KKU Res. J. 2013; 18(1):122-133
http : //resjournal.kku.ac.th

การปรับปรุงการผลิตก๊าซชีวภาพจากสิ่งเศษเหลือผสมโดยการใช้วัสดุตัวกลาง

Improving Biogas Generation From Mixed Waste Residue Using Media Materials

กลิ่นประทุม ปัญญาปิง[1], ภัทรา วงษ์พันธ์กมล[1] และ บัณฑิต เผ่าวัฒนา[1]*
Klinpratoom Panyaping[1], Pattra Wongpankamol and Bandhit Phaowattana[1]*

[1]สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่
[*]Correspondent author: klinpratoomp@yahoo.com, klin41@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ เกี่ยวข้องกับการนำเสนอผลการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งใช้เศษก้านและใบลำไยที่ อัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ สด: แห้ง 3:1 ในการหมักผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นจากฟาร์มหมู และน้ำกากส่า โดยมุ่งเน้นศึกษาผลของวัสดุตัวกลางต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายของเสียผสมข้างต้น ตัวกลาง 3 ชนิด ได้แก่ ตัวกลางชีวภาพแบบพลาสติกขนาดใหญ่ (Big bio media) โรลม้วนผม และไม้ไผ่ส่วนที่เป็นลำต้น ซึ่งนำมาใช้จำนวน 5% โดยปริมาตรของถังหมักขนาด 200 ลิตร แบบไม่มีการกวนที่พัฒนาแล้วในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีถังหมักซึ่งไม่ใช้ตัวกลางเป็นชุดควบคุม ทำการทดลองรวม 4 ชุด ชุดละ 2 ซ้ำ ระหว่างเดือนตุลาคม 2553-กันยายน 2554 ผลการศึกษาพบว่าใช้ระยะเวลาหมัก นาน 16 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการใช้ตัวกลาง (799-926 ลิตร) มีค่ามากกว่าการไม่ใช้ตัวกลาง (646 ลิตร) ประมาณ 19-30% ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการใช้ตัวกลาง (53.02-64.32%) ก็มีค่าสูงกว่าไม่ใช้ตัวกลาง (52.95%) อัตราการกำจัดซีโอดีที่ได้จากการใช้ตัวกลาง (95.42%-95.66%) สูงกว่าไม่ใช้ตัวกลาง (94.98%) เล็กน้อย ตัวกลางโรลม้วนผมที่ใช้ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ ที่มีก๊าซมีเทนสูงที่สุด จึงเป็นตัวกลางที่มีลักษณะที่ดีในการทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในถังหมักโดยเฉพาะก๊าซมีเทนได้ดีที่สุด

Abstract

This study involved the result presenting of previous studied that leaves and petioles of longan waste residue at the best ratio fresh: dry 3:1 was mixed with the starter from sludge of pig farm and spent wash liquor in the digestion. It focused on determination the effect of media material on biogas production from these mixed waste. Big bio media, hair roll, and bamboo wood were used as three kinds of media material for 5% by volume of the low rate improved digester size 200 l in anaerobic condition. The digester without medium was used as a control. Four sets of experiment were conducted for 2 replicates/set during October 2010-September 2011. It was found that the period of digestion was 16 days. The volume of biogas generated from different media materials

used (799-926 l) was more than that from non medium used (646 l) about 19-30%. The percentage of methane (CH_4) generated (53.02-64.32%) from different media materials used was also higher than that from non medium used (52.95%). %COD removal occurred from different media materials used (95.42%-95.66%) was slightly higher than that from non medium used (94.98%). Hair roll medium exhibited the good characteristic of biogas generation, particularly, CH_4 yield in the digester.

คำสำคัญ: การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ของเสียผสม วัสดุตัวกลาง ก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทน
Keywords: anaerobic digestion, mixed waste, media material, biogas, methane

1. บทนำ

จากการที่ภาคเหนือมีการปลูกไม้ผล เช่น ลำไย จำนวนมาก หากเศษก้านและใบลำไย ซึ่งเป็นสิ่งเหลือทิ้งถูกกำจัดโดยไม่ถูกวิธี ได้แก่ การเผาในที่โล่ง ทำให้เกิดมลพิษอากาศที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นของเสียที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร เช่น น้ำกากส่า ซึ่งเป็นสิ่งเสษเหลือจากกระบวนการผลิตสุรา มีจำนวนมากและทำให้เกิดน้ำเสีย ของเสียดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วม เพื่อใช้ประโยชน์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (1) ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้น และยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ในปริมาณมาก ในขณะที่ใช้พื้นที่ในการดำเนินการน้อย ดังนั้นเพื่อให้มีการใช้ของเสียต่างๆ อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด ในรูปพลังงานทดแทน จึงมีแนวคิดในการนำของเสียข้างต้นมาใช้เป็นวัสดุหมักผสมกัน เพื่อย่อยสลายให้ได้พลังงานมากที่สุด จากการทดลองย่อยสลายเศษก้านและใบลำไยสดและแห้งด้วยอัตราส่วนที่ต่างกันหมักร่วมกับน้ำกากส่าและเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นจากฟาร์มหมู ด้วยถังหมักขนาด 200 ลิตรซึ่งได้พัฒนาแล้วในการศึกษาก่อนหน้านี้ ทำให้ได้อัตราส่วนเศษก้านและใบลำไยสด: แห้งที่เหมาะสม และถังหมักแบบไม่กวนในระบบปิด (2) เพื่อนำมาศึกษาและพัฒนาการย่อยสลายให้ดียิ่งขึ้นด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น การเติมตัวกลาง ทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น (3) ซึ่งการใช้เทคนิคดังกล่าว ช่วยให้จุลินทรีย์มีพื้นที่ผิวยึดเกาะติดและเจริญเติบโต การพิจารณาเลือกใช้วัสดุตัวกลาง จึงต้องพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ชนิดวัสดุ (material) และขนาด (size) รวมทั้งความแข็งแรงทนทาน (durability) ของวัสดุตัวกลาง อนึ่งตัวกลางที่มีลักษณะสมบัติที่ดีครบถ้วน มักมีราคาแพง เช่น 6,000 บาท/$ม^3$ เป็นต้น (4)

