

การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน
โดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบแห้ง



โสภี พันอินทร์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2560

การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน
โดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบแห้ง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน
โดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบแห้ง

โสภี พันอินทร์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.ณัฐธนิชา สุขเกษม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(Dr.Rameshprabu Ramaraj)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน โดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบแห้ง
ชื่อผู้เขียน	นางสาวโสภี พันอินทร์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร.ณัฐธัญญา สุขเกษม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานร่วมกับมูลสัตว์ โดยการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศแบบหมักแห้ง ภายใต้อุณหภูมิ 37 ± 2 °C ที่ค่าของแข็งทั้งหมดเท่ากับ (TS) 25% และมีค่า pH 6.8 - 7.2 โดยงานวิจัยศึกษา (1) ปัจจัยความแตกต่างของชนิดมูลสัตว์ (2) อัตราส่วนระหว่างมูลสัตว์และเปลือกข้าวโพดที่เหมาะสม (3) อัตราส่วนผสมของข้าวโพดหวานที่เหมาะสมโดยทำการผลิตในถังขนาดหมัก 1 L (4) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพแบบกะและแบบกึ่งต่อเนื่องในถังหมักขนาด 30 L ผลการวิจัยพบว่า มูลแพะให้ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพดีที่สุด โดยการหมักร่วมระหว่างเปลือกข้าวโพดกับมูลแพะที่อัตราส่วน 1:1 และให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ที่ $0.038 \text{ ml CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเท่ากับ 46.13% จากผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างเปลือกข้าวโพดและมูลแพะ (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100) พบว่า อัตราส่วนที่ 25:75 มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ที่ $0.068 \text{ ml CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ และความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเท่ากับ 60.37% จากนั้นได้ทำการศึกษาอัตราส่วนวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดทั้งหมด 4 กลุ่ม (ซัง+เปลือก, ซัง+เมล็ด, เปลือก+เมล็ด และ ซัง+เปลือก+เมล็ด) โดยหมักร่วมกับมูลแพะที่อัตราส่วน 25:75 พบว่า การหมักร่วมมูลแพะกับซัง+เปลือก+เมล็ด ให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ที่ $0.084 \text{ ml CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ ความเข้มข้นก๊าซมีเทนเท่ากับ 67.93% นอกจากนี้ จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพการแบบเติมกึ่งต่อเนื่องและแบบกะ โดยการหมักร่วมเปลือกข้าวโพดหวานกับมูลแพะที่อัตราส่วน 25:75 พบว่า การหมักแบบเติมกึ่งต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าแบบกะ ให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเท่ากับ 58.87% อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ $0.87 \text{ ml CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ ความเข้มข้นก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 77.20% โดยการเติมกึ่งต่อเนื่องสามารถผลิตก๊าซมีเทนค่อนข้างคงที่ ขณะที่การหมักแบบกะมีก๊าซมีเทนลดลงในวันที่ 93 ของการหมักแบบแห้ง ส่งผลเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเท่ากับ 53.18% อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ที่ $0.67 \text{ ml CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ และความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 76.35%

ซึ่งจากการเติมกิ่งต่อเนื่องกับแบบกะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ 2.39 กับ 1.97 L/day ตามลำดับ ทั้งนี้ การผลิตก๊าซมีเทนด้วยระบบการเติมกิ่งต่อเนื่องกับแบบกะให้ค่าความร้อนสูง (HHV) ที่ 30.78 MJ/m³ และการเติมกิ่งต่อเนื่องและแบบกะมีระยะคืนทุน 3.56 ปี ดังนั้น วัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดมีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนทั้งแบบกะและแบบเติมกิ่งต่อเนื่อง ผลงานวิจัยนี้ถือเป็นต้นแบบการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งจากไร่ข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยว และพัฒนาการผลิตพลังงานชีวภาพในระดับชุมชน

