

บทที่ 4

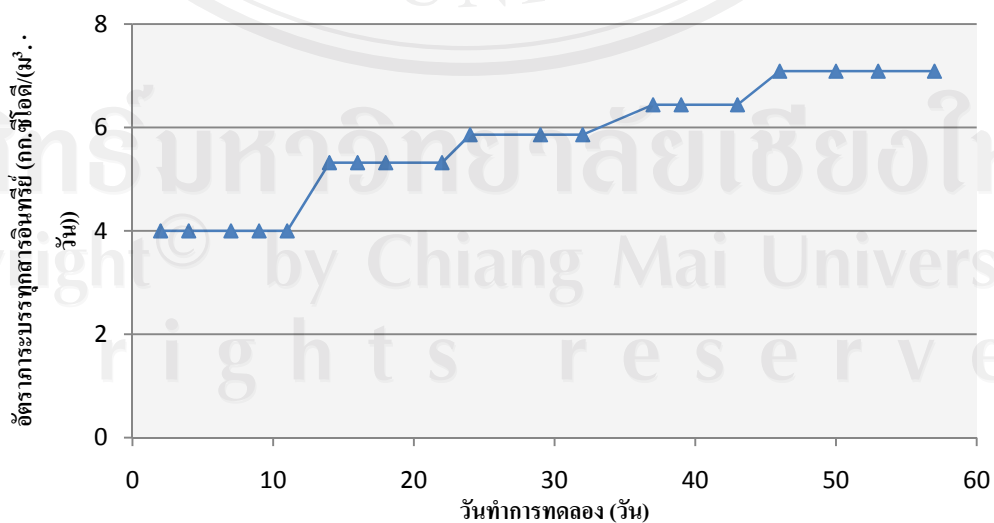
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการเริ่มต้นระบบ

ทำการทดลองทั้งหมด 57 วัน ตะกอนที่ใช้ในระบบเป็นตะกอนหัวเชื้อจากถังยูเอเอสบีจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร บริษัท ลิโอ ฟู้ดส์ จำกัด โดยนำตะกอนหัวเชื้อมาใส่ถังปฏิกรณ์ให้มีความสูง 2 ม.จากก้นถัง เติมน้ำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แล้วทิ้งไว้เพื่อให้ตะกอนเกิดการปรับสภาพเป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นจึงเริ่มดำเนินระบบ โดยป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถังที่ละน้อยจนถึงค่าที่ต้องการ คือ ภาระบรรทุก 7.09 กก.ชีโอดี/(ม³.วัน) อัตราการไหลของน้ำ 20.08 ล./ว. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 0.28 ม./ชม. เมื่อเดินระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) ข้อมูลดิบการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

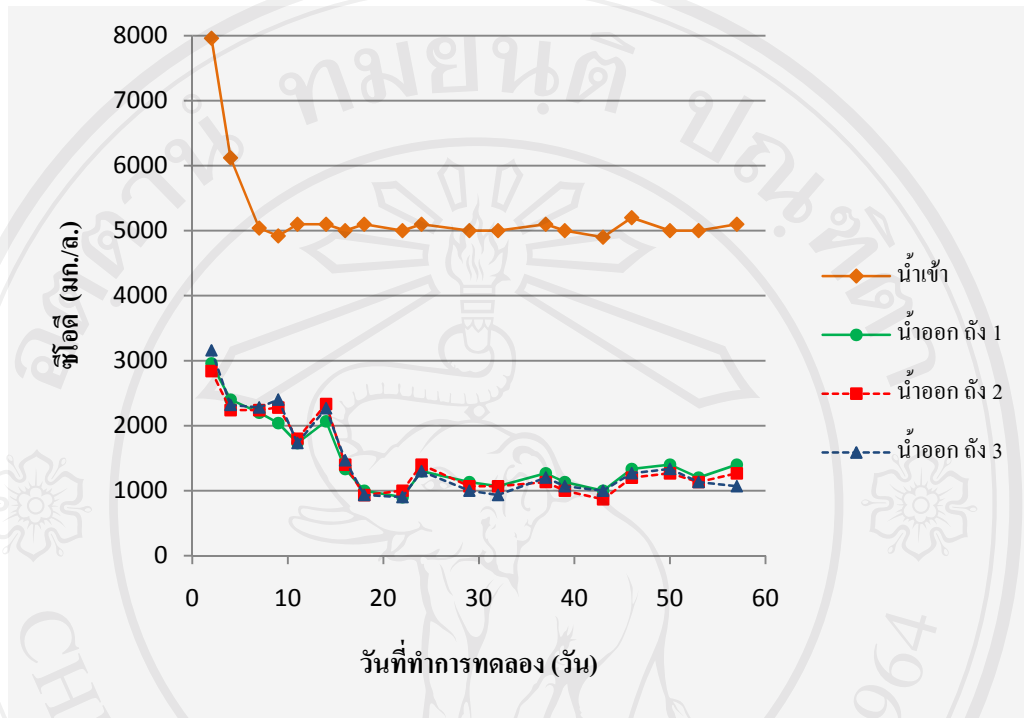
4.1.1 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี

เริ่มต้นการเดินระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ชีโอดี/(ม³.วัน) เมื่อเวลาผ่านไป 55 วัน สามารถเดินระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 7.09 กก.ชีโอดี/(ม³.วัน) ในการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ทุกใบสามารถเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้พร้อมๆกัน คือ 4.00, 5.32, 5.86, 6.44 และ 7.09 กก.ชีโอดี/(ม³.วัน) ดังแสดงในรูป 4.1

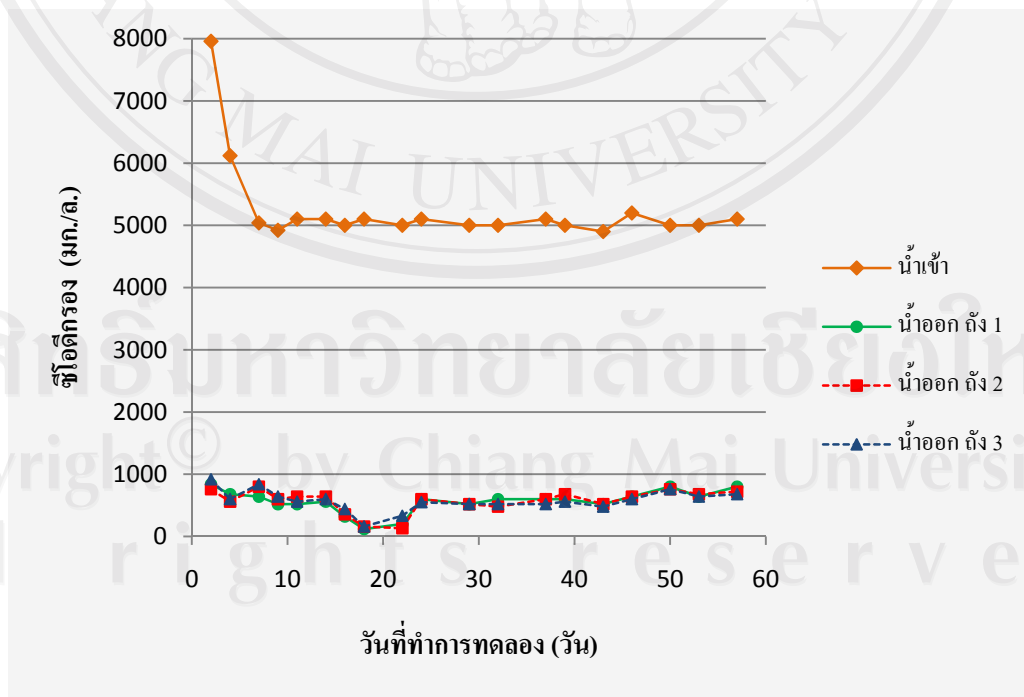


รูป 4.1 การเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

การแปรผันของค่าซีไอดี และซีไอดีกรองในน้ำออกในทุกถังปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูป 4.2



ก. ซีไอดี



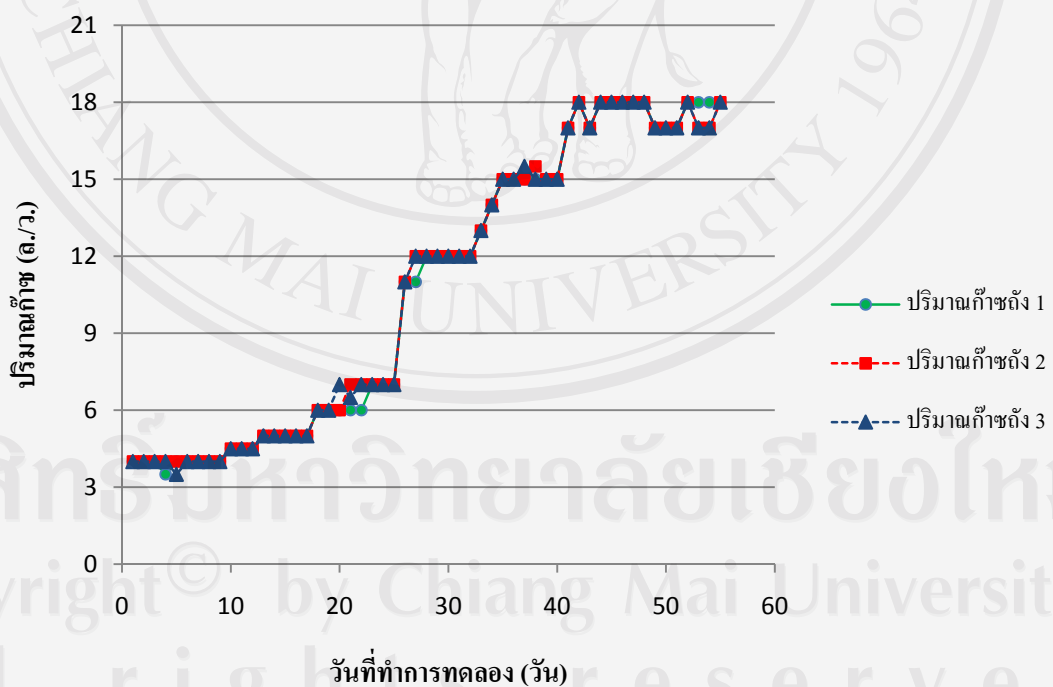
ข. ซีไอดีกรอง

รูป 4.2 การแปรผันค่าซีไอดี และซีไอดีกรองในช่วงเริ่มต้นระบบ

เมื่อเดินระบบที่ค่าอัตราการระบายรุกรานอินทรีย์ เท่ากับ 7.09 กก.ชีโอดี/(ม³·วัน) น้ำเข้ามีค่าชีโอดีเฉลี่ย 5,249 มก./ล. น้ำออกจากถังปฏิกริยาไบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าชีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 1,333 , 1,216 และ 1,200 มก./ล. มีค่าชีโอดีกรองเฉลี่ย เท่ากับ 720, 700 และ 670 มก./ล. และมีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีใกล้เคียงกัน คือ 74.6, 76.8 และ 77.1 % ตามลำดับ

4.1.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละถัง ดังแสดงในรูป 4.3 พบว่ามีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียของแต่ละถังมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มอัตราการระบายรุกรานอินทรีย์ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นก็เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบมากขึ้น แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รับปริมาณสารอาหารมากขึ้น ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้เปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพ (McCarty, 1964) ที่อัตราการระบายรุกรานอินทรีย์ เท่ากับ 7.09 กก.ชีโอดี/(ม³·วัน) ปริมาณก๊าซเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในถังปฏิกริยาไบที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 17.7, 17.5 และ 17.5 ล./ว.

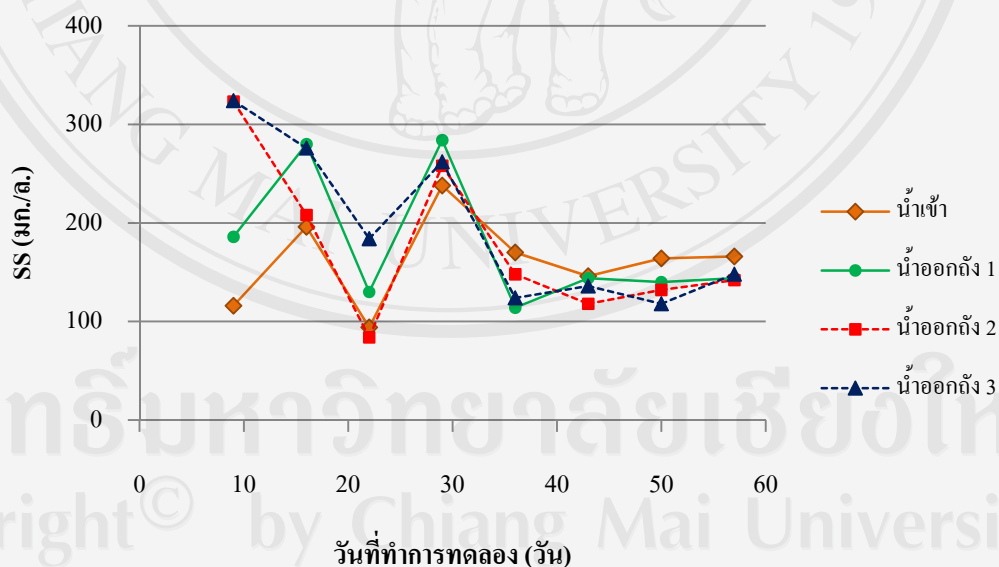


รูป 4.3 การแปรผันปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นระบบ

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากการเก็บตัวอย่างวันที่ 37 นับจากเริ่มต้นการทดลอง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6.44 กก.ซีโอดี/(ม³·วัน) พบว่า ถึงปฏิกิริยาที่ 1, 2 และ 3 มีก๊าซมีเทนร้อยละ 53.3, 60.8 และ 61.7 มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 43.1, 36.4 และ 35.7 มีก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 3.6, 2.8 และ 2.6 ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังยูเอเอสบีเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพระบบ ปริมาณก๊าซ และองค์ประกอบก๊าซขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการย่อยสลาย และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งองค์ประกอบก๊าซที่พบในการศึกษาอยู่ในระดับปกติ (McCarty, 1964)

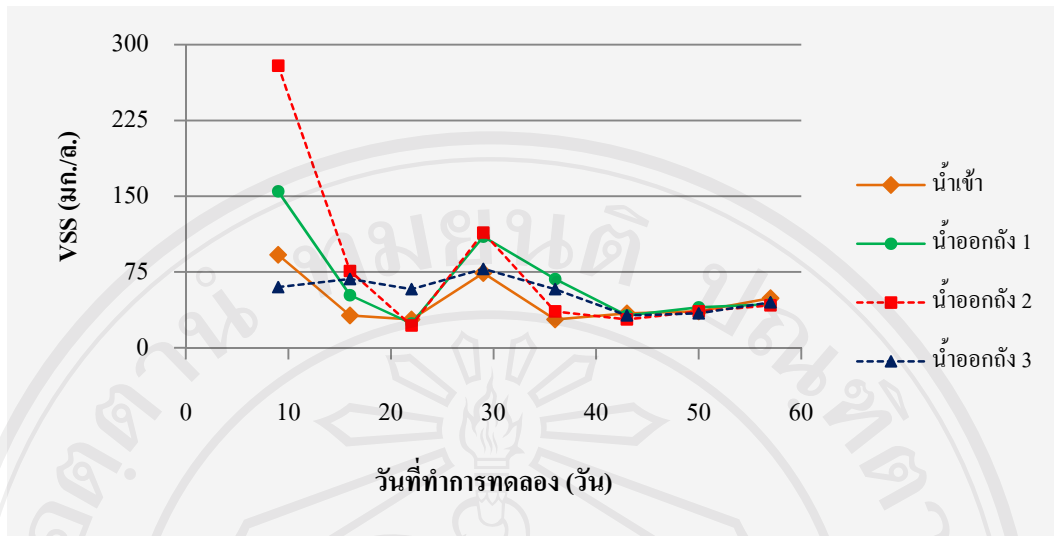
4.1.3 ของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย

การแปรผันของของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยในช่วงเริ่มต้นระบบแสดงไว้ในรูป 4.4 ในการเริ่มต้นระบบตะกอนหัวเชื้อจะเกิดการปรับสภาพ เม็ดตะกอนที่เบาหรือปรับสภาพไม่ได้จะถูกชะล้าง (wash out) ออกจากระบบ เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจะมีค่าน้อยลงและเกิดการสะสมตะกอนในถัง การสังเกตว่าถังยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพดีหรือไม่นั้น ส่วนหนึ่งสามารถดูได้จากปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ปนออกมากับน้ำออก



ก. ของแข็งแขวนลอย

รูป 4.4 การแปรผันของค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยในช่วงเริ่มต้นระบบ



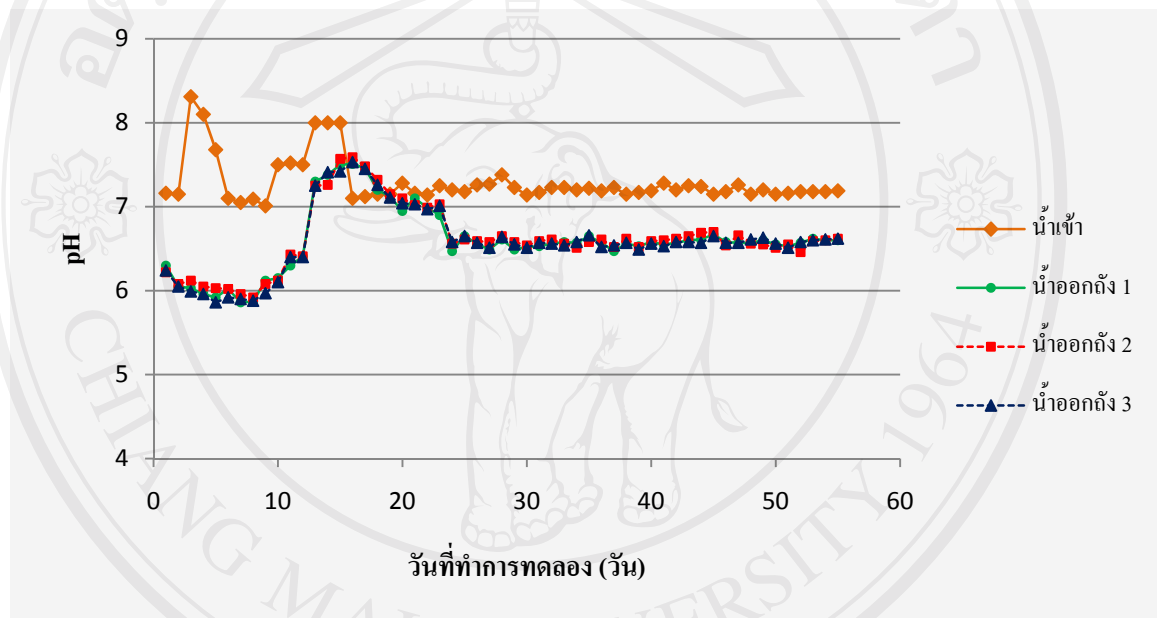
ข. ของแข็งระเหย

รูป 4.4 (ต่อ)

ผลการศึกษาพบว่า การแปรผันของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในช่วงเริ่มต้นระบบ ช่วงแรกของการทดลองมีค่าของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยปนออกมากับน้ำค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นผลมาจากมีตะกอนบางส่วนหลุดออกจากระบบ ช่วงหลังพบว่าค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยลดลง และมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอเนื่องจากจุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับระบบได้ น้ำเข้ามีของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยเฉลี่ย เท่ากับ 161.2 และ 46.6 มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 7.09 กก.ซีโอดี/(ม³·วัน) พบว่า น้ำออกมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 142, 137 และ 133 มก./ล. ตามลำดับ น้ำออกมีค่าของแข็งแขวนลอยระเหยในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 47, 42 และ 39 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 13.2, 14.4 และ 10.8 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยระเหยของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 12.2, 14.3 และ 8.2% ตามลำดับ น้ำออกมีอัตราส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 0.3, 0.3 และ 0.3 แสดงว่าตะกอนในน้ำออกเป็น Fixed Suspended Solids ค่อนข้างสูง ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการทดลองของอลงกรณ์ (2547) ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์เหมือนกัน ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยมากกว่า 90 %

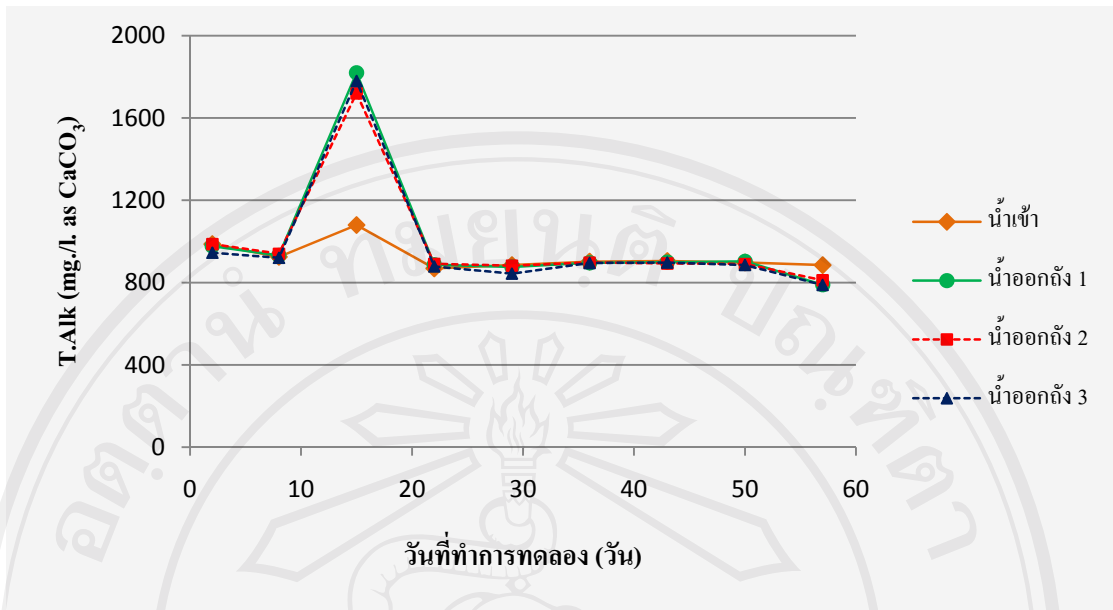
4.1.4 พิเษ ความเป็นด่างรวมและกรดไขมันระเหยง่าย

