

การสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีด้วยผงเยื่อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร



นายศราวุธ แสนโยเมือง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GRANULATION IN AN EXPANDED GRANULAR SLUDGE BED REACTOR
USING PULP POWDER FOR TREATMENT OF PIGGERY WASTEWATER



Mr. Sarawut Sanyomuang

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

Department of Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีด้วย
ผงเยื่อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

โดย

นายศราวุธ แสนโยเมือง

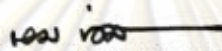
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

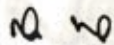
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์




ประธานกรรมการ

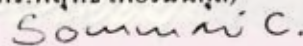
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเชียร)

 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

 กรรมการ

(อาจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เทียรมนกุล)



กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.สมหมาย นัครแสงอุทัย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศราวุช แสนโยเมือง: การสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีด้วยผงเยื่อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร. (GRANULATION IN AN EXPANDED GRANULAR SLUDGE BED REACTOR USING PULP POWDER FOR TREATMENT OF PIGGERY WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 173 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของผงเยื่อกระดาษต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริงให้น้ำเข้าระบบความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ย 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองใช้แบบจำลองระบบอีจีเอสบีลักษณะเหมือนกันจำนวน 4 ถังปฏิกรณ์ โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 ไม่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 2 3 และ 4 ทำการเติมผงเยื่อกระดาษปริมาณ 1,500 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย ตามลำดับ ลงไปครั้งเดียวพร้อมกับการใส่ตะกอนหัวเชื้อลงไปในถังปฏิกรณ์ ทำการเดินระบบในช่วงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.2 และ 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่ความเร็วไหลขึ้น 2.4 และ 7 เมตรต่อชั่วโมง ทำการทดลองรวมทั้งสิ้น 156 วัน

ผลการทดลองที่ได้พบว่า ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีทั้งสี่ถังมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 91.5 และตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย มีการรวมเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาดที่มองเห็นได้เร็วกว่าตะกอนจากถังปฏิกรณ์ที่ไม่มีการเติมผงเยื่อกระดาษเลย โดยสังเกตเห็นเม็ดตะกอนในวันที่ 31 และ 59 ตามลำดับ เม็ดตะกอนมีการกระจายขนาดตั้งแต่ 0.15-1.23 มิลลิเมตร มากกว่าร้อยละ 40 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 1 2 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 0.08 0.15 0.29 และ 0.11 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน ตามลำดับ จากภาพถ่าย SEM พบว่าลักษณะแบคทีเรียที่พบในเม็ดตะกอนของถังปฏิกรณ์ทั้งสี่มีลักษณะเหมือนกัน โดยมีแบคทีเรียชนิดท่อนสั้น Methanothrix-Like species เป็นสายพันธุ์หลัก

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเติมผงเยื่อกระดาษในปริมาณที่เหมาะสม การเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์และเพิ่มความเร็วไหลขึ้น สามารถส่งเสริมกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและลดระยะเวลาในการเดินระบบให้สั้นลงกว่าวิธีการโดยทั่วไป โดยปริมาณผงเยื่อกระดาษที่แนะนำให้ใช้ คือ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2552

ลายมือนิตด.....ศราวุช แสนโยเมือง.....
ลายมือ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

4970593221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : EGSB/ GRANULATION/ PIGGERY WASTEWATER/ PULP POWDER

SARAWUT SANYOMUANG: GRANULATION IN AN EXPANDED GRANULAR SLUDGE BED REACTOR USING PULP POWDER FOR TREATMENT OF PIGGERY WASTEWATER. THESIS ADVISER: ASSOC. PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 173 pp.

This research aimed to study the effect of Pulp powder for granulation in an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor. Wastewater in this experiment was real wastewater from piggery. The influent COD content was 2,500 mg/L. on average. In the experiment with 4 EGSB reactors, the Pulp powder concentrations employed were 0, 1,500, 2,000 and 3,000 mg./g.SS, respectively. The organic loading rate varied by 1, 2 and 3.5 kg.COD/m³-day. The upflow velocity was varied 2, 4 and 7 m/hr. The experiments were carried out in 156 days.

The result showed that 4 reactors have the COD removal of over 91.5 percent. The sludge in reactor with Pulp powder 2,000 mg/g.SS was sludge granulation observed faster than reactor without Pulp powder. The granules were initially observed on Day 31 and Day 59, respectively. About 40% of granular sludge had their size between 0.15-1.23 mm. in diameter. The Specific Methanogenic activity (SMA) for reactor 1, 2, 3 and 4 values was 0.08, 0.15, 0.29 and 0.11 gCOD-gCH₄/gVSS-d., respectively. The SEM showed that a granule from all reactors was mostly composed of Methanothrix-like species.

The result shows that the Pulp powder , Organic loading rate and Upflow velocity which enhanced sludge granulation, efficiency and decrease period for startup system. The most promising for the Pulp powder concentrations addition was 2,000 mg./g.SS.

Department ; Environmental Engineering

Student's Signature..... *Sarawut Sanyomuang*

Field of Study ; Environmental Engineering

Adviser's Signature..... *Chavalit Rattanamatkul*

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงอาจารย์ผู้ทำหน้าที่เป็นประธาน และคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ที่คอยให้คำแนะนำ คำติชม ในการแก้ไข และการตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกๆท่านเป็นอย่างสูง ที่คอยสั่งสอนและมอบความรู้ในวิชาต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า และทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้

ขอขอบพระคุณครูผู้ดูแลห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณคุณอนันต์ สุจจานันท์ เจ้าของฟาร์มสุกร ที่เอื้อเฟื้อตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสีย ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการทดลองของวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท ให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการให้หยิบยืมอุปกรณ์ทำการทดลอง แบ่งปันสารเคมีในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณคุณแม่ ที่คอยอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุด ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และยังมีมอบโอกาสในการศึกษาระดับปริญญาโทนี้ด้วย

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 คำสำคัญ.....	1
1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
2.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ของเสียฟาร์มสุกร.....	4
2.1.1 การจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	6
2.1.2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร.....	7
2.2 การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน.....	8
2.2.1 ลักษณะทางชีวเคมีของกระบวนการไร้ออกซิเจน.....	8
2.2.2 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยไร้ออกซิเจน.....	9
2.3 ระบบยูเอเอสบี.....	15
2.3.1 องค์ประกอบของระบบยูเอเอสบี.....	15
2.3.2 ลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	15
2.3.3 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบยูเอเอสบี.....	17
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ.....	18
2.3.5 ปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงาน.....	23
2.4 ระบบอีจีเอสบี.....	24
2.4.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบยูเอเอสบี.....	24
2.4.2 คุณสมบัติของระบบอีจีเอสบี.....	25

	หน้า
2.5	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....26
2.5.1	ประเภทของตะกอนจุลินทรีย์..... 26
2.5.2	โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....27
2.5.3	Extracellular Polymers.....28
2.5.4	กระบวนการรวมเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....29
2.5.5	กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....32
2.6	ผงเชื้อกระดาษ..... 34
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 35
2.7.1	การศึกษาที่เกี่ยวกับกระบวนการอีจีเอสบี..... 35
2.7.2	การศึกษาที่เกี่ยวกับการเกิดเม็ดตะกอน.....36
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	
3.1	แผนการวิจัย..... 40
3.2	การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ทดลอง.....41
3.3	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 42
3.4	การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน.....44
3.5	วิธีการดำเนินการทดลอง.....45
3.5.1	ส่วนที่ 1 : ศึกษาคุณสมบัติของผงเชื้อกระดาษและหาความเข้มข้น ของผงเชื้อกระดาษที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอน ในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....45
3.5.2	ส่วนที่ 2 : ศึกษาประสิทธิภาพของระบบและการสร้างเม็ดตะกอน ที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....47
3.5.3	ส่วนที่ 3 : ศึกษาประสิทธิภาพของระบบและการสร้างเม็ดตะกอน ที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น..... 48
3.6	การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 50
3.6.1	การวิเคราะห์น้ำเสียจากกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์ อีจีเอสบีด้วยผงเชื้อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร..... 50
3.6.2	การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอน ในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีด้วยผงเชื้อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสีย จากฟาร์มสุกร..... 50

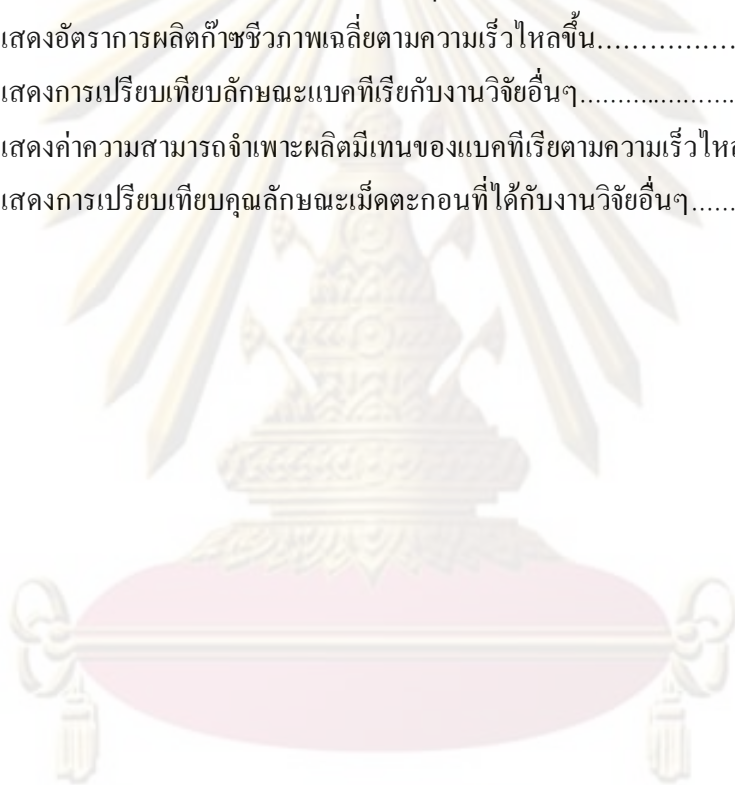
3.6.3	การวิเคราะห์เม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอน ในถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจนด้วยผงเชื้อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสีย จากฟาร์มสุกร.....	50
3.7	ค่าพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในการทดลอง.....	51
บทที่ 4 ผลการทดลอง		
4.1	การศึกษาคุณสมบัติของผงเชื้อกระดาษ.....	52
4.1.1	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผงเชื้อกระดาษ.....	52
4.1.2	คุณสมบัติทางเคมีของผงเชื้อกระดาษ.....	55
4.1.3	การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงเชื้อกระดาษ.....	56
4.2	การศึกษาความเข้มข้นของผงเชื้อกระดาษที่เหมาะสมโดยวิธี Jar Test.....	57
4.3	ที่มาและคุณลักษณะของตะกอนเริ่มต้น.....	59
4.3.1	ที่มาของตะกอนเริ่มต้น.....	59
4.3.2	การหมักเชื้อเริ่มต้น.....	60
4.3.3	การเริ่มการทดลอง.....	61
4.4	สภาพแวดล้อมของการเดินระบบและประสิทธิภาพของระบบ.....	62
4.4.1	อุณหภูมิ.....	62
4.4.2	พีเอช.....	63
4.4.3	โออาร์พี.....	65
4.4.4	ปริมาณไนโตรเจน.....	66
4.5	ผลของภาวะบรรทุสารอินทรีย์ต่อการสร้างเม็ดตะกอน ที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ.....	68
4.5.1	ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี.....	69
4.5.2	ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด.....	72
4.5.3	สภาพต่างทั้งหมดและกรดอินทรีย์ระเหย.....	75
4.5.3.1	สภาพต่างทั้งหมด.....	75
4.5.3.2	กรดไขมันระเหยง่าย.....	77
4.5.4	อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยกับสภาพต่างทั้งหมด.....	79
4.5.5	การผลิตก๊าซชีวภาพ.....	81
4.5.6	คุณลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	85
4.5.6.1	ลักษณะทางกายภาพ.....	85
4.5.6.2	การกระจายขนาดของเม็ดตะกอน.....	87

4.5.6.3	การศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	89
4.5.6.4	ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน.....	93
4.5.7	การวิเคราะห์ผลของภาวะบรรทุksารอินทรีย์ต่อการสร้างเม็ดตะกอน ที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ.....	93
4.6	ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ...97	
4.6.1	ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี.....	98
4.6.2	ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด.....	101
4.6.3	สภาพต่างทั้งหมดและกรดอินทรีย์ระเหย.....	103
4.6.3.1	สภาพต่างทั้งหมด.....	104
4.6.3.2	กรดไขมันระเหยง่าย.....	105
4.6.4	อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยกับสภาพต่างทั้งหมด.....	107
4.6.5	การผลิตก๊าซชีวภาพ.....	109
4.6.6	คุณลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	112
4.6.6.1	การกระจายขนาดของเม็ดตะกอน.....	112
4.6.6.2	ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการทดลอง.....	114
4.6.6.3	การศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	115
4.6.6.4	ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน.....	119
4.6.7	การวิเคราะห์ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการสร้างเม็ดตะกอน.....	121
4.7	การวิเคราะห์การสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ เมื่อเพิ่มภาวะบรรทุksารอินทรีย์และเพิ่มความเร็วไหลขึ้น.....	124
4.8	กลไกและแบบจำลองการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในงานทดลอง.....	125
บทที่ 5		
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	126
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	127
รายการอ้างอิง.....		128
ภาคผนวก.....		133
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....		134
ภาคผนวก ข การทดลองและการคำนวณ.....		169
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		173

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....5
2.2	มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร..... 7
2.3	ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอื้ออนบวค..... 20
2.4	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ในการยับยั้งประสิทธิภาพ 50%..... 21
2.5	ผลของแอมโมเนียใน ไตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....22
2.6	ทฤษฎีการเกิดเมืงตะกอน..... 33
3.1	ตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....46
3.2	แสดงอัตราการสูบน้ำเวียนกลับที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์.....49
3.3	แสดงระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังปฏิกรณ์..... 49
3.4	แสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในการทดลอง.....51
4.1	ปริมาณธาตุและออกไซด์ในผงเชื้อกระดาษ..... 55
4.2	แสดงปริมาณความเข้มข้นของผงเชื้อกระดาษกับความขุ่น.....57
4.3	คุณสมบัติของตะกอนเริ่มต้น..... 59
4.4	ปริมาณการเติมผงเชื้อกระดาษในแต่ละถังปฏิกรณ์..... 60
4.5	แสดงช่วงเวลาที่ทำการทดลองของแต่ละอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ กับความเร็วไหลขึ้นของทุกถังปฏิกรณ์..... 61
4.6	แสดงอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีตลอดการทดลอง..... 63
4.7	แสดงค่าพีเอชน้ำเสียเข้าและออกระบบของถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีตลอดการทดลอง.....63
4.8	แสดงค่าไออาร์พีน้ำเสียเข้าและออกระบบของถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีตลอดการทดลอง....65
4.9	แสดงปริมาณที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์อีจีเอสปีตลอดการทดลอง..... 66
4.10	แสดงอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์กับระยะเวลาที่ทำการทดลอง..... 68
4.11	แสดงค่าซีไอดีทั้งหมดและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ย ตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....71
4.12	แสดงค่าของแฉ่งแฉวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย ตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....74

ตารางที่	หน้า
4.13	แสดงเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์..... 82
4.14	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์..... 84
4.15	คุณลักษณะของตะกอนหลังทำการทดลองโดยการสังเกตการณ์..... 85
4.16	แสดงค่าความสามารถจำเพาะผลติมีเทนของแบคทีเรียตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์...93
4.17	แสดงการค่าความเร็วไหลขึ้นกับระยะเวลาที่ทำการทดลอง.....97
4.18	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น..... 100
4.19	แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น..... 101
4.20	แสดงเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์..... 109
4.21	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น..... 111
4.22	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะแบคทีเรียกับงานวิจัยอื่นๆ..... 118
4.23	แสดงค่าความสามารถจำเพาะผลติมีเทนของแบคทีเรียตามความเร็วไหลขึ้น..... 119
4.24	แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะเม็ดตะกอนที่ได้กับงานวิจัยอื่นๆ..... 120



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	กระบวนการจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร..... 6
2.2	แสดงระบบไร้อากาศที่รับภาระบรทุกสูง (High rate) ประเภทต่างๆ รวมทั้งระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่..... 15
2.3	แสดงส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี..... 16
2.4	แผนผังส่วนประกอบของระบบ UASB และ EGSB..... 25
2.5	โครงสร้างทั่วไปของเม็คตะกอนจุลินทรีย์..... 28
2.6	บทบาทของประจุไฟฟ้าที่ผิวและการเกิดของ ECP ต่อการรวมตัวของเม็คตะกอน..... 29
2.7	การเกิดเม็คตะกอนแบบ Inert nuclei model.....30
2.8	การเกิดเม็คตะกอนแบบ Multi-valence positive ion-bonding model..... 30
2.9	การเกิดเม็คตะกอนแบบ Polymer or filament bonding model..... 30
2.10	กระบวนการสร้างเม็คตะกอน.....32
2.11	ลักษณะของผงเชื้อกระดาษ..... 35
3.1	รายละเอียดถึงปฏิกรณ์อจีเอสบีที่ใช้ในการทดลอง..... 43
3.2	ชุดถึงปฏิกรณ์อจีเอสบี.....43
3.3	แสดง Flow Diagram ของถึงปฏิกรณ์อจีเอสบี..... 44
3.4	แสดงการเติมสารช่วยในการสร้างเม็คตะกอน..... 48
3.5	แผนผังการเดินระบบ..... 49
4.1	ลักษณะของผงเชื้อกระดาษ..... 52
4.2	ผงเชื้อกระดาษที่ละลายน้ำ..... 52
4.3	กราฟการกระจายขนาดของผงเชื้อกระดาษที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer..... 53
4.4	ภาพถ่ายจากเครื่อง SEM ของผงเชื้อกระดาษ ก่อนและหลังนำไปละลายน้ำ..... 54
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับความเข้มข้นของผงเชื้อกระดาษและค่า SVI..... 57
4.6	ลักษณะตะกอนที่ได้จากการเติมผงเชื้อกระดาษที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 58
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นกับระยะเวลาที่ทำการทดลอง..... 61
4.8	แสดงอนุกรมของถึงปฏิกรณ์อจีเอสบีตลอดการทดลอง..... 63
4.9	แสดงค่าพีเอชของถึงปฏิกรณ์อจีเอสบีตลอดการทดลอง.....64

รูปที่	หน้า
4.10	แสดงค่าไออาร์พีของถังปฏิกรณ์อิจีเอสปีตลอดการทดลอง..... 65
4.11	แสดงค่าที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์อิจีเอสปีตลอดการทดลอง..... 67
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ กับระยะเวลาที่ทำการทดลอง..... 68
4.13	แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 70
4.14	แสดงค่าเฉลี่ยซีไอดีตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 71
4.15	แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 71
4.16	แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด ตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 73
4.17	แสดงค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 74
4.18	แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 74
4.19	แสดงสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ตามการบรรทุกสารอินทรีย์ 76
4.20	สภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 77
4.21	แสดงกรดไขมันระเหยตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 78
4.22	แสดงกรดไขมันระเหยเฉลี่ยตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 79
4.23	แสดงค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 80
4.24	กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 81
4.25	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 83
4.26	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมซี ไอดีที่ถูกกำจัดเฉลี่ย ตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 84
4.26	แสดงการเจริญเติบโตของตะกอนเม็ดภายในถังปฏิกรณ์อิจีเอสปี (จากการสังเกตการณ์) 85
4.27	แสดงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซี ไอดีที่ถูกกำจัดเฉลี่ย ตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 85
4.28	แสดงการเจริญเติบโตของตะกอนเม็ดภายในถังปฏิกรณ์อิจีเอส..... 86
4.29	การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามการบรรทุกสารอินทรีย์..... 88
4.30	ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามการบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 90
4.31	ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามการบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 2 90
4.32	ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามการบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 3 90

รูปที่	หน้า
4.33	ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 4 90
4.34	ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 1...91
4.35	ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 2...91
4.36	ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 3...92
4.37	ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 4...92
4.38	แสดงค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียผลิตมีเทน..... 93
4.39	แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์..... 95
4.40	แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ตามอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์..... 95
4.41	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์. 95
4.42	แสดงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์.. 95
4.43	แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์D(0.5) ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์..... 96
4.44	แสดงค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียผลิตมีเทนตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์... 96
4.45	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นกับระยะเวลาที่ทำการทดลอง.....96
4.46	แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามความเร็วไหลขึ้น.....97
4.47	แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดีตามความเร็วไหลขึ้น..... 100
4.48	แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีตามความเร็วไหลขึ้น.....100
4.49	แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดตามความเร็วไหลขึ้น.....102
4.50	แสดงค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยที่ความเร็วไหลขึ้น.....102
4.51	แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความเร็วไหลขึ้น.....103
4.52	แสดงสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ตามความเร็วไหลขึ้น..... 104
4.53	แสดงสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น..... 105
4.54	แสดงกรดไขมันระเหยตามความเร็วไหลขึ้น.....106
4.55	แสดงกรดไขมันเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น..... 107
4.56	แสดงกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตามความเร็วไหลขึ้น..... 107
4.57	แสดงกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น.....108
4.58	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามความเร็วไหลขึ้น.....110
4.59	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น..... 111
4.60	แสดงแสดงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนก๊าศมีเทนเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น.....111
4.61	การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้น..... 113

รูปที่		หน้า
4.62	แสดงลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง.....	115
4.63	ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 1.....	115
4.64	ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 2.....	115
4.65	ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 3.....	115
4.66	ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 4.....	116
4.67	ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 1.....	117
4.68	ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 2.....	117
4.69	ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 3.....	117
4.70	ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 4.....	117
4.71	แสดงค่าจำเพาะของแบคทีเรียผลิตมีเทนตามความเร็วไหลขึ้น.....	119
4.72	แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีตามความเร็วไหลขึ้น.....	121
4.73	แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความเร็วไหลขึ้น.....	121
4.74	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น.....	121
4.75	แสดงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนก้ำมีเทนเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น.....	121
4.76	แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D(0.5) ตามความเร็วไหลขึ้น.....	122
4.77	แสดงค่าจำเพาะของแบคทีเรียผลิตมีเทนตามความเร็วไหลขึ้น.....	122
4.78	แบบจำลองการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยผงเชื้อกระดาษ.....	125
4.79	แบบจำลองการเมื่อเติมผงเชื้อกระดาษในปริมาณที่มากเกินไป.....	125



ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย : การสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีด้วยผงเยื่อกระดาษ
สำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ภาษาอังกฤษ : Granulation in an Expanded Granular Sludge Bed Reactor
Using Pulp Powder for Treatment of Piggery Wastewater

1.2 คำสำคัญ

ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB)

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment)

การสร้างเม็ดตะกอน (Granulation)

น้ำเสียฟาร์มสุกร (Piggery Wastewater)

ผงเยื่อกระดาษ (Pulp Powder)

1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันฟาร์มสุกรมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น บางครัวเรือนทำเป็นอาชีพเสริมเป็นการเลี้ยงแบบผสมผสาน บางครัวเรือนทำเป็นธุรกิจหรือการทำเป็นฟาร์ม ตลอดจนถึงการเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จึงส่งผลทำให้เกิดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรปริมาณมากขึ้นและสร้างปัญหาต่อการบำบัด เนื่องจากการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนต้องใช้เวลาานาน และต้องอาศัยเครื่องจักรกลในการเติมอากาศ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่าย ส่วนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่างๆที่มีค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) และซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) สูงๆ ทำให้เกิดผลพลอยได้ออกมาเป็นก๊าซชีวภาพ ในปัจจุบันฟาร์มสุกรต่างๆไปใช้วิธีการบำบัดแบบนี้ ซึ่งแต่ละฟาร์มก็อาจจะใช้ระบบบำบัดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสีย/ของเสีย เช่น ระบบ UASB, H-UASB, MC-UASB-1, Covered Lagoon และ Fixed-Dome ซึ่งแต่ละระบบก็จะมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าการพัฒนาระบบมาอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นจะต้องจัดให้มีระบบบำบัดที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้อาศัยข้างเคียงหรือสิ่งแวดล้อม

ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นระบบไร้อากาศที่ได้รับการพัฒนาและใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามในระบบยูเอเอสบีมีโอกาสที่จะเกิดการไหลลัดทางของน้ำเสียอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น การกระจายจุดน้ำเข้าไม่เพียงพอ ความเร็วน้ำเข้าระบบต่ำ เป็นต้น ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นและทำการพัฒนาระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed) ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำทิ้งเพื่อช่วยการเพิ่มการสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียให้เพียงพอ ซึ่งมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ เนื่องจากจะมีการส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่เซลล์จุลชีพได้ดีกว่าระบบยูเอเอสบี ระบบนี้มีการขยายตัวของชั้นสลัดจ์ทั้งชั้นหรือขยายตัวบางส่วนและความคงตัวของระบบขึ้นอยู่กับความสามารถในการตกตะกอนและความแข็งแรงของโครงสร้างเม็ดตะกอน (granules) ในขณะที่ความเร็วไหลขึ้นเป็นปัจจัยควบคุมเพื่อให้มีการผสมที่ดีระหว่างน้ำเสียกับจุลชีพ และปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบคือการสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์

การสร้างเม็ดตะกอนยังคงเป็นปัญหาสำคัญประการแรก เนื่องจากการสร้างเม็ดตะกอนนั้นใช้เวลานานหลายเดือน การลดเวลาในการสร้างเม็ดตะกอน การสร้างเม็ดตะกอนให้มีขนาดใหญ่และให้ความหนาแน่นนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี

ปัจจุบันได้มีการนำสารเคมีหลายชนิดเติมลงในระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อช่วยในการสร้างเม็ดตะกอน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาในการสร้างเม็ดตะกอนให้มีประสิทธิภาพ โดยใช้ผงเชื้อกระดาษที่ผลิตมาจากของเสียโรงงานเชื้อกระดาษช่วยในการสร้างเม็ดตะกอน โดยศึกษาถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเติมลงในระบบบำบัดอีจีเอสบี การสร้างเม็ดตะกอน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นรวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี โดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการเดินระบบจริง และใช้พัฒนารูปแบบถังหมักที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบบำบัดอีจีเอสบีที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษสำหรับสร้างเม็ดตะกอนในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

2. เพื่อศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของผงเชื้อกระดาษต่อการสร้างเม็ดตะกอนในระบบบำบัดอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบซึ่งได้แก่ อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนและประสิทธิภาพของระบบ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบอีจีเอสบี ความเข้มข้นที่เหมาะสมของผงเยื่อกระดาษ ในการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ รวมทั้งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น งานวิจัยทั้งหมดเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แบบจำลองระบบอีจีเอสบีทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรในจังหวัดนครปฐม ขอบเขตของงานวิจัยมีดังนี้

1. ถังปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นแบบจำลองระบบอีจีเอสบีเป็นท่ออะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. สูง 2.50 เมตร จำนวน 4 ชุด โดยถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 1 ชุดจะประกอบไปด้วยเครื่องสูบลม 2 ตัว ได้แก่ เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ 1 ตัว และเครื่องสูบน้ำเวียนกลับ 1 ตัว
2. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเก็บมาจากน้ำที่ล้นออกจากบ่อพักซึ่งตกตะกอนของแข็งออกก่อนแล้ว
3. ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทดลอง คือ ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ความเร็วไหลขึ้น และความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษ
4. สารเคมีที่ใช้ในการช่วยในการสร้างเม็ดตะกอนคือ ผงเยื่อกระดาษ ซึ่งเป็นผงสารเคมีสีขาวสกัดจากตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษของประเทศญี่ปุ่น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับการสร้างเม็ดตะกอน โดยใช้ผงเยื่อกระดาษช่วยสร้างในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบ
2. เพื่อทราบถึงความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสมในการเติมลงในระบบบำบัดอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร
3. ทำให้สามารถทราบความเป็นไปได้ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียโดยถังปฏิกรณ์แบบอีจีเอสบี เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับฟาร์มสุกรภายในประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ของเสียจากฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, <http://www.pcd.go.th>, [25 พฤษภาคม 2550])

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ของเสียที่เกิดจากมูลสุกรและเศษอาหารที่ตกค้างในคอก
2. ของเสียที่เกิดจากการล้างคอกด้วยน้ำ และปัสสาวะสุกรซึ่งจะกลายเป็นน้ำเสีย

ซึ่งลักษณะของของเสียทั้ง 2 ประเภทสามารถกล่าวรายละเอียดได้ดังนี้

1. มูลสุกร

การเลี้ยงสุกรทำให้เกิดมูลสุกรเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น โดยเฉพาะบนพื้นคอกที่มีการหมักหมมของมูลสุกรและใต้พื้นคอกที่มีการตกค้างของมูลสุกร ปัสสาวะ และน้ำจากการล้างคอก นอกจากนี้มูลสุกรที่เก็บกวาดออกจากพื้นคอกแล้วนำมาตากแห้ง จะต้องมีการควบคุมดูแล โดยไม่ควรงอทิ้งมูลไว้เป็นเวลานาน เพราะความชื้นในอากาศและอุณหภูมิอาจมีความเหมาะสมที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาจนเกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นได้

2. น้ำเสียฟาร์มสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือน ซึ่งในการทำความสะอาดคอกด้วยน้ำควรเก็บกวาดมูลสุกรออกก่อน จะได้ไม่เพิ่มปริมาณความสกปรกให้กับน้ำเสีย จากการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกรพบว่าน้ำเสียฟาร์มสุกรมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ดังนี้

3. ของเสียอื่นๆ

ของเสียอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกรต้องมีการกำจัดที่ถูกต้อง เช่น ขวดยา ขวดน้ำเสีย เข็มฉีดยา รก และซากสุกรที่ตายต้องมีการฝังกลบให้เรียบร้อย สำหรับถุงใส่อาหารสัตว์ที่ใช้ในการเลี้ยงสุกรสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือใช้เป็นถุงบรรจุมูลสุกรขายเป็นปุ๋ย เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

อัตราการเกิดน้ำเสีย(ลิตรต่อตัวต่อวัน)	10-20
บีโอดี (มีลลิกรัมต่อลิตร)	1,500-3,000
ซีโอดี (มีลลิกรัมต่อลิตร)	4,000-7,000
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มีลลิกรัมต่อลิตร)	2,000-4,800
ไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น (มีลลิกรัมต่อลิตร)	400-800
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มีลลิกรัมต่อลิตร)	8-17
ความเป็นกรดต่างของพีเอช	6-8

ที่มา : (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.1.1 การจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, <http://www.pcd.go.th>, [25 พฤษภาคม 2550])

ของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกรทั้งมูลสุกรและน้ำเสียมีวิธีในการจัดการกับของเสียดังแสดงในรูปที่ 3.1 หรือสามารถกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

2.1.1.1 การจัดการมูลสุกร

มูลสุกรที่เก็บกวาดออกก่อนที่จะทำการฉีดล้างคอกสุกร อาจนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น

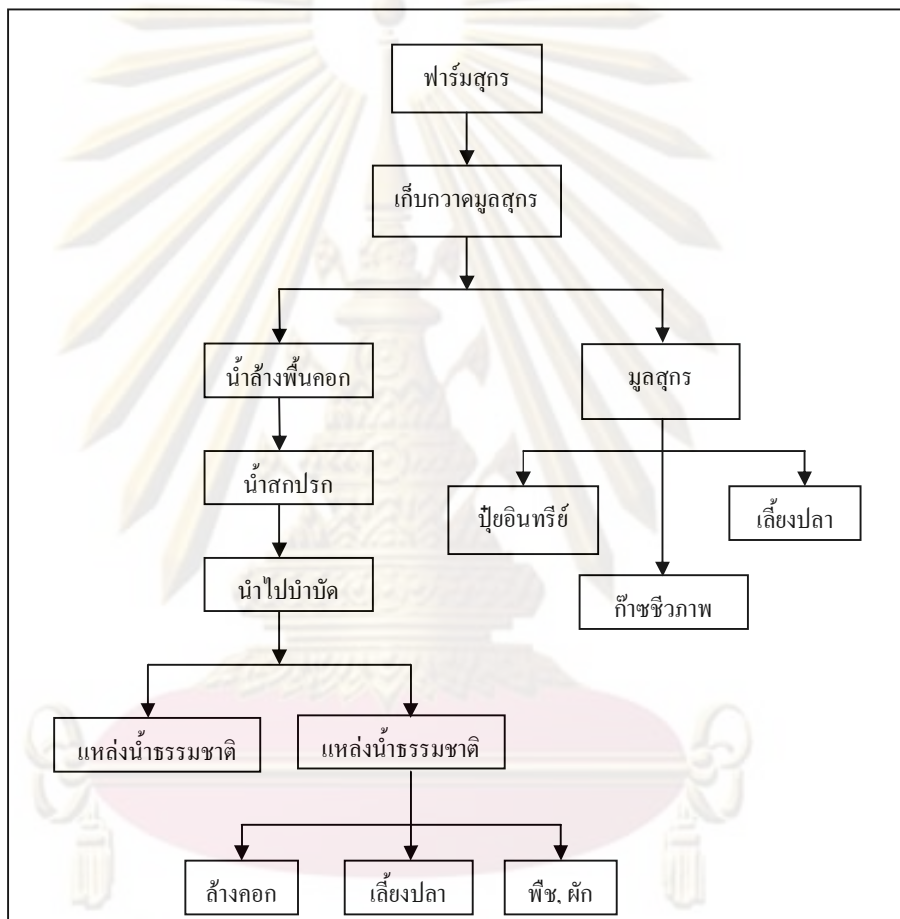
- ขายสดให้แก่เกษตรกรที่ต้องการ
- ตากให้แห้งแล้วนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการเกษตร
- นำมูลสุกรที่ตากแห้งหรือมูลสุกรสด ไปเป็นอาหารปลาโดยตรง หรือผสมในสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาแต่ไม่ควรใช้ในปริมาณที่มากเกินไป เพราะจะทำให้ให้น้ำเน่าและปลาตายได้
- นำมูลสุกรและน้ำเสียไปหมักในสภาพไร้อากาศทำให้เกิดก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม จุดตะเกียง กกลูกหมู หรือผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น สำหรับมูลสุกรที่ผ่านการหมักแล้วนำไปเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืชได้

2.1.1.2 การจัดการน้ำเสีย

ฟาร์มสุกรส่วนใหญ่จะเป็นฟาร์มสุกรขนาดเล็กและฟาร์มสุกรรายย่อย ดังนั้นหลักในการจัดการน้ำเสีย คือ ต้องแยกมูลสุกรออกจากน้ำเสีย เพื่อลดการสิ้นเปลืองของบ่อพักน้ำเสียและลดความสกปรกของน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่บ่อพัก โดยการเก็บกวาดมูลสุกรออกก่อนทำการฉีดล้างคอก บ่อพักน้ำเสียควรมีประมาณ 2-3 บ่อต่อเนื่องกัน น้ำจากบ่อสุดท้ายสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก เช่น ใช้ล้างพื้นคอก สูบใส่บ่อเลี้ยงปลา ใช้รดน้ำต้นไม้ ส่วนรางระบายน้ำเสียควรอยู่ใต้หลังคา

โรงเรือนเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำฝนไหลมารวมกับน้ำเสียเป็นการลดปริมาณน้ำเสียที่จะต้องนำไปบำบัดและเพื่อป้องกันปัญหาน้ำล้นบ่อพัก

ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง และสามารถบำบัดน้ำเสียจนได้มาตรฐาน ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment) หรือแบบเร่งตะกอน (Activated Sludge, AS) แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงสำหรับติดตั้งอุปกรณ์เติมอากาศ และเสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบที่ใช้พลังงานสูง



รูปที่ 2.1 กระบวนการจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร
(กรมควบคุมมลพิษ, <http://www.pcd.go.th.>, [25 พฤษภาคม 2550])

2.1.2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, <http://www.pcd.go.th.>, [25 พฤษภาคม 2550])

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้พยายามแก้ไขปัญหามลพิษน้ำที่เกิดจากการเลี้ยงสุกรให้กระทบกระเทือนประชาชนน้อยที่สุด โดยการประกาศมาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรออกเป็น 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐาน ก และ มาตรฐาน ข ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร				
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด		
		มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข	วิธีการตรวจสอบ
1.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5 - 9	5.5 - 9	pH meter แบบ Electronmetric Titration ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย
2.บีโอดี (BOD)	มก./ล.	60	100	Azide Modification หรือ Membrane Electrode
3.ซีโอดี (COD)	มก./ล.	300	400	Potassium Dichromate Digestion แบบ Open Reflux หรือ Closed Reflux
4.ของแข็งแขวนลอย(SS)	มก./ล.	150	200	Glass Fiber Filter Disc และอบให้แห้งที่ อุณหภูมิ 103 ° - 105 ° C
5.ไนโตรเจนรวม (TKN)	มก./ล.	120	200	Kjeldahl และตรวจวัดแอมโมเนียด้วยวิธีการ Colorimetric หรือ Ammonia Selective Electrode

หมายเหตุ : มาตรฐานประเภท ก ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มสุกรขนาดใหญ่
มาตรฐานประเภท ข ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน

ในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์สูงโดยวิธีทางชีวภาพนี้ ขั้นตอนแรกควรเป็นระบบย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน เพราะเนื่องจากค่าใช้จ่ายสำหรับระบบนี้จะต่ำกว่าแบบใช้ออกซิเจนมาก นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ 80-90% จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนที่ถูกนำไปสร้างเซลล์จะมีน้อยมาก ปัญหาในการกำจัดตะกอนจึงมีน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจนมาก ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย แต่ข้อเสียที่สำคัญคือแบคทีเรียที่ใช้ในระบบบำบัดเจริญเติบโตช้า ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบยาวนานมาก นอกจากนี้ในระบบจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นเหม็น น้ำเสียอาจมีสีดำ เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบของโลหะต่างๆ ในน้ำเสียเกิดเป็นสารประกอบซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ

2.2.1 ลักษณะทางชีวเคมีของกระบวนการไร้ออกซิเจน (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2536)

ปฏิกิริยาน้ำเสียทั่วไปส่วนมีลักษณะพื้นฐานร่วมกันคือเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชันรีดักชัน หรือรีดอกซ์ ปฏิกิริยารีดอกซ์หมายถึงปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้และสารรับอิเล็กตรอน ทั้งนี้พลังงานเคมีเป็นพลังงานส่วนใหญ่ที่สิ่งมีชีวิตนำมาใช้แหล่งของพลังงานเคมีก็คือสารอินทรีย์ซึ่งจำเป็นที่จะต้องเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพราะมีพลังงานในตัวสูงและสารอย่างอื่นที่อยู่ในน้ำจะเป็นสารรับอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนมีความแตกต่างอยู่ที่ประเภทของสารรับอิเล็กตรอน ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน ปฏิกิริยาก็เป็นแบบใช้ออกซิเจนหรือแอโรบิก ถ้าสารรับอิเล็กตรอนไม่ใช้ออกซิเจน แต่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์หรือไนเตรทหรือซัลเฟต ปฏิกิริยาก็เป็นแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการไร้ออกซิเจนมีหน้าที่ 2 ประการหลักคือ

1) บำบัดสลัดจ์หรือสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์ (อาจเป็นจุลินทรีย์หรือสารอินทรีย์ใดๆก็ได้) โดยใช้ทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2) การบำบัดน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสียมักเป็นกระบวนการขั้นต้นที่ใช้ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เหลือน้อยลงก่อนส่งต่อไปให้กระบวนการแอโรบิกทำการกำจัดสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือ วิธีการนี้จะช่วยประหยัดทั้งพลังงานและสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้มาก

กระบวนการไร้ออกซิเจนมีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งแตกต่างจากกระบวนการแบบใช้ออกซิเจนอย่างเด่นชัดหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น

- กระบวนการไร้ออกซิเจนที่ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา
- มีอัตราการสร้างตะกอนสลัดจ์ต่ำมาก
- ไม่สามารถลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้เหลือต่ำมากได้
- มีเสถียรภาพต่ำ
- ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ

2.2.2 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยไร้ออกซิเจน

ภายในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ สารประกอบอินทรีย์ขนาดเล็กจะถูกส่งผ่านเข้าไปในเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้เลย ส่วนสารประกอบที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะต้องถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้มีขนาดเล็กจนสามารถถูกส่งผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ เมื่อสารอินทรีย์อยู่ในเซลล์แล้วจะถูกออกซิไดส์หลายครั้งจนในที่สุดกลายเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ผลสุดท้ายมีหลายขั้นตอน ลำดับขั้นตอนของปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลักได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ลดขนาดของสารอินทรีย์เพื่อให้สามารถนำเข้าไปในเซลล์ได้ เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล เป็นต้น ซึ่งเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากเซลล์ (Extracellura enzyme) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

โมเลกุลขนาดเล็กที่เกิดจากขั้นตอนที่ 1 จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของแบคทีเรีย โดยผ่านกระบวนการเฟอร์เมนเตชัน (Fermentation) ซึ่งผลสุดท้ายจะมีทั้งสารที่อยู่รูปรีดิวส์และรูปออกซิไดส์ ผลผลิตที่เป็นรูปออกซิไดส์ส่วนใหญ่ได้แก่ กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile acids) ที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ปฏิกิริยาในการสร้างกรดอินทรีย์เหล่านี้เรียก เอซิด โดเจเนนิซิส (Acidogenesis) และแบคทีเรียที่รับผิดชอบเรียกว่าแบคทีเรียสร้างกรด ผลผลิตที่เป็นรูปรีดิวส์เป็นสารอินทรีย์หลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ เช่น

- แบคทีเรียสร้างกรดบางชนิดสามารถใช้ฮิโดรเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนแทนสารอินทรีย์ ทำให้เกิดโมเลกุลของไฮโดรเจนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา ในกรณีเช่นนี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวซ์เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก

- แบคทีเรียบางตัวสามารถใช้กรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ได้ ปฏิกิริยานี้สามารถสร้างไฮโดรเจนจากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่เรียกว่า ไฮโดรจีโนเจเนซิส (Hydrogenogenesis) เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดอาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน เพราะฉะนั้นแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนจึงเป็นแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียสองชนิดนี้อาจรวมเรียกว่าได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน (non-methanogenic bacteria) แบคทีเรียที่สร้างมีเทนส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาด (Obligate anaerobes)

พบว่าไฮโดรเจนถูกใช้ในการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นมีเทน ดังนั้นการอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สร้างและไม่สร้างมีเทนจึงให้ประโยชน์ร่วมกัน แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนมอบกรดอะซิติกและสารอินทรีย์อย่างง่ายให้แก่แบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งในการสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน

ผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปในเซลล์ เพื่อใช้ไปเป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิอิก กรดบิวทิริก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลาย สารประกอบโมเลกุลเล็กและชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นกับปัจจัย 2 ประการคือ

- ชนิดของสับสเตรท
- ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น

ตัวอย่างเช่น น้ำตาลกลูโคสถูกย่อยสลายเป็นกรดอะซิติกไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านวิถี Embden-Meyerhof pathway (EMP) หรือ Glycolysis ภายใต้อาณัติของความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่แตกต่างกัน ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานะที่ความดันพาร์เซียของไฮโดรเจนต่ำ

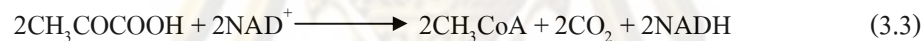
กลูโคสจะถูกแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนดูดซึมเข้าไปย่อยสลายภายในเซลล์ภายใต้กระบวนการทางชีวเคมีแบบ EMP (Embden-Meyerhof pathway) กลูโคสจะถูกออกซิไดส์เป็นกรดไพรูวิก ดังนี้



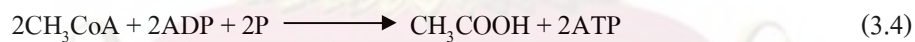
โคเอนไซม์ NAD^+ จะถูกใช้เป็นตัวนำอิเล็กตรอนและไฮโดรเจน ทำให้เกิด NADH และปลดปล่อย H^+ กลายเป็น NAD^+ กลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ดังนี้



ถ้าไฮโดรเจนที่อยู่ในน้ำมีความดันพาร์เซียต่ำจะทำให้สมการ (3.2) สามารถเกิดจากซ้ายไปขวาได้เองและกรดไพรูวิกจะถูกออกซิไดส์ต่อไปกลายเป็นอะซิติลโคเอ (CH_3CoA) ดังนี้



อะซิติลโคเอจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกพร้อมกับการสร้าง ATP ดังนี้



เมื่อรวมสมการ (3.1) (3.3) และ (3.4) เข้าด้วยกัน จะได้ปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ดังนี้



ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นภายใต้บรรยากาศที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซียต่ำมากเท่านั้น และเมื่อกระบวนการไร้ออกซิเจนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะถูกใช้ผลิตมีเทน โดยแบคทีเรีย H_2 utilizer ซึ่งเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนชนิดหนึ่งเป็นผลความดันพาร์เซียไฮโดรเจนมีค่าต่ำเสมอ



สถานะที่ความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนสูง

ถ้าหากไม่มี H_2 utilizer อาศัยอยู่ในถังย่อยไร้ออกซิเจน ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะมีการสะสมตัวจนกระทั่งความดันพาร์เซิลสูง ทำให้การปลดปล่อย H^+ ออกจาก NADH ไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ และวิธีการที่ทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้คือการเปลี่ยนกรดไพรูวิกให้กลายเป็นกรดโพธิโอนิก สามารถทำให้ NADH⁺ ปลดปล่อย H^+ ได้ดังนี้



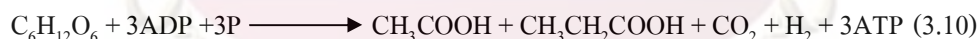
และจากกลูโคส 1 โมล สามารถผลิตกรดไพรูวิกได้ 2 โมล ดังนั้นจะเหลือกรดไพรูวิกอีก 1 โมล ซึ่งจะถูกย่อยสลายเป็นอะซิetyl โคเอ ไปตามปกติดังนี้



และหลังจากนี้ ถ้าความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ การปลดปล่อย H^+ จาก NADH ก็สามารถดำเนินต่อไปได้ แต่ถ้าความดันพาร์เซิลมีค่าสูง การปลดปล่อย H^+ จะต้องเกิดขึ้นควบคู่กับการเปลี่ยนอะซิetyl โคเอให้เป็นการอะซิติก ดังนี้



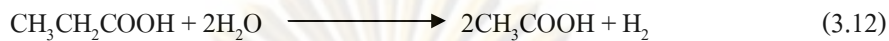
เมื่อรวมสมการ (3.7) (3.8) และ (3.9) เข้าด้วยกัน จะได้สมการดังนี้



ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis)

แบคทีเรียอะซิโตเจนิก (แบคทีเรียสร้างอะซิเตต) เป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นสับสเตรทในการสร้างมีเทนได้โดยตรง เนื่องจากการผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการสับสเตรทเฉพาะเจาะจงมากได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลลามีน (Methylamine) แบคทีเรียอะซิโตเจนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซิลต่ำกว่า 2×10^{-3}

บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ สำหรับการย่อยสลายกรดบิวทริกและกรดโพรพิโอนิกตามลำดับ



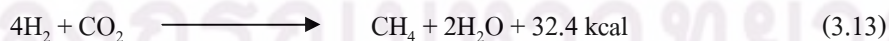
ขั้นตอนที่ 3 นี้จะเกิดเฉพาะในสถานะที่ไฮโดรเจนที่มีความดันพาร์เซี่ยลต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สถานะที่ไฮโดรเจนที่มีความดันพาร์เซี่ยลสูง

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

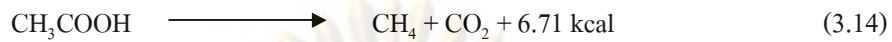
แบคทีเรียที่สร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ยังเป็นเซลล์ที่จำเพาะต่อชนิดอาหารมากและบอบบาง เช่น ไม้อาจทนต่อออกซิเจนแม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อยหรือไม่อาจเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ภายนอกช่วงพีเอชระหว่าง 6.8-7.2 จะพบว่าชั้นสเตรทที่แบคทีเรียทุกตัวสามารถใช้ได้มีเพียงไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์และกรดฟอร์มิกและมีเพียงตัวเดียวที่ใช้กรดอะซิติกและเมทานอลได้ แบคทีเรียสร้างกรดอินทรีย์หลายชนิดและสารอินทรีย์อื่นได้ด้วย แต่แบคทีเรียที่สร้างมีเทนต้องการสารอินทรีย์บางชนิดอย่างเจาะจง กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้ ทำให้ต้องมีสารอีกจำนวนมากที่ตกค้างอยู่ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ระบบไร้ออกซิเจนมักไม่สามารถลดซีโอดีของน้ำเสียให้เหลือค่าเท่ากับกรณีของระบบที่ใช้ ออกซิเจน

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

- แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic methanogen หรือ Hydrogen utilizer) กล่าวคือ ได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานจำนวนมากมาจากไฮโดรเจน แบคทีเรียชนิดนี้สามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสับสเตรทเพียงอย่างเดียวได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากว่ากรดฟอร์มิกสามารถเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย



- แบคทีเรียสร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (Acetolastic methanogen) พบว่ามีเทนส่วนใหญ่ได้จากการแตกตัวของกรดอะซิติกดังนี้



แต่อย่างไรก็ดียังมีข้อสงสัยว่าปฏิกิริยา (3.14) นี้ จะสามารถให้พลังงานพอเพียงในการดำรงชีวิตของเซลล์หรือไม่ (ทั้งนี้เพราะตามทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์ อาจพิสูจน์ได้ว่าสมการ (3.14) ได้พลังงานไม่เพียงพอในการดำรงชีวิตของเซลล์) การเปลี่ยนอะซิเตทให้เป็นมีเทนอาจเกิดขึ้นได้ด้วยปฏิกิริยาที่มีไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานหลักดังนี้



ในปฏิกิริยาอันนี้กรดอะซิติกเป็นสารตัวสุดท้ายในการรับอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจน พลังงานที่ได้สูงกว่าที่ได้จากสมการ (3.14) มาก และเชื่อว่าเพียงพอสำหรับการดำรงชีวิตของเซลล์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ระบบยูเอเอสบี

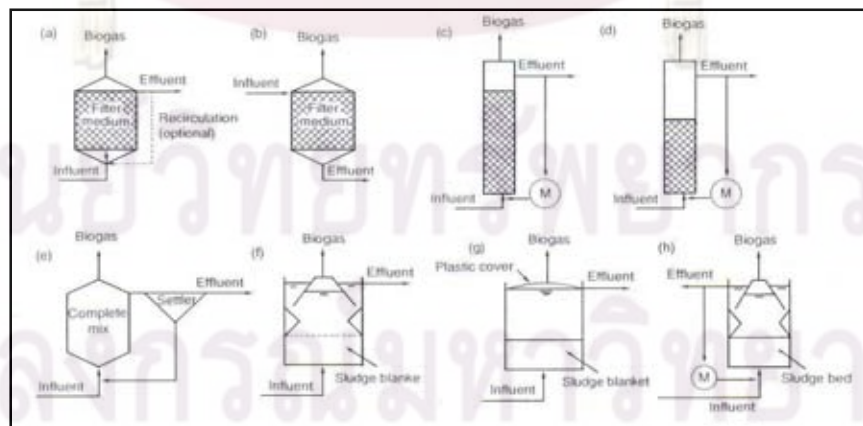
2.3.1 องค์ประกอบของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศชนิดหนึ่ง หลักการในการเดินระบบจะทำการเลี้ยงตะกอนแบคทีเรียให้สะสมอยู่ในถังปฏิกรณ์ และมีปริมาณตะกอนที่หลุดออกจากระบบน้อย โดยไม่ใช้ตัวกลางเพื่อให้ตะกอนเกาะติด ทั้งนี้ตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ภายในระบบจะรวมตัวกันในรูปของเม็ดตะกอน (Granule) ที่มีน้ำหนักมาก ตกตะกอนได้ดี เกิดเป็นลักษณะชั้นตะกอนในบริเวณด้านล่างของถัง และเนื่องจากมีตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและตกตะกอนไม่ได้ปะปนอยู่ในระบบ การที่จะรักษาตะกอนส่วนนี้ไว้ ต้องติดตั้งส่วนตกตะกอนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำเสีย ตะกอนแบคทีเรียและก๊าซชีวภาพออกจากกัน (Gas-Solid Separator, GSS) ไว้ตอนบนของถังหมัก เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนหลุดออกไปจากถัง และเป็นการเพิ่มเวลาเก็บกักตะกอนในถังปฏิกรณ์ให้นานขึ้น

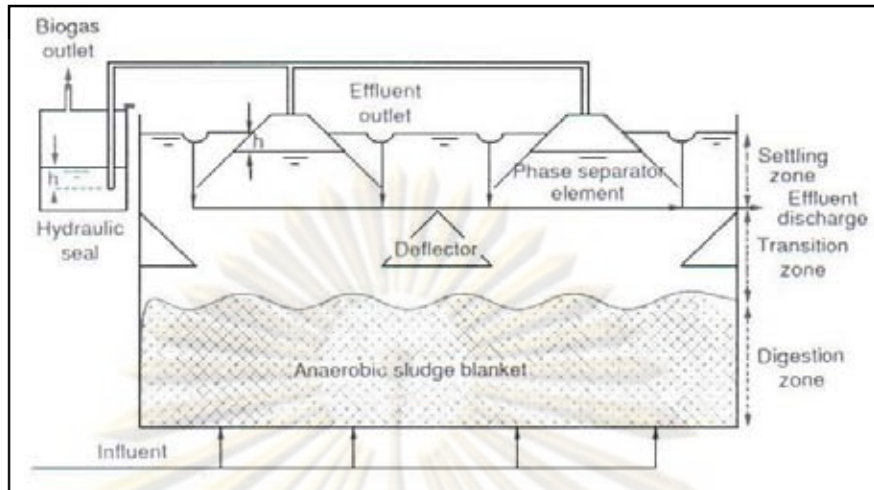
2.3.2 ลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ลักษณะทั่วไปของถังยูเอเอสบี ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นถังรูปทรงสี่เหลี่ยมหรือทรงกระบอก ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ได้แก่

- 1) ส่วนที่เป็นถังหมักพร้อมทั้งระบบป้อนน้ำเสีย (Feed inlet system) ที่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์
- 2) ส่วนตกตะกอนที่อยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ (GSS) ประกอบด้วยแผ่นกั้นเอียงทำมุมประมาณ 45-60 องศา โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำหน้าที่แยกของเหลว ก๊าซ และตะกอนจุลินทรีย์และยังทำหน้าที่ป้องกันการหลุดออกมาจากถังปฏิกรณ์ของตะกอนจุลินทรีย์



รูปที่ 2.2 แสดงระบบไร้อากาศที่รับภาระบรรทุกสูง (High rate) ประเภทต่างๆรวมทั้งระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่ (Van Haandel และ Lettinga, 1994)



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของระบบยูเอสบี (Van Haandel และ Lettinga, 1994)

เมื่อน้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทำให้เกิดเซลล์และก๊าซขึ้น โดยก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์และความเร็วของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ จะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ลอยสู่ด้านบน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่จนถึงส่วนบนของถัง ซึ่งมีอุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสีย และตะกอนแขวนลอย ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นถูกแยกเก็บไปยังส่วนบน และไหลไปตามท่อสู่ที่เก็บก๊าซ ตะกอนจุลินทรีย์จะตกลงสู่ก้นถังปฏิกรณ์ ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกทางด้านบนของถัง

จะเห็นได้ว่า ปัจจัยสำคัญของระบบยูเอสบี คือ การเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกาะเป็นเกล็ดหรือเม็ด ซึ่งมีความหนาแน่น และน้ำหนักมาก เพื่อที่จะตกตะกอนได้ดี ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญของระบบนี้ เพราะถ้าไม่มีการรวมตัวเป็นเม็ด จะทำให้เกิดการหลุดออก (Wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์ได้ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง หรืออาจล้มเหลวได้ นอกจากนี้การป้องกันน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบไม่ให้เกิดเป็นช่อง (Channeling) ก็เป็นสิ่งสำคัญ เพราะมีฉะนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบลดลงได้

วัตถุประสงค์ในการติดตั้ง GSS device สำหรับระบบยูเอสบีโดย (Lettinga, 1991) มีดังนี้

- 1) เพื่อแยก และนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นออกจากถังปฏิกรณ์
- 2) เพื่อป้องกันการหลุดออก (Wash out) ของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น
- 3) เพื่อให้สลัดจ์ตกตะกอนกลับไปด้านล่างของถังปฏิกรณ์
- 4) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) ขยายตัวและฟุ้งกระจายอย่างรวดเร็วเข้าไปในส่วนตกตะกอน
- 5) เพื่อเป็นการทำให้น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วมีคุณภาพที่ดี

2.3.3 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบยูเอเอสบี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากสภาวะขาดแคลนพลังงานในปัจจุบันทวีความรุนแรงขึ้น รวมทั้งมีการแยกเชื้อแบคทีเรีย เช่น Methanogens ออกมาเป็นเชื้อบริสุทธิ์สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของแบคทีเรียไร้อากาศมากขึ้น ข้อดีและข้อจำกัดของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

ข้อดี

- 1) มีความต้องการพลังงานต่ำ เนื่องจากไม่มีการเติมอากาศ
- 2) ไม่ต้องใช้สารตัวกลางสำหรับให้แบคทีเรียเกาะ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลง
- 3) เกิดตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินน้อย เนื่องจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศ เช่น ระบบตะกอนเร่ง เป็นต้น
- 4) สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสีย ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วง 2-10 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- 5) ผลผลิตที่ได้คือก๊าซชีวภาพซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ โดยสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงหรือใช้ทดแทนน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงได้
- 6) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีของแข็งแขวนลอยต่ำ
- 7) ใช้สารเคมีในการปรับพีเอชน้อยขึ้นอยู่กับความเป็นด่างและพีเอชของน้ำเข้า
- 8) ไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตันของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากแบคทีเรียจะรวมกันเป็นเม็ดและเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระภายในถังปฏิกรณ์
- 9) สามารถหยุดระบบได้ทันทีที่ต้องการและพร้อมจะทำงานต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพดั้งเดิมในเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

ข้อจำกัด

- 1) ต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการกวน
- 2) ต้องเลี้ยงแบคทีเรียให้จับตัวเป็นเม็ด มิฉะนั้นประสิทธิภาพของระบบจะต่ำ หรือสามารถรับอัตราการบำบัดสารอินทรีย์น้อย
- 3) ต้องพยายามรักษาตะกอนของแบคทีเรียในระบบให้มีปริมาณเหมาะสม และมีการหลุดออกจากระบบต่ำ
- 4) ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (Start-Up) ก่อนข้างนาน โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 3-6 เดือน ในกรณีที่ไม่ม่มีตะกอนเม็ดเป็นตะกอนหัวเชื้อ (Seed)
- 5) แบคทีเรียโดยเฉพาะพวกผลิตมีเทน มีความสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในช่วงสภาวะเหมาะสมที่แคบ เช่น pH 6.8-7.2 จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมพีเอชให้ดีและมีประสิทธิภาพ

- 6) น้ำเสียที่เข้าระบบควรมีของแข็งแขวนลอยและไขมันต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 7) น้ำที่ผ่านการบำบัดยังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง ต้องการระบบบำบัดขั้นสุดท้ายก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

2.3.4.1 ปัจจัยเกี่ยวกับสถานะแวดล้อมจุลินทรีย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

ก) อุณหภูมิ

ระบบยูเอเอสบีสามารถแบ่งช่วงการทำงานในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ 3 ช่วงคือ

- 1) ช่วงการทำงานของเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ช่วงนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 50 – 65 องศาเซลเซียส
- 2) ช่วงการทำงานของมีโซฟิลิก (Mesophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 20 – 45 องศาเซลเซียส
- 3) ช่วงการทำงานของไซโคฟิลิก (Psychrophilic) จะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

แม้ว่าในช่วงเทอร์โมฟิลิก จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิก แต่ที่นิยมให้แบคทีเรียอยู่ในช่วงมีโซฟิลิกในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เนื่องจากพบว่าพวกเทอร์โมฟิลิกจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่า ส่วนช่วงไซโคฟิลิก ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นน้อยมากและในส่วนของ การย่อยสลาย (Hydrolysis) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ จึงมีความสำคัญมากกว่าจะให้ มีอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด

ข) สภาพความเป็นกรด-ด่าง

สภาพความเป็นกรด-ด่าง เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากต่อการทำงานของแบคทีเรีย ในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งต้องอาศัยแบคทีเรียสองพวกทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง ในการรักษาสมดุลของระบบ แบคทีเรียจะต้องสร้างกรดเท่ากับอัตราการใช้ไปเพื่อสร้างก๊าซมีเทน แต่ถ้ามีการสร้างกรดระเหยง่ายมากเกินไปจะส่งผลให้พีเอชของระบบต่ำ เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ทั้งนี้ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศควรมีค่าประมาณ 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของกรดอะซิติก หากมีค่ามากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลง

สภาพความเป็นด่างในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ ถ้าอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีค่าลึงบัฟเฟอร์สูง หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าค่าลึงบัฟเฟอร์ของระบบมีค่าต่ำมาก พีเอชสามารถที่จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว สำหรับสัดส่วนของความเป็นด่างต่อซีโอดี (ALK/TCOD) ตามรายงานของ (Souza, 1986) กล่าวว่าอัตราส่วนความเป็นด่างต่อซีโอดีในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.5 และพีเอชของน้ำออกไม่ควรต่ำกว่า 6.6 อย่างไรก็ตาม (Gonzalez และคณะ, 1998) ได้กล่าวว่าสามารถใช้อัตราส่วนระหว่างความเป็นด่างต่อซีโอดีเท่ากับ 0.4 ได้โดยไม่เกิดการลดลงของพีเอชและการทำลายโครงสร้างของเม็ดตะกอน

ในบางครั้งภายในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศมีค่าความเป็นด่างไม่เพียงพอที่จะควบคุมพีเอช จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเติมสารเคมีเข้าไปเพื่อให้ระบบมีค่าลึงบัฟเฟอร์สูงขึ้น สารเคมีดังกล่าวมีด้วยกันหลายประเภท เช่น สารเคมีพวกด่างแก่ สารพวกไบคาร์บอเนต และพวกคาร์บอเนต โดยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) เป็นสารเคมีที่ดีที่สุดในการควบคุมพีเอชเพราะสามารถละลายน้ำได้ดี และให้ค่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนตแก่ระบบโดยตรง แต่สารเคมีชนิดนี้มีราคาแพงกว่าสารเคมีตัวอื่นๆ จึงได้มีการทดลองใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) แทน ซึ่งพบว่าสามารถรักษาค่าลึงบัฟเฟอร์ได้ดีและยังทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดีมากขึ้น

ค) สารอาหารเสริม (Nutrient)

การบำบัดด้วยกระบวนการไร้อากาศ มีข้อดีอย่างหนึ่งคือ มีเซลล์จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นมาน้อยกว่าแบบใช้อากาศ ดังนั้น จึงต้องการอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่ำกว่า (McCarty, 1964) กล่าวว่า จุลินทรีย์ต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างน้อยควรมีอัตราส่วน $\text{BOD:N:P} = 100:1.1:0.2$ ในปัจจุบันพบว่าแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ต้องการธาตุอาหารบางอย่างในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ มีฉะนั้นระบบไม่อาจดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ธาตุดังกล่าวได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล และซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์) แต่อย่างไรก็ดีซัลไฟด์สามารถทำให้โลหะต่างๆ ตกผลึกแยกออกจากน้ำได้ เช่น เหล็กกับซัลไฟด์ เป็นผลึกที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้ ปัจจุบันอาจทำได้โดยเติม Yeast Extract ให้แก่ระบบโดยตรง

ง) ศักยภาพการให้อิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน (Oxidation-Reduction Potential)

ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปสารหนึ่งเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) ซึ่งเป็นผลรวมของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ให้อิเล็กตรอน) และปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน) ความสามารถในการให้ และรับอิเล็กตรอนระหว่างปฏิกิริยา ทั้งสองอาจวัดได้ด้วยค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน โปเทนเชียล หรือเรียกสั้นๆว่า โออาร์พี (ORP)

จ) สารพิษ (Toxic Substance)

น้ำเสียที่จะบำบัดด้วยกรรมวิธีทางชีววิทยาไม่ควรมีสารที่เป็นสารพิษอยู่ เพราะจะไปรบกวนการทำงานของแบคทีเรียในระบบ หรือยับยั้งการเจริญเติบโต โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ ความรุนแรงของพิษย่อมขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้นๆ ด้วย สารที่เป็นพิษต่อระบบ ได้แก่

- พิษของไอออนบวกโลหะหนัก

ไอออนบวกที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ได้แก่ โซเดียม (Na^+) โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้โดยปกติในระบบความเข้มข้นที่พอเหมาะ จะเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินไป ความจำเป็น จะเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ปกติที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าไอออนบวกที่มีวาเลนซ์ต่ำ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งไอออนบวก (McCarty, 1964)

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

พิษของไอออน สามารถลดความเป็นพิษลงได้ (Antagonism) เมื่ออยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ ในปริมาณที่เหมาะสม เช่น พิษของ Na^+ มีความเข้มข้น 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้ลดลงได้ถ้ามี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 50 - 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในทางตรงกันข้ามไอออนบางชนิด จะไปเพิ่มความเป็นพิษให้มากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกัน (Synergism)

การยับยั้งจากโลหะหนัก (Heavy Metal) มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ (Mosey และ Highes, 1975) ศึกษาพบว่า Cu^{2+} มีผลต่อระบบมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ความเป็นพิษของโลหะหนักสามารถลดลงได้ ถ้าน้ำเสียมีปริมาณของซัลไฟด์พอเหมาะเพราะว่าซัลไฟด์ สามารถรวมกับโลหะหนักเป็นเกลือของโลหะหนักซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่อย่างไรก็ดีโลหะหนักบางประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับแบคทีเรีย แม้จะในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม

ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ในการขั้วยัง
ประสิทธิภาพ 50% (Mosey และ Hughes, 1975)

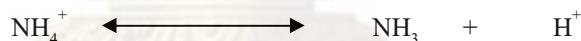
โลหะหนัก	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Fe ⁺	1-10
Zn ²⁺	10 ⁻⁴
Cd ²⁺	10 ⁻⁷
Cu ⁺	10 ⁻¹²
Cu ²⁺	10 ⁻¹⁶

- พิษของกรดอินทรีย์ระเหย

กรดอินทรีย์ระเหยถ้าถูกสร้างมามากเกินไป เช่น ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์หรืออาหารอื่นเข้ามามาก แบคทีเรียที่ผลิตกรดอินทรีย์ระเหยออกมามาก หากว่าระบบมีกำลังของบัพเฟอร์ไม่เพียงพอ จะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลง ส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียผลิตมีเทนได้

- พิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในน้ำเสียของระบบไร้อากาศ มาจากการย่อยสลายพวกโปรตีน โดยไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจะอยู่ของแอมโมเนียไอออน (NH₄⁺) และแอมโมเนีย (NH₃) ดังสมการ



โดยปริมาณของแอมโมเนียไอออนนี้ ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช คือ ที่พีเอชประมาณ 7 ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีประมาณ 1% ของแอมโมเนียทั้งหมด โดยจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียไอออน 99% แต่ถ้าพีเอชมีค่าสูงขึ้น ปฏิกริยาจะไปทางขวามากขึ้น ทำให้เกิดแอมโมเนียมาก ซึ่งแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่าแอมโมเนียไอออน โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียคือมากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการรักษาพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 หรือต่ำกว่า จะทำให้แอมโมเนียทั้งหมดอยู่ในรูปของแอมโมเนียไอออน ซึ่งเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่า ตารางที่ 2.5 แสดงผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนซึ่งรวมทั้งแอมโมเนียและแอมโมเนียไอออนต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

ตารางที่ 2.5 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ
(Kugelman และ McCarty, 1965)

แอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ผลต่อระบบ
50 – 200	ปริมาณพอเหมาะ
200 – 1,000	ยังไม่เกิดผลชัด
1,500 – 3,000	เริ่มยับยั้งเมื่อมีค่าพีเอชสูง
> 3,000	เป็นพิษโดยตรง

ด) ผลของซัลเฟต

การที่น้ำเสียมีปริมาณของซัลเฟตมาก จะทำให้แบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ได้ โดยกลุ่มของ Sulfate Reducing Bacteria (SRB) เช่น Desulfovibrio, Desulfotomaculum จะสามารถใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายได้ โดยซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ได้ดังสมการ



โดยแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) จะแย่งอาหารกันกับพวกผลิตมีเทน (Methanogenic Bacteria) โดยสามารถใช้อะซิเตทและไฮโดรเจนเป็นสารอาหาร และจากค่า $\Delta G'$ แสดงให้เห็นว่า สามารถชนะแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนได้ ทำให้ผลผลิตที่เป็นก๊าซมีเทนลดน้อยลง นอกจากนี้การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ถ้ามีปริมาณมากเกินไป อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาในแง่การใช้ไฮโดรเจนเป็นสารอาหารของแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) จะทำงานสัมพันธ์กันกับแบคทีเรียที่ผลิตไฮโดรเจน โดยจะช่วยทำให้ Hydrogen Partial Pressure มีค่าต่ำเสมอ ทำให้เป็นการลดการสะสมตัวของก๊าซไฮโดรเจนทางหนึ่ง ดังนั้นแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตได้จึงมีบทบาทต่อการสร้างกรดอินทรีย์ระเหย และมีผลกระทบต่อการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไพรูโพนิกด้วย

2.3.5 ปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงาน

นอกจากสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมดังที่กล่าวมา การควบคุมจุลินทรีย์ให้ทำงานได้ดี จำเป็นต้องรักษาสภาพทางฟิสิกส์ต่อตัวจุลินทรีย์ อันเป็นหัวใจของการทำงานให้เหมาะสมต่อไป ดังนี้

2.3.5.1 การรักษาปริมาณจุลินทรีย์

การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ไว้ให้ได้สูงสุด และจมตัวได้ดี โดยใช้ชุดแยกสามสถานะทำงานปกติ นั่นคือต้องทำให้จุลินทรีย์รวมกันเป็นเม็ด (Granular) (Wiegand และคณะ, 1985) ได้ให้ปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดภาวะรวมกันเป็นเม็ดดังนี้

- 1) ปริมาณอ็อกซิเจนประจุบวกสอง
- 2) HRT หรือความเร็วไหลขึ้นของน้ำเสีย
- 3) ความเข้มข้นของน้ำเสียขาเข้า
- 4) แรงกดที่มีต่อกลุ่มสลัดจ์ในถัง
- 5) อัตราการผลิตก๊าซที่กั้นถัง
- 6) การกักพันธุจุลินทรีย์ที่จมตัวได้ดีเอาไว้
- 7) ใช้ตะกอนเริ่มต้นที่ดี เพื่อให้มี Methanogenic Activity สูงเพียงพอ

2.3.5.2 การกระจายน้ำเสียเข้าอย่างทั่วถึง

เพื่อป้องกันการไหลลัดวงจรของน้ำเสียผ่านชั้นตอน (BED) ซึ่งถึงตลอด จุดเข้าหนึ่งจุดอาจครอบคลุมได้ถึง 5 - 10 ตารางเมตร ส่วนถึงขนาดใช้จริงต้องเพิ่มจุดเข้าเป็นหนึ่งจุดต่อพื้นที่ 1-2 ตารางเมตร

2.3.5.3 การควบคุมภาระบรรทุกราเข้า

โดยการควบคุมภาระบรรทุกราทุกการสูบเข้าให้ความเร็วไหลขึ้นไม่เกิน 1 เมตรต่อชั่วโมง โดยรักษาซีโอดีหรือค่าเวลากักน้ำ (HRT) ให้เกือบคงที่

2.3.5.4 การรักษาสภาพ Bed – Blanket ไว้ให้ได้

เพื่อมิให้ชุดแยกสามสถานะต้องทำงานเกินกำลัง (Overload) โดยอาจคอยรักษาระดับผิวบนของ Bed จนถึงจุดต่ำสุดของชุดแยกสามสถานะไว้อย่างน้อย 1 เมตร (Buijs และ Heertjes, 1982)

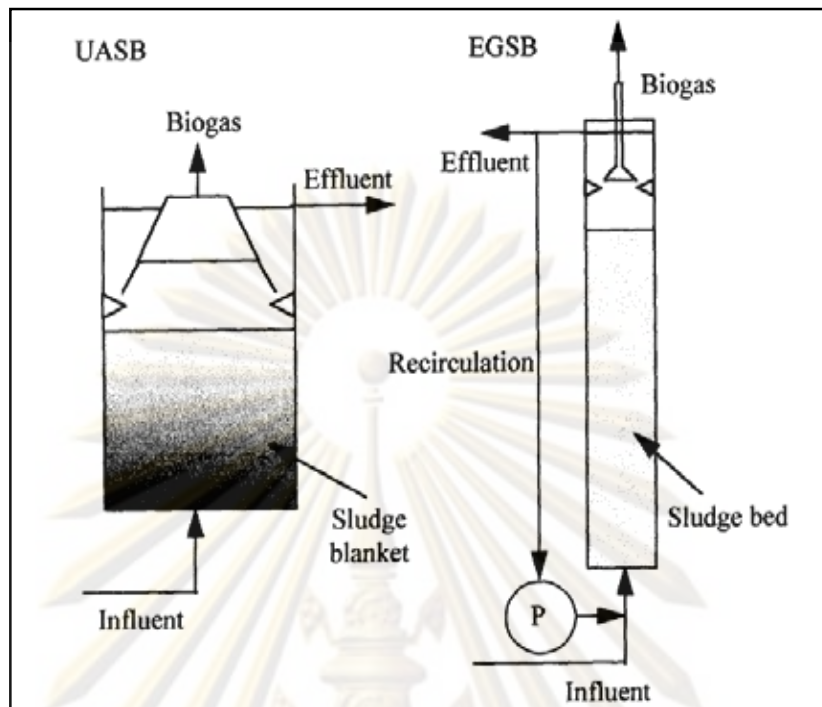
2.4 ระบบอีจีเอสบี

2.4.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีที่ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตรวมกันเป็นเม็ด ในการบำบัดน้ำเสีย การสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อ ประสิทธิภาพและการทำงานของระบบ ในระบบยูเอเอสบีมีโอกาสที่จะเกิดการไหลลัดทางของน้ำ เสียอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น การกระจายน้ำเข้าไม่เพียงพอ ความเร็วเข้าระบบต่ำหรือก๊าซที่ เกิดน้อยเป็นต้น การหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบีช่วยเพิ่มการสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอน และน้ำเสียให้เพียงพอ ซึ่งมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ (Lettinga และคณะ, 1983) อีกทั้ง ยังช่วยเจือจางน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงหรือน้ำเสียที่เป็นพิษก่อนเข้าระบบ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ มากขึ้น

ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB) เป็นระบบที่ได้พัฒนามาจาก ระบบยูเอเอสบีเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการสัมผัสกันของน้ำเสียและจุลชีพด้วยการทำให้เกิด การขยายตัวของชั้นสลัดจ์และการกวนผสมที่ทั่วถึง โดยระบบนี้ที่สำคัญคือความเร็วการไหลในถัง ปฏิกรณ์สูงกว่าระบบยูเอเอสบีทั่วไป ทั้งนี้ความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์สามารถเพิ่มได้โดยการ ติดตั้งระบบเวียนน้ำทิ้ง (Recirculation) ถึงปฏิกรณ์ของระบบอีจีเอสบีมีอัตราส่วนระหว่างความสูง ต่อความกว้างค่อนข้างมาก ระบบการเวียนกลับส่งผลให้ความเร็วไหลในถังปฏิกรณ์มีค่าสูงถึง 5-6 เมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ระบบยูเอเอสบีทั่วไปมีค่าความเร็วไหลขึ้นอยู่ในช่วง 0.5-1.5 เมตรต่อชั่วโมง หรือต่ำกว่า (Kato และคณะ, 1994)

ระบบอีจีเอสบีเป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบชั้นของเม็ดสลัดจ์ (Granular) คล้ายกับ ระบบยูเอเอสบีแต่แตกต่างกันที่ระบบนี้มีการขยายตัวของชั้นสลัดจ์ทั้งชั้นหรือขยายตัวบางส่วน และความคงตัวของระบบขึ้นอยู่กับความสามารถในการตกตะกอนและความแข็งแรงของ โครงสร้างเม็ดสลัดจ์ (Granular) ในขณะที่ความเร็วการไหลเป็นปัจจัยที่ควบคุมเพื่อให้มีการผสมที่ดี ระหว่างน้ำเสีย แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยนี้อาจส่งผลต่อการล้างออก (Wash out) ของสลัดจ์ด้วย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมให้เกิดความสมดุลระหว่างการกวนที่เพียงพอและรักษาปริมาณ สลัดจ์ในระบบ



รูปที่ 2.4 แผนผังส่วนประกอบของระบบ UASB และ EGSB (Seghezzi และคณะ, 1998)

2.4.2 คุณสมบัติของระบบอีจีเอสบี (Seghezzi และคณะ, 1998)

- 1) ค่าความเร็วการไหลสูงอยู่ในช่วงประมาณ 4-10 เมตรต่อชั่วโมง และการะบรทุกสารอินทรีย์เมื่อเปรียบกับระบบยูเอเอสบี โดยสูงถึง 40 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- 2) ชั้นของสลัดจ์มีการขยายตัวมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่เจือจางหรือมีความเข้มข้นต่ำ
- 3) สลัดจ์มีลักษณะเป็นเม็ด (Granular) อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง และมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดี
- 4) ลักษณะการกวนผสมต่างจากระบบยูเอเอสบี กล่าวคือ เนื่องจากค่าความเร็วการไหลในถังปฏิกรณ์สูง และปริมาณก๊าซที่ถูกผลิตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการสัมผัสที่ดีระหว่างน้ำเสียและชั้นสลัดจ์
- 5) ความดันของสลัดจ์บริเวณชั้นล่างมีค่าสูงในกรณีที่ถังปฏิกรณ์สูงมาก แต่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบและการเจริญเติบโตของจุลชีพ
- 6) สลัดจ์ชนิดฟล็อก (flocculent sludge) จะถูกล้างออก (wash out) จากระบบ
- 7) ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารแขวนลอยหรือคอลลอยด์ค่อนข้างต่ำ

ถึงปฏิกรณ์ในระบบอีจีเอสบี มีคุณสมบัติในการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงใกล้เคียงกับถึงปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดส์โดยไม่ต้องใช้ตัวกลางของแข็ง (media) ระบบอีจีเอสบีมีคุณสมบัติในการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) ที่ดีกว่าระบบยูเอเอสบี (Kato และคณะ, 1994) และเหมาะสมที่จะใช้ในกรณีที่มีอัตราการเกิดก๊าซที่ต่ำและการสัมผัสที่ไม่เพียงพอ เช่น ในกรณีของเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ หรือในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ (Psychrophiles) และเหมาะสมที่จะใช้บำบัดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆด้วย (Seghezzi และคณะ, 1998) นอกจากนี้การดำเนินระบบอีจีเอสบีสามารถป้องกันการเคลื่อนตัวของชั้นสลัดจ์ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับการทดลองระบบยูเอเอสบีในห้องปฏิบัติการที่มีอัตราการเกิดก๊าซสูง (Kato และคณะ, 1994)

2.5 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์

2.5.1 ประเภทของตะกอนจุลินทรีย์

ลักษณะของเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนหัวเชื้อ ส่วนประกอบของน้ำเสีย สิ่งแวดล้อมในระบบ และการเริ่มต้นเดินระบบ โดยเม็ดตะกอนอาจมีหลายชนิดดังนี้ (Lettinga และคณะ, 1985 อ้างถึงใน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

1) Sarcina Granule

เป็นเม็ดตะกอนที่มีรูปร่างกลมเกาะกันเป็นกลุ่ม โดยส่วนใหญ่เม็ดตะกอนชนิดนี้ สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติกมากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร. ซึ่งเม็ดตะกอนจะมีขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง < 0.5 มิลลิเมตร) ถูกชะล้างออกจากถังปฏิกริยาได้ง่าย รวมไปถึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ ดังนั้นเพื่อควบคุมประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ ต้องใช้ความเร็วไหลขึ้นของน้ำที่เหมาะสมเพื่อกำจัดตะกอนชนิดนี้ให้หลุดออกจากระบบ โดยปกติจะใช้ความเร็วในการไหลขึ้นของน้ำไม่เกิน 1.0 เมตรต่อชั่วโมง

2) Rod Type Granule

มีเม็ดตะกอนที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นท่อนสั้นๆเป็นส่วนใหญ่ โดยมีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร และมี VSS สูงถึง 90% มักพบในถังปฏิกริยาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันและโรงงานน้ำตาล

3) Filamentous Granule

เป็นเม็ดตะกอนซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีเส้นยาว (Filamentous bacteria) เป็นส่วนใหญ่ เม็ดแบคทีเรียนี้มีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร ภายในมักเป็นพวก inert carrier material จึงมีค่า VSS ต่ำกว่าเม็ดตะกอนสองพวกแรกรูปร่างเป็นแท่งต่อกันเป็นสาย ประกอบด้วย Methanotrix ชนิดที่เป็นเส้น มักเกิดขึ้นมาจากน้ำเสียที่มีแต่กรดไขมันระเหยง่าย

4) Spinky Granule

ในกรณีที่น้ำเสียมีสารแคลเซียมสูง เม็ดแบคทีเรียในระบบยูเอสบีจะประกอบด้วย CaCO_3 มากกว่าร้อยละ 60 โดยมีลักษณะเป็นหนามแหลมเม็ดแบคทีเรียมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร เม็ดตะกอนประเภทนี้มี Activity ค่อนข้างต่ำ และมักพบในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งข้าวโพด

2.5.2 โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

จากที่มีการศึกษา โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ในระบบบำบัดน้ำเสียยูเอสบี โดย (Mcleod และคณะ, 1990) พบว่า มีโครงสร้างภายในเม็ดตะกอนแบ่งออกเป็น 3 ชั้นดังนี้

1) โครงสร้างชั้นนอก

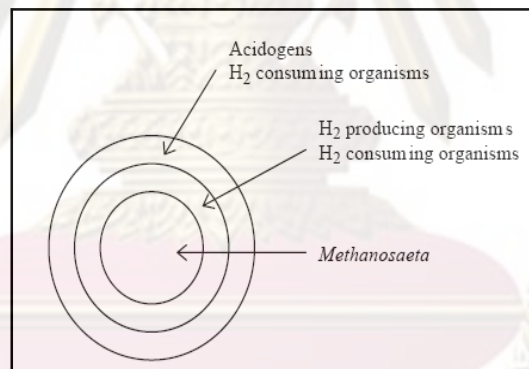
ประกอบด้วยแบคทีเรียจำพวก Acidogens, H_2 consuming organisms

2) โครงสร้างชั้นกลาง

ประกอบไปด้วยแบคทีเรียจำพวก H_2 producing organisms และ H_2 consuming organisms

3) โครงสร้างชั้นใน

ประกอบด้วยแบคทีเรียประเภท Aceticlastic ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Methanosaeta



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทั่วไปของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Mcleod และคณะ, 1990)

โครงสร้างและขนาดของชั้นในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แต่ละชั้น ขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสลายสารอาหาร และการแพร่กระจายของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต จะพบจุลินทรีย์กลุ่ม Acidogenesis ที่บริเวณผิวนอกสุดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทั้งนี้เพราะ นอกจากการที่สารอาหารที่มีความเข้มข้นสูงบริเวณรอบนอกเม็ดตะกอนแล้ว ยังมีสาเหตุมาจาก อัตราการเกิดปฏิกิริยา Acidogenesis ที่บริเวณรอบนอกของเม็ดตะกอนมีค่าสูงกว่าปฏิกิริยา Acidogenesis และปฏิกิริยา Methanogenesis ด้วยเช่นกัน อะซิเตทที่ถูกผลิตขึ้นมาจะแพร่กระจายไปยังโครงสร้างชั้นกลางและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อไป

ในกรณีที่เป็นการนำเสียประเภทโปรตีนหรือกรดอะมิโน เช่น กลูตาเมต ขั้นตอน Acidogenesis จะเป็นขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด (Rate limiting step) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการย่อยสลายและการแพร่กระจายที่ช้าของกลูตาเมต ทำให้มีการแพร่กระจายของสารอาหารอย่างทั่วถึงทั่วเม็ดจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้แบคทีเรียมีลักษณะเหมือนกันทั่วทั้งเม็ดจุลินทรีย์ และไม่เกิดโครงสร้างที่แบ่งเป็นชั้นของกลุ่มแบคทีเรีย (Fang และคณะ, 1994)

2.5.3 Extracellular Polymers

Extracellular Polymers (ECP) เป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติและเป็นสารพื้นฐานของโครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ECP ที่ห่อหุ้มอยู่รอบเซลล์แบคทีเรียแกรมลบมีส่วนประกอบหลักพื้นฐานเป็น Polysaccharide ส่วน ECP ของเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกเป็นส่วนประกอบของ Peptidoglycan ECP สามารถเกิดได้หลายทาง เช่น การสลายตัวของเซลล์หรือจากสารอินทรีย์ที่ถูกขับทิ้งออกมานอกเซลล์ ECP ประกอบไปด้วยโพลิเมอร์ของ Saccharide โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก โดยที่ ECP มีหน้าที่ในการดักจับสารอาหารละลายและยังเป็นตัวช่วยในการยึดเกาะกับเซลล์อื่นๆอีกด้วย

จากรายงานการวิจัย พบว่า แบคทีเรียที่อยู่ภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ล้อมรอบด้วย ECP โดยที่มีปริมาณของ ECP อยู่ในเม็ดตะกอนระหว่างร้อยละ 0.6 – 20 ของ VSS โดยทั่วไปแบคทีเรียที่กระจายตัวอยู่ในน้ำเสีย มักมีคุณสมบัติเป็นประจุลบ และเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างเซลล์ แต่ ECP ที่ห่อหุ้มอยู่รอบผิวเซลล์เป็นประจุบวก ส่งผลให้เซลล์เหล่านั้นเกิดการดึงดูดกันและรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ได้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณ ECP ที่มากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อการรวมตัวกันเป็นเม็ดจุลินทรีย์ได้เช่นกัน เนื่องจากจะเกิดการผลักกันของประจุที่มีมากเกินไป



รูปที่ 2.6 บทบาทของประจุไฟฟ้าที่ผิวและการเกิดของ ECP ต่อการรวมตัวของเม็ดตะกอน

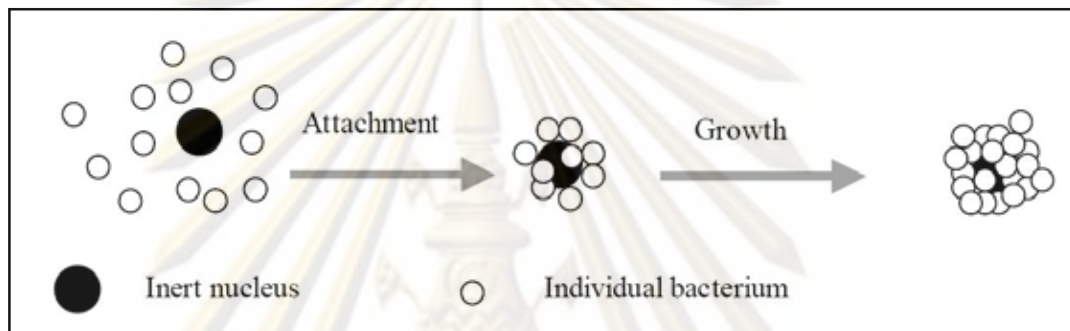
(Schmidt และ Ahring, 1996)

ปริมาณ ECP ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เม็ดจุลินทรีย์เจริญ พบว่า ที่ความเข้มข้นของ ECP ในช่วงอุณหภูมิ Thermophilic มีค่าต่ำกว่าในช่วง Mesophilic รวมทั้งยังขึ้นอยู่กับสารอาหารในน้ำเสียอีกด้วย โดยพบว่าส่วนประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสกัดได้จากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเติมธาตุเหล็ก และ Yeast Extract ลงไปในน้ำเสีย

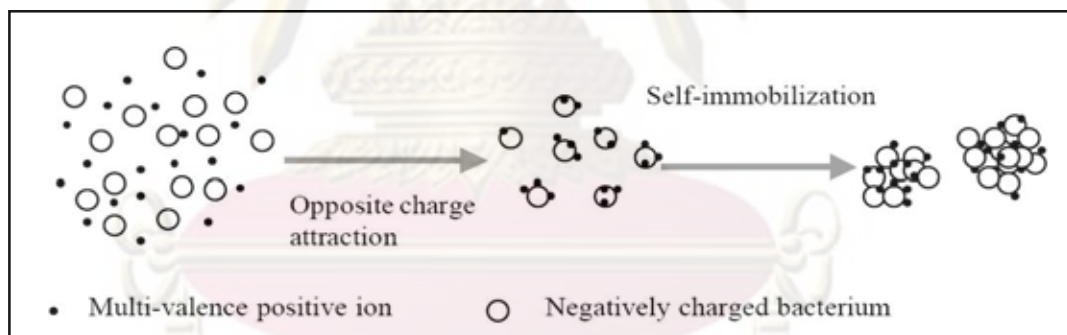
ปัจจุบันยังไม่เป็นที่ทราบกันแน่ชัดว่า ECP เป็นผลที่เกิดจากแบคทีเรียกลุ่มใด แต่พบผลผลิตที่เป็น Polysaccharide จากแบคทีเรียกลุ่ม Methanogenic และ Acetogenic ในปริมาณที่น้อยมาก โดยที่แบคทีเรียกลุ่ม Acidogenic เป็นแบคทีเรียที่มีอิทธิพลต่อการสร้าง ECP

2.5.4 กระบวนการรวมเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

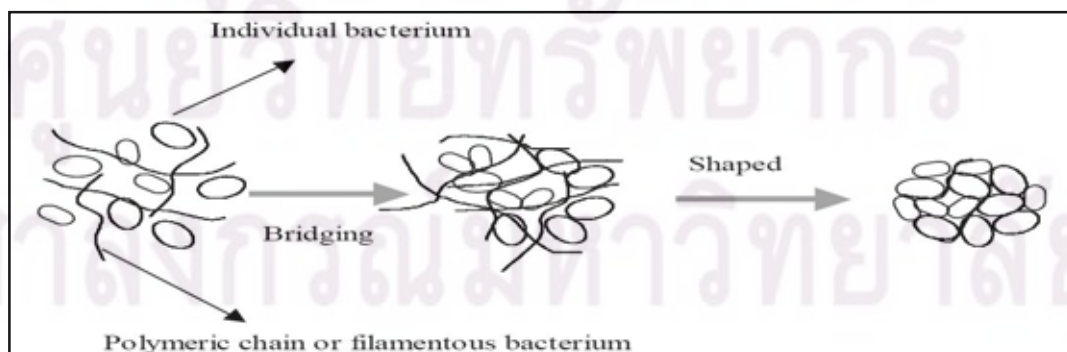
การเริ่มต้นเดินระบบยูเอเอสบีต้องใช้เวลาานาน ดังนั้น (Liu และคณะ, 2003) ได้รวบรวมกลไกและแบบจำลองในกระบวนการเกิดเม็ดตะกอนของระบบยูเอเอสบี ดังรูปที่ 2.7, 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.7 การเกิดเม็ดตะกอนแบบ Inert nuclei model (Liu และคณะ, 2003)



รูปที่ 2.8 การเกิดเม็ดตะกอนแบบ Multi-valence positive ion-bonding model (Liu และคณะ, 2003)



รูปที่ 2.9 การเกิดเม็ดตะกอนแบบ Polymer or filament bonding model (Liu และคณะ, 2003)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจและมีการพัฒนา เพื่อให้การเริ่มต้นเดินระบบใช้ระยะเวลาที่น้อยลง ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเคลื่อนย้ายทางฟิสิกส์ทำให้มีการชนกัน สัมผัสกันระหว่างแบคทีเรียหรือการดึงดูดของแบคทีเรียบนผิวนิวเคลียส (Nuclei) แรงที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนนี้ ได้แก่

- Hydrodynamics force (แรงคั้นของน้ำ)
- Diffusion force (แรงจากการแพร่)
- Gravity force (แรงโน้มถ่วงของโลก)
- Thermodynamic force เช่น การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน
- Cell mobility (การเคลื่อนที่ของเซลล์)

ขั้นตอนที่ 2 แรงดึงดูดที่ทำให้รักษาเสถียรภาพและเซลล์สัมผัสกัน แรงดึงดูดเหล่านี้ ได้แก่

Physical Forces

- Van der Waals force
- แรงดึงดูดระหว่างประจุตรงกันข้าม
- Thermodynamics force
- Hydrophobicity
- สายใยแบคทีเรียที่สามารถเชื่อมเซลล์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน

Chemical forces

- การประสานของ Hydrogen
- การก่อดตัวของ ionic pairs
- การก่อดตัวของ ionic triplet
- อนุภาคของการเชื่อมระหว่างกันและอื่นๆ

Biochemical forces

- การทำให้พื้นเซลล์แห้ง
- การละลายเยื่อหุ้มเซลล์
- การให้สัญญาณและการรวมกลุ่มในแบคทีเรีย






ขั้นตอนที่ 3 Microbial forces ในการทำให้การรวมตัวใหญ่ขึ้นเต็มที่

- ผลผลิตของ Extracellular polymer โดยแบคทีเรีย เช่น exopolysaccharides
- การเติบโตจากการรวมตัวของเซลล์
- การเปลี่ยนแปลง Metabolic และความสามารถทางพันธุกรรมที่ลดลง โดย

สิ่งแวดล้อมซึ่งทำให้เซลล์มีปฏิสัมพันธ์กันสะดวกขึ้น และเป็นผลให้โครงการ Microbial เรียงตัวกัน

สูง

Fang, 2000 กล่าวว่าไว้ว่าการชนและรวมตัวของแบคทีเรียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจนเกิดเม็ดตะกอนไม่ได้เกิดจากความบังเอิญ แต่แบคทีเรียจะหาบริเวณที่จะไปรวมกัน โดยเป็นจุดที่สามารถรับอาหารและมีการกำจัดผลผลิตที่เกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อเกิดการสร้างแกนกลางขึ้นและเจริญเติบโตขึ้นเป็นเม็ดตะกอน ความหนาของชั้นตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นนั้นจะถูกกำหนดโดยสารอาหารและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ Ahn, 2000 ยังได้สร้างแบบจำลองการเกิดเม็ดตะกอนซึ่งมีขั้นตอนดังรูปที่ 2.10 โดยในขั้นแรกแบคทีเรียสร้างมีเทนจะแขวนลอยอยู่ในน้ำ จากนั้นจะเคลื่อนที่มาเกาะติดกันเนื่องจากกลไกทางด้านชลศาสตร์ในถึงส่วนประกอบของเม็ดตะกอนในช่วงนี้ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนจำพวกเส้นใย หลังจากนั้นแบคทีเรียสร้างกรดจะเข้ามาเกาะติดโดยกลุ่มของแบคทีเรียสร้างกรดจะเป็นกลุ่มที่สร้างสารอาหารให้แบคทีเรียชนิดที่สร้างมีเทน เมื่อรวมตัวกันจึงทำให้เกิดเป็นแกนกลางของเม็ดตะกอนที่มีขนาดเล็กและมีความหนาแน่นสูง จากนั้นแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยสลายกลุ่มอื่นๆจึงจะเริ่มมารวมตัวกันทำให้เกิดเป็นตะกอนขึ้น

Appearance	Stage	Diameter	Approximate P_{H_2} condition ($\log P_{H_2}$, atm)
	(A) growth of filamentous (aceticlastic) methanogens and other microorganisms in low hydrogen partial pressure condition	Filament	Low (≈ -6)
	(B) bridging and rolling effects on the growth of filamentous methanogens	< 100 μm	
	(C) growth of a small conglomerate as a loose core; crowded syntrophic acetogens around the surface of the core	< 1 mm	
	(D) growth of a small granule with a dense core; crowded syntrophic hydrogenotrophs and acidogens around the surface of a small granule	1-2 mm	↓
	(E) growth of a large granule with multi-layered structure, due to accumulation of extracellular polymers by hydrogenotrophs	2-5 mm	High (-2.7 ~ -3.7)

รูปที่ 2.10 กระบวนการสร้างเม็ดตะกอน (Ahn, 2000)

2.5.5 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

Hulshoff Pol และคณะ, 1983 ได้ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยได้สรุปขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไว้ 3 อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ ดังนี้

1) อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์น้อยกว่า 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

เป็นขั้นตอนเริ่มต้นเดินระบบ หลังจากทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังยูเอเอสบี ชั้นตะกอนด้านล่างจะเกิดการขยายตัว เนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าไปและก๊าซที่เกิดในระบบ รวมทั้งมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจำพวกเส้นใย (Filamentous Organisms) ทำให้ตะกอนแบคทีเรียจมตัวได้น้อยลง

2) อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ 2-5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ขั้นตอนนี้มีอัตราการสูญเสียตะกอนแขวนลอยสูง เนื่องจากการเพิ่มอัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการผลิตก๊าซมากขึ้น ตะกอนแบคทีเรียที่มีขนาดเล็กหลุดออกจากถัง ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่มีขนาดใหญ่และหนักจะสามารถคงอยู่ในถังได้ ซึ่งถือว่าเป็นการคัดเลือกแบคทีเรียในของระบบโดยอัตโนมัติ ทำให้การรวมตัวกันของตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังมีลักษณะเป็นเม็ดตะกอน ขนาดของเม็ดตะกอนแบคทีเรียจะมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยอาจมีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร ถือเป็นคัดเลือกพันธุ์จุลินทรีย์ของระบบ

3) อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์มากกว่า 5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ขั้นตอนนี้ อัตราการเกิดเม็ดตะกอนแบคทีเรียมีมากกว่าการหลุดออกของตะกอนแบคทีเรีย เนื่องจากตะกอนส่วนที่เบาได้หลุดออกไป หลังจากระบบได้ผ่านขั้นตอนนี้แล้ว ระบบจะสามารถรับอัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ได้มากขึ้น จนถึงค่าสูงสุดที่ระบบสามารถจะรับได้

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าเม็ดตะกอนเป็นหัวใจหลักของระบบยูเอเอสบี อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะเป็นที่ทราบกันดีในเรื่องนี้ แต่นับตั้งแต่การเริ่มศึกษาระบบยูเอเอสบีจนถึงปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปที่แน่นอนเกี่ยวกับกลไกการเกิดเม็ดตะกอน โดยมีเพียงผู้ที่ตั้งทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับการเกิดเม็ดตะกอนไว้เท่านั้น ซึ่งพอจะสรุปและแบ่งได้ดังตารางที่ 2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 ทฤษฎีการเกิดเม็ดตะกอน

กลไก	อ้างอิงถึง	ชื่อของทฤษฎี
Physical	Hulshoff Pol et., al. (1983)	Selection Pressure
	Pereboom (1994)	Growth of Colonized Solids
Microbial	<u>Physiological</u>	
	Dolfing (1987)	-
	Sam-Soon et., al (1987)	Cape Town Hypothesis
	<u>Growth</u>	
	Wiegant (1987)	Spaghetti theory
	Chen and Lum (1993)	-
	<u>Ecological</u>	
	Dubourgier et., al (1987)	Bridging of Microflocs
	Morgan et., al. (1991)	Bundles of Methanotheix
	De Zeeuw (1980)	Three type of VFA Degrading Granules
Thermodynamic	Mcleod et., al. (1990)	-
	Vanderhaegen et., al. (1992)	-
	Ahn (2000)	Anaerobic Granulation with Defined
	Wu et., al. (1996)	Species
	Zhu et., al. (1997)	Crystallized Nuclei Formation
	Thavesri et., al. (1995)	Surface Tension Model
	Schmidt and Ahring (1996)	-
	Tay et., al. (2000)	Proton Translocation-Dehydration

ที่มา : (Hulshoff Pol และคณะ, 2004)

2.6 ผงเยื่อกระดาษ (Pulp Powder)

ผงเยื่อกระดาษเป็นผงสารเคมีสีขาว สกัดจากตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษของ ประเทศญี่ปุ่น มีคุณสมบัติเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ปัจจุบันอยู่ในขั้นตอนของการขอจดสิทธิบัตร



รูปที่ 2.11 ลักษณะของผงเยื่อกระดาษ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอีจีเอสบี

พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์ (2546) ได้ศึกษาการใช้ถังปฏิกรณ์ EGSB ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากสำนักงานสุราพบว่าระบบ EGSB สามารถรับภาระสารอินทรีย์ที่ 25 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันได้ และยังป้องกันการเพิ่มรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใดได้อย่างดี และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายสารเคมีโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ใช้ปรับสภาพต่างก่อนเข้าระบบได้

Ching-Shyung Hwu และคณะ (1998) ทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าซีโอดี 400 มิลลิกรัมต่อลิตรในถังปฏิกรณ์ EGSB มีปริมาตร 4.4 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 56 มิลลิเมตร และเดินระบบไปพร้อมกันทั้ง Thermophillic (55 องศาเซลเซียส) และ Mesophillic (30 องศาเซลเซียส) HRT 24 ชั่วโมง แล้วแปรค่าความเร็วไหลขึ้น 1.4 และ 7 เมตรต่อชั่วโมง ค่าพีเอช 7 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 82-89 จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วไหลขึ้น (Vup) มากขึ้น ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ลดลงในช่วง Thermophillic ผลิตก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 70.49 และ 39 ตามลำดับ ในช่วง Mesophillic ผลิตก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 70.59 และ 53 ตามลำดับ จากการสังเกตพบว่าระบบ EGSB ที่ความเร็วไหลขึ้นมากกว่า 4 เมตรต่อชั่วโมงและ HRT น้อยกว่า 10 ชั่วโมง จะทำให้เกิดการกวนและเพิ่มการสัมผัสของสารอาหารกับเซลล์จุลินทรีย์ได้มากขึ้น โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

Lettinga และคณะ (1993) แนะนำให้ใช้น้ำเข้ามีค่าซีโอดีในขณะเริ่มต้นเดินระบบอยู่ระหว่าง 1,000-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่เข้มข้นสูงควรหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อเจือจางน้ำเข้าระบบให้มีค่าซีโอดีต่ำกว่า 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อลดปริมาณสภาพต่างที่ต้องเติมและเพิ่มการสัมผัสระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียใช้การหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อฟื้นฟูระบบยูเอเอสบีที่ล้มเหลวเนื่องจากมีกรดสะสมในระบบจำนวนมากในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

Rinzema และคณะ (1993) กล่าวว่าระบบ EGSB สามารถที่จะใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษสูงๆ เช่น ฟอรั่มลดีไฮด์ สามารถบำบัดน้ำเสียประเภท long chain fatty acid ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง 30 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี 85-95 เปอร์เซ็นต์

Seghezzeo และคณะ (1998) กล่าวว่าระบบ EGSB เป็นระบบบำบัดไร้อากาศซึ่งมีความเหมาะสมที่ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง 40 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีค่าความเร็วการไหลสูงอยู่ในช่วงประมาณ 4-10 เมตรต่อชั่วโมง

Jeison and Chamy (1999) เปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย UASB และ EGSB โดยใช้ น้ำเสีย จากโรงงานผลิตเบียร์เจือจางด้วยน้ำประปาให้มีค่าซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเร็วไหลขึ้น 1.8-10.5 เมตรต่อชั่วโมง ในระบบ EGSB และความเร็วไหลขึ้น 0.6-1.3 เมตรต่อชั่วโมง ในระบบ UASB ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งสองระบบใกล้เคียงกันคือ 80% ลักษณะชั้นตะกอนในระบบ UASB อัดแน่นกว่าระบบ EGSB อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดในระบบ EGSB ลดลง เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นมีค่า 0.4-0.25 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด เนื่องจากความปั่นป่วน ของน้ำที่เกิดจากการเวียนน้ำเป็นผลทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นละลายลงในกระแส น้ำ (Outlet-stream) ส่วนระบบ UASB อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.25 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด มีค่า ก่อนข้างดีที่สุดระบบ EGSB และระบบ EGSB มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากกว่าระบบ UASB เพียง 5-10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

2.7.2 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเม็ดตะกอน

Hulshoff pol และคณะ (1983) ได้ศึกษากระบวนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ระดับห้องปฏิบัติการและได้รายงานว่าการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไม่สามารถตรวจสอบได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการทางพลศาสตร์ แต่ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2-5 ลิตรต่อกรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัดของตะกอนจุลินทรีย์ จะเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และเมื่อมีการเพิ่มเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ในถังหมักเล็กน้อย จะมีผลให้ Methanogenic Activity เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจาก เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มให้ จะเป็นตัวนำในการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และพบว่าแคลเซียมที่ ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้การตกตะกอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ดีขึ้น และที่สำคัญ น้ำเสียที่ได้จากการกลั่นสุรา (Distillery Waste) Rendering Waste และ Corn-starch Waste เมื่อเดินระบบยูเอสบีสุดท้ายจะเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้อย่างไม่มีปัญหา

Gail และ Barford (1985) ได้ศึกษาลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังหมักยูเอสบี เปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น ซึ่งใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ช่วยในการ ตกตะกอนจุลินทรีย์ โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานทำผลไม้เป็นสารอาหาร มีค่าซีโอดี 7,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลปรากฏว่าตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอสบี มีลักษณะเป็นเส้นใยประสานกัน อย่างแน่นหนา (Filamentous Granule) ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ในถังแบบไหลขึ้น มีลักษณะเป็นแท่ง (Rod-shape) เกาะกันเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบว่าโพลีอิเล็กโทรไลต์ ช่วยเพิ่มขนาดปริมาตร ตะกอนจุลินทรีย์และป้องกันการเกิดตะกอนจุลินทรีย์แบบเส้นใย

Wiegant และ de Man (1985) ได้รายงานว่าการเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์แต่ละครั้งเป็นสาเหตุ ทำให้ความเร็วของน้ำเร็วขึ้น อัตราการเกิดก๊าซเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลทำให้เกิดความปั่นป่วนในถังหมัก ทำให้อนุภาคเล็กๆ หลุดออกไปจากถังหมัก

De man และคณะ (1986) ได้รายงานถึงความเหมาะสมของการใช้ระบบยูเอสบีกับน้ำเสียของโรงงานนม และได้กล่าวว่าถ้าลักษณะทางกายภาพและเคมีตลอดจนชนิดของน้ำเสียเหมาะสม จะเกิดขบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นในถังหมัก เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถที่ดีในการตกตะกอนในถังหมัก

Guiot และคณะ (1998) ได้รายงานว่าการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด เป็นการเพิ่มความสมดุลระหว่าง Acetogens และ Methanogen Activities เพราะทำให้เกิดการส่งถ่าย H_2 ระหว่างกันในกระบวนการ Metabolites มากขึ้น

Schulze และคณะ (1998) ได้รายงานถึงความสำเร็จในการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะของระบบยูเอสบี ที่มี Gelatine เป็นส่วนประกอบของน้ำเสียและเป็นแหล่งของคาร์บอน แต่ในสภาพของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงของ NH_4^+ สูง จะได้ตะกอนจุลินทรีย์ขนาดเล็ก และมีความหนาแน่นต่ำ

Chen และคณะ (1993) ได้ศึกษากลไกการเกิดเม็ดตะกอนในระบบยูเอสบี โดยสันนิษฐานว่า ขั้นตอนแรกของการเกิดเม็ดตะกอนคือ การเกิดนิวเคลียส (Formation of Nuclei) โดยแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในการเกิดนิวเคลียส ได้แก่ Methanosarcina และ Methanotrix หลังจากนั้นความเข้มข้นของกรดอะซิติกจะทำหน้าที่เป็นตัวคัดเลือกสายพันธุ์ และแบคทีเรียกลุ่มอื่นๆจะเข้ามาเจริญเติบโตร่วมกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกสายพันธุ์ที่เป็นแบบต้องเจริญร่วมกัน (Syntrophic Microorganisms)

Noyola และ Moreno (1994) ได้ศึกษาการใช้ตะกอนจากระบบ Activated Sludge (AS) เป็นแหล่งเชื้อ (Seed) ในการสร้างเม็ดตะกอน พวกเขาพบว่าตะกอนดังกล่าว สามารถใช้เป็นแหล่งเชื้อในการสร้างเม็ดตะกอนได้

Ramos และคณะ (1994) ได้ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนในระบบจากตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนพบว่า อัตราเร็วน้ำไหลขึ้นมีผลอย่างมากต่อการเกิดเม็ดตะกอน โดยความเร็วเหมาะสมอยู่ในช่วง 0.25 – 0.5 เมตรต่อชั่วโมง

Francece และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาปัจจัยของความเร็วไหลขึ้นที่มีผลต่อการเกิดเม็ดตะกอน พวกเขาพบว่าตะกอนเม็ดเกิดขึ้นหลังจากดำเนินการทดลอง 15-35 วัน โดยมีค่าความเร็วไหลขึ้นในช่วง 0.5 -2.0 เมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าตะกอนมีลักษณะทางกายภาพและ Activity แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเร็วไหลขึ้น

Imai และคณะ (1998) ได้ศึกษาถึงผลของการเติม Water Absorbing Polymer (WAP) ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ในถังปฏิกรณ์ยูเอสบี โดยเขาสรุปว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเติมคือ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเขาได้เติมลงไปน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบ พบว่าการเติม WAP ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดเม็ดตะกอนดีขึ้น

Gonzalez และคณะ (1998) ได้ศึกษาผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) สัดส่วนอาหารหลักต่อธาตุอาหารเสริม (COD:N:P) และสัดส่วนของอาหารหลักต่อค่าความเป็นด่าง (COD: Alkalinity) ที่ผลต่อการสร้างเม็ดตะกอน พวกเขาสังเกตพบว่ามีเกิดการเกิดเม็ดตะกอนหลังจากทำการทดลอง 30 วัน ขนาดของเม็ดตะกอนเฉลี่ยใหญ่ขึ้นเมื่อมีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มากขึ้น นอกจากนั้นพวกเขาพบว่า หลังจากที่เม็ดตะกอนเกิดสมบูรณ์แล้ว สารอาหารเสริมอาจไม่ต้องเติม และสัดส่วนของความเป็นด่างต่ออาหารหลักสามารถลดค่าลงได้โดยมีประสิทธิภาพของระบบไม่ลดลง

Sharma และ Singh (2001) ได้ศึกษาผลของการเติมธาตุอาหารรอง (Trace Nutrients) ต่อการเกิดเม็ดตะกอน พวกเขาพบว่า การเติมเหล็ก นิกเกิล และ โคบอลต์ ช่วยให้เกิดเม็ดตะกอนได้ดีขึ้น ส่วนการเติมแคลเซียมและฟอสฟอรัสทำให้เกิดเม็ดตะกอนแย่ง

Yu และคณะ (2001) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมในการเกิดเม็ดตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบี โดยทดลองเติม $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หลายค่า ตั้งแต่ 150 ถึง 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเติมสารเคมีลงไปใต้น้ำเสียสังเคราะห์เลย พบว่าการเติมแคลเซียม 150 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างเม็ดตะกอนในระบบยูเอเอสบี

Yu และคณะ (2001) ได้ศึกษาผลของการเติม AlCl_3 ในระบบน้ำเสียยูเอเอสบี ซึ่งเขาทำการทดสอบ โดยตั้งปฏิกรณ์ใบแรกไม่เติม AlCl_3 ส่วนตั้งปฏิกรณ์ใบที่สองเติมที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไปใต้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าการเติม AlCl_3 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างเม็ดตะกอนในระบบยูเอเอสบี

Show และคณะ (2004) ได้ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนในระบบยูเอเอสบี น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียมีความเข้มข้นซีไอดี 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการเติมโพลิเมอร์ประจุบวกชนิดหนึ่ง ช่วยในการสร้างเม็ดตะกอนซึ่งมีสูตรการค้ำว่า AA 184 H ซึ่งโพลิเมอร์ชนิดนี้ใช้อย่างกว้างขวางในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยใช้เป็นตัวปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ โดยได้ทดลองโดยใช้ตั้งปฏิกรณ์ยูเอเอสบีจำนวน 6 ตั้ง ตั้งแรกไม่เติมโพลิเมอร์เลย ตั้งที่ 2 ถึงตั้งที่ 6 เติมโพลิเมอร์ 20 40 80 160 และ 320 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยเติมโพลิเมอร์ลงไปครั้งเดียวพร้อมกับการใส่ตะกอนหัวเชื้อลงไปจนถึงปฏิกรณ์ พบว่าการเติมโพลิเมอร์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างเม็ดตะกอนและการเติมโพลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบมากที่สุด ทั้งการตกตะกอน ความแข็งแรงของเม็ดตะกอน และการสร้างก๊าซมีเทน