คำสำคัญ: ข้าวโพดหวาน ก๊าซชีวภาพ การหมักแบบแห้ง แบบกะ แบบกิ่งต่อเนื่อง



Title	BIOGAS PRODUCTION FROM SWEET CORN WASTE BY DRY ANAEROBIC FERMENTATION
Author	Miss Sopee Pan-in
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisor Committee Chairperson	Dr. Natthanicha Sukasem

ABSTRACT

This research studies the production of biogas from the sweet corn waste with animal dung by dry anaerobic fermentation. The under temperature is 37 ± 2 °C for total solids (TS) 25% and the pH 6.8-7.2. The research studied (1) the different types of animal dung. (2) The ratio between the animal dung and corn husks. (3) The ratio of sweet corn in the fermentation tank 1 L. (4) compare the efficiency of biogas production batch operation in semi-continuous operation tanks measuring 30 L. The research found that the best biogas production potential was using goat dung. With fermentation of corn husk with goat dung on ratio 1:1. The specific methane yield was 0.038 ml $\text{CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$, the concentration of methane equivalent to 46.13%. The ratio between corn husk and goat dung (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100) it was found at the ratio of 25:75 the specific methane yield was 0.078 ml $\text{CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ and concentration of methane equivalent to 60.37%. The ratio of wasted materials from sweet corn in all 4 groups. (cob + husk, cob + seed, husk + seed and cob + husk + seed) Co-digestion with goat dung ratio 25:75. It found that fermentation goat dung with (cob + husk + seed) by the specific methane yield was 0.084 ml $\text{CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ concentration of methane equivalent to 60.37%. Moreover, comparing the efficiency of biogas production to semi-continuous and batch operation the semi-continuous operation to outperforms the batch operation by fermentation corn husks with goat dung. The average concentration of methane was equivalent to 58.87%, the specific methane yield was 0.87 ml $\text{CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$, the highest methane concentration equal to 77.20%. The addition of semi-continuous production of methane was relatively.

The batch operation methane reduction in 93 days of dry digestion the average concentration methane was equal to 53.18%. The specific methane yield was 0.67 ml CH₄/gCOD_{removed} the highest methane concentration equal to 76.35%. By the semi continuous and batch operation biogas can be produced 2.39 with 1.97 L/day respectively. The addition of semi-continuous and batch operation payback period were 3.56 years. Semi-continuous with batch operation has a high heating value (HHV) at 30.78 MJ/m³. Thus, methane production using corn residues has potential in both batch operation and semi-continuous operation. The research is considered to be biogas production prototype by using waste corn materials. Also, develop biofuel production in community level.

Keywords: Sweet corn, Biogas, Dry digestion, Batch operation, Semi-continuous operation



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุน และได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากบุคคลหลายๆ ท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ณัฐธัญญา สุขเกษม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก พร้อมกับอาจารย์ Dr.Rameshprabu Ramaraj และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา อีกทั้งยังช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.วิจิตรา สิงห์หิรัญนุสรณ์ ซึ่งได้ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ และศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านรวมถึงบุคลากร วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่พร้อมให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจจนทำให้สำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา”

ขอขอบพระคุณเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย จากสำนักนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน ภายใต้ “โครงการสนับสนุนทุนวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2558”

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบคุณครอบครัวพันธมิตรที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

โสภี พันอินทร์

ตุลาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ค
ABSTRACT.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาคผนวก.....	ฅ
สารบัญภาพผนวก.....	ฉ
บทที่ 1 ความสำคัญและที่มา.....	1
วัตถุประสงค์.....	4
ขอบเขตการศึกษา.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร.....	7
การผลิตชีวภาพ.....	7
1. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน.....	9
2. ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตชีวภาพ.....	11
3. ศักยภาพการผลิตมีเทน.....	15
เทคโนโลยีการผลิตชีวภาพที่ใช้ในประเทศไทย.....	16
ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ.....	19
ตรวจสอบเอกสาร.....	20
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	25
การเตรียมวัตถุดิบ.....	25
1. น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตข้าวโพดหวาน.....	25

