

การพัฒนาคุณภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานเอทานอลโดยการ
ผสมกากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ดำเนินทราย ทรัพย์ไพศาล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

2559

การพัฒนาคุณภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานเอทานอลโดยการ
ผสมกากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร
ดำเนินทราย ทรัพย์ไพศาล
คณะกรรมการพัฒนาสิ่งแวดล้อม

รองศาสตราจารย์ อธิการบดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.วิชาญ ภูจินดา)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประธานกรรมการ
(ดร.วราภรณ์ ศรีนิล)

..... กรรมการ
(ดร.รุ่งฤดี บุญสูง)

รองศาสตราจารย์ กรรมการ
(ดร.วิชาญ ภูจินดา)

รองศาสตราจารย์ คณบดี
(ดร.จำลอง โพธิ์บุญ)

กันยายน 2559

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาคุณภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงาน เอทานอลโดยการผสมกากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสีย จากฟาร์มสุกร
ชื่อผู้เขียน	นางสาว คำเนินทราย ทรัพย์ไพศาล
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา	2559

น้ำวินัสเป็นน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลมีแอมโมเนียจะเพิ่มสูงขึ้น จากเป้าหมายการใช้เอทานอลที่สูงขึ้นตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี 2558-2579 ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการทำการทดลองหมักน้ำวินัสด้วยของผสม 3 ชนิด คือ กากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร เพื่อศึกษาความเหมาะสมของชนิดของของผสม และอัตราส่วนของการผสม โดยทำการหมักของผสมในอัตราส่วนที่ ร้อยละ 10, 30 และ 50 โดยน้ำหนักตามลำดับ ค่าความเป็นกรดเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 และทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 40 วัน แล้วนำก๊าซที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากการทดลองพบว่าการผสมกากมันสำปะหลังกับน้ำวินัสจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยส่งผลให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลง ส่วนการผสมผักตบชวากับน้ำวินัสนั้นให้ผลที่ดีเมื่อผสมผักตบชวามีสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 50 ซึ่งทำให้ได้ก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่ำ สำหรับการผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ร้อยละ 30 ช่วยลดการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ แต่ต้องผสมที่ร้อยละ 50 จึงจะสามารถให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น โดยสรุป การหมักแบบผสมของน้ำวินัสกับ กากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกรสามารถปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพได้ เมื่อเปรียบเทียบของผสมทั้ง 3 ชนิดพบว่าผักตบชวาที่ร้อยละ 50 ให้ผลดีที่สุดคือ ได้ปริมาณก๊าซมีเทน 852,579 ppm และ เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่า 0.01 mg/m³ ผล COD พบว่าการผสมผักตบชวาที่ร้อยละ 50 ทำให้ค่า COD ภายหลังจากการหมักเหลืออยู่ต่ำที่สุดที่ 37,240 mg/L

ABSTRACT

Title of Thesis	Development of Biogas Production Using Mixed Resources Cassava, Water Hyacinth and Water Mixed with Swine Wastewater
Author	Miss Dumnernsai Subpaisarn
Degree	Master of Science (Environmental Management)
Year	2016

Vinasses is the wastewater from ethanol distillation process which has a tendency to increase every year from the higher demand of ethanol consumption according to Alternative Energy Development Plan (AEDP) 2015 – 2036. Thus, this research studies the anaerobic digestion of Vinasses with 3 different substrates i.e. cassava pulp, water hyacinth and pig manure and investigated the performance of each substrate and the its mixing ratio by 10%, 30% and 50% weight/weight, respectively. The initial pH was controlled in range of 6.5 – 7.5 and the fermentation temperature was used at room temperature. The samples were last for 40 days before sampling the generated gas to analyze methane and hydrogen sulfide content. From the result, it was found that cassava pulp improves biogas quality by increasing methane content and reduce the concentration of hydrogen sulfide. Mixing with water hyacinth will enhance the biogas quality at the ratio of 50% which gave the highest methane content and less hydrogen sulfide concentration. Mixing with pig manure at 30% can reduce hydrogen sulfide generation but the ratio must be up to 50% in order to increase the methane content. In conclusion, co-digestion of Vinasses with cassava pulp, water hyacinth and pig manure can increase methane content and reduce hydrogen sulfide as well. Besides, among these three substrates, mixing water hyacinth at 50% gave the highest methane generated at 852,579 ppm and hydrogen Sulfide less than 0.01 mg/m³. The COD value from mixing with water hyacinth at 50% gave the lowest remaining COD at 37,240 mg/L.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.วิสาขา ภูจินดา อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
ปริญญาโท ผศ.ดร.วรางคณา ศรีนิล และดร.รุ่งฤดี บุญสูง ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำต่างๆใน
งานวิจัยฉบับนี้ และนายธนกร ลิลาชัยเจริญภัณฑ์ สำหรับข้อเสนอแนะและความช่วยเหลือในทุกๆด้าน
ในการทำวิจัย ขอขอบคุณบริษัทเพโทรกรีน และบริษัทไทย ควอลิตี้ สตาร์ชที่อนุญาตให้ใช้ของเหลือ
ทิ้งของบริษัทเพื่อใช้ในการทำวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการกรมอนามัยที่อนุญาตให้ใช้
สถานที่พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา
มารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือสนับสนุน
และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ดำเนินทราย ทรัพย์ไพศาล

กันยายน 2559

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	2
ABSTRACT	3
กิตติกรรมประกาศ	4
สารบัญ	5
สารบัญตาราง	7
สารบัญภาพ	8
สัญลักษณ์และคำย่อ	10
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย	1
1.2 คำถามการวิจัย	4
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	5
บทที่ 2 กรอบแนวคิด ทฤษฎี และการทบทวนวรรณกรรม	6
2.1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำวินัส	6
2.2 คุณสมบัติของผักตบชวา กากมันสำปะหลัง น้ำเสียจากฟาร์มสุกร และน้ำวินัส	8
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมักแบบผสม	11
2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการทดลอง	14
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	17
3.1 การวางแผนการทดลอง	17
3.2 กรอบแนวคิด (ตัวแปร)	18
3.3 แผนการทดลอง	19

3.4	ขั้นตอนการทดลอง (17 ตุลาคม 2558)	20
3.5	เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	32
3.6	การเก็บผลทดลอง (25 พฤศจิกายน 2558)	32
3.7	วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	39
บทที่ 4	ผลการทดลอง และอภิปรายผล	41
4.1	การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนของของผสม กับน้ำวินัสร้อยละ 100	41
4.2	การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของของผสม กับน้ำวินัสร้อยละ 100	44
4.3	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของของผสม	46
4.4	ค่า COD ของน้ำหลังจากการหมัก	48
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยอภิปราย และข้อเสนอแนะ	53
5.1	สรุปผล และอภิปราย	53
5.2	แนวทางการหมักแบบผสมเชิงอุตสาหกรรม	55
5.3	ข้อจำกัดของการศึกษา	57
5.4	ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม		58
ภาคผนวก		66
	ภาคผนวก ก ตารางการจัดการด้านเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าจากน้ำวินัสที่ใช้ในการวิจัยนี้ ขนาด 1 เมกะวัตต์	67
	ภาคผนวก ข คำศัพท์	68
ประวัติผู้เขียน		69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแสดงผลกระทบต่อร่างกายจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	3
2.1 คุณสมบัติของผักตบชวา กากมันสำปะหลัง และปุ๋ยมูลสุกร	9
2.2 คุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวา กากมันสำปะหลัง และปุ๋ยมูลสุกร	10
2.3 คุณสมบัติของน้ำวินัส	10
3.1 แผนการทดลอง	19
3.2 แสดงน้ำหนักของน้ำวินัส และของผสมในอัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ของน้ำวินัส	21
4.1 แสดงค่า COD ของกากมันสำปะหลัง กับ ผักตบชวาใน อัตราส่วน ร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50	50
5.1 ตารางการเดินระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์ (Owl Energy Ltd., 2013)	67
5.2 ตารางค่าใช้จ่ายของโรงไฟฟ้าจากน้ำวินัสที่ใช้ในการวิจัยนี้ขณะดำเนินงาน ขนาด 1 เมกะวัตต์ ต่อปี (Owl Energy Ltd., 2013)	67

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทน	13
3.1 กรอบแนวคิด (ตัวแปร)	18
3.2 แผนการทดลอง	19
3.3 ก้อนน้ำวินัส	20
3.4 เจาะฝาขวดน้ำพลาสติกด้วยสว่าน	21
3.5 ตวงน้ำวินัส 50 มิลลิลิตร	23
3.6 ตวงน้ำท้ายบ่อ 350 มิลลิลิตร จากนั้นเทรวมกับน้ำวินัส	23
3.7 จำนวนขวด 3 ขวดที่ทำซ้ำ	24
3.8 ตวงกากมันสำปะหลัง	24
3.9 ผักตบชวาแห้ง	25
3.10 ปั่นผักตบชวาแห้งด้วยเครื่องปั่นอาหาร	25
3.11 เก็บน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	26
3.12 ตวงน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	27
3.13 วัดค่า pH ของตัวอย่างทดลอง	27
3.14 บีบก๊าซออกจากขวดโดยเพื่อไล่อากาศ	28
3.15 ปิดสติกเกอร์ PVC ขนาด 7x7 เซนติเมตร ลงบนปากขวด	28
3.16 ปิดสติกเกอร์ PVC ขนาด 1.5x1.5 เซนติเมตร ลงตรงกลางปากขวด 2 ชั้น	29
3.17 ปิดฝาขวดทดลองทับลงบนสติกเกอร์ PVC	29
3.18 ตำแหน่งการวางขวดทดลอง	30
3.19 ขวดทดลองที่ถูกจัดเรียงแล้ว	31
3.20 คูณก๊าซจากขวดทดลองเข้าไชลิงค์สำหรับคูณก๊าซ	33
3.21 คูณอากาศออกจากถุงเก็บอากาศ	34
3.22 ใช้ตัวหนีบ หนีบสายซิลิโคนของถุงเก็บอากาศ	34
3.23 ใช้เข็มเจาะลงไปบนรูของฝาขวดทดลอง	35

3.24	ต่อปลายสายยางอีกฝั่งเข้ากับปั๊มดูดอากาศ	35
3.25	เปิดปั๊มดูดอากาศ ให้ก๊าซไหลเข้าไปยังถุงเก็บอากาศ	36
3.26	ใช้ตัวหนีบ หนีบสายยางซิลิโคนของถุงเก็บอากาศ	36
3.27	หักปลายหลอดชาร์โคลทั้งสองด้าน	37
3.28	ลูกศรบนหลอดชาร์โคลเป็นตัวบอกทิศทางการไหลของอากาศ	37
3.29	ดูดก๊าซจากถุงผ่านหลอดชาร์โคล	38
3.30	อัตราการไหล 0.2 ลิตร/นาที่	38
3.31	เขียนเลขเบอร์ขวดที่ดูดก๊าซให้ชัดเจน	39
4.1	แสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ระหว่างของผสมกากมันสำปะหลัง ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100	42
4.2	แสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ระหว่างของผสมผักตบชวา ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100	43
4.3	แสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ระหว่างของผสมน้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100	43
4.4	แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสม กากมันสำปะหลัง กับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100	45
4.5	แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสม ผักตบชวา กับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100	45
4.6	แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสมน้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100	46
4.7	แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสมน้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100	47
4.8	แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสมน้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100	48
4.9	แสดงค่า COD ของของเหลวที่เหลือจากการหมักระหว่างของผสม 3 ชนิด และน้ำวินัสร้อยละ 100	49
4.10	แสดงอัตราการกำจัดค่า COD ระหว่างของผสมทั้ง 3 ชนิด กับน้ำวินัส	52

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

ความหมาย

%

ร้อยละ

°C

องศาเซลเซียส

คำย่อ

pH

Potential of Hydrogen ion หมายถึง

ความเป็นกรด-เบส

COD

Chemical Oxygen Demand หมายถึง ปริมาณ
ของออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องใช้สำหรับทำ
ปฏิกิริยาเคมี (Oxidation) กับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ

ppm

Part Per Million (PPM) หมายถึง หนึ่งในล้านส่วน

C : N

Carbon : Nitrogen หมายถึง สัดส่วนระหว่าง
คาร์บอนกับไนโตรเจน

kg⁻¹

1 / กิโลกรัม

VS

Volatile Suspended Solids หมายถึง ค่าของแข็ง
แขวนลอยระเหยง่าย

mg

Milligram หมายถึง หน่วยมิลลิกรัม

L

Litre หมายถึง หน่วยลิตร

m³

Cubic Meters หมายถึง หน่วยลูกบาศก์เมตร

MW

Megawatt หมายถึง หน่วยเมกะวัตต์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

อุตสาหกรรม คือ กระบวนการแปรรูป หรือ การผลิตสิ่งของจากวัตถุดิบให้เป็นวัสดุใหม่ เพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยอุตสาหกรรมถือเป็นสิ่งสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งก่อให้เกิดเงินหมุนเวียนในระบบ เกิดการจ้างงาน และเทคโนโลยีต่างๆ แต่ในขณะเดียวกัน ของเสีย หรือสารมลพิษที่เกิดจากการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น น้ำเสีย ฝุ่นละออง สารตะกั่ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และขยะมูลฝอย ก็ถือเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ หากขาดการจัดการที่ดีด้วยแล้ว จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อชุมชน หรือประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียง และอาจมีผลต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆในระบบนิเวศตามธรรมชาติอีกด้วย

การจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม จึงเป็นสิ่งสำคัญในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักจะทิ้งของเสียจากโรงงาน โดยไม่คำนึงถึงคุณค่าของของเสียเหล่านั้น หรือบางโรงงานที่มีของเสียที่เป็นวัตถุดิบที่อาจใช้รีไซเคิลอย่างปลอดภัยในการกำจัดของเสีย แต่ถ้าหากโรงงานอุตสาหกรรมมีการจัดการของเสียที่ดีแล้ว จะสามารถนำของเสียเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ต่อได้อีกด้วย เช่น การนำเศษยางที่เหลือจากโรงงานผลิตรองเท้าไปผลิตเป็นพื้นสนามกีฬา การนำเศษขี้เถ้าจากการเผาไหม้ไปเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกเพื่อช่วยลดต้นทุน หรือความร้อนจากการเผาในการผลิตเซรามิกก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ การจัดการของเสียอย่างมีประสิทธิภาพจึงถือเป็นเรื่องสำคัญอย่างมากสำหรับอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

การจัดการน้ำเสียถือเป็นปัญหาหลักของโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากทุกโรงงานอุตสาหกรรมจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบในการผลิตไม่ว่าจะใช้ในการหล่อเย็น หรือชำระล้างก็ตาม อีกทั้งน้ำเสียจะก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งอาจเป็นการรบกวนชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงอีกด้วย การจัดการน้ำเสียอาจทำได้หลายแบบ เช่น การกรอง การคัดแยก การเจือจาง หรือการบำบัด ซึ่งการบำบัดน้ำเสียในหลายๆอุตสาหกรรมจะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์

ต่อไปได้ การบำบัดน้ำเสียด้วยการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากออกซิเจน เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้และยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่อุดมไปด้วยก๊าซมีเทนซึ่งสามารถใช้ในการผลิตพลังงานความร้อนและ/หรือไฟฟ้า

น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนอยู่มาก จำพวกน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตร และปศุสัตว์หลายๆแห่ง เช่น ฟาร์มไก่ ฟาร์มสุกร โรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง ก็ใช้การบำบัดน้ำเสียด้วยการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้อุตสาหกรรมทางเกษตรแล้ว การผลิตเอทานอลโดยจากการนำน้ำโมลาส(โมลาส คือ กากน้ำตาล) จากการผลิตน้ำตาลมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อผลิตเป็นเอทานอล จะก่อให้เกิดน้ำเสียที่เรียกว่า น้ำวินัส โดยน้ำวินัสนี้เป็นน้ำที่มีสารอินทรีย์ปนอยู่มาก โดยส่วนใหญ่ก็จะนำไปรดน้ำในสวนเพื่อเป็นปุ๋ยสำหรับพืชผลทางการเกษตร และนอกจากนั้นน้ำวินัสนี้ก็เหมาะแก่การผลิตก๊าซชีวภาพเนื่องจากมีค่า COD ในน้ำค่อนข้างสูง ค่า COD โดยเฉลี่ยของน้ำวินัสนี้จะอยู่ในช่วง 150,000 – 190,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด, 2558) ซึ่งเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมทางการเกษตรอื่นๆ เช่น โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม ที่มีค่าเฉลี่ย COD ที่ประมาณ 16,000 – 100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ฉัฐธิดา คลังกลาง และเรวดี โรจนกันต์, 2554)

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (Anaerobic Digestion) องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน(CH_4) ประมาณร้อยละ 50-70 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)ประมาณร้อยละ 30-40 ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน(H_2) ออกซิเจน(O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) ไนโตรเจน(N_2) และไอน้ำ โดยจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย กลุ่มสร้างมีเทน (Methane-Producing Bacteria)หรือเมทาโนเจน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (Acid-Producing Bacteria) ทำการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งในกระบวนการย่อยนั้นจุลินทรีย์เมทาโนเจน จะทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อก่อให้เกิดก๊าซมีเทน แต่จุลินทรีย์ชนิดนี้ค่อนข้างอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันทั้งทางกายภาพ หรือทางเคมี ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเกิดขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์และการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่างๆที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น อุณหภูมิในการเดินระบบ ความเป็นกรดด่าง (pH Value) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N Ratio) ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention Time) และ การคลุกเคล้า (Mixing) เป็นต้น

อย่างไรก็ตามนอกจากการควบคุมปัจจัยพื้นฐานของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศของน้ำวินัส (อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง ระยะเวลาการหมัก เป็นต้น) แล้ว น้ำวินัสยังมีปัญหาใหญ่ในตัววัตถุดิบ คือ สารฟีนอลที่ผสมอยู่ในน้ำซึ่งจะคอยยับยั้งการเกิดก๊าซชีวภาพ และอีกหนึ่งปัญหา

หลักของการหมักน้ำเสียด้วยน้ำวินัส คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า ซึ่งมีผลในการทำลายเครื่องจักรถ่าน้ำก๊าซที่ได้ไปผลิตไฟฟ้าโดยไม่ผ่านการบำบัด นอกจากนั้น ก๊าซไข่เน่ายังถือเป็นก๊าซพิษซึ่งมีผลต่อร่างกายมนุษย์ โดยจะมีผลตามปริมาณความเข้มข้นที่ร่างกายได้รับดังตาราง 1.1

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงผลกระทบต่อร่างกายจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	ผลกระทบต่อร่างกาย
18 – 25 ppm เป็นเวลาหลายชั่วโมง	รู้สึกระคายเคือง แสบตา
75 – 150 ppm เป็นเวลาหลายชั่วโมง	หายใจติดขัด ระคายเคืองระบบหายใจ
180 – 300 ppm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	เกิดอาการระคายเคืองเฉพาะจุด
400 – 600 ppm เป็นเวลา ½ - 1 ชั่วโมง	หมดสติ เสียชีวิต
>1000 ppm	เสียชีวิตภายในไม่กี่วินาที

แหล่งที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558.

ดังนั้นการผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น อาจจะเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาของการใช้น้ำวินัสเพียงอย่างเดียว และยังช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าเป็นประโยชน์สูงสุดอีกด้วย ส่วนผสมที่เลือกในการวิจัยนี้ได้แก่ ผักตบชวา กากมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร สาเหตุที่เลือกกากมันสำปะหลัง กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดกากมันสำปะหลังเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิตนั้นเกิดกากมันสำปะหลังถึงร้อยละ 40 ของมันสำปะหลังที่รับซื้อ ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดใกล้เคียง ก็มีโรงงานแป้งมันสำปะหลังอยู่จำนวนมาก การกำจัดของเสียจากการแปรรูป นอกจากการทิ้งกากเป็นขยะโดยสูญเปล่าแล้ว กากมันสำปะหลังยังถูกนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย โดยการทดลองนี้ใช้กากมันสำปะหลังของโรงงาน บริษัท ไทย ควอลิตี้ สตา์ล เป็นตัวอย่างในการทดลอง

สำหรับผักตบชวาเนื่องจาก สามารถกระจายและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถขยายตัวครอบคลุมผิวน้ำได้อัตราร้อยละ 8 ต่อวัน ถ้าเริ่มปล่อยผักตบชวาในแหล่งน้ำเพียง 10 ต้นจะสามารถแพร่กระจายเพิ่มปริมาณเป็น 1 ล้านต้น ภายในระยะเวลา 1 ปี (สุทธิเจตน์ จันทรศิริ และ สุจรรยา ไชยอุปถัมภ์, 2544) ผลเสียของการมีปริมาณผักตบชวามากเกินไป เช่น ขัดขวางการระบายน้ำของประตูน้ำ ทำให้เกิดการตื้นเขินของแหล่งน้ำต้องขุดลอกบ่อย ผักตบชวาจะลดอายุการใช้งาน

ของเขื่อนเนื่องจากการตกตะกอนของซากผักตบชวาจะทำให้สามารถกักเก็บปริมาณน้ำได้ลดน้อยลง และผักตบชวาจะทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงถ้าปกคลุมในปริมาณมาก (สุทธิเจตน์ จันทรศิริ และสุจรรยา ไชยูปถัมภ์, 2544) ด้วยเหตุนี้ผักตบชวาจึงเป็นวัชพืชที่นำมาทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

อีกหนึ่งส่วนผสมที่นำมาผสมกับน้ำวินัสเพื่อทำการทดลอง คือ น้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในปัจจุบันฟาร์มสุกรส่วนใหญ่จะนำของเสียที่เกิดจากการล้างมูลสุกรไปทำเป็นปุ๋ยเพื่อการเกษตร อย่างไรก็ตามหากนำน้ำเสียนั้นมาผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในฟาร์มก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในฟาร์มลงได้ อีกทั้งยังได้รายได้ทางอ้อมซึ่งเป็นผลพลอยได้จาก การขายมูลสุกรแห้ง (ปุ๋ยอินทรีย์แห้ง) อีกด้วย (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร และสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) ผู้ทดลองจึงมีความสนใจนำน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมาผสมกับน้ำวินัสเพื่อช่วยลดรายจ่ายของฟาร์มสุกร และเพิ่มมูลค่าของของเสียอีกทางหนึ่ง

ดังนั้นการทดลองนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการหมักของน้ำวินัสโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหมัก ที่ก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพของวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ น้ำวินัสผสมกับกากมันสำปะหลัง น้ำวินัสผสมกับผักตบชวา และน้ำวินัสผสมกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และน้ำวินัสอย่างเดียว เพื่อที่จะศึกษาว่าการผสมวัตถุดิบชนิดอื่นในน้ำวินัสในสัดส่วนที่เหมาะสมจะเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทน และลดปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

1.2 คำถามการวิจัย

เมื่อหมักกากมันสำปะหลัง หรือผักตบชวา หรือน้ำเสียจากฟาร์มสุกรผสมกับน้ำวินัสจากโรงงานเอทานอลในสัดส่วนที่เหมาะสมจะมีผลต่อความเข้มข้นของก๊าซมีเทน และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพหรือไม่ อย่างไร

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาวัตถุดิบกากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ที่มีความเหมาะสมแก่การนำไปผสมกับน้ำวินัสเพื่อเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทน และลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.3.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผสมวัตถุดิบกับน้ำวินัส เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบว่าวัตถุดิบใดระหว่างกากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ที่มีความเหมาะสมแก่การนำไปผสมกับน้ำวินัสเพื่อเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทน และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.4.2 ได้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผสมวัตถุดิบกับน้ำวินัส เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

1.4.3 ใช้เป็นองค์ความรู้ประกอบการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบเหลือใช้

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำวินัสของโรงงานเอทานอลแห่งหนึ่งในอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรีกับกากมันสำปะหลังในจังหวัดชัยนาท บริษัทไทย ควอลิตี้ สตาร์ช ผักตบชวาจากสวนที่จังหวัดพัทธยา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่จังหวัดสุพรรณบุรี โดยทำการทดลองในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2558

บทที่ 2

กรอบแนวคิด ทฤษฎี และการทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาเรื่องการพัฒนาคุณภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานเอทานอลโดยการผสมกากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผู้ศึกษาได้รวบรวมแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานและแนวทางในการศึกษา โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

- 2.1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำวินัส
- 2.2 คุณสมบัติของผักตบชวา กากมันสำปะหลัง น้ำเสียจากฟาร์มสุกร และน้ำวินัส
- 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมักแบบผสม
- 2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการทดลอง

2.1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำวินัส

กระทรวงพลังงานได้ทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี 2558-2579 โดยกำหนดเป้าหมายส่งเสริมการใช้อีทานอลในประเทศเพื่อเป็นเชื้อเพลิง จากวันละ 3 ล้านลิตรในปี 2558 เป็น 5.09 ล้านลิตรในปี 2562 และเพิ่มเป็น 11.3 ล้านลิตรในปี 2579 พร้อมทั้งยังมีแผนที่จะเพิ่มการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ จาก 300 MW ในปี 2558 เพิ่มเป็น 600 MW ในปี 2579 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) ในปัจจุบันการผลิตเอทานอลจะใช้เทคโนโลยีการหมักด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งภายหลังจากกระบวนการหมัก จำเป็นต้องผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อที่จะได้เอทานอลที่บริสุทธิ์ ซึ่งในกระบวนการหมักนี้เองที่ทำให้เกิดน้ำวินัส (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, 2549) โดยจากการศึกษาของ García, Venceslada, Peña and Gómez (1997); Jiménez, Borja, Martín, and Raposo (2005); Sangave and Pandit (2006); Robles-Gonzalez et al. (2010) พบว่าการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จะก่อให้เกิดน้ำวินัส 8 – 15 ลิตร น้ำวินัสที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดมลพิษต่อชุมชนใกล้เคียงเป็นอย่างมากทั้งในเรื่องกลิ่น และคุณภาพน้ำ

อย่างไรก็ตามจากการสนับสนุนของรัฐบาลทำให้น้ำวินัส ซึ่งเป็นของเสียจากการผลิตเอทานอล มีการสนับสนุนให้ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันมีวิธีการต่างๆ ที่จะนำของเสียที่เกิดจากการผลิตเอทานอลไปกำจัด หรือนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น การนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรวมกันของกากที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ซึ่งเป็นส่วนของน้ำวินัสที่เป็นของแข็ง กับส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำหลังการกลั่นแยกเอทานอล แล้วทำให้แห้ง เพื่อให้มีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 10 ถึง 12 เพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ โดยจะเป็นแหล่งของโปรตีนและพลังงานที่สำคัญสำหรับโคนมและโคเนื้อ ทำปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งในน้ำวินัสมีอินทรีย์วัตถุและประกอบด้วยเกลือที่ละลายได้เป็นจำนวนมาก โดยพบว่าธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช คือ โพแทสเซียม (K) จะพบในปริมาณที่สูงมากที่สุด รองลงมาคือไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ตามลำดับ หรือการนำน้ำวินัสมาหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งหมายถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน โดยการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนนี้เองจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพขึ้น ก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 50-70 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 20-50 ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย (NH_3) และไอน้ำ (H_2O) นอกจากนี้ อาจพบปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) สูงถึงร้อยละ 1 (10,000 part per million (ppm)) ในกรณีที่น้ำเสียมีองค์ประกอบของสารซัลเฟต (SO_4^{2-}) สูง ใช้เป็นพลังงานทดแทนซึ่งสามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตร (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, 2549) อย่างไรก็ตามการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทนเป็นที่สนใจอย่างมากในปัจจุบัน โดยคณะกรรมการกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน จึงได้อนุมัติเงินจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ให้การสนับสนุนหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ไปแล้ว เพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เพื่อเป็นพลังงานทดแทนและปรับปรุงสิ่งแวดล้อม (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2540) โดยปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาพไร้ออกซิเจน แบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสลายสารโมเลกุลใหญ่ (Hydrolysis) สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ ทำให้แตกตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กลง

ขั้นที่ 2 การผลิตกรดอินทรีย์ (Acidogenesis) สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลง จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Acid) และสารอื่น ๆ โดยแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acid

Former) กรดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ กรดอะซิติก (Acetic Acid) และกรดโพรพิโอนิก (Propionic Acid)

ขั้นที่ 3 การผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย จะถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทน(CH_4) และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ อาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไอน้ำ ผสมอยู่ด้วย ซึ่งรวมกันเรียกว่า “ก๊าซชีวภาพ” (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

ตัวอย่างของการทบทวนวรรณกรรมที่จะเสนอในที่นี้ เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการทบทวนวรรณกรรมของโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาคุณภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากส่วนผสมของน้ำวินัสของโรงงานเอทานอลที่มาจากส่วนเหลือของโรงงานผลิตน้ำตาลกับกากมันสำปะหลัง และผักตบชวาเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า

นักวิชาการหลายคน ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำวินัส Belhadj, Karouach, El Bari, and Joute (2013) ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำวินัสที่อุณหภูมิ 35°C โดยจากการทดลองสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ถึง $0.7 \text{ L/g Volatile Solid}$ คิดเป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 60 จากการศึกษาของ Buitrón and Carvajal (2010) พบว่าที่อุณหภูมิ 35°C จะเกิดก๊าซชีวภาพได้เร็วกว่าที่ 25°C Jiménez, Borja, Martín and Raposo (2006) ศึกษาจลนศาสตร์ของการเปรียบเทียบระหว่างน้ำวินัสปกติ กับน้ำวินัสที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ในการทดลองการเตรียมน้ำวินัสที่ผ่านการบำบัดทำโดยการหมักแบบใช้อากาศด้วยเชื้อรา ผลปรากฏว่าน้ำวินัสที่ผ่านการบำบัดมาแล้วจะมีอัตราการเกิดก๊าซได้มากกว่าน้ำวินัสที่ยังไม่บำบัดในอัตราการป้อนปริมาณสารอินทรีย์ที่เท่ากัน โดยทางผู้ทดลองได้สรุปว่า เนื่องจากน้ำวินัสโดยทั่วไปจะมีค่า Phenolic Compound ค่อนข้างสูง Syaichurrozi, Budiyono and Sumardiono (2013) ได้ศึกษาจลนศาสตร์ของ Anaerobic Digestion และเปรียบเทียบสมการจลนศาสตร์กับวัตถุดิบชนิดอื่น จากการทดลองที่ค่า COD/N ของน้ำวินัสที่ 600/7 จะมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เร็วกว่า แต่จะได้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่น้อยกว่า ซึ่งจะเห็นว่าปัญหาหลักของการใช้น้ำวินัสคือความเป็นพิษขององค์ประกอบในน้ำ (Phenolic Compound) นอกจากนั้นการหมักน้ำวินัสจะก่อให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นผลพลอยได้อีกด้วยซึ่งส่งผลต่อเครื่องจักร และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

2.2 คุณสมบัติของผักตบชวา กากมันสำปะหลัง น้ำเสียจากฟาร์มสุกร และน้ำวินัส

การศึกษาคูณสมบัติของของผสมถือเป็นสิ่งจำเป็นในการทดลองเพื่อจะเข้าใจถึงลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของของที่นำมาผสม กากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตเป็น

หลักโดยมีอัตราส่วนสูงถึง ร้อยละ 66.02 มีโปรตีนร้อยละ 1.19 และไขมันร้อยละ 0.67 นอกจากนี้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบ สูงถึงร้อยละ 10.38 – 15.26 โดยเยื่อใยส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Fiber) ส่วนผักตบชวามีองค์ประกอบของโปรตีนเป็นหลักโดยมีอัตราส่วนสูงถึงร้อยละ 49.60 มีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 26.0 และไขมันร้อยละ 16.0 สุกทำยาคือน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอก ส่วนที่เป็นมูลสุกร และปัสสาวะสุกรซึ่งจะกลายเป็นน้ำเสีย น้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีองค์ประกอบของโปรตีนเป็นหลักโดยมีอัตราส่วนสูงถึงร้อยละ 41.50 มีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 13.8 และไขมันร้อยละ 12.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของผักตบชวา กากมันสำปะหลัง และปุ๋ยมูลสุกร

รายการวัตถุดิบ	Moisture Content of Fresh Mass (%)	สัดส่วนของแข็ง ระเหยง่าย (%VS of Fresh Mass)	อัตราการผลิตก๊าซ มีเทน (m3 CH4/kg VS added)	อัตราการ ผลิตก๊าซ ชีวภาพ (m3- BG/ton- Fresh Mass added)
ผักตบชวา	91.27	7.36	0.35	46.84
กากมันสำปะหลัง	81.6	18.04	0.37	121.36
ปุ๋ยมูลสุกร	-	24.84	0.13	58.71

แหล่งที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556.

จากข้อมูลอ้างอิงในตารางที่ 2.1 พบว่าวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดี โดยเฉพาะกากมันสำปะหลังที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ถึง 121.36 ลูกบาศก์เมตรต่อตันแห้ง และมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนถึง 0.37 m³ CH₄/kg VS added ปุ๋ยมูลสุกรมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงเป็นอันดับสอง แต่อัตราการเกิดก๊าซมีเทนน้อยกว่าของทางผักตบชวา และกากมันสำปะหลัง

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวา กากมันสำปะหลัง และปุ๋ยมูลสุกร

รายการวัตถุดิบ	คาร์โบไฮเดรต (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	อัตราส่วน C:N
ผักตบชวา	26	49.6	16	29
กากมันสำปะหลัง	66.02	1.19	0.67	210
น้ำเสียจากฟาร์มสุกร	13.8	41.5	12.1	14

หมายเหตุ: *รายการวัตถุดิบผักตบชวา (Offor, Iyagba and Onwugbuta-Enyi, 2013.)

**รายการวัตถุดิบกากมันสำปะหลัง (สุรียักษ์ รอดทอง, 2557.)

***รายการวัตถุดิบน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (Kim, Shin, Cho and Hwang, 2012.)

****อัตราส่วน C:N ผักตบชวา (Alani and Moo-Young, 1986.)

*****อัตราส่วน C:N กากมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (Panichnumsin, Nopharatana, Ahring and Chaiprasert, 2010.)

จากตารางที่ 2.2 จะแสดงถึงองค์ประกอบหลักๆของวัตถุดิบที่นำมาใช้ โดยพบว่ากากมันสำปะหลังจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนผักตบชวากับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก อัตราส่วน C:N ถือเป็นตัวบ่งชี้ตัวหนึ่งในเรื่องความเหมาะสมของการหมักก๊าซชีวภาพ กากมันสำปะหลังมีค่า C:N ที่สูงถึง 210 ซึ่งหมายความว่ามีความคาร์บอนมาก แต่ปริมาณไนโตรเจนน้อย น้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่า C:N ที่ต่ำที่ 14 ส่วนผักตบชวามีค่า C:N ที่เหมาะสมกับการหมักที่สุดคืออยู่ในช่วง 20 – 30 (Kayhanian and Hardy, 1994; Li, Park, & Zhu, 2011; Puyuelo, Ponsá, Gea, & Sánchez, 2011; Wang, Yang, Feng, Ren, & Han, 2012)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำวินัส

รายการ วัตถุดิบ	ซีโอดี (mg/L)	บีโอดี (mg/L)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ ละลายน้ำ (mg/L)	ค่าความเป็น กรดต่าง
น้ำวินัส	199,000	61,750	126,050	4.14

แหล่งที่มา: บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด, 2558.

จากตารางที่ 2.3 จะพบว่าคุณสมบัติของน้ำวินัสจากบริษัทเพโทรกรีนนั้นมีค่า COD และ BOD สูงซึ่งถือว่ามีความสกปรกมาก แต่ในทางกลับกันค่า BOD และ COD ที่สูงจะเหมาะแก่การนำมาเป็นวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซชีวภาพ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำบอถึงอัตราการเกิดตะกอนในบ่อหลังจากการหมักซึ่งไม่ได้ทำการศึกษาในการทดลองนี้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมักแบบผสม

การหมักแบบผสมเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ เข้าไปในน้ำเสีย หรือสารตั้งต้น เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และความเสถียรของระบบการหมัก Bozano, Nosiglia, and Vitali (2012) นอกจากเป็นการปรับปรุงกระบวนการหมักแล้ว ประโยชน์ของการหมักร่วมยังทำให้เกิดการนำของเสียที่หลากหลายมาใช้ประโยชน์ และเพิ่มเสถียรภาพในการผลิต เนื่องจากไม่จำเป็นต้องพึ่งพียงวัตถุดิบชนิดเดียว อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

ผู้วิจัยได้ไปตรวจสอบแหล่งวัตถุดิบในบริเวณใกล้เคียง กับแหล่งน้ำเสียพบว่ามีเศษมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากฟาร์มมูลสุกรที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อได้ นอกจากนั้นผู้วิจัยยังสนใจใช้ผักตบชวาเข้ามาทดลองด้วยเนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว และถ้ามีมากเกินไปจะก่อให้เกิดผลเสียอีกด้วยดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยศึกษาเพิ่มเติมไปถึงการปรับปรุงคุณภาพการหมักด้วยการหมักแบบผสม โดยจะเน้นไปที่วัตถุดิบที่ต้องการมาศึกษา

Yusuf and Ify (2011) ได้ทำการพัฒนาประสิทธิภาพของการหมักขยะจากกระดาดโดยใช้มูลวัวผสมกับผักตบชวาซึ่งจากการทดลองพบว่าการเพิ่มวัตถุดิบผสมมูลวัว กับผักตบชวาสามารถทำให้ได้ก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น Prasad (2012) เปรียบเทียบการหมักผักตบชวา ผสมน้ำ กับมูลสัตว์ต่างๆ จากการศึกษาพบว่าผักตบชวาผสมน้ำสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากที่สุดที่ร้อยละ 67 O'Sullivan, Rounsefell, Grinham, Clarke and Udy (2010) เปรียบเทียบการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักพืช 3 ชนิด คือ พืชไต้หวัน ผักตบชวา และบัว ซึ่งพืชไต้หวัน และผักตบชวาให้ผลดีกว่าบัว โดยผลิตปริมาณก๊าซชีวภาพประมาณ 0.26 L/g VS ที่ ปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 50 เนื่องจากผักตบชวามีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพที่สูงกว่า Panichnumsin et al. (2010) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรโดยใช้กากมันสำปะหลังเป็นตัวเสริม โดยการเพิ่มกากมันสำปะหลังสามารถทำให้การผลิตก๊าซสูงขึ้นถึงร้อยละ 41 จากการใช้มูลสุกรเพียงชนิดเดียว ซึ่งเป็นผลมาจากค่า C:N ที่เปลี่ยนไป Ren et al. (2014) ได้หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลสุกร กับของเหลือจากมันสำปะหลังที่ 6:4 ส่วน นอกจากนี้ Wang, Xie, Luo, Zhou, and Lu (2012) ศึกษาการผสมระหว่างของเหลือจากมันสำปะหลัง กับของเสียอินทรีย์ และ Zong, Yu, Zhang, Fan, and Zhou (2009) ศึกษาการผสมของมัน

ลำปะหลัง กับของเสียจากอาหาร ซึ่งจะเห็นได้ว่า ของเหลือจากมันลำปะหลังนับเป็นอีกวัตถุดิบที่น่าสนใจในการทำการหมักแบบผสม

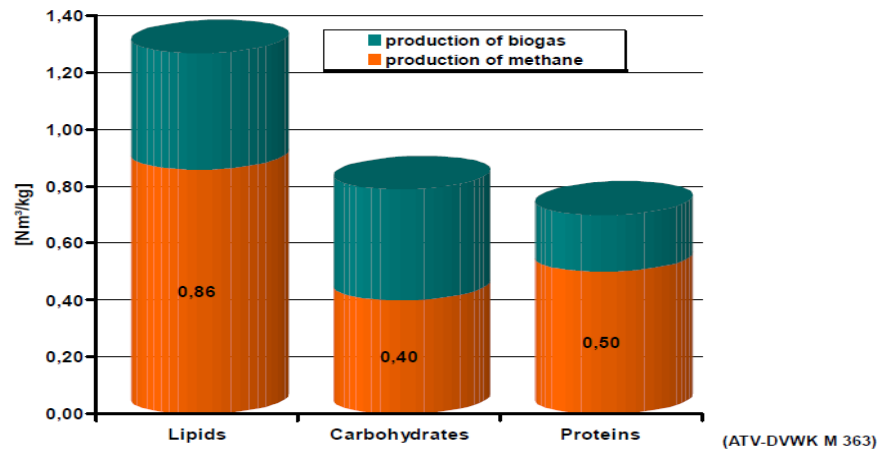
นอกเหนือจากการใช้มูลสุกร กับกากมันลำปะหลัง มูลสุกรยังถูกใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการหมักน้ำเสียกับอีกหลายชนิด Tian, Fan, Guo, and Song (2014) ได้ศึกษาการหมักแบบผสมโดยใช้ของเสียจากครัวเรือนร่วมกับมูลสุกร Riaño, Molinuevo, and García-González (2011) ทำการหมักผสมระหว่างน้ำเสียจากการผลิตไวน์ กับมูลสุกรโดยทำการผสมน้ำเสียจากการผลิตไวน์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 25 และร้อยละ 40 โดยการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่ร้อยละ 40 ให้ผลดีที่สุด โดยได้ปริมาณของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 75 เมื่อเทียบกับการหมักมูลสุกรชนิดเดียว และ Kaparaju and Rintala (2005) ได้ทดสอบมูลสุกรกับของเหลือจากมันฝรั่ง (หัวมันฝรั่งและเปลือก) โดยทำการหมักที่อุณหภูมิ 35°C ซึ่งจากการทดลองพบว่าการผสมระหว่างของเหลือจากมันฝรั่ง กับมูลสุกรนี้สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากถึง $0.30 - 0.33 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$

waste

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าการหมักแบบผสมทำให้ประสิทธิภาพในการหมักสูงขึ้น และสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้นกว่าการหมักด้วยสารชนิดเดียว นักวิจัยหลายท่านพบว่า กระบวนการย่อยสลายในการหมักแบบไร้อากาศนั้น องค์ประกอบของสารในสิ่งที่นำมาหมักจะมีผลอย่างมากต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทน (Lehtomäki, Huttunen, & Rintala, 2007; Amon, Amon Kryvoruchko, Zollitsch, Mayer, & Gruber, 2007; Neves, Gonçalo, Oliveira, & Alves, 2008) โดยองค์ประกอบของสารอินทรีย์หลักๆที่อยู่ในสิ่งที่จะนำมาหมัก คือ ไขมัน (lipid) โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต Möller, Sommer and Ahring (2004) ได้ทำการศึกษาผลของลักษณะทางเคมีของมูลสัตว์ ฟางข้าว และเมล็ดพืช ต่อการเกิดก๊าซมีเทน ในการศึกษาได้คำนวณทางทฤษฎี อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจำแนกตามคุณสมบัติทางเคมี 4 ประเภท คือ 1) กรดไขมัน 2) คาร์โบไฮเดรต 3) โปรตีน 4) ไขมัน (Lipid) จากการคำนวณทางทฤษฎีพบว่า อัตราการเกิดก๊าซมีเทนเป็น 370, 415, 496 and $1014 \text{ l CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}$ ตามลำดับ

นอกจากนั้นข้อมูลจาก Spanjers (2011) ให้ศึกษาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนตามภาพที่ 2.1

Maximum Production of Biogas



ภาพที่ 2.1 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทน

แหล่งที่มา: Spanjers, 2011.

ซึ่งจะพบว่าสารจำพวกไขมันมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนมากที่สุด ถึงแม้ว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของคาร์โบไฮเดรตจะสูงกว่าโปรตีน แต่อัตราการเกิดก๊าซมีเทนของคาร์โบไฮเดรตนั้นต่ำกว่าของโปรตีน

นอกจากนั้นผลการศึกษาเรื่องการหมักแบบผสมยังพบว่าการหมักแบบผสมช่วยปรับสมดุล ซึ่งในการปรับสมดุล ของผสมที่ผสมกันจะทำให้คุณสมบัติทางเคมีของของผสมมีความเหมาะสมมากขึ้นส่งผลให้อัตราส่วน C:N เข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น (Callaghan, Wase, Thayanithy & Forster, 2002) ด้วยเหตุนี้เองทำให้มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาค่า C:N ที่ได้หลังจากผสมของผสม และหาอัตราส่วน C:N ที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทน Panichnumsin et al. (2010) ทำการศึกษการหมักของผสมระหว่าง กากมันสำปะหลังกับมูลสุกร โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของ C:N ผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน C:N มีค่าเท่ากับ 33 ให้ผลที่ดีที่สุดคือ ได้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่สูงที่สุดที่ $306 \text{ mLg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$ ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับการศึกษาของ Kayhanian and Hardy (1994) ที่ได้ C:N ที่เหมาะสมในช่วง 25 - 30 อย่างไรก็ตาม Zhong, Chi, Luo, Zhang and Wu (2013) ศึกษาการหมักแบบผสมของสาหร่ายสีน้ำเงิน กับฟางข้าวโพด ได้ค่า C:N ที่ดีที่สุดที่ 20 จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสมดุลของสารอาหารคาร์บอน กับไนโตรเจนมีผลสำคัญต่อประสิทธิภาพการหมัก

2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการทดลอง

จากการศึกษาข้างต้นทางผู้วิจัยจึงตัดสินใจทำการทดลองโดยการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำวินัสผสมกับผักตบชวา และน้ำวินัสผสมกับกากมันสำปะหลัง และน้ำวินัสผสมกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกร สภาวะที่จะใช้ทดลองได้อ้างอิงมาจากการทดลองของผู้ทำวิจัยอื่นๆ ดังนี้

2.4.1 ขนาดของถังหมัก

Syaichurrozi et al. (2013) ทำการทดลองหาผลกระทบของค่า COD/N ในการหมักน้ำวินัส ในการทดลองใช้ถังพลาสติก ขนาด 5 ลิตรเป็นถังหมัก Patil, Raj, Muralidhara, Desai, and Raju (2012) ทำการทดลองหมักผักตบชวา ในการทดลองได้ใช้ขวดแก้วขนาด 0.25 ลิตรในการหมัก ตาม Yusuf and Ify (2011) ซึ่งทำการหมักเศษกระดาษเหลือทิ้งกับผักตบชวา และมูลวัวใช้ขวดแก้ว ขนาด 0.5 ลิตรในการหมัก Prasad (2012) ใช้ถังพลาสติก ขนาด 20 ลิตร ในการทดลองหมักมูลสุกร มูลวัว มูลไก่และผักตบชวา Alrawi, Ahmad, Ismail, and Kadir (2011) ใช้บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร ในการหมักของเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำมันปาล์ม ผู้ทดลองบางคนก็ใช้ปริมาณการหมักที่มีขนาดเล็ก เช่น O'Sullivan et al. (2010) ที่ทำการหมักพีชน้ำ 3 ชนิดก็ใช้ขนาดของถังหมักเพียง 0.2 ลิตร ส่วน Panichnumsin et al. (2010) ที่ทดลองหมักหาส่วนผสมระหว่างเศษมันสำปะหลัง กับมูลสุกรก็ใช้ถังหมักขนาด 0.12 ลิตร จะเห็นว่าขนาดของถังหมักที่จะนำมาเลือกใช้ไม่ได้ถูกควบคุม

2.4.2 ระยะเวลา และสภาวะการหมัก (วัน)

Patil et al (2012) ทำการทดลองหมักผักตบชวา ในการทดลอง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 – 35°C และใช้เวลาหมักเป็นเวลา 60 วัน Yusuf and Ify (2011) ซึ่งทำการหมักเศษกระดาษเหลือทิ้งกับผักตบชวา และมูลวัวได้ใช้สภาวะการหมักที่ใกล้เคียงกัน คือ ทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง และใช้เวลาหมัก 62 วัน Prasad (2012) ใช้อุณหภูมิในการหมักที่ต่ำกว่า โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 23 - 28°C และใช้เวลาหมักที่น้อยกว่า 50 วัน Panichnumsin et al.(2010) หมักกากมันสำปะหลังกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นระยะเวลา 120 วัน และควบคุมอุณหภูมิที่ 38°C ในส่วนของ Syaichurrozi et al.(2013) ทำการหมักน้ำวินัสที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน แต่มีการควบคุมค่าความเป็นกรดต่าง โดยมีการตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่างก่อนเริ่มการทดลอง และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยให้มีค่าเท่ากับ 7 ด้วยการเติม NaOH (โซเดียมไฮดรอกไซด์) Abu-Dahrieh, Orozco, Groom, and Rooney (2011) ที่ทำการหมักอาหารสัตว์เหลว ก็ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ 7 ก่อนจะเริ่มการทดลอง และทำการหมักที่ 38°C เป็นเวลา 40 วัน

เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น ค่าความเป็นกรดต่าง, อุณหภูมิ ฯลฯ เพราะฉะนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องกำหนดตัวแปรคงที่ของการทดลอง จากการศึกษา งานวิจัยอื่นเกี่ยวกับสถานะในการทำทดลองที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า มีงานวิจัยของ Espinoza-Escalante, Pelayo-Ortíz, Navarro-Corona, González-García, Bories, and Gutiérrez-Pulido (2009) ได้ทดลองค่าความเป็นกรดต่างต่างๆที่ 4.5, 5.5 และ 6.5 ผลปรากฏว่าค่าความเป็นกรดต่างที่ 6.5 ให้ผลการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด และอีกการทดลองหนึ่ง Buitrón and Carvajal (2010) ที่ผันแปรค่าความเป็นกรดต่างที่ 6, 7 และ 8 ให้ผลสรุปว่าที่ค่าความเป็นกรดต่างที่ 7 จะให้ผลดีที่สุดจึงอาจสรุปได้ว่าค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมสำหรับการหมักแบบไร้อากาศอยู่ที่ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นกลาง ทางด้านอุณหภูมิได้ศึกษางานวิจัย Buitrón and Carvajal (2010) ที่เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 25°C และ 35°C ตามลำดับ ผลจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 35 °C สามารถเกิดก๊าซได้เร็วกว่า ซึ่งผลจากการศึกษานี้ก็จะสอดคล้องกับสถานะการทดลองที่ผู้ทำการทดลองหลายคนได้เลือกใช้

2.4.3 การเตรียมสารตั้งต้น

Syaichurrozi et al. (2013) ทำการหมักน้ำวินัส โดยมีการเจือจางน้ำวินัสด้วยน้ำ ก่อนจะทำ การหมัก น้ำวินัสจะผสมน้ำในอัตราส่วน 1:3 (น้ำวินัส: น้ำ) Espinoza-Escalante et al. (2009) ทำการศึกษาเกี่ยวกับน้ำวินัส นำน้ำวินัสที่เก็บได้ไปใช้ในการทดลองโดยไม่มีการเจือจาง Buitrón and Carvajal (2010) ที่ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการหมัก ในเรื่องความเข้มข้นของสารตั้งต้น อัตราการป้อน และอุณหภูมิ ก็นำน้ำวินัสที่เก็บมาใช้โดยตรง Patil et al. (2012) ทำการเตรียม ผักตบชวาด้วยการสับให้มีขนาด 2 เซนติเมตรแล้วนำไปตากแดดเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการอบ ในเตาอบอีก 6 ชั่วโมงก่อนนำมาบดละเอียด จึงนำมาผสมกับน้ำ และหั่วเชื้อในอัตราส่วนต่างๆ Yusuf and Ify (2010) ซึ่งทำการหมัก กระดาษกับผักตบชวา และมูลวัว ทำการเตรียมผักตบชวาที่ ต่างออกไปโดยทำการตากแดด 30 วันโดยไม่ได้สับก่อนจากนั้นมาอบ แล้วยกปั้นละเอียด ส่วนมูลวัว ก็ทำการตากแดด 20 วัน หลังจากนั้นก็นำมาบดให้มีขนาดเล็ก ในส่วนของเศษกระดาษทำการเตรียม เหมือนกับผักตบชวา สดทำผสมกับน้ำปริมาตร 0.25 ลิตร อย่างไรก็ตามผู้ทดลองบางคนก็เลือกที่จะใช้วัตถุดิบซึ่งปราศจากขั้นตอนการเตรียมการ เช่น Panichnumsin et al. (2010) เก็บเนื้อส่วนที่ เหลือของมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิต และน้ำเสียจากมูลสุกรจากฟาร์ม มาผสมกันใน อัตราส่วน 20:80, 40:60, 50:50, 60:40 และ 80:20 โดยตรง Prasad (2012) ทำการผสม ของเสียจาก สุกร วัว และไก่ ในถังหมัก โดยไม่ได้มีขั้นตอนการเตรียมก่อน Wang et al. (2012) ที่ทำการศึกษา

การหมักแบบผสมระหว่างเศษมันสำปะหลัง กับน้ำเสียจากมูลสุกรเหมือนกัน ก็ทำการเก็บเศษมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตเอทานอล และน้ำเสียจากบ่อพักของฟาร์มสุกร

จากการทบทวนทั้งหมดนี้ ผู้วิจัยจึงทำการทดลองนี้ในอุณหภูมิห้อง โดยใช้ขนาดขวดทดลอง 1.5 ลิตร ในสภาวะไร้อากาศ ที่ระยะเวลา 40 วัน โดยกำหนดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เริ่มต้นจะอยู่ที่ pH 6.5-7.5 และมีการแบ่งอัตราส่วนของวัตถุดิบสามชนิดคือ ผักตบชวา กากมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร กับน้ำวินัสดังนี้ร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ซึ่งการกำหนดอัตราส่วนการผสมกำหนดโดยการคำนึงถึงความเหมาะสมของข้อมูลที่จะนำมาแสดงในภาพที่ 4.1-4.9 และ เนื่องจากการทดลองนี้ต้องการใช้น้ำวินัสเป็นองค์ประกอบหลักในการหมักจึงไม่ทำการผสมของผสมอื่นเกินร้อยละ 50 สาเหตุที่ต้องใช้น้ำวินัสเป็นวัตถุดิบหลักเนื่องจากว่าผู้ทำงานวิจัยพบว่าบริเวณรอบโรงงานเอทานอลที่ได้ให้น้ำวินัสมาศึกษา มีการกระจายตัวของโรงไฟฟ้าขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก โดยโรงไฟฟ้าใช้น้ำวินัสเป็นวัตถุดิบหลัก เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ต่อโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก จึงต้องทำการศึกษาการหมักแบบผสมโดยใช้น้ำวินัสเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ และมีปริมาณมากในบริเวณดังกล่าวอย่างไรก็ตามการผสมวัตถุดิบนั้นมีกระบวนการที่ต้องเตรียมก่อนการทดลอง ซึ่งจะกล่าวถึงในบทถัดไป

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1 การวางแผนการทดลอง

3.1.1 สิ่งทดลอง คือ

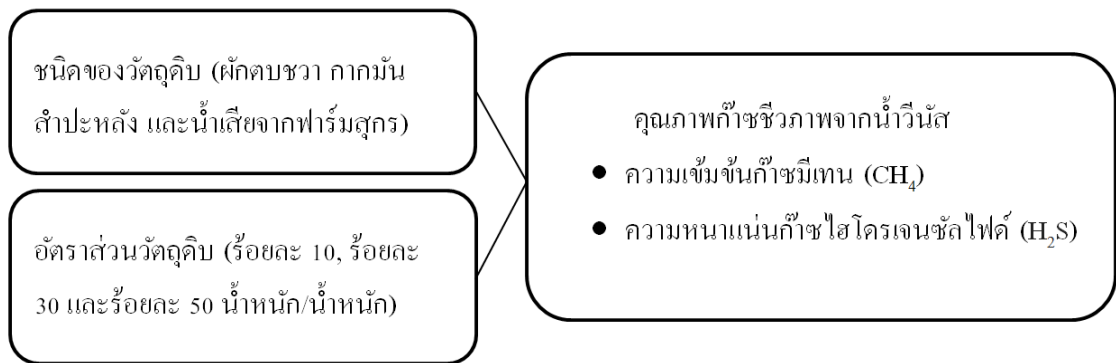
3.1.1.1 ชนิดของวัตถุดิบที่นำมาเป็นส่วนผสมในการหมักกับน้ำวินัส คือ ผักตบชวา กากมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

3.1.1.2 อัตราส่วนของวัตถุดิบกับน้ำวินัสร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 เนื่องจากการทดลองนี้ต้องการใช้น้ำวินัสเป็นวัตถุดิบหลัก ดังนั้นส่วนผสมในการทดลองจึงกำหนดไว้ไม่เกินที่ร้อยละ 50 อย่างไรก็ตามสำหรับการพล็อตกราฟเพื่อการดูแนวโน้มปริมาณก๊าซชีวภาพที่อัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 จึงมีการแบ่งช่วง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีช่วงไม่ห่างกันมาก

3.1.1.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของของผสมให้อยู่ในสภาวะใกล้เคียงความเป็นกลาง ($\text{pH} = 7$) ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทน โดยใช้น้ำทำยบ่อ (น้ำที่เหลือจากการผลิตของโรงไฟฟ้า) และน้ำทำยบ่อยังมีส่วนประกอบของหัวเชื้อในการหมักอีกด้วย

3.1.2 หน่วยทดลอง คือ น้ำวินัส ซึ่งหมายถึง น้ำเสียของโรงงานเอทานอลที่ผลิตจากน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรี

3.2 กรอบแนวคิด (ตัวแปร)



ภาพที่ 3.1 กรอบแนวคิด (ตัวแปร)

3.2.1 ตัวแปรอิสระ

3.2.1.1 ชนิดของวัตถุดิบที่นำมาเป็นส่วนผสมในการหมักกับน้ำวินัส คือ ผักตบชวา กากมันลำปะหลัง และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

3.2.1.2 อัตราส่วนของวัตถุดิบกับน้ำวินัสร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 น้ำหนัก/น้ำหนัก

3.2.2 ตัวแปรควบคุม

3.2.2.1 อุณหภูมิห้อง

3.2.2.2 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำวินัส (pH 6.5-7.5)

3.2.2.3 COD และ BOD ของน้ำวินัส

3.2.2.4 ค่าการตกตะกอนของน้ำวินัส

3.2.2.5 ปริมาณน้ำวินัส (น้ำวินัส 50 มิลลิลิตร)

3.2.2.6 ปริมาณน้ำทำยบ่อ (น้ำทำยบ่อ 300 มิลลิลิตร)

3.2.2.7 ขนาดขวดหมักและวัสดุเดียวกัน (ขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร)

3.2.2.8 ระยะเวลาการหมักที่ 40 วัน

3.2.3 ตัวแปรตาม

3.2.3.1 ความเข้มข้นก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นการพิจารณาคุณภาพก๊าซชีวภาพ

3.2.3.2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดผลเสียต่อเครื่องจักรได้)

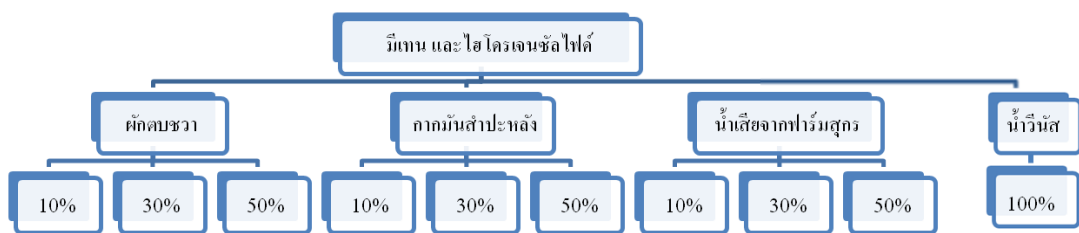
3.3 แผนการทดลอง

วัตถุดิบ 3 ชนิด ได้แก่ กากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

อัตราส่วน 3 อัตราส่วน ได้แก่ ร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50

การทำซ้ำ 3 หน่วย

ต้องทำการทดลองทั้งหมดจำนวน $3 \times 3 \times 3 = 27$ การทดลอง + 3 ขวดทดลองจากน้ำวินัสไว้ส่วนผสมที่หมักในสถานะเดียวกัน



ภาพที่ 3.2 แผนการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง

จำนวนการทดลอง	อัตราส่วนวัตถุดิบ			
	น้ำวินัส	กากมันสำปะหลัง	ผักตบชวา	น้ำเสียจากฟาร์มสุกร
1	100%			
2	90%	10%		
3	70%	30%		
4	50%	50%		
5	90%		10%	
6	70%		30%	
7	50%		50%	
8	90%			10%

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

จำนวนการทดลอง	อัตราส่วนวัตถุดิบ		
	น้ำวินัส	กากมันสำปะหลัง	ผักตบชวา
9	70%		30%
10	50%		50%

(น้ำวินัส 100% = น้ำวินัส 50 ml)

3.4 ขั้นตอนการทดลอง (17 ตุลาคม 2558)

3.4.1 การเก็บน้ำวินัสและน้ำทำยบ่อ

3.4.1.1 เก็บน้ำวินัสจากก๊อกส่งน้ำวินัส 3 ลิตร โดยใส่ขวดขนาด 1.5 ลิตร 2 ขวด

3.4.1.2 เก็บน้ำทำยบ่อจากก๊อกส่งน้ำทำยบ่อ 15 ลิตร โดยใส่ถังขนาด 10 ลิตร 2

ถัง (ถังละ 7.5 ลิตร)

3.4.1.3 แบ่งน้ำวินัส และน้ำทำยบ่อที่เก็บมา ประมาณชนิดละ 1 ลิตรเพื่อไปทำการทดสอบคุณสมบัติ COD และ BOD ของน้ำวินัสและน้ำทำยบ่อเพื่อเป็นค่าอ้างอิงเริ่มต้น



ภาพที่ 3.3 ก๊อกน้ำวินัส

3.4.2 การเตรียมอุปกรณ์ทดลอง

3.4.2.1 เตรียมขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร 30 ขวด

3.4.2.2 เจาะฝาขวดน้ำพลาสติกทั้งหมด โดยให้มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.4 เจาะฝาขวดน้ำพลาสติกด้วยสว่าน

3.4.2.3 ตัดสติกเกอร์ PVC สีขนาด 7x7 เซนติเมตร จำนวน 30 แผ่น และ ขนาด 1.5x1.5 เซนติเมตร จำนวน 60 แผ่น เพื่อติดที่ฝาขวด

3.4.2.4 นำน้ำที่ขบ้อมากลั่วขวดที่ใช้ในการทดลองทั้ง 30 ใบ ปีกเกอร์ และกรวย กรอกน้ำสามรอบ

3.4.3 การคำนวณอัตราส่วนของผสมร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ของน้ำวินัส

คำนวณความหนาแน่นของน้ำวินัสโดยใช้สูตร $D = M / V$

ซึ่ง D คือ Density (ความหนาแน่น)

M คือ Mass (มวล) หน่วย g (กรัม)

V คือ Volume (ปริมาตร) หน่วย ml (มิลลิลิตร)

โดยใช้น้ำวินัส 200 มิลลิลิตรเป็นตัวคำนวณ (น้ำวินัส 50 มิลลิลิตรหนัก 54.5 กรัม)

$$\begin{aligned} D &= M / V \\ &= 54.5 / 50 \\ &= 1.09 \text{ กรัม/มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นของน้ำวินัส คือ 1.09 กรัม/มิลลิลิตร

ดังนั้นจึงสามารถหาน้ำหนักของส่วนผสมสามชนิดในอัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และ ร้อยละ 50 ของน้ำวินัสได้ดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงน้ำหนักของน้ำวินัส และของผสมในอัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ของน้ำวินัส

น้ำวินัส	น้ำหนัก (กรัม)	กากมันสำปะหลัง ผักตบชวาแห้ง และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	น้ำหนัก (กรัม)
100%	54.5	0%	0
90%	49.05	10%	5.45
70%	38.15	30%	16.35
50%	27.25	50%	27.25

3.4.4 การคำนวณหาอัตราส่วนของน้ำวินัสกับน้ำท้ายบ่อ

การทดลองนี้ได้ใช้ขวดน้ำขนาด 1.5 ลิตรเป็นปริมาตรคงที่ จากนั้นทำการทดลองโดยหาอัตราส่วนของน้ำวินัส กับน้ำท้ายบ่อที่จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าใกล้เคียงความเป็นกลางมากที่สุด จากการทดลองสรุปได้ว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำวินัส ต่อน้ำท้ายบ่อในอัตราส่วน 1:7 จะทำให้สภาวะของของผสมใกล้เคียงความเป็นกลางที่สุด ทางผู้ทดลองจึงตัดสินใจใช้น้ำวินัสต่อน้ำท้ายบ่อที่อัตราส่วน 50 : 350 ซึ่งจะได้ปริมาตรรวมที่ 400 มิลลิลิตร และมีปริมาตรของขวดเหลือสำหรับก๊าซที่จะเกิดขึ้น

3.4.5 การเตรียมน้ำวินัสและน้ำทำยบ่อ

3.4.5.1 ตวงน้ำวินัส 50 มิลลิลิตร (ให้น้ำวินัสร้อยละ 100 เท่ากับ 50 มิลลิลิตร) ใส่ขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร



ภาพที่ 3.5 ตวงน้ำวินัส 50 มิลลิลิตร

3.4.5.2 ตวงน้ำทำยบ่อ 350 มิลลิลิตร จากนั้นเทรวมกับน้ำวินัส คืออัตราส่วนที่ทำให้ค่า pH ของน้ำวินัสเป็นกลาง (มีความเหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ)



ภาพที่ 3.6 ตวงน้ำทำยบ่อ 350 มิลลิลิตร จากนั้นเทรวมกับน้ำวินัส

3.4.5.3 จากนั้นใช้ไม้ยาวลงไปคน 1 รอบต่อ 1 วินาที จำนวน 50 รอบ

3.4.5.4 ทำซ้ำจำนวน 3 ขวด



ภาพที่ 3.7 จำนวนขวด 3 ขวดที่ทำซ้ำ

3.4.6 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

3.4.6.1 เตรียมกากมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัม

3.4.6.2 ตวงกากมันสำปะหลังตามอัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ของน้ำวินัส 54.5 กรัม



ภาพที่ 3.8 ตวงกากมันสำปะหลัง

3.4.6.3 นำกากมันสำปะหลังแต่ละอัตราส่วนใส่ลงในขวด 1.5 ลิตร แล้วจึงเทน้ำวินัสในอัตราส่วนต่างๆตามลงไป

3.4.6.4 ใส่น้ำท้ายบ่อ 350 มิลลิลิตรลงในขวด จากนั้นใช้ไม้ยาวลงไปคน 1 รอบ ต่อ 1 วินาที จำนวน 50 รอบ

3.4.6.5 ทำซ้ำจำนวน 3 ขวด ต่อ 1 อัตราส่วน

3.4.7 การเตรียมผักตบชวา

3.4.7.1 เตรียมผักตบชวาสด 5 กิโลกรัม

3.4.7.2 ตัดใบผักตบชวามาตากแดดเป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้ น้ำจากผักตบชวา ระเหยออกไปจนเหลือความชื้นร้อยละ 5-9 (Hasan & Chakrabarti, 2009)



ภาพที่ 3.9 ผักตบชวาแห้ง

3.4.7.3 เมื่อผักตบชวาเริ่มแห้งให้นำไปสับจนมีความยาวโดยประมาณ 3 เซนติเมตรเพื่อที่จะสามารถนำไปใส่ในเครื่องปั่นได้

3.4.7.4 จากนั้นนำผักตบชวา ไปปั่นในเครื่องปั่น เป็นเวลา 1 นาที



ภาพที่ 3.10 ปั่นผักตบชวาแห้งด้วยเครื่องปั่นอาหาร

3.4.7.5 ตวงผักตบชวาแห้งตามอัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ของน้ำวินัส 54.5 กรัม

3.4.7.6 นำผักตบชวาแห้งแต่ละอัตราส่วนใส่ลงในขวด 1.5 ลิตร แล้วจึงเทน้ำวินัส ในอัตราส่วนต่างๆตามลงไป

3.4.7.7 ใส่น้ำท่ายบ่อ 350 มิลลิลิตรลงในขวด จากนั้นใช้ไม้ยาวลงไปคน 1 รอบ ต่อ 1 วินาที จำนวน 50 รอบ

3.4.7.8 ทำซ้ำจำนวน 3 ขวด ต่อ 1 อัตราส่วน

3.4.8 การเตรียมน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

3.4.8.1 เตรียมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรปริมาตร 500 มิลลิลิตร



ภาพที่ 3.11 เก็บน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

3.4.8.2 ตวงน้ำเสียจากฟาร์มสุกรตามอัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ของน้ำวินัส 54.5 กรัม



ภาพที่ 3.12 ตวงน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

3.4.8.3 ใส่น้ำเสียจากฟาร์มสุกรลงในขวด 1.5 ลิตร และเทน้ำวินัสในอัตราส่วนต่างๆตามลงไป

3.4.8.4 ใส่น้ำฟ้ายบ่อ 350 มิลลิลิตร ลงในขวด จากนั้นใช้ไม้ยาวลงไปคน 1 รอบ ต่อ 1 วินาที จำนวน 50 รอบ

3.4.8.5 ทำซ้ำจำนวน 3 ขวด ต่อ 1 อัตราส่วน

3.4.9 การทดลอง

3.4.9.1 ทำการเตรียมตัวอย่างการทดลองดังที่กล่าวไว้ข้างต้นรวม 30 ขวดทดลอง พร้อมทั้งติดฉลากบอกชนิดและปริมาณส่วนผสมไว้ข้างขวด

3.4.9.2 วัดค่า pH ทั้ง 30 ขวด



ภาพที่ 3.13 วัดค่า pH ของตัวอย่างทดลอง

3.4.9.3 บีบก๊าซออกจากขวดเพื่อไล่อากาศ



ภาพที่ 3.14 บีบก๊าซออกจากขวดโดยเพื่อไล่อากาศ

3.4.9.4 ปิดสติกเกอร์ PVC ขนาด 7x7 เซนติเมตรลงบนปากขวด และปิดสติกเกอร์ PVC ขนาด 1.5x1.5 เซนติเมตรลงตรงกลางปากขวด 2 ชั้น



ภาพที่ 3.15 ปิดสติกเกอร์ PVC ขนาด 7x7 เซนติเมตร ลงบนปากขวด



ภาพที่ 3.16 ปิดสตักเกอร์ PVC ขนาด 1.5x1.5 เซนติเมตร ลงตรงกลางปากขวด 2 ชั้น

3.4.9.5 ปิดฝาขวดให้สนิท



ภาพที่ 3.17 ปิดฝาขวดทดลองทับลงบนสตักเกอร์ PVC

3.4.9.6 วางขวดเป็น 5 แถว แถวละ 6 ขวด เพื่อให้ขวดไม่กินพื้นที่ออกไปกว้างมาก ซึ่งจะทำให้อยู่ในสถานะใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังที่แสดงในภาพที่ 3.18

1  น้ำวิ้นส์ 100% (pH 7.08)	6  น้ำวิ้นส์:ผักตบชวา 70%:30% (pH 7.38)	11  น้ำวิ้นส์ 100% (pH 7.07)	16  น้ำวิ้นส์:ผักตบชวา 70%:30% (pH 7.23)	21  น้ำวิ้นส์ 100% (pH 6.93)	26  น้ำวิ้นส์:ผักตบชวา 70%:30% (pH 7.36)
2  น้ำวิ้นส์:กากมัน สำปะหลัง 90%:10% (pH 6.88)	7  น้ำวิ้นส์:ผักตบชวา 50%:50% (pH 7.17)	12  น้ำวิ้นส์:กากมัน สำปะหลัง 90%:10% (pH 6.94)	17  น้ำวิ้นส์:ผักตบชวา 50%:50% (pH 6.91)	22  น้ำวิ้นส์:กากมัน สำปะหลัง 90%:10% (pH 6.87)	27  น้ำวิ้นส์:ผักตบชวา 50%:50% (pH 7.07)
3  น้ำวิ้นส์:กากมัน สำปะหลัง 70%:30% (pH 7.17)	8  น้ำวิ้นส์:น้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร 90%:10% (pH 7.02)	13  น้ำวิ้นส์:กากมัน สำปะหลัง 70%:30% (pH 7.05)	18  น้ำวิ้นส์:น้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร 90%:10% (pH 7.06)	23  น้ำวิ้นส์:กากมัน สำปะหลัง 70%:30% (pH 7.08)	28  น้ำวิ้นส์:น้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร 90%:10% (pH 7.04)
4  น้ำวิ้นส์:กากมัน สำปะหลัง 50%:50% (pH 7.38)	9  น้ำวิ้นส์:น้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร 70%:30% (pH 7.10)	14  น้ำวิ้นส์:กากมัน สำปะหลัง 50%:50% (pH 7.32)	19  น้ำวิ้นส์:น้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร 70%:30% (pH 7.08)	24  น้ำวิ้นส์:กากมัน สำปะหลัง 50%:50% (pH 7.41)	29  น้ำวิ้นส์:น้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร 70%:30% (pH 7.07)
5  น้ำวิ้นส์:ผักตบชวา 90%:10% (pH 7.32)	10  น้ำวิ้นส์:น้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร 50%:50% (pH 7.19)	15  น้ำวิ้นส์:ผักตบชวา 90%:10% (pH 7.17)	20  น้ำวิ้นส์:น้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร 50%:50% (pH 7.25)	25  น้ำวิ้นส์:ผักตบชวา 90%:10% (pH 7.06)	30  น้ำวิ้นส์:น้ำเสียจาก ฟาร์มสุกร 50%:50% (pH 7.20)

ภาพที่ 3.18 ตำแหน่งการวางขวดทดลอง

3.4.9.7 วางขวดทดลองไว้ในพื้นที่ร่ม อุณหภูมิห้อง โดยวางไว้เป็นเวลา 40 วัน



ภาพที่ 3.19 ขวดทดลองที่ถูกจัดเรียงแล้ว

3.4.9.8 เมื่อครบ 40 วันให้ตรวจสอบความเข้มข้นก๊าซมีเทน โดยดูดก๊าซออกมาจากขวดแล้วฉีดเข้าเครื่อง GC (Hewlett Packard, GC System, HP 6890 Series) และทำการตรวจก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยการดูดก๊าซออกจากขวดทดลองผ่านหลอดถ่านชาร์โคล เพื่อดักจับซัลเฟอร์ จากนั้นนำถ่านชาร์โคลมาวิเคราะห์หาความหนาแน่นซัลเฟอร์ และแปลงเป็นความหนาแน่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

3.4.9.9 จากนั้นนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบปริมาณ และคุณภาพของก๊าซที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาจากความเข้มข้นก๊าซมีเทน และความหนาแน่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) ปีเกอร์ตวงน้ำ
- 2) ตาชั่งดิจิตอล 2 ทศนิยม
- 3) กรรไกร
- 4) ไม้บรรทัด
- 5) สว่านไฟฟ้า
- 6) กรวยกรอกน้ำ
- 7) ถุงมือ
- 8) อุปกรณ์วัดค่าความเป็นกรด – ด่างแบบดิจิตอล
- 9) สติกเกอร์ ใส PVC
- 10) ขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร 30 ขวด
- 11) หลอดชาร์โคล
- 12) ไซลิงค์สำหรับดูดก๊าซขนาด 1 มิลลิลิตร
- 13) ปัมดูดก๊าซ
- 14) ฟาราฟิน
- 15) สายยาง
- 16) ถุงเก็บก๊าซขนาด 5 ลิตร
- 17) มีดหักหลอดแก้ว
- 18) คลิปหนีบกระดาษ
- 19) กระดาษขาว
- 20) เครื่อง GC (อธิบายวิธีการตรวจ)
- 21) เครื่อง ION Chromatography

3.6 การเก็บผลทดลอง (25 พฤศจิกายน 2558)

การเก็บผลทดลองได้มีการแบ่งเป็นสองวิธีการสำหรับการเก็บผลความเข้มข้นก๊าซมีเทน และความหนาแน่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยทำการเก็บผลการทดลองที่ห้องปฏิบัติการกรมอนามัย

3.6.1 การเก็บก๊าซเพื่อทำการตรวจหาความเข้มข้นก๊าซมีเทน

3.6.1.1 ใช้ไซลิงค์สำหรับดูดก๊าซขนาด 1 มิลลิลิตร เจาะลงไปบนฝาขวดในรูที่เตรียมไว้ จากนั้นดูดก๊าซเข้าหลอดไซลิงค์



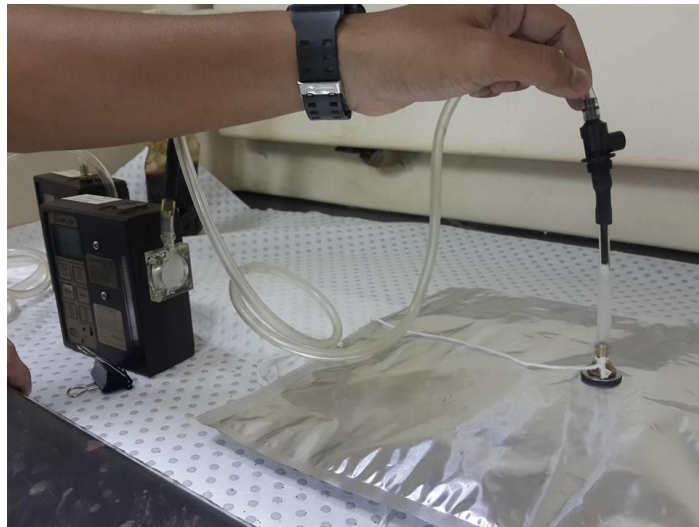
ภาพที่ 3.20 ดูดก๊าซจากขวดทดลองเข้าไซลิงค์สำหรับดูดก๊าซ

3.6.1.2 แล้วจึงนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC เพื่อทำการวิเคราะห์

3.6.1.3 การทดลองนี้ใช้ STD Methane ปริมาณ 100 ppm ฉีดด้วย Syringe Gas Type ขนาด 1 ml และค่าที่ได้ออกมาเป็นหน่วยเป็น ppm (Column ที่ใช้ คือ Rt-Alumina และ Detector FID)

3.6.2 การเก็บก๊าซเพื่อทำการตรวจหาความหนาแน่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

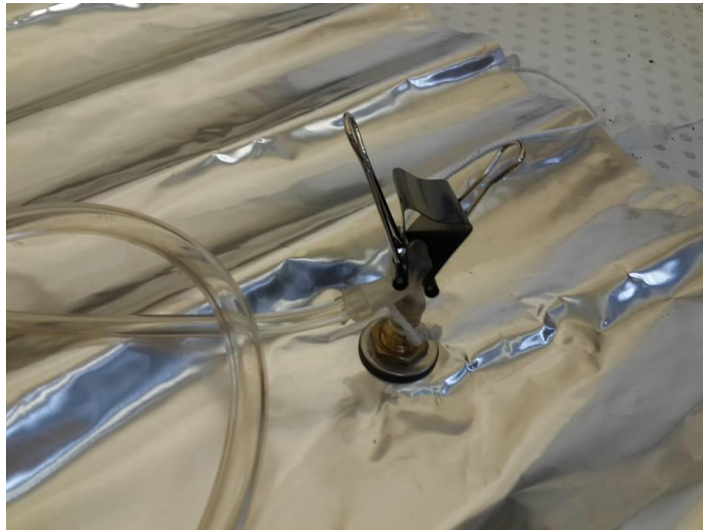
3.6.2.1 ใช้ปั๊มดูดอากาศดูดอากาศออกจากถุงที่เตรียมไว้ เพื่อให้ไม่มีอากาศปนเปื้อนไปกับก๊าซที่จะใส่ลงไปถุงทดลอง



ภาพที่ 3.21 ดูดอากาศออกจากถุงเก็บอากาศ

3.6.2.2 ใช้ตัวหนีบ หนีบสายซิลิโคนของถุงไว้เพื่อกันอากาศจากภายนอกไหลเข้า

ถุงทดลอง



ภาพที่ 3.22 ใช้ตัวหนีบ หนีบสายซิลิโคนของถุงเก็บอากาศ

3.6.2.3 ถอดสายยางจากปั๊มดูดอากาศ แล้วนำถุงทดลองต่อเข้ากับสายยางจากปั๊ม ดูดอากาศอีกตัวที่ต่ออยู่กับขวดทดลอง

3.6.2.4 ใช้สายยางอีกเส้นต่อเข้ากับเข็มเจาะ และต่อปลายอีกฝั่งเข้ากับปั๊มดูดอากาศ

3.6.2.5 ใช้เข็มเจาะลงไปบนฝาขวดในรูที่เตรียมไว้ แล้วเอาตัวหนีบสายซิลิโคนของถุงทดลองออก



ภาพที่ 3.23 ใช้เข็มเจาะลงไปบนรูของฝาขวดทดลอง



ภาพที่ 3.24 ต่อปลายสายยางอีกฝั่งเข้ากับปั๊มดูดอากาศ

3.6.2.6 เปิดปั๊มดูดอากาศ ให้ก๊าซไหลเข้าไปยังถุงเก็บอากาศ สังเกตปริมาณน้ำในขวด เมื่อปริมาณน้ำขึ้นมาถึงคอขวด ให้ปิดปั๊มทันที



ภาพที่ 3.25 เปิดปั๊มดูดอากาศ ให้ก๊าซไหลเข้าไปยังถุงเก็บอากาศ

3.6.2.7 จากนั้นจึงใช้ตัวหนีบหนีบสายยางซิลิโคนของถุงเก็บอากาศ เพื่อไม่ให้ก๊าซไหลออกมา



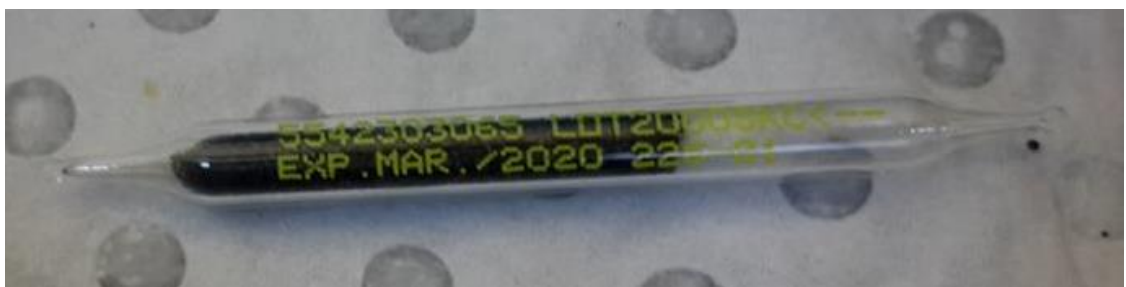
ภาพที่ 3.26 ใช้ตัวหนีบหนีบสายยางซิลิโคนของถุงเก็บอากาศ

3.6.2.8 เปิดจุกหลอดชาร์โคลออก แล้วหักปลายหลอดชาร์โคลทั้งสองด้านด้วยมีดแบบมีรู โดยการใส่ปลายหลอดเข้าไปในรู แล้วหักมีดขึ้น ควรทำการหักหลอดชาร์โคลในถุงซิปล็อกเพื่อป้องกันการกระเด็นของเศษแก้ว



ภาพที่ 3.27 หักปลายหลอดชาร์โคลทั้งสองด้าน

3.6.2.9 ต่อหลอดชาร์โคลด้านที่มีลูกศรเข้ากับหลอดซิลิโคนที่ต่อเข้ากับถุงเก็บอากาศ และต่ออีกด้านของหลอดชาร์โคลกับสายยางที่ต่ออยู่กับปั๊มดูดอากาศ (ลูกศรเป็นตัวบอทิศทางการไหลของอากาศ)



ภาพที่ 3.28 ลูกศรบนหลอดชาร์โคลเป็นตัวบอทิศทางการไหลของอากาศ

3.6.2.10 แกะตัวหนีบออก จากนั้นจึงเปิดปั๊มเพื่อดูดก๊าซจากถุงผ่านหลอดชาร์โคลที่อัตราการไหล 0.2 ลิตร/นาที เป็นเวลา 6 นาที

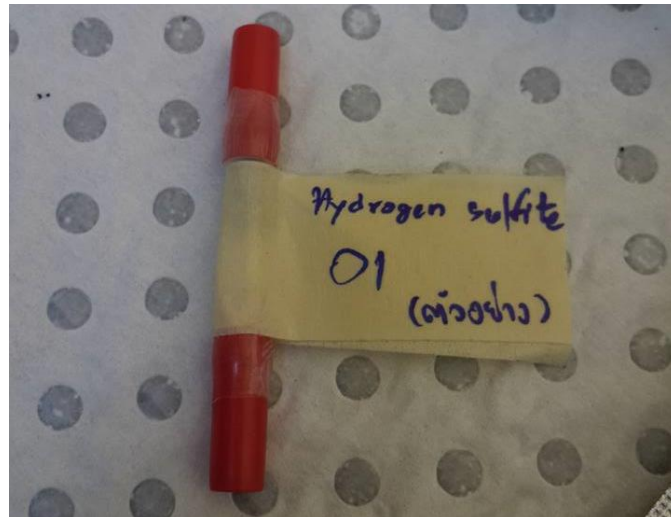


ภาพที่ 3.29 ดูดก๊าซจากถุงผ่านหลอดชาร์โคล



ภาพที่ 3.30 อัตราการไหล 0.2 ลิตร/นาที

3.6.2.11 ปิดจุกหลอดชาร์โคล แล้วพันด้วยพาราฟินจากนั้นติดป้ายพร้อมเขียนเลขเบอร์ขวดที่ติดก๊าสให้ชัดเจน



ภาพที่ 3.31 เขียนเลขเบอร์ขวดที่ติดก๊าสให้ชัดเจน

3.6.2.12 ใส่หลอดชาร์โคลในกระดิกน้ำแข็งเพื่อรักษาคุณภาพของชาร์โคลก่อนนำไปวิเคราะห์ผลด้วยวิธี ION Chromatography, Conductivity โดยการเปลี่ยนสภาพจากก๊าสไฮโดรเจนซัลไฟด์ ให้กลายเป็นซัลเฟตด้วยการดักจับของชาร์โคล จากนั้นนำชาร์โคลที่ผ่านก๊าสไปเทียบกับชาร์โคลตัวตั้งต้น เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ของซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

3.7 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ค่า COD, ก๊าสมีเทน และก๊าสไฮโดรเจนซัลไฟด์

1) ใช้ขั้นตอนตามมาตรฐานในการวิเคราะห์ค่า COD (Eaton, Clesceri, Rice, Greenberg and Franson, 2005)

2) ความเข้มข้นของก๊าสมีเทนทำการวิเคราะห์โดยเครื่องโครมาโตกราฟีแบบเปลวไฟ ตรวจจับ ไอออนไนซ์ และใช้คอลัมน์แบบ RT-Alumina ใช้ก๊าสฮีเลียม เป็นตัวพา และใช้ก๊าสมีเทนมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 100 ppm สำหรับการสอบเทียบ อุปกรณ์ชนิดเป็นเข็มฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร

3) การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่สามารถทำได้โดยตรงต้องทำการเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้อยู่ในรูปของซัลเฟตก่อน โดยเก็บตัวอย่างก๊าสจากขวดทดลองเข้าไป

ในถุงเก็บก๊าซขนาด 5 ลิตร จากนั้นปั๊มก๊าซที่อยู่ในถุงเก็บก๊าซผ่านสารดูดซับ ซึ่งสารดูดซับใช้ของบริษัท SKC ชนิด Anasorb CSC, Coconut Charcoal หมายเลขสินค้า 226-01 ในอัตรา 0.2 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำชาร์โคล มาวัดหาค่าซัลเฟตไอออนด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี แล้วจึงคำนวณย้อนกลับเพื่อหาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการ

$$C = \frac{0.3548 (W_f + W_b - B_f - B_b)}{V} \text{ mg/ m}^3$$

แหล่งที่มา: U.S. Environmental Protection Agency and Cassinelli, 1994

โดยที่

C	=	ปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (mg/ m ³)
W _f	=	ปริมาณของซัลเฟตไอออนส่วนหน้า (μg)
W _b	=	ปริมาณของซัลเฟตไอออนส่วนหลัง (μg)
B _f	=	ปริมาณของซัลเฟตไอออนในตัวกลางส่วนหน้า (μg)
B _b	=	ปริมาณของซัลเฟตไอออนในตัวกลางส่วนหลัง (μg)
V	=	ปริมาตรของอากาศตัวอย่าง (m ³)

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

ผู้ทำวิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำวินัสด้วยการผสมของผสม ทั้ง 3 ชนิด คือ กากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งการผสมของผสมเหล่านี้ทางผู้วิจัยตั้งสมมติฐานไว้ว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ โดยหลังจากการทดลองหมักแล้ว ทางผู้วิจัยได้นำตัวอย่างไปทดสอบหาปริมาณก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น เพื่อชี้วัดถึงคุณภาพของก๊าซที่เกิดขึ้น

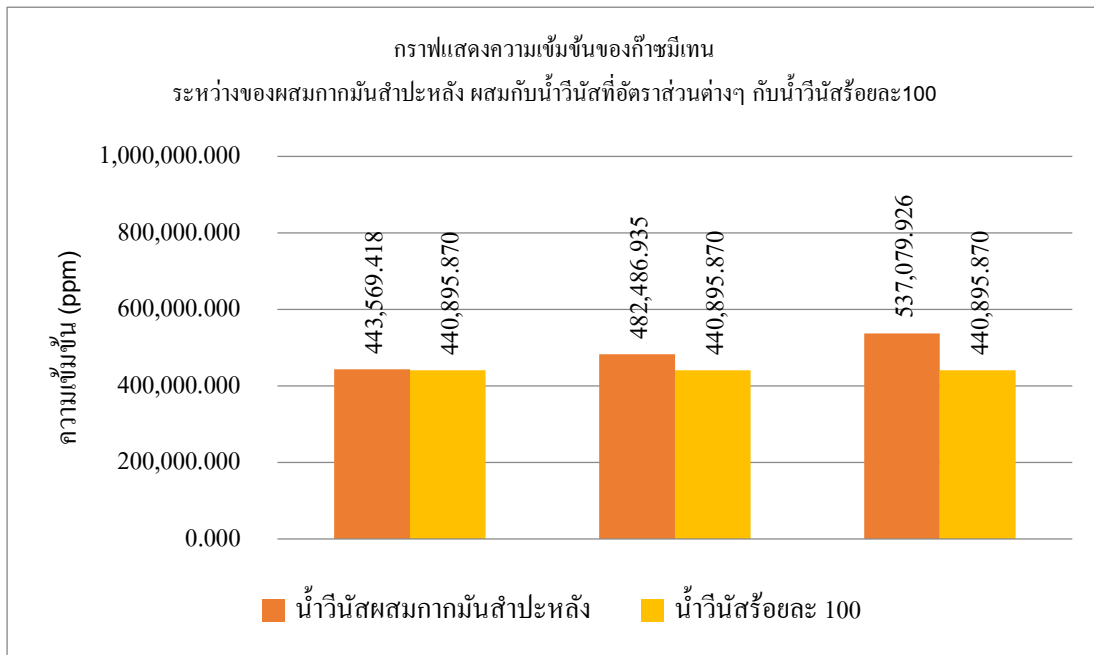
4.1 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนของของผสม กับน้ำวินัสร้อยละ 100

ปริมาณของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นระหว่างของผสมกากมันสำปะหลังกับน้ำวินัส ของผสมผักตบชวากับน้ำวินัส และของผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรกับน้ำวินัส แสดงในภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.3 ตามลำดับ

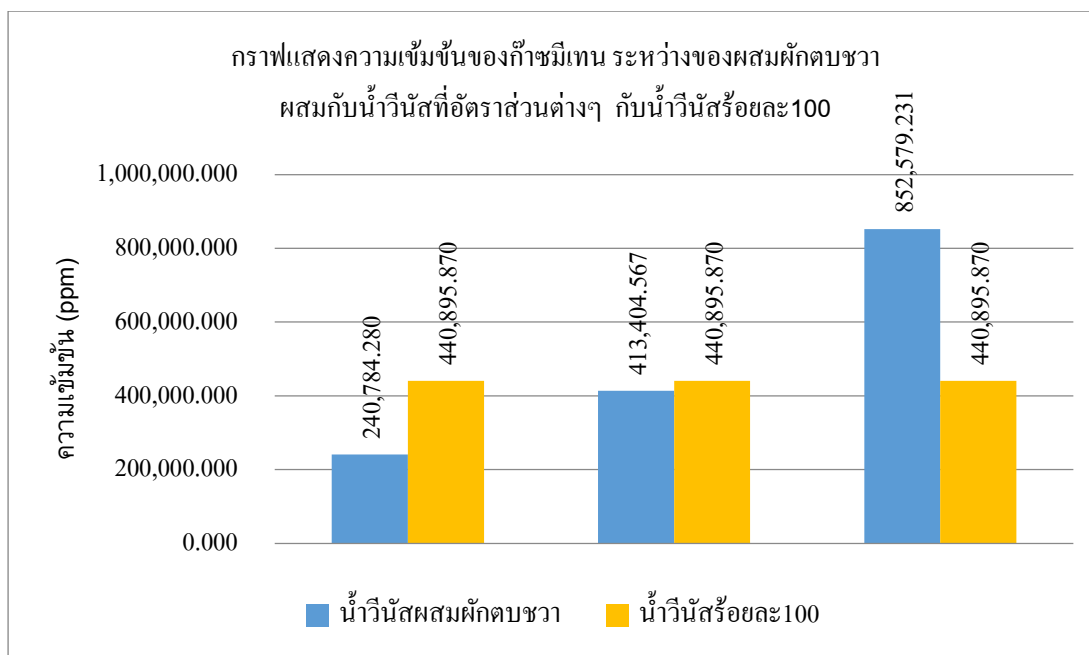
จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่า การผสมกากมันสำปะหลังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซมีเทนได้ โดยความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ได้จากน้ำวินัสร้อยละ 100 มีค่าเท่ากับ 440,895.87 ppm แต่ความเข้มข้นของของผสมน้ำวินัส กับกากมันสำปะหลังได้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน 443,569.12, 482,486.94 และ 537,079.93 ppm ที่ปริมาณของผสมร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ตามลำดับ

ภาพที่ 4.2 แสดงการผสมผักตบชวากับน้ำวินัสที่ให้ผลที่แตกต่างกับการผสมกากมันสำปะหลังคือ การผสมผักตบชวาที่ปริมาณของผสมร้อยละ 10 และ ร้อยละ 30 ไม่สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซมีเทนดีขึ้นเมื่อเทียบกับการหมักด้วยน้ำวินัสร้อยละ 100 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวาเข้าไปที่ร้อยละ 50 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซมีเทนได้ โดยความเข้มข้นของก๊าซมีเทนของของผสมน้ำวินัส กับผักตบชวาได้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน 240,784.28, 413,404.57 และ 852,579.23 ppm ที่ปริมาณของผสมร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ตามลำดับ

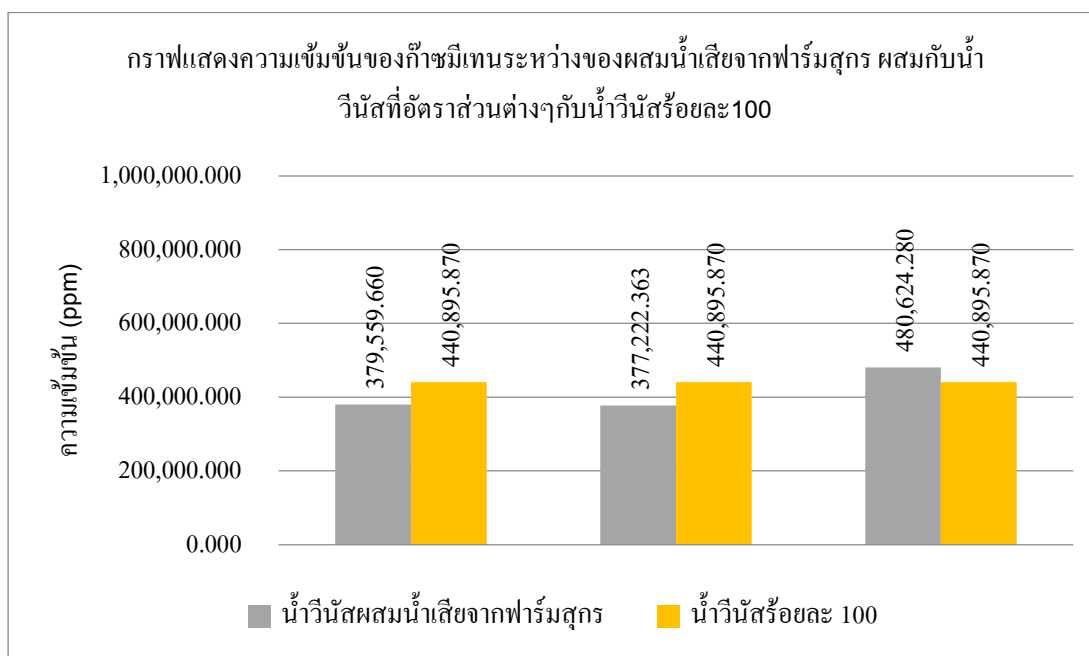
นอกจากนั้น จากภาพที่ 4.3 การผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรกับน้ำวินัสให้ผลที่เหมือนกับการผสมผักตบชวา คือ เมื่อการผสมได้อัตราส่วนที่มากเพียงพอจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซมีเทนได้ โดยความเข้มข้นของก๊าซมีเทนของของผสมน้ำวินัส กับผักตบชวาได้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน 379,559.66, 377,222.36 และ 480,624.28 ppm ที่ปริมาณของผสมร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ระหว่างของผสมกากมันสำปะหลัง ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100



ภาพที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ระหว่างของผสมผักตบชวาผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100



ภาพที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ระหว่างของผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆกับน้ำวินัสร้อยละ 100

โดยภาพรวมแล้วจะเห็นว่า การนำของผสมมาช่วยในการหมักจะสามารถทำให้ได้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงขึ้น แต่จำเป็นต้องหาอัตราส่วนของการผสมให้เหมาะสมสำหรับของผสมแต่ละชนิด เนื่องจากการผสมของผสมลงไปทำให้อัตราส่วนของ คาร์บอนกับไนโตรเจน (C:N ratio) เปลี่ยนไป อัตราส่วนของ C:N ที่เหมาะสมจะทำให้การหมักเกิดประสิทธิภาพที่ดี (Panichnumsin et al., 2010) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่า C:N ที่เหมาะสมสำหรับการหมักแบบไร้อากาศอยู่ในช่วง 20 – 30 (Kayhanian and Hardy, 1994; Li et al., 2011) ในการทดลองค่า C:N ของกากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่าเท่ากับ 210, 29 และ 14 ตามลำดับ

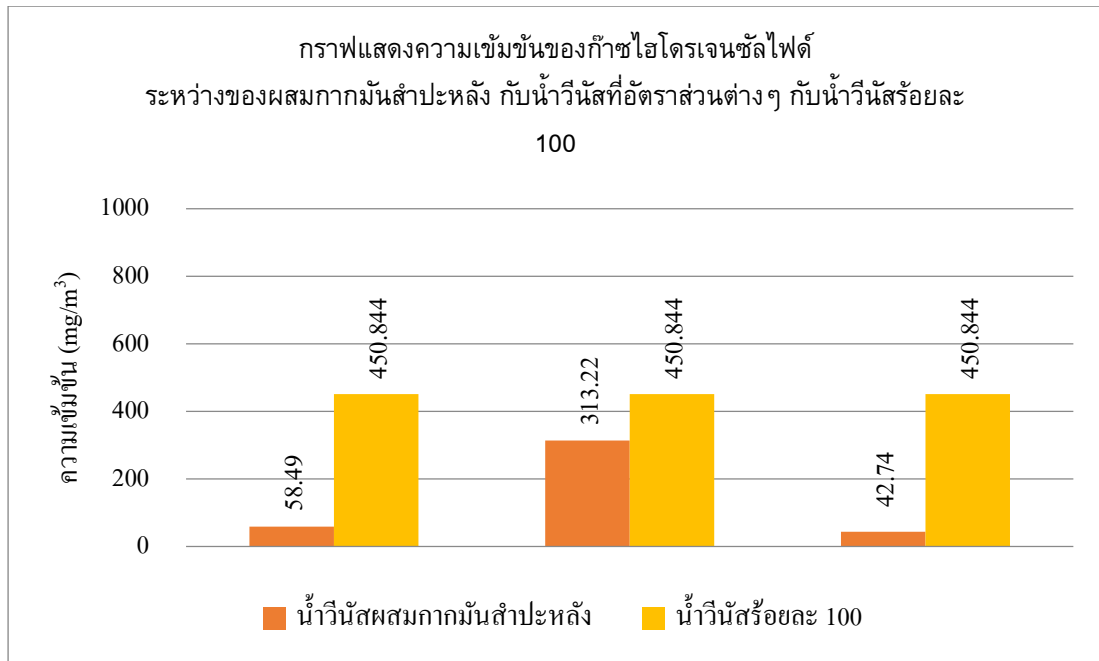
4.2 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของของผสม กับน้ำวินัสร้อยละ 100

ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นอีกหนึ่งตัวแปรในการทดลอง เพื่อที่จะบอกถึงคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

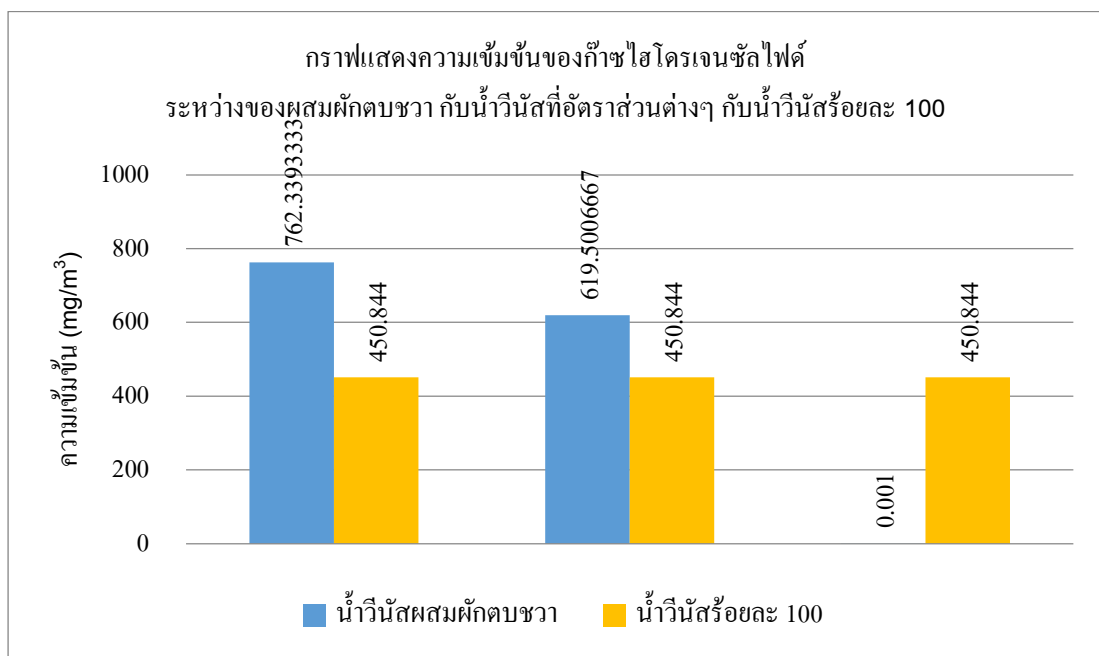
จากภาพที่ 4.4 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักของของผสมน้ำวินัสกับกากมันสำปะหลังมีปริมาณน้อยกว่า การหมักด้วยน้ำวินัสร้อยละ 100 ซึ่งถือว่าการผสมกากมันสำปะหลังเข้าป้อนนั้นได้ช่วยปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง

ภาพที่ 4.5 แสดงการผสมผักตบชวาลงไปกลับได้ผลตรงกันข้ามกับกากมันสำปะหลังคือได้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าการหมักด้วยน้ำวินัสร้อยละ 100 แต่เมื่อทำการผสมในปริมาณที่ร้อยละ 50 ค่าของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กลับลดลงอย่างมากจนแทบไม่เกิดขึ้นเลย ซึ่งเป็นการเน้นถึงความสำคัญของการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผสม สาเหตุหลักที่ทำให้ผักตบชวาสามารถลดการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มาก คือ โครงสร้างของ ผักตบชวามีความพรุนคล้ายฟองน้ำ มีคุณสมบัติช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และมีความสามารถในการดูดซับ (ผดุงวิทย์ หงษ์สามารถ , นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, สุจินดา กรรณสูต, คณิดา ตั้งคณานุรักษ์ และวิทยา ปั้นสุวรรณ , 2556)

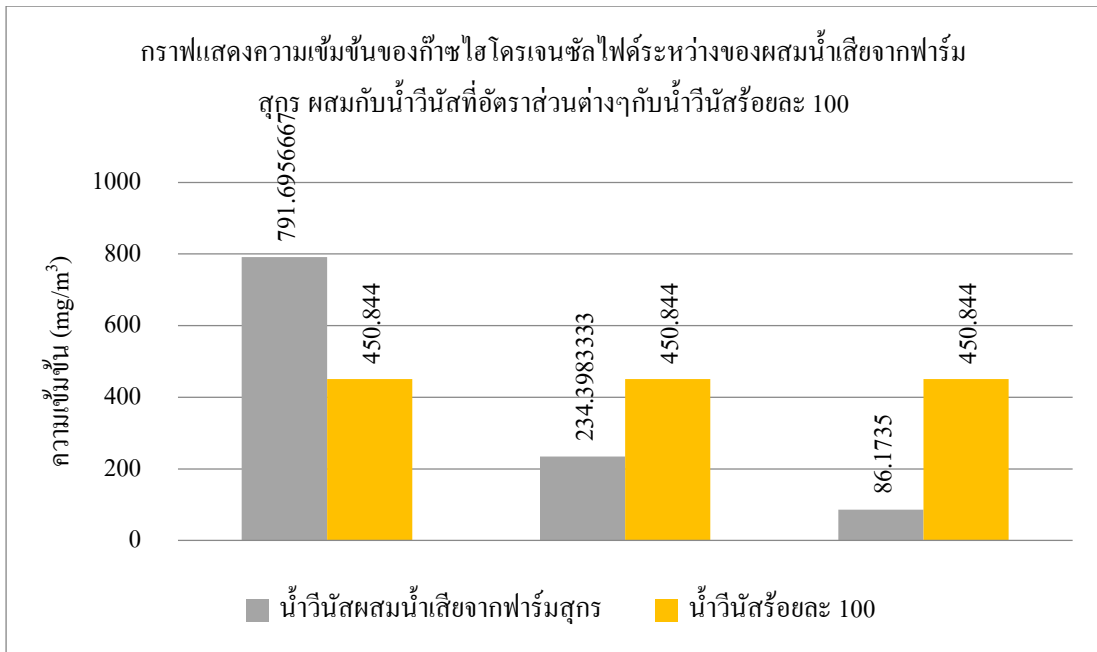
สุดท้ายคือ ภาพที่ 4.6 แสดงการผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรยังคงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการผสมด้วยผักตบชวา โดยที่เมื่อผสมอัตราส่วนของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรลงไป ในอัตราส่วนที่มากเพียงพอจะทำให้การเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง โดยสาเหตุสำคัญมาจากการที่ปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (ร้อยละ 0.4) (Kim et al., 2014) มีน้อยกว่าน้ำวินัส (ร้อยละ 2.12) (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, 2549)



ภาพที่ 4.4 แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสมกากมันสำปะหลัง กับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100



ภาพที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสมผักตบชวา กับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆ กับน้ำวินัสร้อยละ 100



ภาพที่ 4.6 แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผสมกับน้ำวินสต์ที่อัตราส่วนต่างๆกับน้ำวินสต์ร้อยละ 100

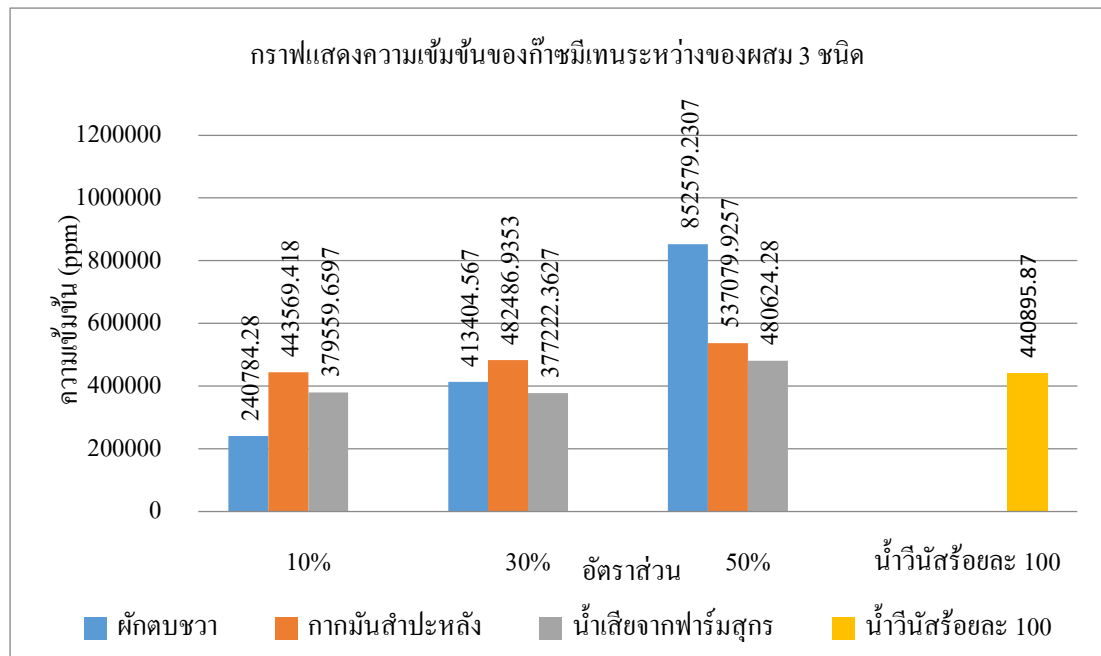
โดยสรุป การผสมกากมันสำปะหลังกับน้ำวินสต์จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยส่งผลให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลง ส่วนการผสมผักตบชวากับน้ำวินสต์นั้นจะให้ผลที่ดีก็ต่อเมื่อผสมผักตบชวาไปที่ร้อยละ 50 ซึ่งที่อัตราส่วนนี้จะทำให้ได้ก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่ำมากๆ ส่วนการผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ร้อยละ 30 นั้นจะช่วยลดการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ แต่ต้องผสมที่ร้อยละ 50 จึงจะสามารถให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของของผสม

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าการเพิ่มของผสมลงไปในน้ำวินสต์จะช่วยเพิ่มคุณภาพของก๊าซที่เกิดขึ้น ทางผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมว่า ของผสมชนิดไหนที่ให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่มากที่สุด และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่น้อยที่สุด ณ อัตราส่วนของการผสมที่เท่ากัน

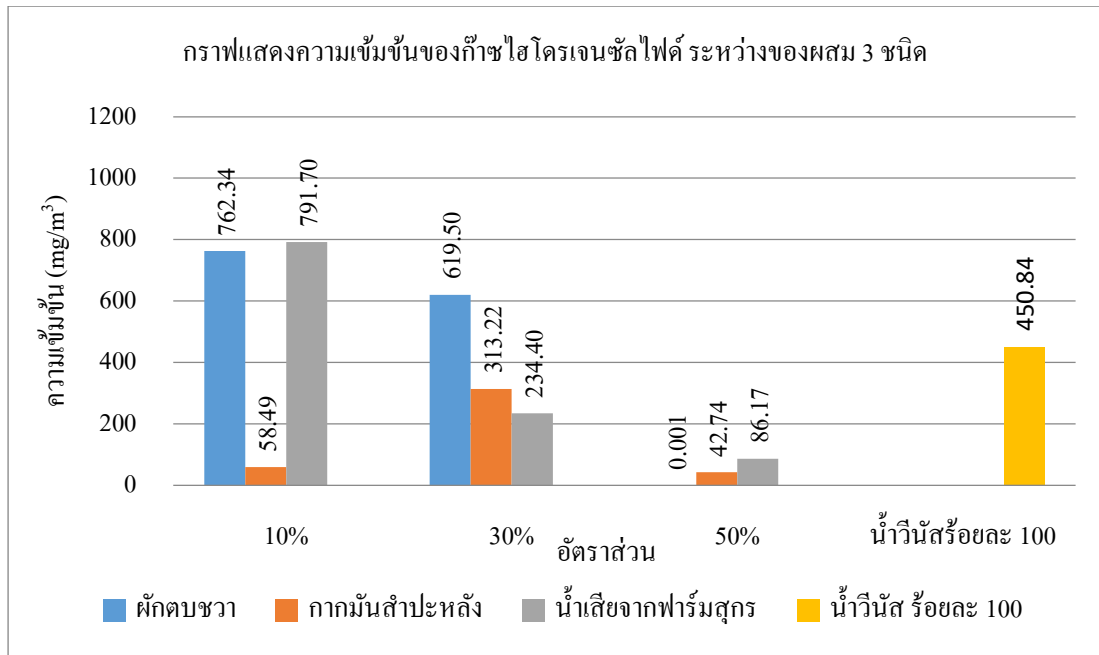
จากภาพที่ 4.7 พบว่าที่อัตราส่วนของผสมต่อน้ำวินสต์ร้อยละ 50 ให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่มากที่สุด โดยผักตบชวาจะให้ผลที่ดีที่สุดคือได้ก๊าซมีเทนที่ปริมาณมากที่สุดที่ 852,579 ppm ต่อจาก

ผักตบชวาคือกากมันสำปะหลังซึ่งได้ก๊าซมีเทนที่ 537,079 ppm สุดท้ายคือน้ำเสียจากฟาร์มสุกรซึ่งได้ผลที่ 480,624 ppm



ภาพที่ 4.7 แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆกับน้ำวินัสร่อยละ 100

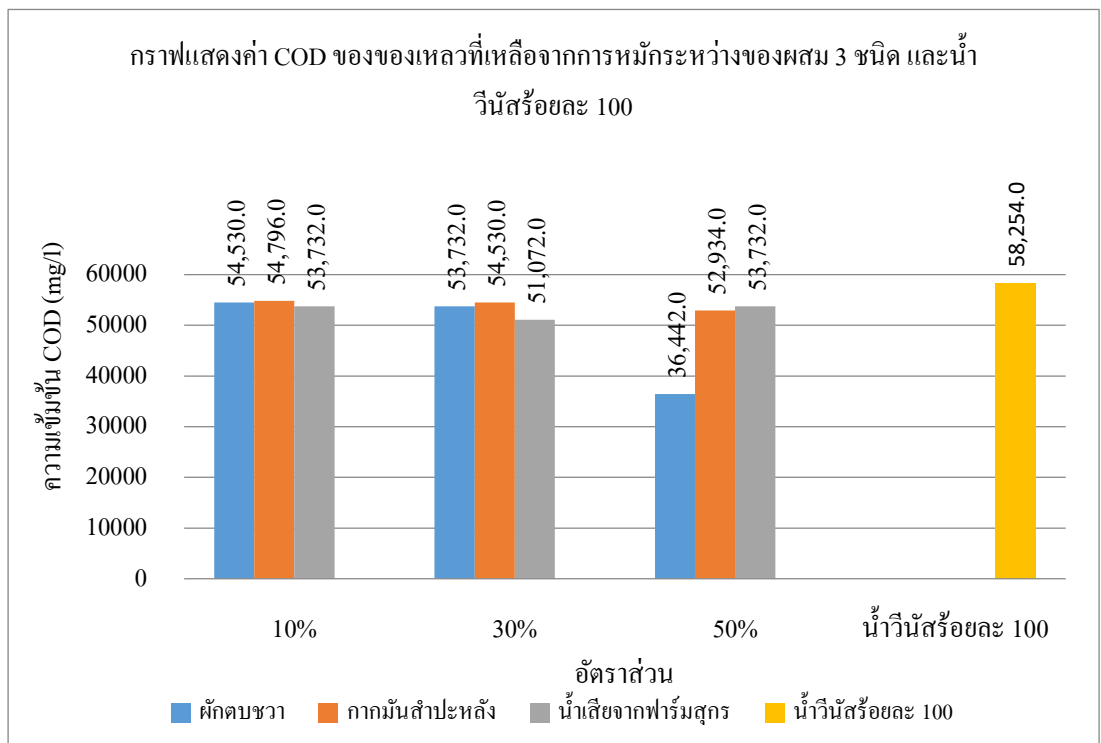
ภาพที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ของของผสม 3 ชนิด ผลการทดลองสอดคล้องกับผลจากก๊าซมีเทนคือ ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 50 ของผสมทั้ง 3 ชนิด มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยที่สุด โดยของผสมผักตบชวาให้ผลที่ดีที่สุดคือ มีปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่า 0.01 ppm ซึ่งเกิดจากการที่ผักตบชวามีโครงสร้างที่ต่างจากของผสมชนิดอื่น โดยมีความเป็นรูพรุนมากจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับสารพิษ (Giraldo & Garzón, 2002) ต่อมาคือกากมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากฟาร์มสุกรให้ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 42.73 และ 86.17 mg/m³ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 แสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระหว่างของผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผสมกับน้ำวินัสที่อัตราส่วนต่างๆกับน้ำวินัสร้อยละ 100

4.4 ค่า COD ของน้ำหลังจากการหมัก

ภายหลังจากขั้นตอนกระบวนการหมักแล้ว น้ำเสียที่เหลือจากกระบวนการจำเป็นต้องถูกนำออกจากระบบ ซึ่งทางผู้ทำการทดลองได้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำเสียหลังจากการหมัก เพื่อทดสอบความสกปรกของน้ำที่เหลือจากการหมักด้วย ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงค่า COD ของของเหลวที่เหลือจากการหมักระหว่างของผสม 3 ชนิด และน้ำวินัส ร้อยละ 100

จากภาพจะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มของผสมลงไปในน้ำวินัส จะทำให้ค่า COD ที่ออกมา มีแนวโน้มลดลง ซึ่งการลดลงของ COD อาจจะมาได้จาก 2 ปัจจัย คือ

4.4.1 การที่ของผสมเข้าไปเจือจางความเข้มข้นของน้ำวินัส ทำให้ค่า COD ในระบบลดลง (อ้างอิงจากผลการทดลอง)

4.4.2 การเติมมูลวัว และของเสียจากการผลิตชีสทำให้ประสิทธิภาพในการหมักดีขึ้น ทำให้ค่า COD ลดลง (Ozturk, 2012)

ผู้ทดลองไม่ได้ทำการวัดค่า COD ของทุกของผสมเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านต้นทุนงานวิจัย ดังนั้นจึงต้องทำการหาค่า COD เริ่มต้นจากการคำนวณ โดยอาศัยค่า COD อ้างอิงจากงานวิจัยอื่น โดยค่าเริ่มต้นของกากมันสำปะหลัง กับ ผักตบชวามีค่าเท่ากับ 12,019 (จินตนา เหล่าฤ พงศ์, 2550) และ 7,560 mg/L (คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ศิลปการ, 2559) ตามลำดับ ส่วนค่า COD เริ่มต้นของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และน้ำวินัสผสมกับน้ำ ทำยบ่อในอัตราส่วน 1 : 7 สามารถคำนวณได้ เนื่องจากมีการทดลองตัวอย่างไว้อย่างละ 1 ตัวอย่าง จากรายงานของบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด (2558) ที่ผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่างของ น้ำเสียจากฟาร์มสุกรและน้ำวินัสร้อยละ 100 เพื่อทำการทดสอบ ได้ค่า COD อยู่ที่ 30,680 mg/L

และ 67,238 mg/L ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการหา ค่า COD เริ่มต้นจากอัตราส่วนของการผสม จากนั้นก็มาเทียบกับค่า COD ภายหลังเพื่อหา %COD removal ตามสมการ

$$\% \text{ COD removal} = \left(\frac{\text{COD}_{\text{ก่อน}} - \text{COD}_{\text{หลัง}}}{\text{COD}_{\text{ก่อน}}} \right) \times 100$$

ซึ่งได้ผลสรุปตามตารางดังนี้

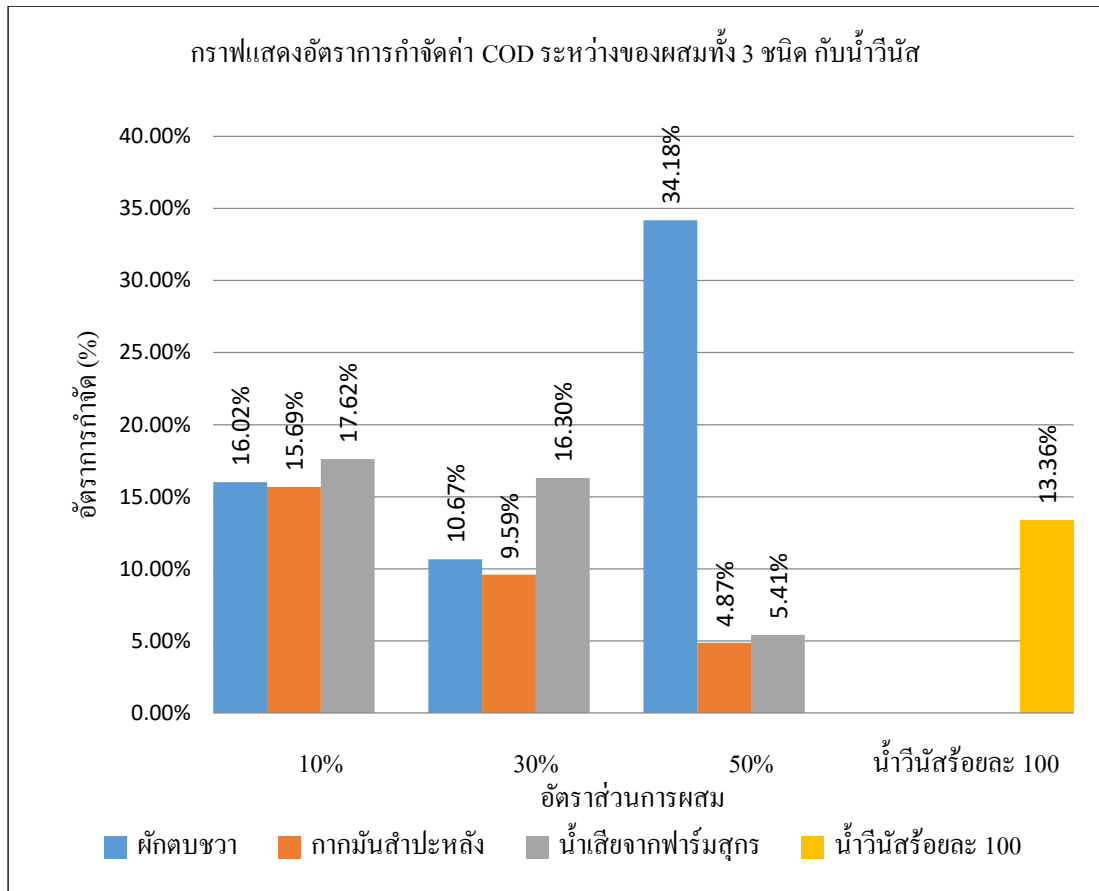
ตารางที่ 4.1 แสดงค่า COD ของกากมันสำปะหลัง กับ ผักตบชวาในอัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50

หมายเลข ขวด	อัตราส่วนของผสม				น้ำเสีย จาก ฟาร์ม สุกร	ค่า COD เริ่มต้น	ค่า COD หลัง การ หมัก	% COD removal
	น้ำ วินัส	น้ำ ท้าย บ่อ	กากมัน สำปะหลัง	ผักตบชวา				
1	7	1				67,238	58,520	12.97%
11	7	1				67,238	57,988	13.76%
2	7	0.9	0.1			64,991	55,860	14.05%
12	7	0.9	0.1			64,991	53,732	17.32%
3	7	0.7	0.3			60,316	56,392	6.51%
13	7	0.7	0.3			60,316	52,668	12.68%
4	7	0.5	0.5			55,642	52,668	5.34%
14	7	0.5	0.5			55,642	53,200	4.39%
5	7	0.9		0.1		64,935	54,264	16.43%
15	7	0.9		0.1		64,935	54,796	15.61%
6	7	0.7		0.3		60,149	52,136	13.32%
16	7	0.7		0.3		60,149	55,328	8.02%
7	7	0.5		0.5		55,363	35,644	35.62%
17	7	0.5		0.5		55,363	37,240	32.73%

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

หมายเลข ขวด	อัตราส่วนของผสม				น้ำเสีย จาก ฟาร์ม สุกร	ค่า COD เริ่มต้น	ค่า COD หลัง การ หมัก	% COD removal
	น้ำ วินัส	น้ำ ท้าย บ่อ	กากมัน สำปะหลัง	ผักตบชวา				
8	7	0.9			0.1	65,224	53,200	18.43%
18	7	0.9			0.1	65,224	54,264	16.80%
9	7	0.7			0.3	61,016	51,072	16.30%
19	7	0.7			0.3	61,016	51,072	16.30%
10	7	0.5			0.5	56,808	51,072	10.10%
20	7	0.5			0.5	56,808	56,392	0.73%

อย่างไรก็ตามเมื่อนำน้ำวินัสผสมกับผักตบชวาคากแห้ง ของผสมจะมีความเป็น ของแข็ง มากกว่าของผสมชนิดอื่น แต่ที่น่าสนใจก็คือเมื่อผสมผักตบชวาที่ร้อยละ 50 ค่า COD ในน้ำลดลง อย่างเห็นได้ชัด เหลือ 36,442 mg/L โดยเฉลี่ย สาเหตุการลดลงอย่างมากของ COD น่าจะมาจากการ ที่น้ำวินัสถูกผักตบชวาคูดซับน้ำไว้ (ผดุงวิทย์ หงษ์สามารถ และคณะ, 2556) น้ำที่บีบออกมาจาก ผักตบชวาจึงมีค่า COD ที่ต่ำ



ภาพที่ 4.10 แสดงอัตราการกำจัดค่า COD ระหว่างของผสมทั้ง 3 ชนิด กับน้ำวินัส

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยอภิปราย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล และอภิปราย

การทดลองได้ทำการหมักของผสม กากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร กับน้ำวินัสที่อัตราส่วนร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบกับหมักน้ำวินัสเพียงอย่างเดียว โดยทำการหมักในขวดพีวีซีขนาด 1.5 ลิตร ทำการไล่อากาศด้วยการบีบขวด และปิดผนึกด้วยแผ่นพีวีซี เพื่อป้องกันอากาศเข้าจากนั้นทำการหมักเป็นเวลา 40 วัน ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองนำไปทดสอบ หาความเข้มข้นของก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยก๊าซมีเทนทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟฟี ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใช้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตไอออนเนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่สามารถวัดได้โดยตรง โดยเริ่มจากการเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้อยู่ในรูปของซัลเฟตจากนั้นมาวัดหาค่าซัลเฟตไอออนด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟฟี แล้วจึงคำนวณย้อนกลับเพื่อหาปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ซึ่งจากการทดสอบพบว่า การผสมกากมันสำปะหลังกับน้ำวินัสในอัตราส่วนที่ ร้อยละ 10, ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ส่งผลให้ได้ความเข้มข้นก๊าซมีเทนที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับผลจากการหมักด้วยน้ำวินัสเพียงอย่างเดียวที่ ร้อยละ 0.6, 9.0 และ 20.0 ตามลำดับ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ลดลงร้อยละ 87, 30 และ 90 ตามลำดับ ซึ่งจะได้อัตราปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดที่ 852,579 ppm และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่น้อยกว่า 0.01 ppm ส่วนการผสมผักตบชวากับน้ำวินัสต้องผสมในอัตราส่วนร้อยละ 50 ถึงจะทำให้ได้ก๊าซมีเทนที่สูงขึ้นถึงร้อยละ 90 และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่ำลงร้อยละ 99 ส่วนการผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรต้องผสมที่ร้อยละ 50 จึงจะสามารถให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่สูงขึ้น และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่ำลง โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 และลดลงร้อยละ 80 ตามลำดับ เพราะฉะนั้น การหมักแบบผสมของน้ำวินัสกับ กากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกรสามารถที่จะเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทน และลดการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้

สาเหตุที่การหมักแบบผสมสามารถช่วยในการเพิ่มคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้มาจากการผสมจะทำให้ช่วยปรับสมดุลของสารอาหารในของหมัก (Callaghan, Wase, Thayanithy, and Forster, 2002) จากการศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบพบว่าสารอาหารสำคัญหลักๆในกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันของของผสมทั้ง 3 ชนิดนั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยกากมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีอยู่ถึงร้อยละ 66.02 ส่วนองค์ประกอบหลักของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และผักตบชวาคือโปรตีนมีอยู่ร้อยละ 49.6 และ 41.5 ตามลำดับ ซึ่งสารอาหารที่ต่างกันเป็นผลให้ได้ความเข้มข้นก๊าซมีเทนที่ต่างกัน Møller (2004) คำนวณทางทฤษฎี อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจำแนกตามสารอาหารพบว่า ไขมันจะมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงที่สุด ตามมาด้วยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ตามค่า 1014, 496 และ 415 $l / CH_4 kg^{-1}$ VS ตามลำดับ ผักตบชวานั้นมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักจึงมีแนวโน้มการเกิดก๊าซมีเทนได้มากกว่ากากมันสำปะหลัง

อีกปัจจัยในการเกิดก๊าซมีเทนก็คือเปอร์เซ็นต์ C:N ถ้าค่า C:N ต่ำ คือมีไนโตรเจนสูงก็จะทำให้เกิดสารที่จะยับยั้งการเกิดก๊าซมีเทนได้ง่าย (Janke et al., 2015) แต่ถ้าอัตราส่วนของ C:N มีค่าสูงทำให้เกิดกรดไขมันได้เร็วซึ่งจะทำให้ค่า pH ในระบบลดลงส่งผลให้เกิดการยับยั้งจุลินทรีย์ของกระบวนการเกิดก๊าซมีเทนเช่นกัน (Panichnumsin et al., 2010) เพราะฉะนั้นการหมักจะได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเมื่อค่า C:N อยู่ในค่าที่สมดุล

โดยทั่วไปแล้วค่า C:N ที่เหมาะสมสำหรับการหมักแบบไร้อากาศอยู่ในช่วง 20 – 30 (Kayhanian and Hardy, 1994; Li et al., 2011; Puyuelo et al., 2011; Wang et al., 2012) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่า C:N ของน้ำวินัส น้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผักตบชวา และกากมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 10, 14, 29 และ 210 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าผักตบชวามีค่า C:N ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่สุดตามทฤษฎี

ผลจากการหมักแบบผสมสามารถลดปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ซึ่งมีปัจจัยมาจากการลดลงของปริมาณซัลเฟอร์ในของผสม Bothi (2007) ได้ศึกษาลักษณะของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในฟาร์มปศุสัตว์ 5 แห่งรอบๆนิวยอร์ก พบว่าปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นอยู่กับปริมาณซัลเฟอร์ในสารตั้งต้น ฟาร์มที่ใช้น้ำที่มีซัลเฟอร์ผสมจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าฟาร์มอื่น ส่วนฟาร์มที่มีการใช้อาหารเหลือทิ้งมาผสมในการหมักทำให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงกว่าฟาร์มอื่นๆ จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าถ้าของผสม หรือวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักมีปริมาณซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่น้อย จะทำให้ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักของผสม หรือวัตถุดิบชนิดนั้นมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยด้วย ซึ่งน้ำวินัสมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 2.12 แต่ของที่นำมาผสมผักตบชวา กากมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากฟาร์ม

สุกร มีปริมาณซัลเฟอร์อยู่เพียงร้อยละ 0.4 (National Research Council (U.S.), 1981), ร้อยละ 0.06 (Punsuwan & Tangsatitkulchai, 2014) และร้อยละ 0.06 (Kim et al., 2004) ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของของผสมผักตบชวามีค่าลดลงมาก โดยมีค่าน้อยกว่า 0.01 mg/L เนื่องจากความสามารถของผักตบชวาสามารถดูดซับสารพิษได้อีกด้วย (Giraldo & Garzón, 2002) โดยโครงสร้างของ ผักตบชวามีความพรุนคล้ายฟองน้ำ มีคุณสมบัติช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และมีความสามารถในการดูดซับ (ผดุงวิทย์ หงษ์สามารถ และคณะ, 2556)

นอกจากนั้นผลทดสอบค่า COD หลังจากการหมัก ซึ่งให้เห็นว่าค่า COD จากการหมักแบบผสมจะน้อยกว่าค่า COD ของการหมักด้วยน้ำวินัสเพียงอย่างเดียว โดยค่า COD ของน้ำวินัสหลังจากการหมักมีค่าเท่ากับ 58,254 mg/l ส่วนของผสมกากมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 ได้ค่า COD หลังจากการหมักเท่ากับ 54,796, 54,530 และ 53,732 mg/l ตามลำดับ

ผักตบชวาทากแห้ง ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 50 ค่า COD ในน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจากการคำนวณค่า %COD removal ผักตบชวาทากแห้งที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 50 มีค่า %COD removal สูงถึงร้อยละ 45.87 นอกจากนี้จากการศึกษาของผดุงวิทย์ หงษ์สามารถ และคณะ, 2556 พบว่าน้ำวินัสถูกผักตบชวาดูดซับน้ำไว้ ดังนั้นค่า COD จากการทดลองน้ำวินัสผสมผักตบชวาทากแห้งจึงมีค่าที่ต่ำ

5.2 แนวทางการหมักแบบผสมเชิงอุตสาหกรรม

ผลจากการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มทางเลือกทางด้านวัตถุดิบในการผลิตพลังงาน และเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิต แต่จำเป็นต้องทำศึกษาเพิ่มเติมเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในขนาดที่เป็นอุตสาหกรรมได้ เพราะในการทดลองฉบับนี้ไม่ได้ทำการหมักแบบที่มีการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง (Continuous) ในการทดลองเป็นการทดลองแบบสภาวะคงที่ (Batch) ทำให้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) เป็นศูนย์ คือไม่มีการเพิ่มสารอินทรีย์ในการหมัก แต่ในอุตสาหกรรม การหมักจะเป็นการหมักแบบต่อเนื่อง โดยมี OLR เข้าสู่ระบบเป็นค่าหนึ่ง ซึ่งค่า OLR เป็นสิ่งที่ต้องศึกษาเพิ่ม นอกจากนี้การที่ระบบมีการแปรปรวนตลอดเวลาอาจทำให้ผลที่จะเกิดขึ้นคลาดเคลื่อนไปจากผลการทดลองได้จึงจำเป็นต้องหาสภาวะ และอัตราส่วนของของผสมที่เหมาะสมด้วย ระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมก็จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากในการทดลองไม่ได้ศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพ

แบบพลวัต ทำให้ไม่ทราบว่าการเกิดก๊าซชีวภาพมีค่าคงที่ หรือหยุดลงเมื่อใด และระดับอุตสาหกรรมขนาดของบ่อหมักย่อมมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการทดลอง เพราะฉะนั้นระยะเวลาการหมักจึงเป็นอีกปัจจัยที่ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม

ทางด้านเศรษฐศาสตร์ก็จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม หากมันล่าช้าหลังจากนั้นมีการซื้อขายกันโดยทั่วไปซึ่งปัจจุบันมีการซื้อขายกันเพื่อไปทำเป็นอาหารสัตว์เป็นหลัก ราคาขายจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโรงงาน และฤดูกาล ซึ่งราคาขายจะอยู่ในช่วง 300 – 400 บาทต่อตัน เมื่อขยายปริมาณการใช้ในระดับอุตสาหกรรม ราคาต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องศึกษา ถึงแม้ว่าการผสมกากแบริ่งมันล่าช้ามากขึ้นจะส่งผลดีต่อการหมักที่ดีขึ้น แต่อาจจะไม่ส่งผลที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องศึกษา อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัจจุบันผักตบชวา กับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรยังไม่มีการคิดราคาซื้อขายของวัตถุดิบอย่างชัดเจน จึงต้องศึกษาถึงผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่มีการคิดราคาวัตถุดิบขึ้นมา จะส่งผลต่อทางเศรษฐศาสตร์โดยรวมของโครงการอย่างไร

นอกจากราคาของวัตถุดิบที่นำมาทำการหมักแบบผสมแล้ว ราคาขนส่งก็ถือเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาเพิ่มด้วย โดยจำเป็นต้องหาราคาขนส่งวัตถุดิบที่เหมาะสม ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาระยะห่างระหว่างโรงงานเอทานอลที่ผลิตน้ำวินัส กับโรงงานแบริ่งมันล่าช้าหลังมีระยะห่างกันประมาณ 60 กิโลเมตร เพราะฉะนั้น การตั้งโรงไฟฟ้าให้อยู่ระหว่าง 2 โรงงานจะส่งผลดีที่สุด ฟาร์มสุกรเองก็ตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกับ โรงงานแบริ่งมันล่าช้าเช่นกัน แต่การใช้ผักตบชวาอาจจะไม่สะดวกในพื้นที่แถบนั้น เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และมีคลองชลประทาน จึงห่างไกลจากบริเวณแม่น้ำที่จะมีผักตบชวาขึ้น

สุดท้ายนี้ข้อจำกัดในการหมักแบบผสมเพื่อที่จะขยายไปในระดับอุตสาหกรรม คือเทคโนโลยี ณ ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการหมักไม่ใช่สิ่งใหม่ ซึ่งได้มีการพัฒนามาอย่างยาวนานและต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการหมักแบบผสมจะแตกต่างออกไป การเตรียมการของวัตถุดิบที่จะมาผสมแต่ละชนิดก็ไม่เหมือนกัน เทคโนโลยีของบ่อหมักสำหรับวัตถุดิบแต่ละชนิดก็แตกต่างกัน ซึ่งอาจจะต้องแปรเปลี่ยนไปตามความเหมาะสมของลักษณะทางกายภาพของแต่ละชนิด เพราะฉะนั้นเทคโนโลยีที่เหมาะสมจึงถือเป็นสิ่งที่ต้องศึกษาถึงผลกระทบเช่นกัน เช่น การหมักน้ำวินัสธรรมดาไม่จำเป็นต้องดัดตะกอนที่เกิดขึ้นออกบ่อยมากนัก แต่ถ้าผสมกากมันล่าช้าก็จำเป็นต้องทำการถ่ายตะกอนในบ่อหมักบ่อยขึ้นเพื่อลดผลกระทบในการหมัก หรือต้องมีกระบวนการเตรียมผักตบชวา เช่น การสับละเอียด ก่อนที่จะนำเข้าไปสู่กระบวนการหมัก

5.3 ข้อจำกัดของการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของการหาค่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากห้องปฏิบัติการกรมอนามัยไม่สามารถหาค่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยตรงได้ แต่ต้องใช้วิธีหาค่าซัลเฟต แล้วจึงนำมาแปลงเป็นค่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้

อีกทั้งห้องปฏิบัติการกรมอนามัยสามารถหาความเข้มข้นก๊าซมีเทน และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เป็นหน่วย ppm เพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้เป็นเรื่องของต้นทุนงานวิจัย จึงทำให้มีข้อจำกัดเรื่องการวัดค่า COD ตั้งต้นของของผสมในทุกขวดทดลอง

5.4 ข้อเสนอแนะ

เพื่อทราบถึงลักษณะกระบวนการหมักแบบไร้อากาศอย่างละเอียด การทดลองนี้สามารถทำเพิ่มเติมด้วยการเก็บก๊าซตัวอย่างไปทดสอบอย่างต่อเนื่อง เช่น เก็บเป็นรายวัน หรือรายอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงลักษณะการเกิดก๊าซต่างๆอย่างต่อเนื่อง และสามารถคำนวณถึงอัตราเร็วในการเกิดก๊าซมีเทน และการหยุดของปฏิกิริยาที่แน่นอนได้ การปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการผสม หรือการเพิ่มสภาวะในการหมัก เช่น การเพิ่มระยะเวลา เพิ่มอุณหภูมิ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ควรศึกษาเพิ่มเติม นอกจากนั้นการเปลี่ยนเทคโนโลยีการหมักจากแบบคงที่เป็นแบบต่อเนื่อง หรือแบบมีการกวนระบบเพื่อให้วัตถุดิบเข้ากันมากขึ้น นับเป็นสิ่งที่ควรศึกษาเพิ่มเติมเช่นกัน

เนื่องจากผลของงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การหมักแบบผสมสามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการหมักน้ำวินัสได้ โดยสามารถเพิ่มปริมาณของก๊าซมีเทน และลดการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ ของเหลือทิ้งอินทรีย์ในประเทศไทยนี้มีอยู่หลายชนิดไม่ว่าจะเป็นภาคการเกษตร เช่น หัวมัน ชานอ้อย ชังข้าวโพด หรือเปลือกผลไม้ต่างๆ หรือของเหลือจากภาคปศุสัตว์ เช่น มูลสัตว์ชนิดต่างๆ ตลอดจนขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น เช่น เศษอาหาร ก็เป็นทางเลือกทางวัตถุดิบที่น่าสนใจ ดังนั้นการศึกษาศึกษาการผสมด้วยวัสดุเหลือใช้อื่นๆ เป็นสิ่งที่ควรที่จะศึกษาเพิ่มเติม

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). *พลังงานก๊าซชีวภาพ*. สืบค้นจาก

http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=141&Itemid=122&lang=th

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579*. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). *คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน*. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการข้อมูลโครงการศึกษา วิจัย ต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน (ก๊าซชีวภาพ จากพืชพลังงาน).

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงพลังงาน กระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกระทรวงศึกษาธิการ. (2556). *แผนปฏิบัติการการใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม (วทน.) สนับสนุนการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ ปี 2555-2559, 2556 ฉบับปรับปรุง ณ มีนาคม 2556*. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สืบค้นจาก

http://www.mua.go.th/users/bpp/developplan/download/other/sandt2555_2559.pdf

กลุ่มพัฒนามาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง. (2554). *ความรู้เกี่ยวกับก๊าซชีวภาพอัด (Compressed Biogas)*.

สืบค้นจาก http://www.doeb.go.th/knowledge/data/2Compressed_Biogas.pdf

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2559). *รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 3 โครงการศึกษาความเป็นไปได้การพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากผักตบชวา โดยการผลิตก๊าซชีวภาพในเขตลุ่มแม่น้ำท่าจีน*. นครปฐม: สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

จินตนา เหล่าอุษพงศ์. (2550). *รายงานสมบูรณ์ฉบับย่อ โครงการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากกากมันสำปะหลัง*. กรุงเทพฯ: กรมพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

เจษฎา มิ่งฉาย, สร้อยรัตนดา สามโพธิ์ศรี, ลือ เกิดสาย และประวีติ คำเงิน. (2556). *ก๊าซชีวภาพ: พลังงานทางเลือกเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน*. สืบค้นจาก

<http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/2012112064401.pdf>

- ณัฐธิดา คลังกลาง และเรวดี โรจนกนันท์. (2554). การใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน เพื่อเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำทางชีวภาพ โดยการประยุกต์ใช้ *Belgian Biotic Index (BBI)* กรณีศึกษาลำน้ำใกล้โรงงานผลิตน้ำมันปาล์มในอำเภอนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี. ใน เอกสารสัมมนาวิชาการ ครั้งที่ 12. (น. 2). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยของแก่น.
- บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด. (2558). รายงานผลการทดลอง. กรุงเทพฯ: บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด.
- ผดุงวิทย์ หงษ์สามารถ, นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, สุจินดา กรณีสถิต, คณิดา ตังคณานุรักษ์ และวิทยา ปันสุวรรณ. (2556). การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยผงดูดซับจากชีวมวลสำหรับเครื่องผลิตไบโอดีเซล KUB-200. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ศรเทพ ชัมวาสร. (2554). เอทานอล. สืบค้นจาก
<http://www.ddeefeed.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539195265>
- สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. (2549). การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. รายงานบทสรุปผู้บริหาร. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2555). สมบัติของน้ำ นิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม. สืบค้นจาก
http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter3/chapter3_water2.htm
- สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (2540). กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้การสนับสนุนในการขยายโครงการการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์. วารสารนโยบายพลังงาน, 38, 58-62
- สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร และสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2554). การศึกษาความคุ้มค่าในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสีย ในฟาร์มสุกรภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สืบค้นจาก
www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae_baer/download/article/article_20141014151153.pdf
- สุทธิเจตน์ จันทรศิริ และสุทธธยา ไชยอุปถัมภ์. (2544). ผักตบชวา มหันตภัยสีเขียวของแหล่งน้ำ. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สืบค้นจาก

http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=86&i2=27

สุริลักษณ์ รอดทอง. (2557). *มีเทนจากหัวมันและกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน*.

กรุงเทพฯ: สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Abu-Dahrieh, J., Orozco, A., Groom, E., & Rooney, D. (2011). Batch and continuous biogas production from grass silage liquor. *Bioresource Technology*, 102(23), 10922–10928. doi:10.1016/j.biortech.2011.09.072

Alani, D. I., & Moo-Young, M. (1986). *Perspectives in biotechnology and applied microbiology*. Retrieved from <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-94-009-4321-6>

Alrawi, R. A., Ahmad, A., Ismail, N., & Kadir, M. O. A. (2011). Anaerobic co-digestion of palm oil mill effluent with rumen fluid as a co-substrate. *Desalination*, 269(1–3), 50–57. doi:10.1016/j.desal.2010.10.041

Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., & Gruber, L. (2007). Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(s 1–4), 173–182. doi:10.1016/j.agee.2006.05.007

Belhadj, S., Karouach, F., El Bari, H., & Joute, Y. (2013). The biogas production from mesophilic anaerobic digestion of vinasse. *IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology*, 5(6), 72–77. doi:10.9790/2402-0567277

Bothi, K. L. (2007). *Characterization of biogas from anaerobically digested dairy waste for energy use*. Retrieved from https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/5329/Bothi_BEEThesis.pdf;sequence=1

Bozano, P., Nosiglia, V., & Vitali, G. (2012). *Co-digestion of biowaste and commercial waste with agricultural residues – experiences from Castelleone (Italy)*. Retrieved from http://www.bioteconsistemi.it/media/cms/PBozanoPaperVenice2012_rev1.pdf

Buitrón, G., & Carvajal, C. (2010). Biohydrogen production from tequila vinasses in an anaerobic sequencing batch reactor: Effect of initial substrate concentration, temperature and hydraulic retention time. *Bioresource Technology*, 101(23), 9071–9077. doi:10.1016/j.biortech.2010.06.127

- Callaghan, F. J., Wase, D. A. J., Thayanithy, K., & Forster, C. F. (2002). Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. *Biomass and Bioenergy*, 22(1), 71–77. doi:10.1016/S0961-9534(01)00057-5
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., Greenberg, A. E., & Franson, M. A. H. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, by Eaton, 21st Centennial Edition*. Retrieved from http://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf
- Espinoza-Escalante, F. M., Pelayo-Ortíz, C., Navarro-Corona, J., González-García, Y., Bories, A., & Gutiérrez-Pulido, H. (2009). Anaerobic digestion of the vinasses from the fermentation of Weber to tequila: The effect of pH, temperature and hydraulic retention time on the production of hydrogen and methane. *Biomass and Bioenergy*, 33(1), 14–20. doi:10.1016/j.biombioe.2008.04.006
- García, G. I., Venceslada, J. B. L., Peña, P. J. R., & Gómez, R. E. (1997). Biodegradation of phenol compounds in vinasse using *Aspergillus terreus* and *Geotrichum candidum*. *Water Research*, 31(8), 2005–2011. doi:10.1016/S0043-1354(97)00014-6
- Giraldo, E., & Garzón, A. (2002). The potential for water hyacinth to improve the quality of Bogota river water in the Muña reservoir: Comparison with the performance of waste stabilization ponds. *Water Science and Technology : A Journal of the International Association on Water Pollution Research.*, 45(1), 103–110. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11833723>
- Hasan, M. R., & Chakrabarti, R. (2009). *Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture - A Review of the FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/card/en/c/01d5f6ba-70e5-58cf-ac4d-380c14ea361b/>
- Janke, L., Leite, A., Nikolausz, M., Schmidt, T., Liebetrau, J., Nelles, M., & Stinner, W. (2015). Biogas production from sugarcane waste: Assessment on kinetic challenges for process designing. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(9), 20685–20703. doi:10.3390/ijms160920685

- Jiménez, A. M., Borja, R., Martín, A., & Raposo, F. (2005). Mathematical modelling of aerobic degradation of vinasses with. *Process Biochemistry*, 40(8), 2805–2811.
doi:10.1016/j.procbio.2004.12.011
- Jiménez, A. M., Borja, R., Martín, A., & Raposo, F. (2006). Kinetic analysis of the anaerobic digestion of untreated vinasses and vinasses previously treated with. *Journal of Environmental Management*, 80(4), 303–310. doi:10.1016/j.jenvman.2005.09.011
- Kaparaku, P., & Rintala, J. (2005). Anaerobic co-digestion of potato tuber and its industrial by-products with pig manure. *Resources, Conservation and Recycling*, 43(2), 175–188.
doi:10.1016/j.resconrec.2004.06.001
- Kayhanian, M., & Hardy, S. (1994). The impact of four design parameters on the performance of a high-solids anaerobic digestion of municipal solid waste for fuel gas production. *Environmental Technology*, 15(6), 557–567. doi:10.1080/09593339409385461
- Kim, M. K., Choi, K.-M., Yin, C.-R., Lee, K.-Y., Im, W.-T., Lim, J. H., & Lee, S.-T. (2004). Odorous swine wastewater treatment by purple non-sulfur bacteria, *Rhodospseudomonas palustris*, isolated from eutrophicated ponds. *Biotechnology Letters*, 26(10), 819–822.
doi:10.1023/b:bile.0000025884.50198.67
- Kim, W., Shin, S. G., Cho, K., & Hwang, S. (2012). Performance of methanogenic reactors in temperature phased two-stage anaerobic digestion of swine wastewater. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 114(6), doi:DOI: 10.1016/j.jbiosc.2012.07.012
- Lehtomäki, A., Huttunen, S., & Rintala, J. A. (2007). Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect of crop to manure ratio. *Resources, Conservation and Recycling*, 51(3), 591–609.
doi:10.1016/j.resconrec.2006.11.004
- Li, Y., Park, S. Y., & Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 821–826.
doi:10.1016/j.rser.2010.07.042
- Møller, H. B., Sommer, S. G., & Ahring, B. K. (2004). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and Bioenergy*, 26(5), 485–495.
doi:10.1016/j.biombioe.2003.08.008

- National Research Council (U.S.) (1981). *Supplement, energy for rural development: Renewable resources and alternative technologies for developing countries: Supplement*. Retrieved from <https://www.nap.edu/read/19665/chapter/2>
- Neves, L., Gonçalo, E., Oliveira, R., & Alves, M. M. (2008). Influence of composition on the biomethanation potential of restaurant waste at mesophilic temperatures. *Waste Management*, 28(6), 965–972. doi:10.1016/j.wasman.2007.03.031
- Offor, U. S., Iyagba, A. G., & Onwugbuta-Enyi, J. (2013). Biostimulative effects of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) mulch on the germination of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) grown in a crude oil contaminated soil. *European Scientific Journal*, ESJ, 9(21), Retrieved from <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/1590>
- O’Sullivan, C., Rounsefell, B., Grinham, A., Clarke, W., & Udy, J. (2010). Anaerobic digestion of harvested aquatic weeds: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), cabomba (*Cabomba Caroliniana*) and salvinia (*Salvinia molesta*). *Ecological Engineering*, 36(10), 1459–1468. doi:10.1016/j.ecoleng.2010.06.027
- Owl Energy Limited. (2013). *1 MW Biogas Power Generation Feasibility Study*. Bangkok: Owl Energy Limited.
- Ozturk, B. (2012). Evaluation of Biogas production yields of different waste materials. *Earth Science Research*, 2(1), 165. doi:10.5539/esr.v2n1p165
- Panichnumsin, P., Nopharatana, A., Ahring, B., & Chaiprasert, P. (2010). Production of methane by co-digestion of cassava pulp with various concentrations of pig manure. *Biomass and Bioenergy*, 34(8), 1117–1124. doi:10.1016/j.biombioe.2010.02.018
- Patil, J. H., Raj, M. A., Muralidhara, P. L., Desai, S. M., & Raju, G. K. M. (2012). Kinetics of Anaerobic Digestion of Water Hyacinth Using Poultry Litter as Inoculum. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(2), 94-98. Retrieved from <http://www.ijesd.org/papers/195-CD0010.pdf>
- Prasad, R. D. (2012). Empirical study on factors affecting Biogas production. *ISRN Renewable Energy*, 2012., doi:10.5402/2012/136959

- Punsuwan, N., & Tangsathitkulchai, C. (2014). Product characterization and Kinetics of Biomass Pyrolysis in a Three-Zone free-fall reactor. *International Journal of Chemical Engineering*, 2014, doi:10.1155/2014/986719
- Puyuelo, B., Ponsá, S., Gea, T., & Sánchez, A. (2011). Determining C/N ratios for typical organic wastes using biodegradable fractions. *Chemosphere*, 85(4), 653–659. doi:10.1016/j.chemosphere.2011.07.014
- Ren, J., Yuan, X., Li, J., Ma, X., Zhao, Y., Zhu, W., ... Cui, Z. (2014). Performance and microbial community dynamics in a two-phase anaerobic co-digestion system using cassava dregs and pig manure. *Bioresource Technology*, 155, 342–351. doi:10.1016/j.biortech.2013.12.120
- Riaño, B., Molinuevo, B., & García-González, M. (2011). Potential for methane production from anaerobic co-digestion of swine manure with winery wastewater. *Bioresource technology*, 102(5), 4131–4136. doi:10.1016/j.biortech.2010.12.077
- Robles-Gonzalez, V., Lopez-Lopez, E., Martinez-Jeronimo, F., Ortega-Clemente, A., Ruiz-Ordaz, N., Galindez-Mayer, J., Rinderknecht-Seijas, N. and Poggi-Varaldo, H.M. (2010). Combined treatment of mezcal vinasses by ozonation and aerobic biological post-treatment. *Proceedings of 14th International Biotechnology Symposium*. Rimini, Italy.
- Sangave, P. C., & Pandit, A. B. (2006). Enhancement in biodegradability of distillery wastewater using enzymatic pretreatment. *Journal of Environmental Management*, 78(1), 77–85. doi:10.1016/j.jenvman.2005.03.012
- Spanjers, H. (2011, April). *From Waste to Energy – The Bio-Chemical Process*. Project Planning for Biodigesters in Developing and Industrialized Countries, University of Oldenburg, Germany. Retrieved from https://www.uni-oldenburg.de/fileadmin/user_upload/physik-ppre/download/Biogas/Biogas2011/1._Biochemical_Process_%5BCompatibility_Mode%5D.pdf
- Syaichurrozi, I., Budiyo, & Sumardiono, S. (2013). Predicting kinetic model of biogas production and biodegradability organic materials: Biogas production from vinasse at variation of COD/N ratio. *Bioresource Technology*, 149, 390–397. doi:10.1016/j.biortech.2013.09.088

- Tian, H., Fan, H., Guo, H., & Song, N. (2014). Solution-based synthesis of ZnO/carbon nanostructures by chemical coupling for high performance gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 195, 132–139. doi:10.1016/j.snb.2014.01.016
- U.S. Environmental Protection Agency, & Cassinelli, M. E. (1994). *NIOSH method 6013: Hydrogen sulfide*. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/niosh-6013.pdf>
- Wang, W., Xie, L., Luo, G., Zhou, Q., & Lu, Q. (2012). Optimization of biohydrogen and methane recovery within a cassava ethanol wastewater/waste integrated management system. *Bioresource Technology*, 120, 165–172. doi:10.1016/j.biortech.2012.06.048
- Wang, X., Yang, G., Feng, Y., Ren, G., & Han, X. (2012). Optimizing feeding composition and carbon–nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw. *Bioresource Technology*, 120, 78–83. doi:10.1016/j.biortech.2012.06.058
- Yusuf, M. O. L., & Ify, N. L. (2011). The effect of waste paper on the kinetics of biogas yield from the co-digestion of cow dung and water hyacinth. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1345–1351. doi:10.1016/j.biombioe.2010.12.033
- Zhong, W., Chi, L., Luo, Y., Zhang, Z., & Wu, W.-M. (2013). Enhanced methane production from Taihu lake blue algae by anaerobic co-digestion with corn straw in continuous feed digesters. *Bioresource Technology*, 134, 264–270. doi:10.1016/j.biortech.2013.02.060
- Zong, W., Yu, R., Zhang, P., Fan, M., & Zhou, Z. (2009). Efficient hydrogen gas production from cassava and food waste by a two-step process of dark fermentation and photo-fermentation. *Biomass and Bioenergy*, 33(10), 1458–1463. doi:10.1016/j.biombioe.2009.06.008

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางการจัดการด้านเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าจากน้ำวินัสที่ใช้ในการวิจัยนี้
ขนาด 1 เมกะวัตต์

ตารางที่ 5.1 ตารางการเดินระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์ (Owl Energy Ltd., 2013)

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
จำนวนชั่วโมงทำงานต่อปี	4,745	ชั่วโมง
อายุโครงการ	25	ปี
ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปี	3,518,640	ล้าน ลบ.ม./ปี
สัดส่วนร้อยละ มีเทน (CH ₄) ในก๊าซชีวภาพ	57	%
ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ	19.95	MJ/m ³
ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้า (Gross eff.)	1.4	MW
ประสิทธิภาพสุทธิของระบบผลิตไฟฟ้า (Net eff.)	1.35	MW
ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี	4,837,003	ล้านหน่วย

ตารางที่ 5.2 ตารางค่าใช้จ่ายของโรงไฟฟ้าจากน้ำวินัสที่ใช้ในการวิจัยนี้ ขณะดำเนินงานขนาด 1 เมกะวัตต์ ต่อปี (Owl Energy Ltd., 2013)

รายการ	จำนวนเงิน	หน่วย
ขนส่งน้ำเสีย	2,608,200	บาท
ซ่อมบำรุงเครื่องจักร	1,546,390	บาท
เจ้าหน้าที่โรงงาน	3,600,000	บาท
ดอกเบี้ยธนาคาร	3,670,000	บาท
รวม	8,184,590	บาท

ภาคผนวก ข

คำศัพท์

1) **วินัส** คือกากน้ำตาลที่หมักยีสต์ในกระบวนการทำเอทานอล หลังจากกลั่นเอทานอลไปแล้วจึงได้วินัส เป็นของเหลวข้นสีน้ำตาล หวานเล็กน้อย มีกลิ่นหอม โปรตีนสูง เหมาะสำหรับการเลี้ยงสัตว์ทุกชนิด ใช้ทดแทนกากน้ำตาล (ศรเทพ ฐีมาสาร, 2554)

2) **การย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion)** เกี่ยวข้องกับการสลายขยะอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากออกซิเจน เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้และยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่อุดมไปด้วยก๊าซมีเทนซึ่งสามารถใช้ในการสร้างความร้อนและ/หรือไฟฟ้า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553).

3) **COD (Chemical Oxygen Demand)** คือ ปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการออกซิไดซ์ในการสลายสารอินทรีย์ด้วยสารเคมีโดยใช้สารละลาย และ COD ยังเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่แสดงถึงความสกปรกของน้ำเสีย (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555)

4) **คุณภาพก๊าซชีวภาพ** คือ ก๊าซชีวภาพที่มีค่ามีเทนอยู่ระหว่างร้อยละ 50 – 80 (กลุ่มพัฒนามาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง, 2554) โดยมาตรฐานของก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ในเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ควรมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนเปื้อนอยู่ไม่เกิน 100-200 ppm. มิฉะนั้นจะสร้างความเสียหายให้กับเครื่องยนต์ในทันที (เจษฎา มิ่งฉาย, สร้อยรัตน์ดา สามโพธิ์ศรี, ลือ เกิดสาย และประวดี คำจิ้น, 2556)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นามสกุล

นางสาวดำเนินทราย ทรัพย์ไพศาล

ประวัติการศึกษา

2552 – 2553 หลักสูตรพื้นฐาน คณะนิติศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเดอรัม, ประเทศสหราชอาณาจักร
2548 – 2552 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะ
เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร,
มหาวิทยาลัยมหิดล, ประเทศไทย
(งานวิจัยเกี่ยวกับสร้างแอปพลิเคชันบนแอน
ดรอยด์ในบนโทรศัพท์มือถือ เพื่อช่วยคนที่
ประสบอุบัติเหตุ, ร่วมเป็นวิทยากรนำเสนอ
นิทรรศการเปิดบ้านของคณะ)

ประสบการณ์การทำงาน

2555-2557 นักวิเคราะห์ระบบ บริษัท คาร์ลสัน
วากองลี (ประเทศไทย) จำกัด
2551 ฝึกงานตรวจสอบ และทดลอง
แอปพลิเคชันบนมือถือ บริษัท โอเบอร์เชอร์
เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) จำกัด