Yan และคณะ (1997) ได้ศึกษาถึงลักษณะการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบี ทำการทดลองโดยใช้ค่าซีโอดี 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) นั้น จะให้ค่าอัตราสารระบรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าความสามารถในการผลิตมีเทน (Specific Methanogenic Activity : SMA) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการเริ่มต้นเดินระบบและมีค่าคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 เดือน โดยในเดือนแรกกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะเป็นไปอย่างช้าๆและเริ่มเร็วมากขึ้นในช่วงเดือนที่ 3 ของการทดลอง เม็ดตะกอนส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแบคทีเรียจำพวก Methanotrix ที่มีความสามารถในการผลิตมีเทนได้สูงคือมีค่า SMA เท่ากับ 1.72 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน สามารถตกตะกอนได้ดีมีค่า SVI เท่ากับ 5 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งแขวนลอยและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.6 มิลลิเมตร.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเติมผงเยื่อกระดาษต่อการสร้างเม็ดตะกอน (Granulation) ของระบบบำบัดแบบอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ศึกษาผลของความเข้มข้นของเยื่อกระดาษที่เหมาะสม คุณลักษณะของเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นและประสิทธิภาพของระบบ ทำการติดตั้งชุดการทดลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติและหาความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ส่วนที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบและการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ส่วนที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบและการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้นทั้ง 3 ส่วนการทดลอง จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองจากการสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีด้วยผงเยื่อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริง ทำการเก็บน้ำเสียที่ล้นมาจากบ่อพัก ซึ่งตกตะกอนของแข็งแล้ว (ค่อนข้างเป็นน้ำใส) ใสถึงเก็บตัวอย่างและเก็บไว้ในตู้เย็น จากฟาร์มเลี้ยงสุกร อนันต์ฟาร์ม ในจังหวัดนครปฐม เป็นฟาร์มสุกรขนาดกลาง จำนวนสุกรไม่เกิน 500 ตัว จากนั้นวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆก่อน เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเตรียมน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ค่าซีโอดีของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรก่อนเจือจางมีค่าประมาณ 5,000-6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะทำการเตรียมน้ำเสียโดยนำน้ำเสียมาเจือจางด้วยน้ำด้วยน้ำประปา ให้น้ำเสียมีค่าซีโอดีเฉลี่ยประมาณ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นนำน้ำเสียที่เจือจางแล้วมาพักไว้ในถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร และทำการปรับค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป ทำการเตรียมน้ำเสียป้อนเข้าระบบทุกวัน พารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องวิเคราะห์มีดังนี้

1. พีเอช (pH)
2. ซีโอดี (COD)
3. ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids)
4. ไนโตรเจนรวม (TKN)
5. สภาพด่าง (Alkalinity)
6. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

เมื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้แล้ว จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการทดลองที่ 1 เพื่อหาความเข้มข้นของผงเชื้อกระดาษที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจนสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1) ถังพักน้ำเสีย ใช้ถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร

2) แบบจำลองถังปฏิกรณ์อิมัลชัน

ใช้แบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการเป็นท่ออะคริลิกไฮเบอร์ 603 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 50 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชุด ประกอบด้วย ส่วนย่อยสลายสูง 2.0 เมตร และส่วนตกตะกอนซึ่งเป็นอุปกรณ์ท่อพีวีซี สูง 0.3 เมตร ส่วนตกตะกอนและส่วนย่อยสลายถูกแยกด้วยอุปกรณ์แยกสามสถานะ ซึ่งทำจากกรวยพลาสติกตัดปลายเบอร์ 4 รายละเอียดของแบบจำลองแสดงในรูปที่ 3.1

3) เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบและเครื่องสูบน้ำเวียนกลับ

ถังปฏิกรณ์อิมัลชัน 1 ชุดจะประกอบไปด้วยเครื่องสูบน้ำ 2 ตัว ได้แก่ เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ 1 ตัว และเครื่องสูบน้ำเวียนกลับ 1 ตัว โดยที่น้ำเสียสุกรที่เจือจางแล้วจะถูกสูบน้ำเข้าสู่ระบบแบบต่อเนื่องจากถังพักน้ำเสียไปยังทางน้ำเข้าของแบบจำลองถังปฏิกรณ์อิมัลชัน ในขณะเดียวกันที่ทางเข้าจุดเดียวกันนี้จะมีน้ำเสียที่ถูกสูบด้วยเครื่องสูบน้ำเวียนกลับแบบต่อเนื่องเพื่อทำหน้าที่เพิ่มความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ เครื่องสูบน้ำทั้ง 2 ตัว เป็นเครื่องน้ำแบบปริศตสาย (Peristaltic Pump) และในกรณีที่อยู่ในช่วงอัตราสูบที่มีค่าสูงจะใช้ Diaphragm Pump

4) เครื่องวัดปริมาณก๊าซ

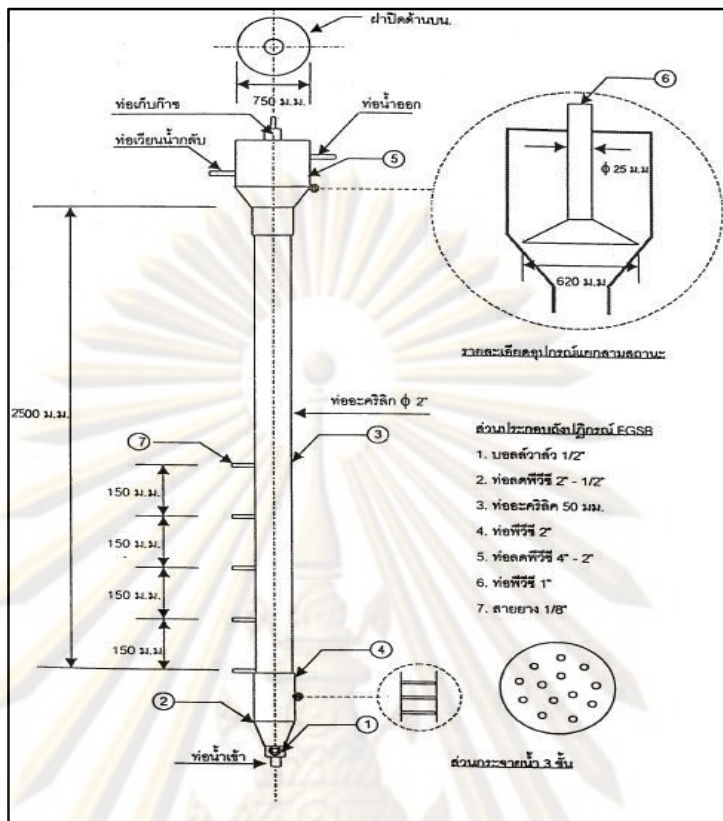
เครื่องวัดปริมาณก๊าซมีจำนวน 4 ชุด ท่อนำก๊าซจากระบบอิมัลชันจะต่อเข้ากับเครื่องวัดปริมาณก๊าซแบบต่อเนื่อง (Gas counter) ทำการปรับพีเอชน้ำให้ต่ำกว่า 3 โดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3) 20 กรัม ผสมกับกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) 5 มิลลิลิตร ในน้ำ 100 มิลลิลิตร (confining solution (20% Na_2SO_3 in H_2SO_4)) (Sawyer และคณะ, 1994) เพื่อป้องกันการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

5) ผงเยื่อกระดาษที่ช่วยในการสร้างเม็ดตะกอน เป็นผงเคมีสีขาวสกัดจากตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษของประเทศญี่ปุ่น มีคุณสมบัติเป็นสารโคแอกกูแลนต์

6) สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทำตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for Examination of water and wastewater, 2005 คุณภาพระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Reagent, LR)

7) เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ใช้ตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for Examination of water and wastewater, 2005

8) ชุดเครื่องแก้วทางวิทยาศาสตร์



รูปที่ 3.1 รายละเอียดถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีที่ใช้ในการทดลอง



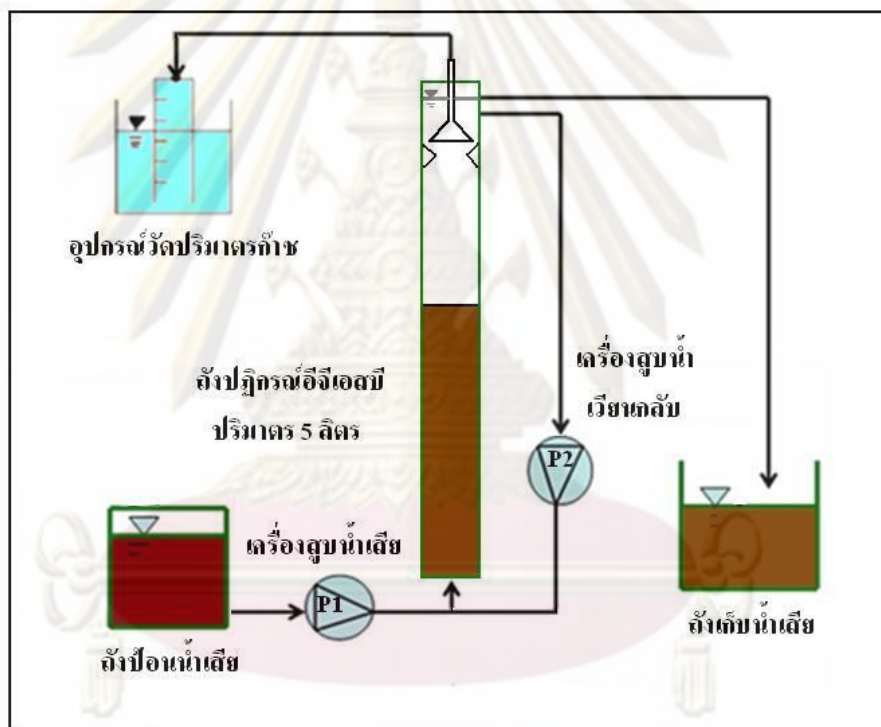
รูปที่ 3.2 ชุดถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

3.4 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน

การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบอีจีเอสบี แสดงในรูปที่ 3.3 โดยจะทำการเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) ของถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ชุดพร้อมกัน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ P1 สูบน้ำเสียจากถังเก็บน้ำเสียส่งเข้าไปยังทางน้ำเข้าของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี และเครื่องสูบน้ำเวียนกลับ P2 สูบน้ำที่ถังเวียนกลับมายังทางเข้าซึ่งเป็นจุดเดียวกัน

2) น้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีจะไหลล้นต่อไปยังถังเก็บน้ำทิ้ง ก๊าซในระบบจะไหลผ่านอุปกรณ์แยกสามสถานะไปยังอุปกรณ์วัดก๊าซ



รูปที่ 3.3 แสดง Flow Diagram ของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.5.1 ส่วนที่ 1 : ศึกษาคุณสมบัติของผงเยื่อกระดาษและหาความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อิมัลชันสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การทดลองนี้เป็นการศึกษาหาความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสม วิเคราะห์โดยการทดลองจาร์เทสต์ เป็นวิธีทดลองเพื่อหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการกำจัดของแข็งแขวนลอยโดยน้ำตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกร มีค่าซีโอดีประมาณ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคุมพีเอชประมาณ 7 วิธีการทดลองมีดังนี้

- 1) ตวงน้ำตัวอย่างใส่บีกเกอร์ 6 ใบละๆ 1 ลิตร วางบนเครื่องกวน
- 2) เติมสารเคมีที่เป็นสารสร้างตะกอน (ผงเยื่อกระดาษ) ด้วยปริมาณที่พิจารณาแล้วว่าเหมาะสม ซึ่งได้กำหนดช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 0 1,000 1,500 2,000 3,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย ตามลำดับ เทใส่พร้อมๆกันทั้ง 6 ใบ
- 3) กวนน้ำและผงเยื่อกระดาษอย่างรวดเร็วด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 3 นาที ลดความเร็วของเครื่องลงให้เหลือประมาณ 40 รอบต่อนาที นาน 30 นาที สังเกตดูและจดบันทึกเวลาที่เกิดฟลอคปรากฏให้เห็นเป็นครั้งแรกของแต่ละบีกเกอร์ ตลอดจนขนาดและปริมาณของฟลอค
- 4) ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน (โดยปิดเครื่องกวนน้ำ) เป็นเวลา 15-20 นาที สังเกตดูการจมของตะกอนและตะกอนที่นอนก้น ตลอดจนฟลอคที่เหลือซึ่งไม่นอนก้นบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบด้วย
- 5) ดูดเอาน้ำใสข้างบน โดยไม่ให้กระเทือนถึงตะกอนที่จมอยู่ก้นบีกเกอร์ นำไปวิเคราะห์หาค่าความขุ่น
- 6) พล็อตกราฟระหว่างความขุ่นกับปริมาณผงเยื่อกระดาษที่ใช้ เพื่อหาปริมาณผงเยื่อกระดาษที่สามารถทำให้เกิดตะกอนที่ดีที่สุด และพิจารณา SVI ของ flocculation biomass แล้วเปรียบเทียบผลและเลือกปริมาณผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสม

การพิจารณาค่า SVI ถ้าค่าของ SVI สูงแสดงว่าการตกตะกอนไม่ดี ตะกอนอาจตกแล้วไม่แน่นทำให้มีส่วนที่เป็นน้ำใสน้อย และถ้าค่า SVI น้อยๆแสดงว่าตกตะกอนได้ดีมาก ค่า SVI สามารถบอกได้คร่าวๆ ดังนี้

ค่า SVI	ประมาณ	50	ประสิทธิภาพในการตกตะกอน	ดีมาก
SVI	“	100	“	ดี
SVI	“	200	“	พอใช้
SVI	“	300	“	เลว

การพิจารณาความเข้มข้นที่เหมาะสมของการเติมผงเยื่อกระดาษ โดยจะเลือกค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม 3 ค่า ประกอบกับการพิจารณาค่า SVI โดยพิจารณาจากกราฟที่พล็อต (จุดที่ต่ำที่สุดของกราฟ 3 จุด) ได้ดังนี้

1) ความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสมค่าที่หนึ่ง (X_1)

พิจารณาจาก ค่าความขุ่นที่น้อยที่สุด โดยไม่ขึ้นกับปริมาณผงเยื่อกระดาษที่เติม

2) ความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสมค่าที่สอง (X_2)

พิจารณาจาก ปริมาณผงเยื่อกระดาษที่เติมน้อยที่สุด และให้ค่าความขุ่นที่น้อย

3) ความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสมค่าที่สาม (X_3)

พิจารณาจาก ปริมาณผงเยื่อกระดาษที่เติมน้อยและให้ค่าความขุ่นน้อย (ทั้งสองค่าไม่ใช่ค่าที่น้อยที่สุด แต่เป็นค่าที่เหมาะสม)

เมื่อได้ค่าความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสมทั้ง 3 ค่าความเข้มข้นแล้ว จะใช้ค่าความเข้มข้นที่ได้ เติมลงในการทดลองในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (Start up)

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่กำหนดให้คงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียฟาร์มสุกร	1. 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. พีเอช (pH)	2. ประมาณ 7
ตัวแปรตามที่ทำกรวิเคราะห์	
พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
1. ความขุ่น (Turbidity)	1. เครื่องวัดความขุ่น ยี่ห้อ Hach model 2100A Turbidimeter (0-100 NTU)
2. ปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS)	2. GC/Filter และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 ° - 105 ° C (Standard method#2540D)
3. SV_{30}	3. <i>Volumetric</i> Imhoff cone (Standard method#2540F.)
4. SVI	4. Sludge Volume Index (Standard method#2710D.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.2 ส่วนที่ 2 : ศึกษาประสิทธิภาพของระบบและการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์

การเริ่มต้นเดินระบบของงานวิจัยนี้ เริ่มจากนำตะกอนจากบ่อกักน้ำเสียฟาร์มสุกร มาทำการปรับให้คุ้นเคยกับสภาวะแวดล้อม โดยนำตะกอนหัวเชื้อมาเก็บรักษาไม่ให้ถูกแสงแดด และทำการป้อนน้ำเสียใส่ในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ และเติมผงเยื่อกระดาษ 1 ครั้งในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ โดยถังปฏิกรณ์ถังที่ 1 ไม่มีการผงเยื่อกระดาษ ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 2, 3 และ 4 มีการเติมผงเยื่อกระดาษที่ความเข้มข้น X_1 , X_2 และ X_3 ที่พิจารณาเลือกมาจากการทดลอง ส่วนที่ 1 ตามลำดับ

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) การเดินระบบโดยในช่วงเริ่มต้น จะเตรียมน้ำเสียความเข้มข้นเฉลี่ย 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยดำเนินการที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่ความเร็วไหลขึ้น 2 เมตรต่อชั่วโมง

2) ทำการเดินระบบโดยทำการเตรียมน้ำเสียให้ได้ค่าชีโอดีเฉลี่ยตามที่กำหนดและป้อนน้ำเสียทุกวัน

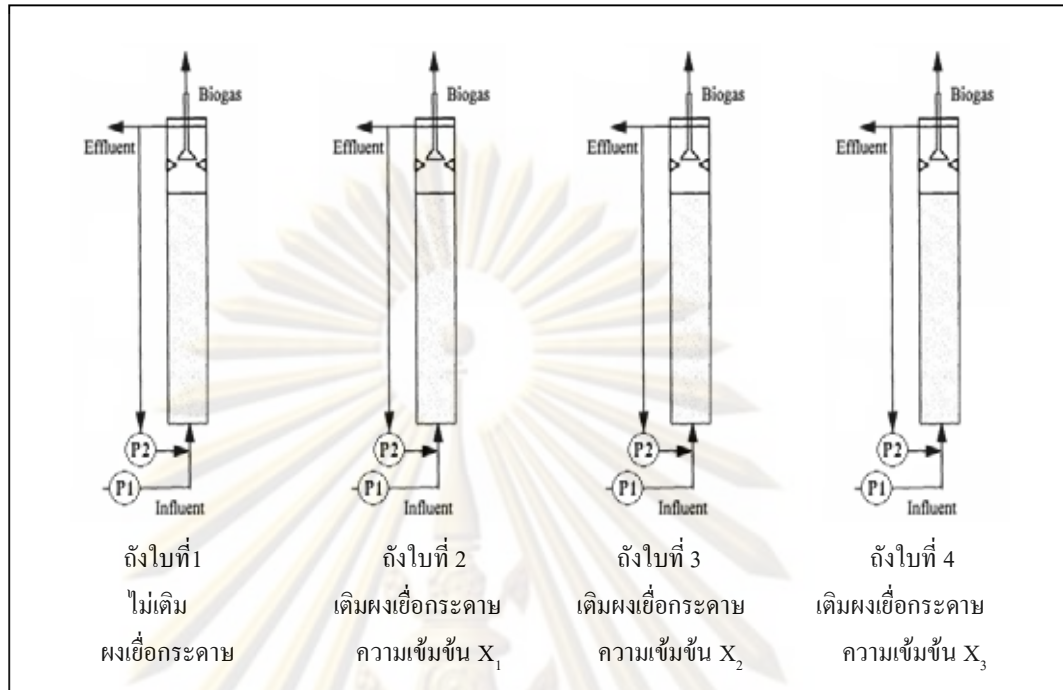
3) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ทางน้ำเข้าและทางน้ำออก เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ พีเอช (pH) ชีโอดี (COD) สภาพด่าง (Alkalinity) ไนโตรเจนรวม (TKN) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total suspended solids) และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

4) เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว พิจารณาจากค่าชีโอดีของน้ำที่ออกมีค่าคงที่ จากนั้นทำการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยใช้ความเร็วไหลขึ้นที่ 2 เมตรต่อชั่วโมงดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน

5) จากข้อที่ 4 ทำการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันทำการทดลองที่ความเร็วไหลขึ้น 2 เมตรต่อชั่วโมง ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลาอีก 30 วัน

6) ทำการวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

7) ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของเม็ดตะกอน โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ การกระจายขนาด (เครื่อง Particle size analyzer) โครงสร้างเม็ดตะกอน (เครื่อง Scanning Electron-Microscope, SEM) และค่า Specific Methanogenic Activity. (SMA)



รูปที่ 3.4 แสดงการเติมผงเชื้อกระดาษช่วยในการสร้างเม็ดตะกอน

3.5.3 ส่วนที่ 3 : ศึกษาประสิทธิภาพของระบบและการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

การทดลองนี้มีถึงปฏิกรณ์จำนวน 4 ถัง โดยเดินระบบต่อเนื่องมาจากการเริ่มต้นเดินระบบ ซึ่งจะเดินระบบระยะยาวโดยไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษลงไปอีก ทั้งนี้การเดินระบบ ระยะยาวจะทำให้ทราบถึงเสถียรภาพของระบบในระยะยาวและสภาพของเม็ดตะกอน โดยปัจจัยต่างๆ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) การเดินระบบโดยในระยะยาว จะเตรียมน้ำเสียความเข้มข้นเฉลี่ย 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 3.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปรับความเร็วไหลขึ้นจาก 2 เป็น 4 เมตรต่อชั่วโมง ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน

2) ทำการเดินระบบโดยทำการเตรียมน้ำเสียให้ได้ค่าเฉลี่ยตามที่กำหนด (ค่าชีโอดี) และป้อนน้ำเสียทุกวัน

3) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ทางน้ำเข้าและทางน้ำออก เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ พีเอช (pH) ชีโอดี (COD) สภาพด่าง (Alkalinity) ไนโตรเจนรวม (TKN) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total suspended solids) และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

4) จากข้อที่ 1 เมื่อดำเนินระบบครบตามระยะเวลา จึงปรับความเร็วไหลขึ้นเป็น 7 เมตรต่อชั่วโมง

5) ทำการวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

6) ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของเมื่อดตะกอน โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ การกระจายขนาด (เครื่อง Particle size analyzer) โครงสร้างเม็ดตะกอน (เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM) และค่า (Specific Methanogenic Activity, SMA)

สำหรับในแต่ละช่วงค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ค่าอัตราการไหลรวมนี้จะแปรเปลี่ยนตามค่าความเร็วไหลขึ้นต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งทำให้ได้โดยการปรับอัตราการสูบน้ำเวียนกลับ และเตรียมน้ำเสียเข้าระบบมีค่าซีไอเฉลี่ย 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราการสูบน้ำเวียนกลับที่ค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์

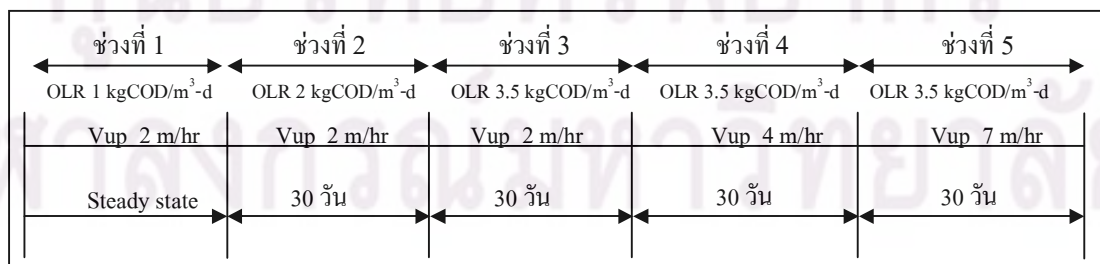
การทดลอง ช่วงที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ (เมตรต่อชม)	อัตราสูบน้ำเข้าระบบ (ลิตรต่อวัน)	อัตราป้อนน้ำเสียเข้าระบบ (Q _i) (ลิตรต่อวัน)	อัตราสูบน้ำเวียนกลับ (Q _r) (ลิตรต่อวัน)	สัดส่วน Q _i : Q _r
1	1	2	94	2	92	1:46
2	2	2	94	4	90	1:22.5
3	3.5	2	94	7	87	1:12.5
4	3.5	4	188	7	181	1:25
5	3.5	7	330	7	327	1:46

หมายเหตุ

อัตราสูบน้ำเข้าระบบ (ลิตร/วัน) = อัตราป้อนน้ำเสียเข้าระบบ (ลิตร/วัน) + อัตราการสูบน้ำเวียนกลับ (ลิตร/วัน)
การคำนวณแสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 3.3 แสดงระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ภายในถังปฏิกรณ์

การทดลอง ช่วงที่	ซีไอเฉลี่ยของน้ำเสีย (มก./ล.)	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	เวลากักน้ำเสีย (ชั่วโมง)	อัตราป้อนน้ำเสียเข้าระบบ (ลิตรต่อวัน)
1	2,500	1	60	2
2	2,500	2	30	4
3	2,500	3.5	17	7



รูปที่ 3.5 แผนผังการเดินระบบ

3.6 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ทั้งส่วนของน้ำเสีย ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสม เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการสร้างเม้ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อิจีเอสปีสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

3.6.1 การวิเคราะห์น้ำเสียจากกระบวนการสร้างเม้ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อิจีเอสปีด้วยผงเยื่อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การวิเคราะห์น้ำเสียจะทำการเก็บตัวอย่างที่ทางน้ำเข้าและทางน้ำออกของถังปฏิกรณ์ทุกถัง ซึ่งจะทำการทั้งในช่วงเริ่มต้นเดินระบบและในช่วงเดินระบบระยะยาว โดยพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์มีดังนี้

- พีเอช (pH)
- ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)
- สภาพด่าง (Alkalinity)
- กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)
- ซีโอดี (COD)
- ไนโตรเจนรวม (TKN)

3.6.2 การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างเม้ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อิจีเอสปีด้วยผงเยื่อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะถูกรวบรวมแล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบ โดยพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ได้แก่

- ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
- ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

3.6.3 การวิเคราะห์เม้ดตะกอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างเม้ดตะกอนในถังปฏิกรณ์อิจีเอสปีด้วยผงเยื่อกระดาษสำหรับบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

เม้ดตะกอนที่เกิดขึ้นจะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางชีวเคมี โดยพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ได้แก่

- การกระจายขนาดของเม้ดตะกอน
- โครงสร้างของเม้ดตะกอน
- ค่า SMA (Specific Methanogenic Activity) เป็นค่าที่บอกความสามารถจำเพาะของเม้ดตะกอนที่ผลิตมีเทนได้ สามารถหาค่า SMA ได้ดังนี้

$$SMA = \frac{\text{อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซมีเทน (มิลลิตรต่อวัน)} \times \text{เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน}}{\text{น้ำหนักของของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (กรัม)}}$$

3.7 ค่าพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในการการทดลอง

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในการการทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	จุดเก็บตัวอย่าง	ความถี่ในการวิเคราะห์
1. อุณหภูมิ (Temperature)	Thermometer	ทางน้ำเข้าก๊ับ ทางน้ำออก	จ.-ศ.
2. พีเอช (pH)	Electronic pH meter with glass electrode method	ทางน้ำเข้าก๊ับ ทางน้ำออก	จ.-ศ.
3. ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total suspended solids)	GC/F filter Dried 103 – 105°C (Standard method#2540)	ทางน้ำเข้าก๊ับ ทางน้ำออก	จ.พ.ศ.
4. ซีโอดี (COD)	Close reflux (Standard method #5220)	ทางน้ำเข้าก๊ับ ทางน้ำออก	จ.พ.ศ.
5. สภาพด่าง (Alkalinity)	Titration method (Standard method#2320)	ทางน้ำเข้าก๊ับ ทางน้ำออก	จ.พ.ศ.
6. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)	Titration method (Standard method#5560)	ทางน้ำเข้าก๊ับ ทางน้ำออก	จ.พ.ศ.
7. ไนโตรเจนรวม (TKN)	Kjeldahl method (Standard method#4500-N _{org})	ทางน้ำเข้าก๊ับ ทางน้ำออก	จ.
8. ปริมาณก๊าซชีวภาพ	Inverted glass cylinder method	ถังเก็บก๊าซ	ทุกวัน
9. ปริมาณของแข็งระเหย	Dried 500 – 600°C (Standard method#2540)	ทางน้ำเข้าก๊ับ ทางน้ำออก	หลังจากระบบคงตัว วิเคราะห์ทุกเดือน
10. ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (% methane)	Gas Chromatography	ถังเก็บก๊าซ	หลังจากระบบคงตัว วิเคราะห์ทุกเดือน
11. การกระจายขนาดของเม็ดตะกอน	เครื่อง Particle size analyzer ยี่ห้อ Mavern รุ่น Mastersizer (0.02-900 μm)	วาล์วเก็บตัวอย่าง	หลังจากระบบคงตัว วิเคราะห์ทุกเดือน
12. โครงสร้างเม็ดตะกอน	เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM ยี่ห้อ FEI รุ่น Genesis 4000XMS60 for scanning	วาล์วเก็บตัวอย่าง	หลังจากระบบคงตัว วิเคราะห์ทุกเดือน
13. SMA (Specific Methanogenic Activity)	พิจารณาจากพารามิเตอร์ -ปริมาณก๊าซชีวภาพ -ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน -ปริมาณของแข็งระเหย	-	หลังจากระบบคงตัว วิเคราะห์ทุกเดือน

หมายเหตุ : 1. วาล์วเก็บตัวอย่าง ทำการเก็บที่ระดับความสูงของถังปฏิกรณ์ 0 105 และ 210 เซนติเมตร

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคุณสมบัติของผงเยื่อกระดาษ

เนื่องจากผงเยื่อกระดาษเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเศษวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตของโรงงานเยื่อกระดาษ ถูกนำมาปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นสารสร้างตะกอน (Flocculant) แต่ยังไม่สามารถผลิตในเชิงอุตสาหกรรม จึงยังไม่มีรายงานการศึกษาในเรื่องของทฤษฎีกระบวนการสร้างตะกอน ในการทดลองนี้จึงทดลองศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นในทางกายภาพและเคมีของผงเยื่อกระดาษ

4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผงเยื่อกระดาษ

1) การสังเกตลักษณะภายนอก พบว่าผงเยื่อกระดาษเป็นมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวขุ่น แสดงดังรูปที่ 4.1 เมื่อนำมาทดลองละลายน้ำพบว่าละลายน้ำยาก ส่วนที่ไม่ละลายน้ำสามารถตกตะกอนได้เร็วและบางส่วนเกิดเป็นคอลลอยด์เจือปนในน้ำทำให้น้ำมีสีขาวขุ่น แสดงในรูปที่ 4.2 และเมื่อกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Microfiber Filters) พบว่าน้ำที่ผ่านการกรองมีลักษณะใส

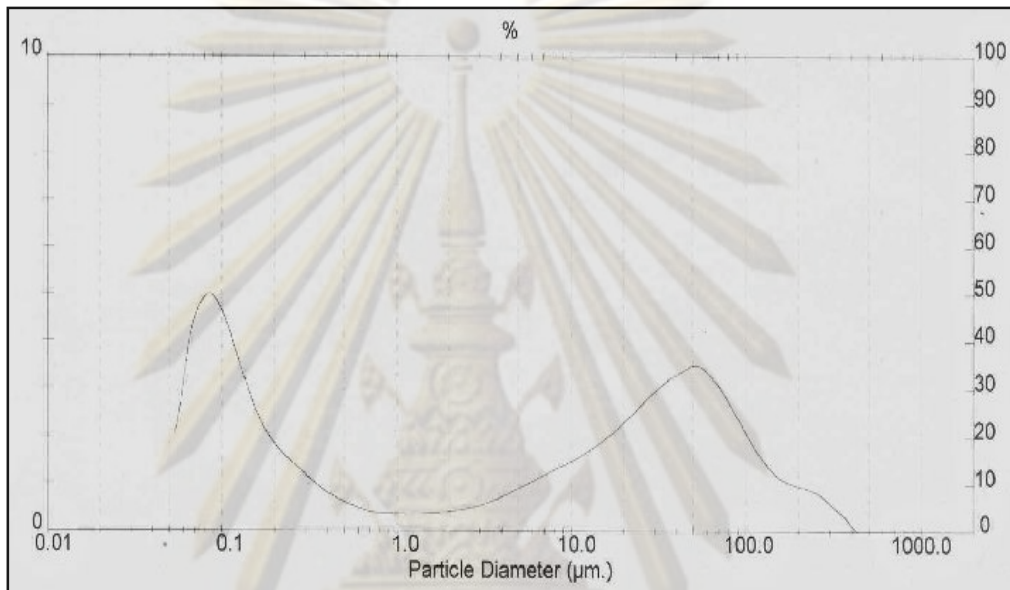


รูปที่ 4.1 ลักษณะของผงเยื่อกระดาษ



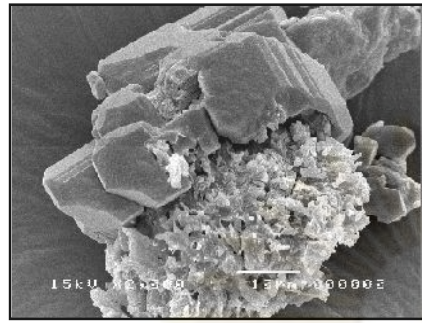
รูปที่ 4.2 ผงเยื่อกระดาษที่ละลายน้ำ

2) คุณลักษณะการกระจายขนาดขณะอยู่ในน้ำด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer พบว่ามีค่า $D(0.1) = 0.08$ ไมโครเมตร $D(0.5) = 8.52$ ไมโครเมตรและ $D(0.9) = 40$ ไมโครเมตร ค่า $D(0.1)$ $D(0.5)$ และ $D(0.9)$ หมายความว่า มีขนาดของผงเยื่อกระดาษที่มีขนาดเล็กกว่านี้อยู่ 10 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยลักษณะกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.3 มีจุดสูงสุดแบ่งออกเป็น 2 จุด ซึ่งน่าจะเป็นส่วนที่เป็นคอลลอยด์และส่วนที่เป็นตะกอนที่จับตัวได้เร็ว

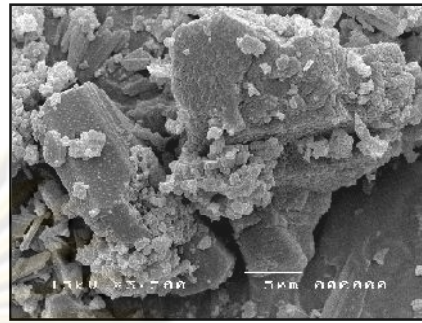


รูปที่ 4.3 กราฟการกระจายขนาดของผงเยื่อกระดาษที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer

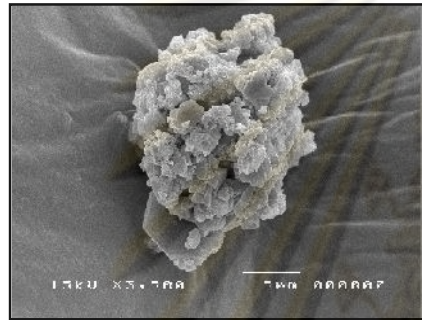
3. ลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) โดยคุณลักษณะของผงเยื่อกระดาษก่อนและหลังนำมาละลายน้ำเพื่อเปรียบเทียบลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ลักษณะของผงเยื่อกระดาษมีทั้งลักษณะของผลึกขนาดใหญ่และขนาดเล็กอยู่รวมกัน ซึ่งผลึกขนาดเล็กนี้จะแตกออกมาจากผลึกขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงเมื่อนำมาละลายน้ำพบว่า มีลักษณะผลึกบางส่วนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยพื้นผิวจะเป็นรอยลักษณะเป็นร่องคี่นๆ ในรูปที่ 4.4 (ข) แต่ผลึกส่วนใหญ่หลังจากทดลองนำมาละลายน้ำแล้วยังคงมีลักษณะเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง



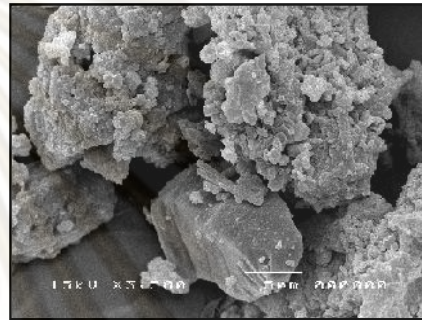
ก)



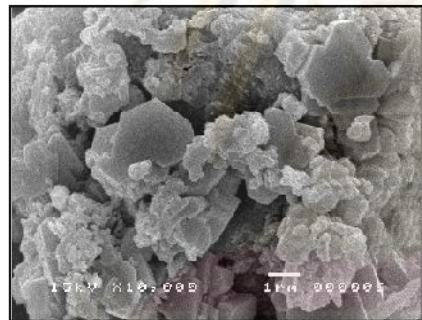
ข)



ค)



ง)



จ)



ฉ)

รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากเครื่อง SEM ของผงเชื้อกระดาษ ก่อนและหลังนำไปละลายน้ำ

- หมายเหตุ :
- ก. ผงเชื้อกระดาษก่อนนำไปละลายน้ำ กำลังขยาย 2,000 เท่า
 - ข. ผงเชื้อกระดาษหลังนำไปละลายน้ำ กำลังขยาย 3,500 เท่า
 - ค. ผงเชื้อกระดาษก่อนนำไปละลายน้ำ กำลังขยาย 3,500 เท่า
 - ง. ผงเชื้อกระดาษหลังนำไปละลายน้ำ กำลังขยาย 3,500 เท่า
 - จ. ผงเชื้อกระดาษก่อนนำไปละลายน้ำ กำลังขยาย 10,000 เท่า
 - ฉ. ผงเชื้อกระดาษหลังนำไปละลายน้ำ กำลังขยาย 10,000 เท่า

4.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของผงเยื่อกระดาษ

1) หาค่าศักย์ซีต้าด้วยเครื่อง Zetasizer Nano (ZS) พบว่าผงเยื่อกระดาษมีค่าศักย์ซีต้า 17.47 มิลลิโวลต์ ซึ่งค่าที่ได้มีค่าเป็นบวกหมายความว่า ประจุที่ผิวรอบๆของผงเยื่อกระดาษเป็นประจุบวก

2) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงเยื่อกระดาษด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer ได้องค์ประกอบธาตุและออกไซด์ของธาตุ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุและออกไซด์ของผงเยื่อกระดาษ

ปริมาณธาตุและออกไซด์ของผงเยื่อกระดาษ			
ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
O	34.41	-	-
Na	6.52	Na ₂ O	8.80
Mg	0.09	MgO	0.15
Al	5.10	Al ₂ O ₃	9.64
Si	1.39	SiO ₂	2.98
P	0.02	P ₂ O ₅	0.04
S	11.74	SO ₃	29.31
Cl	0.62	ClO	0.62
K	0.06	K ₂ O	0.08
Ca	20.63	CaO	28.87
Ti	<0.01	TiO ₂	<0.01
Mn	<0.01	MnO	<0.01
Fe	0.25	Fe ₂ O ₃	0.36
Sr	0.03	SrO	0.04
Total	80.86	Total	80.89

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าในผงเยื่อกระดาษมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักที่มีในปริมาณมากคือ O Ca S Na และ Al โดยมีปริมาณ 34.41 20.63 11.74 6.52 และ 5.10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในผงเชื้อกระดาษ เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของผงเชื้อกระดาษว่ามีลักษณะเหมือนกับสารเคมีประเภทใดบ้าง จากการวิเคราะห์พบว่ามีธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารสร้างตะกอนด้วยเช่นกัน โดยพบ Ca และ Al ซึ่งเป็นธาตุหลักในปูนขาวและสารส้ม ในปริมาณ 20.65 และ 5.10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และจากการดูลักษณะภายนอกของผงเชื้อกระดาษด้วยเครื่อง SEM พบว่าผงเชื้อกระดาษมีลักษณะเป็นผลึกขนาดใหญ่และเล็กอยู่รวมกัน เมื่อทดสอบนำไปละลายน้ำพบว่า ผลึกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คือมีการละลายน้ำได้น้อย ซึ่งคล้ายกับคุณสมบัติของปูนขาวที่เป็นสารเคมีที่ใช้กันมากในการตกตะกอนผลึก และมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยเช่นกัน

4.1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงเชื้อกระดาษ

จากข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้น ทำให้ประมาณการกลไกการทำลายเสถียรคอลลอยด์ของผงเชื้อกระดาษได้ โดยน่าจะมีความเป็นไปได้ใน 2 กลไกด้วยกัน คือ

1) อธิบายได้จากกลไกการทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (กลไกแบบจุดติดผิว) คอลลอยด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ตะกอนแบคทีเรีย ซึ่งโดยทั่วไปแบคทีเรียที่กระจายในน้ำเสีย (Dispersed Bacteria) มักจะมีคุณสมบัติเป็นประจุลบและเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตย์ ผลการวิเคราะห์ค่าศักย์ซีต้า พบว่าผงเชื้อกระดาษมีค่าศักย์ซีต้าเป็นบวก หมายความว่าประจุบริเวณผิวรอบผงเชื้อกระดาษเป็นประจุบวกนั่นเอง ดังนั้นอนุภาคคอลลอยด์ของแบคทีเรียที่เป็นประจุลบจึงถูกทำลายเสถียรภาพด้วยผงเชื้อกระดาษโดยการถูกจุดติดผิวทำให้สามารถลดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตย์ได้

2) อธิบายได้จากกลไกการจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น การเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่มากพอ จะเกิดการตกตะกอนผลึกลงอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวนี้ ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพและตกตะกอนได้ สารสร้างตะกอนจำพวกนี้ได้แก่ สารส้ม เพอริกคลอไรด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และปูนขาว ทำให้เกิดการสร้าง $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Mg(OH)_3$ และ $CaCO_3$ ซึ่งเป็นสาร Precipitation ที่ไม่ละลายน้ำ

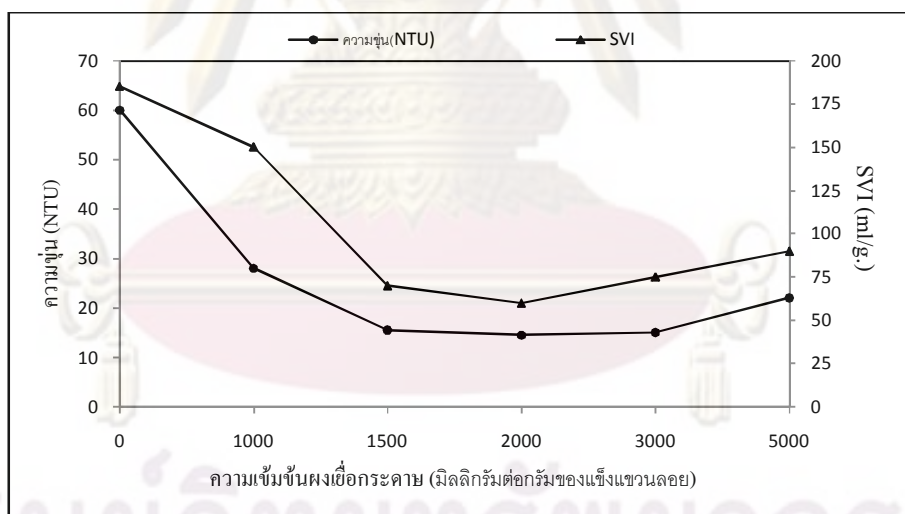
การที่ไม่สามารถกำหนดได้ชัดเจนว่าผงเชื้อกระดาษมีคุณสมบัติการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกใดกลไกหนึ่งเนื่องจากไม่ทราบถึงลักษณะการจัดเรียงตัวทางเคมีขององค์ประกอบธาตุในผงเชื้อกระดาษที่แน่ชัดสารที่มีองค์ประกอบของธาตุเหมือนกันแต่มีการจัดเรียงตัวของธาตุต่างกันทำให้สารนั้นมีคุณสมบัติต่างกันไปด้วย

4.2 การศึกษาความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษที่เหมาะสมโดยวิธี Jar Test

การทดลองนี้จะเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสม 3 ค่าเพื่อใช้ในการทดลองเดินระบบโดยพิจารณาเลือกค่าที่เหมาะสมจาก ค่าความขุ่นและลักษณะการจับตัวของเม็ดตะกอน ซึ่งทำวัดค่าความขุ่นและค่า SVI เป็นเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงผลดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5

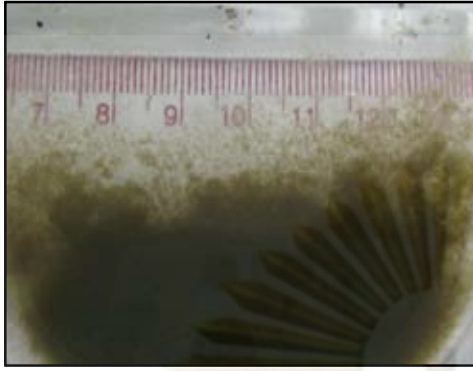
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษกับความขุ่น

ความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษ (มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย)	ความขุ่น (NTU)	SVI (มิลลิลิตรต่อกรัม)
0	60	185
1000	28	150
1500	15.5	70
2000	14.5	60
3000	15	75
5000	22	90



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษและค่า SVI

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ค่าความขุ่นของน้ำในบีกเกอร์ที่ไม่มีการเติมผงเยื่อกระดาษจะมีค่า 60 NTU เมื่อเติมผงเยื่อกระดาษความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย ความขุ่นจะเหลือ 28 NTU และค่าความขุ่นของน้ำในบีกเกอร์จะมีใกล้เคียงกันเมื่อเติมผงเยื่อกระดาษ ความเข้มข้นที่ 1,500 2,000 3,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย โดยมีค่าความขุ่นที่ 15.5 14.0 15.0 และ 22.0 NTU ตามลำดับ



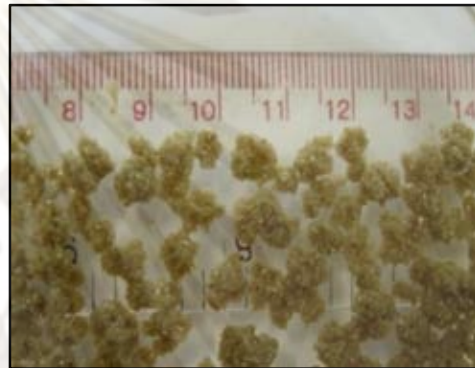
ก. 0 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย



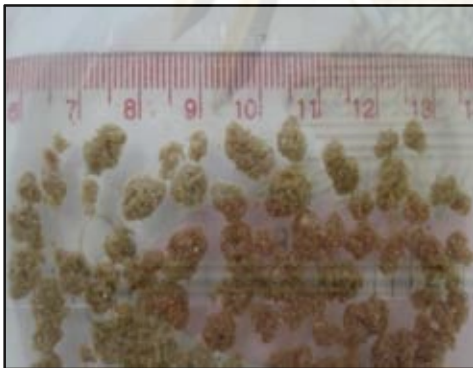
ข. 1,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย



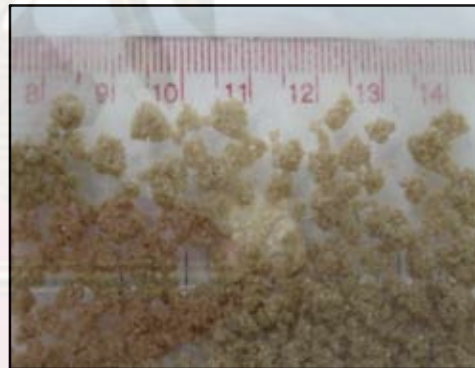
ค. 1,500 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย



ง. 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย



จ. 3,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย



ฉ. 5,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย

รูปที่ 4.6 ลักษณะตะกอนที่ได้จากการเติมผงเชื้อกระดาษที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการรวมตัวของตะกอนเมื่อเติมผงเชื้อกระดาษที่ความเข้มข้น 0 1,500 2,000 3,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย ผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ตะกอนที่ไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษตะกอนจะมีเนื้อละเอียด ที่การเติม 1,500 2,000 3,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย ตะกอนมีการจับตัวเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ตะกอนที่ได้มีการรวมตัวเป็นก้อนที่จับตัวกันแน่นกว่าฟล็อกและมีรูปทรงค่อนข้างกลม แต่ส่วนหนึ่งก็ยังมีลักษณะที่เป็นฟล็อกอยู่ แต่ที่ความเข้มข้นผงเชื้อกระดาษ 5,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย

พบว่าเม็ดตะกอนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก ซึ่งน่าจะเกิดจากการแตกออกของตะกอนขนาดใหญ่ และพิจารณาค่า SVI ร่วมด้วย โดยที่ค่า SVI ที่น้อยแสดงว่ามีความสามารถในการตกตะกอนได้ดี ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกความเข้มข้นของผงเยื่อกระดาษ 1,500 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย (พิจารณาจุดที่ต่ำที่สุดของกราฟ 3 จุด) ที่สามารถทำให้เกิดการจับตัวของตะกอนดีที่สุด โดยมีค่าความขุ่นน้อยที่สุดและค่า SVI ที่น้อย และนำไปใช้ในการทดลองช่วงการเดินระบบอีจีเอสบีต่อไป

4.3 ที่มาและคุณลักษณะของตะกอนเริ่มต้น

4.3.1 ที่มาของตะกอนเริ่มต้น

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างตะกอนเม็ด (Granules) จากแหล่งจุลินทรีย์เริ่มต้น โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จากถังหมักตะกอนของฟาร์มสุกร สำหรับตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติของตะกอนเริ่มต้น

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของตะกอนเริ่มต้น

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้
ลักษณะตะกอน	ตะกอนเนื้อละเอียดมีสีน้ำตาลอ่อนและจมตัวช้า
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	16,572
ของแข็งระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	10,400
ของแข็งระเหย / ของแข็งแขวนลอย	0.628
เอสวีไอ (มิลลิลิตรต่อกรัม)	185
ขนาดตะกอนเริ่มต้น (มิลลิเมตร)	< 0.425
SMA (กรัมซีไอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน)	-

4.3.2 การหมักเชื้อเริ่มต้น

เชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลอง ทำการหมักเชื้อในถังปิดเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาพให้คุ้นเคยกับน้ำเสียที่เจือจางความเข้มข้นและภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ต่ำ หลังจากนำตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นปรับสภาพและพร้อมที่จะดำเนินการแล้ว จะนำตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นมาเติมในถังปฏิกรณ์จำนวน 4 ถัง แต่ละถังปฏิกรณ์จะเติมตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของถังปฏิกรณ์ จากนั้นทำการเติมผงเยื่อกระดาษปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณการเติมผงเชื้อกระดาษในแต่ละถังปฏิกรณ์

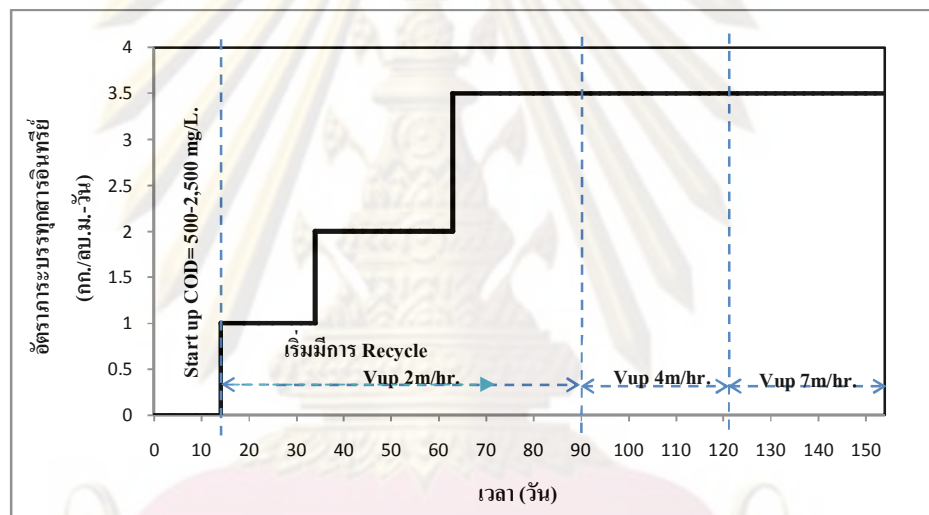
ถังปฏิกรณ์ที่	ความเข้มข้นผงเชื้อกระดาษ (มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย)
1	0
2	1,500
3	2,000
4	3,000

4.3.3 การเริ่มการทดลอง

นำจุลินทรีย์ที่ผ่านการหมักเชื้อเริ่มต้นมาทำการเติมผงเชื้อกระดาษ จะใช้วิธีการควบรวมกับตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในถังปฏิกรณ์ และทำการเติมเพียงครั้งเดียวตลอดการทดลอง หลังจากนั้นจะทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการเดินระบบด้วยน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่อง เริ่มต้นที่อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่ยังไม่มีการเวียนน้ำกลับจะทำการเวียนน้ำกลับและเพิ่มภาระรทุกสารอินทรีย์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) โดยการทดลองแบ่งเป็น 5 ช่วง ตามตารางที่ 4.5 ในช่วงแรกเนื่องจากไม่ทราบถึงความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย ในการเริ่มต้นเดินระบบจึงเริ่มจากความเข้มข้นชีโอดีเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อดูความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์แล้วจึงเพิ่มความเข้มข้นน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบขึ้นเรื่อยๆจนเป็น 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์ขึ้นตามลำดับเมื่อระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80 โดยการทดลองจะศึกษาการเพิ่มอัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์และการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ ซึ่งช่วงเวลาการที่ทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 แสดงช่วงเวลาที่ทำการทดลองของแต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์
กับความเร็วไหลขึ้นของทุกถังปฏิบัติการ

การทดลอง ที่	ช่วงวันที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)	ความเร็วไหลขึ้น (เมตรต่อชั่วโมง)
1	1-33	1	2
2	34-63	2	2
3	64-94	3.5	2
4	95-123	3.5	4
5	124-156	3.5	7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราภาระอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นกับระยะเวลา
ที่ทำการทดลอง

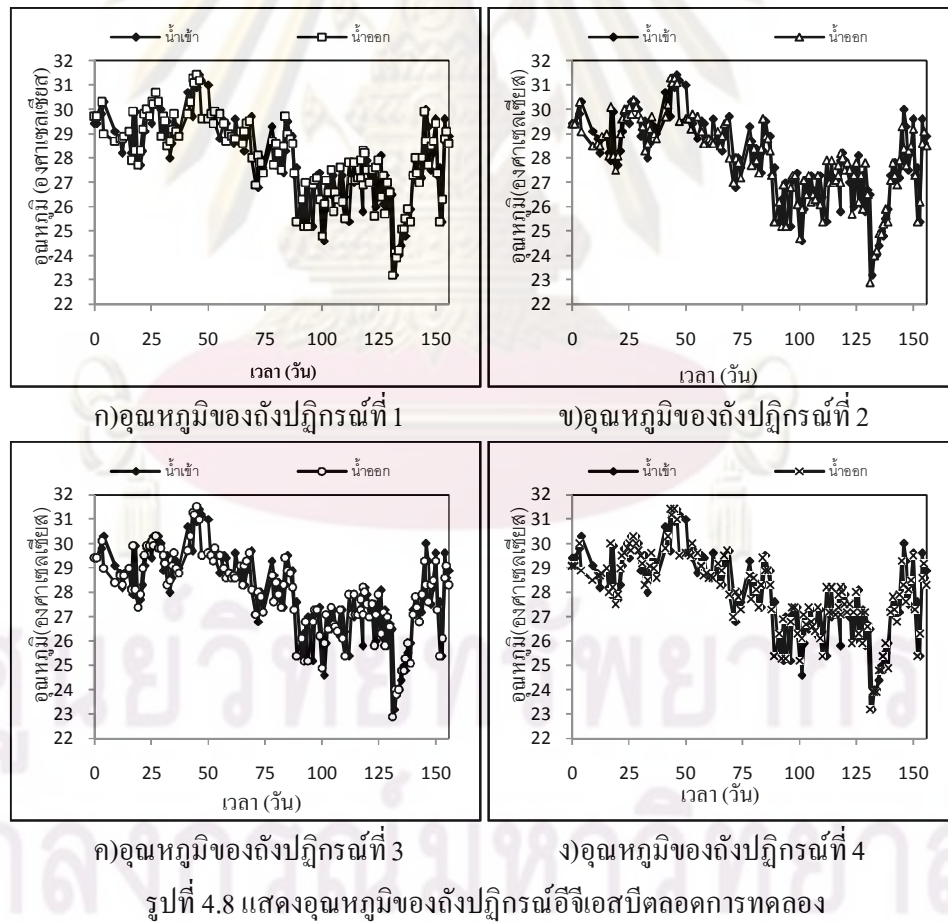
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 สภาพแวดล้อมของการเดินระบบและประสิทธิภาพของระบบ

4.4.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิในน้ำออกมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเข้ามาก และเป็นที่ยอมรับว่าอุณหภูมิในทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 24-32 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียไร้ออกซิเจน โดยอยู่ในช่วงอุณหภูมิมีโซฟิลิก คือช่วงที่มีอุณหภูมิประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2543) แต่อย่างไรก็ตามการเวียนน้ำกลับในระบบส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำเสียในระบบและน้ำออกจากระบบไม่แตกต่างกันจนมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในแต่ละชุดการทดลองจะมีค่าแตกต่างกันแต่ก็อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงมีโซฟิลิก โดยการทดลองมีบางช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าการทดลองอื่น เนื่องจากในช่วงวันที่ 131-135 ของการทดลอง เป็นช่วงที่อุณหภูมิของประเทศลดลงต่ำลง ซึ่งวัดน้ำออกจากระบบมีอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 23.2 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิตลอดการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.8



