



สถานะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมของไฮโดรไลเซตชีวมวล ต้นจากและน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Optimization of Biogas Production from Co-digestion of Nipa Palm Biomass Hydrolysate and Palm Oil Mill Effluent

พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์*

วัชร วยริน

เนตรนภา เรืองภาณุพันธ์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และ หน่วยวิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี

นิสกร สุขศิริณ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี

*e-mail: ball_biot@hotmail.com

Pongsak Noparat

Watcharee Ruairuen

Natenapa Ruangpanuphan

Program in Environmental Science and Renewable Energy and Environment Research
for Local Community Unit (REERCU), Suratthani Rajabhat University, Surat Thani

Nisakorn Sukhirun

Program in Environmental Science, Suratthani Rajabhat University, Surat Thani

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการเติมไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ อัตราการเจือจาง (ไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากต่อน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม) 0:1, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ค่าพีเอชเริ่มต้น 6.5, 7, 7.5 และความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 0, 2, 4, 6 และ 8 กรัมต่อลิตร หมักแบบกะในสภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 วัน วิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม SPSS 16.0

ผลการวิจัยในการหมักแบบกะพบว่า สถานะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ อัตราการเจือจาง 1:1.5 ค่าพีเอชเริ่มต้น 7 และโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 4 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 7,300, 7,250 และ 9,867 มิลลิลิตรต่อลิตร ตามลำดับ สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 80.53, 80.16 และ 84.37 ตามลำดับ นอกจากนี้มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 607, 590 และ 822 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่เหมาะสมแต่ละปัจจัยมาผลิตก๊าซชีวภาพในถังหมักขนาด 1 ลิตร พบว่าให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 9,833 มิลลิลิตรต่อลิตร อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด เท่ากับ 821 มิลลิลิตรต่อวัน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 83.53 และมีปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดร้อยละ 55.33

คำสำคัญ: ต้นจาก น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ก๊าซชีวภาพ การหมักร่วม สถานะที่เหมาะสม



Abstract

The objective of this research was to study the optimization of biogas production from nipa palm hydrolysate (NPH) with palm oil mill effluent (POME). Three factors affecting biogas production were dilution rate (NPH: POME) (0:1, 1; 1, 1:1.5 and 1:2), initial pH (6.5, 7, 7.5) and NaHCO_3 concentration (0, 2, 4, 6 and 8 g/L) was investigated. Batch anaerobic fermentation used for the digestion were operated at room temperature (30 ± 2 °C) for 15 days. The statistical analysis used consisted of percentage, mean, standard deviation and analysis of variance by SPSS 16.0.

The research results of batch fermentation showed that the optimum values for biogas production were 1:1.5 of dilution rate, initial pH 7 and 4 g/L NaHCO_3 , giving the highest cumulative biogas production of 7,300, 7,250 and 9,867 mL/L and COD removal of 80.53, 80.16 and 84.37%, respectively. Furthermore, the biogas production rate of 607, 590 and 822 mL/day, was obtained respectively. The co-digestion strategy was also applied to a 1 L-bioreactor that was usually used for treating nipa hydrolysate. It was found that the highest cumulative biogas production of 9,833 mL/L and rate of biogas production was 821 mL/day. COD removal of 83.53% and methane content was 55.33%.

