

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาถึงผลของสารอาหารเสริมและโคโคซาน ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดไร้อากาศ UASB และการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ ในระบบ UASB โดยผลการศึกษาแบ่งออกเป็นหลายส่วนได้แก่ ผลการศึกษาลักษณะของน้ำทิ้ง กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ผลการศึกษาขนาดเม็ดตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ ผลการศึกษา กิจกรรมจำเพาะของเชื้อกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (SMA: Specific Methanogenic Activity) ผลของประสิทธิภาพระบบ UASB ด้านต่าง ๆ ในการเดิน ระบบ UASB ก่อนและหลังการเติมสารอาหารเสริม ผลของการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ในระบบก่อนและ หลังเติมสารอาหาร โดยรายละเอียดและการวิเคราะห์ผลมีดังนี้

4.1 น้ำทิ้งกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง (Cassava stillage)

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทิ้งกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังทางกายภาพ พบว่า น้ำมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลอ่อน มีตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียค่อนข้างมาก น้ำมีกลิ่นเหม็น เปรี้ยว และเมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวเคมีพบว่ามีความค่าค่อนข้างไปทางเป็นกรดอยู่ที่ 4.12 ± 0.09 ซึ่งสอดคล้องกับค่า VFA และ Alkalinity ในน้ำเสียพบว่าค่า VFA อยู่ที่ $4,308 \pm 410$ มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า Alkalinity อยู่ที่ 83.17 ± 36.23 ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียมีความเป็นกรดที่น่าจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์และเปลี่ยนเป็นกรดระเหยง่ายทำให้มีค่า pH ต่ำลง นอกจากนั้นน้ำเสียมีความสกปรก ค่อนข้างสูงคือมีค่าซีโอดีอยู่ที่ $42,777 \pm 2,525$ มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปละลาย น้ำมีค่าซีโอดีอยู่ที่ $32,905 \pm 1,302$ มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาอัตราส่วน BOD/COD อยู่ที่ 0.53 แสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งที่ใช้ในการเดินระบบนี้มีปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ ได้มากกว่าร้อยละ 50 น้ำทิ้งดังกล่าวน่าจะมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี ซึ่งค่าดังกล่าว หากมีอัตราส่วนมากกว่า 0.5 จะมีความเหมาะสมในการย่อยสลายทางชีวภาพในกระบวนการหมัก แบบไร้ออกซิเจน (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2547) เมื่อพิจารณาคุณสมบัติ น้ำทิ้งทางด้านของแข็งแล้วพบว่า

มีค่าของแข็งทั้งหมด $29,820 \pm 1,220$ มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นของแข็งแขวนลอย $2,248 \pm 236$ มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ $27,633 \pm 2,844$ มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งคิดเป็นมากกว่าร้อยละ 90 ของแข็งทั้งหมดที่อยู่ในน้ำเสีย แสดงให้เห็นว่าของแข็งดังกล่าวน่าจะสามารถย่อยสลายในระบบบำบัดไร้อากาศได้ เมื่อพิจารณาสัดส่วน COD:N:P ที่ทำการวิเคราะห์ได้ในน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสัดส่วน COD:N:P อยู่ที่ 100:1.69:0.004 ซึ่งเมื่อเทียบแล้วพบว่าสัดส่วน COD:N:P ที่เหมาะสมกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศอยู่ที่ 100:0.625:0.125 หรือ 800:5:1 (Prof. C.F. Seyfried, 1997) เห็นได้ว่าสารอาหารในน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้นมีสารอาหารไม่เพียงพอต่อสภาวะแวดล้อมการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าว มากกว่านั้นปริมาณสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำเสียนั้นอาจจะอยู่ในรูปแบบที่จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ได้หรือไม่ได้ก็ได้ ดังนั้นจึงควรพิจารณาการเติมสารอาหารเสริมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดดังกล่าวต่อไป

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลมันเส้น

ดัชนีชี้วัด (Indicator)	ค่าช่วงที่วิเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L))	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบน (มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L))
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	4.04 - 4.21	4.12 ± 0.09
บีโอดี (BOD)	21,500 - 27,180	$24,428 \pm 2,844$
ซีโอดี (COD)	40,250 - 45,300	$42,777 \pm 2,525$
ซีโอดีละลายน้ำ (SCOD)	31,500 - 34,070	$32,905 \pm 1,302$
ของแข็งทั้งหมด (TS)	28,750 - 31,150	$29,820 \pm 1,220$
ของแข็งแขวนลอย (SS)	2,033 - 2,500	$2,248 \pm 236$
ของแข็งทั้งหมดระเหย (TVS)	24,400 - 29,750	$27,633 \pm 2,844$
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	42.5 - 112	83.17 ± 36.23
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA)	3,932.5 - 4,745	$4,308 \pm 410$
เจลดาลท์ ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	678 - 785	724 ± 54
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	1.12 - 1.92	1.5 ± 0.4