ในการทดลองนี้ได้ควบคุมพิเษให้อยู่ในช่วง pH เท่ากับ 6.5 – 7.0 โดยการเติม โซเดียมไบคาร์บอเนต เพื่อเพิ่มความเป็นด่างรวมในน้ำเข้า การพิจารณาความสัมพันธ์ของสภาพ ความเป็นด่างรวมและปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงความสมดุล ของระบบได้ว่ามีกำลังบัฟเฟอร์สูงพอที่จะสามารถรักษาระดับพิเษให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ไม่เกิด สภาวะที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย สร้งมีเทน (Kotze et al., 1969) รูป 4.5 แสดงการแปรผันของค่าพิเษ ในช่วงเริ่มต้นระบบ

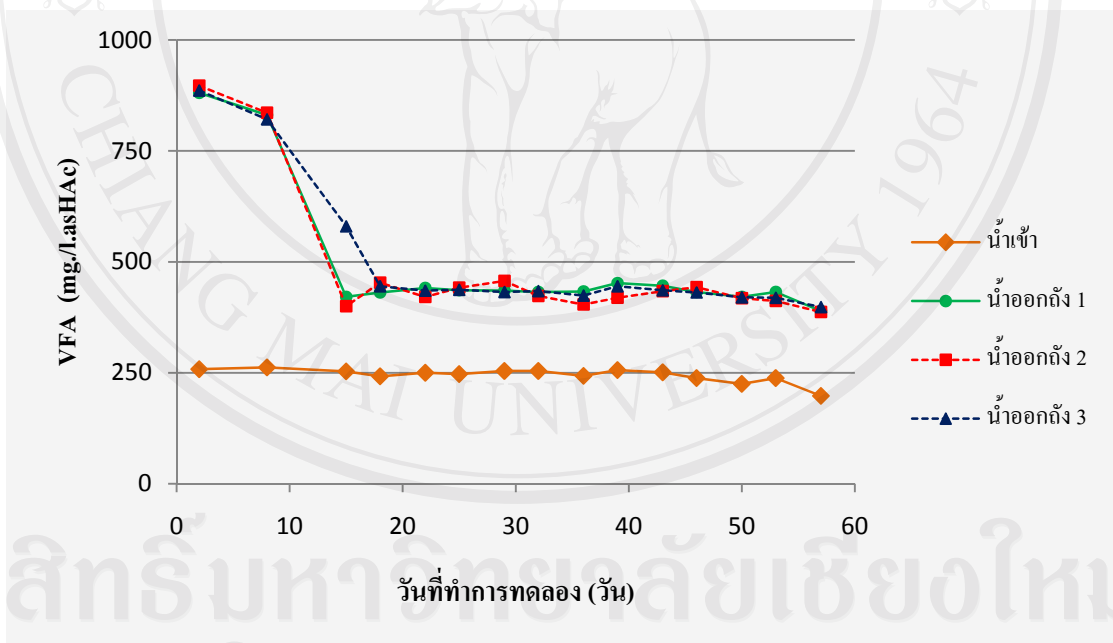


รูป 4.5 การแปรผันของค่าพิเษในช่วงเริ่มต้นระบบ

จากรูป 4.5 พบว่า ค่าน้ำเข้าและน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 มีค่าแปรผันค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อช่วยปรับค่า พิเษ ในช่วงเริ่มต้นระบบที่อัตราการระ บรทุกสารอินทรีย์ 7.09 กก.ซีโอดี/(ม³·วัน) น้ำเข้ามีค่าพิเษเฉลี่ยเท่ากับ 7.29 ค่าน้ำออกเฉลี่ยของ ถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 6.58, 6.56 และ 6.59 ตามลำดับ

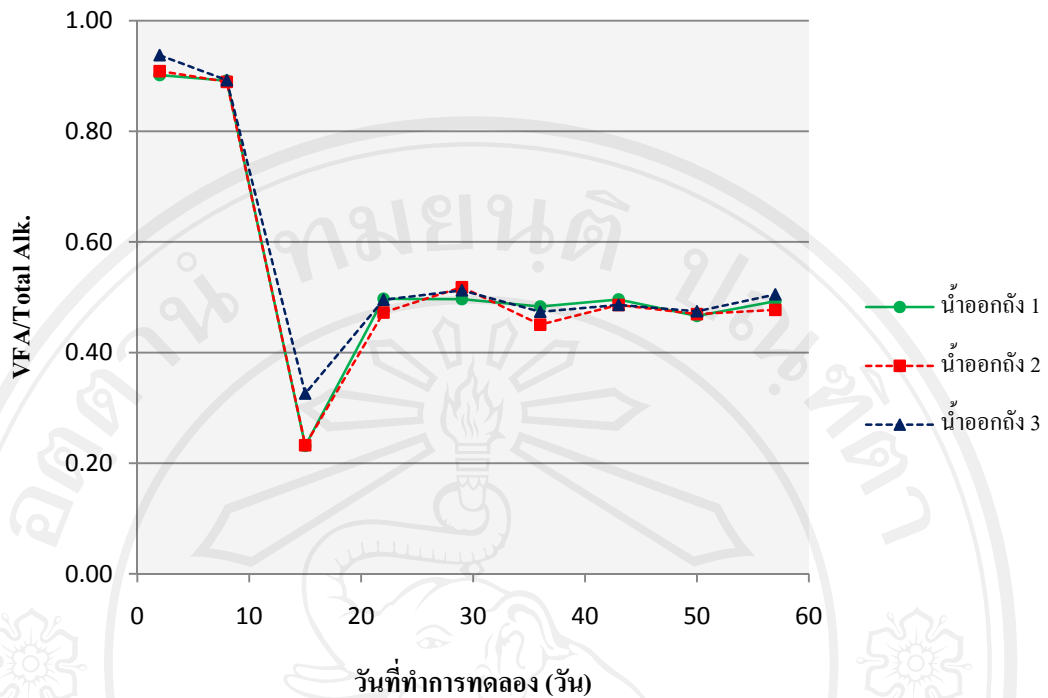


ก. การแปรผันของค่าความเป็นด่างรวมในช่วงเริ่มต้นระบบ



ข. การแปรผันของค่ากรดไขมันระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ

รูป 4.6 การแปรผันค่าความต่างทั้งหมด กรดไขมันระเหยง่าย และอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเป็นด่างรวมในช่วงเริ่มต้นระบบ



ค.การแปรผันของอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเป็นด่างรวม

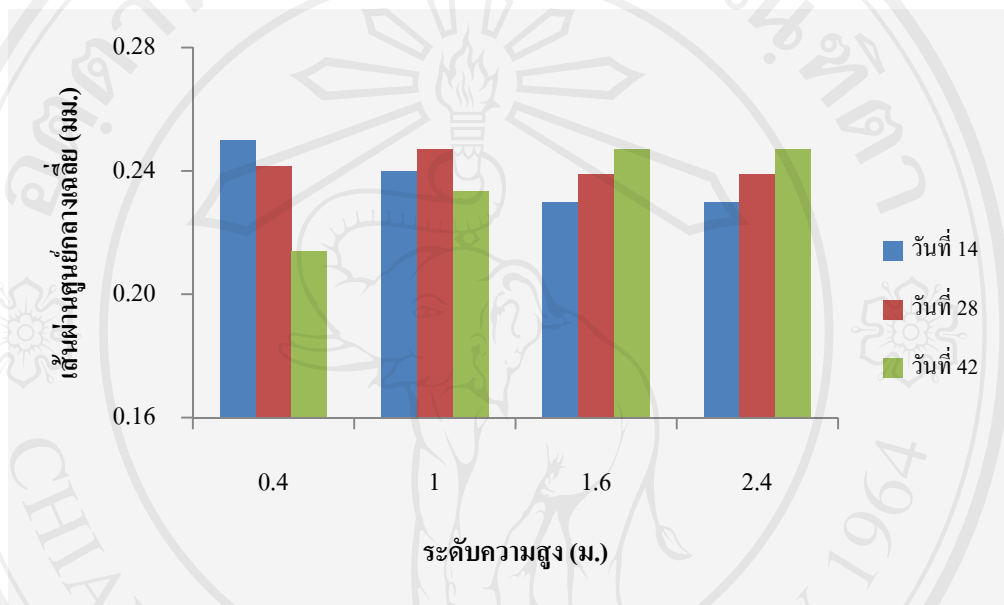
รูป 4.6 (ต่อ)

ผลการศึกษาพบว่า ความเป็นด่างรวมในน้ำเข้าขึ้นอยู่กับปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เติม ค่าความเป็นด่างรวมในน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 909.0 มก./ล. as CaCO_3 ช่วงวันทำการทดลองที่ 25-57 ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 7.09 กก.ชีโอดี/(ม³·วัน) กรดไขมันระเหยในน้ำเข้า มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 240.4 มก./ล. CH_3COOH และกรดไขมันระเหยในน้ำออกจากถังปฏิกิริยาที่ 1, 2 และ 3 มีแนวโน้มคงที่ เท่ากับ 430.8, 423.9 และ 427.1 มก./ล. CH_3COOH ค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกระบบมีค่ามากกว่าค่ากรดไขมันระเหยในน้ำเข้าระบบ เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดอินทรีย์ที่แบคทีเรียสร้างกรดผลิตขึ้นมาได้หมดจึงเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยในระบบทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำออกจากถังปฏิกิริยามีค่าสูง (McCarty, 1964) อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อความเป็นด่างรวมทั้งหมดของทั้ง 3 ถังปฏิกิริยามีค่าสูงกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบำบัดพอควร อาจส่งผลให้ปริมาณฟิเอชสามารถลดลงอย่างรวดเร็ว

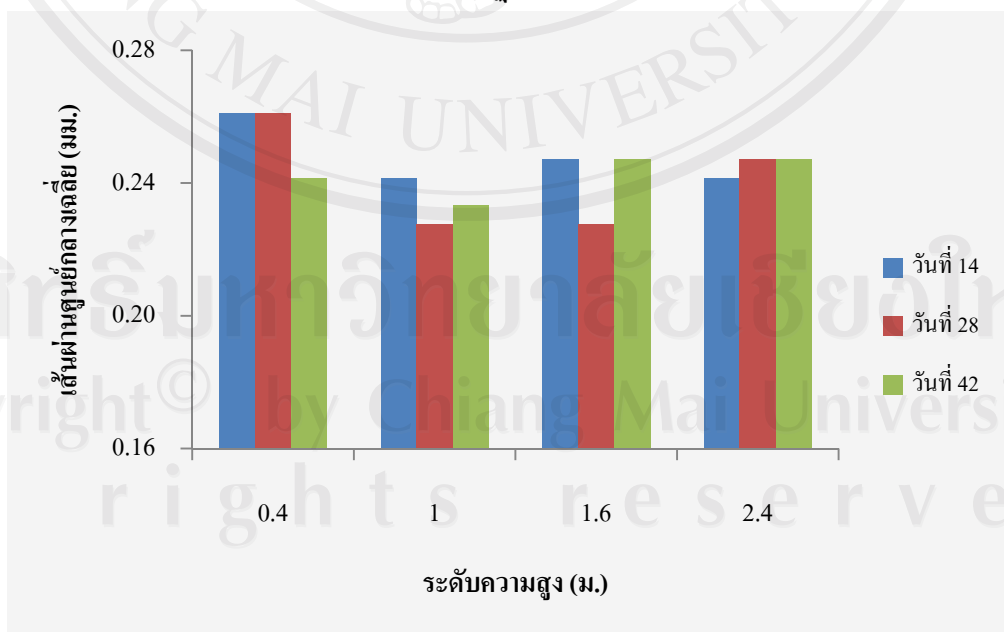
4.1.5 ขนาดเม็ดตะกอน และความเข้มข้นของตะกอนตามความสูง

(1) ขนาดเม็ดตะกอน

ตลอดการทดลองไม่มีการระบายตะกอนส่วนเกินทิ้ง มีเพียงการเก็บตัวอย่างตะกอนมาวิเคราะห์ที่ระดับความสูง 0.4, 1.0, 1.6 และ 2.4 ม. จำนวน 3 ครั้ง ในวันที่ 14, 28 และ 42 ของการทดลอง การแปรผันขนาดเม็ดตะกอนแสดงในรูป 4.7

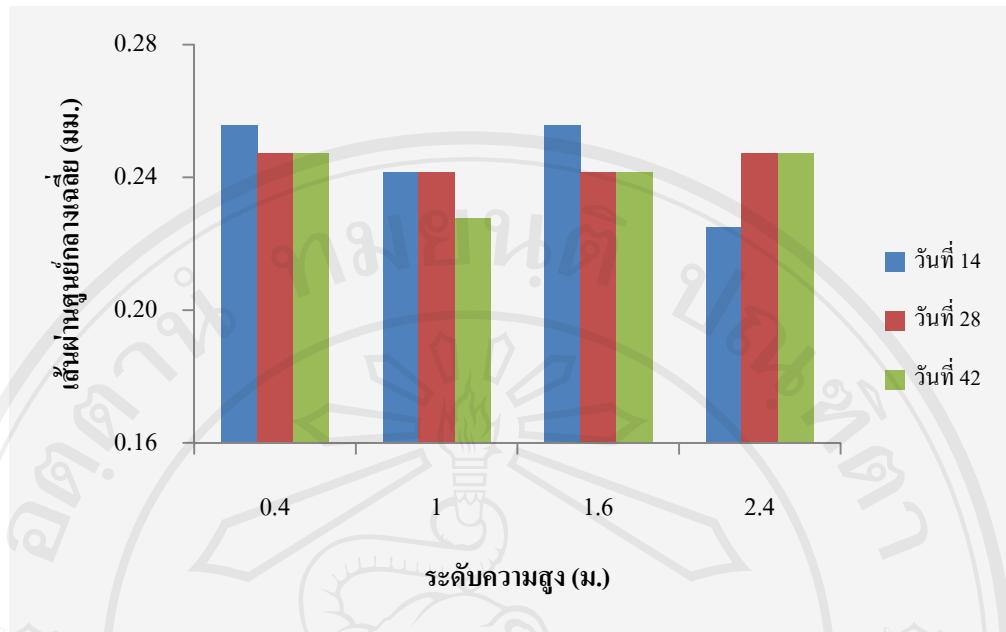


ก. ถึงปฏิบัติการที่ 1



ข. ถึงปฏิบัติการที่ 2

รูป 4.7 การแปรผันขนาดเม็ดตะกอน

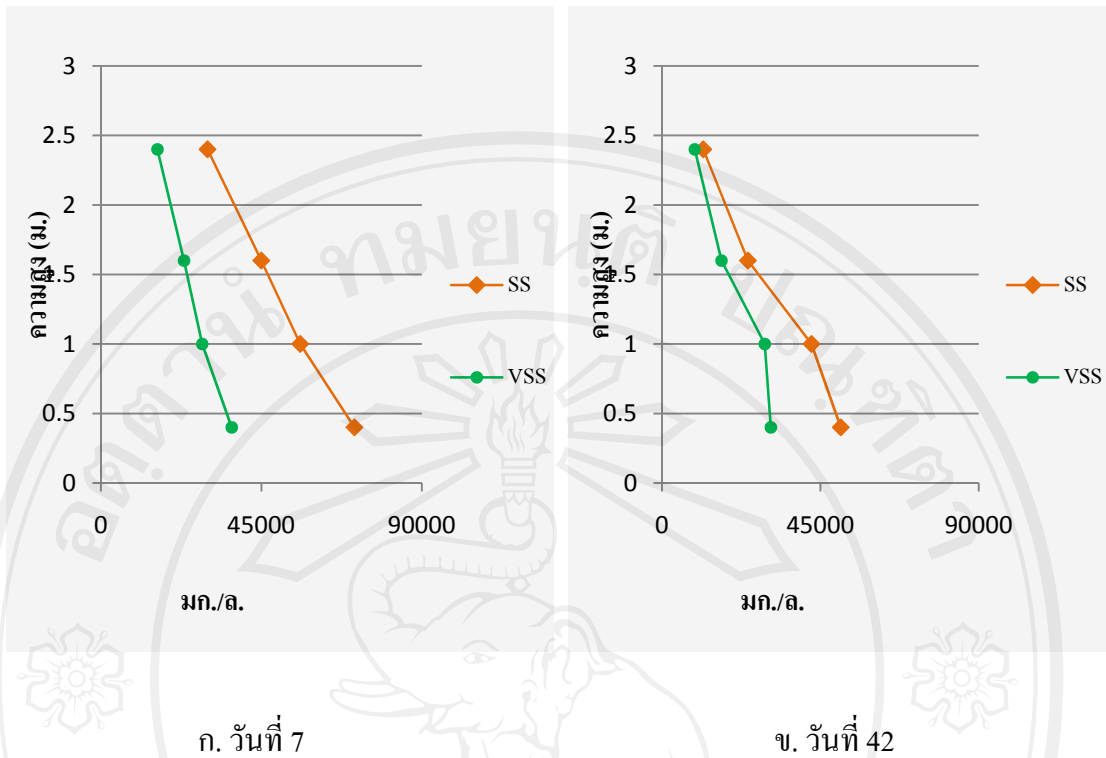


ค.ถึงปฏิบัติการที่ 3
รูป 4.7 (ต่อ)

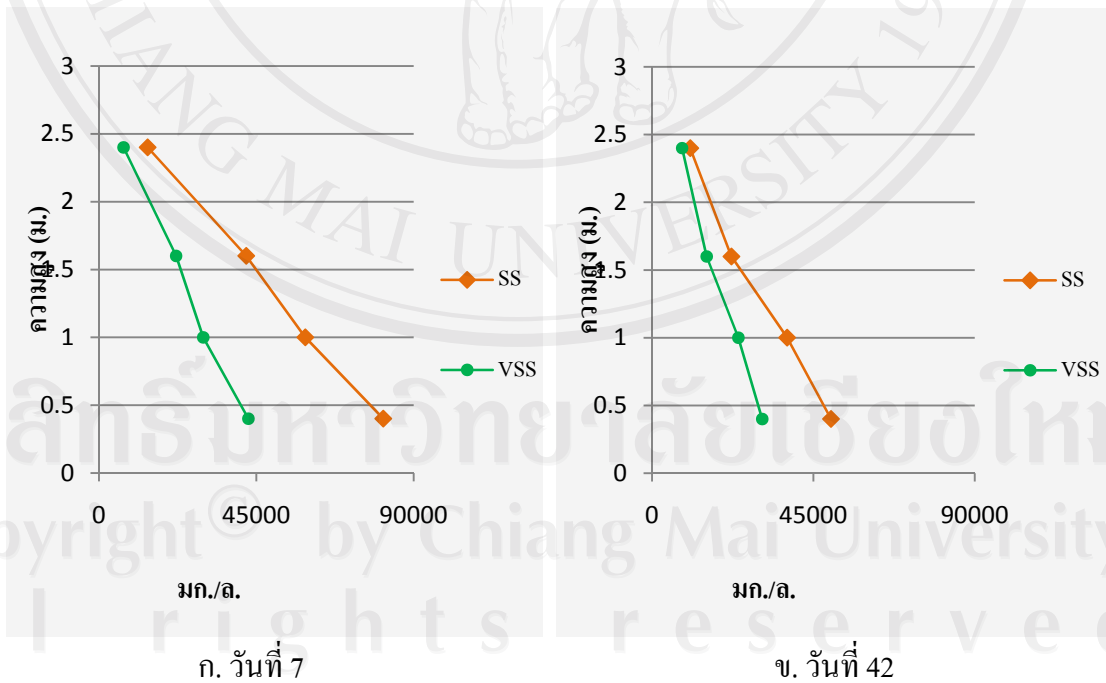
จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อเทียบขนาดเมล็ดตะกอนที่ระดับ 0.4 ม. และ 2.4 ม. ในถึงปฏิบัติการที่ 1, 2 และ 3 พบว่า เมล็ดตะกอนมีขนาดเล็กลง 11, 4 และ 14 % ซึ่งขนาดเมล็ดตะกอนที่อยู่ในระดับต่ำกว่า จะมีขนาดใหญ่กว่าในระดับสูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากด้านล่างของถังได้รับสารอาหารที่มีความเข้มข้นสูงปฏิบัติการเกิดมากกว่า การสร้างเซลล์แบคทีเรียก็มากตะกอนจึงมีขนาดใหญ่ อีกทั้งตะกอนที่มีขนาดใหญ่จะมีน้ำหนักมากกว่าตะกอนที่มีขนาดเล็กทำให้อยู่ต่ำกว่า

