รายงานการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสัตว์เพื่อความยั่งยืนของทะเลสาบสงขลา

Biogas Production from Anaerobic Co-digestion of Water Mimosa with Piggy Waste for Sustainability of Songkhla lake

นพดล โพชกำเหนิด Noppadon Podkumnerd
สมเกียรติ อินทรักษ์ Somkiat Intraraksa
สมพงศ์ โอทอง Sompong O-Thong

คณะศิลปศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา
และพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (HERP)
ประจำปี ๒๕๕๗ กลุ่มความหลากหลายทางชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ เพื่อความยั่งยืนของทะเลสาบสงขลา

นพดล โพชกำเหนิด[1] สมเกียรติ อินรักษ์[1] และ สมพงศ์ โอทอง[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมแบบไร้อากาศผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรจากแหล่งในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในเขตตำบลท่าหิน อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา การดำเนินการวิจัยใน 4 ขั้นตอนได้แก่ 1) การศึกษาองค์ประกอบของผักกระฉูดและของเสียจากการเลี้ยงสุกร 2) ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูด 3) ศึกษาการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร และ 4) ศึกษาวิธีการเตรียมผักกระฉูดก่อนเข้าสู่กระบวนการหมัก ผลการวิจัย พบว่า (1) ผักกระฉูดมีองค์ประกอบของไนโตรเจนทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย เฉลี่ยร้อยละ 20.48 78.04 และ 22.04 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าของเสียจากการเลี้ยงสุกร ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 19.95 20.04 และ 8.96 ตามลำดับ (2) ผักกระฉูดมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยผักกระฉูด 2 gVS ให้ปริมาณก๊าซมีเทน 657.13 มิลลิลิตร (3) การหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรโดยเพิ่มอัตราส่วนของผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรให้สูงขึ้นเป็น 5 ระดับ 5:5 6:4 7:3 8:2 9:1 และ 10:0 พบว่าการใช้อัตราส่วนผักกระฉูดต่อของเสียจากการเลี้ยงสุกร 5:5 มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด โดยให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเฉลี่ย 556.70 มิลลิลิตร แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับอัตราส่วน 10:0 9:1 8:2 7:3 และ6:4 ซึ่งให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 405.75 407.30 435.40 443.43 และ 469.26 มิลลิลิตรตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์เป็นร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพพบว่าอัตราส่วน 5:5 มีร้อยละก๊าซมีเทนสูงสุดคือร้อยละ 35.36 ส่วนชุดทดลองที่ใช้อัตราส่วน 6:4 7:3 8:2 9:1 และ 10:0 มีร้อยละมีเทนในก๊าซชีวภาพเพียงร้อยละ 32.67 30.43 30.77 28.36 และ 26.75 ตามลำดับ (4) เมื่อทำการปรับสภาพผักกระฉูดด้วยวิธีการต่างๆ ทั้งทางเคมี กายภาพ และชีวภาพก่อนนำเข้าสู่กระบวนการหมัก พบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้น และมีปริมาณของก๊าซมีเทนสูงขึ้นเช่นกัน โดยการปรับสภาพผักกระฉูดด้วย CaO ร้อยละ 6 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ 2,326.07 มิลลิลิตร และมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 1,577.54 มิลลิลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 67.82 เมื่อวิเคราะห์การผลิตก๊าซมีเทนเทียบกับน้ำหนักแห้งพบว่ามีค่าเท่ากับ 157.75±9.21 ลิตรมีเทนต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ

คำสำคัญ: การหมักร่วมแบบไร้อากาศ, ผักกระฉูด, ของเสียจากการเลี้ยงสุกร

[1] คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา

[2] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง

Biogas Production from Anaerobic Co-digestion of Water Mimosa with Piggy Waste for Sustainability of Songkhla lake

Noppadon Podkumnerd [1] Somkiat Intaraksa and Sompong O-Thong[2]

Abstract

This research aimed at the study of the potential of bio gas producing by the combination of anaerobic co-digestion of water mimosa and piggy waste obtained from the basin of Songkhla lake in the region of Thahin sub district, Sathingpra district, Songkhla province. The research was divided into four steps: (1) studied the compositions of water mimosa and piggy waste (2) studied the potential in terms of bio gas producing (3) studied the anaerobic co-digestion process of water mimosa and piggy waste and (4) studied methods for preparing the water mimosa for the co-digestion process. From the study, it was found that (1) the water mimosa has nitrogen, solid, and easily-evaporated solid of 20.48, 78.04, and 22.04%, respectively, of which are higher than those obtained from the piggy waste that has the same compositions of 19.95, 20.02, and 8.96%; (2) the water mimosa had a very high potential to be used in the anaerobic co-digestion process in order to produce bio gas. For example, the water mimosa having 2 gVS would yield 657.13 ml of methane. Another finding (3) was that the anaerobic co-digestion process by using the combination of water mimosa and piggy waste with the increase of both the former and the latter having the ratios of 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1, and 10:0 indicates that the ratio 5:5 is the most effective, e.g., the average value of the accumulative methane produced is 556.70 ml. This was substantially different ($P<0.5$) to those ratios of 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, and 6:4, of which yielded the accumulative methane of 405.75, 407.30, 435.40, 443.43, and 469.26, respectively. When considering those figures in terms of percentage, it was found that the ratio 5:5 yields the methane of 35.36%; in the meantime, the ratios 6:4, 7:3, 8:2, 9:1, and 10:0 yielded the methane of 32.67, 30.43, 30.77, 28.36, and 26.75, respectively. The final point (4) obtained from this study showed that employing different methods with respect to chemistry, physicality, and biochemical before the anaerobic co-digestion process was commenced yields higher bio gas, including the methane. For example, by reconditioning the water mimosa using CaO of 6% would yield the maximum biogas of 2,326.07 ml. In addition, the accumulative methane would be 1,577.54 ml, corresponding to 67.82%. However, when comparing this figure to the dry weight, It was found that the bio gas is about 157.75 +- 9.21 litre of methane to the dry weight of the raw materials.

Key words: water mimosa, piggy waste, Anaerobic co-digestion

.....

[1] Faculty of Liberal Arts. Rajamangala University of Technology Srivijaya, Mueang, Songkhla.

[2] Faculty of Science Thaksin University Phattalung Campus, Bhapayom Phattalung.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่สนับสนุนทุนวิจัยผ่านโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (HERP) ประจำปี ๒๕๕๗ กลุ่มความหลากหลายทางชีวภาพ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นพดล โพชกำเหนิด
สมเกียรติ อินทรักษ์
สมพงศ์ โอทอง
สิงหาคม ๒๕๕๘

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	9
บทที่ 4 ผลการทดลอง	12
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	20
เอกสารอ้างอิง	21

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาตรตัวอย่างและกล้าเชื้อสำหรับกระบวนการหมักที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูดหมักร่วมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร	10
2	ปริมาตรตัวอย่างและกล้าเชื้อสำหรับกระบวนการหมักเพื่อหาแนวทางการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ	11
3	องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของผักกระฉูด	12
4	องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของผักกระฉูด	12
5	ปริมาณก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร ด้วยเครื่อง Gas chromatography	14
6	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่ 45 วัน	15
7	ปริมาณก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่ปรับสภาพด้วยวิธีต่างๆ กัน ด้วยเครื่อง Gas chromatography	16
8	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่ 45 วัน	17

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ	4
2	ลักษณะโดยทั่วไปของผักกระเฉด	8
3	ปริมาณมีเทนสะสมที่ได้จากการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศ	13
4	ปริมาณมีเทนสะสมที่ได้จากการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่อัตราส่วนต่างๆ	15
5	แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ (มิลลิลิตร) ในการหมักก๊าซชีวภาพร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการต่างๆ แตกต่างกัน	17
6	แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ (L CH_4/kg dry meter) ในการหมักก๊าซชีวภาพร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการต่างๆแตกต่างกัน	18
7	การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพสู่กลุ่มเป้าหมาย ณ ตำบลท่าหิน อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา	19

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ตำบลท่าหิน อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา มีพื้นที่ตั้งอยู่บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง ทิศเหนือและทิศตะวันออกมีพื้นที่เชื่อมต่อกับตำบลคูขุด และตำบลบ่อดาน อำเภอสทิงพระ ตามลำดับ ทิศใต้เชื่อมต่อกับตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร และทิศตะวันตกติดกับทะเลสาบสงขลาตอนกลาง ชาวบ้านในพื้นที่ส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรมและประมง เช่น การทำนา การทำสวนปาล์ม การทำประมงพื้นบ้าน และการเลี้ยงสัตว์ (ตำบลท่าหิน, 2556) โดยการเลี้ยงสัตว์นั้นส่วนใหญ่ได้แก่การเลี้ยงโคและสุกร โดยเฉพาะการเลี้ยงสุกรนั้นได้มีการปลดปล่อยน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดออกจากคอกเลี้ยงลงสู่คลองสาขาและไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดกลิ่นและมลพิษทางน้ำเกิดขึ้นในบริเวณดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการระบาดของผักกระฉูดที่เจริญเติบโตอย่างหนาแน่นในบริเวณดังกล่าวเนื่องจากมีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งอาหารอยู่ในแหล่งน้ำเป็นจำนวนมาก

วิกฤตการณ์พลังงานเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องแก้ไขและหามาตรการป้องกัน ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีทรัพยากรพลังงาน เช่น น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติน้อย จึงจำเป็นต้องพึ่งพาประเทศอื่นๆ ที่สามารถส่งออกพลังงานมาจำหน่ายได้ ส่งผลให้ขาดความมั่นคงทางด้านพลังงาน นอกจากนี้ทรัพยากรพลังงานที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป จึงเกิดกระแสความสนใจที่จะหาแหล่งวัตถุดิบที่สามารถทดแทนได้เพื่อผลิตพลังงานทดแทนที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก และสามารถหาได้ในท้องถิ่นต่างๆ ซึ่งก๊าซชีวภาพก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของแหล่งพลังงานในอนาคตที่คาดว่าจะนำมาแทนพลังงานที่มีในธรรมชาติ (Akano *et al.*, 1996) นอกจากนี้ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนทางชีวภาพอย่างเช่น มูลสัตว์ เศษอาหาร น้ำเสีย และพืชน้ำบางชนิด กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ Hydrolysis เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Escherichia coli* และ *Micrococcus luteus* Acidogenesis เกิดจากการย่อยสลายของโมเลกุลเล็กให้เป็นกรดอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Bacillus* sp. *Micrococcus* sp. และ*Clostridium* spp. Acitogenesis เกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นกรดแอซิติกและไฮโดรเจน โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Butyribacterium methylophicum* และ Methanogenesis เกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophs และ Acetotrophic methanogens (Lee *et al.*, 2004)

จากปัญหาการปล่อยทิ้งของเสียจากการเลี้ยงสุกร และการแพร่ระบาดของวัชพืชน้ำคือผักกระฉูดบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนกลาง ผู้ดำเนินการวิจัยให้ความสนใจมากจึงนำวัสดุดังกล่าวมาหมักย่อยร่วมเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยการหมักย่อยร่วมที่ผ่านมานั้น พบว่าการหมักย่อยร่วมนอกจากจะสามารถผลิต ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนได้มากขึ้นแล้วยังสามารถแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถหมักย่อยด้วยตัวเอง Alastair (2008) กล่าวว่า ตัวย่อยร่วม มีความสำคัญในการช่วยเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่ตัวย่อยร่วมจะเป็นมูลสัตว์และวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เพราะเป็นการเพิ่งแหล่งสารอาหารให้มากขึ้นนอกจากนี้อาจเป็นแหล่งช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ ดังนั้นการใช้วัสดุเศษเหลือที่เป็นแหล่งของสารอินทรีย์เพื่อเป็นตัวย่อยร่วมกับน้ำเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงเป็น

แนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และเป็นการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้การหมักแบบใช้ตัวย่อยร่วมมักใช้วัสดุที่เป็นของแข็ง เมื่อสิ้นสุดการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพยังสามารถนำกากของแข็งไปทำปุ๋ยได้ดีอีกด้วย

ดังนั้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงการเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักย่อยผักกระฉูดร่วมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร ซึ่งจะช่วยลดปัญหาผลกระทบปัญหาการทิ้งของเสียจากการเลี้ยงสุกรออกสู่สิ่งแวดล้อม ลดปัญหาด้านการจัดการวัชพืชในทะเลสาบสงขลา เพราะผลการจากการศึกษานอกจากจะได้ข้อมูลที่ทำให้ผู้วิจัยหรือผู้อื่นที่มีความสนใจนำไปใช้ในการเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ แล้วยังสามารถช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการของเสียที่นำมาหมักย่อยร่วมได้ นอกจากนี้การนำผลงานวิจัยนี้ไปขยายผลในการปฏิบัติจริงยังสามารถดำเนินการได้ง่าย เนื่องจากในปัจจุบันในตำบลท่าหินได้มีการส่งเสริมระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสัตว์ขนาด 8-16 ลูกบาศก์เมตร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของผักกระฉูดแหล่งน้ำ ในตำบลท่าหิน อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา
2. เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูด โดยการหมักแบบกะ
3. เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูดโดยการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร โดยการหมักแบบกะ
4. เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร ในตำบลท่าหิน และผู้สนใจ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาครอบคลุมถึงความเป็นไปได้และกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูดโดยกลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ โดยเริ่มจากการศึกษาองค์ประกอบของผักกระฉูด และของเสียจากการเลี้ยงสุกรในตำบลท่าหิน อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนจากผักกระฉูดและของเสียจากการเลี้ยงสุกร แนวโน้มในการหมักร่วม ศึกษาถึงปัจจัยที่ผลต่อกระบวนการหมัก และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการในการผลิตก๊าซชีวภาพ ดำเนินการทดลองในกระบวนการหมักแบบกะเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ และถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่ชุมชนและเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร

1.4 ทฤษฎี สมมุติ ฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ถ้าผักกระฉูดมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพและสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ก๊าซชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) เป็นวิธีหนึ่งในการผลิตพลังงานทดแทนจากชีวมวลโดยผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) ของเชื้อแบคทีเรียโดยสารอินทรีย์ที่ใช้อาจมาจากส่วนประกอบของขยะมูลฝอย พืชผลผลิตเศษวัสดุทางการเกษตร และมูลสัตว์ เป็นต้น การย่อยแบบไร้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท หลักๆ คือ แบบแห้ง (dry digestion) และแบบเปียก (wet digestion) ซึ่งมีการควบคุมการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content) ประมาณร้อยละ 20 ถึง 40 และน้อยกว่าร้อยละ 20 ตามลำดับ ในการผลิตก๊าซชีวภาพ วัตถุดิบชีวมวลมักจะแยกออกเป็นของแข็งระเหยได้กับเศษเถ้า โดยของแข็งระเหยได้ในสารอินทรีย์นิยามว่าเป็นน้ำหนักของสสารที่สามารถระเหยออกได้เมื่อได้รับการเพิ่มอุณหภูมิ เศษกากที่เหลือจะเป็นส่วนของเศษเถ้า ของแข็งระเหยรวม (total volatile solid , TVS) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและส่วนที่ย่อยไม่ได้ (นคร, 2553) เมื่อดำเนินการทดลองการย่อยสลายกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ถังปฏิกรณ์ พบว่า ถังปฏิกรณ์อุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิปานกลางมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 90 โดยที่ภาระสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ไม่มีความแตกต่างในการผลิตก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิปานกลาง (เพ็ญศิริ, 2551)

2.1.2 มีเทนและการใช้ประโยชน์

ก๊าซมีเทน (CH_4) สามารถผลิตได้จากมวลชีวภาพต่างๆ ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้แล้วไม่หมดไป กระบวนการผลิตมีเทนเป็นกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ในขั้นตอนที่ 4 (Methanogenesis phase) ก๊าซมีเทนค่าพลังงานความร้อนสูงถึง 9,000 กิโลแคลอรี/ม^3 หรือ 21,000 กิโลจูล/ม^3 จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้ เช่น เผาไหม้เพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้คุณสมบัติสำคัญของมีเทนคือเป็นแก๊สที่เมื่อเผาไหม้แล้วได้สารผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (Wikipedia, 2009)

2.1.3 กระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic process)

ในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (รูปที่ 1) มีปฏิกิริยาหลักๆ เกิดขึ้นอยู่ 2 ขั้นตอน (Two phase anaerobic process: TPAP) คือ 1) กระบวนการผลิตกรด (Acidogenesis) 2) กระบวนการผลิตมีเทน (Methanogenesis) ซึ่งพบว่ากระบวนการ TPAP นี้ สามารถผลิตได้ทั้งมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนออกมาพร้อมๆ กันได้

2.1.3.1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic process) เกิดขึ้น 4 ขั้นตอนย่อยตามลำดับ ดังนี้

1) กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิสเป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยเอนไซม์ของแบคทีเรียที่ปล่อยออกมา

2) กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทาริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว

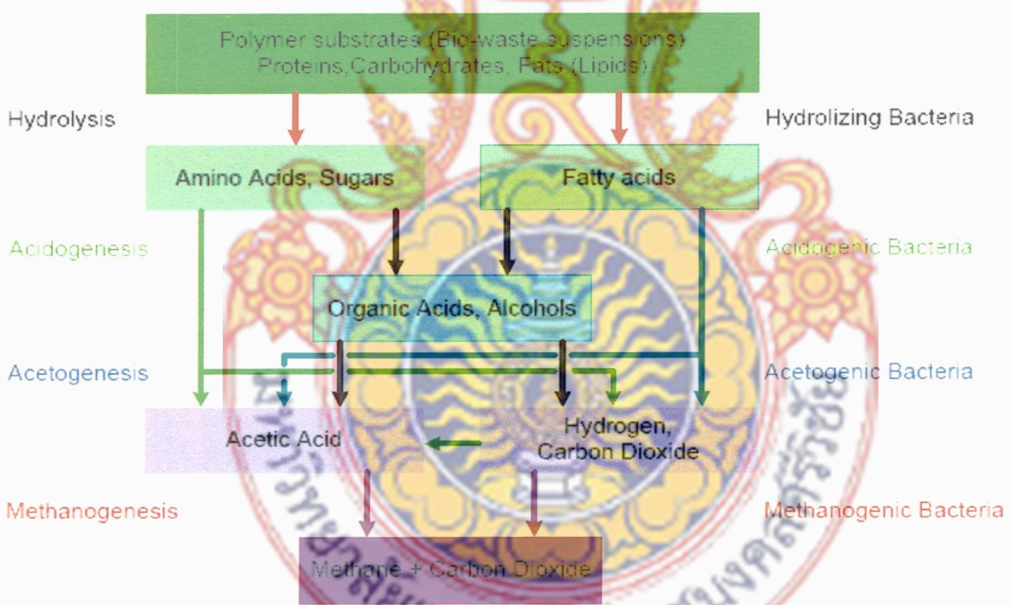
3) กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยง่าย (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดจะถูกแบคทีเรียอะซิโตจีนิก (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเนื่องจากเป็นการลดการสะสมของกรดไขมันระเหย ซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณสูงสามารถยับยั้งการสร้างมีเทนได้

4) กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรดจะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) ใช้สร้างมีเทน

ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ) คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกลุ่มแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ (ไร้ออกซิเจน) ผลที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายส่วนใหญ่คือ ก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวโดยสรุปแสดงดังรูปที่ 1 (Lee *et al*., 2004)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ (Lee *et al*., 2004)

2.1.3.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (fermentative bacteria) มี 4 กลุ่ม ดังนี้

1) Fermentative bacteria ทำหน้าที่ย่อยสลาย (hydrolysis) สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ ได้แก่ เซลลูโลส แป้ง โปรตีน ไขมันด้วยเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ จนได้สารที่มีโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน และสารต่าง ๆ สารเหล่านี้จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์และถูกเปลี่ยนไปเป็น อะซิเตท โพรพิออเนท แลคเตท บิวทิเรท และเอทานอล ผลผลิตที่ได้ในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นและสภาวะแวดล้อมที่

จุลินทรีย์เจริญเติบโตในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนต่ำจุลินทรีย์จะผลิตสารอินทรีย์พวกอะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน แต่ในสภาวะแวดล้อมที่มีก๊าซไฮโดรเจนสูงจุลินทรีย์จะผลิตโพรพิออเนท แลคเตท และเอทานอล

2) Hydrogen-producing acetogenic bacteria จุลิทรีย์กลุ่มนี้ทำหน้าที่ ย่อยสลายโพรพิออเนท เอทานอล และ กรดอินทรีย์อื่น ๆ ได้เป็น กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ดังสมการ

$$CH_3CHOHCOOH + H_2O \xrightarrow{\text{Dessulfovibrio}} CH_3COOH + CO_2 + \quad (1)$$

$$CH_3CH_2COOH + H_2O \xrightarrow{\text{Dessulfovibrio}} CH_3COOH + CO_2 + \quad (2)$$

3) Homoacetogenic bacteria ได้แก่ *Butyribacterium methylophicum* จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เป็นพวกที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ผลผลิตเป็นกรดอะซิติก ถ้าใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น แลคแตท ไพรูเวท และเฮกโซส ผลผลิตที่ได้เป็นกรดอะซิติกและกรดบิวทิริก ดังสมการ

$$CO_2 + 2H_2 \xrightarrow{\textit{B. methylophicum}} \text{Acetic acid} \quad (3)$$

$$\text{Glucose} \xrightarrow{\textit{B. methylophicum}} \text{Acetic acid} + \text{Butyric acid} \quad (4)$$

4) Methanogenic bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นพวก obligate anaerobes คือสามารถเจริญได้ดีในสภาวะไร้ออกซิเจนได้เท่านั้น จุลินทรีย์เหล่านี้จะย่อยสลายอะซิเตท ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นก๊าซมีเทน สามารถเจริญได้ทั้งในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (35-40 องศาเซลเซียส) และช่วงอุณหภูมิสูง (55-60 องศาเซลเซียส) ความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการเจริญและการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.8-7.2 เกลือแร่และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสิ่งที่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ต้องการมาก ส่วนแอมโมเนียและซัลไฟด์หรือซีสเตอีน (cysteine) เป็นสิ่งที่ต้องการเพิ่มเติม จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อยได้แก่ Methanotrophic bacteria ใช้อะซิเตท เมทานอล และ methylated amine และ Non-methylotrohpic bacteria ใช้ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และฟอร์เมท

2.1.4 การผลิตมีเทนในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

จากขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (รูปที่ 1) การผลิตมีเทนนั้นเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 4 ที่เรียกว่ากระบวนการ Methanogenesis เป็นการเปลี่ยนกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดไปเป็นก๊าซมีเทนถึง 70% โดย Methane forming bacteria (Polprasert, 1996) และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนโดย Hydrogen-utilizing methane bacteria แบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีการเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก และปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตมีเทนประกอบด้วย 1) ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมได้แก่ พีเอช (Masse and Droste, 2000) อุณหภูมิ ความเป็นด่าง สารพิษ สารยับยั้งปฏิกิริยา และลักษณะของของเสีย 2) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเดินระบบ ได้แก่ การกวนผสม (Molnar and Bartha, 1989) อัตราภาระบรรทุก

ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงสุดคือ 89% จะสำเร็จได้ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.67 g COD/l/d ซึ่งคล้ายกับ TCOD ที่ 24 g COD/l ที่ HRT 36 วัน

Macias-Corral *et al.*, (2008) พบว่า การหมักมูลวัวอย่างเดียวสามารถผลิตมีเทนได้ 62 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก และการหมักของแข็งจากกากของเสียเทศบาลอย่างเดียวสามารถผลิตมีเทนได้ 37 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก แต่การหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับของแข็งจากกากของเสียเทศบาลสามารถผลิตมีเทนได้ 172 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก และ การหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับของเสียจากต้นฝ้ายสามารถผลิตมีเทนได้ 87 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก ดังนั้นจะเห็นว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ร่วมกับวัสดุหมักอื่น สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้นจากการใช้มูลสัตว์เพียงอย่างเดียว

Azbar *et al.*, (2008) ศึกษาการเพิ่มขึ้นของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการสกัดน้ำมันมะกอกโดยวิธีการย่อยสลายร่วมกัน กล่าวว่า จากการสกัดน้ำมันมะกอกออกจะเกิดวัสดุเศษเหลือ เช่น น้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอก , กากตะกอนมะกอก ซึ่งส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการทดลองนี้ใช้หางนมชีส และใช้ฟาง ในการเพิ่มก๊าซชีวภาพ โดยผลผลิตก๊าซชีวภาพจะวิเคราะห์ทั้งในน้ำมันมะกอกที่สกัดได้เพียงอย่างเดียว และจากการผสมโดยแปรผันสัดส่วนของ หางนมชีส และฟาง โดยที่ปริมาณก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับการผสมอย่างหลากหลายของสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายร่วมกันของน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกกับฟาง ถ้าทำการย่อยสลายโดยใช้น้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกเพียงอย่างเดียวจะได้ก๊าซชีวภาพที่ต่ำมาก แต่ถ้าใช้การย่อยสลายร่วมกันของน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกกับฟางจะเพิ่มก๊าซชีวภาพได้ถึง 90% ก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเพียง 22% เมื่อใช้หางนมชีสในการย่อยสลายเช่นเดียวกัน ซึ่งในการทดลองที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดคือใช้ปริมาณน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอก 20% ต่อหางนมชีส 80% ซึ่งมีค่า COD เฉลี่ย 3 mg/L โดยจะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพคือ 573 ± 0.8 ml และใช้ปริมาณ น้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอก 50% ต่อหางนมชีส 50% ซึ่งมีค่า COD เฉลี่ย 3 mg/L โดยจะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ คือ 446 ± 4.7 ml

Gelegenis *et al.*, (2007) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียโรงงานน้ำมันมะกอกโดยใช้ตัวย่อยร่วมมูลไก่ในการเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ ใช้ถังปฏิกรณ์แบบกวนต่อเนื่อง (completely-stirred tank reactor) อุณหภูมิหมัก 35 องศาเซลเซียส โดยใช้มูลไก่ 1 ส่วน เจือจางกับน้ำ 2-4 ส่วน วิเคราะห์ค่าต่างๆ ของแหล่งวัตถุดิบ พบว่า น้ำเสียโรงงานน้ำมันมะกอกมีค่าแอมโมเนียน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร ค่าไนโตรเจนเท่ากับ 650 มิลลิกรัม/ลิตร และความเป็นด่างทั้งหมดเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งน้อยกว่ามูลไก่ที่เจือจางแล้วซึ่งมีค่าแอมโมเนียเท่ากับ 4,900 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าไนโตรเจนเท่ากับ 6,100 มิลลิกรัม/ลิตร และความเป็นด่างทั้งหมดเท่ากับ 20,200 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นการเติมตัวย่อยร่วมลงไปจึงทำให้ค่าแอมโมเนีย ค่าไนโตรเจน และค่าความเป็นด่างทั้งหมด นั้นเหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ระยะเก็บกักน้ำ 20 วัน เติมน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันมะกอกลงไปอย่างช้าๆ ตามสัดส่วนร้อยละ 25, 35, 50 ปริมาตรต่อปริมาตร ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนน้ำเสียโรงงานน้ำมันที่ป้อนลงไปร้อยละ 25 ปริมาตรต่อปริมาตร มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด 0.52 ลิตรต่อลิตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน มีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 71.8

Callaghan *et al.*, (2002) รายงานว่าการหมักไร้อากาศของมูลวัวร่วมกับเศษผักและผลไม้ที่ความเข้มข้นของเศษผักและผลไม้ร้อยละ 20 ถึง 50 ส่งผลให้อัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 3.19 ถึง 5.01 กก. VS/ม^3-วัน ผลการทดลองพบว่าผลผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.23 เป็น 0.45 ม^3 มีเทน/กก.VS ที่ถูกกำจัด

2.1.6 ผักกระฉูด

ผักกระฉูด จัดเป็นพืชประเภทไม้พุ่ม ใบเลี้ยงคู่ อยู่ในวงศ์ Mimosaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Neptunia spp.* ชื่อสามัญ water mimosa ชื่ออื่น เช่น ผักรู้นอน ผักฉีด ผักกระเสดน้ำ เป็นต้น

(2A)

(2B)

ภาพที่ 2(A-B) ลักษณะโดยทั่วไปของผักกระเฉด

2.1.6.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น เป็นพืชน้ำล้มลุก ลำต้นทอดขนานแตกแขนงไปบนผิวน้ำ ชูส่วนใบและดอกโผล่พ้นผิวน้ำขึ้นมา จะแตกรากฝอยบริเวณข้อลงไปยึดกับพื้นดิน

ใบ เป็นไปประกอบแบบขนนกเกิดที่ข้อของลำต้น มีใบประกอบย่อย 2-3 คู่ แต่ละใบประกอบย่อยมีใบย่อย 8-16 ใบ ใบย่อยส่วนปลายใบมีขนาดใหญ่กว่าใบย่อยทางโคน ใบจะหุบในเวลากลางคืน หรือยามที่ถูกสัมผัส

ดอก เป็นช่อกลมสีเหลืองสดอยู่บนก้านดอกออกนอกตรงซอกใบ ก้านดอกยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร ดอกแต่ละดอกมีกลีบดอก 5 แฉก ประอบด้วยดอกย่อยจำนวนมาก ดอกที่เกิดบริเวณปลายช่อเป็นดอกตัวผู้สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้จะเกิดช่วงกลางของช่อดอก ส่วนล่างสุดเป็นดอกไม่มีเพศ คือ ไม่มีทั้งเกษรตัวผู้และตัวเมีย (ศูนย์พัฒนาประมงพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2556)

2.1.6.2 การกำจัดผักกระฉูด

ผักกกระฉูดเป็นวัชพืชประเภทที่รากหยั่งดิน จะใช้วิธีการกำจัดโดยการขุดลอกคลองธรรมชาติโดยเรือขุด โดยขุดดินตลิ่งทั้งสองข้างและท้องคลองลึก 0.3 เมตร และต้องใช้วิธีการทางเคมีสนับสนุน คือ เมื่อขุดนักผักกระฉูดวางไว้บนตลิ่งทั้ง 2 ฝั่งแล้ว ทิ้งระยะไว้ประมาณ 15 วัน เมื่อผักกระฉูดเริ่มฟื้นตัว (ยอดและแตกใบ) ให้ใช้สารเคมีไกยโฟเสท หรือ 2-4-ดี ฉีดพ่น 100 ลิตร/ไร่ ทิ้งไว้ 30 วัน แล้วฉีดซ้ำอีก 1 ครั้ง (กรมชลประทาน, 2552)

สารอินทรีย์ (organic loading rate, OLR) และระยะเวลากักเก็บ (hydraulic retention time, HRT) (Lettinga 1995; Lo and Liao, 1985)

2.1.5 งานวิจัยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์

วีระยุทธ (2552) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคหมักร่วมกับสาหร่ายหางกระรอกเพื่อใช้เป็นพลังงานเสริมในการอบลดความชื้นแผ่นยางพาราดิบ มีการนำมูลโคหมักร่วมกับสาหร่ายหางกระรอกเพื่อศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งเติมวัตถุดิบแบบครั้งเดียว เพื่อหาสภาวะของการเกิดก๊าซที่เหมาะสม อัตราส่วนต่อการหมักมูลโคต่อสาหร่ายหางกระรอกที่ใช้ คือ 1:1 1:2 และ 1:3 โดยมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบการหมักที่สภาพแวดล้อมปกติพบว่า อัตราส่วน 1:3 ที่ควบคุมอุณหภูมิ และ pH เท่ากับ 7.9 ผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยได้ 0.60 ลิตรต่อวัน มีปริมาณมีเทนร้อยละ 72 เกิดก๊าซอย่างต่อเนื่อง 25 วัน และอุณหภูมิแวดล้อมปกติโดยเฉลี่ย 34 องศาเซลเซียส ค่า pH เฉลี่ย 7.7 ผลิตก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ย 0.52 ลิตรต่อวัน มีปริมาณมีเทนร้อยละ 71 เกิดอย่างต่อเนื่อง 29 วัน จากนั้นนำก๊าซชีวภาพที่กักเก็บได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในการอบลดความชื้นแผ่นยางพาราในตอนกลางคืน ซึ่งสามารถลดความชื้นของแผ่นยางพาราได้ประมาณร้อยละ 8.6 จากนั้นใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas ; LPG) อบต่อและสลับกับการผึ่งแดดในตอนกลางวัน ผลการตรวจสอบแผ่นยางพาราพบว่า แผ่นยางพารามีคุณภาพจัดอยู่ในมาตรฐานระดับสาม แผ่นยางพารามีสีสวยสม่ำเสมอทั้งแผ่น

Singhal and Rai (2002) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาและหญ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรม พบว่าหลังจากการบ่มเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นการเพิ่มขึ้นของก๊าซชีวภาพจากหญ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าผักตบชวาเนื่องจากมีปริมาณน้ำสูงถึง 15.4 ถึง 23.65 ลิตรต่อกิโลกรัมทำให้ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาลดลง

Fezzani and Bencheikh (2008) ศึกษาการย่อยสลายร่วมกันระหว่างน้ำเสียร่วมกับวัสดุเศษเหลือซึ่งใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนจากกระบวนการสกัดน้ำมันมะกอกโดยทำการหมักแบบกะ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีการป้อนน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกเป็นสารตั้งต้นหลัก และของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงานเป็นสับเสตรทร่วม ที่ปริมาณแตกต่างกันคือ 28 56 112 และ 150 กรัมของแข็งทั้งหมดต่อลิตรน้ำเสียตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราที่เหมาะสมของของเสียที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้เป็นสับเสรทร่วม คือ 56 กรัมของแข็งทั้งหมดต่อลิตรน้ำเสีย สามารถเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ จาก 11.17 ± 2.5 ลิตรต่อลิตรน้ำเสียเป็น 30.5 ± 2.5 ลิตรต่อลิตรน้ำเสีย และประสิทธิภาพการกำจัด COD จากร้อยละ 44.5 ± 3 เป็น 83.4 ± 2 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการลดเวลาเริ่มต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพในสภาวะคงที่จาก 65 ± 25 วัน เป็น 28 ± 15 วัน

Fezzani and BenCheikh (2007) ศึกษาการย่อยร่วมกันแบบไม่ใช้อากาศเป็นกระบวนการที่ดีสำหรับการบำบัดของเสียอินทรีย์ ทั้งของแข็งและของเหลว ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการการย่อยร่วมกันแบบไม่ใช้อากาศ ระหว่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกกับของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่ปฏิบัติที่อุณหภูมิปานกลาง แต่การย่อยมีการป้อนอาหารของแข็งและของเหลวที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ระหว่าง 0.67 และ 6.67 g/ COD/l/d มีระยะเวลากักเก็บที่ 12, 24 และ 36 วัน ค่า TCOD ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นหลัก คือ 24, 56 และ 80 g COD/l ปริมาณของของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกที่แห้งถูกใช้เป็นสารตั้งต้นร่วมที่ถูกใช้ประมาณ 56 g/l ของน้ำเสีย จากผลการทดลองพบว่า ที่ผลิตปริมาณมีเทนได้มากที่สุด คือ 0.95 l/l/วัน ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 4.67 g COD/l/d ซึ่งคล้ายกับ ค่า TCOD 56 g/COD/l มี HRT ที่12 วัน ในทางตรงกันข้าม

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของผักกระฉูดและของเสียจากการเลี้ยงสุกร

เก็บตัวอย่างผักกระฉูด และของเสียจากการเลี้ยงสุกร จากตำบลท่าหิน อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา วิเคราะห์องค์ประกอบค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter (Inolab 720,WTW-Germany) ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งระเหยได้ (VS) ตามวิธีการวิเคราะห์ของอรทัย (2545) ค่าซีโอดี (COD) ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ไขมัน (Fat and oil) ค่าความเป็นด่าง (Alkaline) ตามวิธีการวิเคราะห์ของ APHA, AWWA, WPCF (1998) ค่าลิกนิน ตามวิธีการวิเคราะห์ของ Dence and Lee (1992) เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ตามวิธีการวิเคราะห์ของ Sluiter *et al*., (2008)

3.2 การเตรียมกล้าเชื้อ

กล้าเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นเชื้อจากมูลสุกรมาปรับสภาพโดยการเติมผักกระฉูดหมักร่วมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่บดละเอียดแล้วในอัตราส่วน 9:1 เพื่อให้เชื้อเกิดความคุ้นเคยและสามารถใช้ผักกระฉูดหมักร่วมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรเป็นอาหารสำหรับการเจริญเติบโตได้ จนกว่าปริมาตรของก๊าซคงตัวก่อนที่จะนำไปใช้ในการทดลอง

3.3 ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูด

ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูดโดยดัดแปลงวิธีการของ Angelidaki *et al.* (2009) โดยใส่ตัวอย่างลงในขวดปริมาตร 500 มิลลิลิตร มีปริมาตรกล้าเชื้อ (Inoculum) 80 มิลลิลิตร เติมผักกระฉูด 2 กรัมของแข็งระเหยได้ นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมสองชุด คือชุดควบคุมทางลบ (negative control) ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง และชุดควบคุมทางบวก (positive control) ใช้เซลลูโลสแทนตัวอย่าง วัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นที่ช่วงเวลาต่างๆ และวัดองค์ประกอบของก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง Gas chromatography – TCD ตามวิธีการของ Hniman *et. al*., (2011) โดยใช้ปริมาตรตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร Inches 120 Oven 40 ความดัน 5 bar

3.4 ศึกษาการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร

ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรโดยใส่ตัวอย่างลงในขวดปริมาตร 500 มิลลิลิตร มีปริมาตรกล้าเชื้อ (Inoculum) 80 มิลลิลิตร เติมผักกระฉูด (WH) 20 ถึง 40 กรัมของน้ำหนักสด และของเสียจากการเลี้ยงสุกร (FW) 0 ถึง 20 กรัม นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมคือชุดควบคุมทางลบ (negative control)ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง และชุดควบคุมทางบวก (positive control) ใช้เซลลูโลสแทนตัวอย่าง (ตารางที่ 1) วัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นที่ช่วงเวลาต่างๆ และวัดองค์ประกอบของก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง Gas chromatography–TCD

ตารางที่ 1 ปริมาตรตัวอย่างและกล้าเชื้อสำหรับกระบวนการหมักที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูดหมักร่วมของเสียของเสียจากการเลี้ยงสุกร

ร้อยละของผักกระฉูด	อัตราส่วน WM:PW	กล้าเชื้อ (มิลลิลิตร)	ผักกระฉูด (WM) (กรัม)	ของเสียจากการเลี้ยงสุกร (PW) (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)	ปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร)
100	10:0	80	40	0	0	120
90	9:1	80	36	4	0	120
80	8:2	80	32	8	0	120
70	7:3	80	28	12	0	120
60	6:4	80	24	16	0	120
50	5:5	80	20	20	0	120
negative control	0	80	0	0	40	120
positive control	0	80	20 g cellulose	20	0	120

3.6 ศึกษาผลของวิธีการเตรียมผักกระฉูดก่อนเข้าสู่กระบวนการหมัก

โดยการเตรียมผักกระฉูดด้วย 1) CaO ร้อยละ 6 โดยปริมาตร 2) H_2SO_4 ร้อยละ 2 โดยปริมาตร 3) ลูกแป้ง ร้อยละ 7.5 โดยปริมาตร4) คลื่นไมโครเวฟ 500 วัตต์ 5 นาที 5) หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 6) ต้มในน้ำเดือด 15 นาที และ 7) ระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยใส่ตัวอย่างที่ผ่านการปรับสภาพลงในขวดปริมาตร 500 มิลลิลิตร มีปริมาตรกล้าเชื้อ (Inoculum) 80 มิลลิลิตร เตรียมกล้าเชื้อให้มีค่าของแข็งแขวนลอยระเหยได้เท่ากับ 15 กรัมต่อลิตร ผักกระฉูด 36 กรัมของน้ำหนักสด และของเสียจากฟาร์มสุกร 4 กรัม นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมสามชุดคือชุดควบคุมทางลบใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง ชุดควบคุมทางบวกใช้อัตราส่วนผักกระฉูดต่อของเสียเศษอาหาร 9:1 และชุดควบคุมวัตถุดิบใช้น้ำกลั่นแทนกล้าเชื้อ (ตารางที่ 2) ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะทำการทดลองแบบ 2 ซ้ำ วัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นที่ช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งการวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นจะวัดจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว หรือไม่มีการผลิตก๊าซเกิดเพิ่มขึ้น การทดลองนี้ทำการวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นโดยวิธีการแทนที่น้ำ วัดองค์ประกอบ ของก๊าซชีวภาพทั้งหมดด้วยเครื่อง Gas chromatography – TCD โดยใช้ปริมาตรตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร Inches 120 Oven 40 ความดัน 5 bar (Hniman *et. al.*, 2011) นำค่าปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไปใช้หาค่าศักยภาพแนวทางการเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนจากผักกระฉูด

ตารางที่ 2 ปริมาตรตัวอย่างและกล้าเชื้อสำหรับกระบวนการหมักเพื่อหาแนวทางการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ

วิธีการเตรียมตัวอย่าง	ผักกระฉูด (กรัม)	ของเสียจากการเลี้ยงสุกร (กรัม)	น้ำ มิลลิลิตร (มิลลิลิตร)	กล้าเชื้อ (มิลลิลิตร)	ปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร)
คลื่นไมโครเวฟ	36	4	0	80	120
หม้อนึ่งความดันไอ	36	4	0	80	120
ลูกแป้ง ร้อยละ 7.5	36	4	0	80	120
H_2SO_4 ร้อยละ 2	36	4	0	80	120
CaO ร้อยละ 6	36	4	0	80	120
ต้มในน้ำเดือด	36	4	0	80	120
ระเบิดด้วยไอน้ำ	36	0	0	80	120

4. การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย

หลังจากทำการทดลองจนได้สภาวะที่เหมาะสมจะดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีการหมักผักกระฉูดร่วมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรให้แก่เกษตรกรในชุมชนท่าหิน อ.สทิงพระ จ.สงขลา เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรในพื้นที่ใช้เป็นแนวทางในการกำจัดวัชพืช ของเสียจากการเลี้ยงสุกร เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในชุมชนของตนเองและเป็นหลังพลังงานที่ใช้ในครัวเรือนต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 4
ผลการทดลอง

1. องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของผักกระฉูดและของเสียจากการเลี้ยงสุกร

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของผักกระฉูดและของเสียจากการเลี้ยงสุกร ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ พบว่าผักกระฉูดและของเสียจากการเลี้ยงสุกรมีค่าซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 11.40±0.68 และ 8,000±494.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g) แสดงว่าฟักกระฉูดมีสารอินทรีย์อยู่น้อย

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของผักกระฉูด

องค์ประกอบ	ปริมาณที่ได้ (Mean±SD)
ความชื้น (%w/w fresh weight)	76.97±4.05
ของแข็งรวมทั้งหมด (%w/w fresh weight)	78.04±4.82
ของแข็งระเหยง่าย (%w/w fresh weight)	22.04±1.27
สภาพความเป็นด่าง (mg/g $CaCO_3$)	500±29.65
ซีโอดี (mg/g fresh biomass)	11.4±0.68
ไนโตรเจนทั้งหมด (%w/w fresh weight)	20.48±1.04
ไขมัน (%w/w fresh weight)	8.78±0.58
ค่าพีเอช (pH)	5.19±0.28
เซลลูโลส (% dry basis)	30.5±2.08
เฮมิเซลลูโลส (% dry basis)	4.76±0.28
ลิกนิน (% dry basis)	64.74±3.76

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของของเสียจากการเลี้ยงสุกร

องค์ประกอบ	ปริมาณที่ได้ (Mean±SD)
ของแข็งรวมทั้งหมด (%w/w fresh weight)	20.04±1.11
ของแข็งระเหยง่าย (%w/w fresh weight)	8.96±0.56
สภาพความเป็นด่าง (mg/L $CaCO_3$)	3,700±196.47
ค่าพีเอช	7.28±0.44
ซีโอดี (mg/L)	8,000±494.4
ไนโตรเจนทั้งหมด (%w/w fresh weight)	19.95±1.12
ไขมัน (%w/w fresh weight)	11.23±0.63

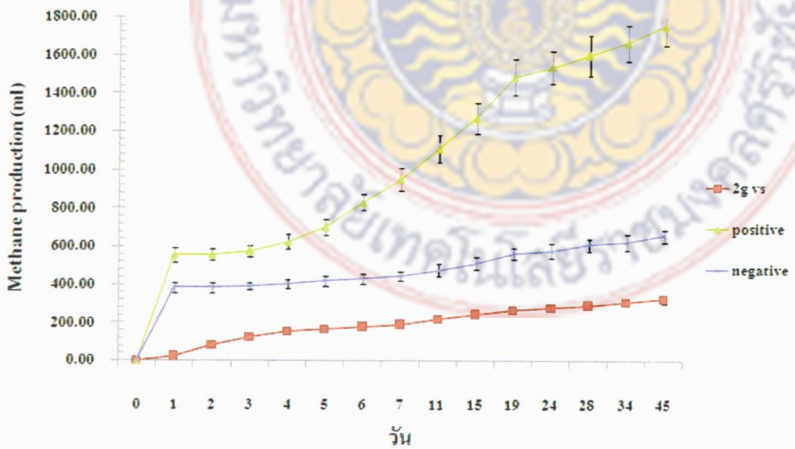
เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทนมีความอ่อนไหวต่อค่าพีเอชเป็นอย่างมาก โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ประเภทนี้คือ 6.80 ถึง 7.20 (นคร, 2553) จากการวิเคราะห์ค่าพีเอช โดยใช้ pH meter พบว่าผักกระฉูดและของเสียจากการเลี้ยงสุกรมีค่าพีเอชเท่ากับ 5.19± และ 7.28± ตามลำดับ ดังนั้นก่อนการดำเนินการนำวัตถุดิบดังกล่าวไปผลิตก๊าซชีวภาพจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการปรับสภาพพีเอชให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทน

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญที่จุลินทรีย์ใช้ในการสร้างเซลล์ (นคร, 2553) ซึ่งในการปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่าพบว่าผักกระฉูดและของเสียจากการเลี้ยงสุกรมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ ร้อยละ 20.48±1.04 และ 19.95±1.12 ตามลำดับ

ปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด พบว่าผักกระฉูดมีค่าของแข็งทั้งหมดสูงถึง 78.04±% ส่วนของเสียจากการเลี้ยงสุกรมีเพียง 20.04±% ดังนั้นในการย่อยสลายผักกระฉูดเพื่อผลิตก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศนั้นจำเป็นอย่างยิ่งจะต้องมีการเติมของเหลวลงไปในระบบเพื่อช่วยเจือจางและรักษาระดับปริมาณของแข็งรวมทั้งหมดให้เหมาะสม (นคร, 2553)

2. ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูด

การทดลองนี้ทำการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักกระฉูดโดยวิธีหมักแบบกะ (Batch) เพื่อให้ทราบว่าผักกระฉูดที่นำมาทดลองสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพในสภาวะไร้อากาศได้ดีเพียงใด โดยวิเคราะห์จากปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมต่อวัน แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าการใช้ผักกระฉูดปริมาณ 2 gVS ให้ปริมาณมีเทนต่ำกว่าชุดควบคุมทางลบ (negative) ซึ่งใช้น้ำกลั่นและต่ำกว่าชุดควบคุมทางบวก (positive) ซึ่งใช้เซลลูโลสจำนวน 2gVS โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดทดลองซึ่งใช้ผักกระฉูด ชุดควบคุมทางลบ และชุดควบคุมทางบวกมีปริมาณมีเทนเท่ากับ 325.50±22.26 657.13±34.43 และ 1,751.70±100.55 มิลลิลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศโดยใช้ผักกระฉูดปริมาณ 2 gVS มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนน้อย เนื่องจากผักกระฉูดมีสารอินทรีย์น้อย ดังนั้นการนำผักกระฉูดไปหมักร่วมกับของเสียที่มีสารอินทรีย์สูงจะเป็นการลดปริมาณของแข็งในระบบส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายที่ดีขึ้นได้



ภาพที่ 3 ปริมาณมีเทนสะสมที่ได้จากการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศ

3. ผลการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร

จากการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผักกระฉูดและของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่แตกต่างกันคือ ร้อยละ 50 60 70 80 90 และ 100 พบว่าชุดทดลองที่มีอัตราส่วนผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร ร้อยละ 50 เมื่อสิ้นสุดการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 45 วัน มีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดคือ 1,574.37 มิลลิลิตร ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุมทางลบ (Nagative control) (ไม่เติมผักกระฉูดและของเสีย) ซึ่งมีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมเพียง 1,487.10 มิลลิลิตร และเมื่อนำปริมาตรก๊าซชีวภาพในแต่ละชุดทดลองมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซต่างๆ ในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ด้วยเครื่อง Gas chromatography พบว่าชุดทดลองที่มีอัตราส่วนผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรร้อยละ 50 มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงสุดคือร้อยละ 35.36 ส่วนในชุดทดลองที่ใช้อัตราส่วนของผักกระฉูดสูงขึ้นเป็นร้อยละ 60 70 80 90 และ 100 พบว่าได้ปริมาตรก๊าซชีวภาพและมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเป็นร้อยละ 32.67 30.43 30.77 28.36 และ 26.75 ตามลำดับ องค์ประกอบของก๊าซต่างๆ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซไฮโดรเจน ของแต่ละชุดการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

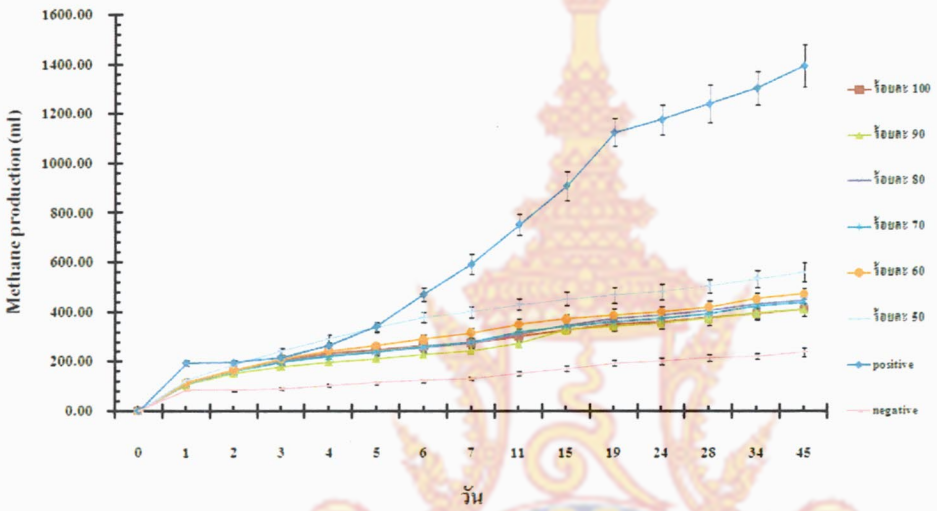
ตารางที่ 5 ปริมาณก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร ด้วยเครื่อง Gas chromatography

ตัวอย่าง ผักกระฉูด:ของเสียจากการเลี้ยงสุกร	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)	ร้อยละก๊าซมีเทน	ร้อยละก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ร้อยละก๊าซไนโตรเจน	ร้อยละก๊าซไฮโดรเจน
ร้อยละ 100 (10:0)	1,516.82	26.75	72.18	1.03	0.04
ร้อยละ 90 (9:1)	1,436.18	28.36	70.38	1.26	0
ร้อยละ 80 (8:2)	1,415.01	30.77	67.32	1.91	0
ร้อยละ 70 (7:3)	1,457.21	30.43	66.98	2.59	ND
ร้อยละ 60 (6:4)	1,436.36	32.67	64.36	2.97	ND
ร้อยละ 50 (5:5)	1,574.37	35.36	62.11	2.53	ND
Positive control	2,184.38	63.59	35.66	0.75	ND
Negative control	1,487.10	26.75	57.23	16.02	ND

*ND (not determine) =ตรวจไม่พบ

จากปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้นั้น สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนสะสมในระบบ ได้ดังตารางที่ 5 ซึ่งจะพบว่าอัตราส่วนผักกระฉูดต่อของเสียจากการเลี้ยงสุกร 5 ต่อ 5 (อัตราส่วนผักกระฉูดร้อยละ 50) เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดคือ 556.70±2.98 มิลลิลิตร และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผักกระฉูดเป็นร้อยละ 60-100 พบว่าปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมไม่ได้สูงขึ้น โดยการเพิ่มอัตราส่วนของผักกระฉูดเป็นร้อยละ 60 70 80 90 และ 100 มีปริมาตรมีเทนสะสมเป็น 469.26±1.90 443.43±1.79 435.40±1.96 407.30±2.08 และ 405.75±1.98 มิลลิลิตรตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการมีของแข็งในระบบมากเกินไป จะทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งไปขัดขวางการไหลขึ้นของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น (Angelidaki *et al.*, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับ Ranade *et al.* (1987) ที่ศึกษาการนำเศษผักและผลไม้จากตลาดสดมาทำการหมักใน

สภาวะไร้อากาศในถังหมักขนาด 25 ลิตร ระยะเวลาการกักเก็บ 20 วัน พบว่าให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพลดลงเมื่อมีอัตราการป้อนวัตถุดิบที่สูงขึ้น และเมื่อเทียบปริมาณก๊าซมีเทนระหว่างชุดทดลองที่ใช้อัตราส่วนผักกระฉูดร้อยละ 50 กับชุดควบคุมทางบวก (Positive control) ซึ่งใช้เซลลูโลสแทนผักกระฉูด พบว่าการใช้เซลลูโลสให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนสูงกว่าการใช้ผักกระฉูด ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากผักกระฉูดมีสิ่งปริมาณเซลลูโลสต่ำคือเพียงร้อยละ 30.50 (ตารางที่ 3) และนอกจากนั้นยังมีลิกนินในปริมาณสูงถึงร้อยละ 64.74 ซึ่งอาจมีผลต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ดังนั้นในการทดลองต่อไป จะทำการศึกษาวิธีการปรับสภาพผักกระฉูดก่อนนำเข้าสู่กระบวนการหมักร่วมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพให้สูงขึ้นต่อไป



ภาพที่ 4 ปริมาณมีเทนสะสมที่ได้จากการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่อัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่ 45 วัน

ตัวอย่าง ผักกระฉูด:ของเสียจากการเลี้ยงสุกร	ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (มิลลิลิตร)
ร้อยละ 100 (10:0)	405.75[c]
ร้อยละ 90 (9:1)	407.30[c]
ร้อยละ 80 (8:2)	435.40[c]
ร้อยละ 70 (7:3)	443.43[c]
ร้อยละ 60 (6:4)	469.26[c]
ร้อยละ 50 (5:5)	556.70[b]
Positive control	1,389.05[a]
Negative control	397.08[d]

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีค่าต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ .05

3.6 ผลของวิธีการเตรียมผักกระฉูดก่อนเข้าสู่กระบวนการหมัก

จากการศึกษาวิธีการเตรียมผักกะฉูดก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักโดยใช้ 1) CaO ร้อยละ 6 โดยปริมาตร 2) H_2SO_4 ร้อยละ 2 โดยปริมาตร 3) ลูกแป้ง ร้อยละ 7.5 โดยปริมาตร 4) คลื่นไมโครเวฟ 500 วัตต์ 5 นาที 5) หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 15 นาที 6) ต้มในน้ำเดือด 15 นาที และ 7) ระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าชุดทดลองใช้ CaO ร้อยละ 6 เมื่อสิ้นสุดการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 45 วัน มีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดคือ 2,326.07 มิลลิลิตร รองลงมาคือลูกแป้งร้อยละ 7.5 มีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 2,029.12 มิลลิลิตร คลื่นไมโครเวฟมีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 1,917.71 มิลลิลิตร หม้อนึ่งความดันไอมีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 1,819.23 มิลลิลิตร การระเบิดด้วยไอน้ำมีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 1,775.07 มิลลิลิตร การต้มในน้ำเดือดมีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม 1,667.51 มิลลิลิตร และการใช้ ร้อยละ 2 มีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมน้อยที่สุดคือ 1,300.90 มิลลิลิตร และเมื่อนำปริมาตรก๊าซชีวภาพในแต่ละชุดทดลองมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซต่างๆ ในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ด้วยเครื่อง Gas chromatography พบว่าชุดทดลองที่ปรับสภาพด้วย CaO ร้อยละ 6 มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงสุดคือร้อยละ 67.82 รองลงมาคือการปรับสภาพด้วยลูกแป้งร้อยละ 7.5 การใช้ H_2SO_4 ร้อยละ 2 การใช้หม้อนึ่งความดันไอ การระเบิดด้วยไอน้ำ การใช้คลื่นไมโครเวฟ และการต้มในน้ำเดือด โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทน 63.22 62.41 63.31 61.21 60.88 และ 59.55 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการปรับสภาพผักกระฉูดก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักส่งผลประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบการนำผักกระฉูดมาเข้าสู่กระบวนการหมักทันที องค์ประกอบของก๊าซต่างๆ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซไฮโดรเจน ของแต่ละชุดการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 7 ปริมาณก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่ปรับสภาพด้วยวิธีต่างๆ กัน ด้วยเครื่อง Gas chromatography

วิธีการปรับสภาพ	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)	ร้อยละก๊าซมีเทน	ร้อยละก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ร้อยละก๊าซไนโตรเจน	ร้อยละก๊าซไฮโดรเจน
คลื่นไมโครเวฟ	1,917.71	60.88	35.79	2.33	0.00
หม้อนึ่งความดันไอ	1,819.23	61.31	35.31	2.01	0.00
ลูกแป้ง ร้อยละ 7.5	2,029.12	63.22	33.02	2.83	0.00
H_2SO_4 ร้อยละ 2	1,300.90	62.41	27.04	10.22	0.00
CaO ร้อยละ 6	2,326.07	67.82	30.69	1.04	0.00
ต้มในน้ำเดือด	1,667.51	59.55	37.69	2.18	0.00
ระเบิดด้วยไอน้ำ	1,775.07	61.21	35.06	3.11	0.00

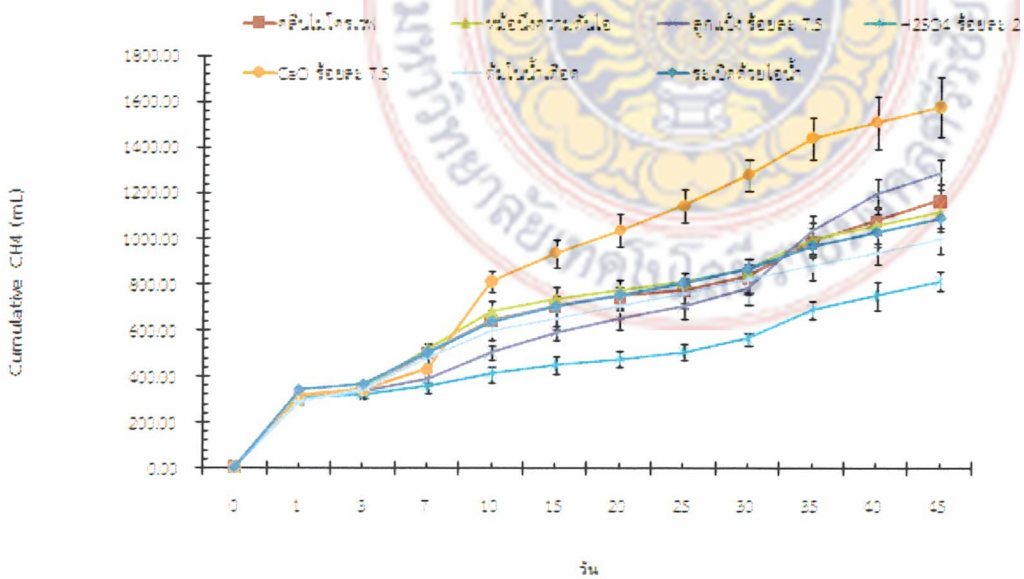
จากปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้นั้น สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนสะสมในระบบ ได้ดังตารางที่ 7

และภาพที่ 6 ซึ่งจะพบว่าการปรับสภาพด้วย CaO ร้อยละ 7.5 เมื่อสิ้นสุดการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 45 วัน มีปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดคือ 1,577.54± 130.94 มิลลิลิตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการปรับสภาพโดยวิธีอื่นๆ โดยการปรับสภาพโดยใช้ลูกแป้งร้อยละ 7.5 ให้ปริมาณก๊าซมีเทนรองลงมาคือ 1,282.81± 628.6 มิลลิลิตร ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการปรับสภาพโดยการใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทน 1,167.50± 747.2 มิลลิลิตร รองลงมาคือการปรับสภาพโดยการใช้หมอนึ่งความดันไอซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการปรับสภาพโดยการระเบิดด้วยไอน้ำ ซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทน 1,115.37±79.19 และ 1,086.52±61.93 มิลลิลิตรตามลำดับ รองลงมาคือการปรับสภาพด้วยการต้มด้วยน้ำเดือดซึ่งไม่แตกต่างอย่างนัยสำคัญกับการใช้หม้อนึ่งความดันไอและการระเบิดด้วยไอน้ำโดยมีปริมาณก๊าซมีเทน 993.60±56.64 มิลลิลิตร ส่วนการปรับสภาพด้วย H_2SO_4 ร้อยละ 2 มีก๊าซมีเทนอยู่น้อยที่สุดคือ 811.89±41.41 มิลลิลิตร

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่ 45 วัน

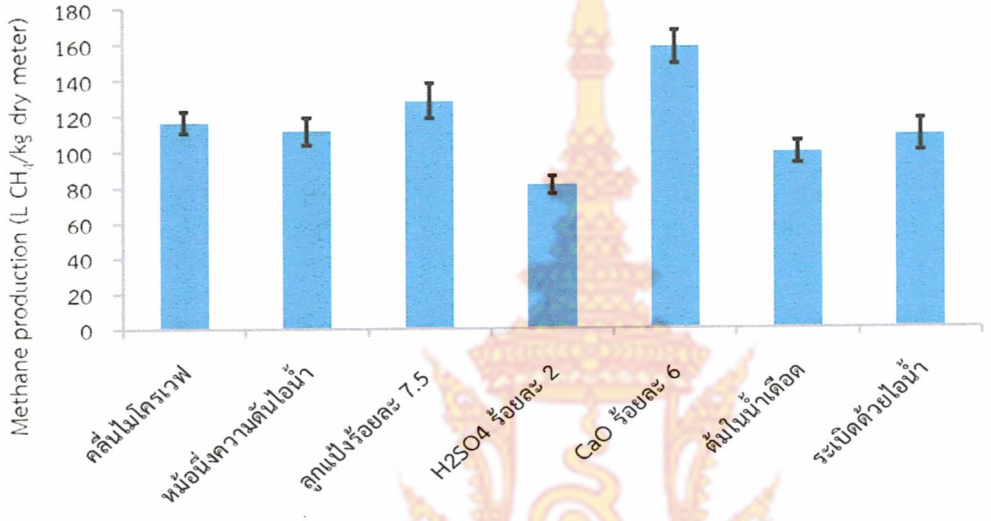
วิธีการปรับสภาพ	ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (มิลลิลิตร)
คลื่นไมโครเวฟ	1,167.50^{bc}
หม้อนึ่งความดันไอ 121 $^{\circ}$C	1,115.37^{cd}
ร้อยละ 7.5 ลูกแป้ง	1,282.81^{b}
ร้อยละ 2 H_2SO_4	811.89^{e}
ร้อยละ 6 CaO	1,577.54^{a}
ต้มในน้ำเดือด	993.60^{d}
ระเบิดด้วยไอน้ำ	1,086.52^{cd}

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีค่าต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ .05



ภาพที่ 5 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ (มิลลิลิตร) ในการหมักก๊าซชีวภาพร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการต่างๆ แตกต่างกัน

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้เทียบกับน้ำหนักแห้ง (L CH_4/kg dry meter) ดังรูปที่ 7 พบว่าการปรับสภาพด้วย CaO ร้อยละ 6 มีการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดคือ 157.75±9.21 L CH_4/kg dry meter แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการปรับสภาพโดยวิธีอื่นๆ การปรับสภาพโดยการใช้ลูกแป้งร้อยละ 7.5 การใช้คลื่นไมโครเวฟ การใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ การใช้ H_2SO_4 ร้อยละ 2 การระเบิดด้วยไอน้ำ และการต้มในน้ำเดือด มีการผลิตก๊าซมีเทนเทียบกับน้ำหนักแห้งเท่ากับ 128.28±9.81 116.75±6.23 115.54±7.52 108.65±8.82 99.36±6.29 และ 81.19±5.03 L CH_4/kg dry meter ตามลำดับ



ภาพที่ 6 แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ (L CH_4/kg dry meter) ในการหมักก๊าซชีวภาพร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการต่างๆแตกต่างกัน

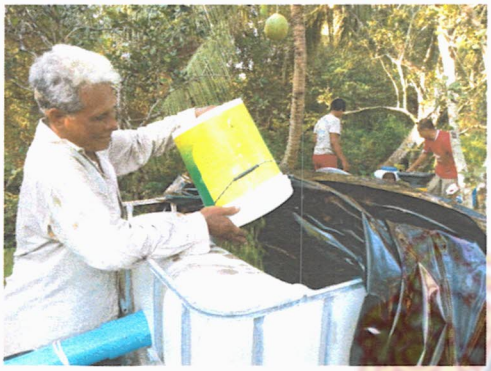
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากระบวนการปรับสภาพผักกระฉูดก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้กระบวนการหมักให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เช่นการปรับสภาพด้วยไอน้ำให้ผลสอดคล้องกับ Angle *et al.* (2001) ซึ่งรายงานว่า การใช้ไอน้ำเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถทำลายโครงสร้างของวัสดุทางธรรมชาติได้ ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการใช้ไอน้ำที่ความดันสูงจึงทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงทำให้วัตถุเกิดการแตกหักส่งผลวัตถุดิบสามารถถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น การปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟให้ผลสอดคล้องกับ Keshwani and Cheng (2010) ซึ่งรายงานว่าการย่อยสลายโครงสร้างลิกโนเซลลูโลสของพืช โดยใช้สารละลายด่างเจือจางร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ สามารถสลายให้กลูโคส และไซโลสสูงขึ้น ซึ่งกลูโคส และไซโลสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กที่สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน การปรับสภาพด้วย H_2SO_4 ให้ผลสอดคล้องกับ Esteghlalian *et al.* (1997) ซึ่งได้ศึกษาการใช้กรดซัลฟูริคเจือจางในการ pretreatment เศษข้าวโพด เศษไม้และเศษหญ้า พบว่า การไฮโดรไลซิสเศษไม้และเศษหญ้าที่ความเข้มข้นของกรดเจือจาง จะได้น้ำตาลไซโลสมากกว่าร้อยละ 80 ส่วนเศษข้าวโพดนั้นจะให้ความเข้มข้นน้ำตาลร้อยละ 80 ซึ่งน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสลายนี้จะถูกใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งวิธีการปรับสภาพโดยวิธีต่างๆ เหล่านี้เป็นการทำให้วัตถุดิบถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลงส่งผลให้กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

3.7 การถ่ายทอดเทคโนลีสู่กลุ่มเป้าหมาย

เพื่อเป็นการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน คณะผู้วิจัยได้จัดทำถังหมัก โดยใช้วัสดุเหลือใช้ ได้แก่ถังพลาสติก HDPE ขนาด 1,000 ลิตร เป็นถังหมัก และประยุกต์ใช้ถุงพลาสติก LDPE ความหนา 0.3 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.7 เมตร ความยาว 3 เมตร ซึ่งใช้สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพคลุมถังหมักเพื่อทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ โดยได้ติดตั้ง ณ บ้านนายย่อม เพชรศรีสังข์ หมู่ 3 ท่าหิน ซึ่งได้รับความสนใจจากชุมชนเป็นอย่างดี

7(A)

7(B)



7(C)

7(D)

ภาพที่ 7 (A-D) การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพสู่กลุ่มเป้าหมาย ณ ตำบลท่าหิน อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. ในการศึกษาเบื้องต้น พบว่าสามารถนำผักกระฉูดมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยการใช้ผักกระฉูดปริมาณ 2gVS ให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 325.50±22.26 มิลลิลิตร

2. เมื่อทำการศึกษาศักยภาพในการหมักร่วมผักกระฉูดกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร พบว่าอัตราส่วนของผักกระฉูดต่อของเสียจากการเลี้ยงสุกรร้อยละ 50 (5:5) ให้มีปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นที่มีอัตราส่วนของผักกระฉูดที่สูงขึ้น โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 1,574.37 มิลลิลิตร และมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 556.7 มิลลิลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 35.36

3. เมื่อทำการปรับสภาพผักกระฉูดด้วยวิธีการต่างๆ ทั้งทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการหมัก พบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้น และมีปริมาณของก๊าซมีเทนสูงขึ้นเช่นกัน โดยการปรับสภาพผักกระฉูดด้วย CaO ร้อยละ 7.5 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ 2,326.07 มิลลิลิตร และมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 1,577.54 มิลลิลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 67.82 เมื่อวิเคราะห์การผลิตก๊าซมีเทนเทียบกับน้ำหนักแห้งพบว่ามีค่าเท่ากับ 157.75±9.21 L CH_4/kg dry meter

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2552. โครงการกำจัดวัชพืชในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ปีงบประมาณ 2552-2553 [ออนไลน์]. สืบค้นจาก. http://irrigation.rid.go.th/rid15/km-center/Weed.pdf เมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2556.

ตำบลท่าหิน. 2556. [ออนไลน์]: สืบค้นจาก www.thumbon.com เมื่อวันที่ 10 กันยายน 2556.

นคร ทิพยาวงศ์. 2553. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล.กรุงเทพ ฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)

เพ็ญศิริ ประชากิตติกุล. 2551. ผลของอุณหภูมิและสารอาหารเสริมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต.กรุงเทพฯ,มหาวิทยาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2543. คู่มือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ,บริษัท แซน อี . 68 แลบ

วีระยุทธ ทองหนู. 2552.การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคหมักร่วมกับสาหร่ายหางกระรอกเพื่อใช้เป็นพลังงานเสริมในการอบลดความชื้นแผ่นยางพาราดิบ.วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต.กรุงเทพฯ,มหาวิทยาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศูนย์พัฒนาประมงพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2556. ผักกระเฉด (ผักกระฉูด) วัชพืชในลุ่มน้ำปากพนัง [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://www.fisheries.go.th/cf-pak_panang/index.php/2012-09-06-07-16-29 เมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2556.

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย . กรุงเทพฯ ,บริษัทจุดทอง.

Alastair, J. Phil, J. Peter, J. and David L. 2008. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource Technol. 99 : 7928–7940.

Angle, M.N., Ferrando, F., Farriol X. and Salvado, J. 2001. Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect to the pre-treatment severity and lignin addition.Biomass and bioenergy. 21:211-224.

Angelidaki I, M. Alves ,D. Bolzonella , L.Borzacconi, JL. Campos , AJ. Guwy , S. Kalyuzhnyi,P. Jenicek and JP. van Lier. 2009. Defining the biomethane potential BMP of solid organic wastes and energy crop: a proposed protocol for batch assay". Water Science Technology. 59:927-934.

APHA, AWWA, WPCF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, DC.

Azbar, N., Keskin, T. and Yuruyen, A. 2008. Enhancement of biogas production from olive mill effluent (OME) by co-digestion, Biomass and Bioenergy. 32 : 1195-1201.

Callaghan, F. S.,Wase, D. A. J., Thavanithy, K. and Forster, C. F. 2002. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure, Biomass and Bioenergy : 71 – 77.

Dence, C.W. and Lin, S.Y. 1992. The determination of lignin, In: Lin, S.Y., Dence, C.W. (Eds), Method in Lignin Chemistry: 33-61.

Esteghlalian, A., Hashimoto, A.G., Fenske, J.J. and Penner, M.H. 1997. Modeling and

optimization of the dilute-sulfuric-acid pretreatment of corn stover, poplar and switchgrass. Bioresource technology. 59:129-136.

Fezzani, B. and BenCheikh, R. (2008). Optimisation of the mesophilic anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a batch digester. Desalination. 228: 159 – 167.

Fezzani B. and R. BenCheikh (2007). " Anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a tubular digester at mesophilic temperature" Bioresource technology. 98: 769 – 774

Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Christopoulou, N. and Goumenaki, M. 2007. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by co-digestion with diluted poultry-manure. Appl Energ. 84 : 646-663.

Hniman A., S. O-Thong and P. Prasertsan. 2010. Developing a thermophilic hydrogen producing microbial consortia from geothermal spring for efficient utilization of xylose and glucose mixed substrates. Int. J. Hydrogen Energy (in press).

Keshwani, D.R. and Cheng, J.J. 2010. Microwave-based alkali pretreatment of switchgrass and coastal bermudagrass for bioethanol production. Bioethanol prog. 26(3):644-652.

Lee K.S. Lo Y.S. Lo Y.C. Lin P.J. Chang J.S. 2004. Operating strategies for biohydrogen production with high-rate anaerobic granular sludge bed bioreactor. Enzyme Micro. Technol. 35: 605–612.

Lettinga G. 1995. Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. Antonie van Leeuwenhoek. 67:3-28.

Lo K.V and P.H. Liao (1985). "High-rate anaerobic digestion of screened dairy manure". Journal of Agricultural Engineering Resources.349-358p

Macias-Corral, M., Samani, Z., Hanson, A., Smith, G., Funk, P., Yu, H. and Longworth, J. 2008. Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy com manure. Bioresource Technol. 99:8288-8293.

Mass D.I and Droste, R.L. 2000. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine England, pp. 374-375.

Molna, L. and Bartha, I. 1989. High solids anaerobic fermentation for biogas and compost production. Biomass. 16(3): 173-182.

Ranade, D.R., Teole, T.Y. and Godbole, S.H. 1987. Production of biogas from market waste. Biomass. 13:147-153.

Singhal V., and Rai, J.P.N. 2002. Biogas production from water hyacinth and channel grass used for hytoremediation of industrial effluents

Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarata, C., Sluiter, J. and Templeton, D. 2008. Laboratory analytical procedure (LAP): determination of extractives in biomass. Golden, CO., USA: National renewable energy laboratory. Report No.:NREL/TP-510-42619.

Wikipedia. Food waste. [online]. 2009. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Methane