

ศัทยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียว
สายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

ศัทยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียว
สายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบการผลิตพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียว
สายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2

กรรมนิกา แสนภักดี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรณ นิรัญศิลป์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรณ นิรัญศิลป์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2
ชื่อผู้เขียน	นางสาวกรรณิกา แสนภักดี
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรรณ นิรัญศิลป์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับมูลวัว ภายใต้กระบวนการย่อยสลายไร้อากาศแบบแบทช์ที่สภาวะอุณหภูมิเมโซฟิลิก 35 ± 2 °C เป็นเวลา 45 วัน ซึ่งกำหนดอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบตั้งต้นและหัวเชื้อที่ 1:2 w/v โดยมีวิธีการปรับสภาพฟางข้าวแตกต่างกัน 4 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2% w/v ที่อุณหภูมิแวดล้อม วิธีที่ 2 ปรับสภาพด้วยการหมักกรด (Pre-acidification) ที่อุณหภูมิแวดล้อม ระยะเวลา 72 hr วิธีที่ 3 ให้ความร้อนผ่านหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 20 min และวิธีที่ 4 ปรับสภาพแบบผสมผสาน คือ ใช้ด่าง NaOH 2% w/v ที่อุณหภูมิแวดล้อม ร่วมกับการใช้หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 20 min นอกจากนี้ยังใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเป็นตัวควบคุม จากการศึกษาพบว่าฟางข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 สามารถใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยการใช้ฟางข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ที่ผ่านการปรับสภาพแบบต่าง NaOH 2% w/v ร่วมกับการใช้หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง ทำให้เกิดผลผลิตที่มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 706.00 และ 652.56 N mL/g VS และมีสัดส่วนมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 66.00% และ 65.00% ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ที่มีกำหนดอายุโครงการ 20 year ของการใช้ฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่าการใช้ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 มีความน่าสนใจในการลงทุนมากกว่า เนื่องจากมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value ; NPV) เท่ากับ 181,602,545 Baht อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return ; IRR) เท่ากับ 27.70% และระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 1.47 year จึงเห็นได้ว่าการนำฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 มาใช้ประโยชน์ผ่านการผลิตพลังงานหมุนเวียนสามารถสร้างผลตอบแทนและเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวได้ เพราะมี NPV เป็นบวกและมีค่า IRR มากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ เป็นอีกหนึ่งแนวทางการแก้ปัญหาด้านต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพและช่วยลดปัญหาด้านการเผาไหม้ฟางข้าวในที่น่าได้ นอกเหนือจากนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจพบว่าปริมาณฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์

สันป่าตอง 1 ในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง และแพร่ มีปริมาณที่เพียงพอต่อกระบวนการผลิต
จึงเป็นข้อสรุปได้ว่าฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 มีศักยภาพและมีประสิทธิภาพในการใช้ผลิต
ก๊าซชีวภาพ

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่ใจ 2, มูลวัว



Title	BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL FROM SAN-PAH-TAWNG 1 AND RD-MAEJO 2 STICKY RICE STRAW
Author	Miss Kannika Sanpakdee
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Rotjapun Nirunsin

ABSTRACT

The main objective of this work was to investigate the potential of biogas production from 2 different types of glutinous rice straw, namely SAN-PAH-TAWNG 1 and RD-MJU 2 together with cow dung as inoculum in an anaerobic batch digestion system. All experiments were conducted at a mesophilic temperature of 35 ± 2 °C for 45 days. The ratio of substrate to inoculum was set to 1:2 w/v with 4 different pretreatments of rice straw, including 1) use of 2% w/v sodium hydroxide (NaOH) at room temperature, 2) pre-acidification at room temperature for 72 h, 3) autoclaving at high temperature of 121 °C and pressure at 15 psi for 20 min, and 4) was a mixture between the use of 2% w/v NaOH along with autoclaving of number 1) and 3) method, and untreated rice straw was also used as control. The results showed that both types of rice straw can be used as material for biogas production, as the use of SAN-PAH-TAWNG 1 and RD -MJU 2 rice straw treated by the combined pretreatment method gave the maximum cumulative biogas yield of 706.00 and 652.56 N mL/g VS with the highest methane content of 66.00% and 65.00%, respectively. Moreover, the economic analysis of biogas production using rice straw as feedstock for a project duration of 20 years showed that using SAN-PAH-TAWNG 1 as feedstock was more interesting as the data showed that it could achieve higher return on investment with net present value (NPV) of 181,602,545 Baht, internal rate of return (IRR) of 27.70% and payback period of 1.47 years. The analysis of survey data also showed that the amount of SAN-PAH-TAWNG 1 glutinous rice straw in the provinces of Chiang Mai,

Chiang Rai, Lampang and Phrae was sufficient for the production process. Therefore, it could be concluded that SAN-PAH-TAWNG 1 rice straw has high potential and efficiency in biogas production.

Keywords : Biogas, Rice Species SAN-PAH-TAWNG 1 and RD-MJU 2, Cow Manure



กิตติกรรมประกาศ

สำหรับการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงผ่านไปได้อย่างดีต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรธณ นิรัญศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำชี้แนะ และแนวทางการแก้ปัญหา รวมทั้งให้กำลังใจในการทำเล่มวิทยานิพนธ์ตลอดมา อีกทั้งยังช่วยตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์นันทนาท ประธานกรรมการสอบ ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นประธานสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ (สวพ.) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และบุคลากรทุกคนในแผนกกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพที่ให้คำแนะนำ รวมทั้งความรู้ในด้านระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และขอขอบพระคุณ เชียงใหม่เฟรชมีลค์ฟาร์ม ที่ได้อนุเคราะห์มูลวัวมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากวิทยาลัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ "โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา" ประจำปี 2562 ขอขอบพระคุณทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ "ทุนศิษย์ก้นกุฏิ" ประจำปี 2562

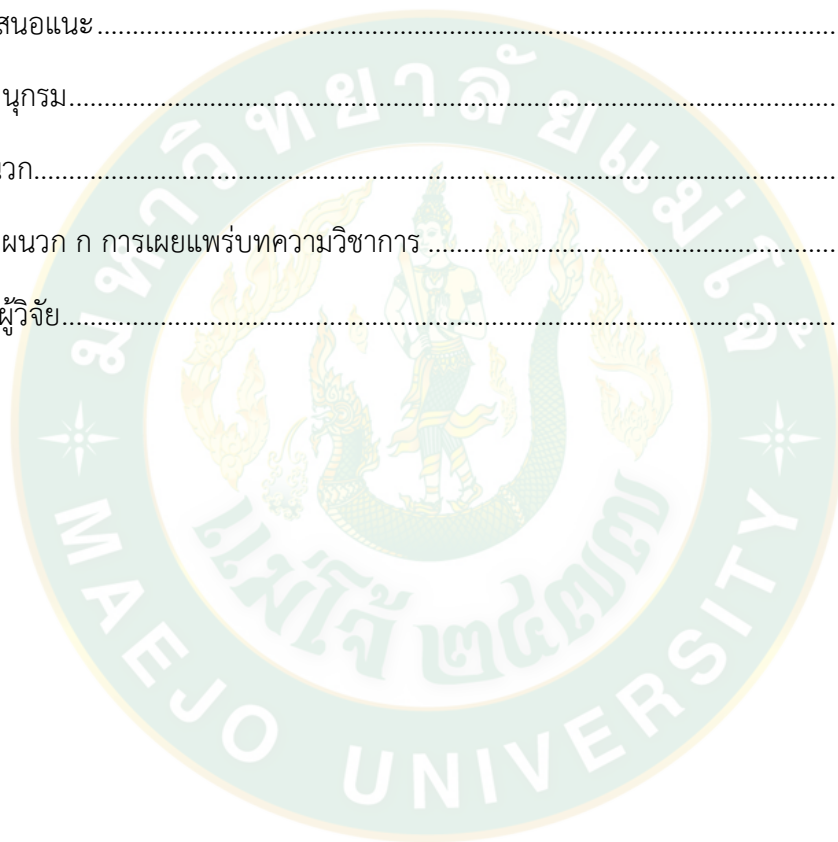
และท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงทุกคนในครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจ และทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ตลอดจนพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ทุกคนที่มีส่วนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจทำให้การทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์.....	ฒ
บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์.....	3
ขอบเขตการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
ก๊าซชีวภาพ.....	5
กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ.....	6
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ.....	8
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพใช้ทั่วไปในปัจจุบัน.....	12
เทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	13
ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential; BMP).....	16
ลักษณะที่สำคัญของข้าว.....	17
พันธุ์ข้าว.....	19

ชีวมวลที่เกิดจากข้าว.....	21
องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทฟางข้าว.....	22
การปรับสภาพฟางข้าว	24
พืชอาหารหมัก.....	25
มูลวัว	26
การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	28
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย.....	35
การเตรียมวัตถุดิบ.....	35
การเตรียมวัสดุเหลือทิ้งของฟางข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2.....	35
การเตรียมหัวเชื้อมูลวัว.....	36
การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับ หัวเชื้อมูลวัว.....	37
การวิเคราะห์ศักยภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2.....	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	42
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว.....	42
ผลการวิเคราะห์การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว	45
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ	45
กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) และค่าความเป็นด่าง (ALK) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ	47
ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ	52
ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) และปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ	54

ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม และสัดส่วนของก๊าซมีเทนในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ.....	58
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 เหลือทิ้งในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน.....	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	82
สรุปผลการวิจัย.....	82
ข้อเสนอแนะ.....	84
บรรณานุกรม.....	85
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก การเผยแพร่บทความวิชาการ.....	94
ประวัติผู้วิจัย.....	118



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	5
ตารางที่ 2 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์และผลพลอยได้ที่ได้จากการสีข้าวที่สู่มตัวอย่าง.....	22
ตารางที่ 3 องค์ประกอบของฟางข้าว.....	23
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว	38
ตารางที่ 5 คุณลักษณะของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2	42
ตารางที่ 6 คุณลักษณะของหัวเชื้อมูลวัว	44
ตารางที่ 7 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน	67
ตารางที่ 8 ข้อมูลศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวกข. แม่โจ้ 2	67
ตารางที่ 9 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 เทียบเท่าการผลิตไฟฟ้า.....	70
ตารางที่ 10 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข. แม่โจ้ 2 เทียบเท่าการผลิตไฟฟ้า.....	70
ตารางที่ 11 รายละเอียดการลงทุนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1	71
ตารางที่ 12 รายละเอียดการลงทุนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวพันธุ์กข.แม่โจ้ 2.....	72
ตารางที่ 13 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	75
ตารางที่ 14 ประเมินและวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของฟางข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ในแต่ละปี	76
ตารางที่ 15 ประเมินและวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของฟางข้าวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 ในแต่ละปี	78

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวม (Energy Intensity).....	1
ภาพที่ 2 วงจรการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	6
ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ	8
ภาพที่ 4 ลักษณะของข้าว.....	19
ภาพที่ 5 พันธุ์สับปะตอง 1	20
ภาพที่ 6 พันธุ์ กข-แม่โจ้ 2.....	21
ภาพที่ 7 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส..	26
ภาพที่ 8 มูลวัว	27
ภาพที่ 9 การปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สับปะตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2	36
ภาพที่ 10 หัวเชื้อมูลวัว.....	37
ภาพที่ 11 การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สับปะตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว	38
ภาพที่ 12 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ	39
ภาพที่ 13 ขั้นตอนการคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว.....	41
ภาพที่ 14 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในระบบก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สับปะตอง 1	45
ภาพที่ 15 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในระบบก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2	46
ภาพที่ 16 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ในการผลิตก๊าซชีวภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สับปะตอง 1	48
ภาพที่ 17 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ในการผลิตก๊าซชีวภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2	48
ภาพที่ 18 ค่าความเป็นด่าง (ALK) ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สับปะตอง 150	150

ภาพที่ 19 ค่าความเป็นด่าง (ALK) ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2	50
ภาพที่ 20 ค่า VFA/ALK ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1	51
ภาพที่ 21 ค่า VFA/ALK ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2	52
ภาพที่ 22 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1	53
ภาพที่ 23 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2	53
ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1	55
ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2	55
ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1	56
ภาพที่ 27 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2	57
ภาพที่ 28 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1	58
ภาพที่ 29 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2	59
ภาพที่ 30 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1	60
ภาพที่ 31 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2	60
ภาพที่ 32 สัดส่วนของก๊าซมีเทนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1	62
ภาพที่ 33 สัดส่วนของก๊าซมีเทนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2	63
ภาพที่ 34 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1	64
ภาพที่ 35 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2	65

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ย่อมาจาก	ความหมาย
AD	Anaerobic Digestion	กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ
ALK	Alkalinity	สภาพความเป็นด่าง
AM	Autoclave Pre-treatment of RD-MJU 2	ปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข.แม่ใจ 2 ด้วยความร้อน
AS	Autoclave Pre-treatment of SAN-PAH-TAWNG 1	ปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ สันป่าตอง 1 ด้วยความร้อน
BMP	Biochemical Methane Potential	ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน
CH ₄	Methane Gas	ก๊าซมีเทน
CO ₂	Carbon Dioxide Gas	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
COD	Chemical Oxygen Demand	ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์
CSTR	Completely Stirred Tank Reactor	ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบผสมกวน
C/N	Ratio Carbon to Nitrogen Ratio	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
FCFF	Free Cash Flow to the Firm	กระแสเงินสดอิสระ
H ₂	Hydrogen Gas	ก๊าซไฮโดรเจน
H ₂ S	Hydrogen Sulphide	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
HRT	Hydraulic Retention Time	ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย
IRR	Internal Rate of Return	อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ
MC	Moisture Content	ความชื้น

N	Nitrogen	ไนโตรเจน
N ₂	Nitrogen Gas	ก๊าซไนโตรเจน
NAM	NaOH 2% with Autoclave Pre-treatment of RD-MJU 2	ปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข.แม่โจ้ 2 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% ร่วมกับความร้อน
NAS	NaOH 2% with Autoclave Pre-treatment of SAN-PAH-TAWNG 1	ปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ สันป่าตอง 1 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% ร่วมกับความร้อน
NM	NaOH 2% Pre-treatment of RD-MJU 2	ปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข.แม่โจ้ 2 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2%
NPV	Net Present Value	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
NS	NaOH 2% Pre-treatment of SAN-PAH-TAWNG 1	ปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ สันป่าตอง 1 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2%
O ₂	Oxygen Gas	ก๊าซออกซิเจน
OLR	Organic Loading Rate	อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์
P	Phosphorus	ฟอสฟอรัส
PB	Payback Period	การคำนวณระยะเวลาคืนทุน
PM	Pre-acidification Pre-treatment of RD-MJU 2	ปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข.แม่โจ้ 2 ด้วยการหมักกรด

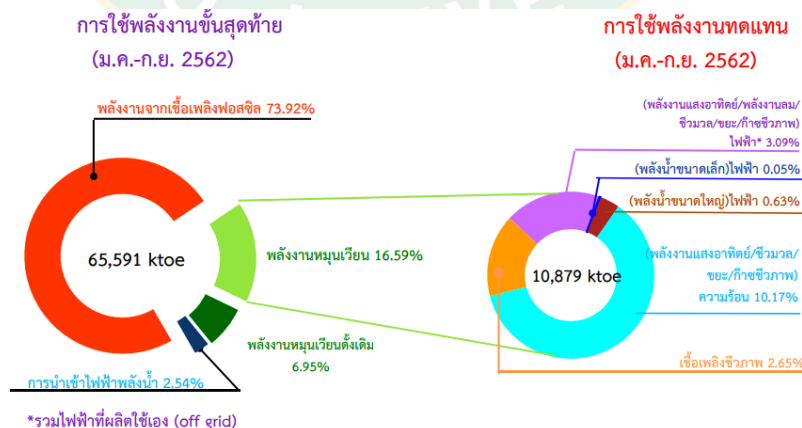
PS	Pre-acidification Pre-treatment of SAN-PAH-TAWNG 1	ปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ สันป่าตอง 1 ด้วยการหมักกรด
S	Sulphur	ซัลเฟอร์หรือกำมะถัน
SMY	Specific Methane Yield	ผลผลิตก๊าซมีเทนจำเพาะ
SRT	Solids Retention Time	ระยะเวลาการเก็บกักของแข็ง
TS	Total Solids	ของแข็งทั้งหมด
Temp	Temperature	อุณหภูมิ
UASB	Up-flow Anaerobic Sludge Blanket	บ่อหมักเร็วน้ำขึ้น
VFA	Volatile Fatty Acid	กรดไขมันระเหยง่าย
VS	Volatile Solids	ของแข็งระเหยง่าย



บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนทางด้านพลังงานเพิ่มสูงขึ้นตามความต้องการใช้ของประชากรในประเทศไทยพบว่าประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงาน คิดเป็นมูลค่ากว่า 806,122 million ton โดยมีการนำเข้าน้ำมันดิบมากที่สุด ทำให้คาดการณ์ได้ว่าในอนาคตพลังงานฟอสซิลอาจจะหมดไป รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยลดสัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวม พบว่าในช่วง 9 เดือนของปี 2562 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 10,879 ktoe เพิ่มขึ้น 12.4% จากช่วงเดียวกันของปีก่อน ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟที่แสดงการใช้พลังงานหมุนเวียน 16.59% คิดจากการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด 65,591 ktoe แสดงดังภาพที่ 1 ยังถือได้ว่าเป็นสัดส่วนที่ไม่มากนัก จึงต้องมีการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดปัญหาการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล ก๊าซชีวภาพจัดอยู่ในพลังงานทดแทน และเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งก๊าซชีวภาพเป็นกระบวนการย่อยสลาย สารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยใช้แบคทีเรียในการทำปฏิกิริยาทำให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพขึ้น โดยก๊าซชีวภาพดังกล่าวจะให้ผลผลิตหลักเป็นก๊าซมีเทน 50-70% ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการให้ความร้อนเพื่อทดแทนก๊าซหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงด้านการผลิตไฟฟ้า ซึ่งการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทยสามารถผลิตได้จาก ขยะมูลฝอย มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร



ภาพที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวม (Energy Intensity)

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2562)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทยมีอยู่กระจายทั่วประเทศ ซึ่งปริมาณจะขึ้นอยู่กับผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ แต่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางประเภทยังไม่มีกรรมนำไปใช้ เช่น ยอดและใบอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์มเปล่า ก้านปาล์ม และฟางข้าว เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552) ซึ่งมีศักยภาพมากสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานได้เช่นกัน พบว่ามีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมากถึง 43 million ton/y ที่ไม่ได้นำมาใช้ผลิตพลังงาน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 3,000 million ton กล่าวคือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในภูมิภาคมีปริมาณมาก แต่มีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานค่อนข้างน้อย (สมาคมโรงไฟฟ้าชีวมวล, 2556) ประกอบกับ พื้นที่ภาคเหนือจังหวัดเชียงใหม่พบว่าประชาชนนิยมปลูกข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่ใจ 2 เพื่อบริโภคและจำหน่าย เมื่อถึงช่วงของการเก็บเกี่ยวก็จะเก็บเกี่ยวเฉพาะผลผลิตเท่านั้น แต่จะยังเหลือฟางข้าวซึ่งเปรียบเสมือนขยะทางการเกษตรที่ต้องมีการกำจัดทิ้งในนาเฉลี่ยปีละ 25.45 million ton โดยวิธีการกำจัดฟางข้าวส่วนใหญ่จะเลือกการกำจัดในรูปแบบการเผา ซึ่งประเทศไทยมีการเผาฟางข้าว 29.15 million ton/y คิดเป็นกิโลกรัมจะเท่ากับ 29,150 million kg/y เพื่อความง่ายและความสะดวกต่อการเริ่มต้นการเพาะปลูกในรอบใหม่ ซึ่งการกำจัดด้วยการเผานั้นจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น เกิดหมอกควันและเถ้าเเขม่า เป็นต้น ซึ่งจะปรากฏในรูปของฝุ่นละออง โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 μm (PM2.5) และ 10 μm (PM10) หากมีค่าฝุ่นละอองเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศจะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของประชาชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) โดยเฉพาะผู้ที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยง ซึ่งได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจอยู่แล้วจะเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบได้ง่าย นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของดิน เกิดการทำลายโครงสร้างของดิน รวมทั้งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์ ระบบนิเวศนาข้าว และระบบนิเวศอื่น ๆ ด้วย ด้วยเหตุนี้การพัฒนาเทคโนโลยีทางพลังงานทดแทนเพื่อใช้ประโยชน์จากฟางข้าวอย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นอย่างยิ่ง และหนึ่งในวิธีที่น่าสนใจคือการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตก๊าซชีวภาพ

งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการนำฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่ใจ 2 มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจะทำการศึกษาการปรับสภาพฟางข้าวด้วยวิธีการใช้ต่าง การหมักกรด (Pre-acidification) การปรับสภาพด้วยความร้อน และวิธีแบบผสมผสาน หมักร่วมกับมูลวัว ด้วยกระบวนการหมักแบบกะ โดยใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการปรับสภาพวัตถุดิบที่เหมาะสมของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2
2. เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2
3. เพื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 เหลือทิ้งในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาเรื่อง ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 มีขอบเขตการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ขนาดของชุดทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ด้วยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนขนาด 1 L
2. วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพคือ ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2
3. การปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ด้วยวิธีการใช้ต่างการหมักกรด (Pre-acidification) การปรับสภาพด้วยความร้อน และวิธีแบบผสมผสาน
4. หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ มูลวัว
5. การย่อยสลายภายใต้อุณหภูมิสถานะแวดล้อม
6. กระบวนการบ่มสารอินทรีย์แบบกะ (Batch Fermentation)
7. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 เหลือทิ้งในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่จะได้รับที่มีผลต่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยดังกล่าว คาดหวังว่าประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ทางด้านวิชาการ

- ทำให้เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับระบบหรือกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะปลูกข้าว โดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

- ทำให้เกิดองค์ความรู้ในการพัฒนาแหล่งผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบของพลังงานในการจัดการกับวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยว และผลวิจัยสามารถใช้เป็นแหล่งเรียนรู้ให้แก่เกษตรกร ในการนำไปเป็นต้นแบบสำหรับการใช้ผลิตก๊าซชีวภาพใช้เอง

2. ทางด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดความรุนแรงของปัญหาการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งจะช่วยลดการเกิดมลพิษทางอากาศของที่เกิดจากเขม่าของการเผาในภาคเหนือ

- ได้แนวทางที่สามารถบูรณาการความรู้ทางด้านวิชาการของพลังงานในรูปแบบของพลังงานก๊าซชีวภาพ การจัดการและใช้ประโยชน์จากเศษวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการเพาะปลูกข้าว ซึ่งส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. ด้านเศรษฐกิจ

- ได้แนวทางในการนำวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรหลังจากการเก็บเกี่ยว มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักแบบ BMP

- ก๊าซที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทดแทนก๊าซหุงต้มหรือไม้ฟืน เพื่อลดค่าใช้จ่ายภายในครัวเรือน อีกทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

4. ด้านสังคม

- ลดการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และยังเป็นส่งเสริมให้ประชาชนในภาคเหนือตระหนักถึงปัญหาหมอกควันที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยจะมีการร่วมมือกันในการพัฒนาชุมชนให้มีความเข้มแข็ง พึ่งตนเองได้ และสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีให้แก่ชุมชน

- ทำให้ชุมชนเกิดองค์ความรู้ในเรื่องการจัดการและการพัฒนา เพื่อเพิ่มมูลค่าของการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยทั่วไปจะหมายถึงก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการหมัก (Fermentation) ของอินทรีย์วัตถุ ประกอบด้วย ปุ๋ยคอก น้ำเสีย มูลสัตว์หรือของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ เป็นต้น องค์ประกอบก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50% ในส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และความชื้น (H_2O) เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 1 (ชัยศรี และโกวิท, 2555)

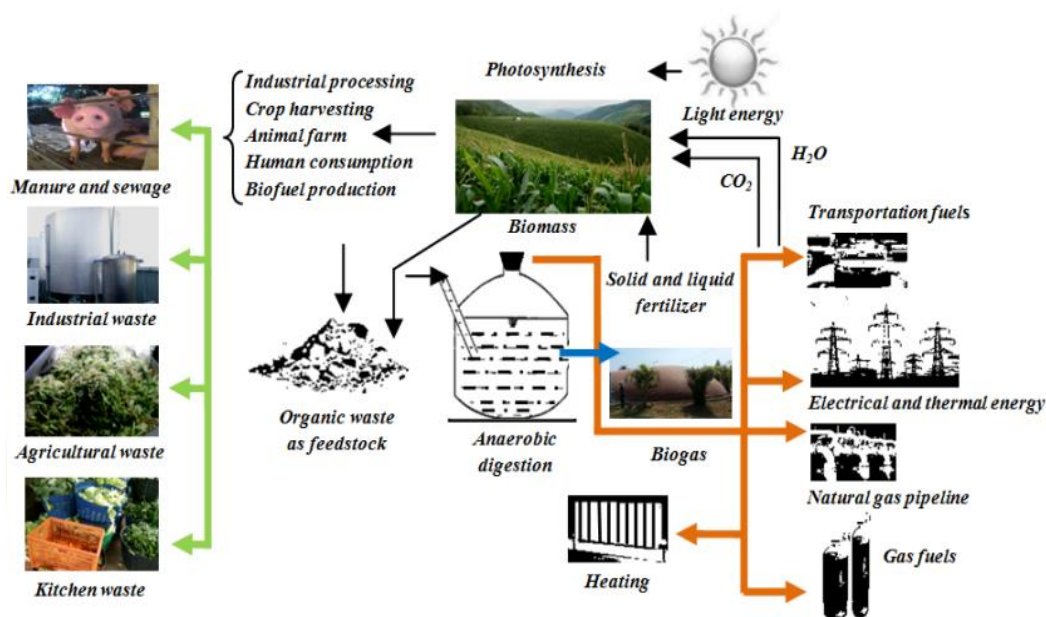
ก๊าซชีวภาพได้จากกระบวนการหมักทางชีวภาพ (Biological Process) เป็นพลังงานที่ถือว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและปล่อยก๊าซพิษสู่บรรยากาศในปริมาณน้อย มีการนำก๊าซชีวภาพนี้มาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ใช้สำหรับการหุงต้มอาหารแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว ใช้สำหรับให้แสงสว่าง และให้ความร้อน ใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์หรือให้ความอบอุ่นแก่ลูกสัตว์ตามฟาร์มต่าง ๆ ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในภาคอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้ามากไปกว่านั้นยังพบว่ากากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วจากกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพและน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการหมัก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรได้อีกด้วย เช่น ปุ๋ย หรืออาหารสัตว์ (จุฑาภรณ์, 2560) วงจรการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	อัตราส่วน (%โดยปริมาตร)
มีเทน (CH_4)	50-70
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	30-50
ออกซิเจน (O_2)	< 1
ไนโตรเจน (N_2)	1-4
ความชื้น (H_2O)	2-5
แอมโมเนีย (NH_3)	0-300 ppm

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	อัตราส่วน (%โดยปริมาตร)
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S)	50-5,000 ppm

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2557)



ภาพที่ 2 วงจรการผลิตก๊าซชีวภาพ

ที่มา: จุฬาราชมนตรี, (2560)

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ขั้นตอนที่ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis)

ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โดยกลุ่มของแบคทีเรียให้เป็นโมเลกุลเล็กละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กลิเซอรอล เป็นต้น โดยแบคทีเรีย จะดูดซึมน้ำจากสารละลายผ่านเมมเบรนของเซลล์ ส่วนอนุภาคของสารอาหารจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูลาร์เอนไซม์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเป็นพวกสารประกอบที่ละลายน้ำได้ง่าย แล้วถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อในเซลล์ต่อไป ในขณะเดียวกันผลจากปฏิกิริยาการย่อยสลายนี้อาจจะเป็นก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอลกอฮอล์

จากนั้นปฏิกิริยานี้จึงทำให้สภาพในบ่อหมักมีความเป็นกรด (ค่า pH ต่ำ) และแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพความเป็นกรดจะทำหน้าที่ต่อไป

Carbohydrates	—————▶	Simple sugar + Alcohol
Proteins	—————▶	Peptide + Amino acid
Fats	—————▶	Glycerol + Fatty acid

แบคทีเรียที่ช่วยย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ ๆ มีหลายชนิด ได้แก่ Fat-Decomposing Microorganism, Cellulose-Decomposing Microorganism และ Protein-Decomposing Organism

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

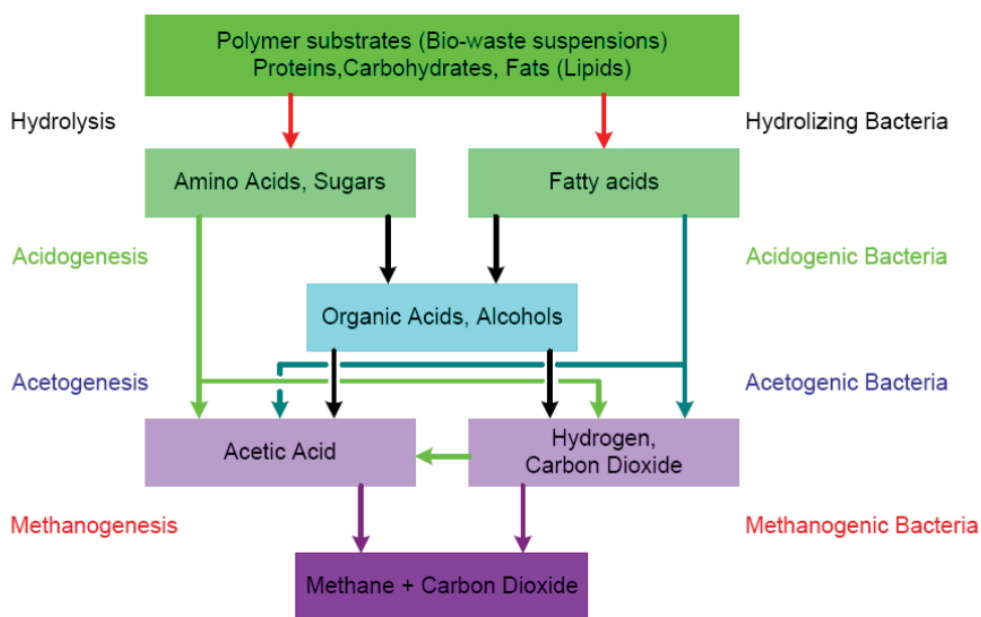
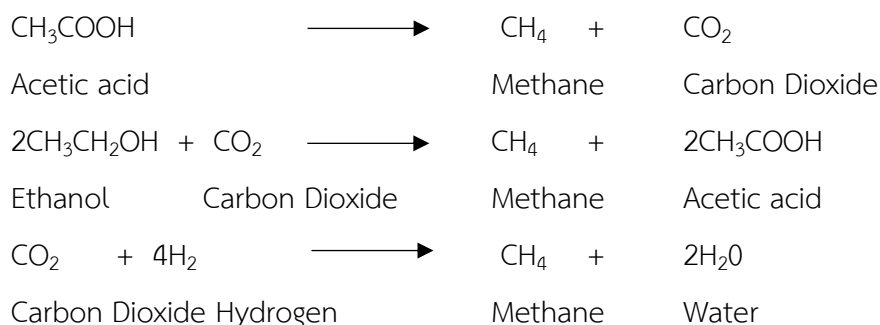
หลังจากขั้นตอนไฮโดรไลซิส สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกย่อยให้เล็กลงกลายเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลที่มีขนาดเล็กและถูกแบคทีเรียสร้างกรดขนส่งเข้าสู่เซลล์ โดยแบคทีเรียพวก Obligate Anaerobes เป็นมีจำนวนมากและยังเป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักที่ทำหน้าที่ผลิตกรด ได้แก่ แบคทีเรียหลาย ๆ กลุ่มของ Pseudomonas, Flavobacterium, Alcaligenes, Escherichia และ Aerobacter ซึ่งหลังจากสารอินทรีย์ถูกขนส่งเข้าสู่เซลล์แล้วจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนโดยผ่านกระบวนการหมักภายในเซลล์ เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เข้าสู่เซลล์ให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งกระบวนการหมักภายในเซลล์ที่สำคัญมากสำหรับสิ่งมีชีวิต คือ การหมักกลูโคสเป็นไพรูเวตโดยผ่านวิถีทางชีวเคมีที่เรียกว่า วิถีไกลโคไลซิส (คุณากร, 2558)

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

การสร้างกรดอะซิติกจากกรดอินทรีย์ต่าง ๆ โดยแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก โดยนำเอา Simple Soluble Compound จากขั้นตอนไฮโดรไลซิสหรือจากวัตถุดิบโดยตรงมาทำการย่อยสลายต่อไปได้ และในขณะเดียวกันผลจากปฏิกิริยานี้ จะส่งผลก่อให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปนอยู่ในก๊าซชีวภาพ

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียชนิดที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methane Producing หรือ Methanogenic Microorganism) ซึ่งมีหลายชนิดและเป็นแบคทีเรียที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ซึ่งถ้ามีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลทำให้แบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโต ก๊าซมีเทนอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติกกับน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทดแทน, 2553) โดยขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating temperature)

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศสามารถแบ่งออกตามการทำงานของจุลินทรีย์เป็น 2 ช่วงอุณหภูมิ ได้แก่ ช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic) อุณหภูมิช่วงปานกลางคืออุณหภูมิอยู่ระหว่าง 32–42 °C และช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ในช่วงอุณหภูมิสูงคืออุณหภูมิระหว่าง 48–55 °C

โดยทั่วไปจุลินทรีย์ในกระบวนการสร้างมีเทน คือ ช่วงเมโซฟิลิกจุลินทรีย์กลุ่มที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เป็นจุลินทรีย์กลุ่มชอบอุณหภูมิสูง และมีจุลินทรีย์บางกลุ่มที่

สามารถผลิตมีเทนได้ที่อุณหภูมิต่ำ (0.6–1.2 °C) เช่น บนพื้นผิวดินที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนบางกลุ่มสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้คือที่ อุณหภูมิ -11 °C

จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แม้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยก็สามารถเป็นสาเหตุทำให้กิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์จุลินทรีย์ลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการเดินระบบควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยอุณหภูมิต้องไม่เปลี่ยนแปลงไปจากอุณหภูมิที่กำหนดเกินกว่า 2 °C หากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปมากกว่านี้จะทำให้การผลิตก๊าซมีเทนลดลงถึง 30% (วิทยากรณ์, 2561)

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH Value)

ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ 7.0–7.2 โดยค่า pH ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะมีการสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลดลง ซึ่งหาก pH ต่ำกว่า 5 ส่งผลให้กระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดต้องหยุดลงหรืออีกกรณีหนึ่งคือแบคทีเรียตาย เนื่องจากเมทาโนเจนมีความอ่อนไหวต่อความเป็นกรดต่างมาก และจะไม่มี การเจริญเติบโตหากมีค่า pH ต่ำกว่า 6.5 ส่วนช่วงท้ายของกระบวนการความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมากขึ้นตามปริมาณการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้น และค่าอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียร pH อยู่ระหว่าง 6.8–8

3. ระยะเวลาการเก็บกัก (Retention time)

ระยะเวลาการเก็บกัก เป็นระยะเวลาที่ให้สารอินทรีย์ถูกผสมอยู่ในบ่อหมักก๊าซ เพื่อให้แบคทีเรียได้ย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้เป็นอาหารในการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ให้มากขึ้น ก่อนที่จะถูกถ่ายเทออกจากบ่อหมัก ปกติจะใช้เวลา 20-50 days ระยะเวลาของการพักตัวของ การเกิดก๊าซสำหรับบ่อหมักก๊าซที่มีการเติมสารอินทรีย์ตลอดเวลาหรือเป็นระยะ ถ้าระยะเวลาการพักตัวสั้นมากเกินไป การชะล้างของแบคทีเรียในบ่อหมักจะมีอัตราเร็วว่าการสร้าง แบคทีเรียใหม่ ปฏิกริยาการย่อยสลายก็จะหยุดชะงัก เนื่องจากปริมาณแบคทีเรียในบ่อหมักลดลงหรือหมดไป แต่ถ้าให้ระยะเวลาการพักตัวนานเกินไปก็หมายความว่า บ่อหมักจะต้องมีปริมาตรใหญ่ขึ้นทำให้ราคาค่าก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพแพงตามไปด้วย มี 2 ตัวแปรที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเวลาในถังปฏิกริยา ได้แก่ Solid Retention Time (SRT) และ Hydraulic Retention Time (HRT) โดยที่ SRT เป็นเวลาเฉลี่ยที่แบคทีเรียอยู่ในถังปฏิกริยา ส่วน HRT เป็น เวลาเฉลี่ยที่น้ำเสียหรือสลัดจ์อยู่ในถังปฏิกริยา ตัวแปรทั้งสองอาจจะสัมพันธ์กันหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะการเดินระบบที่ใช้แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการเวลาสำหรับการพักตัวและเพิ่มจำนวนมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน

4. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

ขยะอินทรีย์มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สามารถนำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ คือ อัตราส่วนที่ 8-30 และอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วน C/N สูงมาก ไนโตรเจน จะถูกเมทาโนเจนนำไปใช้เพื่อเสริมสร้างโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซ น้อย แต่ถ้าหากอัตราส่วน C/N ต่ำมาก ๆ จะส่งผลให้ไนโตรเจนมีจำนวนที่มากขึ้นและไปเกาะกัน กลายเป็นแอมโมเนีย โดยที่แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งหากค่า pH สูงถึง 8.5 ทำให้เกิดผลกระทบ กับแบคทีเรียที่เป็นพิษส่งผลให้จำนวนเมทาโนเจนลดลง นอกจากนี้หากอัตราส่วน C/N อยู่ นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่น ๆ เช่น มีปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวและควายมีอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมที่สุด รองลงมา ได้แก่ พวดอกจอก ผักตบชวา และเศษอาหาร ในขณะที่วัสดุประเภทฟางมีอัตราส่วน C/N ที่ ค่อนข้างจะสูง อย่างไรก็ตามสามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วน C/N สูงมาผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วน C/N ต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีสมบัติตามที่ต้องการ

5. ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity, ALK)

ค่าความเป็นด่างบ่งบอกถึงปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างและยังบ่งชี้เสถียรภาพของ ระบบกล่าวคือหากระบบมีค่าความเป็นด่างสูง หมายถึงระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่า ความเป็นกรด-ด่างภายในระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน ทำให้ไม่เกิดการแปรปรวนของค่าความเป็นกรด- ด่างได้ง่าย เมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพิ่มขึ้นในระบบ โดยพบว่าค่าความเป็นด่างภายใน ระบบควรมีอยู่ในช่วง 1,000-3,000 mg CaCO₃/l ค่าความเป็นด่างที่มีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ ใช้อากาศไม่ควรจะต่ำกว่า 1,000 mg CaCO₃/l ซึ่งจะช่วยต้านทานกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความ เป็นกรด-ด่าง ดังนั้นการควบคุมระบบให้ทำงานปกติ จำเป็นต้องรักษาค่าความเป็นด่างไม่ให้มีค่าต่ำ เกินไป เพื่อรักษาระดับค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบบำบัด

6. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids: VFA)

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นมีความสำคัญต่อการตรวจสอบความสมดุลของระบบบำบัด น้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ โดยกรดอินทรีย์ระเหยง่ายประกอบด้วย กรดบิวทีริก กรดอะซิติก และกรด โพรพิโอนิก เป็นต้น ผลผลิตนี้เป็นสารตัวกลางที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ใน สภาวะไม่ใช้อากาศของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด หากพบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีค่าสูงขึ้น จะบ่งบอกถึงความล้มเหลวในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ระบบที่มีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหย ง่ายในปริมาณมาก ช่วงแรกจะมีค่าความเป็นด่างของระบบลดลง และถ้าหากยังไม่มีการกำจัดปริมาณ

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้น้อยลง ส่งผลให้ค่า pH ของระบบก็จะลดลง และถ้าค่า pH มีค่าต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน หากยังไม่ได้ทำการแก้ไขปล่อยให้ค่า pH ลดลงจนถึง 4.5-5.0 จะทำให้ระบบเสียสมดุลเป็นผลให้ระบบล้มเหลวได้ ในสภาวะปกติปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในถังปฏิกรณ์ไม่ควรเกิน 2,000 mg CaCO₃/l ดังนั้นการควบคุมระบบที่ดีควรมีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างไม่ควรเกิน 0.3-0.4 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

8. สารอาหาร (Nutrient)

ความต้องการสารอาหารในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศมีปริมาณต่ำ เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระบวนการย่อยสลายมีปริมาณน้อยอัตราส่วนของสารอาหารที่เพียงพอสำหรับกระบวนการผลิตมีเทนคือ คาร์บอน: ไนโตรเจน: ฟอสฟอรัส: ซัลเฟอร์ (C: N: P: S) เท่ากับ 500-1000: 15-20: 5: 3 หรือ ซีโอดี: ไนโตรเจน: ฟอสฟอรัส: ซัลเฟอร์ (COD: N: P: S) เท่ากับ 800: 5: 1: 0.5

9. สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic materials)

สารยับยั้งและสารพิษ เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน, สารพิษ, โลหะหนัก, สารทำความสะอาดต่าง ๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่าง ๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโต และการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้ ธาตุไอออนในปริมาณน้อย (เช่น แอมโมเนียม, แคลเซียม, โปแตสเซียม, ซัลเฟอร์, แมกนีเซียม, โซเดียม) สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียเช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ยกตัวอย่างเช่น แอมโมเนีย ในปริมาณ 50-200 mg/l จะเป็นผลดีช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 mg/l ก็จะเริ่มส่งผลเสีย ในทางเดียวกัน โลหะหนักบางประเภท (เช่น ทองแดง, นิกเกิล, โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว และอื่น ๆ) ในปริมาณที่น้อยจะช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ

10. การกวนผสม (Mixing)

การกวนเป็นการทำให้ส่วนผสมที่อยู่ในระบบมีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง ทำให้ระบบมีการย่อยสลายได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้การกวนยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกชั้นของของเสีย โดยการแยกชั้นของของเสียจะสร้างปัญหาให้กับระบบโดยสลัดจ์ลอยด้านบนสุดที่มีการสะสมตัวของของเสียที่มีความหนาแน่นต่ำ การสะสมตัวของชั้นสลัดจ์ลอยจะลดประสิทธิภาพการสร้างก๊าซและการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ในระบบ ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถลดปัญหาการเกิดชั้นสลัดจ์ลอยได้โดยการเพิ่มการกวนให้แก่ระบบ หากระบบมีความเข้มข้นของของแข็งต่ำและมีสัดส่วนของสารที่มีเส้นใยอยู่ไม่

มาก สามารถใช้การหมุนเวียนของเหลว หรือก๊าซในถังหมักมาคววนส่วนผสมในระบบได้ ทั้งนี้หากระบบมีแนวโน้มการสะสมตัวของสลัดจ์ลอยค่อนข้างสูง จำเป็นจะต้องใช้การคววนผสมโดยใช้เครื่องมือทางกล ยกตัวอย่างเช่น การหมุนถังหมักรอบแกนหมุน หรือใบพัด เป็นต้น

11. อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เป็นปัจจัยในการดำเนินการอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นก๊าซมีเทนนั้น ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ต้องมีอยู่อย่างพอเหมาะ กับปริมาณสารอินทรีย์ในช่วงเวลาหนึ่ง จึงจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง เนื่องจากแบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายไปเพราะสภาพที่ไม่สมดุล ในทางตรงกันข้ามหากป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบน้อยเกินไปจะทำให้มีการใช้ถังหมักอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพที่ได้ทำให้ไม่คุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตามค่าของอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์จะแตกต่างกันไปตามธรรมชาติและชนิดของน้ำเสีย

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพใช้ทั่วไปในปัจจุบัน

ระบบการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ มีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบหมักหรือถังปฏิกรณ์ในลักษณะที่แตกต่างกัน สามารถจำแนกตามลักษณะการป้อนสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี (วรพจน์, 2550) ดังต่อไปนี้

1. การทำงานระบบแบบแบทช์หรือแบบกะ (Batch operation)

เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์ทั้งหมดเข้าสู่ระบบหมักหรือถังปฏิกรณ์ในครั้งแรกเพียงครั้งเดียวให้เต็มระบบในขณะเริ่มต้นระบบ (Start-Up) จากนั้นจะถูกปิดเป็นระบบปิดและจะปล่อยให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในระบบและจะไม่มีสารอินทรีย์เพิ่มเข้าไปอีก สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนหมดสังเกตได้จากไม่มีก๊าซเกิดขึ้น จึงถ่ายหรือสูบล้างทิ้งไป แล้วเติมสารอินทรีย์เข้าไปใหม่ ระบบนี้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่ปริมาณมาก ๆ การหมักแบบนี้ประสิทธิภาพไม่ดีนัก และเสถียรภาพของระบบไม่คงที่ เนื่องจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ

2. การทำงานระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Operation)

เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบหมักหรือถังปฏิกรณ์ในลักษณะเป็นช่วง ๆ แต่สม่ำเสมอ โดยจะมีการป้อนเข้าของสารอินทรีย์และถ่ายวัสดุหมักที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์แล้วออกจากระบบหมักหรือถังปฏิกรณ์ (สุदारัตน์, 2551) เหมาะสมสำหรับใช้ในกรณีที่มีวัตถุดิบเป็นประจำ จะมี

ท่อสำหรับป้อนวัตถุดิบลงในระบบและท่อสำหรับให้วัตถุดิบเก่าในระบบที่ผ่านการย่อยสลายแล้วไหลล้นออกมาหรือถ่ายทิ้ง ปกติจะเติมสารอินทรีย์ใหม่ทุกวัน ๆ วันละ 1 ครั้ง การหมักแบบนี้จะส่งผลดีต่อการทำงานของแบคทีเรีย เนื่องจากช่วยให้เกิดสภาวะคงตัว (Steady-State) ของระบบ เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อความเข้มข้นของสารอาหาร ช่วยลดปัญหาอันเนื่องมาจากการที่สารอาหารเพิ่มเข้าสู่ระบบอย่างกะทันหัน (Shock Load) มีผลทำให้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบครั้งคราวปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอใช้ทั่วไป

3. การทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous operation)

เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบหมักหรือถังปฏิกริยาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา วัสดุหมักจะถูกย่อยสลายภายในระบบหมักหรือถังปฏิกริยาช่วงเวลาหนึ่งและถูกถ่ายออกจากระบบหมักหรือถังปฏิกริยาอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน ประสิทธิภาพของระบบจะสูงที่สุด แต่การเติมวัสดุหมักตลอดเวลาด้วยอัตราคงที่นั้น อาจทำได้ยากหากไร้เครื่องสูบลม ดังนั้นในทางปฏิบัติระบบนี้อาจจะมีความยุ่งยากเมื่อนำไปใช้ผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็กในชนบท

เทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

1. บ่อปิด (Covered lagoon) บ่อหมักระบบปิดเป็นบ่อหมักก๊าซชีวภาพรูปแบบหนึ่ง โครงสร้างบ่ออาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือดินชุคก็ได้ ในกรณีที่เป็นบ่อดินชุคอาจปูแผ่นยางที่ใช้ปูสระเก็บ นำมาปูทับเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมของเสียลงสู่ดิน ด้านบนของบ่อคลุมด้วยพินพลาสติกขนาดใหญ่ เพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในบ่อและเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นแพร่กระจาย หลักการทำงานของระบบนี้เนื่องจากด้านบนมีพลาสติกคลุมทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำเสียในสภาพไร้ออกซิเจนได้ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ

2. บ่อโดมคงที่ (Fixed dome) เป็นบ่อหมักก๊าซที่ส่งเสริมให้มีการใช้ในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นทรงกลมฝังอยู่ใต้ดิน ส่วนที่เก็บก๊าซมีลักษณะเป็นโดมซึ่งข้อดีของระบบนี้คือ ประหยัดพื้นที่บริเวณฟาร์มเนื่องจากถังหมักอยู่ใต้ผิวดิน จึงทำให้สามารถระบายน้ำมูลสุกรจากโรงเรือนไปสู่บ่อหมักโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง อุณหภูมิในบ่อหมักค่อนข้างคงที่ ทำให้การหมักของมูลสัตว์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง สำหรับข้อเสียของระบบนี้คือ ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูงการทำงาน และการสร้างบ่อหมักจะค่อนข้างลำบากและในบริเวณส่วนโค้งของถังหมักจะต้องใช้เทคนิคและความชำนาญสูง

3. บ่อหมักเรื่อน้ำขึ้น (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket : UASB) ลักษณะการทำงานของบ่อ UASB คือ น้ำเสียจะถูกสูบเข้ากันถังตะกอนแบคทีเรียที่กั้นถังแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างหรือ Sludge Bed เป็นตะกอนเม็ดเป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยยาวเกาะกันแน่นมีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นที่

2 เรียกว่า Sludge Blanket เป็นแบบที่เรียกตะกอนเบาช่วงบนของถังหมักจะมีอุปกรณ์แยกก๊าซชีวภาพและตะกอนแบบที่เรีย (Gas solid Separator) ข้อดีของถังหมักแบบ UASB คือ เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและค่าก่อสร้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ แต่ข้อเสีย คือ มีความยุ่งยากในการเลี้ยงตะกอนเมื่อก่อนจากตะกอนเบาและไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง

4. ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic baffled reactor) ระบบน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถังหรือบ่อดินที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะเป็นในลักษณะไหลขึ้นลงสลับกันหลายครั้ง โดยมีความเร็วในการไหลขึ้นลงประมาณ 0.2-0.4 m/hr ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจะคล้ายกับระบบ UASB ระบบนี้สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง แต่ระบบมีขนาดใหญ่ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากกว่าระบบ UASB

5. ถังปฏิกรณ์แบบตรึงเซลล์บนผิววัสดุตัวกลาง (Anaerobic Filter/Fixed Film) เป็นถังหมักภายในบรรจุด้วยตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงเพื่อให้แบคทีเรียเกาะและมีรูพรุนสูง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะต้องผ่านถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนแบบที่เรียกออก ข้อดีของระบบนี้ คือ การดูแลและควบคุมและระบบง่าย มีประสิทธิภาพสูงและสามารถรับการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียได้ดี ข้อเสีย คือ วัสดุตัวกลางมีราคาแพงและมีปัญหาอุดตันได้ง่าย ดังนั้น การใช้งานจะต้องใช้ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวและรูพรุนสูงโดยบรรจุเพียง 10-20% ของปริมาตรถัง

6. ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบผสมกวน (Completely Stirred Tank Reactor : CSTR) เป็นการเรียกตามลักษณะของสารที่อยู่ภายในถังซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันทุกจุด (Completely Mixed) ถังปฏิกรณ์แบบนี้ถือเป็นถังปฏิกรณ์อุดมคติ (Ideal Reactor) แบบหนึ่งและเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่เก่าแก่ที่สุดประเภทหนึ่งด้วย โดยถังกวนผสมแบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากถังย่อยสลัดจ์ซึ่งเป็น Conventional Anaerobic Digester ที่มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการกวนผสมยังไม่ดีพอทำให้ใช้ระยะเวลาในการย่อยยาวนาน จึงมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสของสารอาหารในน้ำเสียและจากถังย่อยสลัดจ์ (Septic Tank) โดยทำการติดตั้งใบกวนเช่น แบบ Paddle แบบ Impeller หรือสกรู (Screw) หรือ ใช้ Gas Diffuser ในการกวนผสม เพื่อให้จุลินทรีย์และสารอาหารในถังปฏิกรณ์มีการสัมผัสกันมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียดีขึ้น

7. บ่อหมักแบบแห้ง (Dry Digestion Process) มีหลักการทำงานประกอบด้วย Dry Continuous Digestion Process, Dry Batch Digestion Process และ Leach-Bed Digestion Process ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละระบบดังนี้

- Dry Continuous Digestion Process

เป็นระบบที่มีการป้อนสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงประมาณ 20-40% เข้าสู่ถังหมัก (Digester) อย่างต่อเนื่อง และมีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบน้อยมาก โดยถังหมักจะมีลักษณะเป็นแบบถัง

กวนผสมบวมหรือเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (Plug-Flow Digester) ซึ่งในการหมักจะมีการหมุนเวียนเอาตะกอนเหลวที่ย่อยสลายแล้ว (Digestate) มาใช้เป็นหัวเชื้อ (Inoculums/Seed) สำหรับเติมเชื้อจุลินทรีย์ให้กับสารอินทรีย์ที่ถูกป้อนเข้าไปใหม่ และเนื่องจากระบบนี้ต้องการใช้น้ำให้น้อยที่สุด ส่งผลให้ได้สมดุลของพลังงานความร้อนที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ เหมาะสมสำหรับการเดินระบบที่อุณหภูมิระดับสูง (Thermophilic Digestion Temperature)

- Dry Batch Digestion Process

เป็นระบบการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักแบบกะ (Batch) แล้วทำการเติมกล้าเชื้อซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วจากการหมักครั้งก่อนเข้าไปในถังหมัก จากนั้นจะปิดถังหมักให้สนิทแล้วปล่อยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้เกิดน้ำชะสารอินทรีย์ที่ไหลลงสู่ก้นถัง ซึ่งน้ำชะสารอินทรีย์จะถูกระบบหมุนเวียนกลับขึ้นไปฉีดพ่นสารอินทรีย์ที่อยู่ส่วนบน เพื่อรักษาความชุ่มชื้นให้ทั่วถึงพร้อมทั้งเป็นการแพร่กระจายกรดไขมันระเหยง่าย รวมทั้งเป็นการกระจายแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนให้สัมผัสกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในถังหมักอย่างทั่วถึงอีกด้วย เมื่อการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว ระบบนี้จะมีถังสำหรับนำวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วออกไปและถังสำหรับเติมสารอินทรีย์ ข้อดีของระบบนี้ คือ การลดขั้นตอนการเตรียมสารอินทรีย์ และลดจำนวนเครื่องจักรกลที่ใช้ในการเดินระบบ แต่จะมีข้อเสีย คือ ปริมาณแก๊สมีเทนที่ได้จะไม่คงที่และจะต้องมีการบำบัดครั้งหลัง (Post Treatment/Back-end Treatment) สำหรับปรับปรุงคุณภาพของวัสดุปรับปรุงดิน

- Leach-Bed Digestion Process

เป็นระบบการหมักที่มีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายคลึงกับ Dry Batch Digestion Process แต่จะมีข้อแตกต่างกัน คือ มีการแลกเปลี่ยนน้ำจากถังหมักถังแรกที่เกิดกระบวนการย่อยสลายแล้วไปยังถังหมักใหม่ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายและเป็นการเติมกล้าเชื้อในถังหมักใหม่ รวมทั้งเป็นการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายบางส่วนจากถังหมักใบแรกเพื่อป้องกันการเกิดสภาวะเปรี้ยว (Sour Condition) ซึ่งอาจยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ซึ่งระบบจะดำเนินไปจนกระทั่งในถังหมักใหม่เริ่มมีแก๊สมีเทนเกิดขึ้นจึงเกิดการหยุดหมุนเวียนน้ำชะสารอินทรีย์จากถังหมักใบแรก แต่จะหมุนเวียนน้ำชะสารอินทรีย์จากถังหมักใบที่สองไปยังถังหมักต่อไปอีก ซึ่งหลักการดังกล่าวอาจจะเรียกว่า การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบต่อเนื่อง (Sequential Batch Anaerobic Composting) ระบบบ่อหมักแบบเปียก (Wet Digestion Process)

8. บ่อหมักแบบเปียก (Wet Digestion Process) หลักการทำงานประกอบด้วย Single-Stage Digestion Process และ Multi Stage Wet Digestion Process ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละระบบดังนี้

- Single-Stage Wet Digestion Process

เป็นระบบการหมักที่มีการเติมน้ำปริมาณมากเข้าสู่ระบบ โดยจะป้อนสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นตะกอนเหลว (Slurry) ซึ่งมีปริมาณของแข็ง (Solid Content) อยู่ประมาณ 10% เข้าสู่ถังหมักซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบบถังกวนสมบูรณ์ โดยการหมักแบบนี้จะต้องมีขั้นตอนการเตรียมสารอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ เมื่อของเหลวผ่านการย่อยสลายแบบสมบูรณ์จะต้องมีการแยกส่วนที่มีน้ำออกไป โดยใช้อุปกรณ์ประเภท Filter Press หรือ Screw Press แล้วทำการหมุนเวียนน้ำในระบบต่อไป เพื่อลดภาระการกำจัดน้ำส่วนเกินเป็นปริมาณมาก

- Multi-Stage Wet Digestion Process

เป็นระบบการหมักซึ่งสารอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการเตรียมสภาพเรียบร้อยแล้วถูกป้อนเข้าสู่ถังหมักกรด ที่ซึ่งมีจุลินทรีย์พวก Hydrolytic Bacteria และ Fermentative Bacteria ซึ่งทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย ก่อนที่จะถูกส่งไปยังถังหมักแก๊ส ซึ่งมีแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายให้กลายเป็นแก๊สมีเทน โดยถังหมักแก๊สในระบบนี้อาจจะเป็นระบบ Anaerobic Filter (AF) หรือ Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ก็ได้ ซึ่งการออกแบบระบบจะทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์แต่ละประเภท ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลผลิตแก๊สมีเทนสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ระบบ Multi-Stage Wet Digestion Process มักจะมีความยุ่งยากซับซ้อนในการดำเนินการระบบมากกว่า Single-Stage Anaerobic Digestion Process

ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential; BMP)

ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน เป็นกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนที่มีการเติมวัตถุดิบพร้อมกับเชื้อจุลินทรีย์เพียงครั้งเดียวการหมักด้วยวิธีการดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงปริมาณการเกิดก๊าซต่อวันต่อปริมาณวัตถุดิบที่เติมและจำนวนวันทั้งหมดที่มีการเกิดก๊าซ จำนวนวันที่วัตถุดิบจะหมักย่อยได้หมด โดยแสดงในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมซีโอดีหรือแสดงในรูปของกรัมของสารระเหย ของเสียที่ป้อนเข้าไป (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, 2554) ค่า BMP ที่ได้จากการทดลองจะแสดงถึงศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดของวัตถุดิบที่มีการป้อนเข้าสู่ระบบ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ทำให้ทราบถึงปริมาณมีเทนสูงสุดที่สามารถผลิตได้ตลอดระยะเวลาการหมัก และประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบหมักแก๊สชีวภาพจากวัตถุดิบในแต่ละชนิด ซึ่งศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ป้อนเข้าสู่ระบบ โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาศักยภาพการผลิตแก๊สมีเทน มีรายละเอียดดังนี้

1) การคำนวณหาปริมาณของแข็งระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลาย

ของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัด = ของแข็งระเหย (เข้า) – ของแข็งระเหย (ออก)

$$VS_{\text{removed}} (\text{mg/L}) = VS_{\text{in}} (\text{mg/L}) - VS_{\text{out}} (\text{mg/L})$$

สมการที่ 1

2) การคำนวณหาปริมาณซีโอดี (COD) ที่ถูกย่อยสลาย

ซีโอดีที่ถูกกำจัด = ซีโอดี (เข้า) – ซีโอดี (ออก)

$$COD_{\text{removed}} (\text{mg/L}) = COD_{\text{in}} (\text{mg/L}) - COD_{\text{out}} (\text{mg/L})$$

สมการที่ 2

3) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD)

$$\% \text{การกำจัดซีโอดี} = [(COD_{\text{in}} (\text{mg/L}) - COD_{\text{out}} (\text{mg/L})) / COD_{\text{in}} (\text{mg/L})] \times 100$$

สมการที่ 3

4) การหาค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ (Specific Methane Yield)

อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ = ปริมาณก๊าซมีเทน (L) / น้ำหนักของซีโอดีที่ถูกย่อยสลาย (kg)

สมการที่ 4

5) การหาค่าศักยภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้ก๊าซมีเทน (%BMP)

$$\% \text{BMP} = (\text{อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์} / \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี}) \times 100$$

สมการที่ 5

จากทฤษฎีซีโอดี 1 g เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน 395 mL (35 °C, 1 atm)

$$\frac{\text{BMP}(\text{mLCH}_4)}{\text{gCOD}} = \frac{\text{Biogasproduction}(\text{L})\text{CH}_4 (\%)}{\text{COD}_{\text{in}} - \text{COD}_{\text{out}} (\text{mg/L})}$$

สมการที่ 6

ลักษณะที่สำคัญของข้าว

ข้าว เป็นเมล็ดพืชที่พบมากในเอเชีย ชื่อวิทยาศาสตร์: *Oryza sativa* ข้าวเป็นอาหารสำคัญของประชากรโลกในการบริโภค พบว่าข้าวเป็นธัญพืชซึ่งมีการปลูกมากเป็นอันดับ 3 ของโลก ข้าวเป็นธัญพืชที่มีคุณค่าทางด้านโภชนาการและการได้รับแคลอรีของมนุษย์ คิดเป็นพลังงานกว่าหนึ่งในห้าที่มนุษย์ทั่วโลกบริโภค หลักฐานพันธุศาสตร์แสดงว่าข้าวได้มาจากการนำมาปลูกเมื่อประมาณ 8,200–13,500 ปีก่อน โดยต้นข้าวสามารถโตได้ถึง 1–1.8 m ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

เป็นหลัก มีลักษณะใบเรียวยาว 50–100 cm และกว้าง 2–2.5 cm ช่อดอกห้อยยาว 30-50 cm เมล็ดกินได้เป็นผลธัญพืชยาว 5–12 mm และหนา 2–3 mm ข้าวสามารถมีอายุได้หลายปีและสามารถไว้ต่อข้าวได้นานถึง 30 year ลักษณะที่สำคัญของข้าวแบ่งออกได้เป็นลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต และลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ดังนี้

1. ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต

ลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ

- ราก เป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ใช้ยึดลำต้นกับดินเพื่อไม่ให้ต้นล้ม และมีรากพิเศษเกิดขึ้นที่ข้อซึ่งอยู่เหนือพื้นดินด้วย ต้นข้าวไม่มีรากแก้ว แต่มีรากฝอยแตกแขนงกระจายอยู่ใต้ผิวดิน

- ลำต้น มีลักษณะเป็นปล้อง ๆ และเป็นโพรงตรงกลาง โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง ความยาวของปล้องแตกต่างกัน และมีจำนวนปล้องเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว ปกติมีประมาณ 20-25 ปล้อง

- ใบ ใบข้าวมีหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุ อาหาร น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นแป้ง เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเมล็ดของต้นข้าว โดยใบประกอบด้วยกาบใบและแผ่นใบ

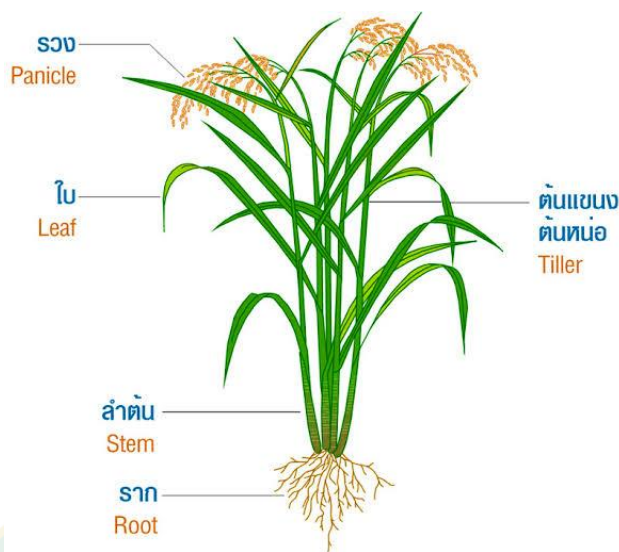
2. ลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์

ต้นข้าวมีการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย เพราะฉะนั้น ลักษณะที่สำคัญเกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ได้แก่ รวง ดอกข้าวและเมล็ดข้าว (โสภา, 2555)

- รวงข้าว คือ ช่อดอกของข้าว (Inflorescence) ซึ่งเกิดขึ้นที่ข้อปล้องสุดท้ายของต้นข้าว ระหว่างข้ออันบนของปล้องอันสุดท้ายกับข้อต่อของใบ เรียกว่า คอรวง

- ดอกข้าว คือ ส่วนที่มีไว้สำหรับผสมพันธุ์ระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ซึ่งประกอบด้วยเปลือกนอกใหญ่ 2 แผ่นประสานกัน เพื่อห่อหุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ เลมมา (Lemma) คือ เปลือกนอกใหญ่แผ่นนอก ส่วนพาลียา (Palea) คือ ส่วนเปลือกนอกใหญ่แผ่นในทั้งสองเปลือกนี้ ภายนอกอาจมีขนหรือไม่มีขนก็ได้

- เมล็ดข้าว คือ ส่วนที่เป็นแป้งหรือที่เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) และส่วนที่เป็นคัพภะ ซึ่งมีการห่อหุ้มไว้ด้วยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่น โดยแป้งที่เราบริโภคเรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม และส่วนที่มีชีวิตและงอกออกมาเป็นต้นข้าวเมื่อเอาไปเพาะเรียกว่า คัพภะ



ภาพที่ 4 ลักษณะของข้าว

พันธุ์ข้าว

1. พันธุ์สันป่าตอง 1 (SAN-PAH-TAWAG 1)

ชนิด: ข้าวเหนียว

ประวัติพันธุ์: ได้จากการผสมพันธุ์ข้าวสายพันธุ์ BKNLR75001-B-CNT-B-RST-36-2 กับพันธุ์ กข 2 ที่สถานีทดลองข้าวสันป่าตองเมื่อปี พ.ศ. 2527 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ SPTLR84051-32-2-2-4 ซึ่งคณะกรรมการบริหารกรมวิชาการเกษตร มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 19 มกราคม 2543

ลักษณะประจำพันธุ์: เป็นข้าวเหนียว สูงประมาณ 150 cm ไรต่อช่วงแสง ทรงกอแผก เล็กน้อย ต้นค่อนข้างแข็ง รวงยาว เมล็ดยาวเรียว เมล็ดข้าวเปลือก ยาว x กว้าง x หนา = 10.4 x 2.8 x 2.0 mm เมล็ดข้าวกล้อง ยาว x กว้าง x หนา = 7.2 x 2.1 x 1.3 mm ข้าวเปลือกสีน้ำตาล อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 26 พฤศจิกายน ระยะพักตัวของเมล็ด ประมาณ 6 week คุณภาพข้าวสุก เหนียว นุ่ม ผลผลิตประมาณ 526 kg/rai ลักษณะเด่นด้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล และค่อนข้างต้านทานโรคไหม้ ข้อควรระวังไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลง กลายพันธุ์เป็นข้าวเจ้าได้ง่าย พื้นที่แนะนำภาคเหนือตอนบน และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 5 พันธุ์สันป่าตอง 1

2. ชื่อพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 (RD-MAEJO 2)

ชนิด: ข้าวเหนียว

ประวัติพันธุ์: ข้าวพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 ทำการผสมพันธุ์ครั้งแรกในฤดูนาปี 2547 ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยใช้ข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์รับผสมกับข้าวเหนียวหอมพันธุ์ กข 6 ปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีผสมกลับ และใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก ทำการผสมกลับ 4 ครั้ง จากนั้นจึงศึกษาพันธุ์โดยปลูก 4 แถว จำนวน 2 ฤดู คือ นาปี 2551 และนาปรัง 2552

ลักษณะประจำพันธุ์: ข้าวพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 เป็นข้าวเหนียวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ตลอดทั้งปี อายุเก็บเกี่ยวในฤดูนาปี ประมาณ 138 day ผลผลิตเฉลี่ย 685 kg/rai หากปลูกช่วงนาปรัง อายุเก็บเกี่ยว 146 day ผลผลิตเฉลี่ย 755 kg/rai ลักษณะกอเบะ ลำต้นแข็งปานกลาง ความสูงประมาณ 105 cm ในฤดูฝน และสูง 99 cm ในฤดูนาปรัง รวงข้าวยาว ประมาณ 29.75 cm ลักษณะรวงค่อนข้างกระจาย คอรวงสั้น จำนวนเมล็ดดี ต่อรวง 113 เมล็ด เมล็ดร่วนง่าย ข้าวเปลือกสีฟาง มีหางบ้าง เมล็ดข้าวเปลือกยาว x กว้าง x หนา = 10.70 x 2.65 x 2.03 mm เมล็ดข้าวกล้องยาว รูปร่างเรียวย คุณภาพการสีดี ระยะพักตัว 7 week ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 คือเป็นข้าวเหนียวมีกลิ่นหอมอ่อน เมล็ดเรียวยาว ลำต้นเตี้ย ไม่ไวต่อช่วงแสง ทำให้ปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรัง เหมาะสำหรับปลูกในเขตภาคเหนือตอนบน



ภาพที่ 6 พันธุ์ กข-แม่ใจ 2

ชีวมวลที่เกิดจากข้าว

ชีวมวลหรือวัสดุที่เหลือจากข้าวมีทั้งที่อยู่ในโรงสี ได้แก่ แกลบ เป็นส่วนที่เหลือจากการสีข้าว ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงสี และใช้ในอุตสาหกรรม เผาอิฐมอญใช้ในการก่อสร้าง โรงสีขนาดใหญ่หรือแหล่งที่มีแกลบจำนวนมากมีการจัดตั้ง โรงไฟฟ้าโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ทำให้แกลบมีราคาสูงขึ้นและมีการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งหมด ชีวมวลแกลบมีปริมาณเป็นน้ำหนักประมาณ 21% ของผลผลิตข้าวความชื้นประมาณ 12% และฟางข้าวที่เหลือทิ้งอยู่ทางการเกษตรเป็นส่วนลำต้นและรวงที่ผ่านการนวดเอาเมล็ดข้าวออกไปแล้วเกษตรกรมักเก็บไว้เลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัจจุบันมีการซื้อขายบ้างเล็กน้อยส่วนใหญ่จะถูกเผาทิ้งพร้อมกับตอซัง เพื่อทำการไถกลบในการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกครั้งต่อไป ฟางข้าวในสภาพสดจะมีปริมาณเป็นน้ำหนักประมาณ 49% ของผลผลิตข้าวความชื้นประมาณ 20% (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

ตารางที่ 2 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์และผลพลอยได้ที่ได้จากการสีข้าวที่สุ่มตัวอย่าง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
ต้นข้าว	100
ฟางข้าว	72.9
ข้าวเปลือก	27.1
แกลบ	5.2
รำข้าว	1.8
ข้าวหัก	3.8
ข้าวสาร	8.9

ที่มา: (น้ำเพชร, 2554)

องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทฟางข้าว

องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในอัตราส่วนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุลิกโนเซลลูโลส โดยทั่วไปพบเซลลูโลส 40-60% เฮมิเซลลูโลส 20-30% และ ลิกนิน 15-30% (รัชพล, 2558)

1. เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่พบมากในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยพบในส่วนผนังเซลล์ของพืชอยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ปริมาณที่พบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืช เช่น ไม้พบประมาณ 40-50% และเส้นใยฝ้ายพบประมาณ 98% เซลลูโลสเป็นโฮโมโพลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ เบต้า-D-กลูโคไพราโนส (β -D-Glucopyranose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (β -1,4-Glycosidic Bond) เกิดเป็นโพลิเมอร์กลูแคน (Glucan) มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปในธรรมชาติพบเซลลูโลส 2 แบบ คือ Crystalline Cellulose และ Amorphous Cellulose โดยส่วนของ Crystalline Cellulose จะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยากกว่า Amorphous Cellulose สำหรับโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นเฮทเทอร์โพลีเมอร์ของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส แมนโนส ไฮโลส และอะราบิโนส ซึ่งพบอยู่ในรูปโพลิเมอร์ไซแลน แมนแนน กาแลกแตน และอะราบิแนน มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย โดยในพอลิเมอร์ไซแลน ดี-ไฮโลสมีปริมาณมากที่สุดคือ 85-93% ส่วนองค์ประกอบอื่น เช่น กลูโคส กรดกลูควโรนิก กรดกาแลคตุโรนิก จะพบปริมาณน้อย โดยไฮโลสที่พบจะเชื่อมด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิก สำหรับโครงสร้างทางเคมีของไซแลน

3. ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช พบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืช ในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ลิกนินเป็นเฮเทอร์โพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ ไม่แตกผลึก ประกอบด้วยสารประกอบอะโรมาติก 3 ชนิด ได้แก่ Tran-p-Coumaryl Alcohol, Trans-Coniferyl Alcohol และ Trans-p-Sinapyl Alcohol นอกจากนี้โมเลกุลของลิกนินยังเชื่อมต่อกับสารประกอบอะโรมาติกอื่นอีกมากมาย เช่น Vanillin และ Syringaldehyde โครงสร้างของ Tran-p-Coumaryl Alcohol, Trans-Coniferyl Alcohol และ Trans-p-Sinapyl Alcohol

ฟางข้าวจัดอยู่ในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นผลพลอยได้จากการทำนาซึ่งในปีหนึ่ง ๆ ประเทศไทยปลูกข้าวเป็นจำนวนหลายล้านไร่ มีฟางข้าวรวมทั้งส่วนที่เป็นตอซังถูกทิ้งเป็นจำนวนไม่น้อย ในแต่ละไร่จะให้ฟางมากน้อยแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน สภาพการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน และลักษณะสายพันธุ์ของข้าวซึ่งมีทั้งพันธุ์ต้นเตี้ย และพันธุ์ต้นสูง รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ เช่น น้ำ อากาศ และอุณหภูมิที่เหมาะสม เป็นต้น แต่โดยทั่วไปจากการสำรวจนาหนึ่งไร่ในหนึ่งฤดูการจะมีฟางประมาณ 0.32-1.6 ton สำหรับองค์ประกอบของธาตุอาหารในฟางจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน น้ำ ปริมาณปุ๋ยที่ใส่รวมทั้งพันธุ์และฤดูกาล แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของฟางข้าว

องค์ประกอบทางเคมี	สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมี (%)
เนื้อเซลล์	21
ผนังเซลล์	79

องค์ประกอบทางเคมี	สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมี (%)
เซลลูโลส	32
เฮมิเซลลูโลส	24
ลิกนิน	7
ชิลิกา	13
โปรตีน	3.44
ไขมัน	1.88
เยื่อใย	37.48
ปริมาณเถ้า	12.30
ฟอสฟอรัส	0.11

ที่มา: วิภาดา และ นุชรา, (2556)

การปรับสภาพฟางข้าว

1. วิธีการทางกายภาพ (Physical Treatment)

เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวให้มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การสับเพื่อให้มีขนาดเล็กลง การแช่น้ำเพื่อให้ความอ่อนนุ่ม เป็นต้น

2. วิธีการทางเคมี (Chemical Treatment)

เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้วย วิธีการทางเคมีสำหรับช่วยเพิ่มค่าการย่อยได้ เช่น การหมักด้วยยูเรีย การย่อยด้วยกรด เป็นต้น

การหมักฟางข้าวด้วยยูเรียสำหรับเป็นอาหารหยาบ ของโค กระบือ จะต้องระมัดระวังในเรื่องปริมาณยูเรียที่ใช้ เพราะหากใช้ในปริมาณมากจะเกิดความเป็นพิษต่อสัตว์ได้ คือ จะทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย และระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนของสัตว์มากขึ้น เมื่อถูกดูดซึมจะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียที่ตับ หากดูดซึ่มมากตับจะไม่สามารถเปลี่ยนเป็นยูเรียได้หมด ส่วนที่เหลือจะอยู่ในเลือดสูงขึ้น และจะแพร่เข้าสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย รวมถึงสมอง ผลที่ตามมา คือ สัตว์มีอาการกระวนกระวาย เดินโซเซ น้ำลายฟูมปาก กล้ามเนื้อกระตุก หายใจขัด และชักตายภายใน 2-3 Hr

3. วิธีการทางกายภาพ-เคมี (Physical-Chemical Treatment)

เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวที่ใช้กระบวนการทางกายภาพ และเคมีร่วมกัน อาทิ การบด สับ จากนั้นนำมาหมักด้วยยูเรียหรือย่อยด้วยกรด เป็นต้น

4. วิธีการทางชีวภาพ (Biological Treatment)

เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวด้วยกระบวนการทางชีวภาพ กระบวนการนี้ที่สำคัญ คือ การหมักด้วยการใช้จุลินทรีย์หรือใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ อาจหมักฟางข้าวที่ยังไม่ได้ผ่านการบดสับ หรือใช้ฟางข้าวที่บดสับแล้วก็ได้

พืชอาหารหมัก

พืชหมัก หมายถึง พืชอาหารสัตว์ต่าง ๆ เช่น หญ้า ต้นข้าวโพด ต้นข้าว และฟางข้าว เป็นต้น ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นเหมาะสม แล้วนำมาหมักไว้ในสภาพสุญญากาศ เก็บถนอมไว้ในสภาพหมักดอง สามารถอยู่ได้เป็นเวลานาน โดยคุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง (นิรันดร หนักแดง, 2557) การที่พืชสดเปลี่ยนสภาพเป็นพืชหมักนั้นต้องอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยที่สำคัญ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีอยู่ตามธรรมชาติและติดอยู่กับพืชที่จะนำมาหมัก อาจมีทั้งชนิดที่ต้องการออกซิเจนไม่ต้องการออกซิเจน และกลุ่มที่เจริญอยู่ได้ในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน จุลินทรีย์เหล่านี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในพืชที่กำลังหมัก ได้รับความนิยมนำไปใช้ในการถนอมพืชอาหารสัตว์ สำหรับเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้งที่มีพืชอาหารสดไม่เพียงพอ (มนตรี ปัญญาทอง และกฤตภาค บุรณวิทย์, 2557) โดยกระบวนการหมักพืช สามารถแบ่งออกเป็น ขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

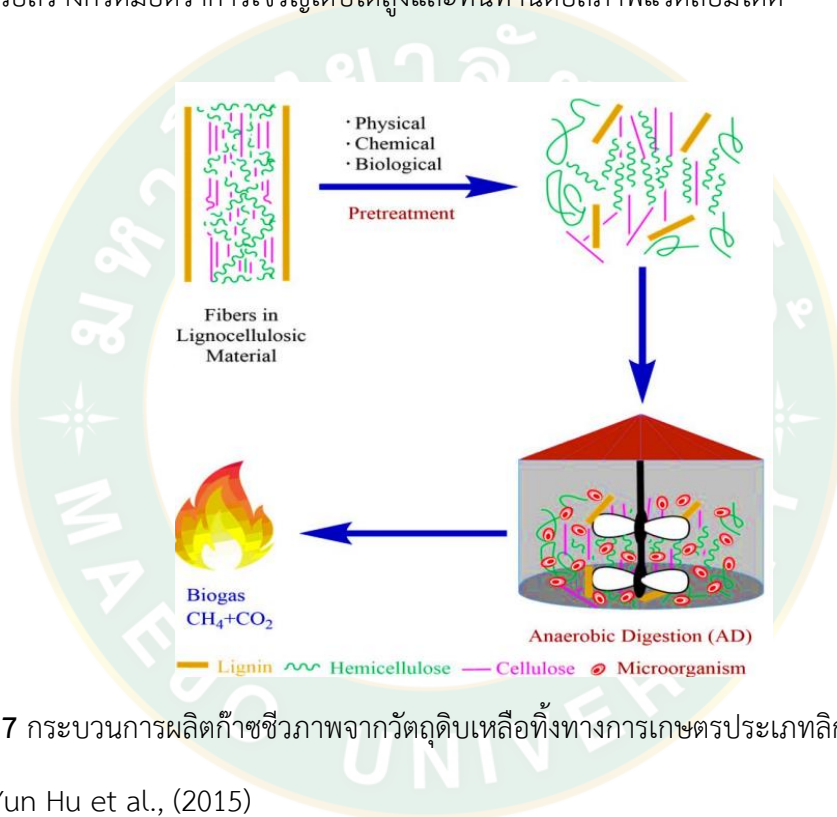
ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการย่อยสลายด้วยสภาวะแบบใช้อากาศ ซึ่งยังคงมีช่องว่างของอากาศที่อยู่ระหว่างอนุภาคและค่า pH ยังคงเดิม ซึ่งทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศสามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายและทำงานได้จนกว่าอากาศภายในภาชนะจะหมด โดยจะเกิดขึ้นในระยะแรกคือ 1-2 day

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการผลิตกรดแลคติกด้วยสภาวะการหมักแบบไม่ใช้อากาศ โดยใช้แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแลคติก ซึ่งจะเกิดขึ้นในวันที่ 3 ของการหมัก ทำให้ค่า pH ลดลงอยู่ในช่วง 4.2-6.0 หลังจากผลิตกรดแลคติกอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 7-14 days หรือมากกว่าจะทำให้ค่า pH ลดลงต่ำกว่า 4.0 ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงจำนวนจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการหมักลดลง

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนที่มีความเสถียรในระหว่างการเก็บรักษาของพืชหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและมีความเสถียร เมื่อเก็บรักษาภายในภาชนะที่ปิดสนิทภายใต้สภาวะการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการนำพืชหมักไปใช้จะทำให้พืชหมักเกิดการสัมผัสกับอากาศทำให้แบคทีเรียในกลุ่มที่ใช้อากาศ เช่น ยีสต์ รา เกิดการทำให้พืชหมักเน่าเสียของชั้นผิวหน้าและเกิดการสูญเสียคุณค่าของอาหาร ความเป็นกรด อีกทั้งยังอาจจะสูญเสียในระหว่างขั้นตอนเหล่านี้ขึ้นอยู่กับ

การจัดการในแต่ละขั้นตอนสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้กระบวนการปรับสภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรใช้กระบวนการปรับสภาพด้วย 2 วิธีการ ประกอบด้วย ทางเคมี (Chemical Pre-treatment) และทางชีวภาพ (Biological Pre-treatment) ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยกระบวนการปรับสภาพแบบ Pre-acidification คือ กระบวนการปรับสภาพให้วัสดุหมักเกิดกระบวนการหมักกรดก่อนหรือการเปลี่ยนสารอาหารตั้งต้นจำพวก น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดวาเลอริก และกรดแลคติก โดยกรดที่เกิดขึ้นมีสัดส่วนของกรดอะซิติกสูงสุด และมีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วยแบบที่เรียสร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี



ภาพที่ 7 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส

ที่มา: Yun Hu et al., (2015)

มูลวัว

ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นของแข็งซึ่งประกอบไปด้วยเศษของพืช ซึ่งเป็นอาหารที่วัวกินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จึงเหลือเป็นกากที่ขับถ่ายออกมา โดยเศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วในทางเดินอาหาร ดังนั้นส่วนที่เป็นมูลสัตว์จึงอุดมไปด้วยธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อรวมกันเข้าก็จะมีองค์ประกอบที่สามารถใช้เป็นธาตุอาหารที่สมบูรณ์ของพืชได้ ส่วนมูลสัตว์แต่ละชนิดจะมีธาตุอาหารชนิดใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์ชนิดนั้นกินเข้าไป เป็นปัจจัยสำคัญรวมทั้งปัจจัย

อื่น ๆ ได้แก่ ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหาร รวมทั้งการจัดการรวบรวมมูล การเก็บรักษา เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ จะเห็นว่ามูลสุกรและกากตะกอนมูลสุกรจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพรวมทั้งมูลของไก่ไข่มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสีมากกว่ามูลวัว ขณะที่มูลวัวมีปริมาณธาตุโปแตสเซียมและโซเดียมมากกว่ามูลสุกร พบว่าวัวหนึ่งตัววัวน้ำหนัก 400 kg กินหญ้าสดประมาณ 50 kg สามารถให้มูล 10-15 kg/day โดยมีสัดส่วนของแข็งต่อของเหลว เท่ากับ 1:4 ให้ก๊าซชีวภาพได้ระหว่าง 0.023-0.061 m³/day และพบว่าฟาร์มวัวในประเทศไทยจำนวน 5,617 แห่ง มีศักยภาพพลังงานผลิตอยู่ที่ 245,502,455.40 Nm³ เทียบเท่าไฟฟ้า 29.46 MW, ความร้อน 122.75 ktoe และก๊าซชีวภาพอัด 111,596.03 ton (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

ประโยชน์ของมูลวัวสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านพลังงานและการเกษตรมีดังนี้

1. นำมูลวัวมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพใช้ทดแทนก๊าซ LPG น้ำมันเตา รวมถึงการผลิตไฟฟ้า
2. นำมูลวัวมาตากให้แห้งเป็นแผ่น ๆ สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
3. นำมูลวัวไปใช้ในทางเกษตรคือการนำไปทำเป็นปุ๋ย
4. คลุกเมล็ดพันธุ์พืชในมูลวัวก่อนปลูกเป็นการรักษาไม่ให้มอดแมลงเจาะกิน



ภาพที่ 8 มูลวัว

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นการช่วยให้การพิจารณาตัดสินใจจะตอบรับหรือปฏิเสธโครงการเพื่อการลงทุนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีการบ่งชี้ถึงความสมเหตุสมผลและความคุ้มค่าในการลงทุนนั้น ๆ โดยมีหลักเกณฑ์การวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ ดังนี้

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าสุทธิในปัจจุบันของโครงการ ซึ่งก็คือผลตอบแทนสุทธิของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับและเงินสดจ่ายที่เกิดขึ้นตลอดช่วงอายุของโครงการหักค่าใช้จ่าย โดยพิจารณาจากค่า NPV ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ จึงแสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมในการลงทุน

2) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย อัตราความสามารถของเงินทุนทำให้ผลตอบแทนคุ้มค้ำกับค่าใช้จ่ายเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน ถ้า IRR มากกว่าหรือเท่ากับอัตราคิดลดหรือค่าเสียโอกาสของทุน แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมในการลงทุน

3) การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

เป็นการคำนวณหาระยะเวลาเป็นจำนวนปีที่ผู้ลงทุนจะได้รับเงินจากการลงทุนกลับคืนมา เพื่อเป็นการประเมินขั้นต้นว่าโครงการใช้ระยะเวลานานเพียงใดถึงจะคุ้มทุน โดยนำกระแสเงินสดสุทธิที่ได้จากการลงทุนในแต่ละปีรวมกันไปเรื่อย ๆ จนได้ผลรวมเท่ากับเงินที่ลงทุนไปแล้วนับจำนวนปีดังกล่าวรวมกัน สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจจากเครื่องมือนี้จะยอมรับได้ก็ต่อเมื่อมีระยะเวลาคืนทุนสั้นกว่าเวลาที่กำหนดไว้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับหัวข้อวิจัยเรื่อง ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

การปรับสภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบ

วิทยากรณ์ (2561) ได้ทำการศึกษาการปรับสภาพฟางข้าวภายใต้สภาวะการปรับสภาพที่แตกต่างกัน ได้แก่ การปรับสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 5 10 และ 15% เป็นระยะเวลา 3 6 และ 12 days ที่อุณหภูมิห้อง และการปรับสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 5 10 และ 15% ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 °C เป็นระยะเวลา 2 hr รวมทั้งหมด 18 สภาวะ จากนั้นได้นำฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพทั้ง 18

สภาวะ มาศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนด้วยวิธี BMP พบว่า ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและ ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน อย่างไรก็ตาม พบว่า ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทั้ง 18 สภาวะ ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสะสม ตลอดระยะเวลา 30 day อยู่ระหว่าง 265–310 mL CH₄/g VS ซึ่งสูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพอย่างเห็นได้ชัด เจน 171 mL CH₄/g VS คิดเป็น 55.0–81.3% ทั้งนี้ฟางข้าวที่ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดคือ ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 5% เป็นระยะเวลา 12 days ที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ฟางข้าวที่มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดมากที่สุดคือ ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 10% เป็นระยะเวลา 6 hr ที่อุณหภูมิห้อง 72.4 mL CH₄/g VS รองลงมาคือ ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 5% เป็นระยะเวลา 12 days ที่อุณหภูมิห้อง 70.2 mL CH₄/g VS ส่วนฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดต่ำที่สุด 11.7 mL CH₄/g VS

เวสาริส และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพขุยมะพร้าว โดยวิธีการทางเคมีร่วมกับทางกายภาพ เพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยทำการเตรียมตัวอย่างขุยมะพร้าว นำไปบอบแห้งและลดขนาดประมาณ 0.1 mm วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง เริ่มต้น ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน 35.67, 7.41 และ 40.82% ตามลำดับ หลังจาก ที่ขุยมะพร้าวผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 4 วิธี พบว่า การปรับสภาพด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 30% ให้องค์ประกอบทางเคมีสูงสุด คิดเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน 43.30, 29.69 และ 27.36% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้น ($p < 0.05$) หลังจากนั้นศึกษา ศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับมูลวัว ในอัตราส่วน ต่าง ๆ กัน (1:1 1:2 1:3 และ 1:4) เป็นเวลา 30 days พบว่า ที่อัตราส่วน 1:4 มีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด เท่ากับ 442.6 ml มีแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่ 46.1 และ 23.1% ร้อยละการกำจัด (% remove) ของปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (SS) และซีโอดี (COD) คิดเป็น 69.3 32.5 50.0 และ 58.4% ตามลำดับ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 23:1 ดังนั้น ขุยมะพร้าวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่ามาประยุกต์ใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพโดยประยุกต์ใช้ ร่วมกับมูลวัว ซึ่งขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตแก๊สชีวภาพ อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้เพื่อเกิดประโยชน์ในอนาคต

Mancini G. et al (2018) งานวิจัยนี้ศึกษาผลการปรับสภาพทางเคมีของฟางข้าวสาลีก่อน การนำไปหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนซึ่งองค์ประกอบทางเคมีที่ถูกลดลงคือ ลิกนินเซลลูโลส โดยทดลองทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ 1. ปรับสภาพโดยตัวทำละลายสารอินทรีย์ N-methylmorpholine N-oxide (NMMO) ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 3 hr 2. การปรับสภาพด้วยวิธีการ Organosolv โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายสารอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 1 hr และวิธีที่ 3 ปรับ

สภาพด้วยอัลคาไลน์ (NaOH) ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 24 hr การปรับสภาพฟางข้าวทั้งหมดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยที่ปริมาณมีเทนที่ผลิตได้เท่ากับ 274 mL CH₄/g VS การปรับสภาพด้วย NMMO สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 11% และการปรับสภาพด้วย Organosolv และอัลคาไลน์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนได้ถึง 15% ซึ่งการปรับสภาพทั้งหมดจะส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวแตกต่างกัน โดยที่ NMMO ส่งผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตและลิกนินในวัตถุดิบเพียงเล็กน้อย ส่วน Organosolv ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบเอมิเซลลูโลสอย่างมาก ในขณะที่การปรับสภาพอัลคาไลน์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดเศษลิกนิน การปรับสภาพทางเคมีนอกจากจะช่วยเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนแล้ว ยังเพิ่มจลนศาสตร์ของการผลิตก๊าซมีเทนด้วย

กิตติยา (2560) ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพต้นธูปฤๅษีโดยวิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมีเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพคือ การปรับสภาพด้วยการนึ่ง, การปรับสภาพด้วยการนึ่งตามด้วยสารละลายต่าง และการปรับสภาพด้วย หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงร่วมกับสารละลายต่าง พบว่าต้นธูปฤๅษีที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพมีองค์ประกอบทางเคมีคือ เซลลูโลส เอมิเซลลูโลส และลิกนิน ได้แก่ 52.84%, 11.21% และ 13.05% ตามลำดับ เมื่อทำการปรับสภาพด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในห้องประกอบทางเคมีเหมาะสมคือ เซลลูโลส เอมิเซลลูโลส และ ลิกนิน คิดเป็น 59.07, 12.15 และ 11.52% โดยน้ำหนักตามลำดับ เมื่อศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักแบบกึ่งกะ เป็นระยะเวลา 39 days ที่อุณหภูมิ 32 °C โดยควบคุมปริมาตรรวมที่ใช้หมักเท่ากับ 0.25 L ที่ อัตราส่วนธูปฤๅษีต่อมูลวัว 1:3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20.75 โดยในตอนเริ่มต้นระบบสารอินทรีย์จะถูกแบ่งเติมในขวดรูปชมพู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 75, 50 และ 25% พบว่า ธูปฤๅษีที่ผ่านวิธีการปรับสภาพด้วย หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงร่วมกับสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ร่วมกับมูลวัวที่ถูกแบ่งเติม 25% ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดเท่ากับ 434.70 ml มีก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นองค์ประกอบคิดเป็น 48.74 และ 2.49% ตามลำดับ จากการศึกษาี้ แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพและการแบ่งเติมปริมาณสารอินทรีย์ที่เหมาะสมสามารถเพิ่มศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากต้นธูปฤๅษีในการผลิตก๊าซมีเทน

Liu T. et al (2019) งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการปรับสภาพของเหลวของฟางข้าวสาธิตด้วยวิธีหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการทางชีวภาพใช้ X-ray diffraction analysis (XRD) และ Fourier transform infrared spectroscopy ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักและโครงสร้างทางเคมีกายภาพของฟางข้าวสาธิตหลัง ซึ่งใช้ระยะเวลาการปรับสภาพที่แตกต่างกัน ได้แก่ 3, 5 และ 7 day จากผลการศึกษาพบว่าหลังจากการปรับสภาพที่ระยะเวลาการหมัก 5 day เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพได้

มากกว่า 39.76% และผลิตก๊าซมีเทนได้มากกว่า 49.58% และการหมักของเหลวของฟางข้าวสาเลื้อยใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการหมักแบบฟางข้าวสาเลื้อยปกติ ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพียง 35.71%

Dong L. et al. (2018) งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไล/ยูเรียที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจน โดยจะทำการปรับสภาพฟางข้าวทั้งแบบสารอัลคาไลที่มียูเรียและแบบที่ไม่มียูเรีย พบว่าการปรับสภาพโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับยูเรียที่อุณหภูมิ ตั้งแต่ -8°C ถึง -20°C สามารถทำลายโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้มากขึ้น เมื่อสังเกตโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์รวมการวิเคราะห์ FTIR จากนั้นเมื่อนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพเข้าสู่กระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีการ *Thermoanaerobacterium Thermosaccharolyticum* M18 สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ถึง 22.08 mmol/L ผลการทดลองพบว่าการปรับสภาพสามารถผลิตไฮโดรเจนมากขึ้นถึง 161.92% ในขณะที่ฟางข้าวที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพสามารถผลิตไฮโดรเจนได้เพียง 56.91% ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับสภาพฟางข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรียที่อุณหภูมิต่ำสามารถทำลายโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

McIntosh S. et al. (2010) งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการปรับสภาพ (อุณหภูมิเวลาและความเป็นด่าง) ในกระบวนการไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ของฟางข้าวฟาง หลังจากการปรับสภาพพบว่าปริมาณของแข็งและปริมาณลิกนินแปรผกผันกับกับค่าความเข้มข้นและการเพิ่มอุณหภูมิ ความเข้มข้นของอัลคาไลน์ถือเป็นเอนไซม์ที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายให้ได้น้ำตาลในปริมาณที่มากขึ้น โดยเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสภาพ 2% ที่อุณหภูมิ 121 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 60 min ให้ผลผลิตมากถึง 5.6 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}\text{C}$ ที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยอัลคาไลน์ ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ 4.3 เท่าของน้ำตาลทั้งหมด และที่การทดลองที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% ที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 90 min ซึ่งเป็นการเติม β -glucosidase และ xylanase ในการผสม Saccharification ช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและการผลิตน้ำตาลในขั้นสุดท้าย นอกจากนี้ยังลดปริมาณเซลลูโลสถึง 4 เท่าและให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายโครงสร้างที่ 90% และ 95% (w/w) ที่ 2.5 และ 5.0 FPU cellulase / g ตามลำดับ

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบการหมักร่วมในระบบการหมักไร้อากาศ

อัมพรรค์ (2560) ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียที่ได้จากการทำฟาร์มกุ้งและวัสดุหมักร่วมต่าง ๆ ด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบแบทช์ เป็นระยะเวลา 30 days ภายใต้การทดลองที่อุณหภูมิห้องและใช้ปริมาณสัดส่วนของเชื้อจุลินทรีย์และสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน 3:2, 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายของเสียที่ได้จากการทำฟาร์มกุ้งเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ให้ปริมาณผลผลิตของก๊าซชีวภาพ 0.21 0.34 และ 0.00 ml/g VS การย่อยสลายของเสียที่ได้จากการทำฟาร์มกุ้งร่วมกับฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุหมักร่วมให้

ปริมาณผลผลิตของก๊าซชีวภาพ 0.29 0.67 และ 1.11 ml/g VS ตามลำดับ การย่อยสลายของเสียที่ได้จากการทำฟาร์มกึ่งโดยใช้วัสดุหมักร่วมเป็นฟางข้าวแสดงปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนมากที่สุด คือ 53.71 ml CH₄/g VS ผลการศึกษาที่ได้ยังบ่งชี้ให้เห็นอีกด้วว่าการเพิ่มปริมาณสัดส่วนของเชื้อจุลินทรีย์และสารตั้งต้นนั้น จะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อปริมาณผลผลิตของก๊าซมีเทนที่มีสารตั้งต้นแตกต่างกัน

วิจิตรพร และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาผลของการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์โดยการย่อยสลายแบบ 2 ขั้นตอน ระบบถังหมักกรด 27.73 L และถังหมักก๊าซมีเทนปริมาณการหมัก 52.83 L ที่ระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 30 25 20 และ 15 days โดยคิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 9.66 9.83 10.00 และ 9.90 COD/L day โดยพบว่าการกำจัดค่าซีโอดีนั้นมีค่าอยู่ในระหว่าง 89.49–92.84% ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 78.63–82.76% ประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 84.67–90.34% ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 64.25–84.54% ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น 57.17 L/day ส่วนระยะเวลาเก็บกัก 20 days อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 10 g COD/L day โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 89.49% แต่มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นสูงสุด 57.17 L/day และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเท่ากับ 84.87%

กิตติยา (2559) ทำการศึกษาศักยภาพและการใช้ประโยชน์จากผักตบชวาที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่งเป็นเวลา 60 min เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักแบบกะ โดยควบคุมปริมาตรรวมที่ใช้หมักเท่ากับ 0.25 L ใช้ผักตบชวาร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 17.96:1 ที่อุณหภูมิ 33 °C เป็นเวลา 40 days ซึ่งพบว่าการปรับสภาพมีผลต่อโครงสร้างของผักตบชวาและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย โดยหลังการปรับสภาพพบว่ามี เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน คิดเป็น 41.61 16.27 และ 12.53% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 175.67 ml และ สูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพโดยมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 57.00 ml ในขณะที่การผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่ 30.87 และ 11.53% ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าสูงกว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่ง 25.40 และ 2.83% ตามลำดับ ร้อยละการกำจัดของปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (TVS) ของแข็งคงตัวทั้งหมด (TFS) ค่าซีโอดี และความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 40.24 45.44 27.11 63,502 และ 7.76 mg/L ตามลำดับ ซึ่งพบว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพในช่วง 15 วันแรกของการหมัก

การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

จุฑาภรณ์ (2560) ชั่งและเปลือกข้าวโพดถือเป็นวัสดุทางการเกษตรที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูงการเติมแหล่งคาร์บอนสูงในระบบการหมักแบบไร้อากาศร่วมกับน้ำเสียจากการเตรียมเบตดิ่งไส้เดือนที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง ทำให้ประสิทธิภาพการหมักและการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.989 ซึ่งถือว่าเป็นตัวแบบสมการที่มีความเหมาะสมต่อการทดลอง โดยพบว่า ณ สภาวะการหมักที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 12% ที่สัดส่วนการหมักเปลือกข้าวโพดต่อซึ่งข้าวโพดในอัตราร้อยละ 50:50 จะได้ศักยภาพการผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 26.91% องค์ประกอบมีเทนสูงสุดเท่ากับ 83% และเมื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยเครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่า โครงสร้างพื้นผิวถูกทำลายอย่างชัดเจนรวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวซึ่งและเปลือกข้าวโพด ซึ่งจากผลการทดลองสามารถยืนยันได้ว่า การใช้โปรแกรมพื้นผิวผลตอบสนอง RSM (Response Surface Methodology) แบบ CCD (Central Composite Design) สามารถใช้เป็นเครื่องมือเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมได้

พลกฤษณ์ (2557) ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว ด้วยวิธีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในกระบวนการย่อยสลายโดยวัตถุดิบหลักที่ใช้คือฟางข้าวหมักร่วมกับกากน้ำตาล และใช้ปุ๋ยยูเรียเพื่อปรับค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยมีการหมัก 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 ได้แก่ ฟางข้าว 3 kg และน้ำ 60 L ตัวอย่างที่ 2 ได้แก่ ฟางข้าว 3 kg น้ำ 60 L และกากน้ำตาล 2 L ตัวอย่างที่ 3 ได้แก่ ฟางข้าว 3 kg น้ำ 60 L และปุ๋ย ยูเรีย 1 kg ทุกตัวอย่างใช้เวลาในการหมัก 30 days ผลการทดลองพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การจุดติดไฟสูงสุดเท่ากับ 93% และแสดงถึงการผลิตก๊าซชีวภาพได้ด้วยวิธีอย่างง่าย

Sfez S. et al. (2017) ทำการศึกษาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลวัวร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและเศษอาหาร จะให้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพถือเป็นทางเลือกที่ช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ประเทศอินเดียต้องเผชิญ การหมักสามารถนำมาทำปุ๋ยสำหรับการเกษตร นอกจากนี้ยังเป็นการหลีกเลี่ยงการเผาฟางข้าวในทุ่งนาซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เป็นส่วนหนึ่งในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก การทำวิธีการนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของปุ๋ยทางการเกษตร แต่ยังคงประเมินความยั่งยืนในด้านสิ่งแวดล้อมของระบบดังกล่าว ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมีจากเหลือเพียง 0.1 และ 1.6% และเพิ่มการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็น 31% การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยเพิ่มคาร์บอนให้เกิดขึ้น ช่วยให้อุดมสมบูรณ์ จากการศึกษาพบว่าสามารถลดผลกระทบด้านสุขภาพแก่ประชากรในท้องถิ่น 48% อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของระบบ 60% และลดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศได้ถึง 13%

ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (BMP)

นิลวรรณ และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของหญ้าเนเปียร์พันธุ์แคระ ทั้งหญ้าสดและหญ้าที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นด้วย สารละลายต่าง เพื่อให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้เป็นพืชพลังงานทางเลือกในอนาคต โดยทำการปรับสภาพทางกายภาพด้วยการนำมาบดเพื่อลดขนาดประมาณ 2 mm จากนั้นทำการการปรับสภาพเบื้องต้นใช้สารละลายต่าง 2 ชนิด คือ สารละลายโซดาไฟและน้ำปูนขาวความเข้มข้น 1% (w/v) ด้วยเวลา 1 และ 2 hr ทุกการทดลองกระทำที่อุณหภูมิ 27 °C และความดันบรรยากาศ 1 atm พบว่า หญ้าเนเปียร์พันธุ์แคระที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีมีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ที่ 0.181 และ 0.273 m³ /kg VS added ตามลำดับ เมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยการแช่สารละลายโซดาไฟเข้มข้น 1% (w/v) นาน 1 hr คิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นถึง 30% สำหรับการปรับสภาพด้วยน้ำปูนขาวให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองหญ้าสด

รุ่งทิวา และคณะ (2555) ทำการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential, BMP) จากการหมักร่วมของมูลสุกรและหญ้าเนเปียร์ เพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือก โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วน 4:6, 5:5 และ 6:4 ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ 15 L ทำการทดลองระดับนำร่อง (Pilot Scale) ในถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ที่อุณหภูมิ 37±1°C ควบคุมการกวนที่ 60 rpm และใช้ระยะเวลาในการหมัก 23 days จากผลการทดลอง พบว่าอัตราส่วนมูลสุกรต่อหญ้าเนเปียร์หมัก 4:6, 5:5 และ 6:4 ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนที่ 0.38, 0.36 และ 0.35 m³ CH₄ /kg VS added ตามลำดับ มีศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทน 51.76-54.38% นอกจากนี้ที่อัตราส่วนมูลสุกรต่อหญ้าเนเปียร์หมัก 4:6 ให้พลังงานทั้งหมด 943 kW/ton_{sample} แบ่งออกเป็นให้พลังงานความร้อนที่ 472 kW และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 330 kW

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ขั้นตอนและการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

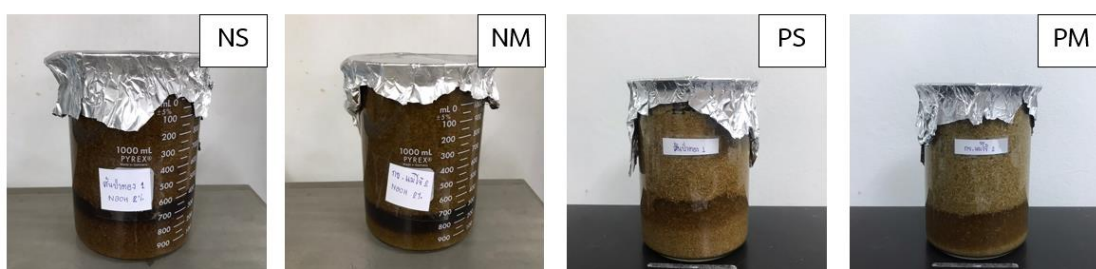
การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 วัสดุเหลือทิ้งของฟางข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 และส่วนที่ 2 หัวเชื้อมูลวัว โดยรายละเอียดต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

การเตรียมวัสดุเหลือทิ้งของฟางข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2

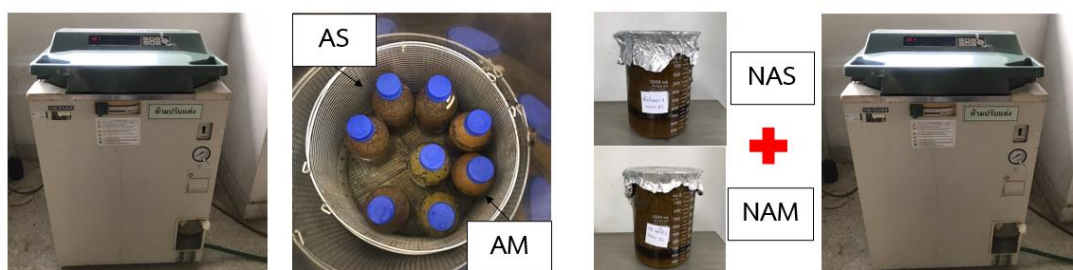
นำฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 มาปรับสภาพเบื้องต้นด้วยกระบวนการปรับสภาพเชิงกลผ่านการบดย่อยด้วยเครื่องบดย่อยทางการเกษตรให้ได้ขนาดของวัสดุหมักประมาณ 1-5 mm เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับจุลินทรีย์ในการย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นนำวัสดุหมักที่ได้ผ่านกระบวนการปรับสภาพเชิงกลไปปรับสภาพด้วยวิธีการ 4 แบบ คือ วิธีที่ 1 แบบต่าง NaOH 2% (w/v) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 3 hr จากนั้นนำไปล้างเพื่อให้ pH เป็นกลาง จะใช้สัญลักษณ์เป็น NS (NaOH 2%, SAN-PAH-TAWNG 1) ดังแสดงในภาพที่ 9 (ก) และ NM (NaOH 2%, RD-MJU 2) วิธีที่ 2 แบบการหมักกรด (Pre-acidification) คือ การปรับสภาพให้วัสดุหมักเกิดกระบวนการหมักกรดอ่อน โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 72 hr ที่อุณหภูมิห้อง จะใช้สัญลักษณ์เป็น PS (Pre-acidification, SAN-PAH-TAWNG 1) และ PM (Pre-acidification, RD-MJU 2) ดังแสดงในภาพที่ 9 (ข) วิธีที่ 3 แบบความร้อนทำการปรับสภาพด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 20 min จะใช้สัญลักษณ์เป็น AS (Autoclave, SAN-PAH-TAWNG 1) และ AM (Autoclave, RD-MJU 2) ดังแสดงในภาพที่ 9 (ค) และวิธีที่ 4 แบบผสมผสาน คือ ปรับสภาพด้วย NaOH 2% (w/v) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 hr จากนั้นกรองเอาส่วนของแข็งออก ไปล้างเพื่อให้ pH เป็นกลาง และนำไปปรับสภาพความร้อนด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 20 min จะใช้สัญลักษณ์เป็น NAS (NaOH 2%+Autoclave, SAN-PAH-TAWNG 1) และ NAM (NaOH 2%+Autoclave, RD-MJU 2) ดัง

แสดงในภาพที่ 9 (ง) จากนั้นนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพทั้ง 4 วิธี ไปอบที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 48 hr เก็บวัสดุหมักใส่ถุง ปิดให้สนิท จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 จะมีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS) และปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (Volatile Solids, VS) โดยมีการทดลองซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยจากผลการวิเคราะห์



(ก) วิธีที่ 1 แบบต่าง NaOH 2%

(ข) วิธีที่ 2 แบบ Pre-acidification



(ค) วิธีที่ 3 แบบความร้อนด้วยเครื่อง Autoclave (ง) วิธีที่ 4 แบบผสมผสาน คือ NaOH+ความร้อน

ภาพที่ 9 การปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2

การเตรียมหัวเชื้อมูลวัว

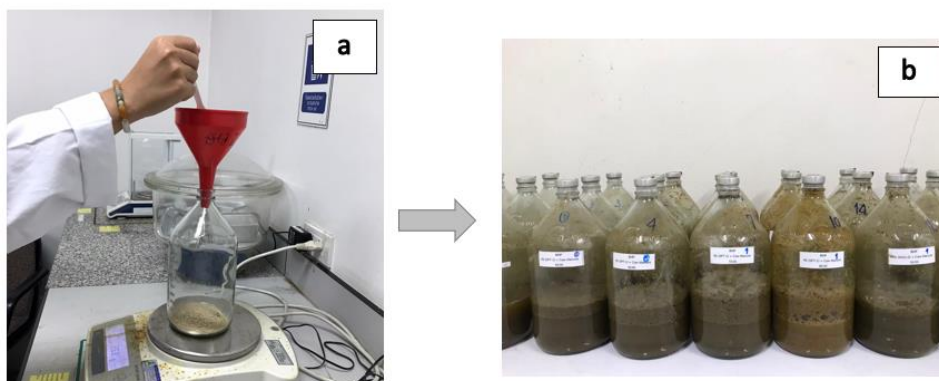
หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ มูลวัว จากเชียงใหม่เฟรชมิลค์ฟาร์ม อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน นำหัวเชื้อมูลวัวมาแยกเศษวัสดุอื่น ๆ ที่ติดมากับหัวเชื้อมูลวัวออกก่อน และทำการบดตัวหัวเชื้อเพื่อให้มีลักษณะละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีการผสมหัวเชื้อมูลวัวและน้ำที่อัตราส่วน 1:2 จากนั้นนำหัวเชื้อมูลวัวที่ผ่านการผสมแล้วมาทำการหมักในถังหมักชีวภาพขนาด 20 L ก่อนนำหัวเชื้อไปใช้งาน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะการหมักย่อยแบบไร้อากาศ เมื่อผ่านกระบวนการหมักแล้วสังเกตเห็นปริมาณของก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น จึงจะนำหัวเชื้อมาใช้งานได้ โดยระยะเวลาการเตรียมหัวเชื้อจะมีระยะเวลาประมาณ 1 week ดังแสดงในภาพที่ 10 จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบของหัวเชื้อ ได้แก่ ค่า pH, TS, VS, ปริมาณค่าความเป็นด่าง (Alkalinity, ALK) และปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatiles Fatty Acid, VFA)



ภาพที่ 10 หัวเชื้อมูลวัว

การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับ หัวเชื้อมูลวัว

สำหรับวิธีศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว ซึ่งระบบจะทำการควบคุมอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เท่ากับ 1:2 โดยใช้ขวดที่ปริมาตรทั้งหมด เท่ากับ 1,000 mL และปริมาตรการใช้งาน เท่ากับ 400 mL แสดงดังภาพที่ 11 a โดยใช้วัตถุดิบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและวัตถุดิบที่ผ่านการปรับสภาพแล้วทั้ง 4 วิธี ได้แก่ แบบต่าง NaOH 2%, แบบหมักกรด, แบบความร้อน และแบบผสมผสาน เมื่อทำการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ระบบแล้วจากนั้นปรับค่า pH ของระบบให้อยู่ในช่วง 7.0-7.5 และทำการปิดฝาขวดให้สนิท โดยไม่มีการเปิดฝาจวนจนจบกระบวนการหมัก ทำการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพในสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศ การป้อนสารอินทรีย์แบบครั้งเดียว (Batch Fermentation) โดยระบบมีการควบคุมอุณหภูมิโดยกระบวนการเขย่า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นำขวดการทดลองตั้งทิ้งไว้ในห้อง 35 ± 2 °C แสดงดังภาพที่ 11 b เพื่อให้อุณหภูมิภายในขวดปฏิกิริยาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของหัวเชื้อ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 45 days โดยมีแผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว แสดงดังภาพที่ 12

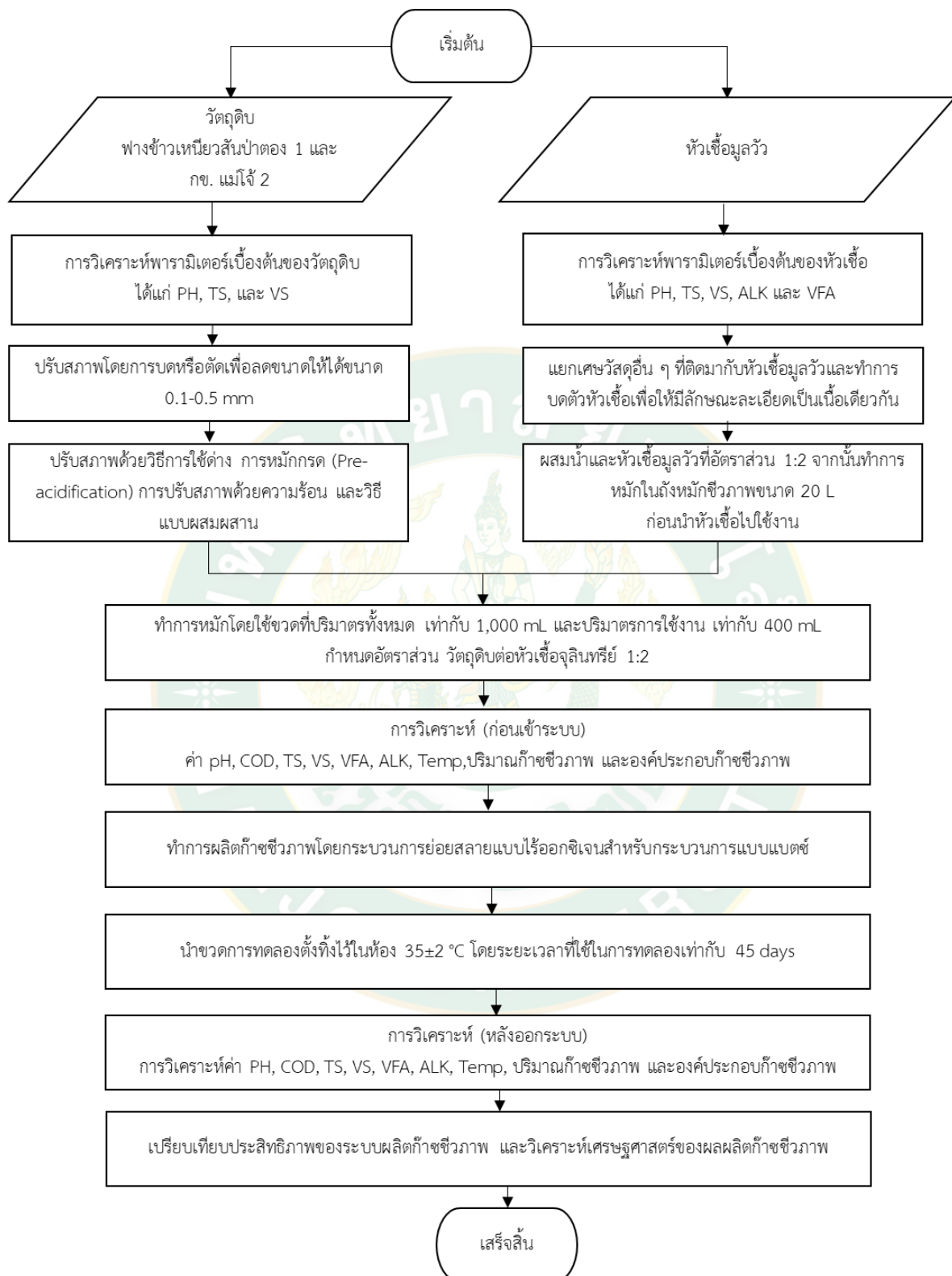


ภาพที่ 11 การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัว
เชื้อมูลวัว

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว จะทำการวิเคราะห์ซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยจากผลการวิเคราะห์ ซึ่งจะมีวิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว

พารามิเตอร์	หน่วย
pH	-
TS	mg/g
VS	mg/g
ALK	mg CaCO ₃ /L
VFA	mg CH ₃ COOH/L
COD	mg/L
Biogas Volume	L
Biogas Composition	%



ภาพที่ 12 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ

การวิเคราะห์ศักยภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2

นำข้อมูลเชิงพื้นที่มาทำการคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทางทฤษฎี โดยมีรูปแบบและแนวคิดการวิเคราะห์ดังนี้ แสดงดังภาพที่ 13

1. นำพื้นที่เพาะปลูกข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 (ศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่, 2563) และกข. แม่โจ้ 2 มาทำการวิเคราะห์ปริมาณการเกิดฟางข้าว แต่เนื่องจากฟางข้าวสายพันธุ์กข. แม่โจ้ 2 เป็นพันธุ์ที่ค่อนข้างใหม่ ซึ่งยังไม่มีข้อมูลจึงได้กำหนดพื้นที่เพาะปลูกขึ้นมาจำนวน 500 rai โดยมีการอ้างอิงข้อมูลเมล็ดพันธุ์จำหน่ายจากหน่วยความเป็นเลิศด้านการวิจัยและพัฒนาการปรับปรุงพันธุ์ข้าว คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้มีการจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียวสายพันธุ์กข. แม่โจ้ 2 ออกไปจากนั้นทำการคำนวณโดยคิดจากสัดส่วนปริมาณการเกิดฟางข้าวเท่ากับ 650 kg/rai และคำนวณปริมาณฟางข้าวที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์โดยคิดเป็น 50% ต่อหนึ่งไร่คิดในหน่วย kg/rai (บัณฑิต มงคล, 2556)

2. นำข้อมูลปริมาณฟางข้าวที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ (kg/rai) มาทำการวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยที่การวิเคราะห์ค่าของการเกิดก๊าซชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น โดยศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 จะมีค่าเท่ากับ 671 และ 659 m^3/ton_{sample} ตามลำดับ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ร่วมกับพื้นที่ศึกษาทั้งหมด จะทำให้ทราบถึงศักยภาพของก๊าซชีวภาพทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา

3. โดยศักยภาพของก๊าซชีวภาพ 1 m^3 ที่มีองค์ประกอบมีเทน 60 % จะเทียบเท่าการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 1.2 kWh (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) และเมื่อนำปัจจัยการเทียบเท่าการผลิตไฟฟ้ามาวิเคราะห์ร่วมกับศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด จะทำให้ได้พลังงานก๊าซชีวภาพเทียบเท่าไฟฟ้าทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา

4. วิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของผลผลิตก๊าซชีวภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 โดยในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (PB)



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

สำหรับการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว สามารถแบ่งหัวข้อการวิเคราะห์ผลการทดลองเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว
2. ผลการวิเคราะห์การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว
3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 เหลือทิ้งในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว มีการใช้วัตถุดิบหลักแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ดังแสดงในตารางที่ 5 และส่วนที่ 2 หัวเชื้อมูลวัว ดังแสดงในตารางที่ 6 มีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 5 คุณลักษณะของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2

ชนิดของฟางข้าว	พารามิเตอร์		
	TS, mg/kg	VS, mg/kg	VS/TS ratio
US	909,450	796,150	0.88
NS	957,700	881,900	0.92
PS	949,450	840,100	0.88
AS	999,100	893,850	0.89
NAS	984,600	911,850	0.93
UM	911,100	812,800	0.89
NM	936,300	876,100	0.94
PM	963,350	879,350	0.91
AM	983,300	898,700	0.91

ชนิดของฟางข้าว	พารามิเตอร์		
	TS, mg/kg	VS, mg/kg	VS/TS ratio
NAM	984,950	927,750	0.94

การวิเคราะห์ค่าทางเคมีของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยวิธีการ 4 แบบ คือ 1. ต่าง NaOH 2% NS (NaOH 2%, SAN-PAH-TAWNG 1) และ NM (NaOH 2%, RD-MJU 2), 2. แบบหมักกรด PS (Pre-acidification, SAN-PAH-TAWNG 1) และ PM (Pre-acidification, RD-MJU 2), 3. แบบความร้อน AS (Autoclave, SAN-PAH-TAWNG 1) และ AM (Autoclave, RD-MJU 2) และ 4. แบบผสมผสาน NAS (NaOH 2%+Autoclave, SAN-PAH-TAWNG 1) และ NAM (NaOH 2%+Autoclave, RD-MJU 2) จากตารางที่ 5 ส่วนที่ 1 ค่า TS ของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ให้ค่าอยู่ในช่วง 90.95-99.91% และ ค่า TS ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 ให้ค่าอยู่ในช่วง 91.11-98.49% ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ (วิทยากรณ์, 2561) ที่พบว่าฟางข้าวมีปริมาณ TS อยู่ในช่วง 89.68-95.10% และในงานวิจัยยังได้พิจารณาถึงฟางข้าวแต่ละสายพันธุ์พบว่าปริมาณ TS ในฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยฟางข้าวจากข้าวญี่ปุ่นมีปริมาณ TS เท่ากับ 91.4% แต่มีปริมาณน้อยกว่าฟางข้าวที่เก็บจากจีนมีปริมาณ TS 97.3% และปริมาณ TS ในฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่สภาวะต่าง ๆ พบว่า ส่วนใหญ่มีปริมาณ TS ใกล้เคียงหรือมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ส่วนที่ 2 ค่า VS ของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ให้ค่าอยู่ในช่วง 79.69-91.19% และค่า VS ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 ให้ค่าอยู่ในช่วง 81.28-92.78% ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงเดียวกันกับงานวิจัยของ (Chayanon et al, 2018) มีค่าเท่ากับ 92.30% และงานวิจัยของ (วิทยากรณ์, 2561) อยู่ในช่วง 82.57-86.67% และส่วนที่ 3 ค่า VS/TS ratio ในวิธีที่ 1 แบบต่าง มีค่าเท่ากับ 0.92, 0.94 ตามลำดับ กระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบจะกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านกายภาพ คือ เป็นการลดปริมาณของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลสและเพิ่มความพรุนให้กับวัตถุดิบ เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการนำสารอินทรีย์ไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพได้ง่ายยิ่งขึ้น (รัชพล, 2558) วิธีที่ 2 แบบการหมักกรด มีค่าเท่ากับ 0.88, 0.91 ตามลำดับ กระบวนการดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงสารชีวโมเลกุลของวัตถุดิบให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็กด้วยวิธีการทางธรรมชาติ อีกทั้งยังช่วยลดขั้นตอนของการสร้างกรดอินทรีย์ให้สั้นลง เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยกระบวนการดังกล่าวไม่มีการใช้จุลินทรีย์เร่งปฏิกิริยาหรือใช้สารเคมีใด ๆ จึงช่วยให้ต้นทุนในการผลิตลดลง (Michel et al, 2017) วิธีที่ 3 แบบความร้อน มีค่าเท่ากับ 0.89, 0.91 ตามลำดับ ขั้นตอนนี้

เป็นการปรับสภาพวัตถุดิบเพื่อทำลายเนื้อเยื่อของเซลลูโลส โดยทั่วไปจะใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 121-132 °C แรงดันอากาศของไอน้ำที่ประมาณ 15 psi โดยใช้ระยะเวลาหนึ่ง 15-20 min (ปิยะนุช, 2557) เพื่อช่วยให้การย่อยมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น วิธีที่ 4 แบบผสมผสาน มีค่าเท่ากับ 0.93, 0.94 ตามลำดับ ขั้นตอนนี้เป็น การปรับสภาพแบบต่างร่วมกับความร้อนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง พบว่าลักษณะโครงสร้างของเส้นใยจะปรากฏชัดเจนมากขึ้น และยังทำให้โครงสร้างเปิดออก ช่วยกำจัดลิกนินได้ง่ายและไม่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูญเสียไป (Ratchapol P., 2011) โดยพบว่าอัตราส่วน VS/TS Ratio ดังกล่าวของฟางข้าวทั้งสองสายพันธุ์เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยค่า VS/TS Ratio ควรอยู่ในช่วง 0.69-0.95 โดยให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ 0.95 (Aditi D. et al, 2018) และพบว่าการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานให้ผลดีที่สุด คือ 0.94 ฟางข้าว โดยทั่วไปจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ เนื่องจากเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่เหมาะสมเป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ในทฤษฎีข้างต้น (วิภาดา และนุชรา, 2556)

ตารางที่ 6 คุณลักษณะของหัวเชื้อมูลวัว

พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณ
pH	-	7.16
Temp	°C	30.1
Total solids (TS)	mg/kg	43,395
Volatile solids (VS)	mg/kg	35,700
VS/TS ratio	-	0.823
Alkalinity (ALK)	mg CaCO ₃ /L	6,276
Volatile fatty acid (VFA)	mg CH ₃ COOH/L	2,982
VFA/ALK ratio	mg CH ₃ COOH/ mg CaCO ₃	0.4

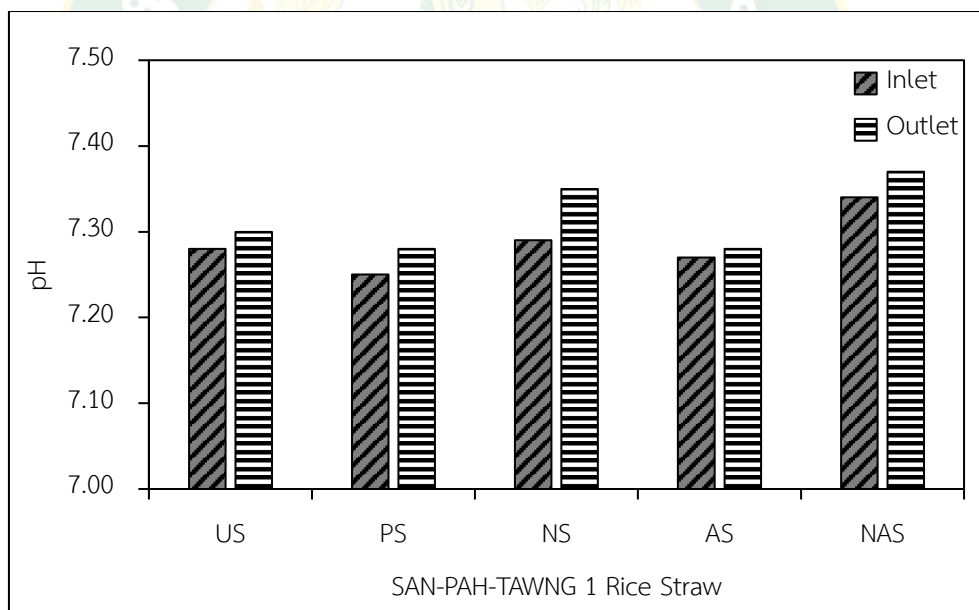
จากตารางที่ 6 การวิเคราะห์ค่าทางเคมีของหัวเชื้อมูลวัว ประกอบไปด้วยค่า pH มีค่าเท่ากับ 7.16 ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Amornpan T. et al., 2020) ที่พบว่าค่า pH ของหัวเชื้อมูลวัวมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันที่ 7.12 ค่า pH มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในสภาวะไร้อากาศค่า pH มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบที่ต้องรักษาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 6.5-7.5 และค่า TS และ VS เท่ากับ 43,395 mg/kg, 35,700 mg/kg ตามลำดับ VS/TS Ratio ของมูลวัวเท่ากับ 0.823 (Aditi D.

et al., 2018) VFA/ALK Ratio เท่ากับ 0.4 และพบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ สิ่งนี้บ่งชี้ว่าระบบมีบัฟเฟอร์สูงเพียงพอเมื่อเทียบกับกรดที่มีอยู่ จำนวน VFA/ALK Ratio ไม่ควรเกิน 0.4 (ชิตชนก, 2554)

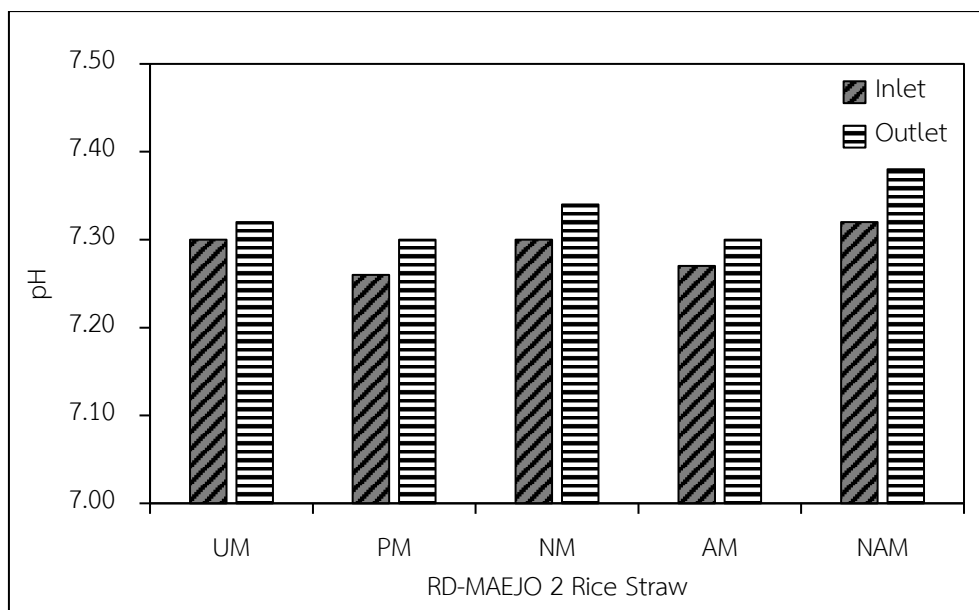
ผลการวิเคราะห์การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว

ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ

ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน โดยค่า pH จะแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำเสีย ซึ่งค่า pH มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบที่ต้องรักษาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 6.5-7.5 (ลลิตา, 2559) โดยภายในระบบของการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัวมีผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 14 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในระบบก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1



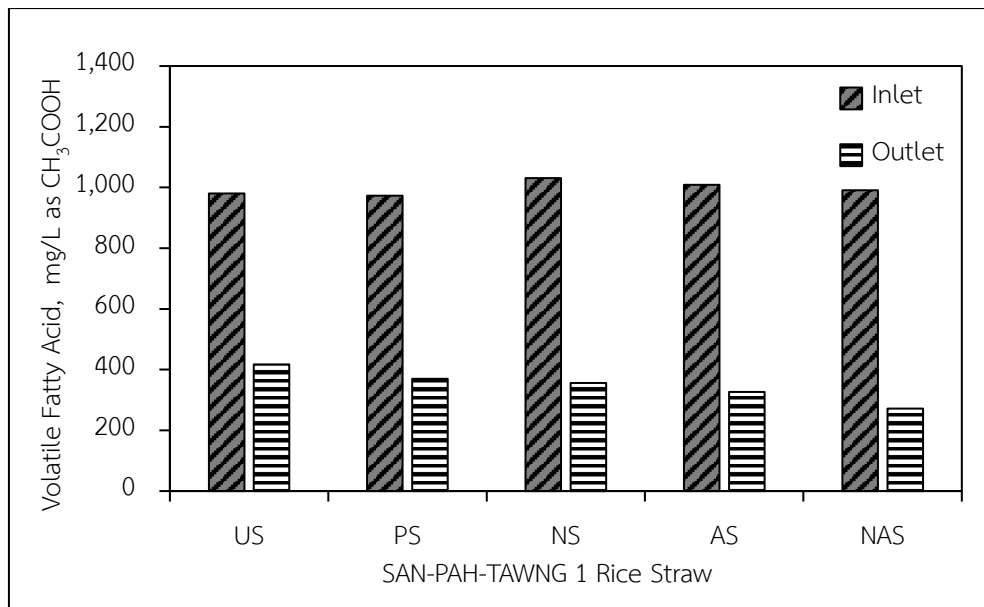
ภาพที่ 15 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในระบบก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่ใจ 2

จากภาพที่ 14 ค่า pH การผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวร่วมกับหัวเชื้อมูลวัวโดยมีการปรับสภาพที่แตกต่างกัน จากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ให้ค่าอยู่ในช่วง 7.24-7.34 และจากภาพที่ 15 ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่ใจ 2 ให้ค่าอยู่ในช่วง 7.26-7.32 พบว่าการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานและการปรับสภาพด้วยต่าง NaOH 2% มีค่าความเป็นด่างสูงกว่าการปรับสภาพด้วยวิธีการหมักกรดและความร้อน เป็นผลมาจากวัตถุดิบเริ่มต้นฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างอยู่แล้ว จากนั้นนำมาผสมกับหัวเชื้อมูลวัวที่มีค่า pH เริ่มต้น 7.16 ส่งผลให้เอนไซม์ในจุลินทรีย์สามารถเข้าถึงการย่อยสลายวัสดุลิกโนเซลลูโลสได้ง่าย และยังกล่าวได้ว่าการปรับสภาพด้วย NaOH เป็นต่างที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการปรับสภาพในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ ช่วยในการย่อยสลายลิกนินโดยการแตกโครงสร้างและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลสซึ่งเป็นกลไกในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) (Shrestha B. et al., 2020) โดยในกระบวนการไฮโดรไลซิสซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้อยู่ในรูปที่ไม่ซับซ้อนและสามารถละลายได้ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน และกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) มีสารตั้งต้นโดยตรงของมีเทน (Direct methane precursors) ได้แก่ กรดอะซิติก (Acetic acid) และก๊าซไฮโดรเจน (คชาพล และฐนียา, 2563) ซึ่งในกระบวนการเหล่านี้ส่งผลให้ pH ภายในระบบช่วงแรกนั้นมีการลดลง เพราะเกิดกรดชนิดต่าง ๆ ภายในระบบขึ้น และหลังจากนั้นในช่วงท้ายกระบวนการหมักจะมีการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสลายแอมโมเนียหรือเอมีนออกมา จึงส่งผลทำให้ค่า pH_{Outlet} ในระบบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม

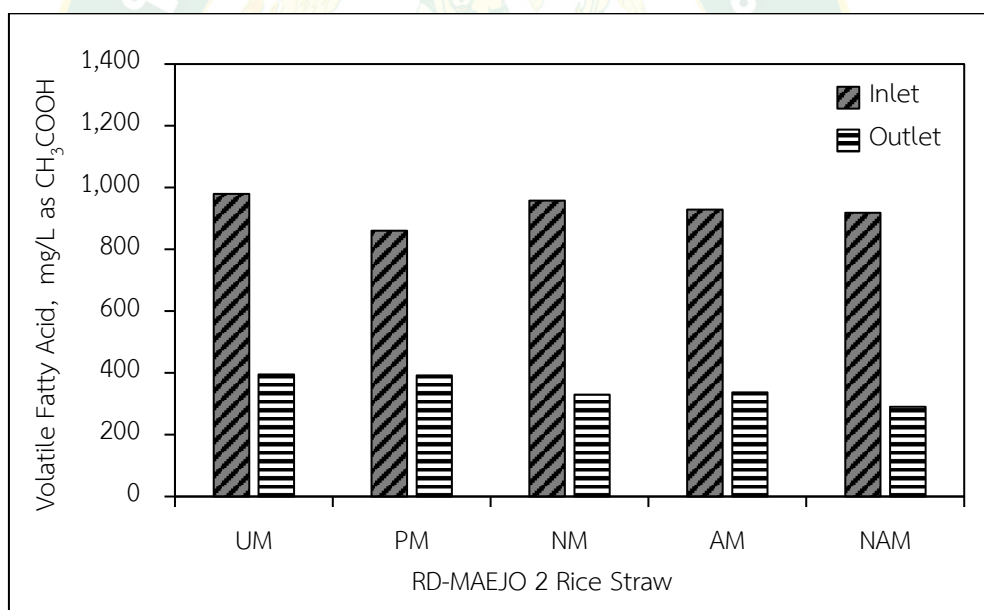
ตามฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์พบว่ามีความเหมาะสมและแสดงให้เห็นถึงความเสถียรในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งค่า pH มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบที่ต้องรักษาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 6.5-7.5 ซึ่งแบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างกรดจะสามารถเจริญได้ดีในช่วง pH ต่ำประมาณ 4.0-6.0 ส่วนแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนจะเจริญได้ดีในช่วง pH ที่สูงควรมีค่าประมาณ 6.5-7.5 (ชิตชนก, 2554) ซึ่งการตรวจวัดค่า pH ภายในระบบสามารถบอกถึงเสถียรภาพของระบบไร้อากาศได้ เช่น มีความเป็นกรดแสดงว่าอาจเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายภายในระบบทำให้ค่าความเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนได้ (สุรพงศ์, 2553)

กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) และค่าความเป็นด่าง (ALK) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ

ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) คือ สารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น โพรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ถูกแบคทีเรียย่อยสลายเป็นกรดอินทรีย์ โมเลกุลเล็ก ๆ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก และกรดวาเลริก (ฐปน, 2560) แล้วจึงถูกแบคทีเรียพวกสร้างมีเทนย่อยสลายกลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ (ชิตชนก, 2554) และส่วนของค่าความเป็นด่าง (ALK) คือ ความเป็นด่างในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะซึ่งไร้อากาศ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต บ่งบอกถึงความสามารถของน้ำหรือของเหลวในการรับโปรตอนที่เกิดมาจากการทำปฏิกิริยาของระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) ความเป็นด่างนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงบัฟเฟอร์ที่ดีให้แก่ระบบที่จะควบคุม pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ VFA และ ALK ภายในระบบของการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัวมีผลดังต่อไปนี้



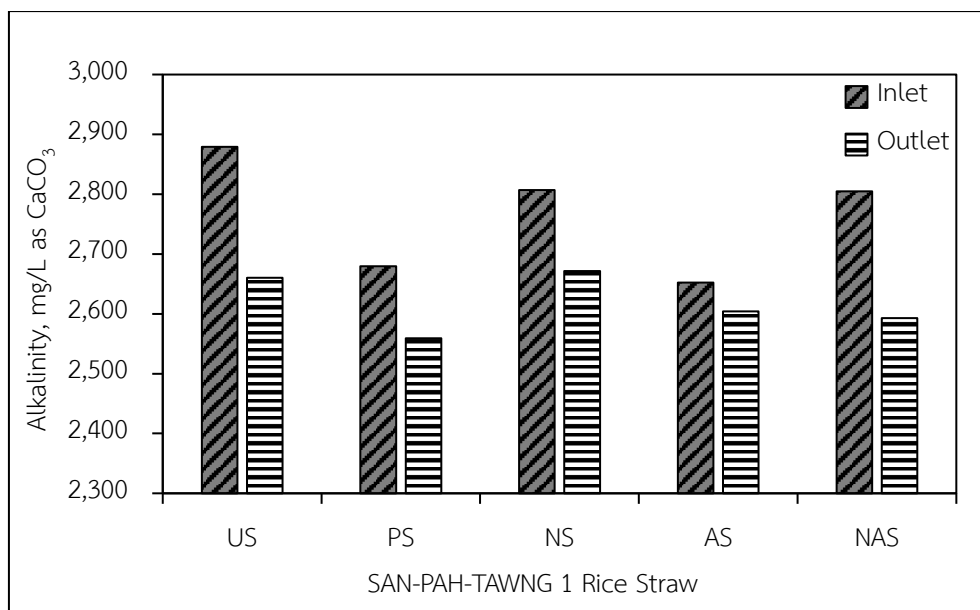
ภาพที่ 16 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ในการผลิตก๊าซชีวภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1



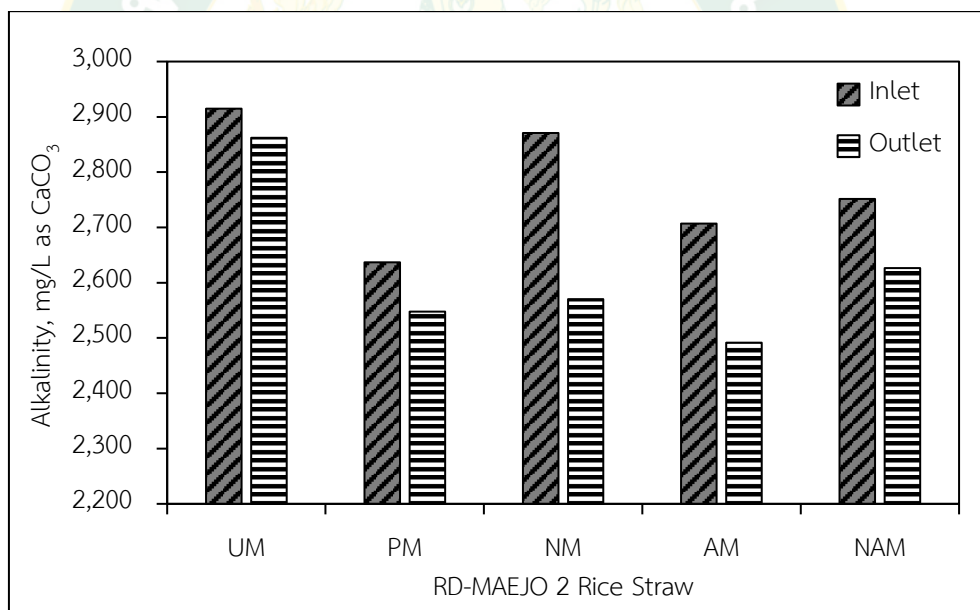
ภาพที่ 17 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ในการผลิตก๊าซชีวภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2

จากภาพที่ 16 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ภายในระบบของการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว โดยมีการปรับสภาพที่แตกต่างกัน มีค่าก่อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 973-1,031 mg/L as CH₃COOH และมีค่าหลังออกระบบเท่ากับ 272-417 mg/L as CH₃COOH และจากภาพที่ 17 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ภายในระบบของการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว โดยมีการปรับสภาพที่แตกต่างกัน

กัน มีค่าก่อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 860-980 mg/L as CH₃COOH และมีค่าหลังออกระบบเท่ากับ 290-396 mg/L as CH₃COOH พบว่าค่า VFA ก่อนเข้าระบบของฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อกรดของค่า pH ภายในระบบ และจากภาพที่ 17-18 พบว่าค่า VFA หลังออกระบบน้อยกว่าก่อนเข้าระบบ ซึ่งแสดงถึงปริมาณกรดที่สะสมภายในระบบและกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ดี แล้วจึงถูกแบคทีเรียพวกสร้างมีเทนย่อยสลายกลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสาน การปรับสภาพด้วยต่าง และการปรับสภาพด้วยความร้อนมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าการปรับสภาพด้วยการหมักกรดและการไม่ปรับสภาพ ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Gabriele M. et al., (2018) ที่มีการปรับสภาพฟางข้าวสาลีโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ค่า VFA สูงที่สุด โดยพบว่ากรดอะซิติกและโพรพิโอนิกเป็น VFA หลักที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ BMP ซึ่งบ่งชี้ว่าการปรับสภาพมีผลโดยตรงกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเมื่อปรับสภาพด้วย NaOH อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งส่งผลให้ความเป็นกรดและ VFA ในตัวอย่างลดลง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าการปรับสภาพด้วยความร้อนส่งผลให้ปริมาณของ VFA ลดลงเช่นเดียวกัน (Htay A P., 2019) ซึ่งฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีผลที่สอดคล้องและอยู่ในช่วงเดียวกัน อย่างไรก็ตามการปรับสภาพทั้ง 4 วิธี ของฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ในกระบวนการย่อยสลายอยู่ในสภาวะที่สมดุลและมีเสถียรภาพดี ซึ่งกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะบอกถึงความสมดุลในการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายกับจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (ชุตินา, 2560) หากพบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีมากเกินไปจะเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ ซึ่งปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบควรมีค่าไม่เกิน 2,000 mg/L as CH₃COOH (ชนกพร, 2555)



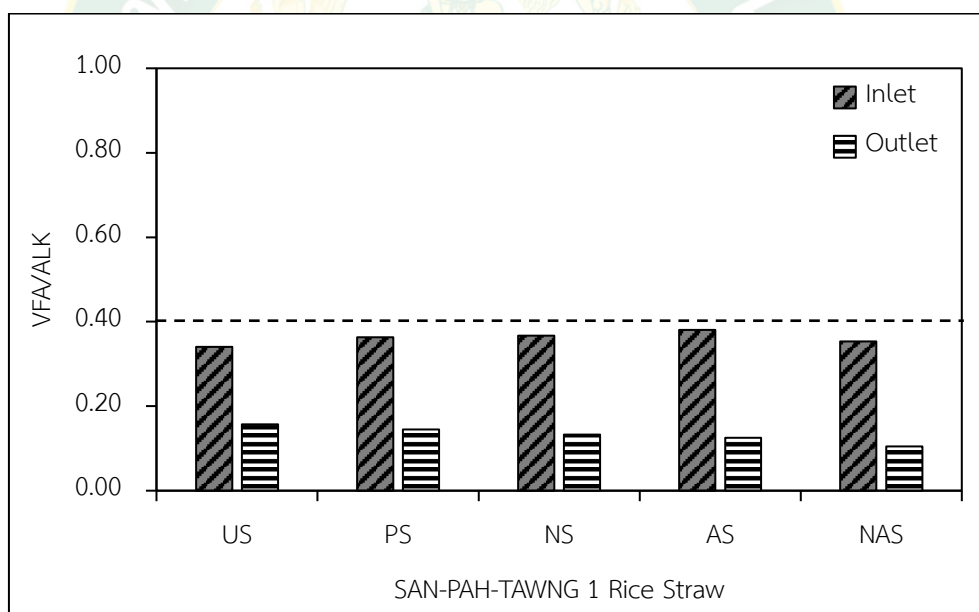
ภาพที่ 18 ค่าความเป็นด่าง (ALK) ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1



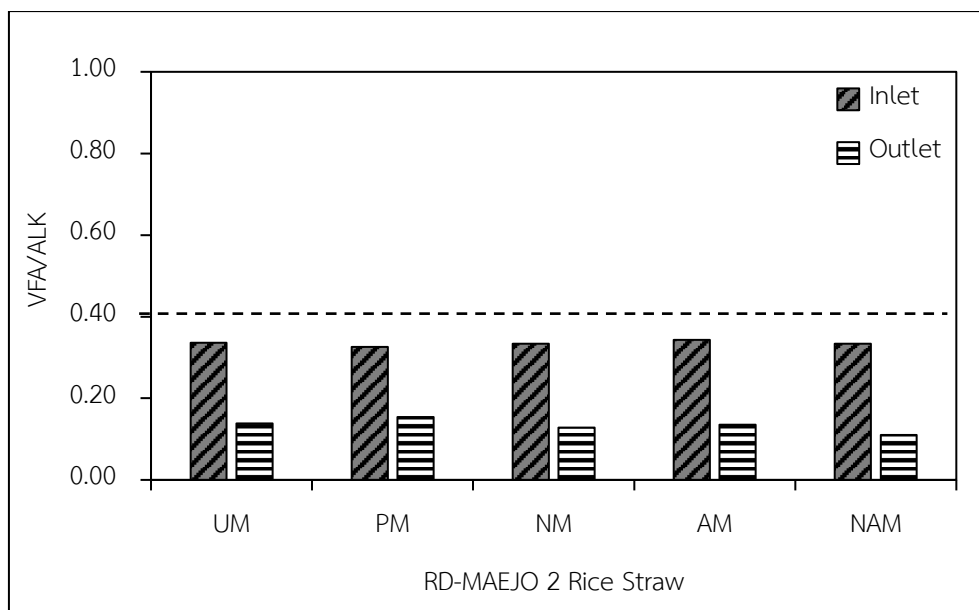
ภาพที่ 19 ค่าความเป็นด่าง (ALK) ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2

จากภาพที่ 18 ค่าความเป็นด่าง (ALK) ภายในระบบของการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว โดยมีการปรับสภาพที่แตกต่างกัน มีค่าก่อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 2,652-2,879 mg/L as CaCO₃ และมีค่าหลังออกระบบอยู่ในช่วง 2,559-2,671 mg/L as CaCO₃ และจากภาพที่ 19 ค่าความเป็นด่าง (ALK) ภายในระบบของการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว โดยมีการปรับสภาพที่แตกต่างกัน มีค่าก่อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 2,607-2,915 mg/L as CaCO₃ และมีค่าหลังออกระบบอยู่ในช่วง 2,492-

2,862 mg/L as CaCO₃ และจากภาพที่ 19-20 พบว่าค่า ALK หลังออกระบบน้อยกว่าก่อนเข้าระบบ เนื่องจากในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดการสร้างกรด ส่งผลให้ค่า ALK หลังออกระบบลดลง ซึ่งการปรับสภาพด้วยวิธีแบบผสมผสาน ปรับสภาพด้วยต่าง และไม่ผ่านการปรับสภาพ มีค่าความเป็นต่างสูงกว่าการปรับสภาพด้วยวิธีทางความร้อนและการหมักกรดมีความสอดคล้องกับค่า pH ของระบบที่มีค่าความเป็นต่างสูงกว่า ซึ่งค่าความเป็นต่างนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงบัฟเฟอร์ที่ดีให้แก่ระบบที่จะควบคุม pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ค่าความเป็นต่างในระบบย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศจะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต (ปฏิรูป ผลจันทร์ และคณะ, 2557) อย่างไรก็ตามฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ในการปรับสภาพแต่ละวิธีแสดงค่าความเป็นต่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 2,000–3,000 mg/L as CaCO₃ (ชุดิมา, 2560) ซึ่งค่าความเป็นต่างเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการต้านการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของของเสียในระบบ



ภาพที่ 20 ค่า VFA/ALK ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1

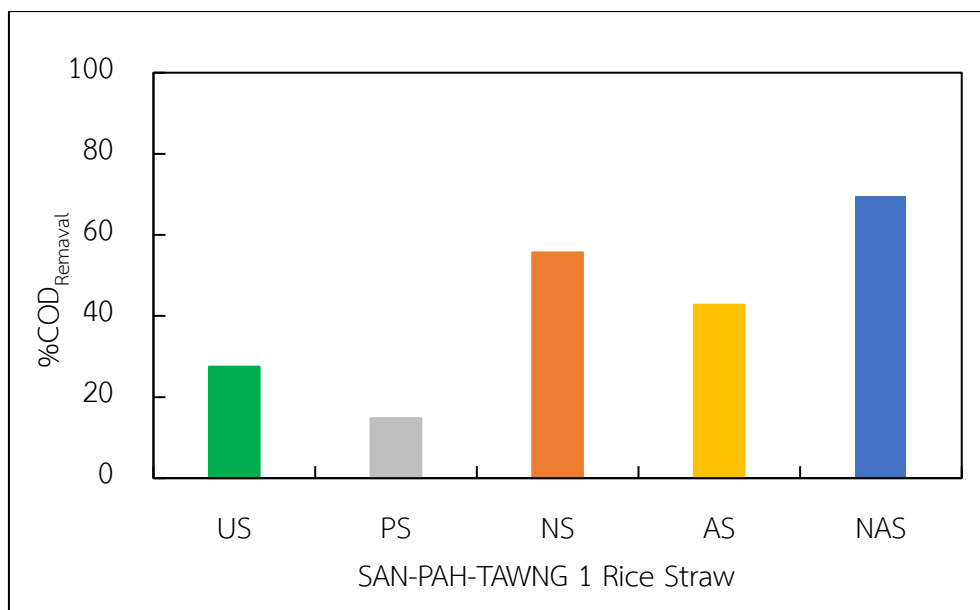


ภาพที่ 21 ค่า VFA/ALK ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กช.แม่โจ้ 2

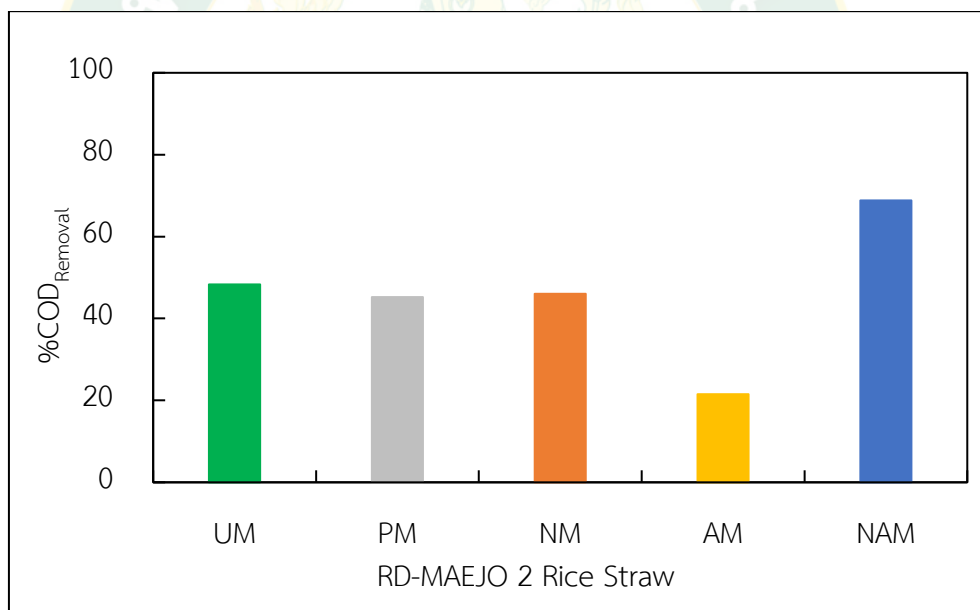
สำหรับการเดินระบบนอกจากจะวิเคราะห์ ALK และ VFA แล้ว ยังพิจารณาถึงค่า VFA/ALK Ratio ด้วย ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของ VFA/ALK ควรมีค่าน้อยกว่า 0.4 (Amornpan T. et al., 2020) โดยบ่งบอกว่าระบบยังมีสภาพบัพเฟออร์สูงหรือความสามารถในการต้านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างได้ดี (จิตชนกพ, 2554) ซึ่งจากภาพที่ 20 ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว โดยมีการปรับสภาพที่แตกต่างกัน มีค่าก่อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 0.34-0.38 และจากภาพที่ 21 ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กช.แม่โจ้ 2 มีค่าก่อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 0.33-0.34 พบว่าค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเป็นช่วงที่ทำให้ระบบสามารถรักษาเสถียรภาพในการทำงานโดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีใด ๆ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเป็นการลดระยะเวลาในการย่อย และยังกล่าวได้ว่า ฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ผ่านการปรับสภาพทั้ง 4 วิธี เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ

สำหรับค่า COD บอกลถึงปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ชนพล, 2560) โดยประสิทธิภาพการกำจัด COD ภายในระบบของการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกช.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัวมีผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 22 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1



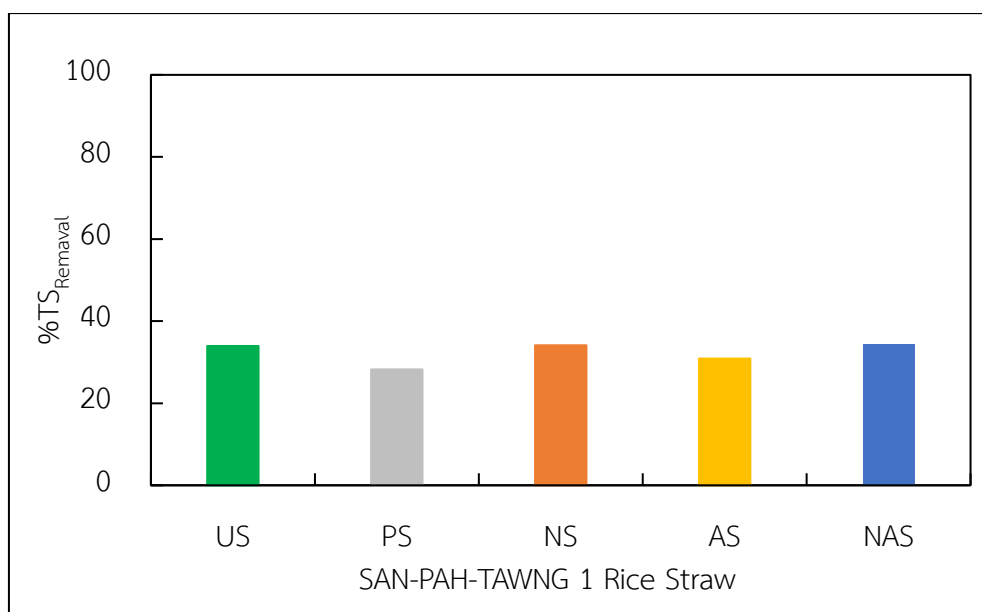
ภาพที่ 23 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ช.แม่ใจ 2

จากภาพที่ 22 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และจากภาพที่ 23 ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ช.แม่ใจ 2 ให้ค่าอยู่ในช่วง 14.80%-69.60%, 21.51%-68.83% ตามลำดับ มีปริมาณ COD ของตัวอย่างก่อนเข้าสู่ระบบอยู่ในช่วง 20,470-22,244 mg/L, 22,170-26,789 mg/L ตามลำดับ ซึ่งการที่มีค่า COD สูงยังเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีปริมาณสารอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในกระบวนการสร้างมีเทนได้มากขึ้น (ศศิธร, 2560) และหลังจากผ่านการหมักในระบบไร้อากาศระยะเวลา 45 days พบว่าสามารถกำจัด COD

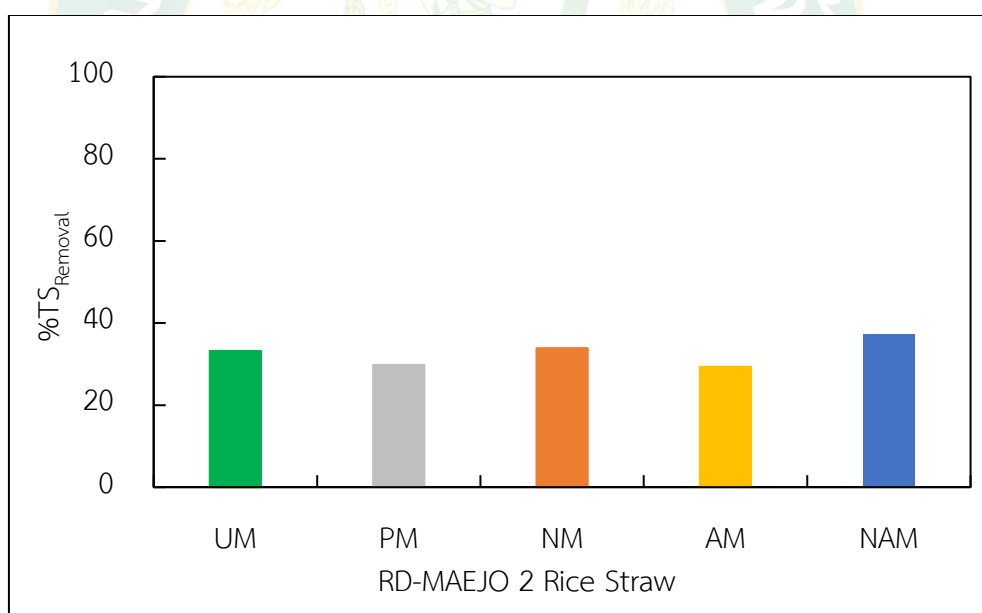
หลังการหมักอยู่ในช่วง 6,762-17,440 mg/L, 6,910-21,025 mg/L ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาของฟางข้าวทั้ง 2 ชนิด พบว่าการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงที่สุดที่ 69.60%, 68.83% ตามลำดับ พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ (เวสารัช และคณะ, 2558) ที่มีการปรับสภาพวัสดุลิกโนเซลลูโลสประเภทขุยมะพร้าวด้วยวิธีผสมผสานมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ไกล่เคียงกันที่ 64.73% และการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานแสดงให้เห็นว่าการใช้ต่างร่วมกับการบำบัดด้วยความร้อนทำให้มีวัตถุดิบตั้งต้นมากขึ้นสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนผ่านประสิทธิภาพการกำจัด COD ที่เพิ่มขึ้น รองลงมาเป็นการปรับสภาพด้วยต่างให้ค่าเท่ากับ 55.68%, 46.86% ตามลำดับ พบว่าการปรับสภาพข้างต้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด COD อย่างมาก (Torres L M. et al., 2008) และข้อแตกต่างของฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์พบว่า ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่การปรับสภาพด้วยการหมักกรดมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ต่ำที่สุดที่ 14.80% และฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2 ที่การปรับสภาพด้วยความร้อนมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ต่ำที่สุดที่ 21.51% เนื่องจากการปรับสภาพทางชีวภาพมีการทำลายโครงสร้างของลิกนินได้ไม่มากพอ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD ค่อนข้างต่ำ ซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด COD ได้สูงขึ้น (Shrestha B. et al., 2020) โดยปกติแล้วกระบวนการปรับสภาพทางเคมีจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD สูงกว่ากระบวนการปรับสภาพทางชีวภาพ เนื่องจากมีการทำลายโครงสร้างของลิกนินได้สูงกว่า (วัชรพล, 2556) แต่อย่างไรก็ตามฟางข้าวจัดเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากโดยจุลินทรีย์ (สุภาวดี, 2557) ดังนั้นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึงอาจมีปริมาณต่ำกว่าค่าที่คาดการณ์ได้จากปริมาณ COD

ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) และปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ

สำหรับค่า TS บอกถึงปริมาณของแข็งทั้งหมดซึ่งเป็นสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออกจากวัสดุหมักแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C แสดงถึงลักษณะการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายหรือลดปริมาณของเสียในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ และค่า VS แสดงถึงของแข็งระเหยได้ เมื่อนำ TS ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C (ศศิธร , 2563) ซึ่งสารประกอบอินทรีย์จะกลายเป็น CO₂ และ H₂O ในขณะที่สารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะไม่เกิดการแยกสลายที่อุณหภูมิดังกล่าว ดังนั้นน้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของสารอินทรีย์ ส่วนตะกอนที่เหลือคือของแข็งคงตัวซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ โดย TS และ VS ภายในระบบของการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัวมีผลดังต่อไปนี้



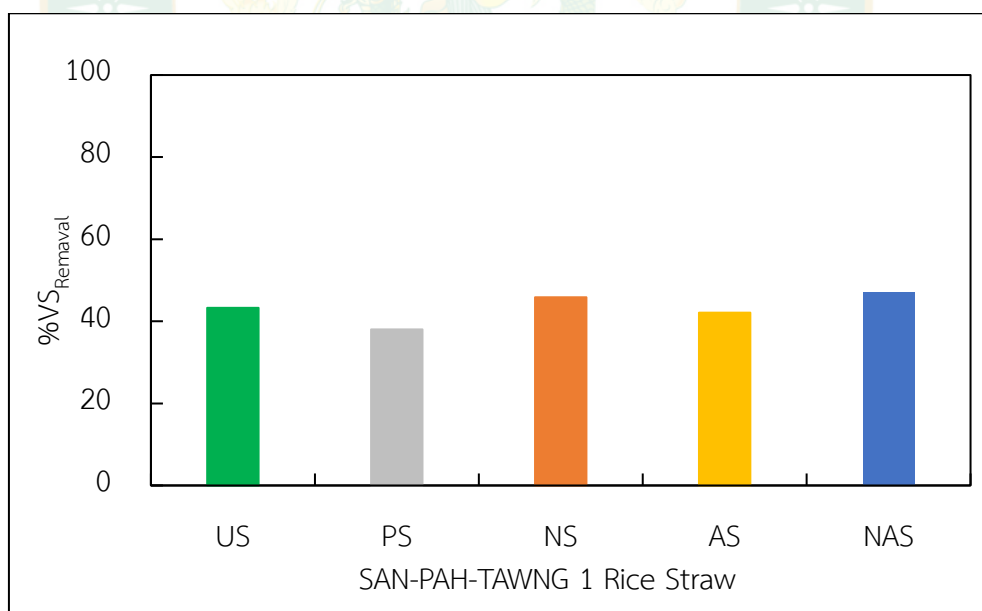
ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1



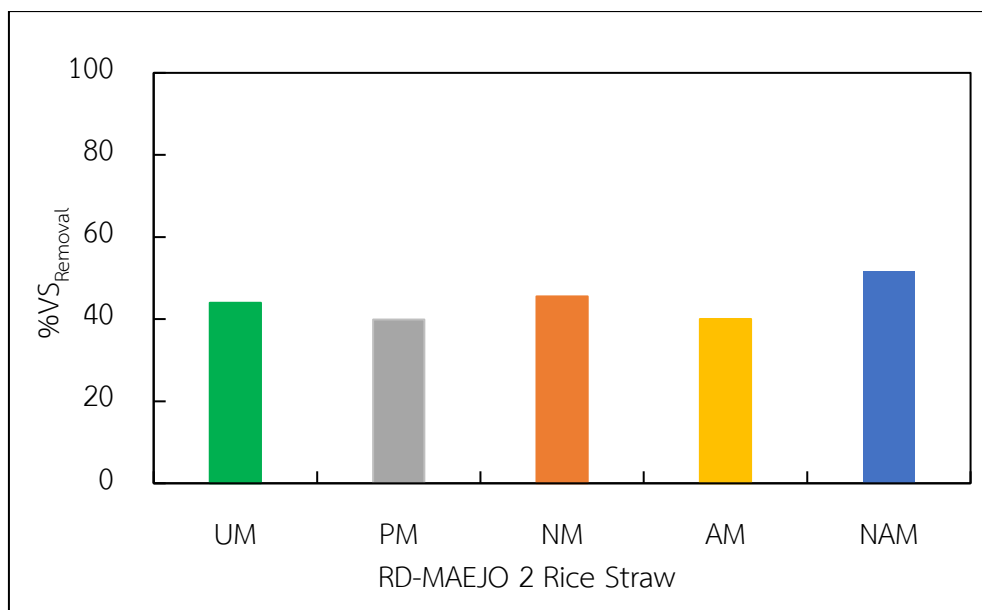
ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2

จากภาพที่ 24 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TS ของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และจากภาพที่ 25 ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2 ให้ค่าอยู่ในช่วง 28.24%-34.31%, 29.80%-37.25% ตามลำดับ ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบมีปริมาณ TS ก่อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 23,550-27,950 mg/kg, 24,830-27,100 mg/kg ตามลำดับ และหลัง

ออกจากระบบพบว่าให้ค่าอยู่ในช่วง 15,470-19,320 mg/kg, 15,580-19,180 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าของแข็งทั้งหมดมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (อัมพรรัตน์, 2560) โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TS ของการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานมีประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงที่สุดแต่ยังถือว่าเป็นค่าค่อนข้างต่ำ รองลงมาได้แก่การปรับสภาพด้วยต่าง โดยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ศศิธร, 2562) ที่มีการปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดหวานด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด TS เท่ากับ 36.52% ถือเป็นค่าที่อยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นหนึ่งในตัวบ่งชี้ของผลลัพธ์ในการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อรวมกับวัสดุตั้งต้นที่มีโครงสร้างเป็นลิกโนเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยสายโซ่คาร์บอนที่ละลายน้ำได้ (เซลลูโลส) และเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ (เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) จะได้สารตั้งต้นที่เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับกระบวนการย่อย (Htay A P., 2019) และถึงแม้จะผ่านกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นแล้วยังคงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงมาก โดยเฉพาะลิกนินซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลาย เมื่อระยะเวลาที่เก็บไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายจนหมดทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ภายในระบบมีค่าต่ำ (ปฏิรูป และคณะ, 2557)



ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1

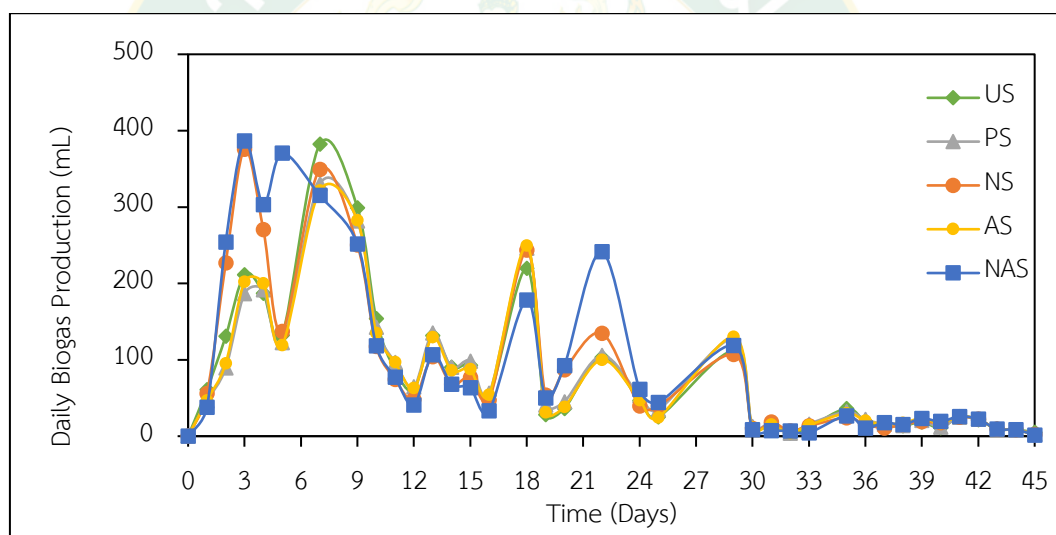


ภาพที่ 27 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพจาก ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ช.แม่ใจ 2

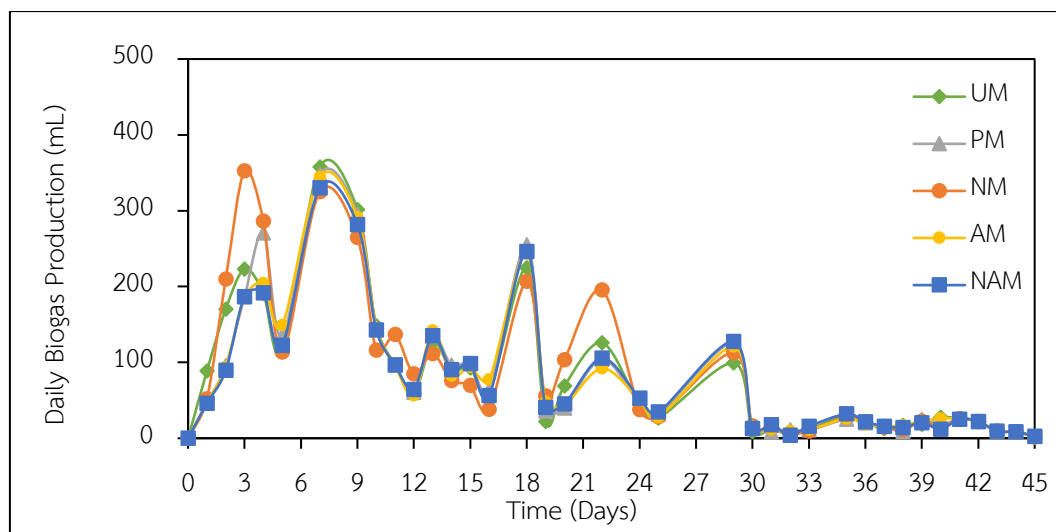
จากภาพที่ 26 จากการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด VS ของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ จากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และจากภาพที่ 27 ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ช.แม่ใจ 2 ให้ ค่าอยู่ในช่วง 38.02%-47.16%, 39.90%-51.72% ตามลำดับ ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบมีปริมาณ ของแข็งระเหยง่าย (VS) ก่อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 16,390-20,520 mg/kg, 18,040-20,850 mg/kg ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในวัสดุหมัก และพบว่าค่า VS หลังออกระบบอยู่ใน ช่วง 8,660-11,880 mg/kg, 8,710-11,880 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการย่อย สลายของจุลินทรีย์ส่งผลให้ปริมาณของแข็งระเหยง่ายมีค่าลดลง และจากการรายงานค่า VS ข้างต้น พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัยของ (ชุตินา, 2560) ที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ ร่วมกับมูลไก่ และการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานมีประสิทธิภาพการกำจัด VS สูงที่สุด ซึ่งแปลผัน ตรงกับค่า $TS_{Removal}$ และ $COD_{Removal}$ ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีที่สุด รองลงมาได้แก่การปรับสภาพ ด้วยต่าง โดย $VS_{Removal}$ ของวัตถุดิบที่ผ่านการย่อยสลายในการทดลองระบบแบบ BMP Test สามารถบ่งบอกประสิทธิภาพการย่อยสลายของแบคทีเรียในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ (รัชพล และคณะ, 2559) โดยทั่วไปธรรมชาติของเชื้อจุลินทรีย์จะย่อยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายก่อน หลังจากนั้นจะ ย่อยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก

ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม และสัดส่วนของก๊าซมีเทน ในระบบการหมักก๊าซชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว ด้วยวิธีการปรับสภาพที่แตกต่างกัน 4 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 แบบต่าง NaOH 2% (w/v) วิธีที่ 2 การหมักกรด (Pre-acidification) วิธีที่ 3 ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง และวิธีที่ 4 แบบผสมผสาน คือ แบบต่าง NaOH 2% (w/v) ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง นอกจากนี้ยังใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเป็นตัวควบคุม ระบบการย่อยสลายไม่ใช้ออกซิเจนถูกดำเนินการแบบแบทช์ที่สภาวะเมโซฟิลิก (35 ± 2 °C) ระยะเวลาในการทดลอง 45 days โดยวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน จากนั้นนำปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ไปคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการย่อยสลายในระบบการหมักเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยแสดงผลดังต่อไปนี้

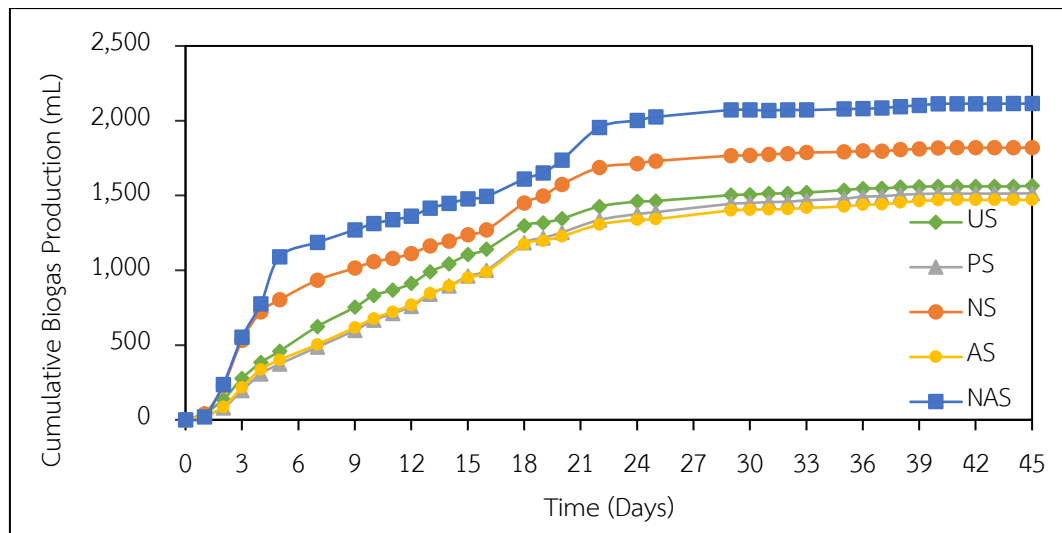


ภาพที่ 28 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1

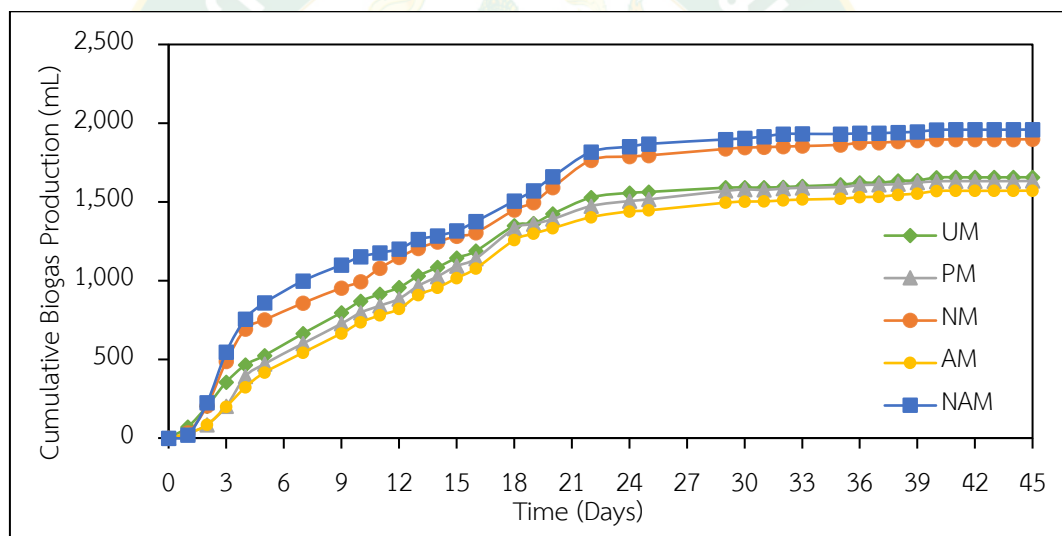


ภาพที่ 29 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2

จากภาพที่ 28 แสดงการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และจากภาพที่ 29 แสดงการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2 ที่มีการปรับสภาพที่ต่างกัน โดยจะเห็นว่าในช่วง 0-12 วันแรกเกิดการย่อยสลายมีปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันมากที่สุด และหลังจากวันที่ 12 ของการย่อยสลายจะเห็นว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเริ่มลดลง จนมีปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันคงที่ตั้งแต่วันที่ 30 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 50 จากการทดลองพบว่าการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานให้ค่าสูงกว่าการปรับสภาพแบบอื่น ๆ และการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 มีค่าเฉลี่ยการเกิดก๊าซชีวภาพตลอดระยะเวลา 45 days สูงกว่าการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ข.แม่โจ้ 2 ที่ 92.45 และ 88.27 mL/days ตามลำดับ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของฟางข้าวทั้ง 2 ชนิดจะเพิ่มขึ้นแบบแปรผันตรง กล่าวคือเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นปริมาณการผลิตก็จะเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง การผลิตก๊าซชีวภาพจะเริ่มคงที่และลดลง เนื่องจากการทดลองเป็นระบบการหมักแบบแบทช์ ซึ่งมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบเพียงครั้งเดียว เมื่อจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในระบบลดลง ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ลดลง (วิชชุตา, 2559)



ภาพที่ 30 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1

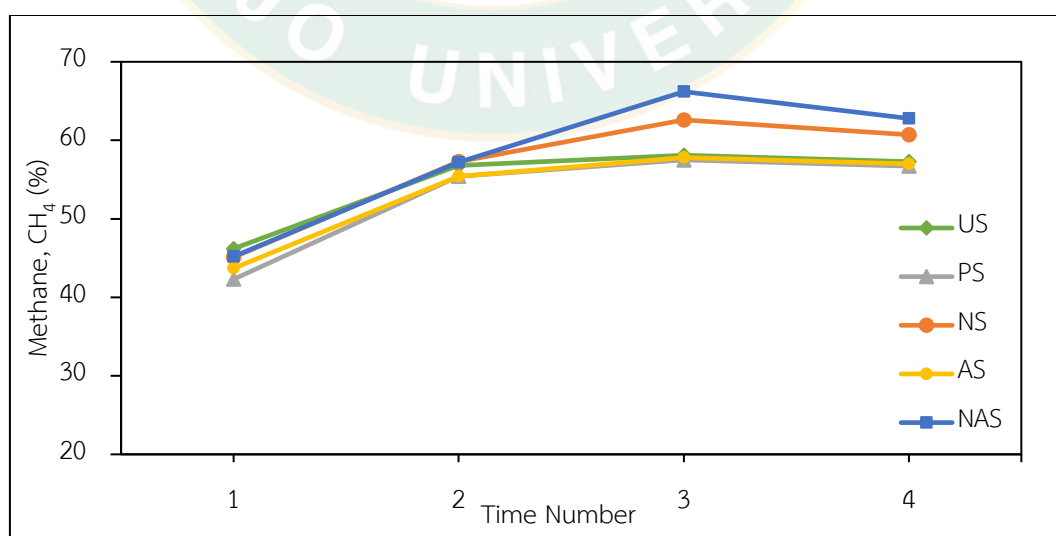


ภาพที่ 31 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2

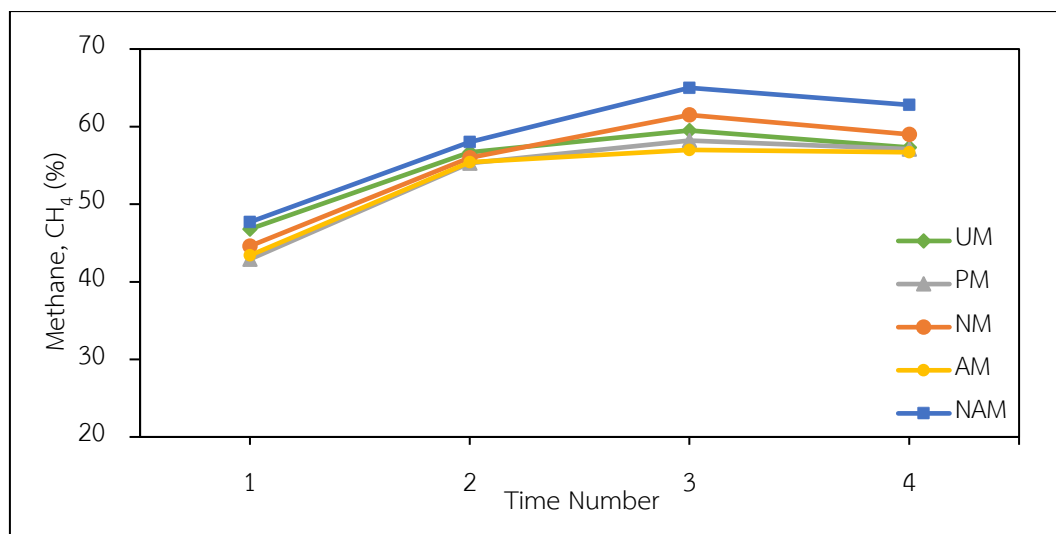
จากภาพที่ 30 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และจากภาพที่ 31 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 ที่มีการปรับสภาพแตกต่างกัน ในช่วงระยะเวลา 45 days พบว่าปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมีค่าใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซสะสมเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 1-24 จากนั้นจะเริ่มคงที่ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ในระบบอยู่ในช่วงปรับตัวให้เหมาะสมกับวัตถุดิบหมักและทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายก่อนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ จากนั้นจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยยากต่อไป ซึ่งกระบวนการหมักเป็นแบบการเติมสารอินทรีย์แบบครั้งเดียว สารอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพไปจนหมดจึงส่งผลโดยตรงทำให้ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่

เกิดขึ้นลดลงตามไปด้วย (นิลวรรณ, 2552) โดยการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานพบว่าฟางข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 มีการตอบสนองต่อการปรับสภาพดีกว่าฟางข้าวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 ส่งผลให้มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดที่ 2,114.26 และ 1,959.71 mL/days ตามลำดับ เนื่องจากการปรับสภาพแบบผสมผสานที่อุณหภูมิที่ 115-170 °C ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไฮโดรไลซิสในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนขององค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสที่ซับซ้อนส่งผลให้ส่วนประกอบละลายน้ำได้มากขึ้น ร่วมกับการปรับสภาพโดยเพิ่มสารเคมี ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากการปรับสภาพด้วยวิธีนี้มีกลไกการทำงานในการเพิ่มการพองตัวของภายในโมเลกุลต่อสายพันธุ์ของไซแลนในเฮมิเซลลูโลส ความพรุนของวัสดุจะเพิ่มขึ้นได้เมื่อทำการกำจัดสายโซ่ที่เชื่อมต่อกันภายใน การใช้ต่างเจือจางในวัสดุลิกโนเซลลูโลสมีผลทำให้เกิดการบวมภายในเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยาทำให้วัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้น ได้ลดความเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส ลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ และสามารถแยกสายโครงสร้างระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรต อีกทั้งเป็นการแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนิน (รัชพล, 2558) ส่งผลให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งข้อดีของการปรับสภาพแบบผสมผสานคือช่วยลดการใช้สารเคมีได้ถึง 6 เท่า และเมื่อปรับสภาพที่อุณหภูมิสูงขึ้นพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการปรับสภาพทางเคมีอย่างเดียว เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของเส้นใยจะปรากฏชัดเจนมากขึ้นและยังทำให้โครงสร้างเปิดออกโดยเฉพาะเมื่อทำการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2% (w/v) ที่ผ่านหม้อต้มไอน้ำแรงดันสูง ถือเป็นวิธีการปรับสภาพที่เหมาะสมซึ่งช่วยกำจัดลิกนินและไม่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูญเสียไป (Remli N. et al., 2014) โดยการปรับสภาพดังกล่าวสามารถย่อยเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาล กลูโคส และย่อยเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ของน้ำตาลคาร์บอน 5 และ 6 อะตอม จะได้น้ำตาลไซโลส แมนโนส อะราบินอส และกลูโคส ซึ่งสารดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ ในขณะที่การปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียวพบว่าฟางข้าวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 มีการตอบสนองการปรับสภาพดีกว่าฟางข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 โดยมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 1897.81 และ 1819.97 mL/days ตามลำดับ และการปรับสภาพอีกกลุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันคือการปรับสภาพด้วยวิธีการหมักกรด โดยการรักษาพืชที่ทำการหมักร่วมโดยใช้แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแลคติก เปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นกรดอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของกรดแลคติก เพื่อเปลี่ยนเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่จะเกิดภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ เพื่อเร่งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้เร็วขึ้น (ศศิธร และคณะ, 2020) และการปรับสภาพด้วยความร้อน ภายใต้เครื่องหม้อต้มไอน้ำแรงดันสูงซึ่งให้ความชุ่มชื้นแก่

เซลลูโลสทำให้มีความอ่อนนุ่มขึ้นและกำจัดเฮมิเซลลูโลสกับลิกนินบางส่วน เพื่อง่ายต่อการผลิตก๊าซชีวภาพให้ได้ผลผลิตดียิ่งขึ้น (Moonkyung K. et al., 2018) ซึ่งการปรับสภาพทั้ง 2 แบบที่กล่าวมาข้างต้นพบว่ามีความคุ้มค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมต่ำกว่าการไม่ปรับสภาพเป็นผลมาจากอุณหภูมิหรือระยะเวลา รวมถึงระดับแรงดันที่ไม่เหมาะสมในการปรับสภาพวัตถุดิบจึงส่งผลกระทบต่อผลผลิตก๊าซชีวภาพ (Javier UH B. et al., 2019) และการปรับสภาพทางชีวภาพในทางปฏิบัติมีข้อจำกัดเนื่องจากการปรับสภาพทางชีวภาพเมื่อมองในด้านจลนพลศาสตร์ต้องใช้ระยะเวลาในการปรับสภาพที่นานขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการปรับสภาพทางกายภาพหรือปรับสภาพทางเคมี ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ส่งผลให้การปรับสภาพด้วยวิธีการนี้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพค่อนข้างน้อย แต่ข้อดีของวิธีการทั้ง 2 คือ ลดการยับยั้งสารที่เกิดขึ้นจากสภาวะการทำงานของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศที่รุนแรงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับสภาพด้วยสารเคมีรวมถึงต้นทุนที่ต่ำกว่าเนื่องจากไม่ต้องใช้สารเคมีหรืออุปกรณ์เพิ่มเติม และกระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับกระบวนการทางกายภาพหรือทางเคมีเนื่องจากมีความต้องการใช้พลังงานน้อยลง (Abraham A. et al., 2020) โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก มีองค์ประกอบก๊าซต่าง ๆ ดังนี้ คือ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไนโตรเจน (วัฒนณรงค์, 2563) สำหรับการผลิตมีเทนนั้นสามารถเกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน (นพวรรณ, 2556) ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้นี้มีปริมาณ 50-70% ของก๊าซมีเทนที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ สามารถจุดติดไฟได้ดี พบว่ามีการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานต่าง ๆ โดยสัดส่วนของก๊าซมีเทนภายในระบบของการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว มีผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 32 สัดส่วนของก๊าซมีเทนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1



ภาพที่ 33 สัดส่วนของก๊าซมีเทนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2

จากภาพที่ 32 แสดงถึงสัดส่วนของก๊าซมีเทนภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และจากภาพที่ 33 แสดงถึงสัดส่วนของก๊าซมีเทนภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 ที่มีการปรับสภาพแตกต่างกัน 4 วิธี มีการวัดค่าตลอดระยะเวลาในการทดลอง 45 days จำนวน 4 ครั้ง โดยสังเกตจากปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดลองพบว่าสัดส่วนของก๊าซมีเทนในการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 สูงกว่าฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 อยู่ในช่วง 45.1-66.0, 47.4-65.0% ตามลำดับ และพบสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงที่สุดในการวัดค่าครั้งที่ 3 เท่ากับ 66.0, 65.0% ตามลำดับ และการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 มีค่ารองลงมาเท่ากับ 62.6, 61.5% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างร่วมกับความร้อน หรือสารละลายต่างอย่างเดียวสามารถทำให้โครงสร้างลิกโนเซลลูโลสอ่อนแอลง ซึ่งทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจนทำให้เกิดเป็นก๊าซมีเทนได้ง่ายและมากขึ้น (นิลวรรณ, 2559) ซึ่งฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีผลอยู่ในช่วงเดียวกันและมีผลสอดคล้องกับปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม ส่วนการปรับสภาพแบบอื่นพบว่าให้สัดส่วนก๊าซมีเทนมากกว่า 50% เช่นกัน ซึ่งบ่งบอกถึงศักยภาพการนำก๊าซมีเทนไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานได้ (กิตติยา, 2560)

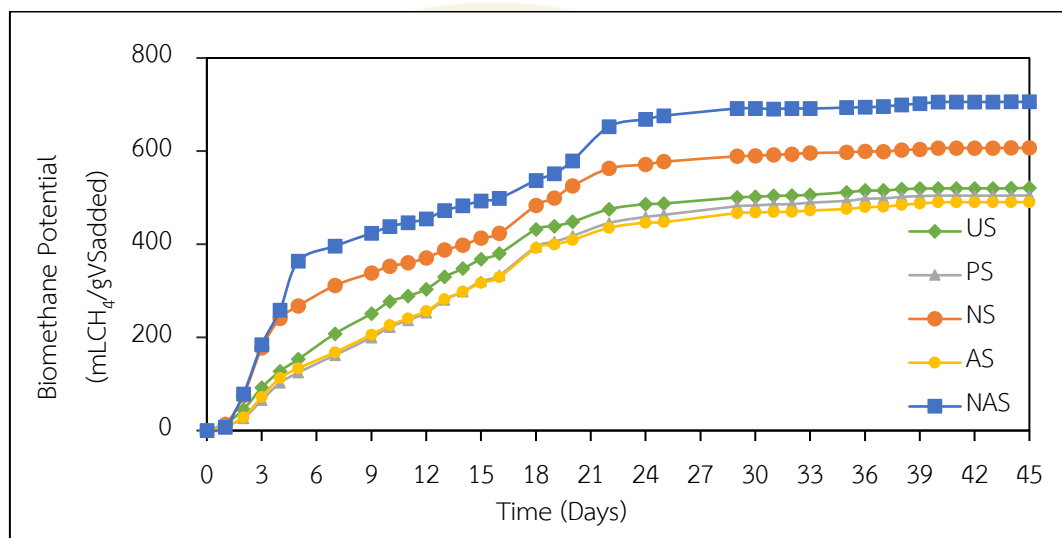
ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนหาได้จากการนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นวิเคราะห์หาสัดส่วนของก๊าซมีเทน จากนั้นนำค่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมดของตัวอย่างลบด้วยปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่เกิดขึ้นจากหัวเชื้อตั้งต้นเพียงอย่างเดียวแล้วนำมาคำนวณหาค่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนในหน่วย

ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยกรัมของปริมาณของแข็งระเหยของหมักย่อย ดังแสดง
สมการที่ 4.1

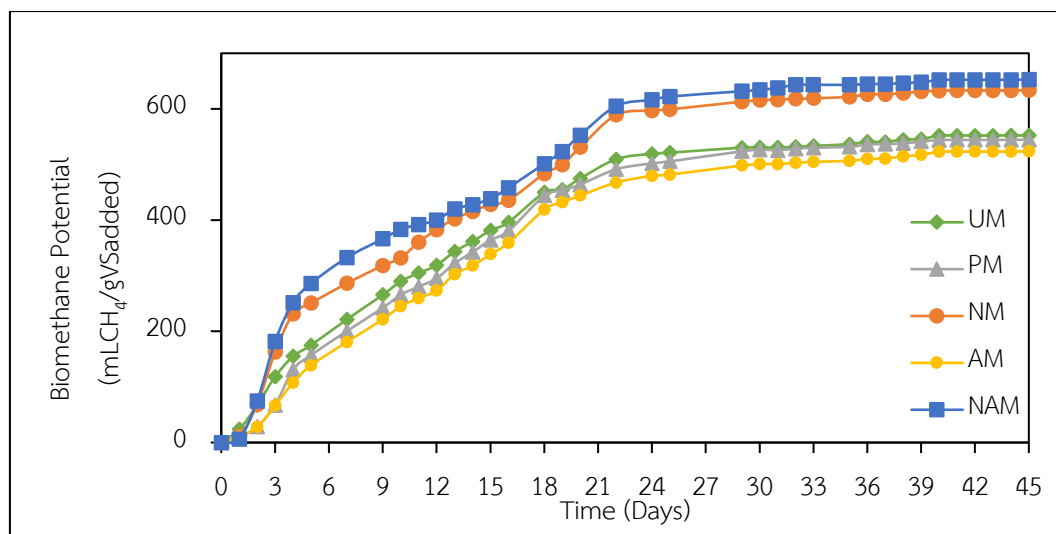
$$\text{ศักยภาพก๊าซมีเทน (mLCH}_4\text{/gVS}_{\text{added}}) = \text{ปริมาณก๊าซมีเทน (mL)/ของแข็งที่ป้อนเข้า (g)}$$

สมการที่ 7

จากการทดลองศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1
และกข.แม่ใจ 2 แสดงดังต่อไปนี้



ภาพที่ 34 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจากฟางข้าวเหนียว
สายพันธุ์สันป่าตอง 1



ภาพที่ 35 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กช.แม่โจ้ 2

ผลของศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน คือ ปริมาณของก๊าซชีวภาพต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อหน่วย และเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพมีลักษณะเป็นของแข็ง ในขั้นตอนนี้จึงได้ทำการพิจารณาปริมาณของผลผลิตของก๊าซชีวภาพต่อหน่วยของแข็งระเหยง่าย (VS) จากภาพที่ 34 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และจากภาพที่ 35 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กช.แม่โจ้ 2 ที่มีการปรับสภาพแตกต่างกันได้แก่ วิธีที่ 1 แบบต่าง NaOH 2% (w/v) วิธีที่ 2 การหมักกรด (Pre-acidification) วิธีที่ 3 ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) และวิธีที่ 4 แบบผสมผสาน คือ แบบต่าง NaOH 2% (w/v) ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง ในช่วงระยะเวลา 45 days พบว่าในช่วง 0-24 วันแรกมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเพิ่มสูงขึ้นและเริ่มคงที่ในช่วงวันที่ 25-45 พบว่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนโดยการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกช.แม่โจ้ 2 มีค่าสูงสุดที่ 706.00 และ 652.56 mLCH₄/g VS_{added} ตามลำดับ ถัดมาเป็นการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกช.แม่โจ้ 2 เท่ากับ 606.97 และ 633.40 mLCH₄/g VS_{added} ตามลำดับ และการปรับสภาพด้วยการหมักกรด การปรับสภาพด้วยความร้อน และไม่ผ่านการปรับสภาพให้ค่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนต่ำกว่า โดยพบว่าผลของศักยภาพก๊าซมีเทนแปรผันโดยตรงกับปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสะสม (Liua T., 2019) สัดส่วนของก๊าซมีเทนรวมถึงปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยได้ที่เข้ายังระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยได้ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานและการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีกว่าการปรับสภาพแบบอื่น ส่งผลให้

จุลินทรีย์สามารถนำสารอินทรีย์เหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ผลผลิตของศักยภาพก๊าซมีเทนมีค่าที่สูงอย่างเห็นได้ชัด (รัชพล, 2558) จากผลการศึกษาข้างต้นมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Remli. et al, 2014) ที่ทำการปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% (w/v) ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง พบว่าเป็นวิธีการปรับสภาพที่ดีที่สุดส่งผลให้มีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 87.54% และลดปริมาณของลิกนินได้ 78.62% ทำให้เพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนได้ดีที่สุด และงานวิจัยของ (เวสสารัช และคณะ, 2015) ที่ได้ทำการศึกษารับสภาพทางเคมีร่วมกับความร้อนของขุยมะพร้าว พบว่าให้ผลไปในทางเดียวกันคือการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการปรับสภาพด้วยสารเคมีจะมีต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวข้องกับการซื้อสารเคมี ต้นทุนเพิ่มเติมสามารถคุ้มทุนหรือกลายเป็นข้อได้เปรียบได้หากการผลิตก๊าซชีวภาพมีคุณภาพสูง

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ สันป่าตอง 1 และกข.แม่ใจ 2 เหลือทิ้งในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นการวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในการลงทุน โดยเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบว่าเมื่อมีการลงทุนไปแล้ว จะก่อให้เกิดผลประโยชน์ที่คุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะเน้นถึงผลประโยชน์สูงสุดจากการใช้วัตถุดิบเหลือทิ้งประเภทฟางข้าว จะทำการวิเคราะห์เฉพาะเงื่อนไขการทดลองที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด โดยการนำข้อมูลเชิงพื้นที่ในเขตภาคเหนือตอนบนทั้ง 9 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน น่าน แพร่ พะเยา แม่ฮ่องสอน และอุตรดิตถ์ มาทำการคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทางทฤษฎี แสดงดังตารางที่ 7-8

ตารางที่ 7 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก (rai)	ปริมาณฟาง ข้าว (kg/year)	ปริมาณชีวมวลที่	ปริมาณชีวมวลที่	ศักยภาพการผลิตก๊าซ ชีวภาพ (m ³ /year)
			ยังไม่ได้ใช้ ประโยชน์ (kg/year)	ยังไม่ได้ใช้ ประโยชน์ (ton/year)	
เชียงใหม่	205,953	133,869,450	66,934,725	66,935	44,926,067
เชียงราย	113,037	73,474,050	36,737,025	36,737	24,657,606
ลำปาง	62,530	40,644,500	20,322,250	20,322	13,640,136
ลำพูน	24,188	15,722,200	7,861,100	7,861	5,276,309
น่าน	5,038	3,274,700	1,637,350	1,637	1,098,977
แพร่	62,376	40,544,400	20,272,200	20,272	13,606,543
พะเยา	20,566	13,367,900	6,683,950	6,684	4,486,215
แม่ฮ่องสอน	2,356	1,531,400	765,700	766	513,932
อุตรดิตถ์	50	32,500	16,250	16	10,907
รวม	496,094	322,461,100	161,230,550	161,231	108,216,692

ตารางที่ 8 ข้อมูลศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวกข. แม่ใจ 2

จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก (rai)	ปริมาณฟาง ข้าว (kg/year)	ปริมาณชีวมวลที่	ปริมาณชีวมวลที่	ศักยภาพการผลิตก๊าซ ชีวภาพ (m ³ /year)
			ยังไม่ได้ใช้ ประโยชน์ (kg/year)	ยังไม่ได้ใช้ ประโยชน์ (ton/year)	
-	500	325,000	162,500	163	109,069

ขั้นตอนการคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

1. นำข้อมูลพื้นที่การเพาะปลูกข้าวสาลีพันธุ์สันป่าตอง 1 (ศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่, 2563) มาคำนวณหาปริมาณฟางข้าวที่เกิดขึ้นในสมการที่ 8-9 โดยใช้วิธีการเทียบการเกิดชีวมวลของข้าวพบว่า ข้าว 1 rai มีปริมาณฟางข้าวโดยเฉลี่ยปีละ 650 kg และยังไม่มีการนำฟางข้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ถึง 50% ของพื้นที่เพาะปลูก (บัณฑิต เกิดมงคล, 2556) จากตารางที่ 7 พบว่าปริมาณฟางข้าวสาลีพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ยังไม่มีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนมีปริมาณรวมเท่ากับ 161,231 ton/year และจังหวัดเชียงใหม่พบว่ามีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 66,935 ton/year และจากตารางที่ 8 ข้าวเหนียวสาลีพันธุ์ข.แม่โจ้ 2 นำมาคิดด้วยวิธีเดียวกัน พบว่าปริมาณฟางข้าวที่ยังไม่มีการนำฟางข้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์มีปริมาณเท่ากับ 163 ton/year

ประเมินปริมาณการเกิดชีวมวล

ปริมาณการเกิดชีวมวล = พื้นที่เพาะปลูก × สัดส่วนชีวมวลต่อพื้นที่ สมการที่ 8
ยกตัวอย่างเช่น ฟางข้าวสาลีพันธุ์สันป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่
ปริมาณการเกิดชีวมวล = 205,953 (rai) × 650 (kg/year)
= 133,869,450 kg/year

ดังนั้นปริมาณการเกิดชีวมวลฟางข้าวสาลีพันธุ์สันป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่เท่ากับ 133,869,450 kg/year

ประเมินปริมาณคงเหลือและปริมาณชีวมวลที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์

ปริมาณชีวมวลที่ยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ = ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น × 50% สมการที่ 9
ยกตัวอย่างเช่น ฟางข้าวสาลีพันธุ์สันป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

ปริมาณชีวมวลที่ยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ = 133,869,450 (kg/year) × 50%
= 66,934,725 kg/year
= 66,935 ton/year

ดังนั้นปริมาณชีวมวลที่ยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ของฟางข้าวสาลีพันธุ์สันป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่เท่ากับ 66,934,725 kg/year หรือ 66,935 ton/year

2. นำข้อมูลปริมาณชีวมวลที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน มาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ ดังสมการที่ 10 โดยวิธีที่ดีที่สุดคือการปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสาลีพันธุ์สันป่าตอง 1 โดยใช้วิธีแบบผสมผสานมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 671 m³/ton พบว่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพรวมเท่ากับ 108,216,692 m³/year และฟางข้าวเหนียวสาลี

พันธุ์กข. แม้โจ้ 2 โดยใช้วิธีแบบผสมผสานมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ เท่ากับ $657 \text{ m}^3/\text{ton}$ พบว่า ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพรวมเท่ากับ $109,069 \text{ m}^3/\text{year}$

ประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ = ปริมาณชีวมวลที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ \times ปริมาณก๊าซชีวภาพของชีวมวล

สมการที่ 10

ยกตัวอย่างเช่น ฟางข้าวสายพันธุ์สั้นป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

$$\begin{aligned} \text{ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ} &= 66,935 \text{ (ton/year)} \times 671 \text{ (m}^3/\text{ton)} \\ &= 44,926,067 \text{ m}^3/\text{year} \end{aligned}$$

ดังนั้นศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวสายพันธุ์สั้นป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่เท่ากับ $44,926,067 \text{ m}^3/\text{year}$

3. ศักยภาพของก๊าซชีวภาพ 1 m^3 ที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 60% มีค่าความร้อนเท่ากับ 20.93 MJ/m^3 จะเทียบเท่าการผลิตไฟฟ้า 1.2 kWh (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) จากตารางที่ 9-10 นำปัจจัยการเทียบเท่าการผลิตไฟฟ้ามาวิเคราะห์ร่วมกับศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ จะทำให้ได้พลังงานก๊าซชีวภาพเทียบเท่าไฟฟ้า ดังสมการที่ 11 และสามารถคิดเป็นผลประหยัดจากการทดแทนไฟฟ้า ที่อัตราค่าไฟฟ้าเท่ากับ 4.22 Baht/kWh ดังสมการที่ 12

พลังงานก๊าซชีวภาพเทียบเท่าไฟฟ้า

พลังงานก๊าซชีวภาพเทียบเท่าไฟฟ้า = ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ $\times 1.2$

สมการที่ 11

ยกตัวอย่างเช่น ฟางข้าวสายพันธุ์สั้นป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

$$\begin{aligned} \text{พลังงานก๊าซชีวภาพเทียบเท่าไฟฟ้า} &= 44,926,067 \text{ (m}^3/\text{year)} \times 1.2 \text{ (kWh/m}^3) \\ &= 53,911,281 \text{ kWh/year} \end{aligned}$$

ดังนั้นพลังงานก๊าซชีวภาพเทียบเท่าไฟฟ้าของฟางข้าวสายพันธุ์สั้นป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่เท่ากับ $53,911,281 \text{ kWh/year}$

ผลประหยัดจากการทดแทนไฟฟ้า

ผลประหยัดจากการทดแทนไฟฟ้า = พลังงานก๊าซชีวภาพเทียบเท่าไฟฟ้า $\times 4.22$

สมการที่ 12

ยกตัวอย่างเช่น ฟางข้าวสายพันธุ์สั้นป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

$$\begin{aligned} \text{ผลประโยชน์จากการทดแทนไฟฟ้า} &= 53,911,281 \text{ (kWh/year)} \times 4.22 \text{ (Baht/kWh)} \\ &= 227,505,604 \text{ Baht/year} \end{aligned}$$

ดังนั้นผลประโยชน์จากการทดแทนไฟฟ้าของฟางข้าวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ในพื้นที่จังหวัด เชียงใหม่เท่ากับ 227,505,604 Baht/year

ตารางที่ 9 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 เทียบเท่าการผลิตไฟฟ้า

จังหวัด	ศักยภาพการผลิตก๊าซ	เทียบเท่าการผลิต	ผลประโยชน์จากการทดแทน
	ชีวภาพ (m ³ /year)	ไฟฟ้า (kWh/year)	ไฟฟ้า (Baht/year)
เชียงใหม่	44,926,067	53,911,281	227,505,604
เชียงราย	24,657,606	29,589,127	124,866,115
ลำปาง	13,640,136	16,368,164	69,073,650
ลำพูน	5,276,309	6,331,571	26,719,230
น่าน	1,098,977	1,318,772	5,565,217
แพร่	13,606,543	16,327,852	68,903,534
พะเยา	4,486,215	5,383,458	22,718,194
แม่ฮ่องสอน	513,932	616,718	2,602,551
อุตรดิตถ์	10,907	13,088	55,232
รวม	108,216,692	129,860,031	548,009,329

ตารางที่ 10 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กช. แม่โจ้ 2 เทียบเท่าการผลิตไฟฟ้า

จังหวัด	ศักยภาพการผลิตก๊าซ	เทียบเท่าการผลิต	ผลประโยชน์จากการทดแทน
	ชีวภาพ (m ³ /year)	ไฟฟ้า (kWh/year)	ไฟฟ้า (Baht/year)
-	109,069	130,882	552,324

ขั้นตอนถัดมา กำหนดรายละเอียดการพิจารณาการลงทุน โดยทำการวิเคราะห์เฉพาะเงื่อนไข การทดลองที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด ในเงื่อนไขของการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาง ข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่ใจ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว โดยมีการปรับสภาพด้วยวิธี ผสมผสาน คือ แบบต่าง NaOH 2% (w/v) ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง พบว่ามีการผลิตก๊าซ ชีวภาพสูงสุด $671 \text{ m}^3/\text{ton}_{\text{sample}}$ และ $657 \text{ m}^3/\text{ton}_{\text{sample}}$ ตามลำดับ และให้ค่าก๊าซมีเทนสูงสุด 66% และ 65% ตามลำดับ ซึ่งระบบการผลิตก๊าซชีวภาพนี้เป็นการนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปผลิตเป็น กระแสไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกับคู่มือการลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานแบบครบวงจร ในโรงงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) ที่ได้มีการนำวัสดุประเภทลิกโน เซลลูโลส 35 ton/day และมูลวัวเข้าสู่หม้อหมักที่ใช้เทคโนโลยีชนิด Chiangmai University- Continuous Flow Stirred Tank Reactor (CMU-CSTR) ขนาด $4,500 \text{ m}^3$ ซึ่งคาดว่าจะสามารถ ผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ $3,200 \text{ m}^3/\text{day}$ ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับการผลิตก๊าซชีวภาพ จากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่ใจ 2 แล้วพบว่าฟางข้าว 35 ton/day สามารถ ผลิตก๊าซชีวภาพได้ $23,475 \text{ m}^3/\text{day}$ และ $23,068 \text{ m}^3/\text{day}$ ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดการ พิจารณาแสดงดังตารางที่ 11-12

ตารางที่ 11 รายละเอียดการลงทุนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1

รายละเอียดโครงการ	ปริมาณ	หน่วย
เทคโนโลยีระบบ CSTR	4500	m^3
ฟางข้าว	35	ton/day
น้ำเสียมูลสัตว์	100	m^3/day
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	23,475	m^3/day
ประสิทธิภาพของระบบ	70-85	%
ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	500	kW
ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ย	28,169	kWh
รายได้		
ปริมาณไฟฟ้าที่ขายได้	118,875	Baht/day
รายได้สุทธิ	118,875	Baht/day
รายได้สุทธิต่อปี	35,662,460	Baht/year

รายละเอียดโครงการ	ปริมาณ	หน่วย
ค่าบริหารโครงการ		
ค่าจ้างแรงงาน (10 คน)	180,000	Bath
ค่าซ่อมบำรุงแบบคงที่	1,200,000	Bath
ค่าสารเคมี	10,000,000	Bath
ค่าบริหารโครงการรวม	11,380,000	Bath
เงินลงทุน		
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	24,750,000	Baht
ระบบผลิตไฟฟ้า	10,000,000	Baht
ระบบปรับสภาพวัตถุดิบ	15,000,000	Baht
ที่ปรึกษาออกแบบ	2,500,000	Baht
เงินลงทุนรวม	52,250,000	Baht
ระยะเวลาคืนทุน	1.47	year

ตารางที่ 12 รายละเอียดการลงทุนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวพันธุ์กข.แม่โจ้ 2

รายละเอียดโครงการ	ปริมาณ	หน่วย
เทคโนโลยีระบบ CSTR	4500	m ³
ฟางข้าว	35	ton/day
น้ำเสียมูลสัตว์	100	m ³ /day
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	23,068	m ³ /day
ประสิทธิภาพของระบบ	70-85	%
ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	500	kW
ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ย	27,682	kWh
รายได้		
ปริมาณไฟฟ้าที่ขายได้	116,816	Baht/day
รายได้สุทธิ	116,816	Baht/day
รายได้สุทธิตายปี	35,044,900	Baht/year
ค่าบริหารโครงการ		
ค่าจ้างแรงงาน (10 คน)	180,000	Bath

รายละเอียดโครงการ	ปริมาณ	หน่วย
ค่าซ่อมบำรุงแบบคงที่	1,200,000	Bath
ค่าสารเคมี	10,000,000	Bath
ค่าบริหารโครงการรวม	11,380,000	Bath
เงินลงทุน		
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	24,750,000	Baht
ระบบผลิตไฟฟ้า	10,000,000	Baht
ระบบการปรับสภาพ	15,000,000	Bath
ที่ปรึกษาออกแบบ	2,500,000	Bath
เงินลงทุนรวม	52,250,000	Bath
ระยะเวลาคืนทุน	1.49	year

วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในกรณีศึกษา

การวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยการวิเคราะห์การลงทุนในส่วนเพิ่ม (Incremental Investment Analysis) โดยยกตัวอย่างให้บริษัทเป็นผู้ดำเนินการลงทุน 100% และทำการเปรียบเทียบกับคู่มือการลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานแบบครบวงจรในโรงงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) จำนวนเงินลงทุน 52,250,000 baht ซึ่งในกรณีศึกษานี้ได้ทำการเลือกระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว โดยใช้เทคโนโลยีชนิด Chiangmai University-Continuous Flow Stirred Tank Reactor (CMU-CSTR) เนื่องจากมีข้อมูลของปริมาณวัตถุดิบที่แน่ชัด และมีระยะเวลาการคืนทุนที่สั้นกว่า โดยมีการกำหนดอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ (MARR) ต่อปีเท่ากับ 5.25% (ธนาคารไทยพาณิชย์ สืบค้นเมื่อ วันที่ 27 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564) จากนั้นคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ดังสมการที่ 13 ของกระแสเงินสดในส่วนเพิ่มของโครงการที่ระยะเวลาในการวิเคราะห์ 20 ปี อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) ดังสมการที่ 15 และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (PB) ดังสมการที่ 14 โดยมีระยะเวลาผ่อนจ่ายจากกรณีกู้ยืม 100% ประมาณ 7 year มีการเดินระบบ 300 day/year แสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 13-14

สูตรคำนวณการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t}$$

สมการที่ 13

โดยที่

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิตลอดอายุของการลงทุน

B_t = รายได้/ผลประโยชน์จากโครงการในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายหรือเงินลงทุนของโครงการในปีที่ t

i = อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน

n = อายุโครงการ

t = ปีของโครงการ คือ ปีที่ 1 ถึง n

2. อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

$$IRR = \sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = 0$$

สมการที่ 14

โดยที่

IRR = อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ

B_t = รายได้/ผลประโยชน์จากโครงการในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายหรือเงินลงทุนของโครงการในปีที่ t

r = อัตราส่วนลดที่ทำให้ $NPV = 0$

n = อายุโครงการ

t = ปีของโครงการ คือ ปีที่ 1 ถึง n

3. ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก ÷ ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี

สมการที่ 15

ตารางที่ 13 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์	ปริมาณ	หน่วย
ประมาณการเงินลงทุนรวม Total Project Costs (Exclude Land & Development cost)	52,250,000	Baht
ผลิตไฟฟ้าได้ (Gross Power Output)	1,000	kW
	300,000	kW-hr/year
ชั่วโมงการทำงาน	3,000	hr/year
การกู้เงินของโครงการ (Debt Leverage)	100	%
ดอกเบี้ย (Interest Rate)	5.25%	%
อายุสินเชื่อกู้เงินโครงการ Tenor of Loan (+1 ปี Grace period)	7	year
เปอร์เซ็นต์การใช้งานโครงการ (Plant Factor)	34.25	%
ราคาจำหน่ายหน่วยไฟฟ้า (Sale Price per kWh)	4.22	Baht
ระยะเวลาก่อสร้างโครงการ (Construction period)	1	year
ดอกเบี้ยตามระยะเวลาก่อสร้างโครงการ	3.50	%
ดอกเบี้ยตามระยะเวลาก่อสร้างโครงการ (Interest During Construction)	1,835,050	Baht
หน่วยไฟฟ้ารวมทั้งปี Annual EE (net) Production	3,000,000	kW-hr/year
ฟางข้าวที่ใช้ตลอดโครงการในช่วง 1 year	10,500	ton/year
อายุโครงการ	20	year

ตารางที่ 14 ประเมินและวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของทางสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ในแต่ละปี

โครงการ	ค่า	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 5	ปีที่ 10	ปีที่ 15	ปีที่ 20
การประมาณโครงการพร้อมดอกเบี้ย		1,828,750					
(Estimated Interest during construction period)							
ค่าใช้จ่ายดอกเบี้ย (Interest Expenses)			2,743,125	1,175,625			
ยอดเงินกู้ (Loan Balance)		52,250,000	44,785,714	14,928,571			
เงินกู้แบบแบ่งชำระคืน (Loan Payment)			7,464,286	7,464,286			
ค่าใช้จ่ายโครงการ							
ค่าบริหารโครงการรวม (Plant O&M Cost)			11,380,000	11,380,000	11,380,000	11,380,000	11,380,000
ค่าใช้จ่ายรวมของโครงการ (Total Expense)		1,828,750	21,587,411	20,019,911	11,380,000	11,380,000	11,380,000

โครงการ	ค่า	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 5	ปีที่ 10	ปีที่ 15	ปีที่ 20
รายได้ของโครงการ							
รายได้จากการขายไฟฟ้า (Electricity Sales Income)			35,662,460	35,662,460	35,662,460	35,662,460	35,662,460
รายได้รวมของโครงการ (Total Income)			35,662,460	35,662,460	35,662,460	35,662,460	35,662,460
กระแสเงินสด (Cash Flow)	-52,250,000	-1,835,050	14,075,050	15,642,550	24,282,460	24,282,460	24,282,460
เงินสะสม (Accumulated Cash Flow)		-1,835,050	12,246,300	72,465,248	177,773,354	299,185,656	420,597,958
อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)			27.70%				
ตัวคูณส่วนลด (Discount factor)			7%				
ค่าเสื่อม (Depreciation)			2,612,500	2,612,500	2,612,500	2,612,500	2,621,500
กระแสเงินสดอิสระ (Free Cash Flow to the Firm : FCFF)	-52,250,000	-1,835,050	16,687,550	18,255,050	26,894,960	26,894,960	26,894,960
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)	181,602,545						

ตารางที่ 15 ประเมินและวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของทางสายพันธุ์กบ.แม่โจ้ 2 ในแต่ละปี

โครงการ	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 5	ปีที่ 10	ปีที่ 15	ปีที่ 20
การประมาณโครงการพร้อมดอกเบี้ย	1,828,750					
(Estimated Interest during construction period)						
ค่าใช้จ่ายดอกเบี้ย (Interest Expenses)		2,743,125	1,175,625			
ยอดเงินกู้ (Loan Balance)	52,250,000	44,785,714	14,928,571			
เงินกู้แบบแบ่งชำระคืน (Loan Payment)		7,464,286	7,464,286			
ค่าใช้จ่ายโครงการ						
ค่าบริหารโครงการรวม (Plant O&M Cost)		11,380,000	11,380,000	11,380,000	11,380,000	11,380,000
ค่าใช้จ่ายรวมของโครงการ (Total Expense)	1,828,750	21,587,411	20,019,911	11,380,000	11,380,000	11,380,000

จากตารางที่ 11-12 การวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ จากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข. แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว กำหนดอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำต่อปีเท่ากับ 5.25% ที่ระยะเวลาเงินกู้ 7 year เติบโตระบบ 300 day/year โดยมีรายได้ของโครงการจากการขายไฟฟ้าต่อปีเท่ากับ 35,662,460 และ 35,044,900 baht/year ตามลำดับ โดยฟางข้าวสันป่าตอง 1 มีรายได้จากการขายไฟฟ้ามากกว่าฟางข้าวกข. แม่โจ้ 2 เท่ากับ 617,560 baht/year และค่าใช้จ่ายโดยรวมของโครงการในปีที่ 1 เท่ากับ 21,587,411 baht/year (ผลรวมของค่าใช้จ่ายดอกเบี้ยรายปี ยอดเงินกู้แบ่งชำระคืน ค่าบริหารโครงการและซ่อมบำรุงแบบคงที่ และค่าจ้างแรงงานรายปี) ส่งผลให้กระแสเงินสดของโครงการในปีที่ 1 เท่ากับ 14,075,050 และ 13,457,489 baht/year ตามลำดับ จากกระแสเงินสดที่ได้ส่งผลให้อัตรผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับ 27.70% และ 27.02% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่า IRR ของฟางข้าวทั้งสองชนิดมากกว่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำแสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมในการลงทุน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสมีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) ต่อปีเท่ากับ 20.88% พบว่ามีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการสูงกว่าเป็นผลมาจากงานวิจัยไม่มีค่าใช้จ่ายในด้านของวัตถุดิบเนื่องจากฟางข้าวที่ใช้ทำการวิจัยเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และในส่วนของมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) ที่อัตราคิดลด 7% เท่ากับ 181,602,545 และ 175,060,096 baht ตามลำดับ ซึ่งได้จากกระแสเงินสดอิสระของโครงการที่คำนวณจากค่ากระแสเงินสดรวมกับค่าเสื่อม โดยมีการคิดค่าเสื่อมจากเงินลงทุนหารด้วยอายุโครงการ 20 year คิดเป็นค่าเสื่อมปีละ 2,612,500 baht จากการลงทุนข้างต้นของฟางข้าวทั้ง 2 ชนิด มีระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (PB) เท่ากับ 1.47 และ 1.49 year ตามลำดับ โดยมีระยะเวลาผ่อนจ่ายจากกรณีกู้ยืม 100% ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจในการลงทุนเนื่องจากผลตอบแทนพบว่ามีค่า NPV เป็นบวกและมีค่า IRR มากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ แสดงว่าโครงการนี้ให้ผลตอบแทนมากกว่าค่าลงทุน และเมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับส่วนของวัตถุดิบฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน การเติบโตระบบในโครงการจะต้องใช้ฟางข้าวที่ปริมาณ 10,500 ton/year พบว่าในจังหวัดเชียงใหม่, เชียงราย, ลำปาง และแพร่ มีปริมาณที่เพียงพอต่อกระบวนการผลิตเหมาะแก่การลงทุน แต่ในส่วนของจังหวัดลำพูน, พะเยา, น่าน, แม่ฮ่องสอน และอุตรดิตถ์ยังมีปริมาณที่น้อยเกินไป จึงยังไม่เหมาะแก่การลงทุน และในส่วนของฟางข้าวกข. แม่โจ้ 2 จัดเป็นฟางข้าวสายพันธุ์ใหม่ จึงยังไม่

มีข้อมูลปริมาณฟางข้าวในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบนทั้ง 9 จังหวัด ทำให้ไม่สามารถคาดการณ์ความเหมาะสมในการลงทุนได้



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่ใจ 2 ร่วมกับมูลวัว โดยอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบตั้งต้นและหัวเชื้อถั่วหมักที่ 1:2 (w/v) จากนั้นปรับสภาพฟางข้าวด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 4 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 แบบด่าง (NaOH) 2% (w/v) ที่อุณหภูมิแวดล้อม วิธีที่ 2 การหมักกรด (Pre-acidification) ที่อุณหภูมิแวดล้อมโดยใช้ระยะเวลา 72 hr วิธีที่ 3 ความร้อนโดยใช้เครื่องหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C, 15 psi, 20 min และวิธีที่ 4 แบบผสมผสาน คือ ด่าง (NaOH) 2% (w/v) ที่อุณหภูมิแวดล้อม ร่วมกับหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 °C, 15 psi, 20 min นอกจากนี้ยังใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเป็นตัวควบคุม ระบบการย่อยสลายไม่ใช้ออกซิเจนถูกดำเนินการแบบแบทช์ที่สภาวะเมโซฟิลิก (35 ± 2 °C) เป็นเวลา 45 days โดยมีองค์ประกอบของงานวิจัยทั้งหมด 3 ส่วน ประกอบไปด้วยส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่ใจ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่ใจ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว และส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่ใจ 2 เหลือทิ้งในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน โดยสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข.แม่ใจ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว โดยฟางข้าวทั้ง 2 ชนิด มีการปรับสภาพที่ต่างกันแบ่งออกเป็น 4 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 แบบด่าง (NaOH) 2% (w/v) วิธีที่ 2 การหมักกรด (Pre-acidification) วิธีที่ 3 ความร้อน (Autoclave) และวิธีที่ 4 แบบผสมผสาน จากการศึกษาพบว่าค่า TS ของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ให้ค่าอยู่ในช่วง 90.95-99.91% และค่า TS ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่ใจ 2 ให้ค่าอยู่ในช่วง 91.11-98.49% ถัดมาพบว่าค่า VS ของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ให้ค่าอยู่ในช่วง 79.69-91.19% และค่า VS ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่ใจ 2 ให้ค่าอยู่ในช่วง 81.28-92.78% และค่า VS/TS ratio ในวิธีที่ 1 แบบด่าง มีค่าเท่ากับ 0.92, 0.94 ตามลำดับ วิธีที่ 2 แบบหมักกรด มีค่าเท่ากับ 0.88, 0.91 ตามลำดับ วิธีที่ 3 แบบ

ความร้อน มีค่าเท่ากับ 0.89, 0.91 ตามลำดับ วิธีที่ 4 แบบผสมผสาน มีค่าเท่ากับ 0.94, 0.94 ตามลำดับ โดยพบว่าอัตราส่วน VS/TS Ratio ดังกล่าวของฟางข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว ซึ่งจากผลการศึกษาของฟางข้าวทั้ง 2 ชนิด พบว่าการปรับสภาพด้วยวิธีผสมผสานมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงที่สุดที่ 69.60% และ 68.83% ตามลำดับ อีกทั้งยังมีปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันและก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด เท่ากับ 92.45 และ 88.27 mL/days ตามลำดับ และ 2,114.26 และ 1,959.71 mL/days ตามลำดับ สัดส่วนของก๊าซมีเทนเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 66.0 และ 65.0% ตามลำดับ รวมถึงให้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพจำเพาะมีค่าสูงสุดที่ 706.00 และ 652.56 ml N/g VS added ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการปรับสภาพฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 สามารถใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งถือเป็นพลังงานทดแทน และยังเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาการเผาไหม้ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนี้ได้

ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของผลผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 เหลือทิ้งในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน พบว่าฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 มีค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของกระแสเงินสดในส่วนเพิ่มของโครงการที่ระยะเวลาในการวิเคราะห์ 20 ปี มีค่าเท่ากับ 181,602,545 Baht และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) ต่อปีเท่ากับ 27.70% ขณะที่มีระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (PB) เท่ากับ 1.47 year ซึ่งให้ผลดีกว่าฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2 พบว่ามีความน่าสนใจในการลงทุนเนื่องจากผลตอบแทนมีค่า NPV เป็นบวกและมีค่า IRR มากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ แสดงว่าโครงการนี้ให้ผลตอบแทนมากกว่าค่าลงทุน จึงสรุปได้ว่าการนำฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 มาใช้ประโยชน์ผ่านการผลิตพลังงานหมุนเวียนสามารถสร้างผลตอบแทนและเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวได้ และเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจพบว่าในส่วนของวัตถุดิบฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 ในจังหวัดเชียงใหม่, เชียงราย, ลำปาง และแพร่ มีปริมาณที่เพียงพอต่อกระบวนการผลิตเหมาะแก่การลงทุน แต่ในส่วนของจังหวัดลำพูน, พะเยา, น่าน, แม่ฮ่องสอน และอุตรดิตถ์ยังมีปริมาณที่น้อยเกินไปจึงยังไม่เหมาะแก่การลงทุน

ข้อเสนอแนะ

- 1.1 ในขั้นตอนการปรับสภาพวัตถุควบคุมควรมีการวิเคราะห์องค์ประกอบเซลล์โลส เฮมิเซลล์โลส และลิกนิน เนื่องจากวัตถุเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส
- 1.2 ควรมีการทดสอบค่า C/N Ratio เนื่องจากสารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนของสารอินทรีย์ เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน
- 1.3 ควรมีการทดสอบกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์สันป่าตอง 1 และกข.แม่โจ้ 2 ในระบบใหญ่
- 1.4 ระบบควรมีการศึกษาการนำกากตะกอนที่เกิดจากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น การผลิตปุ๋ยชีวภาพ หรือ การนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งอัดเม็ดหรืออัดแท่ง เป็นต้น เพื่อเป็นการจัดการวัสดุเหลือทิ้งของฟางข้าวอย่างครบวงจร
- 1.5 ควรมีการสำรวจข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกของข้าวเหนียวสายพันธุ์กข.แม่โจ้ 2



บรรณานุกรม

กรมการข้าว. 2556. **ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. 2556.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files> (15 มกราคม 2563).

กรมการข้าว. 2563. **องค์ความรู้เรื่องข้าว.** [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.ricethailand.go.th/rkb3/> (15 มกราคม 2563).

กรมควบคุมมลพิษ. 2563. **ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศประจำวันจันทร์ ที่ 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 เวลา 16:00 น.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php (3 กุมภาพันธ์ 2563)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2552. **ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?nid=486. (18 มกราคม 2563).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. **ศึกษาและสาธิตการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล.** ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ กันยายน 2553.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. **โครงการศึกษาสาธิตการทำก๊าซชีวภาพให้เป็นไบโอมีเทน.** ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมบางเขน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กุมภาพันธ์ 2554.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. **โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์.** รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับ บริษัท จีอีอี. แมเนจเม้นท์ จำกัด. มกราคม 2555.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2557. **คู่มือการลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานแบบครบวงจรในโรงงานอุตสาหกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. 1 ธันวาคม พ.ศ. 2557.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2557. **ระบบสารสนเทศและฐานข้อมูลเพื่อติดตามและประเมินผลการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศ.** ข้อมูลที่สำรวจและประเมินศักยภาพประจำปี 2557 (สรุปข้อมูล ณ วันที่ 30 กันยายน 2557).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2557. **หลักสูตรด้านการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบต่าง ๆ**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA19E.pdf>. (7 กุมภาพันธ์ 2564).

กระทรวงพลังงาน. 2562. **สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยเดือนมกราคม – กันยายน 2562**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา https://www.dede.go.th/download/stat62/frontpage_jan_sep_62.pdf. (15 มกราคม 2563).

กิตติยา ป้อมเงิน ประภา โഴ๊ะสลาม และรัชพล พะวงค์รัตน์. 2559. **การผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่งร่วมกับมูลวัวโดยกระบวนการหมักแบบกะ**. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปกร. ปีที่ 8 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน – ธันวาคม 2559.

กิตติยา ป้อมเงิน ประภา โซ๊ะสลาม และรัชพล พะวงค์รัตน์. 2560. **การผลิตแก๊สชีวภาพจากต้นรูปฤๅษีที่ผ่านการปรับสภาพ (*Typha angustifolia L.*) ร่วมกับมูลวัวโดยกระบวนการหมักแบบกึ่งกะ**. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปกร. ปีที่ 4 ฉบับที่ 5 เดือน กันยายน – ตุลาคม 2560. หน้า 28-41.

ศุภาพล ปิ่นพัฒนพงศ์ และ ฐนียา รังษีสุริยะชัย. 2563. **การเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพหญ้าเนเปียร์โดยสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์หมักร่วมกับเศษอาหาร**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2563 จ.ชลบุรี.

คุณากร มั่นชื่น. 2558. **ผลของการเตรียมฟางข้าวทางเคมีต่อคุณลักษณะน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบหมักร่วมแบบไร้ออกซิเจน**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

จุฑาภรณ์ ชนะถาวร. 2560. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของวัสดุเหลือทิ้งคาร์บอนสูงและน้ำเสียจากการเตรียมเบตดิงไส้เดือน**. วิทยาลัยพลังงานทดแทน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ชนกพร วงษ์วัน. 2555. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพเบื้องต้นร่วมกับของเสียกลีเซอรอล**. วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2555.

ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พัฒน์ และโกวิท สุวรรณหงษ์. 2555. **การผลิตแก๊สชีวภาพจากซากชีวมวลในร่องสวนของชุมชนในอำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม**. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

จิตชนก คงแดง. 2554. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราโดยการหมักร่วมกับมูลสุกรสำหรับใช้ในครัวเรือน**. วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชุติมา คุณภักดี ดร.กลยกร ขวัญมา และสุภาวดียอดทองดี. 2560. การพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยร่วมของเชื้อจุลินทรีย์ มูลไก่ และหญ้าเนเปียร์ ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพระบบบ่อปิดแบบน้ำวน. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ 2560. วันที่ 10 มีนาคม 2560 ณ อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฐปน ชื่นบาล ศิราภรณ์ ชื่นบาล มยุรา ศรีกัลยานุกูล รุ่งทิพย์ กาวารี และณัฐกิตติ์ คำป่า. 2560. อัตราส่วนที่เหมาะสมของของเสียจากฟาร์มสุกรกับหญ้าเนเปียร์หมักด้วยเชื้อ. รายงานการประชุมวิชาการ ประจำปี 2560 7-8 ธันวาคม 2560 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ธนพล แสงสว่าง. 2560. การศึกษาผลของศักยภาพการย่อยสลายทำให้เกิดก๊าซมีเทนของผักตบชวาร่วมกับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตอีสต์สก็ด. วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2560.

นพวรรณ เสมวิมล และเกษม จันทร์แก้ว. 2556. การศึกษาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักกากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียภายใต้กระบวนการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ. วารสารวิชาการ Veridian E-Journal ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม – สิงหาคม 2556.

น้ำเพชร พันธุ์พัฒน์. 2554. ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยไบโอแก๊สที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิรันดร หน้าแดง. 2557. ผลของการหมักหญ้าซิกแนลเล็กร่วมกับกระถินต่อคุณภาพของพืชหมัก. มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์.

นิลวรรณ ไชยทนต์ (2552). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและเศรษฐศาสตร์ของการใช้ระบบหมักแบบไร้อากาศแบบถังกวนต่อเนื่องในสถานะเทอร์โมฟิลิกเพื่อบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิลวรรณ ไชยทนต์ รมัไพร มุกเมืองทอง วรุฒ ชมเจริญ และอนุพันธ์ วรรณภีระ. 2559. ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของหญ้าเนเปียร์พันธุ์แคระภายใต้การปรับสภาพเบื้องต้น. วารสารวิศวกรรมศาสตร์สารละลายต่าง. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2559.

บัณฑิต เกิดมงคล. 2556. การทดลองฟางและตอซังข้าวของเกษตรกร ตำบลตะคุ อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี.

ปฏิรูป ผลจันทร์ ปวันรัตน์ บุญอ่อน และภัทรวดี สุขสุวรรณ. 2557. **โครงการผลของชนิดและปริมาณมูลสัตว์ ระยะเวลาในการกวนผสม และความเข้มข้นของแข็งต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์โดยถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ.** ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปิยะนุช เป็ยคง. 2557. **การศึกษาการผลิตไฮโดรเจนจากทะเลสาบปาล์มเปล่า.** วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พลกฤษณ์ คุ่มกล้า. 2557. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

มนตรี ปัญญาทอง และกฤตภาค บูรณวิทย์. 2557. **ความสัมพันธ์ของอินทรีย์วัตถุกับค่าความเป็นกรดของพีชหมักบางชนิด.** วารสารนเรศวรพะเยา ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2557.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. 2554. **การคำนวณ ก๊าซชีวภาพ.** [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.werd.cnu.ac.th> (13 มกราคม 2563).

รัชพล พวงศรีรัตน์. 2558. **กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส*.** สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-มิถุนายน 2558.

ลลิตา สิ้นไชย. 2559. **ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของน้ำเสียชุมชนและเศษอาหาร.** วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2559.

วรพจน์ รัตนพันธุ์. 2550. **สภาวะการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเส้นขนมจีนโดยระบบแบบแอนแอโรบิคคอนแทค.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัชรพล วงศ์เลิศอารักษ์. 2556. **การบำบัดก่อนด้วยสภาวะต่างและอิทธิพลของอุณหภูมิ ในการย่อยตะกอนส่วนเกินด้วยระบบแอนแอโรบิค.** วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2556.

วัฒนณรงค์ มากพันธ์ อุดม ทิพย์รักษ์ ทศพล แสนศรี ศักดินันท์ แก้วดา และวรรณศักดิ์ สุขสง. 2563. **ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน.** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2563.

วิจิตรพร เจริญรัตน์. 2016. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน.** วารสาร JEET, 3(1), 1-10.

วิชชุตา ตุ่มทอง. 2559. การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักกากอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตเครื่องตีและโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์. วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2559.

วิทยากรณ์ คงอยู่. 2561. อิทธิพลของการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว. วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2561.

วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์ และ นุชรา สิบบัวทอง. 2556. การปรับสภาพฟางข้าวทางเคมีเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลังงานทดแทน. ใน เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51: สาขาวิทยาศาสตร์, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (น. 129-135). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

เวสารัช สุนทรชัยบุรณ์ ธัญวิทย์ พลายงาม และ รัชพล พะวงศ์รัตน์. 2558. การปรับสภาพขุยมะพร้าวเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับมูลวัว. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กันยายน 2558.

เวสารัช สุนทรชัยบุรณ์ ธัญวิทย์ พลายงาม และ รัชพล พะวงศ์รัตน์. 2557. การปรับสภาพขุยมะพร้าวเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับมูลวัว. Research Journal. ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 19 กันยายน 2015.

ศศิธร ไสป่า ฐปน ชื่นบาล นิกราน หอมดวง จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และจรพวรรณ นิรัฐศิลป์. 2563. การศึกษาระยะเวลาการกวนผสมและหมุนเวียนตะกอนที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดหวานด้วยกระบวนการหมักแบบแห้ง. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า CRMA Journal ปีที่ 18 2563.

ศศิธร ไสป่า และจรพวรรณ นิรัฐศิลป์. 2560. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในกระบวนการตัดเมล็ดข้าวโพด. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 วันที่ 31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่.

ศศิธร ไสป่า. 2562. ต้นแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดหวานด้วยกระบวนการหมักแบบแห้ง. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ศุนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่. 2563. 20 ปี ข้าวสันป่าตอง 1. พฤษภาคม 2563.

สุดารัตน์ ภัคดี. 2551. การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วและน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นโดยใช้กระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์. มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุภาวดี ผลประเสริฐ. 2557. การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 22 ฉบับที่ 5 (ฉบับพิเศษ) 2557.

สุรพงศ์ นนทประเสริฐ. 2553. การบำบัดเบื้องต้นโดยใช้วิธีทางความร้อนและทางชีวภาพต่อความสามารถในการย่อยสลายของใบอ้อยในระบบไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553

โสภา เกตุสุวรรณ. 2555. การศึกษาออกแบบและพัฒนาของตกแต่งบ้านจากวัสดุเหลือใช้ทางการเก็บเกี่ยวข้าว. มหาวิทยาลัยศิลปกร. อัมพรรค์ วรรณโกมล. 2560. การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากฟาร์มกุ้ง. สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อัมพรรค์ วรรณโกมล. 2560. การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากฟาร์มกุ้ง. สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณีสำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2560.

Abraham A., Mathew A K., Park H., Choi O., Parameswaran R S., Pandey A., Park J H. and Sanga B. 2020. Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, 301:122725.

Aditi D., Tanvi G., Abhilash KT., Julie M., Kylie F. and Rajesh KS. 2018. Thermophilic anaerobic digestion: enhanced and sustainable methane production from co-digestion of food and lignocellulosic wastes. **Energy**, 11(2058). 1-13.

Amorpan T., Kanyarat S., Shao Y L., Chettaphong P., Chayanon S., and Sumate C. 2020. Anaerobic Digestion of Napier Grass (*Pennisetum purpureum*) in Two-Phase Dry Digestion System Versus Wet Digestion System. **BioEnergy Research**, 13:853-865.

Chayanon S., Hyungseok N., Sushil A., Shihwu S. and Samir K K. 2018. Decentralized biorefinery for lignocellulosic biomass: Integrating anaerobic digestion with thermochemical conversion. **Bioresource Technology**, 250 (2018) 140-147.

Daniela G., Harald W., Lucie M., Andreas Z. and Walter S. 2017. Effect of particle size reduction and ensiling fermentation on biogas formation and silage quality of wheat straw. **Bioresource Technology**, 245, Part A, December 2017, 216-224.

Dong L., Cao G., Zhao L., Liu B. and iRen N. 2018. Alkali/urea pretreatment of rice straw at low temperature for enhanced biological hydrogen production. **Bioresource Technology**, 267, 71-76.

Gabriele M., Stefano P., Piet N.L. Lens, Giovanni E. 2018. Increased biogas production from wheat straw by chemical Pretreatments. **Renewable Energy**, 119, 608-614.

Htay A P. 2019. OPTIMIZING METHANATION OF CASSAVA PULP DIGESTION BY ZERO VALENT IRON. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Engineering Suranaree University of Technology Academic Year 2019.

Javier U H., Inty O H., Mónica M C., Alexia S, Fernando H. and Nagamani B. 2019. Insight into Pretreatment Methods of Lignocellulosic Biomass to Increase Biogas Yield: Current State, Challenges and Opportunities. **Appl. Sci**, 2019, 9, 3721.

Liua T., Zhou X., Li Z., Wang X.and Sun J. 2019. Effects of liquid digestate pretreatment on biogas production for anaerobic digestion of wheat straw. **Bioresource Technology**, 280, 345-351.

Lo'pez Torres M., Ma. del C. Espinosa Llore'ns. 2008. Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes. **Waste Management**, 28 (2008) 2229-2234.

McIntosh S. and Vancov T. 2010. Enhanced enzyme saccharification of Sorghum bicolor straw using dilute alkali pretreatment. **Bioresource Technology**, 101, 6718-672.

Michel S., Stijn W.H., Van H., Sander H., Han V., and Katleen R. 2017. Laccase enzyme detoxifies hydrolysates and improves biogas production from hemp straw and miscanthus. **Bioresource Technology**, 244(1), 597-609.

Moonkyung K., Byung C K., Kyoungphile N. and Yongju C. 2018. Effect of Pretreatment Solutions and Conditions on Decomposition and Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass in Rice Straw. **Biochemical Engineering Journal**, (2018)

Ratchapol Pawongrat. 2011. The optimal condition for hydrolyses preparation from water hyacinth using autoclave for ethanol production. **Veridian E-Journal SU**, 4:1, May - August 2011.

Remli N., Shah U., Mohamad R. and Abd-Aziz S. 2014. Effects of Chemical and Thermal Pretreatments on the Enzymatic Saccharification of Rice Straw for Sugars Production. **BioResources**, 9(1), 510-522.

Sfez S., Meester S.D. and Dewulf J. 2017. Co-digestion of rice straw and cow dung to supply cooking fuel and fertilizers in rural India: Impact on human health, resource flows and climate change. **Science of The Total Environment**, 609, 1600-1615.







ภาคผนวก ก
การเผยแพร่บทความวิชาการ

บทความทางวิชาการที่ 1

ชื่อผู้แต่ง:	กรรณิกา แสนภักดี รจพรรณ นิรัญศิลป์ ธเนศ ไชยชนะ ฐปน ชื่นบาล
ชื่อบทความ:	การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กช.แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว Biogas production from RD-MAEJO 2 rice straw with cow manure Inoculum
ชื่อการประชุมวิชาการ:	การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 13th Thailand Renewable Energy for Community Conference
หน้าที่ตีพิมพ์:	82-89
สถานที่จัดประชุม:	ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
วันที่จัดประชุม:	5-7 พฤศจิกายน 2563

บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

จัดประชุมโดย



PROCEEDINGS
**การประชุมสัมมนาวิชาการ
 รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน
 แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13**
**13th Thailand Renewable Energy
 for Community Conference**

5-7 พฤศจิกายน 2563
 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

**#TREC
 13**
 พลังงานชุมชน
 บนฐาน
 วิถีชีวิตใหม่

#TREC13





บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



#TREC
13
พลังงานชุมชน
บนฐาน
วิถีชีวิตใหม่





วอมอบเกียรติบัตรนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

กรรมนิภา แสงมณีกิติ, รจพรธณ นิรัญศิริลปป์, ธเนศ ไชยชนะ, และฐปน ซีนบาต

บทความเรื่อง

“การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว”

ได้เข้าร่วมการนำเสนอบทความ
ประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
วันที่ 5-7 พฤศจิกายน 2563 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต



(รศ.นิตชนนธ์ นิตชนนธ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



(ดร.อภาพ อาภาเนตร)
นายกสมาคมพลังงานชุมชน
สู่ชุมชนแห่งประเทศไทย



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิวักร อ่างทอง)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กษ แม่โจ้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว
Biogas production from RD-MAEJO 2 rice straw with cow manure Inoculum

กรณีศึกษา แอนโทนี รงพรรณ นิธิกุลพิศมัย ธนศ โยชนะ และจูน ชีนมาล¹
¹สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 จังหวัดเชียงใหม่ 50290
²สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กษ แม่โจ้ 2 โดยทำการรวมการหมักร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว ขนาด 1,000 mL ปริมาณใช้จริงเท่ากับ 400 mL ทำการกำหนดอัตราส่วนให้มีค่าเท่ากับ 50:50, 60:40, 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ โดยกระบวนการศึกษาจะใช้ระยะเวลา 30 days ภายใต้สภาวะอุณหภูมิแบบเมโซฟิลิก เท่ากับ 35±2 °C ซึ่งระบบมีการบ่มอนสารอินทรีย์แบบครึ่งเดียว จากการศึกษาพบว่า อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่อัตราส่วน 50:50 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด โดยให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 428.88 N mL/g VS added รองลงมา ได้แก่ อัตราส่วน 60:40, 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 404.90, 357.84 และ 64.91 N mL/g VS added ตามลำดับ และสัดส่วนของก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 52.6%, 48.8%, 41.5% และ 32.4% ตามลำดับ จากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่าสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งประเภทฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กษ แม่โจ้ 2 มาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการแปรรูปเพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนทางด้านความร้อนและไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ ฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กษ แม่โจ้ 2 มูลวัว

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนทางด้านพลังงานเพิ่มสูงขึ้นตามความต้องการใช้ของประชากรในประเทศพบว่าประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานคิดเป็นมูลค่ากว่า 806,122 ล้านบาทโดยมีการนำเข้าน้ำมันดิบมากที่สุด ทำให้คาดการณ์ได้ว่าในอนาคตพลังงานฟอสซิลอาจจะหมดไป รัฐบาลนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มขึ้น รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยลดสัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวม พบว่าในช่วง 9 เดือนของปี 2562 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 10,879 ktoe เพิ่มขึ้น 12.4% จากช่วงเดียวกันของปีก่อน ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟที่แสดงการใช้พลังงานหมุนเวียน 16.59% คิดจากการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด 65,591 ktoe [1] ยิ่งถือได้ว่าเป็นสัดส่วนที่ไม่มากนัก จึงต้องมีการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดปัญหาการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล ก๊าซชีวภาพจัดอยู่ในพลังงานทดแทนและเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งก๊าซชีวภาพเป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้แบคทีเรียในการทำปฏิกิริยาทำให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพขึ้นโดยก๊าซชีวภาพดังกล่าวจะให้ผลผลิตหลักเป็นก๊าซมีเทน 50 - 70% [2] ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการให้ความร้อนเพื่อทดแทนก๊าซหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิงรวมทั้งด้านการผลิตไฟฟ้า

E-I | 006
 นวัตกรรมด้านพลังงาน
 (Energy Innovation)



บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

[3]ซึ่งการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทยสามารถผลิตได้จากขยะมูลฝอยมูลสัตว์น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทยมีอยู่กระจายทั่วประเทศ ซึ่งปริมาณจะขึ้นอยู่กับผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ แต่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางประเภทยังไม่มีการนำไปใช้ เช่น ยอดและใบอ้อยแห้งเป็นส่าปะหลังทะลายปาล์มเปลือกกากปาล์มและฟางข้าวเป็นต้น[4]ซึ่งมีศักยภาพมากสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานได้เช่นกัน พบว่ามีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมากถึง 43 million ton/y ก็ไม่ได้นำมาใช้ผลิตพลังงาน คิดเป็นพลังงาน เท่ากับ 3,000 million toe [5] ประกอบกับในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ประชาชนส่วนใหญ่นิยมเพาะปลูกข้าวเหนียวสายพันธุ์ สันป่าตอง 1 และ กข แป้งใจ 2 เพื่อใช้บริโภคและจัดจำหน่าย เมื่อถึงช่วงของการเก็บเกี่ยวก็จะเก็บเกี่ยวเฉพาะผลผลิตเท่านั้น แต่จะยังเหลือฟางข้าวซึ่งเปรียบเสมือนขยะทางการเกษตรที่ต้องมีการกำจัดทิ้งในนาเฉลี่ยมี 25.45 million ton โดยวิธีการกำจัดฟางข้าวส่วนใหญ่จะเลือกการกำจัดในรูปแบบการเผาเพื่อความสะดวกและการเริ่มต้นการเพาะปลูกในรอบใหม่ ซึ่งการกำจัดด้วยการเผานี้จะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น เกิดหมอกควันและถ้าเป็นดินซึ่งจะปรากฏในรูปแบบของฝุ่นละอองโดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กรวมถึง PM2.5 และ PM10 หากมีค่าฝุ่นละอองเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศจะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของประชาชน[6] โดยเฉพาะผู้ที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยงซึ่งได้แก่เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่โรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจอยู่แล้วจะเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบได้ช้ำนอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อให้เกิดความเสี่ยงโรคมะเร็งของดิน เกิดการทำลายโครงสร้างของดิน รวมทั้งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตพืช สัตว์ระบบนิเวศนาข้าว และระบบนิเวศอื่นๆด้วยเหตุนี้การพัฒนาเทคโนโลยีทางพลังงานทดแทนเพื่อใช้ประโยชน์จากฟางข้าวอย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นอย่างยิ่งและหนึ่งในวิธีที่นำสนใจคือการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตก๊าซชีวภาพ

งานวิจัยนี้ซึ่งมีความสนใจในการนำฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข แป้งใจ 2 มาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยจะทำการศึกษาที่อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อหัวเชื้อมูลวัวเท่ากับ 50:50, 60:40, 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ โดยใช้กระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะแบบไร้อากาศที่อุณหภูมิเมโซฟิลิก เท่ากับ 35 ± 2 °C ซึ่งระบบมีการป้อนสารอินทรีย์แบบครึ่งเดียว

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 การนำฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข แป้งใจ 2 ทำการบดย่อย โดยใช้เครื่องบดให้มีความยาว 0.1-0.5 mm ดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นระยะเวลาานาน 48 h เมื่อผ่านการอบแห้งแล้วจะทำการเก็บรักษาในถุงที่ปิดสนิท เพื่อป้องกันความชื้น และทำการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติของวัตถุดิบที่จะนำมาทดลอง ประกอบด้วย ค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS) และปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (Volatile solids, VS)

1.2 การนำหัวเชื้อมูลวัวมาแยกเศษวัสดุอื่นๆที่ติดมากับหัวเชื้อออกก่อนและนำหัวเชื้อมาบดเพื่อทำให้หัวเชื้อมีความละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 1 (ข) จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติของหัวเชื้อได้แก่ค่า pH, TS, VS, ปริมาณค่าความเป็นด่าง (Alkalinity, ALK) และปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA)

1.3 นำหัวเชื้อมูลวัวมาทำการหมักในถังหมักชีวภาพขนาด 20L ก่อนนำหัวเชื้อไปใช้งานเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะการหมักย่อยแบบไร้อากาศ



บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)



(ก) ฟางข้าวหมักยีสต์ ๓๕ ชม. ๒



(ข) คาร์บอนรูพรุน

ภาพที่ 1 ลักษณะการถ่ายภาพของวัสดุ



บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

2. วิธีการทดลอง

สำหรับวิธีการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์กษแม่จิ 2 โดยทำการกระบวนการหมักร่วมกับหัวเชื้อมูลวัว ซึ่งระบบจะทำการควบคุมอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ เท่ากับ 50:50, 60:40, 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ โดยใช้ช่วงที่ปริมาณทรงกึ่งหนึ่งเท่ากับ 1,000 mL และปริมาตรการใช้งาน เท่ากับ 400 mL เมื่อทำการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ระบบแล้ว จะทำการศึกษาศึกษาภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพในสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศการหมักสารอินทรีย์แบบครั้งเดียว (Batch Fermentation) โดยระบบมีการควบคุมผลผลิตโดยกระบวนการเขย่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักก๊าซชีวภาพให้ได้ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นำช่วงการทดลองดังกล่าวไว้ในห้อง 35±2 °C เพื่อให้จุลินทรีย์ภายในหมักปฏิกิริยาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของหัวเชื้อ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 30 days และการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. คุณสมบัติของวัตถุดิบ

1.1 ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ

สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพของฟางข้าวเหนียว กษแม่จิ 2 มีปริมาณของคาร์บอน ไนโตรเจน โปแตสเซียม ใยหยาบ เถ้า และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 4.98±0.85%, 2.85±1.32%, 2.03±2.41%, 55.76±6.48%, 13.00±7.04% และ 21.12±4.53% ตามลำดับ จากการพิจารณาพบว่า ฟางข้าวมีปริมาณของกากใยหยาบเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ โดยกากใยหยาบในฟางข้าวประกอบไปด้วยสารจำพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวมีปริมาณแตกต่างกันไปเนื่องจากหลายปัจจัย ได้แก่ พันธุ์ข้าว สิ่งแวดล้อมในการเจริญเติบโต เช่น สภาพอากาศฤดูกาลอาหารในดิน เป็นต้น ซึ่งทั้งระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวและกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวสามารถส่งผลต่อปริมาณของสารประกอบได้เช่นกัน [5] ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาพทางกายภาพโดยการบดสับให้มีขนาดเล็กลงเพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการหมักระหว่างวัตถุดิบและหัวเชื้อ

1.2 ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ

สำหรับการพิจารณาลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักร่วมกับฟางข้าวสายพันธุ์ กษ.แม่จิ 2 และหัวเชื้อมูลวัว จะทำการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ในการวิเคราะห์ทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ

พารามิเตอร์	หน่วย	ฟางข้าวเหนียว สายพันธุ์ กษ. แม่จิ 2	หัวเชื้อมูลวัว
pH	-	6.8±0.02	7.2±0.03
TS	mg/L	940,322±568	43,580±639
VS	mg/L	839,419±285	30,570±546
VS/TS Ratio	-	0.81±0.10	0.74±0.18
ALK	mg CaCO ₃ /L	-	3,782±264
VFA	mg CH ₃ COOH/L	-	1,362±186
VFA/ALK Ratio	mg CH ₃ COOH/ mg CaCO ₃	-	0.35±0.32



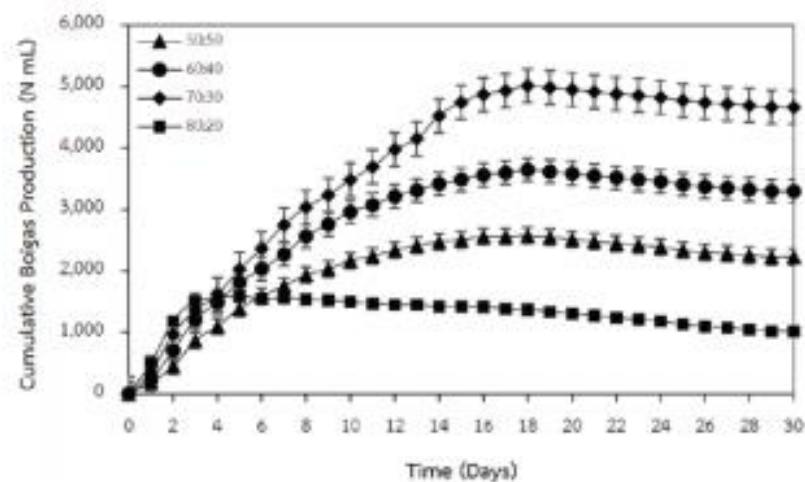
บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

จากตารางที่ 1 จากการศึกษาพบว่า ส่วนที่ 1 ค่า pH ของฟางข้าวสายพันธุ์ กข แม็โจ้ 2 และหัวเชื้อมูลวัว มีค่าเท่ากับ 6.8 ± 0.02 และ 7.2 ± 0.03 ตามลำดับ ส่วนที่ 2 ค่า TS เท่ากับ $94.03 \pm 0.03\%$ และ $43.58 \pm 0.30\%$ ตามลำดับ และค่า VS เท่ากับ $83.94 \pm 0.53\%$ และ $30.57 \pm 0.47\%$ ตามลำดับ โดยอัตราส่วน VS/TS Ratio มีค่าเท่ากับ 0.81 ± 0.14 และ 0.74 ± 0.18 ตามลำดับ พบว่าค่า VS/TS Ratio ดังกล่าวเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นและหัวเชื้อในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยค่า VS/TS Ratio ควรอยู่ในช่วง $0.69-0.95$ โดยจะให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ 0.95 [6] ส่วนที่ 3 ค่า VFA/ALK Ratio มีค่าเท่ากับ 0.35 ± 0.32 พบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งแสดงว่าระบบมีฟีลเลอร์สูงเพียงพอเทียบกับกรดที่อยู่ในระบบโดยปริมาณของค่า VFA/ALK Ratio ควรต่ำกว่า 0.4 [7]

2. การศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

สำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข แม็โจ้ 2 และหัวเชื้อมูลวัว ที่อัตราส่วน เท่ากับ 50:50, 60:40, 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในช่วงแรกของทั้ง 4 เชื้อนโย ของการทดลองมีค่าสูงในช่วงวันที่ 1 ถึง 14 วันแรก จากนั้นจะลดลงจนเข้าสู่ภาวะคงที่

โดยปริมาณของก๊าซชีวภาพมีค่ามากที่สุด คือ ที่อัตราส่วนเท่ากับ 70:30 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $5,010.34 \pm 526$ N mL รองลงมา คือ สัดส่วน 60:40, 50:50 และ 80:20 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ $3,643.51 \pm 513$, $2,574.08 \pm 519$ และ $1,587.54 \pm 113$ N mL ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3



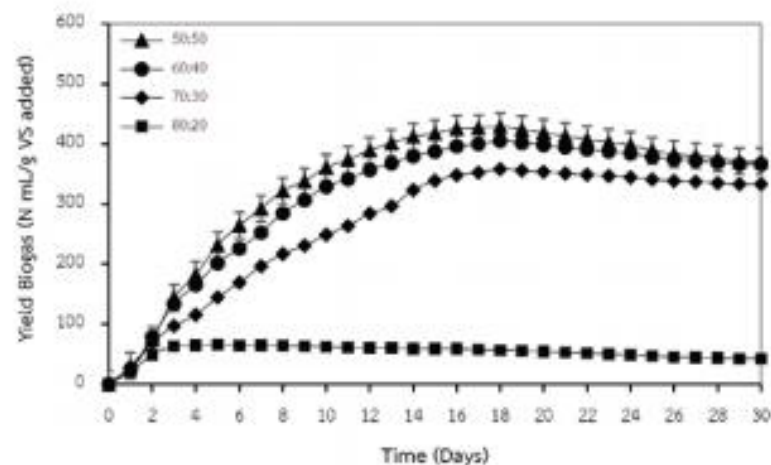
ภาพที่ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ



บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

3. ผลผลิตของก๊าซชีวภาพจำเพาะของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

สำหรับผลผลิตของก๊าซชีวภาพคือปริมาณของก๊าซชีวภาพต่อการย่อยสลายของสารอินทรีย์ต่อหน่วย โดยในเบื้องต้นนี้จะทำการพิจารณาปริมาณของผลผลิตของก๊าซชีวภาพต่อหน่วยของแข็งระเหยง่าย (VS) เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่ได้ทำการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นของแข็ง คือ ฟางข้าวสลายพันธุ์ กษ แม็จิ 2 ผลผลิตของก๊าซชีวภาพจำเพาะภายใต้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของกระบวนการศึกษาค้นคว้าหมักฟางข้าวสลายพันธุ์ กษ แม็จิ 2 ต่อหัวเชื้อมูลวัวโดยใช้อัตราส่วน 50:50, 60:40, 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ จากการศึกษพบว่า ที่อัตราส่วน 50:50 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด เท่ากับ 428.88 ± 70.64 N mL/g VS added รองลงมา ได้แก่ อัตราส่วนที่ 60:40, 70:30 และ 80:20 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 404.90 ± 46.61 , 357.84 ± 30.73 และ 64.91 ± 6.01 N mL/g VS added ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีผลมาจากค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบข้างต้น อาทิ pH, VFA, ALK, TS และ VS ตามลำดับ โดยปริมาณของก๊าซชีวภาพมีค่าสูงในช่วงวันที่ 1 ถึง 14 วันแรก จากนั้นจะลดลงจนเข้าสู่สภาวะคงที่ ซึ่งกระบวนการหมักเป็นแบบการเดินสารอินทรีย์แบบครั้งเดียว สารอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพไปจนหมดจึงส่งผลโดยตรงทำให้ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันลดลงตามไปด้วย [10] และอัตราส่วนที่ 60:40, 70:30 และ 80:20 เนื่องจากอัตราส่วนของวัตถุดิบที่มากกว่าหัวเชื้อมูลวัวและวัตถุดิบมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบได้หมด ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นลดลง [11]



ภาพที่ 4 ผลผลิตของก๊าซชีวภาพจำเพาะของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ



บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

4. องค์ประกอบก๊าซชีวภาพของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	หน่วย	อัตราส่วนของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กษ แม็จี้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์			
		50:50	60:40	70:30	80:20
Methane (CH ₄)	% (w/v)	42.8-56.3	40.0-52.1	34.4-45.7	23.5-36.3
Carbon dioxide (CO ₂)	% (w/v)	20.8-24.5	25.2-30.4	28.4-33.4	30.3-45.6
Oxygen (O ₂)	% (w/v)	0.0-5.5	0.0-5.5	0.0-5.5	0.0-5.5
Hydrogen sulphide (H ₂ S)	ppm	0-687	0-546	0-518	0-412

จากตารางที่ 2 สัดส่วนของก๊าซมีเทนภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของกระบวนการศึกษาอัตราส่วนของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กษ แม็จี้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากการศึกษาพบว่า สัดส่วนของก๊าซมีเทนในอัตราส่วนที่ 50:50 อยู่ในช่วง 42.8-56.3% มีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 30 days เท่ากับ 52.6% สูงที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 60:40, 70:30 และ 80:20 อยู่ในช่วง 40.0-50.1%, 34.4-45.7% และ 23.5-30.3% ตามลำดับ มีสัดส่วนก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 30 days เท่ากับ 48.8%, 41.5% และ 32.4% ตามลำดับ จากการศึกษพบว่าอัตราส่วนของฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กษ แม็จี้ 2 ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากสัดส่วนของก๊าซมีเทนในอัตราส่วนที่ 50:50 ให้สัดส่วนก๊าซมีเทนมากกว่า 50% ซึ่งบ่งบอกถึงศักยภาพการนำก๊าซมีเทนไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานได้ [12] และอัตราส่วนที่ 60:40, 70:30 และ 80:20 พบว่ามีสัดส่วนของก๊าซมีเทนต่ำกว่า 50% เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนก๊าซมีเทนตามทฤษฎีคือประมาณ 50-70% ทั้งนี้อาจเกิดจากประสิทธิภาพของระบบหมักที่เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีการเติมอัตราส่วนของฟางข้าวมากเกินไปส่งผลให้หัวเชื้อจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพการย่อยค่อนข้างต่ำ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กษ แม็จี้ 2 โดยทำการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ ขนาด 1,000 mL ปริมาณใช้จริง เท่ากับ 400 mL ทำการกำหนดอัตราส่วนให้มีค่าเท่ากับ 50:50, 60:40, 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ โดยกระบวนการศึกษาใช้ระยะเวลา 30 days ภายใต้สภาวะอุณหภูมิแบบเมโซฟิลิก เท่ากับ 35±2 °C ซึ่งระบบมีการบิอนสารอินทรีย์แบบครั้งเดียว จากการศึกษพบว่า อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่อัตราส่วน 50:50 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด โดยให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 428.88 N mL/g VS added รองลงมา ได้แก่ อัตราส่วน 60:40, 70:30 และ 80:20 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 404.90, 357.84 และ 64.91 N mL/g VS added ตามลำดับ และสัดส่วนของก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 52.6%, 48.8%, 41.5% และ 32.4% ตามลำดับ จากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่าสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งประเภทฟางข้าวเหนียวสายพันธุ์ กษ แม็จี้ 2 มาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการแปรรูป เพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนทางด้านความร้อนและไฟฟ้าในอนาคตได้ซึ่งทางหนึ่งด้วย



บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ต้องกราบขอบพระคุณคุณสมบัตินิสิตนิสิตมหาวิทยาลัยภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศึกษากาแฟบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากวิทยาลัยพลังงานทดแทน และคุณศิษย์กษัตริย์ จากบัณฑิตวิทยาลัย ประจำปี 2562 ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน. (2562). สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยเดือนมกราคม-กันยายน 2562. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2563, จาก <https://www.dede.go.th/download/stat62/frontpageiansep62.pdf>.
- [2] ฉัยศรีธรรมาธรรณวิวัฒน์และโกวิทสุพรรณพงษ์. (2555). การผลิตแก๊สชีวภาพจากกากชีวมวลในโรงสวนของชุมชนในอำเภอเนินขาม จังหวัดสุพรรณบุรี. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- [3] อุทกธารณ์ธนะภาวธ. (2560). การผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักของวัสดุเหลือทิ้งคาร์บอนสูงและน้ำเสียจากการเตรียมเบตงตั้งไข่ดิบ. วิทยาลัยพลังงานทดแทน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2552). ศึกษาภาพชีวมวลในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2563, จาก https://www.dede.go.th/ewt_wc/ewt_news.php?id=486.
- [5] กรมการข้าว. (2556). สถานการณ์ของพลังงานชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. 2556. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2563, จาก <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files>.
- [6] กรมควบคุมมลพิษ. (2563). ข้อมูลเบื้องต้นคุณภาพอากาศประจำวันจันทร์ ที่ 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เวลา 16:00 น. สืบค้นเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2563, จาก <http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqiinfo.php>.
- [7] กลุ่มนักการบรู๊วตั้งถิ่นฐานจากกลุ่มชาติและอสพื้นที่ดงอิน (2558). สมนิติทางพหุวิทยาการและสมมติเชิงหน้าที่ของกากใยอาหารจากฟางข้าวสาคูด้วยเอนไซม์. ว. วิทยาศาสตร์เกษตร. 46 (3), 461-464.
- [8] Aditi, D., Tanvi, G., Abhilash, KT., Julie, M., Kylie, F., & Rajesh, KS. (2018). Thermophilic anaerobic digestion: enhanced and sustainable methane production from co-digestion of food and lignocellulosic wastes. *Energy*, 11(2058), 1-13.
- [9] สุดีนา คุณภักดิ์ ต.วิไลธร บวรวิภา และสุภาวดี ยอดทองดี (2560). การพัฒนากระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจากกากย่อยร่วมของเชื้อจุลินทรีย์มูลไก่และหญ้าเนเปียร์ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพระบบเปิดแบบน้ำวน. การประชุมวิชาการเสวนาพลังงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ 2560. วันที่ 10 มีนาคม 2560 ณ อาคารพอดิน สรรสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [10] นิตยธรรม โยชนู (2552). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและเศรษฐศาสตร์ของการใช้ระบบหมักแบบไร้อากาศแบบกึ่งถาวรต่อเนื่องในสภาวะกึ่งปิดในฟาร์มเพื่อจำหน่ายของเสียจากฟาร์มสุกร. วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีแม่โจ้. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [11] สุพรรณภา โยชนู และสกลศักดิ์ ฉัยศรีธรรณวิวัฒน์ (2559). การผลิตแก๊สชีวภาพจากเส้นใยป่านร่วมกับกากสาหร่ายสาหร่ายโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 8-9 ธันวาคม 2559.
- [12] กิตติยา ปิณฑิน, ประภา ธิ์-สลา และธิดา พวงศรีรัตน์ (2560). การผลิตแก๊สชีวภาพจากต้นหญ้าที่ผ่านการปรับสภาพ (*Typha angustifolia* L.) ร่วมกับมูลวัวโดยกระบวนการหมักแบบกึ่ง*. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 4 (5), 2408 - 2418.



บทความทางวิชาการที่ 2

- ชื่อผู้แต่ง: Kannika Sanpakdee
Rotjapun Nirunsin
Chayanon Sawatdeenarunat
- ชื่อบทความ: Pre-treatments of RD-MAEJO 2 Rice Straw for Enhancing
Methane Potential
- ชื่อการประชุมวิชาการ: Thai Society for Biotechnology International Conference Online
“Green Energy & Zero Waste Society”
- หน้าที่ตีพิมพ์: 229-237
- สถานที่จัดประชุม: Online Conference, Bangkok, Thailand
- วันที่จัดประชุม: 2 April 2021



บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



PROCEEDINGS

**Thai Society for Biotechnology
International Conference Online**

“Green Energy & Zero Waste Society”

April 2, 2021
Bangkok, Thailand

ONLINE CONFERENCE

 *Organized by*
Thai Society for Biotechnology (TSB)





บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

Thai Society for Biotechnology International Conference Online
"Green Energy & Zero Waste Society"



BEB13

Pre-treatments of RD-MAEJO 2 Rice Straw for Enhancing Methane Potential

Kannika Sanpakdee¹, Rotjapun Nirunsin^{1,*} and Chayanon Sawatdeenarunat²

¹*School of Renewable Energy, Maejo University Chiang Mai 50290, Thailand*

²*Asian Development College for Community Economy and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300, Thailand*

*Corresponding author. E-mail: rotjapun@gmail.com

ABSTRACT

Rice straw is one of the abundant agricultural residues in northern Thailand. However, this biomass has been rarely used for energy production. In addition, it was reported that glutinous rice species RD-MJU 2 was the popular strain cultivating in Chiang Mai for both consumption and trading. Unfortunately, during harvesting process, rice straw is left in the field and subsequently burnt for land preparation of the next crop. One of the appropriate strategies to handle this biomass is converting it to biogas which is the well-known and promising renewable energy form following waste-to-energy concept. This method could effectively address environmental and energy security issues at the same time. In this study, biogas productions from RD-MAEJO 2 rice straw using cow manure as an inoculum were studied using various pre-treatment techniques. The ratio between substrate and inoculum was controlled at 1:2 (w/v). After that, the rice straws were pre-treated using 4 different methods including 2% (w/v) Sodium hydroxide at ambient temperature (NaOH 2%), pre-acidification at ambient temperature for 72 h (pre-acidification 72 h), autoclaved at 121 °C 15 psi 20 min (autoclave), and Sodium hydroxide 2 % (w/v) at ambient temperature with autoclave at 121 °C 15 psi 20 min (NaOH 2 % with autoclave). Moreover, the untreated biomass was also used as the control. Anaerobic digestion systems were operated in batch mode at Mesophilic condition (35±2 °C) for 45 days. The cumulative biogas yield in the system of pre-treatment using NaOH 2 % coupled with autoclave presented the maximum content of 652.56 NmL /g VS added following by NaOH 2 %, without pre-treatment, pre-acidification 72 h, autoclave of 633.40, 552.25, 544.57 and 523.56 NmL /g VS added, respectively. The cumulative methane yield were 366.73, 336.97, 294.91, 275.01 and 261.52 NmL /g VS added, respectively. The methane content of 65.0%, 62.3%, 60.5%, 58.2%, 57.0% respectively. Thus, it could be concluded that after proper pre-treatment, the RD-MAEJO 2 rice straw could be potentially served as the substrate for producing biogas as an alternative energy and mitigate the open burning of this agricultural residue.

Keywords: RD-MAEJO 2 rice straw; Biogas; Anaerobic digestion

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



INTRODUCTION

Rice straw is one of the abundant agricultural residues in northern Thailand. However, this biomass has been rarely used for energy production. In addition, it was reported that glutinous rice species RD-MJU 2 was the popular strain cultivating in Chiang Mai for both consumption and trading. Unfortunately, during harvesting process, rice straw is left in the field and subsequently burnt for land preparation of the next crop (Khunakon M., 2015). Which is eliminated by incineration that will cause air pollution such as smog and soot that is appear in the form of small particles PM 2.5 (Wijitporn C. et al, 2016). If the dust value exceeds the air quality standard, it will affect the respiratory system. Especially children, the elderly and people with existing respiratory disease, are easily affected. It also affects the soil degradation. The destruction of the soil structure It also affects living things including plants animal ecosystems rice fields and other ecosystems. One of the appropriate strategies to handle this biomass is converting it to biogas which is the well-known and promising renewable energy form following waste-to-energy concept. This method could effectively address environmental and energy security issues at the same time (Ponlakrit K., 2014).

The rice straw was agricultural waste which consist of cellulose and hemicellulose as the major component that could be connect to value things such as energy. Lignin was a complex class of polymer that inhibited microorganism accessibility to the microorganism accessibility to cellulose and hemicelluloses (Chatchanan N. and Chalerm R., 2012). Pretreatment was necessary process for removing lignin and affected to microorganism hydrolysis stage. Each pretreatment had a different advantage on the cellulose, hemicellulose and lignin component. Thus, different pretreatment methods and conditions (Ratchapol P., 2015).

In this study, biogas productions from RD-MAEJO 2 rice straw using cow manure as an inoculum were studied using various pre-treatment technics. The ratio between substrate and inoculum was controlled at 1:2 (w/v). After that, the rice straws were pre-treated using 4 different methods including NaOH 2%, pre-acidification, autoclave and NaOH 2 % with autoclave. Moreover, the untreated biomass was also used as the control. Anaerobic digestion systems were operated in batch mode at Mesophilic condition (35±2 °C) for 45 days.

MATERIAL AND METHODS


Materials


The rice straw species RD-MJU 2 was mashed with an agricultural granulator to approximately 0.1-0.5 mm length in Figure 1a. After that, the rice straws were pre-treated using 4 different methods including NaOH 2%, pre-acidification 72 h, autoclave, NaOH 2 % with autoclave. then was analyzed for pH, total solids (TS) and volatile solids (VS).

The cow manure was mixed at the ratio of 1:2 by volume. The inoculum was filtered through a 1 mm mesh to screen out the inert material in Figure 1b. The prepared inoculum was then stored in an anaerobic condition until gas production was not detected to remove the organic compounds. Then pH, TS, VS, volatile fatty acid (VFA) and alkalinity (ALK) were analyzed prior to the experiments for characterizing the inoculum (Ting Liua et al, 2019).

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

Thai Society for Biotechnology International Conference Online
"Green Energy & Zero Waste Society"





(a) Rice straw species RD-MJU 2 (b) Cow manure

Figure 1 Rice straw species RD-MJU 2 and cow manure

Pretreatment methods

The feedstock preparations were performed regarding to the following methods.

1. Pre-acidification pre-treatment (P)
It was pre-acidified at ambient temperature for 72 h to enhance hydrolysis and acidogenesis of AD (Sopee and Nutthanicha. 2017; Chen and et al, 2015). After that the neutralized solid then was dried at temperature for 65 °C, 48 hr.
2. NaOH pre-treatment (N)
During alkaline pretreatment, the rice straw was soaked in sodium hydroxide (NaOH) 2% (w/v) alkaline solutions, the ratio of the liquid and solid was as 10:1 at ambient temperatures for 3 h. (Remli et al. 2014) and washed with tap water several times until pH around 7 was observed. The neutralized solid was then dried at temperature for 65 °C for 48 hr.
3. Autoclave pre-treatment (A)
In the Autoclave pretreatment method, the ratio of rice straw and liquid was controlled at 10:1. The operating temperature, pressure, and resident time were set at 121 °C, 15 psi, and 20 mins, respectively. (Chandrasekhar B. et al. 2017) Then the pretreated biomass was dried at temperature for 65 °C, 48 hr.
4. NaOH + Autoclave pre-treatment (NA)
The biomass was pre-treated by performing NaOH pre-treatment and subsequently, Autoclave pre-treatment. The synergic effects of the integrated pre-treatment technologies were investigated.

Finally, the pre-treated biomasses were stored in the plastic bags before being served as the feedstock of the batch experiments.

Experimental procedure

The substrates used in this study were the pre-treated RD-MAEJO 2 rice straws and cow manure was applied as an inoculum. The ratio between substrate and inoculum was controlled at 1:2 (w/v). After addition in 1000 mL glass bottle. The operating parameters (i.e. pH, TS, VS, VFA and ALK) were measured at the beginning and the end of the experiments. Anaerobic digestion was operated in batch mode at mesophilic temperature (35±2 °C). The experiments were terminated after for 45 days. The experiments were triplicated to ensure the repeatability.

April 2, 2021 Online Conference, Bangkok, Thailand

231

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



RESULTS AND DISCUSSION

Characteristics of the substrate and inoculum

The Rice straws, namely RD-MJU 2, were chemical pre-treated using 4 different methods including NaOH 2%, pre-acidification, autoclave, NaOH 2% with autoclave. The characteristics of the substrates and cow manure is shown in Table 1. Typically, VS/TS ratios could effectively indicate the biodigestibility of the organic feedstock. The VS/TS ratio of the pre-treated rice straws used in this study were high as 0.892, 0.913, 0.936, 0.914, 0.938 and 0.823, for without pre-treatment, NaOH 2%, pre-acidification, autoclave and NaOH 2 % with autoclave, respectively. From the a forementioned results, the VS/TS ratios of the pretreated substrate in this study were in the recommended range of the effective feedstock for anaerobic digestion (Aditi D. et al., 2018)

The characteristics of inoculum are also presented in Table 1. The cow manure had TS and VS of 43,395 mg/L, 35,700 mg/L, respectively. The VS/TS ratio of cow manure were 0.823 which represented the effective inoculum of anaerobic digestion process (Aditi D. et al., 2018). The VFA / ALK Ratio is equal to 0.4 and found that such values are in the appropriate range (i.e. less than 0.4) for biogas production. This indicates that the system has a sufficiently buffering capacity. (Chitchanoke K., 2011).

Table 1 Characteristics of the rice straw species RD-MJU 2 and Cow manure

Properties	Unit	Rice straw species RD-MJU 2					Cow manure
		U	P	N	A	NA	
TS	mg/L	911,100	963,350	936,300	983,300	999,950	43,395
VS	mg/L	812,800	879,350	876,100	898,700	937,700	35,700
VS/TS	-	0.892	0.913	0.936	0.914	0.938	0.823
ALK	mg CaCO ₃ / L			-			6,276
VFA	mg CH ₃ CO OH/L			-			2,982
VFA/ALK	-			-			0.4
pH	-			-			7.16
Temp	°C			-			30.1

Biogas productions from RD-MAEJO 2 rice straw using cow manure

The important operating parameters such as pH, TS, VS, ALK, and VFA removal efficiency were studied to indicate the biogas productions from RD-MAEJO 2 rice straws. The biomasses were then pre-treated using 4 different methods including NaOH 2%, pre-acidification, autoclave, NaOH 2 % with autoclave as mentioned in section pretreatment methods. The characteristics of the bottle contents of all experimental conditions are shown in Table 2.

From table 2, the highest VS/TS ratio was observed in the system of pre-treatment using NaOH 2 % coupled with autoclave presented the content of 0.938. However, the significance of the experimental data was not investigated.

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



pH is one of the important operating factors of anaerobic digestion system. This biochemical process consists of two groups of microorganisms namely acidogen and methanogen which prefer different pH ranges. The optimized pH (about 6.6-7.6) should be maintained to facilitate both microfloras (Akkhapun W., 2017). pH in this study was stable and vary between 7.26 and 7.32 which fell in the recommended range.

Alkalinity is the ability to maintain pH of the system. In case of low ALK, the anaerobic system tended to be in acidic condition resulting system failure. The optimal ALK value for the anaerobic digestion system is approximately 1,000-5,000 mg / L as CaCO_3 . In addition, Typically, VFA concentration no more than 2,000 mg / L as $\text{CH}_3\text{COOH/L}$ was recommended for anaerobic digestion (Jutaporn C., 2017). The average VFA and ALK obtained in this research were 929 mg $\text{CH}_3\text{COOH/L}$ and 2,620 mg CaCO_3/L , respectively. The VFA/ALK ratio was maintained between 0.34 and 0.37 which lower than the recommended value of 0.4.

Table 2 The final characteristics of the reactor contents after experiment termination pre-treatment method

Properties	Unit	pre-treatment method				
		U	P	N	A	NA
pH	-	7.32	7.26	7.30	7.27	7.28
TS	mg/L	28,710	26,810	26,660	27,100	22,830
VS	mg/L	20,850	19,550	19,590	19,810	16,040
VS/TS	-	0.726	0.729	0.735	0.731	0.703
ALK	mg CaCO_3/L	2,862	2,548	2,570	2,492	2,626
VFA	mg $\text{CH}_3\text{COOH/L}$	978	860	958	929	918
VFA/ALK	-	0.34	0.34	0.37	0.37	0.35

Biogas production, methane production and biogas composition

The average biogas yield in the system of pre-treatment using NaOH 2 % coupled with autoclave (NA) presented the maximum content of 652.56 ± 8.62 N ml /g VS added following by NaOH 2 % (N), without pre-treatment (U), pre-acidification 72 h (P), autoclave (A) of 633.40 ± 8.95 , 552.25 ± 1.75 , 544.57 ± 2.26 and 523.56 ± 2.93 N mL /g VS added, respectively as presented in figure 2 It was found that with the integrated pre-treatment of sodium hydroxide solution and an autoclave presented the highest biogas production. The pre-treatment technics could improve efficiency in plant cell wall degradation. This weakens structure of plant cell walls could promote biogas production (Kittiya P. et al., 2017).

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

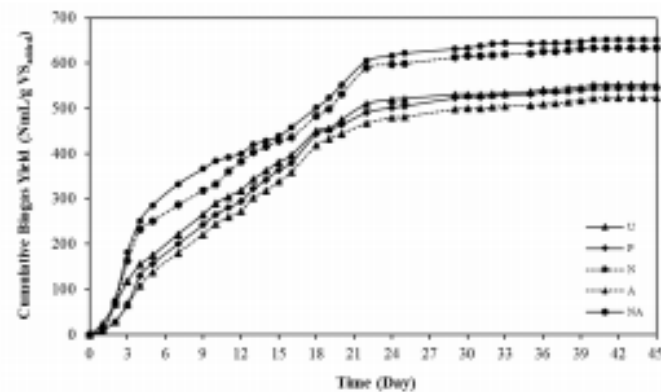


Figure 2 Cumulative biogas yield from RD-MAEJO 2 rice straw using cow manure

The cumulative methane yield presented the maximum content of NaOH 2 % coupled with autoclave, NaOH 2 %, with out pre-treatment, with pre-acidification of 72 h and with autoclave were 366.73 ± 8.75 , 336.97 ± 8.55 , 294.91 ± 1.50 , 275.01 ± 2.20 and 261.52 ± 2.30 NmL /g VS added, respectively as presented in figure 3.

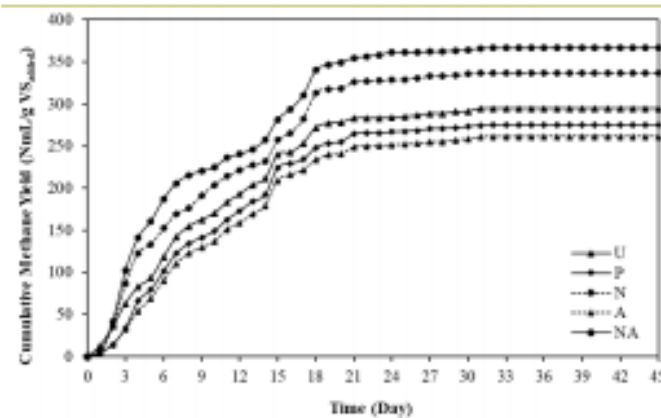


Figure 3 Cumulative methane yield from RD-MAEJO 2 rice straw using cow manure

The results showed that the pre-treatment using NaOH 2 % coupled with autoclave presented the maximum methane content of each pre-treated substrate of 65.0%. The higher cellulose and hemicellulose content were resulted from lignin degradation by alkaline pretreatments (Remli N. et al., 2014). Following by the feedstocks with NaOH 2 %, with out pre-treatment, with pre-acidification of 72 h, with autoclave show the methane contents of 62.3%, 60.5%, 58.2%, 57.0% respectively as presented in Table 3. If the biogas production from NaOH 2 % and NaOH 2 % coupled with autoclave are not significant different, NaOH 2 % is interesting because the production time can be reduced as well as the cost of production. The biogas

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



production from autoclave and pre-acidification lower than untreated rice straw because may be due to the formation of heat-induced inhibitor molecules, sugar degradation products or phenolic compounds (Amith A. et al., 2020) and their significant effect temperatures and time on the pretreatment of lignocellulose feedstock, thus affecting the biogas yield are not different (Javier U H B. et al., 2019). However, the produced methane proportions took over more than 50% of the biogas compositions indicating the potential for energy utilization (Kittiya P et al., 2017).

Table 3 The biogas component of dry anaerobic digestion

Gas	Unit	Volume				
		U	P	N	A	NA
CH ₄	%(v/v)	46.3-60.5	42.8-58.2	44.1-62.3	42.9-57.0	47.4-65.0
CO ₂	%(v/v)	29.8-31.0	30.6-31.1	27.4-34.2	30.6-31.0	26.5-33.5
O ₂	%(v/v)	0.4-1.0	0.2-1.1	0.3-1.3	0.4-0.9	0.3-1.0
H ₂ S	ppm	360-410	340-400	330-500	290-460	410-510
N ₂	%(v/v)	10.0-22.3	10.7-25.6	8.3-20.5	10.8-25.6	8.2-18.6

CONCLUSION

In this study, biogas productions from RD-MAEJO 2 rice straw using cow manure as an inoculum were studied using various pre-treatment techniques. The ratio between substrate and inoculum was controlled at 1:2 (w/v). After that, the rice straws were pre-treated using 4 different methods including NaOH 2% at ambient temperature, pre-acidification at ambient temperature for 72 h, autoclaved at 121 °C 15 psi 20 min, and NaOH 2% at ambient temperature with autoclave at 121 °C 15 psi 20 min. Moreover, the untreated biomass was also used as the control. Anaerobic digestion systems were operated in batch mode at Mesophilic condition (35±2 °C) for 45 days. The cumulative biogas yield in the system of pre-treatment using NaOH 2 % coupled with autoclave presented the maximum content of 652.56 NmL /g VS added following by NaOH 2 %, without pre-treatment, pre-acidification 72 h, autoclave of 633.40, 552.25, 544.57 and 523.56 NmL /g VS added, respectively. The cumulative methane yield were 366.73, 336.97, 294.91, 275.01 and 261.52 NmL /g VS added, respectively. The methane content of 65.0%, 62.3%, 60.5%, 58.2%, 57.0% respectively. Thus, it could be concluded that after proper pre-treatment, the RD-MAEJO 2 rice straw could be potentially served as the substrate for producing biogas as an alternative energy and mitigate the open burning of this agricultural residue.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank School of Renewable Energy, Maejo University under the project to produce and develop graduates in renewable energy for ASEAN countries for graduate students (2019) for supporting testing facilities and research budget and Graduate School at Maejo University.

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)



Thai Society for Biotechnology International Conference Online
"Green Energy & Zero Waste Society"

REFERENCES

- Aditi, D., Tanvi, G., Abhilash, K.T., Julie, M., Kylie, F., and Rajesh, K.S. 2018. Thermophilic anaerobic digestion: enhanced and sustainable methane production from co-digestion of food and lignocellulosic wastes. *Energy*. 11(2058). 1-13.
- Akkhapun, W. 2017. BIOGAS PRODUCTION FROM SHRIMP FARMING WASTES. Georesources Engineering. Suranaree University of Technology.
- Amith, A., Anil, K M., Hyojung, P., Okkyoung, C., Raveendran S., Binod, P., Ashok, P., Jung H P. and Byoung, I S. 2020. Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 2020; 301:122725.
- Chandrasekhar, B., Bindu, S., Pruthvi, R.T., and Bhima, B. 2017. Improved physicochemical pretreatment and enzymatic hydrolysis of rice straw for bioethanol production by yeast fermentation. *3 Biotech* 7:334.
- Chatchanan, N. and Chalerm, R. 2012. Production of Cellulosic Ethanol in Thailand. *KKU Sci. J.* 40(4) 1073-1088.
- Chen, C., Zheng, D., Liu, Deng, L., Long, Y., and Fan, Z. 2015. Continuous Dry Fermentation of Swine Manure for Biogas Production. *Waste Management*. 38: 436-442.
- Chitchanoke, K. 2011. Biogas Production from Rubber Leaves by Co-digestion with Pig Manure for Household-scale. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering Prince of Songkhla University.
- Javier, U H B., Inty, O H L., Mónica, C S., Alexia, S L., Fernando, H T. and Nagamani, B. 2019. Insight into Pretreatment Methods of Lignocellulosic Biomass to Increase Biogas Yield: Current State, Challenges, and Opportunities. *Applied Sciences*. 2019; 9:3721.
- Jutaporn, C. 2017. Biogas production by co-digestion of carbon rich source and earthworm bedding wastewater. School of Renewaber Energy. Maejo University.
- Khunakon, M. 2015. Effect of Chemical Pre-treatment of Rice Straw on Treated Wastewater Characteristics and Biogas Yield of Anaerobic Co-digestion System. Thesis B.S. in Natural Resources and Environment, Naresuan University.
- Kittiya, P., Prapa, S., and Ratchapol, P. 2017. Biogas Production from Pretreated Cattail (*Typha angustifolia* L.) with Cow Dung by Fed-Batch Fermentation Process. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*. September-October 2017 ISSN 4(5), 2408 -1248.
- Moonkyung, K., Byung, C.K., Kyoungphile, N., and Yongju, C. 2018. Effect of Pretreatment Solutions and Conditions on Decomposition and Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass in Rice Straw. *Biochemical Engineering Journal*.
- Ponlakrit, k. 2014. Biogasification from Rice Straw. This Research in Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Fiscal Year 2014.
- Ratchapol, P. 2015. Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University* ISSN 2408-1248.

บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

Thai Society for Biotechnology International Conference Online
"Green Energy & Zero Waste Society"



- Remli, N., Shah, U., Mohamad, R., and Suraini, A. 2014. Effects of Chemical and Thermal Pretreatments on the Enzymatic Saccharification of Rice Straw for Sugars Production. *BioResources* 9(1), 510-522.
- Ting, L., Xiaoqin, Z., Zifu, L., Xuemei, W., and Jiachen, S. 2019. Effects of liquid digestate pretreatment on biogas production for anaerobic digestion of wheat straw. *Bioresource Technology* Volume 280, May 2019, Pages 345-351.
- Wijitporn, C., Preeda, C., Jongjit, H. and Joseph, K. 2016. Production of biogas from rice straw and animal manure by two-stage anaerobic digestion. *Journal of Energy and Environment Technology*. JEET 2016; 3(1): 1-10.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวกรรณิกา แสนภักดี
เกิดเมื่อ 19 กันยายน 2539
ประวัติการศึกษา ระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (พลังงานทดแทน)
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (เชียงใหม่)