2. มูลสัตว์.....	26
3. วัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวาน	26
การวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้น.....	28
การศึกษาผลผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลสัตว์.....	29
1. การคัดเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์.....	31
2. ศึกษาเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตมีเทน	33
3. การผลิตมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่อัตราส่วนต่างๆ	35
การศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับการเติมกึ่งต่อเนื่อง.....	36
1. การศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับการเติมกึ่งต่อเนื่อง	38
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	41
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้น	41
1. การวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานและมูลสัตว์	41
2. วิเคราะห์ผลของการปรับสภาพต่างต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	44
ผลของการศึกษาผลผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลสัตว์.....	45
1. ผลของการศึกษาการคัดเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์	46
2. ผลของศึกษาเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตมีเทน	52
3. ผลของการผลิตมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่อัตราส่วนต่างๆ	57
ผลของการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับแบบการเติมกึ่งต่อเนื่อง	64
1. ผลของการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับการเติมกึ่งต่อเนื่อง	64
ผลของการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์	70
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุปผลการวิจัย.....	74

ญ

หน้า

ข้อเสนอแนะ.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ประวัติผู้วิจัย.....	110



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ข้อดีและข้อเสียของการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	8
2 ชีวภาพ 1 m ³ เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น	9
3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	10
4 แสดงค่าพลังงานจากชีวภาพ	11
5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นในการผลิตชีวภาพหมักแบบแห้ง	28
6 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ศักยภาพการผลิตมีเทนขนาด 1 L.....	31
7 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ในการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานหมัก ร่วมกับหัวเชื้อ ขนาดถัง 30 L.....	39
8 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานและมูลสัตว์	42
9 วิเคราะห์ค่า Proximate/Ulimate ของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด	43
10 เปรียบเทียบวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 2%	44
11 อัตราส่วน C/N ของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานร่วมกับมูลสัตว์	46
12 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างค่า TS, VS และ COD	47
13 ศักยภาพการเกิดมีเทนของระบบการผลิตมีเทน	49
14 ศักยภาพการผลิตชีวภาพจากการหมักวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลสัตว์	49
15 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างเปลือกข้าวโพดหวานกับมูลแพะ	52
16 ศักยภาพการเกิดมีเทนของระบบการผลิตมีเทน	54
17 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างระบบผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของ	58
18 ศักยภาพการเกิดมีเทนของระบบการผลิตมีเทน	60
19 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของการหมักแบบกะ	65
20 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะการเติมกิ่งต่อเนื่อง	65

21 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ 71

22 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ขนาดโรงงานอุตสาหกรรม..... 73



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	มูลค่าการนำเข้าและมูลค่าการส่งออกพลังงาน..... 1
2	ปริมาณและเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย..... 2
3	แบบถังลอย..... 16
4	แบบโดมคองที่..... 17
5	แบบราง..... 18
6	แบบโคเวอร์ ลากูน..... 18
7	น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานส่งออกข้าวโพดหวาน..... 25
8	มูลสุกร (ก) มูลวัว (ข) และมูลแพะ (ค)..... 26
9	ซังข้าวโพดบด (ก) ซังข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพ NaOH 2% (ข)..... 27
10	เปลือกข้าวโพด (ก) เปลือกข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพ NaOH 2% (ข)..... 27
11	เมล็ดข้าวโพดหวานคัดทั้ง (ก) เมล็ดที่ผ่านการบดขนาด (ข)..... 28
12	ไดอะแกรมระบบหมักชีวภาพขนาด 1 L..... 29
13	แสดงชุดทดลองระบบผลิตชีวภาพขนาด 1 L 30
14	ตัวอย่างชุดขวดหมักชีวภาพขนาด 1 L (ก) และชุดเก็บชีวภาพ (ข)..... 30
15	แผนผังการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 1 33
16	แผนผังการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 2 34
17	แผนผังการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 3 36
18	แสดงไดอะแกรมระบบหมักชีวภาพขนาด 30 L ระบบเติมครั้งเดียว (ก) และระบบเติมกึ่ง ต่อเนื่อง (ข)..... 37
19	ชุดถังชีวภาพขนาด 30 L..... 38
20	ถังเก็บชีวภาพ 38

