



การผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ของระบบหมุนเวียนน้ำ สำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

Biogas Production from Organic Wastes from Recirculating Aquaculture Systems

Nongluck Nitikulrattana* Wiboonluk Pungrasmi* and Sorawit Powtongsook**

นงลักษณ์ นิธิกุลรัตน* วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัมย์* และ สรวิศ เผ่าทองสุข**

*ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

**ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ จังหวัดปทุมธานี 12120; ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้าน

เทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

*E-mail : wiboonluk.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดขึ้นในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยทำการทดลองเพื่อหาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ วัตถุประสงค์ต้นในการทดลอง คือ ตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) ตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) (2) ตะกอนขี้ปลาที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลา ระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน (Feces) และ (3) ตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Sludge) เพื่อเลือกตะกอนอินทรีย์ที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด และแปรค่าอัตราส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ 5 ระดับ ได้แก่ 1:4, 2:3, 1:1, 3:2 และ 4:1 เพื่อหาค่าสัดส่วนที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยทำการทดลองในขวดหมักชีขาขนาด 100 มล. ด้วยเทคนิคบีเอ็มพี (BMP; Biochemical Methane Potential) ใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้น 42 วัน ผลการทดลองพบว่า ตะกอนขี้ปลา (Feces) มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 347.65 ± 32.95 มล./ก.ของแข็งระเหย และ 175.28 ± 16.62 มล.มีเทน/ก.ของแข็งระเหย ตามลำดับ เมื่อทำการแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า 3:2 เป็นค่าสัดส่วนที่มีผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุด เท่ากับ 361.93 ± 3.68 มล./ก.ของแข็งระเหย และร้อยละ 58.23 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ; ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ; การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบหมุนเวียนแบบปิด; ไบโอฟล็อก; การย่อยสลายแบบไร้อากาศ; บีเอ็มพี

Abstract

The 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 was separate from recirculating aquaculture tank by continuous sludge separator and (3) Sludge ; aquaculture sludge that consist feces and uneaten feed from recirculating aquaculture tank. Moreover, the optimal ratio between organic waste and biogas inoculum i.e. 1:4, 2:3, 1:1, 3:2 and 4:1 were evaluated as to provide the maximum biogas yield. The experiment was conducted in 100 ml serum bottles using Biochemical Methane Potential (BMP) technique for 42 days. It was found that feces had the highest biogas and methane production of 347.65 ± 32.95 mL/g VS substrate and 175.28 ± 16.62 mL CH_4 /g VS substrate, respectively. The optimal substrate to inoculum ratio at 3:2 gave the highest biogas production rate of 361.93 ± 3.68 mL/g VS substrate with 58.23% methane content.

Keywords : Biogas; Organic aquaculture waste; Recirculating Aquaculture System; Biofloc;

Anaerobic digestion; BMP

บทนำ

การเลี้ยงสัตว์น้ำในระดับความหนาแน่นสูง (Intensive culture) เพื่อให้ได้ผลผลิตปริมาณมากต่อพื้นที่ การเลี้ยงที่จำกัดมีเทคนิคและรูปแบบการเลี้ยงที่หลากหลาย ซึ่งการเลี้ยงสัตว์น้ำระดับความหนาแน่นสูงนี้จะส่งผลให้เกิดของเสียในรูปตะกอนอินทรีย์ปริมาณมาก โดยประมาณร้อยละ 25 ของอาหารที่เข้าสู่ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นของเสียในรูปตะกอนอินทรีย์แขวนลอย [1] ซึ่งจำเป็นต้องแยกออกด้วยระบบแยกตะกอนก่อนนำไปทิ้ง ปัจจุบันตะกอนเหล่านี้ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศเพื่อบำบัดตะกอนอินทรีย์จากระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยตะกอนที่ใช้ในการทดลองเก็บรวบรวมจากบ่อเลี้ยงปลานิล แบ่งเป็น 3 ชนิดตามรูปแบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน ได้แก่ (1) Biofloc เป็นตะกอนอินทรีย์แขวนลอยที่เก็บจากบ่อเลี้ยงที่ดำเนินการด้วยระบบไบโอฟล็อก โดยมีการเติมแหล่งคาร์บอน

อินทรีย์ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังลงในบ่อเลี้ยงเพื่อกระตุ้นให้จุลินทรีย์สร้างตะกอนฟล็อก การเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบนี้จะไม่มีการเวียนน้ำออกสู่ระบบบำบัด เนื่องจากจุลินทรีย์จะดึงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำซึ่งเป็นของเสียมาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ถือเป็นการบำบัดของเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในบ่อเลี้ยง ดังนั้นตะกอนอินทรีย์ที่ได้จะประกอบไปด้วยเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของปลา ขี้ปลาที่ผ่านการย่อยสลายแล้วบางส่วน และตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการรวมกลุ่มกันแขวนลอยอยู่ในน้ำ (2) Feces เป็นตะกอนขี้ปลาที่แยกออกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาแบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งการเลี้ยงระบบนี้จะมีการหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงผ่านระบบบำบัดตลอดเวลา โดยน้ำจะถูกดูดออกทางก้นบ่อเพื่อนำไปแยกตะกอนออกจากน้ำด้วยวิธีการกรอง ซึ่งตะกอนอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ค้างอยู่บนตะแกรงคัดตะกอนจะเป็นขี้ปลา และอาจมีเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของปลาปะปนออกมาเพียงเล็กน้อย และ (3) Sludge เป็นตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยง

สัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ซึ่งเป็นตะกอนอินทรีย์จากบ่อเลี้ยงในระบบปิดที่ไม่มีการเวียนน้ำออกสู่ระบบบำบัด ของเสียจะถูกบำบัดด้วยจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในบ่อเลี้ยงผ่านกระบวนการทางชีวภาพ แต่จะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบางส่วนเมื่อบ่อเลี้ยงมีปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนสูงเกินไป ในตะกอนจะประกอบไปด้วยเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของปลา และขี้ปลา โดยตะกอนดังกล่าวจะเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพแล้วบางส่วน ทั้งนี้การบำบัดแบบไร้อากาศนอกจากจะช่วยลดปริมาณตะกอนของเสียอินทรีย์จากระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อการเลี้ยงสัตว์น้ำแล้ว ยังได้ก๊าซชีวภาพซึ่งใช้เป็นพลังงานทางเลือก และอาจใช้ทดแทนพลังงานเสริมในการให้ความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำได้

อุปกรณ์และวิธีการ

ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำและหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

หัวเชื้อจุลินทรีย์ไร้อากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นตะกอนเมื่อดึงจากถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีของบริษัทเสริมสุข จำกัด (มหาชน) ส่วนตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำได้จากบ่อไร่น้ำภายในโรงเรือนของการเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ โดยตะกอนแขวนลอยจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระบบไบโอฟล็อก (Biofloc) และตะกอนธรรมชาติที่เกิดในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Sludge) ได้จากบ่อเลี้ยงปลานิลในโรงเรือนของห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจะทำการเก็บตัวอย่างจากบ่อตกตะกอน จากนั้นนำตะกอนที่เก็บได้มากรองผ่านผ้ากรองเพื่อแยกน้ำออกให้เหลือแต่ตะกอนเข้มข้นสำหรับตะกอนขี้ปลาที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอน

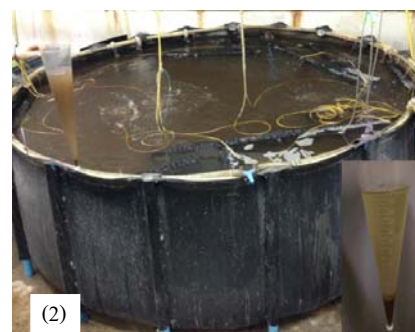
แบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน (Feces) นำมาจากบ่อเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดของ ป.เจริญฟาร์ม จ.ฉะเชิงเทรา โดยตะกอนอินทรีย์ที่เก็บจากการเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบต่างๆ จะทำการเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นภายใต้อุณหภูมิ - 4°C สำหรับลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

การประเมินศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเทคนิคบีเอ็มพี

เปรียบเทียบผลผลิตก๊าซชีวภาพของตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบด้วยเทคนิคบีเอ็มพี ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Moody และคณะ (2009) [2] เมื่อใช้ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำดังกล่าวเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทำการทดลองในขวดเชอร์รี่ลีชาปริมาตร 100 มล. และผสมตะกอนอินทรีย์ทั้ง 3 รูปแบบกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 1:1 โดยเติมตะกอนอินทรีย์ 1 กรัมของแข็งระเหย และหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1 กรัมของแข็งระเหย เติมน้ำกลั่นและสารอาหารเสริมจนมีปริมาตร 80 มล. ทำการทดลอง 3 ข้างในแต่ละชุดทดลอง และมีชุดควบคุมเป็นขวดที่เติมเฉพาะหัวเชื้อจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองโดยใช้กระบอกนิตยาที่ต่อเข้ากับเข็มฉีดเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ โดยกระบอกนิตยาจะถูกดันให้เคลื่อนที่จากแรงดันของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อแทงเข็มฉีดลงในขวดเชอร์รี่ อ่านปริมาตรบริเวณด้านข้างของกระบอกนิตยา และตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแก๊สทั้งหมด ของแข็งระเหย กรดอินทรีย์ระเหย ซีไอดี แอมโมเนีย ไนเตรต ฟิเอช และอัลคาลินิตีตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater [3]

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ \ ตัวอย่าง	Biofloc	Feces	Sludge	หัวเชื้อจุลินทรีย์
ของแข็งทั้งหมด (ก./ล.)	65.27 ± 1.71	91.11 ± 5.78	82.74 ± 3.44	30.09 ± 2.55
ของแข็งระเหยได้ (ก./ล.)	51.97 ± 1.63	69.09 ± 4.80	60.65 ± 2.91	25.02 ± 1.78
คาร์โบไฮเดรต (ก./ล.)	32.76	49.15	34.21	-
โปรตีน (ก./ล.)	17.17	19.57	23.58	-
ไขมัน (ก./ล.)	3.29	3.38	4.82	-
ซีโอไซด์รวม (ก./ล.)	56.32 ± 10.23	72.23 ± 8.59	63.18 ± 11.59	102.14 ± 29.28
แอมโมเนีย (มก./ล.)	203.25 ± 11.51	162.37 ± 14.30	221.61 ± 4.37	-
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	-
ร้อยละของคาร์บอน	38.47	36.14	35.77	45.35
ร้อยละของไฮโดรเจน	5.36	5.16	5.09	6.90
ร้อยละของไนโตรเจน	2.35	2.36	2.42	6.53
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	16.37	15.31	14.78	6.95



รูปที่ 1 บ่อเลี้ยงปลาที่ใช้เก็บตัวอย่างตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ ; (1) Biofloc (2) Sludge (3) Feces

การแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักก๊าซชีวภาพ

นำตะกอนอินทรีย์ที่มีศักยภาพสูงสุดในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการประเมินศักยภาพของการทดลองแรกมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทำการแปรค่าสัดส่วนของตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 5 ระดับ ได้แก่ 1:4, 2:3, 1:1, 3:2 และ 4:1 ในขวดหมักชีวภาพปริมาตร 100 มล. ซึ่งทุกชุดการทดลองจะทำการควบคุมปริมาณของแฉะระเหยคงที่เท่ากับ 2 กรัมของแฉะระเหย ดำเนินการด้วยเทคนิคบีเอ็มพี ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และใช้ขวดที่มีเฉพาะหัวเชื้อจุลินทรีย์เป็นชุดควบคุม

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างตะกอนอินทรีย์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

จากตารางที่ 1 พบว่าตะกอนขี้ปลามีปริมาณของแฉะทั้งหมดและของแฉะระเหยได้สูงที่สุด และมากกว่าหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง ในส่วนของปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน รวมถึงความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรตของตะกอนอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าซีไอโดยรวมของตัวอย่างตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าซีไอโดยรวมของหัวเชื้อจุลินทรีย์มีค่าสูงกว่าตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำมาก สำหรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของตะกอนอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองพบว่า ตะกอนอินทรีย์จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบมีค่าอยู่ระหว่าง 14.78-16.37 ซึ่งน้อยกว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่แนะนำสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้อัตราส่วนที่แนะนำควรมีค่าอยู่ในช่วง 20-30 [4]

การประเมินศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเทคนิคบีเอ็มพี

จากการประเมินประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนอินทรีย์ทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าการใช้ตะกอนขี้ปลาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนสูงสุดเท่ากับ 347.65 ± 32.95 และ 175.28 ± 16.62 มล./ก. ของแฉะระเหย โดยมีร้อยละของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 50.42 (ดังแสดงในตารางที่ 2) ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่วัดได้จากชุดควบคุมที่มีเพียงหัวเชื้อจุลินทรีย์ตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 22.4 ± 3.2 มล. ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Gebauer และ Eikebrokk (2006) [5] ซึ่งมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 260-280 มล./ก.ของแฉะระเหย และมีสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพร้อยละ 59-61 จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตามในงานวิจัยดังกล่าวอาจใช้ตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนอินทรีย์ รวมทั้งสภาวะการทดลองที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ สำหรับผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของตะกอนอินทรีย์ในระหว่างการทดลองพบว่า ปริมาณของแฉะทั้งหมด ปริมาณของแฉะระเหย และปริมาณซีไอโดยรวมของทุกชุดการทดลองมีปริมาณลดลงหลังสิ้นสุดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 สำหรับปริมาณแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงเริ่มต้นการทดลอง โดยปริมาณแอมโมเนียตลอดการทดลองมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 636 ± 24 มก./ล. ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นที่ไม่ส่งผลยับยั้งกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ เนื่องจาก Rajagopal และคณะ (2013) [6] รายงานว่าปริมาณแอมโมเนียในช่วง 200-1,000 มก./ล. ไม่ส่งผลยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน

ในระหว่างการทดลองค่าความเป็นกรดค้างหรือพีเอชค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ค่าอัลคาไลน์ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดช่วง

ตารางที่ 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนของตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ

ชุดการทดลอง	ก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	ก๊าซมีเทน (มล.)	ร้อยละของมีเทน	อัตราการผลิตก๊าซ (มล./ก.ของแข็งระเหย)	
				ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซมีเทน
Biofloc	333.2 ± 5.7	184.04 ± 3.15	55.23	225.92 ± 3.87	124.35 ± 2.13
Feces	413.7 ± 39.2	208.59 ± 19.77	50.42	347.65 ± 32.95	175.28 ± 16.62
Sludge	342.2 ± 6.7	183.23 ± 3.60	53.54	265.30 ± 5.21	142.04 ± 2.79

ตารางที่ 3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยง่าย และซีโอดีรวมเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

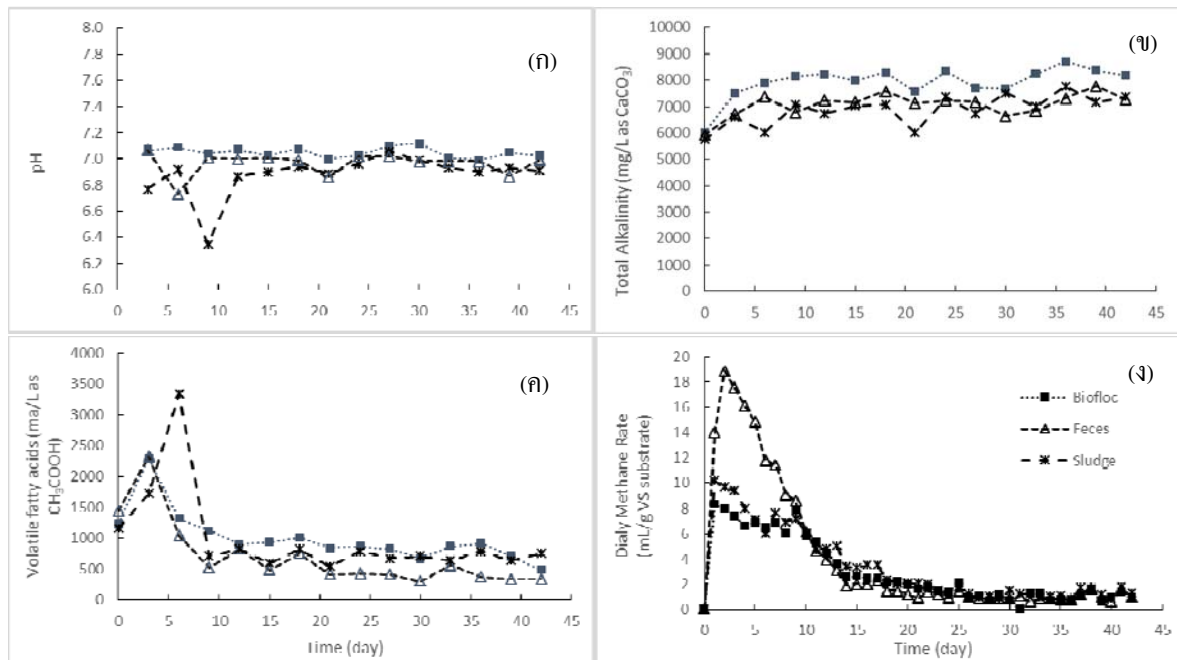
ชุดการทดลอง	ของแข็งทั้งหมด (ก./ล.)		ของแข็งระเหยง่าย (ก./ล.)		ซีโอดีรวม (ก./ล.)	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
Biofloc	46.43 ± 1.34	38.41 ± 0.44	36.86 ± 1.15	29.95 ± 0.38	46.14 ± 1.82	43.56 ± 3.58
Feces	37.24 ± 3.86	32.65 ± 1.48	29.78 ± 4.40	24.22 ± 1.04	47.34 ± 3.29	39.38 ± 1.19
Sludge	41.37 ± 2.95	37.11 ± 1.86	32.19 ± 2.56	27.93 ± 1.64	47.54 ± 5.41	37.79 ± 2.10

การทดลองดังแสดงในรูปที่ 2(ก) และ 2(ข) ส่วนปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยดังรูปที่ 2(ค) มีปริมาณสูงขึ้นในช่วงแรกของการทดลองเนื่องจากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบจากนั้นจะเริ่มลดลงจนมีค่าคงที่ โดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงกลางของการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง ทั้งนี้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกมีความสอดคล้องกับผลผลิตของก๊าซชีวภาพรายวันที่เกิดมากในช่วง 14 วันแรกของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2(ง)

การแปรค่าสัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักก๊าซชีวภาพ

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากชุดควบคุมของชุดการทดลองที่สัดส่วน 1:4, 2:3, 1:1, 3:2 และ 4:1 (มีหัวเชื้อจุลินทรีย์อย่างเดียว) ตลอดการทดลองมีปริมาณเท่ากับ 29.8 ± 1.0 , 23.9 ± 2.7 , 22.4 ± 3.2 , 17.9 ± 2.3 และ 9.5 ± 0.6 มล. ตามลำดับ จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่มีค่าอัตราส่วนตะกอน

อินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 3:2 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด แสดงว่าตะกอนอินทรีย์จากบ่อเลี้ยงปลาสามารถถูกนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในกระบวนการผลิตมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่จำเป็นต้องเติมปริมาณตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณมาก ทั้งนี้สัดส่วนดังกล่าวใช้หัวเชื้อที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Kheiredine และคณะ (2014) [7] ที่ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเมื่อใช้อัตราส่วนวัตถุดิบตั้งต้นต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 8:5 นอกจากนี้ในระหว่างการทดลองยังพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหย และปริมาณซีโอดีรวมของทุกชุดการทดลองมีปริมาณลดลงหลังสิ้นสุดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5 ในขณะที่ปริมาณแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตอนเริ่มต้นการทดลอง โดยปริมาณแอมโมเนียมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 591 ± 12 มก./ล. ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นที่ยังไม่ส่งผลยับยั้งต่อกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศเช่นกัน



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช อัลคาลินิตี กรดอินทรีย์ระเหย และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนรายวัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง

ตารางที่ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนจากสัดส่วนของตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ระดับ

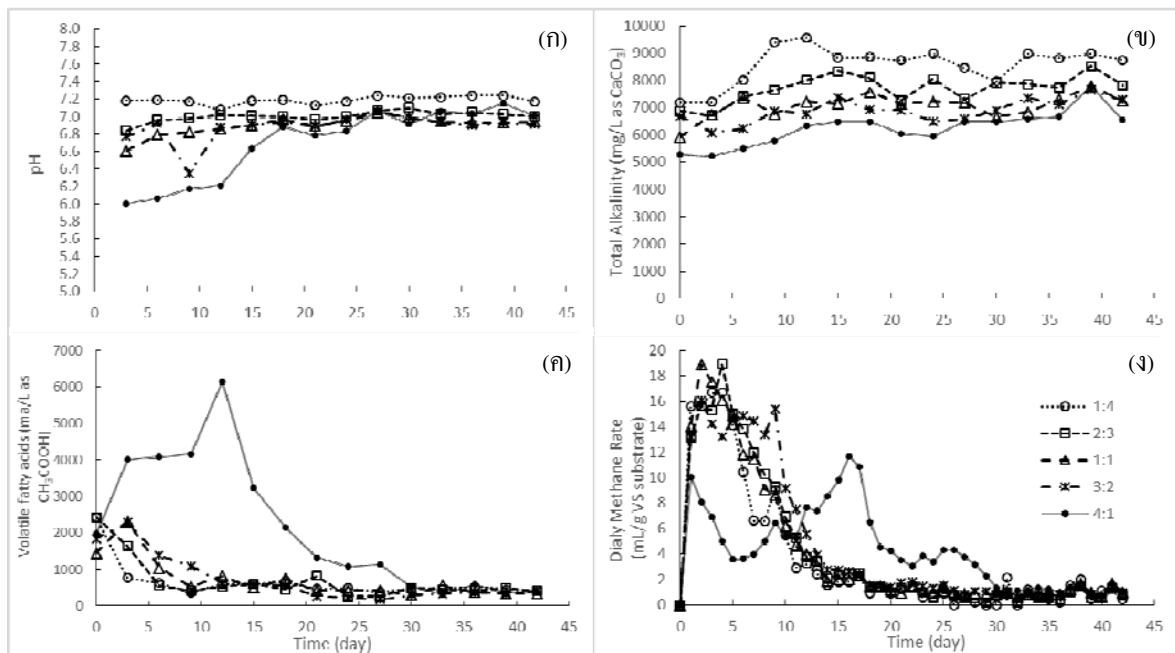
ชุดการทดลอง	ก๊าซชีวภาพสะสม (มล.)	ก๊าซมีเทน (มล.)	ร้อยละของมีเทน	อัตราการผลิตก๊าซ (มล./ก.ของแข็งระเหย)	
				ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซมีเทน
1:4	167.9 ± 1.4	87.83 ± 0.74	52.32	294.50 ± 2.49	154.08 ± 1.30
2:3	350.5 ± 14.1	174.46 ± 7.01	49.78	347.00 ± 13.95	172.73 ± 6.94
1:1	413.7 ± 39.2	208.59 ± 19.77	50.42	347.65 ± 32.95	175.28 ± 16.62
3:2	499.5 ± 5.1	267.86 ± 2.73	53.63	361.93 ± 3.68	194.10 ± 1.98
4:1	575.5 ± 5.0	335.09 ± 2.89	58.23	311.06 ± 2.69	181.13 ± 1.56

ตารางที่ 5 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย และชีโอดีรรมเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)		ของแข็งระเหยง่าย (มก./ล.)		ชีโอดีรรม (มก./ล.)	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
1:4	44.00 ± 9.93	29.05 ± 0.39	35.84 ± 8.82	22.29 ± 0.49	42.65 ± 1.22	47.79 ± 2.53
2:3	40.30 ± 4.85	21.67 ± 2.93	31.56 ± 4.48	15.17 ± 2.50	55.79 ± 5.94	35.06 ± 4.26
1:1	37.24 ± 3.86	32.65 ± 1.47	29.78 ± 4.40	24.22 ± 1.04	47.34 ± 3.29	39.38 ± 1.19
3:2	37.75 ± 3.21	30.09 ± 2.13	28.79 ± 2.71	21.71 ± 1.67	44.87 ± 4.97	31.66 ± 0.57
4:1	38.46 ± 2.71	29.75 ± 3.90	28.83 ± 2.20	20.59 ± 3.39	29.93 ± 1.36	28.38 ± 2.96

จากรูปที่ 3(ก) แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดการทดลอง (ของการทดลองทั้ง 5 ชุด) อยู่ในช่วง 6.00-7.24 โดยในชุดการทดลอง 1:4, 2:3, 1:1 และ 3:2 ค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ส่วนชุดการทดลอง 4:1 มีความเป็นกรด-ด่างในช่วงเริ่มต้นการทดลองเท่ากับ 6.00 ซึ่งต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศที่ Rittmann และ McCarty (2000) [8] รายงานว่าอยู่ในช่วง 6.5-7.6 เนื่องจากในกระบวนการหมัก (Fermentation) สารประกอบเชิงเดี่ยวที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิส เช่น น้ำตาลและกรดอะมิโนจะถูกย่อยสลายและเปลี่ยนไปเป็นอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acids; VFA) จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ในส่วนของค่าอัลคาไลน์ (Alkalinity) ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดช่วงการทดลองดังรูปที่ 3(ข) สำหรับกรดอินทรีย์ระเหย พบว่าในทุกชุดการทดลองมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก โดยชุดการทดลอง 1:4, 2:3, 1:1 และ 3:2 ปริมาณกรดอินทรีย์

ระเหยจะเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 12 ของการทดลอง ในส่วนของชุดการทดลองที่ 4:1 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 12 ของการทดลอง จากนั้นปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเริ่มคงที่ในวันที่ 30 ของการทดลอง โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยมีความสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนในทุกชุดการทดลอง โดยอัตราการผลิตก๊าซมีเทนรายวันของชุดการทดลอง 1:4, 2:3, 1:1 และ 3:2 จะสูงในช่วง 12 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในส่วนของชุดการทดลอง 4:1 มีปริมาณมากในช่วง 30 วันแรกของการทดลอง ซึ่งจากรูปที่ 3(ค) และ 3(ง) จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยมีความสัมพันธ์กับอัตราการผลิตก๊าซมีเทนรายวันเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนจะใช้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทน



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช อัลคาไลน์ดี กรดอินทรีย์ระเหย และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนรายวันตลอดระยะเวลาการทดลองเมื่อแปรค่าสัดส่วนของตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ระดับ

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ตะกอนอินทรีย์จากการเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบเป็นวัตถุดิบตั้งต้นพบว่าตะกอนและขี้ปลาที่แยกด้วยเครื่องกรองแยกตะกอนแบบต่อเนื่องจากถังเลี้ยงปลาแบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน (Feces) มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงที่สุด โดยการใช้สัดส่วนตะกอนอินทรีย์ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 3:2 ให้ปริมาณมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 58.23 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงที่สุดเท่ากับ 361.93 ± 3.68 และ 194.10 ± 1.98 มล./ก. ของแ่งระเหย ซึ่งในงานวิจัยนี้ปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศอยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำงานวิจัยเพื่อเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี ตลอดจนให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ และขอขอบคุณการสนับสนุนเครื่องมือ Microplate Spectrophotometer จากโครงการ Thai Government Stimulus Package 2 (TKK2555) งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูงประจำปีงบประมาณ 2559 กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รหัสโครงการ CU-59-022-FW)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J. 2002.

Recirculating Aquaculture Systems. 2nd ed. Ithaca, New York: Cayuga Aqua Ventures.

- [2] Moody, L., R. Burns, W. Wu-Haan and R. Spajic. 2009. Use of Biochemical Methane Potential (BMP) Assays for Predicting and Enhancing Anaerobic Digester Performance. In; 44th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture: 930-934.
- [3] APHA. 1998. American Public Health Association Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington, DC: A PHA and American Water Works Association and Water Environment Federation.
- [4] Verma, Shefali. 2002. Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes. Diss. Columbia University.
- [5] Gebauer, R. and B. Eikebrokk. 2006. Mesophilic anaerobic treatment of sludge from salmon smolt hatching. Bioresource Technol. 97(18): 2389-2401.
- [6] Rajagopal, R., Massé, D. I. and Singh, G. 2013. A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia. Bioresource Technol. 143, 632-641.
- [7] Kheiredine, B., Derbal, K. and M. Bencheikh-Lehocine. 2014. Effect of Inoculums to Substrate Ratio on Thermophilic Anaerobic Digestion of the Dairy Wastewater. Chem. Eng. Technol. 37: 865-870.
- [8] Rittmann, B.E. and McCarty, P.L. 2000. Environmental Biotechnology: Principles and Applications. 1st ed. New York, McGraw-Hill.