Keywords: Nipa Palm, Palm oil Mill Effluent, Biogas, Co-digestion, Optimization

บทนำ

ปัจจุบันต้นจากเป็นพืชที่ทำรายได้ให้ชาวบ้านสม่ำเสมอให้ผลผลิตตลอดปี โดยมีการแบ่งพื้นที่หมุนเวียนกันใช้ประโยชน์ มีการรวมกลุ่มอนุรักษ์ต้นจาก รวมกลุ่มกันทำผลิตภัณฑ์จากน้ำตาลจาก และมีการส่งเสริมการปลูกต้นจากในนาทุ่งร้างมากขึ้น มูลนิธิชัยพัฒนา ได้เข้ามาส่งเสริมการปลูกจากในพื้นที่ ระหว่างปี 2554-2555 เนื้อที่ 2,000 ไร่ (Bamroongrugs, Purintavarakul, Kato & Stargardt, 2004) ในแต่ละปีมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ทางใบต้นจากก็เป็นวัสดุเหลือทิ้งชนิดหนึ่งที่เหลือเป็นปริมาณมาก จากการตัดใบไปทำตับจาก ทางใบที่เหลือก็ไม่ได้ประโยชน์ และนำลูกจากไปขายส่วนเปลือกก็ทิ้งไป ในปัจจุบันยังไม่มีกรนำทางใบต้นจากและเปลือกลูกจากไปใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร (Noparat, 2015) จึงมีการคิดนำทางใบต้นจากมาเพิ่มมูลค่าโดยใช้เป็นวัตถุดิบมาแปรรูปสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของชีวมวลจากส่วนต่าง ๆ ของต้นจาก พบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส (ร้อยละ 28.9-45.6) เฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ 21.8-26.4) และลิกนิน (ร้อยละ 17.3-32.0) และเมื่อวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของน้ำตาล พบว่า ทุกส่วนของต้นจากมีน้ำตาลไซโลส สูงที่สุด (ร้อยละ 14.0-17.30) รองลงมาคือ กลูโคส (ร้อยละ 2.9-3.8) อะราบินอส (ร้อยละ 1.6-2.7) กาแลกโทส (ร้อยละ 1.6-2.4) แมนโนส (ร้อยละ 0.3-1.0) และแรมโนส (ร้อยละ 0.1-0.2) ตามลำดับ (Tamunaidu & Saka, 2011)

ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นจากสามแหล่งใหญ่ คือ หม้อนึ่งปาล์ม เครื่องแยก (Separator) และเครื่องไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) (Vijayaraghavan & Ahmad, 2006) โดยมีอัตราส่วน 9:15:1 (Wu, Mohammad, Jahim & Anuar, 2007) น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent, POME) มีปริมาณสารอินทรีย์สูง (ค่าบีโอดีสูงกว่า 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) (Hassan, et al., 1996) ซึ่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้มีการนำน้ำเสียเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ แต่มีข้อเสียทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน และใช้พื้นที่ในการเก็บน้ำเสียมาก รวมทั้งเกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย (Wu, et al., 2007)

ในปัจจุบันการเพิ่มสารอาหารร่วมนับเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลายโรงงานยังมีแนวคิดการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งหลังการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพอีกครั้งโดยการเติมสารอาหารที่เป็นแหล่งคาร์บอนลงไป และนำวัสดุเศษเหลือที่มีอยู่ภายในโรงงาน เช่น ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม และกากตะกอนดีแคนเตอร์มาเป็นวัตถุดิบซึ่งมีผู้ทำวิจัยแล้ว (O-Thong, Boe & Angelidaki, 2012; Panpong, Srisuwan, O-Thong & Kongjan, 2014)

ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักก๊าซชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ ผลของความเข้มข้นของสับสเตรตในรูปของอัตราส่วนของวัตถุดิบ (O-Thong, et al., 2012; Ye, et



al., 2013; Umar, Firdausi, Sharifah & Fadimtu 2013) ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 6.8-7.2 (Budiyono, Widiasta & Sunarso, 2010) ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทน และผลของโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ซึ่งในบางกรณีที่ระบบมีความเป็นด่างไม่เพียงพอต่อการควบคุมค่าพีเอชจะต้องมีการเติมด่างเข้าไปเพื่อเพิ่มบัฟเฟอร์ในระบบซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ สารเคมีพวกต่างแก่ สารเคมีพวกไบคาร์บอเนต และพวกคาร์บอเนต โดยเฉพาะ NaHCO_3 เป็นสารเคมีที่ดีที่สุดตัวหนึ่งในการควบคุมพีเอช เพราะสามารถละลายน้ำได้ดี (Abdulkarim & Evuti, 2010)

งานวิจัยนี้จึงต้องการหาแหล่งสารอาหารใหม่ โดยใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือของต้นจาก คือ ทางใบ และเปลือกลูกจาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากเพื่อใช้เป็นสารอาหารร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นการลดปริมาณวัสดุเศษเหลือของต้นจาก ทำให้ไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นการลดปริมาณของเสียอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการเติมไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

วิธีการวิจัย

วัตถุดิบ

1. ทางใบต้นจาก เปลือกลูกจาก ณ บริเวณพื้นที่ปลูกต้นจาก ชุมชนในบาง อำเภอมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี
2. น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อไร้อากาศได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด อำเภอบางขัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

การเตรียมไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจาก

1. นำทางใบต้นจากและเปลือกลูกจากมาย่อยด้วยเครื่องย่อยปุ๋ยพืชสด แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดละเอียด (Hammer Mill) ให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร
2. นำชีวมวลต้นจากที่ผ่านการบดละเอียดแล้วในอัตราส่วน 1:1 มาย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (Noparat, 2013) เมื่อย่อยเสร็จแล้วนำมารองด้วยกระดาษกรองขนาด 1.2 ไมครอน

นำส่วนของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยวิธี Anthrone Method (Dreywood, 1946) และปริมาณซีโอดีโดยวิธีมาตรฐาน (Rice, Baird, Eaton & Clesceri, 2012)

การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

1. นำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มาเติมน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับหัวเชื้อ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1:1
2. เติมน้ำเกลือ และ NaHCO_3 ที่ความเข้มข้น 25 และ 10 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เพื่อเป็นการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 7-8
3. บ่มหัวเชื้อที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องเคาะก๊าซ (Gas Counter) เมื่อหัวเชื้อมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพคงที่ จึงนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในขวดซีรัมปริมาตร 120 มิลลิลิตร ปริมาตรหมัก 50 มิลลิลิตร โดยเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ร้อยละ 80 ผสมกับไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากและน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร้อยละ 20 หมักแบบครั้งเดียวเป็นเวลา 15 วัน ในสภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น วัดค่าพีเอชและซีโอดีในวันสุดท้ายของการหมัก โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหมักก๊าซชีวภาพดังนี้

1. อัตราการเจือจาง 0:1, 0.5:1, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 (ไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากต่อน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม)
2. ค่าพีเอชเริ่มต้น 6.5, 7 และ 7.5
3. NaHCO_3 ที่ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 กรัมต่อลิตร

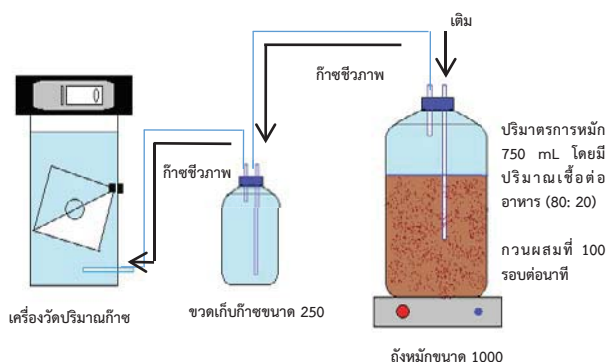


การผลิตก๊าซชีวภาพจากสารอาหารร่วมที่ได้จากไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในถังหมักขนาด 1 ลิตร

ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในถังหมักระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ ขนาด 1 ลิตร ปริมาตรหมัก 750 มิลลิลิตร (รูปที่ 1) มีขั้นตอนดังนี้

1. เติมหักเชื้อจุลินทรีย์ปริมาตร 600 มิลลิลิตร ลงในอาหารที่มีส่วนผสมไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากต่อน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น ปริมาตร 150 มิลลิลิตร

2. หมักก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ค่าพีเอชเริ่มต้น 7 เติมน้ำ NaHCO_3 4 กรัมต่อลิตร และกวนผสมที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที (Petersson Thomsen, Haugaard-Nielsen & Thomsen, 2007) วัดค่าพีเอช ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน หาค่าซีไอดี ทุก ๆ 2 วัน และปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-8A) (Hniman, et al., 2011)



รูปที่ 1 การออกแบบการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพในถังหมักระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ขนาด 1 ลิตร

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ นำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างปัจจัยที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS 16.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาการย่อยชีวมวลด้วยกรดซัลฟิวริกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงขึ้น จากรายงานวิจัย พบว่า การใช้กรดย่อยวัตถุดิบก่อนการนำไปผลิตก๊าซชีวภาพทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงขึ้น

ร้อยละ 20-200 (Monlau, Barakat, Steyer & Carrere 2012; Badshah, Lam, Liu & Mattiasson, 2012) เนื่องจากการย่อยโดยใช้กรดทำให้คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของชีวมวลเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้สับสเตรตได้ง่ายขึ้น และโดยทั่วไปในการย่อยด้วยกรดมีทั้งการใช้กรดเข้มข้น (ร้อยละ 30-70) ที่อุณหภูมิต่ำ (40 องศาเซลเซียส) หรือกรดอ่อน (ร้อยละ 0.1) ที่อุณหภูมิสูง (230 องศาเซลเซียส) (Zheng, Zhao, Xu & Li, 2014)

จากการทดลองการย่อยชีวมวลต้นจากด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลาเวลา 30 นาที ให้ค่าซีไอดี $55,217 \pm 161$ และ $52,350 \pm 391$ มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 52 ± 3 และ 48 ± 2 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ลักษณะของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความแตกต่างกันขึ้นกับแหล่งที่มาของน้ำทิ้ง ผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งบ่อรวมโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (ตารางที่ 1) จะเห็นว่ามีความเป็นกรดสูง (พีเอช 4.56) มีค่าซีไอดีสูง (Chemical Oxygen Demand, COD) (80,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS) เท่ากับ 65,750 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS) เท่ากับ 31,833 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำทิ้งบ่อรวมโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

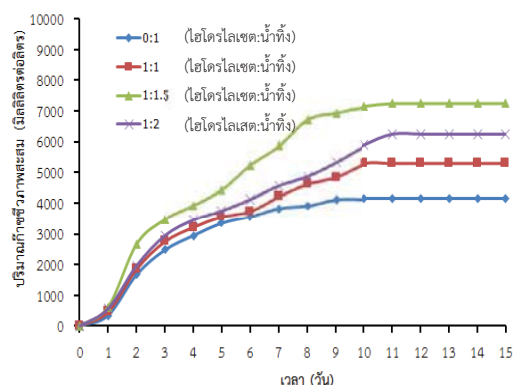
พารามิเตอร์	น้ำทิ้งบ่อรวม
พีเอช	4.56
ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	80,000
ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	65,750
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	31,833

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จากการศึกษาผลของอัตราการเจือจาง 0:1, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 (ไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากต่อน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม) พบว่า มีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดีมีค่าเท่ากับ 80,000, 95,000, 125,000 และ 155,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อนำอัตราการเจือจางต่าง ๆ มาผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า อัตราการเจือจางที่เหมาะสม คือ 1:1.5 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด เท่ากับ $7,300 \pm 50$

มิลลิลิตรต่อลิตร (รูปที่ 2) โดยให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่าการหมักน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอย่างเดียว 1.85 เท่า สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 80.53 และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 607 ± 2 มิลลิลิตรต่อวัน (ตารางที่ 2)



รูปที่ 2 ผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน โดยหมักแบบกะ

ตารางที่ 2 ผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อการลดลงของค่าพีเอชสุดท้าย การกำจัดสารอินทรีย์ ก๊าซชีวภาพสะสมและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 วัน

พารามิเตอร์	อัตราการเจือจาง (ไฮโดรไลเซต : น้ำทิ้ง)			
	0:1	1:1	1:1.5	1:2
ค่าพีเอชสุดท้าย	4.86 ± 0.03	4.65 ± 0.04	4.55 ± 0.04	4.75 ± 0.03
การกำจัดสารอินทรีย์ (%)	45.83 ± 1.91^a	63.86 ± 2.19^b	80.53 ± 0.92^c	76.34 ± 0.74^d
ก๊าซชีวภาพสะสม (mL/L)	$3,950 \pm 50^a$	$5,283 \pm 29^b$	$7,300 \pm 50^c$	$6,283 \pm 29^d$
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (mL/day)	333 ± 11^a	439 ± 5^b	607 ± 2^c	521 ± 4^d

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การผลิตก๊าซชีวภาพจากไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้น 6.5, 7 และ 7.5 จากผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ 7 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด เท่ากับ $7,250 \pm 50$ มิลลิลิตรต่อลิตร (รูปที่ 3) โดยมีค่าพีเอชสุดท้ายหลังการหมักเท่ากับ 4.55 ± 0.02 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 80.16 และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 590 ± 6 มิลลิลิตรต่อวัน (ตารางที่ 3)

เมื่อหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 15 วัน ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นแตกต่างกันผลที่ได้พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($P < 0.05$) โดยที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 7 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์

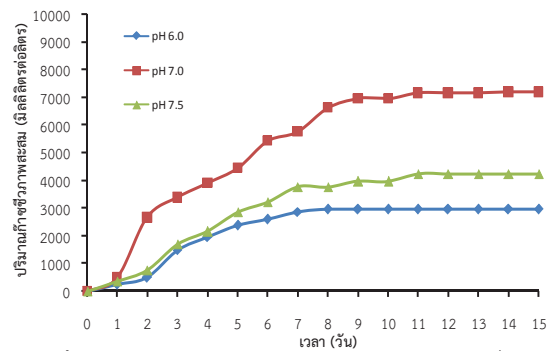
เมื่อหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 15 วัน ที่อัตราการเจือจางแตกต่างกันผลที่ได้พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($P < 0.05$) โดยที่อัตราการเจือจาง 1:1.5 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด แต่จากการรายงานของ El-Mashad & Zhang (2010) พบว่าอัตราการเจือจางที่เหมาะสม คือ 0:1 มีการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดสารอินทรีย์มากกว่าอัตราการเจือจางอื่น ๆ ทั้งนี้ผลของสารอินทรีย์หรืออัตราการเจือจางต่อการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและสารอาหารที่นำมาหมักร่วม เช่น อัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพของเศษอาหารต่อมูลหมูต่อข้าวฟ่าง คือ 0.4:1.6:1 ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 674.4 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยง่าย (Ye, et al., 2013) อัตราส่วนผสมของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มต่อมูลวัว คือ 2.3:1 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 75 (Umar, et al., 2013) และอัตราส่วนที่เหมาะสมของทะเลสาบปลาแปดต่อน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม คือ 6.8:1 ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 392 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย (O-Thong, et al., 2012)

สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Netsongkram, Kaewrawang & Suntivarakorn (2014) ได้ศึกษาหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มสุกร ฟาร์มวัวและโรงงานแปรรูปสาปะหลังและปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า หัวเชื้อจุลินทรีย์จากโรงแปรรูปสาปะหลังเกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุด

ก่อนการหมักค่าพีเอชในแต่ละอัตราการเจือจางมีค่าเท่ากับ 7 เมื่อหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 15 วัน ค่าพีเอชลดลงอยู่ในช่วง 4.55–4.68 เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดเจริญอย่างรวดเร็วทำให้ค่าพีเอชลดลง ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 5 จะมีสภาพความเป็นกรดส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนหยุดกระบวนการย่อยสลายและทำให้แบคทีเรียตาย เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มผลิต



ก๊าซมีเทนนั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดต่างมาก จะไม่เจริญหากค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ทั้งนี้อาจเกิดจากการลดลงของพีเอชระหว่างการเลี้ยงเชื้อ (Kannan & Mutharasan, 1985) จึงทำให้เชื่อมีการเจริญน้อยลง เพราะว่าถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 5 จะเป็นพิษต่อเชื้อที่ทำให้เชื่อมีการเจริญลดลง (O-Thong, et al., 2008) นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดต่างจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อละลายน้ำแล้วจะทำให้ค่าพีเอชลดลง (Chaleewan, 2003)



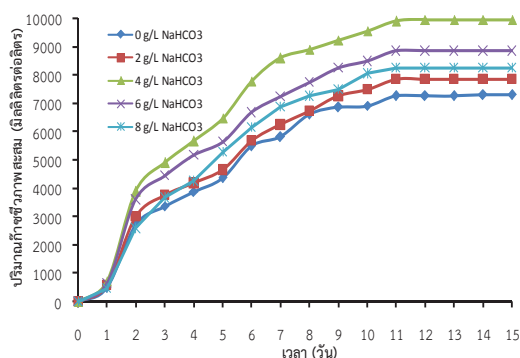
รูปที่ 3 ผลของค่าพีเอชต่อการผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน โดยหมักแบบกะ

ตารางที่ 3 ผลของค่าพีเอชต่อการลดลงของค่าพีเอชสุดท้าย การกำจัดสารอินทรีย์ ก๊าซชีวภาพสะสมและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 วัน

พารามิเตอร์	ค่าพีเอช		
	6.5	7	7.5
ค่าพีเอชสุดท้าย	4.98±0.02	4.55±0.02	5.17±0.06
การกำจัดสารอินทรีย์ (%)	40.10±0.37 ^a	80.16±0.39 ^b	49.39±0.35 ^c
ก๊าซชีวภาพสะสม (mL/L)	2867±76 ^a	7250±50 ^b	4267±29 ^c
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (mL/day)	243±5 ^a	590±6 ^b	353±2 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากการศึกษาผลของการเติม NaHCO_3 สำหรับควบคุมค่าความเป็นกรดต่างโดยศึกษาที่ระดับความเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 กรัมต่อลิตร พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของ NaHCO_3 8 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด (9,867±58 มิลลิลิตรต่อลิตร) (รูปที่ 4) ซึ่งให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติม NaHCO_3 4.136 เท่า นอกจากนี้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้สูงสุดร้อยละ 84.37 และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 822±5 มิลลิลิตรต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ (ตารางที่ 4)



รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นของ NaHCO_3 ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน โดยหมักแบบกะ

เมื่อหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 15 วัน จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่างกัน ผลที่ได้พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($P<.05$) โดยสภาวะที่เหมาะสม คือ การเติม NaHCO_3 ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด ซึ่งการเติม NaHCO_3 ให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.8-7.2 (Budiyo, et al., 2010) ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทน Abdulkarim & Evuti (2010) ศึกษาการเติม NaHCO_3 โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 6.2 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 5,750 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย ในขณะที่การเติม NaHCO_3 10 กรัมต่อกิโลกรัมให้ปริมาณก๊าซมีเทน เท่ากับ 90 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็ง และมีปริมาณก๊าซมีเธนร้อยละ 40 (Arhoun, et al., 2013)

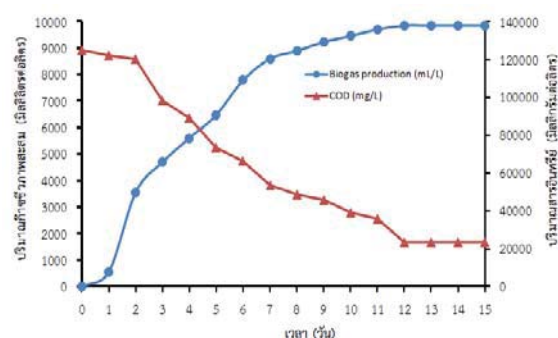
ตารางที่ 4 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อการลดลงของค่าพีเอชสุดท้าย การกำจัดสารอินทรีย์ ก๊าซชีวภาพ สะสมและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 วัน

พารามิเตอร์	โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) (กรัมต่อลิตร)				
	0	2	4	6	8
ค่าพีเอชสุดท้าย	4.55 ± 0.04	4.64 ± 0.04	4.55 ± 0.02	4.77 ± 0.02	4.86 ± 0.01
การกำจัดสารอินทรีย์ (%)	79.84 ± 0.39^a	81.78 ± 0.39^b	84.37 ± 0.22^c	82.82 ± 0.22^d	82.30 ± 0.59^d
ก๊าซชีวภาพสะสม (mL/L)	$7,250\pm 100^a$	$7,867\pm 76^b$	$9,867\pm 58^c$	$8,783\pm 29^d$	$8,167\pm 76^e$
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (mL/day)	604 ± 8^a	656 ± 6^b	822 ± 5^c	732 ± 2^d	681 ± 6^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การผลิตก๊าซชีวภาพจากสารอาหารร่วมที่ได้จากไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในถังหมักขนาด 1 ลิตร

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากสารอาหารร่วมที่ได้จากไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในการหมักแบบกะ พบว่า ค่าที่เหมาะสมคือ อัตราการเจือจาง 1:1.5 ค่าพีเอชเริ่มต้น 7 และ NaHCO_3 ที่ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร เมื่อนำค่าที่เหมาะสมมาศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในถังหมักขนาด 1 ลิตร ที่ปริมาตรการหมัก 750 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ผลที่ได้ คือ ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด $9,883\pm 58$ มิลลิลิตรต่อลิตร สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 83.53 ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเริ่มคงที่ในวันที่ 12 (รูปที่ 5) และมีปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 55.33 ในวันที่ 12 ของการหมักโดยในช่วงแรกมีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 18-29 และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 821 มิลลิลิตรต่อวัน



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมและการลดลงของสารอินทรีย์จากการผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน โดยหมักแบบกะในถังหมักขนาด 1 ลิตร

เมื่อนำปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่ได้จากการทดลอง ($9,883$ มิลลิลิตรต่อลิตร) กับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่า

การผลิตก๊าซชีวภาพจากไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากร่วมกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงกว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากกาแฟร่วมกับมูลวัวให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม $3,270$ มิลลิลิตรต่อลิตร (Thaneerat, Petarwut & Noparat, 2016) และการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับมูลวัวให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม $7,143$ มิลลิลิตรต่อลิตร (Cheawkan & Niyomthum, 2014)

สรุป

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากไฮโดรไลเซตชีวมวลต้นจากกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในระบบกะ คือ อัตราการเจือจาง 1:1.5 ค่าพีเอชเริ่มต้น 7 และ NaHCO_3 4 กรัมต่อลิตร เมื่อนำค่าที่เหมาะสมแต่ละปัจจัยมาผลิตก๊าซชีวภาพในถังหมักขนาด 1 ลิตร พบว่า ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด เท่ากับ $9,883\pm 58$ มิลลิลิตรต่อลิตร อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด เท่ากับ 821 มิลลิลิตรต่อวัน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 83.53 และมีปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดร้อยละ 55.33

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้กากของแข็งชีวมวลต้นจากที่ผ่านการย่อยด้วยกรดเพิ่มเข้าไปในระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทน
2. ควรศึกษาผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ
3. ควรศึกษาผลของปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณ หมวดเงินแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ขอขอบคุณพื้นที่ปลูกจากสำหรับทำวิจัย ชุมชนในบาง ตำบลคลองฉนาก อำเภอมะนัง จังหวัดสุราษฎร์ธานี และขอขอบคุณบริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด ที่อนุเคราะห์หัวเชื้อจุลินทรีย์ และน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

References

- Abdulkarim, B. I., & Evuti, A. M. (2010). Effect of buffer (NaHCO_3) and waste type in high solid thermophilic anaerobic digestion. *International Journal of ChemTech Research*, 2, 980-984.
- Arhoun, B., Bakkali, A., El Mail, R., Rodriguez-Maroto, J.M., & Garcia-Herruzo, F. (2013). Biogas production from pear residues using sludge from a wastewater treatment plant digester influence of the feed delivery procedure. *Bioresource Technology*, 127, 242-247.
- Badshah, M., Lam, D. M., Liu, J., & Mattiasson, B. (2012). Use of an automatic methane potential test system for evaluating the biomethane potential of sugarcane bagasse after different treatments. *Bioresource Technology*, 114, 262-269.
- Bamroongrugs, N., Purintavarakul, C., Kato, S., & Stargardt, J. (2004). Production of sugar-bearing sap from nipa palm in Pak Phanang Basin, Southern Thailand. *Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan*, 58(3), 304-312.
- Budiyono, I. N., Widiya, J., & Sunarso, S. (2010). The kinetic of biogas production rate from cattle manure in batch mode. *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, 3(1), 39-44.
- Chaleewan, J. (2003). Effects of Retention time on Biogas Production in High Rate Anaerobic Digestion of Fruit Canning Wastes. M.Eng. Thesis, Chiang Mai University. [in Thai]
- Cheawkan, T., & Niyomthum, N. (2014). *Biogas Production by co-digestion of Palm Oil Mill Effluent with Cow Dung*. Proceedings of the 10th SRU National Research Conference, 374-379. [in Thai]
- Dreywood, R. (1946). Qualitative test for carbohydrate material. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*, 18, 499.
- El-Mashad, H. M., & Zhang, R. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology*, 101, 4021-4028.
- Hassan, M. A., Shirai, Y., Kusubayashi, N., Karim, M. I., Nakanishi, K., & Hashimoto, K. (1996). Effect of organic acid profiles during anaerobic treatment of palm oil mill effluent on the production of polyhydroxyalkanoates by *Rhodobacter sphaeroides*. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 82(2), 151-156.
- Hniman, A., O-Thong, S., & Prasertsan, P. (2011). Developing a thermophile hydrogen-producing microbial consortia from geothermal spring for efficient utilization of xylose and glucose mixed substrates and oil palm trunk hydrolysate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 8785-8793.
- Kannan, V., & R. Mutharasan. (1985). Ethanol fermentation characteristics of *Thermoanaerobacter ethanolicus*. *Enzyme and Microbial Technology*, 7, 87-91.
- Monlau, F., Barakat, A., Steyer, J., & Carrere, H. (2012). Comparison of seven types of thermo-chemical pretreatments on the structural features and anaerobic digestion of sunflower stalks. *Bioresource Technology*, 120, 241-247.



- Netsongkram, S., Kaewrawang, A., & Suntivarakorn, R. (2014). *Effect of Wastewater to Cassava Pulp Ratio on Biogas Production*. Graduate Research Conference, Khon Kaen University. 562-569.
- Noparat, P. (2015). Effect of nutrient supplements addition on ethanol production from nipa palm. *Thai Environmental Engineering Journal*, 29(1), 33-42. [in Thai]
- O-Thong, S., Boe, K., & Angelidaki, I. (2012). Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production. *Applied Energy*, 93, 648-654.
- Panpong, K., Srisuwan, G., O-Thong, S., & Kongjan, P. (2014). Anaerobic co-digestion of canned seafood wastewater with glycerol waste for enhanced biogas production. *Energy Procedia*, 52, 328-336.
- Petersson, A., Thomsen, M. H., Hauggaard-Nielsen, H., Thomsen, A. (2007). Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass Bioenergy*, 31(11-12), 812-819.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2012). *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*, 21th ed. Washington D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water.
- Tamunaidu, P., & Saka, S. (2011). Chemical characterization of various parts of nipa palm (*Nypa fruticans*). *Industrial Crops and Products*, 34, 1423-1428.
- Thaneerat, N., Petarwut, M., & Noparat, P. (2016). *Biogas Production by co-digestion of Spent Coffee Ground with Cow Dung*. Proceedings of the 15th National Environmental Conference, 1-7. [in Thai]
- Umar, H. S., Firdausi, B. R., Sharifah, R. W. A., & Fadimtu, M. (2013). Biogas production through co-digestion of palm oil mill effluent with cow manure. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science*, 21(1), 79-84.
- Vijayaraghavan, K., & Ahmad, D. (2006). Biohydrogen generation from palm oil mill effluent using anaerobic contact filter. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31, 1284-1291.
- Wu, T. Y., Mohammad, A. W., Jahim, J. M., & Anuar, N. (2007). Palm oil mill effluent (POME) treatment and bio-resources recovery using ultrafiltration membrane: effect of pressure on membrane fouling. *Journal of Biochemical and Engineering*, 35, 309-317.
- Ye, J., Li, D., Sun, Y., Wang, G., Yuan, Z., Zhen, F., & Wang, Y. (2013). Improved biogas production from rice straw by co-digestion with kitchen waste and pig manure. *Waste Management*, 33, 2653-2658.
- Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F., & Li, Y. (2014). Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. *Progress in Energy and Combustion Science*, 42, 35-53.