

10062552



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาระบบบำบัดไร้อากาศแบบอีจีเอสพีสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนของไทย

โดย รศ.ดร. ขวาลิต รัตนธรรมสกุล และคณะ

พฤษภาคม 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาระบบบำบัดไร้อากาศแบบอีจีเอสพีสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนของไทย

เล่มที่ 2: การพัฒนาระบบยูเอเอสพี-อีจีเอสพีสำหรับบำบัดน้ำเสียอาคารสูงประเภทศูนย์การค้า

คณะผู้วิจัย

- รศ.ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล
- รศ.ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์
- นายทัศนะ เตียวศิริ

สังกัด

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG45-3-0006

โครงการ " การพัฒนาระบบบำบัดไร้อากาศแบบอีจีเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนของไทย"

สรุปรายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานในช่วง: ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2545 ถึงวันที่ 31 พฤศจิกายน 2547

ชื่อหัวหน้าโครงการ: รศ.ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล

ที่ทำงานและสถานที่ตั้ง: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ. พญาไท กรุงเทพฯ 10330

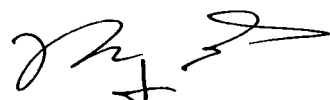
วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. พัฒนาระบบบำบัดแบบ EGSB เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของไทย
2. ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการใช้ระบบบำบัด EGSB ในการบรรลุป้าหมายมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนประเภทอาคารสูง
3. ศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ซึ่งได้แก่ ผลของชนิด granule sludge ที่ใช้เริ่มเดินระบบ เวลาพักและความเร็วไหลขึ้นที่ใช้ในถังปฏิกรณ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ที่เคเอ็นของระบบ EGSB
4. ศึกษาการดำเนินระบบ EGSB ในระยะยาว และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของลักษณะรูปร่างของแกรนูลสลัดจ์ในระบบ

รายละเอียดผลการดำเนินงานของโครงการตามแผนงานโดยสรุป

กิจกรรม (ตามแผน)	Output (ตามแผน)	Output (จากผลการดำเนินการ)
ระยะที่ 2 (เล่ม 2): ดำเนินการวิจัยใน ระยะที่ 2 การพัฒนาระบบ ยูเอเอสบี – อีจีเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสีย จากอาคารสูงประเภท ห้างสรรพสินค้า	- ศึกษาเพิ่มเติมจากที่เสนอไว้ ในแผนดำเนินงาน	- ผลการตรวจสอบ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย จากอาคารสูงประเภท ห้างสรรพสินค้าสำหรับการ เดินระบบ ยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ที่พัฒนาขึ้น แสดงให้เห็นถึง ศักยภาพในการนำระบบยูเอ เอสบี – อีจีเอสบี ไปใช้งานจริง ในการบำบัดน้ำเสียจากอาคาร สูงประเภทห้างสรรพสินค้า ต่อไป

ข้อเสนอแนะต่อ สกว. : -



รศ.ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล

หัวหน้าโครงการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์กระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพี สำหรับบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง แบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสพีเป็นระบบบำบัดขั้นต้นในกระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพี โดยจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอย ของกระบวนการอีจีเอสพีกับกระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพี ควบคุมให้ระบบยูเอเอสพีและระบบอีจีเอสพีมีความเร็วไหลขึ้น 0.8 และ 4 ม./ชม. คงที่ตลอดการทดลอง ช่วงที่ 2 ศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสพีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพี โดยจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอย ของกระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพี ที่มีความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสพีเป็น 4, 6 และ 8 ม./ชม. ควบคุมให้ระบบยูเอเอสพีมีความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. คงที่ตลอดการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียจริงจากกลุ่มอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง มีค่าซีไอดีอยู่ในช่วง 400-700 มก./ล. อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการเท่ากับ 46 ล./วัน คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในระบบยูเอเอสพีและระบบอีจีเอสพี เท่ากับ 5 และ 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ (คิดเป็นเวลาพักน้ำเสียในระบบยูเอเอสพีและระบบอีจีเอสพี เท่ากับ 3 และ 2 ชม. ตามลำดับ)

ผลการทดลองช่วงที่ 1 พบว่า กระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพี มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยสูงกว่ากระบวนการอีจีเอสพี กล่าวคือ ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพี เท่ากับ 90.5, 90.7 และ 92.2 ตามลำดับ ค่าซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง เท่ากับ 53, 31 และ 17 มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสพี เท่ากับ 78.5, 79.4 และ 65.9 ตามลำดับ ค่าซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง เท่ากับ 119, 68 และ 77 มก./ล. ตามลำดับ

ผลการทดลองช่วงที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสพี ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี ของกระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพีจะเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะลดลง กล่าวคือ เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสพีเป็น 4, 6 และ 8 ม./ชม. กระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพี จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี เท่ากับ 90.5, 91.6 และ 92.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าซีไอดีในน้ำทิ้ง เท่ากับ 53, 48 และ 45 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี เท่ากับ 90.7, 91.8 และ 92.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าบีไอดีในน้ำทิ้ง เท่ากับ 31, 27 และ 25 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 92.2, 91.4 และ 89.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเท่ากับ 17, 20 และ 24 มก./ล. ตามลำดับ

ดังนั้น กระบวนการยูเอเอสพี-อีจีเอสพี จึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยต่างก็สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์

ABSTRACT

This research was done to know the feasibility to apply UASB-EGSB process for treatment of department store wastewater that had high SS. The research was divided into two experiments. The first experiment investigated the appropriateness to employ UASB as pre-treatment system in UASB-EGSB process. Efficiencies of EGSB system alone in terms of COD, BOD and SS removal was compared to those of UASB-EGSB process. The upflow velocity of UASB and EGSB system were kept to 0.8 and 4 m/hr, respectively. The second experiment was carried out to know the effect of variation of upflow velocity to 4, 6 and 8 m/hr in EGSB system on the performance of UASB-EGSB process in terms of COD, BOD and SS removal.

The wastewater used in this research was wastewater from the MBK building having COD of 400-700 mg/l. The average feed flow rate for UASB-EGSB process was 46 l/day. The applied organic loading rate to the process were 5 and 2 kg.COD/m³-day for UASB and EGSB system, respectively. (HRTs for UASB and EGSB systems were 3 and 2 hours, respectively.)

The first experiment indicated that the efficiencies of UASB-EGSB process were higher than those of EGSB process in terms of COD, BOD and SS removal. The efficiencies of UASB-EGSB process for removal COD, BOD and SS were 90.5, 90.7 and 92.2 %, respectively. And the effluent had 53 mg.COD/l, 31 mg.BOD/l and 17 mg.SS/l. The efficiencies of EGSB process for removal COD, BOD and SS were 78.5, 79.4 and 65.9 %, respectively. And the effluent had 119 mg.COD/l, 68 mg.BOD/l and 77 mg.SS/l.

The second experiment indicated that the increasing upflow velocity in EGSB system did increase the COD and BOD removal efficiencies. However, did decrease the SS removal efficiency. The upflow velocity of EGSB system at 4, 6 and 8 m/hr gave removal efficiencies in terms of COD to be 90.5, 91.6 and 92.2%, respectively; in terms of BOD to be 90.7, 91.8 and 92.5%, respectively; in terms of SS to be 92.2, 91.4 and 89.7%, respectively. The effluent COD were 53, 48 and 45 mg/l, respectively. The effluent BOD were 31, 27 and 25 mg/l, respectively. The effluent SS were 17, 20 and 24 mg/l, respectively.

Therefore, UASB-EGSB Process can be a good choice for domestic wastewater treatment using anaerobic system. The efficiency of process for removal of all COD, BOD and SS were higher than 90%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเห็นคุณค่าและสนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณบุคลากรในแผนกสาขาภิบาลและดับเพลิง ฝ่ายวิศวกรรมอาคารมานูญครอง เซ็นเตอร์ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้น้ำเสียมาใช้ในการวิจัย และให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสีย

ขอขอบคุณโรงงานเส้นไหมช่อแฮ ที่ให้ความอนุเคราะห์นำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของโรงงานทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำเสียชุมชน.....	4
2.1.1 องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน.....	4
2.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชน.....	5
2.1.3 ปริมาณน้ำเสียชุมชน.....	6
2.2 กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	7
2.3 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB).....	12
2.3.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี.....	12
2.3.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	12
2.3.3 ข้อดีข้อเสียของระบบยูเอเอสบี.....	14
2.3.4 ประเภทของ Granular Sludge ในถังยูเอเอสบี.....	15
2.3.5 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	15
2.3.6 ความสำคัญของ Extracellular Polymers (ECP) ต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.7 กระบวนการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	19
2.3.8 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	21
2.3.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	21
2.4 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB).....	26
2.4.1 ความเป็นมาของระบบอีจีเอสบี.....	26
2.4.2 ลักษณะและการทำงานของระบบอีจีเอสบี.....	26
2.4.3 คุณสมบัติของระบบอีจีเอสบี.....	27
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
2.5.1 การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและน้ำเสียชุมชน ด้วยระบบยูเอเอสบี.....	30
2.5.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและน้ำเสียชุมชน ด้วยระบบอีจีเอสบี.....	33
2.5.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบ 2 ขั้นตอน.....	34
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	36
3.1 แผนการทดลอง.....	36
3.2 การเตรียมน้ำเสีย.....	37
3.2.1 ลักษณะของน้ำเสีย.....	37
3.2.2 วิธีการเตรียมน้ำเสีย.....	38
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	38
3.4 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน.....	39
3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ.....	44
3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	45
3.7 การควบคุมการทดลอง.....	46
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	47
4.1 การดำเนินการทดลอง.....	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2	ศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ในระบบการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี (การทดลองช่วงที่ 1).....	48
4.3	การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	57
4.4	ผลของความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีต่อประสิทธิภาพของ ระบบการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี (การทดลองช่วงที่ 2).....	61
4.5	การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี.....	72
4.6	พารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบ.....	75
4.7	การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพโดยเปรียบเทียบกับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	86
4.8	ความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity, SMA).....	98
4.9	ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	103
4.10	การกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์.....	116
4.11	โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	117
4.12	ความเป็นไปได้ในการใช้ระบบการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง.....	119
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	121
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	121
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	123
รายการอ้างอิง.....		124
ภาคผนวก.....		128
ภาคผนวก ก	ข้อมูลพารามิเตอร์ในงานวิจัย.....	129
ภาคผนวก ข	การหาค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (SMA).....	152

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ลักษณะน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆของชุมชนในประเทศไทย.....	5
ตารางที่ 2.2	อัตราน้ำเสียและปริมาณบีโอดีจากอาคารในประเทศไทย.....	6
ตารางที่ 3.1	แผนการทดลองในช่วงที่ 1.....	36
ตารางที่ 3.2	แผนการทดลองในช่วงที่ 2.....	37
ตารางที่ 3.3	ลักษณะน้ำเสียจากกลุ่มอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง.....	37
ตารางที่ 3.4	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	44
ตารางที่ 3.5	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตลอดการทดลอง.....	45
ตารางที่ 4.1	ขั้นตอนการวิจัย.....	47
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบ จากผลการทดลอง ช่วงที่ 1.....	55
ตารางที่ 4.3	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอย ของกระบวนการอีจีเอสบี และกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	56
ตารางที่ 4.4	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของกระบวนการอีจีเอสบีกับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	57
ตารางที่ 4.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของกระบวนการอีจีเอสบี กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	59
ตารางที่ 4.6	ค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการอีจีเอสบี กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	59
ตารางที่ 4.7	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบ จากผลการทดลอง ช่วงที่ 2.....	69
ตารางที่ 4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบี ที่มีความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ.....	70
ตารางที่ 4.9	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดีและของแข็งแขวนลอยของกระบวนการ ยูเอเอสบี-อีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีมีค่าต่างๆ.....	71
ตารางที่ 4.10	การขยายตัวของชั้นตะกอนลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี.....	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบ	
ในการทดลองช่วงที่ 1.....	85
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบ	
ในการทดลองช่วงที่ 1.....	85
ตารางที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเทียบกับชีโอดีที่ถูกกำจัด.....	91
ตารางที่ 4.14 ปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 1.....	95
ตารางที่ 4.15 ปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 2.....	96
ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	
ในระบบยูเอเอสบี.....	108
ตารางที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	
ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....	109
ตารางที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	
ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....	109
ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบีกับกระบวนการ	
อีจีเอสบีและกระบวนการยูเอเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า.....	119
ตารางที่ 4.20 ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยกระบวนการ	
ยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	120

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ปฏิกริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย.....	7
รูปที่ 2.2	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	9
รูปที่ 2.3	ชนิดของสารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอน hydrolysis และเอนไซม์ที่ใช้.....	11
รูปที่ 2.4	ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี.....	13
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ UASB ที่บำบัดน้ำเสียกลูโคส.....	16
รูปที่ 2.6	โครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต.....	17
รูปที่ 2.7	บทบาทของประจุไฟฟ้าและ ECP ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของเซลล์แบคทีเรีย.....	19
รูปที่ 2.8	กลไกการเคลื่อนไหวต่างๆที่มีผลต่อการรวมตัวของเซลล์แบคทีเรีย.....	19
รูปที่ 2.9	กลไกของการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ (Schmidt และ Ahring, 1995).....	20
รูปที่ 2.10	แผนผังส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี.....	27
รูปที่ 3.1	แบบจำลองดังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี.....	40
รูปที่ 3.2	แบบจำลองดังปฏิกรณ์อีจีเอสบี.....	41
รูปที่ 3.3	อุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำ.....	42
รูปที่ 3.4	การติดตั้งกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	42
รูปที่ 3.5	แผนผังการทำงานของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	43
รูปที่ 4.1	การกำจัดซีโอดีในการทดลองช่วงที่ 1.....	49
รูปที่ 4.2	การกำจัดบีโอดีในการทดลองช่วงที่ 1.....	51
รูปที่ 4.3	การกำจัดของแข็งแขวนลอยในการทดลองช่วงที่ 1.....	53
รูปที่ 4.4	การกำจัดทีเคเอ็นในการทดลองช่วงที่ 1.....	54
รูปที่ 4.5	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบีและกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	56
รูปที่ 4.6	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบีกับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของกระบวนการอีจีเอสบี กับกระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี.....	60
รูปที่ 4.8 การกำจัดซีไอดีในการทดลองช่วงที่ 2.....	63
รูปที่ 4.9 การกำจัดบีไอดีในการทดลองช่วงที่ 2.....	64
รูปที่ 4.10 การกำจัดของแข็งแขวนลอยในการทดลองช่วงที่ 2.....	66
รูปที่ 4.11 การกำจัดทีเคเอ็นในการทดลองช่วงที่ 2.....	68
รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ.....	70
รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการ ยูเอเอสบี - อีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีมีค่าต่างๆ.....	72
รูปที่ 4.14 ความสูงของการขยายตัวของชั้นตะกอนที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ.....	73
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ กับความเร็วไหลขึ้น.....	73
รูปที่ 4.16 ผลของการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ.....	74
รูปที่ 4.17 ค่าอุณหภูมิภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 1.....	76
รูปที่ 4.18 ค่าอุณหภูมิภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 2.....	76
รูปที่ 4.19 ค่าสภาพต่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 1.....	77
รูปที่ 4.20 ค่าสภาพต่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 2.....	77
รูปที่ 4.21 ค่ากรดไขมันระเหยในการทดลองช่วงที่ 1.....	79
รูปที่ 4.22 ค่ากรดไขมันระเหยในการทดลองช่วงที่ 2.....	79
รูปที่ 4.23 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 1.....	81
รูปที่ 4.24 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 2.....	81
รูปที่ 4.25 ค่าพีเอชในการทดลองช่วงที่ 1.....	82
รูปที่ 4.26 ค่าพีเอชในการทดลองช่วงที่ 2.....	82
รูปที่ 4.27 ค่าไออาร์พีภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 1.....	84
รูปที่ 4.28 ค่าไออาร์พีภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 2.....	84

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น.....	90
รูปที่ 4.30 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองช่วงที่ 1.....	92
รูปที่ 4.31 อัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 1.....	93
รูปที่ 4.32 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองช่วงที่ 2.....	94
รูปที่ 4.33 อัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 2.....	95
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้กับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด.....	96
รูปที่ 4.35 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....	98
รูปที่ 4.36 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น จาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....	99
รูปที่ 4.37 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น จาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....	99
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....	100
รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....	101
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....	101
รูปที่ 4.41 การเปรียบเทียบค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี กับระบบอีจีเอสบี.....	102
รูปที่ 4.42 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ.....	103
รูปที่ 4.43 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....	104
รูปที่ 4.44 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.).....	105

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.).....	106
รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....	110
รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....	110
รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....	111
รูปที่ 4.49 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี.....	112
รูปที่ 4.50 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....	113
รูปที่ 4.51 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น จาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....	113
รูปที่ 4.52 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น จาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....	114
รูปที่ 4.53 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ตามความลึกของถังปฏิกรณ์ในระบบยูเอเอสบี และอีจีเอสบี.....	116
รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ของโครงสร้างแบบคที่เรียบบริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	118

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

ในปัจจุบันนี้ได้มีความพยายามที่จะใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ บำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ เพื่อแทนการใช้ระบบบำบัดแบบใช้อากาศซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมากในการเดินระบบ ซึ่งหากสามารถนำระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมาบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานได้ โดยระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่มีการกล่าวถึงกันมากที่สุด ซึ่งระบบยูเอเอสบีเป็นระบบที่สามารถป้องกันมิให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแบบอื่น เนื่องจากจุลินทรีย์จะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี โดยได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า ส่วนใหญ่ยังไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีพอที่จะทำให้คุณภาพน้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากลักษณะของน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของซีโอดีต่ำมาก ทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารมีน้อย ส่งผลให้มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อย ทำให้เกิดการกวนผสมภายในชั้นสลัดจ์ไม่เพียงพอ และการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์เกิดขึ้นไม่ทั่วถึง ซึ่งต่อมาได้มีการคิดค้นและทำการพัฒนาระบบยูเอเอสบี โดยการศึกษาถึงผลของค่าการะบรทุกทางชลศาสตร์จากการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำทิ้ง โดยเรียกระบบนี้ว่า อีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB) ซึ่งระบบนี้มีลักษณะของชั้นสลัดจ์ที่ขยายตัวมากกว่าระบบยูเอเอสบี ส่งผลให้การสัมผัสระหว่างน้ำเสียและจุลินทรีย์เป็นไปอย่างทั่วถึง ซึ่งมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ แต่มีประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดของแข็งแขวนลอยและคอลลอยด์ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเกิดการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยเมื่อความเร็วในการไหลขึ้นมีค่าสูง ดังนั้นเมื่อใช้ระบบอีจีเอสบีมาบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง จะทำให้เกิดปัญหาของแข็งแขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำทิ้งได้

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยการใช้กระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี ซึ่งเป็นการนำระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบีมาใช้งานร่วมกัน โดยเป็นการนำข้อดีของระบบยูเอเอสบีที่สามารถดักอนุภาคของแข็งแขวนลอยไว้ได้ดี ซึ่งจะช่วยลดการหลุดออกของอนุภาคของแข็งแขวนลอย และข้อดีของระบบอีจีเอสบีที่มีประสิทธิภาพในการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ได้สูงมาใช้ร่วมกัน โดยให้ระบบยูเอเอสบี

เป็นระบบบำบัดขั้นต้น ทำหน้าที่ในการดักจับของแข็งแขวนลอยและคอลลอยด์ และเกิดการย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำ หลังจากนั้นจะให้ระบบอีจีเอสบีทำหน้าที่ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เหลือ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ในกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า
2. ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ที่มีความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีเปลี่ยนไป
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ในระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี ในระหว่างการเดินระบบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีขนาด 5.73 ลิตร ถึงปฏิกรณ์อีจีเอสบีขนาด 3.80 ลิตร ทำการติดตั้งระบบและเดินระบบที่บริเวณชั้นใต้ดินของอาคาร 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และใช้น้ำเสียจริงจากกลุ่มอาคารศูนย์การค้า มานูนครอง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

การทดลองช่วงที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า โดยควบคุมให้ระบบยูเอเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. และระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. คงที่ตลอดการทดลอง ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 60 วัน

การทดลองช่วงที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี โดยให้ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้นเป็น 4, 6 และ 8 ม./ชม. ในขณะที่ควบคุมให้ระบบยูเอเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. คงที่ตลอดการทดลอง ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 60 วัน

ในระหว่างการเดินระบบจะมีการเก็บตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากกระบวนการยูเอเอสบี และอีจีเอสบี เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า
2. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ที่มีความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีเปลี่ยนไป
3. ทำให้ทราบถึงผลของความเร็วไหลขึ้นในระบบต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ
4. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพ ของการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า ด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater)

น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่างๆ เป็นต้น

2.1.1 องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน (พูนศิริ สินธุรัตน์, 2543)

เกิดจากบ้านพักอาศัยประกอบไปด้วยน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

- 1) สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ชั้นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลง เกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย
- 2) สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คลอไรด์, ซัลเฟต เป็นต้น
- 3) โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น พรอท โคเรเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น
- 4) ไขมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพที่ไม่น่าดู
- 5) ของแข็ง เมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำ ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง มีผลกระทบต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ
- 6) สารก่อให้เกิดฟอง/สารชักฟอง ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่ น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

- 7) จุลินทรีย์ น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋อง จะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากจุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต สามารถลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล
- 8) ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae Bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ
- 9) กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน หรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

2.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชน (พูนศิริ สินธุรัตน์, 2543)

สิ่งเจือปนหลักในน้ำเสียชุมชนเป็นสารอินทรีย์มีทั้งที่อยู่ในรูปสารละลาย และไม่ละลาย ลักษณะน้ำเสียชุมชนแปรเปลี่ยนไปตามชนิดอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆของชุมชนในประเทศไทย
(ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2536)

ประเภทอาคาร	pH	TS (mg/l)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)
สถานที่ราชการ	7.1 - 7.3	312 — 718	25 - 28	8 - 27	13.9 - 17.08
อาคารชุด	7.1 - 7.6	596 - 712	44 - 194	34 - 163	24
โรงแรม	7.0 - 7.8	494 - 534	16 - 84	14 - 190	15.4 - 55
โรงพยาบาล	7.4 - 8.0	740 - 1,020	25 - 69	21 - 170	8.40 - 23.0
อาบอบนวด	6.62	-	11.7	44.6	14.2 - 27.6
ตลาด	6.5 - 6.7	1,878 - 1,973	242 - 551	487 - 112	14
ศูนย์การค้า	7.51	2,814—	61	1,503	18.1
โรงเรียน	6.8 - 7.2	3,670	58	81	55.1 - 84.5
หอพัก	7.78	3,242	29	94 - 106	66.8
สะพานปลา	6.1	732	2,260	75	24 - 34.3
บ้านจัดสรร	7.4	588	34	38	53.9 - 71.3
		1,925			

2.1.3 ปริมาณน้ำเสียชุมชน (พูนศิริ สินธุรัตน์, 2543)

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำเสียชุมชน ได้แก่

- มาตรฐานการครองชีพ กล่าวคือ ประชาชนที่มีรายได้สูงมักใช้ และผลิตน้ำเสียมากกว่า ผู้มีรายได้ต่ำ เนื่องจากมักมีกิจกรรมอุปโภคบริโภคอำนวยความสะดวก เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ รถยนต์ เป็นต้น
- ระบบน้ำประปา คือ ในบริเวณพื้นที่ซึ่งมีการบริการน้ำประปาอย่างสมบูรณ์จะทำให้การใช้น้ำ และการเกิดน้ำเสียมีอัตราสูงกว่าพื้นที่ซึ่งมีการประปาไม่สมบูรณ์ เช่น น้ำประปาไหลบางชั่วโมงในหนึ่งวัน เป็นต้น
- การส่งเสริมให้มีการประหยัดการใช้น้ำ จะส่งผลให้อัตราการเกิดน้ำเสียมีค่าลดลง

ตามปกติ จากการสำรวจ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ, 2536) พบว่า อัตราการเกิดน้ำเสียจะมีค่าประมาณร้อยละ 70 – 80 ของปริมาณน้ำใช้ นอกจากนี้ ยังพบว่าน้ำเสียที่ระบายเข้าสู่ท่อระบายน้ำมีอัตราแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นกับพฤติกรรมของชุมชนนั้นๆ เช่น ในกรุงเทพมหานคร ประชาชนส่วนใหญ่ใช้บ่อเกรอะ – บ่อซึม ในการรองรับน้ำเสียจากส้วม ทำให้น้ำเสียที่ไหลลงท่อระบายน้ำมีอัตราน้ำเสียที่ได้มีการรวบรวมไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.2

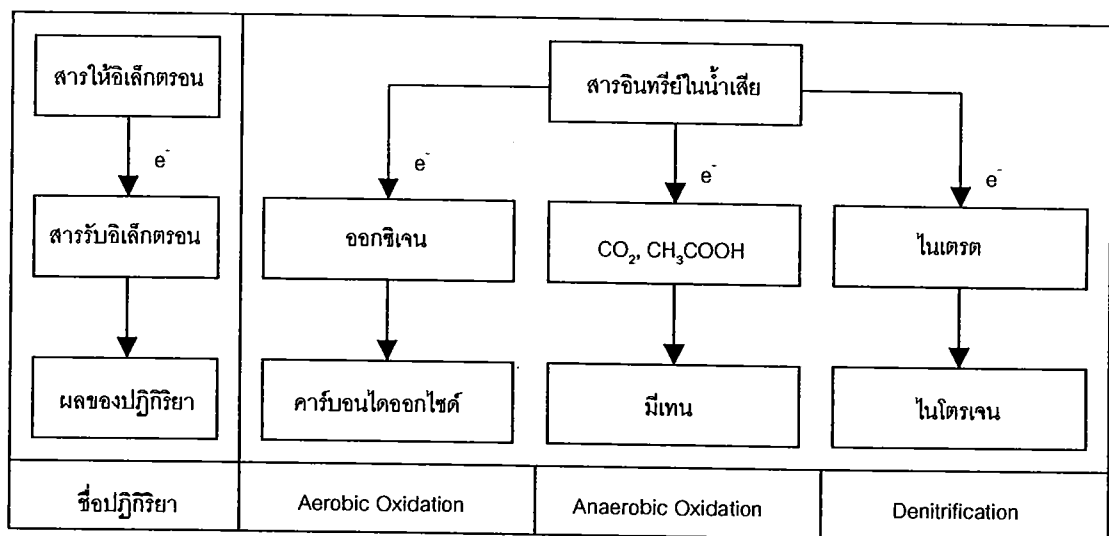
ตารางที่ 2.2 อัตราน้ำเสียและปริมาณบีโอดีจากอาคารในประเทศไทย

(ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ, 2536)

แหล่งที่มา	หน่วย	อัตราน้ำเสีย (ลิตร/วัน – หน่วย)	ปริมาณบีโอดี (กรัม/วัน - หน่วย)
ภัตตาคาร	ตร.ม	25	53
โรงแรม	เตียง	1,061	123
หมู่บ้านจัดสรร	คน	179	12.6
สำนักงาน	ตร.ม	2.54	0.09
ห้างสรรพสินค้า	ตร.ม	4.6	0.27
โรงพยาบาล	เตียง	800	94
ตลาด	ตร.ม	69	21
หอพัก	ห้อง	78	76

2.2 กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้อากาศหรือไม่ใช้อากาศ จะมีลักษณะเดียวกัน คือ เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชัน – รีดักชัน หรือรีดอกซ์ โดยเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้และสารรับอิเล็กตรอน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วสารให้อิเล็กตรอนในน้ำเสียมักจะเป็นสารอินทรีย์ ในขณะที่สารรับอิเล็กตรอนในน้ำเสียมักจะเป็นสารอย่างอื่นที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ เช่น ออกซิเจน, ไนเตรต, ซัลเฟต เป็นต้น เมื่อเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์ จะได้พลังงานขึ้นมาจำนวนหนึ่ง โดยพลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อน และอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการดำรงชีวิตและสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้นสารอินทรีย์จึงเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ เนื่องจากในน้ำเสียมีสารรับอิเล็กตรอนอยู่หลายชนิด ทำให้ผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็ต่างกันไปด้วย เช่น ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบใช้อากาศ แต่ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอื่น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, ไนเตรต เป็นต้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบไม่ใช้อากาศ โดยรายละเอียดของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสีย แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย (มันสิน ตันทุลเวศน์, 2542)

จะเห็นได้ว่า ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศต่างจากแบบใช้อากาศตรงที่สารรับอิเล็กตรอนไม่ใช่ออกซิเจนแต่เป็นสารรับอิเล็กตรอนอื่นๆในน้ำเสีย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจน เป็นต้น ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสารรับอิเล็กตรอน โดยสิ่งที่จะกำหนดว่าจะมีปฏิกริยาชนิดใดเกิดขึ้นก่อน คือ สภาพน้ำเสียในขณะนั้นว่า มีสารให้และรับอิเล็กตรอนชนิดใดในน้ำเสีย พี่เอช และอุณหภูมิเท่าใด เช่น เมื่อพิจารณาแหล่งน้ำแห่งหนึ่งที่มีอุณหภูมิ, พี่เอช, ปริมาณสารอาหารและปริมาณสารอินทรีย์อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีระดับน้ำไม่สูงมากนัก ออกซิเจนสามารถละลายลงไปในดินตะกอนได้น้ำบริเวณผิวดอนบนได้ บริเวณนี้จะมีจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนอาศัยอยู่ ดำรงชีพด้วยการใช้สารอินทรีย์ในน้ำบริเวณนั้นเป็นสารอาหาร ขณะที่จุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ เนื่องจากการใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอน จะได้พลังงานสูงกว่าการใช้สารอื่นเป็นสารรับอิเล็กตรอน ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มอื่นเจริญเติบโตและแย่งใช้สารอินทรีย์ในน้ำสู้กับพวกที่ใช้ออกซิเจนไม่ได้ ขณะที่ในดินที่ลึกลงไปออกซิเจนในน้ำเริ่มลดลง จุลินทรีย์กลุ่มอื่นจะเจริญเติบโตขึ้นมาแทนที่

กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เป็นระบบที่ซับซ้อนมีจุลินทรีย์หลายกลุ่มอาศัยอยู่ร่วมกัน โดยความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีทั้งแบบพึ่งพาอาศัยกันและแบบแข่งขันกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูป เนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มต่อกัน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่ง จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง เกิดเป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถใช้โดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่ใช้สารอาหารชนิดเดียวกัน ก็จะเป็นความสัมพันธ์แบบแข่งขันกัน จุลินทรีย์หลายกลุ่มที่อาศัยอยู่ในน้ำเสีย จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปต่างๆ เช่น มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจน เป็นต้น แต่สารอินทรีย์ในระบบจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มใด และถูกใช้ในสัดส่วนเท่าใดขึ้นกับปัจจัยต่างๆมากมาย โดยเฉพาะปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลให้จุลินทรีย์กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเด่นที่สุดในระบบ หากพิจารณาในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศโดยทั่วไปที่ผลิตมีเทน จุลินทรีย์ที่โดดเด่น คือ แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ทำงานร่วมกัน โดยมีผลิตภัณฑ์หลักของระบบ คือ ก๊าซมีเทน

กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเกิดขึ้น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : Hydrolysis

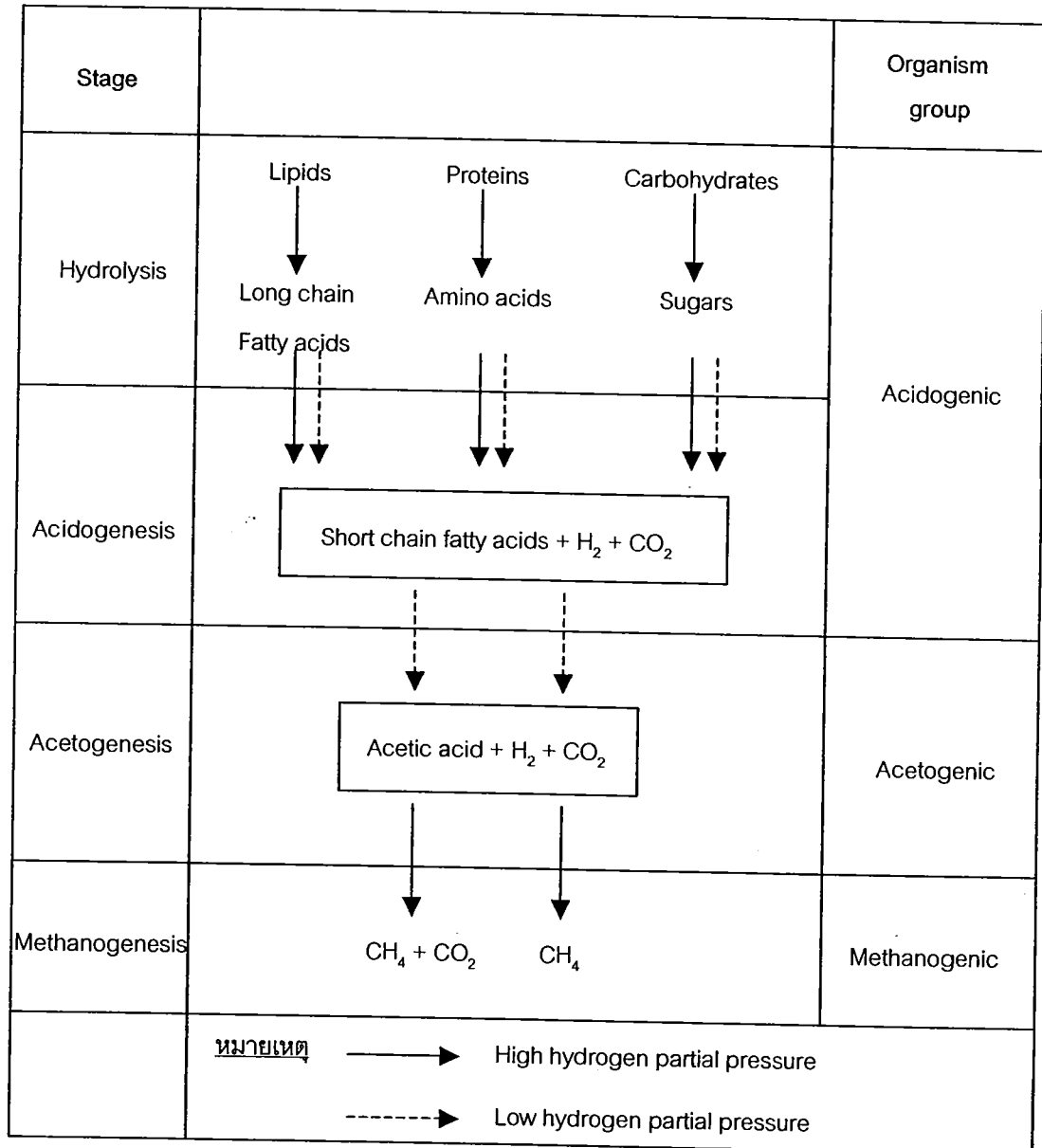
ขั้นตอนที่ 2 : Acidogenesis

ขั้นตอนที่ 3 : Acetogenesis

ขั้นตอนที่ 4 : Methanogenesis

ซึ่งทั้ง 4 ขั้นตอน จะมีแบคทีเรีย 3 กลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรียสร้างอะซิเตต แบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างมีเทน อาศัยการทำงานร่วมกัน

ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ แสดง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ
(Sam-soon และคณะ, 1987)

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นต้น ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำตาล และกรดอะมิโน เป็นต้น โดยแบคทีเรียหลายจำพวกซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกแบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียเหล่านี้ปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ ซึ่งจะลดพลังงานกระตุ้นเป็นการช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยาและสารที่ทำปฏิกิริยา ดังนั้นเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ จึงขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสีย เช่น แป้งและไกลโคเจน ต้องใช้อะไมเลส (Amylase) ไขมันและไลปิด ต้องใช้ไลเปส (Lipase) โปรตีน ต้องใช้โปรตีเอส (Protease) เป็นต้น ชนิดของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอน Hydrolysis และเอนไซม์ที่ใช้ แสดงดังรูปที่ 2.3

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)

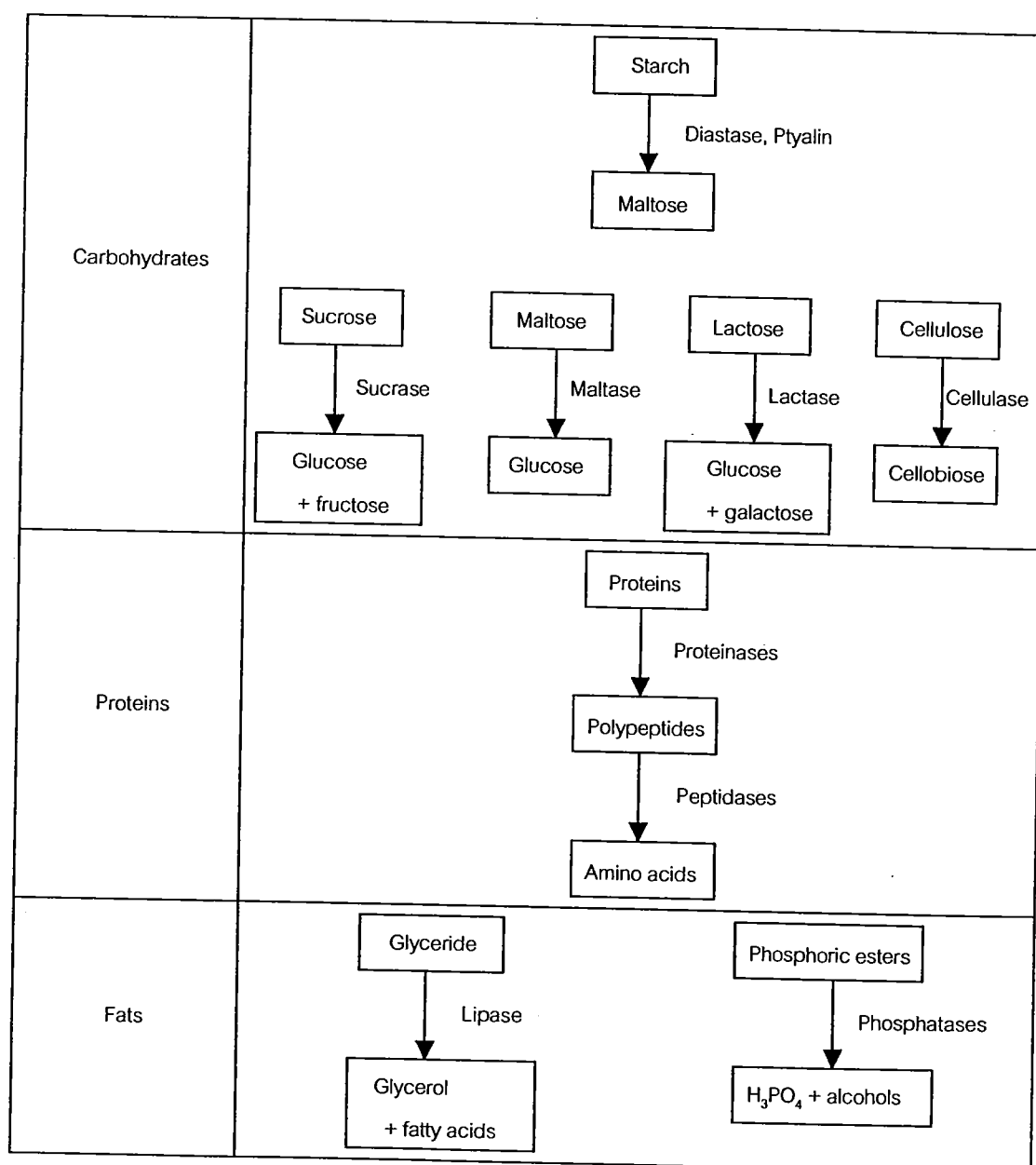
ผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำตาล ไขมัน และกรดอะมิโน เป็นต้น ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน โดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) ภายในเซลล์แล้วเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย โดยชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสารอินทรีย์ และความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนในขณะนั้น ตัวอย่าง เช่น ที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ กรดไขมันจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน แต่ที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง กรดไขมันจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทิริก

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

แบคทีเรียสร้างอะซิเตต มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยและขั้นตอนการสร้างมีเทน กล่าวคือ กรดไขมันระเหยที่ผลิตขึ้นจากขั้นตอนที่ 2 จะเป็นสารอาหารให้แบคทีเรียกลุ่มที่ทำหน้าที่สร้างมีเทน แต่เนื่องจากว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิกเป็นสารอาหารได้ จึงต้องอาศัยแบคทีเรียสร้างอะซิเตต ทำการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติก เพื่อให้แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ต่อไป ในขั้นตอนนี้จะได้ไฮโดรเจนด้วย ซึ่งขั้นตอนนี้ จะเกิดได้เฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำเท่านั้น เนื่องจากว่า กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติกและไฮโดรเจน จะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทนใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานสร้างก๊าซมีเทนออกมา ซึ่งสารอื่นนอกเหนือจากกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนแล้ว มีเพียง เมทานอลและเมทิลลามีนเท่านั้น ที่สามารถถูกใช้โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนกรดไขมันระเหยและสารอื่นๆที่ได้จะหลุดออกไปกับน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัด



รูปที่ 2.3 ชนิดของสารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอน hydrolysis และเอนไซม์ที่ใช้ (Sawyer และ McCarty, 1978)

2.3 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)

2.3.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี

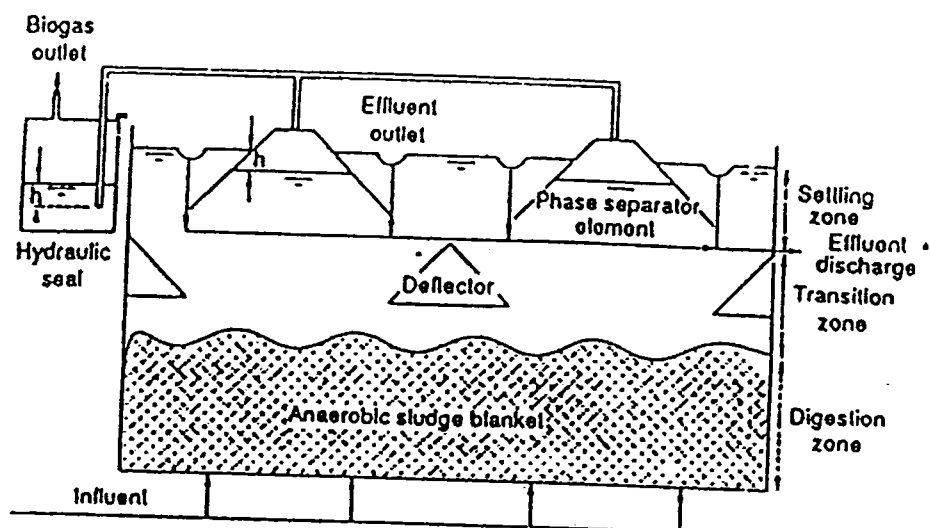
ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งได้มีการพัฒนาขึ้นมาในเวลาไม่นานนัก โดย Lettinga และคณะ (1980) ได้พัฒนาระบบยูเอเอสบีโดยการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกิดการรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดี พร้อมทั้งได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยในการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ เรียกว่า อุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas – solid separator, GSS) ทำให้ระบบยูเอเอสบีสามารถเก็บกักจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ดี ซึ่งระบบนี้จะป้อนน้ำเสียเข้าทางส่วนล่างสุดของถังยูเอเอสบี โดยให้มีทางเข้าหลายๆจุดกระจายตามพื้นที่หน้าตัดของบ่อ ตะกอนจุลินทรีย์ที่รวมตัวกันเป็นเม็ดที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากสามารถตกตะกอนได้ดี จะตกตะกอนลงมาบริเวณส่วนล่างสุดของถังยูเอเอสบี ซึ่งบริเวณส่วนล่างนี้จะเรียกว่า ชั้น Sludge Bed ในขณะที่บริเวณเหนือชั้น Sludge Bed ขึ้นไป จะเป็นชั้นตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดเล็กตกลงมา ซึ่งเรียกว่า ชั้น Sludge Blanket เป็นชั้นที่ตะกอนมีความสามารถในการตกตะกอนได้น้อยกว่าในชั้น Sludge Bed ส่วนบนของถังยูเอเอสบีจะมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ เพื่อช่วยในการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ ทำให้มีการสะสมของตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณส่วนล่างของถัง และมีอายุตะกอนสูง ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง นอกจากนั้น Heertjes และ van der Meer (1983) กล่าวว่า ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังยูเอเอสบีเมื่อลอยตัวขึ้นสู่ส่วนบนของถังจะช่วยให้เกิดการกวนผสมที่ดีภายในชั้นสลัดจ์

2.3.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีการปล่อยน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังยูเอเอสบี และไหลขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์โดยไม่มีสารตัวกลางมาช่วยในการพองมวลจุลินทรีย์ ลักษณะทั่วไปของถังยูเอเอสบีจะเป็นถังรูปทรงสี่เหลี่ยม หรือรูปทรงกระบอกก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- 1) ส่วนที่เป็นถังหมักและระบบป้อนน้ำเสียอยู่ที่ส่วนล่างของถังยูเอเอสบี
- 2) ส่วนที่เป็นถังตกตะกอนอยู่ที่ส่วนบนของถังยูเอเอสบี โดยจะมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยแผ่นกั้นเอียงทำมุมประมาณ 45-60 องศา (Lettinga และ Hulshoff Pol, 1986)

น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าทางส่วนล่างของถังยูเอเอสบี โดยผ่านระบบกระจายน้ำเสีย เพื่อให้การกระจายของน้ำเสียเป็นไปอย่างทั่วถึง เมื่อน้ำเสียไหลผ่านชั้นตะกอนจุลินทรีย์จะเกิดการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ เกิดเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซเหล่านี้จะเกาะติดอยู่กับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ประกอบกับความเร็วของน้ำเสียที่ไหลขึ้น ทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นสู่ด้านบน เป็นการช่วยให้เกิดการสัมผัสที่ทั่วถึงระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นสู่ส่วนบนของถัง จะเกิดการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ ออกจากกัน ด้วยอุปกรณ์แยกสามสถานะ กล่าวคือ น้ำเสียจะปะทะกับแผ่นกั้น ก๊าซที่เกาะมากับกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์จะถูกแยกออก โดยจะลอยตัวขึ้นไปยังส่วนบนผ่านท่อเก็บก๊าซเพื่อลำเลียงก๊าซที่ได้ไปยังอุปกรณ์เก็บก๊าซ น้ำเสียจะถูกแยกออกจากตะกอนจุลินทรีย์และไหลล้นออกไปนอกถังยูเอเอสบี ส่วนตะกอนจุลินทรีย์จะถูกดักไว้และตกลงไปยังส่วนล่างของถังยูเอเอสบี ซึ่งส่วนใหญ่แล้วการที่ระบบล้มเหลวเนื่องมาจากการที่ไม่สามารถสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ และตกตะกอนได้ดี ได้มากเพียงพอ ทำให้เกิดการหลุดออกไปของจุลินทรีย์พร้อมกับน้ำทิ้ง เพราะการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้จับตัวกันเป็นเม็ดเป็นเรื่องยาก และใช้เวลานาน



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี (van Haandel และ Lettinga, 1994)

2.3.3 ข้อดีข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

ข้อดี ได้แก่

- 1) สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบไม่ใช้อากาศแบบอื่น
- 2) ใช้พลังงานเดินระบบต่ำเพราะไม่มีการเติมอากาศและไม่ใช้เครื่องจักรกล
- 3) ปริมาณสลัดจ์ที่ต้องกำจัดจากระบบน้อยกว่าแบบใช้อากาศ
- 4) ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าระบบใช้อากาศ
- 5) การก่อสร้างและควบคุมระบบสามารถกระทำได้ง่ายและมีราคาถูก
- 6) ก๊าซมีเทนที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้
- 7) สามารถป้องกันมิให้จุลินทรีย์ หลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแบบอื่น
- 8) มีความเหมาะสมที่จะใช้ในระบบบำบัดทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ และในพื้นที่ชุมชนเขตนอกเมือง
- 9) สามารถหยุดระบบได้เป็นเวลานานโดยไม่มีปัญหา และการเริ่มต้นระบบใหม่สามารถกระทำได้ง่าย ระบบฟื้นตัวได้เร็ว จึงเหมาะกับอุตสาหกรรมที่ทำงานเป็นฤดู
- 10) สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารพิษบางอย่างได้ เช่น halogenated solvents

ข้อเสีย ได้แก่

- 1) ใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบ (start up) นานมาก และต้องเลี้ยงตะกอนให้จับตัวกันเป็นเม็ด ระบบจึงจะมีประสิทธิภาพที่ดี
- 2) ต้องควบคุมปริมาณของตะกอนที่มีอยู่ในระบบให้เหมาะสม และเกิดการล้างออก (wash out) น้อยที่สุด
- 3) ต้องควบคุมอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ ให้เพียงพอต่อการกวนผสมในชั้นสลัดจ์
- 4) จุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการเจริญเติบโต ในช่วงพีเอชที่ค่อนข้างแคบ ประมาณ 6.5 – 7.2
- 5) ระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิต่ำ
- 6) ต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างมาก
- 7) ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ไม่สามารถเป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์ในตัวเองได้ เนื่องจากยังคงมีสารตัวกลาง (intermediate) ต่างๆเหลืออยู่ ทำให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีสูง

2.3.4 ประเภทของ Granular Sludge ในถังยูเอเอสบี (Lettinga และคณะ, 1984)

ลักษณะของ Granular Sludge ที่เกิดขึ้นในระบบยูเอเอสบี ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนหัวเชื้อ (Seed Sludge) ส่วนประกอบของน้ำเสีย ตลอดจนการเริ่มต้นกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ และสิ่งแวดล้อมที่เริ่มต้น Granular Sludge อาจมีหลายชนิด ดังนี้

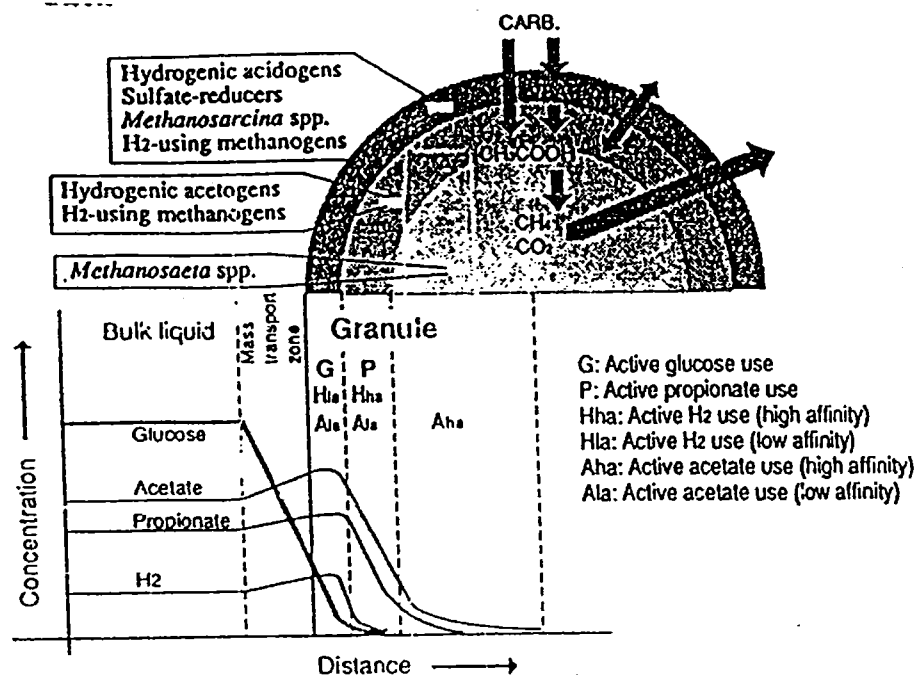
- 1) Sarcina Granular เป็นชนิดที่มีจุลชีพรูปร่างกลม เกาะกันเป็นกลุ่มเป็นส่วนใหญ่ Granular ชนิดนี้ สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียที่มีกรดอะซิติกเข้มข้นมากกว่า 1,000 มก./ล. Granular ชนิดนี้มีขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 6.5 มม. จึงถูกชะล้างออกได้ง่าย และยังเป็นชนิดที่มีความสามารถในการย่อยสลายต่ำ
- 2) Spinky Granlar เป็นชนิดที่มีความยาวมากกว่า 1 มม. มีความหนาแน่นน้อยกว่า 0.5 มม. ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ Granular ชนิดนี้ สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียโรงงานผลิตแป้งข้าวโพด
- 3) Filamentous เป็นจุลชีพที่มีรูปร่างเป็นแท่งต่อกันเป็นสายยาว ประกอบด้วย Methanotrix ชนิดที่เป็นเส้น Granular ชนิดนี้ สร้างขึ้นจากน้ำเสียที่มีแต่ VFA (Volatile fatty acid)
- 4) Rod ลักษณะเป็นรูปกลม ประกอบด้วย Methanotrix ชนิดที่เป็นเส้น รวมกันประมาณ 5 เซล พบในถังหมักที่บำบัดน้ำเสียในโรงงานแป้งมันสำปะหลังและโรงงานน้ำตาล

2.3.5 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

Guiot, Pauss และ Corterton (1992) กล่าวว่า ความเร็วในการไหลในถังปฏิกรณ์เป็นปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกพันธุ์ของแบคทีเรีย ที่สามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีข้อดี ดังนี้

- มีความหนาแน่นสูง
- เนื่องจากการไม่มีการใช้ตัวกลาง (media) จึงไม่มีการสูญเสียพื้นที่ในถังปฏิกรณ์
- เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีอัตราส่วนของแบคทีเรียต่อปริมาตรที่สูงมาก

เมื่อมีการศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธีการ SEM (Scanning Electron Microscopy) พบว่า มีโครงสร้างภายในแบ่งออกเป็น 3 ชั้น โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ UASB ที่บำบัดน้ำเสียกลูโคส แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ UASB ที่บำบัดน้ำเสียกลูโคส

(Guiot, Pauss และ Corterton 1992)

ชั้นนอก ประกอบด้วย แบคทีเรียหลายกลุ่ม ได้แก่ Hydrogenic acidogens, Sulfate reducers Methanosarcina และ H_2 -utilizing methanogens

ชั้นกลาง ประกอบด้วย Hydrogenic acetogens และ H_2 -utilizing methanogens เช่น Methanosarcina, Methanococcales และ Methanospirillum

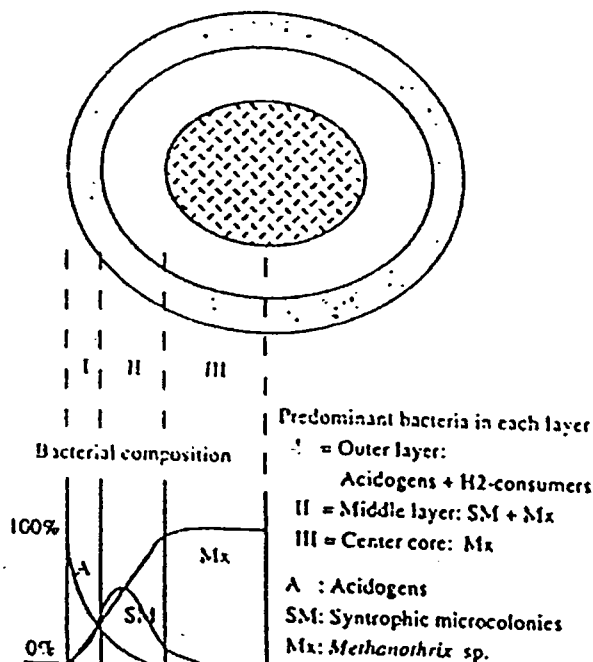
ชั้นใน ประกอบด้วย แบคทีเรียประเภท Aceticlastic ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Methanosaeta

แบคทีเรียกลุ่ม H_2 -utilizing methanogens ในชั้นกลางและชั้นนอก มีความแตกต่างกัน คือ กลุ่มแบคทีเรียชั้นนอกมีความชอบที่จะใช้สารอาหารที่ต่ำกว่า (มีค่า K_s สูง) กลุ่มแบคทีเรียชั้นกลาง และแบคทีเรียกลุ่ม Aceticlastic ที่อยู่ชั้นในมีค่า K_s ต่ำกว่าแบคทีเรียกลุ่ม Aceticlastic ที่อยู่ในชั้นกลาง การเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granulation) เป็นโครงสร้างในลักษณะดังกล่าว ส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียแต่ละชนิด และโดยเฉพาะในแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งเป็น Aceticlastic methanogens (ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Methanosaeta) เป็นส่วนสำคัญในการผลิตมีเทนโดยอาศัยสารอาหาร ซึ่งได้แก่ อะซิเตต ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียกลุ่มชั้นนอกและชั้นกลาง โดยทั้งนี้ Methanosaeta เป็นแบคทีเรียที่มีค่า K_s ต่ำมากที่สุดในกลุ่มแบคทีเรีย Aceticlastic methanogens ซึ่งถือว่าเป็นผลดี

ต่อการทำปฏิกิริยาของ Methanosaeta ในสภาวะที่ข้อจำกัดของการแพร่กระจายอะซิเตทมายังแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าไม่พบโครงสร้างที่แบ่งชั้นของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่บำบัดน้ำเสียประเภทโพรพิโอเนต, เอทานอล และน้ำเสียประเภทที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะน้ำเสียประเภทโพรพิโอเนต พบแบคทีเรียกลุ่ม propionate oxidizing acetogens กระจายอยู่ทั่วเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Fang, Chui และ Li, 1994)

โครงสร้างและขนาดของชั้นแบคทีเรียในแต่ละชั้น ขึ้นกับอัตราการย่อยสลายสารอาหารและการแพร่กระจายของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่ผิวนอกสุดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์พบว่า กลุ่ม acidogens จะมีปริมาณมาก ทั้งนี้เพราะนอกเหนือไปจากความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าสูงบริเวณรอบนอก (bulk liquid) แล้ว ยังเป็นผลมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ acidogenesis ที่มีค่าสูงกว่า acetogenesis และ methanogenesis อะซิเตทที่ถูกผลิตจะแพร่กระจายไปยังโครงสร้างชั้นกลางและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต

(Fang, Chui และ Li, 1994)

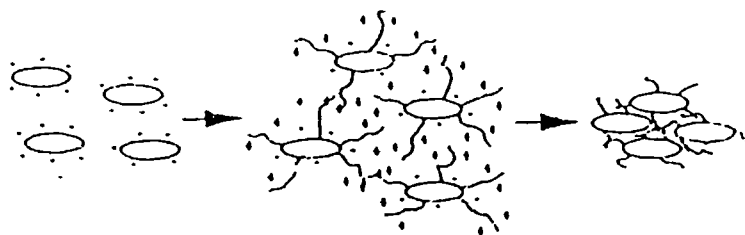
ในกรณีที่เป็นน้ำเสียประเภทโปรตีนหรือกรดอะมิโน เช่น กลูตาเมต ขั้นตอน acidogenesis จะเป็นขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด (rate limiting step) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการย่อยสลายและการแพร่กระจายที่ช้าของกลูตาเมต ทำให้มีการแพร่กระจายของสารอาหารอย่างทั่วถึงทั้งเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้แบคทีเรียมีลักษณะเหมือนกันทั่วทั้งเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และไม่เกิดโครงสร้างที่แบ่งเป็นชั้นของกลุ่มแบคทีเรีย (Fang, Chui และ Li, 1994)

2.3.6 ความสำคัญของ Extracellular Polymers (ECP) ต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Schmidt และ Ahring, 1995)

Extracellular Polymers (ECP) เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ECP ประกอบไปด้วยโพลิเมอร์ของ saccharide โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก มีความสามารถในการดักจับสารอาหารละลาย (soluble nutrients) และช่วยในการยึดเกาะระหว่างเซลล์ของแบคทีเรีย เมื่อมีการศึกษาถึงโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ พบว่า แบคทีเรียที่อยู่ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มี ECP ล้อมรอบอยู่ โดยพบปริมาณ ECP ที่อยู่ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีค่าประมาณ 0.6 – 20 เปอร์เซ็นต์ VSS ซึ่ง ECP ที่พบส่วนใหญ่ในตะกอนจุลินทรีย์ จะประกอบด้วย โปรตีน และ polysaccharide มีอัตราส่วนของโปรตีนต่อ polysaccharide เท่ากับ 2 : 1 ถึง 6 : 1 และมีไขมันอยู่ในปริมาณ 0.02 – 0.05 เปอร์เซ็นต์ VSS เนื่องจากว่าแบคทีเรียที่กระจายอยู่ในน้ำเสียมิประจุเป็นลบ จึงเกิดแรงผลักระหว่างเซลล์แบคทีเรียทำให้ไม่สามารถรวมตัวกันได้ เมื่อ ECP ซึ่งมีประจุเป็นบวก มาล้อมรอบที่ผิวของเซลล์แบคทีเรีย ทำให้เซลล์แบคทีเรียสามารถรวมตัวกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แต่ถ้ามี ECP ปริมาณมากเกินไป อาจทำให้เกิดการผลักระหว่างประจุบวก ทำให้เซลล์แบคทีเรียไม่สามารถรวมตัวกันได้

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ ECP ในช่วงอุณหภูมิ มีโซฟิลิค (Mesophilic) จะสูงกว่าช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic) และปริมาณของโปรตีนกับ polysaccharide ในสาร ECP จะลดลง เมื่อเปลี่ยนจากการบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำตาล มาเป็นการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เดิม อะซิเตด โพรพิโอเนต และบิวทิเรต

ปัจจุบันยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่า ECP เกิดจากแบคทีเรียกลุ่มใด แต่สามารถระบุได้ว่า สาร ECP โดยเฉพาะ polysaccharide เกิดมาจากแบคทีเรียกลุ่ม methanogenic และ acetogenic น้อยมาก ในขณะที่แบคทีเรียกลุ่ม acidogenic มีส่วนสำคัญอย่างมากในการสร้าง ECP



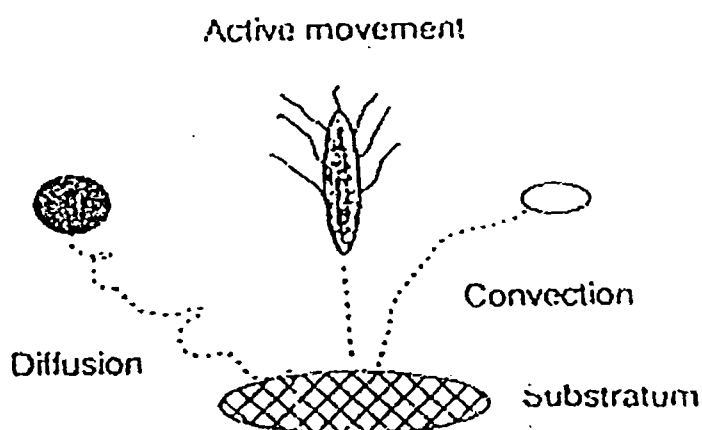
รูปที่ 2.7 บทบาทของประจุไฟฟ้าและ ECP ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของเซลล์แบคทีเรีย

(Schmidt และ Ahring, 1995)

2.3.7 กระบวนการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Schmidt และ Ahring, 1995)

ขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Transport การเคลื่อนไหวของเซลล์ด้วยวิธีการต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ไปจับตัวกับอนุภาคเฉื่อยหรือเซลล์ของแบคทีเรียอื่น กลายเป็นอนุภาคพื้นฐาน (substratum) ด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การแพร่กระจาย (Brownian motion), การพัดพา (convective) โดยของเหลว, ก๊าซ การตกตะกอนหรือการเคลื่อนไหวของเซลล์โดย flagella



รูปที่ 2.8 กลไกการเคลื่อนไหวต่างๆที่มีผลต่อการรวมตัวของเซลล์แบคทีเรีย

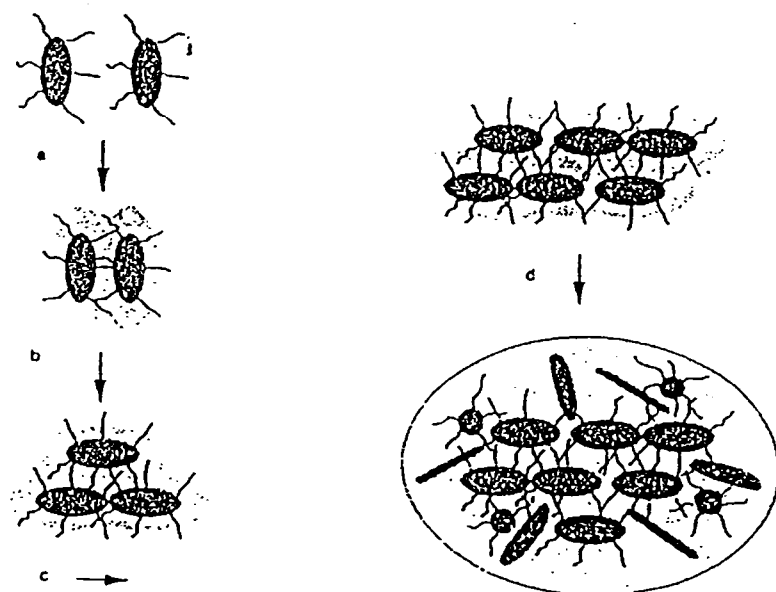
(Schmidt และ Ahring, 1995)

ขั้นตอนที่ 2 Reversible adsorption การดูดติดผิวของเซลล์แบคทีเรียกับ อนุภาคพื้นฐาน ซึ่งอาจเป็นกลุ่มแบคทีเรียหรืออนุภาคของแข็งเฉื่อย โดยแรงทางฟิสิกส์ - เคมี ซึ่งสามารถเกิดการแยกตัวหรือหลุดออกไปได้อีกครั้ง การดูดติดเป็นผลมาจากแรงทางประจุไฟฟ้า (ionic strength)

ขั้นตอนที่ 3 Irreversible adhesion ด้วยพันธะแข็งแรงของโพลิเมอร์ (ECP) การเกาะยึดของเซลล์เข้ากับ substratum ซึ่งเซลล์มีโอกาสที่จะหลุดออกจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ยากมาก ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่า ECP ถูกผลิตขึ้นมาก่อนหรือหลังการเกาะยึดของเซลล์ (adhesion)

ขั้นตอนที่ 4 Multiplication หรือการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียที่อยู่ในชั้น ECP โดยเซลล์ที่แบ่งตัวใหม่ยังคงถูกกักอยู่ในชั้น ECP และเกิดการเพิ่มขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และนอกจากนี้ยังเกิดการดักเซลล์ใหม่ที่อยู่ในน้ำเสียเข้ามาจับตัวในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

กลไกของการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์ โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 2.9



(a) The reversible association of two bacteria becomes irreversible adhesion. ECP are used to bind the two bacteria to each other. (b) Cell division provides sister cells that are bound within the ECP. (c) Microcolony formation. (d) Granulation is a function of cell division within the microcolonies and new recruitment of bacteria from the liquid.

รูปที่ 2.9 กลไกของการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Schmidt และ Ahning, 1995)

2.3.8 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

Hulshoff Pol และคณะ (1983) ได้ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยสังเกตจากพฤติกรรมในการคงอยู่ หรือการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ และได้กล่าวถึงขั้นตอนของการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เป็นขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์น้อยกว่า 2 กก. ซีโอดี / ลบ.ม.วัน)

เป็นขั้นตอนเริ่มต้น เมื่อได้ทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังยูเอสบีแล้ว ชั้นตะกอนด้านล่างเกิดการขยายตัว เนื่องจากน้ำเสียไหลผ่านชั้นตะกอน และก๊าซที่เกิดในระบบ รวมทั้งจุลินทรีย์จำพวกเส้นใย (filamentous organisms) ที่เกิดขึ้น ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จมตัวได้น้อยลง

ขั้นตอนที่ 2 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 - 5 กก. ซีโอดี / ลบ.ม.วัน)

ในขั้นตอนนี้จะมีอัตราการสูญเสียตะกอนแขวนลอยสูงมาก เนื่องจากการเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ทำให้เกิดการผลิตก๊าซมากขึ้น และเกิดการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กๆ ออกนอกถัง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่และหนัก สามารถคงตัวในถังต่อไปได้ ซึ่งนับว่าเป็นการคัดเลือกพันธุ์ของระบบ โดยมีการรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนจมอยู่ในส่วนล่างของถัง ซึ่งอาจมีขนาดใหญ่ถึง 5 มม.

ขั้นตอนที่ 3 (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์มากกว่า 3 - 5 กก. ซีโอดี / ลบ.ม.วัน)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่อัตราการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ มีมากกว่าอัตราการหลุดออกจากระบบของตะกอนจุลินทรีย์ และเมื่อระบบผ่านขั้นตอนนี้ไปแล้ว ระบบจะสามารถรับภาระบรทุกสารอินทรีย์ได้มากขึ้น จนถึงค่าสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้ ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาอาจรับได้ถึง 50 กก. ซีโอดี / ลบ.ม.วัน

2.3.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอสบี

ก) อุณหภูมิ

ระบบยูเอสบี สามารถทำงานในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ 2 ช่วง คือ

- ช่วงเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic) โดยในช่วงนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 50 - 65 องศาเซลเซียส
- ช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) โดยในช่วงนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 20 - 45 องศาเซลเซียส

แม้ว่าในช่วงเทอร์โมฟิลิค จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิค แต่มักนิยมจะให้แบคทีเรียอยู่ในช่วงมีโซฟิลิคมากกว่า สำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

เนื่องจากการพบว่า พวกเทอร์โมฟิลิกจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่า ดังนั้น การรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอจึงมีความสำคัญมากกว่า จะให้มีอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิแม้เพียง 2 – 3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซมีเทนเป็นอย่างมาก

ข) พีเอช

แบคทีเรียที่สร้างมีเทน มีความไวต่อค่าพีเอชมากที่สุด โดยที่ชั้นตอนนี้จะเกิดได้ดีที่สุดที่ช่วงพีเอช 6.5 - 8.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชต่ำกว่า 6.2 ในขณะที่แบคทีเรียชนิดสร้างกรด ยังสามารถทำงานได้ดีที่พีเอช 6.0 – 6.5 นอกจากนี้ ค่าพีเอชยังส่งผลทางอ้อมต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน โดยที่ค่าพีเอชดังกล่าวจะส่งผลต่อรูปอ็อกซอนของสารต่างๆ เช่น volatile fatty acid, NH_3 , H_2S ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียแตกต่างกัน

ค) ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่ทำงานได้ดี ควรจะมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในรูปของกรดอะซิติกประมาณ 200 – 400 มก./ล. อัตราการเพิ่มของความเข้มข้นของกรดมีความสำคัญมากกว่าปริมาณกรด โดยระบบยังสามารถทำงานได้ดีที่ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์สูงกว่า 1,000 มก./ล. แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะแสดงถึงการเสียสมดุลของระบบ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน หรือการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น นอกจากนี้ ชนิดของกรดอินทรีย์ถือว่ามีค่าสำคัญเช่นกัน เช่น กรดโพรพิโอนิกความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 มก./ล. จะทำให้เกิดปัญหาทั้งความเป็นพิษของกรดชนิดนี้และระดับพีเอชที่ต่ำลง

ง) ระดับสภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนต

สภาพต่างบอกให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ (buffer capacity) ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ พีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว และมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ระดับสภาพต่างที่จะทำให้มีกำลังบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับประเภทและความเข้มข้นของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงก็มีโอกาสที่จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก ดังนั้นกำลังบัฟเฟอร์ของระบบจะต้องเพิ่มขึ้น โดยทั่วไประบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศควรมีสภาพต่างประมาณ 1,500 – 2,000 มก./ล. และนอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญ คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยในรูปของกรดอะซิติก ต่อระดับระดับสภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนต (มก./ล. ของ CaCO_3) ระบบจะมีกำลังบัฟเฟอร์สูง เมื่ออัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าพีเอชของระบบกำลังจะลดลงอย่างรวดเร็ว

จ) โออาร์พี (ORP)

โออาร์พี (Oxidation Reduction Potential) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยแสดงปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบ โดยทั่วไปจะวัดค่าโออาร์พีได้ค่าบวกในน้ำที่มีออกซิเจนหรือไนเตรต และวัดค่าโออาร์พีได้ค่าลบในน้ำที่ไม่มีออกซิเจน โออาร์พีจะแสดงถึงความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของสารละลาย ถ้าวัดโออาร์พีมีค่าบวกมากๆ แสดงว่าสารละลายนี้มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้ดี สำหรับระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้น้อย หรืออาจกล่าวได้ว่ามีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดี และมีค่าโออาร์พีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลท์

ฉ) ประเภทสารอาหารในน้ำเสีย

สารอาหารในน้ำเสีย เกี่ยวข้องโดยตรงกับชนิดของแบคทีเรียในระบบและประสิทธิภาพในการย่อยสลาย โดยในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า สารอาหารที่ต่างชนิดกันมีอัตราการย่อยสลายที่ต่างกัน โดยสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตจะมีอัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่าพวกโปรตีนและไขมัน

ช) สารอาหารที่จำเป็น

การบำบัดด้วยกระบวนการไม่ใช้อากาศ มีข้อดีประการหนึ่ง คือ มีเซลล์จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นน้อยกว่าแบบใช้อากาศ ดังนั้น จึงต้องการสารอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส ต่ำกว่าแบบใช้อากาศ โดยจุลินทรีย์ต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอย่างน้อยควรมีอัตราส่วน BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 หรือ COD : N : P เท่ากับ 350 : 5 : 1 นอกจากนี้อัตราส่วนระหว่าง COD : N ยังมีผลต่อลักษณะเม็ดอีกด้วย โดยทำให้เม็ดมีลักษณะเป็นปุย เมื่อมีอัตราส่วนดังกล่าวสูงถึง 100 : 10

นอกจากนี้ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนยังต้องการธาตุบางอย่างในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ (trace element) มิฉะนั้นระบบอาจไม่ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพได้ ซึ่งธาตุเหล่านั้น ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล และซิลเฟอร์ (ในรูปของซิลไฟด์) แต่อย่างไรก็ดี การเติมธาตุดังกล่าวให้กับแบคทีเรียเป็นการลำบาก เนื่องจากซิลไฟด์สามารถทำให้โลหะต่างๆตกผลึกแยกออกจากน้ำได้ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ได้ ปัจจุบันได้มีการแก้ไขโดยการเติม Yeast Extract ให้แก่ระบบโดยตรง ในอัตราไม่ต่ำกว่า 1.5 กก./ลบ.ม. ของน้ำเสีย ซึ่ง Yeast Extract เป็นอาหารที่สมบูรณ์ไปด้วยธาตุและสารอินทรีย์ต่างๆ ที่แบคทีเรียต้องการเล็กน้อยแต่จำเป็น หรืออาจจะใช้ Milorganite ในอัตราอย่างต่ำ 5 กก./ลบ.ม. ของน้ำเสีย ก็ได้

ข) สารพิษ

น้ำเสียที่จะนำมาผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ จะต้องไม่มีสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ เพราะจะไปรบกวนการทำงานของแบคทีเรียในระบบ หรือยับยั้งการเจริญเติบโต ความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้น โดยถ้าหากสารเหล่านี้มีปริมาณน้อยก็จะมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ สารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ ได้แก่

- พิษของกรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยถ้าถูกสร้างขึ้นมากในปริมาณที่สูงเกินไปในระบบ เช่น ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์เข้ามามาก แบคทีเรียจะผลิตกรดไขมันระเหยออกมามาก หากว่าระบบมีกำลังบำบัดไม่เพียงพอ จะส่งผลกระทบต่อค่าพีเอชทำให้มีค่าลดลงในช่วงที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย

- พิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่ คือ โปรตีนหรือยูเรีย โดยทั้งนี้ไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ตามสมการข้างล่าง ดังนี้



ถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางซ้าย แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวา โดยที่ NH_3 จะยับยั้งการทำงานและเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่า NH_4^+

- พิษของซัลไฟด์

พิษของซัลไฟด์เกิดขึ้นได้เมื่อน้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณซัลไฟด์มาก หรือเกิดจากการย่อยสลายซัลเฟต หรือเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนซัลไฟด์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ โดยทั้งนี้สารประกอบซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นอาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำ ขึ้นกับไอออนบวกที่รวมอยู่ โดยถ้ารวมตัวกับโลหะหนักก็จะอยู่ในรูปของตะกอน ส่วนที่ละลายน้ำจะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศสามารถทนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำที่มีความเข้มข้นถึง 50 – 100 มก./ล. แต่ความเข้มข้นที่มากกว่า 200 มก./ล. จะเป็นพิษ การลดพิษซัลไฟด์ทำได้โดยการตกตะกอนซัลไฟด์หรือการแยกซัลไฟด์ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

- พืชของอออนและโลหะหนัก

อออนหรือโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงเกินปริมาณหนึ่ง จะเกิดความเป็นพิษต่อระบบได้ อออนที่สำคัญที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ได้แก่ Na^+ K^+ Mg^{2+} Ca^{2+} และ S^{2-} ซึ่งธาตุเหล่านี้โดยปกติในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมจะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ อออนบวกจะมีความเป็นพิษมากกว่าอออนลบ นอกจากนี้ อออนบวกที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าอออนบวกที่มีวาเลนซ์ต่ำ กล่าวคือ อออนบวกที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 จะมีพิษต่อจุลินทรีย์มากกว่าอออนบวกที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 ถึง 10 เท่า

พืชของอออนสามารถลดลงได้ เมื่ออยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ ในปริมาณที่เหมาะสม เช่น พืชของ Na^+ มีความเข้มข้น 3,500 มก./ล. สามารถทำให้ลดลงได้ ถ้ามี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 50 – 1,000 มก./ล. แต่ในทางตรงกันข้าม อออนบางชนิด จะไปเพิ่มความเป็นพิษให้มากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกัน

ส่วนพืชของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส แคดเมียม สังกะสี นิกเกิล โคบอลต์ ทองแดง และโครเมียม โลหะหนักเหล่านี้จะอยู่ในน้ำทิ้งในรูปอออน ซึ่ง Mosey และ Hughes (1975) ศึกษาพบว่า ทองแดง จะมีผลกระทบต่อการกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมากที่สุด พืชของโลหะหนักจะมากขึ้นเพียงใด ขึ้นอยู่กับปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย โดยความเป็นพิษของโลหะหนักสามารถลดลงได้ ถ้าน้ำเสียมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์พอเหมาะ เพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถรวมกับโลหะหนักเกิดเป็นตะกอนเกลือของโลหะหนักซึ่งไม่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตามโลหะหนักต่างๆ เหล่านี้บางชนิดมีความจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ โดยต้องมีในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อเป็นสารอาหาร ที่จำเป็นของจุลินทรีย์

- พืชของสารอินทรีย์

สารอินทรีย์บางชนิด จะยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ สารพวกนี้ ได้แก่ แอลกอฮอล์ และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว เช่น เมทานอล ซึ่งความเป็นพิษของสารอินทรีย์เหล่านี้ สามารถทำลายได้โดยการนำน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบบำบัดอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้จุลินทรีย์เกิดความคุ้นเคยและปรับตัวได้ ถึงแม้ว่าจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษถึง 10,000 มก./ล. ก็ตาม

2.4 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB)

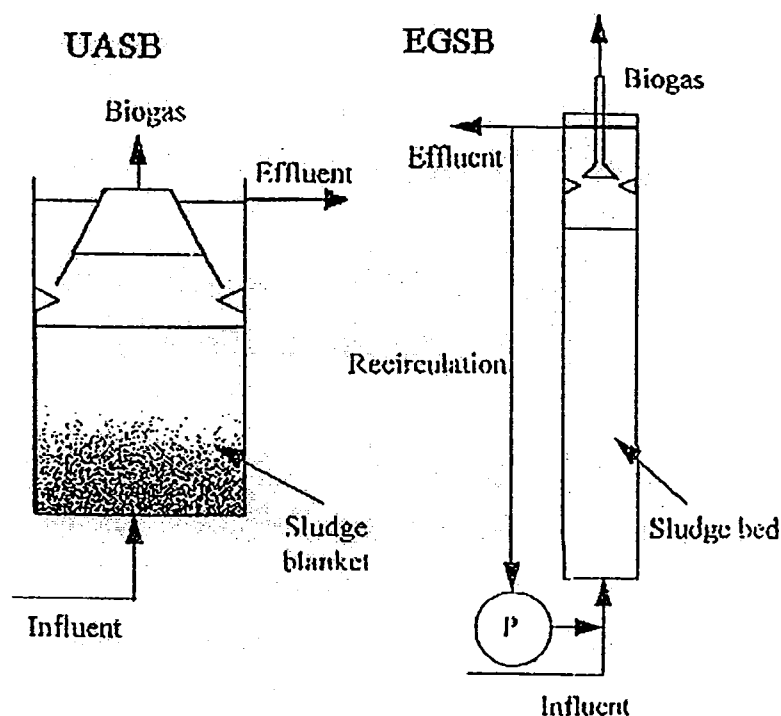
2.4.1 ความเป็นมาของระบบอีจีเอสบี

เนื่องจากได้มีความพยายามที่จะนำระบบยูเอเอสบี ไปบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ เช่น น้ำเสียจากโรงงานที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 1,000 มก./ล. และน้ำเสียชุมชน แต่พบว่าส่วนใหญ่ยังไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีพอ โดย Kato และคณะ (1994) กล่าวว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบยูเอเอสบี เมื่อนำไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ มีสาเหตุมาจากลักษณะของน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของซีโอดีต่ำมาก ทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารมีน้อย ส่งผลให้มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อยทำให้เกิดการกวนผสมภายในชั้นสลัดจ์ไม่เพียงพอและการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์เกิดขึ้นไม่ทั่วถึง ดังนั้นระบบยูเอเอสบีจึงไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ

ต่อมาได้มีการคิดค้นและทำการพัฒนาระบบยูเอเอสบี โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพในการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ให้ดีขึ้น ด้วยการทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นสลัดจ์และเกิดการกวนผสมที่ทั่วถึง โดยการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำทิ้ง ซึ่งจะเรียกระบบนี้ว่าอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB)

2.4.2 ลักษณะและการทำงานของระบบอีจีเอสบี

ระบบอีจีเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีลักษณะและการทำงานคล้ายกับระบบยูเอเอสบี แต่จะมีข้อแตกต่างกัน คือ ระบบอีจีเอสบีจะมีการเวียนน้ำทิ้งกลับมาเข้าสู่ระบบใหม่ ทำให้เป็นการเพิ่มความเร็วในการไหลขึ้น ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 4 – 10 ม./ชม. (Seghezzeo และคณะ, 1998) ในขณะที่ระบบยูเอเอสบี โดยทั่วไปจะมีความเร็วในการไหลขึ้นอยู่ในช่วง 0.5 – 1.5 ม./ชม. หรือต่ำกว่า (Kato และคณะ, 1994) ลักษณะทั่วไปของถังอีจีเอสบีจะมีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับถังยูเอเอสบี แสดงดังรูปที่ 2.10 ซึ่งส่วนประกอบของระบบอีจีเอสบีจะเหมือนกับระบบยูเอเอสบี กล่าวคือ มีส่วนที่เป็นถังหมักและระบบป้อนน้ำเสียที่ส่วนล่างของถัง และมีส่วนที่เป็นถังตกตะกอนที่ส่วนบนของถัง โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ แต่จะมีการติดตั้งระบบเวียนน้ำกลับเพิ่มขึ้นมา



รูปที่ 2.10 แผนผังส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี (Seghezzo และคณะ, 1998)

2.4.3 คุณสมบัติของระบบอีจีเอสบี (Seghezzo และคณะ, 1998)

- 1) มีค่าความเร็วในการไหลขึ้นสูง (มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 4 – 10 ม./ชม.)
- 2) สามารถรับภาระบำบัดทุกสารอินทรีย์สูงถึง 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- 3) เกิดการขยายตัวภายในชั้นสลัดจ์
- 4) มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ
- 5) สลัดจ์มีลักษณะเป็นเม็ด ตกตะกอนได้ดี และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูง
- 6) ลักษณะการกวนผสม จะแตกต่างจากระบบยูเอเอสบี กล่าวคือ เนื่องจากค่าความเร็วในการไหลขึ้นสูง และมีก๊าซถูกผลิตเพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับชั้นสลัดจ์
- 7) ความดันในชั้นสลัดจ์ที่บริเวณส่วนล่างของถังมีค่าสูง (ในกรณีที่ถังอีจีเอสบีมีความสูงมาก)
- 8) สลัดจ์แบบฟล็อก (flocculent sludge) จะถูกล้างออก (wash out) จากระบบ
- 9) ประสิทธิภาพในการทำจัดของแข็งแขวนลอย และคอลลอยด์ ค่อนข้างต่ำ

ระบบอีจีเอสบีเป็นการปรับปรุงข้อเสียของระบบยูเอเอสบี ที่มีการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) ต่ำ เนื่องจากมีการสัมผัสกันของน้ำเสียกับจุลินทรีย์ไม่ทั่วถึง ซึ่งแก้ไขโดยทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นสลัดจ์ ซึ่งเป็นการเพิ่มความเร็วในการไหลให้สูงขึ้น อาจทำได้ด้วยการออกแบบให้ถังอีจีเอสบี มีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างที่มากเพียงพอต่อการขยายตัวของชั้นสลัดจ์ หรือมีอัตราการเวียนน้ำทิ้งกลับที่เพียงพอ (Kato และคณะ, 1994)

แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะของระบบอีจีเอสบีที่มีความเร็วในการไหลขึ้นที่สูง ทำให้ต้องคำนึงถึงการออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะเป็นพิเศษ เนื่องจากอาจเกิดการล้างออก (wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์ (Kato, Rebac และ Lettinga, 1999)

เนื่องจากว่าระบบอีจีเอสบี มีการถ่ายเทมวลสารที่ดีกว่าระบบยูเอเอสบี (Kato และคณะ, 1994) ทำให้มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ และยังสามารถใช้น้ำบำบัดสารอินทรีย์ ที่มีความเป็นพิษที่มีความเข้มข้นสูงๆ เช่น ฟอรัลดีไฮด์ และยังสามารถบำบัดน้ำเสียประเภท long chain fatty acid ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง 30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี 85 – 95 เปอร์เซ็นต์ (Rinzema, Van veen และ Lettinga, 1993)

Kato และคณะ (1994) กล่าวว่า ระบบอีจีเอสบีเป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ที่มีความเหมาะสมในการใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ในขณะที่โดยทั่วไปแล้ว ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ จะมีประสิทธิภาพที่ต่ำในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ดังจะพบได้จากรายงานวิจัยระบบยูเอเอสบีทั่วไปที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งไม่สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ค่าซีโอดีในน้ำเสียที่มีค่าต่ำจะส่งผลให้ระดับของสารอาหารที่ลดลงเรื่อยๆ ตามชั้นความลึกในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์นั้นมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอาหารที่ต่ำ จากสมการของโมโนต์ ได้แสดงว่า อัตราการทำปฏิกิริยาของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอาหาร อัตราการย่อยสลายขึ้นอยู่ค่า K_s ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงคุณลักษณะจำเพาะของแบคทีเรียต่อสารอาหารนั้นๆ โดย Kato ได้แบ่งค่า K_s ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- 1) Intrinsic K_s เป็นค่า K_s ที่แท้จริง ซึ่งแสดงถึงการถ่ายเทมวลสารเข้าไปยังเซลล์ของแบคทีเรีย ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตในน้ำเสียแบบกระจาย (dispersed bacterial cells) ในสภาพที่เซลล์แบคทีเรียมีการแขวนลอยอย่างสมบูรณ์
- 2) Apparent K_s เป็นค่า K_s ป्राกฏ โดยเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลสารผ่าน biofilm ที่ห่อหุ้มอยู่รอบนอกของกลุ่มเซลล์แบคทีเรียหรือเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

Apparent K_s จะมีค่าสูงกว่า Intrinsic K_s เนื่องจากพบว่า มีข้อจำกัดหรืออุปสรรคในการถ่ายเทมวลสารผ่าน biofilm ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มากกว่าใน dispersed bacterial cells ดังนั้น จะพบว่ามีความเข้มข้นของสารอาหารที่ต่ำลงเรื่อยๆ ตามความลึกในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และไม่มีอาหารที่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่อยู่ในชั้นลึกๆจะขาดอาหาร เกิดการย่อยสลายตัวเองกลายเป็นโพรงว่างบริเวณแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ส่งผลให้เกิดการ wash out ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากการที่มีก๊าซสะสมตัวอยู่ภายใน และนอกจากนี้โครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่จับตัวกันหลวมๆ ยังสามารถเกิดการแตกสลายเนื่องจากความปั่นป่วนทางกลศาสตร์ในถังปฏิกรณ์ได้

การที่จะทำให้มีสารอาหารที่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ จำเป็นที่จะต้องเกิดอัตราการถ่ายเทมวลสารผ่านชั้น biofilm ได้เร็วกว่าอัตราการย่อยสลายสารอาหารโดยจุลินทรีย์ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ดังนั้น ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ จึงจะต้องมีการกวนผสมที่เพียงพอ เพื่อให้น้ำเสียสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้อย่างสม่ำเสมอ และทำให้ค่า Apparent K_s มีค่าต่ำลง ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยระบบอ็อกซิเจนเป่า สามารถทำให้เกิดการกวนผสมที่เพียงพอได้โดย การติดตั้งระบบเวียนน้ำทิ้งกลับ เพื่อเพิ่มความเร็วในการไหลขึ้น

Dolfing (1985) กล่าวว่า ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ จุลินทรีย์จะถูกเก็บไว้ในระบบเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เกิดเป็นชั้น biolayer ที่หนาแน่น ซึ่งชั้น biolayer เหล่านี้ จะทำให้สารอาหารไม่สามารถผ่านเข้าไปในชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ด้านในได้ เนื่องจากเกิดการต้านทานการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer resistance) ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาภายในระบบ โดยค่า gradient ของความเข้มข้นของสารอาหารใน biolayer สามารถอธิบายได้โดยใช้สมการของ Fick (Fick's first law)

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

F คือ flux ของมวลสาร หรือ substrate

$\emptyset$ คือ ความพรุนของ biolayer

D คือ diffusion coefficient

dC/dx คือ gradient ของ substrate ใน biolayer

จากสมสมการนี้ จะเห็นได้ว่า flux ของสารอาหารที่ผ่าน biolayer ขึ้นอยู่กับ ค่า gradient ของความเข้มข้นของสารอาหารใน biolayer และขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาจำเพาะกับขนาดรูปร่างของ biolayer ดังนั้นจุลินทรีย์ที่อยู่ชั้นในจะได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่ต่ำกว่า จุลินทรีย์ที่อยู่ผิวของ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาดำ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา การเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารอาหาร ซึ่งอธิบายโดยสมการของโมโนด์ว่า ความเร็วของ การทำปฏิกิริยาของเอนไซม์กับความเข้มข้นของสารอาหาร จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ในช่วงที่ ความเข้มข้นของสารอาหารมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่า ค่า K_s ดังนั้น mass transfer resistance จึง เป็นปัจจัยสำคัญในสภาวะที่ ความเข้มข้นของสารอาหารมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่า ค่า K_s หรือเมื่อ ค่า gradient ของความเข้มข้นของสารอาหารใน biolayer อยู่ในช่วงค่าความเข้มข้นนี้ และได้สรุป ว่า mass transfer resistance ขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

- 1) ความเข้มข้นของสารอาหาร
- 2) ค่า K_s ของแบคทีเรียสำหรับประเภทของสารอาหารนั้น
- 3) ความหนาของ biolayer พบว่า mass transfer resistance จะไม่มีผลต่อ biofilm ที่มี ค่าต่ำกว่า 1 มม.
- 4) ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดใน biolayer

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและน้ำเสียชุมชนด้วยระบบยูเอเอสบี

Lettinga ,Rosema และ Grin (1983) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีโอดีประมาณ 248 – 581 มก./ล. ด้วยระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังยูเอเอสบีขนาด 120 ลิตร ที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 12 ชม. ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 18 – 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 เดือน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและบีโอดี เท่ากับ 72 และ 62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

และต่อมาได้ทำการบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 420 – 920 มก./ล. โดยใช้ ถังยูเอเอสบีขนาด 120 ลิตร เช่นเดิม และเวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 32 - 40 ชม. แต่ได้ทำการทดลองที่ ช่วงอุณหภูมิ 12 – 18 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดำเนินระบบ 3 เดือน มีประสิทธิภาพในการ กำจัดซีโอดีและบีโอดี เท่ากับ 48 – 70 และ 30 - 45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้ทำการบำบัด น้ำเสียชุมชน ที่มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 520 – 590 มก./ล. โดยใช้ถังยูเอเอสบีที่มีขนาด 30 ลิตร ที่ อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ใช้เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 9 ชม. ทดลองเป็นเวลา 1 เดือน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและบีโอดี เท่ากับ 57 – 79 และ 50 – 60 เปอร์เซ็นต์

Barbosa และ Sant' Anna (1989) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 627 มก./ล. และค่าบีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 357 มก./ล. ด้วยระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังยูเอเอสบีขนาด 120 ลิตร ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 19 – 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 เดือนเริ่มต้นระบบโดยไม่ใช้หัวเชื้อ ใช้เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 4 ชม. พบว่า หลังจากทำเดินระบบได้ประมาณ 1 เดือน กลุ่มจุลินทรีย์จะเริ่มจับตัวกันเป็นเม็ดกลม โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการทดลองจะมีขนาดถึง 8 มม. และเมื่อเดินระบบได้ประมาณ 5 เดือน ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและบีโอดี เท่ากับ 74 และ 78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Draaijer และคณะ (1992) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 563 มก./ล. ด้วยระบบยูเอเอสบี ซึ่งเป็นโรงบำบัดน้ำเสียที่ประเทศอินเดีย โดยได้ทำการก่อสร้างในปี 1985 โดยมีขนาดของถังยูเอเอสบี เท่ากับ 1,200 ลบ.ม. และสามารถบำบัดน้ำเสียได้ 5,000 ลบ.ม./วัน ทำการเริ่มต้นระบบโดยไม่ใช้หัวเชื้อ ใช้เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 6 ชม. เป็นเวลา 12 เดือน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี, บีโอดี และของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 74, 75 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่า อุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ

สมพงษ์ นิลประยูร (2536) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังยูเอเอสบีขนาด 24.4 ลิตร บำบัดน้ำเสียชุมชนจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 4.5 – 24 ชม. และความเร็วในการไหลขึ้นระหว่าง 0.13 – 0.69 ม./ชม. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 76.4 - 88.1, 76.9 – 92.9 และ 59.7 – 84.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่า ที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 12 – 24 ชม. ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ต่างกัน อย่างชัดเจน และสามารถทำให้ค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบ มีค่าต่ำกว่า 20 และ 30 มก./ล. ตามลำดับ

Singh, Harada และ Viraraghavan (1995) ศึกษาการบำบัดน้ำเสีย ด้วยระบบยูเอเอสบี โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี เท่ากับ 500 มก./ล. ที่อุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 20 – 35 องศาเซลเซียส เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 3 ชม. โดยใช้ถังยูเอเอสบี ขนาด 140 ลิตร เป็นเวลา 300 วัน ซึ่งจะพบว่า ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีและบีโอดี เท่ากับ 90 - 92 และ 94 – 96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทศพร ทับนวัชร และ บวร ยาคุ่มภัย (2539) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าที่มีค่าซีไอดีประมาณ 470 มก./ล. ด้วยระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังยูเอเอสบีขนาด 14.5 ลิตร ที่เวลากักน้ำเสีย 48, 24, 12 และ 6 ชม. ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี เท่ากับ 87.2, 81.7, 70.1 และ 65.1 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 92.1, 90.7, 88.1 และ 79.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลากักน้ำเสียลดลง ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีจะลดลงอย่างชัดเจน ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ใกล้เคียงกัน

Agrawal, Harada และ Okui (1997) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังยูเอเอสบี ขนาด 110 ลิตร บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีไอดี เท่ากับ 300 มก./ล. ที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 9 ชม. ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 เดือน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี เท่ากับ 73 เปอร์เซ็นต์

Behling และคณะ (1997) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีไอดีประมาณ 423 มก./ล. ที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 7.6 ชม. โดยใช้ถังยูเอเอสบี ขนาด 55 ลิตร เป็นเวลา 200 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ย เท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์

Ruiz และคณะ (1998) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่มีค่าซีไอดีเฉลี่ยประมาณ 693 มก./ล. ด้วยระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังยูเอเอสบีขนาด 2 ลิตร จำนวน 2 ชุด ซึ่งชุดที่ 2 จะติดตั้ง sludge digester ซึ่งรับสลัดจ์มาจากวาล์วระบายชั้นสลัดจ์ของถังยูเอเอสบี และทำหน้าที่ย่อยสลายของแข็งที่สะสมในสลัดจ์ ก่อนที่จะเวียนกลับเข้าสู่ระบบยูเอเอสบีอีกครั้ง ถึงชุดที่ 1 เมื่อเดินระบบที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 24 ชม. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและของแข็งแขวนลอย มีค่าสูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อลดเวลากักน้ำเสียเป็น 5 ชม. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 53 และ 63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ถึงชุดที่ 2 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

Singh และ Viraraghavan (1998) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังยูเอเอสบี ขนาด 8 ลิตร บำบัดน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในช่วงประมาณ 350 - 500 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยเริ่มต้นระบบที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 48 ชม. จากนั้นค่อยๆลดเวลากักน้ำเสียลงมาเหลือเท่ากับ 10 ชม. เป็นเวลา 280 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 60 - 75 เปอร์เซ็นต์

Uemura และ Harada (2000) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีประมาณ 115 - 595 มก./ล. ที่อุณหภูมิในช่วงประมาณ 13 - 25 องศาเซลเซียส เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 4.7 ชม. โดยใช้ถังยูเอเอสบี ขนาด 21.5 ลิตร ทำการทดลองเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์

2.5.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและน้ำเสียชุมชนด้วยระบบอีจีเอสบี

van der Last และ Lettinga (1992) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี โดยใช้ถังอีจีเอสบีขนาด 120 ลิตร บำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งต้องผ่านการตกตะกอนขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบ เนื่องจากในระบบอีจีเอสบี ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้เพียงพอ พบว่า ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 3 ชม. ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อลดเวลากักน้ำเสียลงมาเหลือ เท่ากับ 1.5 - 2 ชม. ซึ่งจะพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 77 - 84 เปอร์เซ็นต์

Kato และคณะ (1994) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี โดยใช้ถังอีจีเอสบีขนาด 2.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ทดลองกับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดี เท่ากับ 200 และ 600 มก./ล. แบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด โดยในการทดลองชุดที่ 2 จะมีการเติมออกซิเจนลงไปประมาณ 3.8 มก./ล. เพื่อศึกษาผลกระทบของออกซิเจนที่มีต่อการทำงานของระบบ พบว่า ในการทดลองชุดที่ 1 เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบมีค่าซีโอดี เท่ากับ 600 มก./ล. ที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 2 ชม. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบมีค่าซีโอดี เท่ากับ 200 มก./ล. ที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 0.5 ชม. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองชุดที่ 2 จะได้ประสิทธิภาพของระบบใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 1 จึงสรุปได้ว่า ระบบอีจีเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีซีโอดีต่ำกว่า 200 มก./ล. ได้ ที่เวลากักต่ำกว่า 2 ชม. และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเสีย ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ

Rebac ,Ruskova และ Gerbens (1995) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี โดยใช้ถึงอีจีเอสบีขนาด 4.3 ลิตร ที่อุณหภูมิในช่วงประมาณ 10 - 12 องศาเซลเซียส ใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีไอดีประมาณ 500 - 800 มก./ล. ที่เวลากักน้ำเสียอยู่ในช่วง 1.6 - 2.5 ชม. ความเร็วไหลขึ้น เท่ากับ 10 ม./ชม. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีมีค่าสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

ตุลชัย แจ่มใส (2545) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีไอดี, บีไอดี และของแข็งแขวนลอย ประมาณ 160, 65 และ 45 มก./ล. ตามลำดับ โดยใช้ถึงอีจีเอสบีขนาด 2 ลิตร ที่อุณหภูมิในช่วงประมาณ 25 - 28 องศาเซลเซียส ใช้เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 2 และ 6 ชม. พบว่า ที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 2 และ 6 ชม. มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี, บีไอดี และของแข็งแขวนลอย ที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 67, 84 และ 64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสรุปว่า ที่เวลากักน้ำเสีย 2 ชม. ก็เพียงพอต่อการกำจัดซีไอดี และบีไอดี เนื่องจากเกิดการกระจายของสารอินทรีย์สม่ำเสมอทั่วชั้นสลดจ์

Kato, Florencio และ Arantes (2003) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี สำหรับบำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากระบบยูเอเอสบี ซึ่งมีค่าซีไอดีและของแข็งแขวนลอย อยู่ในช่วง 120 - 180 และ 94 - 123 มก./ล. ตามลำดับ โดยใช้ถึงอีจีเอสบีขนาด 157.5 ลิตร ทำการทดลองเป็นเวลา 331 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง แต่ละช่วงใช้ความเร็วไหลขึ้น เท่ากับ 1.25, 2.5 และ 3.75 ม./ชม. ตามลำดับ พบว่า ที่เวลากักน้ำเสีย 4 ชม. ความเร็วไหลขึ้น 3.75 ม./ชม. ค่าซีไอดีและของแข็งแขวนลอยลดลงเหลือต่ำกว่า 87 และ 32 มก./ล. ตามลำดับ สรุปได้ว่าระบบอีจีเอสบีสามารถนำมาใช้ในการบำบัดขั้นสุดท้ายจากน้ำเสียชุมชนที่ผ่านระบบยูเอเอสบี ซึ่งมีค่าความเข้มข้นต่ำได้

2.5.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบ 2 ขั้นตอน

van Haandel และ Lettinga (1994) กล่าวว่า ในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง สามารถทำได้ด้วยกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแบบ 2 ขั้นตอน กล่าวคือ ในขั้นตอนแรก ของแข็งแขวนลอยจะถูกดักจับ และถูกย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำ และในขั้นตอนที่สอง จะเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ละลายน้ำ

Wang (1994) กล่าวว่า ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบ 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรก จะใช้เวลาพักน้ำเสียเหมือนกับการออกแบบถังตกตะกอนขั้นต้น คือ ประมาณ 2.5 – 3 ชม. เพื่อเป็นการดักจับและย่อยสลายของแข็งแขวนลอย

Sayed และ Fergala (1995) ศึกษาการใช้ กระบวนการบำบัดแบบ 2 ขั้นตอน ยูเอเอสบี – ยูเอเอสบี บำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีโอดี ประมาณ 200 – 700 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 18 – 20 องศาเซลเซียส ที่เวลากักน้ำเสีย เท่ากับ 10 ชม. (8 ชม. สำหรับขั้นตอนแรก และ 2 ชม. สำหรับขั้นตอนที่สอง) พบว่า ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

แผนการทดลอง

3.1 แผนการทดลอง

ตลอดงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์และเดินระบบบริเวณชั้นใต้ดินของอาคาร 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

3.1.1 ช่วงที่ 1 เป็นการศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสพีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ในกระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า ซึ่งจะมีชุดการทดลอง 2 ชุด โดยชุดที่ 1 เป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอีจีเอสพี ในขณะที่ชุดที่ 2 เป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี ซึ่งมีแผนการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองในช่วงที่ 1

ชุดการทดลอง	ระบบยูเอเอสพี			ระบบอีจีเอสพี			
	เวลากัก (ชั่วโมง)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	อัตราการสูบน้ำเสีย (ลิตร/วัน)	เวลากัก (ชั่วโมง)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	อัตราการสูบน้ำเสียเวียนกลับ (ลิตร/วัน)	อัตราการสูบน้ำเสีย (ลิตร/วัน)
1	-	-	-	2	4	100	46
2	3	0.8	46	2	4	100	46

3.1.2 ช่วงที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี ที่มีความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสพีเปลี่ยนไป โดยศึกษาจากการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี ซึ่งจะมีชุดการทดลอง 2 ชุด โดยชุดที่ 1 ในระบบอีจีเอสพีจะมีความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 6 ม./ชม. ในขณะที่ชุดที่ 2 ในระบบอีจีเอสพีจะมีความเร็วไหลขึ้น เท่ากับ 8 ม./ชม. ซึ่งมีแผนการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองในช่วงที่ 2

ชุดการทดลอง	ระบบยูเอเอสบี			ระบบอีจีเอสบี			
	เวลากัก (ชั่วโมง)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	อัตราการสูบน้ำเสีย (ลิตร/วัน)	เวลากัก (ชั่วโมง)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	อัตราการสูบน้ำเสียเวียนกลับ (ลิตร/วัน)	อัตราการสูบน้ำเสีย (ลิตร/วัน)
1	3	0.8	46	2	6	173	46
2	3	0.8	46	2	8	246	46

3.2 การเตรียมน้ำเสีย

3.2.1 ลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยนี้ จะเป็นน้ำเสียชุมชนที่มาจากกลุ่มอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง ซึ่งผ่านการบำบัดจากถังดักไขมันด้วยระบบดีเอเอฟ (Dissolved Air Flootation, DAF) ซึ่งลักษณะของน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ลักษณะน้ำเสียจากกลุ่มอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง

พารามิเตอร์	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	SD
พีเอช	7.26	6.90	7.08	0.10
ซีโอดี (มก./ล.)	775	411	577	89.95
บีโอดี (มก./ล.)	368	306	334	15.83
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	327	173	236	39.99
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)	288	232	265	14.82
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน)	142	94	113	14.09
ทีเคเอ็น (มก./ล. ไนโตรเจน)	72	57	63	4.66

3.2.2 วิธีการเตรียมน้ำเสีย

จะทำการเก็บน้ำเสียจากกลุ่มอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง ประมาณ 3 – 4 ครั้งต่อสัปดาห์ แล้วนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 4 องศาเซลเซียส โดยการเตรียมน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดจะทำการเตรียมน้ำเสียใส่ถังพักของระบบทุกวัน และจะทิ้งน้ำเสียส่วนที่เหลือค้างอยู่ในถังพักน้ำเสียเพื่อป้องกันไม่ให้อินทรีย์ในน้ำเสียเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ เนื่องจากการถูกจุลินทรีย์ในถังย่อยสลาย และมีการล้างทำความสะอาดถังทุกสัปดาห์

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

3.3.1 ถังพักน้ำเสีย

ใช้ถังพลาสติก ขนาดความจุ 100 ลิตร 1 ถัง

ใช้ถังพลาสติก ขนาดความจุ 60 ลิตร 4 ถัง

3.3.2 แบบจำลองถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

ใช้แบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการมีขนาด 5.73 ลิตร โดยส่วนย่อยสลายทำจากท่ออะคริลิก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.4 ซม. สูง 2.50 ม. ส่วนตกตะกอนทำจากท่อพีวีซี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 ซม. สูง 0.20 ม. ส่วนอุปกรณ์แยกสามสถานะจะอยู่ในส่วนตกตะกอน ทำจากกรวยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกรวยเท่ากับ 8 ซม. ซึ่งในการทดลองจะใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีจำนวน 2 ชุด รายละเอียดของแบบจำลองถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี แสดงดังรูปที่ 3.1

3.3.3 แบบจำลองถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

ใช้แบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการมีขนาด 3.80 ลิตร โดยส่วนย่อยสลายทำจากท่ออะคริลิก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.4 ซม. สูง 2.50 ม. ส่วนตกตะกอนทำจากท่อพีวีซี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 ซม. สูง 0.20 ม. ส่วนอุปกรณ์แยกสามสถานะจะอยู่ในส่วนตกตะกอน ทำจากกรวยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกรวยเท่ากับ 8 ซม. ซึ่งในการทดลองจะใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีจำนวน 2 ชุด รายละเอียดของแบบจำลองถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี แสดงดังรูปที่ 3.2

3.3.4 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบและเครื่องสูบน้ำเสียเวียนกลับ

ในกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี 1 ชุด จะใช้เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ เป็นแบบไดอะแฟรม จำนวน 2 ตัว โดยเป็นการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีอย่างละตัว และเครื่องสูบน้ำเสียเวียนกลับ เป็นแบบไดอะแฟรม จำนวน 1 ตัว โดยเป็นการสูบน้ำเสียเวียนกลับเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี

3.3.5 อุปกรณ์วัดก๊าซ

อุปกรณ์วัดก๊าซมีจำนวน 4 ชุด ทำงานโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ แสดงดังรูปที่ 3.3

3.4 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน

การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของ กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี แสดงดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

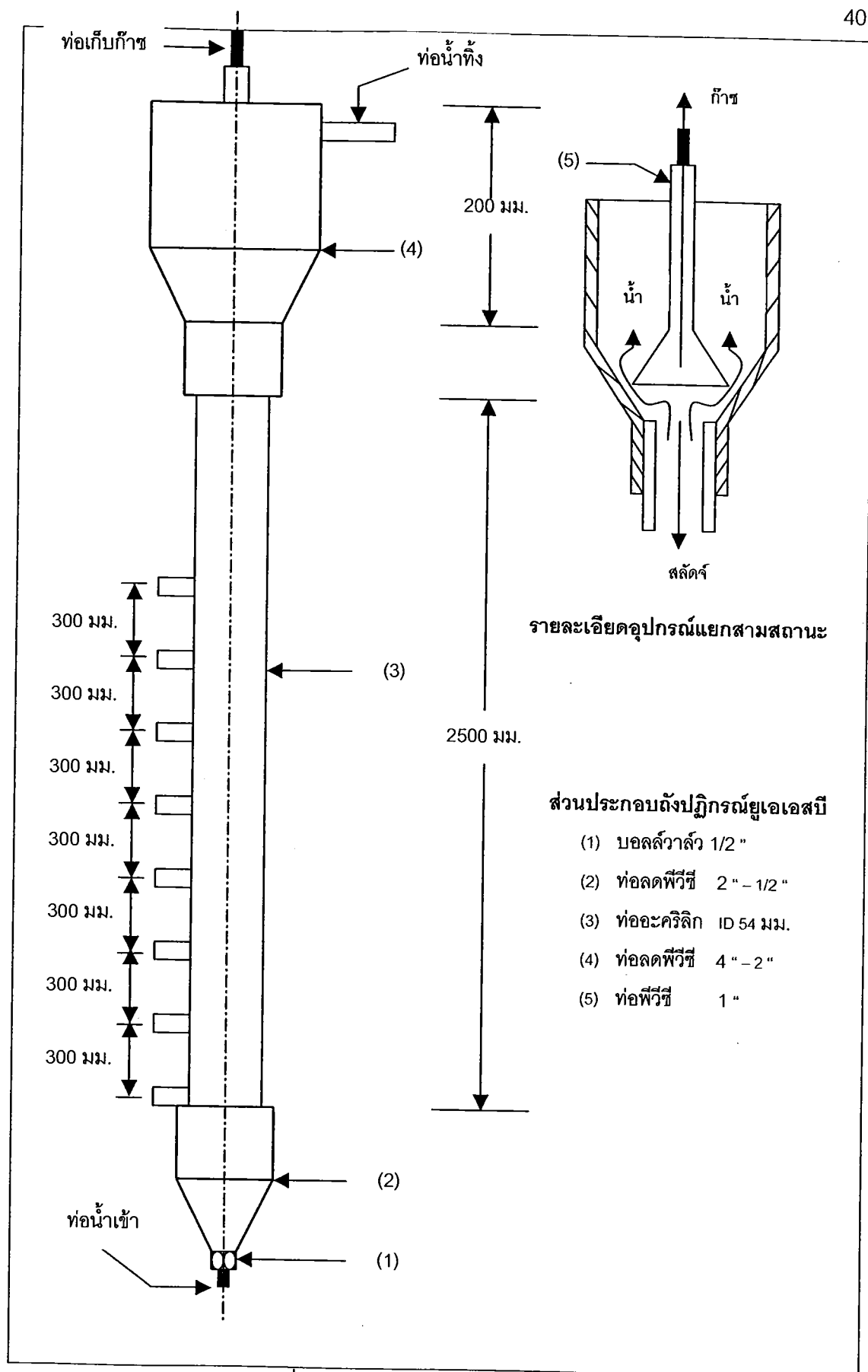
3.4.1 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ (P1) จะทำการสูบน้ำเสียจากถังพักน้ำเสียส่งเข้าไปยังถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

3.4.2 น้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี จะไหลต่อไปยังถังพักน้ำเสีย

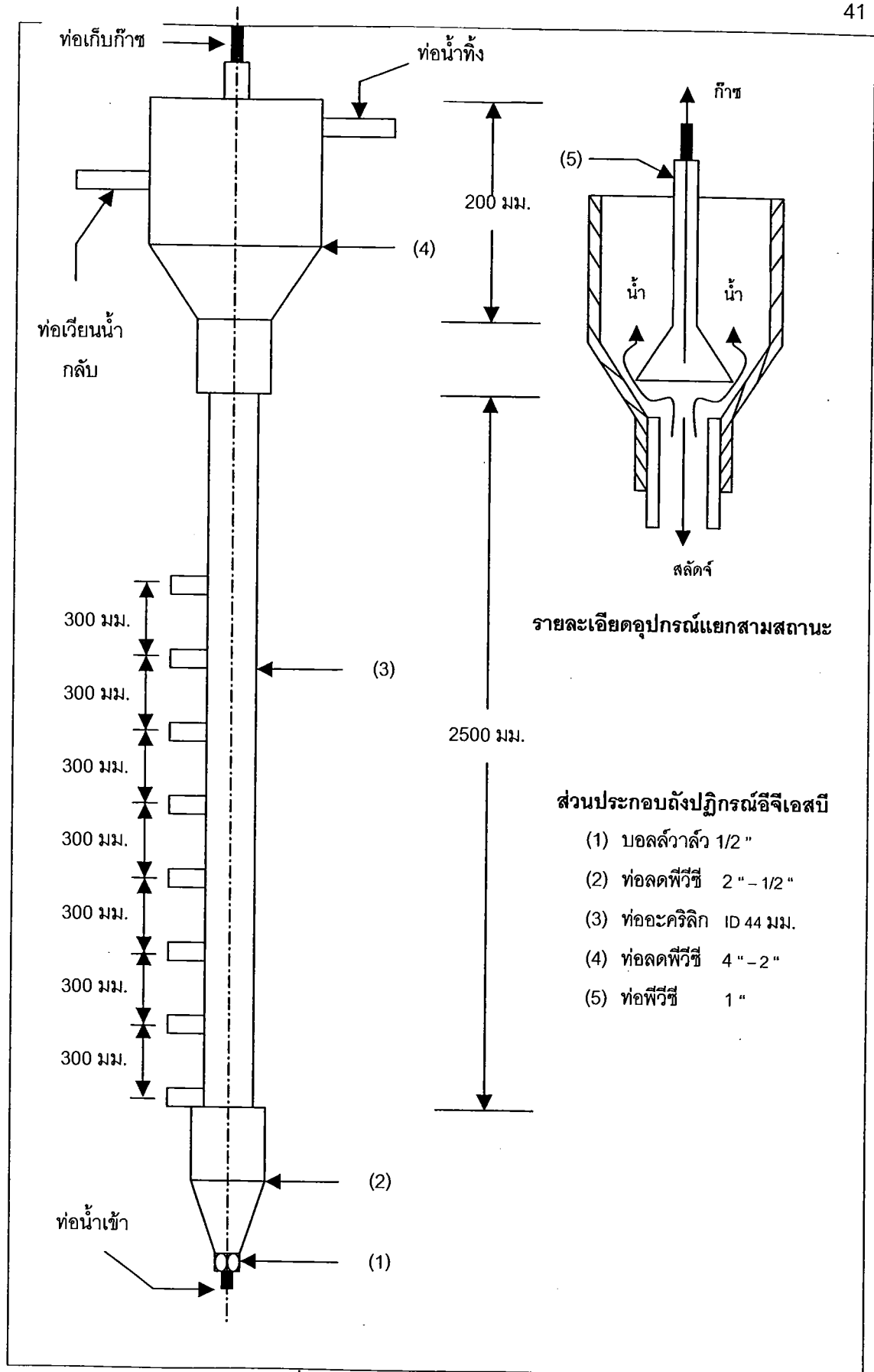
3.4.3 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ (P2) จะทำการสูบน้ำเสียจากถังพักน้ำเสียส่งเข้าไปยังถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี และเครื่องสูบน้ำเสียเวียนกลับในระบบอีจีเอสบี (P3) จะสูบน้ำเสียเวียนกลับมาเข้าสู่ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี

3.4.4 น้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี จะไหลต่อไปยังถังพักน้ำทิ้ง

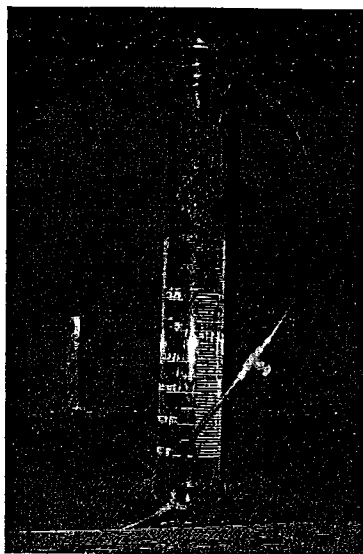
3.4.5 ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีและอีจีเอสบี จะไหลผ่านอุปกรณ์แยกสามสถานะไปยังอุปกรณ์วัดก๊าซ



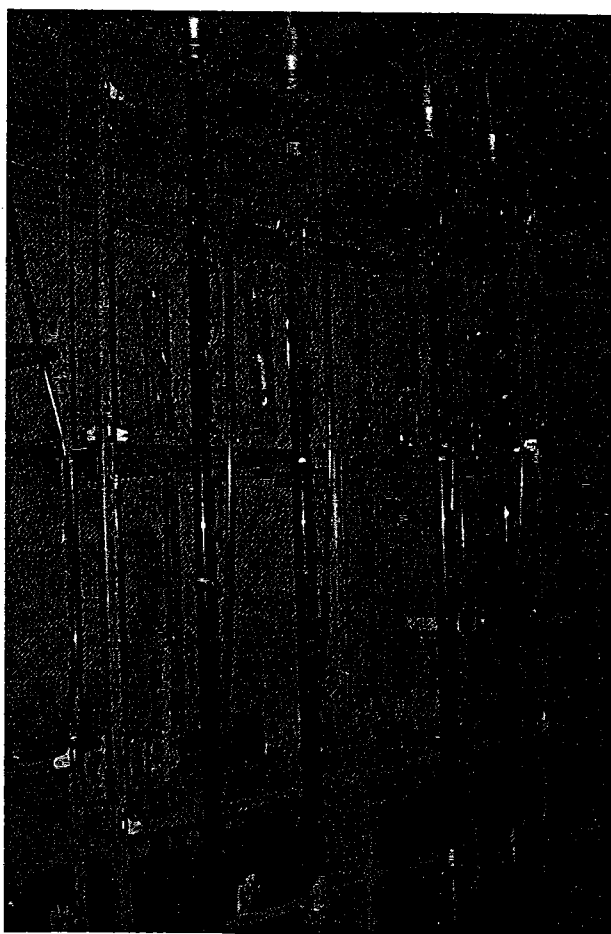
รูปที่ 3.1 แบบจำลองถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี



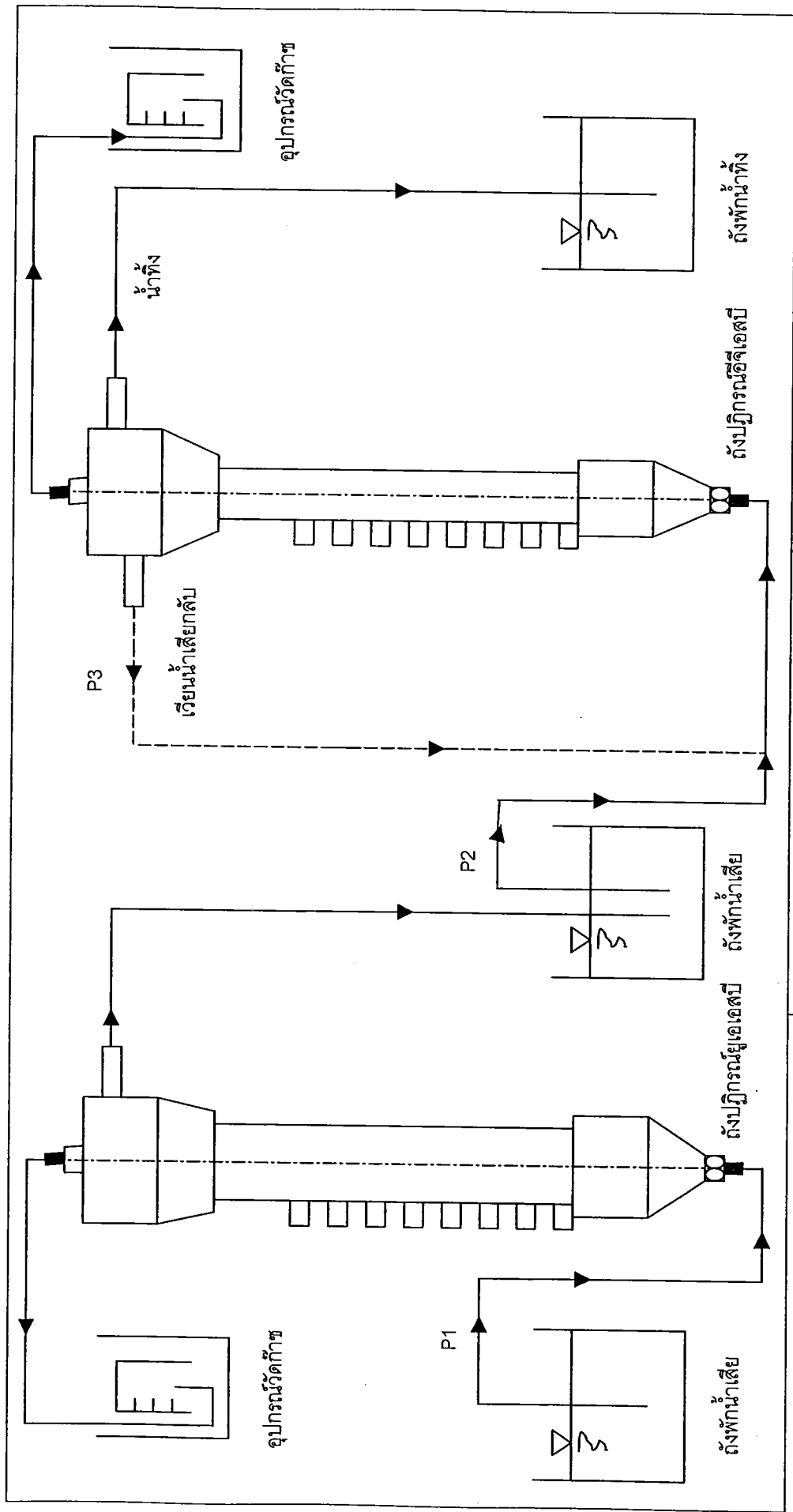
รูปที่ 3.2 แบบจำลองถังปฏิกรณ์ไอซีเอสบี



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนทีน้ำ



รูปที่ 3.4 การติดตั้งกระบวนกรยูเอเอสบี – อีจีเอสบี



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของกระบวนการยูเอเอสบี – อีเอสบี

3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

รายละเอียดของจุดเก็บตัวอย่างน้ำ และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าสู่ระบบ ยูเอเอสบี	น้ำเสียที่ออกจากระบบ ยูเอเอสบี	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ อีจีเอสบี	วาล์วเก็บตัวอย่าง	อุปกรณ์วัดก๊าซ
1) ซีไอดี	A	A	A	-	-
2) บีไอดี 5 วัน	B	B	B	-	-
3) ของแข็งแขวนลอย	A	A	A	-	-
4) กรดไขมันระเหย	A	A	A	-	-
5) ของแข็งแขวนลอยระเหย	-	-	-	C	-
6) พีเอช	A	A	A	-	-
7) อุณหภูมิ (วัดในถังปฏิกรณ์)	-	A	A	-	-
8) ไออาร์พี (วัดในถังปฏิกรณ์)	-	A	A	-	-
9) สภาพต่างทั้งหมด	A	A	A	-	-
10) ปริมาณก๊าซทั้งหมด	-	-	-	-	A
11) ทีเคเอ็น	B	B	B	-	-
12) การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	-	-	-	D	-
13) โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	-	-	-	D	-
14) Specific Methanogenic Activity	-	-	-	C	-

หมายเหตุ A หมายถึง ทุกวันจันทร์, พุธ, ศุกร์ B หมายถึง สัปดาห์ละ 1 ครั้ง
 C หมายถึง เดือนละ 2 ครั้ง D หมายถึง เดือนละ 1 ครั้ง

3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตลอดการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตลอดการทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1) ซีไอดี	Close reflux
2) บีไอดี 5 วัน	Azide Modification
3) ของแข็งแขวนลอย	GF/C filter
4) กรดไขมันระเหย	Direct Titration
5) ของแข็งแขวนลอยระเหย	GF/C filter
6) พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
7) อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์
8) ไออาร์พี	เครื่องวัดไออาร์พี
9) สภาพต่างทั้งหมด	Direct Titration
10) ปริมาณก๊าซทั้งหมด	เครื่องวัดแบบแทนที่น้ำ
11) ทีเคเอ็น	Kjedahl method
12) การกระจายขนาดของเม็ดตะกอน จุลินทรีย์	Particle Size Analyser
13) โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	SEM (Scanning Electron Microscope)
14) Specific Methanogenic Activity	Methanogenic Activity Test

3.7 การควบคุมการทดลอง

ในการทดลองนี้สิ่งที่ต้องควบคุมและปฏิบัติ ได้แก่

1. การเตรียมน้ำเสียและการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลที่กำหนดในแต่ละช่วง
2. การทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งการอุดตันภายในท่อสายยาง ตลอดจนการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิจารณ์

4.1 การดำเนินการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 เป็นการศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ในกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า ในขณะที่ช่วงที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ที่มีความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีเปลี่ยนไป

โดยก่อนที่จะทำการทดลองในช่วงที่ 1 และ 2 จะต้องทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีและอีจีเอสบีเสียก่อน ในงานวิจัยนี้จะใช้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ จากกระบวนการยูเอเอสบี ที่บำบัดน้ำเสียจากโรงงานเส้นไหมขอสง จังหวัดนครปฐม โดยจะทำการคัดขนาดของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งจะเลือกเฉพาะที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดี ทำการเติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ลงในถังปฏิกรณ์ ซึ่งคิดเป็นความเข้มข้นประมาณ 25 กก. VSS/ม³

เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำเสียชุมชนจากกลุ่มอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง ซึ่งมีค่าซีโอดีค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในช่วงประมาณ 400 – 700 มก./ล. ดังนั้นในการเริ่มต้นเดินระบบจึงให้น้ำเสียจริงป้อนเข้าสู่ระบบเลย โดยในช่วงแรกจะปรับความเร็วไหลขึ้นในระบบจากค่าต่ำๆก่อน เพื่อให้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์เกิดความคุ้นเคย แล้วจึงเพิ่มความเร็วไหลขึ้นไปจนกระทั่งค่าความเร็วไหลขึ้น อยู่ในช่วงการทดลองที่ 1 ซึ่งจะใช้เวลาในการเลี้ยงเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ ประมาณ 1 เดือน

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดประมาณ 5 เดือน โดยได้เริ่มต้นการทดลองตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึง กันยายน 2547 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขั้นตอนการวิจัย

ลำดับการทดลอง	พ.ศ. 2547				
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
การเริ่มต้นเลี้ยงเชื้อในระบบ	←→				
บำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี กับกระบวนการอีจีเอสบี		←→			
บำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีมีค่าต่างๆ				←→	

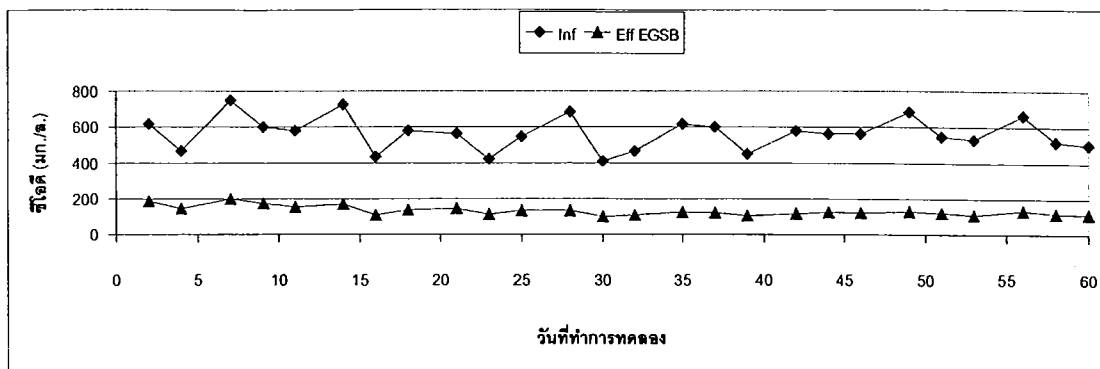
4.2 ศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ในกระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี (การทดลองครั้งที่ 1)

โดยการทดลองในช่วงนี้ จะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการอีจีเอสบี กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ได้แก่ ซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอย และทีเคเอ็น ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอย และทีเคเอ็น ของการทดลองครั้งที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว

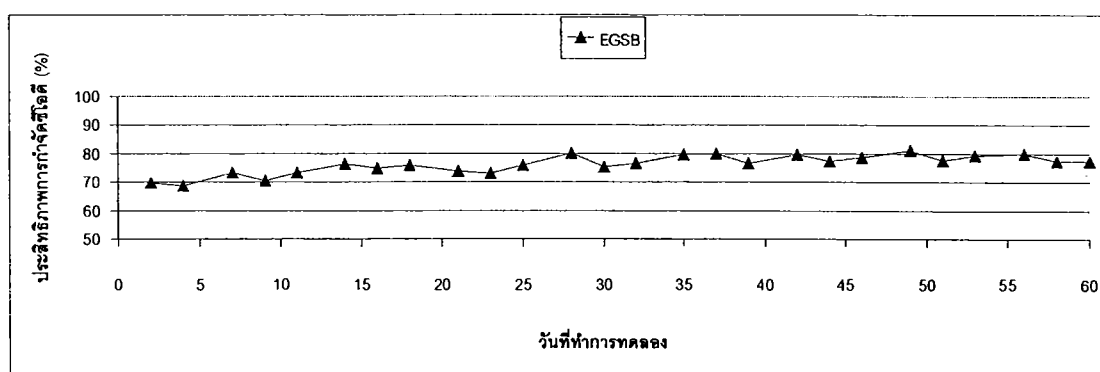
การกำจัดซีไอดี

ค่าซีไอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 560 มก./ล. โดยในชุดการทดลองที่ 1 ที่ไม่มีระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น น้ำออกจากระบบอีจีเอสบีมีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 119 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 78.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ที่มีระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 193 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 65.4 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 53 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 72.4 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 90.5 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.1

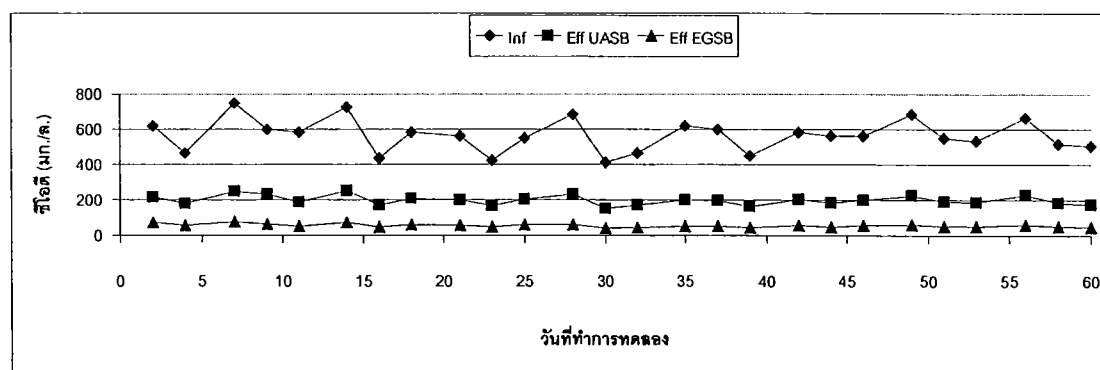
จากผลการทดลอง พบว่า กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีสูงกว่ากระบวนการอีจีเอสบี เนื่องจากระบบยูเอเอสบีจะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ซึ่งเป็นการลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้กับระบบอีจีเอสบี กล่าวคือ ในชุดการทดลองที่ 1 ระบบอีจีเอสบี จะมีการบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ระบบยูเอเอสบี จะมีการบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และระบบอีจีเอสบีจะมีการบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



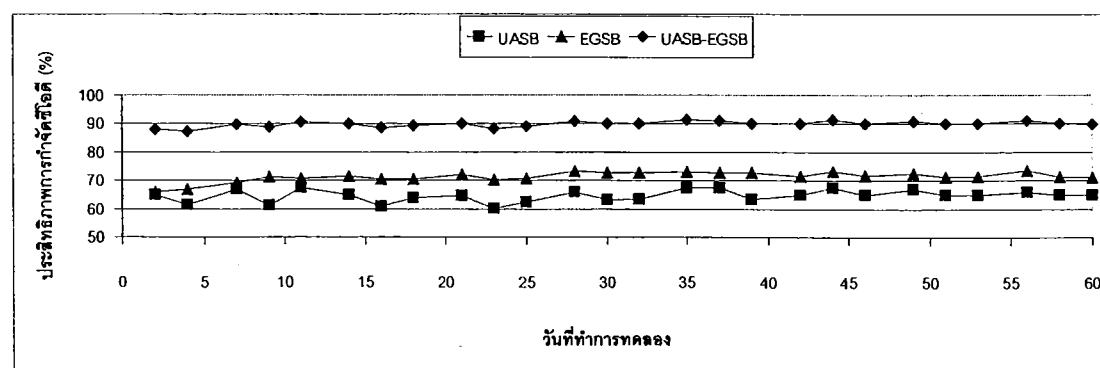
ก) การกำจัดซีโอดีของกระบวนการอีจีเอสบี



ข) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของกระบวนการอีจีเอสบี



ค) การกำจัดซีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี



ง) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี

รูปที่ 4.1 การกำจัดซีโอดีในการทดลองช่วงที่ 1

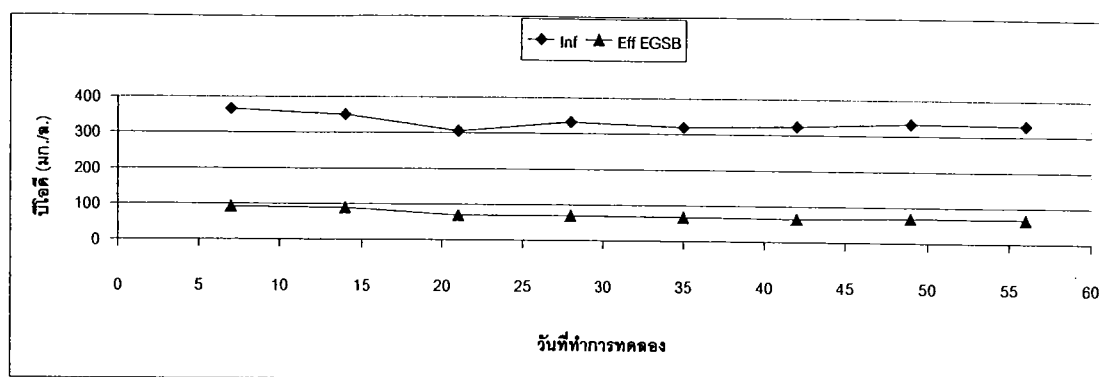
การกำจัดบีโอดี

ค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 329 มก./ล. โดยในชุดการทดลองที่ 1 ที่ไม่มีระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 68 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 79.4 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ที่มีระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 112 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 65.9 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 31 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 72.7 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 90.7 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.2

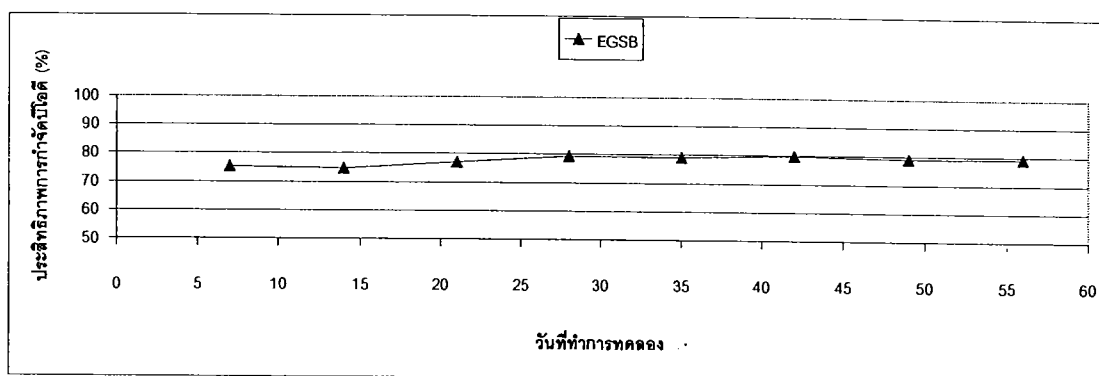
จากผลการทดลอง พบว่า กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงกว่ากระบวนการอีจีเอสบี ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับค่าซีโอดี เนื่องจากว่า ค่าบีโอดีเป็นสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของค่าซีโอดี กล่าวคือ ระบบยูเอเอสบีจะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ซึ่งเป็นการลดภาระบำบัดทุกสารอินทรีย์ให้กับระบบอีจีเอสบี ตามที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นในหัวข้อของการกำจัดซีโอดี

การกำจัดของแข็งแขวนลอย

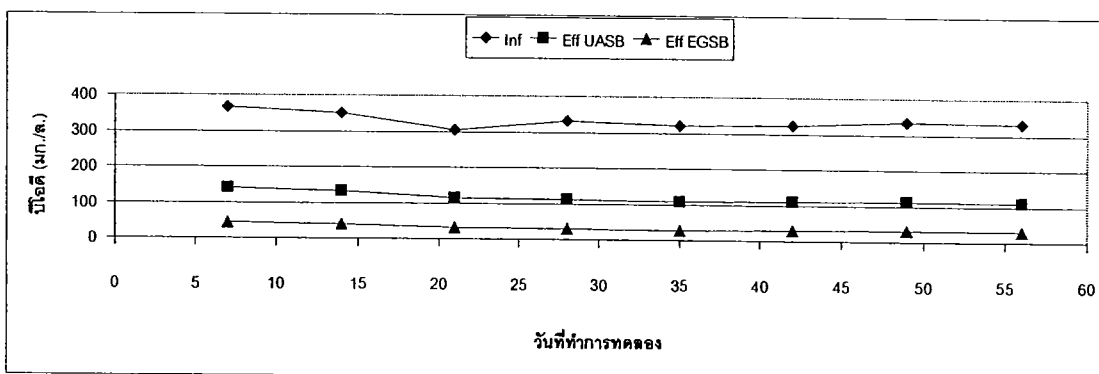
ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 227 มก./ล. โดยในชุดการทดลองที่ 1 ที่ไม่มีระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 77 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 65.9 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ที่มีระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 51 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 77.4 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 17 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 65.5 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 92.2 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.3



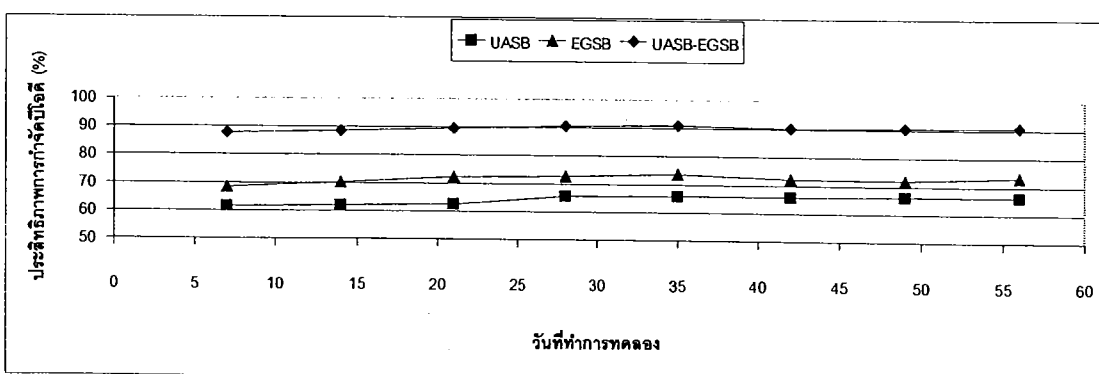
ก) การกำจัดบีโอดีของกระบวนการอีจีเอสบี



ข) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของกระบวนการอีจีเอสบี



ค) การกำจัดบีโอดีของกระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี



ง) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของกระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี

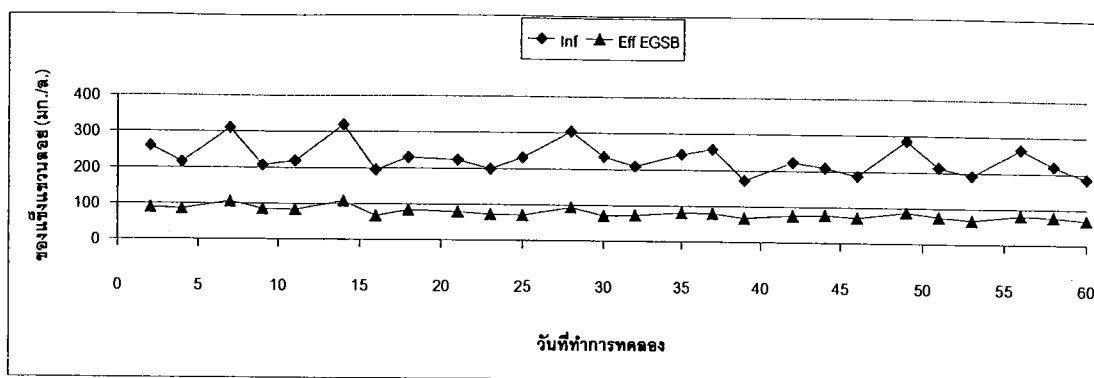
รูปที่ 4.2 การกำจัดบีโอดีในการทดลองครั้งที่ 1

จากผลการทดลอง พบว่า กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงกว่ากระบวนการอีจีเอสบี เนื่องจากระบบอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยค่อนข้างต่ำ ทำให้มีของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งค่อนข้างสูง ดังนั้น ในชุดการทดลองที่ 2 ระบบยูเอเอสบี จะช่วยดักจับของแข็งแขวนลอยไว้ส่วนหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ทำให้มีของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งค่อนข้างต่ำ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบยูเอเอสบี จะช่วยดักจับของแข็งแขวนลอยได้ถึง 77.4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีของแข็งแขวนลอยเหลือเพียง 22.6 เปอร์เซ็นต์ ที่เข้าสู่ระบบอีจีเอสบี

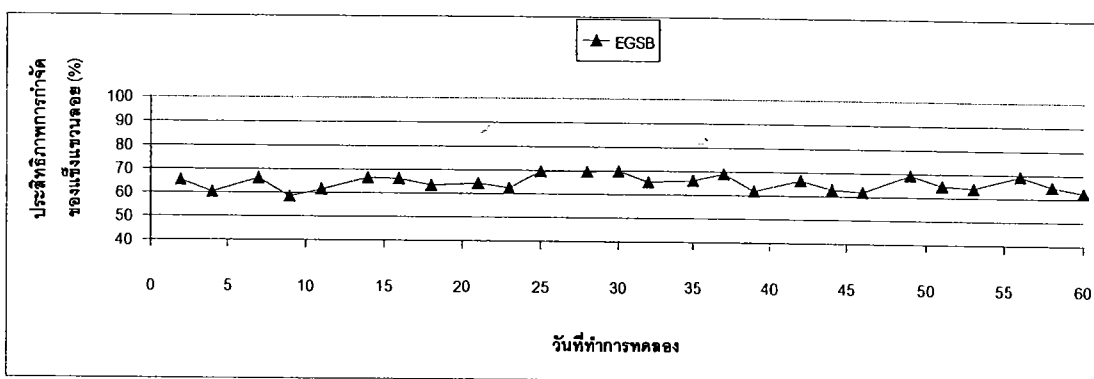
การกำจัดที่เคเอ็น

ค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 63 มก./ล. ในโตรเจน โดยในชุดการทดลองที่ 1 ที่ไม่มีระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 59 มก./ล. ในโตรเจน คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 6.3 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ที่มีระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 60 มก./ล. ในโตรเจน คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 5.1 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 56 มก./ล. ในโตรเจน คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 6.7 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบีในการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 11.4 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.4

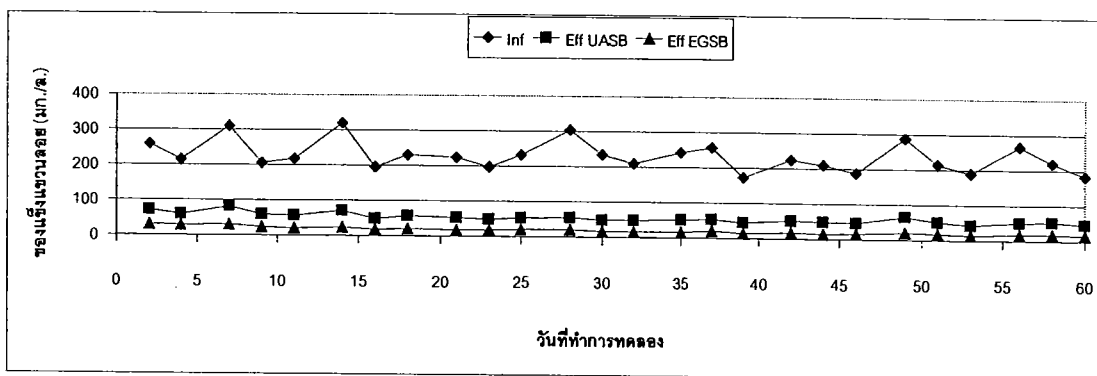
จากผลการทดลอง พบว่า ค่าที่เคเอ็นในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี ในทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี ไม่สามารถกำจัดที่เคเอ็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากว่าระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ จึงไม่สามารถกำจัดค่าที่เคเอ็นโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนที่เคเอ็นให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ โดยค่าที่เคเอ็นที่ลดลงในระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบีนั้น เกิดจากการนำไนโตรเจนไปใช้ในการดำรงชีวิตและสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ มีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณที่น้อยมาก โดยมีอัตราส่วนความต้องการของ COD : N เท่ากับ 350 : 5 ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญต่อปริมาณที่เคเอ็นที่เปลี่ยนแปลง



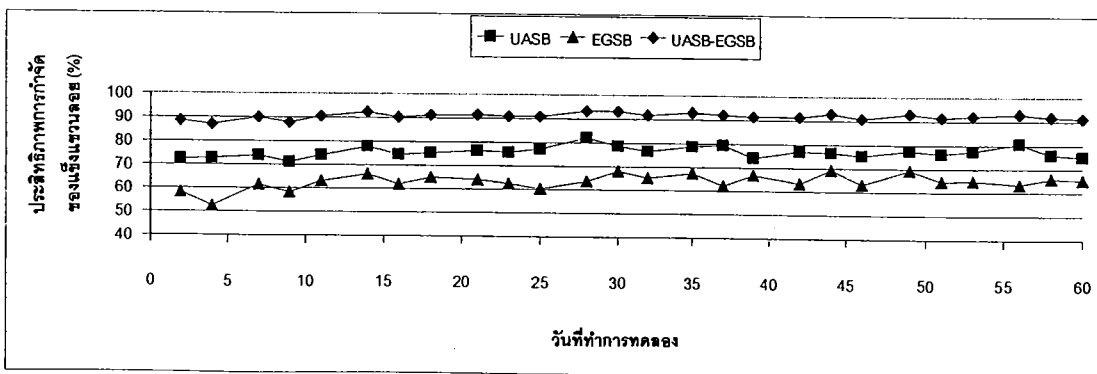
ก) การกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบี



ข) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบี

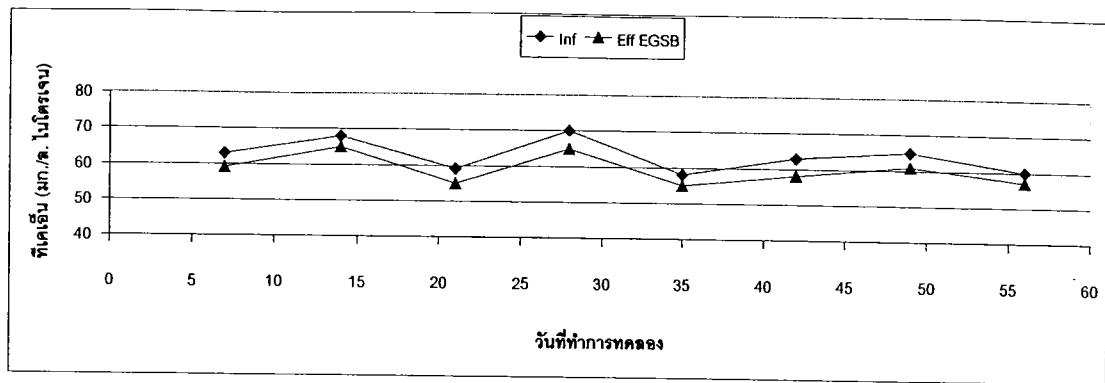


ค) การกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี

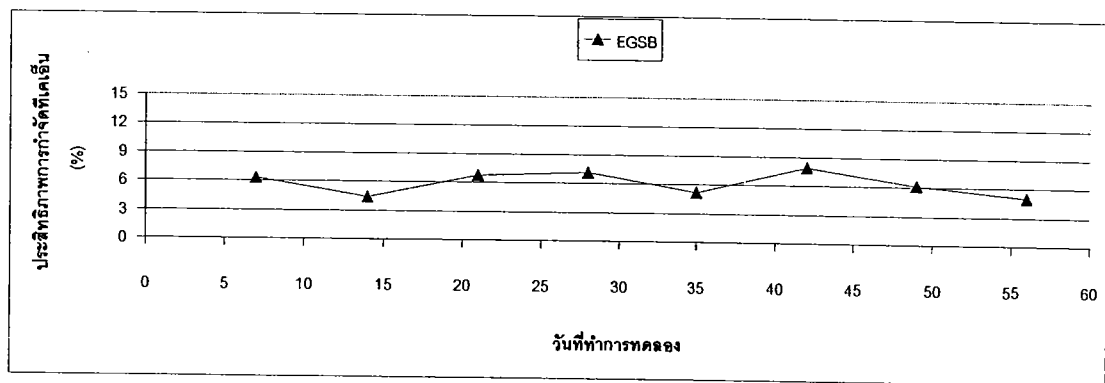


ง) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี

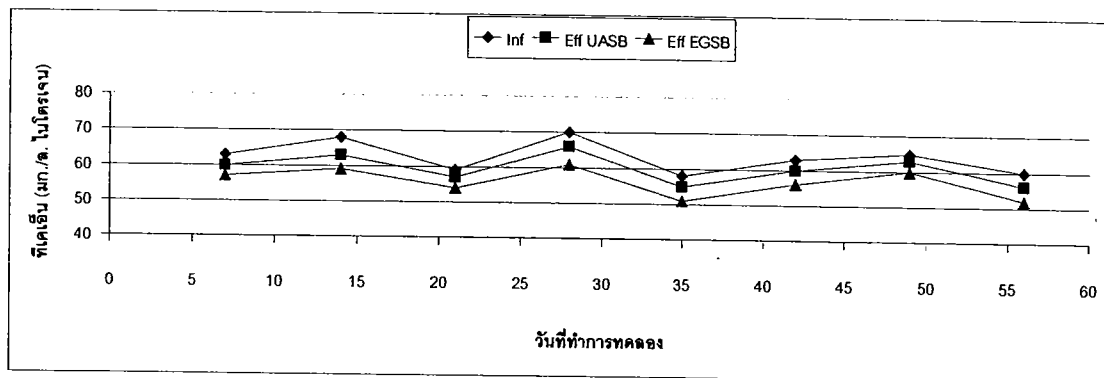
รูปที่ 4.3 การกำจัดของแข็งแขวนลอยในการทดลองช่วงที่ 1



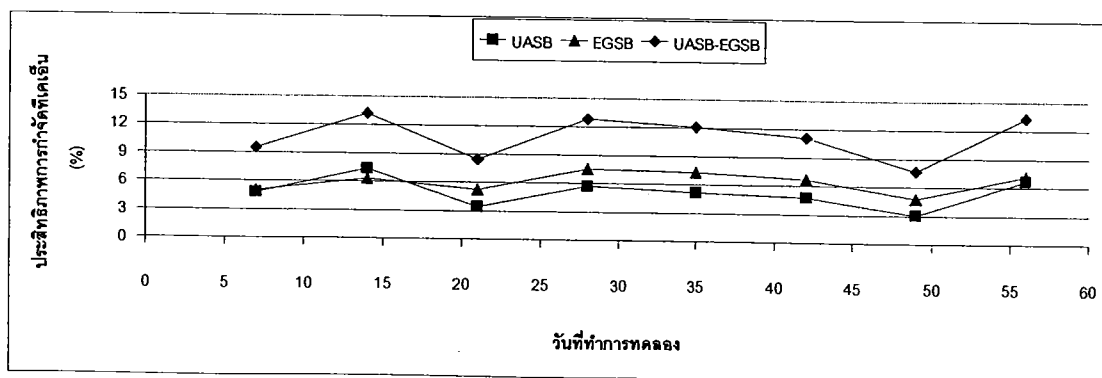
ก) การกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการซีจีเอสบี



ข) ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการซีจีเอสบี



ค) การกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการยูเอสบี - ซีจีเอสบี



ง) ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการยูเอสบี - ซีจีเอสบี

รูปที่ 4.4 การกำจัดที่เคเอ็นในการทดลองช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบจากผลการทดลอง ช่วงที่ 1

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		น้ำออกจากระบบ		น้ำออกจากระบบ	
		ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี	ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี
ซีไอดี (มก./ล.) n = 15	560	-	119	193	53
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%) n = 15	-	-	78.5	65.4	72.4
บีไอดี (มก./ล.) n = 5	329	-	68	112	31
ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี (%) n = 5	-	-	79.4	65.9	72.7
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) n = 15	227	-	77	51	17
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (%) n = 15	-	-	65.9	77.4	65.5
ทีเคเอ็น (มก./ล. ในโตรเจน) n = 5	63	-	59	60	56
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น (%) n = 5	-	-	6.3	5.1	6.7

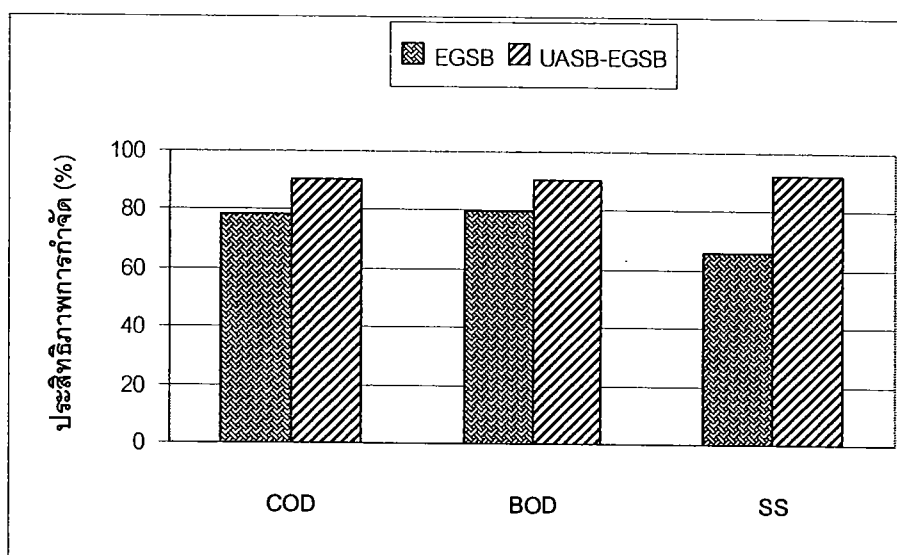
หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

จากผลการทดลองที่ได้ จะเห็นได้ว่า ระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี ไม่สามารถกำจัดทีเคเอ็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากว่า ระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการอีจีเอสบี กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จะใช้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอย มาช่วยในการวิเคราะห์

ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบี และกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบี และกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

ระบบบำบัด	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		
	ซีไอดี	บีไอดี	ของแข็งแขวนลอย
กระบวนการอีจีเอสบี	78.5	79.4	65.9
กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี	90.5	90.7	92.2



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบี และกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

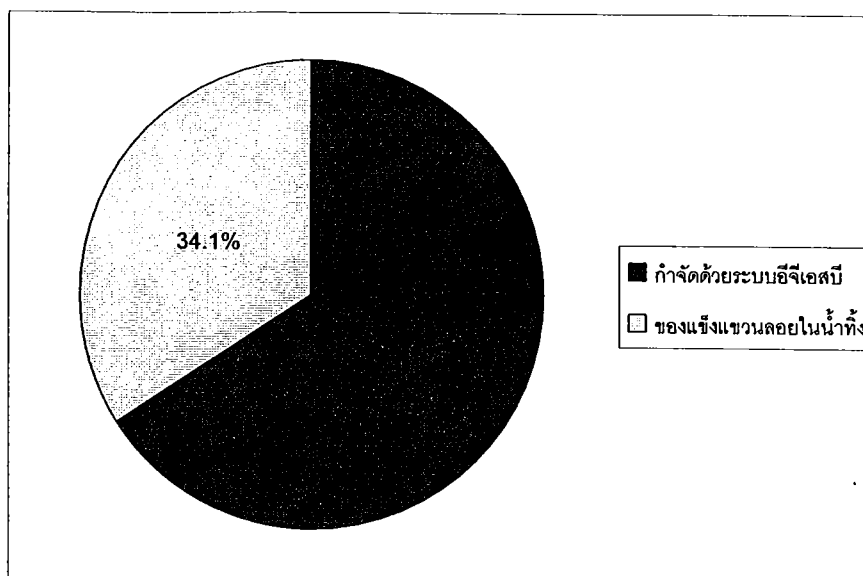
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่ากระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอย สูงกว่ากระบวนการอีจีเอสบีค่อนข้างมาก ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงนั้น การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้นก่อนที่จะบำบัดต่อด้วยระบบอีจีเอสบี จะมีความเหมาะสมมากกว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการอีจีเอสบีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากว่าระบบอีจีเอสบีไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่เพียงพอ จึงต้องใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้นในการช่วยกำจัดของแข็งแขวนลอย

4.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

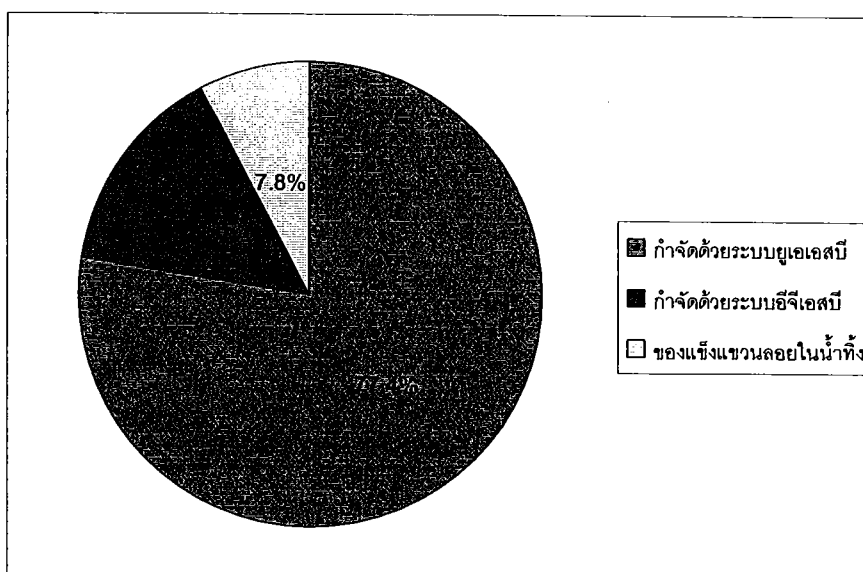
จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า การใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ในกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง กล่าวคือ ในกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ระบบยูเอเอสบีจะช่วยดักจับของแข็งแขวนลอยไว้ส่วนหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ทำให้มีของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งค่อนข้างต่ำ ซึ่งจากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ถ้าพิจารณาเฉพาะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบีนั้น จะเห็นได้ว่า ระบบอีจีเอสบีนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยค่อนข้างต่ำ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เท่ากับ 65.9 และ 65.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การที่ในชุดการทดลองที่ 2 มีการติดตั้งระบบยูเอเอสบีเป็นบำบัดขั้นต้น จะเห็นได้ว่า ระบบยูเอเอสบีจะช่วยดักจับของแข็งแขวนลอยไว้ถึง 77.4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีของแข็งแขวนลอยเหลือเพียง 22.6 เปอร์เซ็นต์ที่เข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ทำให้ระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเข้าสู่ระบบน้อยกว่าในชุดการทดลองที่ 1 และมีผลทำให้การบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่สูงกว่ากระบวนการอีจีเอสบีค่อนข้างมาก โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 4.6 ซึ่งจะพบว่า มีปริมาณของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งจากกระบวนการอีจีเอสบีมากกว่าจากกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ค่อนข้างมาก กล่าวคือ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งจากกระบวนการอีจีเอสบี และจากกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี เท่ากับ 34.1 และ 7.8 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบี กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

ระบบบำบัด	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		ประสิทธิภาพรวม ของระบบ
	ระบบยูเอเอสบี	ระบบอีจีเอสบี	
กระบวนการอีจีเอสบี	-	65.9	65.9
กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี	77.4	65.5	92.2



ก) กระบวนการอีจีเอสบี



ข) กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบี
กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

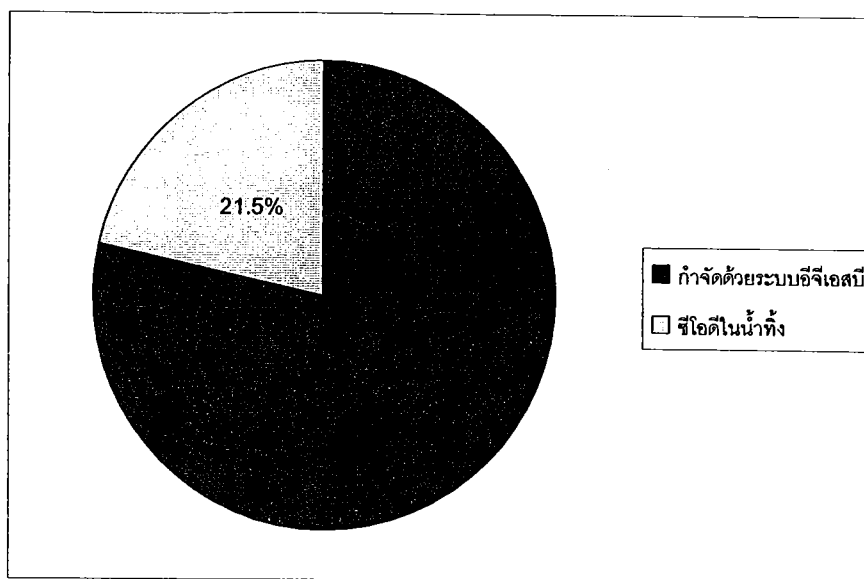
นอกจากนี้การที่มีระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ในกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี ยังจะเป็นการช่วยลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบีอีกด้วย โดยระบบยูเอเอสบี จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ซึ่งจากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าระบบยูเอเอสบีจะช่วยสลายซีโอดีในน้ำเสียไปประมาณ 65.4 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่น้ำเสีย จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จะ สูงกว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการอีจีเอสบีเพียงอย่างเดียวค่อนข้างมาก โดยจะเห็นได้จาก รูปที่ 4.7 ซึ่งจะพบว่า ปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งจากกระบวนการอีจีเอสบีมากกว่าจากกระบวนการ ยูเอเอสบี – อีจีเอสบีค่อนข้างมาก กล่าวคือ มีปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งจากกระบวนการอีจีเอสบีและ จากกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี เท่ากับ 21.5 และ 9.5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณซีโอดีทั้งหมดที่ เข้าสู่ระบบ ตามลำดับ ซึ่งค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการอีจีเอสบีกับกระบวนการยู เอเอสบี - อีจีเอสบี แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของกระบวนการอีจีเอสบี
กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

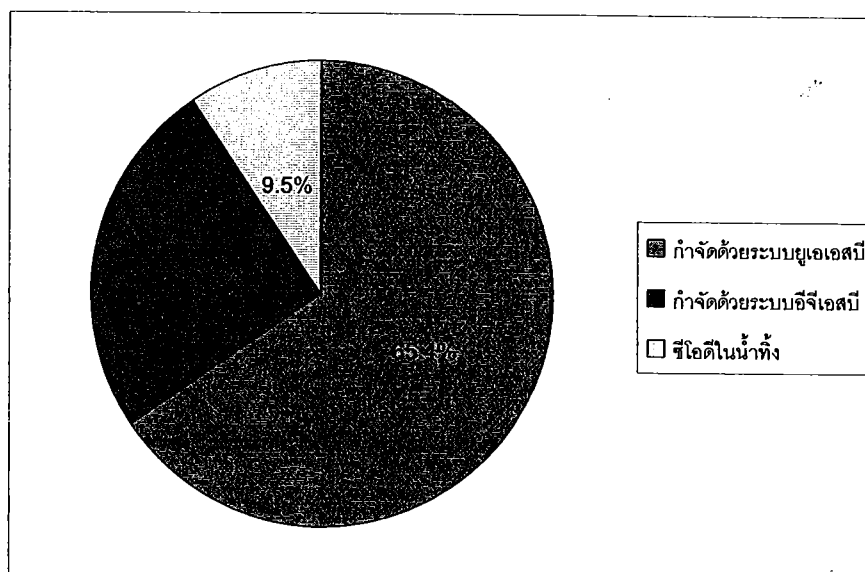
ระบบบำบัด	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		ประสิทธิภาพรวม ของระบบ
	ระบบยูเอเอสบี	ระบบอีจีเอสบี	
กระบวนการอีจีเอสบี	-	78.5	78.5
กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี	65.4	72.4	90.5

ตารางที่ 4.6 ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการอีจีเอสบี
กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

ระบบบำบัด	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	
	ระบบยูเอเอสบี	ระบบอีจีเอสบี
กระบวนการอีจีเอสบี	-	7
กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี	5	2



ก) กระบวนการอีจีเอสบี



ข) กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของกระบวนการอีจีเอสบี
กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

4.4 ผลของความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี (การทดลองช่วงที่ 2)

เนื่องจากผลการทดลองในช่วงที่ 1 จะเห็นได้ว่า กระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงกว่ากระบวนการอีจีเอสบีอย่างเดียวก่อนข้างมาก ดังนั้น ในการทดลองในช่วงนี้ จะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี ที่มีความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีเปลี่ยนไป โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ได้แก่ ซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอย และทีเคเอ็น ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอย และทีเคเอ็น ของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว

การกำจัดซีไอดี

ค่าซีไอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 582 มก./ล. โดยในชุดการทดลองที่ 1 ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. น้ำออกจากกระบวนการยูเอเอสบี มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 204 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 64.8 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากกระบวนการอีจีเอสบีมีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 48 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 76.3 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี ในการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 91.6 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. น้ำออกจากกระบวนการยูเอเอสบี มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 207 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 64.2 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากกระบวนการอีจีเอสบี มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 45 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 78.3 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี ในการกำจัดซีไอดี เท่ากับ 92.2 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีตลอดการทดลองในช่วงนี้แสดงดังรูปที่ 4.8

จากผลการทดลอง พบว่า ระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 เล็กน้อย เนื่องจากว่า ระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่ 2 มีความเร็วไหลขึ้นสูงกว่า ซึ่งเกิดจากการเวียนน้ำกลับในอัตราที่สูงกว่า ทำให้มีการขยายตัวของชั้นตะกอนมากกว่า ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทมวลสารระหว่างจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้มากขึ้น

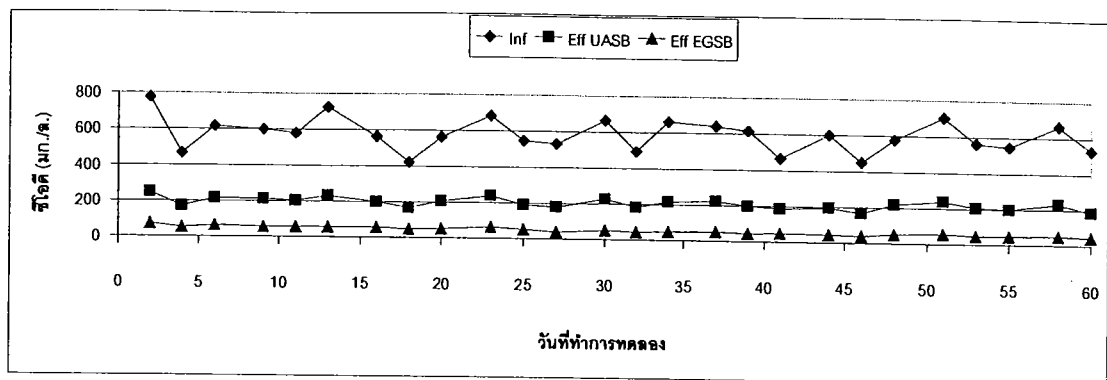
และเมื่อมาพิจารณาที่ประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัด ซีไอดี พบว่า ชุดการทดลองทั้ง 2 ชุด มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีที่ใกล้เคียงกันมาก โดยชุดการทดลองที่ 2 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเพียงเล็กน้อย

การกำจัดบีไอดี

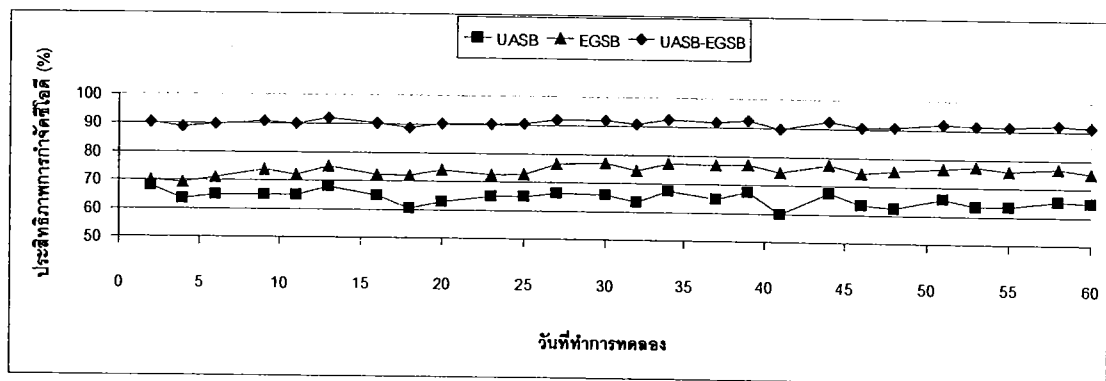
ค่าบีไอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 334 มก./ล. โดยในชุดการทดลองที่ 1 ที่ระบบ อีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าบีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 113 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีเท่ากับ 66.1 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบีมีค่าบีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 27 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีเท่ากับ 75.8 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดบีไอดีเท่ากับ 91.8 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าบีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 113 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีเท่ากับ 66.1 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าบีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 25 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีเท่ากับ 77.9 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดบีไอดีเท่ากับ 92.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าบีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.9

จากผลการทดลอง พบว่า ระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัด บีไอดีสูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 เล็กน้อยซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับค่าซีไอดี เนื่องจากว่าค่าบีไอดี เป็นสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของค่าซีไอดี กล่าวคือ ระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่ 2 มีความเร็วไหลขึ้นสูงกว่า ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นในหัวข้อการกำจัดซีไอดี

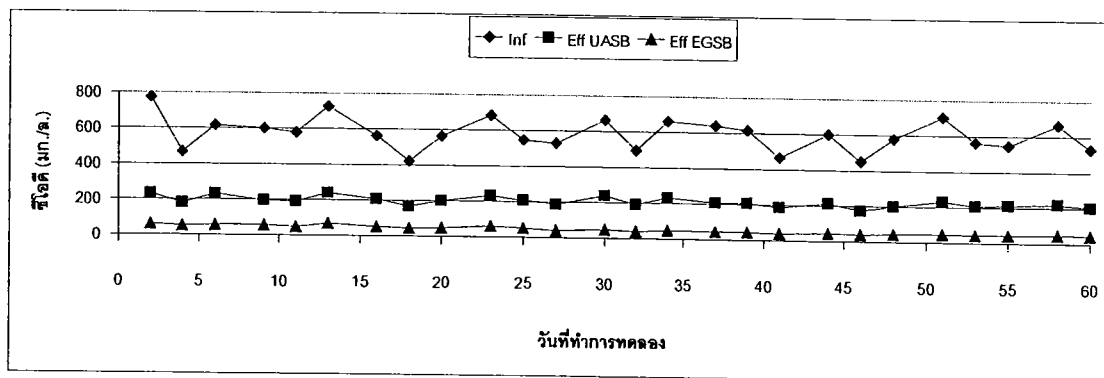
และเมื่อมาพิจารณาที่ประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัด บีไอดี พบว่า ชุดการทดลองทั้ง 2 ชุด มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีไอดีที่ใกล้เคียงกันมาก โดยชุดการทดลองที่ 2 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับค่าซีไอดี



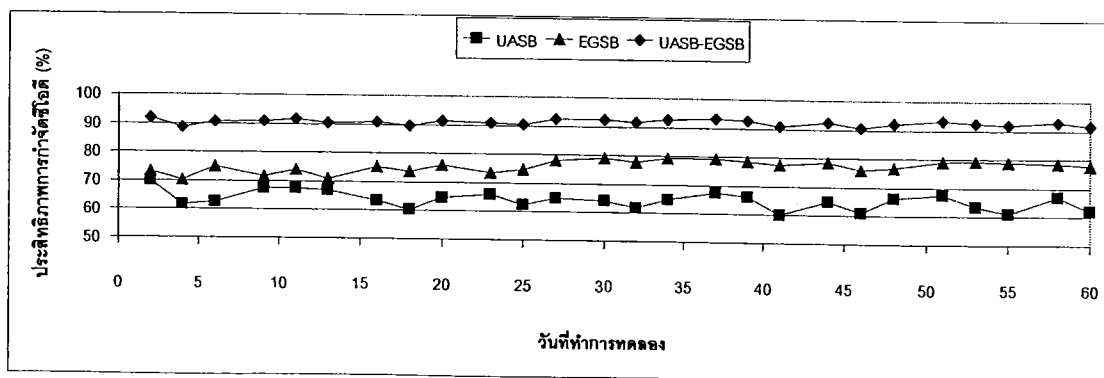
ก) การกำจัดชีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.



ข) ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.

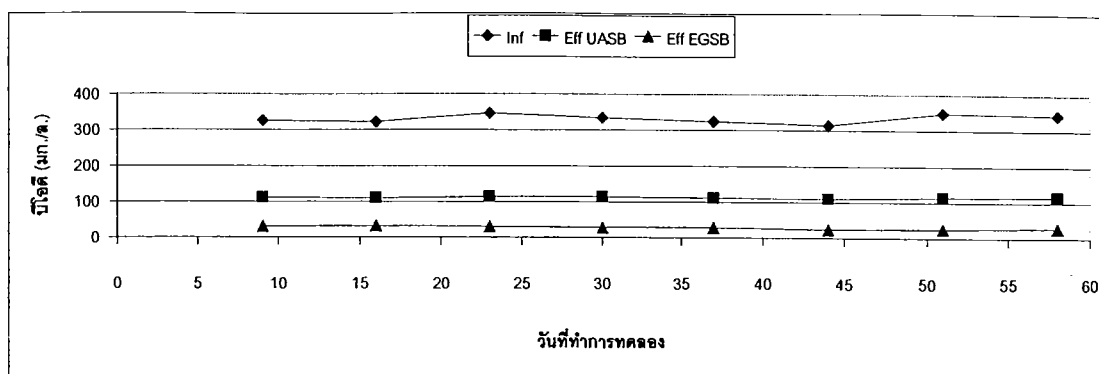


ค) การกำจัดชีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.

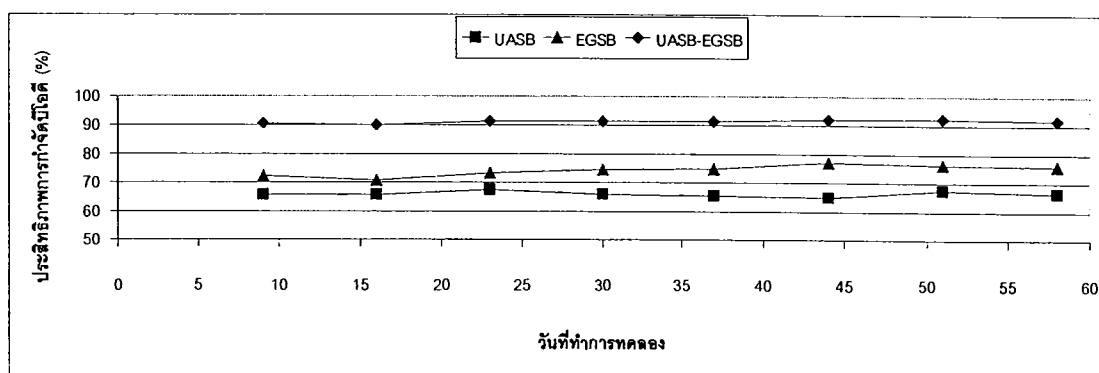


ง) ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.

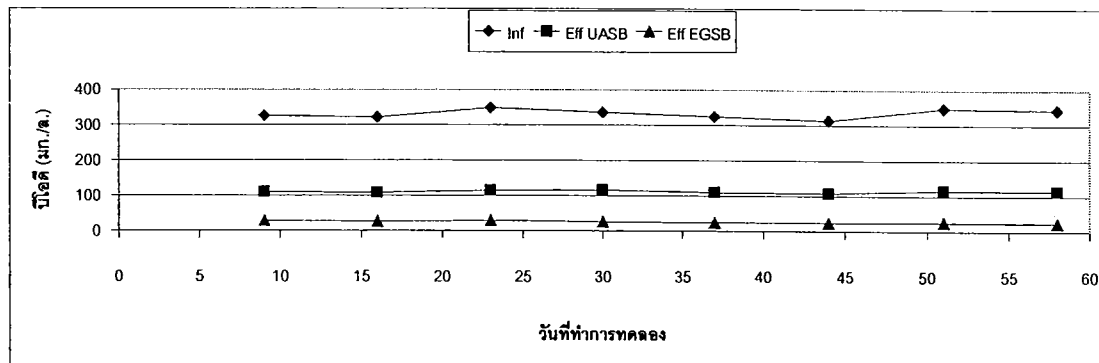
รูปที่ 4.8 การกำจัดชีโอดีในการทดลองครั้งที่ 2



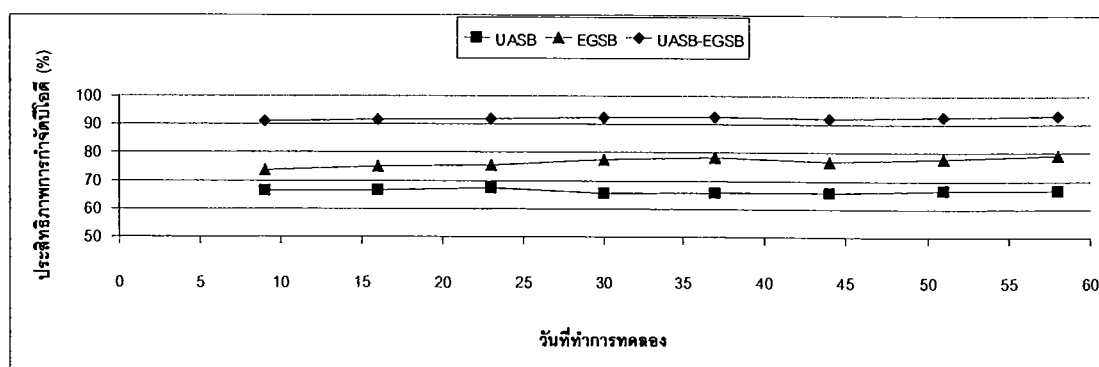
ก) การกำจัดบีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.



ข) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.



ค) การกำจัดบีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.



ง) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.

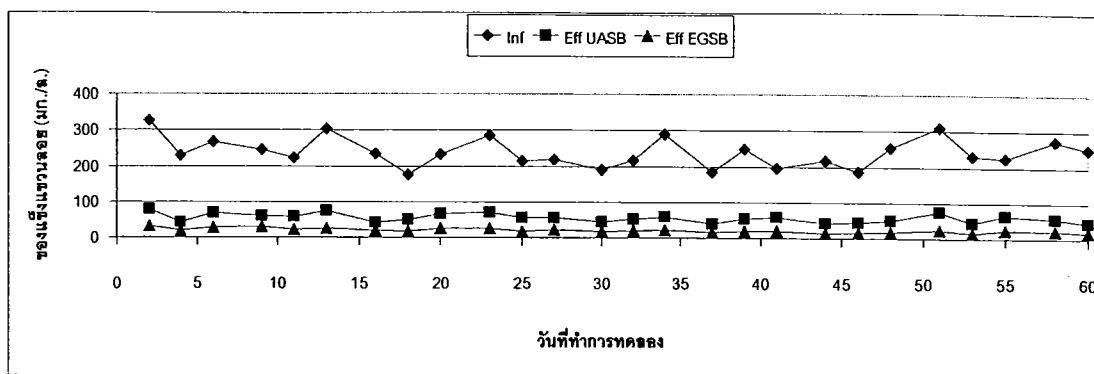
รูปที่ 4.9 การกำจัดบีโอดีในการทดลองช่วงที่ 2

การกำจัดของแข็งแขวนลอย

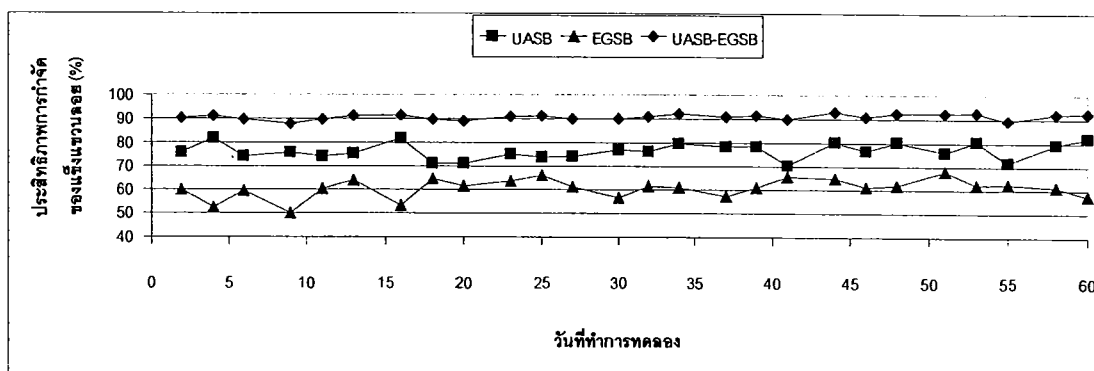
ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 233 มก./ล. โดยในชุดการทดลองที่ 1 ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 52 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 77.4 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบีมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 20 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 61.7 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 91.4 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. น้ำออกจากระบบยูเอเอสบีมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 56 มก./ล. และคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 75.9 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 24 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 57.2 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 89.7 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.10

จากผลการทดลอง พบว่า ระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 เล็กน้อย เนื่องจากว่า ระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่ 2 มีค่าความเร็วไหลขึ้นสูงกว่า ซึ่งเกิดจากการเวียนน้ำกลับในอัตราที่สูงกว่า ทำให้สภาพทางชลศาสตร์ในระบบมีความปั่นป่วนมากกว่า ของแข็งแขวนลอยจึงไม่สามารถตกตะกอนภายในระบบได้โดยง่าย ดังนั้นจึงเกิดการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยไปกับน้ำที่ออกจากระบบ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง แม้ว่าการเพิ่มความเร็วไหลขึ้น โดยการเวียนน้ำกลับ จะเป็นการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทมวลสารระหว่างจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้มากขึ้น แต่ของแข็งแขวนลอยเป็นของแข็งซึ่งต้องใช้ระยะเวลานานในการย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้การเวียนน้ำกลับในระบบ ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลสารระหว่างของแข็งในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ได้

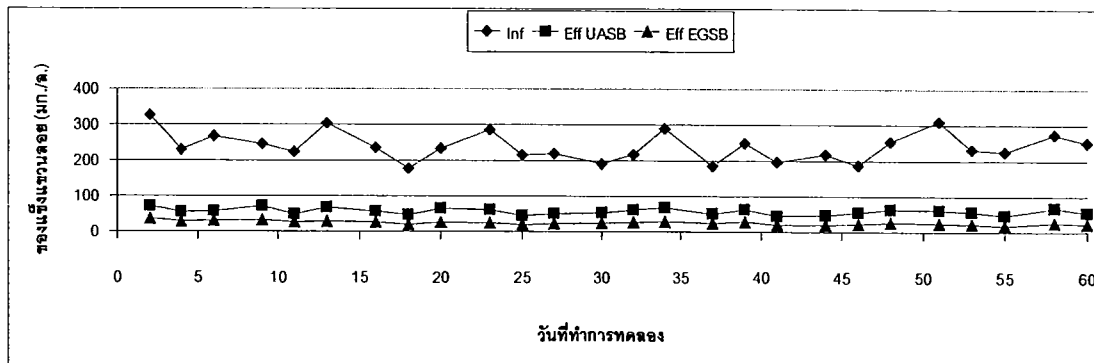
และเมื่อมาพิจารณาที่ประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดของแข็งแขวนลอย พบว่า ชุดการทดลองทั้ง 2 ชุด มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ใกล้เคียงกันมาก โดยชุดการทดลองที่ 2 จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย



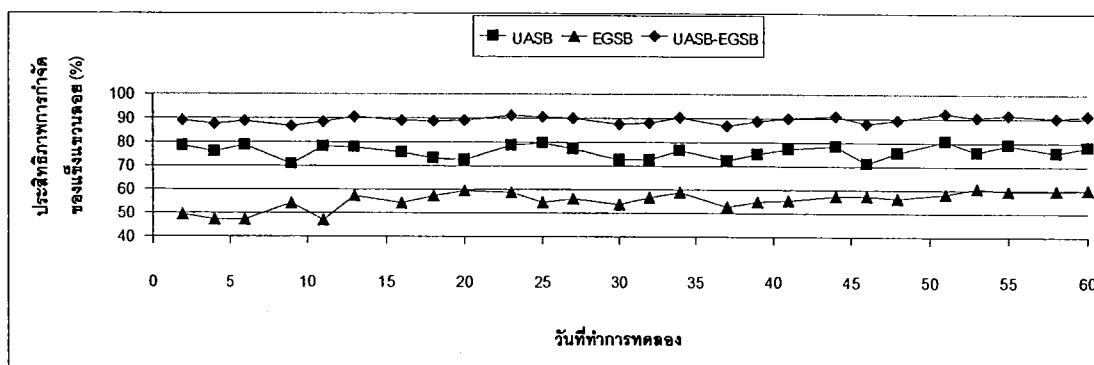
ก) การกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอสบี-อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.



ข) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอสบี-อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.



ค) การกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอสบี-อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.



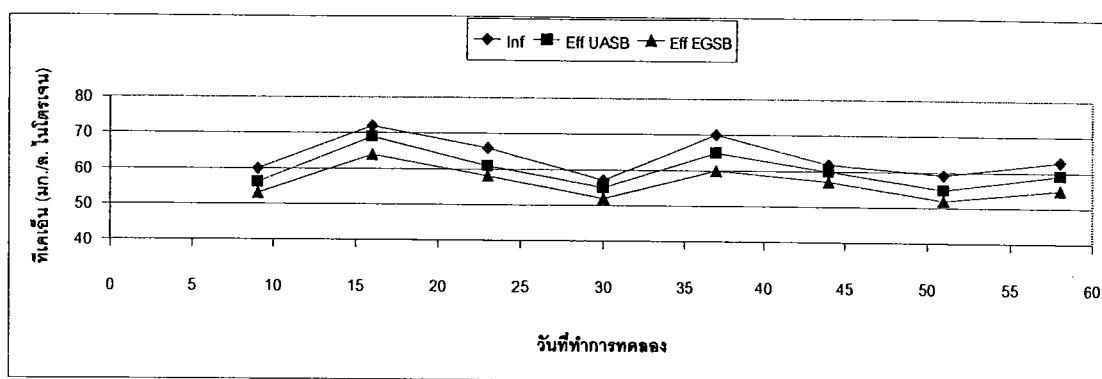
ง) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอสบี-อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.

รูปที่ 4.10 การกำจัดของแข็งแขวนลอยในการทดลองครั้งที่ 2

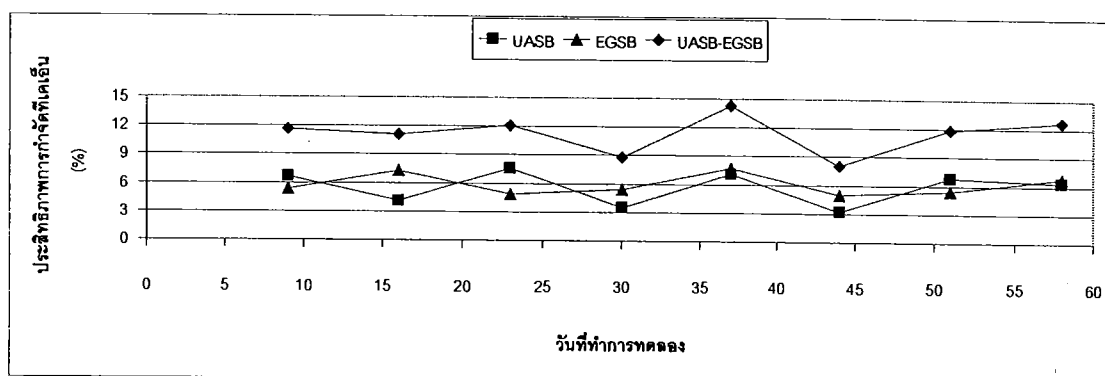
การกำจัดที่เคเอ็น

ค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 62 มก./ล. ในโตรเจน โดยในชุดการทดลองที่ 1 ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 59 มก./ล. ในโตรเจน คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 5.4 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 55 มก./ล. ในโตรเจน คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 6.1 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 11.1 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 58 มก./ล. ในโตรเจน คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 6.1 เปอร์เซ็นต์ น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 55 มก./ล. ในโตรเจน คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 6.3 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 12.0 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ค่าที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.11

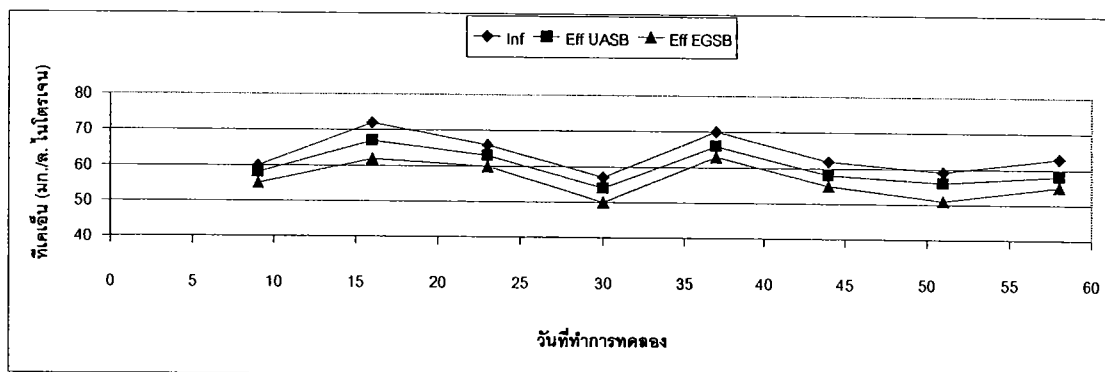
จากผลการทดลอง พบว่า ระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี ในทั้ง 2 ชุดการทดลอง ไม่สามารถกำจัดที่เคเอ็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากว่า ระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นในการทดลองช่วงที่ 1



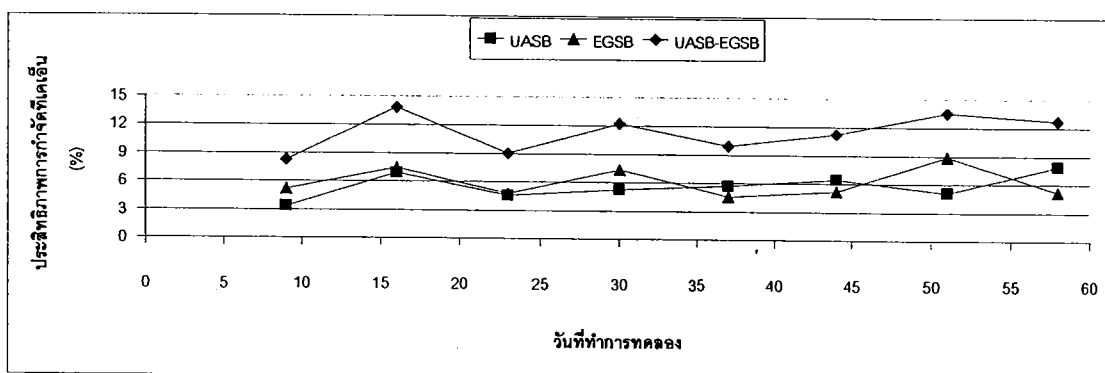
ก) การกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.



ข) ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.



ค) การกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.



ง) ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการยูเอสบี - อีจีเอสบี ที่ระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.

