บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 ลักษณะของน้ำเสีย

งานวิจัยนี้เดิมมีขอบเขตงานที่จะใช้น้ำเสียจริง (น้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจน) ของโรงงานสับปะรดกระป๋องแห่งหนึ่งในจังหวัดระยองมาทำการศึกษา โดยทำการเก็บมาสัปดาห์ละ 1 ครั้งๆละประมาณ 800 - 1000 ลิตร เมื่อทำการวิจัยไปได้ 78 วัน ค่าซีโอดีของน้ำเสียดังกล่าวไม่สูงพอที่จะเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ให้แก่ระบบได้ตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากเป็นช่วงโรงงานปิดประจำปี การวิจัยนี้จึงมีการใช้น้ำเสียต่างกันอยู่ 3 ลักษณะดังนี้

ลักษณะที่ 1: ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2-3 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ใช้น้ำเสียจริง (น้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจน)

ลักษณะที่ 2: ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 - 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ใช้น้ำเสียจริงผสมกับน้ำสับปะรดเข้มข้นจากโรงงานเดียวกัน เพื่อเพิ่มค่าซีโอดีให้ได้ประมาณ 5000 มก./ล. เพื่อรอให้ค่าซีโอดีของน้ำเสียจริงเพิ่มขึ้นถึง 5000 มก./ล.

ลักษณะที่ 3: ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยเตรียมจากน้ำสับปะรดเข้มข้น และเพิ่มถังกรดให้ระบบ เนื่องจากไม่ทราบระยะเวลาแน่นอนที่ค่าซีโอดีของน้ำเสียจริงจะเพิ่มขึ้นเท่ากับที่ต้องการ (ซึ่งเป็นปีที่โรงงานมีการลดปริมาณการผลิตลง)

4.2 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์และการเริ่มเลี้ยง

เชื้อจุลินทรีย์ (seed) ที่ใช้มาจากงานวิจัยระดับมหาบัณฑิตของ ณรงค์ศักดิ์ ธิติธัญญานนท์ (2539) เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นเม็ดตะกอน (sludge granule) ขนาดประมาณ 1-2 มม. ส่วนใหญ่เป็นสีดำ มีสีน้ำตาลอ่อนส่วนน้อยแทรกกระจายทั่วไป นำเชื้อจุลินทรีย์

จากถังยูเอเอสบี 2 ถัง มาผสมกันใหม่ และแบ่งใส่ถังยูเอเอสบีทั้ง 2 ถังๆละประมาณ 4 ลิตร ใส่ลูกแก้วที่ก้นถังเพื่อช่วยกระจายน้ำให้สม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัด เริ่มป้อนน้ำเสียให้ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำก่อน (2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) แล้วจึงปรับเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นจนได้ค่าที่ต้องการ เมื่อพบว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีประมาณ 90% ขึ้นไป ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและค่าตัวแปรอื่นๆค่อนข้างคงที่

สำหรับถังกรดในการทดลองส่วนที่ 2 ไม่มีการเติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์เลย เพียงปล่อยให้เกิดการหมักตามธรรมชาติ โดยเดินระบบให้มีระยะเวลากักน้ำเสีย 12 ชั่วโมง จากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง

ตัวแปร	ลักษณะน้ำเสีย				
	ลักษณะที่ 1	ลักษณะที่ 2		ลักษณะที่ 3	
	ถังยูเอเอสบี1& 2	ถังยูเอเอสบี 1	ถังยูเอเอสบี 2	ถังยูเอเอสบี 1	ถังยูเอเอสบี 2
พีเอช	6.69-10.16	5.88-10.10	5.24-10.11	10.07-10.67	9.93-10.61
ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	-	100-562	1104-624	170-342	62-220
สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	697-1990	1340-2740	1190-2600	2576-4866	1751-2986
กรดไขมันระเหย (มก./ล.กรดอะซิติก)	294-1895	150-2234	146-2189	112-591	100-440
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	1098-3496	3769-9300	3769-9300	4787-8806	3141-6900

4.3 ขั้นตอนการเดินระบบ

1) การเริ่มเดินระบบ (78 วัน , วันที่ 1 - 78)

เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ไม่ได้รับสารอาหารใดมาเป็นเวลา 3 เดือน จึงเริ่มเดินระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำที่ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ชินกับสภาพของน้ำเสีย ขั้นตอนนี้ใช้น้ำเสียจริงอย่างเดียวซึ่งมีค่าซีโอดี 2000 ถึง 3500 มก./ล. โดยเติมโซเดียมคาร์บอเนตและสารอาหารที่จำเป็นให้ เนื่องจากซีโอดีของน้ำเสียจริงมีแนวโน้มลดลง จึงลดเวลากักน้ำลงจาก 40 ชั่วโมง เป็น 30 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ โดยเพิ่มอัตราสูบน้ำเสียเข้า เพื่อรักษาระดับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไว้ที่ 2 - 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

2) ขั้นตอนเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (22 วัน , วันที่ 79 - 100)

ขั้นตอนนี้เพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 2 - 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เป็น 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยใช้น้ำเสียจริงผสมกับน้ำสัปปะรดเข้มข้น เพื่อเพิ่มค่าซีโอดีให้ได้ประมาณ 5000 มก./ล. ที่เวลากักน้ำ 24 ชั่วโมงและเติมโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1.5 ก./ล. ทั้ง 2 ถัง

3) การทดลองชุดที่ 1 และ 2 (61วัน , วันที่ 101 - 161)

การทดลองที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เท่ากับ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งเป็นการทดลองในส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) โดยเตรียมน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีประมาณ 5000 มก./ล. ที่เวลากักน้ำ 15 ชั่วโมง เติมโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1.5 ก./ล. ทั้ง 2 ถัง สามารถวัดค่าตัวแปรต่าง ๆที่สภาวะคงที่ได้ในช่วงวันที่ 126 - 137

4) การทดลองชุดที่ 3 และ 4 (54วัน , วันที่ 162 - 215)

การทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งเป็นการทดลองในส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) โดยเตรียมน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีประมาณ 5000 มก/ล. ที่เวลากักน้ำ 12 ชั่วโมง เติมโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 3.0 ก./ล. และ 1.5 ก./ล. สำหรับถังที่ 1 และ 2 ตาม

ลำดับ พบว่าวันที่ 162 ถังที่ 2 เริ่มเสียเสถียรภาพ จึงลดค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เหลือ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยเพิ่มเวลากักน้ำเป็น 15 ชั่วโมง ในวันที่ 166 ระบบเริ่มดีขึ้นเป็นลำดับ วันที่ 196 ระบบเสียเสถียรภาพอีกครั้ง จึงเพิ่มปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตจาก 1.5 ก./ล. เป็น 3.0 ก./ล. พบว่าระบบกลับมาดีขึ้นอีก ส่วนถังที่ 1 ไม่พบสิ่งผิดปกติ ระบบดำเนินไปได้ดีมาก สามารถวัดค่าตัวแปรที่สภาวะคงที่ได้ในช่วงวันที่ 184 - 193

5) การทดลองชุดที่ 5 และ 6 (88 วัน , วันที่ 216 - 303)

ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) เริ่มใช้ระบบแบบมีถังกรดและน้ำเสียสังเคราะห์ ทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15 และ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน โดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าซีโอดีประมาณ 5000 และ 3300 มก./ล. สำหรับระบบยูเอเอสบีมีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เวลากักน้ำเท่ากับ 12 และ 8 ชั่วโมง สำหรับถังกรดและถังยูเอเอสบีน้ำ ตามลำดับ ใช้ค่าซีโอดี : โซเดียมคาร์บอเนต เท่ากับ 1 : 0.6 สามารถวัดค่าตัวแปรที่สภาวะคงที่ของการทดลองชุดที่ 5 และ 6 ได้ในช่วงวันที่ 273 - 286 และ 288 - 303 ตามลำดับ

6) ขั้นตอนการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ (33 วัน , วันที่ 287 - 319)

ขั้นตอนนี้เพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์จาก 15 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน เป็น 18, 22 และ 25 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ใช้เวลา 18 วัน และเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน เป็น 12, 14, 17 และ 20 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ใช้เวลา 17 วัน สำหรับถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยยังคงใช้ค่าซีโอดี : โซเดียมคาร์บอเนต เท่ากับ 1 : 0.6

7) การทดลองชุดที่ 7 และ 8 (44วัน , วันที่ 304 - 347)

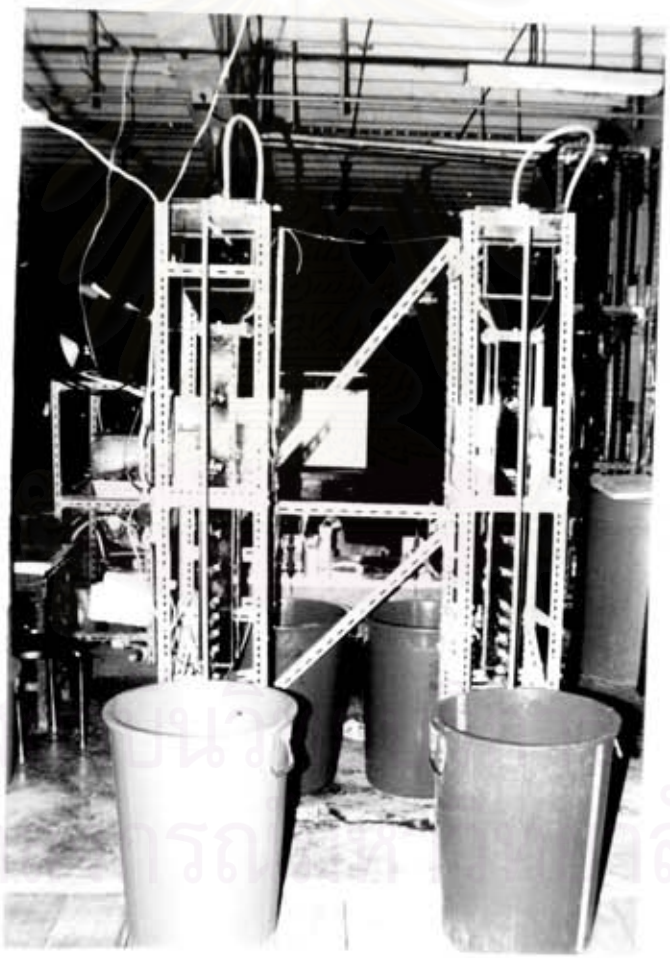
ทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 และ 20 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน โดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีมีค่าซีโอดีประมาณ 8300 และ 6700 มก./ล. สำหรับระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เวลากักน้ำเท่ากับ 12 และ 8 ชั่วโมง สำหรับถังกรดและถังยูเอเอสบี ตามลำดับ ค่าซีโอดี : โซเดียมคาร์บอเนต เท่ากับ 1 : 0.6 สามารถเก็บค่าตัวแปรที่สภาวะคงที่ของการทดลองชุดที่ 7 และ 8 ในวันที่ 339 - 347 และ 332 - 347 ตามลำดับ

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 347 วัน ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.2 เริ่มทำการทดลองประมาณเดือนพฤษภาคม 2539 สิ้นสุดการทดลองเดือนเมษายน 2540

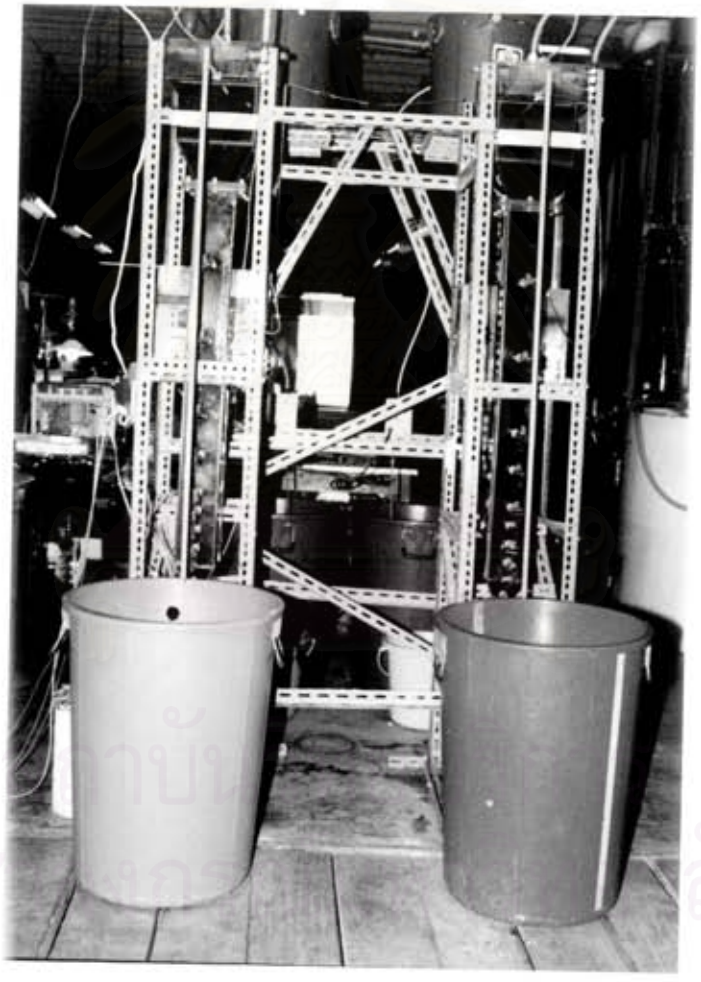
ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองจริงของระบบยูเอเอสบี ในการทดลองส่วนที่ 1 และแบบมีถังกรด ในการทดลองส่วนที่ 2 แสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด

รายละเอียดการเดินระบบ	พ.ศ. 2539									พ.ศ. 2540			
	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย
เตรียมอุปกรณ์													
การทดลองส่วนที่ 1 : (ไม่มีถังกรด)													
1) ใช้น้ำเสียจริง (น้ำทิ้งจากบ่อกรด)													
การเริ่มเดินระบบ (ถัง 1 & 2)													
2) ใช้น้ำเสียจริง (น้ำทิ้งจากบ่อกรด)													
ผสมกับน้ำสัปปะรดเข้มข้น													
6 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถัง 1 & 2)													
8-10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถัง 1 & 2)													
การทดลองส่วนที่ 2 : (มีถังกรด)													
ใช้น้ำเสียสังเคราะห์และถังกรด													
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถัง 2)													
15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถัง 1)													
20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถัง 2)													
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถัง 1)													



รูปที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริงของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 1



รูปที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริงของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2

4.4 สรุปผลการทดลองของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ผลการทดลองส่วนที่ 1 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มี 4 การทดลอง ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรต่างๆ ได้สรุปรวมไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ยกเว้นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรต่าง ๆ ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 10 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ไม่สามารถวัดค่าที่สภาวะคงที่ได้ เนื่องจากการทำงานของระบบล้มเหลวก่อนถึงสภาวะคงที่ เพื่อให้เห็นภาพรวม และสามารถสรุปในรายละเอียดของตัวแปรต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ค่าพีเอชน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 7.41 และ 7.47 ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ค่าพีเอชน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 7.25 และ5.65 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าพีเอชน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าลดลงเล็กน้อยและอยู่ในช่วงเป็นกลาง แม้ค่าพีเอชน้ำเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าพีเอชน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีค่าลดลงมาก เนื่องจากถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 เสียสมดุลย์การทำงาน เกิดการสะสมกรดไขมันระเหยปริมาณสูงในระบบ

ค่าโออาร์พีน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ -184 และ -176 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ และค่าโออาร์พีน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ -206 และ -16 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ค่าโออาร์พีน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเป็นลบมากขึ้น ส่วนค่าโออาร์พีน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีค่าเป็นลบน้อยลงอย่างมาก เนื่องจากถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 เสียสมดุลย์การทำงาน ทำให้ปฏิกิริยาทางชีวเคมีในถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 หยุดลง

ค่าอุณหภูมิน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 28.8 และ 29.1 °ซ ตามลำดับ และค่าอุณหภูมิน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 29.3 และ 30.7 °ซ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิน้ำเสียของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระ

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆที่สภาวะคงที่ ของผลการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 8 กก. ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน

ตัวแปร		ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1		ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2	
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-182	-	-176
	ค่าเบี่ยงเบน		25		30
พีเอช	เฉลี่ย	7.83	7.41	7.84	7.47
	ค่าเบี่ยงเบน	0.47	0.27	0.46	0.36
อุณหภูมิ (°ซ)	เฉลี่ย	28.8	28.8	28.9	29.1
	ค่าเบี่ยงเบน	0.50	0.43	0.39	0.43
ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	เฉลี่ย	170	112	175	104
	ค่าเบี่ยงเบน	19	19	24	31
สภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	1426	1828	1428	1840
(มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต)	ค่าเบี่ยงเบน	19	28	27	9
กรดไขมันระเหย	เฉลี่ย	844	31	840	36
(มก./ล.ในเทอมกรดอะซิติก)	ค่าเบี่ยงเบน	53	4	73	7
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพด่างทั้งหมด			0.02		0.02
ซีโอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	4928	341	4862	367
	ค่าเบี่ยงเบน	225	31	247	24
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	เฉลี่ย	-	93	-	92
	ค่าเบี่ยงเบน		0.71		0.55
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย	-	72.4	-	60.4
	ค่าเบี่ยงเบน		1		2
ก๊าซมีเทน (%)		-	66	-	66
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)		-	0.37	-	0.32

- ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมให้ ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 เท่ากับ 1.5 ก./ล.
- ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 เดินระบบเหมือนกันทุกประการ

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆที่สภาวะคงที่ของผลการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน

ตัวแปร		ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1		ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2	
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-206	-	-21*
	ค่าเบี่ยงเบน		27		
พีเอช	เฉลี่ย	8.71	7.25	5.72*	5.29*
	ค่าเบี่ยงเบน	0.10	0.14		
อุณหภูมิ (°ซ)	เฉลี่ย	28.5	29.3	30.8*	30.7*
	ค่าเบี่ยงเบน	0.46	0.57		
ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	เฉลี่ย	184	61	196*	187*
	ค่าเบี่ยงเบน	48	26		
สภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	2652	3212	1320*	1560*
(มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต)	ค่าเบี่ยงเบน	54	55		
กรดไขมันระเหย	เฉลี่ย	1515	53	1332*	2187*
(มก./ล.ในเทอมกรดอะซิติก)	ค่าเบี่ยงเบน	224	9		
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ		-	0.02	-	1.4*
สภาพด่างทั้งหมด					
ซีโอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	4868	315	5785*	3102*
	ค่าเบี่ยงเบน	809	71		
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	เฉลี่ย	-	94	-	46*
	ค่าเบี่ยงเบน		0.84		
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย	-	93	-	20.4*
	ค่าเบี่ยงเบน		13		
ก๊าซมีเทน (%)		-	64	-	59*
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน		-	0.37	-	0.13*
(ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)					

- ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมให้ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 เท่ากับ 3.0 และ 1.5 ก./ล. ตามลำดับ
- * ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 เป็นค่าในวันที่ระบบเสียสมดุลย์

บรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 28.8 และ 28.9 °ซ ตามลำดับ และค่าอุณหภูมิน้ำเสีย ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี / ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 28.5 และ 30.8 °ซ ตามลำดับ จะเห็นว่าทุกค่ามีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง

ค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 112 และ 104 มก./ล.ตามลำดับ และค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 61 และ 187 มก./ล. เมื่อพิจารณาค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 170 และ175 มก./ล. ตามลำดับ และค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 184 และ 196 มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำเสีย ซึ่งยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามีการตกค้างตะกอนแขวนลอยในระบบหรือไม่ เนื่องจากตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งอาจเป็นเซลล์จุลินทรีย์ที่หลุดออกมาก็ได้ เช่นเดียวกับถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่าในน้ำเสียเล็กน้อย และสูงกว่าในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ซึ่งเป็นค่าในช่วงระบบเสียสมดุลย์

ค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 1828 และ 1840 มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 3212 และ 1560 มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 1426 และ 1428 มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ และค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 2652 และ 1320 มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ จะเห็นว่าค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอ

เอสบีชุดที่ 1 และ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสีย เนื่องจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์กรดอะซิติก จะเกิดไบคาร์บอเนตขึ้น ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งยังคงมีค่ามากกว่าในน้ำเสีย ถึงแม้ว่าระบบจะเสียสมดุลย์การทำงานไปแล้ว

ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 31 และ 36 มก./ล.ในเทอมกรดอะซิติก ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 53 และ 2187 มก./ล.ในเทอมกรดอะซิติก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 844 และ 840 มก./ล.ในเทอมกรดอะซิติก ตามลำดับ และค่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 1515 และ 1332 มก./ล.ในเทอมกรดอะซิติกตามลำดับ จะเห็นว่าค่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 มีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสีย ยกเว้นปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าสูงมากเนื่องจากการเกิดการสะสมกรดไขมันระเหยในถังทำให้ระบบเสียสมดุลย์การทำงาน

อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 0.02 และ 0.02 ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 0.02 และ 1.4 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าคงที่ ส่วนของถังยูเอเอสบีชุดที่2 มีค่าเพิ่มขึ้นมากเพราะมีกรดไขมันระเหยเกิดขึ้นมากในถัง เนื่องจากระบบเสียสมดุลย์การทำงาน

ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 341 และ 367 มก./ล. ตามลำดับ และค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 315 และ 3102 มก./ล.ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าลด

ลงเล็กน้อย แต่ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากเนื่องจากถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 เสียสมดุลย์ ทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายหยุดลง

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 93 และ 92 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 94 และ 46% ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีค่าลดลงมาก เนื่องจากระบบเสียสมดุลย์การทำงาน

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 72.4 และ 60.4 ลิตร/วัน ตามลำดับ และปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 93 และ 20.4 ลิตร/วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีค่าลดลง เนื่องจากระบบเสียสมดุลย์การทำงานไป ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง

ค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 66 และ 66 % ตามลำดับ และค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 64 และ 59% ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าลดลงเล็กน้อย ส่วนค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากระบบเสียสมดุลย์การทำงาน

อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 0.37 และ 0.32 ลิตร /กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทน ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 0.37 และ 0.13 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ จะเห็นว่าอัตรา

การผลิตก๊าซมีเทนของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าสูงกว่าถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 และเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าคงที่ และ ใกล้เคียงค่าทางทฤษฎีมาก (0.35 - 0.38) ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่ำมากเนื่องจากระบบเสียสมดุลย์การทำงานทำให้ปฏิกิริยาการสร้างมีเทนลดลง

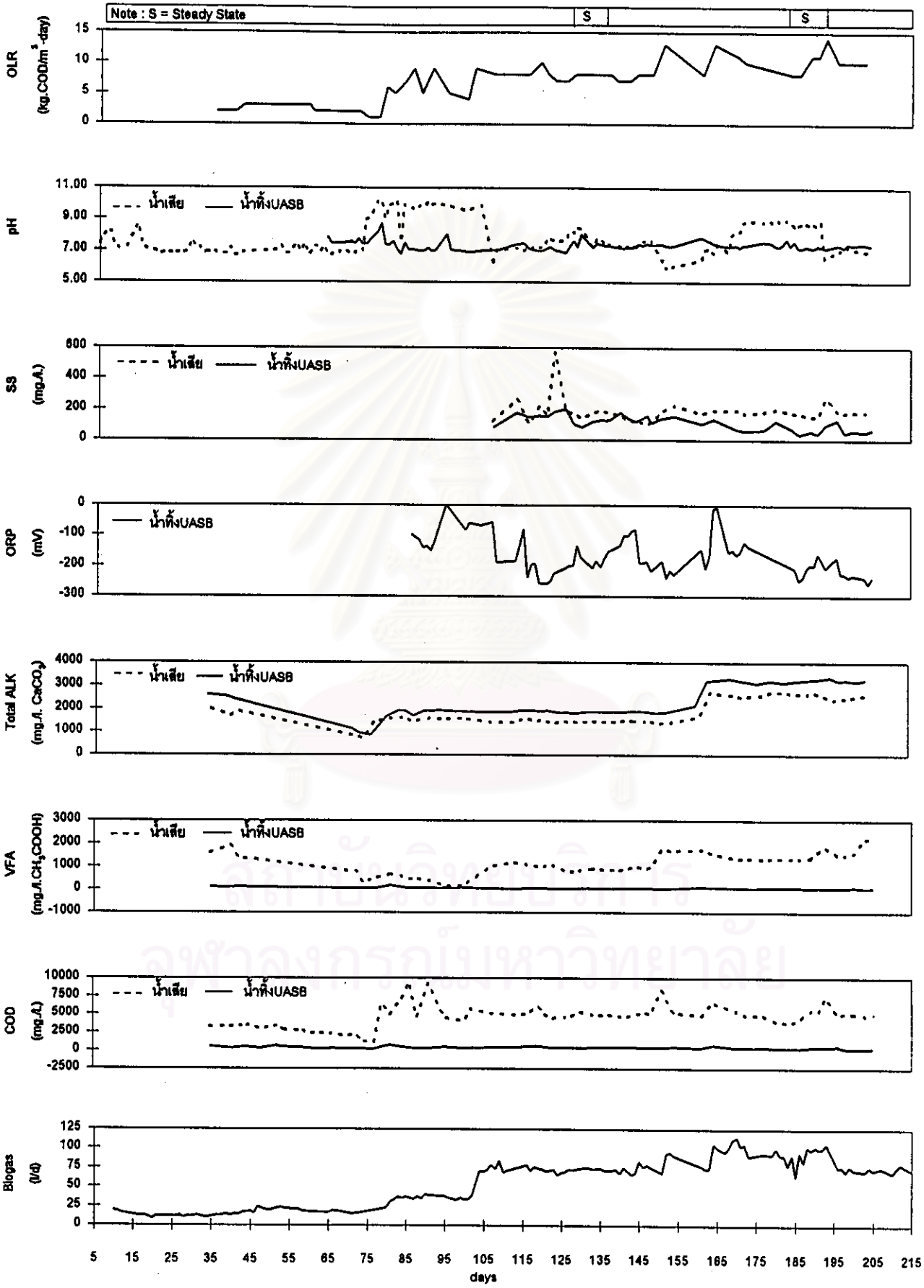
รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

4.4.1 ค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย

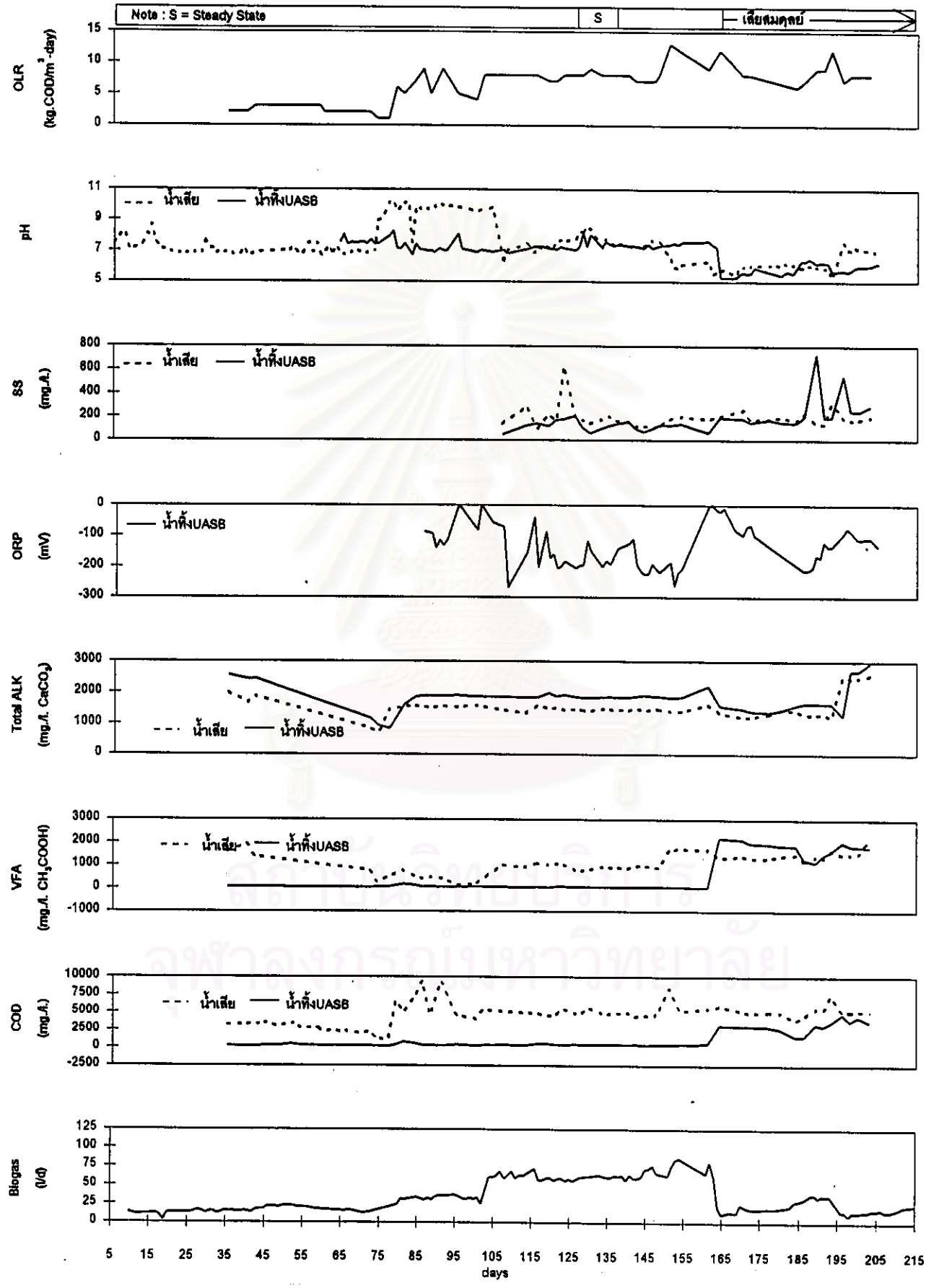
เนื่องจากค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย มีความสัมพันธ์กันและเกี่ยวข้องกับสมดุลย์ของกระบวนการไร้ออกซิเจน กล่าวคือ ค่าสภาพด่างทั้งหมดบอกให้ทราบถึงว่ามีกำลังบัฟเฟอร์เหลืออยู่เท่าใด ในระบบไร้ออกซิเจน ถ้าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้พีเอชลดลงได้อย่างมากและอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน แต่ถ้าระบบมีสภาพด่างทั้งหมดสูงพอ ระบบก็จะสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันระเหยได้ โดยไม่ส่งผลกระทบให้กับค่าพีเอชมากนัก กล่าวคือ ปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพด่างทั้งหมดเป็นตัวกำหนดค่าพีเอช ตัวแปรที่สำคัญอีกค่าหนึ่งก็คือ อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ถ้าอัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบไร้ออกซิเจนมีกำลังบัฟเฟอร์สูง ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบไร้ออกซิเจนมีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ไม่สามารถรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลางได้

<u>กรดไขมันระเหย</u>

จากตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยที่สภาวะคงที่ ในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 31 และ 36 มก./ล.ในเทอมกรดอะซิติก ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยที่สภาวะคงที่ในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 53 มก./ล.ในเทอมกรดอะซิติก ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเพิ่ม



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วน 1 (ไม่มีถังกรด)



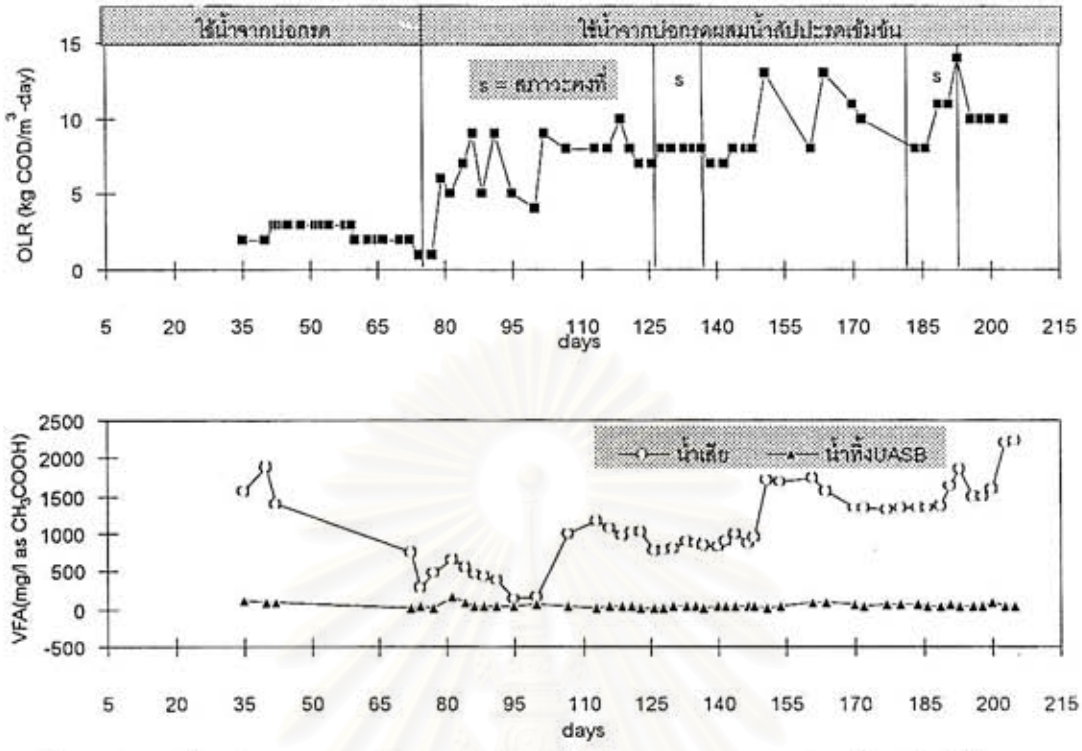
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

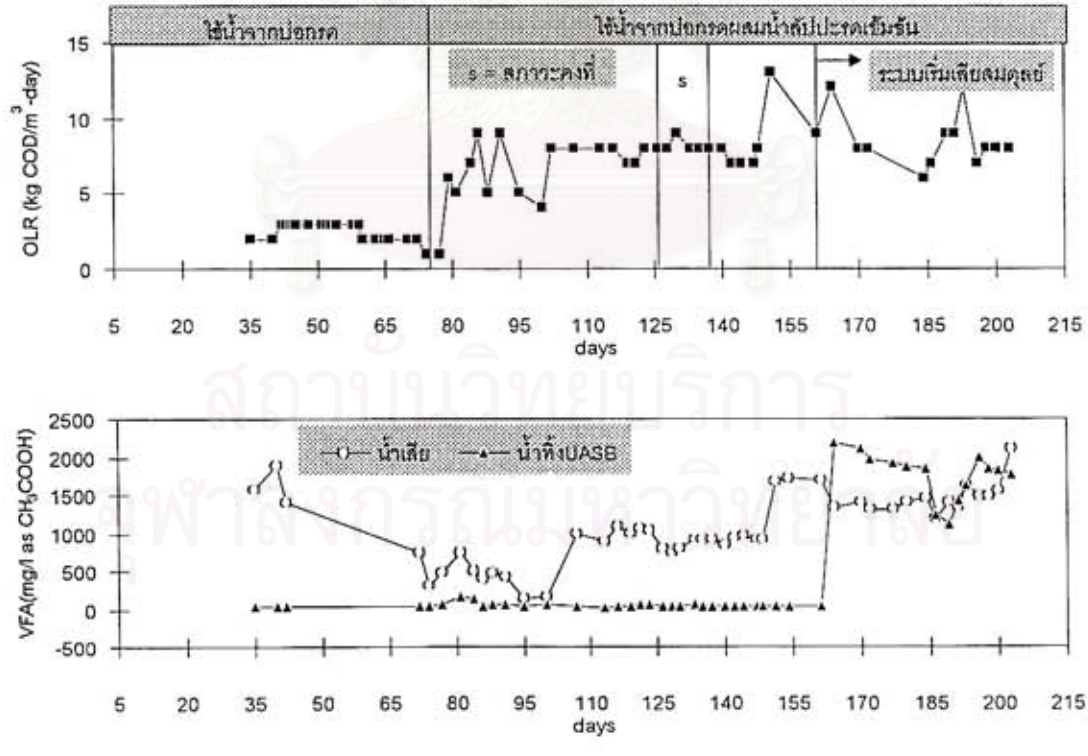
ตัวแปร	ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1		ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2	
	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- พีเอช	7.83	7.41	7.84	7.47
- สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	1426	1828	1428	1840
- กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	844	31	840	36
- อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.02	-	0.02
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- พีเอช	8.71	7.25	5.72*	5.29*
- สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	2652	3212	1320*	1560*
- กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	1515	53	1332*	2187*
- อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.62	-	1.4*

* เป็นค่าในวันที่ระบบเริ่มเสียสมดุลย์ในการทำงาน

ขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แต่เป็นการเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นจาก 844 เป็น 1515 มก./ล. ในเทอมกรดอะซิติก ส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีค่าสูงถึง 2187 มก./ล. ในเทอมกรดอะซิติก ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ซึ่งเป็นค่าในวันที่ 164 พบว่าช่วงก่อนวันที่ 164 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบมีค่าที่สูงและแปรผันมาก เนื่องจากค่าซีโอดีและกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากบ่อกรดมีค่าสูงมากในช่วงดังกล่าว ซึ่งสาเหตุการเสียสมดุลย์ของระบบอาจมีปัจจัยอื่นร่วมด้วย จะได้กล่าวต่อไป เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ในกรณีที่ระบบทำงานปกติจะเห็นว่ามีกรดไขมันระเหยเหลืออยู่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสีย แสดงว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบ สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีอยู่ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.5 ค่ากรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)



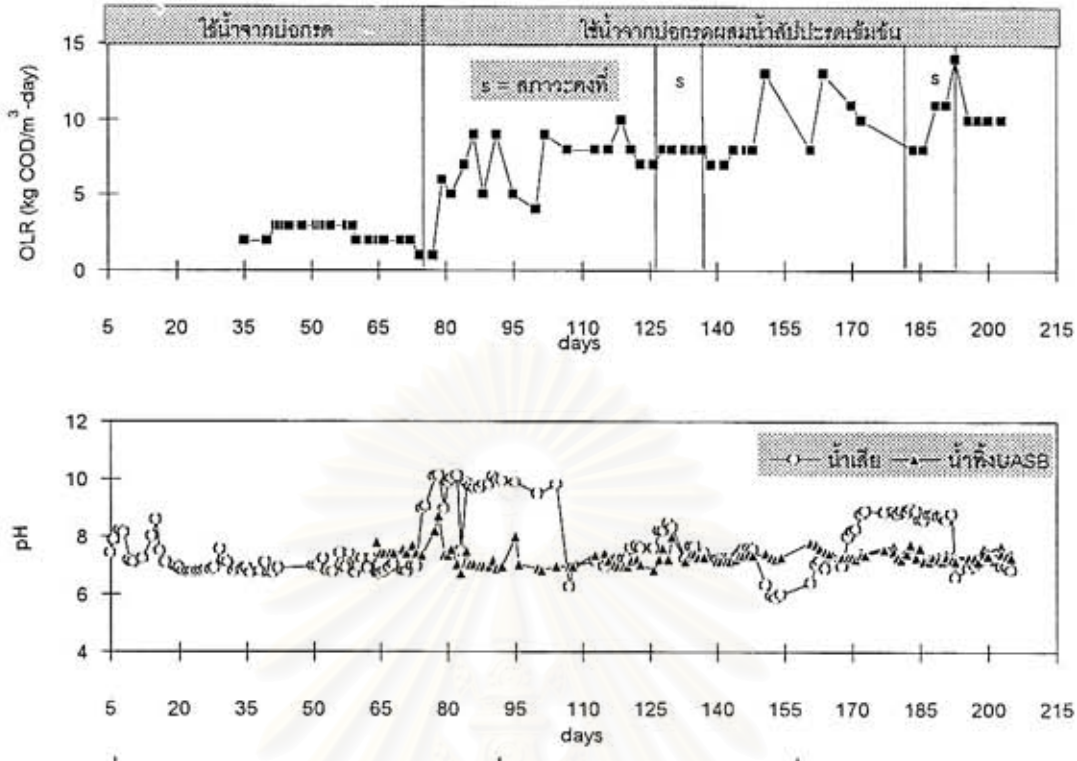
รูปที่ 4.6 ค่ากรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

พีเอช

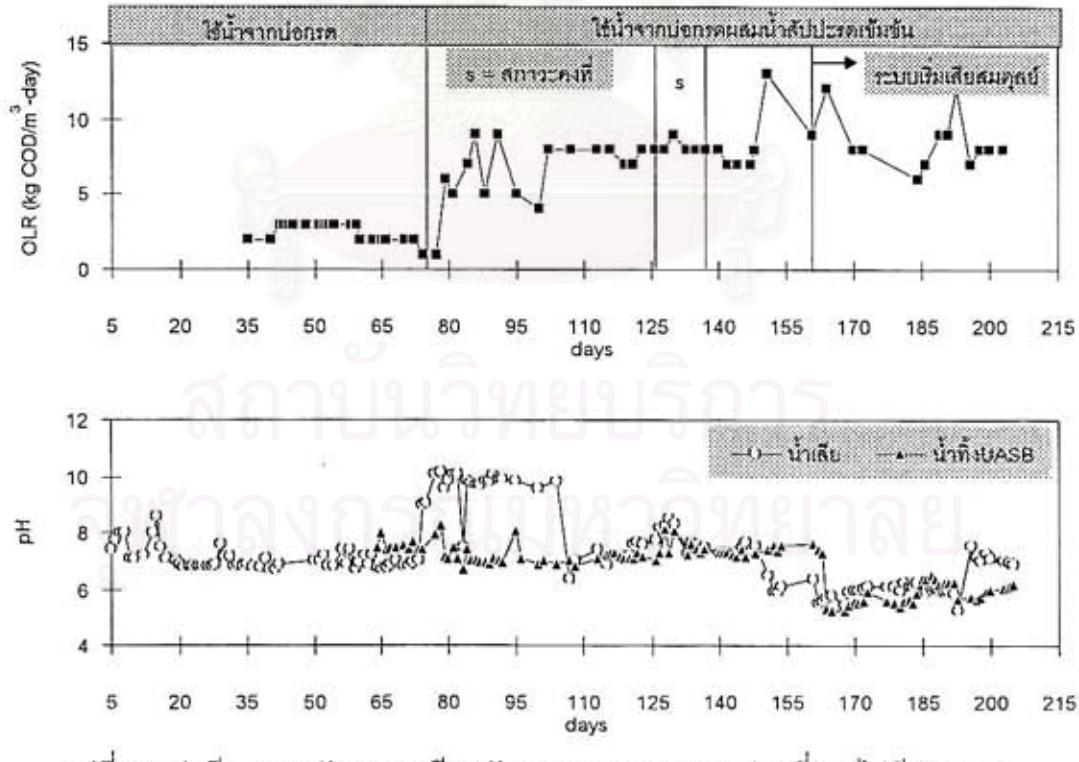
จากตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าเฉลี่ยพีเอชในน้ำทิ้งที่สภาวะคงที่ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 7.41 และ 7.25 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยพีเอชในน้ำเสียที่สภาวะคงที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.83 และ 8.71 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ ณ ส่วนบนของถังได้ละลายออกมากับน้ำทิ้ง ทำให้ค่าพีเอชน้ำทิ้งมีค่าต่ำลง เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าพีเอชในน้ำทิ้งยังคงอยู่ในช่วงใกล้ค่าเป็นกลาง ซึ่งแบคทีเรียสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ดี (ช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.8 - 7.2) ค่าพีเอชในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชในน้ำทิ้งที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนค่าพีเอชในน้ำเสียและน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 5.72 และ 5.29 ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าพีเอชในน้ำเสียมีค่าต่ำมาก เนื่องจากโซเดียมคาร์บอเนตปริมาณที่เติม 1.5 ก./ล. อาจไม่เพียงพอ เนื่องจากน้ำเสียมีปริมาณกรดไขมันระเหยสูง ทำให้ปริมาณด่างไม่เพียงพอที่จะรับการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยได้ ทำให้เกิดการสะสมกรดไขมันระเหยในระบบ ส่งผลให้ระบบเสียสมดุลย์ในเวลาต่อมา รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

สภาพด่างทั้งหมด

จากตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียที่สภาวะคงที่ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่มีค่าเท่ากับ 1426 และ 2652 มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งที่สภาวะคงที่มีค่าเท่ากับ 1826 และ 3212 มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าสภาพด่างทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำเสียผ่านถังยูเอเอสบี อธิบายได้ว่ามีไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นจากการออกซิไดซ์กรดอะซิติกของแบคทีเรียสร้างมีเทน หรือแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ในกรณีน้ำเสียที่มีซัลเฟตหรือเกิดจากทั้งสองกรณี ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการไร้ออกซิเจน ดังสมการต่อไปนี้ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ค่าพีเอชของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

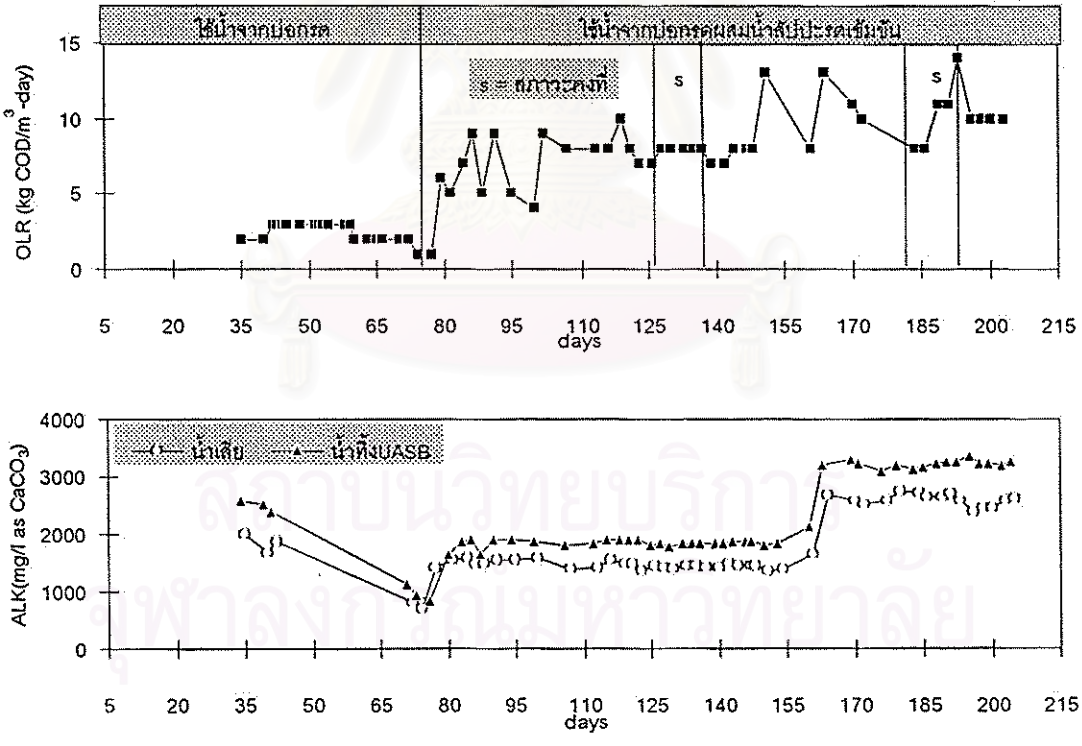


รูปที่ 4.8 ค่าพีเอชของถังยูเอเอสบีชุดถัง 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

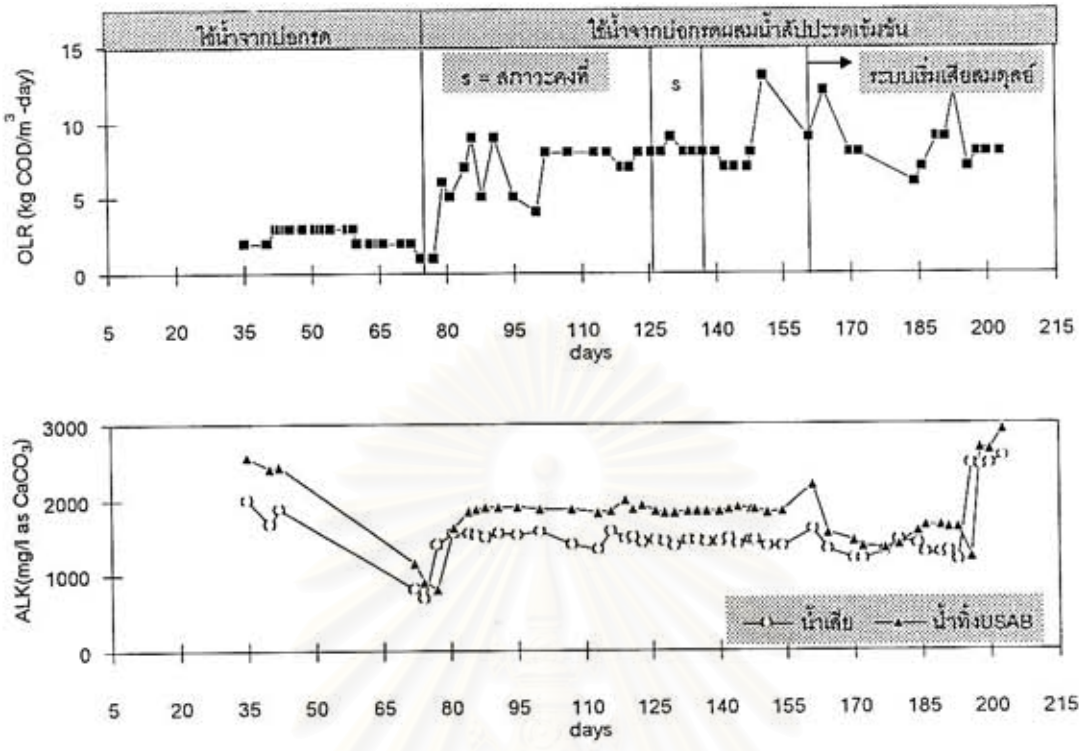
$$CH_3COO^- + H_2O \quad \cdots\cdots\blacktriangleright \quad CH_4 + HCO_3^- \qquad (A)$$

$$CH_3COO^- + SO_4^{2} \quad \cdots\cdots\blacktriangleright \quad HS^- + 2HCO_3^- \qquad (B)$$

ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ก็ให้ผลเช่นข้างต้น แต่ค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียและน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 1320 และ 1560 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นค่าในวันที่ระบบเสียสมดุลย์การทำงาน จะเห็นว่าค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ซึ่งไม่สามารถให้กำลังบัฟเฟอร์แก่ระบบได้เพียงพอในช่วงดังกล่าว รูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า สภาพด่างทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.9 ค่าสภาพด่างทั้งหมด ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.10 ค่าสภาพด่างทั้งหมด ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

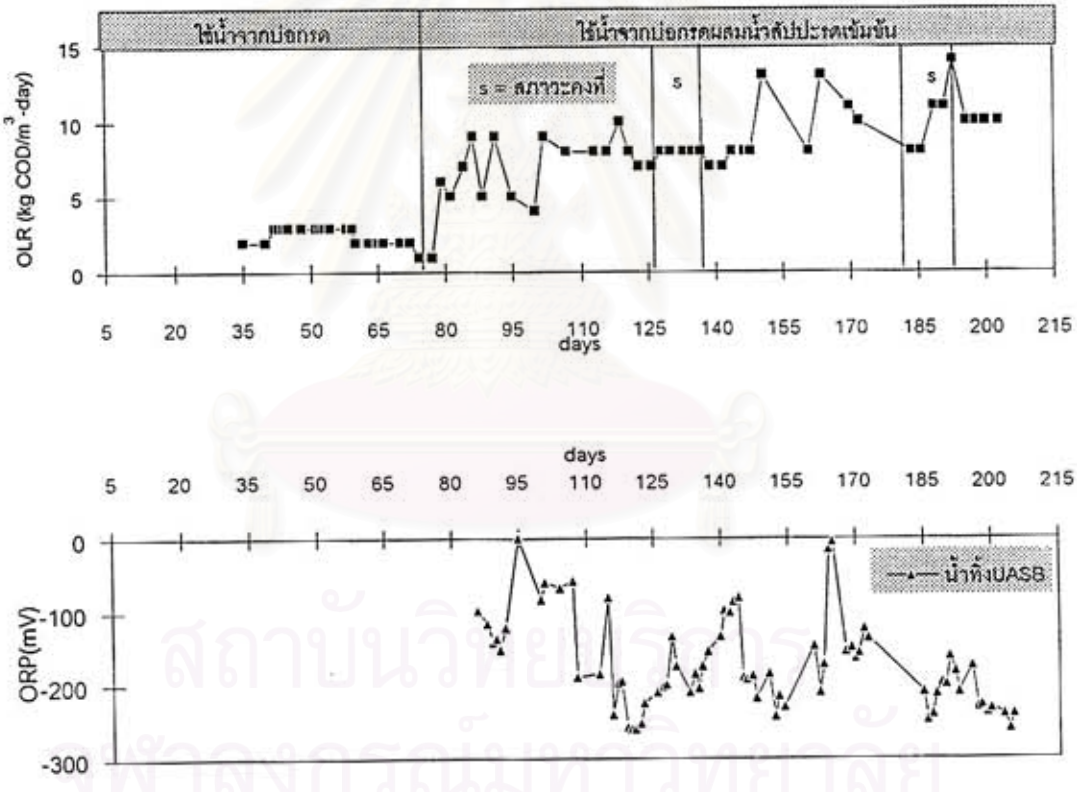
<u>โออาร์พี</u>

จากตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยโออาร์พีที่สภาวะคงที่ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ -182 และ -206 มิลลิโวลท์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าโออาร์พีเป็นลบแสดงถึงการเกิดปฏิกริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าโออาร์พีมีค่าเป็นลบมากขึ้น แสดงว่า เกิดปฏิกริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มากกว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนค่าโออาร์พีในน้ำทิ้ง ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าน้อยมาก แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายในถังยูเอเอสบีเกิดน้อยมาก เนื่องจากอยู่ในสภาวะเสียสมดุลย์ รูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พี ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

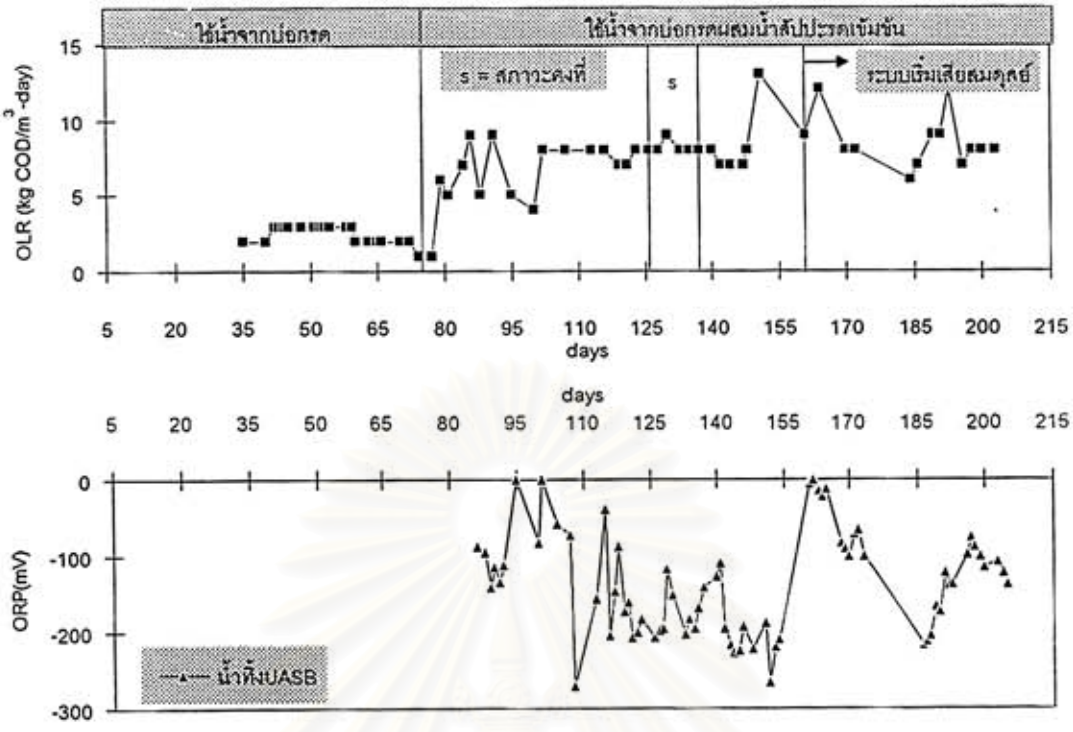
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยโออาร์พีของน้ำทิ้งที่สภาวะคงที่ ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตัวแปร	ถังยูเอสบีชุดที่ 1	ถังยูเอสบีชุดที่ 2
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน - โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-182	-176
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน - โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-206	-21*

- * เป็นค่าในวันที่ระบบเริ่มเสียสมดุลย์การทำงาน



รูปที่ 4.11 ค่าโออาร์พีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1(ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.12 ค่าโออาร์พีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1(ไม่มีถังกรด)

4.4.2 ซีโอดี และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

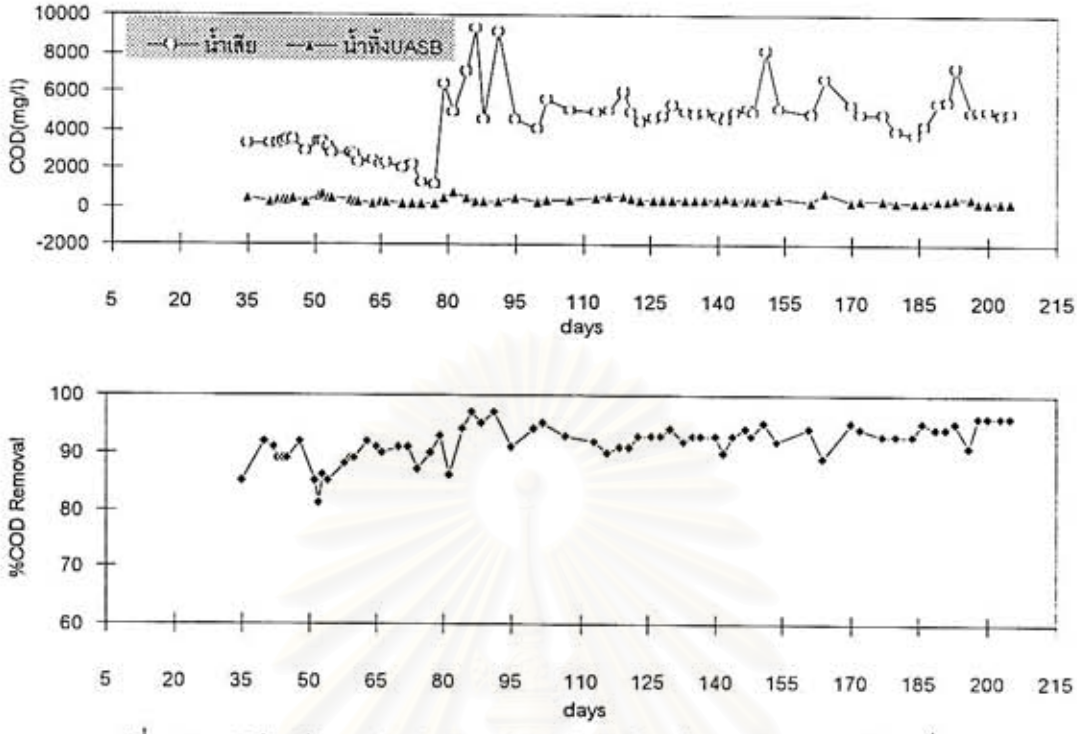
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เป็นตัวแปรที่สำคัญ และแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ จากตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าสูงและเกือบเท่ากันคือ 93% และ 94% ที่อัตราภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยังไม่มีแนวโน้มจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แสดงว่าระบบยังสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่านี้อีก แต่ขึ้นอยู่กับปริมาณด่างที่เหมาะสมที่เติมให้แก่ระบบอีกด้วย เห็นได้จากการเสียสมดุลย์ของระบบในถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 เมื่อระบบต้องรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นมากกว่า 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ขณะที่ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมเท่าเดิมคือ 1.5 ก./ล. เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยมหาบัณฑิตของ สมคะเน จริตงาม ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากน้ำสัปปะรดเข้มข้นอย่างเดียว ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94.99% ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าระบบยูเอเอสบีสามารถกำจัดซีโอดีในน้ำเสียที่มีกรดไขมัน

ระเหยเป็นสารตั้งต้นได้ดีเท่ากับ น้ำเสียที่ไม่มีกรดไขมันระเหยเป็นสารตั้งต้น ทั้งที่ต้องรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงกว่าเกือบ 70% กล่าวคือที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากัน ระบบยูเอเอสบีสามารถกำจัดซีโอดีในน้ำเสียที่มีกรดไขมันระเหย ได้ดีกว่าในน้ำเสียที่ไม่มีกรดไขมันระเหย เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบี สามารถใช้กรดไขมันระเหยในน้ำเสียได้ทันที ทำให้ซีโอดีในรูปกรดไขมันระเหยถูกกำจัดอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีการสรุปว่า การเติมกรดไขมันระเหยจำนวนน้อย (3-13%ในรูปซีโอดี) ลงในน้ำเสีย จะมีผลกระตุ้นการตื่นตัวของแบคทีเรียสร้างมีเทนในมวลชีวะ(Cohen , Breure , Schmedding , Zoetemeyer และ Andel , 1985) รูปที่ 4.13 และ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 1(ไม่มีถังกรด)

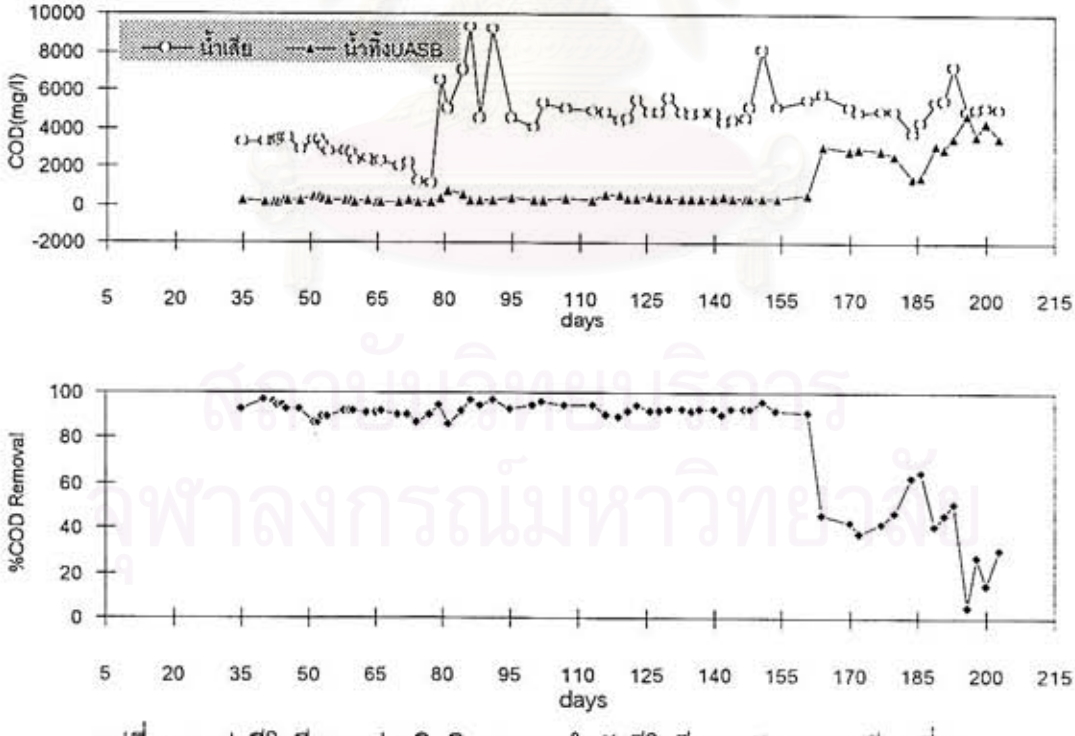
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตัวแปร	ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1		ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2	
	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- ซีโอดี (มก./ล.)	4928	341	4862	367
- ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (%)	-	93	-	92
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- ซีโอดี (มก./ล.)	4868	315	5785	3102*
- ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (%)	-	94	-	46*

- * เป็นค่าในวันที่ระบบเริ่มเสียสมดุลย์การทำงาน



รูปที่ 4.13 ค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.14 ค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

4.4.3 อัตราการผลิตก๊าซมีเทน

ก๊าซชีวภาพเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการไร้ออกซิเจน ส่วนประกอบหลักของก๊าซชีวภาพคือ ก๊าซมีเทน และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณและส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพสามารถบอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของถังยูเอเอสบีได้ จากตารางที่ 4.8 ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่1 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 72.4 เป็น 93 ลิตร/วัน เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 8 เป็น 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ส่วนเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนมีค่าไม่ลดลงมากนักจาก 66 เป็น 64 เปอร์เซนต์ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าคงที่เท่ากับ 0.37 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด เมื่อเพิ่มอัตราบรรทุกสารอินทรีย์จาก 8 เป็น 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงค่าสูงสุดทางทฤษฎีคือ 0.38 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด (Cohen , Breure , Schmedding , Zoetemeyer และ Andel , 1985) แสดงว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารอาหารเข้าสู่ระบบมากขึ้น ส่วนเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน และ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าไม่ต่างกันอย่างเด่นชัด เนื่องจากอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่ต่างกันมาก และอยู่ในช่วงที่ระบบทำงานได้ดี ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดในแต่ละวันของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 1.71 และ 1.42 ลิตร/ลิตรน้ำเสีย ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และมีค่าเท่ากับ 1.70 และ 3.40 ลิตร/ลิตรน้ำเสีย ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งสำหรับถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าไม่ต่างกันเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เนื่องจากอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าไม่ต่างกันมาก และอยู่ในช่วงระบบทำงานได้ดี รูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

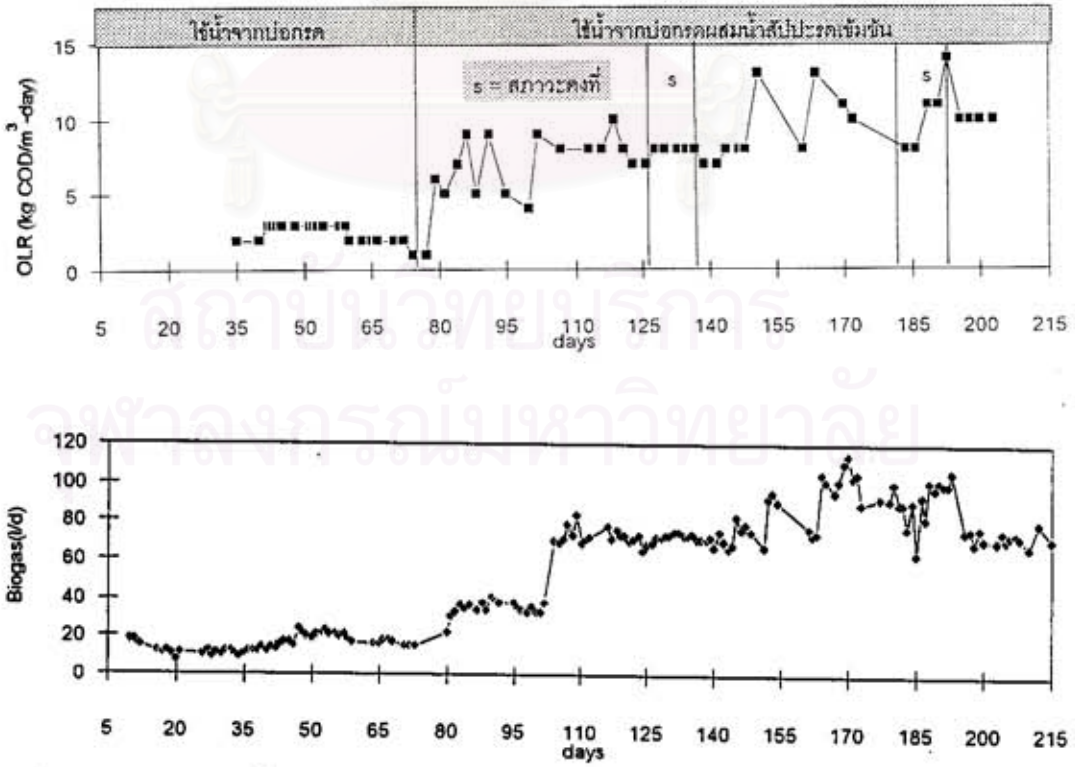
4.4.4 การตกค้างของตะกอนแขวนลอย

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบี ชุดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 112 และ 104 มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าไม่ต่างกันนัก แต่ค่าตะกอนแขวนลอยในถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 61 มก./ล. ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 8 เป็น 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจะมีค่าลดลง ขณะที่ค่าตะกอน

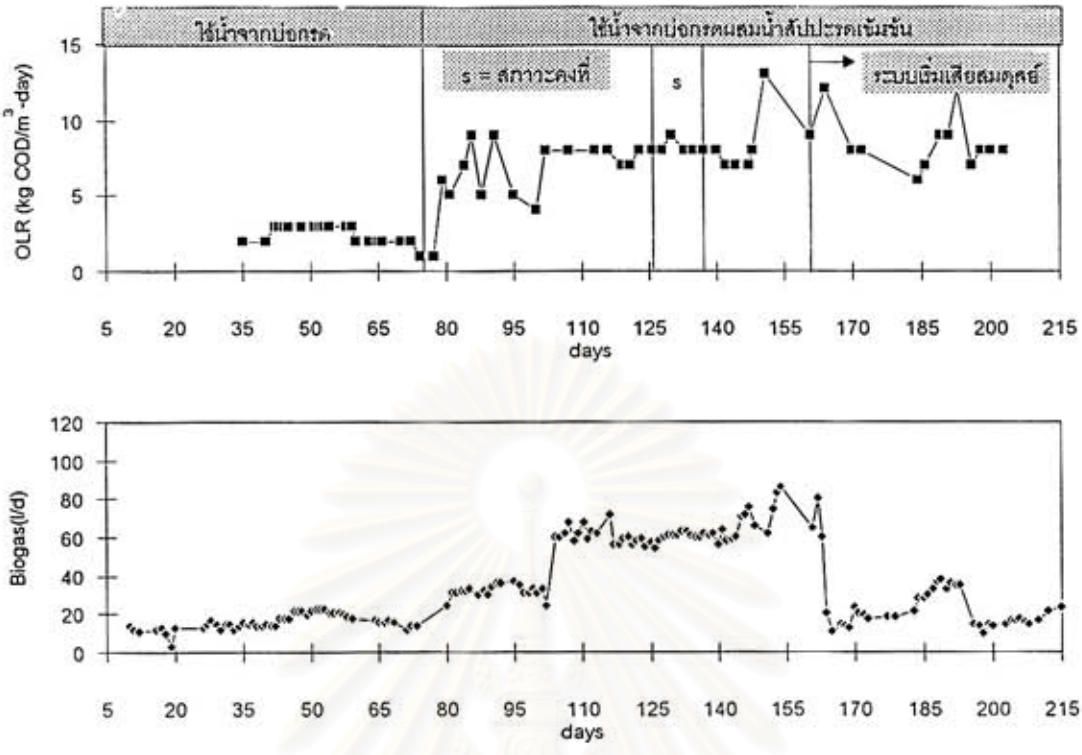
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน อัตราผลิตก๊าซมีเทน และปริมาณก๊าซมีเทนที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตัวแปร	ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1	ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	72.4	60.4
- เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	66	66
- อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.37	0.32
- ปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/ลิตรน้ำเสีย)	1.71	1.42
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	93	20.4*
- เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	64	59*
- อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.37	0.13*
- ปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/ลิตรน้ำเสีย)	1.70	0.34

- * เป็นค่าในวันที่ระบบเริ่มเสียสมดุลย์การทำงาน



รูปที่ 4.15 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.16 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตัวแปร	ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1		ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2	
	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- ตะกอนแขวนลอย	170	112	175	104
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- ตะกอนแขวนลอย	184	61	196*	187*

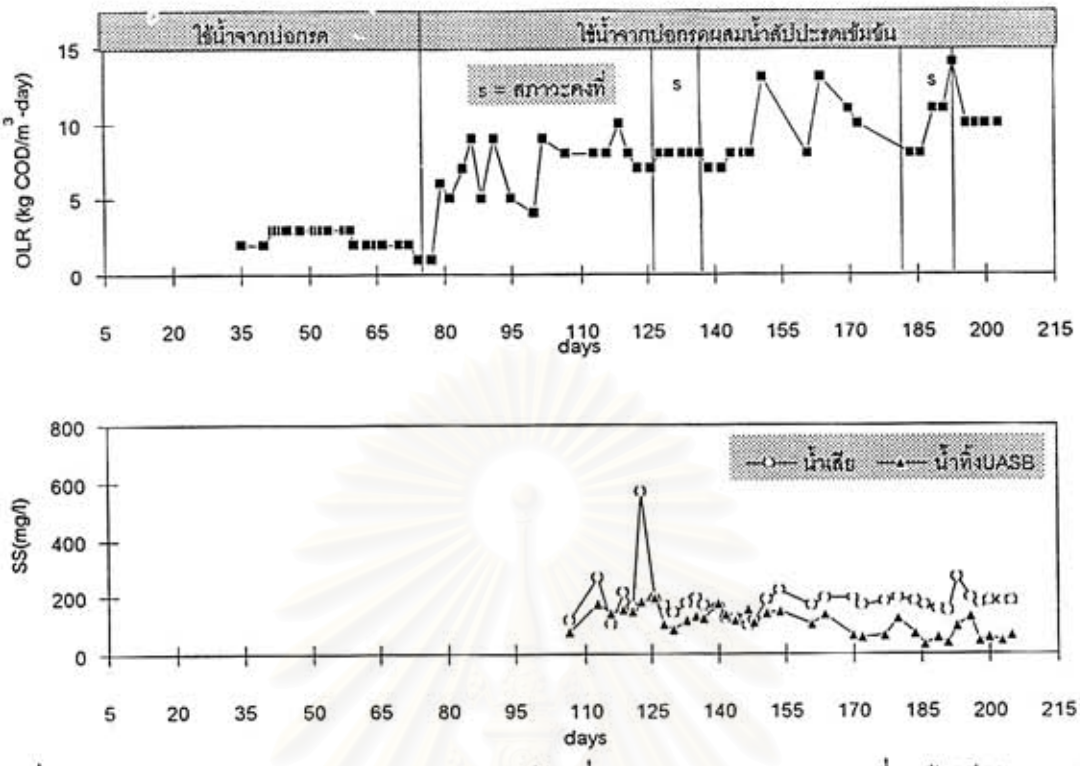
- *เป็นค่าในวันที่ระบบเริ่มเสียสมดุลย์การทำงาน

แขวนลอยในน้ำเสียไม่ได้ลดลง อาจเป็นไปได้ว่าเกิดการตกค้างของตะกอนแขวนลอยภายในถังยูเอเอสบีบางส่วนหรือทั้งหมด และส่วนที่หลุดออกมากับน้ำทิ้ง คือเซลล์แบคทีเรีย ซึ่งไม่อาจสรุปได้ว่าเป็นกรณีใด การตกค้างของตะกอนแขวนลอยอาจเป็นไปได้ 2 กรณี ดังนี้

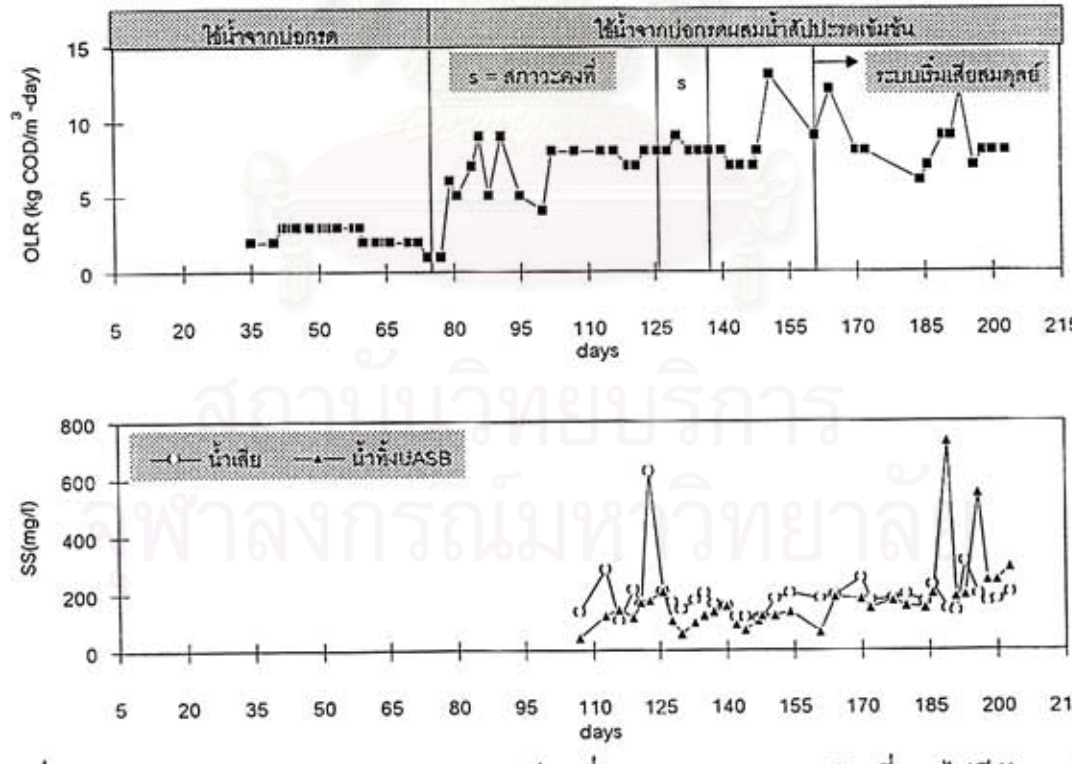
กรณีที่1 : มีตะกอนแขวนลอยที่เป็นแบคทีเรียสร้างกรดชนิดแขวนลอย (suspended acidogenic bacteria) สะสมอยู่ในชั้นตะกอนนอน โดยไปเกาะติดกับผิวของเม็ดตะกอน และอาจโยงยึดเม็ดตะกอนมารวมกันเป็นกลุ่มก้อนหลวมๆ (agglomeration)

กรณีที่2 : ตะกอนแขวนลอยพวกสารอินทรีย์หรืออนุภาคเฉื่อย (inert particle) สะสมอยู่ในชั้นตะกอนนอนโดยไปเกาะติดกับผิวของเม็ดตะกอน หรือติดค้างอยู่ในกลุ่มก้อนเม็ดตะกอนที่เกิดจากกรณีที่ 1

เนื่องจากน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจนที่นำมาเตรียมน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าตะกอนแขวนลอย ปริมาณกรดไขมันระเหย และค่าซีโอดี สูงกว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ฉะนั้นตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน น่าจะมีแบคทีเรียสร้างกรดชนิดแขวนลอยมากกว่าในน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ทำให้มีโอกาสเกิดการตกค้างของตะกอนแขวนลอยในถังยูเอเอสบีมากขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ เนื่องจากสังเกตพบว่าลักษณะชั้นตะกอนนอนระหว่างเดินระบบ เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 8 เป็น 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ชั้นตะกอนนอนมีการแยกชั้นลอยมากขึ้น และเมื่อชั้นตะกอนดังกล่าวลอยขึ้นไปติดที่ส่วนบนของถัง ก็จะตกกลับลงคืน ในลักษณะเป็นเม็ดตะกอนเดี่ยวและกลุ่มก้อนเม็ดตะกอน รูปที่ 4.17 และ 4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าตะกอนแขวนลอยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)



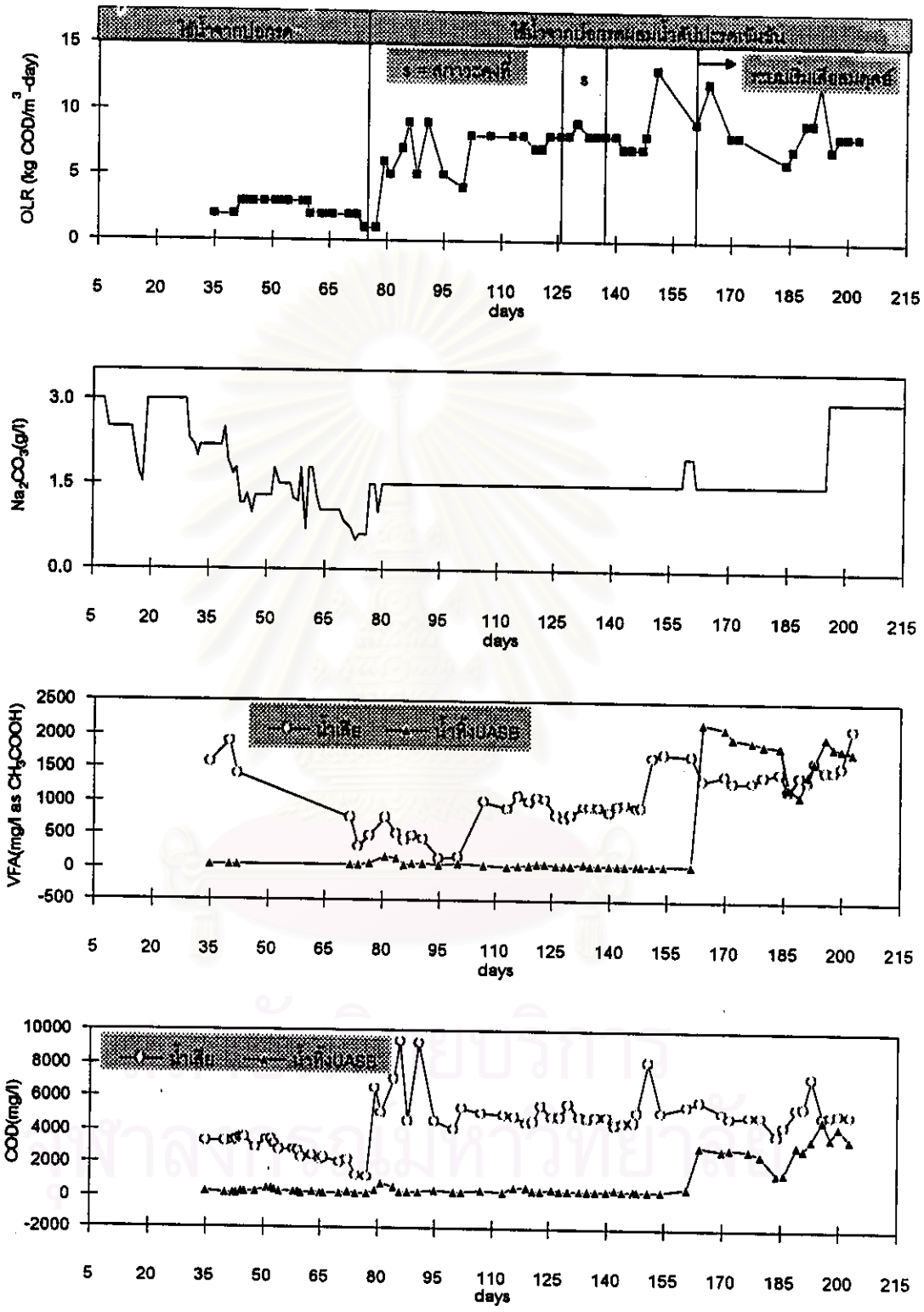
รูปที่ 4.17 ค่าตะกอนแขวนลอยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1(ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.18 ค่าตะกอนแขวนลอยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

4.4.5 สาเหตุของการเสียสมดุลย์ของระบบยูเอเอสบี

รูปที่ 4.19 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุที่การเสียสมดุลของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 สามารถอธิบายลำดับเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ดังต่อไปนี้ ในช่วง 75 วันแรกของการทดลอง ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมให้กับน้ำเสียก่อนเข้าถังยูเอเอสบีมีค่าไม่คงที่ แต่ก็ไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อการทำงานของถังยูเอเอสบี เนื่องจากเป็นช่วงที่ถังยูเอเอสบีรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ (2-3 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน) ตั้งแต่วันที่ 79 เริ่มใช้น้ำสัปปะรดเข้มข้นผสมกับน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจน เพื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้ระบบ และเติมปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1.5 ก./ล. คงที่ทุกวัน วันที่ 151 พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยและค่าซีโอดีในน้ำเสียมีค่ามากขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง และมากที่สุดตั้งแต่มีการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มากกว่า 3 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน (เนื่องจากโรงงานได้เริ่มผลิตได้ระยะหนึ่งหลังจากปิดโรงงานประจำปี ทำให้น้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจนเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง 13 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) โดยยังคงเติมปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1.5 ก./ล. เท่าเดิม วันที่ 162 ทำการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยลดเวลากักน้ำจาก 15 ชั่วโมง เหลือ 12 ชั่วโมง วันที่ 163 พบว่าการทำงานของถังยูเอเอสบีเริ่มมีปัญหา น้ำทิ้งจากถังมีกลิ่นรุนแรงมาก วันที่ 164 ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้จากถังยูเอเอสบีลดลงเกือบ 70 % ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งมีค่าสูงมาก สภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งลดลง และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดเหลือ 46 % วันที่ 166 ทำการลดค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยเพิ่มเวลากักน้ำเป็น 15 ชั่วโมง เพื่อให้ระบบฟื้นตัว วันที่ 168 สังเกตุพบว่าปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้เริ่มเพิ่มขึ้น ค่าโออาร์พีและปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีเริ่มมีค่าลดลง วันที่ 180 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเป็น 47 % วันที่ 189 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงแต่ไม่มาก พอวันที่ 193 ถังยูเอเอสบีรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ถึง 12 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน (เนื่องจากค่าซีโอดีและปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจนชุดใหม่มีค่าเพิ่มขึ้น) เป็นผลให้ระบบซึ่งอ่อนแออยู่แล้วเสียสมดุลย์อีกครั้ง วันที่ 196 ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ลดลงเกือบ 60 % ค่าโออาร์พีและปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น สภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งลดลง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเหลือ 5% ทำการฟื้นฟูระบบโดยเพิ่มปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตจาก 1.5 ก./ล. เป็น 3 ก./ล. เพื่อเพิ่มสภาพด่างทั้งหมดให้กับระบบ พบว่าระบบเริ่มฟื้นตัว โดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ต่อวันเพิ่มขึ้น ค่าโออาร์พีมีค่าเป็นลบ



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

มากขึ้น ค่าพีเอชภายในถังยูเอเอสบีเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งลดลง และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น

สรุปได้ว่าปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1.5 ก./ล. ที่เติมให้ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถให้กำลังบัฟเฟอร์แก่ระบบเพียงพอ และเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีทั้ง 2 ถัง จะเห็นว่ามีค่าต่ำมาก แสดงถึงระบบมีปริมาณด่างมากเกินพอ การที่ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 เกิดการเสียสมดุล เนื่องจากระบบรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าซีโอดีที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งเวลากักน้ำที่ลดลง ทำให้ระบบไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้อีก อีกทั้งปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต 1.5 ก./ล. ที่เติมให้ระบบ อาจไม่เพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ขณะที่ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 3.0 ก./ล. ที่เติมให้กับยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถให้กำลังบัฟเฟอร์แก่ระบบเพียงพอ เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 จะเห็นว่ามีค่าต่ำมาก แสดงถึงระบบมีกำลังบัฟเฟอร์มากเกินพอ ทำให้สามารถลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมให้ระบบได้อีก

4.5 สรุปผลการทดลองของการทดลองส่วนที่ 2(มีถังกรด)

การทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) เป็นการทดลองที่เดินระบบต่อจากการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการหมักกรดก่อน 12 ชั่วโมง ในช่วงแรกของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 สามารถปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าถังยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 1 และ 2 มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ต่างก็เป็นน้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนหมักกรดมาแล้วเช่นกัน และอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่ถังยูเอเอสบีรับในการทดลองส่วนที่ 2 ในช่วงแรก ก็มีค่าต่ำกว่าค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ตอนสิ้นสุดการทดลองช่วงที่ 1 เนื่องจากค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าถังยูเอเอสบีจะถูกลดลงก่อนโดยกระบวนการหมักกรดในถังกรด

ผลการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ณ สภาวะคงที่ มี 4 การทดลอง ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.10 , 4.11 , 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ เพื่อให้เห็นภาพรวมสามารถสรุปในรายละเอียดของตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 , 4.11 , 4.12 และ 4.13 ค่าเฉลี่ยพีเอชน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 6.96 , 7.03 , 7.22 และ 7.32 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ ค่าพีเอชน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและอยู่ในช่วงเป็นกลาง เช่นเดียวกับค่าพีเอชภายในถังยูเอเอสบี (50 ซม.จากก้นถัง) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 6.99 , 7.15 , 7.33 และ 7.41 ตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชน้ำทิ้งจากถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 6.13 , 6.07 , 6.19 และ 6.19 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ค่าพีเอชน้ำทิ้งจากถังกรดค่อนข้างคงที่

ค่าโออาร์พีน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ -217 , -224 , -208 และ -223 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าโออาร์พีน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีมีค่าค่อนข้างคงที่ เช่นเดียวกับค่าโออาร์พีภายในถังยูเอเอสบี (50 ซม. จากก้นถัง) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่มีค่าเท่ากับ -234 , -252 , -251 และ -266 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ส่วนค่าโออาร์พีน้ำทิ้งจากถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ -253 , -323 , -205 และ -198 ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าโออาร์พีค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มเป็นลบน้อยลงที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

อุณหภูมิน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 29.5, 29.6, 29.8 และ 29.7 ^{o}ซ ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกันมาก เช่นเดียวกับอุณหภูมิภายในถังยูเอเอสบี (50 ซม. จากก้นถัง) มีค่าเท่ากับ 29.8 , 29.7 , 30.0 และ 29.8 ^{o}ซ ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีเพียงเล็กน้อย ในแต่ละค่าอัตรา

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ของผลการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง		ภายใน
			ถังกรด	ถังยูเอเอสบี	(50 ซม. จากก้นถัง)
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-253	-217	-234
	ค่าเบี่ยงเบน		36	12	19
พีเอช	เฉลี่ย	10.21	6.13	6.96	6.99
	ค่าเบี่ยงเบน	0.09	0.06	0.03	0.05
อุณหภูมิ (°ซ)	เฉลี่ย	29.5	29.4	29.5	29.8
	ค่าเบี่ยงเบน	0.59	0.60	0.64	0.68
ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	เฉลี่ย	91	249	66	-
	ค่าเบี่ยงเบน	26	70	12	
สภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	2019	1707	2246	-
(มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	ค่าเบี่ยงเบน	26	64	32	
กรดไขมันระเหย	เฉลี่ย	154	1220	37	-
(มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าเบี่ยงเบน	58	173	3	
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพด่างทั้งหมด		-	0.71	0.02	-
ซีโอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	3295	2564	180	-
	ค่าเบี่ยงเบน	68	60	9	
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	เฉลี่ย	-	22	93	95**
(%)	ค่าเบี่ยงเบน		3	0.47	0.51
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย	-		57	-
	ค่าเบี่ยงเบน			3	
ก๊าซมีเทน (%)		-		68	-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)		-		0.31*	-

- * คิดจากค่าซีโอดีที่เข้าถังยูเอเอสบี (ออกจากถังกรด)
- ** เป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้งระบบ (รวมทั้งถังกรดและถังยูเอเอสบี)

ตารางที่ 4.11 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ของผลการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง		ภายใน
			ถังกรด	ถังยูเอเอสบี	(50 ซม. จากก้นถัง)
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-323	-224	-252
	ค่าเบี่ยงเบน		36	12	14
พีเอช	เฉลี่ย	10.19	6.07	7.03	7.15
	ค่าเบี่ยงเบน	0.07	0.04	0.02	0.05
อุณหภูมิ (°ซ)	เฉลี่ย	29.5	29.6	29.6	29.7
	ค่าเบี่ยงเบน	0.37	0.59	0.19	0.51
ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	เฉลี่ย	145	495	176	-
	ค่าเบี่ยงเบน	36	19	8	
สภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	3006	2388	3329	-
(มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	ค่าเบี่ยงเบน	46	82	13	
กรดไขมันระเหย	เฉลี่ย	309	1925	91	-
(มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าเบี่ยงเบน	23	102	16	
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพด่างทั้งหมด		-	0.81	0.03	-
ซีโอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	4923	3901	332	-
	ค่าเบี่ยงเบน	65	59	23	
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	เฉลี่ย	-	21	91	93**
(%)	ค่าเบี่ยงเบน		1	0.49	0.49
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย	-		102.5	-
	ค่าเบี่ยงเบน			5	
ก๊าซมีเทน (%)		-		68	-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)		-		0.37*	-

- * คิดจากค่าซีโอดีที่เข้าถังยูเอเอสบี (ออกจากถังกรด)
- ** เป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้งระบบ (รวมทั้งถังกรดและถังยูเอเอสบี)

ตารางที่ 4.12 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ของผลการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง		ภายใน
			ถังกรด	ถังยูเอเอสบี	(50 ซม. จากก้นถัง)
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-205	-208	-251
	ค่าเบี่ยงเบน		7	15	15
พีเอช	เฉลี่ย	10.57	6.19	7.22	7.33
	ค่าเบี่ยงเบน	0.04	0.04	0.06	0.09
อุณหภูมิ (°ซ)	เฉลี่ย	29.9	29.9	29.8	30.0
	ค่าเบี่ยงเบน	0.42	0.41	0.49	0.35
ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	เฉลี่ย	155	445	189	-
	ค่าเบี่ยงเบน	4	43	17	
สภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	3816	3062	4198	-
(มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	ค่าเบี่ยงเบน	54	63	55	
กรดไขมันระเหย	เฉลี่ย	408	2214	91	-
(มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าเบี่ยงเบน	28	75	14	
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพด่างทั้งหมด		-	0.72	0.02	-
ซีโอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	6592	5071	513	-
	ค่าเบี่ยงเบน	118	109	52	
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	เฉลี่ย	-	23	90	92**
(%)	ค่าเบี่ยงเบน		3	0.83	0.83
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย	-		119.6	-
	ค่าเบี่ยงเบน			2	
ก๊าซมีเทน (%)		-		66	-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)		-		0.33*	-

- * คิดจากค่าซีโอดีที่เข้าถังยูเอเอสบี (ออกจากถังกรด)
- ** เป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้งระบบ (รวมทั้งถังกรดและถังยูเอเอสบี)

ตารางที่ 4.13 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ของผลการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.

ตัวแปร		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง		ภายใน
			ถังกรด	ถังยูเอเอสบี	(50 ซม. จากก้นถัง)
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย	-	-198	-223	-266
	ค่าเบี่ยงเบน		10	11	11
พีเอช	เฉลี่ย	10.58	6.19	7.32	7.41
	ค่าเบี่ยงเบน	0.03	0.06	0.09	0.06
อุณหภูมิ (°ซ)	เฉลี่ย	29.7	29.8	29.7	29.8
	ค่าเบี่ยงเบน	0.38	0.36	0.34	0.29
ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	เฉลี่ย	185	729	410	-
	ค่าเบี่ยงเบน	11	60	39	
สภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	4764	3429	5123	-
(มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	ค่าเบี่ยงเบน	48	103	75	
กรดไขมันระเหย	เฉลี่ย	453	2733	411	-
(มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าเบี่ยงเบน	37	104	38	
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด		-	0.80	0.08	-
ซีโอดี (มก./ล.)	เฉลี่ย	8163	6139	954	-
	ค่าเบี่ยงเบน	164	164	32	
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	เฉลี่ย	-	25	85	88**
(%)	ค่าเบี่ยงเบน		3	0.49	0.35
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย	-		155	-
	ค่าเบี่ยงเบน			4	
ก๊าซมีเทน (%)		-		61	-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)		-		0.35*	-

- * คิดจากค่าซีโอดีที่เข้าถังยูเอเอสบี (ออกจากถังกรด)
- ** เป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้งระบบ (รวมทั้งถังกรดและถังยูเอเอสบี)

ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งไม่ได้ให้ความหมายอะไรมากนัก ส่วนอุณหภูมิของน้ำทิ้งจากถังกรด มีค่าเท่ากับ 29.4 , 29.6 , 29.9 และ 29.8 °ซ ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ค่าอุณหภูมิทุกส่วนของระบบที่กล่าวมามีค่าค่อนข้างจะเท่ากันและใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง

ค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 66 , 176 , 189 และ 410 มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีจะมีค่าสูงขึ้น ส่วนค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากถังกรด มีค่าเท่ากับ 249 , 495 , 445 และ 729 มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากถังกรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 2246 , 3329 , 4198 และ 5123 มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งจากถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 1707 , 2388 , 3062 และ 3429 มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งจากถังกรดมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังกรดจะมีค่าต่ำกว่า ในน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เดียวกัน

ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 37 , 91 , 91 และ 411 มก./ล. ในเทอมกรดอะซิติก ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งจากถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 1220 , 1925 , 2214 และ 2733 มก./ล.ในเทอมกรดอะซิติก จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งจากถังกรดมีค่าเพิ่มขึ้น และ มีค่าสูงกว่าในน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมาก

อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 0.02 , 0.03 , 0.02 และ 0.08 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งจากถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 0.71 , 0.81 , 0.72 และ 0.80 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งจากถังกรดมีค่าค่อนข้างคงที่เช่นกัน และมีค่าสูงกว่าในน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมาก

ค่าซีโอดีน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 180 , 332 , 513 และ 954 มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 2564 , 3901 , 5071 และ 6139 มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากถังกรดมีค่าเพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 93 , 91 , 90 และ 85 % จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีจะมีค่าลดลง ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งจากถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 22 , 21 , 23 และ 25% ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีน้ำทิ้งจากถังกรดมีค่าค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้งระบบรวมกันจะมีค่าเท่ากับ 95 , 93 , 92 และ 88 % ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เดียวกัน

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 57 , 102.5 , 119.6 และ 155 ลิตร/วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ของถังยูเอเอสบีจะมีค่าเพิ่มขึ้น

เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 68 , 68 , 66 และ 61% ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนของถังยูเอเอสบีจะมีค่าลดลง

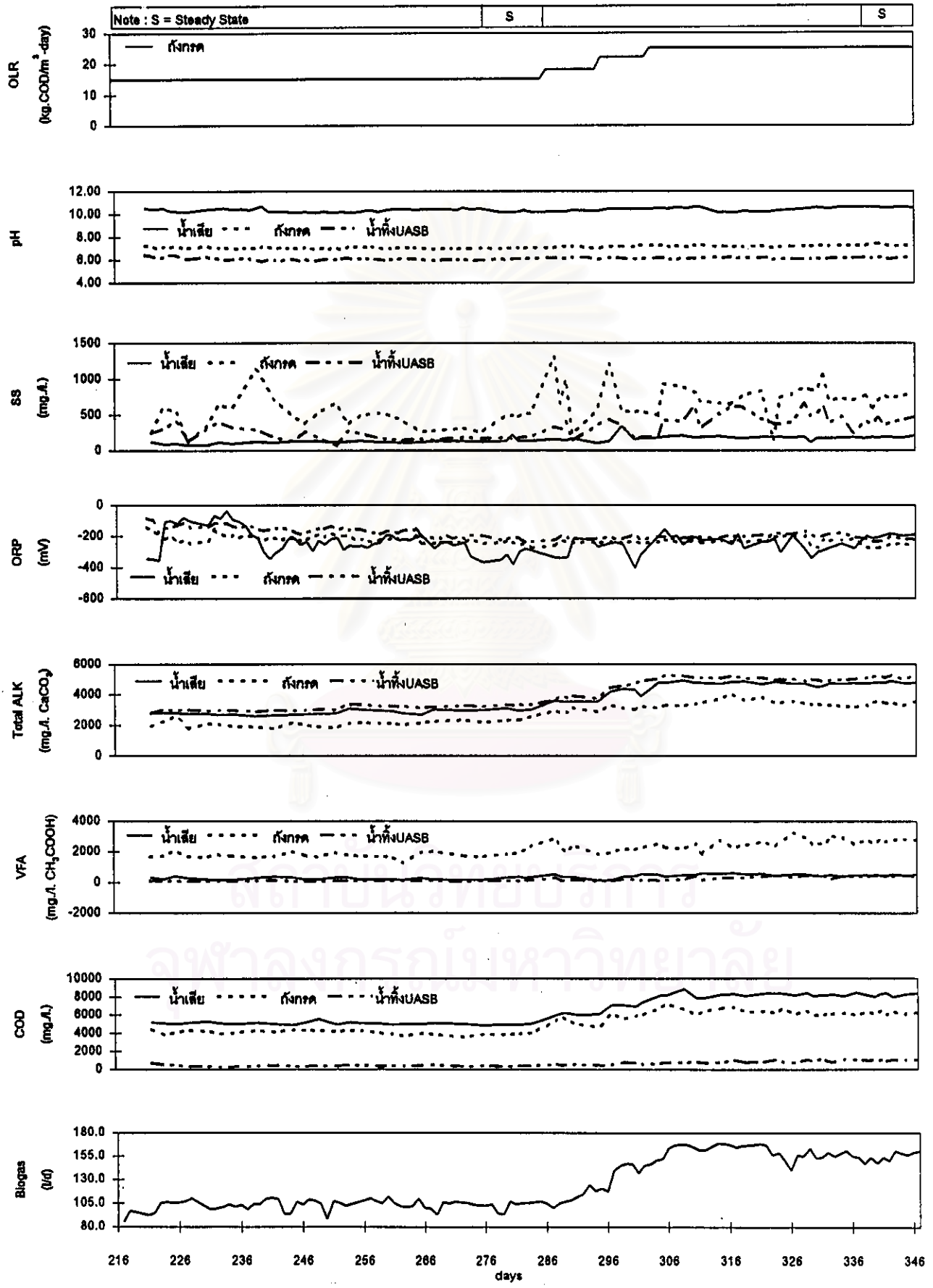
อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 0.31 , 0.37 , 0.33 และ 0.35 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ โดยคิดจากค่าซีโอดีน้ำเข้าถังยูเอเอสบี หรือน้ำทิ้งจากถังกรด จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถังยูเอเอสบีมีค่าเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถังยูเอเอสบีมีค่าสูงสุด

รูปที่ 4.20 และ 4.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

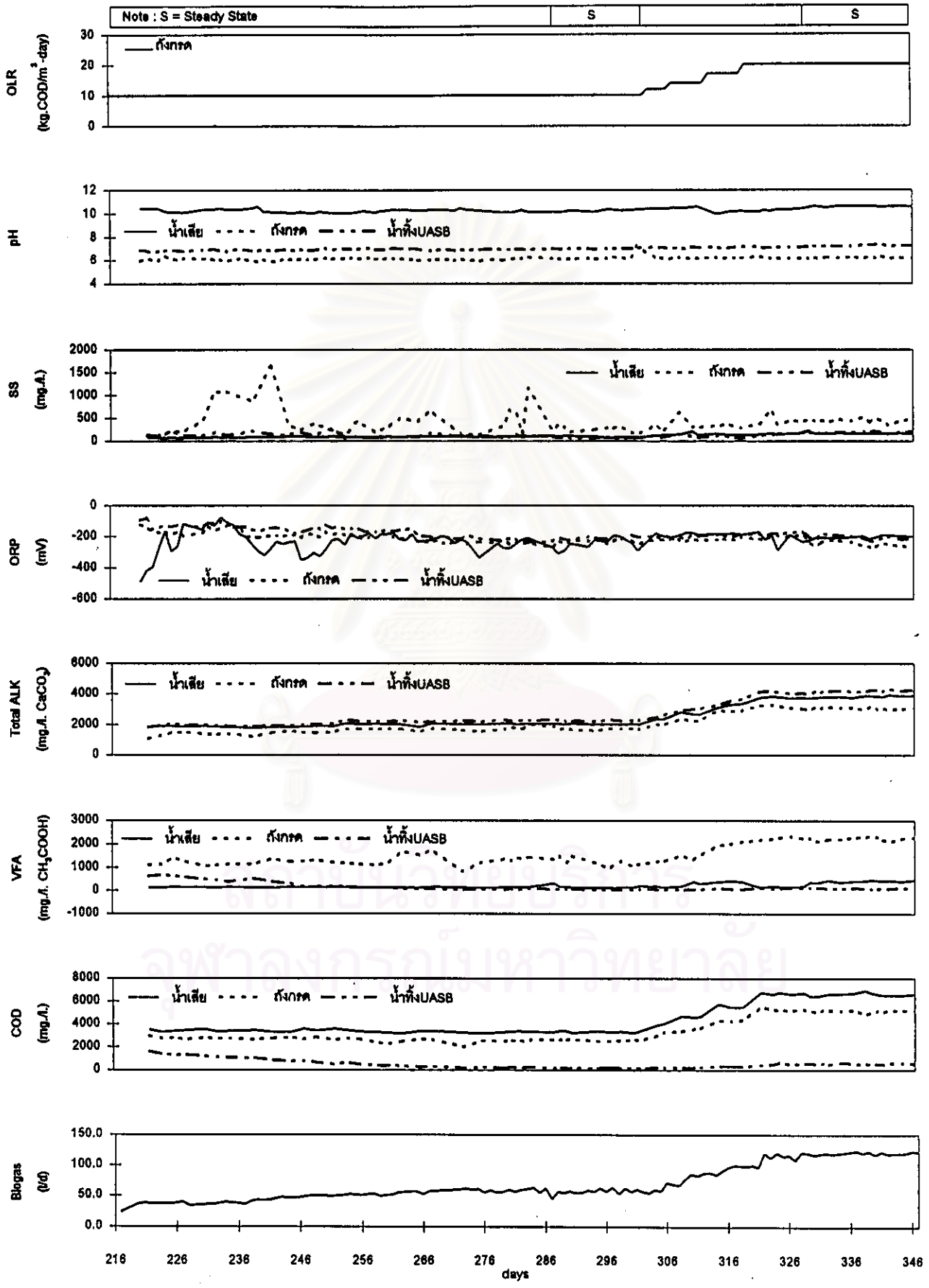
4.5.1 พีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย

<u>พีเอช</u>

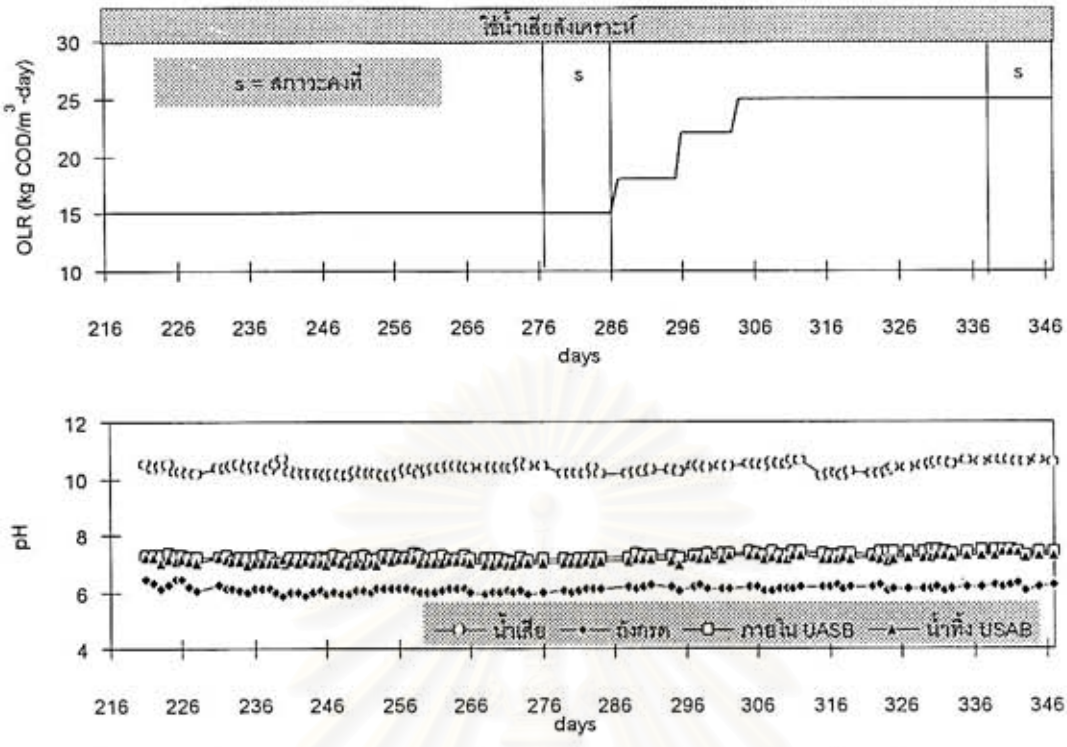
จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) จะเห็นว่าค่าพีเอชของระบบมีค่าค่อนข้างคงที่มาก แสดงถึงระบบมีกำลังบัฟเฟอร์มากเพียงพอ ค่าพีเอชน้ำเสียมีค่าสูงถึง 10 เมื่อผ่านถังกรดแล้วมีค่าลดลงเหลือประมาณ 6.0 และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 7.0 เมื่อผ่านถังยูเอเอสบี เนื่องจากมีกรดไขมันระเหยเกิดขึ้นในถังกรด จากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยแบคทีเรียสร้างกรด และมีการใช้กรดไขมันระเหยดังกล่าว โดยแบคทีเรียสร้างมีเทนภายในถังยูเอเอบี ส่วนค่าพีเอชภายในถังยูเอเอสบี (50 ซม. จากก้นถัง) มีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของน้ำทิ้งเล็กน้อย ค่าพีเอชในถังกรดและถังยูเอเอสบีต่างก็เป็นค่าในช่วงที่แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนเติบโตได้ดี กล่าวคือ ค่าพีเอชประมาณ 6.0 เป็นค่าที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรด (Alexiou และคณะ , 1994) ส่วนค่าพีเอชในช่วง 6.7-7.3 เป็นค่าที่เหมาะต่อการเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน (McCarty , 1964)



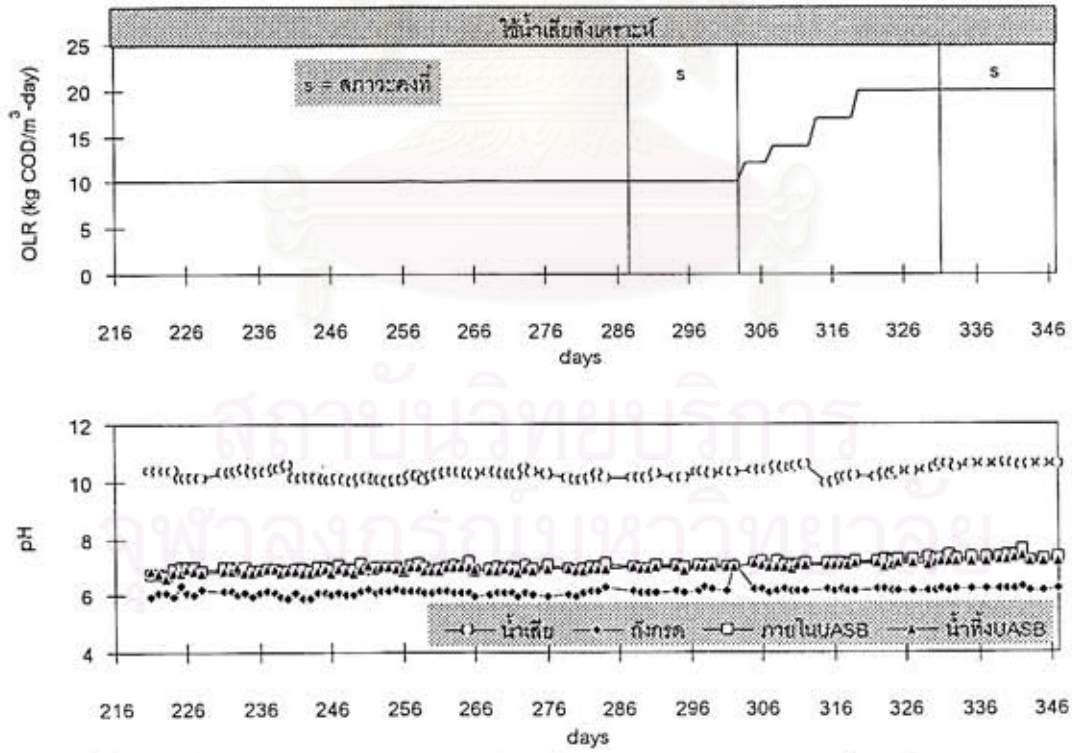
รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบยูอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.22 ค่าพีเอชของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



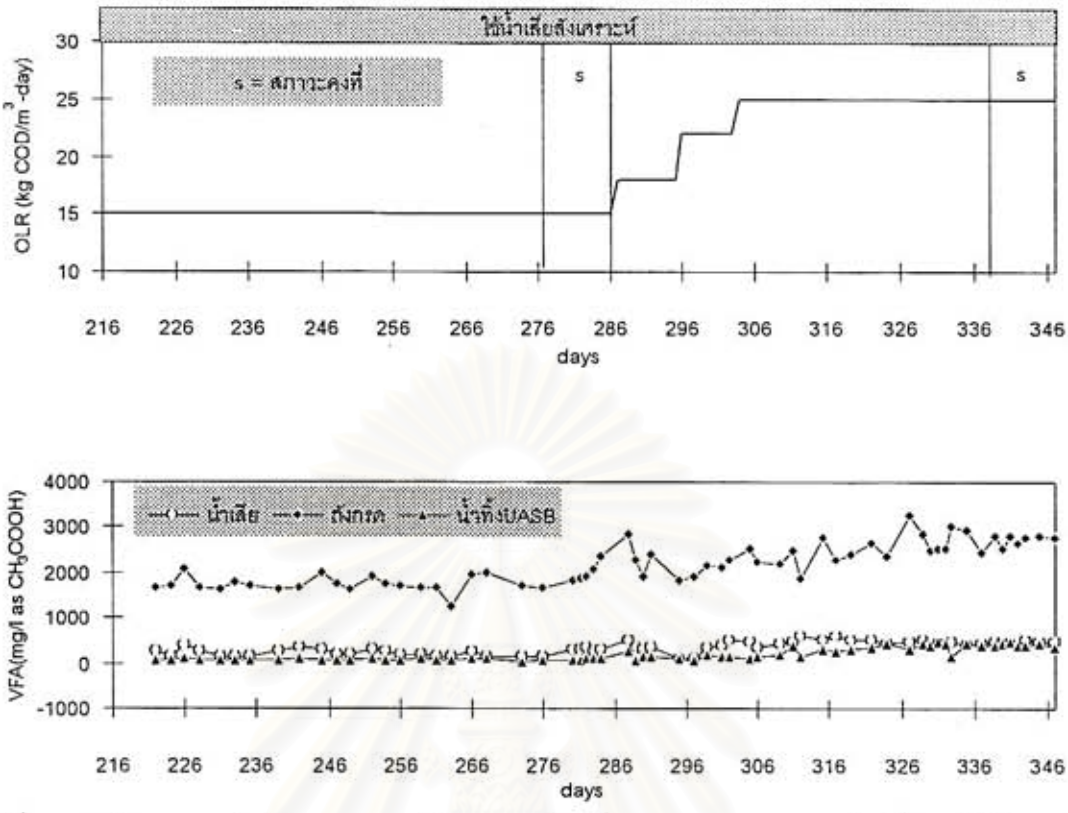
รูปที่ 4.23 ค่าพีเอชของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

กรดไขมันระเหย

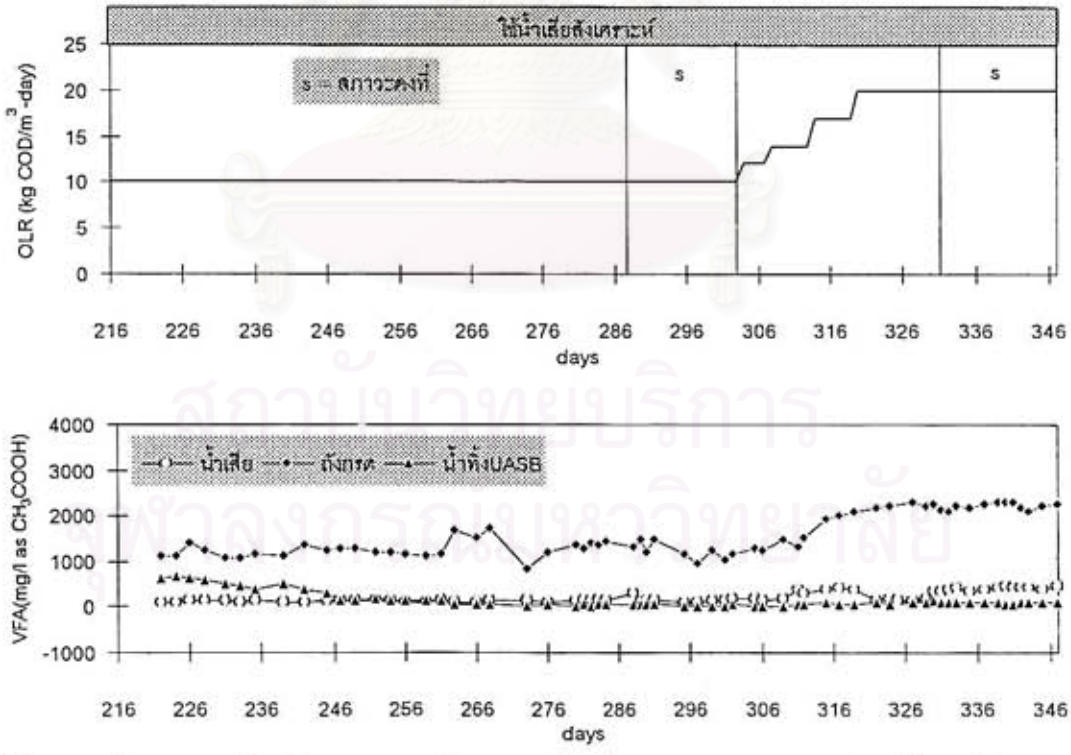
จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) จะเห็นว่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งของถังกรดและถังยูเอเอสบี มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ยกเว้นช่วงแรกของการทดลองของถังยูเอเอสบี ชุดที่ 2 ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งมีค่าสูงแล้วจึงลดลง เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเป็นช่วงเวลาต่อเนื่องจากการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) ซึ่งระบบกำลังฟื้นประสิทธิภาพจากสภาวะเสียสมดุลย์ก่อนหน้านั้น ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าต่ำมากเท่ากับ 37 , 91 , 91 และ 411 มก./ล. ในเทอมกรดอะซิติก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเข้าถังยูเอเอสบี (น้ำทิ้งจากถังกรด) ซึ่งสูงถึง 1220 , 1925 , 2214 และ 2733 มก./ล. ในเทอมกรดอะซิติก ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า แบคทีเรียสร้างกรดในถังกรดจะย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียและได้ผลิตภัณฑ์ในรูปกรดไขมันระเหย แบคทีเรียสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบีสามารถใช้กรดไขมันระเหยปริมาณสูง ที่เกิดจากถังกรดได้อย่างรวดเร็ว ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างมากกว่าทุกค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แสดงว่าเริ่มมีการสะสมปริมาณกรดไขมันระเหยมาก แบคทีเรียสร้างมีเทนเริ่มใช้กรดไขมันระเหยได้ไม่ทัน ซึ่งอาจเป็นจุดเริ่มต้น ที่จะมีการสะสมกรดไขมันระเหยในถังยูเอเอสบีอย่างมาก เมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อไป

สภาพด่างทั้งหมด

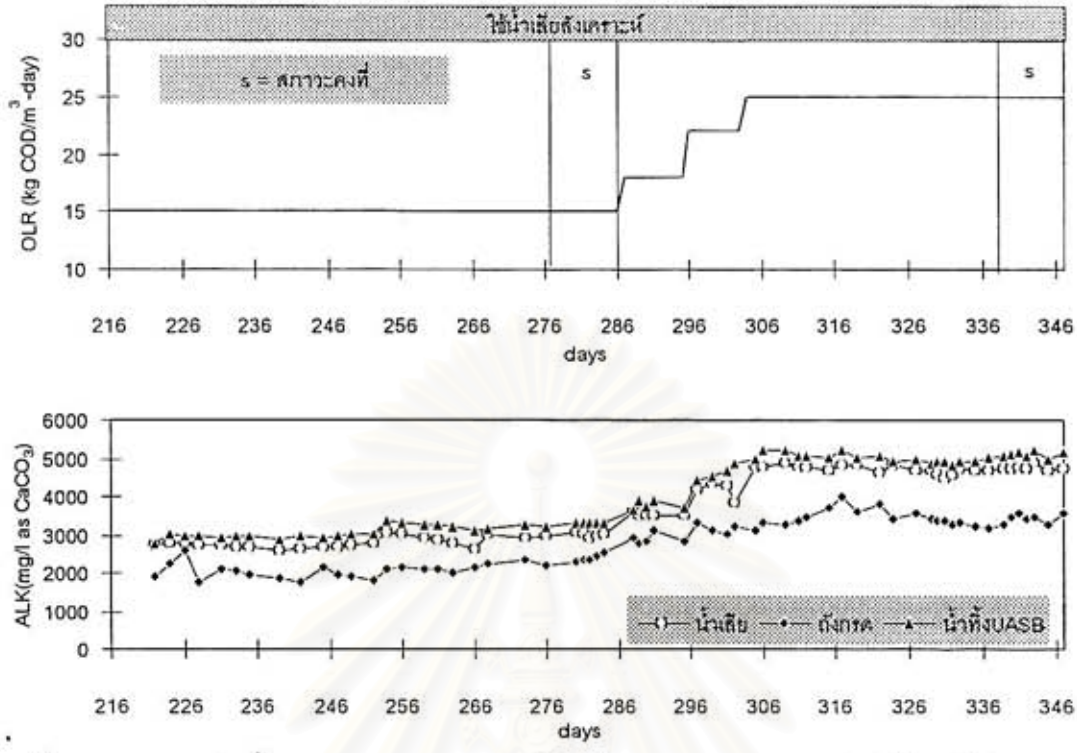
จากรูปที่ 4.26 และ 4.27 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) สภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งจากถังกรดและถังยูเอเอสบี มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสีย ซึ่งเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ สภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียจะมีค่าลดลงเมื่อผ่านถังกรดและมี ค่าเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม เมื่อผ่านถังยูเอเอสบี อธิบายได้ว่าปริมาณด่างที่เติมในน้ำเสียเริ่มต้น จะถูกนำไปใช้สะเทินสภาพกรด (acidity) ที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ ในปฏิกิริยาสร้างกรด ทำให้สภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียลดลง เมื่อผ่านถังกรด ส่วนสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งจาก



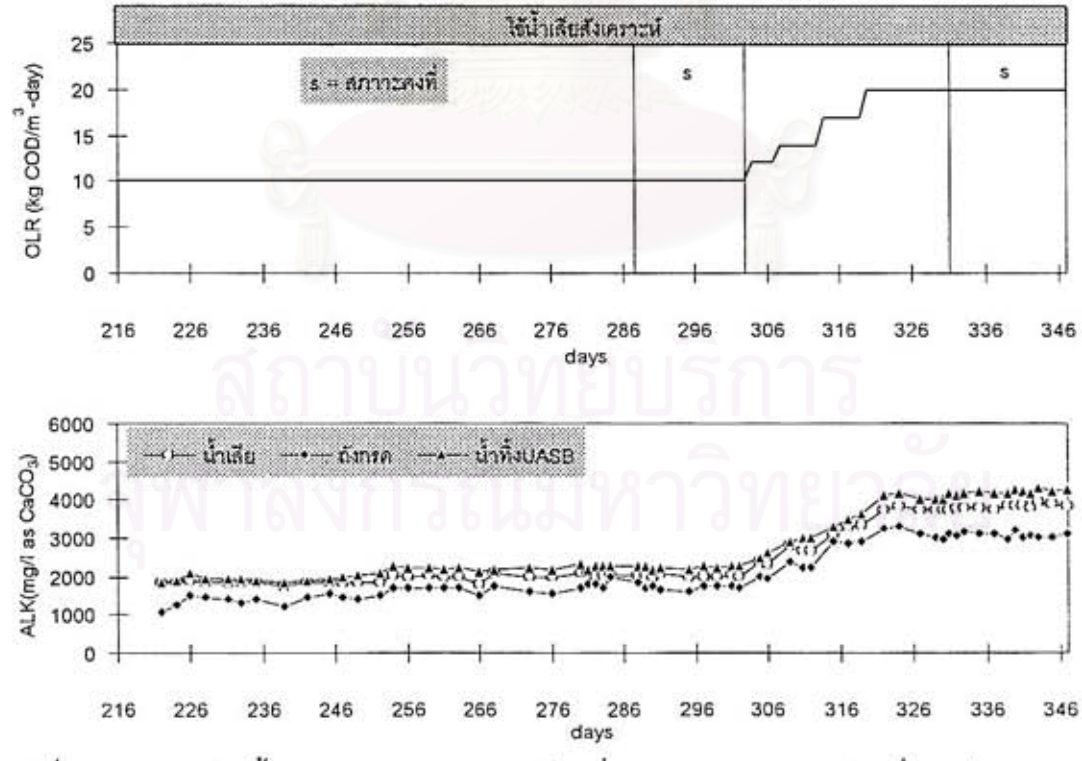
รูปที่ 4.24 ปริมาณกรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.25 ปริมาณกรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.26 สภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.27 สภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

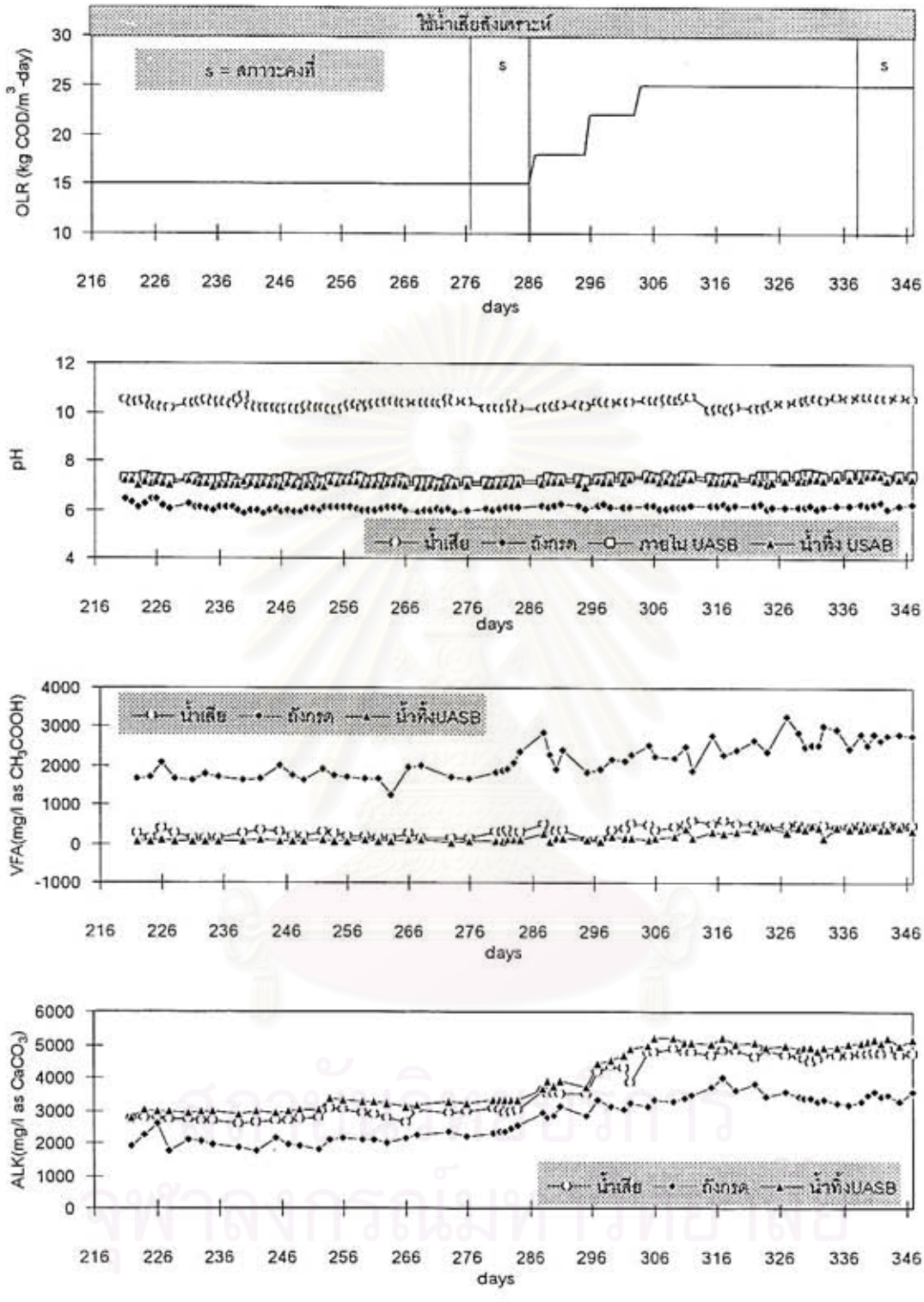
ถังยูเอเอสบีมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นจากการออกซิไดซ์กรดอะซิติก โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน หรือแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ในกรณีน้ำเสียที่มีซัลเฟต หรือเกิดทั้ง 2 กรณี ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการไร้ออกซิเจนดังสมการ A และ B ที่กล่าวมาแล้ว

ในการวิจัยอาจสันนิษฐานได้ว่ามีซัลเฟตในน้ำเสีย และเกิดการออกซิไดซ์กรดอะซิติกโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการต่อไปนี้

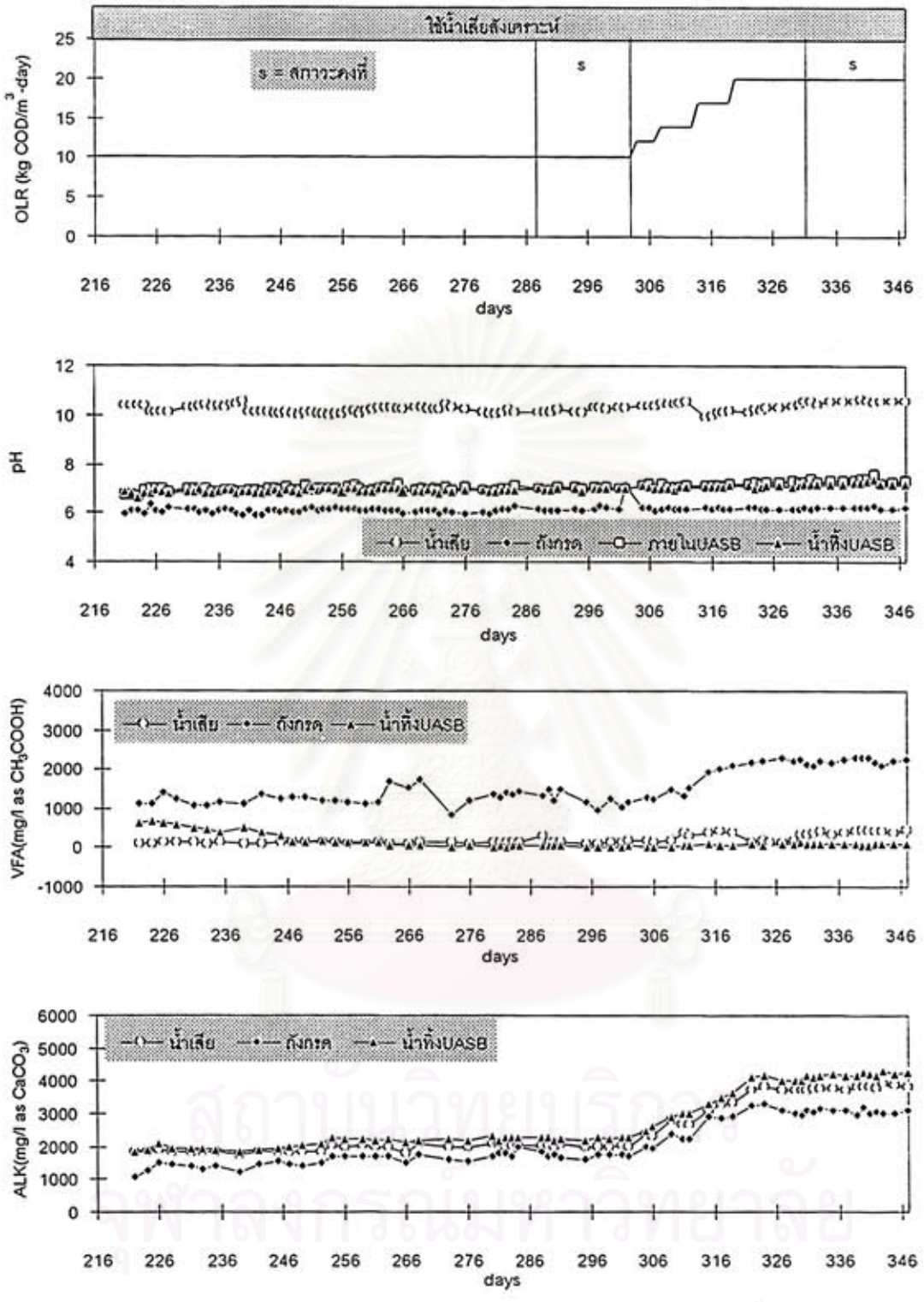
$$SO_4^{2-} + COD \text{ -------> } H_2S + CO_2 \qquad (C)$$

รูปที่ 4.28 และ 4.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดไขมันระเหย และสภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าพีเอช ปริมาณกรดไขมันระเหย และสภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีทั้ง 2 ชุด มีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันระเหย และสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังกรดกับถังยูเอเอสบี พบว่าค่าดังกล่าวโดยเฉพาะกรดไขมันระเหยมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันสูงกว่าถังยูเอเอสบี ซึ่งค่อนข้างคงที่ อธิบายได้ว่าระบบยูเอเอสบีแบบมีถังกรด ถังกรดจะทำหน้าที่เป็นถังปรับเสถียร (stabilization) ให้กับถังยูเอเอสบี ทำให้ถังยูเอเอสบี มีเสถียรภาพสูงกว่าระบบยูเอเอสบีแบบไม่มีถังกรด ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่ของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่ในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ตัวแปร	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง		ภายใน	หมายเหตุ
		ถังกรด	ถังยูเอเอสบี		
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 2
-พีเอช	10.21	6.13	6.96	6.99	
-สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	2019	1707	2246	-	
-กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	154	1220	37	-	
-อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.71	0.02	-	
15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 1
-พีเอช	10.19	6.07	7.03	7.15	
-สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	3006	2388	3329	-	
-กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	309	1925	91	-	
-อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.81	0.03	-	
20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 2
-พีเอช	10.57	6.19	7.22	7.33	
-สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	3816	3062	4198	-	
-กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	408	2214	91	-	
-อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.72	0.02	-	
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 1
-พีเอช	10.58	6.19	7.32	7.41	
-สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	4764	3429	5123	-	
-กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	453	2733	411	-	
-อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.80	0.08	-	

4.5.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและตะกอนแขวนลอย

จากตารางที่ 4.15 ค่าซีโอดี เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) จะเห็นว่า ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากถังกรดมีค่า 2564 , 3901 , 5071 และ 6139 มก./ล. ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ส่วนของถังยูเอเอสบีมีค่าเท่ากับ 180 , 322 , 513 และ 954 มก./ล. ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เดียวกัน ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีมีค่าต่ำกว่าของถังกรดมาก เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปกรดไขมันระเหยเมื่อผ่านถังกรด ซึ่งแบคทีเรียสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบีสามารถนำไปใช้ได้ทันที ค่าซีโอดีของถังยูเอเอสบีมีค่าผันผวนน้อยมาก เนื่องจากระบบมีเสถียรภาพสูง เพราะถังกรดจะทำหน้าที่เป็นถังปรับเสถียรให้ก่อน

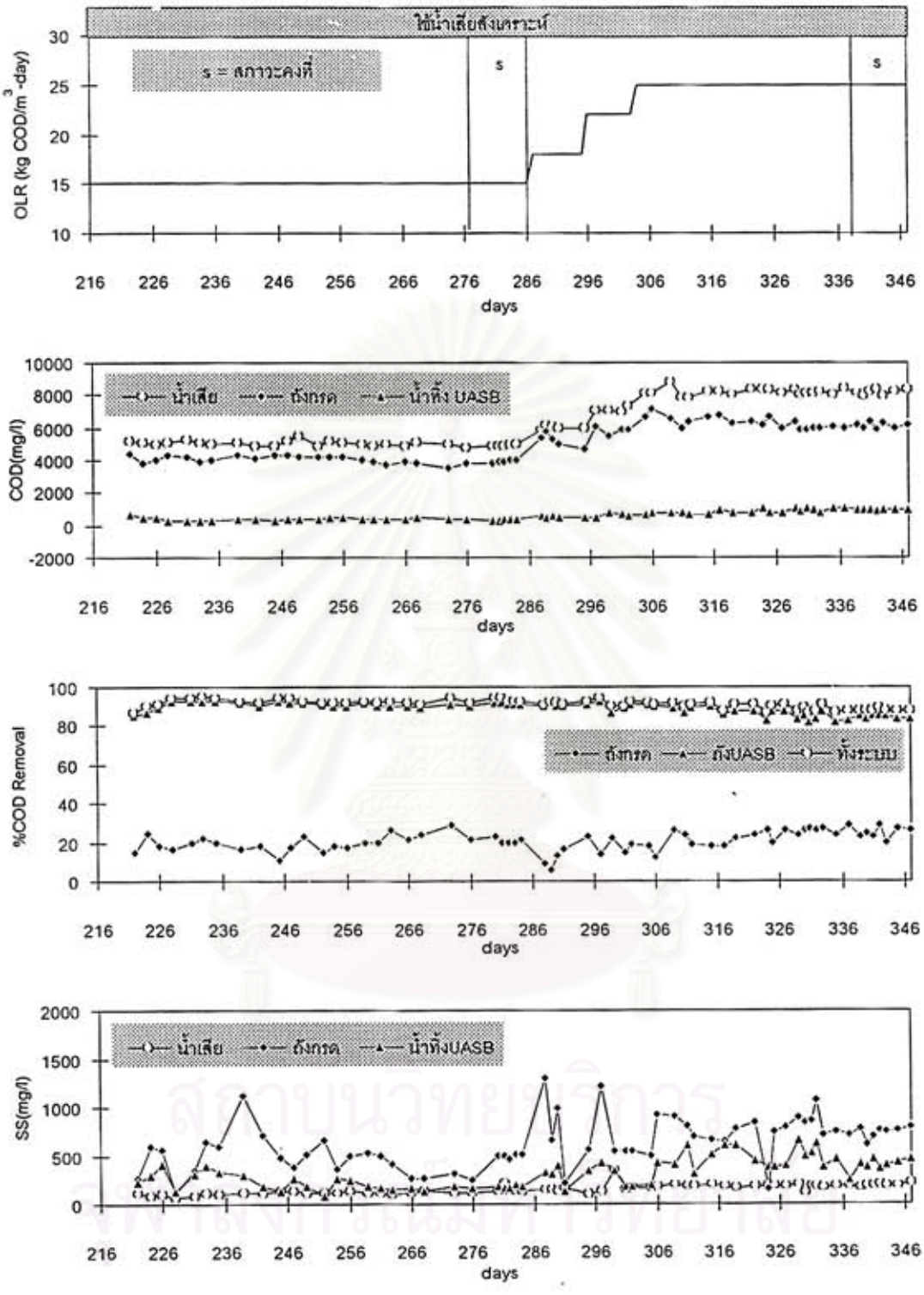
ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยซีโอดี เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ตัวแปร	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง		ทั้งระบบ	หมายเหตุ
		ถังกรด	ถังยูเอเอสบี		
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 2
-ซีโอดี (มก./ล.)	3295	2564	180		
-ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	-	22	93	95	
-ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	91	249	66		
15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 1
-ซีโอดี (มก./ล.)	4923	3901	332		
-ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	-	21	91	93	
-ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	145	495	176		
20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 2
-ซีโอดี (มก./ล.)	6592	5071	513		
-ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	-	23	90	92	
-ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	155	445	189		
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 1
-ซีโอดี (มก./ล.)	8163	6139	954		
-ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	-	25	85	88	
-ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	185	729	410		

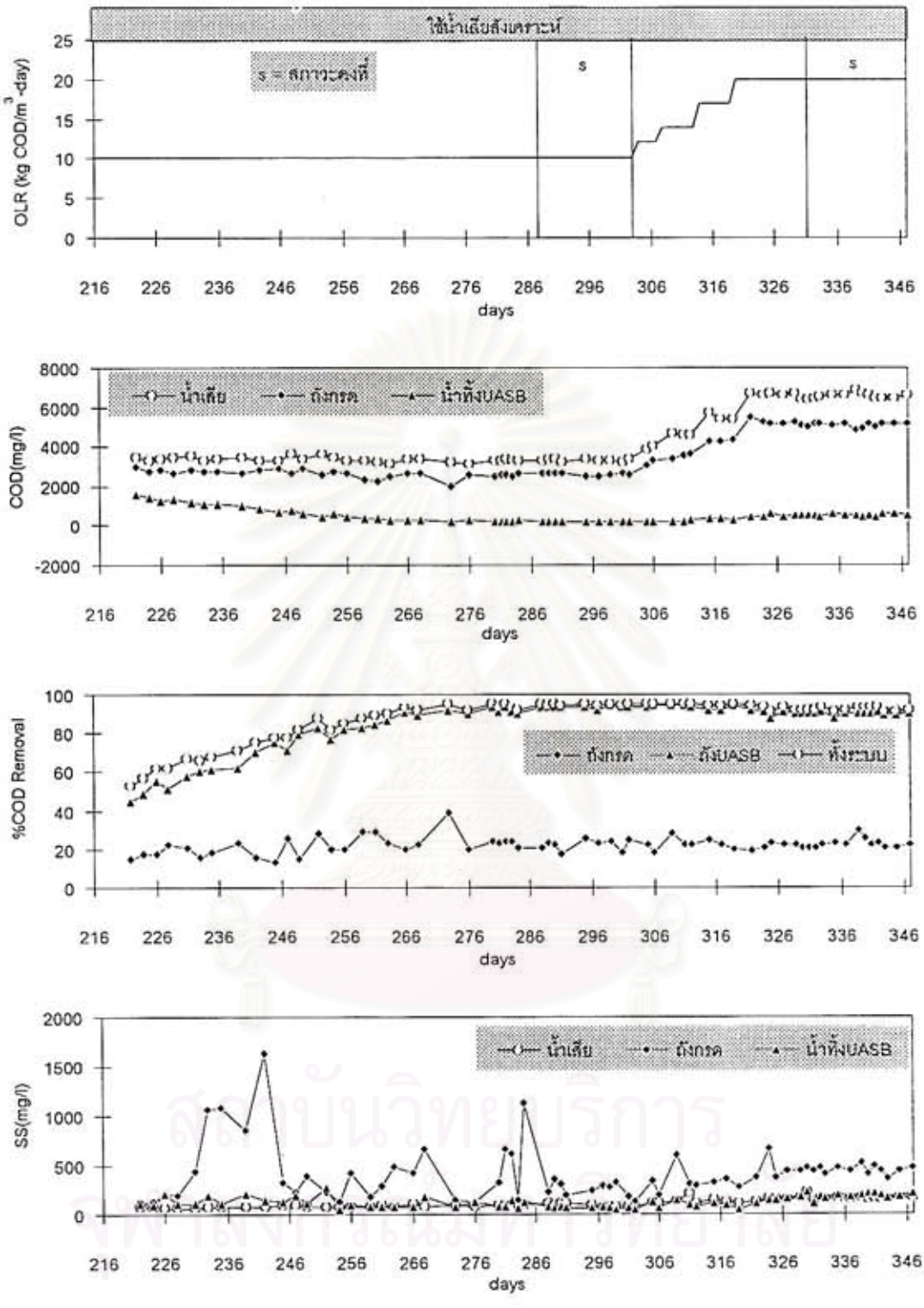
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังกรดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และมีค่าลดลงค่อนข้างมากที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เป็นที่น่าสังเกตุว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์แล้วประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังกรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีมีค่าลดลง เนื่องจากว่าแบคทีเรียสร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนในสิ่งแวดล้อมที่มีแนวโน้มรุนแรงเพิ่มขึ้น เช่น ค่าพีเอชต่ำ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง และเวลากักน้ำต่ำ (Anderson และคณะ , 1994) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน น่าจะเป็นจุดเริ่มต้นหักเหของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบี

ตะกอนแขวนลอยของถังกรดมีค่าเท่ากับ 249 , 449 , 445 และ 729 มก./ล. ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ แสดงถึงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรดซึ่งเป็นพวกแบคทีเรียแขวนลอย (suspended bacteria) เพิ่มขึ้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าเท่ากับ 66 , 176 , 189 และ 410 มก./ล. ตามลำดับ มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งของถังกรดกับถังยูเอเอสบี จะเห็นว่าน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าตะกอนแขวนลอยต่ำกว่ามาก ซึ่งอาจมีการตกค้างตะกอนแขวนลอยภายในถังบางส่วนหรือทั้งหมด

รูปที่ 4.30 และ 4.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.30 ค่าซีโอดี เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอย ของถังยูเอเอสบีที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.31 ค่าซีโอดี เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอย ของระบบยูเอเอสบีซุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

4.5.3 อัตราผลิตก๊าซมีเทน

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทน ของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ทั้งหมดของถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 57 , 102.5 , 119.6 และ 155 ลิตร/วัน ตามลำดับ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ส่วนอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 0.31 , 0.37 , 0.33 และ 0.35 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และมีค่าใกล้เคียงค่าทางทฤษฎี (0.35 - 0.38 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด) แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาสร้างมีเทน สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนเป็นมีเทน ส่วนน้อยถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรีย และถูกใช้โดยแบคทีเรียชนิดอื่นที่ไม่ใช่แบคทีเรียสร้างมีเทน และค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 68 , 68 , 66 และ 61% ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสารอาหารเข้าสู่ระบบมากขึ้น เช่นเดียวกันกับปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดในแต่ละวัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.74 , 1.33 , 1.50 และ 1.80 ลิตร/ลิตรน้ำเสีย ตามลำดับ แต่เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนลดลงค่อนข้างเร็ว ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

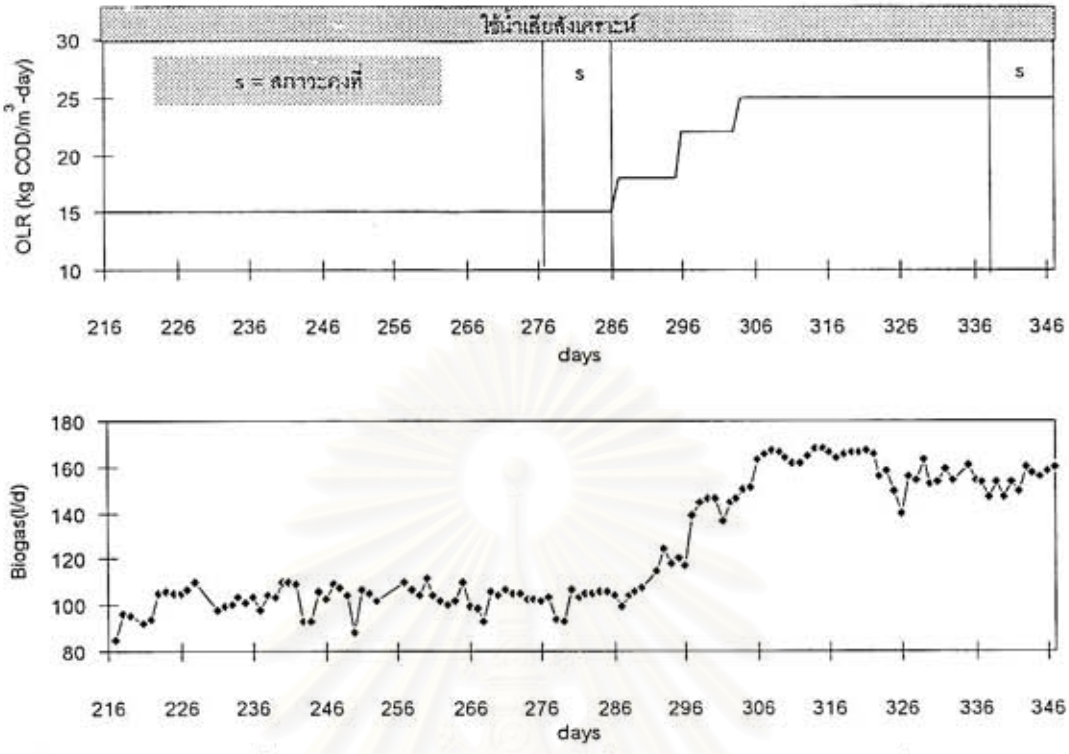
รูปที่ 4.32 และ 4.33 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

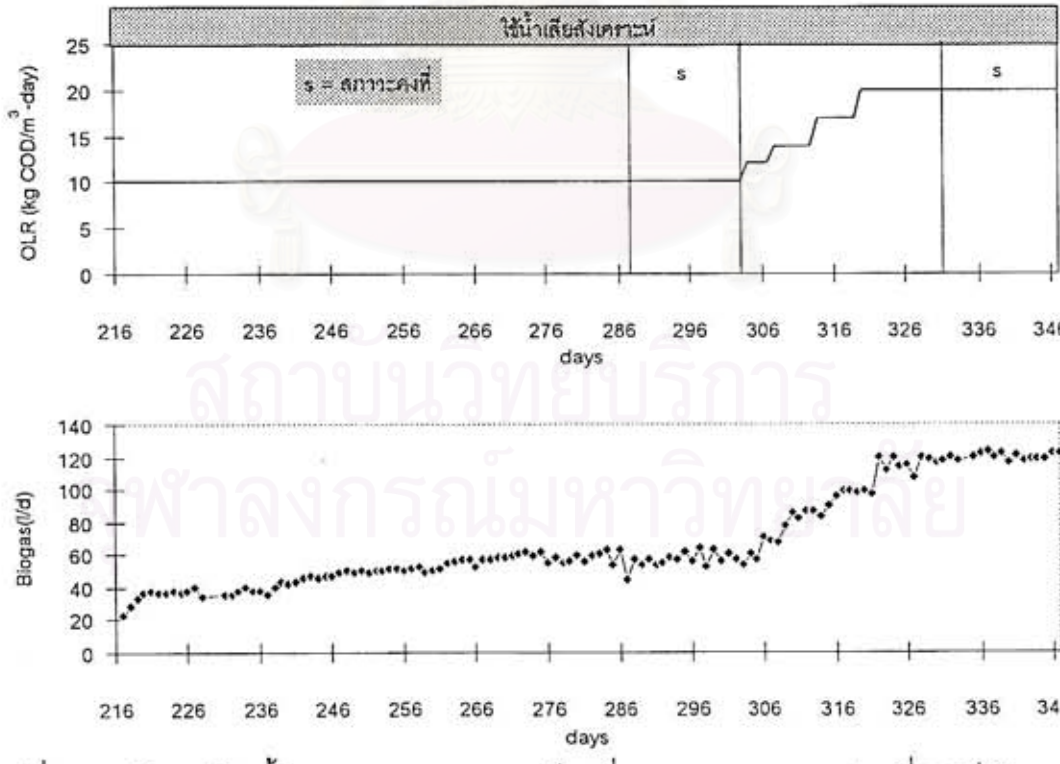
ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทน ที่สภาวะคงที่ ของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ตัวแปร	ถังยูเอเอสบี	หมายเหตุ
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ถังชุดที่ 2
-ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	57	
-เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	68	
-อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.31*	
-ปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/ลิตรน้ำเสีย)	0.74	
15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ถังชุดที่ 1
-ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	102.5	
-เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	68	
-อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.37*	
-ปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/ลิตรน้ำเสีย)	1.33	
20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ถังชุดที่ 2
-ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	119.6	
-เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	66	
-อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.33*	
-ปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/ลิตรน้ำเสีย)	1.50	
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ถังชุดที่ 1
-ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	155	
-เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	61	
-อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.35*	
-ปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/ลิตรน้ำเสีย)	1.80	

- * คิดจากค่าซีโอดีเข้าถังยูเอเอสบี (ออกจากถังกรด)



รูปที่ 4.32 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

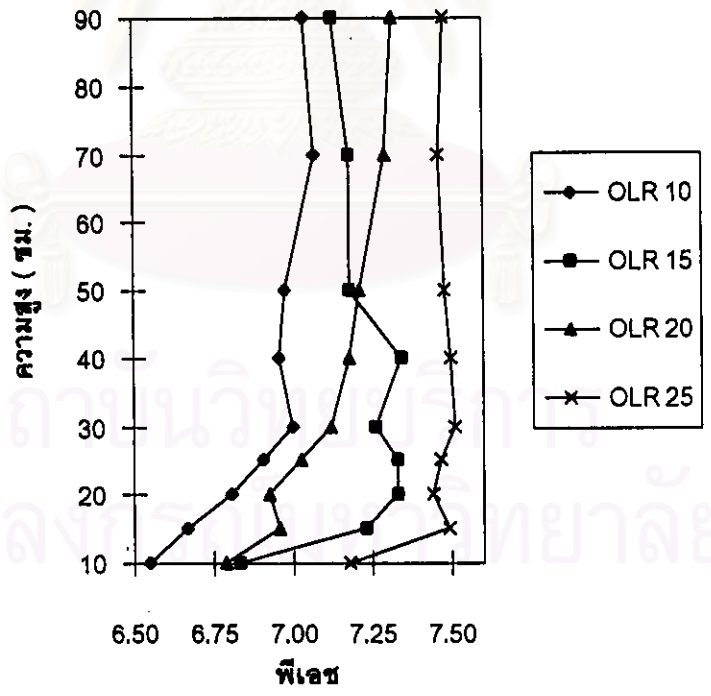


รูปที่ 4.33 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรตามความสูงของถังยูเอเอสบี

4.6.1 ค่าพีเอช

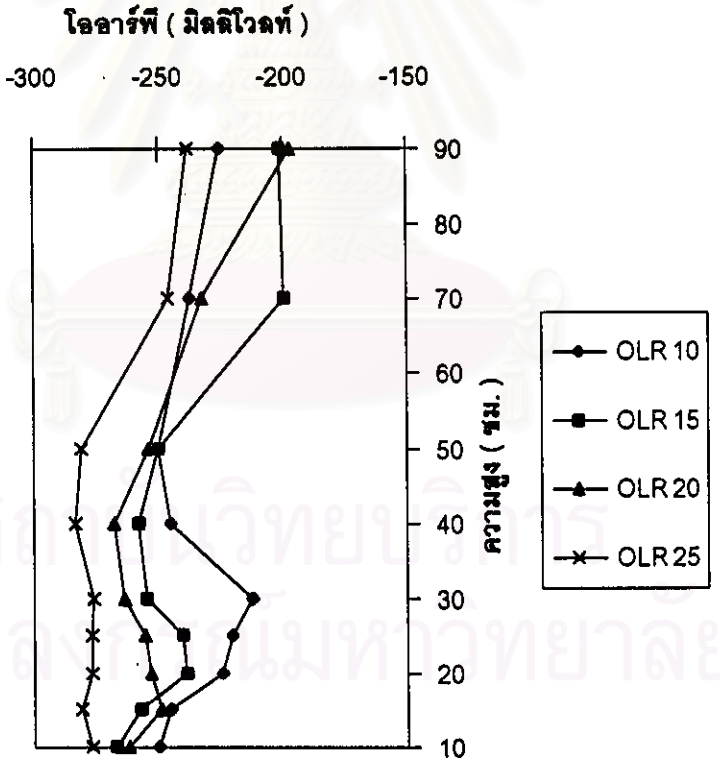
รูปที่ 4.34 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชตามความสูงของถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าพีเอชภายในถังยูเอเอสบีมีค่าอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง โดยมีค่าต่ำสุดที่ระดับก้นถังและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันตามความสูงของถัง ค่าพีเอชภายในถังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ เนื่องจากส่วนล่างของถังเป็นส่วนที่กรดไขมันระเหยยังไม่ถูกใช้ไปหมด ทำให้ค่าพีเอชที่ส่วนล่างมีค่าต่ำกว่าส่วนบน จากค่าพีเอชตามความสูง พบว่าค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงมากที่ความสูงไม่เกิน 15 ซม. จากก้นถัง ต่อจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แสดงว่าจะเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีมากที่ความสูงประมาณ 15 ซม. จากก้นถัง



รูปที่ 4.34 ค่าพีเอชตามความสูงของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4.6.2 โออาร์พี

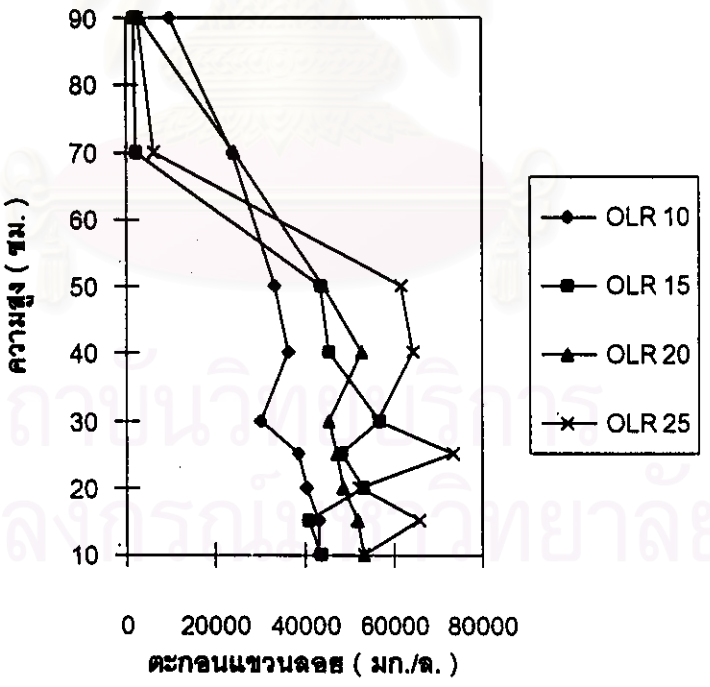
รูปที่ 4.35 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีตามความสูงของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าโออาร์พีภายในถังยูเอเอสบีที่ระดับความสูงต่างกันมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยแนวโน้มมีค่าเป็นลบมากที่ส่วนล่างของถังและมีค่าเป็นลบน้อยลงที่ส่วนบนของถัง เนื่องจากที่ส่วนล่างของถังจะเกิดปฏิริยาการย่อยสลายมากกว่าส่วนบนของถัง เมื่อเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ ค่าโออาร์พีมีแนวโน้มเป็นลบมากขึ้นเล็กน้อย แสดงว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนยังคงเกิดขึ้นได้ดี ค่าโออาร์พีจะเปลี่ยนแปลงมากที่ความสูง 50 ซม. จากก้นถัง ซึ่งเป็นความสูงของชั้นตะกอนนอน แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดมากในชั้นตะกอนนอน



รูปที่ 4.35 ค่าโออาร์พีตามความสูงของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4.6.3 ตะกอนแขวนลอย

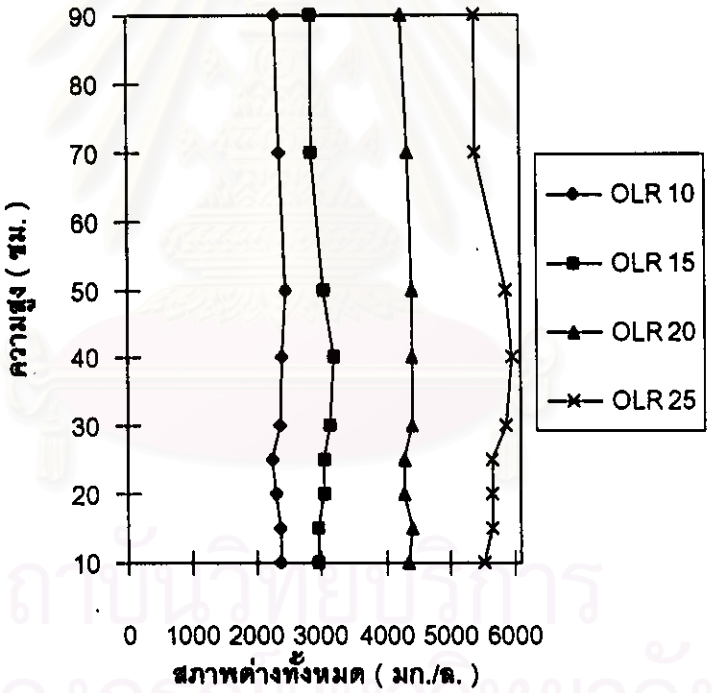
รูปที่ 4.36 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าตะกอนแขวนลอยตามความสูงของถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าตะกอนแขวนลอยเป็นค่าแสดงถึงปริมาณแบคทีเรียในระบบได้อย่างคร่าวๆ จะเห็นว่าค่าตะกอนแขวนลอยจะมีค่ามากที่ส่วนล่างของถังและจะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ค่าตะกอนแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นภายในถังตลอดเวลาในปริมาณมาก ทำให้เกิดการปั่นป่วนในชั้นตะกอน ค่าตะกอนแขวนลอยที่ความสูงต่างๆที่วัดได้ที่เวลาต่างกัน จึงมักได้ค่าที่แตกต่างกัน ค่าตะกอนแขวนลอยจะมีค่าลดลงมากที่ความสูง 50 ซม. จากก้นถังซึ่งเป็นชั้นตะกอนนอน จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ความสูงชั้นตะกอนนอนไม่เพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นในชั้นตะกอนเพิ่มขึ้น แสดงว่า ชั้นตะกอนมีการเพิ่มจำนวนในลักษณะจัดตัวแน่นขึ้น



รูปที่ 4.36 ค่าตะกอนแขวนลอยตามความสูงของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4.6.4 สภาพด่างทั้งหมด

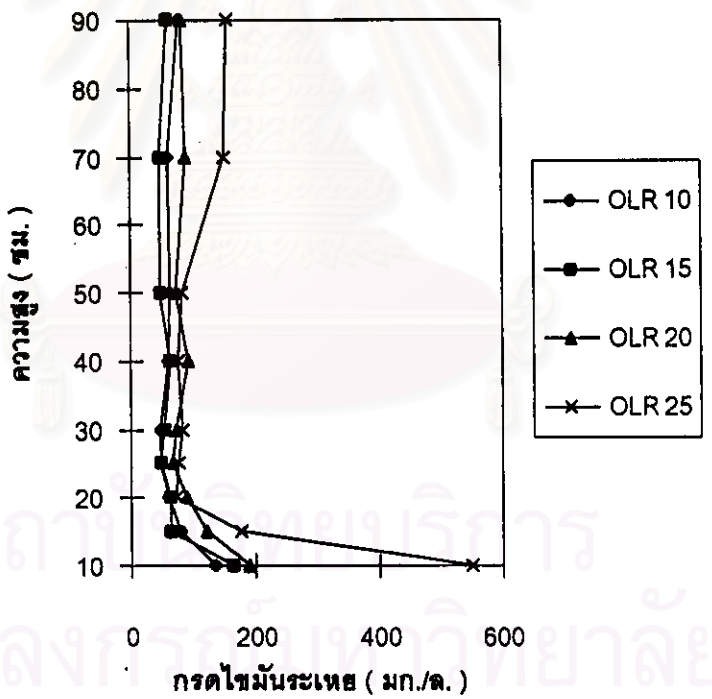
รูปที่ 4.37 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพด่างทั้งหมดตามความสูงของถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าค่าสภาพด่างทั้งหมดที่ความสูงต่างๆ มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันตลอดความสูงของถัง แสดงถึงการที่ภายในระบบมีสภาพด่างสูงเกินพอ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ เนื่องจากกรดอะซิติกที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารอาหารที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น จะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทนออกซิไดซ์ไปเป็นไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.37 ค่าสภาพด่างทั้งหมดตามความสูงของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4.6.5 ปริมาณกรดไขมันระเหย

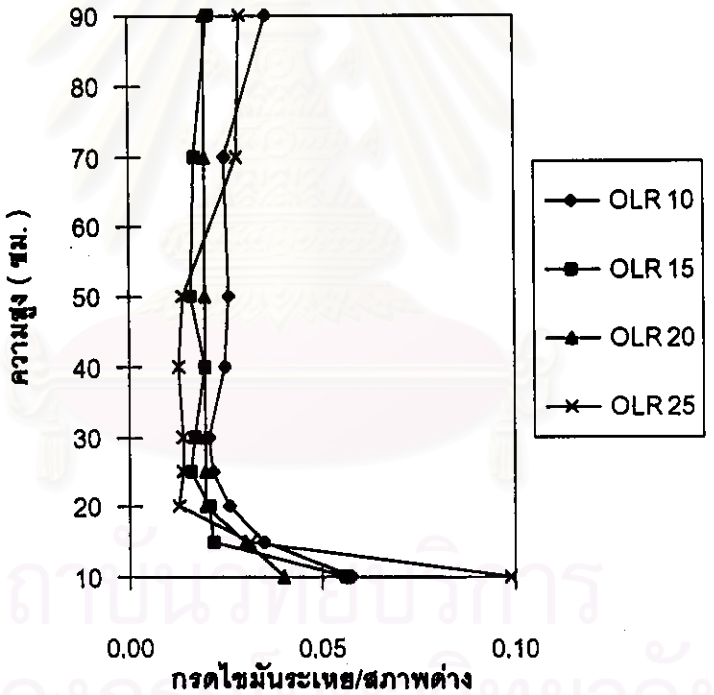
รูปที่ 4.38 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยตามความสูงของถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าปริมาณกรดไขมันระเหยจะมีค่ามากที่ส่วนล่างของถัง แล้วจะลดลงที่ความสูง 15 ซม. จากก้นถัง แล้วจะค่อนข้างคงที่ตลอดความสูงของถัง ปริมาณกรดไขมันระเหยที่ส่วนล่างของถังมีปริมาณต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียที่เข้าถังยูเอเอสบี (น้ำทิ้งจากถังกรด) แสดงว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบีสามารถใช้กรดไขมันระเหยได้อย่างรวดเร็ว ปริมาณกรดไขมันระเหยภายในถังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ตามปริมาณสารอาหารที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.38 ปริมาณกรดไขมันระเหยตามความสูงของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4.6.6 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด

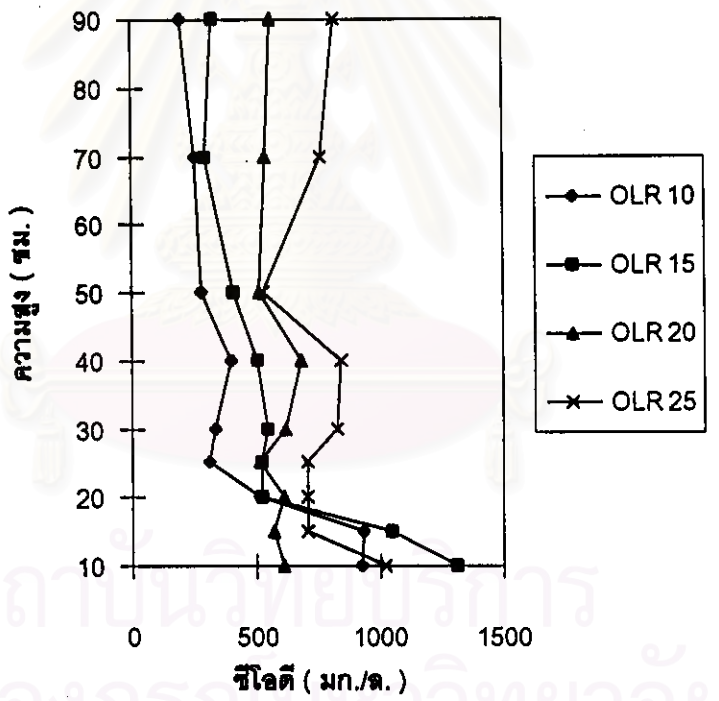
รูปที่ 4.39 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดตามความสูงของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดมีค่าต่ำมากและค่อนข้างคงที่ตลอดความสูงของถัง แสดงถึงระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูงมาก ซึ่งทำให้สามารถลดปริมาณด่างที่เติมให้แก่ระบบได้อีก ค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด มีค่าใกล้เคียงกันมาก เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ แสดงถึงปริมาณด่างในระบบที่มากเกินพอ เมื่อเทียบกับปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบ



รูปที่ 4.39 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดตามความสูงของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4.6.7 ซีโอดี

รูปที่ 4.40 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีตามความสูง ของถังยูเอเอสบีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าค่าซีโอดีมีค่าสูงที่ส่วนล่างของถัง และมีค่าลดลงตามความสูงของถัง ค่าซีโอดีภายในถังมีค่าต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าซีโอดีในน้ำเสียที่เข้าถังยูเอเอสบี แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าซีโอดีภายในถังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ ค่าซีโอดีภายในถังมีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงความสูง 20 ซม. จากก้นถัง แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นมาก ณ ความสูงดังกล่าว



รูปที่ 4.40 ค่าซีโอดีตามความสูงของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

จากผลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ตามความสูงของถังยูเอเอสบี สามารถสรุปได้ว่าน้ำเสียที่ผ่านถังกรดเป็นน้ำเสียที่ได้ผ่านขั้นตอนไฮโดรไลซิส และสร้างกรดมาแล้วทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่อยู่ในรูปกรดไขมันระเหย ซึ่งแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ได้ทันที ฉะนั้นเมื่อน้ำเสียดังกล่าวเข้าสู่ถังยูเอเอสบี จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายกรดไขมันระเหยและค่าซีโอดีจะลดลงอย่างรวดเร็ว การที่น้ำเสียอยู่ในรูปกรดไขมันระเหยซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้ของแบคทีเรียสร้างมีเทน ทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังยูเอเอสบีเป็นแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน ปฏิกิริยาย่อยสลายที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จึงเป็นปฏิกิริยาสร้างมีเทน ทำให้สภาพภายในถังยูเอเอสบีมีเสถียรภาพสูง ซึ่งสังเกตุได้จากค่าตัวแปรต่างๆภายในถัง เช่น ค่าพีเอช โออาร์พี สภาพด่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหย และค่าซีโอดี มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดความสูงของถัง ที่แต่ละค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

4.7 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.7.1 การเปรียบเทียบอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังกรดและถังยูเอเอสบีที่เกิดจริงกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่คิดจากค่าซีโอดีเริ่มต้นและเวลากักน้ำของถังยูเอเอสบี ในการทดลองส่วนที่ 2 (ไม่มีถังกรด)

เมื่อ สิ้นสุดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) และเริ่มการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ในวันที่ 216 ได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ และเพิ่มถังกรดที่มีเวลาหมักนาน 12 ชั่วโมง (โดย Zhang และ Noike (1994) รายงานว่าเวลากักน้ำของถังกรดที่ดีที่สุดคือ 12 ชั่วโมง ซึ่งจะให้สัดส่วนของกรดที่เหมาะสม คือสัดส่วนของกรดอะซิติกจะสูงกว่า กรดโพรพิออนิก และกรดบิวทิริก) ติดตั้งไว้ตอนหน้าของถังยูเอเอสบีทั้ง 2 ชุดเหมือนกัน ให้ถังยูเอเอสบีมีเวลากักน้ำนาน 8 ชั่วโมงตลอดการทดลอง เริ่มป้อนน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 5000 และ 3300 มก./ล. ให้กับระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ที่สภาวะคงที่ ถังกรดชุดที่ 1 และ 2 จะรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 10 และ 7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ สามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้ประมาณ 20 และ 22 % ตามลำดับ เมื่อน้ำทิ้งจากถังกรดเข้าสู่ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ถังยูเอเอสบีจะรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 12 และ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันตามลำดับ และเมื่อใช้น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 8300 และ 6700 มก./ล. ป้อนให้กับระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ที่สภาวะคงที่ ถังกรดชุดที่ 1 และ 2 จะรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 16

และ 13 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ สามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้ประมาณ 25 และ 23 % ตามลำดับ เมื่อน้ำทิ้งจากถังกรดเข้าสู่ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ถังยูเอเอสบีจะรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 19 และ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการกล่าวถึงค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังกรดและถังยูเอเอสบีพร้อมกัน จะใช้ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่คิดจากค่าซีโอดีเริ่มต้นและเวลากักน้ำของถังยูเอเอสบีเป็นค่าอ้างอิงแทน ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้อ้างอิงกับที่เกิดจริงของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ระบบยูเอเอสบี ชุดที่	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้อ้างอิง (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังกรด (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังยูเอเอสบี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)
2	10	7	8
1	15	10	12
2	20	13	15
1	25	16	19

4.7.2 อิทธิพลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อระบบยูเอเอสบี

4.7.2.1 อิทธิพลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ต่อค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย

เนื่องจากค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย มีความสัมพันธ์กันเป็นระบบ และเกี่ยวข้องกับสมดุลย์ของกระบวนการไร้ออกซิเจน ดังนั้นการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน จึงนิยมใช้ค่าตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวแปรหลักสำหรับควบคุมระบบในเบื้องต้น เพื่อให้ระบบดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) ในช่วง 39 วันแรกของการทดลอง ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมให้ระบบประมาณ 2-3 ก./ล. มีค่าค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ระบบรับอยู่ ปริมาณโซเดียม

คาร์บอเนตที่เติมให้ระบบ มีทิศทางลดลงเรื่อยๆ จนเหลือเท่ากับ 0.6 ก./ล. ในวันที่ 74 พบว่าค่าพีเอชของน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีทั้ง 2 ถัง ในช่วงวันที่ 64 - 74 ยังคงมีค่าอยู่ในช่วง 7 - 8 แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกของการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ยังต่ำอยู่ ระบบมีความต้องการปริมาณด่างต่ำ เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นเป็นประมาณ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในช่วงวันที่ 79 - 100 และเพิ่มปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตให้ระบบเป็น 1.5 ก./ล. ทั้ง 2 ถัง พบว่าค่าพีเอชของน้ำทิ้งมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ยังมีค่าประมาณ 7 สอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีเวลากักน้ำนาน 15 ชั่วโมง พบว่าที่สภาวะคงที่ ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 7.41 และ 7.47 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีเวลากักน้ำนาน 12 ชั่วโมง และปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมให้ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 3.0 และ 1.5 ก./ล. ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 7.25 ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ระบบเกิดการเสียสมดุลย์ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าพีเอชมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำทิ้ง มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณด่างในน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น และค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดยังคงมีค่าเท่าเดิม คือ 0.02 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก แสดงถึงระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ที่สูง ดังแสดงในตารางที่ 4.18

เมื่อพิจารณาถึงการเสียสมดุลย์ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ได้รวบรวมปัจจัยซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเสียสมดุลย์ได้ดังนี้

1. ได้หยุดเดินระบบเป็นเวลา 3 วัน เพื่อซ่อมอุปกรณ์ในวันที่ 156 - 158 และเริ่มเดินระบบในวันที่ 159 ด้วยอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีเวลากักน้ำ 15 ชั่วโมง เท่ากับก่อนหยุดเดินระบบ แต่เพิ่มปริมาณด่างจาก 1.5 เป็น 2.0 ก./ล.

2. วันที่ 161 เริ่มใช้น้ำเสียจริงที่เก็บมาใหม่ และเริ่มสังเกตเห็นชั้นตะกอนนอนมีลักษณะแบ่งชั้นระหว่างเม็ดตะกอนขนาดใหญ่สีน้ำตาล กับขนาดเล็กสีดำ ในแนวเฉียงตามความสูงของถัง โดยที่เม็ดขนาดใหญ่อยู่ชั้นล่าง มีลักษณะคล้ายการไหลลัดวงจรของน้ำ (short circuit) น้ำทิ้งเริ่มมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวและมีสีขาวขุ่น

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตัวแปร	ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1		ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2	
	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- พีเอช	7.83	7.41	7.84	7.47
- สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	1426	1828	1428	1840
- กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	844	31	840	36
- อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.02	-	0.02
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- พีเอช	8.71	7.25	5.72*	5.29*
- สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	2652	3212	1320*	1560*
- กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	1515	53	1332*	2187*
- อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.62	-	1.4*

* เป็นค่าในวันที่ระบบเริ่มเสียสมดุลย์ในการทำงาน

3. วันที่ 162 ทำการลดเวลากักน้ำ จาก 15 เหลือ 12 ชั่วโมง และลดปริมาณด่างจาก 2.0 เหลือ 1.5 ก./ล พบว่าการแบ่งชั้นของเม็ดตะกอน 2 ขนาดชัดเจนขึ้น น้ำทิ้งมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวรุนแรงขึ้น

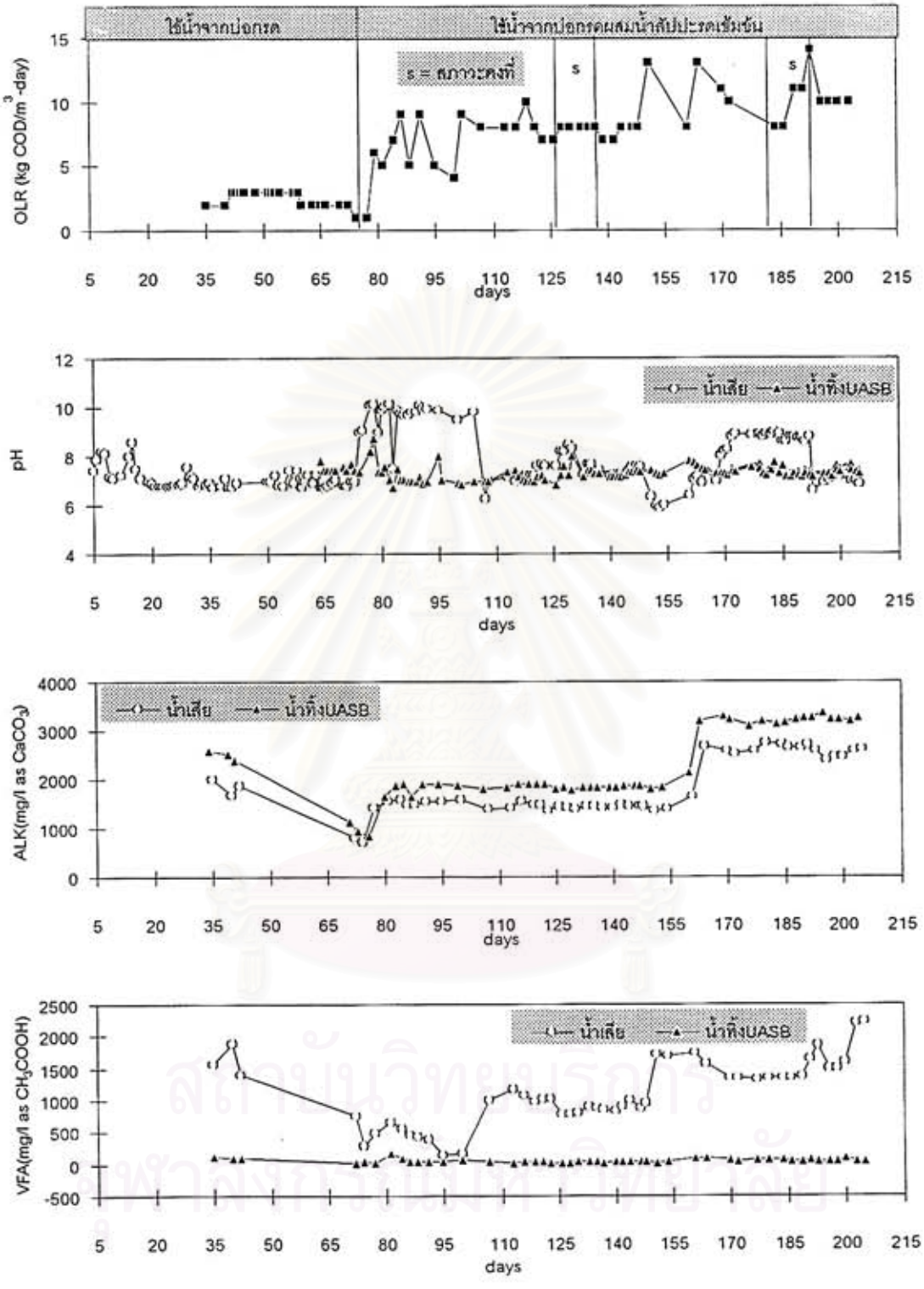
4. วันที่ 164 ระบบเสียสมดุลย์อย่างรวดเร็ว ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ลดลงอย่างรวดเร็ว ค่าพีเอชของน้ำทิ้งลดเหลือเพียง 5.29 ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำทิ้งเพิ่มสูงถึง 2187 มก./ล. ในเทอมกรดอะซิติก

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นว่าสาเหตุการเสียสมดุลย์ของระบบในวันที่ 164 ไม่น่าเกิดจากการที่ระบบรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน หรือปริมาณด่างที่เติมให้ระบบเท่ากับ 1.5 ก./ล. ไม่เพียงพอ เนื่องจากระบบเคยรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง

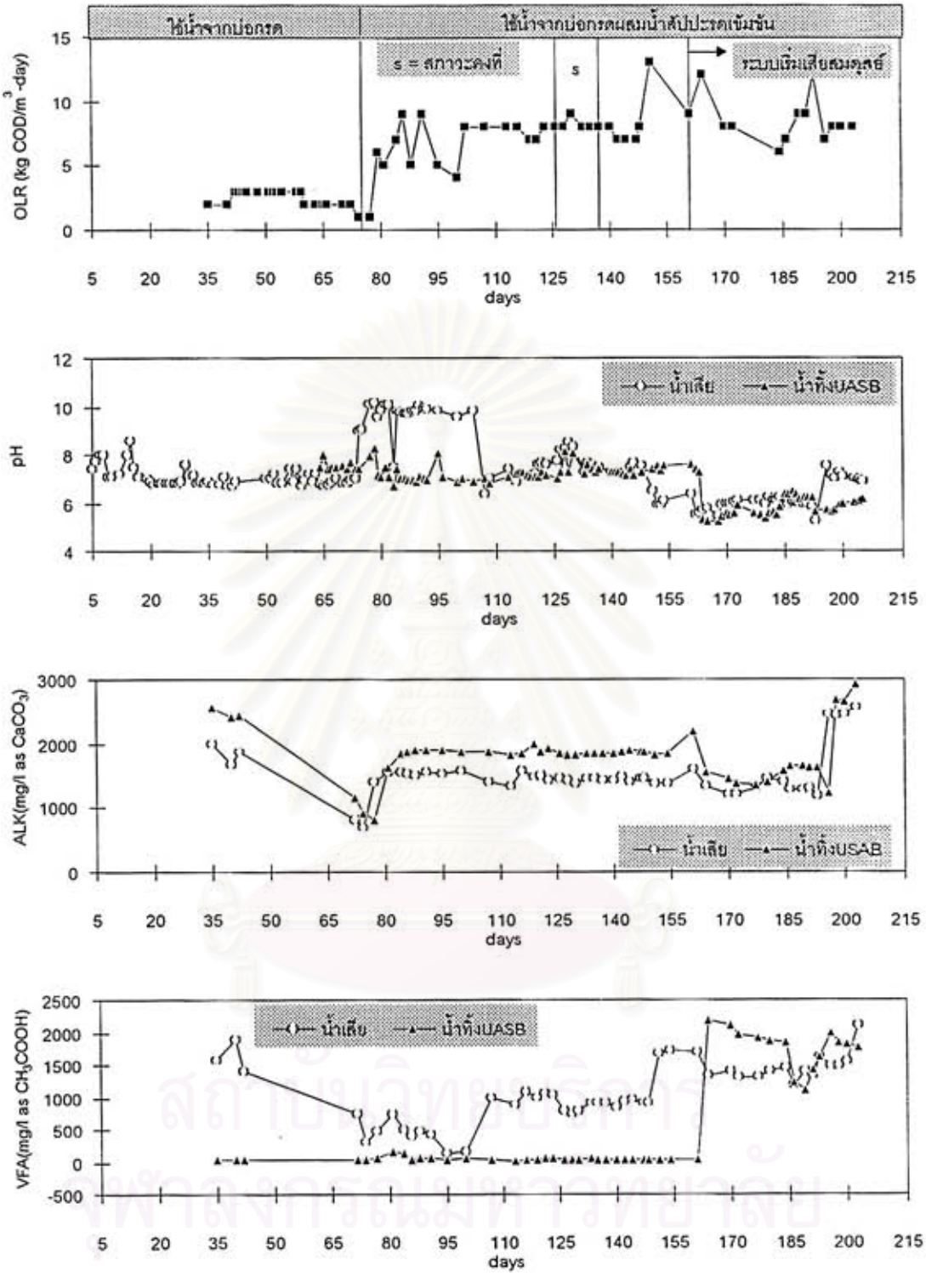
13 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และปริมาณด่างที่เติมให้ระบบเท่ากับ 1.5 ก./ล. มาแล้วในวันที่ 151 ส่วนเวลากักน้ำที่ลดลงจาก 15 เป็น 12 ชั่วโมง ก็ไม่น่าใช่สาเหตุใหญ่ของการเสียสมดุลย์ของระบบ ซึ่ง Fang และ Chui (1993a) รายงานไว้ว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบี ขึ้นอยู่กับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงเวลากักน้ำและค่าซีโอดีน้ำเสีย อย่างใดอย่างหนึ่ง เมื่อพิจารณาโดยรวม อาจสรุปสาเหตุการเสียสมดุลย์ของระบบได้ว่า การที่เพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ หรือลดเวลากักน้ำให้กับระบบทันที หลังจากที่หยุดเดินระบบไป อาจทำให้ระบบไม่สามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ทัน กรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบ กรณีดังกล่าวไม่เกิดขึ้นกับถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 เนื่องจากปริมาณด่างที่เติมให้ระบบ 3.0 ก./ล. เป็นปริมาณที่มากเกินพอ ทำให้ระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง สามารถทนต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และกรดไขมันระเหยได้ ระบบจึงสามารถปรับตัวได้ทัน รูปที่ 4.41 และ 4.42 แสดงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหย ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆ ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ณ วันที่เสียสมดุลย์กับวันที่ระบบทำงานปกติ ในการทดลองส่วนที่ 2 (ไม่มีถังกรด)

วันที่	ถังยูเอเอสบีชุดที่	Na_2CO_3 (ก./ล.)	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน)	พีเอช น้ำทิ้ง	กรดไขมันระเหยน้ำทิ้ง (มก./ล.กรดอะซิติก)	% การกำจัดซีโอดี
151	1	1.5	13	7.39	27	95
	2	1.5	13	7.38	32	96
164	1	3.0	13	7.48	90	89
	2	1.5	12	5.29	2187	46



รูปที่ 4.41 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบี ชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.42 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบี ชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

การทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) เริ่มวันที่ 216 เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้มีลักษณะไม่แตกต่างจากการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) มากนัก ทำให้ระบบสามารถปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสียใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ตารางที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่ ของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) จะเห็นว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าสูงถึง 10 เมื่อผ่านถังกรดแล้วมีค่าลดลงเหลือประมาณ 6 และกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 7 เมื่อผ่านถังยูเอเอสบี เนื่องจากมีการสร้างกรดไขมันระเหยขึ้นในถังกรด จากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยแบคทีเรียสร้างกรด และมีการใช้กรดไขมันระเหยดังกล่าว โดยแบคทีเรียสร้างมีเทนภายในถังยูเอเอสบี สอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้น และลดลงในถังกรด และถังยูเอเอสบี ตามลำดับ ค่าพีเอชภายในถัง (50 ซม. จากก้นถัง) มีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของน้ำทิ้งเล็กน้อย เป็นไปได้ว่า ในน้ำทิ้งมีกรดไขมันระเหยมากกว่าที่กึ่งกลางถัง เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ได้ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังเหลืออยู่ในน้ำ ได้เป็นกรดไขมันระเหยอีก จะเห็นว่าค่าพีเอชในถังกรด และถังยูเอเอสบี ต่างก็เป็นค่าในช่วงที่แบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างมีเทน เจริญเติบโตได้ดี Alexiou และคณะ (1994) รายงานว่า แบคทีเรียสร้างกรดเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชประมาณ 6 ส่วน McCarty (1964) รายงานว่า ค่าพีเอชในช่วง 6.7 - 7.3 เป็นค่าที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน เมื่อพิจารณาค่าสภาพด่างทั้งหมด จะเห็นว่า เมื่อน้ำเสียผ่านถังกรด ค่าสภาพด่างทั้งหมดมีค่าลดลง และกลับมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อผ่านถังยูเอเอสบี อธิบายได้ว่า ปริมาณด่างที่เติมในน้ำเสียเริ่มต้น จะถูกนำไปใช้สะเทินสภาพกรด (acidity) ที่เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยาสร้างกรด ทำให้สภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียลดลงเมื่อผ่านถังกรด ส่วนสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นจากการออกซิไดซ์กรดอะซิติก โดยแบคทีเรียสร้างมีเทนหรือแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ในกรณีน้ำเสียที่มีซัลเฟต หรือเกิดทั้ง 2 กรณี ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการไร้ออกซิเจน ดังสมการ A และ B

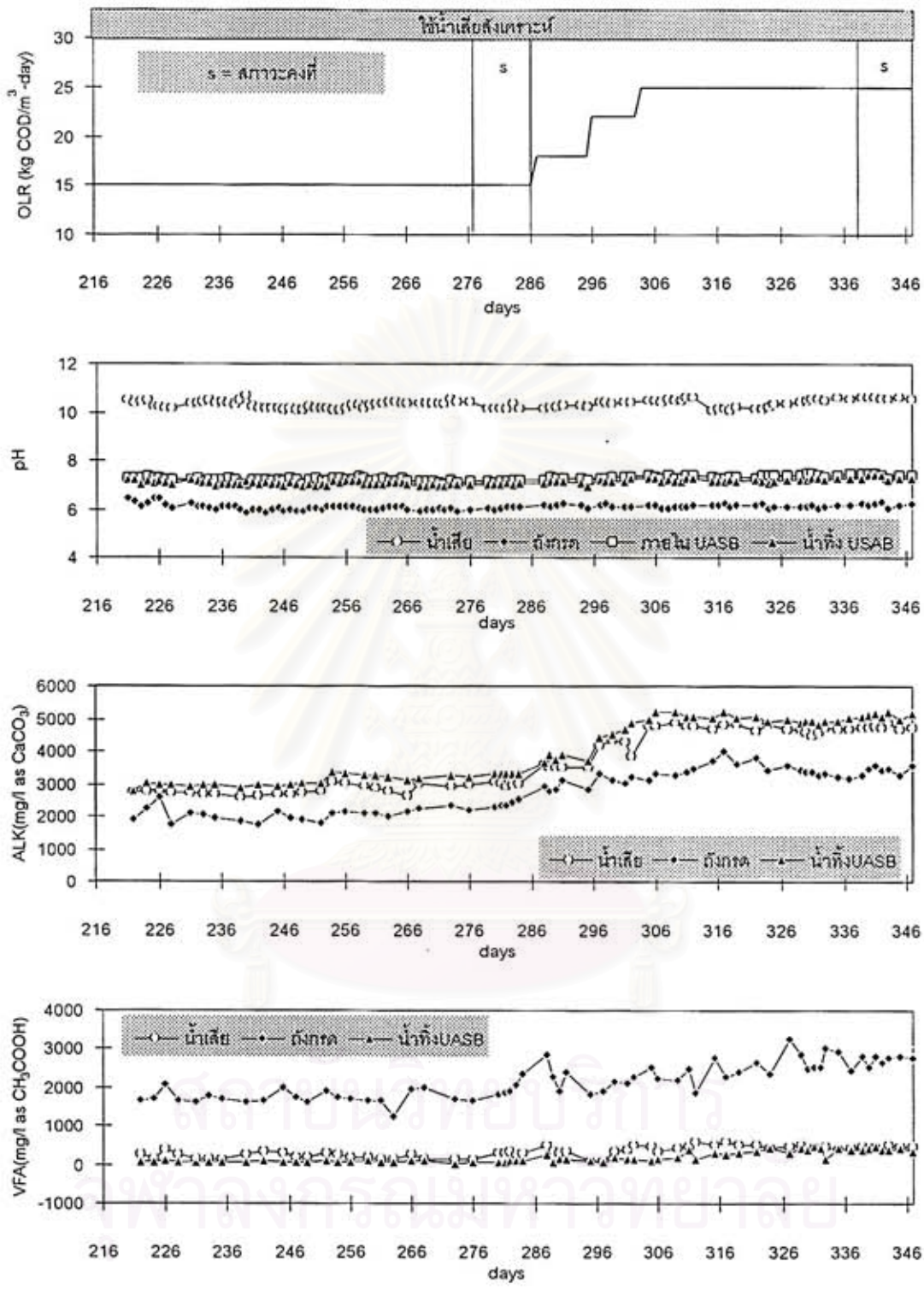
ในการวิจัยครั้งนี้ คาดได้ว่ามีซัลเฟตในน้ำเสีย และเกิดการออกซิไดซ์กรดอะซิติกโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการ C

รูปที่ 4.43 และ 4.44 แสดงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และ ปริมาณกรดไขมันระเหย ของระบบยูเอ

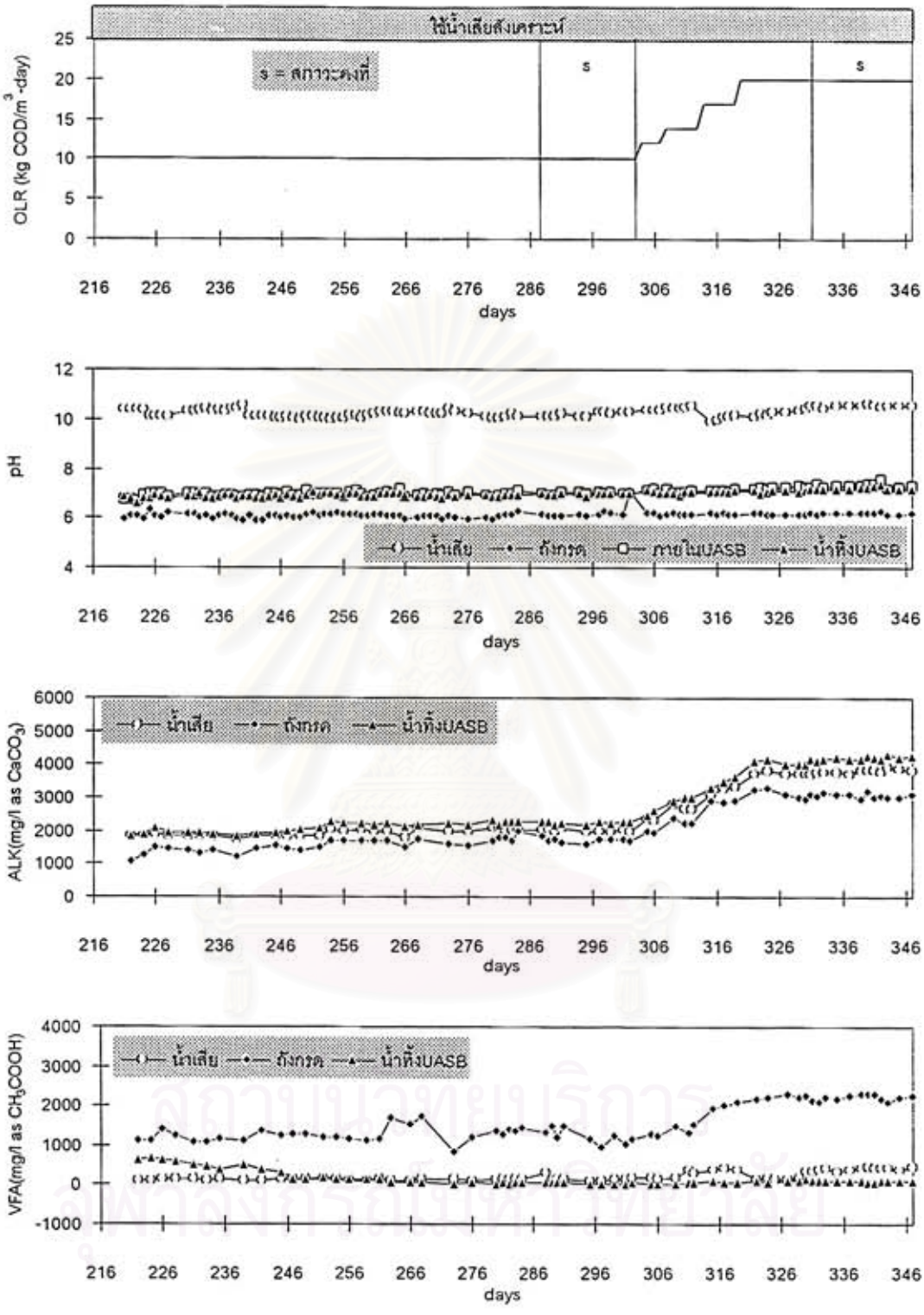
เอสบีทั้ง 2 ชุด มีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันระเหย และสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งของถังกรดและถังยูเอเอสบี พบว่าค่าดังกล่าวโดยเฉพาะกรดไขมันระเหยของถังกรด มีความแปรผันในแต่ละวันสูงกว่าของถังยูเอเอสบี ซึ่งค่อนข้างคงที่ แสดงว่าถังกรดจะทำหน้าที่เป็นถังปรับเสถียร (stabilization) ให้กับถังยูเอเอสบี ทำให้ถังยูเอเอสบีมีเสถียรภาพสูงกว่าระบบยูเอเอสบีแบบไม่มีถังกรด

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ตัวแปร	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง		ภายใน	หมายเหตุ
		ถังกรด	ถังยูเอเอสบี		
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 2
-พีเอช	10.21	6.13	6.96	6.99	
-สภาพด่างทั้งหมด(มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	2019	1707	2246	-	
-กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	154	1220	37	-	
-อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.71	0.02	-	
15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 1
-พีเอช	10.19	6.07	7.03	7.15	
-สภาพด่างทั้งหมด(มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	3006	2388	3329	-	
-กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	309	1925	91	-	
-อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.81	0.03	-	
20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 2
-พีเอช	10.57	6.19	7.22	7.33	
-สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	3816	3062	4198	-	
-กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	408	2214	91	-	
-อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.72	0.02	-	
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 1
-พีเอช	10.58	6.19	7.32	7.41	
-สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	4764	3429	5123	-	
-กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	453	2733	411	-	
-อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด	-	0.80	0.08	-	



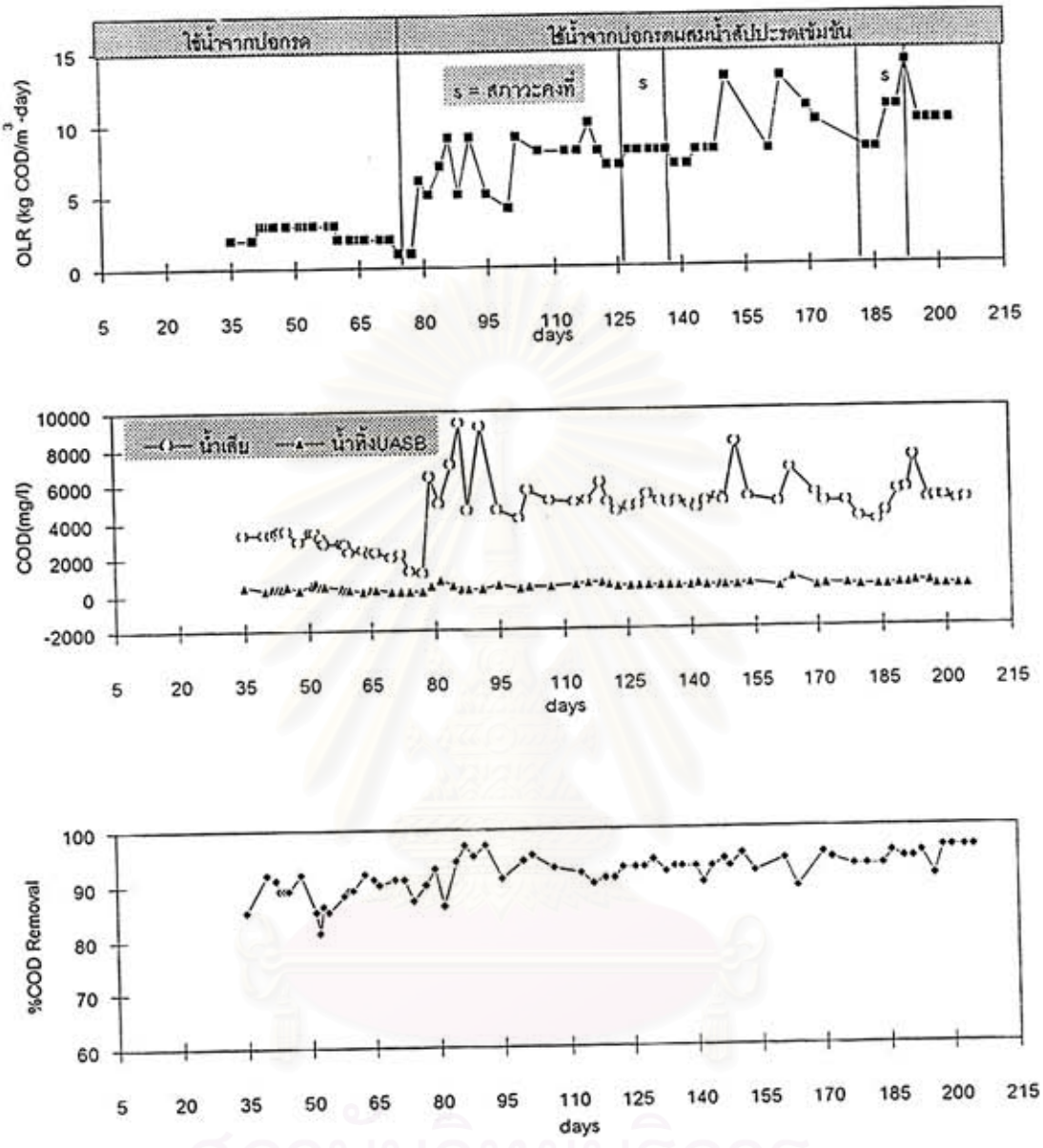
รูปที่ 4.43 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหยของระบบยูเอเอสบี ชุดที่ 1 ตลอดเวลาการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.44 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหยของระบบยูเอเอสบี ชุดที่ 2 ตลอดเวลาการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

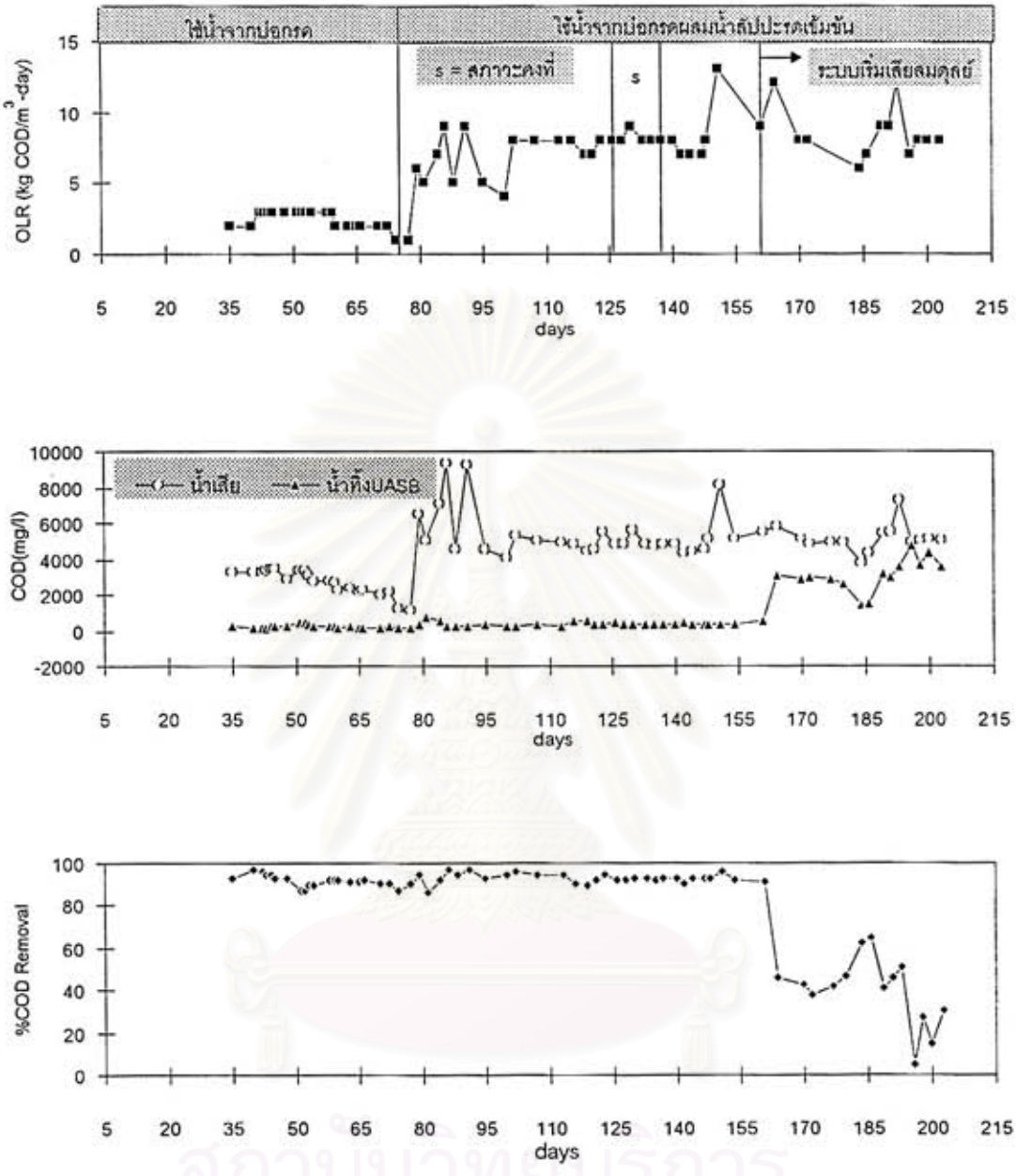
4.7.2.2 อิทธิพลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เป็นตัวแปรที่สำคัญ และแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ จากรูปที่ 4.45 และ 4.46 แสดงค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จะเห็นว่าในช่วงแรกของการทดลอง ค่าซีโอดีน้ำเสียมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ วันที่ 78 ได้เริ่มใช้น้ำสัปปะรดเข้มข้นผสมกับน้ำเสียจริง เพื่อรักษาระดับค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบให้คงที่ประมาณ 5000 มก./ล ระบบยังคงสามารถลดซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากตารางที่ 4.21 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าสูงใกล้เคียงกันคือ 93 % และ 94% ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยังไม่มีแนวโน้มจะลดลง เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แสดงว่าระบบยังสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่านี้อีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณด่างที่เหมาะสมด้วย ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 92 % ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และลดเหลือ 46 % ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เนื่องจากการเสียสมดุลย์ของระบบ เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยลดเวลากักน้ำจาก 15 เหลือ 12 ชั่วโมง ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.7.2.1 จากงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยระดับมหาบัณฑิตของสมคะเน จริตงาม ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากน้ำสัปปะรดเข้มข้นอย่างเดียว ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94.99 % ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าระบบยูเอเอสบีสามารถกำจัดซีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการเกิดกรดแล้วบางส่วน ได้ดีพอๆกับน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนกรด แต่สามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าเกือบ 70 % เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบีสามารถใช้กรดไขมันระเหยในน้ำเสียได้ทันที ทำให้ซีโอดีในรูปกรดไขมันระเหยถูกกำจัดอย่างรวดเร็ว Cohen และคณะ (1985) รายงานว่า การเติมกรดไขมันระเหยจำนวนน้อย 3 - 13 % (ในรูปซีโอดี) ของค่าซีโอดีทั้งหมด ลงในน้ำเสีย จะมีผลกระตุ้นการตื่นตัวของแบคทีเรียสร้างมีเทนในมวลชีวะ



รูปที่ 4.45 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

ตัวแปร	ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1		ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2	
	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- ซีโอดี (มก./ล.)	4928	341	4862	367
- ประสิทธิภาพการกำจัด	-	93	-	92
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				
- ซีโอดี (มก./ล.)	4868	315	5785*	3102*
- ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	-	94	-	46*

* ค่า ในวันที่ระบบเริ่มเสียสมดุลย์การทำงาน

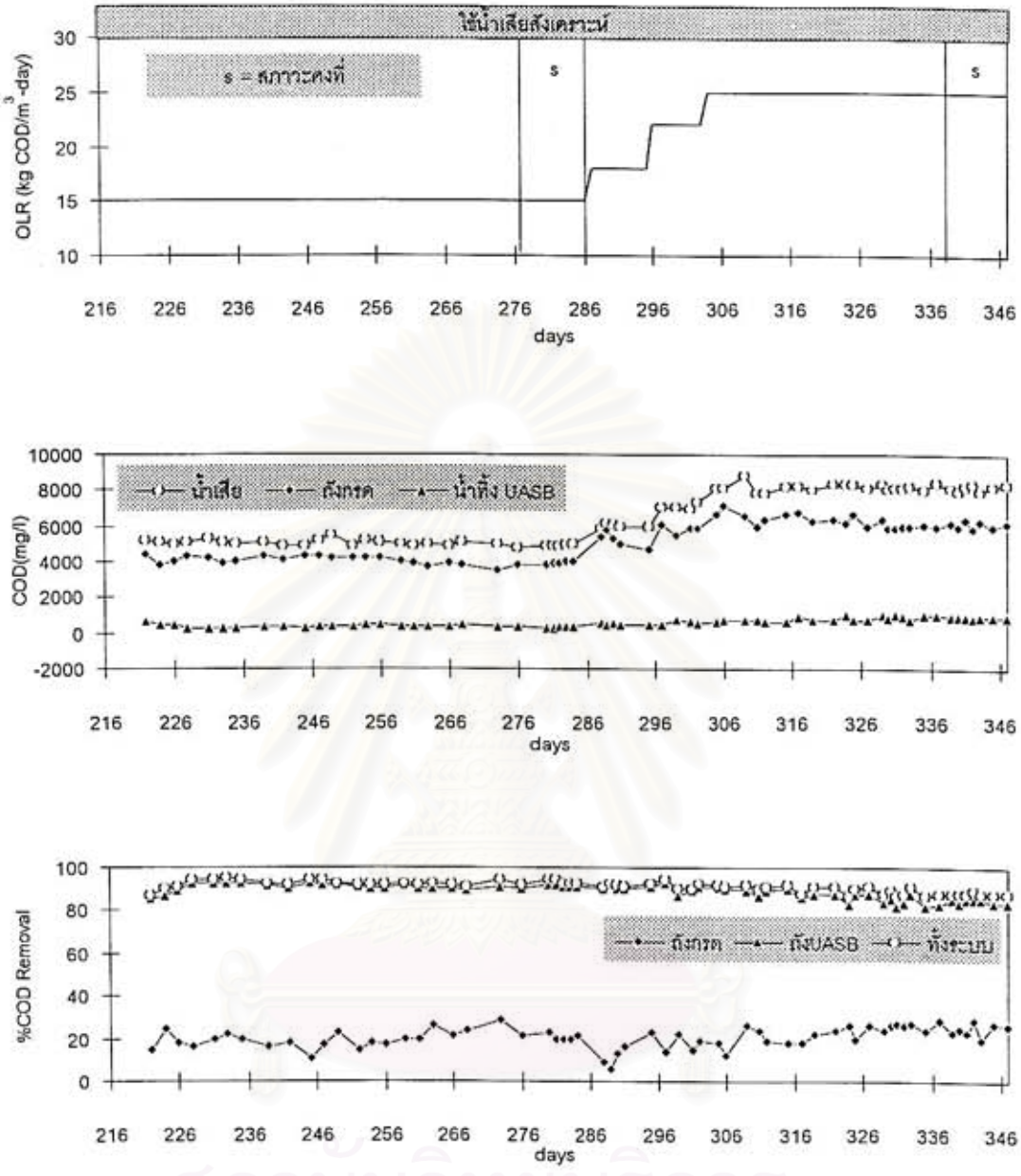
เมื่อเข้าสู่การทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบียังคงสูงใกล้เคียงกับการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) แสดงว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียของการทดลองส่วนที่ 1 และ 2 ได้ดีเท่าๆ กัน จากตารางที่ 4.22 แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงที่ ในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) จะเห็นว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังกรดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ในสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงเพิ่มขึ้น เช่น ค่าพีเอชต่ำ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง และเวลากักน้ำต่ำ (Anderson และคณะ ,1994) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดและลดลงกว่าปกติ น่าจะเป็นจุดที่ระบบเริ่มทำงานได้ไม่สมบูรณ์อย่างที่ควร รูปที่ 4.47 และ 4.48 แสดงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

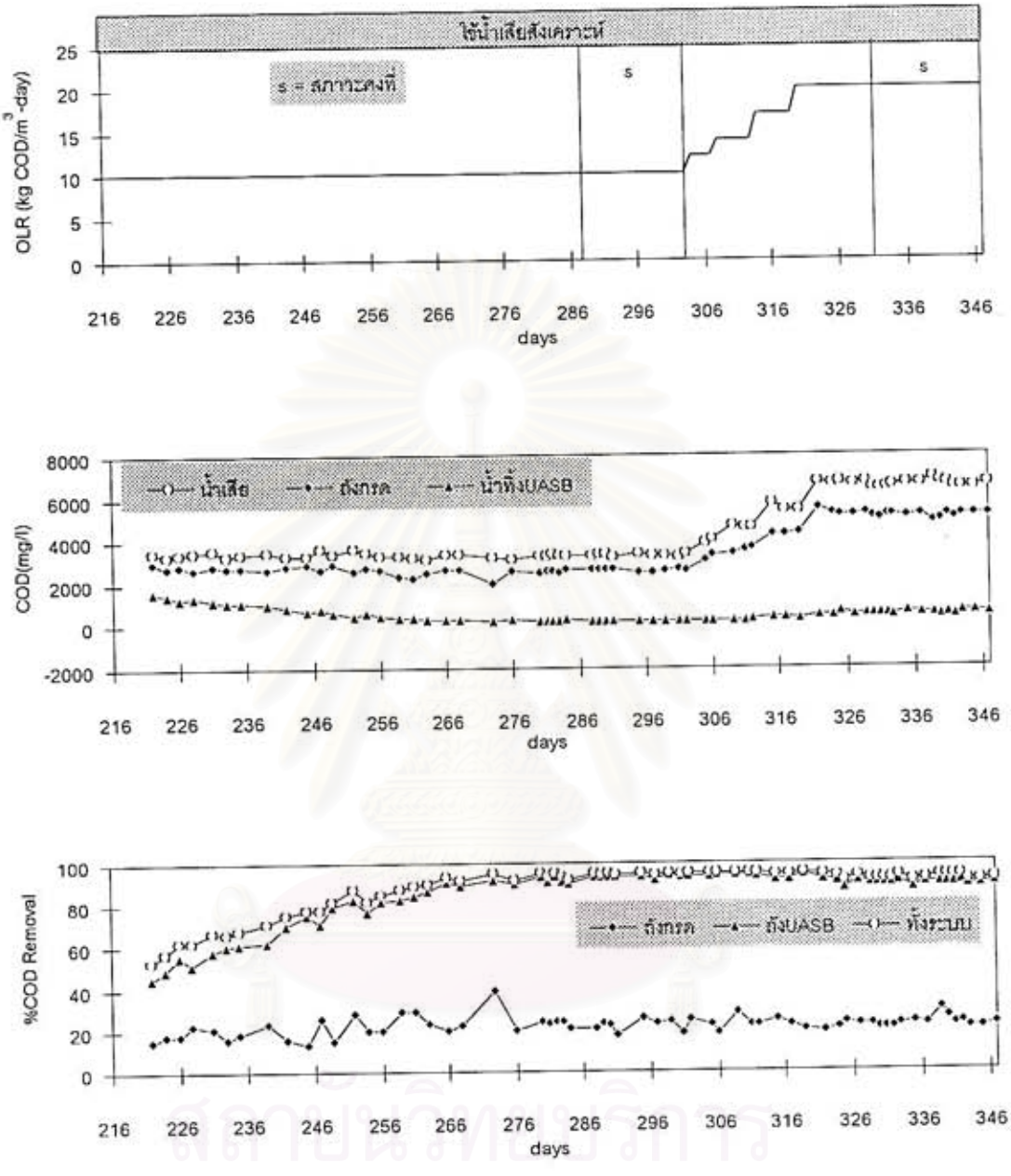
ตัวแปร	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง		ทั้งระบบ	หมายเหตุ
		ถังกรด	ถังยูเอเอสบี		
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 2
- ซีโอดี (มก./ล.)	3295	2564	180		
- ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	-	22	93	95	
15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 1
- ซีโอดี (มก./ล.)	4923	3901	332		
-ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	-	21	91	93	
20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 2
- ซีโอดี (มก./ล.)	6592	5071	513		
-ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	-	23	90	92	
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน					ถังชุดที่ 1
- ซีโอดี (มก./ล.)	8163	6139	954		
-ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	-	25	85	88	

4.7.2.3 อิทธิพลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการไร้ออกซิเจน ส่วนประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ คือก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณและส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพสามารถบอกให้ทราบถึง ประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบีได้ จากตารางที่ 4.23 ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 72.4 เป็น 93 ลิตร/วัน เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 8 เป็น 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ส่วนเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนมีค่าลดลงเล็กน้อยจาก 66 เป็น 64 % และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าคงที่เท่ากับ 0.37 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 8 เป็น 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงค่าสูงสุดทางทฤษฎี 0.38 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด (Cohen และคณะ , 1985) เนื่องจากการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จะทำให้มีสารอาหารเข้าสู่ระบบมากขึ้น ระบบสามารถ



รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



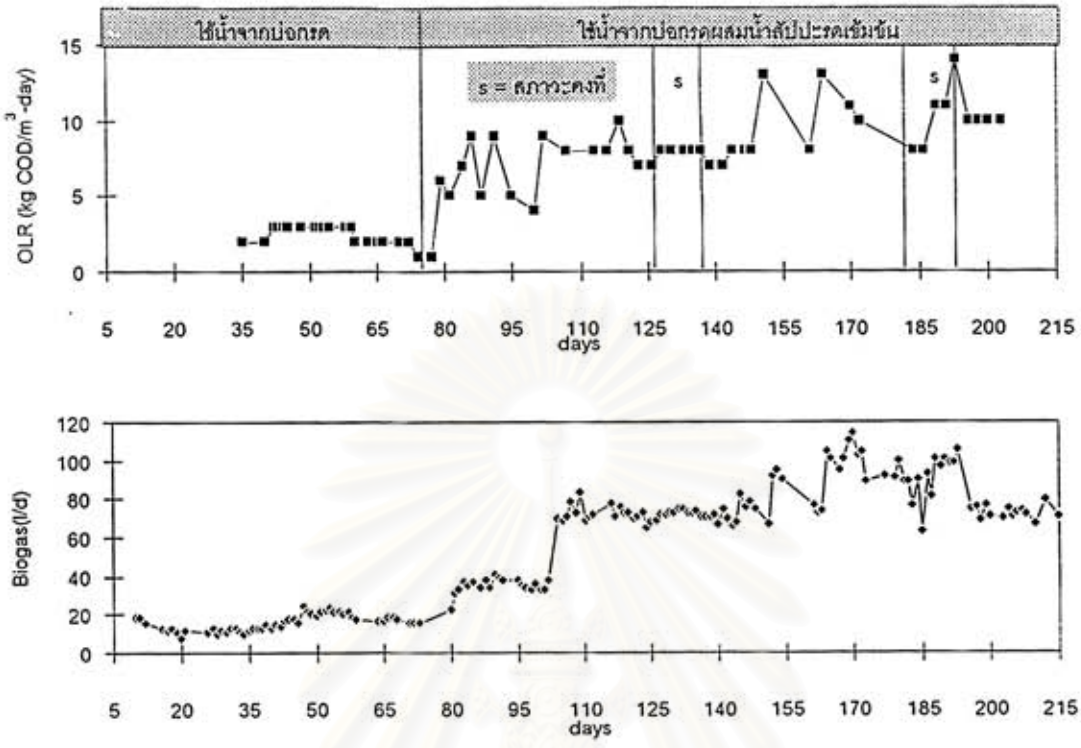
รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทน ที่สภาวะคงที่ ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

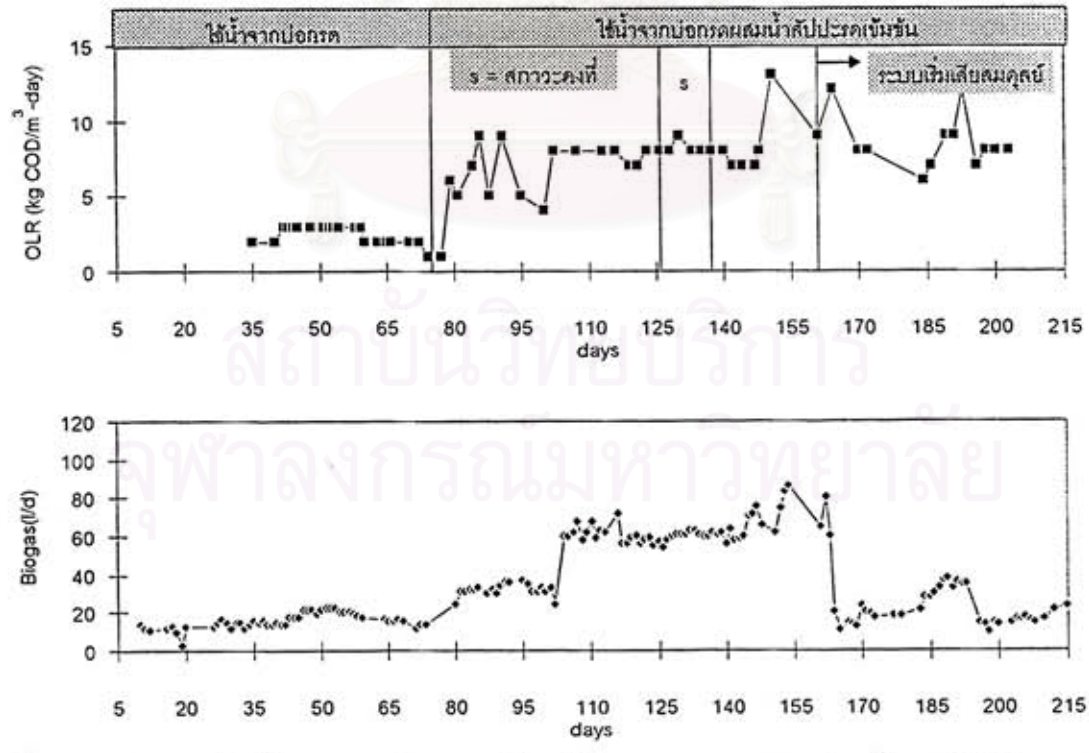
ตัวแปร	ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1	ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	72.4	60.4
- เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	66	66
- อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.37	0.32
- ปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/ลิตรน้ำเสีย)	1.71	1.42
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	93	20.4*
- เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	64	59*
- อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.37	0.13*
- ปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/ลิตรน้ำเสีย)	1.70	0.34*

* ค่าในวันที่ระบบเริ่มเสียสมดุลย์การทำงาน

ผลิตก๊าซได้มากขึ้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าไม่ต่างกันอย่างเด่นชัด เนื่องจากอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่ต่างกันมาก และอยู่ในช่วงที่ระบบทำงานได้ดี ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.71 และ 1.70 ลิตร/ลิตรน้ำเสีย ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น จะมีค่าเท่ากับ 1.42 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ส่วนอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ได้เสียสมดุลย์ ทำให้ปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และปริมาณก๊าซมีเทน มีค่าต่ำทุกค่า แสดงถึงแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต รูปที่ 4.49 และ 4.50 แสดงถึงปริมาณก๊าซทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.49 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1(ไม่มีถังกรด)



รูปที่ 4.50 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)

จากตาราง 4.24 ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ทั้งหมดของถังยูเอเอสบี ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 51 , 102.5 , 119.6 และ 155 ลิตร/วัน ตามลำดับ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 0.31 , 0.37 , 0.33 และ 0.35 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และมีค่าใกล้เคียงค่าทางทฤษฎี (0.35 - 0.38 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด) แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาการสร้างมีเทน สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จึงถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน ส่วนน้อยถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรีย และถูกใช้โดยแบคทีเรียชนิดอื่นที่ไม่ใช่แบคทีเรียสร้างมีเทน และ ค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 68 , 68 , 66 และ 61 % ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ 0.74 , 1.33 , 1.50 และ 1.80 ลิตร/ลิตรน้ำเสีย ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ รูปที่ 4.51 และ 4.52 ปริมาณก๊าซทั้งหมดตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

4.7.2.4 การประเมินความต้องการสภาพด่างของระบบ

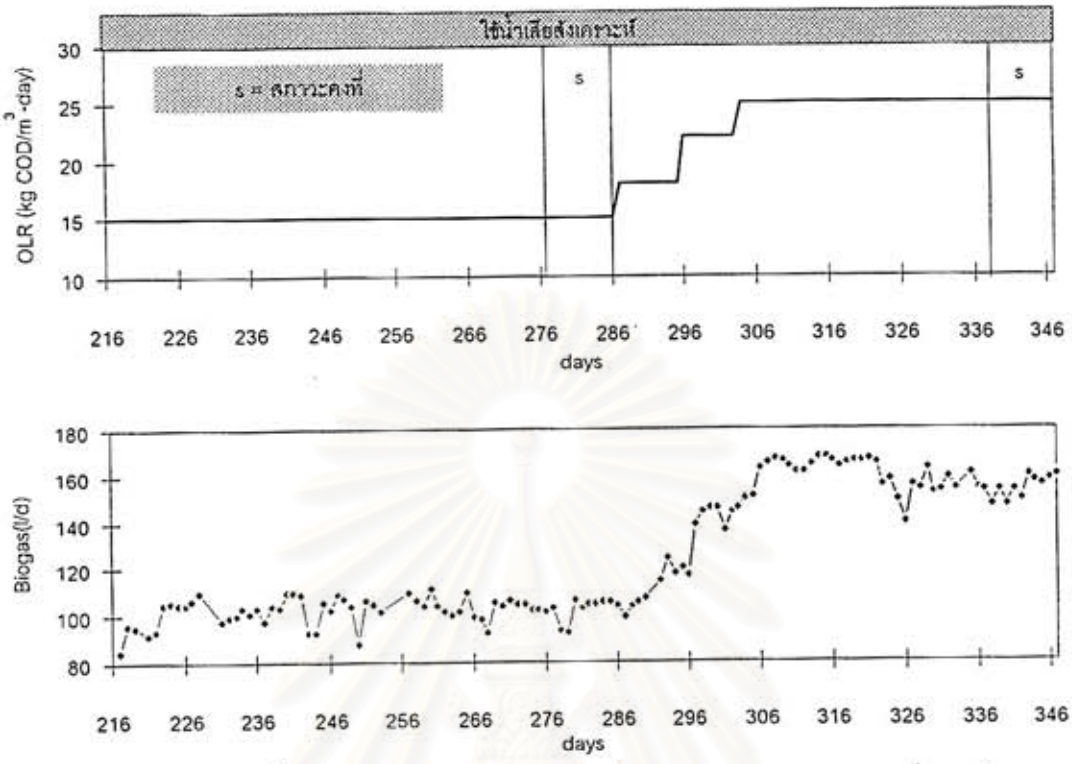
การเติมปริมาณด่างให้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีจุดมุ่งหมาย 2 ประการคือ เพื่อสะเทินสภาพกรดที่เกิดจากการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบ และเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับกรดไขมันระเหยที่สะสมในระบบ โดยที่ปริมาณด่างที่ใช้สะเทินสภาพกรด (CO_2 alkalinity) ขึ้นอยู่กับความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 partial pressure , P_{co2}) ส่วนปริมาณด่างที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กรดไขมันระเหย (reserved alkalinity) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสีย (ค่าซีโอดีและปริมาณกรดไขมันระเหย) กล่าวคือ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ระบบจำเป็นต้องมี reserved alkalinity สูงด้วย

จากตารางที่ 4.25 จะเห็นว่าความเข้มข้นโซดาแอชที่เติมให้ระบบ เป็นปริมาณที่น่าจะมากเกินพอ ทำให้ระบบยังคงสามารถรักษาระดับค่าพีเอชได้ใกล้เคียงกับค่าที่เป็นกลางที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดปริมาณโซดาแอชที่เติมให้ระบบ จะทำการประเมินความต้องการสภาพด่างของระบบ โดยสมมติให้ค่าความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอน

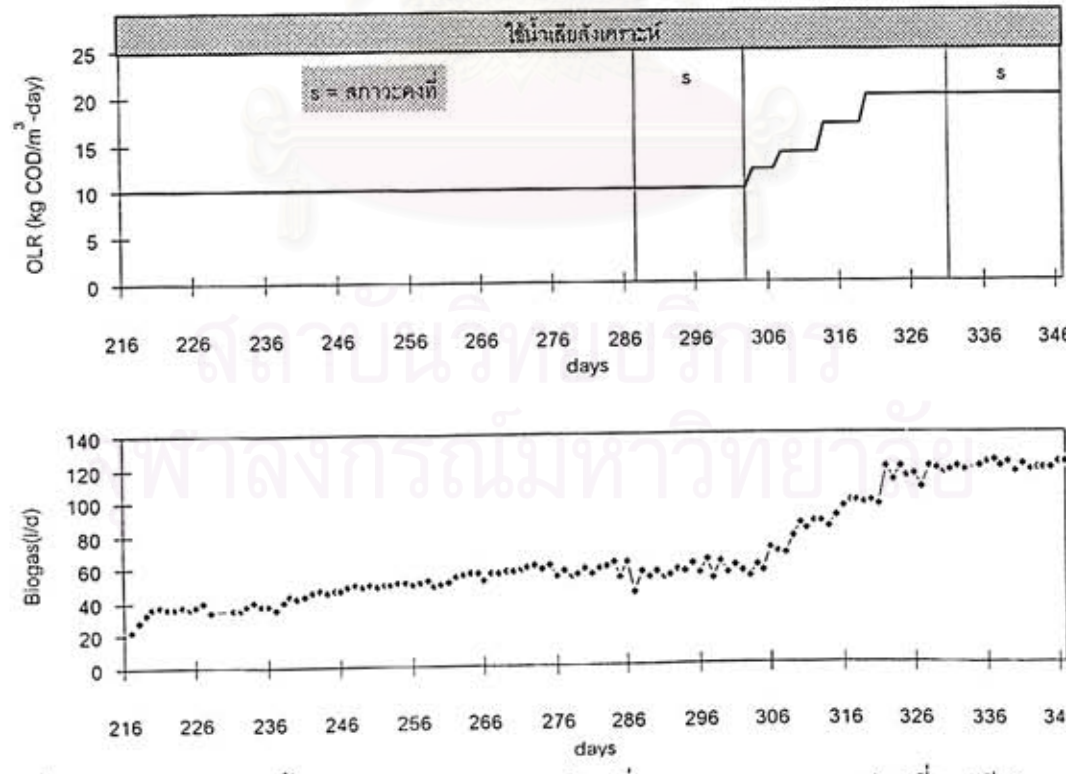
ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทน ที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ตัวแปร	ถังยูเอเอสบี	หมายเหตุ
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ถังชุดที่ 2
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	57	
- เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	68	
- อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.31	
15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ถังชุดที่ 1
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	102.5	
- เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	68	
- อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.37	
20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ถังชุดที่ 2
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	119.6	
- เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	66	
- อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.33	
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		ถังชุดที่ 1
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	155	
- เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%)	61	
- อัตราผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.35	

ไดออกไซด์เท่ากับ 0.3 บรรยากาศ ค่าสภาพด่างของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 100 มก./ล. ในเทอม $CaCO_3$ และค่าพีเอชของระบบเท่ากับ 6.80 ซึ่งเป็นค่าพีเอชในช่วงที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ ผลการประเมินแสดงไว้ในตารางที่ 4.26 และสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.51 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)



รูปที่ 4.52 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ตารางที่ 4.25 ข้อมูลค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหย ตลอดการทดลอง

ชุดการทดลอง	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	Na_2CO_3 ที่เติมจริง (ก./ล.)	ค่าพีเอช	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. $CaCO_3$)	Pco_2 (บรรยากาศ)	กรดไขมันระเหย (มก./ล. $CaCO_3$)
<u>การทดลองส่วนที่ 1</u>						
ถังยูเอเอสบี 1	8	1.50	7.41	1828	0.34	31
ถังยูเอเอสบี 2	8	1.50	7.47	1840	0.34	36
ถังยูเอเอสบี 1	10	3.00	7.25	3212	036	53
<u>การทดลองส่วนที่ 2</u>						
ถังยูเอเอสบี 2	10	1.98	6.96	2246	0.32	37
ถังยูเอเอสบี 1	15	3.00	7.03	3329	0.32	91
ถังยูเอเอสบี 2	20	4.02	7.22	4198	0.34	91
ถังยูเอเอสบี 1	25	4.98	7.32	5123	0.39	274

ตารางที่ 4.26 การประเมินความต้องการสภาพด่างของระบบ

ชุดการทดลอง	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	กรดไขมันระเหย (มก./ล. $CaCO_3$)	CO_2 ALK (มก./ล. $CaCO_3$)	Reserved ALK (มก./ล. $CaCO_3$)	HCO_3^- ALK ที่ต้องการ (มก./ล. $CaCO_3$)	Na_2CO_3 ที่ต้องการ (ก./ล.)	Na_2CO_3 ที่เกินพอ (ก./ล.)
<u>การทดลองส่วนที่ 1</u>							
ถังยูเอเอสบี 1	8	31	2660	22	2582	1.36	0.14
ถังยูเอเอสบี 2	8	36	2660	26	2586	1.36	0.14
ถังยูเอเอสบี 1	10	53	2660	38	2598	1.37	1.63
<u>การทดลองส่วนที่ 2</u>							
ถังยูเอเอสบี 2	10	37	2660	26	2586	1.36	0.62
ถังยูเอเอสบี 1	15	91	2660	65	2625	1.38	1.62
ถังยูเอเอสบี 2	20	91	2660	65	2625	1.38	2.64
ถังยูเอเอสบี 1	25	274	2660	195	2755	1.45	3.53

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u> กรณีการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)

ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

HCO_3^- ALK ที่ต้องการ = CO_2 ALK + reserved ALK

= $\{K_hK_1Pco_2/[H^+]\}$ - TA + 0.71VFA ..... (D)

ที่อุณหภูมิห้อง 30 $^\circ$ ซ

K_h = ค่าคงที่ของเฮนรี่สำหรับ CO_2

= 299×10^{-4} โมล/ลิตร-บรรยากาศ

K_1 = $[HCO_3^-][H^+] / [H_2CO_3]$

= 4.7×10^{-7}

Pco_2 = 0.3 บรรยากาศ

pH = 6.80

VFA = 37 มก./ล. ในเทอม $CaCO_3$

แทนค่าในสมการ (D)

HCO_3^- ALK ที่ต้องการ = $(299x10^{-4})(4.7x10^{-7})(0.3)(10^5)/10^{-6.8}$-100+(0.71+37)

= 2586 มก./ล. ในเทอม CaCO3

คิดเป็น Na_2CO_3 = 2586 x 1/(1.9 x 1000)

= 1.36 ก./ล.

4.7.2.5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมี และผลตอบแทนจากก๊าซมีเทน

ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะเป็นค่าสารเคมีที่เติมให้ระบบ เพื่อเป็นสารอาหารและปรับสภาพด่าง โดยค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ของสารเคมีจะเป็นสารปรับสภาพด่าง ในการทดลองนี้ใช้โซเดียมคาร์บอเนต เป็นสารปรับสภาพด่าง ส่วนสารอาหารที่เติมให้ระบบ จะใช้ปุ๋ยยูเรีย (N 46%) เป็นแหล่งธาตุไนโตรเจน และปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5 46 %) เป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัส รายละเอียดการเติมสารเคมีมีดังต่อไปนี้

- ค่า COD : N : P เท่ากับ 100 : 0.5 : 0.3
- ค่า Na_2CO_3 คิดจากปริมาณที่คำนวณได้ตามตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีที่เติมจริงและผลตอบแทนจากก๊าซมีเทนในการบำบัดน้ำเสีย 1000 ลบ.ม.ต่อวัน

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์	ค่าใช้จ่าย							รายได้		ค่าบำบัดน้ำเสีย = (7) - (9)	
	ปุ๋ยยูเรีย (N 46 %)		ปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5 46 %)		Na_2CO_3		รวมราคาสารเคมี	CH_4		ค่าบำบัดน้ำเสียทั้งหมด	ค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วย
	น้ำหนัก (กก.) (1)	ราคา (บาท) (2)	น้ำหนัก (กก.) (3)	ราคา (บาท) (4)	น้ำหนัก (กก.) (5)	ราคา (บาท) (6)	(บาท) (7)	ปริมาตร (ลบ.ม.) (8)	ราคา * (บาท) (9)	(บาท) (10)	(บาท) (11)
<u>การทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)</u>											
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 1)	163	1141	75	675	1500	15750	17566	1706	9042	8524	1.07
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 1)	163	1141	75	675	3000	31500	33316	1701	9015	24301	2.43
<u>การทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)</u>											
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 2)	108	756	49	441	1980	20790	21987	738	3911	18076	1.81
15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 1)	163	1141	75	675	3000	31500	33316	1328	7038	26278	1.75
20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 2)	218	1526	100	900	4020	42210	44636	1504	7971	36665	1.83
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 1)	271	1897	124	1116	4980	52290	55303	1801	9545	45758	1.83
										ค่าเฉลี่ย	1.79

- *คิดจากราคาเฉลี่ยขายส่งของน้ำมันเตาหน้าโรงกลั่นของเดือนมกราคม - มีนาคม 2541 = 5.30 บาท/ลิตร (ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ)

— ปุ๋ยยูเรีย (N 46 %) ราคา 7 บาท/กก.

— ปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5 46 %) ราคา 9 บาท/กก.

— โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ราคา 10.50 บาท/กก.

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบยูเอเอสบี สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงได้ โดยพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพ จะขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทนมีค่าของความร้อน (calorific values) ประมาณ 7900 - 9500 กิโลแคลลอรี/ลบ.ม. (Meynell , 1976) ส่วนน้ำมันเตาประเภทที่ 1 จะมีค่าของความร้อนในการเผาไหม้ประมาณ 9744 กิโลแคลลอรี/ลบ.ม. ดังนั้นจะเห็นว่า ก๊าซมีเทน 1 ลบ.ม. จะให้ค่าความร้อนได้ใกล้เคียงกับน้ำมันเตา 1 ลิตร ดังนั้นเมื่อมีการนำก๊าซมีเทนดังกล่าวมาใช้เป็นพลังงานทดแทน จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงได้มาก ซึ่งเหมาะกับโรงงานอุตสาหกรรม

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมี และราคาก๊าซมีเทน ที่คิดในรูปน้ำมันเตาในการบำบัดน้ำเสีย 1000 ลบ.ม. ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.27 จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการเดินระบบ ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นค่า Na_2CO_3 เมื่อนำก๊าซมีเทนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตา จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 30 - 50 % สำหรับการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) และประมาณ 17 - 21 % สำหรับการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) และค่าบำบัดน้ำเสียต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดที่แต่ละค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 1.79 บาท/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด แต่ถ้าไม่มีการนำก๊าซมีเทนมาใช้เป็นพลังงานทดแทนจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียมีค่าสูงมาก การคำนวณค่าต่างๆ ในตารางที่ 4.27 สามารถแสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

<u>ตัวอย่างการคำนวณตารางที่ 4.27</u>

คิดจากกรณีถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าซีโอดีน้ำเสียประมาณ 5000 มก./ล. โดยคิดที่ปริมาณน้ำเสีย 1000 ลบ.ม.ต่อวัน

<u>ปริมาณสารเคมี</u>

จาก COD : N : P = 100 : 1.5 : 0.3

N ที่ต้องการ	=	(1.5/100) x 5000
	=	75 มก./ล.
ต้องใช้ปุ๋ยยูเรีย (N 46 %)	=	75/0.46
	=	163 มก./ล.
	=	163 กก./น้ำเสีย 1000 ลบ.ม.
P ที่ต้องการ	=	(0.3/100) x 5000
	=	15 มก./ล.
ต้องใช้ปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5 46 %)	=	(142/62) x 15 x (1/0.46)
	=	74.68 กก./น้ำเสีย 1000 ลบ.ม.
Na_2CO_3 ที่เติมจริง	=	3.0 ก./ล.
	=	3000 กก./น้ำเสีย 1000 ลบ.ม.

<u>มูลค่าสารเคมี</u>

ปุ๋ยยูเรีย	=	163 x 7
	=	1141 บาท
ปุ๋ยฟอสเฟต	=	75 x 9
	=	675 บาท
Na_2CO_3	=	3000 x 10.50
	=	31500 บาท
รวมราคาค่าสารเคมี	=	33316 บาท

<u>มูลค่าก๊าซมีเทน</u>

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	=	102.5 ลิตร/วัน
% ก๊าซมีเทน	=	68
ปริมาณก๊าซมีเทน	=	102.5 x 0.68 x 1000 / 52.5
	=	1328 ลบ.ม.
คิดเป็นปริมาณน้ำมันเตา	=	1328 ลิตร
ราคาน้ำมันเตาเท่ากับ	=	5.30 บาท/ลิตร
ดังนั้นราคาก๊าซมีเทน	=	1328 x 5.30
	=	7038 บาท/น้ำเสีย 1000 ลบ.ม.

ค่าบำบัดน้ำเสียของระบบ	=	ค่าสารเคมี - ราคาก๊าซมีเทน
	=	33316 - 7038
	=	26278 บาท/น้ำเสีย 1000 ลบ.ม.
ค่าดำเนินการต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด	=	26278 / (15 x 1000)
	=	1.75 บาท

จากการประเมินความต้องการสภาพด่างของระบบ จะได้ปริมาณ Na_2CO_3 ที่น่าจะเติมให้ระบบมีค่าต่ำกว่าปริมาณ Na_2CO_3 ที่เติมจริงอยู่มากถึง 9 - 71 % ขึ้นอยู่กับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และค่าบำบัดน้ำเสียต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.70 บาท/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ดังแสดงในตารางที่ 4.28

4.7.2.6 ลักษณะเม็ดตะกอนและจุลินทรีย์ภายในเม็ดตะกอน

ลักษณะทั่วไปของเม็ดตะกอนในถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 มีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ จุลินทรีย์ภายในถังจะรวมตัวกันเป็นเม็ด หรือ เกล็ดตะกอนมีสีดำ สีน้ำตาลอ่อน และสีเทาเข้ม ขนาดเม็ดตะกอนในชั้นตะกอนสังเกตได้ชัดเจนว่ามีลักษณะเป็นเม็ดคละกันไปมีขนาดประมาณ 1-3 มม. รูปที่ 4.53 แสดงลักษณะทั่วไปของชั้นตะกอนนอนภายในถังยูเอเอสบี เหนือชั้นตะกอนนอนเป็นตะกอนขนาดเล็กและเบาจำนวนน้อยแขวนลอยอยู่ เนื่องจากแรงของก๊าซชีวภาพที่ไหลผ่านตลอดเวลา มีการแยกตัวของชั้นตะกอนนอนลอยขึ้นเป็นบางเวลา แต่ไม่รุนแรง และเม็ดตะกอนก็จะตกกลับคืน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่ามีการหลุดออกของเม็ดตะกอนสีเทาออกจากถังแต่ไม่มากนัก จากการสังเกตุพบว่าเม็ดตะกอนสีดำมีขนาดประมาณ 1 มม. เม็ดตะกอนสีเทาเข้มขนาดประมาณ 2 มม. และเม็ดตะกอนสีน้ำตาลขนาดประมาณ 2-3 มม. เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เม็ดตะกอนจะมีขนาดเพิ่มขึ้นด้วย Thaveesri (1994) ได้กล่าวไว้ว่าเม็ดตะกอนสีดำ จะมี SMA (specific methanogenic activity) สูงที่สุด แต่มี SAA (specific acidogenic activity) ต่ำ เม็ดตะกอนสีขาวจะมี SMA สูงมากแต่มี SAA ต่ำ เม็ดตะกอนสีเทาจะมี SAA สูงที่สุด แต่มี SMA สูงพอประมาณ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ สีของเม็ดตะกอนจะเปลี่ยนจากสีดำไปเป็นสีน้ำตาลและสีเทามากขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียในกระบวนการไร้ออกซิเจน เช่น แบคทีเรียสร้างมีเทน มีขนาดเล็กมาก ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดาค่อนข้างยาก จึงได้นำเม็ดตะกอนไปตรวจ

ตารางที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีจากการประเมินและผลตอบแทนจากก๊าซมีเทนในการบำบัดน้ำเสีย 1000 ลบ.ม.ต่อวัน

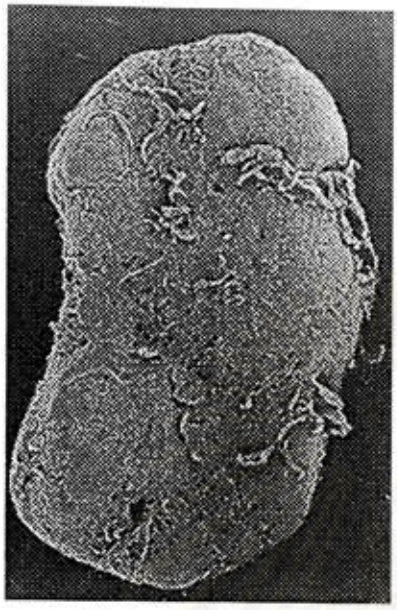
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์	ค่าใช้จ่าย							รายได้		ค่าบำบัดน้ำเสีย = (7) - (9)	
	ปุ๋ยยูเรีย (N 46 %)		ปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5 46 %)		Na_2CO_3		รวมราคาสารเคมี	CH_4		ค่าบำบัดน้ำเสียทั้งหมด	ค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วย
	น้ำหนัก (กก.) (1)	ราคา (บาท) (2)	น้ำหนัก (กก.) (3)	ราคา (บาท) (4)	น้ำหนัก (กก.) (5)	ราคา (บาท) (6)	(บาท) (7)	ปริมาตร (ลบ.ม.) (8)	ราคา * (บาท) (9)	(บาท) (10)	(บาท) (11)
<u>การทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด)</u>											
8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 1)	163	1141	75	675	1360	14280	16096	1706	9042	7054	0.88
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 1)	163	1141	75	675	1370	14385	16201	1701	9015	7186	0.72
<u>การทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด)</u>											
10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 2)	108	756	49	441	1360	14280	15477	738	3911	11566	1.16
15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 1)	163	1141	75	675	1380	14490	16306	1328	7038	9268	0.62
20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 2)	218	1526	100	900	1380	14490	16916	1504	7971	8945	0.45
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ถังชุดที่ 1)	271	1897	124	1116	1450	15225	18238	1801	9545	8693	0.35
										ค่าเฉลี่ย	0.70

- *คิดจากราคาเฉลี่ยขายส่งของน้ำมันเตาหน้าโรงกลั่นของเดือนมกราคม - มีนาคม 2541 = 5.30 บาท/ลิตร (ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ)

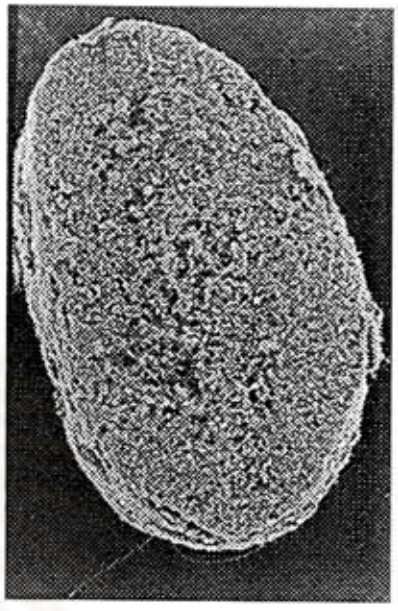
รูปที่ 4.53 ลักษณะทั่วไปของชั้นตะกอนนอนภายในถังยูเอเอสบี

สอบที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscopy) พบว่าเม็ดตะกอนประกอบจากกลุ่มของแบคทีเรียจำนวนมากมาเกาะรวมกันดังแสดงในรูปที่ 4.54 รูป a) แสดงลักษณะผิวนอกของเม็ดตะกอน ซึ่งมีลักษณะไม่ค่อยเรียบ รูป b) แสดงลักษณะภายในของเม็ดตะกอนที่ได้ทำการผ่าตามขวาง จะเห็นมีลักษณะแน่นที่บริเวณขอบมากกว่าบริเวณแกนกลางของเม็ด รูป c) เป็นรูปขยายที่บริเวณของเม็ดตะกอนในรูป b) พบว่า แบคทีเรียส่วนใหญ่มีรูปร่างลักษณะเป็นท่อนรีๆ หรือทรงกลม จนถึงท่อนสั้น คล้ายแบคทีเรียชนิด methanobrevibacter โดยทั่วไปจะพบเป็นคู่หรือสาย มีความกว้างในส่วนลำตัวประมาณ 0.5 - 0.7 ไมโครเมตร และยาวประมาณ 0.8 - 1.4 ไมโครเมตร ใช้ไฮโดรเจนคาร์บอนไดออกไซด์ และฟอร์เมต เป็นสารอาหาร (Balch และ Wolfe , 1981) รูป d) เป็นรูปขยายที่บริเวณแกนกลางเม็ดตะกอนในรูป b) พบว่าแบคทีเรียส่วนใหญ่ มีรูปร่างลักษณะเป็นท่อนยาวจนถึงต่อกันเป็นสายโซ่ คล้ายแบคทีเรียชนิด methanothrix มีขนาดความกว้างของลำตัว 0.7 - 1.2 ไมโครเมตร ยาวประมาณ 2.0 - 6.0 ไมโครเมตร ใช้อะซิเตทเป็นสารอาหาร (Huser , Wuhrmann และ Zehnder , 1983) การที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ในเม็ดตะกอนเป็น methanobrevibacter และ methanothrix ซึ่งเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนทั้งคู่ ก็เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าถังยูเอเอสบีอุดมไปด้วยกรดไขมันระเหย ทำให้สภาพภายในถังเหมาะต่อการเจริญเติบโต

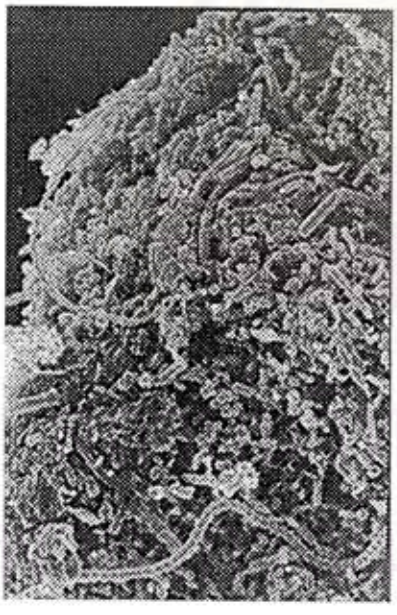
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



a) กำลังขยาย 35 เท่า



b) กำลังขยาย 100 เท่า



c) กำลังขยาย 3500 เท่า

d) กำลังขยาย 3500 เท่า

รูปที่ 4.54 ลักษณะแบคทีเรียภายในเม็ดตะกอนที่ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Scanning electron microscope)