

ระบบอีซีไอเอสปีที่ใช้อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรสำหรับบำบัดน้ำ  
เสียจากโรงงานผลิตเอทานอล



นางสาวชญาณิศา บุญปกครอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EGSB SYSTEM WITH SYMMETRY AND NON-SYMMETRY THREE PHASE  
SEPARATORS FOR TREATMENT OF ETHANOL PLANT WASTEWATER

Miss Chayanisa Boonpokkrong



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering  
Department of Environmental Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2010  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ระบบอีจีเอสบีที่ใช้อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร  
และไม่สมมาตรสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิต  
เอทานอล

โดย

นางสาวชญานิศา บุญปกครอง

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

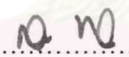
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

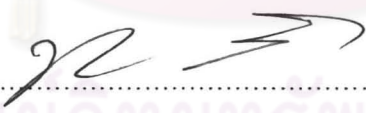
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

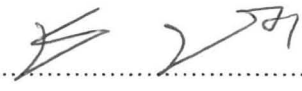
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศทวีวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

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

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ปธาน บรรจงปรุ)

ชญาณิศา บุญปกครอง : ระบบอีจีเอสบีที่ใช้อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร และไม่สมมาตรสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล (EGSB SYSTEM WITH SYMMETRY AND NON – SYMMETRY THREE PHASE SEPARATORS FOR TREATMENT OF ETHANOL PLANT WASTEWATER) อ. ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 224 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ ค่าความเร็วไหลขึ้น ต่อประสิทธิภาพและการทำงานของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร และไม่สมมาตรในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล โดยใช้ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี ขนาด 17 ลิตร อัตราสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 34 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง โดยมีระยะเวลาพักน้ำนาน 12 ชม. ศึกษาผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่ 3 ม./ชม. และศึกษาผลค่าความเร็วไหลขึ้นที่ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอล ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10-30 กก.ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน มีการกำจัดซีโอดีได้ใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงร้อยละ 60.6 - 64.1 สัดส่วนการผลิตก๊าซมีเทน ประมาณ 0.25 - 0.33 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบเริ่มมีประสิทธิผลลดลง ทั้งที่ค่าพีเอช และค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ระบบยังทำงานได้ ดังนั้นอาจเกิดจากปัจจัยอื่น เช่น ความเป็นพิษของน้ำเสีย การเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นเป็นการเพิ่มอัตราส่วนการเวียนน้ำ กลับเป็นการเพิ่มค่าให้ระบบอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มตามความเร็วไหลขึ้นที่สูงขึ้น แต่จะมีประสิทธิผลลดลงที่ค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. สำหรับปริมาณของแข็งแขวนลอย น้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75 - 176 มก./ล. ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำแสดงว่าระบบอีจีเอสบีที่มี อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีประสิทธิภาพในการช่วยให้เกิดการ ตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยได้ดีที่อัตราภาระสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นที่สูง

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... ชญณิศา บุญปกครอง.....

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

ปีการศึกษา..... 2553.....



# # 4970825921 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : EGSB / THREE PHASE SEPARATORS / SYMMETRY THREE PHASE SEPARATORS / NON-SYMMETRY THREE PHASE SEPARATORS / ETHANOL PLANT WASTEWATER

CHAYANISA BOONPOKKRONG: EGSB SYSTEM WITH SYMMETRY AND NON-SYMMETRY THREE PHASE SEPARATORS FOR TREATMENT OF ETHANOL PLANT WASTEWATER.THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. CHAVALIT RATANATAMSAKUL, Ph.D., 224 pp.

The purpose of this study is to identify the result of organic loading rates, and up-flow velocity on the performance of EGSB in treating wastewater from ethanol distillery process. EGSB tank was 17 L, while the flow rate was kept constant at 34 L/d throughout all experiments. The retention time of EGSB tank was 12 hr. The organic loading rates were 10 - 40 kgCOD/m<sup>3</sup>-d. at the up-flow velocity of 3 m/hr. and the up-flow velocity of 3, 4, 5 and 6 m/hr. using organic loading rate of 40 kgCOD/m<sup>3</sup>-d. At organic loading rate of 10 – 30 kgCOD/m<sup>3</sup>-d, which the COD removal efficiencies were 60.6 - 64.1%. Approximate methane yield were 0.25 - 0.33 L/g COD removed. As the organic loading rates arrived 40 kg COD/ m<sup>3</sup>-d, EGSB efficiency decreased although pH and VFA/ALK were in suitable level. This might happen from other reasons such as toxicity. Introducing higher up-flow velocity significantly increased alkalinity of EGSB operation. At organic loading rates of 40 kgCOD/m<sup>3</sup>-d,EGSB efficiency increased when applied higher up-flow velocity, but EGSB efficiency decreased at the up-flow velocity arrived 6 m/hr. From the experiments found that EGSB reactors with non-symmetry and symmetry three phase separators were able to remove total suspended solid between 75-176 mg/L.The result showed that three phase separators help reduce sludge washing out problem at high organic loading rate.

Department : Environmental Engineering.....  
Field of Study : Environmental Engineering.....  
Academic Year : 2010.....

Student's Signature *ชยานิส บุญพอกรวง*  
Advisor's Signature *ชวาลิต รตนาตมสกุล*

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำ และให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และคอยให้ความช่วยเหลือทุกขั้นตอนในการทำวิจัย รวมทั้งตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเอี่ยมร ผศ.ดร.ศรัณย์ เตชะเสน และ ดร.ปธาน บรรจงปรุ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาตรวจทานวิทยานิพนธ์และคำแนะนำ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีและมีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้กรุณามอบความรู้อันเป็นประโยชน์ คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการศึกษาที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณคุณครูผู้ดูแลห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท สำหรับมิตรภาพ กำลังใจ ตลอดจนความช่วยเหลือทั้งในด้านการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์ และการหยิบยืมเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ คำปรึกษา ตลอดจนและเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้มีกำลังใจในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการผลิตเอทานอล.....	4
2.2 กลไกพื้นฐานในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.....	5
2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน.....	7
2.3.1 ปฏิไฮโดรไลซิส (Hydrolysis).....	7
2.3.2 ปฏิกริยาการเกิดกรด (Acidogenesis).....	8
2.3.3 ปฏิกริยาการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis).....	8
2.3.4 ปฏิกริยาการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis).....	9
2.4 ข้อดีข้อเสียของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	10
2.4.1 ข้อดี.....	10
2.4.2 ข้อเสีย.....	11
2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	12
2.5.1 อุณหภูมิ (temperature).....	12
2.5.2 ค่าพีเอช (pH).....	13
2.5.3 กรดอินทรีย์ และค่าความเป็นด่าง (Volatile fatty acid and Total alkalinity).....	13

บทที่	หน้า
2.5.4 สารอาหาร (Nutrient).....	14
2.5.5 โออาร์พี (Oxidation Reduction Potential, ORP).....	14
2.5.6 สารพิษ (Toxic Substance).....	14
2.6 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB).....	16
2.6.1 องค์ประกอบของระบบยูเอเอสบี.....	16
2.6.2 ลักษณะและหลักการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	16
2.6.3 กลไกการทำงานและการออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะ (GSS; Gas-Solid-Separator).....	18
2.6.4 ข้อดีข้อเสียของระบบยูเอเอสบี.....	21
2.6.5 ประเภทของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granular Sludge) ในถังยูเอเอสบี	22
2.6.6 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดจุลชีพ (Granules).....	23
2.6.7 ความสำคัญของ Extracellular Polymers (ECP) ต่อการเกิดเม็ดจุลชีพ	25
2.6.8 กระบวนการรวมตัวเป็นเม็ดจุลชีพ.....	26
2.6.9 กระบวนการเกิดเม็ดตะกอนจุลชีพ (Process of Granulation).....	28
2.7 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed; EGSB).....	29
2.7.1 ความเป็นมาของระบบอีจีเอสบี.....	29
2.7.2 ลักษณะและการทำงานของระบบอีจีเอสบี.....	30
2.7.3 คุณสมบัติของระบบอีจีเอสบี.....	31
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
2.8.1 การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยระบบอีจีเอสบี.....	35
2.8.2 การศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียประเภทเอทานอลและน้ำกากส่า	36
2.8.3 การศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์แยกสามสถานะ.....	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	42
3.1 แผนการทดลอง.....	42
3.2 การเตรียมน้ำเสีย.....	42
3.2.1 ส่วนประกอบน้ำเสีย.....	42
3.2.2 วิธีการเตรียมน้ำเสีย.....	43
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	44



บทที่	หน้า
3.3.2 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบ.....	48
3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	49
3.4.1 การเริ่มต้นเดินระบบ (start up) ในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี.....	49
3.4.2 การทดลองถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1.....	51
3.4.3 การทดลองถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 .....	53
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	55
3.5.1 การวิเคราะห์น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล.....	55
3.5.2 การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรสำหรับการบำบัดน้ำเสีย.....	55
3.5.3 การวิเคราะห์เม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล.....	56
3.6 ค่าพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในการทดลอง.....	57
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	59
4.1 การดำเนินการทดลองช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up).....	59
4.2 การดำเนินการทดลองช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร.....	62
4.3 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสบีช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์.....	71
4.3.1 สภาพแวดล้อมการเดินระบบของอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร.....	71
4.3.2 ประสิทธิภาพของระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นคงที่.....	80
4.4 การทดลองช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้น.....	112
4.4.1 สภาพแวดล้อมของการเดินระบบและประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรความเร็วไหลขึ้นคงที่.....	116

บทที่	หน้า
4.4.2 ประสิทธิภาพของระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่.....	124
4.4.3 ผลการศึกษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของระบบช่วงการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่.....	137
4.5 การศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี.....	148
4.5.1 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังสิ้นสุดการทดลอง.....	148
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	151
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	151
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	153
5.3 ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์ทางวิศวกรรม.....	153
รายการอ้างอิง.....	154
ภาคผนวก.....	158
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	159
ภาคผนวก ข การทดลองและการคำนวณ.....	207
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	224

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	ปฏิบัติการรีดออกซีในการบำบัดน้ำเสีย.....	6
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลเบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล.....	43
ตารางที่ 3.2	แสดงอัตราการสูบน้ำเวียนกลับที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าความเร็วไหลขึ้น (Vup) ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1....	52
ตารางที่ 3.3	แสดงอัตราการสูบน้ำเวียนกลับที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าความเร็วไหลขึ้น (Vup) ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2....	54
ตารางที่ 3.4	แสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในการทดลอง.....	57
ตารางที่ 4.1	คุณลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	59
ตารางที่ 4.2	แสดงช่วงเวลากการทดลองของแต่ละภาระบรรทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นของทุกถังปฏิกรณ์.....	61
ตารางที่ 4.3	ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ....	63
ตารางที่ 4.4	ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	64
ตารางที่ 4.5	ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 30 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	65
ตารางที่ 4.6	ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	66
ตารางที่ 4.7	ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.....	67
ตารางที่ 4.8	ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.....	68
ตารางที่ 4.9	ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 30 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.....	69
ตารางที่ 4.10	ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.....	70

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.11	70
แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์.....	
ตารางที่ 4.12	72
แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์.....	
ตารางที่ 4.13	74
แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์.....	
ตารางที่ 4.14	74
แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์.....	
ตารางที่ 4.15	76
แสดงค่าเฉลี่ยไออาร์พีตลอดการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร.....	
ตารางที่ 4.16	76
แสดงค่าเฉลี่ยไออาร์พีตลอดการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	
ตารางที่ 4.17	77
แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็นตลอดการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร.....	
ตารางที่ 4.18	78
แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็นตลอดการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	
ตารางที่ 4.19	81
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร.....	
ตารางที่ 4.20	83
แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร.....	

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.21	84
แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด (มก. ใน เทอมของกรดอะซิติก / มก. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ของระบบ ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร.....	84
ตารางที่ 4.22	86
แสดงค่าซีไอดีทั้งหมดและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ย ตลอดจนการ ทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์ แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร.....	86
ตารางที่ 4.23	87
แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ ของก๊าซมีเทนตลอดการทดลองการเปลี่ยนอัตราภาวะสารอินทรีย์ของ ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร.....	87
ตารางที่ 4.24	89
แสดงค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) และประสิทธิภาพ การกำจัดตลอดการทดลองในการเปลี่ยนอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบ อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร.....	89
ตารางที่ 4.25	91
แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิ ติก) ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจี เอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	91
ตารางที่ 4.26	92
แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียม คาร์บอเนต) ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจี เอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	92
ตารางที่ 4.27	94
แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด (มก. ใน เทอมของกรดอะซิติก / มก. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตลอดจนการ ทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ ของระบบระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์ แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	94
ตารางที่ 4.28	95
แสดงค่าซีไอดีทั้งหมดและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ย ตลอดจนการ ทดลองในการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบระบบอีจีเอสบีที่มี อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	95
ตารางที่ 4.29	96
แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ ของก๊าซมีเทนตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอี จีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	96



ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.30	98
แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะ สารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร....	
ตารางที่ 4.31	101
ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 ก่อนช่วงเริ่ม เดินระบบของถังปฏิกรณ์อีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร และไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์.....	
ตารางที่ 4.32	101
ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จากระดับบน (1.5 m.)ของถังปฏิกรณ์อีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร และไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์.....	
ตารางที่ 4.33	102
ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จาก ระดับกลาง (1.0 m.)ของถังปฏิกรณ์อีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ แบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์.....	
ตารางที่ 4.34	102
ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จากระดับล่าง (0.5 m.)ของถังปฏิกรณ์อีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร และไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์.....	
ตารางที่ 4.35	106
ค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบอีจีเอสพีตลอด การเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่.....	
ตารางที่ 4.36	109
ปริมาณจุลินทรีย์จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะของเม็ด ตะกอน จุลินทรีย์จากระบบอีจีเอสพีตลอดการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ ที่ ความเร็วไหลขึ้นคงที่.....	
ตารางที่ 4.37	112
ผลการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	
ตารางที่ 4.38	113
ผลการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.....	
ตารางที่ 4.39	114
ผลการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.....	
ตารางที่ 4.40	115
ผลการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.....	

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.41	116
แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีตลอดการทดลอง การเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.42	119
แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีตลอดการทดลองการเปลี่ยน ค่าความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.43	122
แสดงค่าเฉลี่ยโออาร์พีตลอดการทดลองช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น.	
ตารางที่ 4.44	123
แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็นตลอดการทดลองช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็ว ไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.45	125
แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิ- ดิก) ตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.46	127
แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียม คาร์บอเนต) ตลอดการทดลองในการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.47	129
แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (มก. ในเทอม ของกรดอะซิติก / มก. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตลอดการ ทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.48	131
แสดงค่าซีไอดีทั้งหมดและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ย ตลอดการ ทดลองในการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่.....	
ตารางที่ 4.49	133
แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ ของก๊าซมีเทนตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.50	135
แสดงค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) และประสิทธิภาพการ กำจัดตลอดการทดลองในการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.51	138
ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จากระดับบน (1.5 ม.) ของถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร และไม่สมมาตรตลอดการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.52	139
ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จาก ระดับกลาง(1.0 ม.) ของถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ แบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น.....	

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.53	139
ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จาก ระดับกลาง(0.5ม.) ของถังปฏิกรณ์ชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ แบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ 4.54	143
ค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบชีวเคมีตลอด การเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น ที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีไอดี/ลบ. ม.-วัน.....	
ตารางที่ 4.55	146
ปริมาณจุลินทรีย์จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะของเม็ด ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบชีวเคมีตลอดการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น.....	
ตารางที่ ก.1	160
แสดงค่าพีเอชช่วงเริ่มเดินระบบ.....	
ตารางที่ ก.2	160
แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.3	161
แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.4	162
แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.5	163
แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.6	164
แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.7	165
แสดงค่าอุณหภูมิช่วงเริ่มเดินระบบ.....	
ตารางที่ ก.8	165
แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.9	166
แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.10	167
แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.11	168
แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.12	169
แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	
ตารางที่ ก.13	170
แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 10 กก. ซีไอดี/ ลบ.ม.- วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.14	171
แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 20 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.15	172
แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 30 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	



ตารางที่	หน้า
ตารางที่ ก.30	187
แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราสาระอินทรีย์ 30 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.31	188
แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราสาระอินทรีย์ 40 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.32	189
แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราสาระอินทรีย์ 40 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.33	190
แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพช่วงเริ่มเดินระบบ.....	
ตารางที่ ก.34	191
แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราสาระอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.35	192
แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ภาวะบรรทุกสาระอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.36	194
แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราสาระอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.37	196
แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราสาระอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.38	198
แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราสาระอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 และ 6 ม./ชม.....	
ตารางที่ ก.39	199
ตารางที่ ก. 39 แสดงค่าไออาร์พี.....	



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล.....	5
รูปที่ 2.2	ขั้นตอนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ.....	7
รูปที่ 2.3	ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี.....	18
รูปที่ 2.4	หลักการการทำงานของอุปกรณ์แยกสามสถานะ.....	19
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของเม็ดจุลชีวะในระบบยูเอเอสบี บำบัดน้ำเสียกลูโคส.....	23
รูปที่ 2.6	บทบาทของประจุไฟฟ้าและอีซีพี ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของแบคทีเรีย.....	25
รูปที่ 2.7	กลไกการเคลื่อนไหวต่างๆ ที่มีผลต่อการรวมตัว.....	26
รูปที่ 2.8	กลไกของการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์โดยอาศัยอีซีพีจนกลายเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	28
รูปที่ 2.9	แผนผังส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี.....	31
รูปที่ 2.10	แสดงลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบ IT.....	39
รูปที่ 2.11	แสดงลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะ.....	40
รูปที่ 2.12	แสดงลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะในระบบยูเอเอสบี.....	41
รูปที่ 3.1	รายละเอียดแบบจำลองอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี..	43
รูปที่ 3.2	รายละเอียดแบบจำลองอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี	45
รูปที่ 3.3	เครื่องสูบน้ำเสียหมุนเวียนชนิดไดอะแฟรม.....	46
รูปที่ 3.4	เครื่องสูบน้ำเสียชนิดรีดสาย.....	46
รูปที่ 3.5	เครื่องวัดปริมาณก๊าซ.....	47
รูปที่ 3.6	ภาพรวมอุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินระบบ.....	47
รูปที่ 3.7	แบบจำลองถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี.....	48
รูปที่ 3.8	แผนผังการทำงานของระบบอีจีเอสบี.....	49
รูปที่ 3.9	แผนผังแบบจำลองถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีในการทดลองชุดที่ 1 และ 2.....	50
รูปที่ 4.1	ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	60
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าอัตราภาวะสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้น.....	62
รูปที่ 4.3	แสดงภาพรวมของอุณหภูมิในระบบช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร.....	73

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.4	73
รูปที่ 4.5	75
รูปที่ 4.6	75
รูปที่ 4.7	77
รูปที่ 4.8	79
รูปที่ 4.9	79
รูปที่ 4.10	82
รูปที่ 4.11	84
รูปที่ 4.12	85
รูปที่ 4.13	87
รูปที่ 4.14	88
รูปที่ 4.15	90

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.16 แสดงภาพรวมของปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาวะ สารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	92
รูปที่ 4.17 แสดงภาพรวมสภาพต่างทั้งหมดในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	93
รูปที่ 4.18 แสดงภาพรวมของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในระบบช่วงการเพิ่ม อัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบ ไม่สมมาตร.....	94
รูปที่ 4.19 แสดงภาพรวมของค่าซีไอดีทั้งหมดในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	96
รูปที่ 4.20 แสดงภาพรวมของปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาวะ สารอินทรีย์ ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร.....	97
รูปที่ 4.21 แสดงภาพรวมของปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยช่วงการเพิ่ม อัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบ สมมาตร.....	99
รูปที่ 4.22 ขนาดเม็ดตะกอน (D50) เฉลี่ยที่ระดับ 0.5 ม.จากกันถึงปฏิกรณ์ ตามการเพิ่ม อัตราภาวะสารอินทรีย์.....	104
รูปที่ 4.23 ขนาดเม็ดตะกอน(D50) เฉลี่ยที่ระดับ 1.0 ม.จากกันถึงปฏิกรณ์ ตามการเพิ่ม อัตราภาวะสารอินทรีย์.....	104
รูปที่ 4.24 ขนาดเม็ดตะกอน(D50) เฉลี่ยที่ระดับ 1.0 ม.จากกันถึงปฏิกรณ์ ตามการเพิ่ม อัตราภาวะสารอินทรีย์.....	105
รูปที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 0.5 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่ม อัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบ สมมาตรไม่สมมาตร.....	107
รูปที่ 4.26 ค่าเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 1.0 ม. ของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตรา ภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร และไม่สมมาตร.....	107



รูปที่	หน้า
รูปที่4.39 แสดงค่าเฉลี่ยไออาร์พีในระบบตลอดการทดลองการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร....	123
รูปที่4.40 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็นในระบบตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร.....	124
รูปที่4.41 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร	126
รูปที่4.42 แสดงค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบ อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร.....	128
รูปที่4.43 แสดงค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร.....	130
รูปที่4.44 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณซีไอดีทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร....	132
รูปที่4.45 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร.....	134
รูปที่4.46 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร.....	137
รูปที่4.47 ขนาดเม็ดตะกอน (D50) เฉลี่ยที่ระดับ 0.5 เมตรจากก้นถังปฏิกรณ์ ตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น.....	141
รูปที่4.48 ขนาดเม็ดตะกอน (D50) เฉลี่ยที่ระดับ 1.0 เมตรจากก้นถังปฏิกรณ์ ตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น.....	141



รูปที่	หน้า
รูปที่4.49	ขนาดเม็ดตะกอน (D50) เฉลี่ยที่ระดับ 1.5 เมตรจากก้นถึงปฏิกรณ์ ตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น..... 142
รูปที่4.50	ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 0.5 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร..... 144
รูปที่4.51	ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 1.0 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร..... 144
รูปที่4.52	ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 1.5 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร..... 145
รูปที่4.53	ปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยที่ความสูงระดับ 0.5 ม. ของถัง ตลอดจนการทดลองการเปลี่ยนแปลงความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร..... 146
รูปที่4.54	ปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยที่ความสูงระดับ 1.0 ม. ของถัง ตลอดจนการทดลองการเปลี่ยนแปลงความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร..... 147
รูปที่4.55	ปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยที่ความสูงระดับ 1.5 ม. ของถัง ตลอดจนการทดลองการเปลี่ยนแปลงความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร..... 147
รูปที่4.56	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope ,SEM) ลักษณะผิวภายนอกและภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังสิ้นสุดการทดลอง..... 149

รูปที่	หน้า	
รูปที่ ก.1	แสดงพื้นที่ได้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วันที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ ชม.และ 4 ม./ชม.....	202
รูปที่ ก.2	แสดงพื้นที่ได้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วันที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ ชม.และ 4 ม./ชม.....	203
รูปที่ ก.3	แสดงพื้นที่ได้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วันที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.และ 4 ม./ชม.....	204
รูปที่ ก.4	แสดงพื้นที่ได้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วันที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ ชม.และ 4 ม./ชม.....	205
รูปที่ ก.5	แสดงพื้นที่ได้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วันที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.และ 6 ม./ชม.....	206
รูปที่ ข.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (มล.) กับ เวลา (วัน).....	218

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ณ ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มมากขึ้น เพราะเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในการสร้างพลังงาน เพื่อทดแทนพลังงานนำเข้า ซึ่งจากผลการขยายตัวของโรงงานผลิตเอทานอลที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลเป็นน้ำเสียประเภทน้ำกากส่า ซึ่งยากต่อการบำบัดให้ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง โดยมีค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) และบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ที่สูง ดังนั้นในการบำบัดจึงเหมาะสำหรับใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Process) ในการบำบัดขั้นต้นแล้วตามด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ ซึ่งการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในขั้นต้นนั้นจะช่วยประหยัดในเรื่องของพลังงานในการเติมอากาศ และทำให้เกิดผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีอยู่หลายระบบเช่น บ่อหมัก ระบบยูเอเอสบี ถังกรองไร้อากาศ และระบบอีจีเอสบี เป็นต้น ซึ่งแต่ละระบบมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่พัฒนามาจากระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) โดยระบบอีจีเอสบีมีการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำทิ้ง และมีความเร็วไหลขึ้นสูงกว่าระบบยูเอเอสบี ส่งผลทำให้ชั้นสลัดจ์มีการขยายตัวสูงขึ้น และเพิ่มการสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเนื่องจากการส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่เซลล์จุลชีพได้ อีกทั้งยังช่วยเจือจางน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงก่อนเข้าระบบให้มีเสถียรภาพมากขึ้น นอกจากนี้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก แต่ระบบอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคสารแขวนลอยและคอลลอยด์ค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีความเร็วไหลขึ้นสูง ดังนั้นต้องคำนึงถึงการออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันการล้างออกของตะกอนจุลินทรีย์

อุปกรณ์แยกสามสถานะในระบบอีจีเอสบี เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ส่วนบนของระบบอีจีเอสบี ซึ่งทำหน้าที่ในการแยกและรวบรวมก๊าซออกจากระบบ รวมทั้งช่วยป้องกันการล้างออกของตะกอนจุลินทรีย์ไปกับน้ำทิ้ง เนื่องจากความเร็วไหลขึ้นที่สูงภายในระบบอีจีเอสบี สำหรับในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

และไม่สมมาตรในระบบอีจีเอสปีสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแก่ระบบอีจีเอสปี ซึ่งหากมีประสิทธิภาพที่ดี ก็จะเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสปีที่ใช้อุปกรณ์แยกสามสถานะ (Three phase separators) แบบสมมาตรและไม่สมมาตรที่พัฒนาขึ้น ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

1.2.2 ศึกษาผลของการเปลี่ยนอัตราการระเหยอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบอีจีเอสปี

1.2.3 ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากน้ำเสียของโรงงานผลิตเอทานอลโดยระบบอีจีเอสปี ในการบอกสมรรถภาพของระบบ

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบอีจีเอสปีที่ใช้อุปกรณ์แยกสามสถานะ (Three phase separators) แบบสมมาตรและไม่สมมาตรในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล งานวิจัยทั้งหมดนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้แบบจำลองถังปฏิกริยาอีจีเอสปีทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการชั้น 1 อาคารภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอบเขตงานวิจัยมีดังนี้

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอล

1.3.2 ดำเนินการทดลองภายใต้สภาวะอุณหภูมิและบรรยากาศภายในห้องทดลอง

1.3.3 ใช้แบบจำลองถังปฏิกริยาอีจีเอสปีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.4 เซนติเมตรสูง 200 เซนติเมตร จำนวน 2 ชุดการทดลอง รวม 4 ถังปฏิกรณ์ ซึ่งถังปฏิกรณ์อีจีเอสปี 1 ถังประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำ 2 เครื่อง ได้แก่เครื่องสูบน้ำเข้าระบบ 1 เครื่อง และเครื่องสูบน้ำเวียนกลับ 1 เครื่อง

1.3.4 การทดลองชุดที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสปีที่มีความแตกต่างของอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Three phase separators) แบบสมมาตรและไม่สมมาตร โดยใช้ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ที่ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ภายใต้ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. และเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็น 5 ม./ชม. ที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

- 1.3.5 การทดลองชุดที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีความแตกต่างของอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Three phase separators) แบบสมมาตรและไม่สมมาตร โดยใช้ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ที่ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ภายใต้ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. และเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็น 6 ม./ชม. ที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- 1.3.6 ทำการตรวจวัดก๊าซมีเทนตลอดการทดลอง

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่อัตราการระเหยอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นแตกต่างกันของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Three phase separators) แบบสมมาตรและไม่สมมาตร
- 1.4.2 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทน จากการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอลของระบบอีจีเอสบีที่มีความแตกต่างของอุปกรณ์แยกสามสถานะเพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนมากที่สุด



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 2

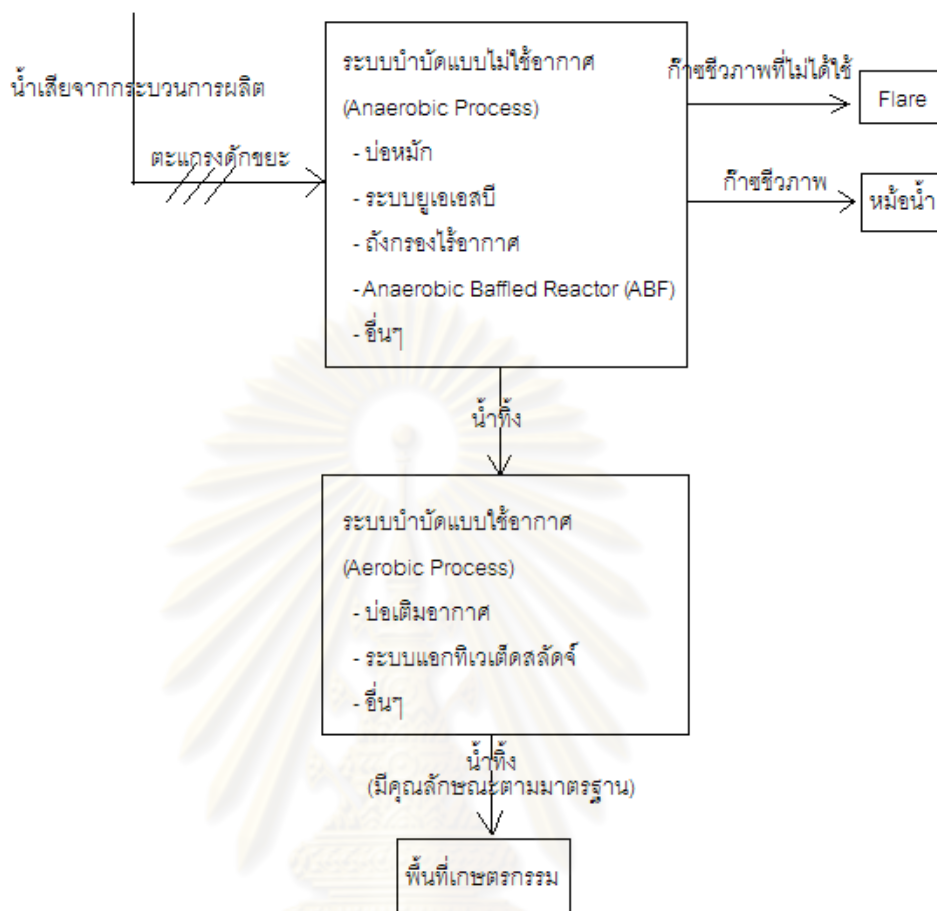
### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กระบวนการผลิตเอทานอล (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551: ออนไลน์)

กระบวนการสำหรับการผลิตเอทานอล ประกอบด้วย 2 วิธี โดยวิธีแรกเป็นการสังเคราะห์โดยใช้เอทิลีน (ethylene) เป็นวัตถุดิบ เรียกผลผลิตที่ได้ว่า เอทานอลสังเคราะห์ (synthetic ethanol) วิธีที่สองเป็นการหมัก ซึ่งนำวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีแป้ง น้ำตาล หรือเส้นใย เป็นองค์ประกอบ เรียกผลผลิตที่ได้ว่าไบโอเอทานอล (bio-ethanol) โดยส่วนมากในประเทศไทยจะผลิตเอทานอลโดยการหมัก โดยใช้กากน้ำตาล และมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ

น้ำเสียจากการผลิตเอทานอลเป็นน้ำเสียประเภทกากส่า ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่น มีค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) และบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ที่สูง ดังนั้นจึงนิยมบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจนในขั้นต้นก่อนจึงตามด้วยการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งจะช่วยในเรื่องการประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และยังได้ผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อน้ำและน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วสามารถนำมาใช้ในพื้นที่การเกษตร ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล และการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล  
(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551: ออนไลน์)

## 2.2 กลไกพื้นฐานในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

กลไกในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างตัวให้อิเล็กตรอน (electron donor) และสารรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน หรือ รีดอกซ์

สารให้อิเล็กตรอนในน้ำเสียจะเป็นสารอินทรีย์หรือมวลสารในน้ำเสีย ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานให้กับจุลชีพ ในขณะที่สารรับอิเล็กตรอนจะมีหลายชนิด ซึ่งผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อสารรับอิเล็กตรอนแตกต่างกันก็จะให้ผลที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ชนิดสารรับ

อิเล็กทรอนิกส์ตัวสุดท้ายจะสามารถจำแนกกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปฏิกริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย

ลำดับที่	สารรับอิเล็กตรอน	ผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น	ชื่อของปฏิกิริยา
1	ออกซิเจน	คาร์บอนไดออกไซด์	Aerobic Oxidation
2	ไนเตรต	ไนโตรเจน	Denitrification
3	ซัลเฟต	ซัลไฟด์	Sulfate Reduction
4	คาร์บอนไดออกไซด์	มีเทน	Methanogenesis
5	สารอินทรีย์	สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลง	Fermentation

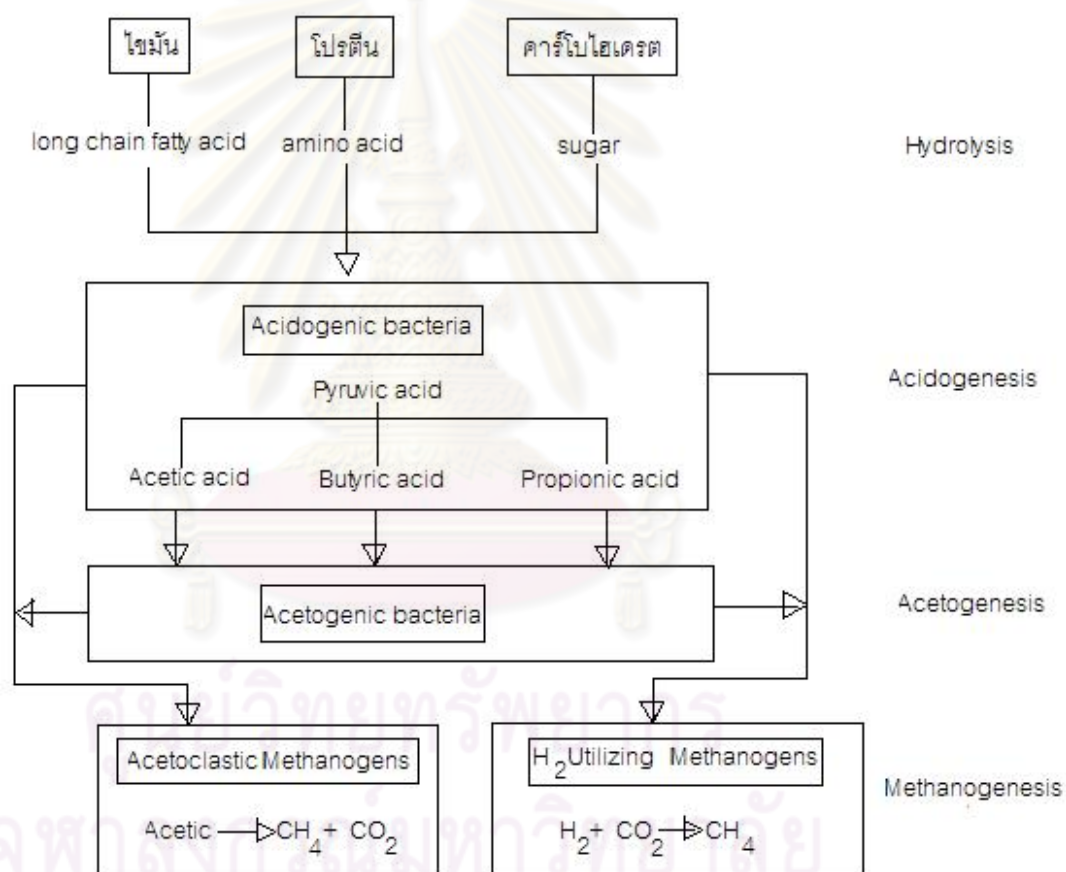
สำหรับในกรณีที่มีสารรับอิเล็กตรอนหลายชนิดในน้ำเสีย จะพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็นหลัก ซึ่งสามารถเรียงลำดับปฏิกิริยาตามปริมาณพลังงานที่ได้รับจากมากไปน้อย ตามชนิดของสารรับอิเล็กตรอนในกรณีที่ย่อยสลายสารอินทรีย์เดียวกันได้ดังนี้คือ ออกซิเจน ไนเตรต ซัลเฟต และคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ และโอกาสจากมากไปน้อยที่ปฏิกิริยาต่างๆ จะเกิดขึ้นก็จะเป็นไปตามลำดับดังกล่าวด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามยังจะต้องพิจารณาปัจจัยด้านอื่นเช่น ปัจจัยทางจุลศาสตร์ และปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปัจจัยที่สำคัญอื่นๆ ซึ่งปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์ จะมีประโยชน์ในการใช้เป็นแนวทางที่สำคัญในการพิจารณาโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในเบื้องต้น

### 2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (สุब्ณทิต นิมรต์น, 2548)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังย่อยสลายแบบไม่มีออกซิเจน จะอาศัยจุลินทรีย์ 4 กลุ่มในการย่อยสลายและมีรายละเอียดของแต่ละปฏิกิริยา คือ

### 2.3.1 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส คือปฏิกริยาที่เปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ (สารคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน) ซึ่งมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่แบคทีเรียดูดซึมเข้าเซลล์ได้ ให้เป็นสารขนาดเล็ก (น้ำตาล กรดอะมิโนและกรดไขมัน) โดยแบคทีเรียกลุ่มที่เรียกว่า ไฮโดรไลซิงแบคทีเรียซึ่งจะผลิตเอนไซม์และปล่อยออกมาจากเซลล์ของแบคทีเรียเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกริยาไฮโดรไลซิส ดังรูปที่ 2.2 หลังจากนั้นสารอินทรีย์ขนาดเล็กจะสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์เมมเบรน ของแบคทีเรียได้โดยตรง



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ  
(มันลิน ตันฑุลเวศน์, 2542)

### 2.3.2 ปฏิกริยาการเกิดกรด (Acidogenesis)

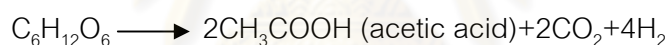
ปฏิกริยาการเกิดกรด คือปฏิกริยาการย่อยสลายสารโมเลกุลขนาดเล็ก (น้ำตาล กรดอะมิโนและกรดไขมัน) โดยผลผลิตดังกล่าวจะถูกแบคทีเรียซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน โดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) ภายในเซลล์และจะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และ กรดบิวทิริก เป็นต้น ผลผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับ

ก) ชนิดของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลาย

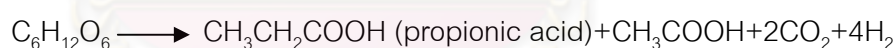
ข) ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนในขณะนั้น

เช่นการย่อยสลายน้ำตาลเป็นกรดอะซิติกโดยผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Emden Meyeth of pathway ในกรณีที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูงและต่ำเป็นไปดังสมการต่อไปนี้

ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ



ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง



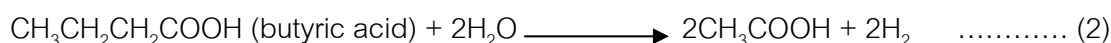
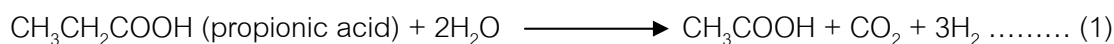
กรดไขมันชนิดยาวจะเปลี่ยนเป็นกรดชนิดอะซิติกและไฮโดรเจน ภายใต้ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ และเปลี่ยนเป็นกรดโพรพิโอนิกและบิวทิริกภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง

### 2.3.3 ปฏิกริยาการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ผลิตในขั้นที่ 2 จะเป็นอาหารให้แบคทีเรียกลุ่มที่ทำหน้าที่สร้างมีเทนต่อไป แต่เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมได้ เช่น กรดโพรพิโอนิกและบิวทิริก เป็นสารอาหารได้จึงต้องอาศัยแบคทีเรียอะซิโตเจนิก ทำ



การย่อยกรดไขมันที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติก ดังสมการที่ 1 และ 2 จึงทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้งานต่อไปได้



โดยกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะความดันพาเซียลของไฮโดรเจนต่ำเท่านั้น ซึ่งกรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกได้สภาวะที่ความดันพาเซียลของไฮโดรเจนสูงได้ และแบคทีเรียชนิดนี้จะมีส่วนช่วยไม่ให้เกิดการสะสมของกรดไพโรพิอินิกและบิวทริกในถังปฏิกรณ์ซึ่งเป็นเหตุให้พีเอชลดต่ำจนยับยั้งแบคทีเรียสร้างมีเทนได้

### 2.3.4 ปฏิกริยาการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

ปฏิกริยาการสร้างก๊าซมีเทน คือปฏิกริยาการเปลี่ยนกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน (Methanogen) แบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนจะเป็นแบคทีเรียกลุ่มอาร์เคียที่มีอัตราการเจริญช้ามาก และยังเป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้สารตั้งต้นเพียงบางชนิดคือ สารที่มีคาร์บอนเพียง 1 หรือ 2 อะตอมเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก รวมทั้งก๊าซไฮโดรเจน ส่วนกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนไม่สามารถที่จะใช้เป็นสารตั้งต้นในการเปลี่ยนให้ป็นก๊าซมีเทนได้ ดังนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงต้องอาศัยแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่เปลี่ยนกรดอินทรีย์ต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจนก่อนที่แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจะสามารถย่อยสลายได้

นอกจากนั้นแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนยังเป็นแบคทีเรียที่ไวต่อสภาวะแวดล้อมอย่างมาก เช่น ไม่อาจทนต่อก๊าซออกซิเจนแม้มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนเพียงเล็กน้อยหรือไม่อาจเจริญได้ดีเมื่ออยู่ในช่วงพีเอชนอกเหนือจากช่วง 6.8-9.2 เป็นต้น

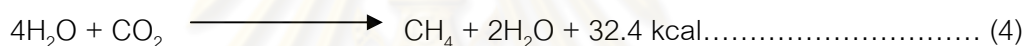
แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิดตามชนิดของสารตั้งต้น ดังนี้คือ (สุภัณฑิต นิมรต์น์, 2548)

(1) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติก (obligate acetoclastic methanogen) คือแบคทีเรียที่สามารถใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งของคาร์บอนและแหล่งของพลังงานได้เพียงสารเดียว ปฏิริยาการสร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติกแสดงในสมการที่ 3

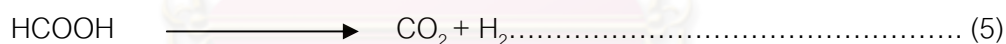


กรดอะซิติก

(2) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน (obligate hydrogenotrophic methanogen) คือแบคทีเรียที่สามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งของพลังงานและใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งของคาร์บอนเพื่อผลิตก๊าซมีเทน ดังนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเรียกว่าเป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$  Utilizer) ปฏิริยาการสร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจนแสดงในสมการที่ 4



แบคทีเรียชนิดนี้นอกจากสามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนแล้วยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารตั้งต้นได้ทั้งนี้เนื่องจากว่ากรดฟอร์มิกสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่ายดังสมการที่ 5



(3) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจนหรือกรดอะซิติก (Hydrogenotrophic/acetoclastic methanogen) คือแบคทีเรียที่สามารถใช้ทั้งกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซมีเทน

## 2.4 ข้อดีข้อเสียของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

### 2.4.1 ข้อดี

1) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนเหมือนกับกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน แต่จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนซึ่งเป็นก๊าซที่พบได้ในสิ่งแวดล้อมทุกระบบ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับระบบ ทำให้ประหยัดพลังงาน

2) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการที่เกิดจากแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่มีการเจริญช้า ดังนั้นในกระบวนการดังกล่าวจึงผลิตกากตะกอนหรือเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่น้อยกว่า ซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอนในขั้นต่อไป

3) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะผลิตก๊าซที่มีประโยชน์คือก๊าซมีเทนที่สามารถนำกลับมาใช้เป็นก๊าซหุงต้มหรือนำมาเผาไหม้เพิ่มความร้อนหรือนำมาทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ซึ่งจะเป็นการทำให้เกิดรายได้มาทดแทนค่าใช้จ่ายบางส่วน

4) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณที่สูง

5) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบที่สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงได้

#### 2.4.1 ข้อเสีย

1) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนใช้เวลาในการย่อยสลายสารปนเปื้อนนานกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบที่ใช้ออกซิเจนเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนมีอัตราการเจริญต่ำ

2) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีขั้นตอนการทำงานหลายขั้นตอนรวมทั้งขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีความไวต่อสารพิษ ดังนั้นจึงทำให้กระบวนการย่อยสลายแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนมีความไวต่อสารพิษได้มากกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่ใช้ออกซิเจน

3) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีเวลาที่ใช้ในการเริ่มต้นหรือเรียกว่าช่วง Start-up ของการทำงานของระบบจะนานกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบที่ใช้ออกซิเจนเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนเจริญช้า

4) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบที่ต้องใช้เวลาในการปรับตัวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเสีย ค่าบีโอดี อุณหภูมิ และสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป

5) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาจจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นเหม็นรวมทั้งยังสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะหรือโลหะหนักทำให้น้ำเสียมีสีดำและทำให้ระบบการย่อยสลายล้มเหลวได้

## 2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (สุรพล สายพานิช, 2540)

ปัจจัยและสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ได้แก่อุณหภูมิ พีเอช กรดอินทรีย์ ความเป็นต่าง สารอาหารที่จำเป็นและสารพิษเป็นต้น ดังนั้นในการควบคุมกระบวนการให้มีเสถียรภาพ และประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องควบคุมปัจจัย และสภาวะแวดล้อมให้พอเหมาะ

### 2.5.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก เพราะจุลินทรีย์มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจุลินทรีย์ส่วนมากจะดำรงชีพอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 99 องศาเซลเซียส ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

- 1) Psychophilic Range ช่วงอุณหภูมิ 5 - 15 องศาเซลเซียส
- 2) Mesophilic Range ช่วงอุณหภูมิ 35 - 37 องศาเซลเซียส
- 3) Thermophilic Range ช่วงอุณหภูมิ 50 - 75 องศาเซลเซียส

ในแต่ละช่วงอุณหภูมิก็มจะมีจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันซึ่ง Mesophilic Range เป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่า Psychophilic Range มากแต่ Psychophilic Range มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิของน้ำเสียส่วนมากจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 28 - 31 องศาเซลเซียส และในถึงปฏิกิริยาอุณหภูมิจะสูงขึ้นประมาณ 3 - 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงจัดอยู่ใน Mesophilic Range โดยไม่ต้องให้ความร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

### 2.5.2 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน โดยทั่วไปแบคทีเรียเจริญได้ดีในช่วงพีเอช 6.5 - 7.8 แต่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียสองกลุ่มหลักโดยกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดสามารถทนค่าพีเอช ได้ต่ำถึง 4.5 ในขณะที่กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน สามารถทนค่าพีเอชได้ต่ำเพียง 5.5 ซึ่ง Speece (1996) กล่าวว่าพีเอชในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนควรมีค่าอยู่ในช่วง 6.6 - 8.2 หากพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว การควบคุมสภาพกรดและด่าง กระทำโดยควบคุมอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างไม่ให้เกิน 0.4 โดยเติมด่าง ( $\text{NaHCO}_3$ ) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าที่พีเอช 4.2 มีจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเปลี่ยนเมทานอลเป็นมีเทน

### 2.5.3 กรดอินทรีย์ และค่าความเป็นด่าง (Volatile fatty acid and Total alkalinity)

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่ทำงานได้ดี ควรมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในรูปของกรดอะซิติกประมาณ 200 - 400 มก./ล. อัตราการเพิ่มของความเข้มข้นของกรดมีความสำคัญมากกว่าปริมาณกรด โดยระบบยังสามารถทำงานได้ดีที่ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์สูงกว่า 1,000 มก./ล. แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะแสดงถึงการเสียสมดุลของระบบ เนื่องจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลง นอกจากนี้ชนิดของกรดอินทรีย์ถือว่ามีค่าสำคัญเช่นกัน เช่น กรดโพรพิโอนิกมีความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 มก./ล. จะทำให้เกิดความเป็นพิษและพีเอชต่ำลง

สภาพต่างบอกรับถึงกำลังบัฟเฟอร์ ในระบบแบบใช้อากาศ ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ พีเอชลดลงอย่างรวดเร็วและมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน โดยทั่วไประบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศควรมีสภาพต่างประมาณ 1,500 - 2,000 มก./ล. และนอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญ คือ อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยในรูปของกรดอะซิติกต่อระดับสภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนต ถ้าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าพีเอชของระบบกำลังลดลงอย่างรวดเร็ว



### 2.5.4 สารอาหาร (Nutrient)

การบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ มีข้อดีคือ จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นน้อยกว่าแบบใช้อากาศ ดังนั้นจุลินทรีย์ จึงต้องการอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส ต่ำกว่าแบบใช้อากาศ โดยจุลินทรีย์ต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย อย่างน้อยควรมีอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N: P) ประมาณ 350: 5: 1 และ บีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (BOD:N: P) ประมาณ 100: 1.1: 0.2 นอกจากนี้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนยังต้องการธาตุอาหารบางชนิดในปริมาณที่น้อยแต่ขาดไม่ได้ ได้แก่ เหล็ก โคบอลท์ นิกเกิล เป็นต้น

เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) โดยแสดงปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบ โดยทั่วไปจะวัดค่าไออาร์พีได้ค่าบวกในน้ำที่มีออกซิเจนหรือไนเตรท และวัดค่าไออาร์พีเป็นลบเมื่อน้ำเสียอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งค่าไออาร์พีจะแสดงถึงความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของสารละลาย ถ้าวัดค่าไออาร์พีมีค่าบวกมากๆ แสดงว่าสารละลายนี้มีความสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดี สำหรับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้น้อยหรือมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดี ดังนั้น ค่าไออาร์พีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง -300 – 500 mV.