(2) ความเข้มข้นของตะกอนตามความสูง

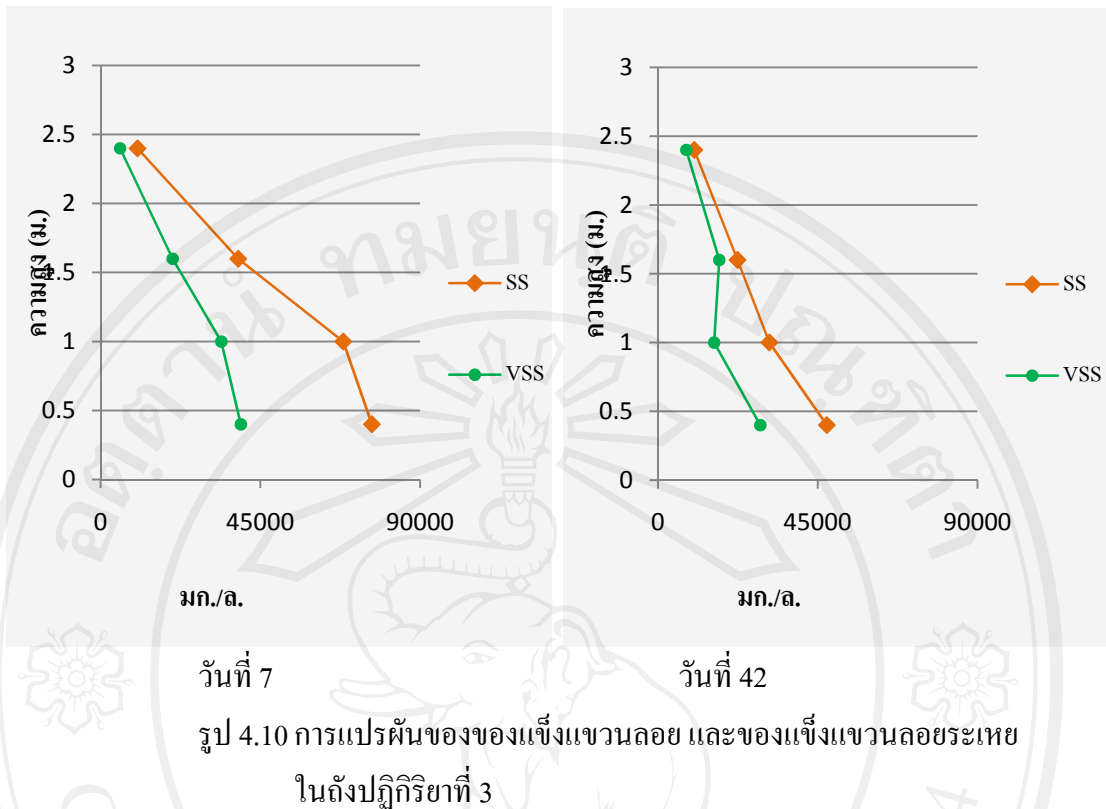
การแปรผันของปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย ตามความสูงของถังปฏิบัติการได้แสดงในรูป 4.8, 4.9 และ 4.10



รูป 4.8 การแปรผันของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่ 1



รูป 4.9 การแปรผันของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่ 2



วันที่ 7

วันที่ 42

รูป 4.10 การแปรผันของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย
ในถังปฏิกรณ์ที่ 3

ผลการศึกษาการแปรผันของปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย ตามความสูงของถังปฏิกรณ์ที่ระดับ 0.4, 1.0, 1.6 และ 2.4 ม. จากกันถังปฏิกรณ์ พบว่า ทุกการทดลองค่าของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยที่ระดับความสูงต่างๆมีค่าลดลงจากตอนเริ่มต้นระบบ เพราะเกิดการชะล้างตะกอนบางส่วนออกไป

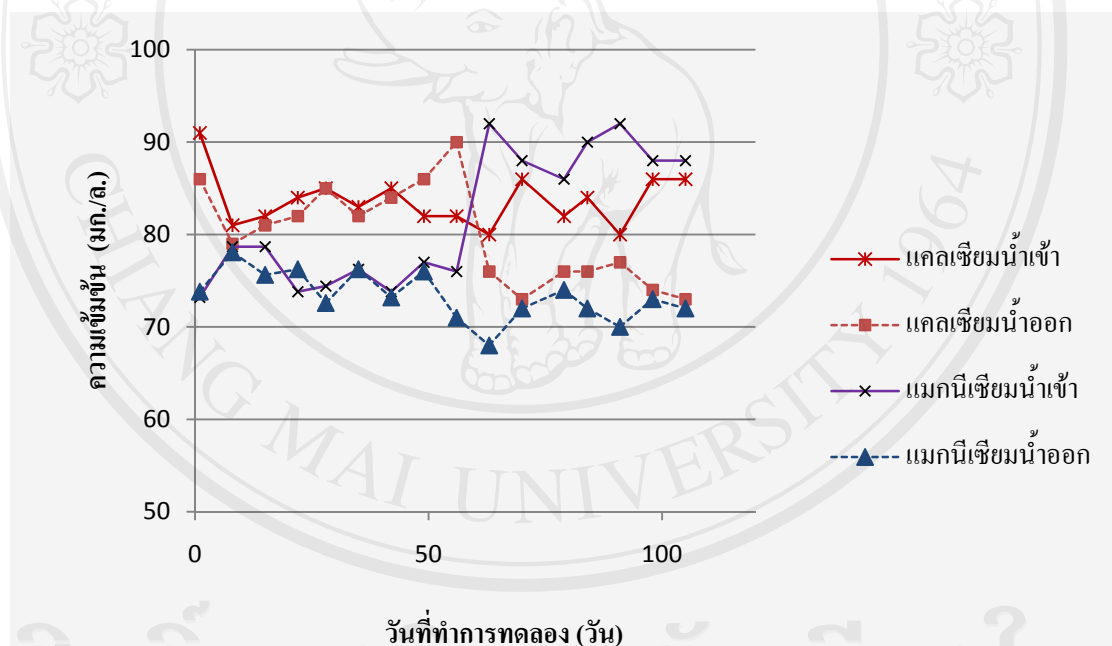
4.2 ผลการทดลองเติมแคลเซียมออกไซด์

ทำการทดลองทั้งหมด 106 วัน ทำการเดินระบบยูเอเอสพีหลังจากการเริ่มต้นระบบเสร็จสิ้น เดินระบบที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 7.09 กก.ซีโอดี/(ม³·วัน) และมีการเติมออกไซด์เพิ่มเติม ดังนี้ ถึงปฏิกิริยาที่ 1 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมออกไซด์เพิ่ม ถึงปฏิกิริยาที่ 2 เติม CaCl_2 ในน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อเพิ่มแคลเซียมออกไซด์ ทำการทดลองจนระบบล้มเหลวจึงหยุดการทดลอง ข้อมูลดิบได้แสดงในตารางภาคผนวก ข.

4.2.1 แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ในถังควบคุม

ผลของแคลเซียม และแมกนีเซียมออกไซด์ของถังปฏิกิริยาที่ 1 (ถังควบคุม) แสดงใน

รูป 4.11



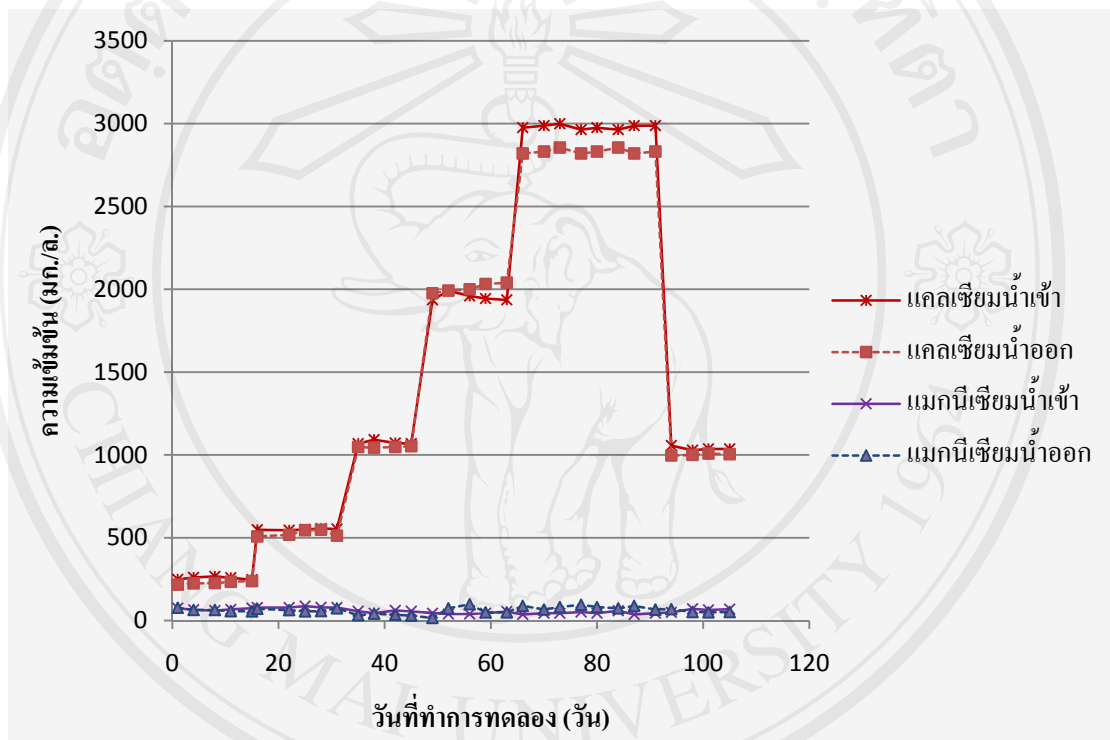
รูป 4.11 ความเข้มข้นแคลเซียม และแมกนีเซียมออกไซด์ในถังปฏิกิริยาที่ 1 (ถังควบคุม)

จากรูป 4.11 พบว่า ในถังปฏิกิริยาที่ 1 (ถังควบคุม) มีความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์ในน้ำเข้าและน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ 83.7 และ 80.0 มก./ล. ตามลำดับ ความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์ลดลง 4.7% มีความเข้มข้นแมกนีเซียมออกไซด์ในน้ำเข้าและน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ 81.6 และ 73.4 มก./ล. ตามลำดับ ความเข้มข้นแมกนีเซียมออกไซด์ลดลง 11.9% ซึ่งความเข้มข้นแคลเซียม และแมกนีเซียมออกไซด์ที่พบมาจากน้ำประปา 90 % และมาจากโรงบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

10% โดยปริมาตร เนื่องจากความเข้มข้นของแคลเซียม และแมกนีเซียมอออนมีระดับต่ำ ทำให้ไม่เกิดการยับยั้งการทำงานของระบบ (McCarty, 1964)

4.2.2 แคลเซียมอออน และแมกนีเซียมอออนในถังที่เติมแคลเซียมอออน

ผลของแคลเซียม และแมกนีเซียมอออน ของถังปฏิกิริยาที่ 2 (ถังเติมแคลเซียมอออน) แสดงในรูป 4.12



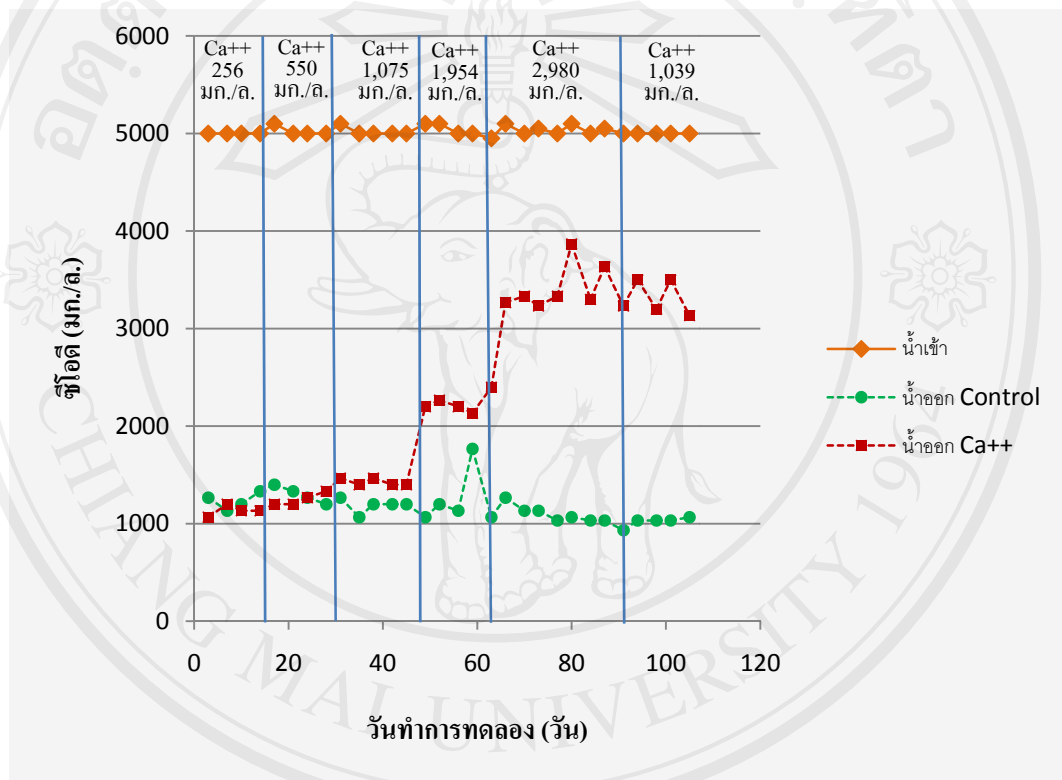
รูป 4.12 ความเข้มข้นแคลเซียมและแมกนีเซียมอออนในถังปฏิกิริยาที่ 2 (เติมแคลเซียมอออน)

จากรูป 4.12 พบว่าในถังปฏิกิริยาที่ 2 (ที่มีการเติมแคลเซียมอออน) มีความเข้มข้นแคลเซียมอออนในน้ำเข้าเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา เท่ากับ 256 550 1,075 1,954 2,980 และ 1,039 มก./ล. ความเข้มข้นแคลเซียมอออนในน้ำออกลดลงเล็กน้อย เท่ากับ 10, 4, 2, 2 และ 4% ตามลำดับ ความเข้มข้นแมกนีเซียมอออนในน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบเฉลี่ย 61.6 มก./ล. และ 57.6 มก./ล. ความเข้มข้นแมกนีเซียมอออนลดลง 6.9 % แคลเซียมและแมกนีเซียมอออนถ้ามีความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปก็จะเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรีย (McCarty, 1964) ในการทดลองนี้แคลเซียมอออนเกิดการเป็นพิษต่อแบคทีเรียจนระบบล้มเหลวที่

2,980 มก./ล. ได้ลดปริมาณการเติมความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์จาก 2,980 มก./ล. เป็น 1,039 มก./ล. และเดินระบบต่ออีก 15 วัน พบว่า ไม่สามารถฟื้นฟูสภาพของระบบได้

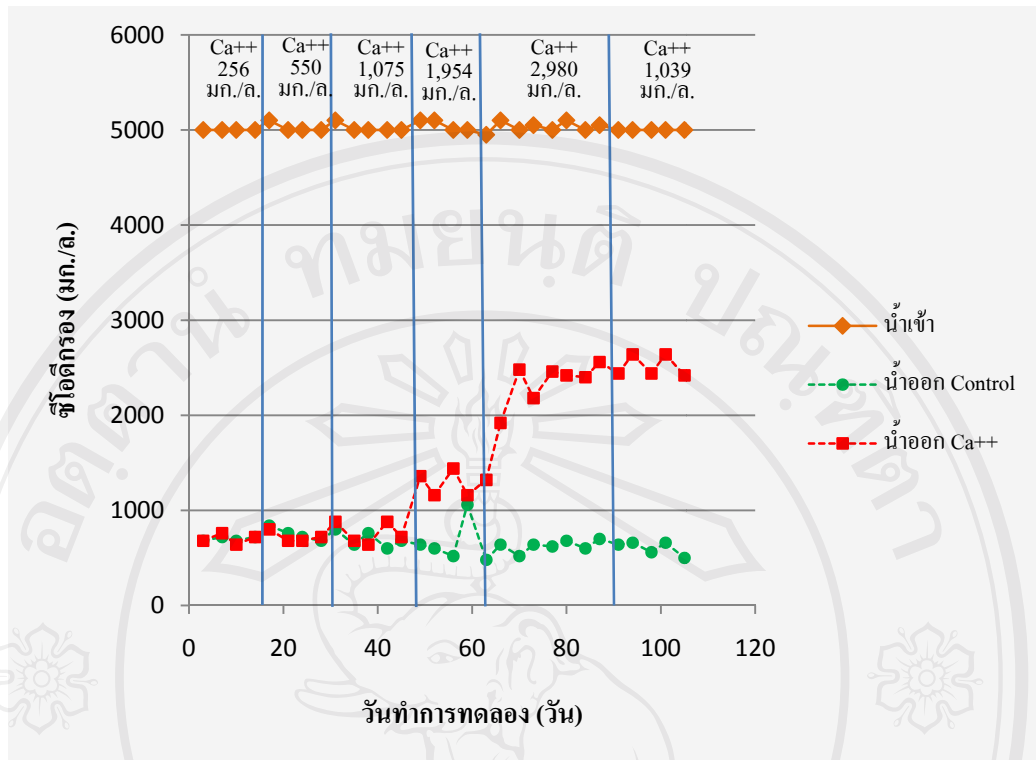
4.2.3 การกำจัดซีโอดีในถังที่เติมแคลเซียมออกไซด์

ผลของความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์ต่อการกำจัดซีโอดี และซีโอดีกรองได้แสดงในรูป 4.13 และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังเติมแคลเซียมได้แสดงในรูป 4.14



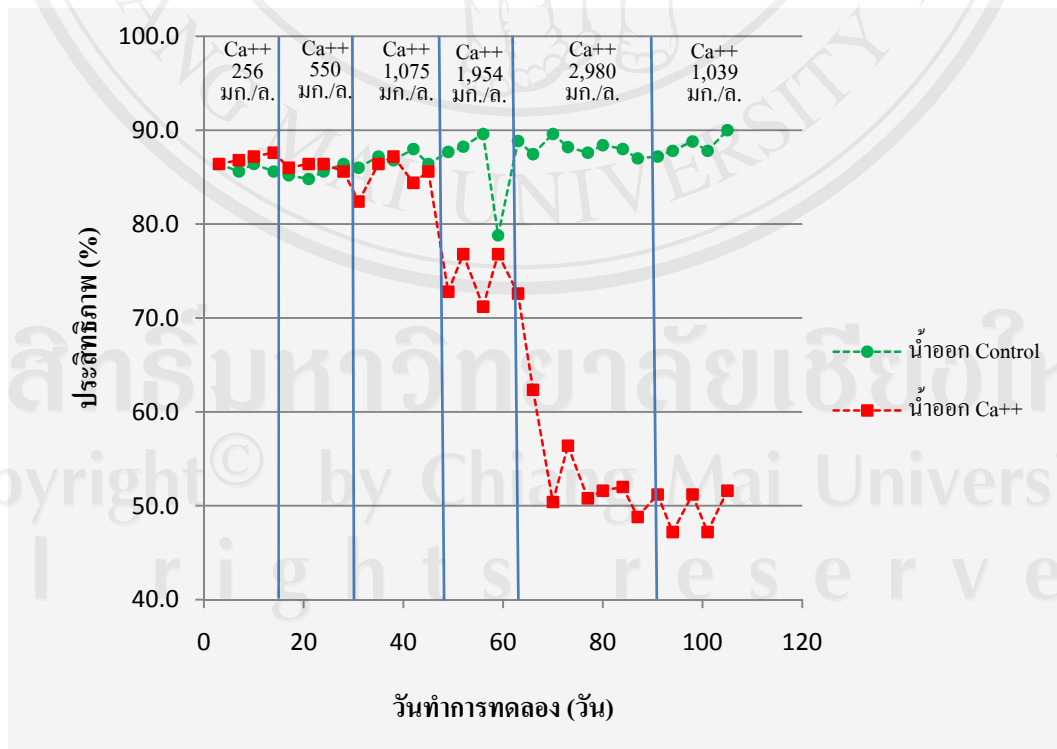
ก. ซีโอดี

รูป 4.13 การแปรผันของซีโอดี และซีโอดีกรองในถังที่เติมแคลเซียมออกไซด์



ข. ซีโอดีกรอง

รูป 4.13 (ต่อ)

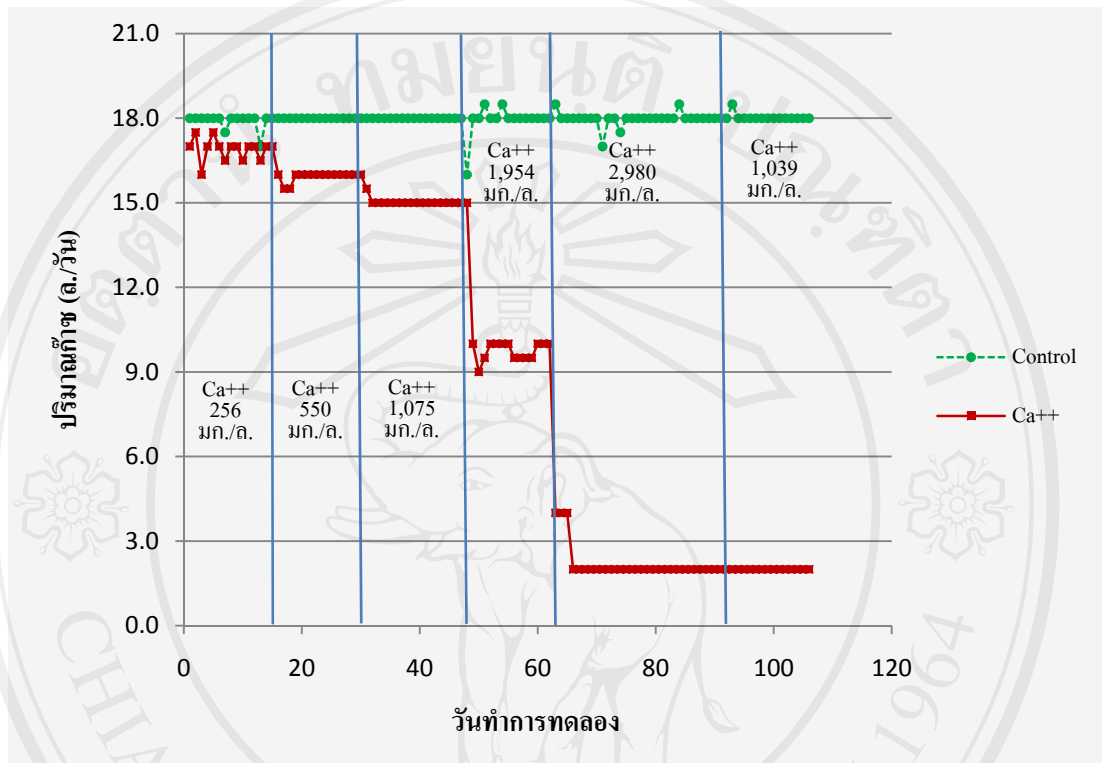


รูป 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังที่เติมแคลเซียม

จากรูป 4.13 และ 4.14 พบว่า น้ำเข้าระบบมีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 5,022 มก./ล. น้ำออกจากถังที่ 1 (ถังควบคุม) กำจัดซีไอดี ได้ค่อนข้างคงที่มีค่าซีไอดีและซีไอดีกรองเฉลี่ยเท่ากับ 1,170 มก./ล. และ 667 มก./ล. ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีร้อยละ 87.0 ถังที่ 2 ที่มีการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่าซีไอดีแปรผันอยู่ในช่วง 1,067 – 3,867 มก./ล. และค่าซีไอดีกรองอยู่ในช่วง 640 – 2,640 มก./ล. พบว่าช่วงวันที่ 1- 48 มีการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 256, 550 และ 1,075 มก./ล. จุลินทรีย์สามารถปรับตัวได้ ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมากนัก น้ำออกมีค่าซีไอดี และซีไอดีกรองเฉลี่ย 1,170 และ 667 มก./ล. ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ย 86.0 % สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yu et al. (2001) พบว่า ความเข้มข้นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 150-300 มก./ล. จะเกิดการสะสมของชีวมวล(biomass)ในระบบยูเอเอสบี มีกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนขณะที่ Langerak (1998) พบว่า การเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในระบบยูเอเอสบีที่น้อยกว่า 600 มก./ล. ระบบน่าจะจะมีการกำจัดซีไอดีได้ดี และเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 1,200 มก./ล. ประสิทธิภาพไม่แน่นอน ช่วงวันที่ 49 – 63 เติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1,954 มก./ล. เกิดการยับยั้งระบบเล็กน้อย น้ำออกมีค่าซีไอดี และซีไอดีกรองเฉลี่ย 2,240 และ 1,288 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีจะลดลงเหลือ 74.0 % จุลินทรีย์ยังสามารถปรับตัวได้ เกิดการยับยั้งระบบเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 2,980 มก./ล. เกิดการเป็นพิษต่อแบคทีเรียจนระบบล้มเหลว เนื่องจากแคลเซียมและแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปก็จะเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรีย (McCarty, 1964) จนทำให้ระบบล้มเหลวในที่สุด ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเหลือเพียง 52.9 % ระดับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นพิษในระบบยูเอเอสบี ต่ำกว่าถึงหมักตะกอนแบบแขวนลอยของการศึกษาอื่น ซึ่งระบุว่าเกิดการยับยั้งปานกลางที่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2,500 – 4,500 มก./ล. (McCarty, 1964) ขณะที่ Ahn et al. (2006) พบว่า ที่ถังหมักรูปไข่ (egg-shaped digester) ของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ความเข้มข้นแคลเซียม 3,000 มก./ล. ไม่พบการยับยั้งปฏิกิริยา

4.2.4 ก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบก๊าซในถังที่เติมแคลเซียม

การแปรผันของก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองได้แสดงในรูป 4.15 และตาราง 4.1



รูป 4.15 การแปรผันปริมาณก๊าซชีวภาพ

ตาราง 4.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยในถังที่เติมแคลเซียม

วันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ย				
	ถังควบคุม (ล./วัน)	ถังที่เติมแคลเซียม			ปริมาณก๊าซที่ลดลงจากถังควบคุม (%)
		ความเข้มข้นของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (มก./ล.)	ผลต่อระบบ	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	
1-15	17.9	256	เกิดผลเสียต่อระบบเล็กน้อย	16.9	5.6
16-30	18.0	550		15.9	11.5
31-48	17.9	1,075		15.0	16.0
49-63	18.1	1,954	เริ่มส่งผลเสียมาก	9.4	48.2
64-91	18.0	2,980	ระบบล้มเหลว	2.1	88.1
92-106	18.0	1,039	-	2	88.9

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังยูเอเอสบีเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพระบบ ปริมาณก๊าซและองค์ประกอบก๊าซขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการย่อยสลาย และอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ จากรูป 4.15 และตาราง 4.1 พบการลดลงของก๊าซชีวภาพในถังที่เติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์เมื่อเทียบกับถังควบคุม ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 256-1,075 มก./ล. เกิดผลเสียต่อระบบเล็กน้อย ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงจากถังควบคุมน้อยกว่า 16% ที่ความเข้มข้น 1,954 มก./ล. เริ่มส่งผลต่อการผลิตก๊าซมากขึ้น โดยปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงจากถังควบคุม 48.2% ที่ความเข้มข้น 2,980 มก./ล. ระบบล้มเหลวมีปริมาณก๊าซลดลงจากถังควบคุม 88.1% องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพได้แสดงในตาราง 4.2

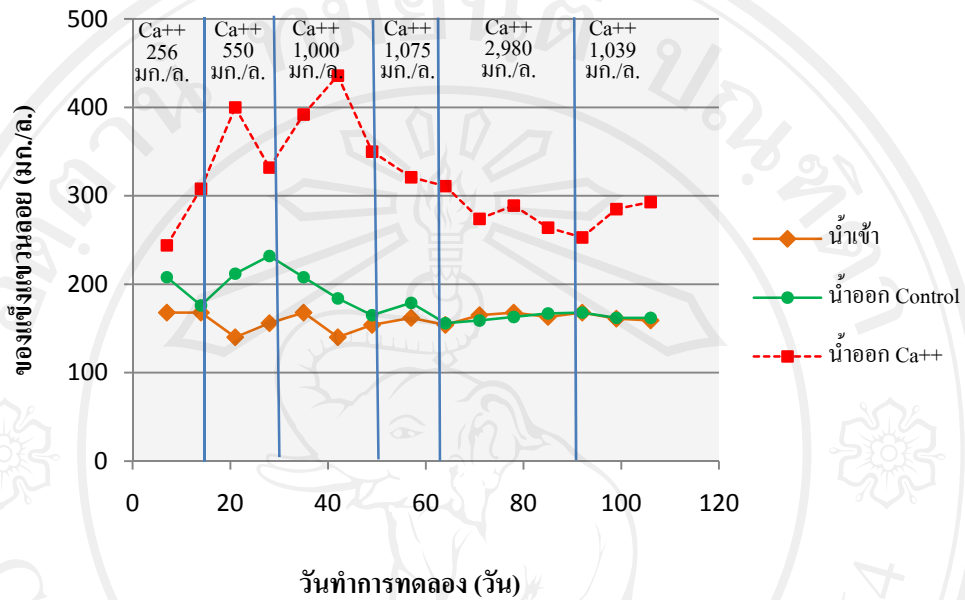
ตาราง 4.2 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพในถังที่เติมแคลเซียม

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ทำการวัด	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ						ผลต่อระบบ
		ถังควบคุม			ถังที่เติมแคลเซียม			
		CH ₄	CO ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	
1-15	7/7/2553	63.5	33.9	2.6	57.4	39.4	3.2	เกิดผลเสียต่อระบบเล็กน้อย
16-30	21/7/2553	65.1	32.1	2.8	63.5	33.9	2.6	
31-48	4/8/2553	62.7	34.6	2.7	61.7	34.1	4.2	
49-63	16/8/2553	61.5	31.5	2.3	52.4	43.1	4.5	เริ่มส่งผลเสียมาก
64-91	30/8/2553	62.5	35.2	2.3	50.1	45.7	4.2	ระบบล้มเหลว
92-106	22/9/2553	60.1	37.4	2.5	-	-	-	-

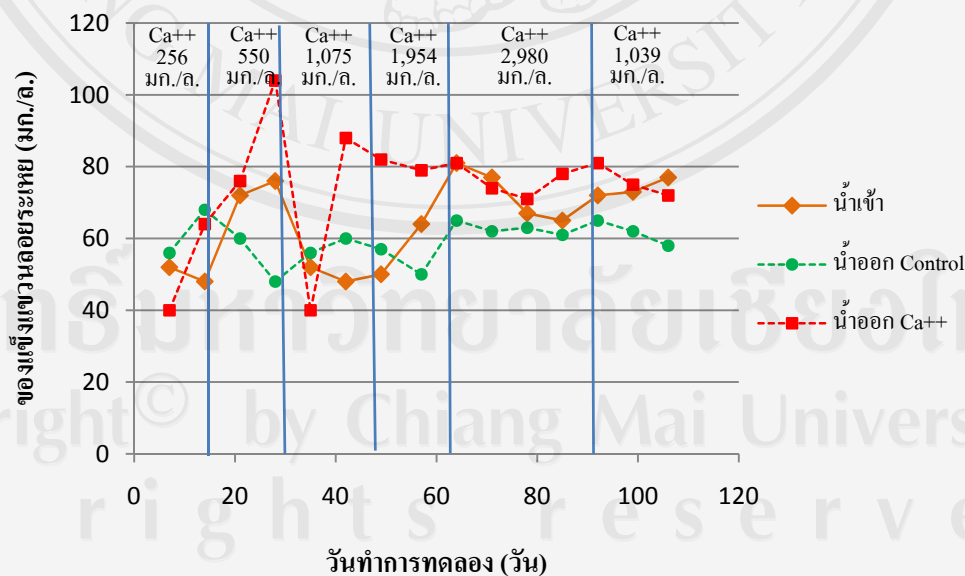
จากตาราง 4.2 พบว่า ถังปฏิกิริยาที่ 1 (ถังควบคุม) มีปริมาณก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 60.1 - 65.1 % มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 31.5 - 37.4 % และมีก๊าซไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.3 - 2.8 % ถังปฏิกิริยาที่ 2 (เติมแคลเซียม) พบว่า มีปริมาณก๊าซมีเทน 50.1-63.5 % มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 33.9 - 45.7 % และมีก๊าซไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.6 - 4.5 % ซึ่งองค์ประกอบที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 1-48 จะไม่ต่างกันมากนักในแต่ละวันที่ทำการวัด ช่วงวันที่ 49 เป็นต้นไป ในถังที่มีการเติมแคลเซียมมีปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนลดลง เนื่องจากการเติมแคลเซียมสูงขึ้นเริ่มเกิดผลเสียต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนในระบบยูเอเอสบี

4.2.5 ของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย

การแปรผันของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในถังที่เติมแคลเซียม อีออนได้แสดงในรูป 4.16



ก.ของแข็งแขวนลอย



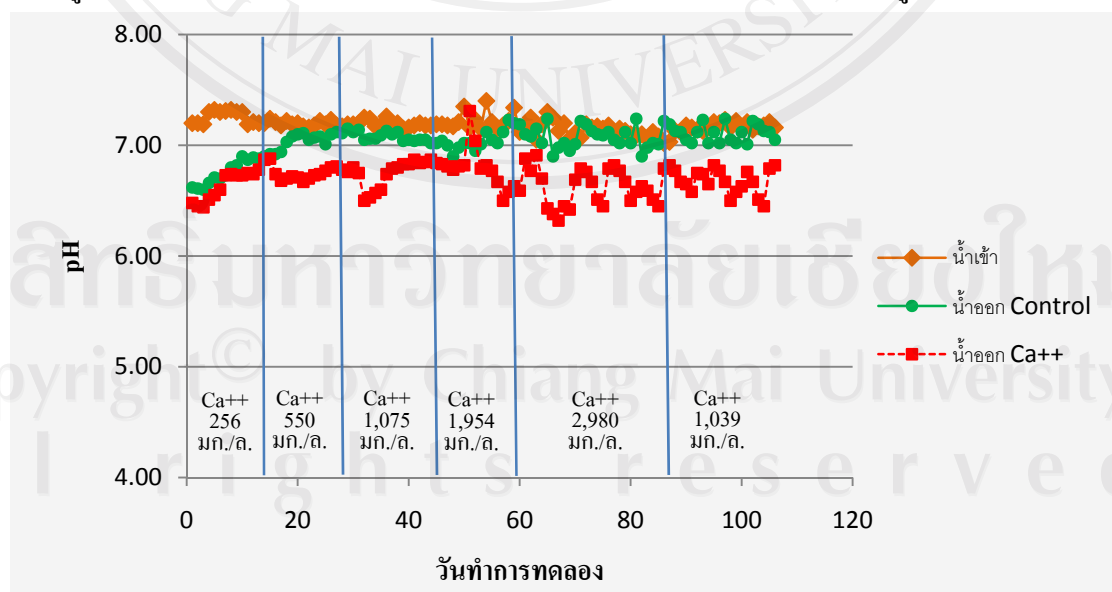
ข.ของแข็งแขวนลอยระเหย

รูป 4.16 การแปรผันของค่าของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในถังที่เติมแคลเซียมอีออน

น้ำเข้าถังยูเอเอสบีเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากน้ำประปา 90 % และจากโรงบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 10% โดยปริมาตร ตามลำดับ จึงมีค่าของแข็งแขวนลอยไม่สูงมากอยู่ในช่วง 140-168 มก./ล. เฉลี่ย 159.6 มก./ล. มีของแข็งระเหย อยู่ในช่วง 48-81 มก./ล. เฉลี่ย 70 มก./ล. ถึงปฏิกิริยาที่ 1 (ถังควบคุม) มีการแปรผันของของแข็งแขวนลอยไม่มาก น้ำออกมีของแข็งแขวนลอยในช่วง 156-232 มก./ล. ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 180 มก./ล. มีของแข็งแขวนลอยระเหยในช่วง 48-68 มก./ล. เฉลี่ย 59 มก./ล. ซึ่งของแข็งแขวนลอยระเหย คือ เซลล์แบคทีเรียที่หลุดออก ถึงปฏิกิริยาที่ 2 เติมแคลเซียมออกไซด์ น้ำออกมีของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 244-400 มก./ล. เฉลี่ย 316.6 มก./ล. มีค่าของแข็งระเหยในช่วง 40-104 มก./ล. เฉลี่ย 73.6 มก./ล. ของแข็งแขวนลอยระเหยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจากถังควบคุมค่อนข้างมาก จากรูป 4.16 ช่วงแรกที่มีการเติมแคลเซียมออกไซด์จะเห็นว่า ค่าของแข็งแขวนลอยค่อนข้างไม่คงที่ แนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมที่เติมเข้าไปในระบบ เมื่อจุลินทรีย์เกิดการปรับตัว ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบจึงลดลงเล็กน้อย ส่วนใหญ่ของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นเป็น Fixed Suspended Solids เป็นตะกอนอนินทรีย์จากแคลเซียม เช่น CaCO_3 ที่เติมลงไป น้ำเข้าที่หลุดออก

4.2.6 พีเอช อุณหภูมิ ความเป็นด่างรวมและกรดไขมันระเหยง่าย

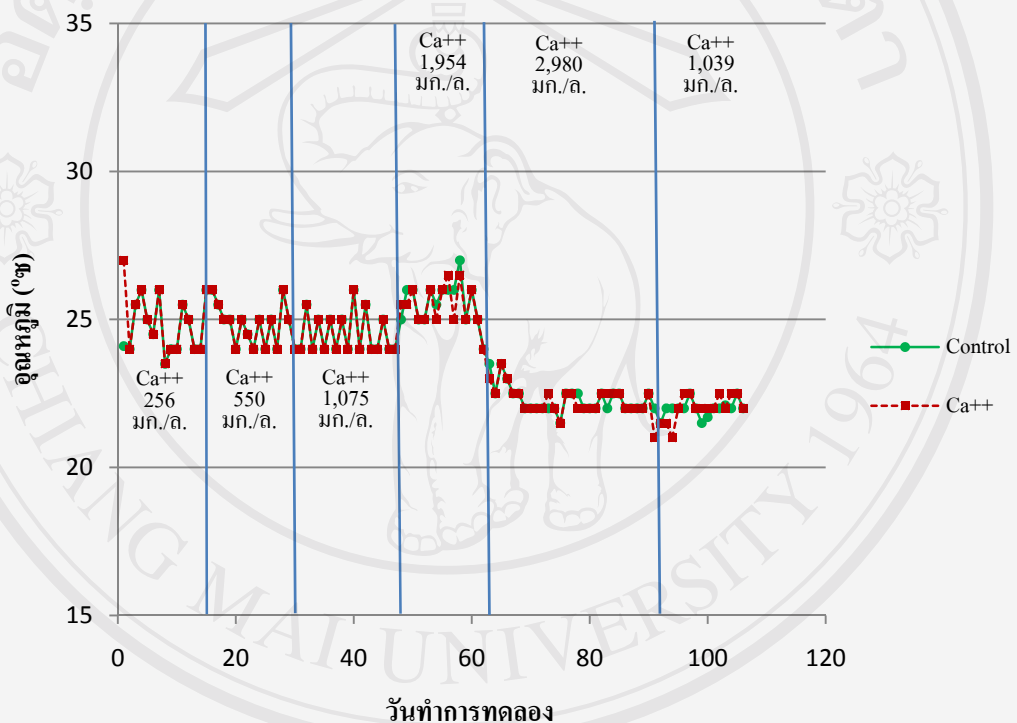
ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ พีเอช และอุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ ในการทดลองนี้ได้ควบคุมพีเอชโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5 – 7.2 เพื่อเพิ่มกำลังบัฟเฟอร์ การแปรผันของพีเอชได้แสดงในรูป 4.17



รูป 4.17 การแปรผันของพีเอชในถังเติมแคลเซียมออกไซด์

โดยรวม สามารถควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ต่อการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน คือ 6.5 – 7.2 เพื่อป้องกันสภาวะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งจะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ลดลง ค่าพีเอชที่เหมาะสมของแบคทีเรียสร้างมีเทน คือ 6.5-8.2 (Speece, 1996) แต่ในช่วงท้ายของการทดลอง เมื่อระบบมีประสิทธิภาพต่ำมาก พีเอชน้ำออกได้ลดลง เพราะระบบเสียสมดุล การทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลง เนื่องจากเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรืออาจทำให้แบคทีเรียตาย

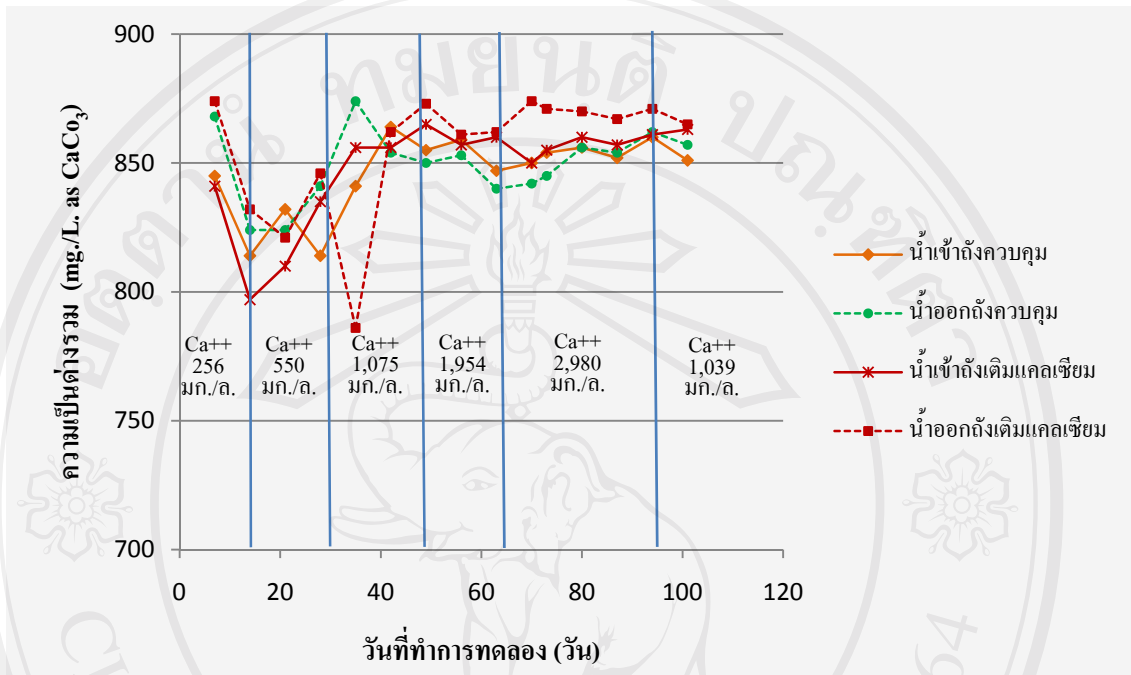
การแปรผันของอุณหภูมิในถังเดิมแคลเซียมได้แสดงไว้ในรูป 4.18



รูป 4.18 การแปรผันของอุณหภูมิในถังเดิมแคลเซียม

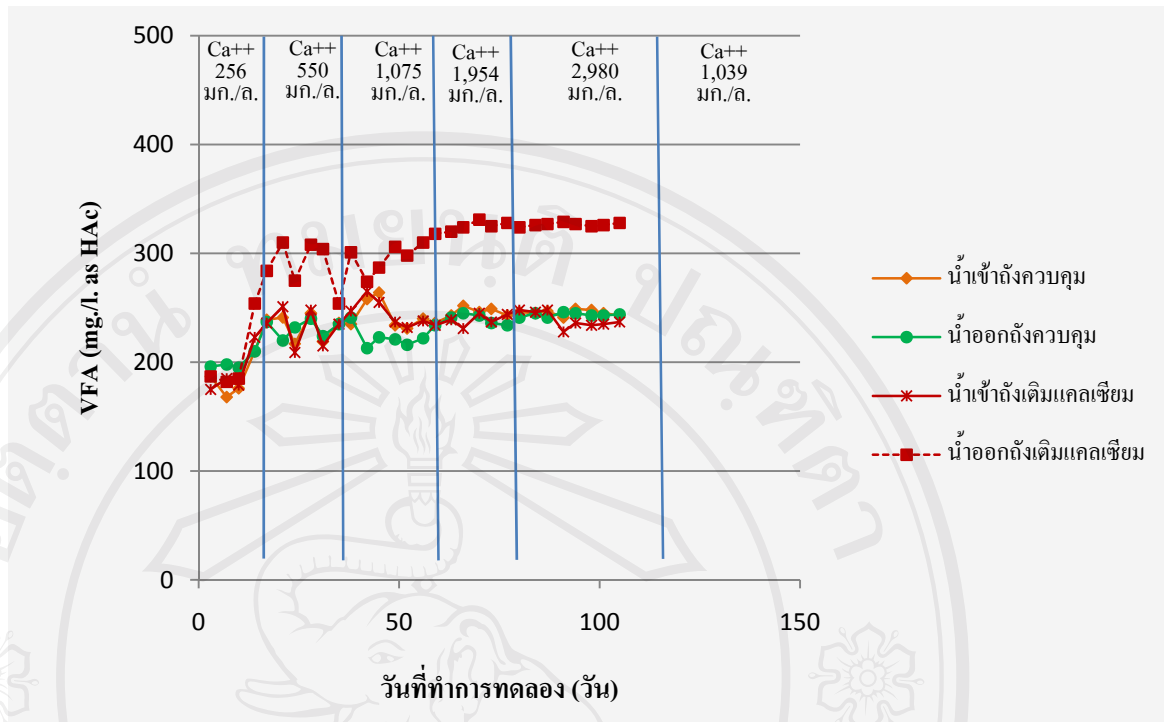
จากรูป 4.18 แสดงการแปรผันของอุณหภูมิตลอดการทดลอง พบว่า ช่วงแรกของการทดลองจะมีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงหลังของการทดลอง เนื่องจากเป็นช่วงระหว่างปลายฤดูร้อนถึงช่วงฤดูฝน ซึ่งปีที่ได้ทำการทดลองฤดูร้อนยาวนานกว่าปกติ ทำให้ฝนตกช่วงเดือนสิงหาคม ในช่วงกลางการทดลองอุณหภูมิจึงลดลง โดยในถังควบคุม และถังเดิมแคลเซียมมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 23.77 และ 23.81 °ซ ซึ่งเป็นช่วงมีโซฟิลิก การที่อุณหภูมิเฉลี่ยในระบบต่ำกว่า 30 – 35 °ซ นั้นจะทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้มีปริมาณที่น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 30 – 35 °ซ (Kotze et al., 1969)

รูป 4.19 แสดงการแปรผันของค่าความเป็นด่างรวมในทดลองที่มีการเติมแคลเซียมอ็อกไซด์



รูป 4.19 การแปรผันของค่าความเป็นด่างรวมในถังเติมแคลเซียม

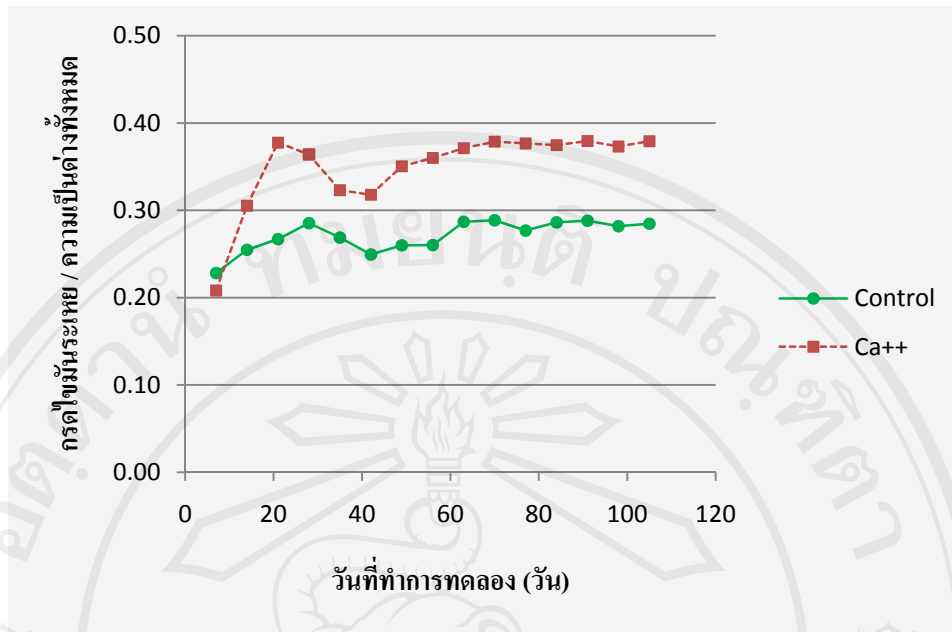
ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นด่างรวมในน้ำขึ้นอยู่กับการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติม ส่งผลทำให้ระบบมีสภาพต่างค่อนข้างสม่ำเสมอ ค่าความเป็นด่างรวมในน้ำเข้าและน้ำออกของถังควบคุม มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 846.3 และ 849.6 มก./ล. CaCO₃ ค่าความเป็นด่างรวมในน้ำเข้าและน้ำออกถังเติมแคลเซียมมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 848.2 และ 855.7 มก./ล. CaCO₃ ในถังควบคุม และถังที่เติมแคลเซียมมีค่าความเป็นด่างรวมเพิ่มขึ้น 0.3 และ 0.8 % ซึ่งแนวโน้มการแปรผันค่าความเป็นด่างรวมคงที่ และผลของการแปรผันของกรดไขมันระเหยก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูป 4.20



รูป 4.20 การแปรผันของกรดไขมันระเหยง่ายในถังเดิมแคลเซียม

จากรูป 4.20 พบว่า ในน้ำออกจากถังควบคุมมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายในช่วง 168-264 มก./ล. HAc ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ย 230.1 มก./ล. HAc ในน้ำออกถังเดิมแคลเซียมมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 182-331 มก./ล. HAc ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ย 293.4 มก./ล. HAc ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในน้ำออกจากถังเดิมแคลเซียมมีค่ามากกว่าถังควบคุม เนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์เกิดเป็นก๊าซมีเทนลดลง แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถย่อยกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นก๊าซมีเทนได้หมด ทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายหลุดออกมากับน้ำออก

นอกจากนี้ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่าย ต่อความเป็นด่างรวม ก็เป็นปัจจัยที่บอก ว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูงพอ ที่จะรักษาค่าพีเอชที่เหมาะสมไว้ได้ ดังนั้น การประเมินกำลังบัฟเฟอร์ของระบบจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการรักษาเสถียรภาพของระบบ ซึ่งกำลังบัฟเฟอร์คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต (VFA/Alk.) มีค่าน้อยกว่า 0.4 McCarty (1964) แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง แต่หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์ของระบบต่ำมาก พีเอชสามารถที่จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว การแปรผันของ อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่าย ต่อความเป็นด่างรวม ได้แสดงในรูป 4.21



รูป 4.21 การแปรผันของอัตราส่วน กรดไขมันระเหยง่ายต่อความเป็นค่ารวม

จากรูป 4.21 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่าย ต่อความเป็นค่ารวม ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง ช่วยด้านการเปลี่ยนแปลงพีเอชของถังปฏิกรณ์ได้ดี หลังจากเริ่มต้นระบบ ระบบมีการปรับสภาพทำให้สามารถทนต่อปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในระบบได้ จึงทำให้ระบบยังสามารถทำงานได้ปกติ

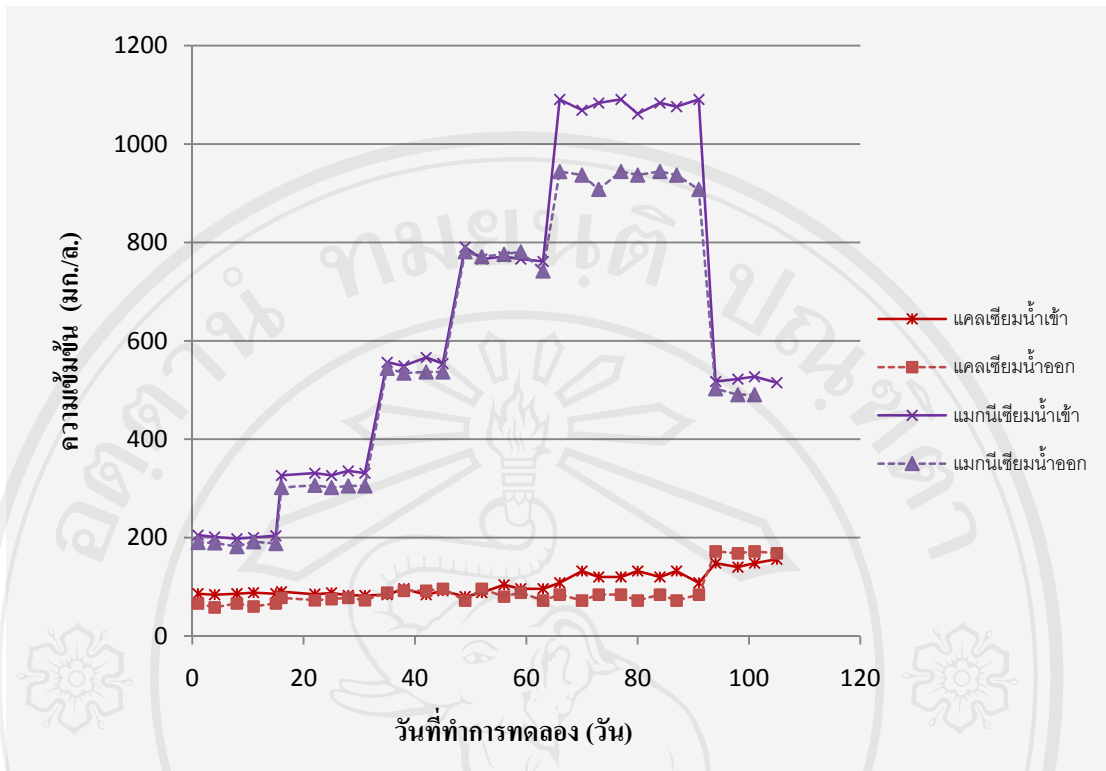
4.3 ผลการทดลองเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ทำการทดลองทั้งหมด 106 วัน ทำการเดินระบบยูเอสบีหลังจากการเริ่มต้นระบบเสร็จสิ้น เดินระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 7.09 กก.ซีไอดี/(ม³·วัน) และมีการเติมไฮดรอกไซด์แมกนีเซียม ดังนี้ ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ไม่มีการเติมไฮดรอกไซด์แมกนีเซียม ถังปฏิกรณ์ที่ 3 เติม $MgCl_2$ ในน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อเพิ่มแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ทำการทดลองจนระบบล้มเหลวจึงหยุดการทดลอง ข้อมูลดิบได้แสดงในตารางภาคผนวก ข.

4.3.1 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในถังที่เติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ผลของแคลเซียม และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในถังที่เติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ แสดงไว้ใน

รูป 4.22

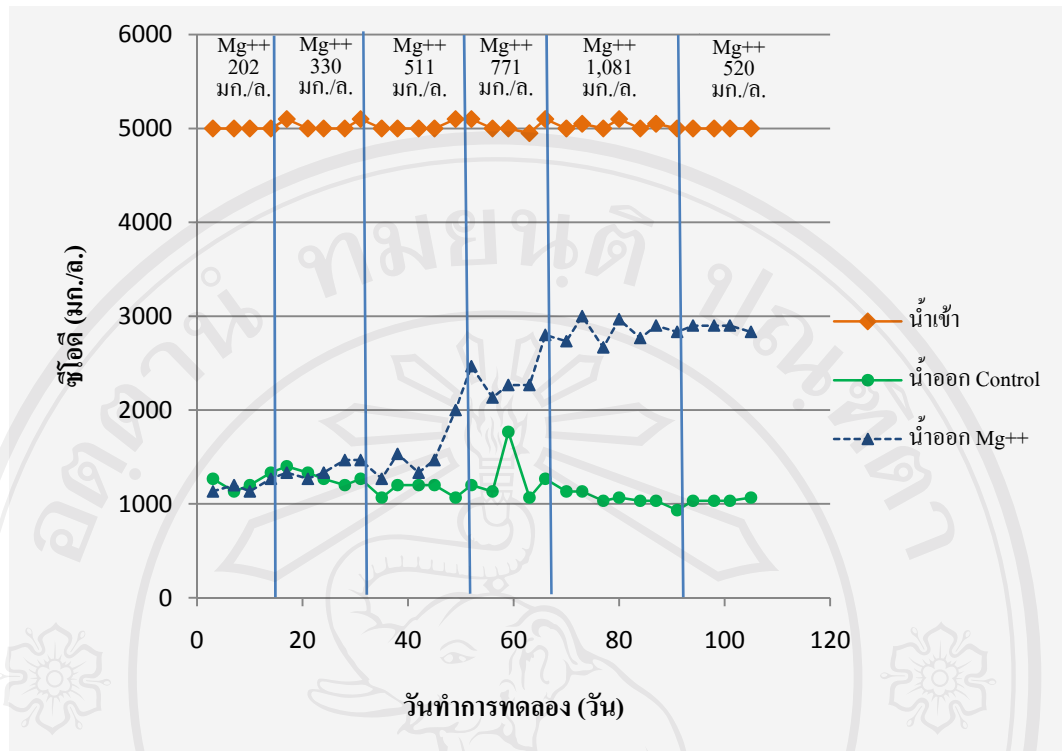


รูป 4.22 ความเข้มข้นแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนในถังปฏิกิริยาที่ 3 (เดิมแมกนีเซียมไอออน)

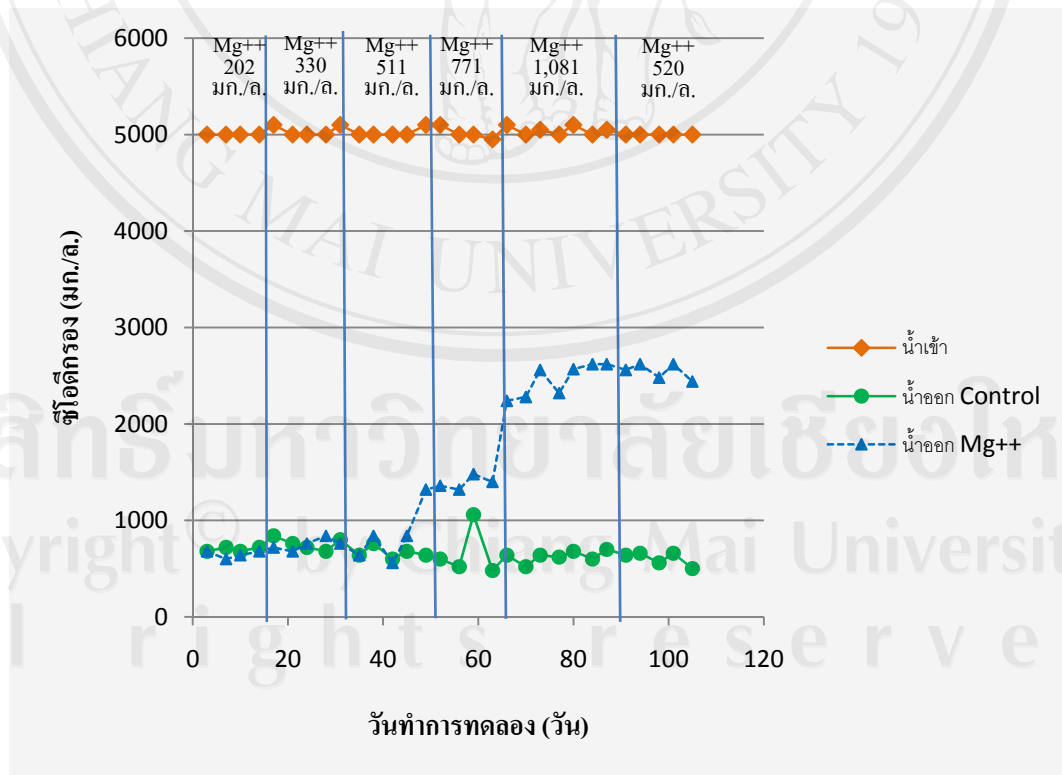
จากรูป 4.22 พบว่าในถังปฏิกิริยาที่ 3 (ที่มีการเติมแมกนีเซียมไอออน) มีความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนน้ำเข้าเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา เท่ากับ 202, 330, 511, 771, 1,081 และ 520 มก./ล. ความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนน้ำออกลดลงเล็กน้อย เท่ากับ 6, 7, 3, 0.1, 13 และ 4% ตามลำดับ ความเข้มข้นแคลเซียมไอออนในน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบเฉลี่ย 105 มก./ล. และ 90 มก./ล. ความเข้มข้นแคลเซียมไอออนลดลง 14 % แคลเซียม และแมกนีเซียมไอออนถ้ามีความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปก็จะเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรีย (McCarty, 1964) ในการทดลองนี้เกิดการเป็นพิษต่อแบคทีเรีย จนระบบล้มเหลวที่ 1,081 มก./ล. ได้ลดปริมาณการเติมแมกนีเซียมไอออนจาก 1,081 เป็น 520 มก./ล. และเดินระบบต่อไปอีก 15 วัน ไม่สามารถฟื้นฟูสภาพของระบบได้ ซึ่งต่ำกว่างานวิจัยของ McCarty ที่พบว่า ระดับแมกนีเซียมไอออนที่ ความเข้มข้น 1,000 – 1,500 มก./ล. จะส่งผลให้เกิดการยับยั้งปานกลาง

4.3.2 การกำจัดซีโอดีในถังที่เติมแมกนีเซียมไอออน

ผลของความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนต่อการกำจัดซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังเติมแมกนีเซียมได้แสดงในรูป 4.23 และ 4.24

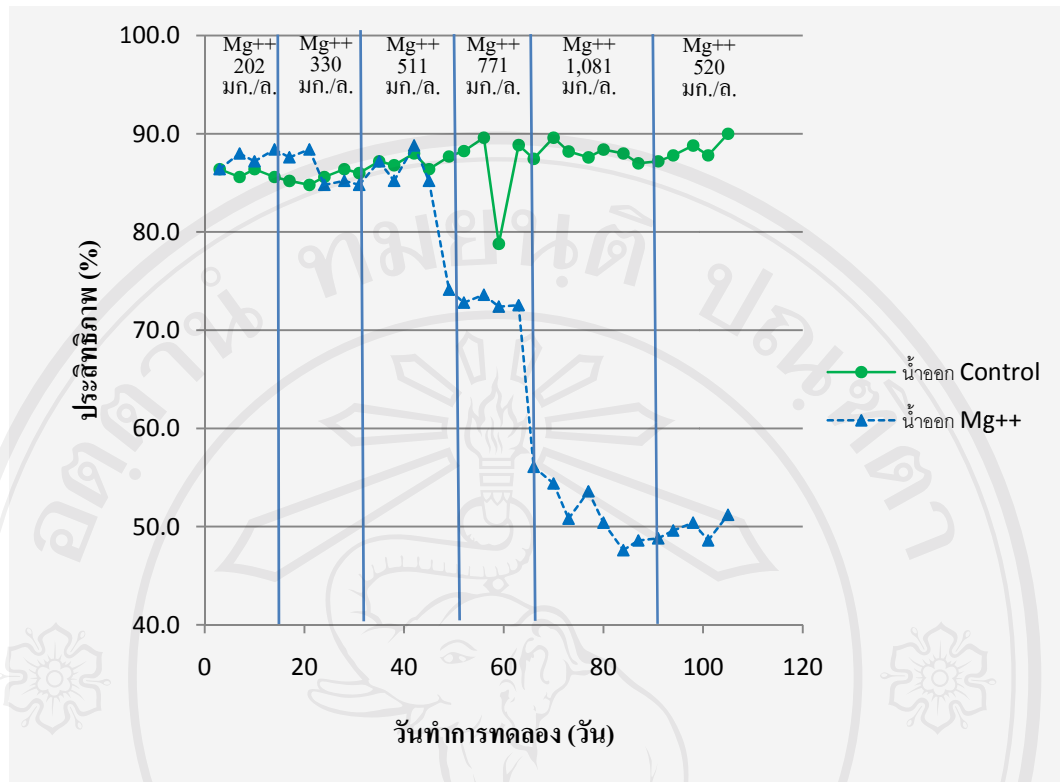


ก. ซีโอดี



ข. ซีโอดีกรอง

รูป 4.23 การแปรผันของซีโอดีกรองในถังที่เติมแมกนีเซียมออกไซด์

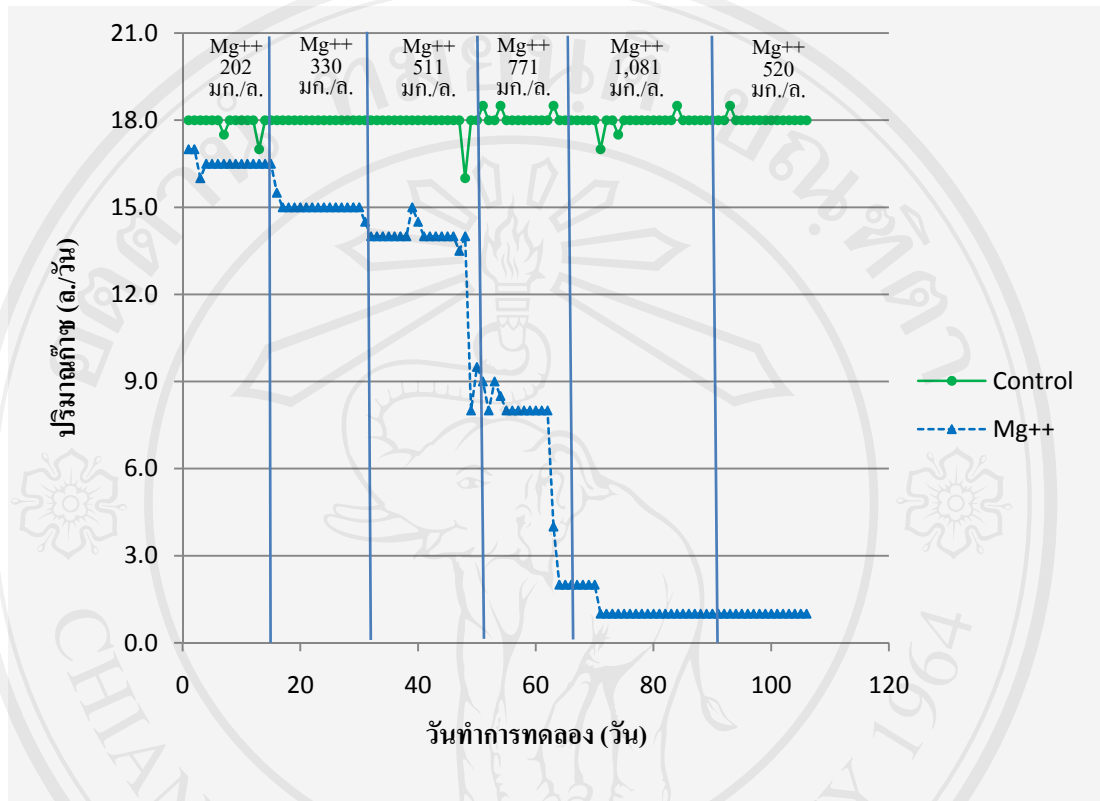


รูป 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังเดิมแมกนีเซียม

จากรูป 4.23 และ 4.24 พบว่า ถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมแมกนีเซียมอออน น้ำออกมีค่าซีโอดีแปรผันในช่วง 1,133 – 3,000 มก./ล. และค่าซีโอดีกรองในช่วง 600 – 2,620 มก./ล. พบว่า ช่วงวันที่ 1- 48 มีการเติมอออนในช่วง 202, 338 และ 511 มก./ล. จุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นได้ดี ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากนัก น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีและซีโอดีกรองเฉลี่ย 1,323 และ 711 มก./ล. ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ย 85.8 % สอดคล้องกับงานวิจัยของ Schmidt and Ahring (1993) พบว่าการดำเนินระบบควบคุมให้มีความเข้มข้นอออนแมกนีเซียมน้อยกว่า 729 มก./ล. เพื่อลดการสูญเสีย biomass และระบบยูเอเอสบีจะมีประสิทธิภาพดีที่ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมอออน เท่ากับ 12.15 และ 243.05 มก./ล. จะไม่เกิดผลเสียต่อระบบ ช่วงวันที่ 49 – 63 มีการเติมแมกนีเซียมที่ความเข้มข้น 771 มก./ล. มีการยับยั้งระบบเล็กน้อย มีค่าซีโอดี และซีโอดีกรองเฉลี่ย เท่ากับ 2,226 และ 1,376 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 73.1 % ในช่วงวันที่ 64 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 1,081 มก./ล. ระบบประสิทธิภาพต่ำลง มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 53.2% เกิดการยับยั้งการทำงานของระบบยูเอเอสบีจนระบบล้มเหลวในที่สุด ซึ่งระดับอออนแมกนีเซียมที่เป็นพิษต่ำกว่าที่อ้างถึงในถังหมักตะกอนของการศึกษาอื่น ที่ระบุว่าเกิดการยับยั้งปานกลาง ที่อออนแมกนีเซียม 1,000 – 1,500 มก./ล. (McCarty, 1964)

4.3.3 ก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบก๊าซ

การแปรผันของก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองได้แสดงในรูป 4.25 และตาราง 4.3



รูป 4.25 การแปรผันปริมาณก๊าซชีวภาพ

ตาราง 4.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยในถังที่เติมแมกนีเซียม

วันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ย				
	ถังควบคุม (ล./วัน)	ถังที่เติมแมกนีเซียม			ปริมาณก๊าซที่ลดลงจากถังควบคุม (%)
		ความเข้มข้นของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (มก./ล.)	ผลต่อระบบ	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./วัน)	
1-15	17.9	202	เกิดผลเสียต่อระบบเล็กน้อย	16.5	7.6
16-30	18.0	330		15.0	16.5
31-48	17.9	511		14.1	21.3
49-63	18.1	771	เริ่มส่งผลเสียมาก	8.0	55.8
64-91	18.0	1,081	ระบบล้มเหลว	1.3	92.5
92-106	18.0	520	-	1.0	94.5

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังยูเอเอสบีเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพระบบ ปริมาณก๊าซและองค์ประกอบก๊าซขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการย่อยสลาย และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จากรูป 4.25 และตาราง 4.3 พบการลดลงของก๊าซชีวภาพในถังที่เติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อเทียบกับถังควบคุม ที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 202-511 มก./ล. ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงจากถังควบคุมน้อยกว่า 21.3 % ที่ความเข้มข้น 711 มก./ล. ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลง 55.8 % ที่ความเข้มข้น 1,081 มก./ล. ระบบล้มเหลวทำให้มีปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงจากถังควบคุม 92.5 % องค์ประกอบก๊าซชีวภาพก๊าซชีวภาพในถังเติมแมกนีเซียมได้แสดงในตาราง 4.4

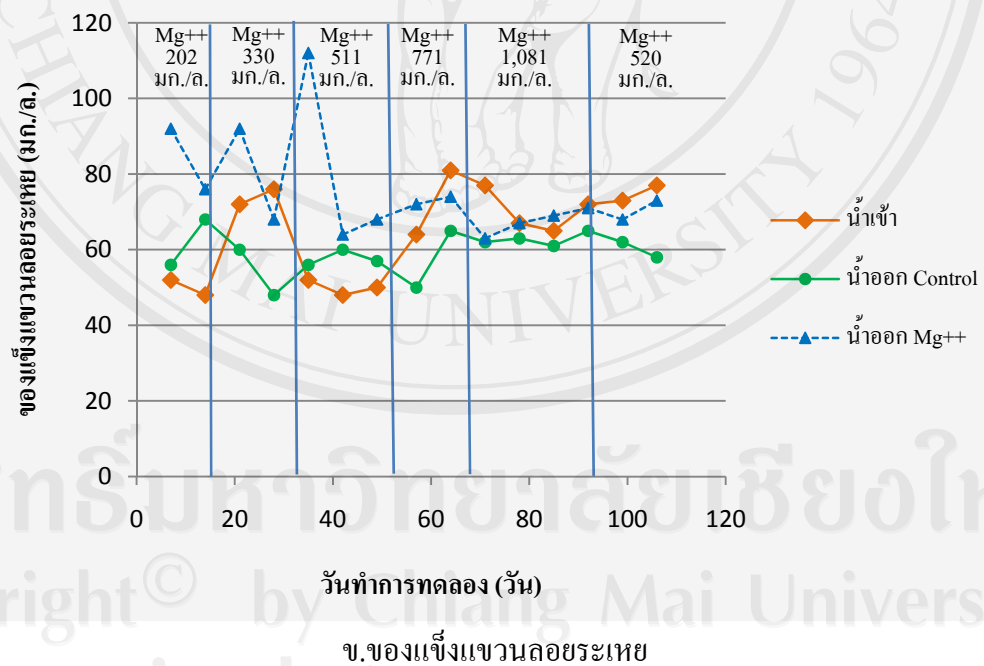
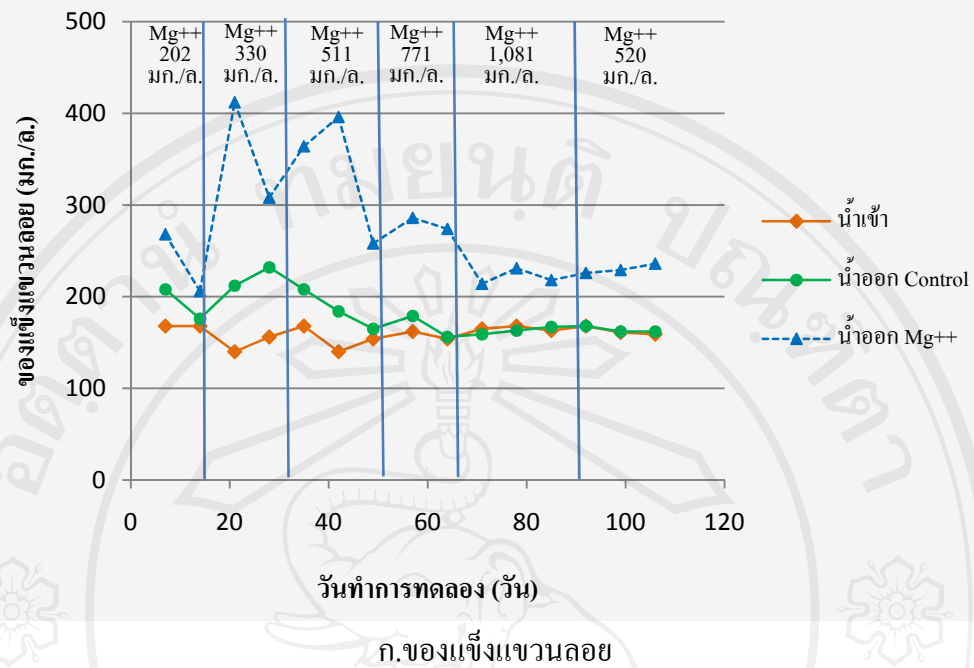
ตาราง 4.4 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพในถังที่เติมแมกนีเซียม

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ทำการวัด	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ						ผลต่อระบบ
		ถังควบคุม			ถังที่เติมแมกนีเซียม			
		CH ₄	CO ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	
1-15	7/7/2553	63.5	33.9	2.6	58.1	38.5	3.4	เกิดผลเสียต่อระบบเล็กน้อย
16-30	21/7/2553	65.1	32.1	2.8	62.4	35.2	2.4	
31-48	4/8/2553	62.7	34.6	2.7	59.7	37.6	2.7	
49-63	16/8/2553	61.5	31.5	2.3	55.9	39.3	4.8	เริ่มส่งผลเสียมาก
64-91	30/8/2553	62.5	35.2	2.3	51.4	44.8	3.4	ระบบล้มเหลว
92-106	22/9/2553	60.1	37.4	2.5	-	-	-	-

จากตาราง 4.4 พบว่า ถังปฏิกิริยาที่ 1 (ถังควบคุม) ถังปฏิกิริยาที่ 1 (ถังควบคุม) มีปริมาณก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 60.1 - 65.1 % มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 31.5 - 37.4 % และมีก๊าซไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.3 - 2.8 % ถังปฏิกิริยาที่ 3 (เติมแมกนีเซียม) พบว่า มีปริมาณก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 51.4 - 62.4 % มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 35.2 - 44.8 % และมีก๊าซไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.4 - 4.8 % ซึ่งองค์ประกอบที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 1-48 จะไม่ต่างกันมากนักในแต่ละวันที่ทำการวัด ช่วงวันที่ 49 เป็นต้นไป ในถังที่มีการเติมแมกนีเซียมมีปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนลดลง เนื่องจากมีการเติมแมกนีเซียมสูงขึ้นเริ่มเกิดผลเสียต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนในระบบยูเอเอสบี

4.3.4 ของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย

การแปรผันของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในถังที่เติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ได้แสดงในรูป 4.26

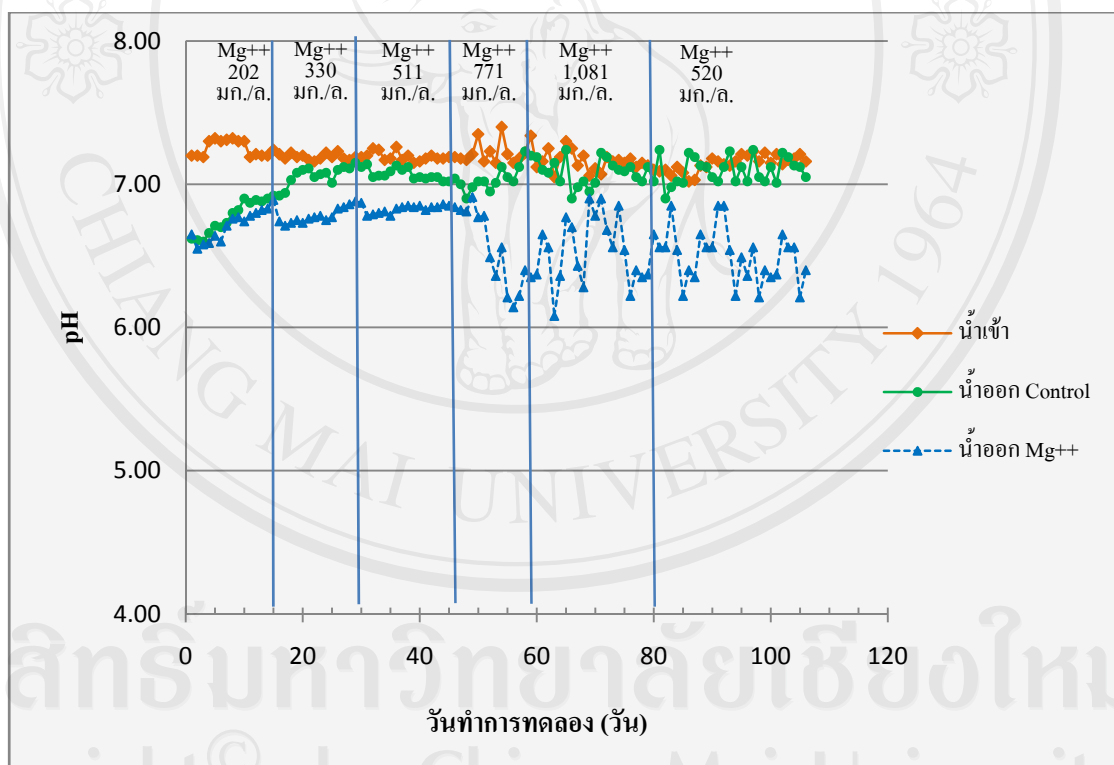


รูป 4.26 การแปรผันของค่าของแข็งแวนลอย และของแข็งแวนลอยระเหยในถังที่เดิม แมกนีเซียมอ่อน

ถังที่ 3 เดิมแมกนีเซียมออกไซด์ ดังแสดงในรูป 4.26 มีของแข็งแขวนลอยในช่วง 206 และ 412 มก./ล. เกลือ 281.6 มก./ล. มีของแข็งแขวนลอยระเหยในช่วง 63-112 มก./ล. เกลือ 76 มก./ล. น้ำออกมีการแปรผันสูง มีของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยเพิ่มขึ้น 122.1 และ 12.6 มก./ล. จากถังควบคุม ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า การเติมออกไซด์ ทำให้น้ำออกมีของแข็งแขวนลอยจากตะกอนอนินทรีย์ที่สูงขึ้นจากสารประกอบที่เติมลงไป

4.3.5 พิเอช ความเป็นด่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยง่าย

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ พิเอช และอุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ ในการทดลองนี้ ได้ควบคุมพิเอชโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ค่าพิเอชอยู่ในช่วง 6.5 – 7.2 เพื่อเพิ่มกำลังบำบัดฟลูออไรด์ การแปรผันของพิเอชได้แสดงในรูป 4.27

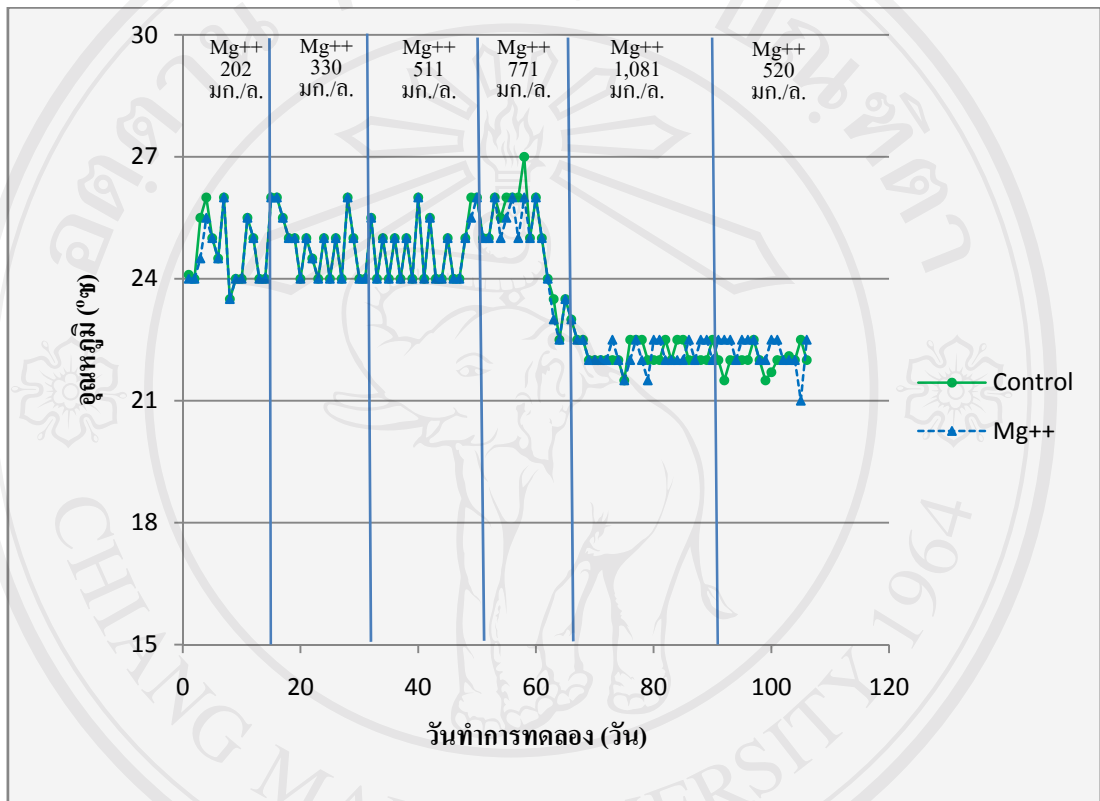


รูป 4.27 การแปรผันของพิเอช

โดยรวม สามารถควบคุมพิเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ต่อการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน คือ 6.5 – 7.2 เพื่อป้องกันสภาวะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งจะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ลดลง ค่าพิเอชที่เหมาะสมของแบคทีเรียสร้างมีเทน คือ 6.5-8.2 (Speece, 1996) แต่ในช่วงท้ายของการทดลอง เมื่อระบบมี

ประสิทธิภาพต่ำมาก พี่เอชน้ำออกได้ลดลง เพราะระบบเสียสมดุล การทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลง เนื่องจากเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรือทำให้แบคทีเรียตาย

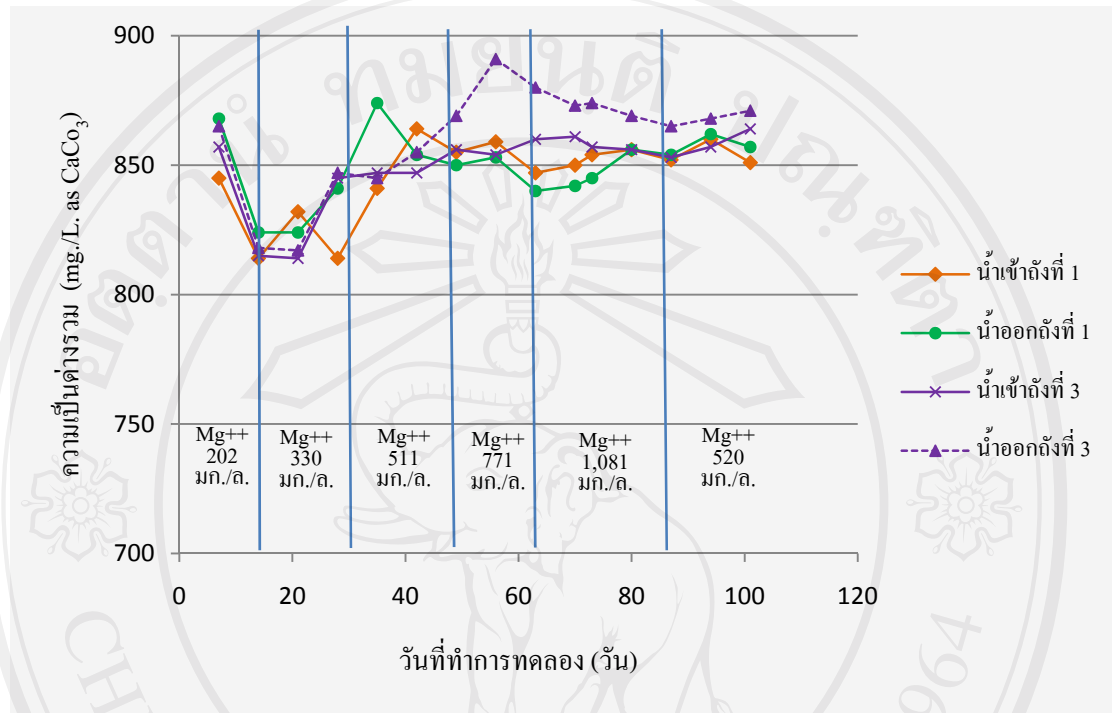
การแปรผันของอุณหภูมิในถังที่เติมแมกนีเซียมได้แสดงในรูป 4.28



รูป 4.28 การแปรผันอุณหภูมิในถังเติมแมกนีเซียม

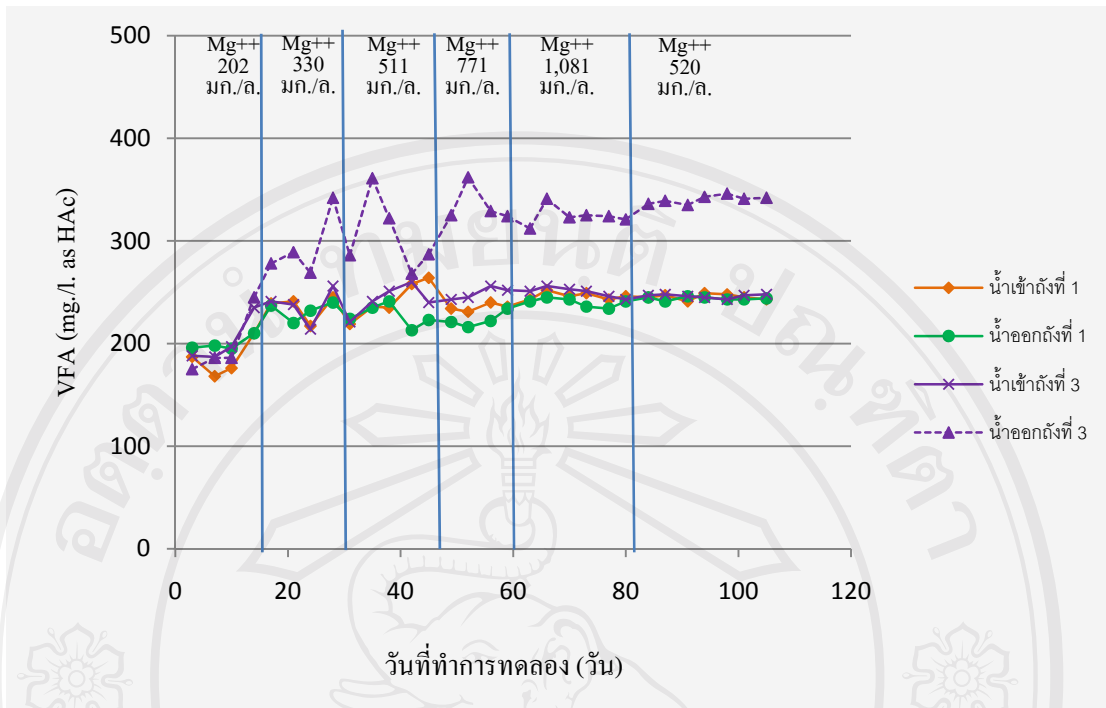
จากรูป 4.28 แสดงการแปรผันของอุณหภูมิตลอดการทดลอง พบว่า ช่วงแรกของการทดลองจะมีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงหลังของการทดลอง เนื่องจากเป็นช่วงระหว่างปลายฤดูร้อนถึงช่วงฤดูฝน ซึ่งปีที่ได้ทำการทดลองฤดูร้อนยาวนานกว่าปกติ ทำให้ฝนตกช่วงเดือนสิงหาคม ในช่วงกลางการทดลองอุณหภูมิจึงลดลง โดยในถังควบคุม และถังที่เติมแมกนีเซียม มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 23.77 และ 23.75 °ซ ซึ่งเป็นช่วงมีโซฟิลิก การที่อุณหภูมิเฉลี่ยในระบบต่ำกว่า 30 – 35 °ซ นั้นจะทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้มีปริมาณที่น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 30 – 35 °ซ (Kotze et al., 1969)

รูป 4.29 และ 4.30 แสดงการแปรผันของค่าความเป็นด่างทั้งหมด และกรดไขมัน
ระเหยง่ายในถัสดมแมกนีเซียมอออน



รูป 4.29 การแปรผันของความเป็นด่างทั้งหมดในถัสดมแมกนีเซียมอออน

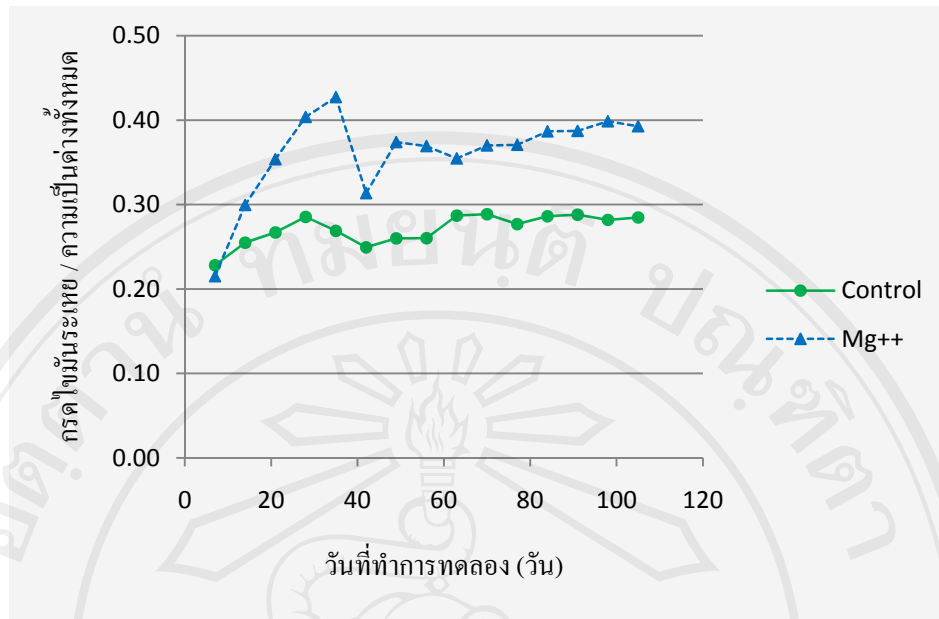
ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นด่างรวมในน้ำขึ้นอยู่กัปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เติม ส่งผลทำให้ระบบมีสภาพด่างค่อนข้างสม่ำเสมอ ค่าความเป็นด่างรวมในน้ำเข้าและน้ำออกของถัสดมแมกนีเซียมมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 846.3 และ 849.6 มก./ล.CaCO₃ ค่าความเป็นด่างรวมในน้ำเข้าและน้ำออกถัสดมแมกนีเซียมมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 849.5 และ 860.5 มก./ล.CaCO₃ ในถัสดมแมกนีเซียม และถัสดมแมกนีเซียมมีค่าความเป็นด่างรวมเพิ่มขึ้น 0.3 และ 1.2 % ซึ่งแนวโน้มการแปรผันความเป็นด่างรวมคงที่ และผลของการแปรผันของกรดไขมันระเหยง่ายก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูป 4.30



รูป 4.30 การแปรผันของกรดไขมันระเหยง่ายในถังเดิมแมกนีเซียมออกไซด์

จากรูป 4.30 พบว่า ในน้ำออกจากถังควบคุมมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 168-264 มก./ล. HAc ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ย 230.1 มก./ล. HAc ในน้ำออกถังเดิมแมกนีเซียมมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 175-362 มก./ล. HAc ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ย 303.1 มก./ล. HAc ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในน้ำออกจากถังเดิมแมกนีเซียมมีค่ามากกว่าถังควบคุมเนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์เกิดเป็นก๊าซมีเทนลดลง แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถย่อยกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นก๊าซมีเทนได้หมด ทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายหลุดออกมากับน้ำออก

นอกจากนี้ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่าย ต่อความเป็นด่างรวม ก็เป็นปัจจัยที่บอก ว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูงพอ ที่จะรักษาค่าพีเอชที่เหมาะสมไว้ได้ ดังนั้น การประเมินกำลังบัฟเฟอร์ของระบบจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการรักษาเสถียรภาพของระบบ ซึ่งกำลังบัฟเฟอร์คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต (VFA/Alk.) มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง แต่หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์ของระบบต่ำมาก พีเอชสามารถที่จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว การแปรผันของ อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่าย ต่อความเป็นด่างรวม ได้แสดงในรูป 4.31



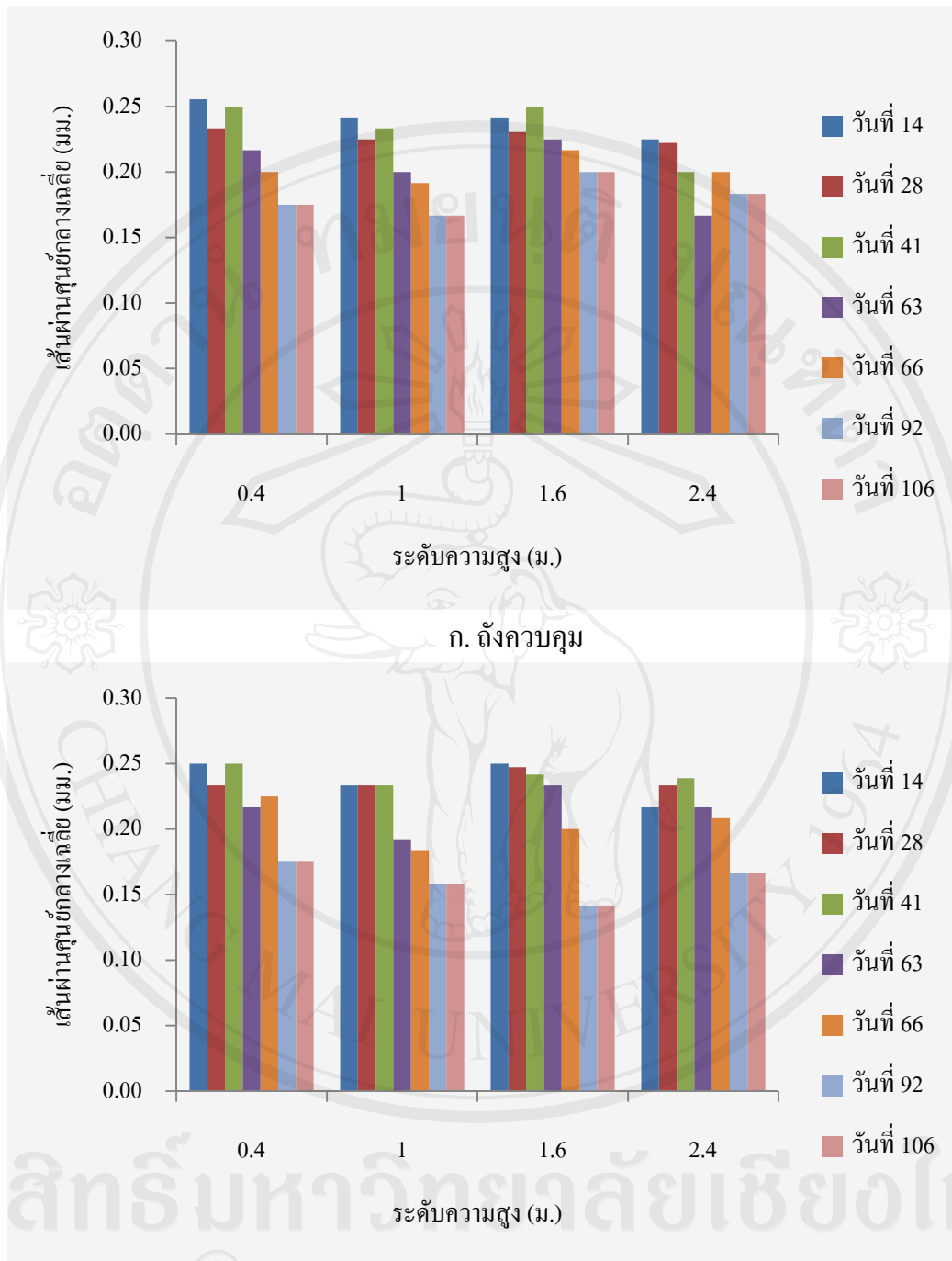
รูป 4.31 การแปรผันของอัตราส่วน กรดไขมันระเหยง่ายต่อความเป็นด่างรวม

จากรูป 4.31 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่าย ต่อความเป็นด่างรวม ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง ช่วยด้านการเปลี่ยนแปลงพีเอชของถังปฏิกรณ์ได้ดี หลังจากเริ่มต้นระบบ ระบบมีการปรับสภาพทำให้สามารถทนต่อปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในระบบได้ จึงทำให้ระบบยังสามารถทำงานได้ปกติ

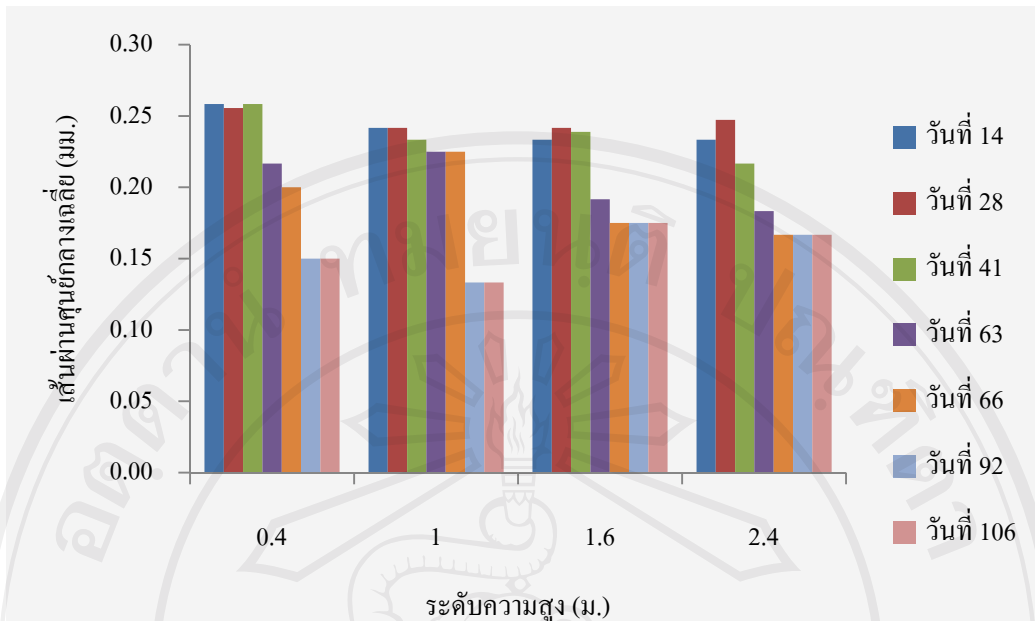
4.4 ตะกอนในระบบที่เติมแคลเซียม และแมกนีเซียม

4.4.1 ขนาด และลักษณะเม็ดตะกอน

ตลอดการทดลองไม่มีการระบายตะกอนส่วนเกินทิ้ง มีเพียงการเก็บตัวอย่างตะกอนมาวิเคราะห์ที่ระดับความสูง 0.4, 1.0, 1.6 และ 2.4 ม. จำนวน 9 ครั้ง ในวันที่ 14, 28, 41, 63, 66, 92 และ 106 ของการทดลอง การแปรผันขนาดเม็ดตะกอนแสดงในรูป 4.32 และภาพถ่ายของเม็ดตะกอนได้แสดงในรูป 4.33



ข. ถังเดิมแคลเซียมอ่อน
รูป 4.32 การเปลี่ยนแปลงขนาดเมล็ดตะกอน

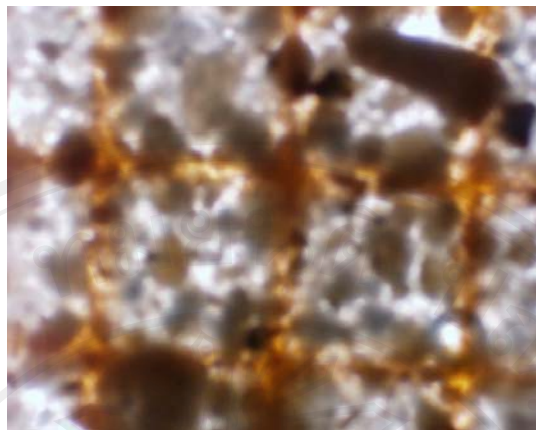


ค.ถึงเต็มแมกนีเซียมอ่อน

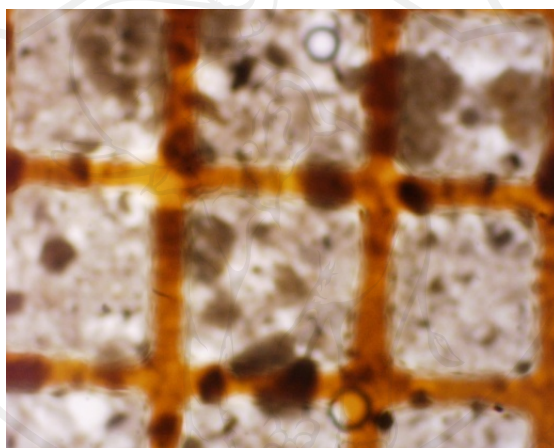
รูป 4.32 (ต่อ)

จากผลการศึกษาพบว่า ตะกอนที่มีขนาดใหญ่จะมีน้ำหนักมากกว่าตะกอนที่มีขนาดเล็กทำให้อยู่ต่ำกว่า ในถังที่เติมแคลเซียม และแมกนีเซียมอ่อนเมื่อตะกอนมีขนาดใกล้เคียงกันที่ระดับความสูงต่างๆ แม้ว่าด้านล่างของถังได้รับสารอาหารที่มีความเข้มข้นสูง และเกิดปฏิกิริยามากกว่า เมื่อตะกอนในถังที่เติมอ่อนพบว่าไม่ได้แตกต่างจากถังควบคุมมากนัก แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นแคลเซียม หรือแมกนีเซียมอ่อนไม่มีผลต่อขนาดเมื่อตะกอน

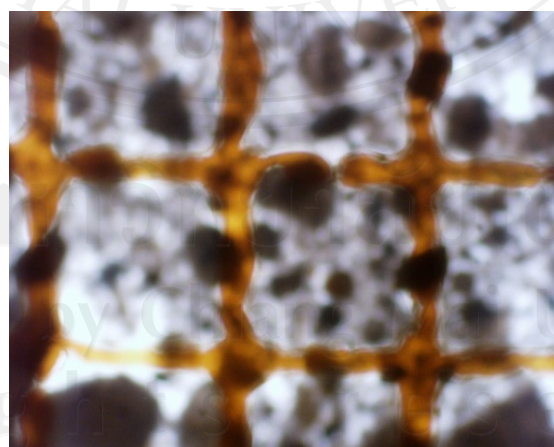
ขนาดของเมื่อตะกอนในถังควบคุม ถังเติมแคลเซียม และถังเติมแมกนีเซียม ระดับต่ำสุดจะมีขนาดใกล้เคียงกับในระดับที่สูงกว่า ในถังควบคุมที่ระดับ 0.4, 1.0, 1.6 และ 2.4 ม. มีขนาดเมื่อตะกอนเฉลี่ย เท่ากับ 0.24, 0.23, 0.23 และ 0.22 มม. ถังเติมแคลเซียมที่ระดับ 0.4, 1.0, 1.6 และ 2.4 ม. มีขนาดเมื่อตะกอนเฉลี่ย เท่ากับ 0.24, 0.23, 0.24 และ 0.23 มม. ถังแมกนีเซียมที่ระดับ 0.4, 1.0, 1.6 และ 2.4 ม. มีขนาดเมื่อตะกอนเฉลี่ย เท่ากับ 0.24, 0.24, 0.23 และ 0.22 มม. และเมื่อทำการทดลองต่อเนื่อง ขนาดเมื่อตะกอนจะเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยตามเวลาที่ทำการวัด ในวันที่ 14, 28, 41, 63, 66, 92 และ 106 ตามลำดับ ถังควบคุม ถังเติมแคลเซียม และถังเติมแมกนีเซียมมีขนาดเมื่อตะกอนเฉลี่ยในระดับ 2.4 ม. มีขนาดใหญ่กว่าในระดับ 0.4 ม. เท่ากับ 8, 4 และ 8 % ตามลำดับ



ก. ถังควมคุม



ข. ถังเต็มแคลเซียม

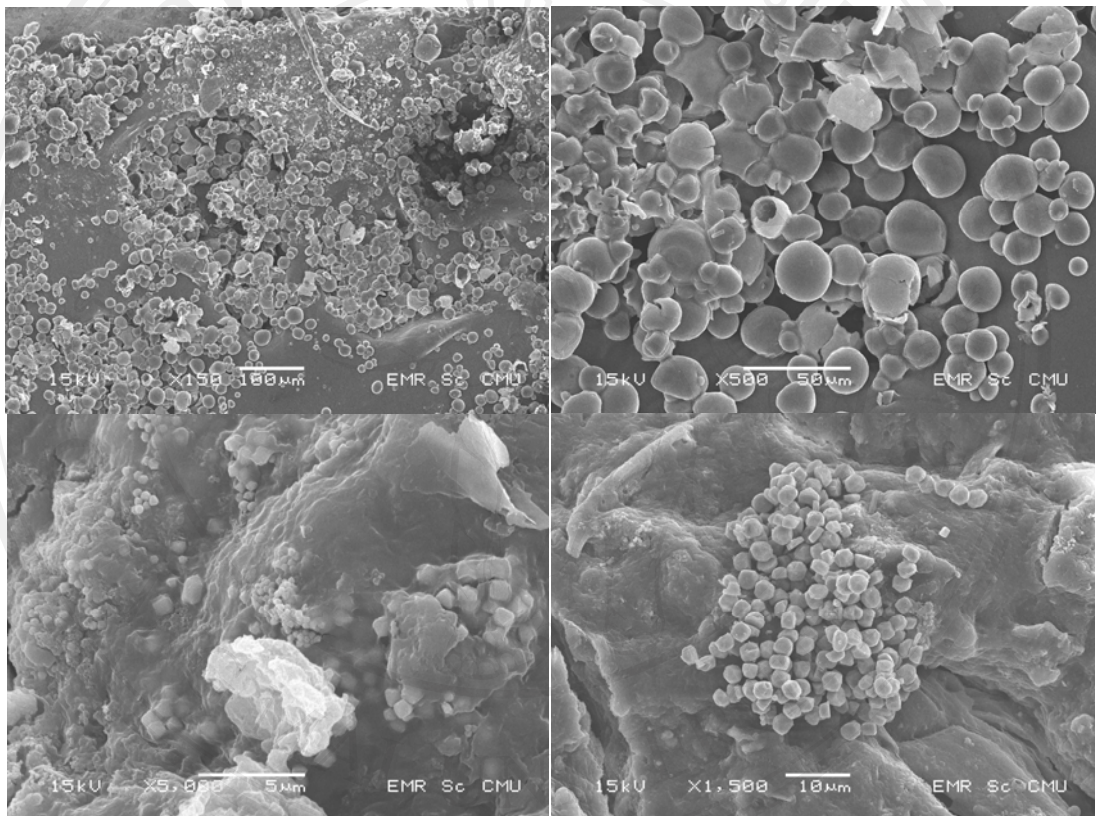


ค. ถังเต็มแมกนีเซียม

รูป 4.33 ภาพถ่ายขนาดเมล็ดตะกอน

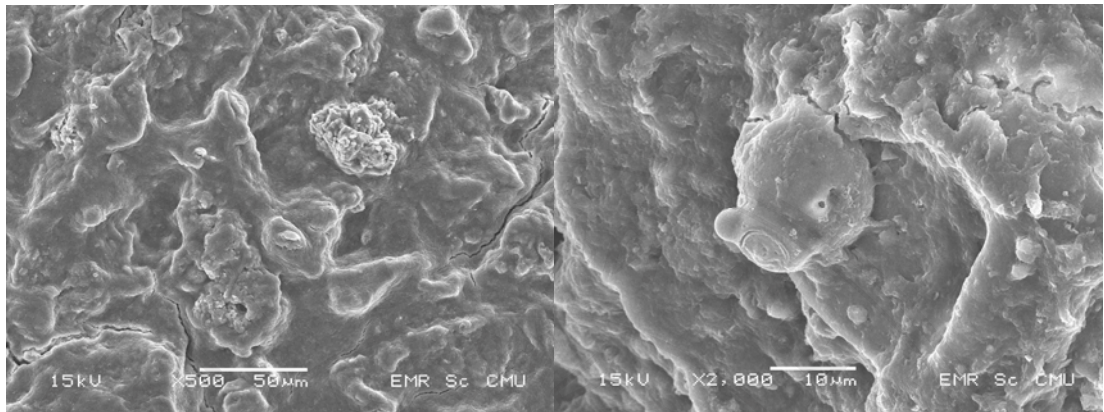
(หมายเหตุ : 1 ช่อง มีขนาด 1 มม. * 1 มม.)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองการตรวจสอบเม็ดตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อศึกษาลักษณะ และรายละเอียดของตะกอนจุลินทรีย์ พบว่า ในถังปฏิกิริยาที่ 1 (ถังควบคุม) แบคทีเรียส่วนมากที่ตรวจพบ จะเป็นแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นแท่ง (Rod Shaped) และรูปทรงกลม (sphere) ต่อกันเป็นสาย ดังรูป 4.34

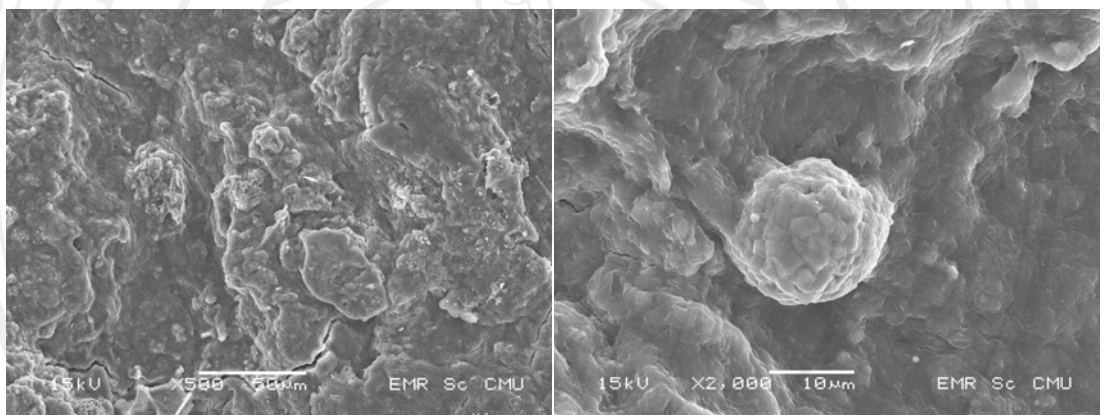


รูป 4.34 ลักษณะ และรายละเอียดของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาที่ 1

เมื่อสิ้นสุดการทดลองผลศึกษาลักษณะ และรายละเอียดของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาที่ 2 และ 3 พบว่า แบคทีเรียไม่สามารถบอกรูปร่างได้ชัดเจน รวมตัวกันเป็นกลุ่ม ดังรูป 4.35 และ 4.36 ซึ่งอาจเป็นแบคทีเรียที่ตาย และเปลี่ยนรูปร่างไปในถังปฏิกิริยาที่ 1



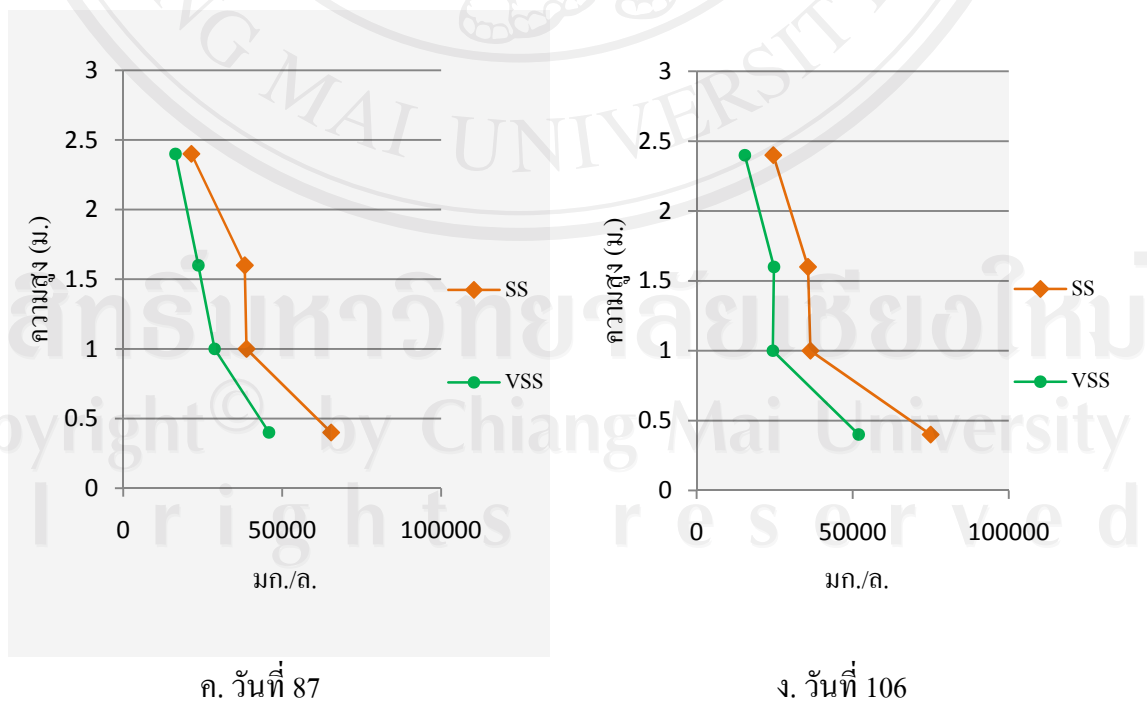
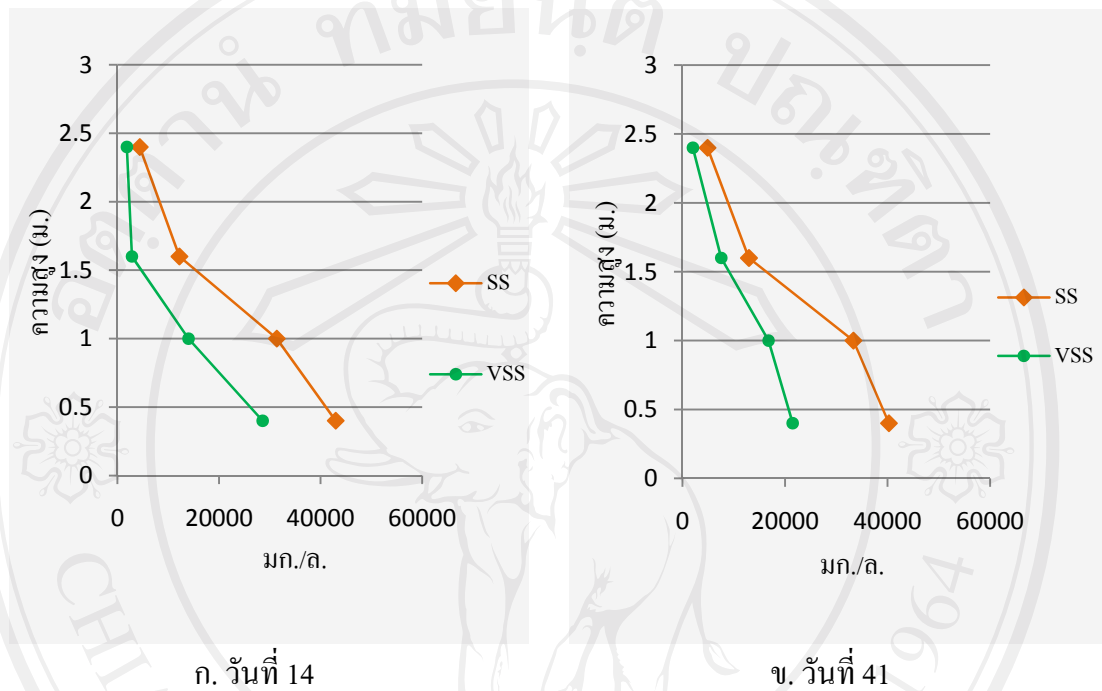
รูป 4.35 ลักษณะ และรายละเอียดของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาที่ 2



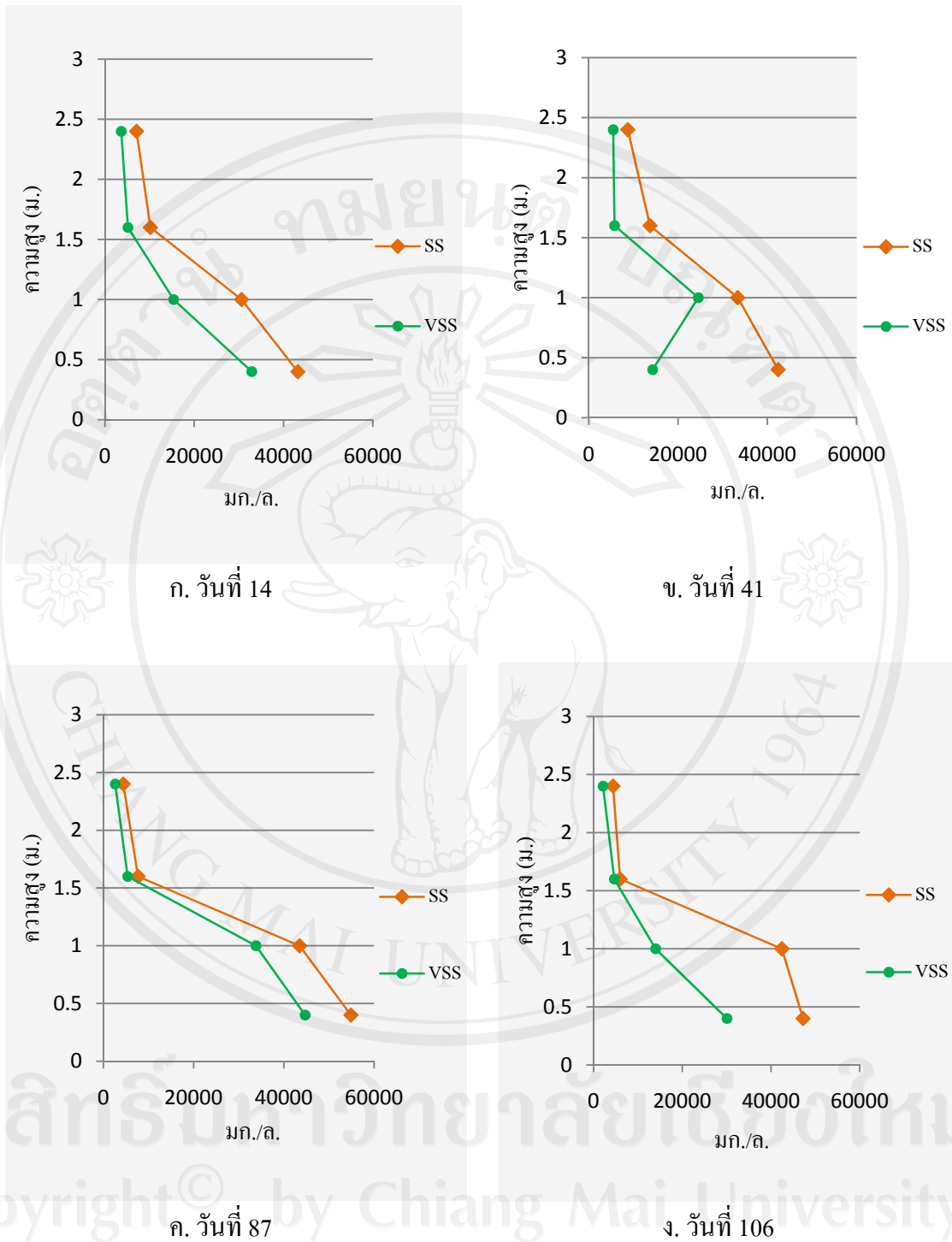
รูป 4.36 ลักษณะ และรายละเอียดของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาที่ 3

4.4.2 ชั้นตะกอนตามความสูงของถังปฏิกริยา

การแปรผันของปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย ตามความสูงของถังปฏิกริยาได้แสดงในรูป 4.37, 4.38 และ 4.39

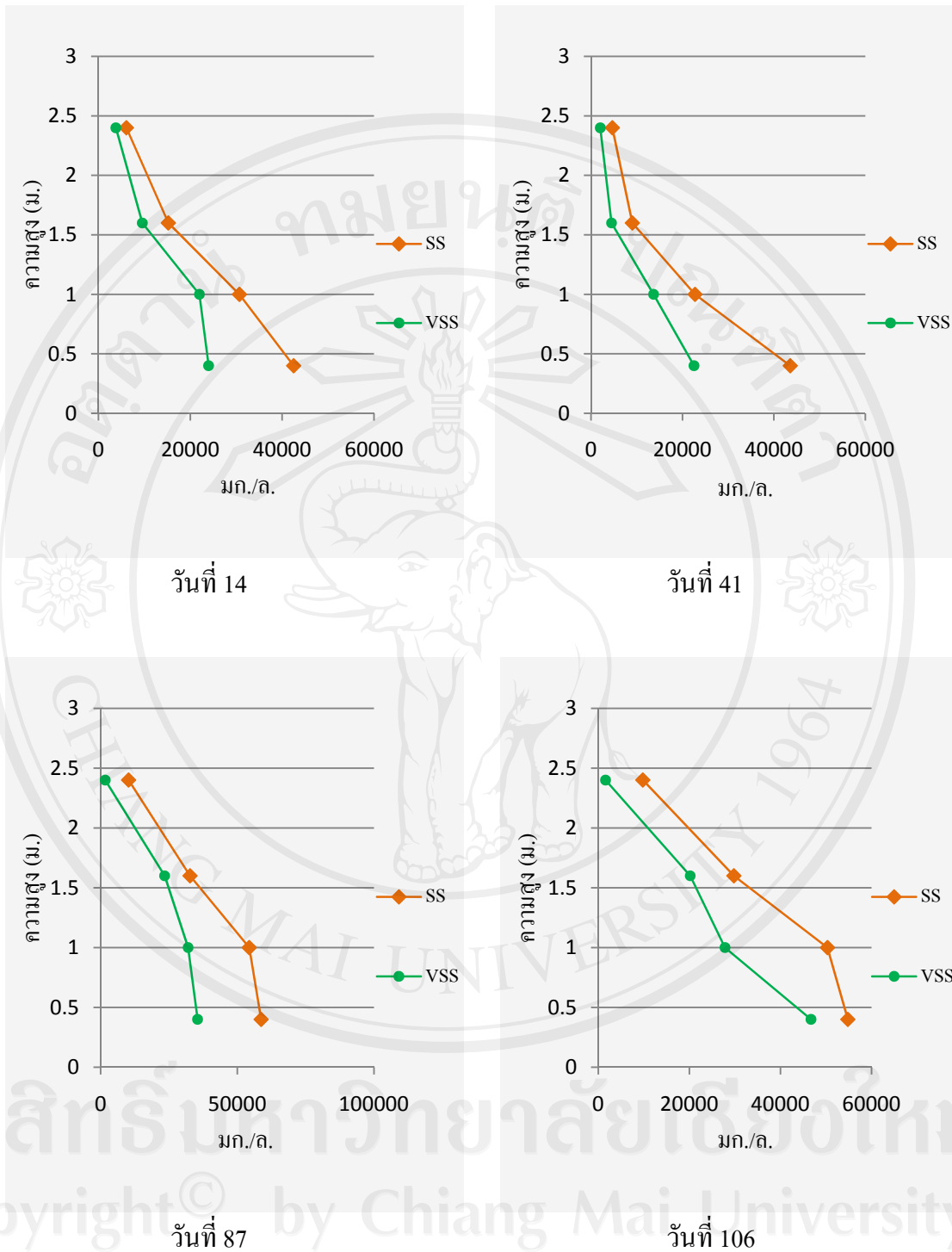


รูป 4.37 การแปรผันของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในถังยูเอสบีความคุม



รูป 4.38 การแปรผันของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย

ในถังยูเอเอสบีที่เติมแคลเซียม



รูป 4.39 การแปรผันของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย
ในถังยูเอเอสบีที่เติมแมกนีเซียม

ผลการศึกษการแปรผันของปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย ตามความสูงของถังปฏิกิริยาที่ระดับ 0.4, 1.0, 1.6 และ 2.4 ม. จากกันถังปฏิกิริยา พบว่า ทุกการทดลองค่าของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยที่ระดับความสูงต่างๆมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบการแปรผันของปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในถังปฏิกิริยาที่ 1 (ถังควบคุม) ในวันที่ 14, 41, 87 และ 106 พบว่า ตะกอนในถังควบคุมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในถังปฏิกิริยาที่ 2 และ 3 มีค่าค่อนข้างคงที่

ตาราง 4.5 มวลของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในถังยูเอเอสบีรวม ที่ความสูง 0-2.8 ม.

วันทำการทดลอง	ถังควบคุม		ถังเติมแคลเซียม		ถังเติมแมกนีเซียม	
	SS (ก.)	VSS (ก.)	SS (ก.)	VSS (ก.)	SS (ก.)	VSS (ก.)
14	193	101	195	123	202	126
41	194	102	210	105	172	91
63	391	216	140	103	349	218
87	358	250	232	182	332	196
92	355	250	218	99	329	218
106	377	261	210	109	308	205

จากการศึกษา วันที่ 87 นับจากเริ่มต้นเดินระบบ มวลของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยเฉลี่ยที่ความสูง 0 – 2.4 ม. ในถังควบคุมมีค่าเท่ากับ 358 และ 251 ก. ในถังเติมแคลเซียมมีค่าเท่ากับ 232 และ 182 ก. และในถังเติมแมกนีเซียมมีค่าเท่ากับ 322 และ 196 ก. เมื่อเทียบถังที่เติมแคลเซียมและแมกนีเซียมอออนกับถังควบคุมจะ พบว่า ถังที่เติมแคลเซียม และแมกนีเซียมอออนจะมีมวลน้อยกว่าถังควบคุม เนื่องจากวันที่ 87 ถังที่เติมแคลเซียมและแมกนีเซียมเกิดการยับยั้งระบบจนระบบล้มเหลว จุลินทรีย์ และปริมาณตะกอนในถัง จึงหลุดออกมากับน้ำออกจนเหลือจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาทดลอง