



## รายงานการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์  
โดยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมใน  
เขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

**Potential for Centralized Biogas Production by Co-Digestion of  
Industrial and Agricultural Organic Wastes  
in Khao-Roop-Chang City Songkhla Province**

นพดล	โพชกำเนิด	Noppodon	Podkumnerd
สมบูรณ์	ประสงค์จันทร์	Somboon	Prasongchan
ณิชา	ประสงค์จันทร์	Nicha	Prasongchan
สมเกียรติ	อินทรักษ์	Somkiat	Intraraksa
สมพงษ์	โอทอง	Sompong	O-Thong

คณะศิลปศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๘

## การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์ โดยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

นพดล โฆษก่าเหน็ด<sup>1</sup> สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์<sup>1</sup> ฉนิษา ประสงค์จันทร์<sup>1</sup> สมเกียรติ อินทร์ชัย<sup>1</sup>  
และ สมพงศ์ โอทอง<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

จากการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม โดยประกอบด้วย ของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A และ B) ของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) (โรงงาน C) ของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) (โรงงาน D) ของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) ของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) และของเสียจากการเกษตรจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) พบว่า องค์ประกอบของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่มีค่าที่สูงที่สุด ได้แก่ น้ำเสียจากการโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) มีค่า COD เท่ากับ 4,160 mg/L ค่า TS และ VS เท่ากับ 8,720 และ 4,680 mg/L ตามลำดับ ค่า Alkalinity เท่ากับ 1,000 mgCaCO<sub>3</sub>/L ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เท่ากับ 950 mg/L และค่า pH เท่ากับ 6.53 ตามลำดับ และส่วนน้ำเสียจากการเกษตร ฟาร์มสุกร (โรงงาน G) พบว่า ค่า COD เท่ากับ 8,000 mg/L มีค่า TS และ VS เท่ากับ 19,500 และ 13,630 mg/L ตามลำดับ ค่า Alkalinity เท่ากับ 3,800 mgCaCO<sub>3</sub>/L ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เท่ากับ 1,100 mg/L และค่า pH เท่ากับ 5.70 ซึ่งแสดงว่า ในน้ำทิ้งมีของแข็งปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูงและมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สูง สักยภาพของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในการนำมาผลิตมีเทน พบว่า ของเสียอินทรีย์จากการเกษตร คือ ของเสียจากโรงงาน (G) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 4744.29 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ผลได้มีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 94.89 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรม คือ ของเสียจากโรงงาน (E) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 3433.07 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ผลได้มีเทน เท่ากับ 68.66 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS และในการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม พบว่า การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงาน (E) กับของเสียจากโรงงาน (G) ที่อัตราส่วน 60 : 40 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 12060.00 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ผลได้มีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 241.20 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS การทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง โดยใช้ระยะเวลาเก็บ (HRT) เป็นเวลา 10 วัน และการบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 2 g VS/l/d จะเห็นได้ว่า ของเสีย

อินทรีย์จากการเกษตร คือ ของเสียจากโรงงาน (P) และของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรม คือ ของเสียจากโรงงาน (E) จะให้ปริมาณอัตราการผลิตมีเทนสูงสุด ได้แก่ อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20 และ 30 เท่ากับ 688.80, 836.10, 55.80 และ 244.20, 178.20, 228.00 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ตามลำดับ ผลได้มีเทนสูงสุด เท่ากับ 344.40, 418.05, 276.90 และ 122.10, 89.10, 114.00 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ และการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงาน (E) กับของเสียจากโรงงาน (G) ที่อัตราส่วน 60 : 40 ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุด อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20 และ 30 เท่ากับ 647.26, 658.48 และ 507.74 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ตามลำดับ และผลได้มีเทนสูงสุด เท่ากับ 323.63, 329.24 และ 253.87 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** ของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม มีเทน ก๊าซชีวภาพ



<sup>1</sup> คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา

<sup>2</sup> คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง

## Potential for Centralized Biogas Production by Co-Digestion of Industrial and Agricultural Organic Wastes in Khao-Roop–Chang City Songkhla Province

Noppodon Podkummerd<sup>1</sup> Somboon Prasongchan<sup>1</sup> Nicha Prasongchan<sup>1</sup>  
Somkiat Intraraksa<sup>1</sup> and Sompong O-Thong<sup>2</sup>

### Abstract

Biogas production from industrial organic waste and agricultural waste include frozen seafood processing waste (Plant A and B), chicken feather waste from fish meal plant (Plant C), fish meal waste (Plant D), squid processing waste (Plant E), fish canning waste (Plant F) and agricultural waste from swine farm (Plant G). The results show that, squid processing waste (Plant E) has high composition than other industrial waste with COD, TS, VS, VFA concentration and alkalinity of 4,160 mg/L, 8,720 mg/L, 4,680 mg/L, 950 mg/L and 1,000 mgCaCO<sub>3</sub>/L, respectively. Agricultural waste was found that the swine wastewater has COD, TS, VS, VFA concentration and alkalinity of 8,000 mg/L, 19,500 mg/L, 13,630 mg/L, 1,100 mg/L and 3,800 mgCaCO<sub>3</sub>/L, respectively. Swine wastewater was acidic (pH 5.70) while squid processing wastewater has alkaline property (pH 6.53). The results indicated that the swine wastewater contain high concentration of total solid and organic matter. Biomethane potential of industrial wastes and agricultural waste was analyzed. It was found that the agricultural waste from swine farm (Plant G) has a highest potential to produce biogas of 4,744.29 mL-CH<sub>4</sub>/L with methane yield of 94.89 ml-CH<sub>4</sub>/gVS. Squid processing wastewater (Plant E) has a potential to produce biogas of 3,433.07 mL-CH<sub>4</sub>/L with methane yield of 68.66 ml-CH<sub>4</sub>/gVS. Co-digestion of industrial and agricultural waste was found that co-digestion of squid processing wastewater (Plant E) and swine wastewater (Plant G) at mixing ratio of 60:40 gave the best biomethane potential of 12,060.00 mL-CH<sub>4</sub>/L-waste with methane yield of 241.20 ml-CH<sub>4</sub>/gVS. Continuous biogas production from squid processing wastewater (Plant E) and swine wastewater (Plant G) at days of 10, 20 and 30 gave the maximum methane production of 688.80, 836.10, 55.80 and 244.20, 178.20, 228.00 ml-CH<sub>4</sub>/L/d, respectively with methane yield of 344.40, 418.05, 276.90 and 122.10, 89.10, 114.00 ml-CH<sub>4</sub>/gVS, respectively at HRT of 10 days and OLR of 2 gVS/L/d. Continuous biogas production from co-digestion of squid processing wastewater (Plant E) and

swine wastewater (Plant G) at mixing ration of 60:40 at day of 10, 20 and 30 gave the maximum methane production of 647.26, 658.48 and 507.74 ml-CH<sub>4</sub>/L/d, respectively with corresponding to methane yield of 323.63, 329.24 and 253.87 ml-CH<sub>4</sub>/gVS, respectively.

**Keywords:** Industrial organic waste and agricultural waste, Co-digestion, Biogas



---

<sup>1</sup> Faculty of Liberal Arts. Rajamangala University of Technology Srivijaya, Mueang, Songkhla.

<sup>2</sup> Faculty of Science Thaksin University Phattalung Campus, Bhapayom Phattalung.

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่ได้ให้การสนับสนุนมอบทุนอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๘ ขอขอบคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัย สงขลา ที่มีส่วนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นพดล โปษกำเหนิด  
สมบุรณ์ ประสงค์จันทร์  
ณิชา ประสงค์จันทร์  
สมเกียรติ อินทร์ักษ์  
สมพงษ์ โอทอง  
กรกฎาคม ๒๕๕๘



## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง	16
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	41
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	46



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง .....	18
2 แสดงองค์ประกอบของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง .....	24
3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ .....	51
4 การวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมดและของแข็งที่ระเหยง่ายจากของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม .....	52
5 การวิเคราะห์ไขมันจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม .....	53
6 การวิเคราะห์ไนโตรเจนจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม .....	53
7 การวิเคราะห์ไนโตรเจนและโปรตีนจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม .....	54
8 การวิเคราะห์สภาพต่างจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม .....	54
9 การวิเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยง่ายจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม .....	55
10 การวิเคราะห์ซีไอดีจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม .....	55



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	11
2	17
3	19
4	20
5	25
6	26
7	27
8	27
9	29
10	29
11	30
12	35

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
13 แสดงผลผลิตมีเทน (ml-CH <sub>4</sub> /L-Waste) การหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนต่างๆ โดยแปรผันอัตราส่วนร้อยละ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 .....	36
14 แสดงผลได้มีเทน (ml-CH <sub>4</sub> /g-VS) จากการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนต่างๆ โดยแปรผันอัตราส่วนร้อยละ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 .....	36
15 แสดงผลผลิต (ml) มีเทนด้วยการหมักของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง .....	38
16 แสดงผลผลิตมีเทน (ml) ด้วยการหมักของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง วันที่ 10, 20 และ 30 .....	39
17 แสดงผลได้มีเทน (ml-CH <sub>4</sub> /g-VS) ด้วยการหมักของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง .....	39
18 แสดงผลผลิตมีเทน (ml) และผลได้มีเทน (ml-CH <sub>4</sub> /g-VS) ด้วยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง .....	40
19 แสดงผลผลิตมีเทน (ml) และผลได้มีเทน (ml-CH <sub>4</sub> /g-VS) ด้วยการหมักของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง วันที่ 10, 20 และ 30 .....	41
20 กราฟมาตรฐานสารละลายน้ำตาลกลูโคสสำหรับวิธี Anthron .....	52
21 การเตรียมกล้าเชื้อมูลสุกร .....	57
22 การหมักเดี่ยวและการหมักร่วมจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม .....	57
23 การวิเคราะห์ไนโตรเจนและไขมัน .....	57
24 ตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์ไขมัน .....	58
25 การวิเคราะห์ TS, VS .....	58

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

วิกฤตการณ์พลังงานเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องแก้ไขและหามาตรการป้องกันเนื่องจากประเทศไทย มีทรัพยากรพลังงาน เช่น น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติน้อย จึงจำเป็นต้องพึ่งพาประเทศอื่นๆ ที่สามารถส่งออกพลังงานมาจำหน่ายได้ ส่งผลให้ขาดความมั่นคงทางด้านพลังงาน ก๊าซชีวภาพเป็นเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนที่มีความคุ้มค่าทางด้านสังคมและเศรษฐกิจ เทคโนโลยีนี้ช่วยลดความสกปรกของน้ำเสียที่จะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ลดกลิ่นเพื่อลดความขัดแย้งกับชุมชน ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและได้พลังงานก๊าซชีวภาพทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิล การประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพกับน้ำเสียหรือวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างไรก็ตามการนำระบบก๊าซชีวภาพมาใช้กับน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ไม่ค่อยประสบความสำเร็จ มีปัญหาในการดำเนินการหลายประการ เช่น การเกิดโฟม ความไม่มีเสถียรภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ เกิดสถานะไม่สมดุลในถังปฏิกรณ์ได้ง่ายและทำให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพลดลง และมีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนน้อยระหว่าง 45 ถึง 55% ส่งผลให้การนำก๊าซไปใช้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และส่งผลกระทบต่อสารเสื่อมสภาพของเครื่องยนต์อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ความไม่มีเสถียรของระบบทำให้มีผลผลิตก๊าซชีวภาพไม่สม่ำเสมอและต้องเริ่มต้นเดินระบบใหม่อยู่บ่อยครั้ง การเริ่มต้นระบบในแต่ละครั้งมีค่าใช้จ่ายสูง โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพเนื่องจากกฎหมายกำหนด แต่การดำเนินการของระบบไม่เสถียร มีประสิทธิภาพในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยเนื่องจากใช้ของเสียจากโรงงานเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีองค์ประกอบไม่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างเช่น น้ำทิ้งโรงงานแปรรูปอาหารทะเลมีค่าความเป็นด่างต่ำมากส่งผลให้ระบบไม่เสถียร ส่วนโรงงานน้ำยางชั้นมีสารอินทรีย์ในน้ำเสียน้อยและมีสารพิษสูง อย่างเช่น แอมโมเนีย ซัลเฟต จึงไม่ค่อยประสบผลสำเร็จในการผลิตก๊าซชีวภาพ ภาคเกษตรกรรมในภาคใต้ส่วนใหญ่เป็นฟาร์มขนาดเล็กและขนาดกลาง และไม่มียุทธศาสตร์และระบบบำบัดและระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้เกิดการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม และเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียงตามมา การผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์กลางโดยการหมักร่วมของเสียจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมสามารถแก้ปัญหานี้ได้ทั้งในทางผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์และสังคม ทำให้ภาคเกษตรมีสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้น มีรายได้มากขึ้น ลดภาระการดูแลระบบก๊าซชีวภาพด้วยเกษตรกรเอง

และโรงงานมีระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เสถียร และมีผลผลิตก๊าซสูงเนื่องจากการหมักร่วมทำให้ของเสียมีองค์ที่เหมาะสมมากขึ้น การหมักร่วมมีความสำคัญในการช่วยเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่ตัวย่อยร่วมจะเป็นมูลสัตว์และวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เพราะเป็นการเพิ่มแหล่งสารอาหารให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังอาจเป็นแหล่งช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ ดังนั้นการใช้วัสดุเศษเหลือที่เป็นแหล่งของสารอินทรีย์เพื่อเป็นตัวย่อยร่วมกับน้ำเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และเป็นการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนั้นการทดลองนี้จึงศึกษาแนวทางการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์กลางด้วยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและของเสียอินทรีย์จากเกษตรกรรมจากแหล่งต่างๆ ในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา เพื่อให้ได้พลังงานทดแทน ได้แก๊มีเทน และยังช่วยลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมอันจะเกิดการทิ้งของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อสำรวจแหล่งกำเนิดของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมพร้อมพิกัดทางภูมิศาสตร์ ในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา
2. เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตก๊าซชีวภาพและการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา
3. เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์ในระบบต่อเนื่องและให้ระบบมีความเสถียรในการผลิตก๊าซในระยะยาว ได้ข้อมูลคุณภาพของระบบผลิต
4. เพื่อประเมินที่ตั้ง โรงงานผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์จากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา ด้วยข้อมูลทางภูมิศาสตร์ สารสนเทศ ผลผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาณของเสีย การขนส่ง และ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ และนำองค์ความรู้ไปพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์ โดยมีขอบเขตการดำเนินงาน ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของของเสียอินทรีย์ ได้แก่ ชนิดของของเสีย ปริมาณ และพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแหล่งของเสียอินทรีย์อุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

2. ศึกษาองค์ความรู้ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์ โดยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เพื่อให้ได้สูตรการหมักร่วมสำหรับของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงและเสถียร

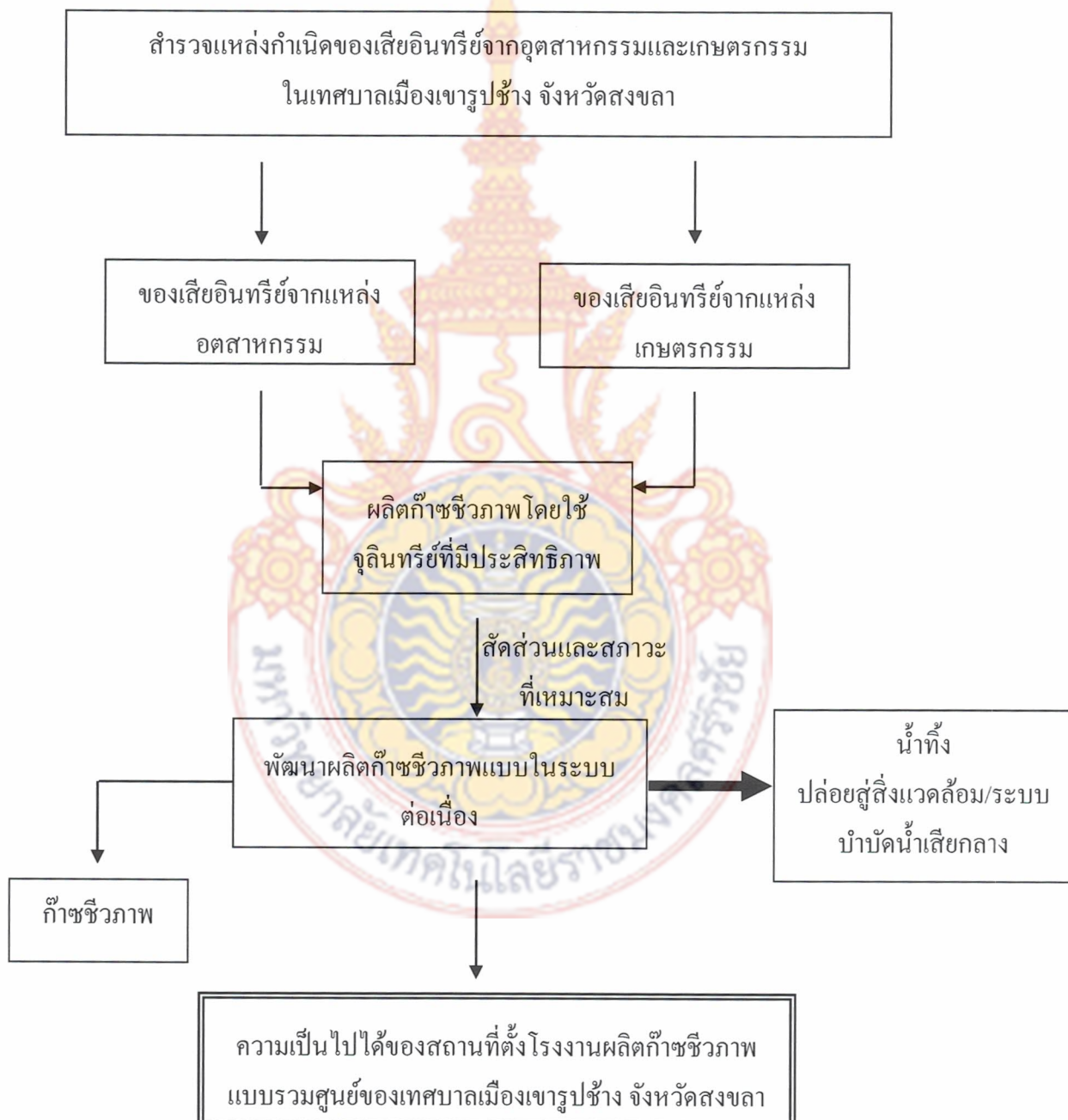
3. ศึกษาการพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์ในระบบต่อเนื่องและให้ระบบมีความเสถียรในการผลิตก๊าซในระยะยาว ได้ข้อมูลคุณภาพของระบบผลิต

4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการตั้งโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์จากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา ด้วยข้อมูลทางภูมิศาสตร์สารสนเทศ ผลผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาณของเสีย การขนส่ง และ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



#### 1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ของเสียอินทรีย์จากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมทางการเกษตร มีองค์ประกอบหลักเป็น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แป้ง น้ำตาล และ เซลลูโลส กรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งจุลินทรีย์แบบไร้อากาศที่มีความสามารถในการผลิตมีเทน สามารถนำไปใช้เป็นสับสเตรทในการผลิตมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

เทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา มีสภาพทางกายภาพเป็นพื้นที่เชิงเขา ด้านตะวันตกตอนล่าง เป็นพื้นที่ราบ ด้านตะวันออกติดกับฝั่งอ่าวไทย ทิศเหนือ จดเทศบาลนครสงขลา ทิศใต้ จดองค์การบริหารส่วนตำบลเกาะแก้ว และองค์การบริหารส่วนตำบลพะวง ทิศตะวันออก จดอ่าวไทย และทิศตะวันตก จดทะเลสาบสงขลา โดยพื้นที่เทศบาลเมืองเขารูปช้าง เป็นพื้นที่ที่มีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว มีพื้นที่เกษตรกรรม 20% และมีโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรมากขึ้นตามผลผลิตทางการเกษตรและประมง เช่น โรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานปลาป่น โรงงานน้ำยางข้น เป็นต้น (เทศบาลเมืองเขารูปช้าง, 2556) โรงงานเหล่านี้มีของเสียอินทรีย์จำนวนมาก และโรงงานก็ติดตั้งระบบบำบัดตามกฎหมาย แต่การดำเนินการของระบบไม่มีประสิทธิภาพ และต้องการผู้เชี่ยวชาญในการดูแลระบบ มีปัญหาในการดำเนินการหลายประการ เช่น การเกิดโฟม ความไม่มีเสถียรภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ การเกิดสภาวะไม่สมดุลในถังปฏิกรณ์ได้ง่ายจนทำให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพลดลง และมีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนน้อยระหว่าง 45 ถึง 55% ส่งผลให้ก๊าซเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และส่งผลกระทบต่อสารเสื่อมสภาพของเครื่องยนต์อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ความไม่เสถียรของระบบทำให้มีผลผลิตก๊าซชีวภาพไม่สม่ำเสมอและต้องเริ่มต้นเดินระบบใหม่อยู่บ่อยครั้ง การเริ่มต้นระบบในแต่ละครั้งมีค่าใช้จ่ายสูง โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพเนื่องจากกฎหมายกำหนด แต่การดำเนินการของระบบไม่เสถียร ทำให้เกิดการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยเนื่องจากใช้ของเสียจากโรงงานเพียงอย่างเดียว ซึ่งบางครั้งของเสียมีองค์ประกอบไม่เหมาะต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ตัวอย่างเช่น น้ำทิ้งโรงงานผลิตอาหารทะเลมีค่าความเป็นด่างต่ำมาก ส่งผลให้ระบบไม่เสถียร ส่วนโรงงานน้ำยางข้นมีสารอินทรีย์ในน้ำเสียน้อยและมีสารพิษสูง เช่น แอมโมเนีย ซัลเฟต จึงไม่ค่อยประสบผลสำเร็จในการผลิตก๊าซชีวภาพ ภาคเกษตรกรรมการเลี้ยงสัตว์ในภาคใต้ส่วนใหญ่เป็นฟาร์มขนาดเล็กและขนาดกลาง และไม่มีระบบบำบัดและระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้เกิดการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม และเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียงตามมา การผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์กลางโดยการหมักร่วมของเสียจากเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม สามารถแก้ปัญหานี้ได้ทั้งในทางผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์และสังคม ทำให้ภาค

เกษตรมีสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้น มีรายได้มากขึ้น ลดภาระการดูแลระบบการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยผู้ประกอบการเอง และในขณะเดียวกัน โรงงานการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์กลางก็จะมีระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เสถียร และสามารถผลิตก๊าซได้ปริมาณสูงขึ้น เนื่องจากการหมักร่วมทำให้ของเสียมีองค์ที่เหมะสมมากขึ้น การหมักร่วมมีความสำคัญในการช่วยเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่ด้วยย่อยร่วมจะเป็นมูลสัตว์และวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เพราะเป็นการเพิ่มแหล่งสารอาหารให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งช่วยเพิ่มเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นการใช้วัสดุเศษเหลือที่เป็นแหล่งของสารอินทรีย์เพื่อเป็นตัวย่อยร่วมกับน้ำเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพและปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ การทดลองนี้จึงศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพแบบรวมศูนย์กลางด้วยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม โดยการเก็บข้อมูลด้านปริมาณ และองค์ประกอบของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา พร้อมบันทึกตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานด้วยเครื่องระบุตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ (Global Positioning System, GPS) ศึกษาแนวโน้มของเสียอินทรีย์แต่ละชนิดและการหมักร่วมกับของเสียอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ในการนำมาผลิตก๊าซมีเทน วิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดจุดพื้นที่ที่เหมะสมในการตั้งโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพแบบหมักร่วมของเสียอินทรีย์ โดยใช้เกณฑ์ปริมาณของเสียอินทรีย์ ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (ระยะทาง) ผลผลิตก๊าซชีวภาพเทียบต่อหน่วยของแข็งอินทรีย์ระเหย (Volatile solid, VS) นำข้อมูลการหมักร่วมของเสียอินทรีย์มาทดลองผลิตแบบต่อเนื่องในระบบผลิตแบบ Continuous stirred-tank reactor (CSTR)

ก๊าซชีวภาพเป็นเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนที่มีความคุ้มค่าทางด้านสังคมและเศรษฐกิจ เทคโนโลยีนี้ช่วยลดความสกปรกของน้ำเสียที่จะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ลดกลิ่นเพื่อลดความขัดแย้งกับชุมชน ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และได้พลังงานก๊าซชีวภาพทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิล นอกจากนี้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดยังสามารถใช้เป็นปุ๋ยน้ำเพื่อใช้รดพืชผลทางการเกษตร ได้อีกด้วย เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการจัดการของเสียเพื่อให้โรงงานอยู่ร่วมกับสังคมไทยได้อย่างยั่งยืน จึงเป็นวิธีที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและพลังงาน ลดการกีดกันทางการค้ากับต่างประเทศ เพิ่มการส่งออกและช่วยสนับสนุนอุตสาหกรรมเกษตรของประเทศ การประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพกับน้ำเสียหรือวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าทางการเกษตร แต่การดำเนินการมักจะไม่ค่อยประสบความสำเร็จเนื่องจากของเสียมีองค์ประกอบไม่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างยั่งยืน

การบำบัดและใช้ประโยชน์จากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร วิธีการหนึ่งที่น่านิยมใช้คือเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดโดยการย่อยสลายขององค์ประกอบสารอินทรีย์



ด้วยกระบวนการหมักทางชีวภาพ จัดเป็นวิธีที่เหมาะสมในปัจจุบัน โดยเฉพาะการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ที่มีศักยภาพสูงในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการเติมอากาศให้กับระบบเหมือนกับระบบแบบใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพที่มีองค์ประกอบมีเทนในปริมาณสูง สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานหมุนเวียนได้ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายและเกิดความคุ้มค่าในการลงทุนในการบำบัดน้ำเสีย ในปัจจุบันระบบบำบัดที่มีการใช้งานอยู่ส่วนใหญ่ยังคงเป็นระบบบำบัดพื้นฐาน แบบบ่อไร้ออกซิเจน (open pond) ซึ่งจำเป็นต้องใช้พื้นที่เป็นจำนวนมากในการก่อสร้างระบบ และมักประสบปัญหาในเรื่องกลิ่นเหม็นรบกวนต่อชุมชนข้างเคียง ถึงแม้ว่าได้มีการริเริ่มนำระบบบำบัดแบบ Anaerobic contact (CSTR + sedimentation tank) ระบบบำบัดแบบ upflow anaerobic sludge blanket (UASB) และระบบบำบัดแบบ fixed-bed reactor (AF/AFF) (Yacob *et al.*, 2006; Najafpour *et al.*, 2006) เป็นต้น มาใช้แต่อย่างไรก็ตามการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรยังไม่ประสบความสำเร็จในระดับระบบผลิตจริง มีความไม่เสถียร และไม่สามารถดำเนินระบบเป็นเวลานานได้

จากการศึกษาของ Macias-Corral *et al* (2008) พบว่า การหมักมูลวัวอย่างเดียวยังสามารถผลิตมีเทนได้ 62 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก และการหมักของแข็งจากกากของเสียเทศบาลอย่างเดียวยังสามารถผลิตมีเทนได้ 37 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก แต่การหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับของแข็งจากกากของเสียเทศบาลสามารถผลิตมีเทนได้ 172 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก และการหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับของเสียจากต้นฝ้ายสามารถผลิตมีเทนได้ 87 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก ดังนั้นจะเห็นว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ร่วมกับวัสดุหมักอื่น สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้นจากการใช้มูลสัตว์เพียงอย่างเดียว

Azbar *et al* (2008) ศึกษาการเพิ่มขึ้นของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการสกัดน้ำมันมะกอก โดยวิธีการย่อยสลายร่วมกัน กล่าวคือ จากการสกัดน้ำมันมะกอกออกจะเกิดวัสดุเศษเหลือ เช่น น้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอก , กากตะกอนมะกอก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการทดลองนี้ใช้หางนมชีส และใช้ ฟาง ในการเพิ่มก๊าซชีวภาพ โดยผลผลิตก๊าซชีวภาพจะวิเคราะห์ทั้งในน้ำมันมะกอกที่สกัดได้เพียงอย่างเดียวและจากการผสมโดยแปรผันสัดส่วนของ หางนมชีส และฟาง โดยที่ปริมาณก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับการผสมอย่างหลากหลายของสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายร่วมกันของน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกกับฟาง ถ้าทำการย่อยสลายโดยใช้น้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกเพียงอย่างเดียวจะได้ก๊าซชีวภาพที่ต่ำมาก แต่ถ้าใช้การย่อยสลายร่วมกันของน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกกับฟางจะเพิ่มก๊าซชีวภาพได้ถึง 90% ก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเพียง 22% เมื่อใช้หางนมชีสในการย่อยสลายเช่นเดียวกัน ซึ่งในการ

ทดลองที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดคือใช้ปริมาณน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอก 20% ต่อ หางนมชีส 80% ซึ่งมีค่า COD เฉลี่ย 3 mg/L โดยจะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพคือ  $573 \pm 0.8$  ml และ ใช้ปริมาณ น้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอก 50% ต่อหางนมชีส 50% ซึ่งมีค่า COD เฉลี่ย 3 mg/L โดยจะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ คือ  $446 \pm 4.7$  ml

Fezzani and BenCheikh (2008) ศึกษาการย่อยสลายร่วมกันระหว่างน้ำเสียร่วมกับวัสดุ เศษเหลือซึ่งใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน จากกระบวนการสกัดน้ำมันมะกอกโดยทดลองในห้องปฏิบัติการ ทำการหมักแบบกะ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีการป้อนน้ำเสียจาก โรงงานผลิตน้ำมันมะกอกเป็นสารตั้งต้นหลัก และของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงาน เป็น co-substrate ที่ปริมาณแตกต่างกันคือ 28, 56, 112 และ 150 กรัมของแข็งทั้งหมด/ลิตรน้ำเสีย ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราที่เหมาะสมของของเสียที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้เป็น co-substrate คือ 56 กรัมของแข็งทั้งหมด/ลิตรน้ำเสีย สามารถเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ จาก  $11.17 \pm 2.5$  ลิตร/ลิตรน้ำเสีย เป็น  $30.5 \pm 2.5$  ลิตร/ลิตรน้ำเสีย และประสิทธิภาพการกำจัด COD จากร้อยละ 44.5  $\pm$  3 เป็น 83.4  $\pm$  2 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการลดเวลาเริ่มต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพในสภาวะคงที่จาก  $65 \pm 25$  วัน เป็น  $28 \pm 15$  วัน

Fezzani and BenCheikh (2007) ศึกษาการย่อยร่วมกันแบบไม่ใช้อากาศเป็น กระบวนการที่ดีสำหรับการบำบัดของเสียอินทรีย์ ทั้งของแข็งและของเหลว ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการการย่อยร่วมกันแบบไม่ใช้อากาศ ระหว่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกกับ ของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่ปฏิบัติที่อุณหภูมิปานกลาง แต่การย่อยมีการป้อนอาหารของแข็งและของเหลวที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ระหว่าง 0.67 และ 6.67 g/ COD/l/d มีระยะเวลาเก็บที่ 12, 24 และ 36 วัน ค่า TCOD ของน้ำเสียจากโรงงานผลิต น้ำมันมะกอก ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นหลัก คือ 24, 56 และ 80 g COD/l ปริมาณของของเสียที่เป็น ของแข็งจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกที่แห้งถูกใช้เป็นสารตั้งต้นร่วมที่ถูกใช้ประมาณ 56 g/l ของ น้ำเสีย จากผลการทดลองพบว่า ที่ผลิตปริมาณมีเทนได้มากที่สุด คือ 0.95 l/วัน ที่อัตราการป้อน สารอินทรีย์ 4.67 g COD/l/d ซึ่งคล้ายกับ ค่า TCOD 56 g/COD/l มี HRT ที่ 12 วัน ในทางตรงกันข้าม ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงสุดคือ 89% จะสำเร็จได้ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.67 g COD/l/d ซึ่งคล้ายกับ TCOD ที่ 24 g COD/l ที่ HRT 36 วัน

Gelegenis *et al.*, (2007) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสีย โรงงานน้ำมันมะกอกโดยใช้ตัวย่อยร่วมมูลไก่ในการเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ ใช้ถึงปฏิกรณ์แบบ กวนต่อเนื่อง (completely-stirred tank reactor) อุณหภูมิหมัก 35 องศาเซลเซียส โดยใช้มูลไก่ 1 ส่วน เจือจางกับน้ำ 2-4 ส่วน วิเคราะห์ค่าต่างๆ ของแหล่งวัตถุดิบ พบว่า น้ำเสียโรงงานน้ำมัน

มะกอกมีค่าแอมโมเนียน้อยกว่า 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 ดังนั้นการเติมตัวย่อยรวมลงไปจึงทำให้ค่าแอมโมเนีย ค่าไนโตรเจน และค่าความเป็นด่างทั้งหมด นั้นเหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ระยะเก็บกักน้ำ 20 วัน เติมน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันมะกอกลงไปอย่างช้าๆ ตามสัดส่วนร้อยละ 25, 35, 50 ปริมาตรต่อปริมาตรตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนน้ำเสียโรงงานน้ำมันที่ป้อนลงไปร้อยละ 25 ปริมาตรต่อปริมาตร มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด 0.52 ลิตรต่อลิตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน มีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 71.8

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

## 2.1 มีเทนและการใช้ประโยชน์

ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) สามารถผลิตได้จากมวลชีวภาพต่างๆ ถือเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้แล้วไม่หมดไป กระบวนการผลิตมีเทนเป็นกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ในขั้นตอนที่ 4 (Methanogenesis phase) ก๊าซมีเทนค่าพลังงานความร้อนสูงถึง 9,000 กิโลแคลอรี/ม<sup>3</sup> หรือ 21,000 กิโลจูล/ม<sup>3</sup> จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้ เช่น เผาไหม้เพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้คุณสมบัติสำคัญของมีเทนคือเป็นแก๊สที่เมื่อเผาไหม้แล้วได้สารผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (Wikipedia, 2009)

## 2.2 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

2.2.1 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 กรดบิวทริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว

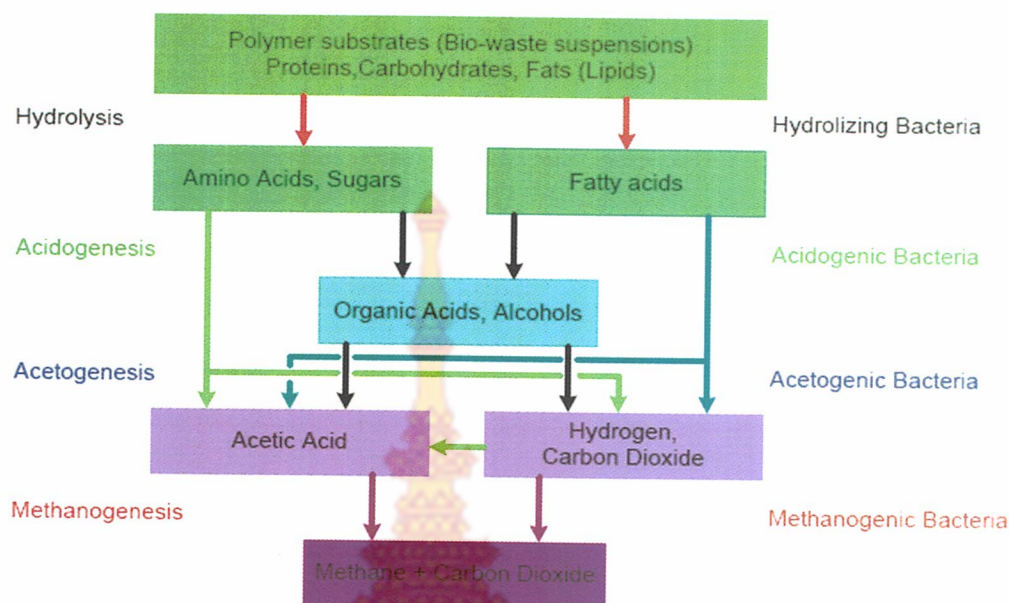
#### 3) กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยง่าย (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดจะถูกแบคทีเรียอะซิโตจีนิก (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเนื่องจากการลดการสะสมของกรดไขมันระเหย ซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณสูงสามารถยับยั้งการสร้างมีเทนได้

#### 4) กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรดจะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) ใช้สร้างมีเทน

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

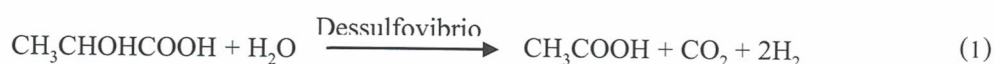


ภาพที่ 1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ (Lee *et al.*, 2004)

2.2.2 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 โพรพิอเนท แลคเตท บิวทิเรท และเอทานอล ผลผลิตที่ได้ในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นและสภาวะแวดล้อมที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนต่ำจุลินทรีย์จะผลิตสารอินทรีย์พวกอะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน แต่ในสภาวะแวดล้อมที่มีก๊าซไฮโดรเจนสูง จุลินทรีย์จะผลิตโพรพิอเนท แลคเตท และเอทานอล

2) Hydrogen-producing acetogenic bacteria จุลินทรีย์กลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายโพรพิอเนท เอทานอล และ กรดอินทรีย์อื่น ๆ ได้เป็น กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ก๊าซไฮโดรเจน ดังสมการ



3) Homoacetogenic bacteria ได้แก่ *Butyribacterium methylolicum* จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เป็นพวกที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ได้ผลผลิตเป็นกรดอะซิติก ถ้าใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น แลคเตท ไพรูเวท และเฮกโซส ผลผลิตที่ได้เป็นกรดอะซิติก และกรดบิวทริก ดังสมการ



4) Methanogenic bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นพวก obligate anaerobes คือสามารถเจริญได้ดีในสภาวะไร้ออกซิเจนได้เท่านั้น จุลินทรีย์เหล่านี้จะย่อยสลายอะซิเตท ไฮโดรเจน และคาร์บอน ไดออกไซด์ได้เป็นก๊าซมีเทน สามารถเจริญได้ทั้งในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (35-40 องศาเซลเซียส) และช่วงอุณหภูมิสูง (55-60 องศาเซลเซียส) ความดันที่ต่ำที่เหมาะสมในการเจริญและการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.8-7.2 กิโลแรมและคาร์บอน ไดออกไซด์เป็นสิ่งที่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ต้องการมาก ส่วนแอม โมเนียและซัลไฟด์หรือ ซีสเทอีน (cysteine) เป็นสิ่งที่ต้องการเพิ่มเติม จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ Methanotrophic bacteria ใช้อะซิเตท เมทานอล และ methylated amine และ Non-methylotrophic bacteria ใช้ไฮโดรเจน คาร์บอน ไดออกไซด์ และฟอรัเมท

### 2.3 การผลิตมีเทนในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

จากขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (รูปที่ 1) การผลิตมีเทนนั้นเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 4 ที่เรียกว่ากระบวนการ Methanogenesis เป็นการเปลี่ยนกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดไปเป็นก๊าซมีเทนถึง 70% โดย Methane forming bacteria (Polprasert, 1996) และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์และไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนโดย Hydrogen-utilizing methane bacteria แบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีการเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก และปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตมีเทนประกอบด้วย 1) ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม ได้แก่ พีเอช (Masse and Droste, 2000) อุณหภูมิ ความดัน สารพิษ สารยับยั้งปฏิกิริยา และลักษณะของของเสีย 2) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเดินระบบ ได้แก่ การกวนผสม (Molnar and Bartha, 1989) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading rate, OLR) และระยะเวลาที่เก็บ (hydraulic retention time, HRT) (Lettinga 1995; Lo and Liao, 1985)

การผลิตมีเทนจากแบคทีเรียสามารถใช้ผลผลิตทางการเกษตรหรือของเสียจากอุตสาหกรรมเป็นวัตถุดิบในการผลิตได้ ตัวอย่างเช่น น้ำเสียจากโรงเลี้ยงสัตว์ (Largus *et al.*, 2002) น้ำเสียจาก

โรงงานอุตสาหกรรม (Chen *et al*, 2003) municipal solid waste (Liu *et al*, 2008) agricultural waste (Parawira *et al*, 2008) เป็นต้น และเนื่องจากมีเทนสามารถถูกผลิตได้จากสารตั้งต้นหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารตั้งต้นจำพวกกรดไขมันระเหยง่าย จึงทำกลุ่มผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นสับเสตรทในการผลิตมีเทน ซึ่งจะจัดเป็นพลังงานทดแทนอีกชนิดที่สามารถลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการปล่อยทิ้งของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ได้มีการบำบัดอีกด้วย



### บทที่ 3

#### วิธีการทดลอง

1. เก็บรวบรวมข้อมูลด้านปริมาณ และวิเคราะห์คุณภาพ ของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลด้านปริมาณของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา พร้อมทั้งพิกัดภูมิศาสตร์ของแหล่งผลิต

ทำการสำรวจโดยสำรวจเบื้องต้นให้ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เก็บข้อมูลปริมาณของเสีย คุณภาพของเสีย รวมทั้งข้อมูลการใช้ประโยชน์จากของเสียอินทรีย์ในปัจจุบัน พร้อมบันทึกตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์

1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

นำของเสียอินทรีย์จากการเกษตร และจากอุตสาหกรรม มาวิเคราะห์องค์ประกอบ ได้แก่ กรดไขมันระเหยง่าย ค่าพีเอช ค่า COD ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS), ปริมาณของแข็งสารอินทรีย์ระเหยได้ (VS), เถ้า (Ash), ไขมัน (oil), โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต และค่าความเป็นด่าง (alkalinity)

2. ศึกษาแนวโน้มในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

ทำการทดลองในขวดน้ำเกลือขนาด 500 มิลลิลิตร โดยใช้ของเสียอินทรีย์ 2 g VS และเชื้อเริ่มต้น 80% ของปริมาตรทดลอง ทำการหมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน เพื่อศึกษาแนวโน้มและศักยภาพของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมแต่ละชนิด ในการนำมาผลิตมีเทน ในระบบแบบกะ เปรียบเทียบผลผลิตมีเทนโดยการวัดปริมาตรการผลิตโดยการแทนที่น้ำ และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ทุกสองวัน

3. ศึกษาการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

ทำการทดลองในขวดน้ำเกลือขนาด 500 มิลลิลิตร โดยผสมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรมที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนจากตอนที่ 2 ในอัตราส่วนต่างๆ โดยแปรผันอัตราส่วน 0:10, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1 และ 10:0 ใช้ของเสียผสมปริมาณ 2 g VS ทุกอัตราส่วน และเชื้อเริ่มต้น 80% ของปริมาตรทดลอง ทำการหมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 วัน เพื่อศึกษาแนวโน้มและศักยภาพของการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับของเสียอินทรีย์จากเกษตรกรรมแต่ละชนิดในการนำมาผลิตมีเทน เปรียบเทียบผลผลิตมีเทนโดยการวัดปริมาตรการผลิต โดยการแทนที่น้ำ และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ทุกสองวัน



4. ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง

ทำการทดลองโดยใช้ถังหมักขนาด 1 ลิตร (ปริมาตรใช้งาน 0.5 ลิตร) ทำการเริ่มต้นระบบโดยเตรียมวัสดุหมักร่วม (อัตราส่วนจากตอนที่ 3) เต็มถังเชื้อห้องทดลองเทียบเป็น 80% ของปริมาตรใช้งานทั้งหมด หลังจากนั้นทำการเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยมีการเปลี่ยนถ่ายวัสดุหมักทุกสัปดาห์จนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) เก็บตัวอย่างก๊าซทุกสัปดาห์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี คำนวณผลผลิตก๊าซมีเทนและประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

5. ศึกษาศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักวัสดุหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบ ต่อเนื่อง

ทำการทดลองโดยใช้ถังหมักขนาด 1 ลิตร (ปริมาตรใช้งาน 0.5 ลิตร) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) โดยแปรค่าปริมาณกาก VS ของของเสียอินทรีย์ผสมจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 เป็น 2-10 g VS/d ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน เก็บตัวอย่างของเหลวเพื่อวิเคราะห์ค่าพีเอชทุกวัน และวิเคราะห์หาค่าซีไอดี และกรดไขมันระเหยง่ายทุกสัปดาห์ และวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นทุกวันในถังเก็บก๊าซโดยดูปริมาณการแทนที่น้ำและเก็บตัวอย่างก๊าซทุกสัปดาห์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 1. ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านปริมาณ และวิเคราะห์คุณภาพ ของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

##### 1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลด้านปริมาณของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา พร้อมทั้งพิกัดภูมิศาสตร์ของแหล่งผลิต

จากการสำรวจแหล่งของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง พบว่าอุตสาหกรรมที่พบในพื้นที่เป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหารทะเล ซึ่งปัจจุบันยังคงมีการเปิดดำเนินกิจการอยู่ไม่มากนักเนื่องจากขาดแคลนวัตถุดิบและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทำประมงจึงส่งผลให้สถานประกอบการหลายแห่งหยุดกิจการและจากการสำรวจสถานประกอบการในพื้นที่โดยได้รับความอนุเคราะห์นำสำรวจโดยเจ้าหน้าที่จากกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมเทศบาลเมืองเขารูปช้าง ได้เข้าสำรวจแหล่งอุตสาหกรรมในพื้นที่จำนวน 6 แห่ง โดยมีรูปแบบการประกอบกิจการ ดังต่อไปนี้ โรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง 2 แห่ง (โรงงาน A และ B) โรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) 1 แห่ง (โรงงาน C) โรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) 1 แห่ง (โรงงาน D) โรงงานแปรรูปปลาหมึก 1 แห่ง (โรงงาน E) และโรงงานปลากระป๋อง 1 แห่ง (โรงงาน F) ทั้งนี้สถานประกอบการทั้ง 6 แห่งยังไม่มีการติดตั้งระบบผลิตแก๊สชีวภาพ

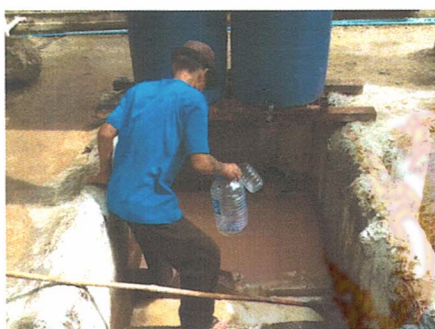
จากการสำรวจแหล่งของเสียจากเกษตร พบว่าแหล่งของเสียที่สำรวจพบมีอยู่เพียงแหล่งเดียวได้แก่ฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่เขารูปช้างมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทำให้สถานประกอบการที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร โดยเฉพาะการเลี้ยงสัตว์ขาดแคลนพื้นที่ในการดำเนินการจึงทำให้มีแหล่งของเสียจากเกษตรกรรมในพื้นที่เพียงแห่งเดียว โดยของเสียที่เกิดขึ้นจะเป็นน้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิต และส่วนของเสียจากเกษตรกรรมมีเพียงชนิดเดียวได้แก่ฟาร์มสุกร โดยข้อมูลของแหล่งกำเนิดของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้างแสดงดังตารางที่ 1 และแผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมแสดงดังภาพที่ 2 และ 3



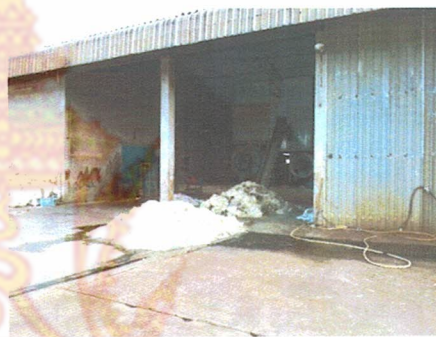
(A)



(B)



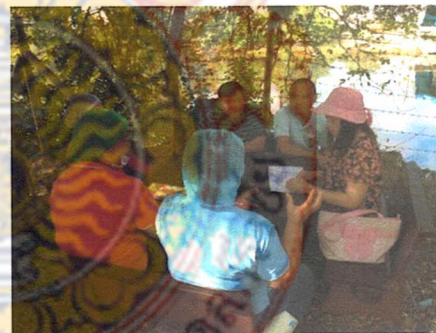
(C)



(D)



(E)



(F)

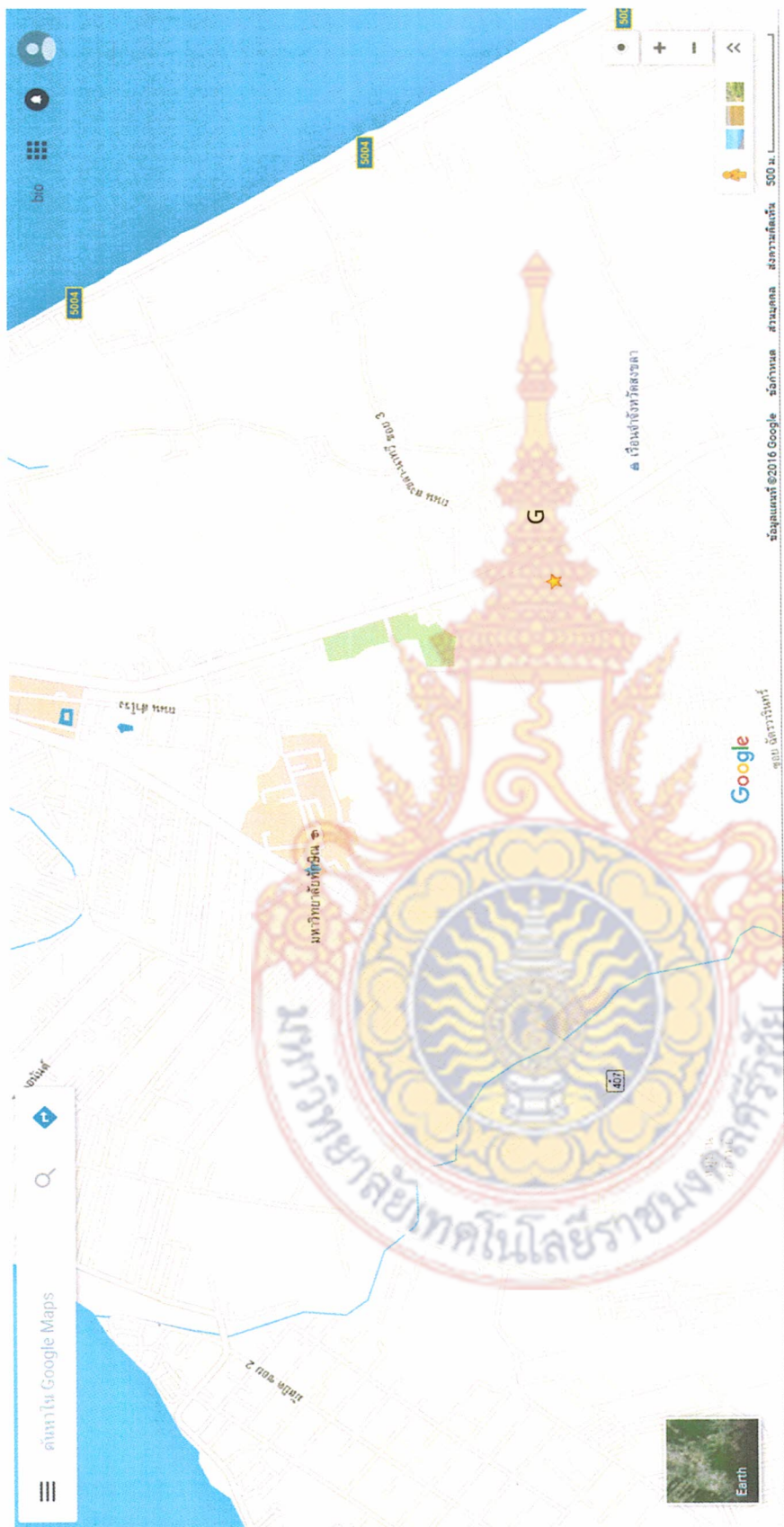
ภาพที่ 2 การลงพื้นที่เพื่อสำรวจและเก็บตัวอย่างของเสียร่วมกับเจ้าหน้าที่ในพื้นที่ (A-F)

ตารางที่ 1 ของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง

โรงงาน	สถานที่ตั้ง (หมู่ที่)	พิกัดภูมิศาสตร์	รูปแบบการประกอบกิจการ	ของเสียที่เกิดขึ้น	ปริมาณน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)
A	3	7.158246N 100.634912E	โรงงานแปรรูปอาหารอาหารทะเลแช่แข็ง	น้ำเสีย	200
B	3	7.154287N 100.636676E	โรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง	น้ำเสีย	500-1,000
C	3	7.152563N 100.634126E	โรงงานปลาป่น (วัตถุดิบจนไก่)	น้ำเสีย	10
D	3	7.152464N 100.635461E	โรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา)	น้ำเสีย	3
E	8	7.165161N 100.589658E	โรงงานแปรรูปปลาหมึก	น้ำเสีย	25
F	8	7.170429N 100.591209E	โรงงานปลากระป๋อง	น้ำเสีย	8
G	4	7.153562N 100.618583E	ฟาร์มสุกร	มูล น้ำเสีย	10-15



ภาพที่ 3 อุดสาหกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขมูปช้าง (A และ B) โรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง, (C) โรงงานปลาน้ำจืด (วัตถุดิบปลาน้ำจืด), (D) โรงงานปลาน้ำจืด (วัตถุดิบปลา), (E) โรงงานแปรรูปปลาหมึก และ (F) โรงงานปลาทูกระป๋อง



ภาพที่ 4 เกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง (G) ฟาร์มสุกร

## 1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเกือบทั้งหมดมีสารอินทรีย์ไม่มากนัก โดยโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง A และ B มีสารอินทรีย์ในรูป COD คืออยู่ในช่วง 450 และ 1,340 mg/L (ตารางที่ 2) เนื่องจากน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการผลิตจะเกิดจากการล้างวัตถุดิบก่อนและหลังการแปรรูปแต่ทั้งโรงงาน A และ B มาใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากเฉลี่ยวันละ 200 และ 500-1,000 ลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 1) ซึ่งอาจทำให้ของเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตถูกเจือจางลงมากจึงทำให้ค่าสารอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่สูงนัก ส่วนค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS) และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile solid, VS) ของน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปทั้งสองแห่งมีค่าไม่สูงนัก โดยโรงงาน A และ B มีค่า TS เฉลี่ยเท่ากับ 6,290 และ 1,940 mg/L ตามลำดับ ส่วนค่า VS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,650 และ 590 mg/L ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ของของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งทั้ง A และ B มีค่าไม่สูงเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,150 และ 1,250 (mgCaCO<sub>3</sub>/L) ส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) ของของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งทั้ง A และ B โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 850 และ 550 (mg/L) และจากการนำน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง A และ B มาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่ามีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 6.35 และ 6.58 ตามลำดับ ซึ่งเป็น pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogen bacteria) ซึ่งจะได้มีการนำของเสียทั้งสองแหล่งไปศึกษาศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพต่อไป

จากการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากจากโรงงานปลาป่น ซึ่งจากการสำรวจพบโรงงานปลาป่นในพื้นที่เขารูปช้างที่กำลังดำเนินการอยู่สองแห่ง คือโรงงาน C และ D แต่โรงงานทั้งสองแห่งจะใช้วัตถุดิบในการผลิตปลาป่นแตกต่างกัน โดยโรงงาน C จะใช้ขี้ไก่เป็นวัตถุดิบ ส่วนโรงงาน D จะใช้ปลาจากทะเลเป็นวัตถุดิบ ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำทิ้งจากโรงงานปลาป่นทั้งสองแห่งพบว่ามีค่าแตกต่างกันมากโดยน้ำทิ้งจากโรงงาน C มีค่า COD เท่ากับ 450 mg/L ส่วนโรงงาน D มีค่า COD เพียง 260 mg/L เท่านั้น (ตารางที่ 2) การแตกต่างกันของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาป่นทั้งสองแห่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน โดยกระบวนการผลิตปลาป่นโดยใช้วัตถุดิบจากขี้ไก่นั้น จะมีการขนวัตถุดิบคือขี้ไก่จากแหล่งอื่นมาวางกองไว้บริเวณลานหน้าเครื่องจักร (ภาพที่ 1D) ส่วนค่า COD ของน้ำทิ้งจากโรงงานปลาป่น D มีค่าต่ำมากทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีการขนส่งวัตถุดิบมาจากท่าเทียบเรือประมง วัตถุดิบจะเข้าสู่กระบวนการผลิตทันทีและหลังจากผลิตเสร็จสิ้นแล้ววัตถุดิบจะถูกไอน้ำระเหย และปนจนเป็นผง ส่งผลให้มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเพียงเล็กน้อย โดยน้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากการล้างพื้นที่หลังจากทำการผลิตเสร็จสิ้นแล้ว และน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดเป็นน้ำที่ใช้สำหรับการลดอุณหภูมิ

ในระบบการผลิตจึงส่งให้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตมีไม่มากนักโดยโรงงาน C และ D มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเพียงวันละ 10 และ 3 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ค่า TS และ VS ของน้ำทิ้งจากโรงงานปลาปน C และ D มีค่า TS เฉลี่ยเท่ากับ 1,250 และ 270 mg/L ตามลำดับ ส่วนค่า VS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 720 และ 140 mg/L ตามลำดับ ส่วนค่า Alkalinity ของของน้ำทิ้งจากโรงงานปลาปนทั้ง C และ D มีค่าไม่สูงเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 850 และ 1,200 (mgCaCO<sub>3</sub>/L) ส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) ของของน้ำทิ้งจากโรงงานปลาปนทั้ง C และ D โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 650 และ 450 (mg/L) และจากการนำน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานปลาปนทั้ง C และ D มาวิเคราะห์ค่า pH พบว่ามีค่า เฉลี่ยเท่ากับ 7.86 และ 6.00 ตามลำดับ ซึ่งจะได้มีการนำของเสียทั้งสองแหล่ง ไปศึกษาศึกษาสภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพต่อไป

จากการวิเคราะห์น้ำเสียจากการ โรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) ซึ่งโรงงานดังกล่าวตั้งอยู่หมู่ที่ 8 ซึ่งมีพื้นที่อยู่ติดทะเลสาบสงขลา พบว่าถึงแม้โรงงานจะมีกระบวนการจัดการของเสียเบื้องต้นโดยใช้ตะแกรงดักเศษชิ้นส่วนของปลาหมึก แต่เมื่อวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตพบว่ายังคงมีค่า COD อยู่เกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ย 4,160 mg/L (ตารางที่ 2) ค่า TS และ VS ของน้ำทิ้งจากโรงงาน D มีค่า TS และ VS เฉลี่ยเท่ากับ 8,720 และ 4,680 mg/L ตามลำดับ แสดงว่าในน้ำทิ้งยังคงมีของแข็งปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง ส่วนค่า Alkalinity มีค่าเฉลี่ย 950 (mgCaCO<sub>3</sub>/L) ส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) ของน้ำเสียจากการ โรงงานแปรรูปปลาหมึก E โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 950 (mg/L) และจากการนำน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงาน E มาวิเคราะห์ค่า pH พบว่ามีค่า เฉลี่ยเท่ากับ 6.53 ซึ่งจะได้มีการนำของเสียจากการแปรรูปปลาหมึกนี้ไปศึกษาศึกษาสภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพต่อไป

จากการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) ซึ่งโรงงานดังกล่าวตั้งอยู่หมู่ที่ 8 ซึ่งมีพื้นที่อยู่ติดทะเลสาบสงขลาเช่นเดียวกับโรงงาน E พบว่าถึงแม้โรงงานจะมีการรับวัตถุดิบที่มีการแปรรูปเสร็จสิ้นแล้วขั้นตอนหนึ่งจากแพปลาเบอร์ 11 ซึ่งตั้งอยู่ที่ท่าเทียบเรือประมงใหม่ และมาบรรจุกระป๋อง ณ โรงงานแห่งนี้ แต่ในปลาบางชนิดที่แปรรูป เช่น ปลาแมคเคอร์เรลจะต้องมีการล้างวัตถุดิบอีกครั้งก่อนจะเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็นปลากระป๋อง ซึ่งน้ำเหล่านี้จะออกจากกระบวนการผลิตเพื่อทำการบำบัดน้ำก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยของน้ำเสียส่วนใหญ่จะเป็นเลือดของปลาที่ยังล้างออกไม่หมด ซึ่งวิเคราะห์พบว่าค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 3,200 mg/L (ตารางที่ 2) ค่า TS และ VS ของน้ำทิ้งจากโรงงานปลากระป๋อง F มีค่า TS และ VS เฉลี่ยเท่ากับ 7,170 และ 3,410 mg/L ตามลำดับ แสดงว่าในน้ำทิ้งยังคงมีของแข็งปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง ส่วนค่า Alkalinity มีค่าเฉลี่ย 1,000 (mgCaCO<sub>3</sub>/L) ส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) ของน้ำเสียจากการ โรงงานปลากระป๋อง F โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 950 (mg/L) และจากการนำน้ำทิ้ง



จากกระบวนการผลิตของโรงงานปลากระป๋อง F มาวิเคราะห์ค่า pH พบว่ามีค่า เฉลี่ยเท่ากับ 4.14 ซึ่งแสดงค่าความเป็นกรด ซึ่งจะได้มีการนำของเสียนี้ไปศึกษาศึกษาภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพต่อไป

จากการวิเคราะห์น้ำเสียจากการเกษตร ซึ่งได้แก่ฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ซึ่งเป็นแหล่งของเสียจากการเกษตรเพียงแห่งเดียวในพื้นที่ตำบลเขาชุมช้าง พบว่าค่า COD ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่าเฉลี่ย 8,000 mg/L (ตารางที่ 2) ค่า TS และ VS ของน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร G มีค่า TS และ VS เฉลี่ยเท่ากับ 19,500 และ 13,630 mg/L ตามลำดับ เนื่องจากในน้ำทิ้งยังคงมีมูลของสุกรปนเปื้อนอยู่มาก ส่วนค่า Alkalinity มีค่าเฉลี่ย 3,800 (mgCaCO<sub>3</sub>/L) ส่วนค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร G โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,100 (mg/L) และค่า pH พบว่ามีค่า เฉลี่ยเท่ากับ 5.70 ซึ่งจะได้มีการนำของเสียจากการเลี้ยงสุกรนี้ไปศึกษาศึกษาภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพต่อไป

ดังนั้น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขาชุมช้าง แสดงให้เห็นถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในน้ำเสียทั้งสองชนิดจะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ เช่น ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA), ค่า COD, ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS), ปริมาณของแข็งสารอินทรีย์ระเหยได้ (VS), และค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อสารอินทรีย์มีปริมาณสูง องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำเสียก็จะสูงไปด้วยตามลำดับ



ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง

โรงงาน	TS (mg/L)	VS (mg/L)	Alkalinity (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	VFA (mg/L)	pH	% ไขมัน	% ไนโตรเจน	% โปรตีน	% คาร์โบไฮเดรต	COD (mg/L)
A	6,290	2,649	1,150	850	6.35	5.83	0.90	5.60	42.11	1,344
B	1,938	585	1,250	550	6.58	2.00	0.31	1.93	30.18	448
C	1,254	722	900	650	7.86	0.95	0.36	2.28	57.63	448
D	265	140	1,250	450	6.00	0.92	0.36	2.28	53.59	256
E	8,269	4,684	950	950	6.53	9.77	1.51	9.45	56.35	4,160
F	7,166	3,409	1,000	950	4.14	7.72	1.15	7.18	47.57	3,200
G	19,498	13,625	3,800	1,100	5.70	11.23	3.19	19.95	69.85	8,000

## 2. ผลการศึกษาแนวโน้มการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

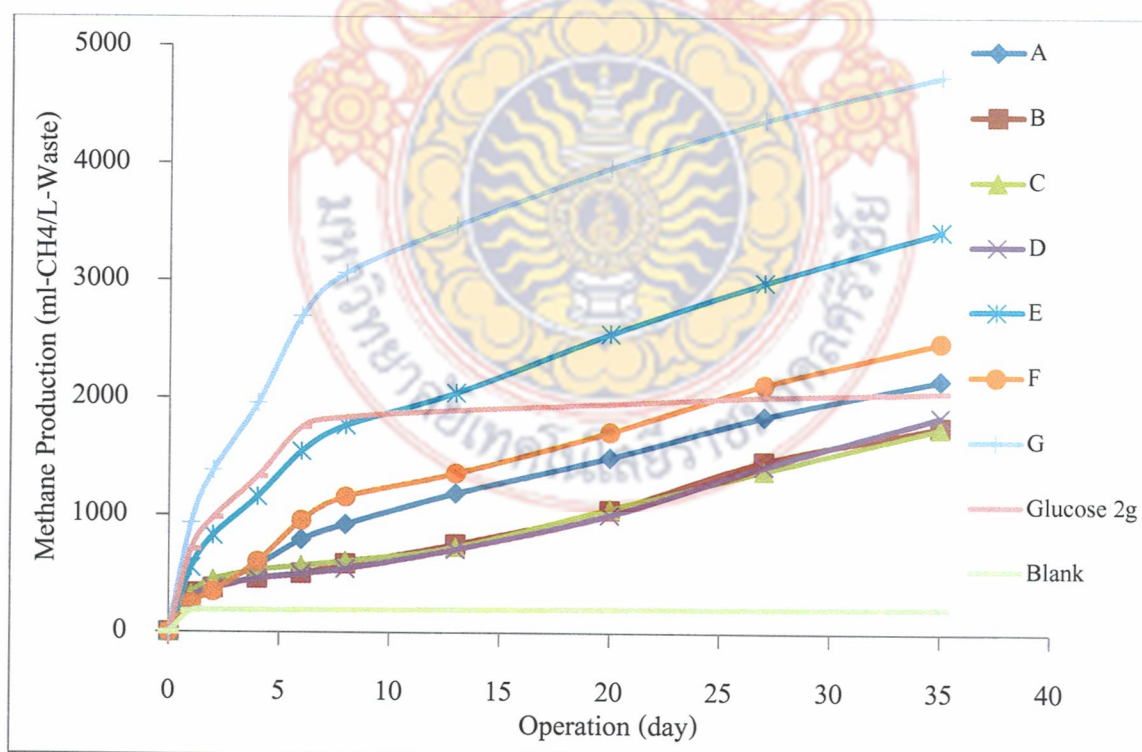
การเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพต่อการผลิตมีเทน ในการทดลองนี้จะใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการมีเทน โดยใช้กล้าเชื้อจากระบบการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียจากการเลี้ยงสุกร โดยความอนุเคราะห์ของคุณศรัณย์ ทองชุมนุม เจ้าของฟาร์มสุกรหมู่ที่ 9 ตำบลควนโศ อ.ควนเนียง จ.สงขลา โดยกล้าเชื้อที่เตรียมได้นี้จะใช้สำหรับเป็นเชื้อเริ่มต้นในกระบวนการศึกษาแนวโน้มในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมต่างๆ จากตอนที่ 1 ต่อไป ในการศึกษาศักยภาพในการนำของเสียจากแหล่งต่างๆ มาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ



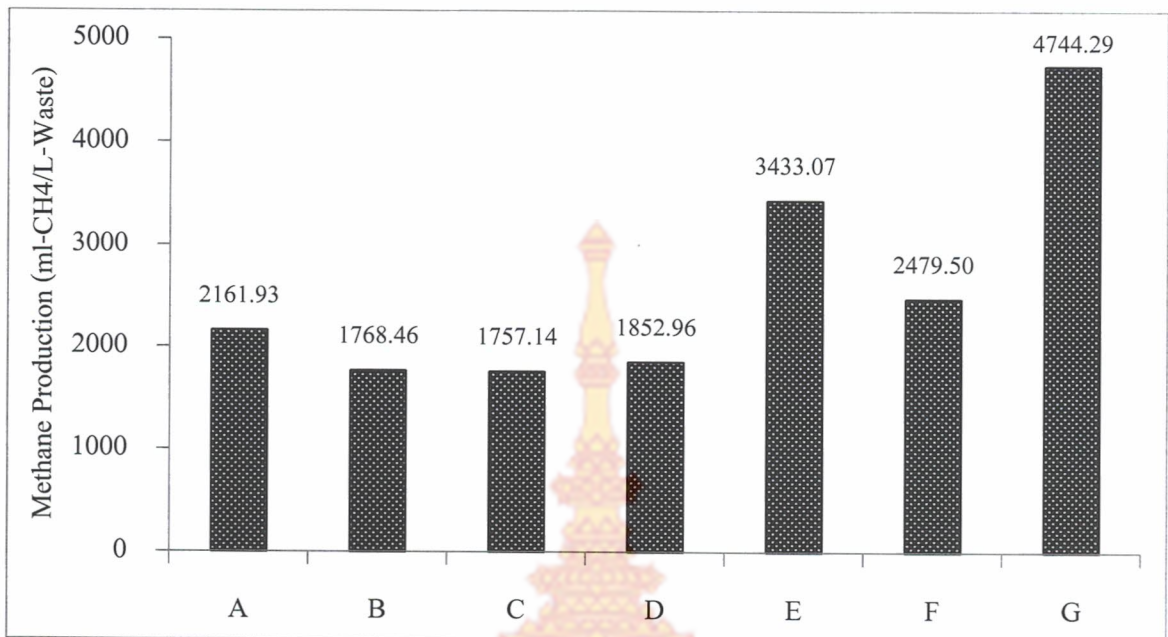
ภาพที่ 5 การเตรียมตัวอย่างกล้าเชื้อสำหรับการผลิตมีเทน

โดยใช้ของเสียอินทรีย์ 2 g VS และเชื้อเริ่มต้น 80% ของปริมาตรทดลอง ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน เพื่อศึกษาแนวโน้มและศักยภาพของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมแต่ละชนิด ในการนำมาผลิตมีเทน ในระบบแบบกะ พบว่า ของเสียอินทรีย์จากการเกษตร คือ ของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 4744.29 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste รองลงมาเป็นของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรม คือ ของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) ของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) ของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) ของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) (โรงงาน D) ของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน B) และของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) (โรงงาน C) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 3433.07, 2479.50, 2161.93, 1852.96, 1768.46 และ 1757.14 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ตามลำดับ และปริมาณผลได้มีเทน (Yield) จาก

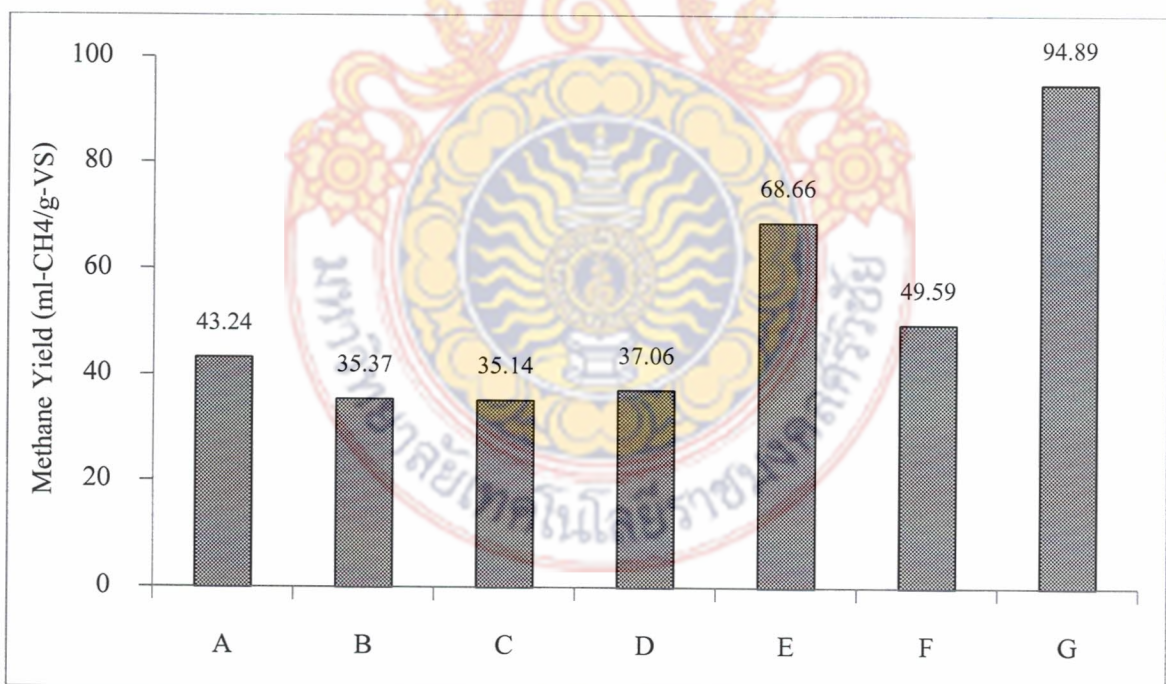
กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม พบว่า ของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) จะให้ปริมาณผลได้มีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 94.89 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS รองลงมาเป็นของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรม คือ ของเสียจากโรงงานแปรรูปพลาสติก (โรงงาน E) ของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) ของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) ของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) (โรงงาน D) ของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน B) และของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) (โรงงาน C) จะให้ปริมาณผลได้มีเทน เท่ากับ 68.66, 49.59, 43.24, 37.06, 35.37 และ 35.14 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Macias-Corral *et al.*, (2008) พบว่า การหมักมูลวัวอย่างเดี่ยวสามารถผลิตมีเทนได้ 62 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก และการหมักของแข็งจากกากของเสียเทศบาลอย่างเดี่ยวสามารถผลิตมีเทนได้ 37 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก แต่การหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับของแข็งจากกากของเสียเทศบาลสามารถผลิตมีเทนได้ 172 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก และ การหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับของเสียจากต้นฝ้ายสามารถผลิตมีเทนได้ 87 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก ดังนั้นจะเห็นว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ร่วมกับวัสดุหมักอื่น สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้นจากการใช้มูลสัตว์เพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 6 แสดงแนวโน้มในการผลิตมีเทนจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม



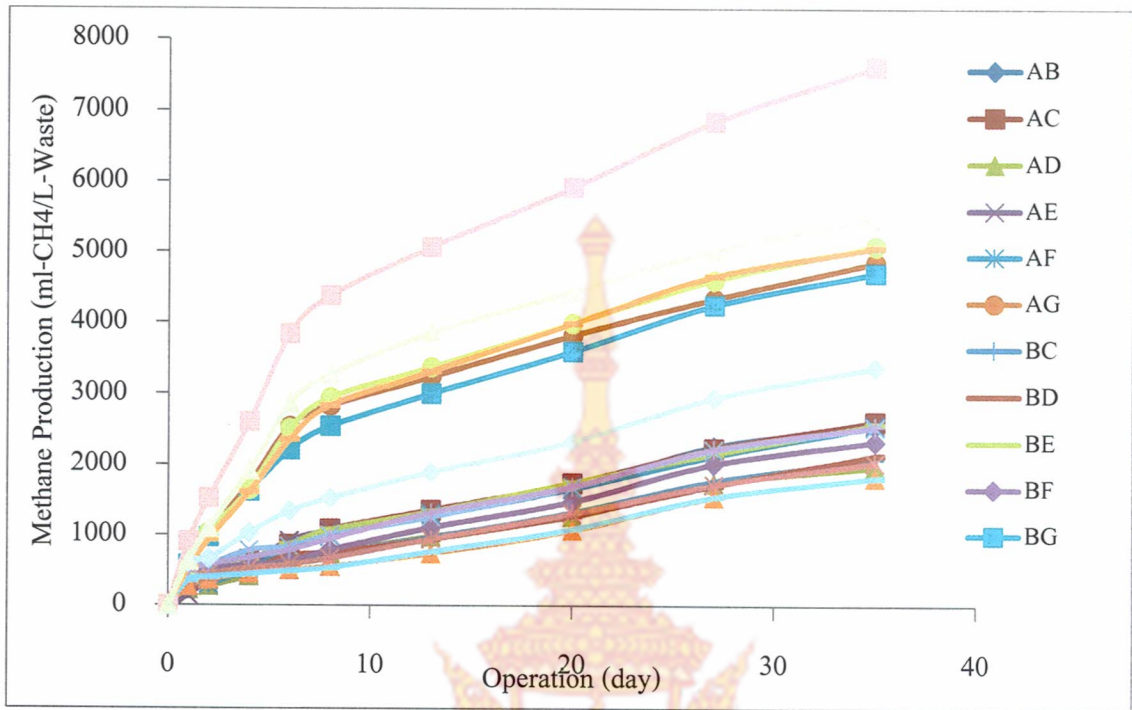
ภาพที่ 7 แสดงผลผลิตมีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/L-Waste) จากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม



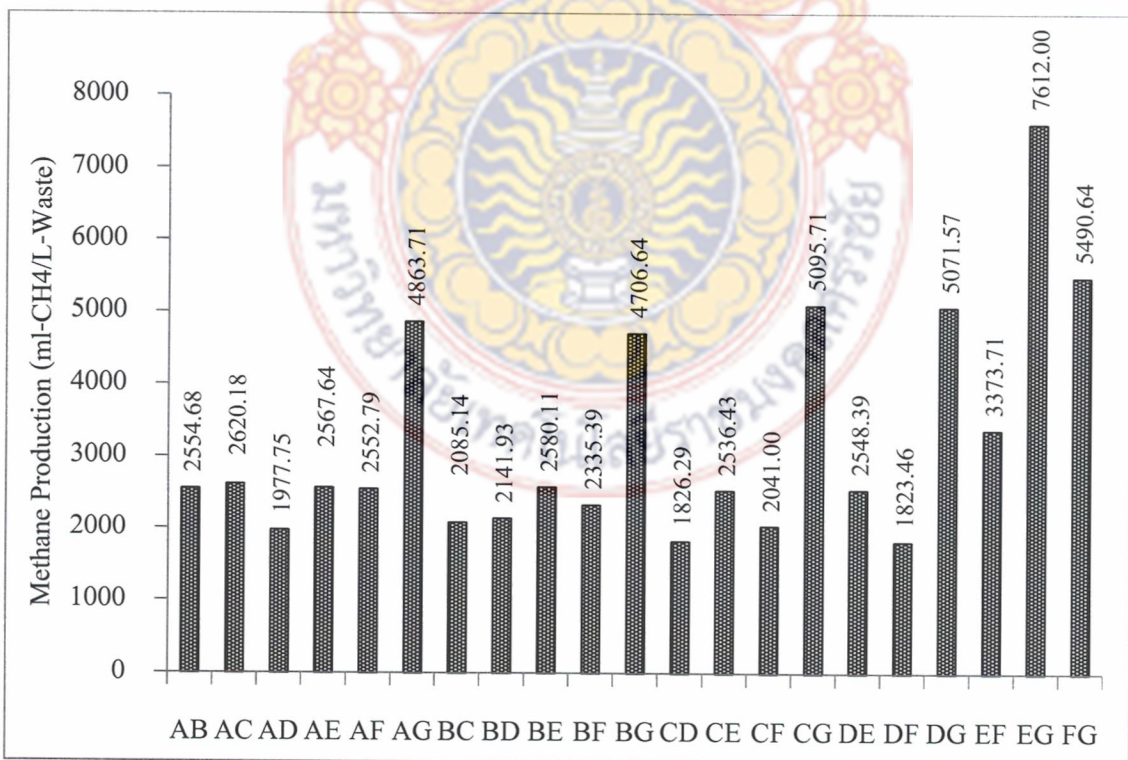
ภาพที่ 8 แสดงผลได้มีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/g-VS) จากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

### 3. ผลการศึกษาการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

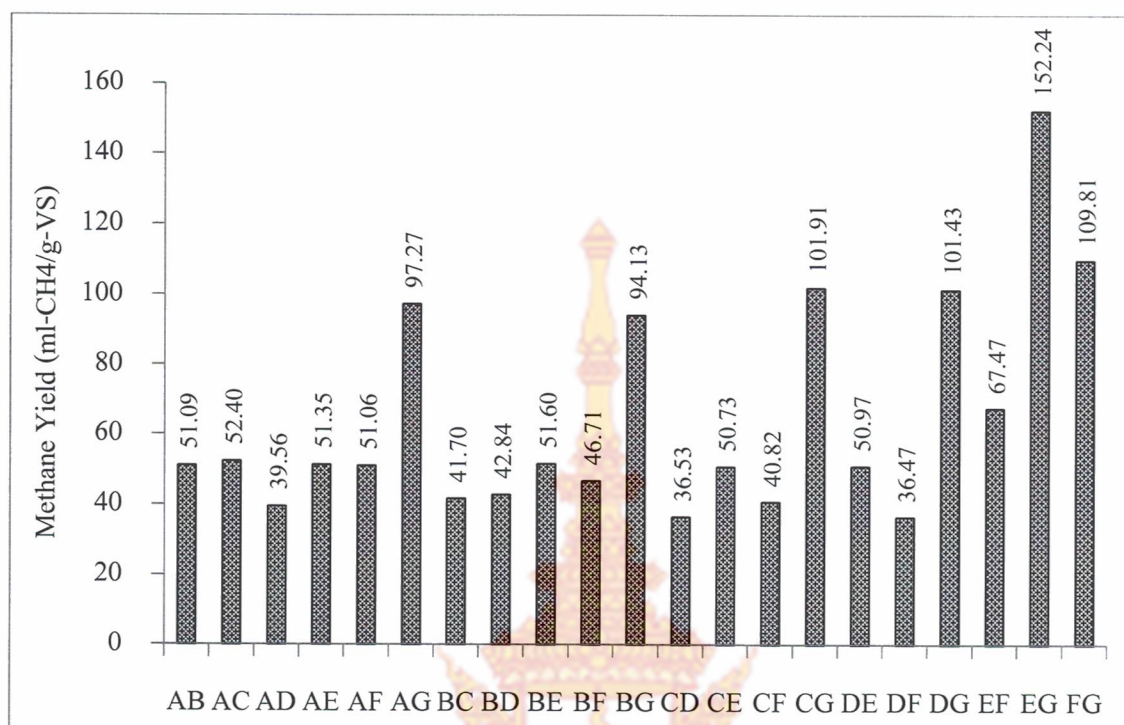
ทำการทดลองในของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรมที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทน โดยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 ใช้ของเสียผสมปริมาณ 2 g VS ทุกอัตราส่วน และเชื้อเริ่มต้น 80% ของปริมาตรทดลอง ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน เพื่อศึกษาแนวโน้มและศักยภาพของการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับของเสียอินทรีย์จากเกษตรกรรมแต่ละชนิดในการนำมาผลิตมีเทน พบว่า ในการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 ได้แก่ การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 7612.00 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste รองลงมาเป็น การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) (โรงงาน C) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) (โรงงาน D) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) และการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน B) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 5490.64, 5095.71, 5071.57, 4863.71 และ 4706.64 mL-CH<sub>4</sub>/l-waste ตามลำดับ และปริมาณผลได้มีเทน (Yield) จากการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม พบว่า ของของเสียการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) จะให้ปริมาณผลได้มีเทน (Yield) สูงที่สุด เท่ากับ 152.24 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS รองลงมาเป็น การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) (โรงงาน C) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) (โรงงาน D) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) และการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน B) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) จะให้ปริมาณผลได้มีเทน (Yield) เท่ากับ 109.81, 101.91, 101.43, 97.27 และ 94.13 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ



ภาพที่ 9 แสดงผลการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนร้อยละ 50:50



ภาพที่ 10 แสดงผลผลิตมีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/L-Waste.) การหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนร้อยละ 50:50



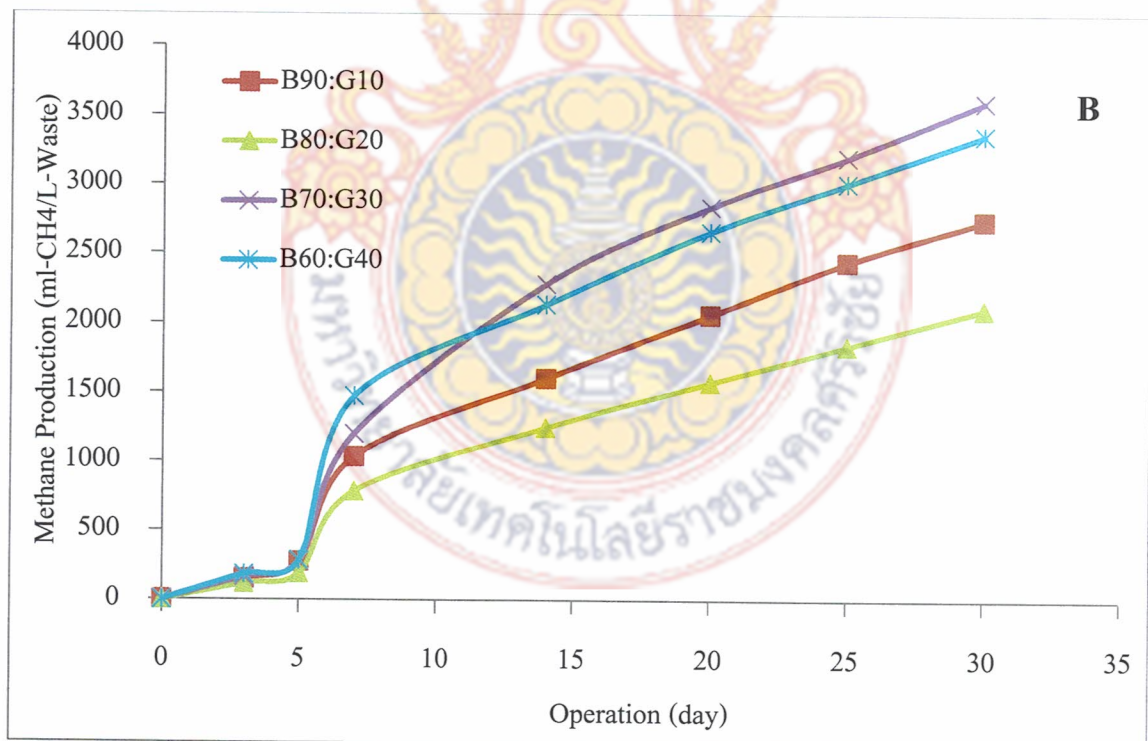
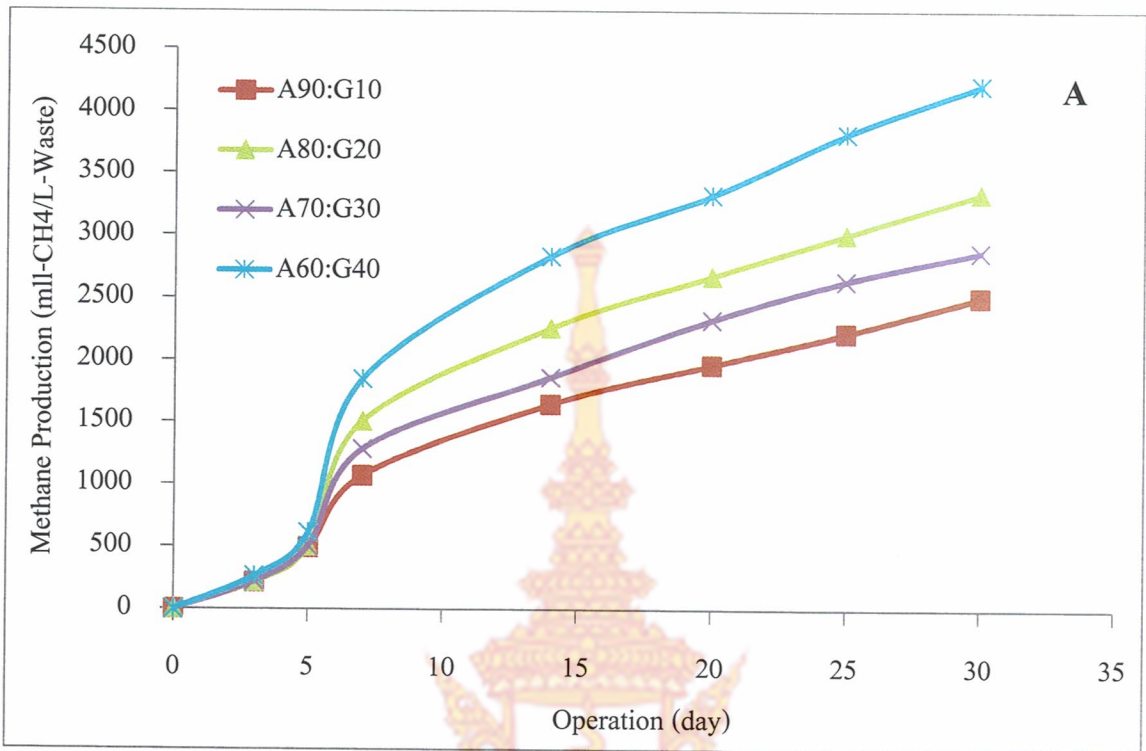
ภาพที่ 11 แสดงผลได้มีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/g-VS) จากการหมักร่วมจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนร้อยละ 50:50

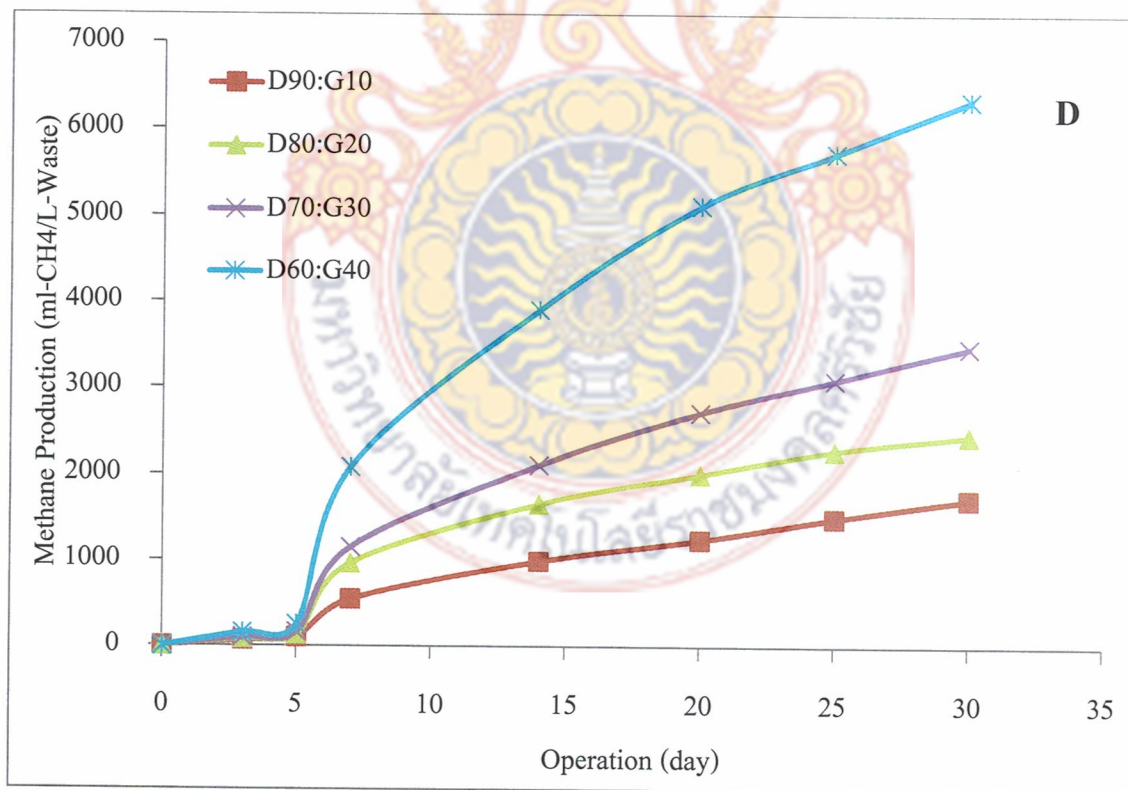
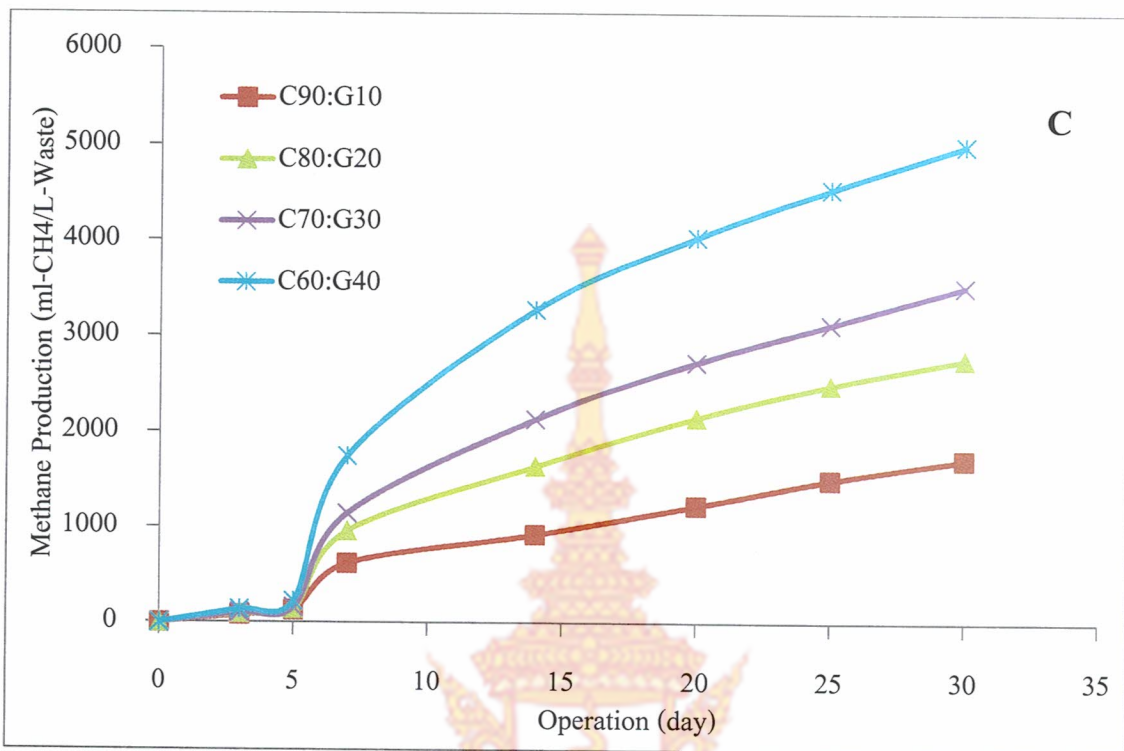
ผลการทดลอง โดยผสมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรมที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนสูงที่สุดจากการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 โดยทำการในอัตราส่วนต่างๆโดยแปรผันอัตราส่วนร้อยละ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ใช้ของเสียผสมปริมาณ 2 g VS ทุกอัตราส่วน และเชื้อเริ่มต้น 80% ของปริมาตรทดลอง ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน เพื่อศึกษาแนวโน้มและศักยภาพของการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับของเสียอินทรีย์จากเกษตรกรรมแต่ละชนิดในการนำมาผลิตมีเทน พบว่า จากการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 ที่ให้ปริมาณมีเทนสูงที่สุด โดยทำการหมักในอัตราส่วนต่างๆ ที่แตกต่างกันโดยอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ตามลำดับ พบว่า การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 12060.00, 9782.00, 7449.00 และ 9117.00 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ตามลำดับ รองลงมาเป็นการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 9887.00, 10292.50, 6264.75 และ 4897.50 mL-CH<sub>4</sub>/L-waste ตามลำดับ การหมักร่วมระหว่างของเสียจาก

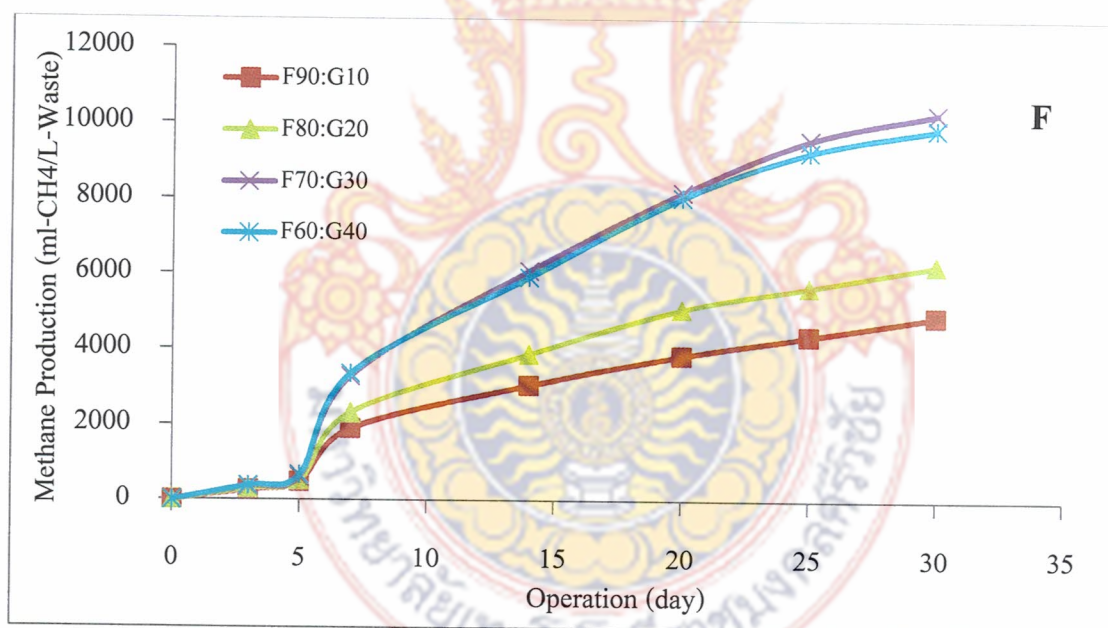
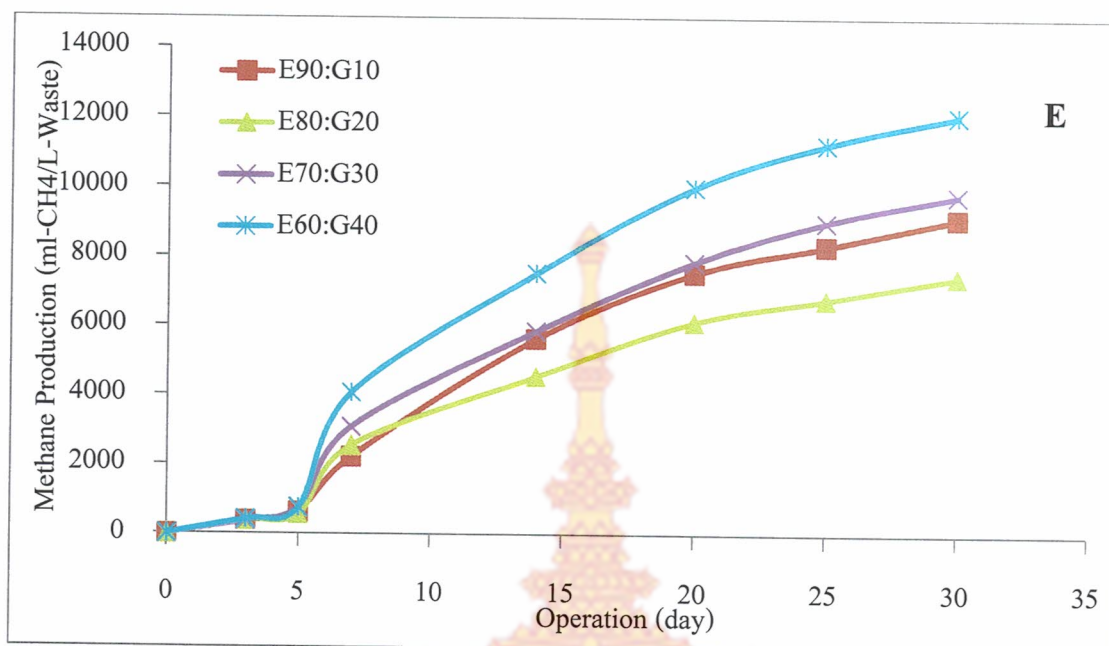


โรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) (โรงงาน D) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 6330.75, 3474.50, 2448.00 และ 1722.00 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ตามลำดับ การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) (โรงงาน C) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 4996.25, 3520.50, 2764.50 และ 1720.00 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ตามลำดับ การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 4210.00, 2871.25, 3342.25 และ 2510.25 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ตามลำดับ การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน B) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 3364.00, 3601.50, 2103.75 และ 2745.50 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ตามลำดับ และปริมาณผลได้มีเทน (Yield) จากการหมักร่วมระหว่างของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกับเกษตรกรรม พบว่า การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 241.20, 195.64, 148.98 และ 182.34 ml-CH<sub>4</sub>-g-VS ตามลำดับ รองลงมาเป็นการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 197.74, 205.85, 125.30 และ 97.95 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) (โรงงาน D) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 126.62, 69.49, 48.96 และ 34.45 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) (โรงงาน C) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 99.93, 70.41, 55.29 และ 34.40 ml-CH<sub>4</sub>-g-VS ตามลำดับ การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 84.20, 57.43, 66.85 และ 50.21 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน B) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20 และ 90 : 10 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 67.28, 72.03, 42.08 และ 54.91 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ การหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม พบว่า ของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำ (ค่า COD ต่ำ) ส่วนของเสียอินทรีย์

จากเกษตรกรรมมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง (ค่า COD สูง) ดังนั้นในการหมักเดี่ยวของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมให้ปริมาณผลผลิตมีเทนต่ำ เมื่อนำไปหมักร่วมกับอินทรีย์จากเกษตรกรรมสามารถเพิ่มผลผลิตมีเทนสูงขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในของเสียจากอุตสาหกรรม ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Azbar *et al* (2008) ศึกษาการเพิ่มขึ้นของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการสกัดน้ำมันมะกอกโดยวิธีการย่อยสลายร่วมกัน กล่าวคือ เมื่อทำการย่อยสลายโดยใช้น้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกเพียงอย่างเดียวจะได้ก๊าซชีวภาพที่ต่ำมาก แต่ถ้าใช้การย่อยสลายร่วมกันของน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกกับฟางจะเพิ่มก๊าซชีวภาพได้ถึง 90% ก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเพียง 22% ซึ่งในการทดลองที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดคือใช้ปริมาณน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอก 20% ต่อ หางนมชีส 80% ซึ่งมีค่า COD เฉลี่ย 3 mg/L โดยจะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพคือ  $573 \pm 0.8$  ml และใช้ปริมาณ น้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอก 50% ต่อหางนมชีส 50% ซึ่งมีค่า COD เฉลี่ย 3 mg/L โดยจะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ คือ  $446 \pm 4.7$  ml และงานวิจัยของ Fezzani and Bencheikh (2008) ศึกษาการย่อยสลายร่วมกันระหว่างน้ำเสียร่วมกับวัสดุเศษเหลือซึ่งใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนจากระบวนการสกัดน้ำมันมะกอกโดยทำการหมักแบบกะ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงานเป็นสับเสตร่วม ที่ปริมาณแตกต่างกันคือ 28, 56, 112 และ 150 กรัมของแข็งทั้งหมดต่อลิตรน้ำเสีย ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราที่เหมาะสมของของเสียที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้เป็นสับเสตร่วม คือ 56 กรัมของแข็งทั้งหมดต่อลิตรน้ำเสีย สามารถเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ จาก  $11.17 \pm 2.5$  ลิตรต่อลิตรน้ำเสีย เป็น  $30.5 \pm 2.5$  ลิตรต่อลิตรน้ำเสีย และประสิทธิภาพการกำจัด COD จากร้อยละ  $44.5 \pm 3$  เป็น  $83.4 \pm 2$  ตามลำดับ

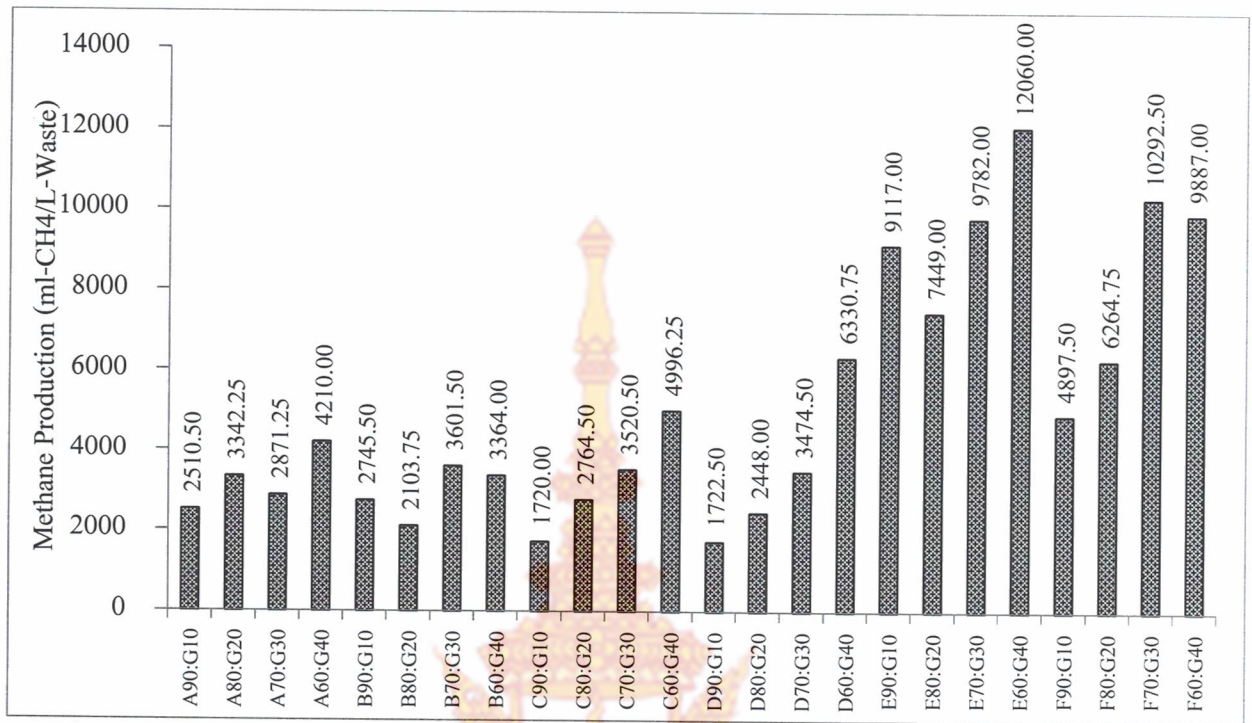




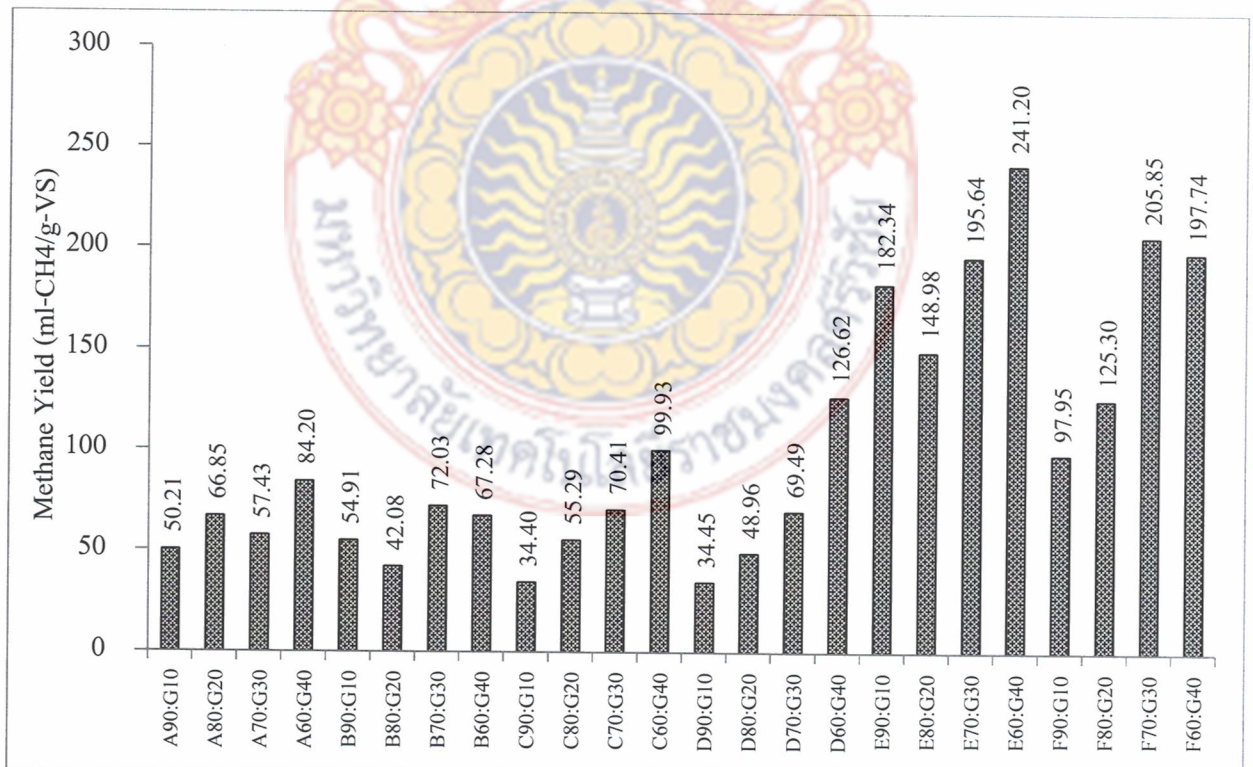


ภาพที่ 12 แสดงผลการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนต่างๆ โดยแปรผันอัตราส่วนร้อยละ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10

- A = อัตราส่วนการหมักร่วมจากของเสีย A90:G10, A80:G20, A70:G30 และ A60:G40  
 B = อัตราส่วนการหมักร่วมจากของเสีย B90:G10, B80:G20, B70:G30 และ B60:G40  
 C = อัตราส่วนการหมักร่วมจากของเสีย C90:G10, C80:G20, C70:G30 และ C60:G40  
 D = อัตราส่วนการหมักร่วมจากของเสีย D90:G10, D80:G20, D70:G30 และ D60:G40  
 E = อัตราส่วนการหมักร่วมจากของเสีย E90:G10, E80:G20, E70:G30 และ E60:G40  
 F = อัตราส่วนการหมักร่วมจากของเสีย F90:G10, F80:G20, F70:G30 และ F60:G40



ภาพที่ 13 แสดงผลผลิตมีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/L-Waste) การหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนต่างๆ โดยแปรผันอัตราส่วนร้อยละ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10

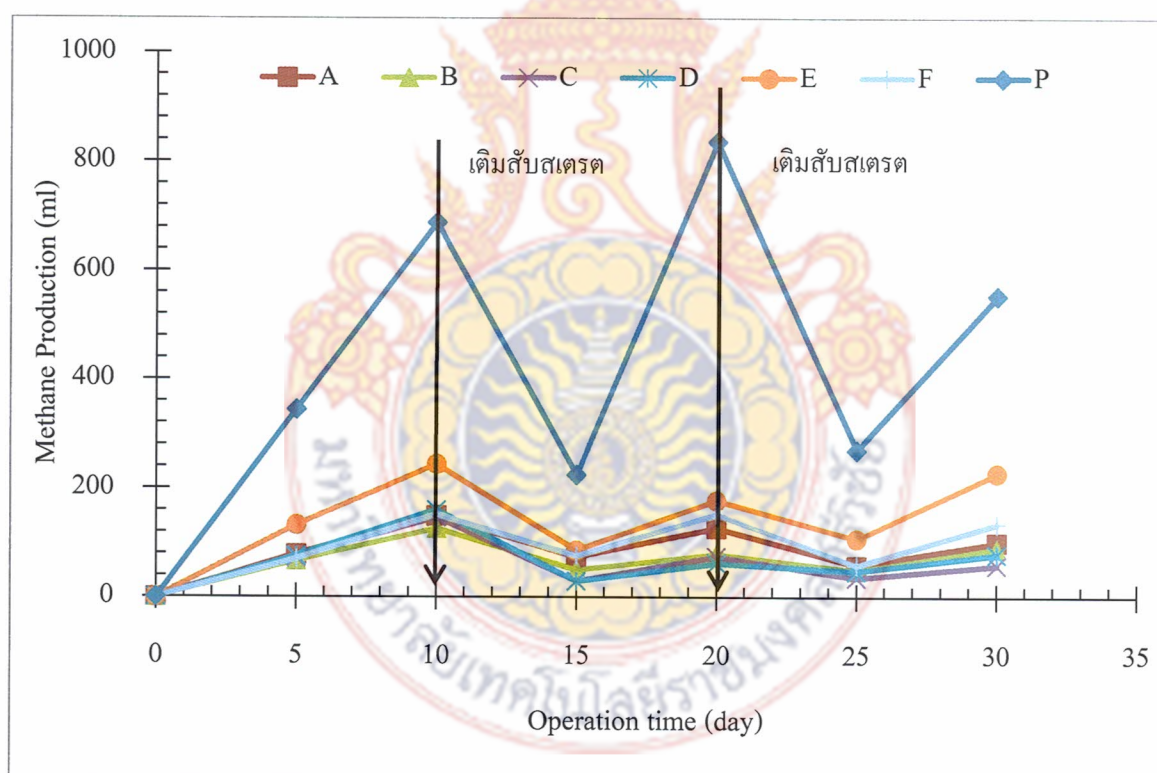


ภาพที่ 14 แสดงผลได้มีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/g-VS) จากการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนต่างๆ โดยแปรผันอัตราส่วนร้อยละ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10

#### 4. ผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในระบบต่อเนื่อง

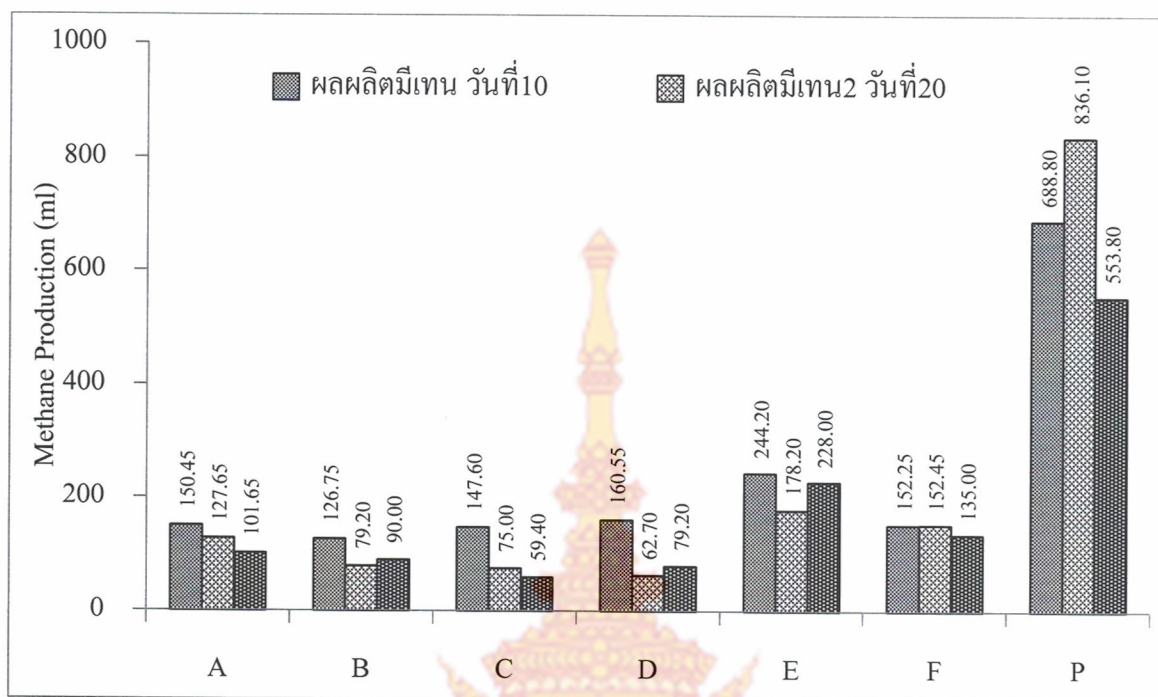
โดยทำการทดลองโดยใช้ถังหมักขนาด 1 ลิตร (ปริมาตรใช้งาน 0.5 ลิตร) ทำการเริ่มต้นระบบ เต็มกล้าเชื้อห้องทดลองเทียบเป็น 80% ของปริมาตรใช้งานทั้งหมด หลังจากนั้นทำการเดินระบบ แบบกึ่งต่อเนื่อง โดยมีการเปลี่ยนถ่ายวัสดุหมักทุกสัปดาห์จนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) เก็บตัวอย่างของเหลวเพื่อวิเคราะห์ค่าพีเอช และวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นทุกวันในถังเก็บก๊าซ โดยดู ปริมาณการแทนที่น้ำ และเก็บตัวอย่างก๊าซทุกสัปดาห์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี เพื่อคำนวณผลผลิตก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพการบำบัด สารอินทรีย์ พบว่า ในการผลิตมีเทนโดยใช้ระยะเวลากักเก็บ (HRT) เป็นเวลา 10 วัน และการ บรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 2 g VS/l/d จะเห็นว่า ของเสียอินทรีย์จากการเกษตร คือ ของเสียจาก ฟาร์มสุกร (โรงงาน P) จะให้ปริมาณอัตราการผลิตมีเทนสูงสุด ได้แก่ อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20 และ 30 เท่ากับ 688.80, 836.10 และ 55.80 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ตามลำดับ รองลงมาเป็นของเสีย อินทรีย์จากอุตสาหกรรม คือ ของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) และของเสียจาก โรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 244.20, 178.20, 228.00 ml-CH<sub>4</sub>/l/d และ 152.25, 152.45, 135.00 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ตามลำดับ รองลงมาเป็นของเสียจาก โรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน A) อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 150.45, 127.65 และ 101.65 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน B) อัตรา การผลิตมีเทนวันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 126.75, 79.20 และ 90.00 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ของเสียจากโรงงาน ปลาป่น (วัตถุดิบปลา) (โรงงาน D) อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 160.55, 62.70 และ 79.20 ml-CH<sub>4</sub>/l/d และของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) (โรงงาน C) อัตราการผลิตมีเทน วันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 147.60, 75.00 และ 59.40 ml-CH<sub>4</sub>/l/d จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนค่อนข้าง ใกล้เคียงกัน และผลได้มีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/g-VS) พบว่า ของเสียอินทรีย์จากการเกษตร คือ ของเสียจาก ฟาร์มสุกร (โรงงาน P) จะให้ปริมาณผลได้มีเทนสูงสุด ได้แก่ ผลได้มีเทนวันที่ 10, 20 และ 30 เท่ากับ 344.40, 418.05 และ 276.90 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ รองลงมาเป็นของเสียอินทรีย์จาก อุตสาหกรรม คือ ของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) และของเสียจากโรงงานปลา กระป๋อง (โรงงาน F) ผลได้มีเทนวันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 122.10, 89.10, 114.00 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS และ 76.13, 76.23, 67.50 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ รองลงมาเป็นของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล แช่แข็ง (โรงงาน A) ผลได้มีเทนวันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 75.23, 63.83 และ 50.83 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ของ เสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง (โรงงาน B) ผลได้มีเทนวันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 63.38, 39.60 และ 45.00 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) (โรงงาน D) ผลได้มีเทน

วันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 80.28, 32.35 และ 39.60 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS และของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขุ่นไก่) (โรงงาน C) ผลได้มีเทนวันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 73.80, 37.50 และ 29.70 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS จะให้ปริมาณผลได้มีเทนค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอวิศา จิตานูวัฒน์ (2545) ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ จากเศษอาหาร พบว่า ความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง จะเกิดก๊าซชีวภาพมากกว่าการเติม 3 วัน/ครั้ง และจะมีปริมาณการเกิดก๊าซน้อยลงเมื่อระยะเวลาเก็บกัก (HRT) มากขึ้น คือ HRT เท่ากับ 10 วัน เกิดก๊าซชีวภาพ 3.91 ลิตรต่อวัน, HRT เท่ากับ 15 วัน เกิดก๊าซชีวภาพ 3.30 ลิตรต่อวัน, HRT เท่ากับ 20 วัน เกิดก๊าซชีวภาพ 2.60 ลิตรต่อวัน และ HRT เท่ากับ 25 วัน เกิดก๊าซชีวภาพ 2.06 ลิตรต่อวัน โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 60.65 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD, TS, TVS และ VFE เท่ากับ 56.48, 52.39, 70.38 และ 27.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

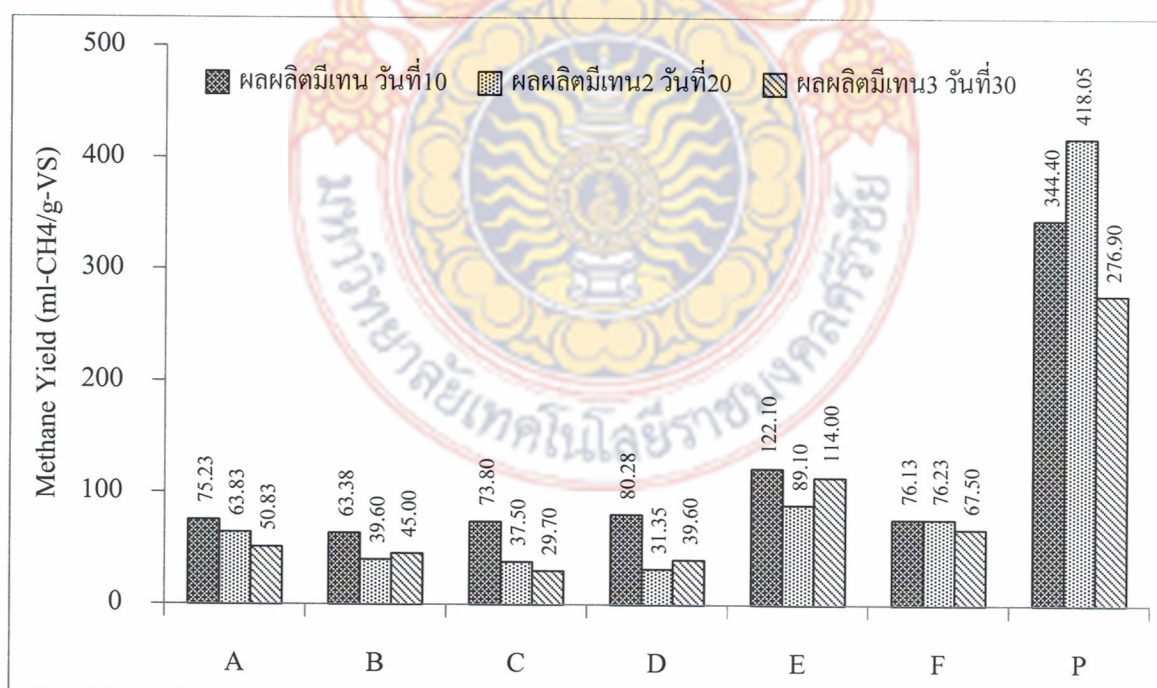


ภาพที่ 15 แสดงผลผลิต (ml) มีเทนด้วยการหมักของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในระบบต่อเนื่อง





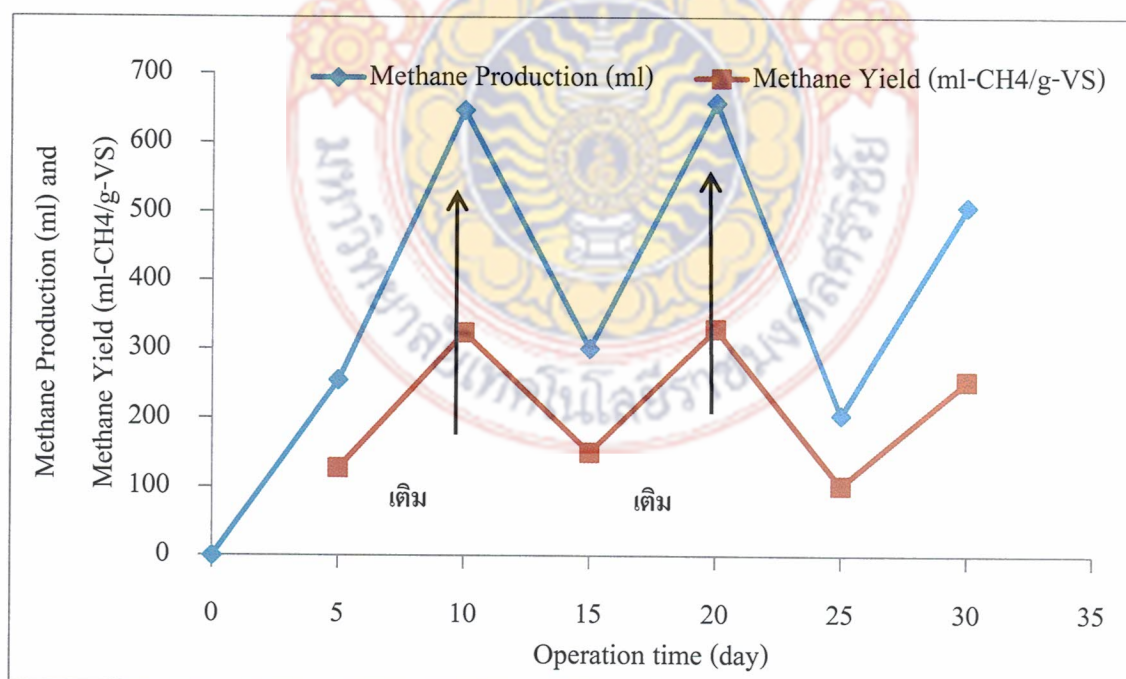
ภาพที่ 16 แสดงผลผลิตมีเทน (ml) ด้วยการหมักของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง วันที่ 10, 20 และ 30



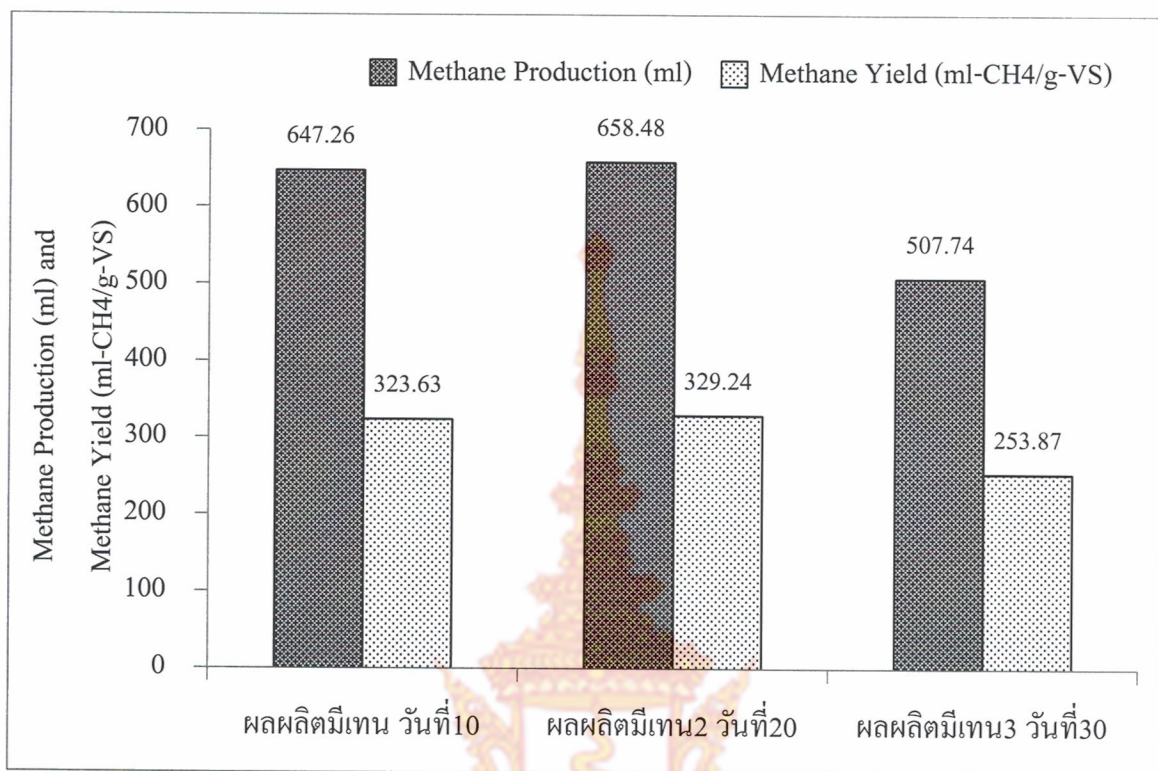
ภาพที่ 17 แสดงผลได้มีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/g-VS) ด้วยการหมักของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง

## 5. ผลการศึกษาภาระบรรทุกสารอินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักวัสดุหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบต่อเนื่อง

โดยทำการทดลองโดยใช้ถังหมักขนาด 2 ลิตร (ปริมาตรใช้งาน 1 ลิตร) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) ปริมาณกาก VS ของของเสียอินทรีย์ผสมจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็น 2-10 g VS/l/d ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน เก็บตัวอย่างของเหลวเพื่อวิเคราะห์ค่าพีเอช และวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นทุกวันในถังเก็บก๊าซโดยดูปริมาณการแทนที่น้ำและเก็บตัวอย่างก๊าซทุกสัปดาห์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี เพื่อคำนวณผลผลิตก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ พบว่า ในการผลิตมีเทนโดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เป็นเวลา 10 วัน และการบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 2 g VS/l/d จะเห็นได้ว่าการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40 ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุด พบว่า การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40 จะให้ปริมาณอัตราการผลิตมีเทนสูงสุด ได้แก่ อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20 และ 30 เท่ากับ 647.26, 658.48 และ 507.74 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ตามลำดับ และผลได้มีเทนสูงสุด เท่ากับ 323.63, 329.24 และ 253.87 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ



ภาพที่ 18 แสดงผลผลิตมีเทน (ml) และผลได้มีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/g-VS) ด้วยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง



ภาพที่ 19 แสดงผลผลิตมีเทน (ml) และผลได้มีเทน (ml-CH<sub>4</sub>/g-VS) ด้วยการหมักของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง วันที่ 10, 20 และ 30



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม โดยประกอบด้วย ของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง 2 แห่ง (โรงงาน A และ B) ของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบขนไก่) 1 แห่ง (โรงงาน C) ของเสียจากโรงงานปลาป่น (วัตถุดิบปลา) 1 แห่ง (โรงงาน D) ของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก 1 แห่ง (โรงงาน E) ของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง 1 แห่ง (โรงงาน F) และของเสียจากการเกษตรจากฟาร์มสุกร 1 แห่ง (โรงงาน G) พบว่า องค์ประกอบของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่มีค่าที่สูงที่สุด ได้แก่ น้ำเสียจากการโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) และน้ำเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) มีค่า COD โดยเฉลี่ย 4,160 และ 3,200 mg/L ค่า TS และ VS เฉลี่ยเท่ากับ 8,720, 7,170 และ 4,680, 3,410 mg/L ตามลำดับ ค่า Alkalinity มีค่าเฉลี่ย 950 และ 1,000 (mgCaCO<sub>3</sub>/L) ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) ของน้ำเสียจากการโรงงานแปรรูปปลาหมึก E โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 950 และ 950 (mg/L) และค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 6.53 และ 4.14 ตามลำดับ และส่วนน้ำเสียจากการเกษตร ฟาร์มสุกร (โรงงาน G) พบว่า ค่า COD ของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่าเฉลี่ย 8,000 mg/L มีค่า TS และ VS เฉลี่ยเท่ากับ 19,500 และ 13,630 mg/L ตามลำดับ ค่า Alkalinity มีค่าเฉลี่ย 3,800 (mgCaCO<sub>3</sub>/L) ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,100 (mg/L) และค่า pH พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.70 ซึ่งแสดงว่า ในน้ำทิ้งยังคงมีของแข็งปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง จะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงซึ่งสามารถนำของเสียศึกษาศึกษาภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพได้

ผลการทดลองศึกษาของของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในการนำมาผลิตมีเทนในระบบแบบกะ พบว่า ของเสียอินทรีย์จากการเกษตร คือ ของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุด เท่ากับ 4744.29 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ผลได้มีเทนสูงสุด เท่ากับ 94.89 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS รองลงมาเป็นของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรม คือ ของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) ของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 3433.07 และ 2479.50ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ตามลำดับ ผลได้มีเทน เท่ากับ 68.66 และ 44.59 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ และในการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 ได้แก่ การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุด เท่ากับ 7612.00 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste และผลได้มีเทน (Yield) สูงที่สุด เท่ากับ 152.24 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS รองลงมาเป็น การหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) กับของเสียจาก

ฟาร์มสุกร (โรงงาน G) จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 5490.64 mL-CH<sub>4</sub>/l-waste และผลได้มีเทน (Yield) เท่ากับ 109.81 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS จากการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 ที่ให้ปริมาณมีเทนสูงที่สุด โดยทำการหมักในอัตราส่วนต่างๆ ที่แตกต่างกัน โดยอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ตามลำดับ พบว่าการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 12060.00 ml-CH<sub>4</sub>/L-waste ผลได้มีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 241.20 ml-CH<sub>4</sub>-g-VS รองลงมาเป็นการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 70 : 30 จะให้ปริมาณผลผลิตมีเทน เท่ากับ 10292.50 mL-CH<sub>4</sub>/L-waste ผลได้มีเทน เท่ากับ 205.85 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Macias-Corral *et al.*, (2008) พบว่า การหมักมูลวัวอย่างเดียวสามารถผลิตมีเทนได้ 62 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก แต่การหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับของแข็งจากกากของเสียเทศบาลสามารถผลิตมีเทนได้ 172 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก ดังนั้นจะเห็นว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ร่วมกับวัสดุหมักอื่น สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้นจากการใช้มูลสัตว์เพียงอย่างเดียวและงานวิจัยของ Azbar *et al* (2008) ศึกษาการเพิ่มขึ้นของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการสกัดน้ำมันมะกอกโดยวิธีการย่อยสลายร่วมกัน กล่าวว่า เมื่อทำการย่อยสลายโดยใช้ น้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกเพียงอย่างเดียวจะได้ก๊าซชีวภาพที่ต่ำมาก แต่ถ้าใช้การย่อยสลายร่วมกันของน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันมะกอกกับฟางจะเพิ่มก๊าซชีวภาพได้ถึง 90% ก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเพียง 22% ซึ่งในการทดลองที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด

ผลการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมในระบบต่อเนื่อง โดยใช้ระยะเวลาเก็บ (HRT) เป็นเวลา 10 วัน และการบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 2 g VS/l/d จะเห็นได้ว่า ของเสียอินทรีย์จากการเกษตร คือ ของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน P) จะให้ปริมาณอัตราการผลิตมีเทนสูงที่สุด ได้แก่ อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20 และ 30 เท่ากับ 688.80, 836.10 และ 55.80 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ตามลำดับ ผลได้มีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 344.40, 418.05 และ 276.90 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ รองลงมาเป็นการหมักร่วมของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรม คือ ของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) และของเสียจากโรงงานปลากระป๋อง (โรงงาน F) อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20, 30 เท่ากับ 244.20, 178.20, 228.00 ml-CH<sub>4</sub>/l/d และ 152.25, 152.45, 135.00 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ตามลำดับ ผลได้มีเทน เท่ากับ 122.10, 89.10, 114.00 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS และ 76.13, 76.23, 67.50 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ และผลการทดลองการบรรทุกสารอินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักวัสดุหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบต่อเนื่อง พบว่า ใน

การผลิตมีเทนโดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เป็นเวลา 10 วัน และการบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 2 g VS/l/d จะเห็นได้ว่าการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานแปรรูปปลาหมึก (โรงงาน E) กับของเสียจากฟาร์มสุกร (โรงงาน G) ที่อัตราส่วน 60 : 40 ปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุด อัตราการผลิตมีเทนวันที่ 10, 20 และ 30 เท่ากับ 647.26, 658.48 และ 507.74 ml-CH<sub>4</sub>/l/d ตามลำดับ และผลได้มีเทนสูงสุด เท่ากับ 323.63, 329.24 และ 253.87 ml-CH<sub>4</sub>/g-VS ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอวิศา จุลานวัฒน์ (2545) ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร พบว่า ความถี่ในการเติมของเหลววัน/ครั้ง จะเกิดก๊าซชีวภาพมากกว่าการเติม 3 วัน/ครั้ง และจะมีปริมาณการเกิดก๊าซน้อยลงเมื่อระยะเวลาเก็บกัก (HRT) มากขึ้น คือ HRT เท่ากับ 10 วัน เกิดก๊าซชีวภาพ 3.91 ลิตรต่อวัน, HRT เท่ากับ 15 วัน เกิดก๊าซชีวภาพ 3.30 ลิตรต่อวัน, HRT เท่ากับ 20 วัน เกิดก๊าซชีวภาพ 2.60 ลิตรต่อวัน และ HRT เท่ากับ 25 วัน เกิดก๊าซชีวภาพ 2.06 ลิตรต่อวัน โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 60.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



## เอกสารอ้างอิง

- เทศบาลเมืองเขารูปช้าง. 2556. ยุทธศาสตร์การพัฒนาเทศบาลเมืองเขารูปช้าง (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://www.nmt.or.th/songkhla/khaorupchang/Lists/List7/AllItems.aspx> เมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2556.
- อวัสดา ฉลานูวัฒน์. อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- Alastair, J. Phil, J. Peter, J. and David L. 2008. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technol.* 99 : 7928–7940.
- 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.
- Chen J.L. Li X.M. Li Y.D. Qin Y.N. 2003. Production of hydrogen and nanocarbon from direct decomposition of undiluted methane on high-nickeled Ni–Cu–alumina catalysts. *Chem. Lett.* 32: 424–425.
- 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 BenCheikh, R. 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.
- Largus T.A. Khursheed K. Muthanna H.A. Brian A. Wrennand R.D. 2004. Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater. *Trends in Biotechnology* 22: 477–485.

- 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.
- Liu C. Holst J. Brüggemann N. Butterbach-Bahl K. Yao Z. Han S. Zheng X. 2008. Effects of irrigation on nitrous oxide, methane and carbon dioxide fluxes in an Inner Mongolian steppe. *Adv Atmos Sci* 5 (in press).
- Lo K.V. Liao P.H. 1985. High-rate anaerobic digestion of screened dairy manure. *Journal of Agricultural Engineering Resources.* 32: 349–358
- 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.
- Masse D.I. Droste R.L. 2000. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch reactor. *Water Res.* 34: 3087–3106.
- Molnar L. Bartha I. 1989. Factors influencing solid-state anaerobic digestion. *Biol. wastes* 28: 15–24.
- Najafpour, G. D., Zinatizadeh, A. A. L., Mohamed, A.R., Hasnain Isa, M. & Nasrollahzadeh, H. 2006. Highrate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an upflow anaerobic sludge-fixed film reactor. *Proc. Biochem.* 41: 370-379.
- Wikipedia. Food waste. [online]. 2009. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Methane>
- Yacob, S., Shirai, Y., Hassan, M.A., Wakisaka, M., Subash, S., 2006b. Start-up operation of semi commercial closed anaerobic digester for palm oil mill effluent treatment. *Process Biochemistry.* 41: 962–964.



### ภาคผนวก ก.

#### การหาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งที่ระเหยได้ (VS)

Total solid content (TS), Volatile solid content (VS) (AOAC Official Method 985.29, 2000)

#### วิธีวิเคราะห์

1. อบครุชชีเบิ้ลที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
2. นำครุชชีเบิ้ลใส่ในเคซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 15-30 นาที)
3. ชั่งน้ำหนักครุชชีเบิ้ล (A)
4. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนใส่ในครุชชีเบิ้ล (B)
5. บันทึกน้ำหนักตัวอย่างรวมกับน้ำหนักครุชชีเบิ้ล
6. นำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
7. นำครุชชีเบิ้ลใส่ในเคซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 15-30 นาที)
8. ชั่งน้ำหนักรวมของตัวอย่างรวมกับน้ำหนักครุชชีเบิ้ล หลังการอบ (C)
9. นำไปเผาโดยใช้เตาเผา ที่อุณหภูมิ  $550 \pm 50$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
10. นำครุชชีเบิ้ลใส่ในเคซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 30 นาที)
11. ชั่งน้ำหนักรวมของตัวอย่างรวมกับน้ำหนักครุชชีเบิ้ล หลังการเผา (D) และคำนวณผล

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)} = ((A-C) \cdot 10^6) / B$$

$$\text{ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (mg/L)} = ((C-D) \cdot 10^6) / B$$

#### การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

Total Kjeldahl nitrogen, TKN (AOAC Official Method 973.48, 2000)

#### วิธีวิเคราะห์

##### ก. ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างที่อบแล้วด้วยกระดาษชั่งสารที่ปราศจากไนโตรเจนให้ได้น้ำหนัก 0.5 กรัม บันทึกน้ำหนักโดยละเอียดด้วยเครื่องชั่งทศ 2 ตำแหน่ง แล้วใส่ตัวอย่างลงในขวดวิเคราะห์โปรตีน

2. เติมสารเร่งรวม 3 กรัม

3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร

4. นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องย่อยโปรตีนที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียสจนกระทั่งสารละลายในขวด (สีเขียวมรกต) ประมาณ 3 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

#### ข. ขั้นตอนการกลั่น

1. นำหลอดโปรตีนที่เย็นและมีสารละลายตัวอย่างเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
2. ต่อขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเข้ากับชุดเครื่องกลั่นที่มีขวดรูปชมพู่ บรรจุน้ำกรด บอริก 40 มิลลิลิตร (ใส่อินดิเคเตอร์) โดยให้ปลายของท่อจากกระบอก แก้วจุ่มอยู่ในกรดบอริก เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 40 ลงในขวดวิเคราะห์อย่างช้าๆ จนปริมาตร 50 มิลลิลิตร จะเห็นละมีสีดำ
3. ทำการกลั่นจนกระทั่ง ไม่มีก๊าซแอมโมเนียออกมา แล้วจึงเอาขวดรูปชมพู่ ออกจากเครื่องกลั่น

#### ค. ขั้นตอน

1. นำไปไทเทรตกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐานที่ใช้ความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วจนกระทั่งกรดบอริกเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน
2. บันทึกปริมาตรของกรดเกลือมาตรฐานที่ใช้ไป  
หมายเหตุ ทำ Blank โดยใช้กระดาษชั่งสารอย่างเดียวและทำการย่อยและกลั่นเหมือนตัวอย่างทุกขั้นตอน

#### การคำนวณ

$$\text{โปรตีน (\%)} = \frac{1.4 (V_1 - V_2) N 6.25}{W}$$

เมื่อ

$V_1$  คือ ปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง

$V_2$  คือ ปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ในการไทเทรตกับ Blank

N คือ ความเข้มข้นของกรดเกลือ

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง

#### การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้

#### Volatile Fatty Acid, VFA วิธี Direct titration method

#### วิธีการวิเคราะห์

1. วางตัวอย่างปล่อยให้เกิดการตกตะกอน
2. นำของเหลวส่วนที่ใสปริมาตร 1.0 ml เจือจางกับน้ำปริมาตร 50-100 ml

3. หยด Phenolphthalein 2-3 หยด แล้วนำไปไทเทรตกับ 0.02 M NaOH
4. จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากใสไม่มีสีกลายเป็นสีชมพูอ่อนๆ
5. บันทึกปริมาตรของ 0.1 M NaOH ที่ใช้

#### การคำนวณ

$$\text{VFA (mg /L)} = \frac{(\text{ปริมาตร 0.02 M NaOH ที่ใช้}) (1000)}{(\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต})}$$

#### การวิเคราะห์สภาพด่าง (Alkalinity) (Titration method)

##### วิธีการวิเคราะห์

1. ดูดตัวอย่างน้ำปริมาตร 50 หรือ 100 ml (เจือจางที่เหมาะสม)
2. หยดสารละลาย 0.1 M sodium thiosulfate 1-2 หยด เพื่อทำลายคลอรีนอิสระที่อาจปนอยู่
3. หยด phenolphthalein indicator 2-3 หยด ถ้าตัวอย่างเปลี่ยนสีชมพู ไทเทรตด้วย 0.02 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  จนกระทั่งสีชมพูหายไป (P)
5. หยด methyl orange indicator 2-3 หยด แล้วมีสีเหลืองเกิดขึ้น ให้ไทเทรตด้วย 0.02 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  จนกระทั่งได้สีส้มแดง จดปริมาตรกรดที่ใช้ (T)

#### การคำนวณ

$$\text{Alkalinity (mg/l CaCO}_3) = (T \times N \times 50,000) / \text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}$$

โดย A = ปริมาตรของสารละลาย 0.02 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ที่ใช้ในการไทเทรต (มีหน่วยเป็น มล.)

N = ความเข้มข้นของสารละลาย 0.02 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ที่ใช้ในการไทเทรต (มีหน่วยเป็น N)

#### การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (คัดแปลงจาก A.O.A.C., 1990)

##### วิธีการวิเคราะห์

1. อบกระดาศกรองและตัวอย่างสำหรับหาปริมาณไขมันในตู้อบไฟฟ้าทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาศกรองเบอร์ 4 ที่ทราบน้ำหนัก ถ้าตัวอย่างเป็นอาหารชนิดที่มีไขมันมากให้ชั่ง 1-2 g ถ้าเป็นชนิดที่มีไขมันน้อยให้ชั่ง 3-5 g ห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงใน Thimble
3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในชอคเลต
4. เติมสารละลายปิโตรเลียม อีเทอร์ ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 mL แล้ววางบนเตา

5. ประกอบอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควมแน่นและเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน

6. ใช้เวลาในการสกัดไขมันนาน 18 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารละลายกลั่นตัว จากอุปกรณ์ควมแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที

7. เมื่อครบ 18 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากชอคเลต ที่งให้ตัวทำละลายไหลจากชอคเลตลงในขวดก้นกลมจนหมด

8. นำ Thimble และตัวอย่างอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 – 90 °C จนแห้งใช้เวลาประมาณ 600 นาที ที่งให้เย็นในโถดูดความชื้น

9. ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ร้อยละไขมัน} = \frac{(\text{นน. ตัวอย่างและกระดาษกรองก่อน} - \text{นน. ตัวอย่างและกระดาษกรองก่อน}) * 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างและกระดาษกรองก่อน}}$$

**การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (คาร์โบไฮเดรต) โดยใช้วิธี Anthron**

**การเตรียมสารละลาย Anthrone**

ชั่ง Anthrone 0.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติม absolute ethanol 5 มิลลิลิตร คนให้ละลายแล้วเทลงในขวดปรับปริมาตร 250 มิลลิลิตร ที่มีกรดซัลฟูริก 75 % ปรับปริมาตร แล้วห่อด้วยฟลอยด์ (ห้ามโดนแสง) นำไปเก็บไว้ในตู้เย็น

**การเตรียมกราฟมาตรฐาน**

1. เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานให้มีความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมโดยชั่งน้ำตาลกลูโคสบริสุทธิ์ 0.1 กรัม ละลายในน้ำ 50 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 มิลลิลิตร (Stock Glucose)

2. เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานโดยนำสารละลายในข้อที่ 1 มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ 0.0, 50.0 100, 150 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส ( $\mu\text{g/ml}$ )	ปริมาณ Stock Glucose (ml)	ปริมาณน้ำกลั่น (ml)
0	0.0	10.0
20	0.5	9.5
40	1.0	9.0
60	1.5	8.5
80	2.0	8.0
100	2.5	7.5

การวิเคราะห์สารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆและสารละลายตัวอย่าง

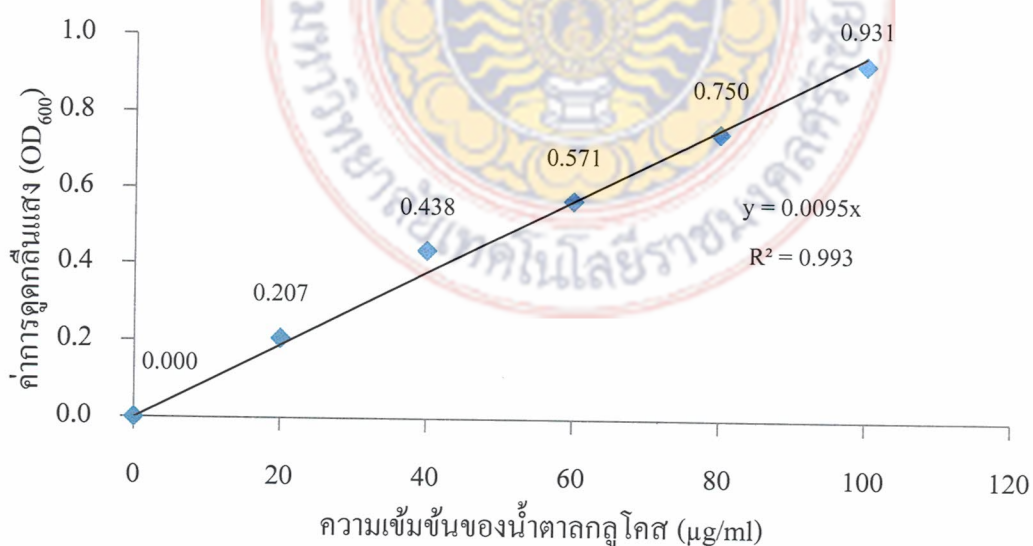
1. ดูดสารละลายกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆและสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

2. เติมสารละลาย Anthron ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

3. ต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที

4. ทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยการนำหลอดทดลองมาแช่ในน้ำแข็ง

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปกโทโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น (Wavelength) 630 นาโนเมตร ( $\text{OD}_{630}$ )



ภาพที่ 20 กราฟมาตรฐานสารละลายน้ำตาลกลูโคสสำหรับวิธี Anthron

## ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมดและของแข็งที่ระเหยง่ายจากของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

น้ำเสีย	นน. เริ่มต้น (g)	นน. หลังอบ	นน. หลังเผา	TS	VS	ค่าเฉลี่ย TS	ค่าเฉลี่ย VS
A	40.0488	40.3014	40.1950	6.32	2.66	6.29	2.65
	34.0392	34.2898	34.1843	6.26	2.64		
B	35.4764	35.5557	35.5312	1.98	0.61	1.94	0.59
	37.2274	37.3031	37.2808	1.89	0.56		
C	37.4312	37.4816	37.4528	1.26	0.72	1.25	0.72
	36.2628	36.3127	36.2837	1.25	0.72		
D	35.0266	35.0397	35.0331	0.33	0.17	0.27	0.14
	36.2645	36.2726	36.2680	0.20	0.11		
E	35.9687	36.3267	36.1122	8.95	5.36	8.27	4.68
	41.2288	41.5323	41.3721	7.59	4.00		
F	35.5217	35.8069	35.6698	7.13	3.43	7.17	3.41
	36.3484	36.6365	36.5009	7.20	3.39		
P	21.2059	21.8132	21.3846	20.24	14.29	19.50	13.63
	20.2510	20.8136	20.4247	18.75	12.96		

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์หี้ออกจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

น้ำเสีย	นน.เริ่มต้น	นน.หลังเผา	ร้อยละเถ้า	ค่าเฉลี่ยร้อยละเถ้า
A	0.2526	0.1064	42.12	42.11
	0.2506	0.1055	42.09	
B	0.0793	0.0245	30.89	30.17
	0.0757	0.0223	29.45	
C	0.0504	0.0288	57.14	57.62
	0.0499	0.029	58.11	
D	0.0131	0.0066	50.38	53.58
	0.0081	0.0046	56.79	
E	0.358	0.2145	59.91	56.35
	0.3035	0.1602	52.78	
F	0.2852	0.1371	48.07	47.56
	0.2881	0.1356	47.06	
P	0.6073	0.4286	70.57	69.85
	0.5626	0.3889	69.12	

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ไขมันจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

น้ำเสีย	กระดาษกรอง (กก.)	กก.+ตย. ก่อน	กก.+ตย. หลัง	ร้อยละไขมัน
A	1.2569	2.325	2.1894	5.83
B	1.2672	2.196	2.152	2.00
C	1.2631	1.7689	1.752	0.96
D	1.2595	1.474	1.4604	0.92
E	1.2407	2.3368	2.1083	9.78
F	1.233	2.2908	2.1138	7.73
P	0.913	2.1100	1.8730	11.23

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ไนโตรเจนและโปรตีนจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

น้ำเสีย	ไตเตรต 0.1N HCl	ร้อยละไนโตรเจน	ร้อยละโปรตีน
A	3.3	0.896	5.6
B	1.2	0.308	1.925
C	1.4	0.364	2.275
D	1.4	0.364	2.275
E	5.5	1.512	9.45
F	4.2	1.148	7.175
P	11.5	3.28	20.48

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์สภาพต่างจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

น้ำเสีย	ไตเตรต 0.02 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ค่าเฉลี่ย	mg/L CaCO <sub>3</sub>	
A	1	1.3	1.15	1150
B	1.2	1.3	1.25	1250
C	0.8	1	0.9	900
D	1.1	1.4	1.25	1250
E	0.8	1.1	0.95	950
F	0.8	1.2	1	1000
P	3.7	3.9	3.8	3800



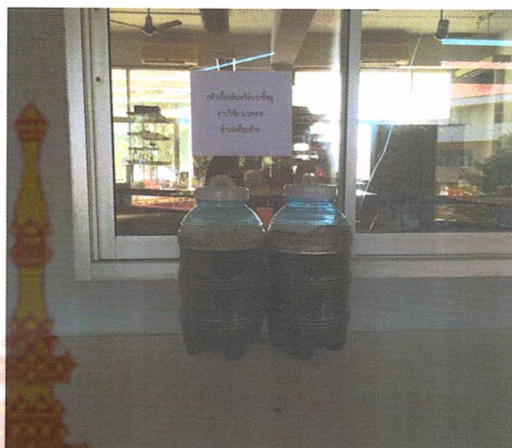
ตารางที่ 9 การวิเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยง่ายของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

น้ำเสีย	ไตเตรต 0.02 N NaOH	ค่าเฉลี่ย	mg/L
A	0.8	0.9	850
B	0.5	0.6	550
C	0.7	0.6	650
D	0.5	0.4	450
E	0.9	1	950
F	1	0.9	950
P	1.1	1.1	1100

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ซีไอดีจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

น้ำเสีย	0.1N FAS	mg/L
A	0.42	1344
B	0.7	448
C	0.7	448
D	0.4	256
E	1.3	4160
F	1	3200

## ภาคผนวก ค.



ภาพที่ 21 การเตรียมกล้าเชื้อมูลสุกร



ภาพที่ 22 การหมักเดี่ยวและการหมักร่วมจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม



ภาพที่ 23 การวิเคราะห์ไนโตรเจนและไขมัน



ภาพที่ 24 ตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์ไขมัน



ภาพที่ 25 การวิเคราะห์ TS, VS