21	แผนผังการดำเนินงานวิจัย ขนาดถัง 30 L.....	40
22	(ก1) เมล็ดก่อนการปรับสภาพ, (ข1) เมล็ดหลังการปรับสภาพ, (ก2) ชั่งก่อนปรับสภาพ, (ข2) ชั่งหลังปรับสภาพ 2% NaOH, (ก3) เปลือกก่อนการปรับสภาพ และ (ข3) เปลือกหลังปรับสภาพ 2% NaOH.....	44
23	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบผลิตชีวภาพโดยการหมักร่วมจาก	48
24	ความเข้มข้นของมีเทนทุกวันจากการหมักร่วมจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดหวานกับ มูลสัตว์ที่แตกต่างกัน (a. Animal dung 50% and corn seeds 50%), (b. Animal dung 50% and corn cob 50%) และ (c. Animal dung 50% and corn husk 50%).....	51
25	การกำจัดซีโอดีของระบบผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมของ.....	53
26	ความเข้มข้นของมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักร่วมมูลแพะกับเปลือกข้าวโพดหวาน	55
27	ปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นในระบบหมักชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด (CH) กับมูลแพะ (GD)	56
28	การกำจัดซีโอดีของในการศึกษาอัตราส่วนวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหมักร่วมกับมูลแพะ	59
29	ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นของระบบหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดกับมูลแพะ	61
30	แสดงปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นในระบบหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดและมูลแพะ	63
31	แสดงปริมาณก๊าซสะสมจากการหมักแบบกะและการเติมกึ่งต่อเนื่อง.....	66
32	ผลของการวิเคราะห์ก๊าซสะสมในแต่ละวันจากการหมักแบบกะและการเติมกึ่งต่อเนื่อง	67
33	ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนระหว่างระบบแบบกะกับการเติมกึ่งต่อเนื่อง	68
34	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของระหว่างระบบแบบกะ กับการเติมกึ่งต่อเนื่อง.....	69

สารบัญภาคผนวก

ภาคผนวก	หน้า
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	83
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ.....	90
ภาคผนวก ค วิเคราะห์มิติเทน.....	93
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	98



สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่

หน้า

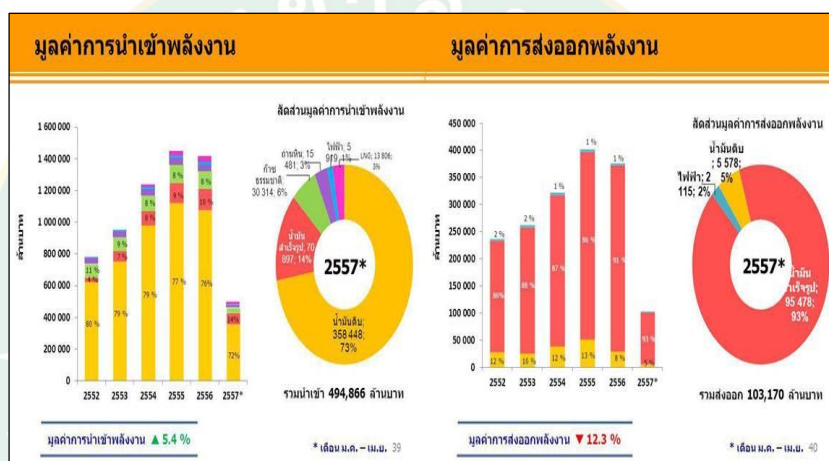
1 เครื่องวัดก๊าซ Geotech biogas 5000 89



บทที่ 1

ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันนี้ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยต่างก็ประสบกับปัญหาการขาดแคลนทางด้านพลังงานทั้งพลังงานไฟฟ้า และน้ำมัน ซึ่งมีความต้องการใช้ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องมาจากการขยายตัวในด้านต่างๆ ทั้งการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศ ด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม จากปริมาณการใช้พลังงานในประเทศ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2556ก) โดยประเทศไทยมีการนำเข้าและมูลค่าการส่งออกพลังงานแสดงดังภาพที่ 1