โดยทั่วไป ตัวกลางที่ทำจากวัสดุซึ่งมีพื้นที่ผิวสูงต่อหน่วยปริมาตร มีความแข็งแรงทนทานสูง ไม่ทำให้เกิดอุดตันง่าย และมีราคาถูก เป็นลักษณะของตัวกลางที่ดีที่ต้องการใช้ในระบบหมัก นอกจากนั้น ควรหาได้ง่ายและมีราคาไม่แพงในท้องถิ่น เช่น กรวด หิน และทราย ขนาด 75-100 มม. ซึ่งมีช่องว่างของรูให้น้ำเสียไหลผ่านได้ ส่วนตัวกลางที่ทำจากพลาสติก มีหลายรูปแบบ เช่น เป็นรังผึ้ง หรือเป็นแผ่นบางและมีร่องซ้อนกันเป็นชั้นๆ เพื่อช่วยให้จุลินทรีย์ยึดเกาะเป็นแผ่นเมือก (biofilm) โดยทั่วไปตัวกลางมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ระหว่าง 90-300 $ม^2/ม^3$ (5-6)

จากผลการศึกษาการใช้ตัวกลางที่เป็นวัสดุเหลือใช้ธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในปี พ.ศ. 2549 ด้วยวัสดุ 3 ชนิด คือ เปลือกหอยแครง แท่งไม้ไผ่ และตัวกลางพลาสติกแบบแท่ง ซึ่งเรียงซ้อนกันจำนวนหลายแท่งเป็นรูปวงกลม พบว่า เปลือกหอยแครงมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการเป็นวัสดุตัวกลางในระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ สามารถบำบัดซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 20 และรองรับค่าความสกปรกในรูปซีโอดีได้ 21 กรัม/ลิตร-วันในระยะเวลาเพียง 16 ชั่วโมง โดยมีการ

ผลิตก๊าซมีเทน เฉลี่ยร้อยละ 49 สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบถังกรองไม่ใช้อากาศต้นแบบกับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกของสารอินทรีย์ปริมาณมากได้อย่างดี (7) และจากผลการศึกษาของธนิตน์และสถาพร ในปี พ.ศ. 2552 เกี่ยวกับอิทธิพลของตัวกลางที่มีผลต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือน ซึ่งใช้มูลโคผสมกับน้ำเท่านั้นโดยการเปรียบเทียบระหว่างถังหมักที่ไม่ใช้ตัวกลางและถังหมักที่ใช้ตัวกลางชีวภาพแบบพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (Polyethylene; PE) ขนาด 85 มม. x 86 มม. ซึ่งคิดเป็นปริมาตร 30% ของถังหมัก พบว่าถังหมักที่ใช้ตัวกลางให้ก๊าซชีวภาพได้สูง 70% เมื่อเทียบกับถังหมักที่ไม่ใช้ตัวกลาง (8)

จากสภาพปัญหาข้างต้นและจากผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง จึงเลือกใช้ตัวกลางที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ทั้งที่เป็นวัสดุธรรมชาติเหลือใช้ คือ เศษของลำไม้ไผ่ และวัสดุพลาสติกรีไซเคิลชนิดโพลีพรอพพีลีน (Polypropylene; PP) คือ โรลม้วนผม รวมทั้งตัวกลางชีวภาพแบบพลาสติกขนาดใหญ่ (Big bio media) ซึ่งเป็นตัวกลางแบบมาตรฐานที่ใช้ในระบบถังหมักแบบไม่ใช้อากาศโดยทั่วไป ซึ่งมักมีราคาแพง แต่มีความทนทานในการใช้งาน (9) สำหรับใช้ทำการศึกษาในครั้งนี้

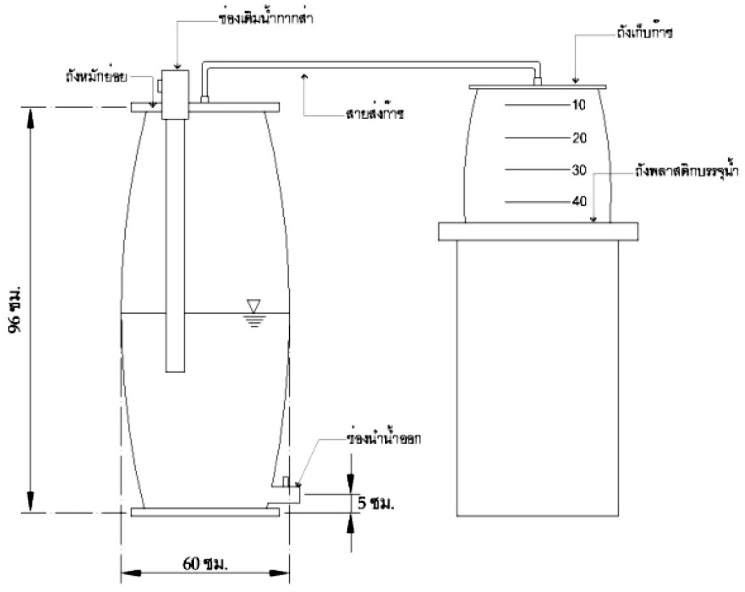
ในการศึกษานี้ เป็นการทดลองหมักย่อยสิ่งเศษเหลือข้างต้น ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน ที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา ทั้งแบบที่ใช้ตัวกลางต่างชนิดกันจำนวน 3 ชนิดข้างต้นเทียบกับแบบที่ไม่ใช้ตัวกลาง โดยใช้ถังหมักแบบไม่มีการกวนขนาด 200 ลิตร ซึ่งได้พัฒนาแล้วจากการศึกษาครั้งก่อน และใช้สัดส่วนของวัสดุหมักที่เท่ากัน ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดเพื่อหาชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการหมักซึ่งให้ชนิดและปริมาณก๊าซมีเทนมากที่สุด จากการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานของระบบหมักที่มีอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในครัวเรือนต่อไป

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

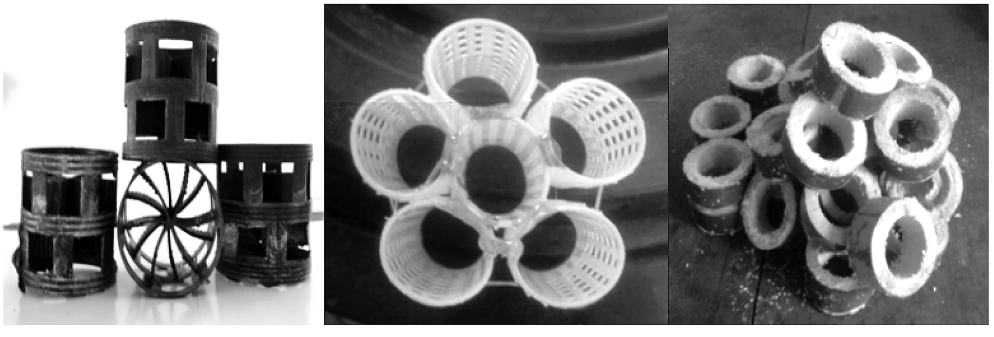
ประกอบด้วยรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 วัสดุอุปกรณ์ มีดังนี้ (รูปที่ 1-2)

