชนิดที่สร้างกรดมักสามารถปรับตัวในช่วงที่มีพีเอชกว้างกว่า คือประมาณ 5-8.5 ดังนั้น ค่าพีเอชจึงมีความสำคัญต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนมากกว่า กรดอินทรีย์ที่ผลิตโดยพวกแบคทีเรียที่สร้างกรด (acidogenesis) ปกติควรมีค่าอยู่ในระบบประมาณ 200 – 400 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก โดยถ้าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณ แสดงว่าระบบเสียสภาพสมดุล พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิกมากกว่า 1000 มก./ล. จะแสดงความเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตจะเป็นตัวแสดงให้ทราบถึงกำลังของบัฟเฟอร์ (buffer capacity) ของระบบ ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำไม่พอเพียง ปริมาณของกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสภาพดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้น ถ้ามีกำลังของบัฟเฟอร์มากพอ โดยทั่วไปในการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรมีค่าสภาพความเป็นด่างประมาณ 2,000-5,000 มก./ล. และอัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหย (มก./ล. ของกรดอะซิติก) ต่อสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต) ซึ่งเป็นการแสดงค่ากำลังของบัฟเฟอร์ทางหนึ่ง โดยถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่ามีกำลังบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่ามีกำลังของบัฟเฟอร์ต่ำ อาจทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงได้

สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมพีเอช ได้แก่ การเติมด่างแก่ไบคาร์บอเนต หรือคาร์บอเนต ให้แก่ระบบ ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้เติมให้ระบบ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี เป็นการเติมไบคาร์บอเนตให้แก่ระบบโดยตรง แต่ราคามักจะสูงกว่าสารอื่น

2.5.3 สารอาหารเสริม (Nutrient)

การบำบัดด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนมีข้อดีอย่างหนึ่ง คือ มีเซลล์จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นมาน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องการสารอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่ำกว่า McCarty กล่าวว่า จุลินทรีย์ต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอย่างน้อยควรมีอัตราส่วน BOD:N:P = 100:1.1:0.2 ในปัจจุบันพบว่าแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนต้องการธาตุบางอย่างในปริมาณน้อย แต่ขาดไม่ได้ มิฉะนั้นระบบไม่อาจดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพได้ ธาตุดังกล่าวได้แก่ เหล็ก , โคบอลท์ , นิเกิล และซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์) แต่อย่างไรก็ดี การเติมธาตุดังกล่าวให้กับแบคทีเรียลำบาก เนื่องจากซัลไฟด์สามารถทำให้โลหะต่างๆตกผลึกแยกออกจากน้ำได้ เช่น เหล็กรวมกับซัลไฟด์เป็นผลึกที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ได้ ปัจจุบันอาจทำได้โดยเติม Yeast Extract หรือ Milorganite ให้กับระบบโดยตรง

2.5.4 สารพิษ (Toxic)

น้ำเสียที่จะบำบัดด้วยวิธีทางชีววิทยาไม่ควรมีสารที่เป็นพิษอยู่ เพราะจะไปรบกวนการทำงานของแบคทีเรียในระบบ หรือยับยั้งการเจริญเติบโต โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ ความรุนแรงของพิษย่อมเกิดขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของนั้นๆด้วย สารที่เป็นพิษต่อระบบ ได้แก่

<u>พิษของอิออนบวก และ โลหะหนัก</u>

อิออนบวกที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ โซเดียม (Na^{+}) โปแตสเซียม (K^{+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งธาตุเหล่านี้โดยปกติในระดับความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินความจำเป็นจะเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ปกติอิออนบวกที่มีวาเลนซีสูง จะมีความเป็นพิษมากกว่าอิออนบวกที่มีวาเลนซีต่ำ ดังตารางที่ 2.6

ตาราง 2.6 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอิออนบวก (McCarty, 1964)

ชนิดอิออนบวก	ความเข้มข้น (มก./ล.)		
	กระตุ้น	ยับยั้งปานกลาง	ยับยั้งมาก
Na^{+}	100-200	3,500-5,500	8,000
K^{+}	200-400	2,500-4,500	12,000
Ca^{2+}	100-200	2,500-4,500	8,000
Mg^{2+}	75-150	1,000-1,500	3,000

พิษของอิออน สามารถลดความเป็นพิษลงได้ (Antagonism) เมื่ออยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆในปริมาณที่เหมาะสม เช่น พิษของ Na^{+} มีความเข้มข้น 3 ,500 มก./ล. สามารถทำให้ลดลงได้ ถ้ามี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 50-1 ,000 มก./ล. แต่ในทางตรงข้ามอิออนบางชนิด จะไปเพิ่มความเป็นพิษให้มากขึ้น เมื่ออยู่รวมกัน (Synergism)

การยับยั้งจากโลหะหนัก (Heavy metal) มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน Mosey and Hughes ศึกษาพบว่า Cu^{2+} มีผลต่อระบบมากที่สุด ดังแสดงในตาราง 2.7

ความเป็นพิษของโลหะหนักสามารถลดลงได้ ถ้าน้ำเสียมีปริมาณของซัลไฟด์พอเหมาะเพราะว่าซัลไฟด์สามารถรวมกับโลหะหนักเป็นเกลือของโลหะหนักซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่อย่างไรก็ดีโลหะหนักบางประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับแบคทีเรีย แม้จะในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม

ตาราง 2.7 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน
ไร้ออกซิเจน ในการยับยั้งประสิทธิภาพ 50 % (Mosey, 1975)

โลหะหนัก	ความเข้มข้น (มก./ล.)
Fe^{+}	1-10
ZN^{2+}	10^{-4}
Cd^{2+}	10^{-7}
Cu^{+}	10^{-12}
Cu^{2+}	10^{-16}

<u>พิษของกรดโวลาไทล์</u>

กรดโวลาไทล์ถ้าถูกสร้างขึ้นมามากเกินไป เช่น ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์ หรืออาหารเข้ามามากแบคทีเรียที่ผลิตกรดจะผลิตกรดโวลาไทล์ออกมามาก หากว่าระบบมีกำลังของบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอ จะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลง ส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดผลิตมีเทนได้

<u>พิษของแอมโมเนีย</u>

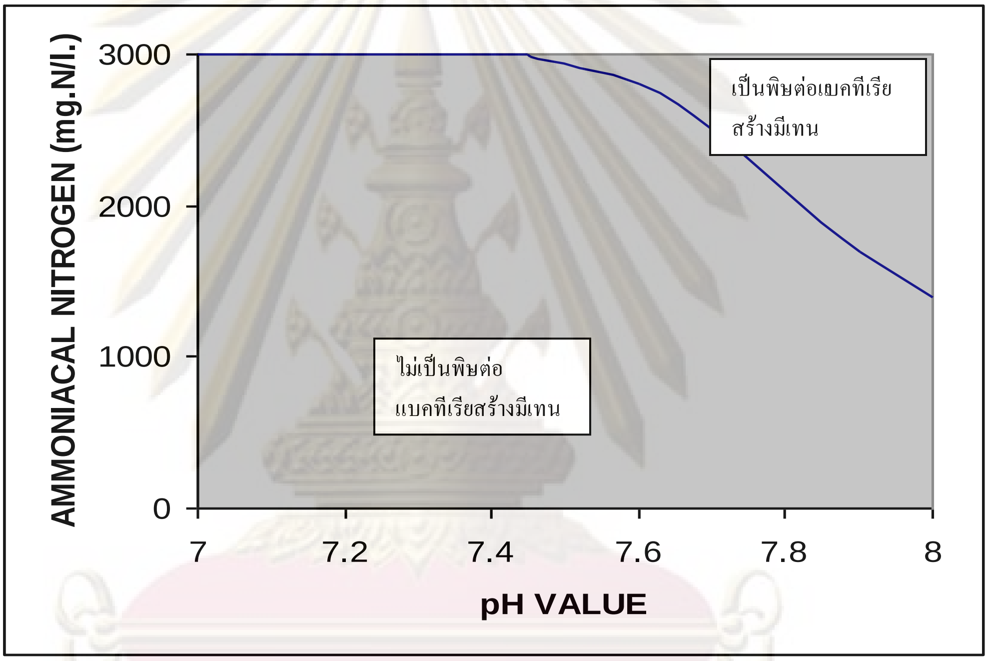
แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในน้ำเสียของระบบไร้ออกซิเจนมาจากการย่อยสลายพวกโปรตีน โดยไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิออน (NH_4^+) และแอมโมเนีย (NH_3) ดังสมการ

$$NH_4^+ \longleftrightarrow NH_3 + H^+$$

โดยปริมาณของแอมโมเนียอิออนนี้ ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช คือ ที่พีเอชประมาณ 7 ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีประมาณ 1 % ของแอมโมเนียทั้งหมดโดยจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียอิออน 99 % แต่ถ้าพีเอชมีค่าสูงขึ้น ปฏิกิริยาจะไปทางขวามือมากขึ้น ทำให้เกิดแอมโมเนียมาก ซึ่งแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่าแอมโมเนียมอิออน โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียคือมากกว่า 150 มก./ล. ในขณะที่แบคทีเรียสามารถทนความเข้มข้นของแอมโมเนียอิออนได้สูงถึง 3 ,000 มก./ล. ดังนั้น การรักษาค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 หรือต่ำกว่า จะทำให้แอมโมเนียทั้งหมดอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออนซึ่งเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่า รูปที่ 2.13 แสดงความเข้มข้นของแอมโมเนียและพีเอชต่อระบบ และตารางที่ 2. 8 แสดงผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนซึ่งรวมทั้งแอมโมเนีย และแอมโมเนียมอิออนต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

ตาราง 2.8 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน (Kugelman, 1965)

แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ล.)	ผลต่อระบบ
50-200	ปริมาณพอเหมาะ
200-1,000	ยังไม่เกิดผลชัด
1,500-3,000	เริ่มยับยั้งเมื่อมีค่าพีเอชสูง
>3,000	เป็นพิษโดยตรง



ค่าแอมโมเนียมไอออน สูงสุดที่ปลอดภัย = 3,000 มก.ไนโตรเจน/ล.

ค่าแอมโมเนีย สูงสุดที่ปลอดภัย = 150 มก.ไนโตรเจน/ล.

รูปที่ 2.13 แสดงระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีผลต่อระบบ (Meynell, 1976)

2.5.5 ผลของซัลเฟตต่อระบบ UASB

การที่น้ำเสียมีปริมาณของซัลเฟตมาก จะทำให้แบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ได้โดยกลุ่มของ Sulfate-Reducing Bacteria (SBR) เช่น Desulfovibrio, Desulfotomaculum จะสามารถใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิออนตัวสุดท้ายได้ โดยซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ได้ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + 4H_2 + H^+ \longrightarrow HS^- + 4H_2O \qquad \Delta G' = -152.2 \text{ KJ/mol}$$

โดยแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต (SBR) จะแย่งอาหารกันกับพวกผลิตมีเทน (Methanogenic bacteria) โดยสามารถใช้อะซิเตท และไฮโดรเจนเป็นสารอาหาร และจากค่า $\triangle$ G' แสดงให้เห็นว่าสามารถเอาชนะแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนได้ ทำให้ผลผลิตที่เป็นก๊าซมีเทนน้อยลง นอกจากนี้การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ถ้ามีปริมาณมากเกินไป Cappenbeg พบว่าแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (Methanobacterium spp.) จะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ ถ้ามี H_2S เท่ากับ 0.1 nM อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาในแง่การใช้ไฮโดรเจนเป็นสารอาหารของแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต (SBR) จะทำงานสัมพันธ์กับแบคทีเรียที่ผลิตไฮโดรเจน โดยจะช่วยในการทำให้ hydrogen partial pressure มีค่าต่ำเสมอ ทำให้การลดการสะสมตัวของก๊าซไฮโดรเจนทางหนึ่ง ดังนั้น แบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต จึงมีบทบาทต่อการสร้างกรดอินทรีย์ระเหย และมีผลกระทบต่อการสร้างกรดอะซิติก จากกรดโพรพิออนิกด้วย

2.5.6 การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ

การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมีความสำคัญมาก เพราะหากมีการหลุดออกไปของแบคทีเรียมากไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงด้วย ซึ่งการรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบโดยใช้อุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสีย และตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-solid separator) เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในระบบได้นาน ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะให้เหมาะสมเป็นสิ่งที่จำเป็น

2.5.7 อัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic loading rate)

อัตราภาระสารอินทรีย์นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ การตกตะกอนของจุลินทรีย์ และก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบ น้ำเสียควรมีอัตราภาระสารอินทรีย์ต่ำกว่าอัตราสูงสุดในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ เพราะถ้ามีมากกว่าเช่น กรณี shock load จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

2.5.8 การกระจายน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยา

เนื่องจากระบบยูเอเอสบีเป็นระบบที่ไม่ต้องการออกซิเจน จึงไม่ต้องมีการเติมอากาศและมักไม่ต้องการการกวน (mixing) ดังนั้น การจัดระบบการจ่ายน้ำเสียเข้า (Feed inlet system) ให้เหมาะสม เพื่อให้มีการสัมผัสกันระหว่างตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียอย่างทั่วถึง และป้องกันการไหลลัดวงจรของน้ำเสีย (short circuit) จึงมีความสำคัญ นอกจากนี้ระบบจ่ายน้ำเสียเข้าออกแบบให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย เนื่องจากเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง อาจเกิดการอุดตันได้

2.5.9 ศักยภาพการให้และรับอิเลคตรอน (Oxidation-Reduction Potential)

ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเลคตรอนจากสารหนึ่งไปสู่อีกสารหนึ่ง เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction reaction) หรือปฏิกิริยารีด็อกซ์ (Redox reaction) ซึ่งเป็นผลรวมของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ปฏิกิริยาที่มีการให้อิเลคตรอน) และปฏิกิริยารีดักชัน

(ปฏิกิริยาที่มีการรับอิเลคตรอน) ความแตกต่างทางด้านกายภาพ หรือความสามารถในการให้ และรับอิเลคตรอนระหว่างปฏิกิริยาทั้งสอง อาจวัดได้ด้วยค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล หรือเรียกสั้นๆว่า โออาร์พี (ORP)

ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ส่วนใหญ่มักเป็นปฏิกิริยารีด็อกซ์ คือ มีสารที่ให้อิเลคตรอน (Oxidizing agent) และสารที่รับอิเลคตรอน (Reducing agent) ควบคู่กันเสมอ สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย มักเป็นตัวที่ให้อิเลคตรอน และเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน จะมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอน ซึ่งจะออกซิไดซ์สารอินทรีย์ให้มีพลังงานลดลง ส่วนระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน สารที่รับอิเลคตรอนจะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์หรือกรดอะซิติกแทน

2.6 ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด

2.6.1 ลักษณะทั่วไปของถังสร้างกรด

ระบบไร้ออกซิเจนมีขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการแตกต่างกันในเรื่อง อาหาร สภาพทางกายภาพ อัตราการเจริญเติบโต และความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงต่างกัน แบคทีเรียสร้างกรดเป็นชนิดกึ่งไร้ออกซิเจน เจริญเติบโตเร็ว ทำให้เจริญเติบโตอยู่ในลักษณะฟล็อคได้ง่าย ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียสร้างมีเทน เป็นชนิดไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด และเจริญเติบโตช้า ทำให้สามารถเจริญเติบโตอยู่ในลักษณะเม็ดตะกอนที่แน่นได้ ค่าจลนพลศาสตร์ต่างๆของแบคทีเรียแสดงในตาราง 2.9 ในทางทฤษฎีการแยกระบบออกเป็น 2 ขั้นตอน จะทำให้ระบบแต่ละขั้นตอนมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากสามารถรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแต่ละชนิดได้มากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.9 ค่าจลนพลศาสตร์ต่างๆของแบคทีเรีย Mesophillic (Thaveesri, 1994)

แบคทีเรีย	สารอาหาร	q (gCOD/gVSS.d)	K_s (mgCOD/l)	μ_{max} (d^{-1})	b (d^{-1})	Y (gVSS/gCOD)
Acidogenic	คาร์โบไฮเดรต	1.33-70.6	22.5-630	7.2-30	6.1	0.14-0.17
Acetogenic	C_5,C_4,C_3 กรดไขมัน	6.2-17.1	12-500	0.13-1.2	0.01-0.027	0.025-0.047
Methanogenic	กรดอะเซติก H_2/CO_2	2.6-11.6 1.92-90	11-421 4.8×10^{-5}-0.6	0.08-0.7 0.05-4.07	0.004-0.037 0.088	0.01-0.054 0.017-0.054
Methanosaeta sohngenii	กรดอะเซติก	3.7-8.0	30-45	0.11-0.16	-	0.02-0.03
Methanosarcia barkeri	กรดอะเซติก	8.8-15	320	0.44-0.60	-	0.04-0.05

2.6.2 ข้อดีและความจำเป็นในการมีถังสร้างกรด

ในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน การมีถังสร้างกรดมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบที่ไม่มีถังสร้างกรดหลายประการ

ถังสร้างกรดป้องกันถังสร้างมีเทนจากสภาวะที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน เช่น การเพิ่มภาระของระบบอย่างกะทันหัน การมีสารพิษเข้าสู่ระบบ หรือจากสภาวะที่แปรปรวนต่างๆ (Ghosh et.al, 1975 ; Bull et.al, 1984) ทั้งนี้เป็นเพราะแบคทีเรียสร้างกรดสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า Shin และคณะ (1992) พบว่าถังสร้างกรดช่วยให้การบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยถังสร้างกรดสามารถลดปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงกลั่นเหล้าได้ถึง 35-65% การลดลงของปริมาณซัลเฟตในถังสร้างกรด คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการที่ซัลเฟตสามารถหลุดออกจากถังสร้างกรดได้ในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรดประมาณ 6.5 Lettinga และคณะ (1991) กล่าวว่าถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแป้งมันฝรั่ง ใช้เพื่อกำจัดซัลไฟด์และโปรตีนในน้ำเสีย ซึ่งซัลไฟด์เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ ส่วนโปรตีนทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ พีรพงษ์ ทิพยาทร (2530) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนมถั่วเหลืองและน้ำอัดลมด้วยระบบยูเอเอสบี พบว่าการใช้ถังสร้างกรดช่วยลดปัญหาจากน้ำเสียที่ค่อนข้างเป็นพิษเนื่องจากยาฆ่าเชื้อและน้ำยาทำความสะอาด

การมีถังสร้างกรดทำให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นได้ ซึ่งเป็นผลมาจาก โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่เป็นอันตรายต่อถังสร้างมีเทนน้อยลง อีกทั้งน้ำเสียยังถูกย่อยให้เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย เช่น พวกกรดไขมันระเหยโมเลกุลเล็ก ซึ่งสามารถย่อยสลายต่อได้อย่างรวดเร็วในถังสร้างมีเทน (Bull et.al, 1984)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถังสร้างกรดช่วยป้องกันการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของแบคทีเรียสร้างกรด เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวของระบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Bulking) ในถังสร้างมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้เร็วกว่าแบคทีเรียมีเทน และผลิตสารโพลีเมอร์ (Extracellular Polymer) ออกมาจำนวนมาก (Yoda et.al,) จากการศึกษาพบว่าถังสร้างกรดจำเป็นสำหรับระบบที่ภาระสูงๆ เพื่อป้องกันการเกิดการหลุดออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจากมีแบคทีเรียสร้างกรดแบบเส้นใยจำนวนมากเกิดขึ้นในระบบ (Ohtsuki et.al, 1992)

นอกจากนี้ ถังสร้างกรดยังช่วยป้องกันผลเสีย อันเนื่องมาจากอนุภาคแขวนลอยเข้าไปในระบบ ซึ่ง Lettinga และคณะ (1991) ได้กล่าวไว้ว่า ในระบบยูเอเอสบีการมีอนุภาคแขวนลอยปริมาณสูงในน้ำเสียมีผลต่อการทำงานของระบบ อนุภาคแขวนลอยจะติดผิวแบคทีเรียที่เป็นฟล้อคขัดขวางการรวมตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้การเจริญเติบโตของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ช้า และการรวมตัวของเม็ดตะกอนไม่แข็งแรง กรณีอนุภาคแขวนลอยย่อยสลายยากและสะสมในชั้นตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้การทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยปริมาตรลดลง คือ ปริมาณตะกอนในชั้นตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคแขวนลอยที่สะสม ถ้าอนุภาคแขวนลอยติดอยู่ในชั้นตะกอนจุลินทรีย์เป็นเวลานาน อาจเกิดการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ กรณีที่อนุภาคแขวนลอยเป็นพวกไขมันจะทำให้เกิดการลอยตัวและหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์เช่นกัน ในระบบบำบัดน้ำเสียทีมีถังสร้างกรด การย่อยสลายอนุภาคแขวนลอยจะเกิดขึ้นในถังสร้างกรดก่อนเพื่อป้องกันอนุภาคแขวนลอยสะสมในถังสร้างมีเทน (Ghosh et.al, 1975) กล่าวคือ ถังสร้างกรดช่วยเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้กลายเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำและย่อยสลายง่าย ถังสร้างกรดยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพอื่นๆ ทำให้ประหยัดเนื่องจากถังสร้างกรดจะเปลี่ยนน้ำเสียที่ซับซ้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นกรดไขมันระเหยอย่างง่ายสำหรับเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ในระบบ เช่น ระบบ Biological Nutrient Removal และ ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน (Alexion et.al, 1994)

2.7 ความสำคัญของการหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตรวมกันเป็นเม็ด ในการบำบัด น้ำเสียการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพและการทำงานของระบบ ในระบบยูเอเอสบีมีโอกาสที่จะเกิดการไหลลัดทางของน้ำเสียอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น การกระจายจุดน้ำเข้าไม่เพียงพอ ความเร็วน้ำเข้าระบบต่ำ หรือก๊าซที่เกิดน้อย เป็นต้น การหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบีช่วยเพิ่มการสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียให้เพียงพอ ซึ่งมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ (Lettinga,

1983) อีกทั้งยังช่วยเจือจางน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง หรือน้ำเสียที่เป็นพิษก่อนเข้าระบบ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น Lettinga และ คณะ (1991) แนะนำให้ใช้น้ำเข้ามีค่าซีโอดีในขณะเริ่มเดินระบบอยู่ระหว่าง 1,000-5,000 มก./ล. ส่วนน้ำเสียที่เข้มข้นสูงควรหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อเจือจางน้ำเข้าระบบให้ค่าซีโอดีต่ำกว่า 15,000 มก./ล. เพื่อลดปริมาณสภาพด่างที่ต้องเติมและเพิ่มการสัมผัสระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย Fongsatitkul และคณะ (1995) ใช้การหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อฟื้นระบบยูเอเอสบีที่ล้มเหลว เนื่องจากมีกรดสะสมในระบบจำนวนมากในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

Kato M.T. (1994) ศึกษาการหมุนเวียนน้ำกลับในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วยระบบยูเอสบี กล่าวว่า ในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (ความเข้มข้นน้อยกว่า 1000 มก./ล.) ด้วยระบบยูเอเอสบี ระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากน้ำเสียความเข้มข้นต่ำจะให้ก๊าซน้อย ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำเสียไม่ดี ส่งผลให้อัตราการแพร่ของสารอาหารช้ากว่าอัตราการใช้สารอาหารในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้แบคทีเรียที่อยู่ชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เท่านั้นที่จะเจริญเติบโต ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงใหญ่ขึ้นแต่มีโพรงอยู่ภายในส่งผลให้การทำงานของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่ำลง และเกิดการลอยออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เนื่องจากแรงลอยตัวจากก๊าซที่สะสมในโพรงอากาศนั้น การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำให้มีประสิทธิภาพสูง ต้องอาศัยการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์และการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำเสียโดยการเกิดการผสมกันอย่างพอเพียง จะทำให้สารอาหารสามารถแพร่เข้าไปในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ ซึ่งจะทำให้ค่าคงที่การอิ่มตัว (K_s) ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีค่าต่ำลง โดยอาศัยการเพิ่มความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีและเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ให้สูง การเพิ่มความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีทำได้โดยอาศัยการหมุนเวียนน้ำกลับทำให้ความเร็วของการไหลขึ้นในถังเป็น 5-6 ม./ชม. ขณะที่ความเร็วที่ใช้ปกติเท่ากับ 0.5-1.5 ม./ชม. ความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีที่เหมาะสมต้องทำให้เกิดการผสมอย่างเพียงพอและไม่มากเกินไปจนทำความเสียหายให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์หรือพัดพาให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลอยออกจากระบบ มีการรายงานถึงผลของความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเข้มข้นต่ำ ที่ 8 °ซ พบว่า มีประสิทธิภาพ 75 % ที่ความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีสูงกว่า 5 ม./ชม. ขณะที่ความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบี 0.5 ม./ชม. ระบบมีประสิทธิภาพเพียง 50-60%

การเติมสภาพด่างในระบบยูเอเอสบี มักเป็นเรื่องจำเป็นทั้งนี้เพื่อรักษาระดับค่าพีเอชให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แบคทีเรียสร้างมีเทนใช้กรดไขมันระเหยภายในถังยูเอเอสบีทำให้พีเอชน้ำออกสูงขึ้น การหมุนเวียนน้ำกลับจึงเป็นการหมุนเวียนสภาพด่างในน้ำออก

จากระบบมาใช้ ทำให้พีเอชน้ำเข้าระบบสูงขึ้น ช่วยลดสภาพด่างที่ต้องเติมให้แก่ระบบ (Romli et.al, 1994) หรือไม่ต้องอาศัยสภาพด่างจากภายนอกเลย (Shin et.al, 1992 ; Malaspina et.al., 1996) Nishimura S.และ Yoda M. (1996) ศึกษาการลดปริมาณด่างที่เติมในระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด พบว่า การไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำออกของถังสร้างกรดก่อนที่จะเข้าสู่ถังยูเอเอสบีสามารถลดปริมาณด่างที่เติมได้มากกว่า การไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำที่หมุนเวียนจากถังยูเอเอสบี

Romli และคณะ (1994) พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนการเวียนน้ำกลับจนเวลากักน้ำในถังสร้างกรดสั้นเกินไป ทำให้มีส่วนที่ยังไม่ย่อยเข้าสู่ถังสร้างมีเทน ส่งผลให้พีเอชลดลงเนื่องจากเกิดการย่อยให้เป็นกรดในถังสร้างมีเทน และการหมุนเวียนน้ำกลับในขณะที่เดินระบบที่ภาระสูงๆ จะส่งผลเสียต่อระบบเนื่องจากจะหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและซีโอดีที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำออกกลับเข้าหาใหม่ เป็นการเพิ่มภาระให้ระบบอีก

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธารา ฉัตรธานี (2530) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนแบบ 2 ขั้นตอน เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียวพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ คือ ที่ระยะเวลากำจัด 1วัน (21-22 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ส่วนขั้นตอนการหมักมีเทน ระยะเวลากำจัดที่เหมาะสม 5 วัน (3.06 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) คิดเป็นเวลากำจัดรวม 6 วัน (3.63 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 92.1% ส่วนระบบหมักแบบขั้นตอนเดียวใช้เวลาสูงถึง 13 วัน (1.64 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ประสิทธิภาพการกำจักซีโอดี 95.5%

พีระพงษ์ พิทยากร (2530) ได้ศึกษาการใช้ระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและพีเอชสูง โดยใช้น้ำเสียของโรงงานผลิตเครื่องดื่มน้ำสำเร็จรูปจากน้ำนมถั่วเหลืองและเครื่องดื่มอัดลมต่างๆ แบ่งการทดลองเป็นสองชุด คือ ชุดแรกไม่มีถังสร้างกรด และชุดที่สองมีถังสร้างกรด โดยถังยูเอเอสบีมีขนาด 14.3 ลิตร ความสูง 2.75 เมตร ถังสร้างกรดมีขนาด 16 ลิตร ความสูง 2 เมตร การทดลองชุดแรกมีค่าซีโอดีระหว่าง 923-1,260 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 57-94% การทดลองชุดที่สองมีค่าซีโอดีระหว่าง 797-1209 มก./ล. ประประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 89-95% โดยทั้งสองชุดการทดลองใช้เวลากักน้ำ 4-24 ชั่วโมง

Cohen และคณะ (1980) ได้ศึกษาผลของการแบ่งเฟสของการย่อยสลายแบบไร้อากาศของกลูโคส โดยศึกษาระหว่าง one-phase system ซึ่งประกอบด้วยถังปฏิกิริยาไร้อากาศแบบไหลขึ้น ซึ่งภายในรวมเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดสร้างกรดและชนิดสร้างมีเทนอยู่ในถังเดียวกัน เปรียบเทียบกับ two-phase system ซึ่งประกอบด้วยถังสร้างกรดต่ออนุกรมกับถังสร้างมีเทน ซึ่งควบคุมพีเอชไว้เท่ากับ 7.1 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตลอดการทดลองทั้งสองระบบ จากการทดลองพบว่า ค่า Maximum specific sludge loadings ของกระบวนการสร้างมีเทนใน two-phase system มีค่ามากกว่าในระบบ one-phase system 3 เท่า

Zoetemeyer และคณะ (1982) ได้ศึกษาถึงผลของค่าพีเอชที่มีต่อกระบวนการสร้างกรดของกลูโคส 1 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) เป็นถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการสร้างกรดในการทดลอง ซึ่งมีความเร็วในการกวน 500 รอบต่อนาทีตลอดการทดลอง โดยที่ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งทดลองเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดในช่วง 4.5 – 7.9 ซึ่งผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าที่พีเอช เท่ากับ 6 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อกระบวนการสร้างกรด โดยมีค่า growth rate สูงสุดคือ 0.33 ต่อชั่วโมง

Bull และคณะ (1984) ได้ศึกษาการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยศึกษาระหว่าง single-phase system ซึ่งประกอบด้วยถังปฏิกิริยาฟลูอิไดซ์เบด เปรียบเทียบกับ separated-phase system ซึ่งประกอบด้วย ถังสร้างกรดโดยต่อกับถังปฏิกิริยาฟลูอิไดซ์เบด เช่นกัน ผลการทดลองสรุปได้ว่า separated-phase system เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมากกว่า single-phase system เนื่องจากสามารถกำจัดซีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้ดีกว่า อีกทั้งยังมีค่ายีลด์ของมีเทนที่สูงกว่าอีกด้วย

Dinopoulou และคณะ (1989) ได้ศึกษาความเหมาะสมของการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบสองเฟสโดยศึกษาระหว่าง one-phase system ซึ่งประกอบด้วยถังปฏิกิริยาฟลูอิไดซ์เบด เปรียบเทียบกับ two-phase system ซึ่งประกอบด้วยถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) เป็นถังสร้างกรด และใช้ถังปฏิกิริยาฟลูอิไดซ์เบด เป็นถังสร้างมีเทน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า two-phase system มีประสิทธิภาพสูงกว่า one-phase system ในการกำจัดซีโอดี และพบว่า ปริมาตรที่เหมาะสมของถังสร้างกรดควรอยู่ระหว่าง 12-25 % ของปริมาตรรวมของระบบบำบัด

Romli และคณะ (1994) ได้มีการศึกษาถึงผลของอัตราการเวียนน้ำกลับในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน โดยใช้ถังกวนสมบูรณ์ (CSTR) เป็นถังสร้างกรดและใช้ถังปฏิกิริยาฟลูอิไดซ์เบดเป็นถังสร้างมีเทน ซึ่งถังสร้างกรดมีการคุมพีเอชไว้ที่ 6 ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเวียนน้ำกลับสามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการได้เนื่องจากเป็นการลดการเติมด่าง

ได้ โดยอัตราการเวียนน้ำกลับที่เหมาะสมที่สุดในการเดินระบบมีค่าเท่ากับ 2 แต่ทั้งนี้การเพิ่มอัตราส่วนการเวียนน้ำกลับจนเวลากักน้ำในถังสร้างกรดสั้นเกินไป ทำให้มีส่วนที่ยังไม่ย่อยเข้าสู่ถังสร้างมีเทน ส่งผลให้พีเอชลดลงเนื่องจากการย่อยให้เป็นกรดในถังสร้างมีเทน และการหมุนเวียนน้ำกลับในขณะที่เดินระบบที่ภาระสูงๆ จะส่งผลเสียต่อระบบเนื่องจากจะหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและซีโอดีที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำออกกลับเข้ามาใหม่ เป็นการเพิ่มภาระให้ระบบอีก

Francese และคณะ (1998) ได้มีการศึกษาถึงอิทธิพลของแรงดันน้ำและอัตราภาระสารอินทรีย์ที่มีต่อ granulation และ specific activity โดยใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีขนาด 9.5 ลิตร จำนวน 5 ถัง มีความเร็วน้ำไหลขึ้นและเวลากักน้ำที่ค่าต่างๆกัน และยังศึกษาถึงอิทธิพลแรงดันน้ำที่มีต่อลักษณะเม็ดตะกอนของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีขนาด 180 ลิตร ซึ่งผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นจะทำให้การเจริญเติบโตของเซลล์ดีขึ้นและลดเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ

Shivayogimath และ Ramanujam (1998) ได้มีการศึกษาและประเมินความสามารถของถังปฏิกรณ์แบบไฮบริดยูเอเอสบีที่อัตราภาระสารอินทรีย์ค่าต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่น ณ อุณหภูมิห้อง โดยเริ่มเดินระบบไปจนกระทั่ง 36 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. ที่เวลากักน้ำ 6 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ไฮบริดยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 80 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนประกอบของก๊าซมีเทน 80 เปอร์เซ็นต์ที่ค่ายีลด์ 0.40 ลบ.ม.มีเทน/กก.ซีโอดีที่กำจัด การวิจัยนี้ชี้ว่าไฮบริดยูเอเอสบีนั้นเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงอย่างเช่นน้ำเสียจากโรงกลั่น

Bouallagui และคณะ (2004) ได้มีการศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอนจากของเสียพวกผักและผลไม้โดยใช้ถังปฏิกิริยาไร้อากาศแบบเอเอสบีอาร์ โดยดำเนินการที่อุณหภูมิมีโซฟิลิก ซึ่งเมื่อตรวจสอบผลของการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ในขั้นกระบวนการการสร้างกรด ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าค่าของ ยีลด์ 81% คงที่ ณ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 7.5 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดเป็น 13.3 กรัม/ลิตร เมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ10.1 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน ในกระบวนการหมักเพื่อสร้างมีเทนนั้น ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการสร้างกรดในถังปฏิกิริยาแบบเอเอสบีอาร์นั้นจะมีการผลิตมีเทนสูงถึง 320 ลิตรของมีเทน/กิโลกรัมของซีโอดีขาเข้า ปริมาณซีโอดีทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังสร้างมีเทนนั้นจะมีค่าต่ำกว่า 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร และซีโอดีละลายได้ ต่ำกว่า 400 มิลลิกรัม/ลิตร โดยคิดรวมทั้งสิ้นระบบจะสามารถกำจัดซีโอดีได้ 96 % จะเห็นได้ว่าการแบ่งขั้นตอนของระบบ

เอเอสบีอาร์เป็นกระบวนการที่มีเสถียรภาพและสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูง อีกทั้งยังได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศได้อีกด้วย

Diamantis และ Aivasidis (2007) ได้มีการศึกษาและตรวจสอบอิทธิพลของเวลากักน้ำต่อกิจกรรมของจุลชีพ โดยใช้ยูเอเอสบีแบบขั้นตอนเดียวและยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทำผลไม้กระป๋อง ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่ค่าการกำจัดซีโอดี 90 เปอร์เซ็นต์นั้น ยูเอเอสบีแบบขั้นตอนเดียว จะใช้เวลาเก็บน้ำ 9 – 10 ชั่วโมง และยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน จะใช้เวลากักน้ำเพียง 4 -5 ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นว่ายูเอเอสบีแบบสองขั้นตอนจะสามารถลดปริมาตรของถังปฏิกรณ์ได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับยูเอเอสบีแบบขั้นตอนเดียว

จากการศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอน โดยใช้ระบบบำบัดชนิดต่างๆกัน ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมหลายประเภท ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมามีข้อมูลที่สำคัญและใช้เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ได้ โดยสรุปได้ดังนี้

1. พีเอชที่เหมาะสมในถังสร้างกรดของระบบการบำบัดแบบไร้อากาศสองขั้นตอนนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 5.8 - 6.2
2. อัตราการเวียนน้ำกลับที่มีความเหมาะสมในการเดินระบบของระบบการบำบัดแบบไร้อากาศสองขั้นตอนนั้น มีค่าเท่ากับ 2

แต่เนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยใดที่กล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอล โดยใช้ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน อาจเนื่องจากน้ำเสียประเภทนี้มีความยากในการออกแบบให้เหมาะสมที่สุดในการเดินระบบ ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการที่ศึกษาเพื่อหาค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการเดินระบบเพื่อบำบัดน้ำเสียจริงจากการผลิตเอทานอล อีกทั้งการศึกษาเพิ่มเพื่อต่อยอดและตรวจสอบในเรื่องอัตราการเวียนน้ำกลับและค่าพีเอชที่เหมาะสมในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอนของน้ำเสียที่มีความเฉพาะเจาะจงอย่างน้ำเสียประเภทนี้ อีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
แผนงานและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยนี้ประกอบด้วยถังสร้างกรดชนิดถังกวนผสมสมบูรณ์ขนาดความจุของถังประมาณ 1.7 ลิตร จำนวน 1 ถัง โดยมีระยะเวลากักน้ำนาน ประมาณ 12 ชั่วโมง และ ถังสร้างมีเทนชนิดยูเอเอสบี ขนาดความจุของถังประมาณ 10 ลิตร จำนวน 1 ถัง โดยมีระยะเวลากักน้ำนานประมาณ 2.8 วัน ซึ่งในการทดลองจะมีอัตราสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง โดยจะแบ่งการทดลองเป็นสามช่วงการทดลอง ดังนี้

- ช่วงที่ 1 ศึกษาผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) โดยให้มีค่าซีโอดีเข้าสู่ถังประมาณ 12,000 – 44,000 มก./ล. และให้เวลากักน้ำ (Hydraulic Retention Time, HRT) มีค่าคงที่ประมาณ 3.3 วัน ซึ่งการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นซีโอดี ทำให้ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) เปลี่ยนแปลงตามไปด้วยดังตารางที่ 3.1

- ช่วงที่ 2 ศึกษาผลของค่าพีเอชที่ต่างกันในถังสร้างกรดที่มีต่อระบบ โดยจะควบคุมโดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตให้กับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ เพื่อรักษาค่า pH ที่ต้องการไว้ ดังตารางที่ 3.1

- ช่วงที่ 3 ศึกษาผลของอัตราการเวียนน้ำกลับ โดยการสูบน้ำจากทางออกของถังสร้างมีเทน กลับเข้ามายังถังสร้างกรดด้วยอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}) ที่ต่างกันดังตารางที่ 3.1

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรตามที่ทำการศึกษา ได้แก่

- ซีโอดีทั้งหมด (Total COD) และ ซีโอดีละลายได้ (Soluble COD)
- พีเอช (pH)
- สภาพด่างทั้งหมด (Total alkalinity)
- กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid)
- ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids)
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total gas volume)
- เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (% CH_4)

ตาราง 3.1 แผนการทดลอง

ช่วงการทดลองที่	ซีโอดี (มก./ล.)	เวลากักน้ำ (วัน)	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/ Q_{IN})	พีเอชในถังสร้างกรด
1/1	12,532	3.3	3.8	0	5.9 ± 0.1
1/2	23,453	3.3	7.0	0	5.9 ± 0.1
1/3	33,653	3.3	10.0	0	5.9 ± 0.1
1/4	39,015	3.3	11.7	0	5.9 ± 0.1
1/5	43,568	3.3	13.0	0	5.9 ± 0.1
2/1	16,163	3.3	5.0	0	5.97± 0.1
2/2	16,138	3.3	5.0	0	5.53± 0.1
2/3	16,293	3.3	5.0	0	5.15± 0.1
3/1	16,267	3.3	5.0	1	5.15± 0.1
3/2	16,320	3.3	5.0	2	5.15± 0.1
3/3	16,301	3.3	5.0	3	5.15± 0.1

ค่าซีโอดีประมาณ 16,300 มก./ล. คือค่าซีโอดีที่เหมาะสมในการเดินระบบ ที่เวลากักน้ำ 3.3 วัน
5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน คือค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการเดินระบบ
5.15± 0.1 คือค่าพีเอชที่ประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุดในการเดินระบบ

3.2 การเตรียมน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอลด้วยกากน้ำตาลในเขตจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีค่า ซีโอดีประมาณ 140 ,000 – 170,000 มก./ล. โดยจะนำมาเจือจางด้วยน้ำสะอาดให้มีค่าซีโอดี 12,532 23,453 33,653 39,015 และ 43 ,568 มก./ล. ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 , 7.0 , 10.0 , 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ โดยมีการเติมสภาพด่าง โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตและส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย 1 ลิตร

ส่วนประกอบ	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
น้ำเสียเอทานอล (ลิตร)	0.075	0.144	0.206	0.244	0.263
$NaHCO_3$ (มิลลิกรัม)	2,500	4,375	7,188	9,063	10,625
$FeCl_2.4H_2O$ (มิลลิกรัม)	40	40	40	40	40
$CoCl_2.6H_2O$ (มิลลิกรัม)	10	10	10	10	10
$NiCl_2.6H_2O$ (มิลลิกรัม)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในตาราง 3.3

ตาราง 3.3 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

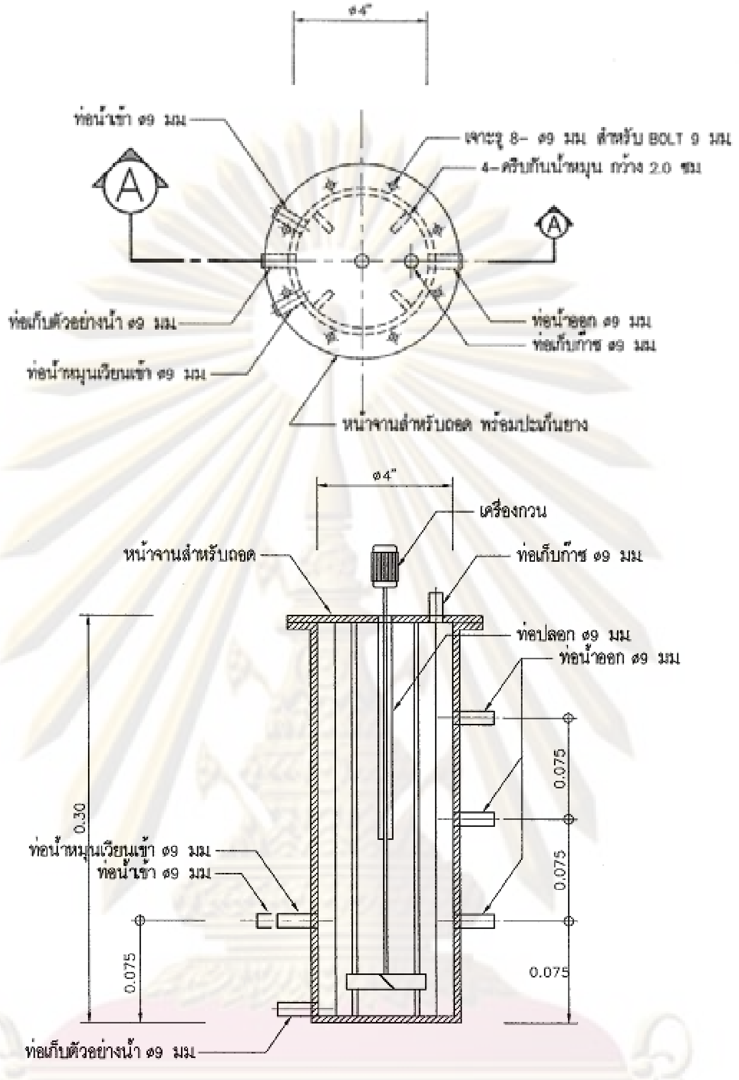
อุปกรณ์	วัสดุ/ชนิด	ปริมาตร/จำนวน	รายละเอียด
ถังสร้างกรด	พลาสติกอะคลิลิกใส	1.7 ลิตร 1 ถัง	- สูง 30 เซนติเมตร - เส้นผ่านศูนย์กลาง = 4 นิ้ว - หน้าตัดเป็นวงกลม มีพื้นที่ = 0.007 ตร.ม. - รายละเอียดดังแสดงในรูป 3.1
ถังยูเอเอสบี	พลาสติกอะคลิลิกใส	10 ลิตร 1 ถัง	- สูง 1.5 เมตร - เส้นผ่านศูนย์กลาง = 3 นิ้ว - หน้าตัดเป็นวงกลม มีพื้นที่ = 0.004 ตร.ม. - รายละเอียดดังแสดงในรูป 3.2
อุปกรณ์แยกสามสถานะของระบบยูเอเอสบี	พลาสติกอะคลิลิกใสและพีวีซี	1 ชุด	- ใช้สำหรับถังยูเอเอสบี
ถังพักน้ำเสีย	ถังน้ำพลาสติก	16 ลิตร 1ถัง	- ใช้สำหรับเก็บน้ำเสียเข้าในตู้เย็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3.3 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

อุปกรณ์	วัสดุ/ชนิด	ปริมาตร/ จำนวน	รายละเอียด
ขวดพักน้ำเสียที่ออกจากถังสร้างกรด	ขวดน้ำดื่มพลาสติก	0.5 ลิตร 1 ถัง	-สำหรับถังสร้างกรด -รายละเอียดดังแสดงในรูป 3.3
ถังพักน้ำออก	ถังน้ำพลาสติก	16 ลิตร 1ถัง	- สำหรับถังยูเอเอสบี - ใช้สำหรับวัดอัตราการไหล
เครื่องสูบน้ำเสีย	ชนิด peristaltic (ชนิดรีดสาย)	3.5 ลิตร/วัน 1 ชุด	- สำหรับสูบน้ำเสียเข้าถังสร้างกรด -รายละเอียดดังแสดงในรูป 3.4
เครื่องสูบน้ำเสีย	ชนิด peristaltic (ชนิดรีดสาย)	3.5 – 10.5 ลิตร/วัน 1 ชุด	- สำหรับสูบน้ำทิ้ง กลับเข้าสู่ถังสร้างกรด -รายละเอียดดังแสดงในรูป 3.4
เครื่องสูบน้ำหมุนเวียน	ชนิดไดอะแฟรม	72 ลิตร/วัน 1 ชุด	- ใช้สูบน้ำทิ้งที่ออกจากถังยูเอเอสบีกลับเข้าไปยังถังยูเอเอสบีใหม่ -รายละเอียดดังแสดงในรูป 3.5
เครื่องวัดปริมาณก๊าซ	ตามแบบของ ศักดิ์ชัย โอภาสวัตชัย (2527)	1 ชุด	-รายละเอียดดังแสดงในรูป 3.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



SECTION A — A

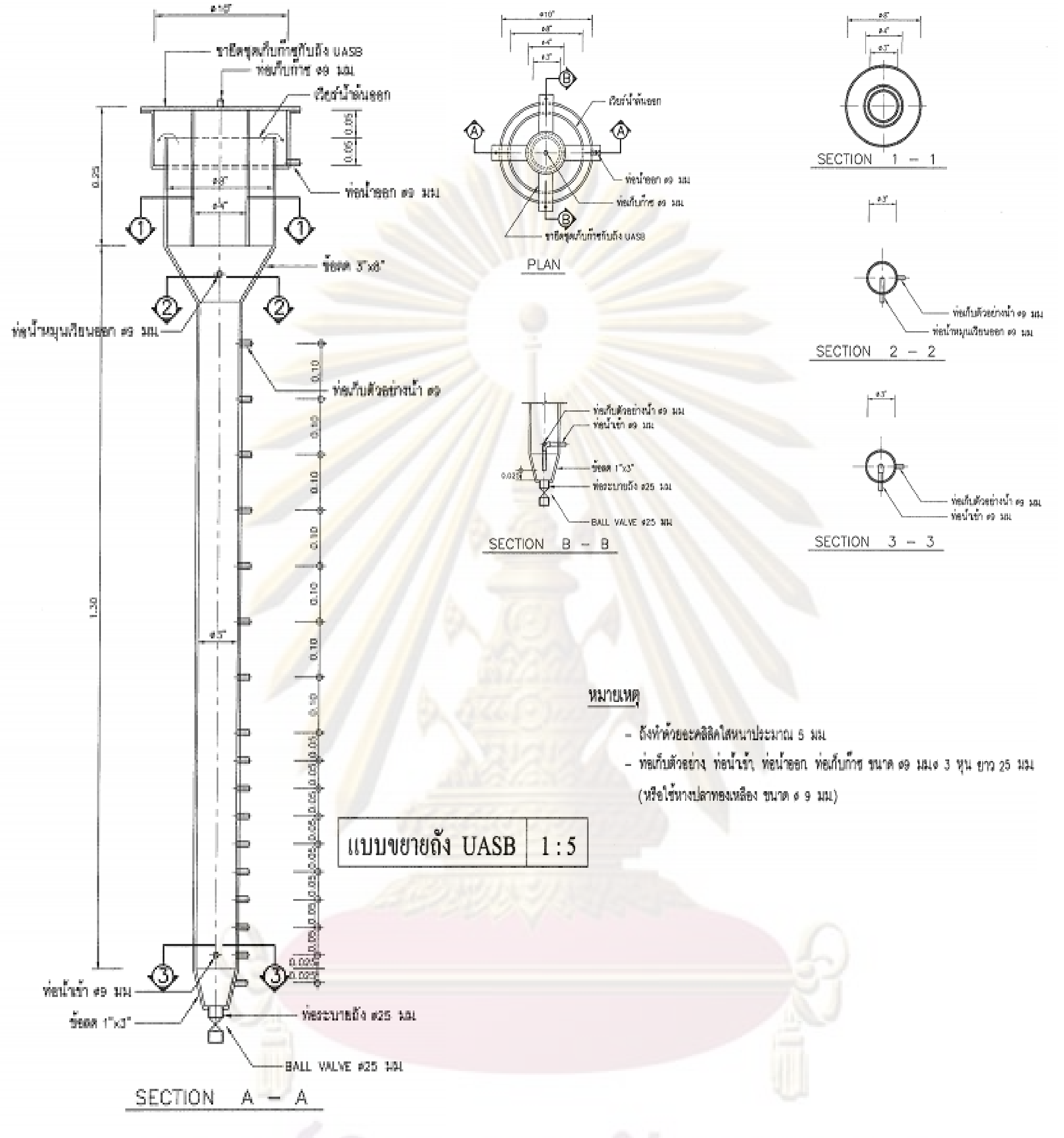
หมายเหตุ

- ถังทำด้วยอะคลิลิคใสหนาประมาณ 5 มม
- ท่อเก็บตัวอย่าง ท่อน้ำเข้า ท่อน้ำออก ท่อเก็บก๊าซ ขนาด ø9 มมø 3 หุน ยาว 25 มม (หรือใช้หางปลาทองเหลือง ขนาด ø 9 มม)

แบบขยายถังสร้างกรด	**1 : 5**

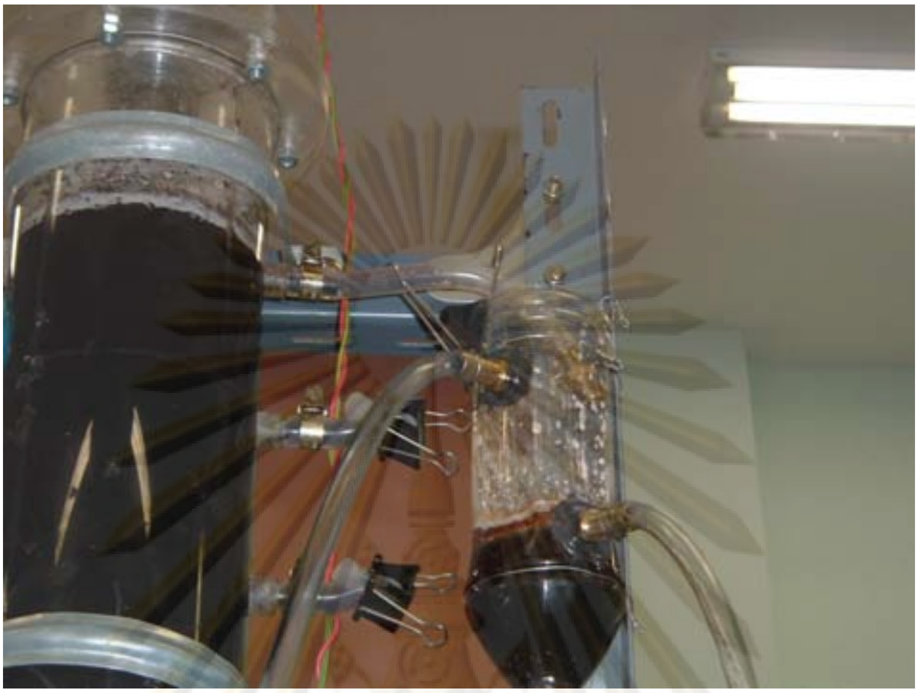
รูป 3.1 ถังสร้างกรดที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3.2 ถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3.3 ขวดพักน้ำเสียที่ออกจากถังสร้างกรด

รูป 3.4 เครื่องสูบน้ำเสีย ชนิดรีดสาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 3.5 เครื่องสูบน้ำเสียหมุนเวียน ชนิดไดอะแฟรม

รูป 3.6 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ ตามแบบของศักดิ์ชัย (2527)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 แผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ

3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำและก๊าซ

สำหรับจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการทดสอบจะมีทั้งหมด 3 จุด คือ น้ำเสียที่เตรียมใหม่ทุกๆ 4 วัน น้ำออกจากถังสร้างกรด ก่อนที่จะเข้าสู่ถังยูเอเอสบี และน้ำที่ออกจากถังยูเอเอสบี ส่วนจุดเก็บตัวอย่างก๊าซ มี 1 จุด คือ บริเวณท่อที่ต่อจากอุปกรณ์แยกสามสถานะของระบบยูเอเอสบี

3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ จะวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี และทางกายภาพของน้ำ ได้แก่ พีเอช, สภาพด่างทั้งหมด, กรดอินทรีย์ระเหย , ตะกอนแขวนลอย , ซีโอดี และซัลเฟต ส่วนการวิเคราะห์ก๊าซ โดยการหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และส่วนประกอบของก๊าซมีเทน โดยแผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ แสดงไว้ในตารางที่ 3.4

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์ตามหนังสือ Standard Method ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

- พีเอช : Electronic pH meter with glass electrode method (AWWA 423.)
- สภาพด่างทั้งหมด : Direct Titration ของ Dilallo & Albertson
- ซีโอดี : Dichromate Close Reflux Method (AWWA 508 A.)
- ตะกอนแขวนลอย : Total residual dried at 103 -105°C (AWWA 209 D.)
- กรดอินทรีย์ระเหย : Direct Tritation ของ Dilallo & Albertson
- ซัลเฟต : Ion Chromatography

วิธีการวัดและการวิเคราะห์ก๊าซ

- ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นแต่ละวัน : เครื่องวัดก๊าซตามแบบของศักดิ์ชัย (ศักดิ์ชัย, 2526)
- ส่วนประกอบของก๊าซมีเทน : Gas Chromatography (GC)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรเปลี่ยนตามที่ทำการศึกษา ได้แก่

1. ค่าซีโอดีทั้งหมด (Total COD)
2. พีเอช (pH)
3. สภาพด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)
4. กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid)
5. ซัลเฟต (SO_4^{2-})
6. ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids)
7. ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume)
8. เปอร์เซ็นต์ก๊าซ มีเทน (CH_4)

ตารางที่ 3.4 แผนการเก็บ และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ

ตัวแปรตาม	**ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง**				**ก๊าซชีวภาพ**		**ตำแหน่งตามความสูงของถัง**	
	น้ำเสียเข้า	**ในถังสร้างกรด**	**ในถังสร้างมีเทน**	**น้ำออกจากถังสร้างมีเทน**	**ถังสร้างกรด**	**ถังสร้างมีเทน**	**ถังสร้างกรด**	**ถังสร้างมีเทน**
- พีเอช	1	1	1	1	-	-	4	4
- ซีโอดีรวม	2	2	-	2	-	-	-	-
- สภาพ ด่างทั้งหมด	2	2	-	2	-	-	-	-
- กรดอินทรีย์ระเหย	2	2	-	2	-	-	4	4
- ซัลเฟต (SO_4^{2-})	4	4	-	4	-	-	-	-
- ตะกอนแขวนลอย	-	3	-	3	-	-	4	4
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด	-	-	-	-	-	1	-	-
- เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	-	-	-	-	-	4	-	-

หมายเหตุ : 1 = ตัวแปรที่ต้องวิเคราะห์ทุกวัน 3= ตัวแปรที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง
2= ตัวแปรที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 วัน 4 = ตัวแปรที่ต้องวิเคราะห์เมื่อถึงสภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การติดตั้งถังปฏิกิริยาและหลักการทำงาน

การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน (Two-phase UASB) แสดงดังรูปที่ 3.8 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ จะสูบน้ำเสียจากถังพักน้ำเสียส่งไปยังถังปฏิกิริยาสร้างกรด (Acid Reactor)

2. เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาสร้างกรด จะใช้ระยะเวลาประมาณ 12 ชั่วโมงก่อนไหลออกมายังถังพักน้ำเสียที่ออกจากถังสร้างกรด

3. จากนั้นน้ำเสียที่ออกจากถังพักน้ำเสียที่ออกจากถังสร้างกรดจะไหลออกมาทางท่อด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงและไหลเข้าสู่ถังยูเอเอสบี (Methane Reactor)ทางด้านล่างของถังปฏิกิริยา

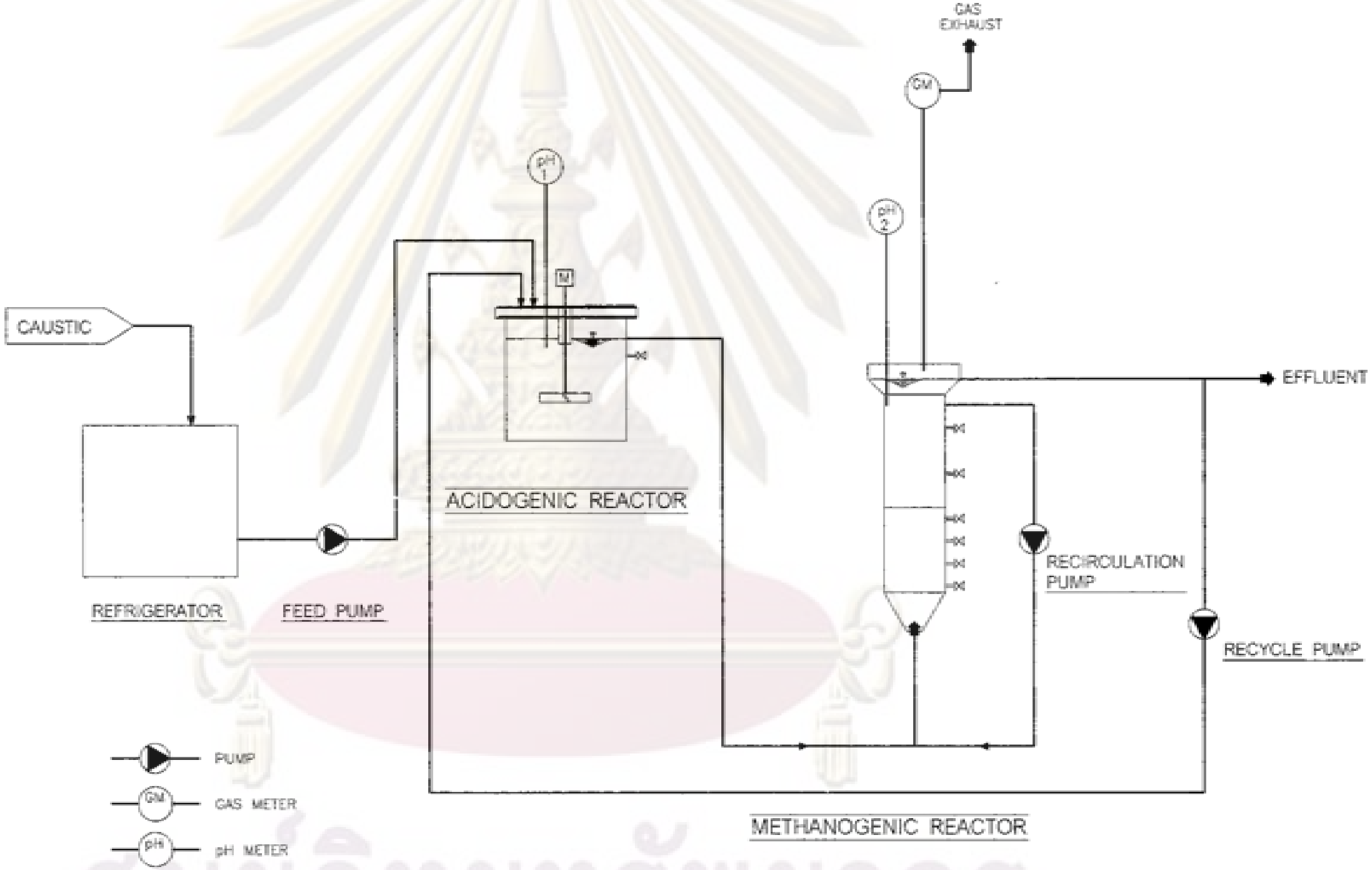
4. เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังยูเอเอสบีจะใช้ระยะเวลาประมาณ 2.8 วัน จึงไหลออกทางด้านบนของถังปฏิกิริยาลงมาสู่ถังพักน้ำออก และก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยังเครื่องวัดปริมาตรก๊าซ

5. เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนจะสูบน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดกลับเข้าสู่ถังปฏิกิริยาอีกครั้งทางด้านล่างของถังปฏิกิริยา

6. จุดเก็บตัวอย่างมีด้วยกัน 3 จุดคือ ถังพักน้ำเข้า ถังพักน้ำเสียที่ออกจากถังสร้างกรด และถังพักน้ำออก

7. เมื่อถึงขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ เครื่องสูบน้ำ รีไซเคิลจะสูบน้ำทิ้งกลับเข้าสู่ถังสร้างกรดอีกครั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 ผังแสดงระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การดูแลรักษาระบบ

การเดินระบบในการทดลองนี้ พบปัญหาการอุดตันเนื่องจากน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอลมีความเข้มข้นค่อนข้างสูงมาก อีกทั้งยังมีสารกลุ่มพวก Natural Surfactant ทำให้เกิดการอุดตันได้ง่าย โดยเฉพาะบริเวณสายยางที่มีขนาดเล็ก เช่น สายยางที่ต่อจากถังพักน้ำเสียในตู้เย็น สายยางที่ใช้ในเครื่องสูบน้ำชนิดสายรีด และสายยางที่ต่อกับทางน้ำเข้าถังยูเอเอสบี ซึ่งทำให้สายยางสกปรก โดยมีคราบขุ่นขาวติดบริเวณสายยางอีกทั้งการที่น้ำเสียมีสีน้ำตาลเข้ม ทำให้ไม่สามารถมองเห็นการไหลของน้ำเสียได้อย่างชัดเจน

จากลักษณะน้ำเสียที่ทำให้เกิดการอุดตันในระบบได้ง่ายนี้ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนสายยางที่ต่อจากถังพักน้ำเสียในตู้เย็นทุก 2 สัปดาห์ เปลี่ยนสายยางที่ใช้ใน เครื่องสูบน้ำ ชนิดสายรีดทุก 1 สัปดาห์และล้างสายยางที่ต่อกับทางน้ำเข้าถังยูเอเอสบีทุกวัน อีกทั้งในแต่ละวันต้องดูแลไม่ให้เกิดการสะสมของคราบขุ่นและฟองอากาศบริเวณท่อน้ำล้นและสายยาง โดยใช้ไม้เขี่ยทำความสะอาดบริเวณท่อน้ำล้นและใช้มือบีบตามสายยาง เพื่อไม่ให้เกิดการอุดตันของน้ำทิ้ง นอกจากนี้ยังมีการทำความสะอาดอุปกรณ์แยกสามสถานะ โดยใช้แปรงหรือผ้าถูให้สะอาดทุก 1 สัปดาห์ ส่วนถังพักน้ำเสียในตู้เย็นและถังพักน้ำออกต้องเทน้ำของวันเก่าทิ้งและทำความสะอาดถัง เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง

การดูแลระบบในส่วนของถังสร้างกรด ต้องใช้ไม้ตี scum ที่ลอยที่ผิวหน้าของน้ำในถังสร้างกรดให้แตกทั้งช่วงเช้าและช่วงเย็น เพื่อช่วยลดการผสมและทำให้ก๊าซที่เกิดใต้สกัมลอยออกสู่อากาศได้ และต้องให้ปลายสายยางที่สูบน้ำเสียเข้าถังสร้างกรดและถังพักน้ำเสียจุ่มอยู่ใต้ผิวน้ำเพื่อป้องกันก๊าซออกซิเจนปนเข้ามาในระบบ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อจุลินทรีย์ในถังสร้างกรด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (Start-up)

หัวเชื้อจุลินทรีย์ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท เสริมสุข จำกัด มีลักษณะเป็นเม็ดและเป็นตะกอนแขวนลอยปนกัน เม็ดจุลินทรีย์มีขนาดประมาณ 1.0 – 3.0 มม. แสดงดังรูปที่ 4.1 นำไปใส่ในถังยูเอเอสบีที่ใช้ทดลอง ประมาณ 4 ลิตร (40 % ของปริมาตรถัง) จากนั้นจึงเริ่มป้อนน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอลด้วยกากน้ำตาลในเขตจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอดีประมาณ 160,000 มก./ล. และมีพีเอชเท่ากับ 4 โดยน้ำเสียจะถูกเจือจางจนมีความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มก./ล. และปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.8 - 7.2 โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต เริ่มเดินระบบที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 0.30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังยูเอเอสบีให้สูงขึ้นตามลำดับ เป็น เวลาประมาณ 40 วัน จนถึงค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากนั้นจึงทำการต่อถังสร้างกรดและถังสร้างมีเทนเข้าด้วยกัน โดยในการทดลองนี้ใช้ถังสร้างกรดชนิดถังกวนผสมสมบูรณ์ ขนาด 1.7 ลิตร ต่ออนุกรมกับถังสร้างมีเทนชนิดยูเอเอสบี ขนาด 10 ลิตร โดยถังสร้างกรดมีระยะเวลากักน้ำนาน 0.5 วัน โดยคุมพีเอชไว้ที่ 5.9 ± 0.1 และถังสร้างมีเทนชนิดยูเอเอสบี มีระยะเวลากักน้ำนาน 2.8 วัน รวมระยะเวลากักน้ำทั้งหมด 3.3 วัน ความเร็วไหลขึ้นในถังยูเอเอสบี เท่ากับ 0.5 ม./ชม. โดยใช้เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำจากทางออกมาผสมกับน้ำเสียที่ทางเข้าถังยูเอเอสบีเพื่อช่วยในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง

รูปที่ 4.1 หัวเชื้อจุลินทรีย์จากบริษัท เสริมสุข จำกัด

หลังจากนั้นจึงเข้าสู่การทดลอง ซึ่งชุดการทดลองที่ 1/1 – 1/5 เป็นการทดลองในช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ ชุดการทดลองที่ 2/1 – 2/3 เป็นการทดลองในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด และชุดการทดลองที่ 3/1 – 3/3 เป็นการทดลองในช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาแต่ละช่วงการทดลอง

ชุดการทดลองที่	ค่าซีโอดีเข้าถัง (mg/l)	อัตราภาระสารอินทรีย์ (kgCOD/m^3-d)	อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/ Q_{IN})	พีเอชในถังสร้างกรด	วันที่ทำการทดลอง
1/1	12,532	3.8	0	5.83 ± 0.04	43 - 69
1/2	23,453	7.0	0	5.90 ± 0.07	78 – 102
1/3	33,653	10.0	0	5.92 ± 0.05	109 – 133
1/4	39,015	11.7	0	5.90 ± 0.04	136 – 148
1/5	43,568	13.0	0	5.93 ± 0.03	151 – 161
2/1	16,163	5.0	0	5.97 ± 0.05	221– 231
2/2	16,138	5.0	0	5.53 ± 0.05	232 – 241
2/3	16,293	5.0	0	5.15 ± 0.05	242 – 252
3/1	16,267	5.0	1	5.17 ± 0.04	253 – 262
3/2	16,320	5.0	2	5.15 ± 0.03	263 – 269
3/3	16,301	5.0	3	5.17 ± 0.03	270 – 279

4.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

ผลของการทดลองในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8, 7.0, 10.0, 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ รวม 5 ชุดการทดลอง โดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง รายละเอียด ผลการทดลอง ของพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.2 – 4.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.2 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช	-	5.29 (0.05)	5.83 (0.04)	8.47 (0.04)
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	9.8 (1.3)	26.2 (0.8)	26.6 (0.8)
สภาพด่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	867 (73)	1,534 (123)	2,217 (270)
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	1,854 (135)	2,953 (109)	515 (73)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	2.1	1.9	0.23
ซีโอดี: ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	12,532 (974)	-	5,247 (204)
ซีโอดี: ซีโอดีละลายได้		11,495 (710)	10,115 (996)	4,871 (167)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้	%		12 (3.0)	57.6 (2.4)
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	450 (20)	3,670 (310)	260 (26)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	-	8.6 (0.2)
ก๊าซมีเทน	%	-	-	50.5%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.24
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี	-	-	-	7.23
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ	มก./ล.	-	-	69,176
MLVSS/MLSS	-	-	-	0.86
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ	กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.066

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.3 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 7.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช	-	5.47 (0.05)	5.90 (0.07)	7.86 (0.09)
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	9.9 (1.0)	26.5 (1.8)	26.1 (2.0)
สภาพด่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	2,270 (66)	3,115 (71)	5,358 (227)
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	5,430 (152)	5,774 (201)	1,208 (47)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	2.4	1.9	0.23
ซีโอดี ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	23,453 (626)	-	10,225 (245)
ซีโอดี ซีโอดีละลายได้	มก./ล.	22,417 (795)	17,520 (810)	9,372 (127)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้	%		21.8 (1.0)	58.2 (1.2)
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	495 (17)	6,800 (400)	470 (98)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	-	14.0 (0.3)
ก๊าซมีเทน	%	-	-	52.0%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.25
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี	-	-	-	7.20
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ	มก./ล.	-	-	74,150
MLVSS/MLSS	-	-	-	0.82
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ	กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.096

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.4 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช	-	6.30 (0.02)	5.92 (0.05)	7.77 (0.04)
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	10.9 (1.0)	29.2 (0.8)	29.3 (0.7)
สภาพด่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	4,250 (179)	5,283 (103)	8,443 (211)
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	7,336 (239)	10,500 (141)	1,866 (54)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	1.7	2.0	0.22
ซีโอดี: ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	33,653 (368)	-	14,483 (188)
ซีโอดี: ซีโอดีละลายได้	มก./ล.	30,417 (324)	23,816 (810)	12,907 (166)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้	%		21.7 (1.5)	57.5 (0.6)
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	525 (18)	7,500 (400)	575 (28)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	-	21.7 (0.3)
ก๊าซมีเทน	%	-	-	55.0%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.31
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี	-	-	-	7.18
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ	มก./ล.	-	-	64,083
MLVSS/MLSS	-	-	-	0.84
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ	กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.149

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.5 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 11.7 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอสบี
พีเอช	-	6.31 (0.02)	5.90 (0.04)	7.51 (0.04)
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	10.2 (1.0)	29.9 (0.6)	29.8 (0.4)
สภาพด่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	5,100 (108)	5,657 (81)	9,625 (87)
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	8,562 (127)	11,550 (108)	2,575 (65)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	1.7	2.0	0.27
ซีโอดี: ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	39,015 (178)	-	25,367 (206)
ซีโอดี: ซีโอดีละลายได้	มก./ล.	34,492 (934)	27,096 (510)	21,008 (147)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้	%		21.4 (1.6)	39.1 (1.7)
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	595 (15)	8,700 (450)	1,350 (208)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	-	9.6 (0.2)
ก๊าซมีเทน	%	-	-	48.1%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.22
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอสบี	-	-	-	7.01
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ	มก./ล.	-	-	58,006
MLVSS/MLSS	-	-	-	0.80
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ	กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.092

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.6 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช	-	6.37 (0.05)	5.93 (0.03)	7.34 (0.06)
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	10.2 (0.8)	30.0 (0.6)	29.8 (0.5)
สภาพด่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	5,725 (94)	6,246 (71)	10,520 (99)
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	9,643 (114)	12,341 (86)	5,155 (101)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	1.7	2.0	0.49
ซีโอดี – ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	43,568 (398)	-	43,612 (686)
ซีโอดี – ซีโอดีละลายได้	มก./ล.	38,242 (345)	-	39,281 (1442)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้	%	-	-	0
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	581 (13)	9,150 (550)	2,950 (235)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	-	-
ก๊าซมีเทน	%	-	-	-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	-
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี	-	-	-	6.85
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ	มก./ล.	-	-	8,483
MLVSS/MLSS	-	-	-	0.74
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ	กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1 พีเอชของระบบ

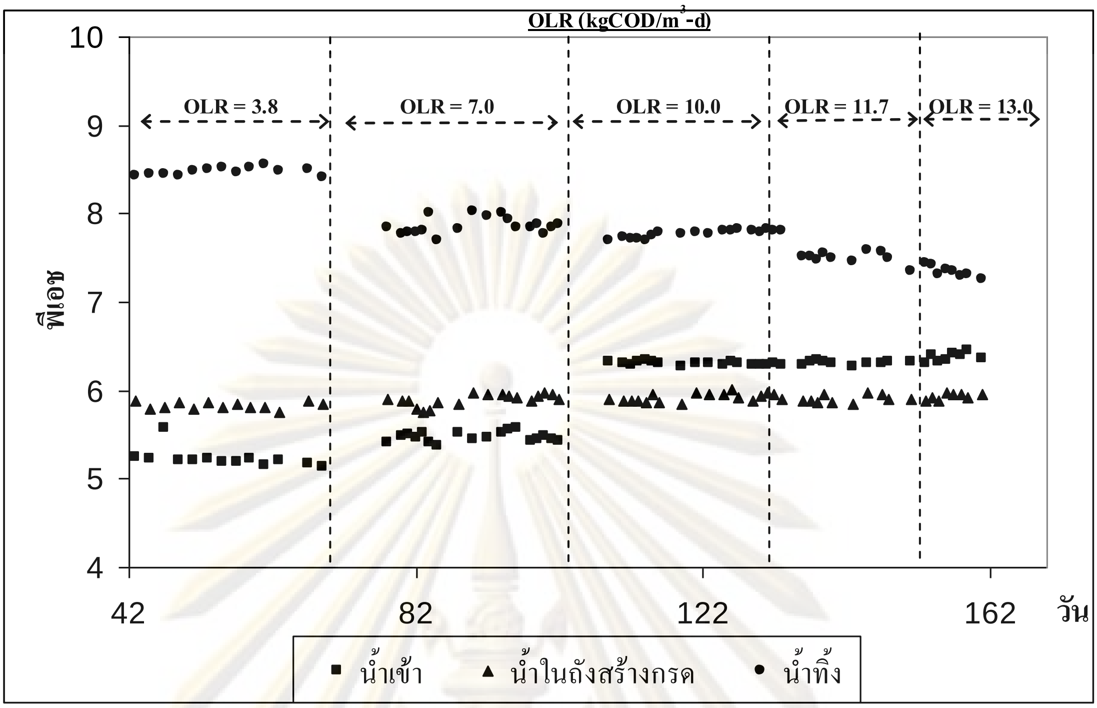
น้ำเสียเข้าสู่ถังสร้างกรดนั้น ได้ถูกปรับให้มีค่าพีเอชสูงขึ้น โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ให้พีเอชในถังสร้างกรดอยู่ในช่วง 5.9 ± 0.1 ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพีเอชของระบบ ในการทดลองทั้ง 5 อัตราภาระสารอินทรีย์

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพีเอชที่ อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
น้ำเสียเข้า	5.29±0.05	5.47±0.05	6.30±0.02	6.31±0.02	6.37±0.05
น้ำในถังสร้างกรด	5.83±0.04	5.90±0.07	5.92±0.05	5.90±0.04	5.93±0.03
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	8.47±0.04	7.86±0.09	7.77±0.04	7.51±0.04	7.34±0.06

ผลการทดลองพบว่า พีเอชของน้ำเสียเข้าในการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 และ 7.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 5.29 - 5.47 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10.0, 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน อยู่ในช่วง 6.30 – 6.37 ค่าพีเอชในถังสร้างกรดของการทดลองทั้ง 5 ชุดอัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกันมากอยู่ในช่วง 5.79 – 5.97 เป็นผลเนื่องมาจากการใช้โซเดียมคาร์บอเนต ในการปรับค่าพีเอชในน้ำเสียเข้า เพื่อควบคุมพีเอชในถังสร้างกรดให้อยู่ในช่วง 5.9 ± 0.1 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการสร้างกรด ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 , 7.0, 10.0, 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เท่ากับ 8.47, 7.86, 7.77, 7.51, และ 7.34 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าที่ลดลงเรื่อยๆ เมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์สูงขึ้น ดังรูปที่ 4.2 แม้ว่าพีเอชจะเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถแสดงถึงการทำงานที่ล้มเหลวได้ทันท่วงที แต่อย่างไรก็ตาม ค่าพีเอชยังคงมีความสำคัญ เช่น เมื่อเกิดการเสียสมดุลระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตกรด กับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนและระบบเริ่มล้มเหลวหรือด้อยประสิทธิภาพ ค่าพีเอชจะลดต่ำลงมาก การแก้ไขให้ระบบฟื้นตัวต้องควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมด้วย ดังนั้นค่า พีเอชยังคงใช้ในการควบคุมการทำงาน และตรวจสอบระบบร่วมกับพารามิเตอร์อื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงภาพรวมของค่าพีเอชในระบบ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

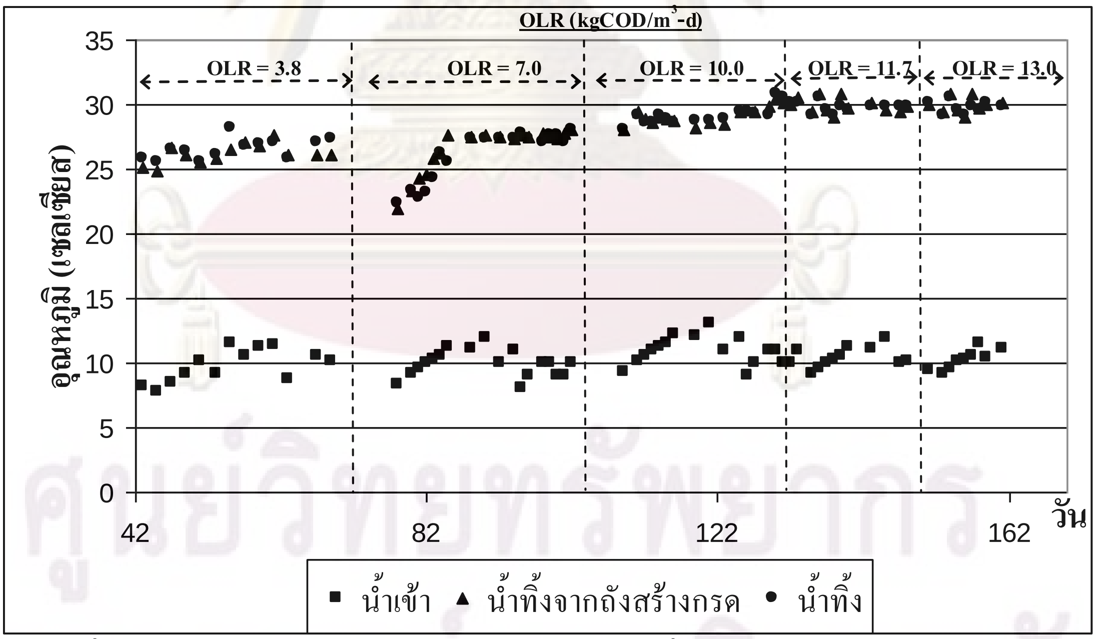
4.2.2 อุณหภูมิของระบบ

อุณหภูมิของระบบเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมในระบบ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิของน้ำเสียส่วนมากจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 28-33 องศาเซลเซียส และในถังปฏิกิริยาอุณหภูมิจะสูงขึ้นประมาณ 3 - 5 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า น้ำทิ้งจากถังสร้างกรด และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 , 7.0, 10.0, 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (ºC) ของระบบ ในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (ºC) ที่ อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
น้ำเสียเข้า	9.8±1.3	9.9±1.1	10.9±1.0	10.2±1.0	10.2±0.8
น้ำในถังสร้างกรด	26.2±0.8	26.5±1.8	29.2±0.8	29.9±0.6	30.0±0.6
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	26.5±0.8	26.1±2.0	29.3±0.7	29.8±0.4	29.8±0.5

จากผลการทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าอยู่ในช่วง 9.8 – 10.9 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากการเก็บน้ำเสียไว้ในตู้เย็นตลอดเวลา ก่อนที่จะสูบเข้าสู่ระบบ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี แบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรก คือการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 - 7.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมากนักคืออยู่ในช่วง 26.1 – 26.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากทำการทดลองในเดือน ธันวาคม – มกราคม ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาว ช่วงที่สอง คือการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10.0 - 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 29.3 – 29.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำทิ้งจากถังสร้างกรดมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องเนื่องจากมีเวลานานพอระหว่างน้ำเสียในตู้แช่จนถึงถังสร้างกรด จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีในช่วงที่สองสูงกว่าในช่วงแรก เนื่องจากทำการทดลองในช่วงเดือนกุมพาพันธ์ – เมษายน ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อน และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีของระบบ พบว่าไม่ได้มีผลมากนักกับประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ เนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในช่วงแรกและช่วงที่สองมีค่าไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 57 – 58% เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีทั้ง 2 ช่วง อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันมากคือ 26.1 – 29.8 องศาเซลเซียส จึงไม่ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งภาพรวมของอุณหภูมิในระบบ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงภาพรวมของอุณหภูมิในระบบ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

4.2.3 กรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ

ในการทดลองครั้งนี้ได้เพิ่มกำลังบัฟเฟอร์ของน้ำเสียขาเข้า หรือเพิ่มสภาพด่างให้ระบบ โดยเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย

สารเคมี	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
โซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.)	2,500	4,375	7,187	9,063	10,625

ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยของระบบในส่วนต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.10 ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบยูเอเอสบีมีความสำคัญมาก เพราะเป็นสารที่ใช้ในการผลิตมีเทน และเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งที่จะชี้สภาพของระบบได้ ถ้าปริมาณกรดไขมันระเหยในถังยูเอเอสบีมีค่าต่ำแสดงว่าระบบมีความสมดุลและทำงานได้ดี

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ของระบบในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
น้ำเสียเข้า	1,854±135	5,430±152	7,336±239	8,562±127	9,643±114
น้ำในถังสร้างกรด	2,953±109	5,774±201	10,500±141	11,550±108	12,341±86
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	515±73	1,208±47	1,866±54	2,575±65	5,155±101

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เนื่องจากการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ โดยที่อัตราการไหลคงที่นั้น นับเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีของน้ำเสีย จึงทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียขาเข้าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีของน้ำเสีย ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี จึงเพิ่มมากขึ้นตามการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เช่นกัน แสดงดังรูปที่ 4.4 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีเท่ากับ 2,575 และ 5,155 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก)

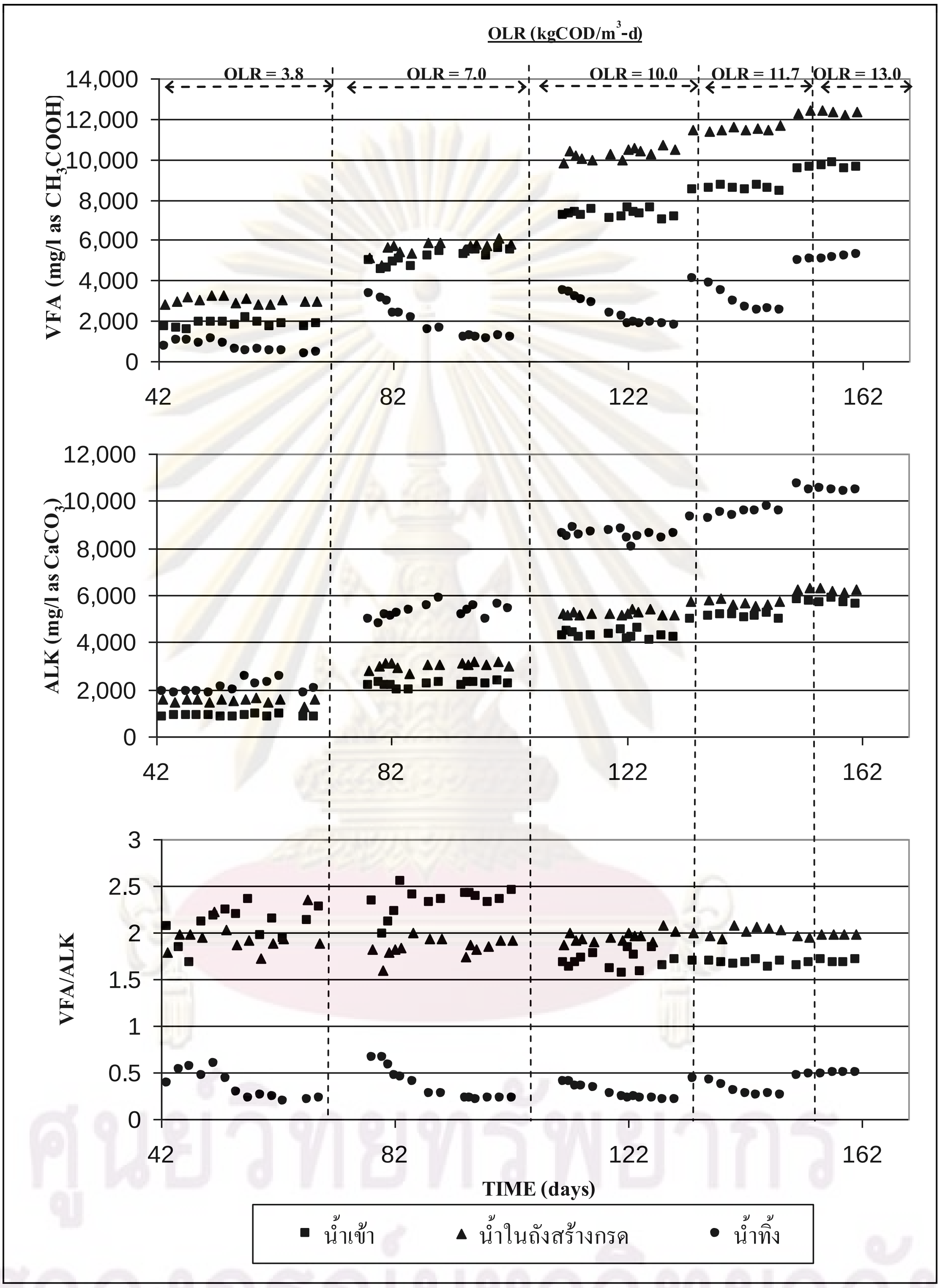
ซึ่งสูงมากและเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนได้ ซึ่งสอดคล้องกับการบำบัดซีโอดี กล่าวคือ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้ที่ลดลงอย่างมาก เหลือเพียง 39.1% และที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบล้มเหลวไม่สามารถกำจัดค่าซีโอดีได้

ค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้ามีค่าสูงขึ้นตามอัตราภาระสารอินทรีย์ เนื่องจากมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น จนทำให้สามารถควบคุมค่าพีเอชภายในถังสร้างกรดในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 5.9 ± 0.1 ตามต้องการ ดังนั้น ค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำในถังสร้างกรด และสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี จึงมีค่าสูงขึ้นตามอัตราภาระสารอินทรีย์ด้วยเช่นกัน และสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งมีค่ามากกว่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้า เนื่องจาก กรดไขมันระเหยถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนเมื่อผ่านยูเอเอสบี ทำให้สภาพด่างที่ถูกใช้สะเทินกรดไขมันระเหยลดลง สภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจึงสูงขึ้นดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 4.4 ค่าสภาพด่างทั้งหมดของระบบที่ทำการทดลองในครั้งนี้ แสดงดังตารางที่ 4.11 ค่อนข้างสูงกว่าระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนทั่วๆ ไป ที่มีค่า 2,000 – 4,000 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) [Metcalf & Eddy, 2003] แต่ก็ใกล้เคียงกับของ Sam-Soon et al. (1987) ที่ใช้ระบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียโดยมีสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียภายในถัง 8,000 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) การที่ต้องเตรียมให้น้ำเสียที่เข้าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์เพียงพอ เป็นสิ่งที่จำเป็นมากเพื่อป้องกันมิให้ค่าพีเอชของระบบลดต่ำลงจนถึง 6.6 ซึ่งมักจะเป็นปัญหาเมื่อใช้ระบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงและมีขนาดใหญ่ เพราะต้องใช้สารเคมีจำนวนมาก ทางแก้ปัญหาที่จะลดปริมาณสารเคมีที่ให้สภาพด่างทั้งหมดที่ป้อนสู่ระบบ อาจทำได้โดยมีการเวียนน้ำเสียที่ออกจากถังยูเอเอสบีให้กลับเข้าสู่ถังยูเอเอสบีอีกครั้งหนึ่ง Pol and Lettinga, (1986) แนะนำว่าถ้าความเข้มข้นของซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบยูเอเอสบีสูงกว่า 5,000 มก./ล. ควรมีการหมุนเวียนกลับน้ำเสีย ในการทดลองนี้ ค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียภายในถังมีค่าประมาณ 2 ,000 – 10 ,000 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) และค่าพีเอชภายในถังยูเอเอสบีสูงประมาณ 7.0 - 7.3 ดังนั้น อาจสามารถลดค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบยูเอเอสบีได้บ้าง

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าสภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ของระบบในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าสภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
น้ำเสียเข้า	867±73	2,270±66	4,250±179	5,100±108	5,725±94
น้ำในถังสร้างกรด	1,534±123	3,115±71	5,283±103	5,657±81	6,246±71
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	2,217±270	5,358±227	8,443±211	9,625±87	10,520±99

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แสดงภาพรวมของค่ากรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดเป็นค่าที่แสดงถึงความสมดุล และเสถียรภาพของระบบยูเอเอสบี ซึ่งค่าอัตราส่วนที่น้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบทำงานได้ดี และถ้าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบขาดเสถียรภาพ [Metcalf & Eddy, 2003] จากผลการทดลองทุกช่วงของอัตราภาระสารอินทรีย์ มีค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีประมาณ 0.22 - 0.49 แสดงว่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่ระบบน่าจะทำงานได้ และการล้มเหลวของระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์สูง (11.7-13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) น่าจะมาจากปัจจัยอื่น เช่น ความเป็นพิษของน้ำเสีย ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และการเปลี่ยนรอบของน้ำเสียที่ใช้ในการเดินระบบ

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ
ในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์

จุดเก็บตัวอย่าง	อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
น้ำเสียเข้า	2.14±0.15	2.39±0.05	1.73±0.10	1.67±0.04	1.68±0.03
น้ำเสียในถังสร้างกรด	1.94±0.20	1.85±0.06	1.99±0.06	2.04±0.02	1.98±0.01
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	0.23±0.03	0.23±0.01	0.22±0.01	0.27±0.01	0.49±0.01

หมายเหตุ อัตราส่วน VFA/ALK = มก. (ในเทอมของกรดอะซิติก) / มก. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต)

4.2.4 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี

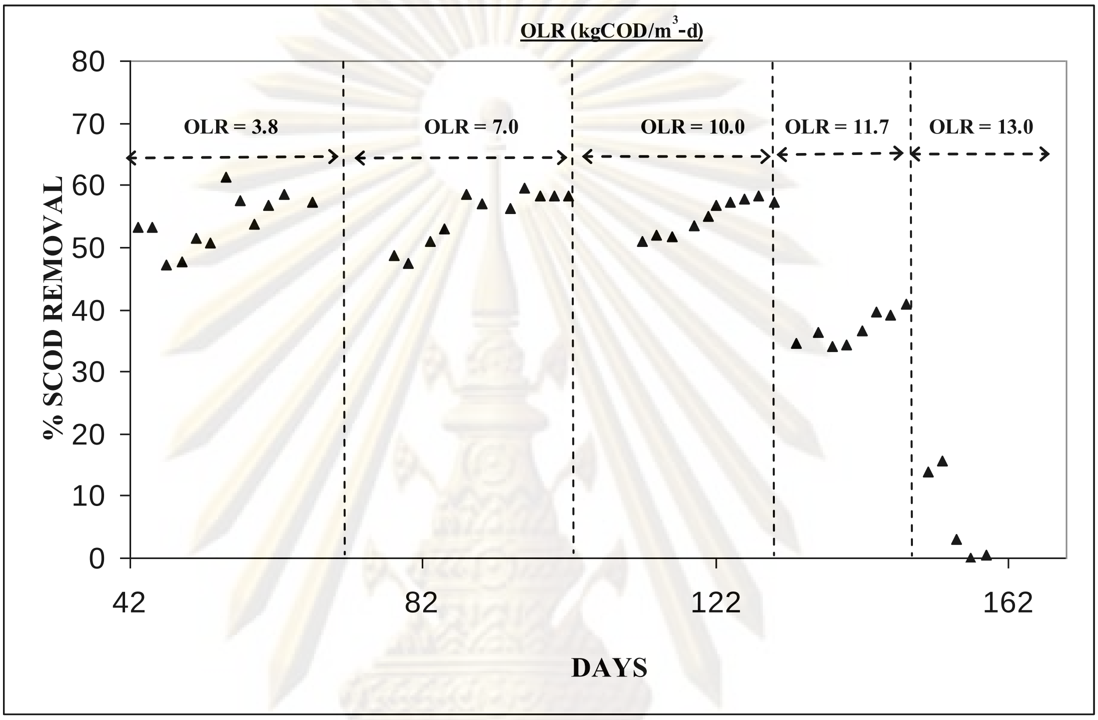
ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งบอกถึงความสามารถของระบบในการบำบัดน้ำเสีย ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรด ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้ของถังยูเอเอสบี และประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ และประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรด แต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์

ประสิทธิภาพ ในการกำจัดซีโอดี	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
ซีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรด (%)	12.0±3.0	21.8±1.0	21.7±1.5	21.4±1.6	-
ซีโอดีละลายได้ของถังยูเอเอสบี (%)	51.8±3.7	46.5±3.2	45.8±1.8	22.5±1.5	-
ซีโอดีละลายได้ของระบบ (%)	57.6±2.4	58.2±1.2	57.5±0.6	39.1±1.7	-

การทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 – 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้ประมาณ 57.5 – 58.1% ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงถึงความสมดุลและการทำงานได้ดีของระบบ และมีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี 515 – 1,866 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) ซึ่งเป็นค่าของกรดไขมันระเหยในระดับที่ยังไม่ส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย และมีการหลุดออกมาของตะกอนแขวนลอยจากถังยูเอเอสบีที่ค่อนข้างต่ำ อยู่ในช่วง 260 – 575 มก./ล. การทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้ประมาณ 39.1 % ซึ่งมีค่าต่ำลงมาก โดยปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าสูงถึง 2,575 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) ซึ่งเป็นค่าที่อาจส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย ทำให้เริ่มมีการหลุดออกมาของตะกอนแขวนลอยจากถังยูเอเอสบีที่ค่อนข้างสูงมากเป็น 3 เท่าคือ 1,350 มก./ล. ส่วนการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีสภาพล้มเหลว ไม่สามารถกำจัดซีโอดีได้เลย เนื่องจากมีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีที่สูงมากคือ 5,155 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย จนทำให้

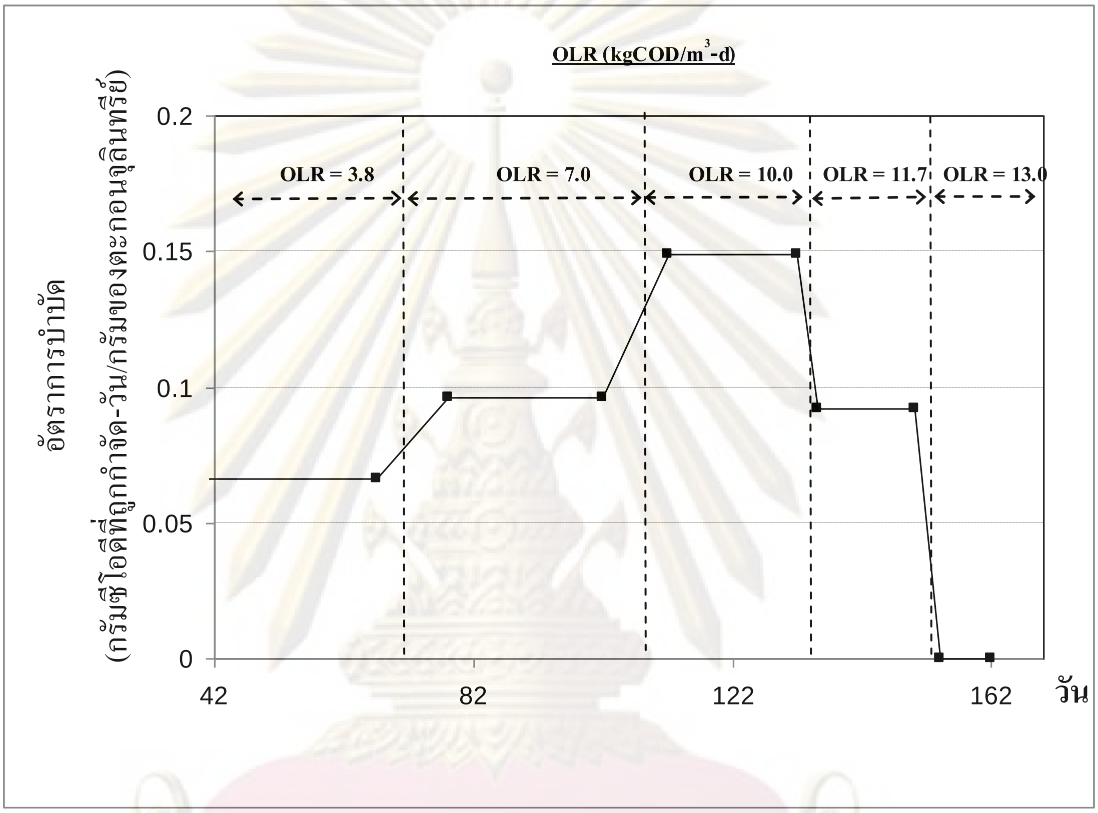
แบคทีเรียแตกออกและมีการหลุดออกมา แสดงในรูปของตะกอนแขวนลอยจากถังยูเอเอสบีที่สูงมาก คือเท่ากับ 2 ,950 มก./ล. จนทำให้ระบบล้มเหลว และอีกสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้ระบบล้มเหลว นั่นคือการเปลี่ยนน้ำเสียในช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์จาก 11.7 เป็น 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าน้ำเสียรอบใหม่อาจมีความเป็นพิษมากกว่าน้ำเสียรอบแรก



รูปที่ 4.5 แสดงภาพรวมของค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

เมื่อนำค่าตะกอนแขวนลอยในระบบยูเอเอสบี และเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ มาหาความสัมพันธ์เพื่อหาอัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นค่าที่ชี้คุณภาพของจุลินทรีย์ในระบบในการบำบัดน้ำเสียได้ กล่าวคือ อัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์เป็นค่าที่บ่งบอกถึงขีดความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ของระบบในการกำจัดซีโอดี ซึ่งจากผลการทดลอง อัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 , 7.0, 10.0, 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่า 0.066 , 0.096, 0.149, 0.092 และ 0 กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด-วัน/กรัมของตะกอนจุลินทรีย์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งอัตราการบำบัดเป็นอัตราส่วนของกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวันต่อค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยภายในถังยูเอเอสบี

จากรูปที่ 4.   6 จะเห็นได้ว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 - 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีอัตราการบำบัดที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ตามการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ แต่หลังจากที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เป็นต้นไป พบว่าอัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดต่ำสุด ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน คือมีอัตราการบำบัด เท่ากับ ศูนย์



รูปที่ 4.6 แสดงภาพรวมของค่าอัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

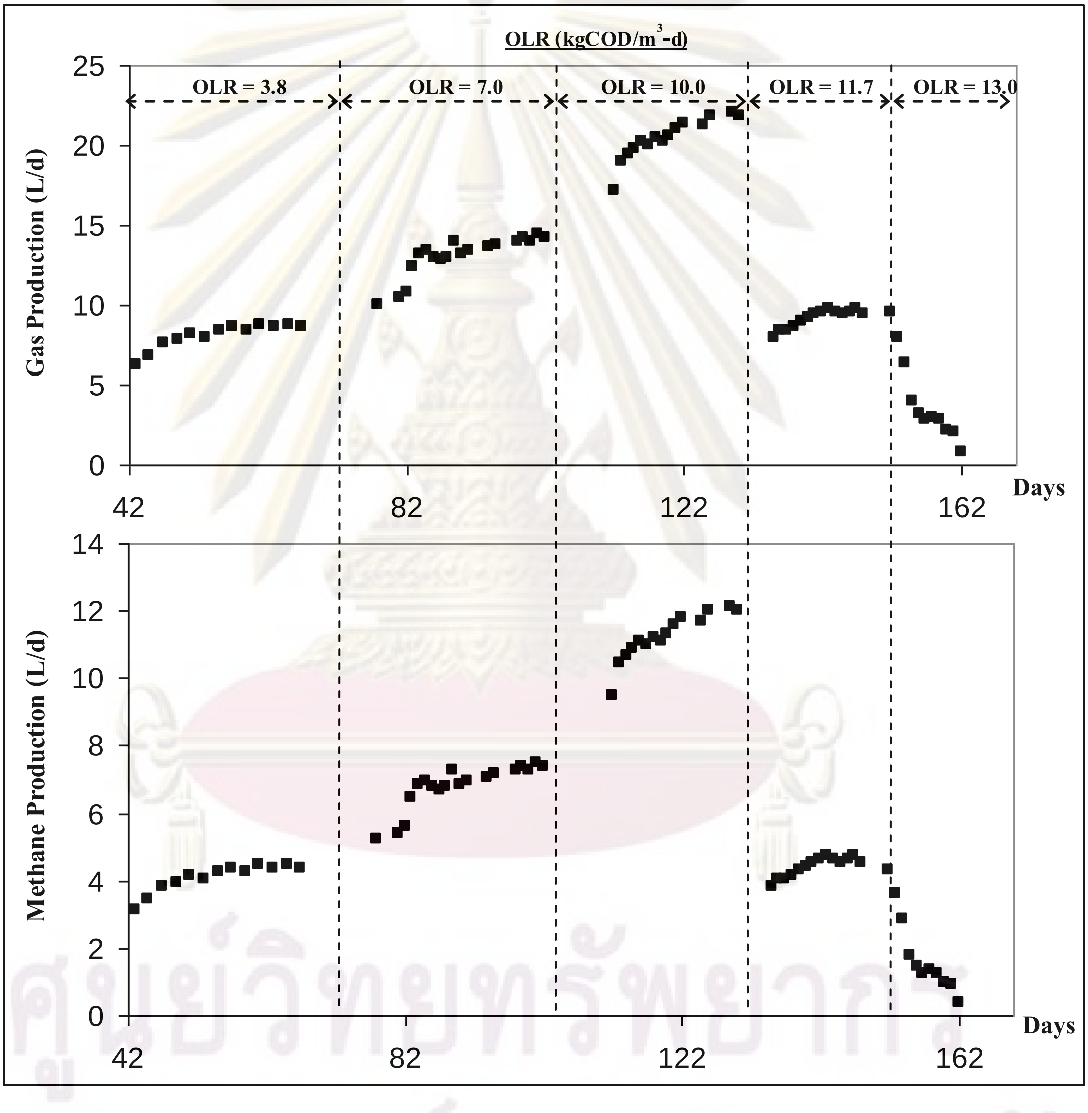
การใช้ระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียจะมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนทั่วๆไป ก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากระบบ ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ รวมถึงความสมดุลและเสถียรภาพของระบบด้วย ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ โดยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดการทดลอง แสดงตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์

รายละเอียด	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	8.6±0.2	14.0±0.3	21.7±0.3	9.6±0.2	-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/วัน)	4.3±0.2	7.3±0.3	11.9±0.3	4.6±0.2	-
เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน	50.5	52.0	55.0	48.1	-

จากผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 , 7.0 และ 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 4.3 , 7.3 และ 11.9 ลิตร/วัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระบบมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่สูงเรื่อยๆตามลำดับ ตามการเพิ่มของอัตราภาระสารอินทรีย์ โดยสอดคล้องกับผลการทดลองในช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 – 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอละลายได้ 57.5 – 58.2 % ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่มีค่าสูง ดังนั้นการเพิ่มของอัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วง 3.8 – 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จึงทำให้มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นดังกล่าว การทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนลดลงเหลือเพียง 4.6 ลิตร/วัน ซึ่งเป็นค่าที่ลดลงอย่างมาก แม้มีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์มากขึ้นก็ตาม สอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีเพียง 39.1 % มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้เท่ากับ 2,575 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) ซึ่งการสะสมของปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้การทำงานของแบคทีเรียมีประสิทธิภาพลดลงได้ การทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีสภาพล้มเหลว คือไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เลย

สอดคล้องกับผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์นี้ ไม่สามารถกำจัดค่าซีโอดีได้เช่นกัน และมีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีที่สูงมากคือ 5 ,155 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงสภาพแวดล้อมของระบบ ที่สามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย อีกทั้งที่อัตราภาระสารอินทรีย์นี้ มีการหลุดออกมาของตะกอนแขวนลอยจากถังยูเอเอสบีที่สูงมากคือเท่ากับ 2,950 มก./ล. ซึ่งแสดงถึงมีปริมาณแบคทีเรียจำนวนมากที่หลุดออกนอกระบบบำบัด จนทำให้ระบบล้มเหลวจนไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้

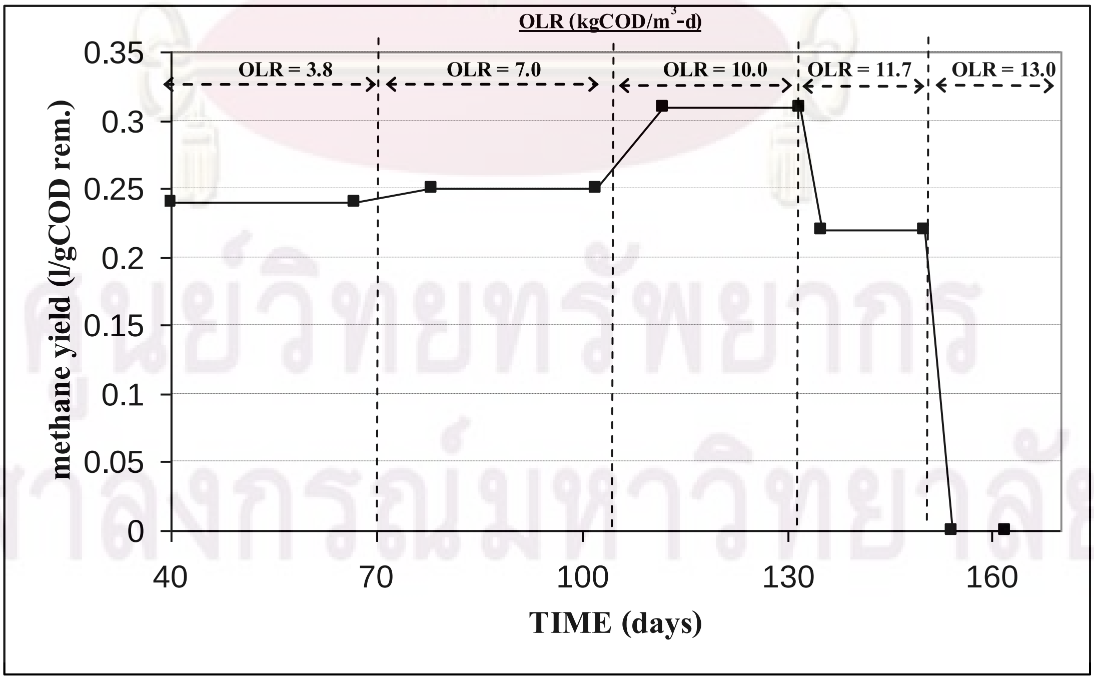


รูปที่ 4.7 แสดงภาพรวม การผลิตก๊าซทั้งหมดและก๊าซมีเทนของระบบ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

ส่วนอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของการทดลองในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 4.8 การทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 , 7.0, 10.0, 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่า มีเทนยีลด์เท่ากับ 0.24 , 0.25, 0.31 0.22 และ 0 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 , 7.0 และ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่า มีเทนยีลด์อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 0.22 - 0.25 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่า มีเทนยีลด์สูงที่สุดคือ 0.31 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด และที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งเป็นจุดที่ระบบล้มเหลวนั้น มีค่า มีเทนยีลด์ต่ำที่สุดคือ 0 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด สอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ที่ไม่สามารถกำจัดค่าซีโอดีได้

จากตารางที่ 2.1 การคำนวณทางทฤษฎี เมื่อกำหนด เปอร์เซ็นต์มีเทนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ค่า ยีลด์ ประมาณ 0.04 gVSS/gCOD ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใช้ออกแบบระบบบำบัด [Metcalf & Eddy, 2003] แสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ง เมื่อคำนวณต่อไปจะทำให้ได้ค่ามีเทนยีลด์ประมาณ 0.37 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด ดังนั้นค่ามีเทนยีลด์จากการทดลองจึงมีความใกล้เคียงกับค่ามีเทนยีลด์ทางทฤษฎี นอกจากนี้ยังใกล้เคียงกับค่ามีเทนยีลด์จากการใช้ยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งมันสำหลัง ซึ่งมีค่าประมาณ 0.28 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด (เนตรนภา, 2539)



รูปที่ 4.8 แสดงภาพรวมของ มีเทนยีลด์ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

4.2.6 การหลุดออก (wash out) ของตะกอนแขวนลอย

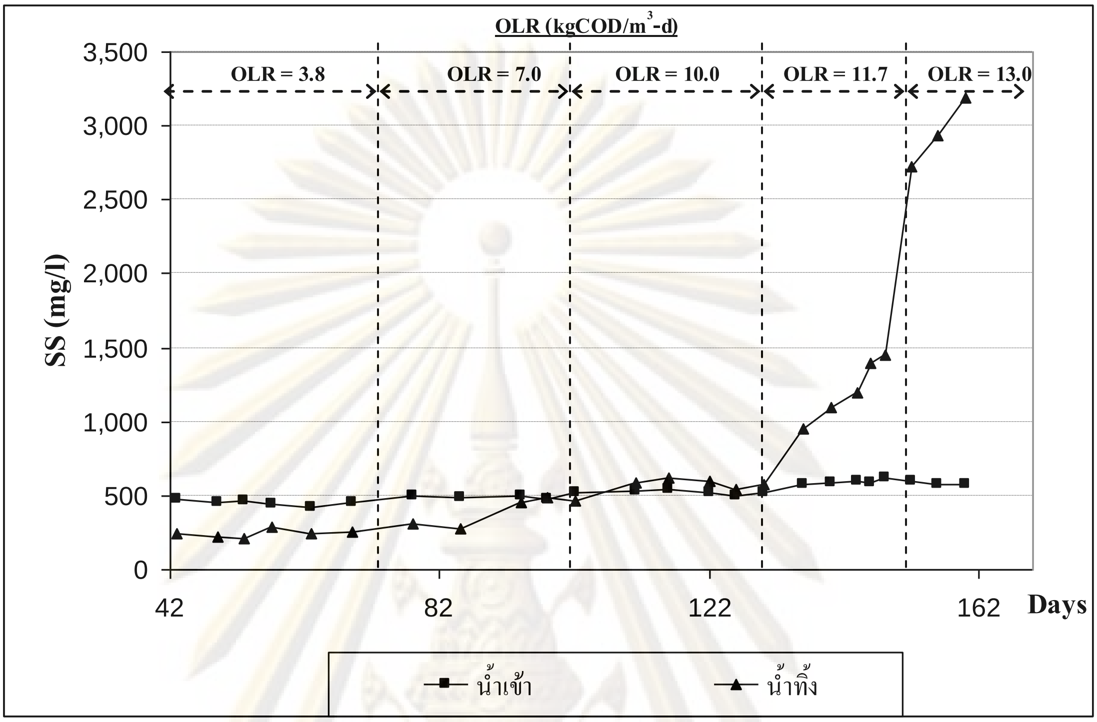
ค่าตะกอนแขวนลอยภายในถังเฉลี่ย ซึ่งเก็บตัวอย่างจากชั้นตะกอนในสามระดับ คือ ที่ระดับความสูงจากก้นถัง 0.15, 0.40 และ 0.65 เมตร ตามลำดับ รวมถึงค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียเข้า และค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8, 7.0, 10.0, 11.7 และ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียเข้า ในระบบยูเอเอสบี และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

จุดเก็บตัวอย่าง	ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.) ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	3.8	7.0	10.0	11.7	13.0
น้ำเสียเข้า	450±20	495±17	525±18	595±15	581±13
ภายในถังยูเอเอสบี	69,176	74,150	64,083	58,006	8,483
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	260±26	470±97	575±28	1,350±208	2,950±235

จากผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 – 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียเข้าอยู่ในช่วงค่อนข้างคงที่ประมาณ 450 – 581 มก./ล. การทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 – 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีอยู่ในช่วง 260 - 575 มก./ล. ซึ่งแสดงถึงในช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์นี้ มีการหลุดออก (wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์ในปริมาณน้อย ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้ที่สูงถึง 57.5 – 58.2% ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี 1,350 มก./ล. มากขึ้นเป็น 3 เท่าจากเดิม นับเป็นสัญญาณอันตรายของระบบ และสอดคล้องกับผลการทดลอง ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้เพียง 39.1% ซึ่งลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับอัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วง 3.8 – 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในระบบมีปริมาณกรดไขมันระเหยสูงถึง 5155 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) จึงสามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ได้ จนทำให้เม็ดตะกอนแตกละเอียด และมีน้ำหนักลดลงมาก จนทำให้ตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบปริมาณมาก โดยมีค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีสูงถึง 2,950 มก./ล. ดังนั้นที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จึงไม่สามารถกำจัดซีโอดีได้ ทำให้ไม่มีการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นอีกด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระ

สารอินทรีย์กับค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าระบบ และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงภาพรวมค่าตะกอนแขวนลอยของระบบ ในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

จากผลการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ พบว่าอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเดินระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอล เนื่องจากที่อัตราภาระสารอินทรีย์นี้เป็นค่าสูงสุดที่ระบบยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ดี แต่เพื่อความปลอดภัยในการเดินระบบ จึงเลือกใช้ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งคิดเป็น 50 % ของค่าสูงสุดที่ระบบยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ดี ในการทำการทดลองในขั้นต่อไป นั่นคือ ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ชุดการทดลอง คือ พีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.97, 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ การทดลองในขั้นตอน การเปลี่ยนแปลง ค่าพีเอชในถังสร้างกรดของทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีอัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง รายละเอียดผลการทดลองของพารามิเตอร์ต่างๆมีดังนี้

ตาราง 4.16 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.97

ตัวแปรที่วัด		หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช		-	5.78 (0.04)	5.97 (0.04)	8.20 (0.02)
อุณหภูมิ		องศาเซลเซียส	10.1 (0.5)	27.7 (0.4)	28.1 (0.5)
สภาพด่างทั้งหมด		มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	2,688 (81)	3,341 (84)	4,971 (157)
กรดไขมันระเหย		มก./ล. กรดอะซิติก	3,991 (164)	4,249 (134)	695 (135)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด		-	1.5 (0.07)	1.3 (0.04)	0.18 (0.06)
ซีโอดี	ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	16,163 (198)	-	5,225 (135)
	ซีโอดีละลายได้		13,715 (143)	11,575 (312)	4,199 (108)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้		%		15.6 (3.2)	69.4 (0.7)
ตะกอนแขวนลอย		มก./ล.	481 (72)	-	514 (57)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด		ลิตร/วัน	-	-	9.6 (0.3)
ก๊าซมีเทน		%	-	-	53.2%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน		ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.20
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี		-	-	-	7.25
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ		มก./ล.	-	-	52,875
MLVSS/MLSS		-	-	-	0.83
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ		กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.122

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.17 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.53

ตัวแปรที่วัด		หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช		-	5.43 (0.03)	5.53 (0.05)	8.01 (0.03)
อุณหภูมิ		องศาเซลเซียส	10.3 (0.9)	28.1 (0.4)	28.2 (0.4)
สภาพด่างทั้งหมด		มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	2,130 (61)	2,837 (69)	4,558 (65)
กรดไขมันระเหย		มก./ล. กรดอะซิติก	4,008 (90)	4,324 (115)	713 (47)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด		-	1.9 (0.07)	1.5 (0.04)	0.17 (0.03)
ซีโอดี	ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	16,138 (183)	-	5,381 (230)
	ซีโอดีละลายได้		13,725 (204)	11,735 (286)	4,446 (145)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้		%		14.5 (2.7)	67.6 (0.8)
ตะกอนแขวนลอย		มก./ล.	493 (36)	-	522 (24)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด		ลิตร/วัน	-	-	9.9 (0.2)
ก๊าซมีเทน		%	-	-	52.1%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน		ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.21
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี		-	-	-	7.17
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ		มก./ล.	-	-	53,106
MLVSS/MLSS		-	-	-	0.85
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ		กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.120

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.18 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.15

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช	-	5.06 (0.04)	5.15 (0.05)	7.65 (0.05)
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	10.5 (0.4)	28.3 (0.5)	28.5 (0.7)
สภาพด่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	1,800 (49)	2,405 (31)	4,403 (51)
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	4,124 (99)	4,435 (89)	751 (13)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	2.3 (0.06)	1.8 (0.04)	0.17 (0.01)
ซีโอดี — ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	16,293 (126)	-	5,648 (231)
ซีโอดี — ซีโอดีละลายได้		13,770 (134)	11,539 (396)	4,697 (202)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้	%		16.2 (3.5)	66.0 (0.7)
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	582 (67)	-	620 (59)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	-	9.2 (0.4)
ก๊าซมีเทน	%	-	-	52.5%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.21
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี	-	-	-	7.02
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ	มก./ล.	-	-	52,520
MLVSS/MLSS	-	-	-	0.82
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ	กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.114

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1 พีเอชของระบบ

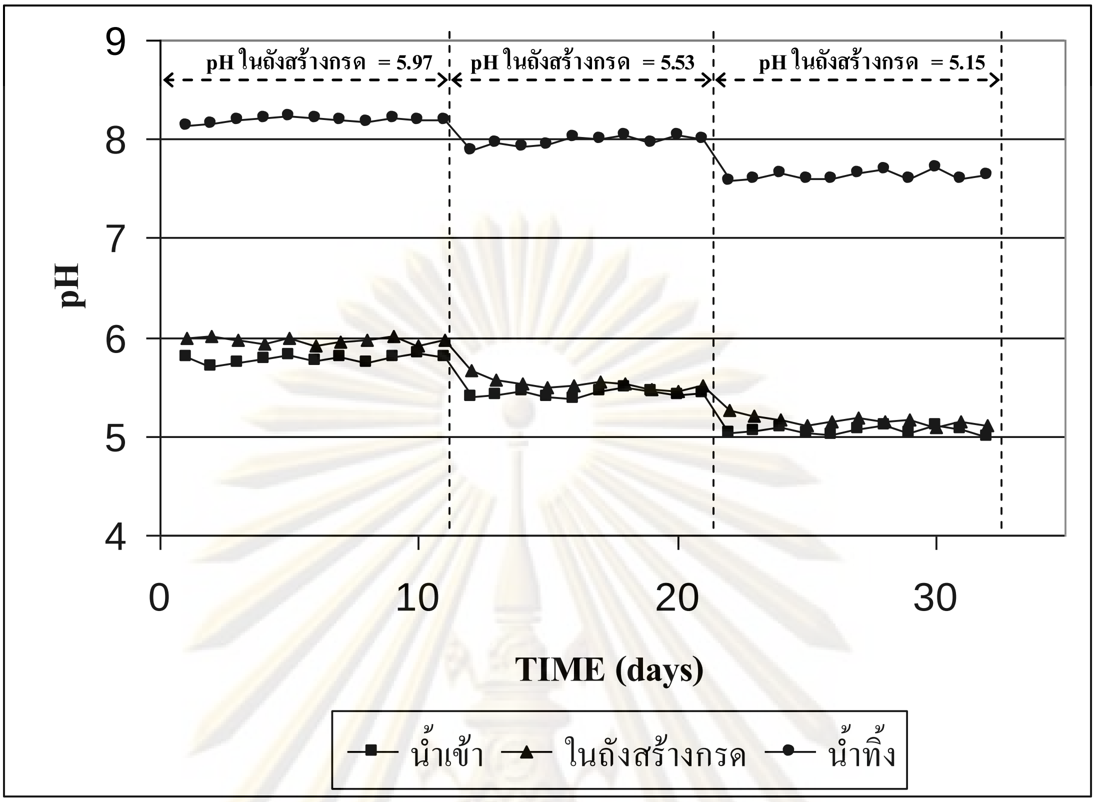
ค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าซึ่งเก็บอยู่ในตู้เย็นเพื่อเตรียมป้อนเข้าสู่ถังสร้างกรดนั้น ได้เติมสารเคมีที่เพิ่มกำลังบัฟเฟอร์ให้ระบบ โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) เพื่อควบคุมพีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97, 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4. 19 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าพีเอชของระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรด

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพีเอชของระบบ ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรด		
	5.97	5.53	5.15
น้ำเสียเข้า	5.78±0.04	5.43±0.03	5.06±0.04
ในถังสร้างกรด	5.97±0.04	5.53±0.05	5.15±0.05
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	8.20±0.02	8.01±0.03	7.65±0.05

รูปที่ 4.10 แสดงถึงค่าพีเอชของน้ำเสียขาเข้า ค่าพีเอชในถังสร้างกรด และค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ซึ่งจะเห็นได้ว่า พีเอชของน้ำเสียเข้ามีค่าลดลง เนื่องมาจากการลดปริมาณการเติมด่างให้กับน้ำเสียเข้า เพื่อคุมพีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97 , 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ และค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีลดลงเป็น 8.20, 8.01 และ 7.65 ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ค่าพีเอชของระบบดังกล่าว ไม่ได้ส่งผลต่อทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 66.0 – 69.4% และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนซึ่งอยู่ในช่วง 4.8 – 5.1 ลิตร/วัน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า พีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าสูงกว่าพีเอชของน้ำเสียเข้า เนื่องจากหลังจากผ่านระบบยูเอเอสบี กรดไขมันระเหยถูกเปลี่ยนเป็นมีเทน ทำให้สภาพด่างไบคาร์บอเนตที่ต้องใช้สำหรับสะเทินกรดไขมันระเหยลดลง ดังนั้นสภาพด่างในน้ำทิ้งจึงสูงขึ้น ซึ่งจากสมการการแตกตัวของคาร์บอเนต ($H_2O + CO_3^{2-} \longrightarrow HCO_3^- + OH^-$) จะทำให้ OH^- เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีสูงขึ้นดังกล่าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 แสดงภาพรวมของค่าพีเอชในระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

4.3.2 อุณหภูมิของระบบ

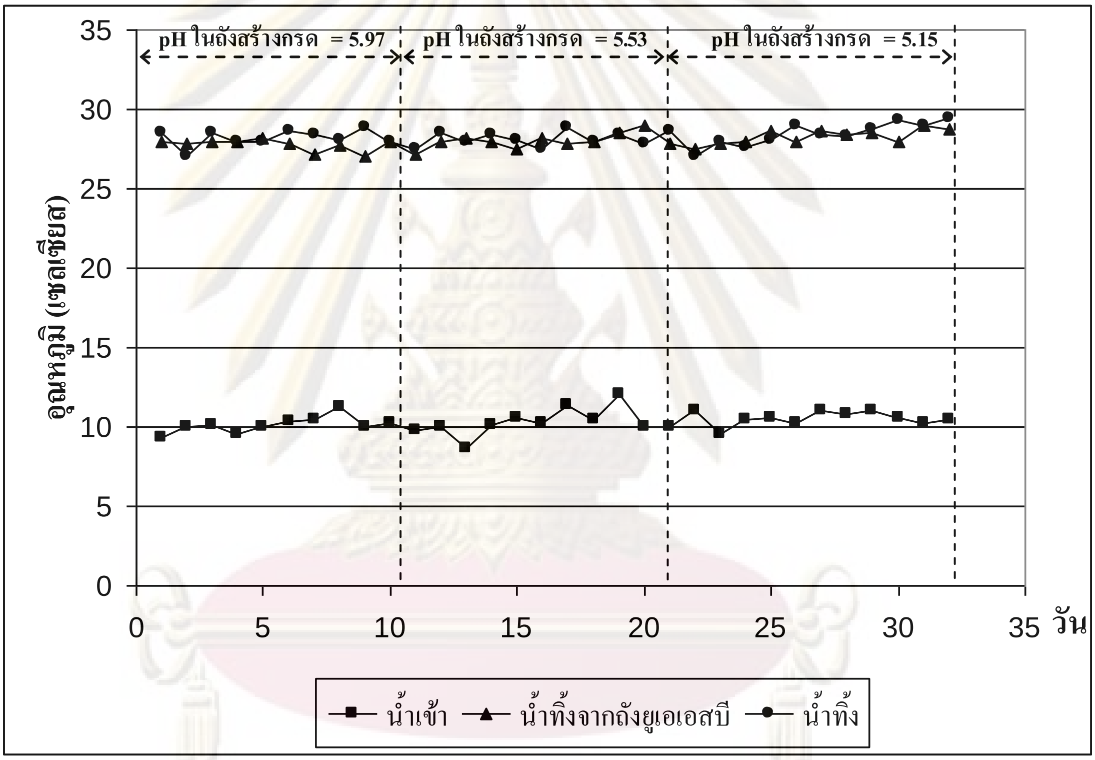
ผลการทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า น้ำทิ้งจากถังสร้างกรด และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีการคุมพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.97, 5.53, และ 5.15 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าอุณหภูมิของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรด

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (ºC) ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรด		
	5.97	5.53	5.15
น้ำเสียเข้า	10.1±0.5	10.3±0.9	10.5±0.4
น้ำทิ้งจากถังสร้างกรด	27.7±0.4	28.1±0.4	28.3±0.5
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	28.1±0.5	28.2±0.4	28.4±0.7

จากรูปที่ 4.11 แสดงถึงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ซึ่งจะเห็นว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าตลอดการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 10.1 – 10.5 องศาเซลเซียส

เนื่องมาจากการเก็บน้ำเสียไว้ในตู้เย็นตลอดเวลา ก่อนที่จะสูบเข้าสู่ระบบ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี มีค่าคงที่อยู่ในช่วง 28.1 – 28.4 องศาเซลเซียส เนื่องจากทำการทดลองในช่วงเดือนมิถุนายน – เดือนกรกฎาคม ซึ่งตรงกับช่วงฤดูฝน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของระบบอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก ตลอดการทดลอง ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง โดยไม่ต้องมีการให้ความร้อน ดังนั้นค่าอุณหภูมิในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด จึงไม่ได้มีผลกับประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 66.0 – 69.4 % และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนซึ่งอยู่ในช่วง 4.8 – 5.1 ลิตร/วัน



รูปที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

4. 3.3 กรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ

การทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรด ได้เพิ่มกำลังบัฟเฟอร์และสภาพด่างให้ระบบ โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ในน้ำเสียเข้า เพื่อเป็นการคุมพีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97, 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ ซึ่งตารางที่ 4.21 แสดงค่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียเข้า

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย

สารเคมี	ค่าพีเอชในถังสร้างกรด		
	5.97	5.53	5.15
โซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.)	3,250	2,500	1,625

ดังตารางที่ 4.22 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้า ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียในถังสร้างกรด และปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบยูเอเอสบี เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งที่จะชี้สภาพของระบบได้ ปริมาณกรดไขมันระเหยภายในถัง และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าต่ำ แสดงว่าระบบมีความสมดุลและทำงานได้ดี รูปที่ 4.12 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้า ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียในถังสร้างกรด และปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97, 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ของระบบ
ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรด		
	5.97	5.53	5.15
น้ำเสียเข้า	3,990±164	4,009±90	4,124±99
น้ำเสียในถังสร้างกรด	4,249±134	4,325±115	4,435±89
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	695±135	713±47	751±13

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าตลอดการทดลองในขั้นตอนเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรดมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 3,990 – 4,124 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) การทดลองที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.97, 5.53 และ 5.15 มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีเท่ากับ 695, 713 และ 751 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีที่สูงขึ้นเรื่อยๆดังกล่าว สอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ซึ่งมีค่าลดลงตามลำดับ แต่เนื่องจากปริมาณกรดไขมันระเหยของระบบยังอยู่ในระดับต่ำ จึงไม่เป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนได้ และระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้อยู่ในช่วง 66.0 – 69.4% ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สภาพด่างทั้งหมดของระบบ แสดงดังตารางที่ 4.23 และที่อัตราภาระสารอินทรีย์ เท่ากับ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97 , 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าสภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ของระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าสภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรด		
	5.97	5.53	5.15
น้ำเสียเข้า	2,689±81	2,130±61	1,800±49
น้ำเสียในถังสร้างกรด	3,341±84	2,838±69	2,405±31
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	4,971±157	4,558±65	4,403±51

จากรูปที่ 4. 12 จะเห็นได้ว่า ค่าสภาพด่างทั้งหมดน้ำเสียขาเข้ามีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการลดค่าพีเอชในถังสร้างกรด เพราะมีการปรับลดปริมาณด่างที่เติมให้กับน้ำเสียเข้า ดังนั้นค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีจึงมีค่าลดลงตามลำดับเช่นกัน

อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ แสดงดังตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.12 แสดงอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้า อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียในถังสร้างกรด และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97 , 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ

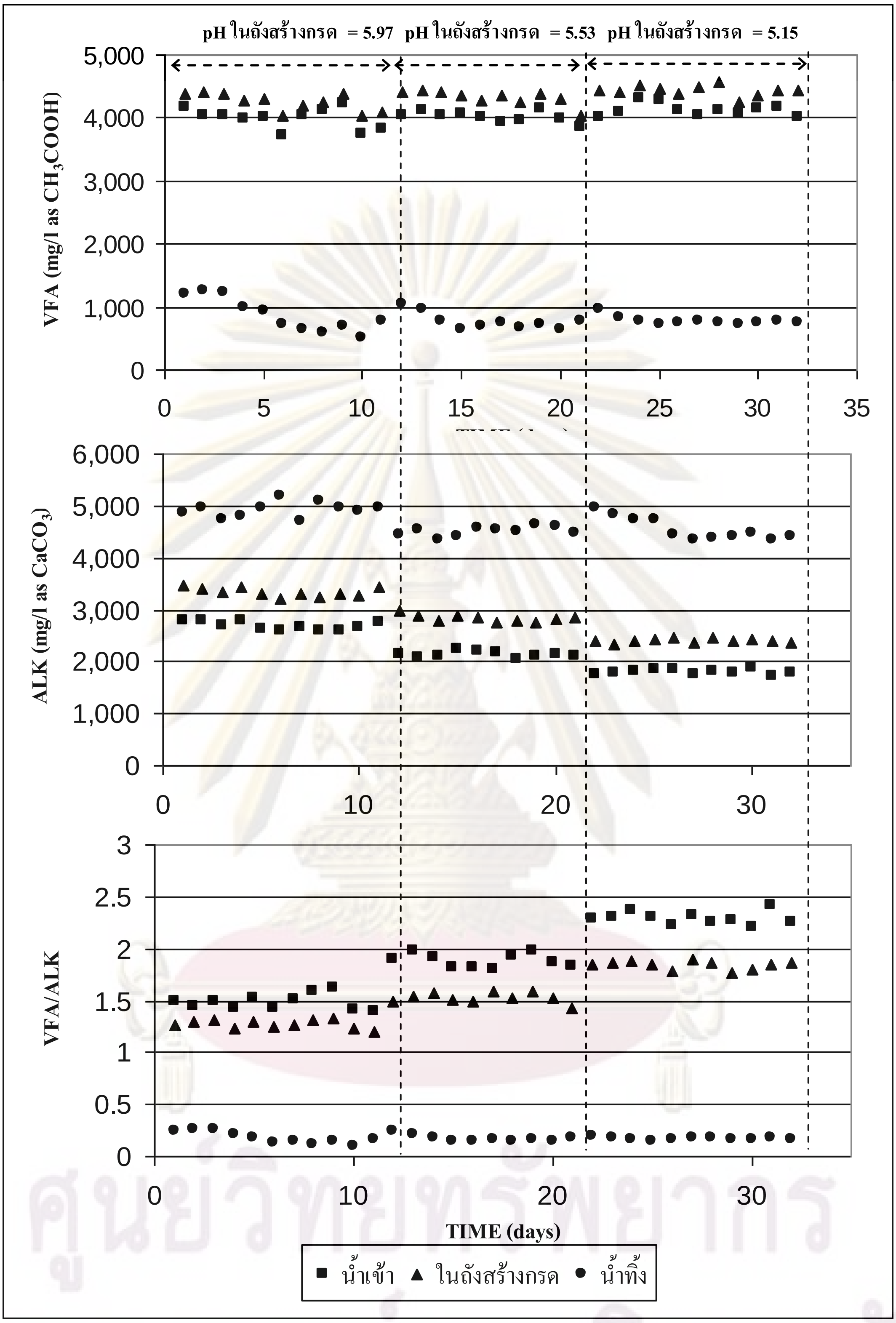
ตารางที่ 4.24 แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรด		
	5.97	5.53	5.15
น้ำเสียเข้า	1.48±0.07	1.88±0.07	2.29±0.06
น้ำเสียในถังสร้างกรด	1.27±0.04	1.52±0.05	1.84±0.04
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	0.18±0.06	0.17±0.03	0.17±0.01

<u>หมายเหตุ</u> อัตราส่วน VFA/ALK = มก. (ในเทอมของกรดอะซิติก) / มก. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต)

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรด 5.97 , 5.53 และ 5.15 มีค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียขาเข้าเท่ากับ 1.48 , 1.88 และ 2.29 ตามลำดับ เนื่องมาจากค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียขาเข้านั้นมีค่าลดลง และทำให้ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียในถังสร้างกรดมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าใกล้เคียงกันมาก แม้มีการลดค่าพีเอชในถังสร้างกรด โดยที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรด 5.97, 5.53 และ 5.15 มีค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีอยู่ในช่วง 0.17 - 0.18 ทั้งนี้เนื่องมากจากค่าปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพด่างทั้งหมดของขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 ค่าพีเอชในถังสร้างกรดนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก กล่าวคือ ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีอยู่ในช่วง 695-751 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) และค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีอยู่ในช่วง 4,403-4,971 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ดังนั้นเมื่อนำมาคิดอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีจึงมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ยังอยู่ในช่วงที่ต่ำ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถลดปริมาณการเติมด่างได้อีกเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 แสดงภาพรวมของค่ากรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนของกรดไขมัน-ระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

4.3.4 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี

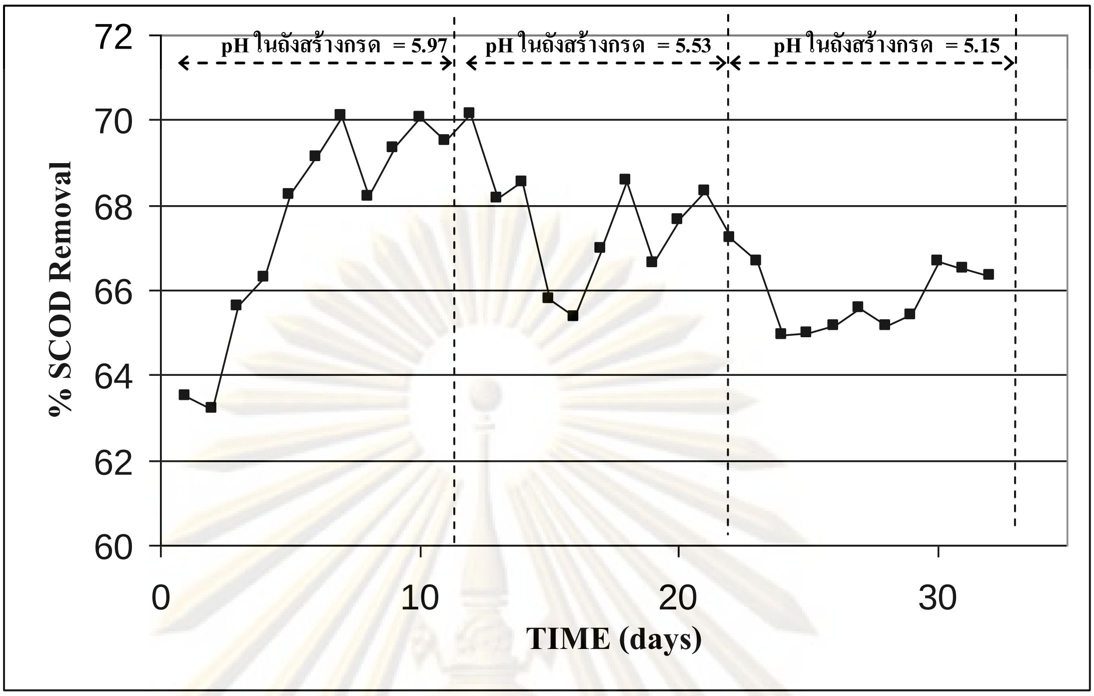
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรด ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้ของถังยูเอเอสบี และประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ แสดงดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 แสดงประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ และประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	ค่าพีเอชในถังสร้างกรด		
	5.97	5.53	5.15
ซีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรด (%)	15.6±3.2	14.5±2.7	16.2±3.5
ซีโอดีละลายได้ของถังยูเอเอสบี (%)	63.7±2.1	62.1±2.5	59.3±2.1
ซีโอดีละลายได้ของระบบ (%)	69.4±0.7	67.6±0.8	66.0±0.7

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถ หรือประสิทธิภาพของระบบได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถทำงานได้ดี ย่อมมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงตามไปด้วย รูปที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97, 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ

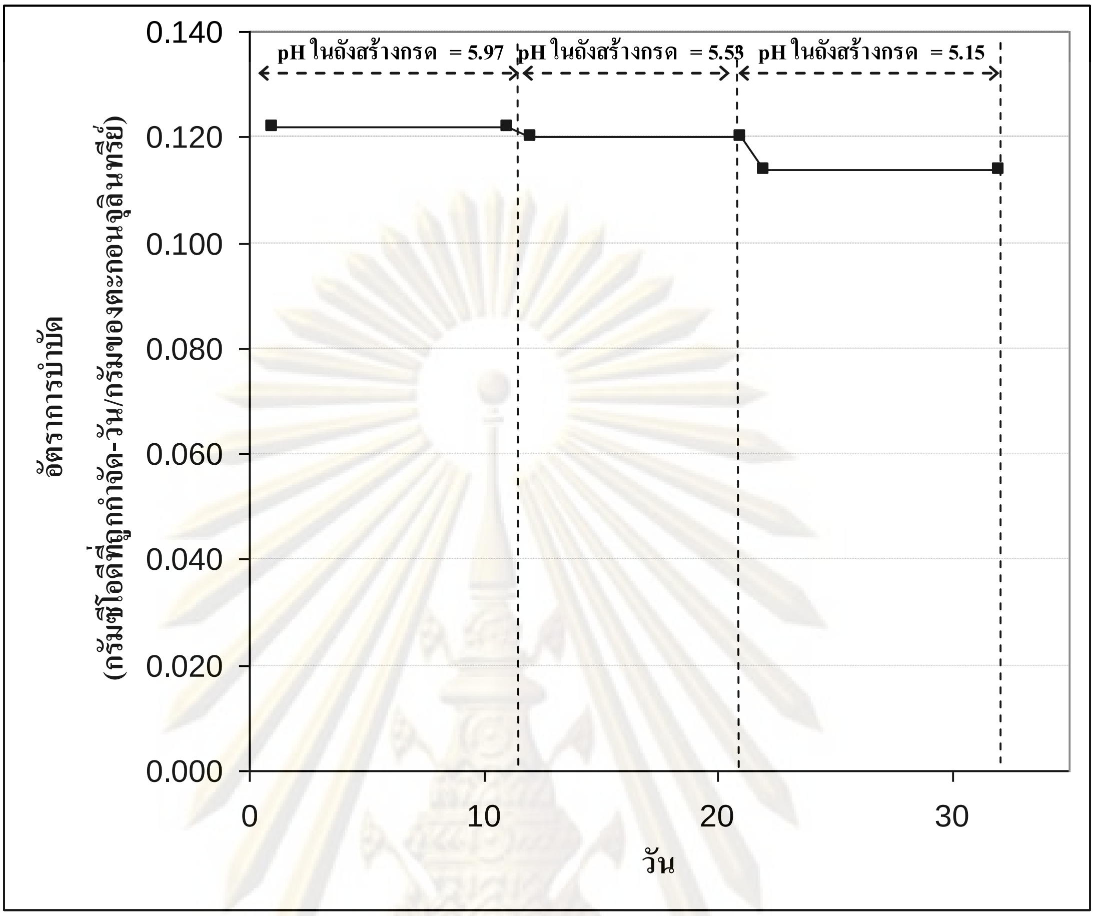
จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบตลอดขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดมีค่าใกล้เคียงกันมากอยู่ในช่วง 66.0 – 69.4 % ซึ่งสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ค่าอัตราส่วนของปริมาณกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ 0.17 - 0.18 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 9.2 – 9.9 ลิตร/วัน และค่าพีเอชในถังยูเอเอสบีอยู่ในช่วง 6.9 – 7.2 ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี



รูปที่ 4.13 แสดงภาพรวมของ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

เมื่อนำค่าตะกอนแขวนลอยในระบบยูเอเอสบี และการกำจัดซีโอดี มาหาความสัมพันธ์เพื่อหาอัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นค่าที่ชี้คุณภาพของจุลินทรีย์ในระบบในการบำบัดน้ำเสียได้ กล่าวคือ อัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ของระบบในการกำจัดซีโอดี ซึ่งจากผลการทดลอง อัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97, 5.53 และ 5.15 มีค่า 0.122 , 0.120 และ 0.114 กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด-วัน/กรัมของตะกอนจุลินทรีย์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งอัตราการบำบัดเป็นอัตราส่วนของกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวันต่อค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยภายในถังยูเอเอสบี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 แสดงค่าอัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

4.3.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ โดยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด แสดงตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.15 แสดงปริมาณก๊าซทั้งหมด และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลง พีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97, 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ

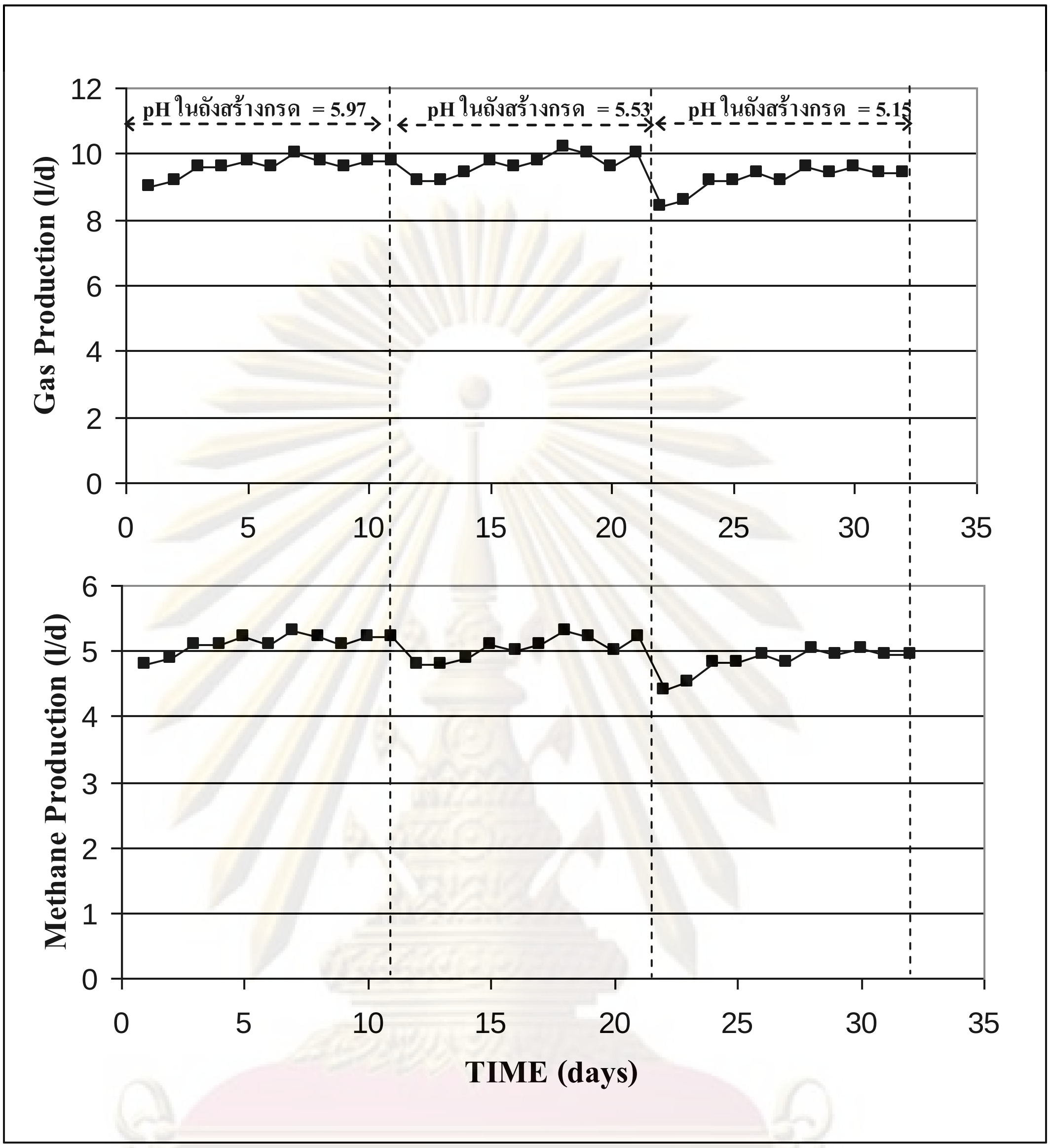
ตารางที่ 4.26 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรด

รายละเอียด	ค่าพีเอชในถังสร้างกรด		
	5.97	5.53	5.15
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	9.6±0.3	9.9±0.2	9.2±0.4
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/วัน)	5.1±0.2	5.0±0.2	4.8±0.2
เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน	53.2	52.1	52.5

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนในแต่ละวันของการทดลอง ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรดนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก กล่าวคือ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรดนั้นมีค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 9.2 – 9.9 ลิตร/วัน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 4.8 – 5.1 ลิตร/วัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรดมีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน คืออยู่ในช่วง 66.0 - 69.6%

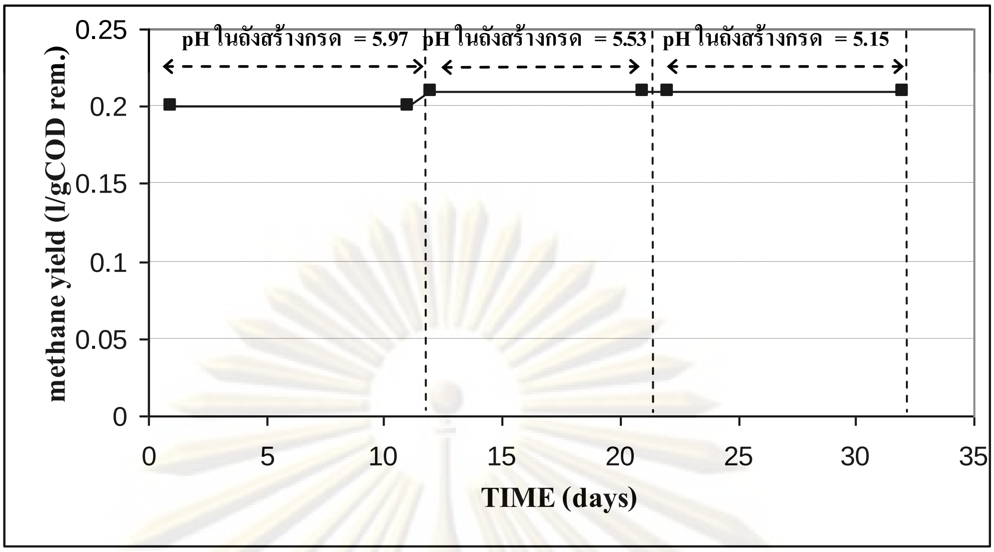
ส่วนอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของการทดลอง ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด แสดงดังรูปที่ 4.16 การทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดให้เท่ากับ 5.97 , 5.53 และ 5.15 มีค่ามีเทนยีลด์เท่ากับ 0.20, 0.21 และ 0.21 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ

จะเห็นว่าตลอดช่วงการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดนั้น มีค่ามีเทนยีลด์ที่ใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากตลอดช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดนั้นมีการอัตราการผลิตก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันมากคือ 4.8 - 5.1 ลิตร/วัน และนอกจากนี้เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ใกล้เคียงกันมากเช่นกัน คือ 66.0-69.6 % ดังนั้นเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ค่าดังกล่าว มาหาความสัมพันธ์ ซึ่งเรียกว่า มีเทนยีลด์นั้นจึงมีค่าที่ได้ใกล้เคียงกันนั่นเอง



รูปที่ 4.15 แสดงภาพรวมการผลิตก๊าซทั้งหมดและก๊าซมีเทนของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

จากตารางที่ 2.1 การคำนวณทางทฤษฎี เมื่อกำหนด เปอร์เซ็นต์มีเทนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ค่า ยีลด์ ประมาณ 0.04 gVSS/gCOD ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใช้ออกแบบระบบบำบัด [Metcalf & Eddy, 2003] แสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ง เมื่อคำนวณต่อไปจะทำให้ได้ค่ามีเทนยีลด์ประมาณ 0.37 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด ดังนั้นค่ามีเทนยีลด์จากการทดลองจึงมีความใกล้เคียงกับค่ามีเทนยีลด์ทางทฤษฎี นอกจากนี้ยังใกล้เคียงกับค่ามีเทนยีลด์จากการใช้ยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งมันสำหลัง ซึ่งมีค่าประมาณ 0.28 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด (เนตรนภา, 2539)



รูปที่ 4.16 แสดงภาพรวมของ มีเทนยีลด์ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

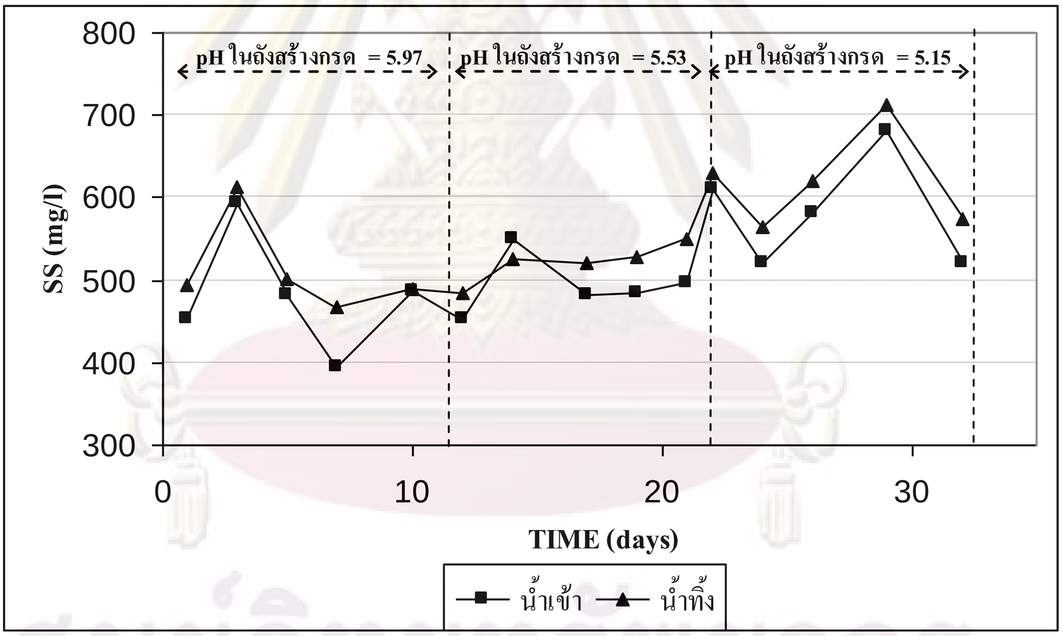
4.3.6 การหลุดออก (wash out) ของตะกอนแขวนลอย

ค่าตะกอนแขวนลอยภายในถังเฉลี่ย ซึ่งเก็บตัวอย่างจากชั้นตะกอนในสามระดับ คือ ที่ระดับความสูงจากก้นถัง 0.15, 0.40 และ 0.65 เมตร ตามลำดับ รวมถึงค่าตะกอนแขวนลอยของ น้ำเสียขาเข้า และค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.97 , 5.53 และ 5.15 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียเข้า ในระบบยูเอเอสบี และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าตะกอนแขวนลอย (มก./ล.) ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรด		
	5.97	5.53	5.15
น้ำเสียขาเข้า	481±72	496±36	582±67
ภายในถังยูเอเอสบี	52,875	53,106	52,520
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	514±57	522±24	620±59

จะเห็นได้ว่า ตะกอนแขวนลอยภายในถังยูเอเอสบีตลอดการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดนั้น มีความใกล้เคียงกันมาก โดยมีตะกอนแขวนลอยภายในถังยูเอเอสบีอยู่ในช่วง 52,520 – 53,106 มก./ล. ซึ่งแสดงถึงปริมาณของจุลินทรีย์ที่ใกล้เคียงกันในระบบตลอดการทดลอง สอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ตลอดการทดลองที่มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 66.0 – 69.4% สาเหตุอาจมาจากปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในระบบยูเอเอสบีตลอดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.97, 5.53 และ 5.15 มีตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียขาเข้า อยู่ในช่วง 481 – 582 มก./ล. ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกัน และตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีเท่ากับ 514 – 620 มก./ล. ทั้งนี้การที่ค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีใน 3 ช่วงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงถึงการหลุดออก (wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบที่ค่อนข้างน้อยตลอดการทดลอง จึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในถังสร้างกรดกับค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าระบบ และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพีเอชในถังสร้างกรด

4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})

จากผลการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด ทำให้ได้ค่าพีเอชในถังสร้างกรดที่ประหยัดการเติมด่างในการเดินระบบที่สุด นั่นคือ ที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.15 คือ มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพียง 1,625 มก./ล. ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบเท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน จึงเลือกใช้ค่าค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.15 ในการทำการทดลองต่อไป คือ การเปลี่ยนแปลง อัตราการเวียนน้ำกลับ ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ชุดการทดลอง คือ 1. ไม่มีการเวียนน้ำกลับ 2. อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับอัตราการสูบน้ำเข้าระบบ 3. อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 2 เท่าของอัตราการสูบน้ำเข้าระบบ 4. อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 เท่าของอัตราการสูบน้ำเข้าระบบ เพื่อการประหยัดการเติมด่างในการเดินระบบโดยที่ระบบยังทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ

ผลการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ ทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง รายละเอียด ผลการทดลองของพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.28 – 4.31

ตาราง 4.28 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และไม่มีอัตราการเวียนน้ำกลับ

ตัวแปรที่วัด		หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช		-	5.06 (0.04)	5.15 (0.05)	7.65 (0.05)
อุณหภูมิ		องศาเซลเซียส	10.5 (0.4)	28.3 (0.5)	28.5 (0.7)
สภาพด่างทั้งหมด		มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	1,800 (49)	-	4,403 (51)
กรดไขมันระเหย		มก./ล. กรดอะซิติก	4,124 (99)	-	751 (13)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด		-	2.3 (0.06)	-	0.17 (0.01)
ซีโอดี	ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	16,293 (126)	-	5,648 (231)
	ซีโอดีละลายได้		13,770 (134)	11,539 (396)	4,697 (202)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้		%		16.2 (3.5)	66.0 (0.7)
ตะกอนแขวนลอย		มก./ล.	582 (67)	-	620 (59)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด		ลิตร/วัน	-	-	9.2 (0.4)
ก๊าซมีเทน		%	-	-	52.5%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน		ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.21
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี		-	-	-	7.02
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ		มก./ล.	-	-	52,520
MLVSS/MLSS		-	-	-	0.82
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ		กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.114

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.29 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1

ตัวแปรที่วัด		หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช		-	4.86 (0.03)	5.17 (0.04)	7.84 (0.02)
อุณหภูมิ		องศาเซลเซียส	10.3 (0.4)	30.1 (0.5)	30.4 (0.4)
สภาพด่างทั้งหมด		มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	1,235 (60)	-	4,070 (51)
กรดไขมันระเหย		มก./ล. กรดอะซิติก	4,238 (89)	-	519 (22)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด		-	3.4 (0.17)	-	0.15 (0.03)
ซีโอดี	ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	16,267 (181)	-	4,828 (122)
	ซีโอดีละลายได้		13,747 (233)	7528 (214)	3,869 (88)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้		%		14.5 (1.6)	71.9 (0.7)
ตะกอนแขวนลอย		มก./ล.	491 (48)	-	635 (37)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด		ลิตร/วัน	-	-	10.1 (0.2)
ก๊าซมีเทน		%	-	-	53.0%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน		ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.21
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี		-	-	-	6.95
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ		มก./ล.	-	-	53,840
MLVSS/MLSS		-	-	-	0.81
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ		กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.119

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.30 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 2

ตัวแปรที่วัด		หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช		-	4.68 (0.05)	5.15 (0.03)	7.95 (0.03)
อุณหภูมิ		องศาเซลเซียส	10.4 (0.3)	30.3 (0.3)	30.4 (0.3)
สภาพด่างทั้งหมด		มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	843 (36)	-	4,240 (42)
กรดไขมันระเหย		มก./ล. กรดอะซิติก	4,245 (66)	-	595 (20)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด		-	5.0 (0.26)	-	0.14 (0.01)
ซีโอดี	ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	16,320 (156)	-	4,855 (152)
	ซีโอดีละลายได้		13,729 (204)	6,636 (304)	4,201 (308)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้		%		10.0 (2.1)	69.6 (1.1)
ตะกอนแขวนลอย		มก./ล.	533 (10)	-	735 (47)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด		ลิตร/วัน	-	-	13.8 (0.2)
ก๊าซมีเทน		%	-	-	52.2%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน		ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.28
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี		-	-	-	7.01
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ		มก./ล.	-	-	53,150
MLVSS/MLSS		-	-	-	0.84
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ		กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.120

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.31 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กกซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3

ตัวแปรที่วัด		หน่วย	น้ำเสียขาเข้า	น้ำภายในถังสร้างกรด	น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
พีเอช		-	4.44 (0.03)	5.27 (0.03)	7.83 (0.07)
อุณหภูมิ		องศาเซลเซียส	10.4 (0.3)	30.4 (0.3)	30.3 (0.3)
สภาพด่างทั้งหมด		มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	556 (35)	-	3,133 (121)
กรดไขมันระเหย		มก./ล. กรดอะซิติก	4,324 (39)	-	624 (18)
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด		-	7.8 (0.44)	-	0.20 (0.01)
ซีโอดี	ซีโอดีทั้งหมด	มก./ล.	16,301 (133)	-	5,759 (157)
	ซีโอดีละลายได้		13,769 (124)	6,477 (385)	4,694 (126)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้		%		7.0 (3.3)	65.8 (0.7)
ตะกอนแขวนลอย		มก./ล.	551 (32)	-	810 (14)
ปริมาณก๊าซทั้งหมด		ลิตร/วัน	-	-	11.6 (0.2)
ก๊าซมีเทน		%	-	-	51.1%
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน		ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	-	0.24
พีเอชเฉลี่ยในถังยูเอเอสบี		-	-	-	6.90
ความเข้มข้นเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ		มก./ล.	-	-	52,740
MLVSS/MLSS		-	-	-	0.80
อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ		กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์	-	-	0.118

ค่าที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.1 พีเอชของระบบ

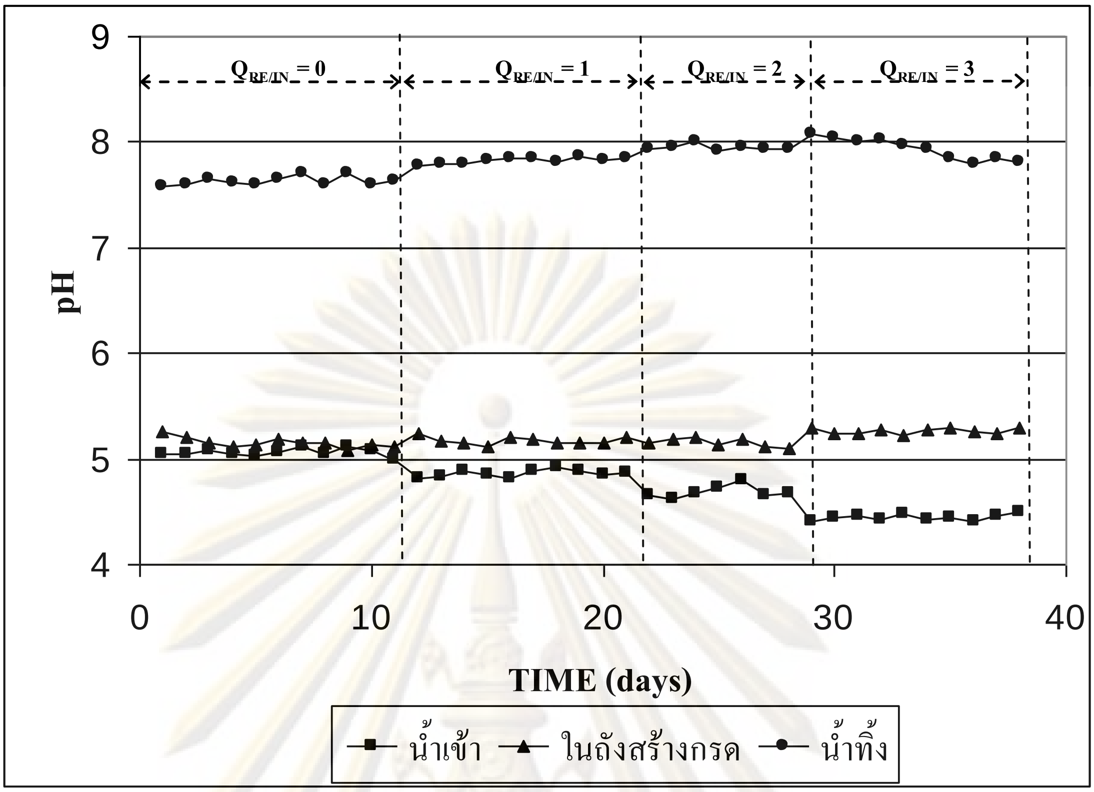
น้ำเสียเข้าสู่ถังสร้างกรดนั้น ได้ถูกปรับให้มีค่าพีเอชสูงขึ้น โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งตารางที่ 4.32 จะแสดงค่าพีเอชของ น้ำเสียเข้า ค่าพีเอชในถังสร้างกรด และค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าพีเอชของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพีเอชของระบบ ที่อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})			
	0	1	2	3
น้ำเสียเข้า	5.06±0.04	4.86±0.03	4.68±0.05	4.44±0.03
ในถังสร้างกรด	5.15±0.05	5.17±0.04	5.15±0.03	5.27±0.03
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	7.65±0.05	7.84±0.02	7.95±0.03	7.83±0.07

ผลการทดลองพบว่า พีเอชของน้ำเสียเข้ามีค่าลดลงตามลำดับ เพราะการลดปริมาณการเติมด่างให้กับน้ำเสียเข้า เนื่องจากการเวียนน้ำกลับเป็นการเพิ่มสภาพด่างให้กับระบบ ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรก คือช่วงที่ไม่มีการเวียนน้ำกลับ จะมีค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีประมาณ 7.65 และช่วงที่สอง คือช่วงที่มีอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1 - 3 มีค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีประมาณ 7.90 จะเห็นได้ว่าช่วงที่มีการเวียนน้ำกลับจะมีค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีที่สูงกว่าช่วงที่ไม่มีการเวียนน้ำกลับ เนื่องจากการเวียนน้ำกลับเป็นการเพิ่มสภาพด่างให้กับระบบ เนื่องจากน้ำทิ้งที่เวียนกลับมามีค่าสภาพด่างทั้งหมดสูงถึง 3,000 – 4,000 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) จึงทำให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีสูงขึ้นเมื่อมีการเวียนน้ำกลับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 แสดงภาพรวมของค่าพีเอชในระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

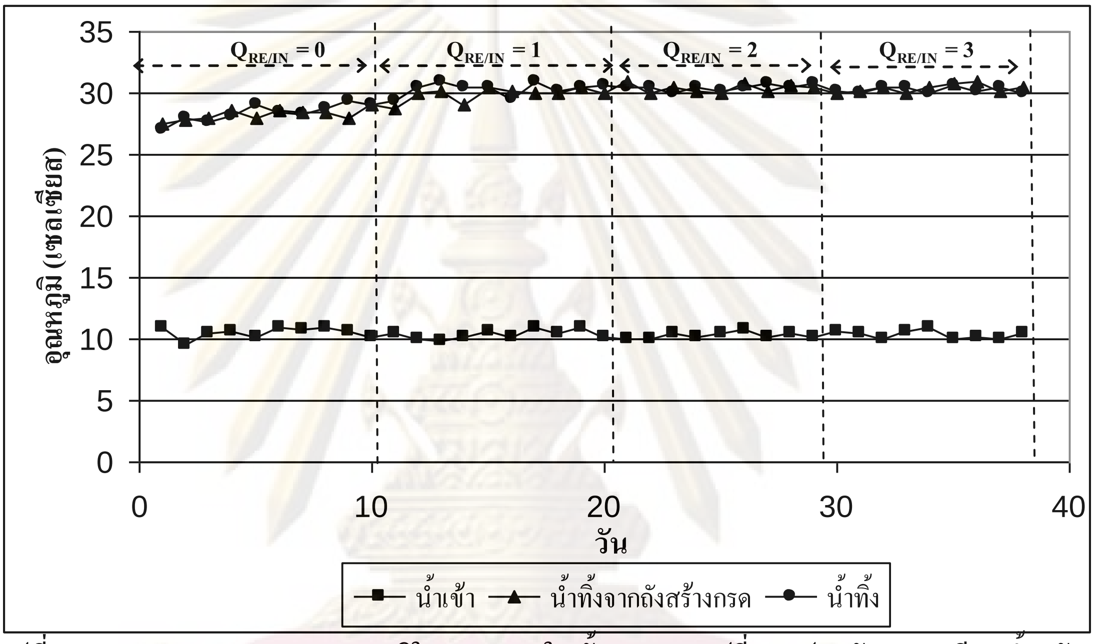
4.4.2 อุณหภูมิของระบบ

ผลการทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า น้ำทิ้งจากถังสร้างกรด และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}) เท่ากับ 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 แสดงค่าอุณหภูมิของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (ºC) ที่อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})			
	0	1	2	3
น้ำเสียเข้า	10.5±0.04	10.3±0.04	10.4±0.03	10.4±0.03
น้ำทิ้งจากถังสร้างกรด	28.2±0.06	30.1±0.03	30.2±0.04	30.4±0.05
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	28.5±0.07	30.4±0.04	30.4±0.03	30.3±0.03

จากผลการทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าอยู่ในช่วง 10.3 – 10.5 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากการเก็บน้ำเสียไว้ในตู้เย็นตลอดเวลา ก่อนที่จะสูบเข้าสู่ระบบ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี อยู่ในช่วง 28.5 – 30.4 องศาเซลเซียส เนื่องจากทำการทดลองในช่วงเดือนกรกฎาคม – เดือนสิงหาคม ซึ่งตรงกับช่วงฤดูฝนตลอดช่วงการทดลอง และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของของระบบ พบว่าไม่ได้มีผลกับประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ เนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ตลอดการทดลองในการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก คืออยู่ในช่วง 65.8 – 71.9%



รูปที่ 4.19 แสดงภาพรวมของอุณหภูมิในระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

4. 4.3 กรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ

การทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ ได้เพิ่มกำลังบัฟเฟอร์และสภาพด่างให้ระบบ โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ในน้ำเสียเข้า ซึ่งตารางที่ 4.34 แสดงค่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียเข้า

ตารางที่ 4.34 แสดงค่าปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (มก./ล.) ที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย

สารเคมี	อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})			
	0	1	2	3
โซเดียมไบคาร์บอเนต (มก/ล.)	1,625	813	188	0

ผลการทดลอง พบว่า การที่ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน มีการเวียนน้ำทิ้งกลับมายังถังสร้างกรด ทำให้ปริมาณการเติมด่างที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียลดลงอย่างมาก เนื่องจากการเวียนน้ำกลับ เป็นการเพิ่มสภาพด่างให้กับระบบ

ตารางที่ 4.35 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้า และปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}) เท่ากับ 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.35 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ของระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ที่อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})			
	0	1	2	3
น้ำเสียเข้า	4,124±99	4,238±89	4,245±66	4,324±39
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	751±13	519±22	595±20	624±18

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้ามีปริมาณค่อนข้างคงที่ อยู่ในช่วง 4,124 - 4 ,324 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีในช่วงที่ไม่มีการเวียนน้ำกลับนั้นจะมีค่าสูงกว่าในช่วงที่มีการเวียนน้ำกลับ กล่าวคือ เมื่อไม่มีการเวียนน้ำกลับ ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าประมาณ 751 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) แต่เมื่อมีการเวียนน้ำกลับด้วยอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}) เท่ากับ 1 – 3 ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าลดลงเหลือเพียง 519 – 624 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) แสดงดังรูปที่ 4.20 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเวียนน้ำกลับถือเป็นการ เจือจางความเข้มข้นของน้ำเสีย ซึ่งมีผลทำให้ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของระบบถูกเจือจางไปด้วย แต่ทั้งนี้ปริมาณกรดไขมันระเหยของระบบยังอยู่ในระดับต่ำ จึงไม่เป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีละลายได้ที่อยู่ในช่วง 65.8 – 71.2% ซึ่งถือว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 4.36 แสดงค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}) เท่ากับ 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.36 แสดงค่าสภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ของระบบในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าสภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ที่อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})			
	0	1	2	3
น้ำเสียเข้า	1,800±49	1,235±60	843±36	556±35
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	4,403±51	4,070±51	4,240±42	3,133±121

ค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าจึงมีค่าลดลงเรื่อยๆ เนื่องมาจากการลดปริมาณการเติมด่างในน้ำเสียเข้า ค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 0 – 2 นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 4,070 – 4,403 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) แม้ว่าค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียขาเข้าที่อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 0 – 2 จะมีค่าต่างกัน เนื่องมาจาก อัตราการเวียนน้ำกลับ เป็นการเพิ่มสภาพด่างให้ระบบได้ ซึ่งถือเป็นการทดแทนการเติมสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียขาเข้าได้ แต่ที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 สภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีจึงได้ลดลงอย่างมากจนเหลือ 3,133 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) แสดงดังรูปที่ 4.20 เนื่องมาจาก การเวียนน้ำกลับด้วยอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 เป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบมากเกินไป ระบบจึงต้องสูญเสียสภาพด่างบางส่วนไปในการสะเทินกรดไขมันระเหยที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อการรักษาสมดุลของระบบไว้

ตารางที่ 4.37 แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}) เท่ากับ 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

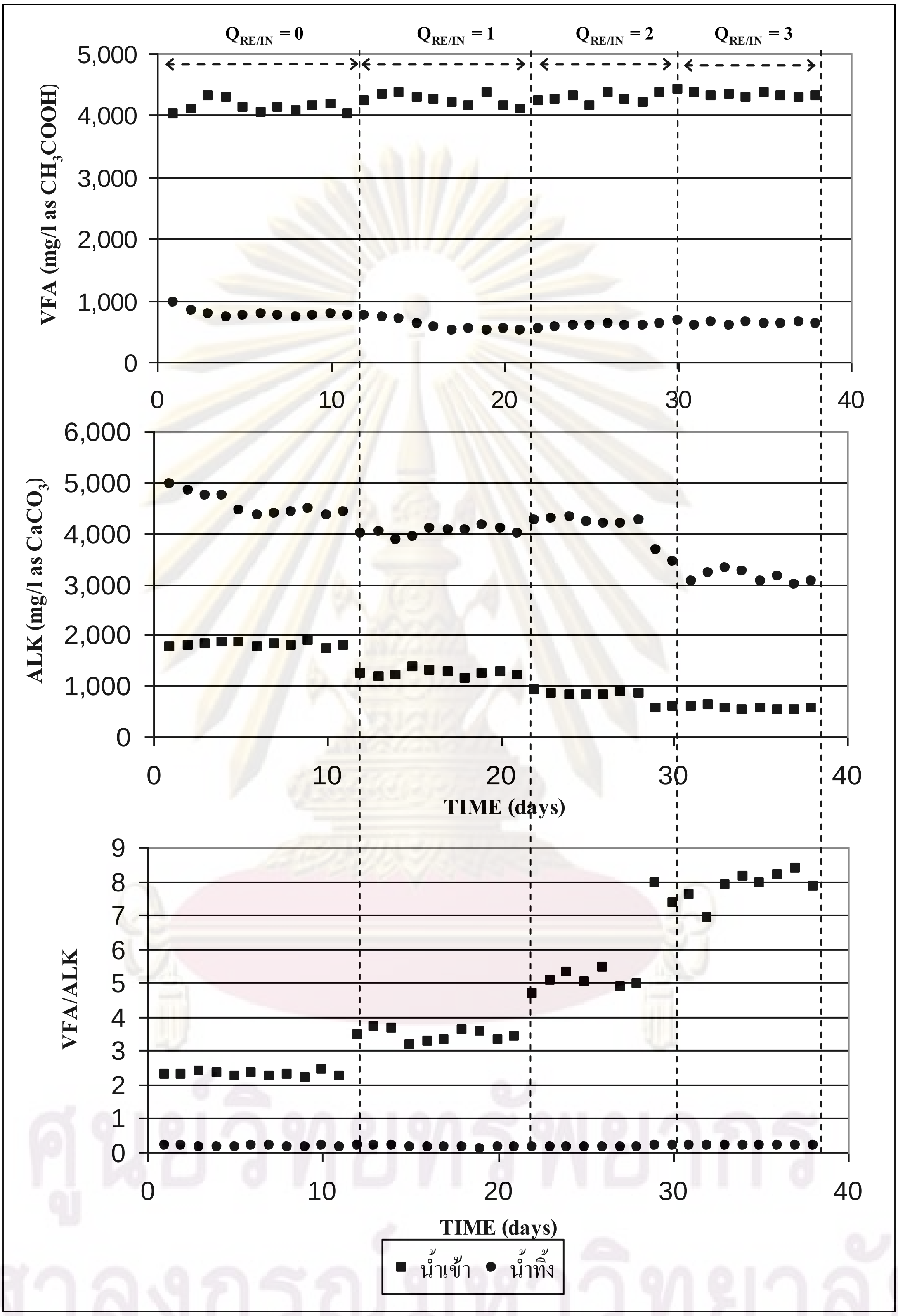
ตารางที่ 4.37 แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ
ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

จุดเก็บตัวอย่าง	อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ที่อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})			
	0	1	2	3
น้ำเสียเข้า	2.3±0.06	3.4±0.17	5.0±0.26	7.8±0.44
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	0.17±0.01	0.15±0.03	0.14±0.01	0.20±0.01

หมายเหตุ อัตราส่วน VFA/ALK = มก. (ในเทอมของกรดอะซิติก) / มก. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต)

ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อมีการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับ โดยที่ค่าอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 0 , 1, 2 และ 3 มีค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าเท่ากับ 2.6 , 3.4 , 5.0 และ 7.8 ตามลำดับ เพราะค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าลดลงจากการลดปริมาณการเติมด่างในการเตรียมน้ำเสียเข้า ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.14 - 0.20 แม้มีการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับ ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพด่างทั้งหมดของขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 ค่าพีเอชในถังสร้างกรดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีอยู่ในช่วง 519 - 751 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) และค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีอยู่ในช่วง 3,133 – 4,403 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ดังนั้นเมื่อนำมาคิดอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีจึงมีค่าใกล้เคียงกันแสดงดังรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าซึ่งค่าอัตราส่วนดังกล่าว มีค่าต่ำกว่า 0.4 แสดงถึงระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.20 แสดงภาพรวมของค่ากรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนของกรดไขมัน-ระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

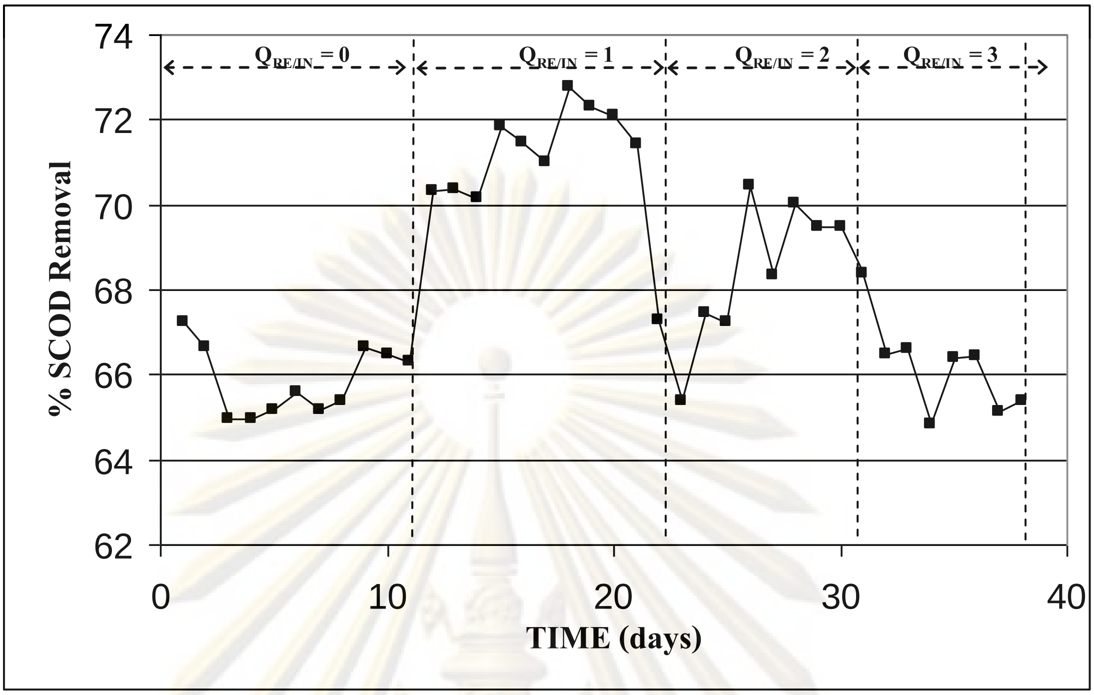
4. 4.4 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรด ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้ของถังยูเอเอสบี และประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ แสดงดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 แสดงประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ และประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรด ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

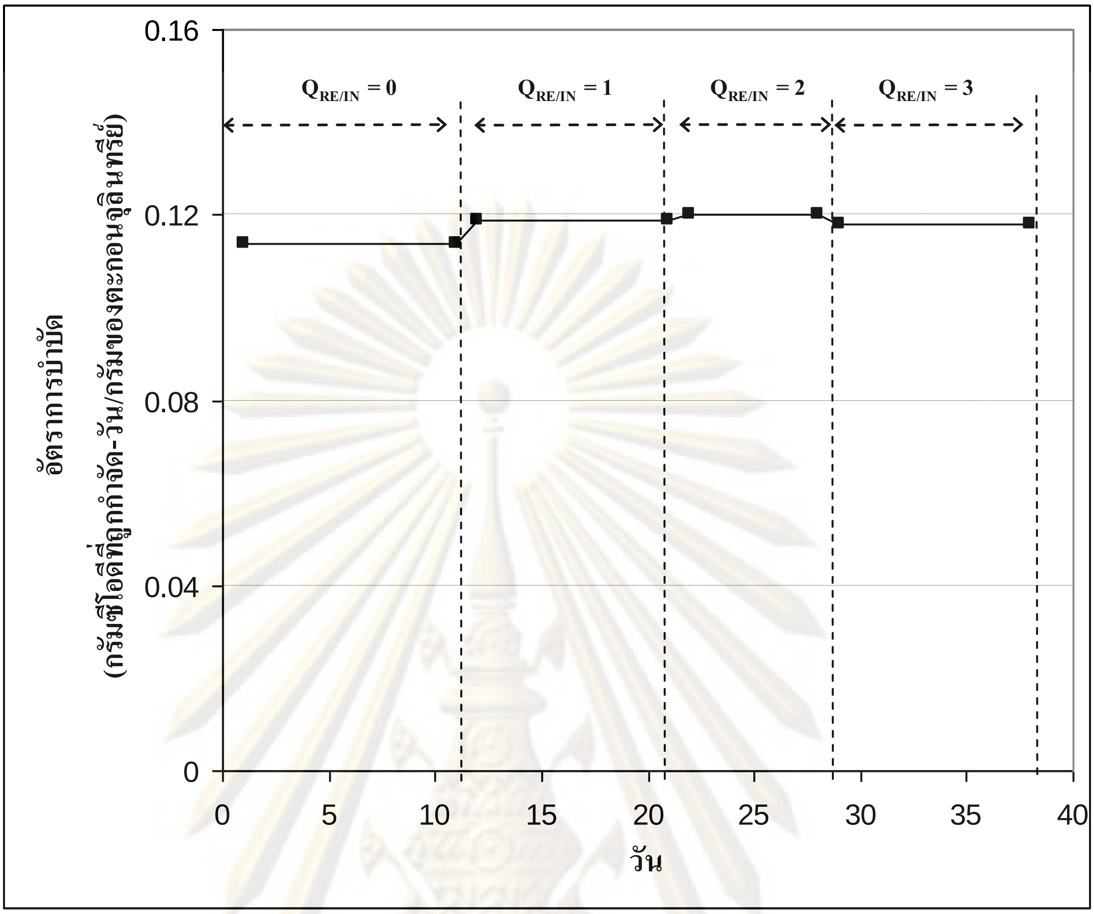
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})			
	0	1	2	3
ซีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรด (%)	16.2±3.5	14.5±1.6	10.0±2.1	7.0±3.3
ซีโอดีละลายได้ของถังยูเอเอสบี (%)	59.3±2.1	48.6±2.0	36.7±1.5	27.5±2.6
ซีโอดีละลายได้ของระบบ (%)	66.0±0.7	71.9±0.7	69.6±1.1	65.8±0.7

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับ กล่าวคือ เมื่อไม่มีอัตราการเวียนน้ำกลับ เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบมีค่าเท่ากับ 66.0 % และเมื่อมีอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบมีค่าประมาณ 69.6 - 71.9 % ทั้งนี้เนื่องมาจากการเวียนน้ำกลับถือเป็นการเจือจางความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบกลับลดลงเหลือเพียง 65.8% เนื่องจากที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 เท่าของอัตราการสูบน้ำเข้าระบบนั้น ระยะเวลากักน้ำของระบบยูเอเอสบีจะสั้นลงมาก โดยคิดเป็น 1/4 เท่าของระยะเวลากักน้ำเมื่อไม่มีการเวียนน้ำกลับ ซึ่งอาจจะส่งผลเสียต่อระบบ เนื่องจากจะหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและซีโอดีที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำทิ้งกลับมาใหม่เป็นการเพิ่มภาระให้ระบบอีก [Romli et al., 1994]



รูปที่ 4.21 แสดงภาพรวมของ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

อัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ของระบบในการกำจัดซีโอดี ซึ่งจากผลการทดลอง อัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 0 , 1, 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่า 0.114 , 0.119 , 0.120 และ 0.118 กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด-วัน/กรัมของตะกอนจุลินทรีย์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.22 ซึ่งอัตราการบำบัดเป็นอัตราส่วนของกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวันต่อค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยภายในถังยูเอเอสบี โดยจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ ตลอดการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก คืออยู่ในช่วง 0.114 – 0.120 กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด-วัน/กรัมของตะกอนจุลินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องมาจาก การเวียนน้ำกลับอาจไม่ส่งผลมากนักต่ออัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ในระบบ



รูปที่ 4.22 แสดงค่าอัตราการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

4.4.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

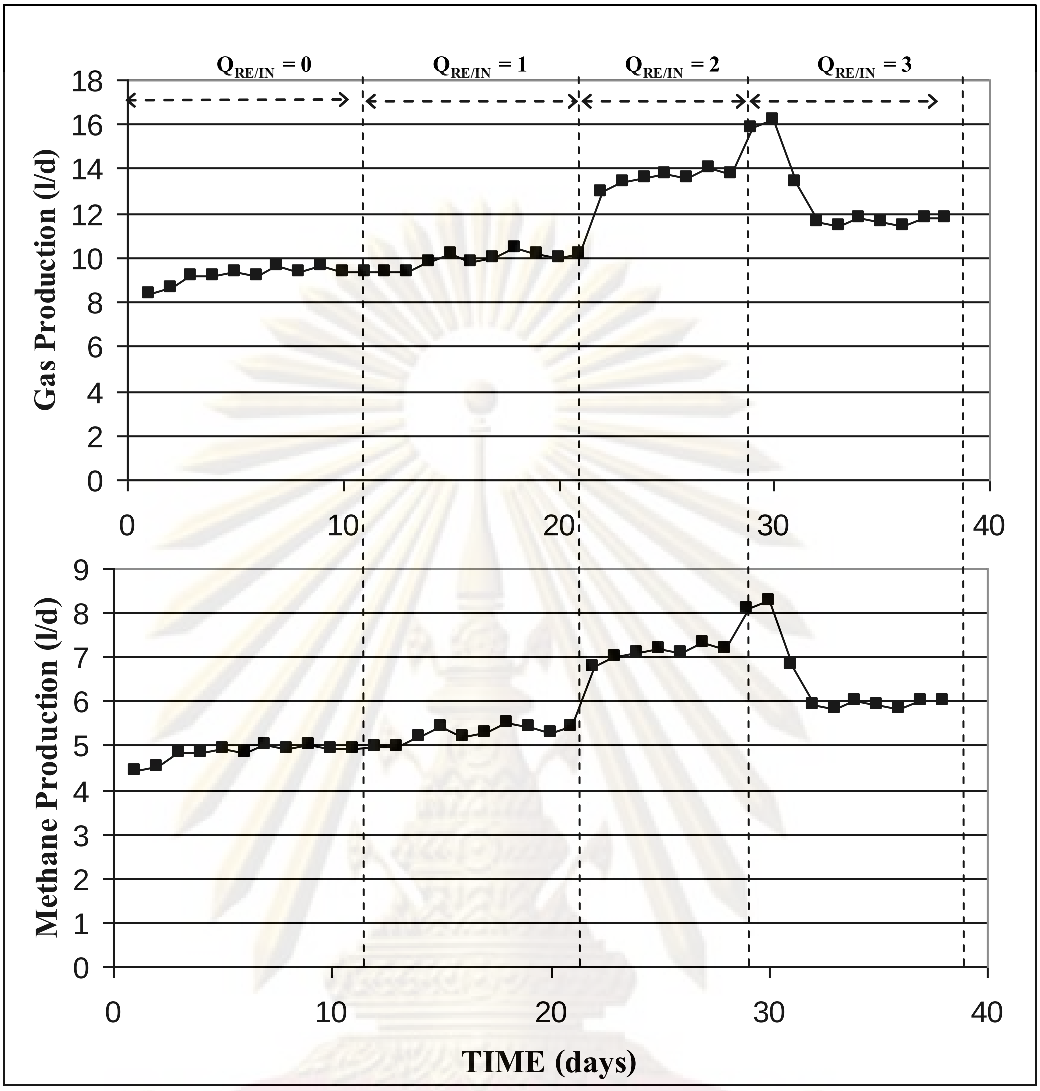
ตารางที่ 4.39 แสดงปริมาณก๊าซทั้งหมด และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}) เท่ากับ 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.39 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

รายละเอียด	อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})			
	0	1	2	3
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	9.2±0.4	10.1±0.2	13.8±0.2	11.6±0.2
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/วัน)	4.8±0.2	5.3±0.2	7.2±0.1	5.9±0.1
เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน	52.5	53.0	52.2	51.1

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนในแต่ละวันของการทดลอง ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับนั้นมีค่าค่อนข้างเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ เมื่อไม่มีการเวียนน้ำกลับนั้น อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าประมาณ 9.2 ลิตร/วัน แต่เมื่อเริ่มมีการเวียนน้ำกลับด้วยอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1 ค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 10.1 ลิตร/วัน และเมื่อมีการเวียนน้ำกลับด้วยอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 2 ค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 13.8 ลิตร/วัน เนื่องจากการเวียนน้ำกลับเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบมากขึ้น ทำให้จุลินทรีย์มีการบำบัดน้ำเสียต่อวันเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดมากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่ออัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 จะเห็นได้ว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้ลดลงเหลือเพียง 11.6 ลิตร/วัน แม้เป็นการเพิ่มภาระกับระบบก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับที่มากเกิน 2 เท่าของอัตราการสูบน้ำเข้าระบบ จะเริ่มส่งผลเสียต่อระบบ เนื่องจากจะหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและซีโอดีที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำทิ้งกลับมาใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ ที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 มีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบลดเหลือเพียง 65.8 % ซึ่งลดลงจากที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 2 ประมาณ 6%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



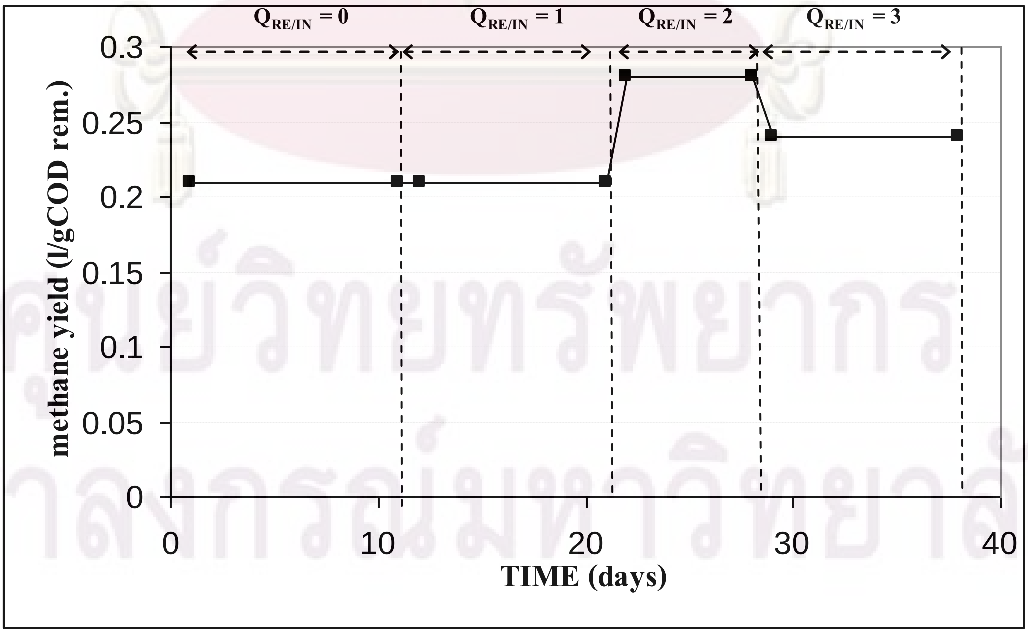
รูปที่ 4. 23 แสดงภาพรวมการผลิตก๊าซทั้งหมดและก๊าซมีเทนของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

ส่วนอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของการทดลอง ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ แสดงดังรูปที่ 4.24 การทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 0 , 1, 2 และ 3 มีค่ามีเทนยีลด์เท่ากับ 0.2 1, 0.21, 0.28 และ 0.24 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเห็นว่าตลอดช่วงการทดลองในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเวียนน้ำกลับ มีค่ามีเทนยีลด์ที่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย โดยเมื่อไม่มีการเวียนน้ำกลับ และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1 มีค่ามีเทนยีลด์เท่ากับ 0.21 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด แต่เมื่อมีการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับเป็น 2 ระบบมีค่ามีเทนยีลด์สูงขึ้นเป็น 0.28 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด สอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 2 มีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดเท่ากับ 7.2 ลิตร/วัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับเป็น 3 ค่ามีเทนยีลด์ลดลงเหลือ 0.24 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด เนื่องจากอัตราผลิตก๊าซมีเทนที่ลดลงเหลือเพียง 5.9 ลิตร/วัน อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ ที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 มีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ของระบบลดเหลือเพียง 65.8 % ซึ่งลดลงจากที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 2 ประมาณ 6% จึงส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนและค่ามีเทนยีลด์ลดลงดังกล่าว

จากตารางที่ 2.1 การคำนวณทางทฤษฎี เมื่อกำหนด เปอร์เซ็นต์มีเทนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ค่า ยีลด์ ประมาณ 0.04 gVSS/gCOD ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใช้ออกแบบระบบบำบัด [Metcalf & Eddy, 2003] แสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ง เมื่อคำนวณต่อไปจะทำให้ได้ค่ามีเทนยีลด์ประมาณ 0.37 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด ดังนั้นค่ามีเทนยีลด์จากการทดลองจึงมีความใกล้เคียงกับค่ามีเทนยีลด์ทางทฤษฎี นอกจากนี้ยังใกล้เคียงกับค่ามีเทนยีลด์จากการใช้ยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งมันสำหลัง ซึ่งมีค่าประมาณ 0.28 ลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด (เนตรนภา, 2539)



รูปที่ 4.24 แสดงภาพรวมของ มีเทนยีลด์ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

4. 4.6 การหลุดออก (wash out) ของตะกอนแขวนลอย

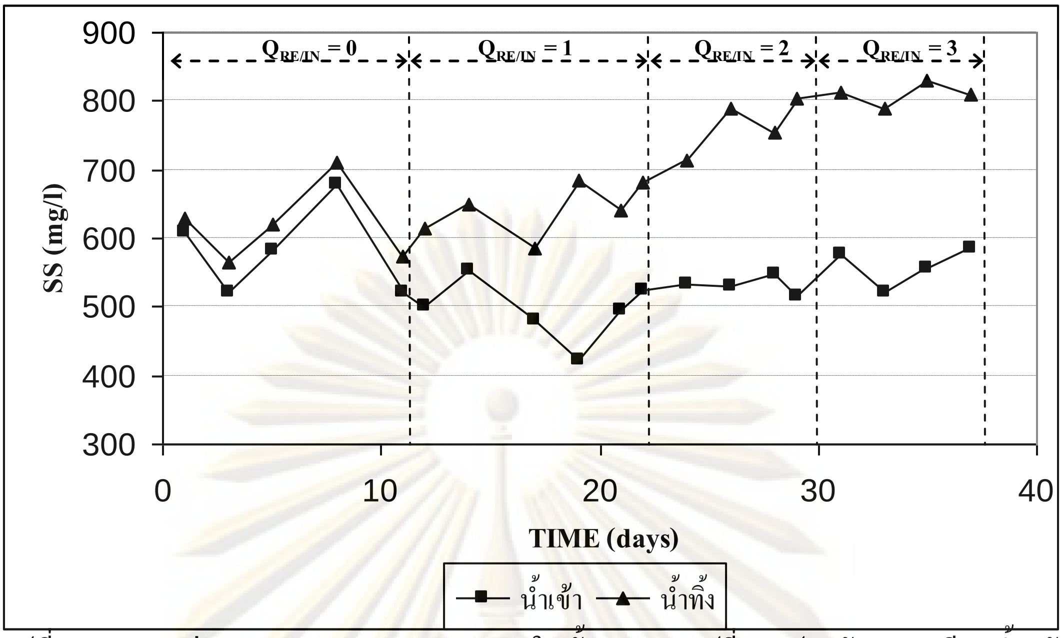
ค่าตะกอนแขวนลอยภายในถังเฉลี่ย ซึ่งเก็บตัวอย่างจากชั้นตะกอนในสามระดับ คือ ที่ระดับความสูงจากก้นถัง 0.15, 0.40 และ 0.65 เมตร ตามลำดับ รวมถึงค่าตะกอนแขวนลอยของ น้ำเสียเข้า และค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}) เท่ากับ 0 , 1, 2 และ 3 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.40 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียเข้า ในระบบยูเอเอสบี และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าตะกอนแขวนลอย (มก./ล.) ที่อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})			
	0	1	2	3
น้ำเสียเข้า	582±67	491±48	533±10	551±32
ภายในถังยูเอเอสบี	52,520	53,840	53,150	52,740
น้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี	620±59	635±37	735±47	810±14

จากผลการทดลอง ตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียขาเข้า อยู่ในช่วง 491 – 582 มก./ล. ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากการเตรียมน้ำเสียเหมือนกัน ตะกอนแขวนลอยภายในถังยูเอเอสบีใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 52 ,520 – 53 ,840 มก./ล. เนื่องจากเป็นการทดลองในช่วงระยะเวลาที่ไม่ยาวนานมากนัก ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบจึงมีปริมาณค่อนข้างคงที่ สอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีละลายได้ที่มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 65.8 – 71.9% ซึ่งปัจจัยอาจมาจากปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในระบบยูเอเบีตลอดการทดลอง ค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับ แสดงดังรูปที่ 4.25 แต่ในภาพรวมก็มีปริมาณไม่มากนัก โดยอยู่ในช่วง 620 – 810 มก./ล. แสดงถึงการหลุดออก (wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบที่ค่อนข้างน้อยตลอดการทดลอง ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.25 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยของระบบ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สามารถใช้ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน ในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 - 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถลดค่าซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 57.5 - 58.1 และมีอัตราการบำบัดจำเพาะ 0.066 – 0.129 กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด-วัน/กรัมของตะกอนจุลินทรีย์

2. การใช้ระบบ ยูเอเอสบีสองขั้นตอน ในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องการสะสมของกรดไขมันระเหยและการหลุดและแตกออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าสูงเกินไป กล่าวคือ ระบบจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจนถึงอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ระบบมีค่ากรดไขมันระเหยในระดับที่ยังไม่ส่งผลต่อระบบ โดยมีปริมาณกรดไขมันระเหย 1,866 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) และ ตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งเท่ากับ 575 มก./ล. จากนั้นระบบมีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น

3. ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีสภาวะล้มเหลว ไม่สามารถลดค่าซีโอดีได้เลย มีการสะสมของปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบยูเอเอสบีสูงถึง 5,155 มก./ล.(ในเทอมของกรดอะซิติก) ซึ่งเป็นสภาวะที่ยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย และค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งมีค่าสูงถึง 2,950 มก./ล. ซึ่งหมายถึง ที่อัตราภาระสารอินทรีย์นี้ เม็ดตะกอนเริ่มมีการแตกออกและหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ทำให้ระบบล้มเหลว

4. การลดค่าพีเอชจากค่าพีเอชประมาณ 6 ถึง 5 ในถังสร้างกรด ไม่ส่งผลมากนักกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เนื่องจากตลอดขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรดนั้น มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ใกล้เคียงกันมาก คืออยู่ในช่วง 66.0 - 69.4%

การลดค่าพีเอชในถังสร้างกรด เป็นแนวทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอนจากการผลิตเอทานอลได้ กล่าวคือ เมื่ออัตราการไหลคงที่เท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.15 มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพียง 1,625 มก. /ล. หรือ คิดเป็นอัตราส่วนของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อความเข้มข้นของซีโอดีเท่ากับ 1 : 10 ซึ่งลดลง 50 % จากที่ค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.97 ที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตถึง 3,250 มก./ล.

5. การเวียนน้ำกลับมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี กล่าวคือ เมื่อระบบมีอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN}) เท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจากการเดินระบบแบบไม่มีการเวียนน้ำกลับประมาณ 6 % เนื่องจากมีการเจือจางกรดไขมันระเหยชนิดต่างๆ ก่อนเข้าระบบยูเอเอสบี ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น แต่หลังจากนั้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการเวียนน้ำกลับจนมากกว่า 1 ระบบมีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง เนื่องจากการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับ ทำให้เวลากักน้ำในถังยูเอเอสบีลดลง และมีการหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและซีโอดีที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำทิ้งกลับมาใหม่ เป็นการเพิ่มภาระให้ระบบ เนื่องจากน้ำทิ้งที่เวียนกลับมามีค่าซีโอดีค่อนข้างสูง คือประมาณ 5,000 มก/ล

การเวียนน้ำกลับ เป็นแนวทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอนจากการผลิตเอทานอลได้ กล่าวคือ การเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับทำให้มีการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณที่น้อยลงเรื่อยๆ และที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3 อัตราการไหลคงที่เท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพีเอชในถังสร้างกรดมีค่าประมาณ 5.2 สามารถเดินระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน โดยที่ค่าพีเอชในถังยูเอเอสบีมีค่าประมาณ 6.9 โดยไม่ต้องมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต

7. ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตลอดการทดลอง ประกอบด้วยก๊าซมีเทนมีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณร้อยละ 50 และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.21-0.31 ลิตร/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ดังนั้นค่ามีเทนยีลด์จากการทดลองจึงมีความใกล้เคียงกับค่ามีเทนยีลด์ทางทฤษฎีที่มีค่าประมาณ 0.37 ลิตร/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียเข้าต่อระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่ โดยการเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียเข้าจนถึง ประมาณ 100,000 มก/ล. ที่เวลากักน้ำต่างกัน

2. ศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางเคมี ของเม็ดจุลินทรีย์ เช่น ความหนาแน่น ความเร็วในการจมตัวของเม็ดจุลินทรีย์ ส่วนประกอบของเม็ดจุลินทรีย์ เป็นต้น รวมทั้งทางด้านชีวภาพด้วย

3. ศึกษาผลของสารพิษ (Toxic) ในน้ำเสียที่มีผลยับยั้งต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี เช่น ซัลเฟต โปแตสเซียม เป็นต้น

4. ศึกษาระยะเวลากักน้ำในถังสร้างกรดที่ที่มีผลต่อการทำงาน โดยรวมของระบบ

5. ศึกษาการเริ่มเดินระบบอีกครั้งหลังจากหยุดการทำงานของระบบเป็นเวลาหลายเดือน

6. ศึกษาผลของของแข็งละลายน้ำ ในน้ำเสียที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี

7. ศึกษาผลของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วงเวลา

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จีรพงษ์ อินทร์จอหอ. 2537. การทดสอบความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสบีขนาดใหญ่ช่วงเริ่มต้นระบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชำนาญ กายประสิทธิ์. 2538. การใช้ยูเอเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธารา ฉัตรธานี. 2530. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนอิสระแบบ 2 ขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เนตรนภา ศรุตวราพงศ์. 2539. การใช้ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีถังสร้างกรดสำหรับบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์แป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พีรพงษ์ ทิพยาทร. 2529. การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศักดิ์ชัย สุริจันทราทอง และ อุดร จารุรัตน์. 2542. วิศวกรรมการประปาและการจัดการน้ำเสีย เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.

ศักดิ์ชัย โอภาสวัตชัย. 2526. การย่อยสลาย และการผลิตก๊าซชีวภาพของขยะแบบไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรีย ชนิดชอบความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรพล สายพานิช. 2540. การศึกษากระบวนการคอนแทกส์สเตบิไลเซชันไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์. โครงการวิจัย เลขที่ 31G – SAN – 2530. งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2530, สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Alxiou, I.E., Anderson, G.K., and Evision, L.M. 1994. Design of Pre-Acidification Reactors for the Anaerobic Treatment of Industrial Wastewaters. Wat.Sci.Tech. 29: 199-204.

American Water Works Association. 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 15th ed. Missouri: Byrd PrePress

Arcand, Y. 1989. Effect of Hydraulic Regime on the Granule size and Activity Distribution in an Upflow Anaerobic Reactor. Proceeding of the 21th Mid – Atlantic Industrial Water Conference. Harrisburg, PA, USA.

Ayoob, T., Eqbali, A., and Hashemian, S.J. 2003. The effect of organic loading rate on the Performance of UASB reactor treating slaughterhouse effluent. Resources, Conservation and Recycling. 40: 1-11.

Bull, M.A., Sterritt, R.M., and Lester, J.N. 1984. An Evaluation of Single and Separated-Phase Anaerobic Industrial Wastewater Treatment in Fluidized Bed Reactors. Biotech.&Bioeng. 26: 1054-1065.

Bouallagui, H., et al. 2004. Two-phases anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: bioreactors performance. Biochemical Engineering Journal. 21: 193-197.

Campos, C.M.M., and Anderson, G.K. 1992. The Effect of the Liquid Upflow Velocity and the Substrate Concentration on the Start-up and Steady-state Periods of Lab- scale UASB Reactors. The Sixth International Symposium on Anaerobic Digestion. Sao Paulo, Brazil: 33-42.

Cohen, A., et al. 1980. Influence of Phase Separation on the Anaerobic Digestion of Glucose I : Maximum COD-Turn-Over Rate During Continuous Operation. Wat.Res. 14: 1439-1448.

Dinopoulou, G., and Lester, J.N. 1989. Optimization of a two-phase anaerobic digestion system treating a complex wastewater. Envir. Technol. Lett. 10: 799-814.

Diamantis, V.I., and Aivasidis, A. 2007. Comparison of single-and two stage UASB reactors used for anaerobic treatment of synthetic fruit wastewater. Enzyme and Microbial Technology. 42: 6-10.

Fang, H. H. P., and Kwong, T. 1995. Anaerobic digestion of Starch Particulates in and Upflow Sludge Blanket Filter Reactor. Environmental Technology. 16: 13-23.

Fongsatitkul, P., Mavinix, D.S., and Lo, K.Y. 1995. A Two-Phase Anaerobic Digestion Process (UASB-UASB), Induced Recycle Ration (RR). Environmental Technology 16: 137-146.

Francese, A., Cordoba, P., Duran, J., and Sineriz, F. 1998. High upflow velocity and organic loading rate improve granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactors. World journal of Microbiology and Biotechnology. 14: 337-341.

Franklin, R. J. 2001. Full scale experience with anaerobic treatment of industrial wastewater. Wat. Sci. Technol. 44(8):1-6.

Ghosh, S., et al. 1975. Anaerobic Acidogenesis of Wastewater Sludge. J.WPCH. 47: 30-45.

Gupta, A., Flora, J.R.V., Gupta, M., Sayles, G.D. and Suidan, M.T. 1994. Methanogenesis and Sulfate Reduction in Chemostats-l. Kinetic Studies and Experiments, Water Res. Vol.28: 781-793.

Halalsheh, M., Sawajneh, Z., Zubi, M., Zeeman, G., Lier, J., Fayyad, M., and Lettinga, G. 2005. Treatment of strong domestic sewage in a 96 m^3 UASB reactor operated at ambient temperatures : two-stage versus single-stage reactor. Bioresource Technology 96: 577-585.

Hulshoff, L.W. and Lettinga, G. 1986. New Technologies for Anaerobic Wastewater Treatment. Wat.Sci.Tech. 18(19): 41-53.

Jeris, J.S., and MaCarty, P.L. 1962. The Biochemistry of Methane Fermentation Using C^{14} Traces J. WPCF. 37: 178-192.

Kato, M.T., et al. 1994. Feasibility of Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) Reactor for the Anaerobic Treatment of Low Strength Soluble Wastewater. Proceeding of the 1st International Training Course on Anaerobic and Low cost Treatment of Wastewater and Waste. Oct.10-21, AIT., Thailand.

Kotze, J.P., Thiel, P.G., Toerien, D.F., Hattingh, W.H.J., and Siebert, M.L. 1968. A Biological – Chemical Study of Several Anaerobic Digestion. Water Research. 2: 195-221.

Kotze, J.P., Thiel, P.G., and Hattingh, W.H.J. 1969. Anaerobic Digestion –II- The Characteristic and Control of Several Anaerobic Digestion. Water Research. 3: 459-494.

Lettinga, G., Van Velson, A.F.M., Hobma, S.W., De Zeeuw, W., and Klapwijka, A. 1980. Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) Reactor Concept of Biological Wastewaters Treatment. Especially for Anaerobic Treatment. Biotechnology and Bioengineering 22: 699-734.

Lettinga, G., et al. 1983. Design Operation and Economy of Anaerobic Treatment. Wat. Sci. Tech. 15: 177-195.

Lettinga, G. et al. 1991. UASB - Process Design for Variance Types of Wastewaters. Wat. Sci. Tech. 24(8): 87-107.

Malaspina, F., et al. 1996. Anaerobic Treatment of Cheese Whey with a Downflow-Upflow Hybrid Reactor. Biores.Tech. 55:131-139.

McCarty, P.L. 1964. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals : Part One. Public Work, September: 107-112.

Metcalf & Eddy, Inc. 2003. Bacterial Growth and Energetics. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4: 572-573.

Metcalf & Eddy, Inc. 2003. Anaerobic Suspended and Attached Growth Biological Treatment Processes. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4: 988-989.

Meynell, P.J. 1976. Methane Planning A Digester. Prism Press

Moosa, S., Nemati, M., Harrison, S.T.L. 2002. A Kinetic Study on Anaerobic Reduction of Sulphate, Part l : Effect of Sulphate Concentration. Chemical Engineering Science. 57: 2773-2780.

Mosey, F.E. and Hughes, D.A. 1975. The Toxicity of Heavy Metal Ions to Anaerobic Digestion. Water Pollution Control. 74: 18-39.

Nishimura, S., and Yoda, M. 1996. Effect of Decarbornation on Alkaline Reduction in Two-phase UASB Process. Wat.Sci.Tech. 34(5-6): 437-444.

Ohtsuki, T., Watanabe, M., and Miyaji, Y. 1992. Start up of Thermophilic UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) Reactors Using Microcarrier and Mesophilic Granular Sludge. Wat.Sci.Tech. 26(3-4): 877-886.

Pathade, G.R., 1999. A Review of current technologies for distillery wastewater treatment. In : Goel, P.K. (Ed.), Advances in Industrial Wastewater Treatment. Techno science Publications, Rajasthan, India, pp. 180-239.

Ramos, J., Obaya, M.C., Valdes, E., Villa, P., and Eng, F. 1994. Granulation of Digested Sewage Sludge in Mesophilic UASB Reactors Treating Distillery Wastewaters from Sugar Cane Molasses. ACTA Biotechnology 14(3): 283-292.

Rebac, S., Ruskova, J., and Gerbens, S. 1995. High rate anaerobic treatment of Wasterwater under psychrophilic conditions. Journal of Fermentation and Bioengineering. 80: 499-506.

Romli, M., Greenfield, P.F., and Lee, P.L. 1994. Effect of Recycle on a Two-Phase High Rate Anaerobic Wastewater Treatment System. Water Science and Technology. 28(2): 475-482.

Sam-Soon, PALNS, Loewenthal, RE, Dold, P.L. and Marais. 1987. GVR Hypothesis for pelletisation in the Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor. Water SA. 13: 69-80.

Shin, H.S. 1992. Anaerobic Digestion of Distillery Wastewater in a two-Phase UASB System. Water Science and Technology. 25(7): 361-371.

Shivayogimath, C.B., and Ramanujam, T.K. 1999. Treatment of distillery spent wash by hybrid UASB reactor. Bioprocess Engineering. 21: 255-259.

Speece, R.E. 1996. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater. Vanderbilt University.

Thaveesri, J. 1994. Granulation in UASB Reactors : General Introduction. Ph. D.'s Thesis, Faculty of Applied Biological Sciences, University of Gent, Belgium.

Yoda, M., Kitagawa, M., and Miyaji, Y. 1989. Granular Sludge Formation in the Anaerobic Expanded Micro carrier Bed Process. Wat.Sci.Tech. 21: 109-120.

Zoetemeyer, R.J., van den Heuvel, J.C., and Cohen, A. 1982. pH influence on acidogenic dissimilation of glucose in anaerobic digester. Wat.Res. 16: 303-311.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

1. การเตรียมน้ำเสียในการป้อนเข้าสู่ระบบ

อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอล มีค่าซีโอดีประมาณ 165,000 มก./ล.

เจือจางด้วยน้ำประปา ด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 13

จนมีค่าซีโอดีประมาณ 12,600 มก./ล.

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคงที่เท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน

ปริมาตรของถังปฏิกิริยารวม 11.7 ลิตร

คำนวณ อัตราภาระสารอินทรีย์ = (3.5 ลิตร/วัน) (12,600 มก./ลิตร) / (11.7 ลิตร)

= 3.8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอล มีค่าซีโอดีประมาณ 165,000 มก./ล.

เจือจางด้วยน้ำประปา ด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 10

จนมีค่าซีโอดีประมาณ 16,500 มก./ล.

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคงที่เท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน

ปริมาตรของถังปฏิกิริยารวม 11.7 ลิตร

คำนวณ อัตราภาระสารอินทรีย์ = (3.5 ลิตร/วัน) (16,500 มก./ลิตร) / (11.7 ลิตร)

= 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 7.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอล มีค่าซีโอดีประมาณ 165,000 มก./ล.

เจือจางด้วยน้ำประปา ด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 7

จนมีค่าซีโอดีประมาณ 23,500 มก./ล.

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคงที่เท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน

ปริมาตรของถังปฏิกิริยารวม 11.7 ลิตร

คำนวณ อัตราภาระสารอินทรีย์ = (3.5 ลิตร/วัน) (23,500 มก./ลิตร) / (11.7 ลิตร)

= 7.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอล มีค่าซีโอดีประมาณ 165 ,000 มก./ล.

เจือจางด้วยน้ำประปา ด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 5

จนมีค่าซีโอดีประมาณ 33 ,500 มก./ล.

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคงที่เท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน

ปริมาตรของถังปฏิกิริยารวม 11.7 ลิตร

คำนวณ อัตราภาระสารอินทรีย์ = (3.5 ลิตร/วัน) (33,500 มก./ลิตร) / (11.7 ลิตร)

= 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอล มีค่าซีโอดีประมาณ 165 ,000 มก./ล.

เจือจางด้วยน้ำประปา ด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 4

จนมีค่าซีโอดีประมาณ 39 ,000 มก./ล.

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคงที่เท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน

ปริมาตรของถังปฏิกิริยารวม 11.7 ลิตร

คำนวณ อัตราภาระสารอินทรีย์ = (3.5 ลิตร/วัน) (39,000 มก./ลิตร) / (11.7 ลิตร)

= 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอล มีค่าซีโอดีประมาณ 165 ,000 มก./ล.

เจือจางด้วยน้ำประปา ด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 3.8

จนมีค่าซีโอดีประมาณ 43 ,400 มก./ล.

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคงที่เท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน

ปริมาตรของถังปฏิกิริยารวม 11.7 ลิตร

คำนวณ อัตราภาระสารอินทรีย์ = (3.5 ลิตร/วัน) (43,400 มก./ลิตร) / (11.7 ลิตร)

= 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ราคาสารเคมี

2.1 ราคาสารเคมี ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 40 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (40กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 2.8 บาทต่อวัน

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 7.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 70 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (70กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 4.9 บาทต่อวัน

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 115 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (115กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 8.05 บาทต่อวัน

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 145 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (145กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 10.15 บาทต่อวัน

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 13.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 170 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (170กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 11.9 บาทต่อวัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ราคาสารเคมี ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน และค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5.97

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 52 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (52กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 3.64 บาทต่อวัน

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน และค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5. 53

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 40 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (40กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 2.8 บาทต่อวัน

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน และค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 5. 15

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 26 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (26กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 1.82 บาทต่อวัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ราคาสารเคมี ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน และไม่มีการเวียนน้ำกลับ

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 26 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (26กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 1.82 บาทต่อวัน

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 12 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (12กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 0.84 บาทต่อวัน

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 2

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 3 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (3กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 0.21 บาทต่อวัน

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 5.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหล 3.5 ลิตร/วัน และอัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 3

เติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 0 กรัม ต่อน้ำเสีย 16 ลิตร

ราคา โซเดียมไบคาร์บอเนต 320 บาท / 1 ,000 กรัม

ดังนั้น ค่าสารเคมี ประมาณ = (0กรัม/16ลิตร) (320 บาท/1,000กรัม) (3.5 ลิตร/วัน)

= 0 บาทต่อวัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

<u>การคำนวณอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด</u>

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด = ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น/ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น = ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (ลิตร/วัน) x เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

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

<u>ตัวอย่าง</u> ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น 8.6 ลิตร/วัน

เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน 50.5 %

ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน (10.115)(3.5) = 35.40 กรัมซีโอดี/วัน

ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีต่อวัน (4.871)(3.5) = 17.05 กรัมซีโอดี/วัน

ดังนั้น

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด = (8.6 ลิตร/วัน)(0.505) / (35.40-17.05) กรัมซีโอดี/วัน
= 0.24 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

<u>การคำนวณอัตราการบำบัดของจุลินทรีย์</u>

อัตราการบำบัดของจุลินทรีย์ = ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวัน / น้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ย

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

น้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ย = ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบ (มก./ล.) x ปริมาตรของจุลินทรีย์ในระบบ (ลิตร)

<u>ตัวอย่าง</u> ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน (10.115)(3.5) = 35.40 กรัมซีโอดี/วัน

ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีต่อวัน (4.871)(3.5) = 17.05 กรัมซีโอดี/วัน

น้ำหนักของจุลินทรีย์ = 69,176 มก/ล. X 4 ลิตร = 276.71 กรัม

ดังนั้น

อัตราการบำบัด = [(35.40 – 17.05) กรัมซีโอดี/วัน] / [276.71 กรัมของจุลินทรีย์ใ นระบบ]

= 0.066 กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวัน/กรัมของจุลินทรีย์ในระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

<u>การคำนวณยีลด์และมีเทนยีลด์ทางทฤษฎี</u>

กำหนด ลักษณะน้ำเสีย ประกอบด้วยน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่

ดังนั้น

จากตารางที่ 2.1 (หน้า 9)

$R_d : (1/24)C_6H_{12}O_6 + (1/4)H_2O \longrightarrow (1/24)C_6H_{12}O_6 + (1/4)H_2O$

$R_a : (1/8)CH_4 + (1/4)H_2O \longrightarrow (1/8)CO_2 + H^+ + e^-$

$R_c : (1/20)C_5H_7O_2N + (9/20)H_2O \longrightarrow (1/5)CO_2 + (1/20)HCO_3^- + (1/20)NH_4^+ + H^+ + e^-$

และ $R = R_d - f_eR_a - f_sR_c$

<u>ตารางการคำนวณ</u>

รายละเอียด	$C_6H_{12}O_6$	CO_2	CH_4	e^-
R_d	0.0417	0.25	-	1
R_a	-	0.125	-0.0125	1
$-f_eR_a$	-	$-(1-f_s)$ 0.125	$(1-f_s)$ 0.125	$-(1-f_s)$
R_c	-	0.2	-	1
$-f_sR_c$	-	$-0.2f_s$	-	$-f_s$
$R = R_d - f_eR_a - f_sR_c$	0.0417	$0.125 - 0.075f_s$	$0.125 - 0.125f_s$	0
เมื่อแทนค่า $f_s = 0.06$ และเทียบกับ 1 โมลของ $C_6H_{12}O_6$	1	2.89	2.82	0

จากการทดลอง ถ้าค่าเปอร์เซ็นต์ของมีเทน ประมาณ 49 %

จะได้ $(0.125 - 0.125f_s) / [(0.125 - 0.125f_s) + (0.125 - 0.075f_s)] = 0.49$

ดังนั้น $f_s = 0.06$

จาก $f_s = 1.42Y$ ทำให้ Y = 0.04 gVSS/gCOD

จากค่า ตารางการคำนวณในแถว R

ทำให้ mol $C_6H_{12}O_6$ / 0.0417 = mol CH_4 / 0.1175

g $(C_6H_{12}O_6)$ / (180)(0.0417) = l of methane / 22.4 (0.1175) (ที่ STP)

1.07 g COD / (180)(0.0417) = l of methane / 22.4 (0.1175) (ที่ STP)

l of methane / g COD = 0.37 l/g COD removed (ที่ STP)

หรือ 0.40 l/g COD removed ที่อุณหภูมิห้อง

ภาคผนวก จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าพีเอชของน้ำเสียเข้า ในถังสร้างกรด และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

OLR = 3.8 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
12 ธ.ค. 51	43	5.25	5.88	8.42
14 ธ.ค. 51	45	5.23	5.80	8.44
16 ธ.ค. 51	47	5.58	5.82	8.45
18 ธ.ค. 51	49	5.21	5.86	8.43
20 ธ.ค. 51	51	5.20	5.79	8.48
22 ธ.ค. 51	53	5.22	5.86	8.50
24 ธ.ค. 51	55	5.19	5.82	8.51
26 ธ.ค. 51	57	5.18	5.84	8.47
28 ธ.ค. 51	59	5.23	5.81	8.51
30 ธ.ค. 51	61	5.15	5.82	8.55
1 ม.ค. 52	63	5.20	5.75	8.49
5 ม.ค. 52	67	5.17	5.88	8.50
7 ม.ค. 52	69	5.13	5.84	8.40
	MAX	5.58	5.88	8.55
	MIN	5.13	5.75	8.40
	AVG	5.23	5.83	8.47
	SD	0.11	0.04	0.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 7.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
16 ม.ค. 52	78	5.41	5.90	7.85
17 ม.ค. 52	79	-	-	-
18 ม.ค. 52	80	5.48	5.89	7.77
19 ม.ค. 52	81	5.50	5.88	7.78
20 ม.ค. 52	82	5.47	5.80	7.78
21 ม.ค. 52	83	5.52	5.76	7.80
22 ม.ค. 52	84	5.41	5.77	8.00
23 ม.ค. 52	85	5.38	5.86	7.69
24 ม.ค. 52	86	-	-	-
25 ม.ค. 52	87	-	-	-
26 ม.ค. 52	88	5.52	5.85	7.83
27 ม.ค. 52	89	-	-	-
28 ม.ค. 52	90	5.45	5.98	8.02
29 ม.ค. 52	91	-	-	-
30 ม.ค. 52	92	5.46	5.95	7.97
31 ม.ค. 52	93	-	-	-
1 ก.พ. 52	94	5.51	5.96	8.00
2 ก.พ. 52	95	5.56	5.94	7.93
3 ก.พ. 52	96	5.58	5.92	7.85
4 ก.พ. 52	97	-	-	-
5 ก.พ. 52	98	5.43	5.89	7.85
6 ก.พ. 52	99	5.45	5.94	7.88
7 ก.พ. 52	100	5.48	5.98	7.76
8 ก.พ. 52	101	5.45	5.96	7.85
9 ก.พ. 52	102	5.43	5.90	7.88
	MAX	5.58	5.98	8.02
	MIN	5.38	5.76	7.69
	AVG	5.47	5.90	7.86
	SD	0.05	0.07	0.09

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 10.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
16 ก.พ. 52	109	6.32	5.90	7.70
17 ก.พ. 52	110	-	-	-
18 ก.พ. 52	111	6.30	5.89	7.73
19 ก.พ. 52	112	6.29	5.88	7.72
20 ก.พ. 52	113	6.33	5.89	7.71
21 ก.พ. 52	114	6.35	5.87	7.70
22 ก.พ. 52	115	6.32	5.96	7.75
23 ก.พ. 52	116	6.30	5.86	7.79
24 ก.พ. 52	117	-	-	-
25 ก.พ. 52	118	-	-	-
26 ก.พ. 52	119	6.26	5.85	7.76
27 ก.พ. 52	120	-	-	
28 ก.พ. 52	121	6.31	5.98	7.79
1 มี.ค. 52	122	-	-	-
2 มี.ค. 52	123	6.30	5.95	7.77
3 มี.ค. 52	124	-	-	-
4 มี.ค. 52	125	6.28	5.96	7.80
5 มี.ค. 52	126	6.33	6.01	7.81
6 มี.ค. 52	127	6.30	5.92	7.82
7 มี.ค. 52	128	-	-	-
8 มี.ค. 52	129	6.29	5.89	7.80
9 มี.ค. 52	130	6.29	5.94	7.79
10 มี.ค. 52	131	6.28	5.98	7.82
11 มี.ค. 52	132	6.30	5.96	7.81
12 มี.ค. 52	133	6.28	5.90	7.80
	MAX	6.35	6.01	7.82
	MIN	6.26	5.85	7.70
	AVG	6.30	5.92	7.77
	SD	0.02	0.05	0.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 11.7 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
15 มี.ค. 52	136	6.29	5.88	7.52
16 มี.ค. 52	137	6.33	5.89	7.51
17 มี.ค. 52	138	6.35	5.87	7.47
18 มี.ค. 52	139	6.32	5.96	7.55
19 มี.ค. 52	140	6.30	5.86	7.49
20 มี.ค. 52	141	-	-	-
21 มี.ค. 52	142	-	-	-
22 มี.ค. 52	143	6.26	5.85	7.46
23 มี.ค. 52	144	-	-	-
24 มี.ค. 52	145	6.31	5.98	7.59
25 มี.ค. 52	146	-	-	-
26 มี.ค. 52	147	6.30	5.95	7.57
27 มี.ค. 52	148	6.32	5.90	7.50
	MAX	6.35	5.98	7.59
	MIN	6.26	5.85	7.46
	AVG	6.31	5.90	7.52
	SD	0.03	0.05	0.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 13.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
30 มี.ค. 52	151	6.32	5.90	7.35
31 มี.ค. 52	152	-	-	-
1 เม.ย. 52	153	6.30	5.89	7.43
2 เม.ย. 52	154	6.39	5.92	7.42
3 เม.ย. 52	155	6.33	5.89	7.31
4 เม.ย. 52	156	6.35	5.97	7.37
5 เม.ย. 52	157	6.42	5.96	7.35
6 เม.ย. 52	158	6.40	5.96	7.29
7 เม.ย. 52	159	6.45	5.92	7.31
8 เม.ย. 52	160	-	-	-
9 เม.ย. 52	161	6.36	5.95	7.26
	MAX	6.45	5.97	7.43
	MIN	6.30	5.89	7.26
	AVG	6.37	5.93	7.34
	SD	0.05	0.03	0.06

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าอุณหภูมิของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

OLR = 3.8 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	T (^oC) น้ำเข้า	T (^oC) น้ำทิ้ง
12 ธ.ค. 51	43	8.2	25.8
14 ธ.ค. 51	45	7.8	25.5
16 ธ.ค. 51	47	8.5	26.5
18 ธ.ค. 51	49	9.2	26.4
20 ธ.ค. 51	51	10.1	25.6
22 ธ.ค. 51	53	9.2	26.1
24 ธ.ค. 51	55	11.5	28.2
26 ธ.ค. 51	57	10.6	26.8
28 ธ.ค. 51	59	11.2	26.9
30 ธ.ค. 51	61	11.4	27.1
1 ม.ค. 52	63	8.8	25.8
5 ม.ค. 52	67	10.5	27.1
7 ม.ค. 52	69	10.2	27.4
	MAX	11.5	28.2
	MIN	7.8	25.5
	AVG	9.8	26.6
	SD	1.3	0.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 7.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	T (^{o}C) น้ำเข้า	T (^{o}C) น้ำทิ้ง
16 ม.ค. 52	78	8.3	22.4
17 ม.ค. 52	79	-	-
18 ม.ค. 52	80	9.1	23.3
19 ม.ค. 52	81	9.6	22.8
20 ม.ค. 52	82	10.0	23.2
21 ม.ค. 52	83	10.3	24.3
22 ม.ค. 52	84	10.5	26.3
23 ม.ค. 52	85	11.2	25.6
24 ม.ค. 52	86	-	-
25 ม.ค. 52	87	-	-
26 ม.ค. 52	88	11.1	27.3
27 ม.ค. 52	89	-	-
28 ม.ค. 52	90	12.0	27.3
29 ม.ค. 52	91	-	-
30 ม.ค. 52	92	10.0	27.3
31 ม.ค. 52	93	-	-
1 ก.พ. 52	94	11.0	27.4
2 ก.พ. 52	95	8.0	27.8
3 ก.พ. 52	96	9.0	27.3
4 ก.พ. 52	97	-	-
5 ก.พ. 52	98	10.0	27.1
6 ก.พ. 52	99	10.0	27.6
7 ก.พ. 52	100	9.0	27.6
8 ก.พ. 52	101	9.0	27.1
9 ก.พ. 52	102	10.0	28.1
	MAX	12.0	28.1
	MIN	8.0	22.4
	AVG	9.9	26.1
	SD	1.0	2.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 10.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	T (°C) น้ำเข้า	T (°C) น้ำทิ้ง
16 ก.พ. 52	109	9.3	28.1
17 ก.พ. 52	110	-	-
18 ก.พ. 52	111	10.1	29.2
19 ก.พ. 52	112	10.6	28.6
20 ก.พ. 52	113	11.0	28.6
21 ก.พ. 52	114	11.3	29.1
22 ก.พ. 52	115	11.5	28.9
23 ก.พ. 52	116	12.2	28.6
24 ก.พ. 52	117	-	-
25 ก.พ. 52	118	-	-
26 ก.พ. 52	119	12.1	28.8
27 ก.พ. 52	120	-	-
28 ก.พ. 52	121	13.0	28.8
1 มี.ค. 52	122	-	-
2 มี.ค. 52	123	11.0	28.9
3 มี.ค. 52	124	-	-
4 มี.ค. 52	125	12.0	29.5
5 มี.ค. 52	126	9.0	29.5
6 มี.ค. 52	127	10.0	29.3
7 มี.ค. 52	128	-	-
8 มี.ค. 52	129	11.0	29.1
9 มี.ค. 52	130	11.0	30.8
10 มี.ค. 52	131	10.0	30.5
11 มี.ค. 52	132	10.0	30.2
12 มี.ค. 52	133	11.0	30.1
	MAX	13.0	30.8
	MIN	9.0	28.1
	AVG	10.9	29.3
	SD	1.0	0.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 11.7 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	T (°C) น้ำเข้า	T (°C) น้ำทิ้ง
14 มี.ค. 52	135	9.1	29.2
15 มี.ค. 52	136	9.6	30.6
16 มี.ค. 52	137	10.0	29.6
17 มี.ค. 52	138	10.3	29.1
18 มี.ค. 52	139	10.5	29.9
19 มี.ค. 52	140	11.2	29.6
20 มี.ค. 52	141	-	-
21 มี.ค. 52	142	-	-
22 มี.ค. 52	143	11.1	29.8
23 มี.ค. 52	144	-	-
24 มี.ค. 52	145	12.0	29.8
25 มี.ค. 52	146	-	-
26 มี.ค. 52	147	10.0	29.9
27 มี.ค. 52	148	10.2	29.8
	MAX	12.0	30.6
	MIN	9.1	29.1
	AVG	10.4	29.7
	SD	0.8	0.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 13.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	T (°C) น้ำเข้า	T (°C) น้ำทิ้ง
30 มี.ค. 52	151	9.5	30.1
31 มี.ค. 52	152	-	-
1 เม.ย. 52	153	9.1	29.2
2 เม.ย. 52	154	9.6	30.6
3 เม.ย. 52	155	10.2	29.6
4 เม.ย. 52	156	10.3	29.1
5 เม.ย. 52	157	10.5	29.9
6 เม.ย. 52	158	11.5	29.6
7 เม.ย. 52	159	10.4	30.2
8 เม.ย. 52	160	-	-
9 เม.ย. 52	161	11.1	29.8
	MAX	11.5	30.6
	MIN	9.1	29.1
	AVG	10.2	29.8
	SD	0.8	0.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่ากรดไขมันระเหย และสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้า ในถังสร้างกรด และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

OLR = 3.8 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)			ALK (mg/l as $CaCO_3$)			VFA/ALK		
		น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง
12 ธ.ค. 51	43	1,750	2,824	750	850	1,575	1,900	2.06	1.79	0.39
14 ธ.ค. 51	45	1,650	2,987	1,012	900	1,500	1,875	1.83	1.99	0.54
16 ธ.ค. 51	47	1,550	3,187	1,075	925	1,600	1,925	1.68	1.99	0.56
18 ธ.ค. 51	49	1,900	3,075	900	900	1,575	1,900	2.11	1.95	0.47
20 ธ.ค. 51	51	1,900	3,275	1,100	875	1,475	1,850	2.17	2.22	0.59
22 ธ.ค. 51	53	1,900	3,262	887	850	1,600	2,075	2.24	2.04	0.43
24 ธ.ค. 51	55	1,812	2,902	575	825	1,550	2,000	2.20	1.87	0.29
26 ธ.ค. 51	57	2,125	3,110	550	900	1,625	2,525	2.36	1.91	0.22
28 ธ.ค. 51	59	1,912	2,827	580	975	1,638	2,225	1.96	1.73	0.26
30 ธ.ค. 51	61	1,712	2,825	550	800	1,500	2,300	2.14	1.88	0.24
1 ม.ค. 52	63	1,845	3,054	500	950	1,575	2,575	1.94	1.94	0.19
5 ม.ค. 52	67	1,750	2,994	375	825	1,275	1,850	2.12	2.35	0.20
7 ม.ค. 52	69	1,825	2,962	475	800	1,575	2,050	2.28	1.88	0.23
	MAX	2,125	3,275	1,100	975	1,638	2,575	2.36	2.35	0.59
	MIN	1,550	2,824	375	800	1,275	1,850	1.68	1.73	0.19
	AVG	1,818	3,022	718	875	1,543	2,081	2.08	1.97	0.36
	SD	143	157	249	56	94	251	0.19	0.17	0.15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 7.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)			ALK (mg/l as $CaCO_3$)			VFA/ALK		
		น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง
16 ม.ค. 52	78	5,012	5,120	3,337	2,150	2,800	5,000	2.33	1.83	0.67
18 ม.ค. 52	80	4,562	4,780	3,125	2,300	3,000	4,775	1.98	1.59	0.65
19 ม.ค. 52	81	4,637	5,650	3,000	2,200	3,150	5,150	2.11	1.79	0.58
20 ม.ค. 52	82	4,887	5,750	2,375	2,200	3,150	5,100	2.22	1.83	0.47
21 ม.ค. 52	83	5,087	5,421	2,387	2,000	2,947	5,250	2.54	1.84	0.45
23 ม.ค. 52	85	4,690	5,380	2,125	1,950	2,687	5,350	2.41	2.00	0.40
26 ม.ค. 52	88	5,210	5,890	1,550	2,250	3,050	5,560	2.32	1.93	0.28
28 ม.ค. 52	90	5,400	5,910	1,625	2,300	3,062	5,875	2.35	1.93	0.28
1 ก.พ. 52	94	5,275	5,500	1,175	2,175	3,150	5,200	2.43	1.75	0.23
2 ก.พ. 52	95	5,500	5,750	1,250	2,275	3,075	5,350	2.42	1.87	0.23
3 ก.พ. 52	96	5,475	5,800	1,200	2,300	3,175	5,550	2.38	1.83	0.22
5 ก.พ. 52	98	5,212	5,700	1,150	2,250	3,075	5,000	2.32	1.85	0.23
7 ก.พ. 52	100	5,600	6,120	1,275	2,375	3,200	5,600	2.36	1.91	0.23
9 ก.พ. 52	102	5,520	5,775	1,200	2,250	3,015	5,450	2.45	1.92	0.22
	MAX	5,600	6,120	3,337	2,375	3,200	5,875	2.54	2.00	0.67
	MIN	4,562	4,780	1,150	1,950	2,687	4,775	1.98	1.59	0.22
	AVG	5,148	5,610	1,912	2,213	3,038	5,301	2.33	1.85	0.37
	SD	347	348	802	117	146	292	0.14	0.10	0.17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 10.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)			ALK (mg/l as $CaCO_3$)			VFA/ALK		
		น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง
18 ก.พ. 52	111	7,200	9,800	3,500	4,300	5,250	8,600	1.67	1.87	0.41
19 ก.พ. 52	112	7,310	10,400	3,450	4,500	5,200	8,500	1.62	2.00	0.41
20 ก.พ. 52	113	7,400	10,200	3,210	4,400	5,300	8,900	1.68	1.92	0.36
21 ก.พ. 52	114	7,260	10,050	3,050	4,200	5,200	8,550	1.73	1.93	0.36
23 ก.พ. 52	116	7,540	9,950	2,900	4,250	5,240	8,650	1.77	1.90	0.34
26 ก.พ. 52	119	7,050	10,300	2,400	4,350	5,260	8,740	1.62	1.96	0.27
28 ก.พ. 52	121	7,120	10,000	2,200	4,550	5,200	8,820	1.56	1.92	0.25
1 มี.ค. 52	122	7,610	10,500	1,850	4,150	5,250	8,420	1.83	2.00	0.22
2 มี.ค. 52	123	7,400	10,600	1,950	4,200	5,400	8,050	1.76	1.96	0.24
3 มี.ค. 52	124	7,300	10,400	1,875	4,600	5,300	8,500	1.59	1.96	0.22
5 มี.ค. 52	126	7,560	10,300	1,900	4,100	5,400	8,640	1.84	1.91	0.22
7 มี.ค. 52	128	6,980	10,700	1,825	4,250	5,150	8,450	1.64	2.08	0.22
9 มี.ค. 52	130	7,170	10,500	1,800	4,200	5,200	8,600	1.71	2.02	0.21
	MAX	7,610	10,700	3,500	4,600	5,400	8,900	1.84	2.08	0.41
	MIN	6,980	9,800	1,800	4,100	5,150	8,050	1.56	1.87	0.21
	AVG	7,300	10,285	2,455	4,312	5,258	8,571	1.70	1.96	0.29
	SD	197	271	669	158	76	210	0.09	0.06	0.08

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 11.7 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)			ALK (mg/l as $CaCO_3$)			VFA/ALK		
		น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง
12 มี.ค. 52	133	8,500	11,500	4,100	5,000	5,750	9,300	1.70	2.00	0.44
15 มี.ค. 52	136	8,600	11,400	3,850	5,100	5,800	9,250	1.69	1.97	0.42
17 มี.ค. 52	138	8,700	11,450	3,510	5,200	5,900	9,500	1.67	1.94	0.37
19 มี.ค. 52	140	8,550	11,650	2,950	5,150	5,600	9,400	1.66	2.08	0.31
21 มี.ค. 52	142	8,500	11,500	2,650	5,050	5,700	9,600	1.68	2.02	0.28
23 มี.ค. 52	144	8,740	11,550	2,500	5,100	5,580	9,550	1.71	2.07	0.26
25 มี.ค. 52	146	8,560	11,450	2,600	5,250	5,600	9,750	1.63	2.04	0.27
27 มี.ค. 52	148	8,450	11,700	2,550	5,000	5,750	9,600	1.69	2.03	0.27
	MAX	8,740	11,700	4,100	5,250	5,900	9,750	1.71	2.08	0.44
	MIN	8,450	11,400	2,500	5,000	5,580	9,250	1.63	1.94	0.26
	AVG	8,575	11,525	3,089	5,106	5,710	9,494	1.68	2.02	0.33
	SD	101	104	640	90	113	168	0.03	0.05	0.07

OLR = 13.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)			ALK (mg/l as $CaCO_3$)			VFA/ALK		
		น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง
30 มี.ค. 52	151	9,560	12,300	5,000	5,800	6,230	10,700	1.65	1.97	0.47
1 เม.ย. 52	153	9,600	12,400	5,050	5,750	6,350	10,500	1.67	1.95	0.48
3 เม.ย. 52	155	9,700	12,450	5,075	5,650	6,300	10,550	1.72	1.98	0.48
5 เม.ย. 52	157	9,850	12,350	5,150	5,850	6,200	10,450	1.68	1.99	0.49
7 เม.ย. 52	159	9,550	12,200	5,200	5,700	6,150	10,420	1.68	1.98	0.50
9 เม.ย. 52	161	9,600	12,350	5,300	5,600	6,250	10,500	1.71	1.98	0.50
	MAX	9,850	12,450	5,300	5,850	6,350	10,700	1.72	1.99	0.50
	MIN	9,550	12,200	5,000	5,600	6,150	10,420	1.65	1.95	0.47
	AVG	9,643	12,342	5,129	5,725	6,247	10,520	1.68	1.98	0.49
	SD	114	86	110	94	71	99	0.03	0.01	0.01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายได้ และประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของระบบตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

OLR = 3.8 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
12 ธ.ค. 51	3	12,852	6,058	52.86	12,648	5,916	53.20
14 ธ.ค. 51	5	15,974	6,408	59.88	13,270	6,198	53.29
16 ธ.ค. 51	7	14,515	6,854	52.78	12,801	6,753	47.25
18 ธ.ค. 51	9	12,700	6,400	49.61	11,826	6,197	47.60
20 ธ.ค. 51	11	14,382	6,969	51.54	12,928	6,262	51.56
22 ธ.ค. 51	13	15,104	6,513	56.88	12,555	6,173	50.83
24 ธ.ค. 51	15	14,308	5,315	62.85	12,548	4,857	61.29
26 ธ.ค. 51	17	11,616	5,016	56.82	10,965	4,664	57.46
28 ธ.ค. 51	19	11,776	5,520	53.13	10,856	5,023	53.73
30 ธ.ค. 51	21	12,617	5,199	58.79	11,484	4,966	56.76
1 ม.ค. 52	23	12,720	5,408	57.48	12,160	5,040	58.55
5 ม.ค. 52	27	12,160	5,025	58.68	10,960	4,680	57.30
	MAX	15,974	6,969	62.85	13,270	6,753	61.29
	MIN	11,616	5,016	49.61	10,856	4,664	47.25
	AVG	13,394	5,890	55.94	12,083	5,561	54.07
	SD	1,407	722	3.93	844	752	4.35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 7.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
16 ม.ค. 52	78	22,000	11,520	47.6	20,960	10,760	48.7
18 ม.ค. 52	80	20,826	11,558	44.5	19,850	10,418	47.5
21 ม.ค. 52	83	22,200	12,146	45.3	21,466	10,506	51.1
23 ม.ค. 52	85	22,620	13,260	41.4	21,966	10,313	53.1
26 ม.ค. 52	88	23,944	11,076	53.7	23,288	9,636	58.6
28 ม.ค. 52	90	23,376	10,160	56.5	21,560	9,271	57.0
1 ก.พ. 52	94	22,540	9,930	55.9	21,116	9,229	56.3
3 ก.พ. 52	96	24,164	10,290	57.4	23,171	9,350	59.6
5 ก.พ. 52	98	23,806	10,440	56.1	22,563	9,415	58.3
7 ก.พ. 52	100	23,595	10,460	55.7	22,908	9,564	58.3
9 ก.พ. 52	102	23,163	10,009	56.8	22,326	9,302	58.3
	MAX	24,164	13,260	57.4	23,288	10,760	59.6
	MIN	20,826	9,930	41.4	19,850	9,229	47.5
	AVG	22,930	10,986	51.9	21,925	9,797	55.2
	SD	1,004	1,046	6.0	1,057	579	4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 10.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
19 ก.พ. 52	112	32,700	17,000	48.0	29,926	14,686	50.9
21 ก.พ. 52	114	33,607	16,870	49.8	30,065	14,454	51.9
23 ก.พ. 52	116	32,620	16,260	50.2	29,632	14,313	51.7
26 ก.พ. 52	119	33,944	16,076	52.6	29,954	13,969	53.4
28 ก.พ. 52	121	33,376	15,962	52.2	30,681	13,850	54.9
1 มี.ค. 52	122	33,541	14,614	56.4	30,116	13,013	56.8
3 มี.ค. 52	124	34,164	14,484	57.6	30,171	12,839	57.4
5 มี.ค. 52	126	33,806	14,407	57.4	30,563	12,883	57.8
7 มี.ค. 52	128	33,595	14,398	57.1	30,908	12,880	58.3
9 มี.ค. 52	130	33,163	14,512	56.2	30,326	12,920	57.4
	MAX	34,164	17,000	57.6	30,908	14,686	58.3
	MIN	32,620	14,398	48.0	29,632	12,839	50.9
	AVG	33,452	15,458	53.8	30,234	13,581	55.1
	SD	503	1,077	3.6	388	748	2.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 11.7 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
12 มี.ค. 52	133	39,286	26,260	33.2	33,633	21,979	34.7
15 มี.ค. 52	136	39,277	26,076	33.6	33,954	21,636	36.3
17 มี.ค. 52	138	39,376	25,962	34.1	33,681	22,183	34.1
19 มี.ค. 52	140	39,540	25,614	35.2	33,783	22,172	34.4
21 มี.ค. 52	142	39,164	25,484	34.9	33,171	21,013	36.7
23 มี.ค. 52	144	38,806	25,407	34.5	34,563	20,883	39.6
25 มี.ค. 52	146	38,928	25,065	35.6	34,908	21,213	39.2
27 มี.ค. 52	148	39,163	25,512	34.9	35,326	20,922	40.8
	MAX	39,540	26,260	35.6	35,326	22,183	40.8
	MIN	38,806	25,065	33.2	33,171	20,883	34.1
	AVG	39,193	25,673	34.5	34,127	21,500	37.0
	SD	236	396	0.8	731	561	2.6

OLR = 13.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
30 มี.ค. 52	151	43,286	37,926	12.4	38,632	33,313	13.8
1 เม.ย. 52	153	43,277	36,742	15.1	38,288	32,302	15.6
3 เม.ย. 52	155	43,709	40,628	7.0	38,015	36,850	3.1
5 เม.ย. 52	157	43,874	42,281	3.6	38,116	38,172	-0.1
7 เม.ย. 52	159	43,790	43,150	1.5	38,171	38,013	0.4
9 เม.ย. 52	161	43,472	44,074	-1.4	38,230	40,550	-6.1
	MAX	43,874	44,074	15.1	38,632	40,550	15.6
	MIN	43,277	36,742	-1.4	38,015	32,302	-6.1
	AVG	43,568	40,800	6.4	38,242	36,533	4.4
	SD	259	2,939	6.4	213	3,143	8.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพตลอดการทดลอง
ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

OLR = 3.8 $kgCOD/m^3$-d

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
6 ธ.ค. 51	37	-
12 ธ.ค. 51	43	6.2
14 ธ.ค. 51	45	6.8
16 ธ.ค. 51	47	7.6
18 ธ.ค. 51	49	7.8
20 ธ.ค. 51	51	8.2
22 ธ.ค. 51	53	8.0
24 ธ.ค. 51	55	8.4
26 ธ.ค. 51	57	8.6
28 ธ.ค. 51	59	8.4
30 ธ.ค. 51	61	8.8
1 ม.ค. 52	63	8.6
3 ม.ค. 52	65	8.8
5 ม.ค. 52	67	8.6
	MAX	8.8
	MIN	6.2
	AVG	8.1
	SD	0.8

OLR = 7.0 $kgCOD/m^3$-d

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
13 ม.ค. 52	75	-
16 ม.ค. 52	78	10.0
17 ม.ค. 52	79	-
18 ม.ค. 52	80	-
19 ม.ค. 52	81	10.4
20 ม.ค. 52	82	10.8
21 ม.ค. 52	83	12.4
22 ม.ค. 52	84	13.2
23 ม.ค. 52	85	13.4
24 ม.ค. 52	86	13.0
25 ม.ค. 52	87	12.8
26 ม.ค. 52	88	13.0
27 ม.ค. 52	89	14.0
28 ม.ค. 52	90	13.2
29 ม.ค. 52	91	13.4
30 ม.ค. 52	92	-
31 ม.ค. 52	93	-
1 ก.พ. 52	94	13.6
2 ก.พ. 52	95	13.8
3 ก.พ. 52	96	-
4 ก.พ. 52	97	-
5 ก.พ. 52	98	14.0
6 ก.พ. 52	99	14.2
7 ก.พ. 52	100	14.0
8 ก.พ. 52	101	14.4
9 ก.พ. 52	102	14.2
	MAX	14.4
	MIN	10.0
	AVG	13.0
	SD	1.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 10.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
16 ก.พ. 52	109	-
17 ก.พ. 52	110	-
18 ก.พ. 52	111	-
19 ก.พ. 52	112	17.2
20 ก.พ. 52	113	19.0
21 ก.พ. 52	114	19.4
22 ก.พ. 52	115	19.8
23 ก.พ. 52	116	20.2
24 ก.พ. 52	117	20.0
25 ก.พ. 52	118	20.4
26 ก.พ. 52	119	20.2
27 ก.พ. 52	120	20.6
28 ก.พ. 52	121	21.0
1 มี.ค. 52	122	21.4
2 มี.ค. 52	123	-
3 มี.ค. 52	124	-
4 มี.ค. 52	125	21.2
5 มี.ค. 52	126	21.8
6 มี.ค. 52	127	-
7 มี.ค. 52	128	-
8 มี.ค. 52	129	22.0
9 มี.ค. 52	130	21.8
	MAX	22.0
	MIN	17.2
	AVG	20.4
	SD	1.3

OLR = 11.7 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
12 มี.ค. 52	133	-
13 มี.ค. 52	134	-
14 มี.ค. 52	135	8.0
15 มี.ค. 52	136	8.4
16 มี.ค. 52	137	8.4
17 มี.ค. 52	138	8.6
18 มี.ค. 52	139	9.0
19 มี.ค. 52	140	9.2
20 มี.ค. 52	141	9.4
21 มี.ค. 52	142	9.6
22 มี.ค. 52	143	9.8
23 มี.ค. 52	144	9.6
24 มี.ค. 52	145	9.4
25 มี.ค. 52	146	9.6
26 มี.ค. 52	147	9.8
27 มี.ค. 52	148	9.4
	MAX	9.8
	MIN	8.0
	AVG	9.2
	SD	0.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 13.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
30 มี.ค. 52	151	-
31 มี.ค. 52	152	9.6
1 เม.ย. 52	153	8.0
2 เม.ย. 52	154	6.4
3 เม.ย. 52	155	4.0
4 เม.ย. 52	156	3.2
5 เม.ย. 52	157	2.8
6 เม.ย. 52	158	3.0
7 เม.ย. 52	159	2.8
8 เม.ย. 52	160	2.2
9 เม.ย. 52	161	2.0
10 เม.ย. 52	162	0.8
	MAX	9.6
	MIN	0.8
	AVG	4.1
	SD	2.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าตะกอนแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

OLR = 3.8 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำออก (mg/l)
12 ธ.ค. 51	43	475	240
18 ธ.ค. 51	49	450	220
22 ธ.ค. 51	53	465	210
26 ธ.ค. 51	57	438	285
1 ม.ค. 52	63	420	245
7 ม.ค. 52	69	455	250
	MAX	475	285
	MIN	420	210
	AVG	451	242
	SD	20	26

OLR = 7.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำออก (mg/l)
16 ม.ค. 52	78	502	310
23 ม.ค. 52	85	485	280
1 ก.พ. 52	94	494	450
5 ก.พ. 52	98	476	490
9 ก.พ. 52	102	520	470
	MAX	520	490
	MIN	476	280
	AVG	495	400
	SD	17	97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OLR = 10.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำออก (mg/l)
18 ก.พ. 52	111	535	590
23 ก.พ. 52	116	545	620
1 มี.ค. 52	122	526	600
5 มี.ค. 52	126	496	545
9 มี.ค. 52	130	522	580
	MAX	545	620
	MIN	496	545
	AVG	525	587
	SD	18	28

OLR = 11.7 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำออก (mg/l)
15 มี.ค. 52	136	578	950
19 มี.ค. 52	140	587	1100
23 มี.ค. 52	144	602	1200
25 มี.ค. 52	146	591	1400
27 มี.ค. 52	148	617	1450
	MAX	617	1450
	MIN	578	950
	AVG	595	1220
	SD	15	208

OLR = 13.0 kgCOD/m^3-d

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำออก (mg/l)
31 มี.ค. 52	152	595	2720
4 เม.ย. 52	156	571	2940
8 เม.ย. 52	160	576	3190
	MAX	595	3190
	MIN	571	2720
	AVG	581	2950
	SD	13	235

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าพีเอชของน้ำเสียเข้า ในถังสร้างกรด และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

<u>pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.97</u>

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
10 มิ.ย. 52	1	5.80	5.99	8.13
11 มิ.ย. 52	2	5.70	6.02	8.15
12 มิ.ย. 52	3	5.75	5.97	8.20
13 มิ.ย. 52	4	5.78	5.93	8.22
14 มิ.ย. 52	5	5.82	5.99	8.23
15 มิ.ย. 52	6	5.76	5.91	8.22
16 มิ.ย. 52	7	5.80	5.95	8.20
17 มิ.ย. 52	8	5.75	5.97	8.18
18 มิ.ย. 52	9	5.81	6.02	8.22
19 มิ.ย. 52	10	5.84	5.92	8.20
20 มิ.ย. 52	11	5.80	5.98	8.19
	MAX	5.84	6.02	8.23
	MIN	5.70	5.91	8.13
	AVG	5.78	5.97	8.19
	SD	0.04	0.04	0.03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.53

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
21 มิ.ย. 52	12	5.39	5.66	7.88
22 มิ.ย. 52	13	5.41	5.58	7.96
23 มิ.ย. 52	14	5.45	5.54	7.92
24 มิ.ย. 52	15	5.40	5.50	7.95
25 มิ.ย. 52	16	5.38	5.52	8.02
26 มิ.ย. 52	17	5.45	5.55	8.00
27 มิ.ย. 52	18	5.50	5.53	8.05
28 มิ.ย. 52	19	5.46	5.48	7.96
29 มิ.ย. 52	20	5.42	5.46	8.05
30 มิ.ย. 52	21	5.44	5.52	8.00
	MAX	5.50	5.66	8.05
	MIN	5.38	5.46	7.88
	AVG	5.43	5.53	7.98
	SD	0.04	0.06	0.06

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.15

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
1 ก.ค. 52	22	5.04	5.26	7.58
2 ก.ค. 52	23	5.05	5.20	7.60
3 ก.ค. 52	24	5.09	5.16	7.66
4 ก.ค. 52	25	5.04	5.12	7.61
5 ก.ค. 52	26	5.02	5.14	7.60
6 ก.ค. 52	27	5.07	5.19	7.65
7 ก.ค. 52	28	5.11	5.15	7.70
8 ก.ค. 52	29	5.04	5.16	7.60
9 ก.ค. 52	30	5.12	5.09	7.71
10 ก.ค. 52	31	5.08	5.14	7.60
11 ก.ค. 52	32	5.00	5.11	7.64
	MAX	5.12	5.26	7.71
	MIN	5.00	5.09	7.58
	AVG	5.06	5.16	7.63
	SD	0.04	0.05	0.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าอุณหภูมิของน้ำเสียเข้า ในถังสร้างกรด และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.97

DATE	DAY	T (°C) น้ำเข้า	T (°C) ในถังสร้างกรด	T (°C) น้ำทิ้ง
10 มิ.ย. 52	1	9.3	28.0	28.5
11 มิ.ย. 52	2	10.0	27.8	27.0
12 มิ.ย. 52	3	10.1	28.0	28.5
13 มิ.ย. 52	4	9.6	28.0	27.9
14 มิ.ย. 52	5	10.0	28.2	28.0
15 มิ.ย. 52	6	10.3	27.8	28.6
16 มิ.ย. 52	7	10.5	27.2	28.4
17 มิ.ย. 52	8	11.2	27.7	28.1
18 มิ.ย. 52	9	10.0	27.0	28.9
19 มิ.ย. 52	10	10.2	28.0	28.0
20 มิ.ย. 52	11	9.8	27.2	27.5
	MAX	11.2	28.2	28.9
	MIN	9.3	27.0	27.0
	AVG	10.1	27.7	28.1
	SD	0.5	0.4	0.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.53

DATE	DAY	T (°C) น้ำเข้า	T (°C) ในถังสร้างกรด	T (°C) น้ำทิ้ง
21 มิ.ย. 52	12	10.0	28.0	28.5
22 มิ.ย. 52	13	8.6	28.2	28.0
23 มิ.ย. 52	14	10.1	28.0	28.4
24 มิ.ย. 52	15	10.6	27.5	28.1
25 มิ.ย. 52	16	10.2	28.2	27.5
26 มิ.ย. 52	17	11.4	27.8	28.9
27 มิ.ย. 52	18	10.5	28.0	28.0
28 มิ.ย. 52	19	12.0	28.5	28.4
29 มิ.ย. 52	20	10.0	29.0	27.8
30 มิ.ย. 52	21	10.0	27.8	28.6
	MAX	12.0	29.0	28.9
	MIN	8.6	27.5	27.5
	AVG	10.3	28.1	28.2
	SD	0.9	0.4	0.4

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.15

DATE	DAY	T (°C) น้ำเข้า	T (°C) ในถังสร้างกรด	T (°C) น้ำทิ้ง
1 ก.ค. 52	22	11.0	27.5	27.1
2 ก.ค. 52	23	9.6	27.8	28.0
3 ก.ค. 52	24	10.5	28.0	27.6
4 ก.ค. 52	25	10.6	28.6	28.1
5 ก.ค. 52	26	10.2	28.0	29.0
6 ก.ค. 52	27	11.0	28.6	28.4
7 ก.ค. 52	28	10.8	28.4	28.3
8 ก.ค. 52	29	11.0	28.5	28.8
9 ก.ค. 52	30	10.6	28.0	29.3
10 ก.ค. 52	31	10.2	29.0	29.0
11 ก.ค. 52	32	10.4	28.8	29.4
	MAX	11.0	29.0	29.4
	MIN	9.6	27.5	27.1
	AVG	10.5	28.3	28.5
	SD	0.4	0.5	0.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่ากรดไขมันระเหย และสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้า ในถังสร้างกรด และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.97

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)			ALK (mg/l as $CaCO_3$)			VFA/ALK		
		น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง
10 มิ.ย. 52	1	4,175	4,375	1,200	2,800	3,475	4,850	1.49	1.26	0.25
11 มิ.ย. 52	2	4,025	4,400	1,250	2,775	3,400	4,950	1.45	1.29	0.25
12 มิ.ย. 52	3	4,050	4,375	1,225	2,700	3,350	4,725	1.50	1.31	0.26
13 มิ.ย. 52	4	3,975	4,275	1,000	2,800	3,450	4,800	1.42	1.24	0.21
14 มิ.ย. 52	5	4,000	4,300	925	2,625	3,300	4,975	1.52	1.30	0.19
15 มิ.ย. 52	6	3,725	4,050	713	2,600	3,225	5,200	1.43	1.26	0.14
16 มิ.ย. 52	7	4,025	4,200	650	2,675	3,300	4,700	1.50	1.27	0.14
17 มิ.ย. 52	8	4,125	4,250	600	2,600	3,250	5,100	1.59	1.31	0.12
18 มิ.ย. 52	9	4,225	4,375	700	2,600	3,300	4,950	1.63	1.33	0.14
19 มิ.ย. 52	10	3,750	4,050	500	2,650	3,280	4,900	1.42	1.23	0.10
20 มิ.ย. 52	11	3,825	4,090	775	2,750	3,425	4,975	1.39	1.19	0.16
	MAX	4,225	4,400	1,250	2,800	3,475	5,200	1.63	1.33	0.26
	MIN	3,725	4,050	500	2,600	3,225	4,700	1.39	1.19	0.10
	AVG	3,991	4,249	867	2,689	3,341	4,920	1.49	1.27	0.18
	SD	164	134	268	81	84	150	0.07	0.04	0.06

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.53

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)			ALK (mg/l as $CaCO_3$)			VFA/ALK		
		น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง
21 มิ.ย. 52	12	4,025	4,425	1,050	2,125	2,975	4,450	1.89	1.49	0.24
22 มิ.ย. 52	13	4,113	4,450	975	2,075	2,900	4,550	1.98	1.53	0.21
23 มิ.ย. 52	14	4,025	4,400	775	2,100	2,800	4,350	1.92	1.57	0.18
24 มิ.ย. 52	15	4,075	4,350	650	2,250	2,875	4,400	1.81	1.51	0.15
25 มิ.ย. 52	16	4,000	4,275	700	2,200	2,850	4,575	1.82	1.50	0.15
26 มิ.ย. 52	17	3,925	4,360	750	2,175	2,750	4,550	1.80	1.59	0.16
27 มิ.ย. 52	18	3,950	4,250	675	2,050	2,800	4,500	1.93	1.52	0.15
28 มิ.ย. 52	19	4,150	4,375	725	2,100	2,750	4,650	1.98	1.59	0.16
29 มิ.ย. 52	20	3,975	4,310	650	2,125	2,825	4,600	1.87	1.53	0.14
30 มิ.ย. 52	21	3,850	4,050	775	2,100	2,850	4,475	1.83	1.42	0.17
	MAX	4,150	4,450	1,050	2,250	2,975	4,650	1.98	1.59	0.24
	MIN	3,850	4,050	650	2,050	2,750	4,350	1.80	1.42	0.14
	AVG	4,009	4,325	773	2,130	2,838	4,510	1.88	1.52	0.17
	SD	4,009	4,325	773	2,130	2,838	4,510	1.88	1.52	0.17

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.15

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)			ALK (mg/l as $CaCO_3$)			VFA/ALK		
		น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำทิ้ง
1 ก.ค. 52	22	4,000	4,450	975	1,750	2,400	4,950	2.29	1.85	0.20
2 ก.ค. 52	23	4,100	4,400	840	1,775	2,350	4,820	2.31	1.87	0.17
3 ก.ค. 52	24	4,312	4,520	775	1,825	2,400	4,750	2.36	1.88	0.16
4 ก.ค. 52	25	4,275	4,475	725	1,850	2,425	4,725	2.31	1.85	0.15
5 ก.ค. 52	26	4,105	4,375	740	1,850	2,450	4,450	2.22	1.79	0.17
6 ก.ค. 52	27	4,050	4,500	765	1,750	2,375	4,350	2.31	1.89	0.18
7 ก.ค. 52	28	4,125	4,575	755	1,825	2,450	4,370	2.26	1.87	0.17
8 ก.ค. 52	29	4,075	4,250	735	1,800	2,400	4,425	2.26	1.77	0.17
9 ก.ค. 52	30	4,140	4,350	750	1,875	2,425	4,480	2.21	1.79	0.17
10 ก.ค. 52	31	4,175	4,450	770	1,725	2,410	4,350	2.42	1.85	0.18
11 ก.ค. 52	32	4,010	4,440	745	1,775	2,375	4,400	2.26	1.87	0.17
	MAX	4,312	4,575	975	1,875	2,450	4,950	2.42	1.89	0.20
	MIN	4,000	4,250	725	1,725	2,350	4,350	2.21	1.77	0.15
	AVG	4,124	4,435	780	1,800	2,405	4,552	2.29	1.84	0.17
	SD	99	89	72	49	31	217	0.06	0.04	0.01

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายได้ และประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของระบบตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.97

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
10 มิ.ย. 52	1	16,197	6,006	62.92	13,871	5,064	63.49
11 มิ.ย. 52	2	16,245	5,925	63.53	13,601	5,004	63.21
12 มิ.ย. 52	3	16,135	5,513	65.83	13,749	4,725	65.63
13 มิ.ย. 52	4	16,140	5,405	66.51	13,700	4,619	66.28
14 มิ.ย. 52	5	16,352	5,346	67.31	13,625	4,327	68.24
15 มิ.ย. 52	6	16,360	5,114	68.74	13,584	4,193	69.13
16 มิ.ย. 52	7	16,099	5,155	67.98	13,891	4,155	70.09
17 มิ.ย. 52	8	16,120	5,207	67.70	13,652	4,339	68.22
18 มิ.ย. 52	9	15,936	5,347	66.45	13,679	4,192	69.35
19 มิ.ย. 52	10	16,145	5,308	67.12	13,718	4,106	70.07
20 มิ.ย. 52	11	16,170	5,222	67.71	13,796	4,206	69.51
	MAX	16,360	6,006	68.74	13,891	5,064	70.09
	MIN	15,936	5,114	62.92	13,584	4,106	63.21
	AVG	16,173	5,413	66.53	13,715	4,448	67.57
	SD	119	296	1.82	103	348	2.53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.53

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
21 มิ.ย. 52	12	16,264	5,261	67.65	13,992	4,178	70.14
22 มิ.ย. 52	13	16,147	5,399	66.56	13,667	4,353	68.15
23 มิ.ย. 52	14	16,135	5,340	66.90	13,701	4,310	68.54
24 มิ.ย. 52	15	16,088	5,453	66.11	13,655	4,674	65.77
25 มิ.ย. 52	16	16,303	5,597	65.67	13,545	4,689	65.38
26 มิ.ย. 52	17	16,308	5,679	65.18	13,493	4,455	66.98
27 มิ.ย. 52	18	15,994	5,203	67.47	13,950	4,384	68.57
28 มิ.ย. 52	19	15,891	5,251	66.96	13,753	4,588	66.64
29 มิ.ย. 52	20	16,048	5,392	66.40	13,842	4,477	67.66
30 มิ.ย. 52	21	16,098	5,381	66.57	13,651	4,326	68.31
	MAX	16,308	5,679	67.65	13,992	4,689	70.14
	MIN	15,891	5,203	65.18	13,493	4,178	65.38
	AVG	16,128	5,396	66.55	13,725	4,443	67.61
	SD	135	150	0.76	162	166	1.44

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.15

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
1 ก.ค. 52	22	16,397	5,375	67.22	13,818	4,527	67.24
2 ก.ค. 52	23	16,294	5,654	65.30	13,655	4,551	66.67
3 ก.ค. 52	24	16,332	5,607	65.67	13,795	4,834	64.96
4 ก.ค. 52	25	16,295	5,678	65.15	13,653	4,782	64.97
5 ก.ค. 52	26	16,256	5,495	66.20	13,756	4,791	65.17
6 ก.ค. 52	27	16,301	5,572	65.82	13,691	4,712	65.58
7 ก.ค. 52	28	16,320	5,600	65.69	13,836	4,822	65.15
8 ก.ค. 52	29	16,254	5,836	64.09	13,864	4,788	65.46
9 ก.ค. 52	30	16,213	5,513	66.00	13,781	4,594	66.66
10 ก.ค. 52	31	16,291	5,734	64.80	13,887	4,653	66.49
11 ก.ค. 52	32	16,266	5,556	65.84	13,741	4,626	66.33
	MAX	16,397	5,836	67.22	13,887	4,834	67.24
	MIN	16,213	5,375	64.09	13,653	4,527	64.96
	AVG	16,293	5,602	65.62	13,771	4,698	65.88
	SD	48	124	0.80	80	113	0.81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพตลอดการทดลอง
ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.97

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
10 มิ.ย. 52	1	9.0
11 มิ.ย. 52	2	9.2
12 มิ.ย. 52	3	9.6
13 มิ.ย. 52	4	9.6
14 มิ.ย. 52	5	9.8
15 มิ.ย. 52	6	9.6
16 มิ.ย. 52	7	10.0
17 มิ.ย. 52	8	9.8
18 มิ.ย. 52	9	9.6
19 มิ.ย. 52	10	9.8
20 มิ.ย. 52	11	9.8
	MAX	10.0
	MIN	9.0
	AVG	9.6
	SD	0.3

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.97

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
21 มิ.ย. 52	12	9.2
22 มิ.ย. 52	13	9.2
23 มิ.ย. 52	14	9.4
24 มิ.ย. 52	15	9.8
25 มิ.ย. 52	16	9.6
26 มิ.ย. 52	17	9.8
27 มิ.ย. 52	18	10.2
28 มิ.ย. 52	19	10.0
29 มิ.ย. 52	20	9.6
30 มิ.ย. 52	21	10.0
1 ก.ค. 52	22	8.4
	MAX	10.2
	MIN	8.4
	AVG	9.6
	SD	0.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.15</u>

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
2 ก.ค. 52	23	8.6
3 ก.ค. 52	24	9.2
4 ก.ค. 52	25	9.2
5 ก.ค. 52	26	9.4
6 ก.ค. 52	27	9.2
7 ก.ค. 52	28	9.6
8 ก.ค. 52	29	9.4
9 ก.ค. 52	30	9.6
10 ก.ค. 52	31	9.4
11 ก.ค. 52	32	9.4
	MAX	9.6
	MIN	8.6
	AVG	9.3
	SD	0.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าตะกอนแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังสร้างกรด

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.97

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำทิ้ง (mg/l)
10 มิ.ย. 52	1	452	495
12 มิ.ย. 52	3	593	614
14 มิ.ย. 52	5	481	501
16 มิ.ย. 52	7	395	468
19 มิ.ย. 52	10	486	490
	MAX	593	614
	MIN	395	468
	AVG	481	514
	SD	72	57

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.53

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำทิ้ง (mg/l)
21 มิ.ย. 52	12	453	485
23 มิ.ย. 52	14	550	525
26 มิ.ย. 52	17	481	520
28 มิ.ย. 52	19	485	529
30 มิ.ย. 52	21	497	551
1 ก.ค. 52	22	610	630
	MAX	610	630
	MIN	453	485
	AVG	513	540
	SD	57	49

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

pH ในถังสร้างกรด เท่ากับ 5.15

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำทิ้ง (mg/l)
3 ก.ค. 52	24	520	565
5 ก.ค. 52	26	582	621
8 ก.ค. 52	29	680	712
11 ก.ค. 52	32	520	574
	MAX	680	712
	MIN	520	565
	AVG	576	618
	SD	76	67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าพีเอชของน้ำเสียเข้า ในถังสร้างกรด และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})

<u>ไม่มีการเวียนน้ำกลับ</u>

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
1 ก.ค. 52	1	5.04	5.26	7.58
2 ก.ค. 52	2	5.05	5.20	7.60
3 ก.ค. 52	3	5.09	5.16	7.66
4 ก.ค. 52	4	5.04	5.12	7.61
5 ก.ค. 52	5	5.02	5.14	7.60
6 ก.ค. 52	6	5.07	5.19	7.65
7 ก.ค. 52	7	5.11	5.15	7.70
8 ก.ค. 52	8	5.04	5.16	7.60
9 ก.ค. 52	9	5.12	5.09	7.71
10 ก.ค. 52	10	5.08	5.14	7.60
11 ก.ค. 52	11	5.00	5.11	7.64
	MAX	5.12	5.26	7.71
	MIN	5.00	5.09	7.58
	AVG	5.06	5.16	7.63
	SD	0.04	0.05	0.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 1

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
12 ก.ค. 52	12	4.82	5.25	7.77
13 ก.ค. 52	13	4.84	5.17	7.79
14 ก.ค. 52	14	4.88	5.15	7.80
15 ก.ค. 52	15	4.85	5.11	7.83
16 ก.ค. 52	16	4.82	5.20	7.85
17 ก.ค. 52	17	4.88	5.18	7.84
18 ก.ค. 52	18	4.93	5.16	7.82
19 ก.ค. 52	19	4.89	5.15	7.86
20 ก.ค. 52	20	4.85	5.15	7.83
21 ก.ค. 52	21	4.87	5.20	7.84
	MAX	4.93	5.25	7.86
	MIN	4.82	5.11	7.77
	AVG	4.86	5.17	7.82
	SD	0.03	0.04	0.03

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 2

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
22 ก.ค. 52	22	4.65	5.15	7.93
23 ก.ค. 52	23	4.62	5.18	7.95
24 ก.ค. 52	24	4.68	5.20	8.00
25 ก.ค. 52	25	4.73	5.14	7.92
26 ก.ค. 52	26	4.79	5.18	7.96
27 ก.ค. 52	27	4.65	5.12	7.93
28 ก.ค. 52	28	4.67	5.10	7.94
	MAX	4.79	5.20	8.00
	MIN	4.62	5.10	7.92
	AVG	4.68	5.15	7.95
	SD	0.06	0.04	0.03

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 3

DATE	DAY	pH น้ำเข้า	pH ในถังสร้างกรด	pH น้ำทิ้ง
29 ก.ค. 52	29	4.40	5.29	8.08
30 ก.ค. 52	30	4.45	5.25	8.04
31 ก.ค. 52	31	4.46	5.24	8.00
1 ส.ค. 52	32	4.43	5.27	8.02
2 ส.ค. 52	33	4.47	5.23	7.98
3 ส.ค. 52	34	4.42	5.27	7.94
4 ส.ค. 52	35	4.44	5.30	7.85
5 ส.ค. 52	36	4.40	5.26	7.80
6 ส.ค. 52	37	4.46	5.25	7.84
7 ส.ค. 52	38	4.50	5.30	7.82
	MAX	4.50	5.30	8.08
	MIN	4.40	5.23	7.80
	AVG	4.44	5.27	7.94
	SD	0.03	0.02	0.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าอุณหภูมิของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี
ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})

<u>ไม่มีการเวียนน้ำกลับ</u>

DATE	DAY	T (°C) น้ำเข้า	T (°C) น้ำทิ้ง
1 ก.ค. 52	1	11.0	27.1
2 ก.ค. 52	2	9.6	28.0
3 ก.ค. 52	3	10.5	27.6
4 ก.ค. 52	4	10.6	28.1
5 ก.ค. 52	5	10.2	29.0
6 ก.ค. 52	6	11.0	28.4
7 ก.ค. 52	7	10.8	28.3
8 ก.ค. 52	8	11.0	28.8
9 ก.ค. 52	9	10.6	29.3
10 ก.ค. 52	10	10.2	29.0
11 ก.ค. 52	11	10.4	29.4
	MAX	11.0	29.4
	MIN	9.6	27.1
	AVG	10.5	28.5
	SD	0.4	0.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 1

DATE	DAY	T (^{o}C) น้ำเข้า	T (^{o}C) น้ำทิ้ง
12 ก.ค. 52	12	10.0	30.5
13 ก.ค. 52	13	9.8	31.0
14 ก.ค. 52	14	10.1	30.4
15 ก.ค. 52	15	10.6	30.5
16 ก.ค. 52	16	10.2	29.5
17 ก.ค. 52	17	10.9	30.9
18 ก.ค. 52	18	10.5	30.2
19 ก.ค. 52	19	11.0	30.4
20 ก.ค. 52	20	10.2	30.6
21 ก.ค. 52	21	10.0	30.4
	MAX	11.0	31.0
	MIN	9.8	29.5
	AVG	10.3	30.4
	SD	0.4	0.4

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 2

DATE	DAY	T (^{o}C) น้ำเข้า	T (^{o}C) น้ำทิ้ง
22 ก.ค. 52	22	10.0	30.0
23 ก.ค. 52	23	10.5	30.5
24 ก.ค. 52	24	10.1	30.2
25 ก.ค. 52	25	10.5	30.0
26 ก.ค. 52	26	10.8	30.8
27 ก.ค. 52	27	10.2	30.1
28 ก.ค. 52	28	10.5	30.6
	MAX	10.8	30.8
	MIN	10.0	30.0
	AVG	10.4	30.3
	SD	0.3	0.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 3

DATE	DAY	T (°C) น้ำเข้า	T (°C) น้ำทิ้ง
29 ก.ค. 52	29	10.2	30.5
30 ก.ค. 52	30	10.6	30.0
31 ก.ค. 52	31	10.5	30.2
1 ส.ค. 52	32	10.0	30.5
2 ส.ค. 52	33	10.6	30.0
3 ส.ค. 52	34	10.9	30.4
4 ส.ค. 52	35	10.0	30.8
5 ส.ค. 52	36	10.2	31.0
6 ส.ค. 52	37	10.0	30.2
7 ส.ค. 52	38	10.5	30.5
	MAX	10.9	31.0
	MIN	10.0	30.0
	AVG	10.4	30.4
	SD	0.3	0.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่ากรดไขมันระเหย และสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})

ไม่มีการเวียนน้ำกลับ

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)		ALK (mg/l as $CaCO_3$)		VFA/ALK	
		น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง
1 ก.ค. 52	1	4,000	975	1,750	4,950	2.29	0.20
2 ก.ค. 52	2	4,100	840	1,775	4,820	2.31	0.17
3 ก.ค. 52	3	4,312	775	1,825	4,750	2.36	0.16
4 ก.ค. 52	4	4,275	725	1,850	4,725	2.31	0.15
5 ก.ค. 52	5	4,105	740	1,850	4,450	2.22	0.17
6 ก.ค. 52	6	4,050	765	1,750	4,350	2.31	0.18
7 ก.ค. 52	7	4,125	755	1,825	4,370	2.26	0.17
8 ก.ค. 52	8	4,075	735	1,800	4,425	2.26	0.17
9 ก.ค. 52	9	4,140	750	1,875	4,480	2.21	0.17
10 ก.ค. 52	10	4,175	770	1,725	4,350	2.42	0.18
11 ก.ค. 52	11	4,010	745	1,775	4,400	2.26	0.17
	MAX	4,312	975	1,875	4,950	2.42	0.20
	MIN	4,000	725	1,725	4,350	2.21	0.15
	AVG	4,124	780	1,800	4,552	2.29	0.17
	SD	99	72	49	217	0.06	0.01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 1

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)		ALK (mg/l as $CaCO_3$)		VFA/ALK	
		น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง
12 ก.ค. 52	12	4,225	750	1,225	3,975	3.45	0.19
13 ก.ค. 52	13	4,325	720	1,175	4,025	3.68	0.18
14 ก.ค. 52	14	4,350	690	1,200	3,850	3.63	0.18
15 ก.ค. 52	15	4,280	625	1,350	3,925	3.17	0.16
16 ก.ค. 52	16	4,250	550	1,300	4,075	3.27	0.13
17 ก.ค. 52	17	4,200	500	1,275	4,050	3.29	0.12
18 ก.ค. 52	18	4,150	525	1,150	4,050	3.61	0.13
19 ก.ค. 52	19	4,350	500	1,225	4,150	3.55	0.12
20 ก.ค. 52	20	4,150	540	1,250	4,100	3.32	0.13
21 ก.ค. 52	21	4,100	500	1,200	4,000	3.42	0.13
	MAX	4,350	750	1,350	4,150	3.68	0.19
	MIN	4,100	500	1,150	3,850	3.17	0.12
	AVG	4,238	590	1,235	4,020	3.44	0.15
	SD	89	98	60	87	0.17	0.03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 2

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)		ALK (mg/l as $CaCO_3$)		VFA/ALK	
		น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง
22 ก.ค. 52	22	4,215	536	900	4,250	4.68	0.13
23 ก.ค. 52	23	4,250	560	840	4,275	5.06	0.13
24 ก.ค. 52	24	4,300	575	810	4,300	5.31	0.13
25 ก.ค. 52	25	4,150	580	825	4,225	5.03	0.14
26 ก.ค. 52	26	4,350	625	800	4,200	5.44	0.15
27 ก.ค. 52	27	4,250	586	875	4,180	4.86	0.14
28 ก.ค. 52	28	4,200	590	850	4,250	4.94	0.14
	MAX	4,350	625	900	4,300	5.44	0.15
	MIN	4,150	536	800	4,180	4.68	0.13
	AVG	4,245	579	843	4,240	5.05	0.14
	SD	66	27	36	42	0.26	0.01

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 3

DATE	DAY	VFA (mg/l as CH_3COOH)		ALK (mg/l as $CaCO_3$)		VFA/ALK	
		น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง
29 ก.ค. 52	29	4,350	625	550	3,650	7.91	0.17
30 ก.ค. 52	30	4,400	680	600	3,425	7.33	0.20
31 ก.ค. 52	31	4,350	600	575	3,050	7.57	0.20
1 ส.ค. 52	32	4,310	650	625	3,200	6.90	0.20
2 ส.ค. 52	33	4,325	600	550	3,300	7.86	0.18
3 ส.ค. 52	34	4,275	650	525	3,250	8.14	0.20
4 ส.ค. 52	35	4,350	625	550	3,050	7.91	0.20
5 ส.ค. 52	36	4,300	610	525	3,150	8.19	0.19
6 ส.ค. 52	37	4,275	635	510	3,000	8.38	0.21
7 ส.ค. 52	38	4,300	625	550	3,050	7.82	0.20
	MAX	4,400	680	625	3,650	8.38	0.21
	MIN	4,275	600	510	3,000	6.90	0.17
	AVG	4,324	630	556	3,213	7.80	0.20
	SD	39	25	35	204	0.44	0.01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายได้ และประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})

ไม่มีการเวียนน้ำกลับ

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
1 ก.ค. 52	1	16,397	5,375	67.22	13,818	4,527	67.24
2 ก.ค. 52	2	16,294	5,654	65.30	13,655	4,551	66.67
3 ก.ค. 52	3	16,332	5,607	65.67	13,795	4,834	64.96
4 ก.ค. 52	4	16,295	5,678	65.15	13,653	4,782	64.97
5 ก.ค. 52	5	16,256	5,495	66.20	13,756	4,791	65.17
6 ก.ค. 52	6	16,301	5,572	65.82	13,691	4,712	65.58
7 ก.ค. 52	7	16,320	5,600	65.69	13,836	4,822	65.15
8 ก.ค. 52	8	16,254	5,836	64.09	13,864	4,788	65.46
9 ก.ค. 52	9	16,213	5,513	66.00	13,781	4,594	66.66
10 ก.ค. 52	10	16,291	5,734	64.80	13,887	4,653	66.49
11 ก.ค. 52	11	16,266	5,556	65.84	13,741	4,626	66.33
	MAX	16,397	5,836	67.22	13,887	4,834	67.24
	MIN	16,213	5,375	64.09	13,653	4,527	64.96
	AVG	16,293	5,602	65.62	13,771	4,698	65.88
	SD	48	124	0.80	80	113	0.81

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 1

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
12 ก.ค. 52	12	16,331	5,019	69.27	13,993	4,153	70.32
13 ก.ค. 52	13	16,148	4,830	70.09	13,677	4,054	70.36
14 ก.ค. 52	14	16,316	4,803	70.56	13,699	4,088	70.16
15 ก.ค. 52	15	16,297	4,889	70.00	13,655	3,842	71.86
16 ก.ค. 52	16	16,500	4,853	70.59	13,543	3,866	71.45
17 ก.ค. 52	17	16,372	4,789	70.75	13,452	3,900	71.01
18 ก.ค. 52	18	16,155	4,866	69.88	14,064	3,828	72.78
19 ก.ค. 52	19	16,205	4,924	69.61	13,894	3,848	72.30
20 ก.ค. 52	20	16,152	4,705	70.87	13,847	3,864	72.10
21 ก.ค. 52	21	16,197	4,855	70.03	13,649	3,903	71.40
	MAX	16,500	5,019	70.87	14,064	4,153	72.78
	MIN	16,148	4,705	69.27	13,452	3,828	70.16
	AVG	16,267	4,853	70.16	13,747	3,935	71.37
	SD	116	84	0.52	196	118	0.90

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 2

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
22 ก.ค. 52	22	16,320	4,931	69.79	13,655	4,467	67.29
23 ก.ค. 52	23	16,330	5,045	69.11	13,543	4,686	65.40
24 ก.ค. 52	24	16,372	5,042	69.20	13,552	4,408	67.47
25 ก.ค. 52	25	16,353	5,345	67.31	13,897	4,555	67.22
26 ก.ค. 52	26	16,411	4,995	69.56	13,888	4,105	70.44
27 ก.ค. 52	27	16,152	4,708	70.85	13,865	4,389	68.34
28 ก.ค. 52	28	16,303	4,863	70.17	13,706	4,110	70.01
	MAX	16,411	5,345	70.85	13,897	4,686	70.44
	MIN	16,152	4,708	67.31	13,543	4,105	65.40
	AVG	16,320	4,990	69.43	13,729	4,389	68.03
	SD	82	196	1.11	155	216	1.75

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 3

DATE	DAY	TCOD INFLUENT (mg/l)	TCOD EFFLUENT (mg/l)	% TCOD REMOVAL	SCOD INFLUENT (mg/l)	SCOD EFFLUENT (mg/l)	% SCOD REMOVAL
29 ก.ค. 52	29	16,294	5,064	68.92	13,796	4,208	69.50
30 ก.ค. 52	30	16,333	5,171	68.34	13,766	4,202	69.48
31 ก.ค. 52	31	16,376	5,412	66.95	13,696	4,329	68.39
1 ส.ค. 52	32	16,227	5,191	68.01	13,861	4,643	66.50
2 ส.ค. 52	33	16,482	5,453	66.92	13,823	4,614	66.62
3 ส.ค. 52	34	16,178	5,332	67.04	13,735	4,828	64.85
4 ส.ค. 52	35	16,366	5,693	65.21	13,802	4,640	66.38
5 ส.ค. 52	36	16,295	5,743	64.76	13,772	4,620	66.45
6 ส.ค. 52	37	16,205	5,879	63.72	13,690	4,774	65.13
7 ส.ค. 52	38	16,254	5,656	65.20	13,745	4,758	65.38
	MAX	16,482	5,879	68.92	13,861	4,828	69.50
	MIN	16,178	5,064	63.72	13,690	4,202	64.85
	AVG	16,301	5,459	66.51	13,769	4,562	66.87
	SD	92	275	1.71	54	231	1.70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพตลอดการทดลอง
ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})

ไม่มีการเวียนน้ำกลับ

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
1 ก.ค. 52	1	8.4
2 ก.ค. 52	2	8.6
3 ก.ค. 52	3	9.2
4 ก.ค. 52	4	9.2
5 ก.ค. 52	5	9.4
6 ก.ค. 52	6	9.2
7 ก.ค. 52	7	9.6
8 ก.ค. 52	8	9.4
9 ก.ค. 52	9	9.6
10 ก.ค. 52	10	9.4
11 ก.ค. 52	11	9.4
	MAX	9.6
	MIN	8.4
	AVG	9.2
	SD	0.4

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 1

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
12 ก.ค. 52	12	9.4
13 ก.ค. 52	13	9.4
14 ก.ค. 52	14	9.8
15 ก.ค. 52	15	10.2
16 ก.ค. 52	16	9.8
17 ก.ค. 52	17	10.0
18 ก.ค. 52	18	10.4
19 ก.ค. 52	19	10.2
20 ก.ค. 52	20	10.0
21 ก.ค. 52	21	10.2
	MAX	10.4
	MIN	9.4
	AVG	9.9
	SD	0.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 2

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
22 ก.ค. 52	22	13.0
23 ก.ค. 52	23	13.4
24 ก.ค. 52	24	13.6
25 ก.ค. 52	25	13.8
26 ก.ค. 52	26	13.6
27 ก.ค. 52	27	14.0
28 ก.ค. 52	28	13.8
	MAX	14.0
	MIN	13.0
	AVG	13.6
	SD	0.3

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 3

DATE	DAY	TOTAL GAS (l/d)
29 ก.ค. 52	29	15.8
30 ก.ค. 52	30	16.2
31 ก.ค. 52	31	13.4
1 ส.ค. 52	32	11.6
2 ส.ค. 52	33	11.4
3 ส.ค. 52	34	11.8
4 ส.ค. 52	35	11.6
5 ส.ค. 52	36	11.4
6 ส.ค. 52	37	11.8
7 ส.ค. 52	38	11.8
	MAX	16.2
	MIN	11.4
	AVG	12.7
	SD	1.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองค่าตะกอนแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ตลอดการทดลองในขั้นการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})

ไม่มีการเวียนน้ำกลับ

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำทิ้ง (mg/l)
1 ก.ค. 52	1	610	630
3 ก.ค. 52	3	520	565
5 ก.ค. 52	5	582	621
8 ก.ค. 52	8	680	712
11 ก.ค. 52	11	520	574
	MAX	680	712
	MIN	520	565
	AVG	582	620
	SD	67	59

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 1

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำทิ้ง (mg/l)
12 ก.ค. 52	12	502	615
14 ก.ค. 52	14	554	650
17 ก.ค. 52	17	481	586
19 ก.ค. 52	19	421	684
21 ก.ค. 52	21	496	641
	MAX	554	684
	MIN	421	586
	AVG	491	635
	SD	48	37

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 2

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำทิ้ง (mg/l)
22 ก.ค. 52	22	524	681
24 ก.ค. 52	24	532	715
26 ก.ค. 52	26	529	789
28 ก.ค. 52	28	547	754
	MAX	547	789
	MIN	524	681
	AVG	533	735
	SD	10	47

อัตราการเวียนน้ำกลับ เท่ากับ 3

DATE	DAY	SS น้ำเข้า (mg/l)	SS น้ำทิ้ง (mg/l)
29 ก.ค. 52	29	515	805
31 ก.ค. 52	31	578	814
2 ส.ค. 52	33	521	790
4 ส.ค. 52	35	557	829
6 ส.ค. 52	37	584	811
	MAX	584	829
	MIN	515	790
	AVG	551	810
	SD	32	14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายฤทธิชัย รัตนมุกดา เกิดวันที่ 8 กันยายน พ.ศ. 2527 ที่จังหวัด นครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย