

การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน

นางสาวนงลักษณ์ นิธิกุลรัตน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIOGAS PRODUCTION FROM RECIRCULATING AQUACULTURE WASTE

Miss Nongluck Nitikulrattana



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบ
หมุนเวียน

โดย

นางสาวนงลักษณ์ นิธิกุลรัตน

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พึ่งรัมย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พึ่งรัมย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. สำโรช บุญยกิจสมบัติ)

นงลักษณ์ นิธิกุลรัตนานา : การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน (BIOGAS PRODUCTION FROM RECIRCULATING AQUACULTURE WASTE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิบูลย์ลักษณ์ ฟังรัมย์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข, 169 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดขึ้นในระบบหมุนเวียนน้ำสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยทำการทดลองเพื่อหาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ วัตถุประสงค์ตั้งต้นในการทดลอง คือ ตะกอนอินทรีย์ 3 ชนิด จากรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำที่แตกต่างกัน ได้แก่ (1) ตะกอนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) (2) ตะกอนขี้ปลา (Feces) ของเสียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่แยกได้ด้วยเครื่องกรองแยกตะกอน และ (3) ตะกอนธรรมชาติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) เพื่อเลือกตะกอนอินทรีย์ที่ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด โดยทำการทดลองในขวดหมักชีขาขนาด 100 มล. ด้วยเทคนิคบีเอ็มพี ใช้เวลาทดลองทั้งสิ้น 42 วัน ผลการทดลองพบว่า ตะกอนขี้ปลา (Feces) มีผลผลิตก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดเท่ากับ 175.28 ± 16.62 มล. มีเทน/ก.ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น จากนั้นจึงทดลองแปรค่าอัตราส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ 5 ระดับด้วยเทคนิคบีเอ็มพีในขวดหมักชีขาขนาดเดิม ได้แก่ 1:4 2:3 1:1 3:2 และ 4:1 พบว่า สัดส่วน 3:2 ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 194.10 ± 1.98 มล. มีเทน/ก.ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น แต่จากผลการทดสอบทางสถิติพบว่าผลผลิตก๊าซมีเทนเมื่อใช้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 3:2 และ 4:1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จึงเลือกใช้ค่าสัดส่วน 4:1 สำหรับการทดลองในช่วงต่อไป เนื่องจากใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่น้อยกว่า ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดของตะกอนขี้ปลา 3 ความเข้มข้น ได้แก่ 30 50 และ 100 ก.ของแข็งทั้งหมด/ล. เพื่อเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยพบว่าตะกอนขี้ปลาที่ความเข้มข้น 50 ก.ของแข็งทั้งหมด/ล. มีความเหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากมีผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 111.72 มล. มีเทน/ก.ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น โดยพบการยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพจากกรดอินทรีย์ระเหยเมื่อใช้ความเข้มข้นตะกอนอินทรีย์ 100 ก.ของแข็งทั้งหมด/ล. จากนั้นทำการศึกษาผลของเวลากักพักตะกอนในถังปฏิกรณ์ โดยเดินระบบการทดลองต่อจากการแปรค่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด และถือว่าของเหลวที่อยู่ในระบบเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ โดยผลการทดลองพบว่า เวลากักพักตะกอนที่เหมาะสมกับการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบดชีในงานวิจัยนี้เท่ากับ 15 วัน มีผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 138.23 มล. มีเทน/ก.ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5670239121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: BIOGAS / ORGANIC AQUACULTURE WASTE / CLOSED AQUACULTURE SYSTEM / ANAEROBIC DIGESTION

NONGLUCK NITIKULRATTANA: BIOGAS PRODUCTION FROM RECIRCULATING AQUACULTURE WASTE. ADVISOR: ASSOC. PROF. WIBOONLUK PUNGRASMI, Ph.D., CO-ADVISOR: SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D., 169 pp.

Biogas production from organic wastes from the recirculating aquaculture systems was conducted in this study. The experiment aimed to evaluate biogas production potential with 3 types of organic wastes including (1) Biofloc; suspended solid collected from biofloc aquaculture system (2) Feces; fish feces separated from recirculating aquaculture tank by continuous sludge separator and (3) Sludge; aquaculture waste that consist feces and uneaten feed from close system aquaculture tank. The experiment was conducted in 100 ml serum bottles using Biochemical Methane Potential (BMP) technique for a duration of 42 days. The result showed that Feces had the highest methane yield production of 175.28 ± 16.62 mL CH_4/g VS substrate. Then the ratio between organic waste and biogas inoculum i.e. 1:4, 2:3, 1:1, 3:2 and 4:1 were varied in serum bottles, in order to determine the optimum ratio that offer the maximum biogas yield. The optimal substrate to inoculum ratio at 3:2 gave the highest methane yield of 194.10 ± 1.98 mL CH_4/g VS substrate. However, statistical analysis indicated that methane yield of substrate to inoculum ratio at 3:2 and 4:1 was not significant different ($p > 0.05$). Hence, feces with the inoculum ratio of 4:1 was chosen for further experiments. The effect of total solids content and retention time on anaerobic digestion were investigated in batch reactors with 3 total solid (TS) concentrations of feces i.e. 30, 50 and 100 g TS/L. The results showed that organic aquaculture waste at 50 g TS/L provided the highest methane yield of 111.72 mL CH_4/g VS substrate. On the other hand, high organic waste concentration of 100 g TS/L inhibited the methane yield as due to a result of high volatile fatty acids concentration. The results from this research revealed that the optimal retention time of organic aquaculture waste (feces) for batch biogas production was 15 days with the methane yield of 138.23 mL CH_4/g VS substrate, respectively.

Department: Environmental Engineering Student's Signature

Field of Study: Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2016 Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พิงรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร. สรวิศ เฝ้าทองสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย พร้อมทั้งคำแนะนำในแก้ไขปัญหาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย รวมทั้งตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนมีความสมบูรณ์ และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รองศาสตราจารย์ สุชา ขาวเขียว ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ กรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ และ ดร. สาโรช บุญกิจสมบัติ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาชี้แนะ ให้คำแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์จนมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับทำวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี ตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณปวีณา ตปนีย์วรวงศ์ คุณเสรี ดอนเหนือ และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ที่ช่วยให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกันมาโดยตลอดระหว่างการทำงานวิจัย

ขอบคุณ บริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) สำหรับหัวเชื้อจุลินทรีย์ไร้อากาศที่ใช้หมักก๊าซชีวภาพ และ ป. เจริญฟาร์ม จ. ฉะเชิงเทรา ที่ให้การสนับสนุนตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ครอบครัวและเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้การสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษา พร้อมทั้งเป็นกำลังใจตลอดมา จนทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ	5
2.1.1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ.....	6
2.2 ก๊าซชีวภาพ	9
2.3 ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ	10
2.4 ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	17
2.4.1 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบเปิด (Open system).....	18
2.4.2 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Close water system หรือ Recirculating system)	18
2.4.3 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบกึ่งปิด (Semi-close system หรือ Semi-close recirculating system).....	19
2.5 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟลอค.....	19

2.6	ของเสียจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	20
2.7	การย่อยสลายตะกอนอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	24
2.8	การผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	25
2.9	ผลกระทบของแอมโมเนียต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	27
2.10	การวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential)	29
2.11	ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
2.11.1	การย่อยตะกอนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำภายใต้สภาวะไร้อากาศ	30
2.11.2	การแปรค่าวัตถุคั่งตันต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในหมักก๊าซชีวภาพ	33
2.11.3	ผลปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ป้อนเข้าระบบ และระยะเวลาที่กักต่อประสิทธิภาพ การผลิตก๊าซชีวภาพ	34
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	37
3.1	แผนการดำเนินงานวิจัย	37
3.2	การเก็บและรักษาสภาพตัวอย่างตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์	39
3.3	เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	40
3.3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	40
3.3.2	เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์	40
3.3.3	สารเคมี.....	41
3.3.4	ธาตุอาหาร (Trace Nutrients)	42
3.3.5	ชุดอุปกรณ์การทดสอบบีเอ็มพี (BMP Test)	43
3.3.6	อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากขวดเซรัม	44
3.3.7	อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ	45
3.3.8	ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว	46
3.4	การดำเนินงานวิจัย	47

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	53
4.1 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	54
4.1.1 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ	54
4.1.2 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของหัวเชื้อจุลินทรีย์	58
4.2 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ	59
4.2.1 การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นวัตถุดิบตั้งต้น	59
การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย	60
ความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหย	62
การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียและไนเตรต	64
ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	66
4.2.2 การแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์	70
การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย	71
ความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหย	73
การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและไนเตรต	76
ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	77
4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว	81
4.3.1 ผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ	81
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย	81
ความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหย	85
การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและไนเตรต	90
ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	92

4.3.2 ผลของเวลากักพักต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	96
ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	97
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย	100
ความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหย	102
การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและไนเตรต	104
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	107
5.1 สรุปผลการทดลอง	107
5.2 ข้อเสนอแนะ	109
รายการอ้างอิง	110
ภาคผนวก.....	116
ภาคผนวก ก	117
ภาคผนวก ข	122
ภาคผนวก ค	148
ภาคผนวก ง.....	165
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	169

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	10
ตารางที่ 2.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของซัลไฟด์ทั้งหมดที่ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตมีเทนจากกรดอะซิติกที่ร้อยละ 50	16
ตารางที่ 2.3 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	17
ตารางที่ 2.4 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	23
ตารางที่ 2.5 ภาพรวมของการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาวะไร้อากาศจากงานวิจัยที่ผ่านมา	26
ตารางที่ 2.6 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ	28
ตารางที่ 2.7 ลักษณะของเสียก่อนเข้าและออกจากถังย่อยไร้อากาศ.....	31
ตารางที่ 3.1 รายการสารเคมี และปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมธาตุอาหารปริมาณ 1 ลิตรสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	43
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิธีวิเคราะห์ในการทดลอง	47
ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ	56
ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์จากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา.....	57
ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง.....	59
ตารางที่ 4.4 ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ.....	60
ตารางที่ 4.5 ผลผลิตก๊าซมีเทนและสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพจากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา.....	69

ตารางที่ 4.6 ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเมื่อใช้ ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้น	69
ตารางที่ 4.7 ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง แปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็น วัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ	71
ตารางที่ 4.8 ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอน อินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการ ผลิตก๊าซชีวภาพ	80
ตารางที่ 4.9 ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดิน ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอน อินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน	82
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยจาก การเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	85
ตารางที่ 4.11 ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถัง ปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้น ของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน	94
ตารางที่ 4.12 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพและผลทดสอบการจุดติดไฟของ ก๊าซชีวภาพจากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอน เดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน .96	
ตารางที่ 4.13 ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ re-batch และ 50 g TS/L	98
ตารางที่ 4.14 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพและผลทดสอบการจุดติดไฟของ ก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ re-batch	99
ตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยในถัง ปฏิกรณ์ re-batch เทียบกับถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L.....	100

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นตอนและผลผลิตของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ	6
รูปที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิที่จุลินทรีย์เจริญเติบโต	11
รูปที่ 2.3 การเกิดของเสียในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ	21
รูปที่ 2.4 ปริมาณแอมโมเนียอิสระที่อุณหภูมิ 20 35 และ 55 °C ในสภาวะที่ค่าพีเอชแตกต่างกัน	28
รูปที่ 3.1 แผนผังภาพรวมขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	38
รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์การทดสอบบีเอ็มพี	44
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากขวดเชอร์รี่ และวิธีวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ	44
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์	45
รูปที่ 3.5 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว	46
รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการทดลองส่วนที่ 2	51
รูปที่ 3.7 แผนผังแสดงการทดลองส่วนที่ 3	52
รูปที่ 4.1 ตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบที่ใช้ในการทดลอง	54
รูปที่ 4.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	58
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย เมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	61
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยตลอดการทดลองเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	63
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นในปฏิริยาการหมักแบบไร้อากาศ	64
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรตเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นในปฏิริยาการหมักแบบไร้อากาศ	65
รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม และก๊าซมีเทนสะสมตลอดการทดลองเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	67

- รูปที่ 4.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นรายวันของการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำ68
- รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงซีไอโดยรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ72
- รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงพีเอช อัลคาลินิตี และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ75
- รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ.....76
- รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรตตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ.....77
- รูปที่ 4.13 ผลผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนของการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ.78
- รูปที่ 4.14 ผลผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนในแต่ละวันของการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ79
- รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีไอโดยรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน84
- รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหยระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน88
- รูปที่ 4.17 อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตีระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน90

รูปที่ 4.18 ปริมาณแอมโมเนียระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ ชั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้น แตกต่างกัน	91
รูปที่ 4.19 ปริมาณไนเตรตระหว่างเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอน เดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน .92	92
รูปที่ 4.20 ผลผลิตก๊าซชีวภาพสะสม และผลผลิตก๊าซชีวภาพรายวันของการเดินระบบผลิตก๊าซ ชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความ เข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน	93
รูปที่ 4.21 องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถัง ปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้น ของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน	95
รูปที่ 4.22 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นรายวันจากการเดินระบบผลิตก๊าซ ชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียว	98
รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอติรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยระหว่างการ เดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียว	101
รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช อัลคาลินิตี้ และกรดอินทรีย์ระเหยระหว่างการเดินระบบ ผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียว	103
รูปที่ 4.25 อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียว.....	104
รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียว	105
รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรตระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อ ากาศแบบชั้นตอนเดียว	106

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำถูกปรับเปลี่ยนเป็นอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์มากขึ้น เพื่อให้ได้ผลผลิตเพียงพอที่จะรองรับความต้องการแหล่งอาหารประเภทโปรตีนที่เพิ่มขึ้นของประชากร โดยมีการพัฒนาเทคนิคการเลี้ยงสัตว์น้ำให้มีประสิทธิภาพสูงควบคู่ไปกับการลดผลกระทบที่จะเกิดต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สำหรับแนวทางที่นิยมใช้กันคือ การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Closed Recirculating Aquaculture System) ซึ่งน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงจะถูกบำบัดและหมุนเวียนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบนี้จึงต้องมีการควบคุมทั้งคุณภาพน้ำและปริมาณอาหารให้เหมาะสมกับชนิดสัตว์น้ำ ปริมาณอาหารที่ต้องใส่เข้าระบบเลี้ยงจะต้องเพียงพอต่อการบริโภคไม่มากหรือน้อยเกินไป เพื่อควบคุมปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้นในบ่อเลี้ยง เนื่องจากปริมาณอาหารที่ให้สัตว์น้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพน้ำและอัตราการเกิดตะกอนอินทรีย์ในบ่อเลี้ยง ทั้งนี้ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสามารถจำแนกตามแหล่งกำเนิดเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ของเสียจากเศษอาหารที่หลุดจากการบริโภคของสัตว์น้ำ และของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ ซึ่งจะอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว และก๊าซ (Timmons และคณะ, 2002) โดยของเสียในรูปของแข็ง ได้แก่ ตะกอนอินทรีย์ ถ้ามีการสะสมของตะกอนอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงปริมาณมากจะส่งผลให้ความต้องการใช้ออกซิเจนในบ่อเลี้ยงเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ โดยจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายลดลง อาจทำให้ออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอ กับความต้องการของสัตว์น้ำ และในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจะปล่อยของเสียในรูปละลายน้ำออกสู่อบ่อเลี้ยงอีกด้วย สำหรับของเสียในรูปละลายน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต หากมีการสะสมในระดับความเข้มข้นสูงจะก่อให้เกิดความเป็นพิษและมีผลต่อการอยู่รอดของสัตว์ นอกจากการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์แบบใช้อากาศแล้ว ในบ่อเลี้ยงยังสามารถเกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศได้อีกด้วย เมื่อการย่อยสลายเกิดขึ้นบริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนอยู่น้อยหรือไม่มีออกซิเจน ซึ่งหากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศขึ้นในบ่อเลี้ยงจะก่อให้เกิดสารพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงจำเป็นต้องมีการแยกตะกอนอินทรีย์ออก

จากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง เมื่อตะกอนอินทรีย์ถูกแยกออกจากบ่อเลี้ยงแล้ว ควรได้รับการกำจัดอย่างเหมาะสม เพราะตะกอนอินทรีย์ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมอาจจะก่อมลพิษได้

ในปัจจุบันมีการนำตะกอนอินทรีย์ที่แยกได้จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลายรูปแบบ เช่น นำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินในพื้นที่การเกษตร ใช้ทำเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ และนำไปเลี้ยงไส้เดือน เป็นต้น ทั้งนี้การนำตะกอนอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ นั้น ถือเป็น การบำบัดตะกอนอินทรีย์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีแนวทางที่ชัดเจนในการจัดการตะกอนอินทรีย์เหล่านี้ ซึ่งเกษตรกรมักจะปล่อยตะกอนทิ้ง โดยไม่มีการนำตะกอนอินทรีย์มาผ่านการบำบัดหรือใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดทิ้งออกจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทำการทดลองกับตะกอนอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ ตะกอนจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อก ตะกอนจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด และตะกอนขี้ปลาที่แยกโดยการกรองจากบ่อเลี้ยงหลังการให้อาหาร ทั้งนี้หากแนวทางดังกล่าวสัมฤทธิ์ผล โดยสามารถผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นของเสียจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำได้ จะถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากของเสียที่ต้องกำจัดออกจากอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และประเมินศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด และระยะเวลาที่กักพักตะกอนต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับปฏิบัติการ ดำเนินการที่อุณหภูมิต้อง ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ และห้องปฏิบัติการวิจัยปรีญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกำหนดขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1.3.1 ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) ตะกอนขี้ปลา (Feces) ที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาแบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน และตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) โดยตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อกและตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดได้จากบ่อเลี้ยงปลานิลในโรงเรือนของห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนตะกอนขี้ปลาได้จากบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดของ ป. เจริญฟาร์ม จ. ฉะเชิงเทรา ทั้งนี้การเลี้ยงสัตว์น้ำทุกรูปแบบจะเลี้ยงในบ่อไร้อินภายในโรงเรือน

1.3.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ไร้อากาศที่ใช้หมักก๊าซชีวภาพ เป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดไร้อากาศแบบยูเอเอสพีของบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) โดยจะนำน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลานิลเติมลงในหัวเชื้อ เพื่อปรับสภาพหัวเชื้อให้คุ้นเคยกับน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลานิล ซึ่งจะเก็บรักษาหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำการปรับสภาพแล้วในสภาวะอุณหภูมิห้อง

1.3.3 การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบเป็นวัตถุดิบตั้งต้น และเปรียบเทียบผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเทคนิคบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential ; BMP) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Moody และคณะ, 2009 โดยดำเนินการในภาชนะปิดขนาดเล็กปริมาตร 100 มล.

1.3.4 การทดลองส่วนที่ 3 ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขึ้นตอนเดียว ดำเนินการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบกวนผสมสมบูรณ์ ปริมาตรทำงานขนาด 6 ลิตร โดยจะป้อนตะกอนอินทรีย์แบบแบคทีเรียสำหรับการเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการศึกษาผลของเวลากักพักตะกอนต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.3.5 ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทางคุณภาพน้ำและตะกอนอินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งระเหย (VS) ซีโอดี (COD) แอมโมเนีย (Ammonia) ไนไตรต์ (Nitrite) ไนเตรต (Nitrate) พีเอช (pH) อัลคาลินิตี (Alkalinity) กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile

fatty acid) โปรตีน (Protein) คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ไขมัน (Lipid) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ในส่วนของก๊าซชีวภาพจะทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพและวิเคราะห์สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพ ตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWA, WPCF, 2005)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นทางเลือกในการจัดการและใช้ประโยชน์จากตะกอนอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยได้ข้อมูลเบื้องต้นที่จะเป็นแนวทางในการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนของเสียที่ต้องกำจัดทิ้งในอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์น้ำ

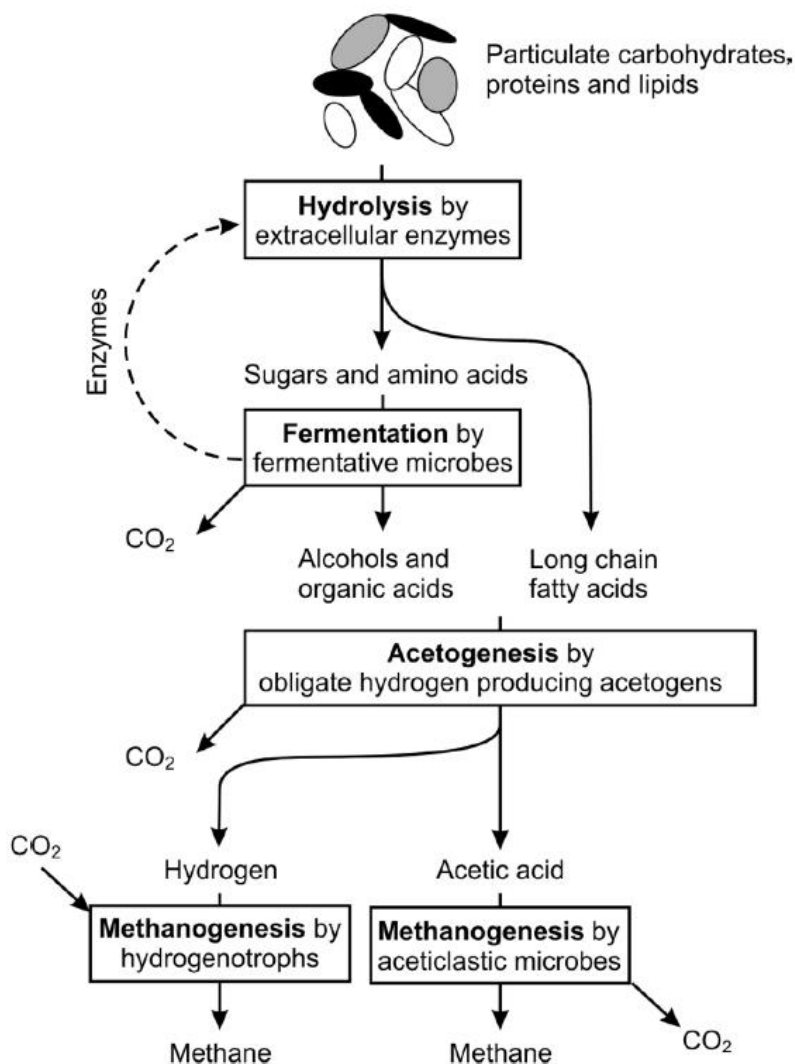


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic digestion) เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ปราศจากตัวรับอิเล็กตรอนภายนอก ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟต (ตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการใช้อากาศ ดีไนตริฟิเคชัน และซัลเฟตรีดักชัน ตามลำดับ) พลังงานที่ได้จากการย่อยในสภาวะไร้อากาศจะต่ำกว่าพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาที่ใช้ตัวรับอิเล็กตรอนจากภายนอก โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากปฏิกิริยาไร้อากาศคือ คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ทั้งนี้สัดส่วนของก๊าซทั้งสองชนิดในก๊าซชีวภาพที่ได้จากการย่อยสารอินทรีย์แบบไร้อากาศจะถูกกำหนดโดยลักษณะของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลาย เนื่องจากพลังงานที่ได้จากการย่อยสารอินทรีย์แบบไร้อากาศมีค่าต่ำ ดังนั้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศจึงมีเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นน้อยเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาอื่นๆ โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการไร้อากาศนี้จะประกอบด้วยหลายขั้นตอนที่มีความซับซ้อน ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายกลุ่มซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกัน โดยลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศจะแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นตอนและผลผลิตของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

(ที่มา : Christensen, 2011)

2.1.1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศสามารถแบ่งขั้นตอนการย่อยสลายออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่เป็นโมเลกุลเล็ก การเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กเป็นกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acids : VFA) การเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยเป็นกรดอะซิติก และการเปลี่ยนอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะอาศัยการกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ขั้นตอนนี้จุลินทรีย์กลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative bacteria) และจุลินทรีย์กลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic bacteria) จะเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส ให้อยู่ในรูปสารประกอบเชิงเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน โดยจุลินทรีย์ดังกล่าวจะปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยวที่มีขนาดโมเลกุลเล็กจนสามารถนำเข้าสู่เซลล์ได้ เช่น เซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ โปรตีนไปเป็นเปปไทด์หรือกรดอะมิโน ซึ่งเอนไซม์จะมีความเฉพาะเจาะจงต่อสารที่จะเข้าทำปฏิกิริยา ดังนั้นจุลินทรีย์ต้องสร้างเอนไซม์ที่ใช้ได้เฉพาะกับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ เช่น ต้องสร้างอะไมเลส (amylase) เพื่อย่อยสลายแป้งและไกลโคเจนให้เป็นน้ำตาล หรือสร้างเอนไซม์ไลเปส (lipase) ย่อยสลายไขมันให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน หรือสร้างเอนไซม์โปรตีเอส (protease) ย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน เป็นต้น

2) กระบวนการหมัก (Fermentation หรือ Acidogenesis)

ในขั้นตอนของการหมักหรือการสร้างกรดอินทรีย์ระเหย (volatile fatty acids; VFA) จุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) จะนำสารประกอบเชิงเดี่ยวที่ละลายน้ำได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิส เช่น น้ำตาลและกรดอะมิโน มาเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) แอลกอฮอล์ ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ผ่านกระบวนการหมักซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ตัวรับอิเล็กตรอนจากภายนอก โดยระหว่างกระบวนการหมักกรดอะมิโนจะปล่อยแอมโมเนีย ในส่วนของกรดไขมันสายยาวจากการย่อยสลายของไขมันในขั้นไฮโดรไลซิสจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการนี้ ซึ่งกรดอินทรีย์ระเหยที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid) กรดบิวทีริก (Butyric acid) กรดวาเลอริก (Valeric acid) และกรดแลคติก (Lactic acid) นอกจากนี้ที่เป็นกรดอินทรีย์แล้วยังสามารถพบผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ปะปนออกมาด้วย ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

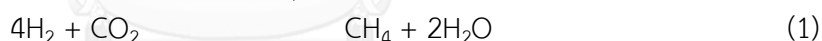
3) กระบวนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

เนื่องมาจากการที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่าสองอะตอม เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทีริก ได้โดยตรง จึงต้องเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการหมักให้เป็นอะซิเตต (CH_3COO^-) พอร์เมต ($HCOO^-$) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และ

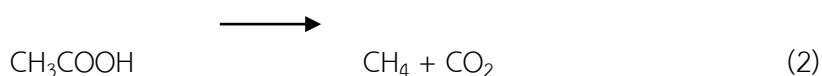
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์กลุ่มอะซิโตเจนิก (Acetogenic bacteria) ขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนสำคัญในการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยและก๊าซไฮโดรเจน หากมีการสะสมมากเกินไปจะมีผลไปยังการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน จึงเป็นขั้นตอนที่ต้องให้ความสนใจระมัดระวัง ควบคุมปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยได้ และก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้ให้มีความเหมาะสม

4) กระบวนการผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ซึ่งผลิตสุดท้ายของกระบวนการนี้คือ ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ก๊าซแอมโมเนีย (NH₃) โดยก๊าซมีเทนถูกสร้างขึ้นจากจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม ได้แก่ จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogenophilic methanogen) โดยจะเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไปเป็นก๊าซมีเทน และจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (Acetophilic methanogen) ซึ่งจะเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งการเกิดมีเทนเป็นไปตามสมการต่อไปนี้



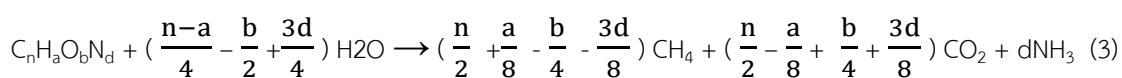
การสร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (Aceticlastic methanogenesis)



โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจนจะผลิตมีเทนประมาณร้อยละ 30-40 ของมีเทนทั้งหมดที่เกิดขึ้น ในส่วนของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติกจะผลิตมีเทนประมาณร้อยละ 60 - 70 ของมีเทนทั้งหมดที่เกิดขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์ในขั้นตอนนี้มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมมาก และมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ ดังนั้นการเจริญเติบโตและปริมาณของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถประมาณได้จากปริมาณซีโอดีของสารอินทรีย์ โดยซีโอดี หรือ Chemical Oxygen Demand ถูกใช้ในการแสดงปริมาณสารอินทรีย์ในของเสีย และใช้ในการ

ประมาณศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ ในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซีโอดีที่อยู่ในสารอินทรีย์จะถูกเก็บไว้ในรูปของก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้าย และอยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยในกรณีของสารอินทรีย์ ($C_nH_aO_bN_d$) ที่ย่อยสลายได้สมบูรณ์ สารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนียโดยกลุ่มจุลินทรีย์ไร้อากาศ (สมมติให้ ผลผลิตจุลินทรีย์เป็นศูนย์) ซึ่งในทางทฤษฎีปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้ ตามสมการของ Buswell



จากสมการจะพบว่า คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ โดยผลผลิตก๊าซที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นการย่อยของสารอินทรีย์ ระยะเวลาที่เก็บ และอุณหภูมิ

2.2 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ โดยจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) และจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (Methane producing bacteria) ซึ่งให้ผลผลิตหลักเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยมีก๊าซอื่นๆ เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า และก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) เป็นต้น โดยก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติเมื่อมีสารอินทรีย์และจุลินทรีย์อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในสภาวะที่ไม่มีอากาศ ก๊าซชีวภาพในธรรมชาตินั้นมักจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีการหมัก เช่น ก้นบ่อ ก้นแม่น้ำ ก้นทะเลสาบ หนองน้ำ บึง และนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง เป็นต้น (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)

โดยในก๊าซชีวภาพจะประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน ประมาณร้อยละ 50-70 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 20-50 ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย (NH_3) และไอน้ำ (H_2O) นอกจากนี้ ยังมีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ เช่น ซิลอกเซน (Siloxane) โฟม คราบ (Scum) เมื่อกและตะกอน เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	ความเข้มข้น
ก๊าซมีเทน (CH ₄)	50 – 70 % (V/V)
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	20 – 50 % (V/V)
ไอน้ำ (H ₂ O)	0 – 10 % (V/V)
ก๊าซไนโตรเจน (N ₂)	0 – 5 % (V/V)
ก๊าซออกซิเจน (O ₂)	0 – 2 % (V/V)
ก๊าซแอมโมเนีย (NH ₃)	0 – 1 % (V/V)
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S)	50 – 10,000 ppm

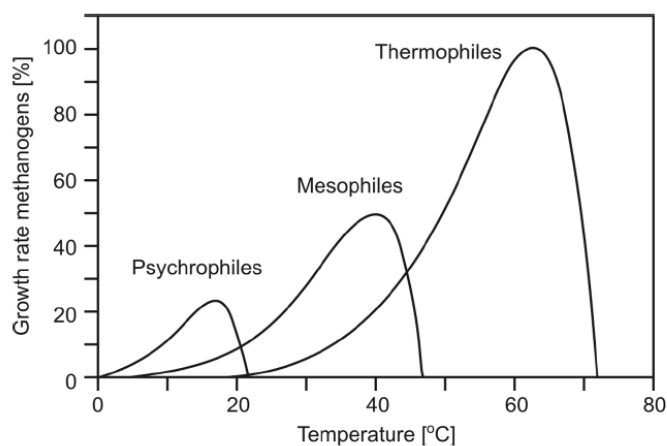
2.3 ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิด ดังนั้นในการเดินระบบจึงต้องรักษาสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสม หากมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมจะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ จึงต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่างๆ ในการเดินระบบเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพดังนี้

1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการทำงานและกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาชีวเคมีจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้แบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงไซโครฟิลิก (Psychrophilic) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 0 – 25 °ซ ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25 – 40 °ซ และช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 40 – 60 °ซ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2 สำหรับช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศมีอยู่ 2 ช่วง ซึ่งทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นในระบบได้ดี คือ อุณหภูมิช่วงการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มมีโซฟิลิก (Mesophilic bacteria) และช่วงการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic bacteria) อย่างไรก็ตามในการเดินระบบที่ช่วงอุณหภูมิสูงมีข้อเสียคือ จุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิกทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้น้อยกว่าจุลินทรีย์กลุ่มมีโซฟิลิก จึงมี

ความเสี่ยงต่อการล้มเหลวของระบบสูงกว่า นอกจากนี้การเดินระบบที่อุณหภูมิสูงยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์อีกด้วย (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)



รูปที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิที่จุลินทรีย์เจริญเติบโต (ที่มา : Christensen, 2011)

2) ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.6–7.4 ซึ่งเป็นค่าพีเอชของระบบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน ซึ่งพบว่าในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชเกิดขึ้นอยู่เป็นประจำ โดยสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ โดยหากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบในปริมาณมากเกินไป ก็จะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดผลิตกรดอินทรีย์ระเหยในปริมาณมากจนจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนไม่สามารถใช้ได้ทัน จึงเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยในระบบส่งผลให้ค่าพีเอชของระบบลดลง ดังนั้นต้องมีแนวทางที่เหมาะสมในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เพื่อควบคุมกรดอินทรีย์ระเหยและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)

3) ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ความเป็นด่างหรืออัลคาไลนิตี้เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช และยังเป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ ถ้าวระบบมีค่าอัลคาไลนิตี้สูงแสดงว่าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่าพีเอชของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่เกิดการแปรปรวนของค่าพีเอชได้ง่ายเมื่อมีปริมาณ

กรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้นในระบบ โดยพบว่าค่าอัลคาลินิตีภายในระบบควรอยู่ในช่วง 1,000 – 3,000 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. และค่าอัลคาลินิตีที่มีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศไม่ควรจะต่ำกว่า 1,000 มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. จึงจะช่วยต้านทานกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ดังนั้นในการควบคุมระบบให้ทำงานเป็นปกติ จำเป็นต้องรักษาค่าอัลคาลินิตีไม่ให้มีค่าต่ำจนเกินไป เพื่อรักษาระดับค่าพีเอชในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)

4) กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acids: VFA)

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ กรดอินทรีย์ระเหย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดโพรพ็อนิก เป็นต้น ผลผลิตเหล่านี้เป็นสารตัวกลางส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด หากพบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีมากขึ้นมักเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ ทั้งนี้ในระบบที่มีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณมาก ($> 2,000$ มก. กรดอะซิติก/ล.) ช่วงแรกจะทำให้ค่าอัลคาลินิตีของระบบลดลง และถ้ายังไม่มีการกำจัดปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้น้อยลง ต่อมาค่าพีเอชของระบบก็จะลดต่ำลง และถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน หากไม่ได้รับการแก้ไขและปล่อยให้ค่าพีเอชลดต่ำลงถึง 4.5 – 5.0 จะทำให้ระบบเสียสมดุลเป็นผลให้ระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นในสภาวะปกติปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในถังปฏิกรณ์ไม่ควรเกิน 2,000 มก. กรดอะซิติก/ล. และควรควบคุมระบบให้มีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าอัลคาลินิตีไม่ควรเกิน 0.3 – 0.4 (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)

5) อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR)

อัตราภาระการรับสารอินทรีย์คือ สัดส่วนน้ำหนักของสารอินทรีย์ในหน่วยซีโอดีที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ต่อวัน (กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน) แสดงให้เห็นว่าอัตราภาระการรับสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของของเสียเข้าสู่ระบบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้มีความสมดุล โดยทั่วไปการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ โดยต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของของเสียเข้าสู่ระบบให้สัมพันธ์กับระยะเวลาที่เหมาะสม

ในการสัมผัสกันระหว่างจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์ เพื่อให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนสามารถเกิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)

6) ธาตุอาหาร (Nutrients)

จุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นน้อยกว่าจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะมีออกซิเจน แต่จากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสต่อซัลเฟอร์ (C:N:P:S) ในเซลล์มีค่าประมาณ 100:10:1:1 จึงจำเป็นต้องรักษาอัตราส่วนนี้ไว้ไม่น้อยกว่านี้ จุลินทรีย์จึงต้องการอาหารเสริมนอกเหนือจากคาร์บอน เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วย ซึ่งอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสอย่างน้อยควรมีค่าเท่ากับ 100:1:0.2 สำหรับกระบวนการไม่ใช้อากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

โดยทั่วไปจุลินทรีย์นอกจากจะต้องการสารอาหารหลักในการเจริญเติบโตแล้ว ยังต้องการธาตุอาหารอื่นเพื่อช่วยในการสร้างเซลล์ใหม่ด้วย ทั้งนี้ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหารอื่นๆ (Trace element) ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนด้วย แต่มีความต้องการในปริมาณที่ต่ำมาก เช่น นิเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) โบรอน (B) เซลีเนียม (Se) ซัลเฟอร์ (S) โปแตสเซียม (K) และโมลิบดีนัม (Mo) เป็นต้น ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ หากจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตช้าอาจเป็นผลจากขาดธาตุอาหารธาตุใดธาตุหนึ่ง และหากขาดธาตุอาหารเป็นเวลานานก็จะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในระบบได้ (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)

7) ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time: HRT) และระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในถังปฏิกรณ์ (Solid Retention time: SRT)

ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time: HRT) คือ ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ สามารถคำนวณได้จากการนำค่าปริมาตรของถังปฏิกรณ์หารด้วยอัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (Feeding Rate) โดยการเพิ่มระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ได้อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์มีระยะเวลาที่สามารถสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้นานขึ้น ทำให้สามารถใช้สารอินทรีย์มาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้มากขึ้น ในการเพิ่ม

ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียทำได้โดยการออกแบบให้ถังปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ก็ทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงขึ้นด้วย หรืออาจทำการปรับลดอัตราการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ก็จะทำให้ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียสูงขึ้น แต่จะมีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น หากระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียสั้นเกินไปมีผลให้จุลินทรีย์หลุดออกจากถังปฏิกรณ์มากขึ้น อาจส่งผลทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนล้มเหลวได้เนื่องจากมีจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์น้อยเกินไป

ส่วนระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในถังปฏิกรณ์ (Solid Retention Time: SRT) เป็นตัวแปรที่สำคัญในการเดินระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะไร้อากาศควรมีค่า SRT ไม่น้อยกว่า 10 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนที่เกิดขึ้นใหม่ในระบบซึ่งมีอัตราในการเจริญเติบโตช้า สามารถเจริญเติบโตได้ทันกับจุลินทรีย์เดิมที่หลุดออกจากระบบ การมีค่า SRT ที่นานขึ้นจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยลดผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในระบบและลดผลกระทบจากสารพิษที่มีอยู่ได้ (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)

8) สารพิษ (Toxic substances)

สารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศโดยเฉพาะจุลินทรีย์สร้างมีเทนมีอยู่หลายชนิด ระดับความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารเหล่านั้นสารที่เป็นพิษบางตัวเป็นสารอาหารที่จำเป็นแต่ต้องมีปริมาณพอเหมาะ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะกลายเป็นพิษได้ โดยสารพิษที่มีผลในการยับยั้ง (Inhibition) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สามารถแบ่งได้ดังนี้

- พิษของไอออนบวก

ไอออนบวกในน้ำเสียที่อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้แก่ โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) และแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ถ้าไอออนเหล่านี้มีความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปจะเริ่มเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ โดยไอออนบวกที่มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนสูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ ซึ่งพิษจากไอออนของแมกนีเซียมและแคลเซียมมีมากกว่าโซเดียมและโพแทสเซียมถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของไอออนบวกจึงเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนสูงขึ้น แต่ความเข้มข้นของไอออนบวกที่ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตมีเทนยังไม่เป็นที่แน่นอนว่าเกิดขึ้น ณ ความเข้มข้นเท่าใด โดยมีรายงานถึงความเข้มข้นของโซเดียมที่ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตมีเทนที่ร้อยละ 50 อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งค่าความเข้มข้นในงานเหล่านั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 6 – 40 ก./ล. (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

- โลหะหนัก

ชนิดของโลหะหนักที่อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ได้แก่ แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) และโครเมียม (Cr) เป็นต้น โลหะหนักเหล่านี้จะอยู่ในรูปไอออน พบว่าลำดับความเป็นพิษของโลหะหนักจะเรียงตามลำดับดังนี้ คือ ทองแดง > เหล็ก > แคดเมียม > สังกะสี แต่ความเป็นพิษของโลหะหนักลดลงได้ถ้าน้ำเสียมีปริมาณซัลไฟด์พอเหมาะเนื่องจากสามารถรวมกับโลหะหนักเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ที่ตกตะกอนได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

- พิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทโปรตีน ซึ่งมีไนโตรเจนรวมอยู่ในโมเลกุลด้วย โดยไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจะเปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออน ดังสมการ



โดยหากพีเอชต่ำปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางซ้าย และพีเอชสูงปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวา ดังนั้นที่พีเอชสูงขึ้นก็จะมีแอมโมเนียอยู่ในระบบมากขึ้น ทั้งนี้แอมโมเนียจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศมากกว่าแอมโมเนียม

- พิษของซัลไฟด์

ปริมาณของซัลไฟด์ในระบบไร้อากาศหากมีความเข้มข้นถึงระดับหนึ่งจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทน ไม่ว่าซัลไฟด์นั้นจะมาจากน้ำเสียที่เข้าระบบหรือการย่อยสลายของซัลเฟตก็ตาม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนบวกในระบบด้วย เพราะถ้าในระบบมีโลหะหนัก ซัลไฟด์จะรวมตัวกับโลหะหนักแล้วตกตะกอนผลึกลงมา ทำให้ความเข้มข้นของซัลไฟด์ลดลงได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) โดยระดับความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทนแสดงดังตารางที่ 2.2 นั่นคือ การเพิ่มช่วงอุณหภูมิและพีเอชสูงขึ้นจะมีผลทำให้พิษของซัลไฟด์เพิ่มขึ้นในระบบที่จุลินทรีย์เติบโตแบบแขวนลอย ทั้งนี้จะพบแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับระบบที่จุลินทรีย์เติบโตแบบเป็นเม็ดด้วย

ตารางที่ 2.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของซัลไฟด์ทั้งหมดที่ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิต

มีเทนจากกรดอะซิติคที่ร้อยละ 50 (ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ลักษณะจุลินทรีย์	อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	ความเข้มข้น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ล.)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)
แขวนลอย	30	6.5-7.4	100	-
		7.7-7.9	125	-
	55	6.3-6.4	18	33
		7.1-7.2	21	78
		7.9-8.0	24	400
เป็นเม็ด	30	6.4-6.6	246	357
		7.0-7.2	252	810
		7.8-8.0	50	841
	55	6.3-6.4	54	81
		7.1-7.2	75	338
		7.9-8.0	24	450

- พืชจากสารอื่น ๆ

สารพิษอื่นๆ ที่มีอยู่ในน้ำและอาจทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการผลิตมีเทน ได้แก่ ออกซิเจน ซึ่งมีความเป็นพิษอย่างมากแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย ในขณะที่สารรับิเล็กตรอนอื่นๆ เช่น ไนเตรต หรือซัลเฟต ถ้ามีอยู่ในปริมาณมากจะทำให้ผลิตก๊าซมีเทนได้ลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์หากใช้ในเตรตหรือซัลเฟตจะได้พลังงานมากกว่าจากการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้จุลินทรีย์เหล่านี้ยังมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าจุลินทรีย์สร้างมีเทน ทำให้สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ คงเหลือสารอินทรีย์ให้จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนลดลง นอกจากนี้สารเคมีบางชนิด เช่น 2-Bromoethanesulfonic Acid (BES; $\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3$) จะขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนได้ เนื่องจากมีลักษณะสมบัติคล้ายกับโคเอนไซม์เอ็ม สารพวก Chlorinated Methanes อย่างคลอโรฟอร์มหรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ และสารที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมสองตัวที่ไม่อิ่มตัว เช่น อะเซติลีน หรือเอทิลีน Corrinoid Antagonists และ Monensin

เป็นต้น ก็มีผลกับจุลินทรีย์สร้างมีเทนเช่นกัน โดยตารางที่ 2.3 แสดงชนิดของสารต่างๆ และระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทน

ตารางที่ 2.3 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน (ที่มา : สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553)

สารพิษ	ความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ (มก./ล.)
ทองแดง (Cu)	1
สังกะสี (Zn)	5
โครเมียม (IV) (Cr^{6+})	5
โครเมียม (III) (Cr^{3+})	2,000
โครเมียมทั้งหมด (Cr)	5
นิกเกิล (Ni)	2
แคดเมียม (Cd)	0.02
กำมะถัน (S)	100
ซัลเฟต (SO_4^{2-})	500
แอมโมเนีย	1,500
โซเดียม (Na^+)	3,500
โพแทสเซียม (K^+)	2,500
แคลเซียม (Ca^{2+})	2,500
แมกนีเซียม (Mg^{2+})	1,000
คลอโรฟอร์ม	0.1

2.4 ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ

ปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยและทั่วโลก เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรทำให้ความต้องการอาหารเพื่อบริโภคเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งการจับสัตว์น้ำในแหล่งธรรมชาติทำให้สัตว์น้ำตามธรรมชาติลดลง จึงจำเป็นต้องทำการเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อทดแทนสัตว์น้ำตามธรรมชาติ ด้วยสาเหตุนี้ทำให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วโลกขยายตัวอย่างรวดเร็วรวมทั้งในประเทศไทย ทั้งนี้รูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันของประเทศไทยมักมีการเลี้ยงสัตว์

น้ำแบบหนาแน่น ซึ่งส่งผลให้เกิดการปล่อยน้ำทิ้งและตะกอนเลนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้การเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นไปอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ควรจะมีการเลี้ยงในระบบแบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดน้ำ และมีการจัดการน้ำทิ้งและตะกอนเลนที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างเหมาะสม โดยทั่วไประบบการเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถจำแนกออกตามการหมุนเวียนน้ำได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบเปิด การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด และการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบกึ่งปิด (สুবถิต นิมรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552)

2.4.1 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบเปิด (Open system)

เป็นระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการถ่ายน้ำที่ผ่านการเลี้ยงสัตว์น้ำแล้วทิ้งออกนอกระบบเลี้ยงหรือทิ้งออกจากบ่อเลี้ยงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระยะสั้นๆ จะช่วยควบคุมคุณสมบัติของน้ำภายในบ่อให้มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ แต่เนื่องจากการเลี้ยงระบบเปิดจะมีการใช้น้ำปริมาณมากจากแหล่งน้ำภายนอก จึงทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำได้ รวมทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาการติดเชื้อโรคจากแหล่งน้ำภายนอกที่ปนเปื้อน นอกจากนั้นน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำยังก่อให้เกิดมลภาวะในแหล่งน้ำที่รองรับน้ำทิ้ง

2.4.2 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Close water system หรือ Recirculating system)

การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดเป็นการเลี้ยงโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่มีการชดเชยน้ำในส่วนที่ระเหยไปรวมทั้งส่วนที่รั่วซึมและส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ การเลี้ยงแบบระบบปิดต้องใช้กระบวนการทางชีวเคมีและกายภาพเพื่อรักษาคุณภาพน้ำด้วยการแก้ปัญหาต่างๆ ภายในบ่อระหว่างการเลี้ยงเพื่อให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ โดยการเลี้ยงในระบบนี้ต้องมีการสร้างบ่อเพื่อตกตะกอนสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ในน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วย รวมทั้งต้องมีการกำจัดแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์เพื่อป้องกันการเจริญของแพลงก์ตอนอย่างรวดเร็วเมื่อสารแขวนลอยในน้ำตกตะกอนจะทำให้น้ำบริเวณผิวน้ำใสมากขึ้น จากนั้นนำน้ำบริเวณดังกล่าวมาเพิ่มปริมาณออกซิเจนและกำจัดก๊าซพิษก่อนนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ซึ่งการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบนี้กำลังได้รับความสนใจอย่างยิ่งในปัจจุบัน เนื่องจากการเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดปัญหาการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงในระบบเปิดปริมาณมากลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดยังใช้น้ำน้อยกว่าการเลี้ยงระบบเปิดประมาณ 50-60 เท่า

การเลี้ยงในระบบปิดแบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ ระบบบ่อเลี้ยงในโรงเรือน ระบบบ่อดินกลางแจ้ง และระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง ซึ่งบ่อเลี้ยงทั้งสามรูปแบบมีการทำงานและสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยบ่อเลี้ยงในโรงเรือนจะไม่มีตะกอนดินก้นบ่อและได้รับแสงน้อย ทำให้การบำบัดไนโตรเจนไม่สามารถเกิดได้สมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนภายในบ่อ ในขณะที่บ่อไร้ดินกลางแจ้งไม่มีตะกอนดินเช่นเดียวกับบ่อเลี้ยงในโรงเรือน แต่จะได้รับแสงตามธรรมชาติทำให้เกิดแพลงก์ตอนขึ้นภายในบ่อ โดยแพลงก์ตอนพืชจะใช้แร่ธาตุต่างๆในบ่อเพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งช่วยควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อได้บางส่วน ในส่วนของบ่อดินกลางแจ้งจะมีตะกอนดินก้นบ่อซึ่งมีผลต่อกระบวนการบำบัดไนโตรเจนตามธรรมชาติ (รุ่งนภา สุทธิศรี, 2549)

2.4.3 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบกึ่งปิด (Semi-close system หรือ Semi-close recirculating system)

การเลี้ยงแบบกึ่งปิดคือ รูปแบบที่มีการผสมผสานระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบเปิดและระบบปิด นั่นคือมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบางส่วนเมื่อบ่อเลี้ยงมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์สูงเกินไป และมีการบำบัดและหมุนเวียนน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เหมือนกับการเลี้ยงระบบปิด

2.5 การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก

การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อกคือ การทำงานโดยจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ ซึ่งเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นตะกอนชีวภาพที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเรียกว่า กลุ่มไบโอฟล็อก (Biofloc) กลุ่มไบโอฟล็อกอาจประกอบด้วยแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ กลุ่มของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก และอนุภาคแขวนลอยของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะดึงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำมาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งเซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นนี้สัตว์น้ำสามารถบริโภคเป็นอาหารได้ จะเห็นได้ว่าระบบไบโอฟล็อกสามารถบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำและนำกลับไนโตรเจนจากอาหารสัตว์น้ำได้ในเวลาเดียวกัน

ในการเดินระบบไบโอฟล็อกจำเป็นต้องกระตุ้นให้เกิดตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งดำเนินการได้ด้วยการเติมสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น แป้งมัน รำข้าว กากน้ำตาล ในปริมาณที่เพียงพอ โดยอัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจนที่ควรเติมลงในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อกระตุ้นการสร้างตะกอนฟล็อกควรมีค่ามากกว่า 10:1 (Hargreaves, 2006) และต้องมีการเติมอากาศ

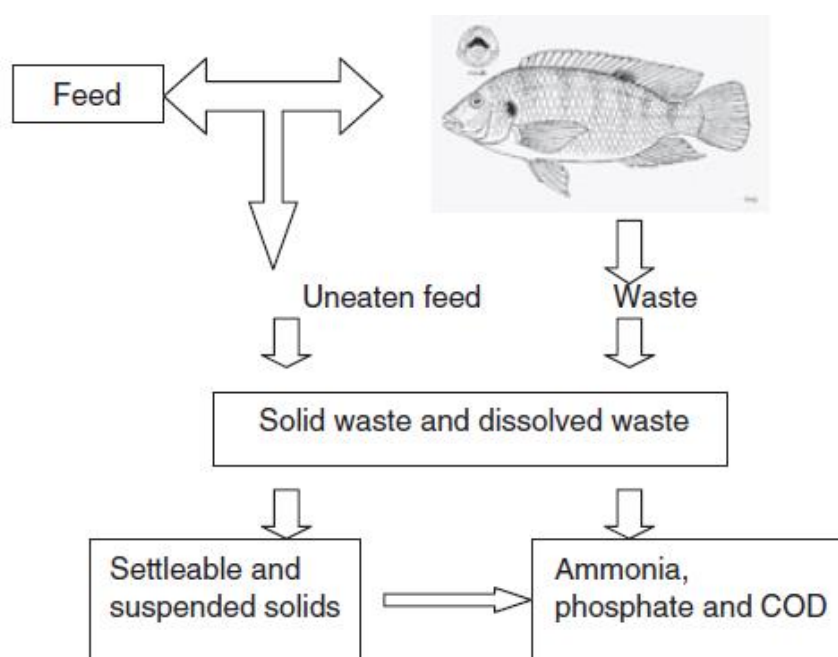
อย่างเพียงพอ (ออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก./ล.) เพื่อป้องกันน้ำเน่าเสีย (Crab และคณะ, 2012) นอกจากนี้ระบบไบโอฟล็อกจำเป็นต้องมีระบบการกวนที่ดีเพื่อป้องกันการตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อซึ่งจะนำไปสู่สภาวะไร้อากาศได้

2.6 ของเสียจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเดินระบบเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นเวลานานโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ จะเกิดการสะสมตัวของตะกอนอินทรีย์จากเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคและการขับถ่ายของสัตว์น้ำ หากมีการสะสมตะกอนบริเวณพื้นบ่อในปริมาณมากเกินไป อาจทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จนก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ดังนั้นการควบคุมและจัดการตะกอนในระบบเลี้ยงจึงถือเป็นสิ่งสำคัญ โดยของเสียในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากการให้อาหารสัตว์น้ำ สามารถแบ่งตามการเกิดได้ 2 แบบ คือ 1) ของเสียจากอาหารที่เหลือจากการบริโภค และ 2) ของเสียจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำซึ่งอยู่ในรูปของของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำคิดเป็นประมาณร้อยละ 80 ถึง 90 ของปริมาณอาหารที่สัตว์น้ำบริโภคทั้งหมด ในขณะที่อาหารส่วนที่เหลือจากการบริโภคจะกลายเป็นของเสียซึ่งอยู่ในรูปของอนุภาคของแข็งแขวนลอยมีปริมาตรประมาณร้อยละ 25 ของปริมาณอาหารที่ใส่ลงไปในระบบเมื่อคิดจากน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ได้มีการกำหนดความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรมีค่าสูงกว่า 80 มก./ล. (Timmons และคณะ, 2002)

มีรายงานว่าในการผลิตสัตว์น้ำ 1 กก. จะต้องให้อาหารประมาณ 1 - 3 กก. (ในรูปน้ำหนักแห้ง) สำหรับสัตว์น้ำที่มีอัตราแลกเนื้อ (Feed conversion ratio) อยู่ที่ 1 ถึง 3 (Luo และคณะ, 2013 อ้างถึงใน Naylor และคณะ, 2000) อาหารดังกล่าวจะถูกสัตว์น้ำนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ขับถ่ายออกมาในรูปของเสียอินทรีย์ประมาณร้อยละ 36 (Luo และคณะ, 2013 อ้างถึงใน Brune และคณะ, 2003) สำหรับของเสียที่เกิดจากสิ่งขับถ่ายและอาหารที่เหลือจากการบริโภคของสัตว์น้ำนี้สามารถจำแนกออกเป็นของเสียในรูปละลายน้ำและของเสียในรูปอนุภาคของแข็ง โดยของเสียในรูปละลายน้ำประกอบด้วยสารอินทรีย์ละลายน้ำ ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอมโมเนีย ส่วนของเสียในรูปอนุภาคของแข็งจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งของเสียเหล่านี้ทำให้ความต้องการใช้ออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสูงขึ้นจากการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ (Campo และคณะ, 2010) โดยทั่วไปเมื่อ

พิจารณาปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปอนุภาคของแข็งและในรูปละลายพบว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปละลายประมาณร้อยละ 60 – 90 (ส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย) และฟอสฟอรัสซึ่งถูกขับออกมาในขี้ปลาประมาณร้อยละ 25 – 85 แต่ทั้งนี้ปริมาณของเสียที่เกิดในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ 1) ชนิดและอายุของสัตว์น้ำ 2) องค์ประกอบของอาหาร 3) วิธีการให้อาหาร และ 4) คุณภาพน้ำในระบบ (van Rijn, 2013) โดยการเกิดของเสียในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำจะแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเกิดของเสียในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ (ที่มา : Amirkolaie, 2005)

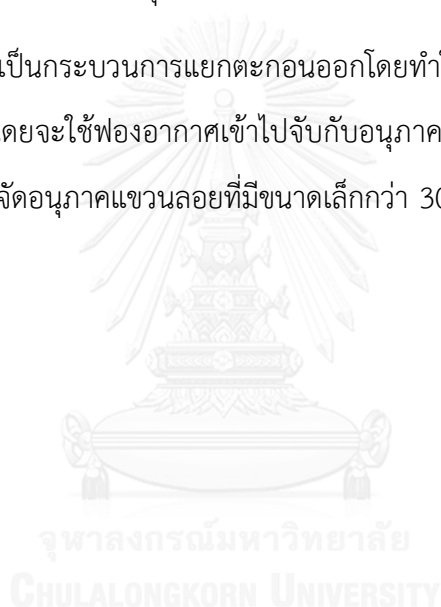
สำหรับลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์หรือของเสียในรูปอนุภาคของแข็งจะมีความแตกต่างตามชนิดของสัตว์น้ำและรูปแบบการเลี้ยง ซึ่งภาพรวมของลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำจะแสดงดังตารางที่ 2.4 ทั้งนี้ในการกำจัดของเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำที่อยู่ในรูปของแข็งออกจากระบบสามารถทำได้ตามแนวทางพื้นฐานของการแยกตะกอน โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

การแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity separation) จะอาศัยหลักการตกตะกอน ซึ่งเป็นการแยกของเหลวเนื้อผสมที่เป็นของแข็งแขวนลอยอยู่ในของเหลว ทำได้โดยนำของผสมนั้นวางทิ้งไว้ให้สาร

แขวนลอยค่อยๆ ตกตะกอนและทับถมกันเรื่อยๆ โดยสารแขวนลอยที่มีน้ำหนักมากกว่าจะตกลงมาก่อนด้วยความเร็วในการตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วง นิยมดำเนินการในถังที่กั้นถังเป็นรูปกรวย เช่น ถังตกตะกอน หลอดตกตะกอน เป็นต้น การแยกตะกอนด้วยวิธีนี้สามารถทำงานได้ดีเมื่ออนุภาคของตะกอนมีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร

การกรอง (Filtration) เป็นการทำให้ของแข็งและของเหลวแยกออกจากกันโดยใช้วัสดุต่างๆ เช่น คอลัมน์การกรอง ตัวกรองแบบเม็ด ระบบการกรองแบบแผ่นกรองที่มีรูพรุน เป็นต้น ในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดมีการใช้กระบวนการกรองเพื่อของเสียในรูปตะกอนออกจากน้ำกันอย่างแพร่หลาย โดยการกรองสามารถแยกอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมโครเมตรได้

การลอยตัว (Flotation) เป็นกระบวนการแยกตะกอนออกโดยทำให้ตะกอนต่างๆ ในน้ำเสียลอยขึ้นสู่บริเวณชั้นบนของผิวน้ำ โดยจะใช้ฟองอากาศเข้าไปจับกับอนุภาคแขวนลอยและแยกออกจากน้ำ ซึ่งกระบวนการนี้สามารถกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 30 ไมโครเมตร



ตารางที่ 2.4 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ

พารามิเตอร์	ที่มา	Lanari และ Franci (1998)	Gebauer (2004)	Gebauer และ Eikebrokk (2006)	Mirzoyan และ คณัษ (2008)	Mirzoyan และ Gross (2013)	Luo และคณัษ (2013)
ของแข็งทั้งหมด (g/l)		13.5 - 23.78	82 - 102	63 - 123	14.9 - 21.6	3.8	129.6 - 145.3 ^{SS}
ของแข็งระเหย (% TS)		64.2 - 71.1	49.8-54.1	78.6 - 86.9	56.1 - 75.6	64.2	35.2 - 50.8 ^{VSS}
ซีโอที (g/l)		0.34 - 1.06	60.3 - 74.1	110 - 193	-	-	182.7 - 241.2
ทีเคเอ็น (g/l)		-	2.4 - 3	5.45 - 10.63	0.51 - 1.02	-	20.1 - 24.3
แอมโมเนีย (mg/l)		7.2 - 13.6	430-530	940 - 1830	17.88 - 54	-	3900 - 4200
โปรตีน (% VS)		-	29	60	-	-	-
ไขมัน(% VS)		-	15	31	-	-	-
คาร์โบไฮเดรต (% VS)		-	56	9	-	-	-
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน		-	-	-	9.1 - 10.3	15.4	-
ชนิดสัตว์น้ำ	ปลาเรนโบว์เทราต์	ปลาแซลมอน	ปลาแซลมอน	ปลาแซลมอน	กุ้ง	ปลาไนล	ปลาเจดเฟริช
น้ำที่ใช้เลี้ยง	น้ำจืด	น้ำกร่อย	น้ำกร่อย	น้ำกร่อย	น้ำกร่อย	น้ำกร่อย	น้ำกร่อย

หมายเหตุ SS คือ ของแข็งแขวนลอย และ VSS คือ ของแข็งแขวนลอยระเหย

2.7 การย่อยสลายตะกอนอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

ดังได้กล่าวแล้วว่าตะกอนอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากอาหารที่เหลือจากการบริโภคและของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำในบ่อเลี้ยง ซึ่งบางส่วนจะถูกแปรสภาพตามธรรมชาติกลายเป็นอาหารของจุลชีพต่างๆ และการสะสมของตะกอนอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงทำให้น้ำในบ่อมีคุณภาพเลวลง โดยเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ แต่การย่อยสลายของตะกอนเหล่านี้ถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ พีเอช ออกซิเจน และส่วนประกอบของสารอินทรีย์ โดยการย่อยสลายจะเกิดได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิประมาณ 5 – 35 °ซ สำหรับช่วงพีเอชที่สารอินทรีย์เกิดการย่อยสลายได้ดีจะอยู่ในช่วงพีเอชที่เป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์อาจเกิดขึ้นในสภาวะที่มีอากาศ (Aerobic) หรือไร้อากาศ (Anaerobic) ก็ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเติบโตได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน ในขณะที่บางชนิดเจริญเติบโตได้เฉพาะในสภาวะไร้ออกซิเจน

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนสารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แต่จะถูกเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ และมีเทนในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน นอกเหนือจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวไปแล้ว ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ องค์ประกอบของสารอินทรีย์ เพราะสารอินทรีย์บางชนิดย่อยสลายง่าย เช่น แป้ง น้ำตาล เป็นต้น ในขณะที่สารอินทรีย์บางชนิดย่อยสลายยาก เช่น เซลลูโลส ลิกนิน เป็นต้น ซึ่งความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยองค์ประกอบของตะกอนอินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดความยากง่ายในการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ได้แก่ อัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจน (C:N ratio) ในสารประกอบอินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายเหล่านี้มีความต้องการแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสำคัญ สารอินทรีย์ที่มีปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนอยู่ในอัตราส่วนที่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์จึงสามารถย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้สารอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนสูง (สัดส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนแตกต่างกันมาก เช่น C:N = 100:1) จะย่อยสลายได้ช้ากว่าสารอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนต่ำ (สัดส่วนแตกต่างกันน้อย เช่น C:N = 10:1) เนื่องจากความต้องการไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้นหากการย่อยสลายเกิดภายใต้สภาวะที่มีไนโตรเจนอย่างสมบูรณ์ การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยไนโตรเจนจะถูก

นำไปใช้สร้างเซลล์ ส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียคือน้ำมัน (มันสน คัดมูลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2536)

2.8 การผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่นสูงมักทำให้เกิดตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นของเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในปริมาณมาก โดยของเสียเหล่านี้จะเป็นแหล่งก่อกมลพิษหากไม่มีการกำจัดอย่างเหมาะสม ทั้งนี้การนำกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศมาจัดการกับตะกอนของเสียที่เกิดจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำจะช่วยแก้ไขปัญหาด้านการจัดการระบบบำบัดและการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้การบำบัดตะกอนอินทรีย์แล้วการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศยังเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นอีกด้วย โดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของตะกอนได้ถึงร้อยละ 90 และตะกอนที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศจะมีความเสถียรและก่อกมลพิษน้อยกว่าตะกอนที่ไม่ผ่านการบำบัด นอกจากนี้การบำบัดด้วยการย่อยสลายแบบไร้อากาศยังใช้พื้นที่น้อยกว่าการบำบัดด้วยบ่อปรับเสถียร โดยคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดสามารถนำกลับมาใช้ในระบบเลี้ยงได้อีก ซึ่งเป็นการประหยัดน้ำและพลังงานที่ใช้ในการบำบัด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณมีเทนที่เป็นผลผลิตจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศของตะกอนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่าจะต่ำกว่ามีเทนที่เกิดจากวัตถุดิบชนิดอื่น เนื่องจากมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่า โดยสามารถผลิตมีเทนจากตะกอนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำได้ประมาณร้อยละ 2 - 5 ของความต้องการพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งนอกจากจะได้มีเทนเป็นพลังงานทางเลือกแล้วการบำบัดตะกอนด้วยการย่อยสลายแบบไร้อากาศยังช่วยลดมลพิษในอากาศจากบ่อปรับเสถียรอีกด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าการบำบัดตะกอนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยการย่อยสลายแบบไร้อากาศเป็นแนวคิดที่ค่อนข้างใหม่ อีกทั้งยังขาดข้อมูลและต้องการงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม (Mirzoyan และคณะ, 2010) โดยภาพรวมของการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาวะไร้อากาศจากงานวิจัยที่ผ่านมาจะแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ภาพรวมของการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาวะไร้อากาศจากงานวิจัยที่ผ่านมา

ชนิดของตะกอนอินทรีย์	การทดลอง		การยับยั้งกระบวนการย่อยไร้อากาศ	ผลผลิตมีเทน (ล. มีเทน/ ก. ซีโอดี) ¹ (ล. มีเทน/ ก. ของแข็งระเหย) ²	สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพ (%)	ประสิทธิภาพการย่อยสลาย (%VS)	ที่มา
	รูปแบบถังปฏิกรณ์	เวลาดักพักทางชีวศาสตร์ (วัน)					
ตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด	แบตช์	10 – 30	แอมโมเนีย และ กรดอินทรีย์ระเหย	0.125-0.164 ¹	36 – 71	-	Kugelman และ van Gorder (1991)
	-	22 – 38	-	0.198-0.250 ¹ 0.40-0.46 ²	>80	93 – 97	Lanari และ Franci (1998)
ตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย	กวนสมบูร์ณ	30	เกลือ	0.114-0.184 ¹ 0.16-0.24 ²	49 – 58	47 – 62	Gebauer (2004)
	กวนสมบูร์ณ	55 – 60	แอมโมเนีย และ กรดอินทรีย์ระเหย	0.140-0.151 ¹ 0.26-0.28 ²	59 – 61	74 – 79	Gebauer และ Eikebrokk (2006)
ยูเอเอสบี	ยูเอเอสบี	15	-	0.02 ¹	30 – 60	60	Mizoyan และคณะ (2008)
	ยูเอเอสบี	6 – 8	-	≥0.075 ¹	2 – 53	92 – 97.8	Mizoyan และ Gross (2013)
	เอเอสบีอาร์	20	เกลือ และแอมโมเนีย	0.013-0.022 ¹	28 – 57	91 – 96	Luo และคณะ (2013)

หมายเหตุ 1 คือ ลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี และ 2 คือ ลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย

2.9 ผลกระทบของแอมโมเนียต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

แอมโมเนียเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการย่อยสลายโปรตีน ยูเรีย และกรดนิวคลีอิก โดยแอมโมเนียมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่ำ แต่ที่ระดับความเข้มข้นสูงจะรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศซึ่งเป็นสาเหตุของการลดลงของกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยแอมโมเนียที่เกิดจากการย่อยสลายดังกล่าวจะอยู่ใน 2 รูปแบบ คือ รูปของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) โดยรูปแบบของแอมโมเนียจะเปลี่ยนแปลงดังสมการ (4)



โดยหากพีเอชต่ำกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางซ้าย และพีเอชมากกว่า 7.2 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวา ดังนั้นที่พีเอชสูงชันก็จะมีแอมโมเนียอิสระอยู่ในระบบมากขึ้น ทั้งนี้แอมโมเนียอิสระจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์มากกว่าแอมโมเนียมไอออน ซึ่งการยับยั้งกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศจากแอมโมเนีย นอกจากจะพิจารณาความเข้มข้นแอมโมเนียทั้งหมด (Total ammonia ; $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) ยังจำเป็นต้องพิจารณาความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ซึ่งเป็นสาเหตุของการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน โดยปริมาณของแอมโมเนียอิสระจะขึ้นกับ 3 ปัจจัยหลักๆ ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด พีเอช และอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยสามารถคำนวณปริมาณแอมโมเนียอิสระที่เกิดขึ้นได้จากปัจจัยข้างต้นที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียอิสระตามรายของ Hansen และคณะ (1998) (Hansen และคณะ, 1998 อ้างถึงใน Rajagopal และคณะ, 2013) แสดงดังสมการ (5)

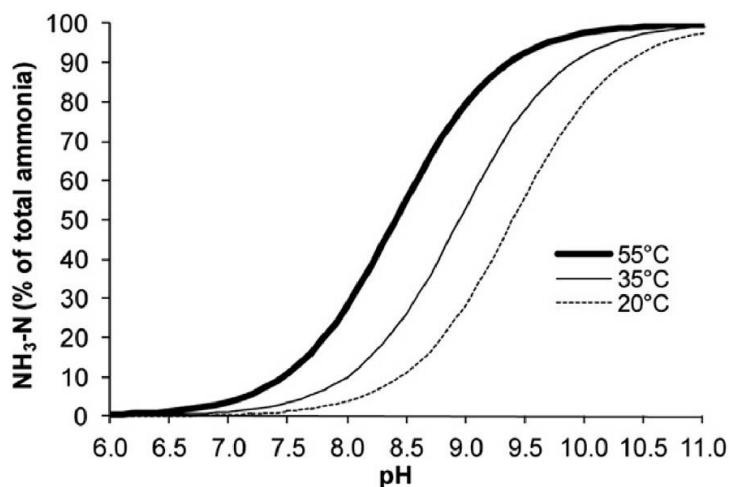
$$\text{Free Ammonia (NH}_3) = \text{Total ammonia} \times \left(\frac{10^{-\text{pH}}}{10^{-\left(0.09018 + \frac{2729.92}{T(K)}\right)}} \right) \quad (5)$$

โดย Free Ammonia (NH_3) คือ ปริมาณแอมโมเนียอิสระ (มก./ล.)

Total ammonia คือ ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (มก./ล.)

pH คือ ค่าพีเอช

T(K) คือ อุณหภูมิ (องศาเคลวิน)



รูปที่ 2.4 ปริมาณแอมโมเนียอิสระที่อุณหภูมิ 20 35 และ 55 °C ในสภาวะที่ค่าพีเอชแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.6 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

(ที่มา : Rajagopal และคณะ, 2013)

แอมโมเนีย (มก. ไนโตรเจน/ล.)	ผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ
50 – 200	ส่งผลดี
200 – 1,000	ยังไม่เกิดผลเสีย
1,500 – 3,000	เริ่มยับยั้งเมื่อพีเอชสูง
มากกว่า 3,000	ยับยั้งโดยสมบูรณ์ หรือเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในทุกระดับพีเอช

สำหรับการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกลไกในการยับยั้งของแอมโมเนียในกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศมีอยู่ไม่มากนัก โดยการยับยั้งจะเกิดขึ้นกับจุลินทรีย์ในกลุ่มผลิตมีเทน ซึ่งแอมโมเนียอาจจะส่งผลต่อจุลินทรีย์ดังกล่าวได้ 2 วิธี คือ (1) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) อาจยับยั้งการทำงานของเอนไซม์สร้างมีเทนโดยตรง หรือ (2) แอมโมเนียอิสระ (NH_3) อาจจะแพร่เข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชภายในเซลล์ เนื่องจากแอมโมเนียอิสระ (NH_3) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งในระหว่างการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียจะมีการดูดซับโปรตอน โดยเซลล์ต้องใช้พลังงานในการปรับสมดุลของโปรตรอนด้วยการใช้โพแทสเซียมปั๊ม (K^+ pump) เพื่อรักษาระดับพีเอชภายในเซลล์ซึ่งต้องใช้พลังงาน จึงอาจทำให้เกิดการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์จำเพาะ (specific enzyme)

โดยช่วงความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ส่งผลยับยั้งกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของวัตถุดิบตั้งต้น หัวเชื้อจุลินทรีย์ สภาพแวดล้อม (อุณหภูมิ และพีเอช) รวมถึงช่วงเวลาในการปรับตัวของจุลินทรีย์ โดยผลของปริมาณแอมโมเนียต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ แสดงได้ดังตารางที่ 2.6 สำหรับในระหว่างการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบจะมีปริมาณแตกต่างกัน โดยปริมาณแอมโมเนียในการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์จะพบตั้งแต่ 430 มก./ล. (Gebauer, 2004) จนถึง 4,200 มก./ล. (Lou และคณะ, 2013) กล่าวคือปริมาณแอมโมเนียในตะกอนอินทรีย์ที่มีค่าสูง อาจส่งผลในการยับยั้งหรือมีความเป็นพิษต่อกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศได้

2.10 การวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential)

เทคนิคการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนหรือ Biochemical Methane Potential (BMP Test) เป็นการวัดการย่อยสลายทางชีวภาพของสารตั้งต้นที่ใช้ทดสอบ เทคนิคนี้เป็นวิธีการทดสอบที่ราคาไม่แพงและยังสามารถทำซ้ำเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของการย่อยสลายแบบไร้อากาศและศักยภาพการเกิดก๊าซชีวภาพของสารตั้งต้นที่ต่างกันได้ และสามารถใช้ตรวจสอบปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ในสารตั้งต้นที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน และประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพของกระบวนการไร้อากาศของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดสอบ โดยข้อมูลที่ได้จากการทำบีเอ็มพีจะระบุถึงศักยภาพของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดสอบซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบและเดินระบบไร้อากาศได้อย่างเหมาะสม (Moody และคณะ, 2009)

โดยการหาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนด้วยเทคนิคบีเอ็มพีจะแสดงอยู่ในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมของแข็งระเหยที่เติมลงในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ในการทดสอบจะดำเนินการโดยนำตัวอย่างของเสียมาผสมกับตะกอนจุลินทรีย์แบบไร้อากาศในขวด แล้วไล่ก๊าซออกซิเจนออกให้หมดก่อนจึงปิดขวดให้สนิท จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) คือไม่มีก๊าซเกิดเพิ่มขึ้น โดยต้องวิเคราะห์สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเพื่อให้สามารถคำนวณปริมาตรของก๊าซมีเทนในช่วงเวลาต่างๆ ที่ตรวจวัดได้ โดยค่าบีเอ็มพีจะแสดงในรูปปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นเทียบเท่าสารอินทรีย์ในรูปของแข็งระเหยที่เติมลงในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

$$\text{BMP} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมด (มล.)}}{\text{ของแข็งระเหยที่เติมเข้าระบบ (ก.)}}$$

ซึ่งค่า BMP มักจะรายงานในหน่วย ลบ.ม. มีเทน/ลบ.ม. ของเสียตัวอย่าง หรือ ลบ.ม. มีเทน/กก. ของเสียตัวอย่าง หรือ ลบ.ม./กก. ซีไอดี สำหรับปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากของเสียตัวอย่างคิดจากปริมาณก๊าซมีเทนจากชุดตัวอย่างลบด้วยปริมาณก๊าซจากชุดควบคุม โดยชุดตัวอย่างคือ ชุดที่ใส่ของเสียตัวอย่างและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซ และชุดควบคุมคือ ชุดที่ใส่เพียงหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่านั้น

2.11 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 การย่อยตะกอนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำภายใต้สภาวะไร้อากาศ

Lanari และ Franci (1998) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในรูปของแข็งที่ถูกกำจัดออกจากฟาร์มปลา โดยเดินระบบเลี้ยงปลาด้วยถังไฟเบอร์กลาส 2 ถังมีปริมาตรน้ำรวม 1.3 ลบ.ม. แต่ละถังจะต่อกับคอลัมน์ตกตะกอนที่ทำจากท่อพีวีซี (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ม. สูง 2 ม.) ซึ่งคอลัมน์ตกตะกอนจะต่ออยู่กับถังย่อยไร้อากาศ โดยมีคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนที่มีตัวกลางซีโอไลต์ต่อกับถังย่อยไร้อากาศเพื่อบำบัดแอมโมเนีย ส่วนบนของถังย่อยไร้อากาศติดตั้งเครื่องวัดและวิเคราะห์ก๊าซ โดยของเสียที่อยู่ในรูปของแข็งจากถังตกตะกอนจะถูกส่งบำบัดในถังย่อยไร้อากาศ ซึ่งจากการเปรียบเทียบลักษณะตะกอนและก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของอัตราการให้อาหารที่ร้อยละ 1 1.5 และ 2 ของน้ำหนักปลาพบว่า อัตราการให้อาหารร้อยละ 2 ของน้ำหนักปลา ซึ่งเป็นค่าสูงสุด ทำให้เกิดของเสียมากที่สุด โดยลักษณะของเสียก่อนเข้าและออกจากถังย่อยไร้อากาศ แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ลักษณะของเสียก่อนเข้าและออกจากถังย่อยไร้อากาศ

ลักษณะของเสีย	ก่อนเข้าถังย่อยไร้อากาศ	ออกจากถังย่อยไร้อากาศ
ไนโตรเจนทั้งหมด (ก./ล.)	0.197	0.243
แอมโมเนียทั้งหมด (มก./ล.)	0.014	222.1
ของแข็งระเหย (ก./ล.)	16.91	1.07
ของแข็งแขวนลอย (ก./ล.)	21.39	0.78
พีเอช	6.9	6.8

โดยจะเห็นว่าถังย่อยไร้อากาศสามารถลดปริมาณของแข็งระเหยและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียได้ดี โดยมีคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนที่มีตัวกลางซีโอไลต์ซึ่งมีความสำคัญในการเพิ่มคุณภาพน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศ ในส่วนของการเกิดก๊าซชีวภาพพบว่า ได้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 144 ล./วัน ซึ่งประกอบด้วยสัดส่วนมีเทนสูงกว่าร้อยละ 80 โดยปริมาตรมีเทนที่ผลิตได้ 0.3 ลบ.ม./ลบ.ม.-วัน และผลผลิตมีเทนในแต่ละวันอยู่ที่ 0.4 ลบ.ม./กก. ของแข็งระเหยและ 0.32 ลบ.ม./กก. ของแข็งแขวนลอย

Gebauer และ Eikebrokk (2006) ได้ศึกษาการบำบัดตะกอนจากการเพาะพันธุ์ปลาแซลมอนด้วยจุลินทรีย์ไร้อากาศกลุ่มมีโซฟิลิก โดยทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบกวนผสมสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 35 °ซ มีระยะเวลาพักเก็บทางชลศาสตร์ 55 - 60 วัน พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีของตะกอนลงได้ร้อยละ 44 - 54 และมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 0.140 - 0.154 ล./ก. ซีโอดีที่เข้าระบบ โดยพลังงานที่ได้รับจากก๊าซมีเทนเพียงพอที่จะใช้แทนความต้องการพลังงานของฟาร์มประมาณร้อยละ 2 - 4 นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่ากระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศถูกยับยั้งด้วยกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ความเข้มข้น 2.8 ก./ล. ในขณะที่ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.4 - 7.55 เนื่องจากมีความเป็นบัฟเฟอร์เพียงพอ จากการบำบัดตะกอนจะได้ไนโตรเจนประมาณ 3.4 - 6.8 กก. และฟอสฟอรัสประมาณ 1.2 - 2.4 กก./ตัน

Mirzoyan และคณะ (2008) ศึกษาคุณภาพตะกอนจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อยและความเหมาะสมสำหรับการหมักและการผลิตก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี โดยทำการเปรียบเทียบตะกอนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 แห่ง จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีพบว่า ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.0 - 7.7 ของแข็งระเหยอยู่ร้อยละ 56 - 76 ของน้ำหนักแห้ง บีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 30 ของน้ำหนักแห้ง และค่าออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่า 1 มก./ล. นอกจากนี้ยัง

พบว่าในตะกอนมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูง โดยมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 8.1 - 10.3 และแทบจะไม่พบสารยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน เช่น ไนไตรต์ ไนเตรต และซัลไฟด์ จากข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างๆ ช่างต้นชี้ให้เห็นว่าตะกอนจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อยสามารถย่อยสลายแบบไร้อากาศและผลิตก๊าซมีเทนได้โดยไม่ต้องทำการบำบัดขั้นต้น ถึงแม้ว่าในตะกอนจะมีปริมาณซัลเฟตและฟอสฟอรัสสูง แต่ก็ไม่มีการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน ซึ่งจากการย่อยสลายตะกอนแบบไร้อากาศในถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี ทำให้ปริมาตรตะกอนลดลงร้อยละ 70 และผลิตก๊าซมีเทนร้อยละ 40 จึงสรุปได้ว่าการย่อยสลายตะกอนแบบไร้อากาศของตะกอนจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อยสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้โดยไม่ต้องเติมแหล่งคาร์บอนจากภายนอก

ประสิทธิ์ ศรีนคร และคณะ (2554) ศึกษาการบำบัดตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล ด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยใช้ตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีรูปแบบการเลี้ยงต่างกัน 2 แบบ ได้แก่ การเลี้ยงแบบไม่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม (Effective microorganisms) และการเลี้ยงแบบใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ภายในระยะเวลา 31 วัน ผลการทดลองพบว่า การบำบัดตะกอนเลนจากการเลี้ยงกุ้งแบบไม่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มสามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมด บีโอดี และซีโอดีได้ร้อยละ 89 86 และ 85 ตามลำดับ โดยเกิดก๊าซชีวภาพ 0.025 ล./ก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งในก๊าซชีวภาพมีองค์ประกอบของมีเทนอยู่ร้อยละ 44.34 สำหรับการบำบัดตะกอนเลนจากการเลี้ยงกุ้งแบบใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมด บีโอดี และซีโอดีได้ร้อยละ 81 95 และ 95 ตามลำดับ โดยเกิดก๊าซชีวภาพ 0.0015 ล./ก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด และในก๊าซชีวภาพมีองค์ประกอบของมีเทนอยู่ร้อยละ 11.75 โดยก๊าซชีวภาพที่ได้จากการศึกษารั้งนี้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มได้

Luo และคณะ (2013) ศึกษาการเริ่มต้นระบบและการปรับตัวต่อความเค็มของจุลินทรีย์ไร้อากาศกลุ่มมีโซฟิลิกในถังปฏิกรณ์แบบทีละเท (Anaerobic Sequencing Batch Reactor) ในการบำบัดตะกอนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน พบว่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของตะกอนจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำมีค่าต่ำกว่าค่าที่แนะนำสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน แต่ตะกอนดังกล่าวก็สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้โดยไม่ต้องเติมแหล่งคาร์บอนจากภายนอก และในการศึกษานี้พบว่าจุลินทรีย์กลุ่มมีโซฟิลิกในถังปฏิกรณ์ Anaerobic Sequencing Batch Reactor

ที่ใช้ระยะเวลาพักน้ำ 20 วัน สามารถรับสารอินทรีย์ได้ 0.12-0.41 ก. ซีโอดี/วัน สำหรับเริ่มต้นระบบ และที่อัตราการระการรับสารอินทรีย์เท่ากับ 0.39-0.41 ก. ซีโอดี/ล.-วัน สำหรับการปรับตัวในน้ำเค็ม โดยถึงปฏิกรณ์ ASBR ของการศึกษาคั้งนี้สามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 97 ของแข็งแขวนลอย ทั้งหมดร้อยละ 96 และของแข็งระเหยร้อยละ 91 ในช่วงระบบเสถียร สำหรับในช่วงการผลิตก๊าซของ ถึงปฏิกรณ์ Anaerobic Sequencing Batch Reactor จะเกิดก๊าซเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่างวันละ 0.013 ถึง 0.022 ล./ก. ซีโอดีทั้งหมด และสามารถลดมวลของตะกอนลงถึงร้อยละ 94 ± 2.3 และลด ปริมาณซีโอดีทั้งหมดลงร้อยละ 44 ± 13 นอกจากนี้ในการศึกษาพบว่าเกิดการยับยั้งกระบวนการ การเกิดก๊าซมีเทน โดยคาดว่าสาเหตุมาจากองค์ประกอบในน้ำเสีย ได้แก่ เกลือ แอมโมเนีย ความเป็น ต่างของน้ำและปริมาณจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ และยังพบว่าการเกิดก๊าซลดลงระหว่างช่วงปรับความ เค็มและหยุดการสร้างก๊าซเมื่อความเค็มสูงกว่า 8.5 พีพีที

2.11.2 การแปรค่าวัตุถุบตั้งต้นต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในหมักก๊าซชีวภาพ

González-Fernández และ García-Encina (2009) ทำการศึกษาผลของ สัดส่วนของเสียจากฟาร์มสุกรต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยทำการ แปรค่าสัดส่วนของเสียจากฟาร์มสุกร (ก. ซีโอดี) ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (ก.ของแข็งระเหย) 3 ค่า ได้แก่ 1 , 2 และ 3 พบว่าผลผลิตมีเทนจากการแปรค่าสัดส่วนทั้ง 3 ค่า อยู่ในช่วง 342 ล. มีเทน/กก. ของแข็ง ระเหย และมืองค์ประกอบของก๊าซมีเทนอยู่ร้อยละ 75 – 78 โดยอัตราการผลิตก๊าซมีเทนแตกต่างกัน อย่างชัดเจน ซึ่งจะลดลงเมื่อค่าสัดส่วนของเสียจากฟาร์มสุกรต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น โดยชุด ทดลองที่มีค่าสัดส่วนเท่ากับ 1 มีผลผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 22 วัน และผลผลิต มีเทนในชุดทดลองที่มีค่าสัดส่วนเท่ากับ 2 และ 3 จะสูงในช่วง 52 วัน โดยผลผลิตมีเทนของทั้ง 3 ชุด ทดลองจะเท่ากันในวันที่ 66 ของการทดลอง เมื่อพิจารณาผลผลิตมีเทนร่วมกับปริมาณกรดอินทรีย์ ระเหยและปริมาณแอมโมเนียพบว่า ในชุดทดลองที่มีค่าสัดส่วนของเสียจากฟาร์มสุกรต่อหัว เชื้อจุลินทรีย์ 2 และ 3 มีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงกว่าในชุดการทดลองที่มีค่าสัดส่วนเท่ากับ 1 ซึ่ง แสดงให้เห็นว่าผลผลิตก๊าซมีเทนในชุดทดลองที่มีค่าสัดส่วนเท่ากับ 2 และ 3 เกิดการยับยั้งการผลิต ก๊าซมีเทนจึงทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนเกิดขึ้นช้ากว่าในชุดทดลองที่มีค่าสัดส่วนเท่ากับ 1 ในส่วนของ ปริมาณแอมโมเนียที่เกิดในระหว่างการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศไม่ส่งผลยับยั้งการผลิตก๊าซ มีเทน ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ในการย่อยสลายของเสียจากฟาร์มสุกรภายใต้สภาวะไร

อากาศควรใช้ค่าสัดส่วนของเสียจากฟาร์มสุกรต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 1 เพื่อหลีกเลี่ยงการยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทนจากการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหย

Zhou และคณะ (2011) ทำการศึกษาผลของสัดส่วนวัตถุดิบตั้งต้นต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายกากถั่วเหลืองจากการผลิตเต้าหู้ภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยทำการทดลองแปรค่าสัดส่วนกากถั่วเหลืองต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ 13 ค่า ได้แก่ 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.4 , 0.5 , 0.6 , 0.7 , 0.8 , 0.9 , 1.0 , 1.6 , 2.0 และ 3.0 จากการทดลองพบว่า ค่าสัดส่วนกากถั่วเหลืองต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในช่วง 0.1 – 0.6 มีผลผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามค่าสัดส่วน โดยค่าสัดส่วนช่วง 0.6 – 0.9 ให้มีผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 478 – 495 มล. มีเทน/ก. ของแข็งระเหย แต่เมื่อค่าสัดส่วนกากถั่วเหลืองต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์มีค่ามากกว่า 1.0 ผลผลิตก๊าซมีเทนจะลดลงเนื่องจากการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน

2.11.3 ผลปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ป้อนเข้าระบบ และระยะเวลาที่กักต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

อมรพรรณ แถมเงิน (2551) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าจากหลุมเทกองผสมกับขยะสดชุมชนจากรถเก็บขยะ ทำการทดลองระดับห้องปฏิบัติการในถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ โดยใช้อัตราส่วนขยะหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 60:40 ซึ่งทำการทดลอง 3 ชุดการทดลอง ได้แก่

- การทดลองที่ 1 คือการแปรค่าอัตราส่วนระหว่างขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสด 5 ค่า ได้แก่ 1:0 1:2 1:3 1:6 และ 0:1 พบว่า อัตราส่วนผสมของขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด
- การทดลองที่ 2 คือการแปรค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 5 และ 10 โดยใช้อัตราส่วนผสมของขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 มาทำการทดลอง โดยพบว่าที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพดีที่สุด ซึ่งมีอัตราการผลิตก๊าซเท่ากับ 0.104 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยได้ทั้งหมด โดยมีสัดส่วนมีเทนร้อยละ 37.55
- การทดลองที่ 3 คือการศึกษาค่าผลของการให้ความร้อนขยะก่อนการทดลอง โดยนำอัตราส่วนผสมของขยะชุมชนเก่าจากหลุมแบบเทกองกับขยะชุมชนสดเท่ากับ 1:3 ที่มีปริมาณของแข็ง

ทั้งหมดร้อยละ 5 มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำมาหมัก พบว่าองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 73.33

ลานนา ใจทาลี (2552) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพจากเศษอาหารโดยการหมักแบบไร้อากาศ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง โดยในช่วงแรกเป็นการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของแข็งระเหยได้เริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ขนาด 1.45 ลิตร จำนวน 3 ถัง ในการหมักก๊าซไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นของแข็งระเหยได้แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 20 30 และ 50 ก./ล. พบว่า ความเข้มข้นของแข็งระเหยเริ่มต้นเท่ากับ 30 ก./ล. มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนและไฮโดรเจนยิลด์ต่อหน่วยซับสเตรทสูงสุด สำหรับการทดลองช่วงที่ 2 เป็นการศึกษาระยะเวลาที่เก็บทางคลศาสตร์ของถังหมักก๊าซไฮโดรเจนต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ดำเนินการในถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ขนาด 1.45 ลิตร จำนวน 2 ถัง ต่อกันแบบอนุกรมเป็นระบบต่อเนื่องแบบสองขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วยถังหมักก๊าซไฮโดรเจนและถังหมักก๊าซมีเทน จะเดินระบบที่ระยะเวลาที่เก็บทางคลศาสตร์ของถังหมักก๊าซไฮโดรเจน 2 3 และ 5 วัน ตามลำดับ โดยกำหนดให้ถังหมักก๊าซมีเทนมีระยะเวลาที่เก็บทางคลศาสตร์ครั้งที่ 15 วัน ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาที่เก็บทางคลศาสตร์ของถังหมักก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 2 วันมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้สูงสุด และที่ระยะเวลาที่เก็บทางคลศาสตร์ของถังหมักก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 3 วันจะมีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 114.06 มล./ก.ของแข็งระเหยได้ หรือ 39.53 มล./ก.ซีโอดีทั้งหมดที่ถูกกำจัด

สรุปประเด็นสำคัญจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1) การบำบัดตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย และซีโอดีของตะกอนอินทรีย์ให้ลดลงได้ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้โดยไม่ต้องผ่านการบำบัดขั้นต้น และการเติมแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก ถึงแม้จะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าช่วงที่แนะนำสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพก็ตาม

2) ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากตะกอนอินทรีย์ในการเลี้ยงสัตว์น้ำของแต่ละงานวิจัย มีความแตกต่างกันทั้งในแง่ปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพ โดยส่วนใหญ่มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่ำ เนื่องจากเกิดการยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้น โดยคาดว่าจะมีสาเหตุมา

จากปัจจัยต่างๆ ทั้งชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ปริมาณแอมโมเนีย ตลอดจนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย

3) รูปแบบของถังปฏิกรณ์ที่ได้รับความนิยมในการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาวะไร้อากาศมี 3 แบบ ได้แก่ ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ ถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี และแบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้สามารถใช้ทดแทนพลังงานที่ต้องใช้ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำประมาณร้อยละ 2-5 ของความต้องการใช้พลังงานทั้งหมด

4) ค่าสัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ จะขึ้นกับชนิดของสารอินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยเมื่อวัตถุดิบตั้งต้นต่างกันค่าสัดส่วนวัตถุดิบตั้งต้นต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมก็จะแตกต่างกัน

5) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และระยะเวลาพักส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดและระยะเวลาพักจะขึ้นกับลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

บทที่ 3

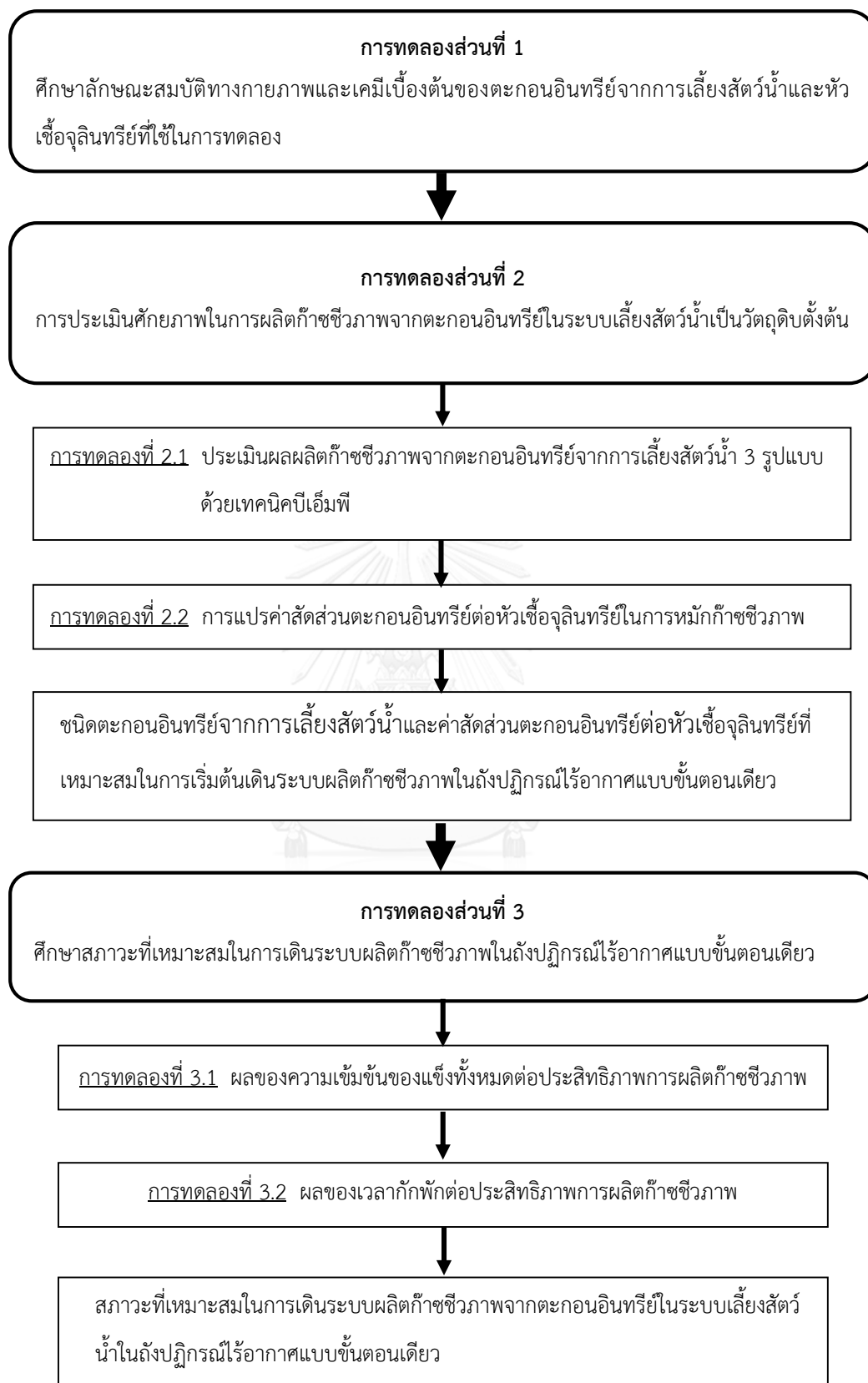
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นวัตถุดิบ โดยจะนำตะกอนอินทรีย์ที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ ได้แก่ ตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) ตะกอนขี้ปลา (Feces) ที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาแบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน และตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง
2. เปรียบเทียบผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการใช้ตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำในแต่ละรูปแบบเป็นวัตถุดิบ โดยนำมาทดสอบด้วยวิธีบีเอ็มพีเพื่อเลือกชนิดตะกอนอินทรีย์ที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด และนำตะกอนอินทรีย์ที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดมาแปรค่าสัดส่วนของตะกอนอินทรีย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อหาค่าสัดส่วนที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลผลิตก๊าซชีวภาพ
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และผลของเวลากักพักตะกอนต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดำเนินการที่อุณหภูมิตั้งแต่ห้องปฏิบัติการ เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ และห้องปฏิบัติการวิจัยบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังภาพรวมขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การเก็บและรักษาสภาพตัวอย่างตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์

วิธีเตรียมตัวอย่างตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในงานวิจัยนี้ใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีรูปแบบการเลี้ยงแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่

- ตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) โดยได้จากการเลี้ยงปลาในบ่อเลี้ยงที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำผ่านระบบบำบัด ให้อาหารปลาทุกวันในปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักปลาในบ่อเลี้ยง ซึ่งจะเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงทุก 10 วันเพื่อเก็บรวบรวมตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงปลาในบ่อ โดยจะสูบน้ำจากบ่อเลี้ยงเข้าบ่อตกตะกอน และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2 ชม. จากนั้นนำตะกอนจากบ่อตกตะกอนมากรองผ่านผ้ากรองเพื่อให้ได้ตะกอนสำหรับการทดลองต่อไป ทั้งนี้ตะกอนที่ได้จะประกอบไปด้วยเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของปลา และขี้ปลา โดยตะกอนดังกล่าวจัดเป็นของเสียอินทรีย์ที่เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพแล้วบางส่วน

- ตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) ได้จากการเลี้ยงปลาในบ่อเลี้ยงที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำผ่านระบบบำบัด โดยให้อาหารปลาทุกวันในปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักปลาในบ่อเลี้ยง และเติมแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ลงในบ่อ เพื่อกระตุ้นให้จุลินทรีย์สร้างตะกอนฟล็อก โดยปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เติมลงในบ่อเลี้ยงจะคำนวณตามวิธีของ Schryver และคณะ, (2008) และเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงทุก 10 วันเพื่อเก็บรวบรวมตะกอนจากบ่อเลี้ยง สำหรับการเก็บรวบรวมตะกอนจะทำเช่นเดียวกับการเก็บตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) โดยการเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบนี้จุลินทรีย์จะดึงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำซึ่งเป็นของเสียมาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ถือเป็น การบำบัดของเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพผ่านกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในบ่อเลี้ยง ดังนั้นตะกอนอินทรีย์ที่ได้จะประกอบไปด้วยเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของปลาและขี้ปลาที่ผ่านการย่อยสลายแล้วบางส่วน รวมถึงฟล็อกของกลุ่มจุลินทรีย์ด้วย

- ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นของเสียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่แยกได้ด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องของถังเลี้ยงปลาในระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน จาก ป. เจริญฟาร์ม จ. ฉะเชิงเทรา โดยการเลี้ยงรูปแบบนี้จะมีการหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาผ่านระบบบำบัดตลอดเวลา มีอัตราการหมุนเวียนน้ำอยู่ที่ร้อยละ 300 (หรือ 3 เท่าต่อวัน) ซึ่งคิดเป็นระยะเวลาที่น้ำในบ่อเลี้ยงประมาณ 8 ชม. โดยน้ำจะถูกดูดออกทางก้นบ่อเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำด้วยการกรองผ่านเครื่องกรองแยก

ตะกอนแบบต่อเนื่อง ก่อนผันน้ำที่ผ่านการกรองแล้วเข้าสู่ระบบบำบัด ส่วนตะกอนอินทรีย์ที่ถูกแยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจะถูกเก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการทดลอง โดยตะกอนอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นขี้ปลา อาจมีเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของปลาปะปนออกมาเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอาหารปลาที่ให้เป็นอาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยซึ่งโดยทั่วไปปลาจะบริโภคหมดก่อนที่อาหารจะจม

โดยตัวอย่างตะกอนอินทรีย์ที่เก็บรวบรวมได้จากการเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละรูปแบบ จะนำไปเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ - 20 °C เพื่อรักษาสภาพป้องกันการเน่าเสียและการย่อยสารอินทรีย์ย่อยสลายจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในตะกอนอินทรีย์

วิธีเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

หัวเชื้อจุลินทรีย์ไร้อากาศที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดไร้อากาศแบบยูเอเอสพีของบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) โดยนำน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลานิลเติมลงในภาชนะบรรจุหัวเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อปรับสภาพหัวเชื้อให้คุ้นเคยกับน้ำเสียจากการเลี้ยงปลา จากนั้นจะเก็บหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วในสภาวะอุณหภูมิห้อง

3.3 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- กระจกบดชนิดยาและเข็มชนิดยา
- ชุดทดสอบบีเอ็มพี
- ชุดอุปกรณ์ปิดผนึกปากขวดเซรั่มให้อยู่ในสภาวะไร้อากาศ
- ถังเก็บก๊าซ

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์

- ตู้อบควบคุมอุณหภูมิสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (103-105 °C)
- ตู้อบควบคุมอุณหภูมิสำหรับการวิเคราะห์ซีไอทีรวม (150 °C)
- เตาเผาควบคุมอุณหภูมิ (550±50 °C)
- เครื่องเขย่า (Shaker)

- เครื่องอ่านค่าไมโครเพลท (Microplate reader)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)
- เครื่องวัดพีเอช (pH-meter)
- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- เครื่องปั่นกวน (Magnetic stirrer)
- เครื่องปั่นเหวี่ยงสาร (Centrifuge)
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- ตู้ดูดควัน
- ถ้วยกระเบื้อง
- กระจกกรอง (GF/C)
- เครื่องแก้วต่างๆ

3.3.3 สารเคมี

- 1,10-Phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$)
- Aluminum chloride ($AlCl_3 \cdot 6H_2O$)
- Ammonium Molybdate ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$)
- Ammonium iron (II) sulfate hexahydrate ($Fe(NH_4)(SO_4) \cdot 6H_2O$)
- Ammonium sulfate ($(NH_4)_2SO_4$)
- Boric acid (H_3BO_3)
- Calcium chloride ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)
- Cobalt chloride ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$)
- Ethylene Diamine Tetra Acetic acid (EDTA)
- Ferrous chloride ($FeCl_2 \cdot 4H_2O$)
- Ferrous sulfate ($FeSO_4 \cdot H_2O$)
- Hydrochloric acid (HCl)

- Mercury (II) sulphate (HgSO_4)
- Manganous chloride ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- NNED (N - (1 - Naphthyl) - Ethylenediamine Dihydrochloride)
- Nitrogen gas (N_2)
- Nickelous chloride ($\text{Ni}_2\text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- Potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- Potassium nitrate (KNO_3)
- Resazurin
- Silver sulfate (AgSO_4)
- Sodium bicarbonate (NaHCO_3)
- Sodium citrate dihydrate ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Sodium hydroxide (NaOH)
- Sodium hypochlorite (NaOCl)
- Sodium nitrite (NaNO_2)
- Sodium nitroprusside dihydrate ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Sodium salicylate ($\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COONa}$)
- Sodium selenite anhydrous (Na_2SeO_3)
- Sulfuric acid (H_2SO_4)
- Sulphanilamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$)
- Zinc chloride (ZnCl_2)

3.3.4 ธาตุอาหาร (Trace Nutrients)

ในการผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจุลินทรีย์จะต้องการสารอาหารหลักในการเจริญเติบโตแล้ว ยังต้องการธาตุอาหารอื่นเพื่อช่วยในการสร้างเซลล์ใหม่ด้วย โดยจุลินทรีย์ต้องการธาตุอาหารดังกล่าว ในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอ้างถึงการเติมธาตุอาหาร ตามงานวิจัยเพื่อการทดลองด้วยเทคนิคบีเอ็มพี สำหรับทำนายประสิทธิภาพการย่อยสลายไร้อากาศของ Moody และคณะ 2009 โดยสูตรและสัดส่วนปริมาณธาตุอาหารที่ใช้ในการ

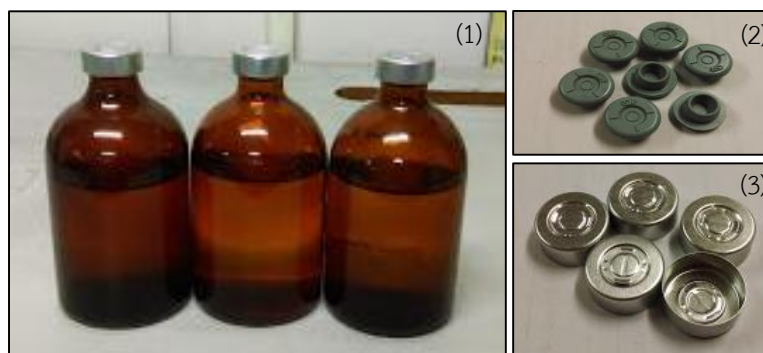
ทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยในการทดลองจะเติมสารอาหารปริมาณน้อยในอัตราส่วน 1 มิลลิกรัม ต่อลิตร

ตารางที่ 3.1 รายการสารเคมี และปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมธาตุอาหารปริมาณ 1 ลิตร สำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ชื่อสารเคมี	ปริมาณ
Ferrous Chloride ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (ก.)	10
Cobalt Chloride ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (ก.)	2
EDTA (ก.)	1
Manganous Chloride ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (ก.)	0.5
Resazurin (ก.)	0.2
Nickelous Chloride ($\text{Ni}_2\text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (ก.)	0.142
Sodium Selenite Anhydrous (Na_2SeO_3) (ก.)	0.123
Aluminum Chloride ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (ก.)	0.09
Boric acid (H_3BO_3) (ก.)	0.05
Zinc Chloride (ZnCl_2) (ก.)	0.05
Ammonium Molybdate ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (ก.)	0.05
Calcium Chloride ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (ก.)	0.038
Hydrochloric acid (HCl (37.7%)) (มล.)	1
De-ionized water (มล.)	1,000

3.3.5 ชุดอุปกรณ์การทดสอบบีเอ็มพี (BMP Test)

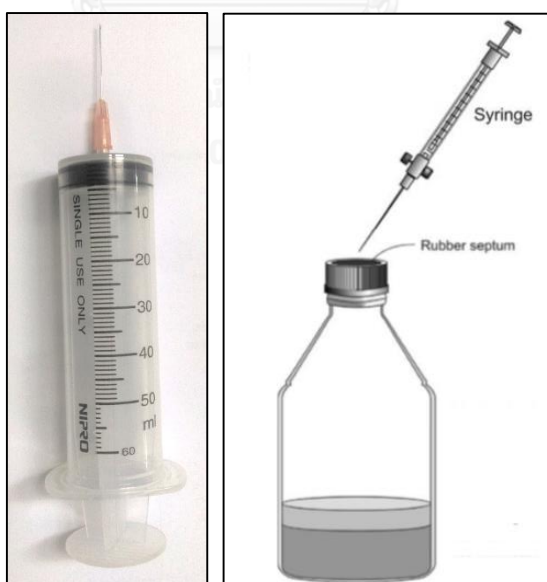
อุปกรณ์การทดสอบบีเอ็มพี ประกอบไปด้วย ขวดเซรัมส์ซิขนาด 100 มล. ฝาจุกยาง และฝาครอบอลูมิเนียม ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยจะใช้ในการทดลองส่วนที่ 2 เพื่อหาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งในการทดลองจะใช้ชุดทดสอบบีเอ็มพีจำนวน 2 ชุด ได้แก่ ชุดการทดลองเพื่อวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ) และชุดการทดลองเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆ



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์การทดสอบบีเอ็มพี (1) ขวดเซรัมสีชา (2) ฝาจุกยาง และ (3) ฝาครอบอะลูมิเนียม

3.3.6 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากขวดเซรัม

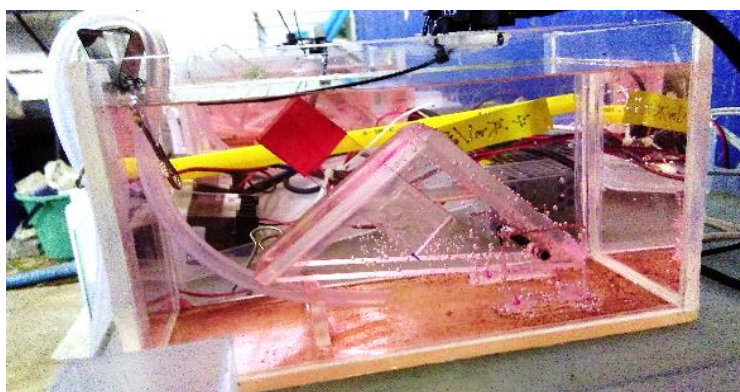
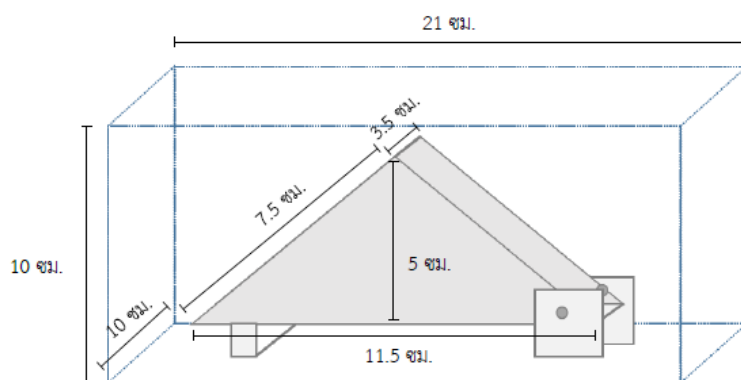
ในการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเทคนิคบีเอ็มพี ซึ่งดำเนินการทดลองในขวดเซรัมจะใช้กระบอกฉีดยาขนาด 50 มล. ต่อเข้ากับเข็มฉีดยาเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ โดยกระบอกฉีดยาจะถูกดันให้เคลื่อนที่จากแรงดันของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อแทงเข็มฉีดยาลงในขวดเซรัม ทำให้ทราบปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างเหนือของเหลวภายในขวดเซรัมเมื่ออ่านจากปริมาตรบริเวณด้านข้างของกระบอกฉีดยา ชุดอุปกรณ์และวิธีการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากขวดเซรัมแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากขวดเซรัม (ซ้าย) และวิธีวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ (ขวา)

3.3.7 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ

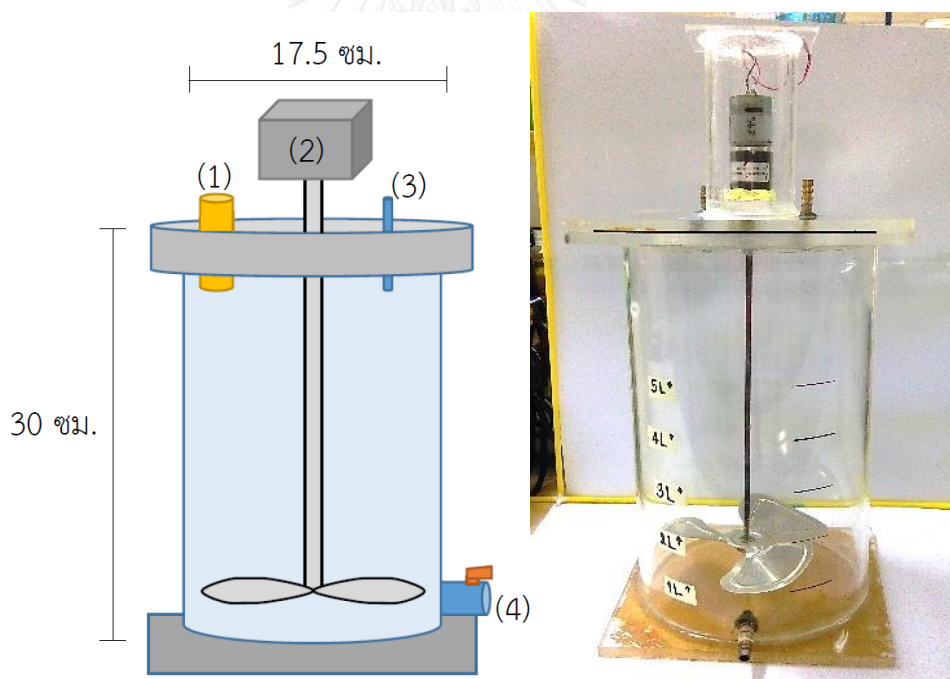
ก๊าซมิเตอร์ (Gas meter) เป็นอุปกรณ์การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ ลักษณะเป็นกล่องรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำจากอะคริลิกใส ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านตามสายยางจากท่อนำก๊าซที่ผาลังปฏิกรณ์ซึ่งต่ออยู่กับก๊าซมิเตอร์ ภายในก๊าซมิเตอร์จะมีกล่องอะคริลิกซึ่งกระดกได้ เมื่อน้ำในกล่องอะคริลิกถูกแทนที่ด้วยก๊าซชีวภาพจนเต็มช่องว่างแล้วตัวกล่องอะคริลิกจะกระดกขึ้น จากนั้นเซ็นเซอร์จะตรวจจับเพื่อนับจำนวนการกระดกของกล่องอะคริลิกด้วยเครื่องนับจำนวน ทั้งนี้ก่อนการใช้งานต้องมีการปรับเทียบปริมาตรของก๊าซที่ทำให้เกิดการกระดกของกล่องอะคริลิกด้วยการใช้อากาศที่ทราบปริมาตรแน่นอนในหน่วย มล. แทนที่น้ำในกล่องอะคริลิกจนเกิดการกระดก 1 ครั้ง จึงทำให้ทราบปริมาตรที่ทำให้เกิดการพลิกกลับของอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน โดยลักษณะของชุดอุปกรณ์จะแสดงดังรูปที่ 3.4 สำหรับน้ำที่บรรจุในกล่องอะคริลิกจะถูกปรับพีเอชให้มีค่าน้อยกว่า 3 โดยการเติมกรดซัลฟิวริกเพื่อป้องกันการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพ และเติมสีลงในน้ำเพื่อให้เห็นระดับน้ำได้ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์

3.3.8 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว

ถังปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นถังทรงกระบอกทำจากอะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.5 ซม. และสูง 30 ซม. มีปริมาตรทำงานขนาด 6 ลิตร ดังแสดงในรูป 3.5 โดยฝาปิดมีประก็นยางเพื่อป้องกันก๊าซรั่วซึม ยึดติดฝากับตัวถังด้วยกาวซิลิโคน ภายในถังปฏิกรณ์ติดใบพัดเพื่อควบคุมความเร็วของใบพัดให้ทำงานสม่ำเสมอ มีการติดตั้งท่อสำหรับเติมตะกอนอินทรีย์และสารเคมี และมีท่อนำก๊าซเพื่อระบายก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักเพื่อนำก๊าซไปวัดปริมาณด้วยชุดอุปกรณ์เก็บก๊าซ นอกจากนี้ยังใช้เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ที่บริเวณด้านข้างของถังปฏิกรณ์จะมีท่อซึ่งเป็นวาล์วปิดเปิดเพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย กำหนดให้รอบความเร็วของใบพัดเท่ากับ 150 รอบต่อนาที โดยกำหนดให้ในทุก 30 นาที จะควบคุมเป็นเวลา 3 นาที พักระบบ 27 นาที



รูปที่ 3.5 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว โดย (1) ท่อเติมตะกอนอินทรีย์และสารเคมี (2) มอเตอร์ควบคุมความเร็วของใบพัด (3) ท่อนำก๊าซ และ (4) ท่อระบายตะกอน

3.4 การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

การทดลองส่วนที่ 1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง โดยจะวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ทราบลักษณะเบื้องต้นของตะกอนอินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยได้ ซีโอดี แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิธีวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิธีวิเคราะห์ในการทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
สมบัติทางกายภาพ	
- ของแข็งทั้งหมด	- Standard Method#2540B (Dried 103 - 105° C)
- ของแข็งระเหย	- Standard Method#2540E (Dried 500 - 600° C)
สมบัติทางเคมี	
- กรดอินทรีย์ระเหย	- Titration Method (DiLallo และ Albertson, 1961)
- ซีโอดี	- Standard Method#5220C (Closed Reflux)
- แอมโมเนีย	- Salicylate – Hypochlorite method (ดัดแปลงจาก Bower และ Holm - Hansen, 1980)
- ไนโตรเจน	- Colorimetric and Spectrophotometric method (ดัดแปลงจาก Strickland และ Parsons, 1972)
- ไนเตรต	- Ultraviolet Spectrophotometric method (APHA และคณะ, 2005)
- อัลคาลินิตี	- Standard Method#2320B (Titration Method)
- พีเอช	- pH meter
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	- CHN analyzer
- โปรตีน	- In-house method T058 based on AOAC (2012), 991.20
- คาร์โบไฮเดรต	- Compendium of method for food analysis, First Edition 2003, Chapter 2, p2-9, Department of Medical Sciences
- ไขมัน	- AOAC (2012), 954.02

การทดลองส่วนที่ 2 การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบเป็นวัตถุดิบตั้งต้น และเปรียบเทียบผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักก๊าซชีวภาพด้วยเทคนิคบีเอ็มพี โดยดำเนินการในภาชนะปิดขนาดเล็กปริมาตร 100 มล. และมีปริมาตรทำงาน 80 มล. โดยการทดลองในส่วนนี้จะแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย ได้แก่

- การทดลองที่ 2.1 การประเมินศักยภาพและผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักตะกอนอินทรีย์ 3 ชนิด ที่แตกต่างกันตามรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) ตะกอนขี้ปลา (Feces) และ ตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) ภายใต้สภาวะไร้อากาศด้วยเทคนิคบีเอ็มพี เพื่อเลือกชนิดตะกอนที่จะใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจะพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดและองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากตะกอนอินทรีย์แต่ละชนิด ซึ่งในการทดลองนี้ประกอบด้วย 3 ชุดทดลอง และ 1 ชุดควบคุม ได้แก่

(1) Biofloc เป็นชุดทดลองที่นำตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อกมาหมักกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 โดยใช้ตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์อย่างละ 1 กรัมของแข็งระเหย

(2) Feces เป็นชุดทดลองที่นำตะกอนขี้ปลามาหมักกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 โดยใช้ตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์อย่างละ 1 กรัมของแข็งระเหย

(3) Sludge เป็นชุดทดลองที่นำตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดมาหมักกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 โดยใช้ตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์อย่างละ 1 กรัมของแข็งระเหย

(4) ชุดควบคุมซึ่งบรรจุเพียงหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1 กรัมของแข็งระเหยเท่านั้น เพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่หัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตได้

- การทดลองที่ 2.2 การแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักก๊าซชีวภาพเมื่อทำการทดลองด้วยเทคนิคบีเอ็มพี โดยใช้ชนิดตะกอนอินทรีย์ที่เลือกได้จากการทดลองที่ 2.1 มาแปรค่าสัดส่วนปริมาณตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (S:I) แตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 1:4 2:3 1:1 3:2 และ 4:1 เพื่อให้ได้ค่าสัดส่วนปริมาณตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการเริ่มต้นเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ ซึ่งในการทดลองนี้ประกอบด้วย 5 ชุดทดลอง ได้แก่

(1) 1:4 เป็นชุดทดลองที่นำตะกอนที่เลือกได้จากการทดลอง 2.1 มาหมักกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ ในสัดส่วน 1 ต่อ 4 โดยใช้ตะกอนอินทรีย์ 0.4 กรัมของแข็งระเหย และหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1.6 กรัมของแข็งระเหย

(2) 2:3 เป็นชุดทดลองที่นำตะกอนที่เลือกได้จากการทดลอง 2.1 มาหมักกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ ในสัดส่วน 2 ต่อ 3 โดยใช้ตะกอนอินทรีย์ 0.8 กรัมของแข็งระเหย และหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1.2 กรัมของแข็งระเหย

(3) 3:2 เป็นชุดทดลองที่นำตะกอนที่เลือกได้จากการทดลอง 2.1 มาหมักกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ ในสัดส่วน 3 ต่อ 2 โดยใช้ตะกอนอินทรีย์ 1.2 กรัมของแข็งระเหย และหัวเชื้อจุลินทรีย์ 0.8 กรัมของแข็งระเหย

(4) 4:1 เป็นชุดทดลองที่นำตะกอนที่เลือกได้จากการทดลอง 2.1 มาหมักกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ ในสัดส่วน 4 ต่อ 1 โดยใช้ตะกอนอินทรีย์ 1.6 กรัมของแข็งระเหย และหัวเชื้อจุลินทรีย์ 0.4 กรัมของแข็งระเหย

(5) 1:1 เป็นชุดทดลองที่นำตะกอนที่เลือกได้จากการทดลอง 2.1 มาหมักกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 โดยใช้ตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์อย่างละ 1 กรัมของแข็งระเหย (ชุดทดลองนี้จะใช้ผลจากการทดลองที่ 2.1)

โดยในแต่ละสภาวะของชุดทดลองจะมีชุดควบคุมซึ่งบรรจุเพียงหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่านั้น วิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่หัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตได้

ในการพิจารณาเลือกเลือกชนิดตะกอนอินทรีย์และค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการทดลองส่วนต่อไป จะอาศัยการทดสอบทางสถิติด้วย One-Way ANOVA โดยวิธี Duncan's multiple range test เพื่อบอกความแตกต่างของผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดจากการทดลองของตะกอนอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด และผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดจากการชุดทดลองการแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์

การทดลองส่วนที่ 3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการ

ผลิตก๊าซชีวภาพ และผลของเวลากักพักตะกอนต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ การทดลองในส่วนนี้จะแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย ได้แก่

- การทดลองที่ 3.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว โดยชนิดตะกอนอินทรีย์ที่ได้จากการทดลองที่ 2.1 มาแปรค่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด 3 ระดับ คือ 30 50 และ 100 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยควบคุมให้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์เท่ากับค่าสัดส่วนที่ได้จากการทดลองที่ 2.2 ในการทดลองทำการป้อนตะกอนอินทรีย์เข้าระบบแบบแบตช์ โดยใช้ถังปฏิกรณ์จำนวน 3 ถัง ได้แก่

(1) 30 g TS/L คือ ถังปฏิกรณ์ที่ป้อนตะกอนอินทรีย์ความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 30 ก./ล.

(2) 50 g TS/L คือ ถังปฏิกรณ์ที่ป้อนตะกอนอินทรีย์ความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 50 ก./ล.

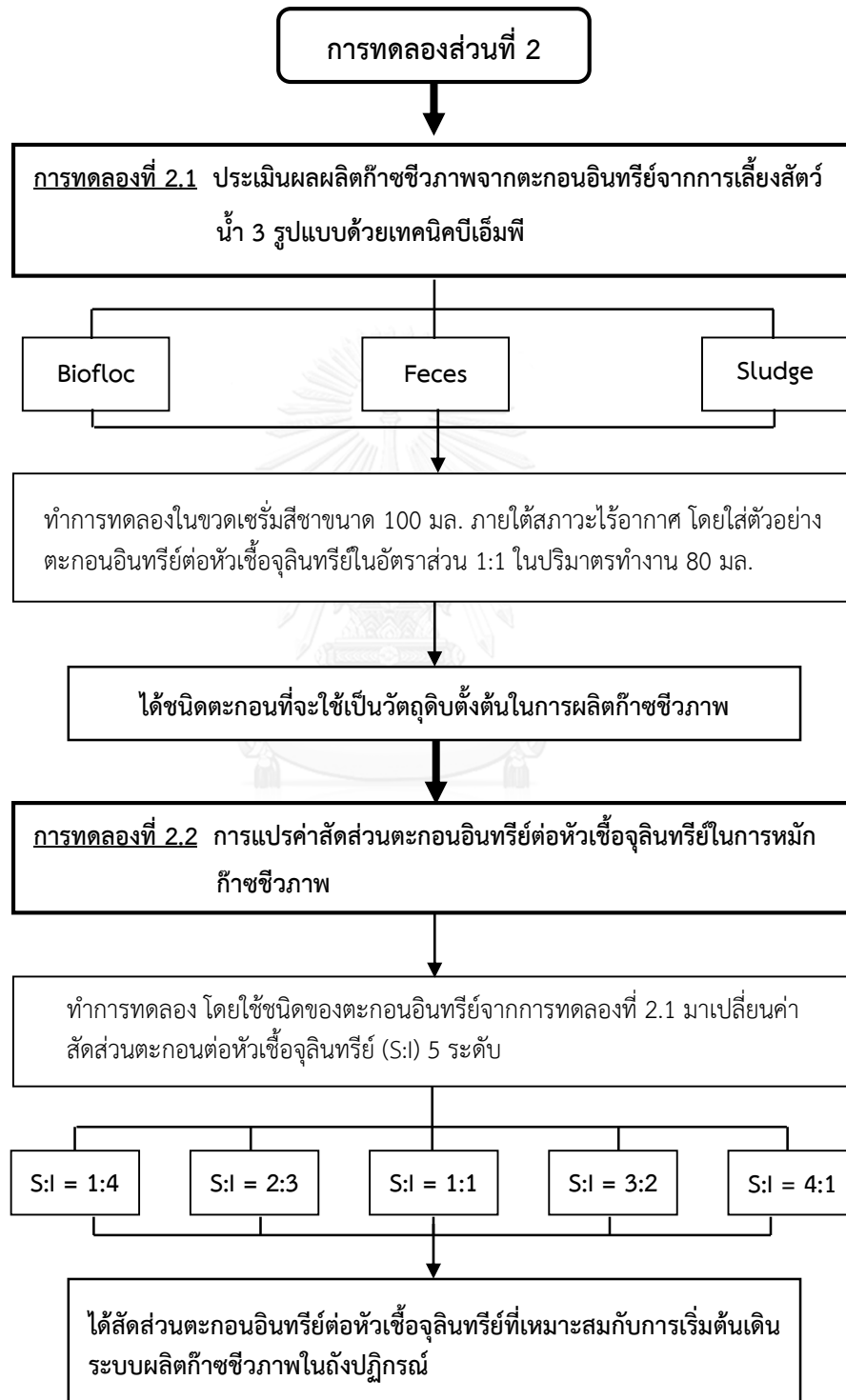
(3) 100 g TS/L คือ ถังปฏิกรณ์ที่ป้อนตะกอนอินทรีย์ความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 100 ก./ล.

โดยใช้เวลาในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งสิ้นอย่างน้อย 1 เดือน เพื่อเลือกความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยพิจารณาจากผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพและการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ

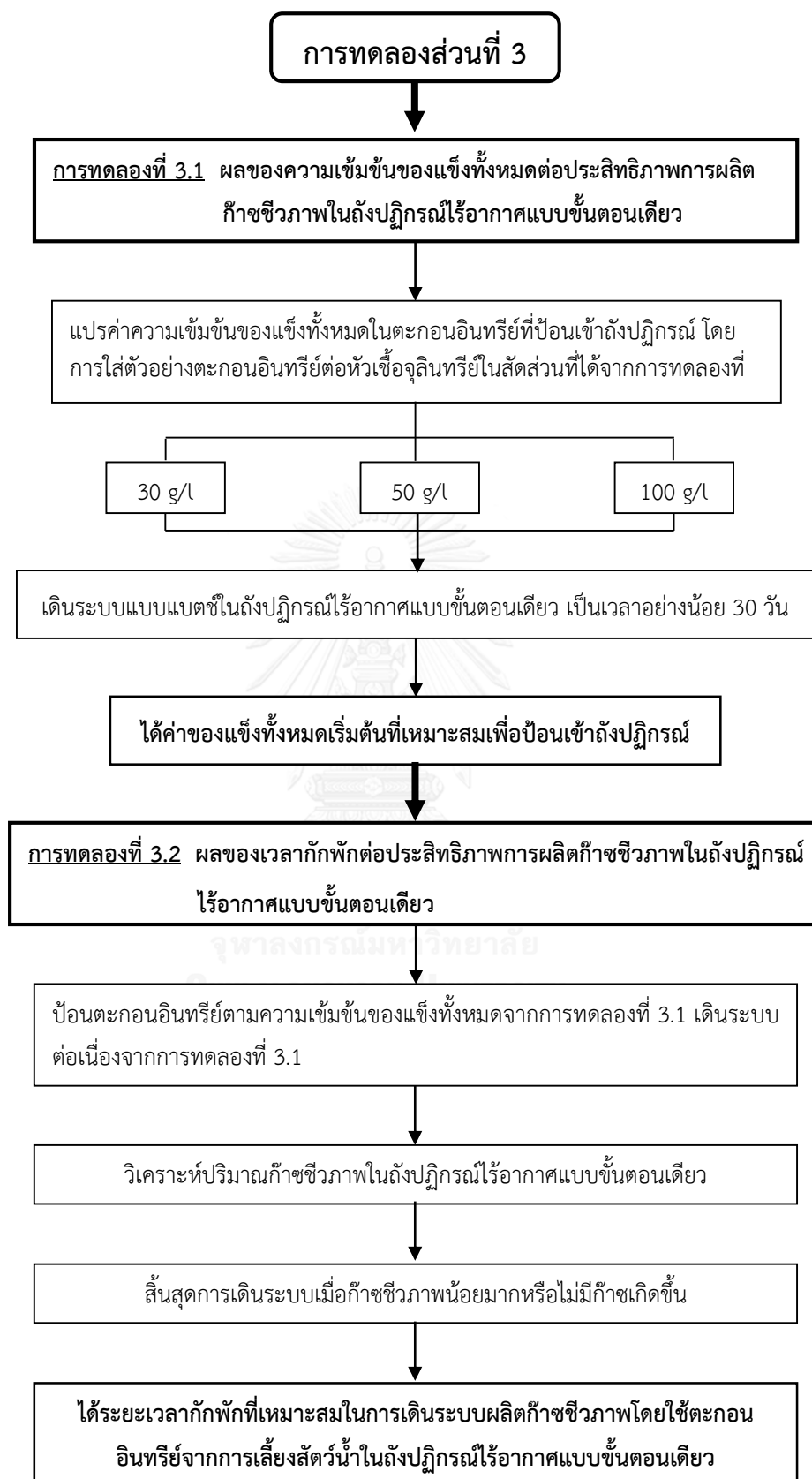
- การทดลองที่ 3.2 ศึกษาผลของเวลากักพักตะกอนต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว โดยนำตะกอนอินทรีย์ที่ความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.1 ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์แบบแบตช์ ซึ่งใช้ถังปฏิกรณ์ต่อจากการทดลองที่ 3.1 โดยถือว่าของเหลวที่อยู่ในถังปฏิกรณ์เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพในการทดลองนี้ และควบคุมค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์เท่ากับค่าสัดส่วนที่ได้จากการทดลองที่ 2.2 โดยการทดลองจะสิ้นสุดเมื่อก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมากหรือไม่มีก๊าซเกิดขึ้น ซึ่งพิจารณาผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพและพารามิเตอร์ต่างๆ เทียบกับผลการทดลองในการทดลองที่ 3.1 เพื่อหาเวลากักพักที่เหมาะสมกับการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบตช์

สำหรับพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดในการทดลองส่วนที่ 2 และ 3 จะแบ่งเป็นสองส่วนหลัก คือ พารามิเตอร์ก๊าซชีวภาพ และพารามิเตอร์ในของเหลวในขวดเซรั่มและถังปฏิกรณ์ โดยพารามิเตอร์ก๊าซชีวภาพได้แก่ ปริมาณก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบมีเทนในก๊าซชีวภาพ สำหรับและพารามิเตอร์

ในส่วนที่เป็นของเหลวได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งระเหย (VS) ซีโอดี (COD) แอมโมเนีย (Ammonia) ไนเตรต (Nitrate) พีเอช (pH) อัลคาไลน์ตี้ (Alkalinity) โดยวิธีวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการทดลองส่วนที่ 2



รูปที่ 3.7 แผนผังแสดงการทดลองส่วนที่ 3

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ในการทดลองส่วนแรกจะเป็นการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้ในการทดลอง โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหย ซีไอดี แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของหัวเชื้อจุลินทรีย์โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหย ซีไอดี และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

การทดลองส่วนที่สองเป็นการประเมินศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ตะกอนอินทรีย์ที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ ตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) ตะกอนขี้ปลา (Feces) ที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาแบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน และตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) โดยจะเลือกใช้ตะกอนอินทรีย์ที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อได้ตะกอนอินทรีย์ที่จะใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นแล้ว จึงทำการแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ 5 ค่า ได้แก่ 1:4 2:3 1:1 3:2 และ 4:1 เพื่อหาค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมมาใช้เป็นสัดส่วนเริ่มต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยเปรียบเทียบจากผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้จากแต่ละค่าสัดส่วน ในการทดลองส่วนนี้จะดำเนินการด้วยเทคนิคบีเอ็มพีในขวดเซรั่ม สีชาขนาด 100 มล.

การทดลองส่วนสุดท้ายเป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยแปรค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ 3 ระดับ ได้แก่ 30 50 และ 100 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. เพื่อหาค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งพิจารณาจากผลผลิตก๊าซชีวภาพและความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น เมื่อได้ค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ในการเริ่มต้นเดินระบบแล้ว

จึงทำการศึกษาผลของเวลากักต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นวัตถุดิบตั้งต้น ในการทดลองส่วนสุดท้ายนี้จะดำเนินการในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขึ้นตอนเดียว

4.1 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ

ตัวอย่างตะกอนอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกเก็บรวบรวมจากบ่อเลี้ยงปลาชนิดซึ่งมีรูปแบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน 3 แบบ โดยตะกอนอินทรีย์จากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) มีลักษณะเป็นตะกอนชั้นสีน้ำตาล ตะกอนบางส่วนจับตัวคล้ายเจล มีกลิ่นคล้ายกลิ่นดิน ในส่วนของตะกอนขี้ปลา (Feces) จากถังเลี้ยงปลาแบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน เนื้อของตะกอนมีลักษณะเป็นเส้นขนาดเล็ก มีสีน้ำตาล มีขนาดอนุภาคตะกอนใหญ่กว่าตะกอนอินทรีย์จากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก มีกลิ่นดินแต่กลิ่นแรงกว่าตะกอนอินทรีย์จากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก สำหรับตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) จะเป็นตะกอนชั้นสีน้ำตาลเข้ม ตะกอนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน และกลิ่นคล้ายกลิ่นดิน ซึ่งลักษณะของตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อนำตัวอย่างตะกอนอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มาศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์ ด้วยการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้ผลตามข้อมูลที่แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) อยู่ในช่วง 65.27 – 91.11 ก./ล. และปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solids) อยู่ในช่วง 51.97 – 69.09 ก./ล. โดยตะกอนขี้ปลา (Feces)

มีปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยสูงสุด สำหรับปริมาณซีโอดี (COD) ของตัวอย่างตะกอนอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองจะอยู่ในช่วง 56.32 – 72.23 ก./ล. ซึ่งตะกอนขี้ปลา (Feces) จะมีปริมาณซีโอดีสูงสุด สำหรับปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในตัวอย่างตะกอนทั้ง 3 ชนิด จะอยู่ในช่วง 162.37 – 221.61 0.18 – 0.41 และ 69.69 – 81.60 มก./ล. ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณแอมโมเนียของตัวอย่างตะกอนอยู่ในระดับที่น้อยกว่าปริมาณที่จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนตามรายงานของ Rajagopal และคณะ (2013) ที่กล่าวว่า ปริมาณแอมโมเนียในช่วง 200 – 1000 มก./ล. ไม่มีผลยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของตะกอนอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้พบว่าอยู่ในช่วง 14.78 – 16.37 ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของตะกอนอินทรีย์ในงานวิจัยของ Mirzoyan และคณะ (2008) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 9.1 – 10.3

จากตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์จากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา จะพบว่าลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีมีความแตกต่างกัน โดยเป็นผลมาจากความแตกต่างกันของชนิดสัตว์น้ำที่เลี้ยง ตลอดจนชนิดและปริมาณอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ van Rijn (2013) ที่รายงานว่าปริมาณของเสียที่เกิดในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ 1) ชนิดและอายุของสัตว์น้ำ 2) องค์ประกอบของอาหาร 3) วิธีการให้อาหาร และ 4) คุณภาพน้ำในระบบ ทั้งนี้ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้พบว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเมื่อเทียบกับของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ชนิดอื่นหรือน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอื่นๆ (Mirzoyan และคณะ, 2008)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ

พารามิเตอร์	ชนิดของตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ		
	Biofloc	Feces	Sludge
ของแข็งทั้งหมด (ก./ล.) ^a	65.27±1.71	91.11±5.78	82.74±3.44
ของแข็งระเหย (ก./ล.) ^a	51.97±1.63	69.09±4.80	60.65±2.91
คาร์โบไฮเดรต (ก./ล.) ^f	31.99	47.09	33.14
โปรตีน (ก./ล.) ^f	16.76	18.75	22.84
ไขมัน (ก./ล.) ^f	3.21	3.24	4.67
ซีโอติรวม(ก./ล.) ^b	56.32±10.23	72.23±8.59	63.18±11.59
ไนโตรเจนทั้งหมด (มก./ล.) ^g	2682.32	3000.48	3655.09
แอมโมเนีย (มก./ล.) ^c	203.25±11.51	162.37±14.30	221.61±4.37
ไนไตรต์ (มก./ล.) ^d	0.24±0.04	0.41±0.05	0.18±0.06
ไนเตรต (มก./ล.) ^e	69.69±4.43	81.60±3.83	70.83±3.35
ร้อยละของคาร์บอน ^f	38.47	36.14	35.77
ร้อยละของไฮโดรเจน ^f	5.36	5.16	5.09
ร้อยละของไนโตรเจน ^f	2.35	2.36	2.42
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ^g	16.37	15.31	14.78

หมายเหตุ a , b , c , d และ e แสดงค่าการวิเคราะห์ที่จำนวนมากกว่า 3 ซ้ำ
g แสดงผลที่ได้จากการคำนวณ (โดยวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก)

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์จากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

พารามิเตอร์	งานวิจัยนี้				Luo และคณะ (2013)
	Biofloc	Feces	Sludge	Gebauer (2004) Eikebrokk (2006)	
ของแข็งทั้งหมด (% wt)	6.12 – 6.38	8.41 - 9.46	7.76 - 8.10	8.2 – 10.2	6.3 – 12.3
ของแข็งระเหย (%TS)	79.10 – 79.96	75.28 – 76.49	72.59 – 73.73	49.8–54.1	78.6 – 86.9
คาร์โบไฮเดรต (%VS)	61.56	68.16	54.64	56	9
โปรตีน (%VS)	32.26	27.14	37.67	29	60
ไขมัน (%VS)	6.18	4.69	7.69	15	31
ซีอิ้วรวม (ก./ล.)	45.30 – 78.28	61.25 – 84.69	47.37 – 80.84	60.3 – 74.1	110 – 193
ไนโตรเจนทั้งหมด (มก./ล.)	2682.32	3000.48	3655.09	2440 – 3040	5450 – 10630
แอมโมเนีย (มก./ล.)	203.25±11.51	162.37±14.30	221.61±4.37	430 – 530	940 – 1830
ไนไตรต์ (มก./ล.)	0.24±0.04	0.41±0.05	0.18±0.06	-	-
ไนเตรต (มก./ล.)	69.69±4.43	81.60±3.83	70.83±3.35	2.2 – 2.7	5.8 – 11.3
ร้อยละของคาร์บอน	38.47	36.14	35.77	-	-
ร้อยละของไฮโดรเจน	5.36	5.16	5.09	-	-
ร้อยละของไนโตรเจน	2.35	2.36	2.42	-	-
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	16.37	15.31	14.78	-	-
ชนิดสัตว์น้ำ	ปลาฉลาม	ปลาฉลาม	ปลาฉลาม	ปลาฉลาม	ปลาฉลาม

4.1.2 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของหัวเชื้อจุลินทรีย์

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดไร้อากาศแบบยูเอเอสพีของบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) เช่นเดียวกับงานวิจัยของอาทิตยา มิตรจิตร (2553) โดยหัวเชื้อจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลม ผิวเรียบลื่น มีสีดำ แต่ละเม็ดขนาดใกล้เคียงกัน (ดังรูปที่ 4.2) โดยนำน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาชนิดเดิมลงในตะกอนเม็ดจุลินทรีย์เหล่านี้เพื่อปรับสภาพเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาชนิดใหม่ เมื่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ถูกปรับสภาพแล้วจะถูกนำมาศึกษาลักษณะสมบัติเบื้องต้นของหัวเชื้อจุลินทรีย์ด้วยการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย และปริมาณซีโอดีรวมเท่ากับ 30.09 ± 2.55 25.02 ± 1.78 และ 102.14 ± 29.28 ก./ล. ตามลำดับ สำหรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของหัวเชื้อจุลินทรีย์มีค่าเท่ากับ 6.95



รูปที่ 4.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่าหัวเชื้อจุลินทรีย์อาจมีความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ เนื่องจากมีปริมาณซีโอดีรวมสูงกว่าในตัวอย่างตะกอนอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อีกทั้งยังมีสัดส่วนของแข็งระเหยในของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 83.15 ซึ่งสูงกว่าในตะกอนอินทรีย์เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของซีโอดีต่อของแข็งทั้งหมดของหัวเชื้อจุลินทรีย์พบว่า มีค่าอัตราส่วนของซีโอดีต่อของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 3.39 ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วนของซีโอดีต่อของแข็งทั้งหมดของตะกอน Biofloc Feces และ Sludge ที่มีค่าเท่ากับ 0.86

0.79 และ 0.76 ทั้งนี้คาดว่าค่าการที่ปริมาณซีโอดีของหัวเชื้อจุลินทรีย์มีค่าสูงกว่าปกติ อาจมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในระหว่างการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	หัวเชื้อจุลินทรีย์
ของแข็งทั้งหมด (ก./ล.)	30.09±2.55
ของแข็งระเหยได้ (ก./ล.)	25.02±1.78
ซีโอดีรวม (ก./ล.)	102.14± 29.28
ร้อยละของคาร์บอน	45.35
ร้อยละของไฮโดรเจน	6.90
ร้อยละของไนโตรเจน	6.53
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	6.95

4.2 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ

การทดลองในส่วนนี้จะดำเนินการในขวดเซรัมสีขาขนาด 100 มล. ปริมาตรทำงานเท่ากับ 80 มล. โดยทดสอบศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนด้วยเทคนิคบีเอ็มพี ซึ่งใช้เวลาทำการทดลองทั้งสิ้น 42 วัน ในแต่ละชุดทดลองจะมีชุดตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ และชุดตัวอย่างสำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ในระหว่างการทดลอง

4.2.1 การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นวัตถุดิบตั้งต้น

ในการทดลองนี้จะใช้ตะกอนอินทรีย์ 3 ชนิดซึ่งเกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) ตะกอนขี้ปลา (Feces) ที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน และตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเลือกชนิดของตะกอนอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพในการทดลองต่อไป ทั้งนี้จะพิจารณาจากปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพและการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหย

ซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต พีเอช อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหย ซึ่งในการทดลองนี้ประกอบด้วย 3 ชุดทดลอง ได้แก่ Biofloc Feces และ Sludge โดยในแต่ละชุดจะใช้ตะกอนอินทรีย์หมักกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 นั่นคือใช้ตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์อย่างละ 1 กรัมของแข็งระเหย นอกจากนี้ในการทดลองนี้ยังมีชุดควบคุมซึ่งบรรจุเพียงหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่านั้น เพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่หัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตได้ สำหรับการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละชุดทดลองเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

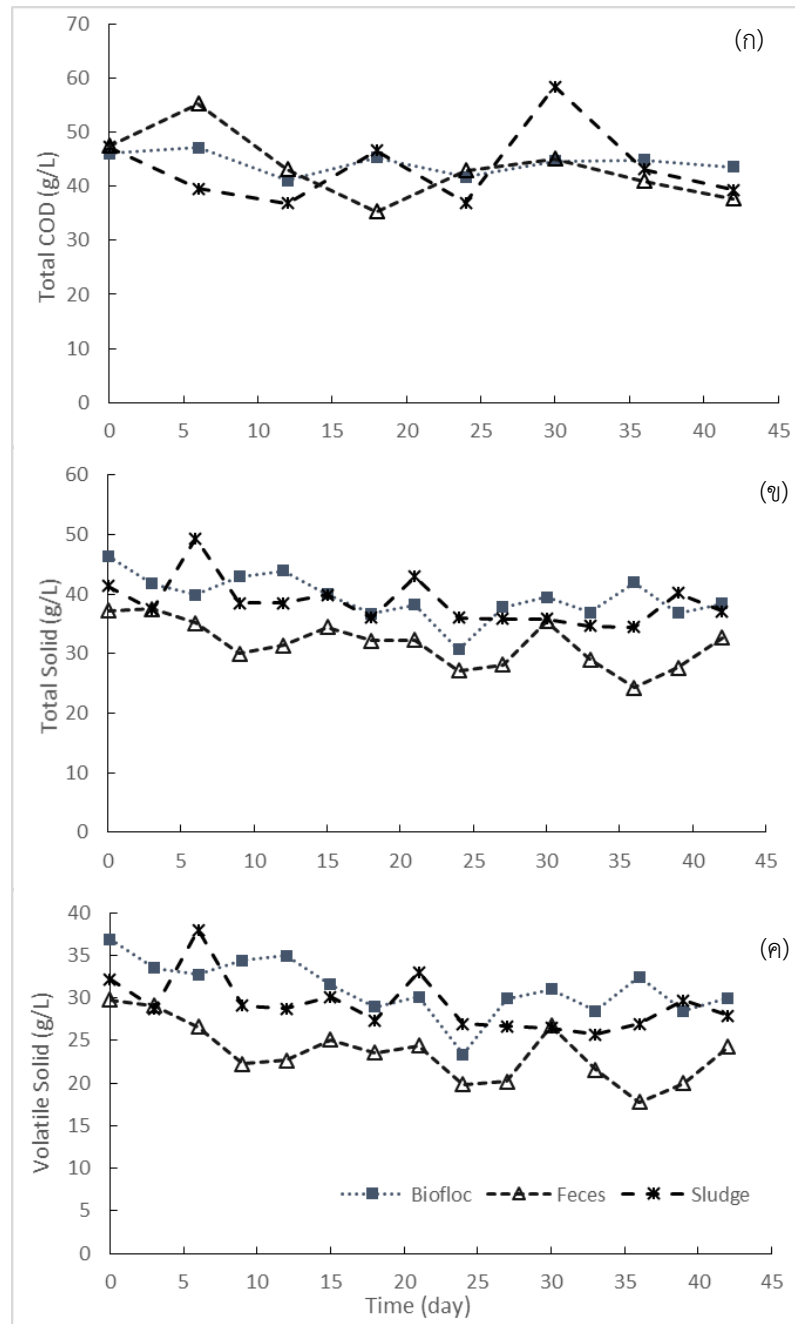
การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย

การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยของแต่ละชุดทดลองเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทั้งสามตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 จากผลการวิเคราะห์พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวมมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยนั่นคือมีแนวโน้มลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าทั้งสามพารามิเตอร์ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง อาจมีสาเหตุจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์แต่ละครั้งไม่ได้เก็บตัวอย่างจากขวดเซรั่มเดียวกัน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงบอกได้เพียงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย ว่ามีค่าลดลงตามเวลา

ตารางที่ 4.4 ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ชุดทดลอง	ซีโอดีรวม (ก./ล.)		ของแข็งทั้งหมด (ก./ล.)		ของแข็งระเหย (ก./ล.)	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
Biofloc	46.14±1.82	43.56±3.58	46.44±1.34	38.41±0.44	36.86±1.15	29.95±0.38
Feces	47.34±3.29	39.38±1.19	37.24±3.86	32.65±1.47	29.78±4.4	24.22±1.04
Sludge	47.54±5.41	37.79±2.10	41.37±2.95	37.11±1.86	32.19±2.56	27.93±1.64



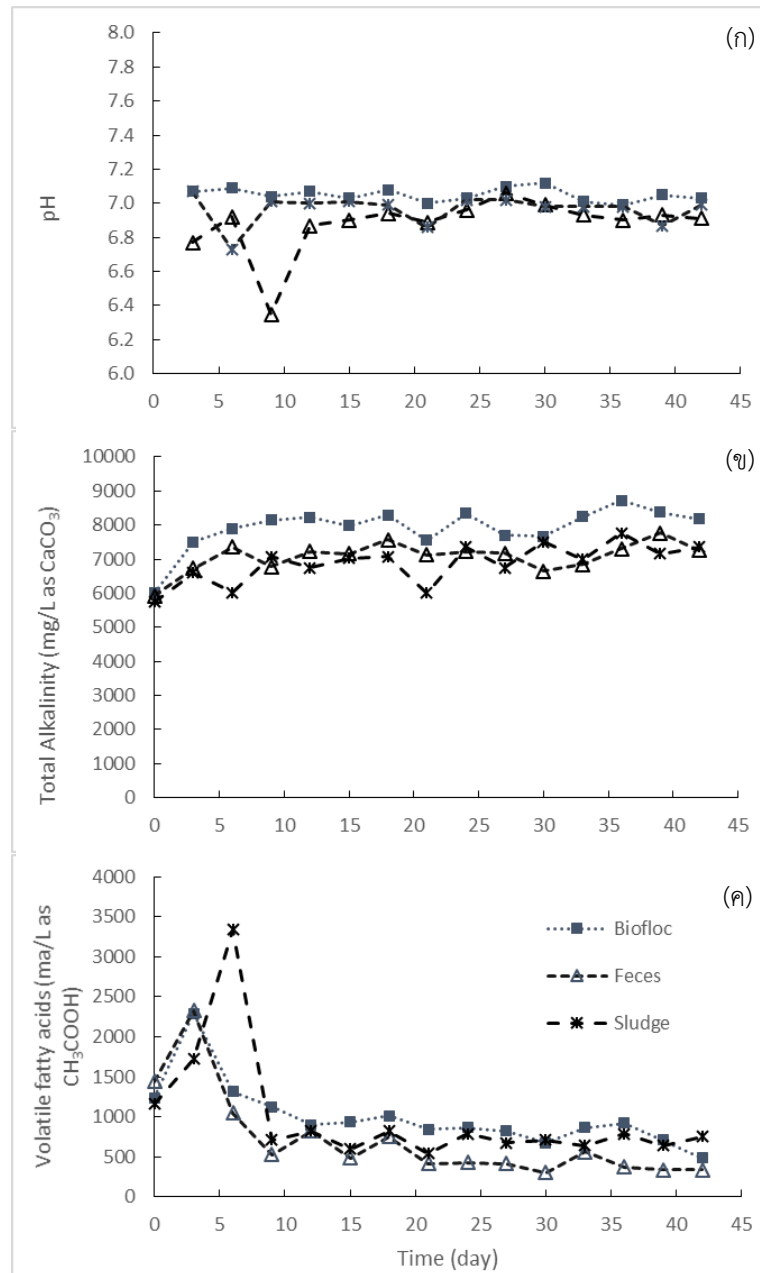
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีรวม (ก) ของแข็งทั้งหมด (ข) และของแข็งระเหย (ค) เมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหย

ค่าพีเอชหรือค่าความเป็นกรด-ด่างมีความสำคัญอย่างมากต่อระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ โดยพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.8 – 7.2 (Gerardi, 2003) จากการวัดค่าพีเอชในแต่ละชุดทดลอง พบว่าชุด Biofloc Feces และ Sludge มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.99 - 7.12 , 6.35 - 7.06 และ 6.73 - 7.02 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.4 (ก) จะเห็นว่า Biofloc มีค่าพีเอชคงที่ตลอดการทดลองซึ่งสอดคล้องกับค่าอัลคาลินิตีที่มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่น ในส่วน Feces ค่าพีเอชลดลงต่ำสุดในวันที่ 9 ของการทดลองและเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 12 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง สำหรับ Sludge ค่าพีเอช ลดลงต่ำสุดในวันที่ 6 ของการทดลองซึ่งมีค่าต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมเล็กน้อยและเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 9 จนสิ้นสุดการทดลอง

สำหรับค่าอัลคาลินิตีซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช โดยผลการวิเคราะห์อัลคาลินิตีของชุดทดลอง Biofloc Feces และ Sludge มีค่าอยู่ในช่วง 6000 - 8725 5925 - 7775 และ 5750 - 7775 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ นอกจากนี้จากรูปที่ 4.4 (ข) จะเห็นว่าค่าอัลคาลินิตีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ของชุดทดลอง Biofloc Feces และ Sludge อยู่ในช่วง 478.5 - 2287.5 300 - 2325 และ 543.75 - 3337.5 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก โดยจากรูปที่ 4.4 (ค) จะเห็นว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยของ Biofloc และ Feces มีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 3 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณลดลงจนกระทั่งเริ่มคงที่ในวันที่ 9 ของการทดลอง ในส่วนของ Sludge พบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงสุดในช่วง 6 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นปริมาณกรดอินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 9 ของการทดลอง โดยการเพิ่มปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเกิดจากการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์ในขั้นตอนการหมักและสร้างกรดอะซิติกโดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด ซึ่งกรดอินทรีย์ระเหยเป็นสารตัวกลางในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

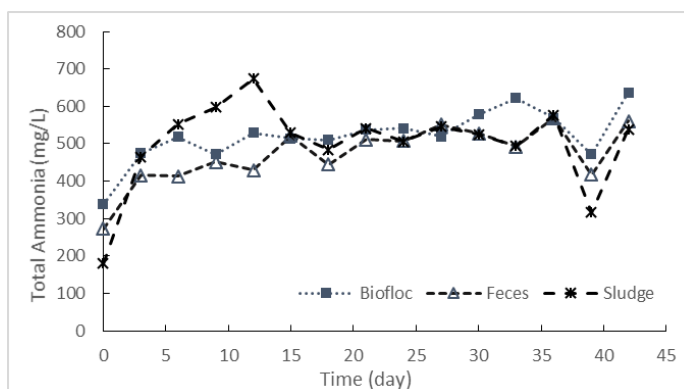


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (ก) อัลคาลินิตี (ข) และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย

(ค) ตลอดการทดลองเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิต
ก๊าซชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียและไนเตรต

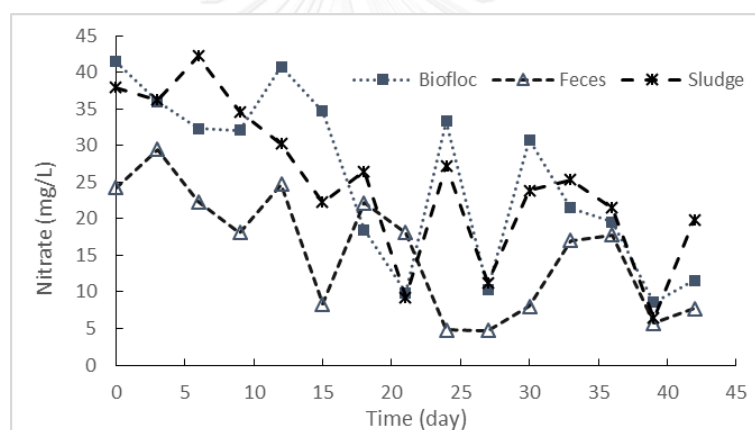
แอมโมเนียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์จำพวกโปรตีนซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่เชื่อมต่อกัน โดยในกรดอะมิโนจะมีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) ในการย่อยสลายกรดอะมิโนจึงมีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมา ซึ่งแอมโมเนียเหล่านี้อาจส่งผลให้อัลคาไลน์ตีในระบบเพิ่มสูงขึ้น หรืออาจนำไปสู่การยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทน (Gerardi, 2003) สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในชุดทดลอง Biofloc Feces และ Sludge พบว่า มีปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 337.95 - 636.92 , 272.11 - 569.03 และ 179.95 - 673.57 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าปริมาณแอมโมเนียในแต่ละชุดทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากช่วงเริ่มต้นการทดลอง โดยในชุดทดลอง Sludge มีปริมาณแอมโมเนียสูงสุด เนื่องจากในการวัดสมบัติทางเคมีเบื้องต้นของตะกอนอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง (ดังตารางที่ 4.1) พบว่าองค์ประกอบของตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) มีปริมาณโปรตีนและร้อยละของไนโตรเจนสูงสุดเมื่อเทียบกับตะกอนอินทรีย์อีกสองชนิด (Biofloc และ Feces) จากรายงานเกี่ยวกับการยับยั้งของแอมโมเนียต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศของ Rajagopal และคณะ (2013) รายงานว่าปริมาณแอมโมเนียในช่วง 200 - 1,000 มก./ล. ไม่ส่งผลยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน แต่หากพีเอชสูงกว่า 8 ปริมาณแอมโมเนียในช่วง 1,500 - 3,000 มก./ล. จะเริ่มส่งผลยับยั้ง โดยปริมาณแอมโมเนียสูงกว่า 3000 มก./ล. จะยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนที่พีเอชใดๆ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปริมาณแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการทดลองของงานวิจัยนี้ยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยและไม่ส่งผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการหมักแบบไร้อากาศ

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตในชุดทดลอง Biofloc Feces และ Sludge พบว่ามีปริมาณไนเตรตอยู่ในช่วง 8.59 – 41.42 4.69 – 29.43 และ 6.44 – 42.18 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าปริมาณไนเตรตของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยคาดว่าปริมาณไนเตรตที่ลดลงอาจเป็นผลจากการเกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางชีวภาพที่เปลี่ยนรูปไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยกลุ่มจุลินทรีย์ดีไนทริฟายอิง (Denitrifying Bacteria) ซึ่งเกิดในสภาวะแอนอกซิก เมื่อระบบจะไม่มีออกซิเจนอิสระแบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้ไนเตรต (NO_3) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

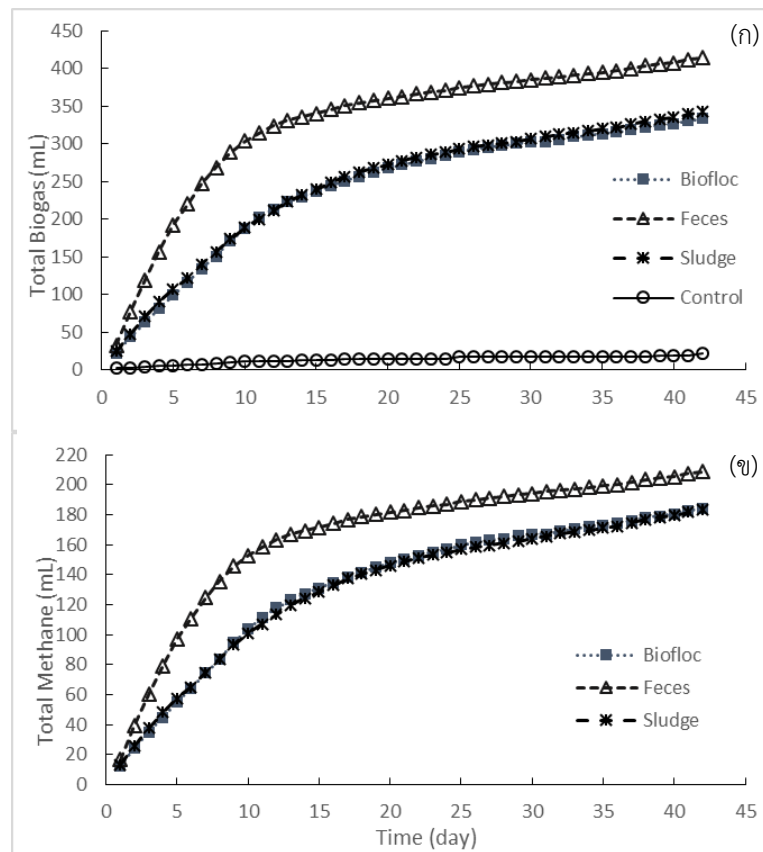
โดยปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตมีการเปลี่ยนแปลงทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากตัวอย่างที่ถูกเก็บมาวัดในแต่ละครั้งไม่ได้ถูกเก็บจากขวดเซรั่มเก็บตัวอย่างเดียวกัน ดังนั้นผลจากการทดลองนี้จึงแสดงเพียงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตเท่านั้น



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรตเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการหมักแบบไร้อากาศ

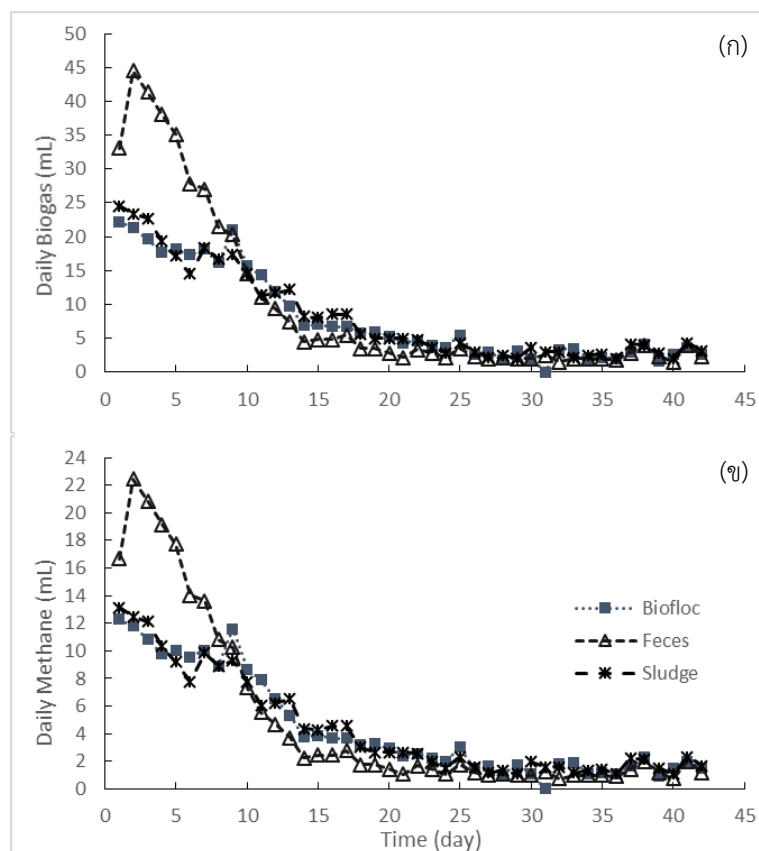
ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดช่วงการทดลองจากทั้ง 4 ชุดทดลอง พบว่าชุดควบคุม(Control) ที่มีเพียงหัวเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 22.57 ± 2.58 มล. (แสดงดังรูปที่ 4.7 (ก)) ใน ส่วนของชุดทดลอง Biofloc Feces และ Sludge มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 333.23 ± 5.70 413.70 ± 39.21 และ 342.23 ± 6.72 มล. ตามลำดับ (แสดงดังรูปที่ 4.7 (ก)) เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากทั้ง 4 ชุดการทดลองจะเห็นว่าในชุดควบคุมมีก๊าซชีวภาพสะสมน้อยกว่าชุดทดลอง Biofloc Feces และ Sludge อย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในระบบการทดลองเป็นผลมาจากการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อนำปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากแต่ละชุดทดลองมาคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพพบว่า ชุดทดลอง Biofloc Feces และ Sludge มีผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 225.92 ± 3.87 347.65 ± 32.95 และ 265.30 ± 5.21 มล./ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น หรือเท่ากับ 90.28 ± 1.54 109.24 ± 10.35 และ 89.99 ± 1.77 มล./ก. ซีโอดีรวมเริ่มต้นของตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและผลผลิตก๊าซชีวภาพจะเห็นว่าชุดทดลอง Feces มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ในขณะที่ชุดทดลอง Biofloc และ Sludge มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมใกล้เคียงกัน สำหรับสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพได้ทำการวิเคราะห์เฉพาะชุดทดลอง Biofloc Feces และ Sludge เท่านั้น โดยมีสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 55.23 50.42 และ 53.54 ตามลำดับ เมื่อนำสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพทั่วไปได้มาคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนสะสมและผลผลิตก๊าซมีเทนพบว่า ในชุดทดลอง Biofloc Feces และ Sludge มีปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเท่ากับ 184.04 ± 3.15 208.59 ± 19.77 และ 183.23 ± 3.60 มล. และผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 124.35 ± 2.13 175.28 ± 16.62 และ 142.04 ± 2.79 มล. มีเทน/ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น หรือ 49.86 ± 0.85 55.08 ± 5.22 และ 48.18 ± 0.95 มล. มีเทน/ก. ซีโอดีรวมเริ่มต้นของตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ ตามลำดับ ซึ่งกราฟแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสะสมของแต่ละชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (ก) และก๊าซมีเทนสะสม (ข) ตลอดการทดลองเมื่อใช้ตะกอน

อินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ก) และก๊าซมีเทน (ข) ที่เกิดขึ้นรายวันของการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำ

จากรูปที่ 4.8 พบว่าก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนรายวันของชุดทดลอง Feces มีปริมาณสูงสุดในวันที่ 2 ของการทดลองโดยมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นมาก สำหรับชุดทดลอง Biofloc และ Sludge มีปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันสูงสุดในวันแรกของการทดลองจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 14 จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.5 แสดงผลผลิตก๊าซมีเทนและสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพจากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าผลผลิตก๊าซมีเทนจากงานวิจัยนี้สูงกว่างานวิจัยของ Mirzoyan และคณะ (2008) และ Luo และคณะ (2013) อาจเนื่องมาจากในงานวิจัยของ Luo และคณะ (2013) เกิดการยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากปริมาณแอมโมเนียและเกลือ สำหรับสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้จะใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Gebauer (2004) อีกทั้งในการทดลองนี้ยังไม่พบการยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากปริมาณแอมโมเนียหรือกรดอินทรีย์ระเหย

ตารางที่ 4.5 ผลผลิตก๊าซมีเทนและสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพจากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ที่มา		ผลผลิตมีเทน (ล. มีเทน/ ก. ซีโอดี)	สัดส่วนมีเทนในก๊าซ ชีวภาพ (%)	การยับยั้งกระบวนการ ย่อยไร้อากาศ
งานวิจัยนี้	Biofloc	0.050	55.23	-
	Feces	0.055	50.42	-
	Sludge	0.048	53.54	-
Kugelman และ van Gorder (1991)		0.125-0.164	36 – 71	แอมโมเนีย และ กรดอินทรีย์ระเหย
Lanari และ Franci (1998)		0.198-0.250	>80	-
Gebauer (2004)		0.114-0.184	49 – 58	เกลือ
Gebauer และ Eikebrokk (2006)		0.140-0.151	59 – 61	แอมโมเนีย และ กรดอินทรีย์ระเหย
Mirzoyan และคณะ (2008)		0.02	30 – 60	-
Mirzoyan และ Gross (2013)		≥ 0.075	2 – 53	-
Luo และคณะ (2013)		0.013-0.022	28 – 57	เกลือ และแอมโมเนีย

ตารางที่ 4.6 ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้น

ชุดทดลอง	ชนิดตะกอนอินทรีย์		
	Biofloc	Feces	Sludge
ก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	333.23±5.70	413.70±39.21	342.23±6.72
ผลผลิตก๊าซชีวภาพ (มล./ก.ของแข็งระเหย)	225.92±3.87	347.65±32.95	265.30±5.21
ก๊าซมีเทนสะสม (มล.)	184.04±3.15	208.59±19.77	183.23±3.60
ผลผลิตก๊าซมีเทน (มล. มีเทน/ก.ของแข็งระเหย)	124.35 ^a ±2.13	175.28 ^b ±16.62	142.04 ^a ±2.79
ร้อยละมีเทนเฉลี่ยในก๊าซชีวภาพ	55.23	50.42	53.54

หมายเหตุ a และ b แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.05$)

เมื่อพิจารณาจากผลผลิตก๊าซชีวภาพ และพารามิเตอร์ต่างๆ ของทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าชุดทดลอง Feces มีผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด แม้ว่าจะมีสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพจะต่ำกว่าชุดทดลอง Biofloc และ Sludge โดยเมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางสถิติพบว่าชุดทดลอง Feces มีผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับชุดทดลอง Biofloc และ Sludge ในส่วนผลผลิตก๊าซมีเทนของชุดทดลอง Biofloc และ Sludge พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลผลิตก๊าซชีวภาพร่วมกับความสะดวกในการแยกตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตก๊าซชีวภาพ จึงเลือกใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) ที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาแบบปิดแบบน้ำหมุนเวียนเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับการทดลองในส่วนต่อไป เนื่องด้วยรูปแบบการเลี้ยงในอนุภาคมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปเป็นการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบหมุนเวียนน้ำมากขึ้น

4.2.2 การแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์

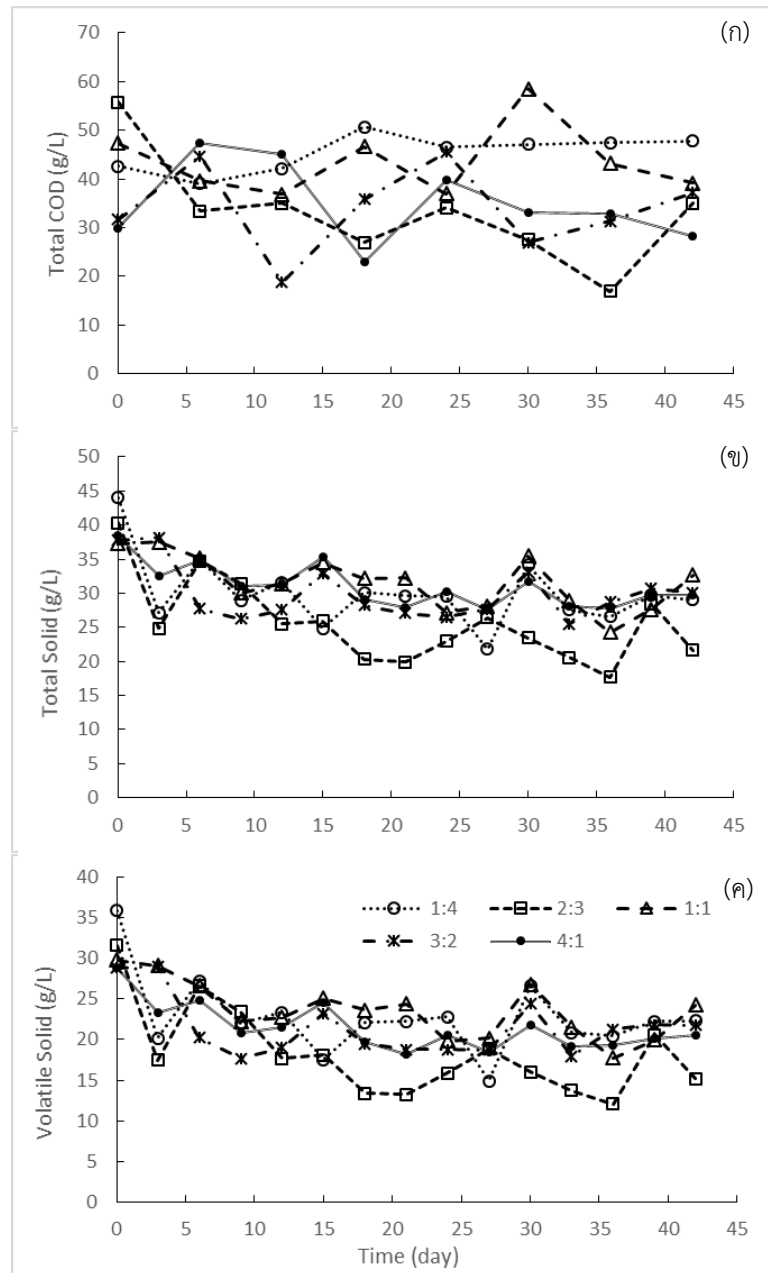
ผลการประเมินศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบ เป็นวัตถุดิบตั้งต้น พบว่าตะกอนอินทรีย์ที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ ตะกอนขี้ปลา (Feces) ที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาแบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน ดังนั้นในการทดลองแปรค่าเพื่อหาสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในช่วงนี้ จะใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจะทำการทดสอบด้วยเทคนิคบีเอ็มพี เช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา การทดลองนี้ประกอบด้วย 5 ชุดทดลองที่แปรค่าสัดส่วนตะกอนต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 1:4 2:3 1:1 3:2 และ 4:1 โดยในแต่ละชุดทดลองจะมีชุดควบคุมซึ่งบรรจุเพียงหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่านั้น เพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่หัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตได้ สำหรับการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละชุดทดลองในระหว่างการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย

ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยของแต่ละชุดทดลองเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 และกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของทั้งสามพารามิเตอร์ตลอดช่วงเวลากการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9 จากผลการวิเคราะห์พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวมมีความสอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยโดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยจะเห็นว่าในรูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยของทุกชุดทดลองมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากตัวอย่างที่ถูกสุ่มวัดในแต่ละครั้งไม่ได้เก็บจากขวดเซรั่มเก็บตัวอย่างเดียวกัน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงบอกได้เพียงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย ว่ามีการลดลงตามเวลา

ตารางที่ 4.7 ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนซีปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ชุดทดลอง	ซีโอดีรวม (ก./ล.)		ของแข็งทั้งหมด (ก./ล.)		ของแข็งระเหย (ก./ล.)	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
1:4	42.65±1.22	47.79±2.53	44.01±9.93	29.05±0.39	35.84±8.82	22.29±0.49
2:3	55.79±5.94	35.06±4.26	40.30±4.85	21.67±2.93	31.56±4.48	15.17±2.50
3:2	31.66±0.57	37.18±3.99	37.75±3.21	30.09±2.13	28.79±2.71	21.71±1.67
4:1	29.93±1.36	28.38±2.96	38.46±2.71	29.75±3.90	28.83±2.20	20.59±3.39
1:1	47.34±3.29	39.38±1.19	37.24±3.86	32.65±1.47	29.78±4.4	24.22±1.04



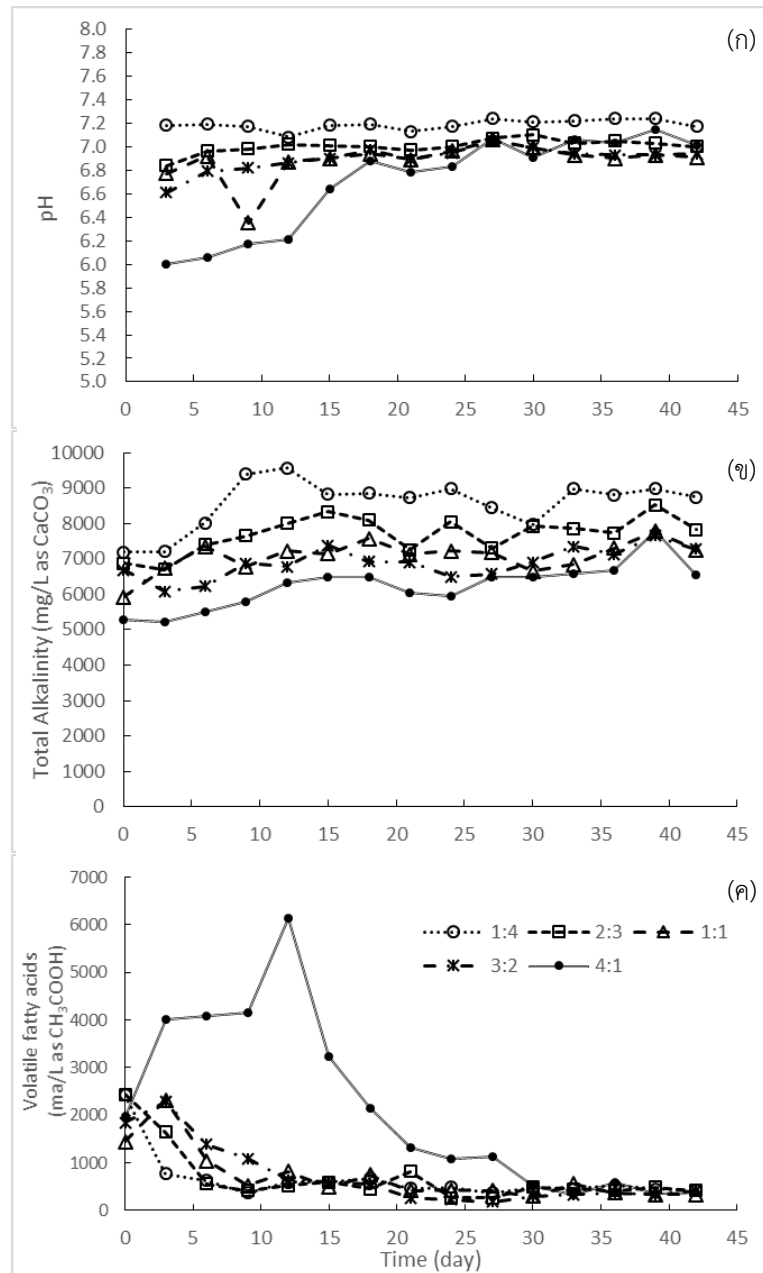
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงซีไอโดยรวม (ก) ของแข็งทั้งหมด (ข) และของแข็งระเหย (ค) ตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหย

ผลการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอชในแต่ละชุดทดลอง พบว่าชุดทดลองที่แปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 1:4 2:3 3:2 4:1 และ 1:1 มีค่าอยู่ในช่วง 7.08 - 7.24 6.84 - 7.05 6.61 - 7.05 6.00 - 7.15 และ 6.35 - 7.06 ตามลำดับ ในชุดทดลอง 1:4 พีเอชมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนในชุดทดลอง 2:3 และ 3:2 พีเอชจะต่ำสุดในช่วงวันที่ 3 ของการทดลอง และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งเริ่มคั่งที่ในวันที่ 6 ของการทดลอง สำหรับชุดทดลอง 4:1 ค่าพีเอชในช่วง 15 วันแรกของการทดลองมีค่าต่ำกว่าช่วงพีเอชที่เหมาะสมซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6.8 - 7.2 (Kwietniewska และ Tys, 2014) โดยในวันที่ 3 ของการทดลองมีค่าพีเอชต่ำสุด จากนั้นจึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งเริ่มคั่งที่ตั้งแต่วันที่ 18 ของการทดลอง เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.10 จะพบว่าค่าพีเอชที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับค่าอัลคาลินิตีและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย โดยค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของค่าอัลคาลินิตี และค่าพีเอชลดลงเมื่อปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยลดลง

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์อัลคาลินิตีของชุดทดลอง 1:4 2:3 3:2 4:1 และ 1:1 มีค่าอยู่ในช่วง 7,183 - 9,575 6,700 - 8,525 5,925 - 7,775 6,075 - 7,605 และ 5,225 - 7,783 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าอัลคาลินิตีในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งค่าอัลคาลินิตีที่เพิ่มสูงขึ้นนี้เป็นผลจากการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนียขึ้น เมื่อแอมโมเนียละลายน้ำพร้อมกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (Ammonium bicarbonate) (Gerardi, 2003) โดยค่าอัลคาลินิตีที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย จากรูปที่ 4.10 (ก) และ (ค) จะเห็นว่าค่าพีเอชของชุดทดลอง 4:1 จะต่ำกว่าชุดทดลองอื่นอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 15 วันแรกของการทดลอง เนื่องจากมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดทดลอง 1:4 2:3 3:2 และ 1:1 จึงมีความต้องการค่าอัลคาลินิตีเพื่อต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชมากกว่าชุดทดลองอื่นๆ ส่งผลให้ค่าอัลคาลินิตีของชุดทดลอง 4:1 มีค่าต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ

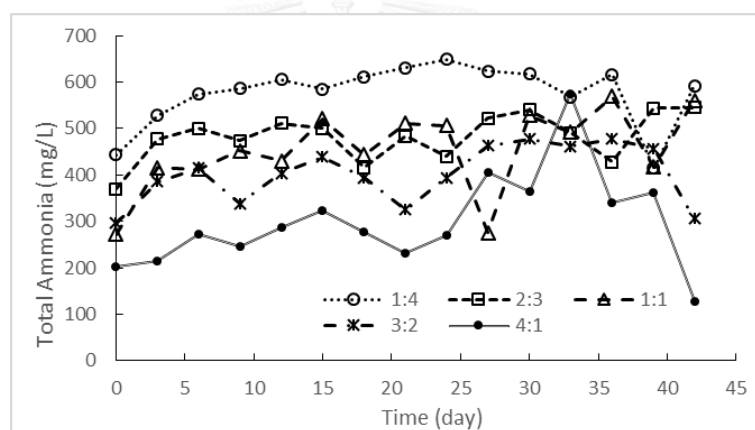
จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยของชุดทดลอง 1:4 2:3 3:2 4:1 และ 1:1 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 375 – 2,425 262 – 2,437 300 – 2,325 225 – 2,287 และ 337 – 6,150 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก โดยในชุดทดลอง 1:4 และ 2:3 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยลดลงจนกระทั่งเริ่มคั่งที่ในวันที่ 6 ของการทดลอง สำหรับปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยของชุดทดลอง 3:2 และ 1:1 จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลองและมีปริมาณลดลงจนกระทั่งเริ่มคั่งที่ในวันที่ 12 ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยของชุดทดลอง 4:1 ในช่วงแรกของการทดลองกรดอินทรีย์ระเหยมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยสูงสุดในวันที่ 12 ของการทดลอง จากนั้นจึงลดลงและเริ่มคั่งที่ตั้งแต่ วันที่ 30 ซึ่งจากปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่มีปริมาณสูงในช่วงแรกนี้ส่งผลให้ค่าพีเอชในช่วง 15 วันแรกของการทดลองลดต่ำกว่าช่วงพีเอชที่เหมาะสม ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าปริมาณกรดอินทรีย์ที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลองนั้นเป็นผลมาจากการแปรค่าสัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นและหัวเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งมีปริมาณไม่เท่ากันในแต่ละชุดทดลอง โดยในชุดทดลอง 4:1 มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่นๆ จึงทำให้มีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเกิดขึ้นสูงสุดตามไปด้วย โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยนี้เป็นผลจากการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์ในขั้นตอนการหมักและสร้างกรดอะซิติกโดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด ซึ่งกรดอินทรีย์ระเหยจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนนำไปใช้ผลิตก๊าซมีเทนต่อจึงทำให้กรดอินทรีย์ระเหยมีปริมาณลดลง จากรูปที่ 4.10 (ก) และ (ค) จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในแต่ละชุดทดลองสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยและค่าอัลคาไลน์ิตีตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงพีเอช (ก) อัลคาลินิตี (ข) และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (ค) ตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและไนเตรต

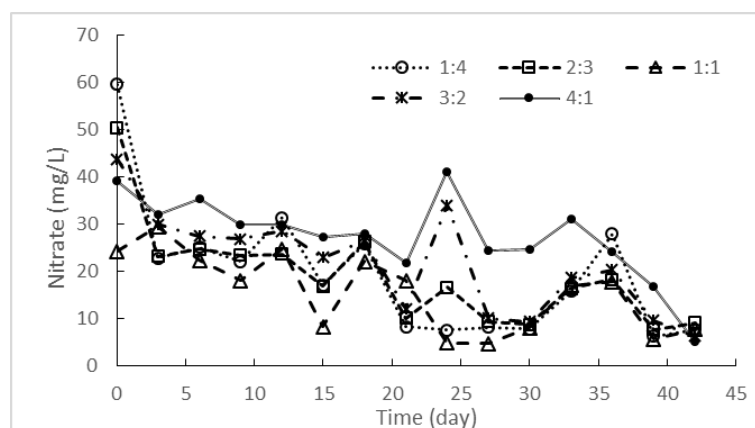
ปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในชุดทดลองที่แปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1:4 2:3 3:2 4:1 และ 1:1 มีค่าอยู่ในช่วง 414.76 - 648.70 370.27 - 544.44 296.27 - 477.69 172.27 - 575.81 และ 272.11 - 569.03 มก./ล. ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าปริมาณแอมโมเนียของทุกชุดทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง โดยปริมาณแอมโมเนียที่เพิ่มสูงขึ้นนี้เป็นผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทโปรตีน เมื่อแอมโมเนียถูกปล่อยออกมาจะส่งผลให้อัลคาลินิตีในระบบเพิ่มสูงขึ้น หรืออาจนำไปสู่การยับยั้งการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์สร้างมีเทนได้ (Gerardi, 2003) โดยเมื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียจากการทดลองนี้พบว่าอยู่ในช่วง 200 - 1,000 มก./ล. ซึ่งเป็นระดับที่ยังไม่ส่งผลยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (Rajagopal และคณะ, 2013)