4.2 ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ UASB

4.2.1 คุณลักษณะตะกอนเชื้อจุลินทรีย์

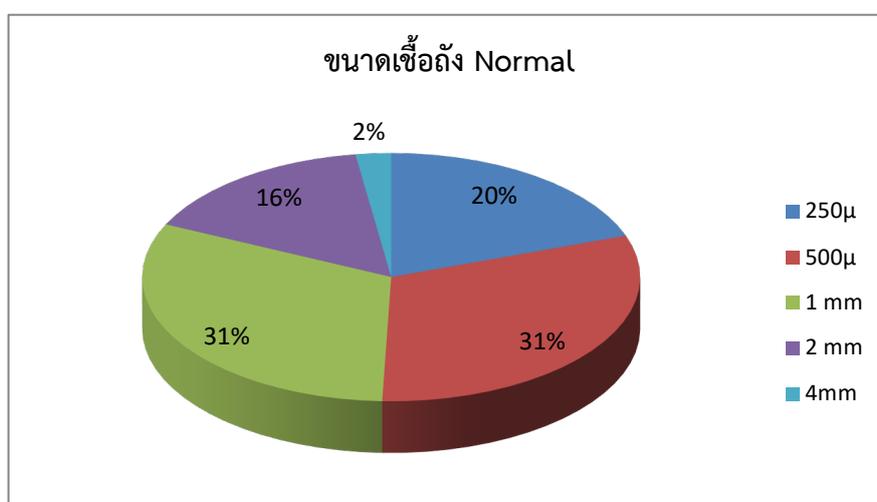
การศึกษาลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ UASB ได้ทำการศึกษาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid; TS) ค่าของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Total Volatile Solid; TVS) และค่าความชื้น (Moisture) ผลการศึกษาพบว่า เม็ดตะกอน UASB ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีลักษณะค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 7 ค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 94 ± 0.56 ของตะกอนเปียก UASB ค่าของแข็งทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 6 ± 0.065 ของตะกอนเปียก UASB และค่าของแข็งระเหยได้ทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 81 ± 0.27 ของค่าของแข็งทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.2 จากผลการทดสอบเห็นได้ว่าตะกอน UASB มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก แต่เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งหรือของแข็งระเหยซึ่งเป็นตัวบ่งบอกปริมาณของเชื้อที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ UASB ซึ่งถ้าหากมีปริมาณสูงแสดงว่าเม็ดตะกอนมีคุณภาพดีสามารถรองรับน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงได้ แต่อย่างไรก็ตามตะกอนที่มีค่า TVS ต่ำอาจขัดขวางโดยการใส่ปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นในระบบ UASB เพื่อรองรับปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้ามาในระบบให้เพียงพอต่อไป ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้พบว่าปริมาณเชื้อที่อยู่ในตะกอนเชื้อ UASB นั้นมีปริมาณเชื้อค่อนข้างน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 15) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ UASB ซึ่งได้ทำการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติตะกอนเชื้อ UASB

ดัชนีชี้วัด (Indicator)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบน (ร้อยละ (%))
ความเป็นกรดด่าง (pH)	7 ± 0.03
ค่าความชื้น (Moisture, wet basis)	94 ± 0.56
ค่าของแข็งทั้งหมด (TS, wet basis)	6 ± 0.065
ค่าของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (TVS, TS basis)	81 ± 0.27

4.2.2 ขนาดตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ UASB

ผลการศึกษขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ UASB นั้นได้ทำการศึกษาก่อนการเริ่มต้นเดินระบบ UASB เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบหลังจากการเดินระบบว่าตะกอน UASB มีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร ผลการศึกษาได้มาจากการนำตะกอน UASB ตัวอย่างที่มีน้ำหนัก 100 กรัมมาทำการร่อนแยกขนาดออกด้วยตะแกรงแยกขนาดต่าง ๆ โดยใช้เครื่องเขย่า (Shaker) พบว่าขนาด 1 มิลลิเมตร มีปริมาณมากที่สุดร้อยละ 31.40 รองลงมาคือขนาด 0.5 มิลลิเมตรร้อยละ 31 และขนาดที่มีปริมาณน้อยที่สุดคือ 4 มิลลิเมตรร้อยละ 2 แสดงดังภาพที่ 4.1



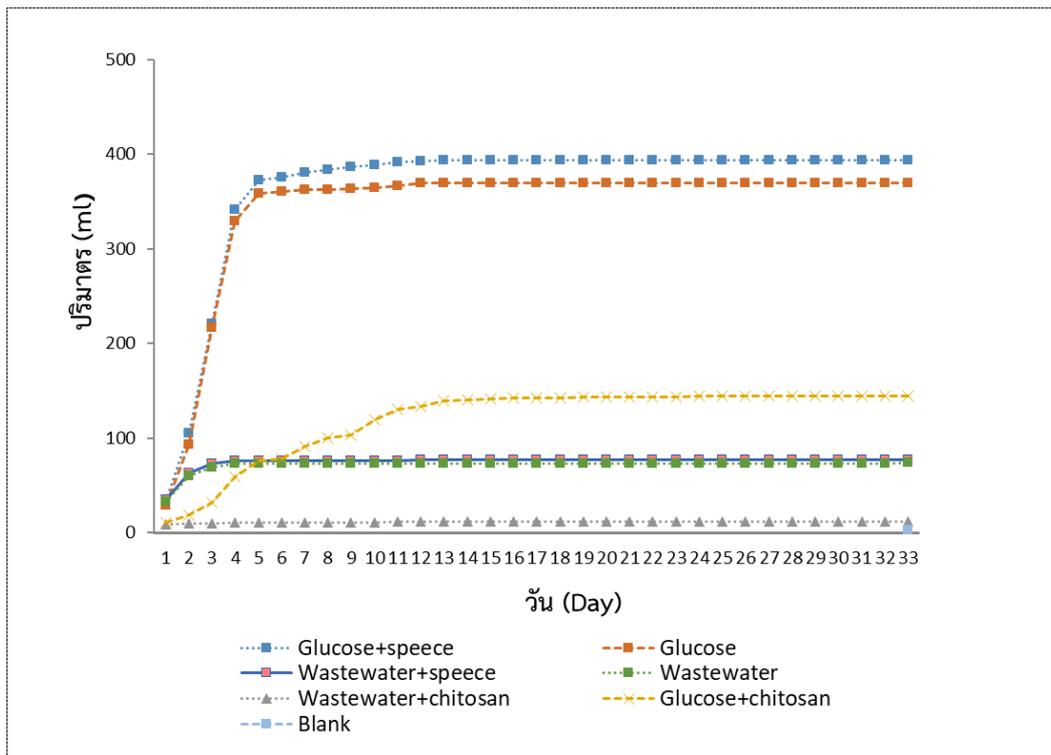
ภาพที่ 4.1 ขนาดตะกอนเชื้อเริ่มต้นของระบบ UASB

จากผลการศึกษาเห็นได้ว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ส่วนใหญ่มีขนาด 1 มิลลิเมตรซึ่งค่อนข้างมีขนาดเล็กแสดงให้เห็นว่าตะกอนเชื้อ UASB นี้เป็นตะกอนเชื้ออ่อนซึ่งตะกอนเหล่านี้จะมีความสามารถสูงในการรองรับสารอินทรีย์ที่มากับน้ำเสียได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (หัวข้อ 4.3) ที่มีค่า TVS น้อย แต่ตะกอนดังกล่าวยังอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้ในการทดสอบได้ซึ่งสอดคล้องกับ วาสนศักดิ์ ลิ้มควรสุวรรณ และ พันชัย เม่นฉาย (2560) ที่ได้ใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาดตั้งแต่ 0.5 ถึง 5.0 มิลลิเมตรในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ UASB ที่การะสารอินทรีย์ต่าง ๆ

4.3 ผลการวิเคราะห์กิจกรรมจุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพ (Specific Methanogenic Activity: SMA)

การศึกษากิจกรรมจุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพ (SMA) ทำการศึกษาทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 กลูโคสเป็นสารอาหารและเติมอาหารเสริมสูตรของ Richard E. Speece (Glucose+speece) ชุดที่ 2 กลูโคสและเติมไคโตซาน (Glucose+chitosan) ชุดที่ 3 น้ำเสียและเติมสารอาหารเสริมสูตร Richard E. Speece (Wastewater+speece) ชุดที่ 4 น้ำเสียและเติมไคโตซาน (Wastewater+chitosan) ชุดที่ 5 สารอาหารกลูโคสอย่างเดียว (Glucose) ชุดที่ 6 น้ำเสียอย่างเดียว (Wastewater) ชุดที่ 7 ชุดควบคุมไม่มีการเติมสารอาหารใด ๆ (Blank) ผลการทดสอบ SMA พบว่าจากกราฟปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมพบว่า ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ 1 Glucose+speece อยู่ที่ 393.7 มิลลิลิตร รองลงมา ได้แก่ ชุดที่ 5 คือ Glucose อยู่ที่ 396 มิลลิลิตร (แสดงดังภาพที่ 4.2) ในขณะที่เมื่อเปลี่ยนสารอาหารเป็นน้ำเสียจริงแล้วผลของปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมลดลงแสดงให้เห็นว่าเชื้อสามารถกินหรือบำบัดสารอาหารอย่างง่ายได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงในขณะที่สารอาหารที่อยู่ในน้ำเสียนั้นเชื้อสามารถบำบัดได้ยากกว่าเห็นได้จากค่าความชัน (Slope) ของกราฟในช่วงแรกของแต่ละชนิดสารอาหาร

เมื่อทำการหาค่าความชันของกราฟปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมในแต่ละชุดการทดลองพบว่า ชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 102.44 มากกว่าชุดที่ 2 ที่มีค่าความชันอยู่ที่ 100.20 ส่วนชุดที่ 3 มีค่าความชันอยู่ที่ 28.57 ซึ่งมากกว่าชุดที่ 4 หรือชุดของน้ำเสียเพียงอย่างเดียวที่มีค่าความชันอยู่ที่ 27.27 และชุดที่ 5 ชุดควบคุม (Blank) มีค่าความชันต่ำที่สุดคือเท่ากับ 0 จะเห็นได้ว่าชุดที่มีการเติมสารอาหารเสริมสูตร Richard E. Speece มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าชุดที่ไม่มีการเติมสารอาหารเสริม และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเชื้อสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างง่ายพวก กลูโคส ได้ดีกว่าน้ำเสียจริง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารอาหารเสริมมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนั้นในช่วงแรกของการเดินระบบไม่ควรป้อนสารอินทรีย์เกินค่าที่ได้จากการทำ SMA โดยชุดการทดลองที่ 1 นั้นจะมีค่า SMA สูงสุดคือ $0.28 \text{ g}_{\text{COD}}/\text{g}_{\text{VSS}}\cdot\text{day}$ ซึ่งจะใช้ในการคำนวณในการเดินระบบในขั้นต่อไป



ภาพที่ 4.2 แสดงปริมาตรสะสมของก๊าซชีวภาพในกระบวนการ SMA

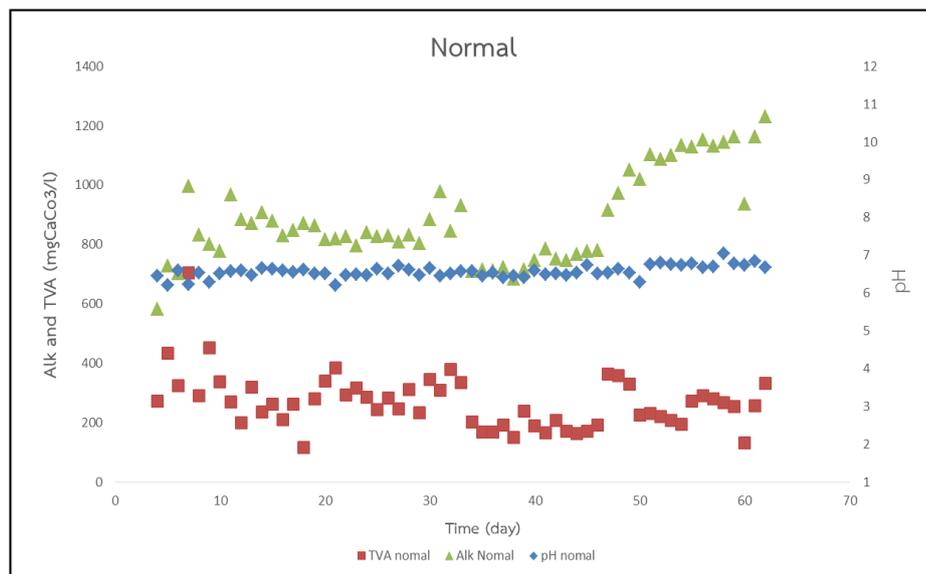
4.4 ผลการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ UASB มีดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่าง Alkalinity (Alk), กรดอินทรีย์ระเหยง่าย Total Volatile Acids (TVA) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

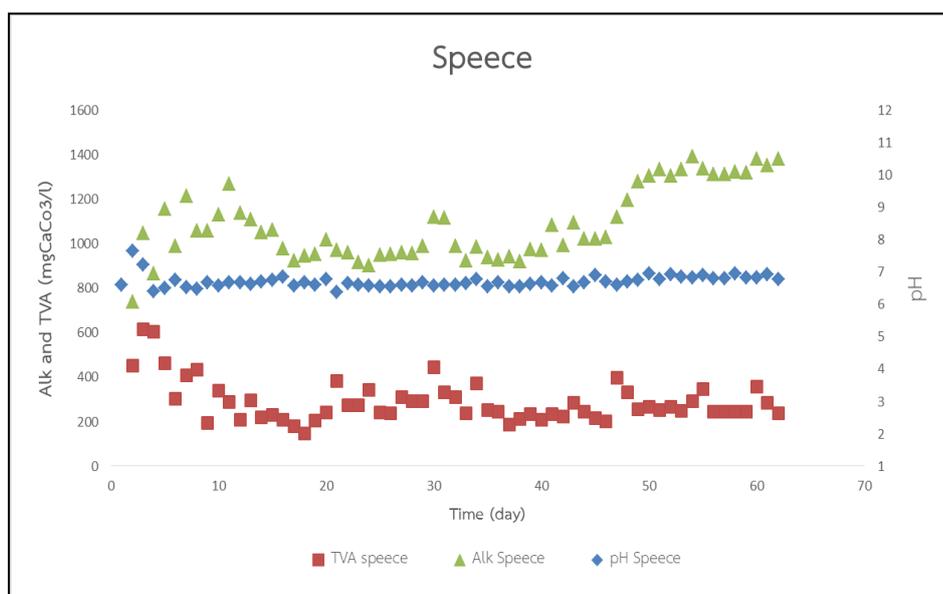
การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่าง (Alk) และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (TVA) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยทำการตรวจสอบถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง ได้แก่ ถังปฏิกรณ์ที่ไม่มีการเติมสารอาหาร (Normal, N) ถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารอาหารเสริม (Speece, S) และถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารไคโตซาน (Chitosan, C) ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ 60 วันพบว่า ค่า Alk, TVA และ pH ของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ UASB มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลของ pH เฉลี่ยของถังที่ไม่มีการเติมสารอาหารและเติมสารอาหารเสริมเท่ากับ 6.57 และ 6.70 ค่าความเป็นด่างเฉลี่ย 886 และ 1,086 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเฉลี่ยของถังเท่ากับ 270.50 และ 288.80 มิลลิกรัมต่อลิตรแสดงดังภาพที่ 4.3 และ 4.4 มากกว่านั้นเห็นได้ว่า pH ของทั้งปฏิกรณ์ที่มีการเติมอาหารเสริมมีความเสถียรมากกว่าถังปฏิกรณ์ที่ไม่มีการเติมอาหารเสริม

สำหรับถึงปฏิกรณ์ที่มีการเติมโคโคซานมีผลไม่แตกต่างกับสองถังแรกซึ่งค่อนข้างมีความเสถียรภาพไม่แตกต่างกัน ดังแสดงดังภาพที่ 4.5

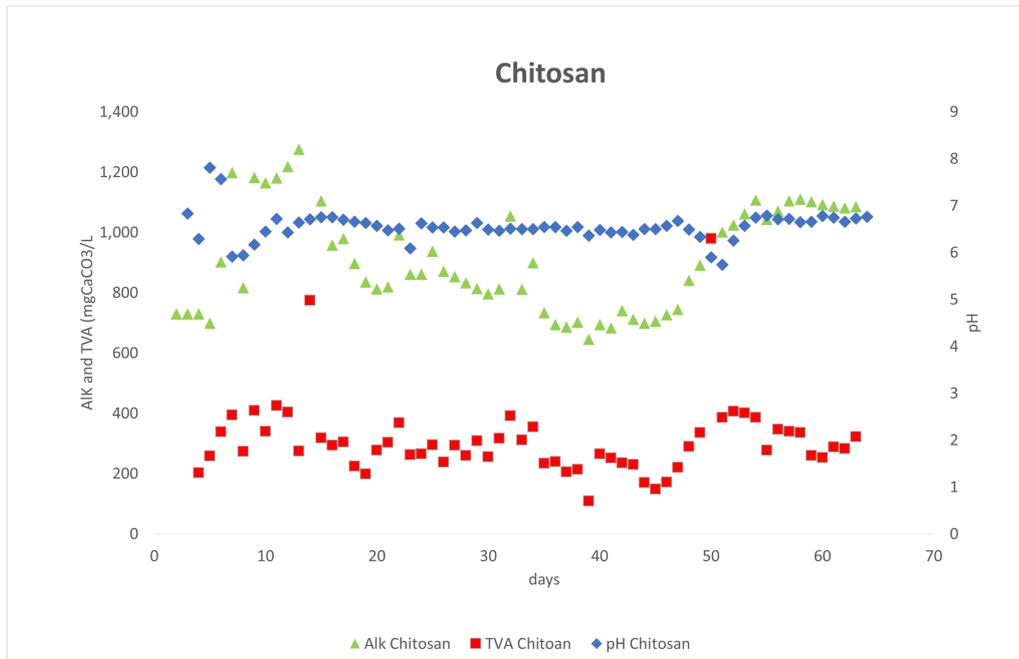
เมื่อพิจารณาผลอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อความเป็นด่าง (TVA/Alk) ทั้งสามถังมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.27-0.31 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาวะแวดล้อมในถังปฏิกรณ์ทั้งสามถังมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบโดยเทียบกับค่าอ้างอิงที่กำหนดให้ $TVA/Alk < 0.4$ ค่าดังกล่าวแสดงว่าระบบมีความสามารถเป็นบัพเฟอร์สูง



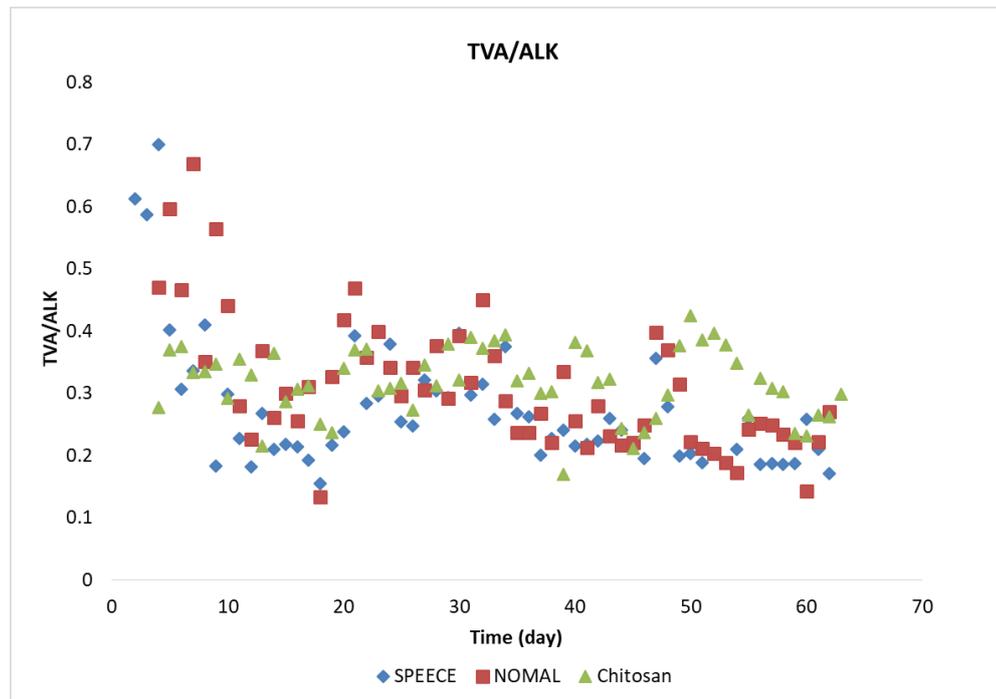
ภาพที่ 4.3 ผลสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ที่ไม่มีการเติมสารอาหาร (Normal, N)



ภาพที่ 4.4 ผลสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารอาหารเสริม (Speece, S)



ภาพที่ 4.5 ผลสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารไคโตซาน (Chitosan, C)

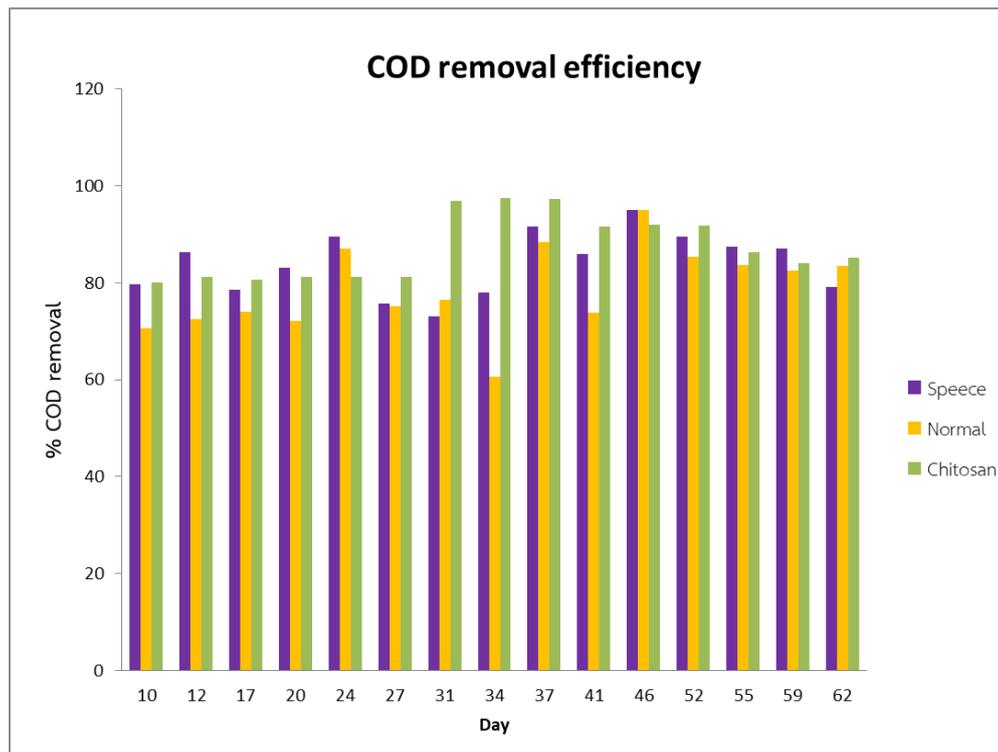


ภาพที่ 4.6 ผลอัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อความเป็นด่าง

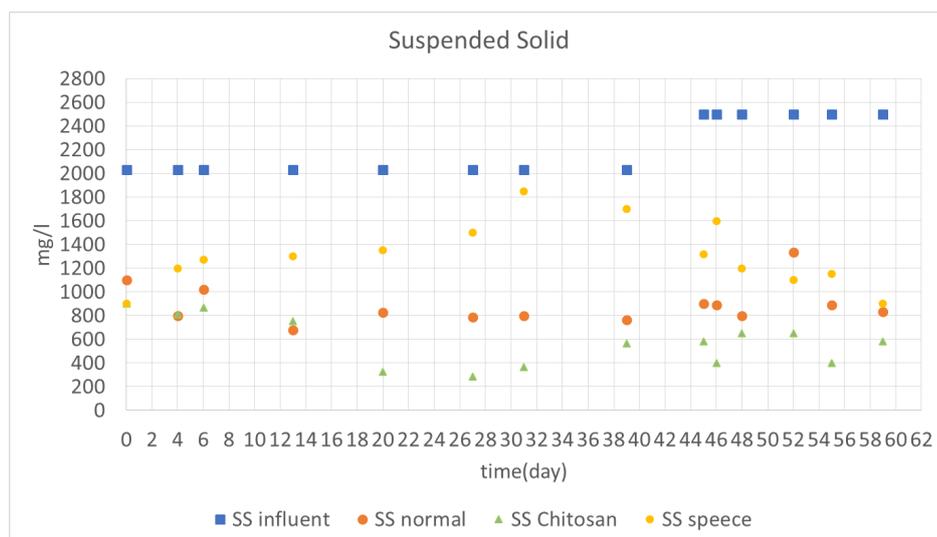
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี (COD) และ ของแข็งแขวนลอย (SS)

จากการวิเคราะห์ค่าสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบของถังปฏิกรณ์ ทั้งสามถังที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเท่ากันทั้งสามถัง พบว่าถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารอาหารมีค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 1,935.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 83.98 ซึ่งลดลงมากกว่าถังปฏิกรณ์ชุดที่ไม่มีการเติมสารอาหารเสริมที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,382.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดประสิทธิผลการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 78.73 ส่วนถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมโคโคซานมีน้ำเสียที่ออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 1,350 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งคิดประสิทธิผลการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 84.06 (แสดงดังภาพที่ 4.8) จากผลของประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์แสดงว่าสารอาหารเสริมที่เติมและโคโคซานที่เติมให้กับระบบ UASB นั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมสารอาหารเสริมนั้นมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของการเกิดก๊าซชีวภาพในระบบ UASB ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ขณะที่โคโคซานนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนที่มากขึ้นและส่งผลให้การกำจัดสารอินทรีย์ลดลงด้วยซึ่งสอดคล้องกับผลของสารแขวนลอยที่ออกจากระบบ นอกจากนี้โคโคซานอาจมีส่วนช่วยในการดึงเชื้อในระบบไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้งด้วยซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเพิ่มสูงขึ้นรวมทั้งประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วย

ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมโคโคซานนั้นจะมีค่า SS ออกจากระบบน้อยที่สุด รองลงมาเป็นถังปฏิกรณ์ที่ไม่เติมสารอาหารเสริม และถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารอาหารเสริมมีการหลุดของ SS มากที่สุด แสดงดังภาพที่ 4.9 ทั้งนี้ถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมโคโคซานนั้นเป็นสารช่วยรวมตะกอนชนิดหนึ่ง (Coagulant) ทำให้ตะกอนในน้ำเสียและเชื้อที่อยู่ในถังมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ปริมาณของ SS หลุดออกจากระบบลดลงด้วยและอาจส่งผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นด้วยเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ UASB



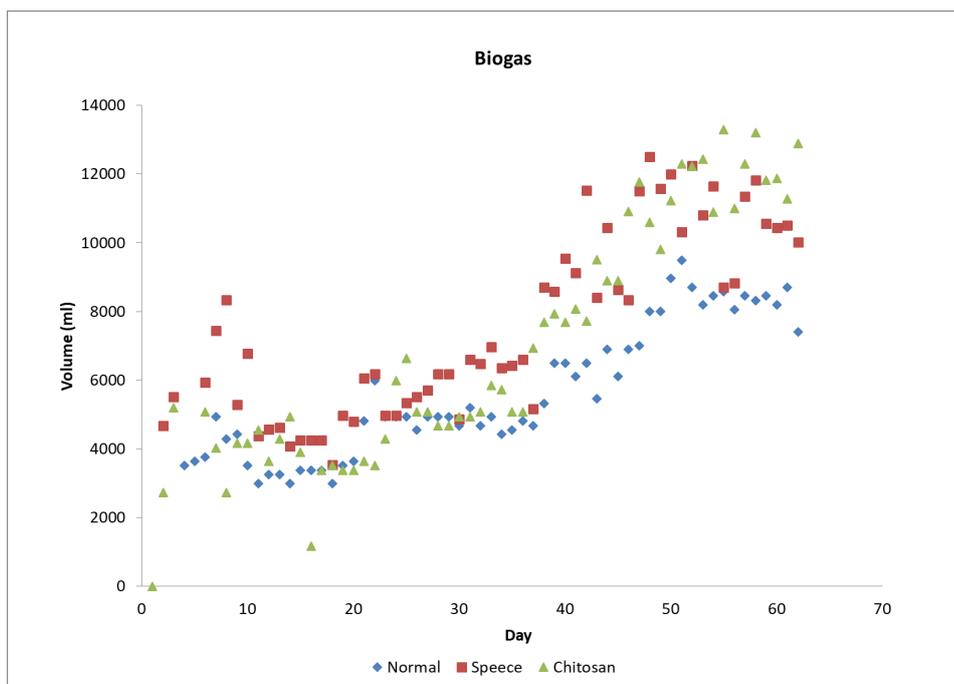
ภาพที่ 4.8 ปริมาณสารแขวนลอยที่ออกจากระบบ UASB

4.4.3 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ UASB พบว่า ถังปฏิกรณ์ที่ไม่มีการเติมสารอาหารเสริมมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพน้อยกว่าถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารอาหารเสริม โดยปริมาณเฉลี่ยก๊าซชีวภาพของถังที่ไม่มีการเติมสารอาหารเสริมอยู่ที่ 5,956 มิลลิลิตรต่อวัน ส่วนถังที่มีการเติมสารอาหารเสริมมีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 7,804 มิลลิลิตรต่อวัน เห็นได้ว่าถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมสารอาหารเสริมให้กับเชื้อในระบบนั้นมีการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารอาหารเสริมที่เติมลงไปส่งเสริมการทำงานของแบคทีเรียในระบบของถัง UASB นอกจากนี้การเติมสารอาหารเสริมทำให้แน่ใจว่าสัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อ COD:N:P มีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อในระบบ ซึ่งส่งผลต่อเนื่องในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 4.10

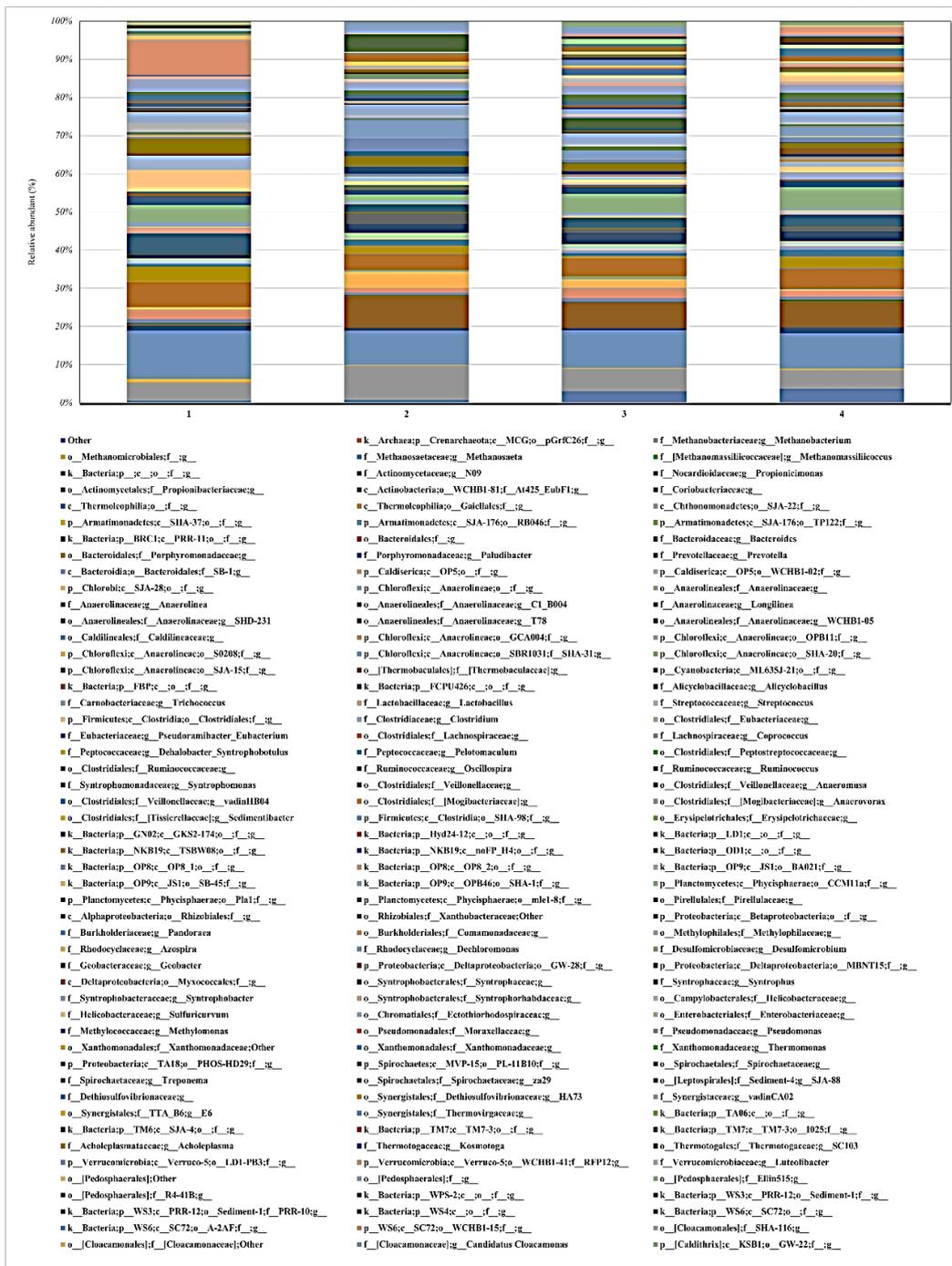
ในขณะที่ถังปฏิกรณ์ที่เติมโคโคซานนั้นมีค่าเฉลี่ยในการผลิตก๊าซชีวภาพไม่แตกต่างจากถังปฏิกรณ์ที่เติมสารอาหารเสริม โดยถังปฏิกรณ์ที่เติมโคโคซานมีค่าเฉลี่ยในการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 7,194 มิลลิลิตรต่อวัน แสดงดังภาพที่ 4.10 ที่เป็นเช่นนี้คาดว่า การเติมโคโคซานเป็นสารช่วยรวมตะกอนทำให้สามารถลดการหลุดของตะกอนเชื้อออกจากระบบ UASB ซึ่งอาจเป็นผลทำให้มีปริมาณเชื้อเพิ่มมากขึ้นในระบบได้ หรือลดปริมาณ SS หลุดออกจากระบบน้อยลงซึ่งมีความสอดคล้องกับการกำจัดสารแขวนลอยในหัวข้อ 4.4.2 ซึ่งส่งผลให้การบำบัดสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นและส่งผลให้การผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นมากกว่าถังที่ไม่มีการเติมสารอาหารเสริมหรือโคโคซาน

นอกจากนั้นผลจากการวิเคราะห์ร้อยละมีเทนที่มีการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง พบว่าถังปฏิกรณ์ UASB ที่มีการเติมสารอาหารเสริมและโคโคซาน เมื่อทำการเดินระบบที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นเชื้อจุลินทรีย์มีการผลิตร้อยละของมีเทนมากขึ้นกว่าถังปฏิกรณ์ที่ไม่ได้เติมสารอาหารเสริมและโคโคซาน ร้อยละของมีเทนที่เกิดขึ้นจากการเติมสารอาหารเสริมและโคโคซาน อาจจะแสดงให้เห็นว่าเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตมีเทนมีปริมาณมากขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ UASB



ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ UASB

4.5 การวิเคราะห์หลากหลายของจุลินทรีย์ในการถั่งปฏิกิริยา UASB



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของปริมาณจุลินทรีย์ จาก 16S rRNA ในถังบำบัด UASB จากน้ำเสียโรงงาน เอทานอลมันเส้น (1) ตะกอนน้ำเสียก่อนบำบัด (2) ตะกอนจากถังบำบัดน้ำเสียที่เติมโคโคซาน (3) ตะกอนจากบำบัดน้ำเสียที่ไม่เติมสารอาหาร (4) ตะกอนจากถังบำบัดน้ำเสียที่เติมอาหารเสริม

จากภาพที่ 4.10 ผลศึกษาโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิค 16S rDNA พบว่า ตะกอนน้ำเสียก่อนการหมักตะกอนดินที่ไซม์ทั้งหมด 109 ชนิด กลุ่มที่โดดเด่น ได้แก่ จีโนส *Methanosaeta* (12.61%) แฟมิลี Dethiosulfovibrionaceae (8.88%) ออเดออร์ Bacteroidales (6.47%) ออเดออร์ Clostridiales (5.66%) แฟมิลี Anaerolineae (5.10%) และ จีโนส *Methanobacterium* (4.79%) คลาส Anaerolineae (4.54%) แฟมิลี Porphyromonadaceae (4.18%) จีโนส *Syntrophomonas* (3.78%) จีโนส *Clostridium* (3.63%) จีโนส *Syntrophobacter* (3.23%)

โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิค 16S rDNA จากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเอทานอล มันเส้นที่เติมโคโคซานจากถังหมัก UASB หลังจากหมักไปแล้ว 60 วัน พบจุลินทรีย์ทั้งหมด 129 ชนิด พบกลุ่มจุลินทรีย์ที่โดดเด่น ได้แก่ จีโนส *Methanobacterium* (9.07%) จีโนส *Methanosaeta* (8.91%) แฟมิลี Actinomycetaceae (8.10%) คลาส Clostridia (4.93%) ไฟลัม Armatimonadetes (4.12%) ออเดออร์ Bacteroidales (4.11%) แฟมิลี Veillonellaceae (3.34 %) จีโนส *Longilinea* (2.88%) จีโนส *Candidatus* (2.86%) คิงดอม Bacteria (2.81%) จีโนส *Anaerolinea* (2.22%) จีโนส *Syntrophomonas* (2.77%) แฟมิลี Porphyromonadaceae (2.17%) คลาส Anaerolineae (1.76%) แฟมิลี Anaerolineae (1.72%)

โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิค 16S rDNA จากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเอทานอล มันเส้นที่เติมสารอาหารเสริมสูตร speece จากถังหมัก UASB หลังจากหมักไปแล้ว 60 วัน พบจุลินทรีย์ทั้งหมด 139 ชนิด พบกลุ่มจุลินทรีย์ที่โดดเด่น ได้แก่ จีโนส *Methanosaeta* (9.28%) แฟมิลี Actinomycetaceae (6.48%) คลาส Anaerolineae (5.57%) ออเดออร์ Bacteroidales (5.08%) จีโนส *Methanobacterium* (4.85%) แฟมิลี Porphyromonadaceae (3.04%) แฟมิลี Anaerolineae (3.03%) จีโนส *Anaerolinea* (2.57%) คลาส Clostridia (2.57%) คิงดอม Bacteria (2.42%) จีโนส *Sulfuricurvum* (2.27%)

โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิค 16S rDNA จากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเอทานอล มันเส้นที่ไม่เติมสารอาหารจากถังหมัก UASB หลังจากหมักไปแล้ว 60 วัน พบจุลินทรีย์ทั้งหมด 140 ชนิด พบกลุ่มจุลินทรีย์ที่โดดเด่น ได้แก่ จีโนส *Methanosaeta* (9.87%) แฟมิลี Actinomycetaceae (6.67%) จีโนส *Methanobacterium* (5.87%) คลาส Anaerolineae (4.79%) ออเดออร์ Bacteroidales (4.63%) จีโนส *Anaerolinea* (3.06%) คิงดอม Bacteria (2.87%) คลาส

Betaproteobacteria (2.55%) ออเดอ์ Gaiellales (2.43%) ไฟล์ม Armatimonadetes (2.18%)
ไฟล์ม Anaerolinaceae (2.17%) คลาส Clostridia (2.10%) จีโนส *Candidatus* (1.88%)

เมื่อเปรียบเทียบประชากรจุลินทรีย์จากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเอทานอลมันเส้นก่อนการบำบัด
และหลังการบำบัด UASB 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ในชุดควบคุมที่ไม่เติมสารอาหาร ชุดที่เติมโคโตซาน
และชุดที่เติมอาหารเสริมสูตรของ Speece พบกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ได้แก่ จีโนส
Methanobacterium มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มมากสุดในถังบำบัด UASB ที่เติมโคโตซาน (9.07%)
จีโนส *Anaerolinea* เพิ่มขึ้นในทั้ง 3 ชุดการทดลอง แฟมิลี Porphyromonadaceae จะค่อนข้างคงที่ใน
ชุดที่เติมโคโตซาน และชุดที่เติมอาหารเสริมสูตรของ Speece แต่จะลดลงจากก่อนการบำบัดในชุด
ควบคุมที่ไม่เติมสารอาหาร

นอกจากนี้ประชากรจุลินทรีย์ที่ไม่พบหรือพบปริมาณน้อยในถังบำบัด UASB ก่อนการบำบัด แต่
จะพบเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการบำบัดในถัง UASB ได้แก่ ไฟล์ม Armatimonadetes ซึ่งจะพบในชุด
ถังบำบัดที่เติมโคโตซาน (4.12%) และไม่เติมสารอาหาร (2.18%) ในขณะที่ชุดถังบำบัดที่เติมสารอาหาร
สูตร Speece พบจำนวนน้อยเท่ากับตะกอนก่อนการบำบัด จีโนส *Anaerolinea* พบเพิ่มขึ้นในทุกชุดการ
ทดลอง จีโนส *Longilinea* และ ไฟล์ม Veillonellaceae เพิ่มขึ้นเฉพาะในชุดถังบำบัดที่เติมโคโตซาน
คลาส Clostridia พบเพิ่มขึ้นในทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยเฉพาะถังบำบัดที่เติมโคโตซานจะเพิ่มขึ้นสูงมาก
คลาส Betaproteobacteria จีโนส *Methylomonas* ไฟล์ม Xanthomonadaceae เพิ่มขึ้นเฉพาะในชุด
บำบัดควบคุม จีโนส *Sulfuricurvum* เพิ่มขึ้นเฉพาะในชุดที่เติมสารอาหารสูตร Speece จีโนส
Candidatus จะเพิ่มขึ้นถังบำบัดที่เติมโคโตซานและในชุดบำบัดควบคุมยกเว้นถังบำบัดที่เติมสารอาหาร
สูตร Speece

จากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเอทานอลมันเส้นก่อนการบำบัดและหลังการบำบัด UASB ในชุด
ควบคุม ชุดที่เติมโคโตซานและชุดที่เติมอาหารเสริมสูตรของ Speece พบกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีแนวโน้มลดลง
ได้แก่ ออเดอ์ Bacteroidales ไฟล์ม Porphyromonadaceae ออเดอ์ Clostridiales จีโนส
Clostridium จีโนส *Syntrophomonas* จีโนส *Syntrophobacter*