O-CF05

การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในบ่อเกรอะ
Biogas production from septic tank waste

กัญญา สอนสนิท[1*], กฤษฎา คูหาพิทักษ์ธรรม[1], ญาณิกา วัชรเทวินทร์กุล[1], บุญธง วสุริย์[1], วิเชียร กิจปรีชาวนิช[2]

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 73000
[2] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 10900
E-mail: jkanya@windowslive.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในบ่อเกรอะ โดยใช้การหมักของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับวัชพืช 2 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวา และธูปฤาษี และเชื้อ *Bacillus* sp. โดยใช้ส่วนผสมในการหมักในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในถังหมักขนาด 9 ลิตร ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน และทำการหมักแบบกะ (Batch fermentation) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วัน วัดปริมาณก๊าซด้วยการแทนที่น้ำ และตรวจวัดปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นโดยการจุดติดไฟ ผลการวิจัยพบว่า การเกิดก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด คือ ชุดทดลองที่มีอัตราส่วนผสมคิดเป็นร้อยละของของเสียจากบ่อเกรอะ: ธูปฤาษี: เชื้อ *Bacillus* sp. เป็น 85: 15: 0 เนื่องจากใช้เวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพเร็วกว่าในชุดการทดลองอื่น คือ เริ่มผลิตก๊าซชีวภาพในวันที่ 3 ของการหมัก โดยการสังเกตจากความสามารถในการจุดติดไฟได้ดี มีเปลวสีน้ำเงิน ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นการเกิดก๊าซชีวภาพจะใช้เวลาในการผลิตนานกว่า โดยพบว่าชุดทดลองที่มีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงที่สุดในวันที่ 30 ของการหมัก คือ การหมักโดยใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับธูปฤาษี (85: 15: 0) ที่รองลงมา ได้แก่ การหมักโดยใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับธูปฤาษี และเชื้อ *Bacillus* sp. (80: 15: 5) และการหมักโดยใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับผักตบชวา และเชื้อ *Bacillus* sp. (85: 10: 5) ตามลำดับ โดยที่ชุดควบคุม คือ ของเสียจากบ่อเกรอะ (100%) ไม่พบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพ

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ ของเสีย บ่อเกรอะ วัชพืช การหมัก

1. บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์การใช้พลังงานเริ่มเปลี่ยนจากการใช้พลังงานสิ้นเปลืองไปเป็นการใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น การใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ ลม หรือพลังงานจากชีวมวล ทั้งนี้เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานที่นับวันจะเพิ่มมากขึ้น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (anaerobic digestion) โดยแบคทีเรียหลายชนิดเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม ก๊าซชีวภาพจัดเป็นพลังงานสะอาด ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50-70 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-50 ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ การผลิตก๊าซชีวภาพสามารถผลิตได้โดยวัตถุดิบหลายประเภท ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานสุรา/เบียร์ โรงงานผลิตภัณฑ์อาหาร โรงงานแป้งมันสำปะหลัง [1] ผลิตจากของเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น จากเปลือกและเศษผักผลไม้ กาก สับปะรด กากมันสำปะหลัง ต้นข้าวโพด [2] ผลิตจากของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มสุกร และจากของเหลือ/ของเสียจากชุมชน เช่น เศษอาหาร [3] นมหมดอายุ [4] อย่างไรก็ตาม ของเสียจากชุมชนอย่างหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ของเสียจากบ่อเกรอะ โดยของเสียในส่วนที่เป็นชั้นตะกอน (sludge layer) ที่อยู่ก้นถังเกรอะนั้น จะเป็นกากตะกอนของเสียโมเลกุลใหญ่ มีน้ำหนักและจมอยู่ก้นบ่อ ซึ่งจะมีการสะสมทุกวันที่มีการถ่ายของเสียลงไป และจะเพิ่มปริมาณหนาขึ้น ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นของเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ เมื่อนำมาใช้ร่วมกับวัตถุดิบอื่น เช่น ผักตบชวา ธูปฤาษี ที่เป็นวัชพืชที่พบได้ทั่วไป จึงน่าจะมีความเป็นไปได้มากขึ้นในการนำของเสียจากบ่อเกรอะมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในบ่อเกรอะ เพื่อเป็นการเพิ่มช่องทางการสร้างพลังงานทดแทนโดยนำของเสียในครัวเรือนมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

การทดลองนี้ใช้ของเสียจากบ่อเกรอะในชุมชนบ้านพักภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ลักษณะของเสียเป็นตะกอนที่มีลักษณะหยาบและละเอียด วัชพืชที่ใช้ร่วมในการหมัก ได้แก่ ผักตบชวาและธูปฤาษี โดยนำผักตบชวาและธูปฤาษีมาหั่นให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ ½ นิ้ว นำไปผึ่งลมให้นิ่มก่อนนำมาใช้ เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ผสมลงในวัสดุหมัก ได้แก่ *Bacillus* sp. (10^7 cfu/mL) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลว Nutrient broth (NB) นาน 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง อุปกรณ์ที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ ขวดแก้วปริมาตร 1 ลิตร พร้อมจุกยางที่เจาะรู สายยางใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ เซนติเมตร ถังพลาสติกขนาด 9 ลิตร ถังพลาสติกขนาด 5 ลิตร สายยางใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้ว วาล์วเปิด-ปิด สำหรับเก็บ-ปล่อยก๊าซที่เกิดขึ้น

2.2 เงื่อนไขการทดลอง

นำของเสียจากบ่อเกรอะหมักร่วมกับผักตบชวาและเชื้อ *Bacillus* sp. โดยจัดเป็น 2 การทดลอง การทดลองละ 3 ชุดทดลอง รวมเป็น 6 ชุดทดลอง การทดลองแรกมีอัตราส่วนผสมของของเสียจากบ่อเกรอะ : ผักตบชวา ดังนี้ 95: 5, 90: 10 และ 85: 15, และไม่มีการใส่เชื้อ *Bacillus* sp. ลงในถังหมัก การทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนผสมของของเสียจากบ่อเกรอะ : ผักตบชวา ในแต่ละชุดการทดลองเช่นเดียวกับในการทดลองแรก แต่ใส่เชื้อ *Bacillus* sp. ลงไปร่วมในกระบวนการหมักด้วย ร้อยละ 5 หรือเท่ากับ 40 มิลลิลิตร สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับธูปฤาษี จัดชุดทดลองเช่นเดียวกับการทดลองกับผักตบชวา แต่เปลี่ยนวัชพืชเป็นธูปฤาษีแทน ส่วนชุดควบคุม ได้แก่ ของเสียจากบ่อเกรอะร้อยละ 100 และขี้หมูร้อยละ 100 เพื่อใช้เปรียบเทียบการเกิดก๊าซชีวภาพและการติดไฟ

2.3 การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ

การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในบ่อเกรอะนั้น ทำการทดลองในขวดแก้วขนาด 1 ลิตร โดยจัดชุดทดลองตามที่กำหนดในเงื่อนไขการทดลอง ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส) ด้วยวิธีการหมักแบบกะ (Batch) ที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยการปิดปากขวดแก้วให้แน่นด้วยจุกยางที่เจาะรูและใส่ท่อแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อ สำหรับเป็นท่อทางเดินก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น วัดปริมาณก๊าซด้วยการแทนที่น้ำ ตรวจวัดปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นด้วยการจุดติดไฟ ทำการทดลองเป็นเวลา 30 วัน เมื่อได้ผลการทดลองเบื้องต้นแล้วทำการเพิ่มปริมาณการหมักให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในบ่อเกรอะโดยใช้ถังหมักพลาสติกขนาดความจุ 9 ลิตร เจาะรูที่ฝาเพื่อใส่วาล์วปิดเปิด เพื่อปล่อยก๊าซจากถังหมักเข้าสู่ถังเก็บก๊าซขนาดความจุ 5 ลิตร ที่คว่ำอยู่ในถังพลาสติกใส่น้ำ โดยที่ก้นถังเก็บก๊าซจะเจาะรูไว้ 2 รู ใส่วาล์วสำหรับเปิดรับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังหมักขนาด 9 ลิตร ส่วนอีกวาล์วหนึ่งปิดไว้ (รูปที่ 1) โดยจะเปิดเมื่อต้องการเก็บก๊าซเพื่อนำไปทดสอบความสามารถในการติดไฟของก๊าซที่เกิดขึ้น ทำการหมักเป็นเวลา 30 วัน โดยจัดชุดทดลองตามที่กำหนดในเงื่อนไขการทดลอง วัดค่าความเป็นกรดด่างในวันแรกของการหมัก และวันสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการหมัก

รูปที่ 1 ลักษณะการต่อชุดถังหมัก

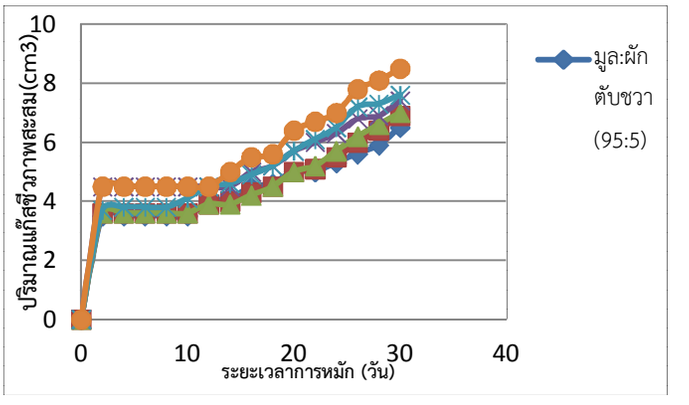
2.4 การตรวจสอบการสร้างก๊าซมีเทน

ตรวจสอบการสร้างก๊าซมีเทนโดยการเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดฉีดยาพลาสติก นำไปฉีดผ่านเปลวไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ที่มีเปลวไฟปกติ สังเกตการณ์ติดไฟโดยจะเกิดเปลวไฟสีน้ำเงินพุ่งตามแรงฉีดก๊าซ

3. ผลและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 การทดสอบเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากบ่อเกรอะในถังหมักแก้วขนาด 1 ลิตร

จากการหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับวัชพืช 2 ชนิด คือ ผักตบชวา และธูปฤาษีในถังหมักแก้วขนาด 1 ลิตร ที่ใช้อัตราส่วนต่างๆ กัน ด้วยการหมักแบบกะ ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าอัตราการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1-3 ในทุกชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ใช้อัตราส่วน 85: 15 และใส่ *Bacillus* sp. ลงไป 40 มิลลิลิตร จะให้ปริมาณก๊าซในวันที่ 3 ของการหมักสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ คือ ประมาณ 4.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่หลังจากวันที่ 3 ไปจนถึงวันที่ 12 ของการหมักปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่ และเริ่มมีการสะสมเพิ่มขึ้นของก๊าซหลังจากวันที่ 12 จนเพิ่มสูงสุดกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ในวันที่ 30 ของการหมัก (รูปที่ 2)



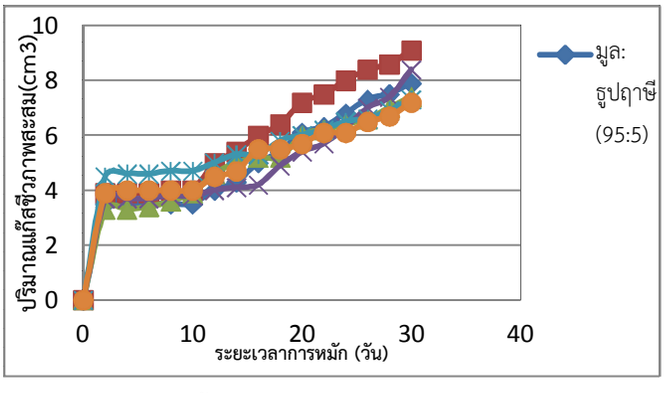
รูปที่ 2 ปริมาณก๊าซที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลองเมื่อหมักของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับผักตบชวาเป็นเวลา 30 วัน

การที่ใน 3 วันแรกของการหมักพบว่าทุกชุดการทดลองมีอัตราการสร้างก๊าซอย่างรวดเร็วทุกชุดการทดลองนั้น อาจเป็นเพราะในของเสียจากบ่อเกรอะนอกจากจะมีกากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์แล้ว ยังพบว่ามีหนอนขนาดเล็กปนอยู่ด้วยจำนวนมาก และผักตบชวาที่ใส่ผสมลงไปหมักร่วมยังค่อนข้างสด (รูปที่ 3) เนื่องจากยังมีอากาศลงเหลืออยู่ในถังหมักในส่วนพื้นที่เหนือสับสเตรท จึงน่าจะยังคงเกิดการหายใจของหนอนที่ปนอยู่ในกาก

ตะกอนได้ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา จึงเป็นผลให้ปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 3 วันแรก หลังจากนั้นอัตราการสร้างก๊าซค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 12 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหลังจาก 3 วันหนอนตาย และเซลล์พืชไม่สามารถดำเนินกิจกรรมของเซลล์ต่อได้ เนื่องจากออกซิเจนหมด ดังนั้นภายในถังหมักจึงมีสภาพเป็นไร้ออกซิเจน เหมาะกับการเจริญของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ดังนั้นจึงปรากฏก๊าซสร้างเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังจากวันที่ 12 และเมื่อนำไปทดสอบการติดไฟของกาซที่เก็บได้พบว่าสามารถจุดไฟติดทุกชุดการทดลองยกเว้นการทดลองที่ใช้ของเสียจากบ่อเกรอะเพียงอย่างเดียว

ส่วนการหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับธูปฤาษีในถังหมักแก้วขนาด 1 ลิตร ที่ใช้อัตราส่วนต่างๆ กัน ด้วยการหมักแบบกะ ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าอัตราการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1-3 ในทุกชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ใช้อัตราส่วน 90: 10 และใส่ *Bacillus* sp. ลงไป 40 มิลลิลิตร จะให้ปริมาณก๊าซในวันที่ 3 ของการหมักสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ คือ ประมาณ 4.7 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่หลังจากวันที่ 3 ไปจนถึงวันที่ 12 ของการหมักปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ชุด 90: 10 ไม่ใส่เชื้อจะเริ่มมีการสะสมเพิ่มขึ้นของก๊าซหลังจากวันที่ 12 จนเพิ่มสูงสุดกว่าชุดการทดลองอื่นๆ คือ มีปริมาณก๊าซ 9 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในวันที่ 30 ของการหมัก และได้ปริมาณก๊าซสูงกว่าการหมักที่ใช้ผักตบชวาร่วม (รูปที่ 4) และเกือบทุกชุดการทดลองสามารถจุดติดไฟ ยกเว้นชุดที่ใช่แต่ของเสียจากบ่อเกรอะในการหมักก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 3 ซากหนอนเกาะตายข้างขวดหมัก



รูปที่ 4 ปริมาณก๊าซที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลองเมื่อหมักของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับผักธูปฤาษีเป็นเวลา 30 วัน

3.2 การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากบ่อเกรอะในถังหมักพลาสติกขนาด 9 ลิตร

การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากบ่อเกรอะที่หมักร่วมกับผักตบชวา และธูปฤาษีในถังหมักพลาสติกขนาด 9 ลิตร ทุกชุดการทดลองเป็นการหมักขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (รูปที่ 6) เพื่อศึกษาการจุดติดไฟ เนื่องจากต้องการปริมาณก๊าซมีเทนมากขึ้น ผลการจุดติดไฟของทุกชุดการทดลองหลังจากหมัก 30 วัน ดังรูปที่ 7-11

รูปที่ 6 การหมักในถังพลาสติกขนาด 9 ลิตร

a b c

รูปที่ 7 การติดไฟของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อหมักของเสียจากบ่อเกรอะ: ผักตบชวา

a = 95: 5, b = 90 : 10, c = 85 : 15

a b c

รูปที่ 8 การติดไฟของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อหมักของเสียจากบ่อเกรอะ: ผักตบชวา + *Bacillus* sp.

a = 95: 5 + เชื้อ, b = 90 : 10 + เชื้อ, c = 85 : 15 + เชื้อ

a b c

รูปที่ 9 การติดไฟของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อหมักของเสียจากบ่อเกรอะ: ธูปฤาษี

a = 95: 5, b = 90 : 10, c = 85 : 15

รูปที่ 10 การติดไฟของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อหมักของเสียจากบ่อเกรอะ: ธูปฤาษี + *Bacillus* sp.

a = 95: 5 + เชื้อ, b = 90 : 10 + เชื้อ, c = 85 : 15 + เชื้อ

a b

รูปที่ 11 การติดไฟของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

a = มูลสุกร 100%, b = ของเสียจากบ่อเกรอะ 100%

จากรูปที่ 7-11 จะเห็นได้ว่าเมื่อหมักของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับผักตบชวา ธูปฤาษี และไม่ใส่ *Bacillus* sp. หรือใส่ *Bacillus* sp. ในถังหมักพลาสติกขนาดใหญ่ 9 ลิตร ด้วยการหมักแบบกะ สภาวะไม่มีออกซิเจน เป็นเวลา 30 วัน เกือบทุกชุดการทดลองได้ก๊าซที่สามารถติดไฟได้ดีใกล้เคียงกับการหมักโดยใช้มูลสุกรร้อยละ 100 เป็นวัตถุดิบในการหมัก ยกเว้นในชุดทดลองที่ใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร้อยละ 100 เป็นวัตถุดิบในการหมัก และของเสียจากบ่อเกรอะ : ธูปฤาษี + *Bacillus* sp. ในขณะที่ทำการหมักในขวดแก้วขนาด 1 ลิตร ก๊าซที่ได้จากชุดทดลองของเสียจากบ่อเกรอะ : ธูปฤาษี + *Bacillus* sp สามารถติดไฟได้ เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเกิดการรั่วไหลออกของก๊าซในระหว่างที่เก็บตัวอย่างจึงทำให้ไม่แสดงผลการติดไฟ

อย่างไรก็ตามการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าของเสียจากบ่อเกรอะมีศักยภาพในการใช้ผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ร่วมกับวัชพืช เช่น ผักตบชวา หรือธูปฤาษี หรืออาจใช้วัชพืชน้ำอื่นๆ ได้ด้วย การที่จำเป็นต้องใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับวผักตบชวา หรือธูปฤาษี ในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น เนื่องจากผักตบชวา และธูปฤาษีที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ หรือจุลินทรีย์ที่ใส่เพิ่มลงไปนั้น จะเพิ่มค่า C/N [5] ให้แก่ของเสียจากบ่อเกรอะให้มีมากพอจนสามารถสร้างมีเทนได้ นอกจากนี้เมื่อทำการทดลองหมักผักตบชวา และธูปฤาษีร้อยละ 100 กับน้ำ พบว่าไม่สามารถสร้างก๊าซที่ติดไฟได้

4. บทสรุป

ของเสียจากบ่อเกรอะสามารถนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับเป็นเชื้อเพลิงได้ เมื่อหมักร่วมกับผักตบชวา หรือธูปฤาษี โดยอัตราส่วนในการผสมผักตบชวา หรือธูปฤาษีแล้วให้ผลการติดไฟที่ดี คือ ใช้ผักตบชวา หรือธูปฤาษีร้อยละ 10-15 ส่วนการเติมแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ลงไปในน้ำหมักไม่มีความจำเป็นทั้งนี้เพราะมีจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบตามธรรมชาติอยู่แล้ว

5. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม “คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (Biogas)” 340 หน้า พ.ศ. 2553

[2] ชนกพร วงษ์วัน และคณะ “การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพเบื้องต้นร่วมกับของเสียกลีเซอรอล” การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 หน้า 1837-1844

[3] สมจินตนา ลิ้มสุข และคณะ “การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรีนดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล”วิศวกรรมศาสตร์ มข. ปีที่ 38 ฉบับที่ 2 หน้า 101-110 พ.ศ. 2554

[4] บุญสม จิตโสภณปัญญา และคณะ “การผลิตก๊าซชีวภาพจากนมหมดอายุ” ว. วิทย์. กษ. ฉบับที่ 44(2) (พิเศษ) หน้า 373-376 พ.ศ. 2556

[5] สุจิตรา รวดหมวน และคณะ “การผลิตเอทานอลจากวัชพืชน้ำโดยเชื้อ *Candida shehatae* TISTR 5843 ด้วยกระบวนการหมักแบบกะและกึ่งกะ” วารสารวิชาการ Veridian E-Journal ปีที่ 6 ฉบับที่ 3 หน้า 935-948 พ.ศ. 2556