### 2.5.5 สารพิษ (Toxic Substance)

สารเคมีใดๆ ที่เข้าสู่ระบบเมื่อมีค่าความเข้มข้นถึงระดับหนึ่งแล้วมีผลให้ประสิทธิภาพ หรือเสถียรภาพของระบบลดลงสารนั้นจัดเป็นสารพิษ (Toxic) ความเป็นพิษต่อระบบมีได้ตั้งแต่การยับยั้งผลของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Inhibit) จนถึงการทำลายจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมความเข้มข้นของสารใดๆ มิให้เกินขีดจำกัดที่จะมีผลต่อระบบในน้ำเสีย ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ (McCarty, 1964)

สารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งทางชีววิทยา แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

#### 1) พิษของไอออนหรือโลหะหนัก (Ion or Heavy metal Toxicity)

ระดับความเป็นพิษของไอออนหรือโลหะหนัก ถ้ามีมากเกินไปจนหนึ่งก็จะทำให้เกิดการเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบได้ ไอออนที่สำคัญได้แก่  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$   $\text{Na}^+$   $\text{K}^+$  และ  $\text{S}^{2-}$  โดยปกติ

ไอออนบวกจะมีความเป็นพิษมากกว่าไอออนลบ นอกจากนี้การศึกษายังพบว่าไอออนบวกที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะมีพิษต่อจุลชีพน้อยกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 ( $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Mg}^{2+}$   $\text{Na}^+$  และ  $\text{K}^+$ ) ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของไอออนบวกจะเพิ่มขึ้นเมื่อวาเลนซ์สูงขึ้น และน้ำหนักอะตอมมากขึ้น เราสามารถลดความเป็นพิษของไอออนบวกได้โดยการทำแอนทาโกนิสซึม (Antagonism) คือเมื่อไอออนบวกอยู่ร่วมกันในความเข้มข้นที่พอเหมาะ พิษของไอออนบวกชนิดหนึ่งสามารถลดความเป็นพิษไอออนอีกชนิดหนึ่งได้ เช่น พิษของ  $\text{Na}^+$  เข้มข้น 3,000 มก./ล. สามารถจะทำให้หมดไปได้ ถ้ามี  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Mg}^{2+}$  ที่มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 50 – 1,000 มก./ล. แต่ในทางตรงกันข้าม ไอออนบวกบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของไอออนอีกชนิดหนึ่งเมื่ออยู่รวมกันเราเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า ซินเนอร์ยีสซึม (Synergism)

## 2) พิษของกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid Toxicity)

กรดไขมันระเหยเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน เพราะการที่เกิดกรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้น จะทำให้พีเอชลดลงซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์

## 3) พิษของสารอินทรีย์ (Toxic Organic material)

สารอินทรีย์บางชนิดจะไปยับยั้งการทำงานของจุลชีพชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ สารพวกนี้ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohol) และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long – chain fatty acid) เช่น เมทานอล (Methanol) ซึ่งความเป็นพิษของสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถทำลายได้โดยการนำน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบบำบัดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้จุลชีพคุ้นเคยและปรับตัวได้ แม้ว่าจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษถึง 1,000 มก./ล.ก็ตาม หรืออาจแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีลงไป เพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

## 4) พิษของก๊าซบางชนิด

พิษของแอมโมเนีย (Ammonia Toxicity) แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาแบบไร้อากาศ จะมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย คือ พวกโปรตีนหรือปยูเรีย (Urea) ซึ่งไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปแอมโมเนียไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) หรือก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) โดยสารสองตัวนี้จะเปลี่ยนไปมาได้ขึ้นกับพีเอช ดังสมการที่ 6



ถ้าพีเอชสูงกว่า 8 ปฏิกริยาจะดำเนินไปทางขวาซึ่ง  $\text{NH}_3$  จะยับยั้งการทำงานและเป็นพิษต่อจุลชีพชนิดไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่า  $\text{NH}_4^+$  การลดพิษของแอมโมเนียไนโตรเจนทำได้โดยการเจือจาง (Dilution) น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดหรืออาจกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

พิษของซัลไฟด์ (Sulfide Toxicity) ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชีววิทยาแบบไร้อากาศจะเกิดการเป็นพิษของซัลไฟด์ต่อจุลชีพเมื่อน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีปริมาณของซัลไฟด์มากหรือเกิดการย่อยสลายของซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) หรือเกิดการย่อยสลายโปรตีนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ อาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับไอออนบวกที่รวมอยู่ถ้ารวมกับโลหะหนักก็จะตกตะกอนลงมา ส่วนที่เหลือจะละลายน้ำในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสามารถเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ได้ จุลชีพชนิดที่ไร้อากาศอิสระสามารถทนต่อซัลไฟด์ที่ละลายน้ำอันมีความเข้มข้น 50 ถึง 100 มก./ล. แต่ความเข้มข้นที่มากกว่า 200 มก./ล. จะเป็นพิษต่อจุลชีพชนิดนี้ การลดพิษของซัลไฟด์ทำได้โดยการทำให้ตกตะกอนของซัลไฟด์ หรือโดยการแยกซัลไฟด์ออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

## 2.6 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)

### 2.6.1 องค์ประกอบของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งในการเดินระบบจะทำการเลี้ยงตะกอนแบคทีเรียให้สะสมอยู่ในถังปฏิกริยาโดยไม่ต้องใช้ตัวกลางเพื่อให้ตะกอนเกาะติด ซึ่งตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ในระบบจะรวมตัวกันในรูปของเม็ดตะกอน และตกตะกอนได้ดีเกิดเป็นลักษณะชั้นตะกอนในบริเวณด้านล่างของถัง เนื่องจากมีตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและตกตะกอนไม่ได้ปะปนอยู่ในระบบ การที่จะรักษาตะกอนส่วนนี้ไว้ต้องติดตั้งส่วนตกตะกอนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนแบคทีเรียและก๊าซชีวภาพออกจากกัน ซึ่งเรียกอุปกรณ์นี้ว่า อุปกรณ์แยกสามสถานะ ซึ่งจะติดตั้งไว้ตอนบนของถังปฏิกริยา เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนหลุดออกไปจากถังและเป็นการเพิ่มเวลาเก็บกักตะกอนในถังปฏิกริยาให้นานขึ้น

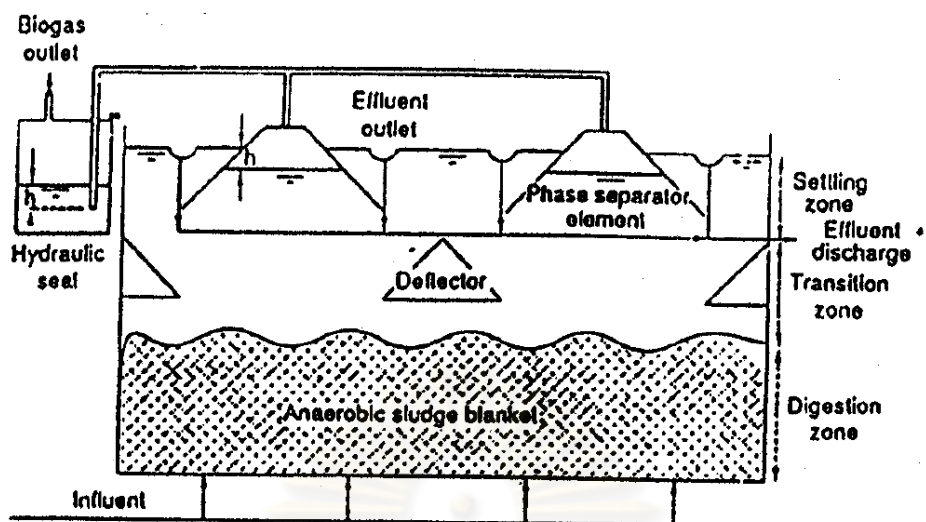
### 2.6.2 ลักษณะและหลักการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีการปล่อยน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังยูเอเอสบีและไหลขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกริยาโดยไม่มีสารตัวกลางมาช่วยในการพอง

มวลจุลินทรีย์ ลักษณะทั่วไปของถังยูเอเอสบีจะเป็นถังรูปสี่เหลี่ยม หรือรูปทรงกระบอกก็ได้ แสดงดังรูป 2.3 ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- 1) ส่วนที่เป็นถังหมักและระบบป้อนน้ำเสียที่ส่วนล่างของถังยูเอเอสบี
- 2) ส่วนที่เป็นถังตกตะกอนที่ส่วนบนของถังยูเอเอสบี โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพประกอบด้วยแผ่นกั้นเอียงทำมุมประมาณ 45 – 60 องศา

น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าทางส่วนล่างของถังยูเอเอสบี โดยผ่านระบบกระจายน้ำเสีย เพื่อให้การกระจายของน้ำเสียเป็นไปอย่างทั่วถึง เมื่อน้ำเสียไหลผ่านชั้นตะกอนจุลินทรีย์จะเกิดการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยจุลินทรีย์ประกอบกับความเร็วของน้ำที่ไหลขึ้น ทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นสู่ด้านบน เป็นการช่วยให้เกิดการสัมผัสที่ทั่วถึงระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นสู่ส่วนบนของถัง จะเกิดการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ ออกจากกัน ด้วยอุปกรณ์แยกสามสถานะ กล่าวคือ น้ำเสียจะปะทะกับแผ่นกั้น ก๊าซที่เกาะมากับกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์จะถูกแยกออก โดยจะลอยตัวขึ้นไปยังส่วนบนผ่านท่อเก็บก๊าซเพื่อลำเลียงก๊าซที่ได้ไปยังอุปกรณ์เก็บก๊าซ น้ำเสียจะถูกแยกออกจากตะกอนจุลินทรีย์และไหลล้นออกไปนอกถังยูเอเอสบี ส่วนตะกอนจุลินทรีย์จะถูกดักไว้และตกลงไปยังส่วนล่างของถังยูเอเอสบีซึ่งส่วนใหญ่แล้วการที่ระบบล้มเหลวเนื่องมาจากการที่ไม่สามารถสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ และตกตะกอนได้ดี ได้มากเพียงพอทำให้เกิดการหลุดออกไปของจุลินทรีย์พร้อมกับน้ำทิ้ง เพราะการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้จับตัวกันเป็นเม็ดเป็นเรื่องยาก และใช้เวลานาน



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี

(Van Haandel และ Lettinga, 1994)

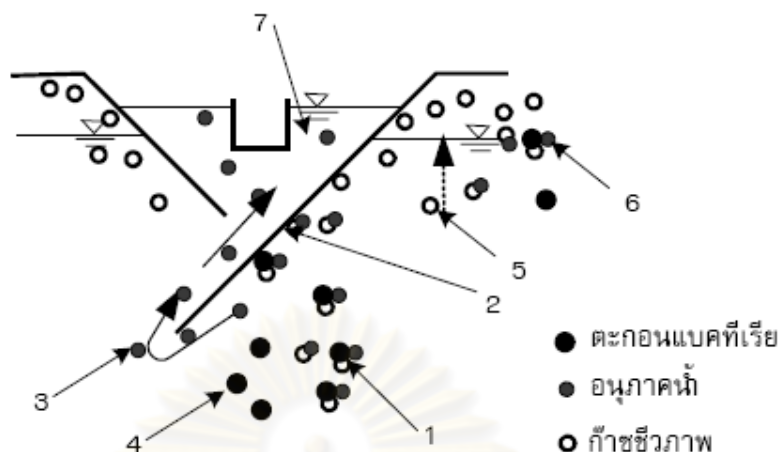
### 2.6.3 กลไกการทำงานและการออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะ (GSS; Gas-Solid-Separator) (กรมควบคุมมลพิษ, 2551: ออนไลน์)

ส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมเซลล์แบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้งและรวบรวมก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ดังนั้นมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสียและแบคทีเรียไว้ด้านบนของถัง ซึ่งเรียกว่าเป็นอุปกรณ์แยกสามสถานะ โดยการออกแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะและรูปร่างของถังปฏิกิริยา โดยใช้หลักการออกแบบ ดังนี้

1) แยกน้ำกับก๊าซ: หลักการที่ว่า กระแสน้ำสามารถไหลλεύไปมาได้ ในขณะที่ก๊าซมีการลอยตัวจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ยกเว้นมีสิ่งกีดขวางหรือแผ่นปะทะมาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้น เมื่อผ่านพ้นสิ่งกีดขวาง ก็จะลอยตัวเป็นเส้นตรงดังเดิม ดังนั้นจึงมีการออกแบบและติดตั้งแผ่นปะทะเพื่อขวางทิศทางการไหล ทำให้น้ำและก๊าซมาปะทะและเบี่ยงเบนการไหลของน้ำและก๊าซออกจากกัน

2) แยกตะกอนออกจากน้ำ: โดยทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนแบคทีเรียในส่วนบนสุดของถัง ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีก๊าซ มีความปั่นป่วนของกระแสน้ำต่ำ ทำให้สามารถแยกน้ำและตะกอนได้ง่าย ดังนั้นอุปกรณ์แยกสามสถานะจึงต้องมีพื้นที่ส่วนที่เป็นน้ำนิ่งเพียงพอที่ตะกอนจะตกกลับมายังถังปฏิกิริยาได้





รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของอุปกรณ์แยกสามสถานะ

(กรมควบคุมมลพิษ, 2551: ออนไลน์)

กลไกในการทำงานของอุปกรณ์แยกสามสถานะสรุปได้เป็น 7 ขั้นตอนดังนี้

- 1) ตะกอนแบคทีเรีย ก๊าซชีวภาพและอนุภาคของน้ำเกาะและไหลขึ้นมาสู่ด้านบนของถังปฏิกริยาพร้อมกัน
- 2) เมื่อตะกอนแบคทีเรีย อนุภาคน้ำ ก๊าซชีวภาพกระทบกับแผ่นอุปกรณ์แยกสามสถานะทำให้เกิดการแยกออกจากกัน
- 3) อนุภาคน้ำจะไหลไปตามแผ่นอุปกรณ์แยกสามสถานะไปยังทางน้ำออกด้านบนของถังปฏิกริยา
- 4) สำหรับตะกอนแบคทีเรียขนาดใหญ่ที่ไม่มีก๊าซสะสมอยู่จะตกกลับลงมาภายในถังปฏิกริยา
- 5) ก๊าซชีวภาพซึ่งไม่สามารถไหลย้อนกลับได้เช่นเดียวกับน้ำ จะไหลขึ้นไปสะสมยังส่วนรวบรวมก๊าซด้านบนของถังปฏิกริยา
- 6) กรณีที่กลุ่มของตะกอนแบคทีเรีย ก๊าซชีวภาพและอนุภาคของน้ำไม่ไปชนกับแผ่นอุปกรณ์แยกสามสถานะจะเกิดการแยกตัวเมื่อถึงผิวน้ำ
- 7) สำหรับตะกอนขนาดเบาที่สามารถไหลตามกระแสได้ออกมาได้ จะเกิดการตกตะกอนในส่วนบนของแผ่นอุปกรณ์แยกสามสถานะเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความเร็วการไหลของน้ำต่ำและน้ำค่อนข้างนิ่ง

หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์แยกสามสถานะและส่วนตกตะกอนสรุปได้ดังนี้

- 1) ทำหน้าที่แยกและรวบรวมก๊าซออกไปจากระบบ
- 2) ช่วยป้องกันการหลุดของตะกอนออกไปกับน้ำทิ้ง
- 3) เป็นตัวป้องกันในกรณีที่ชั้นตะกอนเกิดการขยายตัวขึ้นมาอย่างรวดเร็ว
- 4) ทำให้เกิดการตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกไป

ซึ่งภายในส่วนตกตะกอนไม่ควรเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพขึ้น ดังนั้นต้องคำนวณให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในถัง สำหรับการวางแผนอุปกรณ์แยกสามสถานะเพื่อดักก๊าซชีวภาพควรวางให้ความชันประมาณ 45-60 องศากับแนวราบ โดยทั่วไปนิยมมุมมากกว่า 50 องศาเพื่อให้ตะกอนไหลกลับลงสู่ถังยูเอเอสบีได้โดยไม่เกิดการตกค้างบนแผ่นอุปกรณ์แยกสามสถานะ ซึ่งช่องทางเข้าของส่วนตกตะกอนไม่ควรให้มีความเร็วในการไหลขึ้นของน้ำสูงกว่า 3 ม./ชม. และความเร็วในการไหลขึ้นในส่วนตกตะกอน จะต้องไม่เกิน 1.5 ม./ชม. รวมทั้งพื้นที่หน้าตัดของช่องเก็บก๊าซไม่ควรต่ำกว่า 15-20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่หน้าตัดของถังยูเอเอสบี (Lettinga, 1983) นอกจากนี้ปลายของแผ่นอุปกรณ์แยกสามสถานะ ควรวางให้มีระยะเหลื่อมกันอย่างน้อย 10-20 เซนติเมตร ซึ่งในบริเวณช่องเก็บก๊าซอาจใส่หัวพ่นน้ำเพื่อฉีดน้ำป้องกันการเกิดฟอง สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างรางรับน้ำ แผ่นอุปกรณ์แยกสามสถานะ อุปกรณ์ในส่วนตกตะกอน รวมถึงบริเวณส่วนเก็บก๊าซ ควรทำมาจากเหล็กไร้สนิมหรือพลาสติกหรือใช้วัสดุที่ต้านทานการกัดกร่อนหรือมีการเคลือบผิวเป็นอย่างดี

รายละเอียดการออกแบบส่วนตกตะกอนหรืออุปกรณ์แยกสามสถานะสรุปได้ดังนี้

- 1) ปลายแผ่นตกตะกอนควรทำมุมเอียง 45-60 องศากับแนวราบ
- 2) พื้นที่ของส่วนเก็บก๊าซต้องไม่น้อยกว่า 15-20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ผาถัง
- 3) ส่วนตกตะกอนควรมีความสูงประมาณ 1.5 - 2 เมตร สำหรับถังปฏิกิริยาที่สูง 5-7 เมตร
- 4) ความลึกของน้ำภายในส่วนเก็บก๊าซ ต้องมีระดับน้ำสูงพอที่จะกักเก็บก๊าซไว้ในส่วนเก็บก๊าซได้
- 5) แผ่นตกตะกอนต้องมีระยะเหลื่อมกันไม่น้อยกว่า 10-20 เซนติเมตร
- 6) ท่อรับก๊าซต้องสามารถระบายก๊าซออกจากระบบได้ทัน
- 7) มีการใส่หัวพ่นน้ำไว้เพื่อฉีดน้ำป้องกันการเกิดการสะสมของฟอง

## 2.6.4 ข้อดีข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

ข้อดี ได้แก่

- 1) สามารถรับอัตราการระเหยอินทรีย์ได้สูง
- 2) ใช้พลังงานเดินระบบต่ำเพราะไม่มีการเติมอากาศและไม่ใช้เครื่องจักรกล
- 3) ปริมาณสลัดจ์ที่ต้องกำจัดจากระบบน้อยกว่าแบบใช้อากาศ
- 4) ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าระบบใช้อากาศ
- 5) การก่อสร้างและควบคุมระบบสามารถกระทำได้ง่ายและมีราคาถูก
- 6) ก๊าซมีเทนที่ได้สามารถนำไปเป็นพลังงานได้
- 7) สามารถป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศแบบอื่น
- 8) มีความเหมาะสมที่จะใช้ในระบบบำบัดทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ และในพื้นที่ชุมชนเขตนอกเมือง
- 9) สามารถหยุดระบบได้เป็นเวลานานโดยไม่มีปัญหา และการเริ่มต้นระบบใหม่สามารถกระทำได้ง่าย ระบบฟื้นตัวได้เร็ว จึงเหมาะกับอุตสาหกรรมที่ทำงานเป็นฤดู
- 10) สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารพิษบางอย่างได้ เช่น สารพิษที่มีส่วนประกอบของฮาโลเจน (halogenated solvents)

ข้อเสีย ได้แก่

- 1) ใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบ (start up) นานมาก และต้องเลี้ยงตะกอนให้จับตัวกันเป็นเม็ด ระบบจึงจะมีประสิทธิภาพที่ดี
- 2) ต้องควบคุมปริมาณของตะกอนที่มีอยู่ในระบบให้เหมาะสม และเกิดการล้างออก (wash out) น้อยที่สุด

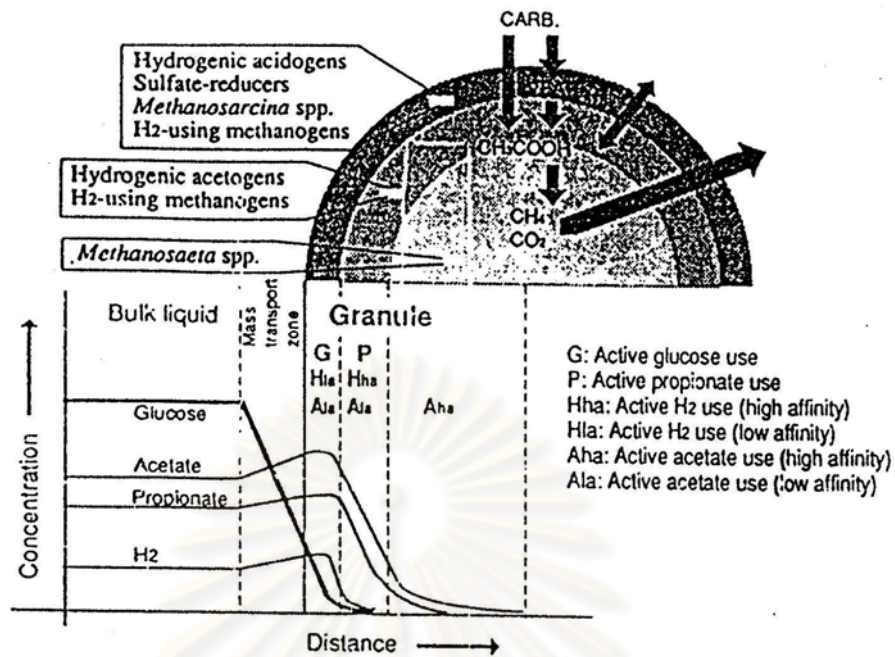
- 3) ต้องควบคุมอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ให้เพียงพอต่อการกวนผสมในชั้นสัลดจ์
- 4) จุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการเจริญเติบโตในช่วงพีเอชที่ค่อนข้างแคบ ประมาณ 6.5-7.2
- 5) ระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิต่ำ
- 6) ต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างมาก

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศไม่สามารถเป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์ในตัวเองได้ เนื่องจากยังคงมีสารตัวกลาง (intermediate) ต่างๆเหลืออยู่ ทำให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีสูง

## 2.6.5 ประเภทของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granular Sludge) ในถังยูเอเอสบี

ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ของระบบยูเอเอสบี ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนหัวเชื้อ (Seed sludge) ส่วนประกอบของน้ำเสีย ตลอดจนการเริ่มต้นการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และสิ่งแวดล้อมที่เริ่มต้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ อาจมีหลายชนิดดังนี้

- 1) Sarcina Granules เป็นชนิดที่มีจุลชีพรูปร่างกลม เกาะกันเป็นกลุ่มส่วนใหญ่ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชนิดนี้ สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียที่มีกรดอะซิติกเข้มข้นมากกว่า 1,000 มก./ล. และมีขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 6.5 มิลลิเมตร จึงถูกชะล้างออกได้ง่าย และยังเป็นชนิดที่มีความสามารถในการย่อยสลายต่ำ
- 2) Spinky Granular เป็นชนิดที่มีความยาวมากกว่า 1 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชนิดนี้สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียโรงงานผลิตแป้งข้าวโพด
- 3) Filamentous เป็นจุลชีพที่มีรูปร่างเป็นแท่งต่อกันเป็นสายยาว ประกอบด้วย Methanotrix ชนิดที่เป็นเส้น เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชนิดนี้สร้างขึ้นจากน้ำเสียที่มีแต่กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acid)
- 4) Rod ลักษณะเป็นรูปกลม ประกอบด้วย Methanotrix ชนิดที่เป็นเส้น รวมกันประมาณ 5 เซลล์ พบในถังหมักที่บำบัดน้ำเสียในโรงงานแป้งมันสำปะหลังและโรงงานน้ำตาล



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเม็ดจุลชีพในระบบยูเอเอสบี น้ำบัดน้ำเสียกลูโคส (Guiot และคณะ, 1992)

### 2.6.6 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดจุลชีพ (Granules)

โครงสร้างของ Granular Sludge ประกอบด้วย Methanotrix Aggregates Rod เป็นแกนกลาง และล้อมรอบด้วย Methanotrix ที่เป็นสายล้อมรอบ

Guiot และคณะ (1992) กล่าวว่าความเร็วของการไหลในถังปฏิกรณ์เป็นปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกพันธุ์ของแบคทีเรียที่สามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดจุลชีพที่สามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดจุลชีพที่เกิดขึ้นมีข้อดีดังนี้ คือ

- มีความหนาแน่นสูง
- เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวกลาง (Media) จึงไม่มีการสูญเสียพื้นที่ในถังปฏิกรณ์
- เม็ดตะกอนมีอัตราส่วนของแบคทีเรียต่อปริมาณที่สูงมาก

การศึกษาโครงสร้างของเม็ดจุลชีพในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธีการ SEM (Scanning Electron Microscopic) พบว่ามีโครงสร้างภายในแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ดังนี้



ชั้นนอก ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียหลายกลุ่ม ได้แก่ Hydrogenic acidogens, Sulfate reducer, Methanosarcina และ  $H_2$  – utilizing methanogens

ชั้นกลาง ได้แก่ Hydrogenics acetogens และ  $H_2$  – utilizing methanogens เช่น Methanosarcina, Methanococcales และ Methanospirillum

ชั้นใน เป็นแบคทีเรียประเภท Aceticlastic ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Methanosaeta

แบคทีเรียกลุ่ม  $H_2$  – utilizing methanogens ในชั้นกลางและชั้นนอกมีความแตกต่างกันคือ กลุ่มแบคทีเรียชั้นนอกมีความชอบที่จะใช้สารอาหารที่ต่ำกว่า (Low Affinity หรือมีค่า  $K_s$  สูง) กลุ่มแบคทีเรียชั้นกลางและแบคทีเรียกลุ่ม Aceticlastic ในชั้นกลาง การเกิดเม็ดจุลชีพเป็นโครงสร้างในลักษณะดังกล่าวส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียแต่ละชนิด โดยเฉพาะในแกนกลางของเม็ดจุลชีพซึ่งเป็น Aceticlastic methanogens (ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Methanosaeta) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการผลิตมีเทนโดยอาศัยสารอาหารได้แก่ อะซิเตท ซึ่งเป็นผลผลิตจากระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียกลุ่มชั้นนอกและกลุ่มชั้นกลาง โดยทั้งนี้ Methanosaeta เป็นแบคทีเรียที่มีค่า Affinity สูงมากที่สุด ( $K_s$  ต่ำที่สุด) ในกลุ่มแบคทีเรีย Aceticlastic Methanogens ซึ่งถือว่าเป็นผลดีต่อการทำปฏิกิริยาของ Methanosaeta ในสภาวะที่ข้อจำกัดของการแพร่กระจายอะซิเตทมายังแกนกลางของการแพร่กระจายอะซิเตทมายังแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลชีพ

อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าไม่พบโครงสร้างที่แบ่งเป็นชั้นของแบคทีเรียในเม็ดจุลชีพที่บำบัดน้ำเสียประเภทโพรพิโอเนท เอทานอล และน้ำเสียประเภทที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต (Non-Carbohydrate) โดยเฉพาะน้ำเสียประเภทโพรพิโอเนท พบแบคทีเรียกลุ่ม Propionate oxidizing acetogens กระจายอยู่ทั่วเม็ดจุลชีพ (Fang และคณะ, 1994)

โครงสร้างและขนาดของชั้นแบคทีเรียในแต่ละชั้นขึ้นกับอัตราการย่อยสลายสารอาหารและการแพร่กระจายของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาในเม็ดจุลชีพ ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ผิวนอกสุดของเม็ดตะกอนพบว่ากลุ่ม Acidogens จะมีปริมาณมาก ทั้งนี้เพราะนอกเหนือไปจากความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าสูงบริเวณรอบนอก (Bulk Liquid) แล้วยังเป็นผลมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ Acidogenesis ที่มีค่าสูงกว่า Acetogenesis และ Methanogenesis ชิเตทที่ถูกผลิตจะแพร่กระจายไปยังโครงสร้างชั้นกลางและชั้นในของเม็ดตะกอนต่อไป



### 2.6.7 ความสำคัญของ Extracellular Polymers (ECP) ต่อการเกิดเม็ดจุลชีพ (Schmidth และAhring, 1995)

Extracellular Polymers (ECP) เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไปในธรรมชาติและเป็นพื้นฐานสำคัญของโครงสร้างเม็ดจุลชีพ อีซีพีของเซลล์แบคทีเรียเป็นสารที่มีโครงสร้างที่มีส่วนประกอบหลักเป็น Polysaccharide สำหรับเซลล์แกรมบวก อีซีพีเป็นสารที่เกิดได้จากหลายทาง เช่น การสลายตัวของเซลล์ หรือสารอินทรีย์ที่ถูกขับทิ้งออกมาจากเซลล์อีซีพีประกอบไปด้วยโพลิเมอร์ของ Saccharide โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก โดยหน้าที่ของอีซีพีจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับเซลล์ของแบคทีเรีย อีซีพีมีความสามารถในการดักจับสารอาหารละลาย (Soluble nutrients) และยังเป็นตัวช่วยในการยึดเกาะกับเซลล์อื่นด้วย

มีรายงานวิจัยหลายรายงาน รายงานว่าแบคทีเรียที่อยู่ภายในเม็ดจุลชีพถูกล้อมรอบด้วยอีซีพีและเป็นที่ยอมรับว่าในกระบวนการรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนจะมีอีซีพีเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย อีซีพีที่พบในเม็ดจุลชีพมักประกอบด้วยโปรตีน และ Polysaccharides เป็นส่วนใหญ่ โดยมีอัตราส่วนโปรตีนต่อ Polysaccharide เท่ากับ 2:1 ถึง 6:1 และยังมีส่วนประกอบของไขมันซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.02 – 0.05 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง สารที่เป็นส่วนประกอบในอีซีพีจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของสไลด์จ์ โดยทั่วไปแบคทีเรียที่กระจายตัวในน้ำเสียมักจะมีคุณสมบัติเป็นประจุลบและเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตระหว่างเซลล์ แต่อีซีพีที่ห่อหุ้มรอบผิวเซลล์จะส่งผลให้เซลล์เหล่านั้นเกิดการรวมตัวเนื่องจากมีส่วนที่เป็นประจุบวกและเกิดการดูดติดกันดังแสดงในรูปที่ 2.6 อย่างไรก็ตามปริมาณอีซีพีที่มากเกินไปสามารถส่งผลต่อการเกิดเม็ดจุลชีพเนื่องจากเกิดการผลักกันของประจุบวก



รูปที่ 2.6 บทบาทของประจุไฟฟ้าและอีซีพี ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของแบคทีเรีย

(Schmidt และ Ahring, 1995)

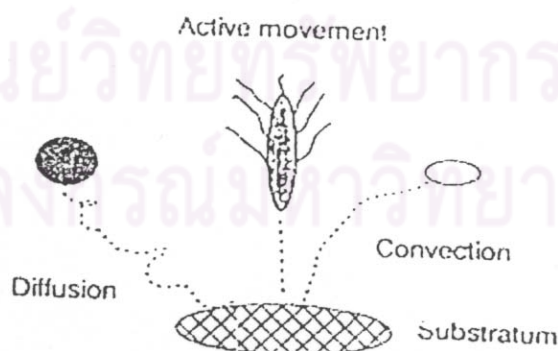
ปริมาณอีซีพีขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เม็ดจุลชีพเจริญเติบโต พบว่าความเข้มข้นอีซีพีในช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก มีค่าต่ำกว่าในช่วงเมโซฟิลิก และยิ่งขึ้นกับประเภทของ

น้ำเสียด้วย มีรายงานว่าส่วนประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งสกัดจากเม็ดจุลชีพมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเติมธาตุเหล็ก และ Yeast Extract ลงไปในน้ำเสีย และเกิดผลตรงข้ามกันเมื่อไม่ได้ทำการเติมเหล็ก การเพิ่มอัตราส่วน C : N จะทำให้ปริมาณ Extracellular Polysaccharide ซึ่งทำให้ความสามารถในการยึดเกาะของเซลล์เพิ่มขึ้น และยังมีรายงานว่าปริมาณของโปรตีนและ Polysaccharide ในอีซีพีที่ลดลง ถูกพบในระบบยูเอเอสบีที่เปลี่ยนแปลงจากการบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำตาลมาเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมอะซิเตท โพรพิโอเนท และบิวทิเรท และยังพบปริมาณไขมันที่สูงขึ้นในเม็ดจุลชีพอีกด้วย

ปัจจุบันยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าอีซีพี เป็นผลผลิตที่เกิดจากแบคทีเรียจำเพาะกลุ่มหนึ่งหรือแบคทีเรียทุกชนิดในสลัดจ์ แต่อย่างไรก็ตามผลผลิตซึ่งเป็นอีซีพี โดยเฉพาะ Polysaccharide เป็นผลผลิตเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม Methanogenic และ Acetogenic น้อยมาก และแบคทีเรียกลุ่ม Acidogenic เป็นกลุ่มที่มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อผลผลิตอีซีพีที่เกิดขึ้น

**2.6.8 กระบวนการรวมตัวเป็นเม็ดจุลชีพ** อธิบายโดยขั้นตอนดังนี้ (Schmidt และ Ahring, 1995)

ขั้นตอนที่ 1 Transport การเคลื่อนไหวของเซลล์ด้วยวิธีการต่างๆ ไปจับตัวกับอนุภาคเฉื่อย หรือเซลล์แบคทีเรียอื่นกลายเป็นอนุภาคพื้นฐานด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การแพร่กระจาย การพัดพา หรือการเคลื่อนไหวของเซลล์โดย Flagella



รูปที่ 2.7 กลไกการเคลื่อนไหวต่างๆ ที่มีผลต่อการรวมตัวของเซลล์แบคทีเรีย (Schmidt และ Ahring, 1995)

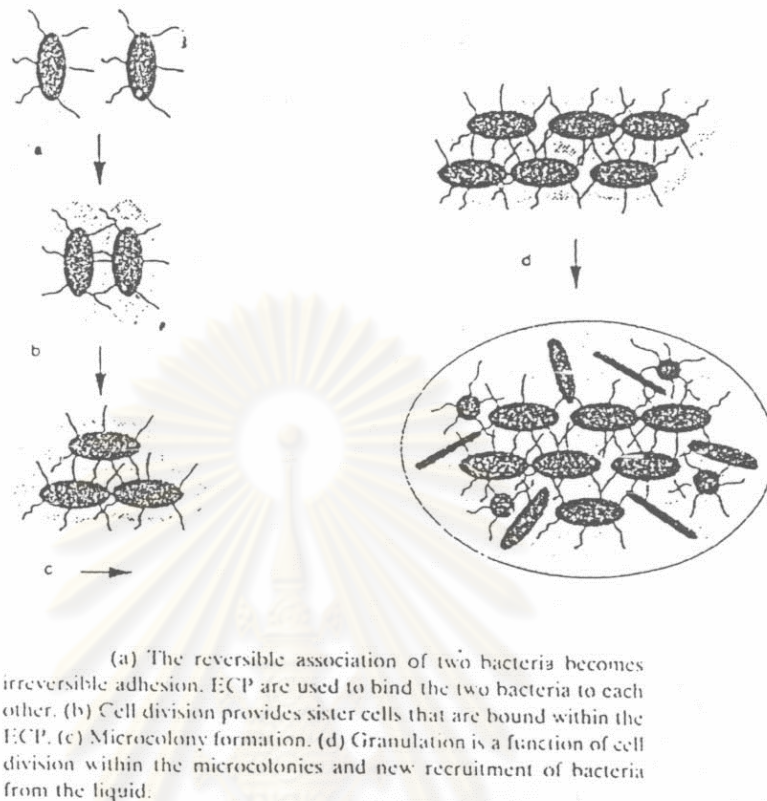
ขั้นตอนที่ 2 Reversible Adsorption การดูดติดของเซลล์แบคทีเรียกับอนุภาคพื้นฐาน (Substratum) ซึ่งอาจเป็นกลุ่มแบคทีเรียหรืออนุภาคของแข็งเฉื่อย โดยแรงทางฟิสิกส์ – เคมี ซึ่งสามารถเกิดการแยกตัวหรือหลุดออกไปได้อีกครั้ง การดูดยึดเป็นผลมาจากแรงทางประจุไฟฟ้า (Ionic strength)

ขั้นตอนที่ 3 Irreversible Adhesion ด้วยพันธะแข็งแรงของโพลีเมอร์ (ECP) การเกาะยึดติดของเซลล์เข้ากับ Substratum ซึ่งเซลล์มีโอกาสที่จะหลุดออกจากเม็ดจุลชีพได้ยากมาก ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าอีซีพีถูกผลิตขึ้นมาก่อนหรือหลังการเกาะยึดของเซลล์ Adhesion

ขั้นตอนที่ 4 Multiplication หรือการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียที่อยู่ในชั้นอีซีพี โดยเซลล์ที่แบ่งตัวใหม่ยังคงถูกกักอยู่ในชั้นอีซีพี และเกิดการเพิ่มขนาดของเม็ดจุลชีพ และนอกจากนี้ยังเกิดจากการดักเซลล์ใหม่ที่อยู่ในน้ำเสียเข้ามาจับตัวในเม็ดจุลชีพ

กลไกของการรวมตัวกันระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์ โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 กลไกของการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Schmidt และ Ahring, 1995)

### 2.6.9 กระบวนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Process of Granulation)

ระบบยูเอเอสพีที่มีปริมาณแบคทีเรียซึ่งวัดในรูป MLSS หรือ MLVSS สูงกว่าระบบหมักอื่นๆ เนื่องจากระบบยูเอเอสพีมีตะกอนแบคทีเรียในลักษณะเป็นเม็ด ดังนั้นในการควบคุมระบบยูเอเอสพีให้มีประสิทธิภาพสูงจึงจำเป็นต้องสร้างเม็ดแบคทีเรียดังกล่าวในถังหมักให้ได้ มิฉะนั้นแล้วระบบยูเอเอสพีจะไม่สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูง ในกรณีที่เม็ดตะกอนแบคทีเรียชนิดเม็ดอยู่แล้ว การเดินระบบยูเอเอสพีจะไม่ยุ่งยากมากนัก แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะไม่สามารถหาแบคทีเรียชนิดเม็ดได้ ดังนั้นการเดินระบบหมักยูเอเอสพี จึงมักเริ่มต้นด้วยตะกอนแบคทีเรียที่ได้จากระบบหมักแบบอื่นๆ ซึ่งตะกอนแบคทีเรียเหล่านี้มักอยู่ในรูปตะกอนเบา โดยขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบคทีเรียจากตะกอนเบาเป็นตะกอนเม็ดแบ่งได้เป็น 3 ระยะดังนี้

1) Wash – out stage เป็นช่วงแรกของกระบวนการเปลี่ยนแปลงกล่าวคือ การเริ่มต้นเดินระบบซึ่งจะต้องเริ่มที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่ำๆ คือต่ำกว่า 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน หรือ sludge loading ต่ำกว่า 0.3 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส-วัน ในช่วงอัตราป้อนสารอินทรีย์ต่ำนี้ จะเกิดกระบวนการสูญเสียของตะกอนแบคทีเรียขนาดเล็กซึ่งเบา โดยลอยออกมากับน้ำที่ล้นตลอดเวลา (Wash out) เมื่ออัตราป้อนสูงขึ้นช่วงดังกล่าวจะยังคงเกิดกระบวนการ Wash out พร้อมกับมีการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในระบบ เนื่องจากมีปริมาณอาหารเข้าสู่ระบบสูงขึ้น

2) Transition stage เป็นช่วงเริ่มเกิดแบคทีเรียชนิดเม็ด แต่ยังมีจำนวนน้อยและมีขนาดเล็ก อัตราป้อนสารอินทรีย์ในช่วง Transition stage ขึ้นกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบโดยทั่วไปพบว่าอัตราป้อนสารอินทรีย์ประมาณ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ประมาณ 0.3 – 0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ในช่วงนี้จะเกิดฟองก๊าซชีวภาพมากจึงพาแบคทีเรียพวกตะกอนเบา ออกจากระบบมาก ซึ่งจะเป็นผลดีทำให้แบคทีเรียที่สร้างตะกอนเม็ดมีโอกาสเติบโตและเพิ่มจำนวนมากขึ้น แต่สิ่งที่ควรระวังคือมิให้อัตราการสูญเสียปริมาณแบคทีเรียชนิดตะกอนเบาสูงกว่า อัตราการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียชนิดเม็ด มิฉะนั้นแล้วระบบจะล้มเหลวได้

3) Progressive granulation stage เป็นช่วงที่มีการเพิ่มขนาดและปริมาณของแบคทีเรียชนิดเม็ดในถังหมัก ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่อัตราป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้น ในช่วงนี้ระบบจะมีความสามารถรับการเพิ่มของอัตราป้อนสารอินทรีย์ได้สูงและรวดเร็วขึ้นกว่าระยะอื่น

## 2.7 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed; EGSB)

### 2.7.1 ความเป็นมาของระบบอีจีเอสบี

เนื่องจากได้มีความพยายามที่จะนำระบบยูเอเอสบี ไปบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ เช่น น้ำเสียจากโรงงานที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 1,000 มก./ล. และน้ำเสียชุมชนแต่พบว่าส่วนใหญ่ยังไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีพอ โดย Kato และคณะ(1994) กล่าวว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบยูเอเอสบี เมื่อนำไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ มีสาเหตุมาจากลักษณะของน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของซีโอดีต่ำมาก ทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารมีน้อย ส่งผลให้มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อยทำให้เกิดการกวนผสมภายในชั้นสลัดจ์ไม่เพียงพอ และการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์เกิดขึ้นไม่ทั่วถึง ดังนั้นระบบยูเอเอสบีจึงไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ

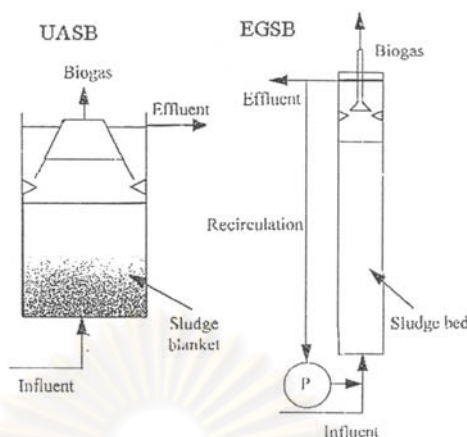


ต่อมาได้มีการคิดค้นและทำการพัฒนาระบบยูเอเอสบี โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพในการสัมผัสกันระหว่างอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ให้ดีขึ้น ด้วยการทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นสลัดจ์และเกิดการผสมที่ทั่วถึง โดยการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำทิ้ง ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า อีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB)

### 2.7.2 ลักษณะและการทำงานของระบบอีจีเอสบี

ระบบอีจีเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีลักษณะและการทำงานคล้ายกับระบบยูเอเอสบี แต่จะมีข้อแตกต่างกันคือ ระบบอีจีเอสบีจะมีการเวียนน้ำทิ้งกลับเข้ามาสู่ระบบใหม่ ทำให้เป็นการเพิ่มความเร็วในการไหลขึ้น ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 4 – 10 ม./ชม. (Seghezzeo และคณะ, 1998) ในขณะที่ระบบยูเอเอสบี โดยทั่วไปจะมีความเร็วในการไหลขึ้นอยู่ในช่วง 0.5 – 1.5 ม./ชม. หรือต่ำกว่า (Kato และคณะ, 1994) ลักษณะทั่วไปของถังอีจีเอสบีจะมีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับถังยูเอเอสบี แสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งส่วนประกอบของระบบอีจีเอสบีจะเหมือนกับระบบยูเอเอสบี กล่าวคือ มีส่วนที่เป็นถังหมักและระบบป้อนน้ำเสียที่ส่วนล่างของถัง และมีส่วนที่เป็นถังตกตะกอนที่ส่วนบนของถัง โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ แต่จะมีการติดตั้งระบบเวียนน้ำกลับเพิ่มขึ้นมา





รูปที่ 2.9 แผนผังส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี  
(Seghezzo และคณะ, 1998)

### 2.7.3 คุณสมบัติของระบบอีจีเอสบี (Seghezzo และคณะ, 1998)

- 1) มีค่าความเร็วในการไหลขึ้นสูง (มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 4 – 10 ม./ชม.)
- 2) สามารถรับบรรจุสารอินทรีย์สูงถึง 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน
- 3) เกิดการขยายตัวภายในชั้นสลัดจ์
- 4) มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ
- 5) สลัดจ์มีลักษณะเป็นเม็ด ตกตะกอนได้ดี และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูง
- 6) ลักษณะการกวนผสม จะแตกต่างจากระบบยูเอเอสบี กล่าวคือเนื่องจากค่าความเร็วในการไหลขึ้นสูง และมีก๊าซถูกผลิตเพิ่มมากขึ้น ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับชั้นสลัดจ์
- 7) ความดันในชั้นสลัดจ์ที่บริเวณส่วนล่างของถังมีค่าสูง (ในกรณีที่ถังอีจีเอสบีมีความสูงมาก)
- 8) สลัดจ์แบบฟล็อก (flocculent sludge) จะถูกล้างออก (wash out) จากระบบ

### 9) ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยต่ำ

ระบบอีจีเอสบีเป็นการปรับปรุงข้อเสียของระบบยูเอเอสบี ที่มีการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) ต่ำ เนื่องจากมีการสัมผัสกันของน้ำเสียกับจุลินทรีย์ไม่ทั่วถึง ซึ่งแก้ไขโดยทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นสลัดจ์ ซึ่งเป็นการเพิ่มความเร็วในการไหลให้สูงขึ้น อาจทำได้ด้วยการออกแบบให้ถังอีจีเอสบี มีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างที่มากเพียงพอต่อการขยายตัวของชั้นสลัดจ์หรือมีอัตราการเวียนน้ำกลับที่เพียงพอ (Kato และคณะ, 1999)

แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะของระบบอีจีเอสบีที่มีความเร็วในการไหลขึ้นที่สูง ทำให้ต้องคำนึงถึงการออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะเป็นพิเศษ เนื่องจากอาจเกิดการล้างออก (wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์ (Kato และคณะ, 1999)

เนื่องจากว่าระบบอีจีเอสบี มีการถ่ายเทมวลสารที่ดีกว่าระบบยูเอเอสบี (Kato และคณะ, 1999) ทำให้มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ และยังสามารถใช้บำบัดสารอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษที่มีความเข้มข้นสูงๆ เช่น ฟอรั่มัลดีไฮด์ และยังสามารถบำบัดน้ำเสียประเภท long chain fatty acid ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดี 85 - 95 เปอร์เซ็นต์ (Rinzema และคณะ, 1993)

Kato และคณะ, 1994 กล่าวว่าระบบอีจีเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศซึ่งมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทั่วไปจะมีประสิทธิภาพเมื่อนำมาบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ดังจะพบได้จากรายงานการวิจัยระบบยูเอเอสบีทั่วไปที่นำมาบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งไม่สามารถบำบัดค่าซีไอดีต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากค่าซีไอดีในน้ำเสียที่มีค่าต่ำจะส่งผลต่อระดับสารอาหารที่ต่ำลงไปเรื่อยๆ ตามชั้นความลึกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอาหารต่ำ จากสมการโมโนต์ได้แสดงว่าอัตราการทำปฏิกิริยาของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอาหาร (substrate) อัตราการย่อยสลายขึ้นอยู่กับค่า  $K_s$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงคุณลักษณะจำเพาะของแบคทีเรียต่อสารอาหารนั้นๆ โดยแบ่งค่า  $K_s$  ออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

1) Intrinsic  $K_s$  เป็นค่า  $K_s$  ที่แท้จริงซึ่งแสดงถึงการถ่ายเทมวลสาร (substrate) เข้าไปยังเซลล์ของแบคทีเรีย ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตในน้ำเสียแบบกระจาย (Dispersed Bacterial Cells) ในสภาพที่เซลล์แบคทีเรียมีการดำรงชีพแบบแขวนลอยอย่างสมบูรณ์

2) Apparent  $K_s$  เป็นค่า  $K_s$  ปรากฏ ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลสารผ่าน biofilm ที่ห่อหุ้มอยู่รอบนอกของกลุ่มเซลล์แบคทีเรียหรือเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

Apparent  $K_s$  จะมีค่าสูงกว่า Intrinsic  $K_s$  เนื่องจากพบว่ามีข้อจำกัดในการถ่ายเทมวลสารผ่าน biofilm ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มากกว่าในเซลล์แบคทีเรียแบบแขวนลอย (Dispersed Bacterial Cells) ดังนั้นจะพบว่ามีค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ต่ำลงเรื่อยๆ ตามความลึกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และไม่มีสารอาหารที่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และแบคทีเรียที่อยู่ในชั้นลึกๆ ทำให้เกิดการขาดอาหารแล้วเกิดการย่อยสลายตัวเอง กลายเป็นโพรงว่างบริเวณแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่งผลทำให้เกิดการล้างออก (Wash out) ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากการที่มีก๊าซสะสมตัวอยู่ภายในและนอกจากนี้โครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่จับตัวกันหลวมๆ ยังสามารถเกิดการแตกสลายเนื่องจากความปั่นป่วนทางกลศาสตร์ในถังปฏิกรณ์ได้

การที่จะทำให้มีสารอาหารเพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในชั้นของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ นั้น จำเป็นที่จะต้องทำให้เกิดอัตราการถ่ายเทมวลสารผ่านชั้น biofilm เร็วกว่าอัตราการย่อยสลายสารอาหารโดยจุลินทรีย์ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ จึงต้องมีการกวนผสมที่เพียงพอ เพื่อให้ความปั่นป่วนในชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้น้ำเสียสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้อย่างสม่ำเสมอ และทำให้ค่า Apparent  $K_s$  มีค่าต่ำลง ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยระบบอ็อกซิเจนสามารถทำให้เกิดการกวนผสมที่เพียงพอได้โดยการติดตั้งระบบเวียนน้ำทิ้งกลับ เพื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

Dolfing, 1985 (อ้างถึงในธกฤต เลียดทอง, 2550) กล่าวว่า ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ จุลินทรีย์จะถูกเก็บไว้ในระบบเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน เกิดเป็นชั้น biolayer ที่หนาแน่นซึ่งชั้น biolayer เหล่านี้จะทำให้สารอาหารไม่สามารถผ่านเข้าไปในชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ด้านในได้เนื่องจากเกิดการต้านทานการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer Resistance) ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาภายในระบบ โดยค่า Gradient ของความเข้มข้นของสารอาหารใน biolayer สามารถอธิบายได้โดยใช้สมการของ Fick (Fick's First Law)

$$F = - \emptyset D \frac{dC}{dx}$$

F คือ Flux ของมวลสาร หรือ Substrate

$\emptyset$  คือ ความพรุนของ biolayer

D คือ Diffusion coefficient

$dC/dx$  คือ Gradient ของ Substrate ใน biolayer

จากสมการนี้ จะเห็นได้ว่า Flux ของสารอาหารที่ผ่าน biolayer ขึ้นอยู่กับค่า Gradient ของความเข้มข้นของสารอาหารใน biolayer และขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาจำเพาะกับขนาดรูปร่างของ biolayer ดังนั้นจุลินทรีย์ที่อยู่ชั้นในจะได้รับ ความเข้มข้นของสารอาหารที่ต่ำกว่าจุลินทรีย์ที่อยู่ผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารอาหาร ซึ่งอธิบายโดยสมการโมโนต์ว่า ความเร็วของการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์กับความเข้มข้นของสารอาหาร จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในช่วงที่ความเข้มข้นของสารอาหารมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าค่า  $K_s$  ดังนั้น Mass Transfer Resistance จึงเป็นปัจจัยสำคัญในสภาวะที่ความเข้มข้นของสารอาหารมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าค่า  $K_s$  หรือเมื่อค่า Gradient ของความเข้มข้นของสารอาหารภายใน biolayer อยู่ในช่วงค่าความเข้มข้นนี้ และสรุปได้ว่า mass transfer resistance ขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

- 1) ความเข้มข้นของสารอาหาร
- 2) ค่า  $K_s$  ของแบคทีเรียสำหรับประเภทของสารอาหารนั้น
- 3) ความหนาแน่นของ biolayer พบว่า mass transfer resistance จะไม่มีผลต่อ Biofilm ที่มีค่าต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร
- 4) ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดใน biolayer

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.8.1 การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยระบบอีจีเอสบี

**สุวรรณ ขจรไพศาล (2548)** ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียโรงงานแป่งมันสำปะหลังที่อัตราภาระสารอินทรีย์สูง โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง โดยการทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างกันแต่ความเร็วไหลขึ้นเท่ากันคือ 3 ม./ชม. จากการทดลองพบว่าระบบอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงกว่า 92 เปอร์เซ็นต์ในการบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันเมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีน้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์เล็กน้อย และการทดลองช่วงที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นต่างกันที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3, 5 และ 7 ม./ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 93.48, 95.29 และ 94.35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเมื่อเทียบกับความเร็วไหลขึ้น 3 และ 5 ม./ชม. ดังนั้นจากการทดลองทราบว่าระบบอีจีเอสบีเป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียแป่งมันสำปะหลังที่อัตราภาระสารอินทรีย์สูงถึง 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยใช้ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 5 ม./ชม. ได้อย่างเหมาะสม

**Chu, Yang และ Zhang (2004)** ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันของระบบอีจีเอสบีและเมมเบรนในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่อุณหภูมิต่ำ โดยถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.056 เมตร สูง 1.7 เมตร ปริมาตร 4.7 ลิตร โดยเมมเบรนจะอยู่ส่วนบนของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี โดยเมมเบรนมีลักษณะเป็น U-shaped ทำมาจาก polyethylene ขนาดรู 0.1 ไมโครเมตร มีปริมาตรเท่ากับ 0.1 ตารางเมตร ระยะเวลาดำเนินการรวมทั้งสิ้น 7 เดือน อุณหภูมิอยู่ในช่วง 11 ถึง 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 5.7 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 15 องศาเซลเซียส ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ 85 – 96 เปอร์เซ็นต์ และสามารถกำจัดซีโอดีได้ 83 ถึง 94 เปอร์เซ็นต์ สำหรับที่อุณหภูมิ 11 องศาเซลเซียสทำการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียจาก 3.5 ชั่วโมงเป็น 5.7 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจาก 76 เปอร์เซ็นต์เป็น 81 เปอร์เซ็นต์ และการนำเมมเบรนมาช่วยในการบำบัดทำให้ระบบเพิ่ม



ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 8.8 เปอร์เซ็นต์ ที่ 25 องศาเซลเซียส และเพิ่ม 14.2 เปอร์เซ็นต์ที่ 11 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นข้อพิสูจน์ว่าเมมเบรน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิต่ำ

**Yejian และคณะ (2007)** ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม โดยใช้วิธีทางชีววิทยาร่วมกับเมมเบรน การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกเป็นการบำบัดแบบไร้อากาศร่วมกับการบำบัดแบบใช้อากาศ สำหรับขั้นที่ 2 จะเป็นการทำงานร่วมกันของระบบ UF (ultrafiltration) และ RO (reverse osmosis) โดยการบำบัดแบบไร้อากาศจะใช้ถังปฏิกรณ์ อีจีเอสปีปริมาตร 21,560 มิลลิลิตร ความเร็วไหลขึ้น 3.5 ม./ชม. ควบคุมอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ค่าซีโอดีเข้าระบบเท่ากับ 32,500 มก./ล. สำหรับถังแบบใช้อากาศมีปริมาตรถึงเท่ากับ 19,700 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ส่วน UF (ultrafiltration) จะต่อเป็นอนุกรม 3 หน่วย มีพื้นที่ในการกรองรวมเท่ากับ 10 ตารางเมตร สำหรับ RO (reverse osmosis) จะมีพื้นที่ในการกรองรวมเท่ากับ 7.85 ตารางเมตร จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์ ในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปี และในถังแบบใช้อากาศการกำจัดซีโอดีคิดเป็น 22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการบำบัดขั้นที่ 1 จะเป็นการลดของแข็งแขวนลอยและพวกน้ำมันให้อยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้เพื่อให้เมมเบรนในขั้นที่ 2 เกิดความสกปรกลดลง และเพิ่มอายุการใช้งาน ขณะที่ RO (reverse osmosis) และ UF (ultrafiltration) จะแยกพวกของแข็งที่ละลายน้ำ หรือเกลืออนินทรีย์ ซึ่งน้ำเสียที่มาจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการทั้ง 2 ขั้นตอน จะไม่พบของแข็งแขวนลอยและสี แต่พบแร่ธาตุบ้างเล็กน้อย (ยกเว้น K และ Na) น้ำที่ออกมาจากระบบบำบัด จะมีคุณภาพสูงและใส และสามารถนำไปใช้ใน boiler ต่อได้

## 2.8.2 การศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียประเภทเอทานอลและน้ำกากส่า

**พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์ (2546)** ศึกษาประสิทธิภาพระบบอีจีเอสปีในการบำบัดน้ำเสียกากส่าจากโรงงานสุราโดยศึกษาถึงผลของอัตราการระสาดอินทรีย์ และเปรียบเทียบความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ โดยน้ำเข้ามีความเข้มข้นซีโอดี 5,000 มก./ล. โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลอง โดยชุดที่ 1 อัตราการระสาดอินทรีย์เท่ากับ 5, 10 และ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาที่เก็บ 24, 12 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ย 50, 51 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.27, 0.43 และ 0.33 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด และการทดลองชุดที่ 2 ที่อัตราการระสาดอินทรีย์ และระยะเวลาที่เก็บเท่ากับชุดที่ 1 แต่เพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็น 5 ม./ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 51, 53 และ 55 ตามลำดับและมีอัตราการผลิต



ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.25, 0.38 และ 0.31 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ และเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์จาก 15 เป็น 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาพัก 4.8 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดเหลือ 48 เปอร์เซ็นต์ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 และ 49 เปอร์เซ็นต์ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.39 และ 0.37 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าระบบอีจีเอสบี สามารถรับอัตราภาวะสารอินทรีย์ที่ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ได้

**อิสระ รัตนปริยานุช (2546)** ศึกษาประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ ที่มีถังหมักกรดน้ำในการบำบัดน้ำกากส่า โดยการศึกษาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนในการทดลองแรกศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของถังหมักกรดที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 4, 5, 6 และ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งจากการทดลองพบว่า ระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของถังหมักกรดขึ้นอยู่กับอัตราภาวะสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนไป โดยที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 4, 5, 6 และ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมคือ 6, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 16.7, 17.3, 14.9 และ 14.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่สองเป็นการใช้ถังหมักกรดที่มีระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมจากการทดลองแรกมาทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 4, 5, 6 และ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เท่ากับ 65.6, 64.1, 55.4 และ 52 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อมีการเติมนิกเกิลและโคบอลต์ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2-3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองสรุปได้ว่าถังหมักกรดมีส่วนสำคัญในการกำจัดน้ำกากส่าและมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดโดยรวมลดลงเมื่ออัตราภาวะสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น

**Zhang และคณะ (2001)** ศึกษาประสิทธิภาพถังปฏิกริยาอีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลทางภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งอัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 29 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 6,000 มก./ล. โดยใช้เวลา 2 เดือนในการเดินระบบให้เสถียร และพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 90 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าระบบอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพสามารถบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลเป็นอย่างดี

**Valderrama และคณะ (2002)** ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีส่วนประกอบพวกเอทานอลและกรดซิตริก โดยใช้ *Chlorella vulgaris* และ *Lemma minuscula* ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียมีลักษณะสีดำ สารอินทรีย์สูง และ pH ต่ำ ดังนั้น

ในการทดลองจึงทำการเจือจางน้ำเสียจนเหลือเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของน้ำเสียเดิม เพื่อให้ *Chlorella vulgaris* และ *Lemma minuscula* เจริญเติบโตได้ โดยเมื่อผ่านไป 4 วัน ระบบสามารถลดแอมโมเนียออกไซด์ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 28 เปอร์เซ็นต์ ซีโอดี 61 เปอร์เซ็นต์และประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสีมากกว่า 52 เปอร์เซ็นต์เมื่อผ่านไป 6 วัน ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า *Chlorella vulgaris* และ *Lemma minuscula* มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

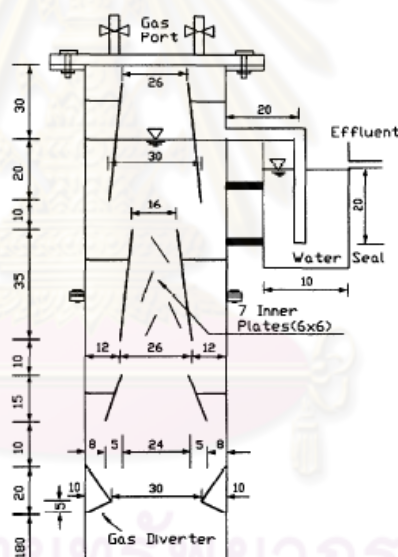
Singh และคณะ (2007) ศึกษาการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียจากหอก้านผลิตเอทานอลด้วยข้าวโพด โดยมีค่าซีโอดีประมาณ 75,000 มก./ล. ซึ่งการบำบัดด้วยโอโซนเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนการบำบัดทางชีววิทยา ในงานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีระหว่างใช้โอโซนเพียงอย่างเดียวและใช้โอโซนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในการทดลองใช้โอโซนอย่างเดียวมีอัตราส่วนของปริมาณโอโซนที่ใช้ดังนี้  $O_{3,1} = 7$  มิลลิกรัมต่อนาที,  $O_{3,2} = 21$  มิลลิกรัมต่อนาที และ  $O_{3,3} = 33$  มิลลิกรัมต่อนาที โดยใช้เวลา 8 ชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 2 ลิตรที่มีการเจือจาง 3 ค่าคือ 20, 30 และ 40 เท่า จากการทดลองพบว่าที่ปริมาณโอโซน;  $O_{3,3} = 33$  มิลลิกรัมต่อนาที ในการบำบัดน้ำเสียเจือจาง 40 เท่ามีประสิทธิภาพสูงสุดคือ 85 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อมีการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปคือ  $Fe^{3+}$  พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มเป็น 74 เปอร์เซ็นต์จาก 45 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการใช้อโอโซนเพียงอย่างเดียว และเพิ่มขึ้นเป็น 77 เปอร์เซ็นต์เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ  $Fe^{2+}$  (ใช้เวลา 4 ชั่วโมง,  $O_{3,3} = 33$  มิลลิกรัมต่อนาที ในการบำบัดน้ำเสียเจือจาง 40 เท่า) จากการทดลองครั้งนี้พบว่า การเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงขึ้นและใช้เวลาสั้นลง

### 2.8.3 การศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์แยกสามสถานะ

Hashemian และ James (1989) ศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์แยกสามสถานะ ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ โดยใช้ถังปฏิกรณ์อิจิเอสบี ที่สร้างด้วยท่อพีวีซีสูง 100 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 155 มิลลิเมตร ปริมาตร 17 ลิตร โดยทำการทดลองเปรียบเทียบ 3 ถังปฏิกรณ์คือ ถังที่ 1 ไม่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ ถังที่ 2 ประกอบด้วยกรวยดักเก็บก๊าซ 2 อันและถังที่ 3 ประกอบด้วยชั้นถ่านไม้โดยมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าขนาด 3 เซนติเมตรซึ่งลอยอยู่ด้านบนของถังสูง 15 เซนติเมตรทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แยกสามสถานะ รวมระยะเวลาในการดำเนินการ 110 วัน โดยถังที่ 1 มีอัตราการระสารอินทรีย์เท่ากับ 9 ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ถังที่ 2 และ 3 อัตราการระสารอินทรีย์ 13.5 ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดย

ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในถังที่ 1 เท่ากับ 91 เปอร์เซ็นต์ ถังที่ 2 เท่ากับ 91 เปอร์เซ็นต์และถังที่ 3 เท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์

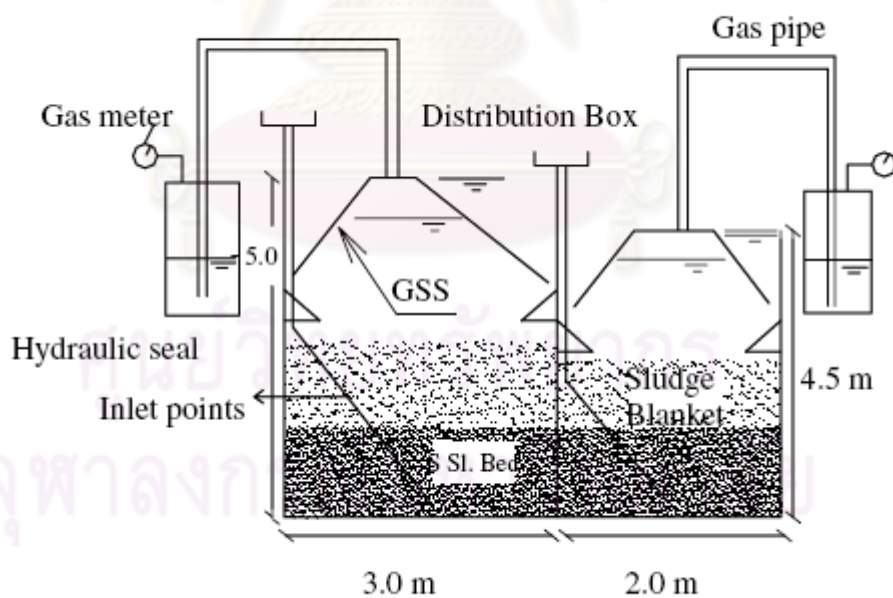
Bae และ Shin (1997) ศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบ IT (inner tube type gas-solid separator) ในระบบยูเอเอสพีที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 9.7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วัน และระยะเวลาพักเก็บ 7.4 ชั่วโมง โดยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีสูง 3.3 เมตร กว้าง 0.5 เมตร ประกอบด้วยอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบ IT (inner tube type gas-solid separator) จำนวน 3 อันโดยเรียงตามความสูงของถังปฏิกรณ์ มีลักษณะเป็นทรงกรวย โดยอุปกรณ์แยกสามสถานะอันที่ 2 จะมีแผ่น (plate) กั้นอยู่ภายในจำนวน 7 อันขนาด 6x6 เซนติเมตร และจากการดำเนินการพบว่าอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบ IT ช่วยป้องกันการสูญเสียอนุภาคของเม็ดตะกอนหลุดออกจากระบบ และเพิ่มอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบ IT (Bae และ Shin, 1997)

Halalshah และคณะ (2005) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสพีแบบ 1 ชั้นตอนและ 2 ชั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพี 2 ถัง ที่มีปริมาตรและอุปกรณ์แยกสามสถานะต่างกัน โดยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีถังที่ 1 มีปริมาตร 60 ลูกบาศก์เมตร ลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะไม่สมมาตร (55 และ 45 องศา) ส่วนถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีถังที่ 2 มีปริมาตร 36 ลูกบาศก์เมตร อุปกรณ์แยกสามสถานะสมมาตร (45 และ 45 องศา) ซึ่งการทดลองแบ่งออกเป็นสองช่วง รวมระยะเวลาทั้งหมด 2.5 ปี อุณหภูมิอยู่ในช่วง 18 และ 25 องศาเซลเซียสในฤดูหนาวและฤดูร้อนตามลำดับ ในช่วงปีแรกเป็นการดำเนินการแบบ 2 ชั้นตอน

โดยใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีถังที่ 1 และ 2 ต่อแบบอนุกรม ค่าซีไอดีเข้าสู่ระบบเท่ากับ 1,531 มก./ล. โดยถังแรกมีค่าอัตราการสลายอินทรีย์เท่ากับ 3.6 ถึง 5.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาเก็บกักเก็บ 8 – 10 ชั่วโมง ถังที่ 2 มีค่าอัตราการสลายอินทรีย์เท่ากับ 2.9 – 4.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาเก็บกักเก็บ 5 – 6 ชั่วโมง ซึ่งในถังที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีทั้งหมด 51 เปอร์เซ็นต์ และ COD<sub>ss</sub> ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยที่อุณหภูมิไม่มีผล ส่วนถังที่ 2 ระบบยังไม่เสถียร และในช่วงปีที่ 2 มีการดำเนินการโดยใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีถังแรกเพียงถังเดียว โดยให้อัตราการสลายอินทรีย์ลดลงครึ่งหนึ่งคือ 1.5 – 1.8 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 24 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีทั้งหมดเป็น 62 เปอร์เซ็นต์ในฤดูร้อน แต่ลดไปเป็น 51 เปอร์เซ็นต์ในช่วงฤดูหนาว แต่ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ยังคงมีค่าเสถียรโดยค่าวีเอสเอสต่อเอสเอส เท่ากับ 0.50 ตลอดทั้งปี และสถิติในถังปฏิกรณ์มีเสถียรและมีการตกตะกอนดีเยี่ยม ดังนั้นสรุปได้ว่าระบบยูเอเอสบีแบบ 1 ขั้นตอนมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 2 ขั้นตอนซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการออกแบบขนาดถังปฏิกรณ์ที่ไม่เพียงพอและอัตราการสลายอินทรีย์มากเกินไปสำหรับการดำเนินการแบบ 2 ขั้นตอน



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Halalsheh และคณะ , 2005)

Yasar และคณะ (2006) ศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์แยกสามสถานะในระบบยูเอเอสพี ในการบำบัดน้ำเสียจากท่อน้ำทิ้งรวมของโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้ระยะเวลา กักเก็บน้ำเสีย 3 ถึง 12 ชั่วโมง โดยที่ระยะเวลา กักเก็บ 3 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี และทีเอสเอสเท่ากับ 56 และ 39 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และระยะเวลา กักเก็บ 12 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและทีเอสเอสเท่ากับ 70 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และใน ส่วนของอุปกรณ์แยกสามสถานะประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและทีเอสเอสเท่ากับ 20 และ 26 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ระยะเวลา กักเก็บ 3 ชั่วโมง และประสิทธิภาพกำจัดซีไอดีและทีเอสเอส เท่ากับ 14 และ 16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ระยะเวลา กักเก็บ 12 ชั่วโมง และประสิทธิภาพในการ กำจัดซีไอดีและทีเอสเอสทั้งระบบคิดเป็น 76 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับที่ระยะเวลา กักเก็บ 3 ชั่วโมง และที่ระยะเวลา กักเก็บ 12 ชั่วโมง จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและทีเอสเอสทั้ง ระบบเท่ากับ 84 และ 72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งชี้ว่าในส่วนอุปกรณ์แยกสามสถานะช่วยให้ ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น ถึงแม้ว่าเวลากักเก็บจะน้อย (3 ชั่วโมง) หรือ ที่ความเร็วไหลสูงขึ้นสูงๆ ประสิทธิภาพของระบบยังคงประสิทธิภาพอยู่



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะในระบบยูเอเอสพี (Yasar และคณะ ,2006



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสพีที่ใช้อุปกรณ์แยกสามสถานะ (Three phase separators) แบบสมมาตรและไม่สมมาตรในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลโดยดำเนินการทดลองที่ชั้น 1 อาคารภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ

การทดลองชุดที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบอีจีเอสพีที่ใช้อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ที่อัตราการไหลอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 3 ม./ชม. และเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 5 ม./ชม. ที่อัตราการไหลอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

การทดลองชุดที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบอีจีเอสพีที่ใช้อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ที่อัตราการไหลอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 4 ม./ชม. และเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. ที่อัตราการไหลอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เสริมสุข จำกัด

#### 3.2 การเตรียมน้ำเสีย

##### 3.2.1 ส่วนประกอบน้ำเสีย

น้ำเสียนำมาจากโรงงานผลิตเอทานอลแห่งหนึ่งในจังหวัดนครปฐม โดยมีข้อมูลเบื้องต้นของน้ำเสียดังที่แสดงในตารางที่ 3.1



ตารางที่ 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

พารามิเตอร์	ช่วงค่าของข้อมูล
พีเอช	4.60
ซีโอดี (มก./ล.)	120,000
บีโอดี (มก./ล.)	19,700
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	2,150
ไนโตรเจนรวม	1,870
สภาพด่าง	3,000
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	1,950

### 3.2.2 วิธีการเตรียมน้ำเสีย

นำน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลมาเจือจางโดยผสมกับน้ำประปาเพื่อให้ได้ค่าซีโอดีประมาณ 5,000, 10,000, 15,000 และ 20,000 มก./ล. และเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มบัฟเฟอร์ให้กับระบบบิโอดีพี พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องวิเคราะห์ดังนี้

- 1) พีเอช (pH)
- 2) ซีโอดี (COD)
- 3) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solids)
- 4) ไนโตรเจนรวม (TKN)
- 5) สภาพด่าง (alkalinity)
- 6) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

- 1) ถังพักน้ำเสียใช้ถังพลาสติกที่มีขนาด 100 ลิตร

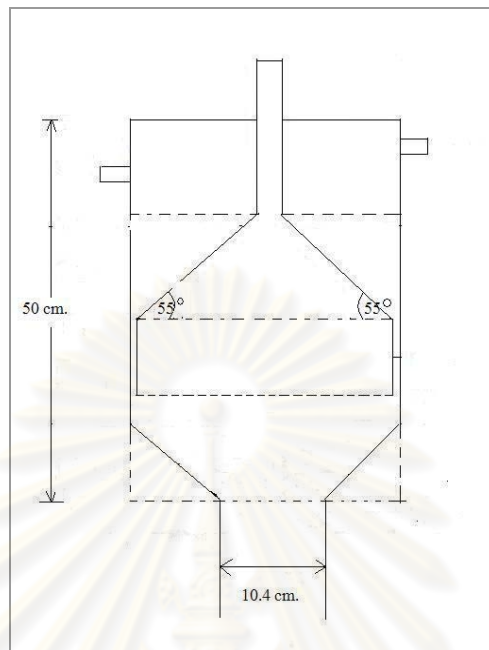
ถังพักน้ำทิ้งใช้ถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร

- 2) เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบและเครื่องสูบน้ำเสียหมุนเวียน

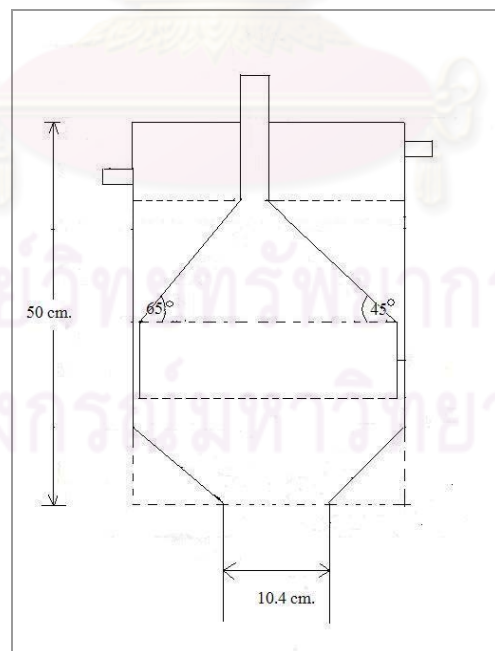
ถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน 1 ชุดประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำ 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ 1 ตัว และเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบ 1 ตัว โดยน้ำเสียที่เจือจางแล้วจะถูกสูบน้ำเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง จากถังพักน้ำเสียไปยังทางน้ำเข้าของแบบจำลองถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน ในขณะที่เดียวกันที่ทางเข้าจุดเดียวกัน น้ำเสียถูกสูบกลับโดยเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนกลับเข้ามาสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำหน้าที่เพิ่มความเร็วไหลขึ้น ( $V_{up}$ ) ในถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน

- 3) ถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน

แบบจำลองถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจนเป็นท่ออะคริลิกใสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.4 เซนติเมตร ประกอบด้วยส่วนย่อยสลายสูง 200 เซนติเมตร และส่วนตกตะกอนซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำด้วยท่ออะคริลิกใสสูง 50 เซนติเมตร ส่วนตกตะกอนและส่วนย่อยสลายถูกแยกด้วยอุปกรณ์แยกสามสถานะ (three phase separators) แบบสมมาตรและไม่สมมาตร ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์แยกสามสถานะแสดงดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 รายละเอียดแบบจำลองอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีจีเอสบี



รูปที่ 3.2 รายละเอียดแบบจำลองอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีจีเอสบี

#### 4) เครื่องวัดปริมาณก๊าซ

อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซมีจำนวน 4 ชุด ท่อนำก๊าซจากระบบอีจีเอสพีจะต่อเข้ากับ อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซที่ทำงานโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ (Inverted glass cylinder method) และทำการปรับพีเอชน้ำให้ต่ำกว่า 3 โดยใช้  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  20 กรัมผสมกับ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5 มิลลิลิตรในน้ำ 100 มิลลิลิตร [confining solution (20%  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  in  $\text{H}_2\text{O}$ )] (Sawyer และคณะ, 1994) เพื่อป้องกันการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณก๊าซที่วัดได้คือก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากระบบ (มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน) ทำการวัดอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง

5) สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทำตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for Examination of water and wastewater, 1998 คุณภาพระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Reagent, LR)

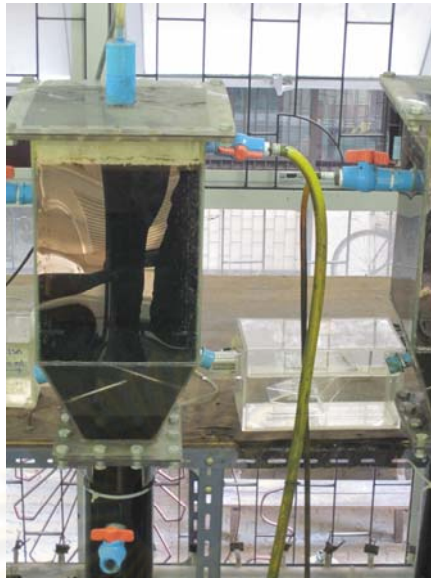
6) เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ใช้ตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for Examination of water and wastewater, 1998



รูปที่ 3.3 เครื่องสูบน้ำชนิดไดอะแฟรม



รูปที่ 3.4 เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ



รูปที่ 3.6 ภาพรวมอุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินระบบ

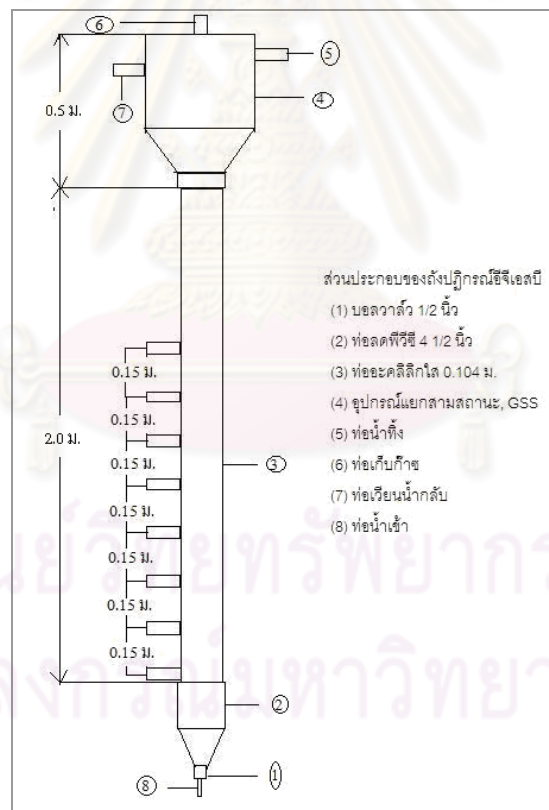


### 3.3.2 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบ

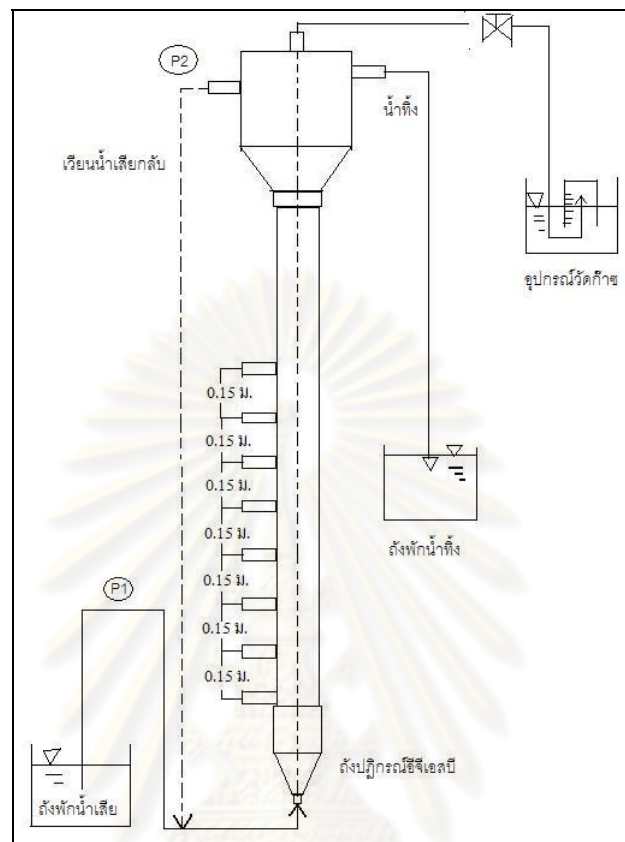
การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบบอิจีเอสบีแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8 ขั้นตอนการเดินระบบมีการทำงานดังนี้

1) เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ P1 สูบน้ำเสียจากถังเก็บน้ำเสียส่งเข้าไปยังทางเข้าของถังปฏิกรณ์บอิจีเอสบี และเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนกลับ P2 สูบน้ำเสียเวียนกลับมายังทางเข้า ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน

2) น้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกรณ์บอิจีเอสบีจะไหลล้นต่อไปยังถังเก็บน้ำทิ้ง ก๊าซในระบบจะไหลผ่านอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Three phase separators) ไปยังอุปกรณ์วัดก๊าซ



รูปที่ 3.7 แบบจำลองถังปฏิกรณ์บอิจีเอสบี



รูปที่ 3.8 แผนผังการทำงานของระบบออสโมซิส

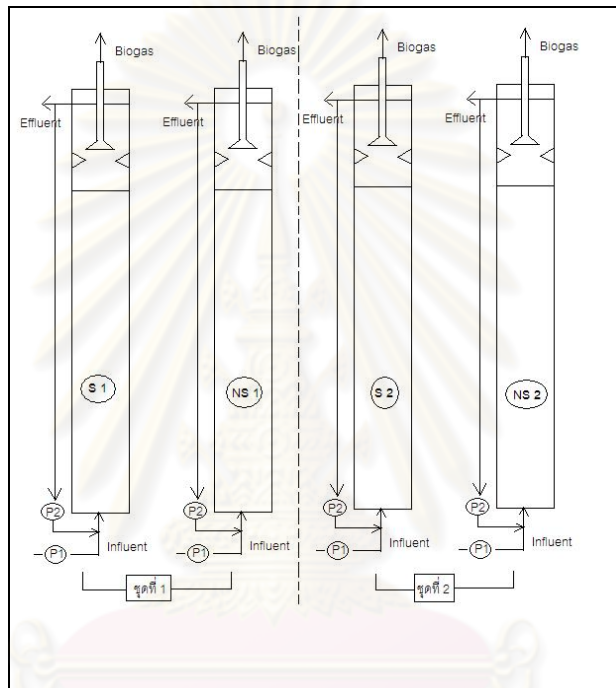
### 3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง

#### 3.4.1 การเริ่มต้นเดินระบบ (start up) ในถังปฏิบัติการออสโมซิส

มีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

- 1) เริ่มต้นระบบโดยเติมหัวเชื้อ ลงในถังปฏิบัติการทั้ง 2 ชุดการทดลองดังรูปที่ 3.9 ในปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถัง
- 2) ทำการป้อนน้ำเสียเจือจางความเข้มข้นซีไอดีประมาณ 500 มก./ล. เข้าระบบ และเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) เพื่อเพิ่มบัฟเฟอร์ให้กับระบบ
- 3) ทำการปรับเพิ่มความเข้มข้นซีไอดีของน้ำเสียกระทั่งมีความเข้มข้นซีไอดีประมาณ 5,000 มก./ล.

4) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงเริ่มดำเนินการทดลองโดยการทดลองแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลองซึ่งเป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะที่มีลักษณะสมมาตรและไม่สมมาตรในการบำบัดน้ำเสียเอทานอลจากกากส่าที่มีอัตราภาระสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นต่างกัน แต่ละการทดลองใช้เวลาทำการทดลองจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลคาดว่าประมาณ 30 วัน รวมระยะเวลาทำการทดลองทั้งสิ้นประมาณ 7 เดือน โดยทำการเดินระบบทั้งสองการทดลองพร้อมกัน



รูปที่ 3.9 แผนผังแบบจำลองถึงปฏิกรณ์อีจีเอสบีในการทดลองชุดที่ 1 และ 2

หมายเหตุ : S1 = ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในชุดการทดลองที่ 1

NS1 = ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในชุดการทดลองที่ 1

S2 = ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในชุดการทดลองที่ 2

NS2 = ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีลักษณะของอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในชุดการทดลองที่ 2

### 3.4.2 การทดลองถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 1

การทดลองถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 1 จะศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะที่มีลักษณะสมมาตร (S1) และไม่สมมาตร (NS1) ต่อผลของการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ต่างกัน ความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 3 ม./ชม. ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

สำหรับที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจาก 3 ม./ชม. เป็น 5 ม./ชม. เพื่อศึกษาความเร็วไหลขึ้นที่เหมาะสมเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์สูง (อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลองในถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ดังนี้

- 1) ช่วงเริ่มต้นของระบบเตรียมน้ำเสียเจือจางความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ย 500 มก./ล. (อัตราภาระสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)
- 2) ทำการปรับเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีจนถึง 5,000 มก./ล. (อัตราภาระสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) ขณะทำการเดินระบบทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ทางน้ำเข้าและทางน้ำออกเพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ พีเอช (pH) ซีโอดี (COD) สภาพด่าง (alkalinity) ไนโตรเจนรวม (TKN) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (total suspended solid) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) อุณหภูมิ (temperature) และโออาร์พี (ORP)
- 3) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ทำการปรับเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เป็น 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 3 ม./ชม.
- 4) ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวทำการปรับเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็น 5 ม./ชม.
- 5) ทำการวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
- 6) ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของเม็ดตะกอน โดยวิเคราะห์ โครงสร้างเม็ดตะกอน (เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM) และค่า SMA (Specific Methanogenic Activity) การกระจายขนาดเม็ดตะกอน

ทำการปรับอัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบและอัตราหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบในการทดลองชุดที่ 1 ใช้ข้อมูลดังตารางที่ 3.2 โดยระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียเท่ากับ 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราการสูบน้ำเวียนกลับที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าความเร็วไหลขึ้น ( $V_{up}$ ) ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1

ถังปฏิกรณ์	อัตราการระเหยอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	อัตราการสูบน้ำเสีย Qin (ล./วัน)	อัตราสูบน้ำหมุนเวียน Qr (ล./วัน)
S 1	10	3	34	577
	20	3	34	577
	30	3	34	577
	40	3	34	577
	40	5	34	985
NS 1	10	3	34	577
	20	3	34	577
	30	3	34	577
	40	3	34	577
	40	5	34	985

หมายเหตุ : S1 = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีซีเอสปีชุดที่ 1

NS1 = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีซีเอสปีชุดที่ 1



### 3.4.3 การทดลองถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 2

การทดลองถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะที่มีลักษณะสมมาตร (S2) และไม่สมมาตร (NS2) ต่อผลการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 4 ม./ชม. ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

สำหรับที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวทำการปรับเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. เพื่อศึกษาความเร็วไหลขึ้นที่เหมาะสมเมื่ออัตราภาวะสารอินทรีย์สูง

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 ดังนี้

- 1) ช่วงเริ่มต้นของระบบเตรียมน้ำเสียเจือจางความเข้มข้นซีไอดีเฉลี่ย 500 มก./ล. (อัตราภาวะสารอินทรีย์ 1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)
- 2) ทำการปรับเพิ่มความเข้มข้นซีไอดีจนถึง 5,000 มก./ล. (อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน) กระทั่งระบบคงที่ ขณะทำการเดินระบบทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ทางน้ำเข้าและทางน้ำออก เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ พีเอช (pH) ซีไอดี (COD) สภาพด่าง (alkalinity) ไนโตรเจนรวม (TKN) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (total suspended solid) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) อุณหภูมิ (temperature) และโออาร์พี (ORP)
- 3) เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวทำการปรับอัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 4 ม./ชม.
- 4) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- 5) ทำการวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
- 6) ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของเม็ดตะกอน โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ โครงสร้างเม็ดตะกอน (เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM) และค่า SMA (Specific Methanogenic Activity) การกระจายขนาดเม็ดตะกอน

การปรับอัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบและอัตราหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบในการทดลองชุดที่ 2 ใช้ข้อมูลดังตารางที่ 3.3 โดยระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียเท่ากับ 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราการสูบน้ำเวียนกลับที่อัตราการระเหยอินทรีย์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าความเร็วไหลขึ้น ( $V_{up}$ ) ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2

ถังปฏิกรณ์	อัตราการระเหยอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหล ขึ้น (ม./ชม.)	อัตราการสูบน้ำเสีย $Q_{in}$ (ล./วัน)	อัตราสูบน้ำ หมุนเวียน $Q_r$ (ล./วัน)
S 2	10	4	34	781
	20	4	34	781
	30	4	34	781
	40	4	34	781
	40	6	34	1,190
NS 2	10	4	34	781
	20	4	34	781
	30	4	34	781
	40	4	34	781
	40	6	34	1,190

หมายเหตุ : S2 = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีซีเอสปีชุดที่ 2

NS2 = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีซีเอสปีชุดที่ 2

### 3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองทำการวิเคราะห์ในส่วนของน้ำเสีย ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และการกระจายขนาดของเม็ดตะกอน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

#### 3.5.1 การวิเคราะห์น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

การวิเคราะห์น้ำเสียเก็บตัวอย่างที่ทางน้ำเข้าและทางน้ำออกของถังปฏิกรณ์ทุกถัง ซึ่งจะทำให้การทิ้งในช่วงเริ่มต้นเดินระบบและในช่วงเดินระบบระยะยาวโดยพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์มีดังนี้

- พีเอช (pH)
- อุณหภูมิ (temperature)
- กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)
- ซีโอดี (COD)
- โออาร์พี (ORP)
- ไนโตรเจนรวม (TKN)
- ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)
- สภาพด่าง (alkalinity)

#### 3.5.2 การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกรวบรวมแล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบ โดยพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ ได้แก่

- ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
- ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

### 3.5.3 การวิเคราะห์เม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอน ในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

เม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นจะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางชีวเคมี  
โดยพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ได้แก่

- การกระจายของขนาดเม็ดตะกอน
- โครงสร้างของเม็ดตะกอน
- ค่า SMA (Specific Methanogenic Activity) เป็นค่าที่บอกความสามารถ  
จำเพาะของเม็ดตะกอนที่ผลิตมีเทนได้ สามารถหาค่า SMA ได้ดังนี้

$$\text{SMA} = \frac{\text{อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซมีเทน (มล./วัน)}}{\text{น้ำหนักของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (กรัม)}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.6 ค่าพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในการทดลอง

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในการทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	จุดเก็บตัวอย่าง	ความถี่ในการวิเคราะห์
1. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Thermometer	ทางน้ำเข้ากับทางน้ำออก	จ. พ. ศ.
2. พีเอช	Electronic pH meter with glass electrode method	ทางน้ำเข้ากับทางน้ำออก	จ. พ. ศ.
3. ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	GF/C filter Dried 10°-105°C (Standard method # 2540)	ทางน้ำเข้ากับทางน้ำออก	จ. พ. ศ.
4. ซีไอดี (มก./ล.)	Close reflux (Standard method #5220)	ทางน้ำเข้ากับทางน้ำออก	จ. พ. ศ.
5. สภาพต่าง (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต)	Titration method (Standard method #2320)	ทางน้ำเข้ากับทางน้ำออก	จ. พ. ศ.
6. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซีติก)	Titration method (Standard method #5560)	ทางน้ำเข้ากับทางน้ำออก	จ. พ. ศ.
7. ไนโตรเจนรวม (มก./ล. ไนโตรเจน)	Kjeldahl method (Standard method #4500-N <sub>org</sub> )	ทางน้ำเข้ากับทางน้ำออก	จ. พ. ศ.
8. โออาร์พี (มิลลิโวลต์)	เครื่องวัดโออาร์พี	ทางน้ำออก	จ. พ. ศ.
9. ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	Inverted glass cylinder method	ถังเก็บก๊าซ	จ. - ศ.



ตารางที่ 3.4 (ต่อ) แสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในการทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	จุดเก็บตัวอย่าง	ความถี่ในการวิเคราะห์
10. ปริมาณของแข็งระเหย (มก./ล.)	Dried 500 - 600°C (Standard method # 2540)	ทางน้ำเข้ากับ ทางน้ำออก	วิเคราะห์หลังจากระบบ คงตัว
11. ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (เปอร์เซ็นต์มีเทน)	Gas Chromatography	ถังเก็บก๊าซ	วิเคราะห์หลังจากระบบ คงตัว
12. โครงสร้างเม็ดตะกอน	เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM ยี่ห้อ FEI รุ่น Genesis 4000xMS60 for scanning	วาล์วเก็บ ตัวอย่าง	วิเคราะห์หลังจากระบบ คงตัว
13. การกระจายขนาดเม็ดตะกอน (ไมโครเมตร)	เครื่อง Particle size analyzer ยี่ห้อ Mavem รุ่น Mastersizer (0.02 – 900 µm)	วาล์วเก็บ ตัวอย่าง	วิเคราะห์หลังจากระบบ คงตัว
13. SMA (Specific Methanogenic Activity) (ก.ซีไอดี / ก.ของแข็งระเหย - วัน)	พิจารณาจากพารามิเตอร์ - ปริมาณก๊าซชีวภาพ - ปริมาณของแข็งระเหย - ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน	วาล์วเก็บ ตัวอย่าง	วิเคราะห์หลังจากระบบ คงตัว

หมายเหตุ: วาล์วเก็บตัวอย่างเก็บ 3 จุด คือ ที่ระดับความสูงจากกันถึง 0.5, 1.0 และ 1.5 ม.

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การดำเนินการทดลองช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up)

งานวิจัยนี้ใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสบี ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเสริมสุข จำกัด โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะทางกายภาพดังตารางที่ 4.1 เริ่มต้นทำการเดินระบบโดยการใส่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลงในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี โดยมีปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ประมาณ 7 ลิตร โดยคิดเป็นปริมาตรร้อยละ 40 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ จากนั้นจึงทำการเดินระบบโดยป้อนน้ำเสียจริงเข้าระบบแบบไหลต่อเนื่อง เริ่มต้นที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีให้สูงขึ้นตามลำดับ กระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) เป็นเวลาประมาณ 151 วัน ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

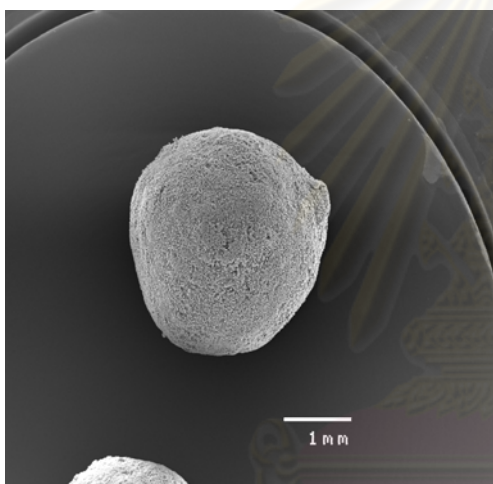
พารามิเตอร์	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต
รูปร่าง	เม็ดกลมสีน้ำตาล
ขนาดเม็ดตะกอน	0.1 – 0.3 มิลลิเมตร

ก่อนเริ่มเดินระบบ ได้นำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) แสดงดังรูปที่ 4.1 โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะทางกายภาพและกลุ่มของแบคทีเรียที่สามารถสังเกตได้ดังนี้ คือ

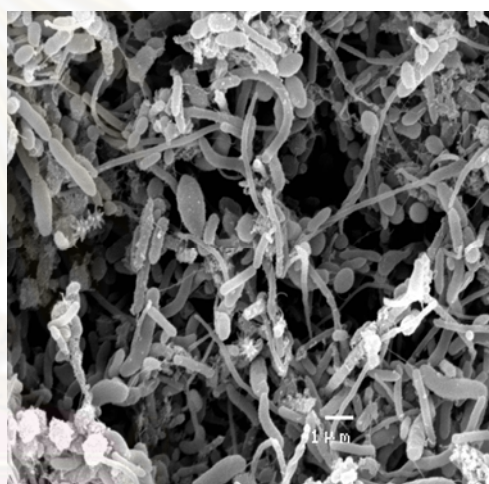
**โครงสร้างบริเวณผิวชั้นนอก:** ลักษณะผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ค่อนข้างเรียบ และเป็นเม็ดค่อนข้างกลมสมบูรณ์ โดยโครงสร้างบริเวณผิวชั้นนอกพบแบคทีเรียหลากหลายชนิด โดยสังเกตจากลักษณะรูปร่างของแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียที่พบส่วนมากมีลักษณะรูปร่างแบบเส้นใยและทรงกลม โดยพบแบคทีเรียแบบเส้นใยมากที่สุด ซึ่งแบคทีเรียที่มีลักษณะแบบเส้นใยจะเกาะยึดแบคทีเรียที่มีลักษณะรูปร่างแบบทรงกลมทำให้โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีความแข็งแรง และเกาะกันเป็นเม็ด

**โครงสร้างบริเวณภายใน:** ลักษณะผิวชั้นในของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ผ่าตามขวาง) พบว่ามีความหลากหลายของแบคทีเรียต่ำกว่าบริเวณผิวชั้นนอกของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยส่วนใหญ่พบแบคทีเรียที่มีลักษณะรูปร่างแบบแท่งและทรงกลม

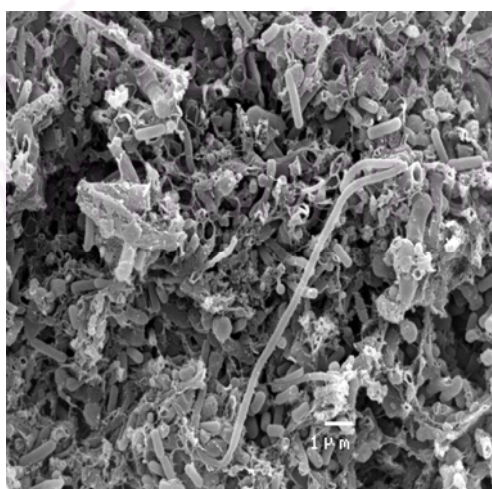
จากการพิจารณาการจัดเรียงตัวของเซลล์และกลุ่มจุลินทรีย์ของเมล็ดตะกอนจากระบบไร้อากาศที่บำบัดน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต พบว่าภายในเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์มีการจัดเรียงตัวของเซลล์และกลุ่มจุลินทรีย์ออกเป็นชั้นๆ คือ ชั้นนอกสุดส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดและมีความหลากหลายของแบคทีเรียมากเพราะที่บริเวณนี้เป็นบริเวณที่มีการสัมผัสระหว่างสารอาหารในน้ำเสียน้ำกับแบคทีเรียโดยตรง ส่วนชั้นในเป็นแบคทีเรียกลุ่ม Methanotrix ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนที่มีลักษณะรูปร่างเป็นแท่งและทรงกลมทำงานร่วมกัน (Guiot, Pauss และ Corteron, 1992)



(ก) ลักษณะเมล็ดตะกอน



(ข) ภาพตัดขวางระหว่างผิวกับแกนใน



(ค) พื้นผิวภายนอกของเมล็ดตะกอน

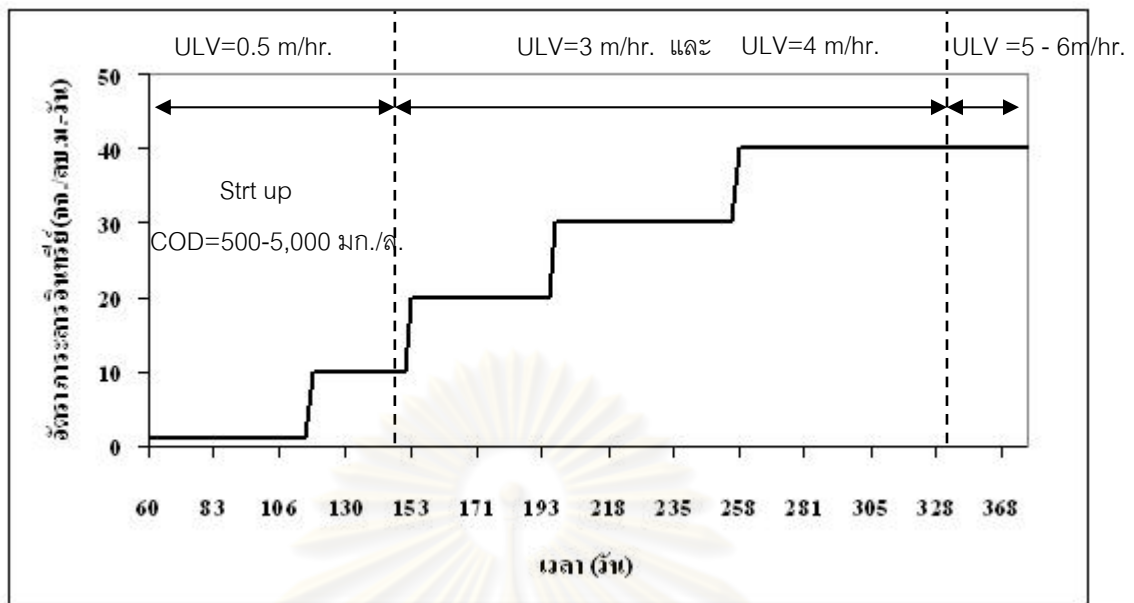
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงดำเนินการทดลองตามแผนการทดลอง ซึ่งการทดลองแบ่งเป็น 5 ช่วงการทดลอง โดยการทดลองชุดที่ 1-4 เป็นการทดลองในช่วงการเปลี่ยนอัตราภาระสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 3 และ 4 ม./ชม. การทดลองชุดที่ 5 เป็นการทดลองในช่วงการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นเป็น 5 และ 6 ม./ชม. ที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงช่วงเวลาการทดลองของแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นของทุกถังปฏิกรณ์ไอ้เอสบี

การทดลองที่	วันที่ทำการทดลอง	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าซีโอดี (กก./ล.)	อัตราภาระ สารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)
1/1	153-167	3	5,000	10
1/2	153-167	4		
2/1	168-226	3	10,000	20
2/2	168-226	4		
3/1	227-280	3	15,000	30
3/2	227-280	4		
4/1	281-335	3	20,000	40
4/2	281-335	4		
5/1	354-377	5	20,000	40
5/2	354-377	6	20,000	40

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราภาระสารอินทรีย์และความเร็ว  
ไหลขึ้นกับระยะเวลาทำการทดลอง

#### 4.2 การดำเนินการทดลองช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบี ที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

ผลของการทดลองในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่อัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 34 ลิตร/วัน และความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. คงที่ตลอดการทดลอง รายละเอียดผลการทดลองของพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.3 – 4.6

ผลของการทดลองในการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่อัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 34 ลิตร/วัน และความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. คงที่ตลอดการทดลอง รายละเอียดผลการทดลองของพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.7 – 4.10



ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหล  
ขึ้นคงที่เท่ากับ 3 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถังปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)
ซีโอดี	มก./ล.	5,042	1,988	1,967
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี	เปอร์เซ็นต์	-	60.6	61.0
พีเอช	-	7.41	7.82	7.82
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	28.5	28.9	28.9
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	4,170	4,283	4,225
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	672	491	466
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	0.16	0.11	0.11
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	49.66	49.80
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	52.3	52.5
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	0.25	0.25
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	348	75	86
MLVSS	มก./ล.	-	60	71
MLVSS/MLSS	-	-	0.80	0.83

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ไอซีเอสบี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ไอซีเอสบี

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหล  
ขึ้นคงที่เท่ากับ 3 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 (S)
ซีไอดี	มก./ล.	10,087	3,621	3,690
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีไอดี	เปอร์เซ็นต์	-	64.1	63.3
พีเอช	-	7.26	8.05	8.01
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	27.7	28.3	28.3
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	3,846	4,509	4,435
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	1,639	598	605
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	0.43	0.13	0.14
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	116.82	116.31
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	54.3	54.0
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีไอดีที่ถูกกำจัด	-	0.29	0.29
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	395	83	92
MLVSS	มก./ล.	-	68	75
MLVSS/MLSS	-	-	0.82	0.82

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ไอซีเอสบี  
NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ไอซีเอสบี

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองที่อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหล  
ขึ้นคงที่เท่ากับ 3 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยของ น้ำทิ้งถึง ปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ค่าเฉลี่ยของ น้ำทิ้งถึง ปฏิกรณ์ที่ 2 (S)
ซีไอดี	มก./ล.	15,120	5,806	5,927
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีไอดี	เปอร์เซ็นต์	-	61.6	60.8
พีเอช	-	6.96	7.85	7.85
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	29.6	30.3	30.2
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	2,561	4,320	4,194
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	2,294	820	797
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	0.90	0.20	0.19
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	165.90	170.85
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	55.4	55.0
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีไอดีที่ถูกกำจัด	-	0.29	0.29
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	452	95	109
MLVSS	มก./ล.	-	76	86
MLVSS/MLSS	-	-	0.80	0.79

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีไอดี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีไอดี

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหล  
ขึ้นคงที่เท่ากับ 3 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 (S)
ซีโอดี	มก./ล.	20,083	11,347	11,414
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี	เปอร์เซ็นต์	-	56.5	56.2
พีเอช	-	6.66	7.41	7.41
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	31.0	31.4	31.3
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	1,769	3,214	3,304
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	2,365	1,070	1,089
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	1.34	0.33	0.33
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	163.85	162.50
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	49.3	49.0
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	0.27	0.27
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	503	107	121
MLVSS	มก./ล.	-	84	94
MLVSS/MLSS	-	-	0.78	0.78

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ไอซีเอสบี  
NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ไอซีเอสบี

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหล  
ขึ้นคงที่เท่ากับ 4 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
ซีโอดี	มก./ล.	5,066	1,788	1,773
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี	เปอร์เซ็นต์	-	64.70	65.00
พีเอช	-	7.43	7.99	8.01
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	28.4	29.0	29.3
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	4,196	4,541	4,603
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	648	457	453
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	0.15	0.11	0.10
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	54.00	54.63
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	53.5	53.8
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	0.26	0.26
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	334	102	90
MLSS	มก./ล.	-	83	75
MLVSS/MLSS	-	-	0.81	0.83

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีซีเอสปี  
NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีซีเอสปี

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองที่อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 20 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหล  
ขึ้นคงที่เท่ากับ 4 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
ชีโอดี	กก./ล.	10,070	3,206	3,114
ประสิทธิภาพการกำจัด ชีโอดี	เปอร์เซ็นต์	-	68.20	69.30
พีเอช	-	7.28	8.19	8.25
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	27.7	28.4	28.5
สภาพต่างทั้งหมด	กก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	3,853	4,899	4,969
กรดไขมันระเหย	กก./ล. กรดอะซิติก	1,638	531	520
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	0.43	0.11	0.11
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	130.79	131.37
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	55.1	55.6
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ชีโอดีที่ถูกกำจัด	-	0.31	0.31
ตะกอนแขวนลอย	กก./ล.	389	117	102
MLVSS	กก./ล.	-	97	85
MLVSS/MLSS	-	-	0.83	0.83

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ชีโอดีปี  
NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ชีโอดีปี



ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองที่อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหล  
ขึ้นคงที่เท่ากับ 4 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
ซีไอดี	กก./ล.	15,088	5,160	5,054
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีไอดี	เปอร์เซ็นต์	-	65.80	66.50
พีเอช	-	6.98	7.92	7.92
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	29.5	30.2	30.1
สภาพต่างทั้งหมด	กก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	2,529	4,649	4,753
กรดไขมันระเหย	กก./ล. กรดอะซิติก	2,270	826	808
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	0.90	0.18	0.17
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	187.47	187.02
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	56.0	56.5
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีไอดีที่ถูกกำจัด	-	0.31	0.31
ตะกอนแขวนลอย	กก./ล.	461	128	115
MLVSS	กก./ล.	-	104	92
MLVSS/MLSS	-	-	0.81	0.80

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีไอดีปี  
NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีไอดีปี

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหล  
ขึ้นคงที่เท่ากับ 4 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
ซีโอดี	กก./ล.	20,175	10,873	10,918
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี	เปอร์เซ็นต์	-	60.9	61.10
พีเอช	-	6.63	7.52	7.50
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	31.0	31.5	31.5
สภาพต่างทั้งหมด	กก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	1,813	3,714	3,602
กรดไขมันระเหย	กก./ล. กรดอะซิติก	2,402	976	979
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	1.33	0.26	0.27
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	188.36	187.55
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	51.3	51.0
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	0.29	0.29
ตะกอนแขวนลอย	กก./ล.	510	136	124
MLVSS	กก./ล.	-	108	98
MLVSS/MLSS	-	-	0.79	0.79

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีโอดีปี  
NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีโอดีปี

### 4.3 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสบีช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์

#### 4.3.1 สภาพแวดล้อมการเดินระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

จากการศึกษาปัจจัยทางสภาพแวดล้อมของระบบอีจีเอสบีช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ พบว่าระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ พีเอช ไออาร์พี และปริมาณที่เคเอ็น มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกัน ซึ่งค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งภาพรวมของพารามิเตอร์ที่ทำกรวิเคราะห์ในช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

##### 1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียไร้ออกซิเจนอยู่ในช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic range) คือช่วงอุณหภูมิ 25 – 40 องศาเซลเซียส สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิของน้ำเสียส่วนมากจะอยู่ในช่วง 28 – 31 องศาเซลเซียส และในถังปฏิกริยาอุณหภูมิจะสูงขึ้นประมาณ 3 – 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ จากการทดลองอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม-วัน แสดงดังตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) ภายในถังปฏิกรณอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์

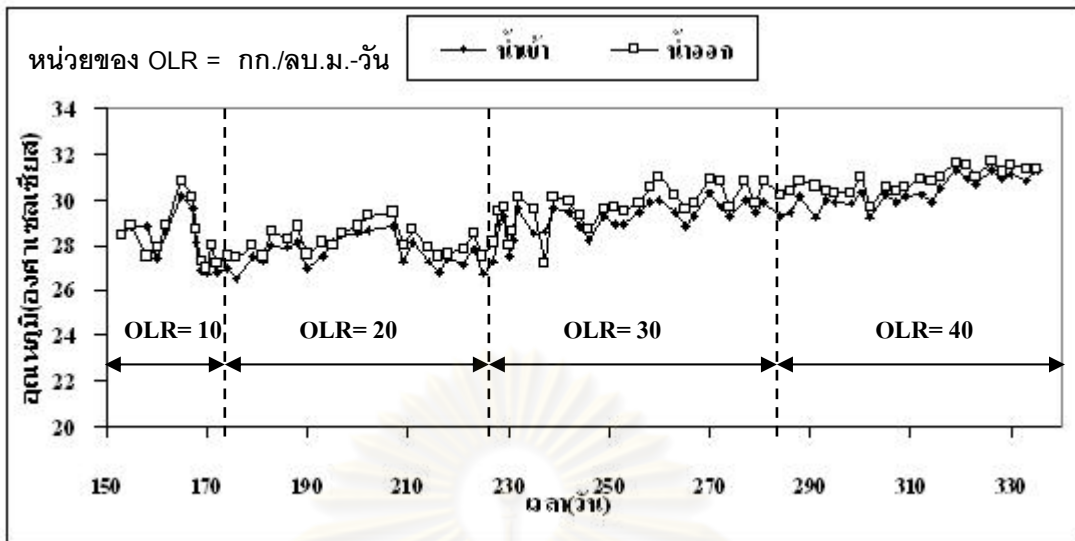
จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย(°C) ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเข้าถังปฏิกรณ	28.50	27.70	29.60	31.00
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ	28.90	28.30	30.30	31.40

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ ) ภายในถังปฏิกรณ์ชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์

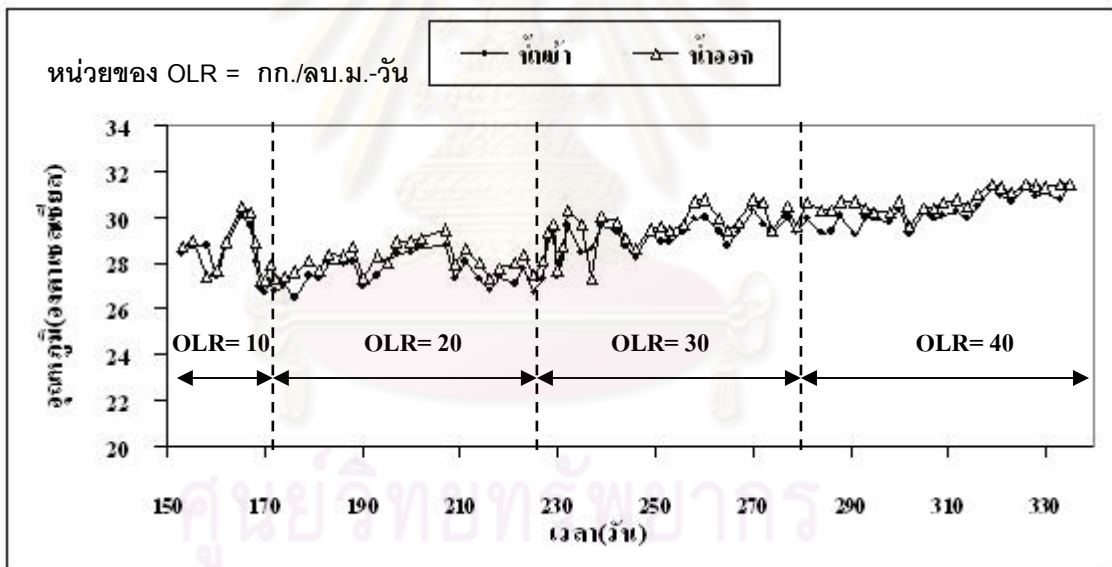
จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ ) ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเข้าถังปฏิกรณ์	28.50	27.70	29.60	31.00
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	28.90	28.30	30.30	31.40

จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ของแบคทีเรียส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในรูปของความร้อน แต่พลังงานที่สูญเสียไปนี้มีสัดส่วนไม่มากจึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำทิ้งจากระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากระบบแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกคือการทดลองที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 10 และ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 28.3 - 28.9 องศาเซลเซียส เนื่องจากทำการทดลองในช่วงเดือนพฤศจิกายน - มกราคมซึ่งตรงกับฤดูหนาว และช่วงที่สองคือการทดลองที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำทิ้งใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 30.3 - 31.4 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากระบบในช่วงที่สองสูงกว่าช่วงแรก เนื่องจากเป็นการทดลองในช่วงเดือนมีนาคม - พฤษภาคมซึ่งตรงกับฤดูร้อน และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากระบบชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรพบว่าในแต่ละช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ มีค่าแตกต่างกันแต่ก็อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic range) จึงไม่ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งภาพรวมของค่าอุณหภูมิตลอดการทดลองในการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงภาพรวมของคูลนหภูมิในระบบช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร



รูปที่ 4.4 แสดงภาพรวมของคูลนหภูมิในระบบช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

## 2) พีเอช

น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ในปริมาณ 6 กรัมของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อน้ำ 1 ลิตรตลอดการทดลอง เพื่อเพิ่มกำลังบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ซึ่งค่าพีเอชเฉลี่ยภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.13 – 4.14

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพีเอชเฉลี่ยที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	7.41	7.26	6.96	6.66
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	7.82	8.05	7.85	7.41

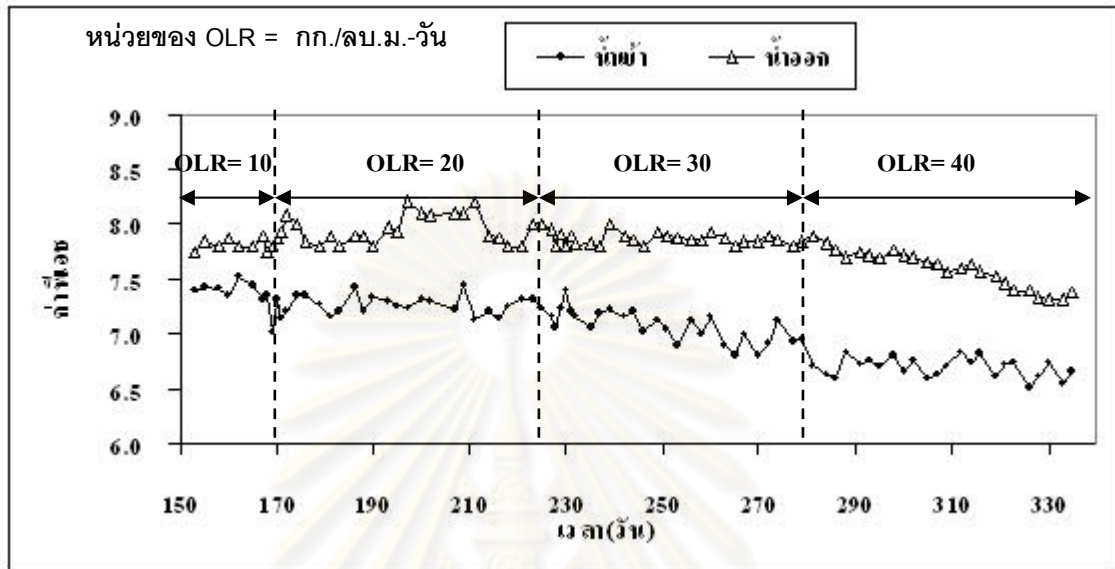
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพีเอชเฉลี่ยที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	7.41	7.26	6.96	6.66
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	7.82	8.05	7.85	7.41

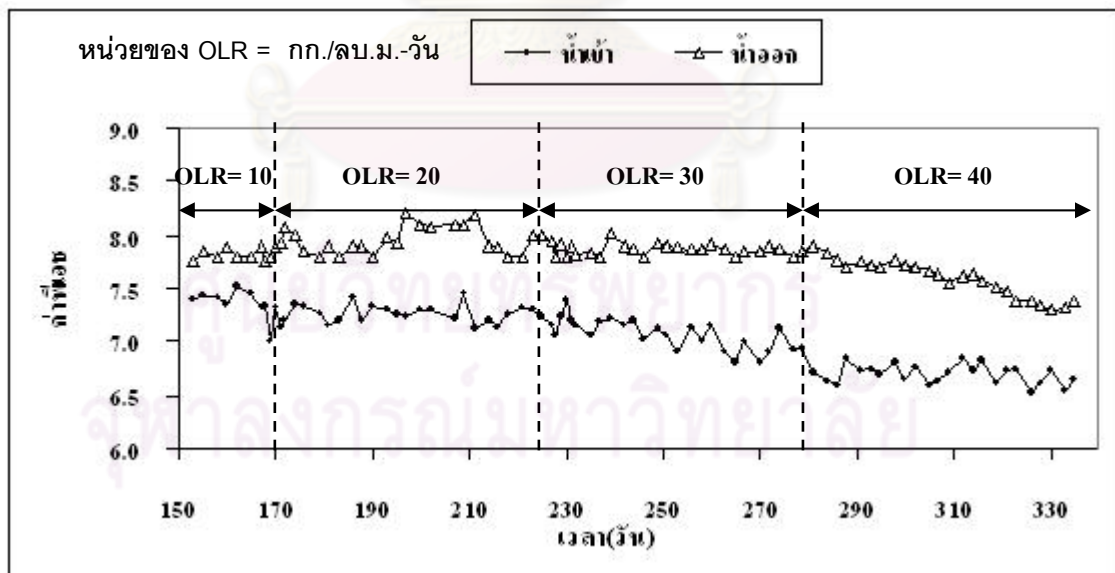
จากผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.41, 7.26, 6.96 และ 6.66 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์สูงขึ้น ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเข้าถังจะมีค่าลดลง เนื่องจากการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตคงที่ตลอดการทดลอง สำหรับค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกัน ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 7.82, 8.05, 7.85 และ 7.41 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 จากการทดลองการวัดค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีนี้ทำการวัดที่จุดน้ำออกทำให้ค่าพีเอชมีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น การวัดค่าพีเอชที่ระดับต่ำกว่านี้อาจได้ค่าลดลงเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าพีเอชยังอยู่ในช่วงที่ระบบสามารถรับได้ คืออยู่ในช่วง 6.5 – 7.8 Holshoff และคณะ, 1983 กล่าวว่า พีเอชของน้ำเสียต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 6.5 – 7.8 แต่ระบบก็ยังไม่ล้มเหลว ย่อมชี้ให้เห็นว่าไม่สามารถใช้ค่าพีเอชเพียงค่าเดียว เป็นพารามิเตอร์ในการบอกประสิทธิภาพของระบบได้ แม้ว่าค่าพีเอชจะเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถแสดงถึงการทำงานที่ล้มเหลวได้ทันทั่วทั้ง แต่การควบคุมพีเอชยังมีความสำคัญ เช่น เมื่อเกิดการเสียสมดุลระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตกรด



กับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลงมาก ระบบจะด้อยประสิทธิภาพหรือล้มเหลวได้ ดังนั้นค่าพีเอชยังคงใช้ในการควบคุมการทำงานและตรวจสอบระบบร่วมกับพารามิเตอร์อื่น



รูปที่ 4.5 แสดงภาพรวมของค่าพีเอชในระบบช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร



รูปที่ 4.6 แสดงภาพรวมของค่าพีเอชในระบบช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

### 3) ไออาร์พี

ไออาร์พีเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงปฏิกริยารีดอกซ์โดยแสดงปริมาณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนในระบบ ค่าไออาร์พีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่เหมาะสมอยู่ในช่วง -500 ถึง -300 มิลลิโวลต์ สำหรับค่าไออาร์พีที่ลดการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ชีชีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรแสดงดังตารางที่ 4.15 และ 4.16

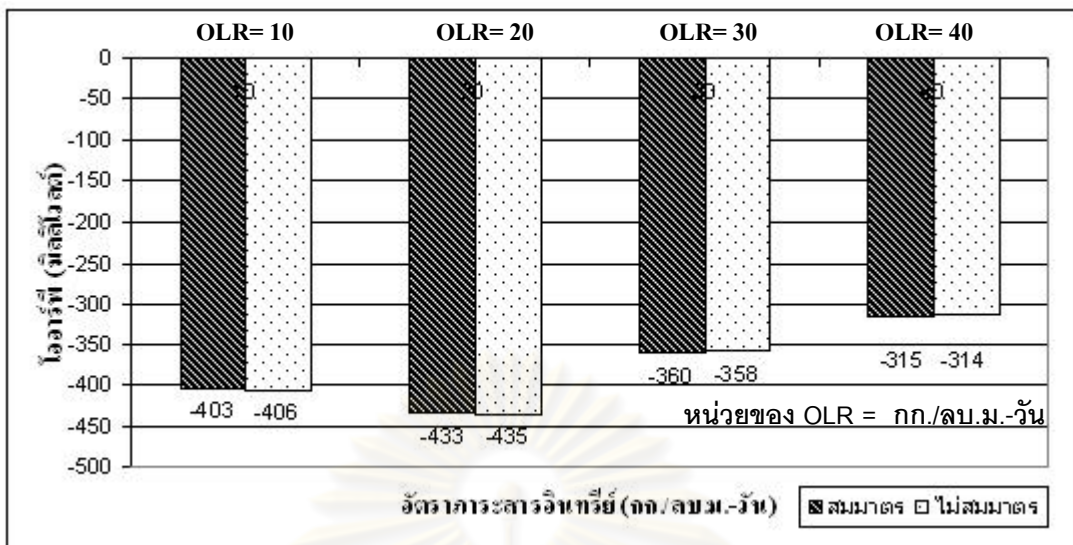
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยไออาร์พีที่ลดการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ชีชีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยไออาร์พี (มิลลิโวลต์) ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	-406	-435	-358	-314

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ยไออาร์พีที่ลดการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ชีชีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยไออาร์พี (มิลลิโวลต์) ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	-403	-433	-360	-315

จากการทดลองพบว่าระบบชีชีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร มีค่าเฉลี่ยไออาร์พีที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกัน คืออยู่ในช่วง -435 ถึง -314 มิลลิโวลต์ แสดงว่าระบบเกิดปฏิกริยาย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเป็นอย่างดี และอยู่ในสภาวะที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยไออาร์พีในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ ของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

#### 4) ปริมาณที่เคเอ็น

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียกากส่า จึงมีความจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนรวม ถึงแม้ว่าในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ไนโตรเจนจะเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อแบคทีเรีย แต่แบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีความต้องการไนโตรเจนน้อยมาก ซึ่ง McCarty, 1964 กล่าวว่าจุลินทรีย์ต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในอัตราส่วน COD: N เท่ากับ 600: 7 (100: 1.1) สำหรับค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนรวมตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรแสดงดังตารางที่ 4.17 - 4.18 และรูปที่ 4.8 - 4.9

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็นตลอดการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

