

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรินดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

สมจินตนา ลิ้มสุข¹⁾ ปุณยวี เพียรธรรม²⁾ และ อนุรักษ ปิติรักษสกุล³⁾

บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการเติมกลีเซอรินดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศในถังหมักขนาด 200 L แบบกึ่งกะ ในตอนเริ่มต้นเดินระบบใช้เศษอาหารอย่างเดียวป้อนที่อัตราการระสาดอินทรีย์เฉลี่ยในช่วง 0.306-1.245 g/Lreactor-day (56.6-230.2 g/day) ให้ผลผลิตของมีเทนเฉลี่ย 0.465 m³CH₄/kgCOD ที่อุณหภูมิห้อง และให้ค่าผลผลิตของก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.789 m³biogas/kgCOD ในการป้อนกลีเซอรินดิบร่วมกับเศษอาหารที่อัตราป้อนเศษอาหาร 1.245 g/Lreactor-day ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 36.8 L/day เป็น 72.2 L/day และ 90.4 L/day หลังจากเพิ่มกลีเซอริน 30.8 และ 46.3 mL/day ตามลำดับ

คำสำคัญ: การย่อยสลายแบบไร้อากาศ เศษอาหาร กลีเซอรินดิบ ก๊าซชีวภาพ

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กทม. 10800
อีเมล: noi_300630@hotmail.com

²⁾ วิศวกรกระบวนการ บริษัทโตโย-ไทย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) อาคารเสริมมิตร ชั้น 27-30 159/41-44 สุขุมวิท 21
ถนนอโศก คลองเตยเหนือ วัฒนา กรุงเทพฯ 10110 อีเมล: kaopoon_pingpong@hotmail.com

³⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กทม. 10800
ศูนย์วิจัยด้านเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์และพลังงานหมุนเวียน อีเมล: arp@kmutnb.ac.th

Biogas production from food waste added with crude glycerin produced from biodiesel production

Somjintana Limsuk¹⁾ Poonyawee Peantum²⁾ and Anurak Petiraksakul³⁾

Abstract

The objective of this study was to produce biogas from food waste added with crude glycerin produced from biodiesel processes by using 200 L of a semi-batch anaerobic reactor. In start-up state, food waste was fed to the reactor at the range of average organic loading rate of 0.306-1.245 g/Lreactor-day (56.6-230.2 g/day) giving the average methane yield at room temperature of 0.465 m³CH₄/kgCOD and average biogas yield of 0.789 m³biogas/kgCOD. In addition of crude glycerin at food waste loading of 1.245 g/Lreactor-day, average biogas volumes was increased from 36.8 L/day to 72.2 L/day and 90.4 L/day after adding with 30.8 mL/day and 46.3 mL/day of glycerin, respectively.

Keywords: Anaerobic digestion, Food waste, Crude Glycerin, Biogas

¹⁾ Graduate Student, Department of Chemical Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, E-mail: noi_300630@hotmail.com

²⁾ Process Engineer, Toyo-Thai Corporation Public Company Limited, 27th-30th floor, Sermit Tower, 159/41-44 Sukhumvit 21, Asoke road, North Klongtoey, Wattana, Bangkok 10110
Email: kaopoon_pingpong@hotmail.com

³⁾ Assistant Professor, Department of Chemical Engineering King Mongkut's University of Technology, Bangkok 10800, and Renewable Product and Energy Technology Center., E-mail: arp@kmutnb.ac.th

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้ประโยชน์จากพลังงานธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หินน้ำมัน ทราายน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป จึงทำให้มีการคิดค้นและนำพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล เป็นต้น ซึ่งพลังงานชีวมวลก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยจุดประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ต้องการที่จะนำของเหลือทิ้งจากชุมชนและบ้านเรือนนำกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ จากงานวิจัยของ Liu, และคณะ (2009) ได้ทำการทดลองย่อยสลายเศษอาหารแบบไร้อากาศในระบบกะ (batch) พบว่า ในสภาวะเมโซฟิลิก (mesophilic) ที่อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/I) เท่ากับ 3.1 ได้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพ (biogas yield) 430 mL/gVS และผลผลิตของมีเทน (methane yield) 245 mL/gVS โดย 80% ของก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นภายใน 10 วันแรก สำหรับการหมักที่สภาวะเทอร์โมฟิลิก (thermophilic) ทดลองที่อัตราส่วน F/I, 4 ค่าได้แก่ 1.6, 3.1, 4.0 และ 5.0 ให้ค่าผลผลิตของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 778, 742, 784 และ 396 mL/gVS ตามลำดับ และที่ F/I เท่ากับ 3.1 ให้องค์ประกอบของมีเทนสูงสุดเท่ากับ 67.6% หลังจาก 25 วันของการหมัก ซึ่งผลผลิตของมีเทนยังสอดคล้องกับงานของ Callaghan และคณะ (2002) ที่ศึกษาถึงผลกระทบของการเติมเศษผักและผลไม้และมูลไก่เข้าไปในถังหมักขนาด 18 L แบบกวนผสมสมบูรณ์ (continuous stirred tank reactor, CSTR) สภาวะเมโซฟิลิก (35°C) เวลาเก็บ (hydraulic retention time, HRT) 21 วัน อัตราการเติมอาหาร 3.19-5.01 kgVS/m³-day โดยป้อนสัดส่วนของเศษผักและผลไม้เพิ่มจาก 20% - 50% ได้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพ 0.23-0.45 m³CH₄/kgVS added. Angelidaki และคณะ (2006) ศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศของของเสียที่ได้จากครัวเรือน ใช้ถังหมักแบบ CSTR ได้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพ 0.32 m³/kgVS และผลผลิตของก๊าซชีวภาพสูงสุด (maximum methane yield) เท่ากับ 0.43 m³/kgVS_{added waste} อย่างไรก็ตาม

ก็ตามการเพิ่มอัตราการผลิตของก๊าซชีวภาพ สามารถทำได้โดยการเพิ่มสารอินทรีย์จากแหล่งอื่นเข้าสู่ระบบ อีกทั้งถ้าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์เป็นของเสียที่ต้องกำจัดแล้ว จะทำให้เกิดประโยชน์ขึ้นหลายประการ ได้แก่ ได้ก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น ลดปริมาณของเสีย และได้กากตะกอนเพิ่มขึ้นซึ่งกากตะกอนนี้สามารถนำไปผลิตเป็นปุ๋ย เช่น งานวิจัยของ El-Mashed และ Zhang (2010) ได้ทำการทดลองย่อยสลายมูลวัวร่วมกับเศษอาหารโดยใช้อัตราส่วนของมูลวัวที่ไม่ได้ผ่านการกรองต่อเศษอาหาร เป็น 68:32% และ 52:48% ได้ผลผลิตของมีเทน 282 และ 311 L/kgVS ตามลำดับ หลังจาก 20 วันของการย่อยสลายได้ผลผลิตของมีเทนเป็น 90% และ 95% ตามลำดับ Sosnowski. และคณะ (2003) ทำการทดลองการย่อยสลายตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสีย (sewage sludge) ร่วมกับของเสียชุมชน (organic fraction of municipal solid waste) ได้องค์ประกอบของมีเทนสูงกว่า 60% และผลผลิตของก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 0.4-0.6 dm³/g VSS_{added}

ในปัจจุบันประเทศไทยได้ส่งเสริมให้มีการผลิตไบโอดีเซลในระดับชุมชนเป็นจำนวนมาก Phalakornkule และคณะ (2009) ทำให้เกิดกลีเซอรินที่เป็นผลพลอยได้ (by product) จากปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน กระจายตัวตามแหล่งผลิตไบโอดีเซล กลีเซอรินเป็นสารเคมีที่มีประโยชน์สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยา อาหาร เครื่องสำอาง และวัตถุระเบิดได้ แต่เนื่องจากกลีเซอรินที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์ ต่ำ มีค่าประมาณ 44% (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551) ทำให้การนำไปใช้ประโยชน์ในช่วงต้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ อีกทั้งกลีเซอรินดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลชุมชนส่วนใหญ่มีปริมาณไม่มากและกระจายตัวอยู่ในแหล่งผลิตทำให้ไม่คุ้มค่าในการเก็บรวบรวม การใช้ประโยชน์จากกลีเซอรินดิบโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนใดๆจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มอัตราการผลิต ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยการเติมกลีเซอรินดิบที่ได้ จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 สารเคมีและตะกอน

การทดลองนี้ใช้เศษอาหารที่ได้จากโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กลีเซอรินได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลชุมชน และจุลินทรีย์ ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม กทม. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมดเป็นเกรด วิเคราะห์

2.2 การวิเคราะห์ เศษอาหาร กลีเซอริน และ จุลินทรีย์

พารามิเตอร์ของเศษอาหารที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid, TS) และ ของแข็ง ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile solid, TVS), ซีไอโดยรวม (total chemical oxygen demand, COD)ซีไอละลาย (soluble COD, sCOD) และความหนาแน่น กลีเซอริน วิเคราะห์ค่าซีไอโดยรวม และ ความหนาแน่น และจุลินทรีย์ วิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย -ระเหยง่าย (volatile suspended solid, VSS) ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 1

ตาราง 1 คุณสมบัติของเศษอาหาร กลีเซอริน และ จุลินทรีย์

	Density g/cm ³	Total COD mg/L	sCOD mg/L	TS %wt	TVS %wt	VSS mg/L
Food waste	1.13	139,061	14,824	34.4	33.6	-
Glycerin	1.05	2,315,815	-	-	-	-
Microorganism	-	-	-	-	-	20

2.3 การวิเคราะห์ค่าน้ำทิ้งขาออกจากถังหมัก

การวิเคราะห์น้ำทิ้งขาออกจากถังหมักของระบบทำ ทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์ โดยเก็บตัวอย่างน้ำขาออกจาก ถังหมักที่ เวลา 12.00 น. นำมากรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1 แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่องวัด pH (Schott, lab 850) ค่าสภาพต่าง

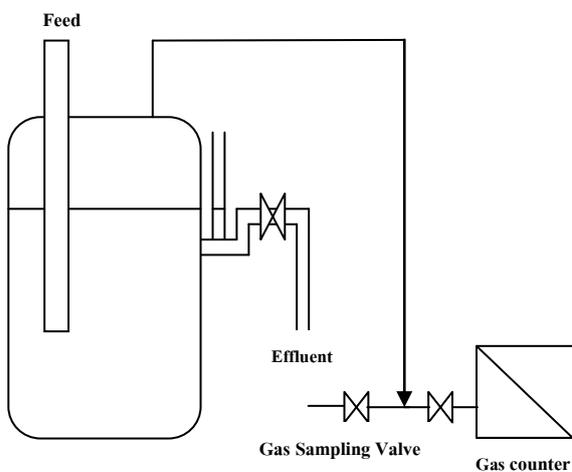
(alkalinity) ด้วยวิธีโพเทนทิอเมตริก โดยการไตเตรตด้วย กรดซัลฟิวริก จนกระทั่ง pH อยู่ที่ 4.3 (มันลิน ตันซุล เวศม์, 2546) ค่ากรดไขมันระเหยได้ วัดโดยเครื่องก๊าซโคร มาโทกราฟี (Shimadzu GC-2010 Gas chromatograph) คอลัมน์ stabiwax capillary (Restek USA) โดยใช้ flame- ionization detector อุณหภูมิเริ่มต้น ของคอลัมน์เท่ากับ 60 °C และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิ 10 °C/min จนอุณหภูมิถึง 230 °C อุณหภูมิของ detector เท่ากับ 250 °C (Bouskova และคณะ, 2005) สำหรับค่า COD ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบรีฟลักซ์ปิดแบบ เทียบสี โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น Genesys 20 visible ในการหาค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) (มัน ลิน ตันซุลเวศม์, 2546) การวัดค่าของแข็งระเหยได้และ ของแข็งละลายน้ำโดยวิธีทำแห้งที่ 103-105 °C จากนั้น นำไปเผาที่ 550 °C (มันลิน ตันซุลเวศม์, 2546) การวัด ปริมาตรก๊าซใช้ Gas flow counter ขนาด 125 mL สำหรับ องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ แบบพกพารุ่น Biogas check (Geotech, UK)

2.4 การทดลอง

ถังหมักสร้างจากถังพลาสติกขนาด 200 ลิตรปริมาตร ของเหลว 185 ลิตร แสดงตามรูปที่ 1 ประกอบด้วยช่องเติม สารอาหารด้านบน ท่อเติมสารอาหารนี้จะต่อลึกลงไปถึง ด้านล่างของถังหมัก เมื่อมีการเติมอาหารจะเกิดน้ำล้น ไหลออกทางด้านท่อน้ำขาออกจากถังหมัก น้ำขาออกจาก ถังหมักส่วนนี้จะนำไปวิเคราะห์คุณภาพตามข้อ 2.3 ส่วน ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะไหลเข้าสู่เครื่องตรวจวัดปริมาตร ก๊าซ ในทุกสัปดาห์จะมีการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซ ชีวภาพ ด้วยการปิดวาล์วเข้าเครื่องตรวจวัดปริมาตรและ เปิดวาล์วเก็บตัวอย่าง (gas sampling valve) เพื่อให้ก๊าซ ชีวภาพไหลเข้าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ปริมาตรก๊าซที่ไหลผ่าน เครื่องวิเคราะห์ก๊าซถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตร ก๊าซชีวภาพที่เกิดในแต่ละวัน จึงอนุมานได้ว่าการวิเคราะห์ ก๊าซไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรก๊าซชีวภาพที่ตรวจวัด การทดลองได้ดำเนินการเป็นเวลา 111 วัน ณ อุณหภูมิห้อง ในสภาวะเมซิฟิลิก ในตอนเริ่มต้นเดินระบบ อัตราส่วนของเศษอาหารต่อจุลินทรีย์เป็น 0.06

kgVS/kgVSS เศษอาหารที่ป้อนในวันแรก 285 g/day จากนั้นในวันที่ 2 ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเศษอาหารเฉลี่ยจาก 56.6, 109.6 และ 230.2 g/day (คำนวณจากน้ำหนักเศษอาหารที่ป้อนต่อสัปดาห์) เป็นระยะเวลาทั้งหมด 46 วัน ในวันที่ 47 เริ่มเติมกลีเซอรินดิบร่วมกับเศษอาหารที่อัตราป้อนเฉลี่ย 0.082 และ 0.157

kgCOD/Lreactor-day (เศษอาหาร 230 g/day เพิ่มกลีเซอริน 30.8 และ 46.3 mL/day ตามลำดับ) เป็นระยะเวลา 38 วัน โดยปริมาณกลีเซอรินที่เติมเข้าไปในระบบเป็นปริมาณ 2 เท่าและ 3 เท่าของ sCOD ของ เศษอาหาร เพื่อที่จะศึกษาว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ในรูป sCOD จากการเติมกลีเซอรินจะมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นสัดส่วนกันอย่างไร หลังจากหมักได้ 85 วัน ทำการเติมเศษอาหารเพียงอย่างเดียวที่อัตราป้อนเฉลี่ย 230.2 g/day เพื่อศึกษาผลกระทบของการหยุดเติมกลีเซอรินต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ



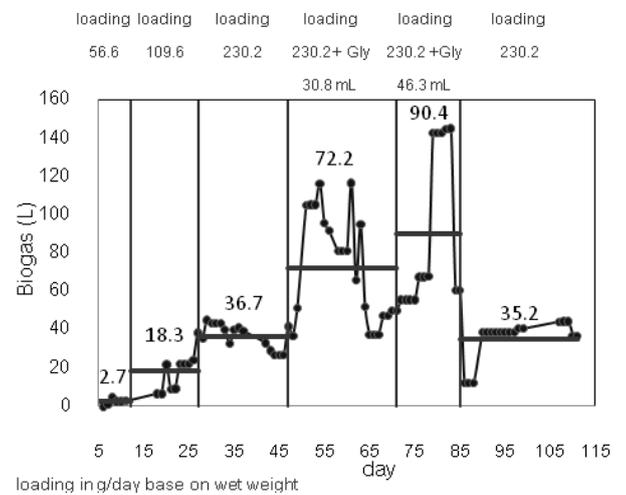
รูปที่ 1 ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L

3. ผลการดำเนินงานและอภิปรายผลการดำเนินงาน

3.1 ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ต่อวัน

รูปที่ 2 แสดงค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน เมื่อเพิ่มค่าภาระของแข็งรวม (TS loading) ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าปริมาตรของก๊าซชีวภาพที่ภาระของแข็งรวม 56.6, 109.6 และ 230.2 g/day ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 , 18.4 และ 36.8 L/day ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรินโดยให้ปริมาณ

เศษอาหารเท่าเดิม (230.2 g/day) พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีความผันผวนมาก แต่เมื่อมีการพิจารณาจากค่าเฉลี่ยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นจาก 36.8 เป็น 72.2 และ 90.4 L/day เมื่อปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่เติมเข้าไปเป็น 30.8 และ 46.3 mL/day ตามลำดับ (เมื่อเทียบเป็นสัดส่วนการเติม sCOD จาก 2 เท่าและ 3 เท่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2 และ 2.5 เท่าตามลำดับ) และหลังจากที่หยุดเติมกลีเซอริน (หลัง 85 วัน) พบว่าในช่วงแรกอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยลดลงจาก 90.4 L/day เหลือเพียง 35.2 L/day



รูปที่ 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันภายในถังปฏิกรณ์

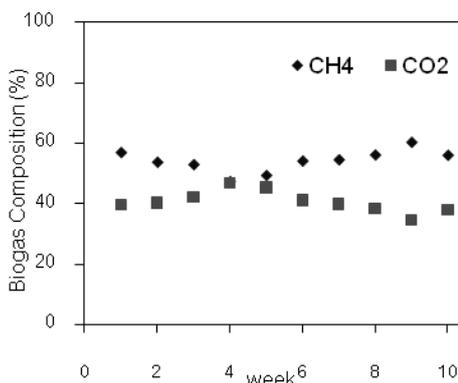
ขนาด 200 L

3.2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

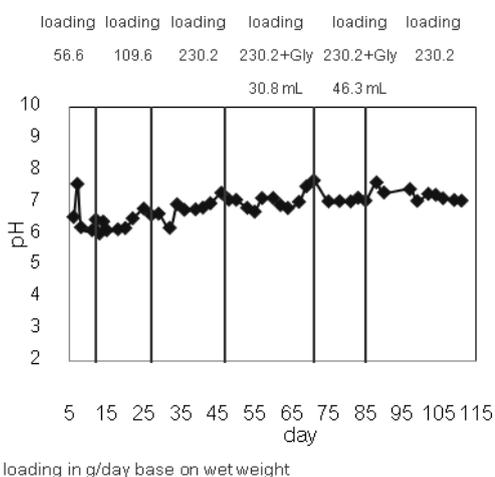
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพแสดงค่าตาม รูปที่ 3 พบว่ามีเทนมีค่าในช่วง 47-60% และ คาร์บอนไดออกไซด์ 34-47% นอกจากนั้นเป็นก๊าซอื่น ๆ อีก 5-6 % ในการตรวจวัดยังพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณสูงใน 2 สัปดาห์แรกของการเดินระบบและลดลงเมื่อเวลาเดินระบบเพิ่มขึ้น

3.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

รูปที่ 4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำขาออก จากถังหมัก พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.5-7.5 และถึงแม้เติมกลีเซอรินเข้าไปในระบบซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 9-10 แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำขาออกจากถังหมักระบบมีแนวโน้มคงที่ตลอดช่วงการทดลอง 111 วัน



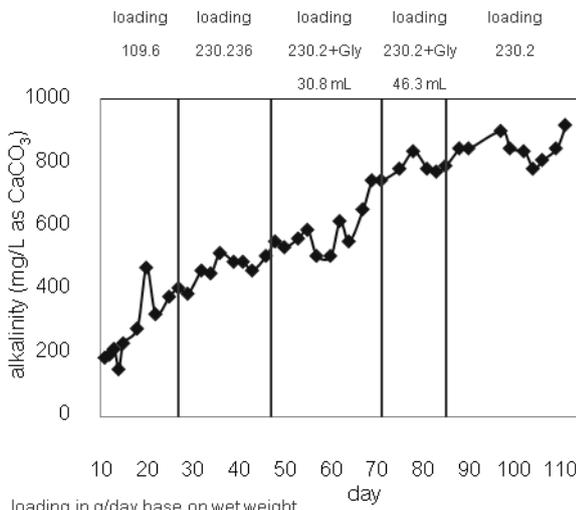
รูปที่ 3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (%) ที่ผลิตได้



รูปที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมัก

3.4 ค่าสภาพต่าง (alkalinity)

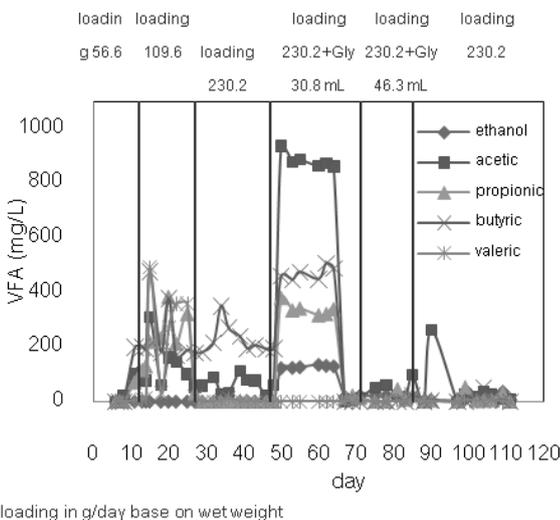
รูปที่ 5 แสดงสภาพต่างของน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมักพบว่าในช่วงเริ่มต้นสภาพต่างของน้ำทิ้งมีค่าต่ำมาก เมื่อมีการเพิ่มปริมาณการระของแข็งรวมและปริมาณ ก๊าซ เซอริน สภาพต่างมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าระบบมีกำลังของ บัฟเฟอร์ในระบบเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะรักษาให้ระบบมีค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างคงที่และทนต่อการเปลี่ยนแปลงกรด ไชมันระเหยได้



รูปที่ 5 สภาพต่างของน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมัก

3.5 ค่ากรดไขมันระเหยได้

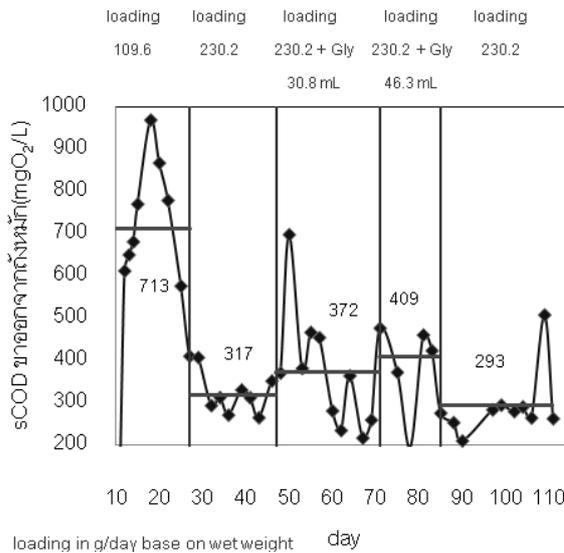
รูปที่ 6 แสดงค่ากรดไขมันระเหยได้ของน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมัก พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อน สารอาหารเข้าไปในระบบปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อน สารอาหารมีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นปริมาณกรดไขมันระเหยได้ มีค่าลดลง



รูปที่ 6 กรดไขมันระเหยได้ (VFA) ของน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมัก

3.6 ค่า COD ขาออกจากถังหมัก

รูปที่ 7 แสดงค่า COD ของน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมัก ความเข้มข้นของ COD ของน้ำทิ้งในช่วง 20 วันแรกจะมีค่าสูงเนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มสร้างกรดและสร้างก๊าซ มีเทนยังไม่สามารถที่จะนำเศษอาหารไปใช้ได้หมด หลังจากผ่าน 20 วันแรกค่า COD เริ่มมีค่าลดลง เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าภาระของแข็งรวมจาก 109.6 ถึง 230.2 g/day จะได้ค่า COD ขาออกจากถังหมักเฉลี่ยเท่ากับ 713 และ 317 mg/L และหลังจากมีการเติม กลีเซอรินร่วมกับเศษอาหาร (โดยให้ปริมาณเศษอาหารเท่าเดิม) ที่ปริมาณกลีเซอริน 30.8 และ 46.3 mL/day ค่า COD เฉลี่ยมีแนวโน้มคงที่ที่ 372 และ 409 mg/L ตามลำดับ และเมื่อหยุดการเติมกลีเซอรินโดยเติมเฉพาะเศษอาหารที่ 230.2 g/day พบว่า COD เฉลี่ยของน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

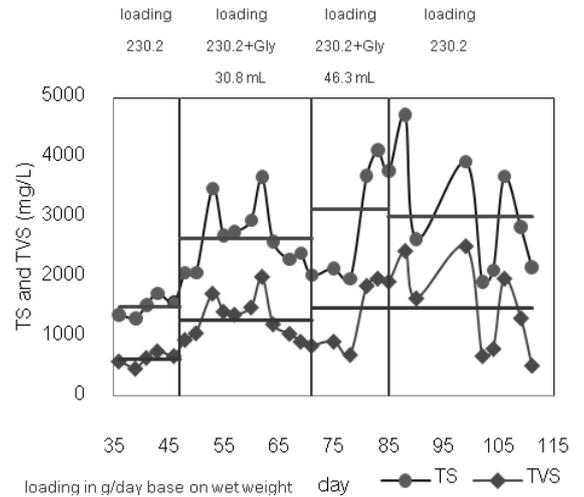


รูปที่ 7 ค่า sCOD ขาออกจากถังหมัก

3.7 ปริมาณของแข็งระเหยได้และของแข็งละลายน้ำ

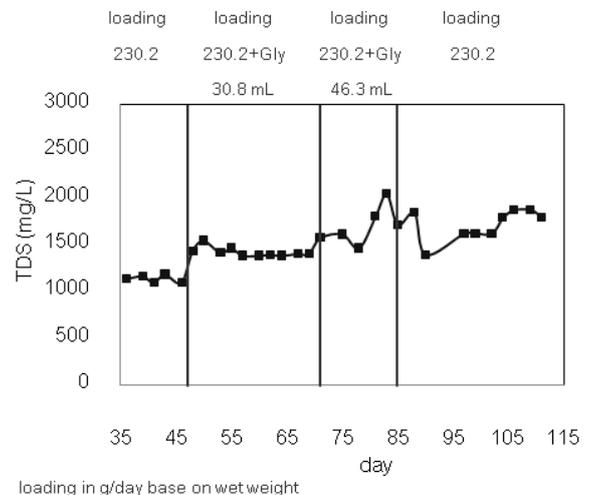
รูปที่ 8 เป็นค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยได้ของน้ำทิ้งที่ออกจากถังหมัก เมื่อเพิ่มปริมาณ กลีเซอริน จาก 30.8 mL/day เป็น 46.3 mL/day โดยกำหนดให้ค่าภาระของแข็งรวมเท่าเดิม (230.2 g/day) ค่าของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 1,494 mg/L เป็น 2,694 และ 2,786 mg/L ตามลำดับ และค่าของแข็งระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น

จาก 620 mg/L เป็น 1,309 และ 1,248 mg/L ตามลำดับ และหลังจากนั้นทำการป้อนเศษอาหารเพียงอย่างเดียวได้ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยได้เป็น 2,996 และ 1,472 mg/L ตามลำดับ โดยอัตราส่วนของของแข็งระเหยได้ต่อของแข็งทั้งหมดเป็น 0.4, 0.48, 0.47 และ 0.49 ตามลำดับ



รูปที่ 8 ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยได้ขาออกจากถังหมัก

จากรูป 9 เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรินจาก 30.6 mL/day เป็น 40.3 mL/day ร่วมกับภาระของแข็งรวมเท่าเดิม (230.2 g/day) พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและให้ค่าที่ผันแปรเมื่อหยุดเติมกลีเซอริน



รูปที่ 9 ของแข็งละลายน้ำขาออกจากถังหมัก

4. อภิปรายผลการทดลอง

ในการศึกษากระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรินในสภาวะเมโซฟิลิก ระยะเวลาในการหมัก 111 วัน จากการทดลองได้ก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 47-60% และผลผลิตของก๊าซมีเทนเฉลี่ย $0.465 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgCOD}$ ที่อุณหภูมิห้อง (ผลผลิตของก๊าซชีวภาพเฉลี่ย $0.789 \text{ m}^3\text{biogas}/\text{kgCOD}$) และเมื่อคำนวณผลผลิตต่อของแข็งระเหยได้ซึ่งการทดลองนี้คำนวณค่าที่ภาวะของแข็งรวม 230.2 g/day ได้ผลผลิตของก๊าซมีเทนเท่ากับ $0.445 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgVS}$ ค่าผลผลิตที่ได้มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับงานของ Zennaki และคณะ (1996) ซึ่งได้รายงานผลผลิตของก๊าซชีวภาพจากมูลวัวให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ $0.46 \text{ m}^3/(\text{m}^3\text{day})$ ที่อุณหภูมิ $37 \text{ }^\circ\text{C}$ และ $0.68 \text{ m}^3/(\text{m}^3\text{day})$ ที่อุณหภูมิ $55 \text{ }^\circ\text{C}$ และการทดลองของ Kim และคณะ (2006) ได้รายงานผลผลิตของก๊าซชีวภาพไว้ $223 \text{ LCH}_4/\text{kgCOD}_{\text{degraded}}$ และ $\% \text{CH}_4$ อยู่ในช่วง 54-67% ส่วน Jagadish และคณะ (1997) รายงานผลผลิตของก๊าซชีวภาพจากเศษใบไม้ที่ $0.5 \text{ m}^3\text{gas}/\text{m}^3\text{reactor/day}$ สาเหตุที่ผลผลิตก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้ให้ค่าสูงกว่าเล็กน้อย อาจเป็นสาเหตุจากอัตราส่วนสารอินทรีย์ต่อจุลินทรีย์เริ่มต้นในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำเพียง $0.06 \text{ kg-food}/\text{kgVSS}$ ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพสูง เช่นงานวิจัยของ Liu และคณะ (2009) ทำการหมัก เศษอาหารแบบเทอร์โมฟิลิกให้ค่าผลผลิตของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 778, 742, 784 และ 396 mL/gVS ที่อัตราส่วน สารอินทรีย์ต่อจุลินทรีย์ 4 ค่าได้แก่ 1.6, 3.1, 4.0 และ 5.0 ตามลำดับ และงานของ Callaghan และคณะ (2002) ที่ศึกษาการหมักเศษผักผลไม้และมูลไก่ที่สภาวะเมโซฟิลิก ได้ ผลผลิตของก๊าซชีวภาพ $0.23\text{-}0.45 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgVS}_{\text{added}}$ ซึ่งค่าสูงสุดจากการทดลองให้ผลใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้

ในการเพิ่มกลีเซอรินเพื่อใช้เป็นตัวร่วมในการย่อยสลายแบบไร้อากาศ กลีเซอรินมีค่าความเป็นกรด -ด่างสูง จึงไปช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรด -ด่างของระบบจากการทดลองพบว่าในช่วงสองวันแรกของการเติมกลีเซอรินค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเวลาผ่านไประบบสามารถที่จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในกลีเซอรินไปเป็นกรดไขมันระเหยได้ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบมีค่าลดลง ประกอบกับค่าสภาพต่างของระบบเพิ่มขึ้นจากค่าประมาณ $200 \text{ mg/L as CaCO}_3$ ในตอนเริ่มต้นเป็นระดับประมาณ $500\text{-}800 \text{ mg/L as CaCO}_3$ ในช่วงการเติมกลีเซอริน แต่ระบบยังคงให้ค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 4) การเพิ่มขึ้นของค่าสภาพต่างเกิดขึ้นจากการเติมเศษอาหารและกลีเซอรินดิบเข้าไปสะสมตามระบบนี้ ได้ส่งผลดีต่อการหมัก เนื่องจากค่าสภาพต่างในระดับนี้ช่วยรักษาให้ระบบทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างได้ดีขึ้น ซึ่งในขั้นตอนไฮโดรไลซิสของการหมักแบบไร้อากาศจะเกิดการผลิตกรดไขมันระเหยได้ขึ้นก่อนการผลิตมีเทน ถ้าระบบมีสภาพต่างต่ำเกินไปอาจส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบลดลง ระบบจะสูญเสียสภาวะที่ดีในการผลิตมีเทน การรักษาค่าสภาพต่างที่เหมาะสมจึงช่วยให้สภาพแวดล้อมของการผลิตมีเทนยังเกิดได้ดี

กลีเซอรินที่เติมเข้าไปในระบบใช้เป็นอาหารร่วมกับเศษอาหารเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่เป็นแหล่งอาหารหลักของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพและสร้างเซลล์ โดยเมื่อทำการเพิ่มกลีเซอรินเข้าไปในระบบเป็นจำนวน 2 เท่าของ sCOD ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งหมายถึงจุลินทรีย์สามารถนำสารอินทรีย์ไปใช้โดยตรง แต่ที่สัดส่วนการเพิ่มกลีเซอรินขึ้นไป 3 เท่าของ sCOD ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า

โดยมีค่า sCOD ของน้ำขาออกจากถังหมักสูงกว่าการป้อนด้วยเศษอาหารเพียงอย่างเดียว ในงานวิจัยที่ศึกษาผลของการยับยั้งการย่อยสลายเมื่อมีการเติมกลีเซอรินเป็นอาหารในถังหมักยังมีการศึกษากันน้อย อย่างไรก็ตาม Amon และคณะ (2006) ได้รายงานการเติมกลีเซอริน 6% ในสารอินทรีย์ผสมระหว่างมูลสุกร (pig manure) และอาหารสัตว์ที่ทำจากข้าวโพด (maize silage) ส่งผลให้อัตราการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นจาก 569 เป็น 679 L/kgVS แต่ในการเติมกลีเซอรินที่ 8% และ 15% ให้ผลการผลิตมีเทนที่ลดลง

5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการย่อยสลายแบบไร้อากาศโดยใช้เศษอาหารและกลีเซอรินเป็นสารอินทรีย์ป้อนเข้าสู่ถังหมักขนาด 200 L โดยการทดลองทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเศษอาหาร และ ปริมาณกลีเซอรินจะพบว่า ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ kgCOD ที่เพิ่มเข้าไปในระบบ กลีเซอรินดิบเป็นสารที่มี COD สูงมาก จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเติมเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีเทนที่ได้จะอยู่ในช่วง 47-60% ที่อัตราการสลายอินทรีย์เฉลี่ยในช่วง 0.306-1.245 g/Lreactor-day ผลผลิตของมีเทนเฉลี่ย 0.465 m³CH₄/kgCOD ที่อุณหภูมิห้อง (0.445 m³CH₄/kgVS) และให้ค่าผลผลิตของก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.789 m³biogas/kgCOD อย่างไรก็ตาม การเติมกลีเซอรินดิบในปริมาณที่มากเกินไปย่อมส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อ sCOD ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ปิ่นอนงค์ ชนิกุล และ ศศิกานต์ นุชแดง ในการวัดค่า VFA และ ธนวัฒน์ ด่านวิชกุล, วีรพงษ์ เจนสุข และ ธนพล มณีเรือง ในการสร้างอุปกรณ์ในการทดลอง โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม กทม. สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- Amon, Th., Amon, B., Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Potsch, E., and Zollitsch, W., (2006). Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation *International Congress Series 1293*, p.217-220.
- Angelidaki, I. Chen, x., Cui, J., Kaparaju, P. and Ellegaard, L., (2006). Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of household municipal solid waste: start-up produce for continuously stirred tank reactor *water research*, Vol. 40, p.2621-2628.
- Bouskova, A., Dohanyos, M., Schmidt J.E. and Angelidaki, I., (2005). Strategies for changing temperature from mesophilic to thermophilic conditions in anaerobic CSTR reactors treating sewage sludge *Water Research*, Vol. 39, p.1481-1488.
- Callaghan, F. J., Wase, D. A. J., Thayanithy, K. and Forster, C. F., (2007). Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure *Biomass and Bioenergy*, Vol. 27, p.71-77.
- El-Mashed, H. M., and Zhang, R., (2010). Biogas production from co-digestion of daily manure and food waste *Bioresource Technology*, Vol. 101, p4021-4028.
- Jagadish, K.S., Chanakya, H.N., Rajabapaiah P. and Anand, V., (1998). Plug flow digestors for biogas generation from leaf biomass *Biomass anf Bioenergy*, Vol. 14, 5/6, p.415-423.

- Kim, J. K., Oh, B. R., Chun, Y. N. and Kim, S. W., (2006). Effects of Temperature and Hydraulic Retention Time on Anaerobic Digestion of Food Waste *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 102, No.4, p.328-332.
- Liu, G., Zhang, R., EL-Mashad, H. M., and Dong, R., (2009). Effect of feed to inoculums ratios on biogas yields of food and green wastes *Bioresource Technology*, Vol. 100, p.5103-5108.
- Phalakornkule, C., Petiraksakul, A. and Puthavithi, W., (2009). Biodiesel Production in Small Community: Case Study in Thailand *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 53, p.129-135.
- Sosnowski, P., Wieczorek, A., Ledakowicz S., (2003). Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes *Advance in Environmental Research*, Vol. 7, p.609-616.
- Zennaki, B.Z., Zadi, A., Lamini, H., Aubinear, M. and Boulif, M., (1996). Methane fermentation of cattle manure: effects of HRT, Temperature & substrate concentration *Tropicultural*, Vol. 14, p.134-140.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2551) รายงานฉบับสมบูรณ์เรื่อง การศึกษาสถิติ การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลชุมชน และการนำกลีเซอรินมาใช้ประโยชน์ กระบวนการ พลังงาน
- มันสิน ตันชุลเวศม์. (2546) คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. บริษัท แชน อี 68 แล็บ จำกัด , พิมพ์ครั้งที่ 4