

การเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาโดยการให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์และการหมักร่วม

Enhancement of Biogas Production Potential of Water Hyacinth (*Eichhornia Speciosa Kunth*) using Integrated Solar Radiation and Co-Digestion

ญานิกา ฤกษ์มหาลิขิต^{1*} เสฏฐา ศาสนนันท์²

¹บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Yanika Lerkmahalikhit ^{1*} Setta Sasananan²

¹Graduate School of Srinakharinwirot, Bangkok, 10110

²Department of Civil and Environment, Faculty of Engineering,
Srinakharinwirot, Ongkharak, Nakhon Nayok, 26120

*Corresponding author Email: yanikalerk9234@gmail.com

(Received: February 28, 2021; Accepted: June 16, 2021)

บทคัดย่อ

ผักตบชวา (*Eichhornia Speciosa Kunth*) สามารถก่อให้เกิดความเสียหายให้ระบบนิเวศในประเทศไทย จึงได้มีการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อีกทางเลือกหนึ่งคือนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ เนื่องจากผักตบชวามีเซลลูโลส ไนโตรเจน และสารอาหารที่จำเป็นต่อการหมัก ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้แสงแดดหมักร่วมกับเศษอาหาร การวิจัยระดับปฏิบัติการหมักแบบกะ โดยอาศัยกลุ่มจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิห้อง ปรับสภาพผักตบชวากับแสงแดดระยะเวลา 40 วัน หมักร่วมกับเศษอาหาร แล้วจึงนำสัดส่วนในการทดลองแบบกะไปเดินระบบในถังปฏิกรณ์กวนต่อเนื่อง (Continuous flow Stirred-Tank Reactor, CSTR) ผลการศึกษาพบว่า การปรับสภาพด้วยแสงแดดและการย่อยอาหารร่วมกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงถึง ร้อยละ 40 ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการวิจัยระหว่างผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพซึ่งเป็นวัสดุหมักหลักกับวัสดุหมักร่วม ที่อัตราส่วน 80:20 อัตราบรรจุภาชนะสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) 2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยต่อลบ.ม.ต่อวัน และ ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 10 วัน

คำสำคัญ: ผักตบชวา เศษอาหาร การผลิตก๊าซชีวภาพ การปรับสภาพ ก๊าซมีเทน

ABSTRACT

Water hyacinth (*Eichhornia Speciosa Kunth*) causes ecological problems in Thailand. Various alternatives have been made to utilize its existence. One of the alternatives is biogas fuel because of its cellulose, nitrogen, essential nutrients, and high fermentation contents. This study aimed to

enhance the biogas production potential using integrated solar radiation and co-digestion with food waste. A series of laboratory experiments using biodigester was performed in batch anaerobic operation at room temperature. The pretreatment process was done in 40 days and co-digestion with food waste. The optimum condition from the batch scale experiment was selected into operation in the continuous flow stirred-tank reactor (CSTR). The result showed that solar radiation and co-digestion could enhance the biogas production potential up to 40 %. The best performance of biogas production from this research will be obtained if the co-digestion ratio is in 80:20 with treated water hyacinth as the main substrate, OLR 2.5 Kg VS/m³day and HRT in 10 days.

Keyword: Water Hyacinth, Food waste, Biogas, Methane, Pretreatment.

1. บทนำ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เกิดจากกระบวนการหมัก เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) แบบที่เรียกว่า เจริญเติบโตในสภาวะที่เหมาะสม และย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เปลี่ยนสภาพเป็นก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH₄) ประมาณร้อยละ 50-75 มีคุณสมบัติเป็นก๊าซติดไฟ สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณร้อยละ 36-39 ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน (H₂) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ไนโตรเจน (N₂) และไอน้ำ ประมาณร้อยละ 1-3 ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่มีคุณสมบัติติดไฟได้ โดยคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซชีวภาพ จะขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทน 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนแก๊สหุงต้มได้ประมาณ 0.46 กิโลกรัม หรือผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 2.086 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง [1]

การเลือกวัสดุหมักที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุหมัก สามารถส่งผลถึงปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพได้ วัสดุหมักในการผลิตก๊าซชีวภาพมีหลายประเภท เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร [2] ฟางข้าว [3] เศษผักผลไม้ [4] ผักตบชวา [5] ของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ตะกอนดีแคนเตอร์โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม [6] กลิ

เซอร์อลติบ [7] และทำการปรับธาตุอาหารโดยการหมักกับวัสดุหมักร่วม (Co-digestion) กับของเสียจากปศุสัตว์ เช่น มูลสัตว์ เนื่องจากมีเชื้อจุลินทรีย์จำนวนมากที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพเช่น เศษอาหาร [8] ของเสียจากสัตว์ [9] ของเสียจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม [10] ตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสีย [11] เป็นต้น

ผักตบชวา ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Eichhornia Speciosa Kunth* ซึ่งเป็นวัชพืชน้ำมีความสามารถในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ชนิดหนึ่งซึ่งสร้างปัญหาให้กับคุณภาพน้ำ ก่อให้เกิดปัญหาระบบนิเวศ เช่น การเน่าเสียของแหล่งน้ำ ผักตบชวาเป็นพืชที่มีความขึ้นสูง องค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์จำพวก คาร์โบไฮเดรต บริเวณใบของผักตบชวามีโปรตีนสูง ประกอบด้วยของแข็งระเหยได้ประมาณร้อยละ 80 ของน้ำหนักแห้ง และผักตบชวาปริมาณ 1 ไร่ สามารถให้ก๊าซมีเทนประมาณ 4,200 ลบ.ม.หรือทดแทน LPG ได้ประมาณ 2,100 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี [12]

วัสดุหมักจำพวกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พืช และ วัชพืช โครงสร้างภายในประกอบด้วย เซลลูโลส ประมาณร้อยละ 40-60 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 20-30 และลิกนิน ร้อยละ 15-30 เป็นโครงสร้างประเภทเฮเทอโรโพลิเมอร์ เส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน [13] ส่งผลต่อการเข้าถึงอาหารของจุลินทรีย์ในการผลิต

ก๊าซชีวภาพ ซึ่งการปรับสภาพจะทำลายคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุลิกโนเซลลูโลสส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเข้าถึงสารอินทรีย์ได้มากขึ้นเป็นการเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนไฮโดรไลซิส โดยการกำจัดลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส เพิ่มความพรุนของวัสดุหมัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการปรับสภาพด้วยวิธีต่างๆ การปรับทางกายภาพ (Physical pretreatment) เช่น การบด ตัด [14] การปรับสภาพทางชีวภาพ (Biological Pretreatment) โดยใช้จุลินทรีย์ [15] การปรับสภาพทางเคมี (Chemical pretreatment) เช่น การใช้กรด-ด่าง [16] การปรับสภาพทางเคมีกายภาพ (Physical-chemical Pretreatment) การระเบิดด้วยไอน้ำ [17] การปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ [18] เป็นต้น การปรับสภาพดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเป็นจำนวนมาก อีกทั้งสามารถนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้ยากเนื่องจากมีต้นทุนสูง ซึ่งการตากแสงแดดในงานวิจัยนี้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพและไม่ซับซ้อนอีกด้วย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแสงแดด หมักร่วมกับเศษอาหาร

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1. การเตรียมวัสดุหมัก และการปรับสภาพ

ผักตบชวา จากแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ส่วนใบ และลำต้น นำมาปรับสภาพด้วยการหั่นให้มีขนาดเล็กลง และตากแสงแดดเป็นเวลา 40 วัน (กลับทุก 3 วัน) จากนั้นนำเข้าเครื่องบด นำเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เศษอาหาร (Food Waste) จากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ทำการคัดแยกนำสิ่งปะปนออก เช่น ไม้เสียบลูกชิ้น ถูพลาสติก กระดุกแข็ง เป็นต้น แล้วจึงนำมาผ่านการปรับสภาพทางกายภาพโดยการบด เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เชื้อเริ่มต้น (Seed Natural Cultures) นำมาจากมูลสุกร และกากตะกอนจากบ่อหมักแบบปลั๊กโฟลว์ (plug flow digester) ในอัตราส่วนผสม มูลสัตว์แห้งหนัก 500 กรัม ต่อตะกอน 500 กรัม ผสมน้ำ 6 ลิตร กวนผสมให้เข้ากัน หมักร่วมกับผักตบชวาและเศษอาหาร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

2.2. การวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางเคมี

ทำการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุหมัก และเชื้อตั้งต้น ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทุกวัน ค่าปริมาณของแข็ง (Total Solid; TS) และปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid, VS) ค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD) ทุก 2 วัน ค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon, C) ไนโตรเจนทั้งหมด (Nitrogen, N) ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic acids, VFA) ค่า อัล คา ลี นี ตี (Alkalinity, Alk) ทุก 3 วัน ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (Biogas production) ทุกวัน และองค์ประกอบก๊าซมีเทนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) ทุก 3 วัน ตรวจวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ APHA AWWA, WEE (2005) และ AOAC (1995)

2.3. การเตรียมชุดทดลอง

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง โดยการทดลองชุดที่ 1 ศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ชุดการทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์กวนต่อเนื่องแบบไร้อากาศ (CSTR) แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางชุดการทดลอง

การทดลอง	วิธีทดลอง	วัสดุหมัก	อัตราส่วน
ชุดที่ 1	ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพด้วยวิธีแบบบักกะ (Batch)	1) ผักตบชวาปรับสภาพด้วยแสงแดดนาน 40 วัน 2) เศษอาหาร 3) เชื้อตั้งต้น	90:10 80:20 70:30

ตารางที่ 1 ตารางชุดการทดลอง (ต่อ)

การทดลอง	วิธีทดลอง	วัสดุหลัก	อัตราส่วน
ชุดที่ 2	ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพในถังปฏิกรณ์กวนต่อเนื่องแบบไร้อากาศ (CSTR)	1) ผักตบชวาผ่านการปรับสภาพด้วยแสงแดดนาน 40 วัน + เศษอาหาร+เชื้อตั้งต้น	80:20

2.3.1 ชุดการทดลองที่ 1 : ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ แบบกะ (Batch)

การทดลองแบบกะ (Batch) ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพระยะเวลา 40 วัน กับเศษอาหาร ต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ ทำการใส่หัวเชื้อตั้งต้น ร้อยละ 30 ของปริมาตรทั้งหมด โดยใส่วัสดุหลัก แปรผันตามปัจจัยได้แก่ อัตราบรรจุภาชนะสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ระยะเวลากักเก็บ (HRT) และสัดส่วนวัสดุหลัก (ratio) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแปรผันปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

อัตราบรรจุภาชนะสารอินทรีย์ * (Kg VS/m ³ day)	ระยะเวลา กักเก็บ * (Day)	สัดส่วน * (WH 40 : FW)
1.5	10	90:10
2.0	20	80:20
2.5	30	70:30

OLR = อัตราบรรจุภาชนะสารอินทรีย์

HRT = ระยะเวลากักเก็บ

WH 40 = ผักตบชวาที่ตากแสงแดดนาน 40 วัน

*น้ำหนักแห้ง (กรัมของแข็งระเหยง่าย :กรัมของแข็งระเหยง่าย)

ปรับสภาพค่าความเป็นกรด-ด่างภายในให้เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพเจริญเติบโตได้ดีในช่วง 6.0-8.0 โดยใช้ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ก่อนเริ่มดำเนินการทดลอง

ไล่อากาศ (Purge) ด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ประมาณ 3 นาที ติดตั้งเข้าชุดเขย่าและต่อกับชุดเก็บก๊าซชีวภาพแบบวิธีแทนที่น้ำ ดังแสดงรูปที่ 1 เขย่าด้วยอัตราเร็ว 110 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จำนวน 2 ชุด

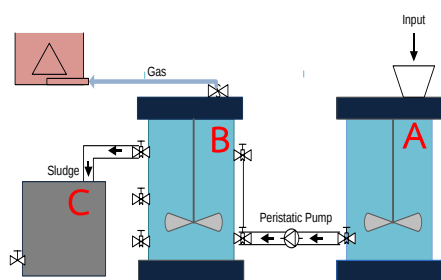


รูปที่ 1 ชุดทดลองหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

- ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่บันทึกผลค่าวัดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (Biogas production) จนกว่าปริมาณก๊าซชีวภาพคงที่ และวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

2.3.2 ชุดการทดลองที่ 2 : ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพในถังปฏิกรณ์กวนต่อเนื่องแบบไร้อากาศ (CSTR)

นำผลจากชุดการทดลองที่ 1 ไปเดินระบบในถังปฏิกรณ์กวนต่อเนื่องแบบไร้อากาศ (Continuous flow Stirred-Tank Reactor, CSTR) แบบถังเดี่ยว ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกทำจากท่อ PVC จำนวน 2 ถัง ถังแรกเป็นถังผสมเพื่อใส่สารอินทรีย์ และอีกถังเป็นถังหมัก มีปริมาตรรวม 17 ลิตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว ภายในติดตั้งใบพัดสำหรับกวนผสม ทำการกวนผสม 100 รอบต่อนาที ต่อกับเครื่องเก็บก๊าซโดยการแทนที่ด้วยน้ำเก็บตัวอย่างก๊าซ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณมีเทน และวิเคราะห์ค่าทางเคมี เดินระบบอย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปฏิกรณ์กวนต่อเนื่อง Continuous flow
Stirred-Tank Reactor (CSTR)

2.4. การเดินระบบในปฏิกรณ์กวนต่อเนื่อง

2.4.1 ช่วงเริ่มระบบ

ใส่ปริมาณเชื้อตั้งต้น (Seed Culture) ร้อยละ 30 ของปริมาตรใช้จริง ปรับสภาพค่าความเป็นกรด-ด่างภายในให้เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ เจริญเติบโตได้ดีในช่วง 6.0-8.0 โดยใช้กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เริ่มป้อนอัตราบรรทุกการสารอินทรีย์ ร้อยละ 20 40 60 และ 80 ของอัตราบรรทุกการสารอินทรีย์ที่กำหนด เพื่อปรับสภาพเชื้อตั้งต้นให้พร้อมต่อการเดินระบบ โดยมีการปรับเพิ่มแบบไล่ระดับ

2.4.2 ช่วงเดินระบบ

เริ่มเดินระบบถึงปฏิกิริยา A ป้อนอัตราบรรทุกการสารอินทรีย์ 2.5 กิโลกรัม ของแข็งระเหยง่าย ต่อลบ.ม.-วัน สัดส่วนระหว่าง ผักตบชวา และเศษอาหาร 80:20 (โดยปริมาตร) ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ โดยมีประมาณ 6.0-8.0 วิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางเคมี

ถึงหมัก (ถึงปฏิกิริยา B) อัตราการผสม 100 รอบต่อนาที ให้เข้ากันเพื่อเพิ่มการสัมผัสของจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์ให้ทั่วถึง ดำเนินการบันทึกผลปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ และตัวอย่างน้ำในระบบเพื่อวัดค่าคุณสมบัติทางเคมี

ถึงตะกอน (ถึงปฏิกิริยา C) ดำเนินการเก็บตัวอย่างตะกอนวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางเคมี เพื่อเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมด ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

บันทึกผลการวิจัยทั้งปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม และวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติต่างๆ จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว สามารถดูได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากในถังหมัก (ถึงปฏิกิริยา B) มีปริมาณน้อยลงและคงที่ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยง่าย และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี คำนวณหาปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทน (Methane Yield)

3. ผลการวิจัยและการอภิปราย

3.1 คุณลักษณะของวัสดุหมัก

จากการวิจัยได้หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.8-7.2 ค่าปริมาณความชื้น (Moisture content, MC) ร้อยละ 65-70 ปริมาณของแข็งทั้งหมด อยู่ระหว่าง 1,051.1 – 1054.7 กรัมต่อลิตร และปริมาณของแข็งระเหยง่าย อยู่ระหว่าง 145.9 – 149.7 กรัมต่อลิตร และ ปริมาณซีโอดี อยู่ระหว่าง 1,447.3 – 1,816.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าองค์ประกอบทางเคมีของเศษอาหาร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 4.9 – 5.2 ค่าปริมาณความชื้น ร้อยละ 75-90 ปริมาณของแข็งทั้งหมด 100-180 กรัมต่อลิตร และ ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended solids, SS) 30 - 95 กรัมต่อลิตร ปริมาณซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD) 6,400 - 12,800 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับองค์ประกอบของธาตุอาหารของผักตบชวาและเศษอาหารเพิ่มเติมตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบธาตุอาหารของผักตบชวาและเศษอาหาร

	ผักตบชวา [19] [20] [21]	เศษอาหาร [22] [23] [24]
C (%)	31.5-39.8	48.0-49.8
H (%)	2.8-5.7	3.14-6.40
O (%)	28.1-34.9	37.6
N (%)	2.9-3.0	1.85-5.24

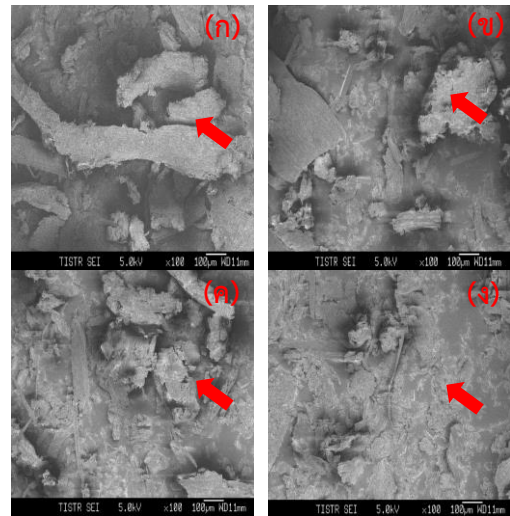
ระยะเวลาการตากแสงแดดที่เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างลิกนินที่ถูกทำลายจะส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเข้าถึงสารอาหารได้มากขึ้นเพิ่มการสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์กับสารอาหารทำให้มีโอกาสเกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้น [25] ซึ่งสอดคล้องจากการศึกษาการปรับสภาพผักตบชวาด้วยแสงแดดกับเศษอาหารโดยการหมักแบบกะ โดยการปรับสภาพผักตบชวาด้วยแสงแดดที่ระยะเวลา 40 วัน สามารถทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้ปริมาณมากที่สุด 61.43 มล.ต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย พบว่าค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย มีปริมาณน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ 10 วัน กับผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ 40 วัน ถึง ร้อยละ 24 และร้อยละ 33 ตามลำดับ [26]



รูปที่ 4 ลักษณะของผักตบชวาทาก
หลังการปรับสภาพ

(ก) ผักตบชวาทากแดด 10 วัน , (ข) ผักตบชวาทากแดด 20 วัน
(ค) ผักตบชวาทากแดด 30 วัน , (ง) ผักตบชวาทากแดด 40 วัน

ลักษณะทางกายภาพของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพระยะเวลา 40 วัน ลักษณะภายนอกเป็นสีน้ำตาลเข้มออกดำ และแห้งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแสงแดดที่ 10 20 30 ตามลำดับดังรูปที่ 4 (ก-ง)



รูปที่ 5 ภาพโครงสร้างผักตบชวาทาก
หลังการปรับสภาพ

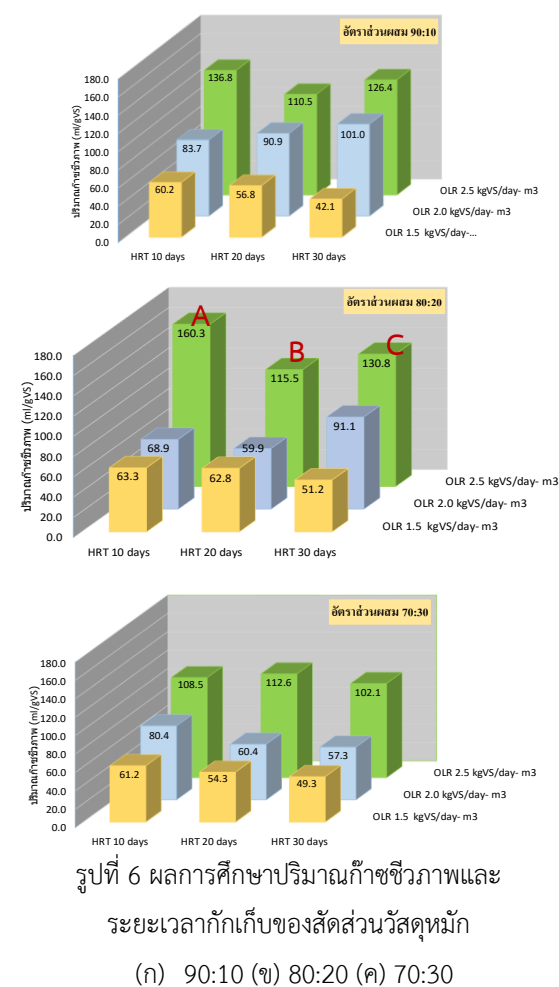
(ก) ผักตบชวาทากแดด 10 วัน , (ข) ผักตบชวาทากแดด 20 วัน
(ค) ผักตบชวาทากแดด 30 วัน , (ง) ผักตบชวาทากแดด 40 วัน

เมื่อทำการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 100 เท่า จากรูปที่ 5 (ก-ง) พบว่าลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างภายในมีความแตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแสงแดด 10 20 และ 30 วัน กับผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแสงแดด 40 วัน พบว่าโครงสร้างเส้นใยภายในฉีกออกจากกันตาม

3.2 ผลการศึกษาชุดการทดลองที่ 1 : ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ แบบกะ (Batch)

จากรูปที่ 6 (ก-ค) ได้ว่า สัดส่วนวัสดุหมัก 80:20 อัตราบรรทุกภาชนะสารอินทรีย์เข้าระบบ 2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยง่ายต่อลบ.ม.ต่อวัน ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด 160.3 มล.ต่อกรัมของแข็ง รองลงมาคือ สัดส่วนวัสดุหมัก 90:10 อัตราบรรทุกภาชนะสารอินทรีย์เข้าระบบ 2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยง่ายต่อลบ.ม.ต่อวัน ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ 136.8 มล.ต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย

ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2564



จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำสกัดผักตบชวาแบบไร้อากาศ ในถังหมักขนาดปริมาตร 5 ลิตร ที่อัตราบรรทุกภาระสารอินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าค่าปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด 104.50 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราบรรทุกภาระสารอินทรีย์ 1.6 กิโลกรัมชีโอดีต่อลบ.ม.ต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน [27]

จากรูปที่ 6 (ข) สัดส่วนวัสดุหมัก 80:20 อัตราบรรทุกภาระสารอินทรีย์เข้าระบบ 2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยง่ายต่อลบ.ม.ต่อวัน เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพกับประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย พบว่ากราฟแท่ง A ก๊าซชีวภาพมากที่สุด 160.3 มล.ต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายร้อยละ 62 รองลงมา คือกราฟแท่ง C ก๊าซชีวภาพ 130.8

มล.ต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย ร้อยละ 59.5 และกราฟแท่ง B มีปริมาณก๊าซชีวภาพ 115.5 มล.ต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย ร้อยละ 51 นั้น

จะเห็นได้ว่าการกำจัดของแข็งระเหยง่ายมีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ เนื่องจากของแข็งระเหยง่ายสามารถเปลี่ยนเป็นสารอาหารให้กับจุลินทรีย์เพื่อนำไปผลิตก๊าซชีวภาพได้ง่าย หากจุลินทรีย์ได้รับปริมาณอาหารที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในการผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากนี้ สัดส่วนของวัสดุหมักในการผลิตก๊าซชีวภาพมีความสำคัญต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ นอกจากเป็นสารอาหารให้จุลินทรีย์ในการนำไปใช้แล้วในการผลิตก๊าซชีวภาพ สร้างเซลล์ใหม่ให้จุลินทรีย์ในระบบ แล้วยังเป็นการปรับธาตุอาหารให้เหมาะสมอีกด้วย

ผู้วิจัยจึงเลือกนำสัดส่วนวัสดุหมัก 80:20 อัตราบรรทุกภาระสารอินทรีย์เข้าระบบ 2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยง่ายต่อลบ.ม.ต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน ซึ่งได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพชีวภาพของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพในถังปฏิกรณ์กวนต่อเนื่องแบบไร้อากาศ (CSTR) ต่อไป

3.3 ผลการศึกษาชุดการทดลองที่ 2 : ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพในถังปฏิกรณ์กวนต่อเนื่องแบบไร้อากาศ (CSTR)

จากการวิจัยพบว่า จากรูปที่ 7 แสดงปริมาณการกำจัดของแข็ง และปริมาณการกำจัดของแข็งระเหยง่ายตลอดการวิจัย อยู่ในช่วงร้อยละ 10.5 ถึง 48.2 และ ร้อยละ 11.6 ถึง 65.8 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งสูงสุด และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายสูงสุด ร้อยละ 44.1 และ 65.8 ในวันที่ 57 และ 45 ของการวิจัย ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ 1.30 และ 2.27 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย ค่าปริมาณก๊าซมีเทน ร้อยละ 45.51 และ 63.5 โดยปริมาตร ค่าปริมาณของแข็ง และของแข็งระเหยง่ายในระบบบอกถึงปริมาณของแข็ง และการกระจายตัวของสารอินทรีย์ในระบบ ถ้าปริมาณของแข็งมีมากเกินไปทำให้

การกระจายตัวไม่ทั่วถึงจุลินทรีย์สัมผัสอาหารไม่ทั่วถึง ปริมาณก๊าซชีวภาพก็จะเกิดได้น้อยลง หลังจากแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดได้ย่อยของแข็งแล้วนั้น ของแข็งระเหยง่ายคืออาหารที่เมทาโนเจนใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป และแสดงผลจากประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งและของแข็งระเหยง่ายในรูปแบบร้อยละเพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งปริมาณการกำจัดของแข็ง และปริมาณของแข็งระเหยง่ายที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง ร้อยละ 60-90 [1]

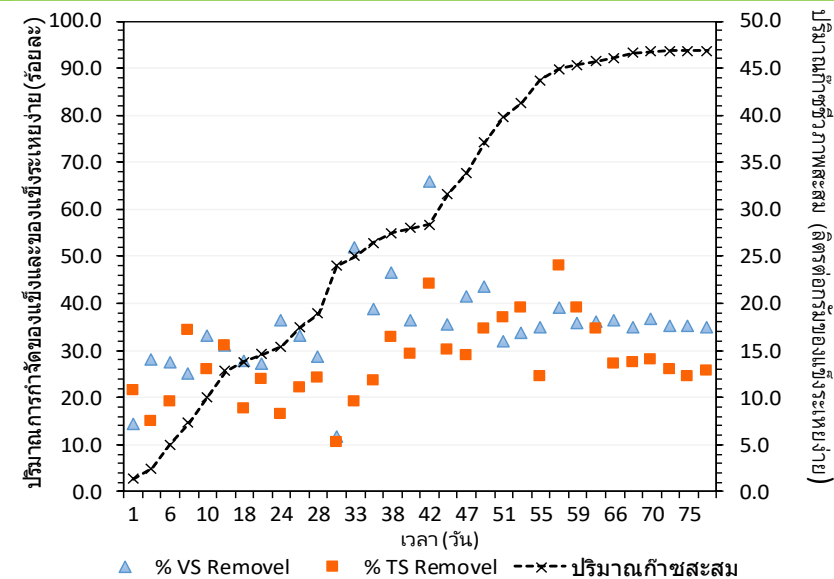
สังเกต จากรูปที่ 7 ในงานวิจัยช่วงแรกของการเดินระบบจุลินทรีย์ยังไม่สามารถสัมผัสหรือย่อยอาหารได้อย่างเต็มที่ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งและของแข็งระเหยง่ายการกำจัดน้อย ต่อมาจุลินทรีย์เริ่ม

ปรับตัวกับปริมาณอาหารที่ได้รับ และระบบมีการกวนผสมเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสอาหารอย่างทั่วถึงทำให้เมทาโนเจนได้รับอาหารอย่างทั่วถึงมากขึ้นจนมาถึงช่วงสภาวะคงตัวเมทาโนเจนผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งและของแข็งระเหยง่าย

มีปริมาณลดลงจนคงที่ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งและของแข็งระเหยง่าย มีแนวโน้มของกราฟไปในทิศทางเดียวกันกับค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงปริมาณอาหาร และการใช้อาหารของจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพต่อไป

อัตราส่วนผสม 80:20 OLR 2.5 kgVS/day-m³ HRT 10 days



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็ง และของแข็งระเหยง่ายในระบบ
กับปริมาณก๊าซชีวภาพ

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับปริมาณของแข็งที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ ในถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศ 50 ลิตร โดยมีปริมาณของแข็งร้อยละ 2.6 4.6 6.2 7.4 9.2 12.3 และ 18.4 ตามลำดับ ระยะเวลา 90 วัน เกิดก๊าซชีวภาพ 115.7 122.33 172.34 137.99 184.09 186.28 และ 54.87 มิลลิลิตรต่อกรัม ของแข็งระเหยง่าย

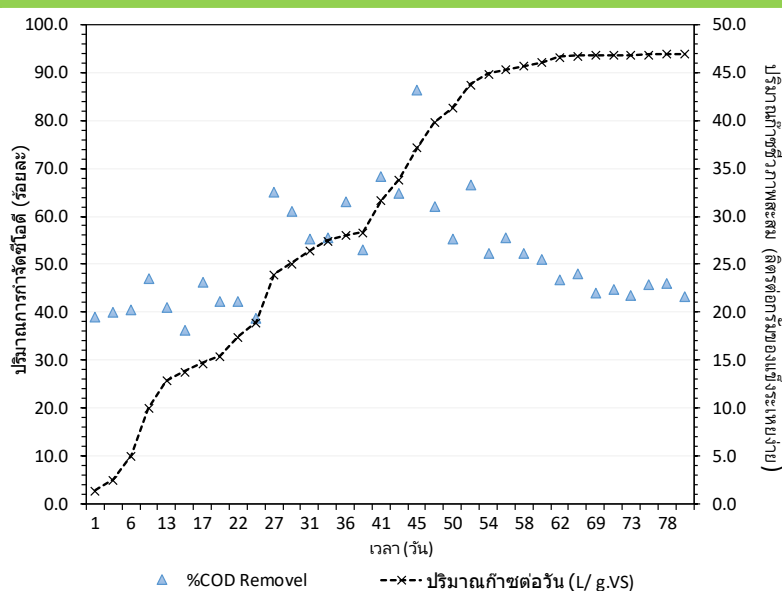
พบว่าปริมาณของแข็งมีผลต่อปริมาณการสะสมกรดในระบบซึ่งส่งผลโดยตรงกับการเกิดก๊าซชีวภาพ [3] และจากการศึกษางานวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากจะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งซีโอดีจุลินทรีย์ มูลไก่ และหญ้าเนเปียร์ ในถังหมักแบบขั้นตอนเดียว จากเริ่มแรกมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งระเหย

ง่าย 24,610 และ 17,440 มก.ต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดระบบมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งระเหยง่าย 10,377 และ 4,209 มก.ต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งและของแข็งระเหยง่ายร้อยละ 57.8 และ 75.8 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดถึง 23 ลิตรต่อวัน และประกอบด้วยก๊าซมีเทน ร้อยละ 74.5 [4]

จากรูปที่ 8 ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในช่วงร้อยละ 39 ถึง 86.5 ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุด มีค่าร้อยละ 86.5 ในวันที่ 45 ของการวิจัย ปริมาณก๊าซชีวภาพ 2.27 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย

และปริมาณก๊าซมีเทน ร้อยละ 63.5 โดยปริมาตร ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเป็นพารามิเตอร์มีความสำคัญอีกพารามิเตอร์สามารถบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ส่งผลต่อความสามารถในการเกิดก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในก๊าซชีวภาพ จุลินทรีย์ได้ย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อนำไปผลิตเป็นก๊าซมีเทนต่อไป หากระบบมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในร้อยละที่สูง ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีโอกาสเกิดขึ้นสูงด้วย ค่ายอมรับได้อยู่ในช่วง ร้อยละ 5-85 [1]

อัตราส่วนผสม 80:20 OLR 2.5 kgVS/day-m³ HRT 10 days



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพซีโอดีในระบบกับปริมาณก๊าซชีวภาพ

ในช่วงแรกของการป้อนอัตราบรรทุกภาระสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ยังไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าช่วงอื่นในระบบ เข้าสู่ต่อมาจุลินทรีย์ทำงานได้ดีขึ้นส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มมากขึ้น ถึงช่วงระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลงอีกครั้งหนึ่งซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่แนวโน้มลดลงจนคงที่ หากมีอัตราบรรทุกภาระสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไป ระบบเกิดการสะสม

กรดสามารถส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง อัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อคาร์บอนเดมกเกินไปสามารถส่งผลต่อเกิดก๊าซชีวภาพได้หรืออาจทำให้ระบบล้มเหลวได้

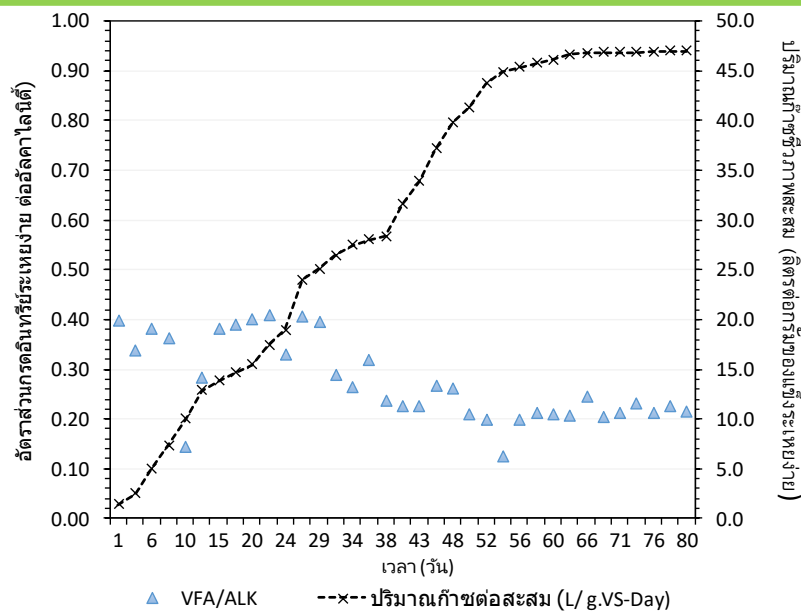
จากการศึกษางานวิจัยได้ศึกษาการหมุนเวียนของน้ำเสียในถังหมักไร้ออกซิเจนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานสุรา เริ่มให้ค่าซีโอดี 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.25 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาพักเก็บ 20 วัน โดยทำการเปลี่ยน

อัตราส่วนการหมุนเวียนเข้าระบบที่อัตราไหลเข้าต่ออัตราไหลเวียนกลับ เท่ากับ 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ย ร้อยละ 41 57 62 72 และ 75 ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด 0.10 0.12 0.21 0.37 และ 0.48 ลิตรต่อกรัม ซีโอดีที่ถูกกำจัด ก๊าซมีเทน ร้อยละ 45.14 53.96 52.23 54.23 และ 55.43 ตามลำดับ ต่อมาเพิ่มอัตราการระบายรุกรูทสารอินทรีย์จากเป็น 0.5 และ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทำให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ร้อยละ 77 และ 76 ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 2,961 และ 3,391 มิลลิลิตรต่อวัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด 0.36 และ 0.21 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ก๊าซมีเทน ร้อยละ 64.24 และ 53.87 ตามลำดับ [28] หากเพิ่มอัตราการระบายรุกรูทสารอินทรีย์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น และปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้น อาจสรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพในการกำจัด

ซีโอดีมีผลโดยตรงกับปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

จากงานวิจัย รูปที่ 9 แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อคาร์บอนในการเดินระบบตลอดการวิจัย มีค่าอยู่ระหว่าง 0.15-0.42 อัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อคาร์บอน (VFA/ALK) เป็นค่าพารามิเตอร์บ่งบอกการทำงานของแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด และแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน และค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) จะแสดงถึงความต้องการการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือเรียกว่าปริมาณบัฟเฟอร์ ในการเดินระบบนั้น การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ขึ้นอยู่กับการสะสมตัวของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ซึ่งเป็นผลผลิตจากกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรด เพื่อไปเป็นอาหารให้กลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน เพราะฉะนั้นเราจะสามารถดูเสถียรภาพในระบบ และความสามารถในการควบคุมการเดินระบบได้ในรูปของอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อคาร์บอน ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 0.8 [30]

อัตราส่วนผสม 80:20 OLR 2.5 kgVS/day-m³ HRT 10 days



รูปที่ 9 กราฟแสดงอัตราส่วนระหว่าง VFA/ALK กับปริมาณก๊าซชีวภาพ

ในช่วงแรกของระบบ กรดอินทรีย์ระเหยง่ายถูกเปลี่ยนไปเป็นอาหารของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน

(Methanogen) ในการสร้างก๊าซชีวภาพ ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อคาร์บอนมี

ปริมาณเพิ่มขึ้น ต่อมาค่าอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์
ระเหยง่ายต่อคาร์บอนเดิมมีปริมาณลดลง แบบที่เรียทั้ง 2
กลุ่ม มีการทำงานร่วมกันได้ดีสอดคล้องกับค่าปริมาณก๊าซ
ชีวภาพที่เพิ่มขึ้น และสามารถสังเกตจากค่าความเป็นกรด
เป็นด่างคงที่ (อยู่ในช่วง 7.0-7.5) แสดงว่าระบบมีปริมาณ
บัฟเฟอร์เพียงพอต่อการเดินระบบ ในช่วงสุดท้ายเข้าสู่ช่วง
สภาวะคงที่ ค่าอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่าย
ต่อคาร์บอนเดิมเริ่มลดลงจนคงที่ สอดคล้องกับค่าก๊าซ
ชีวภาพที่เกิดขึ้นเริ่มเข้าสู่ช่วงสภาวะคงที่ (Steady State)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ศึกษาการไหลของถังเอเอสบี
อาร์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และอัตราการ
เกิดก๊าซมีเทน จำนวน 3 ถัง (ถัง A B และ C) มีปริมาตร
23 ลิตร โดยใช้กากสำจากโรงงานผลิตสุรา พบว่า
อัตราส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด
(VFA/ALK) มีค่า 0.44 0.31 และ 0.70 ตามลำดับมีค่า
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 68.6 74.0 และ 62.5
และได้ค่าปริมาณก๊าซมีเทนจำเพาะ 0.051 0.086 และ
0.402 ลิตรปริมาณมีเทนต่อกรัมซีโอดีเข้า จะเห็นได้ว่าถัง
ปฏิกรณ์ B ที่มีค่าอัตราส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยต่อ
สภาพต่างทั้งหมด น้อยกว่า 0.4 [29] ซึ่งแสดงว่าระบบมี
ความสามารถในการรักษาปริมาณบัฟเฟอร์เพียงพอต่อ
การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชได้

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน
เป็นกระบวนการในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพ
ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยใช้จุลินทรีย์ในการย่อย
สลายซึ่งก๊าซมีเทนองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ
ประมาณร้อยละ 50-70 และมีก๊าซอื่นๆ ประกอบไปด้วย
คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 36-
39 และก๊าซอื่นๆ ประมาณร้อยละ 1-3 (อาทิเช่น H_2 , H_2S ,
 N_2 และไอน้ำ) [30] คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึง
ขึ้นอยู่กับปริมาณมีเทน ซึ่งการจะผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้
ปริมาณก๊าซมีเทนมากนั้นต้องอาศัยหลากหลายปัจจัยที่
เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่จุลินทรีย์ในการ
ผลิตก๊าซชีวภาพ จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่าปริมาณก๊าซ
ชีวภาพมีค่าองค์ประกอบก๊าซมีเทนมากที่สุดในวันที่ 4

ของการเดินระบบ ปริมาณมีเทนร้อยละ 63.51 จากรูปที่
8 ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และค่าประสิทธิภาพ
ในการกำจัดของแข็ง และรูปที่ 7 ของแข็งระเหยง่ายใน
ระบบ จะเห็นได้ว่าหากระบบมีค่าประสิทธิภาพในการ
กำจัดซีโอดีสูงที่สุด และค่าประสิทธิภาพในการกำจัด
ของแข็งระเหยง่ายในระบบ สูงสุดในวันที่ 45 มีค่าร้อยละ
86.5 และ 65.8 ตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณก๊าซ
มีเทนสูงสุดปริมาณของการวิจัย ซึ่งเป็นปริมาณที่มากพอที่
สามารถติดไฟได้ ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์
(Specific Methane Yield) 0.195 ลิตรของก๊าซชีวภาพ
ต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย โดยมีค่าประสิทธิภาพการ
กำจัดของแข็งระเหยง่ายเฉลี่ยตลอดการวิจัยอยู่ที่ร้อยละ
34.68

4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการเกิด
ก๊าซชีวภาพแบบกะ สัดส่วนที่มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม
สูงสุด คือ ชุดการทดลองอัตราบรรทุกาหารสารอินทรีย์
2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยง่าย ต่อลบ.ม.ต่อวัน สัดส่วน
วัสดุหมัก 80:20 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 158.9, 152.5
และ 130.8 มล.ต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย ตามลำดับ ซึ่ง
สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง ร้อยละ 74.1
68.6 และ 72.0 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัด
ของแข็งระเหยง่าย ร้อยละ 79.6 81.9 และ 74.2
ตามลำดับ แต่เนื่องจากชุดการทดลองมีระยะเวลาเก็บ
แตกต่างกัน 10 20 และ 30 วัน ตามลำดับ ซึ่งอาจส่งผล
ต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ เนื่องจาก
ระยะเวลาเก็บที่นานไปส่งผลต่อปริมาณอาหารของ
จุลินทรีย์ไม่เพียงพอต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้ปริมาณ
ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นน้อยลง จะเห็นว่าระยะเวลากักเก็บ
เป็นอีกปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ และ
ค่าวิเคราะห์ทางเคมี และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมา
วิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เพื่อศึกษา
ความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์มาก
น้อยเพียงใดกับค่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จากตารางที่ 4

แสดงค่าความสัมพันธ์ของก๊าซชีวภาพกับพารามิเตอร์ต่างๆ จะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ทั้ง 5 พารามิเตอร์ และมีค่าความเชื่อมโยงกันความสัมพันธ์เป็นบวกเปรียบเทียบค่าได้มากใน 4 ตัวแปรแรก จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีความสัมพันธ์กับการเกิดก๊าซชีวภาพจริงทั้งในการทดลอง และการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ 4 แสดงค่าความสัมพันธ์ของก๊าซชีวภาพกับพารามิเตอร์ต่างๆ

Correlations		
Biogas		
Parameter	r	P-Value
pH	.781**	0.000
%COD Removel	.728**	0.000
% TS Removel	.746**	0.000
% VS Removel	.730**	0.000
VFA/ALK	.562**	0.002

** . Correlation is significant at the 0.01 level

* . Correlation is significant at the 0.05 level.

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพในถังปฏิกรณ์กวนต่อเนื่องแบบไร้อากาศ (CSTR) นำสัดส่วนจากชุดการทดลองแบบกะ เพื่อหาประสิทธิภาพของผักตบชวาผ่านการปรับสภาพ หมักร่วมกับเศษอาหาร ในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ที่อัตราบรรทุกภาระสารอินทรีย์ 2.5 กิโลกรัมของแข็งระเหยง่ายต่อลบ.ม.-วัน สัดส่วนวัสดุหมัก 80:20 ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน ตลอดการวิจัยมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการวิจัย 50.90 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดอยู่ในวันที่ 45 ของการทดลอง 2.27 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย มีปริมาณก๊าซมีเทน ร้อยละ 63.51 โดยปริมาตร ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ (Specific Methane Yield) 0.067 ลิตรของก๊าซชีวภาพต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย มีค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบ 7.35 ค่า

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ร้อยละ 86.5 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย ร้อยละ 44.1 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย ร้อยละ 65.8 ค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน 41.98 และค่าอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อคาร์บอน 0.27 จะเห็นได้ว่าวันที่เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด และมีค่าปริมาณก๊าซมีเทนมากที่สุดอยู่ในช่วงการเดินระบบอาจเนื่องจากระบบได้มีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดในช่วงนั้นสังเกตได้จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบที่มีค่าสอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น อีกทั้งปริมาณก๊าซมีเทนยังมีปริมาณมากพอที่จะจุดไฟติด

จากศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องของศักยภาพการย่อยสลายของผักตบชวา ร่วมกับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตยีสต์สกัด ในถังหมักแบบถังเดี่ยว แบบไม่ต้องการออกซิเจน โดยใช้ถังหมักขนาด 20 ลิตร โดยใช้ผักตบชวาส่วนของลำต้นผักตบชวาสับละเอียดอัตราส่วน (ผักตบชวา:น้ำเสีย) ที่อัตราส่วน 4:1 2:1 1:1 0:1 1:0 และ 1:2 อุณหภูมิที่ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 วัน พบว่าอัตราส่วน 2:1 ให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเฉลี่ย 4.05 ลิตร อัตราการเกิดก๊าซมีเทนเฉลี่ย ร้อยละ 50.3 ในวันที่ 50 ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ (Specific Methane Yield) อยู่ในช่วง 0.009-0.194 ลบ.ม.ของก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดี ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี อยู่ในช่วงร้อยละ 20.78-72.71 [1] และจากศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องของการหมักร่วมระหว่างผักตบชวาผ่านการปรับสภาพด้วยด่าง และมูลแกะ โดยอัตราส่วนผสม 6 อัตราส่วน อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งในการหมัก ร้อยละ 8 ระยะเวลาพักเก็บ 60 วัน พบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุด 4:12.01:83.90 (ผักตบชวา:มูลแกะ:น้ำ) ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด 0.36 ลิตรต่อกรัม ของแข็งระเหยง่าย ปริมาณก๊าซมีเทน ร้อยละ 60.84 คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 21.53 ก๊าซอื่นๆ 17.83 [31] ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผักตบชวาเป็นวัสดุที่สามารถนำมาเป็นวัสดุหมักในการผลิตก๊าซชีวภาพ แต่ควรมีกระบวนการปรับสภาพก่อนนำมาใช้งานเนื่องจากผักตบชวามีโครงสร้างลิกนินที่

จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยากอีกทั้งควรปรับค่าอัตราส่วนให้เหมาะสมต่อธาตุอาหารแก่จุลินทรีย์ในการเกิดก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทน ในงานวิจัยนี้เลือกการใช้แสงแดดเพื่อเป็นการลดพลังงานที่ใช้ในการปรับสภาพด้วยความร้อนวิธีอื่น และลดค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพด้วยสารเคมี หรือ จุลินทรีย์ต่างๆ โดยเลือกใช้วัสดุหมัก (ผักตบชวา และเศษอาหาร) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและขยะอินทรีย์ เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดหรือจัดการในมหาวิทยาลัย

5. กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยนี้ขอขอบคุณ อาจารย์ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมในการให้คำปรึกษาช่วยเหลือในการวิจัย เชื่อมั่นได้ความอนุเคราะห์จาก พารมหนูชื่นสุข อำเภองครักษ์ เครื่องเข้าชุดทดลองที่ 1 ได้ความอนุเคราะห์ต้นแบบมาจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณนา เครื่องเข้าชุดทดลองที่ 2 ได้ความอนุเคราะห์ต้นแบบมาจาก คุณสมพร เครืออนุกร

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Development and Investment in Renewable Energy Manual Series 5 Biogas Energy, Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy, Bangkok, TH, 2018.

[2] N. Paepatung, A. Nopharatana and W. Songkasiri, "Bio-Methane Potential of Biological Solid Materials and Agricultural," *Asian Journal on Energy and Environment*, vol. 10, no. 01, pp. 19-27, Jan. 2009.

[3] B. Budiyo, I.N. Widiasa, S. Johari and S. Sunarso, "The Influence of Total Solid Contents on Biogas Yield from Cattle Manure Using Rumen Fluid Inoculum," *Energy*

Research Journal, vol. 1, no. 01, pp. 6-11, Jun. 2010.

- [4] C. Khunpakdee, K. Khuanmar and S. Yodthongdee, "Development of the Biogas Production System from a Co-digestion of Inoculums Chicken Manure and Napier grass in Covered Lagoon with Circulating," in *The National and International Graduate Research Conference*, Khon Kaen, 2017, pp.445-455.
- [5] C. Kitjettanee and T. Hudakorn, "Biogas Production from Water of Water-hyacinth Leaf and Patiole co-digestion with Microorganism under Mesophilic and Thermophilic Condition," M. S thesis, Engineering and Industrial Technology, Silpakorn Univ., Thailand, 2018.
- [6] N. Sohgratok, "Biogas Production from Decanter Cake of Plam Oil Mill with Waste water from Frozen Seafood Industry," M. S thesis, Dept. Env. Eng., Prince of Songkla Univ., Thailand, 2013.
- [7] P. Wassanamongkon, "Biogas Production from Pig Manure and Crude Glycerol," M. S thesis, Dept. Env. Eng., Prince of Songkla Univ., Thailand, 2014.
- [8] C. Zhang, H. Su, J. Baeyens and T. Tan, "Reviewing the Anaerobic digestion of food waste for biogas production," *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 38, pp. 383-392, Oct. 2014.
- [9] K. Aboudi, C. J. Álvarez-Gallego and L. Romero-García, "Biomethanization of sugar beet byproduct by semi-continuous single digestion and co-digestion with cow

- manure,” *Bioresource Technology*, vol. 200, pp. 311–319, Jan. 2016.
- [10] M. Budych-Gorzna, M. Smoczynski and P. Oleskowicz-Popiel, “Enhancement of biogas production at the municipal wastewater treatment plant by co-digestion with poultry industry waste,” *Applied Energy*, vol. 161, pp. 387–394, Jan. 2016.
- [11] C. Li, P. Champagne and B.C. Anderson, “Enhanced biogas production from anaerobic co-digestion of municipal wastewater treatment sludge and fat, oil and grease (FOG) by a modified two-stage thermophilic digester system with selected thermochemical pre-treatment,” *Renewable Energy*, vol. 83, pp. 474-482, Nov. 2015.
- [12] T. Sansawang, H. Pungrakame, T. Hutakorn and P. Ausuparut, “Study of The Effect for Biochemical Methane Potential Using Water Hyacinth with Wastewater from Yeast Extract,” in *The 10th Walailak Research National Conf.*, Nakhon Si Thammarat, 2019, pp.1-8.
- [13] R. Pawongrat, “Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes,” *Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University*, vol. 02, no. 01, pp.143-157, May-Jul. 2015.
- [14] P. Sungkasudi, P. Rachdawong and C. Nuengjamnong, “Physical Pretreatment of Water Hyacinth for Biogas Production,” *Thai Environmental Engineering Journal*, vol. 30, no. 2, pp. 9-18, May - August 2017.
- [15] L. Panpan, H. Chao, L. Gang, D. Pan, L. Mingming, G. Zan and J. Youzhou, “Biological pretreatment of corn straw for enhancing degradation efficiency and biogas production,” *Bioengineered*, vol. 11, no. 01, pp. 251-260, 2020.
- [16] C. Kobkam, “Development of the Biogas Production System from a Co-digestion of Inoculums Chicken Manure and Napier grass in Covered Lagoon with Circulating,” *KMUTNB Int. J. Apply Sci. Technol.*, vol. 11, no. 04, pp.247-256, Jul. 2018.
- [17] A. Bauer, J. Lizasoain, F. Theuretzbacher, J. W. Agger, M. Rincón, S. Menardo and S.J Horn, “Steam explosion pretreatment for enhancing biogas production of late harvested hay,” *Bioresource Technology*, vol. 166, pp. 403–410, Aug. 2014.
- [18] Z. Sapci, “The effect of microwave pretreatment on biogas production from agricultural straws,” *BioresourceTechnology*, vol. 128, pp. 487–494. Sep.2012.
- [19] N. Paepatung, A. Nopharatana and W. Songkasiri, “Bio-methane potential of biological solid materials and agricultural wastes,” *Asian Journal on Energy and Environment*, vol. 10, no. 01, pp. 19–27.
- [20] J. L. Varanasi, S. Kumari and D. Das, “Improvement of energy recovery from water hyacinth by using integrated system,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 3, pp. 1303–1318, Nov. 2018.
- [21] V. P. Rathod et al., “Biogas production from water hyacinth in the batch type anaerobic

- digester,” *Mater. Today*, vol. 5, no. 11, pp. 23346–23350, May 2018.
- [22] K. Hussaro, J. Intanin and S. Teekasap, “Biogas production from food waste and vegetable waste for the sakaew temple community anghong province Thailand,” *GMSARN International Journal*, vol. 11, pp. 82-89, 2017.
- [23] N. Curry and P. Pillay, “Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment,” *Renew. Energy*, vol. 41, pp. 200–209, Oct. 2012.
- [24] B. Deepanraj, V. Sivasubramanian, and S. Jayaraj, “Effect of substrate pretreatment on biogas production through anaerobic digestion of food waste,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 42, pp. 26522–26528, Jun. 2017.
- [25] K. P. A. Rangsuriyachai, “Evaluation of biogas production potential from combination of food waste with Pre-treatment of Napier grass by NaOH,” in *The 25 th National Convention on Civil Engineering*, Chonburi, pp. ENV03-1-6, 2020.
- [26] Y. Lerkmahalikhit and S. Sasananan, “Production of Biogas from Digestion Water Hyacinth Pretreatment with Food waste for Alternative Energy,” in *The 23 th National Convention on Civil Engineering*, Nakhon Nayok, pp. 1-5, 2018.
- [27] K. Thuanthong, P. Banjerdgig, S. Distnaree and S. SuchatLeungprasert, “Biogas Production from Water Hyacinth Extract,” *Thai Environmental Engineering Journal*, vol. 32, no. 1, pp. 43-49, May - August 2018.
- [28] U. Nakaparkorn, “Effect of internal recycle in anaerobic digester on biogas production from slop wastewater,” M. S thesis, Dept. Environ. Eng., Chulalongkorn Univ., Thailand, 2008.
- [29] R. Tipo, P. Pholchan, “Effects of down-flow to up-flow width ratios on efficiency of ABR treating distillery slop,” in the 13th KU-KPS Conference, Nakhon Pathom,. 2016, pp. 295-302.
- [30] Practical manuals on design, production Quality control and use of biogas for industrial plants, Safety Technology Bureau Department of Industrial Works., TH, 2009.
- [31] J. H. Patil, M. A. L. AntonyRaj, B. B. Shankar, M. K. Shetty and B. P. P. Kumar, “Anaerobic co-digestion of water hyacinth and sheep waste,” *Energy Procedia*, vol. 52, pp. 572–578, Dec. 2014.