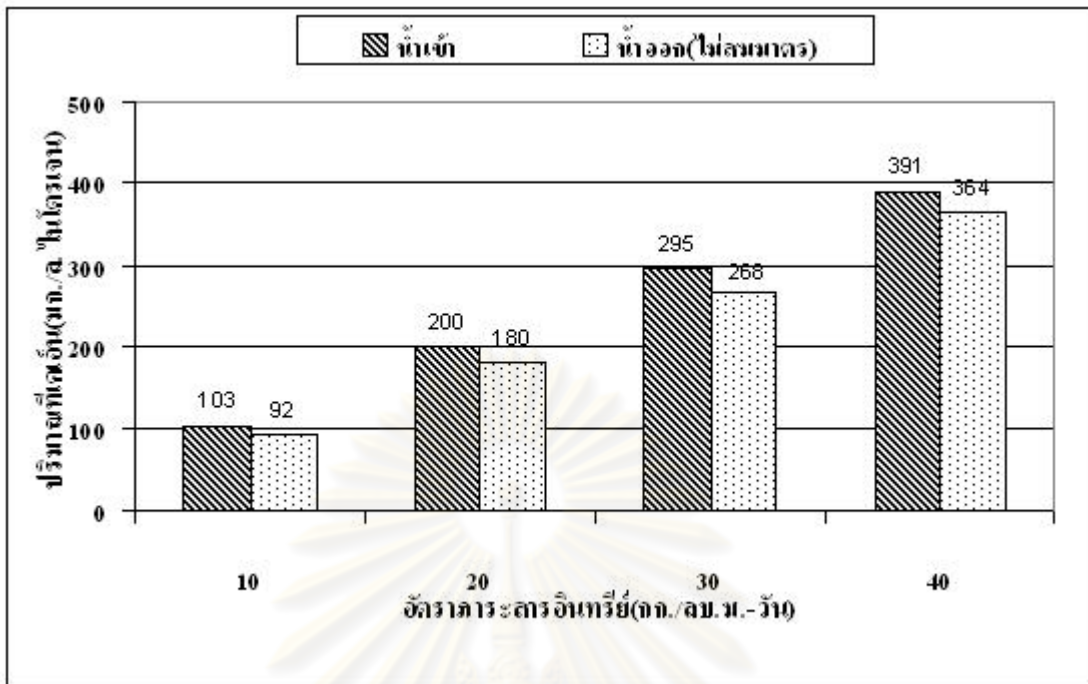
จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตรไนโตรเจน) ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	103	200	295	391
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	92	180	268	364

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็นตลอดการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ชีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

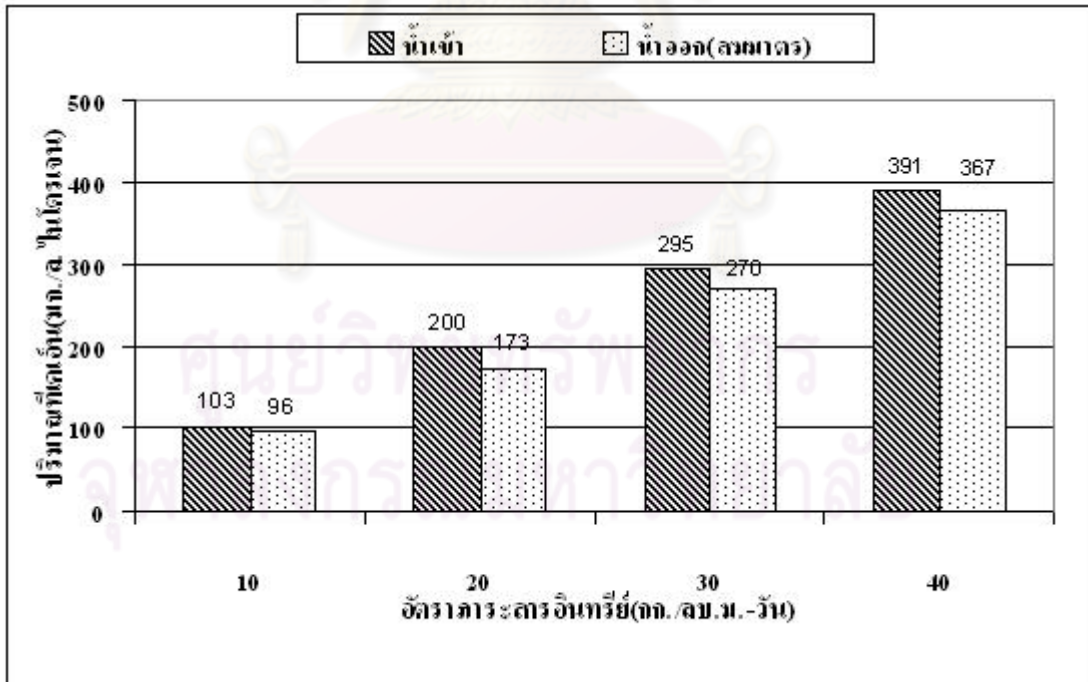
จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็น (มิลกรัมต่อลิตรไนโตรเจน) ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	103	200	295	391
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	96	173	270	367

จากการทดลองช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์พบว่าน้ำเสียเข้าระบบค่าอัตราส่วน COD: N มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5,066: 103(100: 2.03), 10,070: 200(100: 2.00), 15,088: 295(100: 1.96) และ 20,175: 391(100: 94) ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จากการทดลองแสดงว่าในน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอต่อความต้องการของแบคทีเรียคือมีอัตราส่วน COD: N มากกว่า 100: 1.1 สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นพบว่าระบบชีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีค่าไม่แตกต่างกันคือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11, 10, 9 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ เหตุเพราะว่าแบคทีเรียแบบไร้อากาศมีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณน้อยมาก ดังนั้นเมื่อ น้ำเสียผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศ จึงไม่มีนัยสำคัญต่อปริมาณที่เคเอ็นที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นสิ่งที่อธิบายได้ว่าระบบชีเอสปีไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 แสดงภาพรวมค่าเฉลี่ยปริมาณที่เกิดขึ้นในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบคีย์โฮสต์ที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร



รูปที่ 4.9 แสดงภาพรวมของค่าเฉลี่ยปริมาณที่เกิดขึ้นระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบคีย์โฮสต์ที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร



### 4.3.2 ประสิทธิภาพของระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นคองที่

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์พบว่าระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร มีค่าเฉลี่ยของค่ากรดไขมันระเหย, สภาพต่างทั้งหมด, อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี, การผลิตก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกัน ซึ่งภาพรวมของพารามิเตอร์ที่ทำกรวิเคราะห์ ในช่วงการเปลี่ยนอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

#### 1)ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

##### - กรดไขมันระเหย

ในการทดลองมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) เข้าสู่ระบบอีจีเอสบีเพื่อเพิ่มสภาพต่างให้กับระบบเนื่องจากการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ หากสภาพต่างในระบบมีปริมาณไม่เพียงพอ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากแบคทีเรียผลิตกรดจะส่งผลทำให้ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วและส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลงได้

ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีความสำคัญต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน และเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ หากในระบบมีปริมาณกรดไขมันระเหยสูงจะส่งผลต่อค่าพีเอชของระบบ ช่วงปริมาณกรดไขมันระเหยที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 50 - 500 มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก (เกรียงศักดิ์อุดมสินโรจน์, 2543) ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรแสดงดังตารางที่ 4.19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



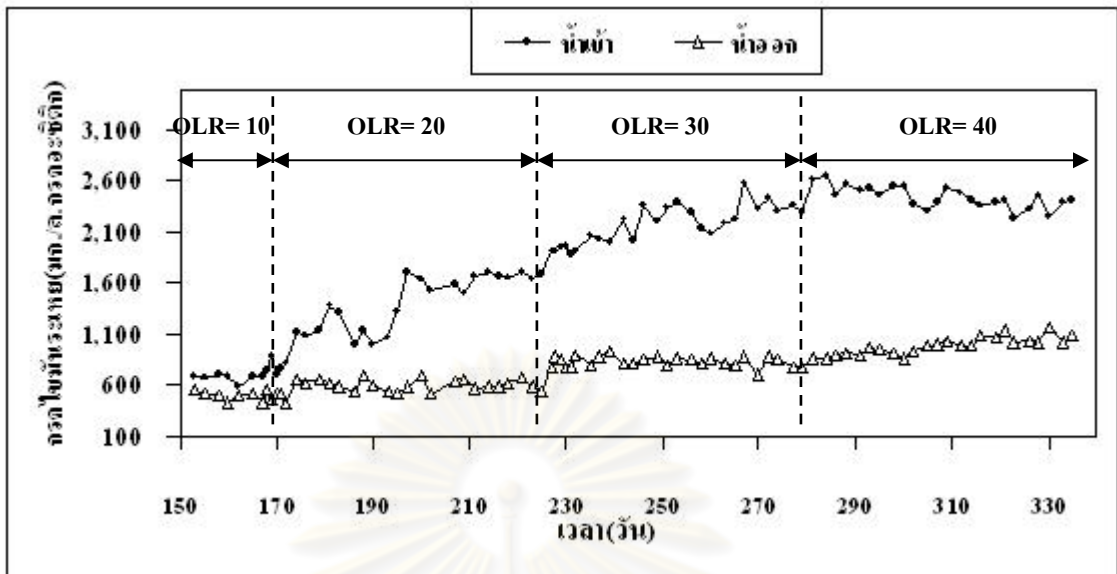
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ย(มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	672	1,639	2,294	2,365
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	491	598	820	1,070

จากการทดลองหาปริมาณค่ากรดไขมันระเหยที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ที่ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 491, 598, 820 และ 1,075 มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติกตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีคือ ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10, 20 และ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เพราะที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่ากรดระเหยเท่ากับ 1,075 มก./ล. ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียต่ำลงเพราะปริมาณกรดระเหยที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก

จากผลการทดลองพบว่าค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรพบว่ามีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มของอัตราภาวะสารอินทรีย์ เพราะการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ที่อัตราภาวะไฮดรอลิกที่ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นซีไอดีของน้ำเสีย จึงทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าและออกกระบบมีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มความเข้มข้นซีไอดีของน้ำเสีย แสดงดังรูปที่ 4.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 แสดงภาพรวมของปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

#### - สภาพต่างทั้งหมด

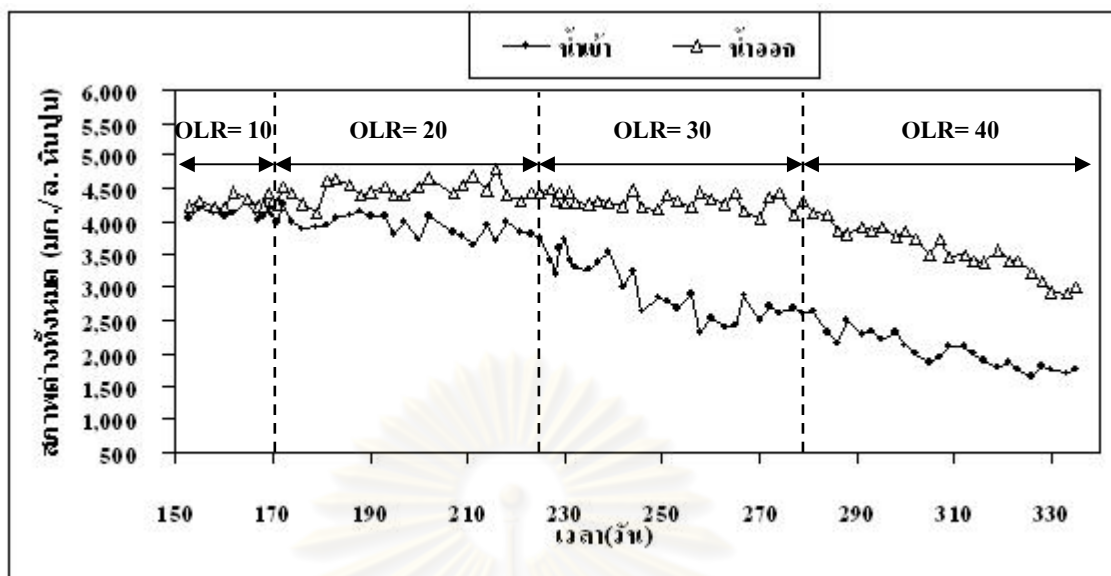
สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าต่ำลงตามการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เข้าระบบเนื่องจากการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) คงที่ตลอดการทดลอง การเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ โดยมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ในปริมาณเท่ากับ 6 กรัมของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อน้ำ 1 ลิตร ซึ่งค่าสภาพต่างของน้ำทิ้งมีค่ามากกว่าน้ำเข้า เนื่องจากกรดไขมันระเหยถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนเมื่อผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ทำให้สภาพต่างที่ถูกใช้สะเทินกรดไขมันระเหยลดลง ทำให้สภาพต่างของน้ำทิ้งสูงขึ้น อีกทั้งเนื่องจากในน้ำเสียกากส่ามีสารอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งแอมโมเนียไนโตรเจนสามารถเพิ่มสภาพต่างให้กับระบบได้ โดยแอมโมเนียไนโตรเจน 1 มก./ล. สามารถเพิ่มสภาพต่างได้ 3.6 มก./ล. หินปูน (มันซิน ตันซูลเวรน์, 2545) ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรแสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบบิโอจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ แบบไม่สมมาตร

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	4,170	3,846	2,561	1,769
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	4,283	4,509	4,320	3,214

จากการทดลองพบว่าปริมาณสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 4,283 4,509 4,320 และ 3,214 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ซึ่งทุกช่วงการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ ค่าสภาพต่างทั้งหมดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 2,000 – 3,000 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณสภาพต่างบอกรับถึงกำลังบำบัดเพอร์ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ถ้ากำลังบำบัดเพอร์ต่ำ ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้พีเอชลดลงอย่างรวดเร็วและมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ดังนั้นการที่ต้องเตรียมให้น้ำเสียที่เข้าระบบมีกำลังบำบัดเพอร์เพียงพอ เป็นสิ่งที่จำเป็นมาก ซึ่งมักจะเป็นปัญหาเมื่อน้ำเสียที่เข้าระบบมีความเข้มข้นสูง เพราะต้องใช้สารเคมีจำนวนมาก ทางแก้ปัญหาที่จะลดปริมาณสารเคมี Lettinga และคณะ, (1993) แนะนำว่าน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงควรมีการหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อเจือจางน้ำเข้าระบบให้มีค่าซีโอดีต่ำกว่า 15,000 มก./ล. เพื่อลดปริมาณสภาพต่างที่ต้องเติมและเพิ่มการสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียโดยใช้การหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อฟื้นฟูระบบที่ล้มเหลวเนื่องจากการสะสมกรดไขมันระเหยจำนวนมากในระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แสดงภาพรวมของสภาพต่างทั้งหมดในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

#### - อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

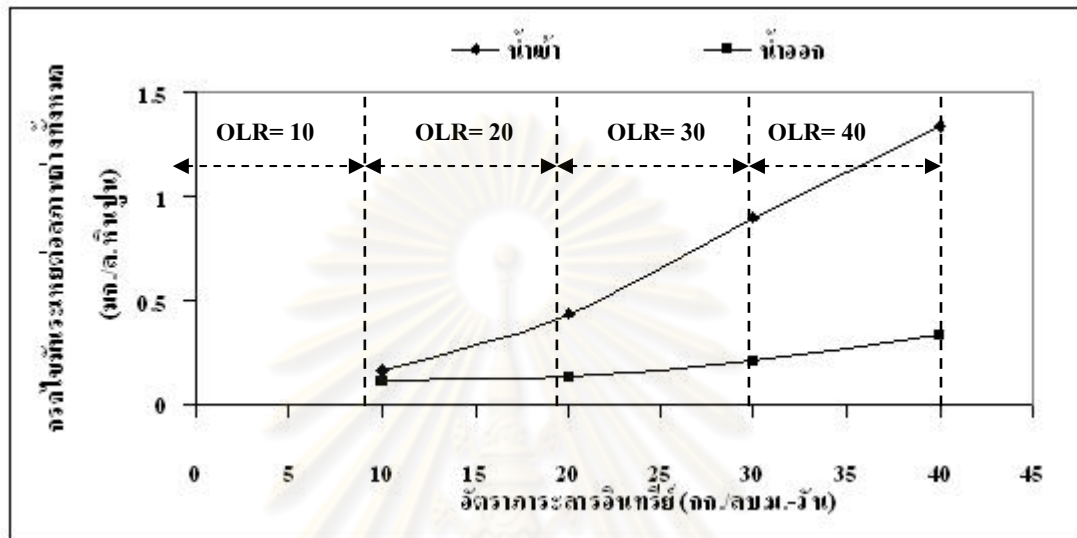
อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยในรูปของกรดอะซิติกต่อสภาพต่างในรูปคาร์บอนแสดงถึงความสมดุลและเสถียรภาพของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบทำงานได้ดีมีกำลังบำบัดสูง และถ้าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบขาดเสถียรภาพพิเศษของระบบกำลังลดลงอย่างรวดเร็ว (Metcalf and Eddy, 2003) จากผลการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่แสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (มก.ในเทอมของกรดอะซิติก / มก.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ของระบบระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	0.16	0.43	0.90	1.34
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	0.11	0.13	0.20	0.33

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างของน้ำทิ้งจากระบบระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.11, 0.13, 0.20 และ 0.33 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสบี มีกำลังบำบัดสูงโดยมีค่าอัตราส่วนต่ำกว่า 0.4 ซึ่งแสดงว่าระบบอีจีเอสบีสามารถรับอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงได้



รูปที่ 4.12 แสดงภาพรวมของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

#### - ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีไอดี

ซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบ จากตารางที่ 4.22 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

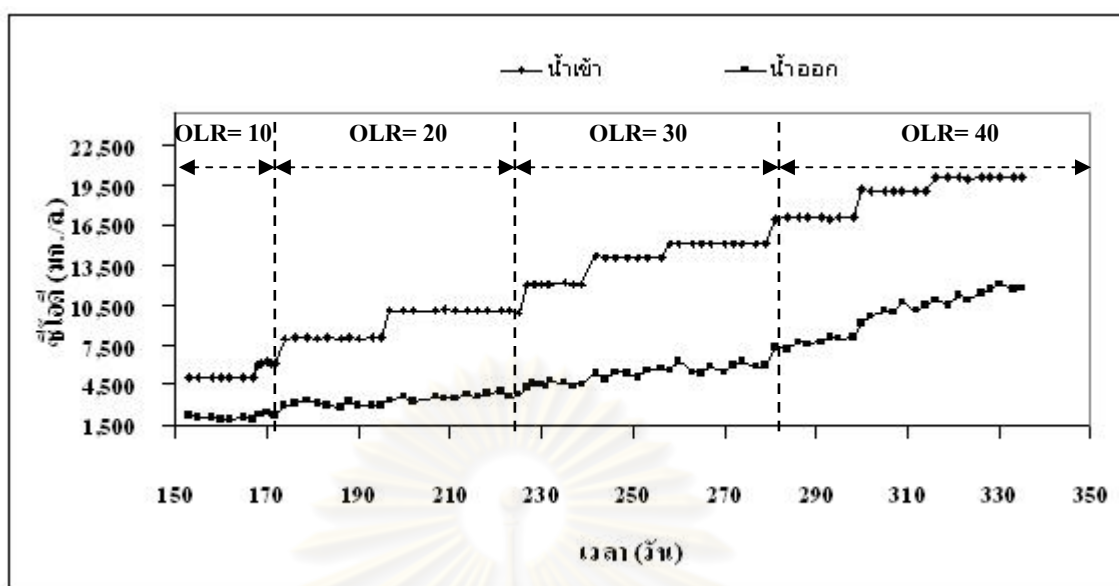
ตารางที่ 4.22 แสดงค่าซีไอดีทั้งหมดและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ย ตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราการสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

อัตราการสารอินทรีย์ (กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าซีไอดีเฉลี่ย (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
		ค่าเฉลี่ยของน้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก	
10	3	5,042	1,988	60.6
20	3	10,087	3,621	64.1
30	3	15,120	5,806	61.6
40	3	20,083	11,347	56.5

จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่ อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 60.6, 64.1, 61.6 และ 56.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพในการรองรับอัตราการสารอินทรีย์ที่สูงได้ดี แต่เมื่อเพิ่มอัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 56.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าซีไอดีของน้ำออกมีปริมาณค่าค่อนข้างสูง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากระบบอีจีเอสบีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,070 มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก ซึ่งสูงกว่าที่อัตราการสารอินทรีย์ที่ 10, 20 และ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วัน มาก เนื่องจากที่อัตราการสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไป ทำให้อัตราส่วน F/M มากขึ้นจนเกินความต้องการของแบคทีเรียที่มีอยู่ในระบบ จึงทำให้แบคทีเรียย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เพียงบางส่วน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สารอินทรีย์ในน้ำออกเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีจึงลดลง รวมทั้งอาจเกิดจากความเป็นพิษของน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของซีไอดีน้ำเสียเข้าระบบจึงส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียต่ำลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.13 แสดงภาพรวมของค่าซีโอดีทั้งหมดในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

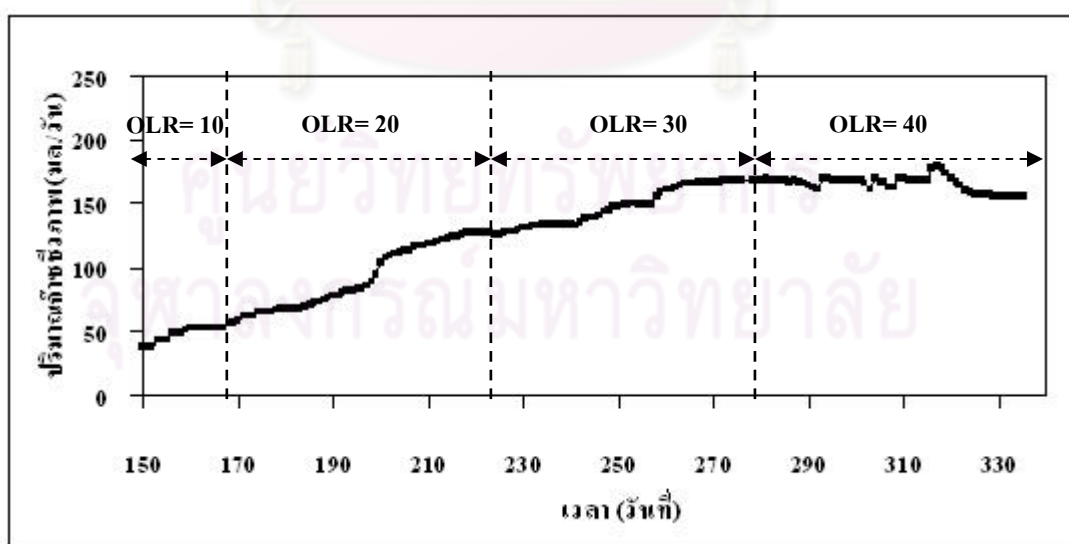
#### - การผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย น้ำเสียจากส้วมาจากการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการกลั่นสุรา ดังนั้นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนมากจะประกอบด้วย ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากระบบขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ รวมถึงความสมดุลและเสถียรภาพของระบบด้วย ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ

ตารางที่ 4.23 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ค่าเฉลี่ยอัตราการ ผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	ค่าเฉลี่ยอัตราการผลิต ก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (เปอร์เซ็นต์)
10	49.66	0.25	52.3
20	116.82	0.29	54.3
30	165.90	0.29	55.4
40	163.85	0.27	49.3

จากตารางที่ 4.23 พบว่าเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงขึ้นตามลำดับ คือที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20 และ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 49.66, 116.82 และ 165.90 ลิตร/วัน โดยสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 – 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 60.6 – 64.1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเพิ่มของอัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วง 10 - 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จึงทำให้มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 163.85 ลิตร/วัน ซึ่งใกล้เคียงกับที่อัตราภาระสารอินทรีย์ที่ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แม้มีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องประสิทธิภาพของการกำจัดซีไอดีซึ่งมีค่าเท่ากับ 56.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีต่ำกว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ให้กับระบบทำให้เกิดปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลง ซึ่งค่าปริมาณกรดไขมันระเหยเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 2,365 และ 1,070มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) ซึ่งกรดระเหยมีค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก)



รูปที่ 4.14 แสดงภาพรวมของปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

### - ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของระบบได้ทางหนึ่ง ระบบที่ดีควรมีความสามารถในการกักตะกอนได้ดีมีตะกอนออกไปกับน้ำที่น้อย นอกจากนี้การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอยเป็นข้อสังเกตซึ่งบอกถึงสภาวะของระบบในเวลานั้นๆ คือถ้าระบบถูกรบกวนหรือมีความผิดปกติ เช่น อาจเกิดจากระบบได้รับสารพิษหรือสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไป ทำให้การทำงานของระบบขาดเสถียรภาพส่งผลต่อค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำที่จะมีค่าสูงผิดปกติ

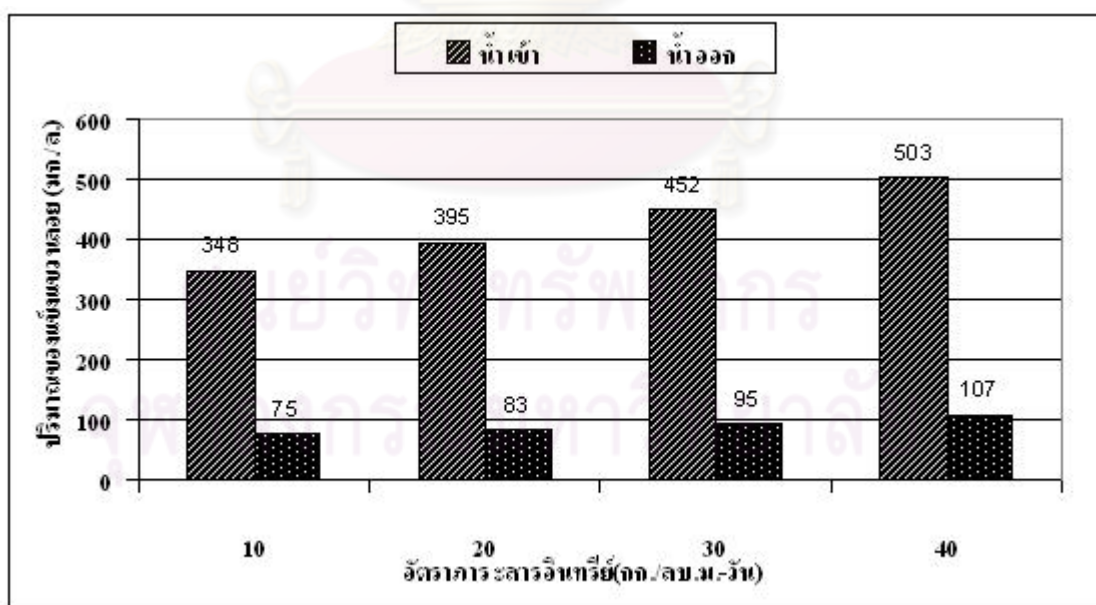
ตารางที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) และประสิทธิภาพการกำจัดตลอดการทดลองในการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ลักษณะ อุปกรณ์แยก สามสถานะ	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)			ประสิทธิภาพ การกำจัด (เปอร์เซ็นต์)
		ค่าเฉลี่ยของ น้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของ จุดเก็บ ตัวอย่าง บนสุด	ค่าเฉลี่ย ของน้ำ ออก	
10	ไม่สมมาตร	348	403	75	75.0
20	ไม่สมมาตร	395	491	83	79.0
30	ไม่สมมาตร	452	608	95	79.0
40	ไม่สมมาตร	503	814	107	78.7

ตารางที่ 4.24 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอดการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร โดยทำการเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบ 3 จุด คือ น้ำเข้า น้ำออกและบริเวณจุดเก็บตัวอย่างบนสุดของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี (ที่ระดับความสูงจากกันถึง 1.75 ม.) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 - 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 348 - 503 มก./ล. จากการเก็บตัวอย่างของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างบนสุด(ที่ระดับ 1.75 ม.จากกันถึง)

พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ ปริมาณค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเสียมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราภาวะสารอินทรีย์เพิ่มก๊าซชีวภาพจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และก๊าซที่เกิดขึ้นมากนี้จะนำพาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์จึงทำให้ของแข็งแขวนลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์มากขึ้น

จากการศึกษาประสิทธิภาพอุปกรณ์แยกสามสถานะพบว่า ระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 78.5, 79.0, 79.0 และ 78.7 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยที่จุดเก็บตัวอย่างบนสุดของถังปฏิกรณ์ และจุดน้ำทิ้งพบว่า เมื่อตะกอนแขวนลอยผ่านส่วนตกตะกอนของถังปฏิกรณ์ (อุปกรณ์แยกสามสถานะ) ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งมีปริมาณลดลงมาก และเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75 – 121 มก./ล. ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรมีประสิทธิภาพในการช่วยให้เกิดการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยได้เป็นอย่างดีและสามารถป้องกันการล้างออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10 – 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.15 แสดงภาพรวมของปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

## 2)ระบบอีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

### - กรดไขมันระเหย

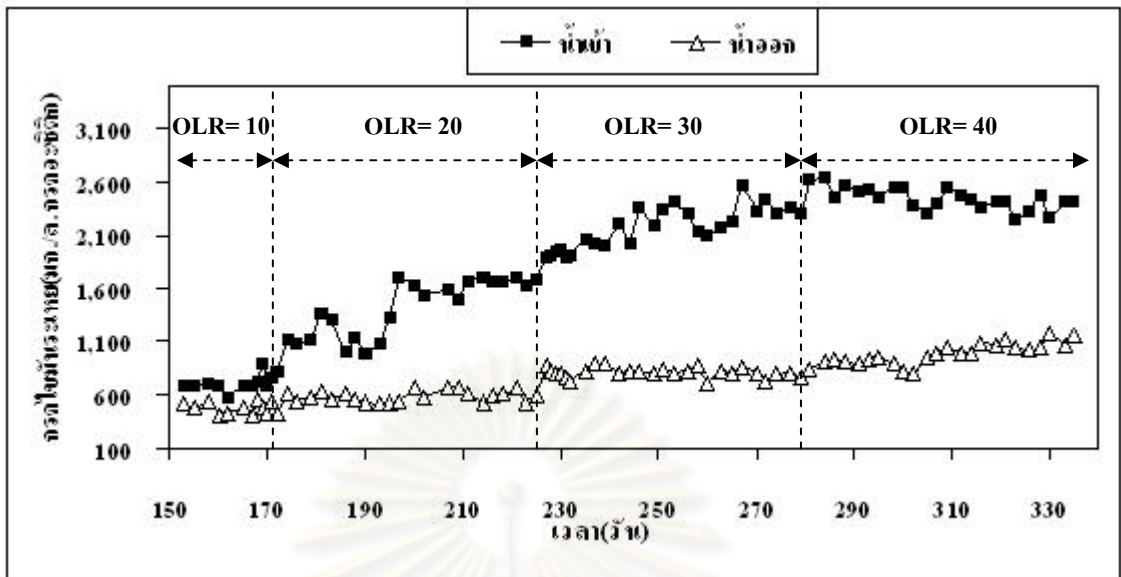
ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรแสดงดังตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	672	1,639	2,294	2,365
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	466	605	797	1,089

จากการทดลองหาปริมาณค่ากรดไขมันระเหยที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ที่ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยน้ำทิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 466, 605, 797 และ 1,089 มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีคือ ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10, 20 และ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เพราะที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่ากรดระเหยเท่ากับ 1,089 มก./ล. ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียต่ำลงเพราะปริมาณกรดระเหยที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก





รูปที่ 4.16 แสดงภาพรวมของปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

**- สภาพต่างทั้งหมด**

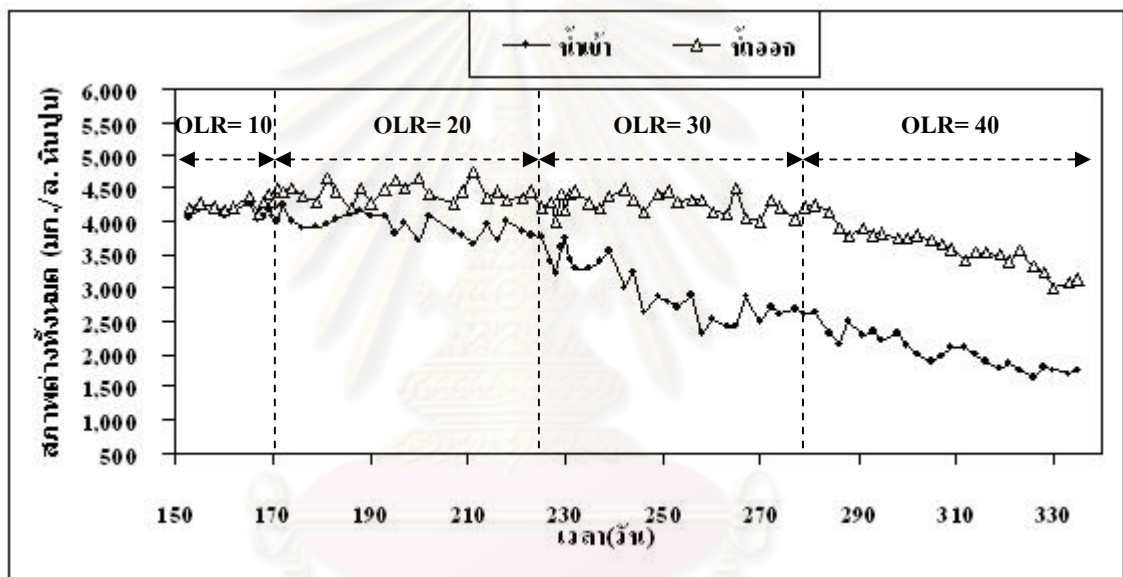
สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าต่ำลงตามการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เข้าระบบเนื่องจากการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO<sub>3</sub>) คงที่ตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ โดยมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO<sub>3</sub>) ในปริมาณเท่ากับ 6 กรัมของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อน้ำ 1 ลิตร ซึ่งค่าเฉลี่ยสภาพต่างของน้ำทิ้งมีค่ามากกว่าน้ำเข้าเนื่องจากกรดไขมันระเหยถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนเมื่อผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ทำให้สภาพต่างที่ถูกใช้สะสมในกรดไขมันระเหยลดลง ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลอง การเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร แสดงดังตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	4,170	3,846	2,561	1,769
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	4,225	4,435	4,194	3,304



จากการทดลองพบว่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งที่อัตราภาระสารอินทรีย์ที่ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,225 4,435 4,194 และ 3,304 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับซึ่งทุกช่วงการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ ค่าสภาพต่างทั้งหมดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 2,000 - 3,000 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ดังนั้นการที่ต้องเตรียมให้น้ำเสียที่เข้าระบบมีกำลังบำบัดเพียงพอ เป็นสิ่งที่เหมาะสม ปริมาณสภาพต่างบอกให้ทราบถึงกำลังบำบัดในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ถ้ากำลังบำบัดต่ำปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้พีเอชลดลงอย่างรวดเร็วและมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน



รูปที่ 4.17 แสดงภาพรวมของสภาพต่างทั้งหมดในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

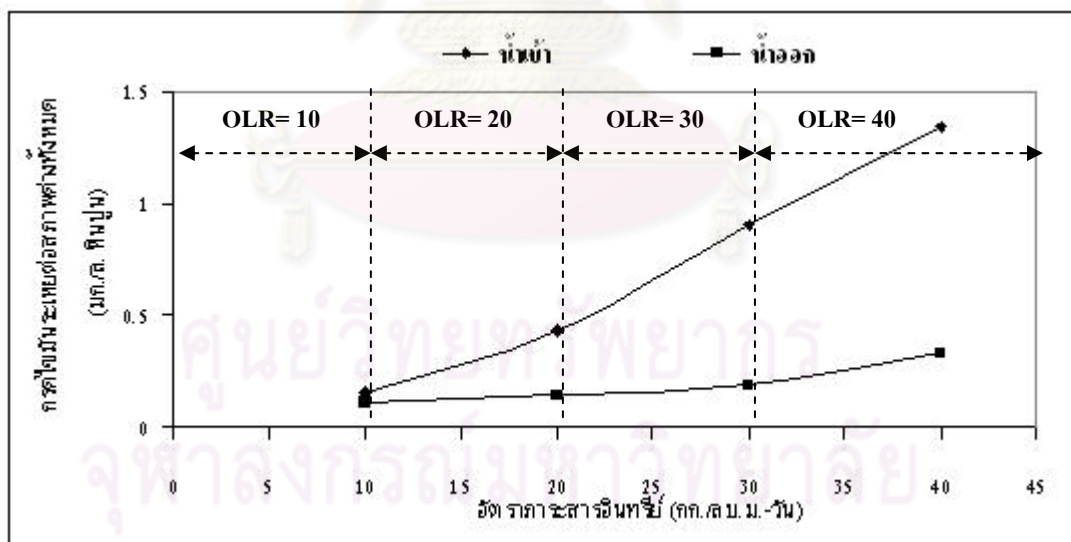
#### - อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยในรูปของกรดอะซิติกต่อสภาพต่างในรูปคาร์บอเนตแสดงถึงความสมดุลและเสถียรภาพของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบทำงานได้ดีมีกำลังบำบัดสูง และถ้าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบขาดเสถียรภาพ พีเอชของระบบกำลังลดลงอย่างรวดเร็ว (Metcalf and Eddy, 2003) จากผลการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่แสดงดังตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด (มก. ในเทอมของกรดอะซิติก/มก. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ ของระบบระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยที่อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	10	20	30	40
น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	0.16	0.43	0.90	1.34
น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์	0.11	0.14	0.19	0.33

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำทิ้งจากระบบระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.11, 0.14, 0.19 และ 0.33 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสบีมีกำลังบำบัดสูงโดยมีค่าอัตราส่วนต่ำกว่า 0.4 ซึ่งแสดงว่าระบบอีจีเอสบีสามารถรับอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงได้



รูปที่ 4.18 แสดงภาพรวมของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมดในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

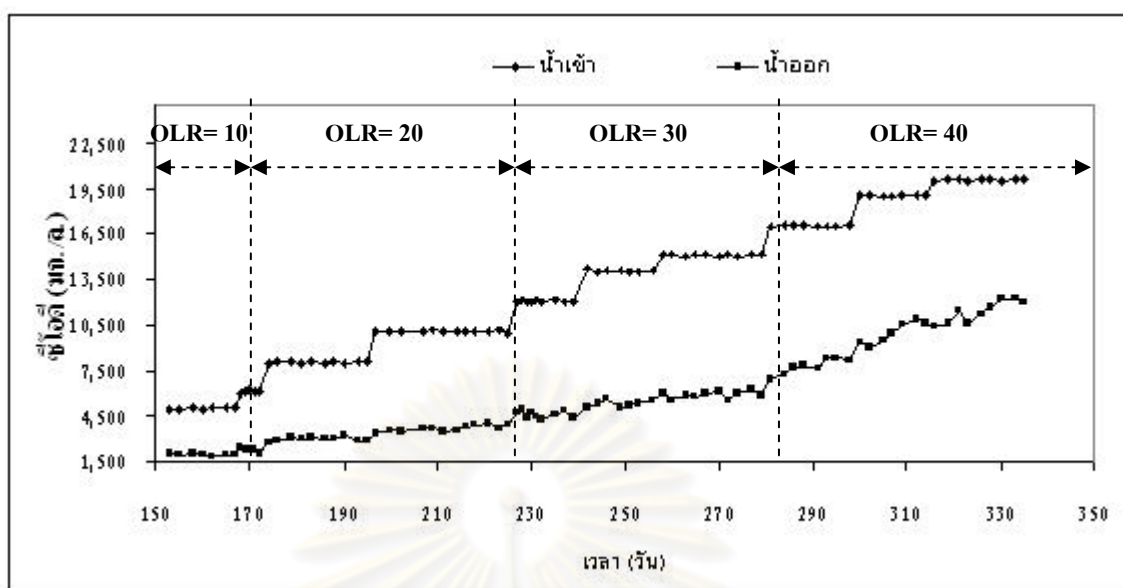
### - ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี

ซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบ จากตารางที่ 4.28 และรูปที่ 4.19 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่ของระบบระบบอ็อกซิเจนที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าซีโอดีทั้งหมดและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ย ตลอดการทดลองในการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบระบบอ็อกซิเจนที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ปริมาณค่าซีโอดีเฉลี่ย (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัด (เปอร์เซ็นต์)
		ค่าเฉลี่ยของน้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก	
10	3	5,042	1,967	61.0
20	3	10,087	3,690	63.3
30	3	15,120	5,927	60.8
40	3	20,083	11,414	56.2

จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 61.0, 63.3, 60.8 และ 56.2 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าระบบอ็อกซิเจนมีประสิทธิภาพในการรองรับอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงได้ดี แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 56.2 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำที่ค่อนข้างสูง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากระบบอ็อกซิเจนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,089 มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติกที่สูงกว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ที่ 10 , 20 และ 30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.- วัน แสดงว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าอัตราส่วน F/M มากขึ้นจนเกินความต้องการของแบคทีเรียที่มีอยู่ในระบบ จึงทำให้แบคทีเรียย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เพียงบางส่วน รวมทั้งอาจเกิดจากความเปื้อนพิษของน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียจึงส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนต่ำลง



รูปที่ 4.19 แสดงภาพรวมของค่าซีโอดีทั้งหมดในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบบิโอดีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

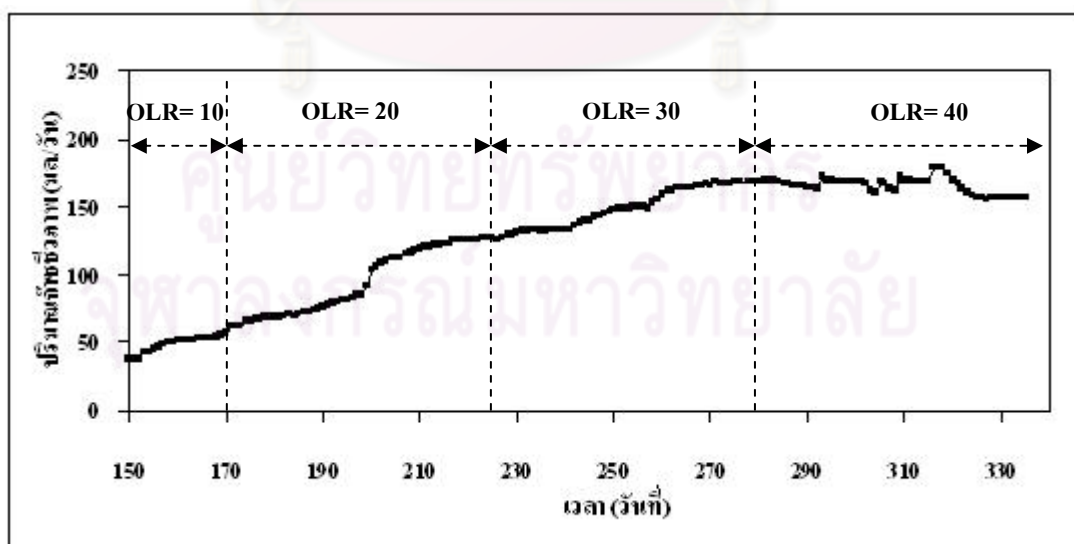
#### - การผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนมากจะประกอบด้วย ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากระบบ ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบรวมถึงความสมดุลและเสถียรภาพของระบบด้วย ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ ตารางที่ 4.29 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบบิโอดีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

ตารางที่ 4.29 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบบิโอดีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ค่าเฉลี่ยของอัตราการ ผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	ค่าเฉลี่ยของอัตราการ ผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อ กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (เปอร์เซ็นต์)
10	49.80	0.25	52.5
20	116.31	0.29	54.0
30	170.85	0.29	55.0
40	162.50	0.27	49.0

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20 และ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบ อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 49.80, 116.31 และ 170.85 ลิตร/วัน ตามลำดับ โดยสอดคล้องกับผลการทดลองในช่วงอัตรา ภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 – 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 60.8 – 63.3 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเพิ่มของอัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วง 10 - 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จึงทำให้มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นดังกล่าว สำหรับการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 162.5 ลิตร/วัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แม้มีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์มากขึ้นก็ตาม สอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องประสิทธิภาพของการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยซึ่งมีค่าเท่ากับ 56.2% โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีต่ำกว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ให้กับระบบบำบัด ทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนต่ำลง ซึ่งค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 2,365 และ 1,089 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) ตามลำดับ ซึ่งค่าที่เหมาะสมของกรดไขมันระเหยอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล.ในเทอมของกรดอะซิติก (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ส่งผลทำให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนมี ประสิทธิภาพต่ำลง ภาพรวมของปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบแสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงภาพรวมของปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร



### - ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของระบบได้ทางหนึ่ง ระบบที่ดีควรมีความสามารถในการกักตะกอนได้ดีมีตะกอนออกไปกับน้ำทิ้งน้อย นอกจากนี้การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอยเป็นข้อสังเกตซึ่งบอกถึงสภาวะของระบบในเวลานั้นๆ คือถ้าระบบถูกรบกวนหรือมีความผิดปกติ เช่น อาจเกิดจากระบบได้รับสารพิษหรือสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไป ทำให้การทำงานของระบบขาดเสถียรภาพ ส่งผลต่อค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจะมีค่าสูงผิดปกติ

ตารางที่ 4.30 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

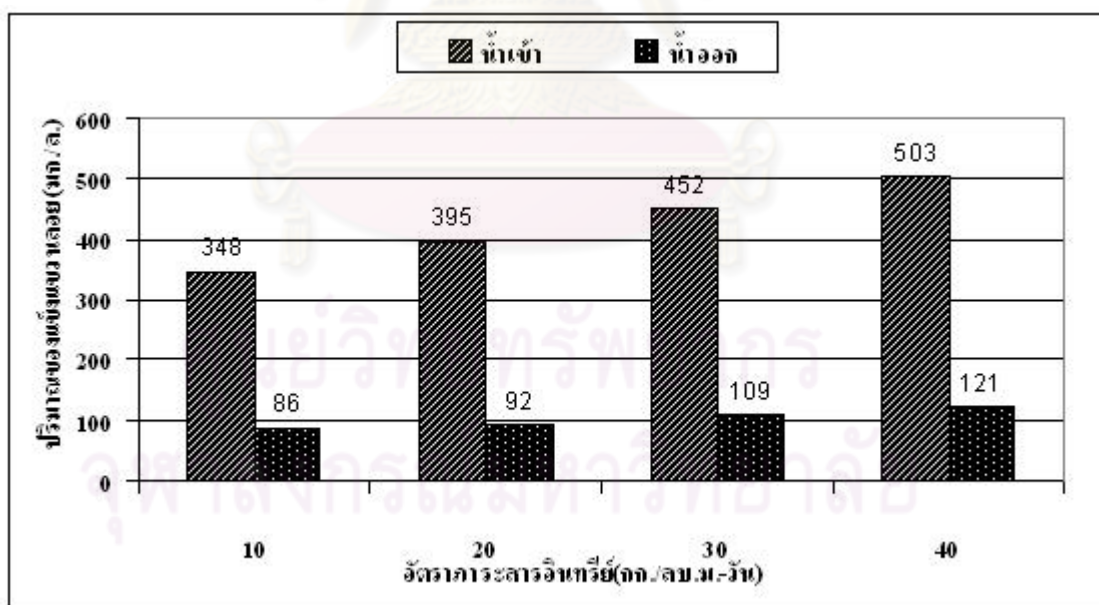
อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ลักษณะ อุปกรณ์แยก สามสถานะ	ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย (มก./ล.)			ประสิทธิภาพ การกำจัด (เปอร์เซ็นต์)
		ค่าเฉลี่ยของ น้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของ จุดเก็บ ตัวอย่าง บนสุด	ค่าเฉลี่ย ของน้ำ ออก	
10	สมมาตร	348	419	86	75.2
20	สมมาตร	395	480	92	76.7
30	สมมาตร	452	617	109	76.0
40	สมมาตร	503	803	121	75.9

ตารางที่ 4.30 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร โดยทำการเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบ 3 จุด คือ น้ำเข้า น้ำออกและบริเวณจุดเก็บตัวอย่างบนสุดของถังปฏิกรณ์อีจีเอสพี (ที่ระดับความสูงจากกันถึง 1.75 ม.) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในน้ำเข้าระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 - 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วงค่อนข้างคงที่คือประมาณ 348 - 503 มก./ล. จากการเก็บตัวอย่างของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างบนสุด (ที่ระดับ 1.75 ม.จากกันถึง) พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ ปริมาณค่าของแข็งแขวนลอย



ของน้ำเสียมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราการสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ก๊าซชีวภาพจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และก๊าซที่เกิดขึ้นมากนี้จะนำพาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ จึงทำให้ของแข็งแขวนลอย ลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์มากขึ้น

จากการศึกษาประสิทธิภาพอุปกรณ์แยกสามสถานะของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 75.2, 76.7, 76.0 และ 75.9 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการสารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยที่จุดเก็บตัวอย่างบนสุดของถังปฏิกรณ์ และจุดน้ำทิ้งพบว่า เมื่อตะกอนของแข็งแขวนลอยผ่านส่วนตกตะกอนของถังปฏิกรณ์ (อุปกรณ์แยกสามสถานะ) ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งมีปริมาณลดลงมาก และเมื่อมีการเพิ่มอัตราการสารอินทรีย์ พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 86 – 121 มก./ล. ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรมีประสิทธิภาพในการช่วยให้เกิดการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยได้เป็นอย่างดีและสามารถป้องกันการล้างออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราการสารอินทรีย์ 10 – 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ได้ดี รูปที่ 4.21 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยช่วงการเพิ่มอัตราการสารอินทรีย์



รูปที่ 4.21 แสดงภาพรวมของปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยช่วงการเพิ่มอัตราการสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

### 3) ผลการศึกษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่

จากผลการศึกษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของระบบช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์พบว่าระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร มีค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดตะกอน และค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกัน ซึ่งภาพรวมของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ในช่วงการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

#### - ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

จากการทดลองเพิ่มค่าอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-ชม. ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเม็ดตะกอนขนาด 0.1 – 0.3 มม. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองแต่ละช่วงพบว่า มีเม็ดตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนเป็นแบบฟล็อกซึ่งจะอยู่ส่วนบนของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ ดังนั้นการวัดขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงได้วิเคราะห์อยู่ในรูปแบบกระจายขนาด โดยการทดลองครั้งนี้ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์โดยเครื่อง Particle Size Analyzer ยี่ห้อ Malvern โดยใช้โปรแกรม Hydro 2004 MU โดยอาศัยหลักการวัดพื้นที่ผิว และปริมาตรของเม็ดตะกอนด้วยระบบเซ็นเซอร์ที่ส่องแสงมากระทบกับอนุภาค ขณะที่เม็ดตะกอนถูกสูบลไหลผ่านเลนส์ อนุภาคที่มีรูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลมจะถูกวัดเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความจริง ขณะที่อนุภาคที่เป็นฟล็อกที่มีรูปร่างที่หลากหลาย จะถูกตั้งสมมติฐานว่ามีทรงกลมและคำนวณกลับเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อเป็นตัวแทนของขนาดฟล็อก เนื่องจากข้อมูลขนาดของเม็ดตะกอนเป็นการกระจายตามขนาดต่างๆ ดังนั้นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอน จึงได้เลือกค่าที่เป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดความเร็วไหลขึ้นโดยได้เลือกค่า D10, D50 และ D90 ซึ่งเป็นขนาดของเม็ดตะกอนที่มีขนาดของตะกอนจุลินทรีย์ที่ปริมาณร้อยละ 10, 50 และ 90 ของตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยหากการเปลี่ยนแปลงของค่า D ที่เปอร์เซ็นต์ใดๆลดลง แสดงว่ามีเม็ดตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่าอยู่ในปริมาณสูงขึ้น หรือเม็ดตะกอนขนาดใหญ่มีการแตกตัว การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D10, D50 และ D90 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้นคงที่. ของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรทำการวัดค่าที่ 3 ระดับคือระดับบน ระดับกลาง และระดับล่าง แสดงดังตารางที่ 4.31 - 4.34

ตารางที่ 4.31 ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 ก่อนช่วงเริ่มเดินระบบของถังปฏิกรณ์อิมัลซิฟิเคชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์

การวิเคราะห์	ระบบอิมัลซิฟิเคชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร			ระบบอิมัลซิฟิเคชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )			ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
ที่ความสูง 0.5 ม.	73.486	476.921	784.739	73.871	532.658	769.563
ที่ความสูง 1.0 ม.	64.712	334.657	654.320	63.489	440.290	601.398
ที่ความสูง 1.5 ม.	55.485	210.015	439.328	51.983	374.816	522.310

ตารางที่ 4.32 ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จากระดับบน (1.5 ม.) ของถังปฏิกรณ์อิมัลซิฟิเคชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ระบบอิมัลซิฟิเคชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร			ระบบอิมัลซิฟิเคชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )			ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
OLR = 10	52.500	542.390	988.437	56.305	575.058	1,088.276
OLR = 20	52.383	609.307	1,092.916	53.574	627.202	1,183.452
OLR = 30	50.501	665.878	1,158.020	48.648	624.140	1,177.649
OLR = 40	54.304	611.176	1,124.305	61.825	614.584	1,165.849

ตารางที่ 4.33 ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จากระดับกลาง (1.0 ม.) ของถังปฏิกรณ์ชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์

อัตราภาระ สารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน)	ระบบชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ แบบไม่สมมาตร			ระบบชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ แบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )			ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
OLR = 10	59.330	570.31	1,134.520	73.546	576.443	1,092.500
OLR = 20	54.204	642.582	1,253.816	63.249	631.383	1,134.046
OLR = 30	50.409	687.919	1,136.376	53.298	673.525	1,287.230
OLR = 40	54.995	634.535	1,216.212	69.901	665.412	1,265.064

ตารางที่ 4.34 ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จากระดับล่าง(0.5 ม.) ของถังปฏิกรณ์ชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์

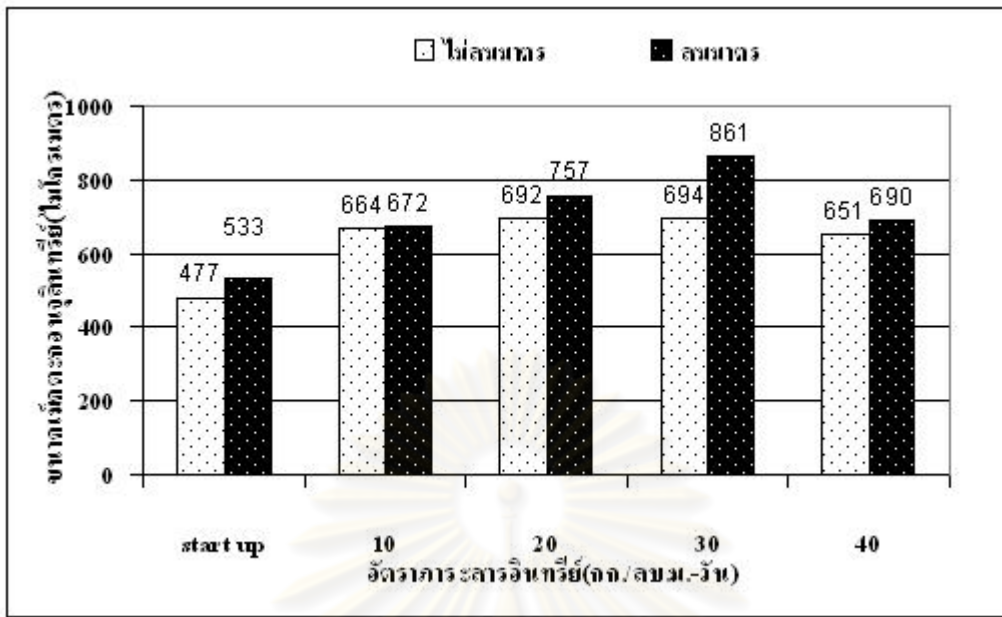
อัตราภาระ สารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน)	ระบบชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ แบบไม่สมมาตร			ระบบชีวเคมีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะ แบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )			ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
OLR = 10	86.260	663.660	1,175.820	85.588	671.827	1,118.096
OLR = 20	82.679	691.712	1,313.619	72.810	757.431	1,228.642
OLR = 30	84.560	693.587	1,314.302	61.060	860.920	1,343.908
OLR = 40	104.187	651.401	1,225.573	78.773	689.661	1,279.588

จากการทดลองการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นคงที่ตลอดการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าตอนเริ่มเดินระบบ โดยสังเกตจากค่า D50 และ D90 ซึ่งเพิ่มขึ้นและ D10 ลดลงจากช่วงเริ่มต้นเดินระบบ แสดงว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่สามารถปรับตัวอยู่ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงได้ดี แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่า D50 และ D90 ลดลงจากที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดเล็กลงเล็กน้อย เนื่องมาจากการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงอาจทำให้เกิดการแตกตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นระดับหนึ่ง อาจส่งผลทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ฝูกร่อน และแตกสลายได้เนื่องจากเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์สูงขึ้นทำให้ค่าการระเหยสูงขึ้นส่งผลทำให้เป็นพิษต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ รวมทั้งความเป็นพิษของพวกสารประจุบวก (แคลเซียม, แมกนีเซียม, โซเดียม และโพแทสเซียม) ของน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นตามค่าซีไอดีที่สูงขึ้น

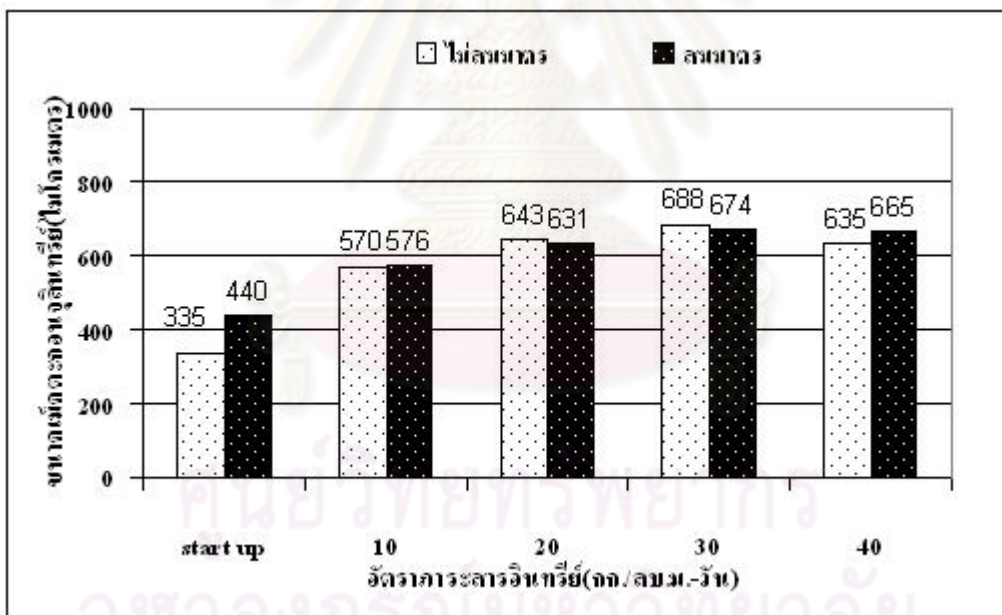
จากการเปรียบเทียบขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 3 ระดับตามความสูงของถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจนคือ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร พบว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่ ค่า D50 และ D90 มีค่าลดลงตามความสูงของถังอ็อกซิเจน กล่าวคือที่ระดับความสูง 0.5 เมตร จะมีค่า D50 และ D90 สูงกว่าที่ระดับ 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร แสดงว่าขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีขนาดเล็กลงตามความสูงของถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน เนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับล่างของถังได้รับสารอาหารที่มีความเข้มข้นมากกว่า ดังนั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับความสูง 1.5 เมตรจึงมีขนาดเล็กที่สุด