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตของชุดทดลอง 1:4 2:3 3:2 4:1 และ 1:1 มีค่าอยู่ในช่วง 6.28 - 59.57 7.77 - 50.39 6.24 - 43.66 5.07 - 41.03 และ 4.69 - 29.43 มก./ล. ตามลำดับ จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าไนเตรตของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นการทดลอง โดยการเปลี่ยนแปลงของไนเตรตในปฏิริยาการหมักแบบไร้อากาศของการทดลองนี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา ซึ่งคาดว่า การลดลงของปริมาณไนเตรตเป็นผลมาจากกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในประเด็นการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและไนเตรตของการทดลองที่ 2.1

โดยปริมาณแอมโมเนียและไนเตรดมีการเปลี่ยนแปลงทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดระยะเวลาทดลอง จากเหตุผลที่ตัวอย่างถูกเก็บมาวัดในแต่ละครั้งไม่ได้ถูกเก็บจากขวดเซรุ่มเดียวกัน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเป็นเพียงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียและไนเตรด ซึ่งจะเห็นได้ว่าการหมักแบบไร้อากาศของการทดลองนี้แอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ไนเตรดมีแนวโน้มลดลง

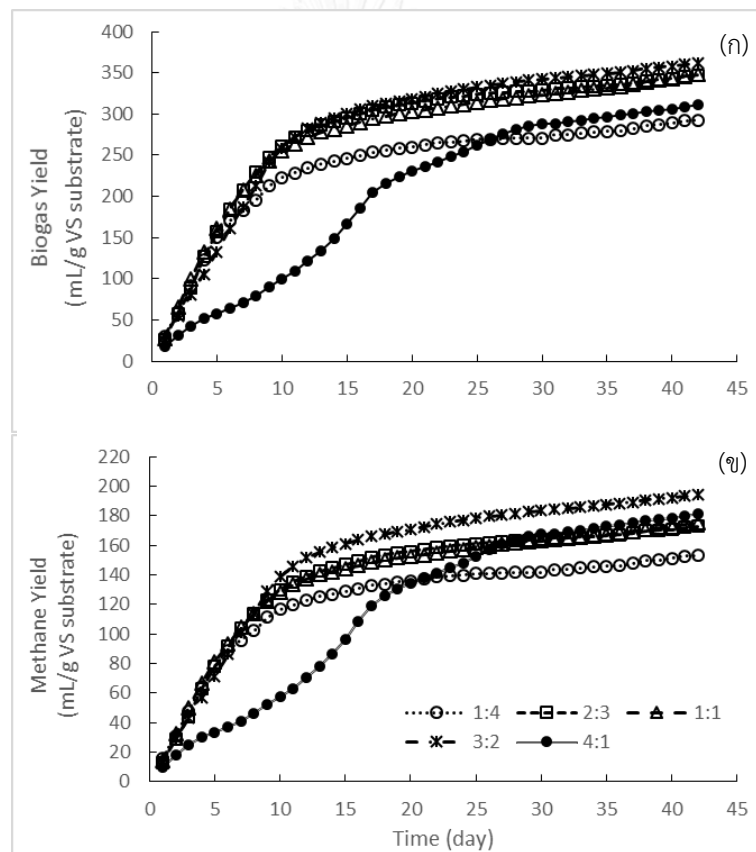


รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรดตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

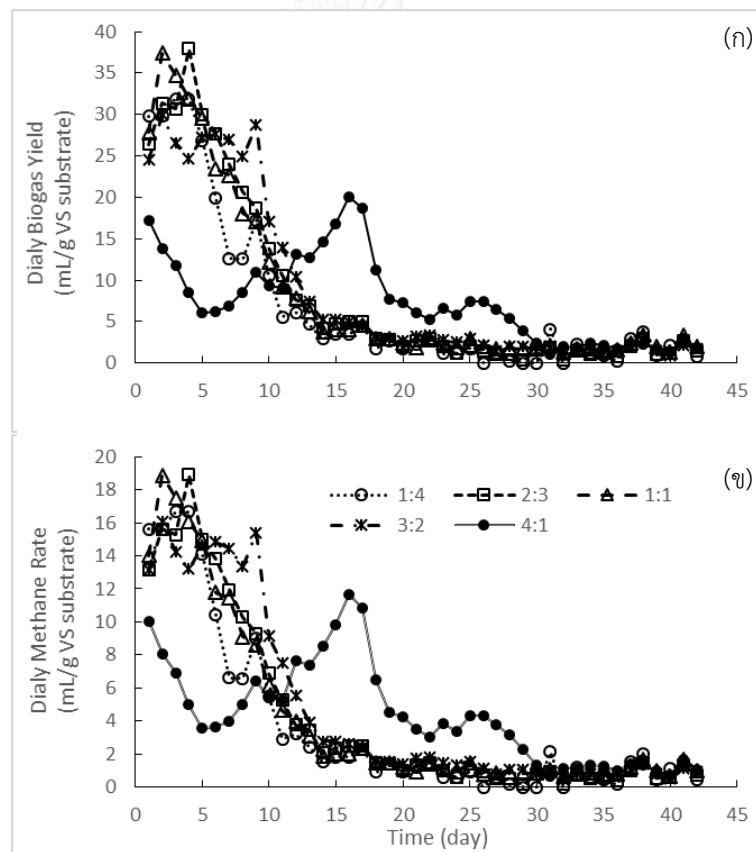
ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดช่วงการทดลองจากทั้ง 5 ชุดทดลอง พบว่าชุดทดลอง 1:4 2:3 3:2 4:1 และ 1:1 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 167.87 ± 1.42 350.47 ± 14.09 499.47 ± 5.08 , 575.47 ± 4.97 และ 413.70 ± 39.21 มล. ตามลำดับ ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในชุดควบคุมของแต่ละชุดทดลองที่แปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน (1:4 2:3 3:2 4:1 และ 1:1) มีปริมาณเท่ากับ 29.80 ± 0.99 , 23.87 ± 2.65 , 17.90 ± 2.29 , 9.50 ± 0.62 และ 22.40 ± 3.20 มล. ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจะเห็นว่าชุดทดลอง 4:1 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด เนื่องจากมีปริมาณตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสูงสุดเมื่อเทียบกับทุกชุดทดลอง แต่เมื่อนำปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของแต่ละชุดทดลองมาคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพพบว่า ชุดทดลอง 1:4 2:3 3:2 4:1 และ 1:1 มีผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 294.50 ± 2.49 374.00 ± 13.95 361.93 ± 3.68 311.06 ± 2.69 และ 347.65 ± 32.95 มล./ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น ตามลำดับ จะเห็นว่า

ชุดทดลองที่มีผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ 3:2 ไม่ใช่ชุดทดลอง 4:1 ที่มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด เมื่อวิเคราะห์สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพของแต่ละชุดการทดลองพบว่า มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 52.32 49.78 53.63 58.23 และ 50.42 ตามลำดับ โดยเมื่อนำสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพที่วัดได้มาคำนวณปริมาณ ก๊าซมีเทนสะสมและผลผลิตก๊าซมีเทน พบว่า ชุดทดลอง 1:4 2:3 3:2 4:1 และ 1:1 มีปริมาณก๊าซมีเทน สะสมเท่ากับ 87.83 ± 0.74 174.46 ± 7.01 267.86 ± 2.73 335.09 ± 2.89 และ 208.59 ± 19.77 มล. และ ผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 154.08 ± 1.30 172.73 ± 6.94 194.10 ± 1.98 181.13 ± 1.56 และ 175.28 ± 16.62 มล. มีเทน/ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น ตามลำดับ โดยผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนใน แต่ละชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ผลผลิตก๊าซชีวภาพ (ก) และก๊าซมีเทน (ข) ของการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนรายวันในชุดทดลอง 1:4 2:3 3:2 และ 1:1 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันโดยมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง และจะเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 14 ของการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง สำหรับชุดทดลอง 4:1 พบว่าผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนมีปริมาณน้อยกว่าชุดทดลองอื่นในช่วงแรกของการทดลอง แต่ในวันที่ 13 ของการทดลองมีผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงกว่าชุดทดลองอื่น โดยจะเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 30 ของการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนมีความสอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ในระหว่างการทดลองของแต่ละชุดทดลอง โดยมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันกับปริมาณกรดอินทรีย์ระยะ



รูปที่ 4.14 ผลผลิตก๊าซชีวภาพ (ก) และก๊าซมีเทน (ข) ในแต่ละวันของการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 4.8 แสดงผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 3:2 มีผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด โดยเมื่อเปรียบเทียบผลของสัดส่วนวัตถุดิบตั้งต้น(ตะกอนอินทรีย์)ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีต่อผลผลิตก๊าซมีเทนของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น พบว่าสัดส่วนวัตถุดิบตั้งต้นต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ส่งผลให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดในงานวิจัยของ González-Fernández และ García-Encina (2009) Zhou และคณะ (2011) และ Kawai และคณะ (2014) มีค่าเท่ากับ 1:1 6:10 – 9:10 และ 1:3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนวัตถุดิบตั้งต้นต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ต่ำกว่าในงานวิจัยนี้ โดย Kawai และคณะ (2014) รายงานว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ และผลผลิตมีเทนขึ้นกับปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากลักษณะของวัตถุดิบตั้งต้นที่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.8 ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ชุดทดลอง	1:4	2:3	3:2	4:1	1:1
ก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	167.87±1.42	350.47±14.09	499.47±5.08	575.47±4.97	413.70±39.21
ผลผลิตก๊าซชีวภาพ (มล./ก.ของแข็งระเหย)	294.50±2.49	374.00±13.95	361.93±3.68	311.06±2.69	347.65±32.95
ก๊าซมีเทนสะสม (มล.)	87.83±0.74	174.46±7.01	267.86±2.73	335.09±2.89	208.59±19.77
ผลผลิตก๊าซมีเทน (มล. มีเทน/ก.ของแข็งระเหย)	154.08 ^a ±1.30	172.73 ^b ±6.94	194.10 ^c ±1.98	181.13 ^{b,c} ±1.56	175.28 ^b ±16.62
ร้อยละมีเทนเฉลี่ย	52.32	49.78	53.63	58.23	50.42

หมายเหตุ a , b และ c แสดงความถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p = 0.05)

เมื่อพิจารณาจากผลผลิตก๊าซชีวภาพ และพารามิเตอร์ต่างๆของทุกชุดทดลองดังแสดงตารางที่ 4.8 พบว่าชุดทดลอง 3:2 มีผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางสถิติพบว่าชุดทดลอง 3:2 และ 4:1 มีผลผลิตก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตะกอนอินทรีย์ที่เป็นของเสียจากการเลี้ยงสัตว์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนใน

กระบวนการผลิตมีเทนได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้สัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 4:1 สำหรับการทดลองในส่วนต่อไป เนื่องจากใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่น้อยกว่า เมื่อเทียบกับค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ 3:2 แต่มีผลผลิตก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกัน

4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว

การทดลองในส่วนนี้จะดำเนินการในถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ขนาด 7.5 ลิตร มีปริมาตรทำงาน 6 ลิตร ใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) ที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลา ระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียนเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยควบคุมให้สัดส่วนของตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 4 ต่อ 1 ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักของแข็งระเหย สำหรับการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

4.3.1 ผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการทดลองนี้ นำตะกอนขี้ปลา (Feces) มาแปรค่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด 3 ค่า คือ 30, 50 และ 100 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยนำตะกอนที่มีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดแตกต่างกันป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ ซึ่งการป้อนตะกอนอินทรีย์จะเป็นแบบแบตช์ ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ถังปฏิกรณ์จำนวน 3 ถัง ได้แก่ 30 g TS/L, 50 g TS/L และ 100 g TS/L ในการทดลองนี้ใช้เวลาเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งสิ้น 40 วัน เพื่อเลือกความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดลองต่อไป โดยพิจารณาจากผลผลิตก๊าซชีวภาพ สัดส่วนของก๊าซมีเทน และการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองในส่วนที่ 2

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย

ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละถังปฏิกรณ์แสดงดังตารางที่ 4.9 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ซีโอดีรวมในแต่ละถังปฏิกรณ์ลดปริมาณลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง โดยในช่วง 15 วันแรกของการเดินระบบ ปริมาณซีโอดีรวมของถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L ลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว ส่วนของถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L ซีโอดีรวมลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 20 วันแรกของการเดินระบบ หลังจากนั้น

ปริมาณซีโอดีรวมของทุกถังปฏิกรณ์จะค่อยๆ ลดลง โดยในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบปริมาณซีโอดีรวมค่อนข้างคงที่ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวมแสดงดังรูปที่ 4.15 (ก) จะเห็นว่าซีโอดีรวมในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L เมื่อเริ่มต้นเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาณใกล้เคียงกัน เนื่องจากตะกอนอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบมีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน (30 , 50 ก./ล. ของแข็งทั้งหมด) ส่วนถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L ซึ่งถูกป้อนด้วยตะกอนอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด (100 ก./ล. ของแข็งทั้งหมด) จึงส่งผลให้ซีโอดีรวมเริ่มต้นของถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L มีปริมาณสูงสุดเมื่อเทียบกับถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L หากพิจารณาการลดลงของปริมาณซีโอดีรวมเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพสามารถคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ โดยถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรวมสูงสุด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.10 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรวมในงานวิจัยนี้เท่ากับ ร้อยละ 59.91 – 32.21 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Gebauer (2004) และ Gebauer และ Eikebrokk (2006) เนื่องจากใช้ถังปฏิกรณ์แบบกวนผสมหมุนในการเดินระบบเหมือนกัน

เมื่อพิจารณาปริมาณซีโอดีรวมในระบบร่วมกับการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์อื่นๆ พบว่า ปริมาณซีโอดีรวมของระบบเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณลดลง ส่วนก๊าซชีวภาพและแอมโมเนียในระบบมีปริมาณสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพตามสมการของ Buswell โดยซีโอดีที่มีอยู่ในสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

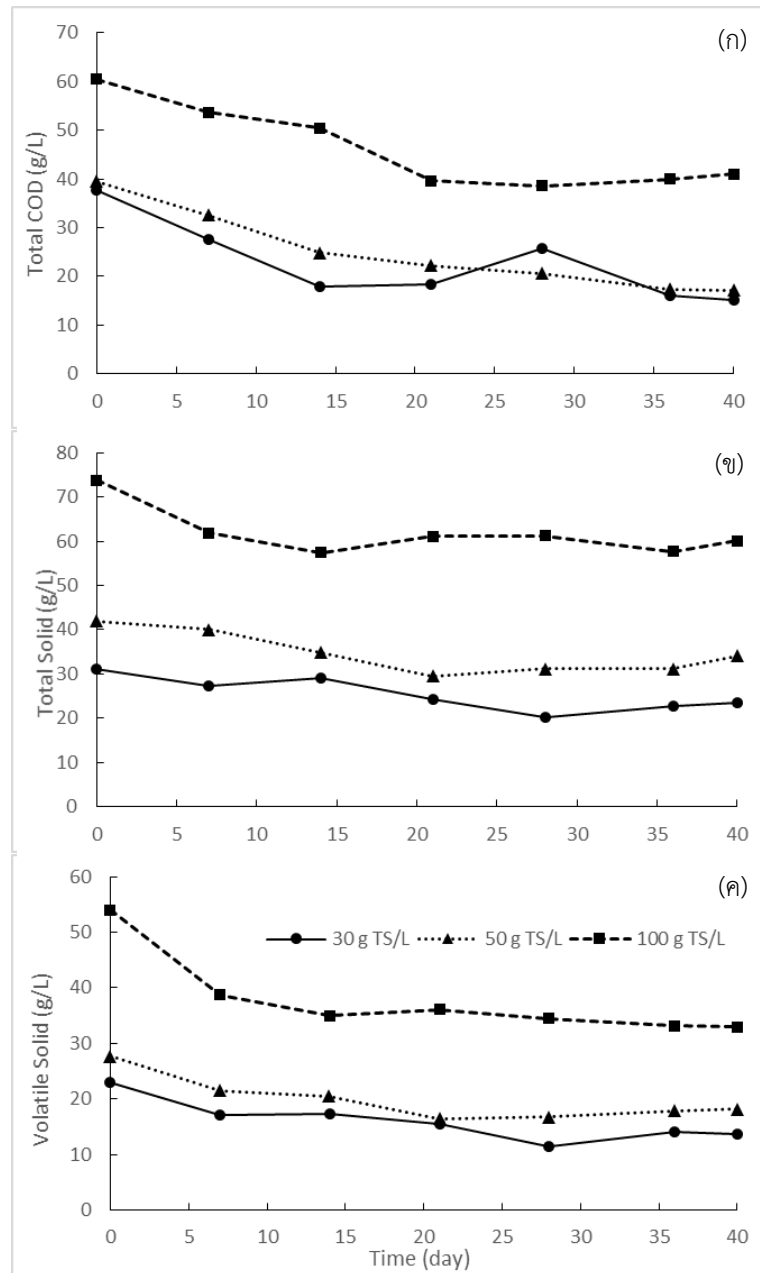
ตารางที่ 4.9 ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน

ถังปฏิกรณ์	ซีโอดีรวม (ก./ล.)		ของแข็งทั้งหมด (ก./ล.)		ของแข็งระเหย (ก./ล.)	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
30 g TS/L	37.65±0.50	15.09±0.00	31.11±0.27	23.46±3.03	22.92±0.06	13.62±2.53
50 g TS/L	39.53±0.50	17.13±3.03	42.00±0.68	34.14±3.22	27.65±0.41	18.15±1.68
100 g TS/L	60.48±2.00	41.00±0.43	73.71±2.84	60.05±1.60	53.97±1.12	32.92±0.59

สำหรับผลการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมด พบว่าของแข็งทั้งหมดในทุกถังปฏิกรณ์มีปริมาณลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดในระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 4.15 (ข) เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพของทุกถังปฏิกรณ์สามารถคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด โดยจากผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดในงานวิจัยนี้เท่ากับร้อยละ 18.53 – 24.59 ซึ่งค่อนข้างต่ำ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Mirzoyan และ Gross (2013) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 80 - 92

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยพบว่า ในช่วง 7 วันแรกของการเดินระบบของแข็งระเหยในถังปฏิกรณ์มีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดปริมาณในอัตราที่ช้าลง โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.15 (ค) จากการปริมาณของแข็งระเหยที่ลดลงในระหว่างการทดลองสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหย พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 34.36 – 40.58 โดยถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L สามารถลดปริมาณของแข็งระเหยได้สูงสุดเมื่อเทียบกับถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L และ 100 g TS/L แสดงดังตารางที่ 4.10 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยของงานวิจัยนี้น้อยกว่างานวิจัยอื่น อาจเป็นผลจากระยะเวลาในการเดินระบบซึ่งน้อยกว่างานวิจัยอื่นๆ

จากรูปที่ 4.15 (ข) และ 4.15 (ค) จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยมีความสัมพันธ์กัน โดยในการลดลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดเกิดจากของแข็งระเหยที่ลดลงจากการถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์ซึ่งเป็นของแข็งระเหย



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวม (ก) ของแข็งทั้งหมด (ข) และของแข็งระเหย (ค) ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยจากการ
เดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

งานวิจัย		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)		
		ซีโอดีรวม	ของแข็งทั้งหมด	ของแข็งระเหย
งานวิจัยนี้	30 g TS/L	59.91	24.59	40.58
	50 g TS/L	56.66	18.71	34.36
	100 g TS/L	32.21	18.53	39.00
Lanari และ Franci (1998)		15 – 45	92	93 – 97
Gebauer (2004)		37 – 60	-	47 – 62
Gebauer และ Eikebrokk (2006)		45 – 53	-	74 – 79
Mirzoyan และคณะ (2008)		-	-	60
Mirzoyan และ Gross (2013)		98 – 99	80 – 92	92 – 98
Luo และคณะ (2013)		38 – 73	-	91 – 96

ความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหย

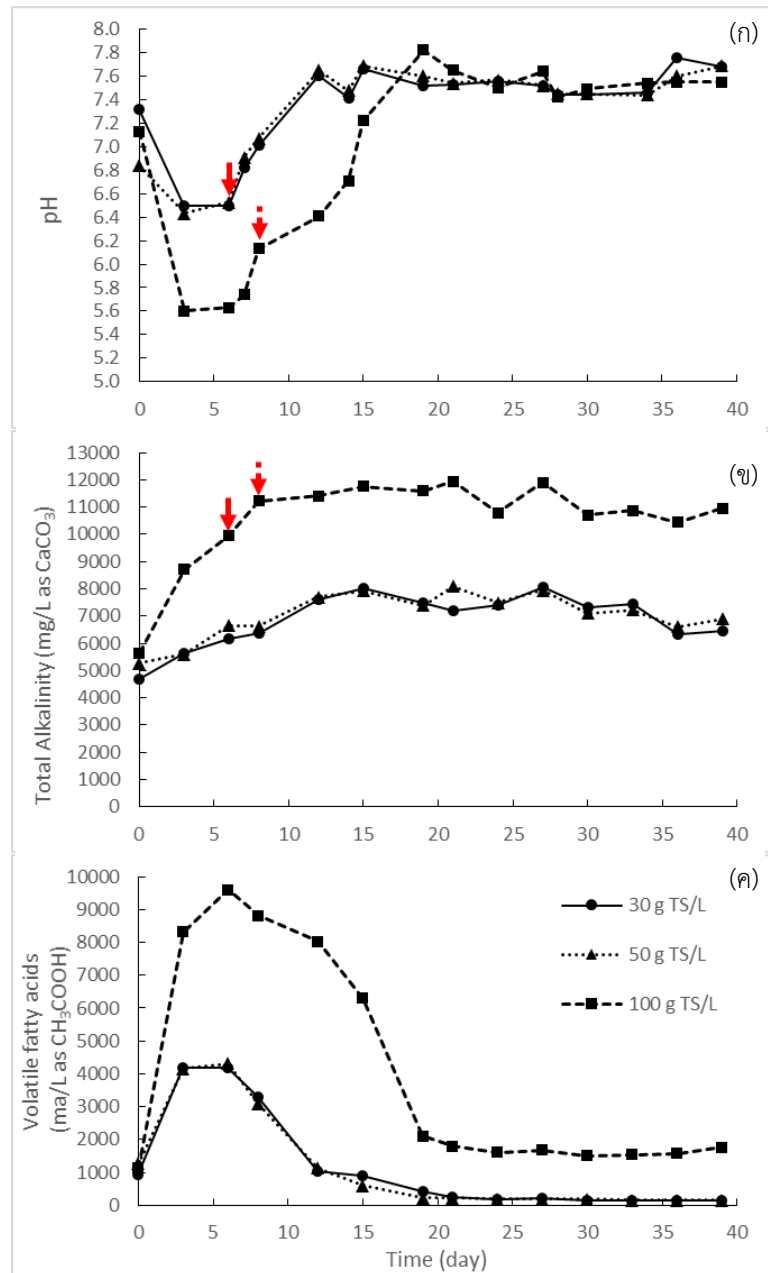
ค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอชมีผลต่อการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ 2 กลุ่มหลักๆ คือจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด และจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดสามารถทำงานได้ในช่วงค่าพีเอช 4.0 – 8.5 (Wang และคณะ, 2004) สำหรับจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนจะอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ซึ่งพีเอชที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่ในช่วง 6.50 - 7.20 (Appels, 2008) จะเห็นว่าจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการทำงานที่ต่างกัน โดย Kwietniewska และ Tys (2014) รายงานว่าช่วงพีเอช 6.8 – 7.2 เกิดก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศสูงสุด หากค่าพีเอชต่ำกว่า 6.6 อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนจะลดลงอย่างมาก สำหรับผลการวัดค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L 50 g TS/L และ 100 g TS/L ตลอดระยะเวลาในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพพบว่า มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.50 – 7.76 , 6.43 – 7.69 และ 5.60 – 7.82 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.16 (ก) จะเห็นว่าพีเอชของทุกถังปฏิกรณ์ในวันที่ 3 ของการเดินระบบมีค่าลดลงต่ำสุด โดยในวันที่ 6 ค่าพีเอชในแต่ละถังปฏิกรณ์ยังมีค่าใกล้เคียงกับวันที่ 3 ของการเดินระบบ จึงทำการ

เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 ก./ล. ปริมาณ 45 50 และ 60 มล. ลงในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L 50 g TS/L และ 100 g TS/L ตามลำดับ เพื่อควบคุมค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ หลังจากนั้นทำการวัดค่าพีเอชอีกครั้งในวันที่ 7 ของการเดินระบบพบว่า ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (พีเอชในช่วง 6.50 - 7.20 (Appels, 2008)) แต่ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L ยังคงมีค่าต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน จึงทำการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 ก. ลงในถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L ในวันที่ 8 ของการเดินระบบส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น หลังจากวันที่ 8 ของการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพพีเอชในถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเริ่มคงที่ในวันที่ 21 ของการเดินระบบจนสิ้นสุดการเดินระบบ เมื่อพิจารณาค่าพีเอชที่วัดได้ของแต่ละถังปฏิกรณ์ พบว่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L มีค่าพีเอชในช่วง 6 วันแรกต่ำกว่าช่วงพีเอชที่เกิดก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศสูงสุดสำหรับถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L พีเอชในช่วง 12 วันแรกของการเดินระบบมีค่าต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน โดยในช่วง 8 วันแรกของการเดินระบบพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ส่งผลให้ไม่เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (Gerardi,2003)

ค่าอัลคาลินิตีบอกถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ ในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช โดยผลการวิเคราะห์อัลคาลินิตีในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L 50 g TS/L และ 100 g TS/L ตลอดระยะเวลาในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าอยู่ในช่วง 4,700 – 8,000 5,275 - 8,100 และ 5,650 – 11,950 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ จากรูปที่ 4.16 (ข) จะเห็นว่าอัลคาลินิตีของในถังปฏิกรณ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการทดลอง โดยในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L มีค่าอัลคาลินิตีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 3 ของการเดินระบบ โดยในวันที่ 6 ของการเดินระบบ มีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 ก./ล. ปริมาตร 45 และ 50 มล. ลงในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L ตามลำดับ เพื่อควบคุมค่าพีเอชจึงอาจส่งผลให้อัลคาลินิตีในถังปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นค่าอัลคาลินิตีจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่อนข้างคงที่ และมีค่าลดลงเล็กน้อยช่วงท้ายของการเดินระบบ สำหรับในถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L อัลคาลินิตีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 8 วันแรกของการเดินระบบ อาจเนื่องมาจากการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 ก./ล. ปริมาตร 60 มล. ในวันที่ 6 ของการเดินระบบ และในวันที่ 8 ของการเดินระบบมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 ก. ลงในถังปฏิกรณ์เพื่อควบคุมพีเอชซึ่งลดลงต่ำในระหว่างการเดินระบบส่งผลให้ค่าอัลคาลินิตีเพิ่มสูงขึ้น โดยเริ่มคงที่ตั้งแต่ในวันที่ 8 และมีการลดลง

เล็กน้อยในช่วงท้ายของการเดินระบบ ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าอัลคาลินิตี้เพิ่มสูงขึ้นนอกจากการเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไบคาร์บอเนตแล้ว ยังเป็นผลจากการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์ โดย จุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (Methanogens) จะใช้กรดอินทรีย์ระเหยผลิตก๊าซมีเทนแล้ว ยังผลิตอัลคาลินิตี้ ในรูปคาร์บอเนตไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไบคาร์บอเนตอีกด้วย (Appels, 2008)

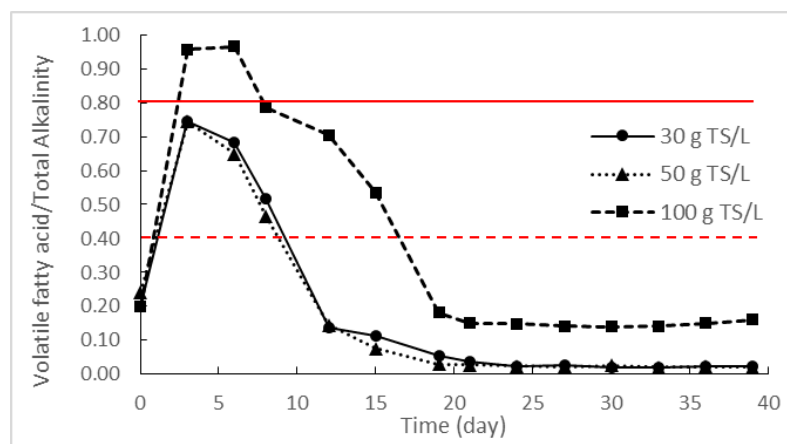
กรดอินทรีย์ระเหยเป็นสารตัวกลางในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ถูกผลิตในขั้นตอนการหมักและสร้างกรดอะซิติกโดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด โดยกรดอินทรีย์ระเหยเป็นสารตั้งต้นที่จุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนนำไปใช้ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยส่งผลต่อ จุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนและการผลิตก๊าซมีเทน สำหรับปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยของถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L 50 g TS/L และ 100 g TS/L ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาณอยู่ในช่วง 150 – 4,200 150 – 4,312.5 และ 1,125 – 9,600 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก จากรูปที่ 4.16 (ค) จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยของถังปฏิกรณ์ทั้งสามถัง มีลักษณะคล้ายกันคือกรดอินทรีย์ระเหย จะเพิ่มปริมาณสูงขึ้นในช่วง 6 วันแรกของการเดินระบบ จากนั้นจึงลดปริมาณลงจนกระทั่งเริ่มคงที่ในวันที่ 19 ของการเดินระบบจนถึงสิ้นสุดการเดินระบบ โดยปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพส่งผลให้ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ลดลง ซึ่งกรดอินทรีย์ที่เพิ่มปริมาณในช่วงแรกของการเดินระบบเป็นผลจากการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศโดยสารอินทรีย์ที่ถูกป้อนเข้าในระบบถูกเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ระเหยด้วยกลุ่มจุลินทรีย์สร้างกรด ในวันที่ 8 ของการเดินระบบกรดอินทรีย์ระเหยเริ่มลดปริมาณลง เนื่องจากกรดอินทรีย์ระเหยถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ ส่งผลให้พีเอชในถังปฏิกรณ์เริ่มมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยเมื่อพิจารณารูปที่ 4.16 (ก) และ (ค) จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของกรดอินทรีย์ระเหยส่งผลต่อพีเอชในถังปฏิกรณ์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า หากปริมาณกรดอินทรีย์สูงขึ้นจนทำให้ค่าพีเอชลดลงซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (ก) อัลคาลินิตี (ข) และกรดอินทรีย์ระเหย (ค) ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน โดย \downarrow แสดงการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 ก./ล. ทุกถังปฏิกรณ์ และ \downarrow แสดงการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 10 ก. ลงในถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L เพื่อควบคุมระดับพีเอชที่ลดลงในช่วงแรกของการเดินระบบ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ค่าอัลคาลินิตี ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L มีความใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากปริมาณสารอินทรีย์(ของแข็งระเหย)ที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์เพื่อเดินระบบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L จะมีต่ำกว่าถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L ในช่วงแรก รวมทั้งมีค่าอัลคาลินิตี และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงกว่าถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์สูงที่สุด

ค่าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี (VFA/ALK) มักถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการบ่งบอกเสถียรภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ โดยทั่วไปอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตีที่เหมาะสมควรมีน้อยกว่า 0.4 สำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นของเหลวในสภาวะไร้อากาศ หากค่าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตีอยู่ระหว่าง 0.4 – 0.8 อาจเกิดความไม่เสถียรขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (Ehimen และคณะ, 2011) นอกจากนี้ถ้าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตีมีค่าสูงกว่า 0.8 จะเกิดความไม่เสถียรในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ หากมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553) เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตีในถังปฏิกรณ์ทั้งสามถัง พบว่าในช่วง 8 วันแรกของการเดินระบบถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L มีอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตีอยู่ในช่วง 0.74 – 0.47 และมีค่าน้อยกว่า 0.4 ในวันที่ 12 ของการเดินระบบ สำหรับอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตีที่มีค่าสูงกว่า 0.6 จะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไป (Brown และ Li, 2013) โดยถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L มีค่าสัดส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตีสูงกว่า 0.8 ในช่วง วันที่ 3 – 6 ของการเดินระบบ และมีค่าน้อยกว่า 0.4 เมื่อวันที่ 19 ของการเดินระบบ จากค่าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตีในทุกถังปฏิกรณ์แสดงดังรูปที่ 4.17 พบว่าเกิดความไม่เสถียรของการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์สูงจึงส่งผลให้เกิดกรดอินทรีย์ในปริมาณสูง



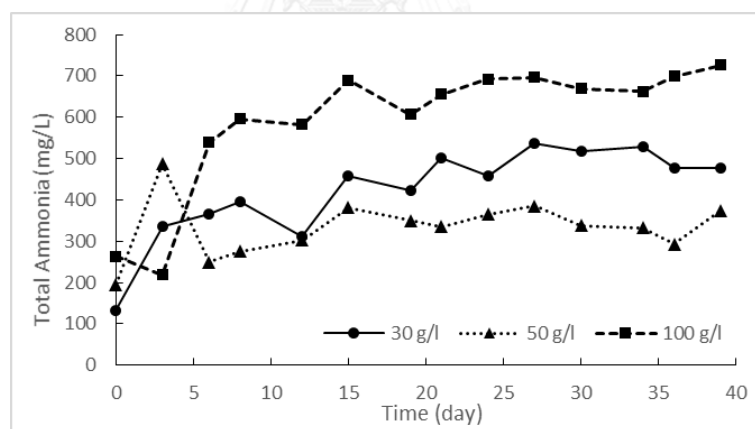
รูปที่ 4.17 อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน หากค่าอัตราส่วนเกิน — แสดงถึงความไม่เสถียรของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และค่าอัตราส่วนน้อยกว่า - - - แสดงถึงเสถียรภาพที่เหมาะสมกับการผลิตก๊าซชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและไนเตรต

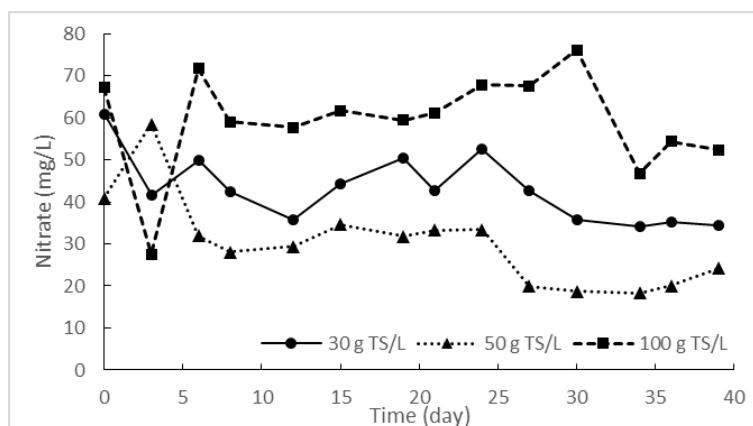
ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L 50 g TS/L และ 100 g TS/L ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 133.44 – 535.98 195.67 – 487.80 และ 219.17 – 726.89 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าแอมโมเนียมีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการเดินระบบ โดยแอมโมเนียเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนหรือสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้นระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์มากกว่าแอมโมเนียมไอออน โดยรูปแบบของแอมโมเนียจะมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช(ดังรูปที่ 2.2) กล่าวคือเมื่อพีเอชมีค่าสูงกว่า 7 ปริมาณแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียอิสระจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งอยู่ในรูปแอมโมเนียอิสระทั้งหมดเมื่อพีเอชเท่ากับ 9.27 เมื่อพิจารณาปริมาณแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชจะพบว่าแอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน โดยเมื่อคำนวณปริมาณแอมโมเนียอิสระจากปริมาณแอมโมเนียรวมที่วัดได้สูงสุดของแต่ละถังปฏิกรณ์ (ใช้สมการ (5) ในหัวข้อ 2.9) พบว่า ปริมาณแอมโมเนียอิสระในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L 50 g TS/L และ 100 g TS/L เท่ากับ 15.18 1.11 และ

20.59 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณแอมโมเนียรวม โดยปริมาณแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเดินระบบยังไม่สูงพอที่จะส่งผลยับยั้งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ โดยระดับแอมโมเนียที่เริ่มส่งผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนจะอยู่ในช่วง 1,500 – 3,000 มก./ล. (Rajagopal และคณะ, 2013)

ปริมาณไนเตรตในถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L 50 g TS/L และ 100 g TS/L ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 34.07 – 60.79 18.38 – 58.49 และ 27.56 – 76.09 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าปริมาณไนเตรตในแต่ละถังปฏิกรณ์มีปริมาณลดลงเมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ ซึ่งการลดลงของไนเตรตในถังปฏิกรณ์อาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์ดีไนทริฟายอิง (Denitrifying Bacteria) ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งอาจเกิดได้ในสภาวะไร้อากาศหรือสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอิสระในระบบ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ดังกล่าวจะใช้ไนเตรต (NO_3) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยมีตะกอนอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์เป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon source) และเป็นตัวให้อิเล็กตรอน



รูปที่ 4.18 ปริมาณแอมโมเนียระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน

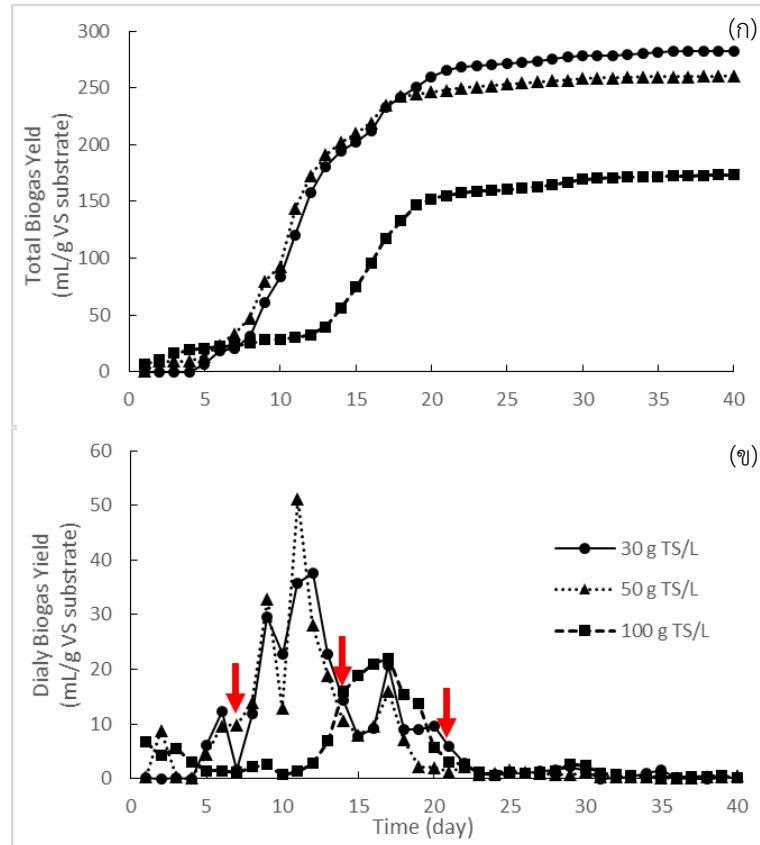


รูปที่ 4.19 ปริมาณไนเตรตระหว่างเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขึ้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน

ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L 50 g TS/L และ 100 g TS/L เท่ากับ 31.05 34.63 และ 44.95 ล. ตามลำดับ จากปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจะเห็นว่าถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด เนื่องจากตะกอนอินทรีย์ที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์มีความเข้มข้นสูงสุดเมื่อเทียบกับทุกถังปฏิกรณ์ แต่เมื่อนำปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของแต่ละถังปฏิกรณ์มาคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas yield) พบว่ามีผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 282.21 , 260.96 และ 173.50 มล./ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น หรือ 137.45 146.02 และ 132.86 มล. มีเทน/ก. ซีไอตีรวมเริ่มต้นของตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ ตามลำดับ จะเห็นว่าถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L มีผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดไม่ใช่ถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L ซึ่งมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด เนื่องจากในถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L มีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงส่งผลให้ค่าพีเอชต่ำกว่าช่วงการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนทำให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพต่ำกว่าถังปฏิกรณ์อื่น รวมถึงค่าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้ (แสดงดังรูปที่ 4.17) ในช่วง 20 วันแรกของการเดินระบบบ่งชี้ถึงเสถียรภาพในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ต่ำของถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L สำหรับสัดส่วนของมีเทนเฉลี่ยในก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L , 50 g TS/L และ 100 g TS/L เท่ากับ ร้อยละ 29.58 42.81 และ 26.90 ตามลำดับ เมื่อนำสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพที่วัดได้มาคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนสะสมพบว่า ถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L , 50 g TS/L และ 100 g TS/L มีปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเท่ากับ 9.18 , 14.83 และ

12.09 ล. ตามลำดับ โดยมีผลผลิตก๊าซมีเทน (Methane yield) เท่ากับ 83.48 , 111.72 และ 46.67 มล. มีเทน/ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น หรือ 40.66 62.51 และ 33.32 มล. มีเทน/ก. ซีโอดีรวม เริ่มต้นของตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ ตามลำดับ โดยผลผลิตก๊าซชีวภาพสะสมและผลผลิตก๊าซชีวภาพรายวันในแต่ละถังปฏิกรณ์แสดงดังรูปที่ 4.20



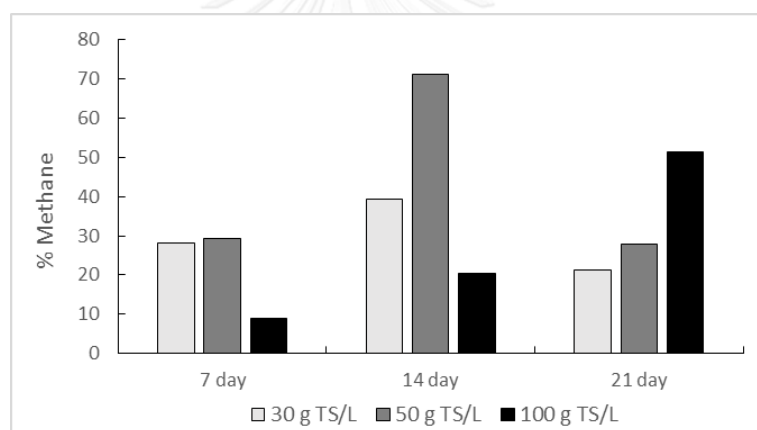
รูปที่ 4.20 ผลผลิตก๊าซชีวภาพสะสม (ก) และผลผลิตก๊าซชีวภาพรายวัน (ข) ของการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน โดย ↓ แสดงการวัดองค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 4.11 ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการบ้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน

ถังปฏิกรณ์	30 g TS/L	50 g TS/L	100 g TS/L
ก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	31049	34634	44947
ผลผลิตก๊าซชีวภาพ (มล./ก.ของแข็งระเหย)	282.21	260.96	173.50
ก๊าซมีเทนสะสม (มล.)	9184.29	14827.77	12090.79
ผลผลิตก๊าซมีเทน (มล. มีเทน/ก.ของแข็งระเหย)	83.48	111.72	46.67
ร้อยละมีเทนเฉลี่ยในก๊าซชีวภาพ	29.58	42.81	26.90

เมื่อพิจารณาผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพแสดงดังตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบกับผลผลิตและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพของชุดทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ 4:1 ในการทดลองที่ 2.2 (ดังตารางที่ 4.8) ซึ่งใช้สัดส่วนตะกอนต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เดียวกัน พบว่าผลผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทน รวมทั้งสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L 50 g TS/L และ 100 g TS/L ต่ำกว่าในชุดทดลอง 4:1 ของการทดลองที่ 2.2 อาจเป็นผลมาจากในถังปฏิกรณ์มีปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าในขวดเข้้มมาก จึงทำให้ในช่วงแรกของการเดินระบบกรดอินทรีย์ระเหยสูง เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2553) ส่งผลให้ในช่วงแรกของการเดินระบบมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูง ทำให้ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในช่วงแรกของการเดินระบบ โดยถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L มีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.6 ซึ่งทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนลดลงอย่างมาก (Kwietniewska และ Tys, 2014) ส่วนถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L มีค่าพีเอชในช่วงแรกต่ำกว่า 6.2 ซึ่งทำให้ไม่เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (Gerardi, 2003) และเมื่อพิจารณาเสถียรภาพของถังปฏิกรณ์ทั้งสามถังโดยใช้ค่าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้ของถังปฏิกรณ์เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาพบว่า ช่วงแรกของการเดินระบบของถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L อาจมีความไม่เสถียรเกิดขึ้น และเกิดความไม่เสถียรขึ้นในถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L

ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพ โดยการส่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพในวันที่ 7 14 และ 21 ของการเดินระบบ ซึ่งสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 4.21 นอกจากนี้ในแต่ละครั้งของการสุ่มตัวอย่างก๊าซชีวภาพ เพื่อส่งวิเคราะห์แล้ว ยังทำการทดสอบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพด้วย สำหรับผลทดสอบการจุดติดไฟ พบว่า ก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ 30 g TS/L และ 50 g TS/L จุดติดไฟได้ทั้ง 3 ครั้งของการเก็บตัวอย่าง ก๊าซชีวภาพเพื่อส่งวิเคราะห์ ส่วนก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ 100 g TS/L ไม่สามารถจุดติดไฟได้ในการ เก็บตัวอย่างก๊าซครั้งแรก แต่สามารถจุดติดไฟได้ในการสุ่มเก็บตัวอย่างก๊าซครั้งที่ 2 และ 3 ซึ่งผลการ วิเคราะห์องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพและผลทดสอบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพแสดงดังตาราง ที่ 4.12



รูปที่ 4.21 องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ ไร่อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด เริ่มต้นแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.12 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพและผลทดสอบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพจากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน

ถังปฏิกรณ์	ตัวอย่างก๊าซวันที่ 7		ตัวอย่างก๊าซวันที่ 14		ตัวอย่างก๊าซวันที่ 21	
	ร้อยละมีเทน	การจุดติดไฟ	ร้อยละมีเทน	การจุดติดไฟ	ร้อยละมีเทน	การจุดติดไฟ
30 g TS/L	28.16	ติดไฟ	39.47	ติดไฟ	21.12	ติดไฟ
50 g TS/L	29.31	ติดไฟ	71.32	ติดไฟ	27.81	ติดไฟ
100 g TS/L	8.79	ไม่ติดไฟ	20.44	ติดไฟ	51.47	ติดไฟ

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ รวมถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศในการทดลองที่ 3.1 พบว่าของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นความเข้มข้นเท่ากับ 50 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. มีความเหมาะสมในการใช้ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนและมีสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) ความเข้มข้น 50 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพในการทดลองต่อไป

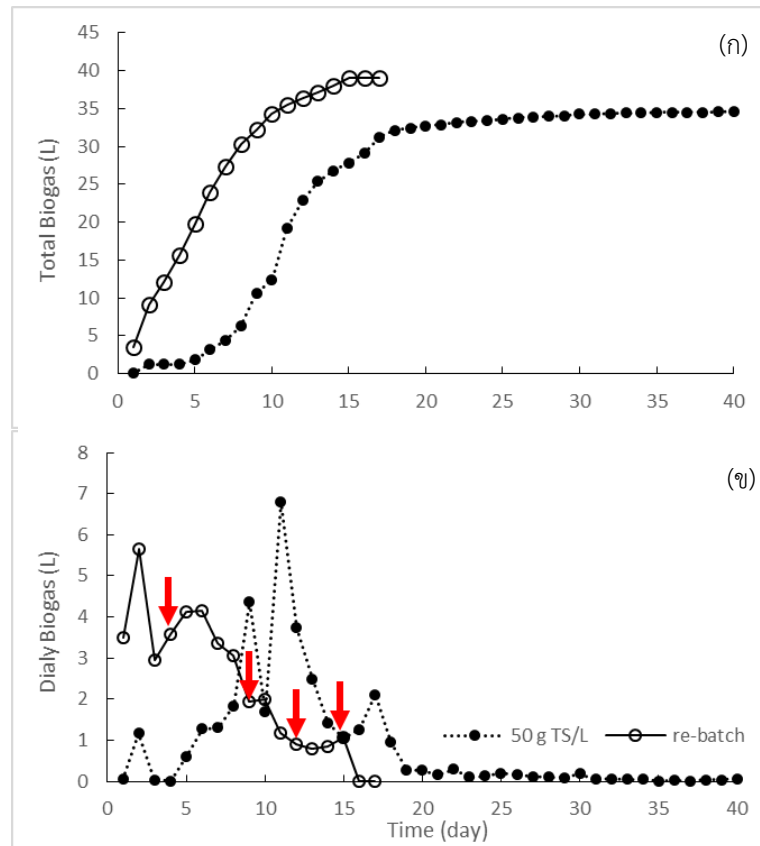
4.3.2 ผลของเวลากักพักต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการเลือกความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้น 50 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้ โดยในการทดลองนี้จะใช้ถังปฏิกรณ์ต่อจากการทดลองที่ 3.1 (ถังปฏิกรณ์ re-batch) โดยถือว่าของเหลวที่อยู่ในถังปฏิกรณ์เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพในการทดลองนี้ การป้อนตะกอนอินทรีย์เข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นแบบแบตช์ ควบคุมให้สัดส่วนของตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 4 ต่อ 1 โดยการทดลองจะสิ้นสุดเมื่อก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมากหรือไม่มีก๊าซเกิดขึ้น เพื่อหาเวลากักพักจะพิจารณาเปรียบเทียบผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ รวมทั้งพารามิเตอร์ต่างๆ กับผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L จากการทดลองที่ 3.1 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในถังปฏิกรณ์มีรายละเอียดดังนี้

ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการบ้อนตะกอนอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 50 ก./ล. แบบแบตช์ โดยเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ re-batch จะสิ้นสุดลงในวันที่ 17 หลังจากเริ่มเดินระบบ เนื่องจากไม่สามารถตรวจวัดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบได้ตั้งแต่วันที่ 16 ของการเดินระบบ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจากถังปฏิกรณ์ re-batch กับถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L พบว่าก๊าซชีวภาพที่วัดได้จากถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L ในวันที่ 19 ของการเดินระบบมีปริมาณน้อยมาก แสดงดังรูปที่ 4.22 (ข) ซึ่งจะเห็นว่าถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นปริมาณมากในช่วง 18 วันแรกของการเดินระบบ และถังปฏิกรณ์ re-batch มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในช่วง 15 วันแรกของการเดินระบบ จึงสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เก็บที่เท่ากับ 15 วัน เหมาะสมกับการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบตช์ในงานวิจัยนี้ เมื่อใช้ตะกอนซีปลา (Feces) ซึ่งเป็นตะกอนอินทรีย์ของเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำ ความเข้มข้นเท่ากับ 50 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ re-batch เท่ากับ 39.08 ล. ซึ่งมากกว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L (ดังรูปที่ 4.22 (ข)) เมื่อคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas yield) จากปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของแต่ละถังปฏิกรณ์ พบว่าถังปฏิกรณ์ re-batch มีผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 138.23 มล./ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น หรือ 174.06 มล. มีเทน/ก. ซีไอตีรวมเริ่มต้นของตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับสัดส่วนของมีเทนเฉลี่ยในก๊าซชีวภาพเท่ากับ ร้อยละ 47.42 เมื่อคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนสะสมจากสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพพบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเท่ากับ 18.53 ล. และมีผลผลิตก๊าซมีเทน (Methane yield) เท่ากับ 138.23 มล. มีเทน/ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น หรือ 82.53 มล. มีเทน/ก. ซีไอตีรวมเริ่มต้นของตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ ตามลำดับ จากตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าผลผลิตและองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ re-batch สูงกว่าถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L โดยอาจเป็นผลจากการปรับตัวของจุลินทรีย์ให้มีความคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมและวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพตั้งแต่ในการทดลองเดินระบบการทดลองที่ 3.1 ทำให้การเดินระบบของการทดลองนี้จึงไม่มีช่วงปรับตัวของจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงขึ้น



รูปที่ 4.22 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (ก) และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นรายวัน (ข) จากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขึ้นตอนเดียว โดย \downarrow แสดงการวัดองค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ re-batch

ตารางที่ 4.13 ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ re-batch และ 50 g TS/L

ถังปฏิกรณ์	re-batch	50 g TS/L
ก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	39077	34634
ผลผลิตก๊าซชีวภาพ (มล./ก.ของแข็งระเหย)	291.51	260.96
ก๊าซมีเทนสะสม (มล.)	18530.31	14826.82
ผลผลิตก๊าซมีเทน (มล. มีเทน/ก.ของแข็งระเหย)	138.23	111.72
ร้อยละมีเทนเฉลี่ยในก๊าซชีวภาพ	47.42	42.81

ในระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะวัดองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพโดยการส่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1 เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพในวันที่ 4 9 12 และ 15 ของการเดินระบบ นอกจากนี้ในแต่ละครั้งของการสุ่มตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อส่งวิเคราะห์แล้ว ยังทำการทดสอบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพด้วย โดยผลทดสอบการจุดติดไฟพบว่า ก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ re-batch จุดติดไฟได้ทุกครั้งของการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อส่งวิเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพและผลทดสอบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพและผลทดสอบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ re-batch

ตัวอย่างก๊าซชีวภาพ		ถังปฏิกรณ์ re-batch
วันที่ 2	ร้อยละมีเทน	ไม่ได้วิเคราะห์
	การจุดติดไฟ	ไม่ติดไฟ
วันที่ 4	ร้อยละมีเทน	38.10
	การจุดติดไฟ	ติดไฟ
วันที่ 9	ร้อยละมีเทน	88.21
	การจุดติดไฟ	ติดไฟ
วันที่ 12	ร้อยละมีเทน	33.21
	การจุดติดไฟ	ติดไฟ
วันที่ 15	ร้อยละมีเทน	30.17
	การจุดติดไฟ	ติดไฟ

เมื่อเปรียบเทียบเวลากักพักที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าเวลากักพักของงานวิจัยนี้เท่ากับในงานวิจัยของ Mirzoyan และคณะ (2008) และใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Luo และคณะ (2013) ซึ่งมีเวลากักพักทางชลศาสตร์เท่ากับ 15 และ 20 วัน ตามลำดับ โดยมีผลผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่า โดยผลผลิตมีเทนในงานของ Mirzoyan และคณะ (2008) และ Luo และคณะ (2013) เท่ากับ 0.02 และ 0.013-0.022 ล. มีเทน/ก. ซีไอดีรวมเริ่มต้นของตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ตามลำดับ

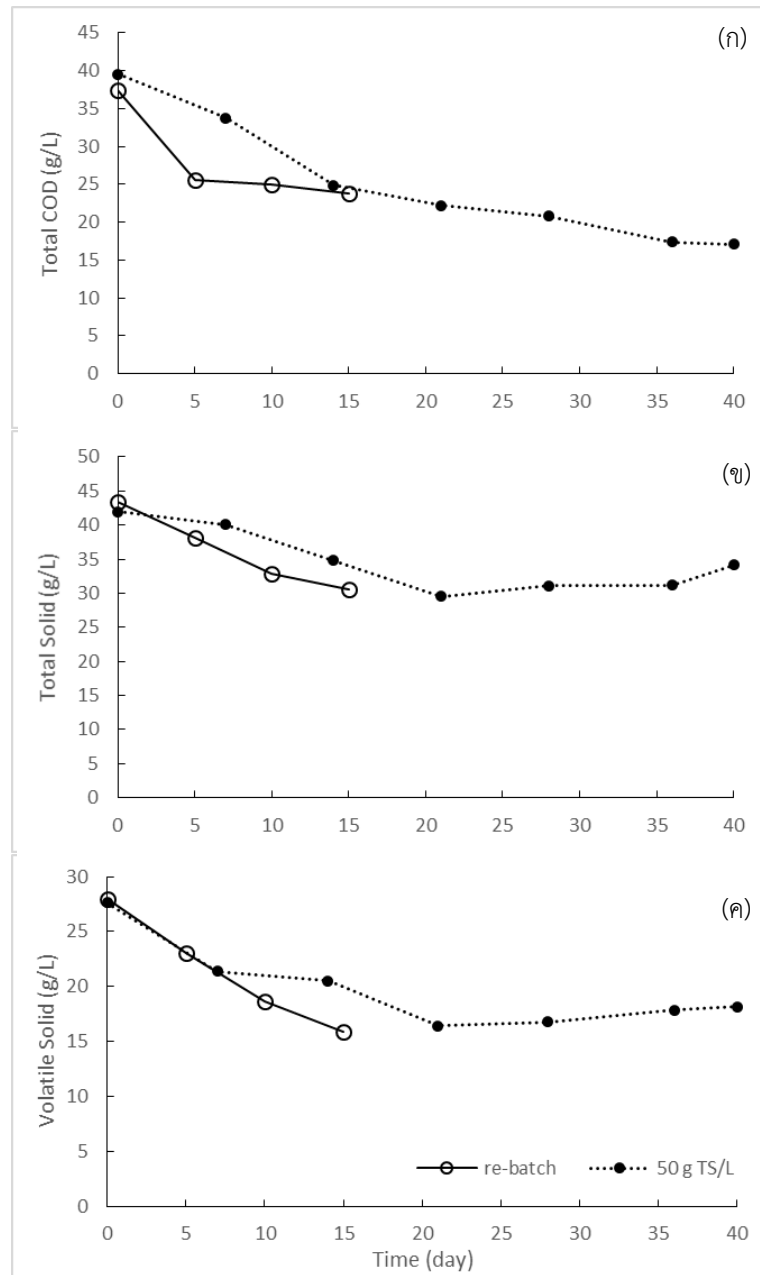
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย

ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยในถังปฏิกรณ์ re-batch เมื่อเริ่มต้นการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 37.42 43.43 และ 27.93 ก./ล. ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการเดินระบบมีค่าเท่ากับ 23.80 , 30.62 และ 15.93 ก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 4.23 จะเห็นว่าซีโอดีรวมในถังปฏิกรณ์ re-batch เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินระบบมีปริมาณไม่แตกต่างกับปริมาณซีโอดีในถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L ในช่วงเวลาเดียวกันของการเดินระบบ สำหรับของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยในถังปฏิกรณ์ re-batch เมื่อเริ่มต้นการเดินระบบมีปริมาณไม่แตกต่างจากถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L ในการทดลองที่ 3.1 แต่เมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยมีปริมาณลดลงมากกว่าในถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยในถังปฏิกรณ์ re-batch แสดงดังตารางที่ 4.15

ปริมาณซีโอดีรวมของระบบลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นผลมาจากซีโอดีที่อยู่ในสารอินทรีย์ ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย และเมื่อพิจารณาปริมาณซีโอดีรวมในระบบรวมกับการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ก๊าซชีวภาพและแอมโมเนียในระบบมีปริมาณสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพตามสมการของ Buswell

ตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยในถังปฏิกรณ์ re-batch เทียบกับถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L

ถังปฏิกรณ์	ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)		
	ซีโอดีรวม	ของแข็งทั้งหมด	ของแข็งระเหย
Re-batch	36.41	29.49	42.97
50 g TS/L	56.66	18.71	34.36



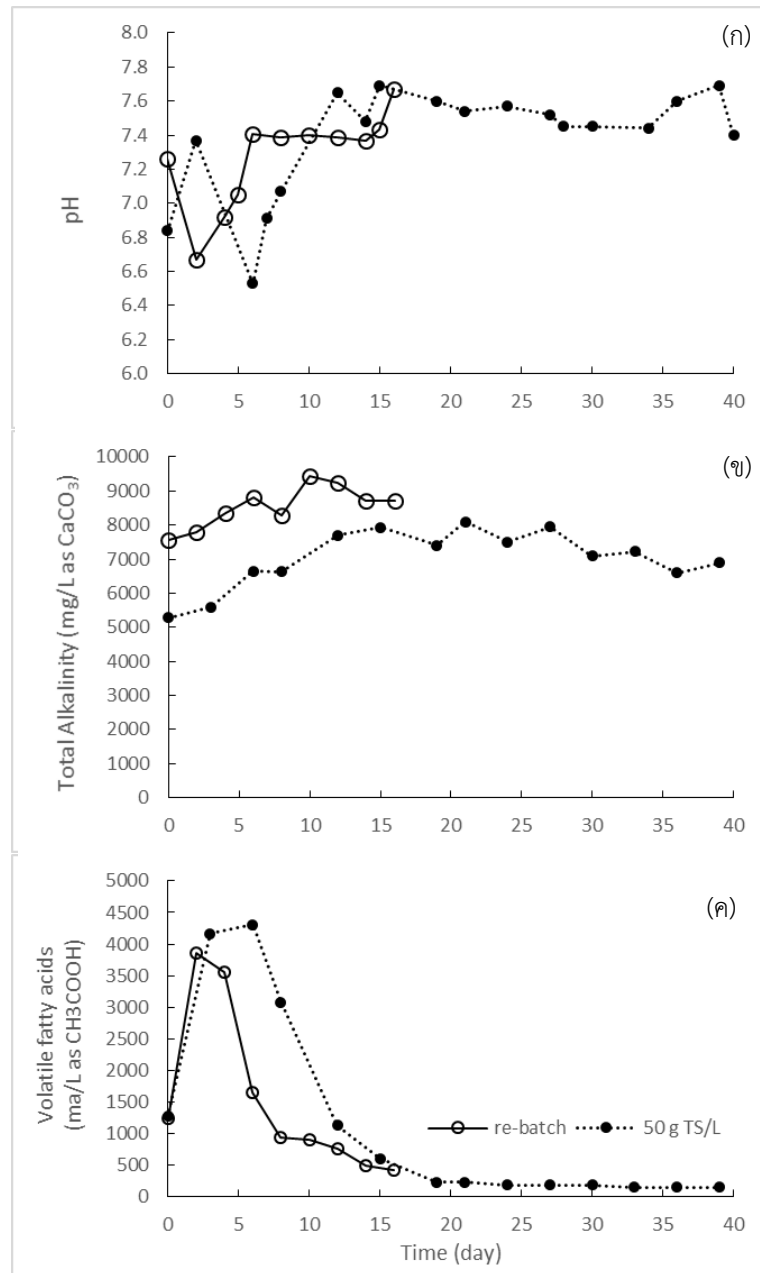
รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีรวม(ก) ของแข็งทั้งหมด(ข) และของแข็งระเหย(ค) ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว

ความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหย

ความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอชในถังปฏิกรณ์ re-batch ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าอยู่ในช่วง 6.67 – 7.67 ซึ่งพีเอชอยู่ในช่วงการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (6.50 - 7.20) (Appels, 2008) โดยในวันที่ 2 ของการเดินระบบพีเอชมีค่าต่ำสุด หลังจากนั้นพีเอชเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเริ่มคงที่ในวันที่ 6 ของการเดินระบบ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มผลของกรดอินทรีย์ระเหย และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพีเอชกับถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L แสดงดังรูปที่ 4.24 (ก) จะเห็นว่าค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ re-batch คงที่เร็วกว่าในถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L

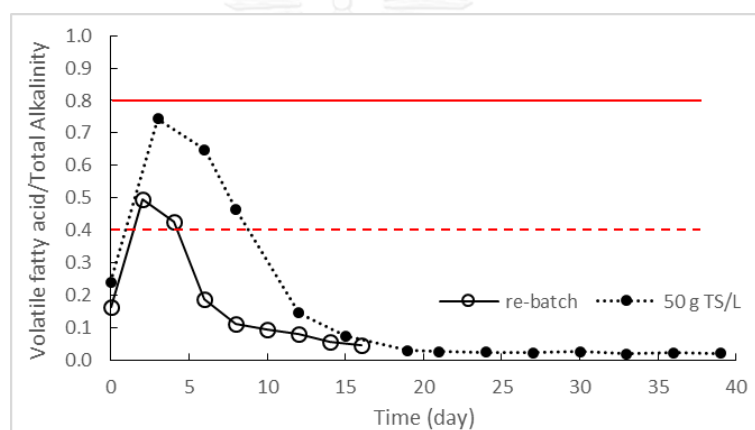
ค่าอัลคาลินิตีบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช โดยผลการวิเคราะห์อัลคาลินิตีในถังปฏิกรณ์ re-batch ในระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าอยู่ในช่วง 7,550 – 9,450 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ จากรูปที่ 4.24 (ข) จะเห็นว่าอัลคาลินิตีของถังปฏิกรณ์ re-batch มีค่ามากกว่าถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยของถังปฏิกรณ์ re-batch ในระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาณอยู่ในช่วง 3,862.5 - 225 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก ซึ่งกรดอินทรีย์ระเหยเป็นสารตัวกลางที่เกิดระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ถูกผลิตในขั้นตอนการหมักและสร้างกรดอะซิติกโดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด และเป็นสารตั้งต้นที่จุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนนำไปใช้ผลิตก๊าซมีเทน ทั้งนี้ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยส่งผลต่อค่าพีเอช เห็นได้จากรูปที่ 4.24 (ก) และ (ค) เมื่อปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มสูงขึ้น พีเอชมีค่าลดลง และเมื่อปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยลดลง พีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยระหว่างถังปฏิกรณ์ re-batch กับถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L แสดงดังรูปที่ 4.24 (ค) จะเห็นว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในถังปฏิกรณ์ re-batch ลดลงเร็วกว่าในถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช(ก) อัลคาลินิตี(ข) และกรดอินทรีย์ระเหย(ค) ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว

อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้ (VFA/ALK) มักถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการบอกถึงเสถียรภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ โดยอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศควรน้อยกว่า 0.4 หากค่าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้อยู่ระหว่าง 0.4 – 0.8 อาจมีความไม่เสถียรเกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (Ehimen และคณะ, 2011) เมื่อกำหนดค่าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้ในถังปฏิกรณ์ re-batch แสดงดังรูปที่ 4.25 พบว่าในช่วง 4 วันแรกของการเดินระบบอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้อยู่ในช่วง 0.49 – 0.42 และมีค่าน้อยกว่า 0.4 ตั้งแต่วันที่ 6 ของการเดินระบบ ซึ่งจากค่าอัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้แสดงให้เห็นว่าในถังปฏิกรณ์ re-batch มีเสถียรภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ



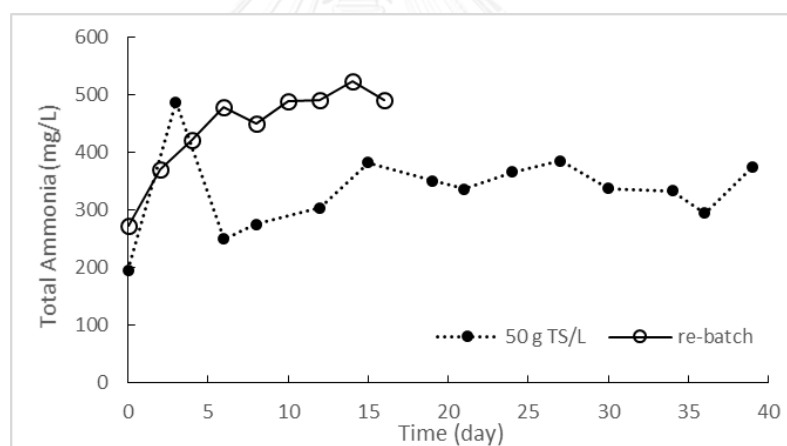
รูปที่ 4.25 อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่ออัลคาลินิตี้ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวหากค่าอัตราส่วนเกิน ———— แสดงถึงความไม่เสถียรของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และค่าอัตราส่วนน้อยกว่า - - - - - แสดงถึงเสถียรภาพที่เหมาะสมกับการผลิตก๊าซชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและไนเตรต

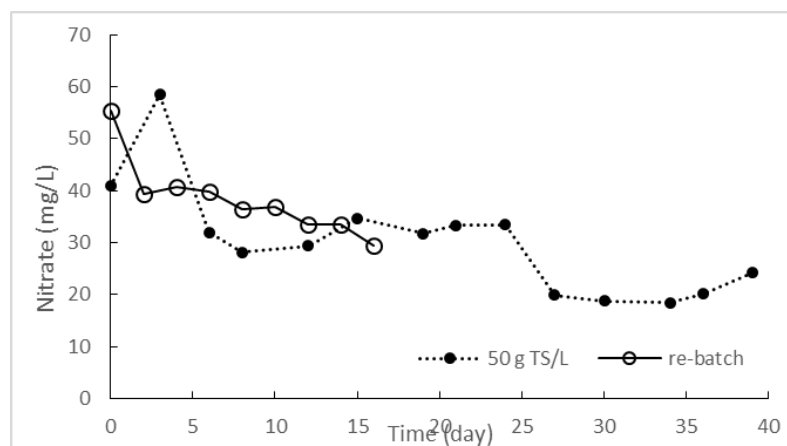
แอมโมเนียในถังปฏิกรณ์ re-batch ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 273.31 – 522.63 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 4.26 จะเห็นว่าในระหว่างการเดินระบบแอมโมเนียมีปริมาณเพิ่มขึ้น และมีปริมาณสูงกว่าแอมโมเนียที่วัดได้จากถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L โดยปริมาณแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพภาพเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการย่อยสลายโปรตีน

หรือสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งแอมโมเนียที่ถูกปล่อยออกมาจะมี 2 รูปแบบดังที่ได้กล่าวในการทดลองที่ 3.1 เมื่อพิจารณาปริมาณแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช โดยคำนวณปริมาณแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ตามสมการ (5) ในหัวข้อ 2.9 พบว่ามีแอมโมเนียอิสระในถังปฏิกรณ์ re-batch เท่ากับ 9.80 มก./ล. เมื่อเทียบกับปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดจะเห็นว่าแอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน โดยแอมโมเนียรวมที่วัดได้จากถังปฏิกรณ์อยู่ในช่วง 200 – 1000 มก./ล. ซึ่งอยู่ในระดับที่ยังไม่ส่งผลยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (Rajagopal และคณะ, 2013)

ปริมาณไนเตรตในถังปฏิกรณ์ re-batch ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 29.32 – 55.32 มก./ล. จากรูป 4.27 จะเห็นว่าไนเตรตมีปริมาณลดลงเมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการเกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (Denitrification) ในระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรตในถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L จากการทดลองที่ 3.1



รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรดระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดทิ้งออกจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ศักยภาพและผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักตะกอนอินทรีย์ 3 ชนิด

การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเทคนิคบีเอ็มพี โดยใช้ตะกอนอินทรีย์ 3 ชนิดซึ่งเกิดจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) ตะกอนขี้ปลา (Feces) ที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาแบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน และตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (Sludge) เป็นวัตถุดิบตั้งต้น โดยใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดไร้อากาศแบบยูเอเอสพีของบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าการหมักตะกอนขี้ปลา (Feces) ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนสูงสุดเท่ากับ 347.65 ± 32.95 มล./ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น และ 208.59 ± 19.77 มล. มีเทน/ก.ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น ตามลำดับ นอกจากนี้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่ทำให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนอินทรีย์อีก 2 ชนิด นอกจากนี้ Feces ยังมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพเนื่องด้วยในอนาคตการเลี้ยงสัตว์น้ำมีแนวโน้มที่จะปรับเปลี่ยนเป็นระบบหมุนเวียนน้ำสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งจะมีระบบแยกตะกอนอินทรีย์ออกจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำตลอดเวลา สามารถนำตะกอนมาใช้ป้อนระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างต่อเนื่อง

2. สัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้จะทำการแปรค่าเพื่อหาสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้ทำการทดสอบด้วยเทคนิคบีเอ็มพี ซึ่งจะแปรค่าสัดส่วน

ตะกอนต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 1:4 2:3 1:1 3:2 และ 4:1 สำหรับผลการวิเคราะห์พบว่า ในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่า 3:2 จะเกิดผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์อื่น (1:4 2:3 4:1 และ 1:1) แต่เนื่องด้วยผลการทดสอบทางสถิติพบว่า ผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนจากการใช้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 3:2 และ 4:1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จึงเลือกใช้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 4:1 สำหรับการทดลองในส่วนต่อไป เนื่องจากใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่น้อยกว่า

3. ผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

การทดลองนี้นำตะกอนขี้ปลา (Feces) มาแปรค่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด 3 ความเข้มข้น ได้แก่ 30 50 และ 100 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยป้อนตะกอนอินทรีย์เข้าถังปฏิกรณ์แบบแบตช์ ใช้เวลาเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งสิ้น 40 วัน เพื่อเลือกความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ จากผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้ตะกอนอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 30 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 282.21 มล./ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น แต่ผลผลิตก๊าซมีเทนจะสูงสุดเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 50 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. ป้อนเข้าระบบ โดยมีผลผลิตมีเทนเท่ากับ 111.72 มล. มีเทน/ก. ของแข็ง นอกจากนี้ยังเกิดการยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อป้อนตะกอนอินทรีย์ความเข้มข้นเท่ากับ 100 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. อาจเป็นผลมาจากการดอินทรีย์ระเหยที่ปริมาณสูง จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นที่เท่ากับ 50 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์เมื่อใช้ตะกอนขี้ปลา (Feces) เป็นวัตถุดิบตั้งต้น

4. ผลของเวลากักพักต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

การศึกษาเวลากักพัก โดยใช้ถังปฏิกรณ์ต่อจากการทดลองผลของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยถือว่าของเหลวที่อยู่ในถังปฏิกรณ์เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพในการทดลองนี้ เมื่อทำการป้อนตะกอนอินทรีย์ความ

เข้มข้น 50 ก. ของแข็งทั้งหมด/ล. เข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบคทีเรีย โดยควบคุมให้สัดส่วนของตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 4 ต่อ 1 ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่กากที่ เหมาะสมกับการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบแบคทีเรียในงานวิจัยนี้เท่ากับ 15 วัน โดยมีผลผลิตก๊าซชีวภาพและผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 291.51 มล./ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของ วัตถุดิบตั้งต้น และ 138.23 มล. มีเทน/ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้นของวัตถุดิบตั้งต้น ซึ่ง มากกว่าผลผลิตก๊าซชีวภาพและผลผลิตก๊าซมีเทนจากการทดลองการหนานี้ ซึ่งอาจเป็นผลมา จากหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่มีช่วงการปรับตัว เนื่องจากเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์มี การปรับตัวมากแล้วจากการทดลองที่ 3.1

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดทิ้งออกจากระบบ การเลี้ยงสัตว์น้ำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา งานวิจัยต่อไป

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นของเสีย ในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ ร่วมกับระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยสามารถนำตะกอนอินทรีย์ของเสียจากการ เลี้ยงสัตว์น้ำที่รวบรวมได้ในแต่ละวันป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
2. ศึกษาผลของการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นของเสียในระบบ การเลี้ยงสัตว์น้ำ ด้วยถังปฏิกรณ์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อหาถังปฏิกรณ์ที่เหมาะสมในการใช้การเดินระบบ ผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม
4. ศึกษาการหมักตะกอนอินทรีย์ร่วมกับของเสียชนิดอื่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

Amirkolaie, A. K. 2005. Dietary carbohydrate and faecal waste in the Nile tilapia (Oreochromis niloticus L.). PhD. Thesis, Department of Animal Sciences, Wageningen University.

APHA, AWWA and WPCF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. Washington DC: American Public Health Association.

Appels, L., J. Baeyens, J. Degreève and R. Dewil. 2008. "Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge." Progress in Energy and Combustion Science 34(6): 755-781.

Bower, C. E. and T. Holm - Hansen. 1980. "A salicylate-hypochlorite method for determining ammonia in seawater." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37: 794-798.

Brown, D. and Y. Li. 2013. "Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production." Bioresource Technology 127: 275-280.

Brune, D. E., G. Schwartz, A. G. Eversole, J. A. Collier and T. E. Schwedler. 2003. "Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems." Aquacultural Engineering 28: 65-86.

Campo, L. M. d., P. Ibarra, X. Gutierrez and H. Takle. 2010. " Utilization of sludge from recirculation aquaculture systems." Norway, Nofima main.

Christensen, T. H. 2011. Solid waste technology & management. Chichester, West Sussex, UK: Wiley.

Crab, R., T. Defoirdt, P. Bossier and W. Verstraete. 2012. "Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges." Aquaculture 356: 351-356.

De Schryver, P., R. Crab, T. Defoirdt, N. Boon and W. Verstraete. 2008. "The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture." Aquaculture 277(3-4): 125-137.

Dilallo, R. and E. A. Albertson. 1961. "Volatile acids by direct titration." Water Pollution Control Federation 33: 356-365.

Ehimen, E. A., Z. F. Sun, C. G. Carrington, E. J. Birch and J. J. Eaton-Rye. 2011. "Anaerobic digestion of microalgae residues resulting from the biodiesel production process." Applied Energy 88(10): 3454-3463.

Gebauer, R. 2004. "Mesophilic anaerobic treatment of sludge from saline fish farm effluents with biogas production." Bioresource Technology 93(2): 155-167.

Gebauer, R. and B. Eikebrokk. 2006. "Mesophilic anaerobic treatment of sludge from salmon smolt hatching." Bioresource Technology 97(18): 2389-2401.

Gerardi, M. H. 2003. The microbiology of anaerobic digesters. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.

González-Fernández, C. and P. A. García-Encina. 2009. "Impact of substrate to inoculum ratio in anaerobic digestion of swine slurry." Biomass and Bioenergy 33(8): 1065-1069.

Hargreaves, J. A. 2006. "Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture." Aquacultural Engineering 34(3): 344-363.

Kawai, M., N. Nagao, N. Tajima, C. Niwa, T. Matsuyama and T. Toda. 2014. "The effect of the labile organic fraction in food waste and the substrate/inoculum ratio on anaerobic digestion for a reliable methane yield." Bioresource Technology 157: 174-180.

Kwietniewska, E. and J. Tys. 2014. "Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation." Renewable and Sustainable Energy Reviews 34: 491-500.

Lanari, D. and C. Franci. 1998. "Biogas production from solid wastes removed from fish farm effluents." Aquatic Living Resources 11(4): 289-295.

Luo, G.-z., P. Li, H.-x. Tan, J. Du and W.-y. Liang. 2013. "The start-up and saline adaptation of mesophilic anaerobic sequencing batch reactor treating sludge from recirculating aquaculture systems." Aquacultural Engineering 54: 9-15.

Mirzoyan, N. and A. Gross. 2013. "Use of UASB reactors for brackish aquaculture sludge digestion under different conditions." Water Research 47(8): 2843-2850.

Mirzoyan, N., S. Parnes, A. Singer, Y. Tal, K. Sowers and A. Gross. 2008. "Quality of brackish aquaculture sludge and its suitability for anaerobic digestion and methane

production in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor." Aquaculture 279 (1-4): 35-41.

Mirzoyan, N., Y. Tal and A. Gross. 2010. "Anaerobic digestion of sludge from intensive recirculating aquaculture systems: Review." Aquaculture 306(1-4): 1-6.

Moody, L., R. Burns, W. Wu-Haan and R. Spajie. 2009. "Use of Biochemical Methane Potential (BMP) Assays for Predicting and Enhancing Anaerobic Digester Performance." In; 44 th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture: 930-934.

Naylor, R. L., R. J. Goldberg, J. H. Primavera, N. Kautsky, M. C. M. Beveridge, J. Clay, . . . M. Troell. 2000. "Effect of aquaculture on world fish supplies." Nature 405: 1017-1024.

Rajagopal, R., D. I. Masse and G. Singh. 2013. "A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia." Bioresource Technology 143: 632-641.

Timmons, M. B., J. M. Ebeling, F. W. Wheaton, S. T. Summerfelt and Vinci Brian J. 2002. Recirculating Aquaculture System. New York: Cayuga Aqua Ventures.

van Rijn, J. 2013. "Waste treatment in recirculating aquaculture systems." Aquacultural Engineering 53: 49-56.

Wang, M. H., N. J. Jang, S. H. Hyum and I. S. Kim. 2004. "Anaerobic bio-hydrogen production from ethanol fermentation: the role of pH." Biotechnology 111(3): 297-309.

Zhou, Y., Z. Zhang, T. Nakamoto, Y. Li, Y. Yang, M. Utsumi and N. Sugiura. 2011. "Influence of substrate-to-inoculum ratio on the batch anaerobic digestion of bean curd refuse-okara under mesophilic conditions." Biomass and Bioenergy 35(7): 3251-3256.

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.

ประสิทธิ์ ศรีนคร, ขวัญตา ตันติกำธน, อรรถวิโรจน์ เขียวนาค, จิระพล ศรีเสริฐผล และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์. 2554. "การบำบัดตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน." วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม 7: 10-21.

มันลิน ตันตุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รุ่งนภา สุทธิศรี. 2549. ประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดสำหรับการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูงในโรงเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลานนา ใจทาสี. 2552. การผลิตก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพจากเศษอาหารโดยการหมักแบบไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย. 2553. คู่มือปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2552. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน: บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อมรพรรณ แถมเงิน. 2551. การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนเก่าด้วยระบบหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อาทิตยา มิตรจิตร์. 2553. สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังควบคู่กับการผลิตไฮโดรเจนชีวภาพด้วยกระบวนการหมักสองขั้นตอนแบบไม่ใช้แสงและใช้แสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก-1 วิธีวิเคราะห์ซีโอดี

ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานที่อ้างอิงมาจาก Standard Method (2005) โดยนำตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์มาบดให้ละเอียดจนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการเจือจางตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์ จากนั้นเปิดตัวอย่างที่เจือจางแล้ว 5 มล. ลงในหลอดย่อยสลาย (Digestion Tubes) ขนาด 20 x 150 มม. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (โพแทสเซียมไดโครเมต 4.913 ก. กรดซัลฟิวริก 167 มล. และเมอร์คิวริกซัลเฟต (HgSO₄) 33.3 ก. ในน้ำกลั่น 1 ล.) ปริมาตร 3 มล. เติม กรดซัลฟิวริกและซิลเวอร์ซัลเฟต (ซิลเวอร์ซัลเฟต 22 ก. ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.5 ล.) ปริมาตร 7 มล. ปิดฝาหลอดย่อยสลายเขย่าให้เข้ากัน นำไปเข้าตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 150 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นและเติมเฟอร์โรอิน (1,10-Phenanthroline Monohydrate (C₁₂H₈N₂.H₂O) 1.485 ก. และ Ferrous Sulfate (FeSO₄.7H₂O) 0.695 ก. ในน้ำกลั่น 100 มล.) 2-3 หยด จึงไทเทรตด้วย 0.1 นอร์มอล เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต [Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O] 39 ก. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มล. ในน้ำกลั่น 1 ล.) จนถึงจุดยุติซึ่งสารละลายในหลอดย่อยสลายจะเปลี่ยนจากสีฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง สำหรับแบลнк (Blank) ใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง เติมสารเคมีและทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง จากนั้นนำปริมาตรเพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตแต่ละตัวอย่างมาคำนวณหาปริมาณซีโอดีด้วยสมการต่อไปนี้

$$\text{ซีโอดี (มก./ล.)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง}}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของสารละลายเพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตแบลнк (มล.)

B คือ ปริมาตรของสารละลายเพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มล.)

N คือ นอร์มัลลิตีของสารละลายเพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

เนื่องจากสารละลายเพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นได้ง่าย จึงจำเป็นต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนทุกครั้งที่ใช้ โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง และใส่สารเคมีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างลงในหลอดย่อย จากนั้นทิ้งให้เย็นในอุณหภูมิห้อง แล้วจึงเติมเฟอร์โรอินประมาณ 1 - 2 เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ทำการไทเทรตด้วยเพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต จนถึงจุดยุติสี

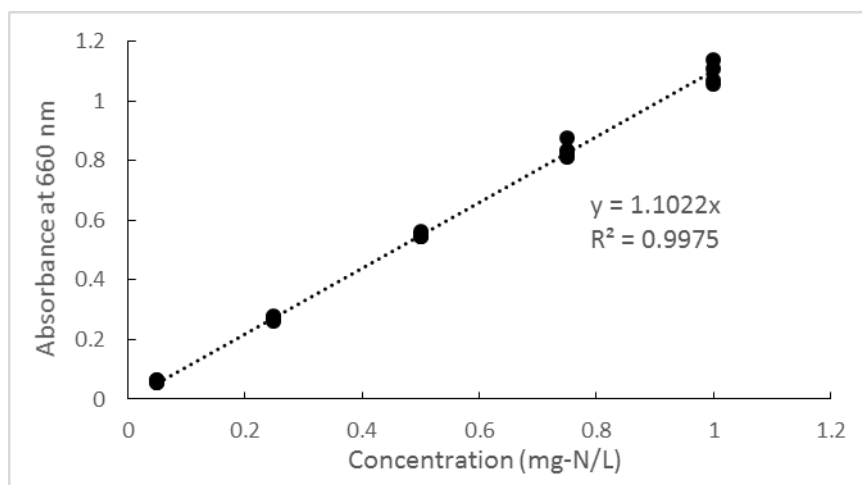
จะเปลี่ยนจากฟอสเฟตเป็นน้ำตาลแดง โดยคำนวณความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ได้ดังสมการ

$$\text{ความเข้มข้น FAS} = \frac{\text{มล. ของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความ} \times 0.1}{\text{มล. ของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต}}$$

สำหรับการวิเคราะห์ซีโอดีควรทำทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง แต่ถ้าหากไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันทีควรเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °ซ

ก-2 วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย

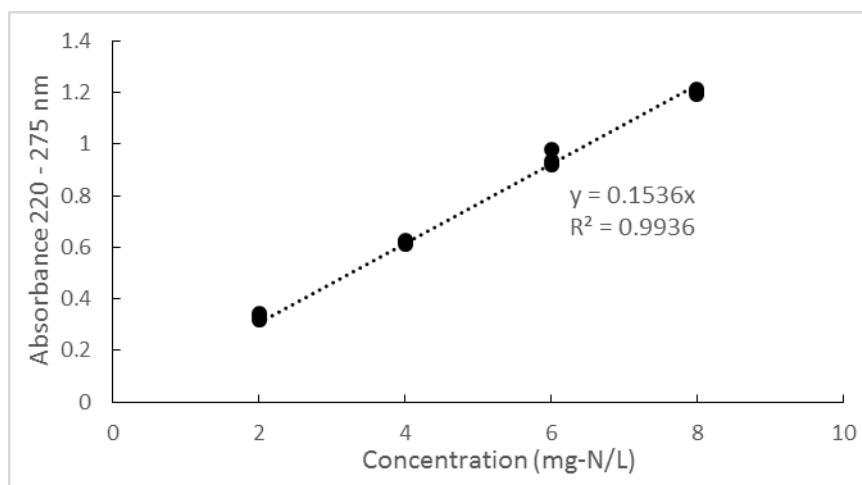
ใช้วิธีวิเคราะห์ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Bower and Holm - Hanson (1980) โดยนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C จากนั้นเปิดน้ำตัวอย่างปริมาตร 250 ไมโครลิตร ใส่ลงในไมโครเพลท เติมสารละลายซาลีไซเลตอะลูมิเนียม (โซเดียมซาลีไซเลต 440 ก. กับโซเดียมไนโตรพอสเฟต 0.28 ก. ในน้ำ D.I. 1 ล.) ปริมาตร 30 ไมโครลิตร และเติมสารละลายอัลคาไลน์ไฮโปคลอไรต์ (สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์กับสารละลายอัลคาไลน์ซีเทรต ในอัตราส่วน 1 ต่อ 9 โดยที่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ใช้สารละลายไฮโปคลอไรต์ทางการค้าซึ่งมีความเข้มข้น 1.5 นอร์มอล ส่วนสารละลายอัลคาไลน์ซีเทรตเตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18.5 ก. กับโซเดียมซีเทรต 100 ก. ในน้ำ D.I. 1 ล.) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและนำไปเก็บไว้ในที่มืด โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 1 ชม. และไม่เกิน 3 ชม. สำหรับแบลนด์ (Blank) ใช้น้ำ D.I. ที่เติมสารเคมีเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานแสดงรูปที่ ก-1 ซึ่งได้จากการดูดกลืนแสงสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน (Standard ammonia solution) ที่ความเข้มข้น 0.05 0.25 0.5 0.75 และ 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน (Standard ammonia solution) เตรียมจากสารละลายสต็อกแอมโมเนียความเข้มข้น 100 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยในการวิเคราะห์แอมโมเนียควรทำทันทีหลังจากเก็บน้ำตัวอย่าง แต่ถ้าหากไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันที ควรเก็บน้ำตัวอย่างที่กรองแล้วใส่ขวดพลาสติกแล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 ซ



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย (Total ammonia)

ก-3 วิธีวิเคราะห์ไนเตรต

ใช้วิธีวิเคราะห์ไนเตรตด้วยวิธีมาตรฐานที่อ้างอิงจาก Standard Method (2005) โดยนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C จากนั้นเปิดน้ำตัวอย่างปริมาตร 250 ไมโครลิตร ใส่ลงในไมโครเพลท แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 220 และ 275 นาโนเมตร สำหรับแบลนค์ (Blank) ใช้น้ำ D.I. โดยจะใช้ผลต่างที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่นในการคำนวณหาปริมาณไนเตรต แต่ค่าไนเตรตที่คำนวณได้ต้องนำไปลบด้วยปริมาณไนเตรตที่วิเคราะห์จากตัวอย่างน้ำเดียวกัน เนื่องจากการวิเคราะห์ไนเตรตด้วยวิธีนี้จะมีรวมไนเตรตอยู่ด้วย ทำการเตรียมสารละลายไนเตรตมาตรฐานที่ความเข้มข้น 2 4 6 และ 8 มก.ไนโตรเจน/ล. จากสารละลายสต็อกโพแทสเซียมไนเตรตความเข้มข้น 100 มก.ไนโตรเจน/ล. จะได้กราฟมาตรฐานแสดงรูปที่ ก-2 โดยการวิเคราะห์ไนเตรตควรทำทันทีหลังจากเก็บน้ำตัวอย่าง แต่ถ้าหากไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันที ควรเก็บน้ำตัวอย่างที่กรองแล้วใส่ขวดพลาสติกแล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 °C



รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานไนเตรต

ก-4 วิธีวิเคราะห์อัลคาไลน์ตี (Alkalinity) และกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acid; VFA)

อัลคาไลน์ตี

ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานที่อ้างอิงมาจาก Standard Method (2005) โดยนำตัวอย่างมาแยกส่วนของตะกอนกับส่วนของน้ำใสโดยเครื่องปั่นเหวี่ยง จากนั้นนำส่วนของน้ำใสมาไทเทรตด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 0.1 นอร์มัลลิตี จนกระทั่งถึงจุดยุติที่พีเอชเท่ากับ 4 (ระหว่างไทเทรตจะวัดพีเอชไปด้วย) แล้วจึงจดปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรต โดยในระหว่างการไทเทรตต้องมีการกวนผสมตัวอย่างน้ำกับกรดที่ใช้ไทเทรต ซึ่งสามารถคำนวณค่าอัลคาไลน์ตี (Total Alkalinity) ได้ดังสมการ

$$\text{อัลคาไลน์ตี (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)} = \frac{A \times N \times 50000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)}}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรต (มล.)

N คือ นอร์มัลลิตีของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรต

กรดอินทรีย์ระเหย

ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ DiLallo และ Albertson (1961) โดยนำน้ำตัวอย่างจากการวัดอัลคาไลน์ตีมาไทเทรตต่อด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 0.1 นอร์มัลลิตี จนกระทั่งพีเอชเท่ากับ 3.5 - 3.3 จากนั้นนำไปต้มให้เดือดเล็กน้อย เป็นเวลา 3 นาที แล้วจึงตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงนำมาไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) ความเข้มข้น 0.05 นอร์มัลลิตี ให้พีเอชเท่ากับ 4.0 แล้วจึงเริ่มจดปริมาตรการไทเทรต โดยจุดยุติจะมีพีเอชเท่ากับ 7.0 ซึ่งสามารถ

คำนวณกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) ได้จากปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตตั้งแต่พีเอช 4.0 ถึง

7.0 ดังสมการ

$$\text{กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile acid alkalinity)} = \frac{\text{มล. ของ NaOH 0.05 นอร์มัลลิตี} \times 2500}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)}}$$

เมื่อ Volatile acid alkalinity มากกว่า 180 มก./ล.

$$\text{จะมี Volatile acid (มก./ล.)} = \text{Volatile acid alkalinity} \times 1.5$$

Volatile acid alkalinity น้อยกว่า 180 มก./ล.

$$\text{จะมี Volatile acid (มก./ล.)} = \text{Volatile acid alkalinity} \times 1.0$$



ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ตาราง ข-1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (กรัม/ลิตร)							ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6			
Biofloc	67.46	65.48	66.62	63.06	63.54	65.46	65.27	1.71	
Feces	102.16	88.82	92.44	86.42	87.6	89.2	91.11	5.78	
Sludge	85.74	86.12	82.08	81.02	84.44	77.04	82.74	3.44	
หัวเชื้อจุลินทรีย์	29.98	33.08	29.22	30.94	30.16	27.15	30.09	2.55	

ตาราง ข-2 ปริมาณของแข็งระเหยของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ปริมาณของแข็งระเหย (กรัม/ลิตร)							ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6			
Biofloc	53.94	52.36	53.34	49.88	50.26	52.02	51.97	1.63	
Feces	78.14	67.72	70.50	65.06	66.12	67.00	69.09	4.80	
Sludge	63.50	63.46	60.84	58.80	61.36	55.92	60.65	2.91	
หัวเชื้อจุลินทรีย์	24.60	25.97	23.88	25.26	26.47	23.94	25.02	1.78	

ตาราง ข-3 ปริมาณซีโอติรวมของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ปริมาณซีโอติรวม (กรัม/ลิตร)									ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Biofloc	50.95	54.97	45.30	45.30	57.34	51.68	59.92	63.13	78.28	56.32	10.23
Feces	62.75	69.72	62.80	61.25	79.62	77.01	79.38	84.69	72.82	72.23	8.59
Sludge	58.99	53.63	57.65	53.28	70.40	69.92	76.53	80.84	47.37	63.18	11.59
หัวเชื้อจุลินทรีย์	132.95	98.81	74.67	-	-	-	-	-	-	102.14	29.28

ตาราง ข-4 ปริมาณแอมโมเนียของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย	SD
Biofloc	203.25	198.06	207.29	188.24	219.42	203.25	11.51
Feces	159.37	166.88	151.28	149.55	184.78	162.37	14.30
Sludge	221.73	227.50	222.89	220.58	215.38	221.61	4.37

ตาราง ข-5 ปริมาณไนโตรเจนของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)							
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ค่าเฉลี่ย	SD
Biofloc	0.15	0.21	0.34	0.35	0.28	0.07	0.24	0.04
Feces	0.34	0.36	0.48	0.59	0.48	0.22	0.41	0.05
Sludge	0.09	0.17	0.19	0.29	0.28	0.09	0.18	0.06

ตาราง ข-6 ปริมาณไนโตรเจนของตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย	SD
Biofloc	72.91	69.42	69.47	66.97	69.69	4.43
Feces	78.04	82.97	82.52	82.84	81.60	3.83
Sludge	69.11	67.98	69.91	76.32	70.83	3.35

การทดลองที่ 2.1 การประเมินศักยภาพและผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักตะกอนอินทรีย์ 3 ชนิด
ตามรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ตาราง ข-7 ปริมาณซีโอดีรวมเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้น
(วิเคราะห์ตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณซีโอดี (กรัม/ลิตร)					
	Biofloc	SD	Feces	SD	Sludge	SD
0	46.14	1.82	47.34	3.29	47.54	5.41
6	47.23	2.08	39.58	2.41	55.32	3.55
12	41.09	2.40	36.86	1.52	43.20	1.15
18	45.35	0.60	46.66	4.61	35.31	2.07
24	41.79	1.80	36.99	3.16	42.96	1.70
30	44.73	0.34	58.48	2.60	45.12	0.59
36	44.93	4.15	43.16	1.38	40.97	1.82
42	43.56	3.58	39.18	6.92	37.79	2.10

ตาราง ข-8 ปริมาณของแข็งทั้งหมดเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้น
(วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (กรัม/ลิตร)					
	Biofloc	SD	Feces	SD	Sludge	SD
0	46.44	1.34	37.24	3.86	41.37	2.95
3	41.75	0.46	37.49	0.33	37.43	0.42
6	39.91	2.59	35.11	0.99	49.41	1.03
9	42.90	1.51	30.02	1.57	38.52	1.53
12	43.97	2.55	31.43	2.42	38.50	2.74
15	39.97	2.16	34.46	2.45	39.90	0.70
18	36.76	2.50	32.14	3.35	36.05	0.57
21	38.16	1.08	32.28	4.23	42.92	1.79
24	30.72	0.85	27.11	2.80	36.05	0.57
27	37.80	2.42	28.11	6.06	35.85	1.01
30	39.53	1.54	35.47	3.07	35.84	5.95
33	36.97	3.11	28.99	2.91	34.64	1.25
36	41.97	2.75	24.26	0.26	34.49	2.78
39	36.80	1.96	27.63	2.06	40.17	1.16
42	38.41	0.44	32.65	1.47	37.11	1.86

ตาราง ข-9 ปริมาณของแข็งระเหยเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้น (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณของแข็งระเหย (กรัม/ลิตร)					
	Biofloc	SD	Feces	SD	Sludge	SD
0	36.86	1.15	29.78	4.40	32.19	2.56
3	33.49	0.33	29.05	0.24	28.73	0.39
6	32.71	2.06	26.57	0.79	38.01	0.89
9	34.36	0.99	22.23	1.20	29.11	1.32
12	34.97	2.45	22.69	1.78	28.75	2.17
15	31.59	1.69	25.05	1.23	30.09	0.41
18	28.93	2.03	23.58	2.65	27.34	0.49
21	30.11	0.99	24.36	3.67	33.03	1.51
24	23.34	0.64	19.81	2.26	26.93	0.68
27	29.90	2.04	20.16	4.90	26.67	0.53
30	31.03	1.28	26.75	2.40	26.48	5.14
33	28.48	2.60	21.54	2.36	25.73	1.01
36	32.49	2.84	17.75	0.10	26.95	1.87
39	28.46	1.67	19.95	1.86	29.67	0.63
42	29.95	0.38	24.22	1.04	27.93	1.64

ตาราง ข-10 ปริมาณแอมโมเนียเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้น (วัดตัวอย่างจำนวน 5 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	Biofloc	SD	Feces	SD	Sludge	SD
0	337.95	26.04	272.11	10.52	179.95	11.83
3	474.34	10.46	415.61	7.51	464.34	37.79
6	518.64	22.53	412.63	14.48	552.55	14.38
9	472.48	13.82	451.61	18.01	596.98	14.43
12	529.84	14.79	429.80	24.61	673.57	24.85
15	513.53	15.44	521.22	15.91	529.04	85.92
18	509.94	38.69	444.17	9.91	483.75	22.65
21	537.91	23.28	511.08	9.42	542.09	16.00
24	541.58	17.69	506.91	74.37	506.18	26.47
27	519.49	32.56	275.33	11.60	545.97	47.57
30	577.73	53.54	527.64	27.66	524.56	27.89
33	622.57	49.08	491.67	24.90	493.22	24.63
36	568.47	12.72	569.03	53.71	576.41	24.62
39	472.21	21.72	416.73	19.62	316.20	13.07
42	636.92	24.36	560.85	34.23	538.37	11.51

ตาราง ข-11 ปริมาณไนเตรดเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้น (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณไนเตรด (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	Biofloc	SD	Feces	SD	Sludge	SD
0	41.42	0.12	24.20	0.52	37.89	0.41
3	36.00	1.13	29.43	2.22	36.25	0.31
6	32.32	0.60	22.34	1.11	42.18	0.34
9	32.06	0.53	18.07	0.49	34.62	1.04
12	40.74	0.27	24.72	0.31	30.21	0.27
15	34.67	0.93	8.34	0.83	22.23	0.13
18	18.50	0.72	22.14	0.18	26.48	0.27
21	9.89	1.75	18.07	0.53	9.24	0.18
24	33.31	0.99	4.82	0.20	27.22	0.53
27	10.30	0.83	4.69	0.10	11.29	0.72
30	30.73	1.41	8.05	0.13	23.87	0.27
33	21.44	4.85	17.01	0.19	25.30	1.03
36	19.58	0.20	17.77	0.00	21.46	0.57
39	8.59	0.13	5.69	0.16	6.44	0.31
42	11.57	0.21	7.69	0.55	19.85	0.56

ตาราง ข-12 ค่าอัลคาลินิตีและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยง
สัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

วันที่	ค่าอัลคาลินิตี (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)			กรดอินทรีย์ระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		
	Biofloc	Feces	Sludge	Biofloc	Feces	Sludge
0	6000	5925	5750	1237.5	1443.75	1162.5
3	7500	6725	6600	2287.5	2325.0	1725
6	7900	7350	6025	1312.5	1050.0	3337.5
9	8150	6775	7075	1125.0	525.0	712.5
12	8225	7225	6750	900.0	825.0	825.0
15	7975	7150	7025	937.5	487.5	600.0
18	8300	7575	7075	1012.5	750.0	825.0
21	7550	7125	6000	843.75	412.5	543.75
24	8350	7225	7350	862.5	431.25	787.5
27	7700	7175	6750	825.0	412.5	675.0
30	7675	6650	7500	675.0	300.0	712.5
33	8250	6850	7000	862.5	562.5	637.5
36	8725	7300	7775	918.75	375.0	787.5
39	8375	7775	7150	712.5	337.5	637.5
42	8175	7250	7350	487.5	337.5	750.0

ตาราง ข-13 สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้ง
ต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

ตะกอนอินทรีย์	ร้อยละของมีเทนในก๊าซชีวภาพ		
	ตัวอย่างก๊าซวันที่ 14	ตัวอย่างก๊าซวันที่ 22	ตัวอย่างก๊าซวันที่ 28
Biofloc	59.27	55.31	51.10
Feces	51.55	51.11	48.61
Sludge	56.94	53.51	50.18

ตาราง ข-14 ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสารตั้งต้น เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ชั่วโมง)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)							
	ชุดควบคุม	SD	Biofloc	SD	Feces	SD	Sludge	SD
1	2.5	2.19	22.2	0.45	33.1	1.04	24.5	0.31
2	0.0	0.00	21.3	1.89	44.5	4.77	23.3	1.15
3	2.2	0.29	19.7	1.53	41.3	2.52	22.7	0.58
4	0.7	0.17	17.7	1.53	38.0	3.61	19.3	0.58
5	0.3	0.42	18.2	0.76	35.2	3.62	17.2	0.76
6	1.0	0.21	17.3	0.58	27.8	5.06	14.5	0.50
7	0.0	0.00	18.2	0.76	27.0	4.33	18.4	0.55
8	1.8	0.52	16.2	1.76	21.5	2.60	16.7	0.58
9	1.5	1.32	21.0	1.73	20.3	2.08	17.3	1.15
10	0.8	0.29	15.7	1.53	14.5	2.18	14.5	0.87
11	0.0	0.00	14.3	1.44	11.0	1.00	11.3	0.58
12	0.0	0.00	11.8	2.25	9.3	1.15	11.7	1.53
13	0.0	0.00	9.7	0.29	7.3	1.53	12.2	2.02
14	2.0	0.00	6.8	1.04	4.5	0.50	8.2	1.89
15	0.5	0.00	7.0	1.00	4.8	0.29	8.0	1.73
16	0.2	0.29	6.7	0.58	4.8	0.29	8.5	1.50
17	1.2	0.29	6.7	1.44	5.5	0.50	8.5	0.87
18	0.0	0.00	5.8	0.29	3.5	0.50	5.7	0.58
19	0.0	0.00	6.0	0.00	3.5	0.50	5.0	0.00
20	0.0	0.06	5.3	0.58	2.8	0.29	5.0	0.00
21	0.0	0.06	4.3	0.58	2.2	1.44	5.0	0.00
22	0.0	0.00	4.7	0.58	3.3	0.58	4.8	0.76
23	0.0	0.00	4.0	0.00	2.8	0.29	3.7	0.76
24	0.0	0.00	3.7	0.58	2.2	0.29	2.8	1.04
25	2.0	0.00	5.5	0.50	3.5	0.50	4.3	0.58
26	0.0	0.00	2.7	0.58	2.3	0.29	3.0	0.00
27	0.0	0.00	3.0	0.00	2.0	0.00	2.2	0.29
28	0.0	0.00	1.8	0.29	2.2	0.29	2.5	0.87
29	0.0	0.00	3.2	0.29	2.0	0.00	2.0	0.00
30	0.0	0.00	2.0	0.00	2.0	0.00	3.7	0.58

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)							
	ชุดควบคุม	SD	Biofloc	SD	Feces	SD	Sludge	SD
31	0.0	0.00	0.0	0.00	2.5	0.50	3.0	0.00
32	0.0	0.00	3.3	0.29	1.5	0.87	3.0	0.00
33	0.0	0.00	3.5	0.50	2.0	0.00	2.2	0.29
34	0.0	0.00	2.0	0.00	2.0	0.00	2.5	0.00
35	0.0	0.00	2.2	0.29	1.9	0.12	2.7	0.29
36	0.0	0.00	2.0	0.00	1.8	0.29	2.0	0.00
37	0.0	0.00	3.0	0.00	2.8	0.29	4.2	0.29
38	0.0	0.00	4.2	0.29	4.0	0.00	4.0	0.00
39	2.7	0.58	1.7	0.58	2.3	0.29	2.8	0.29
40	0.0	0.00	2.7	0.76	1.5	0.50	2.0	0.00
41	0.0	0.00	3.7	0.58	4.0	1.00	4.3	0.58
42	3.0	0.00	2.7	0.29	2.3	0.58	3.2	0.29
รวม	22.4	3.20	333.2	5.70	413.7	39.21	342.2	6.72

รูป ข-1 ค่าทางสถิติการวิเคราะห์ผลผลิตก๊าซมีเทนเมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (ตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

CH₄

Duncan^a

ตะกอน	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1	3	124.3533	
3	3	142.0400	
2	3		175.2833
Sig.		.069	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

- หมายเหตุ N คือ จำนวนซ้ำ
- 1 คือ ตะกอน Biofloc
 - 2 คือ ตะกอน Feces
 - 3 คือ ตะกอน Sludge

การทดลองที่ 2.2 การแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักก๊าซชีวภาพ

ตาราง ข-15 ปริมาณซีโอดีรวมตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์
(วิเคราะห์ตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณซีโอดี (กรัม/ลิตร)									
	1:4	SD	2:3	SD	1:1	SD	3:2	SD	4:1	SD
0	42.65	1.22	55.79	5.94	47.34	3.29	31.66	0.57	29.93	1.36
6	39.02	1.13	33.36	0.98	39.58	2.41	44.66	2.37	47.31	1.63
12	42.18	4.91	34.98	2.08	36.86	1.52	18.78	0.60	45.18	3.75
18	50.67	2.03	27.00	1.89	46.66	4.61	35.81	2.14	22.89	24.80
24	46.57	2.69	34.12	3.26	36.99	3.16	45.50	2.26	39.86	2.26
30	47.15	1.02	27.55	2.96	58.48	2.60	27.00	1.48	33.07	2.12
36	47.42	2.66	16.90	10.70	43.16	1.38	31.30	3.11	32.80	0.98
42	47.79	2.53	35.06	4.26	39.18	6.92	37.18	3.99	28.38	2.96

ตาราง ข-16 ปริมาณของแข็งทั้งหมดตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์
(วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (กรัม/ลิตร)									
	1:4	SD	2:3	SD	1:1	SD	3:2	SD	4:1	SD
0	44.01	9.93	40.30	4.85	37.24	3.86	37.75	3.21	38.46	3.21
3	27.17	5.87	24.81	2.92	37.49	0.33	38.20	1.53	32.57	1.35
6	34.87	2.01	34.68	1.76	35.11	0.99	27.70	0.74	34.79	2.13
9	28.94	1.80	31.43	0.32	30.02	1.57	26.26	2.39	31.11	0.66
12	31.62	3.37	25.51	6.21	31.43	2.42	27.59	1.84	31.22	1.84
15	24.85	2.07	25.88	0.19	34.46	2.45	32.94	4.05	35.41	4.05
18	30.10	3.25	20.31	3.12	32.14	3.35	28.21	2.70	29.05	2.70
21	29.65	6.25	19.87	1.43	32.28	4.23	27.06	1.56	27.86	1.56
24	29.57	2.40	22.94	3.57	27.11	2.80	26.48	2.65	30.25	1.58
27	21.79	0.50	26.37	7.10	28.11	6.06	27.67	1.81	27.61	1.81
30	34.17	0.47	23.44	1.45	35.47	3.07	33.03	1.40	31.65	1.40
33	27.55	1.24	20.53	0.97	28.99	2.91	25.48	0.64	28.14	1.74
36	26.61	3.36	17.70	3.46	24.26	0.26	28.74	0.17	27.78	0.17
39	29.67	1.42	28.43	3.91	27.63	2.06	30.69	2.36	29.67	2.36
42	29.05	0.39	21.67	2.93	32.65	1.47	30.09	2.13	29.75	2.13

ตาราง ข-17 ปริมาณของแข็งระเหยตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์
(วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณของแข็งระเหย (กรัม/ลิตร)									
	1:4	SD	2:3	SD	1:1	SD	3:2	SD	4:1	SD
0	35.84	8.82	31.56	4.48	29.78	4.40	28.79	2.71	28.83	2.20
3	20.13	3.42	17.47	2.26	29.05	0.24	28.98	1.34	23.35	1.01
6	27.21	1.82	26.59	1.48	26.57	0.79	20.23	0.64	24.85	1.74
9	21.99	1.64	23.41	0.32	22.23	1.20	17.67	2.02	20.84	0.78
12	23.35	2.82	17.68	5.59	22.69	1.78	18.98	1.78	21.43	1.45
15	17.55	1.80	18.07	0.28	25.05	1.23	23.22	3.02	24.52	2.61
18	22.05	3.21	13.37	2.72	23.58	2.65	19.47	2.28	19.74	1.49
21	22.23	5.26	13.23	1.26	24.36	3.67	18.74	1.28	18.23	1.76
24	22.77	1.98	15.87	4.98	19.81	2.26	18.75	2.43	20.59	2.09
27	14.87	0.93	18.86	6.01	20.16	4.90	18.72	1.75	18.41	3.88
30	26.56	0.47	16.02	1.15	26.75	2.40	24.33	1.16	21.72	0.36
33	20.81	0.96	13.72	2.56	21.54	2.36	17.93	0.23	19.21	0.83
36	20.43	2.91	12.06	2.88	17.75	0.10	21.23	0.27	19.30	1.85
39	22.21	0.95	20.58	3.11	19.95	1.86	21.81	1.49	20.15	3.11
42	22.29	0.49	15.17	2.50	24.22	1.04	21.71	1.67	20.59	3.39

ตาราง ข-18 ปริมาณแอมโมเนียตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (วัดตัวอย่างจำนวน 5 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)									
	1:4	SD	2:3	SD	1:1	SD	3:2	SD	4:1	SD
0	443.14	28.42	370.27	21.29	272.11	10.52	296.27	11.41	202.64	31.14
3	528.21	56.47	477.81	25.19	415.61	7.51	386.01	46.06	215.53	9.88
6	574.28	60.66	500.48	20.63	412.63	14.48	415.03	19.11	272.50	23.78
9	585.67	16.73	473.67	23.94	451.61	18.01	338.60	4.17	246.49	26.16
12	605.14	6.29	511.48	20.97	429.80	24.61	403.85	18.25	286.75	19.34
15	584.31	20.62	500.34	27.23	521.22	15.91	438.89	67.81	323.54	39.07
18	610.91	14.00	416.01	46.57	444.17	9.91	394.27	25.75	278.38	12.80
21	630.98	15.46	483.19	15.44	511.08	9.42	324.73	22.49	232.74	23.08
24	648.70	14.65	439.47	4.31	506.91	74.37	393.52	29.08	270.51	28.42
27	623.56	23.19	522.65	14.85	275.33	11.60	463.34	17.31	404.40	34.77
30	617.04	14.72	540.49	21.57	527.64	27.66	477.50	27.11	365.57	21.43
33	567.49	20.71	490.87	14.06	491.67	24.90	462.17	49.21	575.81	8.49
36	616.34	11.21	427.96	36.57	569.03	53.71	477.69	16.54	341.50	19.44
39	414.76	22.98	544.21	4.50	416.73	19.62	456.75	7.78	361.73	10.46
42	591.66	12.00	544.44	14.85	560.85	34.23	305.79	41.64	127.27	24.11

ตาราง ข-19 ปริมาณไนเตรดตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณไนเตรด (มิลลิกรัม/ลิตร)									
	1:4	SD	2:3	SD	1:1	SD	3:2	SD	4:1	SD
0	59.57	1.19	50.39	1.05	24.20	0.52	43.66	1.01	39.16	0.18
3	22.77	0.46	23.19	0.35	29.43	2.22	29.89	0.28	32.03	0.25
6	25.05	0.20	24.70	0.49	22.34	1.11	27.46	0.35	35.38	0.39
9	22.06	0.59	23.36	0.71	18.07	0.49	26.80	0.30	29.95	1.65
12	31.36	0.32	23.62	1.04	24.72	0.31	28.48	0.09	29.81	0.28
15	17.08	0.72	16.88	0.24	8.34	0.83	22.87	0.56	27.16	0.07
18	25.78	0.18	26.26	0.26	22.14	0.18	26.50	0.12	27.96	0.35
21	8.26	0.18	10.04	0.11	18.07	0.53	12.15	0.37	21.88	0.32
24	7.63	0.26	16.65	0.06	4.82	0.20	34.01	1.09	41.03	0.96
27	8.17	0.28	9.39	0.51	4.69	0.10	10.09	0.33	24.48	0.18
30	7.79	0.07	8.73	0.04	8.05	0.13	9.34	0.22	24.62	0.37
33	15.78	0.26	16.41	0.13	17.01	0.19	18.69	0.23	31.03	1.05
36	27.96	0.28	18.26	0.26	17.77	0.00	20.33	0.61	24.13	0.46
39	6.28	0.16	7.77	0.14	5.69	0.16	9.63	0.23	16.82	3.36
42	7.78	0.10	9.19	0.30	7.69	0.55	6.24	0.21	5.07	0.16

ตาราง ข-20 ค่าอัลคาลินิตีและกรดอินทรีย์ระเหยตลอดการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์

วันที่	ค่าอัลคาลินิตี (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)					กรดอินทรีย์ระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)				
	1:4	2:3	1:1	3:2	4:1	1:4	2:3	1:1	3:2	4:1
0	7183.33	6875	5925	6678.57	5275	2425	2437.5	1443.75	1848.2	1987.5
3	7200	6700	6725	6075	5225	775	1650	2325	2287.5	4012.5
6	8016.67	7400	7350	6225	5500	625	562.5	1050	1387.5	4087.5
9	9400	7650	6775	6875	5775	375	412.5	525	1087.5	4162.5
12	9575	8000	7225	6775	6325	600	525	825	637.5	6150
15	8825	8325	7150	7375	6500	600	600	487.5	600	3225
18	8850	8100	7575	6925	6475	675	450	750	562.5	2137.5
21	8725	7250	7125	6900	6050	468.75	825	412.5	262.5	1312.5
24	8975	8050	7225	6500	5950	487.5	262.5	431.25	225	1087.5
27	8450	7300	7175	6575	6500	375	262.5	412.5	187.5	1125
30	7975	7925	6650	6900	6475	487.5	487.5	300	300	525
33	8975	7850	6850	7350	6575	450	450	562.5	337.5	337.5
36	8800	7725	7300	7125	6675	525	412.5	375	375	600
39	8975	8525	7775	7650	7783.33	450	487.5	337.5	337.5	350
42	8750	7825	7250	7275	6550	412.5	412.5	337.5	412.5	375

ตาราง ข-21 สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์	ร้อยละของมีเทนในก๊าซชีวภาพ		
	ตัวอย่างก๊าซวันที่ 14	ตัวอย่างก๊าซวันที่ 22	ตัวอย่างก๊าซวันที่ 28
1:4	52.11	53.46	50.92
2:3	50.70	50.97	47.67
1:1	51.55	51.11	48.61
3:2	57.08	52.78	49.72
4:1	56.99	58.85	59.16

ตาราง ข-22 ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดทดลองที่เกิดระหว่างการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ก๊าซชีวภาพรายวัน (มิลลิลิตร)									
	1:4	SD	2:3	SD	1:1	SD	3:2	SD	4:1	SD
1	17.00	0.20	26.67	0.64	33.10	1.04	33.80	1.39	31.9	1.33
2	17.00	2.00	31.67	1.53	44.50	4.77	41.33	1.53	25.7	1.53
3	18.17	2.02	31.00	2.00	41.33	2.52	36.67	0.58	21.8	3.69
4	18.17	1.26	38.33	15.37	38.00	3.61	34.00	1.73	15.8	3.33
5	15.33	1.15	30.33	2.08	35.17	3.62	37.67	1.53	11.3	1.53
6	11.33	1.76	28.00	1.00	27.83	5.06	38.17	1.04	11.5	1.80
7	7.20	0.72	24.23	2.42	27.00	4.33	37.17	0.76	12.7	2.04
8	7.17	0.29	20.83	4.80	21.50	2.60	34.33	2.08	15.8	2.84
9	9.83	1.61	18.83	0.29	20.33	2.08	39.67	1.61	20.3	1.53
10	6.00	0.50	14.00	0.50	14.50	2.18	23.50	4.92	17.2	0.76
11	3.17	0.76	10.67	1.15	11.00	1.00	19.33	2.52	16.8	0.29
12	3.50	0.50	7.67	0.29	9.33	1.15	14.33	1.53	24.3	2.89
13	2.67	0.29	7.00	1.00	7.33	1.53	10.17	0.29	23.5	1.50
14	1.67	0.29	4.17	0.29	4.50	0.50	7.17	0.29	27.2	3.82
15	2.00	0.00	4.83	0.29	4.83	0.29	7.17	0.29	31.2	2.57
16	2.00	0.00	5.00	0.00	4.83	0.29	6.83	0.29	37.0	1.50
17	2.50	0.00	5.00	0.00	5.50	0.50	6.17	0.29	34.5	2.18
18	2.00	0.00	3.00	0.00	3.50	0.50	4.00	0.00	20.7	3.06
19	1.50	0.00	2.83	0.29	3.50	0.50	4.00	0.00	14.3	1.53
20	1.00	0.00	2.00	0.00	2.83	0.29	3.67	0.29	13.5	1.32
21	1.33	0.29	2.67	0.29	2.17	1.44	4.50	0.50	11.2	0.76
22	1.50	0.50	3.00	0.00	3.33	0.58	4.67	0.58	9.7	1.53
23	0.67	0.29	2.00	0.00	2.83	0.29	3.83	0.76	12.2	0.76
24	0.67	0.29	1.17	0.29	2.17	0.29	3.50	0.50	10.7	1.61
25	1.00	0.00	2.00	0.00	3.50	0.50	4.00	0.00	13.8	2.84
26	0.00	0.00	1.50	0.00	2.33	0.29	3.00	0.00	13.7	2.57
27	0.67	0.29	1.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	12.0	1.00
28	0.17	0.29	1.00	0.00	2.17	0.29	2.83	0.29	10.0	3.61
29	0.00	0.00	0.33	0.58	2.00	0.00	2.83	0.29	7.3	4.51
30	0.00	0.00	1.67	0.58	2.00	0.00	2.00	0.00	4.3	2.52

วันที่	ก๊าซชีวภาพรายวัน (มิลลิลิตร)									
	1:4	SD	2:3	SD	1:1	SD	3:2	SD	4:1	SD
31	2.33	0.58	1.83	0.29	2.50	0.50	2.50	0.00	2.0	2.00
32	0.00	0.00	0.40	0.53	1.50	0.87	1.50	0.50	3.7	0.58
33	1.33	0.58	1.50	0.50	2.00	0.00	2.00	0.00	3.5	0.87
34	0.67	0.58	1.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	4.3	0.58
35	0.50	0.50	1.17	0.29	1.93	0.12	2.00	0.00	4.0	0.00
36	0.17	0.29	0.83	0.29	1.83	0.29	2.00	0.00	3.2	0.29
37	1.67	0.29	2.00	0.00	2.83	0.29	2.83	1.04	4.5	2.18
38	2.17	0.29	3.00	0.00	4.00	0.00	3.67	0.58	4.2	0.76
39	0.50	0.00	1.00	0.00	2.33	0.29	2.00	0.00	3.2	0.58
40	1.23	0.75	1.17	0.76	1.50	0.50	1.33	0.58	2.3	0.29
41	1.63	0.51	2.67	0.58	4.00	1.00	3.00	0.00	5.4	0.53
42	0.47	0.47	1.50	0.50	2.33	0.58	2.33	0.58	3.3	0.58
รวม	167.9	1.42	350.47	14.09	413.70	39.21	499.47	5.08	575.47	4.97



ตาราง ข-23 ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดควบคุม(มีแต่หัวเชื้อจุลินทรีย์)ที่เกิดระหว่างการทดลอง
แปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ก๊าซชีวภาพรายวัน (มิลลิลิตร)									
	1:4	SD	2:3	SD	1:1	SD	3:2	SD	4:1	SD
1	3.3	0.14	3.13	0.12	2.53	2.19	1.47	1.3	1.77	0.21
2	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
3	2.0	0.00	2.00	0.00	2.17	0.29	2.00	0.0	0.67	0.29
4	0.7	0.21	0.70	0.17	0.70	0.17	0.50	0.3	0.00	0.00
5	0.0	0.00	0.23	0.21	0.33	0.42	0.13	0.2	0.00	0.00
6	1.7	0.14	1.03	0.15	0.97	0.21	1.10	0.4	0.73	0.06
7	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
8	1.9	0.21	1.87	0.31	1.80	0.52	1.47	0.1	0.80	0.75
9	2.0	0.00	1.83	1.04	1.50	1.32	2.00	1.0	2.00	1.00
10	0.8	0.35	0.33	0.58	0.83	0.29	0.00	0.0	0.00	0.00
11	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
12	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
13	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
14	2.5	0.71	2.17	0.29	2.00	0.00	1.67	0.6	0.50	0.00
15	1.0	0.00	0.33	0.58	0.50	0.00	0.07	0.1	0.00	0.00
16	0.3	0.35	0.67	0.58	0.17	0.29	0.00	0.0	0.00	0.00
17	1.3	0.35	0.83	0.29	1.17	0.29	1.17	0.3	0.83	0.29
18	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
19	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
20	0.8	0.35	0.37	0.12	0.03	0.06	0.00	0.0	0.00	0.00
21	0.3	0.28	0.03	0.06	0.03	0.06	0.00	0.0	0.00	0.00
22	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
23	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
24	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
25	3.0	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	1.67	0.3	0.17	0.29
26	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
27	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
28	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
29	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
30	1.8	0.35	0.17	0.29	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00

วันที่	ก๊าซชีวภาพรายวัน (มิลลิลิตร)									
	1:4	SD	2:3	SD	1:1	SD	3:2	SD	4:1	SD
31	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
32	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
33	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
34	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
35	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
36	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
37	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
38	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
39	3.0	0.00	3.00	1.00	2.67	0.58	2.00	0.0	0.20	0.26
40	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
41	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
42	3.8	0.35	3.17	0.29	3.00	0.00	2.67	0.3	1.83	0.29
รวม	29.80	0.99	23.87	2.65	22.40	3.20	17.90	2.29	9.50	0.62

รูป ข-2 ค่าทางสถิติการวิเคราะห์ผลผลิตก๊าซมีเทนของการทดลองแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (ตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

Methane

Duncan^a

ชุดทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1	3	154.0833		
2	3		172.7367	
3	3		175.2833	
5	3		181.1333	181.1333
4	3			194.1033
Sig.		1.000	.256	.080

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

หมายเหตุ N คือ จำนวนซ้ำ

- 1 คือ สัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 1:4
- 2 คือ สัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 2:3
- 3 คือ สัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 1:1
- 4 คือ สัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 3:2
- 5 คือ สัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 4:1

การทดลองที่ 3.1 ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์
ไร้อากาศแบบขึ้นตอนเดียว

ตาราง ข-24 ปริมาณซีไอโดยรวมระหว่างเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขึ้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน (วิเคราะห์ตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณซีไอโดยรวม (กรัม/ลิตร)					
	30 g TS/L	SD	50 g TS/L	SD	100 g TS/L	SD
0	37.65	0.50	39.53	0.50	60.48	2.00
7	27.64	0.37	32.57	1.49	53.69	2.24
14	17.83	1.12	24.89	0.75	50.48	0.37
21	18.30	2.48	22.20	1.24	39.61	0.41
28	25.70	0.43	20.60	0.35	38.55	3.03
36	16.00	1.66	17.37	3.73	40.00	0.00
40	15.09	0.00	17.13	3.03	41.00	0.43

ตาราง ข-25 ปริมาณของแข็งทั้งหมดระหว่างเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขึ้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (กรัม/ลิตร)					
	30 g TS/L	SD	50 g TS/L	SD	100 g TS/L	SD
0	31.11	0.27	42.00	0.68	73.71	2.84
7	27.23	5.70	40.06	1.36	61.80	0.42
14	29.03	1.91	34.83	0.27	57.34	3.51
21	24.33	1.88	29.56	0.31	61.11	3.83
28	20.26	2.32	31.11	1.43	61.18	1.92
36	22.80	0.62	31.22	0.37	57.70	5.43
40	23.46	3.03	34.14	3.22	60.05	1.60

ตาราง ข-26 ปริมาณของแข็งระเหยระหว่างเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ
 ขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้น
 แตกต่างกัน (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณของแข็งระเหย (กรัม/ลิตร)					
	30 g TS/L	SD	50 g TS/L	SD	100 g TS/L	SD
0	22.92	0.06	27.65	0.41	53.97	1.12
7	17.19	4.34	21.38	1.47	38.75	0.41
14	17.39	1.46	20.49	0.33	34.95	4.43
21	15.39	1.63	16.42	0.51	36.13	2.59
28	11.53	1.94	16.75	0.75	34.46	1.33
36	13.97	0.33	17.85	0.24	33.12	2.94
40	13.62	2.52	18.15	1.68	32.92	0.59

ตาราง ข-27 ปริมาณแอมโมเนียระหว่างเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ
 ขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้น
 แตกต่างกัน (วัดตัวอย่างจำนวน 5 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	30 g TS/L	SD	50 g TS/L	SD	100 g TS/L	SD
0	133.44	60.12	195.67	18.34	262.96	6.49
3	336.29	5.89	487.08	28.89	219.17	5.15
6	366.34	9.02	249.19	0.96	539.54	16.41
8	396.71	13.63	275.08	9.54	596.10	18.20
12	310.42	5.00	302.92	8.06	581.84	2.73
15	458.88	9.80	381.88	17.18	690.18	11.75
19	422.37	9.01	350.23	7.43	606.26	24.53
21	502.62	4.29	335.83	1.55	655.27	6.56
24	457.21	2.70	364.06	11.30	691.99	15.56
27	535.96	6.17	385.14	6.36	696.51	24.01
30	516.76	20.72	337.51	20.14	669.38	9.23
34	529.97	5.13	332.88	74.86	662.15	20.32
36	476.20	37.77	293.77	16.15	698.50	30.41
39	477.23	7.06	374.60	8.76	726.89	32.80

ตาราง ข-28 ปริมาณไนเตรดระหว่างเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน (วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณไนเตรด (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	30 g TS/L	SD	50 g TS/L	SD	100 g TS/L	SD
0	60.79	0.83	40.82	0.60	101.32	0.42
3	41.67	0.10	58.49	0.29	36.28	0.26
6	49.90	1.25	31.99	0.44	106.34	2.12
8	42.31	0.53	28.13	0.34	59.03	0.46
12	35.70	0.49	29.38	0.39	57.73	0.73
15	44.22	1.03	34.64	0.07	61.74	1.94
19	50.54	0.48	31.77	0.36	59.38	0.41
21	42.72	0.67	33.33	0.36	61.09	1.40
24	52.61	0.65	33.44	0.15	67.80	11.25
27	42.67	0.52	19.90	0.21	67.51	1.58
30	35.82	0.43	18.75	1.75	76.09	2.13
34	34.07	0.20	18.38	0.21	70.05	1.75
36	35.13	0.77	20.10	0.98	81.58	0.18
39	34.50	0.48	24.18	0.53	78.48	0.14

ตาราง ข-29 ค่าอัลคาลินิตีและกรดอินทรีย์ระเหยระหว่างเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นแตกต่างกัน

วันที่	ค่าอัลคาลินิตี (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)			กรดอินทรีย์ระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		
	30 g TS/L	50 g TS/L	100 g TS/L	30 g TS/L	50 g TS/L	100 g TS/L
0	4700	5275	5650	937.5	1275	1125
3	5650	5600	8700	4200	4162.5	8325
6	6150	6650	9950	4200	4312.5	9600
8	6375	6625	11225	3300	3075	8812.5
12	7600	7700	11400	1050	1125	8025
15	8000	7925	11750	900	600	6300
19	7500	7400	11600	412.5	225	2100
21	7200	8100	11950	262.5	225	1800
24	7400	7500	10800	187.5	187.5	1612.5
27	8050	7950	11900	225	187.5	1687.5
30	7300	7100	10700	150	187.5	1500
34	7425	7225	10875	150	150	1537.5
36	6350	6600	10450	150	150	1575
39	6450	6900	10950	150	150	1762.5

ตาราง ข-30 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ
 ขั้นตอนเดียวที่มีการป้อนตะกอนอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดเริ่มต้น
 แตกต่างกัน

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)			ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)		
	30 g TS/L	50 g TS/L	100 g TS/L	30 g TS/L	50 g TS/L	100 g TS/L
1	11	46	1,720	11	46	1,720
2	0	1,169	1,098	11	1,215	2,818
3	15	40	1,444	26	1,255	4,262
4	0	7	765	26	1,262	5,027
5	680	602	360	706	1,864	5,387
6	1,341	1,274	372	2,047	3,138	5,759
7	162	1,301	280	2,209	4,439	6,039
8	1,296	1,841	551	3,505	6,280	6,590
9	3,247	4,369	672	6,752	10,649	7,262
10	2,512	1,701	180	9,264	12,350	7,442
11	3,928	6,797	333	13,192	19,147	7,775
12	4,143	3,732	726	17,335	22,879	8,501
13	2,512	2,492	1,791	19,847	25,371	10,292
14	1,578	1,409	4,130	21,425	26,780	14,422
15	855	1,063	4,881	22,280	27,843	19,303
16	1,008	1,260	5,445	23,288	29,103	24,748
17	2,280	2,114	5,706	25,568	31,217	30,454
18	984	952	3,960	26,552	32,169	34,414
19	980	286	3,530	27,532	32,455	37,944
20	1,056	273	1,476	28,588	32,728	39,420
21	656	164	806	29,244	32,892	40,226
22	314	289	647	29,558	33,181	40,873
23	96	105	288	29,654	33,286	41,161
24	76	132	146	29,730	33,418	41,307
25	112	196	324	29,842	33,614	41,631
26	96	161	261	29,938	33,775	41,892
27	156	118	326	30,094	33,893	42,218
28	166	107	336	30,260	34,000	42,554

29	248	91	675	30,508	34,091	43,229
วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)			ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)		
	30 g TS/L	50 g TS/L	100 g TS/L	30 g TS/L	50 g TS/L	100 g TS/L
30	152	178	611	30,660	34,269	43,840
31	0	49	252	30,660	34,318	44,092
32	8	56	189	30,668	34,374	44,281
33	48	42	117	30,716	34,416	44,398
34	100	48	88	30,816	34,464	44,486
35	168	7	72	30,984	34,471	44,558
36	20	20	47	31,004	34,491	44,605
37	0	14	63	31,004	34,505	44,668
38	0	35	99	31,004	34,540	44,767
39	20	34	137	31,024	34,574	44,904
40	25	60	43	31,049	34,634	44,947

การทดลองที่ 3.2 ผลของเวลากักพักต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ
ชั้นตอนเดียว

ตาราง ข-31 ปริมาณซีโอดีรวม ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซ
ชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียว (วิเคราะห์ตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)

วันที่	ปริมาณซีโอดีรวม (ก./ล.)		ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ก./ล.)		ปริมาณของแข็งระเหย (ก./ล.)	
	re-batch	SD	re-batch	SD	re-batch	SD
0	37.42	0.43	43.43	1.91	27.93	1.07
5	25.63	1.73	38.14	4.11	23.07	2.25
10	25.02	0.00	32.79	0.34	18.60	0.48
15	23.80	2.59	30.62	1.40	15.93	0.60

ตาราง ข-32 ปริมาณแอมโมเนีย(วัดตัวอย่างจำนวน 5 ซ้ำ) และไนเตรต(วัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ)
ระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นตอนเดียว

วันที่	ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)		ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	re-batch	SD	re-batch	SD
0	288.38	3.91	81.13	2.32
2	328.91	18.86	53.86	0.63
4	451.14	8.68	56.44	1.46
6	407.62	20.19	39.78	0.89
8	472.29	6.65	36.30	0.18
10	518.45	13.63	36.91	0.79
12	527.49	16.90	33.47	0.20
14	526.62	6.30	33.58	0.42
16	496.46	10.42	29.32	0.30

ตาราง ข-33 ค่าอัลคาลินิตี และกรดอินทรีย์ระเหยระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถัง
ปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว

วันที่	re-batch		
	พีเอช	ค่าอัลคาลินิตี (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	กรดอินทรีย์ระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)
0	7.26	7,550	1,237.5
2	6.67	7,800	3,862.5
4	6.92	8,350	3,562.5
6	7.05	8,800	1,650
8	7.41	8,300	937.5
10	7.39	9,450	900
12	7.4	9,250	750
14	7.39	8,700	487.5
16	7.37	8,700	412.5

ตาราง ข-34 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ
ขั้นตอนเดียว (re-batch)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มล.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)
1	3,495	3,495
2	5,646	9,141
3	2,944	12,085
4	3,572	15,657
5	4,126	19,783
6	4,165	23,948
7	3,352	27,300
8	3,062	30,362
9	1,934	32,296
10	1,996	34,292
11	1,168	35,460
12	895	36,355
13	792	37,147
14	854	38,001
15	1076	39,077
16	0	39,077
17	0	39,077

ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากการส่งวิเคราะห์

ค-1 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

D:\DATA\Anlysis DATA\CHN FineSpec - 580420 to 581177\581177_358_1139_Book1_581139

ใบส่งตัวอย่าง
ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

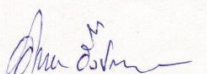
รหัส S581139


รหัสผู้ขอรับบริการ 0396-2557 (ถ้าทราบรหัสผู้ขอรับบริการให้กรอกข้อมูลตั้งแต่ข้อ 4 ถ้าไม่ทราบให้กรอกตั้งแต่ข้อ 1)

1. ช่างเจ้า / บริษัท (ภาษาไทย) **นงลักษณ์ นิธิกุลรัตน**
2. (ชื่อภาษาอังกฤษเมื่อต้องการรายงานภาษาอังกฤษ) **Nongluck Nitikulrattana**
3. ที่อยู่ติดต่อได้สะดวก **ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**
4. มหาวิทยาลัย **จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย** ภาควิชา **วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์**
5. ชื่อตัวแทน / ผู้ติดต่อได้ **จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทรศัพท์ 085-1737332 โทรสาร -**
6. ว่าเป็นเจ้าหน้าที่ประจำเป็น งานวิจัย วิจัย โครงการ การเรียนการสอน
7. ต้องการให้ออกใบเสร็จรับเงินในนาม **วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม**
8. ขอส่งตัวอย่างให้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง **CHNS/O Analyser** จำนวน **4** ตัวอย่าง mode **ธาตุ**
9. ต้องการวิเคราะห์ **อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)**
10. ข้อมูลของตัวอย่าง, รหัส **ละกอนจากระบบเสียงสัตว์น้ำ**
11. ต้องการผลการวิเคราะห์แบบ ข้อมูลดิบแบบครัมภาพถ่าย CD/DVD รายงานภาษาไทย รายงานภาษาอังกฤษ
12. รับผลวิเคราะห์โดย รับเอง EMS (50บาทครั้ง) FAX (50บาทครั้ง) Email
13. ชำระเงินค่าบริการวิเคราะห์โดย **เงินสดเช็ค**

ลงชื่อ **นงลักษณ์** ผู้ส่งตัวอย่าง วันที่ **30 มี.ค. 2558**


Sample No.	Sample Name		%Carbon	%Hydrogen	%Nitrogen
581139_1	Biofloc 30/3/58 (Biofloc)	(1)	38.39	5.33	2.32
		(2)	38.20	5.31	2.38
		(3)	38.82	5.45	2.36
		เฉลี่ย	38.47	5.36	2.35
581139_2	Feces 30/3/58 (ขี้ปลา)	(1)	36.09	5.13	2.32
		(2)	35.90	5.11	2.38
		(3)	36.43	5.24	2.36
		เฉลี่ย	36.14	5.16	2.36
581139_3	Inoculum 30/3/58 (น้ำเชื้อ)	(1)	45.46	6.85	6.34
		(2)	45.36	6.93	6.71
		(3)	45.22	6.93	6.55
		เฉลี่ย	45.35	6.90	6.53
581139_4	Sludge 30/3/58 (H-nou RAS)	(1)	35.60	5.15	2.55
		(2)	35.73	5.02	2.37
		(3)	35.98	5.11	2.34
		เฉลี่ย	35.77	5.09	2.42


(นางสาวอัมพร อังปกรณ์แก้ว)
ผู้วิเคราะห์


(นางสุนันท์ รังษิกัญจน์ส่อง)
หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์

ค-2 ผลวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ของตะกอนอินทรีย์

Biofloc : ตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก



ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ชั้น 16 อาคารมหามกุฏ ถนนพญาไท
ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

เลขที่รายงาน : C0400/15
วันที่รายงาน : 3 ธันวาคม 2558
รหัสตัวอย่าง : 153950
หน้าที่ 1 ของจำนวน 1 หน้า

----- เริ่มรายงาน -----

รายงานการทดสอบ

ชื่อผู้รับบริการ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU-S7-023-FW)
ที่อยู่ผู้รับบริการ : 254 อาคารวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

ชื่อตัวอย่าง/ รายละเอียดตัวอย่าง : Biofloc ชั้นหนึ่งคัสต์น้ำตาลบรรจุในขวดพลาสติกปิดสนิท
น้ำหนัก 60 มิลลิกรัม

ผู้ส่งตัวอย่าง : ผู้ส่งตัวอย่างเป็นผู้ส่งตัวอย่าง


วันที่รับตัวอย่าง : 25 พฤศจิกายน 2558
วันที่เริ่มทดสอบ : 30 พฤศจิกายน 2558

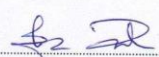
ผลการทดสอบ


รายการทดสอบ	ผล	วิธีทดสอบ
Carbohydrate	2.29 g/100 g	Compendium of methods for food analysis, First Edition 2003, Chapter 2, p2-9, Department of Medical Sciences
Protein (N x 6.25)	1.20 g/100 g	In-house method T058 based on AOAC (2012), 991.20
Total Fat	0.23 g/100 g	AOAC (2012), 954.02
Moisture	95.32 g/100 g	Asean Manual of Food Analysis(2011), p1-p2
Ash	0.96 g/100 g	Asean Manual of Food Analysis(2011), p38-p39

หมายเหตุ :-


----- สิ้นสุดรายงาน -----

ลงชื่อ 
(นางสาววิไลภัทรปัญญากุล)
ผู้จัดการด้านวิชาการ
ห้องปฏิบัติการเคมี

ลงชื่อ 
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเชียร)
รองผู้อำนวยการ


ลงชื่อ 
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ถักผล)
ผู้อำนวยการ

อนุมัติ โดย



ผลการทดสอบนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น
ห้ามนำรายงานการทดสอบนี้ไปประกาศโฆษณาและต้องไม่ถูกทำสำเนา (ยกเว้นทำทั้งหมด)
โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ

Feces : ตะกอนขี้ปลาเป็นของเสียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่แยกได้ด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องของถังเลี้ยงปลานิระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน จาก ป. เจริญฟาร์ม จ. ฉะเชิงเทรา



ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ชั้น 16 อาคารมหามกุฏ ถนนพญาไท
ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

เลขที่รายงาน : C0401/15
วันที่รายงาน : 3 ธันวาคม 2558
รหัสตัวอย่าง : 153951
หน้าที่ 1 ของจำนวน 1 หน้า

----- เริ่มรายงาน -----

รายงานการทดสอบ

ชื่อผู้ขอรับบริการ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU-57-023-FW)
ที่อยู่ผู้ขอรับบริการ : 254 อาคารวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

ชื่อตัวอย่าง/ รายละเอียดตัวอย่าง : Fecal ของเหลวมีตะกอนสีน้ำตาลบรรจุในขวดพลาสติกปิดสนิท
น้ำหนัก 60 มิลลิกรัม
ผู้ส่งตัวอย่าง : ผู้ส่งตัวอย่างเป็นผู้ส่งตัวอย่าง

วันที่รับตัวอย่าง : 25 พฤศจิกายน 2558
วันที่เริ่มทดสอบ : 30 พฤศจิกายน 2558


ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผล	วิธีทดสอบ
Carbohydrate	3.34 g/100 g	Compendium of methods for food analysis, First Edition 2003, Chapter 2, p2-9, Department of Medical Sciences
Protein (N x 6.25)	1.33 g/100 g	In-house method T058 based on AOAC (2012), 991.20
Total Fat	0.23 g/100 g	AOAC (2012), 954.02
Moisture	93.29 g/100 g	Asean Manual of Food Analysis(2011), p1-p2
Ash	1.81 g/100 g	Asean Manual of Food Analysis(2011), p38-p39

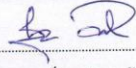
หมายเหตุ :-

----- สิ้นสุดรายงาน -----

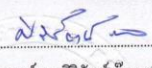
อนุมิตี โคธ

ลงชื่อ 

(นางสาววิไล กัทธปัญญากุล)
ผู้จัดการด้านวิชาการ
ห้องปฏิบัติการเคมี

ลงชื่อ 

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเชียร)
รองผู้อำนวยการ

ลงชื่อ 

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ กักผล)
ผู้อำนวยการ

ผลการทดสอบนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น
ห้ามนำรายงานการทดสอบนี้ไปประกาศโฆษณาและต้องไม่ถูกทำสำเนา (ยกเว้นทำทั้งหมด)
โดยไม่ได้ริบความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ

Sludge : ตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด

ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ชั้น 16 อาคารมหามกุฏ ถนนพญาไท
ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330



เลขที่รายงาน : C0402/15
วันที่รายงาน : 3 ธันวาคม 2558
รหัสตัวอย่าง : 153952
หน้าที่ 1 ของจำนวน 1 หน้า

----- เริ่มรายงาน -----

รายงานการทดสอบ

ชื่อผู้ขอรับบริการ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU-57-023-FW)
ที่อยู่ผู้ขอรับบริการ : 254 อาคารวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

ชื่อตัวอย่าง/ รายละเอียดตัวอย่าง : Sludge ของเหลวสีน้ำตาลบรรจุในขวดพลาสติกปิดสนิท
น้ำหนัก 60 มิลลิกรัม

ผู้ส่งตัวอย่าง : ผู้ส่งตัวอย่างเป็นผู้ส่งตัวอย่าง

วันที่รับตัวอย่าง : 25 พฤศจิกายน 2558
วันที่เริ่มทดสอบ : 30 พฤศจิกายน 2558


ผลการทดสอบ

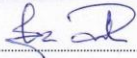
รายการทดสอบ	ผล	วิธีทดสอบ
Carbohydrate	2.06 g/100 g	Compendium of methods for food analysis, First Edition 2003, Chapter 2, p2-9, Department of Medical Sciences
Protein (N x 6.25)	1.42 g/100 g	In-house method T058 based on AOAC (2012), 991.20
Total Fat	0.29 g/100 g	AOAC (2012), 954.02
Moisture	94.35 g/100 g	Asean Manual of Food Analysis(2011), p1-p2
Ash	1.88 g/100 g	Asean Manual of Food Analysis(2011), p38-p39

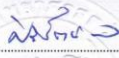
หมายเหตุ :-

----- สิ้นสุดรายงาน -----

อนุมัติ โดย

ลงชื่อ 
(นางสาววิไลภัทรปัญญากุล)
ผู้จัดการด้านวิชาการ
ห้องปฏิบัติการเคมี

ลงชื่อ 
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเชียร)
รองผู้อำนวยการ

ลงชื่อ 
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ทัศนผล)
ผู้อำนวยการ

ผลการทดสอบนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น
ห้ามนำรายงานการทดสอบนี้ไปประกาศโฆษณาและต้องไม่ถูกทำสำเนา (ยกเว้นทำทั้งฉบับ)
โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ

ค-3 ผลวิเคราะห์สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพของการทดลองในส่วนที่ 2

GC Shimadzu รุ่น GC-2010

Method

<Analytical Line 1>

[Injection Port SPL2]

Injection Mode	: Direct
Temperature	: 150.0 C
Carrier Gas	: He
Flow Control Mode	: Pressure
Pressure	: 100.0 kPa
Column Flow	: 10.00 mL/min
Linear Velocity	: 0.0 cm/sec
Purge Flow	: 3.0 mL/min

[Column Oven]

Initial Temperature	: 80.0 C	
Equilibration Time	: 3.0 min	
=Column Oven Temperature Program=		
Total Program Time	: 2.20 min	
Rate(C/min)	Temperature(C)	Hold Time(min)
-----	80.0	2.20

[Column Information] PQS

Column Name	: MS-5A
Serial Number	:
Film Thickness	: 0.00 um
Column Length	: 2.0 m
Inner Diameter	: 3.00 mm ID
Column Max Temp	: 400 C
Description	: PQS

[Detector Channel 1 TCD1]

Temperature	: 200.0 C
Signal Acquire	: Yes
Sampling Rate	: 40 msec
Stop Time	: 2.20 min
Delay Time	: 0.00 min
Subtract Detector	: None
Current	: 80 mA
Polarity	: +
Makeup Gas	: He
Makeup Flow	: 20.0 mL/min

[General]

< Ready Check Heat Unit >

Column Oven	: Yes
SPL2	: Yes
TCD1	: Yes

< Ready Check Detector (FTD) >

< Ready Check Baseline Drift >

TCD1	: No
------	------

< Ready Check Injection Flow >

SPL2 Carrier	: Yes
SPL2 Purge	: Yes

< Ready Check Add. Flow >

< Ready Check Detector APC Flow >

TCD1 Makeup	: Yes
External Wait	: No
Auto Flame On	: No
Auto Flame Off	: Yes
Reignite	: No
Auto Zero After Ready	: Yes

[Peak Integration Parameters - Channel 1]

Width	: 3 sec	Slope	: 1000 uV/min
Drift	: 0 uV/min	T.DBL	: 1000 min
Min.Area/Height	: 1000 counts		

[Quantitative Parameters - Channel 1]

=Quantitative Parameters=

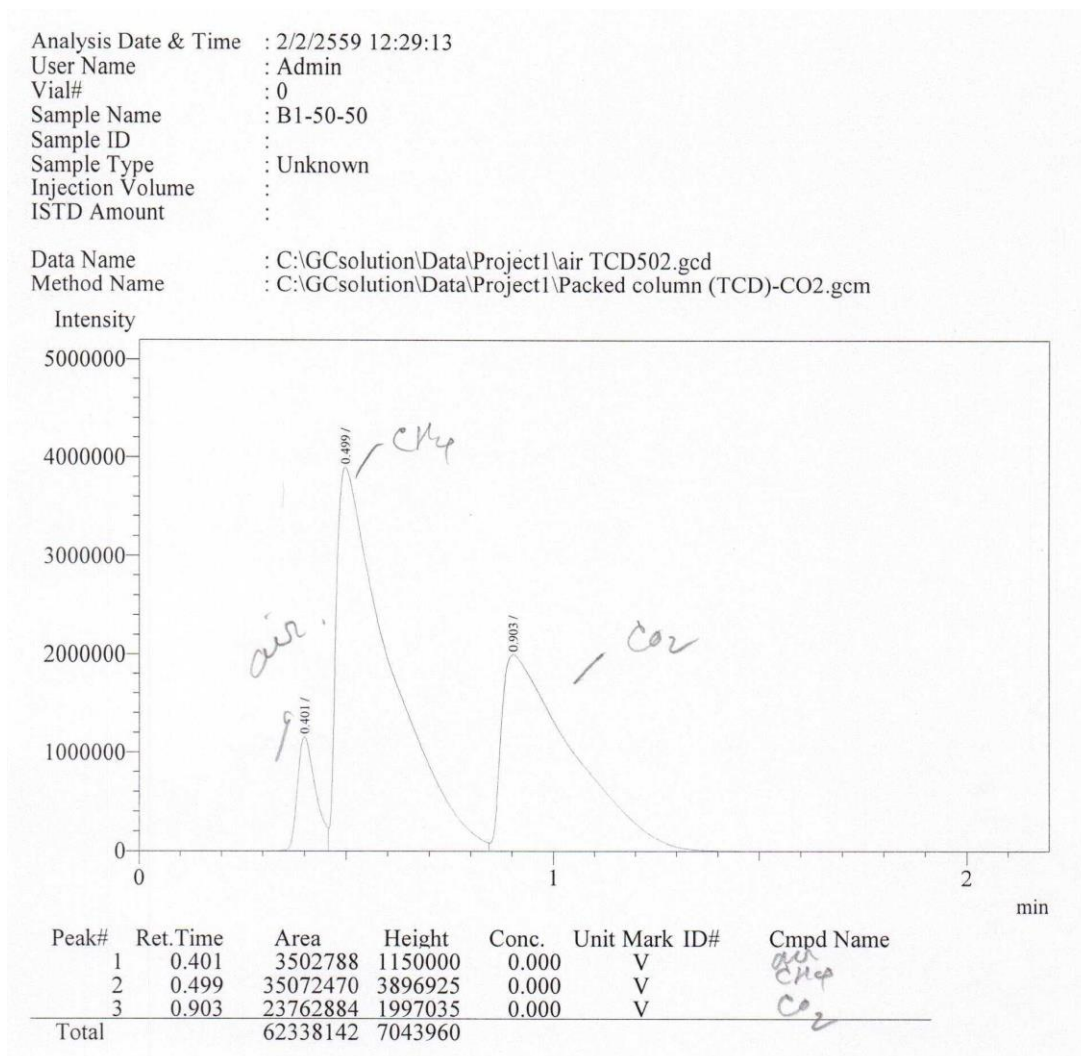
Quantitative Method	: External Standard	Calibration Level#	: 1
Calculated by	: Area	Through Origin	: Not through
Calibration Curve	: Linear	Unit	: ppm
Weight Regression	: None	Window	: 5 %
=Identification Parameters=		Identification Method	: Absolute
Window/Band	: Window	Grouping	: None
Default Band Time	: ---		
Peak Select	: All Peaks		
Correction RT	: No Change		

[Column Performance Parameters - Channel 1]

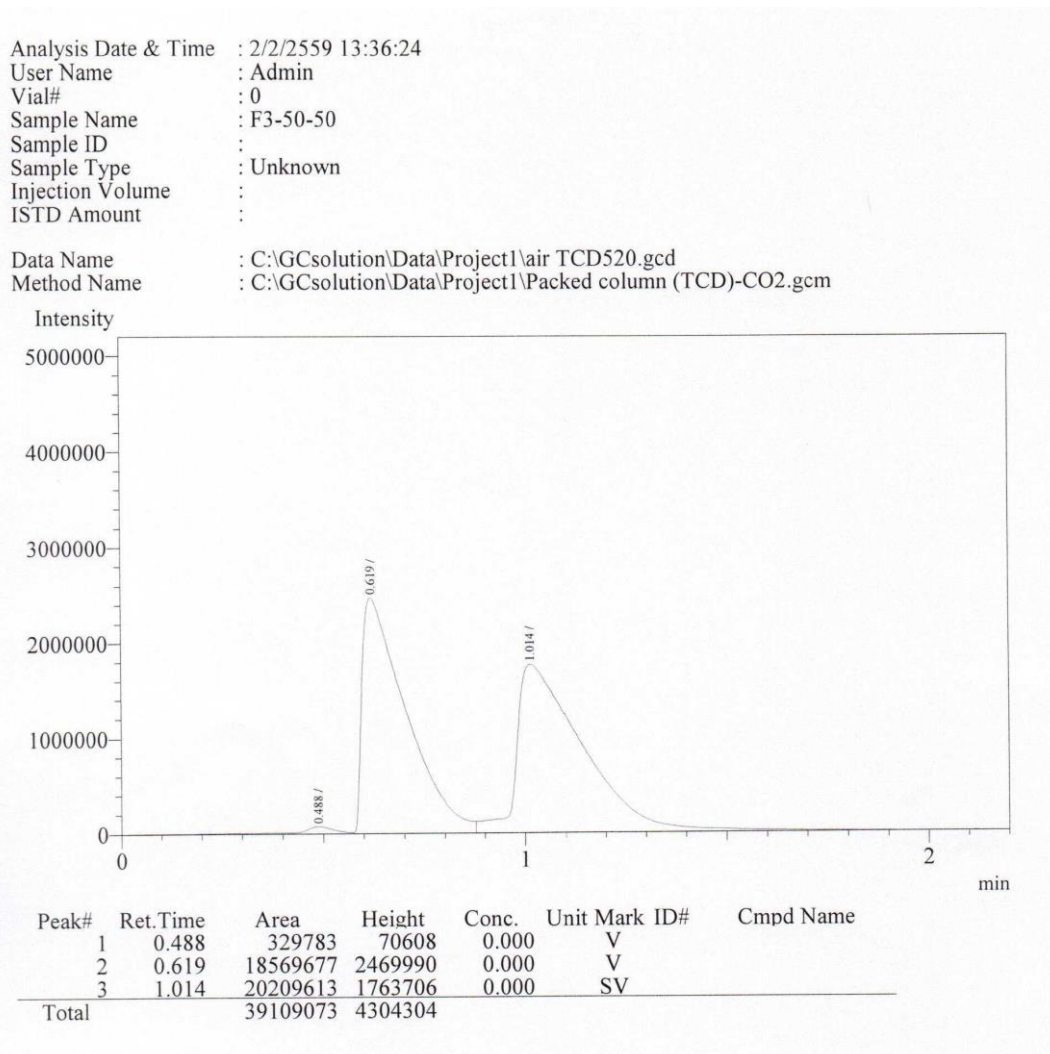
Calc. Method	: JP	Column Length	: 0 mm
Time of Unretained Peak	: Time of 1st Peak	Set Time	: ---
Calculated for Identified Peak	: OFF		



- ตัวอย่างองค์ประกอบก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ Biofloc เป็นวัตถุดิบตั้งต้น



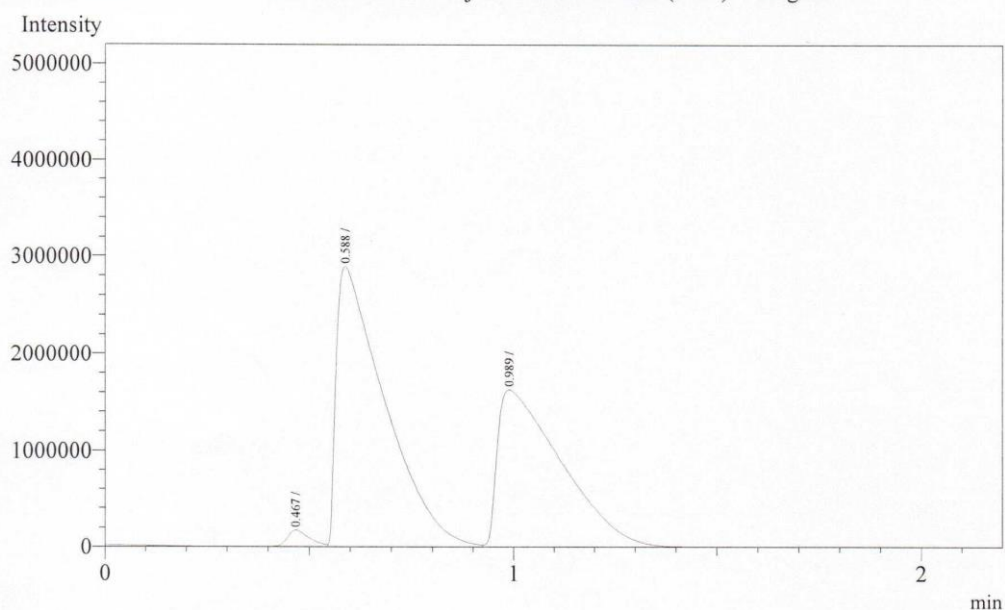
- ตัวอย่างองค์ประกอบก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ Feces เป็นวัตถุดิบตั้งต้น



- ตัวอย่างองค์ประกอบก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ Sludge เป็นวัตถุดิบตั้งต้น

Analysis Date & Time : 2/2/2559 12:50:33
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : S2-50-50
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD506.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

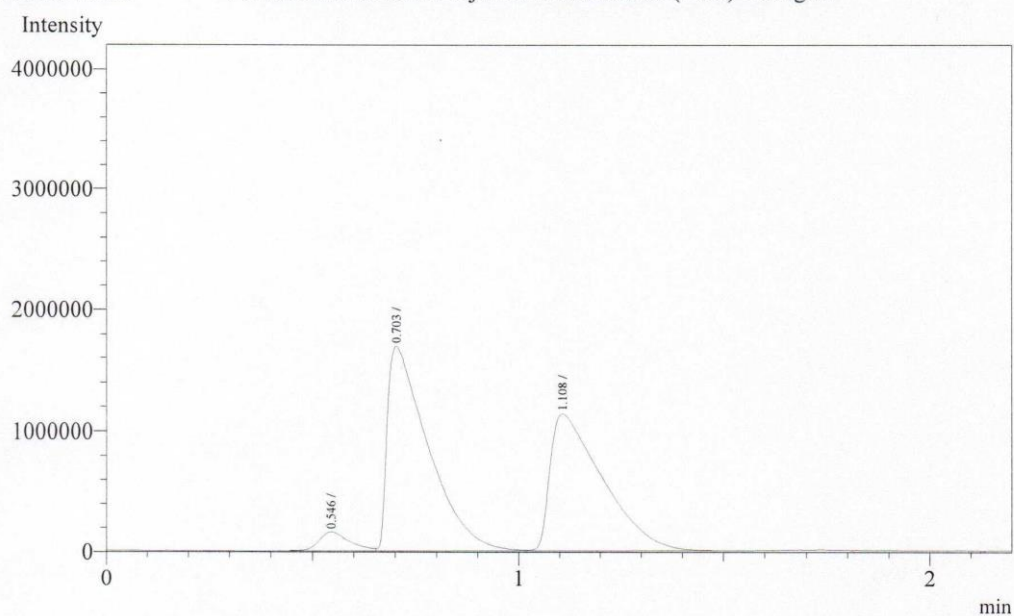


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.467	660192	173752	0.000			
2	0.588	23922283	2888169	0.000	V		
3	0.989	17865446	1630043	0.000	SV		
Total		42447921	4691964				

- ตัวอย่างองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ใช้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 1:4 เมื่อมี Feces เป็นวัตถุดิบตั้งต้น

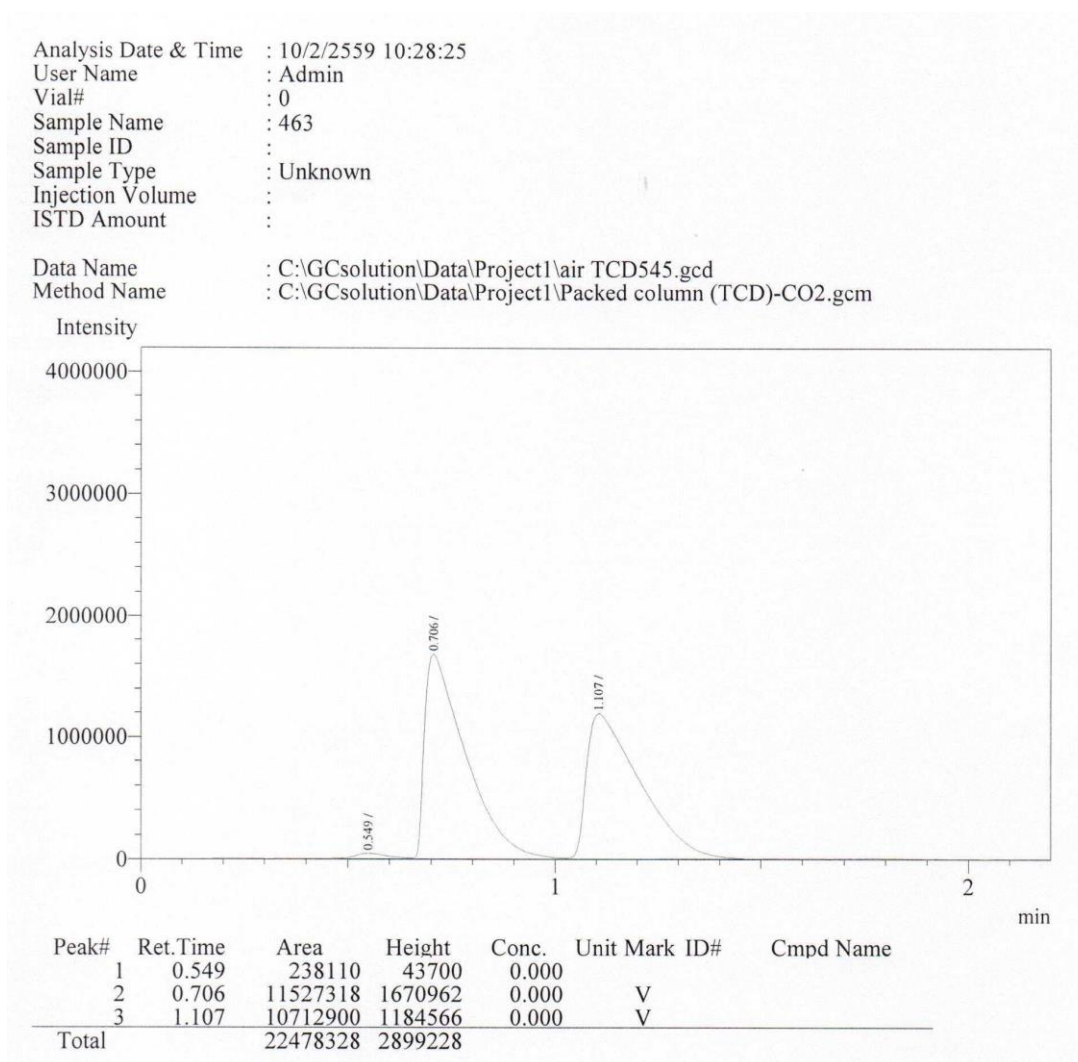
Analysis Date & Time : 10/2/2559 10:16:09
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : 281
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD541.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

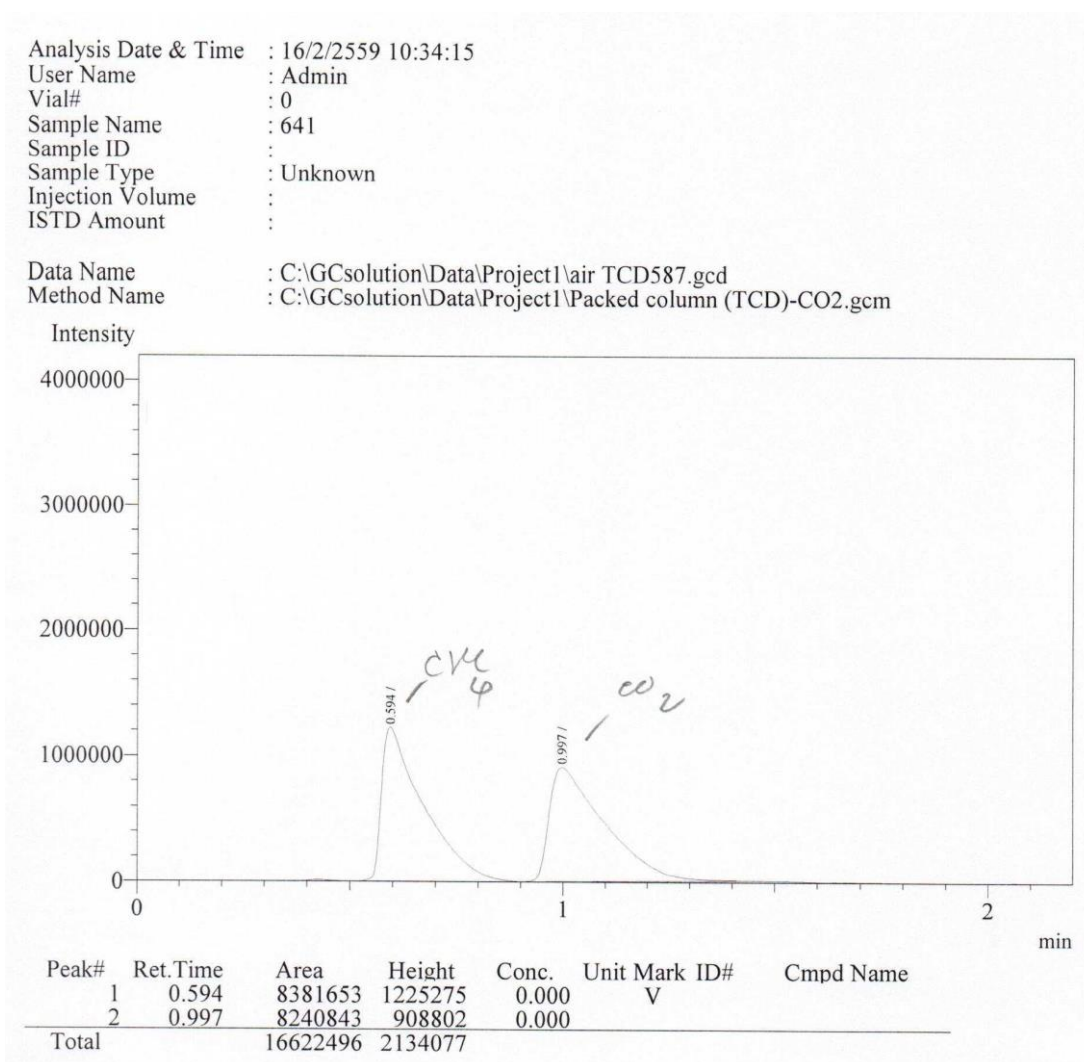


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.546	779715	154638	0.000			
2	0.703	11657398	1689659	0.000	V		
3	1.108	10137309	1127359	0.000	V		
Total		22574422	2971656				

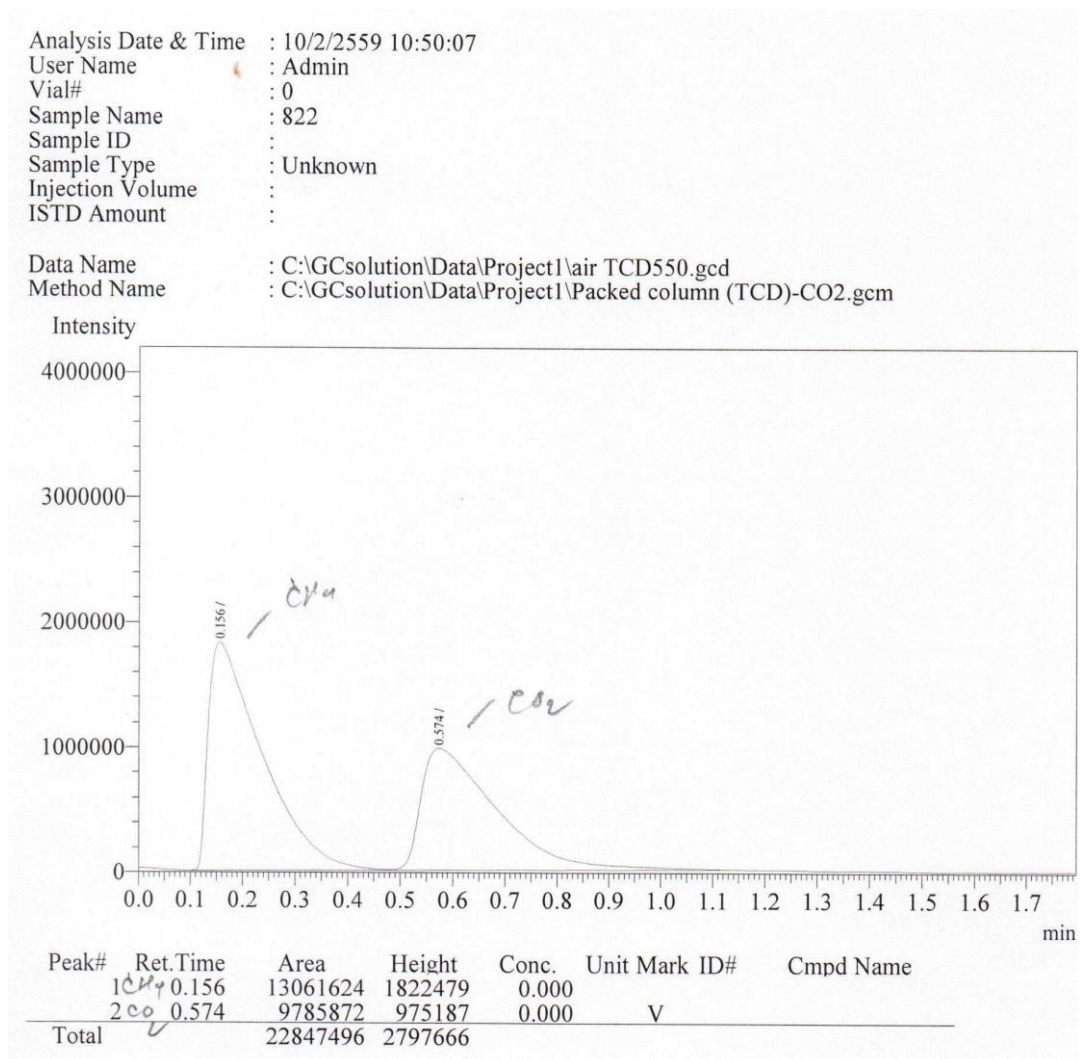
- ตัวอย่างองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ใช้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 2:3 เมื่อมี Feces เป็นวัตถุดิบตั้งต้น



- ตัวอย่างองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ใช้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 3:2 เมื่อมี Feces เป็นวัตถุดิบตั้งต้น



- ตัวอย่างองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ใช้ค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 4:1 เมื่อมี Feces เป็นวัตถุดิบตั้งต้น



ค-4 ผลวิเคราะห์สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพของการทดลองในส่วนที่ 3

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย		เอกสาร: ScFM-CT-06-002-A	FM
		แบบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ	โทร 0-2218-7523-5 โทรสาร 0-2255-5831 ลำดับการแก้ไข 0 หน้าที่ 1

วันที่ 8 มิถุนายน 2559

รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ

เรื่อง รายงานผลการวิเคราะห์ Gas Chromatography

ผู้ส่งตัวอย่าง : คุณนงลักษณ์ นิธิกุลรัตนนา
ใบเสนอราคาเลขที่ : CT041/59
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ชนิดตัวอย่าง : ก๊าซชีวภาพ
วันที่รับตัวอย่าง : 23 พฤษภาคม 2559

เครื่องมือวิเคราะห์/ทดสอบ : Gas Chromatography

สภาวะการวิเคราะห์ :

- Carrier Gas : Argon
- Injection : Temperature 150.0 °C
Flow Rate 30 mL/min
- Column name : MS-5A
Temperature 80.0 °C
Equilibration Time 3 min
- Detector : Temperature 200.0 °C
Sampling Rate 40 msec
Stop Time 5 min
Current 50 mA

มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการทดสอบ : -

เอกสาร	ผู้จัดเก็บ	วิธีการจัดเก็บ	สถานที่เก็บ/พิมพ์ที่เก็บ	ระยะเวลาที่เก็บ	ผู้อนุมัติให้ทำลาย	วิธีการทำลาย	ผู้มีหน้าที่ทำลาย
ScFM-CT-06-002-A	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	เข้าแฟ้ม	แฟ้มบริการวิชาการของ เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	1 ปี	QMR	ทิ้ง	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์

FM

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	เอกสาร: ScFM-CT-06-002-A	โทร 0-2218-7523-5 โทรสาร 0-2255-5831
	แบบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ	ลำดับการแก้ไข 0 หน้าที่ 2

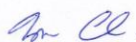
ผลการวิเคราะห์และทดสอบ

Standard	Retention Time	Area
25	3.042	375777.5
40	3.023	482895.4
60	2.999	585831.5
100	2.880	1237768.5

Sample	Retention Time	Area	Metane (%)	ก๊าซอื่นๆ
N1	3.191	47780.6	2.56371	97.43629
N2	3.199	21651.5	0.311396	99.6886
N3	3.145	193388.7	15.11505	84.88495
N4	3.083	349879.6	28.60448	71.39552
N5	3.028	551593.8	45.99214	54.00786
N6	3.192	24559.7	0.562081	99.43792
K	0	0	0	100
F1	3.085	344650.4	28.15373	71.84627
F2	3.073	358095.6	29.3127	70.6873
F3	3.159	120060.1	8.794164	91.20584
F4	3.050	475968.9	39.47331	60.52669
F5	2.958	845392.5	71.31743	28.68257
F6	3.098	255118.3	20.43611	79.56389
F7	3.094	263084.1	21.12276	78.87724
F8	3.074	340640.8	27.8081	72.1919
F9	2.992	615143.2	51.47006	48.52994

รับรองผลการวิเคราะห์ถูกต้อง

จินตนา สวงนิจ
(นางสาวจินตนา สวงนิจ)
นักวิทยาศาสตร์
วันที่ 8 มิถุนายน 2559


(รศ.ดร.นพิตา ทิอุรีระนันท์)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการเครื่องมือวิเคราะห์
วันที่ 8 มิถุนายน 2559

หมายเหตุ : 1. ผลการวิเคราะห์ในรายงานฉบับนี้ใช้อ้างอิงสำหรับตัวอย่างที่ส่งมาเท่านั้น

2. ห้ามทำสำเนารายงานฉบับนี้เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการ

เอกสาร	ผู้จัดเก็บ	วิธีการจัดเก็บ	สถานที่เก็บ/เพิ่มเติมเก็บ	ระยะเวลาที่เก็บ	ผู้อนุมัติให้ทำลาย	วิธีการทำลาย	ผู้มีหน้าที่ทำลาย
ScFM-CT-06-002-A	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	เข้าแฟ้ม	แฟ้มบริการวิชาการของ เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	1 ปี	QMR	ทิ้ง	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	เอกสาร: ScFM-CT-06-002-A	FM โทร 0-2218-7523-5
	แบบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ	โทรสาร 0-2255-5831 ลำดับการแก้ไข 0 หน้าที่ 1

วันที่ 13 กรกฎาคม 2559

รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ

เรื่อง รายงานผลการวิเคราะห์ Gas Chromatography

ผู้ส่งตัวอย่าง : คุณนงลักษณ์ นิธิกุลรัตนนา

ใบเสนอราคาเลขที่ : CT069/59

หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดตัวอย่าง : ก๊าซชีวภาพ

วันที่รับตัวอย่าง : 29 มิถุนายน 2559

เครื่องมือวิเคราะห์/ทดสอบ : Gas Chromatography

สภาวะการวิเคราะห์ :

- Carrier Gas : Argon
- Injection : Temperature 150.0 °C
Flow Rate 30 mL/min
- Column name : MS-5A
Temperature 80.0 °C
Equilibration Time 3 min
- Detector : Temperature 200.0 °C
Sampling Rate 40 msec
Stop Time 5 min
Current 50 mA

มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการทดสอบ : -

เอกสาร	ผู้จัดเก็บ	วิธีการจัดเก็บ	สถานที่เก็บ/เพิ่มที่เก็บ	ระยะเวลาที่เก็บ	ผู้อนุมัติให้ทำลาย	วิธีการทำลาย	ผู้มีหน้าที่ทำลาย
ScFM-CT-06-002-A	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	เข้าแฟ้ม	แฟ้มบริการวิชาการของ เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	1 ปี	QMR	ทิ้ง	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	เอกสาร: ScFM-CT-06-002-A	โทร 0-2218-7523-5 โทรสาร 0-2255-5831
	แบบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ	ลำดับการแก้ไข 0 หน้าที่ 2

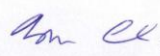
ผลการวิเคราะห์และทดสอบ

Standard	Retention Time (min)	Area
25	3.04	375777.5
40	3.02	482895.4
60	3.00	585831.5
100	2.88	1237768.5

Sample	Retention Time (min)	Area	Metane (%)	ก๊าซอื่นๆ
Fre,4	3.00	460077.4	38.10	61.90
Fre,6	3.07	124285.5	9.16	90.84
Fre,9	2.86	1041308.2	88.21	11.79
Fre,12	2.99	403359.0	33.21	66.79
Fre,15	2.98	368066.1	30.17	69.83

รับรองผลการวิเคราะห์ถูกต้อง

จิณณา สวอนิจ
(นางสาวจินตนา สวงนใจ)
นักวิทยาศาสตร์
วันที่ 13 กรกฎาคม 2559


(รศ.ดร.นพิตา วิทยุธีระนันท์)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการเครื่องมือวิเคราะห์
วันที่ 13 กรกฎาคม 2559

- หมายเหตุ : 1. ผลการวิเคราะห์ในรายงานฉบับนี้ใช้อ้างอิงสำหรับตัวอย่างที่ส่งมาเท่านั้น
2. ห้ามทำสำเนารายงานฉบับนี้เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการ

เอกสาร	ผู้จัดเก็บ	วิธีการจัดเก็บ	สถานที่เก็บ/เพิ่มที่เก็บ	ระยะเวลาที่เก็บ	ผู้อนุมัติให้ทำลาย	วิธีการทำลาย	ผู้มีหน้าที่ทำลาย
ScFM-CT-06-002-A	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	เข้าแฟ้ม	แฟ้มบริการวิชาการของ เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	1 ปี	QMR	ทิ้ง	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างรายการคำนวณ

ง-1 ตัวอย่างวิธีการคำนวณค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

จากการส่งตัวอย่างตะกอนอินทรีย์ Feces วิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN Analyser ได้ผลวิเคราะห์ดังนี้

ร้อยละของคาร์บอน เท่ากับ 36.14

ร้อยละของไฮโดรเจน เท่ากับ 5.16

ร้อยละของไนโตรเจน เท่ากับ 2.36

วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio)} &= \frac{\text{ร้อยละของคาร์บอน}}{\text{ร้อยละของไนโตรเจน}} \\ &= \frac{36.14}{2.36} = 15.31 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio) ของตัวอย่างตะกอน Feces เท่ากับ 15.31

ง-2 ตัวอย่างวิธีการคำนวณวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้อยู่ในหน่วย กรัมต่อลิตร

จากผลการส่งวิเคราะห์ตะกอนอินทรีย์ Biofloc (ผลวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ค-2) พบว่า

มีคาร์โบไฮเดรต	เท่ากับ 2.29	กรัม/ 100 กรัม (น้ำหนักเปียก)
มีโปรตีน	เท่ากับ 1.20	กรัม/ 100 กรัม (น้ำหนักเปียก)
มีไขมัน	เท่ากับ 0.23	กรัม/ 100 กรัม (น้ำหนักเปียก)
มีน้ำ	เท่ากับ 95.32	กรัม/ 100 กรัม (น้ำหนักเปียก)
มีเถ้า	เท่ากับ 0.96	กรัม/ 100 กรัม (น้ำหนักเปียก)

วิธีการคำนวณ

ในตะกอน 100 กรัม มีน้ำ 95.32 กรัม และเถ้า (inorganic) 0.96 กรัม

ดังนั้น ในตะกอน 100 กรัม มีสารอินทรีย์ (VS) เท่ากับ $100 - 95.32 - 0.96 = 3.72$ กรัม

จะได้ว่า ในสารอินทรีย์ 3.72 กรัม มีคาร์โบไฮเดรต 2.29 กรัม คิดเป็น 61.56 %VS

ในสารอินทรีย์ 3.72 กรัม มีโปรตีน 1.20 กรัม คิดเป็น 32.25 %VS

ในสารอินทรีย์ 3.72 กรัม มีไขมัน 0.23 กรัม คิดเป็น 6.18 %VS

โดยในตะกอน Biofloc 1 ลิตร มี สารอินทรีย์ (VS) เท่ากับ 51.97 กรัม

ฉะนั้น ในสารอินทรีย์ (VS) 51.97 กรัม มีคาร์โบไฮเดรต 31.99 กรัม (31.99 กรัม/ลิตร)

ในสารอินทรีย์ (VS) 51.97 กรัม มีคาร์โบไฮเดรต 16.76 กรัม (16.76 กรัม/ลิตร)

ในสารอินทรีย์ (VS) 51.97 กรัม มีคาร์โบไฮเดรต 3.21 กรัม (3.21 กรัม/ลิตร)

ง-3 ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

จากการส่งตัวอย่างตะกอนอินทรีย์ Biofloc วิเคราะห์โปรตีน พบว่าปริมาณโปรตีนจากผลวิเคราะห์เกิดจาก ปริมาณไนโตรเจนคูณ 6.25 (ดังภาคผนวก ค-2)

วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} &= \text{ปริมาณโปรตีน(ก./ล.)} / 6.25 \\ &= 16.76 / 6.25 \\ &= 2.6816 \text{ กรัมต่อลิตร หรือ } 2,681.60 \end{aligned}$$

ง-4 ตัวอย่างการคำนวณตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่บรรจุลงขวดเซรุ่มการทดลองส่วนที่ 2

จากปริมาณของแข็งทั้งหมดของหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 30.09 ก./ล. และมีของแข็งระเหยเท่ากับ 25.02 ก./ล. ในส่วนของตะกอนอินทรีย์ Sludge มีของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 82.74 ก./ล. และของแข็งระเหยเท่ากับ 60.65 ก./ล.

วิธีการคำนวณ

- ต้องการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ในขวดเซรุ่ม 1 ก. ของแข็งระเหย ต้องใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ = ?

ในของแข็งทั้งหมด 30.09 ก. มีของแข็งระเหย 25.02 ก.

ต้องการของแข็งระเหย 1 ก. ต้องใช้ของแข็งทั้งหมด $30.09/25.02 = 1.20$ ก.

โดย หัวเชื้อจุลินทรีย์ปริมาตร 1,000 มล. มีของแข็งทั้งหมด 30.09 ก.

ฉะนั้น ถ้าใช้ของแข็งทั้งหมด 1.20 ก. ต้องใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ปริมาตร $\frac{1.20 \times 1,000}{30.09} = 39.88$ มล.

- ต้องการใส่ Sludge ในขวดเซรุ่ม 1 ก. ของแข็งระเหย ต้องใช้ Sludge = ?

ในของแข็งทั้งหมด 82.74 ก. มีของแข็งระเหย 60.65 ก.

ต้องการของแข็งระเหย 1 ก. ต้องใช้ของแข็งทั้งหมด $82.74/60.65 = 1.36$ ก.

โดย Sludge ปริมาตร 1,000 มล. มีของแข็งทั้งหมด 82.74 ก.
 ฉะนั้น ถ้าใช้ของแข็งทั้งหมด 1.36 ก. ต้องใช้ Sludge ปริมาตร $\frac{1.36 \times 1,000}{82.74} = 16.43$ มล.

ดังนั้น เพื่อให้มีของแข็งระเหยในขวดเซรัมเท่ากับ 2 ก. ของแข็งระเหย ต้องใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาตร **39.88** มล. และใส่ Sludge ปริมาตร **16.43** มล. ลงในขวดเซรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่นปรับ ปริมาตรให้ภายในขวดเซรัมมีปริมาตรทำงานเท่ากับ 80 มล. สำหรับการทดสอบสอคล้องภาพการผลิตก๊าซ ด้วยเทคนิคบีเอ็มพี

ง-4 ตัวอย่างการคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน

การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L ในการทดลองที่ 3.1 พบว่า มีก๊าซชีวภาพสะสมในระยะเวลา 40 วัน เท่ากับ 31,049 มล. และมีสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ ร้อยละ 42.81 โดยที่ของแข็งระเหยของตะกอนอินทรีย์ที่เติมเข้าระบบเริ่มต้นเท่ากับ 132.72 ก. ของแข็งระเหย และซีไอดีรวมเริ่มต้นของระบบเท่ากับ 237.18 ก. ซีไอดี

วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ผลผลิตก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L} &= \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม}}{\text{ปริมาณของแข็งระเหยเริ่มต้นของตะกอน}} \\ &= \frac{31,049 \text{ มล.}}{132.72 \text{ ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้น}} \\ &= 260.96 \text{ มล./ก.ของแข็งระเหยเริ่มต้น} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม} &= \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม} \times \text{สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพ} \\ &= 31,049 \text{ มล.} \times 42.81\% \\ &= 14,826.82 \text{ มล. มีเทน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลผลิตก๊าซมีเทนจากถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L} &= \frac{\text{ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม}}{\text{ปริมาณของแข็งระเหยเริ่มต้นของตะกอน}} \\ &= \frac{14,826.82 \text{ มล.}}{132.72 \text{ ก. ของแข็งระเหยเริ่มต้น}} \\ &= 111.72 \text{ มล./ก.ของแข็งระเหยเริ่มต้น} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{หรือ ผลผลิตก๊าซมีเทนจากถังปฏิกรณ์ 50 g TS/L} &= \frac{\text{ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม}}{\text{ปริมาณซีโอดีรวมเริ่มต้นของระบบ}} \\
 &= \frac{14,826.82 \text{ มล.}}{237.18 \text{ ก. ซีโอดีรวมเริ่มต้น}} \\
 &= 62.51 \text{ มล./ก. ซีโอดีรวมเริ่มต้นของระบบ}
 \end{aligned}$$



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนงลักษณ์ นิธิกุลรัตนาก เกิดเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2533 ที่จังหวัดสระบุรี ปัจจุบันอายุ 26 ปี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