- ของเหลือทิ้ง ได้แก่ เศษก้านและใบลำไยสดและแห้ง ซึ่งเก็บจากสวนลำไย ตัวกลางที่ใช้ในถังหมักมีรูปทรงเป็นทรงกระบอกได้แก่ ตัวกลางชีวภาพแบบพลาสติก (Big bio media) หรือตัวกลางสำเร็จรูป ซึ่งทำจากพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (PE) ขนาด 90 มม. x 90 มม. มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ≈105 $ม^2/ม^3$ (9) โรลม้วนผม ซึ่งทำจากพลาสติกรีไซเคิลชนิดโพลีพรอพพีลีน (PP) ขนาด 25มม. x65มม. มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ≈300 $ม^2/ม^3$ และไม้ไผ่ซึ่งเป็นส่วนของลำต้น มีขนาด 25มม.x30มม. มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ≈270$ม^2/ม^3$ (ในการคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะคิดจากพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของตัวกลางที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก) ส่วนของเสีย ได้แก่ ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ฟาร์มหมูดอนแก้วและน้ำกากส่าซึ่งใช้หมักร่วมจากโรงงาน สุราขาวแม่ปิง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ และชุดถังหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่กวน (Low rate) ที่ได้พัฒนาจากการศึกษาครั้งก่อน ซึ่งประกอบด้วยถังหมักขนาด 200 ลิตรและถังเก็บก๊าซขนาด 70 ลิตร



รูปที่ 1. ชุดถังหมักย่อยของเสียผสมแบบไร้ออกซิเจนที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว



ก) พลาสติกสำเร็จรูป (PE) ขนาดกว้าง 90 มม. x สูง 90 มม

ข) โรลม้วนผม ขนาดกว้าง 25 มม. x สูง 65 มม.

ค)ไม้ไผ่ ขนาดกว้าง 25 มม.x สูง 30 มม.

รูปที่ 2. วัสดุตัวกลางชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

- ทำการเตรียมระบบและเดินระบบขนาดครัวเรือน ในถังหมักพลาสติกขนาด 200 ลิตรโดยการเติมสารอินทรีย์แบบเป็นครั้ง (Batch process) ซึ่งสารอินทรีย์ที่ใช้ประกอบด้วยของเหลือทิ้ง และของเสียที่กล่าวไว้ข้างต้น พร้อมทั้งเติมตัวกลางแต่ละชนิดแบบสุ่มลงในถังหมักของแต่ละชุดทดลองและทำการผสมให้เข้ากัน ด้วยไม้กวน ประมาณ 10 นาที ปริมาตรของผสมที่ได้ ≈1/2 -3/5 ของถังหมัก ก่อนปิดฝาถังหมัก วัดค่าอุณหภูมิ พีเอชและซีโอดี ก่อนเดินระบบ เมื่อเดินระบบแต่ละวันตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พีเอช และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากชุดทดลอง ที่ใช้อัตราส่วนเศษก้านและใบลำไยสด: แห้ง 3:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาครั้งก่อน (2) ในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทั้งแบบไม่ใช้ตัวกลางและใช้ตัวกลาง รวม 4 ชุด ชุดละ 2 ซ้ำ (ตารางที่ 1) โดยเติมน้ำกากส่าระหว่างหมักทุก 2 วัน และปรับพีเอชให้เป็นกลาง หากมีค่าไม่เหมาะสม จนกระทั่ง

สิ้นสุดการหมัก (ในการศึกษานี้ คือ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีภาวะเพิ่มขึ้นและมีช่วงลดลง และเพิ่มขึ้นไม่เกินค่าสูงสุดของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ ส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นภายหลังจากตั้งระบบทิ้งไว้อีก 2-3 วัน มีค่าเข้าใกล้ศูนย์หรือเป็นศูนย์นั้น ไม่นำมานับรวมในระบบ เพราะอาจเกิดจากสิ่งปนเปื้อนในเชื้อตั้งต้นและน้ำกากส่า) การวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ทำการวัดโดยการแทนที่ในน้ำ และทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ ด้วยถุงเก็บก๊าซขนาด 1 ลิตร เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพเมื่อใกล้สิ้นสุดการเดินระบบและระบบมีสภาพค่อนข้างคงที่ ซึ่งทราบจากค่าที่เหมาะสมของอุณหภูมิและพีเอชที่วัดได้ และตรวจหาค่าซีโอดีก่อนและหลังสิ้นสุดการเดินระบบ โดยทำการศึกษาระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม - 30 กันยายน 2554

2.2 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ประกอบด้วยการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักต่างๆ ในรูปซีโอดี (COD; Close Reflux, Titrimetric Method) ของแข็งระเหย (VS; Gravimetric method) และพีเอช (pH) และวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่สำคัญของตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบและที่ออกจากระบบได้แก่ ค่าพีเอช (pH Meter; Sartorius: Model PB 20; Germany) ค่าอุณหภูมิถังหมักและอุณหภูมิห้องทุกวัน (เทอร์โมมิเตอร์) และวิเคราะห์หาค่าซีโอดีก่อน ($COD_{t,0}$) และหลังเดินระบบ ($COD_{t,t}$) (Close Reflux, Titrimetric Method) (APHA, AWWA, WEF 2005) (10) ส่วนก๊าซชีวภาพที่วัดได้จากการแทนที่ในน้ำแต่ละวัน เมื่อใกล้สิ้นสุดการเดินระบบและระบบอยู่ในสภาพที่คงตัวกล่าวคือ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีภาวะเพิ่มขึ้นและมีช่วงลดลงและเพิ่มขึ้นไม่เกินค่าสูงสุดของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงก่อนหน้านี้ ก๊าซชีวภาพที่วัดได้ นำมาวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณก๊าซที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (Biogas Analyzer; Geotech: Model Biogas Check; UK)

2.3 วิธีการคำนวณและประมวลผลข้อมูล

- ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (% COD Removal) = $\frac{COD_{t,0} - COD_{t,t}}{COD_{t,0}} \times 100$

เมื่อ $COD_{t,0}$ = ค่าซีโอดีเริ่มต้นของระบบ มิลลิกรัม/ลิตร (mg/l)

$COD_{t,t}$ = ค่าซีโอดีเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มิลลิกรัม/ลิตร (mg/l)

- ทำการรวบรวมและประมวลผลการศึกษาที่ได้โดยใช้ค่าสถิติอย่างง่าย และนำเสนอในรูปของตารางและกราฟ

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลของปริมาณสัดส่วนและลักษณะสมบัติของวัสดุหมักที่ใช้ทดลอง

ปริมาณของวัสดุหมักที่ใช้ทำการทดลองทั้ง 4 ชุด ประกอบด้วยของเสียผสมต่างๆ ที่มีสัดส่วนของตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น น้ำกากส่า และเศษก้านและใบลำไยสดและแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ชนิดและปริมาณวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง

ชุดทดลองที่	ปริมาณวัสดุที่ใช้				
	ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ (ลิตร)	น้ำกากส่า (ลิตร)	สด* (กิโลกรัม)	แห้ง* (กิโลกรัม)	ตัวกลาง (ชิ้น)
1. ไม่ใช้ตัวกลาง	40	2.2	3.75	1.25	-
2. ใช้ตัวกลางสำเร็จรูป	40	2.2	3.75	1.25	10
3. ใช้ตัวกลางโรลม้วนผม	40	2.2	3.75	1.25	120
4. ใช้ตัวกลางไม้ไผ่	40	2.2	3.75	1.25	80

หมายเหตุ * สด คือ เศษก้านและใบลำไยสด และแห้ง คือ เศษก้านและใบลำไยแห้ง

พบว่าวัสดุหมักที่ใช้ในการเดินระบบเหมือนกัน เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดที่ได้จากผลการศึกษาครั้งก่อน (2) แต่ต่างกันที่จำนวนชิ้นของชนิดตัวกลางที่ใช้ (ตัวกลางชีวภาพแบบพลาสติกขนาดใหญ่: โรลม้วนผม: ไม้ไผ่ 1: 12: 8 ชิ้น) ซึ่งได้จากการแทนที่น้ำในปริมาตรที่เท่ากัน คิดเป็น 5% ของถังหมัก เนื่องจากมีการใช้วัสดุหมักหลายชนิด จึงต้องมีพื้นที่เหลือไว้ในถังหมักให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นขณะทำการหมัก นอกจากนั้น ยังมีลักษณะสมบัติทางเคมีของวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ แตกต่างจากการศึกษาครั้งก่อนอยู่บ้าง เนื่องจากวัสดุที่ใช้มาจากแหล่งที่ต่างกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ลักษณะสมบัติทางเคมีของวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	**COD** (กรัม/ลิตร)	**VS** (กรัม/ลิตร)	**pH**
ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์	56.82	40.54	6.85
น้ำกากส่า	213.61	-	5.47
เศษก้านและใบลำไย	90.95	45.40	5.10

3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสภาพการหมักจากค่าพีเอช (pH) ของแต่ละชุดทดลอง

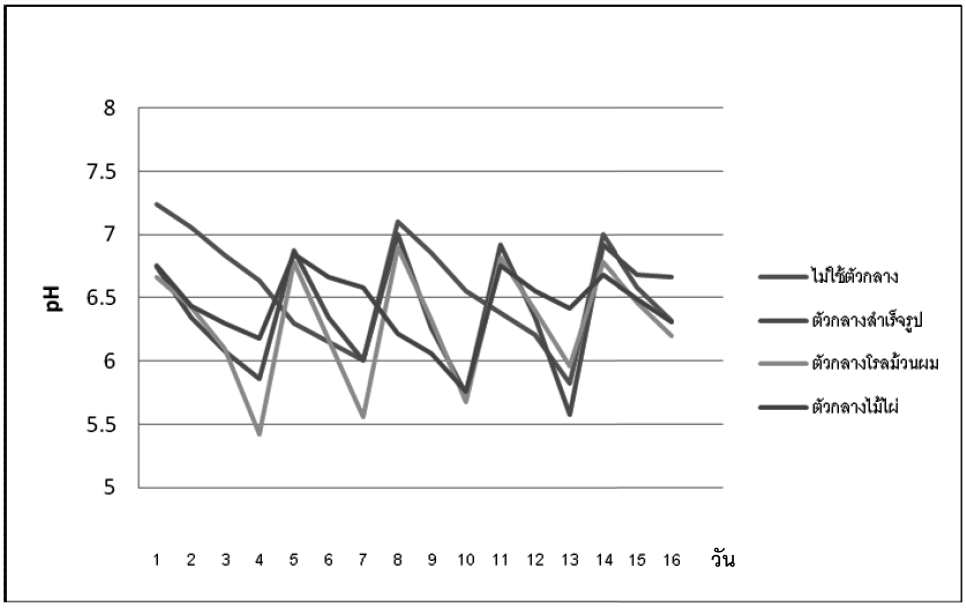
ค่าพีเอชก่อน-หลังเดินระบบและขณะเดินระบบของแต่ละชุดทดลอง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. ค่าพีเอช (pH) เฉลี่ยของระบบที่ได้จากการเดินระบบในระยะเวลานาน 16 วัน

ชุดทดลองที่	ก่อนเดินระบบ*	สิ้นสุดการเดินระบบ*	ขณะเดินระบบ**
1. ไม่ใช้ตัวกลาง	7.24	6.32	6.52±0.40
2. ใช้ตัวกลางสำเร็จรูป	6.75	6.66	6.37±0.46
3. ใช้ตัวกลางโรลม้วนผม	6.66	6.20	6.27±0.47
4. ใช้ตัวกลางไม้ไผ่	6.76	6.31	6.42±0.29

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด 2 ซ้ำ **ค่าเฉลี่ยที่ได้จาการตรวจวัด 2 ซ้ำทุกวัน จำนวน 16 วัน

พบว่ามีค่าพีเอชเป็นกรด-ค่อนข้างเป็นกลาง และเมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ มีค่าเป็นกรดอ่อน แสดงว่าระบบมีการทำงานได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับ Speece (11) และ Mackenzie and Cornwell (12) ที่ระบุไว้ว่าพีเอชเป็นปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งชี้บอกสภาวะการทำงานของระบบหมักโดยช่วงพีเอชที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 6-8 หากมีค่ามากหรือน้อยกว่านั้น จุลินทรีย์ภายในถังอาจไม่สามารถดำรงชีพได้ จำเป็นต้องปรับพีเอชเพื่อให้ระบบทำงานอยู่ในช่วงที่เหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน



รูปที่ 3. ค่าเฉลี่ยของพีเอช (pH) ที่เกิดขึ้นในถังหมักที่เติมตัวกลางชนิดต่างๆ ขณะเดินระบบ

จากรูปที่ 3 เมื่อเริ่มเดินระบบค่าพีเอชอยู่ในช่วงปกติ แต่เมื่อเดินระบบผ่านไป จุลินทรีย์ในระบบทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ด้วยปฏิกิริยา Hydrolysis และโมเลกุลขนาดเล็กที่เกิดขึ้นถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่สร้างกรด ให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์หลายชนิด ด้วยปฏิกิริยา Acidogenesis ทำให้พีเอชมีค่าลดลง จากการที่มีปริมาณของกรดอินทรีย์เกิดขึ้นในระบบ ค่าความเป็นกรดจึงเพิ่มขึ้น เมื่อเติมน้ำกากส่าซึ่งมีค่าพีเอชต่ำแต่มีธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมสูง (13) เข้าสู่ระบบทุก 2 วัน จำนวน 2.2 ลิตร มีส่วนเพิ่มสารอาหารแก่จุลินทรีย์ในถังหมัก ทำให้จุลินทรีย์ที่ช่วยสร้างมีเทนเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ ช่วยย่อยสลายกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยปฏิกิริยา Methanogenesis พีเอชของระบบ จึงมักมีค่าสูงเพิ่มขึ้น บางครั้งต้องทำการปรับพีเอช เพื่อให้ระบบทำงานและเกิดการย่อยสลายได้ดี ในช่วงระหว่าง 6-8 ในถังหมักที่ใช้ตัวกลางโรลม้วนผมซึ่งมีขนาดบาง มีรูปทรงผูกติดกันเป็นกลุ่มของโรลม้วนผม 6 อัน และมีพื้นที่ผิวขรุขระเป็นซี่ๆ โดยรอบ มีส่วนให้พื้นที่ผิวจำเพาะโดยรวมมากขึ้น (≈300 $ม^2/ม^3$) ซึ่งมากกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางชีวภาพพลาสติกขนาดใหญ่ที่มีรูขนาดใหญ่เจาะไว้โดยรอบ (≈105 $ม^2/ม^3$) และมากกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางชิ้นไม้ไผ่ (≈270 $ม^2/ม^3$) จึงมีส่วนทำให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้มากกว่า สอดคล้องกับ Metcalf & Eddy Inc. (5) และสันทัด (14) ที่กล่าวถึงลักษณะสมบัติของตัวกลางที่ดีว่าให้พื้นที่ผิวที่มีปริมาตรสูงและเกิดแผ่นเมือกจุลินทรีย์เกาะได้ดี มีราคาถูกและทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำเสีย และมีพีเอชที่เหมาะต่อการทำงานของระบบมากที่สุด นอกจากนั้นวัสดุที่ใช้ทำตัวกลางซึ่งเป็นสารอินทรีย์ได้แก่ไม้ไผ่ แม้มีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก แต่การเกาะติดของจุลินทรีย์ อาจยากกว่าตัวกลางที่ทำจากพลาสติกเพราะมีความลื่นจากเยื่อไม้และพื้นผิวเรียบ นอกจากนั้นจุลินทรีย์ ที่เกาะติดที่ผิวไม้อาจย่อยสารอินทรีย์จากผิวเยื่อไม้ได้ ดังนั้นตัวกลางที่มีประสิทธิภาพ ควรเป็นตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวขรุขระมากซึ่งจะช่วยให้ตะกอนจุลินทรีย์เกิดขึ้นมากแล้ว ควรมีขนาดไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป หากมีขนาดใหญ่ เช่น ตัวกลางชีวภาพแบบพลาสติกขนาดใหญ่ ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางน้อยที่สุด การใช้ตัวกลางโรลม้วนผม จึงช่วยเร่งการเกิดก๊าซชีวภาพได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม ในการใช้งาน ควรคำนึงถึงความแข็งแรงทนทานต่อการกัดกร่อนของความเป็นกรด-ด่างในระบบหมัก ซึ่งมักสัมพันธ์ กับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินระบบ ระบบที่ใช้ตัวกลางชีวภาพ

แบบพลาสติกขนาดใหญ่ มีความทนทานมากที่สุดแต่มักมีราคาแพง รองลงมาคือ ตัวกลางโรลม้วนผม ส่วนตัวกลางไม้ไผ่ มีความทนทานน้อยที่สุดแต่มีราคาถูก ผู้ใช้งานจึงต้องคำนึงถึงงบประมาณและความต้องการรวมทั้ง ความหาง่ายของวัสดุตัวกลาง ในการเดินระบบหมัก เป็นประการสำคัญ

3.3 ผลการเปลี่ยนแปลงสภาพการหมักจากค่าอุณหภูมิของแต่ละชุดทดลอง

อุณหภูมิของแต่ละชุดทดลองก่อนเข้าระบบมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4. ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของระบบที่ได้จากการทดลอง (องศาเซลเซียส, ^{0}C)

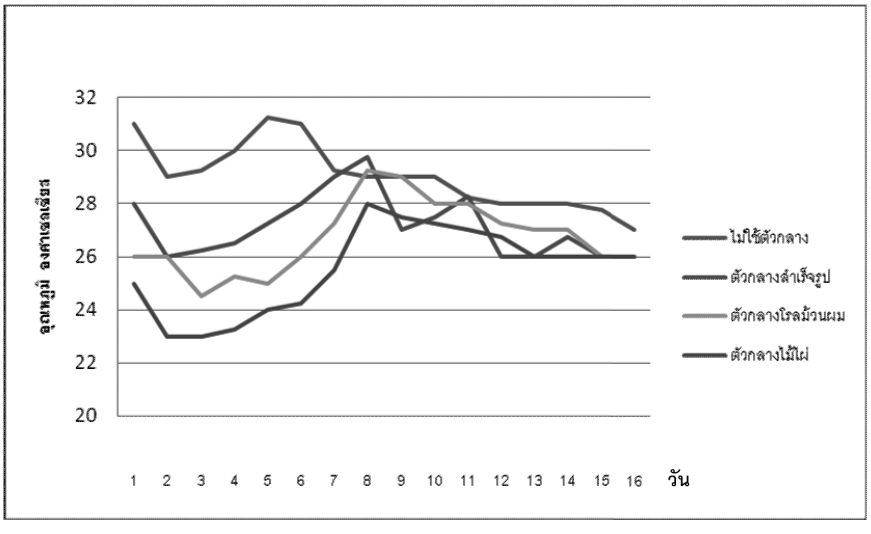
ชุดทดลองที่	ก่อนเดินระบบ*	สิ้นสุดการเดินระบบ*	ขณะเดินระบบ**
1. ไม่ใช้ตัวกลาง	31	27	28.92±1.17
2. ใช้ตัวกลางสำเร็จรูป	28	26	27.08±1.20
3. ใช้ตัวกลางโรลม้วนผม	26	26	26.77±1.41
4. ใช้ตัวกลางไม้ไผ่	25	25	25.57±1.68

