ผลการกวนที่มีต่อผลการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่

The Effect of Stirring on Biogas Production Using a Simple Fixed-Dome Biogas System

อีลีหย๊ะ สนิโซ[1*] ลุตฟี สือนิ[1] มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา[1] ฮูเซ็ง ชายดานา[2] มารีย้ม เจ๊ะโว๊ะ[3] และวาริษา วาแม[1]

Eleeyah Saniso[1*], Lutfee Seni[1], Muhammadkhoiri Hayibaka[1], Huseng Chaydana[2], Mareeyam Chewoh[3], and Warisa Wamae[1]

[1] สาขาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน [2] สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

[3] นักวิชาการสุขาภิบาลชำนาญการ เทศบาลตำบลมะรือโบตก อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส 96130

[1] Renewable Energy Technology Program, [2] Physics Industrial Program, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang District, Yala Province, 95000

[3] Sanitation Technical Officer (Senior Professional Level), Maruebo-tok Subdistrict Municipality, Ra-ngae District, Narathiwat Province, 96130

[1]Corresponding author: Tel.: 086-2960787. E-mail address: eleeyah.s@yru.ac.th

Abstract

Biogas production from household organic waste has gained increasing attention as a method to reduce waste and generate sustainable renewable energy. This study investigates biogas production from household organic waste using both stirred and non-stirred methods in a fixed-dome biogas system with a diameter of 120 cm and a depth of 180 cm. The fermentation process involves the use of fresh cow manure as the initial feedstock. An initial batch of approximately 190 kg of cow manure was added at the beginning of the experiment. Following a 5-day initial period, 3 kg of food waste was subsequently added every 3 days. The results indicate that biogas production in the stirring process contained CH_4 (68-75%), CO_2 (25-30%), and H_2S (22-1 ppm), while the non-stirring process resulted in CH_4 (60-65%), CO_2 (22-35%), and H_2S (20-25 ppm). Notably, the implementation of stirring resulted in a 14% increase in methane content, along with reductions of 7% in carbon dioxide and 58% in hydrogen sulfide concentrations.

Keywords: Biogas digester, Organic waste, Household, Green energy

บทคัดย่อ

การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ช่วยลดปริมาณของเสียและสร้างพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้จึงศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนแบบไม่กวนและกวนตลอดช่วงการผลิตด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 cm ความลึก 180 cm ซึ่งหมักเศษอาหารที่ได้จากครัวเรือนโดยใช้มูลวัวสดเป็นอาหารตั้งต้นด้วยการเติมครั้งเดียวในตอนแรกประมาณ 190 kg หลังจากนั้น 5 วัน จึงเติมเศษอาหารจำนวน 3 kg ทุก ๆ 3 วัน ซึ่งพบว่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่มีส่วนประกอบของก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) กรณีที่มีการกวนเฉลี่ยเท่ากับ 68-75%, 25-30% และ 22-1 ppm ตามลำดับ และกรณีที่ไม่มีการกวนเฉลี่ยเท่ากับ 60-65%, 22-35% และ 20-25 ppm ตามลำดับ ที่น่าสังเกตคือ การกวนในระบบหมักส่งผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 14% ขณะเดียวกันปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง 7% และ 58% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบผลิตไบโอก๊าซ, ขยะอินทรีย์, ครัวเรือน, พลังงานเขียว

บทนำ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักและย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) โดยอาศัยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการนี้ทำให้สารอินทรีย์ในระบบถูกย่อยสลายและผลิตก๊าซชีวภาพออกมา องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจน (H_2) ไอน้ำ (H_2O) และสารประกอบอื่น ๆ เช่น ไซลอกเซน (Siloxanes) จากองค์ประกอบดังกล่าว ก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักที่กำหนดคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณต่ำ คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความร้อน 21 MJ/m^3 ความเร็วเปลวไฟ 25 cm/s อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 6.19 m^3 (air)/m^3 (gas) อุณหภูมิการเผาไหม้ในอากาศ 650 ^oC อุณหภูมิจุดติดไฟของมีเทน 600 ^oC ค่าความจุความร้อน 16 $kJ/m^{3o}C$ และความหนาแน่น 1.15 kg/m^3 [1] ก๊าซชีวภาพสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ใช้แทนก๊าซหุงต้มในการปรุงอาหาร ใช้ให้แสงสว่างและให้ความร้อน ใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์ ใช้ในกระบวนการอบแห้งหรือให้ความอบอุ่นแก่สัตว์เลี้ยง เช่น ไก่ แพะและวัว ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในภาคอุตสาหกรรมและใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ กากตะกอนและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพยังสามารถนำไปใช้ในภาคเกษตรกรรม [2] เช่น เป็นปุ๋ยอินทรีย์หรืออาหารสัตว์ โดยก๊าซชีวภาพ 1 m^3 มีค่าความร้อนเทียบเท่ากับก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 kg น้ำมันดีเซล 0.60 l น้ำมันเตา 0.55 l ไฟฟ้า 1.2 kWh หรือไม้ฟืน 1.5 kg [3]

วัฒนณรงค์ มากพันธ์ และคณะ [4] ได้ผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร 3 ประเภท ได้แก่ โปรตีน (เนื้อสัตว์) วิตามิน (ผักผลไม้) และคาร์โบไฮเดรต (ข้าว) ด้วยถังหมักขนาด 2 l ดังนี้ ถังหมักโปรตีน ถังหมักวิตามินและถังหมักคาร์โบไฮเดรต โดยการหมักแบบไร้ออกซิเจนเป็นเวลา 40 วัน ที่อุณหภูมิแวดล้อม โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นถูกเก็บไว้ในถังเก็บก๊าซ วัดปริมาตรก๊าซด้วยการแทนที่น้ำแล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography: GC) ผลการทดลองพบว่า ถังหมักโปรตีน (เนื้อสัตว์ : มูลสุกร : กากน้ำตาล : น้ำ) ที่อัตราส่วน 3 :

1 : 1 : 12 by volume ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด คือ 8.8277×10^{-4} m^3 และมีองค์ประกอบก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 13.70% แสดงให้เห็นว่าเศษอาหารสามารถเป็นทางเลือกในการผลิตพลังงานทดแทนในรูปของก๊าซมีเทน (CH_4) ได้ นอกจากนี้ วรชิรา ดาวสุด และญาณิศา ละอองอุทัย [5] ได้สร้างถังหมักแบบยูเอเอสบีปริมาตร 4.65 l ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของถังเท่ากับ 35 และ 14.50 cm ตามลำดับ ร่วมกับการตรึงจุลินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์และตะกอนเลนบ่อกุ้งเป็นหัวเชื้อเริ่มต้น เพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน เมื่อหมักจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) จะเกิดก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 163.88 ml โดยเป็นก๊าซมีเทน 24.74% ในขณะเดียวกัน นพดล โพชกำเหนิด และคณะ [6] ได้ผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมแบบกะ พบว่า ของเสียจากอุตสาหกรรมสามารถผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในระดับปานกลาง โดยให้ผลผลิตมีเทนเท่ากับ 21.06-34.64 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่าย โดยโรงงานแปรรูปปลาหมึกมีค่าผลผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 34.64 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่าย (ให้อัตราการผลิตมีเทน 0.99 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่ายต่อวัน และมีปริมาณมีเทนเท่ากับ 48.20%) ในขณะที่ของเสียจากการเลี้ยงสุกรมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าของเสียจากอุตสาหกรรม โดยให้ผลผลิตมีเทนเท่ากับ 48.09 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่าย (ให้อัตราการผลิตมีเทน 1.37 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่ายต่อวัน และมีปริมาณมีเทน 62.41%) เมื่อหมักร่วมระหว่างของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม พบว่า มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาหมึกและของเสียจากการเลี้ยงสุกรให้ผลผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 57.38 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่าย (ให้อัตราการผลิตมีเทน 1.91 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่ายต่อวัน โดยการหมักร่วมนี้จะให้ปริมาณมีเทนสูงขึ้นอยู่ในช่วง 57.23-67.45%

การกวน (Stirring) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากช่วยให้จุลินทรีย์สัมผัสกับสารอินทรีย์ได้ทั่วถึง ลดการเกิดชั้นตะกอนและเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลาย แต่ในทางกลับกันหากกวนมากเกินไปอาจทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงได้ ซึ่ง ศศิธร ใสปา และคณะ [7] ได้ศึกษาและวิเคราะห์ผลของการกวนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานในระบบหมักแบบแห้งขนาด 1,000 l ภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยเปรียบเทียบกับการกวนทุก 6 h และ 12 h รอบละ 10 min พบว่า การกวนทุก 6 h ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพและมีประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่าการกวนทุก 12 h โดยสามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 15.15% ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในภาคอุตสาหกรรมได้ ในขณะที่ Perman et al. [8] ได้วิเคราะห์ผลของการกวนต่อกระบวนการหมักแบบของแข็งสูง (High-solid digestion: HSD) สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะในครัวเรือน ขยะจากสวนและเศษเหลือทางการเกษตร ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 27-28% โดยเปรียบเทียบกับถังหมักแบบไหลตามแนวแกน (Comparing plug-flow: PFRs) ที่มีอัตราการกวนต่ำเท่ากับ 1 rpm กับถังหมักแบบกวนสมบูรณ์ (Completely stirred-tank reactors: CSTRs) ที่มีอัตราการกวนสูงเท่ากับ 70-150 rpm ซึ่งพบว่า การหมักแบบไหลตามแนวแกนให้ผลผลิตก๊าซมีเทนและแร่ธาตุไนโตรเจนสูงกว่าเล็กน้อย ขณะที่การลดปริมาณของแข็งระเหยได้มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทั้งสองระบบซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างของอัตราการกวน ทั้งนี้ถึงแม้ว่าจุลินทรีย์จะแตกต่างกันแต่ทั้งสองระบบสามารถรักษาเสถียรภาพของกระบวนการหมักได้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นในการออกแบบกระบวนการหมักแบบของแข็งสูง นอกจากนี้ Sihlangu et al. [9] ได้วิเคราะห์ผลของความเร็วรอบการกวนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโค ของเสียจากมันฝรั่ง กากแป้งมันฝรั่ง ของเสียจากผลไม้และอาหารสุนัขแห้งหมดอายุ ด้วยถังหมักแบบกวนขนาด 30 l ที่ความเร็วการกวนเท่ากับ 25.5, 35.5 และ 45.5 rpm พบว่า ที่ความเร็วการกวนเท่ากับ 45.5 rpm ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพ

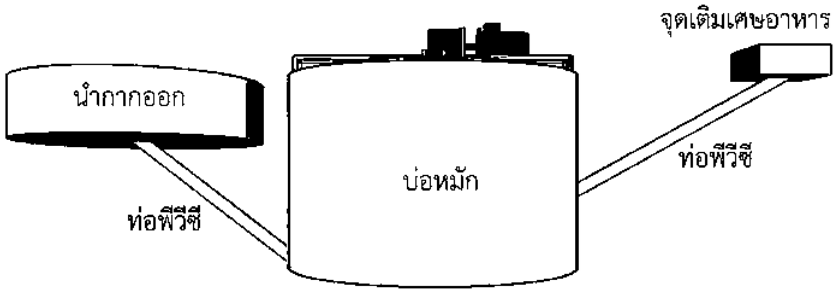
สูงสุดภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria ช่วงอุณหภูมิ 50-55 °C) โดยการผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการผลิตที่สภาวะอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic bacteria ช่วงอุณหภูมิ 35-37 °C) [10]

ทั้งนี้ การศึกษาผลของการกวนในระบบหมักพบได้ในระบบขนาดใหญ่หรือระบบอุตสาหกรรม [11] แต่ยังขาดงานวิจัยที่ศึกษาอย่างเฉพาะเจาะจงในระบบโดมคงที่ขนาดเล็กที่ใช้งานจริงในระดับครัวเรือนหรือชุมชน โดยเฉพาะการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซภายใต้เงื่อนไขการกวนและไม่กวนอย่างเป็นระบบ งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญต่อการเติมเต็มช่องว่างขององค์ความรู้ และส่งเสริมแนวทางการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทยและประเทศกำลังพัฒนาในระดับครัวเรือน [12-16] จึงได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนแบบไม่กวนและกวนตลอดช่วงการผลิต โดยใช้เศษอาหารที่ได้จากครัวเรือนหมักร่วมกับมูลวัวสดแล้ววัดส่วนประกอบของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยมุ่งเน้นพัฒนาแนวทางการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ขนาดเล็กที่เหมาะสมกับบริบทชุมชนในเชิงนวัตกรรม ทั้งด้านประสิทธิภาพการผลิตและความสะดวกในการใช้งานให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของครัวเรือน อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการจัดการขยะอินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยส่งเสริมความยั่งยืนด้านพลังงานของชุมชนในอนาคต โดยกำหนดสมมติฐานการวิจัยว่า การกวนในระบบหมักขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่มีผลต่อปริมาณก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิธีการวิจัย

1. ระบบหมักก๊าซชีวภาพ

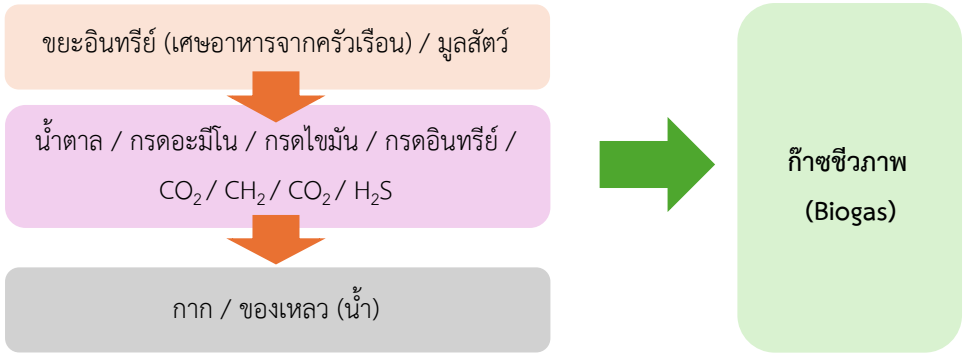
ระบบหมักก๊าซชีวภาพประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนสำหรับนำเศษอาหารจากครัวเข้าถังหมักซึ่งเป็นส่วนที่เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ส่วนของถังหมักที่ใช้เก็บก๊าซชีวภาพ และส่วนของทางออกสำหรับปล่อยกากหรือของเหลวที่เกิดจากการหมักออกมา ดังภาพที่ 1 โดยถังหมักได้วางไว้ใต้ดินด้วยการขุดหลุมและบุด้วยปูนซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 cm ความลึก 180 cm พร้อมกันนี้ได้ฉาบปูนหนา 5 cm ที่ก้นหลุมและโดยรอบถังหมักเพื่อป้องกันการซึมเข้าของอากาศและน้ำรอบ ๆ ระบบหมัก โดยเจาะรูสองรูที่ระดับความลึกจากก้นหลุมเท่ากับ 25 cm และ 45 cm ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งตรงข้ามกัน มีท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.2 cm (4 นิ้ว) ติดตั้งทำมุมประมาณ 60 องศากับแนวดิ่ง ที่ด้านหนึ่งใช้สำหรับนำของเสียอินทรีย์เข้าไปในถังหมักและอีกด้านหนึ่งใช้สำหรับนำกากที่ได้จากการหมักแล้วออกจากห้องหมัก



ภาพที่ 1 ระบบหมักก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่ (Fixed dome digester)

2. การทดลองและบันทึกผล

การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในครัวเป็นไปตามกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ ดังภาพที่ 2 โดยใช้ระบบหมักก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการหยุดชะงัก ในขั้นแรกได้ใช้มูลวัวสดเป็นวัสดุตั้งต้นสำหรับเพาะเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเริ่มต้นด้วยการเติมมูลวัวประมาณ 190 kg (อ้างอิงจากข้อมูลการทดสอบของกลุ่มชุมชนที่ใช้ระบบหมักขนาดใกล้เคียงกัน)

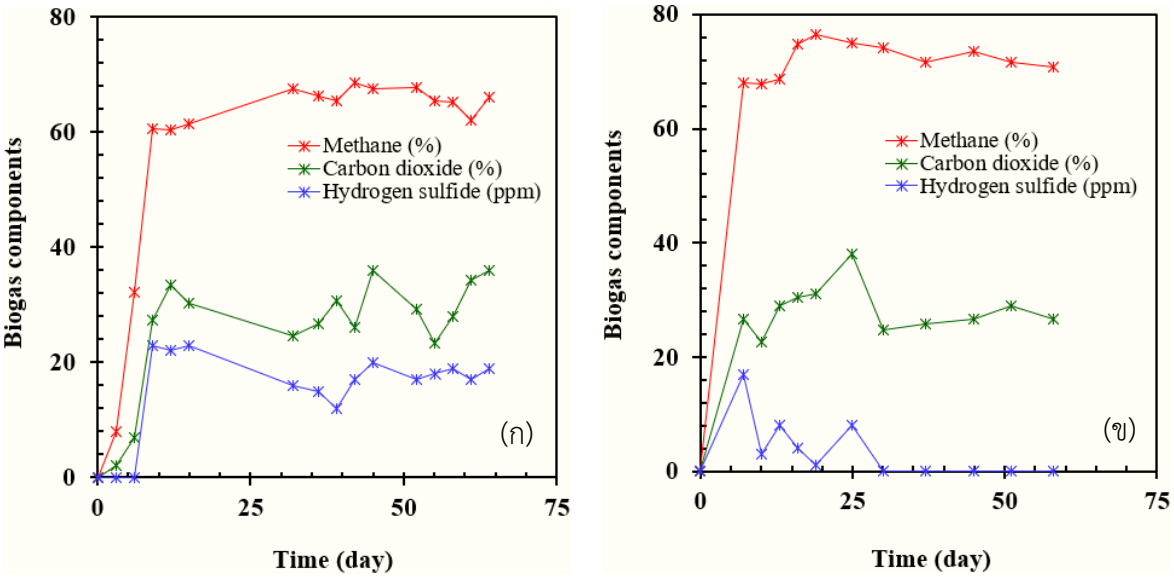


ภาพที่ 2 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ [17]

หลังจากนั้นทำการเติมเศษอาหารประมาณ 3 kg ทุก ๆ 3 วัน ซึ่งมีการกวนระบบในตอนเที่ยงวันด้วยความเร็วเท่ากับ 75 rpm (ความเร็วรอบการกวนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพส่วนมากจะอยู่ในช่วง 60-115 rpm ซึ่งให้ผลการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดโดยเปลืองพลังงานไม่มาก [12, 18, 19] โดย Mohammadrezaei et al. [20] ระบุว่า ในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลวัวที่ความเร็วการกวนเท่ากับ 80 rpm ให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและค่าพลังงานสุทธิสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วการกวนที่ 40 rpm และ 120 rpm) ทุก ๆ วัน ๆ ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 5 min โดยทำการเก็บปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุก 2-3 วัน ตลอดระยะเวลา 70 วัน แล้วนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพแบบพกพา (ETG MCA100 BIO-P, ประเทศอิตาลี) การทดลองนี้ดำเนินการที่เทศบาลตำบลมะรือโบตก อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส พิกัด 6.3417° N และ 101.6566° E

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

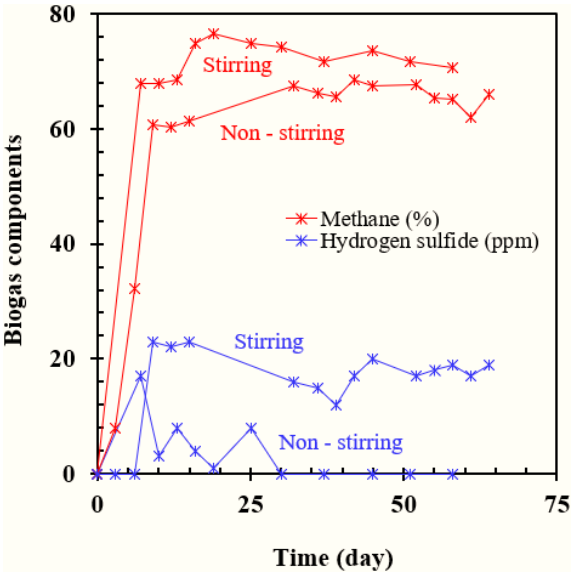
การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่ โดยการหมักเศษอาหารที่ได้จากโรงครัวผลิตอาหารของเทศบาลตำบลมะรือโบตก อ.ระแงะ จ.นราธิวาส ซึ่งใช้มูลวัวสดเป็นอาหารตั้งต้นของจุลินทรีย์ ด้วยการเติมครั้งเดียวในตอนแรกประมาณ 190 kg (อ้างอิงข้อมูลจากการทดสอบของกลุ่มชุมชนที่ใช้บ่อหมักขนาดเดียวกัน) หลังจากนั้น 5 วัน จึงเติมเศษอาหารเข้าไป จำนวน 3 kg ทุก ๆ 3 วัน โดยแยกการทดสอบเป็น 2 ลักษณะ คือ การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในชุมชนที่มีการกวนและไม่มีการกวนตลอดช่วงการผลิต จากการทดลองพบว่า ก๊าซชีวภาพที่ได้มีส่วนประกอบของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในสัดส่วนต่าง ๆ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่ (ก) ไม่มีการกวน และ (ข) มีการกวน ทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง (ตอนเที่ยง) นาน 5 min

กรณีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในชุมชนที่ไม่มีการกวน ดังภาพที่ 3 (ก) พบว่า ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรก โดยก๊าซมีเทนมีปริมาณเท่ากับ 60% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเท่ากับ 32% ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณ 22 ppm และเมื่อหมักต่อไปอีกจนถึงวันที่ 35 พบว่า ก๊าซมีเทนมีปริมาณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 68% ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณเปลี่ยนแปลงโดยการลดลงเล็กน้อย กล่าวคือ มีปริมาณเท่ากับ 25-30% และ 15-22 ppm ตามลำดับ และเมื่อการหมักดำเนินต่อไปถึงวันที่ 45 ก๊าซมีเทนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยปริมาณเท่ากับ 68% และมีค่าโดยรวมคงที่ไปจนสิ้นสุดการทดลอง โดยที่ค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณขึ้นลงในช่วงประมาณ 23-35% เช่นเดียวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ที่ประมาณ 20 ppm ไปจนสิ้นสุดการทดลอง ทั้งนี้ ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซไนโตรเจนและไอน้ำ [21] กรณีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในชุมชนที่มีการกวน ดังภาพที่ 3 (ข) พบว่า ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรก โดยก๊าซมีเทนมีปริมาณเท่ากับ 68% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเท่ากับ 25% ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณ 3 ppm และเมื่อหมักต่อไปอีกจนสิ้นสุดการทดสอบวันที่ 58 พบว่า ก๊าซมีเทนมีปริมาณคงที่อยู่ในช่วง 72-76% ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณอยู่ในช่วงเท่ากับ 28-38% ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณลดลงอย่างมากคงเหลือประมาณ 1 ppm ดังภาพที่ 3 (ข) ทั้งนี้ พบข้อสังเกตว่าในช่วงวันที่ 5 ของการหมักนั้น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็น 1 ppm ในวันที่ 10 ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเมื่อเริ่มกวนในวันที่ 7 ของการทดสอบหมัก จะส่งผลให้เศษอาหารและจุลินทรีย์บางส่วนเกิดการตายหรือเน่าเสียจากการทับทมในบ่อหมักก่อนที่จะมีการกวนเกิดขึ้น ทำนอง

เดียวกันกับช่วงวันที่ 10-30 ไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วง ๆ แต่แนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งแสดงถึงการเร่งการสลายของสารประกอบซัลเฟอร์ในขยะอินทรีย์เนื่องจากการกวนในระบบหมัก



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่ ที่ไม่มีการกวนและมีการกวนทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง (ตอนเที่ยง) นาน 5 min

เมื่อพิจารณาการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการกวนในระบบหมัก พบว่า ความเร็วการกวนที่ 60 rpm ให้ค่าการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 0.423 $m^3/m^3/day$ ค่าการผลิตพลังงานที่ 9.379 $MJ/m^3/day$ โดยใช้พลังงานในกระบวนการกวนเท่ากับ 3.430 $MJ/m^3/day$ และพลังงานสุทธิที่ได้รับเท่ากับ 8.448 $MJ/m^3/day$ [11] โดย นพดล ยุบลชู และคณะ [22] ได้ระบุว่า การกวนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนจากกากมันสำปะหลังและน้ำเสีย โดยที่ความเร็วรอบการกวนเท่ากับ 110 rpm ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของจุลินทรีย์และสารอาหารในถังหมัก ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเข้าถึงสารอาหารได้อย่างทั่วถึงและลดการสะสมของสารยับยั้ง เช่น กรดไขมันที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักได้ ทำนองเดียวกันการกวนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีส่วนสำคัญที่ทำให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง กล่าวคือ การกวนช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลและการกระจายออกซิเจนในระบบหมัก ซึ่งส่งผลให้เสริมการทำงานของแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์กำมะถัน ทำให้การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น [12, 23] ทั้งนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากการกวนในระบบหมักแล้วยังมีการใช้เทคนิคการหมุนเวียนของของเหลวในระบบหมักร่วมกับการกวนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบหมักแบบแห้ง (Dry anaerobic digestion: DAD) ในขณะที่ Zhang et al. [12] ได้ใช้ซังข้าวฟ่างเป็นวัสดุหมัก พบว่า ความเร็วการหมุนเวียนของของเหลวที่ 88 cm/s ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและมีปริมาณมีเทนสูงสุด โดยการวิเคราะห์ CFD ระบุว่าแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นช่วยให้จุลินทรีย์สัมผัสกับวัสดุหมักได้ดีขึ้น ซึ่งการผสมผสานการกวนและการหมุนเวียนของของเหลวช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลในระบบหมักส่งผลให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น 28% เมื่อเทียบกับระบบไม่กวน การผสมผสานการกวนและการหมุนเวียนของของเหลวจึงช่วยแก้ปัญหาผลผลิตมีเทนต่ำและอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าเนื่องจากข้อจำกัดด้านการถ่ายเทมวลและความร้อนในระบบหมัก

สรุปผลการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่แบบมีการกวนและไม่มีการกวนให้ผลการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนี้ กรณีที่มีการกวนได้ปริมาณก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 71.2±2.0%, 27.0±1.8% และ 9.2±7.5 ppm ตามลำดับ และกรณีที่ไม่มีการกวนเท่ากับ 62.5±2.5%, 29.0±3.5% และ 22.0±2.0 ppm ตามลำดับ โดยการกวนมีผลเชิงบวกต่อการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทน ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 14%, 7% และ 58% ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการกวน ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่า การกวนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ขนาดเล็กที่ใช้ในระดับครัวเรือนหรือชุมชนสามารถยกระดับคุณภาพก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ โดยเฉพาะการเพิ่มสัดส่วนก๊าซมีเทนและลดองค์ประกอบที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยและการใช้งานจริง จึงสามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในระดับครัวเรือนได้อย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (Fundamental Fund: FF) ประจำปีงบประมาณ 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ขอขอบคุณ ดร.รอมสัน หมาดมานัง และ ดร.จุฑามาศ แก้วมณี คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองและการลงพื้นที่เก็บข้อมูลในชุมชน และการวิจัยนี้ได้รับการอำนวยความสะดวกให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์การก่อสร้างจากเทศบาลตำบลมะรือโบตก อ.แงะ จ.นราธิวาส

เอกสารอ้างอิง

[1] Pesta G. Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry. New York: Springer; 2007.

[2] ปพน ไชยถาวร, อรรถกร อาสนคำ, ธรณิศวร์ ดีทายาท, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การประเมินศักยภาพและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลลานกระบือ. วารสารวิชาการพลังงานสู่ชุมชน 2567; 7(3): 99-113.

[3] ณิชชา บูรณสิงห์. ก๊าซชีวภาพผลผลิตจากมูลสัตว์สู่พลังงานทดแทน. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานบริการวิชาการ สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร; 2563.

[4] วัฒนณรงค์ มากพันธ์, อุดม ทิพย์รักษ์, ทศพล แสนศรี, ศักดินันท์ แก้วดำ, วรรธนศักดิ์ สุขสง. ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2563; 22(2): 116-122.

[5] ววชิรา ดาวสุด, ญาณิศา ละอองอุทัย. การผลิตก๊าซชีวภาพและพัฒนาแบบจำลองโดยระบบยูเอเอสบีจากของเสียอินทรีย์ร่วมกับการตรึงจุลินทรีย์ [รายงานการวิจัย. ชลบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา; 2561.

[6] นพดล โพชกำเหนิด, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์, ณิชา ประสงค์จันทร์, สมเกียรติ์ อินทรักษ์, สมพงศ์ โอทอง. ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม จากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้างโดยใช้การหมักแบบกะ. วารสารวิจัยราชมงคลกรุงเทพ 2563; 14(2): 116-127.

[7] ศศิธร ใสปา, ฐปน ชื่นบาล, นิกราน หอมดวง, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, รจพรรณ นิรัญศิลป์. การศึกษาระยะเวลาการกวนผสมและหมุนเวียนตะกอนที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดหวานด้วยกระบวนการหมักแบบแห้ง. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า 2563; 18(1): 87-105.

[8] Perman E, Karlsson A, Westerholm M, Isaksson S, Schnürer A. High-solid digestion - A comparison of completely stirred and plug-flow reactor systems. Waste Management 2024; 189: 265-275.

[9] Sihlangu E, Magama P, Chiyanzu I, Regnier T, Luseba D, Nephawe KA. Investigating the Influence of organic loading rate, temperature and stirring speed on biogas production using agricultural waste in South Africa. Agriculture 2024; 14: 2091.

[10] นรารัชต์พร นวลสวรรค์, วนัสพรรัศม์ สวัสดี. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 2561; 14(1): 74-85.

[11] El-Bakhshwan MK, Abd El-Ghafar SMA, Zayed MF, El-Shazly AE. Effect of mechanical stirring on biogas production efficiency in large scale digesters. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering 2015; 6(1): 47-63.

[12] Zhang Z, Chang S, Zhao S, Liu P, Qian Y, Li W. Impact of mechanical stirring and percolate recirculation on the performances of dry anaerobic digestion. Fermentation 2023; 9: 848.

[13] Chol MMY, Muchuka NM, Nyaanga DM. Effect of stirring intervals on biogas production from cow dung and maize silage mix ratio. International Journal of Power and Energy Research 2021; 5(1): 1-11.

[14] Makamure F, Mukumba P, Makaka G. Biogas production from a solar-heated temperature-controlled biogas digester. Sustainability 2024; 16(22): 9894.

[15] Kaparaju P, Angelidaki I. Effect of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: Lab-scale and pilot-scale studies. Bioresource Technology 2008; 99(11): 4919-4928.

[16] Karim K, Klasson KT, Hoffmann R, Drescher SR, DePaoli DW, Al-Dahhan M.H. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing. Bioresource Technology 2005; 96: 1607-1612.

[17] Almalowi SJ, Jobran FA. Experimental study of design and implementation of small-scale biogas digest system. Energy and Power Engineering 2022; 14: 156-165.

[18] Srivichai P, Thongtip S. Optimization of mixing speed and retention time affecting biogas production from starchy sediment using response surface methodology. Songklanakarin Journal of Science and Technology 2021; 43(3): 767-773.

[19] Octiva CS, Indriyani, Santoso AB. Effect of stirring co-digestion of palm oil and fruit for biogas production to increase economy benefit. Budapest International Research and Critics Institute-Journal 2021; 4(4): 14152-14160.

[20] Mohammadrezaei R, Zareei S, Khazaei NB. Optimum mixing rate in biogas reactors: Energy balance calculations and computational fluid dynamics simulation. Energy 2018; 159: 54-60.

[21] อรณิช เผือกคง. ไบโอแก๊ส (Biogas). [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 30 สิงหาคม 2567]; เข้าถึงได้จาก: https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7101-biogas.

[22] นพดล ยุบลชู, ภากร งามแสง, ไทยทัศน์ สุดสวนสี. ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนจากกากมันสำปะหลังและน้ำเสีย. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ 2567; 2(6): 50-65.

[23] Andreides M, Pokorna-Krayzelov L, Bartackova J, Bartacek J. Stirring-based control strategy for microaerobic H_2S removal in sequencing batch anaerobic digesters. Fuel 2021; 306: 121696.