

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากการผลิตแผ่นยางพารา

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราในขั้นตอนต่างๆ คือ น้ำเสียจากตะกอนหลังจากคัดแยกเนื้อยาง น้ำเสียจากการล้างยาง น้ำเสียจากการรีดแผ่นยาง และน้ำเสียจากการล้างภาชนะบรรจุและการล้างพื้น โดยลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากการผลิตแผ่นยางพารา

| พารามิเตอร์ | ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ | ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม |
|---------------|--------------------------|--------------------------------------|
| pH | 5.0 - 5.96 | 5.5 - 9.0 |
| อุณหภูมิ (°C) | 22.4 - 27.1 | ไม่เกิน 40 |
| BOD (mg/l) | 1,350 - 9,500 | ไม่เกิน 20 |
| COD (mg/l) | 2,478 - 15,069 | ไม่เกิน 120 |
| SS (mg/l) | 90 - 660 | ไม่เกิน 50 |
| TKN (mg/l) | 50 - 230 | ไม่เกิน 100 |
| TP (mg/l) | 13.46 - 23.78 | 0.3 - 0.5 |

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียจะมีสภาพเป็นกรด เนื่องจากมีการใช้กรดฟอร์มิคในการจับตัวของน้ำยางให้เป็นแผ่น และน้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง เพราะฉะนั้นก่อนป้อนน้ำเสียเข้าระบบต้องมีการปรับพีเอชของน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียในระบบก่อน คือ พีเอชอยู่ในช่วง 6.8 - 7.2 และกรองตะกอนซีรั่มยางที่จับตัวเป็นก้อนออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันในระบบ และเมื่อพิจารณาสัดส่วนของ BOD : N : P พบว่ามีค่าเท่ากับ 100 : 1.17 : 0.22 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ BOD : N : P = 100 : 1.1 : 0.2 ซึ่งแสดงว่าในน้ำเสียมี N และ P เพียงพอต่อการเดินระบบ (มันสิน คัญกุลเวศม์, 2545)



4.2 จุลินทรีย์ตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง

การวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ตะกอนจุลินทรีย์ (seed sludge) จากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง บริษัท เนชั่นเนล สตาร์ช จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นตะกอนในระบบ UASB ที่ใช้บำบัดน้ำเสียของทางโรงงานแป่งมันสำปะหลัง ในการทดลองได้ใช้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์เพื่อเลี้ยงให้ติดกับตัวกลาง มีค่า MLSS เท่ากับ 39,930 มก./ล. มีค่า MLVSS 37,510 มก./ล. ค่อดังปฏิกรณ์ 1 ถึง โดยช่วงแรกนำตะกอนจุลินทรีย์มาเลี้ยงให้ติดกับตัวกลางทั้ง 3 ชนิด โดยใช้น้ำเสียจากการผลิตแป่งมันสำปะหลัง พอตะกอนจุลินทรีย์เริ่มติดกับตัวกลางใช้เวลาประมาณ 45 วัน หลังจากนั้นใช้น้ำเสียจากโรงงานแป่งมันสำปะหลังผสมกับน้ำเสียจากการผลิตแผ่นยางพารา โดยค่อยๆ เพิ่มน้ำเสียจากการผลิตแผ่นยางพาราเป็น 10, 30, 50, 70% ตามลำดับ จนในที่สุดก็ใช้น้ำเสียจากการผลิตแผ่นยางพาราทั้งหมด เพื่อให้จุลินทรีย์ได้คุ้นเคยกับน้ำเสียจริงจากการผลิตแผ่นยางพารา และในส่วนล่างสุดของถังปฏิกรณ์ได้ใช้ลูกแก้วและแผ่นรังผึ้งทำการกระจายน้ำเสียให้สม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัด

4.3 การทดลองช่วงเดินระบบ (Start up)

ในช่วงเดินระบบ (Start up) มีการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

4.3.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศแสดงดังภาพที่ 4.1 โดยจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 27.3–29.4 °C โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกלב ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25.9–29.7, 25.9–29.6 และ 26.0–29.7 °C ตามลำดับ โดยพบว่าน้ำเสียมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25–40 °C ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเดินระบบ (Start up) ของระบบบำบัดน้ำเสีย

4.3.2 พีเอช (pH)

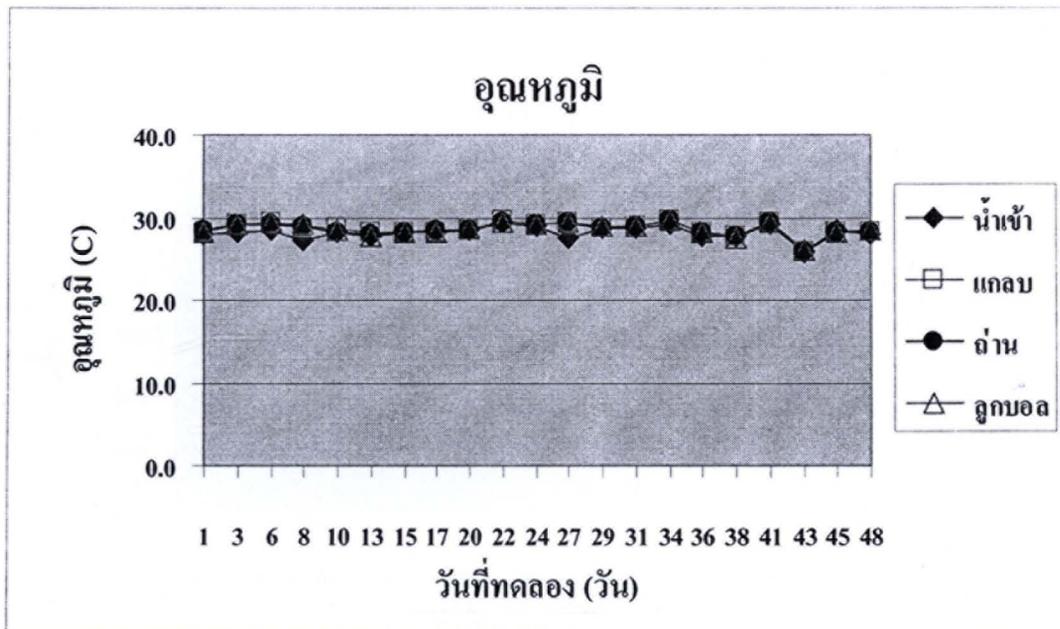
ค่าพีเอช (pH) ของน้ำเข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศแสดงดังภาพที่ 4.2 โดยจะเห็นว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.72–7.31 โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกלב ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.73–8.16, 7.72–9.24 และ 7.61–8.34 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเดินระบบ (Start up) ของระบบบำบัดน้ำเสีย

4.3.3 โออาร์พี (ORP)

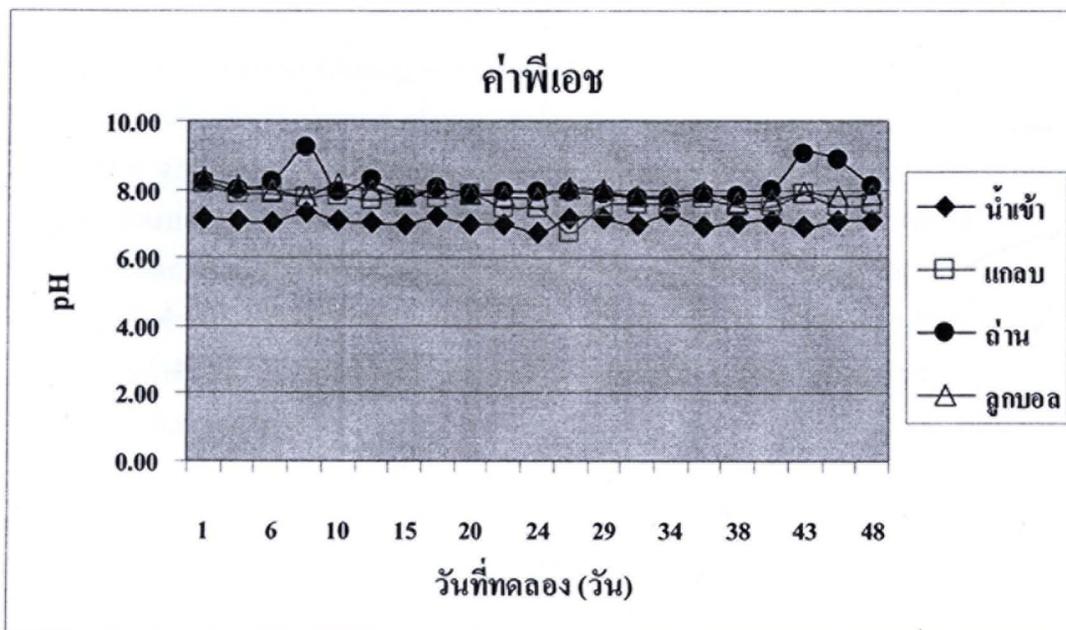
ค่าโออาร์พี (ORP) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศแสดงดังภาพที่ 4.3 โดยจะเห็นว่าค่าโออาร์พีของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง -288 ถึง -140 มิลลิโวลต์ โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกלב ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าโออาร์พีอยู่ระหว่าง -314 ถึง -180, -324 ถึง -166 และ -348 ถึง -172 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)

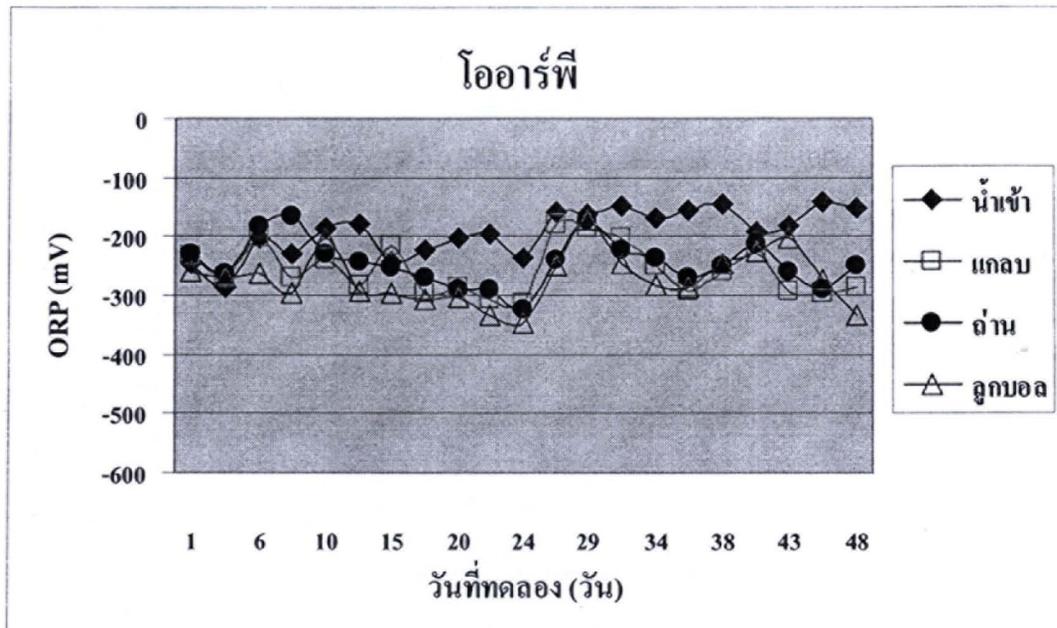
| พารามิเตอร์ | หน่วย | น้ำเสียที่เข้าสู่ถัง | น้ำเสียที่ออกจากถัง | | |
|---|--------------------------|----------------------|---------------------|-------|---------------|
| | | | แกลบ | ถ่าน | ลูกบอลพลาสติก |
| อุณหภูมิ | °C | 28.2 | 28.6 | 28.6 | 28.6 |
| พีเอช | - | 7.05 | 7.63 | 8.10 | 7.90 |
| โออาร์พี | มิลลิโวลต์ | -192 | -257 | -245 | -271 |
| กรดไขมันระเหย | มก./ล. กรดอะซิติก | N/A | 273.8 | 341.4 | 319.6 |
| สภาพค่าทั้งหมด | มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต | N/A | 712.8 | 834.6 | 748.4 |
| อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่าทั้งหมด | มก./ล. | N/A | 0.42 | 0.40 | 0.42 |
| ซีโอดีทั้งหมด | มก./ล. | 2,860 | 404 | 395 | 438 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมด | % | N/A | 85.87 | 86.18 | 84.66 |
| ตะกอนแขวนลอย | มก./ล. | 396.8 | 24.9 | 26.4 | 29.4 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดตะกอนแขวนลอย | % | N/A | 93.73 | 93.35 | 92.59 |
| ตะกอนแขวนลอยระเหย | มก./ล. | 384.4 | 21.8 | 21.5 | 24.2 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดตะกอนแขวนลอยระเหย | % | N/A | 94.33 | 94.41 | 93.7 |
| ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น | ลิตร/วัน | N/A | N/A | N/A | N/A |
| สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ | % | N/A | N/A | N/A | N/A |



ภาพที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติก เป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)



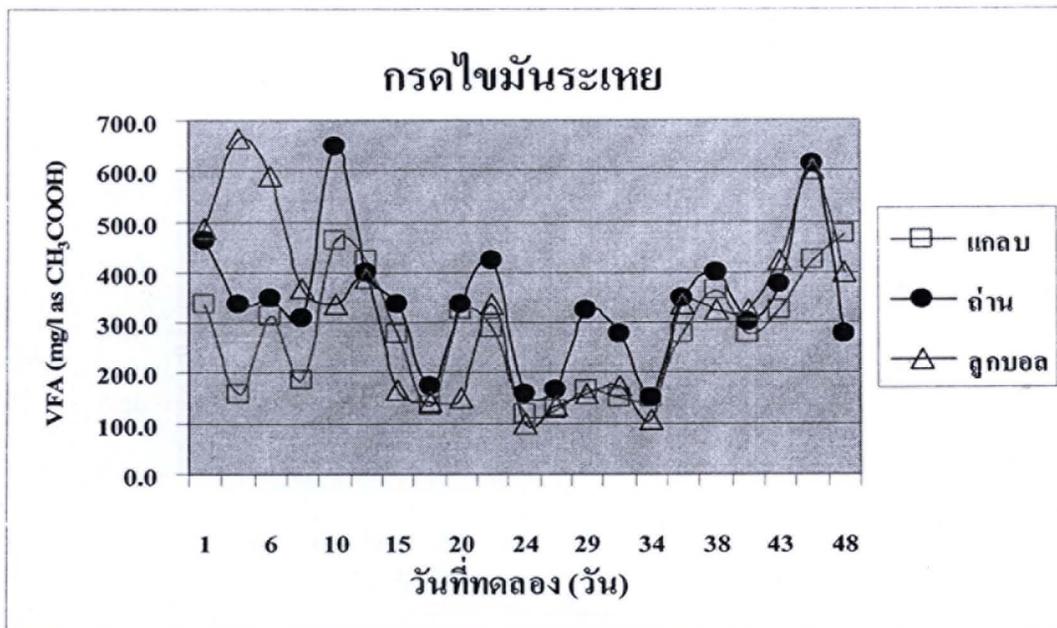
ภาพที่ 4.2 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติก เป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)



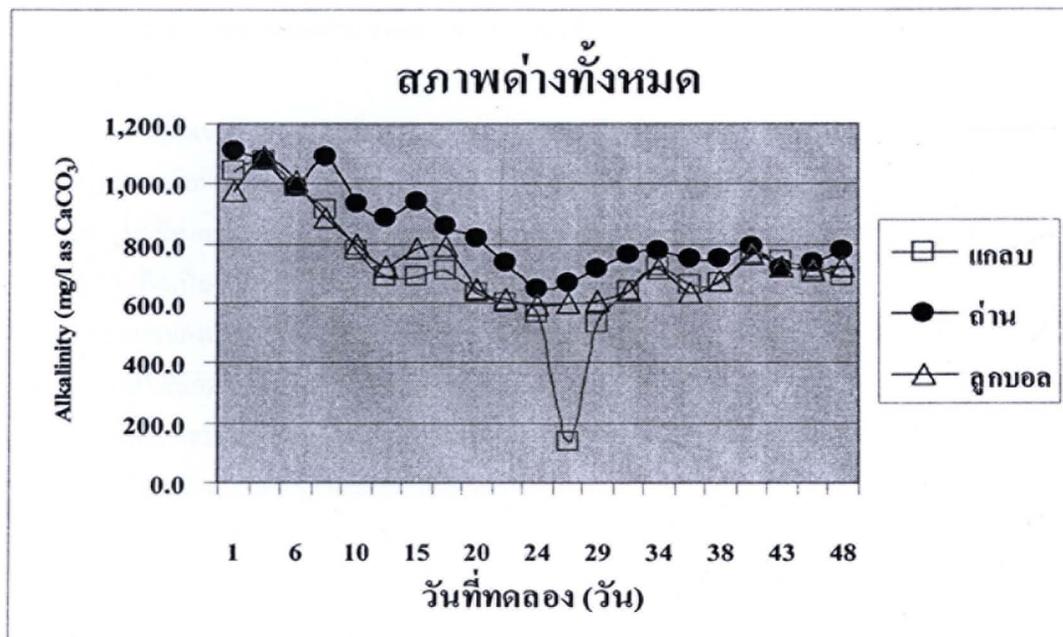
ภาพที่ 4.3 ค่าโออาร์พี (ORP) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)

4.3.4 กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

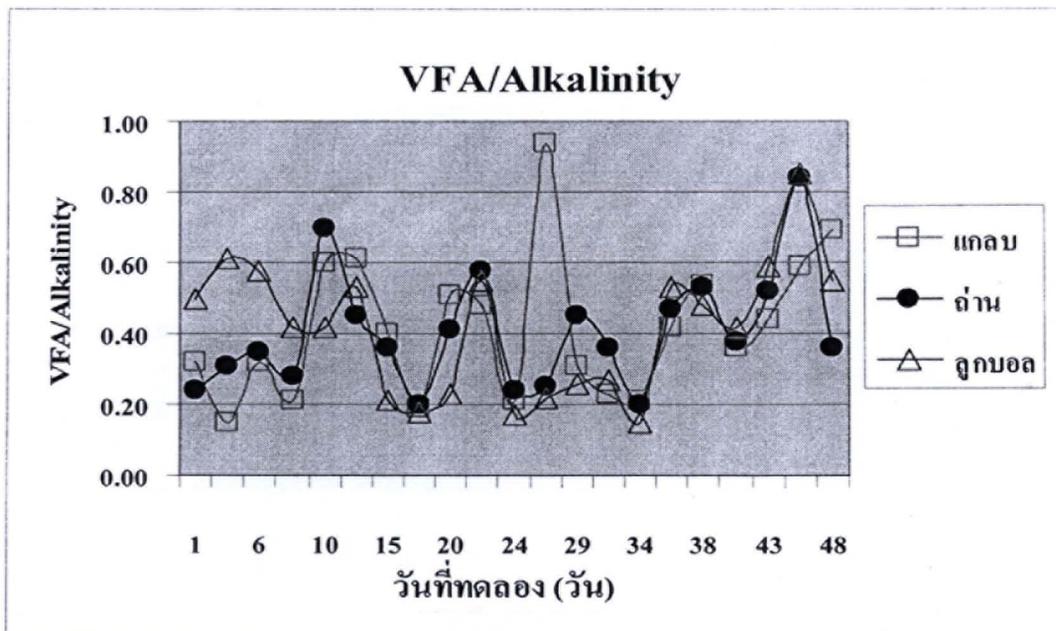
กรดไขมันระเหยง่าย สภาพต่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่ากรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 117-475, 150-650 และ 100-662.5 มก./ล. (ในรูปของกรดอะซิติก) ตามลำดับ สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 133-1,075, 650-1,108 และ 592-1,092 มก./ล. (ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตามลำดับ และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.15-0.94, 0.20-0.84 และ 0.15-0.85 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 ค่ากรดไขมันระเหย (VFA) ของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)



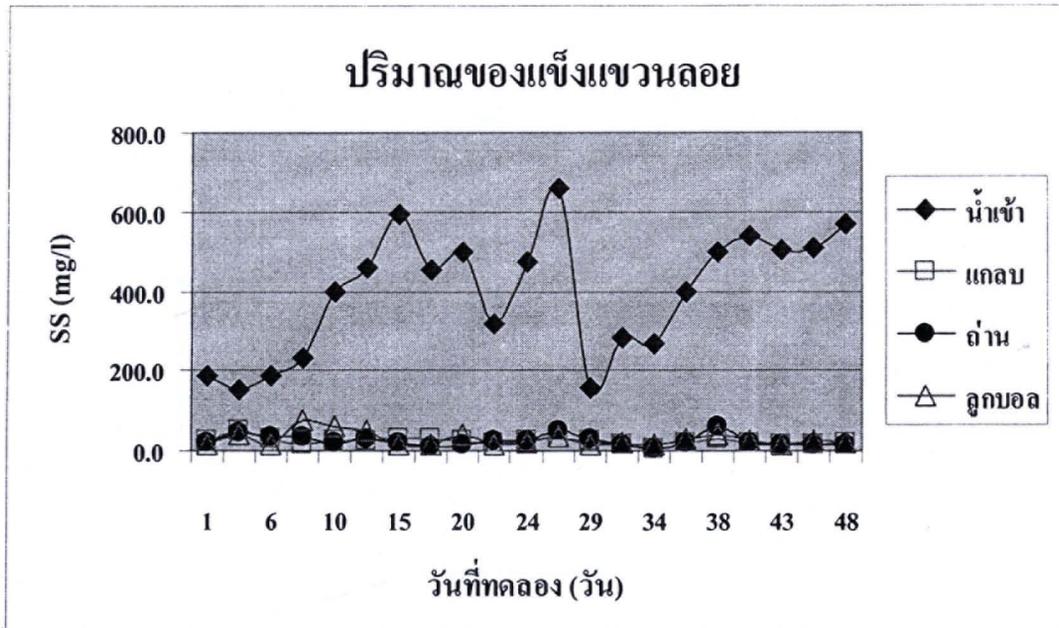
ภาพที่ 4.5 ค่าสภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity) ของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)



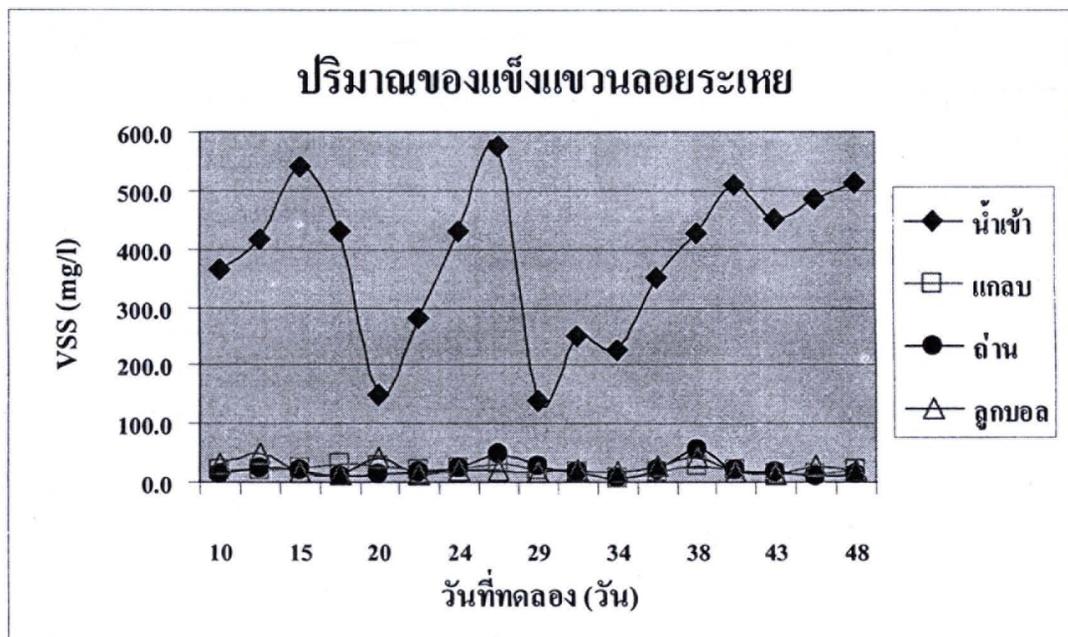
ภาพที่ 4.6 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่าทั้งหมดของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแก้ว ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)

4.3.5 ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย

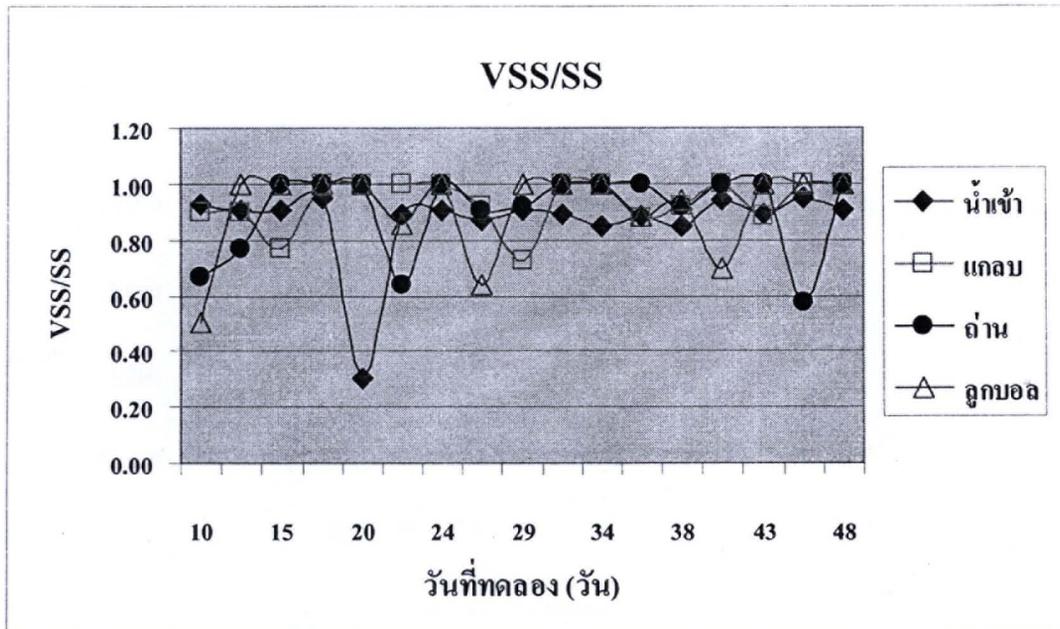
ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย แสดงดังภาพที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 155-660 มก./ล. และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแก้ว ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 7.5-32.5, 7.5-60 และ 15-60 มก./ล. ตามลำดับ ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 140-575 มก./ล. และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแก้ว ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 7.5-32.5, 7.5-55 และ 7.5-50 มก./ล. ตามลำดับ และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.30-0.95 และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแก้ว ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.73-1.00, 0.57-1.00 และ 0.50-1.00 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)



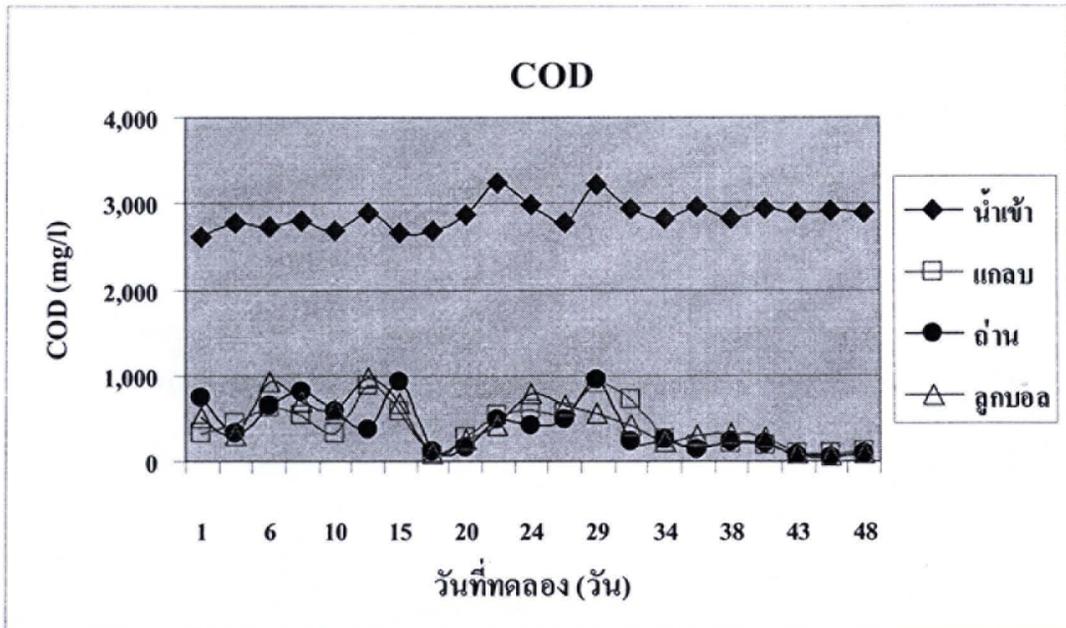
ภาพที่ 4.8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)



ภาพที่ 4.9 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)

4.3.6 ซีโอดี (COD)

ค่าซีโอดี (COD) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศแสดงดังภาพที่ 4.10 โดยจะเห็นว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 2,507-3,232 มก./ล. โดยน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีซีโอดีอยู่ระหว่าง 63-901, 51-957 และ 69-972 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.10 ค่าซีโอดีของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติก เป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ (Start up)

4.4 การทดลองช่วงดำเนินการ 1 (Operation 1)

การทดลองในช่วงการดำเนินการ 1 (Operation 1) ดำเนินการที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีโอดี-ลิตร/วัน อัตราการไหลเข้า 1.76 ลิตร/วัน และเวลากักเก็บน้ำ 6 วัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย และผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีเกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลากักเก็บน้ำ 6 วัน

| พารามิเตอร์ | หน่วย | น้ำเสียที่เข้าสู่ถัง | น้ำเสียที่ออกจากถัง | | |
|---|------------------------------|----------------------|---------------------|-------|-------------------|
| | | | เกลบ | ถ่าน | ลูกบอล พลาสติก |
| อุณหภูมิ | °C | 27.5 | 27.7 | 27.8 | 27.7 |
| พีเอช | - | 6.95 | 7.95 | 8.23 | 8.23 |
| โออาร์พี | มิลลิโวลต์ | -160 | -294 | -294 | -287 |
| กรดไขมันระเหย | มก./ล. กรดอะซิติก | N/A | 292.2 | 309.0 | 319.5 |
| สภาพค่าทั้งหมด | มก./ล. แคลเซียม คาร์บอเนต | N/A | 731.8 | 780.3 | 699.1 |
| อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพค่าทั้งหมด | มก./ล. | N/A | 0.41 | 0.40 | 0.46 |
| ซีโอดีทั้งหมด | มก./ล. | 2,979.8 | 71 | 67 | 64 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ทั้งหมด | % | N/A | 97.62 | 97.75 | 97.85 |
| ตะกอนแขวนลอย | มก./ล. | 508.1 | 23.9 | 23.4 | 22.5 |
| ประสิทธิภาพการบำบัด ตะกอนแขวนลอย | % | N/A | 95.30 | 95.39 | 95.57 |
| ตะกอนแขวนลอยระเหย | มก./ล. | 478.5 | 22.8 | 21.7 | 21.9 |
| ประสิทธิภาพการบำบัด ตะกอนแขวนลอยระเหย | % | N/A | 95.24 | 95.47 | 95.42 |
| ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น | ลิตร/วัน | N/A | 3.54 | 3.46 | 3.95 |
| สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซ ชีวภาพ | % | N/A | 65.56 | 64.29 | 73.53 |

4.4.1 อุณหภูมิ

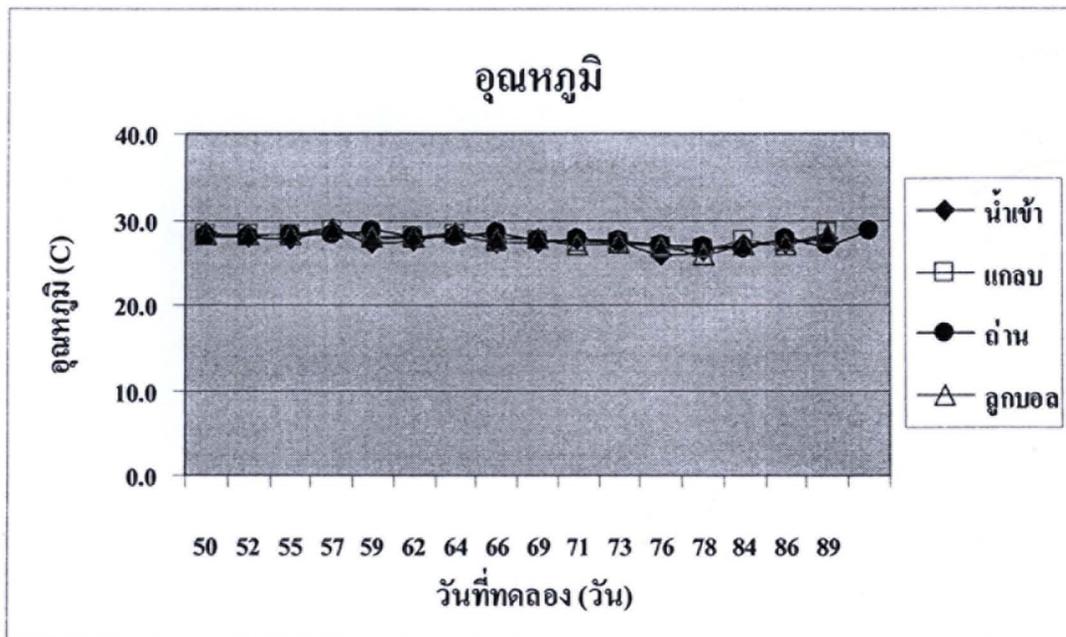
อุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.11 โดยจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 26.0-28.8 °C โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 26.7-28.6, 26.7-28.7 และ 26.0-28.9 °C ตามลำดับ

4.4.2 พีเอช (pH)

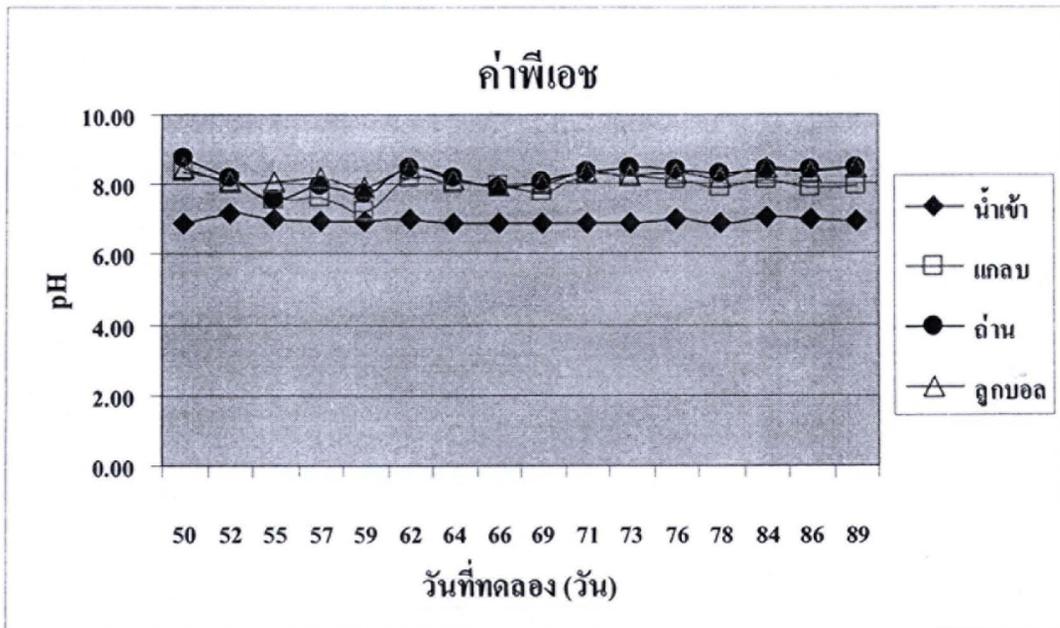
ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.12 โดยจะเห็นว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.87-7.18 โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7.23-8.33, 7.55-8.76 และ 7.90-8.48 ตามลำดับ

4.4.3 โออาร์พี (ORP)

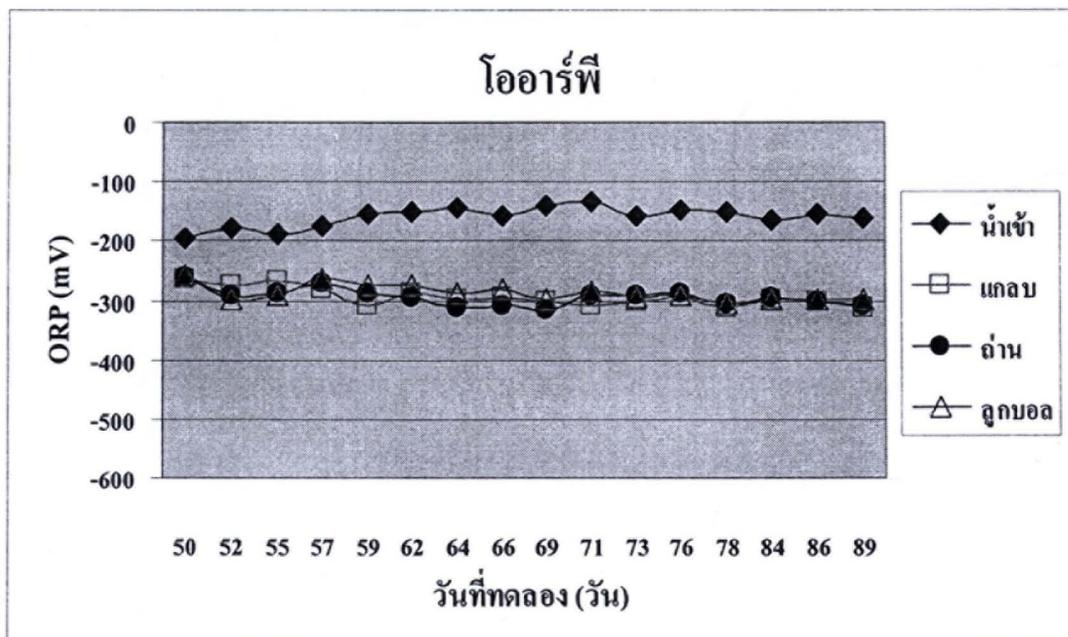
ค่าโออาร์พี (ORP) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.13 โดยจะเห็นว่าค่าโออาร์พีของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง -196 ถึง -132 มิลลิโวลต์ โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าโออาร์พีอยู่ระหว่าง -311 ถึง -264, -315 ถึง -259 และ -306 ถึง -257 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11 ค่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 6 วัน



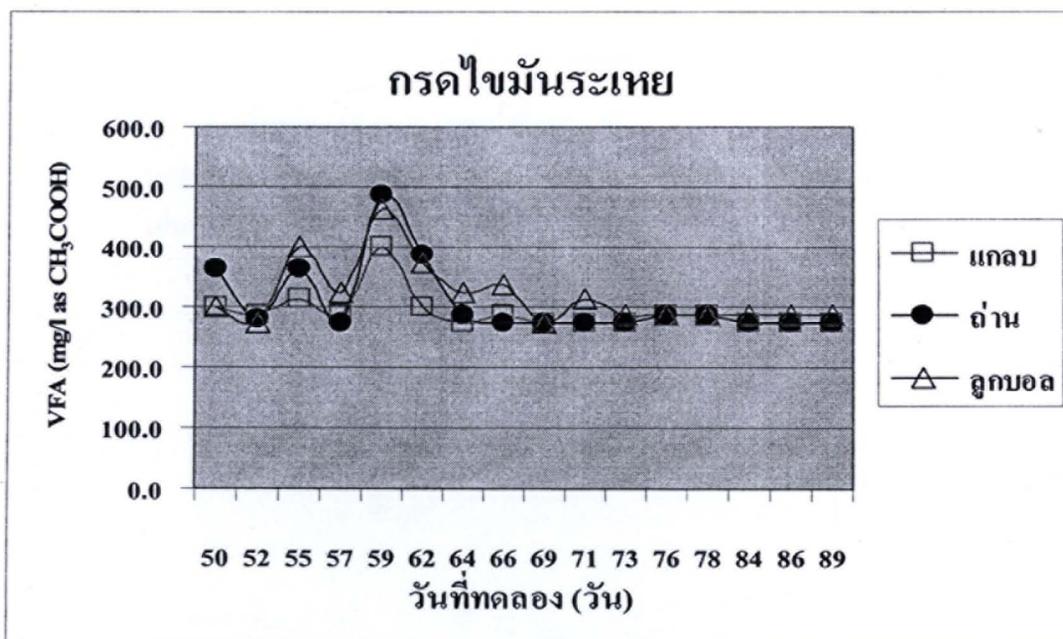
ภาพที่ 4.12 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีไอคี่/ลิตร-วัน เวลาเก็บน้ำ 6 วัน



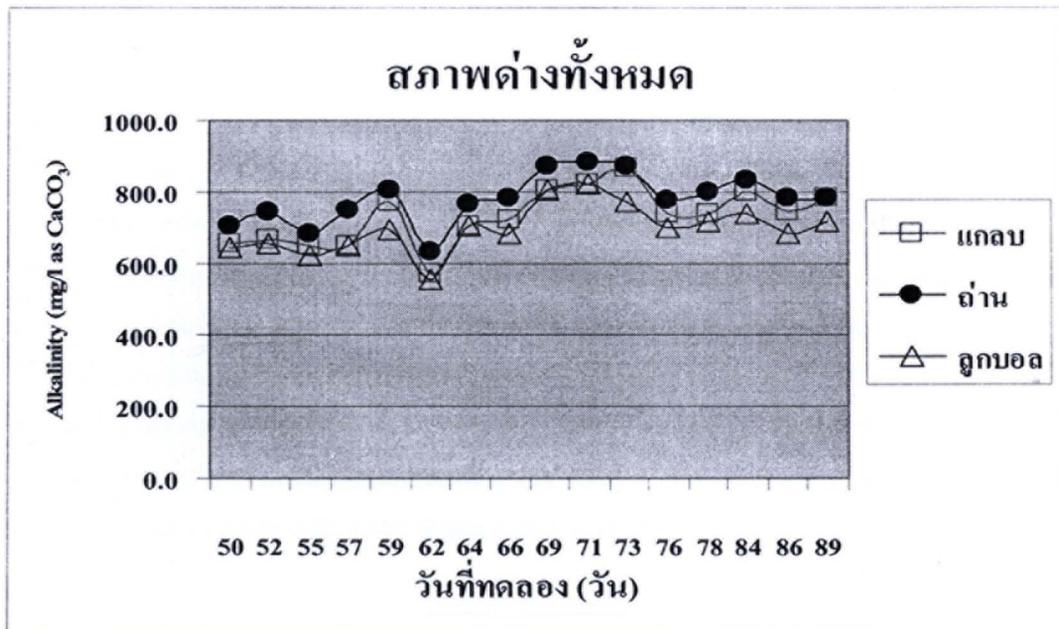
ภาพที่ 4.13 ค่าโออาร์พี (ORP) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีไอคี่/ลิตร-วัน เวลาเก็บน้ำ 6 วัน

4.4.4 กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

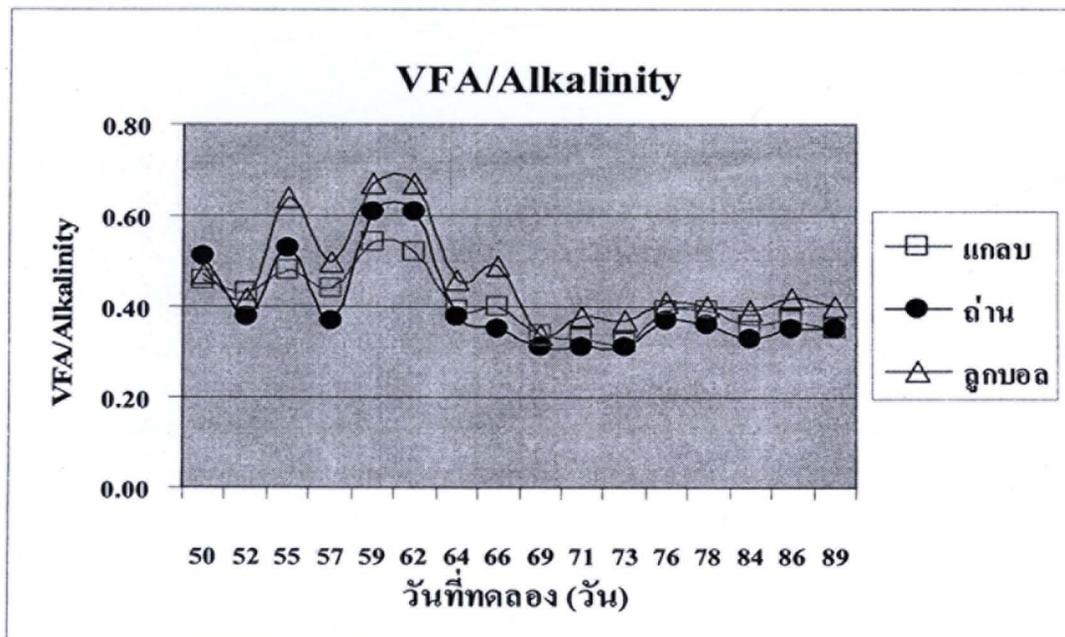
กรดไขมันระเหยง่าย สภาพต่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่ากรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 275-400, 275-487.5 และ 275-462.5 มก./ล. (ในรูปของกรดอะซิติก) ตามลำดับ สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 575-867, 633-883 และ 558-825 มก./ล. (ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตามลำดับ และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.32-0.54, 0.31-0.61 และ 0.34-0.67 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.14 กรดไขมันระเหย (VFA) ของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาเก็บน้ำ 6 วัน



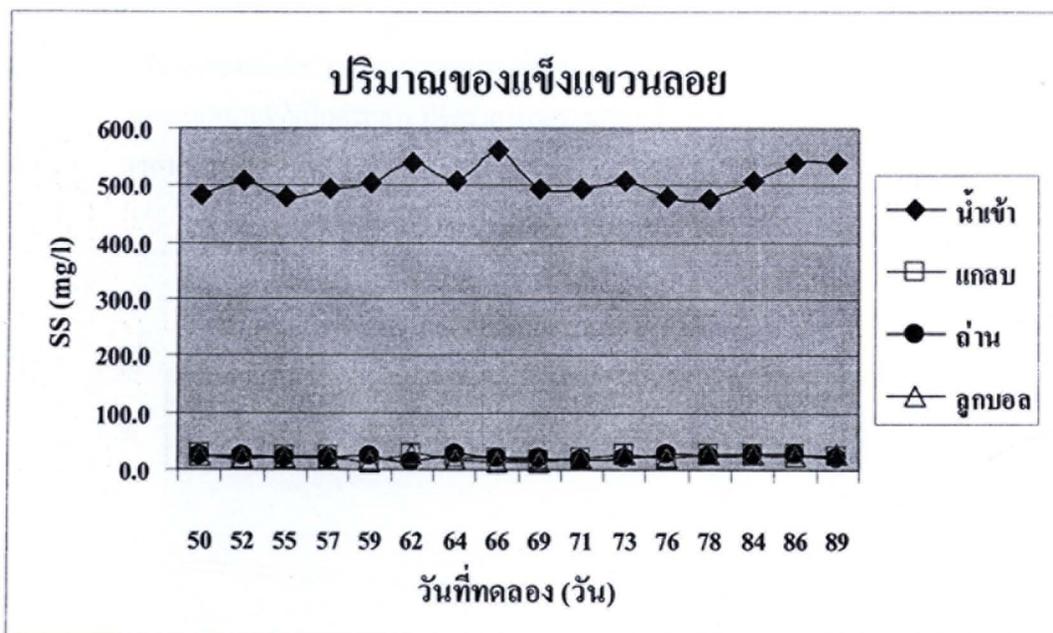
ภาพที่ 4.15 สภาพต่างทั้งหมด (Alkalinity) ของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 6 วัน



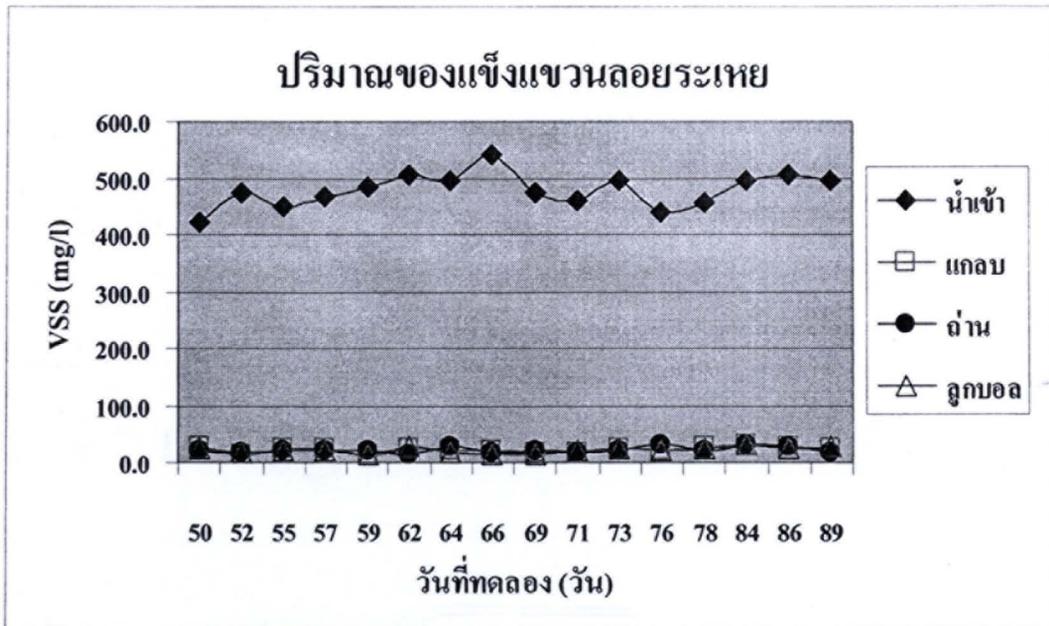
ภาพที่ 4.16 อัตราส่วนกรดระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 6 วัน

4.4.5 ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย

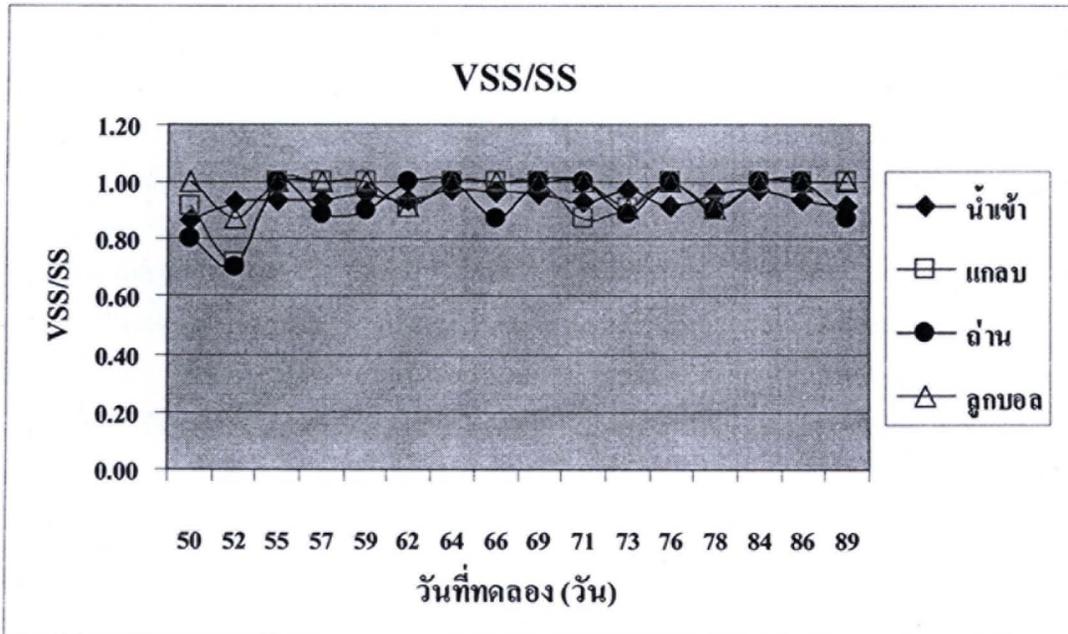
ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย แสดงคังภาพที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 475-560 มก./ล. และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 15-30, 15-30 และ 15-30 มก./ล. ตามลำดับ ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 420-540 มก./ล. และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 12.5-30, 15-30 และ 15-30 มก./ล. ตามลำดับ และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.87-0.97 และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.71-1.00, 0.70-1.00 และ 0.88-1.00 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.17 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาเก็บน้ำ 6 วัน



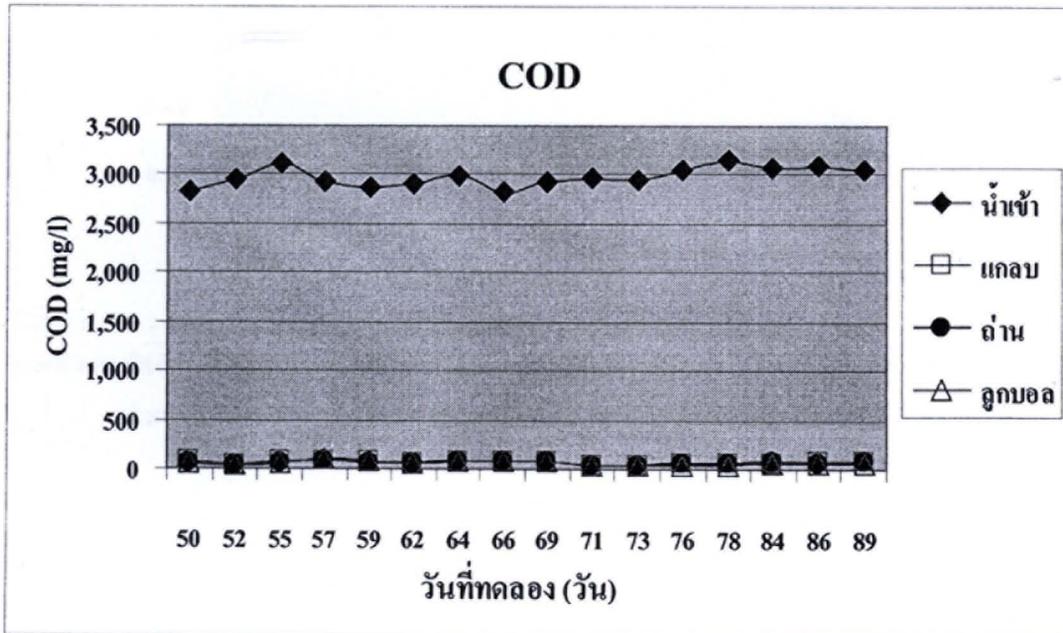
ภาพที่ 4.18 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 6 วัน



ภาพที่ 4.19 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 6 วัน

4.4.6 ซีโอดี (COD)

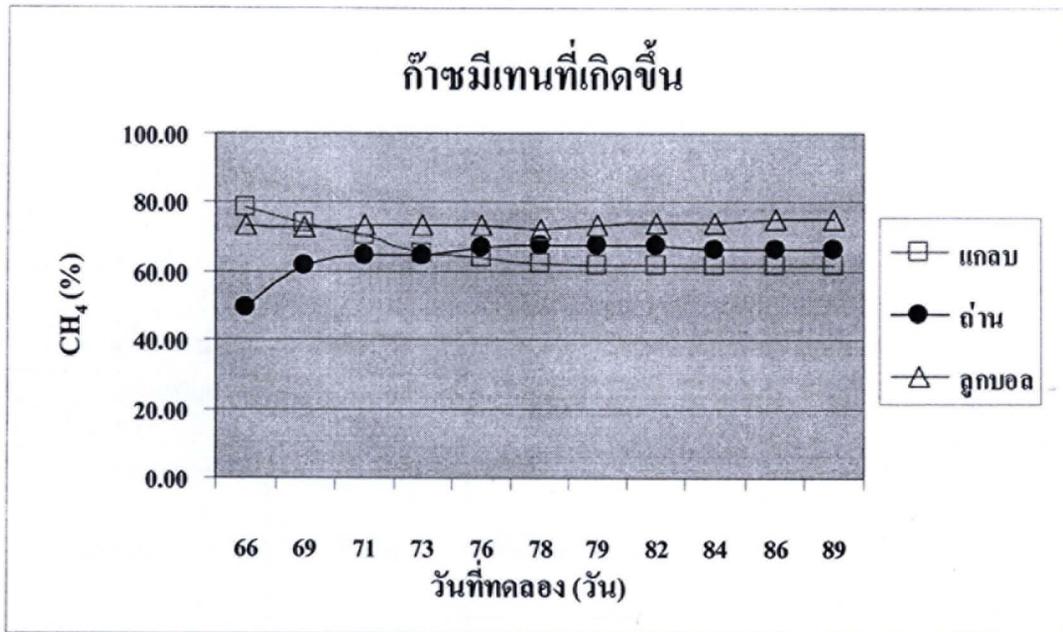
ค่าซีโอดี (COD) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.20 โดยจะเห็นว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 2,827-3,156 มก./ล. โดยน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีซีโอดีอยู่ระหว่าง 46-93, 34-88 และ 39-96 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.20 ค่าซีโอดีของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 6 วัน

4.4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

ถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 3.31-4.20, 2.66-2.62 และ 3.88-4.03 ลิตร/วัน ตามลำดับ และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง แสดงดังภาพที่ 4.21 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 61.37-78.30, 49.15-67.34 และ 72.30-75.11% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.21 สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 6 วัน

4.5 การทดลองช่วงดำเนินการ 2 (Operation 2)

การทดลองในช่วงการดำเนินการ 2 (Operation 2) ดำเนินการที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน อัตราการไหลเข้า 4.24 ลิตร/วัน และเวลากักเก็บน้ำ 2.5 วัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลากักเก็บน้ำ 2.5 วัน

| พารามิเตอร์ | หน่วย | น้ำเสียที่เข้าสู่ถัง | น้ำเสียที่ออกจากถัง | | |
|--|--------------------------|----------------------|---------------------|-------|---------------|
| | | | แกลบ | ถ่าน | ลูกบอลพลาสติก |
| อุณหภูมิ | ° C | 24.3 | 24.2 | 24.2 | 24.5 |
| พีเอช | - | 6.96 | 7.70 | 7.69 | 7.80 |
| โออาร์พี | มิลลิโวลท์ | -159 | -247 | -240 | -249 |
| กรดไขมันระเหย | มก./ล. กรดอะซิติก | N/A | 351.8 | 472.7 | 533.5 |
| สภาพค่างทั้งหมด | มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต | N/A | 1,168 | 1,183 | 1,152 |
| อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด | มก./ล. | N/A | 0.31 | 0.40 | 0.43 |
| ซีโอดีทั้งหมด | มก./ล. | 3,090.4 | 127.1 | 111.1 | 131.5 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมด | % | N/A | 95.89 | 96.41 | 95.75 |
| ตะกอนแขวนลอย | มก./ล. | 516.8 | 29.1 | 33.2 | 22.1 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดตะกอนแขวนลอย | % | N/A | 94.37 | 93.58 | 95.72 |
| ตะกอนแขวนลอยระเหย | มก./ล. | 467.0 | 27.7 | 30.0 | 20.7 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดตะกอนแขวนลอยระเหย | % | N/A | 94.07 | 93.58 | 95.57 |
| ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น | ลิตร/วัน | N/A | 3.39 | 3.37 | 4.11 |
| สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ | % | N/A | 63.03 | 62.63 | 76.52 |

4.5.1 อุณหภูมิ

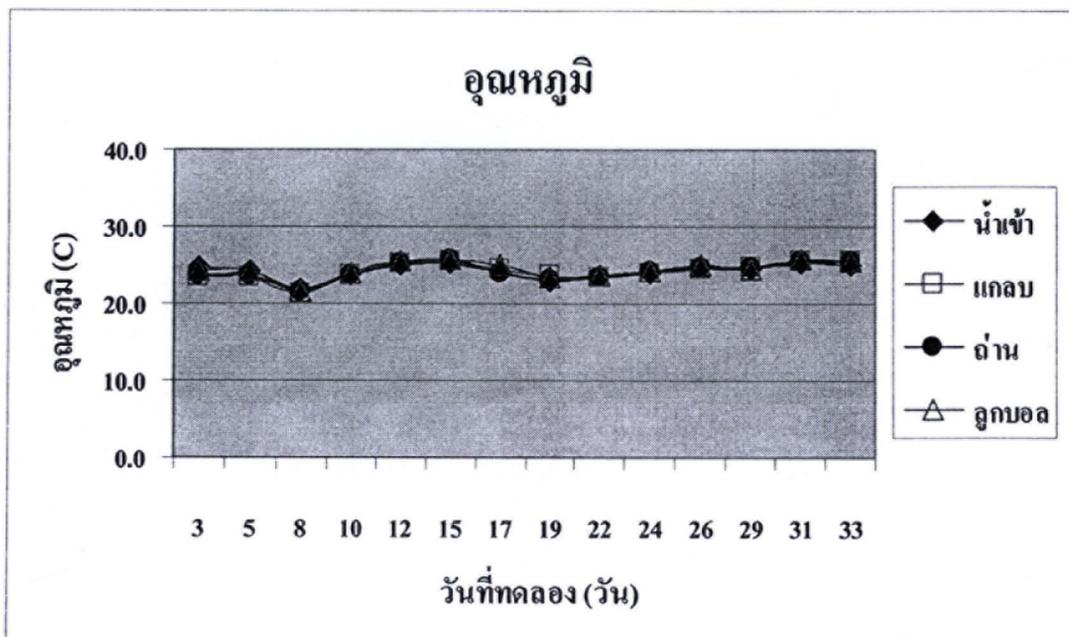
อุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.22 โดยจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 21.9-25.3 °C โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 21.4-25.6, 21.5-25.7 และ 21.6-25.7 °C ตามลำดับ

4.5.2 พีเอช (pH)

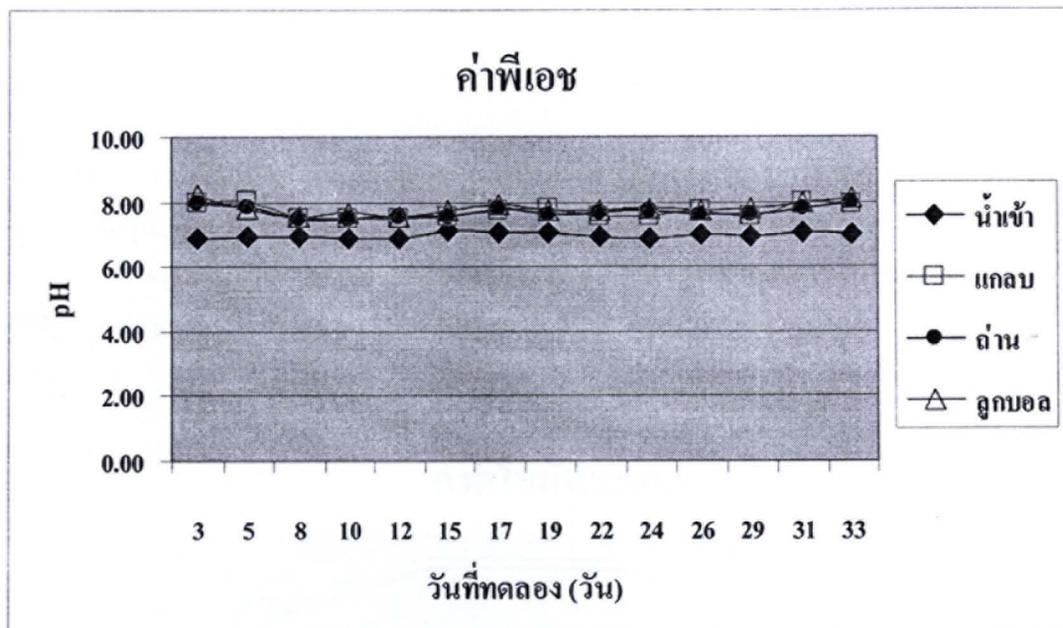
ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.23 โดยจะเห็นว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.85-7.11 โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7.47-8.01, 7.49-8.00 และ 7.53-8.20 ตามลำดับ

4.5.3 โออาร์พี (ORP)

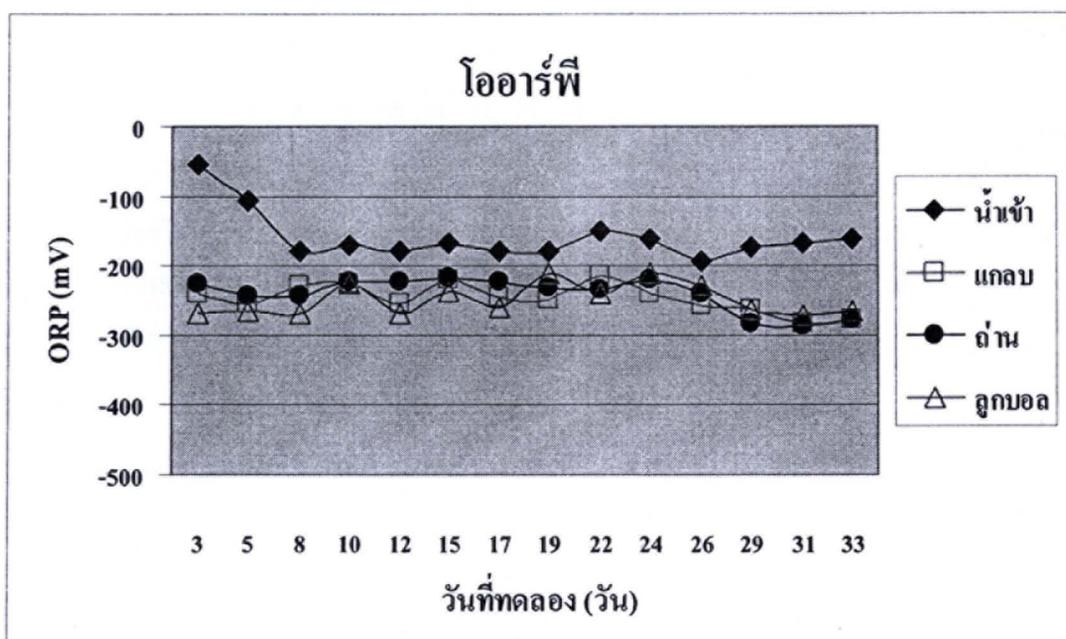
ค่าโออาร์พี (ORP) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.24 โดยจะเห็นว่าค่าโออาร์พีของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง -195 ถึง -56 มิลลิโวลต์ โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าโออาร์พีอยู่ระหว่าง -283 ถึง -213, -286 ถึง -217 และ -272 ถึง -210 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.22 ค่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีไอคี่/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน



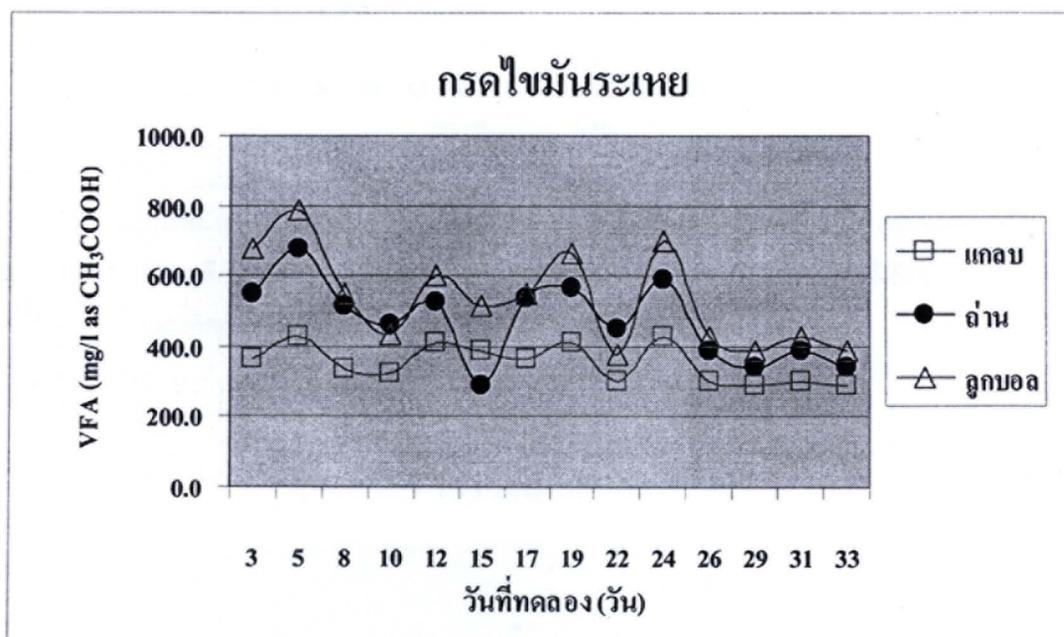
ภาพที่ 4.23 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน



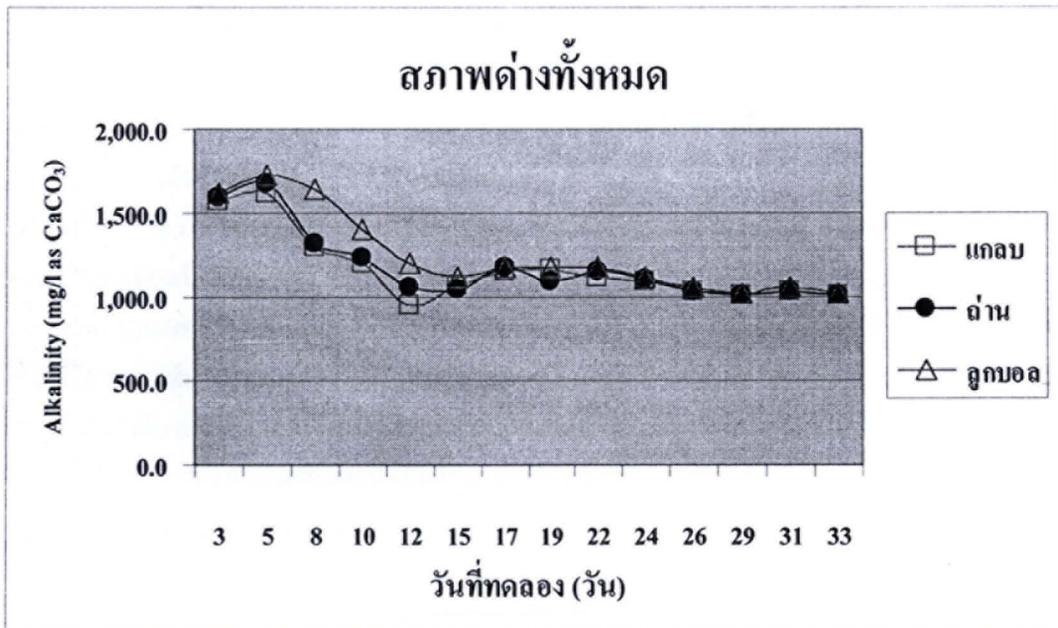
ภาพที่ 4.24 ค่าโออาร์พี (ORP) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน

4.5.4 กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

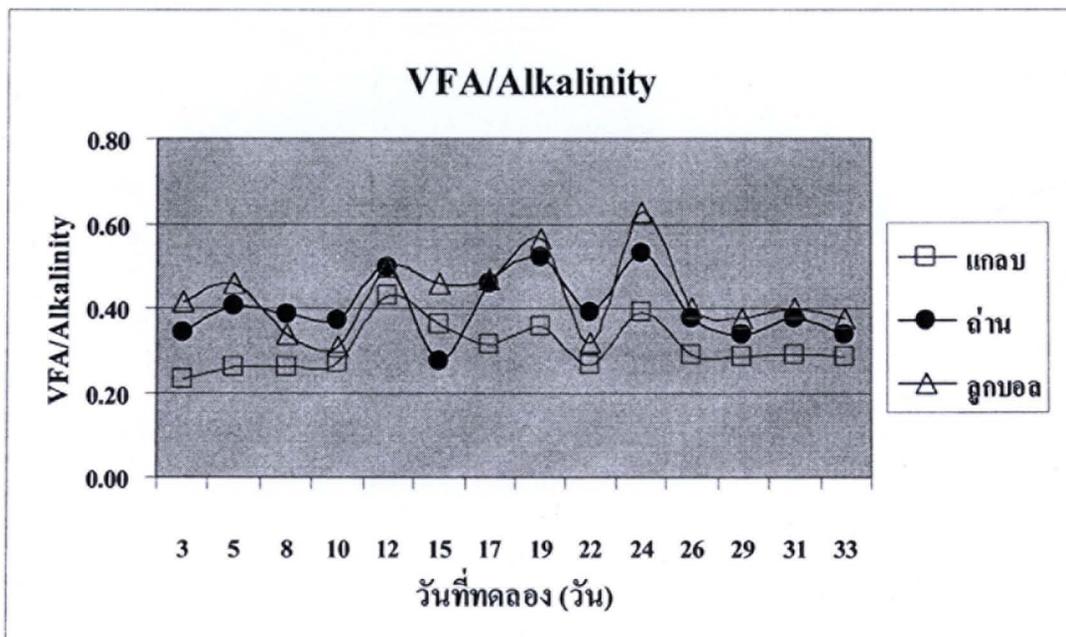
กรดไขมันระเหยง่าย สภาพต่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 4.25, 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่ากรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 287.5-425, 287.5-675 และ 375-787.5 มก./ล. (ในรูปของกรดอะซิติก) ตามลำดับ สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 957-1,625, 1,017-1,675 และ 1,025-1,725 มก./ล. (ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตามลำดับ และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.23-0.43, 0.28-0.53 และ 0.31-0.63 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.25 กรดไขมันระเหย (VFA) ของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาเก็บน้ำ 2.5 วัน



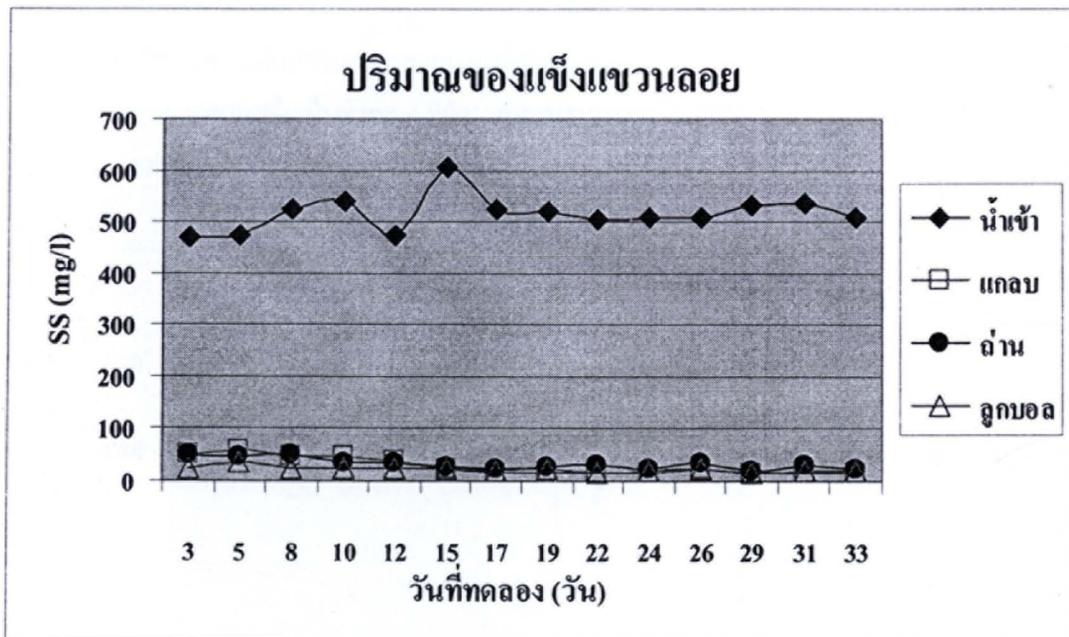
ภาพที่ 4.26 สภาพต่างทั้งหมด (Alkalinity) ของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน



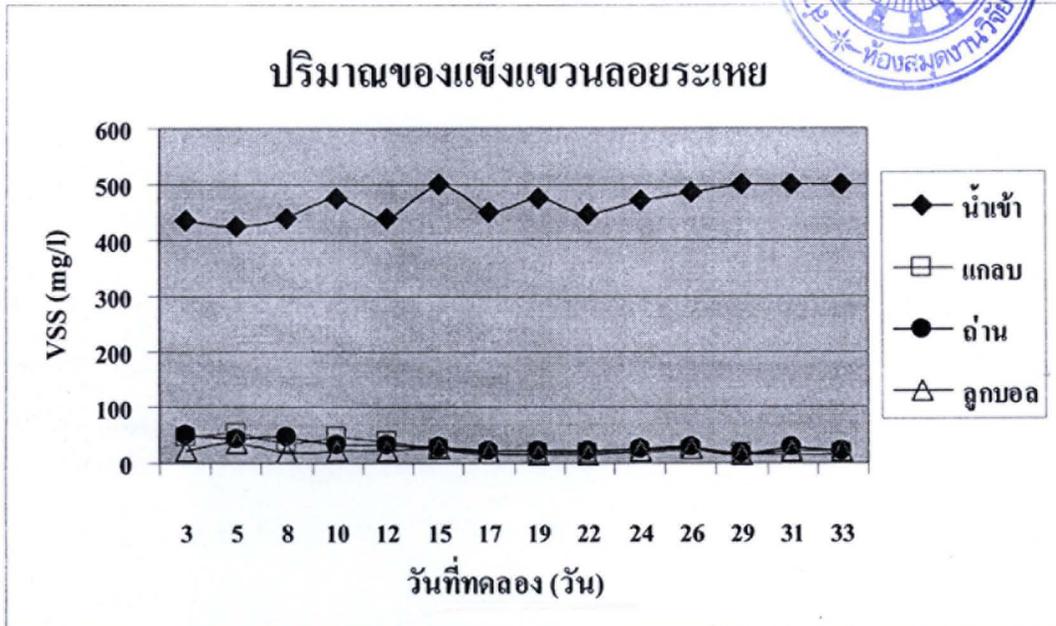
ภาพที่ 4.27 อัตราส่วนกรดระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน

4.5.5 ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย

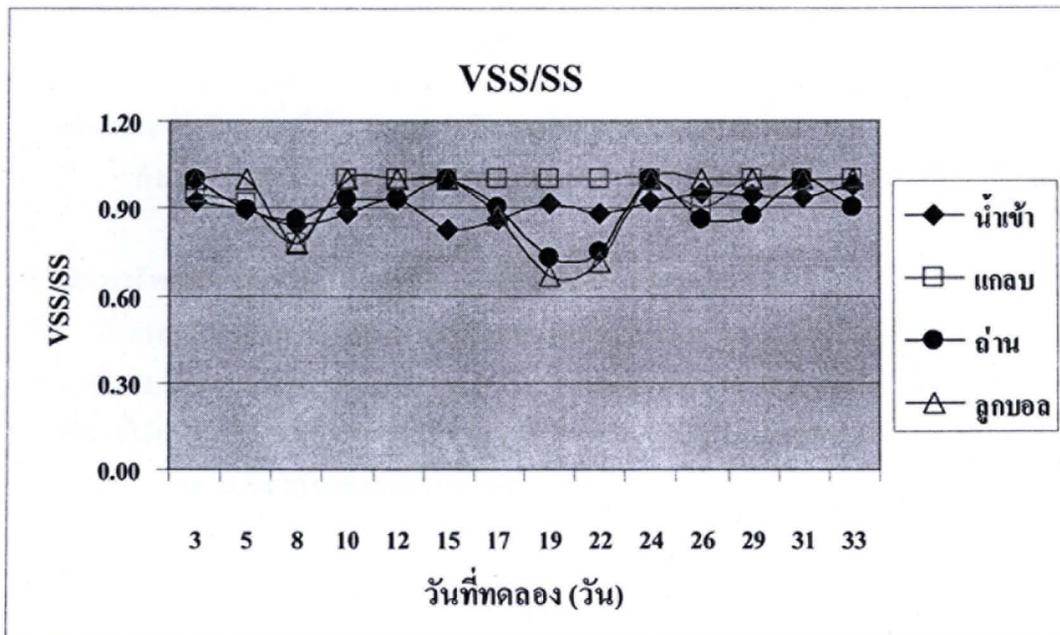
ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย แสดงดังภาพที่ 4.28, 4.29 และ 4.30 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 470-605 มก./ล. และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 15-60, 20-52.5 และ 15-35 มก./ล. ตามลำดับ ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 425-500 มก./ล. และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 15-55, 18-50 และ 13-35 มก./ล. ตามลำดับ และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.83-0.98 และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.78-1.00, 0.73-1.00 และ 0.67-1.00 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.28 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน



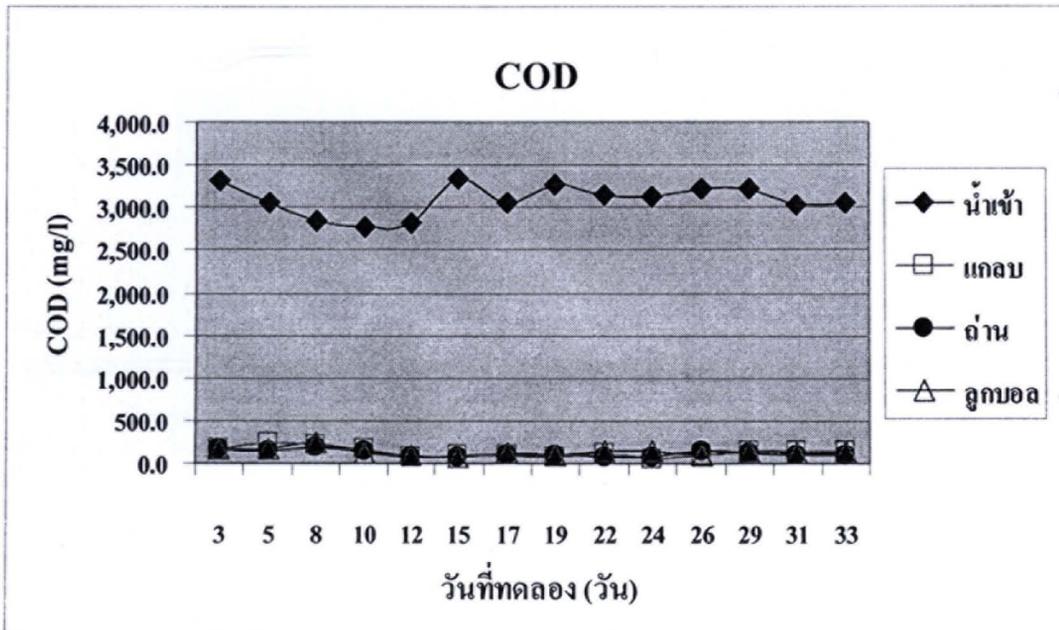
ภาพที่ 4.29 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน



ภาพที่ 4.30 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน

4.5.6 ซีโอดี (COD)

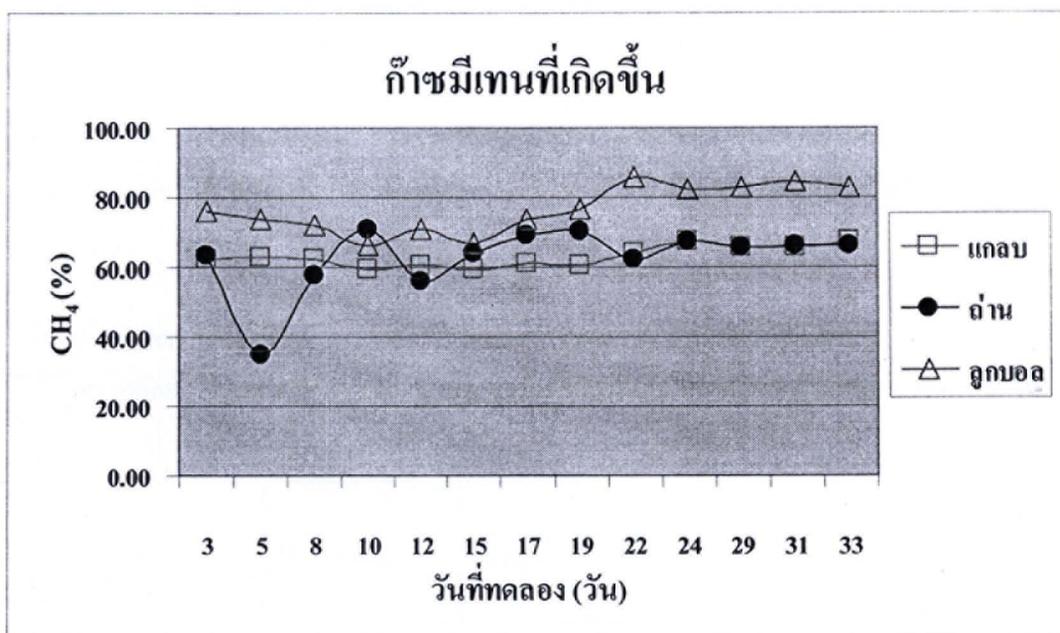
ค่าซีโอดี (COD) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.31 โดยจะเห็นว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 2,763-3,232.5 มก./ล. โดยน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีซีโอดีอยู่ระหว่าง 49-243.5, 68-185 และ 76-240 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.31 ค่าซีโอดีของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน

4.5.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

ถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 3.20-3.64, 1.89-3.81 และ 3.56-4.61 ลิตร/วัน ตามลำดับ และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง แสดงดังภาพที่ 4.32 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 59.34-67.78, 34.64-70.98 และ 66.15-85.94% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.32 สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็น
ตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.20 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 2.5 วัน

4.6 การทดลองช่วงดำเนินการ 3 (Operation 3)

การทดลองในช่วงการดำเนินการ 3 (Operation 3) ดำเนินการที่อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีโอดี-ลิตร/วัน อัตราการไหลเข้า 7.07 ลิตร/วัน และเวลากักเก็บน้ำ 1.5 วัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย และผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรอง ไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลากักเก็บน้ำ 1.5 วัน

| พารามิเตอร์ | หน่วย | น้ำเสียที่เข้าสู่ถัง | น้ำเสียที่ออกจากถัง | | |
|---|--------------------------|----------------------|---------------------|-------|---------------|
| | | | แกลบ | ถ่าน | ลูกบอลพลาสติก |
| อุณหภูมิ | °C | 24.4 | 24.6 | 24.8 | 25.0 |
| พีเอช | - | 7.00 | 7.63 | 7.68 | 7.80 |
| โออาร์พี | มิลลิโวลต์ | -194 | -269 | -254 | -239 |
| กรดไขมันระเหย | มก./ล. กรดอะซิติก | N/A | 404.5 | 426.5 | 426.1 |
| สภาพค่าทั้งหมด | มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต | N/A | 988.2 | 988.9 | 997.1 |
| อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่าทั้งหมด | มก./ล. | N/A | 0.41 | 0.43 | 0.43 |
| ซีโอดีทั้งหมด | มก./ล. | 2,977.8 | 132.4 | 136.6 | 145.4 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมด | % | N/A | 95.55 | 95.41 | 95.12 |
| ตะกอนแขวนลอย | มก./ล. | 432.5 | 30.8 | 35.8 | 33.6 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดตะกอนแขวนลอย | % | N/A | 92.88 | 91.72 | 92.23 |
| ตะกอนแขวนลอยระเหย | มก./ล. | 408.2 | 29.9 | 34.6 | 31.9 |
| ประสิทธิภาพการบำบัดตะกอนแขวนลอยระเหย | % | N/A | 92.68 | 91.52 | 92.19 |
| ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น | ลิตร/วัน | N/A | 3.39 | 3.52 | 4.40 |
| สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ | % | N/A | 62.92 | 65.43 | 81.97 |

4.6.1 อุณหภูมิ

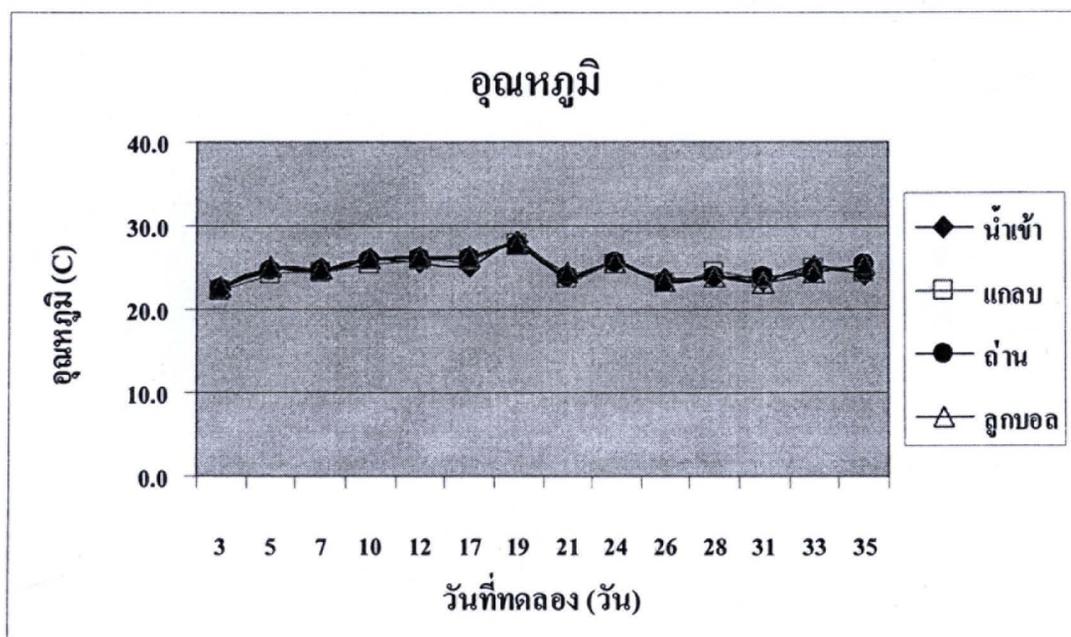
อุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.33 โดยจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22.4-28.1 °C โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22.3-27.7, 22.4-27.5 และ 22.7-27.9 °C ตามลำดับ

4.6.2 พีเอช (pH)

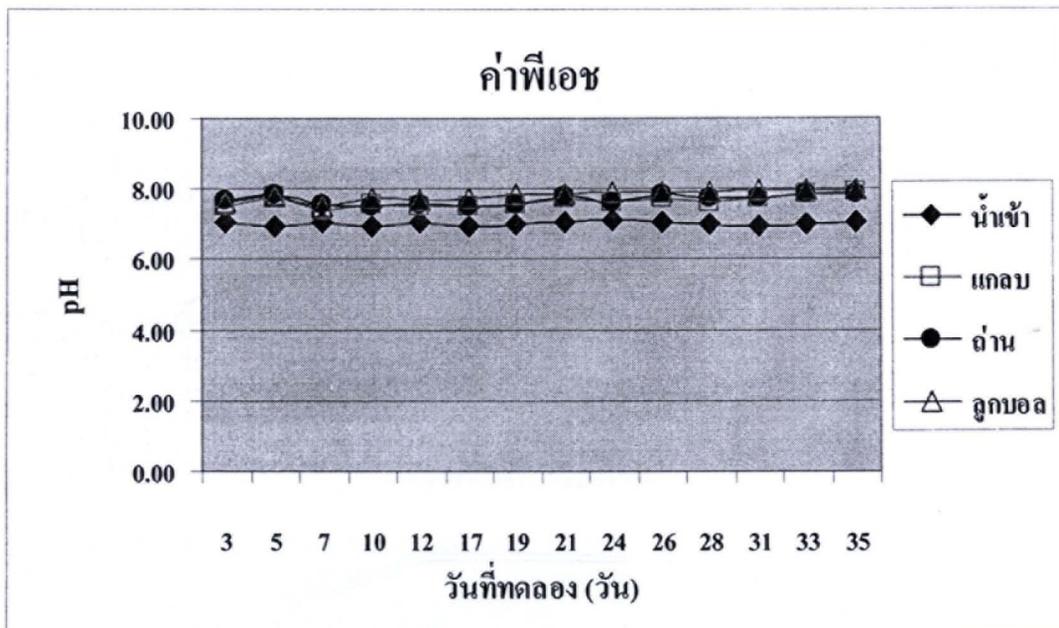
ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.34 โดยจะเห็นว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.93-7.08 โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7.36-7.89, 7.52-7.86 และ 7.50-7.97 ตามลำดับ

4.6.3 โออาร์พี (ORP)

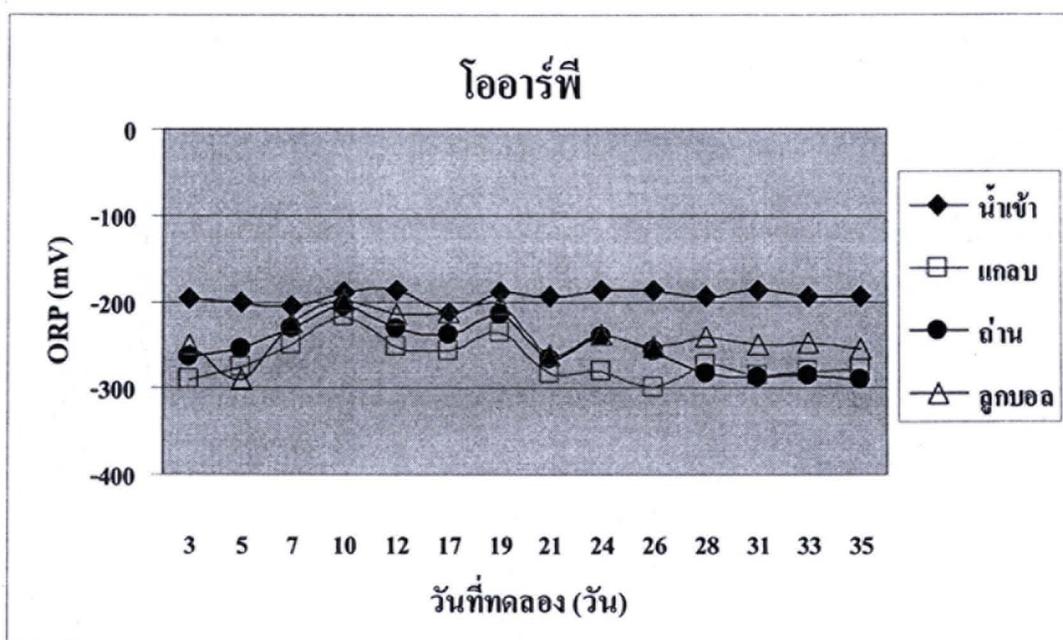
ค่าโออาร์พี (ORP) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.35 โดยจะเห็นว่าค่าโออาร์พีของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง -213 ถึง -186 มิลลิโวลต์ โดยน้ำเสียออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าโออาร์พีอยู่ระหว่าง -299 ถึง -217, -289 ถึง -207 และ -290 ถึง -199 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.33 ค่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 1.5 วัน



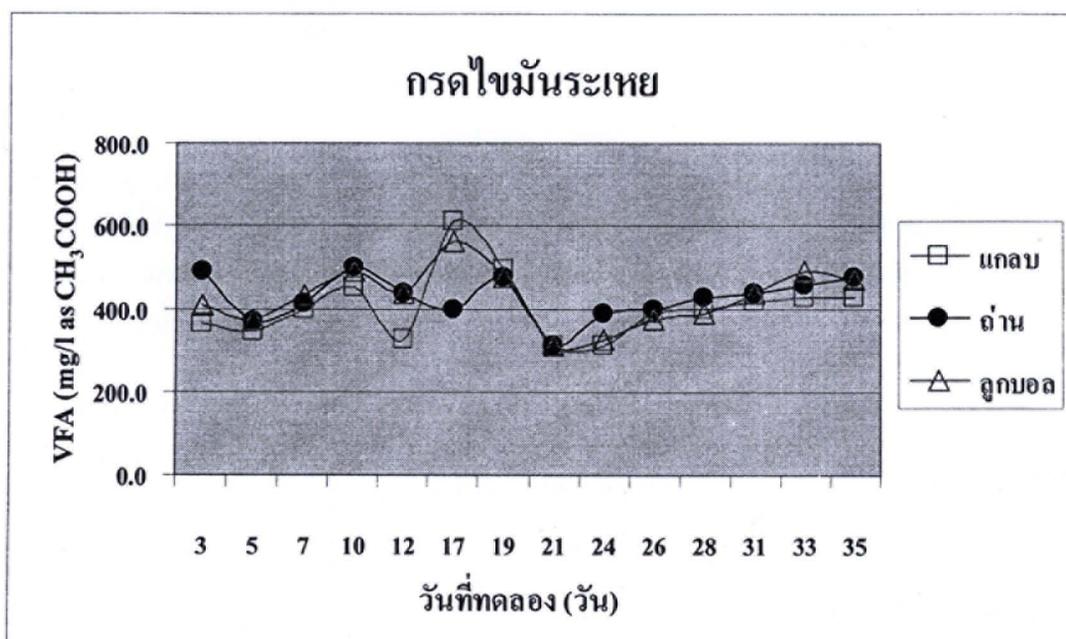
ภาพที่ 4.34 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 1.5 วัน



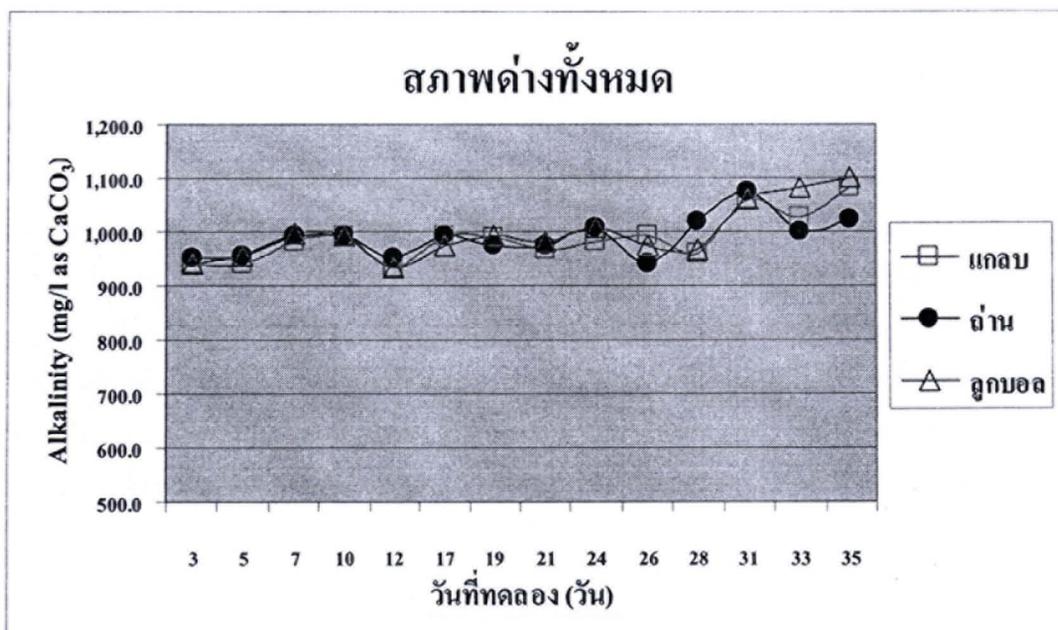
ภาพที่ 4.35 ค่าโออาร์พี (ORP) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 1.5 วัน

4.6.4 กรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

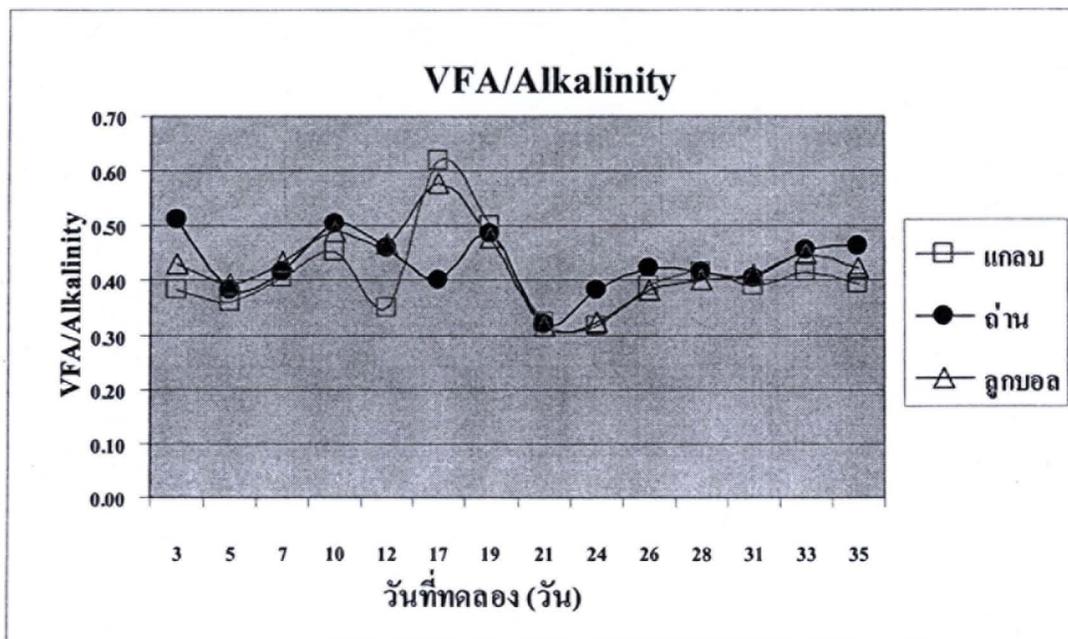
กรดไขมันระเหยง่าย สภาพต่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 4.36, 4.37 และ 4.38 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่ากรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 312.5-612.5, 312.5-500 และ 312.5-562.5 มก./ล. (ในรูปของกรดอะซิติก) ตามลำดับ สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 933-1,080, 942-1,075 และ 933-1,100 มก./ล. (ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต) ตามลำดับ และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.32-0.62, 0.32-0.51 และ 0.32-0.58 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.36 กรดไขมันระเหย (VFA) ของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาเก็บน้ำ 1.5 วัน



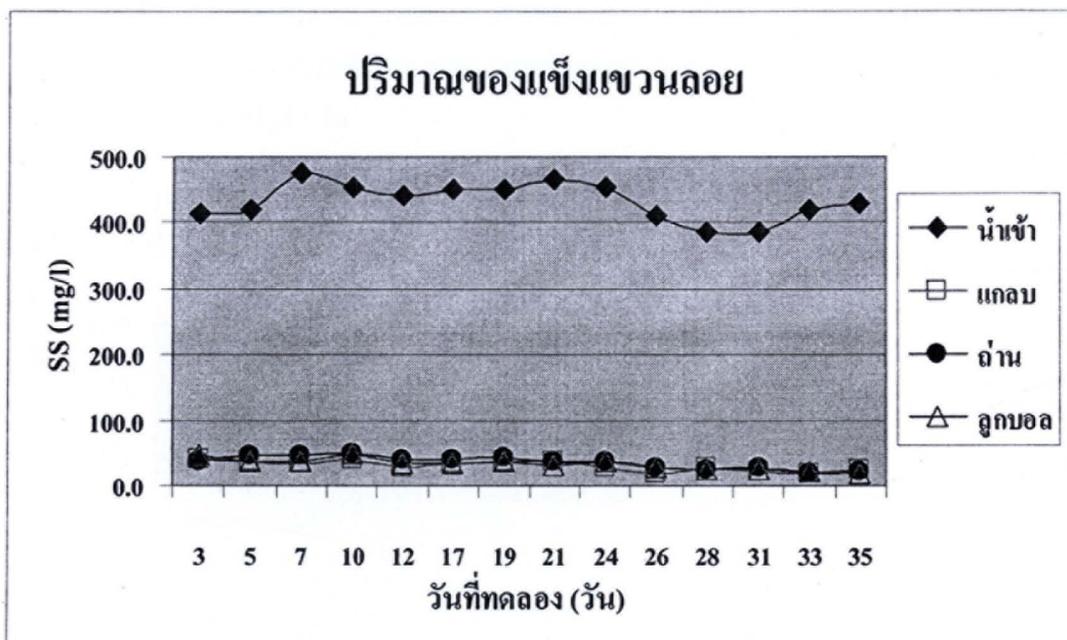
ภาพที่ 4.37 สภาพต่างทั้งหมด (Alkalinity) ของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาเก็บน้ำ 1.5 วัน



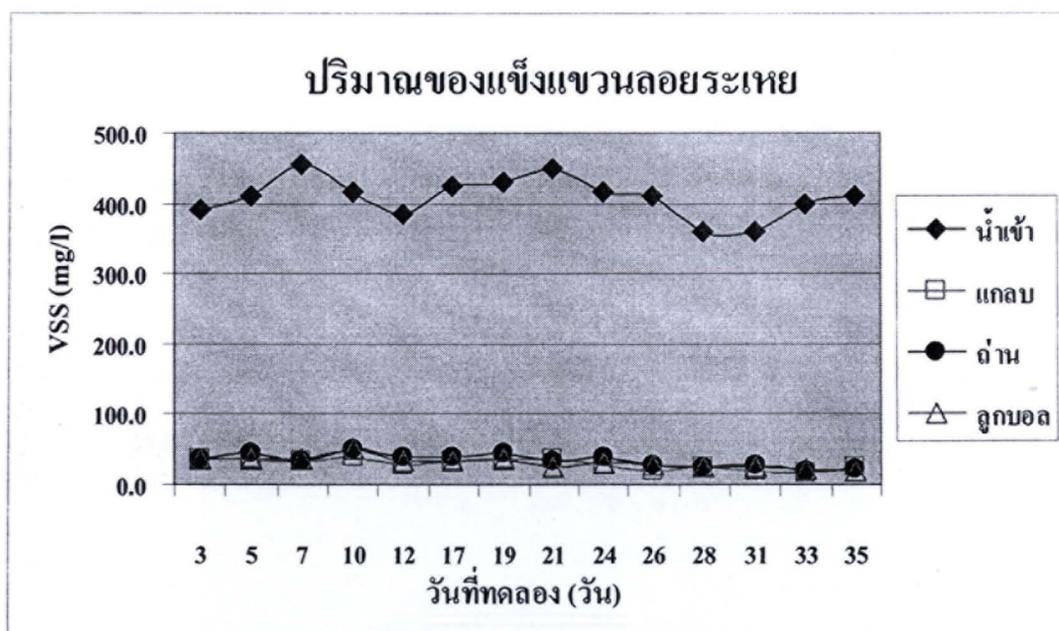
ภาพที่ 4.38 อัตราส่วนกรดระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาเก็บน้ำ 1.5 วัน

4.6.5 ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย

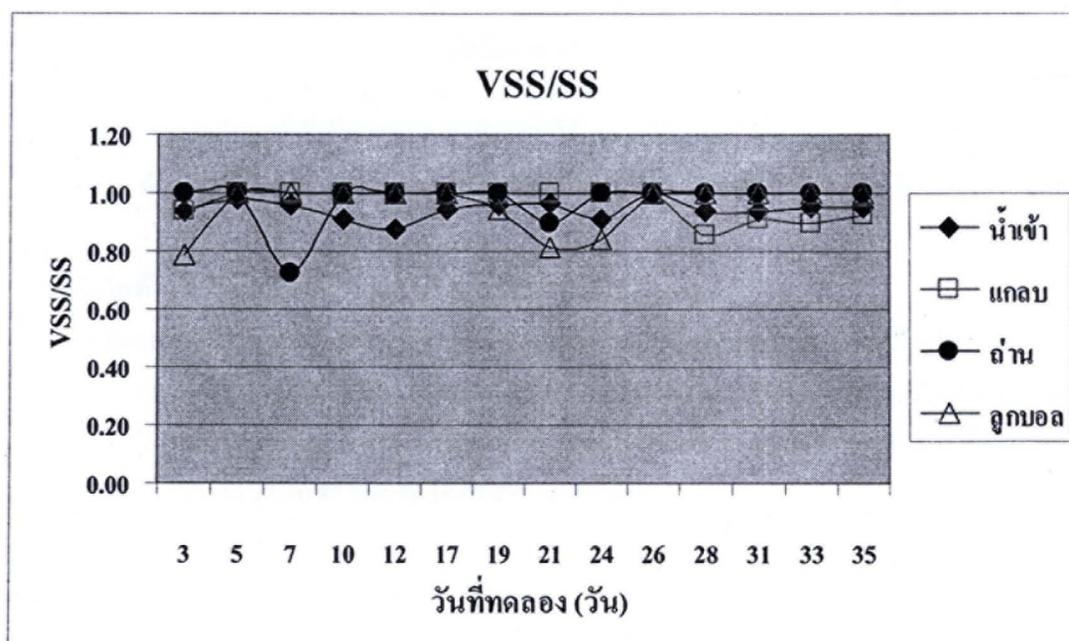
ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย แสดงดังภาพที่ 4.39, 4.40 และ 4.41 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 385-475 มก./ล. และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 20-40, 20-50 และ 20-50 มก./ล. ตามลำดับ ของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 360-455 มก./ล. และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 18-40, 20-50 และ 20-50 มก./ล. ตามลำดับ และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.88-1.00 และน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.86-1.00, 0.72-1.00 และ 0.79-1.00 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.39 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีไอซี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 1.5 วัน



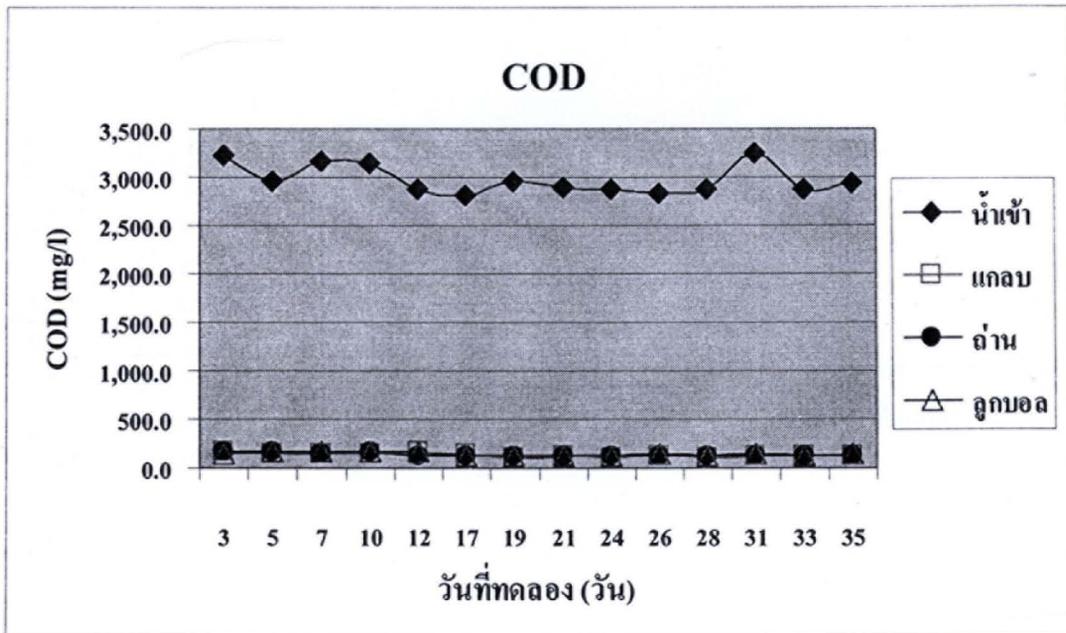
ภาพที่ 4.40 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 1.5 วัน



ภาพที่ 4.41 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 1.5 วัน

4.6.6 ซีโอดี (COD)

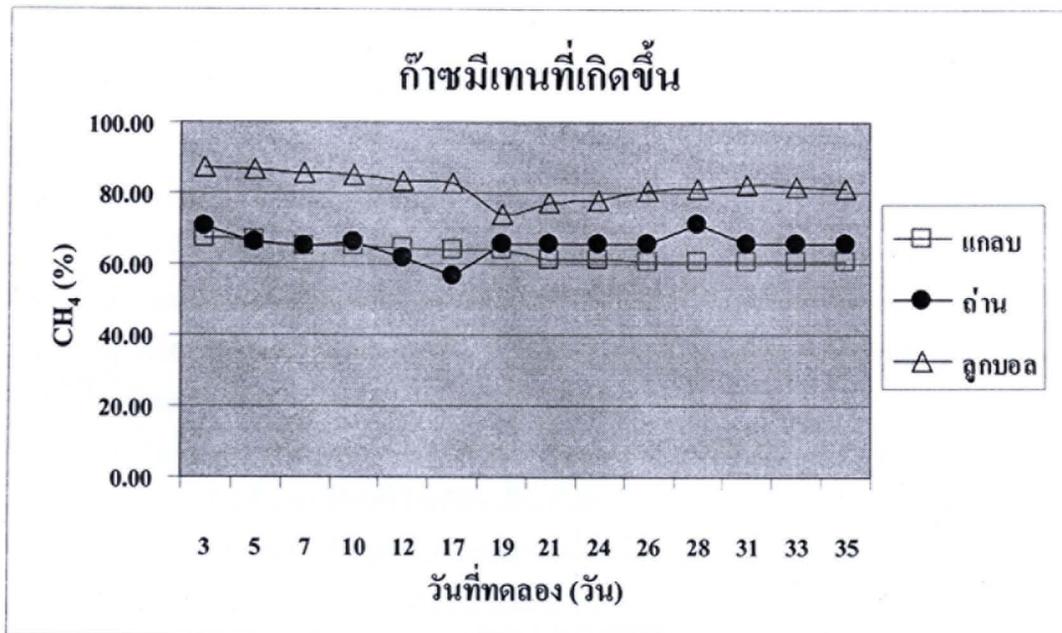
ค่าซีโอดี (COD) ของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศ แสดงดังภาพที่ 4.42 โดยจะเห็นว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 2,820-3,245.5 มก./ล. โดยน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีซีโอดีอยู่ระหว่าง 109-167, 118-172.5 และ 121.5-176 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.42 ค่าซีโอดีของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 1.5 วัน

4.6.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

ถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 3.25-3.63, 3.06-3.81 และ 3.98-4.69 ลิตร/วัน ตามลำดับ และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง แสดงดังภาพที่ 4.43 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 60.41-67.48, 56.77-70.87 และ 74.16-87.47% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.43 สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 1.5 วัน

4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็น ตัวกลาง ที่ช่วงต่างๆ ของการดำเนินการ

4.7.1 ค่าไออาร์พี

ค่าไออาร์พีเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งวัดระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในน้ำ มีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ โดยในน้ำที่มีออกซิเจน ค่าไออาร์พีจะเป็นบวก แสดงถึงความสามารถของสารละลายในการรับอิเล็กตรอน ส่วนน้ำที่ปราศจากออกซิเจน ค่าไออาร์พีจะเป็นลบ แสดงถึงความสามารถของสารละลายในการให้อิเล็กตรอน

ในช่วงเดินระบบ ค่าไออาร์พีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าขึ้น-ลง ไม่คงที่ โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ -192, -257, -245 และ -271 ตามลำดับ เนื่องจากเป็นช่วงที่ระบบกำลังปรับสภาพให้เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ระบบจึงยังไม่เกิดเสถียรภาพ

ในช่วงดำเนินการ ค่าไออาร์พีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -160, -294, -294 และ -287 ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -159, -247, -240 และ -249 ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -194, -269, -254 และ -239 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ค่าไออาร์พีของถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถัง มีค่าเป็นลบน้อยลง โดยทั้ง 3 ถังมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน ของถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถัง ดีกว่าที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.20 และ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งจะเป็นผลสอดคล้องกับค่าซีโอดี กรดไขมันระเหย และสภาพค่างทั้งหมดด้วย การเปรียบเทียบค่าไออาร์พีในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4.45

4.7.2 พีเอช กรดไขมันระเหย สภาพค่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด

ค่าพีเอช กรดไขมันระเหย และสภาพค่างทั้งหมดมีความสัมพันธ์กัน และยังสามารถบอกถึงความสมดุลของระบบด้วย ระบบไร้ออกซิเจนต้องมีการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลาง เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนมีการเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8-7.2 สำหรับกรดไขมันระเหยควรมีค่าอยู่ 200-400 มก./ล. (ในรูปของกรดอะซิติก) และสภาพค่างทั้งหมดควรมีค่า 1,500-2,000 มก./ล. (ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต) แสดงถึงการทำงานของระบบเป็นไปได้อย่างดีและเป็นตัวกำหนดค่าพีเอชอีกด้วย อัตราส่วนกรดไขมันระเหย (ในรูปของกรดอะซิติก) ต่อ สภาพค่างทั้งหมด (ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต) น้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีสภาพค่างเพียงพอและระบบสามารถทำงานได้ดี ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่าระบบมีสภาพค่างไม่เพียงพอที่จะรักษาพีเอชเป็นกลางไว้ได้ (Speece., 1995)

ค่าพีเอชในช่วงเดินระบบและช่วงดำเนินการ ทำการควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าระบบให้มีค่าอยู่ระหว่าง 6.8-7.2 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.05, 7.63, 8.10 และ 7.90 ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.95, 7.95, 8.23 และ 8.23 ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.96, 7.70, 7.69 และ 7.80 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.00, 7.63, 7.68 และ 7.80 จะเห็นว่าถังกรองไร้อากาศที่มีถ่านเป็นตัวกลางมีค่าพีเอชสูงกว่าถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบและถ่านเป็นตัวกลาง ค่าพีเอชจะต้องสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพค่างทั้งหมด ถ้ากรดไขมันระเหยมากขึ้น และสภาพค่างทั้งหมดมีค่าน้อยลง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชได้ง่าย จากการทดลองจะเห็นว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถัง มีค่าค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้น ระบบมีค่าพีเอชลดลงเล็กน้อย แต่ก็ยังคงสามารถรักษาระดับค่าพีเอชไว้ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.46

กรดไขมันระเหยง่ายของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 273.8, 341.4 และ 319.6 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 292.2, 309.0 และ 319.5 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 351.8, 472.7 และ 533.5 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 404.5, 426.5 และ 426.1 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ จะเห็นว่าในช่วงเดินระบบ ปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าไม่คงที่และส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 200 มก./ล. ในรูปของกรดอะซิติก แสดงว่ากระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนได้ยังทำงานได้ไม่ค่อยดี แบคทีเรียอยู่ในช่วงกำลังปรับตัวให้พร้อมสำหรับกระบวนการบำบัดต่อไป เมื่อเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้น กรดไขมันระเหยของถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถัง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยกรดไขมันระเหยของถังกรองไร้อากาศที่มีลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลางเพิ่มสูงกว่าถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบและถ่านเป็นตัวกลาง แสดงดังภาพที่ 4.47 แสดงว่าในระบบมีการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายมากขึ้น แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนอาจมีปริมาณไม่เพียงพอกับการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยให้เป็นก๊าซมีเทนในทันที แต่เมื่อผ่านไประยะหนึ่ง ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น กรดไขมันระเหยก็จะค่อยๆ ลดลงจนมีค่าคงที่ในที่สุด

สภาพค่างทั้งหมดของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 712.8, 834.6 และ 748.4 มก./ล. ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 731.8, 780.3 และ 699.1 มก./ล. ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,168.0, 1,183.0 และ 1,252.0 มก./ล. ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 988.2, 988.9 และ 997.1 มก./ล. ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ จะเห็นว่าจากการทดลองในช่วงเดินระบบ สภาพค่างทั้งหมดมีค่าน้อย แสดงถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนได้ แต่เมื่อเพิ่มการบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นจาก 0.50 เป็น 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน สภาพค่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก แล้วค่อยๆ ลดลงจนคงที่ แสดงดังภาพที่ 4.48 นั้นแสดงว่าระบบพยายามที่จะรักษากำลังบัฟเฟอร์และเสถียรภาพของระบบไว้

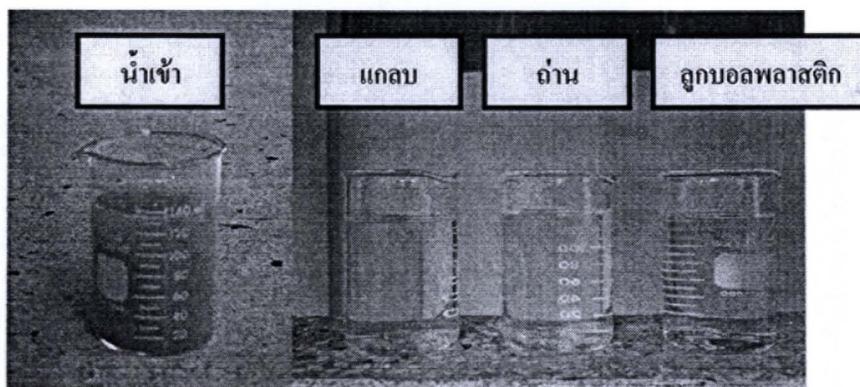
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพค่างทั้งหมดของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นศูนย์กลาง ในช่วงเดินระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.42, 0.40 และ 0.42 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.41, 0.40 และ 0.46 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.31, 0.40 และ 0.43 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.41, 0.43 และ 0.43 ตามลำดับ จะเห็นว่าจากการทดลองในช่วงเดินระบบ อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพค่างทั้งหมดมีค่าขึ้น-ลง ไม่แน่นอน แต่ก็อยู่ในช่วงไม่เกิน 0.80 แสดงว่าระบบมีกำลังบำบัดพอรองรับค่า กรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงได้อย่างมาก ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมระบบอัตราส่วนนี้ในระหว่างการควบคุมระบบ แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้น อัตราส่วนนี้มีแนวโน้มลดลงอยู่ในช่วง 0.3-0.4 แสดงว่าระบบสามารถทำงานได้ดีขึ้น โดยถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถังมีอัตราส่วนนี้ใกล้เคียงกัน แสดงดังภาพที่ 4.49 นั้นแสดงว่าถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถังมีความสามารถทำงานได้ดีใกล้เคียงกัน เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น

4.7.3 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

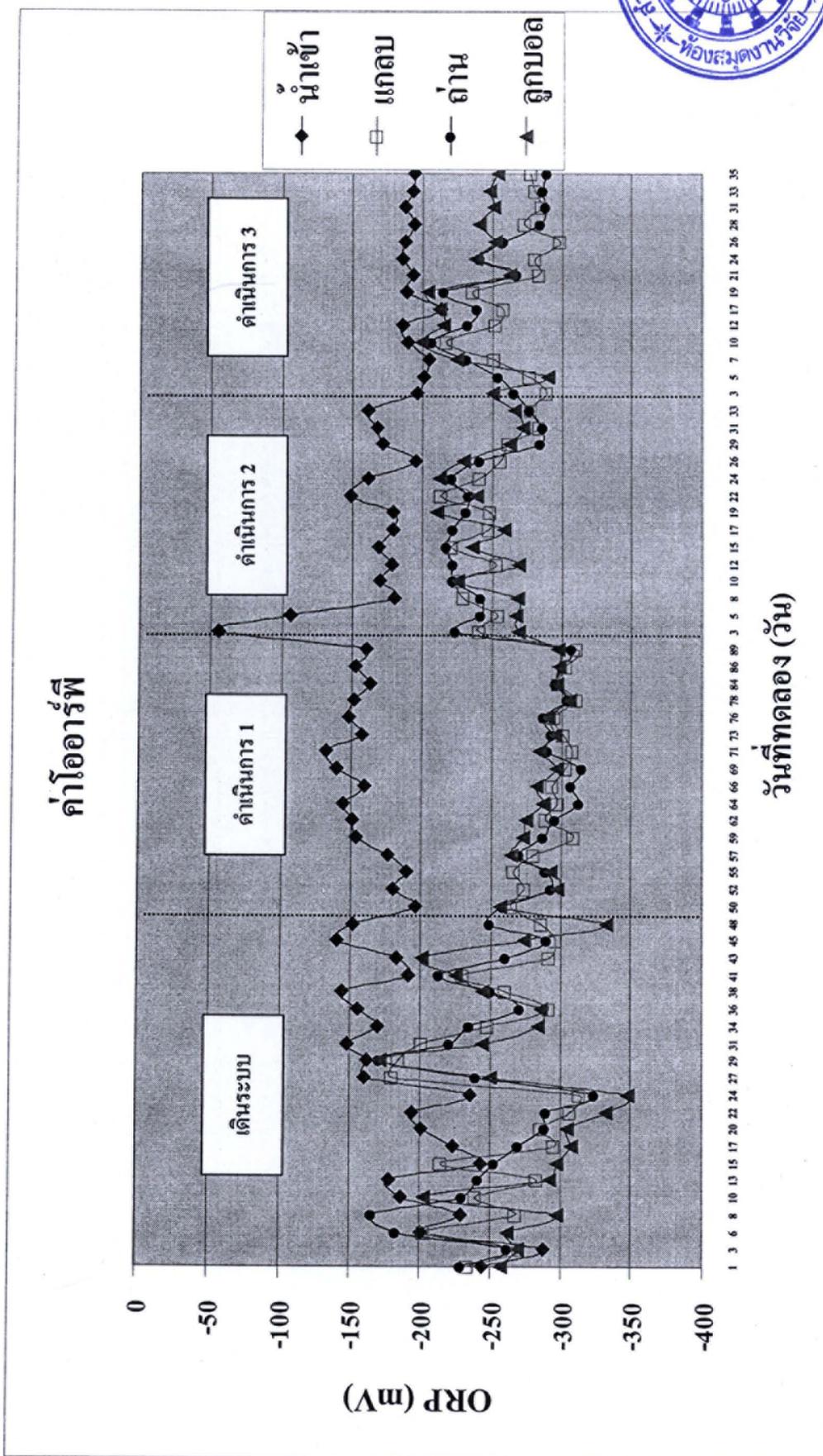
ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นศูนย์กลาง ในช่วงเดินระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,860.0, 404, 395 และ 438 มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,979.8, 71.3, 66.9 และ 63.6 มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,090.4, 127.1, 111.1 และ 131.5 มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,977.8, 132.4, 136.6 และ 145.4 มก./ล. ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.50 จะเห็นว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางทั้ง 3 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีค่าไม่เกิน 120 มก./ล. เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้น น้ำเสียที่ออกจากระบบถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถัง มีค่าซีโอดีเพิ่มมากขึ้น แสดงว่า ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วันเหมาะสมสำหรับการบำบัดซีโอดี แต่เมื่อพิจารณาจากความใสของน้ำเสียที่ออกจากระบบถังกรองไร้อากาศ จะเห็นว่า ถังกรองไร้อากาศที่มีถ่านเป็นตัวกลาง น้ำมีความใสมากกว่าตัวกลางชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัด

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นศูนย์กลาง ในช่วงเดินระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85.87, 86.19, และ 84.69% ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 97.61, 97.76 และ 97.87% ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.89, 96.41 และ 95.75% ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.55, 95.41 และ 95.12% ตามลำดับ จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีจะค่อยๆ ลดลงเล็กน้อย และถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถัง มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีใกล้เคียงกัน

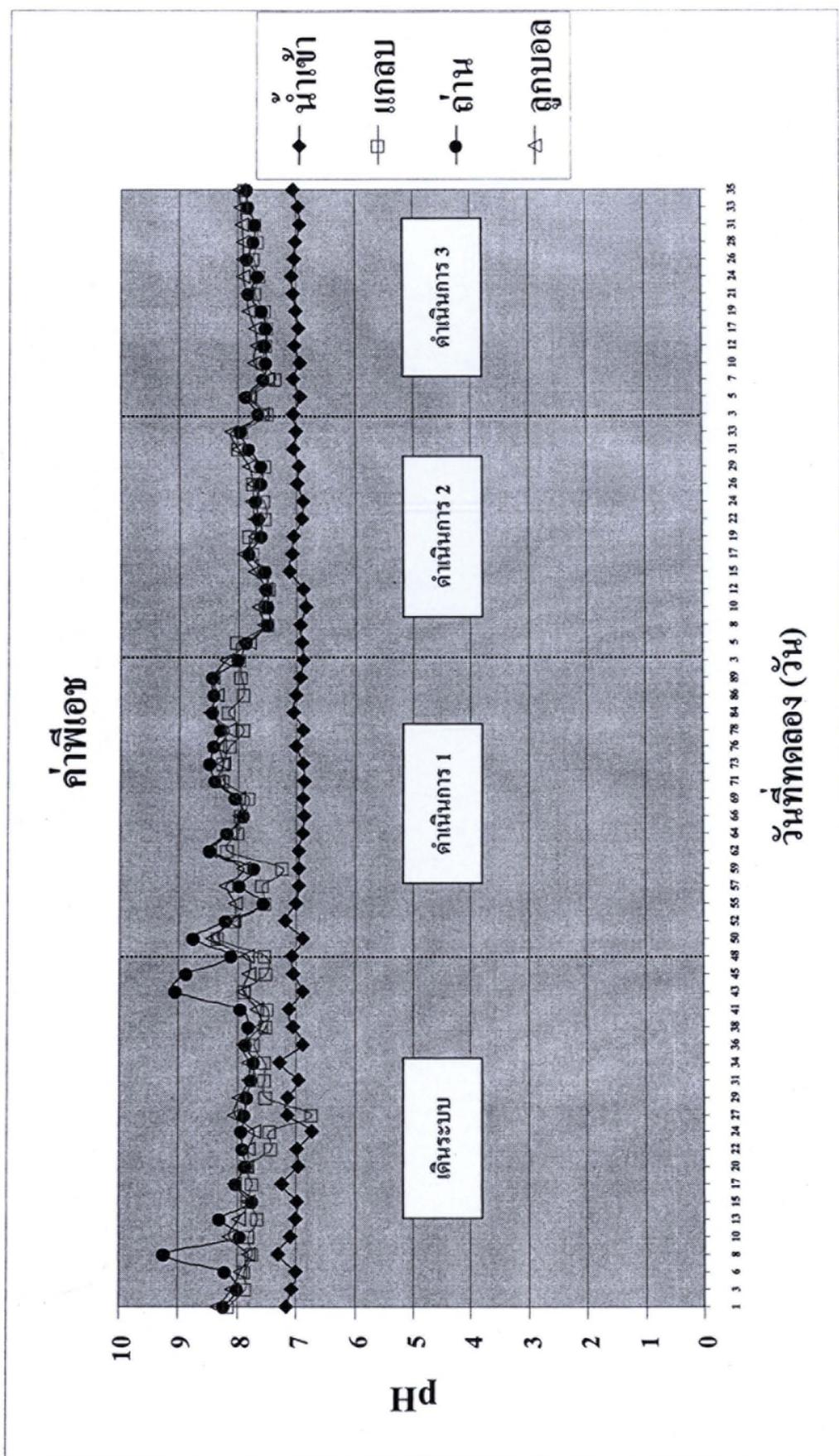
เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกหลายทางด้วยวิธีแบบแฟคทอเรียล ด้วยคำสั่ง Univariate พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีในถังกรองไร้อากาศด้วยวิธีการดำเนินการแต่ละวิธี (การบรรจุทุกระบายอินทรีย์) และชนิดของตัวกลางแต่ละชนิด มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการดำเนินการและชนิดของตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงดังตารางผนวก ข.3



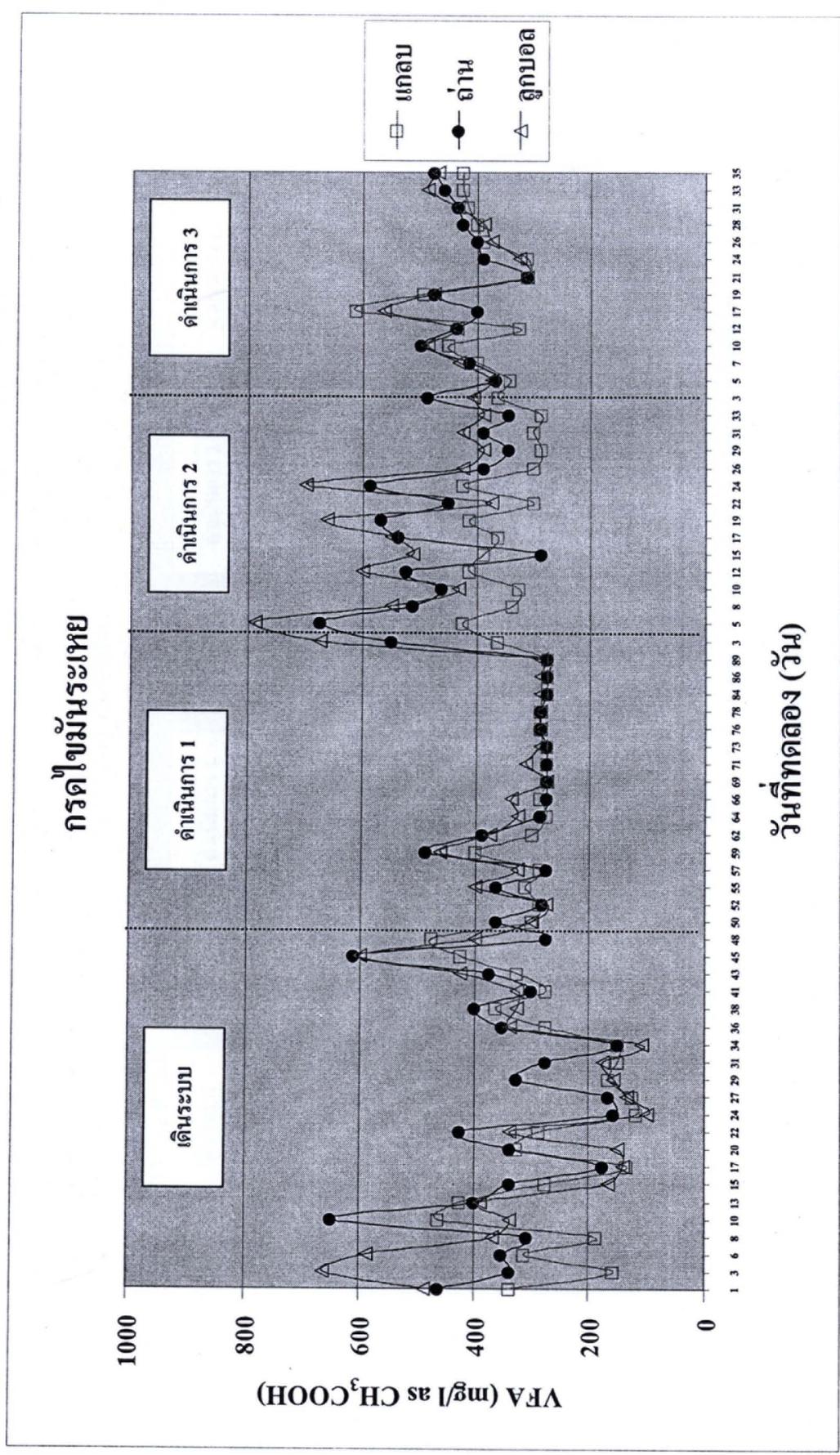
ภาพที่ 4.44 น้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง



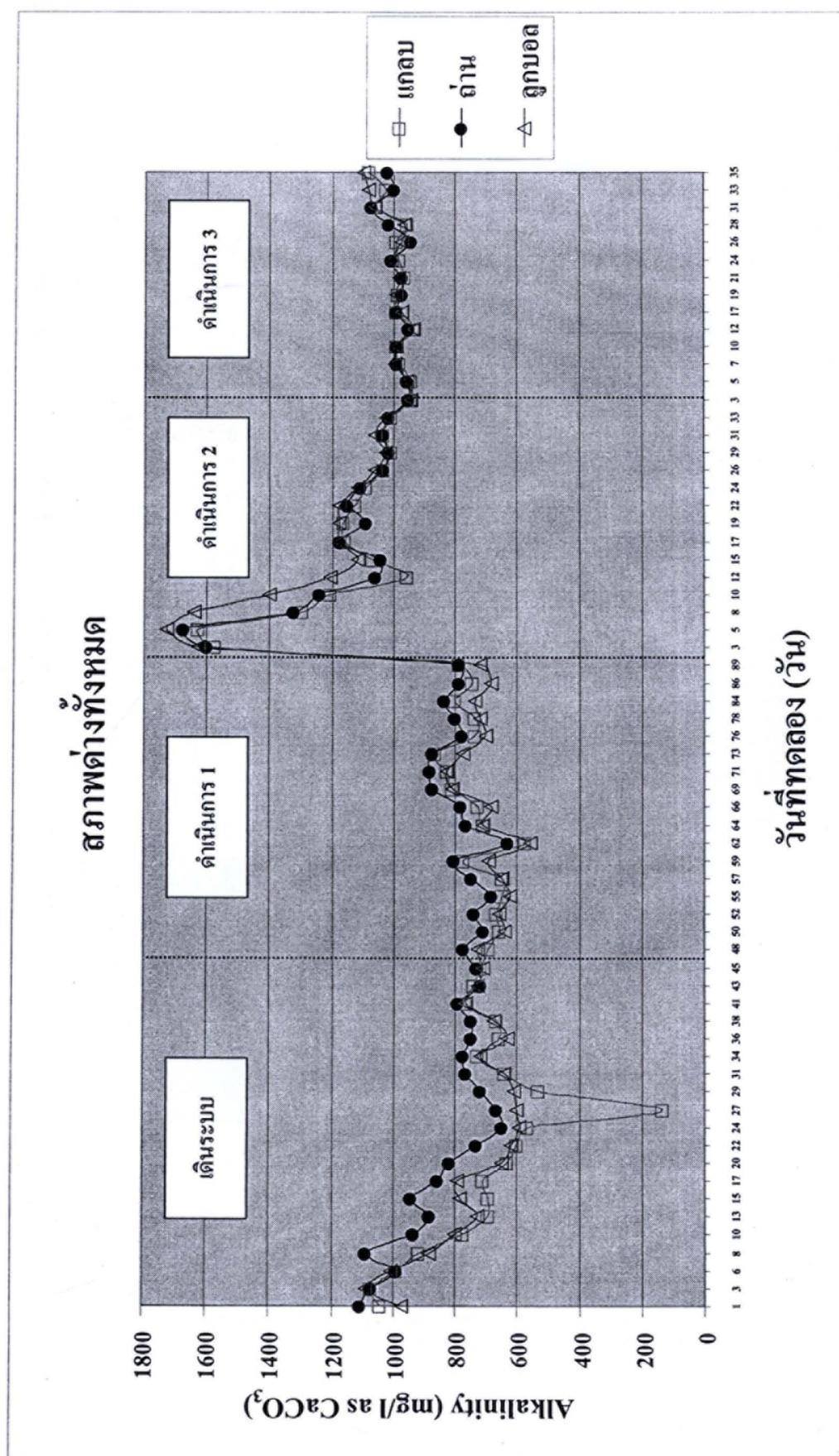
ภาพที่ 4.45 ค่าไออาร์พีของน้ำเสียที่เข้าและออกจาดังกรองไร้อากาศที่มีแก๊ส ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเงินระบบ และช่วงดำเนินการดำเนินการ 1-3



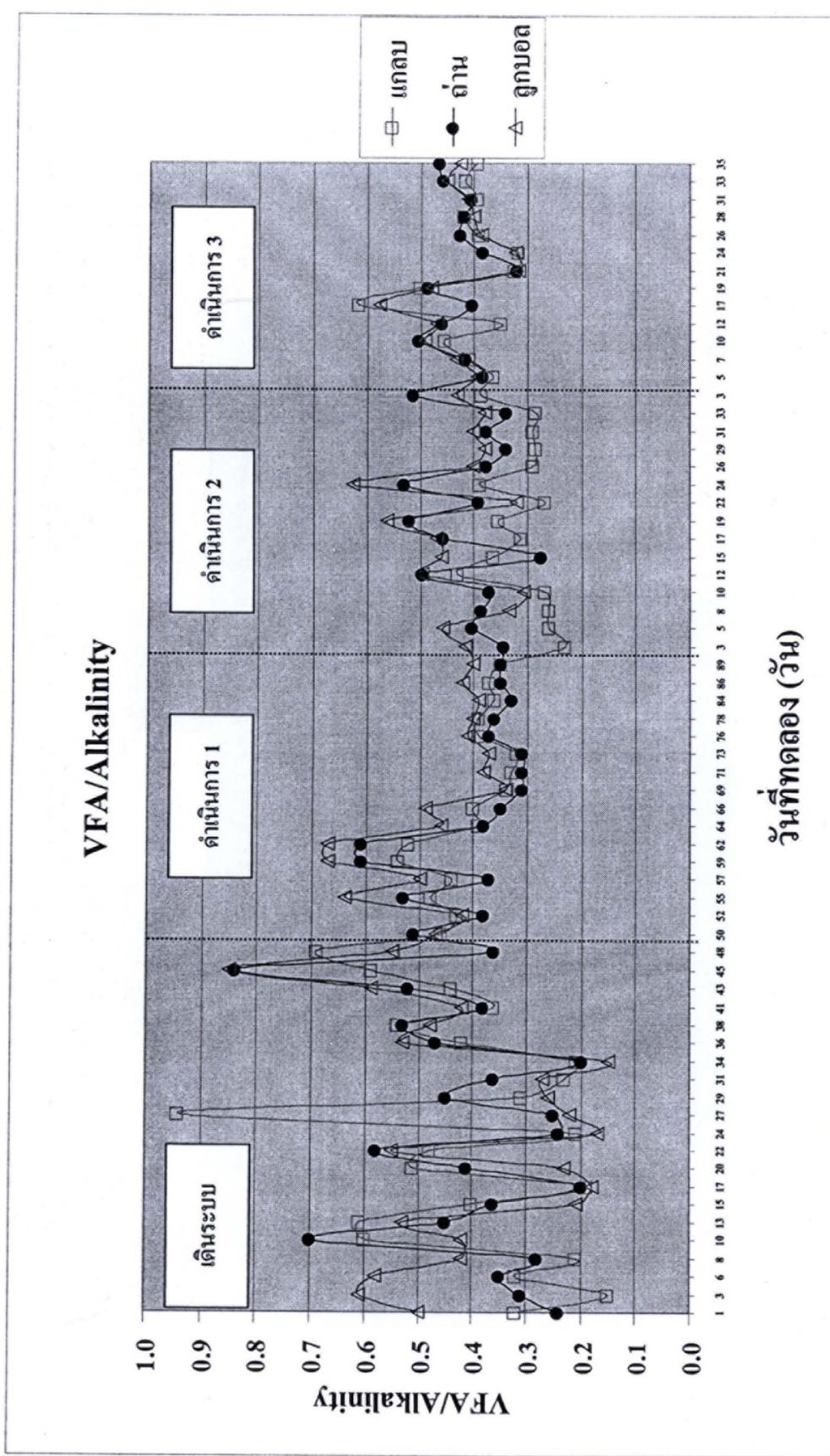
ภาพที่ 4.46 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและออกจากรองรับอากาศที่มีแกลบ ถ่าน และดูบอดผลลาคติเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ และช่วงการดำเนินการ 1-3



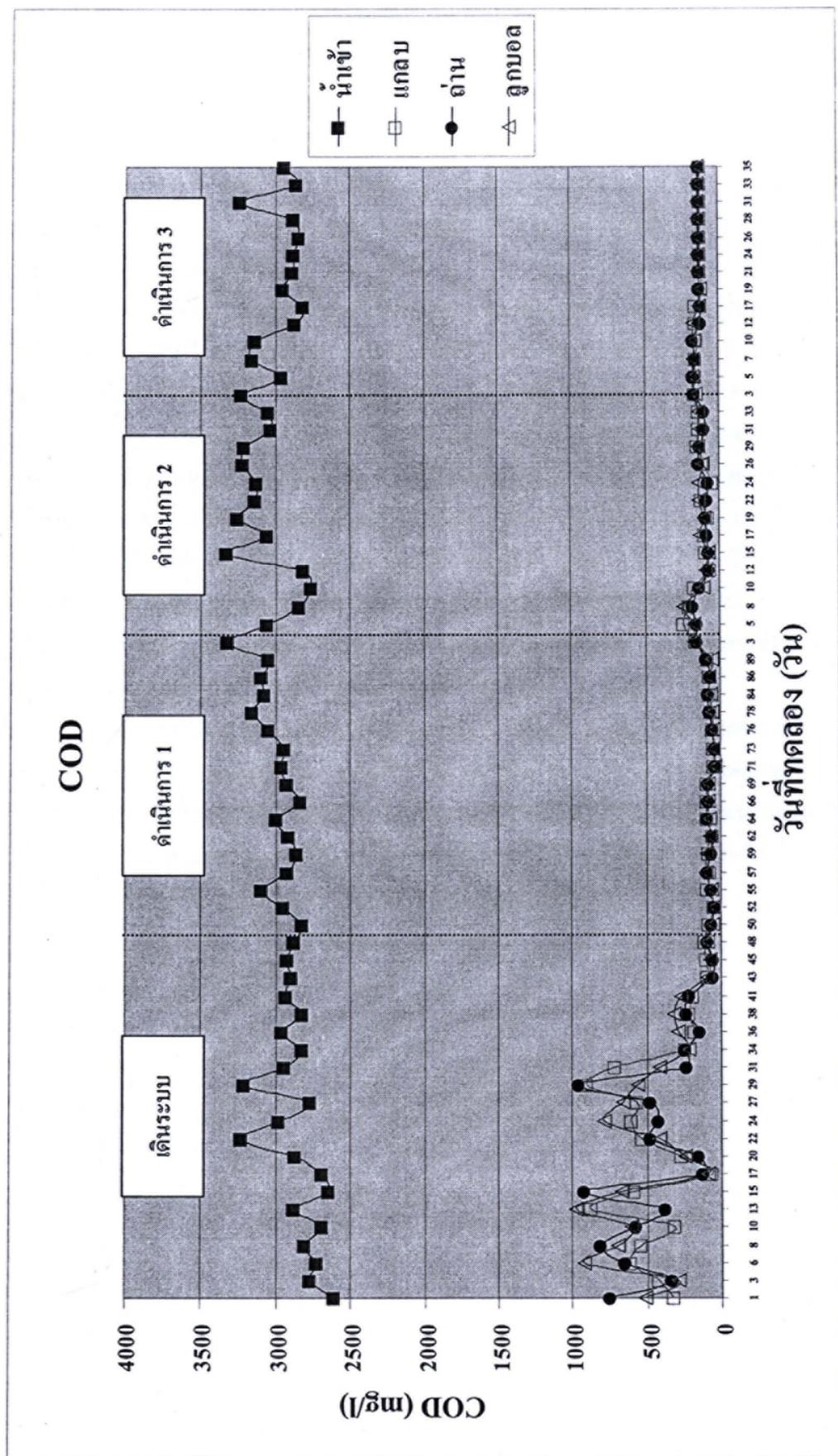
ภาพที่ 4.47 กรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่ออกจากรองใไรอากาศที่มีแกลบ ถ่าน และดูบบอดผลผลิตเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ และช่วงการดำเนินการ 1-3



ภาพที่ 4.48 สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีเกลือ ถ่าน และดูบอดผลพลาติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ และช่วงการดำเนินการ 1-3



ภาพที่ 4.49 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากรองรับอากาศที่มีแก๊ส ถ่าน และดูบอดพลอตติดกันตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ และช่วงการดำเนินการ 1-3



ภาพที่ 4.50 ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และอูบอดผลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ และช่วงการดำเนินการ 1-3

4.7.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย และประสิทธิภาพการบำบัดตะกอนแขวนลอย

ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 396.8, 24.9, 26.4 และ 29.4 มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 508.1, 23.9, 23.4 และ 22.5 มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 516.8, 29.1, 33.2 และ 22.1 มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 432.5, 30.8, 35.8 และ 33.6 มก./ล. ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.51

ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.73, 93.35 และ 92.59% ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.30, 95.40 และ 95.57% ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.40, 93.58 และ 95.72% ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.88, 91.72 และ 92.23% ตามลำดับ จะเห็นว่า ถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถัง มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยของถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 ถัง มีประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่จะทำให้จุลินทรีย์มาย่อยสลายในระบบน้อยลง ทำให้มีเศษตะกอนจุลินทรีย์บางส่วน รวมทั้งเศษชีวมวลหลุดออกมา ส่งผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียสูงขึ้นเล็กน้อย

เมื่อวิเคราะห์การทดลองทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกหลายทางด้วยวิธีแบบแฟคทอเรียล ด้วยคำสั่ง Univariate พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยในถังกรองไร้อากาศด้วยวิธีการดำเนินการ (การบำบัดทุกสารอินทรีย์) แต่ละวิธี และชนิดของตัวกลางแต่ละชนิด มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการดำเนินการและชนิดของตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงดังตารางผนวก ข.3

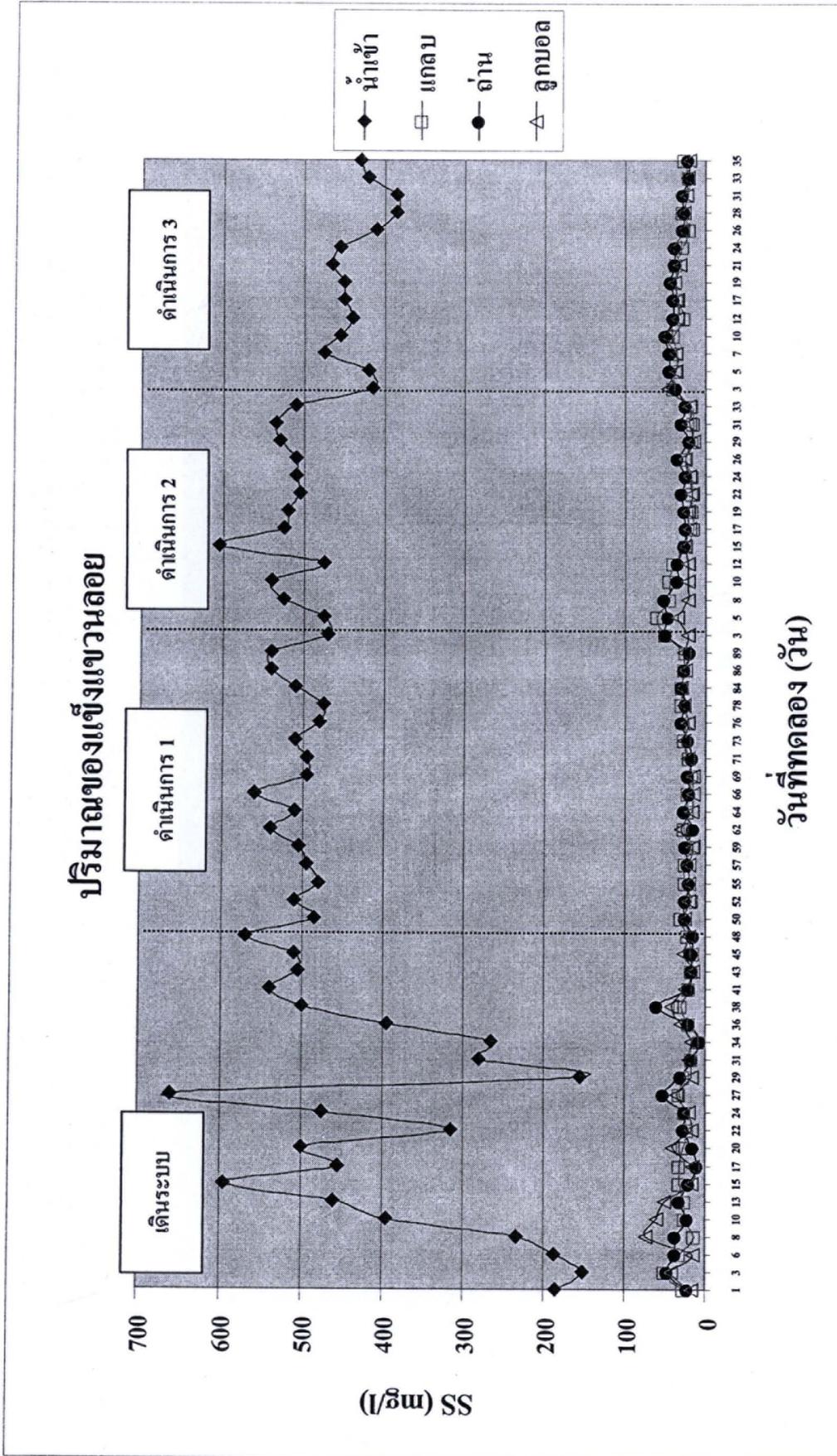
4.7.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.53, 3.46 และ 3.95 ลิตร/วัน ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.39, 3.37 และ 4.11 ลิตร/วัน ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.39, 3.52 และ 4.40 ลิตร/วัน แสดงดังภาพที่ 4.52 จะเห็นว่า การผลิตก๊าซของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบและถ่านเป็นตัวกลางมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ถังกรองไร้อากาศที่มีลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลางมีอัตราการผลิตก๊าซมากกว่าถังกรองไร้อากาศอีก 2 ถัง และเมื่ออัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์มากขึ้น ถังกรองไร้อากาศที่มีลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลางมีแนวโน้มอัตราการผลิตก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดอีกด้วย

สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 0.50 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.56, 64.29 และ 73.53% ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 1.20 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.03, 62.63 และ 76.52% ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ 2.00 กก.ซีโอดี/ลิตร-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 62.92, 65.43 และ 81.97% ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.53 จะเห็นว่า การผลิตก๊าซของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบและถ่านเป็นตัวกลางมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ถังกรองไร้อากาศที่มีลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลางมีอัตราการผลิตก๊าซมากกว่าถังกรองไร้อากาศอีก 2 ถัง และเมื่ออัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์มากขึ้น ถังกรองไร้อากาศที่มีลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลางมีแนวโน้มอัตราการผลิตก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดอีกด้วย แสดงว่าถังกรองไร้อากาศที่มีลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลางสามารถรองรับหรือทำงานได้ดีกว่าอีก 2 ถังที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น

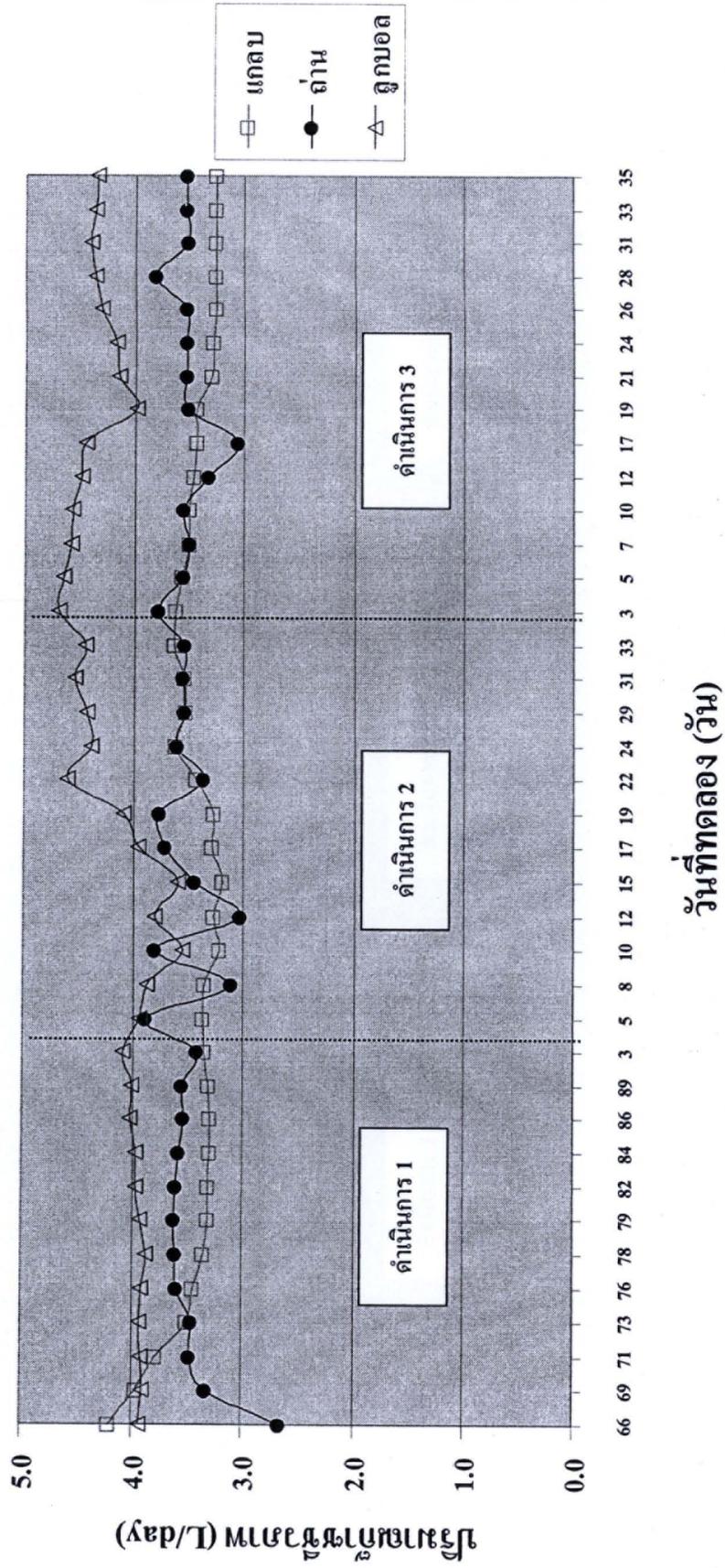
จากตารางที่ 4.6 ถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบและถ่านเป็นตัวกลางควรมีสัดส่วนการสร้างก๊าซมีเทนมากกว่าถังที่มีลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง เพราะมีค่าต่างๆ อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกว่า แต่เมื่อพิจารณาแล้วถังกรองไร้อากาศที่มีลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลางกลับมีสัดส่วนการสร้างก๊าซมีเทนมากกว่าอีก 2 ถัง อย่างเห็นได้ชัด ทั้งที่มีค่าพีเอช กรด ไขมันระเหย สภาพความเป็นด่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรด ไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดค่อนข้างสูงกว่าตัวกลางอีก 2 ชนิด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลูกบอลพลาสติกอาจมีคุณสมบัติเฉพาะตัวบางอย่างที่เหมาะสมสำหรับการสร้างมีเทนมากกว่าแกลบและถ่าน ซึ่งประเด็นนี้อาจเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

เมื่อวิเคราะห์การทดลองทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวด้วยวิธีแบบ One-Way ANOVA Test พบว่า สัดส่วนการเกิดก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพด้วยวิธีการดำเนินการ (อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์) ทั้ง 3 วิธี ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่สัดส่วนการเกิดก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพด้วยถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงดังตารางผนวก ข.4 และ ข.5



ภาพที่ 4.51 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และอูบอดพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงเดินระบบ และช่วงการดำเนินการ 1-3

ปริมาณก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 4.52 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังกรองไร้อากาศที่มีแก๊ส ถ่าน และอุทกยอดพลาสติกเป็นตัวกลาง ในช่วงดำเนินการ 1-3

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบปัจจัยต่อการสร้างมีเทนของถังกรองไร้อากาศที่มีแกลบ ถ่าน และลูกบอลพลาสติก เป็นตัวกลาง ที่อัตราการระบรทุกอินทรีย์ 0.50, 1.20 และ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน

| พารามิเตอร์ | ช่วงค่าที่เหมาะสมต่อ การสร้างมีเทน | ชนิดของตัวกลาง | | |
|--|---------------------------------------|----------------|-------|---------------|
| | | แกลบ | ถ่าน | ลูกบอลพลาสติก |
| อัตราการระบรทุกอินทรีย์ 0.50 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน | | | | |
| อุณหภูมิ | 25-40 | 27.7 | 27.8 | 27.7 |
| พีเอช | 6.2-7.8 | 7.95 | 8.23 | 8.23 |
| กรดไขมันระเหย | 50-500 | 292.2 | 309.0 | 319.5 |
| สภาพความเป็นด่างทั้งหมด | 1,000-2,000 | 731.8 | 780.3 | 699.1 |
| อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพด่างทั้งหมด | 0.4-0.8 | 0.41 | 0.40 | 0.46 |
| สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซ ชีวภาพ | 40-60 | 65.56 | 64.29 | 73.53 |
| อัตราการระบรทุกอินทรีย์ 1.20 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน | | | | |
| อุณหภูมิ | 25-40 | 24.2 | 24.2 | 24.5 |
| พีเอช | 6.2-7.8 | 7.70 | 7.69 | 7.80 |
| กรดไขมันระเหย | 50-500 | 351.8 | 472.7 | 533.5 |
| สภาพความเป็นด่างทั้งหมด | 1,000-2,000 | 1,168 | 1,183 | 1,152 |
| อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพด่างทั้งหมด | 0.4-0.8 | 0.31 | 0.40 | 0.43 |
| สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซ ชีวภาพ | 40-60 | 63.03 | 62.63 | 76.52 |
| อัตราการระบรทุกอินทรีย์ 2.00 กก.ซีไอดี/ลิตร-วัน | | | | |
| อุณหภูมิ | 25-40 | 24.6 | 24.8 | 25.0 |
| พีเอช | 6.2-7.8 | 7.63 | 7.68 | 7.80 |
| กรดไขมันระเหย | 50-500 | 404.5 | 426.5 | 426.1 |
| สภาพความเป็นด่างทั้งหมด | 1,000-2,000 | 988.2 | 988.9 | 997.1 |
| อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพด่างทั้งหมด | 0.4-0.8 | 0.41 | 0.43 | 0.43 |
| สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซ ชีวภาพ | 40-60 | 62.92 | 65.43 | 81.97 |