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด 2 ซ้ำ **ค่าเฉลี่ยที่ได้จาการตรวจวัด 2 ซ้ำทุกวัน จำนวน 16 วัน

พบว่าชุดทดลองแบบไม่ใช้ตัวกลาง มีอุณหภูมิสูงกว่าแบบใช้ตัวกลาง เนื่องจากช่วงเวลาทำการทดลองอยู่ระหว่างฤดูฝนถึงฤดูหนาว ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิห้องอยู่ระหว่าง 22^{0}C-27^{0}C ส่วนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิขณะเดินระบบอยู่ระหว่าง 25^{0}C-29^{0}C โดยชุดที่ใช้ตัวกลางมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนสูงสุดในช่วงวันที่ 6-8 ส่วนชุดที่ไม่ใช้ตัวกลางมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงวันที่ 5 หลังจากนั้นอุณหภูมิมีความผันแปรอยู่ในช่วง 26^{0}C-29^{0}C และมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลจากฤดูกาลที่ใช้ขณะทำการทดลองเป็นสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4 อย่างไรก็ตาม ขณะทำการเดินระบบได้มีการปรับสภาพการทำงานให้เหมาะสมกับการย่อยสลาย สอดคล้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการหมักที่ Speece (11) กล่าวไว้ว่า อุณหภูมิในช่วง 23^{0}C-31.25^{0}C เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิด Mesophilic 25^{0}C-40^{0}C ซึ่งสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีที่อุณหภูมิดังกล่าว

3.4 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากแต่ละชุดทดลอง

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการเดินระบบทุกชุดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5

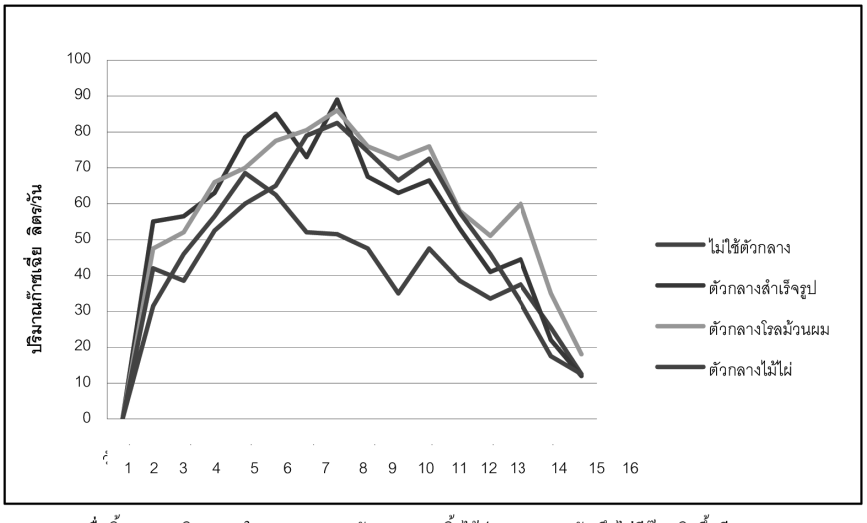


รูปที่ 4. ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในถังหมักที่เติมตัวกลางชนิดต่างๆ ขณะเดินระบบ

ตารางที่ 5. ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยของแต่ละชุดทดลอง

ชุดทดลองที่	**ปริมาณก๊าซรวม 16 วัน** (ลิตร)	**ปริมาณก๊าซต่อวัน** (ลิตร)
1. ไม่ใช้ตัวกลาง	646	43.07±14.61
2. ใช้ตัวกลางสำเร็จรูป	870	58.17±21.04
3. ใช้ตัวกลางโรลม้วนผม	926	61.73±18.62
4. ใช้ตัวกลางไม้ไผ่	799	53.27±21.52

พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมดตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนกระทั่งสิ้นสุดการเดินระบบ (ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลงน้อยกว่าปริมาณสูงสุด) ใช้ระยะเวลานาน 16 วัน ชุดทดลองแบบใช้ตัวกลาง มีค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมากกว่าแบบไม่ใช้ตัวกลาง ประมาณร้อยละ 19-30 ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของธนิตน์และสถาพร (8) ที่ใช้ตัวกลางในถังหมักขนาดเท่ากันที่มีวัสดุหมักคือ มูลโคผสมกับน้ำเท่านั้น ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการใช้ตัวกลางมากกว่าการไม่ใช้ตัวกลาง 70% ส่วนการศึกษานี้ใช้วัสดุหมักซึ่งเป็นสิ่งเศษเหลือจำนวนหลายชนิด ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิด ขึ้นสูงสุด 89 ลิตร/วัน และน้อยที่สุด 12 ลิตร/วัน ปริมาณก๊าซดังกล่าว มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกันในชุดทดลองที่ใช้ตัวกลาง และแตกต่างจากชุดทดลองที่ไม่ใช้ตัวกลาง ดังรูปที่ 5 ทั้งนี้เนื่องจากตัวกลางที่ใช้ ต่างช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เกาะเพื่อเจริญเติบโต และทำงานในถังหมักได้มากขึ้น ทำให้มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดได้มากสุด ในระยะเวลาที่นานกว่า (6-8 วัน) ชุดที่ไม่ใช้ตัวกลาง (5 วัน) หลังจากนั้นก๊าซชีวภาพ จึงเริ่มลดลง และมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ภายหลังการป้อนน้ำกากส่าเข้าสู่ระบบ ซึ่งในน้ำกากส่ามีธาตุอาหารที่สำคัญ มีส่วนช่วยให้จุลินทรีย์ที่เกาะบนพื้นผิวตัวกลางเติบโตและทำงานได้ดีกว่าในระยะเวลาที่น้อยกว่า (8 วัน) จุลินทรีย์ที่ไม่มีตัวกลางให้ยึดเกาะ ในช่วงหลังของการหมัก (11 วัน) การเติมตัวกลางเพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เกาะจนเป็นเมือก จึงช่วยให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งตัวกลางโรลม้วนผมมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมากที่สุด



หมายเหตุ เมื่อสิ้นสุดการเดินระบบในระยะเวลา 16 วัน ระบบถูกทิ้งไว้ประมาณ 2-3 วัน จึงไม่มีก๊าซเกิดขึ้นอีก

รูปที่ 5. ปริมาณค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังหมักที่เติมตัวกลางชนิดต่างๆ ขณะเดินระบบ

3.5 ผลของชนิดและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ชนิดและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จากทุกชุดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6. ค่าเฉลี่ยของชนิดและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากแต่ละชุดทดลอง

ก๊าซ	ปริมาณก๊าซ				เกณฑ์[2]
	1. ไม่ใช้ตัวกลาง	2. ใช้ตัวกลางสำเร็จรูป	3. ใช้ตัวกลางโรลม้วนผม	4. ใช้ตัวกลางไม้ไผ่	
CH_4%	52.95±0.94	54.98±0.88	64.32±0.28	53.02±0.39	50-70%
CO_2%	39.75±0.92	42±0.85	31±0.1	37.75±0.64	30-35%
O_2%	0.67±0.04	0.48±0.11	0.7±0.1	0.82±0.11	-
อื่นๆ[1]%	6.62±0.10	2.55±0.14	3.98±0.28	8.38±0.11	-
H_2S (ppm)	2230.25±39.24	2514±74.95	2519.25±11.75	2340.5±53.03	10,000

หมายเหตุ 1. อื่นๆ ได้แก่ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ 2. ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2548

พบว่า ชุดทดลองแบบใช้ตัวกลาง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมากที่สุดนั้น มีค่ามากกว่าแบบไม่ใช้ตัวกลาง ประมาณร้อยละ 18 และมีค่าอื่นๆ อยู่ในเกณฑ์ก๊าซชีวภาพของศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล (15) ซึ่งนำมาใช้เปรียบเทียบ เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว อนึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจากชุดทดลองแบบไม่ใช้ตัวกลาง มีค่าใกล้เคียงกับชุดทดลองที่ใช้ตัวกลางไม้ไผ่ ซึ่งแสดงว่าการเติมตัวกลางไม้ไผ่ในการหมักตามขนาดที่ใช้ในการทดลองนี้ มีส่วนให้เกิดการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนได้ไม่แตกต่างจากการไม่ใช้ตัวกลาง เนื่องจากตัวกลางไม้ไผ่ที่ใช้ แม้จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก แต่มีพื้นผิวที่เรียบและลื่นจากเยื่อไม้ มีส่วนทำให้จุลินทรีย์เกาะติดได้ยาก การสร้างฟิล์มของจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลาย จึงอาจเกิดขึ้นน้อยกว่าและจุลินทรีย์บางส่วนอาจทำการย่อยผิวเนื้อไม้ได้ ส่วนการเติมตัวกลางโรลม้วนผมในระบบหมักมีส่วนช่วยเร่งให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเหมาะกับการนำไปใช้งาน เพื่อเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพให้มากที่สุด

3.6 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของแต่ละชุดการทดลอง

ค่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของทุกชุดทดลอง สามารถคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงการย่อยสลายที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาในถังหมัก จากสมดุลมวลของถังหมักแบบเติมสารอินทรีย์เป็นครั้ง (Batch Reactor) ซึ่งถือว่าอัตราการไหลเข้า-ออกจากถังหมักแต่ละวันมีค่าเป็นศูนย์ การเติมน้ำกากส่าเข้าระบบทุก 2 วันนั้น ไม่ได้มีการปล่อยออก แต่ช่วยเพิ่มสารอาหารให้จุลินทรีย์ในถังเติบโตและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น ซึ่งสามารถตรวจสอบจากสภาพการทำงานของระบบหมักในแต่ละวันด้วยการวัดค่าพีเอชของน้ำเสียในปริมาณเพียงเล็กน้อย (≈5มล.) ซึ่งเปิดออกจากก๊อกน้ำที่อยู่ใกล้กับด้านล่างของถังหมัก (รูปที่ 1) จึงไม่กระทบต่อสมดุลมวลของระบบ ที่ระบุว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆที่ทำปฏิกิริยาในถังหมักเท่ากับอัตราการใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์และย่อยสลายสารอินทรีย์ (r_u) หรืออัตราการตายของจุลินทรีย์ (r_g) ($dC/dt = r_u$ หรือ r_g) (15) ดังนั้นการตรวจวัดค่าปริมาณสารอินทรีย์ก่อนเดินระบบและภายหลังการเดินระบบ จึงสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายในถังหมักในรูปของซีโอดีได้ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7. ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี (COD) ของแต่ละชุดทดลอง

ชุดทดลอง	COD เฉลี่ยเข้าระบบ (กรัม/ลิตร)	COD เฉลี่ยออกระบบ (กรัม/ลิตร)	COD ที่ถูกกำจัด (กรัม/ลิตร)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%) (% COD removal)
1. ไม่ใช้ตัวกลาง	127.13	6.39	120.74	94.98
2. ใช้ตัวกลางสำเร็จรูป	127.65	5.56	122.09	95.52
3. ใช้ตัวกลางโรลม้วนผม	128.21	5.72	122.31	95.66
4. ใช้ตัวกลางไม้ไผ่	127.85	5.85	122.00	95.42

พบว่าชุดทดลองที่ใช้ตัวกลางมีค่าซีโอดีเข้าและออกระบบสูงกว่า ชุดทดลองที่ไม่ใช้ตัวกลาง สำหรับชุดทดลองที่ไม่ใช้ตัวกลางในการศึกษาครั้งนี้ มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (94.98%) ซึ่งให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ (498.5 ลิตร/14 วัน) สูงกว่าการศึกษาครั้งก่อน (92.83% และ 646 ลิตร/16 วัน) เนื่องจากมีการใช้ถังหมักที่ได้พัฒนาแล้ว และใช้ระยะเวลาหมัก (16 วัน) นานกว่าเดิมเล็กน้อย (14 วัน) โดยมีปริมาณสารอินทรีย์ของของเสียผสมในรูปซีโอดี (127.13 กรัม/ลิตร) สูงกว่าเดิมเล็กน้อย (125.26 กรัม/ลิตร) อย่างไรก็ดี ทุกชุดทดลอง มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่ดี เนื่องจากมีอัตราการกำจัดซีโอดีค่อนข้างสูง (> 90%) และมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นใกล้เคียงกันโดยเฉพาะชุดทดลองที่ใช้ตัวกลางโรลม้วนผมมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงที่สุด (95.66%) การที่ชุดทดลองแบบใช้ตัวกลาง มีอัตราการกำจัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับชุดทดลองแบบไม่ใช้ตัวกลาง มีส่วนสำคัญจากการเติมตัวกลางลงในถังหมักเพียง 5% ของถังหมักเท่านั้น ซึ่งมีส่วนทำให้มีพื้นที่ผิวที่จุลินทรีย์เกาะและช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นไม่มากในถังหมักที่ใช้ตัวกลางเมื่อเทียบกับถังที่ไม่ใช้ตัวกลาง นอกจากนั้นเมื่อเริ่มเดินระบบ มีการใช้วัสดุหมักซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในถังหมักที่ใช้ตัวกลางสูงกว่าถังที่ไม่ใช้ตัวกลางเล็กน้อย (ตารางที่ 7) ดังนั้นขนาดของถังหมัก จึงเป็นข้อจำกัดในการเติมตัวกลาง สอดคล้องกับผลการศึกษาของธนิตน์และสถาพร (8) ที่ใช้มูลโคผสมกับน้ำเท่านั้นในถังหมักขนาดเดียวกัน ทำให้เติมตัวกลางชีวภาพแบบพลาสติก (PE) ลงในถังหมักได้ถึง 30% ของถังหมัก ซึ่งมากกว่าถึง 6 เท่าของตัวกลางที่ใช้ในการศึกษานี้ อย่างไรก็ตาม การเติมตัวกลางที่มีขนาดไม่ใหญ่หรือเล็กเกินไปและมีพื้นที่ผิวขรุขระ เช่น โรลม้วนผม ช่วยให้จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ทำงานได้ดีขึ้น จึงเกิดก๊าซมีเทนได้มากที่สุด

4. สรุป

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานที่เกิดขึ้นภายในระบบหมักของทุกชุดทดลอง ในระยะเวลานาน 16 วัน จากค่าเฉลี่ยพีเอชและอุณหภูมิขณะเดินระบบ แสดงว่าระบบมีการทำงานที่เหมาะสมจากการปรับสภาพพีเอชให้เป็นกลางโดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ชนิด Mesophilic ชุดทดลองแบบใช้ตัวกลางให้ก๊าซชีวภาพได้ดีกว่าชุดทดลองแบบไม่ใช้ตัวกลาง ประมาณร้อยละ 19-30 และให้ก๊าซมีเทนที่สูงสุดมากกว่าร้อยละ 18 ตามลำดับ ชุดทดลองแบบใช้ตัวกลางโรลม้วนผม มีส่วนเร่งให้เกิดก๊าซชีวภาพดีที่สุด (926 ลิตร) และเกิดก๊าซมีเทนได้มากที่สุด (64.32%) รวมทั้งมีอัตราการกำจัดซีโอดีสูงสุด (95.66%) จึงควรนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือนต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มทร. ล้านนา เชียงใหม่ที่ให้ทุน และผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำที่มีค่าต่อบทความ

6. เอกสารอ้างอิง

(1) Wikipedia Foundation. Biogas. [Internet].

2010 [updated 2012 Jul 10; cited 2010 Dec 20]. Available from: http://th.wikipedia.org/wiki.

(2) Panyaping K, Sutinan N, Tananchai P, Muangkhuanjai U. Anaerobic Digestion of Leaves and Petioles of Longan Waste Residue to Generate Biogas and By Products KKU Res J. 2012; 17(4): 5443-55. Thai.

(3) Yadvika, Santosh, Srekrishnan TR, Kohli S, Rana V. Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Technologies-a Review. Bioresource Technology. 2004; 1-10. [Internet]. 2012 [updated 2012 Aug 30; cited 2012 Aug 30]. Available from: http://www.science-direct.com

(4) Provincial Energy Office-Ratchaburi. Ministry of Energy. Biogas. [Internet]. 2011 [updated 2012 Aug 31; cited 2011 Dec 2]. Available from: http://www.region4.energy.go.th/knowledge.php

(5) Metcalf & Eddy, Inc. Revised by Tchobanoglous G. Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse. 3 rd ed. Singapore: Mc-GrawHill; 1991.

(6) Anaerobic Fixed Film or Anaerobic Filter. [Internet]. 2012 [updated 2012 Aug 28; cited 2012 Aug 28]. Available from http://www.greenery.net/tec_AFF.html

(7) Environmental Research and Training Center. Department of Environmental Quality Promotion. Anaerobic Filter System. [Internet]. 2006 [updated 2012 Aug 28; cited 2011 Aug 28]. Available from http://www.ertc.deqp.go.th/ertc/images/stories

(8) Reungrungchaikul T, Wantawin S. Influence of Plastic Media to Biogas Production in Household Level. Proceedings of the 5th Environmental Naresuan Conference; 2009. Jun 15-16; Phitsanulok, Thailand. 2009. Thai.

(9) Premier Products Co. Ltd. Specification of Big Bio Media. 2006.

(10) APHA, AWWA, WEF. Standard Method of the Examination of Water and Wastewater. 21 st ed. Washington: APHA; 2005.

(11) Speece RE. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Tennessee: Archae Press; 1996.

(12) Mackenzie LD, Cornwell DA. Introduction to Environmental Engineering. 4th ed. Singapore: Mc-Graw-Hill; 2008.

(13) Wittayanon S. Utilization of Spent Wash Liquor. [Internet]. 2006 [updated 2012 Aug 30; cited 2011 Dec 21]. Available from: http://www.budget.com/quarry/qua01/refuse-for-dust-suppression.html

(14) Sirikananpaiboon S. Wastewater Treatment (Selection Design and Solving Problem). Bangkok: Top Publishing, 2005. Thai.

(15) Center of Biomass Energy Promotion, Foundation for Energy and Environment. Biogas. [Internet]. 2005 [updated 2010 Mar 30; cited 2010 Mar 31]. Available from: http://www.efe.or.th/pdf/biogas.pdf