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอ็อกซิเจนที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร จากการทดลองพบว่าส่งผลต่อขนาดของขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของเม็ดตะกอนคืออัตราภาระสารอินทรีย์ คือที่ค่าความเร็วไหลขึ้นคงที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ส่งผลให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ใหญ่ขึ้นกว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10, 20 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นระดับหนึ่ง จะส่งผลทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ฝูกร่อน และแตกสลายได้อาจเนื่องจากเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์สูงขึ้นทำให้ความเป็นพิษของพวกสารประจุบวก และค่าปริมาณกรดระเหยง่ายสูงขึ้นส่งผลทำให้เป็นพิษต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์รูปที่ 4.22 – 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยเม็ดตะกอน (D50) ที่ระดับความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตรตามลำดับ



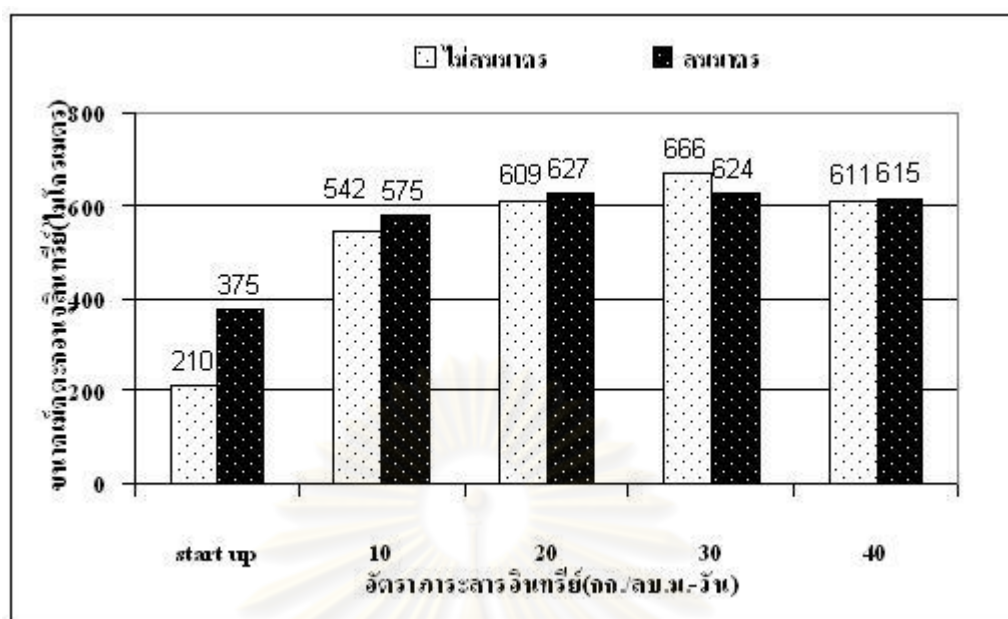


รูปที่ 4.22 ขนาดเม็ดตะกอน (D50) เฉลี่ยที่ระดับ 0.5 ม.จากก้นถังปฏิกรณ์ ตามการเพิ่มอัตราการสารอินทรีย์



รูปที่ 4.23 ขนาดเม็ดตะกอน(D50) เฉลี่ยที่ระดับ 1.0 ม.จากก้นถังปฏิกรณ์ ตามการเพิ่มอัตราการสารอินทรีย์





รูปที่ 4.24 ขนาดเม็ดตะกอน(D50) เฉลี่ยที่ระดับ 1.5 ม.จากกันถึงปฏิกรณ์  
ตามการเพิ่มอัตราการใส่สารอินทรีย์

#### - ความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

SpecificMethanogenic Activity : SMA เป็นค่าที่ชี้วัดความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของเม็ดตะกอนในระบบ ในการทดลองนี้ทำการหาปริมาณค่าเอสเอ็มเอของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์ที่ระยะต่างๆ คือจากกันถึงปฏิกรณ์ที่ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร ที่อัตราการใส่สารอินทรีย์ 10, 20, 30 และ 40 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่โดยทำช่วงสิ้นสุดการทดลองในแต่ละอัตราการใส่สารอินทรีย์

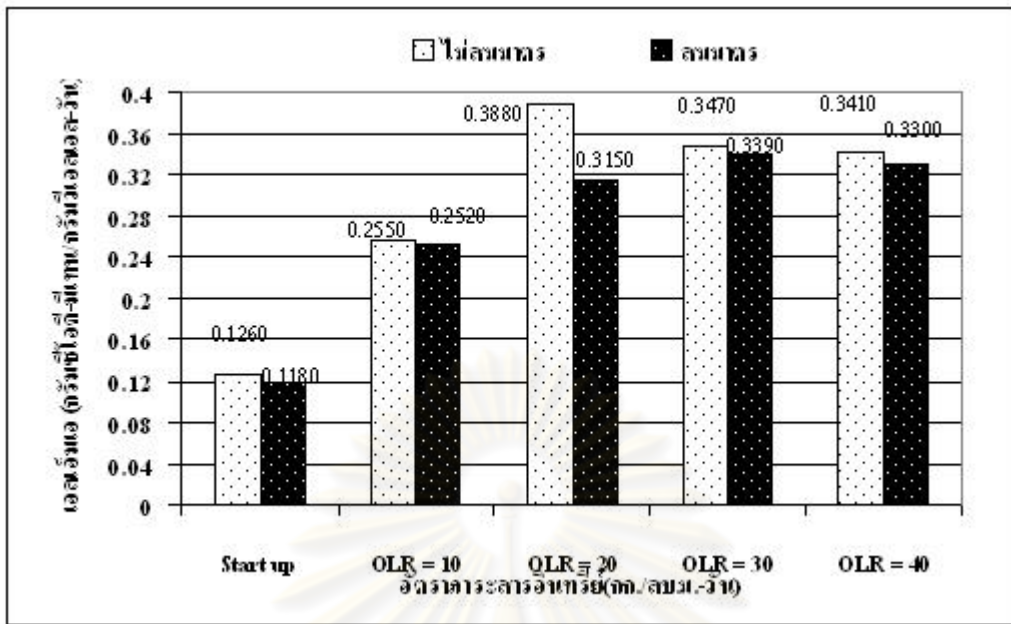
ศูนย์วทศทรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.35 ค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบอีจีเอสปีตลอดการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่

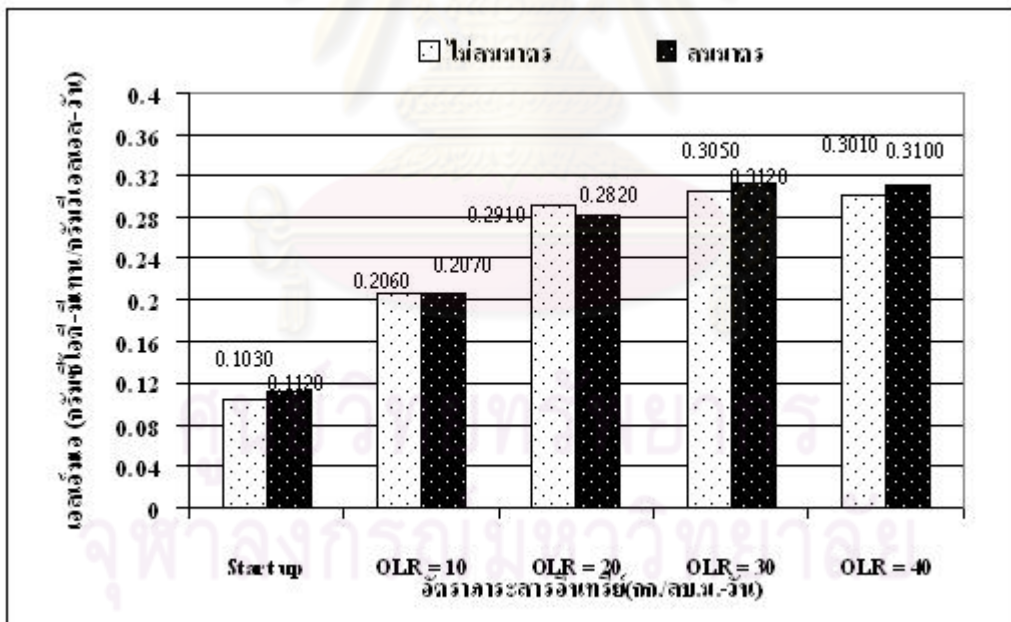
อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน)	อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร			อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของปริมาณเอสเอ็มเอ (กรัมซีไอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน)			ค่าเฉลี่ยของปริมาณเอสเอ็มเอ (กรัมซีไอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน)		
	ระดับความ สูง 0.5 ม.	ระดับความ สูง 1.0 ม.	ระดับความ สูง 1.5 ม.	ระดับความ สูง 0.5 ม.	ระดับความ สูง 1.0 ม.	ระดับความ สูง 1.5 ม.
Start up	0.126	0.103	-	0.118	0.112	-
OLR = 10	0.255	0.206	0.180	0.252	0.207	0.185
OLR = 20	0.388	0.291	0.263	0.315	0.282	0.250
OLR = 30	0.347	0.305	0.266	0.339	0.312	0.263
OLR = 40	0.341	0.301	0.259	0.330	0.310	0.261

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่สามารถวัดค่าได้เพราะชั้นตะกอนขยายตัวไม่ถึง

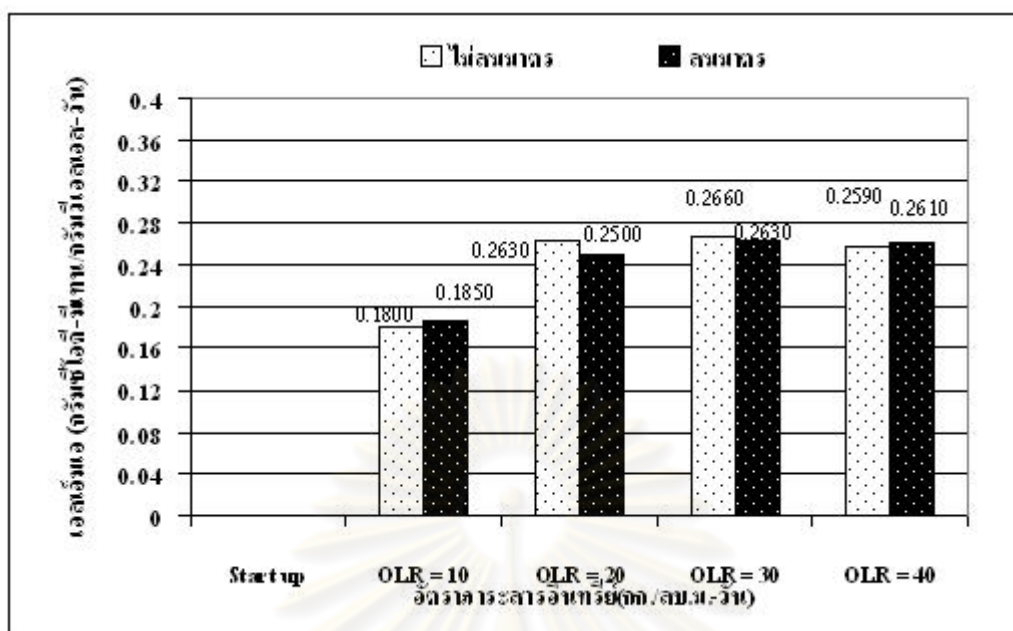
จากการทดลองที่ค่าความเร็วไหลขึ้นคงที่ พบว่าปริมาณค่าเอสเอ็มเอมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ แต่ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าเอสเอ็มเอมีปริมาณลดลงซึ่งมีค่าใกล้เคียงที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกนั้น จุลินทรีย์ในระบบกำลังปรับตัวจึงทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่ำ จนกระทั่งมีค่าสูงสุดช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการผลิตก๊าซมีเทน จนกระทั่งเมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าปริมาณเอสเอ็มเอต่ำลง นั้นหมายความว่าจุลินทรีย์มีปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลงทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มสูง รวมทั้งค่าความเป็นพิษของสารประกอบที่เพิ่มขึ้นตามอัตราภาระสารอินทรีย์ อาจจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลง รูปที่ 4.25 – 4.27 แสดงค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ระดับความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร ตลอดการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์



รูปที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 0.5 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบบิโอดีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร



รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 1.0 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบบิโอดีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่ใช่สมมาตร



รูปที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 1.5 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

ปริมาณค่าเอสเอ็มเอของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของถังอีจีเอสบีที่ระดับต่างๆ คือที่ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตรจากกันถึง พบว่าปริมาณเอสเอ็มเอมีค่าลดลงตามความสูงของถังอีจีเอสบี กล่าวคือที่ระดับความสูง 0.5 เมตร มีปริมาณเอสเอ็มเอสูงกว่าที่ระดับ 1.0 และ 1.5 เมตร ตามลำดับ เพราะที่ความสูงระดับ 0.5 เมตร จะมีการสัมผัสระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์จากน้ำเสียก่อนที่ระดับความสูง 1.0 และ 1.5 เมตร และสามารถใส่สารอินทรีย์ในการย่อยสลายได้เป็นก๊าซมีเทนได้มากกว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ความสูงอื่นๆ ดังนั้นทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ความสูง 0.5 เมตร มีค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์สูงกว่าที่ความสูง 1.0 และ 1.5 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นจุลินทรีย์ในระบบที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.36 และรูปที่ 4.28 – 4.30

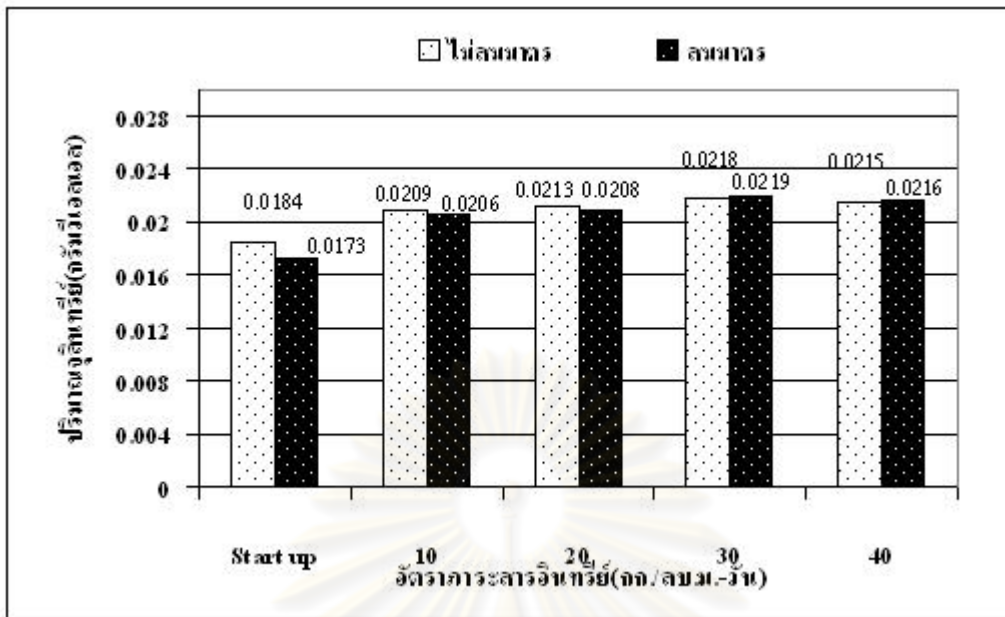
ตารางที่ 4.36 ปริมาณจุลินทรีย์จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอน  
จุลินทรีย์จากระบบซีเอสบีตลอดการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่

อัตราภาระ สารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน)	อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร			อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของปริมาณจุลินทรีย์ (กรัมวีเอสเอส)			ค่าเฉลี่ยของปริมาณจุลินทรีย์ (กรัมวีเอสเอส)		
	ระดับความ สูง 0.5 ม.	ระดับความ สูง 1.0 ม.	ระดับความ สูง 1.5 ม.	ระดับความ สูง 0.5 ม.	ระดับความ สูง 1.0 ม.	ระดับความ สูง 1.5 ม.
Start up	0.0184	0.0165	-	0.0173	0.0142	-
OLR = 10	0.0209	0.0192	0.0174	0.0206	0.0188	0.0167
OLR = 20	0.0213	0.0200	0.0177	0.0208	0.0190	0.0168
OLR = 30	0.0218	0.0219	0.0192	0.0219	0.0211	0.0195
OLR = 40	0.0215	0.0194	0.0175	0.0216	0.0209	0.0186

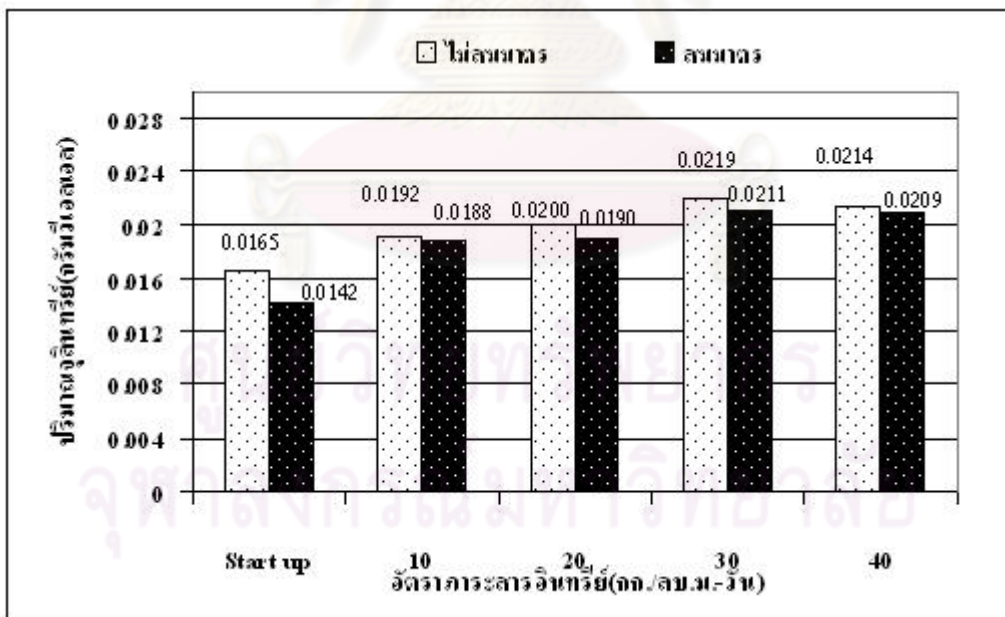
หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถวัดค่าได้เพราะชั้นตะกอนขยายตัวไม่ถึง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



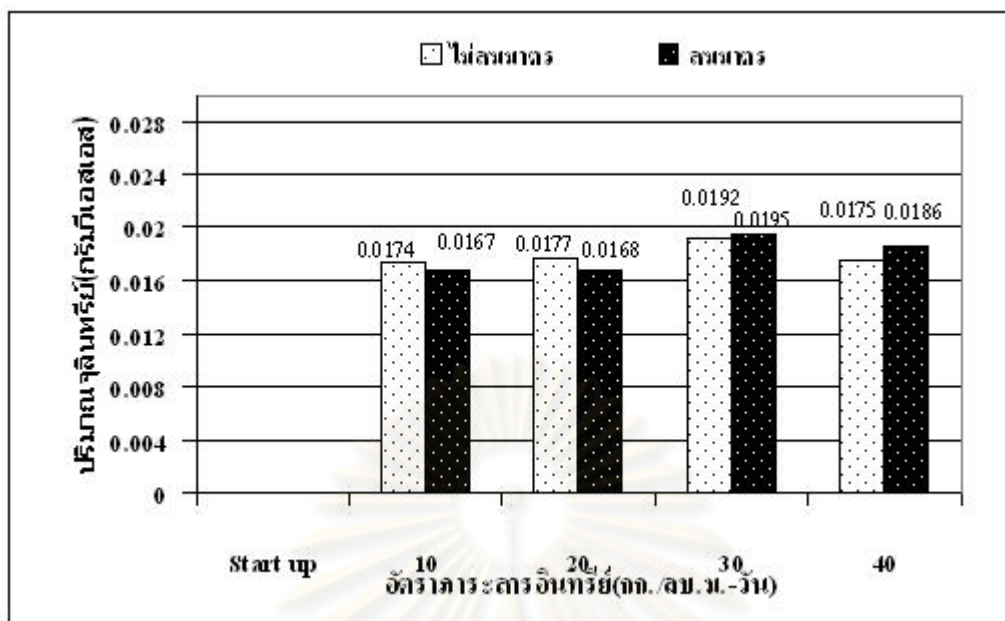


รูปที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ที่ความสูงระดับ 0.5 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบบิโอดีเอสป์ที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร



รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ที่ความสูงระดับ 1.0 เมตร ของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบบิโอดีเอสป์ที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร





รูปที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ที่ความสูงระดับ 1.5 เมตร ของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มอัตราปุ๋ยอินทรีย์ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรพบว่าไม่ส่งผลต่อปริมาณค่าเอสเอ็มเอ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณค่าเอสเอ็มเอ คืออัตราปุ๋ยอินทรีย์ จากการทดลองที่อัตราปุ๋ยอินทรีย์ที่ 30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถจำเพาะในการผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าที่อัตราปุ๋ยอินทรีย์ 10, 20 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยอินทรีย์เป็น 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าปริมาณเอสเอ็มเอต่ำลงเล็กน้อย นั่นหมายความว่าจุลินทรีย์มีปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ลดลงทำให้มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยที่อัตราปุ๋ยอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากที่อัตราปุ๋ยอินทรีย์ 30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มสูงมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลง

#### 4.4 การทดลองช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้น

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้นที่ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. โดยมีอัตราการสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 34 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง รายละเอียดผลการทดลองของพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.37 ถึง ตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.37 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 (S)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 (NS)
ซีไอดี	กก./ล.	20,083	11,347	11,414
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีไอดี	เปอร์เซ็นต์	-	56.5	56.20
พีเอช	-	6.66	7.41	7.41
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	30.9	31.4	31.3
สภาพต่างทั้งหมด	กก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	1,769	3,214	3,304
กรดไขมันระเหย	กก./ล. กรดอะซิติก	2,365	1,070	1,089
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	1.34	0.33	0.33
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	163.85	162.50
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	49.3	49.0
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีไอดีที่ถูกกำจัด	-	0.27	0.27
ตะกอนแขวนลอย	กก./ล.	503	107	121
MLVSS	กก./ล.	-	84	94
MLVSS/MLSS	-	-	0.78	0.78

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถึงปฏิกรณ์อีจีเอสบี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถึงปฏิกรณ์อีจีเอสบี

ตารางที่ 4.38 ผลการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
ซีโอดี	มก./ล.	20,175	10,873	10,528
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี	เปอร์เซ็นต์	-	61.10	60.90
พีเอช	-	6.63	7.52	7.50
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	30.9	31.5	31.5
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	1,813	3,714	3,602
กรดไขมันระเหย	มก./ล. กรดอะซิติก	2,402	976	979
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	1.33	0.26	0.27
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	188.36	187.55
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	51.3	51.0
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	0.29	0.29
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	510	136	124
MLVSS	มก./ล.	-	108	98
MLVSS/MLSS	-	-	0.79	0.79

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีโอดีบี  
NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีโอดีบี

ตารางที่ 4.39 ผลการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (S)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (NS)
ซีโอดี	กก./ล.	20,183	9,950	10,468
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี	เปอร์เซ็นต์	-	63.7	63.1
พีเอช	-	6.63	7.70	7.68
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	31.0	31.3	31.4
สภาพต่างทั้งหมด	กก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	1,817	4,097	4,153
กรดไขมันระเหย	กก./ล. กรดอะซิติก	2,428	843	850
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	1.34	0.20	0.21
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	210.85	211.22
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	52.8	52.0
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	0.32	0.32
ตะกอนแขวนลอย	กก./ล.	529	139	150
MLVSS	กก./ล.	-	114	122
MLVSS/MLSS	-	-	0.82	0.81

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีโอดี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์ซีโอดี

ตารางที่ 4.40 ผลการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.

ตัวแปรที่วัด	หน่วย	ค่าเฉลี่ย น้ำเสีย ขาเข้า	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ค่าเฉลี่ยน้ำทิ้ง ถึงปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
ซีโอดี	กก./ล.	20,198	11,440	11,160
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี	เปอร์เซ็นต์	-	58.4	59.8
พีเอช	-	6.65	7.45	7.43
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	30.9	31.4	31.5
สภาพต่างทั้งหมด	กก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	1,852	3,459	3,502
กรดไขมันระเหย	กก./ล. กรดอะซิติก	2,445	1,103	1,097
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมด	-	1.32	0.32	0.31
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	-	206.94	206.48
ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์	-	50.8	50.5
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน	ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด	-	0.33	0.33
ตะกอนแขวนลอย	กก./ล.	518	164	176
MLVSS	กก./ล.	-	131	139
MLVSS/MLSS	-	-	0.80	0.79

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถึงปฏิกรณ์อีจีเอสบี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถึงปฏิกรณ์อีจีเอสบี

#### 4.4.1 สภาพแวดล้อมของการเดินระบบและประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

จากการศึกษาปัจจัยทางสภาพแวดล้อมของระบบอีจีเอสบีช่วงการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น พบว่าระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ พีเอช ไออาร์พี และปริมาณที่เคเอ็น มีค่าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกัน ซึ่งค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งภาพรวมของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ในช่วงการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

##### 1) อุณหภูมิ

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า และน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่อัตราการระสาดอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตลอดจนการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นแสดงดังตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ ) ภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีตลอดการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

อัตราการระสาดอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)		
		ค่าเฉลี่ยของน้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (NS)	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (S)
40	3	30.9	31.4	31.3
	4	30.9	31.5	31.5
	5	31.0	31.3	31.4
	6	30.9	31.5	31.4

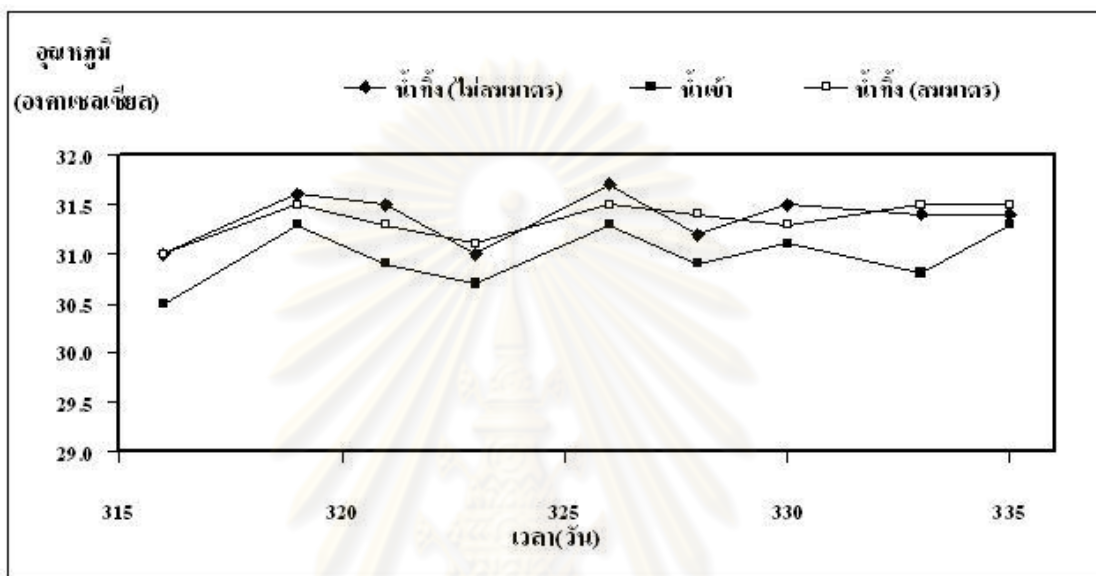
หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

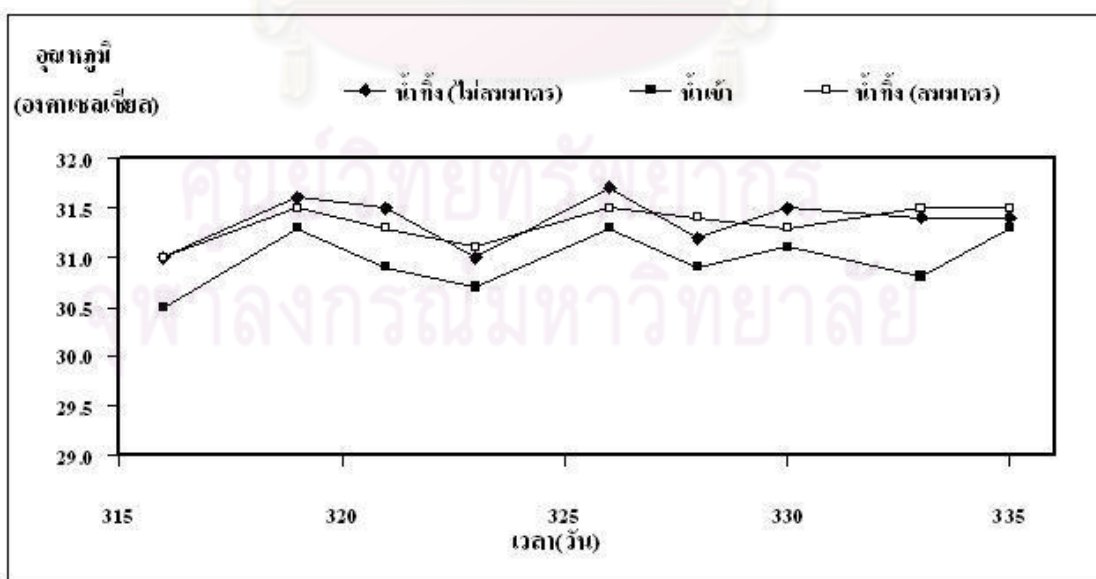
จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้นที่ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. มีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าอยู่ในช่วง 30.9 – 31.5 องศาเซลเซียส



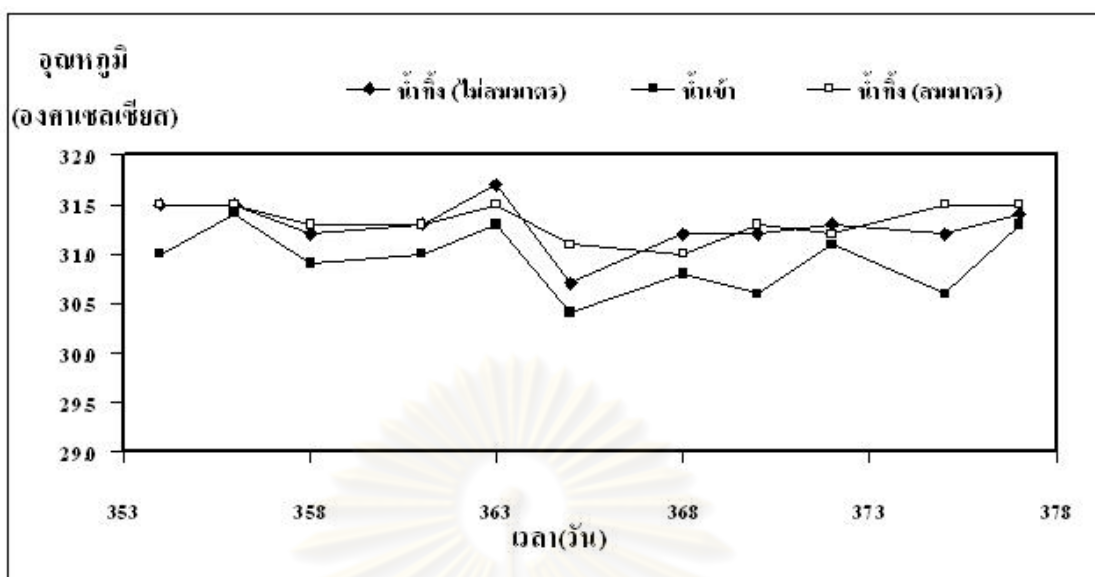
เนื่องจากทำการทดลองในช่วงเดือนพฤษภาคม – มิถุนายน ซึ่งอยู่ในช่วงที่อุณหภูมิสูงในรอบปี 2553 และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของระบบตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นพบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic range) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจึงไม่ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งภาพรวมของค่าอุณหภูมิตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.31 - 4.34



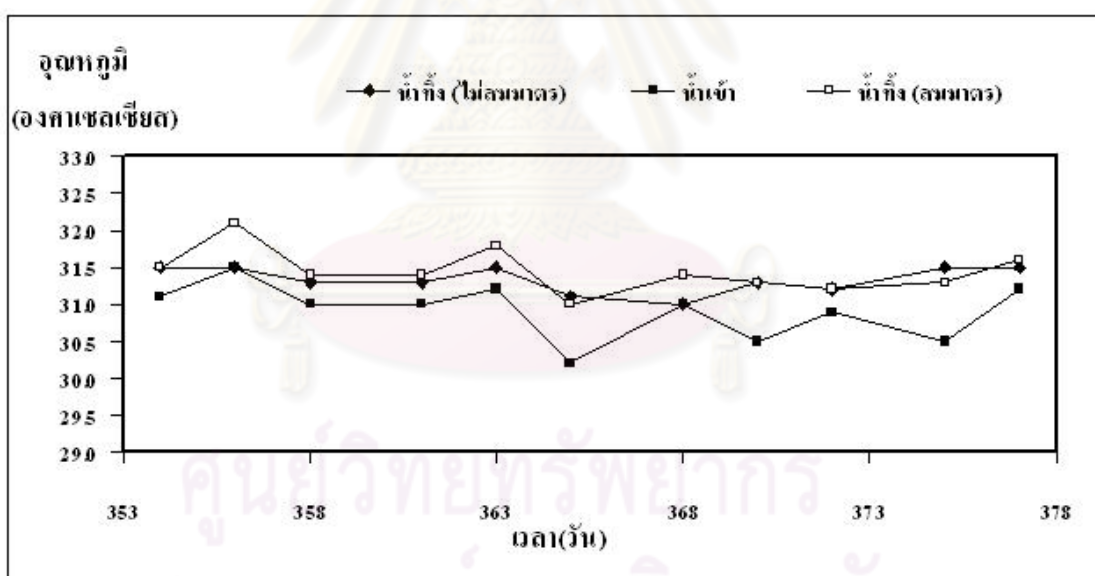
รูปที่ 4.31 แสดงภาพรวมของอุณหภูมิในระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร และไม่สมมาตรที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.



รูปที่ 4.32 แสดงภาพรวมของอุณหภูมิในระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร และไม่สมมาตรที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.



รูปที่ 4.33 แสดงภาพรวมของอุณหภูมิในระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมดุลและไม่สมดุลที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.



รูปที่ 4.34 แสดงภาพรวมของอุณหภูมิในระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมดุลและไม่สมดุลที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.

## 2) พีเอช

น้ำเสียเข้าระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมดุลและไม่สมดุล มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ในปริมาณ 6 กรัมของโซเดียมไบคาร์บอเนต ต่อน้ำ 1 ลิตร ตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่เท่ากับ

40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เพื่อเพิ่มกำลังบำบัดฟอริให้กับระบบ ซึ่งค่าพีเอชเฉลี่ยภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีตลอดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.42 และรูปที่ 4.35 – 4.38

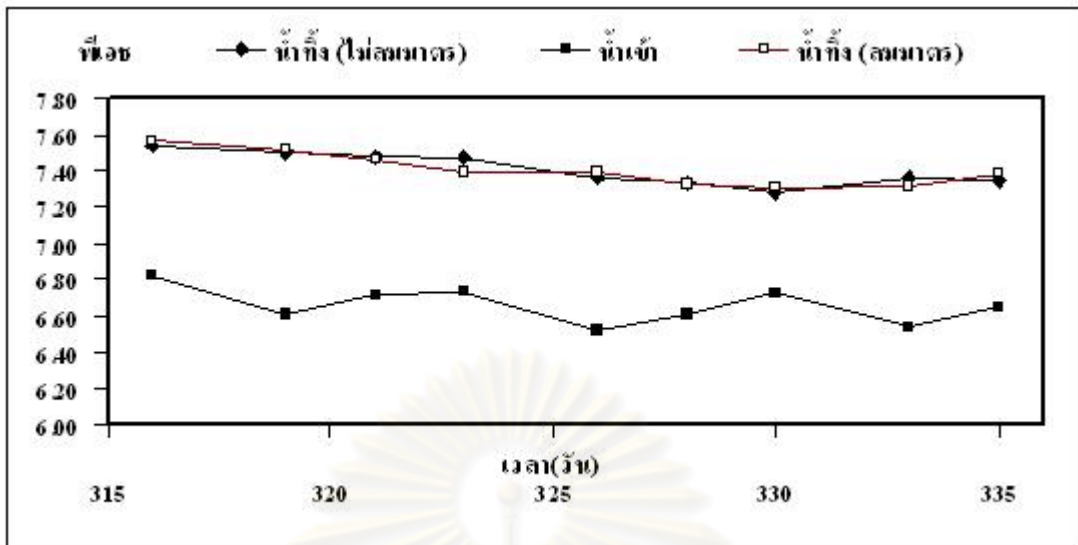
ตารางที่ 4.42 แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีตลอดการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าพีเอชเฉลี่ย		
		ค่าเฉลี่ยของน้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (NS)	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (S)
40	3	6.66	7.41	7.41
	4	6.63	7.50	7.52
	5	6.63	7.70	7.68
	6	6.65	7.43	7.45

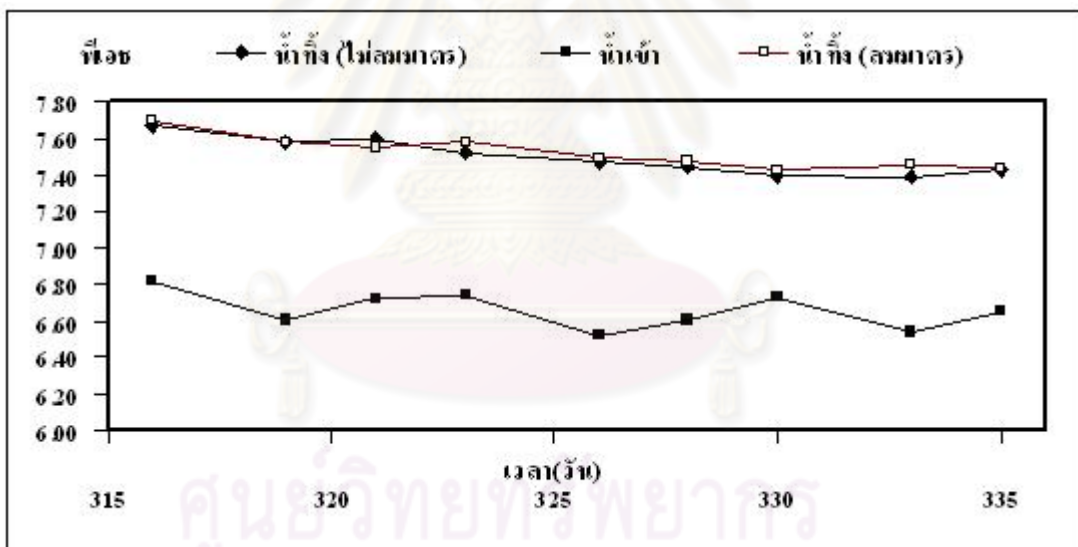
หมายเหตุ : S = อุปรกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

NS = อุปรกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

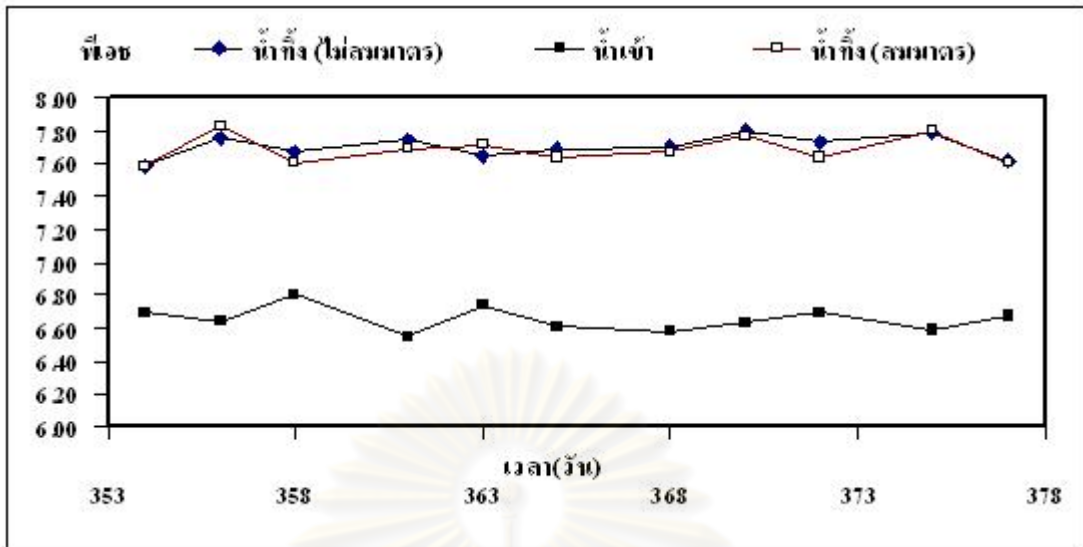
จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากระบบอีจีเอสบีที่มีอุปรกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นของระบบเป็นการเพิ่มสภาพต่างให้กับระบบ ซึ่งตลอดการทดลองน้ำทิ้งมีค่าสภาพต่างทั้งหมดสูงถึง 3,000 – 4,000 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) จึงทำให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น แต่ที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. พีเอชของน้ำทิ้งมีค่าต่ำลงเล็กน้อย เนื่องจากความเร็วไหลขึ้นที่มากเกินไปจะเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบ ดังนั้นระบบจึงต้องสูญเสียสภาพต่างบางส่วนไปในการสะเทินกรดไขมันระเหยที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อการรักษาสมดุลของระบบไว้ จึงทำให้ค่าพีเอชที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. ลดต่ำลง



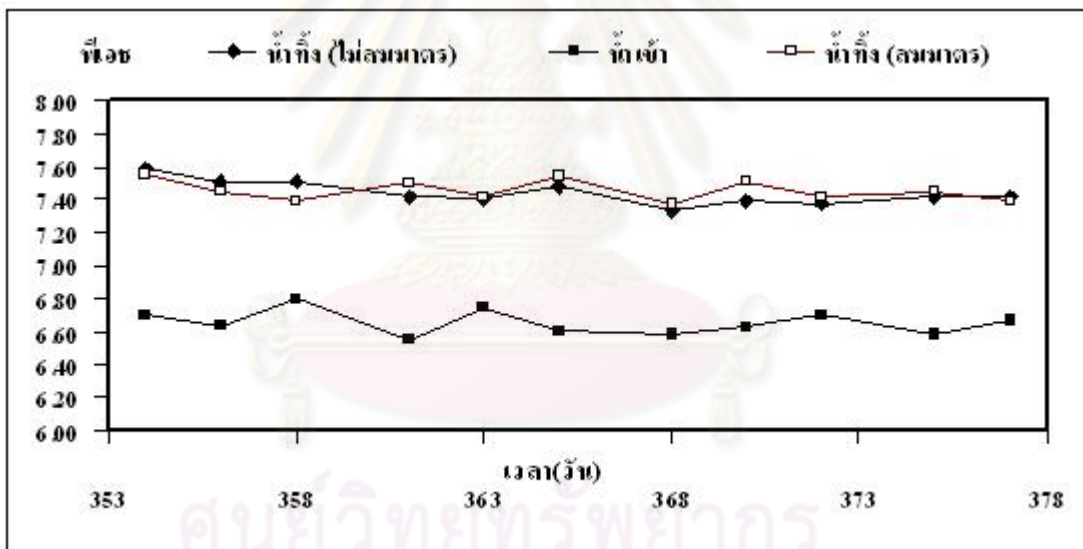
รูปที่ 4.35 แสดงภาพรวมของพีเอชในระบบที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ของระบบบิโอดีเอสปีที่มี  
อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร



รูปที่ 4.36 แสดงภาพรวมของพีเอชในระบบที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. ของระบบบิโอดีเอสปีที่มี  
อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร



รูปที่ 4.37 แสดงภาพรวมของพีเอชในระบบที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.ของระบบบ่อซีเมนต์ที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร



รูปที่ 4.38 แสดงภาพรวมของพีเอชในระบบที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.ของระบบบ่อซีเมนต์ที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

### 3) ไออาร์พี

ค่าไออาร์พีในน้ำออกแสดงสภาพการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งค่าไออาร์พีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่เหมาะสมอยู่ในช่วง -500 ถึง -300 มิลลิโวลต์ สำหรับค่าไออาร์พีของระบบบิโอดีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ตลอดการทดลองช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้นแสดงดังตารางที่ 4.43 และรูปที่ 4.39

ตารางที่ 4.43 แสดงค่าเฉลี่ยไออาร์พีตลอดการทดลองช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น

อัตราการระเหยอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าไออาร์พีเฉลี่ย (มิลลิโวลต์)	
		ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (NS)	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (S)
40	3	-314	-315
	4	-322	-319
	5	-389	-387
	6	-325	-324

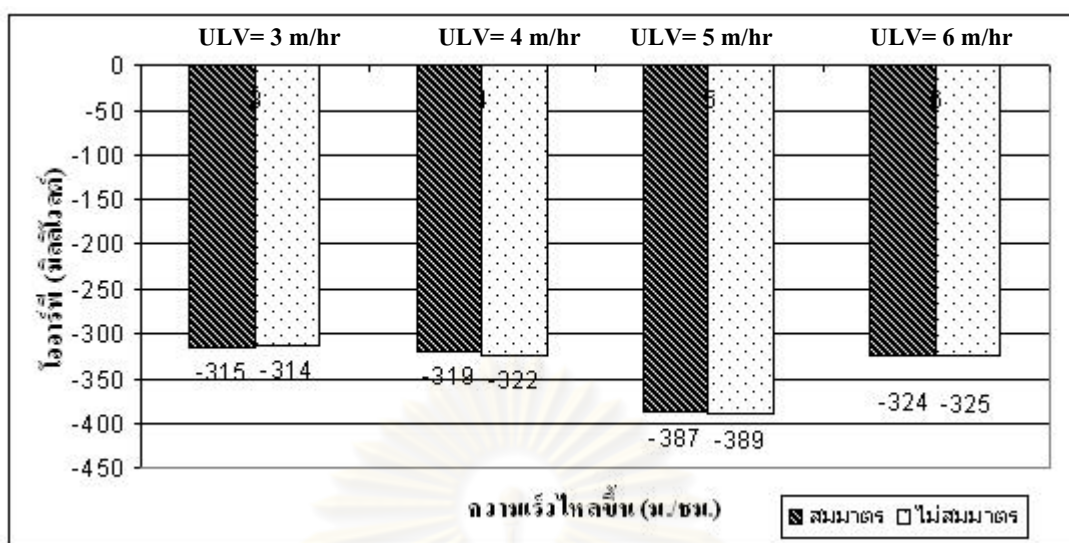
หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์บิโอดี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์บิโอดี

จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยไออาร์พีที่ความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. มีค่าใกล้เคียงกัน คือ -389 ถึง -314 มิลลิโวลต์ แสดงว่าระบบบิโอดีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรเกิดปฏิกิริยาออยสลายแบบไร้ออกซิเจนเป็นอย่างดี และอยู่ในสภาวะที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.39 แสดงค่าเฉลี่ยไออาร์พีในระบบทดลองการทดลองการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบมาตรฐานและไม่มาตรฐาน

#### 4) ปริมาณที่เคเอ็น

สำหรับค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็นทดลองการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงดังตารางที่ 4.44 และรูปที่ 4.40

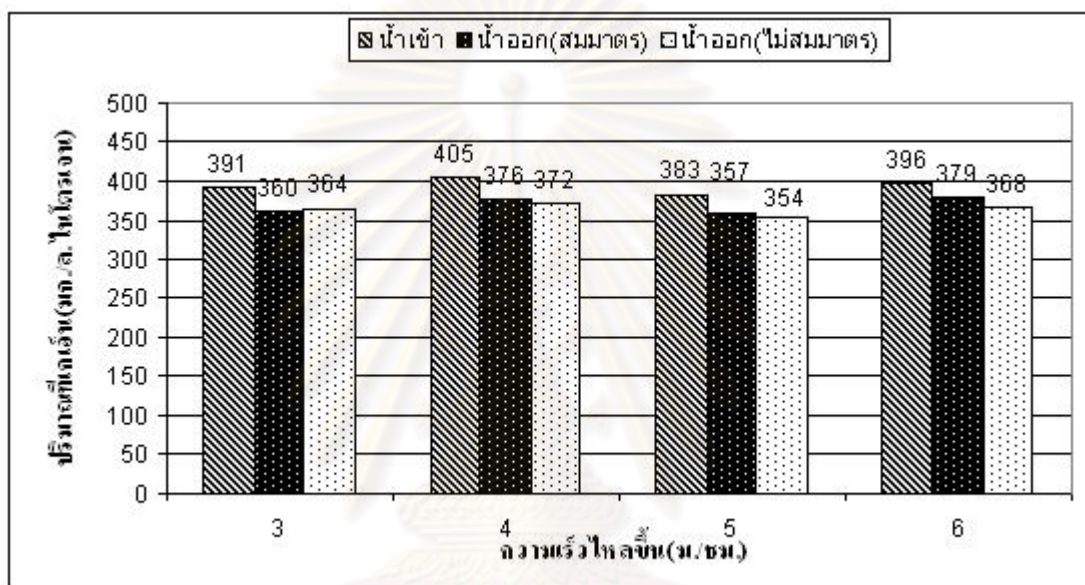
ตารางที่ 4.44 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็นทดลองการทดลองช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น

อัตราการระเหยอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าเฉลี่ยของปริมาณที่เคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตรไนโตรเจน)		
		ค่าเฉลี่ยของน้ำเข้า (NS)	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (S)	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (S)
40	3	391	364	360
	4	405	372	376
	5	383	354	357
	6	396	368	370

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบมาตรฐานในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่มาตรฐานในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

จากการทดลองพบว่าค่าที่เคเอ็นน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่การเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้น มีความแตกต่างกันน้อยมาก เนื่องจากระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรเป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ค่าที่เคเอ็น และประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นจึงมีค่าใกล้เคียงกัน และเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เพราะว่าที่เคเอ็นในระบบไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน จนกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ โดยที่เคเอ็นที่ลดลงเกิดจากการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ของแบคทีเรีย



รูปที่ 4.40 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณที่เคเอ็นในระบบทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

#### 4.4.2 ประสิทธิภาพของระบบช่วงการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีช่วงการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นพบว่าระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร มีค่าเฉลี่ยของค่ากรดไขมันระเหย, สภาพต่างทั้งหมด, อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด, ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี, การผลิตก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกัน ซึ่งภาพรวมของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ในช่วงการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้น ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

### 1) กรดไขมันระเหยง่าย

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ยตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม.ที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร แสดงดังตารางที่ 4.45 และรูปที่ 4.41

ตารางที่ 4.45 แสดงค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก) ตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น

อัตราการระเหยอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก)		
		ค่าเฉลี่ยของน้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (NS)	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (S)
40	3	2,365	1,070	1,089
	4	2,402	979	976
	5	2,428	843	850
	6	2,445	1,097	1,103

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

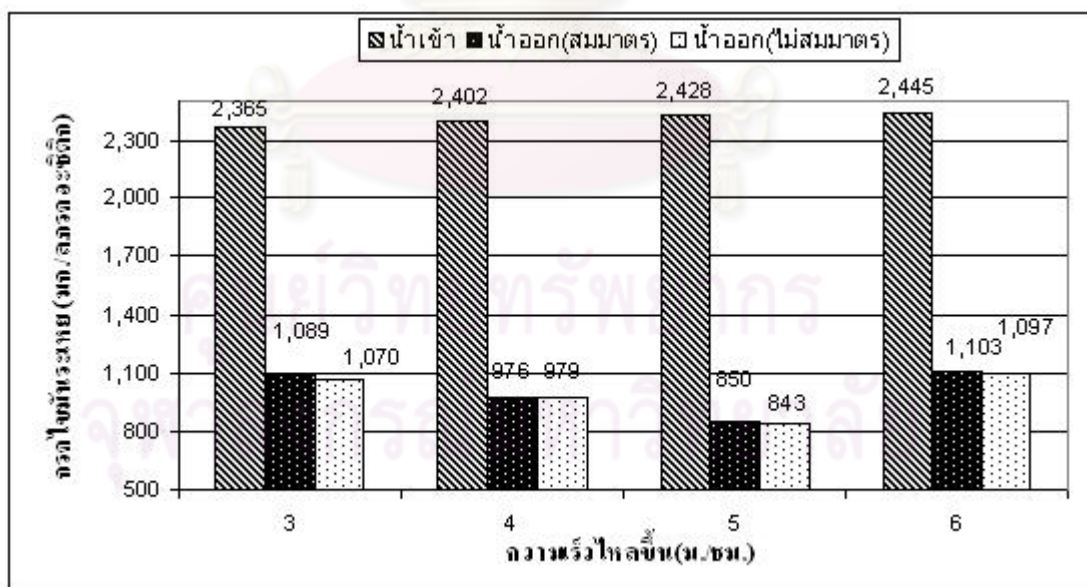
#### - ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 2,365 – 2,445 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) และค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,070, 979, 843 และ 1,097 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำลงตามการเพิ่มของความเร็วไหลขึ้น เพราะการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็นการเจือจางความเข้มข้นของน้ำเสีย มีผลทำให้ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของระบบถูกเจือจางไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น แต่ที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากความเร็วไหลขึ้นที่สูงเกินไปจะเกิดการหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและซีไอดีที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำทิ้งกลับมาใหม่ เป็นการเพิ่มภาระให้ระบบ (Romli และคณะ, 1994)

ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. มีค่าเท่ากับ 59.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำกว่าที่ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 5 ม./ชม.

### - ระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้ามามีปริมาณค่อนข้างคงที่ อยู่ในช่วง 2,365 – 2,445 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก) และค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,089, 976, 850 และ 1,103 ต่ำลงตามการเพิ่มของความเร็วไหลขึ้น เพราะการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็นการเจือจางความเข้มข้นของน้ำเสีย มีผลทำให้ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของระบบถูกเจือจางไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น แต่ที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากความเร็วไหลขึ้นที่สูงเกินไปจะเกิดการหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและซีโอดีที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำทิ้งกลับมาใหม่ เป็นการเพิ่มภาระให้ระบบ ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. มีค่าเท่ากับ 59.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำกว่าที่ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 5 ม./ชม.



