

ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม
จากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้าง โดยใช้การหมักแบบกะ
Potential of Biogas Production from Industrial and Agricultural Organic Waste
in Khao Roop Chang Municipality By Using Batch Fermentation

นพดล โพยก่ำเหน็ด^{1*}, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์¹, นิชา ประสงค์จันทร์¹,
สมเกียรติ อินทรักษ์¹, สมพงศ์ โอทอง²
Noppadon Podkumnerd^{1*}, Somboon Prasongchan¹, Nicha Prasongchan¹,
Somkiat Intaruksa¹, Sompong O-Thong²

¹สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา

²ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

¹General Education Department, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Thailand

²Biology Department, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung Campus, Thailand

*Corresponding Author. Tel.: 08 6689 0920, Email: noppadon.p@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียจากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา โดยใช้การหมักแบบกะ โดยใช้ของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมจำนวน 6 แห่ง ได้แก่ ของเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง โรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากขนไก่ โรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากปลา โรงงานแปรรูปปลาหมึก โรงงานปลากระป๋อง และของเสียจากเกษตรกรรมจากการเลี้ยงสุกร พบว่าของเสียจากอุตสาหกรรมมีศักยภาพต่ำโดยให้ผลได้มีเทนเพียง 21.06-34.64 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งที่ระเหยง่าย โดยโรงงานแปรรูปปลาหมึกให้ค่าผลได้มีเทนสูงสุดคือ 34.64 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งที่ระเหยง่าย ให้อัตราการผลิตมีเทน 0.99 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งที่ระเหยง่ายต่อวัน และมีปริมาณมีเทนร้อยละ 48.20 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอีก 4 แห่ง ส่วนของเสียจากเกษตรกรรมคือของเสียจากการเลี้ยงสุกรมีศักยภาพแก๊สชีวภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพสูงกว่าของเสียจากแหล่งอุตสาหกรรม โดยให้ค่าผลได้มีเทน 48.09 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งที่ระเหยง่าย ให้อัตราการผลิตมีเทน 1.37 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งที่ระเหยง่ายต่อวัน และมีปริมาณมีเทนร้อยละ 62.41 และเมื่อทำการหมักร่วมระหว่างของเสียจากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรม พบว่าทำให้มีศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงขึ้นโดยให้ผลได้มีเทนเพิ่มขึ้นเป็น 41.59-57.38 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งที่ระเหยง่าย โดยการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาหมึกกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรให้ค่าผลได้มีเทนสูงสุดคือ

57.38 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งที่ระเหยง่าย ให้อัตราการผลิตมีเทน 1.91 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งที่ระเหยง่ายต่อวัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับการหมักร่วมระหว่างของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมอีก 4 ชุดทดลอง และการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมจะให้ปริมาณร้อยละมีเทนในแก๊สชีวภาพสูงขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 57.23-67.45

คำสำคัญ : แก๊สชีวภาพ ของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรม ของเสียอินทรีย์จากเกษตรกรรม

ABSTRACT

The objective of this research was to study the potential in biogas production from organic wastes in Khao Roop Chang municipality by using batch fermentation of 6 organic wastes obtained from industrial and agricultural sources. The industrial organic wastes (IOW) were frozen seafood processing plant (FS), fish meal plant which was chicken feather (FC), fish meal plant which was fish meal (FF), squid processing plant (SP), fish canning plant (FA) and one agricultural organic waste (AOW) was obtained from swine farm (SW). The results showed that the IOW had low potential in biogas production. The yield methane was 21.06-34.64 mL methane/g-VS. The maximum yield methane was obtained from SP which was 34.64 mL methane/g-VS with methane production rate of 0.99 mL methane/g-VS-day and the amount of methane was 48.2%. For AOW, the SW had higher potential in biogas production. The yield methane was 48.09 mL methane/g-VS with a methane production rate of 1.37 mL methane/g-VS-day and the amount of methane was 62.41%. When IOW was mixed with AOW, the potential of methane production increased. The yield methane was 41.59-57.38 mL methane/g-VS. The co-fermentation of SP+SW gave highest yield methane (57.38 mL methane/g-VS). The methane production rate was 1.91 mL methane/g-VS/day, which is significantly different at 95 % confidence interval with co-fermentation of FS+SW, FC+SW, FF+SW and FA+SW, respectively. The co-fermentation of organic waste from IOW and AOW increased the amount of methane in biogas in the range of 57.23-67.45%.

Keyword: Biogas Industrial, Organic Waste (IOW) Agricultural, Organic Waste (AOW)

1. บทนำ

เทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา เป็นพื้นที่แห่งหนึ่งของจังหวัดสงขลาที่มีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว มีแหล่งเกษตรกรรมสำคัญได้แก่ ฟาร์มสุกร และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง

มีโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ในพื้นที่ถึง 17 แห่ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมง เช่น โรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานปลาป่น เป็นต้น [1] ทั้งนี้โดยทั่วไปของเสียจากแหล่งอุตสาหกรรมอาหารจะมีปริมาณ

สารอินทรีย์เจือปนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะค่าซีโอดี (COD) จะมีค่าอยู่ในช่วง 2,000-4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร [2] ส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากแหล่งเกษตรกรรมได้แก่การเลี้ยงสัตว์จะมีสารอินทรีย์สูงโดยมีค่า COD มีค่าอยู่ในช่วง 17,000 -30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร [3] ซึ่งของเสียอินทรีย์ที่เกิดจากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเหล่านี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดการก่อนปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้แก๊สชีวภาพ (Biogas) เป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ สามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร และของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น [4,5] โดยแก๊สชีวภาพ เกิดจากการย่อยสลายของเสียอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะ ไร้อากาศ ซึ่งเทคโนโลยีนี้มีประโยชน์หลายประการ เช่น ลดความสกปรกของน้ำเสีย ลดกลิ่นและเชื้อโรค และผลิตเชื้อเพลิงทดแทนได้ [6,7] ทั้งนี้กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพนั้นจะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ใน 4 ขั้นตอน คือ 1) Hydrolysis เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็กลง เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น 2) Acidogenesis เกิดจากการย่อยสลายของโมเลกุลเล็กให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย 3) Acitogenesis เกิดจากการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นกรดอะซิติกและแก๊สไฮโดรเจน และ 4) Methanogenesis เกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ [8-10] โดยแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตมีเทนได้แก่ *Methanosarcina barkeri*, *Metanomonococcus mazei* และ *Methanotrix soehngenii* เป็นต้น [7] จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การนำของเสียอินทรีย์

จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ และให้ผลผลิตแก๊สชีวภาพได้เป็นอย่างดี เช่น Fountoulakis *et al.* [11] ที่ศึกษาการนำของเสียอินทรีย์จากกากตะกอนระบบผลิตแก๊สชีวภาพมาหมักร่วมกับของเสียกลีเซอรอลจากการผลิตไบโอดีเซล มาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ ซึ่งพบว่าเพิ่มผลผลิตแก๊สชีวภาพจาก 1,106 มิลลิลิตรมีเทนต่อวันเพิ่มขึ้นเป็น 2,353 มิลลิลิตรมีเทนต่อวัน และการศึกษาของ Luostarinen *et al.* [12] ซึ่งผลิตแก๊สชีวภาพจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียร่วมกับตะกอนไขมันจากโรงงานแปรรูปเนื้อพบว่าสามารถเพิ่มการผลิตมีเทนให้สูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา โดยการนำของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่เขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา มาวิเคราะห์องค์ประกอบ หลังจากนั้นนำมาศึกษาศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศทั้งในรูปแบบการหมักเดี่ยวและหมักร่วม ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ได้ข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำของเสียจากแหล่งต่าง ๆ ในพื้นที่ มาผลิตเป็นพลังงานทดแทนต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

ทำการเก็บตัวอย่างของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในพื้นที่ตำบลเขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา จำนวน 6 แห่ง โดยมี

รูปแบบการประกอบกิจการดังต่อไปนี้ แหล่ง
อุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานแปรรูปอาหารทะเล
แช่แข็ง (โรงงาน A) โรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบขนไก่
(โรงงาน B) โรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบปลา (โรงงาน
C) โรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน D) และโรงงาน
ปลากระป๋อง (โรงงาน E) แหล่งของเสียจาก
เกษตรกรรม ได้แก่ ของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน
F) ทำการเก็บน้ำเสียจากบ่อพักน้ำเสียของโรงงาน
แห่งนี้ 20 ลิตร นำมาเก็บรักษาสภาพไว้ในตู้ควบคุม
อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้วิเคราะห์
องค์ประกอบและศึกษาศักยภาพในการผลิต
แก๊สชีวภาพต่อไป

2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

นำของเสียมาวิเคราะห์องค์ประกอบ
ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter
(Inolab 720, WTW-Germany) ปริมาณของแข็ง
ทั้งหมด (Total solid, TS) ปริมาณของแข็ง
สารอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile solid, VS) กรดไขมัน
ระเหย (Volatile fatty acids, VFA) ค่าซีไอดี (COD)
เถ้า (Ash) ไขมัน (Oil) โปรตีน (Protein) และค่า
ความเป็นด่าง (Alkalinity) ตามวิธีการวิเคราะห์ของ
APHA, AWWA, WPCF [13]

2.3 การเตรียมกล้ำเชื้อสำหรับใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ

กล้ำเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้
เป็นกล้ำเชื้อจากระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากฟาร์มสุกร
ตำบลควนไส อำเภอกวนเนียง จังหวัดสงขลา มาปรับ
สภาพโดยการเติมน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และของเสีย
อินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมใน
เขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา ใน
อัตราส่วน 1:1 เพื่อให้เชื้อเกิดความคุ้นเคยจนกว่า

ปริมาณของแก๊สคงตัวก่อนที่จะนำไปใช้ในการ
ทดลอง

2.4 ศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม โดยการหมักภายใต้ภาวะไร้อากาศแบบกะ

ในการศึกษาศักยภาพในการผลิต
แก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่ง
อุตสาหกรรมและเกษตรกรรมทั้ง 6 แห่งนี้ โดยการ
วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete
Random design, CRD) จำนวน 2 ซ้ำ เริ่มจาก
ทำการปรับสภาพของเสียอินทรีย์ทั้ง 6 แห่ง ให้มี
ค่าของแข็งอินทรีย์ระเหยได้ (VS) เป็น 2 กรัมของแข็ง
ระเหย หลังจากนั้นนำมาเติมลงในในขวดน้ำเกลือ
ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 40 มิลลิลิตร และเติม
กล้ำเชื้อที่ได้ปรับสภาพแล้ว 160 มิลลิลิตร ทำการ
ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของชุดทดลองโดยใช้
โซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต ให้ค่าความเป็น
กรด-ด่าง เริ่มต้น 7.0 ปิดฝาให้สนิท หลังจากนั้นทำ
การหมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน
เพื่อศึกษาศักยภาพของของเสียอินทรีย์จาก
อุตสาหกรรมและเกษตรกรรมแต่ละชนิดในการนำมา
ผลิตแก๊สชีวภาพในระบบแบบกะ ตรวจวัดปริมาณ
แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ทุกวัน และนำแก๊สชีวภาพที่ได้
ไปวิเคราะห์ปริมาณแก๊สมีเทนด้วยเครื่องแก๊สโครมา-
โทกราฟี (Agilent GC 7890: USA) โดยใช้สภาวะ
ดังต่อไปนี้ แก๊สตัวพาฮีเลียม (He) อัตราการไหล 30
มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้คอลัมน์ชนิด Molesieve 5A
ความยาว 1 เมตร อุณหภูมิของ oven 50 องศา-
เซลเซียส อุณหภูมิของ Injector 150 องศาเซลเซียส
Detector ชนิด TCD อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
ทำวิเคราะห์จนกว่าระบบจะเข้าสู่ภาวะคงตัว คือไม่มี

แก๊สเกิดเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลได้มีเทน และอัตราการผลิตแก๊สมีเทนต่อวัน ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติสำเร็จรูปวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการทดสอบโดยวิธี One Way Anova และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่โดยใช้ Duncan's multiple range Test (DMRT)

2.5 ศึกษาศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรม โดยการหมักภายใต้สภาวะไร้อากาศแบบกะ

ในการศึกษาศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรม โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด จำนวน 2 ซ้ำ เริ่มจากการปรับสภาพของเสียอินทรีย์ทั้ง 6 แห่ง ให้มีค่าของแข็งอินทรีย์ระเหยได้ เป็น 2 กรัมของแข็งระเหย หลังจากนั้นนำของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมทั้ง 5 แห่ง มาเติมลงในในขวดน้ำเกลือขนาด 500 มิลลิลิตรในปริมาณ 20 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด และเติมของเสียอินทรีย์จากเกษตรกรรมลงไปใน 20 มิลลิลิตร เช่นเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ได้อัตราส่วนการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Tian, et al. [14] ซึ่งให้ผลผลิตมีเทนได้ดีที่สุด ต่อจากนั้นเติมกล้าเชื้อที่ได้ปรับสภาพแล้ว 160 มิลลิลิตร ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของชุดทดลองโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้น 7.0 ปิดฝาให้สนิททำการหมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน เพื่อศึกษาแนวโน้มการเพิ่มผลผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรมแต่ละชนิดในระบบแบบกะ ตรวจวัด

ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ทุกวัน และนำแก๊สชีวภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณแก๊สมีเทนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ทำวิเคราะห์จนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว คือไม่มีแก๊สเกิดเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลได้มีเทน และอัตราการผลิตแก๊สมีเทนต่อวัน ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมทางสถิติสำเร็จรูป วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการทดสอบโดยวิธี One way anova และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่โดยใช้ DMRT

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม จากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง พบว่าน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมทั้งหมดมีสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ โดยมีสารอินทรีย์ในรูป COD อยู่ในช่วง 1.9-4.48 กรัมต่อลิตร (g/L) (ตารางที่ 1) โดยโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน D) มีปริมาณสารอินทรีย์มากที่สุดคือ 4.48 กรัมต่อลิตร รองลงมาได้แก่ โรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน E) โรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) โรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากปลา (โรงงาน C) และโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากขนไก่ (โรงงาน B) โดยมีปริมาณสารอินทรีย์เท่ากับ 4.0 2.40 2.08 และ 1.92 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ การที่ค่า COD ในน้ำเสียจากแหล่งอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีปริมาณค่อนข้างต่ำอาจเกิดจากในโรงงานผลิตมีกระบวนการแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสียจึงส่งผลให้ค่า COD ที่ตรวจวัดมีปริมาณค่อนข้างต่ำ สอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS)

ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile solid, VS) และกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids, VFA) ที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณค่อนข้างต่ำเช่นเดียวกันจากการวิเคราะห์ปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่าของเสียทั้งจากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม มีค่าเป็นกรด-ด่าง เล็กน้อย โดยอยู่ในช่วง 5.70-7.70 ส่วนของเสียจากเกษตรกรรมซึ่งเป็นของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน F)

มีสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูป COD เท่ากับ 7.85 กรัมต่อลิตร เนื่องจากของเสียจากการเลี้ยงสุกรส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยมูลและปัสสาวะของสุกรจึงส่งผลให้มีสารอินทรีย์ในรูป COD ในของเสียค่อนข้างสูง สอดคล้องกับค่าของแข็งทั้งหมด (TS) ที่มีค่าถึง 19.50 กรัมต่อลิตร ทั้งนี้ของเสียจากแหล่ง เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพต่อไป

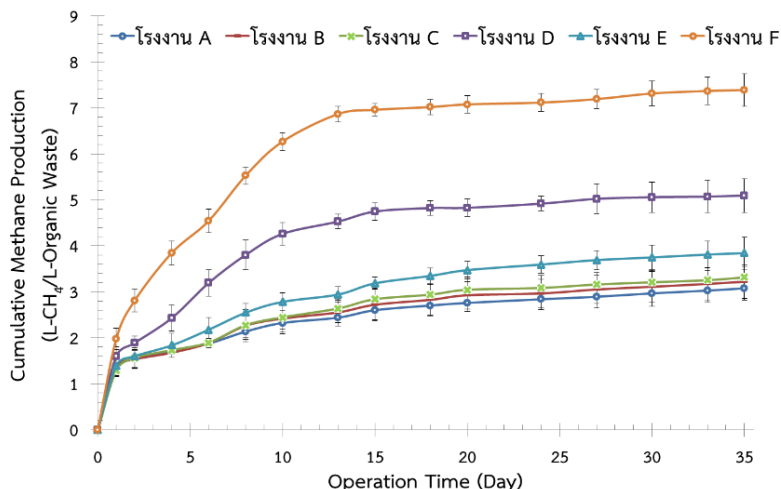
ตารางที่ 1 องค์ประกอบต่าง ๆ ในของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม จากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

พารามิเตอร์	ของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม					
	โรงงาน A	โรงงาน B	โรงงาน C	โรงงาน D	โรงงาน E	โรงงาน F
TS (g/L)	6.29±0.04	3.25±0.01	2.27±0.09	8.27±0.96	7.17±0.05	19.50±1.05
VS (g/L)	2.65±0.02	2.72±0.00	2.14±0.04	4.68±0.96	3.41±0.03	13.63±0.94
Alkalinity (g/L)	1.13±0.11	0.90±0.14	1.13±0.04	0.93±0.11	1.00±0.14	3.75±0.07
VFA (g/L)	0.90±0.07	0.70±0.07	0.53±0.11	0.90±0.07	0.88±0.11	1.70±0.07
COD (g/L)	2.40±0.23	1.92±0.00	2.08±0.23	4.48±0.45	4.00±1.13	7.85±0.21
Lipid (%)	5.92±0.12	1.23±0.39	1.21±0.41	9.64±0.20	7.86±0.19	1.37±0.20
Protein (%)	5.62±0.02	2.25±0.04	2.35±0.11	9.27±0.25	7.34±0.23	20.13±0.26
pH	6.37±0.00	7.68±0.00	6.25±0.00	6.52±0.00	6.22±0.00	5.73±0.00

3.2 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม โดยการหมักภายใต้ภาวะไร้อากาศแบบกะ

ผลการศึกษาแนวโน้มและศักยภาพจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม แต่ละชนิดในการนำมาผลิตแก๊สชีวภาพเป็นระยะเวลา 35 วัน (ข้อมูลดังภาพที่ 1) พบว่าของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรม คือของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน D) จะให้ผลผลิตมีเทนสะสมสูงที่สุดเท่ากับ 4.84 ลิตรมีเทนต่อลิตรของเสียอินทรีย์ (CH₄/L-Organic waste) รองลงมา

คือของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน E) ของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากปลา (โรงงาน C) ของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบขนไก่ (โรงงาน B) และของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสะสมเท่ากับ 3.64, 3.15, 2.96 และ 2.90 ลิตรมีเทนต่อลิตรของเสียอินทรีย์ ตามลำดับ ส่วนของเสียอินทรีย์จากแหล่งเกษตรกรรมคือ ของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน F) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสะสมมากกว่าของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรม โดยให้ผลผลิตมีเทนสะสมเท่ากับ 7.14 ลิตรมีเทนต่อลิตรของเสียอินทรีย์



ภาพที่ 1 ผลผลิตมีเทนสะสม (Cumulative methane production) จากการหมักของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ปริมาณผลได้มีเทน (ตารางที่ 2) พบว่าของเสียจากแหล่งเกษตรกรรมคือของเสียจากการเลี้ยงสุกรให้ผลได้มีเทนสูงที่สุดเท่ากับ 48.09 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย ($\text{ml-CH}_4/\text{g-VS}$) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมทั้ง 5 แห่ง ซึ่งของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน D) จะให้ปริมาณผลได้มีเทนสูงที่สุดเพียง 34.64 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอีก 4 แห่ง โดยของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน E) ของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) ของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากปลา (โรงงาน C) และของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากขนไก่ (โรงงาน B) จะให้ผลได้มีเทนเท่ากับ 26.32, 23.3, 21.82, และ 21.06 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอัตราการผลิตมีเทนต่อวัน พบว่าของเสียจาก

เกษตรกรรมได้แก่ ของเสียการเลี้ยงสุกร (โรงงาน F) มีอัตราการผลิตมีเทนสูงสุดคือ 1.37 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน ($\text{ml-CH}_4/\text{g-VS}/\text{day}$) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมทั้ง 5 แห่ง โดยของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน D) ให้อัตราการผลิตสูงสุดคือ 0.99 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน E) ของเสียจากโรงงานของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) ของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากปลา (โรงงาน C) และของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากขนไก่ (โรงงาน B) ซึ่งให้อัตราการผลิตมีเทนอยู่ในช่วง 0.75 0.67 0.62 และ 0.60 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวันตามลำดับจากผลการศึกษาก็จะเห็นได้ว่าของเสียจากแหล่งอุตสาหกรรมจากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้าง

ในการผลิตแก๊สชีวภาพค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุเนื่องมาจากองค์ประกอบของของเสียมีสารอินทรีย์ในรูป COD ค่อนข้างน้อย โดยอยู่ในช่วง 1.92-4.48 กรัมต่อลิตร (ข้อมูลดังตารางที่ 1) จึงส่งผลให้เมื่อนำไปผลิตเป็นแก๊สชีวภาพจึงได้ปริมาณน้อย และนอกจากนั้นพบว่าปริมาณมีเทนในแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ค่อนข้างต่ำ โดยมีเพียงร้อยละ 28.55-48.20 เท่านั้น (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

สุวรรณ และคณะ [15] ซึ่งศึกษาการผลิตมีเทนในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจากน้ำเสียอุตสาหกรรมเกษตร พบว่าน้ำเสียโรงงานได้กรอกปลาที่มีค่าซีโอดีต่ำเพียง 1.47 กรัมต่อลิตร และเมื่อนำไปผลิตมีเทนพบว่าได้ผลผลิตมีเทนสะสมเพียง 35 มิลลิลิตรเท่านั้น แตกต่างจากน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์มซึ่งมีค่าซีโอดี 66.70 กรัมต่อลิตร เมื่อนำไปผลิตมีเทนพบว่าให้ผลผลิตมีเทนสะสมสูงถึง 1,100 มิลลิลิตร

ตารางที่ 2 ผลผลิตมีเทนจากการหมักของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

แหล่งของเสีย	ผลได้มีเทน* (ml-CH ₄ /g-VS)	อัตราการผลิตมีเทน* (ml-CH ₄ /g-VS/day)	ปริมาณมีเทน* (%)
โรงงาน A	21.06±2.11 ^a	0.60±0.06 ^a	29.30±1.46 ^a
โรงงาน B	21.82±1.30 ^a	0.62±0.04 ^a	28.55±1.42 ^a
โรงงาน C	23.31±1.63 ^a	0.67±0.05 ^a	32.82±1.97 ^a
โรงงาน D	34.64±3.12 ^c	0.99±0.09 ^c	48.20±2.33 ^c
โรงงาน E	26.32±2.63 ^{ab}	0.75±0.08 ^{ab}	38.10±2.41 ^b
โรงงาน F	48.09±4.33 ^d	1.37±0.12 ^d	62.41±1.87 ^d

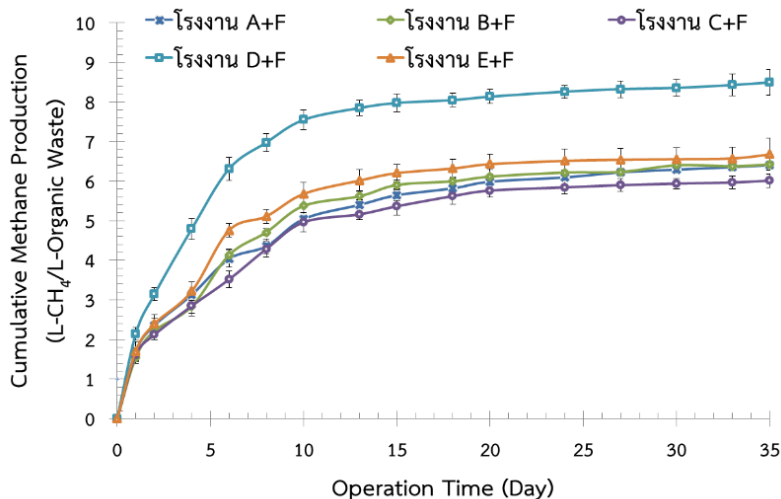
*ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามลำดับ

3.3 ผลการศึกษาแนวโน้มการเพิ่มผลผลิตโดยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมแบบกะ

จากการที่ของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้างมีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อได้ทำการนำของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมแต่ละแห่งมาศึกษาแนวโน้มในการเพิ่มผลผลิตมีเทนโดยการนำหมักร่วมของเสียอินทรีย์กับเกษตรกรรม (ภาพที่ 2) พบว่าการนำของเสียจากอุตสาหกรรมมาหมักร่วมกับของจากเกษตรกรรมนั้นสามารถทำให้ได้ผลผลิตมีเทนสูงขึ้น โดยของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมัก

กับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน D+F) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสะสมสูงสุดเท่ากับ 8.27 ลิตรมีเทนต่อลิตรของเสียอินทรีย์ รองลงมาคือของเสียจากโรงงานปลากระป๋องกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน E+F) ของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากขนไก่กับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน B+F) ของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน A+F) และของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากปลากับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน C+F) ซึ่งให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสะสมเท่ากับ 6.39, 6.39, 6.33 และ 5.90 ลิตรมีเทนต่อลิตรของเสียอินทรีย์ ตามลำดับ





ภาพที่ 2 ผลผลิตมีเทนสะสม (Cumulative methane production) จากการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

เมื่อพิจารณาปริมาณผลได้มีเทน (ตารางที่ 3) พบว่าการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากโรงงานแปรรูปปลาหมึกกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน D+F) จะให้ผลได้มีเทนสูงสุดเท่ากับ 57.38 มิลลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอีก 4 ชุดทดลอง ซึ่งพบว่าการหมักร่วมของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน A+F) การหมักร่วมของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากขนไก่กับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน B+F) การหมักร่วมของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากปลา กับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน C+F) และการหมักร่วมของเสียจากโรงงานปลากระป๋องผสมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน E+F) ให้ผลได้มีเทน 44.27, 44.79, 41.59 และ 44.57 มิลลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ

95 นอกจากนี้พบว่าการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมส่งผลให้ได้อัตราการผลิตมีเทนต่อวันสูงขึ้นทั้ง 5 ชุดทดลอง โดยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากโรงงานแปรรูปปลาหมึกกับของเสียจากการเลี้ยงสุกรมีอัตราการผลิตมีเทนสูงสุดคือ 1.91 มิลลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับการหมักร่วมของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน A+F) การหมักร่วมของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากขนไก่กับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน B+F) การหมักร่วมของเสียจากโรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากปลากับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน C+F) และการหมักร่วมของเสียจากโรงงานปลากระป๋องผสมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร (โรงงาน E+F) ที่ให้อัตราการผลิตมีเทนเป็น 1.48 1.49 1.39 และ 1.49 มิลลิตรมีเทน

ต่อกรัมของแข็งระเหยต่อวันตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการศึกษาก็จะเห็นได้ว่าของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมจากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้าง มีศักยภาพในการผลิตมีเทนค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากองค์ประกอบของของเสียมีสารอินทรีย์ต่ำ ดังนั้นการหมักร่วมเป็นวิธีอย่างหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตมีเทน โดยการหมักร่วมระหว่างของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรมส่งผลให้ในระบบมีสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากของเสียจากเกษตรกรรมที่เป็นของเสียจากการเลี้ยงสุกรมีปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง ทำให้ได้ผลผลิตมีเทนสูงขึ้นและได้ปริมาณร้อยละมีเทนในแก๊สชีวภาพสูงขึ้นด้วยซึ่งพิจารณาได้จากการหมักเดี่ยวซึ่งพบว่าของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง โรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากขนไก่ โรงงานปลาป่นที่ใช้วัตถุดิบจากปลาป่น โรงงานแปรรูปปลาหมึก และโรงงานปลากระป๋อง ให้ปริมาณมีเทนในแก๊สชีวภาพเพียงร้อยละ 29.30 28.55 32.82 48.20 และ 38.10 เท่านั้น (ตารางที่ 2) แต่เมื่อทำการหมัก

ร่วมกับของเสียจากการเลี้ยงสุกร ส่งผลให้ได้ปริมาณมีเทนในแก๊สชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 60.09, 58.12, 57.12, 67.45 และ 60.21 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tian, *et al.* [14] ซึ่งศึกษาการหมักร่วมของเสียจากครัวเรือนกับมูลสุกรที่อัตราส่วนแตกต่างกัน พบว่าการหมักร่วมในอัตราส่วน 1:1 มีอัตราการย่อยสลายและให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด นอกจากนั้นใช้เวลาในการย่อยสลายสั้นและประสิทธิภาพการย่อยสลายมีเสถียรภาพสูงสุด และงานวิจัยของ Panpong *et al.* [16] ที่ทำการศึกษาศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักร่วมน้ำเสียจากการผลิตอาหารทะเลกระป๋องกับของเสียกลีเซอรอลในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าให้ผลผลิตมีเทนสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการหมักน้ำเสียจากอาหารทะเลกระป๋องเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการหมักร่วมเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว เนื่องจากข้อดีของการหมักร่วมสามารถปรับสมดุลปริมาณสารอาหารในระบบดีขึ้น ส่งผลให้ได้ผลผลิตมีเทนสูงขึ้น [17]

ตารางที่ 3 ผลผลิตมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรม ในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

แหล่งของเสีย	ผลได้มีเทน* (ml-CH ₄ /g-VS)	อัตราการผลิตมีเทน* (ml-CH ₄ /g-VS/day)	ปริมาณมีเทน* (%)
โรงงาน A+F	44.27±3.98 ^a	1.48±0.13 ^a	60.09±2.41 ^{ab}
โรงงาน B+F	44.79±3.58 ^a	1.49±0.12 ^a	58.12±1.74 ^a
โรงงาน C+F	41.59±4.16 ^a	1.39±0.14 ^a	57.23±2.86 ^a
โรงงาน D+F	57.38±3.45 ^b	1.91±0.11 ^b	67.45±1.34 ^b
โรงงาน E+F	44.57±3.12 ^a	1.49±0.10 ^a	60.21±1.80 ^{ab}

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัย

จากการนำของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมจากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา ไปศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทน พบว่าให้ผลผลิตมีเทนสะสมอยู่ในช่วง 2.90-4.84 ลิตรมีเทนต่อลิตรของเสียอินทรีย์ให้ผลได้มีเทนเพียง 21.06-34.64 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย ทั้งนี้เนื่องจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมในพื้นที่มีปริมาณสารอินทรีย์ในรูป COD อยู่ในปริมาณค่อนข้างต่ำระหว่าง 1.92-4.48 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้กลุ่มแบคทีเรียที่ใช้อินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานเจริญเติบโตได้น้อยลง ส่งผลทำให้สามารถสร้างแก๊สชีวภาพได้น้อยลงเช่นกัน การนำของเสียอินทรีย์จากเกษตรกรรม ได้แก่ของเสียจากการเลี้ยงสุกรมาหมักร่วมกับของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตมีเทนจากแหล่งของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมให้สูงขึ้นได้ โดยทำให้ผลได้มีเทนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 66 ถึงร้อยละ 110 เมื่อเทียบกับการหมักเดี่ยว ซึ่งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการนำของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง ไปผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้แก๊สชีวภาพนั้นมีความเป็นไปได้ แต่จะต้องใช้การหมักร่วมระหว่างของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในพื้นที่ที่เหมาะสมกว่านี้ โดยจะต้องมีการศึกษาการเพิ่มสัดส่วนของของเสียให้มีปริมาณสูงขึ้น และทำการศึกษาคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการหมัก ซึ่งจะทำให้มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มขึ้นได้ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2558 เรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์จากน้ำทิ้งของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สภาพทั่วไปและข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของเทศบาลเมืองเขารูปช้าง. [อินเทอร์เน็ต]. สงขลา: เทศบาลเมืองเขารูปช้าง; 2562. [เข้าถึงเมื่อ 28 ธันวาคม 2562]. จาก<http://www.krc.go.th/content/info.pdf>.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ; 2546.
- [3] Hong CM. Studies on the quantity and quality of hog excrement. Journal of Biomass Energy Society of Taiwan. 1985; 4: 81-91.
- [4] Chen JL, Li XM, Li YD, et al. Production of hydrogen and nanocarbon from direct decomposition of undiluted methane on high-nickel Ni-Cu-alumina catalysts. Chem Lett. 2003; 32(5): 424-25.
- [5] Largus TA, Khursheed K, Muthanna HA, et al. Production of bioenergy and biochemicals from industrial and

- agricultural wastewater. Trends Biotechnol. 2004; 22(9): 477–85.
- [6] Holm-Nielsen JB, Al Seadi T, Oleskowicz-Popiel P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology. 2009; 100(22): 5478-84.
- [7] Weiland P. Biogas production: current state and perspectives. Appl Microbiol Biotechnol. 2010; 85: 849-60.
- [8] Angelidaki I, Ellegaard L, Ahring BK. A mathematical model for dynamic simulation of anaerobic digestion of complex substrates: focusing on ammonia inhibition. Biotechnol Bioeng. 1993; 42:159–66.
- [9] Bagi Z, Acs N, Balint B, et al. Biotechnological intensification of biogas production. Appl Microbiol Biotechnol. 2007; 76(2): 473–82.
- [10] Chandra R, Vijay VK, Subbarao PMV, et al. Production of methane from anaerobic digestion of jatropha and pongamia oil cakes. Applied Energy. 2012; 93: 148–59.
- [11] Fountoulakis MS, Petousi I, Manios T. Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production. Waste Management. 2010; 30(10): 1849-53.
- [12] Luostarinen S, Luste S, Sillanp M. Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant. Bioresource Technology. 2009; 100(1): 79-85.
- [13] APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington DC. 1998.
- [14] Tian H, Duan N, Lin C, et al. Anaerobic Co-digestion of Kitchen Waste and Pig Manure with Different Mixing Ratios. J Biosci Bioeng. 2015; 120(1): 51-7.
- [15] สวรรค์ ธิติสุทธิ, กาญจน์ภา ครองธรรมชาติ, สมชาย ดารารัตน์. ความสามารถจำเพาะในการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์แบบเม็ดในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจากน้ำเสียกลุ่มอุตสาหกรรมการเกษตร. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2550; 12(2): 46-54.
- [16] Panpong K, Srisuwan G, O-Thong S, et al. Anaerobic co-digestion of canned seafood wastewater with glycerol waste for enhanced biogas production. Energy Procedia. 2014; 52: 328-336.
- [17] Koupaie EH, Leiva MB, Eskicioglu C, et al. Mesophilic batch anaerobic co-digestion of fruit-juice industrial waste and municipal waste sludge : Process and cost-benefit analysis. Bioresource Technology. 2014; 152(1): 66-7