ตารางที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีตลอดการทดลอง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
น้ำเข้า ระบบ	น้ำออกจากระบบ			
	ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 1	ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 2	ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 3	ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 4
24-32 (28)	24-32 (28)	24-32 (28)	24-32 (28)	24-32 (28)

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บเป็นค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง

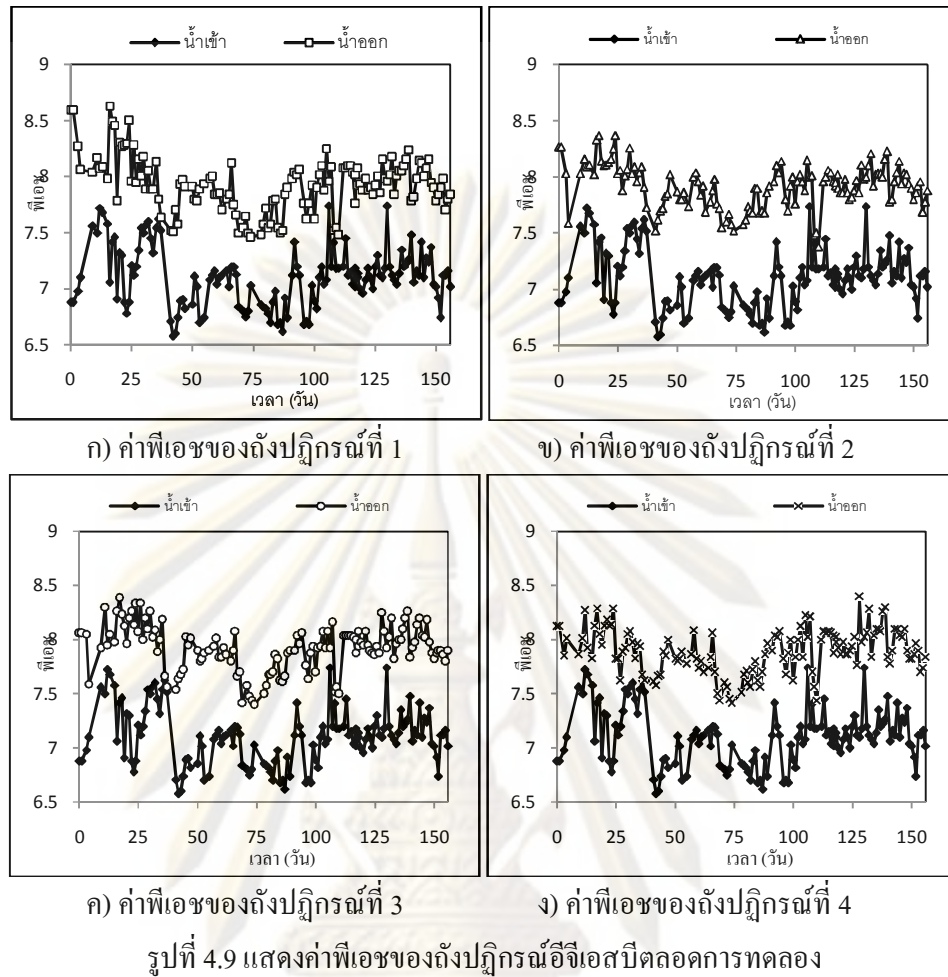
4.4.2 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำเข้าระบบมีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียประเภทโปรตีน และได้มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) เพื่อเพิ่มกำลังบัฟเฟอร์ให้กับระบบส่งผลให้ค่าพีเอชซึ่งวัดในน้ำเข้าถังและน้ำออกจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีค่าสูงตามไปด้วย พิจารณา ดังแสดงในตารางที่ 4.7 แต่อย่างไรก็ตามการวัดค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีนี้ทำการวัดที่จุดน้ำออกทำให้ค่าพีเอชมีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น การวัดที่ระดับต่ำกว่านี้อาจได้ค่าลดลงเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำและค่าพีเอชที่วัดได้อาจมีช่วงค่าที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรียมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพีเอชน้ำเสียเข้าและน้ำออกระบบของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีตลอดการทดลอง

พีเอช				
น้ำเข้า ระบบ	น้ำออกจากระบบ			
	ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 1	ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 2	ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 3	ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี 4
6.8-7.2 (7.1)	7.7-8.1 (7.92)	7.7-8.1 (7.92)	7.7-8.1 (7.92)	7.7-8.1 (7.89)

หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บเป็นค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง



จากรูปที่ 4.9 ค่าพีเอชของน้ำออกแต่ละชุดการทดลองจะมีค่าประมาณ 7.9 แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ค่าพีเอชที่วัดได้ในถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี มีค่าสูงกว่าค่าพีเอชที่แบคทีเรียผลิตมีเทนต้องการ Hulshoff และคณะ, 1983 กล่าวไว้ว่า พีเอชของน้ำเสียต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 6.5 – 7.8 แต่ระบบก็ยังไม่ล้มเหลวและมีประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีสูง ย่อมชี้ให้เห็นว่าไม่สามารถใช้ค่าพีเอชเพียงค่าเดียวเป็นพารามิเตอร์ในการบอกถึงประสิทธิภาพของระบบได้ แม้ว่าค่าพีเอชจะเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถแสดงถึงการทำงานที่ล้มเหลวได้ทันถ่วงที แต่การควบคุมพีเอชยังมีความสำคัญ เช่น เมื่อเกิดการเสียดสมดุลระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตกรดกับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลงมาก ระบบจะด้อยประสิทธิภาพหรือล้มเหลวได้ ดังนั้นค่าพีเอชยังคงใช้ในการควบคุมการทำงาน และตรวจสอบระบบร่วมกับพารามิเตอร์อื่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

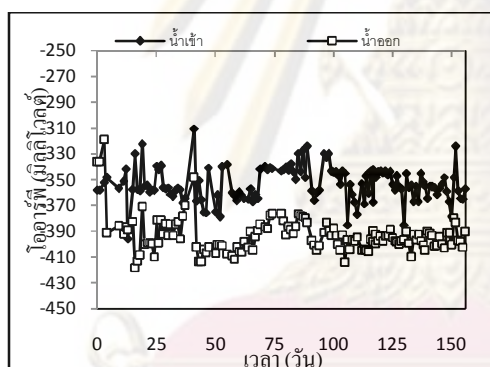
4.4.3 โออาร์พี

ค่าโออาร์พีตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งค่าเฉลี่ยโออาร์พีทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีค่ากันเคียงกันประมาณ -370 ถึง -420 มิลลิโวลต์ ซึ่งค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 แสดงว่า ระบบเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนได้เป็นอย่างดี

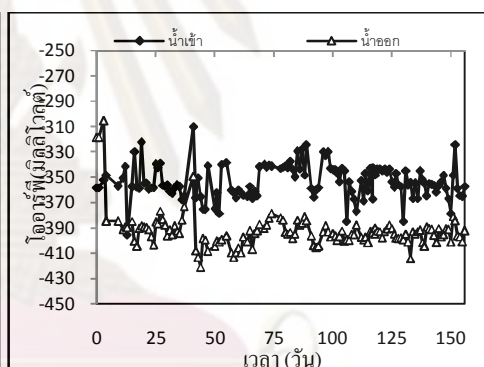
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าโออาร์พีน้ำเสียเข้าและน้ำออกระบบของถังปฏิกรณ์อีเอสบีตลอดการทดลอง

โออาร์พี (มิลลิโวลต์)				
น้ำเข้าระบบ	น้ำออกระบบ			
	ถังปฏิกรณ์อีเอสบี	ถังปฏิกรณ์อีเอสบี	ถังปฏิกรณ์อีเอสบี	ถังปฏิกรณ์อีเอสบี
	1	2	3	4
-310.5 ถึง -395.6 (-353.2)	-319.0 ถึง -418.1 (-393.5)	-305.3 ถึง -421.1 (-393.1)	-306.4 ถึง -421.2 (-393.1)	-305.0 ถึง -417.9 (-391.6)

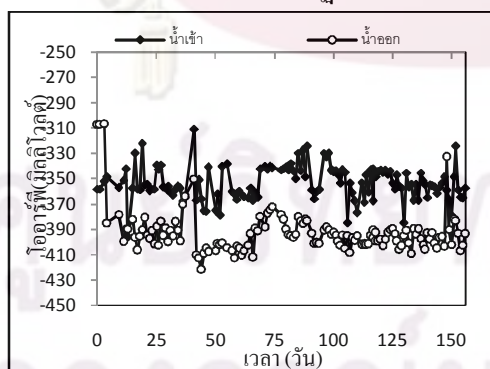
หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บเป็นค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง



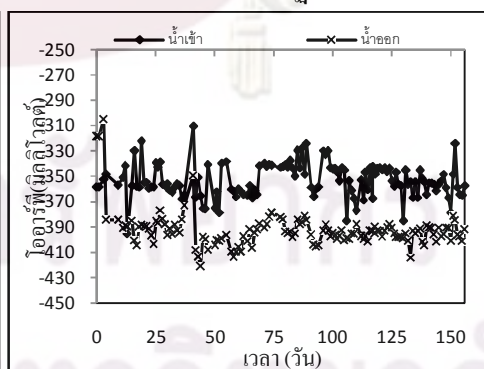
ก) โออาร์พีของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) โออาร์พีของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค) โออาร์พีของถังปฏิกรณ์ที่ 3



ง) โออาร์พีของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.10 แสดงค่าโออาร์พีของถังปฏิกรณ์อีเอสบีตลอดการทดลอง

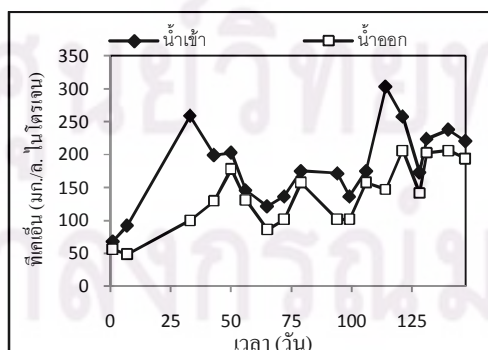
4.4.4 ปริมาณไนโตรเจน

เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียประเภทโปรตีน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการวิเคราะห์ติดตามปริมาณไนโตรเจน ถึงแม้ว่าในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพไนโตรเจนจะเป็นสารอาหาร (nutrient) ที่จำเป็นต่อแบคทีเรีย แต่เนื่องจากแบคทีเรียแบบไร้อากาศมีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณน้อยมากแต่ก็ขาดไม่ได้ McCarty, 1964 กล่าวว่าจุลินทรีย์ต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างน้อยควรมีอัตราส่วน COD:N เท่ากับ 600:7 (100:1.1) และในการทดลองมีอัตราส่วน COD:N เฉลี่ยเท่ากับ 2,538.4: 178.8 (100:7.02) ดังนั้นไนโตรเจนที่มีในน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของแบคทีเรียและไม่เป็นตัวจำกัดอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย พิจารณาตารางที่ 4.9 ปริมาณที่เคเอ็นทั้งหมดที่เข้าระบบมีค่าเท่ากับ 101.5-241.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดค่าที่เคเอ็นซึ่งวิเคราะห์ในรูปแบบที่เคเอ็นกรองมีค่าลดลงเหลือ 135.7-141.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับที่เคเอ็นกรองที่เข้าและออกจากการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ปริมาณที่เคเอ็นกรองน้ำออกมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากคาดว่าไนโตรเจนที่หายไปบางส่วนนั้นจะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ และเนื่องจากเป็นระบบบำบัดอ็อกซิเจนเป็นแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งเป็นสิ่งที่อธิบายได้ว่าระบบไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

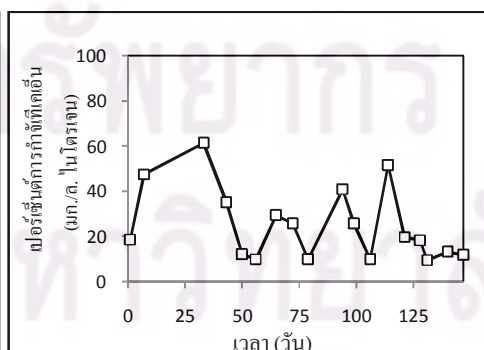
ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจนตลอดการทดลอง

น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ			
	ถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน	ถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน	ถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน	ถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน
	1	2	3	4
101.5-241.5 (178.8)	88.2-206.5 (135.9)	87.8-215.3 (141.5)	89-206.5 (138.1)	77.8-206.5 (135.7)

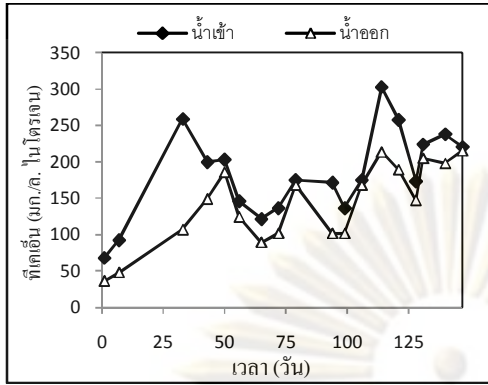
หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บเป็นค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง



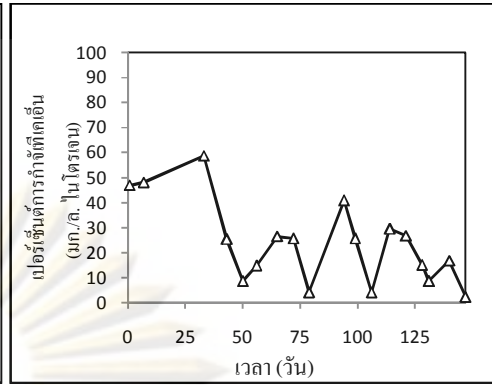
ก1) ที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์ที่ 1



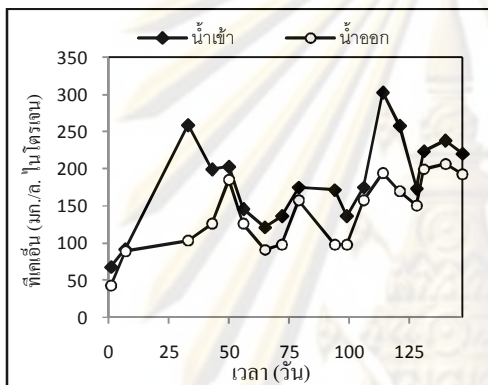
ก2) เปอร์เซ็นต์การกำจัดที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์ที่ 1



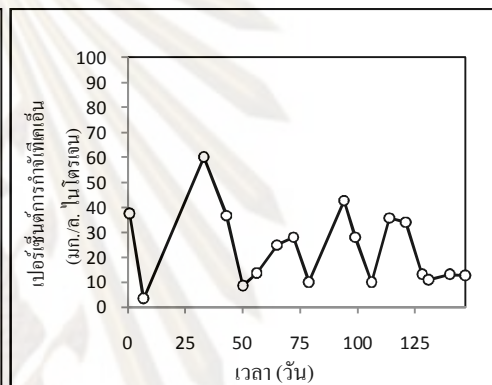
ข1) ที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์ที่ 2



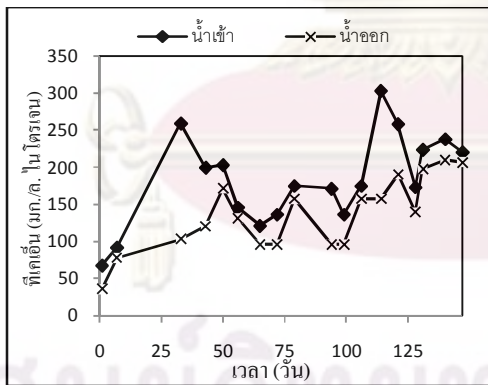
ข2) เปอร์เซนต์การกำจัดที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์ที่ 2



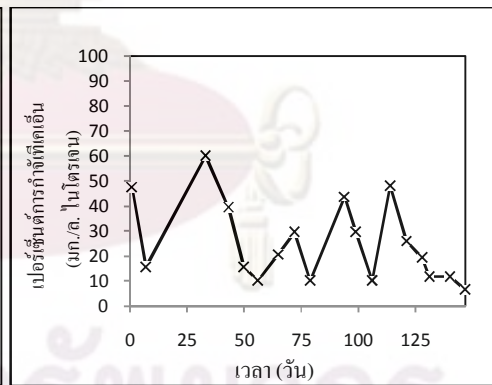
ค1) ที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์ที่ 3



ค2) เปอร์เซนต์การกำจัดที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์ที่ 3



ง1) ที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์ที่ 4



ง2) เปอร์เซนต์การกำจัดที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.11 แสดงค่าที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจนบิวต์ตลอดการทดลอง

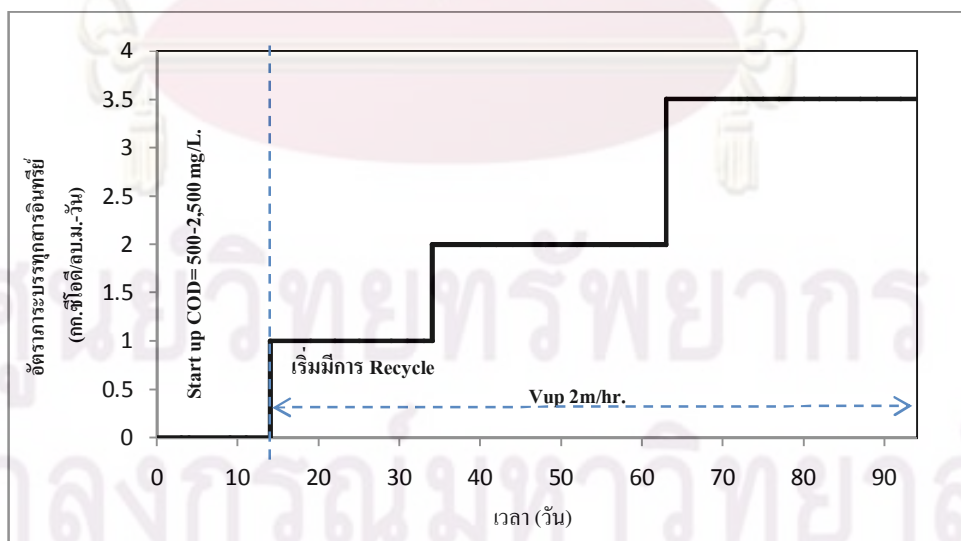
4.5 ผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ

การศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษนั้น เป็นการช่วยเพื่อลดระยะเวลาในช่วงเริ่มต้นเดินระบบเท่านั้น การเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การสร้างเม็ดตะกอนให้มีขนาดใหญ่และมีคุณภาพ ในช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบ จะเริ่มเดินระบบที่ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยเตรียมน้ำเสียเข้าระบบที่มีค่าชีโอดี 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ยังไม่มีการเวียนน้ำกลับ จะทำการเวียนน้ำกลับและเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2 และ 3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) โดยทดลองที่ความเร็วไหลขึ้น 2 เมตรต่อชั่วโมง ตามตารางที่ 4.9

ผลการทดลองทั้งสามชุดการทดลองเป็นค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว รายละเอียดของแต่ละลักษณะสมบัติต่างๆ แสดงในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4.10 แสดงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับระยะเวลาที่ทำการทดลอง

การทดลองที่	ช่วงวันที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)	ความเร็วไหลขึ้น (เมตรต่อชั่วโมง)
1	1-33	1	2
2	34-63	2	2
3	64-94	3.5	



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับระยะเวลาที่ทำการทดลอง

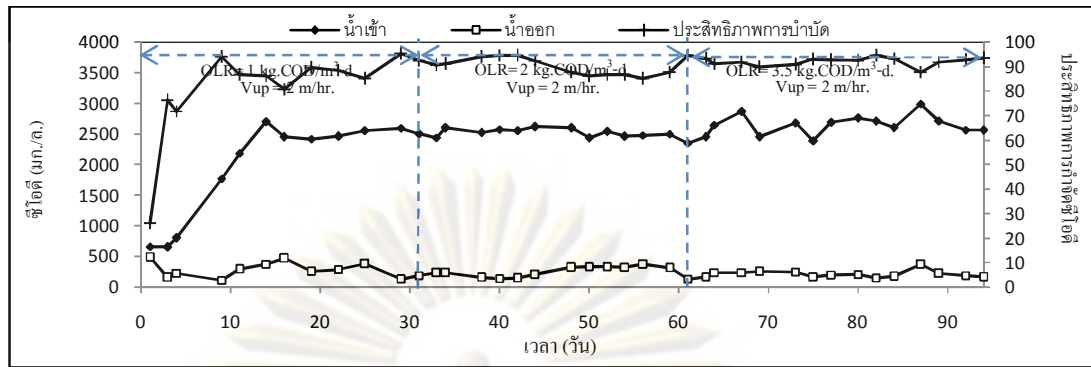
4.5.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเป็นค่าที่นำไปใช้ในการประเมินความสามารถของระบบได้ทางหนึ่ง พิจารณาค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน 1 2 3 และ 4 ในกราฟรูปที่ 4.13 ช่วงวันที่ 1-14 ความเข้มข้นซีโอดีเข้าระบบโดยเริ่มต้นจาก 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วปรับเพิ่มขึ้นจนมีค่าความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่จะมีค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่วันที่ 15 เพิ่มความเข้มข้นซีโอดีเข้าระบบคงที่ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร จนถึงวันที่ 94

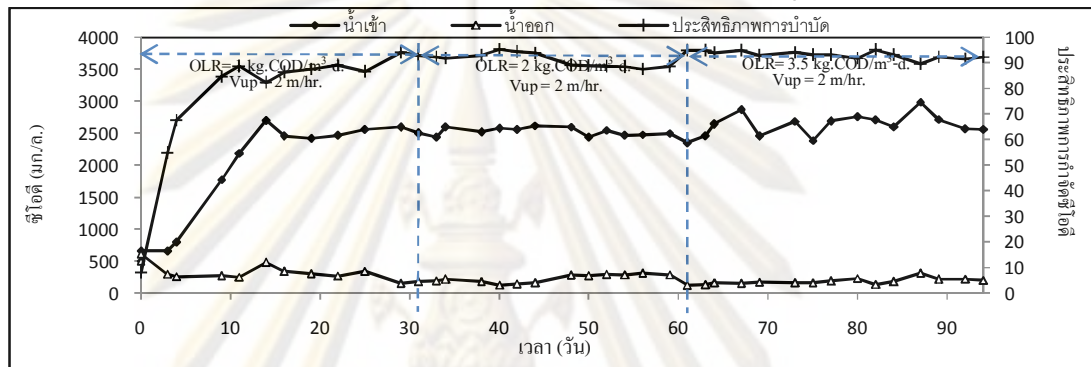
จากการทดลองทำการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีทั้งหมด พบว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ช่วงแรกมีค่าค่อนข้างสูง หลังจากวันที่ 14 ของการทดลองซีโอดีทั้งหมดเริ่มลดลง ซึ่งช่วงแรกของการทดลองเนื่องจากหัวเชื้อจุลินทรีย์ต้องปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย ประกอบกับมีหัวเชื้อจุลินทรีย์หลุดออกมากับน้ำเสียจึงทำให้ค่าซีโอดีของน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ค่าซีโอดีของน้ำออกจะค่อยๆลดลงแล้วคงที่ และค่าซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0 และ 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยจากน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 243.5 215.3 221.3 และ 207.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าเท่ากับ 220.8 198.8 158.3 และ 191.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าซีโอดีเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวน้อยกว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าเท่ากับ 288.1 281.0 263.9 และ 268.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.14-4.15 ซึ่งสรุปค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ เมื่อน้ำเสียผ่านระบบอ็อกซิเจนแล้วพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็นการเพิ่มปริมาณสารอาหารให้กับตะกอนแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียผลิตก๊าซมากขึ้น ตะกอนแบคทีเรียที่มีขนาดเล็กหลุดออกจากถังส่วนตะกอน ที่มีขนาดใหญ่และหนักสามารถอยู่ในถังได้ ซึ่งถือว่าการคัดเลือกแบคทีเรียในระบบ ทำให้การรวมตัวของตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังมีลักษณะเป็นเม็ดตะกอน อัตราการเกิดเม็ดตะกอนแบคทีเรียสูงขึ้นเม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น

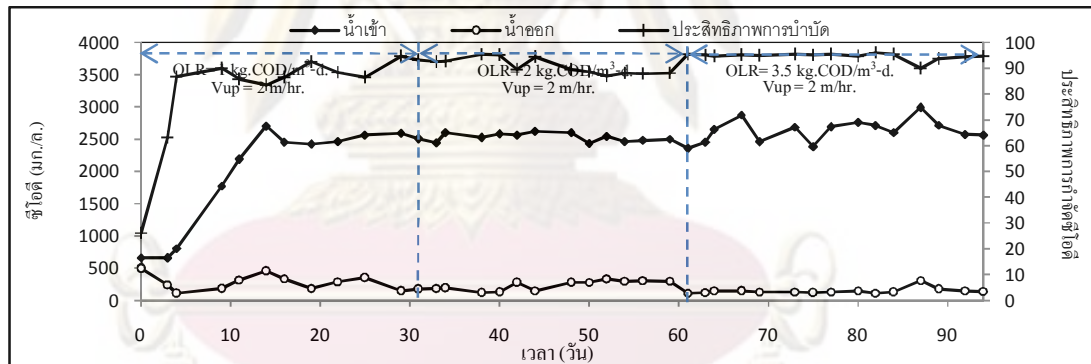
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



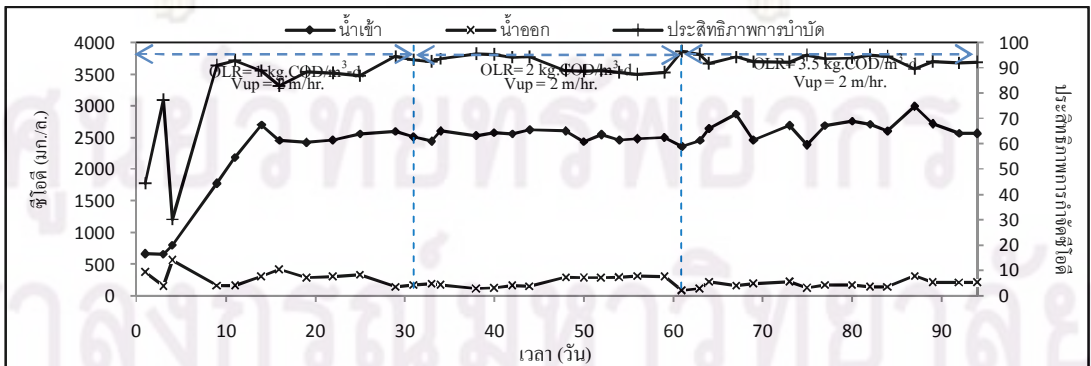
ก) แสดงค่าชีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) แสดงค่าชีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค) แสดงค่าชีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 3

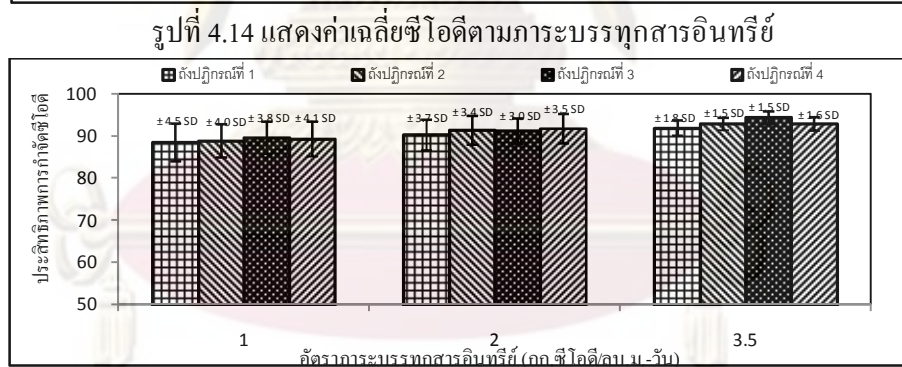
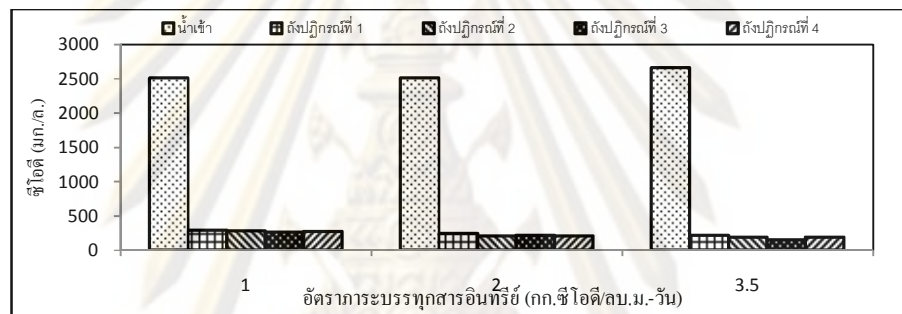


ง) แสดงค่าชีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.13 แสดงค่าชีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าซีไอดีทั้งหมดและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ย
ตามภาวะบรรทุksารอินทรีย์

การทดลองที่	ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)				
			ถังปฏิกรณ์ที่				ถังปฏิกรณ์ที่				
			น้ำเข้า	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	2,514.7	288.1	281.0	263.9	268.3	88.5	88.9	89.6	89.3
2	2	2	2,513.5	243.5	215.3	221.3	207.1	90.3	91.4	91.2	91.8
3	3.5	2	2,662.0	215.5	190.5	149.8	190.0	91.9	92.9	94.4	92.9

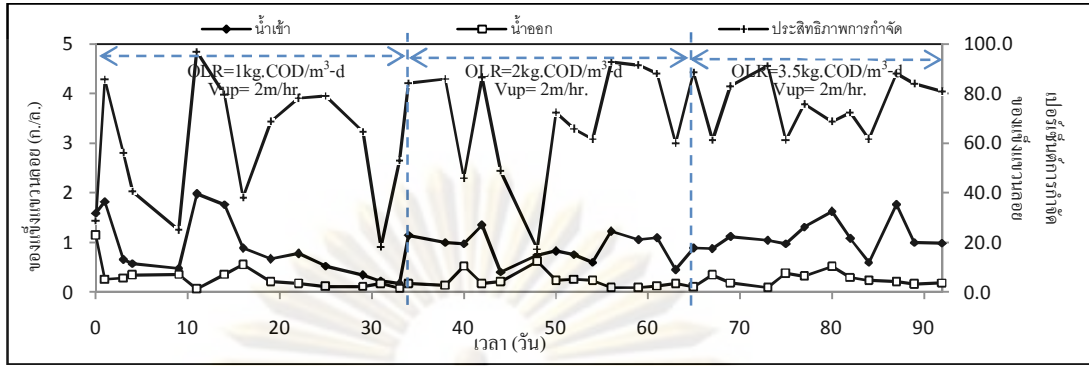


เมื่อพิจารณาจากค่า SD ที่สภาวะคงตัว ซึ่งบอกได้ถึงการกระจายของข้อมูล ถ้าค่า SD สูง แสดงว่ามีการกระจายของข้อมูลในช่วงกว้าง เมื่อเปรียบเทียบค่า SD ของประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีในแต่ละถังปฏิกรณ์ เมื่อเพิ่มภาวะบรรทุksารอินทรีย์ ค่า SD มีค่าลดลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงถึงสภาวะความคงตัวของระบบ ถังปฏิกรณ์ใดมีค่า SD น้อยกว่า แสดงว่าระบบมีความคงตัวมากกว่า สามารถรักษาเสถียรภาพของระบบได้ดีกว่า ซึ่งถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมผงเชื้อกระดามีความคงตัวของระบบในการบำบัดซีไอดีมากกว่าถังที่ไม่เติมผงเชื้อกระดามีเลยในทุกภาวะบรรทุksารอินทรีย์

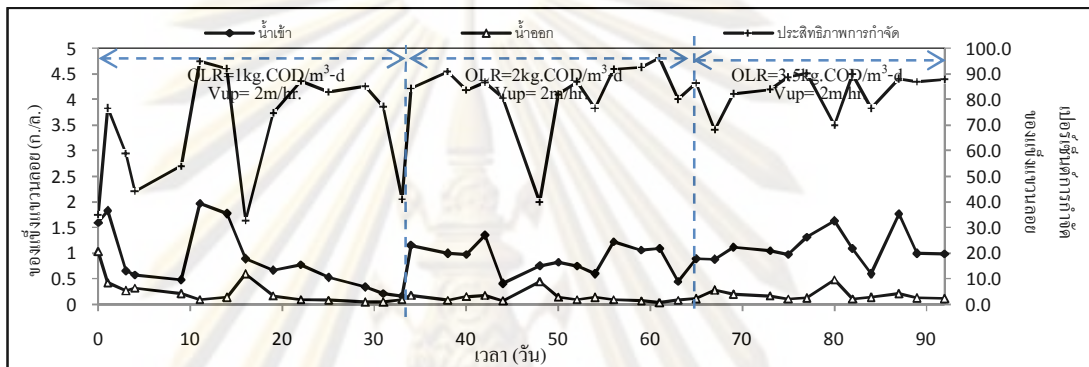
4.5.2 ของแข็งแฉวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแฉวนลอยในน้ำออกจากระบบเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบได้ทางหนึ่ง ระบบที่ดีควรมีความสามารถในการกักตะกอนได้ดีมีตะกอนออกไปกับน้ำทิ้งน้อย แต่สำหรับงานวิจัยนี้การล้างออกของตะกอนในช่วงแรกถือเป็นสิ่งที่ต้องการ เนื่องจากการล้างเอาแบคทีเรียสายพันธุ์ที่ไม่ดีและคงแบคทีเรียสายพันธุ์ที่มีคุณภาพไว้ในระบบ นอกจากนี้การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแฉวนลอยเป็นข้อสังเกตซึ่งบอกถึงสภาวะของระบบในเวลานั้นๆ ก็คือถ้าระบบถูกรบกวนหรือมีความผิดปกติ เช่นอาจเกิดจากระบบได้รับสารพิษหรือสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไป (Shock load) ทำให้การทำงานของระบบขาดเสถียรภาพค่าของแข็งแฉวนลอยในน้ำทิ้งจะมีค่าสูงผิดปกติ

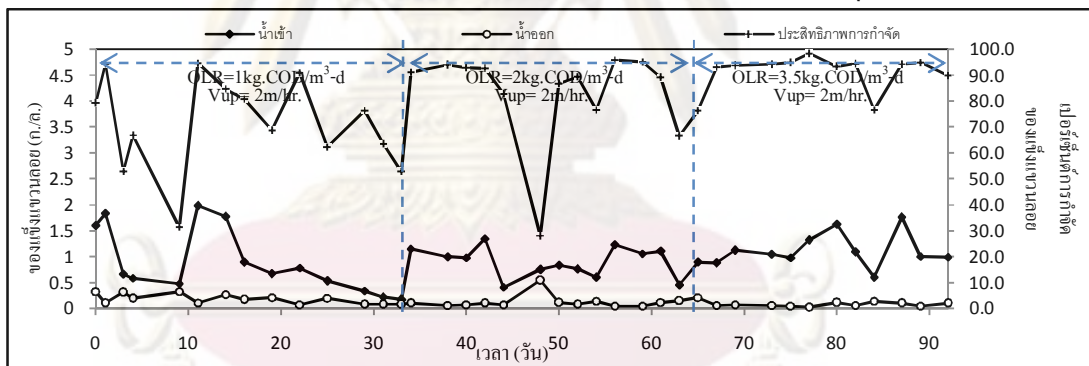
พิจารณากราฟรูปที่ 4.16 แสดงปริมาณของแข็งแฉวนลอยที่วิเคราะห์ในน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์พบว่ามีความโน้มในการบำบัดของแข็งแฉวนลอยค่อนข้างผันแปรอย่างมาก เพราะมีตะกอนแฉวนลอยไหลออกมากับน้ำทิ้งปริมาณสูงช่วงเริ่มเดินระบบ อธิบายได้ว่าเกิดจากการขยายตัวของชั้นตะกอนที่เป็นผลมาจากแรงดันน้ำและการเกิดก๊าซขึ้นในระบบ เมื่อระบบค่อยๆปรับตัวและย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้มากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งตรงกับค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆหลังจากเดินระบบ ส่งผลให้ตะกอนแบคทีเรียที่เกาะตัวเป็นฟล็อก ในช่วงแรกถูกเสียดสีและหลุดออก เกิดตะกอนแฉวนลอยที่มีน้ำหนักเบาหลุดออกจากระบบ ซึ่งการหลุดออกของตะกอนน้ำหนักเบา ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักรวมตัวกันอย่างช้าๆ และพัฒนาเป็นเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นปริมาณของแข็งแฉวนลอยในน้ำออกจากระบบมีค่าลดลงเรื่อยๆ และเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ค่าที่วิเคราะห์สำหรับค่าของแข็งแฉวนลอยที่สภาวะคงตัวที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าของแข็งแฉวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยจากน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 220 160 150 และ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 2.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณของแข็งแฉวนลอยทั้งหมดมีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าจากน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ ที่ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 230 140 120 และ 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าของแข็งแฉวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยจากน้ำออกสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการผลิตก๊าซชีวภาพมากขึ้น ทำให้เกิดการหลุดของตะกอนแฉวนลอยมากขึ้น



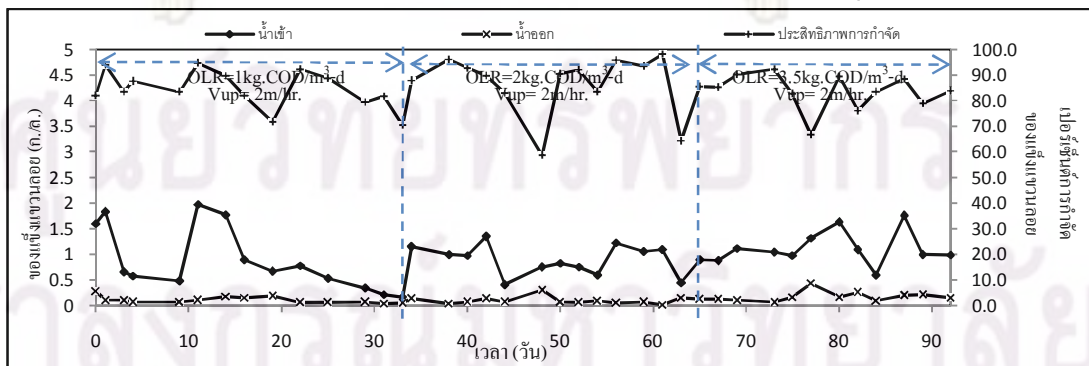
ก) แสดงค่าของแฉ่งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) แสดงค่าของแฉ่งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค) แสดงค่าของแฉ่งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 3

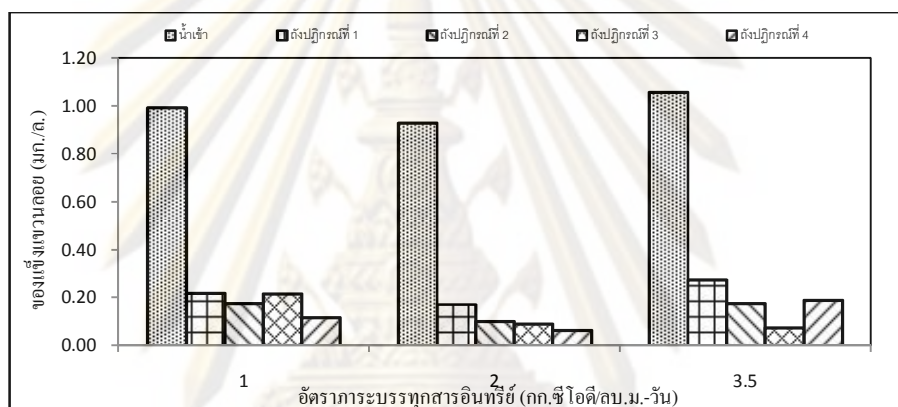


ง) แสดงค่าของแฉ่งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 4

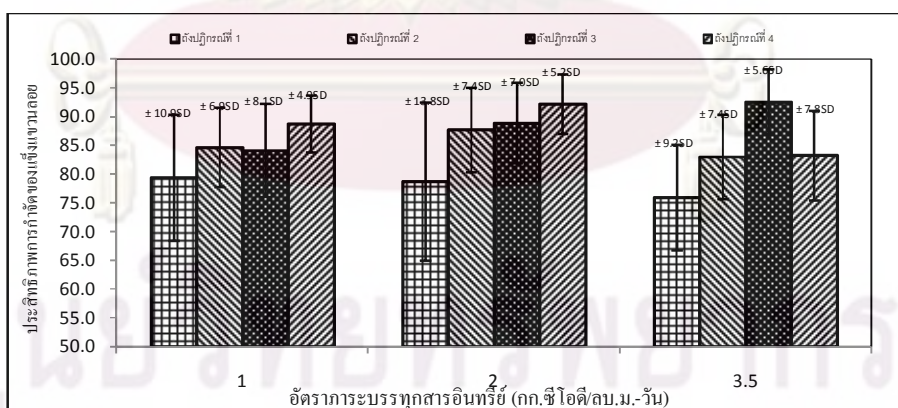
รูปที่ 4.16 แสดงค่าของแฉ่งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย
ตามการะบรทุกสารอินทรีย์

การทดลองที่	การะบรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ของแข็งแขวนลอย (กรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)				
			ถึงปฏิกรณ์ที่				ถึงปฏิกรณ์ที่				
			น้ำเข้า	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	0.90	0.22	0.16	0.15	0.11	79.4	84.6	84.1	88.8
2	2	2	0.88	0.23	0.14	0.12	0.09	78.7	87.7	88.9	92.2
3	3.5	2	1.06	0.25	0.18	0.09	0.18	75.9	83.0	92.6	83.2



รูปที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยตามการะบรทุกสารอินทรีย์



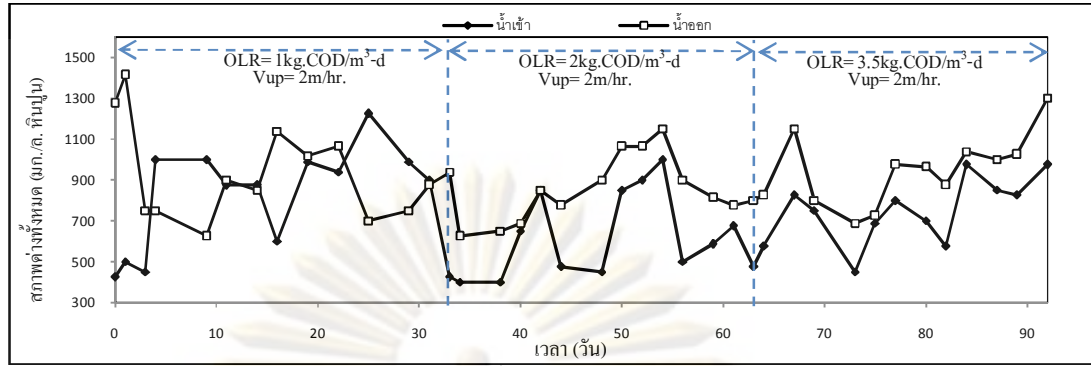
รูปที่ 4.18 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตามการะบรทุกสารอินทรีย์

4.5.3 สภาพต่างทั้งหมดและกรดอินทรีย์ระเหย

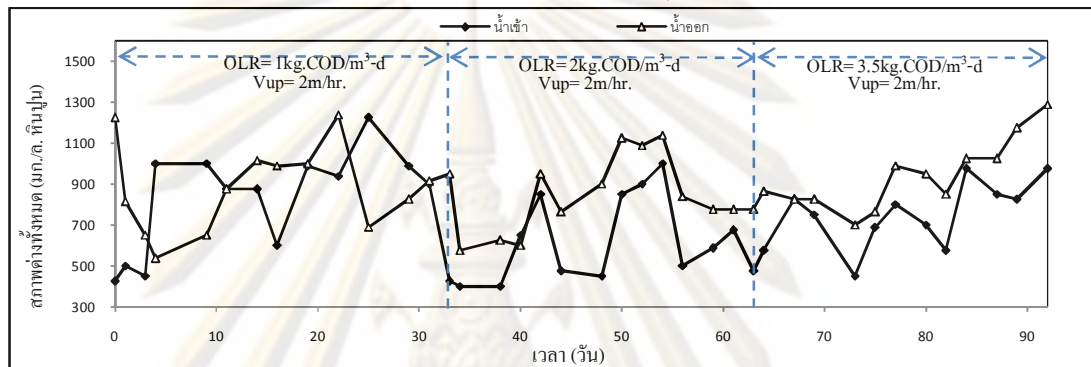
งานวิจัยนี้ได้เพิ่มกำลังบัฟเฟอร์ของน้ำเสียโดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 1.0 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร เนื่องจากการเพิ่มภาระบรรทุกอินทรีย์อาจทำให้จุลินทรีย์ในระบบปรับตัวไม่ทัน ถ้าหากสภาพต่างในระบบมีประมาณไม่เพียงพอปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากแบคทีเรียผลิตกรดจะส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ แต่เนื่องจากน้ำเสียเป็นน้ำเสียโปรตีนเมื่อถูกจุลินทรีย์ในถังย่อยสลายจะได้ก๊าซแอมโมเนียซึ่งจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเกิดเป็นแอมโมเนียไบคาร์บอเนต จึงทำให้สภาพความเป็นต่างสูงขึ้นเป็นการเพิ่มกำลังบัฟเฟอร์อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้การเวียนน้ำกลับ (Recycle) ก็เป็นการนำต่างกลับเข้าไปใช้ในระบบอีกด้วย

4.5.3.1 สภาพต่างทั้งหมด

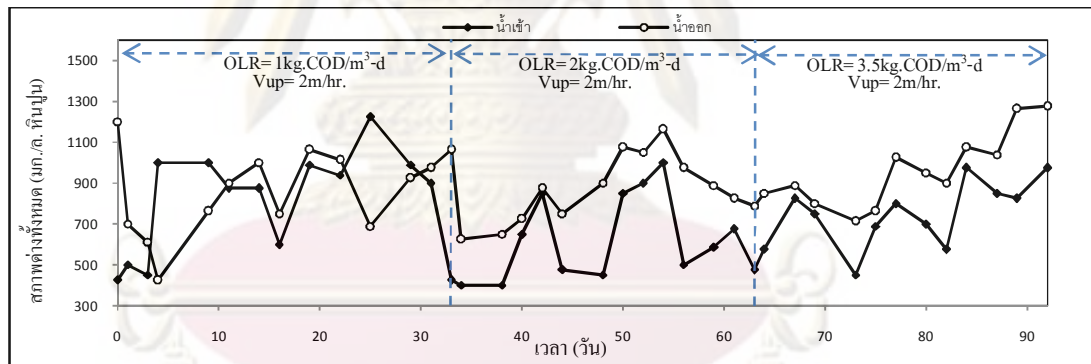
สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์มีค่าค่อนข้างแปรผันตลอดทั้ง 3 การทดลองคือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 723.4 427.9 และ 527.9 มิลลิกรัมต่อลิตรหินปูนตามลำดับ ส่วนสภาพต่างทั้งหมดที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จากถังปฏิกรณ์ที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ย 913.2 951.8 916.1 และ 947.1 มิลลิกรัมต่อลิตรหินปูน ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่าสภาพต่างทั้งหมดน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 860.6 853.8 889.4 และ 850.0 มิลลิกรัมต่อลิตรหินปูน ตามลำดับ และที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่าสภาพต่างทั้งหมดน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 844.6 838.5 830.8 และ 830.2 มิลลิกรัมต่อลิตรหินปูน ตามลำดับ โดยช่วงแรกของทดลองที่ 1 สภาพต่างทั้งหมดมีค่าสูงมาก เนื่องจากมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเป็นการเพิ่มบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบและสภาพต่างทั้งหมดของน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเข้า ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสีย จากฟาร์มสุกรมีสารอินทรีย์ในโตรเจน ซึ่งแอมโมเนียสามารถเพิ่มสภาพต่างให้กับระบบได้ โดยแอมโมเนียในโตรเจน 1 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถเพิ่มสภาพต่างได้ 3.6 มิลลิกรัมต่อลิตรหินปูน (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2545) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีผลต่อสภาพต่างทั้งหมด



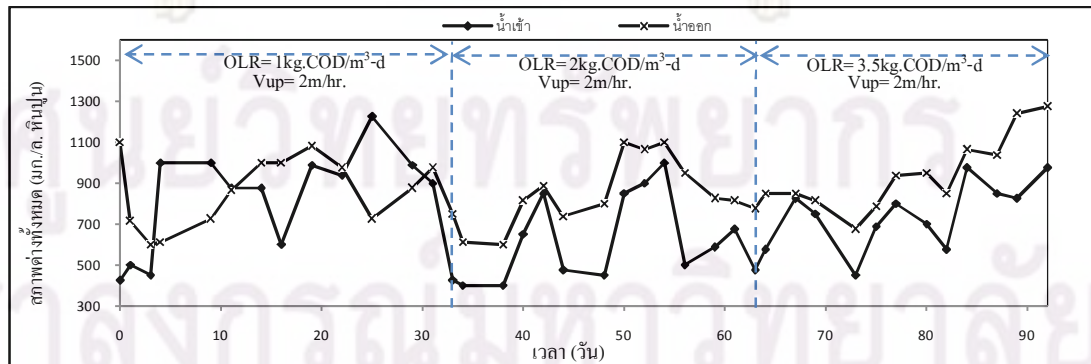
ก) สภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) สภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 2

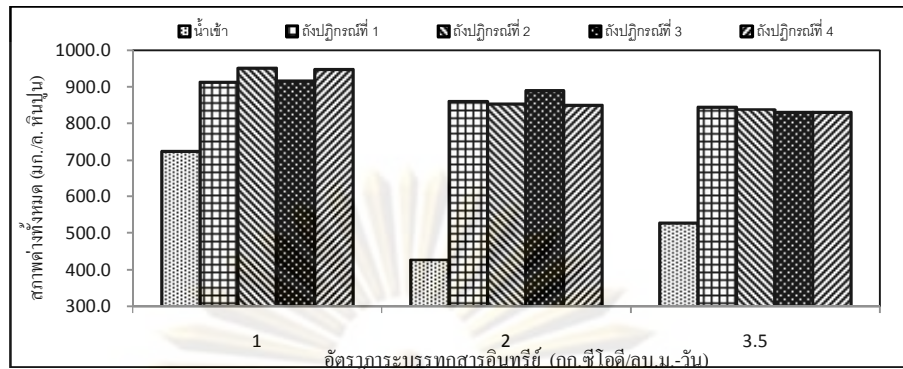


ค) สภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 3



ง) สภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.19 แสดงสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ตามการะบรทุกสารอินทรีย์

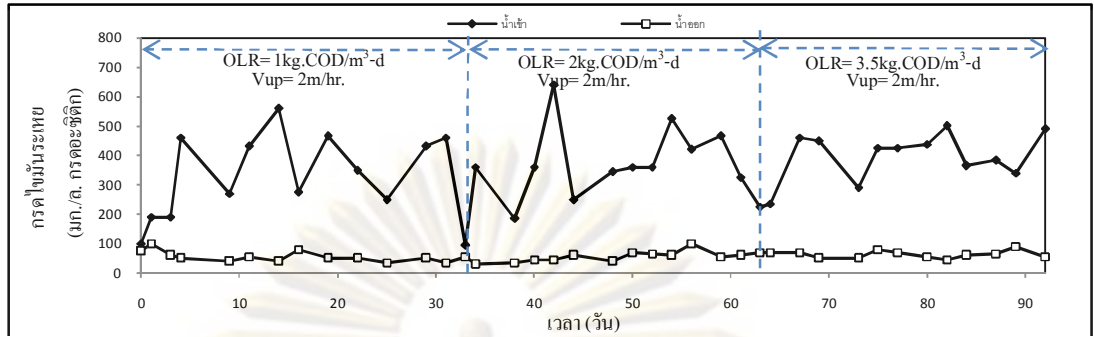


รูปที่ 4.20 สภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตามการบรรทุกสารอินทรีย์

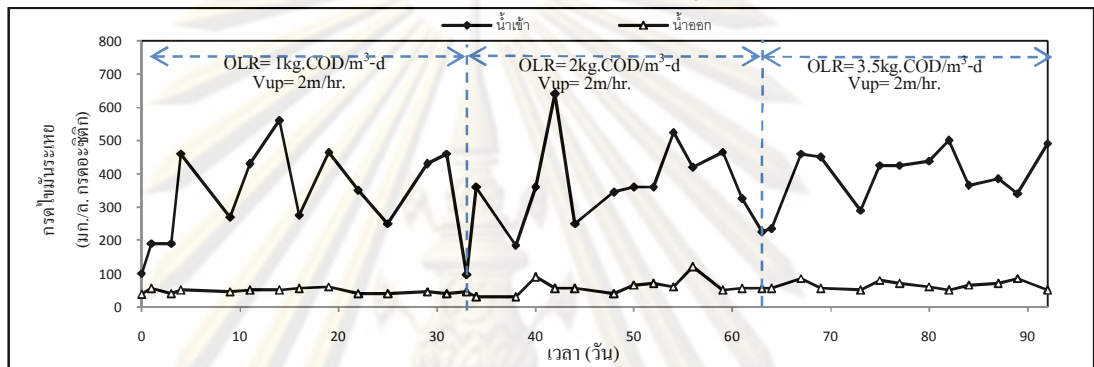
4.5.3.2 กรดไขมันระเหย

ในกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน จะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ให้กลายเป็นกรดไขมันที่ระเหย ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทนได้ ซึ่งระบบที่ทำงานได้ดีจะมีการใช้กรดไขมันระเหยในการสร้างก๊าซมีเทนได้สูง จึงจะทำให้เกิดการตกค้างของกรดไขมันระเหยง่ายต่ำ และหากในระบบค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงจะส่งผลถึงค่าพีเอชในระบบด้วย โดยค่ากรดไขมันระเหยง่ายควรมีค่าไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (อรทัย ชาวลาภฤทธิ, 2545) ปริมาณกรดไขมันระเหยเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ตรวจสอบการทำงานของระบบบำบัดไร้อากาศ

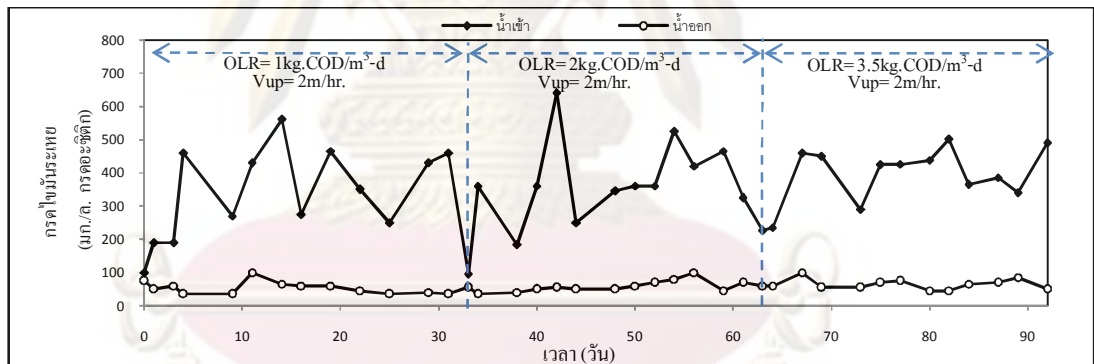
กรดไขมันระเหยของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่เข้าและออกจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 4.21 ซึ่งพบว่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์มีค่าแปรปรวนอันเนื่องมาจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่เก็บมาแต่ละครั้งและการเตรียมน้ำเสียในแต่ละวัน ในการเก็บน้ำเสียมาทดลองได้เก็บไว้ในถังปิด ทำให้การหมักภายในถังเกิดการสร้างกรดไขมันระเหยขึ้น กรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่เข้าระบบของการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 597.9 541.2 และ 530.2 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดอะซิติก ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ากรดทดลองที่ 1 เมื่ออัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 2.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่ากรดไขมันระเหยทางน้ำออกมีค่าสูงกว่าการทดลองที่ 1 ที่การบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ของการทดลองที่ 3 พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยไม่แตกต่างกับการทดลองที่ 2 ค่าเฉลี่ยกรดไขมันตามการบรรทุกสารอินทรีย์แสดงในรูปที่ 4.22