รูปที่ 4.41 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร



## 2) สภาพต่างทั้งหมด

สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียเฉลี่ยตลอดการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงดังตารางที่ 4.46 และรูปที่ 4.42

ตารางที่ 4.46 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตลอดการทดลองในการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น

อัตราการระเหยอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าเฉลี่ยของปริมาณสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต)		
		ค่าเฉลี่ยของน้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (NS)	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (S)
40	3	1,769	3,214	3,304
	4	1,813	3,602	3,714
	5	1,817	4,097	4,153
	6	1,852	3,502	3,459

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

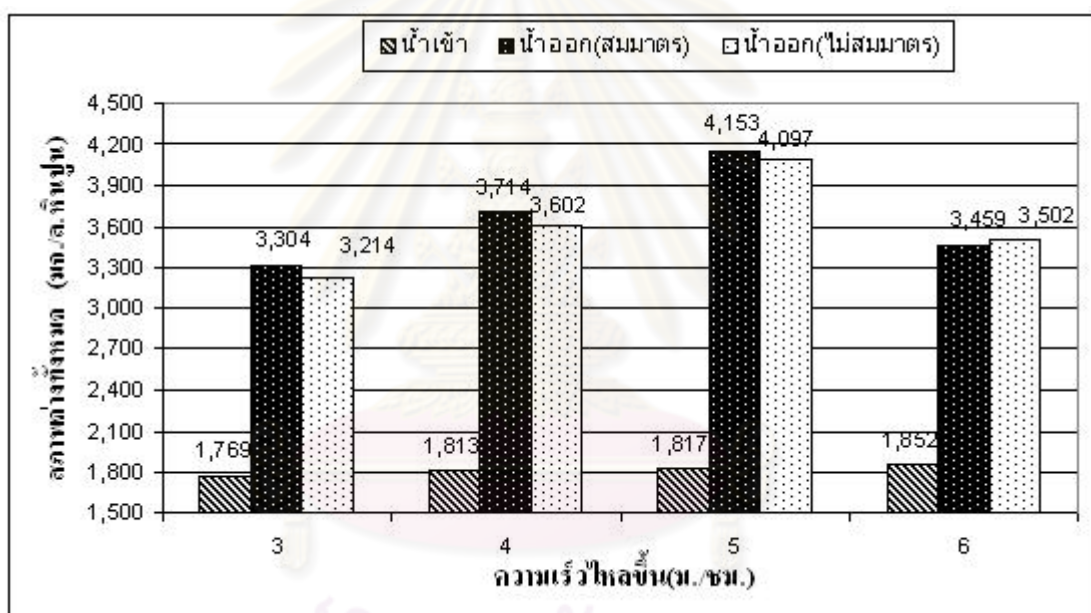
NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

### - ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

ค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าอยู่ในช่วง 1,769-1,852 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) เนื่องมาจากการเติมต่าง(โซเดียมไบคาร์บอเนต) ในน้ำเสียเข้าระบบ คงที่ตลอดการทดลอง และจากการทดลองพบว่าค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังอีจีเอสบีมีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นของระบบ คือมีค่าอยู่ในช่วง 3,304 – 4,097 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) แต่ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. สภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังอีจีเอสบี มีค่าลดลงเหลือประมาณ 3,502 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) เนื่องมาจากการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นมากเกินไปเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบ ดังนั้นระบบจึงต้องสูญเสียสภาพต่างบางส่วนไปในการสะเทินกรดไขมันระเหยง่ายที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการรักษาสมดุลของระบบไว้

### - ระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

ค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าอยู่ในช่วง 1,769 - 1,852 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) และจากการทดลองพบว่าค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังอีจีเอสพีมีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นของระบบ คือมีค่าอยู่ในช่วง 3,304 - 4,153 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) แต่ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. สภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากถังอีจีเอสพี มีค่าลดลงเหลือประมาณ 3,459 มก./ล. (ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) เนื่องมาจากการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นมากเกินไปเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบ ระบบจึงต้องสูญเสียสภาพต่างบางส่วนไปในการสะเทินกรดไขมันระเหยที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อเป็นการรักษาสมดุลของระบบไว้



รูปที่ 4.42 แสดงค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

### 3) อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยในรูปของกรดอะซิติกต่อสภาพต่างในรูปคาร์บอเนตของน้ำเสียเฉลี่ยตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงดังตารางที่ 4.47 และรูปที่ 4.43



ตารางที่ 4.47 แสดงค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (มก. ในเทอมของกรดอะซิติก / มก. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (มก.ในเทอมของกรดอะซิติก / มก. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต)		
		ค่าเฉลี่ยของน้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (NS)	ค่าเฉลี่ยของน้ำออก (S)
40	3	1.34	0.33	0.33
	4	1.33	0.27	0.26
	5	1.34	0.20	0.21
	6	1.32	0.31	0.32

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

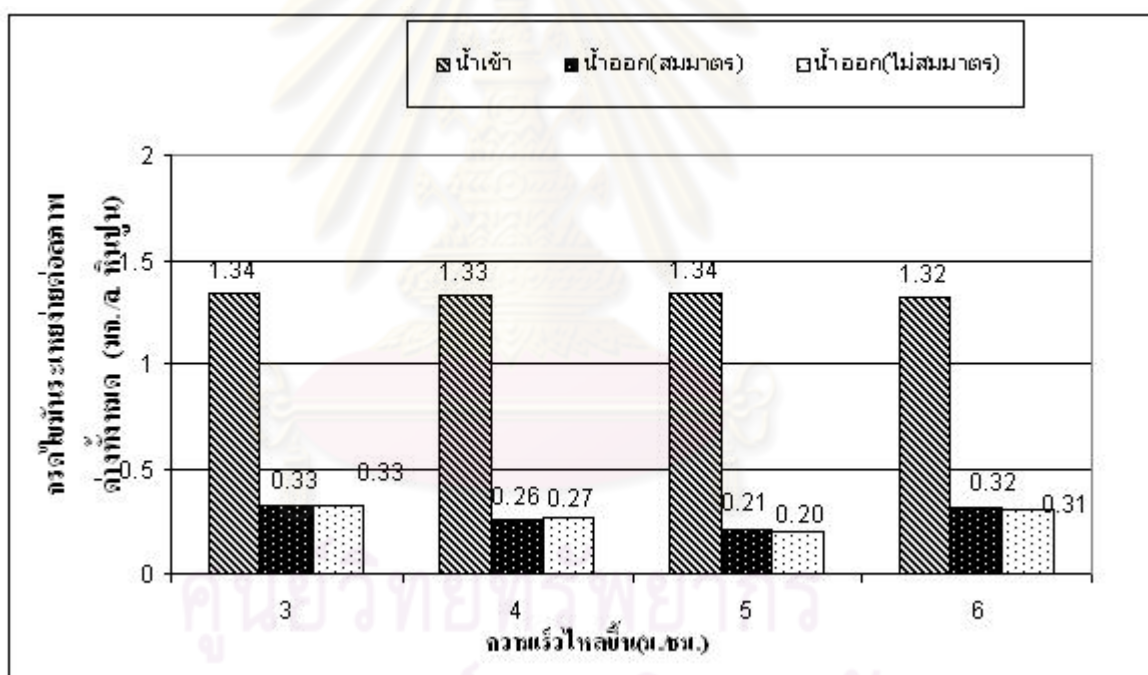
NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

#### - ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้น โดยที่ค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 มีค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรเท่ากับ 0.33, 0.27, 0.20 และ 0.31 แต่ที่ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเนื่องมาจากการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นมากเกินไป เป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบ ระบบจึงต้องสูญเสียสภาพต่างบางส่วนไปในการสะเทินกรดไขมันระเหย ที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อการรักษาสมดุลของระบบไว้ ซึ่งสอดคล้องกับค่าสภาพต่างของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่มีค่าลดลงจากที่ค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 5 ม./ชม.

### - ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้น โดยที่ค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 มีค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งจากระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรเท่ากับ 0.33, 0.27, 0.20 และ 0.31 แต่ที่ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำทิ้งมีค่าลดลง ซึ่งเนื่องมาจากการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นมากเกินไปเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบ ระบบจึงต้องสูญเสียสภาพต่างบางส่วนไปในการสะเทินกรดไขมันระเหยที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อการรักษาสมดุลของระบบไว้ซึ่งสอดคล้องกับค่าสภาพต่างของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่มีค่าลดลงจากที่ค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 5 ม./ชม.



รูปที่ 4.43 แสดงค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

#### 4) ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียเฉลี่ยตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรแสดงดังตารางที่ 4.48 และรูปที่ 4.44

ตารางที่ 4.48 แสดงค่าซีไอดีทั้งหมดและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ย ตลอดการทดลองในการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าเฉลี่ยซีไอดี (มก./ล.) (อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร)		ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยซีไอดี (มก./ล.) (อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร)		ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด (เปอร์เซ็นต์)
	น้ำเข้า	น้ำออก		น้ำเข้า	น้ำออก	
3	20,083	11,347	56.5	20,083	11,414	56.20
4	20,175	10,528	60.9	20,175	10,873	61.10
5	20,183	9,950	63.7	20,183	10,468	63.10
6	20,198	11,160	59.8	20,198	11,440	58.40

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

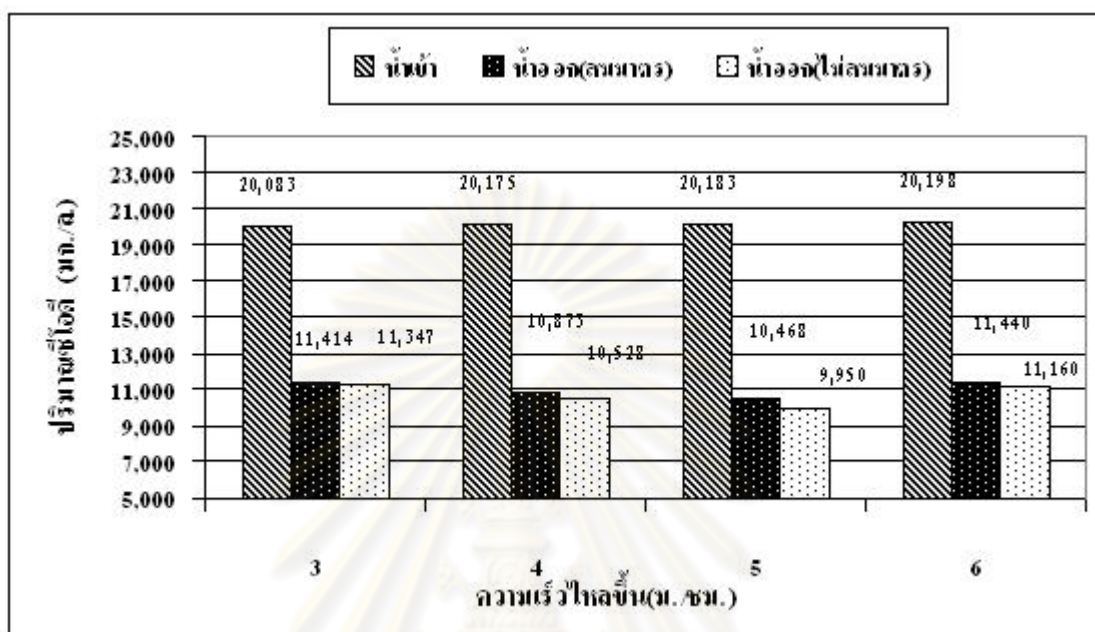
#### - ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 56.5, 60.9, 63.7 และ 59.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น กล่าวคือ การเวียนน้ำกลับเป็นการเจือจางความเข้มข้นซีไอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบกลับลดลง เนื่องจากค่าความเร็วไหลขึ้นที่สูงมากเกินไประบบจะหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำที่กลับมาใหม่ เป็นการเพิ่มภาระให้ระบบ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. มีค่าต่ำกว่าที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

#### - ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 56.2, 61.1, 63.1 และ 58.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น กล่าวคือ การเวียนน้ำกลับเป็นการเจือจางความเข้มข้นซีไอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบกลับ

ลดลง เนื่องจากค่าความเร็วไหลขึ้นที่สูงมากเกินไประบบจะหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำทิ้งกลับมาใหม่ เป็นการเพิ่มภาระให้ระบบ



รูปที่ 4.44 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณซีโอดีทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

### 5) การผลิตก๊าซชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียเฉลี่ยตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงดังตารางที่ 4.49 และรูปที่ 4.45

ตารางที่ 4.49 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนตลอดการทดลองการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น

ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)		ค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)		ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน
	NS	S	NS	S	NS	S
3	163.85	162.50	0.27	0.27	49.3	49.0
4	187.55	188.36	0.29	0.29	51.0	51.3
5	210.85	211.22	0.32	0.32	52.8	52.0
6	206.48	206.94	0.33	0.33	50.5	50.8

หมายเหตุ : S = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

NS = อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

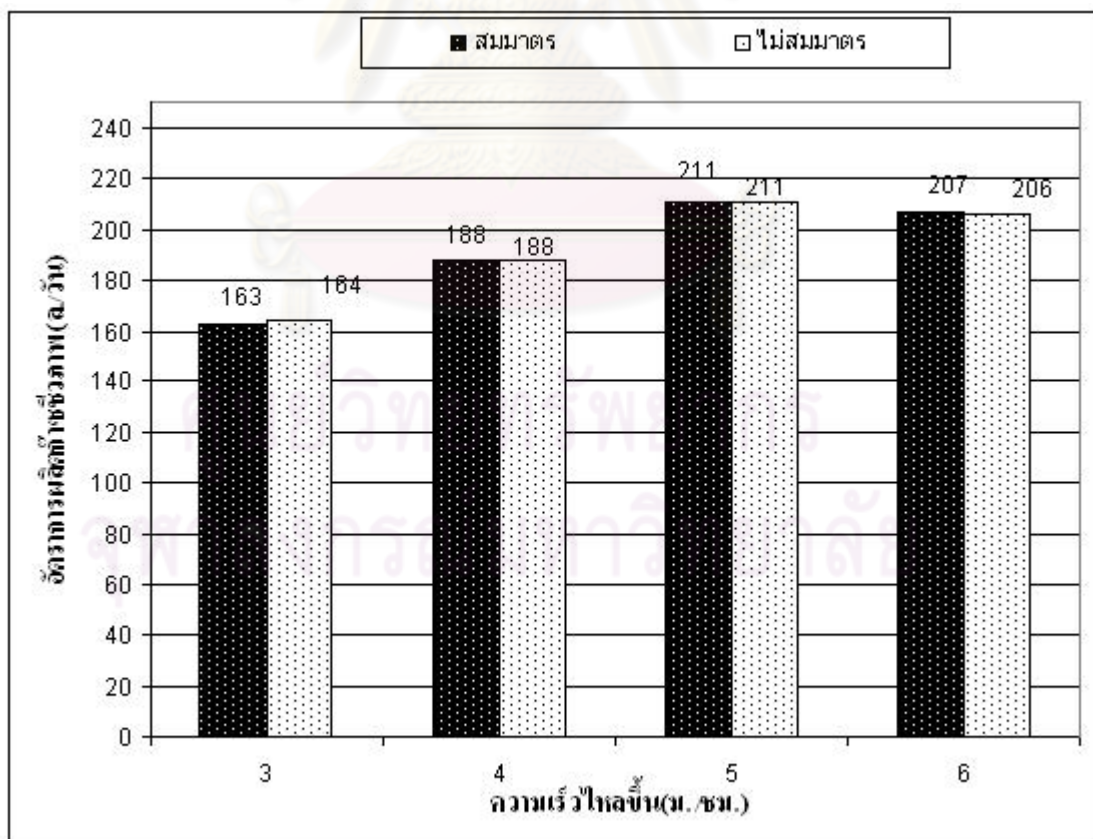
#### - ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

จะเห็นได้ว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 163.85, 187.55, 210.85 และ 206.48 ล./วัน ตามลำดับ ซึ่งอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละวันจะมีปริมาณเพิ่มตามการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเวียนน้ำกลับเป็นการเพิ่มการสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียและช่วยเจือจางค่าความเป็นพิษของน้ำเสีย จึงทำให้จุลินทรีย์มีการบำบัดน้ำเสียต่อวันเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดมากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. จะเห็นได้ว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง แม้เป็นการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ให้กับระบบก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นมากเกินไปจะส่งผลเสียต่อระบบ เนื่องจากจะเกิดการหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำที่กลับมาใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องเปอร์เซ็นต์การกำจัดชีโอดีที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. มีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดชีโอดีลดลงจากที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. และมีค่าเฉลี่ยชีโอดีของน้ำออกค่อนข้างสูง



### - ระบบอีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

จะเห็นได้ว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 162.50, 188.36, 211.22 และ 206.94 ล./วัน ตามลำดับ ซึ่งอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละวันของระบบอีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร มีปริมาณเพิ่มตามการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเวียนน้ำกลับเป็นการเพิ่มการสัมผัสระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียและช่วยเจือจางค่าความเป็นพิษของน้ำเสีย จึงทำให้จุลินทรีย์มีการบำบัดน้ำเสียต่อวันเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดมากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. จะเห็นได้ว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง แม้เป็นการเพิ่มภาระสารอินทรีย์ให้กับระบบก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นมากเกินไปจะส่งผลเสียต่อระบบ เนื่องจากจะเกิดการหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำทิ้งกลับมาใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. มีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีลดลงจากที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. และมีค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำออกค่อนข้างสูง



รูปที่ 4.45 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร



### 6) ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดตลอดการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม.ที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงดังตารางที่ 4.50 และรูปที่ 4.46

ตารางที่ 4.50 แสดงค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) และประสิทธิภาพการกำจัดตลอดการทดลองในการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น

ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ลักษณะ อุปกรณ์แยก สามสถานะ	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)			ประสิทธิภาพ การกำจัด (เปอร์เซ็นต์)
		ค่าเฉลี่ยของ น้ำเข้า	ค่าเฉลี่ยของ จุดเก็บ ตัวอย่าง บนสุด	ค่าเฉลี่ย ของน้ำ ออก	
3	สมมาตร	503	703	121	75.9
	ไม่สมมาตร	503	714	107	78.7
4	สมมาตร	510	810	136	73.3
	ไม่สมมาตร	510	795	124	75.7
5	สมมาตร	529	896	150	71.5
	ไม่สมมาตร	529	874	139	73.7
6	สมมาตร	518	968	176	66.0
	ไม่สมมาตร	518	981	164	68.3

#### - ระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร

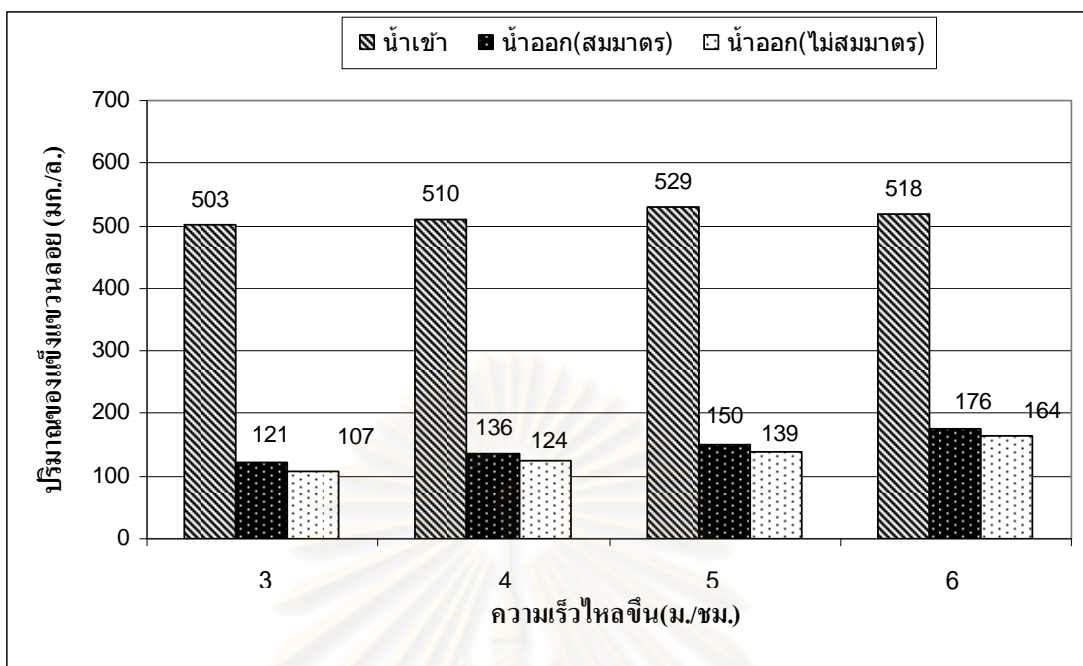
จากตารางแสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร ตลอดการทดลองเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้น โดยทำการเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบ 3 จุด คือ น้ำเข้า น้ำออก และบริเวณจุดเก็บตัวอย่างบนสุดของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี (ที่ระดับความสูงจากกันถึง 1.75 ม.) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าระบบที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าอยู่ในช่วงค่อนข้างคงที่คือประมาณ 503 - 529 มก./ล. จากการเก็บตัวอย่างของแข็งแขวนลอยของน้ำเสีย ที่จุดเก็บตัวอย่างบนสุด พบว่าเมื่อเพิ่ม

ค่าความเร็วไหลขึ้น ปริมาณค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียบริเวณจุดเก็บตัวอย่างบนสุดมีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มสูงขึ้น ตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

และจากการศึกษาประสิทธิภาพอุปกรณ์แยกสามสถานะพบว่า ระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตรมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 78.7, 75.7, 73.7 และ 68.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยที่จุดเก็บตัวอย่างบนสุดของถังปฏิกรณ์และจุดน้ำทิ้งพบว่าเมื่อตะกอนแขวนลอยผ่านส่วนตกตะกอนของถังปฏิกรณ์ (อุปกรณ์แยกสามสถานะ) ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งมีปริมาณลดลงมาก และเมื่อมีการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้น พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 107-176 มก./ล. ซึ่งค่าค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีประสิทธิภาพในการช่วยให้เกิดการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยได้เป็นอย่างดีและสามารถป้องกันการล้างออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ได้เป็นอย่างดี

#### - ระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร

จากการศึกษาประสิทธิภาพอุปกรณ์แยกสามสถานะพบว่า ระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 75.9, 73.3, 71.5 และ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยที่จุดเก็บตัวอย่างบนสุดของถังปฏิกรณ์และจุดน้ำทิ้งพบว่าเมื่อตะกอนแขวนลอยผ่านส่วนตกตะกอนของถังปฏิกรณ์ (อุปกรณ์แยกสามสถานะ) ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งมีปริมาณลดลงมาก และเมื่อมีการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้น พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 107-176 มก./ล. ซึ่งค่าค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีประสิทธิภาพในการช่วยให้เกิดการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยได้เป็นอย่างดีและสามารถป้องกันการล้างออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ได้ดี



รูปที่ 4.46 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระบบช่วงการเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

#### 4.4.3 ผลการศึกษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของระบบช่วงการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรที่อัตราภาวะสารอินทรีย์คงที่

จากผลการศึกษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของระบบช่วงการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น พบว่าระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร มีค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดตะกอนและค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกัน ซึ่งภาพรวมของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ในช่วงการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

##### 1) ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

จากการทดลองเปลี่ยนค่าความเร็วไหลขึ้นที่ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ที่อัตราภาวะสารอินทรีย์คงที่เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-ชม. ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์โดยเครื่อง Particle Size Analyzer ยี่ห้อ Malvern โดยใช้โปรแกรม Hydro 2004 MU เนื่องจากข้อมูลขนาดของเม็ดตะกอนเป็นการกระจายตามขนาดต่างๆ ดังนั้นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอน จึงได้เลือกค่าที่เป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดความเร็วไหลขึ้นโดยได้เลือกค่า D10, D50 และ D90 ซึ่งเป็นขนาดของเม็ดตะกอนที่มีขนาดของ

ตะกอนจุลชีพที่ปริมาณร้อยละ 10, 50 และ 90 ของตะกอนจุลชีพทั้งหมด โดยหากการเปลี่ยนแปลงของค่า D ที่เปอร์เซ็นต์ใดๆลดลง แสดงว่ามีเม็ดตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่าอยู่ในปริมาณสูงขึ้นหรือเม็ดตะกอนขนาดใหญ่มีการแตกตัว การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D10, D50 และ D90 ที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. ของถังปฏิกรณ์อิมัลชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรทำการวัดค่าที่ 3 ระดับคือระดับบน ระดับกลาง และระดับล่าง แสดงดังตารางที่ 4.51 – 4.53

ตารางที่ 4.51 ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จากระดับบน (1.5 ม.) ของถังปฏิกรณ์อิมัลชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ระบบอิมัลชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร			ระบบอิมัลชันที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )			ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
ULV = 3	54.304	611.176	1,124.305	61.825	614.584	1,165.849
ULV = 4	59.086	621.226	1,161.539	67.455	644.296	1,183.184
ULV = 5	37.480	643.124	1,243.032	51.674	652.260	1,271.748
ULV = 6	64.217	539.372	1,089.00	69.633	528.253	1,044.289

ตารางที่ 4.52 ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จากระดับกลาง(1.0 ม.) ของถังปฏิกรณ์ไอ้เอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ระบบไอ้เอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร			ระบบไอ้เอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )			ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
ULV = 3	54.995	634.535	1,216.212	69.901	665.412	1,265.064
ULV = 4	110.338	872.207	1,381.836	90.130	728.546	1,362.000
ULV = 5	47.681	885.598	1,395.78	58.417	845.622	1,395.000
ULV = 6	118.692	660.000	1,221.623	91.851	633.730	1,129.462

ตารางที่ 4.53 ผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และ D90 จากระดับล่าง (0.5 ม.) ของถังปฏิกรณ์ไอ้เอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรตลอดการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

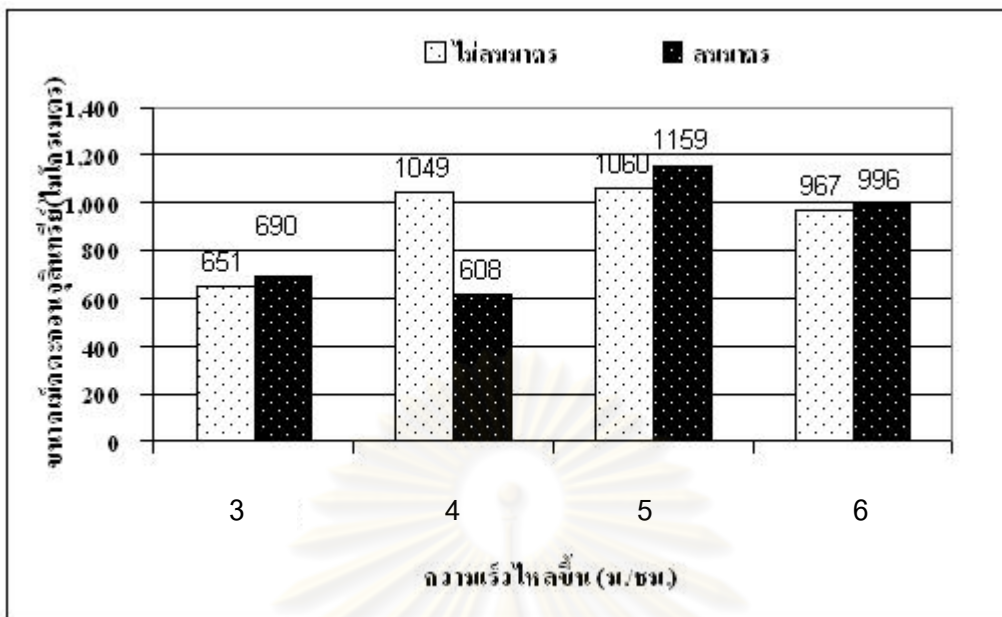
ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ระบบไอ้เอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร			ระบบไอ้เอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )			ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ( $\mu\text{m}$ )		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
ULV = 3	104.187	651.401	1,225.573	78.773	689.661	1,279.588
ULV = 4	109.249	1,049.357	1,436.808	97.193	608.403	1,242.641
ULV = 5	89.335	1,060.364	1,422.416	56.292	1,159.430	1,156.616
ULV = 6	120.749	967.230	1,379.930	95.801	995.753	1,414.580

จากการทดลองพบว่าที่อัตราการระสาดอินทรีย์คองที่เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดเพิ่มตามการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม. กล่าวคือ ที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. ค่า D50 และ D90 เพิ่มขึ้นจากที่ 3ม./ชม. แสดงว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 5 ม./ชม. ค่า D50 และ D90 เพิ่มขึ้นจากที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.ชัดเจนกว่าที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.แสดงว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดใหญ่ขึ้น แสดงว่าตลอดการทดลองที่เพิ่มความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4 และ 5 ม./ชม.เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีแนวโน้มเม็ดใหญ่ขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. ค่า D50 และ D90 ลดลง แต่ที่ D10 เพิ่มขึ้นจากที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.แสดงว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กลง อาจเนื่องมาจากการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น ที่มากเกินไปส่งผลทำให้เกิดการแตกตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าที่ค่าความเร็วไหลขึ้นที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ฝูกร่อน และแตกสลายได้เนื่องจากเมื่อความเร็วไหลขึ้นที่สูงขึ้นทำให้เกิดความปั่นป่วน เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสเสียดสีกันมากขึ้น

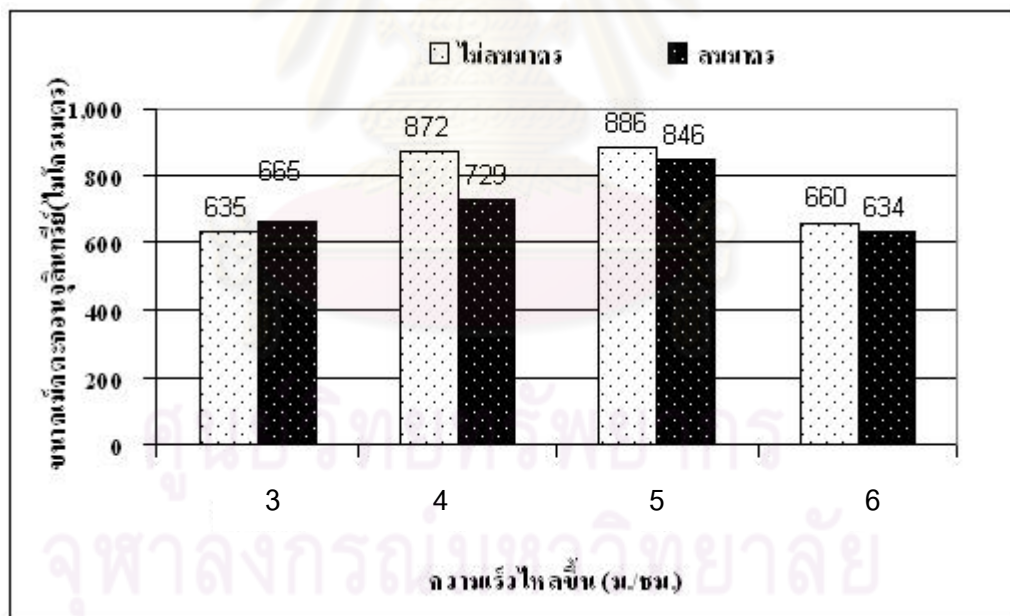
จากการเปรียบเทียบขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ 3 ระดับตามความสูงของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีคือ 0.5 ,1.0 และ 1.5 เมตร พบว่าที่ความเร็วไหลขึ้นคองที่ ค่า D50 และ D90 มีค่าลดลงตามความสูงของถังอีจีเอสบี กล่าวคือที่ระดับความสูง 0.5 ม. จะมีค่า D50 และ D90 สูงกว่าที่ระดับ1.0 และ 1.5 เมตร แสดงว่าขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีขนาดเล็กลงตามความสูงของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี เนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับล่างของถังได้รับสารอาหารที่มีความเข้มข้นมากกว่า ดังนั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับความสูง 1.5 เมตร จึงมีขนาดเล็กที่สุด

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรพบว่าไม่ส่งผลต่อขนาดของเม็ดตะกอนซึ่งจากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์คือค่าความเร็วไหลขึ้น โดยพบว่าที่อัตราการระสาดอินทรีย์คองที่ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.ส่งผลต่อการเพิ่มขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มากกว่าที่ 3, 4 และ 6 ม./ชม. เพราะการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม.ส่งผลทำให้เกิดการแตกตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจากเมื่อความเร็วไหลขึ้นที่สูงขึ้นทำให้เกิดความปั่นป่วน เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสเสียดสีกันมากขึ้น รูปที่ 4.47 – 4.49 แสดงขนาดเม็ดตะกอนเฉลี่ยที่ระดับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร

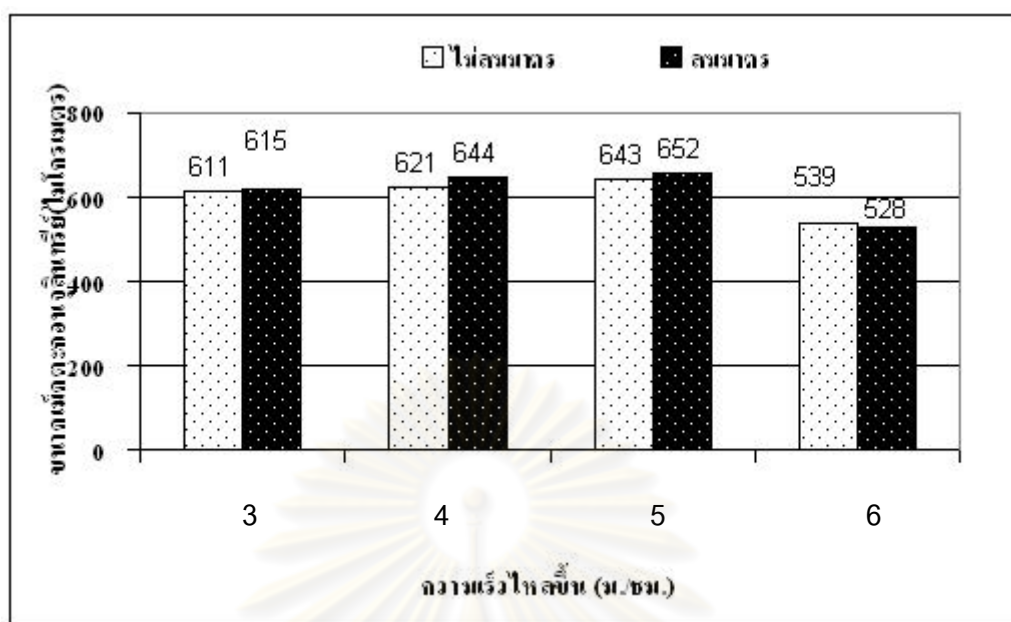




รูปที่ 4.47 ขนาดเม็ดตะกอน (D50) เฉลี่ยที่ระดับ 0.5 เมตรจากก้นถังปฏิกรณ์ ตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น



รูปที่ 4.48 ขนาดเม็ดตะกอน (D50) เฉลี่ยที่ระดับ 1.0 เมตรจากก้นถังปฏิกรณ์ ตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น



รูปที่ 4.49 ขนาดเม็ดตะกอน (D50) เฉลี่ยที่ระดับ 1.5 เมตรจากก้นถึงปฏิกรณ์ ตามการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

## 2) ความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

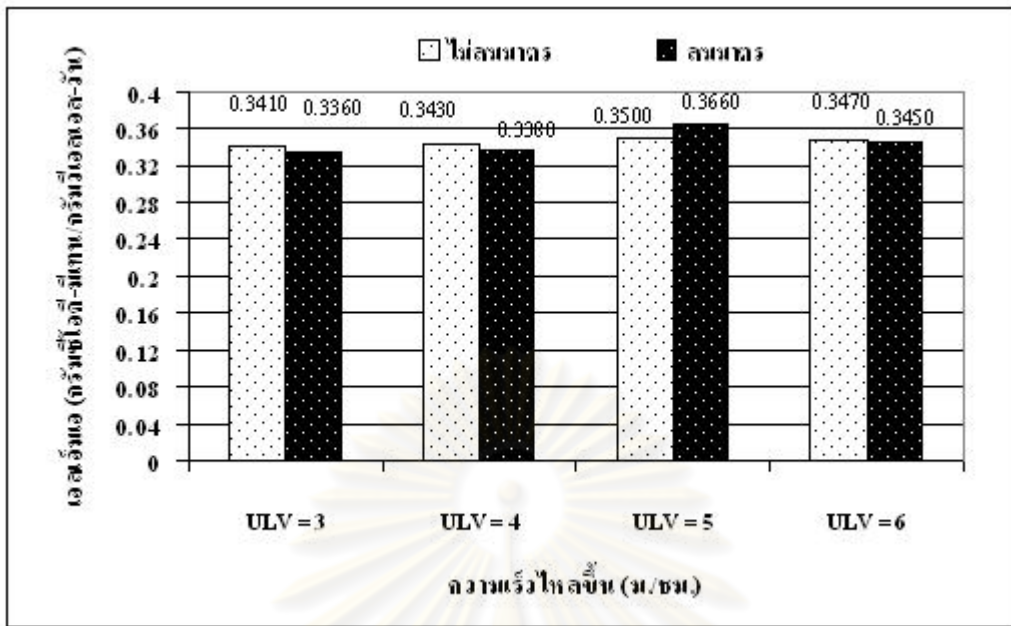
Specific Methanogenic Activity : SMA เป็นค่าที่ชี้วัดความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของเม็ดตะกอนในระบบ โดยในการทดลองนี้ทำการหาปริมาณค่าเอสเอ็มเอของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์ที่ระดับต่างๆ คือจากก้นถึงปฏิกรณ์ที่ 0.5 ,1.0 และ 1.5 เมตร ที่ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4,5 และ 6 ม./ชม. ตามลำดับที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยทำช่วงสิ้นสุดการทดลองในแต่ละความเร็วไหลขึ้น ตารางที่ 4.54 แสดงปริมาณเอสเอ็มเอที่ความเร็วไหลขึ้น 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม.ที่อัตราภาระสารอินทรีย์คงที่เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร และรูปที่ 4.50 – 4.52 แสดงค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ระดับความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร ตลอดการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

ตารางที่ 4.54 ค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบอีจีเอสปิดลดการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น ที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

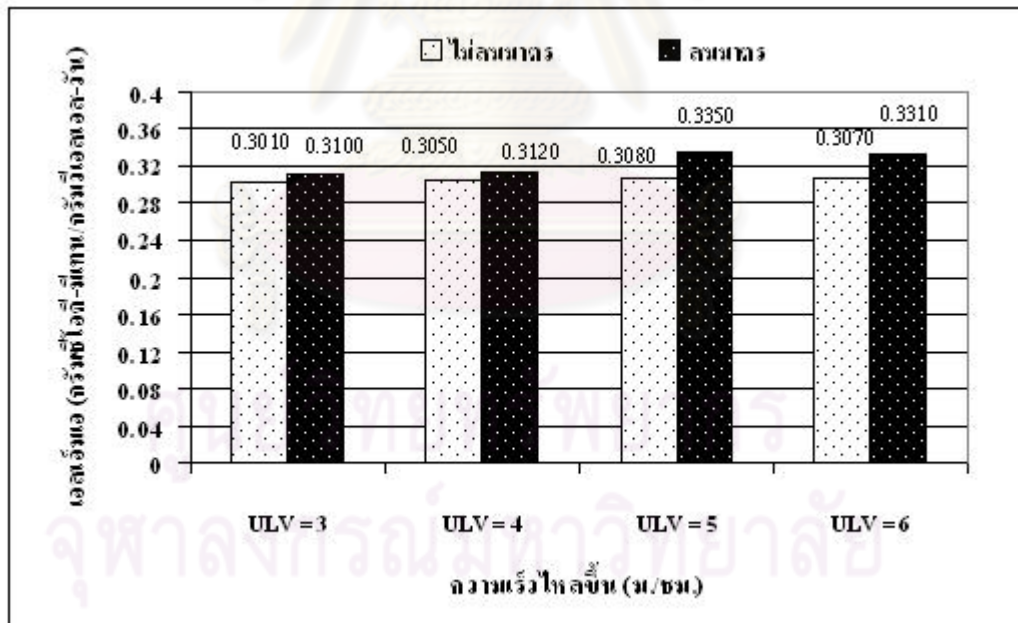
ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร			อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร		
	ปริมาณเอสเอ็มเอ(กรัมซีไอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน)			ปริมาณเอสเอ็มเอ(กรัมซีไอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน)		
	ระดับความสูง 0.5 ม.	ระดับความสูง 1.0 ม.	ระดับความสูง 1.5 ม.	ระดับความสูง 0.5 ม.	ระดับความสูง 1.0 ม.	ระดับความสูง 1.5 ม.
ULV = 3	0.341	0.301	0.259	0.336	0.310	0.261
ULV = 4	0.343	0.305	0.261	0.338	0.312	0.262
ULV = 5	0.350	0.308	0.262	0.366	0.335	0.273
ULV = 6	0.347	0.307	0.262	0.345	0.331	0.276

จากการทดลองพบว่าที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่ปริมาณค่าเอสเอ็มเอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น แต่ที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.ค่าเอสเอ็มเอมีปริมาณลดลงเนื่องจากอัตราการเวียนน้ำกลับที่มากเกินไปเป็นการหมุนเวียนกรดไขมันระเหยง่ายและสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดในน้ำที่กลับมาน้ำใหม่ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบมากขึ้นจนทำให้เกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงทำให้ค่าเอสเอ็มเอในช่วงนี้ลดลง

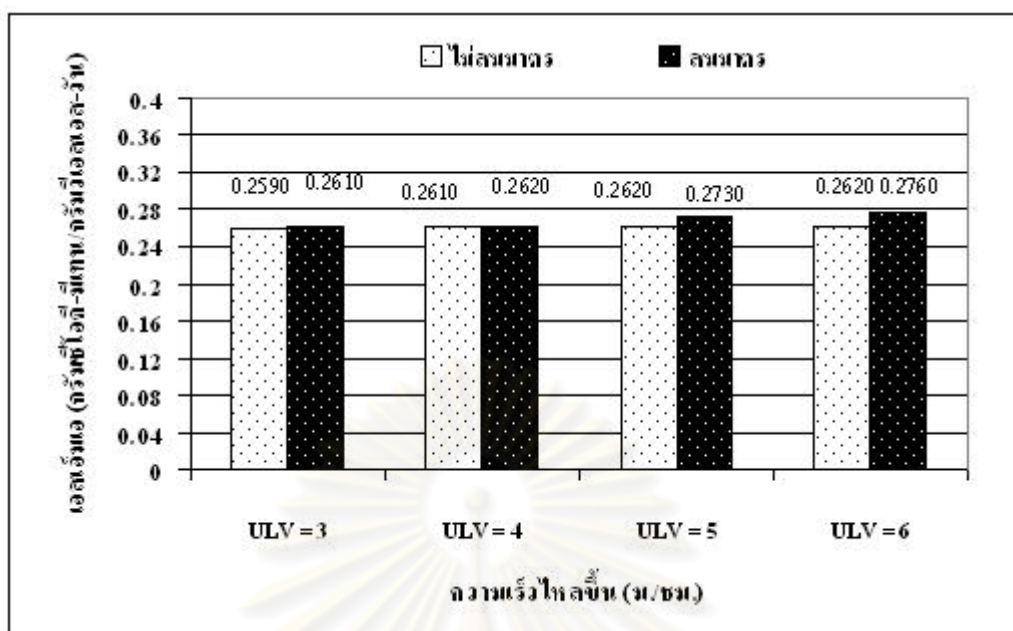
ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.50 ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 0.5 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลชั้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร



รูปที่ 4.51 ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 1.0 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลชั้นของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร



รูปที่ 4.52 ค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอที่ความสูงระดับ 1.5 เมตรของถัง ตลอดจนการทดลองการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร

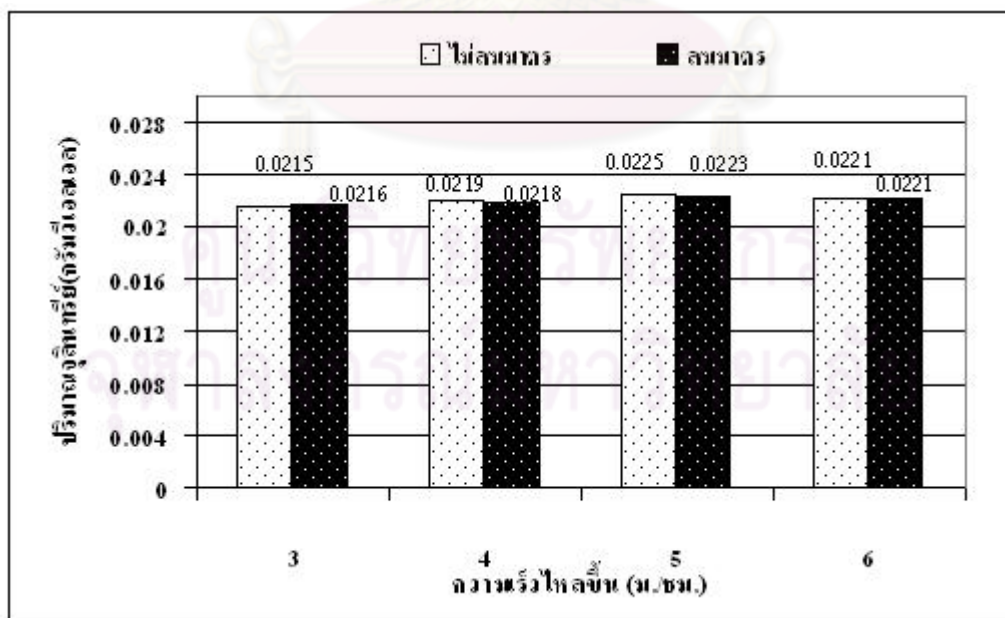
ปริมาณค่าเอสเอ็มเอของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของถังอีจีเอสพีที่ระดับต่างๆ คือที่ 0.5 ,1.0 และ 1.5 เมตร จากกันถึง พบว่าปริมาณเอสเอ็มเอมีค่าลดต่ำลงตามความสูงของถังอีจีเอสพี กล่าวคือที่ระดับความสูง 0.5 เมตร มีปริมาณเอสเอ็มเอสูงกว่าที่ระดับ 1.0 และ 1.5 เมตร ตามลำดับ เพราะที่ความสูงระดับ 0.5 เมตร จะมีการสัมผัสระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์จากน้ำเสียก่อนที่ระดับความสูง 1.0 และ 1.5 เมตร และสามารถใช้อินทรีย์ในการย่อยสลายได้เป็นก๊าซมีเทนได้มากกว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ความสูงอื่นๆ ดังนั้นทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ความสูง 0.5 เมตร มีความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์สูงกว่าที่ความสูง 1.0 และ 1.5 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นจุลินทรีย์ในระบบที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.55 รูปที่ 4.53 – 4.55 แสดงปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบที่ระดับความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร ตลอดจนการเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้น



ตารางที่ 4.55 ปริมาณจุลินทรีย์จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอน  
จุลินทรีย์จากระบบอีจีเอสปีตลอกการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

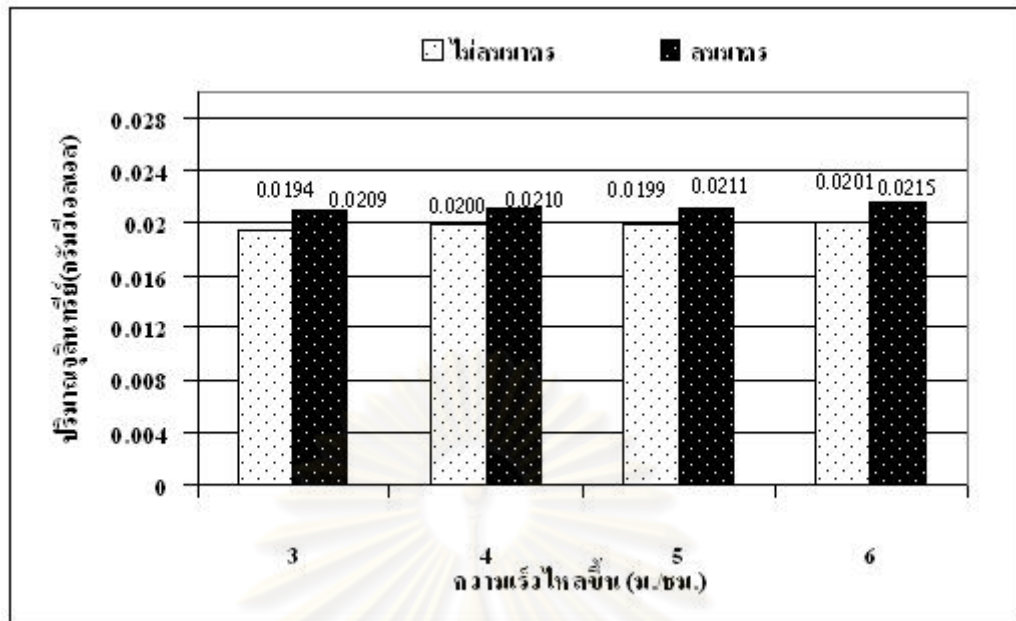
ความเร็วไหล ขึ้น (ม./ชม.)	อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบไม่สมมาตร			อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตร		
	ค่าเฉลี่ยของปริมาณจุลินทรีย์ (กรัมวีเอสเอส)			ค่าเฉลี่ยของปริมาณจุลินทรีย์ (กรัมวีเอสเอส)		
	ระดับความ สูง 0.5 ม.	ระดับความ สูง 1.0 ม.	ระดับความ สูง 1.5 ม.	ระดับความ สูง 0.5 ม.	ระดับความ สูง 1.0 ม.	ระดับความ สูง 1.5 ม.
3	0.0215	0.0194	0.0175	0.0216	0.0209	0.0186
4	0.0219	0.0200	0.0179	0.0218	0.0210	0.0188
5	0.0225	0.0199	0.0183	0.0223	0.0211	0.0192
6	0.0221	0.0201	0.0174	0.0221	0.0215	0.0190

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถวัดค่าได้เพราะชั้นตะกอนขยายตัวไม่ถึง

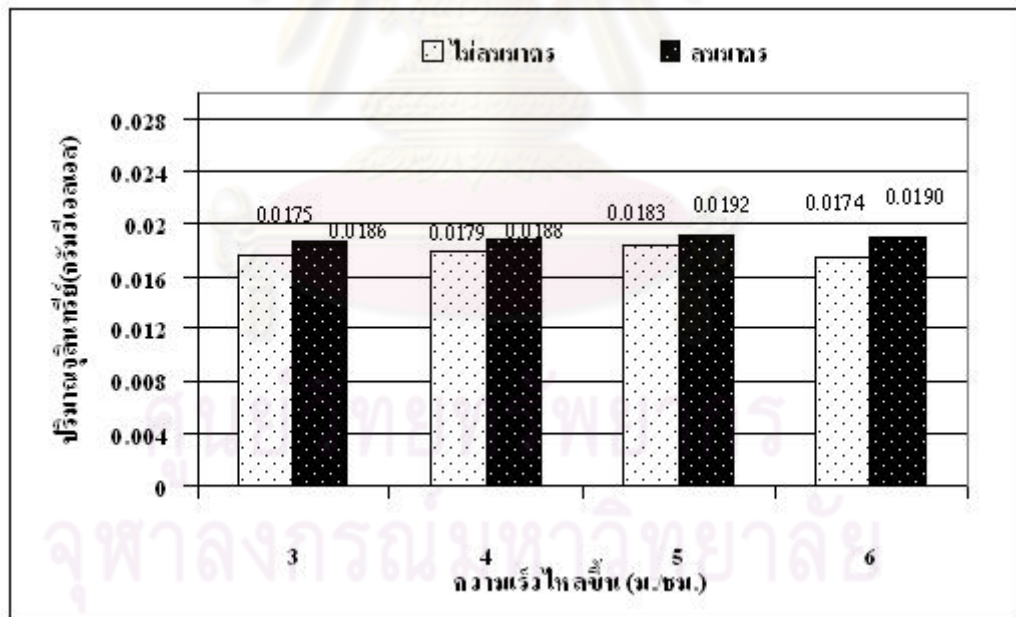


รูปที่ 4.53 ปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยที่ความสูงระดับ 0.5 ม. ของถัง ตลอกการทดลองการเปลี่ยน  
ความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสปีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร





รูปที่ 4.54 ปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยที่ความสูงระดับ 1.0 ม. ของถัง ตลอดจนการทดลองการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร



รูปที่ 4.55 ปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยที่ความสูงระดับ 1.5 ม. ของถัง ตลอดจนการทดลองการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรไม่สมมาตร

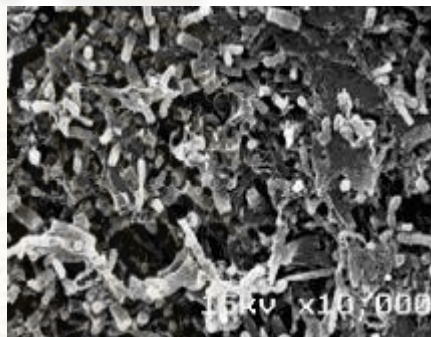
จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบ  
สมมาตรและไม่สมมาตรพบว่าไม่มีผลต่อปริมาณค่าเอสเอ็มเอ จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มี  
ผลต่อปริมาณค่าเอสเอ็มเอ คือค่าความเร็วไหลขึ้น จากการทดลองที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.  
ที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถ  
จำเพาะในการผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่ 3, 4 และ 6 ม./ชม.

#### 4.5 การศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

##### 4.5.1 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังสิ้นสุดการทดลอง



(กำลังขยาย 75 เท่า)

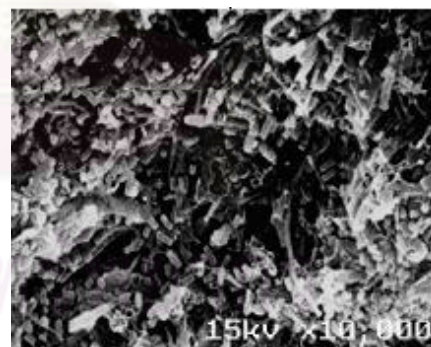


(กำลังขยาย 100 เท่า)

ก) บริเวณผิวด้านนอกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชุดที่ 1

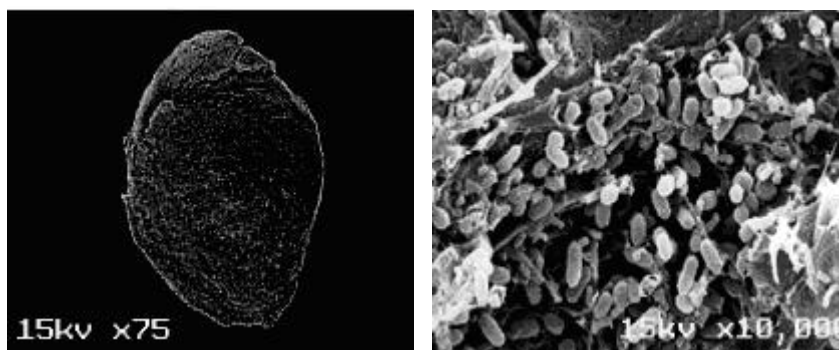


(กำลังขยาย 75 เท่า)



(กำลังขยาย 100 เท่า)

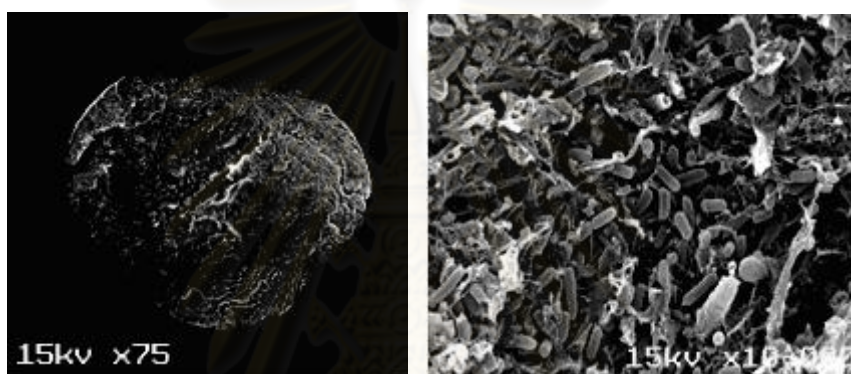
ข) บริเวณผิวด้านนอกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชุดที่ 2



(กำลังขยาย 75 เท่า)

(กำลังขยาย 100 เท่า)

ค) บริเวณผิวด้านในของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ชุดที่ 1



(กำลังขยาย 75 เท่า)

(กำลังขยาย 100 เท่า)

ง) บริเวณผิวด้านในของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ชุดที่ 2

รูปที่ 4.56 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) ลักษณะผิวยานอกและภายในเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังสิ้นสุดการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบผลของความเร็วไหลขึ้นและอัตราการระเหยอินทรีย์ ต่อขนาดและรูปร่างเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ ก่อนเริ่มเดินระบบและสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งเมล็ดตะกอนที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นมีขนาด 1.0 – 3.0 มม. ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ มีสีดำผิวเกลี้ยงและค่อนข้างกลม จากการตรวจสอบลักษณะของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยสุ่มเลือกเมล็ดตะกอนตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของของ 2 ชุดการทดลอง คือ ถังปฏิกรณ์อีจีเอสชุดที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยถังปฏิกรณ์อีจีเอสที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ซึ่งรองรับอัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 10 – 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 5 ม./ชม. ในส่วนของถังปฏิกรณ์อีจีเอสชุดที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยถังปฏิกรณ์อีจีเอสที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรซึ่งรองรับ

อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10 – 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 และ 6 ม./ชม.เพื่อ  
ดูลักษณะของเม็ดตะกอนว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.56 สามารถ  
สรุปได้ว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตอนเริ่มต้นระบบ กับเม็ดตะกอนจากชุดการทดลองที่มีการเพิ่ม  
อัตราภาระสารอินทรีย์พบว่า ลักษณะผิวภายนอกเริ่มขรุขระ และ มีรอยแตกซึ่งอาจเกิดจากการ  
เสียดสีกันของเม็ดตะกอนและอาจเป็นช่องระบายก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จากปฏิกิริยาการย่อยสลาย  
ของจุลินทรีย์ในเม็ดตะกอน เมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์มากขึ้นจะทำให้เกิดก๊าซมากขึ้น และทำ  
ให้เม็ดตะกอนผุร่อนมากขึ้นด้วย จนอาจกระทบถึงประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของระบบ และ  
เมื่อดูโครงสร้างภายในและภายนอกเม็ดตะกอนนั้น พบว่า มีความหลากหลายของแบคทีเรียย่อย  
ซึ่งแบคทีเรียที่พบส่วนใหญ่ มีรูปร่างไปในรูปแบบเดียวกัน คือ เป็นท่อนสั้นๆ และเมื่อเพิ่ม  
ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. เม็ดตะกอนมีขนาดเล็กลง ซึ่งอาจเกิดจากระบบเกิดความ  
ปั่นป่วนมากทำให้เม็ดตะกอนเกิดการเสียดสีกันมากขึ้น จนอาจลอยขึ้นหลุดออกจากระบบได้ ใน  
ส่วนของโครงสร้างภายในและภายนอกเม็ดตะกอนนั้น พบว่า แบคทีเรียมีรูปร่างไม่แตกต่างกันมาก  
และส่วนใหญ่มีรูปร่างคล้ายกันคือ เป็นท่อน และมีเส้นใยกระจายอยู่ทั่วไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพของระบบ และการศึกษาของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของระบบอีจีเอสพีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ช่วงการเพิ่มอัตราการระเหยอินทรีย์ และความเร็วไหลขึ้น พบว่ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากการศึกษาผลของการเพิ่มอัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นคงที่ พบว่าสามารถใช้ระบบอีจีเอสพีในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 10 - 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วงร้อยละ 60.6 - 61.6 แต่เมื่อเพิ่มอัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบเริ่มมีประสิทธิผลลดลง ค่าซีไอดีเฉลี่ยของน้ำทิ้งมีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,070 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิติก)มก./ล. ซึ่งสูงกว่าที่อัตราการระเหยอินทรีย์ที่ 10, 20 และ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงว่าที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไป ทำให้อัตราส่วน F/M สูงขึ้นจนเกินความต้องการของแบคทีเรียที่มีอยู่ในระบบ และอาจเนื่องจากเกิดความเป็นพิษของไอออนบวกเพิ่มมากขึ้นตามค่าซีไอดีของน้ำเสียที่เพิ่มส่งผลทำให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีประสิทธิผลลดลง

2. จากการศึกษาผลของการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ม./ชม.ที่อัตราการระเหยอินทรีย์คงที่เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าเมื่อระบบมีค่าความเร็วไหลขึ้นสูงขึ้นส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงขึ้น โดยที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเอทานอล ดีที่สุดเมื่อเทียบกับความเร็วไหลขึ้นที่ 3, 4 และ 6 ม./ชม. ซึ่งสามารถลดค่าซีไอดีได้สูงถึงร้อยละ 63.70 และมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.32 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด เปอร์เซ็นต์มีเทนเท่ากับ 52.8 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำกลับเป็นการเจือจางกรดไขมันระเหย ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. ระบบมีแนวโน้มประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีลดลง เพราะการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นที่มีค่าสูงเกินไป ทำให้มีการหมุนเวียนกรดไขมันระเหยและซีไอดีที่ยังย่อยสลายไม่หมด

ในน้ำที่กลับมาสู่ระบบอีกครั้งเป็นการเพิ่มภาระให้ระบบ เนื่องจากน้ำทิ้งที่เวียนกลับมามีค่าซีไอดีค่อนข้างสูง คือประมาณ 10,000 มก/ล

3. ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตลอดการทดลองประกอบด้วยก๊าซมีเทนมีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณร้อยละ 50 และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 - 0.33 ลิตร/กก.ซีไอดีที่ถูกกำจัด ดังนั้นค่ามีเทนยิลด์จากการทดลองจึงมีความใกล้เคียงกับค่ามีเทนยิลด์ทางทฤษฎีที่มีค่าประมาณ 0.37 ลิตร/ กก.ซีไอดีที่ถูกกำจัด

4. จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่ใช้อุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 10 - 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยทำการเก็บตัวอย่างของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่จุดเก็บตัวอย่างบนสุดพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการระเหยอินทรีย์และค่าความเร็วไหลขึ้น ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียมีค่าสูงขึ้น เมื่อตะกอนแขวนลอยผ่านส่วนตกตะกอนของถังปฏิกรณ์ (อุปกรณ์แยกสามสถานะ) ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งมีปริมาณลดลงมาก พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75 - 176 มก./ล. ซึ่งค่าค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสบี ที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีประสิทธิภาพในการช่วยให้เกิดการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยได้เป็นอย่างดีและสามารถป้องกันการล้างออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราการระเหยอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นที่สูงได้ดี

5. จากการศึกษาขนาดเม็ดตะกอนพบว่าขนาดเม็ดตะกอนมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการระเหยอินทรีย์แต่ที่อัตราการระเหยอินทรีย์ที่ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดเล็กลงเล็กน้อยเนื่องจากการเพิ่มอัตราการระเหยอินทรีย์ที่สูง ส่งผลทำให้กรดไขมันระเหยและความเป็นพิษจากไฮดรอนบวมมีค่าสูงขึ้นส่งผลทำให้เป็นพิษต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

และจากการศึกษาขนาดเม็ดตะกอนที่ค่าความเร็วไหลขึ้นต่างกันพบว่า ขนาดเม็ดตะกอนมีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตามความเร็วไหลขึ้นที่สูงขึ้น แต่ที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. ขนาดของเม็ดตะกอนมีขนาดเล็กลงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากความเร็วไหลขึ้นที่สูงเกินไปทำให้ภายในระบบเกิดความปั่นป่วน เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสเสียดสีกันมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการศึกษาค่าการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าความเร็วไหลขึ้นคองที่ พบว่าที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า pH, VFA และ ALK อยู่ในช่วงที่ระบบแบบไร้อากาศสามารถยอมรับได้ ซึ่งคาดว่าสาเหตุที่ระบบมีแนวโน้มลดลงอาจเกิดจาก ระดับความเข้มข้นของสารประจุบวกที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณซีไอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบมากขึ้น แต่ในการทดลองครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยไม่ได้ทำการวัดระดับความเข้มข้นของสารประจุบวก ดังนั้นผู้ทำการวิจัยคิดว่าระดับความเข้มข้นของสารประจุบวกในน้ำเสียเป็นพารามิเตอร์ที่น่าสนใจทำการศึกษา ในแต่ละช่วงที่ทำการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์

2. จากการทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาค่าการเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ และความเร็วไหลขึ้น ที่ระยะเวลาที่เก็บคองที่ 12 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการศึกษาในครั้งต่อไปอาจลดระยะเวลาที่เก็บให้สั้นลง เพราะถ้าระบบมีระยะเวลาที่เก็บสั้น จะทำให้ระบบบำบัดมีขนาดเล็กลง และมีความคุ้มทุนในการสร้าง

## 5.3 ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์ทางวิศวกรรม

จากผลการศึกษาค่าการใช้ระบบอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล ผลผลิตที่ได้คือก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด และจากการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร พบว่าสามารถช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกนอกระบบได้เป็นอย่างดี แม้จะมีอัตราภาวะสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นสูง แสดงว่าอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตรมีประสิทธิภาพช่วยในการตกตะกอนของ ของแข็งแขวนลอยก่อนปล่อยสู่น้ำทิ้งได้เป็นอย่างดี สำหรับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ค้างอยู่บนอุปกรณ์แยกสามสถานะแบบสมมาตรและไม่สมมาตร สามารถนำไปเลี้ยงให้เกิดเป็นเม็ดตะกอนได้ ซึ่งอาจใช้เวลาไม่นานเพราะว่าตะกอนจุลินทรีย์มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียภายในระบบ ซึ่งเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้สามารถนำกลับมาใช้ในระบบได้อีกครั้ง

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมกรกำจัดน้ำเสีย. นนทบุรี.
- ตุลชัย แจ่มใส. 2545. ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบชั้นเม็ดตะกอนขยายตัวสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธกฤต เลียดทอง. 2550. ผลของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมต่อการลดซัลเฟตและไนเตรตในน้ำเสียโดยระบบอ็อกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์. 2546. การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจนสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มงคล พุกษ์วัฒนา. 2550. การจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานผลิตเอทานอล. ในรายงานการประชุมวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 19 สวสท., 7 มิถุนายน 2550 ณ ศูนย์แสดงนิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา.
- มันสิน ตันทุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2551. อุตสาหกรรมเอทานอล. [online]. แหล่งที่มา: [http://www2.diw.go.th/l\\_standard/Web/pane\\_files/Industry4.aspxcd.go.th\[22 กันยายน 2551\]](http://www2.diw.go.th/l_standard/Web/pane_files/Industry4.aspxcd.go.th[22 กันยายน 2551]).
- สุภัททิ นิมรรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรพล สายพานิช. 2540. การศึกษากระบวนการคอนแทกส์สเตบิลไลเซชันไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์. โครงการวิจัย เลขที่ 31G – SAN – 2530. งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2530 สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวรรณ ขจรไพศาล. 2548. ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อิศระ รัตนปรียานุช. 2546. การบำบัดน้ำเสียกากส่าโดยใช้ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มี  
ถังหมักกรดน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### ภาษาอังกฤษ

AHPHA, AWWA and WPCF. Standard method for the examination of water and  
wastewater. 20<sup>th</sup> ed. New York: American Public Health Association U.S.A.,  
1998.

Bae, B.U. and Shin, H.S. 1997. Performance of an inner tube-type Gas-Solid Separator  
device in a UASB reactor. Bioresource Technology. 63: 23-27.

Chu, L.B., Yang, F.L. and Zhang, X.W. 2004. Anaerobic treatment of domestic  
wastewater in a membrane-coupled expanded granular sludge bed (EGSB)  
reactor under moderate to low temperature. Process Biochemistry.  
40: 1063-1070.

Dolfing, J. 1985. Kinetic of methane formation by granulation sludge at low substrate  
concentration. Appl. Microbial. Biotechnol. 22: 77-81.

Fang, H.H, Chui, H.K. and Li, Y.Y. 1994. Microbial structure and activity of UASB  
granules treating different wastewater. Water Science and Technology. 30:  
87- 96.

Guiot, S.R., Pauss, A. and Corterton, J.F. 1992. A Structure model of the anaerobic  
granule consortium. Water Science and Technology. 25: 291-304.

Halalsheh, M., Sawajneh, Z., Zubi, M., Zubi, M., Zeeman, G., Lier, J., Fayyad, M. and  
Lettinga, G. 2004. Treatment of strong domestic sewage in a 96 m<sup>3</sup> UASB  
reactor operated at ambient temperature: two-stage versus single-stage reactor.  
Bioresource Technology. 96: 577-585.

Hashemain, S.J. and James, A. 1989. Gas – Solid – Liquid Separator in anaerobic  
treatment of wastewater. Water Research. 24: 381-382.

- Kato, M.T., Field, J.A., Versteeg, P. and Lettinga, G. 1994. Feasibility of Expanded Granular Sludge Bed reactor for the anaerobic treatment of low-strength soluble wastewater. Biotechnology and Bioengineering. 44: 469-479.
- Kato, M.T., Rebac, S. and Lettinga, G. 1999. Anaerobic treatment of low-strength brewery wastewaters in Expanded Granular Sludge Bed reactor. Bioch. Biotech. 76: 15-32.
- Lettinga, G., Hobma, S.W., Hulshoff, P.L.W., De Zeew, W., De Jong, P., Grin, p., and Roerama, R. 1983. Design Operation and Economy of Anaerobic Treatment. Water Science and Technology. 24: 87-107.
- 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.
- Rinzema, A. and Lettinga, G. 1988. Anaerobic treatment of sulphate containing wastewater. In: Wise DL (Ed), Biotreatment System, Vol. III (pp. 65-109). CRC Press Inc., Boca Raton.
- Rinzema, A., Van Veen, H., and Lettinga, G. 1993. anaerobic digestion of triglyceride emulsions in Expanded Granular Sludge Bed reactors with modified sludge separations. Environmental technology. 14: 423-432.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., and Parkin, G.F. 1994. Chemistry for environmental engineering. 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Schmidt, J.E. and Ahring, B.K. 1995. Granular Sludge formation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor. Biotechnology and Bioengineering. 49: 229-246.
- Seghezzi, L., Zeeman, G., Jules, B., Hamelers, H.V.M., and Lettinga, G. 1998. The Anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. Bioresource Technology. 65: 175 -190.

- Singh, S., Fan, M. and Brown, R.C. 2007. Ozone treatment of process water from a dry – mill ethanol plant. Bioresource Technology. 99: 1801-1805.
- Speece, R.E. 1996. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater. USA: Archae press.
- Van Haandel, A.C. and Lettinga, G. 1994. Anaerobic Sewage Treatment. John Wiley & Sons: 52-56.
- Yasar, A., Ahmad, N., Nawaz, M., Chaudhry, M.N. and Khan, A.A. 2006. Sludge granulation and efficiency of phase separator in UASB reactor treating combined industrial effluent. Journal of Environmental Science. 19: 553-558.
- Yejian, Z., Li, Y., Xiangli, Q., Lina, C., Xiangjun, N., Zhijian, M. and Zhenjia, Z. 2007. Integration of biological method and membrane technology in treating palm oil mill effluent. Journal of Environmental Science. 20: 558-564.
- Zhang, Z., Zhou, W. and Lin, R. 2001. Full-Scale experiment on corn-ethanol production wastewater treatment with the thermophilic EGSB reactor. PMID. 22: 114-6.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพีเอชช่วงเริ่มเดินระบบ

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
118	7/10/2552	7.62	7.69	7.72	7.52	7.66	7.73
120	9/10/2552	7.53	7.58	7.60	7.43	7.78	7.75
123	12/10/2552	7.40	7.65	7.78	7.61	7.65	7.79
125	14/10/2552	7.52	7.73	7.70	7.50	7.79	7.76
127	16/10/2552	7.63	7.70	7.65	7.44	7.80	7.75
130	19/10/2552	7.54	7.61	7.64	7.45	7.71	7.63
132	21/10/2552	7.40	7.69	7.67	7.52	7.60	7.59
134	23/10/2552	7.55	7.78	7.78	7.51	7.69	7.61
137	26/10/2552	7.42	7.62	7.71	7.42	7.79	7.72
139	28/10/2552	7.56	7.71	7.66	7.40	7.80	7.80
141	30/10/2552	7.43	7.64	7.72	7.43	7.69	7.78
144	2/11/2552	7.38	7.75	7.75	7.32	7.75	7.75
146	4/11/2552	7.61	7.83	7.79	7.41	7.69	7.68
148	6/11/2552	7.52	7.65	7.63	7.52	7.70	7.72
151	9/11/2552	7.42	7.70	7.69	7.61	7.65	7.65

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
153	11/11/2552	7.40	7.75	7.75	7.53	7.90	7.92
155	13/11/2552	7.43	7.82	7.84	7.42	7.98	8.00
158	16/11/2552	7.41	7.79	7.79	7.51	8.05	8.10
160	18/11/2552	7.35	7.85	7.88	7.44	8.00	8.00
162	20/11/2552	7.52	7.89	7.80	7.30	7.90	7.92
165	23/11/2552	7.45	7.79	7.79	7.40	8.00	8.00
167	25/11/2552	7.32	7.87	7.89	7.42	8.10	8.10

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราภาะสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วันเดือนปี	พีเอช					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
168	26/11/2552	7.34	7.80	7.75	7.20	8.00	8.00
169	27/11/2552	7.01	7.89	7.79	7.30	7.96	8.13
170	28/11/2552	7.32	7.85	7.88	7.21	7.98	8.19
171	29/11/2552	7.14	7.93	7.93	7.43	8.07	8.07
172	30/11/2552	7.20	8.00	8.08	7.24	8.13	8.10
174	2/12/2552	7.35	7.89	8.00	7.22	8.10	8.20
176	4/12/2552	7.34	7.80	7.85	7.30	8.15	8.17
179	7/12/2552	7.27	7.78	7.80	7.31	7.99	7.90
181	9/12/2552	7.15	7.91	7.90	7.31	7.95	7.95
183	11/12/2552	7.20	7.99	7.80	7.22	7.99	8.20
186	14/12/2552	7.42	8.00	7.89	7.30	8.08	8.23
188	16/12/2552	7.21	7.87	7.90	7.20	8.16	7.90
190	18/12/2552	7.33	7.92	7.80	7.15	8.20	8.00
193	21/12/2552	7.30	7.98	7.98	7.24	7.99	8.00
195	23/12/2552	7.25	7.91	7.93	7.32	8.00	7.95
197	25/12/2552	7.24	8.21	8.21	7.31	8.20	8.22
200	28/12/2552	7.31	8.10	8.10	7.27	8.31	8.35
202	30/12/2552	7.30	8.25	8.08	7.34	8.35	8.43
207	4/1/2553	7.22	8.14	8.10	7.30	8.23	8.38
209	6/1/2553	7.45	8.19	8.10	7.21	7.97	8.19
211	8/1/2553	7.12	8.00	8.20	7.35	8.39	8.42
214	11/1/2553	7.20	7.89	7.90	7.24	8.03	8.25
216	13/1/2553	7.14	8.13	7.88	7.33	8.19	8.12
218	15/1/2553	7.25	7.80	7.80	7.28	8.00	8.20
221	18/1/2553	7.32	7.83	7.80	7.17	8.00	8.00
223	20/1/2553	7.31	7.99	8.00	7.25	8.29	8.15
225	22/1/2553	7.24	8.10	8.00	7.32	8.30	8.30

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราภาะสารอินทรีย์ 30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วันเดือนปี	พีเอช					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
227	24/1/2553	7.15	8.16	7.95	7.18	8.27	8.20
228	25/1/2553	7.06	7.85	7.80	7.05	8.20	8.25
229	26/1/2553	7.23	7.89	7.91	7.19	8.15	8.09
230	27/1/2553	7.39	7.80	7.80	7.32	8.00	8.23
231	28/1/2553	7.21	7.90	7.90	7.25	7.92	8.01
232	29/1/2553	7.15	7.81	7.81	7.06	7.98	7.86
235	1/2/2553	7.06	7.83	7.83	7.27	8.00	7.93
237	3/2/2553	7.18	7.89	7.80	7.18	8.17	8.18
239	5/2/2553	7.22	7.91	8.01	7.25	8.25	8.21
242	8/2/2553	7.15	7.85	7.90	7.06	8.00	8.00
244	10/2/2553	7.21	7.95	7.86	7.12	8.07	8.10
246	12/2/2553	7.03	7.81	7.80	7.00	7.99	8.00
249	15/2/2553	7.12	7.92	7.93	6.96	7.94	7.93
251	17/2/2553	7.05	7.90	7.90	7.05	7.90	7.88
253	19/2/2553	6.96	7.86	7.88	6.93	7.88	7.91
256	22/2/2553	7.13	7.85	7.86	7.14	7.97	7.95
258	24/2/2553	7.00	7.89	7.86	6.92	7.96	7.98
260	26/2/2553	7.15	7.82	7.92	7.11	7.98	7.98
263	1/3/2553	6.90	7.91	7.87	6.98	7.89	7.95
265	3/3/2553	6.81	7.89	7.79	6.92	7.93	7.92
267	5/3/2553	7.00	7.82	7.84	7.15	7.90	7.90
270	8/3/2553	6.80	7.92	7.85	7.01	7.94	7.92
272	10/3/2553	6.91	7.85	7.90	6.93	7.89	7.89
274	12/3/2553	7.12	7.79	7.86	6.84	7.82	7.81
277	15/3/2553	6.93	7.80	7.79	7.00	7.93	7.94
279	17/3/2553	6.94	7.82	7.85	6.90	7.92	7.94

ตารางที่ ก.5 แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราภาวาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
281	19/3/2553	6.71	7.87	7.89	6.72	7.94	7.93
284	22/3/2553	6.63	7.85	7.83	6.63	7.94	7.89
286	24/3/2553	6.60	7.76	7.77	6.57	7.90	7.87
288	26/3/2553	6.84	7.81	7.70	6.71	7.87	7.88
291	29/3/2553	6.72	7.78	7.75	6.70	7.89	7.75
293	31/3/2553	6.75	7.73	7.71	6.65	7.90	7.80
295	2/4/2553	6.70	7.69	7.69	6.74	7.85	7.79
298	5/4/2553	6.81	7.77	7.77	6.63	7.88	7.85
300	7/4/2553	6.65	7.72	7.72	6.61	7.81	7.80
302	9/4/2553	6.76	7.70	7.70	6.50	7.79	7.79
305	12/4/2553	6.60	7.59	7.66	6.73	7.83	7.80
307	14/4/2553	6.63	7.63	7.64	6.62	7.75	7.73
309	16/4/2553	6.71	7.52	7.55	6.81	7.70	7.64
312	19/4/2553	6.84	7.57	7.61	6.72	7.72	7.69
314	21/4/2553	6.73	7.56	7.63	6.62	7.68	7.69
316	23/4/2553	6.82	7.54	7.57	6.81	7.69	7.67
319	26/4/2553	6.61	7.50	7.52	6.62	7.58	7.58
321	28/4/2553	6.72	7.48	7.46	6.70	7.55	7.60
323	30/4/2553	6.74	7.47	7.39	6.63	7.58	7.52
326	3/5/2553	6.52	7.36	7.39	6.54	7.49	7.47
328	5/5/2553	6.61	7.34	7.33	6.70	7.47	7.44
330	7/5/2553	6.73	7.28	7.31	6.53	7.42	7.40
333	10/5/2553	6.54	7.36	7.32	6.62	7.45	7.39
335	12/5/2553	6.65	7.35	7.38	6.53	7.43	7.42

ตารางที่ ก.6 แสดงค่าพีเอชช่วงอัตราภาะสารอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
354	31/5/2553	6.70	7.58	7.58	6.79	7.55	7.58
356	2/6/2553	6.64	7.75	7.83	6.60	7.45	7.51
358	4/6/2553	6.80	7.67	7.60	6.77	7.39	7.51
361	7/6/2553	6.55	7.74	7.69	6.62	7.50	7.42
363	9/6/2553	6.74	7.65	7.71	6.70	7.41	7.40
365	11/6/2553	6.61	7.69	7.64	6.65	7.54	7.48
368	14/6/2553	6.58	7.70	7.67	6.52	7.37	7.33
370	16/6/2553	6.63	7.80	7.76	6.64	7.51	7.39
372	18/6/2553	6.70	7.73	7.64	6.70	7.42	7.37
375	21/6/2553	6.59	7.79	7.80	6.58	7.45	7.42
377	23/6/2553	6.67	7.62	7.60	6.62	7.39	7.41

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ก.7 แสดงค่าอุณหภูมิช่วงเริ่มเดินระบบ

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
118	7/10/2552	28.60	28.90	28.60	28.50	28.70	28.80
120	9/10/2552	29.00	29.20	29.10	29.20	29.50	29.50
123	12/10/2552	29.00	29.20	29.20	28.90	29.30	29.40
125	14/10/2552	28.80	28.70	28.90	28.90	28.60	28.50
127	16/10/2552	29.40	29.50	29.70	29.40	29.70	29.60
130	19/10/2552	28.70	29.30	29.10	28.70	29.50	29.40
132	21/10/2552	28.30	28.00	28.20	28.40	28.20	28.10
134	23/10/2552	27.30	27.50	27.50	27.30	27.50	27.60
137	26/10/2552	28.40	28.90	29.00	28.40	29.30	29.10
139	28/10/2552	28.40	28.60	28.30	28.20	28.70	28.60
141	30/10/2552	28.60	28.70	28.70	28.50	28.90	28.80
144	2/11/2552	28.50	28.70	28.90	28.40	28.90	28.90
146	4/11/2552	28.80	28.80	28.80	28.60	28.90	28.90
148	6/11/2552	28.80	29.00	28.90	28.60	29.00	29.10
151	9/11/2552	29.60	29.50	29.70	29.50	29.70	29.90

ตารางที่ ก.8 แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
153	11/11/2552	28.40	28.40	28.70	28.30	28.70	28.70
155	13/11/2552	28.80	28.90	29.00	28.70	29.10	29.00
158	16/11/2552	26.80	27.50	27.40	26.80	27.70	27.60
160	18/11/2552	27.40	27.90	27.70	27.30	27.90	29.90
162	20/11/2552	28.70	28.90	28.90	28.70	28.90	28.90
165	23/11/2552	30.10	30.80	30.50	29.90	30.80	30.70
167	25/11/2552	29.60	30.10	30.20	29.40	30.20	30.20

ตารางที่ ก.9 แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราภาวสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
168	26/11/2552	28.10	28.70	28.90	28.10	28.90	28.80
169	27/11/2552	26.90	27.30	27.20	26.90	27.30	27.30
170	28/11/2552	26.70	27.00	27.20	26.70	27.10	27.10
171	29/11/2552	27.20	28.00	27.90	27.10	28.10	28.20
172	30/11/2552	26.80	27.20	27.30	26.80	27.10	27.20
174	2/12/2552	27.00	27.50	27.40	27.00	27.40	27.40
176	4/12/2552	26.50	27.40	27.60	26.50	27.60	27.70
179	7/12/2552	27.50	28.00	28.10	27.50	28.20	28.10
181	9/12/2552	27.30	27.50	27.70	27.20	27.60	27.70
183	11/12/2552	28.00	28.60	28.40	28.00	28.60	28.60
186	14/12/2552	27.90	28.30	28.30	27.80	28.40	28.50
188	16/12/2552	28.10	28.80	28.70	28.00	28.70	28.80
190	18/12/2552	27.00	27.60	27.30	27.00	27.60	27.50
193	21/12/2552	27.50	28.10	28.30	27.50	28.20	28.20
195	23/12/2552	28.10	28.00	28.00	28.20	28.10	28.00
197	25/12/2552	28.40	28.50	28.90	28.50	28.70	28.80
200	28/12/2552	28.50	28.80	28.90	28.50	28.80	28.90
202	30/12/2552	28.70	29.30	29.10	28.70	29.50	29.60
207	4/1/2553	28.80	29.40	29.50	29.00	29.40	29.50
209	6/1/2553	27.30	28.00	27.90	27.50	28.20	28.10
211	8/1/2553	28.10	28.70	28.60	28.00	28.80	28.70
214	11/1/2553	27.30	27.90	28.00	27.00	27.90	27.80
216	13/1/2553	26.80	27.50	27.30	27.00	27.50	27.60
218	15/1/2553	27.40	27.60	27.80	27.30	27.80	27.80
221	18/1/2553	27.10	27.80	28.00	27.10	27.90	27.90
223	20/1/2553	27.80	28.50	28.40	27.60	28.70	28.70
225	22/1/2553	26.70	27.50	27.50	26.50	27.60	27.70

ตารางที่ ก.10 แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์ 30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
227	24/1/2553	27.30	28.10	28.10	27.10	28.00	27.90
228	25/1/2553	28.90	29.50	29.30	28.80	29.40	29.40
229	26/1/2553	29.30	29.70	29.70	29.20	29.70	29.80
230	27/1/2553	27.50	28.00	27.70	27.80	28.30	28.10
231	28/1/2553	28.20	28.60	28.70	28.50	28.80	28.70
232	29/1/2553	29.60	30.10	30.30	29.50	30.40	30.30
235	1/2/2553	28.50	29.60	29.70	28.70	29.70	29.60
237	3/2/2553	28.60	27.20	27.30	28.90	27.10	27.50
239	5/2/2553	29.60	30.10	30.00	29.40	29.90	30.00
242	8/2/2553	29.40	29.90	29.80	29.30	29.60	29.80
244	10/2/2553	28.80	29.30	29.10	29.10	29.50	29.30
246	12/2/2553	28.20	28.70	28.60	28.20	28.80	28.80
249	15/2/2553	29.30	29.60	29.50	29.20	29.70	29.80
251	17/2/2553	28.90	29.70	29.60	29.10	29.90	30.00
253	19/2/2553	28.90	29.50	29.40	29.10	29.60	29.40
256	22/2/2553	29.40	29.80	29.70	29.20	29.80	29.80
258	24/2/2553	29.90	30.50	30.70	29.70	30.60	30.50
260	26/2/2553	30.00	31.00	30.80	30.10	30.90	30.90
263	1/3/2553	29.40	30.20	29.90	29.30	29.90	29.70
265	3/3/2553	28.80	29.60	29.40	29.10	29.60	29.40
267	5/3/2553	29.30	29.80	29.80	28.90	29.70	29.60
270	8/3/2553	30.30	30.90	30.80	29.90	30.60	30.40
272	10/3/2553	29.70	30.80	30.60	28.70	30.40	30.30
274	12/3/2553	29.30	29.70	29.40	29.40	29.70	29.70
277	15/3/2553	30.00	30.80	30.50	30.00	30.50	30.70
279	17/3/2553	29.40	29.80	29.60	29.50	29.70	29.60

ตารางที่ ก.11 แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราภาวระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
281	19/3/2553	29.90	30.80	30.60	29.80	30.60	30.70
284	22/3/2553	29.30	30.20	30.30	29.80	30.50	30.30
286	24/3/2553	29.40	30.40	30.30	29.30	30.40	30.60
288	26/3/2553	30.10	30.80	30.70	30.00	30.40	30.70
291	29/3/2553	29.20	30.60	30.70	29.40	30.50	30.50
293	31/3/2553	30.00	30.40	30.40	30.10	30.60	30.60
295	2/4/2553	29.90	30.30	30.20	30.00	30.30	30.40
298	5/4/2553	29.80	30.30	30.20	29.80	30.30	30.20
300	7/4/2553	30.30	31.00	30.70	30.30	31.00	31.00
302	9/4/2553	29.20	29.70	29.60	29.10	29.90	29.70
305	12/4/2553	30.20	30.50	30.40	30.30	30.80	30.60
307	14/4/2553	29.90	30.40	30.40	29.80	30.60	30.70
309	16/4/2553	30.10	30.50	30.60	30.20	30.70	30.90
312	19/4/2553	30.20	30.90	30.80	30.20	31.00	30.90
314	21/4/2553	29.90	30.80	30.50	30.00	30.70	30.70
316	23/4/2553	30.50	31.00	31.00	30.60	31.00	31.00
319	26/4/2553	31.30	31.60	31.50	31.00	31.70	31.50
321	28/4/2553	30.90	31.50	31.30	31.00	31.80	31.60
323	30/4/2553	30.70	31.00	31.10	30.80	31.20	31.30
326	3/5/2553	31.30	31.70	31.50	31.20	31.80	31.90
328	5/5/2553	30.90	31.20	31.40	30.70	31.50	31.50
330	7/5/2553	31.10	31.50	31.30	31.00	31.70	31.60
333	10/5/2553	30.80	31.40	31.50	30.70	31.50	31.30
335	12/5/2553	31.30	31.40	31.50	31.20	31.60	31.80

ตารางที่ ก.12 แสดงค่าอุณหภูมิช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

วันที่	วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ					
		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.		น้ำเข้า	ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.	
			ถังปฏิกรณ์ที่1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่2 (S)		ถังปฏิกรณ์ที่3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่4 (NS)
354	31/5/2553	31.00	31.50	31.50	31.10	31.50	31.50
356	2/6/2553	31.40	31.50	31.50	31.50	32.10	31.80
358	4/6/2553	30.90	31.20	31.30	31.00	31.40	31.60
361	7/6/2553	31.00	31.30	31.30	31.00	31.40	31.50
363	9/6/2553	31.30	31.70	31.50	31.20	31.80	31.90
365	11/6/2553	30.40	30.70	31.10	30.20	31.00	31.00
368	14/6/2553	30.80	31.20	31.00	31.00	31.40	31.30
370	16/6/2553	30.60	31.20	31.30	30.50	31.30	31.10
372	18/6/2553	31.10	31.30	31.20	30.90	31.20	31.40
375	21/6/2553	30.60	31.20	31.50	30.50	31.30	31.30
377	23/6/2553	31.30	31.40	31.50	31.20	31.60	31.80

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.13 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.- วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)
118	7/10/2552	3,500	1,680	1,645	52	53
120	9/10/2552	3,500	1,750	1,715	50	51
123	12/10/2552	3,500	1,715	1,610	51	54
125	14/10/2552	3,539	1,628	1,663	54	53
127	16/10/2552	3,521	1,690	1,760	52	50
130	19/10/2552	3,561	1,745	1,709	51	52
132	21/10/2552	3,534	1,661	1,661	53	53
134	23/10/2552	4,321	1,901	1,858	56	57
137	26/10/2552	4,300	2,021	1,935	53	55
139	28/10/2552	4,325	1,946	1,989	55	54
141	30/10/2552	4,309	1,982	1,810	54	58
144	2/11/2552	4,311	1,897	1,940	56	55
146	4/11/2552	4,330	1,862	1,905	57	56
148	6/11/2552	4,370	2,010	1,835	54	58
151	9/11/2552	4,358	1,830	1,874	58	57
153	11/11/2552	5,000	2,100	2,050	58	59
155	13/11/2552	5,021	2,008	1,958	60	61
158	16/11/2552	5,090	2,036	2,087	60	59
160	18/11/2552	5,021	1,958	1,908	61	62
162	20/11/2552	5,060	1,923	1,872	62	63
165	23/11/2552	5,072	1,981	1,978	61	61
167	25/11/2552	5,031	1,912	1,912	62	62
Average		5,042	1,988	1,967	60.60	61.00
N		7	7	7	7	7

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว



ตารางที่ ก.14 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)
168	26/11/2552	6,013	2,345	2,406	61	60
169	27/11/2552	6,098	2,256	2,317	63	62
170	28/11/2552	6,213	2,485	2,299	60	63
171	29/11/2552	6,183	2,350	2,288	62	63
172	30/11/2552	6,093	2,194	2,133	64	65
174	2/12/2552	8,000	2,960	2,800	63	65
176	4/12/2552	8,065	3,145	2,903	61	64
179	7/12/2552	8,120	3,329	3,167	59	61
181	9/12/2552	8,000	3,040	2,960	62	63
183	11/12/2552	8,047	2,977	3,138	63	61
186	14/12/2552	8,031	2,811	3,052	65	62
188	16/12/2552	8,095	3,157	2,996	61	63
190	18/12/2552	8,000	2,960	3,200	63	60
193	21/12/2552	8,150	2,934	2,934	64	64
195	23/12/2552	8,098	2,996	2,834	63	65
197	25/12/2552	10,034	3,411	3,311	66	67
200	28/12/2552	10,121	3,641	3,540	64	65
202	30/12/2552	10,076	3,223	3,525	68	65
207	4/1/2553	10,078	3,627	3,727	64	63
209	6/1/2553	10,184	3,459	3,663	66	64
211	8/1/2553	10,056	3,519	3,418	65	66
214	11/1/2553	10,035	3,713	3,612	63	64
216	13/1/2553	10,112	3,638	3,841	64	62
218	15/1/2553	10,078	3,929	3,929	61	61
221	18/1/2553	10,121	3,945	4,046	61	60
223	20/1/2553	10,144	3,649	3,751	64	63
225	22/1/2553	10,008	3,703	3,903	63	61
Average		10,087	3,621	3,690	64.1	63.3
N		12	12	12	12	12

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.15 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)
227	24/1/2553	12,057	4,220	4,703	65	61
228	25/1/2553	12,114	4,725	4,967	61	59
229	26/1/2553	12,089	4,473	4,353	63	64
230	27/1/2553	12,081	4,591	4,712	62	61
231	28/1/2553	12,094	4,354	4,475	64	63
232	29/1/2553	12,023	4,810	4,329	60	64
235	1/2/2553	12,161	4,629	4,629	62	62
237	3/2/2553	12,074	4,468	4,830	63	60
239	5/2/2553	12,023	4,569	4,449	62	63
242	8/2/2553	14,185	5,390	5,107	62	64
244	10/2/2553	14,031	4,911	5,332	65	62
246	12/2/2553	14,088	5,494	5,635	61	60
249	15/2/2553	14,100	5,358	5,076	62	64
251	17/2/2553	14,011	5,044	5,184	64	63
253	19/2/2553	14,048	5,619	5,338	60	62
256	22/2/2553	14,094	5,779	5,497	59	61
258	24/2/2553	15,131	5,598	6,052	63	60
260	26/2/2553	15,154	6,213	5,607	59	63
263	1/3/2553	15,090	5,432	5,889	64	61
265	3/3/2553	15,120	5,292	5,746	65	62
267	5/3/2553	15,113	5,894	6,045	61	60
270	8/3/2553	15,092	5,433	6,188	64	59
272	10/3/2553	15,136	6,054	5,600	60	63
274	12/3/2553	15,098	6,190	6,039	59	60
277	15/3/2553	15,133	5,902	6,205	61	59
279	17/3/2553	15,121	6,048	5,897	60	61
Average		15,120	5,806	5,927	61.6	60.8
N		10	10	10	10	10

ก คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.16 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.- วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)
281	19/3/2553	17,011	7,315	6,975	57	59
284	22/3/2553	17,121	7,191	7,253	58	57
286	24/3/2553	17,113	7,701	7,701	55	55
288	26/3/2553	17,092	7,521	7,863	56	54
291	29/3/2553	17,059	7,677	7,677	55	55
293	31/3/2553	17,011	8,166	8,336	52	51
295	2/4/2553	17,058	8,018	8,359	53	51
298	5/4/2553	17,101	8,038	8,209	53	52
300	7/4/2553	19,128	9,173	9,373	52	51
302	9/4/2553	19,104	9,743	8,979	54	53
305	12/4/2553	19,008	10,074	9,504	52	50
307	14/4/2553	19,031	9,896	9,896	53	53
309	16/4/2553	19,086	10,688	10,497	49	55
312	19/4/2553	19,059	10,101	10,864	52	54
314	21/4/2553	19,099	10,504	10,695	50	59
316	23/4/2553	20,071	10,850	10,448	59	61
319	26/4/2553	20,103	10,466	10,667	61	60
321	28/4/2553	20,100	11,268	11,469	57	56
323	30/4/2553	20,034	10,829	10,629	59	60
326	3/5/2553	20,085	11,460	11,259	56	57
328	5/5/2553	20,103	11,672	11,672	55	55
330	7/5/2553	20,058	12,046	12,245	53	52
333	10/5/2553	20,110	11,676	12,279	55	52
335	12/5/2553	20,082	11,860	12,061	54	53
Average		20,083	11,347	11,414	56.5	56.20
N		9	9	9	9	9

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.17 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.- วัน ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (S)
354	31/5/2553	20,200	10,518	10,922	61	59
356	2/6/2553	20,135	9,677	9,879	65	64
358	4/6/2553	20,000	9,810	10,210	64	62
361	7/6/2553	20.306	9,763	9,966	65	64
363	9/6/2553	20,183	10,105	9,903	63	64
365	11/6/2553	20,100	10,062	10,263	63	62
368	14/6/2553	20,224	9,772	10,126	65	63
370	16/6/2553	20,093	9,857	9,857	64	64
372	18/6/2553	20,156	9,889	10,293	64	62
375	21/6/2553	20,254	9,737	9,534	65	66
377	23/6/2553	20,183	10,307	9,903	62	64
Average		20,167	10,468	9,950	63.10	63.70
N		11	11	11	11	11

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.18 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
118	7/10/2552	3,500	1,750	1,680	50	52
120	9/10/2552	3,519	1,619	1,583	54	55
123	12/10/2552	3,490	1,710	1,570	51	55
125	14/10/2552	3,539	1,628	1,628	54	54
127	16/10/2552	3,547	1,596	1,703	55	52
130	19/10/2552	3,559	1,673	1,744	53	51
132	21/10/2552	3,534	1,696	1,767	52	50
134	23/10/2552	4,300	1,935	1,978	55	54
137	26/10/2552	4,300	1,806	1,892	58	56
139	28/10/2552	4,378	1,926	1,926	56	56
141	30/10/2552	4,350	2,044	1,870	53	57
144	2/11/2552	4,311	1,854	1,940	57	55
146	4/11/2552	4,390	2,019	2,019	54	54
148	6/11/2552	4,355	1,960	1,873	55	57
151	9/11/2552	4,358	1,917	1,874	56	57
153	11/11/2552	5,000	1,900	1,950	62	61
155	13/11/2552	5,080	1,829	1,778	64	65
158	16/11/2552	5,078	1,727	1,676	66	67
160	18/11/2552	5,021	1,657	1,707	67	66
162	20/11/2552	5,108	1,839	1,788	64	65
165	23/11/2552	5,100	1,836	1,734	64	66
167	25/11/2552	5,076	1,726	1,777	66	65
Average		5,066	1,788	1,773	64.70	65.00
N		7	7	7	7	7

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.19 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
168	26/11/2552	6,000	2,100	2,160	65	64
169	27/11/2552	6,027	2,170	2,109	64	65
170	28/11/2552	6,206	2,110	2,048	66	67
171	29/11/2552	6,103	2,136	1,953	65	68
172	30/11/2552	6,100	2,013	2,074	67	66
174	2/12/2552	8,023	2,728	2,488	66	69
176	4/12/2552	8,071	2,583	2,664	68	67
179	7/12/2552	8,100	2,835	2,754	65	66
181	9/12/2552	8,000	2,720	2,880	66	64
183	11/12/2552	8,060	2,821	2,741	65	66
186	14/12/2552	8,072	2,825	2,664	65	67
188	16/12/2552	8,100	2,754	2,835	66	65
190	18/12/2552	8,000	2,560	2,640	68	67
193	21/12/2552	8,053	2,739	2,577	66	68
195	23/12/2552	8,010	2,564	2,644	68	67
197	25/12/2552	10,000	3,200	3,100	68	69
200	28/12/2552	10,021	3,006	2,906	70	71
202	30/12/2552	10,100	2,929	2,727	71	73
207	4/1/2553	10,034	3,211	3,010	68	70
209	6/1/2553	10,123	3,442	3,138	66	69
211	8/1/2553	10,067	2,919	2,819	71	72
214	11/1/2553	10,000	3,200	3,100	68	69
216	13/1/2553	10,120	3,238	3,441	68	66
218	15/1/2553	10,100	3,535	3,131	65	69
221	18/1/2553	10,121	3,340	3,441	67	66
223	20/1/2553	10,150	3,248	3,349	68	67
225	22/1/2553	10,000	3,200	3,200	68	68
Average		10,070	3,206	3,114	68.2	69.3
N		12	12	12	12	12

ก คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว



ตารางที่ ก.20 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.- วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
227	24/1/2553	12,086	3,988	4,230	67	65
228	25/1/2553	12,100	3,872	3,751	68	69
229	26/1/2553	12,022	4,087	4,328	66	64
230	27/1/2553	12,081	3,987	3,987	67	67
231	28/1/2553	12,100	4,235	4,114	65	66
232	29/1/2553	12,023	4,088	4,208	66	65
235	1/2/2553	12,200	3,904	4,026	68	67
237	3/2/2553	12,100	4,356	4,114	64	66
239	5/2/2553	12,051	4,218	3,977	65	67
242	8/2/2553	14,185	4,823	4,681	66	67
244	10/2/2553	14,056	4,498	4,498	68	68
246	12/2/2553	14,044	4,915	4,775	65	66
249	15/2/2553	14,109	4,656	5,079	67	64
251	17/2/2553	14,011	4,764	5,184	66	63
253	19/2/2553	14,080	4,930	4,787	65	66
256	22/2/2553	14,124	4,661	4,802	67	66
258	24/2/2553	15,179	5,464	5,161	64	66
260	26/2/2553	15,100	4,983	4,983	67	67
263	1/3/2553	15,034	5,262	4,811	65	68
265	3/3/2553	15,100	4,983	5,134	67	66
267	5/3/2553	15,087	5,280	5,431	65	64
270	8/3/2553	14,991	5,097	5,247	66	65
272	10/3/2553	15,107	4,985	4,834	67	68
274	12/3/2553	15,050	5,267	5,117	65	66
277	15/3/2553	15,109	5,137	4,835	66	68
279	17/3/2553	15,121	5,141	4,990	66	67
Average		15,088	5,160	5,054	65.8	66.5
N		10	10	10	10	10

ก คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.21 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
281	19/3/2553	17,000	5,950	6,290	65	63
284	22/3/2553	17,212	6,541	7,057	62	59
286	24/3/2553	17,134	6,854	6,854	60	60
288	26/3/2553	17,057	7,164	6,994	58	64
291	29/3/2553	17,100	6,669	7,182	61	64
293	31/3/2553	17,095	7,009	7,351	59	60
295	2/4/2553	17,108	7,357	7,186	60	62
298	5/4/2553	17,094	7,180	7,522	62	61
300	7/4/2553	19,085	8,779	9,161	63	59.61
302	9/4/2553	19,032	9,326	9,326	64	63
305	12/4/2553	18,938	8,901	9,280	62	62
307	14/4/2553	19,000	9,500	9,690	50	65
309	16/4/2553	19,043	9,712	10,283	61	62
312	19/4/2553	19,057	9,528	10,100	64	62
314	21/4/2553	19,105	10,126	9,935	65	66
316	23/4/2553	20,087	10,055	9,653	63	65
319	26/4/2553	20,205	10,319	10,117	62	63
321	28/4/2553	20,072	10,650	9,847	60	64
323	30/4/2553	20,089	10,056	10,458	63	61
326	3/5/2553	20,106	10,668	10,668	60	60
328	5/5/2553	20,185	10,308	10,712	62	60
330	7/5/2553	20,452	11,063	11,268	59	58
333	10/5/2553	20,168	10,702	11,307	60	57
335	12/5/2553	20,209	10,523	10,725	61	60
Average		20,175	10,873	10,528	61.10	60.9
N		9	9	9	9	9

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.22 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/  
ลบ.ม.- วัน ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)	ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (S)	ถังปฏิกรณ์ที่ 4 (NS)
354	31/5/2553	20,100	10,665	10,665	60	60
356	2/6/2553	20,276	10,965	10,775	59	60
358	4/6/2553	20,098	11,468	10,865	56	59
361	7/6/2553	20,329	11,401	11,401	57	57
363	9/6/2553	20,150	11,095	11,455	58	58
365	11/6/2553	20,000	10,410	10,610	61	60
368	14/6/2553	20,173	11,109	11,310	58	57
370	16/6/2553	20,219	10,933	11,741	59	55
372	18/6/2553	20,200	11,326	11,528	57	56
375	21/6/2553	20,379	11,022	11,634	59	56
377	23/6/2553	20,248	11,151	11,151	58	58
Average		20,198	11,440	11,160	58.40	59.80
N		11	11	11	11	11

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.23 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 10 กก.  
ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)
118	7/10/2552	4,600	4,732	4,700	450	426	423	0.10	0.09	0.09
120	9/10/2552	4,670	4,800	4,850	513	480	485	0.11	0.10	0.10
123	12/10/2552	4,597	4,770	4,810	583	382	337	0.13	0.08	0.07
125	14/10/2552	4,439	4,612	4,597	451	323	368	0.10	0.07	0.08
127	16/10/2552	4,650	4,800	4,780	401	384	382	0.09	0.08	0.08
130	19/10/2552	4,793	4,836	4,821	467	437	386	0.10	0.09	0.08
132	21/10/2552	4,630	4,759	4,815	463	333	337	0.10	0.07	0.07
134	23/10/2552	4,300	4,486	4,553	465	382	388	0.11	0.09	0.09
137	26/10/2552	4,070	4,220	4,331	535	497	417	0.13	0.12	0.10
139	28/10/2552	4,290	4,400	4,359	520	423	466	0.12	0.10	0.11
141	30/10/2552	4,350	4,515	4,593	465	385	391	0.11	0.09	0.09
144	2/11/2552	4,238	4,398	4,351	656	423	466	0.16	0.10	0.11
146	4/11/2552	4,300	4,495	4,500	414	384	384	0.10	0.09	0.09
148	6/11/2552	4,312	4,420	4,539	549	473	387	0.13	0.11	0.09
151	9/11/2552	4,412	4,579	4,550	598	390	388	0.14	0.09	0.09
153	11/11/2552	4,059	4,237	4,198	690	552	505	0.17	0.13	0.12
155	13/11/2552	4,200	4,317	4,285	672	520	474	0.16	0.12	0.11
158	16/11/2552	4,133	4,199	4,220	703	504	548	0.17	0.12	0.13
160	18/11/2552	4,090	4,200	4,170	695	422	418	0.17	0.10	0.10
162	20/11/2552	4,129	4,452	4,210	578	490	422	0.14	0.11	0.10
165	23/11/2552	4,278	4,341	4,368	685	521	481	0.16	0.12	0.11
167	25/11/2552	4,025	4,251	4,113	684	427	413	0.17	0.10	0.10

ตารางที่ ก.24 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 20 กก.  
ซีไอดี/ลบ.ม.-วันที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)
168	26/11/2552	4,073	4,237	4,300	733	550	569	0.18	0.13	0.13
169	27/11/2552	4,197	4,417	4,400	885	458	484	0.21	0.10	0.11
170	28/11/2552	4,100	4,326	4,290	697	520	438	0.17	0.12	0.10
171	29/11/2552	4,000	4,271	4,517	760	513	542	0.19	0.12	0.12
172	30/11/2552	4,254	4,536	4,429	808	415	430	0.19	0.09	0.10
174	2/12/2552	4,002	4,421	4,500	1,121	647	611	0.28	0.15	0.14
176	4/12/2552	3,900	4,270	4,373	1,082	626	549	0.28	0.15	0.13
179	7/12/2552	3,920	4,121	4,300	1,129	648	585	0.29	0.16	0.14
181	9/12/2552	3,946	4,600	4,632	1,376	624	628	0.35	0.14	0.14
183	11/12/2552	4,047	4,631	4,450	1,300	580	558	0.32	0.13	0.13
186	14/12/2552	4,105	4,553	4,200	1,000	523	616	0.24	0.12	0.15
188	16/12/2552	4,167	4,398	4,523	1,142	690	568	0.27	0.16	0.13
190	18/12/2552	4,088	4,462	4,278	990	608	537	0.24	0.14	0.13
193	21/12/2552	4,091	4,535	4,480	1,073	523	520	0.26	0.12	0.12
195	23/12/2552	3,824	4,400	4,615	1,321	512	534	0.35	0.12	0.12
197	25/12/2552	3,987	4,400	4,510	1,700	576	545	0.42	0.13	0.12
200	28/12/2552	3,720	4,525	4,635	1,634	689	654	0.44	0.15	0.14
202	30/12/2552	4,082	4,675	4,399	1,536	509	577	0.37	0.11	0.13
207	4/1/2553	3,841	4,423	4,271	1,582	628	653	0.41	0.14	0.15
209	6/1/2553	3,795	4,560	4,460	1,500	644	681	0.40	0.14	0.15
211	8/1/2553	3,660	4,700	4,761	1,676	567	619	0.46	0.12	0.13
214	11/1/2553	3,948	4,471	4,340	1,700	586	521	0.43	0.13	0.12
216	13/1/2553	3,712	4,790	4,463	1,667	575	590	0.45	0.12	0.13
218	15/1/2553	4,000	4,400	4,338	1,660	626	615	0.42	0.14	0.14
221	18/1/2553	3,844	4,325	4,360	1,700	667	667	0.44	0.15	0.15
223	20/1/2553	3,800	4,415	4,461	1,630	583	535	0.43	0.13	0.12
225	22/1/2553	3,763	4,425	4,233	1,682	530	602	0.45	0.12	0.14

ตารางที่ ก.25 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 30 กก.  
ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)
227	24/1/2553	3,400	4,515	4,293	1,904	772	873	0.56	0.17	0.20
228	25/1/2553	3,200	4,328	4,020	1,920	881	822	0.60	0.20	0.20
229	26/1/2553	3,600	4,414	4,393	1,944	849	804	0.54	0.19	0.18
230	27/1/2553	3,741	4,282	4,179	1,960	780	807	0.52	0.18	0.19
231	28/1/2553	3,413	4,459	4,400	1,877	765	752	0.55	0.17	0.17
232	29/1/2553	3,300	4,290	4,464	1,914	898	720	0.58	0.21	0.16
235	1/2/2553	3,281	4,267	4,283	2,067	783	825	0.63	0.18	0.19
237	3/2/2553	3,396	4,319	4,200	2,037	877	900	0.60	0.20	0.21
239	5/2/2553	3,548	4,300	4,381	1,990	920	890	0.56	0.21	0.20
242	8/2/2553	2,998	4,240	4,498	2,218	806	809	0.74	0.19	0.18
244	10/2/2553	3,250	4,470	4,315	2,015	800	820	0.62	0.18	0.19
246	12/2/2553	2,632	4,200	4,150	2,368	840	830	0.90	0.20	0.20
249	15/2/2553	2,852	4,196	4,393	2,200	881	792	0.77	0.21	0.18
251	17/2/2553	2,798	4,404	4,457	2,350	792	847	0.84	0.18	0.19
253	19/2/2553	2,700	4,328	4,290	2,403	865	815	0.89	0.20	0.19
256	22/2/2553	2,900	4,209	4,335	2,291	841	824	0.79	0.20	0.19
258	24/2/2553	2,315	4,459	4,328	2,130	806	870	0.92	0.18	0.20
260	26/2/2553	2,517	4,340	4,153	2,089	868	706	0.83	0.20	0.17
263	1/3/2553	2,400	4,268	4,110	2,184	811	822	0.91	0.19	0.20
265	3/3/2553	2,415	4,430	4,518	2,221	797	813	0.92	0.18	0.18
267	5/3/2553	2,865	4,150	4,509	2,579	871	852	0.90	0.21	0.21
270	8/3/2553	2,500	4,039	4,010	2,325	700	802	0.93	0.17	0.20
272	10/3/2553	2,709	4,368	4,315	2,438	874	735	0.90	0.20	0.17
274	12/3/2553	2,600	4,418	4,210	2,314	840	800	0.89	0.19	0.19
277	15/3/2553	2,690	4,104	4,024	2,367	780	808	0.88	0.19	0.20
279	17/3/2553	2,600	4,328	4,208	2,288	779	757	0.88	0.18	0.18



ตารางที่ ก.26 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.  
ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)
281	19/3/2553	2,627	4,120	4,241	2,620	865	848	1.00	0.21	0.20
284	22/3/2553	2,303	4,095	4,145	2,648	860	913	1.15	0.21	0.22
286	24/3/2553	2,145	3,874	3,913	2,460	891	939	1.15	0.23	0.24
288	26/3/2553	2,490	3,800	3,781	2,565	912	909	1.03	0.24	0.24
291	29/3/2553	2,280	3,918	3,900	2,508	901	898	1.10	0.23	0.23
293	31/3/2553	2,342	3,853	3,795	2,530	963	948	1.08	0.25	0.25
295	2/4/2553	2,199	3,926	3,813	2,463	942	953	1.12	0.24	0.25
298	5/4/2553	2,317	3,794	3,750	2,549	913	900	1.10	0.24	0.24
300	7/4/2553	2,125	3,874	3,742	2,550	852	823	1.20	0.22	0.22
302	9/4/2553	1,984	3,720	3,800	2,382	930	798	1.20	0.25	0.21
305	12/4/2553	1,874	3,500	3,710	2,305	980	965	1.23	0.28	0.26
307	14/4/2553	1,951	3,739	3,650	2,400	1,000	986	1.23	0.27	0.27
309	16/4/2553	2,097	3,452	3,581	2,536	1,035	1,038	1.21	0.30	0.29
312	19/4/2553	2,100	3,500	3,428	2,478	980	994	1.18	0.28	0.29
314	21/4/2553	2,000	3,400	3,526	2,420	986	987	1.21	0.29	0.28
316	23/4/2553	1,885	3,392	3,532	2,356	1,085	1,095	1.25	0.32	0.31
319	26/4/2553	1,781	3,564	3,491	2,404	1,069	1,082	1.35	0.30	0.31
321	28/4/2553	1,854	3,422	3,385	2,410	1,129	1,117	1.30	0.33	0.33
323	30/4/2553	1,750	3,410	3,568	2,240	1,023	1,035	1.28	0.30	0.29
326	3/5/2553	1,652	3,225	3,310	2,330	1,032	1,026	1.41	0.32	0.31
328	5/5/2553	1,800	3,100	3,243	2,470	1,020	1,038	1.37	0.33	0.32
330	7/5/2553	1,749	2,920	3,000	2,256	1,168	1,170	1.29	0.40	0.39
333	10/5/2553	1,693	2,899	3,081	2,404	1,014	1,078	1.42	0.35	0.35
335	12/5/2553	1,760	3,000	3,130	2,411	1,080	1,158	1.37	0.36	0.37

ตารางที่ ก.27 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.  
ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1 (NS)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2 (S)
354	31/5/2553	1,916	3,720	3,839	2,433	967	998	1.27	0.26	0.26
356	2/6/2553	1,802	4,210	4,321	2,415	800	821	1.34	0.19	0.19
358	4/6/2553	1,898	3,915	4,186	2,354	783	921	1.24	0.20	0.22
361	7/6/2553	1,866	4,300	4,200	2,592	774	754	1.39	0.18	0.18
363	9/6/2553	1,742	4,021	4,010	2,300	925	801	1.32	0.23	0.20
365	11/6/2553	1,750	4,148	4,000	2,397	871	879	1.37	0.21	0.22
368	14/6/2553	1,782	4,266	4,289	2,495	768	815	1.40	0.18	0.19
370	16/6/2553	1,833	4,075	4,378	2,420	815	832	1.32	0.20	0.19
372	18/6/2553	1,818	4,152	4,121	2,363	789	948	1.30	0.19	0.23
375	21/6/2553	1,812	4,163	4,344	2,537	791	782	1.40	0.19	0.18
377	23/6/2553	1,765	4,104	4,000	2,400	985	800	1.36	0.24	0.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.28 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 10 กก.  
ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)
118	7/10/2552	4,425	4,630	4,731	575	485	426	0.13	0.10	0.09
120	9/10/2552	4,500	4,632	4,700	450	397	376	0.10	0.09	0.08
123	12/10/2552	4,728	4,978	4,975	426	389	349	0.09	0.07	0.07
125	14/10/2552	4,398	4,560	4,600	440	365	368	0.10	0.08	0.08
127	16/10/2552	4,624	4,819	4,798	416	338	335	0.09	0.07	0.07
130	19/10/2552	4,631	4,700	4,700	463	329	329	0.10	0.07	0.07
132	21/10/2552	4,580	4,800	4,731	465	384	425	0.10	0.08	0.09
134	23/10/2552	4,071	4,187	4,212	598	395	397	0.15	0.09	0.09
137	26/10/2552	4,393	4,512	4,498	460	329	423	0.11	0.07	0.09
139	28/10/2552	4,457	4,600	4,592	605	384	383	0.14	0.08	0.08
141	30/10/2552	4,521	4,600	4,656	424	384	385	0.10	0.08	0.08
144	2/11/2552	4,397	4,475	4,500	598	421	471	0.14	0.09	0.10
146	4/11/2552	4,170	4,310	4,437	656	451	464	0.16	0.10	0.10
148	6/11/2552	4,300	4,512	4,615	540	424	385	0.13	0.09	0.08
151	9/11/2552	4,398	4,610	4,600	506	385	432	0.12	0.08	0.09
153	11/11/2552	4,262	4,400	4,500	600	515	517	0.14	0.12	0.12
155	13/11/2552	4,075	4,400	4,529	625	506	520	0.15	0.12	0.12
158	16/11/2552	4,300	4,575	4,698	645	497	392	0.15	0.11	0.09
160	18/11/2552	4,228	4,762	4,621	592	370	386	0.14	0.09	0.09
162	20/11/2552	4,150	4,450	4,500	775	467	472	0.19	0.11	0.11
165	23/11/2552	4,257	4,500	4,737	724	423	395	0.17	0.10	0.09
167	25/11/2552	4,103	4,697	4,637	574	441	486	0.14	0.10	0.11

ตารางที่ ก.29 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 20 กก.  
ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)
168	26/11/2552	4,159	4,591	4,612	873	505	507	0.21	0.11	0.11
169	27/11/2552	4,350	4,620	4,730	696	462	426	0.16	0.10	0.09
170	28/11/2552	4,295	4,600	4,700	773	506	423	0.18	0.11	0.09
171	29/11/2552	4,200	4,592	4,854	630	551	388	0.15	0.12	0.08
172	30/11/2552	4,320	4,912	4,732	821	442	473	0.19	0.09	0.10
174	2/12/2552	4,123	4,672	4,600	1,208	597	490	0.29	0.13	0.11
176	4/12/2552	3,850	4,717	4,700	1,102	552	550	0.29	0.12	0.12
179	7/12/2552	4,200	4,550	4,690	1,154	631	599	0.28	0.14	0.13
181	9/12/2552	4,175	4,800	4,532	1,391	459	628	0.33	0.10	0.14
183	11/12/2552	3,975	4,621	4,600	1,190	591	490	0.30	0.13	0.11
186	14/12/2552	4,105	4,579	4,700	1,177	537	400	0.29	0.12	0.09
188	16/12/2552	3,980	4,748	4,700	1,112	454	550	0.28	0.10	0.12
190	18/12/2552	4,000	4,930	4,890	1,200	418	415	0.30	0.09	0.09
193	21/12/2552	3,897	4,637	4,931	1,180	444	419	0.30	0.10	0.09
195	23/12/2552	4,100	5,014	4,956	1,135	478	473	0.28	0.10	0.10
197	25/12/2552	4,100	5,021	5,121	1,600	596	497	0.39	0.12	0.10
200	28/12/2552	3,798	5,000	5,000	1,736	486	432	0.46	0.10	0.09
202	30/12/2552	4,100	4,900	5,200	1,600	424	448	0.39	0.09	0.09
207	4/1/2553	3,975	4,800	4,998	1,568	520	486	0.39	0.11	0.10
209	6/1/2553	3,640	4,781	4,871	1,690	674	580	0.46	0.14	0.12
211	8/1/2553	3,800	5,150	5,200	1,662	475	504	0.44	0.10	0.10
214	11/1/2553	3,900	4,900	5,021	1,772	477	488	0.45	0.10	0.10
216	13/1/2553	4,350	4,700	4,789	1,558	408	623	0.36	0.09	0.13
218	15/1/2553	4,000	4,807	4,921	1,760	625	532	0.44	0.13	0.11
221	18/1/2553	3,375	5,125	4,900	1,590	600	625	0.47	0.12	0.13
223	20/1/2553	3,698	4,913	4,809	1,623	531	521	0.44	0.11	0.11
225	22/1/2553	3,510	4,700	4,800	1,500	500	500	0.43	0.11	0.11

ตารางที่ ก.30 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 30 กก.  
ซีโอดี/ลบ.ม.-วันที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)
227	24/1/2553	3,410	4,800	4,720	1,909	700	738	0.56	0.15	0.16
228	25/1/2553	3,210	4,907	4,900	2,022	664	663	0.63	0.14	0.14
229	26/1/2553	3,419	4,700	4,615	2,051	784	819	0.60	0.17	0.18
230	27/1/2553	3,720	4,697	4,700	2,009	735	735	0.54	0.16	0.16
231	28/1/2553	3,500	4,409	4,592	1,925	830	910	0.55	0.19	0.20
232	29/1/2553	3,297	4,523	4,400	2,275	803	782	0.69	0.18	0.18
235	1/2/2553	3,605	4,600	4,693	1,947	624	685	0.54	0.14	0.15
237	3/2/2553	3,400	4,521	4,500	2,074	850	705	0.61	0.19	0.16
239	5/2/2553	3,518	4,657	4,730	1,970	826	789	0.56	0.18	0.17
242	8/2/2553	3,100	4,520	4,621	2,356	768	785	0.76	0.17	0.17
244	10/2/2553	3,213	4,700	4,798	2,217	752	767	0.69	0.16	0.16
246	12/2/2553	2,940	4,420	4,600	2,646	839	830	0.90	0.19	0.18
249	15/2/2553	2,815	4,810	4,550	2,449	770	867	0.87	0.16	0.19
251	17/2/2553	3,070	4,400	4,300	2,517	748	817	0.82	0.17	0.19
253	19/2/2553	2,875	4,515	4,557	2,616	812	780	0.91	0.18	0.17
256	22/2/2553	3,100	4,610	4,720	2,418	790	802	0.78	0.17	0.17
258	24/2/2553	2,300	4,200	4,400	2,116	714	748	0.92	0.17	0.17
260	26/2/2553	2,200	4,610	4,670	1,850	831	745	0.84	0.18	0.16
263	1/3/2553	2,430	4,521	4,811	2,259	860	770	0.93	0.19	0.16
265	3/3/2553	2,396	4,717	4,790	2,180	850	862	0.91	0.18	0.18
267	5/3/2553	2,698	4,600	4,817	2,428	874	898	0.90	0.19	0.19
270	8/3/2553	2,805	4,839	4,798	2,525	823	817	0.90	0.17	0.17
272	10/3/2553	2,675	4,900	4,900	2,525	784	784	0.94	0.16	0.16
274	12/3/2553	2,550	4,579	4,707	2,275	870	846	0.89	0.19	0.18
277	15/3/2553	2,713	4,700	4,860	2,387	790	780	0.88	0.17	0.16
279	17/3/2553	2,525	4,820	4,890	2,197	864	832	0.87	0.18	0.17

ตารางที่ ก.31 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.  
ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)
281	19/3/2553	2,500	4,525	4,396	2,575	860	835	1.03	0.19	0.19
284	22/3/2553	2,327	4,369	4,200	2,653	879	882	1.14	0.20	0.21
286	24/3/2553	2,250	4,400	4,412	2,678	929	883	1.19	0.21	0.20
288	26/3/2553	2,405	4,121	4,090	2,597	907	861	1.08	0.22	0.21
291	29/3/2553	2,467	4,257	4,000	2,516	852	880	1.02	0.20	0.22
293	31/3/2553	2,249	4,100	4,000	2,429	861	890	1.08	0.21	0.22
295	2/4/2553	2,300	3,975	4,153	2,323	875	913	1.01	0.22	0.22
298	5/4/2553	2,158	4,000	3,910	2,589	842	901	1.20	0.21	0.23
300	7/4/2553	2,117	4,000	3,950	2,561	815	800	1.21	0.20	0.20
302	9/4/2553	2,056	3,951	3,950	2,550	871	830	1.24	0.22	0.21
305	12/4/2553	1,917	3,810	3,740	2,300	800	815	1.20	0.20	0.22
307	14/4/2553	2,043	3,951	3,700	2,513	920	890	1.23	0.23	0.24
309	16/4/2553	1,864	3,769	3,659	2,260	904	955	1.21	0.24	0.26
312	19/4/2553	2,021	3,912	3,784	2,405	800	948	1.19	0.20	0.25
314	21/4/2553	1,959	3,800	3,890	2,390	880	935	1.22	0.23	0.24
316	23/4/2553	1,944	3,900	3,840	2,410	936	922	1.24	0.24	0.24
319	26/4/2553	1,833	3,823	3,715	2,420	956	931	1.32	0.25	0.25
321	28/4/2553	1,811	3,610	3,759	2,336	939	910	1.29	0.26	0.24
323	30/4/2553	1,847	3,945	3,605	2,401	910	937	1.30	0.22	0.26
326	3/5/2553	1,785	3,580	3,500	2,410	967	945	1.35	0.27	0.27
328	5/5/2553	1,826	3,750	3,498	2,340	938	945	1.28	0.25	0.27
330	7/5/2553	1,697	3,495	3,500	2,307	1,048	1,085	1.36	0.30	0.31
333	10/5/2553	1,791	3,617	3,391	2,500	1,049	1,085	1.40	0.29	0.32
335	12/5/2553	1,779	3,710	3,612	2,490	1,039	1,047	1.40	0.28	0.29



ตารางที่ ก.32 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยช่วงอัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.  
ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)			กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)			กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
		น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)	น้ำเข้า	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3 (S)	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4 (NS)
354	31/5/2553	1,910	3,603	3,644	2,387	1,045	1,057	1.25	0.29	0.29
356	2/6/2553	1,834	3,548	3,427	2,512	1,100	1,028	1.37	0.31	0.30
358	4/6/2553	1,928	3,385	3,571	2,410	1,185	1,000	1.25	0.35	0.28
361	7/6/2553	1,860	3,424	3,494	2,473	1,130	1,153	1.33	0.33	0.33
363	9/6/2553	1,839	3,810	3,467	2,390	1,143	1,040	1.30	0.30	0.30
365	11/6/2553	1,882	3,340	3,571	2,428	1,000	1,000	1.29	0.30	0.28
368	14/6/2553	1,815	3,300	3,250	2,541	1,100	1,105	1.40	0.33	0.34
370	16/6/2553	1,803	3,309	3,333	2,398	1,092	1,200	1.33	0.33	0.36
372	18/6/2553	1,902	3,254	3,520	2,435	1,139	1,197	1.28	0.35	0.34
375	21/6/2553	1,815	3,577	3,558	2,523	1,073	1,174	1.39	0.30	0.33
377	23/6/2553	1,778	3,500	3,693	2,400	1,120	1,108	1.35	0.32	0.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.33 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพช่วงเริ่มเดินระบบ

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
118	7/10/2552	22.50	22.93	22.00	21.20
119	8/10/2552	23.50	24.33	21.62	22.15
120	9/10/2552	23.10	23.61	22.26	23.21
121	10/10/2552	23.75	23.97	23.37	24.38
122	11/10/2552	24.55	25.84	23.85	24.32
123	12/10/2552	25.00	24.70	25.44	24.65
124	13/10/2552	25.70	25.53	26.00	25.33
125	14/10/2552	25.25	26.05	26.34	25.86
126	15/10/2552	24.90	26.40	25.70	25.55
127	16/10/2552	25.85	25.75	26.45	26.50
128	17/10/2552	26.25	27.30	27.00	26.82
129	18/10/2552	26.30	27.13	27.10	27.22
130	19/10/2552	27.45	27.00	27.38	27.43
131	20/10/2552	27.40	27.24	27.24	27.50
132	21/10/2552	27.00	27.50	27.30	27.30
133	22/10/2552	27.20	27.30	27.56	27.50
134	23/10/2552	30.00	30.32	30.26	30.95
135	24/10/2552	30.55	30.73	31.11	31.32
136	25/10/2552	31.55	30.63	31.69	31.69
137	26/10/2552	30.90	31.20	31.96	31.91
138	27/10/2552	31.90	32.08	32.44	32.54
139	28/10/2552	32.65	33.18	31.80	33.39
140	29/10/2552	32.50	31.72	34.82	33.50
141	30/10/2552	33.05	34.00	35.03	34.40
142	31/10/2552	34.45	34.89	35.51	35.25
143	1/11/2552	35.60	35.57	36.41	35.56
144	2/11/2552	36.25	35.93	36.31	35.72
145	3/11/2552	35.90	36.80	36.62	36.25
ค่าเฉลี่ย		-	-	-	-
N		-	-	-	-

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.33 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพช่วงเริ่มเดินระบบ (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
146	4/11/2552	36.50	36.40	37.58	36.94
147	5/11/2552	37.40	36.97	37.42	37.10
148	6/11/2552	37.05	37.39	37.05	37.21
149	7/11/2552	36.95	37.13	37.26	37.47
150	8/11/2552	37.25	37.44	37.42	37.42
151	9/11/2552	37.95	37.28	37.10	37.52
152	10/11/2552	37.50	37.39	37.63	37.47
ค่าเฉลี่ย		34.52	34.58	35.02	34.93
N		19	19	19	19

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.34 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
153	11/11/2552	42.15	42.34	44.20	42.40
154	12/11/2552	42.30	43.20	44.00	44.52
155	13/11/2552	42.95	44.84	47.75	47.65
156	14/11/2552	48.40	47.11	47.64	48.99
157	15/11/2552	48.25	49.48	51.30	52.94
158	16/11/2552	48.90	49.90	52.30	52.76
159	17/11/2552	51.45	50.70	53.21	53.54
160	18/11/2552	51.80	51.43	56.00	57.30
161	19/11/2552	51.95	51.84	55.84	57.36
162	20/11/2552	52.65	52.10	56.00	59.26
163	21/11/2552	52.70	52.42	59.30	60.69
164	22/11/2552	52.85	52.83	60.57	60.21
165	23/11/2552	52.80	52.99	60.68	60.79
166	24/11/2552	52.85	52.88	60.89	60.42
167	25/11/2552	52.75	52.78	60.46	60.69
ค่าเฉลี่ย		49.66	49.80	54.00	54.63
N		15	15	15	15

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.35 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันที่  
ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
168	26/11/2552	55.10	54.81	63.55	63.86
169	27/11/2552	55.95	56.16	63.60	64.13
170	28/11/2552	58.45	57.20	64.40	64.61
171	29/11/2552	62.55	61.62	65.77	66.04
172	30/11/2552	62.35	62.09	66.09	66.20
173	1/12/2552	62.30	62.40	66.30	66.46
174	2/12/2552	65.10	65.47	68.37	68.63
175	3/12/2552	64.95	65.68	69.74	68.90
176	4/12/2552	65.40	66.71	71.50	71.44
177	5/12/2552	64.80	67.55	71.97	72.29
178	6/12/2552	65.90	68.48	72.82	73.03
179	7/12/2552	67.00	68.80	72.40	73.62
180	8/12/2552	67.55	68.17	73.19	74.04
181	9/12/2552	68.30	69.06	73.98	73.72
182	10/12/2552	67.85	69.73	73.72	74.20
183	11/12/2552	68.25	70.61	74.73	75.42
184	12/12/2552	69.40	70.41	75.58	76.90
185	13/12/2552	69.95	71.18	76.27	77.43
186	14/12/2552	72.40	71.97	76.53	78.17
187	15/12/2552	72.75	72.64	77.38	78.76
188	16/12/2552	75.10	73.58	78.49	79.44
189	17/12/2552	75.85	74.62	79.50	80.24
190	18/12/2552	77.30	76.70	81.94	81.99
191	19/12/2552	77.90	77.43	83.37	83.95
192	20/12/2552	80.15	78.57	84.69	85.33
193	21/12/2552	81.25	79.71	85.91	86.61
194	22/12/2552	82.10	81.01	86.44	86.97
195	23/12/2552	82.55	82.21	86.60	86.76
196	24/12/2552	82.30	82.63	86.23	86.39
197	25/12/2552	85.95	85.16	91.16	94.40
ค่าเฉลี่ย		-	-	-	-
N		-	-	-	-

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.35 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน  
ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม. (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
198	26/12/2552	88.35	85.78	115.40	116.60
199	27/12/2552	94.25	91.87	123.16	121.90
200	28/12/2552	103.40	103.00	123.30	125.20
201	29/12/2552	107.75	105.96	125.09	125.50
202	30/12/2552	108.95	108.20	127.75	127.20
203	31/12/2552	110.25	110.10	130.16	130.80
204	1/1/2553	111.85	112.62	130.35	132.29
205	2/1/2553	113.50	113.24	129.73	130.06
206	3/1/2553	113.65	113.18	132.21	132.02
207	4/1/2553	115.40	115.84	132.76	134.14
209	6/1/2553	117.75	117.60	133.81	133.45
210	7/1/2553	118.20	118.74	135.54	134.51
211	8/1/2553	119.40	120.73	134.94	136.89
212	9/1/2553	120.75	120.35	134.21	134.88
213	10/1/2553	121.45	121.77	134.73	135.52
214	11/1/2553	123.25	122.14	134.91	134.67
215	12/1/2553	123.85	122.76	133.54	135.26
216	13/1/2553	124.70	123.49	134.16	135.89
217	14/1/2553	125.95	125.26	135.12	136.21
218	15/1/2553	126.60	125.82	135.43	135.31
219	16/1/2553	126.95	125.98	135.17	134.63
220	17/1/2553	126.80	125.09	135.02	135.09
221	18/1/2553	126.65	125.62	135.17	135.47
222	19/1/2553	126.45	125.83	135.44	135.20
223	20/1/2553	126.50	126.36	135.76	135.57
224	21/1/2553	126.35	126.67	135.81	135.89
225	22/1/2553	126.10	126.88	135.43	135.63
226	23/1/2553	126.45	126.26	135.17	135.47
ค่าเฉลี่ย		116.82	116.31	130.79	131.37
N		30	30	30	30

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.36 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
227	24/1/2553	128.25	127.45	137.80	136.74
228	25/1/2553	129.10	128.96	138.60	137.59
229	26/1/2553	130.45	129.48	140.19	139.44
230	27/1/2553	130.90	130.62	140.61	140.77
231	28/1/2553	131.30	131.72	141.35	141.51
232	29/1/2553	132.25	132.55	143.10	142.36
233	30/1/2553	132.85	132.91	145.01	145.54
234	31/1/2553	133.35	133.80	148.40	147.39
235	1/2/2553	133.70	132.34	147.55	147.87
236	2/2/2553	133.95	132.60	148.29	149.51
237	3/2/2553	133.80	133.28	149.25	150.31
238	4/2/2553	133.75	133.69	150.26	150.84
239	5/2/2553	133.40	133.90	150.89	150.94
240	6/2/2553	133.45	133.59	150.63	150.36
241	7/2/2553	133.20	133.17	150.47	150.63
242	8/2/2553	135.40	136.39	152.38	153.12
243	9/2/2553	137.75	137.96	153.75	154.34
244	10/2/2553	138.95	139.41	155.60	156.83
245	11/2/2553	140.10	140.30	156.46	158.05
246	12/2/2553	141.50	142.79	159.53	159.84
247	13/2/2553	143.35	143.47	161.97	162.07
248	14/2/2553	145.60	144.66	163.13	162.82
249	15/2/2553	147.85	146.38	163.72	164.04
250	16/2/2553	148.20	147.73	164.25	165.57
251	17/2/2553	149.30	148.41	166.16	167.10
252	18/2/2553	149.75	149.14	166.89	167.63
253	19/2/2553	149.90	149.45	167.27	167.80
254	20/2/2553	149.65	149.86	167.63	167.96
ค่าเฉลี่ย		-	-	-	-
N		-	-	-	-

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว



ตารางที่ ก.36 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน  
ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม. (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
255	21/2/2553	149.40	149.81	167.90	167.74
256	22/2/2553	149.80	149.66	167.69	167.63
257	23/2/2553	149.35	149.50	167.58	167.69
258	24/2/2553	155.55	152.76	169.60	170.34
259	25/2/2553	158.70	155.68	178.61	179.28
260	26/2/2553	161.60	159.38	180.11	180.09
261	27/2/2553	162.15	161.45	182.06	183.35
262	28/2/2553	162.90	162.03	184.33	184.05
263	1/3/2553	164.30	163.90	185.02	185.96
264	2/3/2553	165.75	164.94	185.44	186.22
265	3/3/2553	165.45	164.62	185.14	186.80
266	4/3/2553	165.80	164.14	186.20	187.39
267	5/3/2553	166.70	165.57	187.10	187.76
268	6/3/2553	166.45	165.35	188.29	188.45
269	7/3/2553	166.95	166.71	189.26	189.03
270	8/3/2553	167.30	166.18	189.37	189.88
271	9/3/2553	167.65	168.16	189.74	190.57
272	10/3/2553	167.90	167.53	190.48	191.10
273	11/3/2553	168.35	167.39	190.44	191.31
274	12/3/2553	168.45	167.54	191.28	191.63
275	13/3/2553	168.95	168.27	190.80	190.73
276	14/3/2553	168.80	168.53	191.38	191.46
277	15/3/2553	168.55	168.90	191.70	191.79
278	16/3/2553	168.65	168.45	191.81	191.94
279	17/3/2553	168.40	168.63	191.75	191.31
280	18/3/2553	168.55	168.35	191.54	191.36
ค่าเฉลี่ย		165.90	164.98	187.47	187.02
N		23	23	23	23

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.37 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วันที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
281	19/3/2553	169.40	169.73	191.54	191.33
282	20/3/2553	169.15	169.78	192.18	191.60
283	21/3/2553	168.90	169.57	191.33	192.18
284	22/3/2553	168.75	168.64	190.48	191.75
285	23/3/2553	168.30	167.49	189.53	190.80
286	24/3/2553	167.80	167.13	187.20	187.93
287	25/3/2553	167.95	166.40	186.03	186.61
288	26/3/2553	166.70	165.67	184.76	185.50
289	27/3/2553	166.15	165.83	183.65	184.76
290	28/3/2553	164.50	165.00	181.47	182.27
291	29/3/2553	163.45	164.37	181.26	181.31
292	30/3/2553	161.20	163.75	179.46	180.73
293	31/3/2553	169.75	172.40	188.24	189.45
294	1/4/2553	169.30	170.11	187.07	188.02
295	2/4/2553	168.80	169.28	187.50	186.97
296	3/4/2553	168.60	168.13	186.80	186.01
297	4/4/2553	168.75	168.76	186.59	186.54
298	5/4/2553	168.45	168.34	186.70	186.59
299	6/4/2553	168.65	168.55	186.75	186.80
300	7/4/2553	168.60	168.76	186.80	187.87
301	8/4/2553	168.35	168.50	187.58	187.44
302	9/4/2553	165.80	166.62	187.27	186.76
303	10/4/2553	161.45	162.15	186.80	185.75
304	11/4/2553	159.70	160.07	183.73	183.36
305	12/4/2553	157.55	158.89	181.91	180.34
306	13/4/2553	156.65	156.95	179.60	179.34
307	14/4/2553	153.10	153.78	176.47	176.74
308	15/4/2553	152.35	152.53	175.41	175.68
ค่าเฉลี่ย		-	-	-	-
N		-	-	-	-

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.37 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม. (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
309	16/4/2553	160.55	171.86	194.30	195.04
310	17/4/2553	169.20	170.19	193.56	194.14
311	18/4/2553	168.65	179.41	193.24	193.51
312	19/4/2553	168.30	168.89	193.19	193.71
313	20/4/2553	168.15	168.58	193.40	193.35
314	21/4/2553	168.40	168.48	193.29	193.56
315	22/4/2553	168.55	168.42	193.35	193.61
316	23/4/2553	178.75	178.68	203.51	203.47
317	24/4/2553	179.15	178.89	203.08	202.63
318	25/4/2553	178.50	178.37	201.65	200.46
319	26/4/2553	174.65	174.47	197.64	196.04
320	27/4/2553	170.20	169.89	193.89	192.44
321	28/4/2553	167.80	166.98	190.70	188.51
322	29/4/2553	163.95	163.44	188.84	187.40
323	30/4/2553	160.65	160.38	187.40	186.29
324	1/5/2553	158.45	157.82	186.66	185.49
325	2/5/2553	167.90	157.31	185.07	184.17
326	3/5/2553	157.70	156.43	184.22	183.05
327	4/5/2553	166.95	156.01	184.00	182.63
328	5/5/2553	156.80	156.22	183.58	182.21
329	6/5/2553	156.65	156.38	182.74	182.52
330	7/5/2553	156.70	156.12	182.48	182.25
331	8/5/2553	156.45	156.43	182.64	182.41
332	9/5/2553	156.25	156.58	182.21	182.09
333	10/5/2553	156.40	156.42	182.11	182.31
334	11/5/2553	156.55	156.53	182.32	182.36
335	12/5/2553	156.50	156.48	182.48	182.25
ค่าเฉลี่ย		162.847	162.500	188.361	187.549
N		20	20	20	20

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.38 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 และ 6 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ลิตรต่อวัน)			
		ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.		ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.	
		ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
355	1/6/2553	190.70	191.38	210.61	209.81
356	2/6/2553	195.95	195.27	209.77	210.28
357	3/6/2553	197.70	197.13	210.81	209.44
358	4/6/2553	202.55	203.07	209.55	209.01
359	5/6/2553	206.65	206.92	209.23	209.25
360	6/6/2553	209.30	210.14	208.91	208.22
361	7/6/2553	211.00	211.34	208.54	208.48
362	8/6/2553	212.55	212.90	208.22	207.10
363	9/6/2553	213.00	213.47	207.80	207.32
364	10/6/2553	213.60	213.63	207.32	207.73
365	11/6/2553	213.95	213.99	206.90	206.04
366	12/6/2553	214.80	214.51	207.53	206.99
367	13/6/2553	214.55	215.29	206.10	205.20
368	14/6/2553	215.32	215.65	206.63	204.99
369	15/6/2553	216.50	216.70	205.94	204.78
370	16/6/2553	216.35	217.58	205.78	204.14
371	17/6/2553	217.60	218.46	204.30	203.88
372	18/6/2553	218.85	218.98	204.51	203.72
373	19/6/2553	218.25	218.88	203.67	203.45
374	20/6/2553	218.55	218.67	203.77	203.77
375	21/6/2553	218.65	218.41	203.56	203.98
376	22/6/2553	218.40	218.62	203.45	203.66
377	23/6/2553	218.50	218.36	203.61	203.72
ค่าเฉลี่ย		210.853	211.223	206.940	206.475
N		24	24	24	24

n คือจำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.39 แสดงค่าไออาร์พี

วัน/เดือน/ ปี	ไออาร์พี(มิลลิโวลต์)				วัน/เดือน/ปี	ไออาร์พี(มิลลิโวลต์)			
	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4		ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4
	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก		น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก
12/6/2552	-310.5	-317.4	-311.8	-315.4	28/8/2552	-379.7	-379.0	-403.2	-403.0
15/6/2552	-327.2	-324.6	-327.8	-325.9	31/8/2552	-370.8	-368.5	-404.8	-400.0
17/6/2552	-327.0	-330.1	-326.9	-324.5	2/9/2552	-357.7	-354.2	-376.8	-370.7
19/6/2552	-360.5	-331.6	-344.6	-345.5	4/9/2552	-351.2	-365.0	-382.8	-390.0
22/6/2552	-436.0	-322.9	-364.2	-362.6	7/9/2552	-364.3	-360.6	-404.7	-392.6
24/6/2552	-427.6	-327.1	-390.3	-340.1	9/9/2552	-371.9	-369.4	-390.8	-391.3
26/6/2552	-452.7	-327.9	-394.2	-390.4	11/9/2552	-358.8	-355.7	-397.8	-395.5
29/6/2552	-361.1	-344.8	-378.7	-379.2	14/9/2552	-326.2	-330.4	-362.9	-364.2
1/7/2552	-341.4	-352.7	-399.4	-401.2	16/9/2552	-319.7	-320.1	-351.9	-355.0
3/7/2552	-328.2	-350.8	-391.8	-390.6	18/9/2552	-332.7	-335.9	-355.0	-346.2
6/7/2552	-354.5	-341.2	-375.7	-370.3	21/9/2552	-326.5	-325.7	-350.0	-348.1
8/7/2552	-367.6	-336.9	-397.8	-392.7	23/9/2552	-319.9	-321.4	-321.3	-330.7
10/7/2552	-347.9	-369.8	-399.4	-395.7	25/9/2552	-313.4	-317.5	-314.5	-310.3
13/7/2552	-361.1	-361.2	-401.1	-400.0	28/9/2552	-306.9	-300.7	-335.0	-337.0
15/7/2552	-354.3	-340.8	-404.7	-402.5	30/9/2552	-315.3	-312.6	-333.5	-335.6
17/7/2552	-341.4	-338.3	-375.2	-377.5	2/10/2552	-308.8	-309.9	-314.9	-312.8
20/7/2552	-367.7	-335.6	-389.9	-387.9	5/10/2552	-316.1	-310.7	-301.6	-300.0
22/7/2552	-341.8	-407.9	-405.6	-406.4	7/10/2552	-335.4	-332.7	-320.9	-340.6
24/7/2552	-347.6	-365.7	-404.7	-403.7	9/10/2552	-322.6	-320.9	-346.6	-345.6
27/7/2552	-341.0	-386.8	-397.3	-399.1	12/10/2552	-329.0	-331.0	-328.3	-327.5
29/7/2552	-366.6	-358.6	-395.0	-402.0	14/10/2552	-360.7	-362.3	-344.8	-365.0
31/7/2552	-361.1	-359.2	-406.2	-405.0	16/10/2552	-347.3	-345.0	-353.0	-360.2
3/8/2552	-400.5	-390.5	-404.8	-405.1	19/10/2552	-340.6	-347.4	-340.1	-345.5
5/8/2552	-380.8	-387.9	-402.4	-403.8	21/10/2552	-352.9	-376.0	-333.7	-330.9
7/8/2552	-393.9	-390.2	-404.7	-405.3	23/10/2552	-375	-370.8	-353.0	-367.3
10/8/2552	-382.2	-375.4	-401.8	-398.2	26/10/2552	-354.9	-351.2	-372.6	-383.0
12/8/2552	-375.6	-372.5	-405.0	-360.4	28/10/2552	-368.3	-355.0	-360.4	-362.8
14/8/2552	-395.3	-394.6	-402.4	-407.5	30/10/2552	-361.6	-366.9	-340.1	-340.0
17/8/2552	-370.5	-371.3	-406.2	-399.0	2/11/2552	-374.9	-374.0	-365.8	-366.5
19/8/2552	-374.6	-371.8	-402.4	-390.0	4/11/2552	-381.7	-400.6	-345.6	-340.9
21/8/2552	-368.0	-395.7	-403.3	-383.6	6/11/2552	-361.6	-369.6	-353.0	-355.7
24/8/2552	-373.2	-375.4	-400.5	-401.3	7/11/2552	-388.4	-380.5	-359.4	-365.0
26/8/2552	-386.3	-382.8	-407.7	-405.8	9/11/2552	-388.3	-385.2	-397.9	-400.2

ตารางที่ ก.39 แสดงค่าไออาร์พี (ต่อ)

วัน/เดือน/ ปี	ไออาร์พี(มิลลิโวลต์)				วัน/ เดือน/ปี	ไออาร์พี(มิลลิโวลต์)			
	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4		ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4
	นำออก	นำออก	นำออก	นำออก		นำออก	นำออก	นำออก	นำออก
10/11/2552	-401.7	-400.7	-401.7	-407.1	20/1/2553	-366.5	-387.9	-400.2	-401.0
11/11/2552	-401.9	-399.0	-393.6	-390.6	22/1/2553	-378.6	-365.1	-406.0	-407.0
13/11/2552	-408.6	-398.1	-390.3	-393.5	25/1/2553	-372.5	-379.9	-394.3	-400.5
14/11/2552	-415.3	-411.0	-397.4	-404.5	27/1/2553	-384.5	-373.4	-400.1	-395.5
16/11/2552	-410.3	-412.0	-398.8	-400.8	29/1/2553	-360.5	-388.5	-388.4	-380.6
18/11/2552	-417.0	-415.5	-393.6	-394.1	1/2/2553	-380.5	-361.9	-394.0	-385.4
20/11/2552	-410.4	-409.7	-397.8	-390.5	3/2/2553	-386.6	-382.4	-406.1	-405.5
23/11/2552	-423.8	-420.3	-391.7	-395.5	5/2/2553	-380.5	-385.0	-382.6	-380.4
25/11/2552	-403.6	-404.5	-403.9	-405.6	8/2/2553	-386.2	-388.1	-388.4	-385.1
27/11/2552	-418.2	-417.4	-397.8	-393.4	10/2/2553	-386.6	-379.5	-376.6	-376.0
30/11/2552	-431.7	-430.2	-410.0	-411.0	12/2/2553	-360.8	-383.0	-380.9	-388.1
2/12/2552	-424.9	-422.8	-403.9	-402.8	15/2/2553	-365.7	-363.2	-370.7	-371.5
4/12/2552	-411.5	-400.2	-416.1	-420.5	17/2/2553	-377.9	-360.8	-382.5	-380.9
7/12/2552	-397.9	-387.6	-409.8	-421.5	19/2/2553	-355.5	-372.6	-376.6	-375.5
9/12/2552	-418.2	-394.1	-411.6	-415.9	22/2/2553	-340.3	-350.5	-370.7	-365.5
11/12/2552	-424.9	-455.6	-409.5	-400.5	24/2/2553	-373.8	-344.8	-380.5	-369.2
14/12/2552	-438.4	-437.4	-411.9	-412.0	26/2/2553	-350.7	-381.1	-364.8	-365.1
16/12/2552	-411.4	-412.9	-387.6	-391.9	1/3/2553	-380.0	-355.6	-380.6	-378.5
18/12/2552	-420.6	-425.0	-402.2	-400.8	3/3/2553	-387.6	-377.4	-370.7	-370.4
21/12/2552	-427.2	-426.0	-409.8	-410.5	5/3/2553	-361.6	-385.2	-384.6	-382.9
23/12/2552	-421.5	-420.2	-412.2	-418.5	8/3/2553	-380.3	-366.9	-370.9	-371.0
25/12/2552	-454.9	-457.2	-380.3	-370.5	10/3/2553	-350.5	-371.3	-376.2	-375.6
30/12/2552	-470.4	-440.5	-388.5	-382.6	12/3/2553	-326.8	-352.3	-372.8	-375.7
1/1/2553	-445.5	-471.8	-432.7	-435.9	15/3/2553	-338.3	-330.0	-370.8	-390.0
2/1/2553	-450.6	-441.1	-414.9	-418.7	17/3/2553	-332.6	-335.4	-376.3	-359.1
3/1/2553	-443.9	-458.0	-403.0	-403.5	19/3/2553	-325.8	-345.7	-375.6	-374.3
4/1/2553	-430.7	-446.5	-429.6	-440.1	22/3/2553	-330.6	-320.9	-388.9	-385.6
8/1/2553	-420.7	-441.4	-410.5	-421.5	26/3/2553	-320.0	-310.3	-353.1	-350.2
11/1/2553	-421.0	-425.7	-394.3	-413.5	29/3/2553	-315.3	-331.2	-341.3	-322.5
13/1/2553	-401.8	-391.5	-406.0	-407.2	31/3/2553	-300.9	-317.3	-359.9	-360.1
15/1/2553	-395.8	-400.0	-411.9	-411.1	2/4/2553	-303.9	-300.0	-357.2	-358.3
18/1/2553	-390.6	-382.4	-410.6	-400.0	5/4/2553	-303.5	-311.0	-324.4	-325.6



ตารางที่ 39 แสดงค่าไออาร์พี (ต่อ)

วัน/เดือน/ ปี	ไออาร์พี(มิลลิโวลต์)				วัน/เดือน/ ปี	ไออาร์พี(มิลลิโวลต์)			
	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4		ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 1	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 2	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 3	ถึง ปฏิกรณ์ ที่ 4
	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก		น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก
7/4/2553	-312.7	-315.7	-330.1	-339.1	-	-	-	-	-
9/4/2553	-307.5	-316.0	-310.4	-309.8	-	-	-	-	-
12/4/2553	-300.0	-319.9	-334.8	-320.4	-	-	-	-	-
14/4/2553	-302.5	-300.0	-348.2	-345.9	-	-	-	-	-
16/4/2553	-319.8	-347.0	-328.1	-325.3	-	-	-	-	-
19/4/2553	-330.6	-323.1	-321.4	-330.0	-	-	-	-	-
21/4/2553	-315.9	-334.2	-337.7	-335.8	-	-	-	-	-
23/4/2553	-301.2	-314.6	-317.0	-316.0	-	-	-	-	-
26/4/2553	-316.8	-300.2	-324.1	-325.5	-	-	-	-	-
28/4/2553	-300.3	-317.8	-318.9	-321.4	-	-	-	-	-
30/4/2553	-319.4	-302.5	-304.9	-310.6	-	-	-	-	-
3/5/2553	-315.8	-314.1	-324.1	-319.5	-	-	-	-	-
5/5/2553	-311.5	-317.2	-302.7	-309.9	-	-	-	-	-
7/5/2553	-320.8	-320.3	-319.8	-327.5	-	-	-	-	-
10/5/2553	-317.2	-322.0	-315.3	-316.9	-	-	-	-	-
12/5/2553	-319.5	-315.8	-327.9	-326.0	-	-	-	-	-
31/5/2553	-408.2	-320.5	-335.5	-338.8	-	-	-	-	-
2/6/2553	-430.6	-394.6	-328.1	-328.5	-	-	-	-	-
4/6/2553	-389.5	-400.0	-318.3	-318.0	-	-	-	-	-
7/6/2553	-401.4	-401.6	-333.9	-336.5	-	-	-	-	-
9/6/2553	-420.7	-402.3	-323.8	-330.9	-	-	-	-	-
11/6/2553	-421.1	-421.0	-328.4	-320.5	-	-	-	-	-
14/6/2553	-388.5	-403.7	-319.2	-326.6	-	-	-	-	-
16/6/2553	-380.9	-390.1	-320.0	-317.8	-	-	-	-	-
18/6/2553	-357.1	-399.2	-325.4	-319.5	-	-	-	-	-
21/6/2553	-331.9	-358.4	-328.1	-325.9	-	-	-	-	-
23/6/2553	-347.5	-330.9	-322.0	-323.7	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	-368.29	-366.81	-371.16	-370.9	-	-	-	-	-
SD	41.26	39.56	33.73	33.79	-	-	-	-	-
N	160	160	160	160	-	-	-	-	-

n คือ จำนวนข้อมูลตลอดระยะเวลาการทดลอง

รูปที่ ก. 1 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน  
ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.และ 4 ม./ชม.

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=27 DATA=1:@CHRM1.C00 10/01/19 09:28:54

0.533

**\*\* CALCULATION REPORT \*\***

CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	6651508	388673	E		100	
TOTAL		3478738	1388763			100	

มาตรฐาน

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=29 DATA=1:@CHRM1.C00 10/01/19 09:34:50

0.537

**\*\* CALCULATION REPORT \*\***

CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	3548738	1388763	E		100	
TOTAL		3478738	1388763			100	

ถึงปฏิกรณ์ที่ 1

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=30 DATA=1:@CHRM1.C00 10/01/19 09:37:22

0.542

**\*\* CALCULATION REPORT \*\***

CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	3563308	1388787	E		100	
TOTAL		3563308	1388787			100	

ถึงปฏิกรณ์ที่ 2

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=31 DATA=1:@CHRM1.C00 10/01/19 09:39:51

0.526

**\*\* CALCULATION REPORT \*\***

CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	3631556	837694			100	
TOTAL		3631556	837694			100	

ถึงปฏิกรณ์ที่ 3

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=32 DATA=1:@CHRM1.C00 10/01/19 09:41:02

0.229

**\*\* CALCULATION REPORT \*\***

CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1	482	52			0.0164	
2	2	3651510	816433			99.9836	
TOTAL		3651510	816485				

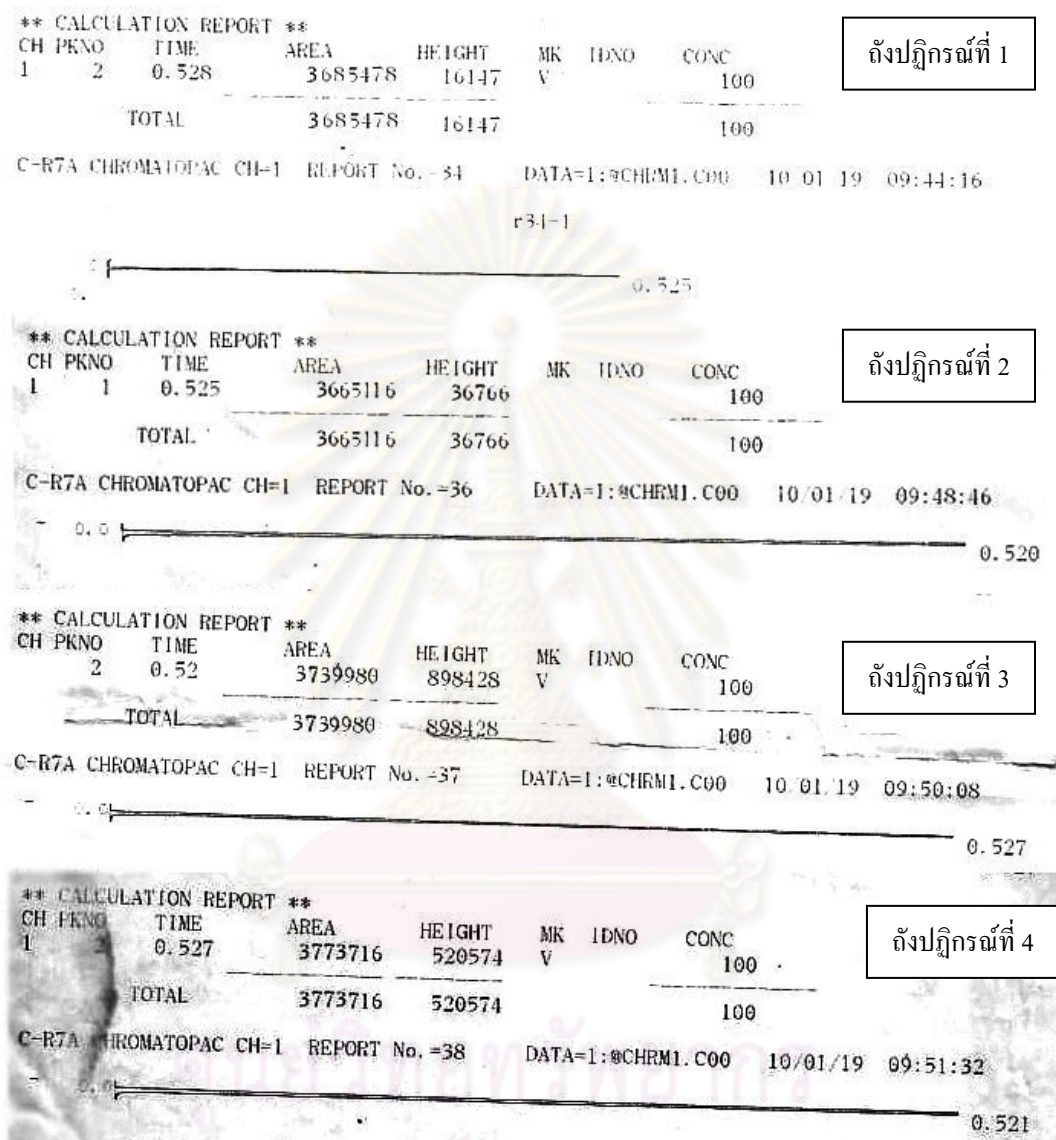
ถึงปฏิกรณ์ที่ 4

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=32 DATA=1:@CHRM1.C00 10/01/19 09:41:02

0.527

หมายเหตุ: ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนอยู่ในภาคผนวก ข

รูปที่ ก. 2 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน  
ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.และ 4 ม./ชม.



หมายเหตุ: ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนอยู่ในภาคผนวก ข

รูปที่ ก.3 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน  
ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.และ 4 ม./ชม.

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=27 DATA=1:@CHRM1.C00 10/06/29 09:51:54						
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	6686500	366673	E		100
มาตรฐาน						
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	2	3779321	888880	V		100
ถึงปฏิกรณ์ที่ 1						
TOTAL		3779321	888880	100		
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=39 DATA=1:@CHEM1.C00 10/06/29 09:53:14						
0.519						
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	3752688	1040328	E		100
ถึงปฏิกรณ์ที่ 2						
TOTAL		3752688	1040328	100		
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=40 DATA=1:@CHRM1.C00 10/06/29 09:54:50						
0.526						
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	3828603	500889	E		100
ถึงปฏิกรณ์ที่ 3						
TOTAL		3828603	500889	100		
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=41 DATA=1:@CHRM1.C00 10/06/29 09:56:22						
0.525						
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	2	3854972	467063	V		100
ถึงปฏิกรณ์ที่ 4						
TOTAL		3854972	467063	100		
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=42 DATA=1:@CHRM1.C00 10/06/29 09:58:00						
0.533						
0.521						

หมายเหตุ: ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนอยู่ในภาคผนวก ข



รูปที่ ก. 4 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.และ 4 ม./ชม.

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No. =27 DATA=1:CHRMI.C00 10/06/29 09:51:54							
<b>** CALCULATION REPORT **</b>							
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.533	6686500	366673	E		100
			มาตรฐาน				
<b>** CALCULATION REPORT **</b>							
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	2	0.522	3363719	663003	V		100
			ถึงปฏิกรณ์ที่ 1				
TOTAL			3363719	663003			
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No. =44 DATA=1:CHRMI.C00 10/06/29 10:01:26							
6.0 0.519							
<b>** CALCULATION REPORT **</b>							
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	2	0.519	3343277	1388686	E		100
			ถึงปฏิกรณ์ที่ 2				
TOTAL			3343277	1388686			
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No. =45 DATA=1:CHRMI.C00 10/06/29 10:02:38							
0.0 0.523							
<b>** CALCULATION REPORT **</b>							
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.523	3500178	398078	E		100
			ถึงปฏิกรณ์ที่ 3				
TOTAL			3500178	398078			
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No. =46 DATA=1:CHRMI.C00 10/06/29 10:04:12							
0.0 0.517							
<b>** CALCULATION REPORT **</b>							
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	2	0.517	3479790	1388750	E		100
			ถึงปฏิกรณ์ที่ 4				
TOTAL			3479790	1388750			
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No. =47 DATA=1:CHRMI.C00 10/06/29 10:05:32							
0.0 0.216 0.517							

หมายเหตุ: ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนอยู่ในภาคผนวก ข

รูปที่ ก. 5 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน  
ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.และ 6 ม./ชม.

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=27 DATA=1:@CHRM1.C00 10/06/29 09:51:54						
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.533	6686500	366673	E	100
						มาตรฐาน
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.526	3602522	164885		100
TOTAL						100
						ถึงปฏิกรณ์ที่ 1
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=49 DATA=1:@CHRM1.C00 10/06/29 10:08:44						
0.0						
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.526	3547931	285086		100
TOTAL						100
						ถึงปฏิกรณ์ที่ 2
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=50 DATA=1:@CHRM1.C00 10/06/29 10:10:22						
0.0						
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.528	3466063	156246		100
TOTAL						100
						ถึงปฏิกรณ์ที่ 3
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=51 DATA=1:@CHRM1.C00 10/06/29 10:12:02						
0.0						
<b>** CALCULATION REPORT **</b>						
CH PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC
1	1	0.525	3449595	269041		100
TOTAL						100
						ถึงปฏิกรณ์ที่ 4
C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=52 DATA=1:@CHRM1.C00 10/06/29 10:13:40						
0.0						

หมายเหตุ: ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนอยู่ในภาคผนวก ข





ภาคผนวก ข  
การทดลองและการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 1) การคำนวณอัตราการสลายอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR)

$$OLR = (COD \times Q) / V$$

- เมื่อ COD = ความเข้มข้นของซีโอดีเข้าระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร  
 Q = อัตราป้อนน้ำเสียเข้าระบบ, ลิตรต่อวัน  
 V = ปริมาตรถังปฏิกรณ์, ลูกบาศก์เมตร

#### การคำนวณ

##### อัตราการสลายอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ค่าซีโอดีน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอลประมาณ 120,000 มก./ล.

ถ้าเตรียมค่าซีโอดี 5,000 มก./ล. ต้องเจือจางด้วยน้ำประปาด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 24

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคงที่เท่ากับ 34 ลิตร/วัน

ปริมาตรของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 16.98 ลิตร

#### ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{อัตราการสลายอินทรีย์} &= (34 \text{ ลิตร/วัน}) (5,000 \text{ มก./ลิตร}) / (16.98 \text{ ลิตร}) \\ &= 10 \text{ กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน} \end{aligned}$$

##### อัตราการสลายอินทรีย์เท่ากับ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ค่าซีโอดีน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอลประมาณ 120,000 มก./ล.

ถ้าเตรียมค่าซีโอดี 10,000 มก./ล. ต้องเจือจางด้วยน้ำประปาด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 12

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคงที่เท่ากับ 34 ลิตร/วัน

ปริมาตรของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 16.98 ลิตร

#### ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{อัตราการสลายอินทรีย์} &= (34 \text{ ลิตร/วัน}) (10,000 \text{ มก./ลิตร}) / (16.98 \text{ ลิตร}) \\ &= 20 \text{ กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน} \end{aligned}$$

**อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน**

ค่าซีไอดีน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอลประมาณ 120,000 มก./ ล.

ถ้าเตรียมค่าซีไอดี 15,000 มก./ ล. ต้องเจือจางด้วยน้ำประปาด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 8

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคกที่เท่ากับ 34 ลิตร/ วัน

ปริมาตรของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 16.98 ลิตร

**ดังนั้น**

$$\begin{aligned} \text{อัตราการระเหยอินทรีย์} &= (34 \text{ ลิตร/ วัน}) (5,000 \text{ มก./ลิตร}) / (16.98 \text{ ลิตร}) \\ &= 30 \text{ กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน} \end{aligned}$$

**อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน**

ค่าซีไอดีน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเอทานอลประมาณ 120,000 มก./ ล.

ถ้าเตรียมค่าซีไอดี 20,000 มก./ ล. ต้องเจือจางด้วยน้ำประปาด้วยอัตราการเจือจาง 1 : 6

อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบคกที่เท่ากับ 34 ลิตร/ วัน

ปริมาตรของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 16.98 ลิตร

**ดังนั้น**

$$\begin{aligned} \text{อัตราการระเหยอินทรีย์} &= (34 \text{ ลิตร/ วัน}) (20,000 \text{ มก./ลิตร}) / (16.98 \text{ ลิตร}) \\ &= 40 \text{ กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน} \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2) การคำนวณอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด = ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น/ปริมาณซีไอดีที่ถูกกำจัด

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น = ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (ลิตร/วัน) x เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

ปริมาณซีไอดีที่ถูกกำจัด = ค่าซีไอดีน้ำเข้าถัง (กรัมซีไอดี/วัน) – ค่าซีไอดีน้ำทิ้ง (กรัมซีไอดี/วัน)

**ตัวอย่าง** ที่อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.

**ถังที่ 1** ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	49.66 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	52.3 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(5.042)(34)	= 171.43 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(1.988)(34)	= 67.59 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \text{อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (49.66)(0.523) / (171.43-67.59) \\ &= 0.25 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 2** ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	49.80 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	52.5 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(5.042)(34)	= 171.43 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(1.967)(34)	= 66.88 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \text{อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (49.80)(0.525) / (171.43-66.88) \\ &= 0.25 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถึงที่ 3** ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	54.00 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	53.5 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(5.066)(34)	= 172.24 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(1.788)(34)	= 60.79 กรัมซีไอดี/วัน

$$\text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} = (54.00)(0.535) / (172.24 - 60.79) \\ = 0.26 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด}$$

**ถึงที่ 4** ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	54.63 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	53.8 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(5.066)(34)	= 172.24 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(1.773)(34)	= 60.28 กรัมซีไอดี/วัน

$$\text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} = (54.63)(0.538) / (172.24 - 60.28) \\ = 0.26 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด}$$

**ตัวอย่าง** ที่อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.

**ถึงที่ 1** ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	116.82 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	54.3 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(10.087)(34)	= 342.96 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(3.621)(34)	= 123.11 กรัมซีไอดี/วัน

$$\text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} = (116.82)(0.543) / (342.96 - 123.11) \\ = 0.29 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด}$$

**ถังที่ 2** ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	116.31 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	54.00 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(10.087)(34)	= 342.96 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(3.690)(34)	= 125.46 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (116.31)(0.540) / (342.96-125.46) \\ &= 0.29 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 3** ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	130.79 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	55.1 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(10.070)(34)	= 342.38 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(3.206)(34)	= 109.00 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (130.79)(0.551) / (342.38-109.00) \\ &= 0.31 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 4** ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	131.37 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	55.6 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(10.070)(34)	= 342.38 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(3.114)(34)	= 105.88 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (131.37)(0.556) / (342.38-105.88) \\ &= 0.31 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$



**ตัวอย่าง** ที่อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 30 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.

**ถังที่ 1** ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	165.90 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	55.4 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(15.120)(34)	= 514.08 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่มาจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(5.806)(34)	= 197.40 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (165.90)(0.554) / (514.08 - 197.40) \\ &= 0.29 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 2** ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	164.98 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	55.0 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(15.120)(34)	= 514.08 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่มาจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(5.927)(34)	= 201.52 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (164.98)(0.55) / (514.08 - 201.52) \\ &= 0.29 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 3** ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	187.47 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	56.0 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(15.088)(34)	= 513.00 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่มาจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(5.160)(34)	= 175.44 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (187.47)(0.56) / (513.00 - 175.44) \\ &= 0.31 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 4** ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	187.02 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	56.5 %	
ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(15.088)(34)	= 513.00 กรัมซีโอดี/วัน
ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่มาจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(5.054)(34)	= 171.84 กรัมซีโอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด} &= (187.02)(0.565) / (513.00 - 171.84) \\ &= 0.31 \text{ ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ตัวอย่าง** ที่อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 4 ม./ชม.**ถังที่ 1** ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	163.85 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	49.3 %	
ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(20.083)(34)	= 682.82 กรัมซีโอดี/วัน
ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่มาจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(11.347)(34)	= 385.80 กรัมซีโอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด} &= (163.85)(0.493) / (682.82 - 385.80) \\ &= 0.27 \text{ ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 2** ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	162.50 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	49.0 %	
ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(20.083)(34)	= 682.82 กรัมซีโอดี/วัน
ค่าซีโอดีละลายได้ของน้ำที่มาจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(11.414)(34)	= 388.08 กรัมซีโอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด} &= (162.50)(0.490) / (682.82 - 388.08) \\ &= 0.27 \text{ ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 3** ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	188.361 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	51.3 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(20.175)(34)	= 685.95 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(10.873)(34)	= 369.68 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (188.361)(0.513) / (685.95 - 369.68) \\ &= 0.29 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 4** ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	187.549 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	51.0 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(20.175)(34)	= 685.95 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(10.528)(34)	= 357.95 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (187.549)(0.51) / (685.95 - 357.95) \\ &= 0.29 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ตัวอย่าง** ที่อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 5 และ 6 ม./ชม.**ถังที่ 1** ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	210.853 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	52.80 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(20.167)(34)	= 685.68 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(9.950)(34)	= 338.30 กรัมซีไอดี/วัน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด} &= (210.853)(0.528) / (685.68 - 338.30) \\ &= 0.32 \text{ ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด} \end{aligned}$$

**ถังที่ 2** ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	211.223 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	52.0 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(20.167)(34)	= 685.68 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(10.468)(34)	= 356.00 กรัมซีไอดี/วัน

**ดังนั้น** อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด =  $(211.223)(0.520) / (685.68 - 356.00)$   
= 0.32 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด

**ถังที่ 3** ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	206.94 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	50.8 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(20.198)(34)	= 686.73 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(11.050)(34)	= 376.00 กรัมซีไอดี/วัน

**ดังนั้น** อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด =  $(206.94)(0.508) / (686.73 - 376.00)$   
= 0.32 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด

**ถังที่ 4** ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น	206.475 ลิตร /วัน	
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	50.5 %	
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำที่เข้าถังยูเอเอสบีต่อวัน	(20.198)(34)	= 686.73 กรัมซีไอดี/วัน
ค่าซีไอดีละลายได้ของน้ำทั้งหมดจากถังยูเอเอสบีต่อวัน	(11.160)(34)	= 379.00 กรัมซีไอดี/วัน

**ดังนั้น** อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด =  $(206.475)(0.505) / (686.73 - 379.00)$   
= 0.32 ลิตร/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด

## 2) การทดสอบความสามารถจำเพาะของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ (Specific Methanogenic Activity : SMA)

การทำเอสเอ็มเอ็มวีตฤประสงค้ในการวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบ โดยทำการทดลองในขวดไวอัล มีวิธีการทดลองดังนี้

1. เตรียมเมื่อดตะกอนที่ต้องการทดสอบปริมาณ 10 มล.
2. เติมสารอาหารที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวแทนของค่าซีโอดี 3,000 มก./ลิตร ผสมกับอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ โดยปรับพีเอชให้อยู่ระดับที่เป็นกลาง (6.8-7.0) โดยการเติมสารโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO<sub>3</sub>)
3. ใส่สารอาหารที่เตรียมไว้ในข้อ 2. แล้วตามด้วยเมื่อดตะกอนลงในขวดไวอัล
4. ใส่อากาศออกจากขวดโดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์และก๊าซไนโตรเจน 70 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปิดฝาขวดด้วยจุกยางและครอบด้วยฝาอะลูมิเนียมจนแน่นเพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซที่เกิดขึ้น
5. ทำการวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลาต่างๆโดยวิธีการแทนที่น้ำ
6. นำไปหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องจีซี (Gas Chromatograph,GC)
7. นำเมื่อดตะกอนภายหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองไปหาค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile Suspended Solid,VSS)
8. นำค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสม(มล.) กับเวลา (วัน)
9. นำค่าความชันกราฟสูงสุดไปคำนวณหาค่าความสามารถจำเพาะเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์

ดังนี้

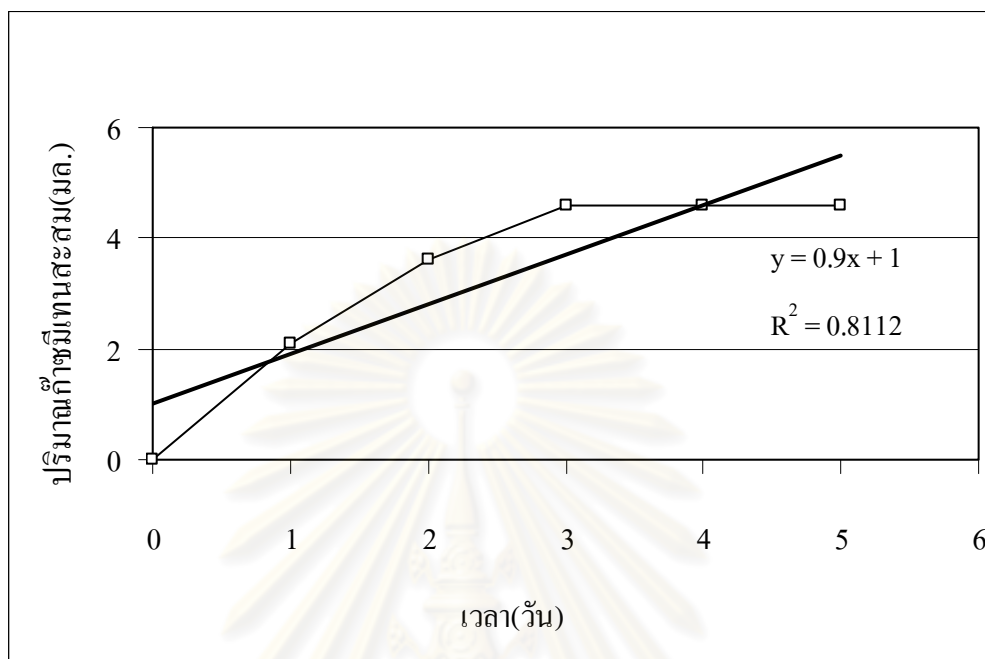
$$\text{Specific Methanogenic Activity, SMA} = \frac{\text{gCH}_4 - \text{COD}}{t \times B}$$

เมื่อ  $\text{gCH}_4 - \text{COD}/t$  คือ ค่าความชันกราฟในช่วงสูงสุด

B คือ ปริมาณจุลินทรีย์หลังเสร็จสิ้นการทดลอง (กรัมวีเอสเอส)

### ตัวอย่างการคำนวณค่าความสามารถจำเพาะเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์

จากข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอในช่วงเริ่มเดินระบบของถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ความสูง 0.5 ม.



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (มล.) กับ เวลา (วัน)

จากกราฟรูปที่ 1 จะได้ว่าช่วงที่มีความชันสูงสุดเท่ากับ 0.9 มล./วัน

แต่ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ มีก๊าซมีเทนเท่ากับ 350 มล. ที่ 1 กรัมชีโอดี ดังนั้นที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส จะมีก๊าซมีเทนเท่ากับ

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{0.35}{273} = \frac{V_2}{273 + 29}$$

ดังนั้น  $V_2 = 0.387$  มล.

จะได้  $\frac{0.9}{387} = 0.0023$  กรัมชีโอดี-มีเทน/วัน

จากการทดลองใช้จุลินทรีย์ประมาณ 0.0184 กรัมวีเอสเอส

$$\text{จาก SMA} = \frac{gCH_4 - COD}{t \times B}$$

ดังนั้น SMA = 0.0023 (กรัมชีโอดี-มีเทน/วัน) / 0.0184 กรัมวีเอสเอส

= 0.126 กรัมชีโอดี-มีเทน/กรัมวีเอสเอส-วัน



### 3) วิธีคำนวณเปอร์เซ็นต์กำขี้เเทน

ตัวอย่าง ที่อัตราภาะสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ถึงที่ 1 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์กำขี้เเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์กำขี้เเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ได้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ได้กราฟของกำขี้เเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3548738}{6651508} \\ &= 52.3 \% \quad \text{มีกำขี้เเทน 52.3 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถึงที่ 2 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์กำขี้เเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์กำขี้เเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ได้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ได้กราฟของกำขี้เเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3563308}{6651508} \\ &= 52.5 \% \quad \text{มีกำขี้เเทน 52.5 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถึงที่ 3 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์กำขี้เเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์กำขี้เเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ได้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ได้กราฟของกำขี้เเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3631556}{6651508} \\ &= 53.5 \% \quad \text{มีกำขี้เเทน 52.5 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถึงที่ 4 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์กำขี้เเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์กำขี้เเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ได้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ได้กราฟของกำขี้เเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3651510}{6651508} \\ &= 53.8 \% \quad \text{มีกำขี้เเทน 53.8 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ถังที่ 1 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3685478}{6651508} \\ &= 54.3 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 54.3 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 2 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3665116}{6651508} \\ &= 54 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 54 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 3 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3664980}{6651508} \\ &= 55.1 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 55.1 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 4 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3773716}{6651508} \\ &= 55.6 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 55.6 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ถังที่ 1 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3779321}{6686500} \\ &= 55.4 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 55.4 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 2 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3752688}{6686500} \\ &= 55 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 55 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 3 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3828603}{6686500} \\ &= 56 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 56 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 4 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3854972}{6686500} \\ &= 56.5 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 56.5 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ถังที่ 1 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3363719}{6686500} \\ &= 49.3 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 49.3 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 2 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3343277}{6686500} \\ &= 49 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 49 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 3 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3500178}{6686500} \\ &= 51.3 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 51.3 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 4 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3479790}{6686500} \\ &= 51 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 51 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ถังที่ 1 ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3602522}{6686500} \\ &= 52.8 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 52.8 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 2 ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3547931}{6686500} \\ &= 52 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 52 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 3 ที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3466063}{6686500} \\ &= 50.8 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 50.8 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ถังที่ 4 ที่ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน} &= \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน} \times \text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนมาตรฐาน}} \\ &= \frac{98.0 \% \times 3449595}{6686500} \\ &= 50.5 \% \quad \text{มีก๊าซมีเทน 50.5 เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชฎานิศา บุญปกครอง เกิดวันที่ 8 มิถุนายน พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จ การศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2553



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย