



ผลของการเติมสารอาหารเสริมที่มีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ
จากของเหลวที่เหลือจากระบวนการผลิตไบโอดีเซล

นางสาวมนวดี ถกธวัช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

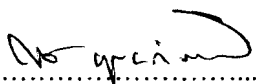
พ.ศ. 2549

ผลของการเติมสารอาหารเสริมที่มีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ
จากของเหลือที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

นางสาวมนวดี ถกธวัช วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

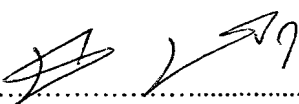
คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์


.....
(ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์


.....
(ผศ.จรรรัตน์ วรรณิสรากุล)

กรรมการ


.....
(ดร.ปธาน บรรจงปรุ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการเติมสารอาหารเสริมที่มีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ จากของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวมนวดี ถกธวัช
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมสารอาหารเสริม และผลของชนิดถังปฏิกรณ์ที่มีต่อประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีขนาด 5 ล. จำนวน 2 ชุด และถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศ 0.8 ล. จำนวน 2 ชุด โดยเติมมวลจุลินทรีย์เริ่มต้นลงถังยูเอเอสปี และถังเอสปีอาร์ไร้อากาศถังละ 62 ก. และ 1.7 ก. ในเทอมของ VSS ตามลำดับ การทดลองใช้ของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีค่าซีไอดี 1,500,000 – 2,300,000 มก./ล. โดยเจือจางน้ำเสียให้มีค่าซีไอดีเท่ากับ 30,000 – 50,000 มก./ล. และเจือจางอีกครั้งก่อนป้อนเข้าระบบด้วยน้ำจากถังเวียนน้ำกลับเพื่อเจือจางความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เริ่มต้น 1 กรัมซีไอดีต่อลิตร-วัน ที่อุณหภูมิห้อง (24 – 29°C) ผลการวิจัยพบว่า การป้อนสารอาหารเสริมหลักในถังยูเอเอสปี 1 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญจากร้อยละ 98.08 – 99.98 เป็นร้อยละ 93.93 – 99.54 ขณะที่ถังยูเอเอสปี 2 ป้อนสารอาหารเสริมหลักร่วมกับเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากร้อยละ 91.61 – 93.41 เป็นร้อยละ 94.95 – 99.74 ถังเอสปีอาร์ไร้อากาศ 1 ไม่มีการเติมสารอาหารเสริมค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีลดลงอยู่ระหว่างร้อยละ 44.36 – 96.60 และถังเอสปีอาร์ไร้อากาศ 2 เมื่อเติมสารอาหารเสริมหลักค่าประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากร้อยละ 82.90 – 85.14 เป็นร้อยละ 80.21 – 99.39 จากผลการทดลองแสดงว่า ชนิดของสารอาหารเสริม และชนิดของถังมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี โดยสารอาหารเสริมหลักช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีในถังเอสปีอาร์ไร้อากาศ และสารอาหารเสริมหลักร่วมกับเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดซีไอดีในถังยูเอเอสปี

คำสำคัญ : ยูเอเอสปี / เอสปีอาร์ไร้อากาศ / สารอาหารเสริม / ไบโอดีเซล / ก๊าซชีวภาพ

Thesis Title	The Effects of Nutrient Supplementation on Biogas Production of Liquid Residual from Biodiesel Process
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Monwadee Thakonthawat
Thesis Advisor	Dr. Saroach Boonyakitsombut
Program	Master of Engineering
Field of Study	Environmental Engineering
Department	Environmental Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2549

Abstract

In this study, the effects of nutrient supplementation and type of reactor applied on anaerobic wastewater treatment are considered. using 2 UASB reactors (5 L per reactor) and 2 Anaerobic SBR reactors (0.8 L per reactor). Sixty two grams VSS of granules (UASB reactor) and 1.7 grams VSS of biomass (anaerobic SBR) were added as seed since the experiments were started up. The liquid residual from biodiesel producing process had the COD in a range of 1,500,000 – 2,300,000 mg/l however, it was diluted to 30,000 – 50,000 mg/l as stock wastewater. Before applying to the reactors, it was diluted with the UASB effluent to reduce the COD concentration providing the initial OLR of 1 g COD/L.d. The results showed that; the macronutrients addition did not improve the COD removal efficiency in the UASB 1. The COD removal efficiency are slightly changed from 98.08 – 99.98 percent to 93.93 – 99.54 percent. For UASB 2, the macronutrients, iron, nickel and cobalt could improve COD removal efficiency from 91.61 – 93.41 percent to 94.95 – 99.74 percent. For AnSBR 1, when no nutrients were added, the COD removal efficiency were between 44.36 and 96.60 percent. The COD removal efficiency were improved from 82.90 – 85.14 percent to 80.21 – 99.39 percent for AnSBR 2 when macronutrients applied. The results reveal that the nutrient supplementation and type of reactor could affect the COD removal efficiency. Macronutrients could also promote the higher COD removal efficiency in AnSBR reactor and macronutrients, iron, nickel and cobalt could increase the efficiency of COD removal in UASB reactor.

Keywords : UASB / Anaerobic SBR / Nutrients / Biodiesel

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษา ด้วยอนุเคราะห์ด้านข้อมูล คำปรึกษา และแนวความคิดอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอขอบพระคุณกรรมการทุกท่าน ผศ.จารุรัตน์ วรนิสรากุล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ ดร.ปธาน บรรจงปรุ วิศวกรสุขาภิบาลกองจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร สำหรับข้อเสนอแนะการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ สังกัดกองควบคุมคุณภาพน้ำ โรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม กรุงเทพมหานคร ที่อนุเคราะห์ตะกอนหัวเชื้อเริ่มต้น ขอขอบพระคุณ คุณจงกลณี ประดิษฐ์พงษ์ และคุณพิระดา ว่องเกษฎา เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับคำแนะนำในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ คุณกัมพล อนานนท์ ช่างเทคนิค คุณเด่นใจ โพธิ์ทอง และคุณนวลจันทร์ เลาสิริชัยกุล เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในงานวิจัยครั้งนี้

โดยประโยชน์อันจะเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขออุทิศให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านตลอดทั้งคณะครูอาจารย์ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ฐ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฑ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	4
2.2 ลักษณะสมบัติทางชีวเคมีของกระบวนการไร้อากาศ	4
2.3 ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการไร้อากาศ	7
2.4 สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	13
2.5 บทบาทของธาตุอาหารเสริมที่มีต่อระบบไร้อากาศ	17
2.6 ระบบยูเอเอสบี	19
2.7 ระบบแอนแอโรบิกซีแวนซิ่งแบคส์	23
2.8 ปาล์มน้ำมัน	26
2.9 ไบโอดีเซล	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33

3. แผนการดำเนินงานวิจัย	37
3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	37
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	38
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	44
3.4 พารามิเตอร์ในการทดลอง และวิธีการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง	46
3.5 แผนการทดลอง	47
4. ผลการทดลอง	48
4.1 ผลการดำเนินงาน	48
4.2 ประสิทธิภาพของระบบ	49
4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	68
4.4 ลักษณะเหตุการณ์ที่เกิดภายในถังปฏิกรณ์	78
4.5 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน	79
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	82
5.1 สรุปผลการทดลอง	82
5.2 ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารอ้างอิง	85
ภาคผนวก	89
ก รายการคำนวณ	89
ข ตารางแสดงผลการทดลอง	91
ประวัติผู้วิจัย	120

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียจากระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	10
2.2 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเกิดการหมักก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	13
2.3 ธาตุอาหารรองที่มีความจำเป็นสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	16
2.4 ธาตุอาหารที่สำคัญซึ่งอยู่ในแบคทีเรียจากระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	16
2.5 ธาตุองค์ประกอบของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน	17
2.6 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี	22
2.7 ข้อดีของระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศ	23
2.8 ปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนของประเทศไทย (หน่วย : พันตัน)	29
3.1 ลักษณะจำเพาะ(Characteristic) ของน้ำเสียที่ได้จากของเหลวที่เหลือจากระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มรอบที่ 1	37
3.2 ลักษณะจำเพาะ (Characteristic) ของน้ำเสียที่ได้จากของเหลวที่เหลือจากระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มรอบที่ 2	38
3.3 สารอาหารเสริมสำหรับระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	40
3.4 ขั้นตอนการเติมสารอาหารเสริมในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี	45
3.5 ขั้นตอนการเติมสารอาหารเสริมในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศ	45
3.6 ค่าพารามิเตอร์ วิธีวิเคราะห์หรือวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดสอบ	46
3.7 บรรยายแผนการทดลองของงานวิจัย	47
4.1 ค่าทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียแต่ละถังปฏิกรณ์	75
4.2 เอสเอ็มเอตะกอนเชื้อแบคทีเรีย	80
ก.1 การคำนวณการปรับอัตราไหลของปั๊มเวียนน้ำกลับ	90
ก.2 การทดสอบความสามารถจำเพาะของตะกอนแบคทีเรีย	90
ข.1 ซีไอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีไอดีละลายต่อซีไอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีไอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1	92
ข.2 ซีไอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีไอดีละลายต่อซีไอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีไอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2	95
ข.3 ซีไอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีไอดีละลายต่อซีไอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีไอดีน้ำออกและ ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1	98

ข.4	ซีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีโอดีละลายต่อซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2	100
ข.5	ของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยน้ำออก และของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 1	102
ข.6	ของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยน้ำออก และของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 2	104
ข.7	ของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยน้ำออก และของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1	106
ข.8	ของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยน้ำออก และของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2	107
ข.9	สภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง และพีเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 1	108
ข.10	สภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง และพีเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 2	110
ข.11	สภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง และพีเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ชุดที่ 1	112
ข.12	สภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง และพีเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ชุดที่ 2	113
ข.13	ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 1	114
ข.14	ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 2	116
ข.15	ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1	118
ข.16	ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2	119

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 ขั้นตอนทั้งสามขั้นตอนอย่างง่ายจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	11
2.2 ผลของปฏิกิริยาชีวเคมีจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	11
2.3 ขั้นตอนการย่อยสลายโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	12
2.4 รายละเอียดขององค์ประกอบของถังปฏิกรณ์ระบบยูเอสบี	21
2.5 ขั้นตอนการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกซีแควนซ์เบดซ์	24
2.6 ลักษณะหลายของปาล์มน้ำมัน(ก) และเมล็ดของปาล์มน้ำมัน(ข)	27
2.7 หลักการผลิตไบโอดีเซล	30
2.8 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล	31
3.1 ชุดแบบจำลองถังปฏิกรณ์ยูเอสบี (UASB Reactor) ชุดที่ 1 และ 2 (ก)	41
3.2 สัดส่วนของถังปฏิกรณ์ยูเอสบี (UASB Reactor)	42
3.3 ชุดแบบจำลองถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศ (AnSBR reactor) ชุดที่ 1 และ 2	43
3.4 ทิศทางการไหลของถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศ (AnSBR reactor) ชุดที่ 1 และ 2	43
4.1 สภาวะตะกอนลอยในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชุดที่ 1 และ 2	51
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอคีนน้ำเข้า ซีไอคีนน้ำออก และค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชุดที่ 1	51
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีไอคีน และค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชุดที่ 1	52
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอคีนน้ำเข้า ซีไอคีนน้ำออก และค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชุดที่ 1	52
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอคีนน้ำเข้า ซีไอคีนน้ำออก และค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชุดที่ 2	54
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีไอคีนและค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชุดที่ 2	54
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอคีนน้ำเข้า ซีไอคีนน้ำออก และค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชุดที่ 2	55
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอคีนน้ำเข้า ซีไอคีนน้ำออก และค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1	56

[illegible]

4.36 ลักษณะตะกอนแบคทีเรียที่ลอยอยู่ด้านบนถังปฏิกรณ์ยูเอสบีและถังปฏิกรณ์ เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2	79
4.37 ค่าเอสเอ็มเอของตะกอนแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชุดที่ 1 และ 2	81
4.38 ค่าเอสเอ็มเอของตะกอนแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2	81

รายการสัญลักษณ์

D	=	เส้นผ่านศูนย์กลาง
Q	=	อัตราการไหล
V	=	ปริมาตร

ประมวลศัพท์และคำย่อ

A	=	Area
AnSBR	=	Anaerobic Sequencing Batch Reactor
BMP	=	Biochemical Methane Potential
COD	=	Chemical Oxygen Demand
d	=	Day
DW	=	Dewatered Sludge
Eff	=	Effluent
g	=	Gram
hr	=	Hour
HRT	=	Hydraulic Retention Time
Inf	=	Influent
L	=	Liter
m	=	Meter
m ²	=	Square Meter
m ³	=	Cubic Meter
mg	=	Milligram
min	=	Minute
OLR	=	Organic Loading Rate
SMA	=	Specific Methanogenic Activity
SS	=	Suspended Solids
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TP	=	Total Phosphorus
VFA	=	Volatile Fatty Acid
VSS	=	Volatile Suspended Solids
UASB	=	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

จากสถานการณ์ปัจจุบันการเติบโตด้านอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นสาเหตุของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำเสียที่ปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ควรได้รับการบำบัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ การบำบัดน้ำเสียมีอยู่หลายวิธี และการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพคือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และผลิตก๊าซชีวภาพอันจะลดปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการเติมออกซิเจน โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์โดยเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ในการหุงต้มทำอาหาร และใช้ต้มน้ำในหม้อต้มน้ำโรงงานอุตสาหกรรมได้ [1] ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเป็นระบบที่ได้รับความสนใจ และมีการพัฒนามากที่สุด ระบบที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ คือ ระบบยูเอเอสบี ส่วนระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศก็เป็นที่ยอมรับในหลายประเทศทั้งในภาคอุตสาหกรรม และน้ำทิ้งชุมชน ทั้งยังสามารถลดพื้นที่ และพลังงานในการเดินระบบ นอกจากนี้การควบคุมระบบอย่างเข้าใจ และเหมาะสมจะทำให้ระบบไร้อากาศกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพพร้อม ๆ กัน และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบได้แก่ ประเภทของสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งแตกต่างกันในแต่ละอุตสาหกรรมจึงมีการรายงานผลลักษณะของน้ำเสียได้แก่ พีเอช ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส เป็นต้น ซึ่งผู้ควบคุมระบบไร้อากาศควรตระหนักถึงความเพียงพอของสารอาหารเสริม ความเป็นพิษที่ปะปนมากับน้ำเสีย และความเป็นกรดด่างของระบบ

ปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงของโลกมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญด้านเศรษฐกิจ และในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันดีเซลมีความต้องการมากถึง 60 ล้านลิตรต่อวัน [2] อีกทั้งมีการคาดการณ์ว่าในอนาคตน้ำมันจะหมดไปในที่สุด ด้วยเหตุนี้พลังงานทดแทนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ และหนึ่งในเชื้อเพลิงทดแทนคือ เชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ (Biogas Fuel) ประเทศไทยมีภูมิอากาศเหมาะสมอย่างยิ่งในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากมีอากาศร้อนชื้นตลอดทั้งปี และมีวัตถุดิบเหลือเฟือ ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพอย่างหนึ่งที่น่าจะเหมาะสมในการพัฒนาค้นคว้าคือ “ไบโอดีเซล” แต่เนื่องด้วยต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลยังเป็นอุปสรรคสำคัญในการผลิตเพื่อการค้า [3] จึงมีการเพิ่มมูลค่าโดยการนำกลีเซอรินซึ่งเหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง สบู่ ยา และอื่น ๆ [4] ช่วยลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งของเหลือที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นมีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ ดังนั้นการนำ

ของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจึงเป็นสิ่งที่น่าศึกษาค้นคว้าเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่อย่าง “ไบโอดีเซล”

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อศึกษาผลของการเติมสารอาหารเสริม และผลของชนิดของถังปฏิกรณ์ระหว่างแบบจำลองถังปฏิกรณ์ระบบยูเอเอสบี 5 ลิตร และแบบจำลองถังปฏิกรณ์ระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศ 1 ลิตรที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ 1 กรัมต่อลิตรต่อวัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้เป็นของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยมีค่าซีโอดีประมาณ 1,500,000 – 2,300,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ตะกอนแบคทีเรียที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบมาจากถังหมักตะกอนแบบไร้อากาศ กองควบคุมคุณภาพน้ำ โรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม กรุงเทพมหานคร ตะกอนแบคทีเรียมีลักษณะเป็นกลุ่มตะกอน (floc) ผ่านการรีดน้ำ (Dewatered sludge)
3. การรับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในช่วงเท่ากับ 1 – 20 กรัมต่อลิตรต่อวัน ในถังปฏิกรณ์ระบบยูเอเอสบี
การรับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในช่วงเท่ากับ 1 – 3 กรัมต่อลิตรต่อวัน ในถังปฏิกรณ์ระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศ
4. การรับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ 1 กรัมต่อลิตรต่อวัน
5. แบบจำลองถังปฏิกรณ์ 2 ชนิด คือ
 - แบบจำลองถังปฏิกรณ์ระบบยูเอเอสบีขนาด 5 ลิตรจำนวน 2 ชุดการทดลอง
 - แบบจำลองถังปฏิกรณ์ระบบเอสบีอาร์ขนาด 1 ลิตรจำนวน 2 ชุดการทดลอง
 ทั้ง 2 ระบบ ทดลองภายใต้อุณหภูมิสถานะเมโซฟิลิก และความดันบรรยากาศในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

6. แบบจำลองถึงปฏิกรณ์ระบบยูเอเอสบี และระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศ มีการทดลอง 2 ระยะคือ
 ระยะที่ 1 ทำการเพิ่มค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 1 กรัมต่อลิตรต่อวัน จน
 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของระบบต่ำลงประมาณ 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
 ระยะที่ 2 ทำการป้อนสารอาหารเสริม เพื่อศึกษาผลของการป้อนสารอาหารเสริมที่มีต่อ
 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของระบบ
7. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่ ชีโอดีละลาย, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งแขวนลอยระเหย, พีเอช ,
 ความเป็นด่าง, กรดไขมันระเหย, ไนโตรเจนทั้งหมด, ฟอสฟอรัสทั้งหมด และเอสเอ็มเอ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อทราบผลของสารอาหารเสริม ผลของชนิดถึงปฏิกรณ์ระบบยูเอเอสบี และระบบเอสบีอาร์ไร้
 อากาศ ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ใน
 การศึกษาวิจัยไปพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียจากของเหลวที่เหลือจาก
 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic process) [1]

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเป็นวิธีที่ไม่เติมออกซิเจนนิยมเรียกว่า ระบบไร้อากาศ ใช้กันอย่างแพร่หลายขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ อีกทั้งยังได้พลังงานได้แก่ ก๊าซมีเทน (Methane gas) เป็นต้น ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ใช้ในการหุงต้ม ทำอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมได้ ในอดีตเข้าใจว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจำเป็นต้องเป็นน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีสูงๆ แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกริยาขึ้นเรื่อยๆ จนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำๆ เช่น น้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น ระบบแบบไร้อากาศอาศัยหลักการให้มีจำนวนจุลชีพมากขึ้นในระบบ และทำให้จุลชีพสัมผัสกับน้ำเสียมากที่สุด

2.2 ลักษณะสมบัติทางชีวเคมีของกระบวนการไร้อากาศ [4]

กระบวนการไร้อากาศมีหน้าที่ 2 ประการคือ สร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์หรือบำบัดสลัดจ์และบำบัดน้ำเสีย ในด้านการกำจัดสลัดจ์นั้นเป็นส่วนที่จำเป็นของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์ ส่วนทางด้านการบำบัดน้ำเสียพบว่ากระบวนการไร้อากาศเป็นการลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียเบื้องต้นให้เหลือน้อยลงก่อนส่งต่อไปยังกระบวนการใช้อากาศเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลือ วิธีดังกล่าวจะช่วยประหยัดสารเคมี และพลังงานที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้มาก กระบวนการไร้อากาศมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากกระบวนการแบบใช้อากาศอย่างเด่นชัด เช่น

- กระบวนการไร้อากาศมีเสถียรภาพต่ำ
- ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ
- สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้
- มีอัตราการสร้างตะกอนสลัดจ์ต่ำมาก
- ไม่สามารถลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้เหลือน้อยลงได้

2.2.1 ลักษณะทั่วไป [4]

ภายในถังปฏิกริยาระบบไร้อากาศนั้น สารประกอบอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เกินไปจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กด้วยเอนไซม์จนสามารถถูกขนส่งผ่านเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้ เมื่อสารอินทรีย์อยู่ในเซลล์แล้วจะถูกออกซิไดซ์หลายครั้งจนกลายเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ผลสุดท้าย มีอยู่หลายปฏิกิริยา ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

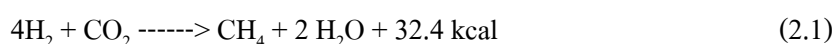
สามารถลดขนาดของสารอินทรีย์เพื่อนำเข้าสู่ภายในเซลล์ของแบคทีเรียได้โดยอาศัยเอนไซม์ปล่อยออกมาจากเซลล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโมเลกุลขนาดเล็กที่สร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานของแบคทีเรีย โดยผ่านกระบวนการเฟอร์เมนเตชันซึ่งผลสุดท้ายจะมีทั้งสารที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ และรูปออกซิไดส์ ส่วนใหญ่ผลิตผลในรูปออกซิไดส์ได้แก่ กรดอินทรีย์ ระยะเวลาที่มีการบอมนไม่เกิน 5 อดอม ปฏิกิริยาในการสร้างกรดอินทรีย์เรียกว่า เอซิดโอเจเนซิส อาศัยการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด ผลิตผลที่เป็นรูปรีดิวซ์เป็นสารอินทรีย์หลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกัน ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกิริยา และชนิดของแบคทีเรีย แบคทีเรียบางตัวสามารถใช้กรดอินทรีย์ขนาดใหญ่หรือสารอินทรีย์อื่นในการสร้างกรดอะเซติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยาหลังที่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่เรียกว่า ไฮโดรจีโนเจเนซิส เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนสามารถสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่แบคทีเรียบางตัวที่สร้างกรดได้อาจจะไม่สามารถสร้างไฮโดรเจนได้ จึงถือว่าแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนเป็นชนิดหนึ่งของแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจรวมเรียกว่า แบคทีเรียไม่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งคือ แบคทีเรียที่ย่อยสลายไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก และกรดอะเซติก เพื่อสร้างก๊าซมีเทนเรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน

2.2.2 แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน [4]

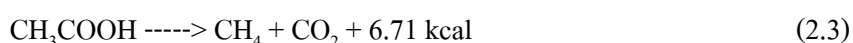
แบคทีเรียประเภทนี้เป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาด (obligate anaerobes) และพวกที่ใช้ออกซิเจนได้บ้าง (facultative anaerobes) พบว่าแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างเด็ดขาดมีจำนวนมากกว่าหลายสิบเท่า เนื่องจากแบคทีเรียประเภทไม่สร้างก๊าซมีเทนมีเมตาบอลิซึมได้หลายแบบ ผลปฏิกิริยาที่ได้จึงมีได้หลากหลายดังที่กล่าวไปแล้ว แบคทีเรียที่สร้างมีเทนนั้นสามารถเปลี่ยนกรดอะเซติก และเมทานอลเป็นก๊าซมีเทนได้ ส่วนผลปฏิกิริยาอย่างอื่นที่เกิดขึ้นต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอะเซติกหรือไฮโดรเจนหรือสารโมเลกุลอย่างง่ายตัวอื่นก่อนจึงจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนต่อไป ในปัจจุบันพบว่าแบคทีเรียไม่สร้างมีเทนที่สามารถย่อยสลายกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่โดยเปลี่ยนให้กลายเป็นไฮโดรเจนมีบทบาทสำคัญเนื่องจากเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียที่สร้างกรด และแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาที่สร้างไฮโดรเจนเช่น ปฏิกิริยาฟอสฟอโรคลาสติก (phosphoroclastic) สามารถสร้างกรดอะเซติกได้จากสารอินทรีย์อื่นด้วย จากการวิจัยพบว่าการอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สร้าง และไม่สร้างมีเทนนั้นก่อให้เกิดประโยชน์ซึ่งกันและกัน เนื่องจากหากมีการสะสมของไฮโดรเจนอยู่ภายในถังปฏิกิริยาจะส่งผลให้เกิดพิษต่อแบคทีเรีย แต่ยิ่งโชคดีว่าไฮโดรเจนถูกใช้ในการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน แบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนให้แก่แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนให้กรดอะเซติก และสารอินทรีย์อย่างง่ายแก่แบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งในการสร้างมีเทน

2.2.3 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน [4]

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีการเจริญเติบโตอย่างช้าๆ และยังเป็นเซลล์ที่ให้ความสำคัญกับการเลือกชนิดอาหารมากอีกทั้งเซลล์ยังบอบบาง เช่น อาจเจริญเติบโตได้ไม่ดีเมื่ออยู่ในช่วงพีเอชไม่เหมาะสม (พีเอชที่เหมาะสมระหว่าง 6.8-7.2) สาเหตุที่ว่าระบบไร้อากาศไม่สามารถลดซีโอดีของน้ำเสียให้ต่ำเท่ากับระบบใช้อากาศนั้น เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอินทรีย์หลายชนิด และสารอินทรีย์อย่างอื่นๆ ด้วย แต่ตัวที่สร้างมีเทนต้องการสารอินทรีย์บางชนิดอย่างเจาะจงทำให้มีการตกค้างของสารอีกจำนวนมาก แบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกสร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนคือ ได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานจำนวนมากจากไฮโดรเจน



สามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสับสเตรดเพียงอย่างเดียวได้ เนื่องจากกรดฟอร์มิก สามารถเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย แบคทีเรียชนิดแรกเรียกว่า hydrogenotrophic methanogens หรือเรียกสั้นๆ ว่า hydrogen utilizer แบคทีเรียชนิดที่สองคือ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติก จากการทดลองพบว่า ถ้ามีมีเทนส่วนใหญ่ได้จากการแตกตัวของกรดอะซิติก แบคทีเรียชนิดนี้เรียกว่า acetoclastic methanogens



2.3 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการไร้อากาศ[4]

2.3.1 ขั้นตอนของปฏิกริยาการย่อยแบบไร้อากาศ

ขั้นตอนของปฏิกริยาการย่อยแบบไร้อากาศมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)
2. การสร้างกรด (Acidogenesis)
3. การสร้างอะซิเตด (Acetogenesis)
4. การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

1. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และกรดไขมัน เป็นต้น เกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรีย โดยการย่อยสลายดังกล่าวอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมา

2. การสร้างกรด (Acidogenesis)

แบคทีเรียสร้างกรดจะดูดซึมผลผลิตจากขั้นตอนไฮโดรไลซิสเข้าสู่เซลล์ และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid) เช่น กรดอะซิติก กรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก เป็นต้น อีกทั้งยังผลิตไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลาย สารประกอบโมเลกุลเล็ก และชนิดของผลผลิตจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ ชนิดของสับสเตรด และความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจนภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ ย่อยสลายกลายเป็นกรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง น้ำตาลจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ผ่านวิถี Embden-Meyerhof (EMP) ภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ

3. การสร้างอะเซเตดจากกรดไขมันระเหยอื่น ๆ (Acetogenesis)

แบคทีเรียอะเซโตจีนิค (แบคทีเรียสร้างอะเซเตด) เป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถผลิตก๊าซมีเทนโดยอาศัยสับสเตรดที่เฉพาะเจาะจงมากได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมธิลามีน (methylamine) ส่วน

กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นสับสเตรดในการผลิตก๊าซมีเทนโดยตรง แบคทีเรียอะเซโตนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้เป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และสำหรับการย่อยสลายกรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก มีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ ตามลำดับ ขั้นตอนที่ 3 เกิดขึ้นได้ในสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำเท่านั้น เนื่องจากกรดไขมันระเหยสามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกได้



4. การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด แบคทีเรียจะสร้างก๊าซมีเทนโดยเปลี่ยนกรดอะซิติก และไฮโดรเจนเป็นก๊าซมีเทน



กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่สามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้โดยตรง แต่แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดอินทรีย์ต่างๆ เป็นกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนเสียก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้หรือแบคทีเรียอาจใช้สับสเตรดอย่างง่ายในการผลิตก๊าซมีเทนเช่น เมทานอล (CH_3OH), กรดฟอร์มิก (HCOOH)



ขั้นตอนทั้ง 4 ขั้นตอนนั้นอาศัยแบคทีเรียทั้งสิ้น 3 ชนิดคือ แบคทีเรียสร้างอะซิเตด แบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างมีเทน

แบคทีเรียสร้างมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. obligate acetoclastic methanogen

เป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้จากกรดอะซิติกเพียงอย่างเดียว



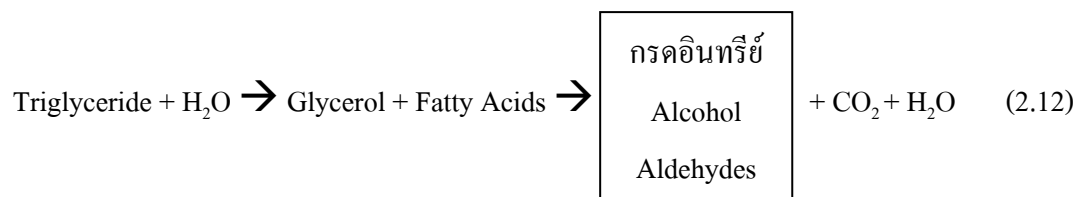
2. obligate hydrogenotrophic methanogen(H_2 utilizer)

เป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้จากไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียว ในกรณีนี้มีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน



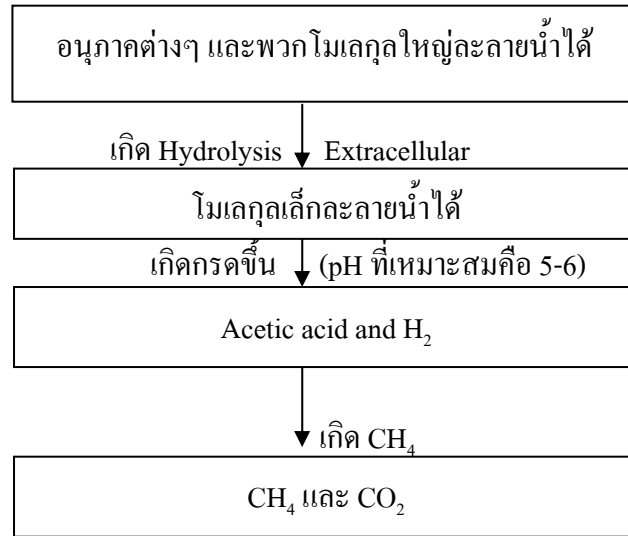
3. hydrogenotrophic/acetoclastic methanogen

เป็นแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนได้จากกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนแต่จะชอบไฮโดรเจนมากกว่า น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายๆ โดยเฉพาะโรงงานผลิตอาหารจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ชั้ชื้อน ไขมัน พวกละ (Fats) และพวกละน้ำมัน เป็นต้น จะถูกย่อยสลายเป็นโมเลกุลเล็กลงดังแสดงสมการ (2.12)

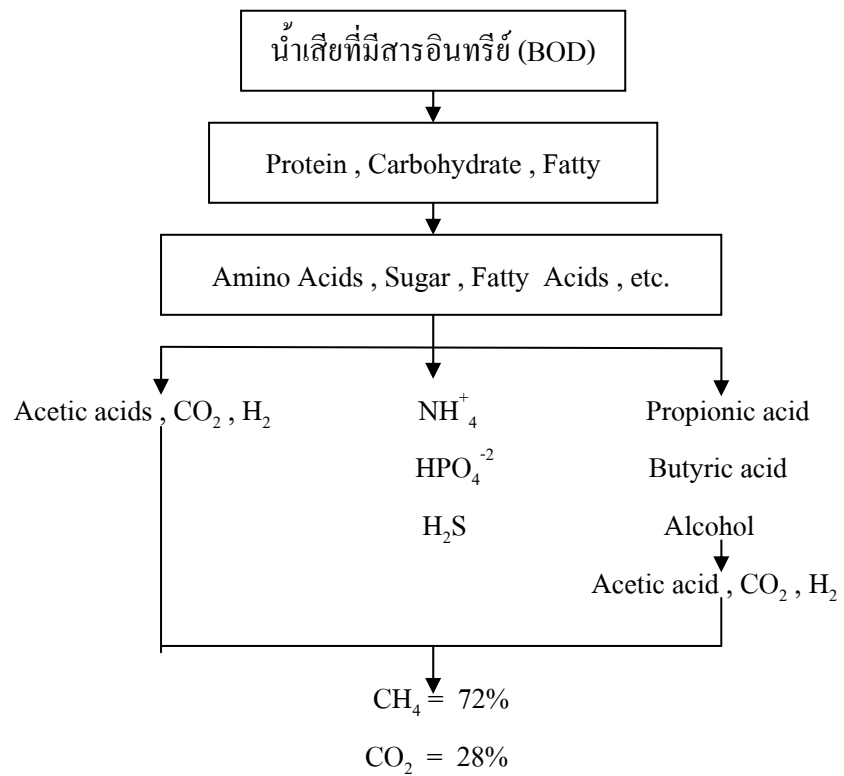


ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียจากระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [1]

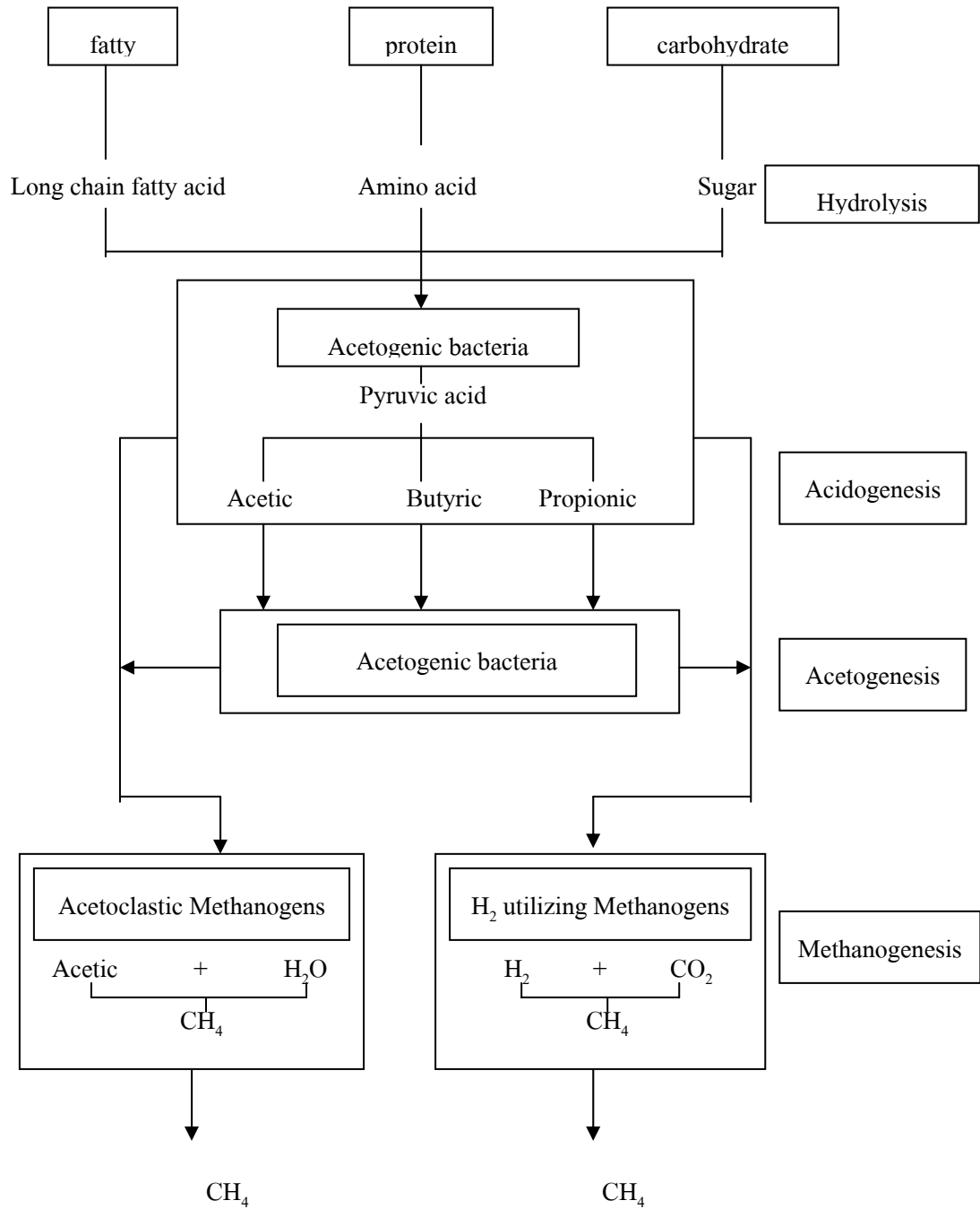
ข้อดีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ
- มีตะกอนแบคทีเรียที่ต้องนำไปบำบัดและกำจัดน้อย - ไม่ต้องใช้สารตัวกลาง ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง - พวกสลัดจ์ที่ต้องนำไปกำจัดสามารถนำไปรีดน้ำออกได้ง่าย - ต้องการธาตุอาหารเสริมน้อย - เกิดก๊าซมีเทนหรือก๊าซหุงต้มไปใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้ดี - สามารถรับอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์สูง - สามารถเก็บรักษาตะกอนแบคทีเรียในอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสได้ถึง 1 ปี จึงเป็นระบบที่สามารถใช้กับแหล่งที่มีน้ำเสียเป็นช่วงๆ ได้	- ต้องควบคุมพีเอชให้เหมาะสมคือควบคุมระดับปริมาณด่างให้มีเพียงพอ (Alkalinity) - ใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบค่อนข้างนาน - หลังจากน้ำเสียผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศแล้ว ควรมีการบำบัดสุดท้ายด้วยระบบอื่นอาจเป็นระบบใช้อากาศ และหรือระบบบำบัดธรรมชาติ และหรือระบบกรอง และหรือระบบทางเคมี - คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดนี้โดยส่วนมากจะไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง (BOD₅ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) - ต้องเลี้ยงแบคทีเรียให้จับตัวเป็นเม็ด เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูง - ต้องพยายามรักษามวลชีวภาพในระบบให้เหมาะสม และควบคุมการหลุดออกของมวลชีวภาพเนื่องจาก สารพิษ สารยับยั้งการเจริญเติบโตอาจมีผลกระทบต่อแบคทีเรีย - แบคทีเรียโดยเฉพาะพวกผลิตมีเทนมีความสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชที่แคบประมาณ 6.8 – 7.2 - เมื่อสูญเสียตะกอนแบคทีเรียออกจากระบบ ทำให้อัตราการเจริญแทนไม่ทันอัตราการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์จึงไม่สูงขึ้น



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนทั้งสามขั้นตอนอย่างง่ายจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [1]



รูปที่ 2.2 ผลของปฏิกิริยาชีวเคมีจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [1]



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการย่อยสลายโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [4]

2.4 สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [1, 13]

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีบทบาทสำคัญมากต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง แต่ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดจะมีประสิทธิภาพสูงสุดได้ต้องมีสภาวะแวดล้อมในระบบที่เหมาะสมโดยตารางที่ 2.2 แสดงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเกิดการหมักก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดแบบไร้อากาศขึ้นอยู่กับขั้นตอนปฏิกิริยาชีวเคมีเกิดครบทั้งสามขั้นตอนหรือไม่เช่น เมื่อแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่เกิดขึ้นก็จะทำให้เกิดการสะสมของสารประกอบที่เกิดก่อนขั้นตอนการผลิตมีเทน คือเกิดการสะสมของพวกกรดอินทรีย์ต่างๆ ทำให้ระบบมีพีเอชลดลงมาก ซึ่งเมื่อพีเอชลดลงจนไม่อยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสมก็จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียลดต่ำลง

ตารางที่ 2.2 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเกิดการหมักก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [1]

สภาวะแวดล้อม	ช่วงค่าที่เหมาะสม	ช่วงที่ยอมรับได้
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30 – 35	25 – 40
พีเอช	6.8 – 7.4	6.2 – 7.8
กรดระเหยง่าย (mg/l as Acetic acid)	50 – 500	2000
ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃)	2,000 – 3,000	1,000 – 5,000

2.4.1 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศพบว่า โดยปกติอัตราของปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาชีวเคมีจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่ในระบบบำบัดทางชีวภาพนั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีไม่เพิ่มขึ้นมากนัก เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาเคมี ณ ที่อุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่สองช่วงในการเกิดก๊าซมีเทนในระบบได้ดีคือ ระหว่าง 30 ถึง 40 องศาเซลเซียส และระหว่าง 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส จากข้อมูลทางวิชาการพบว่าบางแห่งอาจเกิดก๊าซมีเทนขึ้นได้บ้างที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการให้มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นได้ตามปกติ ในระบบควรมีอุณหภูมิอย่างน้อย 20 องศาเซลเซียส และพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 15 ถึง 40 องศาเซลเซียส (ช่วง Mesophilic) การผลิตก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะเพิ่มขึ้นเกือบสองเท่าเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ในช่วงเมโซฟิลิก

2.4.2 พีเอช (pH)

พีเอชเป็นตัวที่วัดค่าความเป็นกรดหรือด่างในระบบ พีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการไร้อากาศควรอยู่ระหว่าง 6.8 - 7.2 [1] เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ถ้าค่าพีเอชไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวแบคทีเรียก็จะมีประสิทธิภาพการทำงานลดลง ส่วนแบคทีเรียที่สร้างกรดจะปรับตัวได้ในช่วงพีเอชที่กว้าง เพราะฉะนั้นจึงเน้นควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมกับกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนมากกว่า สามารถควบคุมค่าพีเอชได้โดยการควบคุมปริมาณของกรดระเหยง่าย (Volatile Acids) และสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) ถ้ามีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากก็จะส่งผลให้ปริมาณของกรดระเหยง่ายมากตามด้วย เนื่องจากสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดระเหยง่ายโดยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด และหากมีปริมาณกรดระเหยง่ายมากขึ้นแล้วแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนไม่สามารถย่อยสลายได้ทันจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดต่ำลง และถ้าลดต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมก็จะเป็นผลเสียต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน

2.4.3 กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) และสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

กรดไขมันระเหยที่ผลิตโดยแบคทีเรียสร้างกรด ปกติควรมีค่าประมาณ 50 – 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก [1] กรณีกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณว่าระบบกำลังจะเสียสมดุล เนื่องจากค่าพีเอชจะลดต่ำลงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบคทีเรีย สภาพความเป็นด่างแสดงถึงความสามารถในการบัฟเฟอร์ของระบบ ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมค่าพีเอชให้คงที่ สภาพความเป็นด่างที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศประมาณ 2,000 – 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของ CaCO_3 [1] และยังต้องพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างด้วย (VFA/Alkalinity)

ถ้า VFA/ Alkalinity น้อยกว่า 0.4 แสดงถึงระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง ประสิทธิภาพการทำงานดี

ถ้า VFA/ Alkalinity มากกว่า 0.8 แสดงถึงระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ประสิทธิภาพการทำงานลดลงหรืออาจล้มเหลวได้

การเลือกสารเคมีที่ใช้เพิ่มความเป็นด่างในระบบ ควรเลือกสารเคมีที่ละลายน้ำได้ดี ให้คาร์บอเนต (HCO_3) ได้โดยตรง และราคาถูก ตัวอย่างเช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ละลายน้ำได้ดี ให้คาร์บอเนต (HCO_3) ได้โดยตรง แต่มีราคาแพงกว่าสารเคมีอื่น

2.4.4 สารอาหาร (Nutrient)

สารอาหารมีบทบาทสำคัญต่อแบคทีเรีย โดยจะช่วยให้เจริญเติบโต และสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งสารอาหารที่จำเป็นต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเช่น ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ควรอยู่ในอัตราส่วนเหมาะสมคือ COD:N:P เท่ากับ 100:1:0.2 หากไม่เพียงพอจะทำให้ประสิทธิภาพการ

ย่อยสลายสารอินทรีย์ และการผลิตก๊าซชีวภาพของแบคทีเรียลดลง และในทางตรงกันข้ามหากมีปริมาณสารไนโตรเจนมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย หรืออาจทำให้เกิดภาวะตะกอนลอย (wash out) เกิดการสูญเสียมวลชีวภาพสูงขึ้น ส่วนสารอาหารอื่นๆ ที่จำเป็นได้แก่ เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) และโคบอลต์ (Co) เป็นต้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบใช้อากาศพบว่าระบบไร้อากาศมีความต้องการสารอาหารมากกว่าระบบใช้อากาศ โดยปกติแบคทีเรียทั้งในระบบใช้อากาศและไร้อากาศมักจะอยู่ในรูป $C_5H_7NO_2$ โดยมีฟอสฟอรัสประมาณ 0.2 เท่าของไนโตรเจนคิดในเทอมน้ำหนัก แสดงค่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และเหล็กที่มีอยู่ในตัวแบคทีเรียระบบบำบัดแบบไร้อากาศดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

2.4.5 สารพิษ (Toxic)

สารพิษจะยับยั้งการเจริญเติบโต และรบกวนการทำงานของแบคทีเรีย ความรุนแรงของผลกระทบจะขึ้นอยู่กับชนิด และความเข้มข้นของสารนั้น สารพิษไม่ได้หมายความถึงสารอันตรายแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงสารอาหารจำเป็นบางตัวที่หากมีมากเกินไปก็อาจกลายเป็นสารพิษได้ เพื่อเป็นการลดความเป็นพิษลง ป้องกันระบบล้มเหลวจึงควรตรวจวัดปริมาณสารพิษในน้ำเสียก่อนทำการป้อนเข้าสู่ระบบ

2.4.6 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading)

ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และอัตราการป้อนสารอาหารเข้าสู่ระบบจะส่งผลถึงเสถียรภาพของระบบ การเปลี่ยนภาระบรรทุกสารอินทรีย์ทำได้ 2 วิธีดังนี้ วิธีที่หนึ่งคือการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำเสียซึ่งปฏิบัติได้ยากเพราะน้ำทิ้งจากโรงงานแต่ละประเภทมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน แม้กระทั่งโรงงานเดียวกันแต่ในเวลาแตกต่างกัน องค์ประกอบก็ต่างกัน วิธีที่สองคือการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาการกักเก็บของเหลวภายในถังปฏิกรณ์ การเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบโดยควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเสียกับระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสอาหารของแบคทีเรีย

ตารางที่ 2.3 ธาตุอาหารรองที่มีความจำเป็นสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [1]

ธาตุอาหารที่จำเป็น	ปริมาณความเข้มข้นที่จำเป็นสำหรับระบบไร้อากาศ
แคลเซียม, ไมโครกรัม Ca/ลิตร	10 – 40
แมกนีเซียม, ไมโครกรัม Mg/ลิตร	10 – 20
โคบอลต์, ไมโครกรัม Co/ลิตร	3 – 60
นิกเกิล, ไมโครกรัม Ni/ลิตร	6
เซลิเนียม, ไมโครกรัม Se/ลิตร	8
แมงกานีส, ไมโครกรัม Mn/ลิตร	> 5
โครเมียม, ไมโครกรัม Cr/ลิตร	5

ตารางที่ 2.4 ธาตุอาหารที่สำคัญซึ่งอยู่ในแบคทีเรียจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [1]

ธาตุอาหาร	กรัม/กก.VSS	กรัม/กก.COD(B)*
ไนโตรเจน (N)	80 – 120	55 – 85
ฟอสฟอรัส (P)	10 – 25	7 – 18
ซัลเฟอร์ (S)	10 – 25	7 – 18
เหล็ก (Fe)	5 – 15	4 – 11

* กรัม/กก. COD(B) คือปริมาณธาตุอาหารเป็นกรัมต่อกิโลกรัม COD ของมวลจุลชีพ

ตารางที่ 2.5 ธาตุองค์ประกอบของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน [5]

Element	Concentration (ppm.)
C	37,000-44,000
H	55,000-65,000
N	95,000-128,000
Na	3,000-40,000
K	1,300-50,000
S	5,600-12,000
P	5,000-28,000
Ca	8-4,500
Mg	900-5,300
Fe	700-2,800
Ni	65-180
Co	10-120
Mo	10-70
Zn	50-630
Cu	10-160
Mn	5-25
Se	14-320

2.5 บทบาทของธาตุอาหารเสริมที่มีต่อระบบไร้อากาศ [4, 6, 7]

ระบบไร้อากาศเป็นระบบที่อาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรีย 2 กลุ่มคือ แบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน ขณะที่กลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการสารอาหารบางตัว ซึ่งอาจต้องการปริมาณน้อยมากแต่ก็ไม่สามารถขาดได้เช่น เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์และซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์) ดังนั้นหากน้ำเสียขาดแคลนสารอาหารต่างๆ ดังกล่าว จะไม่เกิดการผลิตก๊าซมีเทนจากระบบไร้อากาศขึ้น

2.5.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารเสริมหลักที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ของแบคทีเรีย

2.5.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารเสริมหลักที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกของแบคทีเรีย

2.5.3 เหล็ก

เหล็กเป็นสารอาหารเสริมรองที่พบในเนื้อเยื่อของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (methanogenic bacteria) มากกว่าโลหะชนิดอื่นๆ ซึ่งจะช่วยในการจับของเสียออกนอกเซลล์ของแบคทีเรีย และยังพบมากในกระบวนการบำบัดไร้อากาศ แต่การเติมเหล็กในระบบบำบัดแบบไร้อากาศอาจทำให้ซัลไฟด์ตกตะกอน

2.5.4 นิกเกิล

นิกเกิลเป็นสารอาหารเสริมรองที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของโคเอนไซม์ F_{430} ซึ่งเป็นหนึ่งในโคเอนไซม์สำคัญของแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนซึ่งได้แก่ โคเอนไซม์ F_{420} , F_{430} และ 2-mercaptoetane sulfonic acid โดยมากนิกเกิลเป็นมลทินที่ติดอยู่ใน yeast extract และเกลือแร่อื่นๆ ทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนได้รับนิกเกิล นอกจากนี้ นิกเกิลอาจรวมกับซัลไฟด์ และตกผลึกได้เช่นเดียวกันผลึกเหล็กจึงมีความจำเป็นต้องเติมนิกเกิลบ้างในกรณีที่ปริมาณนิกเกิลไม่เพียงพอ

2.5.5 โคบอลต์

โคบอลต์เป็นสารอาหารเสริมรองซึ่งอยู่ในรูปของเอนไซม์จำเพาะ และโคลินอยด์ พบในเอนไซม์คาร์บอนมอนอกไซด์ดีไฮโดรจีเนส เป็นเอนไซม์ที่จำเป็นในขั้นตอนการทำงานของกระบวนการสร้างอะซิเตต (acetogenesis) มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่าเหล็ก แต่ก็อาจเกิดปัญหาทำให้ซัลไฟด์ตกตะกอนเช่นเดียวกับเหล็กได้

2.5.6 ซัลไฟด์

ซัลไฟด์เป็นสารอาหารเสริมรองที่มีบทบาทต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศทั้งด้านบวก และด้านลบ เนื่องจากซัลไฟด์สามารถรวมกับเหล็ก นิกเกิล และโลหะหนักที่จำเป็นต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แยกตัวออกจากน้ำตกตะกอนเป็นผลึก และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 100 – 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน และซัลไฟด์ปริมาณเล็กน้อยก็เป็นสารที่มีความจำเป็นต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ความต้องการซัลไฟด์ของแบคทีเรียสร้างมีเทนอยู่ในช่วง 1 – 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณซัลไฟด์ในน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ถูกกำหนดโดยพีเอช และความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศเหนือระดับน้ำในถังปฏิกรณ์

2.5.7 ทองแดง

ทองแดงเป็นสารอาหารเสริมรองพบมากในแบคทีเรียพวกสร้างมีเทน ทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่ในเอนไซม์ซูเปอร์ดิสมูเทส (super dismutase) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานที่แน่ชัดว่า การเติมทองแดงจะสามารถกระตุ้นการทำงานของระบบไร้อากาศได้

2.5.8 เซลิเนียม

เซลิเนียมเป็นสารอาหารเสริมรองที่เป็นองค์ประกอบโดยทั่วไปของเอนไซม์ในแบคทีเรียระบบไร้อากาศซึ่งอยู่ในกรดนิวคลีอิกของแบคทีเรีย เอนไซม์ที่มีเซลิเนียมเป็นองค์ประกอบคือ ฟอร์เมตดีไฮโดรจีเนส (formate dehydrogenase) เอนไซม์ที่มีเซลิเนียมจะทำงานได้ดีที่พีเอชเป็นกลาง คาร์บอกซ์ต่ำ หากมีเซลิเนียมปริมาณเหมาะสมอาจช่วยในการย่อยสลายกรดไขมัน และช่วยเร่งปฏิกิริยาในระบบไร้อากาศได้

2.5.9 สังกะสี

สังกะสีเป็นสารอาหารเสริมรองที่มีความคล้ายคลึงกับโคบอลต์ พบในแบคทีเรียที่สร้างมีเทน สังกะสีเป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์ฟอร์เมตดีไฮโดรจีเนส SODM และไฮโดรจีเนส ยังไม่มีรายงานที่แน่ชัดว่าสังกะสีสามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบไร้อากาศได้

2.5.10 โมลิบดีนัม

โมลิบดีนัมเป็นสารอาหารเสริมรองที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปของเอนไซม์ฟอร์เมตดีไฮโดรจีเนส (formate dehydrogenase) แต่โมลิบดีนัมอาจยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ลดปริมาณซัลเฟตได้

2.5.11 ทังสเตน

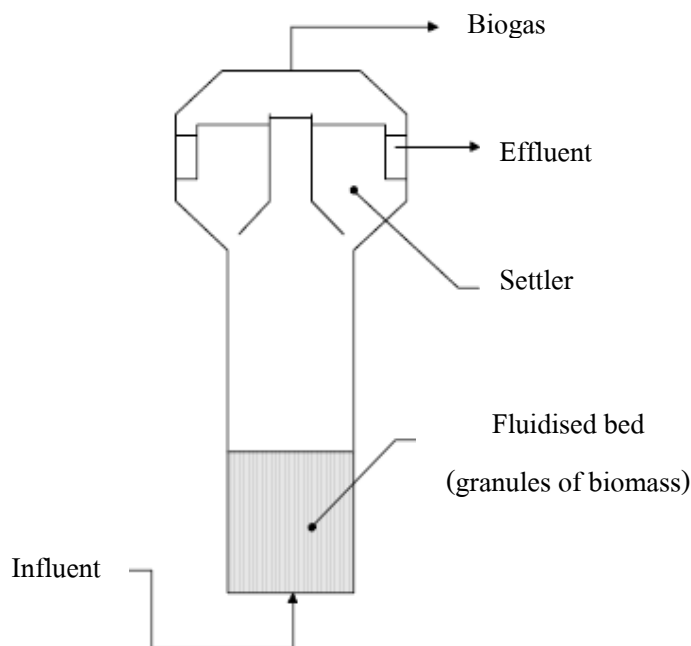
ทังสเตนเป็นสารอาหารเสริมรองที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ฟอร์เมตดีไฮโดรจีเนส และช่วยในการย่อยสลายคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเช่นเดียวกับนิกเกิล

2.6 ระบบยูเอสบี (UASB process) [4, 8, 9]

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอสบี เป็นระบบที่มีการฉีดพ่นน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกิริยา (upflow feeding) โดยไม่ใช้ตัวกลางหรือวัสดุใดๆ ในการพยุงมวลชีวภาพทั้งสิ้น แต่แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนกระทั่งมีน้ำหนักมาก และสามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดตะกอนชีวภาพขนาดใหญ่จะจมตัวอยู่ด้านล่าง ส่วนเม็ดตะกอนชีวภาพขนาดเล็กจะอยู่ด้านบน เม็ดเล็กที่สุดจะลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ และตะกอนชีวภาพบางส่วนอาจหลุดขึ้นไปด้านบนของถังปฏิกรณ์

แต่ด้านบนของระบบยูเอสบีจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกเม็ดตะกอนขนาดเล็ก และก๊าซชีวภาพออกจากน้ำเรียกว่า GSS (gas-solid separator) หรือระบบแยกก๊าซชีวภาพ และของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำ) ผู้ที่นำระบบนี้ไปใช้ และประสบความสำเร็จอ้างว่าระบบนี้สามารถรับภาระบรรทุสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบอื่นๆ อีกทั้งยังสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงได้ เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าแบบอื่น องค์ประกอบหลักของถังปฏิกริยาประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ส่วนของตะกอนชั้นล่าง (sludge bed) เป็นชั้นของตะกอนแบคทีเรียที่มีความสามารถในการตกตะกอนสูง และมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูง
2. ส่วนของตะกอนลอย (sludge blanket) เป็นชั้นที่ตะกอนแบคทีเรียลอยฟุ้งกระจายเนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูง
3. ส่วนของระบบแยกตะกอนชีวภาพ และก๊าซชีวภาพออกจากน้ำ (gas-solid separator : GSS) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกก๊าซชีวภาพออกจากของผสมระหว่างก๊าซชีวภาพ น้ำ และตะกอนแบคทีเรีย ซึ่งตะกอนแบคทีเรียที่ถูกแยกจะไหลเข้าสู่ส่วนแยกตะกอน และก๊าซชีวภาพจะถูกรวบรวมเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป
4. ส่วนของอุปกรณ์ในการตกตะกอน (settlement compartment) ในส่วนของอุปกรณ์นี้จะช่วยในการตกตะกอนของตะกอนชีวภาพ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว และแยกก๊าซชีวภาพออกไปจะเป็นของผสมระหว่างน้ำเสียที่มีสารมลพิษต่ำ และตะกอนชีวภาพ ซึ่งเมื่อน้ำเสียส่วนนี้ไหลมาถึงอุปกรณ์นี้ ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะแยกตัว และตกตะกอนลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกริยาส่วนตะกอนชีวภาพที่มีน้ำหนักเบาจะไหลปะปนกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว รายละเอียดขององค์ประกอบของถังปฏิกริยาระบบยูเอสบี แสดงไว้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รายละเอียดขององค์ประกอบของถังปฏิกรณ์ระบบยูเอเอสบี [4]

2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเริ่มเดินระบบ

2.6.1.1 ปริมาณตะกอนแบคทีเรียเริ่มต้นจะต้องมีปริมาณที่เหมาะสม ไม่มากจนเกิดปัญหาการชะล้างของตะกอนแบคทีเรียเนื่องจากการยกตัวของตะกอนชั้นล่าง และไม่น้อยจนไม่เพียงพอต่อการผสมกับน้ำเสีย (กรณีผ่านการหมักประเภทความหนาแน่นสูงควรอยู่ในช่วง 12 – 15 กิโลกรัมวีเอสเอสต่อลูกบาศก์เมตร และกรณีผ่านการหมักประเภทความหนาแน่นน้อยควรอยู่ในช่วง 6 กิโลกรัมวีเอสเอสต่อลูกบาศก์เมตร)

2.6.1.2 ตะกอนแบคทีเรียที่ถูกชะล้างออกจากระบบแล้วจะต้องไม่นำกลับเข้าถังปฏิกรณ์อีก ซึ่งการชะล้างออกจากระบบเกิดขึ้นได้ 2 กรณี ดังนี้

- การยกตัวของตะกอนชั้นล่าง จะมีผลทำให้ตะกอนแบคทีเรียในระบบมีเวลากักเก็บสั้น
- การกัดเซาะของตะกอนชั้นล่าง (sludge bed erosion) จะเป็นการคัดเลือกตะกอน

แบคทีเรียที่มีน้ำหนักมากและมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง

2.6.1.3 อัตราการรับภาระบรรทุสารอินทรีย์ เมื่อต้องการเพิ่มอัตราการรับภาระบรรทุสารอินทรีย์ จะต้องพิจารณาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดี ซึ่งถ้าย่อยสลายได้ร้อยละ 80 จึงจะสามารถเพิ่มอัตราการรับภาระบรรทุสารอินทรีย์ได้ การเพิ่มอย่างรวดเร็ว และไม่มีขั้นตอนจะส่งผลให้ความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบลดลง การเดินระบบในสถานะที่อัตราภาระบรรทุสารอินทรีย์สูงหรือดำเนินไปจะเกิดผลกระทบต่อกระบวนการเกิดเม็ดของตะกอนแบคทีเรีย โดยปกติการเริ่มต้นเดินระบบจะมีค่าอัตราการรับภาระบรรทุสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 0.05 – 0.10

กิโลกรัมซีโอดีต่อกิโลกรัมวีเอสเอสต่อวัน สำหรับกรณีน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีสูงแต่มีค่าบีโอดีต่ำ จะมีค่าอัตราการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์เริ่มที่ 0.7 กิโลกรัมซีโอดีต่อกิโลกรัมวีเอสเอสต่อวัน

2.6.1.4 อัตราการรับภาระของเหลว หรืออัตราการไหลเข้าของน้ำเสียเข้าสู่ระบบมีความสำคัญต่อการคัดเลือกแบคทีเรียที่มีน้ำหนักรสูง และการล้างตะกอนแบคทีเรียที่น้ำหนักรเบา ถ้าอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียสูงเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์มากจนเกิดผลกระทบต่อระบบ และหากอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียต่ำเกินไปจะทำให้ไม่สามารถเกิดกระบวนการคัดเลือกจุลินทรีย์ขึ้น ซึ่งเกณฑ์การออกแบบการไหลเข้าของน้ำเสียในรูปของ surface load ประมาณ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

ตารางที่ 2.6 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถรับค่าภาระบรรทุกอินทรีย์ได้สูงขึ้น	1. ต้องเลี้ยงตะกอนแบคทีเรียให้จับตัวเป็นเม็ดเพื่อประสิทธิภาพที่ดี
2. ตะกอนจุลชีพสามารถแยกออกจากน้ำเสียได้	2. ต้องรักษาปริมาณตะกอนแบคทีเรียในระบบให้เหมาะสม และควบคุมการ wash out เนื่องจากตะกอนแบคทีเรียมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเช่น สารพิษ
3. ไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการเติมอากาศ	3. ต้องมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการกวนให้น้ำเสียสัมผัสกับตะกอนแบคทีเรียให้มากที่สุด
4. ลดค่าใช้จ่ายโดยไม่ต้องใช้สารตัวกลาง	4. แบคทีเรียโดยเฉพาะพวกผลิตมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงสภาวะที่เหมาะสมแคบ เช่น พีเอชประมาณ 6.8 – 7.2
5. ต้องการธาตุอาหารเสริมน้อย	5. ต้องมีระบบบำบัดต่อเนื่องเพื่อลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้ได้ตามมาตรฐาน
6. ได้ก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง	6. ใช้เวลาในการเริ่มเดินระบบค่อนข้างนาน
7. สามารถเก็บรักษาตะกอนแบคทีเรียได้นาน 1 ปีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส จึงเป็นระบบที่สามารถใช้กับแหล่งผลิตที่มีน้ำเสียเป็นช่วงๆ ได้	

2.7 ระบบแอนแอโรบิกซีเควนซ์แบตช์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor) [5, 10, 11, 12, 13]

ระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศเป็นระบบเลี้ยงตะกอนชนิดหนึ่งที่มีการเติมน้ำเสียเป็นแบบแบตช์ (batch) เป็นบ่อหมักขนาดเล็กที่มีการเลี้ยงมวลชีวภาพที่มีความเข้มข้นสูงมาก การเลี้ยงมวลชีวภาพที่มีความเข้มข้นสูงนั้นต้องเริ่มต้นด้วยการเติมเชื้อเม็ดตะกอนชีวภาพจำนวนมาก ระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศประกอบด้วยหน่วยกวน และหน่วยตกตะกอนเป็นหน่วยเดียวกัน โดยทำหน้าที่ของแต่ละหน่วยในแต่ละช่วงเวลากัน รอบการทำงานของแต่ละถังมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนการป้อนน้ำทิ้ง เติมน้ำเสีย ตกตะกอน และระบายน้ำใส และตะกอนส่วนเกิน ตามลำดับ ซึ่งในการทำงานจะมีปริมาณถังปฏิกรณ์ที่ใหญ่กว่าในกระบวนการไหลแบบต่อเนื่อง และไม่มีขั้นตอนการเวียนน้ำกลับ เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการเดินระบบนั้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกันคือ ลักษณะของน้ำเสียหรือสับสเตรค คุณภาพน้ำทิ้งที่ต้องการ ความเข้มข้นของมวลชีวภาพ และอุณหภูมิของน้ำเสีย เป็นต้น ส่วนเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนจะอยู่ระหว่าง 10 - 30 นาที [5]

ตารางที่ 2.7 ข้อดีของระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศ [14]

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ไม่ต้องการมวลชีวภาพที่มีลักษณะเป็นเม็ด และไม่ต้องเลี้ยงมวลชีวภาพให้เป็นเม็ดเหมือนระบบยูเอเอสบี 2. ใช้ได้ดีกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอย 3. ง่ายต่อการออกแบบ และใช้งาน ผู้ที่ไม่มี ความเชี่ยวชาญก็สามารถควบคุมระบบได้ 4. ระบบนี้สามารถทนต่อสภาวะ shock load 5. สามารถกำหนดระยะเวลาในการระบายน้ำ ใสทิ้งได้ 6. ประหยัดพื้นที่เนื่องจากใช้ถังปฏิกรณ์เพียง ใบเดียว ซึ่งเป็นทั้งถังปฏิกรณ์และถัง ตกตะกอน	1. ระบบมีปริมาณถังปฏิกรณ์ที่ใหญ่เกินไป 2. คุณภาพของน้ำออกจากระบบ ขึ้นกับ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ระบายน้ำ 3. เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณไม่มากนัก 4. กรณีตะกอนจุลินทรีย์มีความเร็วในการตก ตะกอนต่ำจะทำให้แบคทีเรียหลุดออกนอก ระบบในระยะที่มีการดึงน้ำออกในปริมาณ มาก และส่งผลให้เกิดภาวะล้มเหลวใน ที่สุด

2.7.1 ขั้นตอนการเดินระบบบำบัดน้ำเสียของระบบซีเควนซ์แบดซ์ [10]

1. ขั้นเตรียมถัง

เป็นการเตรียมความพร้อมของถังปฏิกรณ์ กล่าวคือ ภายในถังปฏิกรณ์ จะต้องมีการเติมแบคทีเรีย (ตะกอนชีวภาพ) เพียงพอที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่จะเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ นอกจากนี้ปริมาตรที่เหลือในถังปฏิกรณ์พอที่จะรองรับน้ำทิ้งที่จะเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ในแต่ละแบดซ์

2. ขั้นเติมน้ำทิ้งและเดินระบบ

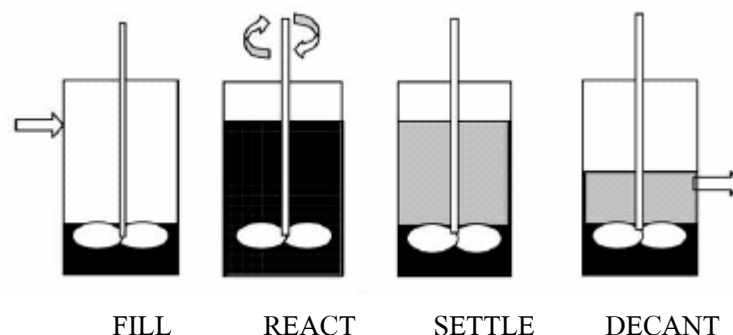
เป็นขั้นตอนที่แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนอยู่ในน้ำทิ้ง โดยอาศัยการกวนเพื่อให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียอย่างทั่วถึง นอกจากนี้ระยะเวลาในการกวนผสมต้องนานพอที่จะทำให้แบคทีเรียกำจัดสารอินทรีย์ได้ตามที่ต้องการ และแบคทีเรียที่เกิดขึ้นมีระดับการเติบโตที่สามารถเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มตะกอน (Floc) ที่สามารถตกตะกอนได้ในขั้นต่อไป

3. ขั้นตกตะกอน

เป็นขั้นตอนที่ใช้แยกตะกอนแบคทีเรียออกจากส่วนที่เป็นน้ำซึ่งมีคุณภาพดีแล้ว โดยการหยุดระบบกวนเพื่อให้เกิดสภาพนิ่ง และให้ตะกอนแบคทีเรียตกลงสู่ก้นถังปฏิกรณ์ ส่วนประสิทธิภาพของการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับลักษณะของกลุ่มตะกอน (Floc) ที่เกิดขึ้น ความนิ่งของน้ำในถังปฏิกรณ์ และระยะเวลาการตกตะกอน

4. ขั้นระบายน้ำใสและตะกอนส่วนเกิน

ขั้นตอนระบายน้ำส่วนใสหรือน้ำที่มีคุณภาพดีแล้วซึ่งอยู่ด้านบนของชั้นตะกอนแบคทีเรีย การระบายน้ำส่วนใสนี้จะใช้วิธีใดก็ได้ที่จะไม่ทำให้ตะกอนฟุ้งและหลุดออกไปเพราะจะทำให้ระยะเวลาการหยุดระบบกวนนานเกินไป ซึ่งเป็นผลเสียต่อแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ และหากในน้ำตะกอนมีสารไนเตรท (NO_3) ปริมาณมากก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในอัตราสูงจนอาจเกิดภาวะตะกอนลอยสำหรับการระบายตะกอนส่วนเกินไปกำจัดนั้นควรทำหลังจากระบายน้ำส่วนใสเรียบร้อยแล้ว เนื่องจากการระบายตะกอนอาจทำให้ตะกอนฟุ้ง ซึ่งหากมีการระบายน้ำส่วนใสขณะนั้นอาจทำให้ตะกอนที่ฟุ้งหลุดออกไปกับน้ำส่วนใสด้วย



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกซีเควนซ์แบดซ์ [13]

2.7.2 การเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสียของระบบแอนแอโรบิกชีแวนซึ่งแบคทีเรีย [10]

ปริมาณตะกอนแบคทีเรียที่นำมาใช้ ต้องมีปริมาณมากพอจนทำให้ระดับเอ็มแอลเอสเอสในถังเติมอากาศมีค่าไม่ต่ำกว่า 1,000 – 2,000 มก./ล. ถ้าเป็นตะกอนแบคทีเรียเปียกจะเติมน้ำก่อนหรือหลังก็ได้ โดยปกติมักมีการเติมน้ำเพื่อตรวจสอบสภาพการชำรุดของถังปฏิกรณ์ก่อน หลังจากนั้นป้อนน้ำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ให้เรียบร้อยแล้วก็เปิดระบบกวนให้เชื้อแบคทีเรียแขวนลอยอยู่ในน้ำตลอดเวลา ทั่วไป 2 – 3 วัน โดยยังไม่มีการเติมน้ำทิ้ง การเติมน้ำทิ้งลงในถังปฏิกรณ์ควรเป็นไปอย่างช้าๆ ซึ่งควรเริ่มต้นจากปริมาณน้ำทิ้ง 20 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดก่อน แล้วจึงเพิ่มทีละ 10 เปอร์เซ็นต์จนครบ 100 เปอร์เซ็นต์ และควรเดินระบบแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง (batch หรือเทลงไปครั้งเดียว) ก่อนให้นานที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ การเพิ่มปริมาณน้ำทิ้งในแต่ละขั้นอาจใช้เวลา 2–3 วันหรือ 1 สัปดาห์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับความพร้อมของแบคทีเรียซึ่งต้องมีปริมาณมากเพียงพอ และแข็งแรงสมบูรณ์

2.7.3 ขั้นตอนโดยย่อในการเริ่มเดินระบบของระบบแอนแอโรบิกชีแวนซึ่งแบคทีเรีย [10]

1. เติมน้ำให้เต็มถังปฏิกรณ์ (ยังไม่มีน้ำเสีย)
2. ระบายน้ำออกให้เหลือครึ่งถัง
3. เติมตะกอนแบคทีเรียปริมาณ 5 – 20 เปอร์เซ็นต์ของความจุถังปฏิกรณ์ หรือถ้าใช้ปริมาณมูลสัตว์ประมาณ 2 – 10 กก./ลบ.ม.ถึงถังปฏิกรณ์
4. เติมน้ำเสียให้กับถังปฏิกรณ์ตามกำหนดเวลา
5. ในกรณีน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม มีอัตราส่วน BOD:N:P น้อยกว่า 100:5:1 จำเป็นต้องเติมปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงในน้ำทิ้ง

2.7.4 การควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียของระบบแอนแอโรบิกชีแวนซึ่งแบคทีเรีย [10]

1. การควบคุมการป้อนน้ำเสีย

การป้อนน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ในขั้นเติมน้ำทิ้งและกวนจะต้องป้อนในอัตราที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอน ถ้าสิ้นเกินไปน้ำเสียสุดท้ายจะพุ่งแต่ถ้านานเกินไปก็จะเสียเวลาการกวนผสมหรือทำให้ตะกอนลอยเนื่องจากดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) มากเกินไป

2. การควบคุมระบบกวนผสม

การกวนผสมควรเริ่มพร้อมกับการเติมน้ำเสีย ต้องมีการชดเชยเวลาในการหยุดเพื่อตกตะกอนระยะเวลาการกวนผสมจะต้องนานพอสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

3. การควบคุมสถานะที่เหมาะสมอื่น ๆ ในขณะการกวนผสม

ในช่วงการกวนผสมนี้เป็นช่วงที่มีการบำบัดน้ำเสีย โดยแบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทิ้ง ซึ่งแบคทีเรียจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ก็ต่อเมื่อจะต้องควบคุมสถานะในถังปฏิกรณ์ให้เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียเช่น อาหารเสริม (Nutrient) ที่เพียงพอ มีค่าพีเอชที่เหมาะสม และระบบกวนผสมจะต้องเป็นไปอย่างทั่วถึงเพื่อป้องกันการเกิด dead phase

4. การควบคุมการตกตะกอนและระบายน้ำส่วนใส

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดระบบกวนผสมเพื่อตกตะกอน และระบายน้ำส่วนใสขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการตกตะกอน และอัตราการระบายน้ำส่วนใส ซึ่งถ้าประสิทธิภาพการตกตะกอนดี และอัตราการระบายน้ำส่วนใสสูงจะทำให้ระยะเวลาการหยุดการกวนผสมสั้นลง นอกจากนี้ในช่วงการตกตะกอนและระบายน้ำส่วนใสจะต้องควบคุมให้น้ำมีสภาพนิ่งมากที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนฟุ้งกระจายหลุดออกไปกับน้ำส่วนใส ซึ่งควรให้ความสำคัญในการควบคุมอัตราไหลผ่านช่องระบายออก (Decanting Rate)

5. การควบคุมการสูบน้ำตะกอนไปกำจัด

การควบคุมอัตราการสูบน้ำตะกอนส่วนเกินไปกำจัด มีความคล้ายคลึงกับระบบเลี้ยงตะกอน ซึ่งอาจมีวิธีการควบคุมแบบใดแบบหนึ่ง ดังต่อไปนี้

1. ควบคุมค่าเอ็มแอลเอสเอส
2. ควบคุมค่าอายุตะกอน (Sludge Age)
3. ควบคุมค่าความสูงของชั้นตะกอนในขั้นตอนการตกตะกอน
4. ควบคุมค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมวลสารอินทรีย์ (Food) ต่อน้ำหนักแบคทีเรีย (Mass)

หรือ F/M Ratio สำหรับปริมาณตะกอนที่ต้องกำจัดนั้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์รวมที่เข้าระบบ หรือค่า BOD Loading และขนาดของถังปฏิกรณ์ ส่วนการกำจัดตะกอนควรสูบน้ำในช่วงการตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนที่จะนำไปกำจัดมีค่าความเข้มข้นสูงเป็นการลดปริมาณตะกอนที่จะนำไปกำจัด

2.8 ปาล์มน้ำมัน [14, 15]

ปาล์มน้ำมันที่พบได้ทั่วไปมีหลายชนิด แต่ปาล์มน้ำมันที่ปลูกเพื่อการค้าเรียกว่า African Oil Palm จัดตามอนุกรมวิธาน ดังนี้

Class : Angiospermae

Subclass : Monocotyledon

Order : Palmae

Subfamily : Cocoides

Genus : Elaeis

Species : guineensis

Scientific name : *Elaeis guineensis* Jacq.

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นขนาดใหญ่ซึ่งจะมีอายุการเพาะปลูกในสวนประมาณ 20 – 25 ปี โดยจะสามารถให้ผลผลิตหลังจากปลูกลงในแปลง 32 - 38 เดือนขึ้นไป น้ำมันเป็นผลผลิตหลักที่ได้จากปาล์มน้ำมัน และเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นพบว่า เป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อไร่สูงที่สุด เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากผลปาล์มนั้นมีคุณสมบัติทางเคมีที่ดีที่สุดประเภทหนึ่ง ปาล์มน้ำมันจึงเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศและของโลก [8] พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตของไทย 1,844,266 ไร่ ปี 2547 ขยายตัวต่อเนื่องโดยร้อยละ 95 ของพื้นที่ทั้งหมดอยู่ในภาคใต้ ซึ่งมีจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพรเป็นแหล่งผลิตใหญ่คิดเป็นร้อยละ 75 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด [19]



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.6 ลักษณะทลายของปาล์มน้ำมัน (ก) และเมล็ดของปาล์มน้ำมัน (ข) [15]

น้ำมันที่สกัดจากผลปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งการอุปโภค และบริโภคหลักๆ [10] ดังต่อไปนี้

1. ทำน้ำมันพืช
2. ทำครีมเทียม
3. ทำนมข้นจืดและหวาน

4. ทำเนยขาวและเนยเทียม
5. ใช้ในอุตสาหกรรมของว่าง และของขบเคี้ยว
6. ใช้ในอุตสาหกรรมขนมปังสำเร็จรูป
7. ทำเครื่องสำอาง
8. ทำสบู่
9. ทำส่วนผสมยางรถยนต์
10. ทำส่วนผสมน้ำมันหล่อลื่น
11. ทำน้ำมันดีเซล
12. ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก
13. อื่น ๆ

กระบวนการสกัดน้ำมันเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ และเป็นการทำให้น้ำมันดิบ (crude oil) ที่มีคุณภาพสูงที่สุดเพื่อใช้ในการแปรรูปต่อไป เมื่อผ่านขั้นตอนการสกัดน้ำมันให้ได้น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) ที่ได้จากส่วนของเปลือก (mesocarp) และน้ำมันเนื้อมัน (palm kernel oil) ที่ได้จากชั้นของเนื้อมันแล้วน้ำมันที่ได้ออกมาเรียกว่าน้ำมันดิบ (crude oil) ก็จะส่งไปยังโรงกลั่นน้ำมันบริสุทธ์ และโรงงานแปรรูปต่างๆ และที่จะเป็นอนาคตของประเทศไทยคือ การนำไปทำน้ำมันไบโอดีเซล ในปัจจุบัน และอนาคตความต้องการใช้น้ำมันปาล์มที่มากขึ้นอย่างหนึ่งคือ ใช้ทำไบโอดีเซลซึ่งจากการค้นคว้าวิจัยพบว่า วัตถุดิบอย่างน้ำมันปาล์มใช้ในการทำไบโอดีเซลได้

2.9 ไบโอดีเซล [2, 16, 17]

ในอดีตที่ผ่านมาเรานำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศถึงร้อยละ 90 (ประเทศไทยมีแหล่งน้ำมันอยู่เพียงร้อยละ 2 เท่านั้น เมื่อเทียบกับความต้องการใช้ทั้งหมด) ซึ่งประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณมาก จนถึงปัจจุบันสถานการณ์ก็ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง อีกทั้งราคาน้ำมันและความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลซึ่งนับว่ามีผลกระทบกับผู้บริโภคมากที่สุด เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงจำเป็นในโรงงานอุตสาหกรรมเกือบทุกแขนงรวมถึงการขนส่งต่างๆ ทำให้เกิดความตื่นตัวและหันมาพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนภายในประเทศอย่างจริงจังเพื่อทดแทนการนำเข้ากระแสน้ำมันไบโอดีเซลจึงเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งที่น่าจับตามองที่ทั้งทางภาครัฐ และภาคเอกชนต่างมีแนวคิดพัฒนาคิดค้นสูตรต่างๆ และพยายามผลักดันให้ผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจ และกล้าที่จะใช้ไบโอดีเซลมากยิ่งขึ้น วัตถุดิบที่ใช้ผลิตน้ำมันพืชสกัดได้จากพืชน้ำมันทุกชนิด การพิจารณาเลือกใช้พืชชนิดใดนั้นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบ ปริมาณของน้ำมันในพืชแต่ละชนิด และความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้นๆ ด้วย เช่น ปาล์มน้ำมันมีราคาผลผลิตสูงและราคาถูกรองลงมาคือ น้ำมันมะพร้าว เนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่มีการปลูกมากในประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว และ

น้ำมันพืชสกัดใหม่อีก 8 ชนิด

1. น้ำมันปาล์ม
2. น้ำมันมะพร้าว
3. น้ำมันถั่วเหลือง
4. น้ำมันถั่วลิสง
5. น้ำมันละหุ่ง
6. น้ำมันงา
7. น้ำมันเมล็ดทานตะวัน
8. น้ำมันสบู่ดำ

ประเทศไทยมีการผลิตปาล์มน้ำมันสูงที่สุดประมาณ 3.3 ล้านตัน รองลงมาได้แก่ มะพร้าวประมาณ 1.4 ล้านตัน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร และสหกรณ์ ได้รายงานปริมาณผลผลิตของพืชน้ำมัน 6 ชนิด ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย (หน่วย : พันตัน) [18]

ปี พ.ศ.	ปาล์มน้ำมัน	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	ละหุ่ง	งา
2538/2539	2,255	1,413	386	147	6	34
2539/2540	2,688	1,419	359	147	6	34
2540/2541	2,681	1,386	338	126	6	35
2541/2542	2,465	1,372	321	135	7	36
2542/2543	3,512	1,381	319	138	7	37
2543/2544	3,256	1,400*	324*	135*	9*	39*

* = ตัวเลขคาดการณ์

2.9.1 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล [19]

ไบโอดีเซลสามารถแบ่งตามประเภทของน้ำมัน ที่นำมาใช้ได้ออกเป็น 3 ประเภท

1. น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้ก็คือน้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันหมู ซึ่งสามารถใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องเติมสารเคมีใดๆ หรือไม่ต้องเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันก่อนการใช้งาน ทำให้ประหยัดเวลา และทรัพยากร

2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม

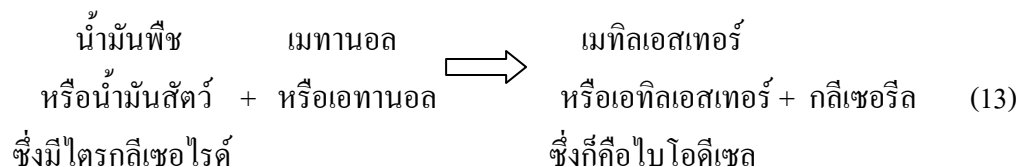
ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซลหรืออะไรก็ได้เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคโคดีเซล (coco - diesel) หรือระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล เรียกว่าปาล์มดีเซล (palm-diesel)

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

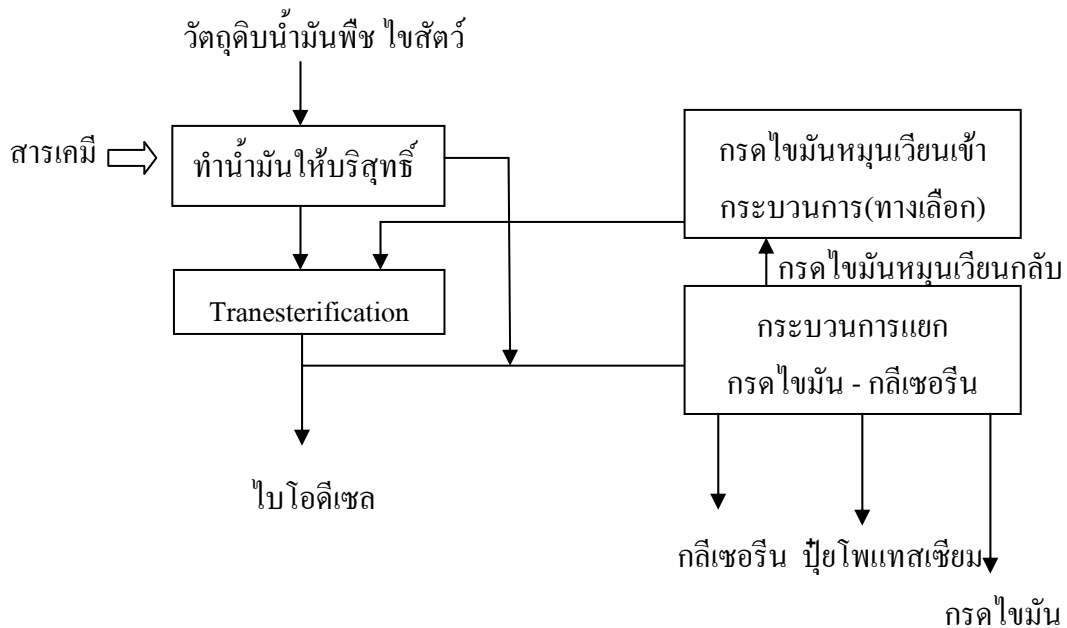
ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นความหมายของไบโอดีเซลที่แท้จริงที่ต่างประเทศใช้กันทั่วไปเช่น ในเยอรมัน สหรัฐอเมริกา และมาเลเซีย สำหรับไบโอดีเซลประเภทนี้ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) คือ การทำปฏิกิริยากันระหว่างน้ำมันพืช หรือสัตว์ที่มีกรดไขมันกับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้เอสเทอร์โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิดนี้มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ทำให้ไม่เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์แต่ต้นทุนการผลิตสูง

2.9.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นศัพท์ที่วิชาการบัญญัติใช้เรียกเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) หรือเรียกสั้นๆ ว่า กระบวนการเอสเทอร์ของน้ำมันพืช ไขมันสัตว์หรือน้ำมันใช้แล้ว โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ (เอทานอลหรือเมทานอล) และตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์เป็น Organic Acid Esters ได้ผลผลิตที่มีลักษณะคล้ายคลึงน้ำมันดีเซลมากที่สุด นำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลหรือเป็นส่วนผสมในดีเซล สามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์แต่อย่างใด และให้พลังงานเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล อีกทั้งยังได้กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลพลอยได้ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรม ยา สบู่ เครื่องสำอาง และอื่นๆ มีหน่วยนำแอลกอฮอล์กลับคืนมา ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนส่วนนี้ลงได้อีกมาก [20]



รูปที่ 2.7 หลักการผลิตไบโอดีเซล [18]



รูปที่ 2.8 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล (บริษัท NOPEC ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.9.3 ข้อดีและข้อเสียของไบโอดีเซลเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.9.3.1 ข้อดีของไบโอดีเซล

1. ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการ ไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel Board) การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันมิให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (ซึ่งมีสารก่อมะเร็ง) ไปผลิตเป็นอาหารสัตว์

2. ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์

การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1 - 2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วนร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากในไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

3. ด้านเศรษฐศาสตร์

การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค การใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000 ล้านบาท

4. ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศ

ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมากตลาดน้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินกว่า 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้อยู่ภายในประเทศ ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้ การผสมน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1 - 2 สามารถเพิ่มความหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้ โดยเฉพาะกรณีที่จะมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

5. ด้านความมั่นคง

การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศถือเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ

6. ด้านผลกระทบของไบโอดีเซลต่อเครื่องยนต์

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลนั้นมีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือว่าไม่มีผลทางด้านลบ หรือกรณีเครื่องยนต์เก่าอาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลยางบางส่วนเท่านั้นเอง

2.9.3.2 ข้อเสียของไบโอดีเซล

1. ปริมาณวัตถุดิบในประเทศไทยยังไม่เพียงพอ
2. ยังไม่มีประกาศใช้มาตรฐานไบโอดีเซลภายในประเทศที่จะช่วยผลักดันในการพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซล
3. ราคาของวัตถุดิบและสารเคมีในการผลิตยังไม่สามารถแข่งขันกับน้ำมันดีเซลได้แต่หากมีกลีเซอรินซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตมาช่วยลดต้นทุนการผลิต อาจช่วยให้เพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับน้ำมันดีเซลได้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sharma, Singh (2001) [21] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเริ่มต้นระบบโดยใช้ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ และมีการวิจัยถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นสุราโดยป้อนสารอาหารเสริมหลัก (macronutrient) เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และธาตุอาหารเสริมรอง (micronutrient) เช่น เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ที่อุณหภูมิสถานะเมโซฟิลิก การทำงานของแคลเซียม และฟอสฟอรัส รวมถึงการทำงานของเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์แต่ละตัวรวมถึงการทำงานรวมกันนั้นทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และการเกิดเม็ดตะกอนแบคทีเรียได้ สรุปได้ว่า การเติมฟอสฟอรัส และแคลเซียมในน้ำเสียจากโรงกลั่นสุราทำให้คุณภาพของตะกอนแบคทีเรียเสื่อมลงหากในน้ำเสียนั้นมีสารอาหารเสริมหลักเพียงพอสำหรับระบบไร้อากาศอยู่แล้ว ส่วนสารอาหารเสริมรองสามารถปรับปรุงค่า Sludge Volume Index (SVI) และการทำงานของขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทน โดยเพิ่มเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ปริมาณ 0.1, 10 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำเสียของโรงกลั่นสุรา

Cresson และคณะ (2006) [22] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจการสร้างตัวของไบโอฟิล์มในระบบไร้อากาศ จุดประสงค์เพื่อการควบคุมการสร้างไบโอฟิล์มและลดช่วงเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบไร้อากาศแบบ high-rate biofilm โดยการเพิ่มค่าอัตราการรับภาระสารอินทรีย์จาก 0.5 ถึง 20 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน อัตราการกำจัดซีโอดี 80% ค่า HRT คงที่ ระยะเวลาดำเนินงาน 90 วัน ในระยะเริ่มแรกมีการกำจัดซีโอดี 90% พร้อมทั้งมีการสร้างตัวของไบโอฟิล์มอย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นที่การรับอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ 6 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวันทำให้ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์เสื่อมลงอย่างฉับพลัน เกิดกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้ง และการทำงานของขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทนของไบโอฟิล์มจะลดลง เนื่องจากสารอาหารเสริมรองเป็นตัวกำหนด (micronutrient limitation) โดยหลังจากป้อนโคบอลต์ และนิกเกิล ทำให้การทำงานของขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทน และการกำจัดซีโอดีฟื้นฟูสูงขึ้น สรุปได้ว่าสารอาหารเสริมสำคัญต่อการเพิ่มค่าการรับอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ จนกระทั่งถังปฏิกรณ์มีค่าการรับอัตราการรับภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 20 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน และประสิทธิภาพของการกำจัดคาร์บอนมากกว่า 90%

Saatci และคณะ (2003) [23] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันดอกทานตะวัน ณ Elazir (Turkey) ทำในระดับห้องปฏิบัติการที่สถานะเมโซฟิลิกโดยใช้ระบบยูเอเอสบี ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัด total liquid (TL) Fatty acid (FA) (linoleic, oleic, myristic, palmitic, stearic, arashidic, behenic และกรดไขมันอื่นๆ) มากกว่า 70% ที่อัตราการรับภาระสารอินทรีย์ระหว่าง 1.6 – 7.8 kg COD/m³.d และค่า HRT ที่เหมาะสมที่สุดคือ 2.0 และ 2.8 วัน อัตราการเปลี่ยนแปลงซีโอดีไปเป็นก๊าซมีเทน 0.16 และ 0.354 ลูกบาศก์เมตรมีเทนต่อกิโลกรัมซีโอดีดี ประสิทธิภาพการกำจัด Total

Fatty Matterial 74 – 88%, TL 70 – 94% และ FA 81 - 95%

Yacob และคณะ (2006) [24] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์มเกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมนี้ มีสาเหตุจากส่วนประกอบที่เป็นสารเคมีและปริมาตรที่ปะปนออกมา จึงต้องอาศัยการบำบัดเพื่อลดปริมาณมลพิษก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยใช้ถังปฏิกรณ์ระบบปิดปริมาตร 500 ลูกบาศก์เมตรและเปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์ระบบเปิด ซึ่งขณะเริ่มต้นมีการกำจัดชีโอดี 97% และอัตราส่วนระหว่าง VFA/Alkalinity คือ 0.1 และ 0.3 , HRT ที่ต่ำที่สุดคือ 17 วัน โดยจะใช้เวลาน้อยกว่า 3 เดือนจะเริ่มมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในปริมาณมาก แต่อย่างไรก็ตามอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดลงเมื่อเพิ่มค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และผลของการเปลี่ยนองค์ประกอบของสารเคมีในน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์มจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบ การเริ่มต้นของกระบวนการนี้ทำโดยการเพิ่มการทำงานให้แก่แบคทีเรียซึ่งจะแสดงในเทอมของเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี, pH, VFA/Alkalinity และ HRT

Bodik และคณะ (2002) [13] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิและค่า HRT ที่มีต่อการเริ่มต้นระบบ และควบคุมระบบบำบัดให้อยู่ใน steady-state ของระบบ UAF (upflow anaerobic filter) และระบบเอสปีอาร์ไร้อากาศ (AnSBR) ซึ่งการทดลองนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นจากชุมชนเล็กๆ โดยมีการเติมส่วนผสมระหว่างกลูโคสและโซเดียมอะซิเตดลงในน้ำเสียจริงเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 9 - 23 องศาเซลเซียส และ HRT 6 - 46 ชั่วโมง เป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีเฉลี่ยสำหรับถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศเท่ากับ 56 - 88% และระบบ UAF 46 - 92% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และค่า HRT

Borja และคณะ (1996) [25] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์มโดยระบบยูเอเอสบีแบบ 2 - stage โดยมีถังปฏิกรณ์สร้างกรด (acidogenic) ในน้ำเสียที่เข้าระบบมีของแข็งแขวนลอย 5.4 กรัมต่อลิตร และมีการเพิ่มอัตราการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็นระยะๆ เป็นเวลากว่า 100 วัน อัตราการผลิตกรดสูงที่สุดคือ 4.1 กรัมต่อลิตรต่อวันของกรดอะซิติกที่อัตราการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน HRT 0.9 วัน พีเอชประมาณ 5.9 ทำการเจือจางน้ำเสียและปรับพีเอชที่ออกจากถังปฏิกรณ์สร้างกรดก่อนป้อนลงในถังปฏิกรณ์ที่สร้างก๊าซมีเทน แล้วจึงเพิ่มอัตราการรับภาระสารอินทรีย์กระทั่ง 60 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีลดลง เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยสาวยาว ส่วนอัตราการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 30 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวันจะเกิดการผลิตก๊าซมีเทนสูง และลดค่าชีโอดีได้กว่า 90% โดยมีการเวียนน้ำเพื่อลดปริมาณการเติมต่างในถังปฏิกรณ์สร้างกรด ระยะเวลาการเดินระบบรวมทั้งสองถังถึง 175 วัน ถังปฏิกรณ์

ทั้งสองมีการเกิดเมืงตะกอนแบคทีเรีย โดยถึงปฏิกรณ์สร้างกรดมีการเกิดเมืงตะกอนหลังจาก 80 วัน และสำหรับถึงปฏิกรณ์ที่สร้างก๊าซมีเทน 110 วัน

Kayhanian, Rich (1995) [7] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสัดส่วนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อ municiple solid waste โดยอาศัยกระบวนการไร้อากาศ ซึ่งจากค่าสัดส่วนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อ municiple solid waste ของผลการนี้ชี้ให้เห็นว่า ปริมาณสารอาหารเสริมหลักและสารอาหารเสริมรองไม่เพียงพอต่อเสถียรภาพ และประสิทธิภาพที่ดีของถังปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงมีการเติมสารอาหารเสริมพวกสารเคมีบางตัว ซึ่งจะทำให้อัตราการผลิตก๊าซสูงขึ้นและทำให้ระบบเกิดความคงตัวขึ้นอีกด้วย และการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่า การเติมBOF/MSM:manure:sludgeในอัตราส่วน 7:1:0.5 เป็นอัตราส่วนที่เพียงพอซึ่งมีการผลิตก๊าซสูงขึ้น 30% ทั้งยังทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น ซึ่งหากเติมสารเคมีสูงเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการสะสมของสารพิษ กรณีเติมต่างก็อาจเกิดการสะสมของเกลือมากจนเป็นพิษได้

Kida และคณะ (2001) [26] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความต้องการ Ni^{2+} และ Co^{2+} ซึ่งมีผลต่อการทำงานของขั้นตอนการสร้างมีเทน และเป็นโคเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการสร้างมีเทนด้วย โดยระบบไร้อากาศใช้น้ำเสียที่มีอะซิเตตเป็นแหล่งคาร์บอน เมื่อเติม Ni^{2+} และ Co^{2+} ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าความเข้มข้นของโคเอนไซม์ F_{430} และโคลินอยด์ในมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น 0.62 ไมโครโมลของนิกเกิลต่อกรัมวีเอสเอส และ 0.67 ไมโครโมลของนิกเกิลต่อกรัมวีเอสเอส ตามลำดับ อีกทั้งการทำงานในขั้นตอนการสร้างมีเทนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการเจือจางสูงขึ้น อย่างไรก็ตามสรุปได้ว่าการเติม Ni^{2+} และ Co^{2+} มีความสำคัญในขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทน

Parawira และคณะ (2005) [27] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีจากโรงงานหมักเบียร์ดำ ระยะเวลาการศึกษานาน 2 ปี ถึงปฏิกรณ์ที่ใช้มีขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร และเวลาในการกักเก็บ 24 ชั่วโมง ซึ่งจุดประสงค์ของการทดลองครั้งนี้คือ การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบีโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานหมักเบียร์ดำ น้ำเสียดังกล่าวมีปริมาณของแข็งและสารอินทรีย์สูงซึ่งเป็นเหตุให้จำเป็นต้องผ่านการบำบัดในเบื้องต้นก่อนเข้าสู่ระบบยูเอเอสบี ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การลดลงของซีโอดีเท่ากับ 57% ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งนอนก้นลดลง 50 และ 90% ตามลำดับ ในน้ำที่ออกจากระบบยูเอเอสบีมีระดับอโตะฟอสเฟต และไนโตรเจนสูงกว่าในน้ำที่ป้อนเข้าระบบซึ่งจะนำไปสู่การสะสมของสารอาหารในระบบ จากผลการทดลองพบว่า การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานหมักเบียร์ดำโดยใช้ระบบยูเอเอสบีนั้น ปรากฏว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบมีคุณภาพที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

Chinnaraj, Vencoba Rao (2006) [28] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากน้ำล้างขานอ้อยในการผลิตเยื่อกระดาษของโรงงานผลิตกระดาษด้วยระบบยูเอเอสบีแทนการบำบัดน้ำเสียด้วยบ่อไร้อากาศ โดยมีน้ำเสียปริมาตร 12 ล้านลิตรต่อวัน และถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ล้านลิตร ค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5.75 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เวลาในการกักเก็บ 20 ชั่วโมง ระบบนี้สามารถกำจัดชีโอดี 80 – 85% และผลิตก๊าซชีวภาพได้ลดลง 520 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดี ซึ่งในระยะเวลา 11 เดือนสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 4.4 ล้านลูกบาศก์เมตร มีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ใน Lime kiln 2.14 ล้านลิตรในเตาน้ำมันเป็นเวลา 9 เดือน เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิตช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงของโรงงานได้ถึง 6.4 Gg CO₂ ซึ่งการเปลี่ยนจากระบบบ่อไร้อากาศเป็นถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีนั้นสามารถช่วยลดการสูญเสียก๊าซมีเทนได้ 2.1 Gg เทียบได้กับ 43.8 Gg CO₂

Najafpour และคณะ (2006) [29] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (POME) โดยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสเอฟเอฟ (Upflow Anaerobic Sludge Fixed Film, UASFF) ซึ่งเป็นถังปฏิกรณ์แบบตะกอนเม็ด และเป็นถังปฏิกรณ์แบบผสมที่มียูเอฟเอฟ (Upflow Fixed-Film, UFF) อยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ และยูเอสบีอยู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ซึ่งวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อลดระยะเวลาในการเริ่มเดินระบบให้สั้นลง (ระบบยูเอสบีจะมีปัญหาในใช้ระยะเวลาในการเริ่มเดินระบบนานถึง 2 - 4 เดือน) และสามารถควบคุมให้มีเวลาในการกักเก็บสั้นๆได้ โดยทดลองที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส HRT 1.5 และ 3 วัน การรับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.63 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึง 23.15 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าแบคทีเรียพัฒนาเป็นตะกอนเม็ดอย่างรวดเร็วภายใน 20 วัน ที่ HRT 1.5 และ 3 วันจะสามารถกำจัดชีโอดีได้สูง 89 และ 93% ตามลำดับ สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.361 ลิตรมีเทนต่อชีโอดีที่ถูกกำจัดไป ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงสุด การที่มี fixed-film ภายในระบบจะเป็นตัวช่วยให้แบคทีเรียไม่หลุดออกจากระบบ อีกทั้งยังสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการสร้างตะกอนเม็ดของแบคทีเรียได้อีกด้วย

บทที่ 3 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี 2 รอบ น้ำเสียรอบที่ 1 มาเจือจางไว้เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ โดยน้ำเสียก่อนเจือจาง และน้ำเสียหลังจากเจือจางรอบที่ 1 มีลักษณะจำเพาะ (Characteristic) ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งป้อน น้ำเสียรอบที่ 1 ในถังยูเอสบีกระทั่งถึงวันที่ 179 ของการทดลอง และในถังเอสบีอาร์ไร้อากาศ ถึงวันที่ 124 ของการทดลอง ส่วนน้ำเสียที่นำมาทดลองรอบที่ 2 นำมาเจือจางเก็บไว้ เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ โดยน้ำเสีย ก่อนเจือจาง และน้ำเสียหลังเจือจางรอบที่ 2 มีลักษณะจำเพาะ ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งป้อนน้ำเสียรอบที่ 2 ในถัง ปฏิกรณ์ยูเอสบีจากวันที่ 179 ถึงสิ้นสุดการทดลอง และในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศ จากวันที่ 124 ถึงสิ้นสุด การทดลองกำหนดค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ 1 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน และมีการเติมสารอาหารเสริมดังตารางที่ 3.3 ส่วนขั้นตอนการเติมสารอาหารเสริม ดังตารางที่ 3.4 และ 3.5

ตารางที่ 3.1 ลักษณะจำเพาะ (Characteristic) ของน้ำเสียที่ได้จากของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มรอบที่ 1

พารามิเตอร์	ช่วงค่าที่วิเคราะห์ (ก่อนเจือจาง)	ช่วงค่าที่วิเคราะห์ (หลังเจือจาง)
ชีโอดี (COD)	1,500,000 - 2,300,000 mg/l	25,000 - 90,000 mg/l
พีเอช (pH)	11 - 13	-
ความเป็นด่างทั้งหมด (Alkalinity)	662.5 mg/l as CaCO ₃	-
วีเอฟเอในรูปกรดอะซิติก (VFA)	375 mg/l as Acetic acid	-
เจดาคัลไนโตรเจน (TKN)	74,500 mg/l as N	130 - 560 mg/l as N
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	5,100 mg/l as P	1 - 9 mg/l as P
ของแข็งแขวนลอย (SS)	1,800 - 2,100 mg/l	-

ตารางที่ 3.2 ลักษณะจำเพาะ (Characteristic) ของน้ำเสียที่ได้จากของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มรอบที่ 2

พารามิเตอร์	ช่วงค่าที่วิเคราะห์ (ก่อนเจือจาง)	ช่วงค่าที่วิเคราะห์ (หลังเจือจาง)
ชีโอดี (COD)	1,430,000 - 1,670,000 mg/l	35,000 - 90,000 mg/l
พีเอช (pH)	10 - 11	-
ความเป็นด่างทั้งหมด (Alkalinity)	13,300 mg/l as CaCO ₃	-
วีโอเฟในรูปกรดอะซิติก (VFA)	2,500 mg/l as Acetic acid	-
เจดาคัลไนโตรเจน (TKN)	24,200 mg/l as N	17 – 84 mg/l as N
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	230 mg/l as P	3 - 24 mg/l as P
ของแข็งแขวนลอย (SS)	1,700 - 2,000 mg/l	-

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ระบบยูเอเอสบี และถังปฏิกรณ์ระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศ ถังน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัด ปัมป์เวียนน้ำทิ้งกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 ระบบยูเอเอสบี (UASB Reactor)

3.2.1.1 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีทำจากพลาสติกอะคริลิกใสจำนวน 2 ถังแต่ละถังมีปริมาตรความจุ 5 ลิตร (ปริมาตรกักเก็บน้ำ 4.8 ลิตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความสูง 120 เซนติเมตร ด้านบนของถังมีชุดแยกก๊าซ และตกตะกอน รายละเอียดดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

3.2.1.2 ถังรองรับน้ำออก

ถังรับน้ำออกใช้ถังพลาสติกใสขนาด 6 ลิตร

3.2.1.3 ถังน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัด

ถังน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดใช้ถังพลาสติกใสขนาด 6 ลิตร

3.2.1.4 ปัมป์เวียนน้ำทิ้งกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์

ปัมป์เวียนน้ำทิ้งกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ใช้เครื่องสูบน้ำรุ่น AP 1600 (220-240 V A.C. 50 Hz 23 W) 2 เครื่อง

3.2.1.5 เครื่องตั้งเวลา (Timer)

3.2.2 ระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศ (AnSBR reactor)

3.2.2.1 ถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศ

ถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศทำจากขวดแก้วรูปชมพู่จำนวน 2 ใบ แต่ละใบมีปริมาตรความจุ 1 ลิตร (ปริมาตรกักเก็บน้ำ 0.8 ลิตร) ด้านบนมีชุดแยกก๊าซ จุดดิ่งน้ำออก และจุดรับน้ำเข้า รายละเอียดดังรูปที่

3.3 และ 3.4

3.2.2.2 เครื่องกวนแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)

3.2.3 เชื้อจุลินทรีย์

ใช้ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นจากระบบมาจากถังหมักตะกอนแบบไร้อากาศ กองควบคุมคุณภาพน้ำ โรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม กรุงเทพมหานคร ตะกอนแบคทีเรียมีลักษณะเป็นกลุ่มตะกอน (floc) ผ่านการรีดน้ำ (Dewatered sludge)

3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

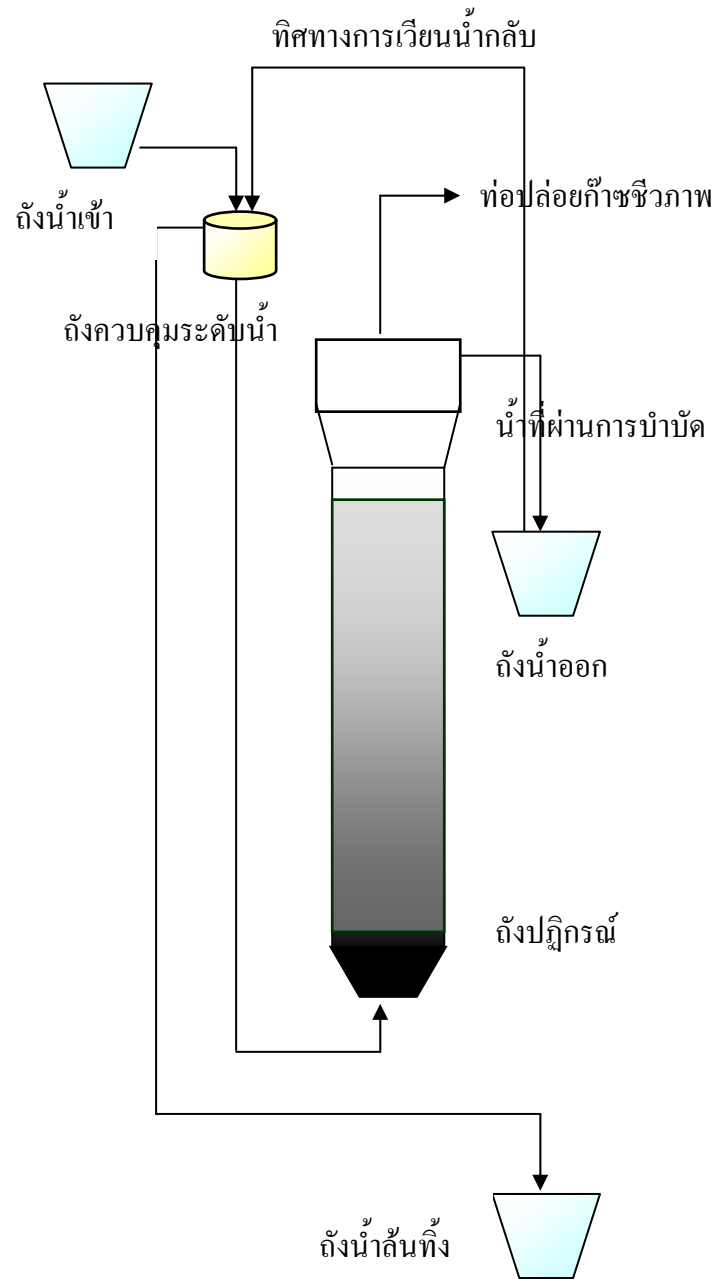
1. เครื่องมือวัดพีเอช (pH Meter)
2. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
3. ตู้อบอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (Oven)
4. เตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส (Muffle Furnace)
5. เตาไฟฟ้า (Hot Plate)
6. ตู้ดูดควัน (Fume Hood)
7. เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analysis Balance)
8. เครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum Pump)
9. เครื่องกวนแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
10. โถดูดความชื้น (Deccicator)
11. เครื่องมือในการย่อยสลายเพื่อหาค่า TKN (Micro-Kjeldahl Digestion Unit)
12. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
13. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
14. แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)

ตารางที่ 3.3 สารอาหารเสริมสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ [7]

สารอาหาร	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สารอาหาร	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
สารอาหารเสริมหลัก		ZnCl_2	0.5
NH_4Cl	400	$\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	0.5
KCl	400	H_3BO_3	0.5
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	400	$\text{CuCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{Na}_2\text{S}_9\text{H}_2\text{O}$	300	$\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	0.5
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	80	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50	Na_2SeO_4	0.5
		NH_4VO_3	0.5
		$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	0.5
สารอาหารเสริมรอง			
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	40	NaHCO_3	3,000 – 5,000
$\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	10		
KI	10		
$\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	0.5		

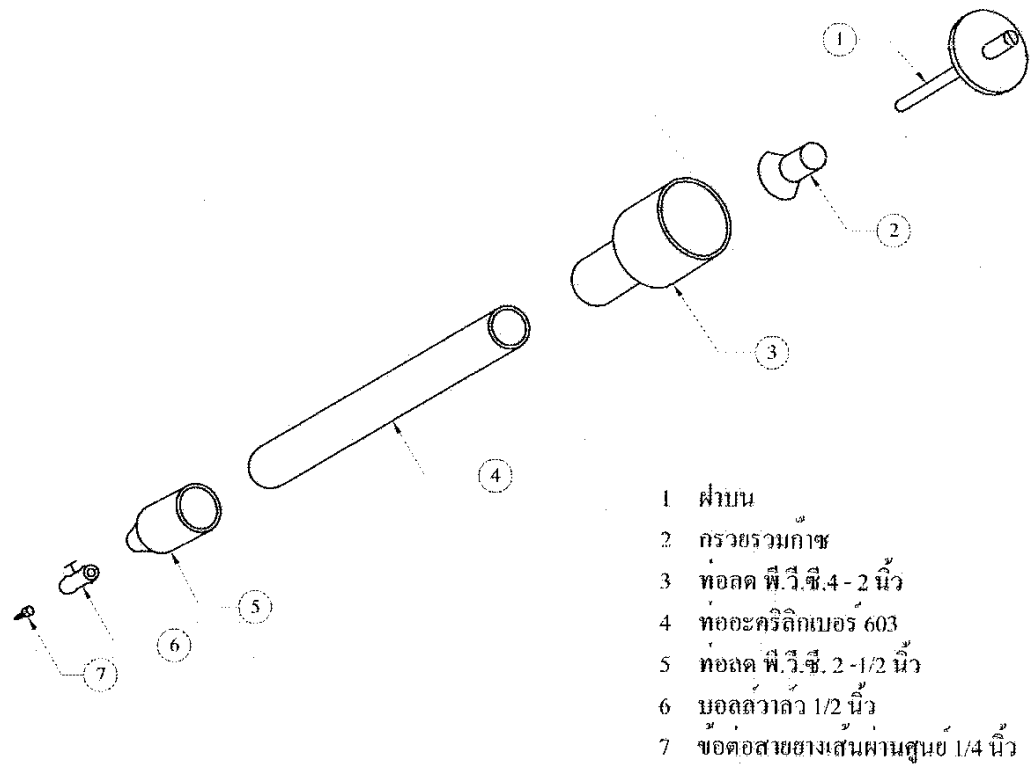


(ก)



(ข)

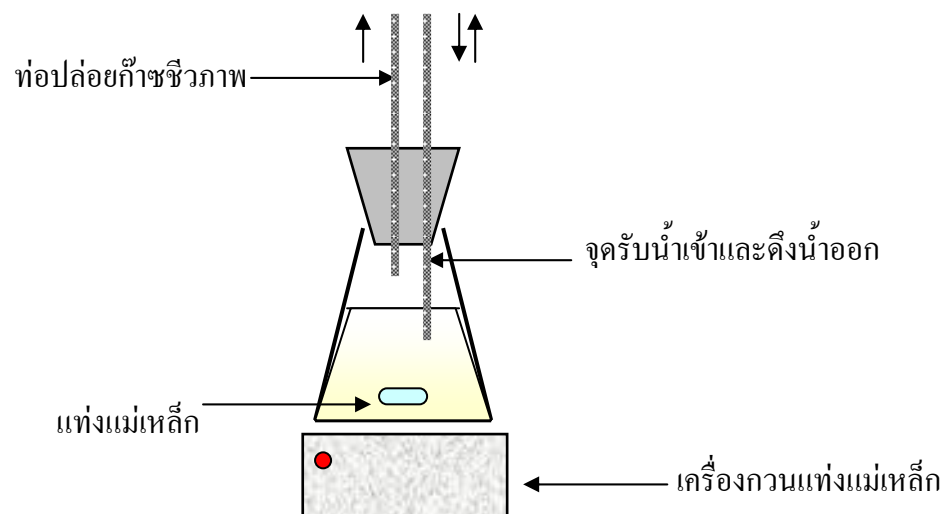
รูปที่ 3.1 ชุดแบบจำลองถังปฏิกิริยาชีวเอเสปี (UASB Reactor) ชุดที่ 1 และ 2 (ก)
ทิศทางการไหลของถังปฏิกิริยาชีวเอเสปี (UASB Reactor) ชุดที่ 1 และ 2 (ข)



รูปที่ 3.2 สักส่วนของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี (UASB Reactor)



รูปที่ 3.3 ชุดแบบจำลองถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศ (AnSBR reactor) ชุดที่ 1 และ 2



รูปที่ 3.4 ทิศทางการไหลของถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศ (AnSBR reactor) ชุดที่ 1 และ 2

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

งานวิจัยครั้งนี้ดำเนินการ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยจำลองถึงปฏิกิริยา 2 ระบบประกอบด้วย ถังยูเอเอสปีขนาดปริมาตร 5 ลิตร จำนวน 2 ชุด และถังเอสปีอาร์ไร้อากาศขนาดปริมาตร 1 ลิตรจำนวน 2 ชุด

ขั้นตอนที่1 ขั้นตอนก่อนการเติมสารอาหารเสริม

1. นำมวลชีวภาพเริ่มต้นใส่ในถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ถัง
2. เริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ 1 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ทำการเพิ่มค่าการรับภาระอินทรีย์ขึ้นเรื่อยๆ โดยเพิ่มได้ก็ต่อเมื่อน้ำทิ้งมีค่าชีโอดีต่ำและค่อนข้างคงที่หรือมีค่าการกำจัดชีโอดีเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ (โดยทั่วไปมักใช้เวลา 2 สัปดาห์) การเพิ่มค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีของระบบต่ำลงเหลือประมาณ 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วจึงทำการป้อนสารอาหารเสริมต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเติมสารอาหารเสริม

ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 1

หลังจากเพิ่มค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน จากนั้นป้อนสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996) และเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 3,000 เป็น 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน แล้วเติมสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996) ร่วมกับสารอาหารเสริมรอง (Fe, Ni และCo) ดังตารางที่ 3.4

ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 2

หลังจากเพิ่มค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน จากนั้นป้อนสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996) ร่วมกับสารอาหารเสริมรอง (Fe, Ni และCo) และเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 3,000 เป็น 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน แล้วเติมสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996) ดังตารางที่ 3.4

ถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1

ป้อนน้ำเสียที่ค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวันโดยไม่มีการป้อนสารอาหารเสริมใดๆ จากนั้นทำการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 1,000 เป็น 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน จึงป้อนสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996) ดังตารางที่ 3.5

ถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

หลังจากเพิ่มค่าการรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน เป็น 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน จึงป้อนสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996) จากนั้นเพิ่มค่า

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน และป้อนสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996) ร่วมกับสารอาหารเสริมรอง (Fe, Ni และCo) ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ขั้นตอนการเติมสารอาหารเสริมในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1	ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2
1.หลังจากเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน	1.หลังจากเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน
2.เติมสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996)	2.เติมสารอาหารเสริมหลักสูตร (Speece, 1996) และสารอาหารเสริมรอง (Fe, Ni และCo)
3.เพิ่มค่าอัตราการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 3,000 เป็น 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน	3.เพิ่มค่าอัตราการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 3,000 เป็น 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน
4.เติมสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996) และสารอาหารเสริมรอง (Fe, Ni และCo)	4.เติมธาตุอาหารเสริมหลักสูตร (Speece, 1996)

ตารางที่ 3.5 ขั้นตอนการเติมสารอาหารเสริมในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศ

ถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1	ถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2
1.ป้อนน้ำเสียที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน	1.ป้อนน้ำเสียที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน
2.ไม่มีการป้อนสารอาหารเสริมหลักใดๆ	2.เติมสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996)
3.เพิ่มค่าอัตราการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 1,000 เป็น 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน	3.เพิ่มค่าอัตราการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 2,000 เป็น 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน
4.เติมสารอาหารเสริมหลัก (สูตร Speece, 1996)	4.เติมสารอาหารเสริมหลัก(สูตร Speece, 1996) และรอง (Fe, Ni และCo)

3.4 พารามิเตอร์ในการทดลอง และวิธีการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อแสดงถึงสภาวะภายในระบบ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ พีเอช (pH) ซีโอดีทั้งหมด (Total COD) ซีโอดีละลาย (soluble COD) ความเป็นด่าง (Alkalinity) และความเป็นด่างวียเอเฟอ (Volatile Fatty Acid) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) เจคาห์ลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) อุณหภูมิ (Temperature) และเอสเอ็มเอ (SMA) ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์ วิธีวิเคราะห์หรือวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดสอบ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	จุดเก็บตัวอย่าง	ความถี่
1. พีเอช (pH)	pH meter, pH paper	จุดน้ำเข้า, จุดน้ำออก	1 ครั้ง/สัปดาห์
2. ซีโอดีทั้งหมด (Total COD)	Titrimetric method (K_2CrO_7 close reflux)	จุดน้ำเข้า	1 ครั้ง/สัปดาห์
3. ซีโอดีละลาย (soluble COD)	Titrimetric method (K_2CrO_7 close reflux and filtration) Glass Fiber GC-50 size 47 mm.	จุดน้ำเข้า, จุดน้ำออก	2 ครั้ง/สัปดาห์
4. ความเป็นด่าง (Alkalinity) และ ความเป็นด่าง วียเอเฟอ (Volatile Fatty Acid)	Titrimetric method	จุดน้ำออก	1 ครั้ง/สัปดาห์
5. ของแข็ง แขวนลอย (Suspended Solids)	Gravimetric Method	จุดน้ำออก	1 ครั้ง/สัปดาห์
6. เจคาห์ล ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen)	Micro – Kjeldahl method	จุดน้ำออก	1 ครั้ง/สัปดาห์

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการดำเนินงาน

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มาจากของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยทำการหาความสามารถของการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential ; BMP) มีค่าเท่ากับ 277.31 ml.CH₄/g COD และตะกอนแบคทีเรียที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบมาจากถังหมักตะกอนแบบไร้อากาศ กองควบคุมคุณภาพน้ำ โรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม กรุงเทพมหานคร ตะกอนหัวเชื้อมีลักษณะเป็นกลุ่มตะกอนสีน้ำตาลเข้ม และผ่านการรีดน้ำ (Dewatered sludge) แล้ว โดยก่อนเริ่มทำการทดลองได้หาค่าต่างๆ ของตะกอนหัวเชื้อแบคทีเรียดังนี้ ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) เท่ากับ 0.2459 กรัม ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS) เท่ากับ 0.1041 กรัม ค่าอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 0.4233 และประสิทธิภาพแบคทีเรียในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน (Specific Methane Activity ; SMA) เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.015 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน กำหนดตะกอนหัวเชื้อที่ใส่ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีขนาด 5 ลิตร จำนวน 2 ชุดการทดลอง โดยใช้ปริมาณ 1 ใน 3 ของถังปฏิกรณ์ หรือประมาณ 30 กรัมต่อลิตร ซึ่งใส่ตะกอนหัวเชื้อ 589.5 กรัม น้ำหนักเปียก คิดเป็น 146 กรัมในเทอมของเอสเอส และ 62 กรัมในเทอมของวีเอสเอส โดยระยะแรกป้อนน้ำเสียสังเคราะห์น้ำตาลความเข้มข้น 3000 มก./ล. แบบวันเว้นวัน เป็นระยะเวลาประมาณ 3 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงเริ่มใช้น้ำเสียจากของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ขณะที่ถังเอสบีอาร์ไร้อากาศขนาด 1 ลิตร จำนวน 2 ชุด ใส่ตะกอนถึงละ 33 กรัม น้ำหนักเปียก คิดเป็น 10 กรัมในเทอมของเอสเอส หรือคิดเป็น 1.7 กรัมในเทอมของวีเอสเอสต่อถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศ โดยในระยะแรกป้อนน้ำเสียวันเว้นวัน ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เริ่มต้น 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงทำการป้อนน้ำเสียแบบเบตซ์ทุกๆ 24 ชั่วโมง โดยในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี และถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศยังไม่มีมีการป้อนสารอาหารเสริมใดๆ กรณีถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีมีอัตราการเวียนน้ำ กลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ 575 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง โดยเครื่องสูบน้ำรุ่น AP 1600 (220-240 V A.C.50 Hz 23 w) และน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี และถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศนั้นนำมาเจือจางโดยควบคุมให้มีค่าชีโอดีประมาณ 30,000 - 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีค่าชีโอดีสูงถึง 1,500,000 - 2,300,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หากป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทันที อาจเกิดผลกระทบต่อตะกอนหัวเชื้อแบคทีเรีย และอาจเกิดความผิดปกติในขณะป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบเนื่องจากน้ำเสียมีค่าชีโอดีสูงมาก เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบในปริมาณต่างกันเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง โดยจะพิจารณาเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นเรื่อยๆ เมื่อประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีสูงกว่า 80% หรือมีค่าคงที่ โดยในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

ทำการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน เป็น 3,000 มิลลิกรัมชีโอดี ต่อลิตรต่อวัน พบว่าในวันที่ 61 ของการทดลอง ในถังปฏิกริยาเยอเอสปีมีค่าชีโอดีน้ำ ออกสูงขึ้นเท่ากับ 1,099 – 1,772 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงทำการป้อนสารอาหารเสริมหลักร่วมกับ สารอาหารเสริมรองคือ เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ในวันที่ 167 ของการทดลอง ที่ค่าอัตราภาระ บรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ขณะที่ถังปฏิกรณ์เยอเอสปีชุดที่ 2 พบว่าในวันที่ 95 ของการทดลองมีค่าชีโอดีน้ำออกสูงขึ้นเท่ากับ 1,268 - 2,307 มิลลิกรัมต่อลิตร จึง ป้อนสารอาหารเสริมหลักร่วมกับเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ในวันที่ 167 ของการทดลอง ในการ ป้อนสารอาหารเสริมหลักในถังปฏิกรณ์เยอเอสปีทั้ง 2 ชุดการทดลอง จนกระทั่งถึงค่าอัตราภาระ บรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่ทำการทดลองในถังปฏิกรณ์ เยอเอสปีทั้งสิ้น 222 วัน สำหรับถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศทำการทดลองโดยเริ่มต้นที่ค่าอัตรา ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เริ่มต้น 1,000 มิลลิกรัม ชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าในวันที่ 20 ของการทดลอง ชีโอดีน้ำออกในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1,233 – 2,107 มิลลิกรัมต่อลิตร จึง ป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ลงในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 ในวันที่ 28 ของการ ทดลอง และป้อนสารอาหารเสริมหลักในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 ในวันที่ 105 ของการ ทดลอง ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน โดยถังปฏิกรณ์ เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 ทำการทดลองจนกระทั่งถึงค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน และถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 ถึงค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ที่ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่ทำการทดลองในถังเอสปีอาร์ไร้อากาศทั้งสิ้น 222 วัน

4.2 ประสิทธิภาพของระบบ

จากการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาผลของการเติมสารอาหารเสริมที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบไร้อากาศ โดย ตัวแปรที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบที่ได้ศึกษาวิจัยมีดังนี้ ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี ละลาย (sCOD Removal) ความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) ความเป็นด่างวีเอเฟอ (VFA) พีเอช (pH) ทีเคเอ็นที (TKN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS) ที่เข้า และออกจากระบบ ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ค่าชีโอดี (COD)

การวิเคราะห์ค่าชีโอดีเป็นการวิเคราะห์ความสกปรกของน้ำเสียประเภทต่างๆ โดยวัดปริมาณ ออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ยกเว้นสารอินทรีย์พวกกรดอะมิโนซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย การวิเคราะห์ชีโอดีมีความ

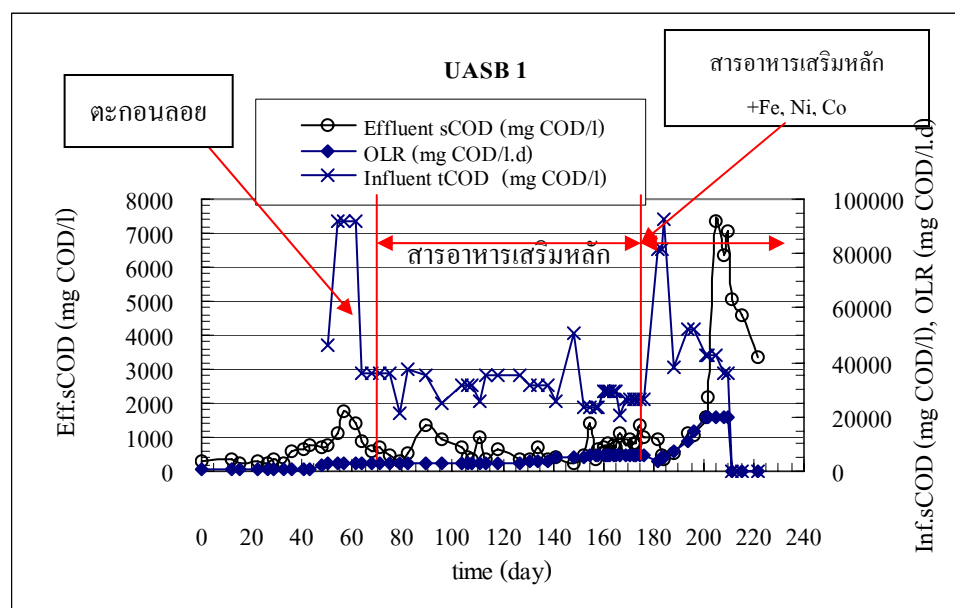
แน่นอนสูงซึ่ง การวิจัยครั้งนี้ทำการวัดค่าซีไอได้น้ำเข้า และซีไอได้น้ำออก เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดี

4.2.1.1 ถึงปฏิกริยาเยเยสปีชุดที่ 1

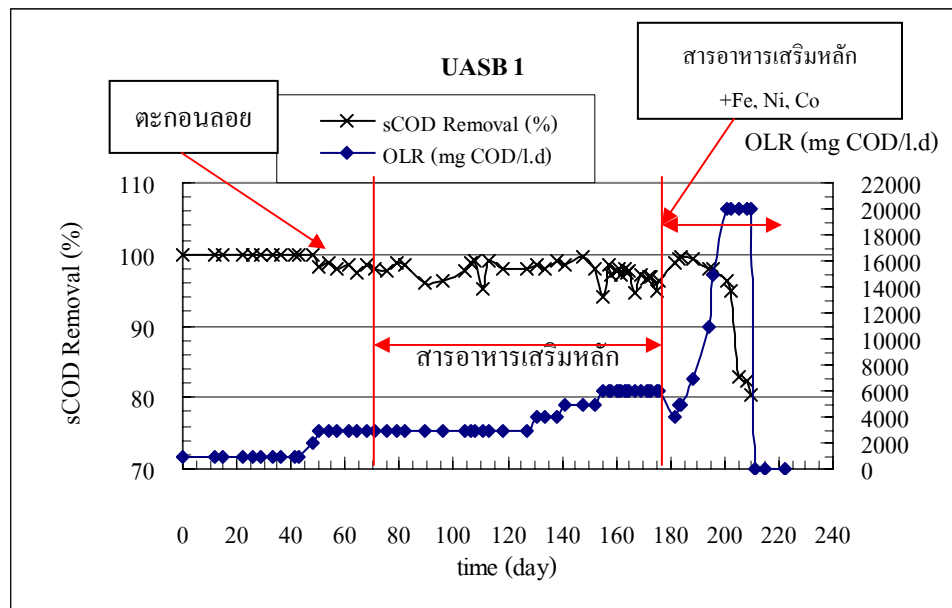
จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3,000 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตรต่อวัน ใน วันที่ 49 ของการทดลอง เกิดสภาวะตะกอนลอยออกจากระบบดังรูปที่ 4.1 จึงเกิดการอุดตันในท่อน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ค่าซีไอได้น้ำออกเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าสูงขึ้นจาก 215 – 772 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 771 – 1,772 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าต่ำลงจาก 99.97 – 99.99 เปอร์เซ็นต์เป็น 98.08 – 98.81 เปอร์เซ็นต์ และในวันที่ 62 ของการทดลอง ที่ค่าอัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตรต่อวัน ได้ทำการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece พบว่าใน วันที่ 66 ของการทดลอง ตะกอนแบคทีเรียจมตัวได้ดีขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีไม่สูงขึ้นแต่อย่างใด โดยซีไอได้น้ำออกมีค่าเท่ากับ 273 – 1,358 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าประสิทธิภาพการบำบัด ซีไอดีเท่ากับ 95.15 – 99.04 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นในวันที่ 130 ของการทดลอง ได้เพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4,000 กรัมซีไอดีต่อลิตรต่อวัน จนกระทั่งถึงอัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ 6,000 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าค่าซีไอได้น้ำออกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงโดยค่าซีไอได้น้ำออกเท่ากับ 232 – 1,410 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเท่ากับ 94.56 – 99.54 เปอร์เซ็นต์และได้ทำการเปลี่ยนแปลงการป้อนสารอาหารเสริมในวันที่ 167 ของการทดลอง ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 6,000 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตรต่อวัน โดยป้อนสารอาหารเสริมหลักร่วมกับ สารอาหารเสริมรองคือ เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ซึ่งหลังจากป้อนสารอาหารเสริมดังกล่าวตะกอนแบคทีเรียลอยในถังปฏิกรณ์ในวันที่ 168 ของการทดลอง ค่าซีไอได้น้ำออกมีค่าเท่ากับ 784 – 1,329 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเท่ากับ 95.02 – 97.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของระบบลดลงอันอาจเนื่องจากการจมตัวของตะกอนไม่ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะในขณะที่เกิดก๊าซชีวภาพสูงมากนั้นเกิดการลอยตัวของตะกอนชีวภาพออกนอกระบบ โดยค่าอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยมีค่าสูงขึ้น ดังจะกล่าวในคราวต่อไป และในวันที่ 200 ของการทดลอง เพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 20,000 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าค่าซีไอได้น้ำออกมีแนวโน้มสูงขึ้นเท่ากับ 1,587 – 7,348 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีมีแนวโน้มต่ำลงอย่างชัดเจนเท่ากับ 80.33 – 94.91 เปอร์เซ็นต์ จึงหยุดการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของแบคทีเรียในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน (SMA) รวมระยะเวลาการเดินระบบทั้งสิ้น 222 วัน โดยแนวโน้มค่าซีไอได้น้ำเข้า ซีไอได้น้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดของถังปฏิกรณ์เยเยสปีชุดที่ 1 จากอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 ถึง 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 และแนวโน้มค่าซีไอได้น้ำเข้า และซีไอได้น้ำออกของถังปฏิกรณ์เยเยสปีชุดที่ 1 แสดงไว้ดังรูปที่ 4.4



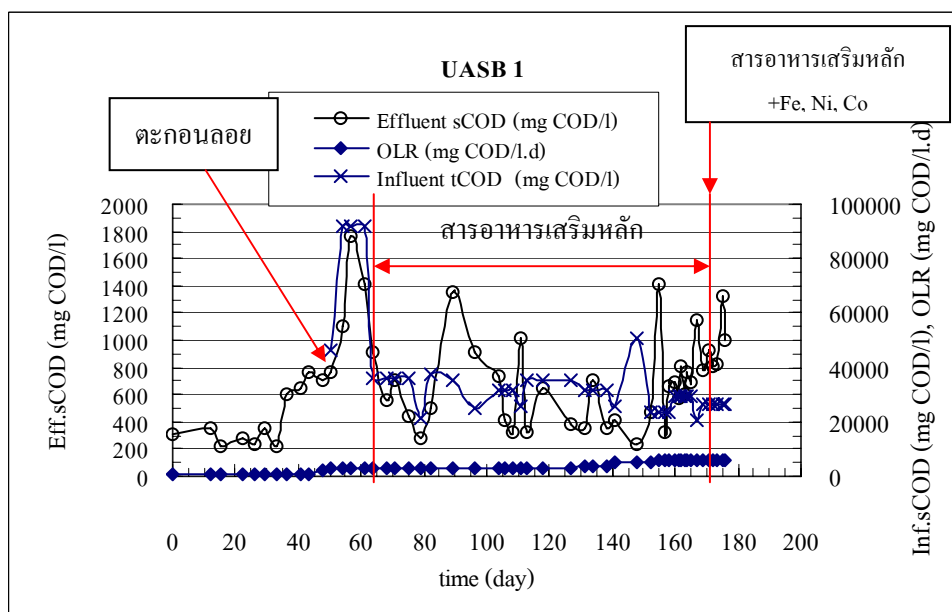
รูปที่ 4.1 สภาวะตะกอนลอยในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอได้น้ำเข้า ซีไอได้น้ำออก และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1



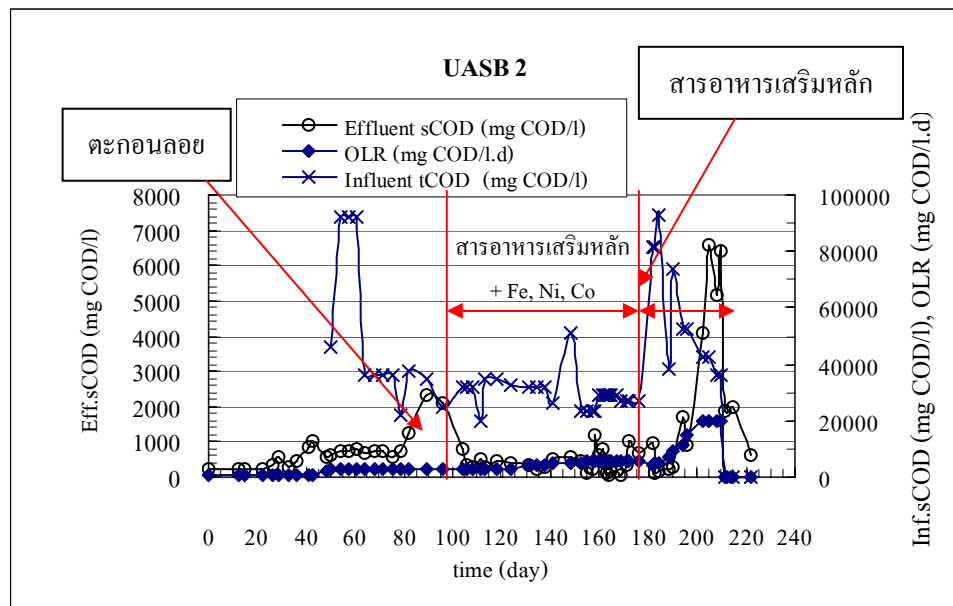
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี และค่าอัตรา
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 1



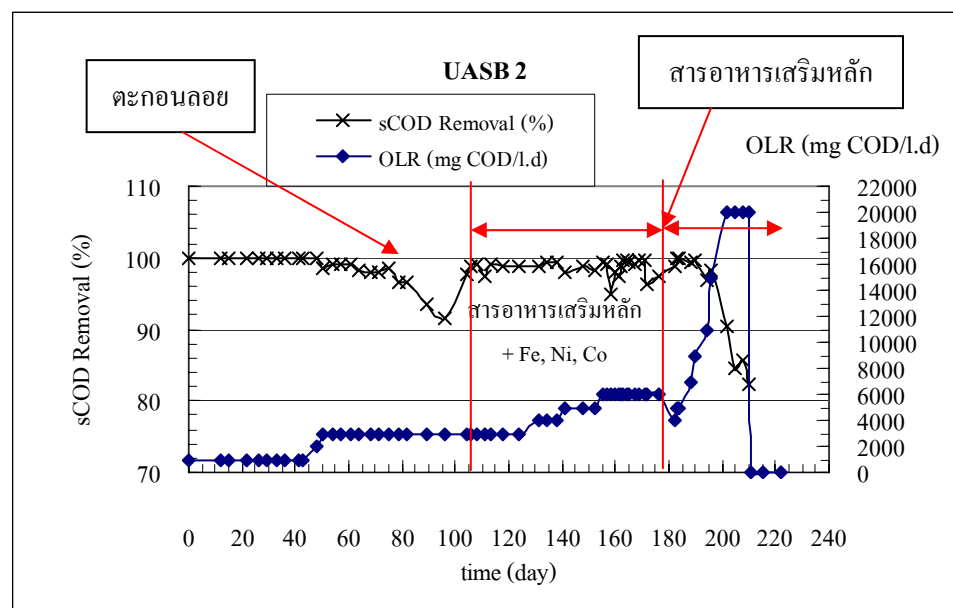
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าชีโอดีน้ำเข้า ชีโอดีน้ำออก และค่าอัตรา
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 1

4.2.1.2 ถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 2

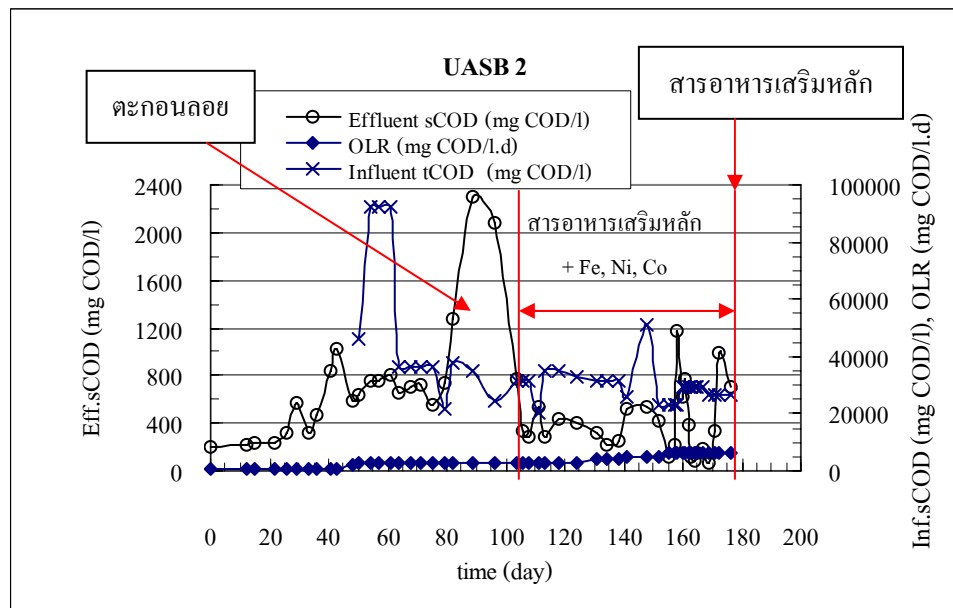
จากการทดลอง เมื่อเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 49 ของการทดลอง และทำการเดินระบบต่อมาจนกระทั่งในวันที่ 87 ของการทดลอง พบว่าเกิดสถานะตะกอนลอยในถังปฏิกรณ์ดังรูปที่ 4.1 ค่าชีโอดีของน้ำออกเพิ่มสูงขึ้นโดยเปลี่ยนแปลงจาก 201 – 1,016 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตอนเริ่มต้นเป็น 560 – 2,307 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 98.63 - 99.99 เปอร์เซ็นต์ ในตอนเริ่มต้นเป็น 91.61 - 99.18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง ในวันที่ 96 ของการทดลอง ได้ทำการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ร่วมกับสารอาหารเสริมรองคือ เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ปรากฏว่าค่าชีโอดีน้ำออกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 560 – 2,307 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงก่อนหน้าเป็น 291 - 767 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 91.61- 99.18 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงก่อนหน้าเป็น 97.37-99.17 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นในวันที่ 130 ของการทดลอง ได้เพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 4,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน จนกระทั่งถึง 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าชีโอดีน้ำออกเท่ากับ 114 – 1,173 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเท่ากับ 94.95 – 99.74 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าหลังจาก เติมสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ร่วมกับเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกระทั่งในวันที่ 151 ของการทดลอง เกิดสถานะตะกอนลอยในถังปฏิกรณ์ อีกครั้งจึงเปลี่ยนแปลงการเติมสารอาหารเสริมเป็นเติมสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece เพียงอย่างเดียวที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน จนกระทั่งในวันที่ 178 ของการทดลอง พบว่าการเติมสารอาหารเสริมช่วยให้ตะกอนแบคทีเรียจมตัวดีขึ้น และค่าชีโอดีในน้ำออกเท่ากับ 332 – 997 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง โดยมีค่าคงที่เท่ากับ 96.26 – 99.75 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จนถึง 20,000 มิลลิกรัม ชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าค่าชีโอดีน้ำออกเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 220 – 6,609 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีลดลงเป็น 82.23 – 84.57 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าประสิทธิภาพของระบบ เริ่มลดลงที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 20,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ระยะเวลาในการเดินระบบทั้งสิ้น 222 วัน โดยแนวโน้มค่าชีโอดีน้ำเข้า ชีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ ยูเอเอสพีชุดที่ 2 จากอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 ถึง 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน แสดงไว้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 และแนวโน้มค่าชีโอดีน้ำเข้า และชีโอดีน้ำออกของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 2 แสดงไว้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และค่าอัตรา
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซชุดที่ 2



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี และค่าอัตรา
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซชุดที่ 2

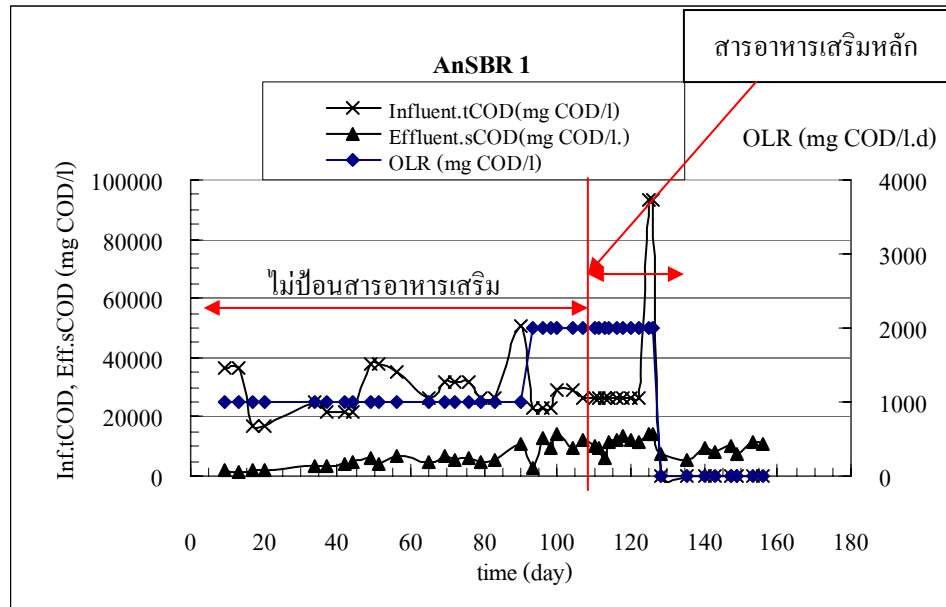


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และค่าอัตรา
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซดที่ 2

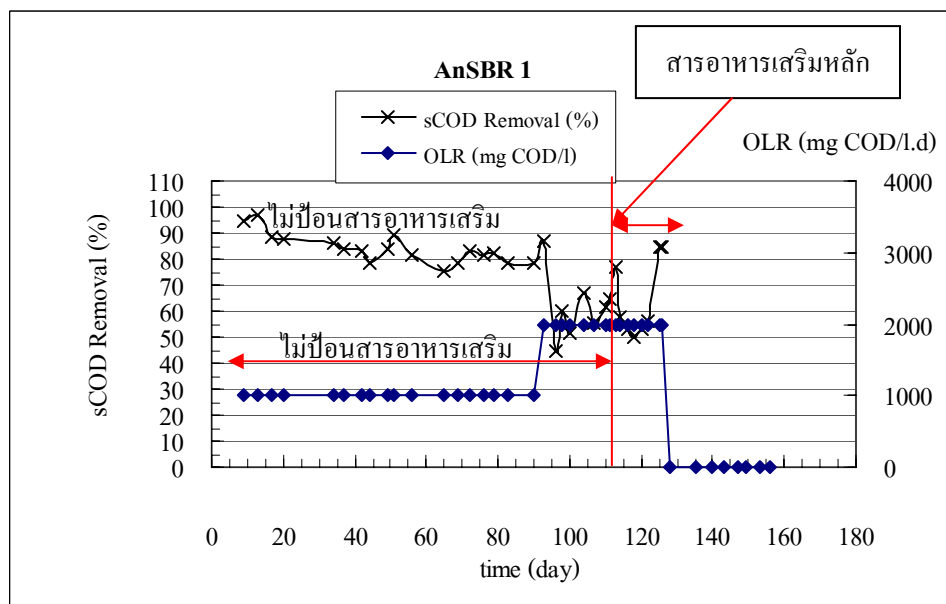
4.2.1.3 ถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1

ช่วงเริ่มต้นการเดินระบบ ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน จนกระทั่งในวันที่ 89 ของการทดลอง พบว่าค่าซีโอดีน้ำออกมีแนวโน้มค่อยๆ สูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 1,233 – 10,968 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เท่ากับ 75.57 - 94.33 เปอร์เซ็นต์ และในวันที่ 92 ของการทดลอง ได้เพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2,000 มิลลิกรัม ซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ค่าซีโอดีน้ำออกก็ยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยมีค่าซีโอดีน้ำออกเปลี่ยนแปลงจาก 1,233 – 10,968 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเริ่มต้นเป็น 2,971 – 14,095 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีลดลงเป็น 44.36 - 87.21 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ในวันที่ 105 ของการทดลอง ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าซีโอดีน้ำออกสูงขึ้นเท่ากับ 6,154 – 13,254 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 50.30 – 76.92 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 ยังไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จึงทำให้การบำบัดซีโอดีมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นเมื่อเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ และการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากระยะเวลาในการป้อนสารอาหารเสริมเพียง 18 วัน อาจไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน การเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เป็นก๊าซมีเทนใน

ระบบได้จึงไม่พบตลอดระยะเวลาในการเดินระบบทั้งสิ้น 156 วัน แนวโน้มค่าซีโอดีน้าเข้า ซีโอดีน้าออก และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 แสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9



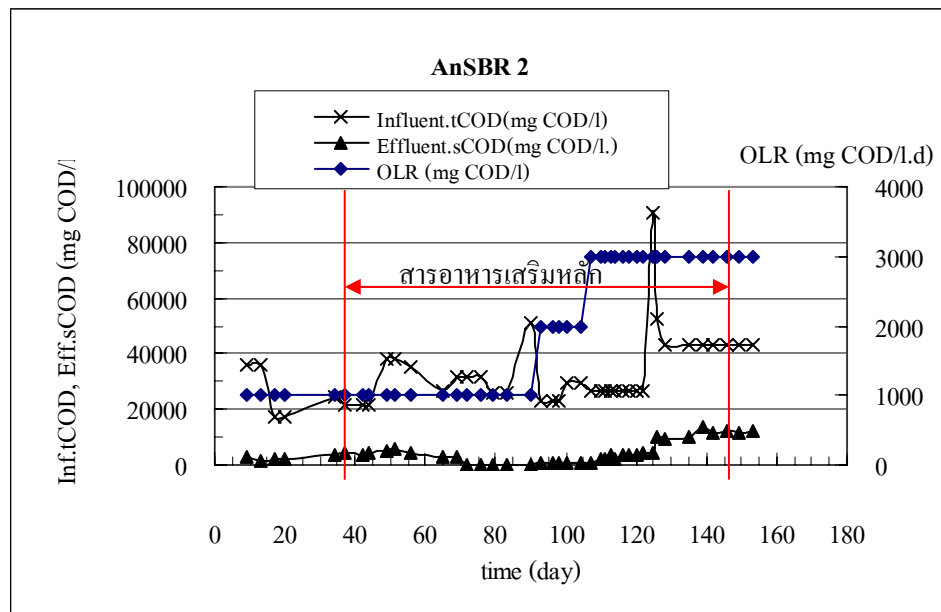
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีน้าเข้า ซีโอดีน้าออก และค่าอัตรา
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1



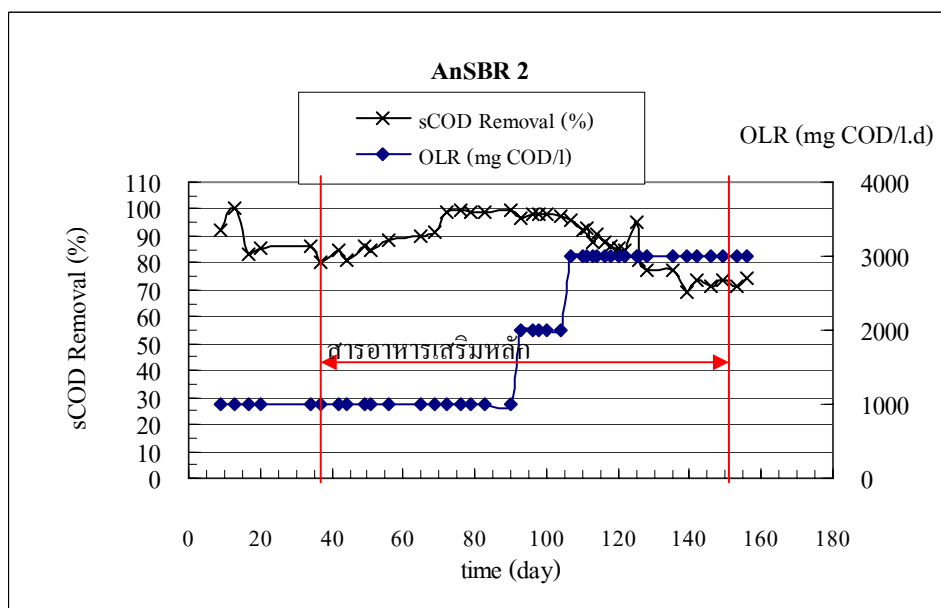
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี และค่าอัตรา
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1

4.2.1.4 ถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน เมื่อทำการเดินระบบระยะเวลา 27 วัน พบว่าค่าชีโอดีน้ำออกเท่ากับ 1,457 – 2,727 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน และประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี เท่ากับ 82.90 – 99.98 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 28 ของการทดลอง ได้ป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน และตรวจสอบคุณภาพน้ำจนถึงวันที่ 89 ของการทดลอง พบว่าค่าชีโอดีมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าชีโอดีลดลงจาก 1,457 – 2,727 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเริ่มต้นเป็น 223 – 5,745 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าชีโอดีน้ำออกลดลงในวันที่ 65 ของการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 223 – 2,700 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 82.90 – 99.98 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 92 ของการทดลอง ทำการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าค่าชีโอดีของน้ำออกเท่ากับ 369 – 838 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีมีค่าเท่ากับ 96.36 – 98.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระบบยังคงมีค่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีสูงตลอดช่วงการทดลอง และในวันที่ 106 ของการทดลอง ได้เพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าค่าชีโอดีของน้ำออกมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 1,046 – 4,098 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีมีค่าเท่ากับ 84.63 – 96.08 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ระบบเริ่มมีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีลดลงจนกระทั่งในวันที่ 143 ถึง 155 ของการทดลอง ได้เปลี่ยนแปลงการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece เป็นการป้อนสารอาหารเสริมหลัก Speece ร่วมกับสารอาหารเสริมรอง (เต็มสูตร) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าชีโอดีน้ำออกเท่ากับ 10,887 – 12,202 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเท่ากับ 71.51 – 74.58 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าระยะเวลาการป้อนสารอาหารเสริมหลักและรอง (เต็มสูตร) 12 วันนั้น ไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทนในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนในระบบได้เช่นเดียวกับถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 รวมระยะเวลาในการเดินระบบทั้งสิ้น 156 วัน แนวโน้มค่าชีโอดีน้ำเข้า ชีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีน้ำเข้าซีโอดีน้ำออก และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

4.2.2 ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอย

ระเหยต่อของแข็งแขวนลอย (SS, VSS, VSS/SS)

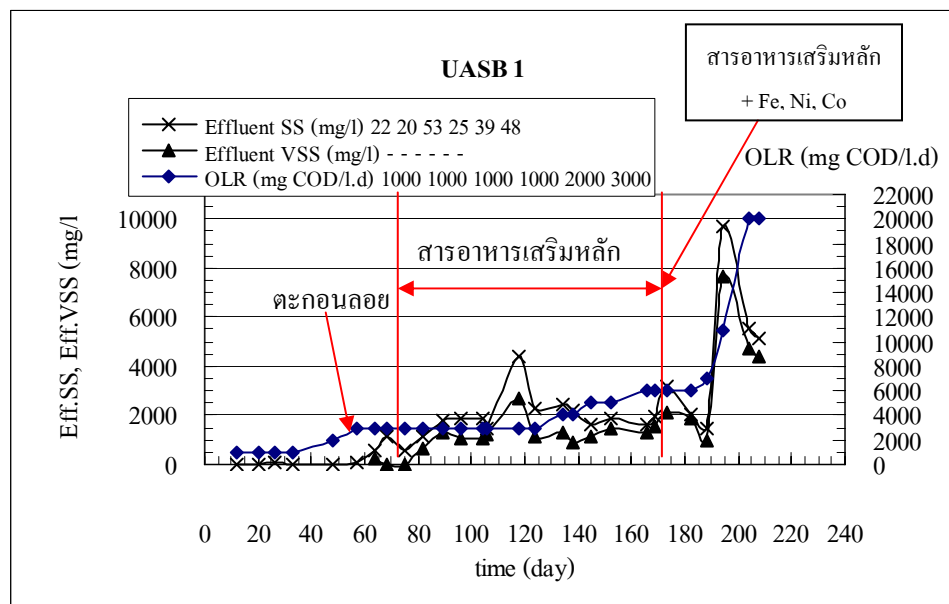
ปริมาณตะกอนแบคทีเรียเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งหากสามารถกักเก็บตะกอนชีวภาพได้ในปริมาณที่เหมาะสม โดยสามารถควบคุมการหลุดออกของมวลชีวภาพได้มากที่สุดจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีสูง

4.2.2.1 ถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 1

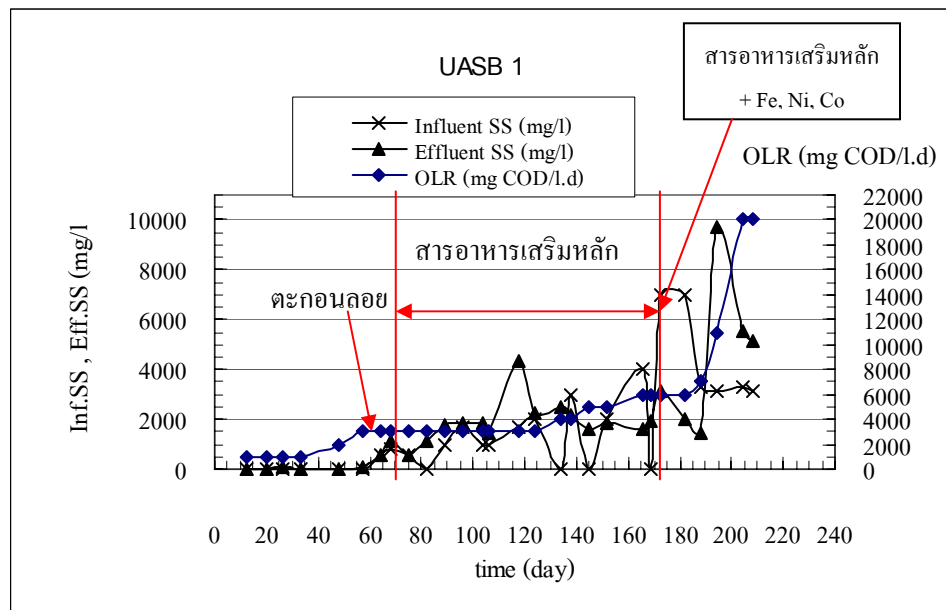
เมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 34 ของการทดลอง จะสามารถเห็นตะกอนลอยในวันที่ 49 ของการทดลอง กระทั่งในวันที่ 62 ของการทดลอง จึงได้ป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece พบว่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นจาก 20 – 53 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงก่อนหน้าเป็น 550 – 4,360 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอยระเหยมีค่าเท่ากับ 250 – 2,660 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 0.45 – 0.83 ซึ่งบ่งชี้ว่าในตะกอนมีจำนวนแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบ 45 – 83 ส่วน และของแข็งอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ 17 – 55 ส่วน หลังจากนั้นจึงเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 3,000 มิลลิกรัมชีโอดี ต่อลิตรต่อวัน และป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece พบว่าแนวโน้มการหลุดออกของมวลชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเกิดก๊าซชีวภาพปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ตะกอนแบคทีเรียที่มีน้ำหนักเบา ลอยออกจากระบบดังรูปที่ 4.1 เมื่อเพิ่มค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 20,000 มิลลิกรัมชีโอดี ต่อลิตรต่อวัน ปรากฏว่าค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำออกมีค่าสูงขึ้น โดยที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ค่าชีโอดีของน้ำออกเปลี่ยนแปลงจาก 1,620 – 3,160 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 1,440 – 9,720 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยเปลี่ยนแปลงจาก 1,300 – 2,120 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 1,000 – 7,680 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และค่าอัตราส่วนของแข็งแขวนลอย ระเหยต่อของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 0.67 – 0.93 แสดงว่าเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ตะกอนแบคทีเรียจะมีแนวโน้มหลุดออกจากระบบสูงขึ้นอันเนื่องจากเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในปริมาณมาก โดยค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยน้ำออก ของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำออก และ อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย ของน้ำออก แสดงไว้ดังรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14

4.2.2.2 ถึงปฏิบัติการยูเอสบีชุดที่ 2

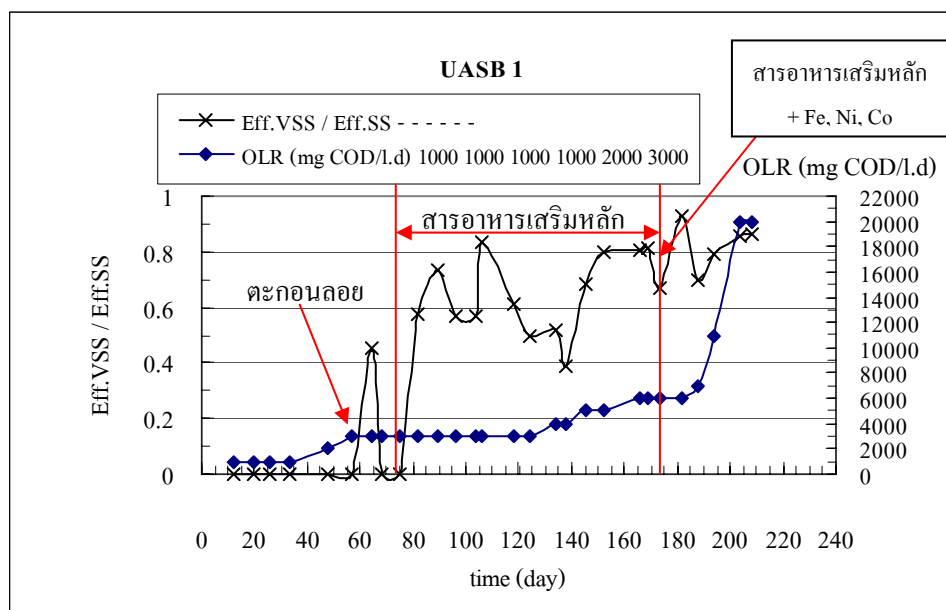
จากการทดลอง เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 34 ของการทดลอง พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยน้ำออกมีแนวโน้มสูงขึ้นจาก 31 – 64 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 66 – 1,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยเท่ากับ 195 – 1,010 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 0.67 – 0.79 ซึ่งหมายความว่าตะกอนมี จำนวนแบคทีเรีย 67 – 79 ส่วน และอีก 21 – 33 ส่วนเป็นของแข็งอนินทรีย์ประกอบอยู่ใน ตะกอน แบคทีเรียที่ใช้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 20,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ค่าของแข็งแขวนลอย มีแนวโน้มสูงขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 2,680 – 3,690 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยเท่ากับ 2,470 – 3,300 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 0.89 – 0.92 ซึ่งหมายความว่าตะกอนมีจำนวนแบคทีเรียอยู่ 89 – 92 ส่วน และอีก 8 – 11 ส่วนเป็นของแข็ง อนินทรีย์แสดงว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ตะกอนแบคทีเรีย จะมีแนวโน้มหลุดออกจากระบบเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.1 อันเนื่องจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใน ปริมาณมาก ซึ่งเมื่อป้อน สารอาหารเสริมหลักร่วมกับเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ทำให้ประสิทธิภาพ การบำบัดชีโอดีสูงขึ้น หมายถึงการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น โดยค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยน้ำออก ของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำออก และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อ ของแข็งแขวนลอยของน้ำออกแสดงไว้ดังรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17



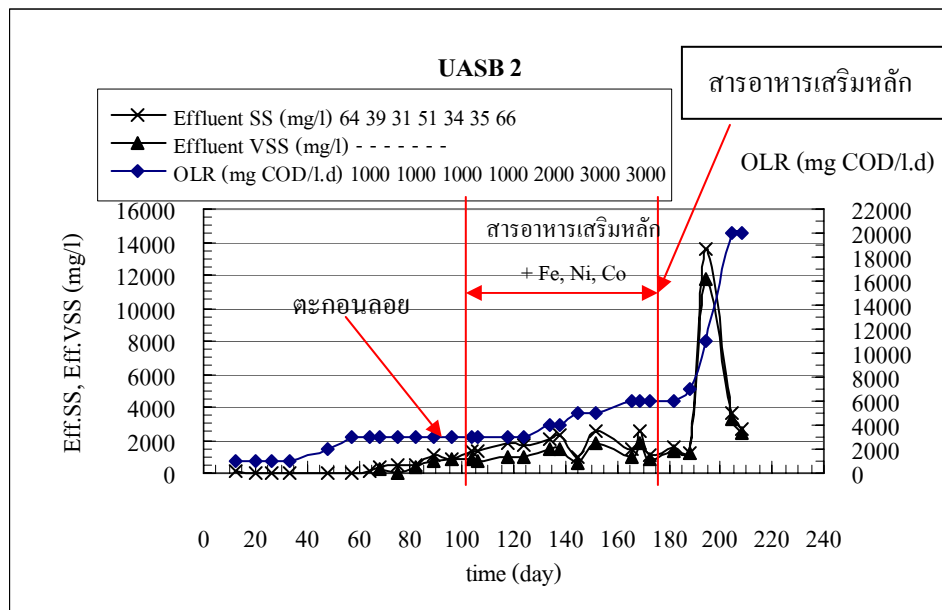
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งแขวนลอยน้ำออก ของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำออก และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถึงปฏิบัติการยูเอสบีชุดที่ 1



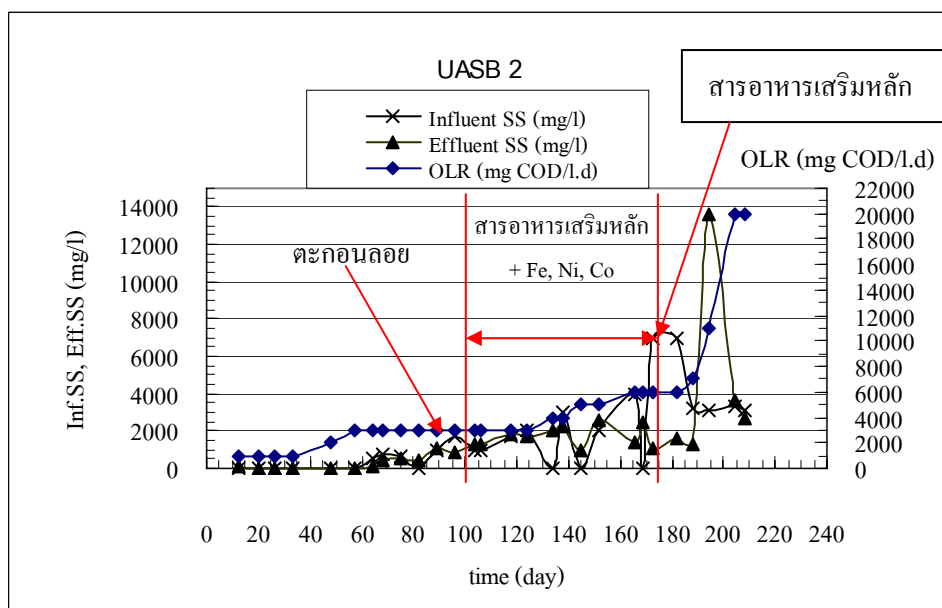
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแ่งแขวนลอยน้ำเข้า ของแ่งแขวนลอยน้ำออก และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1



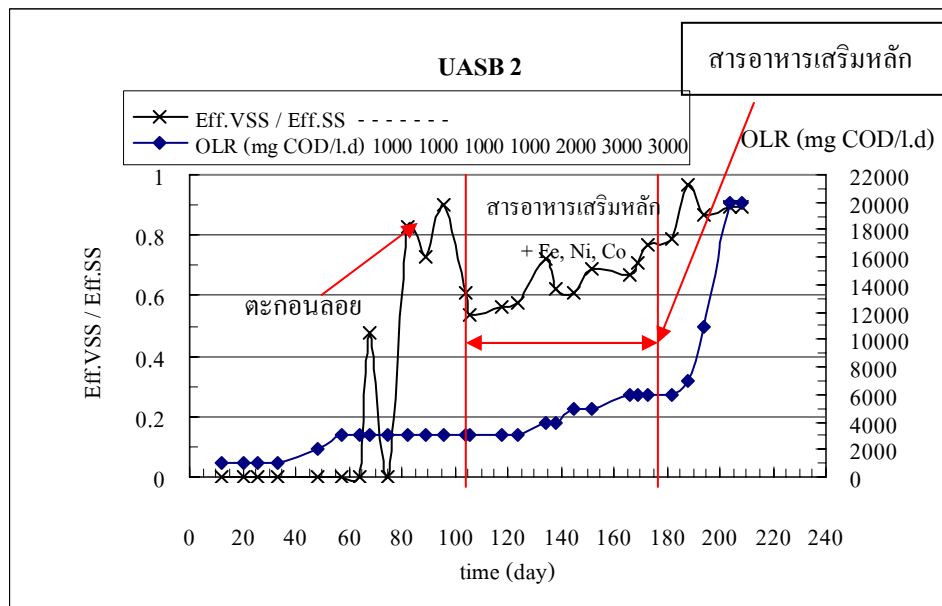
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าของแ่งแขวนลอยละลายต่อของแ่งแขวนลอยน้ำออก และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งแขวนลอยน้ำออก ของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำออก และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซชุดที่ 2



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า ของแข็งแขวนลอยน้ำออก และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซชุดที่ 2



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าของแข็งแขวนลอยละลายต่อของแข็งแขวนลอยน้ำออก และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 2

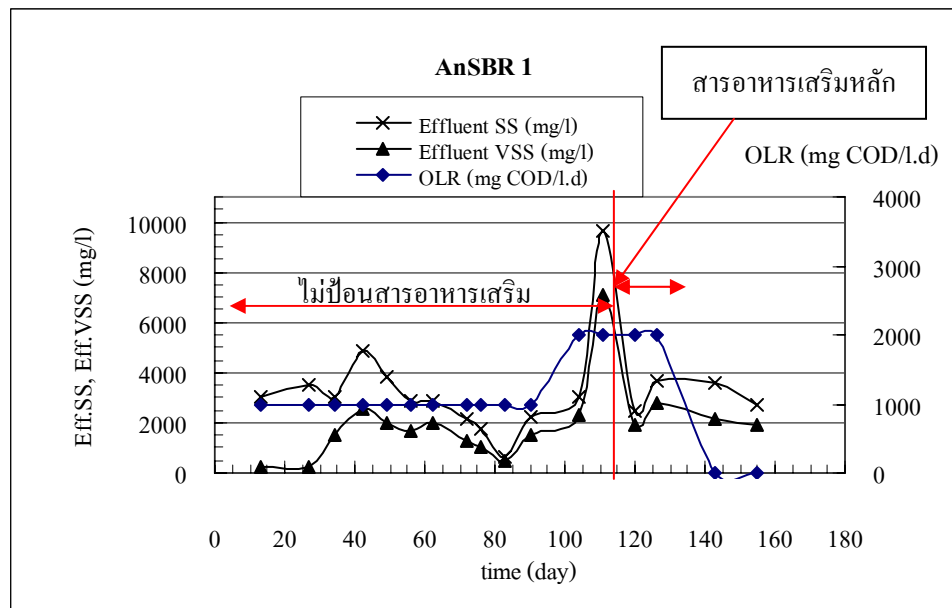
4.2.2.3 ถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1

เนื่องจากคุณภาพของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดเอสปีอาร์ไร้อากาศ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ระบายน้ำทิ้ง เวลาและความเร็วในการตกตะกอนของแบคทีเรีย ซึ่งจากการทดลองใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนประมาณ 60 นาที หากความเร็วในการตกตะกอนต่ำจะทำให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบในขั้นตอนการระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 1,000 เป็น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำออกเท่ากับ 640 – 9,660 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยเท่ากับ 200 – 7,100 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 0.06 – 0.78 ซึ่งหมายความว่าตะกอนมีจำนวนแบคทีเรีย 6 - 78 ส่วน และอีก 22 – 94 ส่วน เป็นของแข็งอนินทรีย์ ซึ่งไม่มีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด สาเหตุที่ค่าของแข็งแขวนลอยของแข็งแขวนลอยระเหยมีแนวโน้มลดลงอาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีต่ำลงเมื่อไม่มีการป้อนสารอาหารเสริมใดๆ เป็นเหตุให้เกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในปริมาณน้อย ของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยจึงมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มสูงขึ้น แสดงว่าความเร็วในการจมตัวของแบคทีเรียต่ำลงเนื่องจากเมื่อดำเนินการทดลองจนกระทั่งในวันที่ 105 ของการทดลอง ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ไม่มีการเติมสารอาหารเสริมใดๆ เป็นการปล่อยให้แบคทีเรียขาดสารอาหาร ที่ใช้ในการเจริญเติบโตนานเกินกว่าที่จะสามารถปรับปรุงความสามารถของแบคทีเรียทั้งด้านการบำบัดชีโอดี และความเร็วในการ

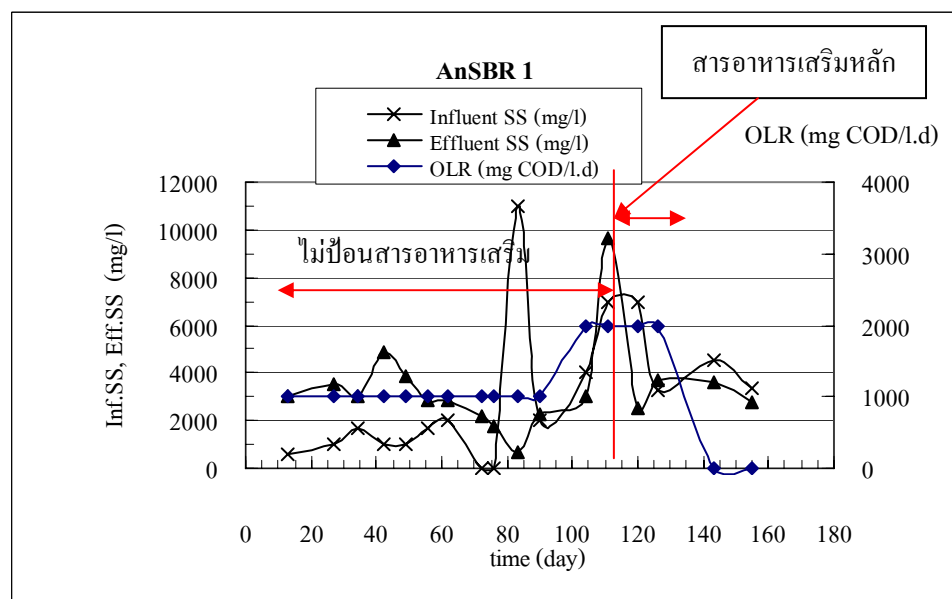
ตกตะกอนของแบคทีเรียจึงทำให้ในขั้นตอนการระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังเอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 มีตะกอนแบคทีเรียปะปนออกมา โดยแนวโน้มค่าของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยน้ำออกแสดงไว้ดังรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20

4.2.2.4 ถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

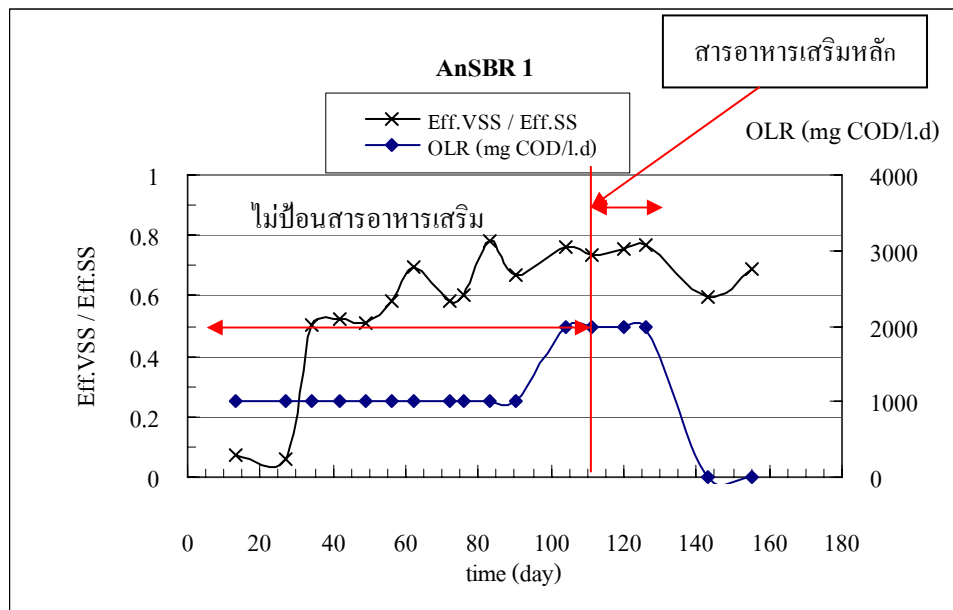
ในวันที่ 28 ของการทดลอง ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ได้ป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 1360 – 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยเท่ากับ 200 – 1,895 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 0.15 – 0.59 แสดงให้เห็นว่าตะกอนมีจำนวนแบคทีเรีย 15 – 59 ส่วน และอีก 41 – 85 ส่วนเป็นของแข็งอนินทรีย์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 สังเกตเห็นว่าถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 มีปริมาณตะกอนแบคทีเรียที่หลุดออกมาพร้อมกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วน้อยกว่า เนื่องมาจากการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตรส่งผลให้ความเร็วในการตกตะกอนแบคทีเรียเพิ่มขึ้น และในวันที่ 106 ของการทดลอง ได้เพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 2,000 เป็น 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าค่าของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำออก มีแนวโน้มสูงขึ้นเท่ากับ 1,700 – 2280, 1196 -1560 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.57 – 0.85 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าตะกอนมีจำนวนแบคทีเรีย 57 – 68 ส่วน และของแข็งอนินทรีย์ 15 – 43 ส่วน เป็นองค์ประกอบของตะกอนแบคทีเรีย โดยแนวโน้มของค่าของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย น้ำออกแสดงไว้ดังรูป ที่ 4.21, 4.22 และ 4.23



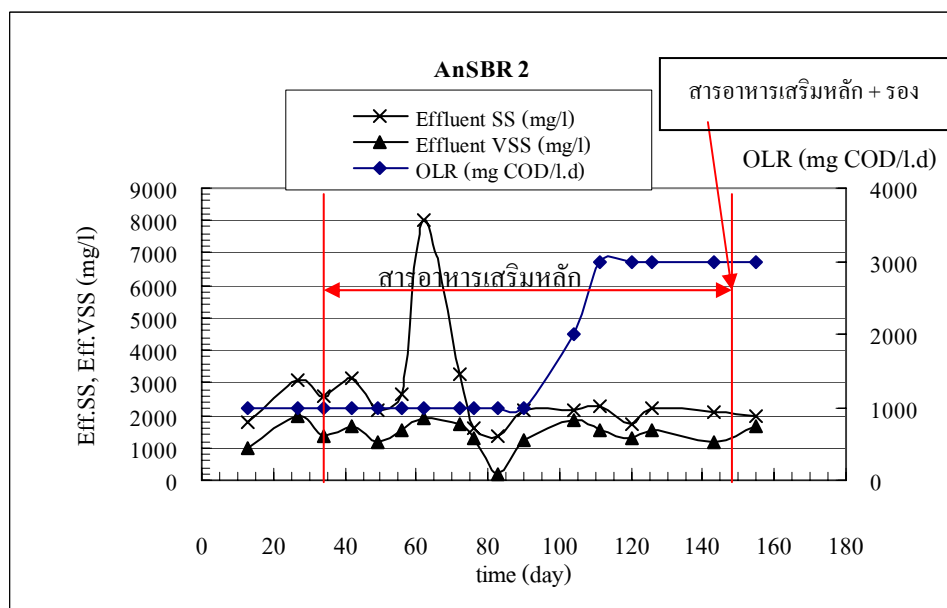
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงแจ้งแวนล่อยน้ำออก ของแรงแจ้งแวนล่อยระเหยน้ำออก และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1



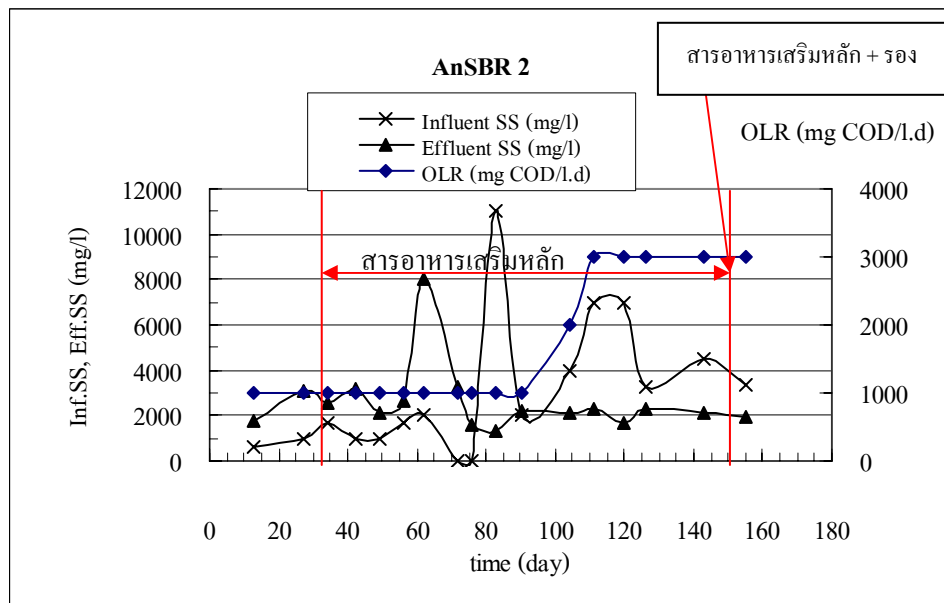
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงแจ้งแวนล่อยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนล่อยน้ำออก และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1



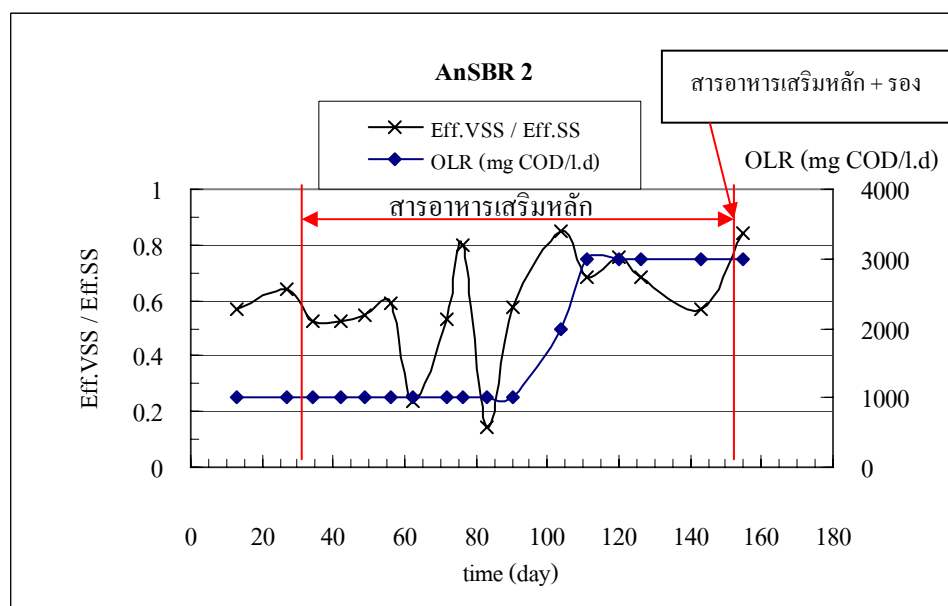
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าของแข็งแขวนลอยละลายต่อของแข็งแขวนลอยน้ำออก และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งแขวนลอยน้ำออก ของแข็งแขวนลอยระเหยน้ำออก และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงแจ้วนลอยน้ำเข้า ของแรงแจ้วนลอยน้ำออก และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าของแรงแจ้วนลอยละลายต่อของแรงแจ้วนลอยน้ำออก และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

สภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปฏิกิริยาชีวเคมีภายในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งทำให้แบคทีเรียมีความสามารถในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปัจจัยที่มีการวิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่าง ค่ากรดไขมันระเหย ค่าไนโตรเจนทั้งหมด และ ค่าฟอสฟอรัสของน้ำเข้า และน้ำออกจากระบบ

4.3.1 อุณหภูมิ

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดก๊าซมีเทนคือ อุณหภูมิช่วงเมโซฟิลิก (20 ถึง 45 องศาเซลเซียส) และจากการดำเนินการวิจัยอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี และถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2 มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24 – 29 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

4.3.2 พีเอช(pH) สภาพความเป็นด่าง(Alkalinity) กรดไขมันระเหย(Volatile Fatty Acid) และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง(Volatile Fatty Acid / Alkalinity)

4.3.2.1 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1

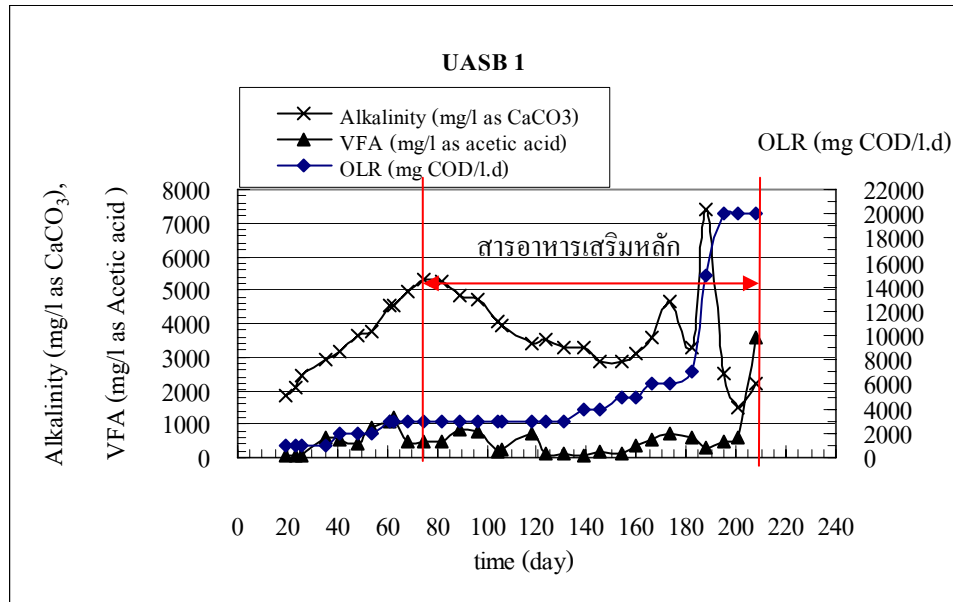
ที่อัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1850 – 2438 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยเท่ากับ 50 - 88 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างเท่ากับ 0.03 – 0.04 และค่าพีเอชเท่ากับ 6.60 – 8.71 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสม และเมื่อเพิ่มอัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าในวันที่ 49 เกิดสภาวะตะกอนลอย ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 2,933 – 3,758 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหย เท่ากับ 413 – 888 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างเท่ากับ 0.11 – 0.24 ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยสภาพความเป็นด่างคงอยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้คือ 1,000 – 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยมีแนวโน้มสูงขึ้นเกินกว่าช่วงค่าที่ยอมรับได้ แต่เนื่องจากการกำลังในการบำบัดของระบบสูง จึงทำให้อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงไม่เกิน 0.4 จนกระทั่งในวันที่ 62 ของการทดลอง ป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ที่อัตราการระบบรทุกสารอินทรีย์ 3,000 ถึง 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ค่าสภาพความเป็นด่างเท่ากับ 2,875 – 5,313 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยเท่ากับ 75 – 1,213 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างเท่ากับ 0.02 – 0.34 และค่าพีเอช

เท่ากับ 8.23 – 8.97 จะเห็นว่าหลังจากการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ค่ากรดไขมันระเหยมีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงว่าหลังการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ช่วยสร้างสมดุลแก่สภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมต่อแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และในวันที่ 167 ของการทดลอง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ระบบยังคงอยู่ในสมดุล แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 20,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ค่าสภาพความเป็นด่างลดลงเท่ากับ 1,496 – 2,525 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยมีแนวโน้มสูงขึ้นเท่ากับ 488 – 3,588 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างเท่ากับ 0.19 – 1.64 แสดงว่าระบบมีกำลังในการบำบัดเพอร์กรดไขมันระเหยซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นได้ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีลดลงจนอาจเกิดภาวะล้มเหลวได้ โดยค่าความเป็นด่าง ค่ากรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.24 และ 4.25

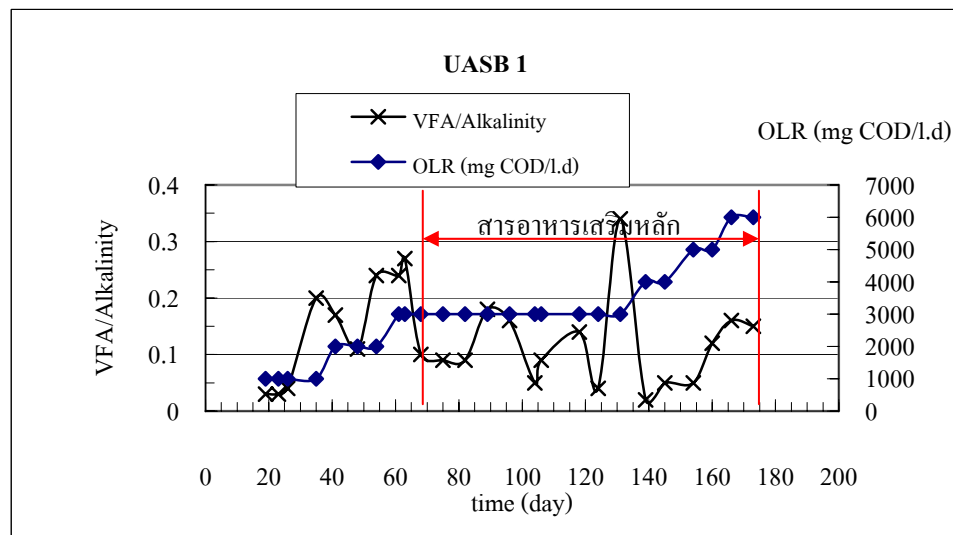
4.3.2.2 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2

ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 ถึง 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 86 ของการทดลอง พบว่าค่าความเป็นด่างเท่ากับ 2,150 – 9,244 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าระบบมีกำลังบำบัดอย่างเพียงพอ โดยค่ากรดไขมันระเหยมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ เท่ากับ 88 – 1144 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างเท่ากับ 0.04 – 0.21 แสดงว่าแบคทีเรียสร้างกรดเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นกรดมากขึ้น ระบบเริ่มเสียสมดุลจนกระทั่งในวันที่ 87 ของการทดลองเกิดสภาวะตะกอนลอยในถังปฏิกรณ์ และพบว่าค่าความเป็นด่างลดต่ำลงเท่ากับ 2,875 – 2,950 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1,491 – 1894 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือเท่ากับ 0.51 – 0.66 ซึ่งเมื่อป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ร่วมกับสารอาหารเสริมรอง เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ในวันที่ 96 ของการทดลอง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าค่าความเป็นด่างปรับตัวโดยมีแนวโน้มสูงขึ้นเท่ากับ 1,938 – 4,338 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยเท่ากับ 63 – 625 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างเท่ากับ 0.02 – 0.23 และค่าพีเอชเท่ากับ 8.05 – 8.82 จากค่าดังกล่าวเป็นช่วงค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน และในวันที่ 167 ของการทดลอง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน มีการเปลี่ยนแปลงเป็นป้อนเฉพาะสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece และเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 20,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 194 ของการทดลอง พบว่ากำลังในการบำบัดของระบบลดต่ำลง โดยค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,433 – 1,750 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยเท่ากับ 1,345 – 2,250 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างเท่ากับ 0.77 – 1.57 และค่าพีเอชเท่ากับ 6.74 – 7.35 ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีลดลง

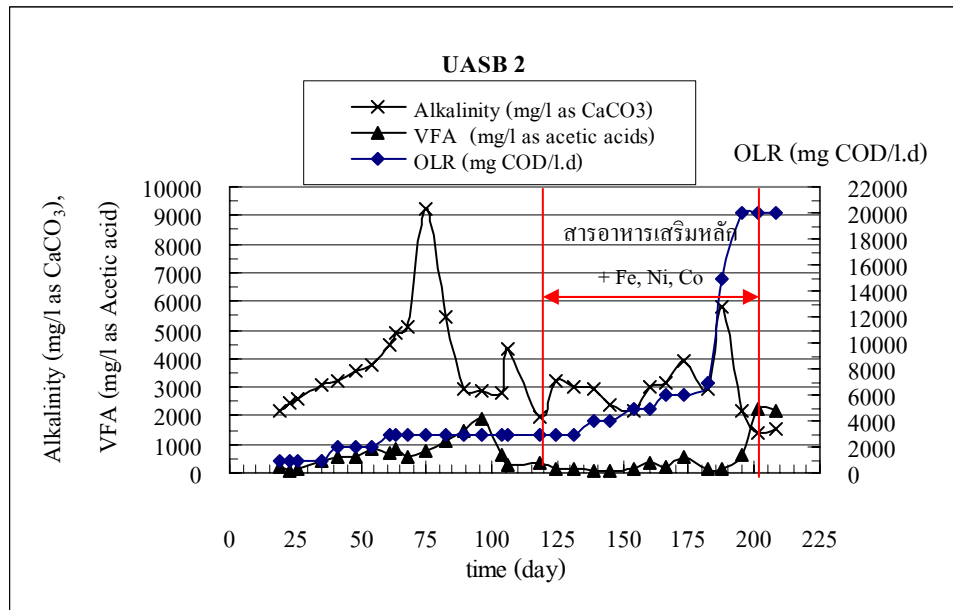
เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อแบคทีเรียจนอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ โดยค่าความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย และอัตราส่วน กรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.26 และ 4.27



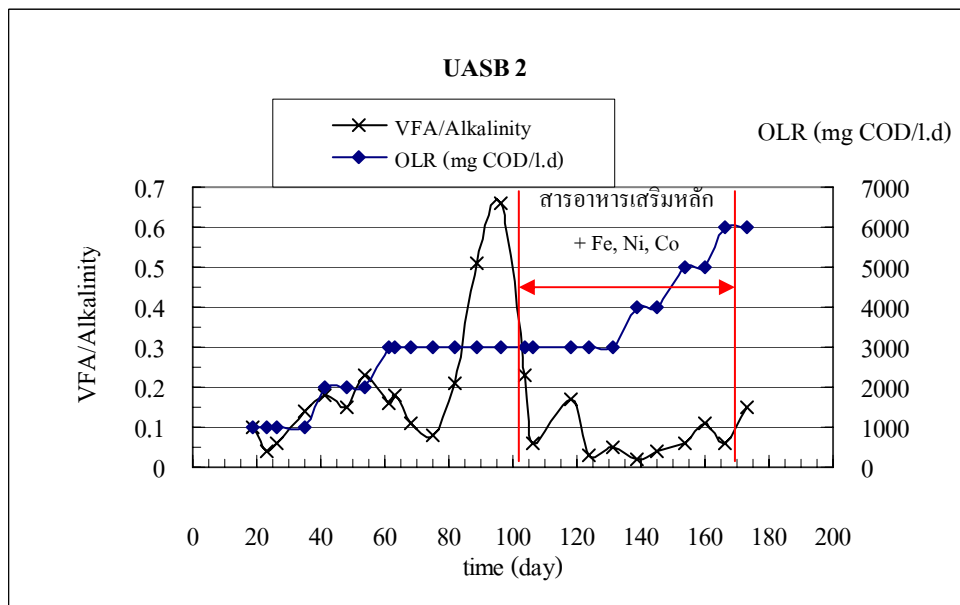
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่าง กรดไขมันระเหยง่าย และค่าอัตรา
การบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 1



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่าง
และค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 1



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่าง กรดไขมันระเหยง่าย และค่าอัตรา
การบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 2



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่าง
และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 2

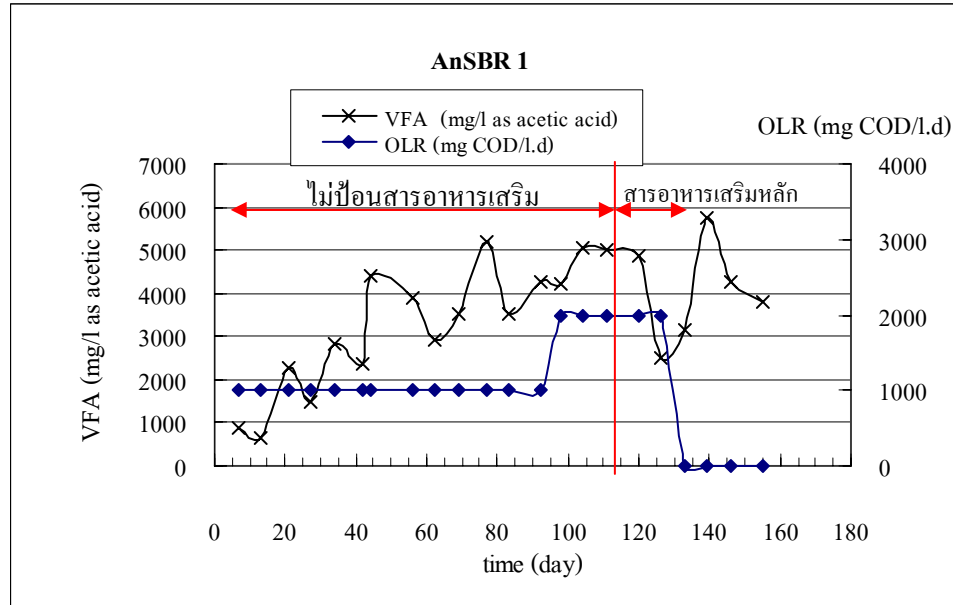
4.3.2.3 ถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1

ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ค่าสภาพความเป็นด่างเท่ากับ 1,681 – 6,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยเท่ากับ 650 – 5,200 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเท่ากับ 0.24 – 2.10 และค่าพีเอชเท่ากับ 7.30 - 8.73 เนื่องจากไม่มีการป้อนสารอาหารเสริมใดๆ สภาพแวดล้อมของระบบจึงเสถียรมากขึ้นเรื่อยๆ ระบบมีกำลังบำบัดพอต่ำลงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีลดลง เนื่องจากกรดไขมันระเหยที่เกิดจาก แบคทีเรียสร้างกรดมีแนวโน้มสูงมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่ไม่เหมาะสม กระทั่งในวันที่ 92 ของการทดลอง เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน และป้อนสารอาหารเสริมหลักในวันที่ 105 ของการทดลองพบว่าค่าความเป็นด่างเท่ากับ 2,645 – 6,225 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยเท่ากับ 2,491 – 5,766 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างเท่ากับ 0.60 – 1.69 และค่าพีเอชเท่ากับ 8.20 - 8.39 แสดงว่าสภาพแวดล้อมของระบบดีขึ้นเพียงเล็กน้อยจากการเติมสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece แต่หากยังไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี โดยค่าสภาพความเป็นด่าง ค่ากรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างในถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.28 และ 4.29

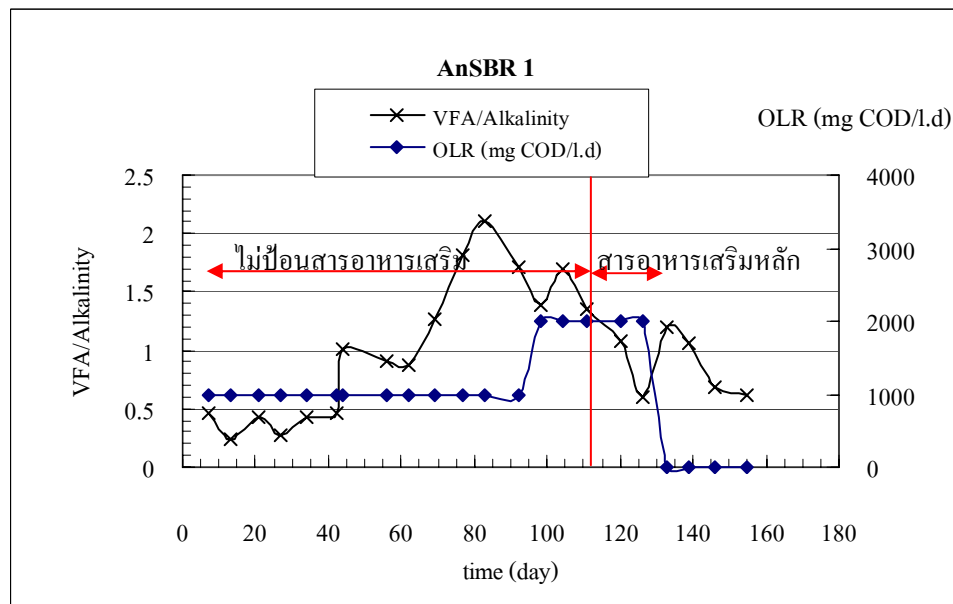
4.3.2.4 ถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ก่อนการป้อนสารอาหารเสริมหลัก สูตร Speece ในวันที่ 28 ของการทดลอง พบว่าค่าความเป็นด่างเท่ากับ 938 – 4,883 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า กรดไขมันระเหยเท่ากับ 813 – 2,175 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง เท่ากับ 0.43 – 0.87 และค่าพีเอชเท่ากับ 8.00 – 8.44 จากค่าดังกล่าว แสดงว่าระบบมีกำลังบำบัดพอไม่เพียงพอ ซึ่งสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนในวันที่ 28 ของการทดลอง จึงป้อน สารอาหารเสริมหลักสูตร Speece พบว่าค่าความเป็นด่างเท่ากับ 2,183 – 5,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเท่ากับ 167 – 3,525 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างเท่ากับ 0.06 – 0.58 และค่าพีเอชเท่ากับ 8.20 – 8.72 จึงกล่าวได้ว่าการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece เป็นการปรับสมดุลแก่สภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 106 ของการทดลอง พบว่าค่าความเป็นด่างเท่ากับ 4,235 – 6,605 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยมีแนวโน้มสูงขึ้นเท่ากับ 1,279 – 6,309 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างเท่ากับ 0.30 – 1.16 และค่าพีเอชเท่ากับ 7.53 – 8.53 แสดงว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ระบบเริ่มเสถียรมากขึ้นเนื่องจากเกิดกรดไขมันระเหยสูงขึ้นจนอาจเกิดภาวะ

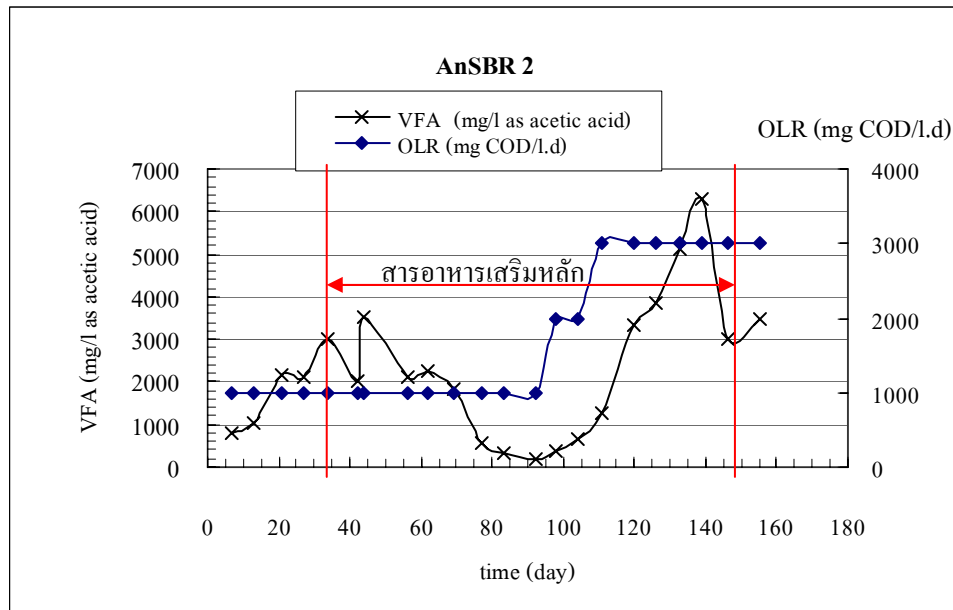
ล้มเหลวได้ โดยค่าสภาพความเป็นด่าง ค่ากรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซีชุดที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.30 และ 4.31



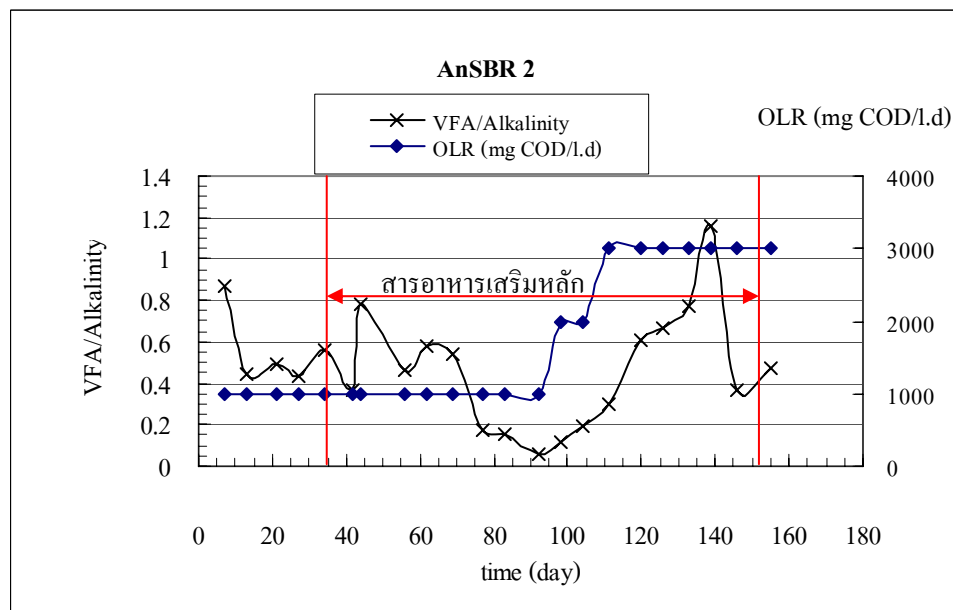
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดไขมันระเหยง่าย และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไรรีอากาศชุดที่ 1



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่าง และค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไรรีอากาศชุดที่ 1



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดไขมันระเหยง่าย และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่าง และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

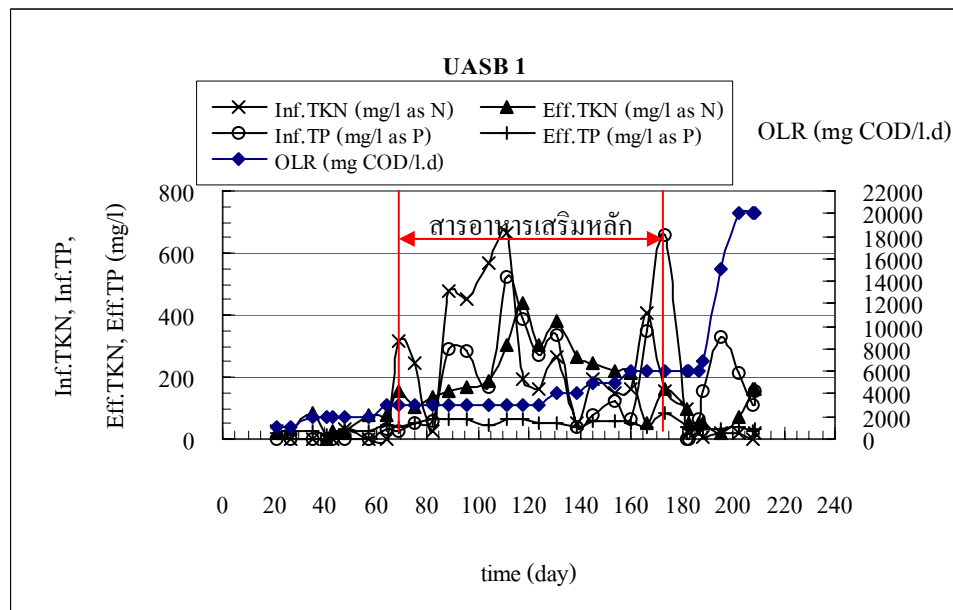
4.3.3 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดและค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

เนื่องจากสารอาหารเสริมหลักอีกสามชนิด ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ช่วยในการเจริญเติบโต และการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็น สารอาหารที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในเซลล์ของแบคทีเรีย ซึ่งอาจต้องการในปริมาณน้อยแต่ไม่อาจขาด ได้ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง COD : N : P เท่ากับ 100 : 1.8 : 0.28 [30] ค่าไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ค่าไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกของถังปฏิกรณ์ต่างๆ ที่ทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งหากพิจารณาค่า COD : N : P ในน้ำเสียที่เข้าระบบได้เท่ากับ 100 : 0.51 : 0.36 จะเห็นว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีการขาดแคลน ไนโตรเจน ดังนั้นการป้อนสารอาหารเสริมจึงช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยค่าที่เคเอ็นน้ำเข้า ค่าที่เคเอ็นน้ำออก ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออก แสดงดังรูปที่ 4.32, 4.33, 4.34 และ 4.35

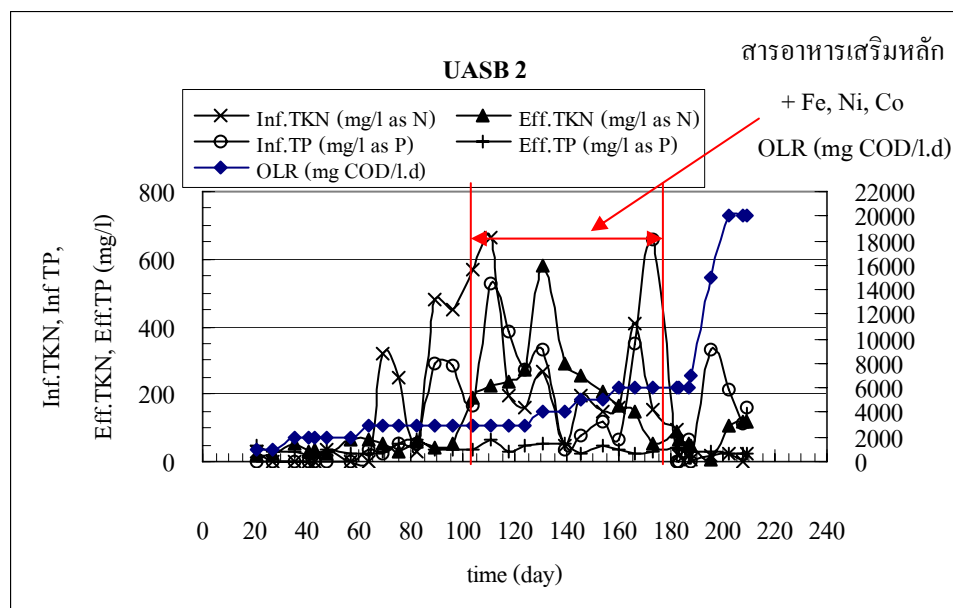
ตารางที่ 4.1 ค่าที่เคเอ็นและฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียแต่ละถังปฏิกรณ์

Reactor	TKN (mg/l)		TP (mg/l)	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent
UASB 1	16-356 (190)	18 - 436 (142)	33-123 (81)	13 - 86 (49)
UASB 2	16-356 (190)	19 - 578 (118)	33-123 (81)	14 - 63 (46)
AnSBR 1	16 – 662 (217)	20 - 293 (103)	3 - 659 (204)	25 - 114 (80)
AnSBR 2	16 – 662 (217)	57 - 251 (165)	3 - 659 (204)	26 - 418 (65)

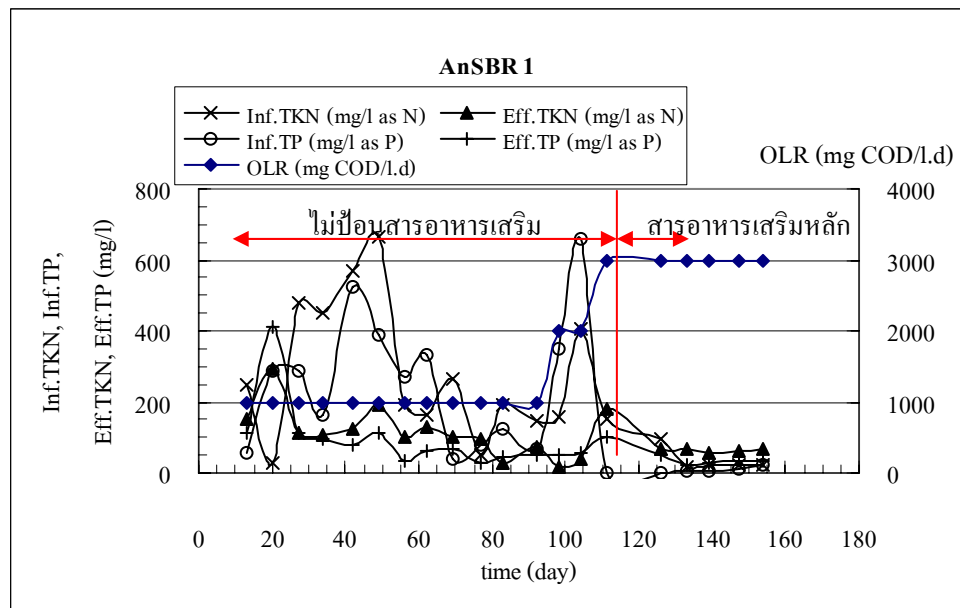
หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บเป็นค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง



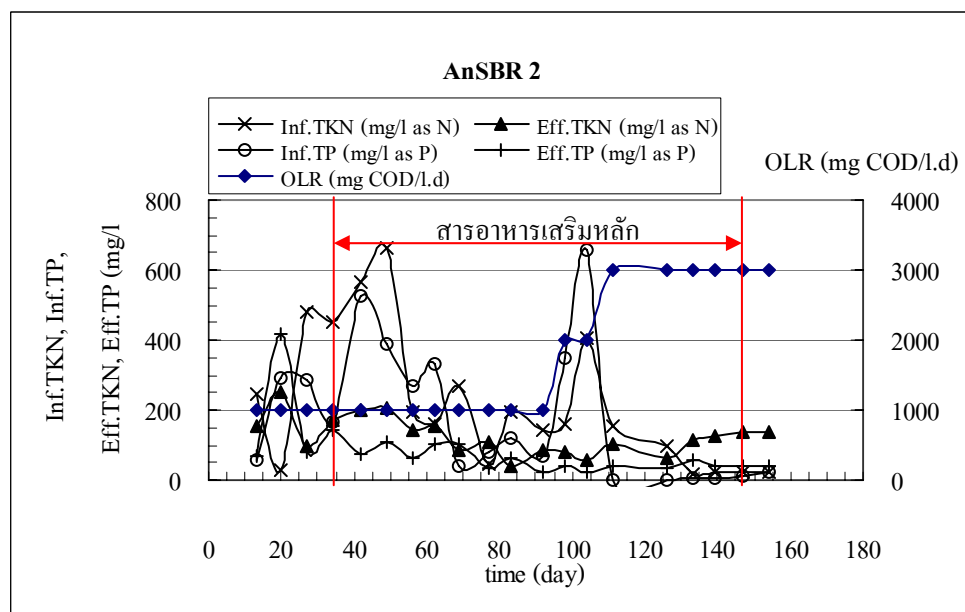
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เคื่อน้ำเข้า และน้ำออก ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า และน้ำออก และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 1



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เคื่อน้ำเข้า และน้ำออก ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเข้า และน้ำออก และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีชนิดที่ 2



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เคื่อน้ำเข้าและน้ำออก ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเข้า และน้ำออก และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เคื่อน้ำเข้าและน้ำออก ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก และค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่อเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

4.4 ลักษณะเหตุการณ์ที่เกิดภายในถังปฏิกรณ์

ผลการทดลองที่พบเกิดภายในถังปฏิกรณ์จะเป็นตัวชี้สมรรถนะของระบบบำบัด จากทฤษฎีของผู้ทำการวิจัย โดยเป็นลักษณะความเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

4.4.1 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 1 และ 2

ระยะแรกของการเดินระบบพบว่า ที่ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 และ 2,000 มิลลิกรัม ซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 1 และ 2 มีลักษณะฟองก๊าซเกิดขึ้นเล็กน้อย และตะกอนแบคทีเรียจมตัวได้คืออยู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ต่อมาตะกอนแบคทีเรียส่วนหนึ่งลอยขึ้นด้านบนทำให้ทางระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดเกิดปัญหาอุดตันในวันที่ 49 และ 87 ของการทดลอง ตามลำดับ โดยลักษณะตะกอนที่ลอยออกจากถังปฏิกรณ์ แสดงไว้ดังรูปที่ 4.38 ซึ่งเมื่อทำการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece และสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ร่วมกับเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพี ชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ปรากฏว่าตะกอนแบคทีเรียมีลักษณะจมตัวได้ดีขึ้น หลังจากป้อนสารอาหาร เสริมที่ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 ถึง 6,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่ามีก๊าซชีวภาพเกิดสูงมากโดยพุ่งจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของทั้งสองชุดการทดลอง และความสูงของตะกอนแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์สูงขึ้นที่ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน แต่ในทางกลับกันค่าของแจึงแวนลอยในน้ำออกมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ต่อมาเกิดภาวะตะกอนลอยขึ้นอีกครั้งในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 2 จึงเปลี่ยนการป้อนสารอาหาร โดยป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ร่วมกับเหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ และสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่าสามารถแก้ไขภาวะตะกอนลอยในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 2 ได้ จนกระทั่งในวันที่ 179 ของการทดลอง ได้เปลี่ยนน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง และทำการเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ปรากฏว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีค่อยๆ ลดลง ค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างสูงขึ้น และค่าของแจึงแวนลอยระเหยน้ำออกสูงขึ้น แสดงว่าระบบเริ่มเสถียร

4.4.2 ถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2

ระยะแรกของการเดินระบบจนกระทั่งในวันที่ 28 ของการทดลอง ที่ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 1,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่าง และค่าของแจึงแวนลอยระเหยน้ำออกใกล้เคียงกัน เมื่อทำการป้อนสารอาหารเสริมหลักสูตร Speece ในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1

อากาศชุดที่ 1 ซึ่งไม่มีการป้อนสารอาหารเสริมใดๆ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีต่ำลง โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ปรากฏว่าถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีต่ำลงอย่างมาก ค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างสูงขึ้นจนอาจทำให้ระบบล้มเหลวในที่สุด ขณะที่เมื่อเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีค่อยๆ ต่ำลง ค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าความเป็นด่างสูงขึ้นแต่ยังคงอยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้ ลักษณะภายในถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดมีลักษณะตะกอนลอยอยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศทั้ง 2 ชุดการทดลอง โดยลักษณะตะกอนแสดงดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ลักษณะตะกอนแบคทีเรียที่ลอยอยู่ด้านบนถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพี และถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2

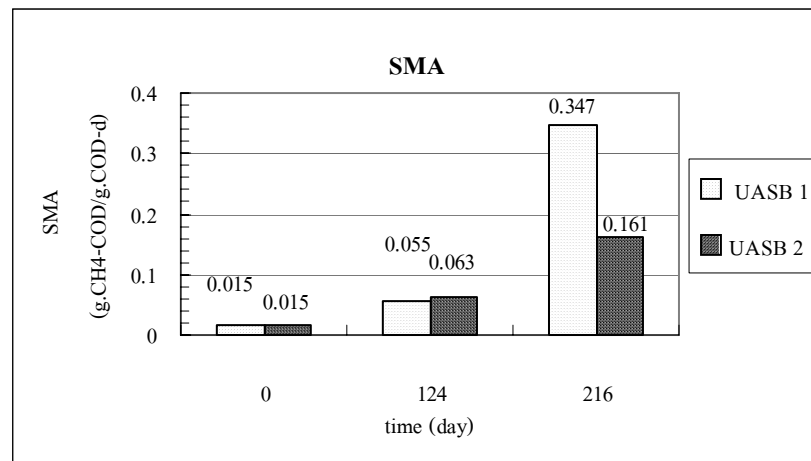
4.5 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (SMA)

ค่าเอสเอ็มเอเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทนในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนมีหน่วยเป็น ก.มีเทน-ชีโอดี/ก.วีเอสเอส-วัน และจากการทดลองได้ทำการหาค่าเอสเอ็มเอ ตะกอนหัวเชื้อแบคทีเรียเริ่มต้นจากกองควบคุมคุณภาพน้ำ โรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม กรุงเทพมหานคร เท่ากับ 0.015 ก.มีเทน-ชีโอดี/ก.วีเอสเอส-วัน และหาค่าเอสเอ็มเอในถังยูเอเอสพีชุดที่ 1 และ 2 ในวันที่ 124 , 216 ของการทดลอง ส่วนในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2 ในวันที่ 105 , 156 ของการทดลอง โดยค่าเอสเอ็มเอทั้งหมดเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าเอสเอ็มเอของตะกอนเริ่มต้น พบว่าแบคทีเรียที่ผ่านกระบวนการบำบัดในงานวิจัยให้ค่าที่สูงขึ้น โดยค่าเอสเอ็มเอจากตะกอนแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 1 และ 2 ในวันที่ 124 ของการทดลองเท่ากับ 0.055, 0.063 ก.มีเทน-ชีโอดี/ก.วีเอสเอส-วัน ตามลำดับ และในวันที่ 216 ของการทดลอง เท่ากับ 0.347 และ

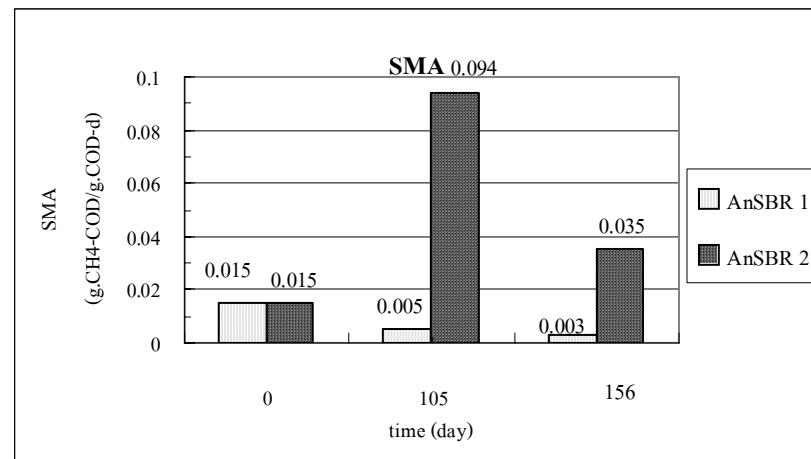
0.161 ก.มีเทน-ซัลไฟด์/ก.วีเอสเอส-วัน แสดงว่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทนเพิ่มขึ้น แต่เนื่องด้วยค่าเอสเอ็มเอในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซัดที่ 2 ในวันที่ 216 ของการทดลองเท่ากับ 0.161 ก.มีเทน-ซัลไฟด์/ก.วีเอสเอส-วัน ซึ่งไม่เพิ่มสูงขึ้นมากอันอาจเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์เริ่มมีคุณภาพต่ำลงจึงส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดซัลไฟด์ต่ำลง และในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 ไม่มีการป้อนสารอาหารเสริมใดๆ ค่าเอสเอ็มเอในวันที่ 105 มีค่าต่ำลงเท่ากับ 0.005 ก.มีเทน-ซัลไฟด์/ก.วีเอสเอส-วันขณะที่ถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 ป้อนสารอาหารเสริมหลักปรากฏว่าค่าเอสเอ็มเอสูงขึ้นเท่ากับ 0.094 ก.มีเทน-ซัลไฟด์/ก.วีเอสเอส-วัน และในวันที่ 156 ของการทดลอง ค่าเอสเอ็มเอของถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2 เท่ากับ 0.003 และ 0.035 ตามลำดับ แสดงว่าความสามารถของตะกอนแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 ลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากการไม่ป้อนสารอาหารเสริมใดๆ เป็นระยะเวลานาน ขณะที่ความสามารถของตะกอนแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 ลดลงกว่าในวันที่ 105 เนื่องจากเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมซัลไฟด์ต่อลิตรต่อวัน โดยค่าเอสเอ็มเอในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซัดที่ 1 ถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซัดที่ 2 ถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.2 และดังรูปที่ 4.37 และ 4.38

ตารางที่ 4.2 ค่าเอสเอ็มเอตะกอนเชื้อแบคทีเรีย

Reactor	SMA (ก.มีเทน-ซัลไฟด์/ก.วีเอสเอส-วัน)		
	วันที่ 0	วันที่ 124	วันที่ 216
UASB 1	0.015	0.055	0.347
UASB 2	0.015	0.063	0.161
	วันที่ 0	วันที่ 105	วันที่ 156
AnSBR 1	0.015	0.005	0.003
AnSBR 2	0.015	0.094	0.035



รูปที่ 4.37 ค่าเอสเอ็มเอของตะกอนแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีซดที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.38 ค่าเอสเอ็มเอของตะกอนแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลการเติมสารอาหารเสริม และผลของชนิดถังปฏิกรณ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากของเหลวที่เหลือจากกระบวนการบำบัดผลิตไบโอดีเซล โดยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ขนาด 5 ลิตร จำนวน 2 ชุด และถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศขนาด 1 ลิตร จำนวน 2 ชุด ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 เพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 1,000 ถึง 20,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ระยะเวลาเดินระบบทั้งสิ้น 222 วัน และเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 1,000 ถึง 2,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน สำหรับระบบเอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และจาก 1,000 ถึง 3,000 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน สำหรับระบบ เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 ระยะเวลาเดินระบบทั้งสิ้น 156 วัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าชีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD : N : P) มีค่าประมาณเท่ากับ 100 : 0.51 : 0.01 ซึ่งปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วน COD : N : P ที่เหมาะสมต่อกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ ดังนั้นเมื่อป้อนสารอาหารเสริมหลักที่มีไนโตรเจน และฟอสฟอรัสให้แก่ระบบเอสปีอาร์ไร้อากาศจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีได้ ขณะที่การป้อนสารอาหารเสริมหลักในระบบยูเอเอสบีมีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีอย่างไม่น่าสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการกักเก็บตะกอนเนื่องจากเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นปริมาณมาก

การป้อนสารอาหารเสริมหลักร่วมกับเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีปรับปรุงประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีได้เนื่องจากสารอาหารเสริมรองเช่น เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์เป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่เรียสร้างมีเทน โดยมีความต้องการในปริมาณน้อยแต่ไม่สามารถขาดได้

ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีลดลง โดยในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีขนาด 5 ลิตร ที่ป้อนสารอาหารเสริมหลัก เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเท่ากับ 82.30 – 96.50 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีที่ป้อนสารอาหารเสริมหลักร่วมกับเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเท่ากับ 80.33 - 94.91 เปอร์เซ็นต์ ถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศขนาด 1 ลิตร ที่ไม่ป้อนสารอาหารเสริมใดๆ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเท่ากับ 50.30 – 58.00

เปอร์เซ็นต์ และถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศ ที่ป้อนสารอาหารเสริมหลักเท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 84.63 – 90.86 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการป้อนสารอาหารเสริมทำให้ระบบสามารถรับค่าการบรรทุสารอินทรีย์ได้สูงขึ้น และส่งผลถึงเสถียรภาพของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

สำหรับระบบยูเอเอสบีมีข้อจำกัดด้านการกักเก็บมวลชีวภาพ เนื่องจากเมื่อเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในปริมาณมากหากความสามารถในการจมตัวของตะกอนแบคทีเรียต่ำ หรือความเร็วในการระบายก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอ อาจส่งผลให้เกิดปัญหาการยกตัวหรือลอยออกของชั้นตะกอนแบคทีเรียจากระบบ

อัตราส่วนระหว่างของแข็งแขวนลอยต่อของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS/SS) ในถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ 2 เท่ากับ 0.45 – 0.93, 0.48 – 0.97, 0.06 – 0.78 และ 0.15 – 0.85 ตามลำดับ ซึ่งในระบบยูเอเอสบีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียในระบบมีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น อีกทั้งมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมากทำให้มีจำนวนแบคทีเรียหลุดออกจากระบบสูง ส่วนระบบเอสปีอาร์ไร้อากาศนั้นมีค่าของแข็งแขวนลอย และอัตราส่วนระหว่างของแข็งแขวนลอยต่อของแข็งแขวนลอยระเหยขึ้นกับระยะเวลาในการตกตะกอน และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ระบายน้ำก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งจากการทดลองใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนประมาณ 60 นาที

การป้อนสารอาหารเสริมหลัก และสารอาหารเสริมหลักร่วมกับเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ ช่วยรักษาสสมดุลให้แก่ระบบ โดยการป้อนสารอาหารเสริมช่วยในการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยจากการทดลอง พบว่าอัตราส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่าง (VFA/Alk) ลดลง ขณะที่ระบบเอสปีอาร์ไร้อากาศไม่มีการเติมสารอาหารเสริมใดๆ เกิดกรดไขมันระเหยจากแบคทีเรียสร้างกรด จึงเป็นเหตุให้พีเอชในระบบลดต่ำลง ระบบมีกำลังในการบำบัดต่ำลง ซึ่งการเติมโซเดียมคาร์บอเนต (NaCO_3) เพื่อเพิ่มสภาพความเป็นด่าง จะช่วยเพิ่มกำลังในการบำบัดให้แก่ระบบ

ค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (SMA) ของแบคทีเรียก่อนเริ่มการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.015 (ก.มีเทน-ซีไอดี/ก.วีเอสเอส-วัน) และสำหรับถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ในวันที่ 124 ของการทดลอง มีค่า SMA เท่ากับ 0.55 และ 0.63 ก.มีเทน-ซีไอดี/ก.วีเอสเอส-วันตามลำดับ และถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 และ ในวันที่ 105 ของการทดลอง มีค่า SMA เท่ากับ 0.005 และ 0.094 ก.มีเทน-ซีไอดี/ก.วีเอสเอส-วัน จากการทดลอง แสดงว่าแบคทีเรียที่ผ่านระบบบำบัดแล้วทำให้มีค่า SMA สูงขึ้น และค่า SMA ในระบบเอสปีอาร์ไร้อากาศมีค่าสูงกว่าระบบยูเอเอสบี อาจเนื่องจากความสามารถในการกักเก็บมวลชีวภาพของระบบยูเอเอสบียังไม่มีประสิทธิภาพเท่ากับระบบเอสปีอาร์ไร้อากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากระบบยูเอสบีมีสภาวะตะกอนลอยขึ้นด้านบนของถังปฏิกรณ์ และส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณท่อน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว อันอาจเนื่องมาจากการเกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณสูง อัตราการไหลของน้ำต่ำทำให้การระบายก๊าซไม่เพียงพอทำให้ตะกอนยกตัว หรืออาจเกิดจากองค์ประกอบของน้ำเสียซึ่งเป็นไขมันทำให้มวลชีวภาพลอยตัวขึ้นบนผิวน้ำ จึงควรพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยในการกักเก็บตะกอนชีวภาพไว้ภายในระบบให้ได้มากที่สุด และควรทำการศึกษาถึงองค์ประกอบของของเหลวที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มเติม

จากงานวิจัยนี้ระบบเอสบีอาร์ไร้อากาศมีข้อจำกัดด้านขนาดของถังปฏิกรณ์ที่เล็กเกินไปหากความเร็วและระยะเวลาในการตกตะกอนของแบคทีเรียในระบบต่ำจะทำให้ในขั้นตอนการดึงน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบอาจมีตะกอนชีวภาพหลุดออกจากระบบสูง และอุปกรณ์ที่ช่วยในการกวนผสมนั้นก็มีกำลังต่ำทำให้ในระยะที่แบคทีเรียมีการเจริญเติบโตกระทั่งมีปริมาณมากอาจเกิด dead zone ภายในถังปฏิกรณ์ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีได้

เอกสารอ้างอิง

1. เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2543, **วิศวกรรมกรรมการจัดน้ำเสีย**, เล่ม 4, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 291-292, 295-297, 346-347, 352, 355-356.
2. วัยพรณ ปุจฉาการ และคณะ, 2549, การพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซล (Production Development of Biodiesel), **วิศวกรรมสารเอเชียอาคเนย์**, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, ธันวาคม 2548-พฤษภาคม, หน้า 48-49.
3. จักรพงษ์ ไชยบุรี, 2548, การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ, **วารสารปาริชาติ**, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2, ตุลาคม 2547-มีนาคม 2548, หน้า 1 – 7.
4. มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2542, **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม**, เล่มที่ 1 และ 2, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 3-4, 6-7, 9-13, 15, 34 –35.
5. Speece, R.E., 1996, **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters**, Vanderbilt University, p. 155.
6. วิมาน นพรัตน์วัฒนา, 2548, การเกิดตะกอนเมื่อดจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีขนาด 200 ลิตร, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 13, 14.
7. Kayhanian, M. and Rich, D., 1995, “Pilot-Scale High Solids Thermophilic Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste with an Emphasis on Nutrient Requirements”, **Biomass and Bioenergy**, Vol. 8, No. 6, pp. 433-444.
8. โครงการจัดทำคู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ, **คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1**, กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, หน้า 6-11, 6-12, ISBN 974-9558-55-3.

9. วลัยรัตน์ มาลัยหอม, 2545, ความสามารถจำเพาะในการผลิตก๊าซมีเทนของเม็ดยีสองชนิดที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 35, 36.
10. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบ Sequencing Batch Reactor หรือ SBR, *Colourwy*, Vol. 32, January-February 2001, pp. 18-21.
11. กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, “โครงการการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน”, คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1, หน้า 6-18, 6-20, ISBN 974-9558-04-9.
12. Special Focus Development of Anaerobic SBR(ANSBR) for High Strength Wastewater Treatment, Assoc Prof WJ Ng, <http://www.eng.nus.edu.sg/Eresnews/9911/p3.html>.
13. Bodik, I., 2002, “The Use of Upflow Anaerobic Filter and AnSBR for Wastewater Treatment at Ambient Temperature”, *Water Researce*, Vol. 36, pp. 1084-1088.
14. พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, คัมภีร์ปาล์มน้ำมันพืชเศรษฐกิจเพื่ออุปโภคและบริโภค, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ, หน้า 25, 27, 30, 48, 294.
15. เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2548, คู่มือปาล์มน้ำมัน, พิมพ์ครั้งที่ 1, เพ็ท-แพลัน-พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ, หน้า 258, 295.
16. เกษร สิทธิหนี่ว, 2545, “น้ำมันทดแทนจากพืช ความยั่งยืนแห่งพลังงาน ”, *Feature Magazine*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 207, พฤษภาคม 2545. หน้า 32-33.
17. พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล, “ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือก?”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปีที่ 16, ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม 2544), หน้า 3 – 13

18. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2543/44,เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 9/2544 ISSN 0857-6610, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร
19. ป้าย อุ่นใจ และ สยาม ภาพลือชัย, 2544, “ไบโอดีเซล เชื้อเพลิงแห่งยุคสมัย”, **Update**, ปีที่ 16 ฉบับที่ 168 สิงหาคม 2544 , <http://www.navy.mi.th/dockyard/biodesel.html>[online], 26 สิงหาคม พ.ศ. 2549
20. “ เชื้อเพลิงสองแถว “ไบโอดีเซล” สู่วิถีงานทดแทนของชาติ ”, หนังสือพิมพ์สยามธุรกิจ, วันศุกร์ที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2548
21. Sharma, J. and Singh, R., 2001 “Effect of Nutrients Supplementation on Anaerobic Sludge Development and Activity for Treating Distillery Effluent”, **Bioresource Technology**, Vol.79, India, pp. 203-206.
22. Cresson, R.,Carrere. H., Delgenes, J.P. and Bernet, N., 2006, “Biofilm Formation during the Start-up Period of An Anaerobic Biofilm Reactor-Impact”, **Biochemical Engineering Journal**, 4 February 2006, France, pp. 1-8.
23. Saatci, Y., Arslan, E.I. and Konar, V., 2003, “Removal of Total Lipids and Fatty Acids from Sunflower Oil Factory Effluent by UASB Reactor”, **Bioresource Technology**, Vol. 87, Turkey, pp. 269-272.
24. Yacob, S., Shiri, Y., Ali Hassan, M., Wakisaka, M. and Subash, S., 2006, “Start-Up Operation of Semi-Commercial Closed Anaerobic Digester for Palm Oil Mill Effluent Treatment”, **Process Biochemistry**, Vol. 41, Japan, pp. 962-964.
25. Borja, R., Banks, C.J. and Sanchez, E., 1996, “Anaerobic Treatment of Palm Oil Mill Effluent in a Two Stage Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) System”, **Journal of Biotechnology**, Vol. 45, Spain, pp. 125-135.

26. Kida, K., Shigematsu, T., Kijima, J., Numaguchi, M., Mochinaga, Y., ABE, N. and Moromura, S., 2001, "Influence of Ni^{2+} and Co^{2+} on Methanogenic Activity and the Amounts of Coenzymes Involved in Methanogenesis", **Journal of Bioscience and Bio engineering**, Japan, Vol. 91, No. 6, pp. 590-595.

27. Parawira, W., Kudita, I., Nyandoroh, M.G. and Zvauya, R., 2005, "A Study of Industrial Anaerobic Treatment of Opaque Beer Brewery Wastewater in a Tropical Climate Using a Full-Scale UASB Reactor Seeded with Activated Sludge", **Process Biochemistry**, Vol. 40, Zimbabwe, pp. 593-599.

28. Chinnaraj, S. and Venkoba Rao, G., 2006, "Implementation of an UASB Anaerobic Digestion at Bagasse-based Pulp and Paper Industry", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 30, India, pp. 273-277.

29. Najafpour, G.D., Zinatizadeh, A.A.L., Mohamed, A.R., Hasnain Isa, M. and Nasrollahzadeh, H., 2006, "High-Rate Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill Effluent in an Upflow Anaerobic Sludge-Fixed Film Bioreactor", **Process Biochemistry**, Vol. 41, Malaysia, pp. 370-379.

30. Gonzalez, J.S., Rivera, A., Borja, R. and Sanchez, E., 1998, "Influent of Organic Volumetric Loading Rate, Nutrient Balance and Alkalinity:COD Ratio on the Anaerobic Sludge Granulation of an UASB Reactor Treating Sugar Cane Molasses", **International Biodeterioration and Biodegradation**, Vol. 41, pp. 127-131.

ภาคผนวก ก

การออกแบบการทดลอง

ก.1 การคำนวณการปรับอัตราไหลของปั๊มเวียนน้ำกลับ (ปรับโดยพิจารณาที่

Upflow Velocity เป็นหลัก)

ต้องการความเร็วไหลขึ้น = 0.25 m./hr.

$$\text{จาก } Q_{\text{Total}} = Q_{\text{Feed}} + Q_{\text{Recycle}} ; \quad Q_{\text{Feed}} = 0$$

$$Q_{\text{Total}} = A V ; \quad A = (\pi d^2)/4, d = 54 \text{ mm.} = 0.054 \text{ m.}, A = 0.0023 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{Total}} = 0.0023 \text{ m}^2 \times 0.25 \text{ m./hr} = 0.000575 \text{ m}^3/\text{hr.} = 0.575 \text{ L./hr.} = 9.58 \text{ ml./min} = 47.9 \text{ ml./}$$

5min

กรณี ตั้งเวลา timer 1 รอบการทำงาน = 5 นาที (On = 4 min, Off = 1 min) = 47.9 ml./ 5min

เพราะฉะนั้น 1 day ปั๊มปริมาณน้ำที่เวียนกลับ = $(24 \times 60) \times (47.9 \text{ ml./ 5min}) = 13,795.2 \text{ ml./d}$

ก.2 การทดสอบความสามารถจำเพาะของตะกอนแบคทีเรีย

(Specific Methanogenic Activity : SMA)

ขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1. เติมน้ำเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบตามสมควรลงในขวดขนาด 125 มิลลิลิตร (จดค่าปริมาณและหาค่า VSS เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ทดลอง)
2. เตรียมสารอาหารโดยกรดอะซิติกเป็นตัวแทนค่าซีโอดี ประมาณ 5,000 มก./ล. ร่วมกับสารอาหารเสริม (กรณี blank ไม่เติมน้ำเชื้อจุลินทรีย์) ปรับค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.8 – 7.2 โดย NaCO_3
3. นำสารอาหารจากข้อ 2 ใส่ในขวดปริมาณ 50 มิลลิลิตร
4. ปล่อยออกซิเจนออกจากขวด โดยพ่นด้วยก๊าซผสม $\text{N}_2 : \text{CO}_2$ ในอัตราส่วน 70 : 30 ประมาณ 30 วินาที ปิดปากขวดและเก็บขวดในที่มืดเพื่อหาปริมาณก๊าซ ณ เวลาต่างๆ
5. วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยการแทนที่น้ำ เขย่าขวดเป็นระยะๆ เพื่อกวนผสม
6. นำก๊าซที่ในขวดไปหาสัดส่วนของก๊าซมีเทน โดยวิธี Gas chromatography
7. นำค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมาเขียนกราฟ แสดงปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเทียบกับเวลา
8. ค่าความชันของกราฟที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถจำเพาะของตะกอนแบคทีเรียโดยใช้สูตร

$$\text{SMA} = A / (B \times \text{VSS})$$

เมื่อ SMA = ความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนที่อุณหภูมิห้อง (ก.ซีโอดี/ก.วีเอสเอส-วัน)

A = ค่าความชันของกราฟ

B = ปริมาตรทางทฤษฎีของก๊าซมีเทน ณ อุณหภูมิห้อง (1 g COD = 388 ml. CH_4)

VSS = ปริมาณของแข็งแขวนลอยระยะเหยของจุลินทรีย์ในขวด (ก.วีเอสเอส)

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ค่าซีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีโอดีละลายต่อซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mgCOD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent sCOD (mgCOD/l)	sCOD Removal (%)
Jul./5/06	0	1000	2216949	-	305	99.99
Jul./17/06	12	1000	1505085	-	358	99.98
Jul./20/06	15	1000	1505085	-	74	99.99
Jul./27/06	22	1000	2329412	0.73	278	99.99
Jul./31/06	26	1000	2329412	0.73	229	99.99
Aug./3/06	29	1000	2329412	0.73	358	99.98
Aug./7/06	33	1000	2329412	0.73	215	99.99
Aug./10/06	36	1000	2329412	0.73	605	99.97
Aug./15/06	41	1000	2329412	0.73	644	99.97
Aug./17/06	43	1000	2329412	0.73	772	99.97
Aug./22/06	48	2000	2329412	0.73	713	99.97
Aug./24/06	50	3000	46265	0.83	771	98.33
Aug./28/06	54	3000	92160	0.85	1099	98.81
Aug./31/06	57	3000	92160	0.85	1772	98.08
Sept./4/ 06	61	3000	92160	0.85	1419	98.46
Sept./7/06	64	3000	36240	0.79	906	97.50
Sept./11/06	68	3000	36240	0.79	560	98.45
Sept./14/06	71	3000	36240	0.79	710	98.04
Sept./18/06	75	3000	36240	0.79	448	97.76
Sept./22/06	79	3000	36240	0.79	273	98.74
Sept./25/06	82	3000	37795	0.76	507	98.66
Oct./2/06	89	3000	35019	0.64	1358	96.12
Oct./9/06	96	3000	24806	0.94	913	96.32

ตารางที่ ข.1 ค่าซีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีโอดีละลายต่อซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mgCOD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent sCOD (mgCOD/l)	sCOD Removal (%)
Oct./17/06	104	3000	31621	0.74	731	97.69
Oct./19/06	106	3000	31621	0.74	416	98.69
Oct./21/06	108	3000	31621	0.74	327	98.97
Oct./24/06	111	3000	31621	0.74	1020	95.15
Oct./26/06	113	3000	35016	0.93	327	99.04
Oct./31/06	118	3000	35016	0.93	652	98.08
Nov./9/06	127	3000	35016	0.93	375	97.93
Nov./13/06	131	4000	31620	0.92	346	98.67
Nov./16/06	134	4000	31620	0.92	705	97.99
Nov./20/06	138	4000	31620	0.92	353	98.99
Nov./23/06	141	5000	26046	0.64	419	98.43
Nov./30/06	148	5000	50909	0.92	232	99.54
Dec./4/06	152	5000	23225	0.92	465	97.99
Dec./7/06	155	6000	23225	0.92	1410	93.93
Dec./9/06	157	6000	23225	0.92	330	98.58
Dec./10/06	158	6000	23225	0.92	660	97.16
Dec./12/06	160	6000	29312	0.75	696	97.62
Dec./13/06	161	6000	29312	0.75	576	98.03
Dec./14/06	162	6000	29312	0.75	806	97.25
Dec./15/06	163	6000	29312	0.75	610	97.92
Dec./16/06	164	6000	29312	0.75	762	97.40
Dec./17/06	165	6000	29312	0.75	686	97.66
Dec./19/06	167	6000	20952	0.91	1143	94.56

ตารางที่ ข.1 ค่าซีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีโอดีละลายต่อซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mgCOD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent sCOD (mg COD/l)	sCOD Removal (%)
Dec./21/06	169	6000	26666	0.81	784	97.06
Dec./23/06	171	6000	26666	0.81	923	96.54
Dec./24/06	172	6000	26666	0.81	812	96.95
Dec./25/06	173	6000	26666	0.81	824	96.91
Dec./27/06	175	6000	26666	0.81	1329	95.02
Dec./28/06	176	6000	26666	0.81	997	96.26
Jan./3/07	182	4000	81269	0.72	960	98.82
Jan./4/07	183	5000	81269	0.72	498	99.39
Jan./5/07	184	5000	92960	0.80	342	99.63
Jan./9/07	188	7000	37945	0.65	505	99.32
Jan./15/07	194	11000	52480	0.63	1133	97.84
Jan./18/07	196	15000	52480	0.63	1075	97.95
Jan./22/07	201	20000	42835	0.78	1587	96.30
Jan./23/07	202	20000	42835	0.78	2182	94.91
Jan./26/07	205	20000	42835	0.78	7348	82.85
Jan./29/07	208	20000	36000	0.72	6372	82.30
Jan./31/07	210	20000	36000	0.72	7083	80.33
Feb./1/07	211	-	-	-	5032	-
Feb./5/07	215	-	-	-	4570	-
Feb./12/07	222	-	-	-	3351	-

ตารางที่ ข.2 ค่าซีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีโอดีละลายต่อซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mg COD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent sCOD (mg COD/l)	sCOD Removal (%)
Jul./5/06	0	1000	2216949	-	201	99.99
Jul./17/06	12	1000	1505085	-	107	99.99
Jul./20/06	15	1000	1505085	0.77	90	99.99
Jul./27/06	22	1000	2329412	0.73	233	99.99
Jul./31/06	26	1000	2329412	0.73	325	99.99
Aug./3/06	29	1000	2329412	0.73	575	99.98
Aug./7/06	33	1000	2329412	0.73	312	99.99
Aug./10/06	36	1000	2329412	0.73	478	99.98
Aug./15/06	41	1000	2329412	0.73	839	99.96
Aug./17/06	43	1000	2329412	0.73	1016	99.96
Aug./22/06	48	2000	2329412	0.73	585	99.97
Aug./24/06	50	3000	46265	0.83	636	98.63
Aug./28/06	54	3000	92160	0.85	752	99.18
Aug./31/06	57	3000	92160	0.85	762	99.17
Sept./4/ 06	61	3000	92160	0.85	803	99.13
Sept./7/06	64	3000	36240	0.78	655	98.19
Sept./11/06	68	3000	36240	0.78	710	98.04
Sept./14/06	71	3000	36240	0.78	728	97.99
Sept./18/06	75	3000	36240	0.78	560	98.45
Sept./22/06	79	3000	36240	0.78	741	96.58
Sept./25/06	82	3000	37795	0.76	1268	96.64
Oct./2/06	89	3000	35019	0.64	2307	93.41
Oct./9/06	96	3000	24806	0.94	2081	91.61

ตารางที่ ข.2 ค่าชีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนชีโอดีละลายต่อชีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ชีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mgCOD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent sCOD (mgCOD/l)	sCOD Removal (%)
Oct./17/06	104	3000	31621	0.74	767	97.58
Oct./19/06	106	3000	31621	0.74	340	98.92
Oct./21/06	108	3000	31621	0.77	291	99.08
Oct./24/06	111	3000	20076	0.82	529	97.37
Oct./26/06	113	3000	35019	0.93	291	99.17
Oct./31/06	118	3000	35019	0.93	435	98.76
Nov./6/06	124	3000	32604	0.95	405	98.76
Nov./13/06	131	4000	31620	0.92	326	98.75
Nov./16/06	134	4000	31620	0.92	216	99.38
Nov./20/06	138	4000	31620	0.92	260	99.26
Nov./23/06	141	5000	26046	0.86	518	98.01
Nov./30/06	148	5000	50909	0.68	542	98.93
Dec./4/06	152	5000	23225	0.92	426	98.17
Dec./7/06	155	6000	23225	0.92	114	99.51
Dec./9/06	157	6000	23225	0.92	220	99.05
Dec./10/06	158	6000	23225	0.92	1173	94.95
Dec./12/06	160	6000	29312	0.75	623	97.87
Dec./13/06	161	6000	29312	0.75	768	97.38
Dec./14/06	162	6000	29313	0.75	384	98.69
Dec./15/06	163	6000	29313	0.75	114	99.61
Dec./16/06	164	6000	29313	0.75	76	99.74
Dec./17/06	165	6000	29313	0.75	152	99.48
Dec./19/06	167	6000	29313	0.75	190	99.09

ตารางที่ ข.2 ค่าซีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีโอดีละลายต่อซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mgCOD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent t sCOD (mgCOD/l)	sCOD Removal (%)
Dec./21/06	169	6000	26666	0.81	74	99.72
Dec./23/06	171	6000	26666	0.81	332	99.75
Dec./24/06	172	6000	26666	0.81	997	96.26
Dec./28/06	176	6000	26666	0.81	702	97.37
Jan./3/07	182	4000	81269	0.72	960	98.82
Jan./4/07	183	5000	81269	0.72	107	99.87
Jan./5/07	184	5000	92964	0.80	190	99.80
Jan./9/07	188	7000	37945	0.65	220	99.42
Jan./11/07	190	9000	73992	0.78	272	99.63
Jan./15/07	194	11000	52480	0.63	1709	96.74
Jan./17/07	196	15000	52480	0.63	922	98.24
Jan./23/07	202	20000	42835	0.78	4086	90.46
Jan./26/07	205	20000	42835	0.78	6609	84.57
Jan./29/07	208	20000	36000	0.72	5172	85.63
Jan./31/07	210	20000	36000	0.72	6397	82.23
Feb./1/07	211	-	-	-	1858	-
Feb./5/07	215	-	-	-	1980	-
Feb./5/07	222	-	-	-	609	-

ตารางที่ ข.3 ค่าชีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนชีโอดีละลายต่อชีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ชีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mgCOD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent sCOD (mgCOD/l)	sCOD Removal (%)
Sept./14/06	9	1000	36240	0.79	2054	94.33
Sept./18/06	13	1000	36240	0.79	1233	96.60
Sept./22/06	17	1000	17171	0.80	2015	88.27
Sept./25/06	20	1000	17171	0.80	2107	91.50
Oct./9/06	34	1000	24806	0.90	3504	85.96
Oct./12/06	37	1000	21901	0.61	3484	84.09
Oct./17/06	42	1000	21901	0.61	3723	83.00
Oct./19/06	44	1000	21901	0.61	4762	78.26
Oct./24/06	49	1000	37795	0.90	6123	83.80
Oct./26/06	51	1000	37795	0.90	4073	89.22
Oct./31/06	56	1000	35019	0.93	6448	81.59
Nov./9/06	65	1000	26566	0.68	4425	75.57
Nov./13/06	69	1000	31621	0.77	6927	78.09
Nov./16/06	72	1000	31621	0.77	5251	83.39
Nov./20/06	76	1000	31621	0.77	5879	81.41
Nov./23/06	79	1000	26046	0.86	4545	82.55
Nov./27/06	83	1000	26046	0.86	5673	78.22
Dec./4/06	90	1000	50909	0.68	10968	78.46
Dec./7/06	93	2000	23225	0.92	2971	87.21
Dec./10/06	96	2000	23225	0.92	12923	44.36
Dec./12/06	98	2000	23225	0.92	9354	59.73
Dec./14/06	100	2000	29313	0.75	14095	51.92
Dec./18/06	104	2000	29313	0.75	9651	67.08

ตารางที่ ข.3 ค่าชีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนชีโอดีละลายต่อชีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ชีโอดีน้ำออก และ ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mgCOD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent sCOD (mgCOD/l)	sCOD Removal (%)
Dec./21/06	107	2000	26667	0.81	11829	55.64
Dec./24/06	110	2000	26667	0.81	10215	61.69
Dec./25/06	111	2000	26667	0.81	9354	64.92
Dec./27/06	113	2000	26667	0.81	6154	76.92
Dec./28/06	114	2000	26667	0.81	11200	58.00
Dec./30/06	116	2000	26667	0.81	12418	53.43
Jan./1/07	118	2000	26667	0.81	13254	50.30
Jan./3/07	120	2000	26667	0.81	12418	53.43
Jan./5/07	122	2000	26667	0.81	11763	55.89
Jan./8/07	125	2000	92964	0.80	14222	84.70
Jan./9/07	126	2000	92964	0.80	14121	84.81
Jan./11/07	128	-	-	-	7125	81.22
Jan./18/07	135	-	-	-	5632	89.27
Jan./22/7	139	-	-	-	9449	77.94
Jan./25/07	142	-	-	-	8315	80.59
Jan./29/07	146	-	-	-	9870	76.96
Feb./1/07	149	-	-	-	7242	83.09
Feb./5/07	153	-	-	-	11424	73.33
Feb./8/07	156	-	-	-	11013	74.29

ตารางที่ ข.4 ค่าซีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนซีโอดีละลายต่อซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mgCOD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent sCOD (mgCOD/l)	sCOD Removal (%)
Sept./14/06	9	1000	36241	0.79	2727	92.48
Sept./18/06	13	1000	36241	0.79	1457	99.98
Sept./22/06	17	1000	17171	0.80	2107	82.90
Sept./25/06	20	1000	17171	0.80	2029	85.14
Oct./9/06	34	1000	24806	0.90	3504	85.87
Oct./12/06	37	1000	21901	0.61	4335	80.21
Oct./17/06	42	1000	21901	0.61	3273	85.06
Oct./19/06	44	1000	21901	0.61	4233	80.67
Oct./24/06	49	1000	37795	0.90	5291	86.00
Oct./26/06	51	1000	37795	0.90	5745	84.80
Oct./31/06	56	1000	35018	0.93	3985	88.62
Nov./9/06	65	1000	26566	0.68	2700	89.83
Nov./13/06	69	1000	31621	0.77	2711	91.43
Nov./16/06	72	1000	31621	0.77	313	99.01
Nov./20/06	76	1000	31621	0.77	223	99.29
Nov./23/06	79	1000	26046	0.86	255	99.02
Nov./27/06	83	1000	26046	0.86	291	98.88
Dec./4/06	90	1000	50909	0.68	310	99.39
Dec./7/06	93	2000	23226	0.92	838	96.39
Dec./10/06	96	2000	23226	0.92	369	98.41
Dec./12/06	98	2000	23226	0.92	517	97.77
Dec./14/06	100	2000	29313	0.75	457	98.44
Dec./18/06	104	2000	29313	0.75	686	97.66

ตารางที่ ข.4 ค่าชีโอดีน้ำเข้า อัตราส่วนชีโอดีละลายต่อชีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า ชีโอดีน้ำออก และ ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent tCOD (mgCOD/l)	Influent sCOD/tCOD ratio	Effluent sCOD (mg COD/l)	sCOD Removal (%)
Dec./21/06	107	3000	26667	0.81	1046	96.08
Dec./24/06	110	3000	26667	0.81	2031	92.38
Dec./25/06	111	3000	26667	0.81	1920	92.80
Dec./27/06	113	3000	26667	0.81	3323	87.54
Dec./28/06	114	3000	26667	0.81	2437	90.86
Dec./30/06	116	3000	26667	0.81	3367	87.37
Jan./1/07	118	3000	26667	0.81	3690	86.16
Jan./3/07	120	3000	26667	0.81	3869	85.49
Jan./5/07	122	3000	26667	0.81	4098	84.63
Jan./8/07	125	3000	90746	0.80	4275	95.29
Jan./9/07	126	3000	52480	0.80	10112	80.73
Jan./11/07	128	3000	42835	0.78	9575	77.65
Jan./18/07	135	3000	42835	0.78	9831	77.05
Jan./22/07	139	3000	42835	0.78	13368	68.79
Jan./25/07	142	3000	42835	0.78	11226	73.79
Jan./29/07	146	3000	42835	0.78	12202	71.51
Feb./1/07	149	3000	42835	0.78	11226	73.79
Feb./5/07	153	3000	42835	0.78	12186	71.55
Feb./8/07	156	3000	42835	0.78	10887	74.58

ตารางที่ ข.5 ค่าของแรงแจ้งแวนลอยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยน้ำออก
และของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/L.d)	Influent SS (mg/l)	Influent VSS (mg/l)	Effluent SS (mg/l)	Effluent VSS (mg/l)	Effluent VSS/SS
Jul./17/06	12	1000	-	-	22	-	-
Jul./25/06	20	1000	-	-	20	-	-
Jul./31/06	26	1000	-	-	53	-	-
Aug./7/06	33	1000	-	0	25	-	-
Aug./22/06	48	2000	-	-	39	-	-
Aug./31/06	57	3000	-	-	48	-	-
Sept./7/06	64	3000	585	180	550	250	0.45
Sept./11/06	68	3000	780	530	1120	-	-
Sept./18/06	75	3000	600	245	560	-	-
Sept./25/06	82	3000	-	-	1160	670	0.58
Oct./2/06	89	3000	1000	110	1780	1300	0.73
Oct./9/06	96	3000	1700	140	1840	1040	0.57
Oct./17/06	104	3000	1000	360	1840	1040	0.57
Oct./19/06	106	3000	1000	100	1440	1201	0.83
Oct./31/06	118	3000	1700	120	4360	2660	0.61
Nov./6/06	124	3000	2000	170	2260	1115	0.49
Nov./16/06	134	4000	-	-	2460	1283	0.52
Nov./20/06	138	4000	3000	160	2200	860	0.39
Nov./27/06	145	5000	-	-	1640	1120	0.68
Dec./4/06	152	5000	2000	105	1860	1480	0.80
Dec./18/06	166	6000	4000	2300	1620	1300	0.80
Dec./21/06	169	6000	-	-	1945	1575	0.81
Dec./25/06	173	6000	7000	140	3160	2120	0.67

ตารางที่ ข.5 ค่าของแรงแจ้งแวนลอยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยน้ำออก และของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent SS (mg/l)	Influent VSS (mg/l)	Effluent SS (mg/l)	Effluent VSS (mg/l)	Effluent VSS/SS
Jan./3/07	182	6000	7000	110	2020	1880	0.93
Jan./9/07	188	7000	3267	3433	1440	1000	0.69
Jan./15/07	194	11000	3130	3470	9720	7680	0.79
Jan./25/07	204	20000	3331	-	5560	4750	0.85
Jan./29/07	208	20000	3104	-	5130	4420	0.86

ตารางที่ ข.6 ค่าของแรงแจ้งแวนลอยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยน้ำออก และของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 2

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent SS (mg/l)	Influent VSS (mg/l)	Effluent SS (mg/l)	Effluent t VSS (mg/l)	Effluent VSS/SS
Jul./17/06	12	2000	-	-	64	-	-
Jul./25/06	20	2000	-	-	39	-	-
Jul./31/06	26	2000	-	-	31	-	-
Aug./7/06	33	2000	-	0	51	-	-
Aug./22/06	48	2000	-	-	34	-	-
Aug./31/06	57	3000	-	-	35	-	-
Sept./7/06	64	3000	585	180	66	-	-
Sept./11/06	68	3000	780	530	410	195	0.48
Sept./18/06	75	3000	600	245	540	-	-
Sept./25/06	82	3000	-	-	470	290	0.62
Oct./2/06	89	3000	1000	110	1060	770	0.73
Oct./9/06	96	3000	1700	140	890	800	0.90
Oct./17/06	104	3000	1000	360	1320	800	0.61
Oct./19/06	106	3000	1000	100	1320	711	0.54
Oct./31/06	118	3000	1700	120	1800	1010	0.56
Nov./6/06	124	3000	2000	170	1720	990	0.58
Nov./16/06	134	4000	-	-	2020	1456	0.72
Nov./20/06	138	4000	3000	160	2280	1420	0.62
Nov./27/06	145	5000	-	-	980	600	0.61
Dec./4/06	152	5000	2000	105	2560	1760	0.69
Dec./18/06	166	6000	4000	2300	1440	960	0.67
Dec./21/06	169	6000	-	-	2510	1776	0.71
Dec./25/06	173	6000	7000	140	1120	860	0.77

ตารางที่ ข.6 ค่าของแรงแจ้งแวนลอยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยน้ำออก และของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสพีชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent SS (mg/l)	Influent VSS (mg/l)	Effluent SS (mg/l)	Effluent VSS (mg/l)	Effluent VSS/SS
Jan./3/07	182	6000	7000	110	1620	1280	0.79
Jan./9/07	188	7000	3267	3433	1260	1220	0.97
Jan./15/07	194	11000	3130	3470	13580	11780	0.87
Jan./25/07	204	20000	3331	-	3690	3300	0.89
Jan./29/07	208	20000	3104	-	2680	2540	0.95

ตารางที่ ข.7 ค่าของแรงแจ้งแวนลอยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยน้ำออก และของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent SS (mg/l)	Influent VSS (mg/l)	Effluent SS (mg/l)	Effluent VSS (mg/l)	Effluent VSS/SS
Sept./18/06	13	1000	600	280	3000	220	0.07
Oct./2/06	27	1000	1000	110	3500	200	0.06
Oct./9/06	34	1000	1700	140	3040	1540	0.51
OCT./17/06	42	1000	1700	360	4840	2520	0.52
OCT./24/06	49	1000	1000	100	3840	1954	0.51
OCT./31/06	56	1000	1700	120	2860	1660	0.58
Nov./6/06	62	1000	2000	170	2860	1982	0.69
Nov./16/06	72	1000	-	-	2160	1259	0.58
Nov./20/06	76	1000	-	-	1740	1050	0.60
Nov./27/06	83	1000	11000	-	640	500	0.78
Dec./4/06	90	1000	2000	105	2260	1515	0.67
Dec./18/06	104	2000	4000	2300	3040	2320	0.76
Dec./25/06	111	2000	7000	140	9660	7100	0.73
Jan./3/07	120	2000	7000	-	2500	1880	0.75
Jan./9/07	126	2000	3267	2433	3692	2825	0.76
Jan./26/07	143	-	4500	-	3569	2121	0.59
Feb./7/07	155	-	3340	-	2735	1875	0.69

ตารางที่ ข.8 ค่าของแรงแจ้งแวนลอยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำเข้า ของแรงแจ้งแวนลอยน้ำออก และของแรงแจ้งแวนลอยระเหยน้ำออกในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent SS (mg/l)	Influent VSS (mg/l)	Effluent SS (mg/l)	Effluent VSS (mg/l)	Effluent VSS/SS
Sept./18/06	13	1000	600	280	1760	995	0.57
Oct./2/06	27	1000	1000	110	3071	1957	0.64
Oct./9/06	34	1000	1700	140	2580	1360	0.53
OCT./17/06	42	1000	1700	360	3140	1640	0.52
OCT./24/06	49	1000	1000	100	2140	1165	0.54
OCT./31/06	56	1000	1700	120	2620	1540	0.59
Nov./6/06	62	1000	2000	170	8000	1895	0.24
Nov./16/06	72	1000	-	-	3260	1745	0.54
Nov./20/06	76	1000	-	-	1600	1280	0.8
Nov./27/06	83	1000	11000	-	1360	200	0.15
Dec./4/06	90	1000	2000	105	2180	1260	0.58
Dec./18/06	104	2000	4000	2300	2160	1840	0.85
Dec./25/06	111	3000	7000	140	2280	1560	0.68
Jan./3/07	120	3000	7000	-	1700	1280	0.75
Jan./9/07	126	3000	3267	2433	2250	1542	0.69
Jan./26/07	143	3000	4500	-	2105	1196	0.57
Feb./7/07	155	3000	3340	-	1963	1654	0.84

ตารางที่ ข.9 ค่าสภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างและฟิเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 1

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	VFA (mg/l as Ac ⁻)	VFA/Alk	pH
Jul./24/06	19	1000	1850	50.00	0.03	6.60
Jul./28/06	23	1000	2100	62.50	0.03	8.70
Jul./31/06	26	1000	2438	87.50	0.04	8.71
Aug./9/06	35	1000	2933	600.00	0.20	8.51
Aug./15/06	41	2000	3167	525.00	0.17	8.60
Aug./22/06	48	2000	3667	412.50	0.11	8.70
Aug./28/06	54	2000	3758	887.50	0.24	8.58
Sept./4/06	61	3000	4542	1100.00	0.24	8.60
Sept./6/06	63	3000	4558	1212.50	0.27	8.57
Sept./11/06	68	3000	4933	500.00	0.10	8.76
Sept./18/06	75	3000	5313	478.13	0.09	8.97
Sept./25/06	82	3000	5275	468.75	0.09	8.88
Oct./2/06	89	3000	4850	862.50	0.18	8.35
Oct./9/06	96	3000	4688	768.75	0.16	8.23
Oct./17/06	104	3000	4075	187.50	0.05	8.50
Oct./19/06	106	3000	3963	262.50	0.09	8.46
Oct./31/06	118	3000	3425	712.50	0.14	8.59
Nov./6/06	124	3000	3538	125.00	0.04	8.82
Nov./13/06	131	3000	3313	125.00	0.34	8.70
Nov./21/06	139	4000	3275	75.00	0.02	9.39
Nov./27/06	145	4000	2875	150.00	0.05	8.53
Dec./6/06	154	5000	2881	131.25	0.05	8.38
Dec./12/06	160	5000	3088	375.00	0.12	8.40
Dec./18/06	166	6000	3581	562.50	0.16	8.45

ตารางที่ ข.9 ค่าสภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างและฟิเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	VFA (mg/l as Ac ⁻)	VFA/Alk	pH
Dec./25/06	173	6000	4650	693.75	0.15	8.79
Jan./3/07	182	7000	3288	609.38	0.19	8.53
Jan./9/07	188	15000	7400	309.38	0.04	8.51
Jan./16/07	195	20000	2525	487.50	0.19	8.34
Jan./22/07	201	20000	1496	612.50	0.41	7.72
Jan./29/07	208	20000	2183	3587.50	1.64	7.03
Feb./5/07	215	-	2500	1550.50	0.62	7.25

ตารางที่ ข.10 ค่าสภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างและพีเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	VFA (mg/l as Ac ⁻)	VFA/Alk	pH
Jul./24/06	19	1000	2150	225.00	0.10	8.65
Jul./28/06	23	1000	2413	87.50	0.04	8.69
Jul./31/06	26	1000	2612.5	150.00	0.06	8.81
Aug./9/06	35	1000	3100	425.00	0.14	8.47
Aug./15/06	41	2000	3250	575.00	0.18	8.65
Aug./22/06	48	2000	3600	525.00	0.15	8.84
Aug./28/06	54	2000	3767	862.50	0.23	8.7
Sept./4/06	61	3000	4450	712.50	0.16	8.60
Sept./6/06	63	3000	4883	862.50	0.18	8.59
Sept./11/06	68	3000	5108	537.50	0.11	8.67
Sept./18/06	75	3000	9244	768.75	0.08	8.78
Sept./25/06	82	3000	5469	1143.75	0.21	8.71
Oct./2/06	89	3000	2950	1490.63	0.51	8.25
Oct./9/06	96	3000	2875	1893.75	0.66	8.20
Oct./17/06	104	3000	2778	625.00	0.23	8.51
Oct./19/06	106	3000	4338	281.25	0.06	8.39
Oct./31/06	118	3000	1938	337.50	0.17	8.75
Nov./6/06	124	3000	3250	106.25	0.03	8.82
Nov./13/06	131	3000	3000	162.50	0.05	8.52
Nov./21/06	139	4000	2938	62.50	0.02	8.61
Nov./27/06	145	4000	2363	87.50	0.04	8.22
Dec./6/06	154	5000	2200	137.50	0.06	8.46
Dec./12/06	160	5000	2975	337.50	0.11	8.32
Dec./18/06	166	6000	3175	175.00	0.06	8.05

ตารางที่ ข.10 ค่าสภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง และพีเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	VFA (mg/l as Ac ⁻)	VFA/Alk	pH
Dec./25/06	173	6000	3950	575.00	0.15	8.65
Jan./3/07	182	7000	2925	150.00	0.05	8.62
Jan./9/07	188	15000	5781	159.38	0.03	8.62
Jan./16/07	195	20000	2145	630.00	0.29	8.19
Jan./22/07	201	20000	1433	2250.00	1.57	7.35
Jan./29/07	208	20000	1567	2175.00	1.39	6.74
Feb./5/07	215	-	1750	1345.00	0.77	7.05

ตารางที่ ข.11 ค่าสภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง และพีเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ชุดที่ 1

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	VFA (mg/l as Ac ⁻)	VFA/Alk	pH
Sept./12/06	7	1000	1875	875	0.47	8.46
Sept./18/06	13	1000	2700	650	0.24	8.43
Sept./26/06	21	1000	5250	2250	0.43	8.33
Oct./2/06	27	1000	5225	1475	0.28	8.00
Oct./10/06	34	1000	6500	2813	0.43	8.23
Oct./17/06	42	1000	5083	2375	0.47	8.56
Oct./19/06	44	1000	4358	4400	1.01	8.40
Oct./31/06	56	1000	4350	3900	0.90	8.72
Nov./6/06	62	1000	3325	2913	0.88	8.73
Nov./13/06	69	1000	2781	3531	1.27	8.37
Nov./21/06	77	1000	2858	5200	1.82	7.30
Nov./27/06	83	1000	1681	3534	2.10	8.45
Dec./6/06	92	1000	2500	4266	1.71	7.80
Dec./12/06	98	2000	3044	4238	1.39	7.58
Dec./12/06	104	2000	2975	5034	1.69	7.47
Dec./18/06	111	2000	3669	4985	1.36	8.39
Dec./25/06	120	2000	4500	4865	1.08	8.26
Jan./3/07	126	2000	4134	2491	0.60	8.20
Jan./9/07	133	-	2645	3165	1.20	8.17
Jan./16/07	139	-	5425	5766	1.06	8.33
Jan./22/07	146	-	6206	4256	0.69	6.42
Jan./29/07	155	-	6225	3789	0.61	6.98

ตารางที่ ข.12 ค่าสภาพความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพความเป็นด่างและพีเอชของน้ำออก ในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ชุดที่ 2

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	VFA (mg/l as Ac ⁻)	VFA/Alk	pH
Sept./12/06	7	1000	938	813	0.87	8.42
Sept./18/06	13	1000	2367	1050	0.44	8.44
Sept./26/06	21	1000	4475	2175	0.49	8.30
Oct./2/06	27	1000	4883	2100	0.43	8.00
Oct./10/06	34	1000	5375	3000	0.56	8.20
Oct./17/06	42	1000	5500	2031	0.37	8.51
Oct./19/06	44	1000	4533	3525	0.78	8.49
Oct./31/06	56	1000	4533	2100	0.46	8.68
Nov./6/06	62	1000	3883	2250	0.58	8.72
Nov./13/06	69	1000	3333	1813	0.54	8.48
Nov./21/06	77	1000	3350	575	0.17	8.38
Nov./27/06	83	1000	2183	325	0.15	8.45
Dec./6/06	92	1000	2916	167	0.06	8.48
Dec./12/06	98	2000	3100	375	0.12	8.29
Dec./12/06	104	2000	3444	638	0.19	8.20
Dec./18/06	111	3000	4235	1279	0.30	8.53
Dec./25/06	120	3000	5438	3338	0.61	8.41
Jan./3/07	126	3000	5775	3852	0.67	8.22
Jan./9/07	133	3000	6605	5107	0.77	8.00
Jan./16/07	139	3000	5431	6309	1.16	8.33
Jan./22/07	146	3000	8125	3000	0.37	7.53
Jan./29/07	155	3000	7423	3500	0.47	8.02

ตารางที่ ข.13 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และ ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 1

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent TKN (mg/l as N)	Effluent TKN (mg/l as N)	Influent TP (mg/l as P)	Effluent TP (mg/l as P)
Jul./26/06	21	1000	27.58	17.55	-	20.62
Aug./1/06	27	1000	-	30.67	-	26.70
Aug./9/06	35	2000	-	84.14	-	27.04
Aug./15/06	41	2000	-	50.95	-	12.67
Aug./18/06	43	2000	-	28.82	-	16.71
Aug./22/06	48	2000	33.00	27.01	-	32.15
Aug./31/06	57	2000	-	78.57	-	24.33
Sept./7/06	64	3000	-	75.71	33.00	42.41
Sept./12/06	69	3000	319.00	154.16	26.07	40.74
Sept./18/06	75	3000	248.00	100.83	52.23	52.22
Sept./25/06	82	3000	27.58	138.16	55.28	62.08
Oct./2/06	89	3000	480.00	154.16	288.89	66.52
Oct./9/06	96	3000	453.33	164.83	285.06	65.81
Oct./17/06	104	3000	566.67	188.83	165.57	48.14
Oct./24/06	111	3000	662.43	300.29	525.36	61.47
Oct./31/06	118	3000	194.22	436.25	386.51	64.17
Nov./6/06	124	3000	161.85	303.53	270.63	52.61
Nov./13/06	131	4000	265.92	380.98	334.13	52.87
Nov./21/06	139	4000	48.55	262.20	38.10	41.06
Nov./27/06	145	5000	194.04	248.13	77.78	56.54
Dec./6/06	154	5000	145.53	218.14	121.43	55.43
Dec./12/06	160	6000	159.54	211.63	65.87	52.72
Dec./18/06	166	6000	407.40	51.65	348.41	37.69

ตารางที่ ข.13 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และ ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent TKN (mg/l as N)	Effluent TKN (mg/l as N)	Influent TP (mg/l as P)	Effluent TP (mg/l as P)
Dec./25/06	173	6000	154.23	161.75	658.73	85.63
Jan./3/07	182	6000	95.06	97.76	-	39.10
Jan./4/07	183	6000	16.31	48.93	-	37.89
Jan./8/07	187	6000	20.15	52.25	66.67	35.28
Jan./9/07	188	7000	5.44	54.37	154.50	34.59
Jan./16/07	195	15000	16.72	16.72	330.95	34.98
Jan./23/07	202	20000	22.40	70.00	213.91	35.91
Jan./29/07	208	20000	-	159.60	112.30	24.31
Jan./30/07	209	20000	22.40	160.00	156.25	30.56

ตารางที่ ข.14 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และ ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent TKN (mg/l as N)	Effluent TKN (mg/l as N)	Influent TP (mg/l as P)	Effluent TP (mg/l as P)
Jul./26/06	21	1000	27.58	18.76	-	45.28
Aug./1/06	27	1000	-	21.22	-	28.81
Aug./9/06	35	2000	-	55.86	-	31.48
Aug./15/06	41	2000	-	27.84	-	12.48
Aug./18/06	43	2000	-	33.53	-	14.28
Aug./22/06	48	2000	33.00	25.37	-	36.04
Aug./31/06	57	2000	-	66.34	-	25.78
Sept./7/06	64	3000	-	63.80	33.00	24.07
Sept./12/06	69	3000	319.00	55.49	26.07	27.41
Sept./18/06	75	3000	248.00	28.83	52.23	50.56
Sept./25/06	82	3000	27.58	60.83	55.28	63.08
Oct./2/06	89	3000	480.00	42.16	288.89	33.81
Oct./9/06	96	3000	453.33	55.49	285.06	34.75
Oct./17/06	104	3000	566.67	188.83	165.57	34.64
Oct./24/06	111	3000	662.43	225.55	525.36	67.86
Oct./31/06	118	3000	194.22	235.55	386.51	30.50
Nov./6/06	124	3000	161.85	271.16	270.63	47.91
Nov./13/06	131	4000	265.92	578.07	334.13	53.69
Nov./21/06	139	4000	48.55	291.33	38.10	51.39
Nov./27/06	145	5000	194.04	252.68	77.78	25.43
Dec./6/06	154	5000	145.53	205.12	121.43	49.91
Dec./12/06	160	6000	159.54	166.05	65.87	36.20
Dec./18/06	166	6000	407.40	149.51	348.41	25.02

ตารางที่ ข.14 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และ
ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent TKN (mg/l as N)	Effluent TKN (mg/l as N)	Influent TP (mg/l as P)	Effluent TP (mg/l as P)
Dec./25/06	173	6000	154.23	50.91	658.73	27.72
Jan./3/07	182	6000	95.06	86.91	-	43.87
Jan./4/07	183	6000	16.31	62.52	-	35.89
Jan./8/07	187	6000	20.15	53.37	66.67	28.69
Jan./9/07	188	7000	5.44	46.21	-	29.56
Jan./16/07	195	15000	16.72	8.36	330.95	28.69
Jan./23/07	202	20000	22.40	109.20	213.91	25.46
Jan./29/07	208	20000	-	120.40	112.30	21.43
Jan./30/07	209	20000	22.40	120.00	159.58	24.24

ตารางที่ ข.15 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และ ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 1

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/L.d)	Influent TKN (mg/l as N)	Effluent TKN (mg/l as N)	Influent TP (mg/l as P)	Effluent TP (mg/l as P)
Sept./18/06	13	1000	248.00	149.33	55.28	113.39
Sept./25/06	20	1000	27.58	293.33	288.89	412.50
Oct./2/06	27	1000	480.00	112.00	285.06	113.86
Oct./9/06	34	1000	453.33	106.67	165.57	96.58
Oct./17/06	42	1000	566.67	122.67	525.36	81.47
Oct./24/06	49	1000	662.43	190.98	386.51	110.81
Oct./31/06	56	1000	194.22	100.35	270.63	34.42
Nov./6/06	62	1000	161.85	129.48	334.13	64.57
Nov./13/06	69	1000	265.92	103.24	38.10	67.08
Nov./21/06	77	1000	48.55	97.11	77.78	28.64
Nov./27/06	83	1000	194.04	29.13	121.43	47.58
Dec./6/06	92	1000	145.53	71.63	65.87	49.19
Dec./12/06	98	2000	159.54	19.53	348.41	49.42
Dec./18/06	104	2000	407.40	38.06	658.73	55.54
Dec./25/06	111	2000	154.23	178.06	-	101.35
Jan./9/07	126	2000	95.06	67.96	-	48.71
Jan./16/07	133	-	16.31	66.87	3.31	24.81
Jan./22/07	139	-	20.15	58.80	4.51	30.04
Jan./30/07	147	-	22.40	64.40	11.23	31.89
Feb./6/07	154	-	23.32	69.58	24.07	31.21

ตารางที่ ข.16 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดน้ำเข้า ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำเข้า ไนโตรเจนทั้งหมดน้ำออก และ ฟอสฟอรัสทั้งหมดน้ำออกในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ไร้อากาศชุดที่ 2

Date	Time (day)	OLR (mgCOD/l.d)	Influent TKN (mg/l as N)	Effluent TKN (mg/l as N)	Influent TP (mg/l as P)	Effluent TP (mg/l as P)
Sept./18/06	13	1000	248.00	154.67	55.28	70.94
Sept./25/06	20	1000	27.58	250.67	288.89	418.28
Oct./2/06	27	1000	480.00	96.00	285.06	77.47
Oct./9/06	34	1000	453.33	173.33	165.57	145.64
Oct./17/06	42	1000	566.67	202.67	525.36	75.25
Oct./24/06	49	1000	662.43	207.17	386.51	109.47
Oct./31/06	56	1000	194.22	145.66	270.63	62.69
Nov./6/06	62	1000	161.85	155.38	334.13	105.31
Nov./13/06	69	1000	265.92	87.60	38.10	102.08
Nov./21/06	77	1000	48.55	110.06	77.78	34.08
Nov./27/06	83	1000	194.04	38.84	121.43	60.75
Dec./6/06	92	1000	145.53	84.65	65.87	23.92
Dec./12/06	98	2000	159.54	81.40	348.41	37.19
Dec./18/06	104	2000	407.40	57.09	658.73	25.65
Dec./25/06	111	3000	154.23	104.66	-	39.09
Jan./9/07	126	3000	95.06	65.24	-	35.13
Jan./16/07	133	3000	16.31	117.01	3.31	54.91
Jan./22/07	139	3000	20.15	123.20	4.51	38.69
Jan./30/07	147	3000	22.40	140.00	11.23	38.31
Feb./6/07	154	3000	24.56	135.62	24.07	41.13

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล

นางสาวมนาวดี ถกธวัช

วัน เดือน ปีเกิด

27 เมษายน 2525

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

ประโยชน์มัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนจันทร์ประดิษฐารามวิทยาคม พ.ศ. 2542

ระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2547

ระดับปริญญาโท

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

มนาวดี ถกธวัช และ สาโรช บุญยกิจสมบัติ, 2550, “การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเหลือที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล”, การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนลิขสิทธิ์ในวิทยานิพนธ์

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) มนวลี ถกลธวัช รหัสประจำตัว 48400412 เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา ☒ โท ☐ เอก หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ อยู่บ้านเลขที่ 7/14 หมู่ 5 ถนน เพชรเกษม 48 แขวง 24 ตำบล บางแวก อำเภอ ภาษีเจริญ จังหวัด กรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 10160 ขอโอนลิขสิทธิ์การศึกษาวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์ ตำแหน่ง คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลงดังนี้

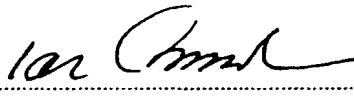
1. ข้าพเจ้าได้จัดทำการศึกษาวิทยานิพนธ์ เรื่อง ผลของการเติมสารอาหารเสริมที่มีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ จากของเหลือที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ ตาม มาตราที่ 14 แห่ง พ.ร.บ.ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

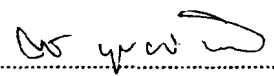
2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดจนอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตราที่ 32 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

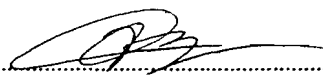
3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใด ๆ ก็ตามข้าพเจ้าต้องระบุว่า เป็นวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามมาตรา 27, มาตรา 28 และมาตรา 29 และมาตรา 30 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ.2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจข้าพเจ้าจะกระทำเมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ลงชื่อ.....มนวลี ถกลธวัช.....ผู้โอนลิขสิทธิ์
(นางสาวมนวลี ถกลธวัช)

ลงชื่อ..........ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์)

ลงชื่อ..........พยาน
(ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

ลงชื่อ..........พยาน
(ผศ.จรรีรัตน์ วรรณสุรางค์กุล)