รูปที่ 4.11 การกำจัดที่เคเอ็นในการทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบจากผลการทดลอง ช่วงที่ 2

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		น้ำออกจากระบบ		น้ำออกจากระบบ	
		ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี	ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี
ซีไอดี (มก./ล.) n = 15	582	204	48	207	45
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%) n = 15	-	64.8	76.3	64.2	78.3
บีไอดี (มก./ล.) n = 5	334	113	27	113	25
ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี (%) n = 5	-	66.1	75.8	66.1	77.9
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) n = 15	233	52	20	56	24
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (%) n = 15	-	77.4	61.7	75.9	57.2
ทีเคเอ็น (มก./ล. ในโตรเจน) n = 5	62	59	55	58	55
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น (%) n = 5	-	5.4	6.1	6.1	6.3

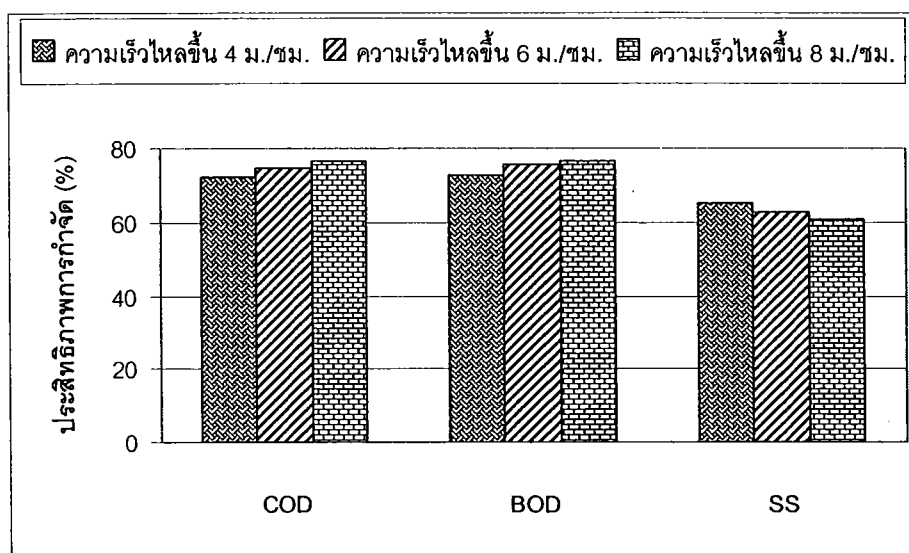
หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่องการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบี มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบีหรือไม่ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ ได้แก่ ซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอย โดยจะไม่นำค่าทีเคเอ็นมาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากว่ากระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศซึ่งไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็น ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

โดยจะพิจารณาที่ในส่วน of ระบบอีจีเอสบี ก่อน ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอย ของระบบอีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบี ที่มี
ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ

ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		
	ซีไอดี	บีไอดี	ของแข็งแขวนลอย
4	72.4	72.7	65.5
6	76.3	75.8	61.7
8	78.3	77.9	57.2



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยของ
ระบบอีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีสูงขึ้น จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และบีไอดี สูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากว่า การเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบี จะทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์มากขึ้น ซึ่งเป็น การเพิ่มโอกาสการสัมผัสกันระหว่างจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้มากขึ้นด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลสารระหว่างจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์ในน้ำเสียสูงขึ้น

ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะลดลง เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบ อีจีเอสบีสูงขึ้น เนื่องจากว่า ความเร็วไหลขึ้นที่สูง จะทำให้สภาพทางศาสตร์ในระบบมีความปั่นป่วนเพิ่มขึ้น ของแข็งแขวนลอยจึงไม่สามารถตกตะกอนภายในระบบได้โดยง่าย จะทำให้ของแข็งแขวนลอยที่มีน้ำหนักเบาหรือตกตะกอนได้ช้าหลุดออกจากระบบ และนอกจากนี้ของแข็งแขวนลอยเป็นของแข็ง ซึ่งต้องใช้ระยะเวลานานในการย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้การเวียนน้ำกลับเข้าสู่ในระบบ ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลสารระหว่างของแข็งในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ได้

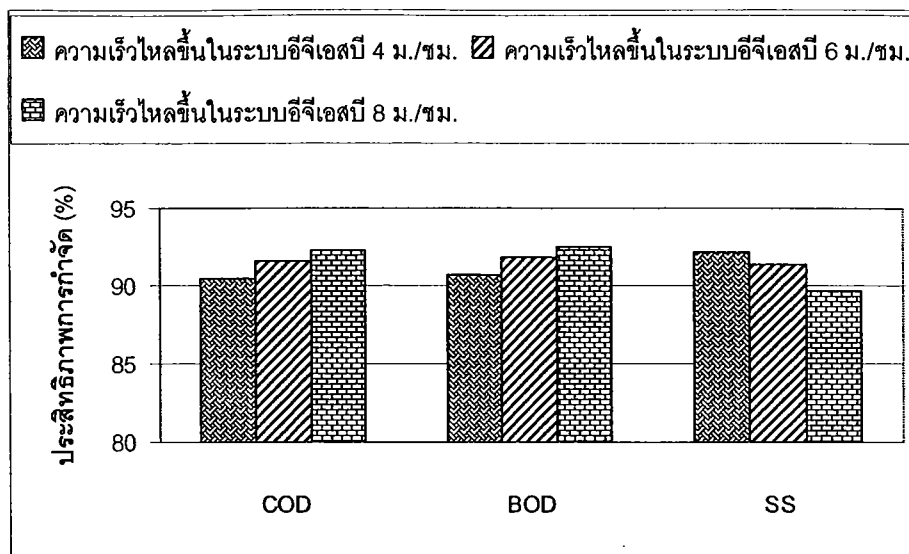
ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี กล่าวคือ เมื่อความเร็วไหลขึ้นของระบบสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลาย ซึ่งได้แก่ ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และบีไอดี จะสูงขึ้นด้วย แต่จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง ซึ่งได้แก่ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะลดลงด้วยเช่นกัน

เมื่อมาพิจารณาที่ประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ที่มีความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีเปลี่ยนไป ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี บีไอดีและของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีมีค่าต่างๆ

ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		
	ซีไอดี	บีไอดี	ของแข็งแขวนลอย
4	90.5	90.7	92.2
6	91.6	91.8	91.4
8	92.2	92.5	89.7

จะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีสูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และบีไอดี จะสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะลดลง ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับระบบอีจีเอสบี เนื่องจากว่าระบบอีจีเอสบีเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี ดังนั้น เมื่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีเพิ่มขึ้นหรือลดลง ก็จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีมีค่าต่างๆ

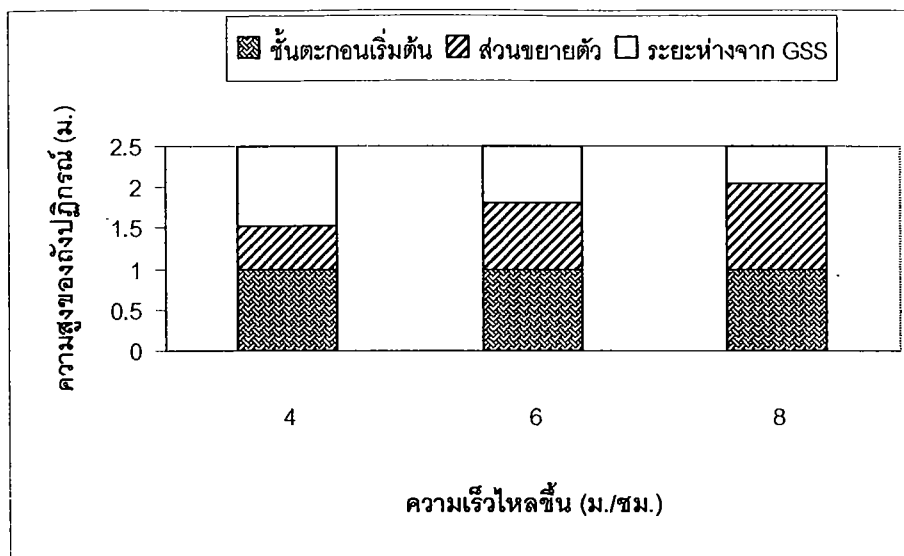
4.5 การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี

ในการเริ่มต้นระบบอีจีเอสบี จะเติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ลงในถังปฏิกรณ์ ในปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ ดังนั้นระดับความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับเริ่มต้นเท่ากับ 1 ม. ซึ่งเมื่อทำการเดินระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ จะเกิดการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ แสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.14

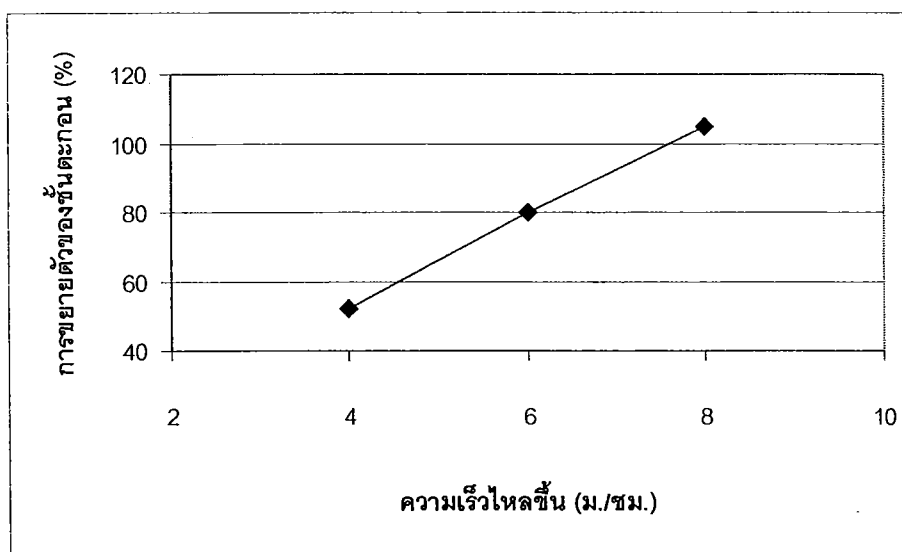
และจากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.14 ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์กับความเร็วไหลขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.10 การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี

ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ความสูงของชั้น ตะกอนจุลินทรีย์ที่ ระดับเริ่มต้น (ม.)	ความสูงของชั้น ตะกอนจุลินทรีย์ที่ ขยายตัว (ม.)	เปอร์เซ็นต์การขยาย ตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ (%)
4	1.00	1.52	52
6	1.00	1.80	80
8	1.00	2.05	105



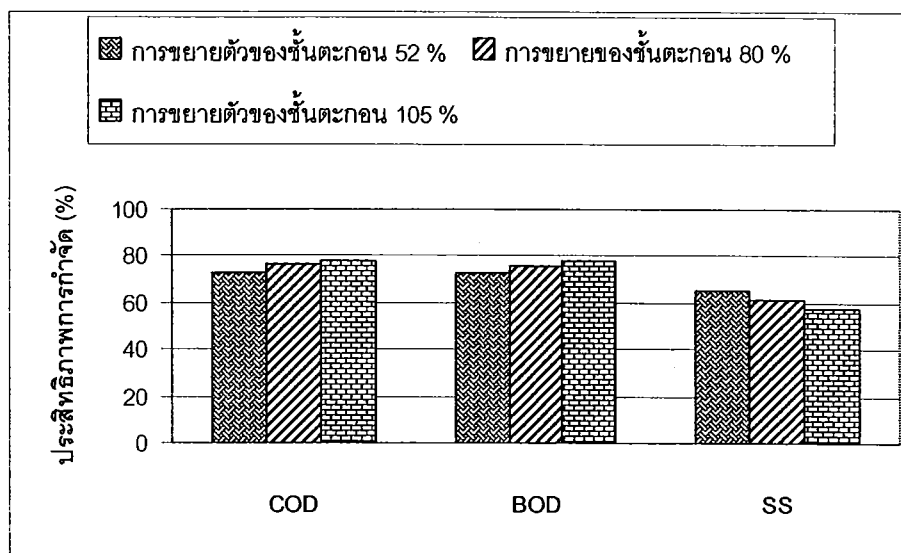
รูปที่ 4.14 ความสูงของการขยายตัวของชั้นตะกอนที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์กับความเร็วไหลขึ้น

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า ที่ความเร็วไหลขึ้น 4 6 และ 8 ม./ชม. จะเกิดการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์คิดเป็น 52 80 และ 105 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงว่า ความเร็วไหลขึ้นมีผลโดยตรงต่อการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ กล่าวคือ เปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วไหลขึ้นที่สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงผลของการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ อีจีเอสบี จะเป็นไปตามรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ผลของการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ

จากรูปที่ 4.16 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และบีโอดี จะสูงขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย จะลดลงตามเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น จะเป็นการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทมวลสารระหว่างจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย แต่ในขณะเดียวกันก็อาจเกิดการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยมากขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะในการตกตะกอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์น้อยลง ดังนั้น ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอีจีเอสบี ควรที่จะพิจารณาถึงการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบด้วย กล่าวคือ ต้องพิจารณาความเร็วไหลขึ้นควบคู่ไปกับการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ โดยความเร็วไหลขึ้นในระบบจะต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มากเกินไป ส่งผลให้ ระยะในการตกตะกอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไม่เพียงพอ จนกระทั่งเกิดการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยจากระบบในปริมาณมาก

4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบ

ตลอดการทดลองทั้ง 2 ช่วง จะใช้ค่าพารามิเตอร์ในการติดตามการทำงานของระบบ ได้แก่ อุณหภูมิ สภาพต่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย พีเอช และไออาร์พี ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบของการทดลองช่วงที่ 1 และ 2 แสดงดังตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ ซึ่งแสดงเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว

อุณหภูมิ

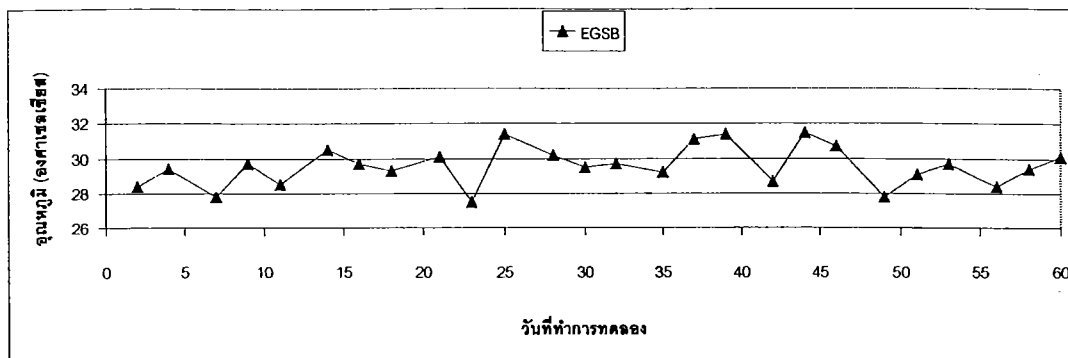
การทดลองช่วงที่ 1 ในชุดการทดลองที่ 1 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ 29.8 องศาเซลเซียส ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 29.9 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ 29.6 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิภายในระบบตลอดการทดลองในช่วงที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.17

การทดลองช่วงที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 1 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 29.8 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ 29.9 องศาเซลเซียส ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 29.6 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ 29.9 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิภายในระบบตลอดการทดลองในช่วงที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.18

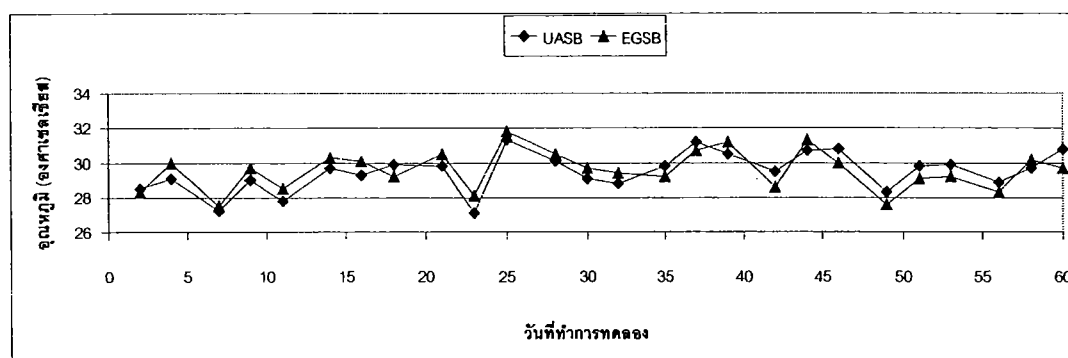
จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิภายในแต่ละระบบมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันมาก และต่างอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงเทอร์โมฟิลิค ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

สภาพต่างทั้งหมด

การทดลองช่วงที่ 1 ค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 268 มก./ล. หินปูน โดยในชุดการทดลองที่ 1 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 282 มก./ล. หินปูน ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 286 มก./ล. หินปูน น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 297 มก./ล. หินปูน โดยค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.19

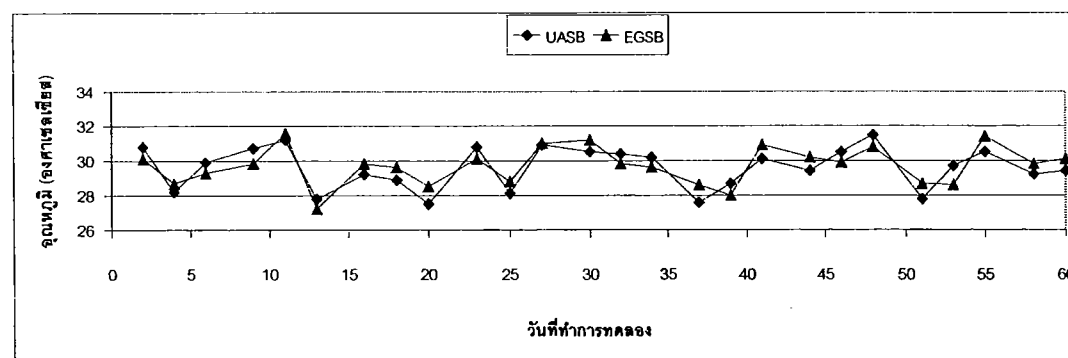


ก) ชุดการทดลองที่ 1

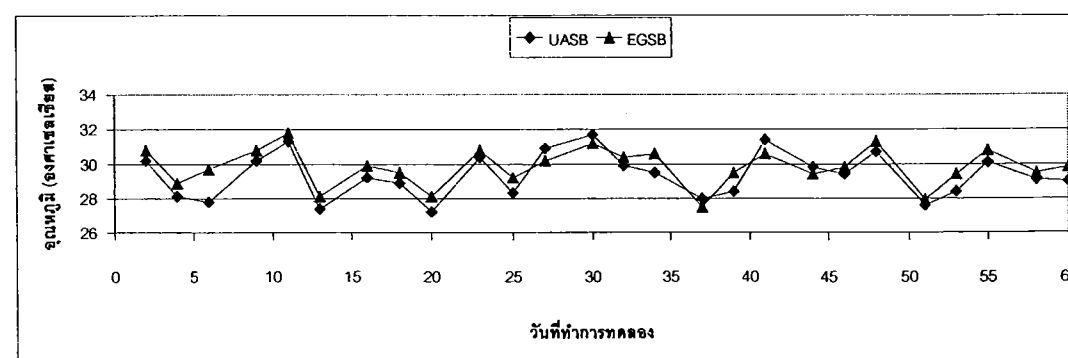


ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.17 ค่าอุณหภูมิภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 1

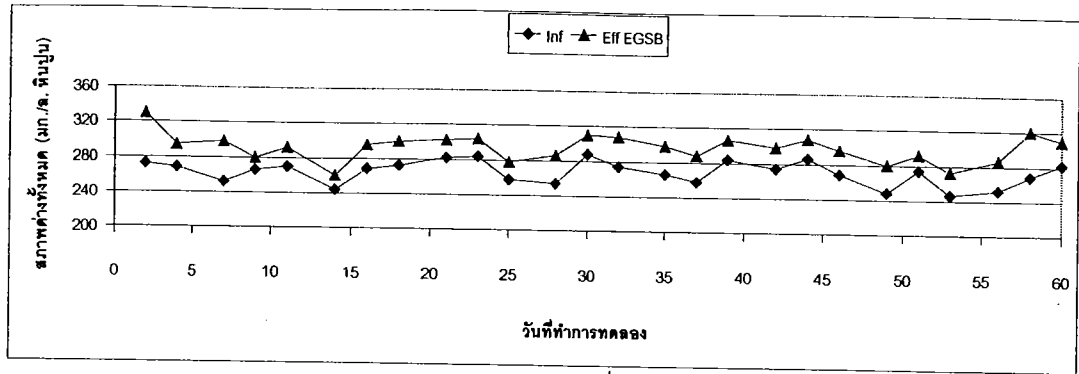


ก) ชุดการทดลองที่ 1

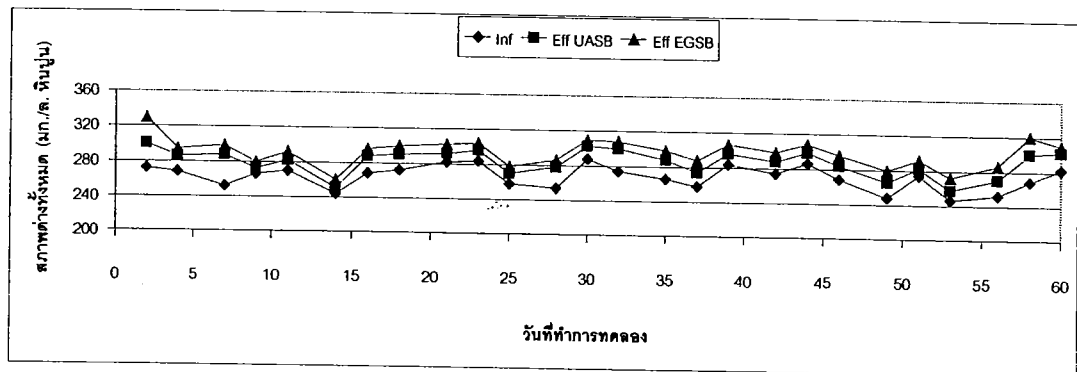


ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.18 ค่าอุณหภูมิภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 2

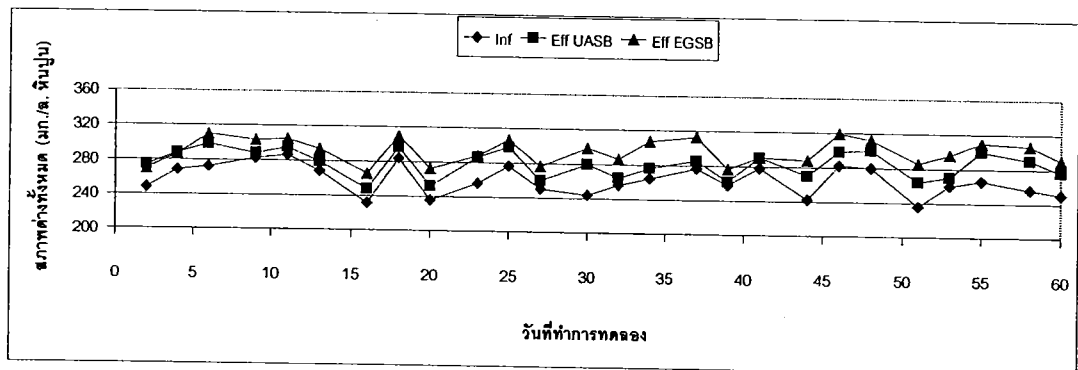


ก) ชุดการทดลองที่ 1

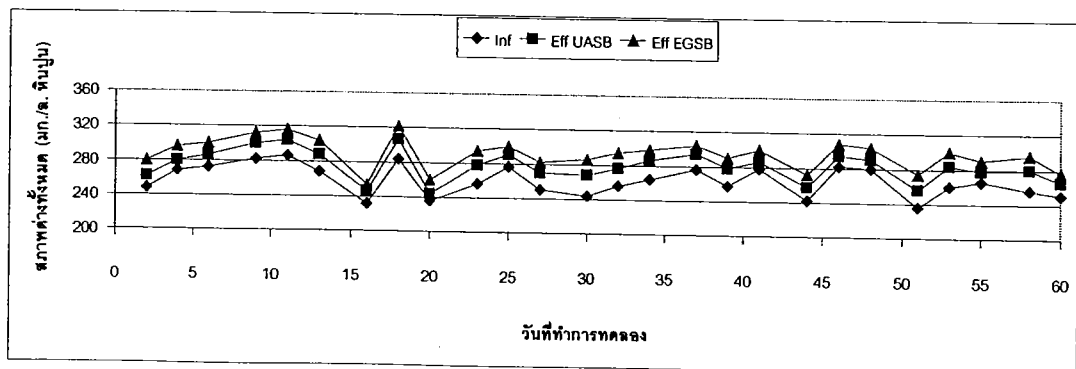


ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.19 ค่าสภาพต่างทั้งหมดในการทดลองครั้งที่ 1



ก) ชุดการทดลองที่ 1



ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.20 ค่าสภาพต่างทั้งหมดในการทดลองครั้งที่ 2

การทดลองช่วงที่ 2 ค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 260 มก./ล. หินปูน โดยในชุดการทดลองที่ 1 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 279 มก./ล. หินปูน น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 297 มก./ล. หินปูน ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 278 มก./ล. หินปูน น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 292 มก./ล. หินปูน โดยค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.20

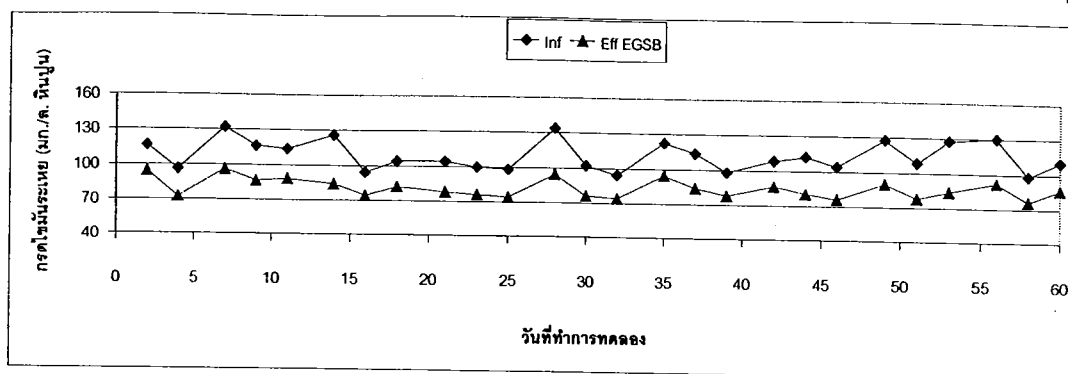
จากผลการทดลอง พบว่า ค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำที่ออกจากระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบีในการทดลองทั้ง 2 ช่วง จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำที่เข้าระบบ เนื่องจากเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำเสียให้กลายเป็นแอมโมเนียในโตรเจน ซึ่งมันลิน ตันทูลเวศม์ (2545) กล่าวว่า จะมีสภาพต่างต่างไปคาร์บอนเกิดขึ้น 3.6 มก./ล. หินปูน ต่อการย่อยสลายที่เคเอ็น 1 มก./ล. นอกจากนี้ ปริมาณกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัดในระบบยังเป็นการเพิ่มสภาพต่างไปคาร์บอนให้กับระบบอีกด้วย

กรดไขมันระเหย

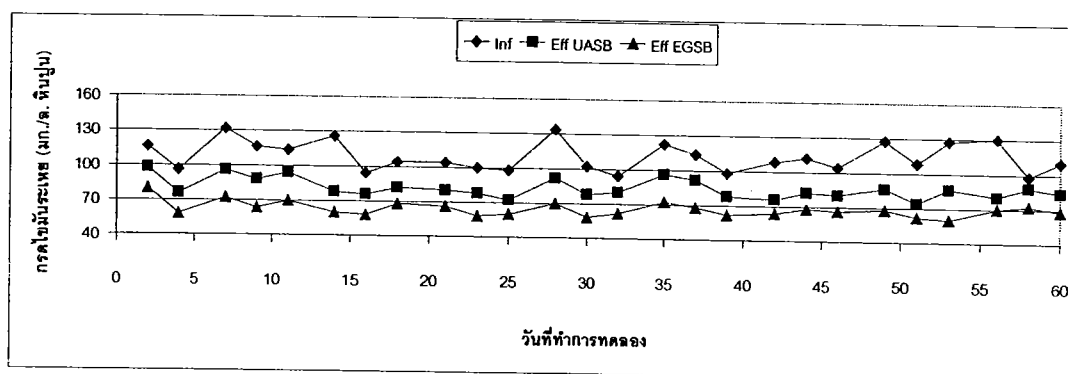
การทดลองช่วงที่ 1 ค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 113 มก./ล. หินปูน โดยในชุดการทดลองที่ 1 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 83 มก./ล. หินปูน ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 84 มก./ล. หินปูน น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 66 มก./ล. หินปูน โดยค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.21

การทดลองช่วงที่ 2 ค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 112 มก./ล. หินปูน โดยในชุดการทดลองที่ 1 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 87 มก./ล. หินปูน น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 66 มก./ล. หินปูน ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 82 มก./ล. หินปูน น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 64 มก./ล. หินปูน โดยค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.22

จากผลการทดลอง พบว่า ค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยของน้ำที่ออกจากระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบีในการทดลองทั้ง 2 ช่วง จะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำที่เข้าระบบ เนื่องจากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าระบบ ซึ่งกรดไขมันระเหยก็เป็นสารอินทรีย์เช่นกัน

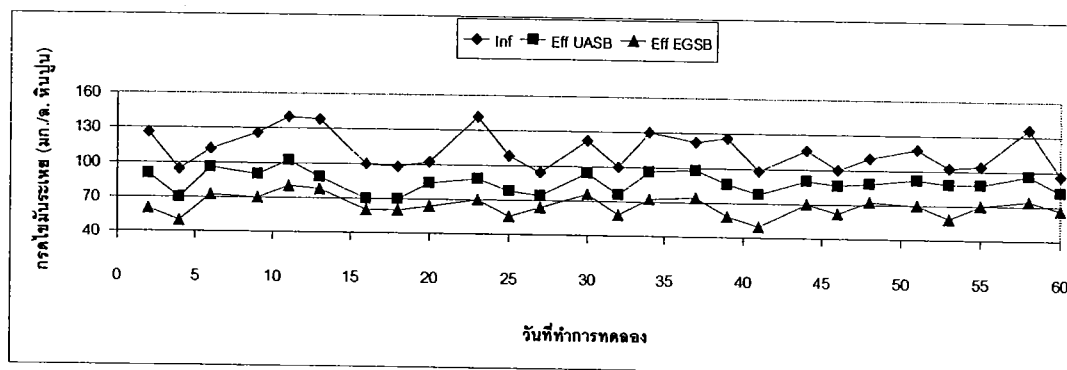


ก) ชุดการทดลองที่ 1

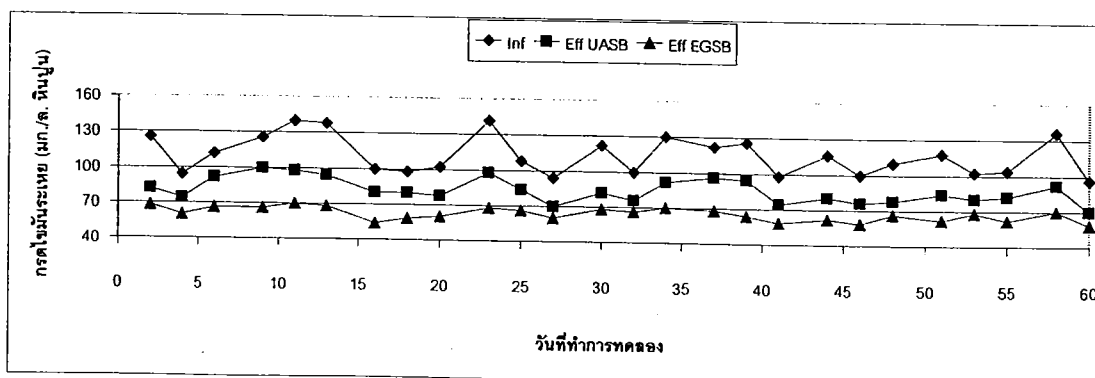


ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.21 ค่ากรดไขมันระเหยในการทดลองช่วงที่ 1



ก) ชุดการทดลองที่ 1



ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.22 ค่ากรดไขมันระเหยในการทดลองช่วงที่ 2

กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

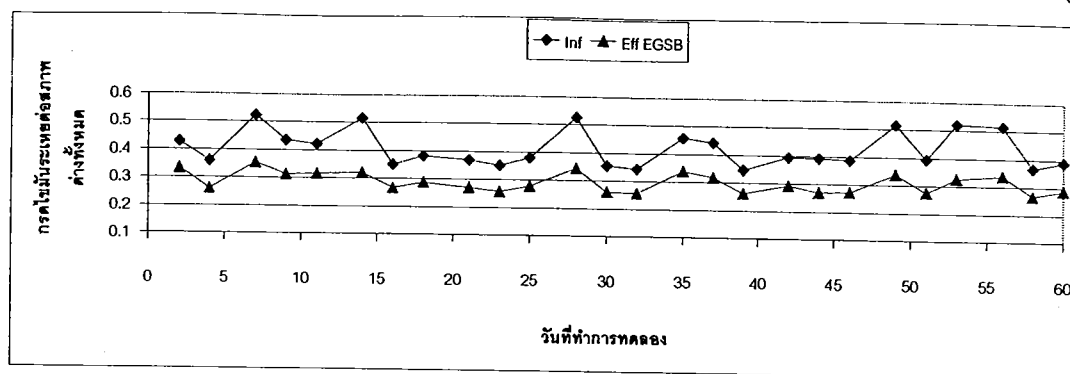
การทดลองช่วงที่ 1 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.42 โดยในชุดการทดลองที่ 1 น้ำที่ออกจากระบบอีจีเอสบี จะมีค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 ขณะที่ในชุดการทดลองที่ 2 น้ำที่ออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 น้ำที่ออกจากระบบอีจีเอสบี จะมีค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 โดยค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.23

การทดลองช่วงที่ 2 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 0.43 ในชุดการทดลองที่ 1 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบีมีค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 โดยค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.24

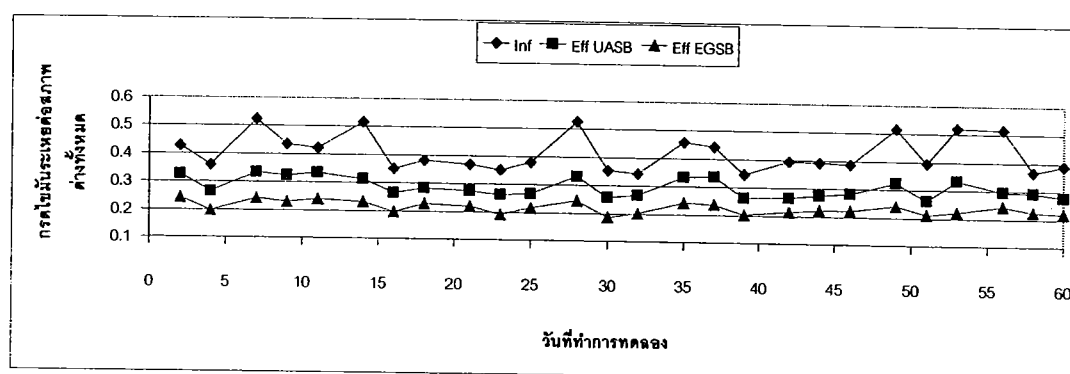
จากผลการทดลอง พบว่า ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบีในการทดลองทั้ง 2 ช่วง จะมีค่าน้อยกว่า 0.40 ตลอดการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีกำลังบำบัดที่เพียงพอ และเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

ฟิเอช

การทดลองช่วงที่ 1 ค่าฟิเอชเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 7.1 มก./ล. หินปูน โดยในชุดการทดลองที่ 1 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าฟิเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าฟิเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าฟิเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.3 โดยค่าฟิเอชตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.25

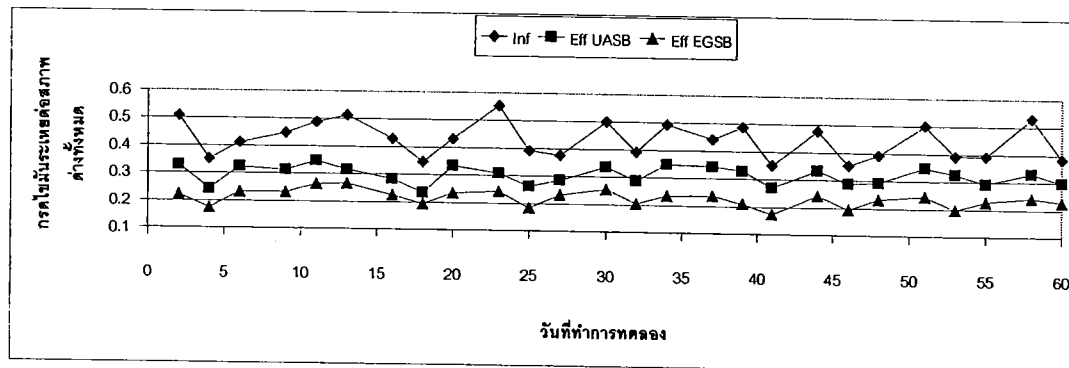


ก) ชุดการทดลองที่ 1

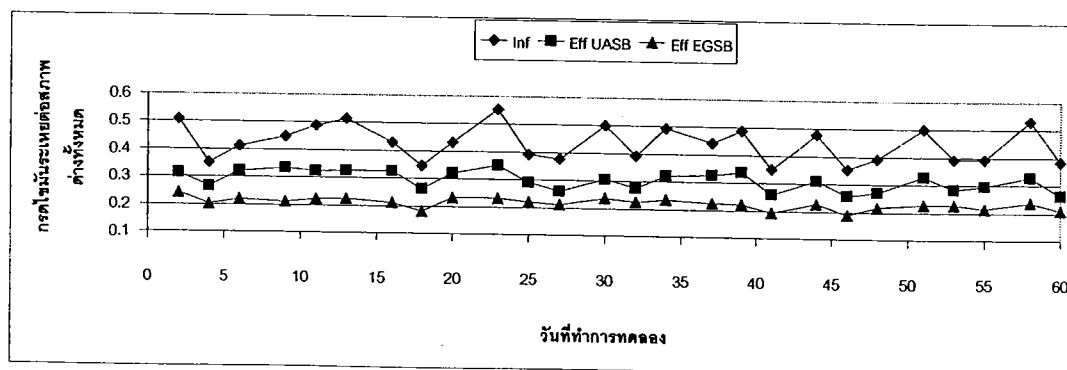


ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.23 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 1

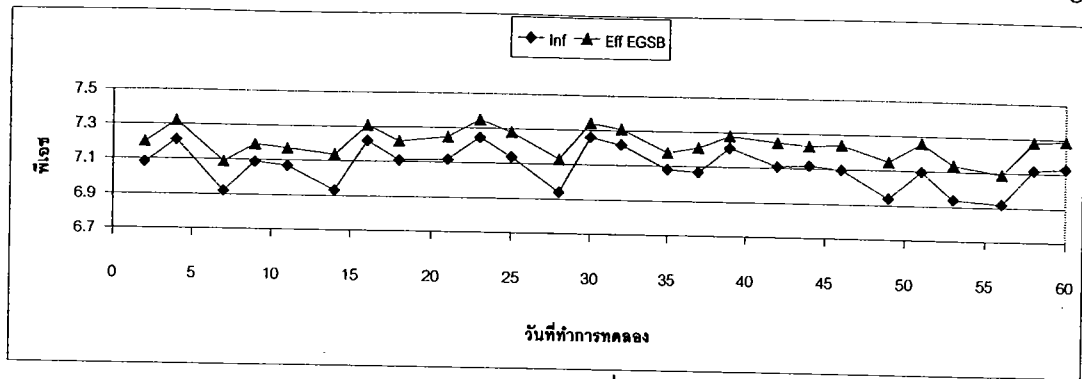


ก) ชุดการทดลองที่ 1

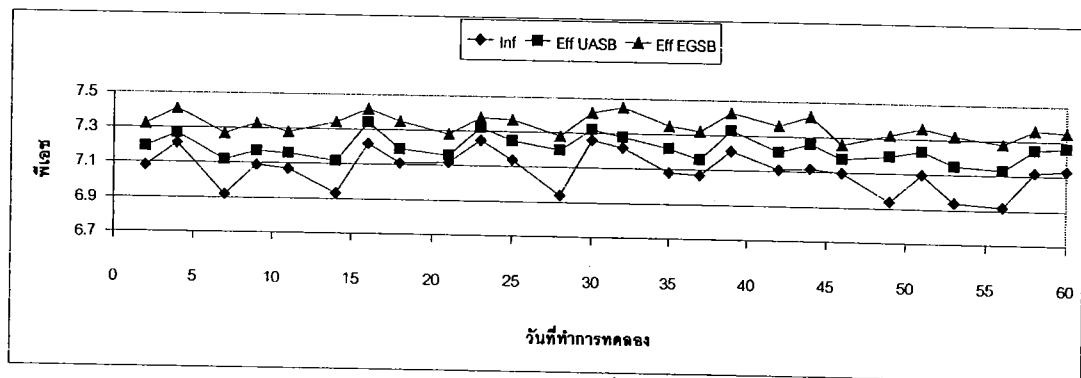


ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.24 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 2

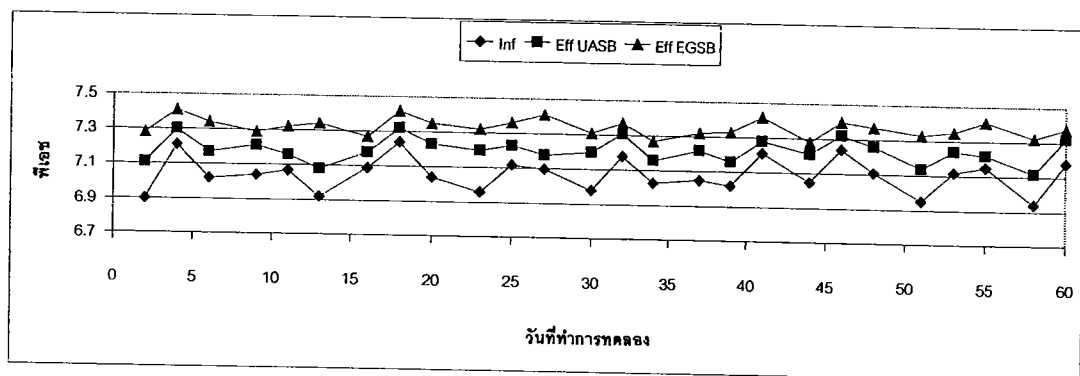


ก) ชุดการทดลองที่ 1

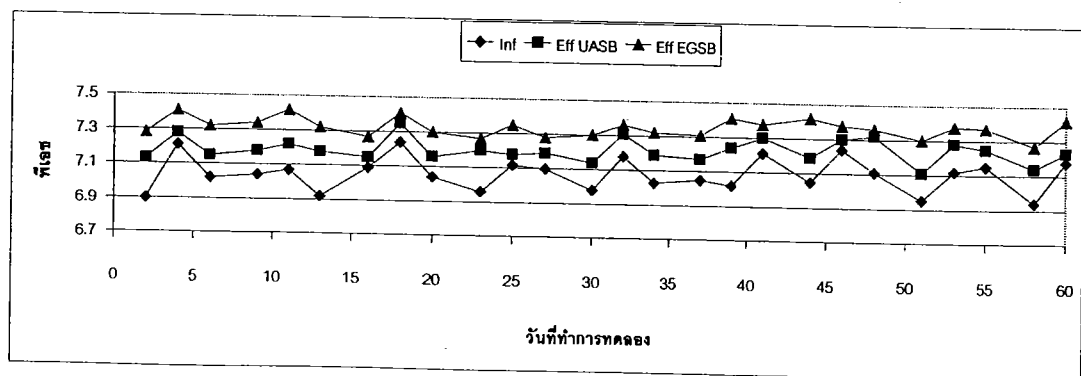


ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.25 ค่าพีเอชในการทดลองช่วงที่ 1



ก) ชุดการทดลองที่ 1



ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.26 ค่าพีเอชในการทดลองช่วงที่ 2

การทดลองช่วงที่ 2 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 7.1 โดยในชุดการทดลองที่ 1 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.4 ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.3 โดยค่าพีเอชตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.26

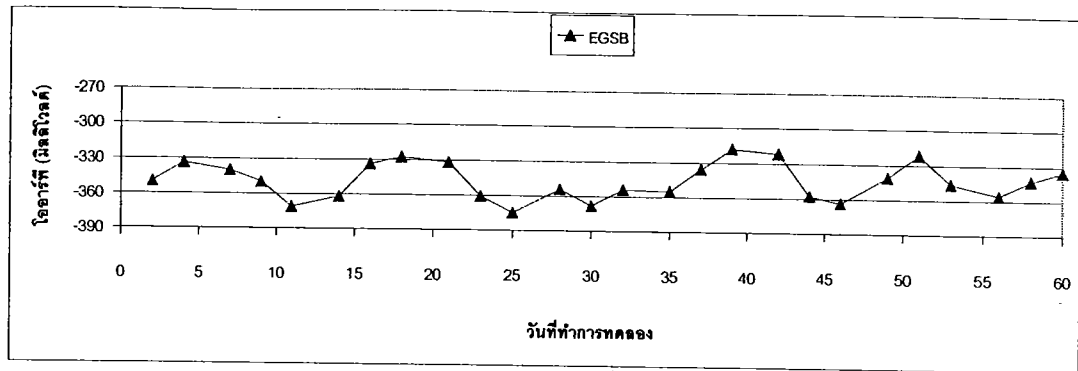
จากผลการทดลอง พบว่าค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำที่ออกจากระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบี ในการทดลองทั้ง 2 ช่วง จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำที่เข้าระบบ เนื่องจาก ปริมาณสภาพต่างทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในระบบ และปริมาณกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัดไป และจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบตลอดการทดลอง จะอยู่ในช่วง 6.5 – 8.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

ไออาร์พี

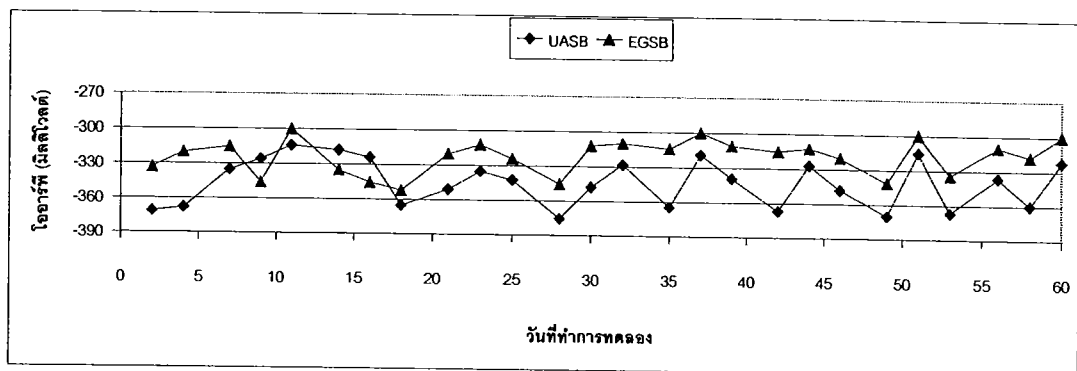
การทดลองช่วงที่ 1 ในชุดการทดลองที่ 1 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ -345 มิลลิโวลต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ -346 มิลลิโวลต์ และค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ -316 มิลลิโวลต์ โดยค่าไออาร์พีภายในระบบตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.27

การทดลองช่วงที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 1 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ -346 มิลลิโวลต์ ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ -319 มิลลิโวลต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ -350 มิลลิโวลต์ และค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ -312 มิลลิโวลต์ โดยค่าไออาร์พีภายในระบบตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.28

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าไออาร์พีเฉลี่ยในแต่ละระบบมีค่าใกล้เคียงกันมาก และมีค่าอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

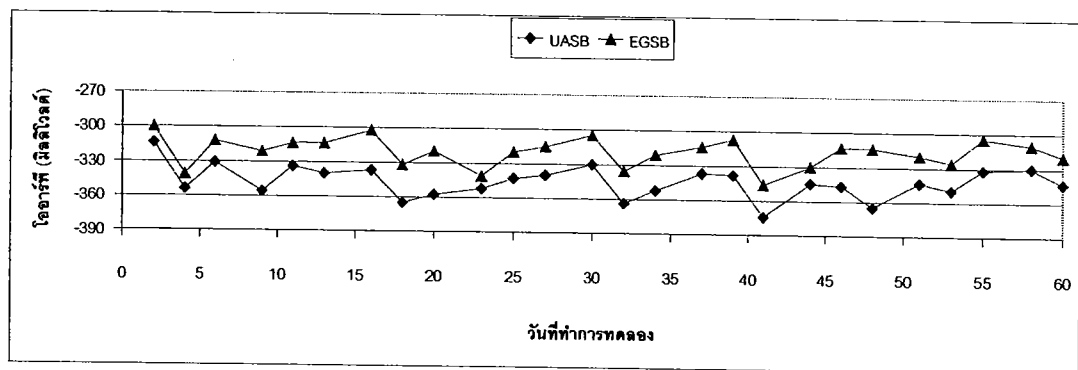


ก) ชุดการทดลองที่ 1

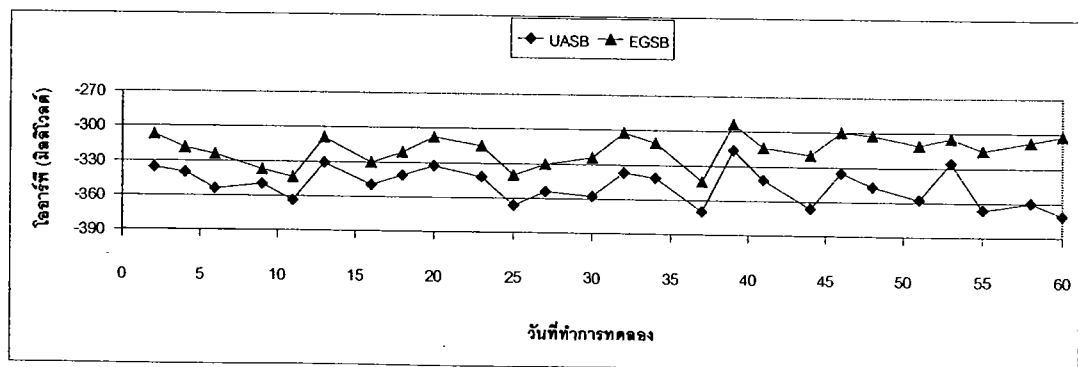


ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.27 ค่าโออาร์พีภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 1



ก) ชุดการทดลองที่ 1



ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.28 ค่าโออาร์พีภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบในการทดลองช่วงที่ 1

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		น้ำออกจากระบบ		น้ำออกจากระบบ	
		ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี	ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (วัดในถังปฏิกรณ์) n = 15	-	-	29.8	29.9	29.6
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน) n = 15	268	-	282	286	297
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน) n = 15	113	-	83	84	66
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด n = 15	0.42	-	0.30	0.29	0.22
พีเอช n = 15	7.1	-	7.2	7.2	7.3
ไออาร์พี (มิลลิโวลต์) (วัดในถังปฏิกรณ์) n = 15	-	-	-345	-346	-316

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบในการทดลองช่วงที่ 2

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		น้ำออกจากระบบ		น้ำออกจากระบบ	
		ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี	ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (วัดในถังปฏิกรณ์) n = 15	-	29.8	29.9	29.6	29.9
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน) n = 15	260	279	297	278	292
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน) n = 15	112	87	66	82	64
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด n = 15	0.43	0.31	0.22	0.29	0.22
พีเอช n = 15	7.1	7.2	7.4	7.2	7.3
ไออาร์พี (มิลลิโวลต์) (วัดในถังปฏิกรณ์) n = 15	-	-346	-319	-350	-312

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

4.7 การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพโดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในระบบ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด เพื่อเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงใช้แนวความคิด และโมเดลเรื่องก๊าซ ในงานวิจัยของสินีนาฏ ศศิยชาติ (2544) มาอธิบาย โดยมีข้อกำหนดดังนี้

ข้อกำหนด

- กำหนดให้น้ำเสียที่ถูกย่อยสลายทั้งหมดมีปริมาตร 1 ลิตร
- ก๊าซที่เกิดขึ้นมี 2 ชนิด คือ มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์
- อุณหภูมิของระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส
- เนื่องจากการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลสารระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคก๊าซ ดังนั้น ในการพิจารณาหน่วยของปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงรูปไปอยู่ในแต่ละวัฏภาค จะพิจารณาในหน่วยมวลของสารนั้นๆ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณ

ให้	M_T	=	จำนวนโมลของมีเทนทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในระบบ
	C_T	=	จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในระบบ
	M_L	=	จำนวนโมลของมีเทนที่อยู่ในวัฏภาคน้ำ
	C_L	=	จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในวัฏภาคน้ำ
	M_G	=	จำนวนโมลของมีเทนที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ
	C_G	=	จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ

ค่าคงที่ของเฮนรีที่อุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

$$K_{CH_4} = 1.24 \text{ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ}$$

$$K_{CO_2} = 29.9 \text{ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ}$$

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะได้ก๊าซเกิดขึ้น 2 ชนิด คือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซที่เกิดขึ้นนี้ส่วนหนึ่งจะละลายอยู่ในน้ำ และอีกส่วนหนึ่งจะหนีออกไปอยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำ ดังนั้นผลรวมของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดในรูปมวลจะเท่ากับ มวลของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำรวมกับมวลของก๊าซที่อยู่เหนือน้ำ จากความสัมพันธ์นี้ สามารถเขียนออกมาเป็นสมการได้ดังนี้

ก๊าซมีเทน

$$\begin{aligned} M_T &= M_L + M_G \\ M_L &= M_T - M_G \end{aligned} \quad (4.1)$$

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$\begin{aligned} C_T &= C_L + C_G \\ C_L &= C_T - C_G \end{aligned} \quad (4.2)$$

และจากความสัมพันธ์ของก๊าซในบรรยากาศเมื่อคิดในรูปของความดันพาร์เชียล จะได้ว่า

$$\text{ความดันพาร์เชียลของมีเทน, } P_{CH_4} = M_G / (M_G + C_G) \quad (4.3)$$

$$\text{ความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์, } P_{CO_2} = C_G / (M_G + C_G) \quad (4.4)$$

จากกฎของเฮนรี่ ที่กล่าวว่า “ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำจะเท่ากับค่าคงที่ของการละลายคูณด้วยความดันพาร์เชียลของก๊าซนั้น” จะได้ว่า

$$\text{ความเข้มข้นของมีเทนละลายน้ำ, } M_L = K_{CH_4} \times P_{CH_4} \quad (4.5)$$

แทนค่า สมการ (4.1) และ (4.3) ลงในสมการที่ (4.5) แล้วจัดรูปใหม่

$$\begin{aligned} M_T - M_G &= K_{CH_4} \times M_G / (M_G + C_G) \\ C_G &= [(K_{CH_4} \times M_G) / (M_T - M_G)] - M_G \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\text{ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ, } C_L = K_{CO_2} \times P_{CO_2} \quad (4.7)$$

แทนค่า สมการ (4.2) และ (4.4) ลงในสมการที่ (4.7) แล้วจัดรูปใหม่

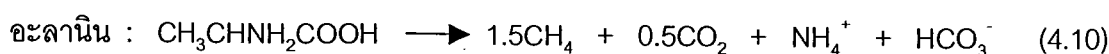
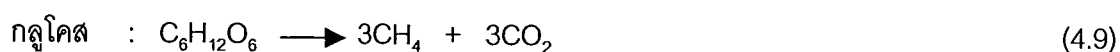
$$\begin{aligned} C_T - C_G &= K_{CO_2} \times C_G / (M_G + C_G) \\ M_G &= [(K_{CO_2} \times C_G) / (C_T - C_G)] - C_G \end{aligned} \quad (4.8)$$

จากข้อกำหนดและสมการที่ 4.1 – 4.8 สามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซได้

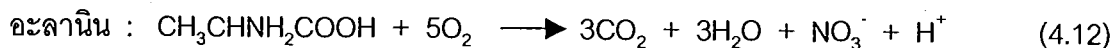
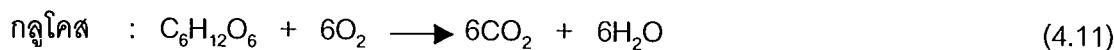
น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากอาคารสูง ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวเป็นน้ำเสียที่มีธาตุไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจนสูง จึงกำหนดให้น้ำเสียดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นน้ำเสียประเภทโปรตีน โดยน้ำเสียประเภทนี้เมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะถูกไฮโดรไลซิสให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง กลายเป็นกรดอะมิโน และถูกแบคทีเรียสร้างกรดย่อยสลายให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย อะมิโน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน และสุดท้ายจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนให้เป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย โดยแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นให้เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต เป็นผลให้สภาพต่างในระบบสูงขึ้น

สำหรับน้ำเสียประเภทโปรตีนโดยทั่วไปจะไม่พบว่ามีเฉพาะโปรตีนทั้งหมด แต่จะมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตปนอยู่ด้วย ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสีย แต่ในการทดลองนี้จะสมมติว่า ในน้ำเสียมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะใช้กลูโคสเป็นตัวแทนสูตรทางเคมี และมีโปรตีนอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะใช้อะลานินเป็นตัวแทนสูตรทางเคมี โดยมีสมการการย่อยสลายและสมการการออกซิไดส์สารอินทรีย์ดังนี้

- สมการการย่อยสลายสารอินทรีย์



- สมการการออกซิไดส์สารอินทรีย์



จากสมการทั้ง 4 ข้างต้น จะได้ว่า การย่อยสลายกลูโคส 1 โมล จะใช้ออกซิเจน 6 โมล หรืออาจกล่าวได้ว่า ซีไอดีของกลูโคสเท่ากับ 6 โมล ต่อ 1 โมลของกลูโคส และในการย่อยสลายกลูโคสแบบไม่ใช้ออกซิเจน 1 โมล จะเกิดเป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 3 โมล ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ซีไอดี 6 โมล จะเกิดเป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 3 โมล

ส่วนในการย่อยสลายอะลานิน 1 โมล จะใช้ออกซิเจน 5 โมล หรืออาจกล่าวได้ว่า ซีไอดีของอะลานินเท่ากับ 5 โมล ต่อ 1 โมลของอะลานิน และในการย่อยสลายอะลานินแบบไม่ใช้ออกซิเจน 1 โมล จะเกิดเป็นมีเทน 1.5 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 0.5 โมล แอมโมเนียและไบคาร์บอเนตอย่างละ 1 โมล ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ซีไอดี 5 โมล จะเกิดเป็นมีเทน 1.5 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 0.5 โมล แอมโมเนียและไบคาร์บอเนตอย่างละ 1 โมล

จากการตั้งสมมติฐานว่า น้ำเสียประเภทปรีตินประกอบด้วยกลูโคส และอะลานินอย่างละ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ในซีไอดี 1 โมล

จะเป็นซีไอดีจากกลูโคส 0.5 โมล และเกิด มีเทน = $0.5 \times 0.5 = 0.25$ โมล

คาร์บอนไดออกไซด์ = $0.5 \times 0.5 = 0.25$ โมล

จะเป็นซีไอดีจากอะลานิน 0.5 โมล และเกิด มีเทน = $0.5 \times 0.3 = 0.15$ โมล

คาร์บอนไดออกไซด์ = $0.5 \times 0.1 = 0.05$ โมล

เนื่องจากว่าค่าซีไอนั้นมีหน่วยเป็น มก./ล. เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จึงอาจกล่าวได้ว่า ในการย่อยสลายซีไอดี 1 มิลลิโมล จะเกิดก๊าซมีเทนขึ้นทั้งหมด 0.40 มิลลิโมล และเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นทั้งหมด 0.30 มิลลิโมล

ดังนั้น ซีไอดีที่ถูกกำจัด C มก./ล. เท่ากับ C/32 มิลลิโมล/ล. จะเกิดเป็น

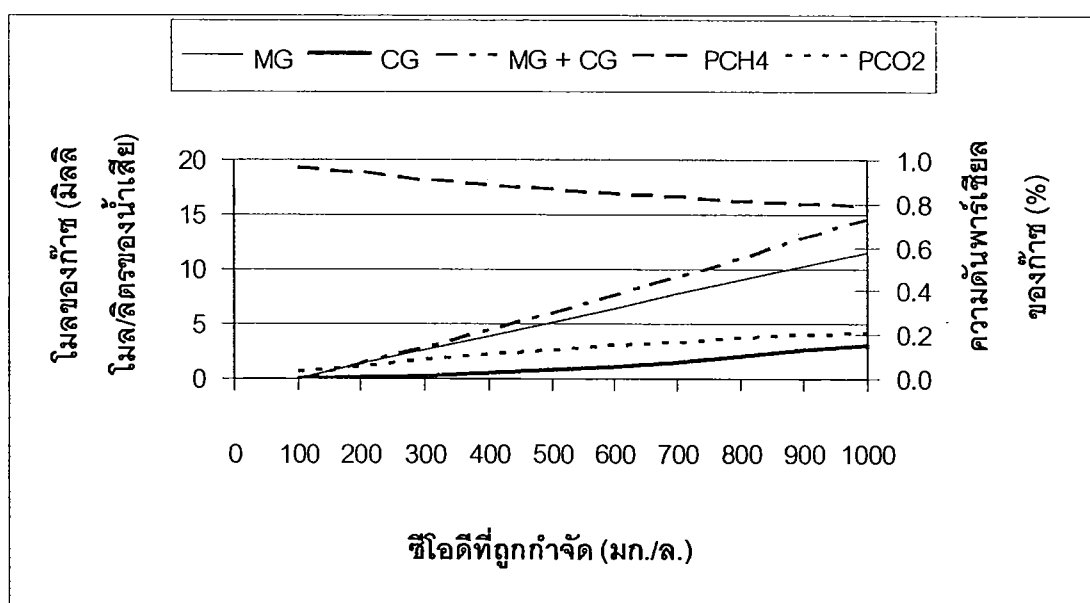
ก๊าซมีเทน, $M_T = (C/32) \times 0.40$ มิลลิโมล/ล.

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, $C_T = (C/32) \times 0.30$ มิลลิโมล/ล.

การคำนวณหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยการ Trial & error ดังนี้

1. กำหนดค่าซีไอดีที่ถูกกำจัด (C), มก./ล.
2. คำนวณค่า M_T และ C_T
3. สมมติค่ามีเทนที่เป็นก๊าซที่เกิดขึ้น (M_G), มิลลิโมล/ล. แทนลงในสมการที่ (4.6) จะได้ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นก๊าซที่เกิดขึ้น (C_G), มิลลิโมล/ล.
4. แทนค่า C_G ลงในสมการที่ (4.8) จะได้ค่า M_G
5. Trial & error ต่อไปจนกว่าจะได้ค่า M_G ที่สมมติเท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ (4.8)
6. คำนวณหา P_{CH_4} และ P_{CO_2} จากสมการที่ (4.3) และ (4.4)
7. คำนวณหา M_L และ C_L ในหน่วยมิลลิโมล/ล. จากสมการที่ (4.1) และ (4.2)

จากการคำนวณโดยการ Trial & error ซึ่งกำหนดค่าซีไอดีของน้ำเสียที่ถูกกำจัดตั้งแต่ 100 ถึง 1000 มก./ล. จะได้ผลดังตารางที่ 4.13 และนำความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเทียบกับซีโอดีที่ถูกกำจัด

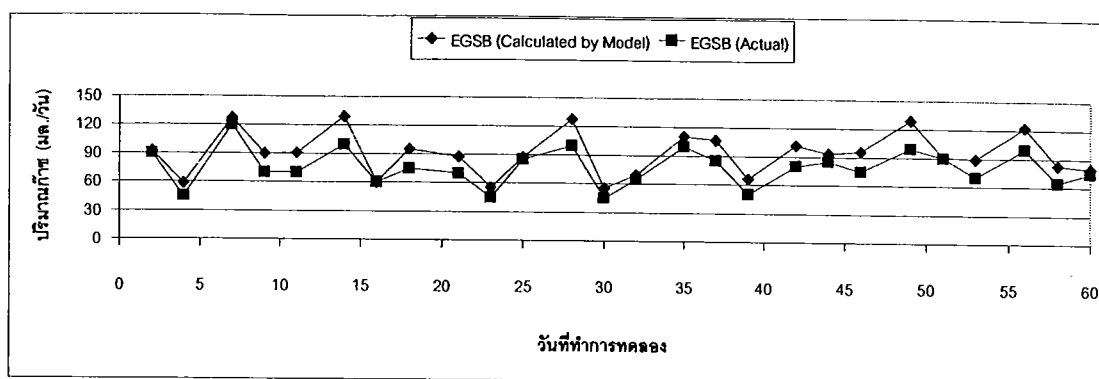
ซีโอดีที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของก๊าซ		จำนวนโมลของก๊าซเหนือผิวน้ำ		จำนวนโมลของก๊าซที่ละลายน้ำ		ความดันพาร์เชียลของก๊าซ (%)		ปริมาณก๊าซเหนือผิวน้ำ	
มก./ล.	มิลลิโมล/ล.	M_T	C_T	M_G	C_G	M_L	C_L	P_{CH_4}	P_{CO_2}	มิลลิโมล/ล.	ลิตร
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
100	3.13	1.25	0.94	0.05	0.00	1.20	0.94	0.97	0.03	0.05	0.00
200	6.25	2.50	1.88	1.33	0.08	1.17	1.80	0.94	0.06	1.41	0.03
300	9.38	3.75	2.81	2.62	0.26	1.13	2.56	0.91	0.09	2.88	0.06
400	12.50	5.00	3.75	3.90	0.50	1.10	3.25	0.89	0.11	4.40	0.10
500	15.63	6.25	4.69	5.17	0.77	1.08	3.92	0.87	0.13	5.94	0.13
600	18.75	7.50	5.63	6.45	1.17	1.05	4.46	0.85	0.15	7.62	0.17
700	21.88	8.75	6.56	7.72	1.57	1.03	4.99	0.83	0.17	9.29	0.21
800	25.00	10.00	7.50	8.99	2.05	1.01	5.45	0.81	0.19	11.04	0.25
900	28.13	11.25	8.44	10.26	2.59	0.99	5.85	0.80	0.20	12.85	0.29
1000	31.25	12.50	9.38	11.52	3.06	0.98	6.32	0.79	0.21	14.58	0.33

หมายเหตุ

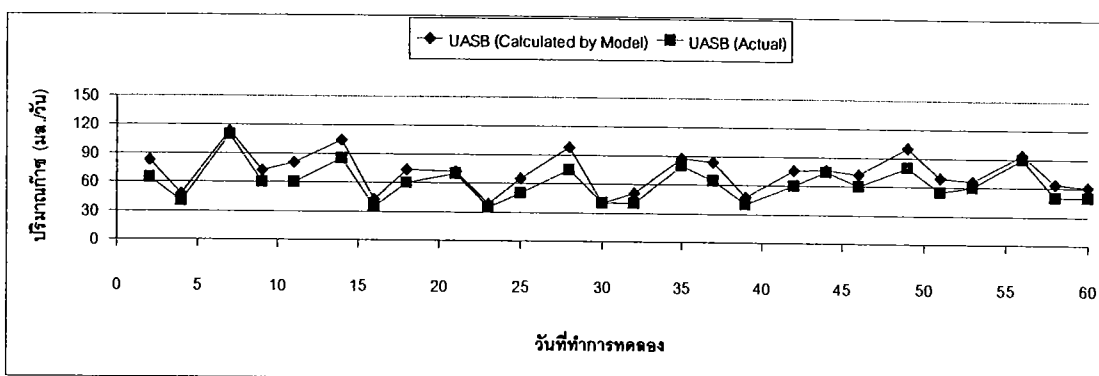
- (1) กำหนด
- (2) เท่ากับ (1) / 32
- (3) เท่ากับ (2) $\times$ 0.40 (มิลลิโมล/ล.)
- (4) เท่ากับ (2) $\times$ 0.30 (มิลลิโมล/ล.)
- (5) และ (6) ได้จากการ Trial & error จากสมการที่ (4.6) และ (4.8) (มิลลิโมล/ล.)
- (7) และ (8) ได้จากสมการที่ (4.1) และ (4.2) (มิลลิโมล/ล.)
- (9) และ (10) ได้จากสมการที่ (4.3) และ (4.4) (%)
- (11) เท่ากับ (5) + (6) (มิลลิโมล/ล.)
- (12) เท่ากับ (11) $\times$ 22.4 / 1000 (ลิตร)

ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในรูปที่ 4.29 สามารถนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จากระบบ ตลอดจนการทดลองทั้ง 2 ช่วง ดังนี้

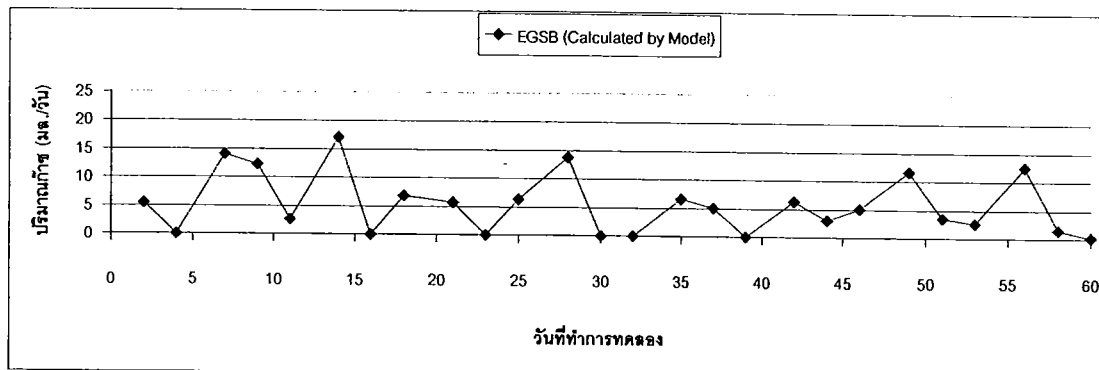
การทดลองช่วงที่ 1 ในชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากระบบอีจีเอสบีเท่ากับ 79 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 61 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนในระบบอีจีเอสบีไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ



ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบอีจีเอสบี)



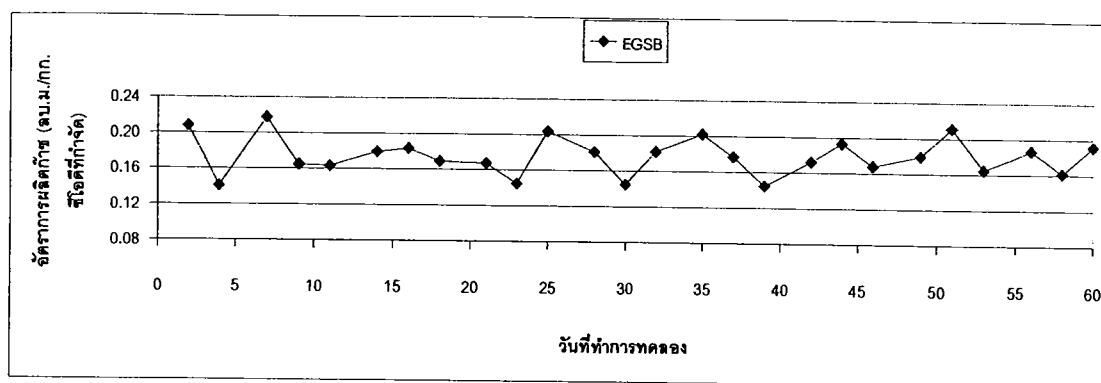
ข) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบยูเอเอสบี)



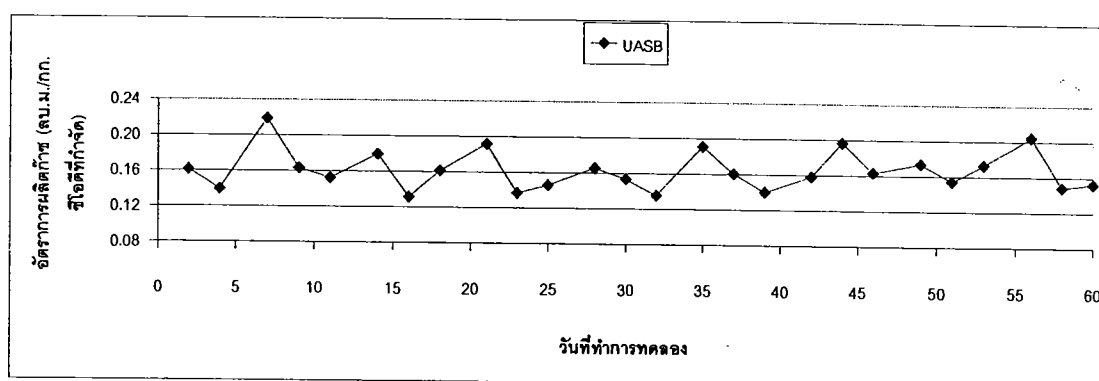
หมายเหตุ ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซได้ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก

ค) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบอีจีเอสบี)

รูปที่ 4.30 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองครั้งที่ 1



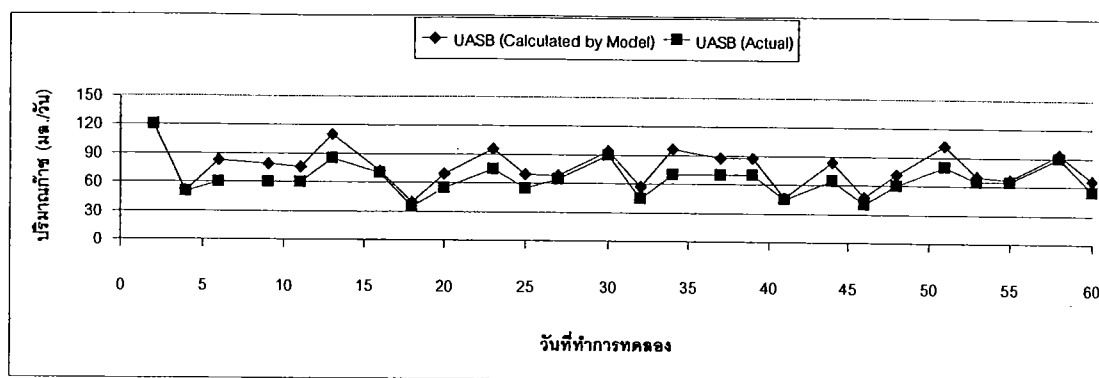
ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบอีจีเอสบี)



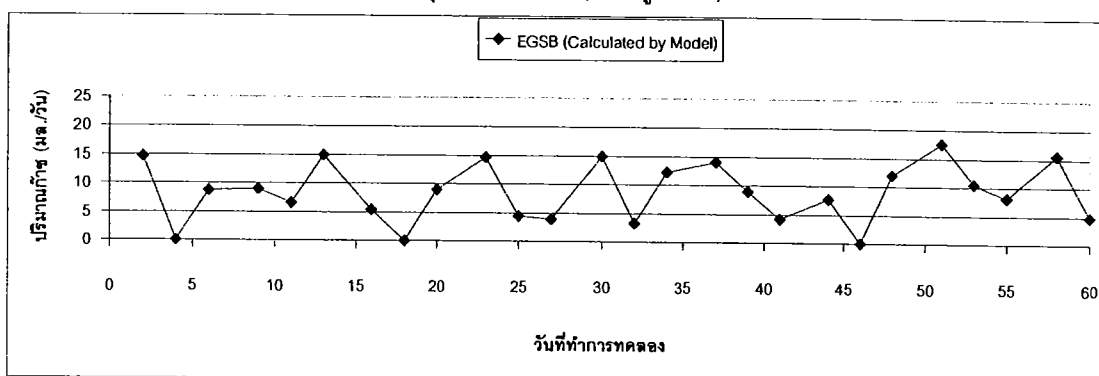
ข) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบยูเอเอสบี)

รูปที่ 4.31 อัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 1

การทดลองช่วงที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 65 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่ถูกก่่าจัด ส่วนในระบบอีจีเอสบีไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 64 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่ถูกก่่าจัด ส่วนในระบบอีจีเอสบีไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ

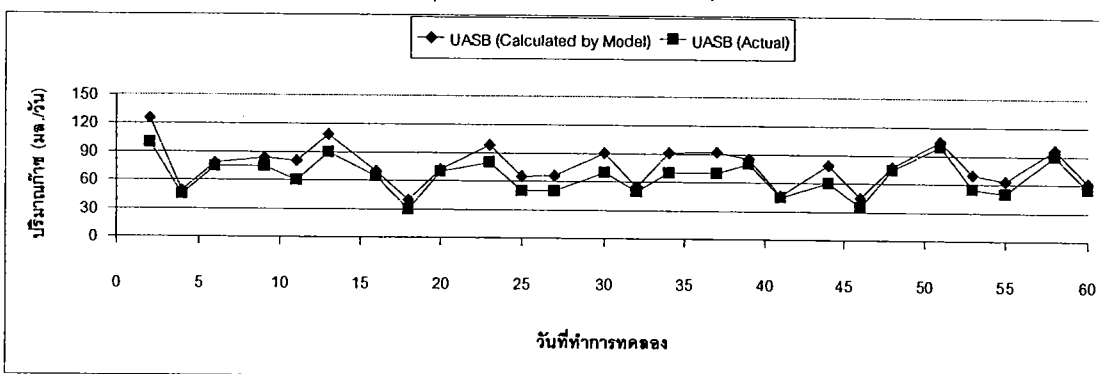


ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบยูเอเอสบี)

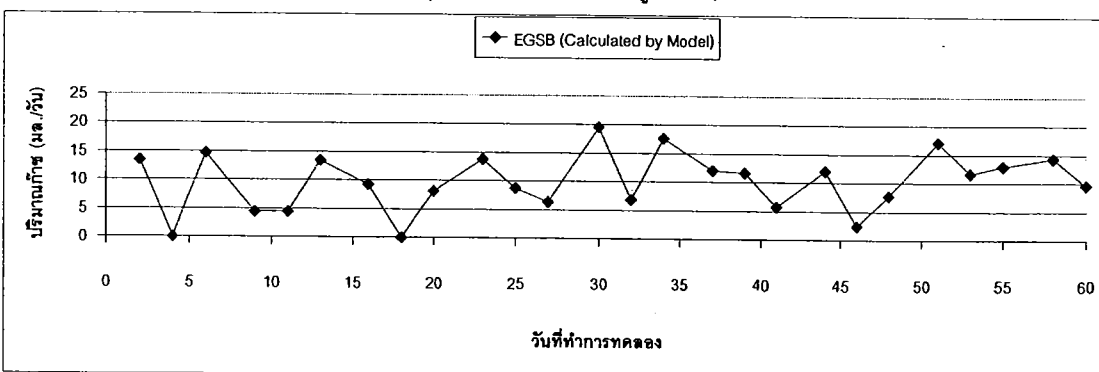


หมายเหตุ ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซได้ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก

ข) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบอีจีเอสบี)



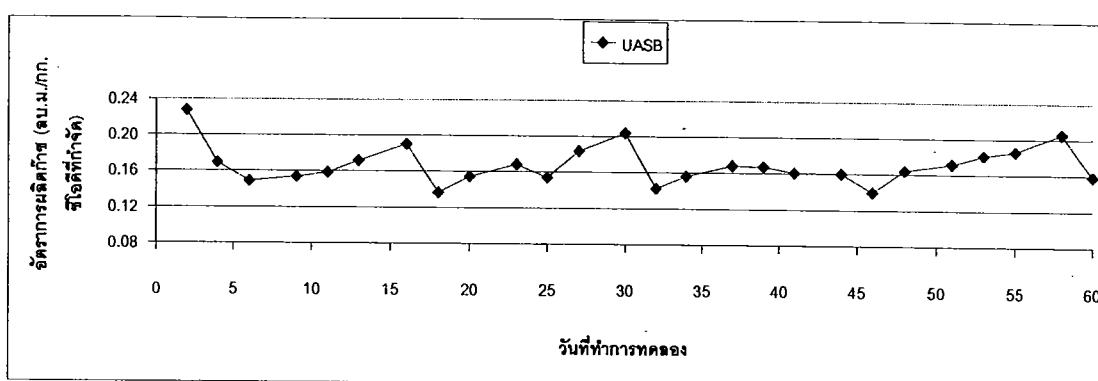
ค) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบยูเอเอสบี)



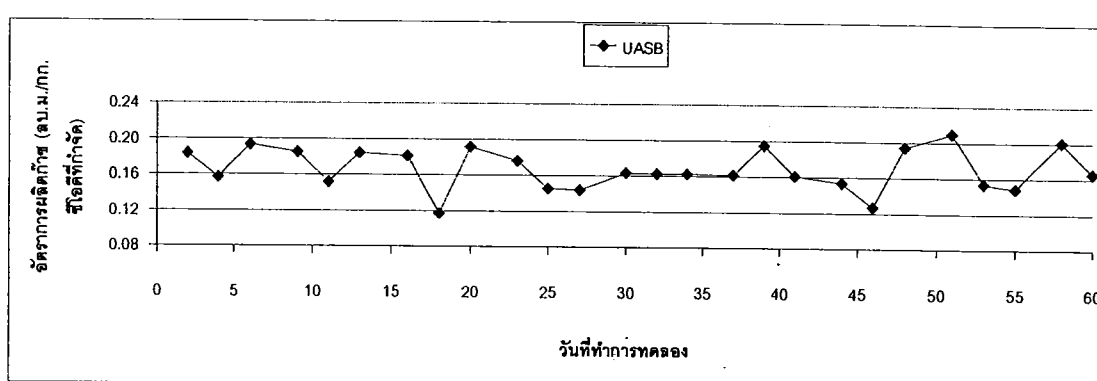
หมายเหตุ ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซได้ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก

ง) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบอีจีเอสบี)

รูปที่ 4.32 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองครั้งที่ 2



ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบยูเอเอสบี)



ข) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบยูเอเอสบี)

รูปที่ 4.33 อัตราการผลิตก๊าซในการทดลองครั้งที่ 2

และจากผลการทดลองทั้ง 2 ช่วง สามารถเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยที่วัดได้ในช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัวกับที่คำนวณได้จากโมเดล แสดงดังตารางที่ 4.14 และ 4.15

ตารางที่ 4.14 ปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซในการทดลองครั้งที่ 1

ชุดการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)				อัตราการผลิตก๊าซ (ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่ถูกกำจัด)	
	ระบบยูเอเอสบี		ระบบอีจีเอสบี		ระบบยูเอเอสบี	ระบบอีจีเอสบี
	จากโมเดล	วัดได้จริง	จากโมเดล	วัดได้จริง		
1	-	-	95	79	-	0.18
2	73	61	5	วัดไม่ได้	0.16	วัดไม่ได้

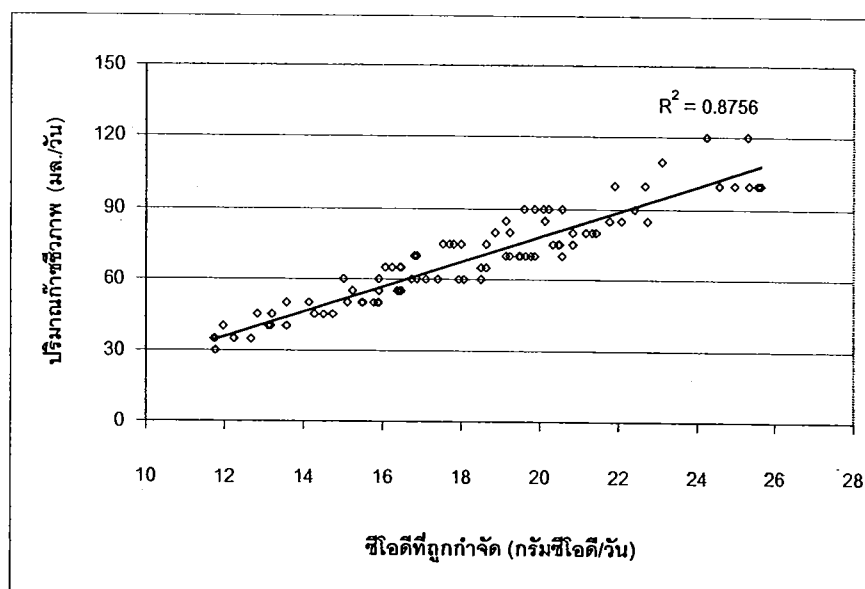
หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 4.15 ปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซในการทดลองครั้งที่ 2

ชุดการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)				อัตราการผลิตก๊าซ (ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	
	ระบบยูเอเอสบี		ระบบอีจีเอสบี		ระบบยูเอเอสบี	ระบบอีจีเอสบี
	จากโมเดล	วัดได้จริง	จากโมเดล	วัดได้จริง		
1	76	65	9	วัดไม่ได้	0.17	วัดไม่ได้
2	75	64	11	วัดไม่ได้	0.17	วัดไม่ได้

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

และเมื่อนำค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จากการทดลองทั้ง 2 ช่วง มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด จะแสดงดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้กับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด

จากรูปที่ 4.34 จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้กับปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัดได้ดังสมการ (4.13)

$$Y = 5.34X - 28.71 \quad (4.13)$$

เมื่อ X = ปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัด (กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด/วัน)

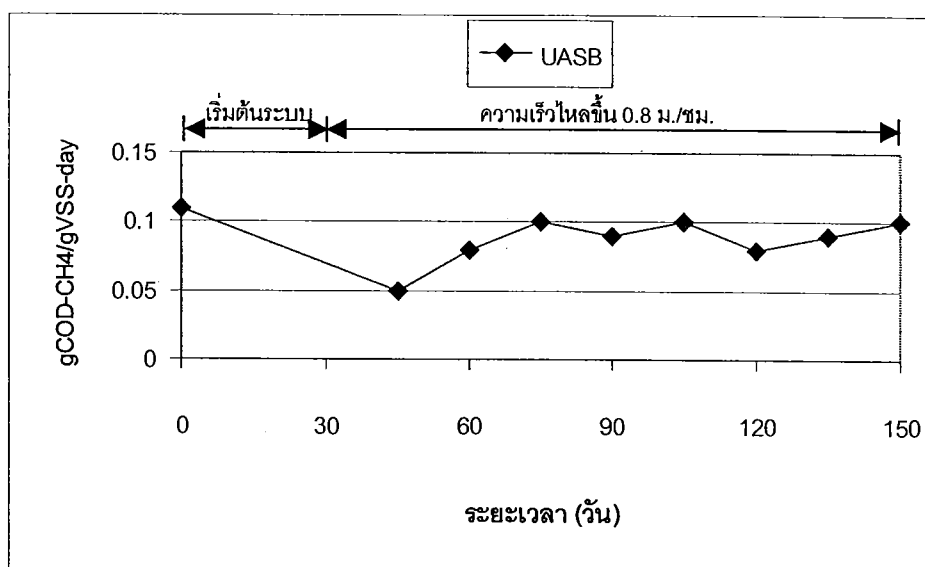
Y = ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ (มล./วัน)

จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัด โดยค่าปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัดที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณที่วัดได้ มีค่าประมาณ 12 กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งจะเกิดก๊าซชีวภาพประมาณ 35 มล.

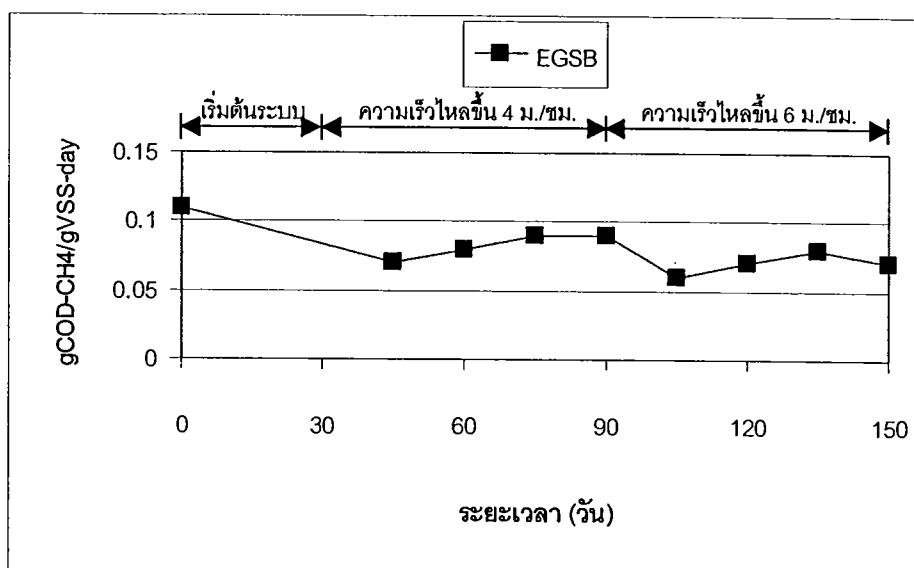
จากผลการทดลอง พบว่า ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบอีจีเอสบีได้ เนื่องจาก น้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าชีโอดีน้อยมาก ซึ่งการย่อยสลายชีโอดีที่ต่ำมากจะทำให้จุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่น้อยมากเช่นเดียวกัน รวมทั้งก๊าซชีวภาพสามารถละลายอยู่ในน้ำเสียในระบบได้ ทำให้ไม่สามารถเก็บก๊าซชีวภาพในปริมาณที่จะสามารถอ่านค่าได้ กล่าวคือ ปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัดในระบบอีจีเอสบีจะอยู่ในช่วง 110 - 190 มก./ล. ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างชีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่า จะมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่อยู่เหนือผิวน้ำอยู่ในช่วง 0 - 30 มล. ซึ่งมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถอ่านค่าได้จากอุปกรณ์วัดก๊าซ ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบอีจีเอสบีได้ ในขณะที่ปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัดในระบบยูเอเอสบีจะอยู่ในช่วง 250 - 500 มก./ล. ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างชีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่า จะมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่อยู่เหนือผิวน้ำอยู่ในช่วง 50 - 130 มล. ซึ่งมีค่ามากพอที่จะทำให้อ่านค่าได้จากอุปกรณ์วัดก๊าซ ทำให้สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบยูเอเอสบีได้ ซึ่งจากตารางที่ 4.14 และ 4.15 จะเห็นว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจาก ก๊าซชีวภาพอาจจะรั่วออกจากถังปฏิกรณ์ไปได้ และอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซนั้นไม่ใช่อุปกรณ์มาตรฐานทั่วไปที่ใช้วัดก๊าซ ทำให้ปริมาณก๊าซที่วัดได้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้

4.8 ความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity, SMA)

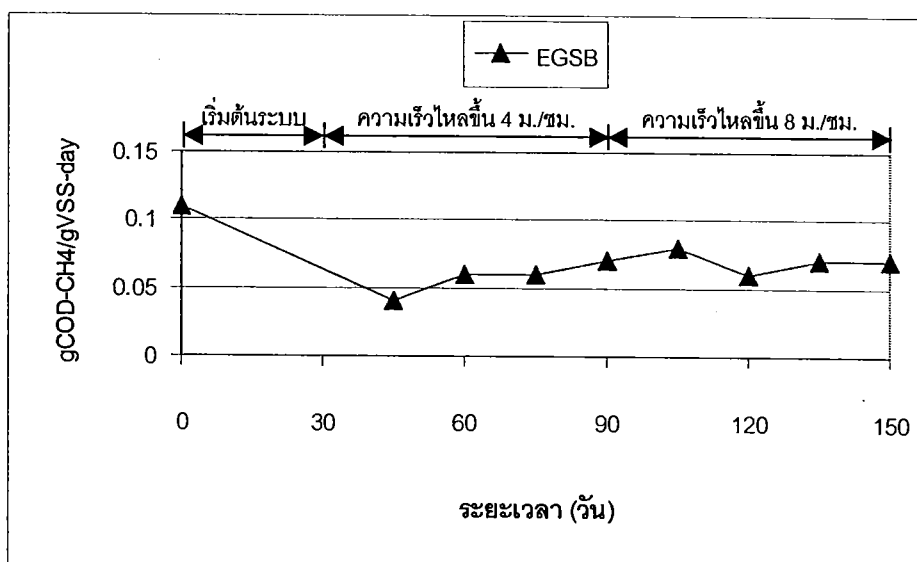
ในการศึกษาความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบนั้น เป็นการศึกษาว่าจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากน้อยเพียงใด โดยจะดูจากอัตราการผลิตมีเทน กล่าวคือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีอัตราการผลิตมีเทนสูง แสดงว่า มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์สูง โดยในการศึกษาความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ จะทำการวิเคราะห์ด้วยการหาค่า Specific Methanogenic Activity, SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.35 4.36 และ 4.37



รูปที่ 4.35 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอสบี

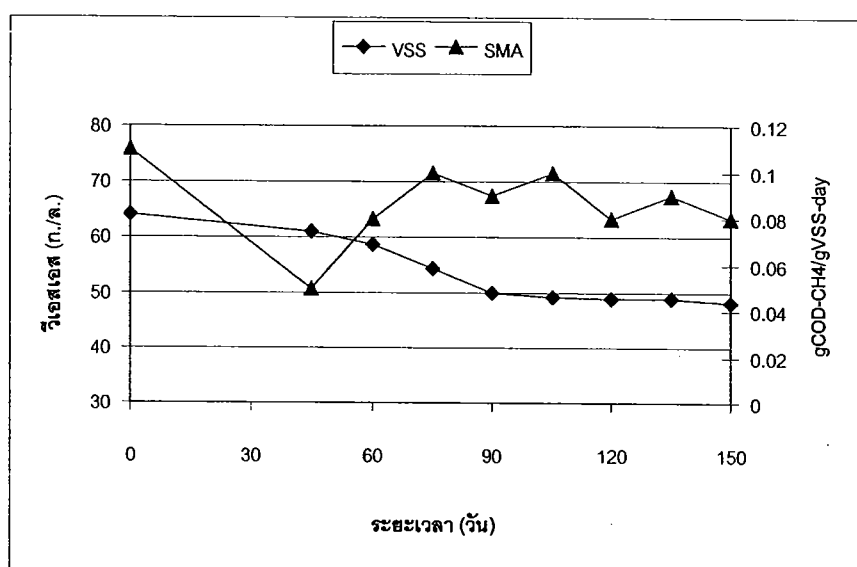


รูปที่ 4.36 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.

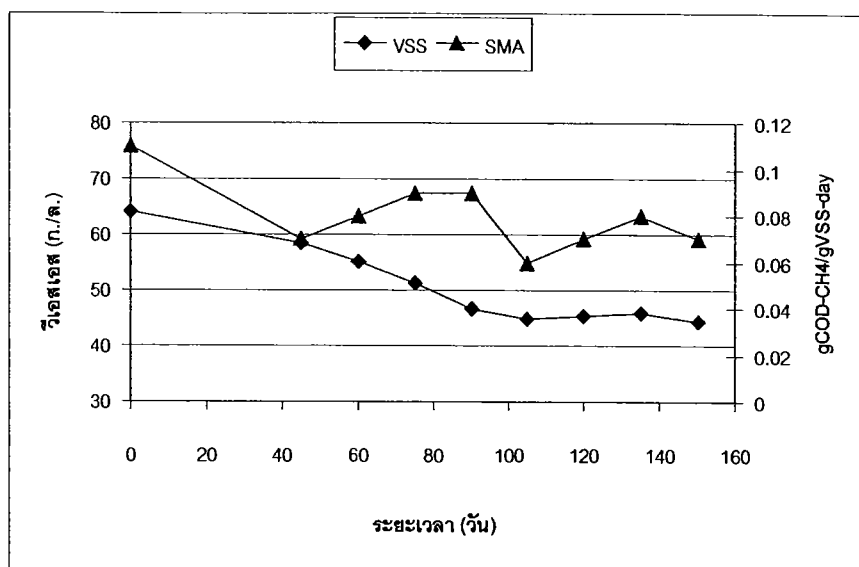


รูปที่ 4.37 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

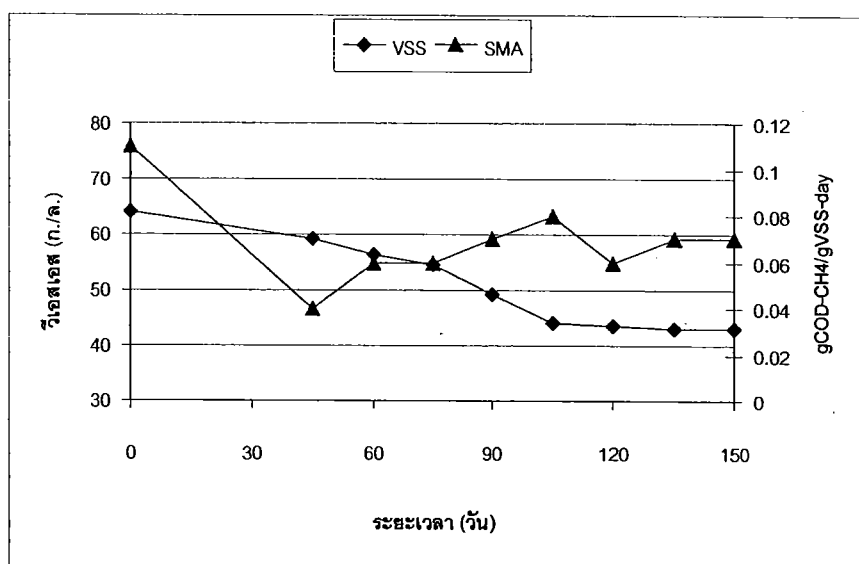
จากรูปที่ 4.35 4.36 และ 4.37 พบว่า ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบเท่ากับ 0.11 ก.ซีไอดี-มีเทน/ก. VSS-วัน และเมื่อทำการเริ่มต้นเดินระบบจะเห็นได้ว่า ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้งในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี จะมีค่าลดลงมาจากตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ เนื่องจากว่าในช่วงนี้จุลินทรีย์ยังอยู่ในช่วงของการปรับตัวให้เข้ากับสภาพภายในระบบ ซึ่งทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง และเมื่อเดินระบบต่อไปเรื่อยๆ จะเห็นได้ว่า ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้งในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และหลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพภายในระบบได้แล้ว ซึ่งจะสอดคล้องกับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบ ดังแสดงดังรูปที่ 4.38 4.39 และ 4.40 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกจุลินทรีย์ภายในระบบยังไม่สามารถปรับตัวได้ มีผลทำให้จุลินทรีย์บางส่วนอาจตายและเกิดการย่อยสลาย ดังนั้น ความเข้มข้นของจุลินทรีย์จะลดลง มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง และเมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวได้แล้ว จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์จะค่อนข้างคงที่ มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี

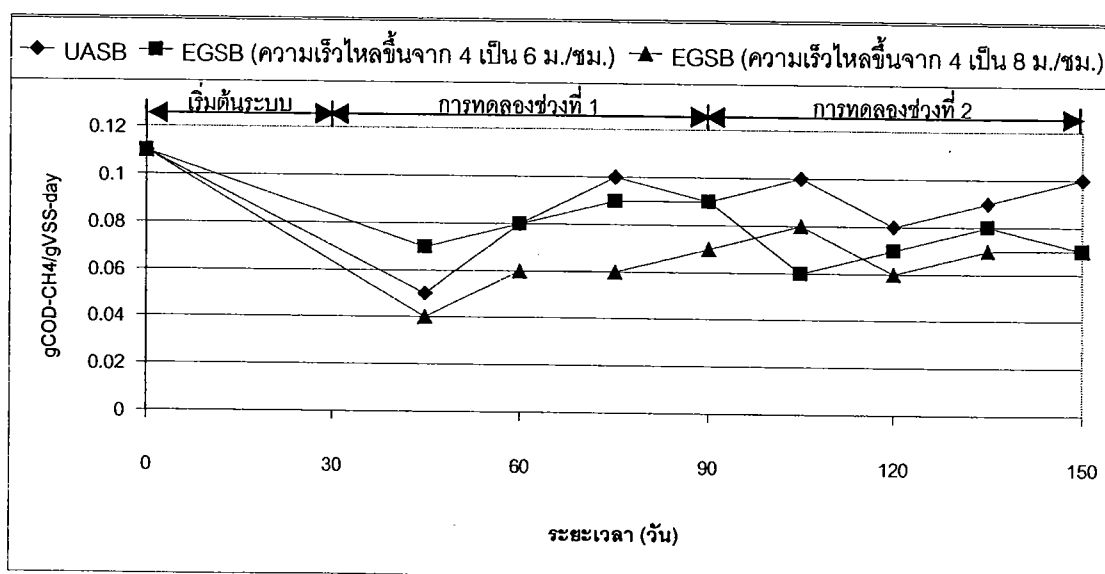


รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบบิโอดีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบบิโอดีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.41 พบว่า ในช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัวค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีจะอยู่ในช่วง 0.09 – 0.1 ก.ซีไอดี-มีเทน/ก. VSS-วัน ขณะที่ในระบบอีจีเอสบีจะมีค่า SMA อยู่ในช่วง 0.06 – 0.07 ก.ซีไอดี-มีเทน/ก. VSS-วัน จึงอาจกล่าวได้ว่าความสามารถของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีจะสูงกว่าในระบบอีจีเอสบี ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบยูเอเอสบีมีค่าซีไอดีสูงกว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ทำให้ในระบบยูเอเอสบีมีสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในปริมาณที่มากกว่าในระบบอีจีเอสบี ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยูเอเอสบีจะมีความสมบูรณ์มากกว่าในระบบอีจีเอสบี จึงทำให้ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีมีค่าสูงกว่าในระบบอีจีเอสบี ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี กล่าวคือ ในการทดลองช่วงที่ 1 ในระบบอีจีเอสบีที่มีการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม. จะมีค่า SMA สูงกว่าในระบบอีจีเอสบีที่มีการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม. เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่มีการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม. จะมีค่าซีไอดีสูงกว่าในชุดการทดลองที่มีการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม. เนื่องจากในชุดการทดลองนี้ยังไม่มี การติดตั้งระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น และจากการที่ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในทั้ง 2 ระบบจะค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบีจะค่อนข้างคงที่ด้วยเช่นกัน แต่ถ้าเมื่อใดก็ตามที่ค่า SMA ลดลงไปเรื่อยๆ แสดงว่าประสิทธิภาพของระบบจะลดลงไปเรื่อยๆ เช่นเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นสัญญาณที่บ่งบอกว่าระบบบำบัดกำลังจะล้มเหลว

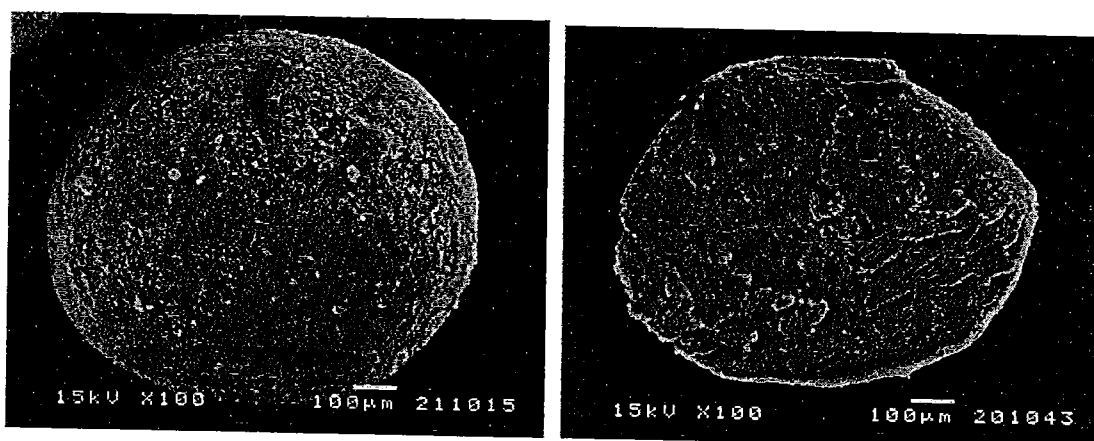


รูปที่ 4.41 การเปรียบเทียบค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีกับระบบอีจีเอสบี

4.9 ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

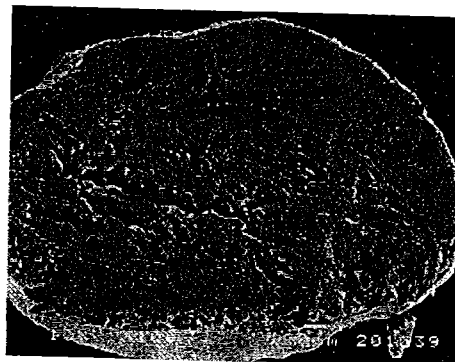
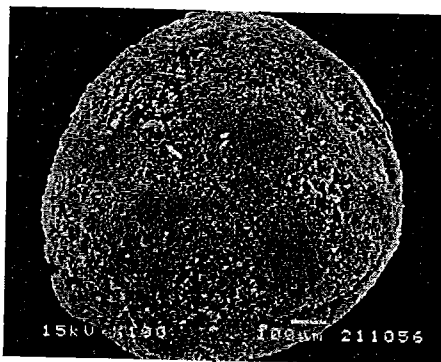
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่องความเร็วไหลขึ้นในระบบ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หรือไม่ โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นมีขนาด 1 – 2 มม. โดยได้ทำการคัดเลือกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยการตกตะกอน เลือกเอาเฉพาะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ดี ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีสีดำ ผิวกลมเกลี้ยง จับตัวแน่น เป็นรูปทรงกลมหรือทรงรี

ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสพีและอีจีเอสพี มาทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยทำการเลือกตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ที่เป็นตัวแทนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลายๆเม็ดที่ส่องจากกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้ ดังนี้

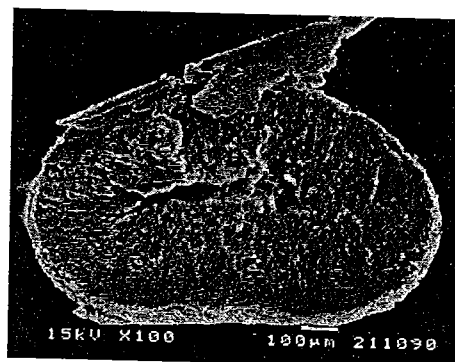
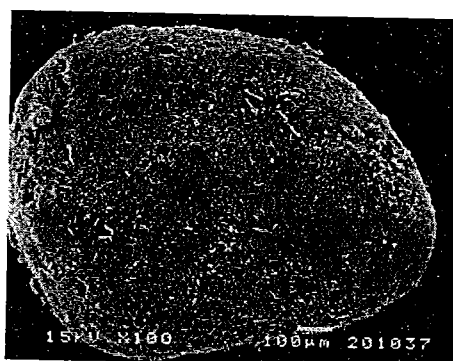


(กำลังขยาย 100 เท่า)

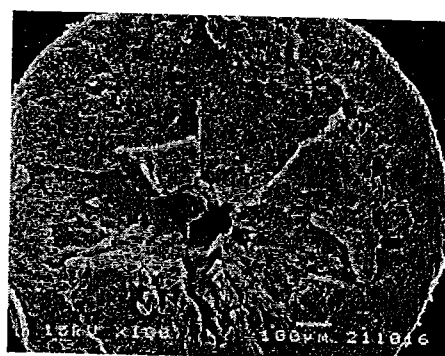
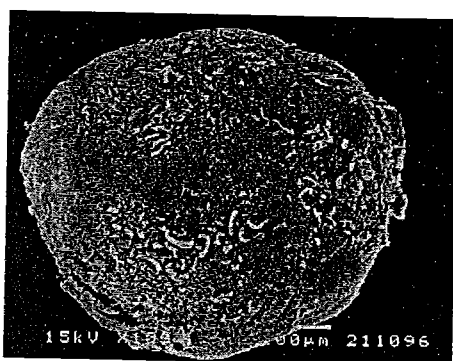
รูปที่ 4.42 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ



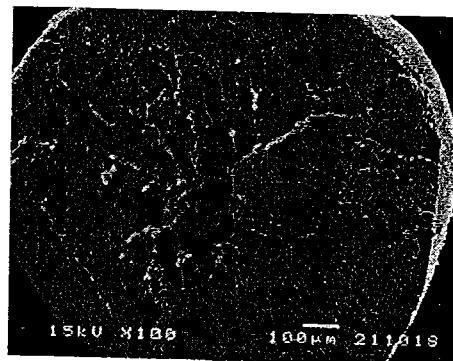
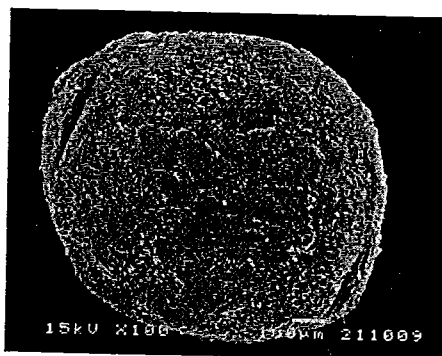
ก) ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ข) ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



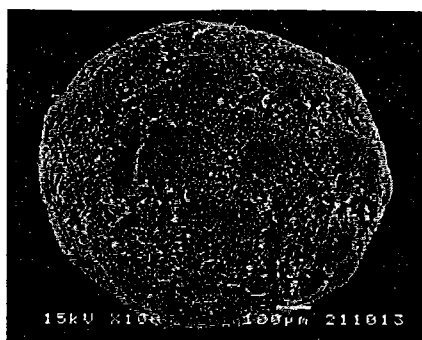
ค) ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



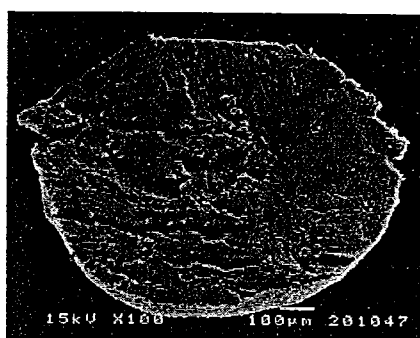
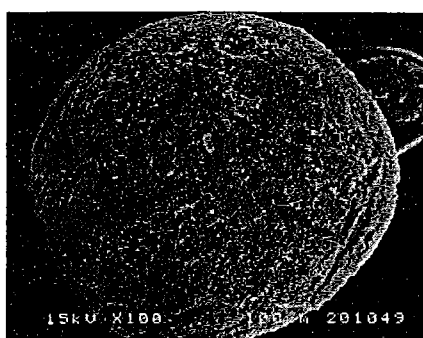
ง) ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)

รูปที่ 4.43 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

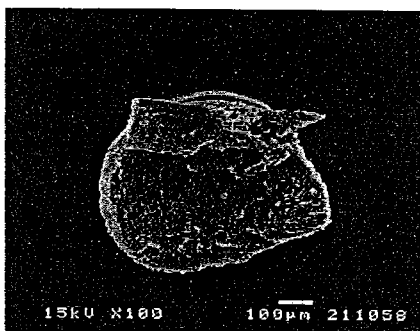
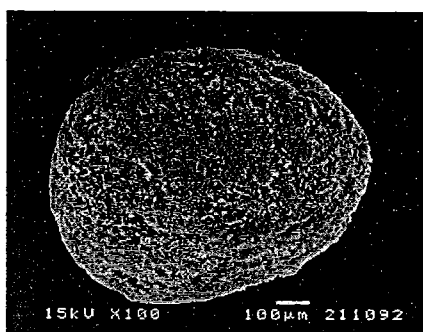
บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี



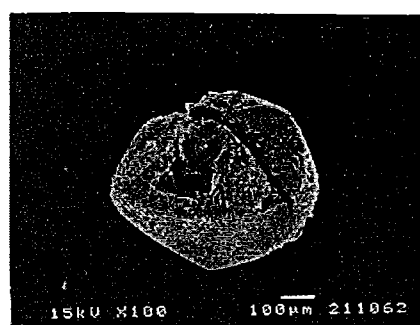
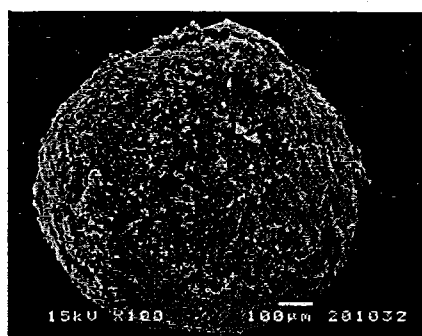
ก) ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ข) ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



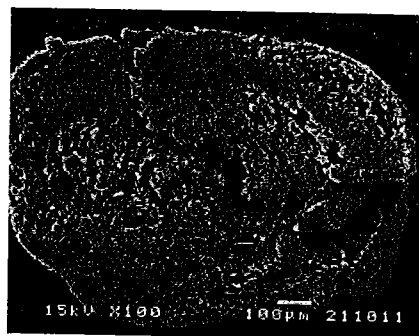
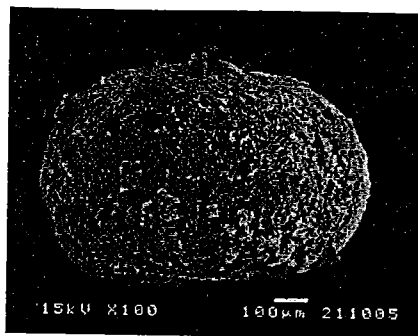
ค) ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



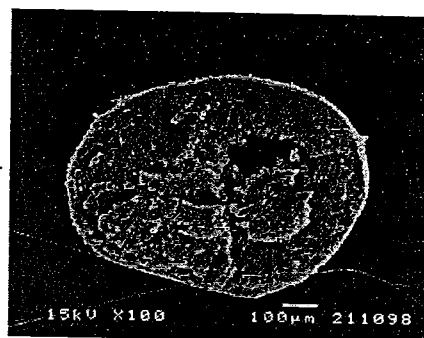
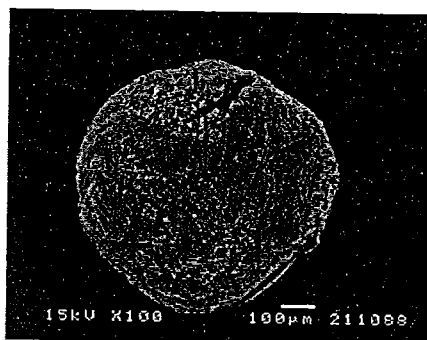
ง) ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)

รูปที่ 4.44 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

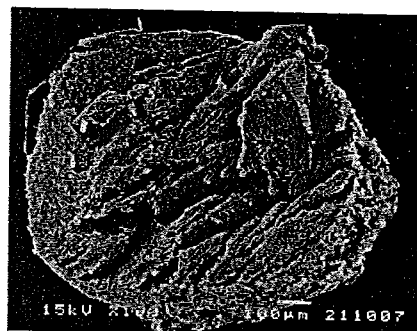
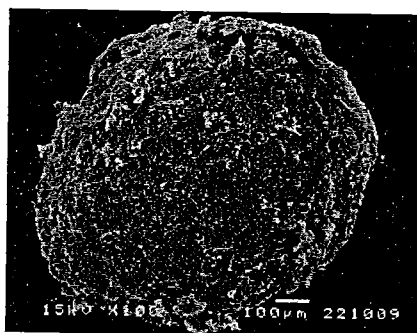
บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น
จาก 4 เป็น 6 ม./ชม.)



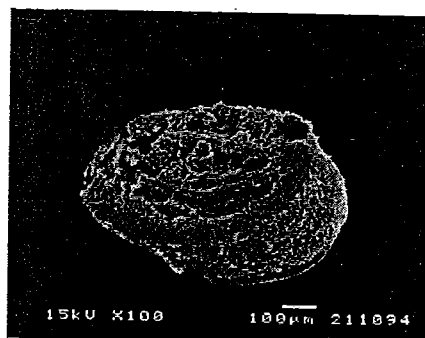
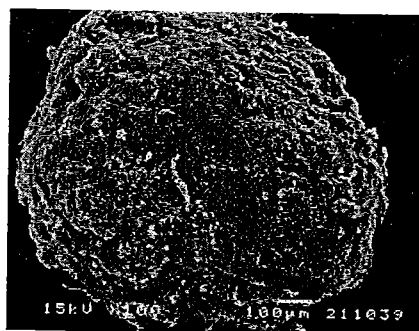
ก) ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ข) ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ค) ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ง) ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)

รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอ็อกซิเจน (ความเร็วไหลขึ้น
จาก 4 เป็น 8 ม./ชม.)

จากรูปที่ 4.43 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเดินระบบ ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากตอนก่อนเริ่มต้นระบบ กล่าวคือ ที่ผิวนอกจะเริ่มมีรอยขรุขระ และเกิดการผุกร่อนเล็กน้อย และจะพบรอยแตกเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นช่องระบายก๊าซชีวภาพที่เกิดจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนที่อยู่ในชั้นใน ขณะที่บริเวณภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีความหนาแน่นลดลงจากตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ และที่บริเวณศูนย์กลางของชั้นในจะเกิดโพรงช่องว่างที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งเกิดจากการที่กลุ่มจุลินทรีย์ที่อยู่ในบริเวณภายใน ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มที่ผลิตมีเทน เมื่อจุลินทรีย์กลุ่มนี้ทำการผลิตก๊าซชีวภาพออกมา แต่ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไม่สามารถระบายออกสู่ภายนอกได้ จึงทำให้เกิดโพรงช่องว่างขึ้นเพื่อใช้เป็นทางระบายก๊าซชีวภาพ

และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละเดือน จะเห็นได้ว่า ที่บริเวณผิวนอกและภายในจะไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่ควบคุมให้ระบบยูเอเอสบีมีความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 0.8 ม./ชม. ตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเดินระบบ ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากตอนก่อนเริ่มต้นระบบ กล่าวคือ ที่ผิวนอกจะเริ่มมีรอยขรุขระ และเกิดการผุกร่อน และจะพบรอยแตกซึ่งอาจเป็นช่องระบายก๊าซชีวภาพที่เกิดจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนที่อยู่ในชั้นใน ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับในระบบยูเอเอสบี ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น แต่ที่ผิวนอกจะขรุขระและเกิดการผุกร่อนมากกว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยูเอเอสบี เนื่องจากว่าในระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้นมากกว่า ทำให้ภายในระบบมีสภาพทางกลศาสตร์ที่ปั่นป่วนมากกว่า มีผลทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสที่จะเกิดการเสียดสีกันได้มากกว่า ขณะที่บริเวณภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีความหนาแน่นลดลงจากตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ แต่ที่บริเวณศูนย์กลางของชั้นในจะไม่เกิดโพรงช่องว่างเหมือนกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี โดยที่สาเหตุน่าจะมาจากการที่ระบบอีจีเอสบีมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อยกว่าในระบบยูเอเอสบี

และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละเดือน จะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีเปลี่ยนจาก 4 เป็น 6 ม./ชม. และ 4 เป็น 8 ม./ชม. มีผลทำให้ที่บริเวณผิวนอกและภายในจะเกิดการผุกร่อนมากขึ้น ซึ่งจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในการเปลี่ยนแปลงของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากความเร็วไหลขึ้น 4 เป็น 8 ม./ชม. แสดงให้เห็นว่าความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

และนอกจากการนำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แล้ว ยังได้ทำการหาขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลง และเนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดและปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นการวัดขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงได้วิเคราะห์อยู่ในรูปแบบของการกระจายขนาด โดยใช้เครื่อง Particle Size Analyzer ในการวิเคราะห์ และเนื่องจากข้อมูลของขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เป็นการกระจายตามขนาดต่างๆ ดังนั้นในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงได้เลือกค่าที่เป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลอง โดยเลือกค่า D10 D50 และ D90 ซึ่งเป็นขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ปริมาณ 10 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ใช้ทำการวิเคราะห์ โดยหากการเปลี่ยนแปลงค่า D ที่เปอร์เซ็นต์ใดๆลดลง แสดงว่ามีเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่าในปริมาณที่สูงขึ้น กล่าวคือ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาดใหญ่มีการแตกตัว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี

การวิเคราะห์	ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ไมครอน)		
	D10	D50	D90
ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ	595.99	975.52	1465.55
ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน)	670.14	990.92	1313.86
ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน)	644.61	973.67	1293.36
ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน)	673.31	977.05	1282.59
ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)	648.97	964.91	1272.64

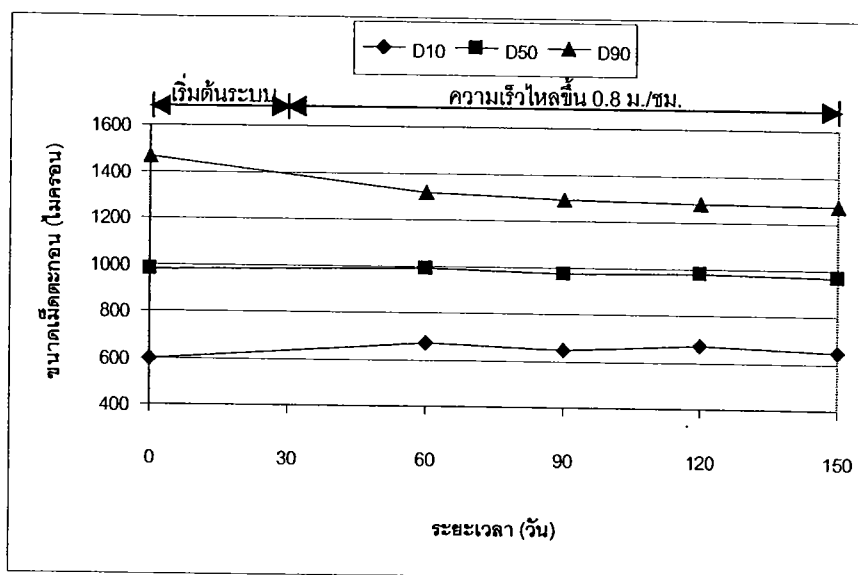
ตารางที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.

การวิเคราะห์	ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ไมครอน)		
	D10	D50	D90
ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ	595.99	975.52	1465.55
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน)	632.96	944.97	1258.02
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน)	658.51	989.70	1240.51
ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน)	629.53	932.96	1172.17
ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)	660.95	929.92	1171.91

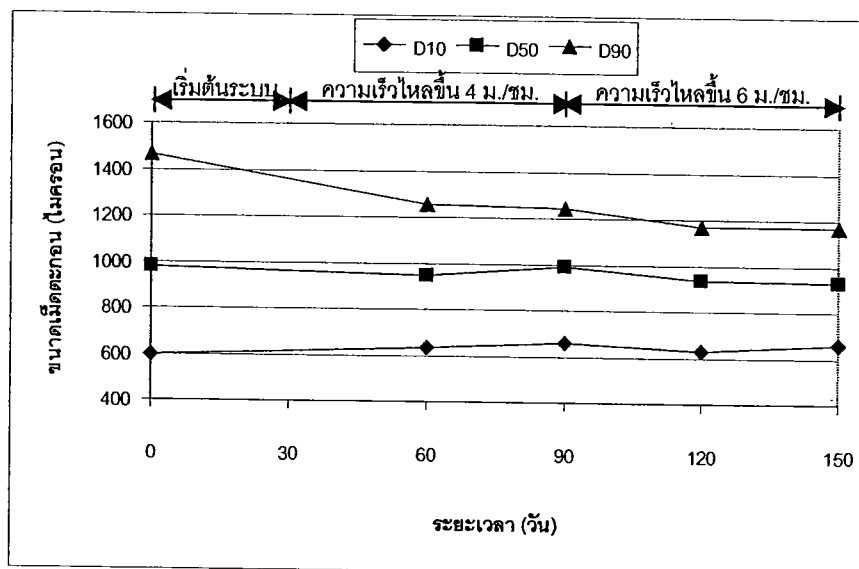
ตารางที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

การวิเคราะห์	ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ไมครอน)		
	D10	D50	D90
ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ	595.99	975.52	1465.55
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน)	626.34	947.76	1226.27
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน)	572.15	956.58	1219.92
ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน)	673.82	919.27	1161.06
ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)	622.70	920.43	1155.27

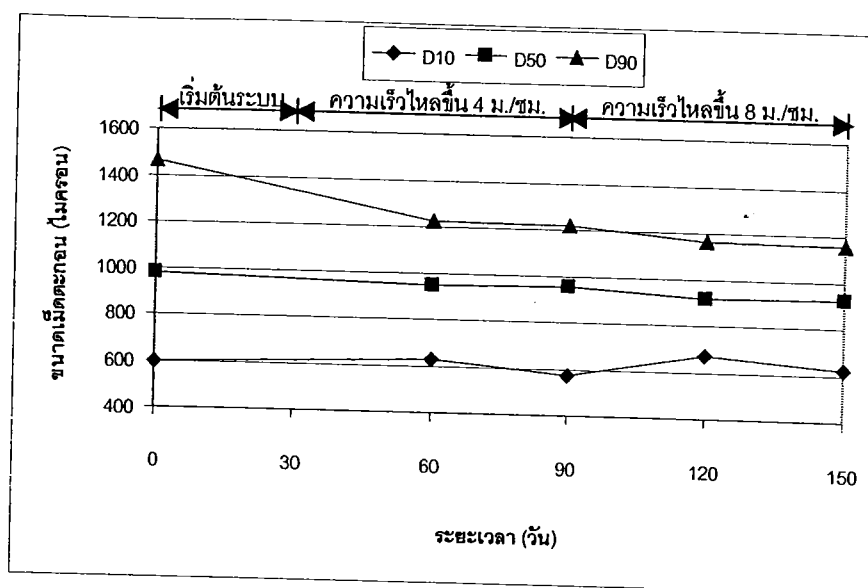
โดยในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี แสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี



รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.

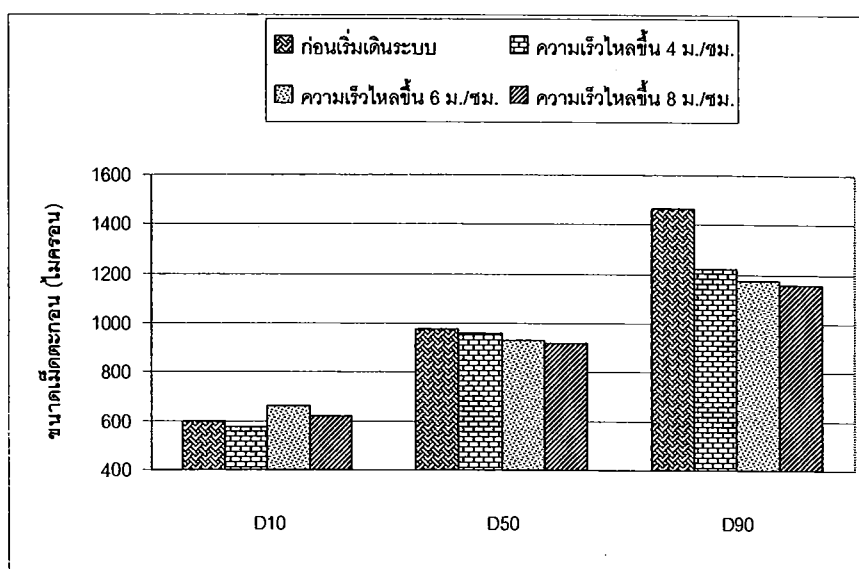


รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

จากรูปที่ 4.46 4.47 และ 4.48 จะเห็นได้ว่า ในช่วงเริ่มต้นการเดินระบบ ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี จะค่อนข้างเล็กลงเมื่อเทียบกับตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ โดยสังเกตจากการลดลงของค่า D90 และ D50 ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่จุลินทรีย์ในระบบยังอยู่ในช่วงของการปรับตัวให้เข้ากับสภาพของระบบ จุลินทรีย์บางส่วนที่ไม่สามารถปรับตัวได้อาจตายและเกิดการย่อยสลายไป และหลังจากนั้นเมื่อทำการเดินระบบต่อไปขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีจะค่อนข้างคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงขนาดที่น้อยมาก โดยสังเกตจากการที่ค่า D10 D50 และ D90 มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่ความเร็วไหลขึ้นในระบบยูเอเอสบีมีค่าต่ำ และควบคุมให้คงที่เท่ากับ 0.8 ม./ชม. ตลอดการทดลอง

ขณะที่ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีจะมีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีเปลี่ยนจาก 4 ไปเป็น 6 ม./ชม. และ 4 ไปเป็น 8 ม./ชม. จะเห็นได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์จะมีขนาดเล็กลง โดยสังเกตจากการลดลงของค่า D90 และ D50 ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่ความเร็วไหลขึ้นในระบบมีค่าสูงขึ้น ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดการกระทบกันได้มากขึ้น ส่งผลให้เม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่บางส่วนเกิดการผุกร่อน และแตกออกเป็นเม็ดตะกอนขนาดเล็กได้มากขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในการเปลี่ยนแปลงของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากความเร็วไหลขึ้น 4 เป็น 8 ม./ชม. โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ

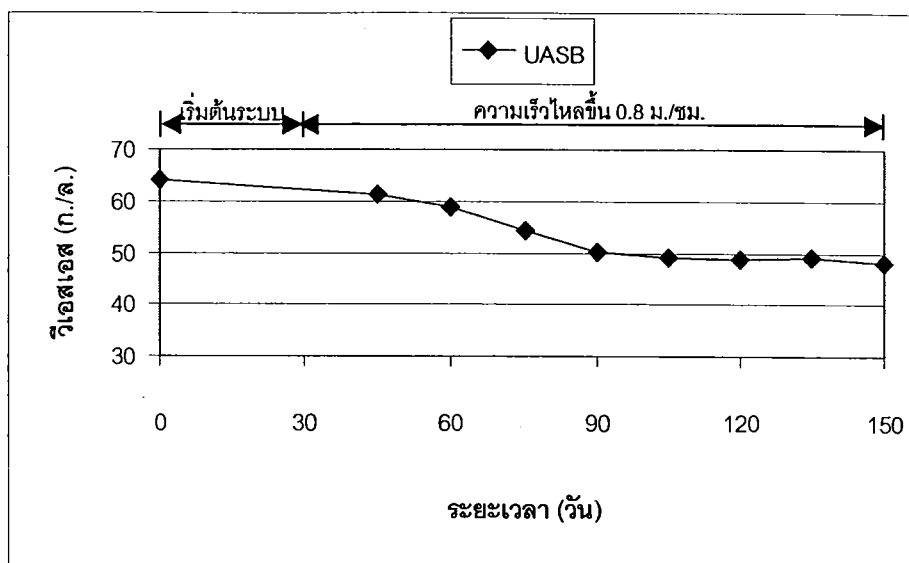
อีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.49 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า D90 และ D50 จะลดลงเมื่อความเร็วไหลขึ้นมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



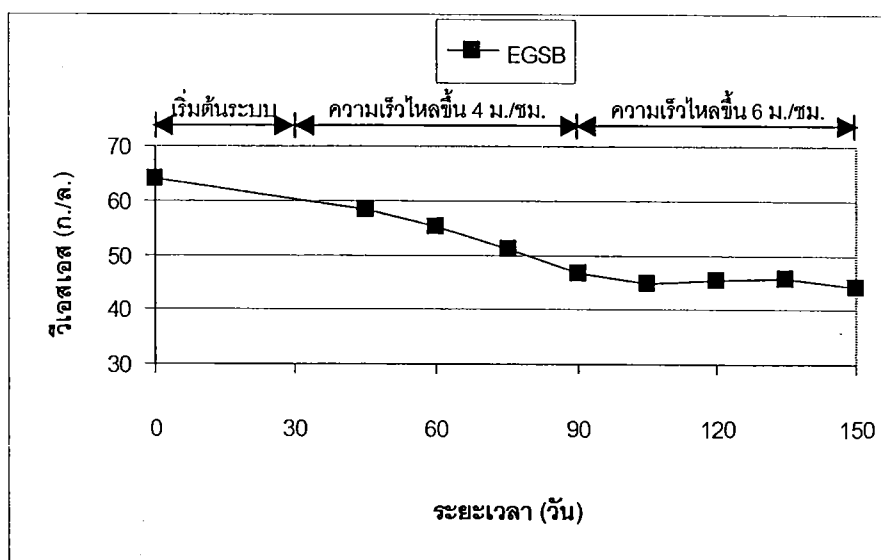
รูปที่ 4.49 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ

และเมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี กับในระบบอีจีเอสบี จะเห็นได้ว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี จะมีขนาดเล็กกว่าในระบบยูเอเอสบี ซึ่งจะสอดคล้องกับผลที่ได้จากการนำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่ความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีสูงกว่าในระบบยูเอเอสบี มีผลทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีเกิดการเสียดีและผูกพันได้มากกว่าในระบบยูเอเอสบี

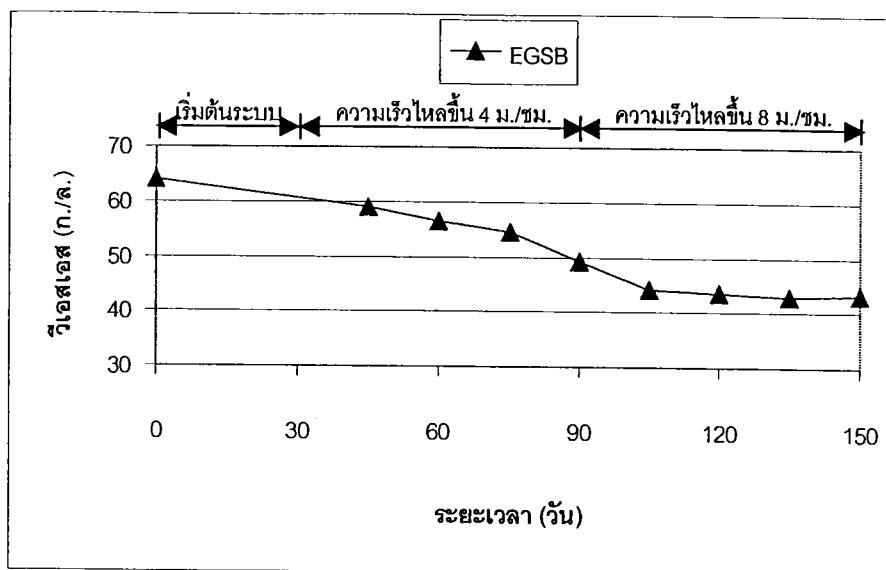
นอกจากนี้ยังได้ทำการหาความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี ซึ่ง จะทำการเก็บตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มาทำการทดลองหาค่าของแข็งแขวนลอยระเหย ซึ่งผล การทดลองแสดงดังรูปที่ 4.50 4.51 และ 4.52



รูปที่ 4.50 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอสบี



รูปที่ 4.51 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.



รูปที่ 4.52 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

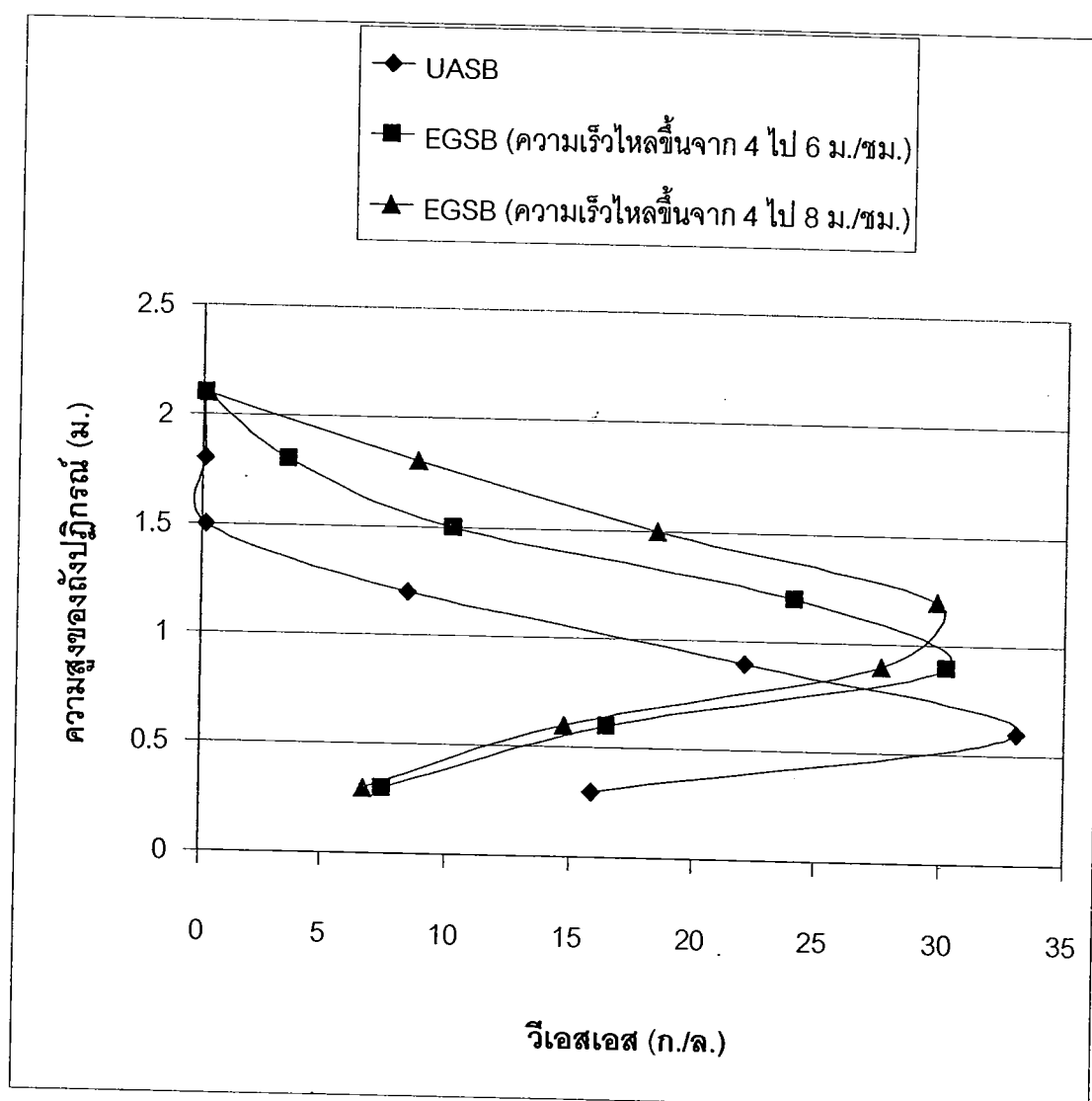
จากรูปที่ 4.50 4.51 และ 4.52 จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบเท่ากับ 64 ก./ล. แต่หลังจากที่เริ่มต้นเดินระบบไปแล้ว พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีจะค่อยๆ ลดลงมาเรื่อยๆ ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยังอยู่ในช่วงของการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายในระบบ โดยที่จุลินทรีย์บางส่วนที่ไม่สามารถปรับตัวได้อาจจะตายและเกิดการย่อยสลายไป จึงมีผลทำให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบมีค่าลดลง และหลังจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายในระบบได้แล้ว พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบจะค่อนข้างคงที่

เมื่อพิจารณาที่ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบี จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองที่ได้จะมีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ ในช่วงแรกที่จุลินทรีย์ยังอยู่ในช่วงของการปรับตัวให้เข้ากับสภาพของระบบ ซึ่งความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบลดลงมาเรื่อยๆ เนื่องจากจุลินทรีย์บางส่วนที่ไม่สามารถปรับตัวได้อาจตายและเกิดการย่อยสลายไป ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนที่มีขนาดใหญ่อาจจะมีขนาดเล็กลงได้ ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการหาขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer ซึ่งจะเห็นได้ว่า ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบจะเล็กลงมาเรื่อยๆเช่นเดียวกัน และความเข้มข้นของจุลินทรีย์กับขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะค่อนข้างที่เมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวได้แล้ว

ดังนั้น ในการศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยวิเคราะห์ผลจากการนำตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีไปทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และทำการหาการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer และการหาความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ความเร็วไหลขึ้นในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้สภาพทางจุลศาสตร์ภายในระบบมีความปั่นป่วนมากขึ้น ทำให้เป็นการเพิ่มโอกาสให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบเกิดการกระทบกันได้มากขึ้น ส่งผลให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่บางส่วนเกิดการผุร่อน และแตกออกเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลง

4.10 การกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์ โดยจะดูว่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์มีค่ามากที่สุดที่ความสูงใดของถังปฏิกรณ์ ซึ่งอาจเป็นบริเวณที่มีการย่อยสลายอินทรีย์เกิดขึ้นมากที่สุด โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในช่วงที่ 2 ได้ทำการหาความเข้มข้นของจุลินทรีย์ตามความลึกของถังปฏิกรณ์ในระบบยูเอสบีและอีจีเอสบี ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.53



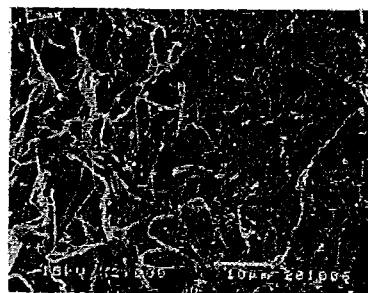
รูปที่ 4.53 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ตามความลึกของถังปฏิกรณ์ในระบบยูเอสบีและอีจีเอสบี

จากรูปที่ 4.53 พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสพีจะมีความมากที่สุด ที่ความสูงประมาณ 0.60 ม. จากกันถึงปฏิกรณ์ ขณะที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสพีที่ความเร็วไหลขึ้น 6 และ 8 ม./ชม. จะมีความมากที่สุด ที่ความสูงประมาณ 0.90 และ 1.20 ม. จากกันถึงปฏิกรณ์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ขยายตัว พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสพีและอีจีเอสพี จะมีความมากที่สุดอยู่ในช่วงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ขยายตัว และการที่ระดับความสูงต่ำกว่าช่วงนี้จะมีค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่ำกว่า เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบดันตัวสูงขึ้นสู่ด้านบน ประกอบกับความเร็วไหลขึ้นในระบบ ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จับตัวกันไม่แน่น ในขณะที่เมื่อระดับความสูงมากกว่าช่วงนี้ ค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์จะค่อยๆ ลดลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งใกล้เคียงกับคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบ

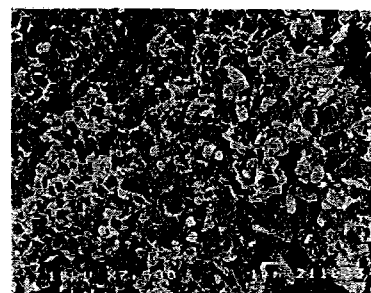
4.11 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรีย ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยการนำตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสพีและอีจีเอสพีทั้งตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ และหลังจากที่สิ้นสุดการทดลองภายหลังจากเดินระบบเป็นระยะเวลา 5 เดือน ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยทำการเลือกตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ที่เป็นตัวแทนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลายๆ เม็ดที่ส่องจากกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.54

ซึ่งจากรูปที่ 4.54 จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ระหว่างก่อนเริ่มต้นเดินระบบ กับหลังจากที่เดินไปประมาณ 5 เดือน พบว่า ไม่แตกต่างกันมากนัก จึงอาจกล่าวได้ว่า แม้ว่าความเร็วไหลขึ้นในระบบจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แต่จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรีย กล่าวคือ ที่บริเวณผิวนอกจะเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่สร้างกรด ซึ่งเป็นการรวมตัวกันโดยอาศัยการเกาะยึดด้วยแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยที่กระจายอยู่ทั่วไป ทำให้โครงสร้างของแบคทีเรียมีความทนทานต่อความเร็วไหลขึ้นในระบบ ซึ่งมีผลทำให้เกิดแรงเฉือนและความปั่นป่วนในระบบ ขณะที่บริเวณภายในจะเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ชนิด Methanotrix และ Methanosarcina ซึ่งมีรูปร่างเป็นแท่งและทรงกลม ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นกลุ่มของแบคทีเรียผลิตมีเทนที่สามารถเจริญเติบโตในบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ



(กำลังขยาย 2000 เท่า)

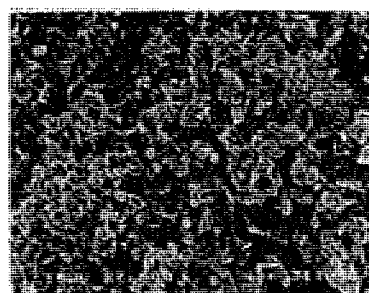


(กำลังขยาย 7500 เท่า)

ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ

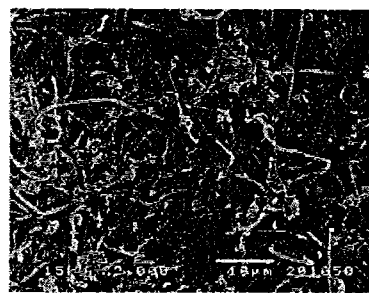


(กำลังขยาย 3500 เท่า)



(กำลังขยาย 7500 เท่า)

ระบบยูเอสบี (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)

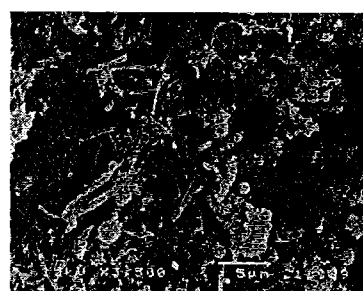


(กำลังขยาย 2000 เท่า)

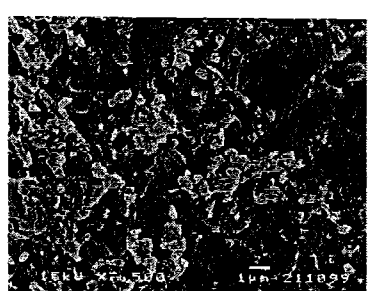


(กำลังขยาย 7500 เท่า)

ระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นเปลี่ยนจาก 4 เป็น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)



(กำลังขยาย 3500 เท่า)



(กำลังขยาย 7500 เท่า)

ระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นเปลี่ยนจาก 4 เป็น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)

รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

ของโครงสร้างแบบคทีเรียบบริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

4.12 ความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง

จากผลการทดลอง พบว่า การบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จะมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง โดยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบีจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 0.8 ม./ชม. และความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ 8 ม./ชม. ใช้เวลากักน้ำเสียทั้งหมด 5 ชม. (3 ชม. ในระบบยูเอเอสบี และ 2 ชม. ในระบบอีจีเอสบี) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการทำดีซีโอดี บีโอดี และของแขวนลอย เท่ากับ 92.2 92.5 และ 89.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าด้วยกระบวนการอีจีเอสบีอย่างเดียว ที่ได้จากงานวิจัยนี้ และด้วยกระบวนการยูเอเอสบีอย่างเดียว ที่ได้จากงานวิจัยของ ทศพร ทัพนวัชร และบรรยา คุ่มภัย (2539) ซึ่งใช้น้ำเสียจากศูนย์การค้ากาดสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งลักษณะของน้ำเสียจะมีองค์ประกอบที่คล้ายกับน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยน้ำเสียมีค่าซีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 470 มก./ล. จะแสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี กับกระบวนการอีจีเอสบี และกระบวนการยูเอเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า

กระบวนการบำบัด	เวลา กัก (ชม)	น้ำเสียที่เข้าระบบ (มก./ล.)			น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		
		COD	BOD	SS	COD	BOD	SS	COD	BOD	SS
กระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี (ในงานวิจัยนี้)	5	582	334	233	45	25	24	92.2	92.5	89.7
กระบวนการยูเอเอสบี (ทศพร ทัพนวัชร และบรรยา คุ่มภัย, 2539)	6	298	-	134	89	-	16	70.1	-	88.1
กระบวนการอีจีเอสบี (ในงานวิจัยนี้)	2	560	329	227	119	68	77	78.5	79.4	65.9

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า ระบบยูเอเอสบีหรือระบบอีจีเอสบีเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งไม่สามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง ให้มีประสิทธิภาพสูงได้ กล่าวคือ กระบวนการยูเอเอสบีอย่างเดียวไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีค่าบีโอดีที่ต่ำใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งได้ ขณะเดียวกันการใช้กระบวนการอีจีเอสบีอย่างเดียว จะทำให้เกิดการหลุดออก

ของของแข็งแขวนลอยในปริมาณมาก ดังนั้น การใช้กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มาทำการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงจึงมีความเหมาะสมมากกว่า

เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอย ของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ดังแสดงในตารางที่ 4.20 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพการกำจัดค่อนข้างสูง โดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยต่างก็สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยค่อนข้างต่ำ และใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. พบว่าค่าบีไอดีจะสูงกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย ขณะที่ค่าของแข็งแขวนลอยจะผ่านค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4.20 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ (มก./ล.)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (มก./ล.)	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง จาก อาคารประเภท ก. (มก./ล.)
ซีไอดี	582	45	-
บีไอดี	334	25	20
ของแข็งแขวนลอย	233	24	30

จึงอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นระบบบำบัดขั้นต้นในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ถึงแม้ว่าน้ำทิ้งที่ออกจากระบบจะมีค่าบีไอดีสูงกว่าค่ามาตรฐานแต่ก็เป็นปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งถ้านำน้ำทิ้งที่ออกจากระบบไปปรับปรุงคุณภาพอีกเล็กน้อย เช่น นำไปผ่านถังกรองชีวภาพ ก็จะทำให้คุณภาพน้ำทิ้งผ่านค่ามาตรฐาน ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีความเหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง มากกว่ากระบวนการอีจีเอสบีเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอย ประมาณ 90.5 90.7 และ 92.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่กระบวนการอีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยประมาณ 78.5 79.4 และ 65.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. กระบวนการอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในระดับหนึ่ง โดยที่กระบวนการอีจีเอสบีจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ประมาณ 60 – 65 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น กระบวนการอีจีเอสบีเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงได้ ควรมีการติดตั้งถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายเพิ่มขึ้นจะเป็นการดี

3. การใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ในกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง กล่าวคือ ระบบยูเอเอสบีจะช่วยดักจับของแข็งแขวนลอยไว้ประมาณ 77.4 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ทำให้มีของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ระบบยูเอเอสบียังจะช่วยลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบีอีกด้วย โดยระบบยูเอเอสบีจะช่วยย่อยสลายซีโอดีในน้ำเสียไปประมาณ 65.4 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี

4. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี เป็นทางเลือกใหม่สำหรับการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยต่างก็สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยค่อนข้างต่ำ และใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. พบว่าค่าบีโอดีจะสูงกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย ขณะที่ค่าของแข็งแขวนลอยจะผ่านค่ามาตรฐาน

5. ความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลาย ซึ่งได้แก่ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและบีโอดีจะสูงขึ้นด้วย แต่ในขณะเดียวกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็ง ซึ่งได้แก่ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะลดลงด้วยเช่นกัน

6. ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอีจีเอสบี ควรที่จะพิจารณาถึงการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบด้วย กล่าวคือ ต้องพิจารณาความเร็วไหลขึ้นควบคู่ไปกับการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ โดยความเร็วไหลขึ้นในระบบจะต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มากเกินไป ส่งผลให้ ระยะในการตกตะกอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไม่เพียงพอจนกระทั่งเกิดการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยจากระบบในปริมาณมาก

7. ความเร็วไหลขึ้นในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้สภาพทางชลศาสตร์ภายในระบบมีความปั่นป่วนมากขึ้น ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดการกระทบกันได้มากขึ้นส่งผลให้เม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่บางส่วน เกิดการผุร่อนและแตกออกเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลง

8. ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี จะมีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ขยายตัว

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไปดังนี้

1. ศึกษาค่าเวลากักที่เหมาะสมในระบบยูเอเอสพีและอีจีเอสพี ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี มีค่าสูงสุด
2. ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบอื่นที่สามารถกำจัดที่เคเอ็นได้
3. ศึกษาการใช้กระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี มาบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นๆนอกจากน้ำเสียชุมชน เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. ข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณน้ำทิ้งในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร:สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2536.
- ตุลชัย แจ่มใส. ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบชั้นเม็ดตะกอนขยายตัวสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ทศพร ทัพวันวัชร และ บวร ยาคุ่มภัย. การบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าโดยระบบยูเอเอสบี. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2539.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์, มีนา พิทยโสภณกิจ, ปราวณี พันธุมสินชัย และ อินจิรา นิยมธูร. เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไฟฟาร์ท, 2536.
- พูนศิริ สันธรัตน์. การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษคอนกรีตเป็นสารกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- มันสิน ดันทุลเวศน์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- มันสิน ดันทุลเวศน์. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- สมพงษ์ นิลประยูร. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ถังหมักแบบอับโฟลว์แวนแเอโรบิก. สไลด์จ๊แบลงเกิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2536.
- สินีนุช ศศิยศาชาติ. บทบาทของสภาพต่างต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ภาษาอังกฤษ

- Agrawal, L.K., Harada, H.D.K. and Okui, H.R.Y.K. Treatment of dilute wastewater in a UASB reactor at a moderate temperature. Journal of Fermentation and Bioengineering 83(1997): 179-184.
- Barbosa, R.A. and Sant' Anna, G.L. Treatment of raw domestic sewage in an UASB reactor. Water research 23(1989): 1483-1490.
- Behling, E., et al. Domestic wastewater treatment using a UASB reactor. Bioresource Technology 61(1997): 239-245.
- Dolfing, J. Kinetics of methane formation by granulation sludge at low substrate concentration. Appl. Microbial. Biotechnol. 22(1985): 77-81.
- Draaijer, H., Mass, J.A.W., Schaapman, J.E. and Khan, A. Performance of the 5 MLD. UASB reactors for sewage treatment at Kanpur, India. Water Science and Technology 25(1992): 123-133.
- Fang, H.H., Chui, H.K. and Li, Y.Y. Microbial structure and activity of UASB granules treating different wastewaters. Water Science and Technology 30(1994): 87-96.
- Guiot, S.R., Pauss, A and Corterton, J.W. A structure model of the anaerobic granule consortium. Water Science and Technology 25(1992): 1-7.
- Heertjes, P.M. and van der Meer, R.R. Mathematic description of wastewater in upflow reactors. Biotechnology and Bioengineering 25(1983): 25-31.
- Hulshoff Pol, L.W., de Zeew, W.J., Velzeboer, C.T.M. and Lettinga, G. Granulation in UASB reactors. Water Science and Technology 15(1983): 291-304.
- Kato, M.T., Field, J.A., Versteeg, P. and Lettinga, G. Feasibility of Expanded Granular Sludge Bed reactors for the anaerobic treatment of low-strength soluble wastewaters. Biotechnology and Bioengineering 44(1994): 469-479.
- Kato, M.T., Rebac, S. and Lettinga, G. Anaerobic treatment of low-strength brewery wastewaters in Expanded Granular Sludge Bed reactor. Bioch. Biotech. 76(1999): 15-32.

- Kato, M.T., Florencio, L. and Arantes, R.F.M. Post treatment of UASB effluent in an Expanded Granular Sludge Bed reactor type using flocculent sludge. Water Science and Technology 48(2003): 279-284.
- Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeew, W. and Klapwijk. Use of UASB reactors concept for biological wastewater treatment. Biotechnology and Bioengineering 22(1980): 699-734.
- Lettinga, G. Roserma, R. and Grin, P. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperature using a granular bed UASB reactors. Biotechnology and Bioengineering 25(1983): 1701-1723.
- Lettinga, G., et al. High rate anaerobic wastewater treatment using the UASB reactors under a wide range of temperature condition. Biotechnology and Genetic Engineering 2(1984): 253-284.
- Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L.W. Advance reactor design, operation and economy. Water Science and Technology 18(1986): 99-108.
- Mosey, F.E. and Hughes, D.A. The toxicity of heavy metal ions to anaerobic digestion. Water Pollution Control 74(1975): 18-39.
- Rebac, S., Ruskova, J. and Gerbens, S. High rate anaerobic treatment of wastewater under psychrophilic conditions. Journal of Fermentation and Bioengineering 80(1995): 499-506.
- Rinzema, A., Van veen, H. and Lettinga, G. Anaerobic digestion of triglyceride emulsions in Expanded Granular Sludge Bed reactors with modified sludge separators. Environmental Technology 14(1993): 423-432.
- Ruiz, I., Soto, M., Veiga, M.C., Ligeró, P., Vega, A. and Blazquez, R. Performance of and biomass characterisation in a UASB treating domestic wastewater at ambient temperature. Water SA 24(1998): 215-222.
- Sam-soon, P.A.L.N.S., Loewenthal, R.E., Wentzel, M.C. and Marais, G.V.R. Hypothesis for pelletisation in the UASB reactors. Water SA 13(1987): 69-80.
- Sayed, S.K.I. and Fergala, M.A.A. Two stage UASB concept for treatment of domestic sewage including sludge stabilization process. Water Science and Technology 32(1995): 55-63.

- Sawyer, C.N. and McCarty, P.L. Chemistry for environmental engineering. 3 rd ed.
Singapore: McGraw-Hill Book Co-Singapore, 1978.
- Schmidt, J.E. and Ahring, B.K. Granular sludge formation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors. Biotechnology and Bioengineering 49(1995): 229-246.
- Seghezzo, L., Zeeman, G., Van Lier, J.B., Hamelers, H.V.M. and Lettinga, G.
A review : The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors.
Bioresource Technology 65(1998): 175-190.
- Singh, K.S., Harada, H.D.K. and Viraraghavan, T. Low-strength wastewater treatment by UASB reactor. Bioresource Tchnology 55(1995): 187-194.
- Singh, K.S. and Viraraghavan, T. Start-up and operation of UASB reactors at 20 °C for municipal wastewater treatment. Journal of Fermentation and Bioengineering 85(1998): 609-614.
- Uemura, S.G.K. and Harada, H.D.K. Treatment of sewage by a UASB reactor under moderate to low temperature conditions. Bioresource Technology 72(2000): 275-282.
- van der Last, A.R.M. and Lettinga, G. Anaerobic treatment of domestic sewage under moderate climatic (Dutch) conditions using upflow reactors at increased superficial velocities. Water Science and Technology 25(1992): 167-178.
- van Haandel, A.C. and Lettinga, G. Anaerobic Sewage Treatment. England:
John Wiley&Sons, 1994.
- Wang, K. Integrated anaerobic and aerobic treatment of sewage. Doctoral dissertation.
Wageningen Argicultural University, 1994.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลพารามิเตอร์ในงานวิจัย

ตารางที่ ก-1 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
		น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำออก	ประสิทธิภาพ
		(มก./ ล.)	กำจัด (%)	(มก./ ล.)	กำจัด (%)	(มก./ ล.)	กำจัด (%)	(มก./ ล.)	กำจัด (%)
2/6/2547	619	-	-	187	69.79	217	64.94	74	65.90
4/6/2547	465	-	-	145	68.82	179	61.51	59	67.04
7/6/2547	750	-	-	200	73.33	248	66.93	76	69.35
9/6/2547	600	-	-	176	70.67	233	61.17	67	71.24
11/6/2547	582	-	-	155	73.37	189	67.53	55	70.90
14/6/2547	727	-	-	171	76.48	254	65.06	72	71.65
16/6/2547	436	-	-	110	74.77	170	61.01	50	70.59
18/6/2547	582	-	-	140	75.95	210	63.92	62	70.48
21/6/2547	565	-	-	147	73.98	200	64.60	56	72.00
23/6/2547	424	-	-	114	73.11	169	60.14	50	70.41
25/6/2547	549	-	-	133	75.77	206	62.48	60	70.87
28/6/2547	686	-	-	135	80.32	233	66.03	62	73.39
30/6/2547	411	-	-	101	75.43	151	63.26	41	72.85
2/7/2547	465	-	-	108	76.77	170	63.44	46	72.94
5/7/2547	619	-	-	126	79.64	201	67.53	54	73.13
7/7/2547	600	-	-	120	80.00	195	67.50	53	72.82
9/7/2547	450	-	-	105	76.67	165	63.33	45	72.73
12/7/2547	582	-	-	118	79.73	204	64.95	58	71.57
14/7/2547	565	-	-	127	77.52	184	67.43	49	73.37
16/7/2547	565	-	-	120	78.76	198	64.96	56	71.72
19/7/2547	686	-	-	129	81.20	226	67.06	62	72.57
21/7/2547	549	-	-	123	77.60	192	65.03	55	71.35
23/7/2547	533	-	-	110	79.36	187	64.92	53	71.66
26/7/2547	667	-	-	133	80.06	227	65.97	60	73.57
28/7/2547	519	-	-	117	77.46	182	64.93	52	71.43
30/7/2547	505	-	-	114	77.43	177	64.95	51	71.19
n	15	-	-	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	560	-	-	119	78.53	193	65.42	53	72.42
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	83.54	-	-	10.12	1.66	23.35	1.47	6.14	0.84

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-2 ค่าปีโอดีตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
7/6/2547	368	-	-	91	75.27	142	61.41	45	68.31
14/6/2547	352	-	-	89	74.72	134	61.93	40	70.15
21/6/2547	306	-	-	70	77.12	115	62.42	32	72.17
28/6/2547	332	-	-	69	79.22	114	65.66	31	72.81
5/7/2547	321	-	-	67	79.13	110	65.73	29	73.64
12/7/2547	324	-	-	65	79.94	111	65.74	31	72.07
19/7/2547	336	-	-	70	79.17	114	66.07	32	71.93
26/7/2547	331	-	-	68	79.46	112	66.16	30	73.21
n	5	-	-	5	5	5	5	5	5
ค่าเฉลี่ย	329	-	-	68	79.38	112	65.87	31	72.73
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	6.14	-	-	1.92	0.34	1.79	0.23	1.14	0.73

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-3 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)
2/6/2547	260	-	-	90	65.38	72	72.31	30	58.33
4/6/2547	215	-	-	85	60.47	59	72.56	28	52.54
7/6/2547	310	-	-	105	66.13	81	73.87	31	61.73
9/6/2547	207	-	-	86	58.45	60	71.01	25	58.33
11/6/2547	219	-	-	84	61.64	57	73.97	21	63.16
14/6/2547	320	-	-	107	66.56	71	77.81	24	66.20
16/6/2547	195	-	-	66	66.15	50	74.36	19	62.00
18/6/2547	230	-	-	84	63.48	57	75.22	20	64.91
21/6/2547	224	-	-	80	64.29	53	76.34	19	64.15
23/6/2547	198	-	-	74	62.63	48	75.76	18	62.50
25/6/2547	232	-	-	71	69.40	53	77.16	21	60.38
28/6/2547	305	-	-	93	69.51	55	81.97	20	63.64
30/6/2547	235	-	-	71	69.79	50	78.72	16	68.00
2/7/2547	210	-	-	73	65.24	49	76.67	17	65.31
5/7/2547	243	-	-	82	66.26	52	78.60	17	67.31
7/7/2547	257	-	-	80	68.87	53	79.38	20	62.26
9/7/2547	173	-	-	66	61.85	45	73.99	15	66.67
12/7/2547	224	-	-	75	66.52	52	76.79	19	63.46
14/7/2547	210	-	-	78	62.86	49	76.67	15	69.39
16/7/2547	187	-	-	71	62.03	46	75.40	17	63.04
19/7/2547	287	-	-	88	69.34	65	77.35	20	69.23
21/7/2547	214	-	-	75	64.95	51	76.17	18	64.71
23/7/2547	190	-	-	68	64.21	43	77.37	15	65.12
26/7/2547	267	-	-	82	69.29	52	80.52	19	63.46
28/7/2547	220	-	-	77	65.00	53	75.91	18	66.04
30/7/2547	184	-	-	69	62.50	46	75.00	16	65.22
n	15	-	-	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	227	-	-	77	65.88	51	77.37	17	65.52
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	38.77	-	-	7.54	2.90	5.22	2.14	1.85	2.23

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-4 ค่าอุณหภูมิภายในระบบตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)
2/6/2547	-	28.4	28.5	28.3
4/6/2547	-	29.4	29.1	30.0
7/6/2547	-	27.8	27.2	27.5
9/6/2547	-	29.7	29.0	29.7
11/6/2547	-	28.5	27.8	28.5
14/6/2547	-	30.5	29.7	30.3
16/6/2547	-	29.7	29.3	30.1
18/6/2547	-	29.3	29.9	29.2
21/6/2547	-	30.1	29.8	30.5
23/6/2547	-	27.5	27.1	28.1
25/6/2547	-	31.4	31.3	31.8
28/6/2547	-	30.2	30.1	30.5
30/6/2547	-	29.5	29.1	29.7
2/7/2547	-	29.7	28.8	29.4
5/7/2547	-	29.2	29.8	29.2
7/7/2547	-	31.1	31.2	30.7
9/7/2547	-	31.4	30.5	31.2
12/7/2547	-	28.7	29.5	28.6
14/7/2547	-	31.5	30.7	31.3
16/7/2547	-	30.7	30.8	30.0
19/7/2547	-	27.8	28.3	27.6
21/7/2547	-	29.1	29.8	29.1
23/7/2547	-	29.7	29.9	29.2
26/7/2547	-	28.4	28.9	28.3
28/7/2547	-	29.4	29.7	30.2
30/7/2547	-	30.1	30.8	29.7
n	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	-	29.8	29.9	29.6
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	1.08	0.84	1.04

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-5 ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ (มก./ล. หิน ปูน)	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
		น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)
2/6/2547	272	-	282	300	330
4/6/2547	268	-	278	286	294
7/6/2547	252	-	272	288	298
9/6/2547	266	-	274	272	280
11/6/2547	270	-	278	282	292
14/6/2547	244	-	262	250	260
16/6/2547	268	-	276	288	296
18/6/2547	272	-	284	290	300
21/6/2547	282	-	288	292	302
23/6/2547	284	-	294	296	304
25/6/2547	258	-	266	270	278
28/6/2547	254	-	274	278	286
30/6/2547	288	-	292	302	310
2/7/2547	274	-	288	300	308
5/7/2547	266	-	278	288	298
7/7/2547	258	-	264	274	288
9/7/2547	284	-	298	296	306
12/7/2547	274	-	294	288	298
14/7/2547	286	-	296	298	308
16/7/2547	268	-	278	284	296
19/7/2547	248	-	266	266	280
21/7/2547	274	-	284	282	292
23/7/2547	246	-	258	258	272
26/7/2547	252	-	272	270	286
28/7/2547	268	-	284	300	320
30/7/2547	282	-	298	302	310
ก	15	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	268	-	282	286	297
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	13.95	-	12.94	14.20	13.24

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-6 ค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ (มก./ล. หิน ปูน)	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบจีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบจีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
		น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)
2/6/2547	116	-	94	98	80
4/6/2547	96	-	72	76	58
7/6/2547	132	-	96	96	72
9/6/2547	116	-	86	88	64
11/6/2547	114	-	88	94	70
14/6/2547	126	-	84	78	60
16/6/2547	94	-	74	76	58
18/6/2547	104	-	82	82	68
21/6/2547	104	-	78	80	66
23/6/2547	100	-	76	78	58
25/6/2547	98	-	74	72	60
28/6/2547	134	-	94	92	70
30/6/2547	102	-	76	78	58
2/7/2547	94	-	74	80	62
5/7/2547	122	-	94	96	72
7/7/2547	114	-	84	92	68
9/7/2547	98	-	78	78	62
12/7/2547	108	-	86	76	64
14/7/2547	112	-	80	82	68
16/7/2547	104	-	76	80	66
19/7/2547	128	-	90	86	68
21/7/2547	108	-	78	74	62
23/7/2547	128	-	84	86	60
26/7/2547	130	-	92	80	70
28/7/2547	98	-	76	88	72
30/7/2547	110	-	86	84	68
ก	15	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	113	-	83	84	66
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	12.91	-	6.96	6.44	4.41

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-7 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบจีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบจีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
		น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก
2/6/2547	0.43	-	0.33	0.33	0.24
4/6/2547	0.36	-	0.26	0.27	0.20
7/6/2547	0.52	-	0.35	0.33	0.24
9/6/2547	0.44	-	0.31	0.32	0.23
11/6/2547	0.42	-	0.32	0.33	0.24
14/6/2547	0.52	-	0.32	0.31	0.23
16/6/2547	0.35	-	0.27	0.26	0.20
18/6/2547	0.38	-	0.29	0.28	0.23
21/6/2547	0.37	-	0.27	0.27	0.22
23/6/2547	0.35	-	0.26	0.26	0.19
25/6/2547	0.38	-	0.28	0.27	0.22
28/6/2547	0.53	-	0.34	0.33	0.24
30/6/2547	0.35	-	0.26	0.26	0.19
2/7/2547	0.34	-	0.26	0.27	0.20
5/7/2547	0.46	-	0.34	0.33	0.24
7/7/2547	0.44	-	0.32	0.34	0.24
9/7/2547	0.35	-	0.26	0.26	0.20
12/7/2547	0.39	-	0.29	0.26	0.21
14/7/2547	0.39	-	0.27	0.28	0.22
16/7/2547	0.39	-	0.27	0.28	0.22
19/7/2547	0.52	-	0.34	0.32	0.24
21/7/2547	0.39	-	0.27	0.26	0.21
23/7/2547	0.52	-	0.33	0.33	0.22
26/7/2547	0.52	-	0.34	0.30	0.24
28/7/2547	0.37	-	0.27	0.29	0.23
30/7/2547	0.39	-	0.29	0.28	0.22
n	15	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	0.42	-	0.30	0.29	0.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.07	-	0.03	0.03	0.02

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-8 ค่าพีเอชตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
		น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก
2/6/2547	7.08	-	7.20	7.19	7.32
4/6/2547	7.21	-	7.32	7.27	7.41
7/6/2547	6.92	-	7.09	7.12	7.27
9/6/2547	7.09	-	7.19	7.17	7.33
11/6/2547	7.07	-	7.17	7.16	7.28
14/6/2547	6.93	-	7.14	7.12	7.34
16/6/2547	7.22	-	7.31	7.34	7.42
18/6/2547	7.11	-	7.22	7.19	7.35
21/6/2547	7.12	-	7.25	7.16	7.28
23/6/2547	7.25	-	7.35	7.32	7.38
25/6/2547	7.14	-	7.28	7.25	7.37
28/6/2547	6.94	-	7.13	7.20	7.28
30/6/2547	7.26	-	7.34	7.32	7.42
2/7/2547	7.22	-	7.31	7.28	7.45
5/7/2547	7.08	-	7.18	7.22	7.35
7/7/2547	7.07	-	7.21	7.16	7.32
9/7/2547	7.21	-	7.28	7.33	7.43
12/7/2547	7.11	-	7.25	7.21	7.36
14/7/2547	7.12	-	7.23	7.26	7.42
16/7/2547	7.10	-	7.24	7.18	7.26
19/7/2547	6.94	-	7.15	7.20	7.32
21/7/2547	7.10	-	7.26	7.23	7.36
23/7/2547	6.94	-	7.14	7.15	7.32
26/7/2547	6.92	-	7.09	7.13	7.28
28/7/2547	7.12	-	7.28	7.25	7.36
30/7/2547	7.13	-	7.29	7.26	7.35
n	15	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	7.08	-	7.23	7.22	7.35
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.11	-	0.07	0.06	0.06

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-9 ค่าไออาร์พีภายในระบบตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)
2/6/2547	-	-350	-371	-333
4/6/2547	-	-334	-368	-320
7/6/2547	-	-340	-335	-315
9/6/2547	-	-350	-326	-346
11/6/2547	-	-371	-314	-300
14/6/2547	-	-362	-318	-335
16/6/2547	-	-334	-324	-345
18/6/2547	-	-328	-365	-352
21/6/2547	-	-332	-351	-320
23/6/2547	-	-361	-335	-312
25/6/2547	-	-375	-342	-324
28/6/2547	-	-354	-375	-345
30/6/2547	-	-368	-348	-312
2/7/2547	-	-354	-328	-310
5/7/2547	-	-355	-364	-314
7/7/2547	-	-336	-319	-300
9/7/2547	-	-318	-339	-311
12/7/2547	-	-322	-367	-315
14/7/2547	-	-358	-327	-312
16/7/2547	-	-364	-348	-320
19/7/2547	-	-341	-370	-341
21/7/2547	-	-322	-315	-300
23/7/2547	-	-346	-367	-334
26/7/2547	-	-356	-336	-310
28/7/2547	-	-343	-360	-318
30/7/2547	-	-335	-322	-300
ก	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	-	-345	-346	-316
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	15.65	20.57	13.92

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้การทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-10 ค่าที่เคเอ็นตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ล. ไนโตร เจน)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบจีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบจีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ล. ไนโตร เจน)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ล. ไนโตร เจน)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ล. ไนโตร เจน)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ล. ไนโตร เจน)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)
7/6/2547	63	-	-	59	6.35	60	4.76	57	5.00
14/6/2547	68	-	-	65	4.41	63	7.35	59	6.35
21/6/2547	59	-	-	55	6.78	57	3.39	54	5.26
28/6/2547	70	-	-	65	7.14	66	5.71	61	7.58
5/7/2547	58	-	-	55	5.17	55	5.17	51	7.27
12/7/2547	63	-	-	58	7.94	60	4.76	56	6.67
19/7/2547	65	-	-	61	6.15	63	3.08	60	4.76
26/7/2547	60	-	-	57	5.00	56	6.67	52	7.14
N	5	-	-	5	5	5	5	5	5
ค่าเฉลี่ย	63	-	-	59	6.28	60	5.08	56	6.68
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.66	-	-	3.90	1.26	4.64	1.19	4.53	1.12

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-11 ปริมาณก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)
2/6/2547	-	-	90	0.21	65	0.16	-	-
4/6/2547	-	-	45	0.14	40	0.14	-	-
7/6/2547	-	-	120	0.22	110	0.22	-	-
9/6/2547	-	-	70	0.17	60	0.16	-	-
11/6/2547	-	-	70	0.16	60	0.15	-	-
14/6/2547	-	-	100	0.18	85	0.18	-	-
16/6/2547	-	-	60	0.18	35	0.13	-	-
18/6/2547	-	-	75	0.17	60	0.16	-	-
21/6/2547	-	-	70	0.17	70	0.19	-	-
23/6/2547	-	-	45	0.15	35	0.14	-	-
25/6/2547	-	-	85	0.20	50	0.15	-	-
28/6/2547	-	-	100	0.18	75	0.17	-	-
30/6/2547	-	-	45	0.15	40	0.15	-	-
2/7/2547	-	-	65	0.18	40	0.14	-	-
5/7/2547	-	-	100	0.20	80	0.19	-	-
7/7/2547	-	-	85	0.18	65	0.16	-	-
9/7/2547	-	-	50	0.14	40	0.14	-	-
12/7/2547	-	-	80	0.17	60	0.16	-	-
14/7/2547	-	-	85	0.19	75	0.20	-	-
16/7/2547	-	-	75	0.17	60	0.16	-	-
19/7/2547	-	-	100	0.18	80	0.17	-	-
21/7/2547	-	-	90	0.21	55	0.15	-	-
23/7/2547	-	-	70	0.17	60	0.17	-	-
26/7/2547	-	-	100	0.19	90	0.20	-	-
28/7/2547	-	-	65	0.16	50	0.15	-	-
30/7/2547	-	-	75	0.19	50	0.15	-	-
ก	-	-	15	15	15	15	-	-
ค่าเฉลี่ย	-	-	79	0.18	61	0.16	-	-
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	-	17.85	0.02	15.98	0.02	-	-

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-12 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองช่วงที่ 2

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)
2/8/2547	775	248	68.00	74	70.16	232	70.06	62	73.28
4/8/2547	465	170	63.44	52	69.41	178	61.72	53	70.22
6/8/2547	619	217	64.94	63	70.97	232	62.52	58	75.00
9/8/2547	600	210	65.00	55	73.81	195	67.50	55	71.79
11/8/2547	582	204	64.95	57	72.06	189	67.53	49	74.07
13/8/2547	727	233	67.95	58	75.11	240	66.99	70	70.83
16/8/2547	565	198	64.96	55	72.22	207	63.36	51	75.36
18/8/2547	424	168	60.38	47	72.02	168	60.38	44	73.81
20/8/2547	565	209	63.01	54	74.16	200	64.60	48	76.00
23/8/2547	686	240	65.01	66	72.50	233	66.03	62	73.39
25/8/2547	549	192	65.03	52	72.92	206	62.48	52	74.76
27/8/2547	533	180	66.23	42	76.67	187	64.92	41	78.07
30/8/2547	667	227	65.97	52	77.09	240	64.02	50	79.17
1/9/2547	497	182	63.38	46	74.73	190	61.77	42	77.89
3/9/2547	662	215	67.52	49	77.21	232	64.95	48	79.31
6/9/2547	640	224	65.00	52	76.79	208	67.50	43	79.33
8/9/2547	619	201	67.53	46	77.11	209	66.24	45	78.47
10/9/2547	465	186	60.00	47	74.73	186	60.00	42	77.42
13/9/2547	600	195	67.50	44	77.44	210	65.00	45	78.57
15/9/2547	450	165	63.33	42	74.55	175	61.11	42	76.00
17/9/2547	582	218	62.54	53	75.69	197	66.15	46	76.65
20/9/2547	706	240	66.01	56	76.67	230	67.42	48	79.13
22/9/2547	565	207	63.36	47	77.29	207	63.36	43	79.23
24/9/2547	549	200	63.57	48	76.00	213	61.20	45	78.87
27/9/2547	667	230	65.52	53	76.96	220	67.02	47	78.64
29/9/2547	533	187	64.92	46	75.40	202	62.10	45	77.72
ก	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	582	204	64.82	48	76.29	207	64.18	45	78.30
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.28	21.59	2.13	4.21	1.02	18.40	2.48	2.65	1.01

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-13 ค่าบีโอดีตลอดการทดลองครั้งที่ 2

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)
9/8/2547	327	112	65.75	31	72.32	110	66.36	29	73.64
16/8/2547	322	110	65.84	32	70.91	108	66.46	27	75.00
23/8/2547	348	113	67.53	30	73.45	114	67.24	28	75.44
30/8/2547	336	114	66.07	29	74.56	116	65.48	26	77.59
6/9/2547	325	112	65.54	28	75.00	111	65.85	24	78.38
13/9/2547	315	110	65.08	25	77.27	108	65.71	25	76.85
20/9/2547	350	114	67.43	27	76.32	117	66.57	26	77.78
27/9/2547	345	116	66.38	28	75.86	115	66.67	24	79.13
ก	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ค่าเฉลี่ย	334	113	66.10	27	75.80	113	66.05	25	77.94
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	14.34	2.28	0.89	1.52	1.07	3.78	0.53	1.00	0.86

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-14 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองช่วงที่ 2

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)
2/8/2547	327	80	75.54	32	60.00	71	78.29	36	49.30
4/8/2547	230	42	81.74	20	52.38	55	76.09	29	47.27
6/8/2547	268	69	74.25	28	59.42	57	78.73	30	47.37
9/8/2547	246	60	75.61	30	50.00	72	70.73	33	54.17
11/8/2547	223	58	73.99	23	60.34	49	78.03	26	46.94
13/8/2547	305	75	75.41	27	64.00	68	77.70	29	57.35
16/8/2547	235	43	81.70	20	53.49	57	75.74	26	54.39
18/8/2547	176	51	71.02	18	64.71	47	73.30	20	57.45
20/8/2547	234	68	70.94	26	61.76	64	72.65	26	59.38
23/8/2547	287	72	74.91	26	63.89	61	78.75	25	59.02
25/8/2547	215	56	73.95	19	66.07	44	79.53	20	54.55
27/8/2547	220	57	74.09	22	61.40	50	77.27	22	56.00
30/8/2547	190	44	76.84	19	56.82	52	72.63	24	53.85
1/9/2547	218	52	76.15	20	61.54	60	72.48	26	56.67
3/9/2547	290	59	79.66	23	61.02	68	76.55	28	58.82
6/9/2547	185	40	78.38	17	57.50	51	72.43	24	52.94
8/9/2547	249	54	78.31	21	61.11	62	75.10	28	54.84
10/9/2547	197	58	70.56	20	65.52	45	77.16	20	55.56
13/9/2547	218	43	80.28	15	65.12	47	78.44	20	57.45
15/9/2547	187	44	76.47	17	61.36	54	71.12	23	57.41
17/9/2547	254	50	80.31	19	62.00	62	75.59	27	56.45
20/9/2547	310	75	75.81	24	68.00	60	80.65	25	58.33
22/9/2547	232	45	80.60	17	62.22	56	75.86	22	60.71
24/9/2547	225	64	71.56	24	62.50	47	79.11	19	59.57
27/9/2547	275	57	79.27	22	61.40	67	75.64	27	59.70
29/9/2547	251	45	82.07	19	57.78	55	78.09	22	60.00
ก	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	233	52	77.36	20	61.69	56	75.87	24	57.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	37.99	9.50	3.34	2.74	2.99	7.24	2.75	2.98	2.33

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-15 ค่าอุณหภูมิภายในระบบตลอดการทดลองครั้งที่ 2

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)
	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)
2/8/2547	30.8	30.1	30.2	30.8
4/8/2547	28.2	28.7	28.1	28.9
6/8/2547	29.9	29.3	27.8	29.7
9/8/2547	30.7	29.8	30.2	30.8
11/8/2547	31.2	31.6	31.3	31.8
13/8/2547	27.8	27.2	27.4	28.1
16/8/2547	29.2	29.8	29.2	29.9
18/8/2547	28.9	29.6	28.9	29.5
20/8/2547	27.5	28.5	27.2	28.1
23/8/2547	30.8	30.1	30.4	30.8
25/8/2547	28.1	28.8	28.3	29.2
27/8/2547	30.9	31.0	30.9	30.2
30/8/2547	30.5	31.2	31.7	31.2
1/9/2547	30.4	29.8	29.9	30.4
3/9/2547	30.2	29.6	29.5	30.6
6/9/2547	27.6	28.6	28.0	27.5
8/9/2547	28.7	28.0	28.4	29.5
10/9/2547	30.1	30.9	31.4	30.6
13/9/2547	29.4	30.2	29.8	29.4
15/9/2547	30.5	29.9	29.4	29.8
17/9/2547	31.5	30.8	30.7	31.3
20/9/2547	27.8	28.7	27.6	27.9
22/9/2547	29.7	28.6	28.4	29.4
24/9/2547	30.5	31.4	30.1	30.8
27/9/2547	29.2	29.8	29.1	29.5
29/9/2547	29.4	30.1	29.0	29.8
n	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	29.8	29.9	29.6	29.9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.10	1.06	1.23	1.08

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-16 ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองครั้งที่ 2

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ (มก./ล. หิน ปูน)	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)
		น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)
2/8/2547	248	274	270	262	280
4/8/2547	268	288	286	280	296
6/8/2547	272	298	310	286	300
9/8/2547	282	288	303	300	312
11/8/2547	286	295	305	304	316
13/8/2547	268	279	293	288	304
16/8/2547	232	248	266	246	254
18/8/2547	284	297	310	306	322
20/8/2547	236	252	272	244	260
23/8/2547	256	286	288	278	294
25/8/2547	276	298	306	290	300
27/8/2547	250	260	276	270	282
30/8/2547	244	280	298	268	286
1/9/2547	256	264	286	276	294
3/9/2547	264	276	307	286	298
6/9/2547	276	285	313	294	304
8/9/2547	258	262	276	278	290
10/9/2547	278	290	290	286	300
13/9/2547	242	270	288	258	272
15/9/2547	282	298	319	294	308
17/9/2547	280	300	312	290	304
20/9/2547	236	264	285	256	274
22/9/2547	260	270	296	284	300
24/9/2547	266	300	310	278	290
27/9/2547	256	290	306	280	296
29/9/2547	250	276	290	266	276
n	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	260	279	297	278	292
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	14.41	14.15	13.74	12.00	11.49

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

การทดลองช่วงที่ 2 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 7.1 โดยในชุดการทดลองที่ 1 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.4 ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 น้ำออกจากระบบยูเอเอสบี มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 น้ำออกจากระบบอีจีเอสบี มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.3 โดยค่าพีเอชตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.26

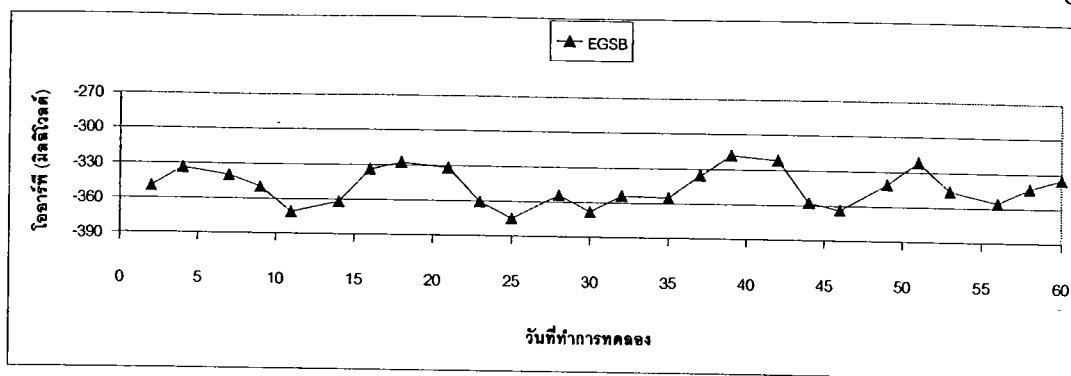
จากผลการทดลอง พบว่าค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำที่ออกจากระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบี ในการทดลองทั้ง 2 ช่วง จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำที่เข้าระบบ เนื่องจาก ปริมาณสภาพต่างทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในระบบ และปริมาณกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัดไป และจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบตลอดการทดลอง จะอยู่ในช่วง 6.5 – 8.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

ไออาร์พี

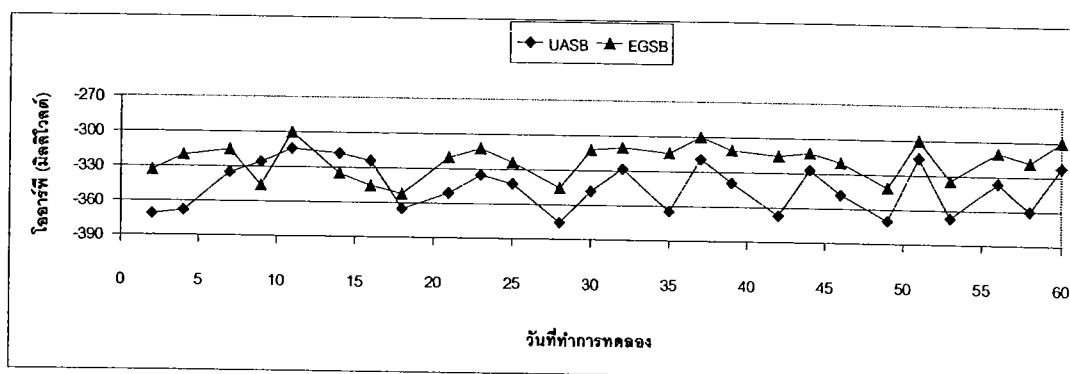
การทดลองช่วงที่ 1 ในชุดการทดลองที่ 1 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ -345 มิลลิโวลต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ -346 มิลลิโวลต์ และค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ -316 มิลลิโวลต์ โดยค่าไออาร์พีภายในระบบตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.27

การทดลองช่วงที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 1 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ -346 มิลลิโวลต์ ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ -319 มิลลิโวลต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ -350 มิลลิโวลต์ และค่าไออาร์พีเฉลี่ยภายในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ -312 มิลลิโวลต์ โดยค่าไออาร์พีภายในระบบตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.28

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าไออาร์พีเฉลี่ยในแต่ละระบบมีค่าใกล้เคียงกันมาก และมีค่าอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

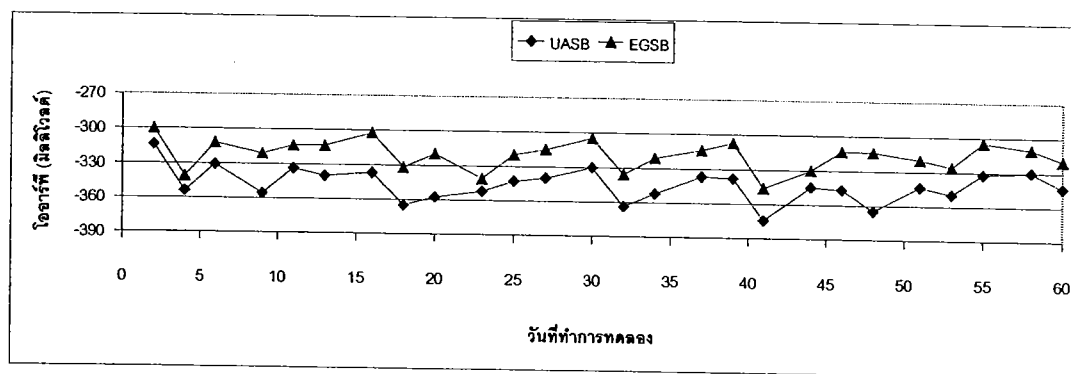


ก) ชุดการทดลองที่ 1

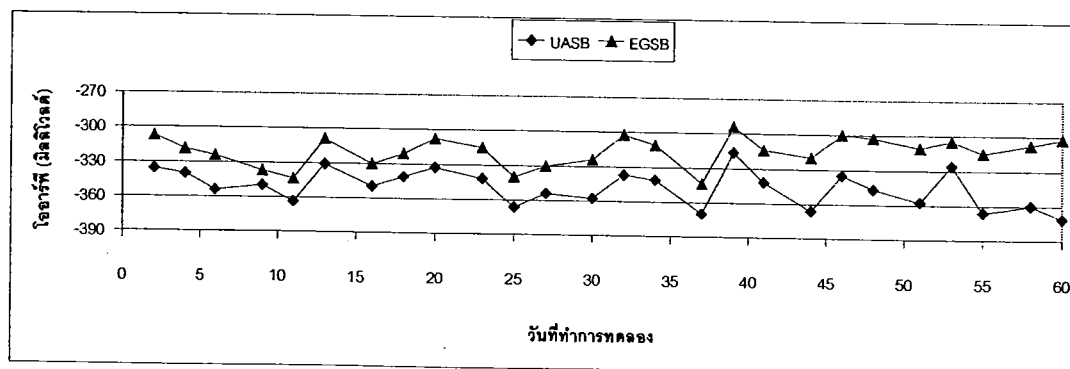


ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.27 ค่าโออาร์พีภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 1



ก) ชุดการทดลองที่ 1



ข) ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.28 ค่าโออาร์พีภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 2

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบในการทดลองช่วงที่ 1

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		น้ำออกจากระบบ		น้ำออกจากระบบ	
		ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี	ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (วัดในถังปฏิกรณ์) n = 15	-	-	29.8	29.9	29.6
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน) n = 15	268	-	282	286	297
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน) n = 15	113	-	83	84	66
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด n = 15	0.42	-	0.30	0.29	0.22
พีเอช n = 15	7.1	-	7.2	7.2	7.3
ไออาร์พี (มิลลิโวลต์) (วัดในถังปฏิกรณ์) n = 15	-	-	-345	-346	-316

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบในการทดลองช่วงที่ 2

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		น้ำออกจากระบบ		น้ำออกจากระบบ	
		ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี	ยูเอเอสบี	อีจีเอสบี
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (วัดในถังปฏิกรณ์) n = 15	-	29.8	29.9	29.6	29.9
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน) n = 15	260	279	297	278	292
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน) n = 15	112	87	66	82	64
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด n = 15	0.43	0.31	0.22	0.29	0.22
พีเอช n = 15	7.1	7.2	7.4	7.2	7.3
ไออาร์พี (มิลลิโวลต์) (วัดในถังปฏิกรณ์) n = 15	-	-346	-319	-350	-312

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

4.7 การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพโดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในระบบ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณที่โอดีที่ถูกกำจัด เพื่อเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงใช้แนวความคิด และโมเดลเรื่องก๊าซ ในงานวิจัยของสินีนาฏ ศศิยศาชาติ (2544) มาอธิบาย โดยมีข้อกำหนดดังนี้

ข้อกำหนด

- กำหนดให้น้ำเสียที่ถูกย่อยสลายทั้งหมดมีปริมาตร 1 ลิตร
- ก๊าซที่เกิดขึ้นมี 2 ชนิด คือ มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์
- อุณหภูมิของระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส
- เนื่องจากการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลสารระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคก๊าซ ดังนั้น ในการพิจารณาหน่วยของปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงรูปไปอยู่ในแต่ละวัฏภาค จะพิจารณาในหน่วยมวลของสารนั้นๆ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณ

ให้	M_T	=	จำนวนโมลของมีเทนทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในระบบ
	C_T	=	จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในระบบ
	M_L	=	จำนวนโมลของมีเทนที่อยู่ในวัฏภาคน้ำ
	C_L	=	จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในวัฏภาคน้ำ
	M_G	=	จำนวนโมลของมีเทนที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ
	C_G	=	จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ

ค่าคงที่ของเฮนรีที่อุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

$$K_{CH_4} = 1.24 \text{ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ}$$

$$K_{CO_2} = 29.9 \text{ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ}$$

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะได้ก๊าซเกิดขึ้น 2 ชนิด คือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซที่เกิดขึ้นนี้ส่วนหนึ่งจะละลายอยู่ในน้ำ และอีกส่วนหนึ่งจะหนีออกไปอยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำ ดังนั้นผลรวมของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดในรูปมวลจะเท่ากับมวลของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำรวมกับมวลของก๊าซที่อยู่เหนือน้ำ จากความสัมพันธ์นี้ สามารถเขียนออกมาเป็นสมการได้ดังนี้

ก๊าซมีเทน

$$\begin{aligned} M_T &= M_L + M_G \\ M_L &= M_T - M_G \end{aligned} \quad (4.1)$$

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$\begin{aligned} C_T &= C_L + C_G \\ C_L &= C_T - C_G \end{aligned} \quad (4.2)$$

และจากความสัมพันธ์ของก๊าซในบรรยากาศเมื่อคิดในรูปของความดันพาร์เซี่ยล จะได้ว่า

$$\text{ความดันพาร์เซี่ยลของมีเทน, } P_{CH_4} = M_G / (M_G + C_G) \quad (4.3)$$

$$\text{ความดันพาร์เซี่ยลของคาร์บอนไดออกไซด์, } P_{CO_2} = C_G / (M_G + C_G) \quad (4.4)$$

จากกฎของเฮนรี ที่กล่าวว่า “ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำจะเท่ากับค่าคงที่ของการละลายคูณด้วยความดันพาร์เซี่ยลของก๊าซนั้น” จะได้ว่า

$$\text{ความเข้มข้นของมีเทนละลายน้ำ, } M_L = K_{CH_4} \times P_{CH_4} \quad (4.5)$$

แทนค่า สมการ (4.1) และ (4.3) ลงในสมการที่ (4.5) แล้วจัดรูปใหม่

$$\begin{aligned} M_T - M_G &= K_{CH_4} \times M_G / (M_G + C_G) \\ C_G &= [(K_{CH_4} \times M_G) / (M_T - M_G)] - M_G \end{aligned} \quad (4.6)$$

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ, $C_L = K_{CO_2} \times P_{CO_2}$ (4.7)

แทนค่า สมการ (4.2) และ (4.4) ลงในสมการที่ (4.7) แล้วจัดรูปใหม่

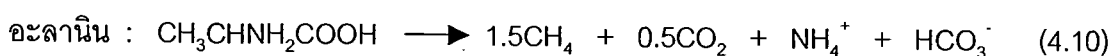
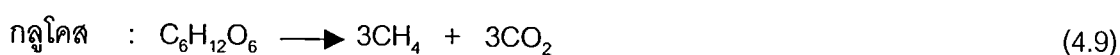
$$\begin{aligned} C_T - C_G &= K_{CO_2} \times C_G / (M_G + C_G) \\ M_G &= [(K_{CO_2} \times C_G) / (C_T - C_G)] - C_G \end{aligned} \quad (4.8)$$

จากข้อกำหนดและสมการที่ 4.1 – 4.8 สามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซได้

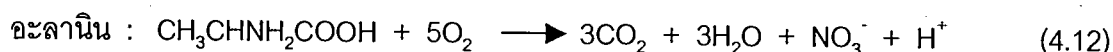
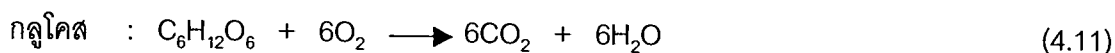
น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากอาคารสูง ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวเป็นน้ำเสียที่มีธาตุไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจนสูง จึงกำหนดให้น้ำเสียดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นน้ำเสียประเภทโปรตีน โดยน้ำเสียประเภทนี้เมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะถูกไฮโดรไลซ์ให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง กลายเป็นกรดอะมิโน และถูกแบคทีเรียสร้างกรดย่อยสลายให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย อะมีน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน และสุดท้ายจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนให้เป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย โดยแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นให้เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต เป็นผลให้สภาพต่างในระบบสูงขึ้น

สำหรับน้ำเสียประเภทโปรตีนโดยทั่วไปจะไม่พบว่ามีเฉพาะโปรตีนทั้งหมด แต่จะมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตปนอยู่ด้วย ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสีย แต่ในการทดลองนี้จะสมมติว่า ในน้ำเสียมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะใช้กลูโคสเป็นตัวแทนสูตรทางเคมี และมีโปรตีนอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะใช้อะลานินเป็นตัวแทนสูตรทางเคมี โดยมีสมการการย่อยสลายและสมการการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ดังนี้

- สมการการย่อยสลายสารอินทรีย์



- สมการการออกซิไดซ์สารอินทรีย์



จากสมการทั้ง 4 ข้างต้น จะได้ว่า การย่อยสลายกลูโคส 1 โมล จะใช้ออกซิเจน 6 โมล หรืออาจกล่าวได้ว่า ซีไอดีของกลูโคสเท่ากับ 6 โมล ต่อ 1 โมลของกลูโคส และในการย่อยสลายกลูโคสแบบไม่ใช้ออกาศ 1 โมล จะเกิดเป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 3 โมล ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ซีไอดี 6 โมล จะเกิดเป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 3 โมล

ส่วนในการย่อยสลายอะลานีน 1 โมล จะใช้ออกซิเจน 5 โมล หรืออาจกล่าวได้ว่า ซีไอดีของอะลานีนเท่ากับ 5 โมล ต่อ 1 โมลของอะลานีน และในการย่อยสลายอะลานีนแบบไม่ใช้ออกาศ 1 โมล จะเกิดเป็นมีเทน 1.5 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 0.5 โมล แอมโมเนียและไบคาร์บอเนตอย่างละ 1 โมล ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ซีไอดี 5 โมล จะเกิดเป็นมีเทน 1.5 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 0.5 โมล แอมโมเนียและไบคาร์บอเนตอย่างละ 1 โมล

จากการตั้งสมมติฐานว่า น้ำเสียประเภทโปรตีนประกอบด้วยกลูโคส และอะลานีนอย่างละ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ในซีไอดี 1 โมล

จะเป็นซีไอดีจากกลูโคส 0.5 โมล และเกิด มีเทน = $0.5 \times 0.5 = 0.25$ โมล

คาร์บอนไดออกไซด์ = $0.5 \times 0.5 = 0.25$ โมล

จะเป็นซีไอดีจากอะลานีน 0.5 โมล และเกิด มีเทน = $0.5 \times 0.3 = 0.15$ โมล

คาร์บอนไดออกไซด์ = $0.5 \times 0.1 = 0.05$ โมล

เนื่องจากว่าค่าซีไอดีนั้นมีหน่วยเป็น มก./ล. เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จึงอาจกล่าวได้ว่า ในการย่อยสลายซีไอดี 1 มิลลิโมล จะเกิดก๊าซมีเทนขึ้นทั้งหมด 0.40 มิลลิโมล และเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นทั้งหมด 0.30 มิลลิโมล

ดังนั้น ซีไอดีที่ถูกกำจัด C มก./ล. เท่ากับ C/32 มิลลิโมล/ล. จะเกิดเป็น

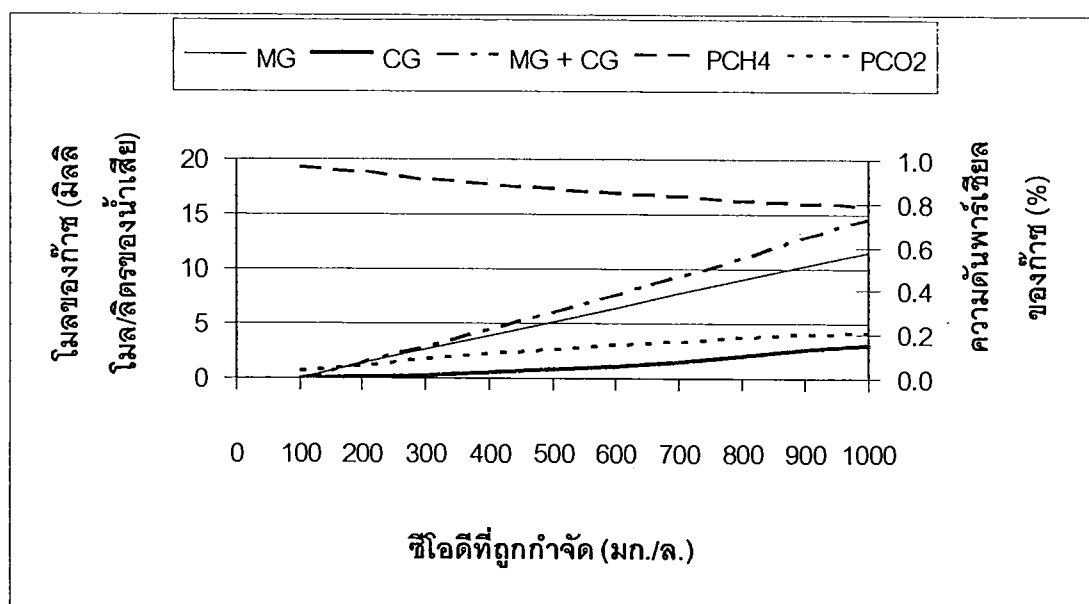
ก๊าซมีเทน, $M_T = (C/32) \times 0.40$ มิลลิโมล/ล.

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, $C_T = (C/32) \times 0.30$ มิลลิโมล/ล.

การคำนวณหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยการ Trial & error ดังนี้

1. กำหนดค่าซีไอดีที่ถูกกำจัด (C), มก./ล.
2. คำนวณหาค่า M_T และ C_T
3. สมมติค่ามีเทนที่เป็นก๊าซที่เกิดขึ้น (M_G), มิลลิโมล/ล. แทนลงในสมการที่ (4.6) จะได้ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นก๊าซที่เกิดขึ้น (C_G), มิลลิโมล/ล.
4. แทนค่า C_G ลงในสมการที่ (4.8) จะได้ค่า M_G
5. Trial & error ต่อไปจนกว่าจะได้ค่า M_G ที่สมมติเท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ (4.8)
6. คำนวณหา P_{CH_4} และ P_{CO_2} จากสมการที่ (4.3) และ (4.4)
7. คำนวณหา M_L และ C_L ในหน่วยมิลลิโมล/ล. จากสมการที่ (4.1) และ (4.2)

จากการคำนวณโดยการ Trial & error ซึ่งกำหนดค่าซีไอดีของน้ำเสียที่ถูกกำจัดตั้งแต่ 100 ถึง 1000 มก./ล. จะได้ผลดังตารางที่ 4.13 และนำความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเทียบกับซีโอดีที่ถูกกำจัด

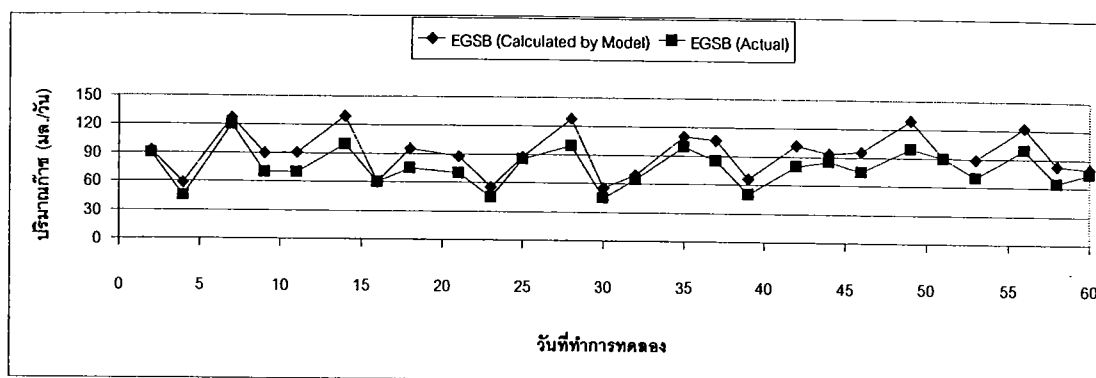
ซีโอดีที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของก๊าซ		จำนวนโมลของก๊าซเหนือผิวน้ำ		จำนวนโมลของก๊าซที่ละลายน้ำ		ความดันพาร์เซียลของก๊าซ (%)		ปริมาณก๊าซเหนือผิวน้ำ	
มก./ล.	มิลลิโมล/ล.	M_T	C_T	M_G	C_G	M_L	C_L	P_{CH_4}	P_{CO_2}	มิลลิโมล/ล.	ลิตร
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
100	3.13	1.25	0.94	0.05	0.00	1.20	0.94	0.97	0.03	0.05	0.00
200	6.25	2.50	1.88	1.33	0.08	1.17	1.80	0.94	0.06	1.41	0.03
300	9.38	3.75	2.81	2.62	0.26	1.13	2.56	0.91	0.09	2.88	0.06
400	12.50	5.00	3.75	3.90	0.50	1.10	3.25	0.89	0.11	4.40	0.10
500	15.63	6.25	4.69	5.17	0.77	1.08	3.92	0.87	0.13	5.94	0.13
600	18.75	7.50	5.63	6.45	1.17	1.05	4.46	0.85	0.15	7.62	0.17
700	21.88	8.75	6.56	7.72	1.57	1.03	4.99	0.83	0.17	9.29	0.21
800	25.00	10.00	7.50	8.99	2.05	1.01	5.45	0.81	0.19	11.04	0.25
900	28.13	11.25	8.44	10.26	2.59	0.99	5.85	0.80	0.20	12.85	0.29
1000	31.25	12.50	9.38	11.52	3.06	0.98	6.32	0.79	0.21	14.58	0.33

หมายเหตุ

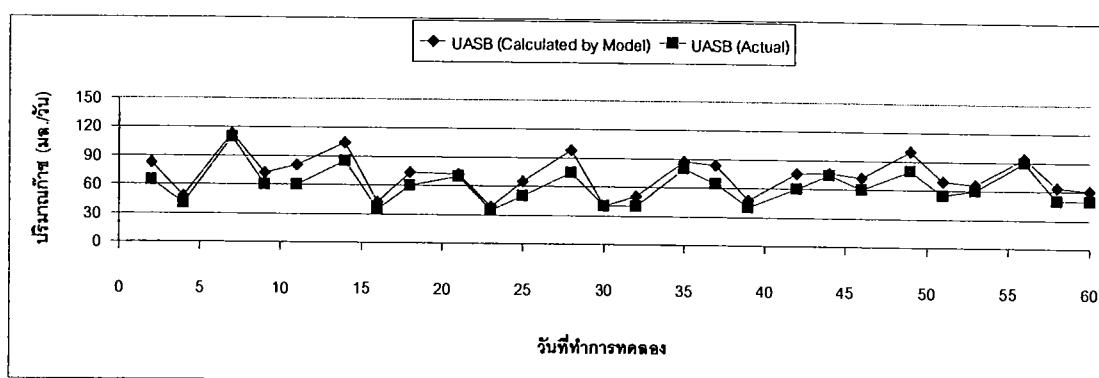
- (1) กำหนด
- (2) เท่ากับ (1) / 32
- (3) เท่ากับ (2) $\times$ 0.40 (มิลลิโมล/ล.)
- (4) เท่ากับ (2) $\times$ 0.30 (มิลลิโมล/ล.)
- (5) และ (6) ได้จากการ Trial & error จากสมการที่ (4.6) และ (4.8) (มิลลิโมล/ล.)
- (7) และ (8) ได้จากสมการที่ (4.1) และ (4.2) (มิลลิโมล/ล.)
- (9) และ (10) ได้จากสมการที่ (4.3) และ (4.4) (%)
- (11) เท่ากับ (5) + (6) (มิลลิโมล/ล.)
- (12) เท่ากับ (11) $\times$ 22.4 / 1000 (ลิตร)

ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในรูปที่ 4.29 สามารถนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จากระบบ ตลอดจนการทดลองทั้ง 2 ช่วง ดังนี้

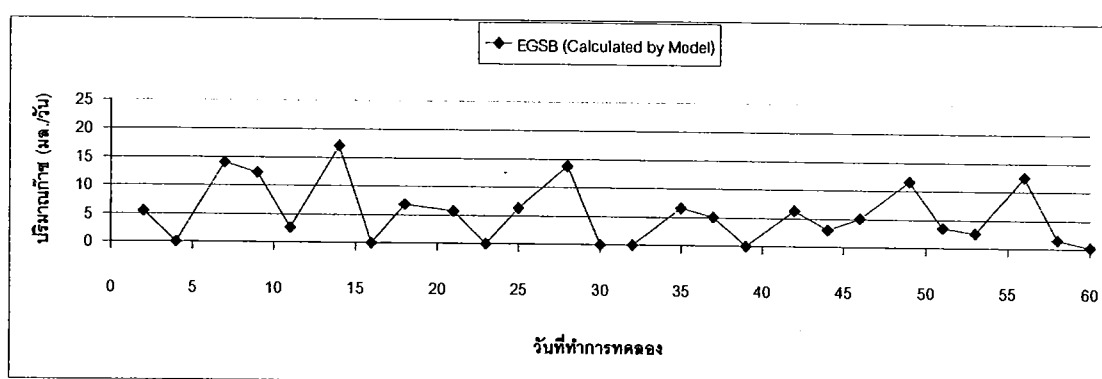
การทดลองช่วงที่ 1 ในชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากระบบอีจีเอสบีเท่ากับ 79 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 61 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนในระบบอีจีเอสบีไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ



ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบซีจีเอสบี)



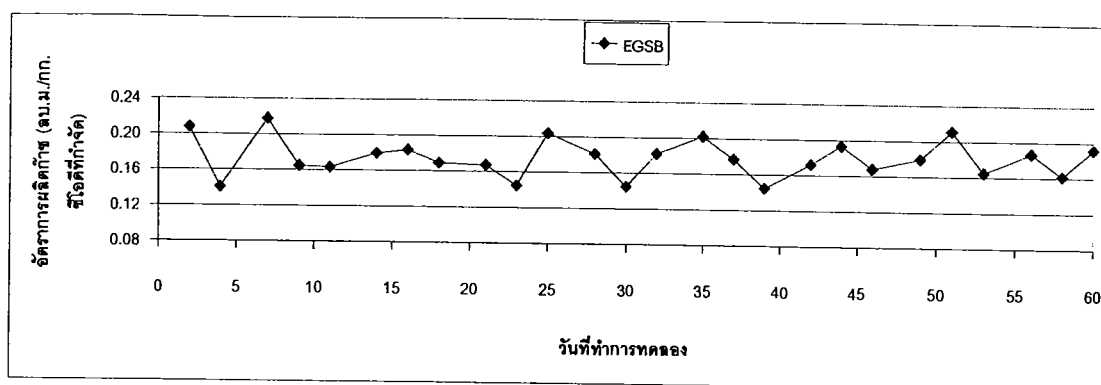
ข) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบยูเอเอสบี)



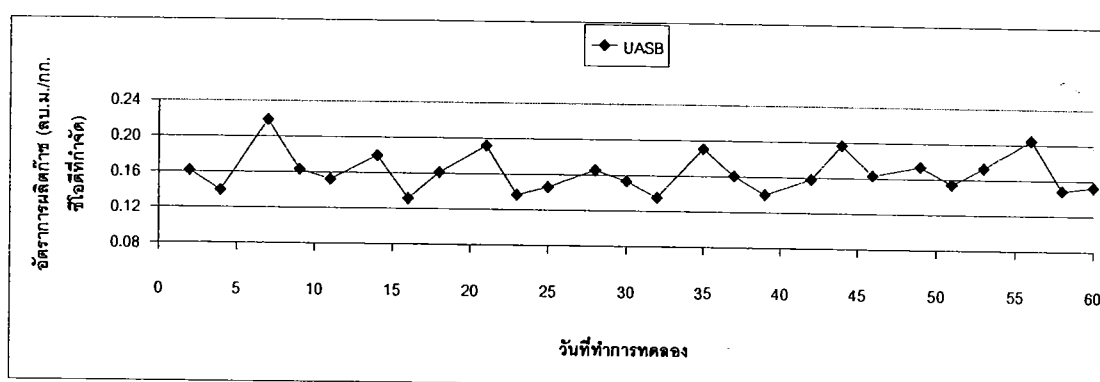
หมายเหตุ ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซได้ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก

ค) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบซีจีเอสบี)

รูปที่ 4.30 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองช่วงที่ 1



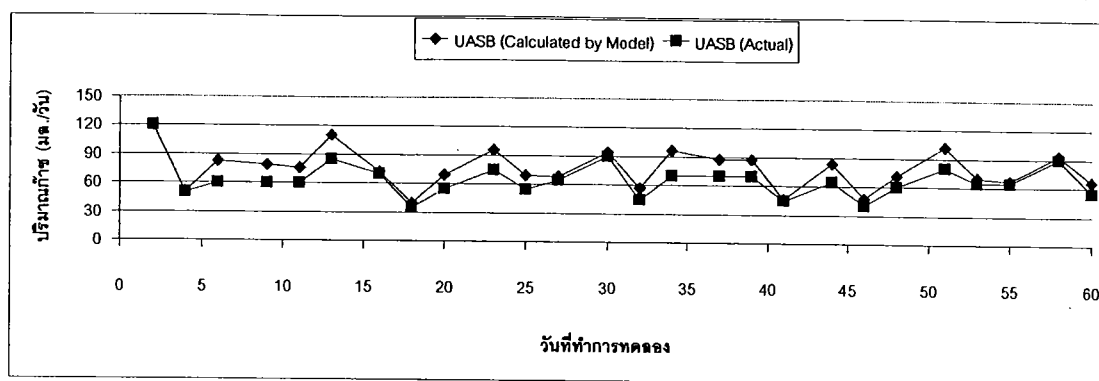
ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบอีจีเอสบี)



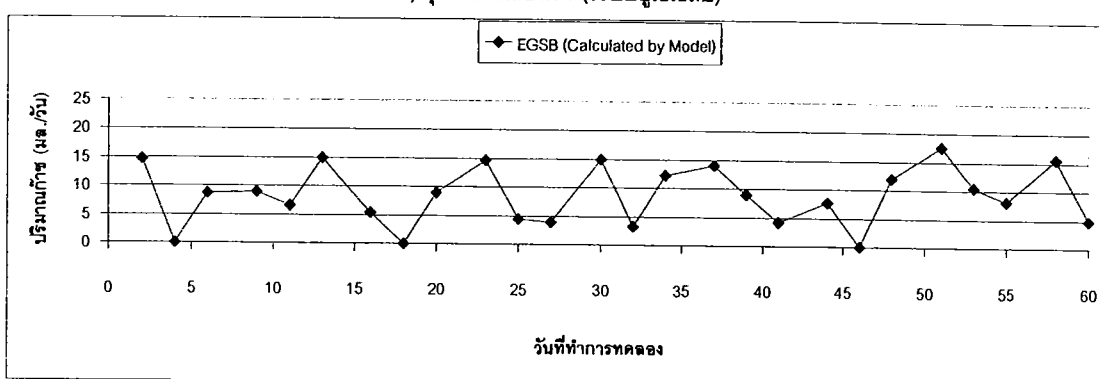
ข) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบยูเอเอสบี)

รูปที่ 4.31 อัตราการผลิตก๊าซในการทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากระบบยูเอเอสบี เท่ากับ 65 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนในระบบอีจีเอสบีไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 64 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนในระบบอีจีเอสบีไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซตลอดการทดลองในช่วงนี้ แสดงดังรูปที่ 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ

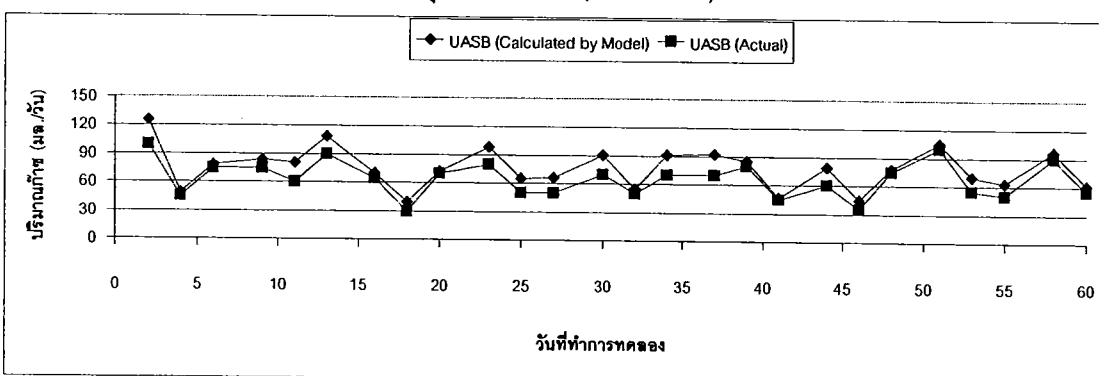


ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบยูเอสบี)

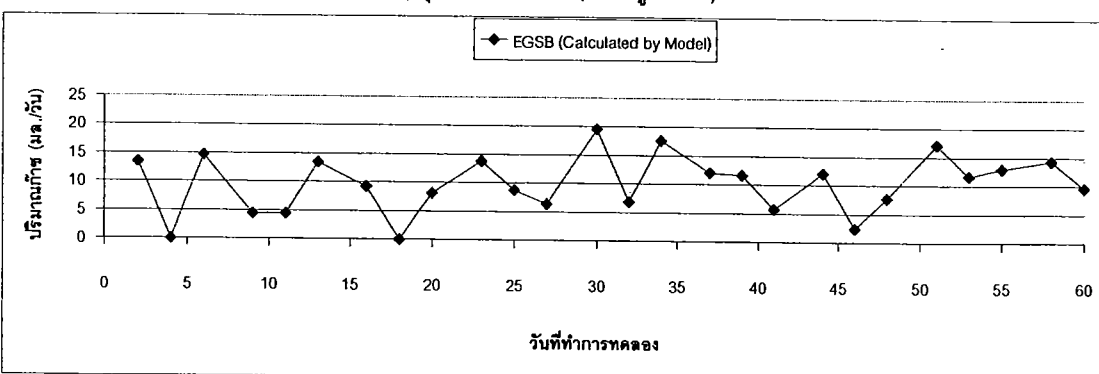


หมายเหตุ ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซได้ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก

ข) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบอีจีเอสบี)



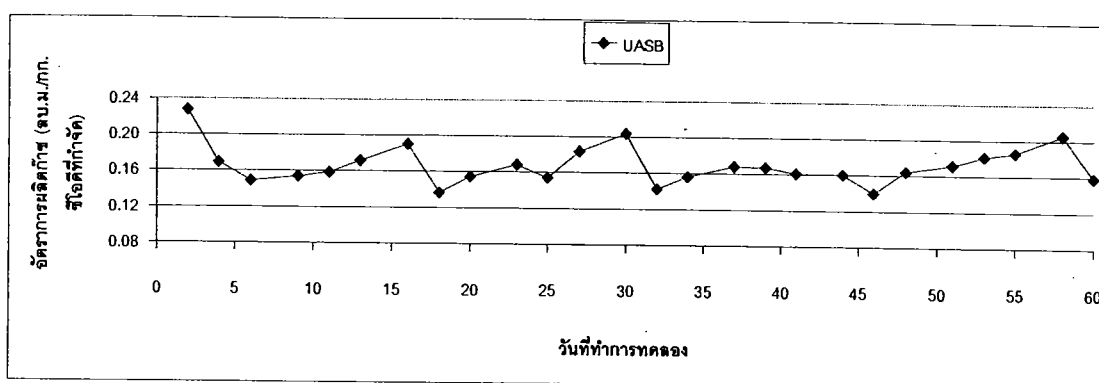
ค) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบยูเอสบี)



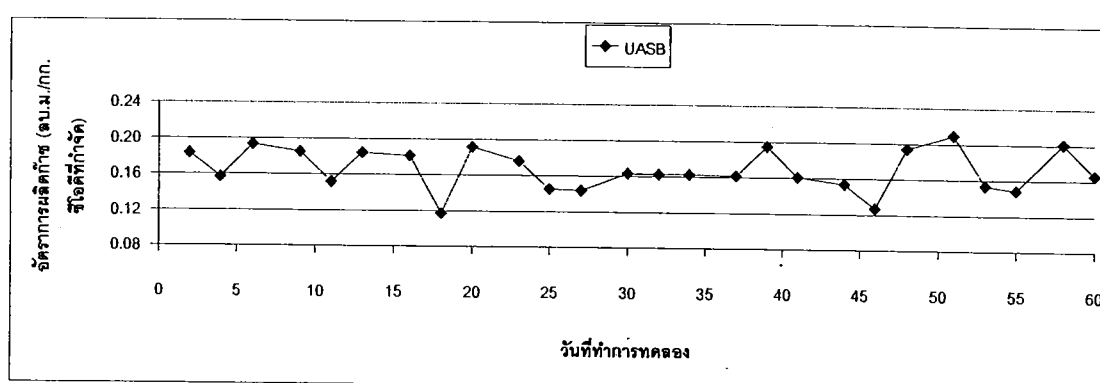
หมายเหตุ ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซได้ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก

ง) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบอีจีเอสบี)

รูปที่ 4.32 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองครั้งที่ 2



ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ระบบยูเอเอสบี)



ข) ชุดการทดลองที่ 2 (ระบบยูเอเอสบี)

รูปที่ 4.33 อัตราการผลิตก๊าซในการทดลองครั้งที่ 2

และจากผลการทดลองทั้ง 2 ช่วง สามารถเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยที่วัดได้ในช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัวกับที่คำนวณได้จากโมเดล แสดงดังตารางที่ 4.14 และ 4.15

ตารางที่ 4.14 ปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซในการทดลองครั้งที่ 1

ชุดการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)				อัตราการผลิตก๊าซ (ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่ถูกกำจัด)	
	ระบบยูเอเอสบี		ระบบอีจีเอสบี		ระบบยูเอเอสบี	ระบบอีจีเอสบี
	จากโมเดล	วัดได้จริง	จากโมเดล	วัดได้จริง		
1	-	-	95	79	-	0.18
2	73	61	5	วัดไม่ได้	0.16	วัดไม่ได้

หมายเหตุ

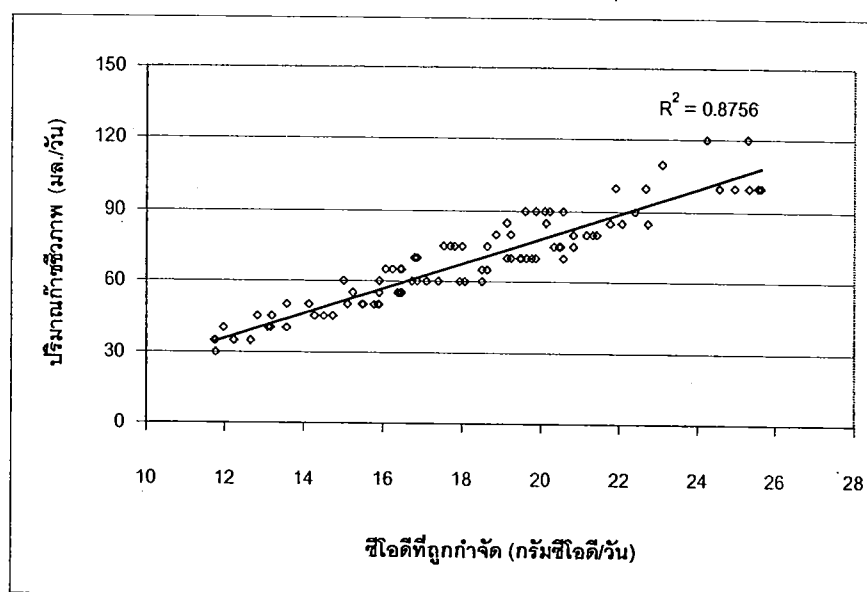
เป็นค่าเฉลี่ยที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 4.15 ปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 2

ชุดการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)				อัตราการผลิตก๊าซ (ลบ.ม./กก.ชีโอดีที่ถูกกำจัด)	
	ระบบยูเอเอสบี		ระบบอีจีเอสบี		ระบบยูเอเอสบี	ระบบอีจีเอสบี
	จากโมเดล	วัดได้จริง	จากโมเดล	วัดได้จริง		
1	76	65	9	วัดไม่ได้	0.17	วัดไม่ได้
2	75	64	11	วัดไม่ได้	0.17	วัดไม่ได้

หมายเหตุ เป็นค่าเฉลี่ยที่ทำการทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

และเมื่อนำค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จากการทดลองทั้ง 2 ช่วง มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัด จะแสดงดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้กับปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัด

จากรูปที่ 4.34 จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้กับปริมาณซีโอไลท์ที่ถูกกำจัดได้ดังสมการ (4.13)

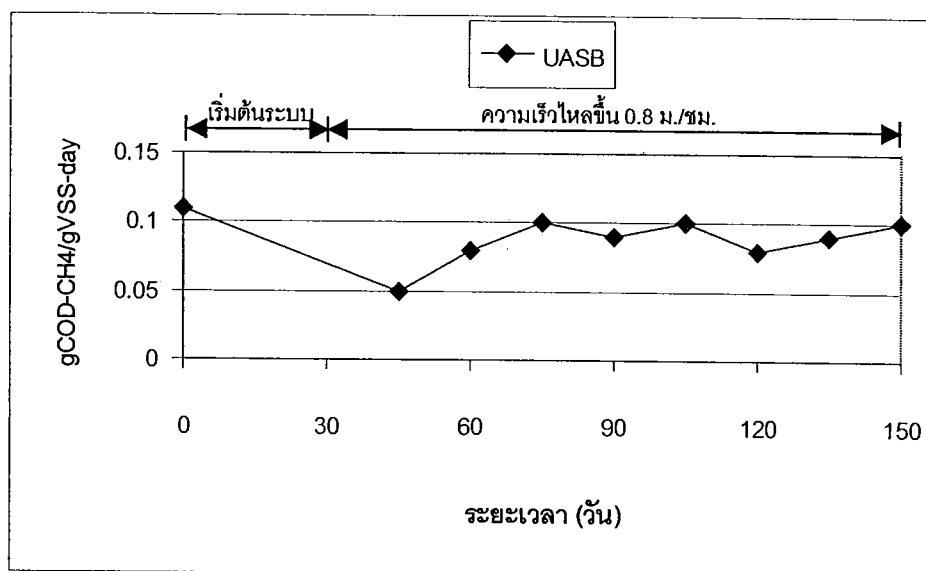
$$\begin{array}{rcl}
 Y & = & 5.34X - 28.71 \\
 \text{เมื่อ } X & = & \text{ปริมาณซีโอไลท์ที่ถูกกำจัด (กรัมซีโอไลท์ที่ถูกกำจัด/วัน)} \\
 Y & = & \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ (มล./วัน)}
 \end{array} \quad (4.13)$$

จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีโอไลท์ที่ถูกกำจัด โดยค่าปริมาณซีโอไลท์ที่ถูกกำจัดที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณที่วัดได้ มีค่าประมาณ 12 กรัมซีโอไลท์ที่ถูกกำจัด ซึ่งจะเกิดก๊าซชีวภาพประมาณ 35 มล.

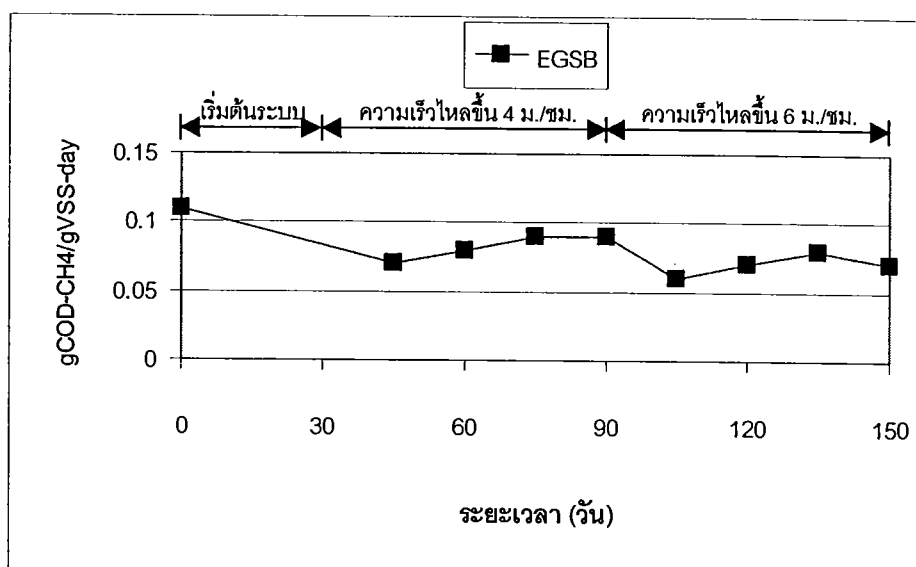
จากผลการทดลอง พบว่า ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบอีจีเอสบีได้ เนื่องจาก น้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าซีโอไลท์น้อยมาก ซึ่งการย่อยสลายซีโอไลท์ที่ต่ำมากจะทำให้จุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่น้อยมากเช่นเดียวกัน รวมทั้งก๊าซชีวภาพสามารถละลายอยู่ในน้ำเสียในระบบได้ ทำให้ไม่สามารถเก็บก๊าซชีวภาพในปริมาณที่จะสามารถอ่านค่าได้ กล่าวคือ ปริมาณซีโอไลท์ที่ถูกกำจัดในระบบอีจีเอสบีจะอยู่ในช่วง 110 - 190 มก./ล. ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างซีโอไลท์ที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่า จะมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่อยู่เหนือผิวน้ำอยู่ในช่วง 0 - 30 มล. ซึ่งมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถอ่านค่าได้จากอุปกรณ์วัดก๊าซ ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบอีจีเอสบีได้ ในขณะที่ปริมาณซีโอไลท์ที่ถูกกำจัดในระบบยูเอเอสบีจะอยู่ในช่วง 250 - 500 มก./ล. ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างซีโอไลท์ที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่า จะมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่อยู่เหนือผิวน้ำอยู่ในช่วง 50 - 130 มล. ซึ่งมีค่ามากพอที่จะทำให้อ่านค่าได้จากอุปกรณ์วัดก๊าซ ทำให้สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบยูเอเอสบีได้ ซึ่งจากตารางที่ 4.14 และ 4.15 จะเห็นว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจาก ก๊าซชีวภาพอาจจะรั่วออกจากถังปฏิกรณ์ไปได้ และอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซนั้นไม่ใช่อุปกรณ์มาตรฐานทั่วไปที่ใช้วัดก๊าซ ทำให้ปริมาณก๊าซที่วัดได้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้

4.8 ความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity, SMA)

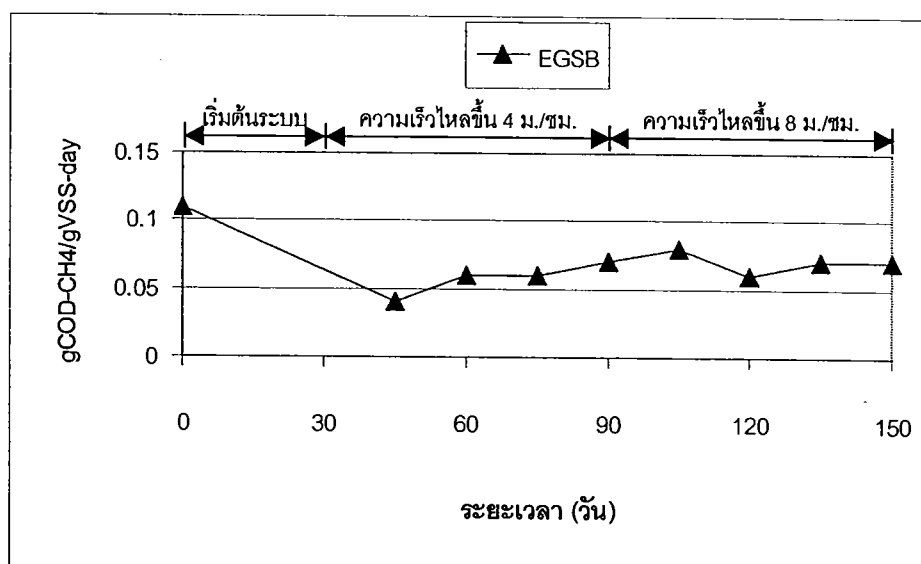
ในการศึกษาความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบนั้น เป็นการศึกษาว่าจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากน้อยเพียงใด โดยจะดูจากอัตราการผลิตมีเทน กล่าวคือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีอัตราการผลิตมีเทนสูง แสดงว่า มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์สูง โดยในการศึกษาความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ จะทำการวิเคราะห์ด้วยการหาค่า Specific Methanogenic Activity, SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.35 4.36 และ 4.37



รูปที่ 4.35 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอสบี

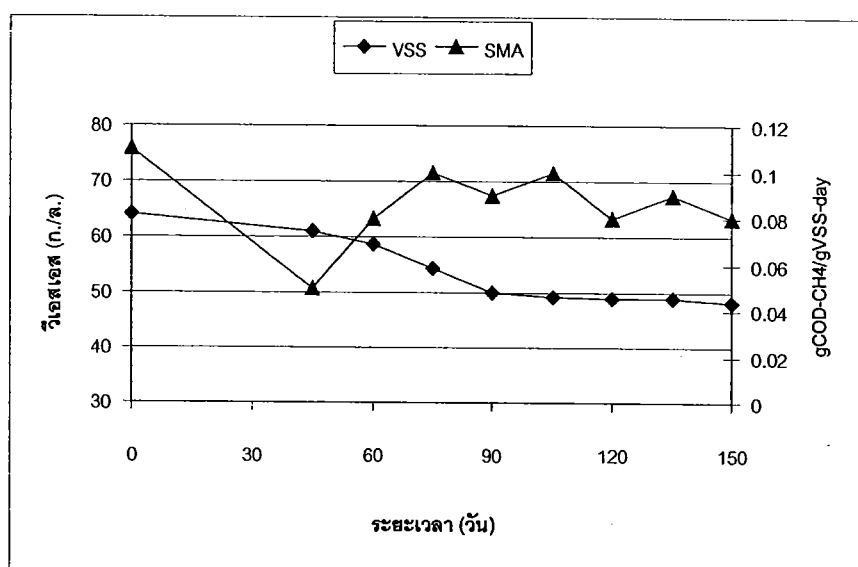


รูปที่ 4.36 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.

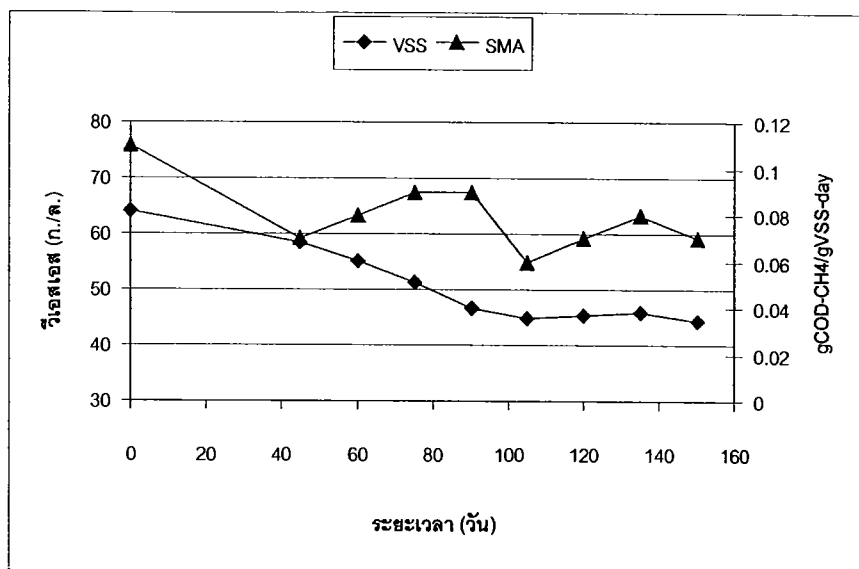


รูปที่ 4.37 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

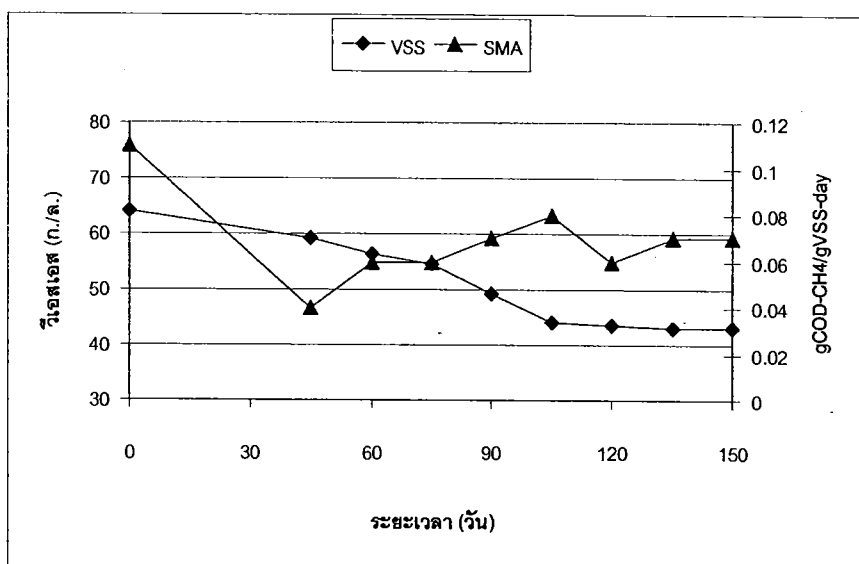
จากรูปที่ 4.35 4.36 และ 4.37 พบว่า ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบเท่ากับ 0.11 ก.ซีไอดี-มีเทน/ก.VSS-วัน และเมื่อทำการเริ่มต้นเดินระบบจะเห็นได้ว่า ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้งในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี จะมีค่าลดลงมาจากตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ เนื่องจากว่าในช่วงนี้จุลินทรีย์ยังอยู่ในช่วงของการปรับตัวให้เข้ากับสภาพภายในระบบ ซึ่งทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง และเมื่อเดินระบบต่อไปเรื่อยๆ จะเห็นได้ว่า ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้งในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และหลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพภายในระบบได้แล้ว ซึ่งจะสอดคล้องกับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบ ดังแสดงดังรูปที่ 4.38 4.39 และ 4.40 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกจุลินทรีย์ภายในระบบยังไม่สามารถปรับตัวได้ มีผลทำให้จุลินทรีย์บางส่วนอาจตายและเกิดการย่อยสลาย ดังนั้น ความเข้มข้นของจุลินทรีย์จะลดลง มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง และเมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวได้แล้ว จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์จะค่อนข้างคงที่ มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี

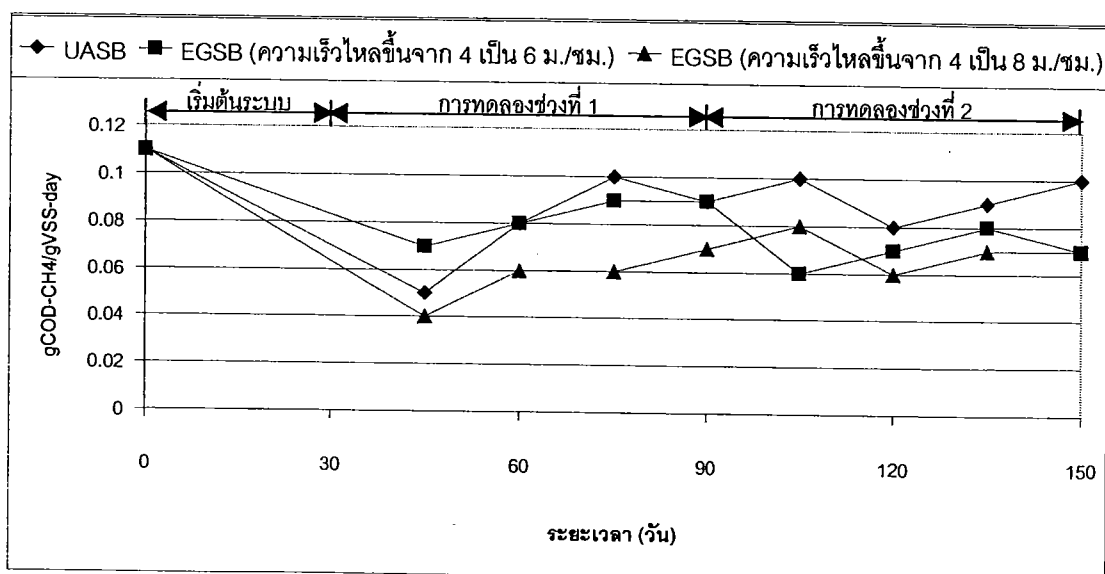


รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.41 พบว่า ในช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัวค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีจะอยู่ในช่วง 0.09 – 0.1 ก.ซีไอดี-มีเทน/ก. VSS-วัน ขณะที่ในระบบอีจีเอสบีจะมีค่า SMA อยู่ในช่วง 0.06 – 0.07 ก.ซีไอดี-มีเทน/ก. VSS-วัน จึงอาจกล่าวได้ว่าความสามารถของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีจะสูงกว่าในระบบอีจีเอสบี ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบยูเอเอสบีมีค่าซีไอดีสูงกว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ทำให้ในระบบยูเอเอสบีมีสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในปริมาณที่มากกว่าในระบบอีจีเอสบี ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยูเอเอสบีจะมีความสมบูรณ์มากกว่าในระบบอีจีเอสบี จึงทำให้ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีมีค่าสูงกว่าในระบบอีจีเอสบี ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี กล่าวคือ ในการทดลองช่วงที่ 1 ในระบบอีจีเอสบีที่มีการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม. จะมีค่า SMA สูงกว่าในระบบอีจีเอสบีที่มีการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม. เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอีจีเอสบีในชุดการทดลองที่มีการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม. จะมีค่าซีไอดีสูงกว่าในชุดการทดลองที่มีการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม. เนื่องจากในชุดการทดลองนี้ยังไม่มีติดตั้งระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น และจากการที่ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในทั้ง 2 ระบบจะค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบีจะค่อนข้างคงที่ด้วยเช่นกัน แต่ถ้าเมื่อใดก็ตามที่ค่า SMA ลดลงไปเรื่อยๆ แสดงว่าประสิทธิภาพของระบบจะลดลงไปเรื่อยๆ เช่นเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นสัญญาณที่บ่งบอกว่าระบบบำบัดกำลังจะล้มเหลว

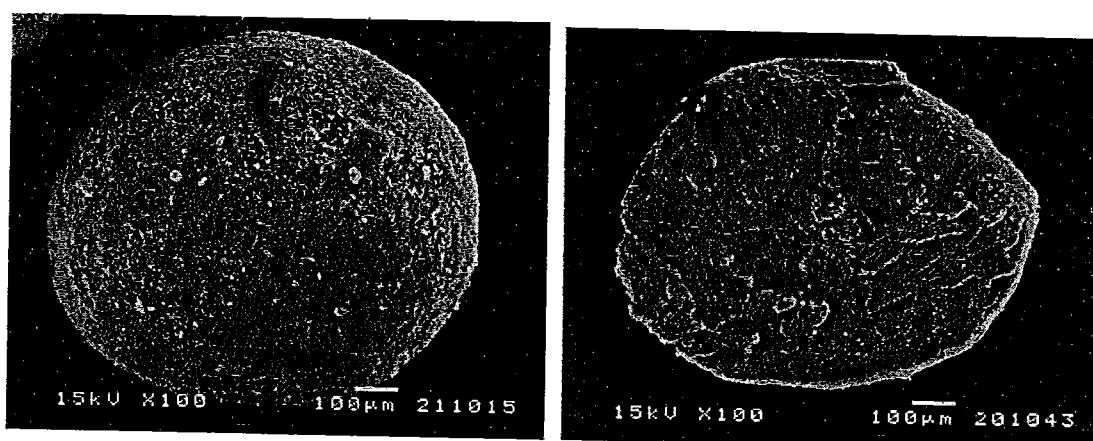


รูปที่ 4.41 การเปรียบเทียบค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีกับระบบอีจีเอสบี

4.9 ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

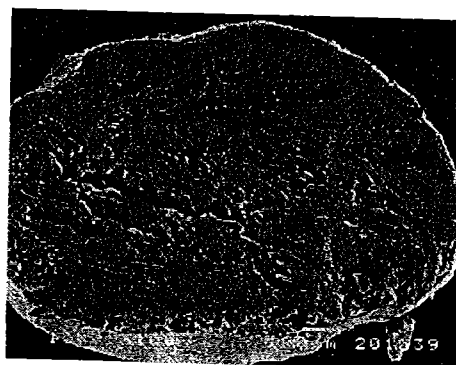
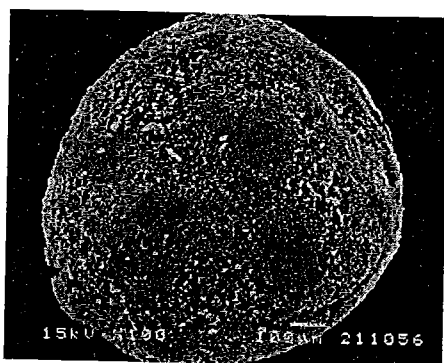
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่องความเร็วไหลขึ้นในระบบ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หรือไม่ โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นมีขนาด 1 – 2 มม. โดยได้ทำการคัดเลือกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยการตกตะกอน เลือกเอาเฉพาะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ดี ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีสีดำ ผิวกลมเกลี้ยง จับตัวแน่น เป็นรูปทรงกลมหรือทรงรี

ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสพีและอีจีเอสพี มาทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยทำการเลือกตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ที่เป็นตัวแทนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลายๆเม็ดที่ส่องจากกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้ ดังนี้

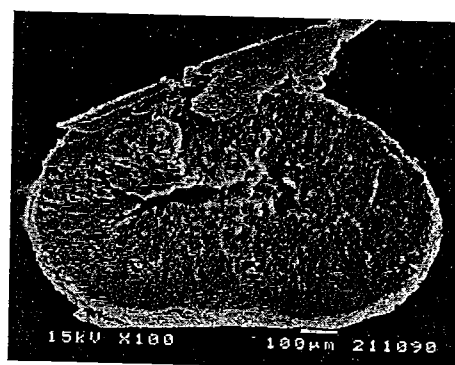
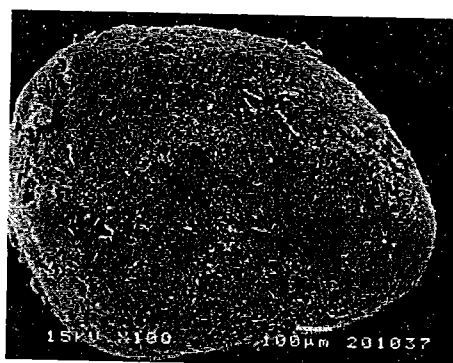


(กำลังขยาย 100 เท่า)

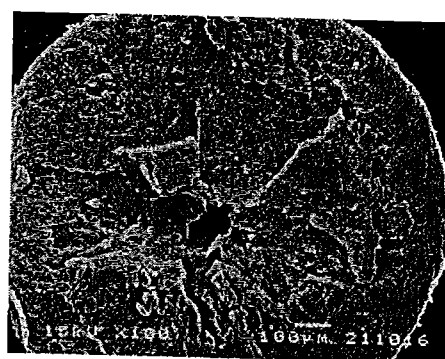
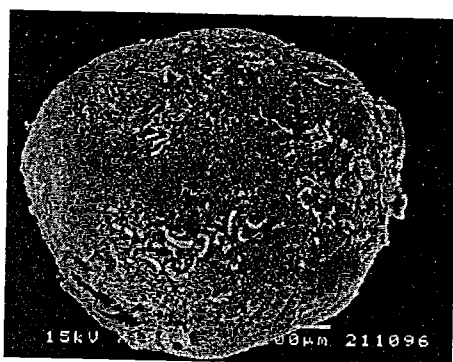
รูปที่ 4.42 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ



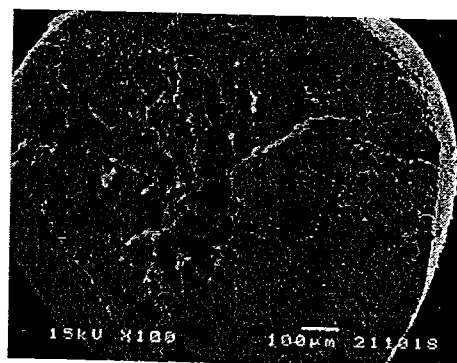
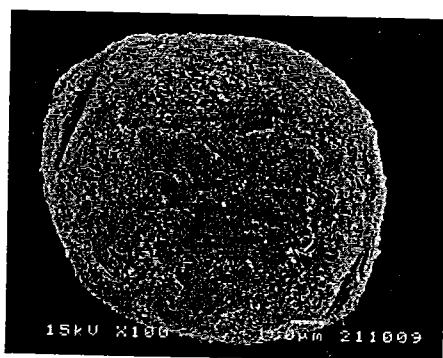
ก) ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ข) ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



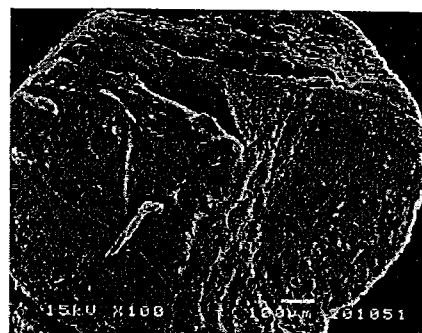
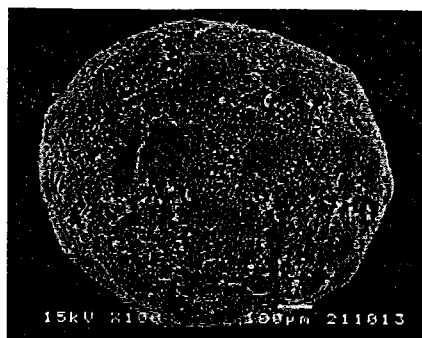
ค) ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



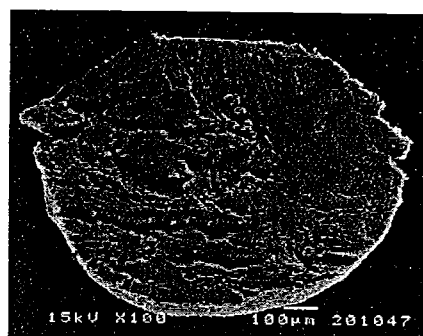
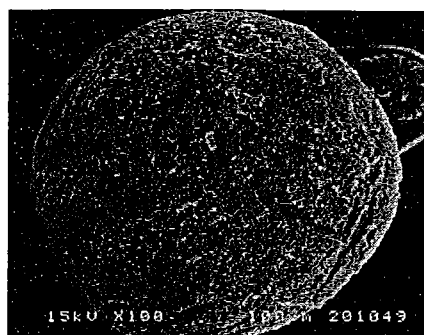
ง) ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)

รูปที่ 4.43 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

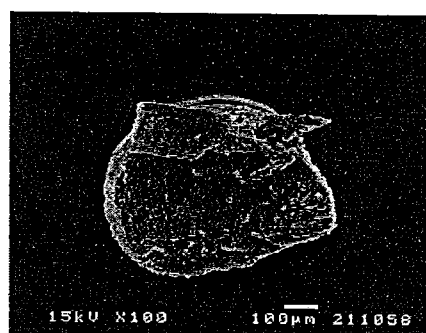
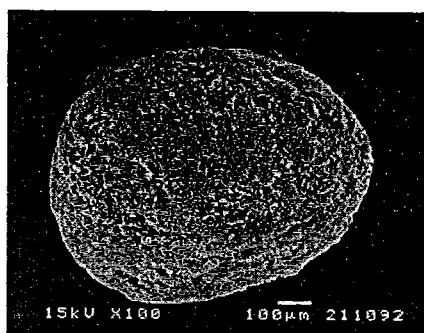
บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี



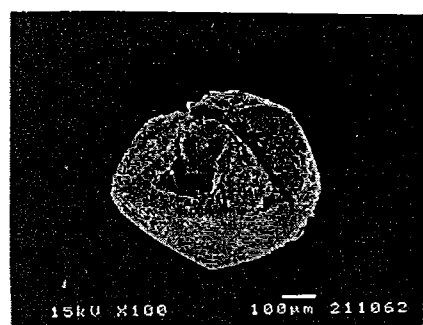
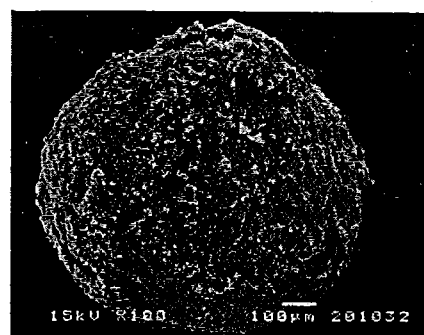
ก) ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ข) ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



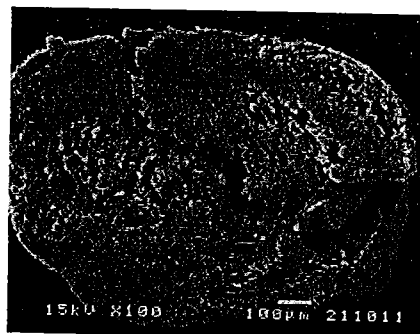
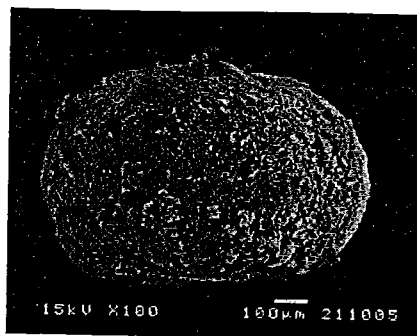
ค) ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



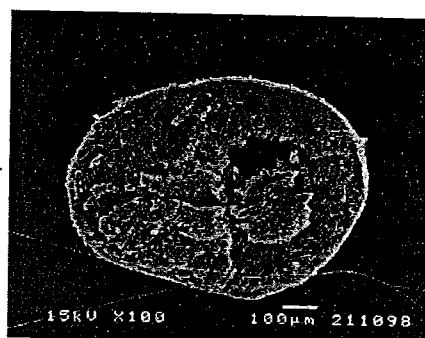
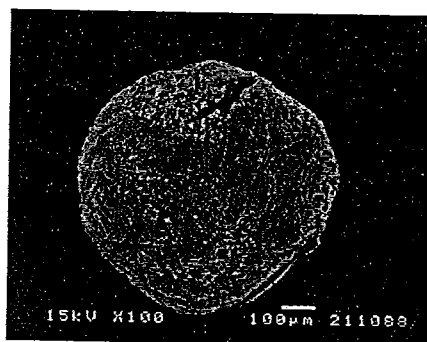
ง) ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)

รูปที่ 4.44 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

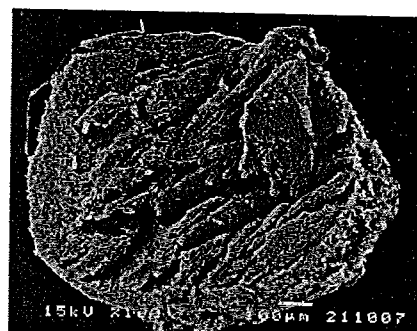
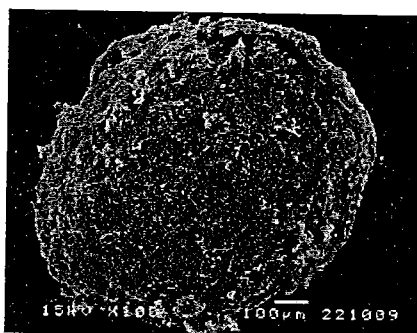
บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น
จาก 4 เป็น 6 ม./ชม.)



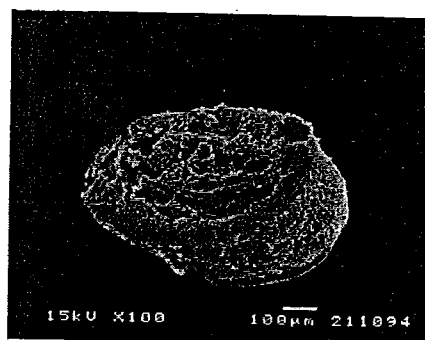
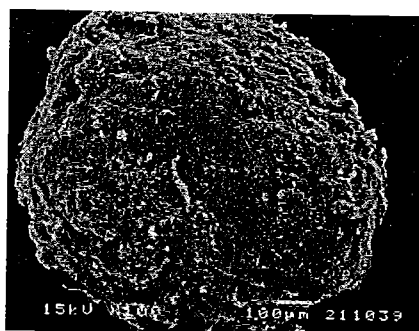
ก) ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ข) ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ค) ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)



ง) ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน) (กำลังขยาย 100 เท่า)

รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบิโอจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น
จาก 4 เป็น 8 ม./ชม.)

จากรูปที่ 4.43 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเดินระบบ ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากตอนก่อนเริ่มต้นระบบ กล่าวคือ ที่ผิวบนอกจะเริ่มมีรอยขรุขระ และเกิดการผุกร่อนเล็กน้อย และจะพบรอยแตกเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นช่องระบายก๊าซชีวภาพที่เกิดจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนที่อยู่ในชั้นใน ขณะที่บริเวณภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีความหนาแน่นลดลงจากตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ และที่บริเวณศูนย์กลางของชั้นในจะเกิดโพรงช่องว่างที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งเกิดจากการที่กลุ่มจุลินทรีย์ที่อยู่ในบริเวณภายใน ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มที่ผลิตมีเทน เมื่อจุลินทรีย์กลุ่มนี้ทำการผลิตก๊าซชีวภาพออกมา แต่ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไม่สามารถระบายออกสู่ภายนอกได้ จึงทำให้เกิดโพรงช่องว่างขึ้นเพื่อใช้เป็นทางระบายก๊าซชีวภาพ

และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละเดือน จะเห็นได้ว่า ที่บริเวณผิวบนอกและภายในจะไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่ควบคุมให้ระบบยูเอเอสบีมีความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 0.8 ม./ชม. ตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเดินระบบ ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากตอนก่อนเริ่มต้นระบบ กล่าวคือ ที่ผิวบนอกจะเริ่มมีรอยขรุขระ และเกิดการผุกร่อน และจะพบรอยแตกซึ่งอาจเป็นช่องระบายก๊าซชีวภาพที่เกิดจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนที่อยู่ในชั้นใน ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับในระบบยูเอเอสบี ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น แต่ที่ผิวบนอกจะขรุขระและเกิดการผุกร่อนมากกว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยูเอเอสบี เนื่องจากว่าในระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้นมากกว่า ทำให้ภายในระบบมีสภาพทางกลศาสตร์ที่ปั่นป่วนมากกว่า มีผลทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสที่จะเกิดการเสียดสีกันได้มากกว่า ขณะที่บริเวณภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีความหนาแน่นลดลงจากตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ แต่ที่บริเวณศูนย์กลางของชั้นในจะไม่เกิดโพรงช่องว่างเหมือนกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี โดยที่สาเหตุน่าจะมาจากการที่ระบบอีจีเอสบีมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อยกว่าในระบบยูเอเอสบี

และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละเดือน จะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีเปลี่ยนจาก 4 เป็น 6 ม./ชม. และ 4 เป็น 8 ม./ชม. มีผลทำให้ที่บริเวณผิวบนอกและภายในจะเกิดการผุกร่อนมากขึ้น ซึ่งจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในการเปลี่ยนแปลงของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากความเร็วไหลขึ้น 4 เป็น 8 ม./ชม. แสดงให้เห็นว่าความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

และนอกจากการนำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แล้ว ยังได้ทำการหาขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลง และเนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดและปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นการวัดขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงได้วิเคราะห์อยู่ในรูปแบบของการกระจายขนาด โดยใช้เครื่อง Particle Size Analyzer ในการวิเคราะห์ และเนื่องจากข้อมูลของขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เป็นการกระจายตามขนาดต่างๆ ดังนั้นในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงได้เลือกค่าที่เป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลอง โดยเลือกค่า D10 D50 และ D90 ซึ่งเป็นขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ปริมาณ 10 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ใช้ทำการวิเคราะห์ โดยหากการเปลี่ยนแปลงค่า D ที่เปอร์เซ็นต์ใดๆลดลง แสดงว่ามีเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่าในปริมาณที่สูงขึ้น กล่าวคือ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาดใหญ่มีการแตกตัว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี และระบบอีจีเอสบี แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี

การวิเคราะห์	ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ไมครอน)		
	D10	D50	D90
ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ	595.99	975.52	1465.55
ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน)	670.14	990.92	1313.86
ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน)	644.61	973.67	1293.36
ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน)	673.31	977.05	1282.59
ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)	648.97	964.91	1272.64

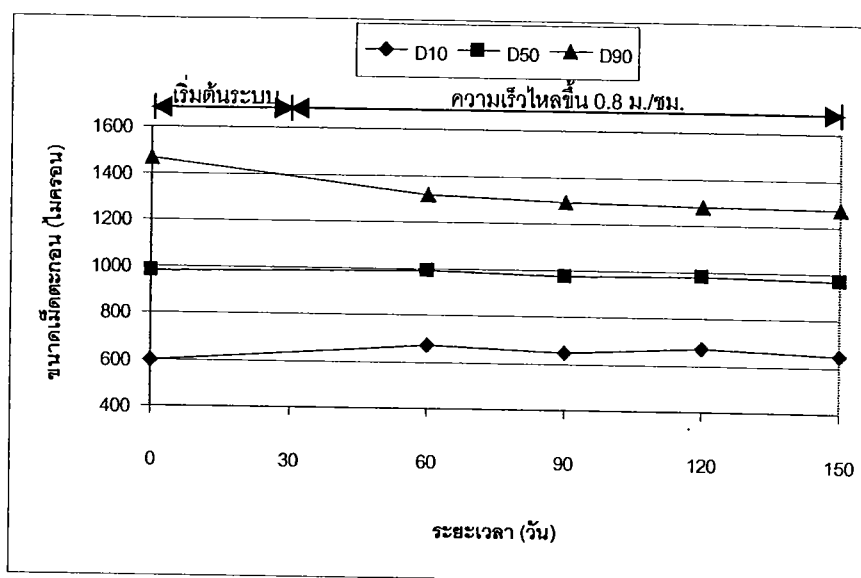
ตารางที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.

การวิเคราะห์	ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ไมครอน)		
	D10	D50	D90
ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ	595.99	975.52	1465.55
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน)	632.96	944.97	1258.02
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน)	658.51	989.70	1240.51
ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน)	629.53	932.96	1172.17
ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)	660.95	929.92	1171.91

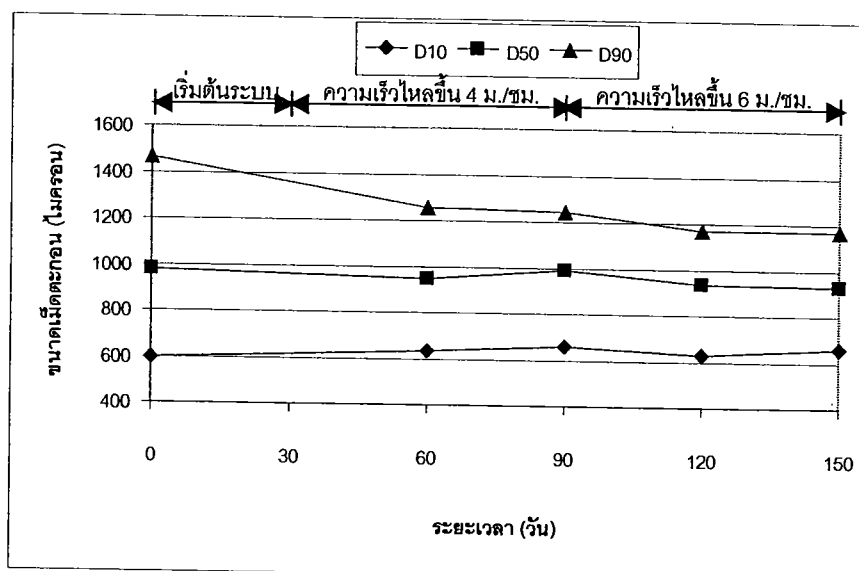
ตารางที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

การวิเคราะห์	ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ไมครอน)		
	D10	D50	D90
ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ	595.99	975.52	1465.55
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 2 เดือน)	626.34	947.76	1226.27
ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 3 เดือน)	572.15	956.58	1219.92
ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 4 เดือน)	673.82	919.27	1161.06
ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)	622.70	920.43	1155.27

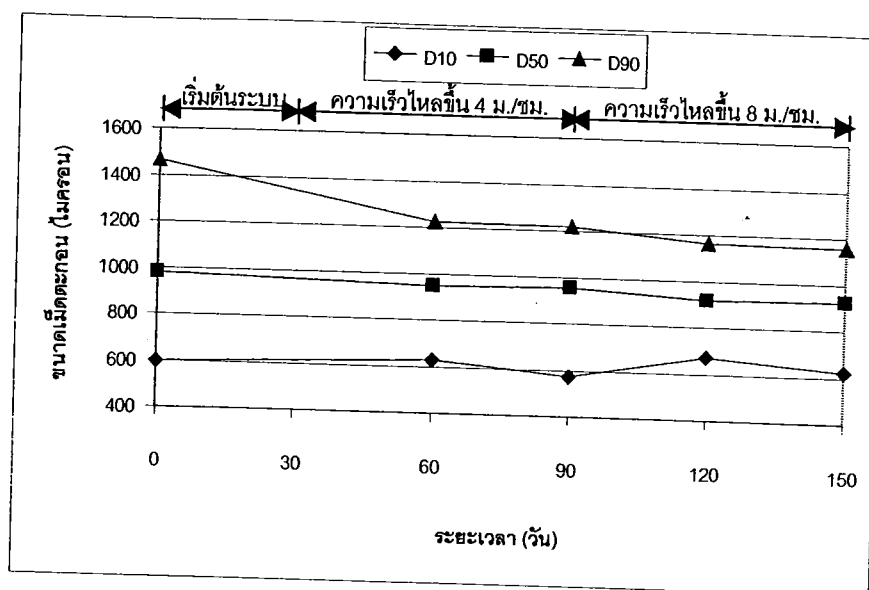
โดยในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า D10 D50 และ D90 ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี แสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี



รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.

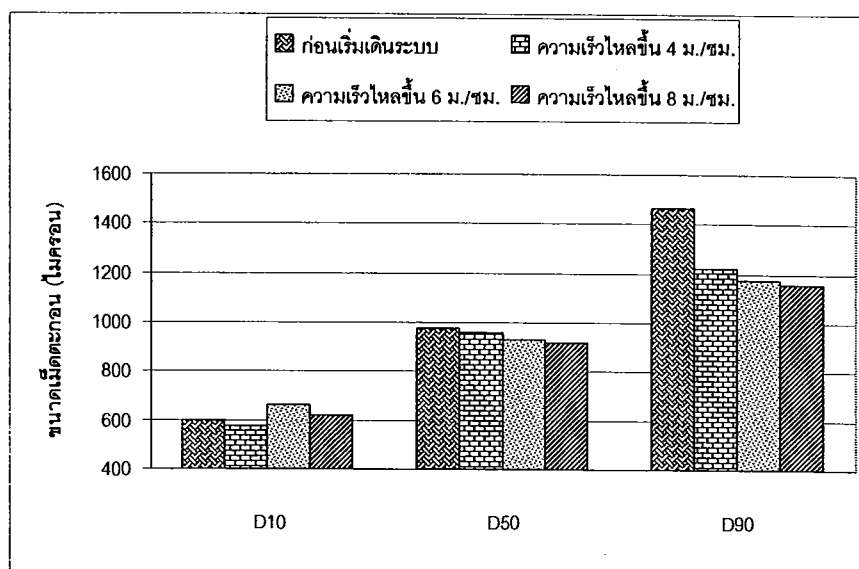


รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

จากรูปที่ 4.46 4.47 และ 4.48 จะเห็นได้ว่า ในช่วงเริ่มต้นการเดินระบบ ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี จะค่อนข้างเล็กลงเมื่อเทียบกับตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ โดยสังเกตจากการลดลงของค่า D90 และ D50 ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่จุลินทรีย์ในระบบยังอยู่ในช่วงของการปรับตัวให้เข้ากับสภาพของระบบ จุลินทรีย์บางส่วนที่ไม่สามารถปรับตัวได้อาจตายและเกิดการย่อยสลายไป และหลังจากนั้นเมื่อทำการเดินระบบต่อไปขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีจะค่อนข้างคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงขนาดที่น้อยมาก โดยสังเกตจากการที่ค่า D10 D50 และ D90 มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่ความเร็วไหลขึ้นในระบบยูเอเอสบีมีค่าต่ำ และควบคุมให้คงที่เท่ากับ 0.8 ม./ชม. ตลอดการทดลอง

ขณะที่ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีจะมีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีเปลี่ยนจาก 4 ไปเป็น 6 ม./ชม. และ 4 ไปเป็น 8 ม./ชม. จะเห็นว่าตะกอนจุลินทรีย์จะมีขนาดเล็กลง โดยสังเกตจากการลดลงของค่า D90 และ D50 ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่ความเร็วไหลขึ้นในระบบมีค่าสูงขึ้น ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดการกระทบกันได้มากขึ้น ส่งผลให้เม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่บางส่วนเกิดการผุกร่อน และแตกออกเป็นเม็ดตะกอนขนาดเล็กได้มากขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในการเปลี่ยนแปลงของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากความเร็วไหลขึ้น 4 เป็น 8 ม./ชม. โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ

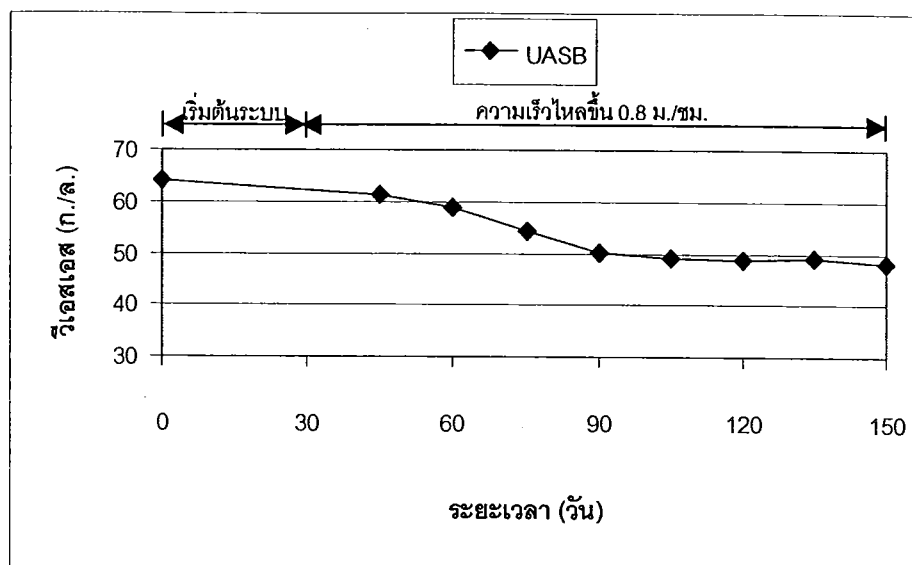
อีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.49 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า D90 และ D50 จะลดลง เมื่อความเร็วไหลขึ้นมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์



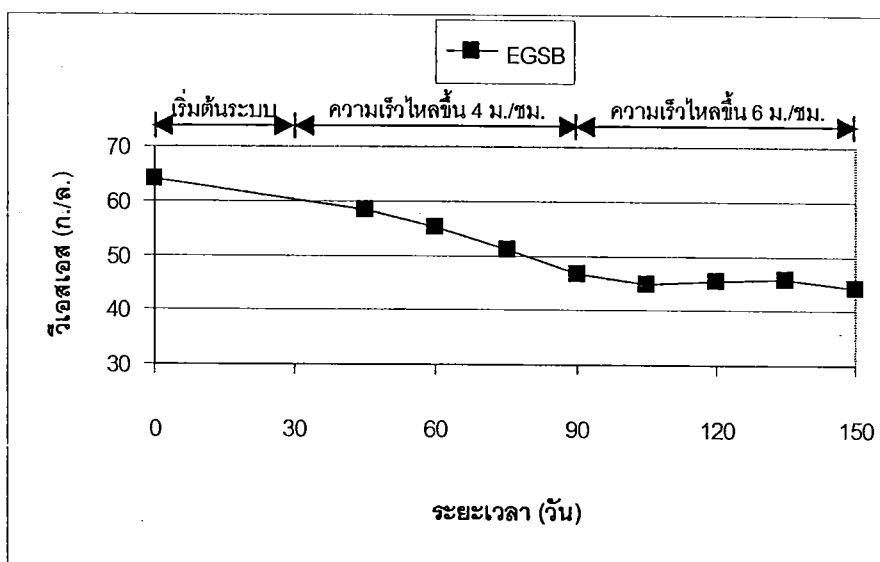
รูปที่ 4.49 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ

และเมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี กับในระบบอีจีเอสบี จะเห็นได้ว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี จะมีขนาดเล็กกว่าในระบบยูเอเอสบี ซึ่งจะสอดคล้องกับผลที่ได้จากการนำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่ความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีสูงกว่าในระบบยูเอเอสบี มีผลทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีเกิดการเสียดสี และผุกร่อนได้มากกว่าในระบบยูเอเอสบี

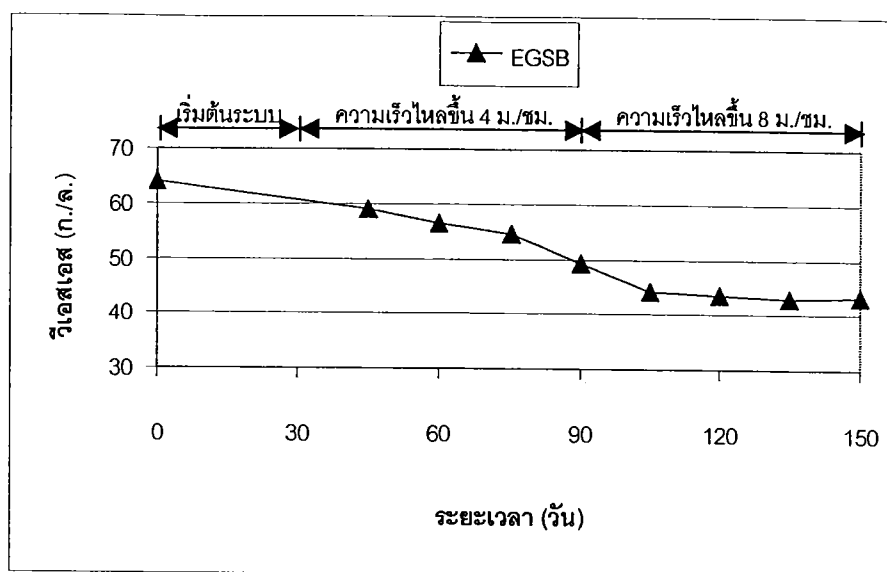
นอกจากนี้ยังได้ทำการหาความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี ซึ่ง จะทำการเก็บตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มาทำการทดลองหาค่าของแรงแวนลอยระยะเหย ซึ่งผล การทดลองแสดงดังรูปที่ 4.50 4.51 และ 4.52



รูปที่ 4.50 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี



รูปที่ 4.51 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.



รูปที่ 4.52 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.

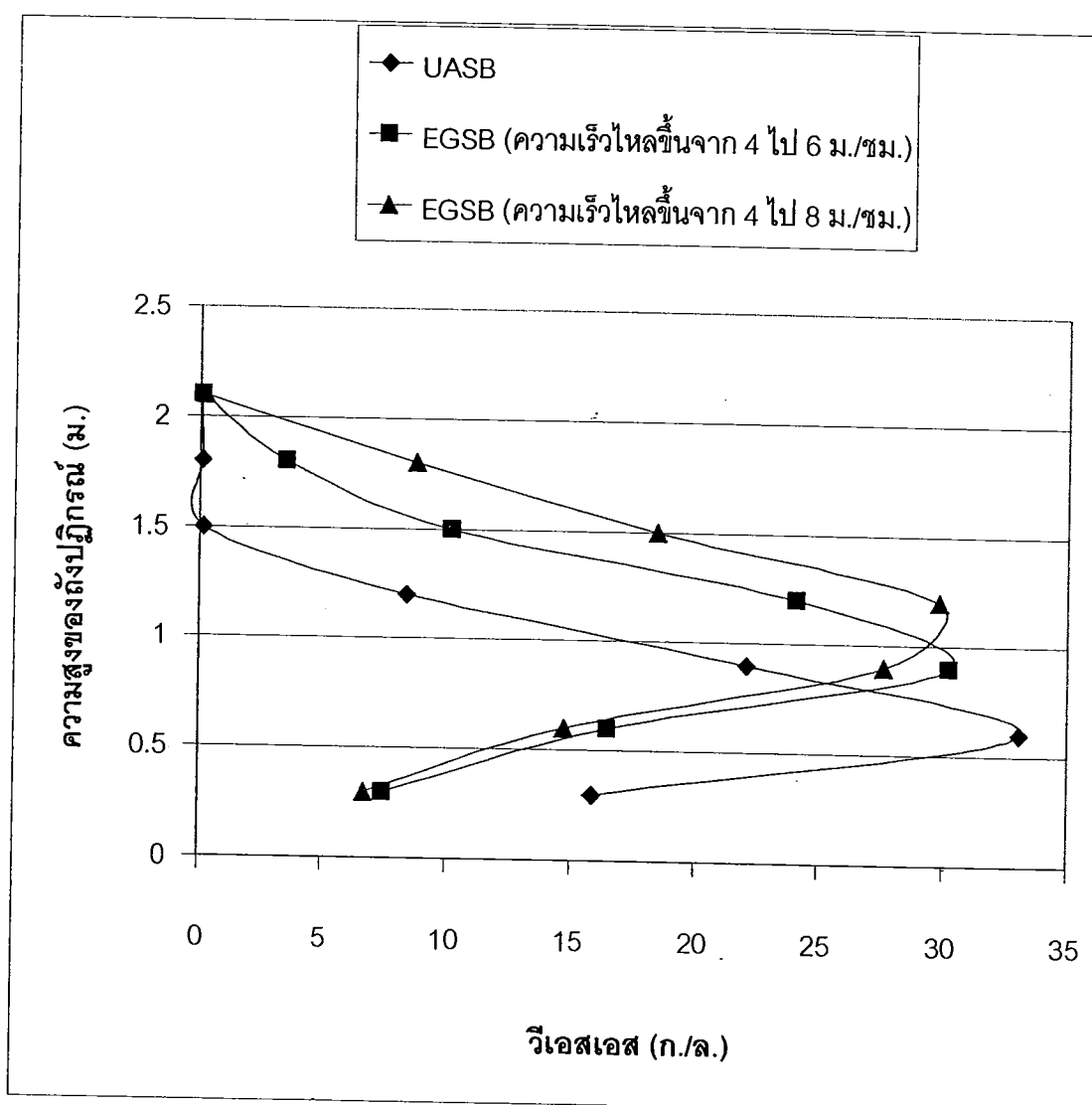
จากรูปที่ 4.50 4.51 และ 4.52 จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบเท่ากับ 64 ก./ล. แต่หลังจากที่เริ่มต้นเดินระบบไปแล้ว พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีจะค่อยๆ ลดลงมาเรื่อยๆ ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยังอยู่ในช่วงของการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายในระบบ โดยที่จุลินทรีย์บางส่วนที่ไม่สามารถปรับตัวได้อาจจะตายและเกิดการย่อยสลายไป จึงมีผลทำให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบมีค่าลดลง และหลังจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายในระบบได้แล้ว พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบจะค่อนข้างคงที่

เมื่อพิจารณาที่ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบี จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองที่ได้จะมีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ ในช่วงแรกที่จุลินทรีย์ยังอยู่ในช่วงของการปรับตัวให้เข้ากับสภาพของระบบ ซึ่งความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบลดลงมาเรื่อยๆ เนื่องจากจุลินทรีย์บางส่วนที่ไม่สามารถปรับตัวได้อาจตายและเกิดการย่อยสลายไป ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนที่มีขนาดใหญ่อาจจะมีขนาดเล็กลงได้ ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการหาขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer ซึ่งจะเห็นได้ว่า ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบจะเล็กลงมาเรื่อยๆเช่นเดียวกัน และความเข้มข้นของจุลินทรีย์กับขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะค่อนข้างที่เมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวได้แล้ว

ดังนั้น ในการศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยวิเคราะห์ผลจากการนำตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีไปทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และทำการหาการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer และการหาความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ความเร็วไหลขึ้นในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้สภาพทางจุลศาสตร์ภายในระบบมีความปั่นป่วนมากขึ้น ทำให้เป็นการเพิ่มโอกาสให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบเกิดการกระทบกันได้มากขึ้น ส่งผลให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่บางส่วนเกิดการผุร่อน และแตกออกเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลง

4.10 การกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์ โดยจะดูว่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์มีค่ามากที่สุดที่ความสูงใดของถังปฏิกรณ์ ซึ่งอาจเป็นบริเวณที่มีการย่อยสลายอินทรีย์เกิดขึ้นมากที่สุด โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในช่วงที่ 2 ได้ทำการหาค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ตามความลึกของถังปฏิกรณ์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.53



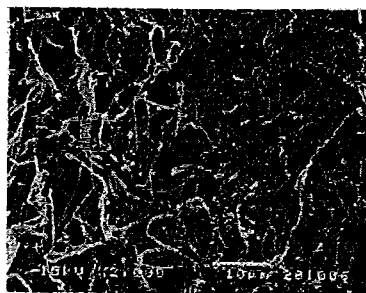
รูปที่ 4.53 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ตามความลึกของถังปฏิกรณ์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี

จากรูปที่ 4.53 พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีจะมีค่ามากที่สุด ที่ความสูงประมาณ 0.60 ม. จากก้นถังปฏิกรณ์ ขณะที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 6 และ 8 ม./ชม. จะมีค่ามากที่สุด ที่ความสูงประมาณ 0.90 และ 1.20 ม. จากก้นถังปฏิกรณ์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ขยายตัว พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี จะมีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ขยายตัว และการที่ระดับความสูงต่ำกว่าช่วงนี้จะมีค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่ำกว่า เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบดันตัวสูงขึ้นสู่ด้านบน ประกอบกับความเร็วไหลขึ้นในระบบ ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จับตัวกันไม่แน่น ในขณะที่เมื่อระดับความสูงมากกว่าช่วงนี้ ค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์จะค่อยๆ ลดลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งใกล้เคียงกับคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบ

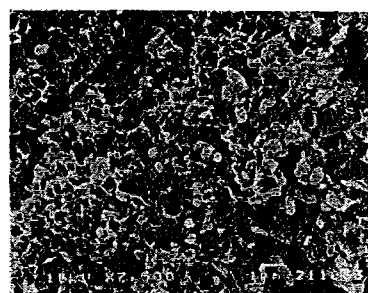
4.11 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรีย ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยการนำตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบีทั้งตอนก่อนเริ่มต้นเดินระบบ และหลังจากที่สิ้นสุดการทดลองภายหลังจากเดินระบบเป็นระยะเวลา 5 เดือน ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยทำการเลือกตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ที่เป็นตัวแทนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลายๆ เม็ดที่ส่องจากกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.54

ซึ่งจากรูปที่ 4.54 จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรียที่บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ระหว่างก่อนเริ่มต้นเดินระบบ กับหลังจากที่เดินไปประมาณ 5 เดือน พบว่า ไม่แตกต่างกันมากนัก จึงอาจกล่าวได้ว่า แม้ว่าความเร็วไหลขึ้นในระบบจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แต่จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรีย กล่าวคือ ที่บริเวณผิวนอกจะเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่สร้างกรด ซึ่งเป็นการรวมตัวกันโดยอาศัยการเกาะยึดด้วยแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยที่กระจายอยู่ทั่วไป ทำให้โครงสร้างของแบคทีเรียมีความทนทานต่อความเร็วไหลขึ้นในระบบ ซึ่งมีผลทำให้เกิดแรงเฉือนและความปั่นป่วนในระบบ ขณะที่บริเวณภายในจะเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ชนิด Methanotrix และ Methanosarcina ซึ่งมีรูปร่างเป็นแท่งและทรงกลม ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นกลุ่มของแบคทีเรียผลิตมีเทนที่สามารถเจริญเติบโตในบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ



(กำลังขยาย 2000 เท่า)

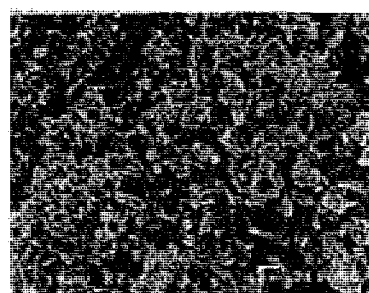


(กำลังขยาย 7500 เท่า)

ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ

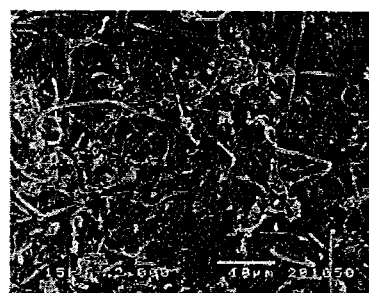


(กำลังขยาย 3500 เท่า)

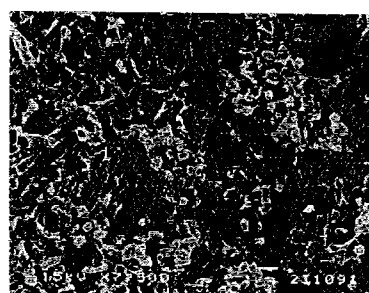


(กำลังขยาย 7500 เท่า)

ระบบยูเอสบี (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)



(กำลังขยาย 2000 เท่า)

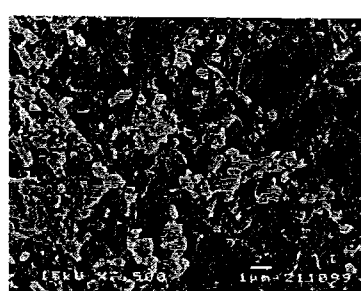


(กำลังขยาย 7500 เท่า)

ระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นเปลี่ยนจาก 4 เป็น 6 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)



(กำลังขยาย 3500 เท่า)



(กำลังขยาย 7500 เท่า)

ระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นเปลี่ยนจาก 4 เป็น 8 ม./ชม. (หลังจากเดินระบบ 5 เดือน)

รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

ของโครงสร้างแบบคิเริยบริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

4.12 ความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง

จากผลการทดลอง พบว่า การบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จะมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง โดยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบีจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 0.8 ม./ชม. และความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีเท่ากับ 8 ม./ชม. ใช้เวลากักน้ำเสียทั้งหมด 5 ชม. (3 ชม. ในระบบยูเอเอสบี และ 2 ชม. ในระบบอีจีเอสบี) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแขวนลอย เท่ากับ 92.2 92.5 และ 89.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าด้วยกระบวนการอีจีเอสบีอย่างเดียว ที่ได้จากงานวิจัยนี้ และด้วยกระบวนการยูเอเอสบีอย่างเดียว ที่ได้จากงานวิจัยของ ทศพร ทัพนวัชร และบวร ยาคุ่มภัย (2539) ซึ่งใช้น้ำเสียจากศูนย์การค้าสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งลักษณะของน้ำเสียจะมีองค์ประกอบที่คล้ายกับน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยน้ำเสียมีค่าซีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 470 มก./ล. จะแสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี กับกระบวนการอีจีเอสบี และกระบวนการยูเอเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า

กระบวนการบำบัด	เวลา กัก (ชม)	น้ำเสียที่เข้าระบบ (มก./ล.)			น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		
		COD	BOD	SS	COD	BOD	SS	COD	BOD	SS
กระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี (ในงานวิจัยนี้)	5	582	334	233	45	25	24	92.2	92.5	89.7
กระบวนการยูเอเอสบี (ทศพร ทัพนวัชร และบวร ยาคุ่มภัย, 2539)	6	298	-	134	89	-	16	70.1	-	88.1
กระบวนการอีจีเอสบี (ในงานวิจัยนี้)	2	560	329	227	119	68	77	78.5	79.4	65.9

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า ระบบยูเอเอสบีหรือระบบอีจีเอสบีเพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่ง ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง ให้มีประสิทธิภาพสูงได้ กล่าวคือ กระบวนการยูเอเอสบีอย่างเดียวไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีค่าบีโอดีที่ต่ำใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งได้ ขณะเดียวกันการใช้กระบวนการอีจีเอสบีอย่างเดียว จะทำให้เกิดการหลุดออก

ของของแข็งแขวนลอยในปริมาณมาก ดังนั้น การใช้กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มาทำการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงจึงมีความเหมาะสมมากกว่า

เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอย ของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ดังแสดงในตารางที่ 4.20 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพการกำจัดค่อนข้างสูง โดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยต่างก็สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยค่อนข้างต่ำ และใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. พบว่าค่าบีไอดีจะสูงกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย ขณะที่ค่าของแข็งแขวนลอยจะผ่านค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4.20 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ (มก./ล.)	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (มก./ล.)	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง จาก อาคารประเภท ก. (มก./ล.)
ซีไอดี	582	45	-
บีไอดี	334	25	20
ของแข็งแขวนลอย	233	24	30

จึงอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นระบบบำบัดขั้นต้นในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ถึงแม้ว่าน้ำทิ้งที่ออกจากระบบจะมีค่าบีไอดีสูงกว่าค่ามาตรฐานแต่ก็เป็นปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งถ้านำน้ำทิ้งที่ออกจากระบบไปปรับปรุงคุณภาพอีกเล็กน้อย เช่น นำไปผ่านถังกรองชีวภาพ ก็จะทำให้คุณภาพน้ำทิ้งผ่านค่ามาตรฐาน ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีความเหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง มากกว่ากระบวนการอีจีเอสบีเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอย ประมาณ 90.5 90.7 และ 92.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่กระบวนการอีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยประมาณ 78.5 79.4 และ 65.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. กระบวนการอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในระดับหนึ่ง โดยที่กระบวนการอีจีเอสบีจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ประมาณ 60 – 65 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น กระบวนการอีจีเอสบีเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงได้ ควรมีการติดตั้งถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายเพิ่มขึ้นจะเป็นการดี

3. การใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ในกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง กล่าวคือ ระบบยูเอเอสบีจะช่วยดักจับของแข็งแขวนลอยไว้ประมาณ 77.4 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี ทำให้มีของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ระบบยูเอเอสบียังจะช่วยลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบีอีกด้วย โดยระบบยูเอเอสบีจะช่วยย่อยสลายซีโอดีในน้ำเสียไปประมาณ 65.4 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่ระบบอีจีเอสบี

4. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี เป็นทางเลือกใหม่สำหรับการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยต่างก็สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยค่อนข้างต่ำ และใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. พบว่าค่าบีโอดีจะสูงกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย ขณะที่ค่าของแข็งแขวนลอยจะผ่านค่ามาตรฐาน

5. ความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลาย ซึ่งได้แก่ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและบีโอดีจะสูงขึ้นด้วย แต่ในขณะเดียวกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็ง ซึ่งได้แก่ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะลดลงด้วยเช่นกัน

6. ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอีจีเอสบี ควรที่จะพิจารณาถึงการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบด้วย กล่าวคือ ต้องพิจารณาความเร็วไหลขึ้นควบคู่ไปกับการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ โดยความเร็วไหลขึ้นในระบบจะต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มากเกินไป ส่งผลให้ ระยะในการตกตะกอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไม่เพียงพอจนกระทั่งเกิดการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยจากระบบในปริมาณมาก

7. ความเร็วไหลขึ้นในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้สภาพทางชลศาสตร์ภายในระบบมีความปั่นป่วนมากขึ้น ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดการกระทบกันได้มากขึ้นส่งผลให้เม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่บางส่วน เกิดการผุกร่อนและแตกออกเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลง

8. ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี จะมีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ขยายตัว

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไปดังนี้

1. ศึกษาค่าเวลากักที่เหมาะสมในระบบยูเอเอสพีและอีจีเอสพี ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี มีค่าสูงสุด
2. ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบอื่นที่สามารถกำจัดที่เคเอ็นได้
3. ศึกษาการใช้กระบวนการยูเอเอสพี – อีจีเอสพี มาบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นๆนอกจากน้ำเสียชุมชน เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. ข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณน้ำทิ้งในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร:สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2536.
- ตุลชัย แจ่มใส. ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบชั้นเม็ดตะกอนขยายตัวสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ทศพร ทัพวันวัชร และ บวร ยาคุ่มภัย. การบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าโดยระบบยูเอเอสบี. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2539.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์, มินา พิทยโสภณกิจ, ปราณี พันธุมสินชัย และ อินจิรา นิยมธูร. เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไฟฟอาร์ท, 2536.
- พูนศิริ สินธุรัตน์. การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้กระบวนการกรองที่มีเศษคอนกรีตเป็นสารกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- มันสิน ตันทุลเวศน์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- มันสิน ตันทุลเวศน์. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- สมพงษ์ นิลประยูร. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ถังหมักแบบอิมเมอร์สชันแอโรบิก. สไลด์แบลงเกิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2536.
- สินินุช ศศิยศาชาติ. บทบาทของสภาพต่างต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ภาษาอังกฤษ

- Agrawal, L.K., Harada, H.D.K. and Okui, H.R.Y.K. Treatment of dilute wastewater in a UASB reactor at a moderate temperature. Journal of Fermentation and Bioengineering 83(1997): 179-184.
- Barbosa, R.A. and Sant' Anna, G.L. Treatment of raw domestic sewage in an UASB reactor. Water research 23(1989): 1483-1490.
- Behling, E., et al. Domestic wastewater treatment using a UASB reactor. Bioresource Technology 61(1997): 239-245.
- Dolfing, J. Kinetics of methane formation by granulation sludge at low substrate concentration. Appl. Microbial. Biotechnol. 22(1985): 77-81.
- Draaijer, H., Mass, J.A.W., Schaapman, J.E. and Khan, A. Performance of the 5 MLD. UASB reactors for sewage treatment at Kanpur, India. Water Science and Technology 25(1992): 123-133.
- Fang, H.H., Chui, H.K. and Li, Y.Y. Microbial structure and activity of UASB granules treating different wastewaters. Water Science and Technology 30(1994): 87-96.
- Guiot, S.R., Pauss, A and Corterton, J.W. A structure model of the anaerobic granule consortium. Water Science and Technology 25(1992): 1-7.
- Heertjes, P.M. and van der Meer, R.R. Mathematic description of wastewater in upflow reactors. Biotechnology and Bioengineering 25(1983): 25-31.
- Hulshoff Pol, L.W., de Zeew, W.J., Velzeboer, C.T.M. and Lettinga, G. Granulation in UASB reactors. Water Science and Technology 15(1983): 291-304.
- Kato, M.T., Field, J.A., Versteeg, P. and Lettinga, G. Feasibility of Expanded Granular Sludge Bed reactors for the anaerobic treatment of low-strength soluble wastewaters. Biotechnology and Bioengineering 44(1994): 469-479.
- Kato, M.T., Rebac, S. and Lettinga, G. Anaerobic treatment of low-strength brewery wastewaters in Expanded Granular Sludge Bed reactor. Bioch. Biotech. 76(1999): 15-32.

- Kato, M.T., Florencio, L. and Arantes, R.F.M. Post treatment of UASB effluent in an Expanded Granular Sludge Bed reactor type using flocculent sludge. Water Science and Technology 48(2003): 279-284.
- Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeew, W. and Klapwijk. Use of UASB reactors concept for biological wastewater treatment. Biotechnology and Bioengineering 22(1980): 699-734.
- Lettinga, G. Roserma, R. and Grin, P. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperature using a granular bed UASB reactors. Biotechnology and Bioengineering 25(1983): 1701-1723.
- Lettinga, G., et al. High rate anaerobic wastewater treatment using the UASB reactors under a wide range of temperature condition. Biotechnology and Genetic Engineering 2(1984): 253-284.
- Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L.W. Advance reactor design, operation and economy. Water Science and Technology 18(1986): 99-108.
- Mosey, F.E. and Hughes, D.A. The toxicity of heavy metal ions to anaerobic digestion. Water Pollution Control 74(1975): 18-39.
- Rebac, S., Ruskova, J. and Gerbens, S. High rate anaerobic treatment of wastewater under psychrophilic conditions. Journal of Fermentation and Bioengineering 80(1995): 499-506.
- Rinzema, A., Van veen, H. and Lettinga, G. Anaerobic digestion of triglyceride emulsions in Expanded Granular Sludge Bed reactors with modified sludge separators. Environmental Technology 14(1993): 423-432.
- Ruiz, I., Soto, M., Veiga, M.C., Ligerio, P., Vega, A. and Blazquez, R. Performance of and biomass characterisation in a UASB treating domestic wastewater at ambient temperature. Water SA. 24(1998): 215-222.
- Sam-soon, P.A.L.N.S., Loewenthal, R.E., Wentzel, M.C. and Marais, G.V.R. Hypothesis for pelletisation in the UASB reactors. Water SA. 13(1987): 69-80.
- Sayed, S.K.I. and Fergala, M.A.A. Two stage UASB concept for treatment of domestic sewage including sludge stabilization process. Water Science and Technology 32(1995): 55-63.

- Sawyer, C.N. and McCarty, P.L. Chemistry for environmental engineering. 3 rd ed.
Singapore: McGraw-Hill Book Co-Singapore, 1978.
- Schmidt, J.E. and Ahring, B.K. Granular sludge formation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors. Biotechnology and Bioengineering 49(1995): 229-246.
- Seghezzo, L., Zeeman, G., Van Lier, J.B., Hamelers, H.V.M. and Lettinga, G.
A review : The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors.
Bioresource Technology 65(1998): 175-190.
- Singh, K.S., Harada, H.D.K. and Viraraghavan, T. Low-strength wastewater treatment by UASB reactor. Bioresource Tchnology 55(1995): 187-194.
- Singh, K.S. and Viraraghavan, T. Start-up and operation of UASB reactors at 20 °C for municipal wastewater treatment. Journal of Fermentation and Bioengineering 85(1998): 609-614.
- Uemura, S.G.K. and Harada, H.D.K. Treatment of sewage by a UASB reactor under moderate to low temperature conditions. Bioresource Technology 72(2000): 275-282.
- van der Last, A.R.M. and Lettinga, G. Anaerobic treatment of domestic sewage under moderate climatic (Dutch) conditions using upflow reactors at increased superficial velocities. Water Science and Technology 25(1992): 167-178.
- van Haandel, A.C. and Lettinga, G. Anaerobic Sewage Treatment. England:
John Wiley&Sons, 1994.
- Wang, K. Integrated anaerobic and aerobic treatment of sewage. Doctoral dissertation.
Wageningen Argicultural University, 1994.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลพารามิเตอร์ในงานวิจัย

ตารางที่ ก-1 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)
2/6/2547	619	-	-	187	69.79	217	64.94	74	65.90
4/6/2547	465	-	-	145	68.82	179	61.51	59	67.04
7/6/2547	750	-	-	200	73.33	248	66.93	76	69.35
9/6/2547	600	-	-	176	70.67	233	61.17	67	71.24
11/6/2547	582	-	-	155	73.37	189	67.53	55	70.90
14/6/2547	727	-	-	171	76.48	254	65.06	72	71.65
16/6/2547	436	-	-	110	74.77	170	61.01	50	70.59
18/6/2547	582	-	-	140	75.95	210	63.92	62	70.48
21/6/2547	565	-	-	147	73.98	200	64.60	56	72.00
23/6/2547	424	-	-	114	73.11	169	60.14	50	70.41
25/6/2547	549	-	-	133	75.77	206	62.48	60	70.87
28/6/2547	686	-	-	135	80.32	233	66.03	62	73.39
30/6/2547	411	-	-	101	75.43	151	63.26	41	72.85
2/7/2547	465	-	-	108	76.77	170	63.44	46	72.94
5/7/2547	619	-	-	126	79.64	201	67.53	54	73.13
7/7/2547	600	-	-	120	80.00	195	67.50	53	72.82
9/7/2547	450	-	-	105	76.67	165	63.33	45	72.73
12/7/2547	582	-	-	118	79.73	204	64.95	58	71.57
14/7/2547	565	-	-	127	77.52	184	67.43	49	73.37
16/7/2547	565	-	-	120	78.76	198	64.96	56	71.72
19/7/2547	686	-	-	129	81.20	226	67.06	62	72.57
21/7/2547	549	-	-	123	77.60	192	65.03	55	71.35
23/7/2547	533	-	-	110	79.36	187	64.92	53	71.66
26/7/2547	667	-	-	133	80.06	227	65.97	60	73.57
28/7/2547	519	-	-	117	77.46	182	64.93	52	71.43
30/7/2547	505	-	-	114	77.43	177	64.95	51	71.19
n	15	-	-	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	560	-	-	119	78.53	193	65.42	53	72.42
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	83.54	-	-	10.12	1.66	23.35	1.47	6.14	0.84

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-2 ค่าบีโอดีตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
7/6/2547	368	-	-	91	75.27	142	61.41	45	68.31
14/6/2547	352	-	-	89	74.72	134	61.93	40	70.15
21/6/2547	306	-	-	70	77.12	115	62.42	32	72.17
28/6/2547	332	-	-	69	79.22	114	65.66	31	72.81
5/7/2547	321	-	-	67	79.13	110	65.73	29	73.64
12/7/2547	324	-	-	65	79.94	111	65.74	31	72.07
19/7/2547	336	-	-	70	79.17	114	66.07	32	71.93
26/7/2547	331	-	-	68	79.46	112	66.16	30	73.21
ก	5	-	-	5	5	5	5	5	5
ค่าเฉลี่ย	329	-	-	68	79.38	112	65.87	31	72.73
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	6.14	-	-	1.92	0.34	1.79	0.23	1.14	0.73

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-3 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
2/6/2547	260	-	-	90	65.38	72	72.31	30	58.33
4/6/2547	215	-	-	85	60.47	59	72.56	28	52.54
7/6/2547	310	-	-	105	66.13	81	73.87	31	61.73
9/6/2547	207	-	-	86	58.45	60	71.01	25	58.33
11/6/2547	219	-	-	84	61.64	57	73.97	21	63.16
14/6/2547	320	-	-	107	66.56	71	77.81	24	66.20
16/6/2547	195	-	-	66	66.15	50	74.36	19	62.00
18/6/2547	230	-	-	84	63.48	57	75.22	20	64.91
21/6/2547	224	-	-	80	64.29	53	76.34	19	64.15
23/6/2547	198	-	-	74	62.63	48	75.76	18	62.50
25/6/2547	232	-	-	71	69.40	53	77.16	21	60.38
28/6/2547	305	-	-	93	69.51	55	81.97	20	63.64
30/6/2547	235	-	-	71	69.79	50	78.72	16	68.00
2/7/2547	210	-	-	73	65.24	49	76.67	17	65.31
5/7/2547	243	-	-	82	66.26	52	78.60	17	67.31
7/7/2547	257	-	-	80	68.87	53	79.38	20	62.26
9/7/2547	173	-	-	66	61.85	45	73.99	15	66.67
12/7/2547	224	-	-	75	66.52	52	76.79	19	63.46
14/7/2547	210	-	-	78	62.86	49	76.67	15	69.39
16/7/2547	187	-	-	71	62.03	46	75.40	17	63.04
19/7/2547	287	-	-	88	69.34	65	77.35	20	69.23
21/7/2547	214	-	-	75	64.95	51	76.17	18	64.71
23/7/2547	190	-	-	68	64.21	43	77.37	15	65.12
26/7/2547	267	-	-	82	69.29	52	80.52	19	63.46
28/7/2547	220	-	-	77	65.00	53	75.91	18	66.04
30/7/2547	184	-	-	69	62.50	46	75.00	16	65.22
ก	15	-	-	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	227	-	-	77	65.88	51	77.37	17	65.52
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	38.77	-	-	7.54	2.90	5.22	2.14	1.85	2.23

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-4 ค่าอุณหภูมิภายในระบบตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)
2/6/2547	-	28.4	28.5	28.3
4/6/2547	-	29.4	29.1	30.0
7/6/2547	-	27.8	27.2	27.5
9/6/2547	-	29.7	29.0	29.7
11/6/2547	-	28.5	27.8	28.5
14/6/2547	-	30.5	29.7	30.3
16/6/2547	-	29.7	29.3	30.1
18/6/2547	-	29.3	29.9	29.2
21/6/2547	-	30.1	29.8	30.5
23/6/2547	-	27.5	27.1	28.1
25/6/2547	-	31.4	31.3	31.8
28/6/2547	-	30.2	30.1	30.5
30/6/2547	-	29.5	29.1	29.7
2/7/2547	-	29.7	28.8	29.4
5/7/2547	-	29.2	29.8	29.2
7/7/2547	-	31.1	31.2	30.7
9/7/2547	-	31.4	30.5	31.2
12/7/2547	-	28.7	29.5	28.6
14/7/2547	-	31.5	30.7	31.3
16/7/2547	-	30.7	30.8	30.0
19/7/2547	-	27.8	28.3	27.6
21/7/2547	-	29.1	29.8	29.1
23/7/2547	-	29.7	29.9	29.2
26/7/2547	-	28.4	28.9	28.3
28/7/2547	-	29.4	29.7	30.2
30/7/2547	-	30.1	30.8	29.7
n	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	-	29.8	29.9	29.6
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	1.08	0.84	1.04

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-5 ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ (มก./ล. หิน ปูน)	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบซีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบซีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
		น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)
2/6/2547	272	-	282	300	330
4/6/2547	268	-	278	286	294
7/6/2547	252	-	272	288	298
9/6/2547	266	-	274	272	280
11/6/2547	270	-	278	282	292
14/6/2547	244	-	262	250	260
16/6/2547	268	-	276	288	296
18/6/2547	272	-	284	290	300
21/6/2547	282	-	288	292	302
23/6/2547	284	-	294	296	304
25/6/2547	258	-	266	270	278
28/6/2547	254	-	274	278	286
30/6/2547	288	-	292	302	310
2/7/2547	274	-	288	300	308
5/7/2547	266	-	278	288	298
7/7/2547	258	-	264	274	288
9/7/2547	284	-	298	296	306
12/7/2547	274	-	294	288	298
14/7/2547	286	-	296	298	308
16/7/2547	268	-	278	284	296
19/7/2547	248	-	266	266	280
21/7/2547	274	-	284	282	292
23/7/2547	246	-	258	258	272
26/7/2547	252	-	272	270	286
28/7/2547	268	-	284	300	320
30/7/2547	282	-	298	302	310
ก	15	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	268	-	282	286	297
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	13.95	-	12.94	14.20	13.24

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-6 ค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ (มก./ล. หิน ปูน)	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
		น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)
2/6/2547	116	-	94	98	80
4/6/2547	96	-	72	76	58
7/6/2547	132	-	96	96	72
9/6/2547	116	-	86	88	64
11/6/2547	114	-	88	94	70
14/6/2547	126	-	84	78	60
16/6/2547	94	-	74	76	58
18/6/2547	104	-	82	82	68
21/6/2547	104	-	78	80	66
23/6/2547	100	-	76	78	58
25/6/2547	98	-	74	72	60
28/6/2547	134	-	94	92	70
30/6/2547	102	-	76	78	58
2/7/2547	94	-	74	80	62
5/7/2547	122	-	94	96	72
7/7/2547	114	-	84	92	68
9/7/2547	98	-	78	78	62
12/7/2547	108	-	86	76	64
14/7/2547	112	-	80	82	68
16/7/2547	104	-	76	80	66
19/7/2547	128	-	90	86	68
21/7/2547	108	-	78	74	62
23/7/2547	128	-	84	86	60
26/7/2547	130	-	92	80	70
28/7/2547	98	-	76	88	72
30/7/2547	110	-	86	84	68
ก	15	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	113	-	83	84	66
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	12.91	-	6.96	6.44	4.41

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-7 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองครั้งที่ 1

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
		น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก
2/6/2547	0.43	-	0.33	0.33	0.24
4/6/2547	0.36	-	0.26	0.27	0.20
7/6/2547	0.52	-	0.35	0.33	0.24
9/6/2547	0.44	-	0.31	0.32	0.23
11/6/2547	0.42	-	0.32	0.33	0.24
14/6/2547	0.52	-	0.32	0.31	0.23
16/6/2547	0.35	-	0.27	0.26	0.20
18/6/2547	0.38	-	0.29	0.28	0.23
21/6/2547	0.37	-	0.27	0.27	0.22
23/6/2547	0.35	-	0.26	0.26	0.19
25/6/2547	0.38	-	0.28	0.27	0.22
28/6/2547	0.53	-	0.34	0.33	0.24
30/6/2547	0.35	-	0.26	0.26	0.19
2/7/2547	0.34	-	0.26	0.27	0.20
5/7/2547	0.46	-	0.34	0.33	0.24
7/7/2547	0.44	-	0.32	0.34	0.24
9/7/2547	0.35	-	0.26	0.26	0.20
12/7/2547	0.39	-	0.29	0.26	0.21
14/7/2547	0.39	-	0.27	0.28	0.22
16/7/2547	0.39	-	0.27	0.28	0.22
19/7/2547	0.52	-	0.34	0.32	0.24
21/7/2547	0.39	-	0.27	0.26	0.21
23/7/2547	0.52	-	0.33	0.33	0.22
26/7/2547	0.52	-	0.34	0.30	0.24
28/7/2547	0.37	-	0.27	0.29	0.23
30/7/2547	0.39	-	0.29	0.28	0.22
ก	15	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	0.42	-	0.30	0.29	0.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.07	-	0.03	0.03	0.02

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-8 ค่าพีเอชตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
		น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก
2/6/2547	7.08	-	7.20	7.19	7.32
4/6/2547	7.21	-	7.32	7.27	7.41
7/6/2547	6.92	-	7.09	7.12	7.27
9/6/2547	7.09	-	7.19	7.17	7.33
11/6/2547	7.07	-	7.17	7.16	7.28
14/6/2547	6.93	-	7.14	7.12	7.34
16/6/2547	7.22	-	7.31	7.34	7.42
18/6/2547	7.11	-	7.22	7.19	7.35
21/6/2547	7.12	-	7.25	7.16	7.28
23/6/2547	7.25	-	7.35	7.32	7.38
25/6/2547	7.14	-	7.28	7.25	7.37
28/6/2547	6.94	-	7.13	7.20	7.28
30/6/2547	7.26	-	7.34	7.32	7.42
2/7/2547	7.22	-	7.31	7.28	7.45
5/7/2547	7.08	-	7.18	7.22	7.35
7/7/2547	7.07	-	7.21	7.16	7.32
9/7/2547	7.21	-	7.28	7.33	7.43
12/7/2547	7.11	-	7.25	7.21	7.36
14/7/2547	7.12	-	7.23	7.26	7.42
16/7/2547	7.10	-	7.24	7.18	7.26
19/7/2547	6.94	-	7.15	7.20	7.32
21/7/2547	7.10	-	7.26	7.23	7.36
23/7/2547	6.94	-	7.14	7.15	7.32
26/7/2547	6.92	-	7.09	7.13	7.28
28/7/2547	7.12	-	7.28	7.25	7.36
30/7/2547	7.13	-	7.29	7.26	7.35
ก	15	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	7.08	-	7.23	7.22	7.35
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.11	-	0.07	0.06	0.06

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-9 ค่าไออาร์พีภายในระบบตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)
	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)
2/6/2547	-	-350	-371	-333
4/6/2547	-	-334	-368	-320
7/6/2547	-	-340	-335	-315
9/6/2547	-	-350	-326	-346
11/6/2547	-	-371	-314	-300
14/6/2547	-	-362	-318	-335
16/6/2547	-	-334	-324	-345
18/6/2547	-	-328	-365	-352
21/6/2547	-	-332	-351	-320
23/6/2547	-	-361	-335	-312
25/6/2547	-	-375	-342	-324
28/6/2547	-	-354	-375	-345
30/6/2547	-	-368	-348	-312
2/7/2547	-	-354	-328	-310
5/7/2547	-	-355	-364	-314
7/7/2547	-	-336	-319	-300
9/7/2547	-	-318	-339	-311
12/7/2547	-	-322	-367	-315
14/7/2547	-	-358	-327	-312
16/7/2547	-	-364	-348	-320
19/7/2547	-	-341	-370	-341
21/7/2547	-	-322	-315	-300
23/7/2547	-	-346	-367	-334
26/7/2547	-	-356	-336	-310
28/7/2547	-	-343	-360	-318
30/7/2547	-	-335	-322	-300
ก	-	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	-	-345	-346	-316
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	15.65	20.57	13.92

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-10 ค่าที่เคเอ็นตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ล. ไนโตร เจน)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
		น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำออก	ประสิทธิภาพ
		(มก./ล. ไนโตร เจน)	ภาพการ กำจัด (%)	(มก./ล. ไนโตร เจน)	ภาพการ กำจัด (%)	(มก./ล. ไนโตร เจน)	ภาพการ กำจัด (%)	(มก./ล. ไนโตร เจน)	ภาพการ กำจัด (%)
7/6/2547	63	-	-	59	6.35	60	4.76	57	5.00
14/6/2547	68	-	-	65	4.41	63	7.35	59	6.35
21/6/2547	59	-	-	55	6.78	57	3.39	54	5.26
28/6/2547	70	-	-	65	7.14	66	5.71	61	7.58
5/7/2547	58	-	-	55	5.17	55	5.17	51	7.27
12/7/2547	63	-	-	58	7.94	60	4.76	56	6.67
19/7/2547	65	-	-	61	6.15	63	3.08	60	4.76
26/7/2547	60	-	-	57	5.00	56	6.67	52	7.14
N	5	-	-	5	5	5	5	5	5
ค่าเฉลี่ย	63	-	-	59	6.28	60	5.08	56	6.68
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.66	-	-	3.90	1.26	4.64	1.19	4.53	1.12

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-11 ปริมาณก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองช่วงที่ 1

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 4 ม./ชม.)	
	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)
2/6/2547	-	-	90	0.21	65	0.16	-	-
4/6/2547	-	-	45	0.14	40	0.14	-	-
7/6/2547	-	-	120	0.22	110	0.22	-	-
9/6/2547	-	-	70	0.17	60	0.16	-	-
11/6/2547	-	-	70	0.16	60	0.15	-	-
14/6/2547	-	-	100	0.18	85	0.18	-	-
16/6/2547	-	-	60	0.18	35	0.13	-	-
18/6/2547	-	-	75	0.17	60	0.16	-	-
21/6/2547	-	-	70	0.17	70	0.19	-	-
23/6/2547	-	-	45	0.15	35	0.14	-	-
25/6/2547	-	-	85	0.20	50	0.15	-	-
28/6/2547	-	-	100	0.18	75	0.17	-	-
30/6/2547	-	-	45	0.15	40	0.15	-	-
2/7/2547	-	-	65	0.18	40	0.14	-	-
5/7/2547	-	-	100	0.20	80	0.19	-	-
7/7/2547	-	-	85	0.18	65	0.16	-	-
9/7/2547	-	-	50	0.14	40	0.14	-	-
12/7/2547	-	-	80	0.17	60	0.16	-	-
14/7/2547	-	-	85	0.19	75	0.20	-	-
16/7/2547	-	-	75	0.17	60	0.16	-	-
19/7/2547	-	-	100	0.18	80	0.17	-	-
21/7/2547	-	-	90	0.21	55	0.15	-	-
23/7/2547	-	-	70	0.17	60	0.17	-	-
26/7/2547	-	-	100	0.19	90	0.20	-	-
28/7/2547	-	-	65	0.16	50	0.15	-	-
30/7/2547	-	-	75	0.19	50	0.15	-	-
ก	-	-	15	15	15	15	-	-
ค่าเฉลี่ย	-	-	79	0.18	61	0.16	-	-
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	-	17.85	0.02	15.98	0.02	-	-

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-12 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองช่วงที่ 2

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)
2/8/2547	775	248	68.00	74	70.16	232	70.06	62	73.28
4/8/2547	465	170	63.44	52	69.41	178	61.72	53	70.22
6/8/2547	619	217	64.94	63	70.97	232	62.52	58	75.00
9/8/2547	600	210	65.00	55	73.81	195	67.50	55	71.79
11/8/2547	582	204	64.95	57	72.06	189	67.53	49	74.07
13/8/2547	727	233	67.95	58	75.11	240	66.99	70	70.83
16/8/2547	565	198	64.96	55	72.22	207	63.36	51	75.36
18/8/2547	424	168	60.38	47	72.02	168	60.38	44	73.81
20/8/2547	565	209	63.01	54	74.16	200	64.60	48	76.00
23/8/2547	686	240	65.01	66	72.50	233	66.03	62	73.39
25/8/2547	549	192	65.03	52	72.92	206	62.48	52	74.76
27/8/2547	533	180	66.23	42	76.67	187	64.92	41	78.07
30/8/2547	667	227	65.97	52	77.09	240	64.02	50	79.17
1/9/2547	497	182	63.38	46	74.73	190	61.77	42	77.89
3/9/2547	662	215	67.52	49	77.21	232	64.95	48	79.31
6/9/2547	640	224	65.00	52	76.79	208	67.50	43	79.33
8/9/2547	619	201	67.53	46	77.11	209	66.24	45	78.47
10/9/2547	465	186	60.00	47	74.73	186	60.00	42	77.42
13/9/2547	600	195	67.50	44	77.44	210	65.00	45	78.57
15/9/2547	450	165	63.33	42	74.55	175	61.11	42	76.00
17/9/2547	582	218	62.54	53	75.69	197	66.15	46	76.65
20/9/2547	706	240	66.01	56	76.67	230	67.42	48	79.13
22/9/2547	565	207	63.36	47	77.29	207	63.36	43	79.23
24/9/2547	549	200	63.57	48	76.00	213	61.20	45	78.87
27/9/2547	667	230	65.52	53	76.96	220	67.02	47	78.64
29/9/2547	533	187	64.92	46	75.40	202	62.10	45	77.72
n	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	582	204	64.82	48	76.29	207	64.18	45	78.30
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.28	21.59	2.13	4.21	1.02	18.40	2.48	2.65	1.01

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้การทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-13 ค่าบีโอดีตลอดการทดลองช่วงที่ 2

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)
9/8/2547	327	112	65.75	31	72.32	110	66.36	29	73.64
16/8/2547	322	110	65.84	32	70.91	108	66.46	27	75.00
23/8/2547	348	113	67.53	30	73.45	114	67.24	28	75.44
30/8/2547	336	114	66.07	29	74.56	116	65.48	26	77.59
6/9/2547	325	112	65.54	28	75.00	111	65.85	24	78.38
13/9/2547	315	110	65.08	25	77.27	108	65.71	25	76.85
20/9/2547	350	114	67.43	27	76.32	117	66.57	26	77.78
27/9/2547	345	116	66.38	28	75.86	115	66.67	24	79.13
ก	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ค่าเฉลี่ย	334	113	66.10	27	75.80	113	66.05	25	77.94
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	14.34	2.28	0.89	1.52	1.07	3.78	0.53	1.00	0.86

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-14 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองครั้งที่ 2

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ ล.)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)	
		น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)	น้ำออก (มก./ ล.)	ประสิทธิภาพ กำจัด (%)
2/8/2547	327	80	75.54	32	60.00	71	78.29	36	49.30
4/8/2547	230	42	81.74	20	52.38	55	76.09	29	47.27
6/8/2547	268	69	74.25	28	59.42	57	78.73	30	47.37
9/8/2547	246	60	75.61	30	50.00	72	70.73	33	54.17
11/8/2547	223	58	73.99	23	60.34	49	78.03	26	46.94
13/8/2547	305	75	75.41	27	64.00	68	77.70	29	57.35
16/8/2547	235	43	81.70	20	53.49	57	75.74	26	54.39
18/8/2547	176	51	71.02	18	64.71	47	73.30	20	57.45
20/8/2547	234	68	70.94	26	61.76	64	72.65	26	59.38
23/8/2547	287	72	74.91	26	63.89	61	78.75	25	59.02
25/8/2547	215	56	73.95	19	66.07	44	79.53	20	54.55
27/8/2547	220	57	74.09	22	61.40	50	77.27	22	56.00
30/8/2547	190	44	76.84	19	56.82	52	72.63	24	53.85
1/9/2547	218	52	76.15	20	61.54	60	72.48	26	56.67
3/9/2547	290	59	79.66	23	61.02	68	76.55	28	58.82
6/9/2547	185	40	78.38	17	57.50	51	72.43	24	52.94
8/9/2547	249	54	78.31	21	61.11	62	75.10	28	54.84
10/9/2547	197	58	70.56	20	65.52	45	77.16	20	55.56
13/9/2547	218	43	80.28	15	65.12	47	78.44	20	57.45
15/9/2547	187	44	76.47	17	61.36	54	71.12	23	57.41
17/9/2547	254	50	80.31	19	62.00	62	75.59	27	56.45
20/9/2547	310	75	75.81	24	68.00	60	80.65	25	58.33
22/9/2547	232	45	80.60	17	62.22	56	75.86	22	60.71
24/9/2547	225	64	71.56	24	62.50	47	79.11	19	59.57
27/9/2547	275	57	79.27	22	61.40	67	75.64	27	59.70
29/9/2547	251	45	82.07	19	57.78	55	78.09	22	60.00
n	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	233	52	77.36	20	61.69	56	75.87	24	57.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	37.99	9.50	3.34	2.74	2.99	7.24	2.75	2.98	2.33

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-15 ค่าอุณหภูมิภายในระบบตลอดการทดลองครั้งที่ 2

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)
	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในระบบ (องศาเซลเซียส)
2/8/2547	30.8	30.1	30.2	30.8
4/8/2547	28.2	28.7	28.1	28.9
6/8/2547	29.9	29.3	27.8	29.7
9/8/2547	30.7	29.8	30.2	30.8
11/8/2547	31.2	31.6	31.3	31.8
13/8/2547	27.8	27.2	27.4	28.1
16/8/2547	29.2	29.8	29.2	29.9
18/8/2547	28.9	29.6	28.9	29.5
20/8/2547	27.5	28.5	27.2	28.1
23/8/2547	30.8	30.1	30.4	30.8
25/8/2547	28.1	28.8	28.3	29.2
27/8/2547	30.9	31.0	30.9	30.2
30/8/2547	30.5	31.2	31.7	31.2
1/9/2547	30.4	29.8	29.9	30.4
3/9/2547	30.2	29.6	29.5	30.6
6/9/2547	27.6	28.6	28.0	27.5
8/9/2547	28.7	28.0	28.4	29.5
10/9/2547	30.1	30.9	31.4	30.6
13/9/2547	29.4	30.2	29.8	29.4
15/9/2547	30.5	29.9	29.4	29.8
17/9/2547	31.5	30.8	30.7	31.3
20/9/2547	27.8	28.7	27.6	27.9
22/9/2547	29.7	28.6	28.4	29.4
24/9/2547	30.5	31.4	30.1	30.8
27/9/2547	29.2	29.8	29.1	29.5
29/9/2547	29.4	30.1	29.0	29.8
n	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	29.8	29.9	29.6	29.9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.10	1.06	1.23	1.08

หมายเหตุ n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-16 ค่าสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองครั้งที่ 2

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ (มก./ล. หิน ปูน)	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)
		น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)
2/8/2547	248	274	270	262	280
4/8/2547	268	288	286	280	296
6/8/2547	272	298	310	286	300
9/8/2547	282	288	303	300	312
11/8/2547	286	295	305	304	316
13/8/2547	268	279	293	288	304
16/8/2547	232	248	266	246	254
18/8/2547	284	297	310	306	322
20/8/2547	236	252	272	244	260
23/8/2547	256	286	288	278	294
25/8/2547	276	298	306	290	300
27/8/2547	250	260	276	270	282
30/8/2547	244	280	298	268	286
1/9/2547	256	264	286	276	294
3/9/2547	264	276	307	286	298
6/9/2547	276	285	313	294	304
8/9/2547	258	262	276	278	290
10/9/2547	278	290	290	286	300
13/9/2547	242	270	288	258	272
15/9/2547	282	298	319	294	308
17/9/2547	280	300	312	290	304
20/9/2547	236	264	285	256	274
22/9/2547	260	270	296	284	300
24/9/2547	266	300	310	278	290
27/9/2547	256	290	306	280	296
29/9/2547	250	276	290	266	276
n	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	260	279	297	278	292
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	14.41	14.15	13.74	12.00	11.49

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-17 ค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองช่วงที่ 2

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ (มก./ล. หิน ปูน)	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)
		น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)	น้ำออก (มก./ล. หินปูน)
2/8/2547	126	90	60	82	68
4/8/2547	94	70	50	74	60
6/8/2547	112	96	72	92	66
9/8/2547	126	90	70	100	66
11/8/2547	140	102	80	98	70
13/8/2547	138	88	78	94	68
16/8/2547	100	70	60	80	54
18/8/2547	98	70	60	80	58
20/8/2547	102	84	64	78	60
23/8/2547	142	88	70	98	68
25/8/2547	108	78	56	84	66
27/8/2547	94	74	64	70	60
30/8/2547	122	94	76	82	68
1/9/2547	100	76	58	76	66
3/9/2547	130	96	72	92	70
6/9/2547	122	98	74	96	68
8/9/2547	126	86	58	94	64
10/9/2547	98	78	50	74	58
13/9/2547	116	90	70	80	62
15/9/2547	100	86	62	76	58
17/9/2547	110	88	72	78	66
20/9/2547	118	92	70	84	62
22/9/2547	102	88	58	80	68
24/9/2547	104	88	70	82	62
27/9/2547	136	96	74	92	70
29/9/2547	96	82	66	70	58
ก	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	112	87	66	82	64
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	13.57	7.39	7.63	8.41	4.34

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-18 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองครั้งที่ 2

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)
		น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก
2/8/2547	0.51	0.33	0.22	0.31	0.24
4/8/2547	0.35	0.24	0.17	0.26	0.20
6/8/2547	0.41	0.32	0.23	0.32	0.22
9/8/2547	0.45	0.31	0.23	0.33	0.21
11/8/2547	0.49	0.35	0.26	0.32	0.22
13/8/2547	0.51	0.32	0.27	0.33	0.22
16/8/2547	0.43	0.28	0.23	0.33	0.21
18/8/2547	0.35	0.24	0.19	0.26	0.18
20/8/2547	0.43	0.33	0.24	0.32	0.23
23/8/2547	0.55	0.31	0.24	0.35	0.23
25/8/2547	0.39	0.26	0.18	0.29	0.22
27/8/2547	0.38	0.28	0.23	0.26	0.21
30/8/2547	0.50	0.34	0.26	0.31	0.24
1/9/2547	0.39	0.29	0.20	0.28	0.22
3/9/2547	0.49	0.35	0.23	0.32	0.23
6/9/2547	0.44	0.34	0.24	0.33	0.22
8/9/2547	0.49	0.33	0.21	0.34	0.22
10/9/2547	0.35	0.27	0.17	0.26	0.19
13/9/2547	0.48	0.33	0.24	0.31	0.23
15/9/2547	0.35	0.29	0.19	0.26	0.19
17/9/2547	0.39	0.29	0.23	0.27	0.22
20/9/2547	0.50	0.35	0.25	0.33	0.23
22/9/2547	0.39	0.33	0.20	0.28	0.23
24/9/2547	0.39	0.29	0.23	0.29	0.21
27/9/2547	0.53	0.33	0.24	0.33	0.24
29/9/2547	0.38	0.30	0.23	0.26	0.21
ก	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	0.43	0.31	0.22	0.29	0.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.06	0.03	0.02	0.03	0.01

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-19 ค่าพีเอชตลอดการทดลองช่วงที่ 2

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)
		น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก	น้ำออก
2/8/2547	6.90	7.11	7.28	7.13	7.28
4/8/2547	7.21	7.30	7.41	7.28	7.41
6/8/2547	7.02	7.17	7.34	7.15	7.32
9/8/2547	7.04	7.21	7.29	7.18	7.34
11/8/2547	7.07	7.16	7.32	7.22	7.42
13/8/2547	6.92	7.08	7.34	7.18	7.32
16/8/2547	7.09	7.18	7.27	7.15	7.27
18/8/2547	7.24	7.32	7.42	7.35	7.41
20/8/2547	7.04	7.23	7.35	7.16	7.30
23/8/2547	6.96	7.20	7.32	7.20	7.27
25/8/2547	7.12	7.23	7.36	7.18	7.35
27/8/2547	7.10	7.18	7.41	7.19	7.28
30/8/2547	6.98	7.20	7.31	7.14	7.3
1/9/2547	7.18	7.31	7.37	7.31	7.36
3/9/2547	7.03	7.16	7.27	7.19	7.32
6/9/2547	7.05	7.22	7.32	7.17	7.31
8/9/2547	7.02	7.16	7.33	7.24	7.41
10/9/2547	7.21	7.28	7.42	7.30	7.38
13/9/2547	7.05	7.21	7.28	7.19	7.42
15/9/2547	7.24	7.32	7.40	7.30	7.38
17/9/2547	7.11	7.26	7.37	7.32	7.36
20/9/2547	6.95	7.14	7.33	7.11	7.30
22/9/2547	7.12	7.24	7.35	7.28	7.38
24/9/2547	7.15	7.22	7.41	7.25	7.37
27/9/2547	6.94	7.12	7.32	7.14	7.27
29/9/2547	7.18	7.32	7.38	7.23	7.42
ก	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	7.09	7.23	7.37	7.24	7.35
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.09	0.07	0.05	0.07	0.05

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-20 ค่าไออาร์พีภายในระบบตลอดการทดลองครั้งที่ 2

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบซีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)	ระบบซีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)
	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)	ไออาร์พีภายในระบบ (มิลลิโวลต์)
2/8/2547	-314	-300	-336	-307
4/8/2547	-354	-341	-340	-319
6/8/2547	-331	-312	-354	-324
9/8/2547	-356	-321	-350	-337
11/8/2547	-334	-314	-364	-344
13/8/2547	-340	-314	-331	-309
16/8/2547	-337	-302	-350	-330
18/8/2547	-365	-332	-341	-321
20/8/2547	-358	-320	-333	-308
23/8/2547	-352	-341	-342	-315
25/8/2547	-343	-320	-366	-340
27/8/2547	-340	-315	-354	-330
30/8/2547	-330	-305	-358	-324
1/9/2547	-364	-336	-337	-302
3/9/2547	-352	-321	-341	-311
6/9/2547	-337	-314	-370	-344
8/9/2547	-338	-307	-316	-294
10/9/2547	-374	-346	-342	-314
13/9/2547	-345	-330	-366	-320
15/9/2547	-347	-313	-335	-300
17/9/2547	-365	-314	-347	-302
20/9/2547	-344	-320	-358	-311
22/9/2547	-350	-326	-326	-305
24/9/2547	-332	-305	-366	-315
27/9/2547	-330	-310	-360	-308
29/9/2547	-344	-320	-371	-302
n	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	-346	-319	-350	-312
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	13.15	11.69	16.64	13.10

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-21 ค่าที่เคเอ็นตลอดการทดลองช่วงที่ 2

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ (มก./ล. ในโตร เจน)	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)	
		น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำออก	ประสิทธิภาพ	น้ำออก	ประสิทธิภาพ
		(มก./ล. ในโตร เจน)	(%)	(มก./ล. ในโตร เจน)	(%)	(มก./ล. ในโตร เจน)	(%)	(มก./ล. ในโตร เจน)	(%)
9/8/2547	60	56	6.67	53	5.36	58	3.33	55	5.17
16/8/2547	72	69	4.17	64	7.25	67	6.94	62	7.46
23/8/2547	66	61	7.58	58	4.92	63	4.55	60	4.76
30/8/2547	57	55	3.51	52	5.45	54	5.26	50	7.41
6/9/2547	70	65	7.14	60	7.69	66	5.71	63	4.55
13/9/2547	62	60	3.23	57	5.00	58	6.45	55	5.17
20/9/2547	59	55	6.78	52	5.45	56	5.08	51	8.93
27/9/2547	63	59	6.35	55	6.78	58	7.94	55	5.17
ก	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ค่าเฉลี่ย	62	59	5.40	55	6.08	58	6.09	55	6.25
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.97	4.15	1.88	3.42	1.12	4.56	1.16	5.12	1.85

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-22 ปริมาณก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองช่วงที่ 2

วันที่	ชุดการทดลองที่ 1				ชุดการทดลองที่ 2			
	ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 6 ม./ชม.)		ระบบยูเอเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม.)		ระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้น 8 ม./ชม.)	
	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)	ปริมาณ ก๊าซชีว ภาพ (มล./วัน)	อัตราการ ผลิตก๊าซ (ลบ.ม./ กก.ชีโอดี ที่กำจัด)
2/8/2547	120	0.23	-	-	100	0.18	-	-
4/8/2547	50	0.17	-	-	45	0.16	-	-
6/8/2547	60	0.15	-	-	75	0.19	-	-
9/8/2547	60	0.15	-	-	75	0.19	-	-
11/8/2547	60	0.16	-	-	60	0.15	-	-
13/8/2547	85	0.17	-	-	90	0.18	-	-
16/8/2547	70	0.19	-	-	65	0.18	-	-
18/8/2547	35	0.14	-	-	30	0.12	-	-
20/8/2547	55	0.15	-	-	70	0.19	-	-
23/8/2547	75	0.17	-	-	80	0.18	-	-
25/8/2547	55	0.15	-	-	50	0.15	-	-
27/8/2547	65	0.18	-	-	50	0.14	-	-
30/8/2547	90	0.20	-	-	70	0.16	-	-
1/9/2547	45	0.14	-	-	50	0.16	-	-
3/9/2547	70	0.16	-	-	70	0.16	-	-
6/9/2547	70	0.17	-	-	70	0.16	-	-
8/9/2547	70	0.17	-	-	80	0.20	-	-
10/9/2547	45	0.16	-	-	45	0.16	-	-
13/9/2547	65	0.16	-	-	60	0.15	-	-
15/9/2547	40	0.14	-	-	35	0.13	-	-
17/9/2547	60	0.16	-	-	75	0.19	-	-
20/9/2547	80	0.17	-	-	100	0.21	-	-
22/9/2547	65	0.18	-	-	55	0.15	-	-
24/9/2547	65	0.19	-	-	50	0.15	-	-
27/9/2547	90	0.21	-	-	90	0.20	-	-
29/9/2547	55	0.16	-	-	55	0.17	-	-
ก	15	15	-	-	15	15	-	-
ค่าเฉลี่ย	65	0.17	-	-	64	0.17	-	-
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	14.88	0.02	-	-	17.78	0.02	-	-

หมายเหตุ ก คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลองในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

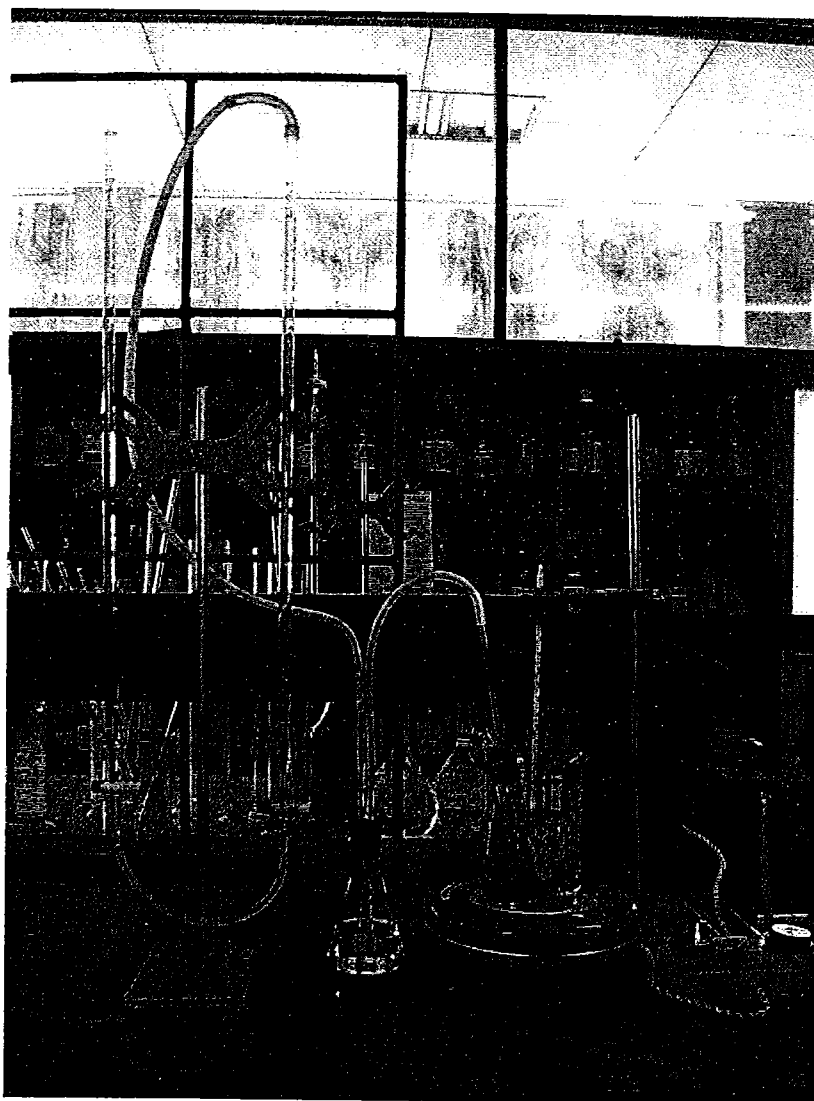
ภาคผนวก ข

การหาค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (SMA)

การหาค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (SMA)

การหาค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จะใช้แบบจำลองเป็นแบบ Batch มีการใส่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์และสารอาหารเพียงครั้งเดียวโดยไม่มีการเติมเข้าไปอีก ทำการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ 35 องศาเซลเซียส

ชุดอุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง



รูปที่ ข-1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่า SMA

ในชุดการทดลองหาค่า SMA 1 ชุด จะประกอบด้วยขวดหมัขนาด 250 มล. เพื่อใช้สำหรับใส่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ มีจุกยางสำหรับปิดปากขวด และมีหลอดแก้วกับสายยางซิลิโคนเพื่อนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นผ่านไปยังขวดหมัขนาด 250 มล. ที่ใส่สารละลาย NaOH ความเข้มข้นประมาณ 1 N เพื่อดักก๊าซอื่นๆนอกเหนือจากก๊าซมีเทน เช่น CO_2 โดยมีหลอดแก้วต่อยาวจุ่มลงไปในสารละลาย NaOH ทำให้ก๊าซอื่นๆที่ไม่ใช่ก๊าซมีเทนจะละลายลงไป ส่วนก๊าซมีเทนจะแยกตัวออกแล้วเข้าสู่หลอดแก้วกับสายยางซิลิโคนที่ต่อแยกไว้ เพื่อนำก๊าซมีเทนไปยังอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น โดยอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซมีเทนจะใช้บิวเรตขนาด 50 มล. จำนวน 2 ชุด และใช้สายยางซิลิโคนเชื่อมต่อบิวเรตทั้ง 2 ชุดเข้าด้วยกันที่บริเวณด้านล่างของบิวเรต ให้มีลักษณะคล้ายกับตัว U โดยก๊าซมีเทนจะผ่านสายยางซิลิโคนเข้าสู่ทางด้านบนของบิวเรต ซึ่งก๊าซมีเทนจะไปแทนที่น้ำที่อยู่ในบิวเรตทำให้สามารถวัดปริมาณก๊าซมีเทนได้

สารอาหารที่ใช้ คือ กรดอะซิติก โดยผสมกับน้ำกลั่นให้มีค่าซีโอดีประมาณ 2500 มก./ล. ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เท่ากับ 25 มล. ผสมกับสารอาหารให้ได้ปริมาณรวมเท่ากับ 150 มล. ปรับพีเอชด้วย NaHCO_3 ให้ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.2 – 7.5 นำขวดหมัที่ใส่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไปวางบนชุดควบคุมอุณหภูมิ โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ 35 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นบันทึกปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆตลอดการทดลอง หลังจากสิ้นสุดการทดลองสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสะสมกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เพื่อหาค่าความชันของกราฟในช่วงที่มีค่ามากที่สุด (กราฟมีความชันมากที่สุด) ซึ่งค่าความชันที่ได้จะเป็นค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่า SMA

ในการหาค่า SMA นั้น จะหาในช่วงที่มีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงสุด โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{SMA} = R / (\text{CF} \times V \times \text{VSS})$$

เมื่อ SMA = ค่า Specific Methanogenic Activity หรือความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน ($\text{gCOD-CH}_4 / \text{gVSS-day}$)

$$R = \text{อัตราการเกิดก๊าซมีเทน (mL-CH}_4 / \text{day)}$$

CF = Conversion Factor (mL-CH₄ / gCOD) ซึ่งหาจากตาราง ข-1

V = Effective Volume ของ Reactor (L)

VSS = ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (gVSS/L)

ตารางที่ ข-1 ค่า Conversion Factor (CF) ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่า Conversion Factor (mL-CH ₄ / gCOD)
10	363
15	369
20	376
25	382
30	388
35	395
40	401
45	408

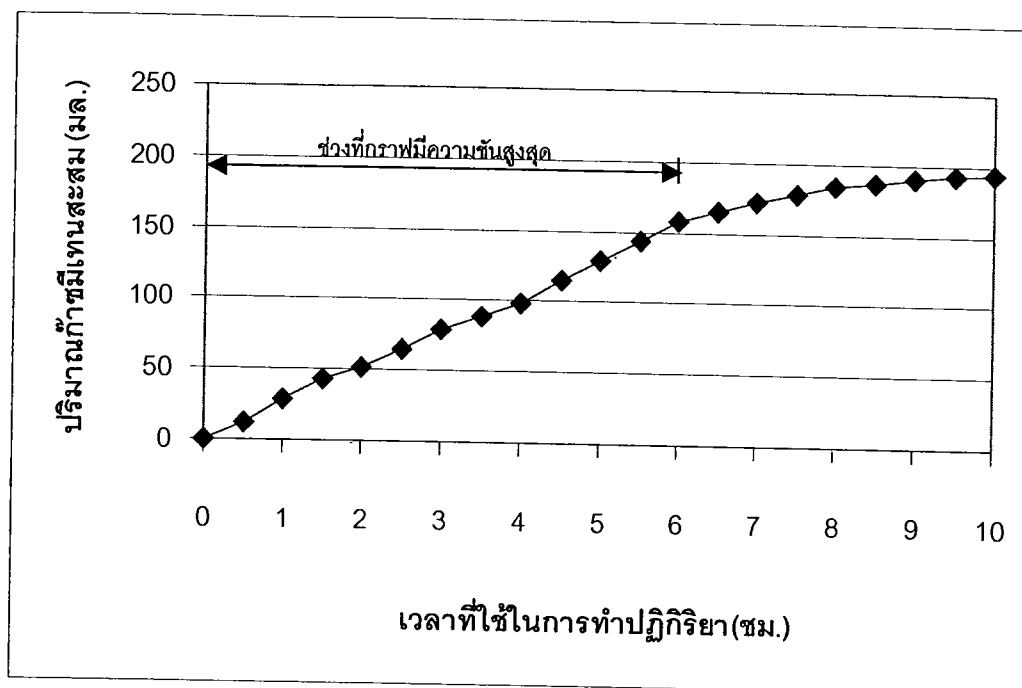
ตัวอย่างการคำนวณหาค่า SMA

โดยตัวอย่างการคำนวณหาค่า SMA จะเป็นการหาค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ก่อนที่จะเริ่มต้นเดินระบบ ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไปดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จะได้ข้อมูลของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นที่ช่วงเวลาต่างๆตลอดการทดลอง แสดงดังตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นที่ช่วงเวลาต่างๆตลอดการทดลอง

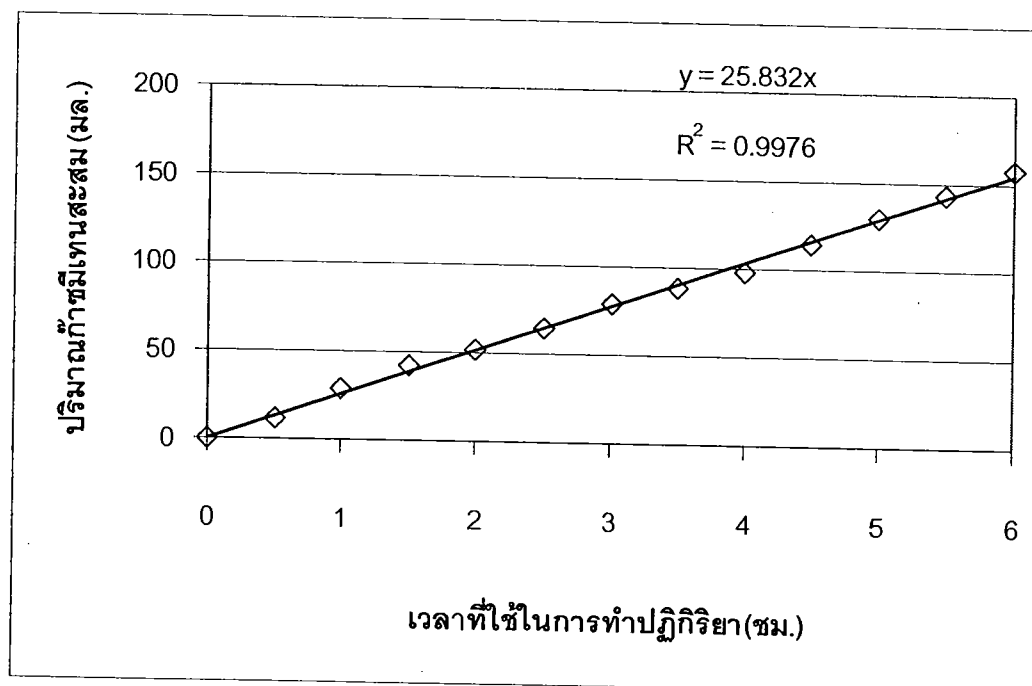
เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (ชม.)	ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (มล.)	ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสะสม (มล.)
0	0	0
0.5	12.0	12.0
1.0	16.5	28.5
1.5	14.0	42.5
2.0	9.5	52.0
2.5	12.7	64.7
3.0	13.7	78.4
3.5	9.6	88.0
4.0	10.0	98.0
4.5	16.3	114.3
5.0	15.4	129.7
5.5	13.5	143.2
6.0	14.8	158.0
6.5	7.0	165.0
7.0	7.3	172.3
7.5	6.2	178.5
8.0	5.5	184.0
8.5	3.2	187.2
9.0	2.8	190.0
9.5	2.0	192.0
10.0	1.5	193.5

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลในตารางที่ ข-2 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสะสมกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ ข-2



รูปที่ ๑-๒ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสะสมกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เมื่อนำกราฟช่วงที่มีความชันมากที่สุดไปหาค่าความชันจะได้ดังรูปที่ ๑-๓ ซึ่งค่าความชันที่ได้ คือ ค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทน



รูปที่ ๑-๓ ค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทน

จากสูตร SMA = $R / (CF \times V \times VSS)$

แทนค่า SMA = $(25.832 \times 24) / (395 \times 0.225 \times 64.04)$

ดังนั้น SMA = 0.11 gCOD-CH₄ / gVSS-day