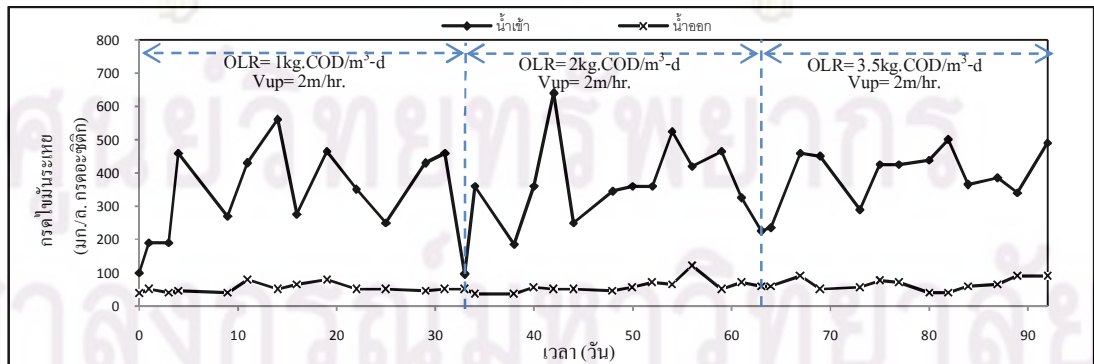
ก) แสดงกราฟไขมันระเหยของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) แสดงกราฟไขมันระเหยของถังปฏิกรณ์ที่ 2

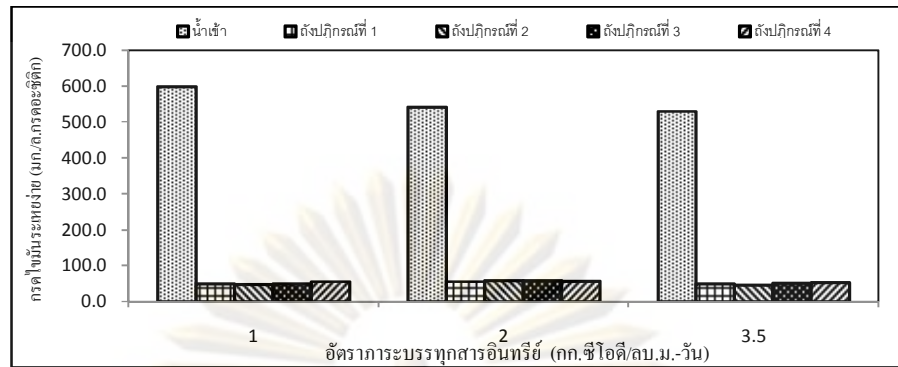


ค) แสดงกราฟไขมันระเหยของถังปฏิกรณ์ที่ 3



ง) แสดงกราฟไขมันระเหยของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.21 แสดงกราฟไขมันระเหยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์



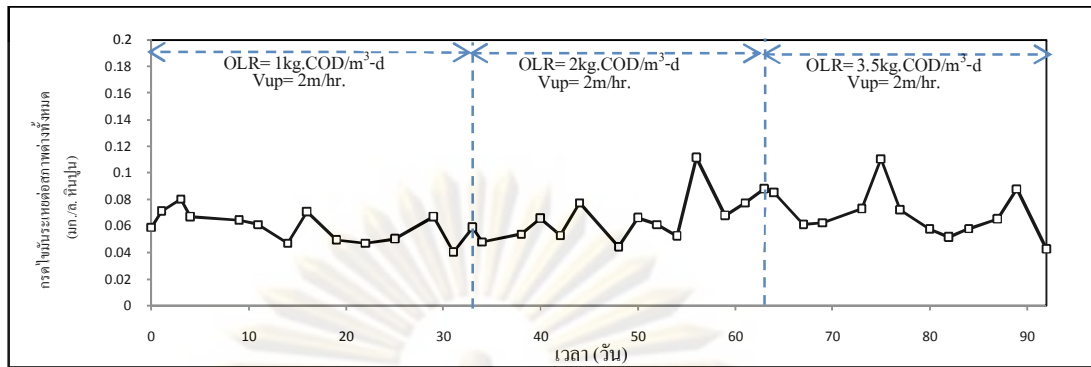
รูปที่ 4.22 แสดงกรดไขมันระเหยเฉลี่ยตามภาวะบรทุกสารอินทรีย์

จากรูปที่ 4.22 เมื่อภาวะบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น อัตราการใช้กรดไขมันระเหยในน้ำออกของจุลินทรีย์ค่อนข้างคงที่ที่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ถึงแม้ว่าเวลากักน้ำเสียลดลง แต่ก็เพียงพอที่ให้น้ำเสียกับชั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์สัมผัสกันทั่วถึง

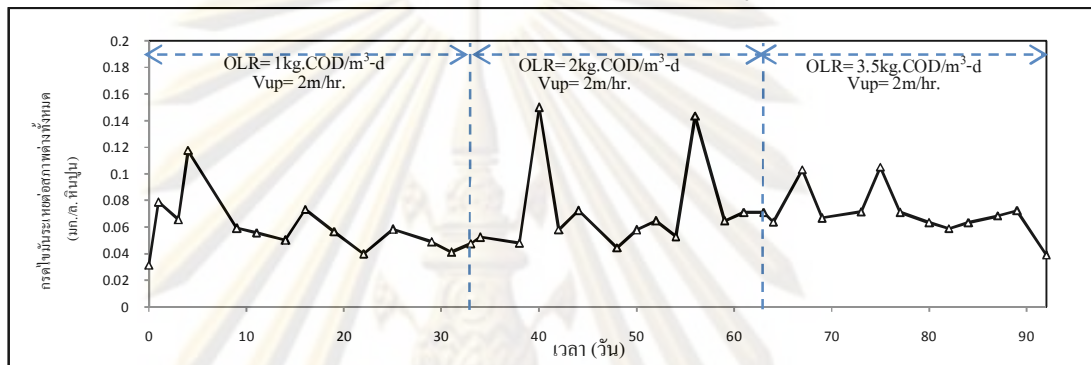
4.5.4 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยกับสภาพด่างทั้งหมด

จากกรดไขมันระเหยและสภาพด่างทั้งหมดของระบบพบว่า อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด (VFA / Alkalinity) ของระบบที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ทราบว่าอัตราส่วนนี้ต่ำกว่า 0.4 กล่าวได้ว่าระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมีสภาพบัฟเฟอร์สูงค่าที่เพิ่มขึ้นของอัตราส่วนนี้เป็นสัญญาณเตือนที่แสดงว่าบัฟเฟอร์ที่มีอยู่เดิมลดน้อยและอาจไม่เพียงพอต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ปริมาณกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดแสดงในรูปที่ 4.23 และสามารถสรุปค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดตามภาวะบรทุกสารอินทรีย์ ดังรูปที่ 4.24

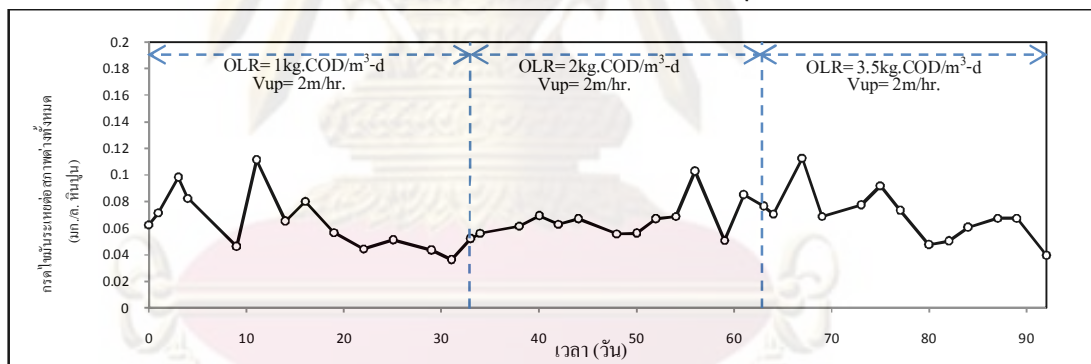
จากรูปที่ 4.24 แสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสบีมีกำลังบัฟเฟอร์สูงโดยมีค่าอัตราส่วนต่ำกว่า 0.4 ถึงแม้จะเพิ่มภาวะบรทุกสารอินทรีย์มากขึ้น ระบบสามารถควบคุมพีเอชได้เป็นอย่างดีซึ่งสามารถสรุปโดยรวมว่า ค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพด่างและค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดอยู่ในช่วงสถานะที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ดังนั้นระบบอีจีเอสบีจึงเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเสถียรภาพของระบบที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์สูง



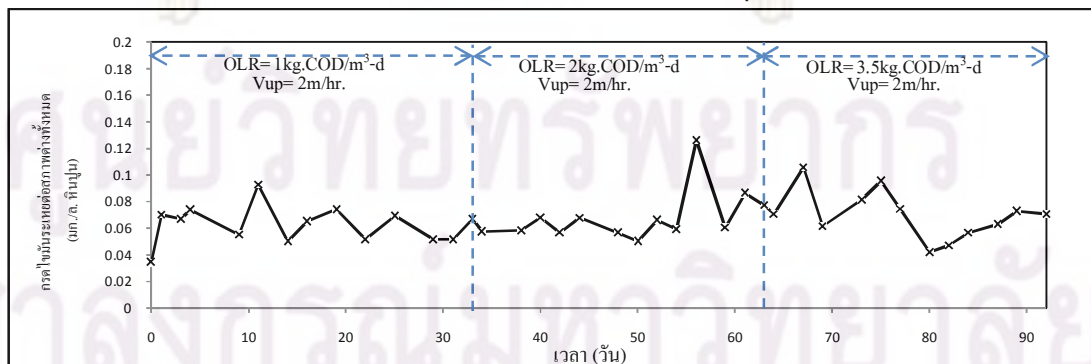
ก) กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 2

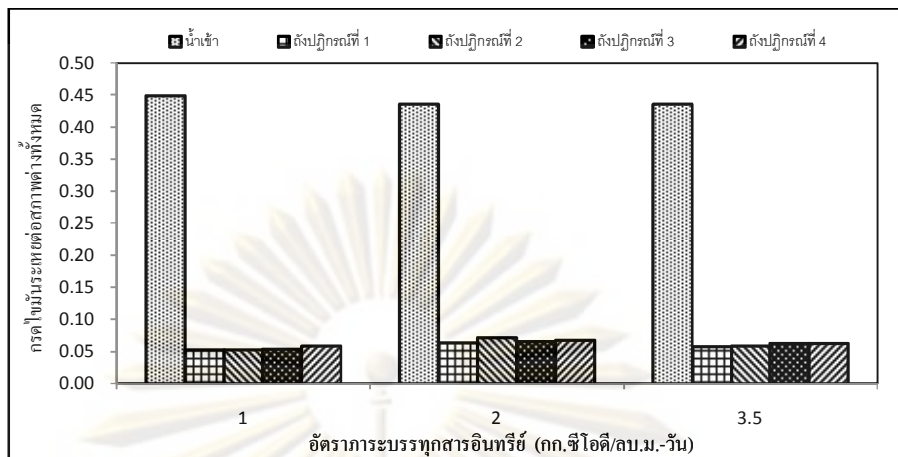


ค) กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 3



ง) กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.23 แสดงค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์



รูปที่ 4.24 กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตามการะบรทุกสารอินทรีย์

4.5.5 การผลิตก๊าซชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในระบบ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนี้จัดเป็นน้ำเสียโปรตีน ดังนั้น ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มการะบรทุกสารอินทรีย์ที่มีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

จากการทดลองปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองในแต่ละวัน แสดงดังรูปที่ 4.25 ซึ่งในการทดลองที่ 1 การะบรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงแรกๆ ของการทดลองเกิดขึ้นน้อยมากเนื่องจากจุลินทรีย์อยู่ในช่วงปรับตัวให้เข้ากับระบบ ประกอบกับการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพโดยใช้กระบอกตวง ซึ่งมีข้อจำกัดในการวัดปริมาณก๊าซในช่วงเวลาสั้นๆ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จึงต่อวันมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ทำให้ไม่สามารถทราบถึงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนได้ และเมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้เข้ากับระบบได้แล้ว ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสูงขึ้นหลังจากวันที่ 14 ของการทดลองที่ 1 และเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซแบบต่อเนื่อง (Gas counter) ในการทดลองที่ 2 ทำให้สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ตลอดทั้งวัน

ในการทดลองมีบางช่วงที่ปริมาณก๊าซชีวภาพมีความแปรผันค่อนข้างสูง เนื่องจากช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ต่อวันมีค่าแปรผัน ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนแสดงดังตารางที่ 4.13 สัดส่วนของก๊าซมีเทนมีค่อนข้างต่ำในช่วงแรกของการทดลองอยู่ในช่วงร้อยละ 7.5- 17.8 และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเพิ่มการะบรทุกสารอินทรีย์เป็น 2.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จากดังปฏิกรณ์

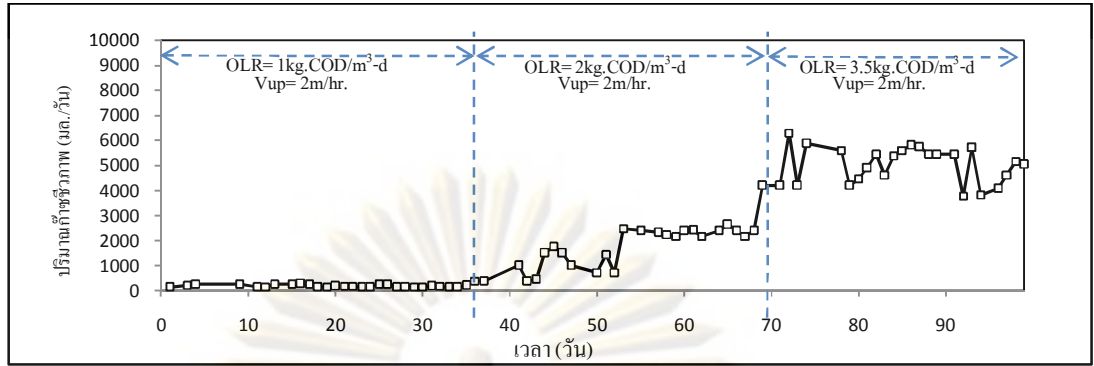
ที่ 1 2 3 และ 4 มีสัดส่วนก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 50.3 51.2 57.8 และ 51.6 ตามลำดับ และมีสัดส่วนเพิ่มเป็น 52.6 55.259.4 และ 54.5 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน องค์ประกอบร้อยละของก๊าซมีเทนที่น้อยในช่วงแรก อาจเกิดจากสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าค่อนข้างสูง อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อนให้เป็นกรดอินทรีย์จึงเกิดก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ขึ้น ซึ่งเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนในช่วงสร้างกรด เนื่องจากระบบมีจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนยังมีจำนวนไม่มากพอสำหรับสร้างมีเทน จึงทำให้ช่วงแรกมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนน้อย และอาจเกิดจากอุปกรณ์ในการเก็บก๊าซชีวภาพ ซึ่งช่วงการทดลองที่ 1 ใช้หลอดเก็บก๊าซ (Vacuum tube) สามารถเก็บตัวอย่างปริมาณก๊าซได้น้อย และอาจเกิดการรั่วหรือมีอากาศเข้าไปในขณะการเก็บตัวอย่างก๊าซ ในการทดลองที่ 2 จึงเปลี่ยนมาใช้ถุงเก็บก๊าซซึ่งสามารถเก็บก๊าซชีวภาพได้มากกว่า มีโอกาสรั่วหรือมีอากาศเข้าไปในถุงน้อยกว่า จากการทดลองพบว่าการใช้ถุงเก็บก๊าซสามารถเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพและให้ข้อมูลที่ไ้มีความแม่นยำกว่าการใช้หลอดเก็บก๊าซ

จากการทดลองพบว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของซับสเตรทที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งความเข้มข้นของซับสเตรทที่มากขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบให้สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของซับสเตรท ที่มากขึ้นยังเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัดและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แสดงดังตารางที่ 4.14

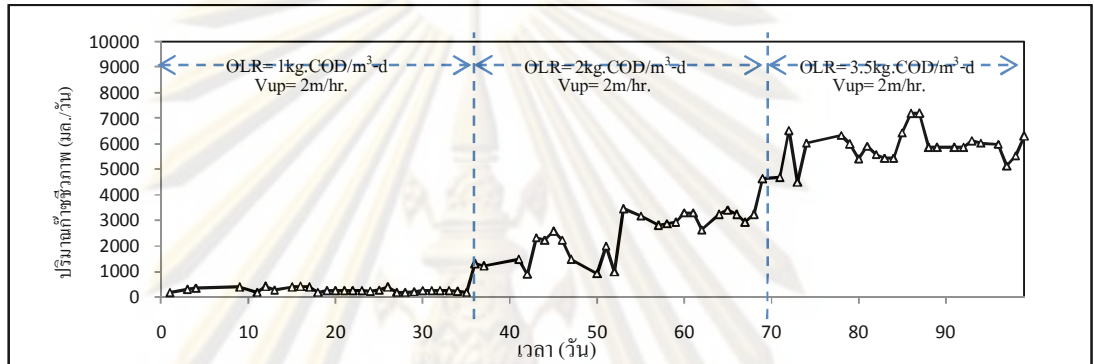
ตารางที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์

การทดลองที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน			
			ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
1	1	2	7.5*	17.8*	15.8*	12.6*
2	2	2	50.3	51.2	57.8	51.6
3	3.5	2	52.6	55.2	59.4	54.5

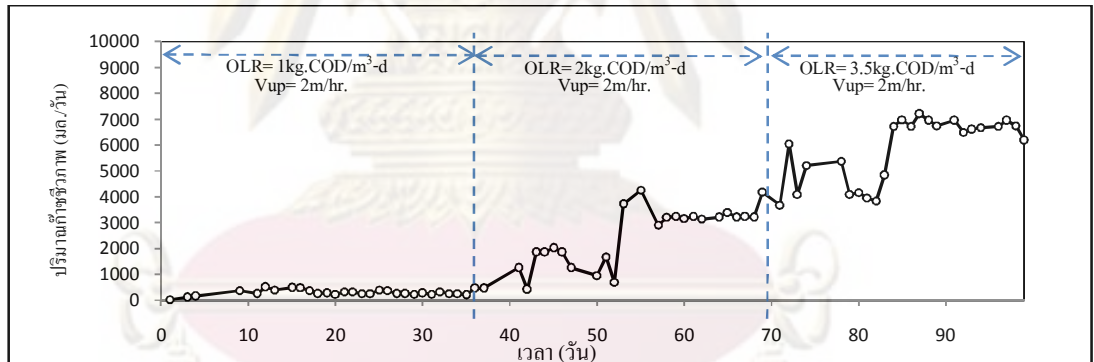
*หมายเหตุ : ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่วิเคราะห์ได้น้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน



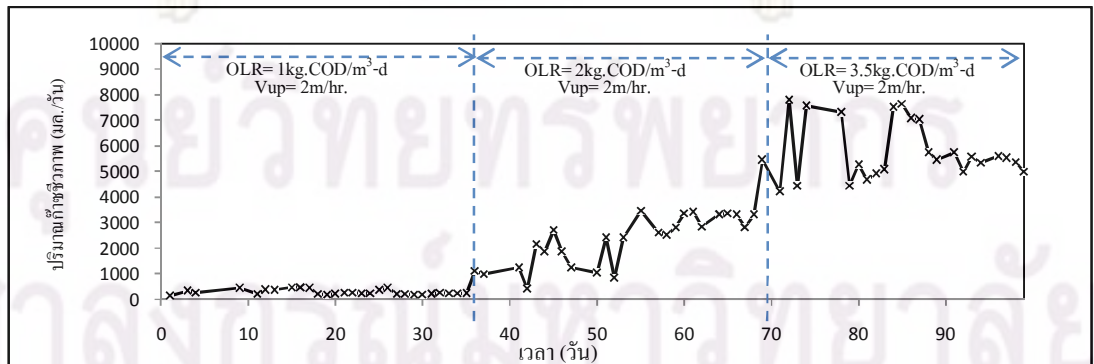
ก) แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค) แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่ 3

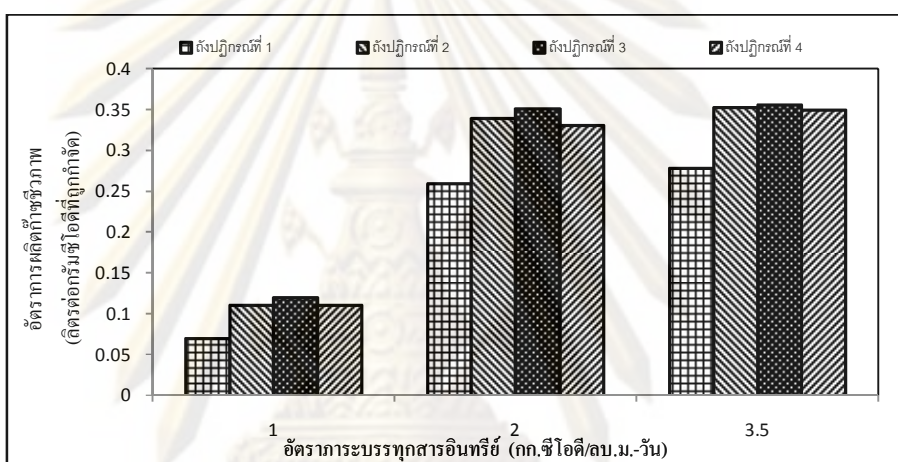


ง) แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่ 4

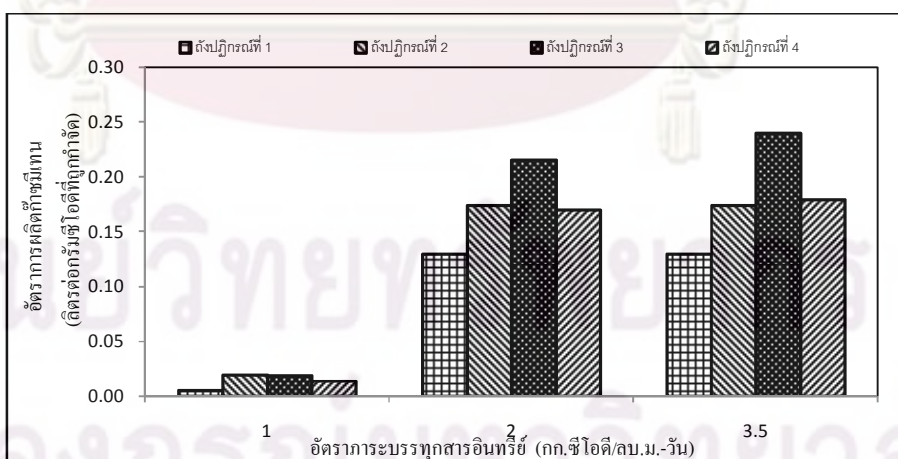
รูปที่ 4.25 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.14 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

การทดลองที่	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)				อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)			
			ถังปฏิกรณ์ที่				ถังปฏิกรณ์ที่			
			1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	0.07	0.11	0.12	0.11	0.01	0.02	0.02	0.01
2	2	2	0.26	0.34	0.35	0.33	0.13	0.17	0.22	0.17
3	3.5	2	0.32	0.35	0.36	0.35	0.13	0.17	0.24	0.18



รูปที่ 4.26 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัดเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์



รูปที่ 4.27 แสดงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัดเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

4.5.6 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ลักษณะของเม็ดตะกอนที่ได้จะทำการตรวจสอบทุกๆ 1 เดือนหลังจากเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์และเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

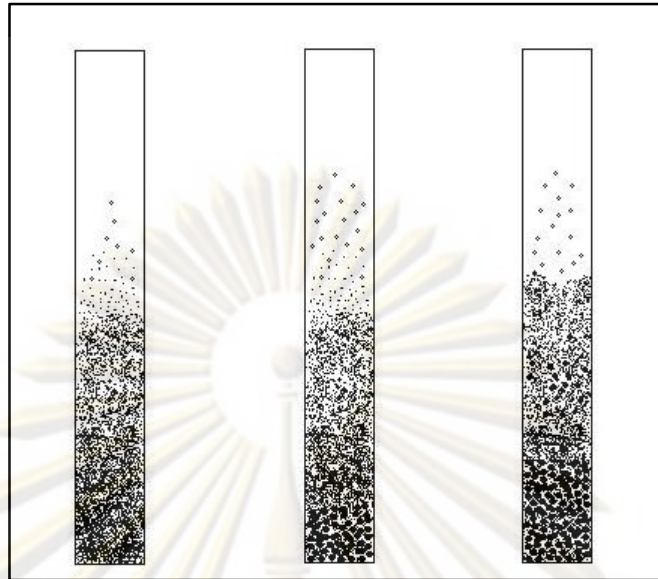
4.5.6.1 ลักษณะทางกายภาพ

1) ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ (จากการสังเกตการณ์) แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 คุณลักษณะของตะกอนหลังทำการทดลองโดยการสังเกตการณ์

ถึงปฏิบัติการที่ 1				ลักษณะตะกอน
1	2	3	4	
วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	
1-29	1-14	1-14	1-14	ตะกอนยังเป็นเนื้อละเอียดฟูๆ ยังไม่มีการรวมตัวกัน ก๊าซเกิดน้อย
30-58	15-30	15-30	15-30	ตะกอนด้านล่างเริ่มมีการรวมตัวกันเป็นฟล็อกขนาดเล็กๆ ด้านบนสุดยังเป็นตะกอนเนื้อละเอียดฟูๆ ก๊าซเกิดน้อย
59-90	31-54	31-54	31-54	ตะกอนเริ่มมีการรวมตัวกันเป็นเม็ด ไล่ขนาดจากใหญ่ไปเล็ก จากด้านล่างของถังขึ้นบน ส่วนบนสุดตะกอนมีลักษณะเป็นฟล็อกเล็กๆ ก๊าซเริ่มเกิดมากขึ้น
91-120	55-60	55-60	55-60	ตะกอนเริ่มมีลักษณะเป็นเม็ด (Granule) ขนาดสม่ำเสมอ ก๊าซเกิดมากมีการไหลปั่นป่วนในชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket)
121	61	61	61	เม็ดตะกอนมีประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของตะกอนทั้งหมด เกิดก๊าซมาก มีการไหลปั่นป่วนในชั้นตะกอนลอย

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าในถึงปฏิบัติการที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ ตะกอนรวมตัวกันเป็นเม็ด (Granule) ในวันที่ 59 หลังจากเดินระบบ แต่สำหรับตะกอนจากถังถึงถึงปฏิบัติการที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษที่ความเข้มข้นต่างจะมีการรวมตัวกันเป็นเม็ด (Granule) ในวันที่ 31 หลังจากเดินระบบ รูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นระยะเวลาและการเจริญเติบโตของตะกอนเม็ดภายในถึงปฏิบัติการตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง



	A	B	C
ถึงปฏิบัติการที่ 1	เริ่มต้น	วันที่ 30	วันที่ 59
ถึงปฏิบัติการที่ 2 3 4	เริ่มต้น	วันที่ 15	วันที่ 31

รูปที่ 4.28 แสดงการเจริญเติบโตของตะกอนเม็ดภายในถังปฏิกรณ์อิมูโอบี (จากการสังเกตการณ์)

จากรูปที่ 4.28 รูป A แสดงลักษณะตะกอนเริ่มต้นซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อละเอียดและอัดตัวกันแน่น ในช่วงแรกนี้ก๊าซเกิดเพียงเล็กน้อยและมีก๊าซบางส่วนถูกกักตามชั้นตะกอน พิจารณารูป B ตะกอนเริ่มมีการรวมตัวกันเป็นเม็ด โดยตะกอนเริ่มมีการรวมตัวเป็นเม็ด โดยการเกิดเม็ดเกิดจากทางด้านล่างของชั้นตะกอนส่วนด้านบนตะกอนยังมีลักษณะเป็นฟล็อกเล็กๆ ในช่วงนี้ก๊าซเกิดมากขึ้นชั้นตะกอนขยับตัวได้ดีขึ้น พิจารณารูป C ตะกอนมีการรวมตัวกันเป็นเม็ดมากขึ้นและเม็ดตะกอนด้านล่างมีการเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้น มีสัดส่วนของตะกอนเม็ดประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของตะกอนทั้งหมด ตะกอนด้านบนยังมีลักษณะเป็นฟล็อกเล็กๆ ช่วงนี้ก๊าซเกิดมาก และเนื่องจากเริ่มทำการเวียนน้ำส่วนหนึ่งกลับเพื่อควบคุมค่าความเร็วไหลขึ้น (วันที่ 15 นับจากเริ่มเดินระบบ) ทำให้ชั้นตะกอนขยับตัวได้มาก ประกอบกับก๊าซที่เกิดมากทำให้เกิดการไหลปั่นป่วนบริเวณชั้นตะกอนลอย

ศูนย์วิจัยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.6.2 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอน

1) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer

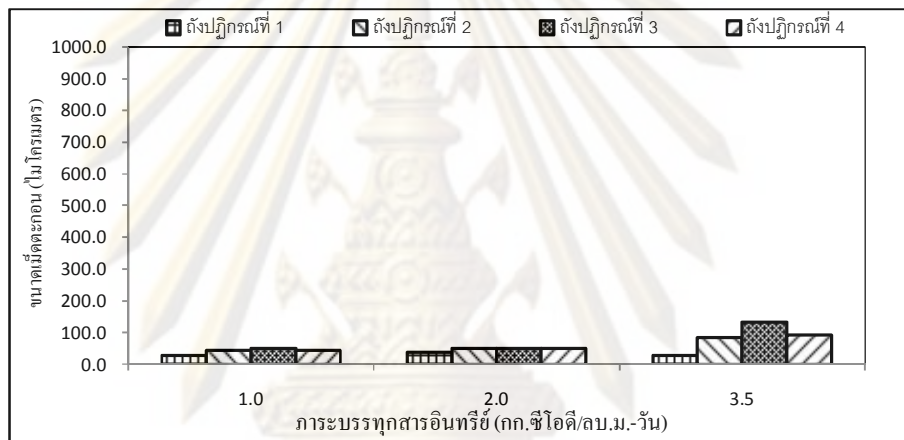
การวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะวิเคราะห์ในรูปแบบของการกระจายขนาดโดยเครื่อง Particle Size Analyzer ยี่ห้อ Malvern โดยอาศัยหลักการวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของเม็ดตะกอนด้วยระบบเซ็นเซอร์ที่ส่องแสงมากระทบกับอนุภาค ขณะที่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถูกสุบไหลดผ่านเลนส์ อนุภาคที่มีรูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลมจะถูกวัดเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงขณะที่อนุภาคที่เป็นฟล็อก ซึ่งมีรูปร่างหลากหลาย จะถูกตั้งสมมติฐานว่ามีรูปร่างกลมและคำนวณกลับเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใช้เป็นตัวแทนของฟล็อก นอกจากนี้ปัญหานี้พบจากการใช้เครื่องมือนี้ในการวิเคราะห์ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์คือ การที่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดที่หลากหลายแตกต่างกัน และข้อจำกัดในเรื่องช่วงขนาดของเลนส์ที่สามารถวัดได้ ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมาก และเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ที่ไม่อยู่ในช่วงขนาดที่เลนส์สามารถวัดได้ โดยเลนส์ในการวิเคราะห์นั้นสามารถวัดได้ในช่วง 0.02 – 2,000 ไมโครเมตร

จากข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer สามารถนำมาทำเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อเม็ดตะกอนขนาดต่างๆ เพื่อแสดงถึงการพัฒนาการของขนาดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ดังรูปที่ 4.29

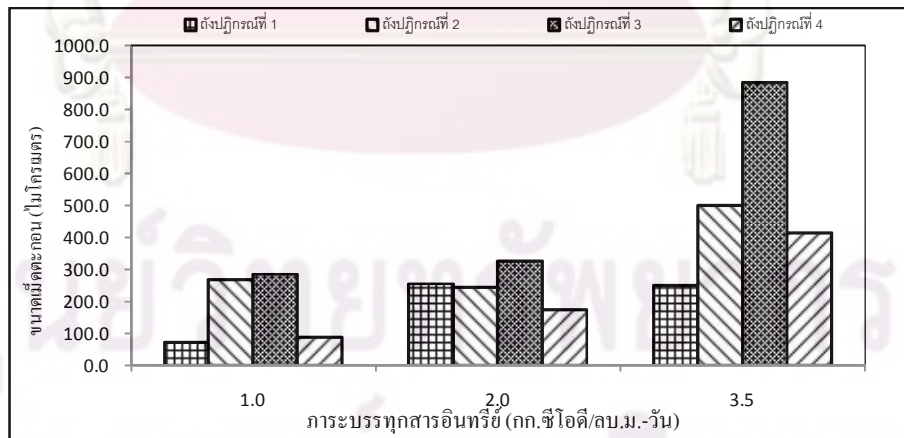
จากรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ของทุกถังปฏิกรณ์มีการพัฒนาใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ ซึ่งดูได้จากค่า D ใดๆตลอดการทดลองโดยที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 1 และ 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่า $D(0.1)$ ในทุกถังปฏิกรณ์มีค่าไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อดูจากค่า $D(0.5)$ และ $D(0.9)$ ของทุกถังปฏิกรณ์ พบว่ามีค่าสูงขึ้นอย่างมาก จึงสันนิษฐานว่าในระยะแรกของการเดินระบบตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 มีการพัฒนาตัวยังไม่สมบูรณ์ เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer ขึ้นตอนในการวิเคราะห์จะมีการปั่นเหวี่ยงด้วยใบพัดทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่รวมตัวกันไม่หนาแน่นอนุภาคเกาะกันอย่างหลวมๆ เกิดการแตกออกเป็นตะกอนขนาดเล็ก ทำให้ค่า $D(0.1)$ มีค่าไม่แตกต่างจากตะกอนเริ่มต้น



ก) การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D(0.1) ตามการะบรทุกสารอินทรีย์



ข) การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D(0.5) ตามการะบรทุกสารอินทรีย์



ค. การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D(0.9) ตามการะบรทุกสารอินทรีย์

รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามการะบรทุกสารอินทรีย์

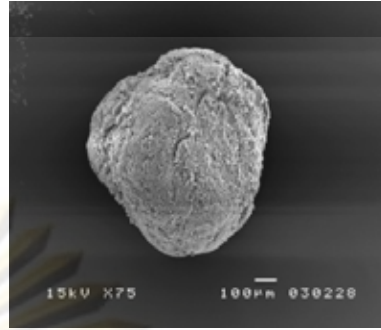
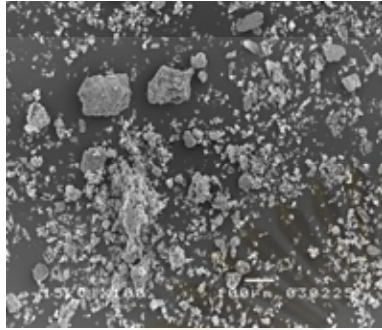
เมื่อพิจารณาผลการทดลองโดยใช้ค่า $D(0.5)$ ซึ่งเป็นค่าที่นิยมในการใช้เป็นตัวแทนของขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มากที่สุด จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกระบบอนุพันธ์จาก 1 เป็น 2 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เพิ่มภาระบรรทุกระบบอนุพันธ์เป็น 3.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่า $D(0.5)$ จะเพิ่มขึ้นมากประมาณ 2 เท่า กล่าวคือ เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่เติมผงเยื่อกระดาษที่ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย มีค่า $D(0.5)$ สูงสุดเท่ากับ 131.1 ไมโครเมตร และถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 4 มีค่า $D(0.5)$ ใกล้เคียงกันเท่ากับ 85.0 และ 92.7 ไมโครเมตร โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเยื่อกระดาษมีค่า $D(0.5)$ เท่ากับ 28.2 ไมโครเมตร เพราะการเติมผงเยื่อกระดาษในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยให้ตะกอนเกิดการรวมตัวที่ดี มีความหนาแน่นและหนัก สามารถตกตะกอนได้ดี ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของการเติมผงเยื่อกระดาษ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย จะช่วยเร่งให้เกิดการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้เร็วกว่าการไม่เติมผงเยื่อกระดาษเลย และเร็วกว่าการเติมผงเยื่อกระดาษปริมาณ 1,500 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย

4.5.6.3 การศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

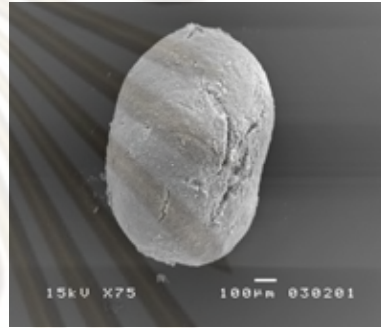
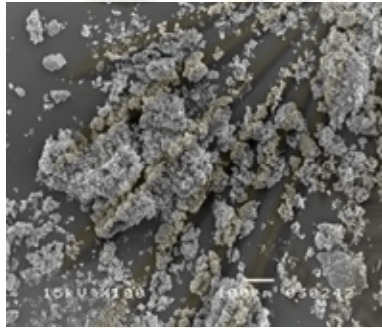
การศึกษาโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยนำตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการทดลองไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) ตัวอย่างที่ทดลองเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเม็ดจากถึงปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถึง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกระบบอนุพันธ์ที่ 2 และ 3.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยที่ภาระบรรทุกระบบอนุพันธ์ที่ 1 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ลักษณะภายนอกของตะกอนจุลินทรีย์จะมีลักษณะเป็นฟล็อกเป็นส่วนใหญ่ และพบลักษณะของการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์บ้างในปริมาณที่น้อยมาก

1) โครงสร้างภายนอก

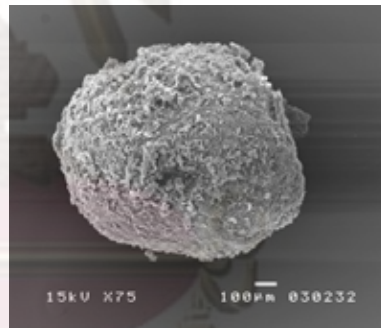
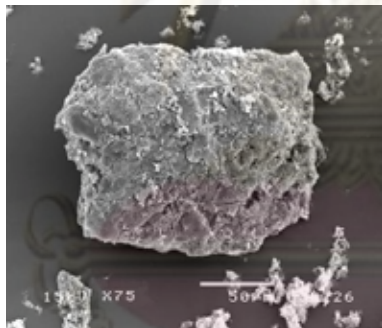
รูปที่ 4.30-4.33 เป็นรูปตะกอนจุลินทรีย์ของถึงปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถึง เมื่อสังเกตลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากแต่ละการทดลองพบว่า มีลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ มีทั้งเม็ดกลมค่อนข้างสมมาตรและเม็ดกลมรี การเปรียบเทียบลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ พบว่าเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกระบบอนุพันธ์ เม็ดตะกอนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย และลักษณะพื้นผิวจะเรียบขึ้น เนื่องจากเกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้นทำให้เกิดเสียดสีกันระหว่างเม็ดตะกอน โดยขนาดเม็ดตะกอนอยู่ในช่วง 500-1,000 ไมโครเมตร ขนาดเม็ดตะกอนอาจไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เนื่องจากในการเตรียมตัวอย่างเม็ดตะกอน มีการดองและอบตัวอย่างทำให้เม็ดตะกอนมีขนาดเล็กลง



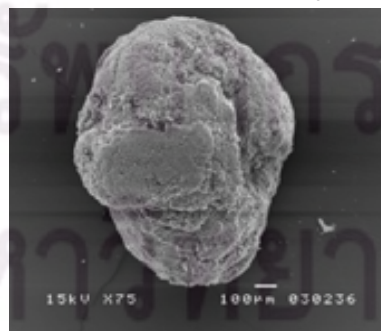
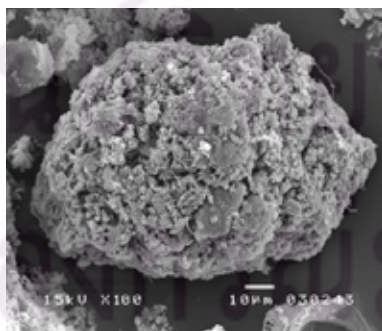
2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
รูปที่ 4.30 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่1



2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
รูปที่ 4.31 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่2



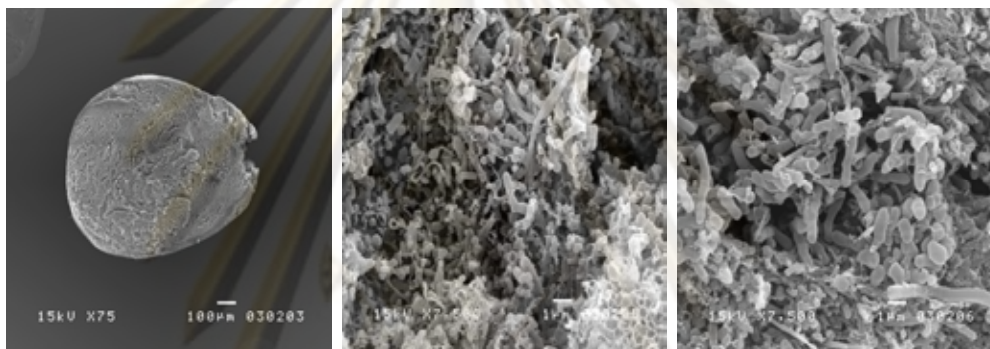
2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
รูปที่ 4.32 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่3



2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
รูปที่ 4.33 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่4

2) โครงสร้างภายใน

การศึกษาโครงสร้างภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต้องผ่าครึ่งเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เพื่อศึกษาโครงสร้างภายใน ตัวอย่างจากถังปฏิกรณ์ในช่วงการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ไม่สามารถผ่าเม็ดตะกอนเพื่อดูภายในได้ เนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดเล็กเกินไป และสามารถผ่าเม็ดตะกอนได้ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 2 และ 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยขนาดเม็ดตะกอนที่แตกต่างกันในแต่ละถังปฏิกรณ์เป็นผลมาจากภาระบรรทุกสารอินทรีย์และปริมาณการเติมผงเชื้อกระดาษที่แตกต่างกัน

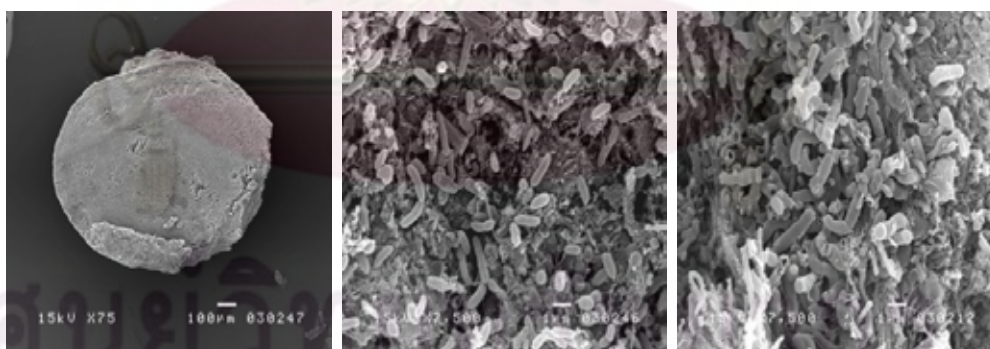


เม็ดตะกอนผ่าครึ่ง

2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.34 ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 1

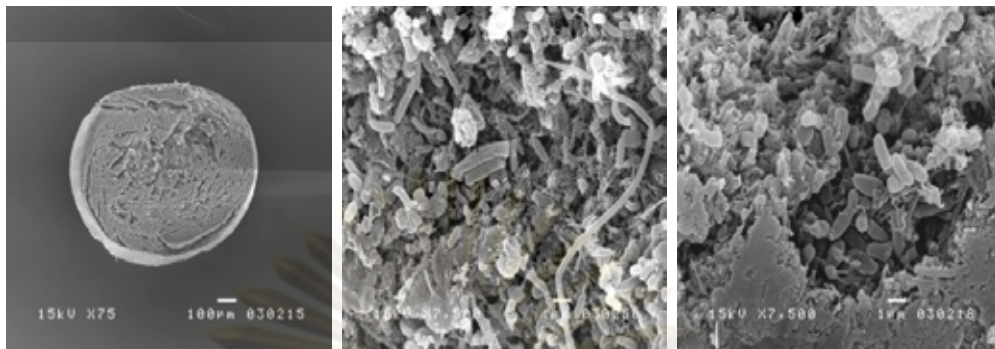


เม็ดตะกอนผ่าครึ่ง

2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.35 ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 2



เม็ดตะกอนฝาค้าง

2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.36 ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามการะบรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่3



เม็ดตะกอนฝาค้าง

2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.37 ลักษณะภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามการะบรทุกสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่4

ในงานทดลองนี้พบว่าไม่มีการแบ่งชั้นของแบคทีเรียเกิดขึ้นภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ตามรูปที่ 4.34 – 4.37 จะเห็นได้ว่าบริเวณตรงกลางของกลองเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะพบแบคทีเรียที่หลากหลายน้อยและพบแบคทีเรียชนิดเดียวกันอยู่รวมกลุ่มกันเป็นจำนวนมากและสังเกตไม่พบแบคทีเรียชนิดเส้นใยบริเวณตรงกลางภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เลย แบคทีเรียที่พบในบริเวณแกนกลางเป็นแบคทีเรียชนิดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ไมโครเมตร และพบแบคทีเรียชนิดท่อนสั้นขนาดยาวประมาณ 1-3 ไมโครเมตร ซึ่งแบคทีเรียที่อยู่บริเวณชั้นในของเม็ดตะกอนนี้ส่วนใหญ่เป็น Methanothrix-like Species. มักเกิดมาจากน้ำเสียที่มีแต่กรดไขมันระเหยง่าย

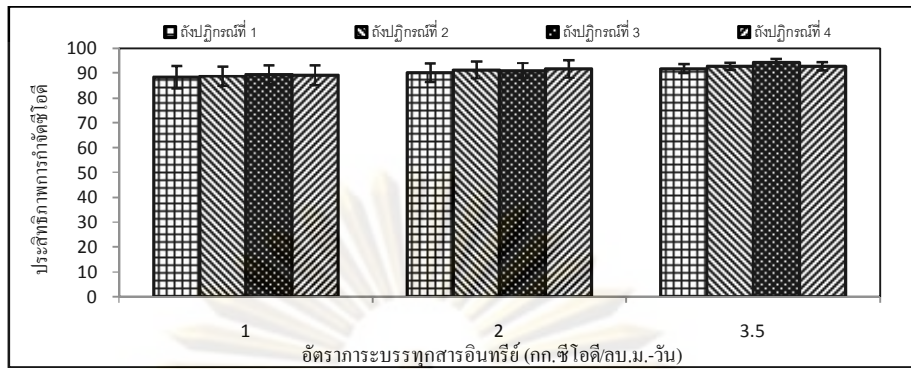
ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.16 แสดงค่า SMA ของแต่ละถังปฏิกรณ์ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ตะกอนจุลินทรีย์มีค่า SMA ที่มีค่าสูงที่ขึ้น เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองของการทดลองที่ 3 ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย มีค่า SMA มากที่สุดคือ 0.17 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ มีค่า SMA น้อยที่สุดคือ 0.03 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเติมผงเยื่อกระดาษจะช่วยในการสร้างเม็ดตะกอนที่มีคุณภาพและลดระยะเวลาในการเดินระบบ การรวมตัวกันเป็นเม็ดของตะกอนจุลินทรีย์นั้นจึงเป็นหัวใจสำคัญของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิจีเอสบี เพราะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้นอย่างมาก

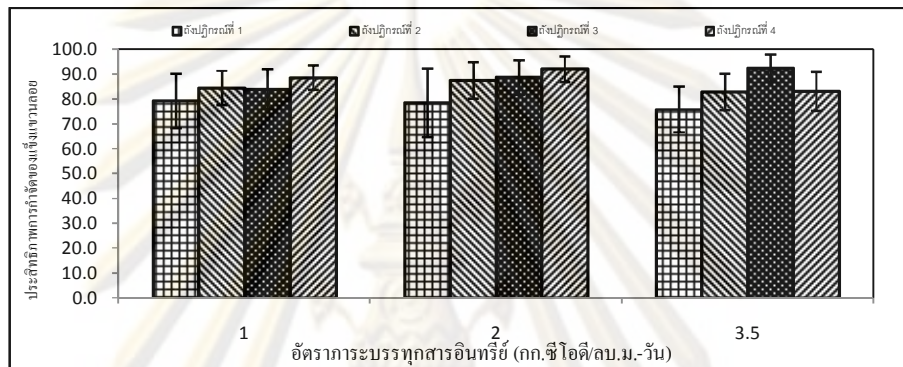
4.5.7 การวิเคราะห์ผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ

จากการทดลองเดินระบบถังปฏิกรณ์อิจีเอสบีที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษช่วยในการสร้างเม็ดตะกอน โดยการป้อนน้ำเสียจริงจากฟาร์มสุกร โดยให้ความเข้มข้นซีโอดีเข้าประมาณ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยอัตราการป้อนน้ำเสีย 2 ลิตรต่อวัน คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทำการทดลองที่ความเร็วไหลขึ้น 2 เมตรต่อชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพของระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว แต่เนื่องจากปริมาณเม็ดตะกอนและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพยังมีค่าต่ำมาก อาจเนื่องมาจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบมีปริมาณต่ำ ดังนั้นจึงทำการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยทำการปรับเปลี่ยนภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบจาก 1.0 เป็น 2.0 และ 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ แต่ละภาระบรรทุกสารอินทรีย์ใช้ระยะเวลาทดลอง 30 วัน ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีผลทำให้ความเข้มข้นซีโอดี และสารแขวนลอยในน้ำออกมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยมีค่าใกล้เคียงกัน รวมทั้งอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณเม็ดตะกอนมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบถังปฏิกรณ์อิจีเอสบี เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยภาพรวมทั้งในด้านประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดมลสาร สักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ และการสร้างเม็ดตะกอน แสดงได้ดังรูปที่ 4.39-4.44

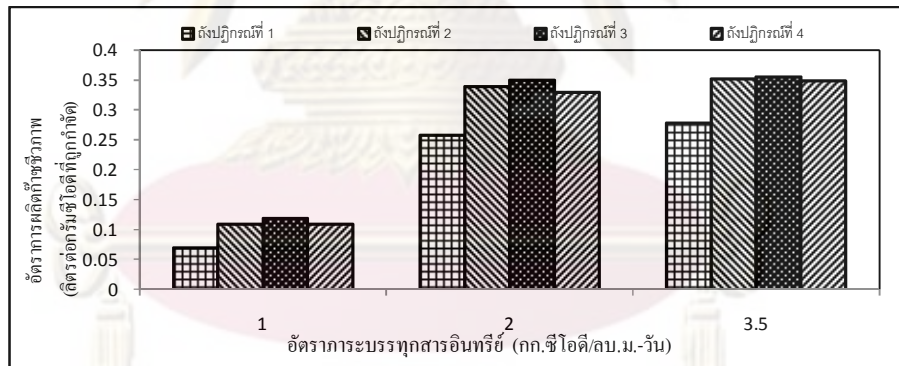
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



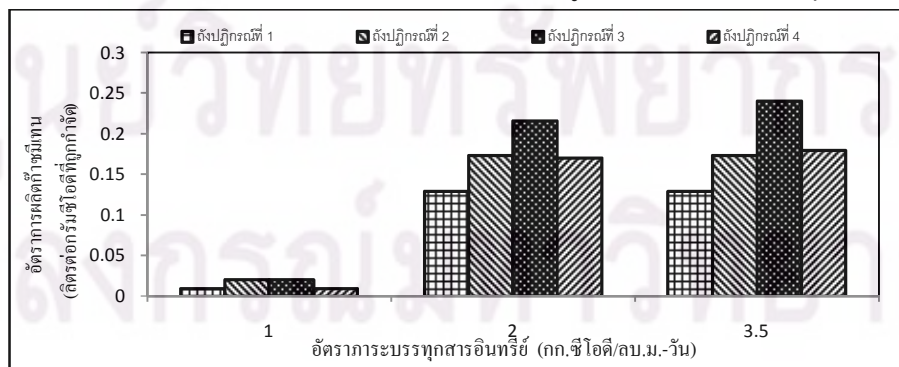
รูปที่ 4.39 แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโอดีตามอัตรากระบรทุกสารอินทรีย์



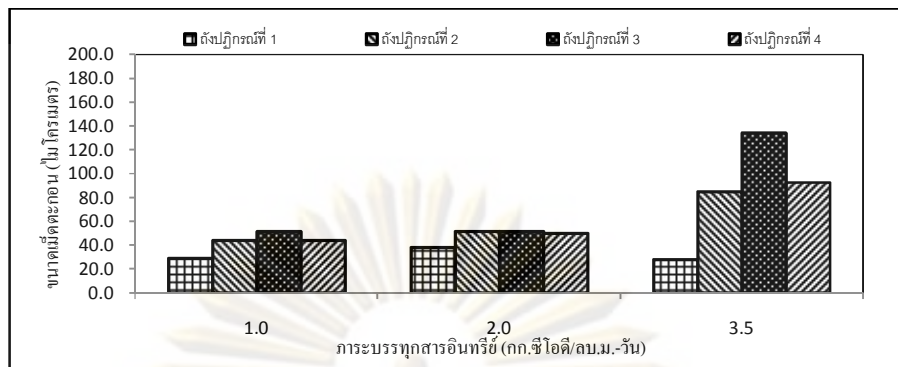
รูปที่ 4.40 แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตามอัตรากระบรทุกสารอินทรีย์



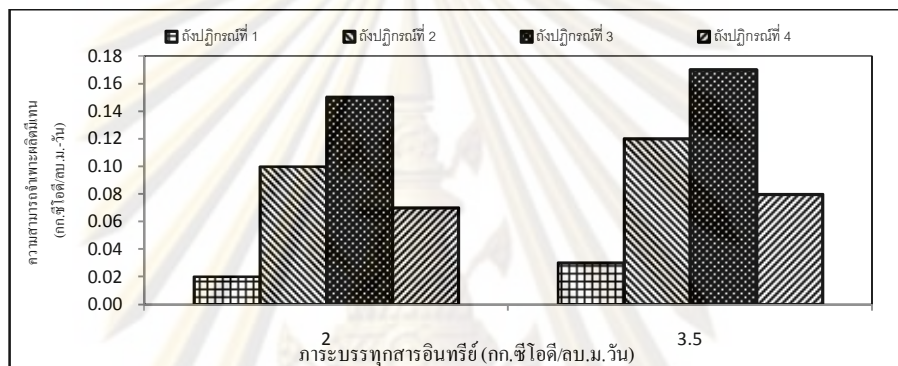
รูปที่ 4.41 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดตามอัตรากระบรทุกสารอินทรีย์



รูปที่ 4.42 แสดงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดตามอัตรากระบรทุกสารอินทรีย์



รูปที่ 4.43 แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D(0.5) ตามการบำบัดทุกสารอินทรีย์



รูปที่ 4.44 แสดงค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียผลิตมีเทนตามการบำบัดทุกสารอินทรีย์

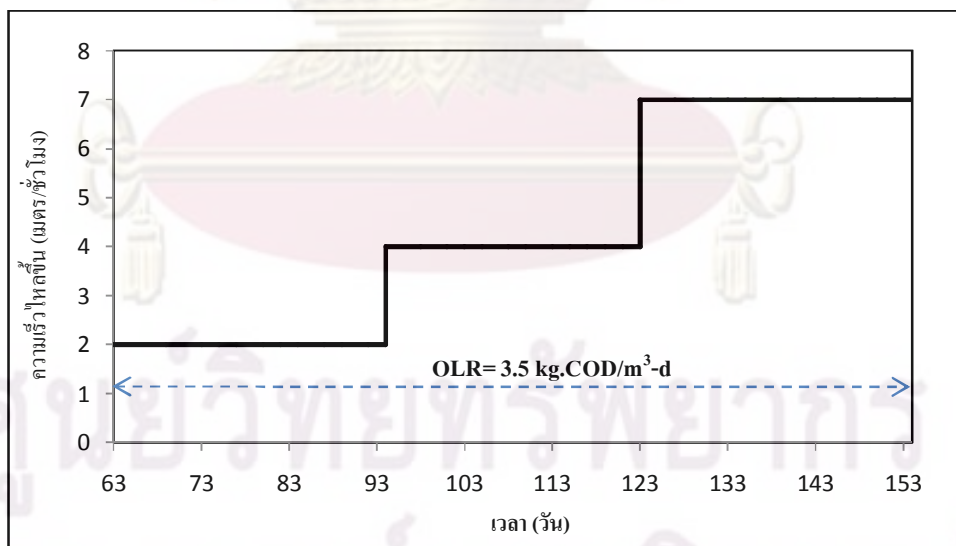
โดยผลการทดลองสรุปได้ว่า การเพิ่มอัตราสารอินทรีย์เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของซับสเตรทที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งความเข้มข้นของซับสเตรทที่มากขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบให้สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของซับสเตรทที่มากขึ้นยังเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น ตะกอนแบคทีเรียที่มีขนาดเล็กหลุดออกจากถังส่วนตะกอนที่มีขนาดใหญ่และหนักสามารถอยู่ในถังได้ ซึ่งถือว่าการคัดเลือกแบคทีเรียในระบบอัตโนมัติ ทำให้การรวมตัวของตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังมีลักษณะเป็นเม็ดตะกอน อัตราการเกิดเม็ดตะกอนแบคทีเรียสูงขึ้น เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมผงเชื้อกระดาษเพื่อช่วยในการสร้างเม็ดตะกอนในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ โดยถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย มีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีของแข็งแขวนลอย การผลิตก๊าซมีเทนและการสร้างเม็ดตะกอนดีที่สุดในถังด้วยถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 4 ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาลักษณะน้ำออกจากระบบทุกการบำบัดทุกสารอินทรีย์พบว่า พีเอช สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด มีค่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่เป็นอันตรายต่อระบบ

4.6 การศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ

จากผลการทดลองเดินระบบถังปฏิกรณ์อิมเมอร์สชันที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษช่วยในการสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 เป็น 2.0 และ 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 2 เมตรพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพในการสร้างเม็ดตะกอนมีค่าเหมาะสมที่อัตราการที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ยังมีค่าต่ำ อาจเนื่องจากการสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนกับน้ำเสียไม่ทั่วถึง ดังนั้นจึงทดลองเพิ่มความเร็วไหลขึ้นโดยการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นจาก 2 เป็น 4 และ 7 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งแต่ละความเร็วไหลขึ้นทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน ตามตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงการค่าความเร็วไหลขึ้นกับระยะเวลาที่ทำการทดลอง

การทดลองที่	ช่วงวันที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)	ความเร็วไหลขึ้น (เมตรต่อชั่วโมง)
3	64-94	3.5	2
4	95-122	3.5	4
5	123-154	3.5	7



รูปที่ 4.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลขึ้นกับระยะเวลาที่ทำการทดลอง

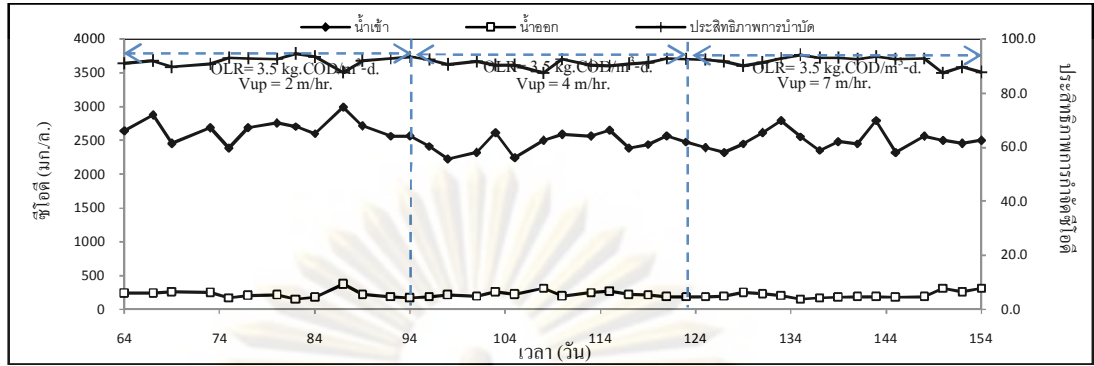
4.6.1 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเป็นค่าที่แสดงความสามารถหรือประสิทธิภาพของระบบได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถทำงานได้ดี ย่อมทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีสูงตามไปด้วย ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบถึงปฏิกรณ์อจีเอสบี ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 2 4 และ 7 เมตรต่อชั่วโมง มีดังนี้

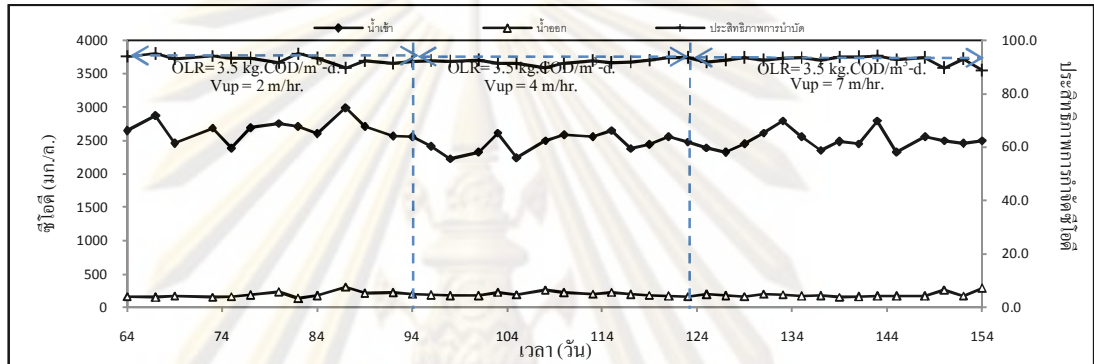
ตารางที่ 4.18 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยที่ความเร็วไหลขึ้นต่าง พบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่ความเร็วไหลขึ้น 2 4 และ 7 เมตรต่อชั่วโมง น้ำเสียเข้าระบบมีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 2,662.0 2,458.4 และ 2,500.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 2 3 และ 4 ที่ความเร็วไหลขึ้น 2 เมตรต่อชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยซีไอดีเท่ากับ 215.5 190.5 149.8 และ 190.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีคิดเป็นร้อยละ 91.9 92.9 94.5 และ 92.9 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็น 4 เมตรต่อชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยซีไอดีเท่ากับ 220.8 198.8 158.3 และ 188.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีคิดเป็นร้อยละ 91.0 91.6 93.5 และ 92.2 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็น 7 เมตรต่อชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยซีไอดีเท่ากับ 209.5 187.5 185.8 และ 188.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีคิดเป็นร้อยละ 91.6 92.5 92.6 และ 92.5 ตามลำดับ โดยผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่ความเร็วไหลขึ้นต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.46

จากการทดลองดังรูปที่ 4.48 ซึ่งสรุปค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยที่ความเร็วไหลขึ้นต่างๆ เมื่อน้ำเสียผ่านระบบอจีเอสบีแล้วจะพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีลดลงเล็กน้อย เนื่องจากความเร็วไหลขึ้นที่มากทำให้น้ำเสียที่ยังย่อยสารอินทรีย์ไม่ถึงปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายผ่านทางน้ำออกบ้างทำให้ค่าซีไอดีที่ได้มีค่าสูงขึ้นและมีตะกอนแขวนลอยหลุดออก ซึ่งตะกอนแขวนลอยก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ซีไอดีมีค่าสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีไม่ต่างกันมาก เมื่อความเร็วไหลขึ้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีของถังปฏิกรณ์มีค่าสูง แสดงถึงระบบมีความสมดุลและมีเสถียรภาพ

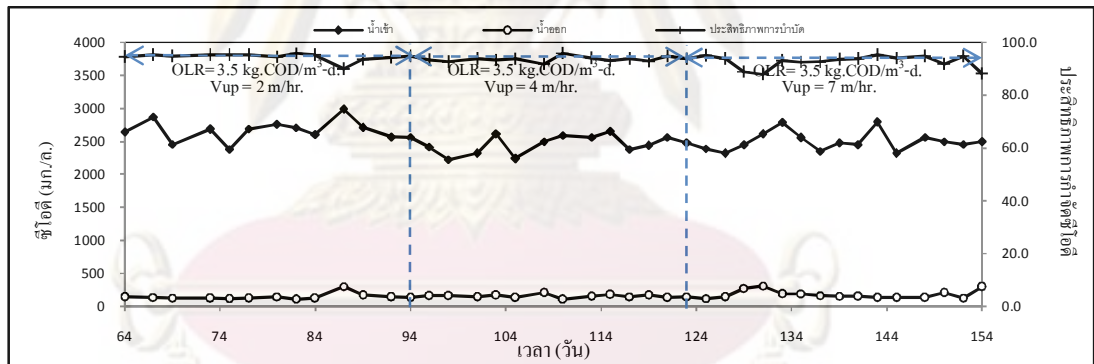
เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี โดยถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่เติมผงเชื้อกระดาษ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมากที่สุด ตามด้วยถังปฏิกรณ์ที่ 4 และ 2 ที่เติมผงเชื้อกระดาษที่ 1,500 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย ตามลำดับ ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีน้อยที่สุด



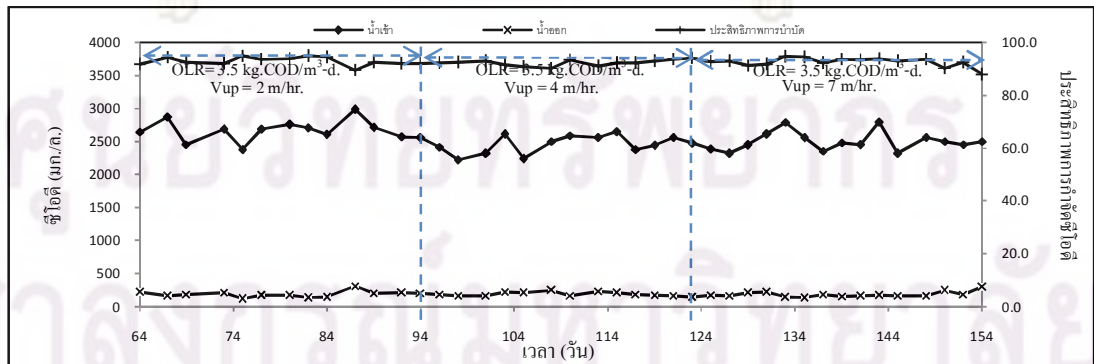
ก) แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค) แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 3

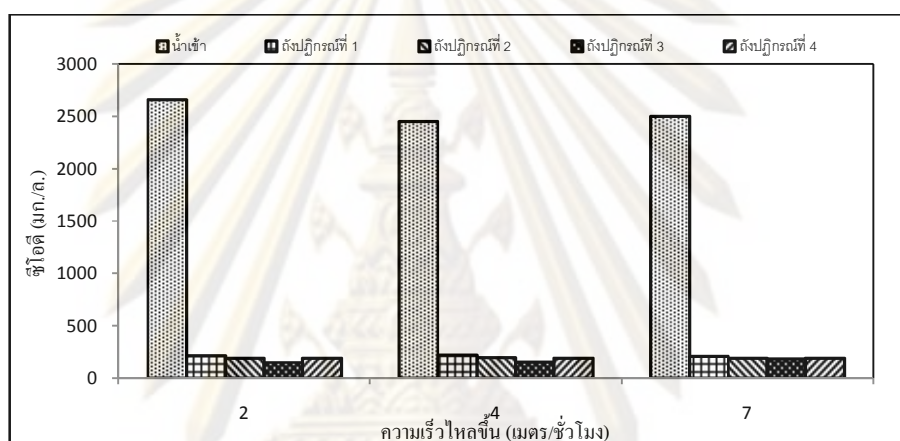


ง) แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 4

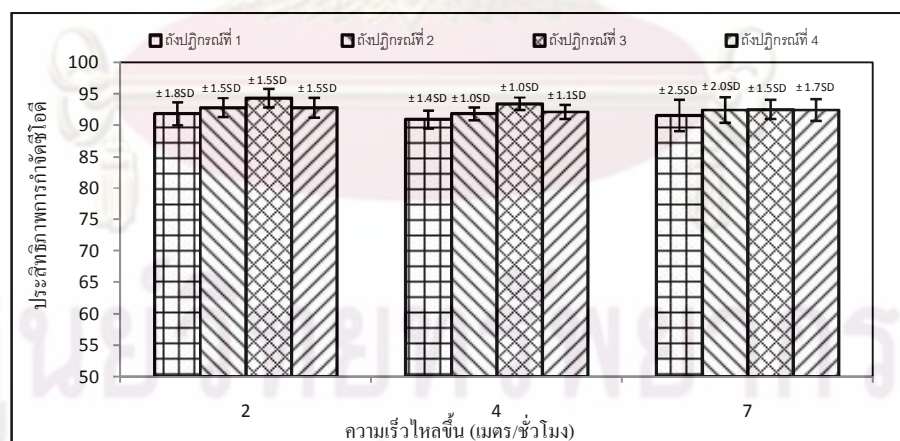
รูปที่ 4.46 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามความเร็วไหลขึ้น

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น

การทดลองที่	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)			
			ตั้งปฏิกรณ์ที่					ตั้งปฏิกรณ์ที่			
			น้ำเข้า	1	2	3	4	1	2	3	4
3	3.5	2	2,662.0	215.5	190.5	149.8	190.0	91.9	92.9	94.4	92.9
4	3.5	4	2,458.4	220.8	198.8	158.3	191.9	91.0	91.9	93.5	92.2
5	3.5	7	2,500.7	209.5	187.5	185.8	188.1	91.6	92.5	92.6	92.5



รูปที่ 4.47 แสดงค่าเฉลี่ยซีไอดีตามความเร็วไหลขึ้น



รูปที่ 4.48 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีตามความเร็วไหลขึ้น

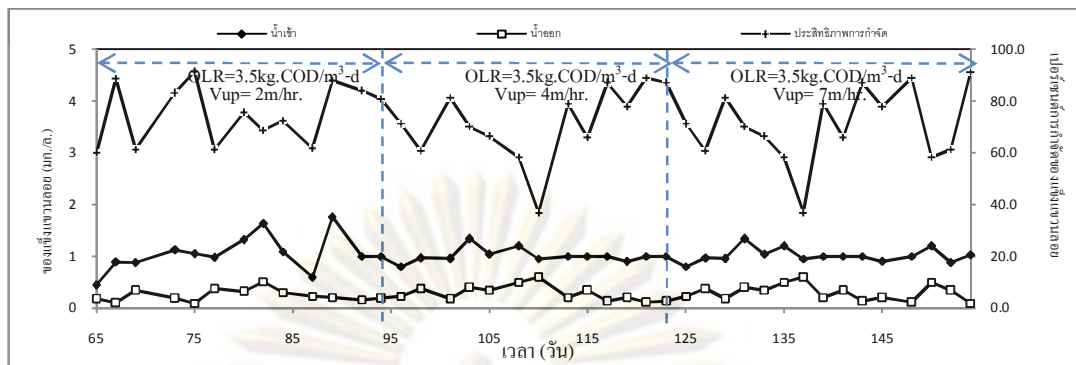
4.6.2 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งแขวนลอยที่วิเคราะห์ในน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดจากถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจน จากรูปที่ 4.49 เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น พบว่ามีแนวโน้มในการบำบัดของแข็งแขวนลอยค่อนข้างคงที่ และสามารถสรุปเป็นค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดตามความเร็วไหลขึ้น ได้ดังรูปที่ 4.50-4.51 และตารางที่ 4.19

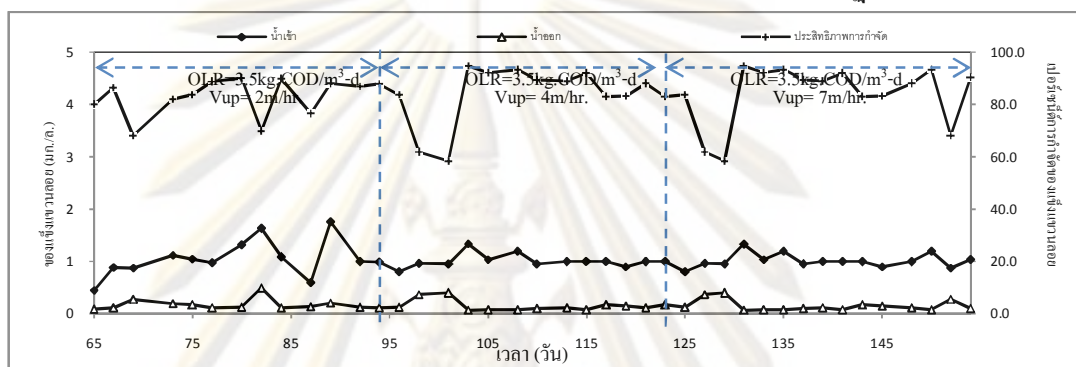
จากผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดดังแสดงในรูปที่ 4.50-4.51 เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นให้กับระบบ มีแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำออกค่อนข้างคงที่ โดยตะกอนแขวนลอยออกไปกับน้ำออกในช่วงแรกของการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงเป็นจำนวนมาก ตะกอนแบคทีเรียที่มีขนาดเล็กหลุดออกจากถังบ้าง ส่วนตะกอนที่มีขนาดใหญ่และหนักจะสามารถคงอยู่ในถังได้ ซึ่งถือว่าการคัดเลือกลายพันธุ์แบคทีเรียในระบบโดยอัตโนมัติ ทำให้ภายในถังมีตะกอนลักษณะเม็ดและขนาดของตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่เติมผงเชื้อกระดาษ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมากที่สุด ตามด้วยถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 4 ที่เติมผงเชื้อกระดาษที่ 1,500 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย ตามลำดับ ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุด เนื่องมาจากมีการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนไม่ทำให้ตะกอนแบคทีเรียในระบบที่มีน้ำหนักรวมความหนาแน่นต่ำ หลุดออกจากระบบได้ง่ายเมื่อเกิดก๊าซชีวภาพและความเร็วไหลขึ้นที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น

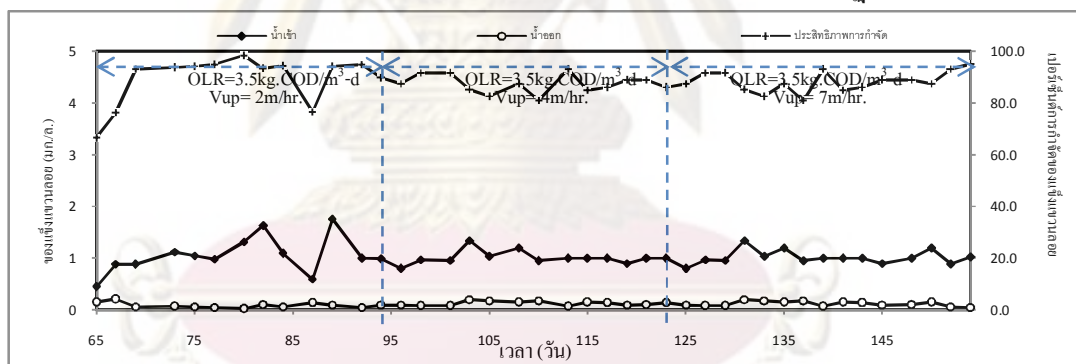
การทดลองที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)				
			ถังปฏิกรณ์ที่				ถังปฏิกรณ์ที่				
			น้ำเข้า	1	2	3	4	1	2	3	4
3	3.5	2	1.06	0.27	0.18	0.07	0.19	75.9	83.0	92.6	83.2
4	3.5	4	1.01	0.14	0.11	0.13	0.16	71.6	88.8	87.3	83.8
5	3.5	7	1.02	0.24	0.12	0.12	0.14	70.3	84.1	88.3	86.7



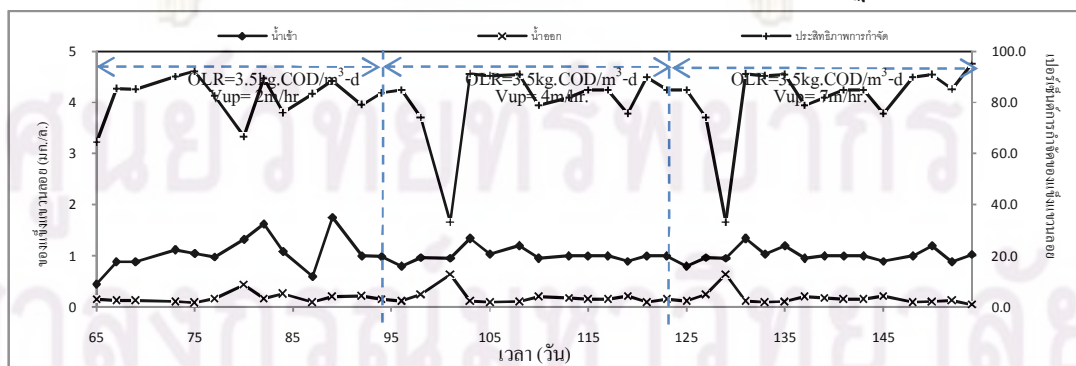
ก) แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 2

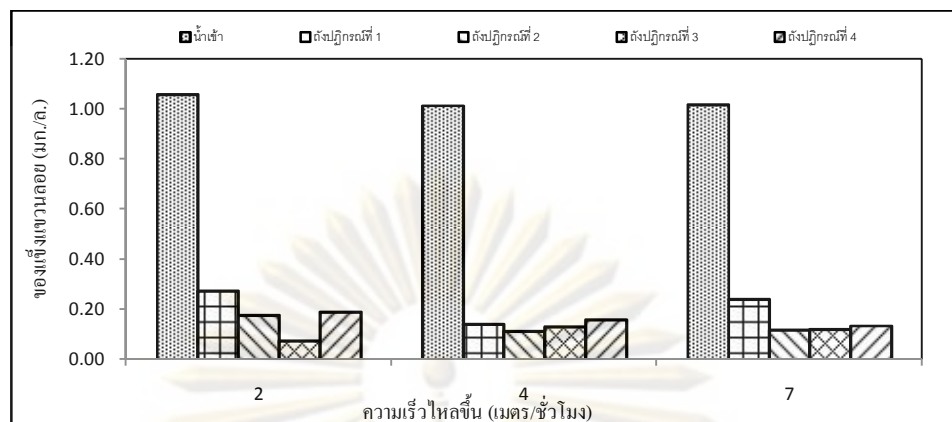


ค) แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 3

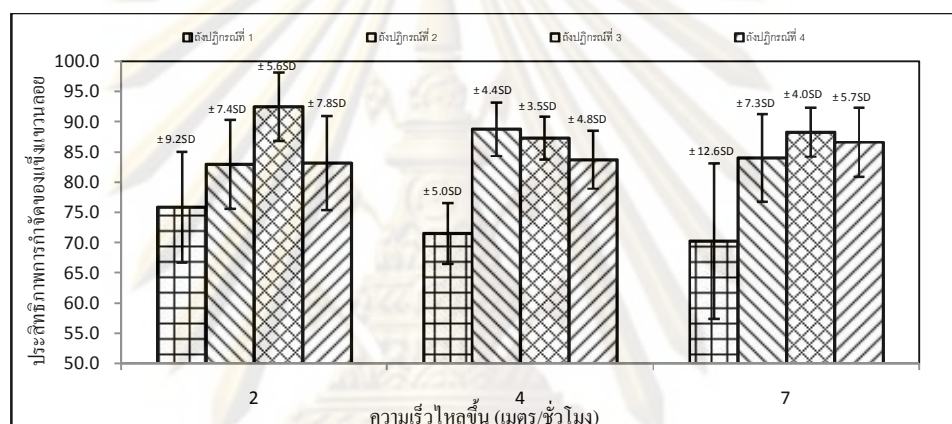


ง) แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.49 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดตามความเร็วไหลขึ้น



รูปที่ 4.50 แสดงค่าเฉลี่ยของแรงแ้งวนลรอยที่ความเร็วไหลขึ้น

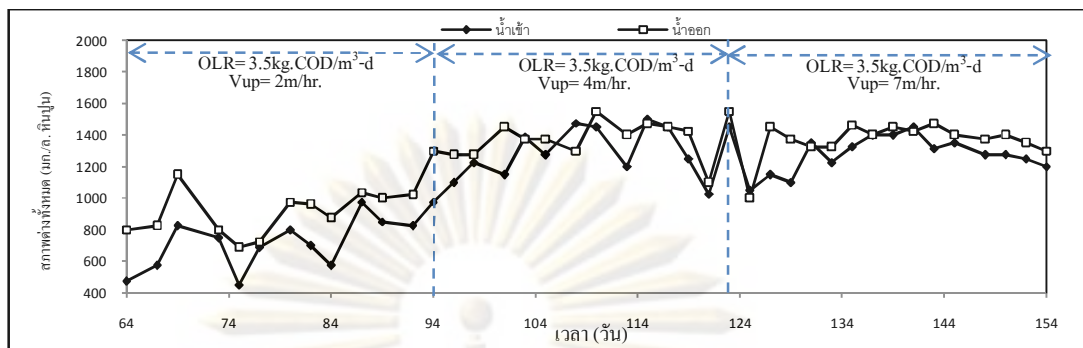


รูปที่ 4.51 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดของแ้งวนลรอยที่ความเร็วไหลขึ้น

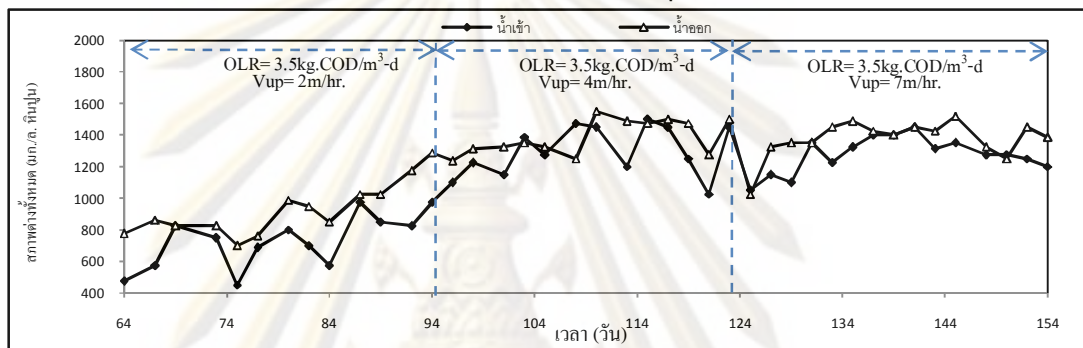
4.6.3 สภาพต่างทั้งหมดและกรดอินทรีย์ระเหย

ในกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน จะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ให้กลายเป็นกรดไขมันที่ระเหยง่าย ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทนได้ ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยอยู่ในช่วง 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นว่า ระบบสามารถทำงานได้ดี ส่วนค่าสภาพต่างทั้งหมดที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนนี้จะอยู่ในช่วง 1,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากสามารถเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบได้ดี อย่างไรก็ตามปัจจัยที่สำคัญกว่าค่าสภาพต่างทั้งหมด คือ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด กรณีที่ระบบมีบัฟเฟอร์สูง อัตราส่วนนี้จะต่ำกว่า 0.4 (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) การทดลองทำการวัดค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบแสดงดังรูปที่ 4.52-4.57

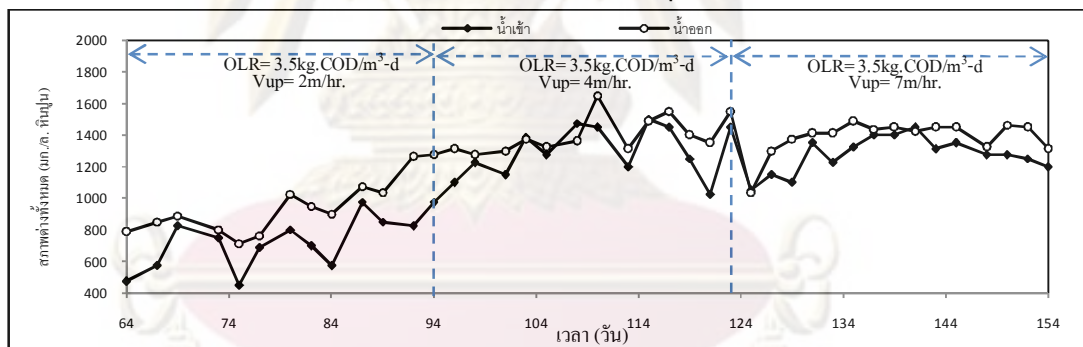
4.6.3.1 สภาพต่างทั้งหมด



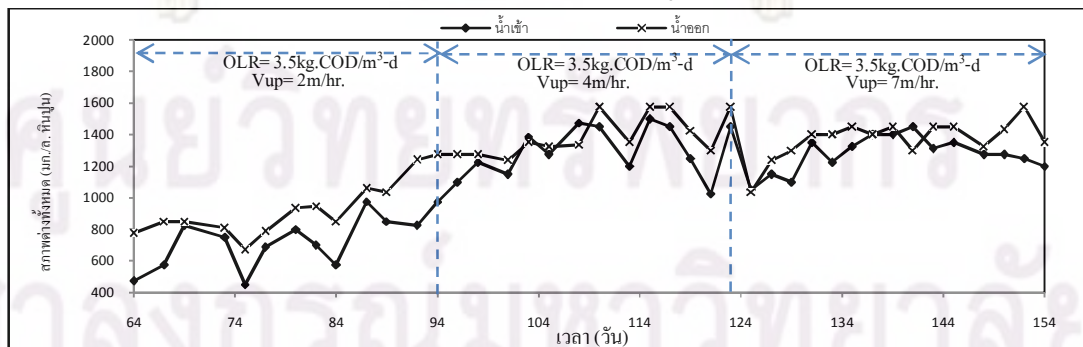
ก) สภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) สภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 2

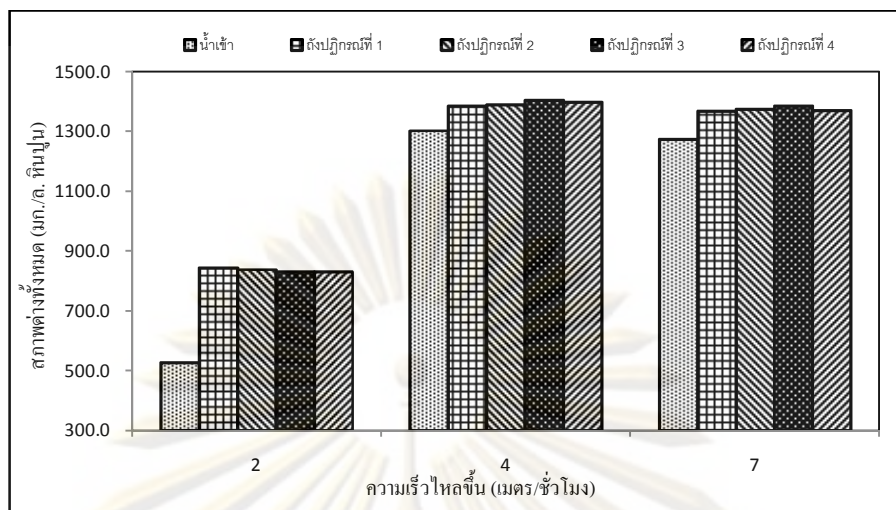


ค) สภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 3



ง) สภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.52 แสดงสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ตามความเร็วไหลขึ้น

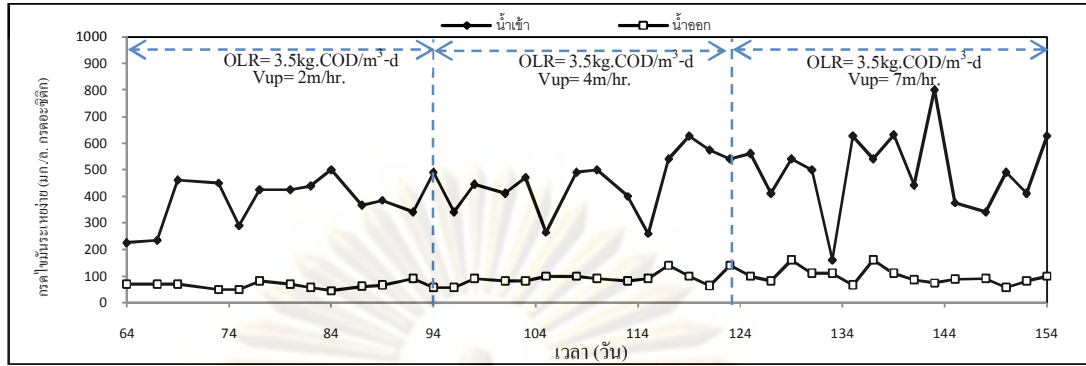


รูปที่ 4.53 สภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น

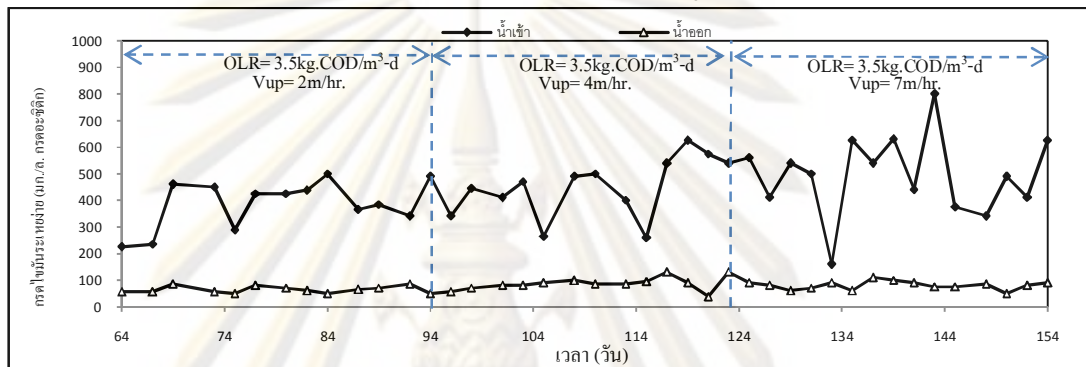
4.6.3.2 กรดไขมันระเหยง่าย

ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบอีจีเอสบีมีความสำคัญมากเพราะมีความสัมพันธ์กับขั้นตอนการผลิตมีเทน และเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ตรวจสอบการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ค่ากรดไขมันระเหยจะมีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับค่ากรดไขมันระเหยน้ำเสียเข้าระบบ ค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยตามความเร็วไหลขึ้นแสดงในรูปที่ 4.55

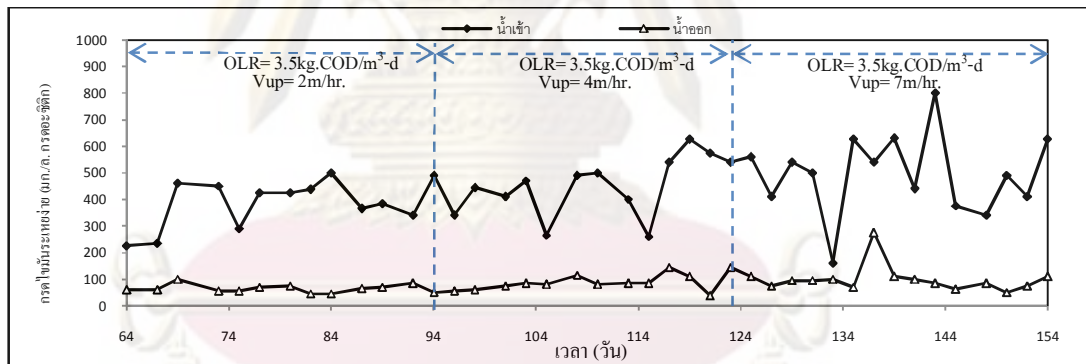
จากรูปที่ 4.55 เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลของพารามิเตอร์ซีไอดี เพราะกรดไขมันระเหยเป็นสารอินทรีย์ และเป็นส่วนหนึ่งของค่าซีไอดี ถ้าซีไอดีมีค่าต่ำปริมาณกรดไขมันระเหยจะมีค่าต่ำเช่นกัน แต่เมื่อเทียบกับน้ำเสียเข้าระบบ อัตราการลดลงของกรดไขมันระเหยในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการเวียนน้ำกลับที่อัตราส่วนสูงจะทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตะกอน กรดไขมันระเหยที่ยังไม่ถูกย่อยสลายจนสมบูรณ์มีโอกาสดับมาสัมผัสกับจุลินทรีย์ในระบบได้ใหม่อีกครั้ง



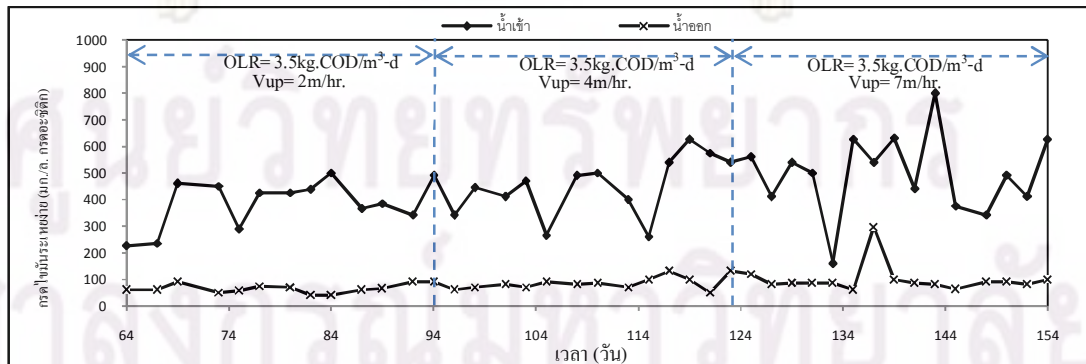
ก) แสดงกราฟไขมันระเหยของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) แสดงกราฟไขมันระเหยของถังปฏิกรณ์ที่ 2

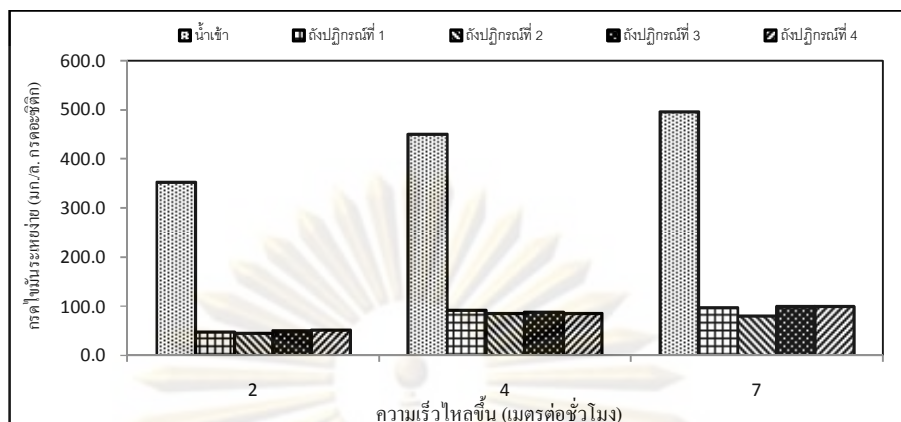


ค) แสดงกราฟไขมันระเหยของถังปฏิกรณ์ที่ 3



ง) แสดงกราฟไขมันระเหยของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.54 แสดงกราฟไขมันระเหยตามความเร็วไหลขึ้น

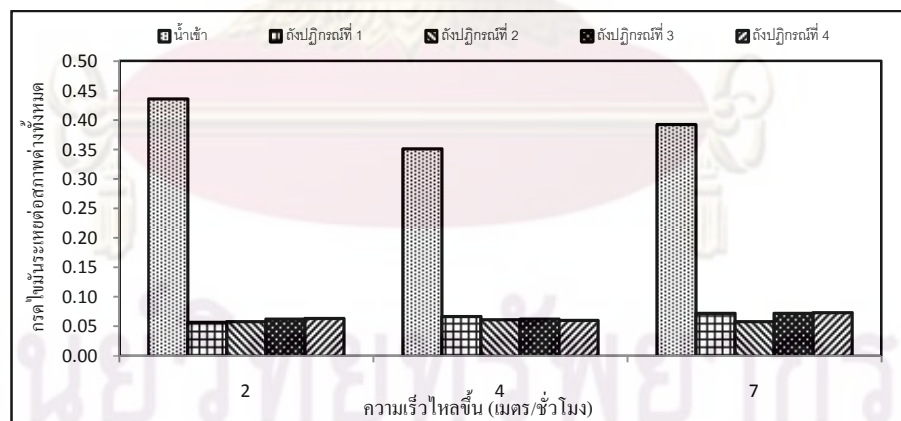


รูปที่ 4.55 แสดงกรดไขมันเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น

4.6.4 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยกับสภาพต่างทั้งหมด

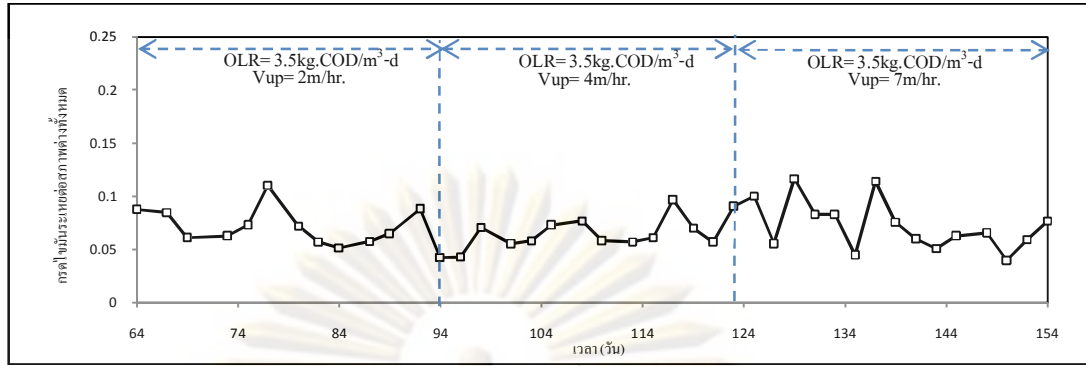
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (VFA / Alkalinity) ของระบบที่ความเร็วไหลขึ้นต่างๆ มีค่าดังรูปที่ 4.56

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปรูปที่ 4.57 แสดงให้เห็นว่าระบบบิโออีเอสบีมีกำลังบัฟเฟอร์สูงโดยมีค่าอัตราส่วนต่ำกว่า 0.4 ถึงแม้จะเพิ่มความเร็วไหลขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้โดยรวมว่าค่าปริมาณกรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดอยู่ในช่วงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ดังนั้นระบบบิโออีเอสบี จึงเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเสถียรภาพของระบบที่ความเร็วไหลขึ้นที่สูงได้

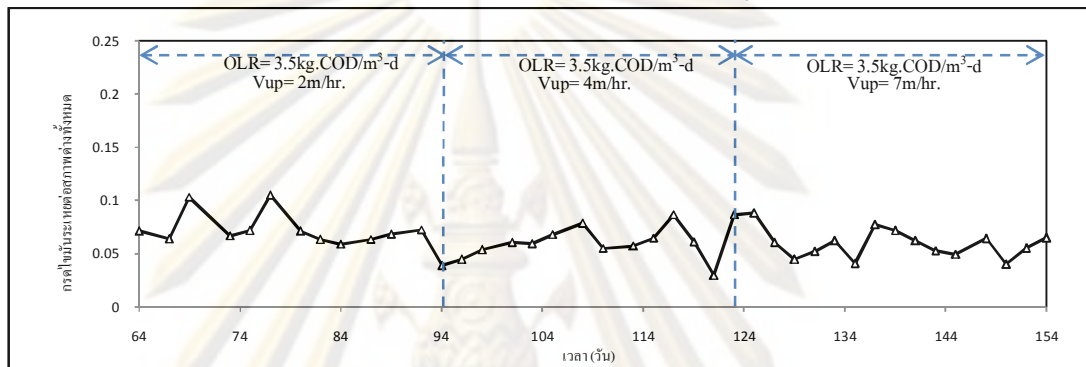


รูปที่ 4.56 แสดงกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น

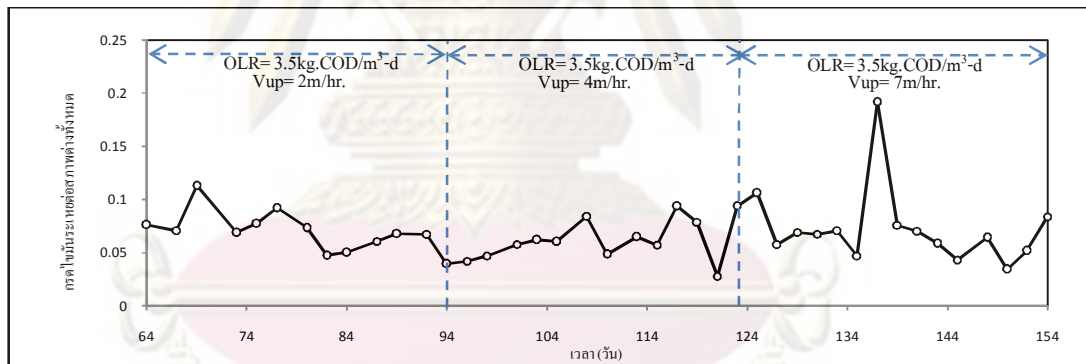
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



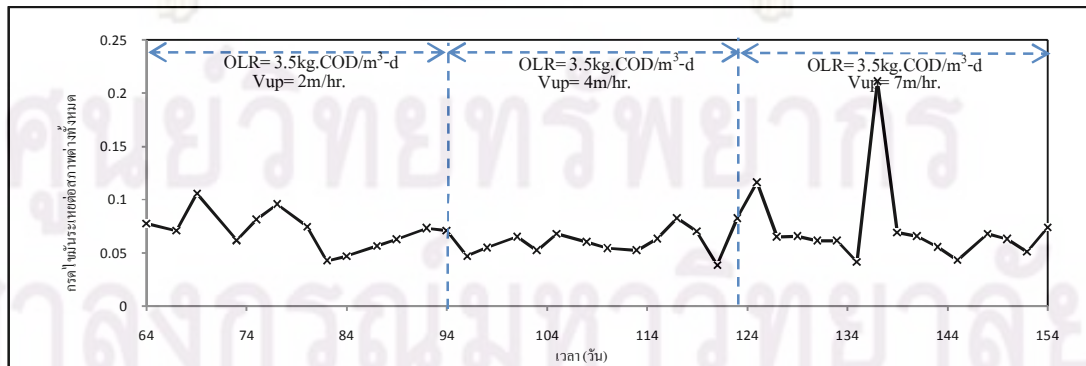
ก) กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค) กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 3



ง) กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.57 แสดงค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตามความเร็วไหลขึ้น

4.6.5 การผลิตก๊าซชีวภาพ

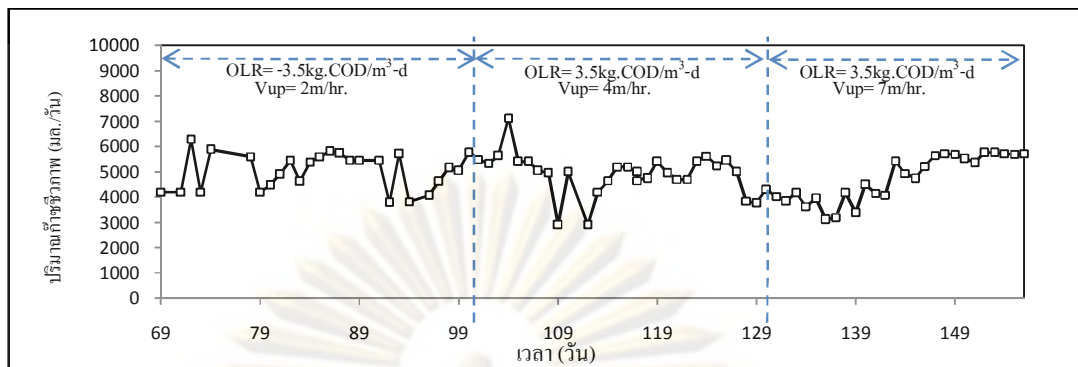
การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในระบบ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนี้จัดเป็นน้ำเสียโปรตีน ดังนั้นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเร็วไหลขึ้นที่มีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.58

การทดลองที่ 3 ที่ความเร็วไหลขึ้น 2 เมตรต่อชั่วโมง อัตราการสร้างก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวของถังปฏิกรณ์ที่ 1 2 3 และ 4 ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 4,766 6,102 6,082 และ 6,978 มิลลิลิตรต่อวัน คิดเป็น 0.32 0.35 0.38 และ 0.40 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด มีร้อยละก๊าซมีเทน 52.6 55.2 57.4 และ 54.5 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็น 4 เมตรต่อชั่วโมง พบว่า ค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 5,071 6,096 6,423 และ 5,966 มิลลิลิตรต่อวัน หรือคิดเป็น 0.32 0.39 0.40 และ 0.38 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทน 55.3 67.2 73.5 และ 63.6 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 7 เมตรต่อชั่วโมง อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยและร้อยละของก๊าซมีเทนมีค่าสูงขึ้น

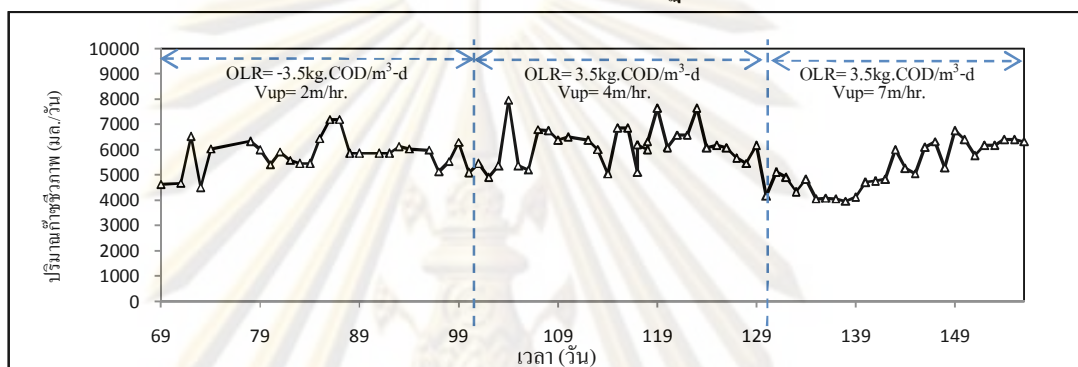
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ความเร็วไหลขึ้นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.20 แสดงเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์

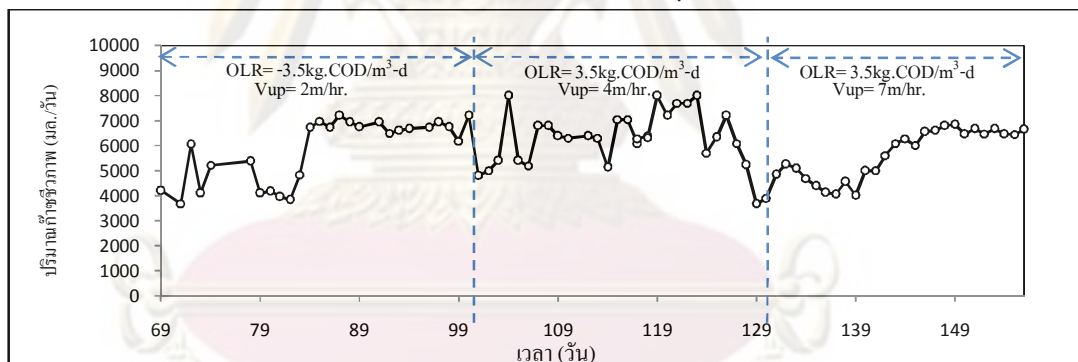
การทดลองที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน			
			ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
3	3.5	2	52.6	55.2	57.4	54.5
4	3.5	4	55.3	67.2	73.5	63.6
5	3.5	7	64.9	69.0	75.9	67.5



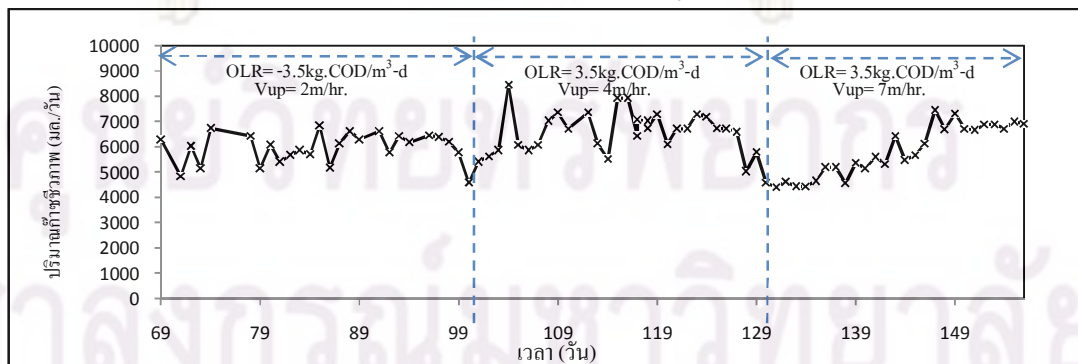
ก) แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข) แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค) แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่ 3

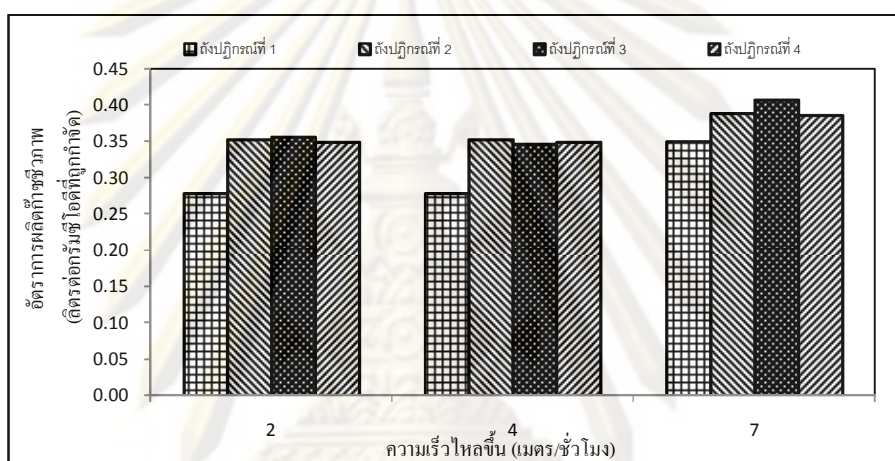


ง) แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ที่ 4

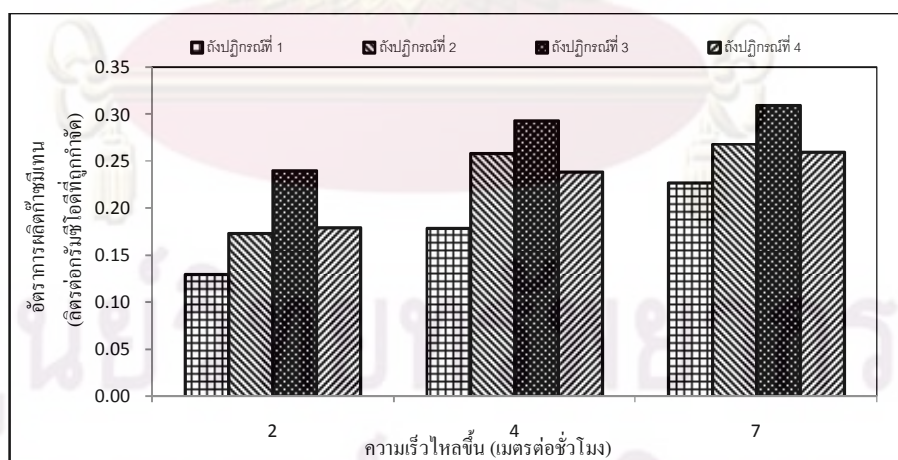
รูปที่ 4.58 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามความเร็วไหลขึ้น

ตารางที่ 4.21 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น

การทดลองที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)				อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)			
			ถังปฏิกรณ์ที่				ถังปฏิกรณ์ที่			
			1	2	3	4	1	2	3	4
3	3.5	2	0.28	0.35	0.36	0.35	0.13	0.17	0.24	0.18
4	3.5	4	0.28	0.35	0.35	0.35	0.18	0.26	0.29	0.24
5	3.5	7	0.35	0.39	0.41	0.39	0.23	0.27	0.31	0.26



รูปที่ 4.59 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น



รูปที่ 4.60 แสดงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามความเร็วไหลขึ้น

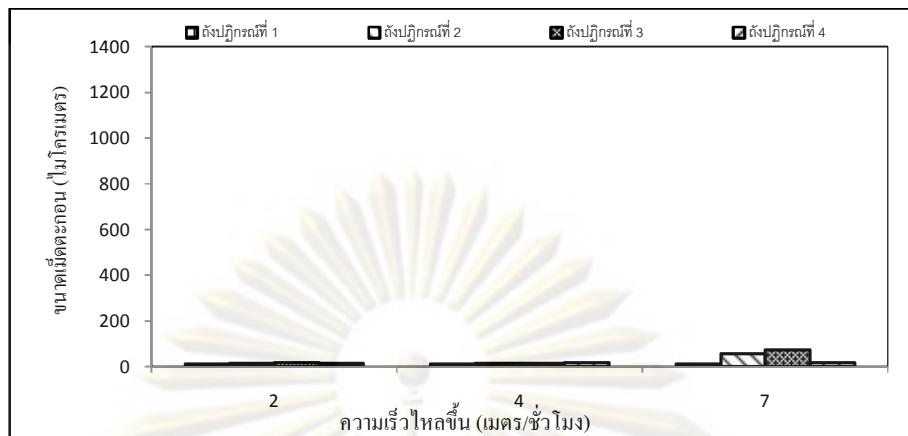
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแสดงในรูปที่ 4.60 ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้มีค่าสูงขึ้น และค่อยๆคงที่ โดยเมื่อสิ้นสุดที่ความเร็วไหลขึ้นที่ 7 เมตรต่อชั่วโมง ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยต่อวันมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการหมุนเวียนน้ำเสียกลับจะทำให้กรดไขมันระเหยที่ยังไม่ถูกย่อยสลายจนสมบูรณ์มีโอกาสกลับมาสัมผัสกับจุลินทรีย์ในระบบได้ใหม่อีกครั้ง (สุ��ัญญา ทองเครือ, 2547) ทำให้แบคทีเรียสามารถสร้างมีเทนเพิ่มขึ้น และจากคุณลักษณะของเม็ดตะกอนที่มีแบคทีเรียผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ผลิตก๊าซมีเทนในปริมาณที่สูงขึ้น โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่เติมผงเชื้อกระดาษ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 75.9 หรือคิดเป็น 0.41 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ตามด้วยถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 4 ส่วนถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.35 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในการบำบัดที่ไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ พบว่ามีค่ามากกว่าถึงร้อยละ 15

4.6.6 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

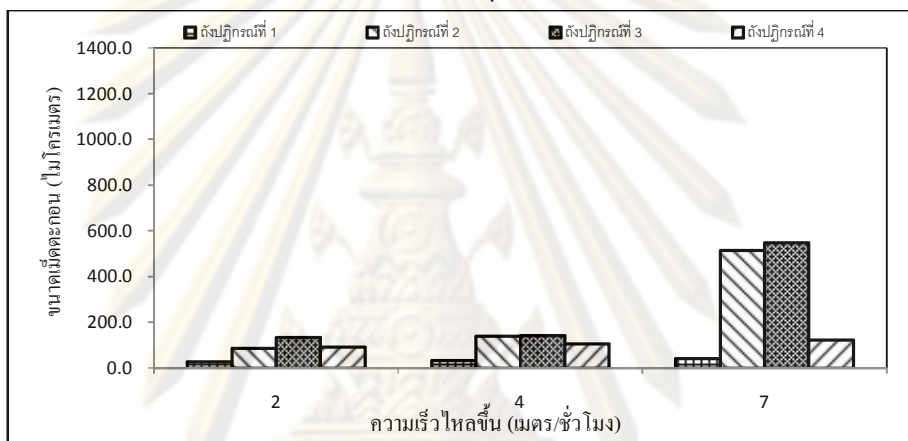
4.6.6.1 การกระจายขนาดของตะกอน

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer สามารถนำมาทำเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์โดยปริมาณต่อเม็ดตะกอนขนาดต่างๆ เพื่อแสดงถึงการพัฒนาการของขนาดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่ความเร็วไหลขึ้นต่างๆ ดังรูปที่ 4.61 ซึ่งพบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ของทุกถึงปฏิกรณ์มีการพัฒนาใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ ซึ่งดูได้จากค่า D ใดๆ ในทุกถึงปฏิกรณ์

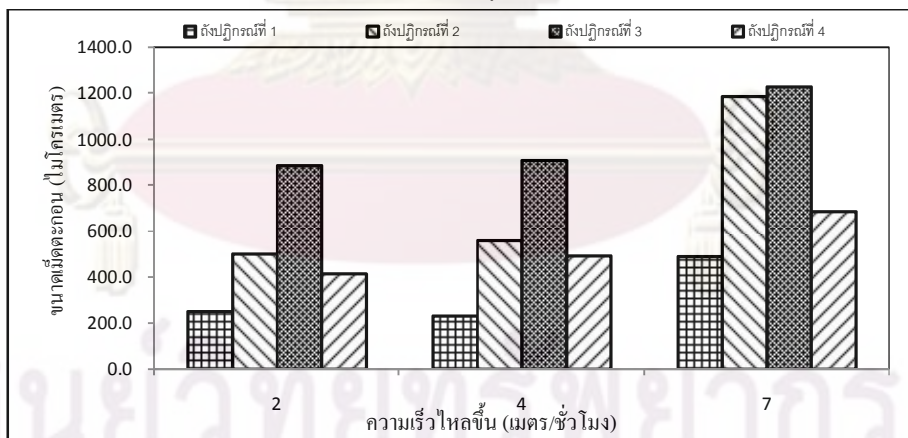
เมื่อพิจารณาผลการทดลองโดยใช้ค่า D(0.5) ซึ่งเป็นค่าที่นิยมในการใช้เป็นตัวแทนของขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มากที่สุด จะเห็นได้ว่าเพิ่มเมื่อความเร็วไหลขึ้นจาก 2 เป็น 4 เมตรต่อชั่วโมง มีค่า D(0.5) ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็น 7 เมตรต่อชั่วโมง ค่า D(0.5) จะเพิ่มขึ้นมาก ขนาดเม็ดตะกอนที่เพิ่มขึ้นมาก อาจเป็นเพราะในการเก็บตัวอย่างเมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างในปริมาณที่มากทำให้มีสัดส่วนของเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นตาม และด้วยลักษณะของเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นมากขึ้น เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM ทำให้สามารถทนต่อแรงเหวี่ยงของใบพัดได้สูง เกิดการแตกของเม็ดตะกอนน้อย ทำให้ค่าที่ได้สูงขึ้นโดยถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่เติมผงเชื้อกระดาษที่ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย ค่า D(0.5) สูงสุดเท่ากับ 547.6 ไมโครเมตร และถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 4 มีค่า D(0.5) เท่ากับ 513.7 และ 122.2 ไมโครเมตร โดยที่ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษมีค่า D(0.5) เท่ากับ 42.3 ไมโครเมตร



ก) การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D(0.1) ตามความเร็วไหลขึ้น



ข) การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D(0.5) ตามความเร็วไหลขึ้น



ค) การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D(0.9) ตามความเร็วไหลขึ้น

รูปที่ 4.61 การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.6.2 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการทดลอง

เมื่อนำตะกอนจุลินทรีย์หลังสิ้นสุดการทดลองมาคัดขนาดและถ่ายรูปลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.62 พบว่าตะกอนที่ได้จากทุกถังปฏิกรณ์มีลักษณะคล้ายกัน คือ มีรูปทรงใกล้เคียงทรงกลมแต่ไม่สมมาตรและทรงรีแบน เม็ดตะกอนส่วนใหญ่มีสีดำ เม็ดตะกอนขนาดใหญ่สามารถแตกและหลุดออกเป็นเศษเล็กๆ ได้หากมีการเสียดสีหรือถูกระแทก โดยตะกอนที่พบในการทดลองนี้ มีขนาดอยู่ในช่วง 500-1,500 ไมโครเมตร เป็นส่วนใหญ่ ส่วนรูปที่ 4.62ก-4.62ข แสดงลักษณะตะกอนเริ่มต้นที่ใช้ในงานทดลองนี้



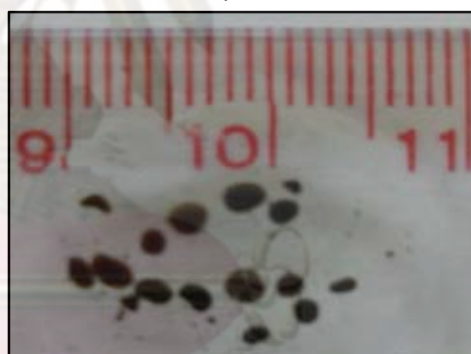
ก) ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น



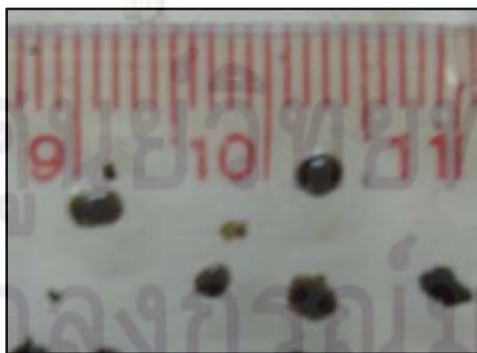
ข) ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น



ค) ตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ง) ตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 2



จ) ตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 3



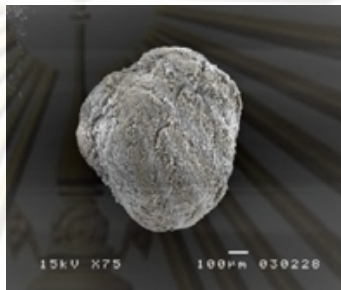
ฉ) ตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ 4

รูปที่ 4.62 แสดงลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

4.6.6.3 การศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

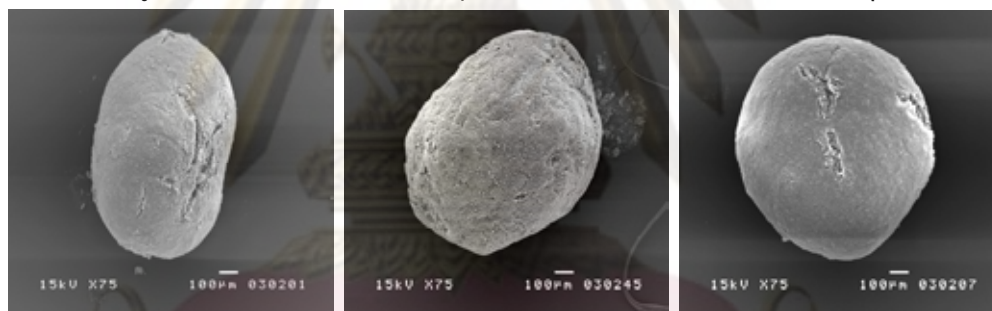
1) โครงสร้างภายนอก

การศึกษาโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยนำตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการทดลองไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ตัวอย่างที่ทดลองเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเม็ดจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ความเร็วไหลขึ้น 2.4 และ 7 เมตรต่อชั่วโมง



เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

รูปที่ 4.63 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 1



2 เมตรต่อชั่วโมง

4 เมตรต่อชั่วโมง

7 เมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.64 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 2



2 เมตรต่อชั่วโมง

4 เมตรต่อชั่วโมง

7 เมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.65 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 3



2 เมตรต่อชั่วโมง

4 เมตรต่อชั่วโมง

7 เมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.66 ลักษณะเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่4

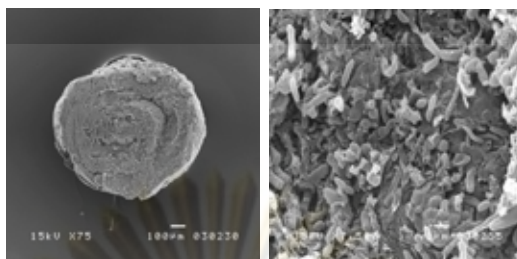
จากรูปที่ 4.63-4.66 เปรียบเทียบลักษณะเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ เมื่อเทียบกับการทดลองที่ยังไม่เพิ่มความเร็วไหลขึ้นพบว่า เมื่อดตะกอนมีขนาดเล็กน้อยและมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบขึ้น เนื่องมาจากความเร็วไหลขึ้นที่มากขึ้นทำให้เกิดเสียดสีกันระหว่างเมื่อดตะกอน สังเกตเห็นรูบริเวณที่ผิวของเมื่อดตะกอน และแสดงให้เห็นว่าความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อขนาดเมื่อดตะกอน

2) โครงสร้างภายใน

การศึกษาโครงสร้างภายในเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ทำการผ่าครึ่งเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์เพื่อศึกษาโครงสร้างภายใน เพื่อดูลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียที่เกิด

จากรูปที่ 4.67 –4.70 พบว่าบริเวณตรงของกลางเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ พบแบคทีเรียที่หลากหลายน้อยและพบแบคทีเรียชนิดเดียวกันอยู่รวมกลุ่มกันเป็นจำนวนมากและสังเกตแบคทีเรียที่พบในบริเวณแกนกลางเป็นแบคทีเรียชนิดที่อ่อนสั้นขนาดยาวประมาณ 1-3 ไมโครเมตร ซึ่งแบคทีเรียที่อยู่บริเวณชั้นในของเมื่อดตะกอนนี้ส่วนใหญ่เป็น Methanothrix-like Species เป็นแบคทีเรียที่ผลิตเทน มักพบในน้ำเสียประเภทกรดไขมันระเหย และเมื่อดตะกอนมีลักษณะที่มีความหนาแน่นสูง และสังเกตไม่พบการแบ่งชั้นของเมื่อดตะกอน ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะแบคทีเรียกับงานวิจัยอื่นๆ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



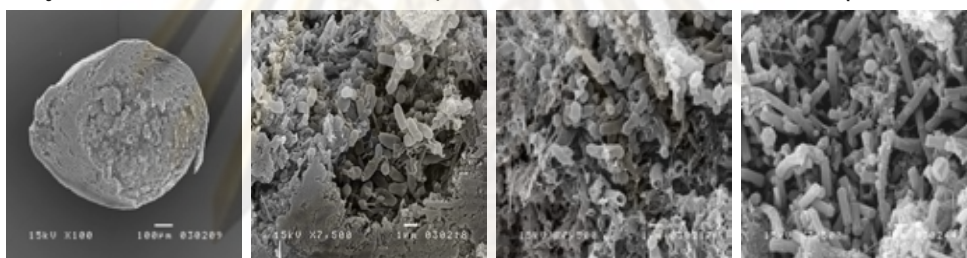
เมล็ดตะกอนฝาครีง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

รูปที่ 4.67 ลักษณะภายในเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 1



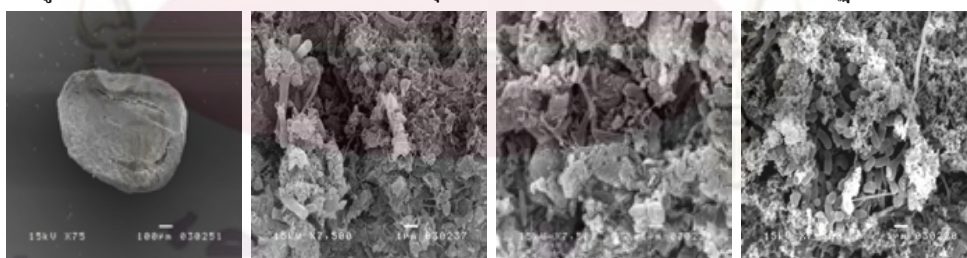
เมล็ดตะกอนฝาครีง 2 เมตรต่อชั่วโมง 4 เมตรต่อชั่วโมง 7 เมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.68 ลักษณะภายในเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 2



เมล็ดตะกอนฝาครีง 2 เมตรต่อชั่วโมง 4 เมตรต่อชั่วโมง 7 เมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.69 ลักษณะภายในเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 3



เมล็ดตะกอนฝาครีง 2 เมตรต่อชั่วโมง 4 เมตรต่อชั่วโมง 7 เมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.70 ลักษณะภายในเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ตามความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์ที่ 4

ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะแบคทีเรียที่เรียกงานวิจัยอื่นๆ

ประเภทน้ำเสีย	ลักษณะแบคทีเรีย	อ้างอิง
น้ำเสียจากฟาร์มสุกร	สังเกตไม่มีการแยกชั้น และมีแบคทีเรีย Methanothrix-Like Species เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะท่อนสั้นเป็นสายพันธุ์หลัก นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียที่มีลักษณะกลม	งานวิจัยนี้
น้ำเสียสังเคราะห์โปรตีน	สังเกตไม่มีการแยกชั้น และมีแบคทีเรีย Methanothrix-Like Species เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะท่อนสั้นเป็นสายพันธุ์หลัก	ชลธิชา น้ำดอกไม้, 2545
น้ำเสียสังเคราะห์โปรตีน	สังเกตไม่มีการแยกออกเป็นชั้น พบแบคทีเรียท่อนสั้นและมีลักษณะกลม ได้แก่ Methanothrix- & Methanosarcina-Like Bacteria และ Colonies Bacteria	Fang และ Chung, 1999
น้ำเสียสังเคราะห์โปรตีน + น้ำตาล	Methanothrix-like Species เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะท่อนสั้นเป็นสายพันธุ์หลัก	Yan และ Tay, 1997

ที่มา : (อ้างอิงในชลธิชา น้ำดอกไม้, 2545)

จากตารางที่ 4.22 พบว่าเมื่อดูจากงานวิจัยนี้มีลักษณะเหมือนกับงานวิจัยอื่นๆ เมื่อเทียบกับน้ำเสียประเภทใกล้เคียงกัน ซึ่งประเภทของน้ำเสียมีผลต่อลักษณะของเมื่อดูจากมาก โดยโครงสร้างและขนาดของชั้นในเมื่อดูจากจุลินทรีย์แต่ละชั้น ขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสลายสารอาหาร และการแพร่กระจายของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาในเมื่อดูจากจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เป็นน้ำเสียประเภทโปรตีนหรือกรดอะมิโน เช่น กลูตาเมต ขั้นตอน Acidogenesis จะเป็นขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด (Rate limiting step) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการย่อยสลายและการแพร่กระจายที่ช้าของกลูตาเมต ทำให้มีการแพร่กระจายของสารอาหารอย่างทั่วถึงทั้งเมื่อดูจาก ซึ่งส่งผลให้แบคทีเรียมีลักษณะเหมือนกันทั่วทั้งเมื่อดูจาก และไม่เกิดโครงสร้างที่แบ่งเป็นชั้นของกลุ่มแบคทีเรีย Fang และคณะ, 1994

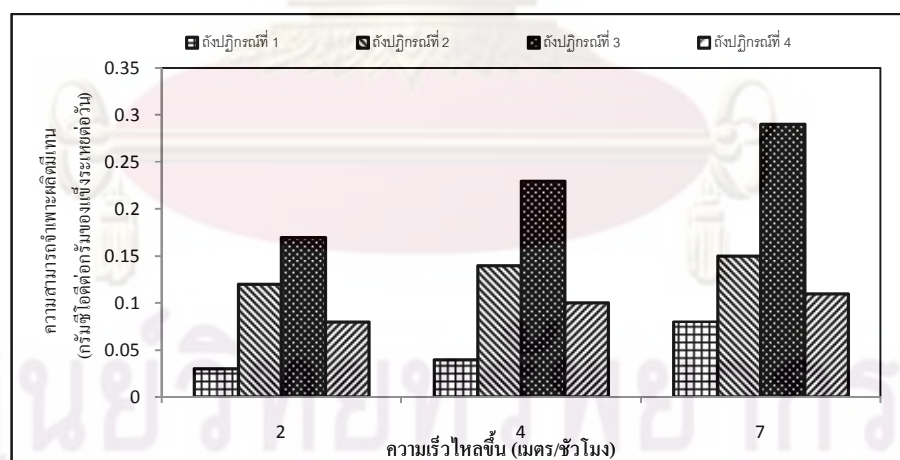
4.6.6.4 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียผลิตมีเทน

จากรูปที่ 4.71 แสดงค่า SMA ของแต่ละถังปฏิกรณ์ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ตะกอนจุลินทรีย์มีค่า SMA ที่มีค่าสูงขึ้นกว่าในช่วงเริ่มต้น เนื่องมาจากจุลินทรีย์มีการเพิ่มปริมาณของสายพันธุ์ ที่ใช้น้ำเสียชนิดนี้เป็นสารอาหารให้มากขึ้น เพื่อที่จะสามารถดำรงอยู่ได้ จึงทำให้ค่า SMA ในช่วงเริ่มต้นมีค่าน้อย เนื่องจากยังไม่มีการปรับเปลี่ยนสายพันธุ์และใช้น้ำเสียชนิดนี้เป็นแหล่งอาหารได้ แต่เมื่อจุลินทรีย์เกิดการปรับตัว ทำให้จุลินทรีย์มีค่าความสามารถจำเพาะในการ

สร้างมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์สูงขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกถังปฏิกรณ์เมื่อทำการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย มีค่า SMA มากที่สุดคือ 0.29 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเชื้อกระดาษ มีค่า SMA น้อยที่สุดคือ 0.08 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน การเติมผงเชื้อกระดาษจะช่วยให้ในการสร้างเม็ดตะกอนที่มีคุณภาพและลดระยะเวลาในการเดินระบบ จึงชี้ให้เห็นว่าการรวมตัวกันเป็นตะกอนเม็ด (Granule) เป็นหัวใจสำคัญของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอีจีเอสบี และความเร็วไหลขึ้นที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้นอย่างมาก

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าความสามารถจำเพาะผลิตมีเทนของแบคทีเรียตามความเร็วไหลขึ้น

การทดลองที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ความสามารถจำเพาะผลิตมีเทน (กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน)			
			ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3	ถังปฏิกรณ์ที่ 4
			1	2	3	4
3	3.5	2	0.03	0.12	0.23	0.10
4	3.5	4	0.04	0.14	0.23	0.01
5	3.5	7	0.08	0.15	0.29	0.11



รูปที่ 4.71 แสดงค่าจำเพาะของแบคทีเรียผลิตมีเทนตามความเร็วไหลขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะเมื่อดตะกอนที่ได้กับงานวิจัยอื่นๆ

น้ำเสีย	ตะกอนเริ่มต้น	เมื่อดตะกอนที่ได้			อ้างอิง
		ขนาด (มม.)	SMA (gCOD/gVSS-d)	ความเร็วจมตัว (ม./ชม.)	
ฟาร์มสุกร	จากบ่อหมัก	0.15-1.23	0.29	5-50	งานวิจัยนี้
เลือดไก่เจือจาง	Activated Sludge	0.2-2.4	0.27	13-63	เฉลิมพล โชค วิเศษชัยสิทธิ์, 2546
	Anaerobic Sludge Digester	0.2-2.4	0.24	16-60	
น้ำเสียปรีดิน สังเคราะห์	Activated Sludge	0.4-2.3	0.47	15-60	ชลธิชา น้ำดอกไม้, 2545
	Anaerobic Sludge Digester	0.4-3.5	0.35	15-60	
น้ำเสียปรีดิน สังเคราะห์	Anaerobic Sludge Digester	0.4-4.7	0.29	32-128	สุภาภรณ์ สันทัด เสรีอนันต์, 2545

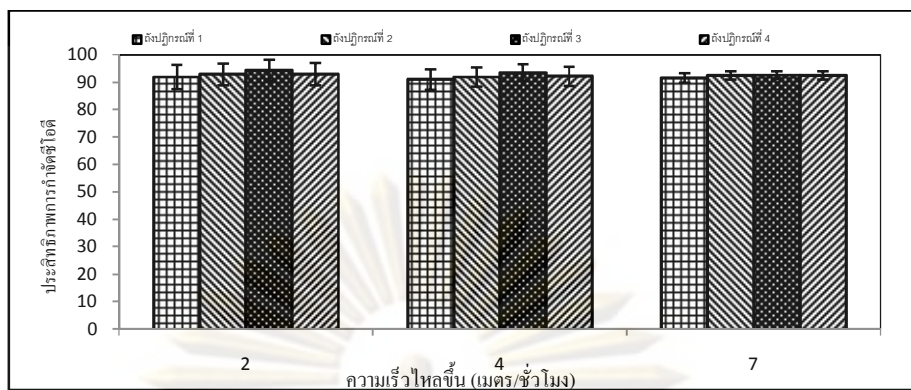
ที่มา : (อ้างอิงในเฉลิมพล โชควิเศษชัยสิทธิ์, 2546)

จากตารางที่ 4.24 พบว่าเมื่อดตะกอนจากงานวิจัยนี้มีค่าความสามารถจำเพาะผลิตมีเทนใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ เมื่อเทียบกับน้ำเสียประเภทใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมผงเยื่อกระดาษในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยในการสร้างเมื่อดตะกอนที่คุณภาพ มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูงเมื่อเทียบกับขนาดเมื่อดตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่าแต่มีค่า SMA มีค่าใกล้เคียงกัน

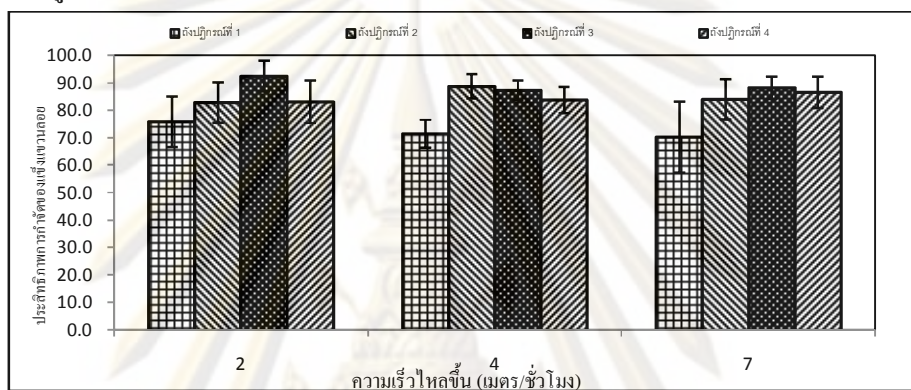
4.6.7 การวิเคราะห์ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการสร้างเมื่อดตะกอนที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการความเร็วไหลขึ้นในระบบที่มีผลต่อการสร้างเมื่อดตะกอนที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ ทำการทดลองที่ภาวะบรรทุสารอินทรีย์ที่ 3.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยเพิ่มความเร็วไหลขึ้น 2.4 และ 7 เมตรต่อชั่วโมง แต่ละความเร็วไหลขึ้นใช้ระยะเวลาทดลอง 30 วัน จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วไหลขึ้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีและของแข็งแขวนลอยสูงสุด แต่ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ความเร็วไหลขึ้น 7 เมตรต่อชั่วโมง โดยภาพรวมทั้งในด้านประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดมลสาร ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ และการสร้างเมื่อดตะกอน แสดงได้ดังรูปที่ 4.72-4.77

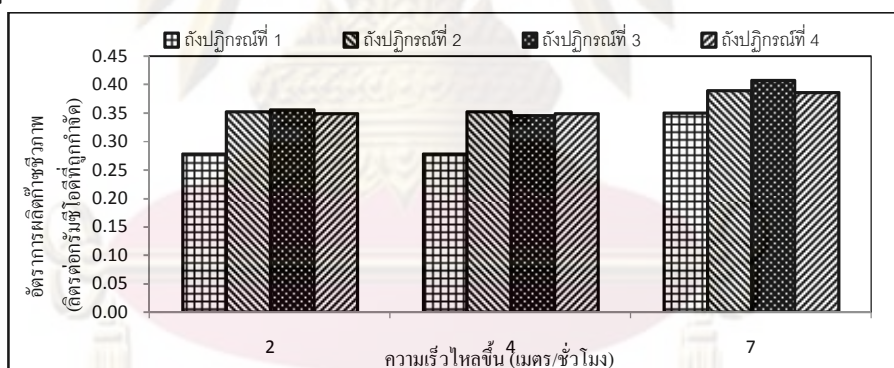
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



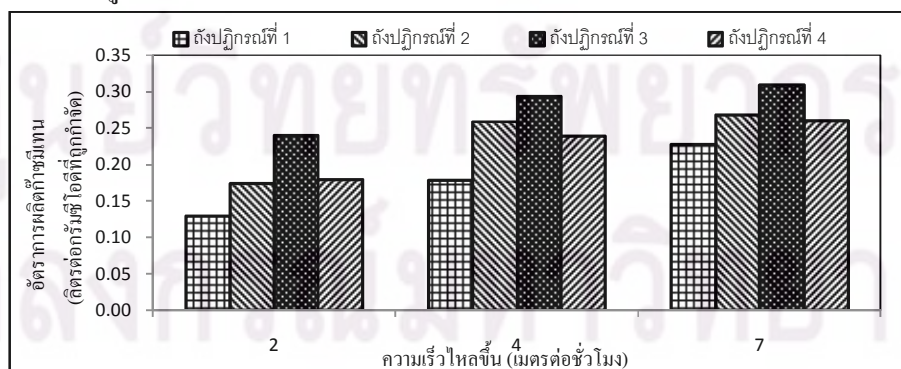
รูปที่ 4.72 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิผลการงอกของเมล็ดข้าวโอ๊ตตามความเร็วไหลขึ้น



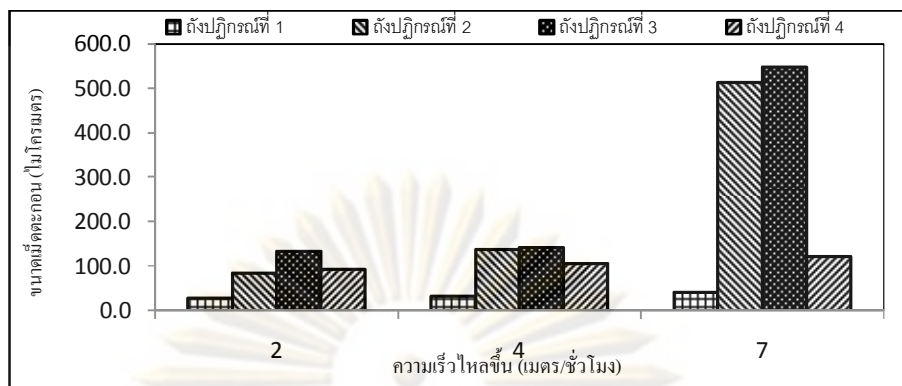
รูปที่ 4.73 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิผลการงอกของเมล็ดข้าวโอ๊ตที่ความเร็วไหลขึ้น



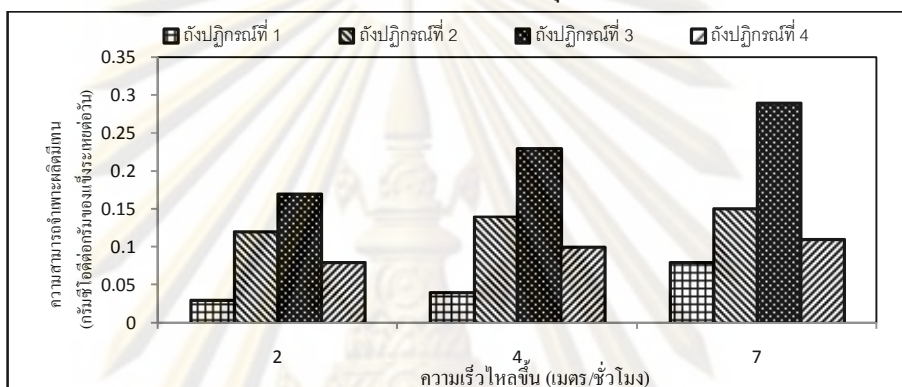
รูปที่ 4.74 แสดงอัตราการงอกของเมล็ดข้าวโอ๊ตที่ความเร็วไหลขึ้น



รูปที่ 4.75 แสดงอัตราการงอกของเมล็ดข้าวโอ๊ตที่ความเร็วไหลขึ้น



รูปที่ 4.76 แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์D(0.5) ตามความเร็วไหลขึ้น



รูปที่ 4.77 แสดงค่าจำเพาะของแบคทีเรียผลิตมีเทนตามความเร็วไหลขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ที่มีการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 2 4 และ 7 เมตรต่อชั่วโมง จากการพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งแขวนลอย พบว่าที่ความเร็วไหลขึ้น 2 และ 4 เมตรต่อชั่วโมง มีความเหมาะสมเนื่องจากเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 7 เมตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งแขวนลอย ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อความเร็วไหลขึ้นสูงขึ้นมากเกิดการหลุดออกของตะกอนแขวนลอย และค่าของแข็งแขวนลอยก็เป็นส่วนที่ทำให้ค่าซีโอดีสูงขึ้น

พิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่า การเพิ่มความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ โดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 7 เมตรต่อชั่วโมง จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงขึ้นและส่งผลกระทบต่อลักษณะเม็ดตะกอนมาก โดยเม็ดตะกอนมีความหนาแน่นมากขึ้น และมีแบคทีเรียประเภทสร้างมีเทนเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะคงที่ การเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ เพราะเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็นการหมุนเวียนน้ำเสียกลับจะทำให้กรดไขมันระเหยที่ยังไม่ถูกย่อยสลายจนสมบูรณ์มีโอกาสดับมาสัมผัสกับจุลินทรีย์ในระบบได้ใหม่อีกครั้ง ทำให้แบคทีเรียสามารถสร้างมีเทนเพิ่มขึ้นด้วย และสังเกตว่าค่า SMA ของระบบมีค่ามากขึ้น

การเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบนั้น ควรคำนึงถึงลักษณะของเม็ดตะกอนในระบบด้วย เพราะถ้าความเร็วไหลขึ้นตอนเริ่มเดินระบบสูงเกินไป จะทำให้ตะกอนฟุ้งกระจาย เกิดการแตกตัว ทำให้เกิดเป็นเม็ดตะกอนได้ยาก และเมื่อตะกอนเริ่มเกิดเป็นเม็ดขนาดใหญ่แล้วจะมีน้ำหนักมากขึ้น ทำให้จมตัวได้เร็วขึ้น การเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจะช่วยให้มีการขยายตัวของชั้นตะกอน เกิดการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงภายในถังและไม่ทำให้เกิดการไหลลัดวงจรของน้ำเสียเกิดขึ้นภายในระบบ การกำหนดความเร็วไหลขึ้น จะมีความเหมาะสมกับสภาวะใดสภาวะหนึ่งเท่านั้น และเมื่อพิจารณาโดยรวมของระบบที่ความเร็วไหลขึ้น 4 เมตรต่อชั่วโมง มีความเหมาะสมสำหรับการเดินระบบในระยะยาวและถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่เติมผงเยื่อกระดาษ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งในการสร้างเม็ดตะกอนและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ เมื่อเทียบกับถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมผงเยื่อกระดาษช่วยในการสร้างเม็ดตะกอนตอนเริ่มเดินระบบ

4.7 การวิเคราะห์การสร้างเม็ดตะกอนที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ เมื่อเพิ่มภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ และเพิ่มความเร็วไหลขึ้น

จากการเริ่มต้นเดินระบบที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษช่วยในการสร้างเม็ดตะกอน เห็นได้ว่าการรวมตัวของตะกอนจุลินทรีย์เป็นเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น สังเกตจากการทำ Jar test มีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 5 มิลลิเมตร และเมื่อทดลองกวนให้เม็ดตะกอนเกิดการปั่นป่วน จะสังเกตได้ว่าเมื่อเม็ดตะกอนแตกออกจากกันแล้วจะสามารถกลับมารวมตัวกันได้อีก และเมื่อเติมผงเยื่อกระดาษลงไปพร้อมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ตามความเข้มข้นที่ได้จากการทำ Jar test แล้วทิ้งให้เกิดการรวมตัวของตะกอนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการสร้างเสถียรภาพให้กับเม็ดตะกอน จึงเริ่มมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบแบบไหลต่อเนื่อง ในช่วงแรกเนื่องจากไม่ทราบถึงความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย ในการเริ่มต้นเดินระบบจึงเริ่มจากความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อดูความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์แล้วจึงเพิ่มความเข้มข้นน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบขึ้นเรื่อยๆจนเป็น 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นตามลำดับ

การเพิ่มภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของซับสเตรทที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งความเข้มข้นของซับสเตรทที่มากขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบให้สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของซับสเตรทที่มากขึ้นยังเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น ตะกอนแบคทีเรียที่มีขนาดเล็กหลุดออกจากถังส่วนตะกอนที่มีขนาดใหญ่และหนักสามารถอยู่ในถังได้ ซึ่งถือว่าเป็นการคัดเลือกแบคทีเรียในระบบอัตโนมัติ ทำให้การรวมตัวของตะกอนแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังมีลักษณะเป็นเม็ดตะกอน อัตราการเกิดเม็ดตะกอนแบคทีเรียสูงขึ้น เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ความหนาแน่นของเม็ดตะกอนยังน้อย อีกทั้งอัตราการเกิด

ก๊าซชีวภาพยังน้อย เนื่องมาจากการที่น้ำเสียสัมผัสกับเมล็ดตะกอนไม่ทั่วถึง จึงทำการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบทั้งการกำจัดมลสาร อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ และการสร้างเมล็ดตะกอนที่มีคุณภาพ

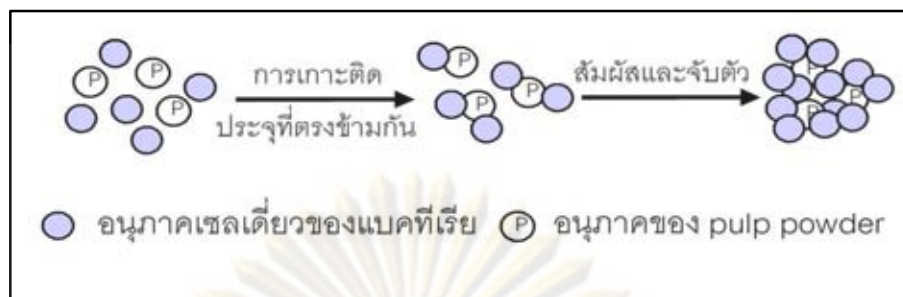
การเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นและส่งผลต่อลักษณะเมล็ดตะกอนมาก โดยเมล็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้นและความหนาแน่นมาก และมีแบคทีเรียประเภทสร้างมีเทนเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะคงที่ อาจเป็นเพราะสารอาหารที่มีอย่างจำกัด แต่การเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจะช่วยให้การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ เพราะการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นเป็นการหมุนเวียนน้ำเสียกลับจะทำให้กรดไขมันระเหยที่ยังไม่ถูกย่อยสลายจนสมบูรณ์มีโอกาสกลับมาสัมผัสกับจุลินทรีย์ในระบบได้ใหม่อีกครั้งทำให้แบคทีเรียสามารถสร้างมีเทนเพิ่มขึ้นด้วย และสังเกตว่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนของระบบมีค่าสูงขึ้น

ดังนั้นการเติมผงเชื้อกระดาษลงไปกับตะกอนจุลินทรีย์ สามารถช่วยให้เกิดกระบวนการสร้างเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบได้เร็วกว่าการไม่เติมผงเชื้อกระดาษเลย ทำให้ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบสามารถควบคุมระบบได้ง่ายกว่า การเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์และการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสร้างเมล็ดตะกอนมากแต่มีความเหมาะสมกับสภาวะใดสภาวะหนึ่งเท่านั้น เพราะเมื่อเมล็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น แบคทีเรียสร้างมีเทนมากขึ้น จึงจำเป็นต้องการสารอาหารมากขึ้นตามและต้องการการสัมผัสที่ทั่วถึง ดังนั้นระบบจึงสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นที่สูงๆ ได้ดี ระบบอจีเอสบีที่มีการเติมผงเชื้อกระดาษจึงมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

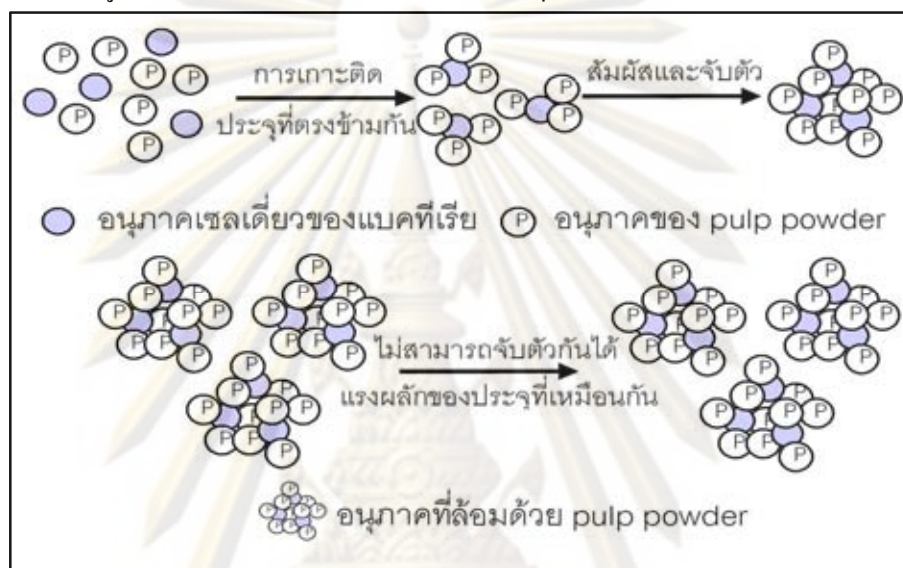
4.8 กลไกและแบบจำลองการเกิดเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ในงานทดลอง

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการเติมผงเชื้อกระดาษปริมาณที่เหมาะสม (2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย) สามารถช่วยให้เกิดกระบวนการสร้างเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบได้เร็วกว่าการไม่เติมผงเชื้อกระดาษเลย

การเติมผงเชื้อกระดาษนั้น เป็นกลไกการสร้างเมล็ดตะกอนจากประจุตรงข้ามกัน การศึกษาประจุที่ล้อมรอบผิวอนุภาคของผงเชื้อกระดาษเป็นประจุบวก ดังนั้นเมื่อเติมลงในระบบ อนุภาคแบคทีเรียในน้ำเสียซึ่งเป็นประจุลบสามารถเกาะติดกับผงเชื้อกระดาษเกิดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งสังเกตจากการทำ Jar test เมื่อเติมที่ความเข้มข้นที่ 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย ตะกอนจะมาเกาะติดกับตัวผงเชื้อกระดาษทำให้เกิดการรวมตัวเป็นเมล็ดตะกอน แบบจำลองการเกิดเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยผงเชื้อกระดาษ ดังแสดงในรูปที่ 4.78 แต่เมื่อเติมผงเชื้อกระดาษในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้เกิดการผลัดกันของประจุบวกที่เหมือนกันของผงเชื้อกระดาษด้วยตัวเอง Schmidt และ Ahring, 1996 ดังแสดงในรูปที่ 4.79 ทำให้ประสิทธิภาพในการเกาะติดกันระหว่างอนุภาคลดลง จึงทำให้กระบวนการเกิดเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์เป็นไปได้ช้า



รูปที่ 4.78 แบบจำลองการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยผงเชื้อกระดาษ



รูปที่ 4.79 แบบจำลองเมื่อเติมผงเชื้อกระดาษในปริมาณที่มากเกินไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของผงเชื้อกระดาษที่มีต่อการสร้างตะกอนเม็ดในระบบอิมัลชันซึ่งบับค้ำน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) ผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของผงเชื้อกระดาษ ที่ทำให้เกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และสามารถตกตะกอนได้ดี โดยใช้วิธีทดสอบ Jar test method ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของผงเชื้อกระดาษที่เหมาะสมในการใช้เพื่อให้เกิดการพัฒนาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์คือ 1,500 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย

2) มีความเป็นไปได้ในการเติมผงเชื้อกระดาษลงในระบบบับค้ำอิมัลชัน ซึ่งการเติมผงเชื้อกระดาษจะช่วยลดระยะเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (Start Up) โดยจะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงช่วยลดการสูญเสียของแข็งแขวนลอยไปในน้ำทิ้งได้ดีกว่า เนื่องจากผงเชื้อกระดาษมีประจุเป็นบวกทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมอนุภาคตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งเป็นประจุลบให้มาจับกันตามทฤษฎี multi-valence positive ion-bonding model

3) ผลการเดินระบบในระยะยาว พบว่าทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์และเพิ่มความเร็วไหลขึ้นจะทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีของระบบในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) ของทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์มีค่ามากกว่า 91.5เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการเติมผงเชื้อกระดาษไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์และไม่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดต่ำลง ดังนั้นจึงสามารถใช้ผงเชื้อกระดาษเป็นตัวกระตุ้นและช่วยส่งเสริมการพัฒนาขนาดของตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์แบบอิมัลชันสำหรับบับค้ำน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของเชื้อจุลินทรีย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) จากภาพถ่าย SEM (Scanning Electron Microscopy) แสดงให้เห็นลักษณะภายในเม็ดตะกอนที่เพาะเลี้ยงในถังปฏิกรณ์อิมัลชันที่ 1 2 3 และ 4 มีลักษณะไม่แตกต่างกัน คือ ไม่มีการแยกออกเป็นชั้นอย่างเด่นชัด ประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีลักษณะท่อนสั้น (Methanotrrix-Like Species) เป็นสายพันธุ์แสดงให้เห็นว่าการเติมผงเยื่อกระดาษลงไปในถังปฏิกรณ์ ไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

5) การเติมผงเยื่อกระดาษจะช่วยให้เกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นในถังปฏิกรณ์อิมัลชันได้เร็วกว่าและมากกว่าถังปฏิกรณ์ที่ไม่ได้เติมผงเยื่อกระดาษเลย โดยถังปฏิกรณ์อิมัลชันที่ 2 3 และ 4 ที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษจะมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมากเมื่อเทียบกับถังปฏิกรณ์อิมัลชันที่ไม่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ ซึ่งจากการทดลองพบว่าการเติมผงเยื่อกระดาษที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและการสร้างเม็ดตะกอนมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไปดังนี้

1) ควรศึกษาการเติมผงเยื่อกระดาษในการเดินระบบระยะยาว โดยเพิ่มความถี่ในการเติมผงเยื่อกระดาษเมื่อเทียบกับการเติมลงไปครั้งเดียวในช่วงเริ่มเดินระบบ

2) ควรทำการศึกษาโดยหาวิธีการพัฒนาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ผงเยื่อกระดาษให้ได้เป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนภายนอกแล้วจึงนำไปใช้ในถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบอิมัลชัน ซึ่งอาจทำให้ได้เม็ดตะกอนที่มีคุณภาพดีก่อนนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และทำให้การเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) ของระบบบำบัดได้เร็วขึ้น

3) ควรศึกษาระบบบำบัดอิมัลชันที่มีการเติมผงเยื่อกระดาษ เปรียบเทียบกับระบบบำบัดอิมัลชันที่มีการเติมสารอาหารเสริม โดยเปรียบเทียบขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ว่ามีความแตกต่างกันเพียงใด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือการเลือกใช้ การดูแลและการรักษาระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์. ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2550. การจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร. [Online]. แหล่งที่มา: <http://www.pcd.go.th> [25 พฤษภาคม 2550]

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. หลักสูตรการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเบื้องต้น. สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. 2547. การออกแบบโรงบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี. เอส.อาร์. พรินติ้ง แมสโปรดักส์.

เฉลิมพล โชควิเศษชัยสิทธิ์. 2546. ผลของชนิดตะกอนเริ่มต้นต่อการสร้างตะกอนเม็ดของระบบ บำบัดแบบยูเอสบีที่บำบัดน้ำเสียเลือดไก่เจือจาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุชัยญา ทองเครือ. 2547. ผลของสัดส่วนอัตราไหลเข้าต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับที่มีต่อ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดแบบอีจีเอส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชลธิชา น้ำดอกไม้. 2545. ผลของชนิดตะกอนเริ่มต้นต่อการสร้างตะกอนเม็ดในระบบยูเอสบีที่ บำบัดน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์. 2546. การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2536. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน. ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรทัย ขวาลภาฤทธิ์. 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

- Ahn, Y-H. 2000. Physicochemical and microbial aspects of anaerobic granular pellets. J Environ Sci Health, A35(9): 1617-1635.
- APHA, AWWA and WPCF. Standard method for the examination of water and wastewater. 20th ed. New York: American Public Health Association U.S.A., 1998.
- Buijs, C. and Heertjes, P.M. 1982. Distribution and Behavior of Sludge in Upflow Reactors for Anaerobic Treatment of Wastewater. Biotechnology and Bioengineering. 24: 1975-1989.
- Chen, J. and Lun, S.Y. 1993. Study of Mechanism of Anaerobic Sludge Granulation in UASB Reactors. Wat.Sci.Tech. 28, 7: 171-178.
- De Man, G. and Zeevalkink, J.A. 1986. Anaerobic Treatment of Synthetic and Natural Polymer. Paper from Euroconsult July 1986. 9.
- Fang, H.H., Chui, H.K., Li, Y.Y. 1994. Microbial structure and velocity of UASB granules treating different wastewater. Wat.Sci.Tech. 30, 12: 87-96.
- Fang, H.H.P. 2000. Microbial distribution in UASB granules and its resulting effects. Water Sci Techol, 42(12): 201-208.
- Francese, A., Cordoba, P. Duran, J. and Sineriz, F. 1998. High Upflow Velocity and Organic Loading Rate Improve Granulation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors. World Journal of Microbiology and Technology. 14, 3: 337-341.
- Gail, R.G. and Barford, J.P. 1985. The Development of Granulation in an Upflow Floc Digester and Upflow Anaerobic Sludge Blanket Digester Treating Cane Juice Stillage. Biotechnology Letters. 7, 7: 493-498.
- Gonzalez, J.S.,, Rivera, A., Borja, R. and Sabchez, E. 1998. Influence of Organic Volumetric Loading Rate. Nutrient Balance and Alkalinity: COD Ratio on the Anaerobic Sludge Granulation of UASB reactor Treating Sugar Cane Molasses. International Biodeterioration and Biodegradation. 41, 2: 127-131.
- Grotenhuis, J.T.C., Koornneef, E., and Plugge, C.M. 1987. Immobilization of anaerobic bacteria in methanogenic aggregates. Microbiology and technology, :197-194.
- Guit, S.R. Gorur, S.S., Bourque, D. and Samson, R. 1998. Metal Effect on Microbial Aggregation During Upflow Anaerobic Sludge Bed-Filter (UBF) Reactor Start-up. Proceeding of the GASMAT-workshop Luterer.
- Hulshoff pol, L.W., de Castro, S.I.P., Lettings, G., and Lens, P.N.L. 2004. Anaerobic sludge granulation. Water Research, 38: 1376-1389.

- Hulshoff pol, L.W., de Zeeuw, W.J., Velzeboer, C.T.M. and Lettinga, G. 1983. Granulation in UASB Reactors. Wat.Sci.Tech. 15: 291-304.
- Hwu, C-H., Jules, B, and Lettinga, G. 1998. Physicochemical and biological performance of expanded granular sludge bed reactors treating long-chain fatty acids. Process Biochemistry, 33: 75-81.
- Imai, T., Ukita, M., Liu, J., Sekine, M., Nakanishi, H., and Fukagawa, M. 1997. Advance Start Up of UASB Reactors by Adding of Water Absorbing Polymer. Wat.Sci.Tech. 36, 6-7: 399-406.
- Jeison, D. and Chamy, R. 1998. Comparison of the Behaviour of Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) and Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors in dilute and concentrated Wastewater Treatment. Wat.Sci.Tech 40, 80 : 91-98.
- Kato, M.T., Field, J.A. Versteeg, P., Lettinga, G. 1994. Feasibility of Expanded Granular Sludge Bed reactors for the anaerobic Treatment of low-strength soluble wastewater. Biotechnology and Bioengineering. 30, 12: 87-96.
- Kugelman, I.J. and McCarty, P.L. 1965. Cation Toxic and Stimulation in Anaerobic Wastewater Treatment. Journal of WPCF. 37, 1: 97-116.
- Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L.W.P. 1991. UASB-Process Design for Various Types of Wastewater. Wat.Sci.Tech. 24, 8: 87-107
- Lettinga, G. Roersma, R., Grin, P. 1983. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperature using a granule bad UASB reactor. Biotechnology and Bioengineering 25: 1701-1723.
- Lettinga, G., De Man, A., Van Der Last, A.R.M., Wiegant, W., Van Kniooenberg, K., Frijns, J., and Van Buuren, J.C.L. 1993. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperature using a granular bed UASB reactor. Biotechnology and Bioengineering, 25: 1701-1723.
- Liu, Y., Xu, H.L., Yan, S.F. and Tay, J.H. 2003. Mechanism and Models or Anaerobic Granulation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors. Water Research. 37: 661-673.
- McLeod, F.A., Guiot, S.R., and Costerton, J.W. 1990. Layered structure of bacterial aggregates produced in an upflow anaerobic sludge bed and filter reactors. Appl Environ Microbiol, 56(6): 1598-1607.
- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Public Works. 9-12.

- Mosey, F.E. and Hughes, D.A. 1975. The Toxic of Heavy Metal Ions to Anaerobic Digestion. Water Pollution Control. 74: 17-39.
- Noyola, A. and Moreno, G. 1998. Granule Production from Raw Waste Activated Sludge. Wat.Sci.Tech. 30, 12: 339-346.
- Pereboom, J.H.F. 1983. Size distrition model for methanogenic granules from scale UASB and IC reactors. Water Sci Tech, 30(12): 211-221.
- Ramos, J., Obaya, M.C., Valdes, E., Villa, P. and Eng, F. 1994. Granulation of Digested Sewage Sludge in Mesophilic UASB Reactors Treating Distillery Wastewaters from Sugar-cane Molasses. ACTA Biotechnologica. 14, 3: 283-292.
- Rinzema, A., Van Veen, H., and Lettinga, G. 1993. Anaerobic digestion of triglyceride emulsions in Expanded Granular Sludge Bed reactors with modified sludge seperators. Environmental Technology, 14: 423-432.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., and Parkin, G.F. 1994. Chemistry for environmental engineering. 4th ed. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Schmidt, J.E., and Ahring, B.K. 1996. Granular Sludge formation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors. Biotechnology and Bioengineering. 49: 229-246
- Schulze, D., Fiebig, R. and Dellweg, H. 1988. Development of Granular Sludge in the UASB Treatment of Model Waste Water Containing Gelatine. Biotechnology Letters. 10, 5: 319-324.
- Seghezze, L., Zeeman, G., Van Lier, J.B., Hamelers, H.V.M., and Lettinga, G. 1998. The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. Bioresearch Technology, 65: 175-190.
- Sharma, J. and Singh, R. 2001. Effect of Nutrients Supplementation on Anaerobic on Anaerobic Sludge Development and Activity for Treating Distillery Effluent. Bioresource Technology. 79: 203-206.
- Show, K.Y., Wang, Y., Fong, S.F. and Tay, J.H. 2004. Accelerated Start-up and Enhanced Granulation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors. Water Research. 38: 2293-2304.
- Tay, J-H., and Yen, Y-G. 1996. Influence of substrate concentration on microbial blanket reactors. Water Environmental Research, 68: 1140-1150.
- Van Haandel, A.C. and Lettinga, G. 1994. Anaerobic Sewage Treatment. John Wiley & Sons :52-56.

- Weber, W.J. Jr. 1972. Physicochemical Processes for Water Quality Control. 1ST Ed., Wiley-Interscience.
- Wiegant, W.M. and de Man, A.W.A. 1985. Granulation of Biomass in Thermophilic Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors Treating Acidified Waste-waters. Biotechnology and Bioengineering. 28: 718-727.
- Yan-Ling, H., Xing-Lian, G. and Hu-Hui, Y. 1995. Sludge Granulation in an UASB Reactors for the treatment of Soda-Anthraquinone Chemical Wheat-Straw Pulp Black Liquor. Bioresource Technology. 51: 213-215.
- Yu, H.Q., Fang, H.H.P. and Tay, J.H. 2001. Enhanced Sludge Granulation In Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors by Aluminum Chloride. Chemosphere. 44: 31-36.
- Yu, H.Q., Tay, J.H. and Fang, H.H.P. 2001. The Roles of Calcium in Sludge Granulation During UASB Reactors Start-up. Water research. 36, 4: 1052-1060.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพีเอชและอุณหภูมิ

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
1	2/9/2551	6.88	8.59	8.27	8.06	8.12	29.4	29.7	29.4	29.4	29.1
3	4/9/2551	6.98	8.27	8.03	8.05	7.85	29.8	30.3	30.3	30.1	30
4	5/9/2551	7.1	8.06	7.59	7.59	8.01	30.3	29	29.1	29	28.9
9	10/9/2551	7.56	8.04	8.03	7.92	7.86	29.1	28.7	28.5	28.4	28.5
11	12/9/2551	7.5	8.17	8.16	8.3	8.01	28.8	28.8	28.6	28.7	28.7
12	13/9/2551	7.72	8.07	8.09	7.95	8.27	28.2	28.8	28.5	28.3	28.7
13	14/9/2551	7.68	8.09	8.11	8.05	7.92	28.8	28.9	28.9	28.7	28.8
15	16/9/2551	7.58	7.98	8.02	7.98	7.83	28.9	29.1	29	29	29
16	17/9/2551	7.06	8.63	8.33	8.26	8.13	28.2	27.9	28.1	28.1	28
17	18/9/2551	7.42	8.49	8.37	8.39	8.29	27.9	29.9	30.1	29.9	30
18	19/9/2551	7.46	8.46	8.14	8.23	8.05	29.9	28.3	28.1	28.1	28.2
19	20/9/2551	6.91	7.78	8.1	8.13	7.95	27.8	27.7	27.5	27.4	27.5
20	21/9/2551	7.32	8.31	8.11	7.96	8.13	27.7	28.3	28.1	27.9	27.9
21	22/9/2551	7.3	8.27	8.13	8.2	8.18	28.3	29.2	29	29	29
22	23/9/2551	6.88	8.28	8.16	8.26	8.13	29.1	29.8	29.6	29.5	29.5
23	24/9/2551	6.78	8.3	8.25	8.14	8.14	29.8	30	30	29.9	29.6
24	25/9/2551	6.88	8.5	8.37	8.33	8.29	30	29.7	29.7	29.9	29.8
25	26/9/2551	7.21	7.96	8.03	8.07	7.82	29.4	30.3	30.1	30.1	30

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพีเอชและอุณหภูมิ (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
26	27/9/2551	7.12	8.28	8.06	8.34	7.82	30.3	30.2	29.8	29.9	29.7
27	28/9/2551	7.2	7.95	7.88	8	7.62	30.2	30.7	30.4	30.3	30.3
28	29/9/2551	7.34	8.15	8.01	8.2	7.89	30.3	30.3	30.1	29.8	30
29	30/9/2551	7.54	8.01	8.07	8.1	7.92	30	28.9	29.8	29.8	29.7
30	1/10/2551	7.5	8.18	8.26	8.26	8.05	28.9	29.7	29.6	29.5	29.5
31	2/10/2551	7.57	7.89	8.03	8.02	8.08	29.2	29.5	29.3	29.2	29.2
32	3/10/2551	7.6	8.05	8.09	8.09	7.98	29.5	28.5	28.3	28.3	28.3
33	4/10/2551	7.45	7.89	7.96	7.89	7.83	28	28.7	28.6	28.5	28.5
34	5/10/2551	7.32	7.89	8.04	8	7.96	28.6	29.2	29.2	29.1	29.1
35	6/10/2551	7.54	8.13	8.09	8.19	7.94	29.2	29.8	29.7	29.6	29.6
36	7/10/2551	7.62	7.8	7.91	7.66	7.67	29.3	29.1	29	29	29
37	8/10/2551	7.52	7.64	7.73	7.56	7.63	29	28.9	28.8	28.8	28.6
41	12/10/2551	6.71	7.52	7.52	7.54	7.61	30.7	29.8	29.7	29.7	29.8
42	13/10/2551	6.58	7.51	7.62	7.64	7.58	29.8	30.3	30.2	30.3	30.3
43	14/10/2551	6.6	7.7	7.7	7.68	7.66	29.7	31.3	31.3	31.3	31.4
44	15/10/2551	6.74	7.58	7.72	7.72	7.67	31.3	31.1	31.1	31.2	31.2
45	16/10/2551	6.89	7.93	7.83	8.03	7.89	30.9	31.4	31.3	31.5	31.4
46	17/10/2551	6.9	7.97	7.85	7.95	7.85	31.4	31.2	31.1	31	31

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพีเอชและอุณหภูมิ (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
47	18/10/2551	6.82	7.91	8.02	8.01	8	31.2	29.6	29.5	29.5	29.5
50	21/10/2551	6.86	7.91	7.87	7.9	7.82	31	29.6	29.6	29.6	29.6
51	22/10/2551	7.11	7.8	7.8	7.8	7.8	29.6	29.8	29.6	29.5	29.6
52	23/10/2551	7.02	7.78	7.8	7.82	7.82	29.6	29.4	29.2	29.3	29.5
53	24/10/2551	6.7	7.89	7.86	7.88	7.89	29.4	29.9	29.8	29.8	30
55	26/10/2551	6.74	7.94	7.74	7.9	7.78	28.8	29.8	29.7	29.5	29.6
57	28/10/2551	7.08	7.98	8	7.94	7.86	29.5	29.4	29.1	29	29.1
58	29/10/2551	7.12	8	8.04	8.01	8.09	29.4	28.7	28.6	28.6	28.7
59	30/10/2551	7.16	7.84	7.96	7.84	7.82	28.8	29	28.8	28.8	28.8
60	31/10/2551	7.04	7.84	7.84	7.84	7.74	28.8	28.9	28.8	28.6	28.6
61	1/11/2551	7.1	7.85	7.92	7.93	7.8	28.6	28.8	28.7	28.7	28.7
62	2/11/2551	7.12	7.7	7.69	7.86	7.7	29.6	28.8	28.6	28.6	28.6
64	4/11/2551	7.16	7.8	7.78	7.8	7.74	28.6	29.1	29.1	29.1	29.2
65	5/11/2551	7.02	7.84	7.88	7.9	7.84	28.9	28.6	28.5	28.3	28.3
66	6/11/2551	7.2	8.12	7.98	8.08	8.06	28.3	29.1	28.9	29.1	28.9
67	7/11/2551	7.19	7.75	7.76	7.66	7.7	28.9	29.4	29.4	29.3	29.5
68	8/11/2551	7.13	7.66	7.72	7.7	7.5	29.4	29.5	29.5	29.6	29.7
69	9/11/2551	6.84	7.5	7.55	7.42	7.44	29.7	28	28	28.1	27.9

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพีเอชและอุณหภูมิ (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
71	11/11/2551	6.8	7.54	7.6	7.58	7.6	28	26.9	27	27.1	27
72	12/11/2551	6.75	7.65	7.67	7.48	7.56	26.8	28.1	28	28	28
73	13/11/2551	6.8	7.5	7.58	7.44	7.45	28	27.8	27.8	27.8	27.8
74	14/11/2551	7.03	7.46	7.52	7.4	7.42	27.6	27.4	27.2	27.2	27.3
78	18/11/2551	6.86	7.48	7.58	7.5	7.51	29.3	28.7	28.7	28.7	28.7
79	19/11/2551	6.84	7.58	7.62	7.58	7.68	28.7	27.7	27.7	27.6	27.7
80	20/11/2551	6.82	7.72	7.74	7.68	7.71	27.7	28.6	28.4	28.4	28.6
81	21/11/2551	6.78	7.54	7.7	7.68	7.6	28.4	28.2	27.9	27.9	28.1
82	22/11/2551	6.7	7.58	7.68	7.7	7.56	28.2	27.5	27.4	27.4	27.4
83	23/11/2551	6.88	7.78	7.9	7.86	7.72	27.4	28.5	28.4	28.3	28.3
84	24/11/2551	6.98	7.8	7.9	7.82	7.8	28.3	29.7	29.6	29.4	29.4
85	25/11/2551	6.68	7.54	7.68	7.62	7.62	29.5	29	28.9	28.9	28.9
86	26/11/2551	6.7	7.5	7.7	7.61	7.56	28.9	28.8	28.8	28.8	28.9
87	27/11/2551	6.62	7.52	7.68	7.66	7.7	28.9	28.6	28.3	28.2	28.3
88	28/11/2551	6.92	7.84	7.86	7.88	7.86	27.3	27.4	27.3	27.3	27.3
89	29/11/2551	6.74	7.9	7.92	7.9	7.96	27.6	25.4	25.4	25.4	25.4
91	1/12/2551	7.12	7.98	7.96	7.9	7.9	25.4	26.3	26.2	26.1	26.3
92	2/12/2551	7.42	8.04	8.1	8.04	8.04	26.3	25.2	25.2	25.2	25.3

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพีเอชและอุณหภูมิ (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
93	3/12/2551	7.2	8.02	8.04	7.96	8.02	25.2	27	26.9	26.8	26.9
94	4/12/2551	7.12	8.06	8.14	8.06	8.08	27	25.2	25.2	25.2	25.3
96	6/12/2551	6.68	7.76	7.8	7.76	7.82	25.2	26.9	26.8	26.8	26.8
97	7/12/2551	6.71	7.62	7.7	7.64	7.68	27.1	27.1	27.3	27.3	27.4
98	8/12/2551	6.68	7.76	7.92	7.88	7.88	27.3	27.2	27.3	27.3	27.4
99	9/12/2551	7.03	7.92	8	7.94	8	27.4	26.3	26.1	26.2	26.3
100	10/12/2551	6.89	7.62	7.76	7.7	7.62	26.2	24.8	24.7	24.9	25.2
101	11/12/2551	6.82	7.9	7.96	7.92	7.84	24.6	26.1	25.9	25.9	26.1
102	12/12/2551	7.1	8.02	8.02	7.94	8	25.9	27.1	27.1	27.1	27.1
103	13/12/2551	7.2	8.1	7.96	8.07	8.12	27.1	26.6	26.5	26.5	26.7
104	14/12/2551	7.04	7.88	7.88	7.92	7.84	26.5	27.5	27.3	27.4	27.4
105	15/12/2551	7.08	8.25	8.15	8.08	8.22	27.3	25.8	26.2	26.7	26.8
106	16/12/2551	7.74	7.96	8	7.92	8.02	26.7	26.6	26.5	26.6	26.6
107	17/12/2551	7.2	8.09	8.01	8.16	8.21	26.5	26.3	26.3	26.4	26.4
108	18/12/2551	7.41	7.52	7.48	7.52	7.7	26.2	27.6	27.3	27.3	27.4
109	19/12/2551	7.18	7.54	7.5	7.56	7.56	27.3	26.2	26.1	26.1	26.1
110	20/12/2551	7.18	7.48	7.38	7.5	7.44	26.4	25.5	25.4	25.4	25.4
112	22/12/2551	7.2	8.08	7.96	8.04	8	25.4	27.8	27.9	27.9	28.2

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพีเอชและอุณหภูมิ (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
113	23/12/2551	7.45	8.08	8	8.04	8.08	27.2	27.1	27	27.1	27.2
114	24/12/2551	7.12	8.1	8.06	8.04	8.06	27	27.8	27.9	27.9	28.2
115	25/12/2551	7.15	8.1	8.04	8.04	8.08	27.2	27.1	27	27.1	27.2
116	26/12/2551	7.04	8.04	7.96	8.02	8.06	27.1	27.2	27.1	27.1	27.1
117	27/12/2551	7.18	7.76	7.92	7.88	7.88	27.1	27.2	27.3	27.3	27.4
118	28/12/2551	7.14	7.92	7.9	7.94	7.98	25.8	26.9	27	27.1	27.1
117	29/12/2551	7.02	8.02	7.95	8	8.04	27.1	27.9	27.7	27.7	27.9
118	30/12/2551	7.1	8.08	8.02	8.08	8.02	27.9	28.3	28.2	28.2	28.2
119	31/12/2551	7	7.94	7.86	7.98	7.92	28.2	28.2	28	28	28
120	1/1/2552	6.96	7.88	7.86	7.95	7.86	27.9	27.5	27.5	27.5	27.5
121	2/1/2552	7.08	7.98	7.98	8.08	7.98	27.5	27	27.8	27	27.2
122	3/1/2552	7.18	7.88	7.86	7.95	7.86	27	27.5	27.5	27.5	27.5
123	4/1/2552	7.1	7.9	7.8	7.9	7.86	27.5	25.6	25.7	25.8	25.9
124	5/1/2552	7	7.84	7.82	7.88	7.9	26	27.6	27.3	27.1	27.2
125	6/1/2552	7.2	7.92	7.88	7.86	7.94	27.1	27.9	27.8	27.9	28
126	7/1/2552	7.3	8	7.97	7.94	8.02	28.1	26.4	26.2	26.3	26.3
127	8/1/2552	7.12	7.86	7.86	7.88	7.76	26.1	27.3	27.3	27.2	27.2
128	9/1/2552	7.1	8.15	8.11	8.25	8.4	27.3	25.7	25.9	25.8	25.9

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพีเอชและอุณหภูมิ (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
129	10/1/2552	7.18	7.98	7.98	8.08	7.98	25.8	27	27.8	27	27.2
130	11/1/2552	7.74	7.96	8	7.92	8.02	26.7	26.6	26.5	26.6	26.6
131	12/1/2552	7.2	8.02	8.1	8.02	8.06	26.5	23.2	22.9	22.9	23.2
132	13/1/2552	7.12	8.18	8.21	8.2	8.28	23.2	24.1	24	24	23.9
133	14/1/2552	7.08	7.84	7.92	7.82	7.84	24	23.9	24	23.8	23.9
134	15/1/2552	7.04	8.01	8.02	7.96	8.04	24	24.2	24.2	24	23.9
135	16/1/2552	7.14	8.05	8.03	8	8.1	24.4	25.1	24.9	24.8	24.8
136	17/1/2552	7.35	8.05	8.03	8	8.1	25	25.1	24.9	24.8	24.8
137	18/1/2552	7.2	8.1	8	8.1	8.08	24.8	25.5	25.3	25.3	25.4
138	19/1/2552	7.23	8.15	8.16	8.2	8.26	25.5	25.9	25.9	25.9	25.9
139	20/1/2552	7.26	8.24	8.23	8.26	8.3	25.9	25.4	25.4	25.1	24.9
140	21/1/2552	7.48	7.78	7.78	7.84	7.84	27.3	27.3	27.1	27.1	27.2
141	22/1/2552	7.06	7.82	7.8	7.93	7.78	27.1	28	27.8	27.8	27.8
142	23/1/2552	7.16	7.98	7.96	7.98	7.9	27.8	27.4	27.3	27.4	27.3
143	24/1/2552	7.12	8.14	8.04	8.14	8.1	27.3	27	26.9	26.8	26.8
144	25/1/2552	7.42	8.12	8.14	8.2	8.1	27.2	28	27.9	27.9	27.9
145	26/1/2552	7.1	8	7.94	8.04	8.04	27.9	29.9	29.3	29.3	29.3
146	27/1/2552	7.28	8.08	8.04	8.02	8.02	30	28.7	28.4	28.3	28.3

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพีเอชและอุณหภูมิ (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	พีเอช					อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
147	28/1/2552	7.24	8.15	8.02	8.18	8.1	29.3	27.7	27.7	27.6	27.6
148	29/1/2552	7.37	7.95	7.94	7.98	7.9	27.5	28.5	28.3	28.3	28.1
149	30/1/2552	7.04	7.9	7.9	7.88	7.82	28.2	28.7	28.5	28.5	28.5
150	31/1/2552	7.02	7.78	7.8	7.82	7.82	29.6	29.4	29.2	29.3	29.5
151	1/2/2552	6.92	7.84	7.86	7.88	7.86	27.3	27.4	27.3	27.3	27.3
152	2/2/2552	6.74	7.9	7.92	7.9	7.96	27.6	25.4	25.4	25.4	25.4
153	3/2/2552	7.12	7.98	7.96	7.9	7.9	25.4	26.3	26.2	26.1	26.3
154	4/2/2552	7.12	7.7	7.69	7.86	7.7	29.6	28.8	28.6	28.6	28.6
155	5/2/2552	7.16	7.8	7.78	7.8	7.74	28.6	29.1	29.1	29.1	29.2
156	6/2/2552	7.02	7.84	7.88	7.9	7.84	28.9	28.6	28.5	28.3	28.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่กระบวรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	2/9/2551	661.2	489.8	608.2	489.8	367.4	25.9	8.0	25.9	44.4
3	4/9/2551	654.6	154.8	295.6	242.2	149.8	76.3	54.8	63.0	77.1
4	5/9/2551	800.0	226.0	259.3	106.4	558.5	71.7	67.6	86.7	30.2
9	10/9/2551	1771.2	108.0	270.0	180.0	162.0	93.9	84.8	89.8	90.9
11	12/9/2551	2183.8	291.6	246.7	314.0	157.0	86.6	88.7	85.6	92.8
14	15/9/2551	2698.5	377.0	477.5	452.4	301.6	86.0	82.3	83.2	88.8
16	17/9/2551	2451.4	469.9	335.7	335.7	419.6	80.8	86.3	86.3	82.9
19	20/9/2551	2419.0	251.8	302.1	184.6	285.3	89.6	87.5	92.4	88.2
22	23/9/2551	2462.4	285.3	266.7	288.0	301.3	88.4	89.2	88.3	87.8
25	26/9/2551	2556.5	378.9	342.5	350.6	334.4	85.2	86.6	86.3	86.9
29	30/9/2551	2592.0	126.2	154.0	141.5	141.5	95.1	94.1	94.5	94.5
31	2/10/2551	2501.9	186.0	179.2	173.7	172.3	92.6	92.8	93.1	93.1
33	4/10/2551	2436.0	230.1	190.4	185.1	190.4	90.6	92.2	92.4	92.2
Average		2514.7	288.1	281.0	263.9	268.3	88.5	88.9	89.6	89.3
SD		95.5	113.7	107.4	109.8	93.4	4.5	4.0	3.8	4.1
n		8	8	8	8	8	8	8	8	8

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่กระบวรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	8/10/2551	2600.0	233.3	215.7	190.1	167.2	91.0	91.7	92.7	93.6
5	12/10/2551	2520.0	153.3	181.3	117.3	116.0	93.9	92.8	95.3	95.4
7	14/10/2551	2575.0	138.8	124.5	127.1	123.2	94.6	95.2	95.1	95.2
9	16/10/2551	2555.8	143.7	143.7	272.1	156.6	94.4	94.4	89.4	93.9
11	18/10/2551	2616.7	201.3	158.7	148.4	153.6	92.3	93.9	94.3	94.1
15	22/10/2551	2600.0	321.3	282.4	276.1	293.7	87.6	89.1	89.4	88.7
17	24/10/2551	2432.0	334.5	271.3	279.2	281.8	86.2	88.8	88.5	88.4
19	26/10/2551	2540.2	336.8	290.2	334.3	287.6	86.7	88.6	86.8	88.7
21	28/10/2551	2461.8	326.5	287.6	295.4	295.4	86.7	88.3	88.0	88.0
23	30/10/2551	2476.0	368.6	309.8	304.6	312.3	85.1	87.5	87.7	87.4
26	2/11/2551	2496.0	309.0	284.4	299.2	301.6	87.6	88.6	88.0	87.9
28	5/11/2551	2350.7	130.7	121.3	113.3	86.7	94.4	94.8	95.2	96.3
30	7/11/2551	2450.7	168.0	128.0	120.0	117.3	93.1	94.8	95.1	95.2
Average		2513.5	243.5	215.3	221.3	207.1	90.3	91.4	91.2	91.8
SD		78.2	90.9	74.4	85.7	87.7	3.7	3.4	3.0	3.5
n		13	13	13	13	13	13	13	13	13

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	9/11/2551	2641.9	235.4	164.0	146.8	220.8	91.1	93.8	94.4	91.6
4	12/11/2551	2869.4	235.4	148.1	142.8	164.0	91.8	94.8	95.0	94.3
6	14/11/2551	2453.3	252.6	174.5	130.9	186.5	89.7	92.9	94.7	92.4
10	18/11/2551	2683.1	244.9	156.7	129.1	216.0	90.9	94.2	95.2	92.0
12	20/11/2551	2380.8	167.3	162.0	116.9	119.5	93.0	93.2	95.1	95.0
14	22/11/2551	2688.0	196.7	184.9	129.8	173.1	92.7	93.1	95.2	93.6
17	25/11/2551	2756.6	206.8	230.5	150.1	173.8	92.5	91.6	94.6	93.7
19	27/11/2551	2708.0	149.6	134.0	110.6	139.2	94.5	95.1	95.9	94.9
21	29/11/2551	2600.0	172.0	177.3	126.7	144.0	93.4	93.2	95.1	94.5
24	2/12/2551	2986.0	368.6	309.8	304.6	312.3	87.7	89.6	89.8	89.5
26	4/12/2551	2712.6	220.3	212.5	173.1	207.2	91.9	92.2	93.6	92.4
29	7/12/2551	2565.7	186.5	220.8	148.5	207.6	92.7	91.4	94.2	91.9
31	9/12/2551	2560.0	165.3	202.0	137.7	205.9	93.5	92.1	94.6	92.0
Average		2662.0	215.5	190.5	149.8	190.0	91.9	92.9	94.4	92.9
SD		160.5	56.9	46.1	49.2	48.6	1.8	1.5	1.5	1.6
n		13	13	13	13	13	13	13	13	13

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.5 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่ภาวะบรรทุสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	11/12/2551	2414.7	186.3	187.6	163.0	187.6	92.3	92.2	93.2	92.2
3	13/12/2551	2226.6	209.0	179.4	166.5	170.3	90.6	91.9	92.5	92.4
6	16/12/2551	2318.4	195.6	176.5	146.0	167.6	91.6	92.4	93.7	92.8
8	18/12/2551	2611.2	251.2	227.5	172.3	224.9	90.4	91.3	93.4	91.4
10	20/12/2551	2240.2	218.4	192.3	137.3	208.0	90.2	91.4	93.9	90.7
13	23/12/2551	2496.0	311.7	263.5	208.7	246.5	87.5	89.4	91.6	90.1
15	25/12/2551	2586.6	190.4	224.3	109.6	170.9	92.6	91.3	95.8	93.4
18	28/12/2551	2560.0	246.4	200.2	156.6	232.3	90.4	92.2	93.9	90.9
20	30/12/2551	2649.1	259.9	225.4	183.0	209.5	90.2	91.5	93.1	92.1
22	1/1/2552	2380.0	220.1	193.6	151.2	185.6	90.8	91.9	93.6	92.2
24	3/1/2552	2440.0	212.9	181.2	173.2	175.9	91.3	92.6	92.9	92.8
26	5/1/2552	2560.0	183.0	169.7	137.9	167.1	92.9	93.4	94.6	93.5
28	7/1/2552	2476.0	185.1	163.2	152.2	148.1	92.5	93.4	93.9	94.0
Average		2458.4	220.8	198.8	158.3	191.9	91.0	91.9	93.5	92.2
SD		137.8	37.7	28.7	24.4	29.7	1.4	1.0	1.0	1.1
n		13	13	13	13	13	13	13	13	13

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.6 แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดที่ภาวะบรรทุกลำอินทรีย์ 3.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ซีไอดี (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	9/1/2552	2389.0	185.5	196.4	122.7	175.9	92.2	91.8	94.9	92.6
3	11/1/2552	2318.4	195.6	176.5	146.0	167.6	91.6	92.4	93.7	92.8
5	13/1/2552	2448.0	241.4	162.7	276.6	211.5	90.1	93.4	88.7	91.4
7	15/1/2552	2611.2	231.9	199.3	315.9	218.3	91.1	92.4	87.9	91.6
9	17/1/2552	2790.7	204.2	192.5	193.8	148.3	92.7	93.1	93.1	94.7
11	19/1/2552	2555.8	149.8	167.1	194.9	143.2	94.1	93.5	92.4	94.4
13	21/1/2552	2352.0	166.8	176.4	170.9	186.0	92.9	92.5	92.7	92.1
15	23/1/2552	2480.6	174.2	156.3	159.1	160.5	93.0	93.7	93.6	93.5
17	25/1/2552	2448.0	182.1	158.7	154.8	166.5	92.6	93.5	93.7	93.2
19	27/1/2552	2791.0	182.7	168.0	138.7	174.7	93.5	94.0	95.0	93.7
21	29/1/2552	2320.0	172.2	166.8	136.9	166.8	92.6	92.8	94.1	92.8
24	1/2/2552	2560.0	183.0	169.7	137.9	167.1	92.9	93.4	94.6	93.5
26	3/2/2552	2496.0	311.7	263.5	208.7	246.5	87.5	89.4	91.6	90.1
28	5/2/2552	2453.3	252.6	174.5	130.9	186.5	89.7	92.9	94.7	92.4
30	7/2/2552	2496.0	309.0	284.4	299.2	301.6	87.6	88.6	88.0	87.9
Average		2500.7	209.5	187.5	185.8	188.1	91.6	92.5	92.6	92.5
SD		145.4	49.8	37.6	63.3	41.6	2.0	1.5	2.5	1.7
จำนวนข้อมูล		15	15	15	15	15	15	15	15	15

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.7 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการบำบัดที่การะบรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
1	2/9/2551	1600	1140	1040	330	290	28.8	35.0	79.4	81.9
3	4/9/2551	1830	260	430	100	110	85.8	76.5	94.5	94.0
4	5/9/2551	660	290	270	310	110	56.1	59.1	53.0	83.3
9	10/9/2551	580	344	324	192	72	40.7	44.1	66.9	87.6
11	12/9/2551	480	360	220	330	80	25.0	54.2	31.3	83.3
14	15/9/2551	1980	60	100	104	108	97.0	94.9	94.7	94.5
16	17/9/2551	1770	360	140	270	180	79.7	92.1	84.7	89.8
19	20/9/2551	890	550	600	170	160	38.2	32.6	80.9	82.0
22	23/9/2551	670	210	170	210	190	68.7	74.6	68.7	71.6
25	26/9/2551	780	170	100	70	60	78.2	87.2	91.0	92.3
29	30/9/2551	530	110	90	200	60	79.2	83.0	62.3	88.7
31	2/10/2551	340	120	50	80	70	64.7	85.3	76.5	79.4
33	4/10/2551	220	180	50	80	40	18.2	77.3	63.6	81.8
Average		868	220	179	218	118	79.4	84.6	84.1	88.8
SD		555	161	190	101	70	10.9	6.9	8.1	4.9
n		11	7	9	7	6	7	9	7	6

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.8 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการบำบัดที่การะบรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	8/10/2551	170	80	100	80	50	52.9	41.2	52.9	70.6
5	12/10/2551	1150	180	180	100	140	84.3	84.3	91.3	87.8
7	14/10/2551	1000	140	90	60	40	86.0	91.0	94.0	96.0
9	16/10/2551	980	530	160	70	70	45.9	83.7	92.9	92.9
11	18/10/2551	1350	180	180	100	140	86.7	86.7	92.6	89.6
15	22/10/2551	410	210	80	70	70	48.8	80.5	82.9	82.9
17	24/10/2551	750	620	450	540	310	17.3	40.0	28.0	58.7
19	26/10/2551	830	230	150	110	80	72.3	81.9	86.7	90.4
21	28/10/2551	760	260	100	80	60	65.8	86.8	89.5	92.1
23	30/10/2551	600	230	140	140	100	61.7	76.7	76.7	83.3
26	2/11/2551	1230	90	100	50	50	92.7	91.9	95.9	95.9
28	5/11/2551	1060	90	80	50	70	91.5	92.5	95.3	93.4
30	7/11/2551	1100	130	40	120	20	88.2	96.4	89.1	98.2
Average		876	172	102	92	63	78.7	87.7	88.9	92.2
SD		336	77	40	38	27	13.8	7.4	7.0	5.2
n		13	6	6	6	6	6	6	6	6

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.9 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการบำบัดที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	9/11/2551	450	180	90	150	160	60.0	80.0	66.7	64.4
4	12/11/2551	890	100	120	210	130	88.8	86.5	76.4	85.4
6	14/11/2551	880	340	280	60	130	61.4	68.2	93.2	85.2
10	18/11/2551	1120	190	200	70	110	83.0	82.1	93.8	90.2
12	20/11/2551	1050	90	170	60	80	91.4	83.8	94.3	92.4
14	22/11/2551	980	380	110	50	170	61.2	88.8	94.9	82.7
17	25/11/2551	1320	320	130	20	440	75.8	90.2	98.5	66.7
19	27/11/2551	1630	510	490	110	170	68.7	69.9	93.3	89.6
21	29/11/2551	1090	300	110	60	260	72.5	89.9	94.5	76.1
24	2/12/2551	600	230	140	140	100	61.7	76.7	76.7	83.3
26	4/12/2551	1760	210	210	100	200	88.1	88.1	94.3	88.6
29	7/12/2551	1000	160	130	50	210	84.0	87.0	95.0	79.0
31	9/12/2551	990	190	120	100	160	80.8	87.9	89.9	83.8
Average		1058	274	177	75	190	75.9	85.9	92.6	83.4
SD		359	119	108	34	103	9.2	5.3	5.6	5.2
n		13	7	13	11	10	7	13	11	10

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.10 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการบำบัดที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	11/12/2551	800	230	130	100	120	71.2	83.7	87.5	85.0
3	13/12/2551	970	380	370	80	250	60.8	61.9	91.8	74.2
6	16/12/2551	960	180	400	80	640	81.2	58.3	91.7	33.3
8	18/12/2551	1340	400	70	200	120	70.1	94.8	85.1	91.0
10	20/12/2551	1040	350	80	180	100	66.3	92.3	82.7	90.4
13	23/12/2551	1200	500	80	150	110	58.3	93.3	87.5	90.8
15	25/12/2551	950	600	100	180	200	36.8	89.5	81.1	78.9
18	28/12/2551	1000	210	110	70	180	79.0	89.0	93.0	82.0
20	30/12/2551	1000	340	80	150	150	66.0	92.0	85.0	85.0
22	1/1/2552	1000	130	170	140	150	87.0	83.0	86.0	85.0
24	3/1/2552	900	200	150	100	220	77.8	83.3	88.9	75.6
26	5/1/2552	1000	110	120	110	100	89.0	88.0	89.0	90.0
28	7/1/2552	1000	130	170	140	150	87.0	83.0	86.0	85.0
Average		1012	143	113	129	158	71.6	88.8	87.3	83.8
SD		132	39	38	43	40	5.0	4.4	3.5	4.8
n		13	4	10	13	6	4	10	13	6

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.11 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการบำบัดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน. ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (ก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)			
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4	ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	9/1/2552	800	230	130	100	120	71.2	83.7	87.5	85.0
3	11/1/2552	970	380	370	80	250	60.8	61.9	91.8	74.2
5	13/1/2552	960	180	400	80	640	81.2	58.3	91.7	33.3
7	15/1/2552	1340	400	70	200	120	70.1	94.8	85.1	91.0
9	17/1/2552	1040	350	80	180	100	66.3	92.3	82.7	90.4
11	19/1/2552	1200	500	80	150	110	58.3	93.3	87.5	90.8
13	21/1/2552	950	600	100	180	200	36.8	89.5	81.1	78.9
15	23/1/2552	1000	210	110	70	180	79.0	89.0	93.0	82.0
17	25/1/2552	1000	340	80	150	150	66.0	92.0	85.0	85.0
19	27/1/2552	1000	130	170	140	150	87.0	83.0	86.0	85.0
21	29/1/2552	900	200	150	100	220	77.8	83.3	88.9	75.6
24	1/2/2552	1000	110	120	110	100	89.0	88.0	89.0	90.0
26	3/2/2552	1200	500	80	150	110	58.3	93.3	87.5	90.8
28	5/2/2552	880	340	280	60	130	61.4	68.2	93.2	85.2
30	7/2/2552	1030	90	100	50	50	91.3	90.3	95.1	95.1
Average		1018	240	118	120	135	70.3	84.1	88.3	86.7
SD		137	142	59	48	48	12.9	7.3	4.0	5.7
จำนวนข้อมูล		15	8	12	15	12	8	12	15	12

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.12 แสดงค่าสภาพค้างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพค้างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)					กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)				
		น้ำ เข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3	ถึงปฏิกรณ์ที่ 4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3	ถึงปฏิกรณ์ที่ 4
1	2/9/2551	100	75	37.5	75	37.5	425	1275	1225	1200	1100
3	4/9/2551	190	100	55	50	50	500	1412.5	812.5	700	712.5
4	5/9/2551	190	60	40	60	40	450	750	650	612.5	600
9	10/9/2551	460	50	50	35	45	1000	750	537.5	425	612.5
11	12/9/2551	270	40	45	35	40	1000	625	650	762.5	725
14	15/9/2551	430	55	50	100	80	1075	900	875	900	862.5
14	17/9/2551	560	40	50	65	50	1075	850	1012.5	1000	1000
19	20/9/2551	275	80	55	60	65	800	1137.5	987.5	750	1000
22	23/9/2551	465	50	60	60	80	1187.5	1017.5	1000	1062.5	1080
25	26/9/2551	350	50	40	45	50	1137.5	1062.5	1237.5	1012.5	975
29	30/9/2551	250	35	40	35	50	1425	700	687.5	687.5	725
31	2/10/2551	430	50	45	40	45	1187.5	750	825	925	875
33	4/10/2551	460	35	40	35	50	1100	875	912.5	975	975
34	12/10/2551	360	30	30	35	35	600	625	575	625	612.5
40	14/10/2551	185	35	30	40	35	600	650	625	650	600
42	16/10/2551	360	45	90	50	55	850	687.5	600	725	812.5
44	18/10/2551	640	45	55	55	50	1050	850	950	875	887.5

ตารางที่ ก.13 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)					กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
48	22/10/2551	250	60	55	50	50	675	775	762.5	750	737.5
50	24/10/2551	345	40	40	50	45	650	900	900	900	800
52	26/10/2551	360	70	65	60	55	1050	1062.5	1125	1075	1100
54	28/10/2551	360	65	70	70	70	1100	1062.5	1087.5	1050	1062.5
56	30/10/2551	525	60	60	80	65	1200	1150	1137.5	1162.5	1100
59	2/11/2551	420	100	120	100	120	700	900	837.5	975	950
61	5/11/2551	465	55	50	45	50	787.5	812.5	775	887.5	825
63	7/11/2551	325	60	55	70	70	875	775	775	825	812.5
63	9/11/2551	225	70	55	60	60	675	800	775	787.5	775
63	12/11/2551	235	70	55	60	60	775	825	862.5	850	850
69	14/11/2551	460	70	85	100	90	1025	1150	825	887.5	850
73	18/11/2551	450	50	55	55	50	950	800	825	800	812.5
75	20/11/2551	290	50	50	55	55	650	687.5	700	712.5	675
77	22/11/2551	425	80	80	70	75	887.5	725	762.5	762.5	787.5
80	25/11/2551	425	70	70	75	70	1000	975	987.5	1025	937.5
82	27/11/2551	437.5	55	60	45	40	900	962.5	950	950	950
84	29/11/2551	500	45	50	45	40	775	875	850	900	850
87	2/12/2551	365	60	65	65	60	1175	1037.5	1025	1075	1062.5

ตารางที่ ก.13 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)					กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
89	4/12/2551	385	65	70	70	65	1050	1000	1025	1037.5	1037.5
92	7/12/2551	340	90	85	85	90	1025	1025	1175	1262.5	1240
94	9/12/2551	490	55	50	50	90	1175	1300	1287.5	1275	1275
96	11/12/2551	340	55	55	55	60	1100	1275	1237.5	1312.5	1275
98	13/12/2551	445	90	70	60	70	1225	1275	1312.5	1275	1275
101	16/12/2551	410	80	80	75	80	1150	1450	1325	1300	1237.5
103	18/12/2551	470	80	80	85	70	1387.5	1375	1350	1375	1350
105	20/12/2551	265	100	90	80	90	1275	1375	1325	1325	1325
108	23/12/2551	490	100	98	115	80	1475	1300	1250	1362.5	1337.5
110	25/12/2551	500	90	85	80	85	1450	1550	1550	1650	1575
113	28/12/2551	400	80	85	85	70	1200	1400	1487.5	1312.5	1350
115	30/12/2551	260	90	95	85	100	1500	1475	1475	1487.5	1575
117	1/1/2552	540	140	130	145	130	1450	1450	1500	1550	1575
119	3/1/2552	625	100	90	110	100	1250	1425	1475	1400	1425
121	5/1/2552	575	62.5	37.5	37.5	50	1025	1100	1275	1350	1300
123	7/1/2552	540	140	130	145	130	1450	1550	1500	1550	1575
125	9/1/2552	560	100	90	110	120	1050	1000	1025	1037.5	1037.5
127	11/1/2552	410	80	80	75	80	1150	1450	1325	1300	1237.5

ตารางที่ ก.13 แสดงค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)					กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4	น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
129	13/1/2552	540	160	60	95	85	1100	1375	1350	1375	1300
131	15/1/2552	500	110	70	95	85	1350	1325	1350	1412.5	1400
133	17/1/2552	160	110	90	100	85	1225	1325	1450	1412.5	1400
135	19/1/2552	625	65	60	70	60	1325	1462.5	1487.5	1487.5	1450
137	21/1/2552	540	160	110	275	295	1400	1400	1425	1437.5	1400
139	23/1/2552	630	110	100	110	100	1400	1450	1400	1450	1450
141	25/1/2552	440	85	90	100	85	1450	1425	1450	1425	1300
143	27/1/2552	800	75	75	85	80	1312.5	1475	1425	1450	1450
145	29/1/2552	375	87.5	75	62.5	62.5	1350	1400	1520	1450	1450
148	1/2/2552	340	90	85	85	90	1275	1375	1325	1325	1325
150	3/2/2552	490	55	50	50	90	1275	1400	1250	1462.5	1437.5
152	5/2/2552	410	80	80	75	80	1250	1350	1450	1450	1575
154	7/2/2552	625	100	90	110	100	1200	1300	1387.5	1312.5	1350

ตารางที่ ก.14 แสดงปริมาณที่เคเอ็น

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณที่เคเอ็น (มก./ล.ไนโตรเจน)				
		น้ำเข้า	ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
1	12/9/2551	68.08	55.44	36.1	42.56	35.84
7	18/9/2551	92.2	48.2	47.8	89	77.8
33	14/10/2551	259	99.75	106.75	103.25	103.25
43	24/10/2551	199.5	129.5	148.75	126	120.75
50	30/10/2551	203	178.5	185.5	185.5	171.5
56	5/11/2551	146	131.25	124.25	126	131.25
65	14/11/2551	121.5	85.75	89.25	91	96.25
72	20/11/2551	136.5	101.5	101.5	98	96.25
79	27/11/2551	175	157.5	168	157.5	157.5
94	15/12/2551	171.5	101.5	101.5	98	96.25
99	20/12/2551	136.5	101.5	101.5	98	96.25
106	27/12/2551	175	157.5	168	157.5	157.5
114	4/1/2552	303	147	213.5	194.25	157.5
121	11/1/2552	258	206.5	189	169.75	190.75
128	18/1/2552	173.25	141.75	147	150.5	140
131	21/1/2552	224	203	204.75	199.5	197.75
140	30/1/2552	238	206.5	197.75	206.5	210
147	6/2/2552	220.5	194.25	215.25	192.5	206.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.15 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่กระบวนทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีไอซี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 2 ม/ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิตรต่อวัน)			
		ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	2/9/2551	135	185	20	135
3	4/9/2551	220	305	100	320
4	5/9/2551	265	360	145	270
9	10/9/2551	270	390	365	445
11	12/9/2551	130	200	240	220
12	13/9/2551	140	420	495	375
13	14/9/2551	270	285	395	380
15	16/9/2551	270	400	475	480
16	17/9/2551	275	420	485	475
17	18/9/2551	270	390	365	445
18	19/9/2551	130	200	240	220
19	20/9/2551	140	260	260	190
20	21/9/2551	185	250	230	210
21	22/9/2551	170	250	320	270
22	23/9/2551	170	250	320	270
23	24/9/2551	135	250	255	245
24	25/9/2551	135	225	250	240
25	26/9/2551	270	285	395	380
26	27/9/2551	270	390	365	445
27	28/9/2551	130	200	240	220
28	29/9/2551	130	200	240	220
29	30/9/2551	140	215	225	200
30	1/10/2551	140	260	260	190
31	2/10/2551	185	250	230	210
32	3/10/2551	170	250	320	270
33	4/10/2551	135	250	255	245
34	5/10/2551	135	225	250	240
35	6/10/2551	210	195	192	225
ค่าเฉลี่ย		187	280	300	292
SD		60	77	92	98
n		25	25	25	25

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.16 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่กระบะบรรจุสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอซี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 2 ม/ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิตรต่อวัน)			
		ถึงปฏิกรณ์ที่1	ถึงปฏิกรณ์ที่2	ถึงปฏิกรณ์ที่3	ถึงปฏิกรณ์ที่4
1	7/10/2551	380	1312	450	1112
2	8/10/2551	370	1216	450	998
6	12/10/2551	1000	1472	1238	1254
7	13/10/2551	370	896	403	428
8	14/10/2551	450	2336	1843	2166
9	15/10/2551	1500	2240	1843	1853
10	16/10/2551	1750	2592	2016	2708
11	17/10/2551	1500	2240	1843	1853
12	18/10/2551	1000	1472	1238	1254
15	21/10/2551	720	930	950	1034
16	22/10/2551	1440	2010	1670	2432
17	23/10/2551	720	990	691	851
18	24/10/2551	2480	3450	3715	2432
20	26/10/2551	2400	3180	4262	3466
22	28/10/2551	2320	2820	2909	2614
23	29/10/2551	2240	2880	3211	2516
24	30/10/2551	2160	2940	3226	2827
25	31/10/2551	2400	3300	3168	3374
26	1/11/2551	2424	3300	3226	3405
27	2/11/2551	2160	2640	3139	2858
29	4/11/2551	2400	3240	3197	3314
30	5/11/2551	2640	3420	3398	3374
31	6/11/2551	2400	3240	3197	3314
32	7/11/2551	2160	2940	3226	2827
33	8/11/2551	2400	3240	3197	3314
ค่าเฉลี่ย		2353	3122	3313	3049
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		141	251	337	378
n		13	13	13	13

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.17 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 2 ม/ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)			
		ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	9/11/2551	3600	4635	3773	5450
3	11/11/2551	3600	4680	3312	4202
4	12/11/2551	5400	6525	5443	7821
5	13/11/2551	3600	4500	3686	4451
6	14/11/2551	5040	6030	4694	7571
10	18/11/2551	4800	6330	4838	7311
11	19/11/2551	3600	6000	3686	4451
12	20/11/2551	3840	5415	3751	5262
13	21/11/2551	4200	5910	3564	4680
14	22/11/2551	4680	5580	3456	4909
15	23/11/2551	3960	5445	4349	5075
16	24/11/2551	4620	5445	6048	7530
17	25/11/2551	4800	6435	6278	7654
18	26/11/2551	4980	7200	6048	7072
19	27/11/2551	4920	7200	6480	7030
20	28/11/2551	4680	5850	6250	5741
21	29/11/2551	4680	5850	6077	5450
23	1/12/2551	4680	5850	6250	5741
24	2/12/2551	3240	5850	5839	4992
25	3/12/2551	4896	6120	5940	5574
26	4/12/2551	3276	6030	6012	5346
28	6/12/2551	3492	5985	6048	5595
29	7/12/2551	3960	5130	6250	5522
30	8/12/2551	4428	5535	6077	5377
31	9/12/2551	4320	6300	5558	4992
ค่าเฉลี่ย		4766	6103	6082	6048
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		138	585	231	838
n		7	12	12	11

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.18 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 4 ม/ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิตรต่อวัน)			
		ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	10/12/2551	5760	4886	6912	4758
2	11/12/2551	5490	5232	4608	4680
3	12/12/2551	5340	4723	4800	4875
4	13/12/2551	5640	5146	5184	5070
5	14/12/2551	7125	7642	7680	7332
6	15/12/2551	5400	5146	5184	5265
7	16/12/2551	5400	4992	4992	5070
8	17/12/2551	5040	6528	6528	5265
9	18/12/2551	4950	6490	6528	6084
10	19/12/2551	2910	6125	6125	6383
11	20/12/2551	5000	6250	6048	5824
13	22/12/2551	2910	6125	6125	6383
14	23/12/2551	4200	5772	6048	5304
15	24/12/2551	4650	4848	4925	4797
16	25/12/2551	5200	6576	6768	6864
17	26/12/2551	5200	6576	6768	6864
18	27/12/2551	5000	4896	5837	5574
19	28/12/2551	4800	5760	6144	6084
18	29/12/2551	4650	5952	6029	6123
19	30/12/2551	4740	6067	6067	5850
20	31/12/2551	5400	7334	7680	6318
21	1/1/2552	4950	5837	6912	5291
22	2/1/2552	4700	6317	7392	5811
23	3/1/2552	4700	6317	7392	5811
24	4/1/2552	5400	7334	7680	6318
25	5/1/2552	5625	5832	5472	6240
26	6/1/2552	5250	5914	6086	5850
27	7/1/2552	5450	5837	6912	5811
28	8/1/2552	5000	5434	5846	5720
ค่าเฉลี่ย		5071	6096	6423	5967
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		315	614	708	507
n		14	21	21	21

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.19 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 7 ม/ชม.

วันที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิตรต่อวัน)			
		ถังปฏิกรณ์ที่1	ถังปฏิกรณ์ที่2	ถังปฏิกรณ์ที่3	ถังปฏิกรณ์ที่4
1	9/1/2552	3848	5456	5230	4560
2	10/1/2552	3760	6160	3670	5264
3	11/1/2552	4320	4160	3900	4160
4	12/1/2552	4030	5112	4850	4010
5	13/1/2552	3830	4912	5250	4210
6	14/1/2552	4160	4336	5090	4024
7	15/1/2552	3626	4826	4688	4032
8	16/1/2552	3952	4056	4392	4224
9	17/1/2552	3120	4082	4128	4720
10	18/1/2552	3198	4060	4056	4720
11	19/1/2552	4160	3966	4560	4128
12	20/1/2552	3380	4120	4008	4880
13	21/1/2552	4498	4708	4992	4672
14	22/1/2552	4154	4764	5008	5080
15	23/1/2552	4078	4832	5608	4832
16	24/1/2552	5434	6006	6080	5856
17	25/1/2552	4934	5258	6280	4992
18	26/1/2552	4732	5060	6016	5160
19	27/1/2552	5226	6098	6560	5568
20	28/1/2552	5648	6314	6600	6784
21	29/1/2552	5720	5280	6792	6080
22	30/1/2552	5698	6754	6840	6656
23	31/1/2552	5520	6400	6460	6112
24	1/2/2552	5360	5760	6670	6064
25	2/2/2552	5760	6160	6470	6264
26	3/2/2552	5760	6160	6670	6264
27	4/2/2552	5720	6400	6460	6112
28	5/2/2552	5700	6400	6440	6368
29	6/2/2552	5720	6320	6650	6288
ค่าเฉลี่ย		5621	6294	6601	6245
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		178	285	138	188
n		11	8	11	9

n คือ จำนวนข้อมูลเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก.20 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะผลิตก๊าซมีเทนของเม็ดตะกอนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.
ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./ชม.

เวลา (วัน)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1				ถึงปฏิกรณ์ที่ 2			
	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.9	8.6	0	8.6	8.6	11.8	0	11.8	11.8
2.0	3.9	0	3.9	12.5	11.8	0	11.8	23.6
3.0	4.9	0	4.9	17.4	11.8	0	11.8	35.4
4.0	5.3	0	5.3	22.7	6.4	0	6.4	41.8
5.0	7.5	0	7.5	30.2	2.1	0	2.1	43.9
5.7	4.4	0	4.4	34.6	0.2	0	0.2	44.1
6.7	1.2	0	1.2	35.8	-	-	-	-

ตารางที่ ก.20 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะผลิตก๊าซมีเทนของเม็ดตะกอนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัม.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.
ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./ชม. (ต่อ)

เวลา (วัน)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3				ถึงปฏิกรณ์ที่ 4			
	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0	8.3	0	8.3	8.3	9.5	0	9.5	9.5
3.0	6.2	0	6.2	14.5	7.1	0	7.1	16.6
4.0	8.8	0	8.8	23.3	9.7	0	9.7	26.3
5.0	10.1	0	10.1	33.4	9.1	0	9.1	35.4
5.7	6.4	0	6.4	39.8	4.3	0	4.3	39.7
0.9	1.2	0	1.2	41	0.7	0	0.7	40.4

ตารางที่ ก.21 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะผลิตก๊าซมีเทนของเม็ดตะกอนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัม.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.

เวลา (วัน)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1				ถึงปฏิกรณ์ที่ 2			
	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.9	10.8	0	10.8	10.8	22.1	0	22.1	22.1
2.0	6.8	0	6.8	17.6	14.5	0	14.5	36.6
3.0	6.9	0	6.9	24.5	5.4	0	5.4	42
4.0	8.4	0	8.4	32.9	2.3	0	2.3	44.3
5.0	5.4	0	5.4	38.3	1.1	0	1.1	45.4
5.7	0.1	0	0.1	38.4	0.2	0	0.2	45.6

ตารางที่ ก.21 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะผลิตก๊าซมีเทนของเม็ดตะกอนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัม.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (ต่อ)

เวลา (วัน)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3				ถึงปฏิกรณ์ที่ 4			
	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.9	16.4	0	16.4	16.4	15.7	0	15.7	15.7
2.0	13.3	0	13.3	29.7	14.3	0	14.3	30
3.0	7.8	0	7.8	37.5	8.7	0	8.7	38.7
4.0	3.7	0	3.7	41.2	3.5	0	3.5	42.2
5.0	0.9	0	0.9	42.1	1.2	0	1.2	43.4
5.70	-	-	-	-	0.5	0	0.5	43.9

ตารางที่ ก.22 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะผลิตก๊าซมีเทนของเม็ดตะกอนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัม.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.
ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.

เวลา (วัน)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1				ถึงปฏิกรณ์ที่ 2			
	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.9	12.7	0	12.7	12.7	8.7	0	8.7	8.7
1.9	14.7	0	14.7	27.4	10.9	0	10.9	19.6
2.8	9.1	1	8.1	35.5	9.9	1	8.9	28.5
3.8	4.3	1.2	3.1	38.6	8.1	1.2	6.9	35.4
5.1	2.8	1.8	1	39.6	6	1.8	4.2	39.6
6.1	1.3	1.6	0	39.3	2.2	1.6	0.6	40.2

ตารางที่ ก.22 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะผลิตก๊าซมีเทนของเม็ดตะกอนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.5 กิโลกรัม.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.
ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม. (ต่อ)

เวลา (วัน)	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3				ถึงปฏิกรณ์ที่ 4			
	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)	ปริมาณมีเทน ของตัวอย่าง (มล.)	ปริมาณมีเทน ของ Blank (มล.)	ปริมาณมีเทน ที่เกิดขึ้นจริง (มล.)	ปริมาณมีเทน สะสม (มล.)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.9	11.7	0	11.7	11.7	8.7	0	8.7	8.7
1.9	15.8	0	15.8	27.5	6.9	0	6.9	15.6
2.8	9.5	1	8.5	36	5.8	1	4.8	20.4
3.8	3.9	1.2	2.7	38.7	6.3	1.2	5.1	25.5
5.1	2.9	1.8	1.1	39.8	9.2	1.8	7.4	32.9
6.1	1.9	0	1.9	41.7	5.6	0	5.6	38.5
6.8	-	-	-	-	1.4	0	1.4	39.9



ภาคผนวก ข

การทดลองและการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) การทดสอบความสามารถจำเพาะของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ (Specific Methanogenic Activity : SMA)

มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. เตรียมเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบปริมาณ 15 ml
2. เติมสารอาหารที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวแทนของค่าซีไอดี 3,000 mg/L + สารอาหารเสริมทำการปรับพีเอชให้อยู่ในระดับที่เป็นกลาง (ประมาณ 7) โดยเพิ่มสาร NaHCO_3
3. ใส่สารอาหารที่เตรียมในข้อ 2 ในขวด serum bottle แล้วตามด้วยเมื่อดตะกอน
4. ไล่อากาศออกจากขวด ใช้ก๊าซ $\text{N}_2 : \text{CO}_2$ โดยมีสัดส่วน 70 : 30 ประมาณ 30 วินาที
5. ทำการวัดก๊าซที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ โดยมีการเก็บข้อมูลถี่ในช่วงแรก
6. จากนั้นนำไปหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของ ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น
7. เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำตะกอนออกมาหาค่า gVSS
8. นำค่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น plot กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณมีเทนสะสมกับเวลา
9. นำค่าความชันกราฟสูงสุดไปคำนวณหาค่าความสามารถจำเพาะของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์

การคำนวณ

$$\text{Specific Methanogenic Activity: (SMA)} = \frac{g\text{CH}_4 - \text{COD}}{t \times B}$$

เมื่อ

$$g\text{CH}_4 - \text{COD}/t = \text{slope Max} = \text{ค่าความชันกราฟสูงสุด}$$

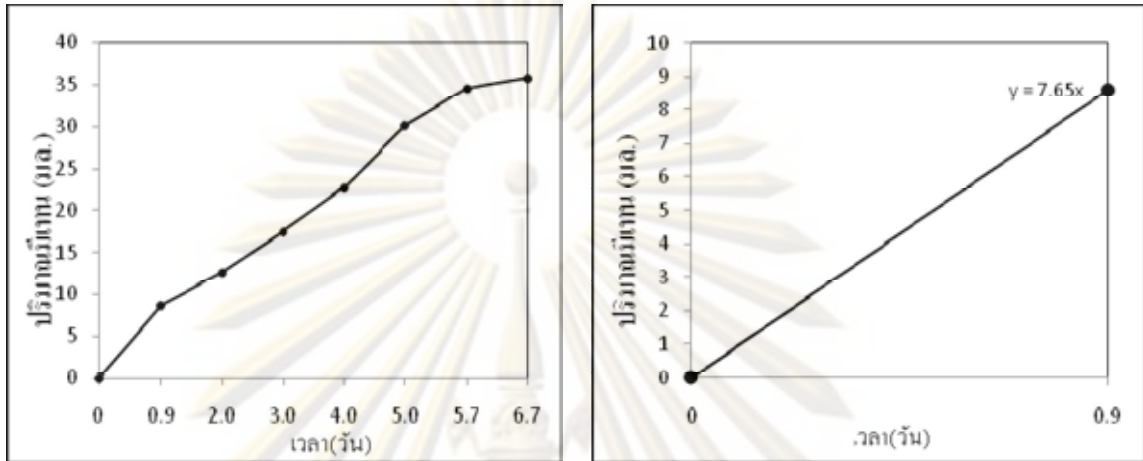
$$B = \text{Biomass in the reactor (g.VSS)}$$

$$\text{ให้ } B = 619 \text{ mg.VSS} = 0.619 \text{ g.VSS}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมีเทนสะสมกับเวลา



รูปที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมีเทนสะสมกับระยะเวลา

จากกราฟรูปที่ ข.1 จะเลือกค่าปริมาณมีเทนสะสมในช่วงที่ให้ค่าความชันกราฟสูงสุด จากกราฟจะได้ค่าความชันสูงสุด = $7.65 \text{ mlCH}_4/\text{d}$

$$1 \text{ g COD} = 350 \text{ ml CH}_4 @ 0^\circ \text{C}$$

$$1 \text{ g COD} = 388.46 \text{ ml CH}_4 @ 30^\circ \text{C}$$

นำค่าความชันกราฟที่ได้ คูณด้วย $1 \text{ gCOD} / 388 \text{ mlCH}_4$ จะได้หน่วย $\text{gCH}_4\text{-COD} / \text{t}$ แทนค่าในสมการ SMA จะได้

$$\text{SMA} = 7.65/388.46 (\text{gCH}_4\text{-COD/d}) / 0.619 \text{ gVSS}$$

$$= 0.03 \text{ gCH}_4\text{-COD/ gVSS-d}$$

2) การคำนวณอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR)

$$\text{OLR} = \frac{\text{COD} \times Q}{V}$$

เมื่อ

COD = ความเข้มข้นซีโอดีเข้าระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร

Q = อัตราป้อนน้ำเสียเข้าระบบ, ลิตรต่อวัน

V = ปริมาตรถังปฏิกรณ์, ลูกบาศก์เมตร

การคำนวณ

ที่ OLR 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ถึงปฏิกรณ์ปริมาตร 5 ลิตร ซีโอดีเข้าระบบ 2,500 มก./ล.
หาอัตราป้อนน้ำเสียเข้าระบบ

$$Q = \frac{OLR \times V}{COD}$$

$$= \frac{1 \text{ kgCOD/m}^3\text{-d} * 0.005 \text{ m}^3}{2,500 \frac{\text{mgCOD}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ kgCOD}}{1,000,000 \text{ mgCOD}}}$$

อัตราป้อนน้ำเสียเข้าระบบ = 2 ลิตรต่อวัน

3) การคำนวณความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ (Vup)

$$V_{up} = \frac{Q}{A}$$

เมื่อ

$$Q = \text{อัตราป้อนน้ำเสียเข้าระบบ, ลิตรต่อวัน}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกรณ์, ตารางเมตร}$$

การคำนวณ

ที่ความเร็วไหลขึ้น 2 เมตรต่อชั่วโมง พื้นที่หน้าตัดถังปฏิกรณ์เท่ากับ 0.0019625 ตารางเมตร
หาอัตราสูบน้ำเข้าระบบ

$$Q = A * V$$

$$= 0.0019625 \text{ m}^2 * \frac{2 \text{ m}}{\text{hr}} * \frac{24 \text{ hr}}{\text{d}}$$

$$\text{อัตราสูบน้ำเข้าระบบ} = 94 \text{ ลิตรต่อวัน}$$

ดังนั้น ที่ความเร็วไหลขึ้น 2 เมตรต่อชั่วโมง ต้องเวียนน้ำทิ้ง 94 ลิตรต่อวัน อัตราป้อนน้ำเสีย
เข้าระบบ 2 ลิตรต่อวัน อัตราการสูบน้ำเวียนกลับเท่ากับ

$$\text{อัตราการสูบน้ำเข้าระบบ} = \text{อัตราป้อนน้ำเสียเข้าระบบ} + \text{อัตราการสูบน้ำเวียนกลับ}$$

$$\text{อัตราการสูบน้ำเวียนกลับ (ลิตรต่อวัน)} = 94 \text{ (ลิตรต่อวัน)} - 2 \text{ (ลิตรต่อวัน)}$$

$$= 92 \text{ ลิตรต่อวัน}$$

$$\text{อัตราการสูบน้ำเวียนกลับ} = 92 \text{ ลิตรต่อวัน}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศราวุธ แสนโยเมือง เกิดเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2526 ที่จังหวัดลำพูน สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ เมื่อปี พ.ศ. 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย