

การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์โดยกระบวนการย่อยสลาย ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

Production of biogas from rice straw and animal manure by two-stage anaerobic digestion

วิจิตรพร เจริญรัตน์¹ ปรีดา จันทวงษ์¹ จงจิตร์ หิรัญลาม² และ โจเซฟ เคดารี³*

Wijitporn Charoenrat¹ PreedaChantawong² Jongjit Hirunlabh³ and Joseph Khedari⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 10800, 3คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี, 4คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

^{1,2}Faculty of College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand, 10800, 3Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University, Thailand,

³Professor, Faculty of Architecture, Kasetsart University.

* E-mail: wchareonrund@polyplex.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์โดยการย่อยสลายแบบสองขั้นตอน ระบบถังหมักกรด 27.73 ลิตร และถังหมักก๊าซ มีปริมาณการหมัก 52.83 ลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 30 25 20 และ 15 วัน โดยคิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เท่ากับ 9.66 9.83 10.00 และ 9.90 ซีโอดี/ลิตร.วัน โดยพบว่าการกำจัดค่าซีโอดีนั้นมีค่าอยู่ในระหว่าง 89.49 – 92.84 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 78.63 – 82.76 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 84.67 – 90.34 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 64.25 – 84.54 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น 57.17 ลิตรต่อวัน ส่วนระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 10.00 กรัม ซีโอดี/ลิตร.วัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 89.49 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นสูงสุด 57.17 ลิตรต่อวัน และม็อดคประกอบของก๊าซมีเทนเท่ากับ 84.87 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ, กระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

Abstract

The purpose of the this thesis is to biogas production from rice straw and animal manure by two-stage anaerobic digestion. The two-stage system are acid phase reactor with working volume of 27.73 liters and methane phase reactor with working volume of 52.83 liters total solid concentration of food waste solution at hydraulic retention time (HRT) of 30 25 20 and 15 days, corresponding to organic loading rate (OLR) of 9.66 9.83

10.00 and 9.90 gCOD/l.d respectively .The results showed that efficiency of chemical oxygen demand (COD)removal range from 89.49–92.84percents, total solids (TS) removal range from 78.63-82.76percents. Total gasproduction was 57.17 l/d. At HRT of 20 days (10.00 g COD/l.d of OLR) efficiency of COD removal was 89.49percents. But gavethe highest of total gas production 57.17 l/d which the percentage of methane content was 84.87percents.

Keywords: Biogas, anaerobic digestion

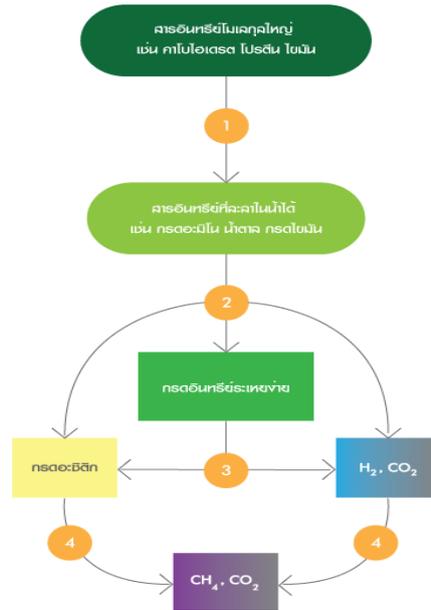
1. บทนำ

ข้าว เป็นพืชที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วประเทศ ซึ่งหลังจากการเก็บเกี่ยวจะเหลือฟางข้าวที่เป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากการทำนา เนื่องจากมีปริมาณมากเกษตรกรจึงนิยมกำจัดโดยการเผาทำลาย ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะอากาศพบว่าฟางข้าวมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนซึ่งเป็นการสร้างสภาวะให้กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติเป็นตัวย่อยสารอินทรีย์ที่อยู่ในของเสียในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยผลิตผลหลักที่ได้จากการย่อยสลายด้วยวิธีนี้คือก๊าซมีเทน ซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานได้และเนื่องจากข้าวเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวไม่นานในการเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละครั้งต้องทำการเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนมากจากข้อมูลผลผลิตทางการเกษตรของกรมส่งเสริมการเกษตรปีเพาะปลูก 2549-2550 สามารถประเมินปริมาณฟางข้าว เท่ากับ 34.04 ล้านตัน เมื่อนำมาคิดปริมาณที่เก็บรวบรวมได้ (ประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวฟางข้าวรวม 10%) ปริมาณฟางข้าวคงเหลือที่สามารถนำมาใช้ได้จะมีค่าสุทธิเท่ากับ 3.40 ล้านตัน และคิดเป็นค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 926.10 Ktoeคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 352MW

จากการวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการที่จะสามารถนำพืชเศรษฐกิจเหล่านี้มาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบของชีวมวลเป็นทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาทั้งด้านราคาและการขาดแคลนพลังงานได้ โดยการนำพืชผลทางการเกษตรมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพภายใต้การหมักย่อยโดยแบคทีเรียในสภาวะแบบไร้ออกซิเจน โดยชีวมวลถูกย่อยสลายและแตกตัวเกิดก๊าซชีวภาพที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(สุพรรณวดี, 2554) ซึ่งก๊าซมีเทนนี้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนอื่นๆซึ่งเป็นทางเลือกทางหนึ่งที่เหมาะสมกับสภาวะการณ์ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

โดยใช้หลักการหลักการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพคือ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ(ไร้ออกซิเจน) โดยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่เปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็กเช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น กลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกจะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ขนาดเล็กให้เป็นกรดอะซิติก และก๊าซไฮโดรเจน ขั้นตอนสุดท้ายกลุ่มแบคทีเรียจะสร้างมีเทน โดยการเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (หรือก๊าซชีวภาพ) ซึ่งก๊าซดังกล่าวที่เกิดขึ้นจะลอยตัวขึ้นเหนือผิวน้ำและจะถูกรวบรวมนำไปใช้ผลิตพลังงานทดแทนต่อไป

กระบวนการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการเกิดก๊าซชีวภาพแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมากช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแอมโมเนียสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8-7.2นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเช่นกันอีกทั้งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและการสร้างกรดโดยแบคทีเรียทุกกลุ่มทำงานอย่างสัมพันธ์กัน



รูปที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน และการเกิดก๊าซชีวภาพ

2. วิธีการทดลอง

การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารละลายฟางข้าว
นำสารละลายเศษอาหารมาวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)
2. Biochemical oxygen demand (BOD)
3. Chemical oxygen demand (COD)
4. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids, TS)
5. ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด (total volatile solids, TVS)
6. ปริมาณของแข็งแขวนลอย (suspended solids, SS)
7. ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (volatile fatty acid, VFA)
8. ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (total alkalinity, TAlk)

วิธีการวิเคราะห์ทุกค่านอกจากนี้ยังได้ทำการสุ่มตัวอย่างสารละลายฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์มาวิเคราะห์หาค่า BOD และ COD เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ COD ของสารละลายฟางข้าวด้วย

การทดสอบระบบถังหมักการตรวจสอบรอยรั่วเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งของถังหมักแบบไร้ออกซิเจนเพราะระบบนี้จะต้องเป็นระบบปิดอย่างแท้จริงไม่อย่างนั้นก๊าซชีวภาพจะออกมาตามรอยรั่วต่างๆได้เป็นเหตุให้แรงดันมีไม่มากพอที่จะแทนที่น้ำในระบบเก็บก๊าซชีวภาพการทดสอบสามารถทำได้โดยการเติมน้ำเข้าไปในถังหมักให้ระดับน้ำสูงกว่ารอยต่อต่างๆแล้วสังเกตการรั่วซึมจากทุกด้านส่วนการทดสอบการรั่วของก๊าซชีวภาพโดยใช้น้ำสบู่ทาบริเวณรอยต่อต่างๆแล้วเป่าลมเข้าถังหมักจากนั้นอุดรอยรั่วทุกทางด้วยกาวซิลิโคนบริเวณรอยต่อระหว่างท่อกับถังหมักก๊าซ, ถังหมักกรด

การระบายสารป้อนจากระบบการระบายของเสียจากถังสร้างกรดทำโดยเปิดฝาด้านบนของถังหมักก๊าซใช้วิธีการจ้วงตักในถังหมักกรดเนื่องจากน้ำตัวอย่างมีลักษณะเป็นของเหลวปนกับของแข็งทำให้ไม่สามารถใช้หัววัดเพื่อทำการระบายของเสีย

ออกมาได้ตั้งนั้นจึงไม่สามารถทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังสร้างกรตนี้ ได้ส่วนการระบายของเสียจากถังสร้างมีเทน

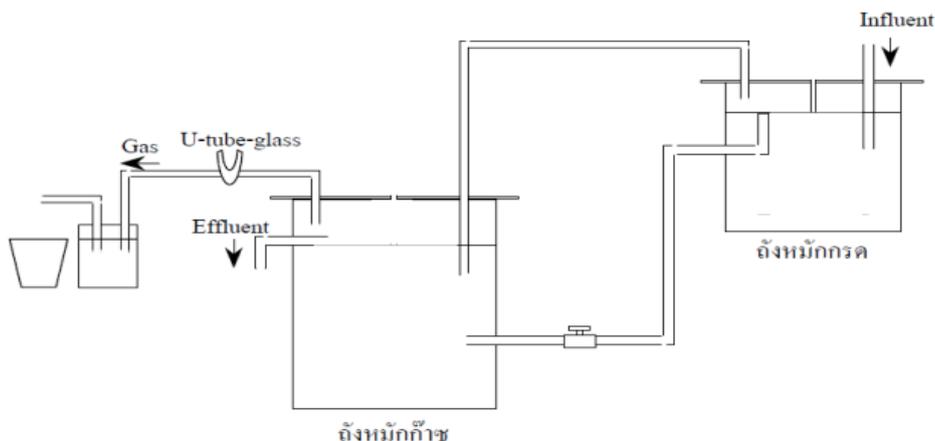
การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำมาวิเคราะห์เก็บน้ำตัวอย่างแบบจ้วงจากนั้นนำน้ำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบโดยเก็บตัวอย่างน้ำเข้าและน้ำออกจากถังสร้างกรตและถังสร้างมีเทนเพื่อทำการวิเคราะห์ในส่วนของคุณภาพทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน

สารป้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบฟางข้าวโดยเริ่มจากการล้างน้ำให้สะอาดแล้วจึงนำมาบดด้วยเครื่องบดสับ (Hammer Mill) จนได้ขนาดประมาณ 1-3 เซนติเมตร แล้วนำฟางข้าวที่ทำการบดสับแล้วไปหมักโดยบรรจุพีชลงในถังพลาสติกขนาด ถึง 6 ลิตร หลังจากนั้นนำฟางข้าวแห้งมาปรับสภาพโดยใช้ NaOH โดยอัตราส่วน ฟางข้าวแห้ง 3 กิโลกรัม / NaOH 200 ml/ น้ำ 30 ลิตร โดยใช้คนขึ้นเหยียบให้แน่นเพื่อให้ฟางข้าวอัดแน่นไม่ล้นออกมาจากถังที่ทำการหมัก และคลุมด้วยฟิล์มพลาสติกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์



รูปที่ 2 ฟางข้าวหลังจากการหมักกับโซดาไฟ 2 สัปดาห์

เตรียมฟางข้าวเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบโดยผสมฟางหมักเข้ากับมูลสัตว์ในสัดส่วน 1:3 ให้มีปริมาณของแข็งรวมเท่ากับ 4.5% ซึ่งเป็นค่าปริมาณของแข็งที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองหาค่าคุณภาพการเกิดมีเทนโดยลักษณะสมบัติของสารป้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบทำการป้อนสารป้อนสู่ระบบโดยสารป้อนที่ผ่านการบำบัดในถังสร้างกรตจะเป็นสารป้อนที่เติมเข้าสู่ถังสร้างก๊าซมีเทน การป้อนสารป้อนสู่ถังสร้างกรตทำโดยเปิดฝาด้านบนของถังหมัก ส่วนถังสร้างก๊าซมีเทน ทำโดยป้อนสารป้อนผ่านช่องทางป้อนสารป้อน ทั้งนี้ก่อนเติมสารป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาจะทำการระบายสารป้อนในถังออกก่อนโดยให้มีปริมาณเท่ากับสารป้อนที่เติมเข้าไปใหม่



รูปที่ 3 แผนภาพของระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการใช้ฟางข้าวที่เป็นเศษวัสดุหลังจากการเก็บเกี่ยวมาใช้ในการทดลอง โดยการเตรียมสารละลาย NaOH ในการย่อยฟางข้าวเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบถังหมัก

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของฟางข้าว

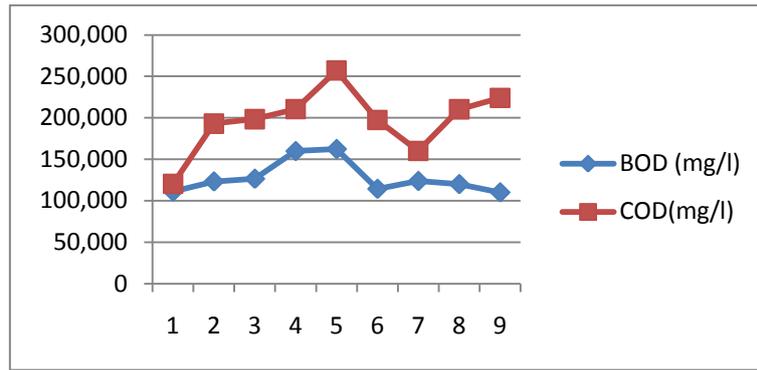
พารามิเตอร์	หน่วย		ความเข้มข้น	ค่าเฉลี่ย
PH	-	4.5-6.7	-	5.6
BOD	mg/L	-	110,000-162,400	127,898
COD	mg/L	-	120,300-257,000	196,749
TS	mg/L	-	26,000-52,400	36,800
TVS	mg/L	-	24,300-50,080	34,490
SS	mg/L	-	16,500-29,400	20,950
VFA	mg/L	-	400-875.5	635.75
Talk	mg/L	-	102-168.5	135.25
BOD:COD	-	-	-	0.65
BOD:N:P	-	-	-	

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ BOD และ COD ของสารละลายฟางข้าว แสดงในตารางซึ่งสรุปเป็นความสัมพันธ์ที่ได้แสดงสมการ

จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ COD ที่ได้ทำให้สามารถประเมินปริมาณ BOD และ COD ได้ เมื่อทราบเพียงค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น โดยในการทดลองนี้ได้วิเคราะห์หาปริมาณ COD ของของเหลวในระบบเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ก็สามารถประเมินได้ว่าปริมาณ BOD อยู่เท่าใด

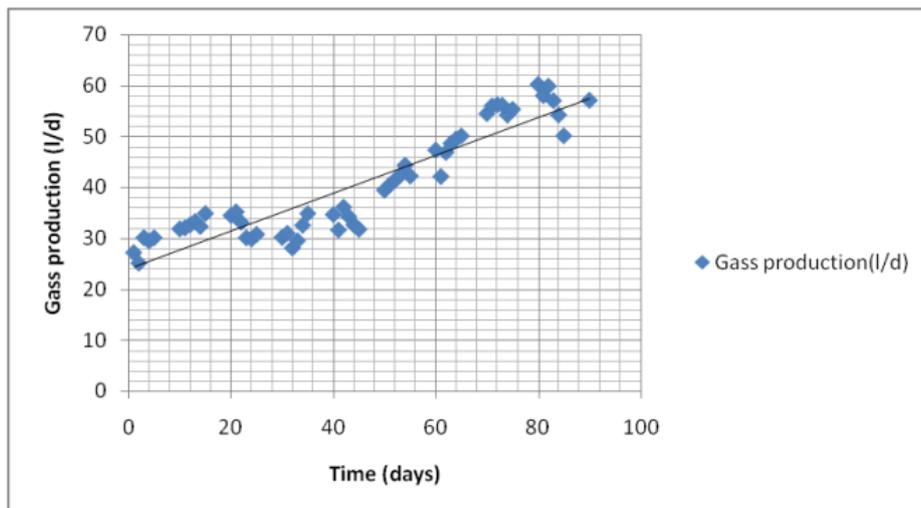
ตารางที่ 2 ปริมาณ BOD และ COD ของสารละลายฟางข้าว

ตัวอย่าง	BOD (mg/l)	COD(mg/l)
1	111,020	120,300
2	123,230	193,000
3	126,500	198,400
4	159,900	210,400
5	162,400	257,000
6	114,300	197,342
7	123,740	160,000
8	120,000	210,300
9	110,000	224,000



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ COD ของฟางข้าว ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด (Total gas production)

ปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดนั้นได้จากการแทนที่น้ำโดยวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ในแต่ละวันนั้น คิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจะพบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยใช้ HRT 30 วัน คิดเป็น 9.66 กรัม COD/ลิตร.วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 32.19 ลิตรต่อวัน เมื่อดำเนินระบบโดยใช้ HRT 25 วัน คิดเป็น OLR 9.83 กรัม COD/ลิตร.วัน 39.42 ลิตรต่อวัน เมื่อดำเนินระบบโดยใช้ HRT 20 วัน คิดเป็น OLR 10.00 กรัม COD/ลิตร.วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 49.20 ลิตรต่อวัน เมื่อดำเนินระบบโดยใช้ HRT 15 วัน คิดเป็น OLR 9.90 กรัม COD/ลิตร.วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 57.45 ลิตรต่อวัน



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

4. ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้

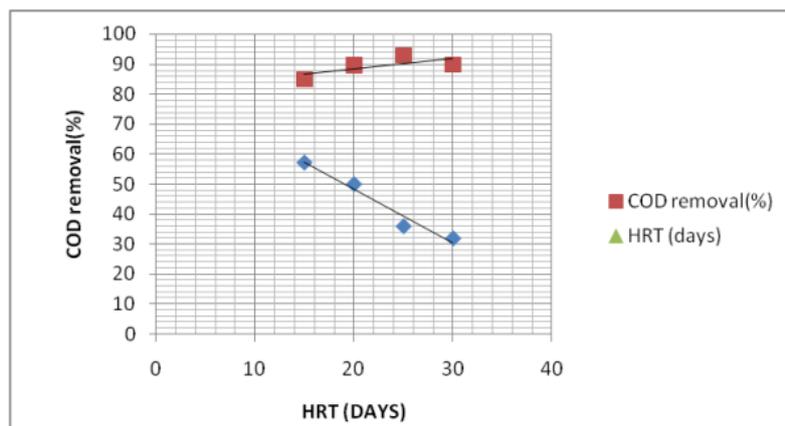
เมื่อนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันนั้น โดยคำนวณที่สภาวะมาตรฐานซึ่งพบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยใช้ HRT 30 วัน คิดเป็น OLR 9.65 กรัม COD/ลิตร.วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 32 ลิตรต่อวันเมื่อดำเนินระบบโดยใช้ HRT 25 วัน คิด OLR 9.83 กรัม COD/ลิตร.วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 36 ลิตรต่อวัน เมื่อดำเนินระบบโดยใช้ HRT 20 วัน คิดเป็น OLR 10.00 กรัม COD/ลิตร.วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 50 ลิตรต่อวัน เมื่อดำเนินระบบโดยใช้ HRT 15 วัน เป็น OLR 9.86 กรัม COD/ลิตร.วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 57.17 ลิตรต่อวัน

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD

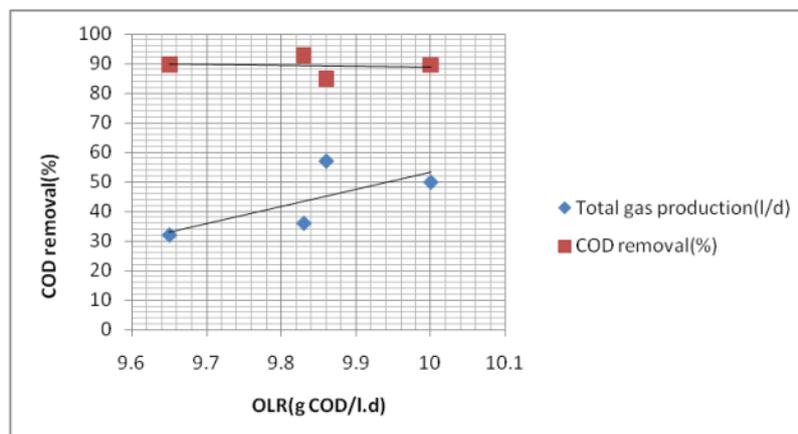
HRT (days)	Total gas production(l/d)	COD removal(%)
30	32	89.75
25	36	92.84
20	50	89.49
15	57.17	84.87

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่าง OLR กับปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น และ ประสิทธิภาพการกำจัด COD

OLR(g COD/l.d)	Total gas production(l/d)	COD removal(%)
9.65	32	89.75
9.83	36	92.84
10.00	50	89.49
9.86	57.17	84.87



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง OLR กับปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD

5. สรุป

การการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์โดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ พบว่าคุณสมบัติของฟางข้าวที่ใช้ร่วมกับมูลสัตว์ในการทดลองนั้นมีค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ที่ได้คือ pH BOD COD ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ของแข็งระเหย กรดอินทรีย์ระเหย และความเป็นด่างทั้งหมดเท่ากับ ตามลำดับการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ของฟางข้าวที่เข้าในระบบของถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ โดยมีค่า pH ของฟางข้าวและถังหมักกรดต่ำซึ่งอยู่ในช่วง 3.89 – 6.29 และ 3.89 – 6.12 ตามลำดับ ส่วนถังหมักก๊าซมีค่าสูงกว่า อยู่ในช่วง 6.19 – 7.22 ซึ่งเป็น pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียจำพวกที่สร้างก๊าซมีเทนโดยที่ปริมาณ COD ของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด และปริมาณของแข็งแขวนลอยลงในถังหมักก๊าซมากกว่าในถังหมักกรดที่มีค่าใกล้เคียงกับฟางข้าว ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยใน ถังหมักก๊าซแปรผกผันกับถังหมักกรดและต่ำสุดในถังหมักก๊าซ โดยที่ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในถังหมักก๊าซแปรผกผันกัน HRT คือปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยสูงขึ้นเมื่อ HRT น้อยลง แต่ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดในถังหมักก๊าซจะแปรผกผันกับ HRT

ระบบการย่อยภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสอง ขั้นตอนซึ่งสามารถกำจัดฟางข้าวได้ดีประสิทธิภาพของระบบย่อยฟางข้าวภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นที่ HRT ของถังหมักก๊าซ 15 20 25 และ 30 วัน ซึ่งคิดเป็น OLR 9.66 9.83 10.00 และ 9.90 กรัม COD/ลิตร.วัน พบว่าเมื่อมี HRT มากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่ HRT 30 วัน คิดเป็น OLR 9.66 กรัม COD/ลิตร.วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด COD ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย และที่ HRT 20 วัน คิดเป็น OLR 10.00 กรัม COD/ลิตร.วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด COD ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยทั้งหมด

ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวของระบบภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนนั้น พบว่าก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อมี HRT มากขึ้นโดยที่ HRT 20 วัน คิดเป็น OLR 10.00 กรัม COD/ลิตร.วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 59.87 ลิตรต่อวัน สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของระบบการย่อยสลายฟางข้าวภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน คือที่ HRT 25 วัน คิดเป็น 9.83 กรัม COD/ลิตร.วัน ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ 36 ลิตรต่อวัน และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ของของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1]. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย 2555. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.
- [2]. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2557. พลังงานชีวมวล. กลุ่มพลังงานชีวมวล สันักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.
- [3]. กลิ่นประทุม ปัญญาปิง วรวิฑูร์ กันอินสรา นุรักษ์ แสนพรหม และเอกราชคำปัญญา, 2555. ศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทนของเศษก้านและใบไม้หลายชนิด, *Journal of Community Development Research* 2012; 5(1).
- [4]. ชลลดา แดงประดับ, 2554. ผลของเวลาเก็บกักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากต้นข้าวโพดหมักโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5]. ชนกพร วงษ์วัน และ อรทัย ชาวลาภฤทธิ, การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพเบื้องต้นร่วมกับของเสี้ยกลีเซอรอล, การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.

- [6]. ชิตชนก คงแดง, 2554. การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราโดยการหมักร่วมกับมูลสุกรสำหรับใช้ในครัวเรือน, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [7]. สุพรรณวดี ศิริโสม, 2554. ผลของเวลาเก็บกักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลังโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [8]. สุปล บ่อคุ้ม และ สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2556. อัตราการบรทุกสารอินทรีย์ของการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง1, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [9]. เสาวลักษณ์ เข้าสกุล. 2556. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วยและกลีเซอรอลโดยใช้กระบวนการหมักร่วม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [10]. อาริยา วิรัชวรกุล, 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [11]. วรพจน์ ศิริรักษ์ และ พีระวัตร ลือสัก, 2555. การเปรียบเทียบวัสดุหมักก๊าซชีวภาพสำหรับครัวเรือนด้วยวิธีการปม,การประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหการ, จังหวัดเพชรบุรี, 17-19 ตุลาคม 2555.
- [12]. Burak, D. and Paul, S., Bio-methanization of energy crops through mono-digestion for continuous production of renewable biogas. *Renewable Energy*. 34(2009) 2940-2945
- [13]. Cho, J.K., S.C. Park and H.N. Chang. 1995. Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes. *Bioresource Technology*. 52: 245-253.
- [14]. Ghaly, A.E. 1996. A comparative study of anaerobic digestion of acid cheese whey and dairymanure in a two-stage reactor. *Bioresource Technology*. 58: 61-71.
- [15]. Hayes, T.P. and T.L. Theis. 1978. The distribution of heavy metals in anaerobic digestion. *Wat. Poll. Control Fed.* 50(1):307-313
- [16]. Kugelman, I.J., A.C., K.K., Toxicity synergism, and antagonism in anaerobic water treatment processes. *Advances in Chemistry Series*, ed. A.B.T. Processes. 1971, Washington, D.C.
- [17]. Mignone A.N., Biological Inhibition/Toxicity Control in Municipal Anaerobic Digestion Facilities. 2005.
- [18]. Plochi, M. Zacharias, H. Herrmann, C. Heiermann, M. and PProchonow, A. 2009. Influence of silage additives on methane yield and economic performance of selected feedstock. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript 1123.
- [19]. Rao, M.S., S.P. Singh, A.K. Singh and M.S. Sodha. 2000. Bioenergy conversion studies of the organic fraction of MSW: assessment of bioenergy production potential of municipal garbage. *Applied Energy*. 66:75-87.
- [20]. Raynal, J., J.P. Delgenes and R. Moletta. 1998. Two-phase anaerobic digestion of solid wastes by a multiple liquefaction reactors process. *Bioresource Technology*. 65: 97-103.
- [21]. Salminen, E.A. and J.A. Rintala. 2002. Semi-Continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste : effect of hydraulic retention time and loading . *Wat. Res.* 1-8.
- [22]. Schober, G., J. Schafer, U. Schmid-Staiger and W. Trosch. 1999. One and two-stage digestion of solid organic waste. *Wat. Res.* 33 (3): 854-860.
- [23]. Souza, M.E. 1986. Criteria for the utilization, design and operation of UASB reactors. *Wat. Sci. Tech.* 18(2) : 55-69.
- [24]. U.S.EPA., Health assessment document for cadmium. EPA, 1981: Washington, D.C. EPA 60/8-81023

- [25]. Xie L., Luo G., Zhou Q., Sang W. and Sum J. 2008. Thermophilic Anaerobic Treatment of Cassava Ethanol Wastewater in Continuously Stirred Tank Reactor (CSTR). Proceeding of the 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering(ICBBE 2008).
- [26]. Yanfeng He, Yunzhi Pang, Yanping Liu, Xiujin Li, and Kuisheng Wang. Physicochemical Characterization of Rice Straw Pretreated with Sodium Hydroxide in the Solid State for Enhancing Biogas Production. Department of Environmental Science and Engineering, and Center for Resources and Environmental Research, Beijing University of Chemical Technology, Beijing, People's Republic of China, 100029. Received February 10, 2008. Revised Manuscript Received March 29, 2008