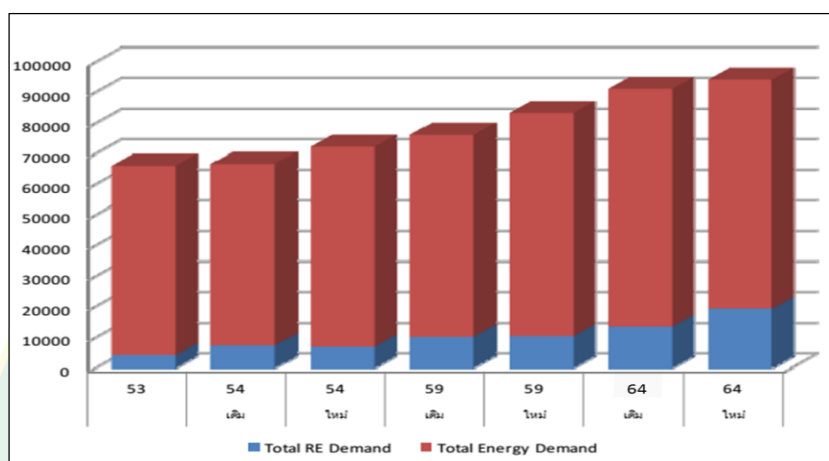
ภาพที่ 1 มูลค่าการนำเข้าและมูลค่าการส่งออกพลังงาน

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน (2557ข)

จากการใช้พลังงานฟอสซิลเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน คาดการณ์ว่าในอนาคตแหล่งพลังงานฟอสซิลจะหมดไปและมีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อให้มีพลังงานไว้ใช้ในอนาคต จำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานใหม่ หรือพลังงานทดแทนจากทรัพยากรที่มี และมีเพียงพอในแต่ละแหล่งพื้นที่ โดยพลังงานทดแทนเหล่านี้ยังรวมไปถึงพลังงานน้ำ (Haddad et al., 2011) พลังงานลม (Xu et al., 2016) พลังงานแสงอาทิตย์ (Sahoo et al., 2016) พลังงานชีวมวล (Joselin et al., 2016) และชีวภาพ (Khan et al., 2016) เป็นต้น พลังงานทดแทนถือเป็นทางเลือกใหม่ที่ทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญ ประเทศไทยเป็นหนึ่งในหลายประเทศที่ให้ความสำคัญ ดังจะเห็นได้จากปริมาณการใช้พลังงานทดแทนที่สูงขึ้นในทุกปีตัวอย่างปริมาณการใช้พลังงานทดแทนในปี 2555

จำนวน 71,728 ktoe โดยมีการคาดการณ์ว่าในอีก 10 ปีข้างหน้าหรือในปี 2564 ปริมาณการใช้พลังงานทดแทนจะเพิ่มสูงถึงร้อยละ 25

ซึ่งคิดเป็นจำนวน 99,838 ktoe (กระทรวงพลังงาน, 2558) ปริมาณและเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทยแสดงดังแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปริมาณและเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย

ที่มา : กระทรวงพลังงาน (2558)

การนำพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อทดแทนพลังงานที่ได้จากฟอสซิลซึ่งมีความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555-2559) ที่ว่าด้วยยุทธศาสตร์ความเข้มแข็งภาคเกษตร ความมั่นคงของอาหาร และพลังงาน ส่งผลให้หลายประเทศในโลก รวมทั้งประเทศไทยมีนโยบายพัฒนา และส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจากพืชแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมากขึ้น ทำให้ความต้องการพืชที่สามารถนำไปผลิตพลังงานเพิ่มขึ้น เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น มีเป้าหมายเพิ่มปริมาณการผลิตพลังงานทดแทนจากพืชพลังงาน ได้แก่ เอทานอล และไบโอดีเซลในปี 2559 ไม่น้อยกว่า 6.2 และ 3.6 ล้านลิตรต่อวันตามลำดับ และเพิ่มผลผลิตพลังงานไฟฟ้า และพลังความร้อนจากชีวมวล ชีวภาพ วัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรไม่น้อยกว่า 3,440 MW และ 5,564 ktoe ในปี 2559 ตามลำดับ และส่งเสริมการใช้อย่างมีประสิทธิภาพ (สรุปสาระสำคัญแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2555) นอกจากนี้มีนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) โดยกลยุทธ์

การวิจัยที่ 5 พัฒนาอุตสาหกรรมผลิตพลังงานชีวภาพ และพลังงานทางเลือกอื่นๆ (นโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8, 2555)

การผลิตชีวภาพ (Biogas) เป็นวิธีหนึ่งในการใช้พลังงานทดแทนจากชีวมวล โดยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักและย่อยสลายสารอินทรีย์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมีชีวิตอยู่แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ซึ่งชีวภาพสามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือใช้วัสดุเหลือทิ้งจากพืชที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อเป็นการกำจัดและจัดการวัสดุเหลือทิ้งเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในรูปของพลังงานทดแทน และนอกจากวัสดุเหลือทิ้งไม่กระทบต่อความมั่นคงด้านอาหาร ซึ่งปัจจุบันพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานในประเทศไทยมีประมาณ 737,500 ไร่ ผลผลิต(ทั้งเปลือก) ประมาณ 1.48 ล้านตัน จากในปี 2545 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 200,000 ไร่ ผลผลิต (ทั้งเปลือก) ประมาณ 400,000 ตัน ปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกกว่า 7 ล้านไร่ โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้ประมาณการไว้ในปี 2558-2559 แต่ละปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 0.9% เนื่องจากหลากหลายปัจจัยหนุน กล่าวคือ การส่งออกที่มีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ประกอบการในธุรกิจผัก และผลไม้กระป๋องสนใจการผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวาน และจำนวนผู้ประกอบการที่ผลิตข้าวโพดหวานสด แห้งเย็นและแช่แข็งก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยผู้ประกอบการเหล่านี้หันไปลงทุนส่งเสริมเกษตรกรให้ปลูกข้าวโพดหวานในลักษณะตลาดข้อตกลง โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือ ซึ่งในระยะเวลา 4 ปีที่ผ่านมาผลผลิตข้าวโพดหวานในภาคเหนือเพิ่มขึ้นกว่าหนึ่งเท่าตัวทุกปี ทำให้ในปัจจุบันแหล่งปลูกข้าวโพดหวานที่สำคัญของไทยอยู่ทางภาคเหนือ จากเดิมแหล่งปลูกจะอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ และมหาสารคาม ภาคตะวันตกในจังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม เพชรบุรี และสมุทรสาคร ปัจจุบันจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานมีประมาณ 30 โรงงาน (พันธะช่อนรินทร์ในห่วงโซ่อาหาร, 2558)

นอกจากนี้จากการเพาะปลูกข้าวโพดที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม คือ ปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา ได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนตลอดจนภาพรวมของการท่องเที่ยวจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งหมอกควันมักเกิดขึ้นจากการเกิดไฟป่า การเผาทำลายเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด ฟางข้าว และเศษใบไม้กิ่งไม้ โดย อ.แม่แจ่ม เป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดสูงสุดของจังหวัดเชียงใหม่ เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตจากข้าวโพดทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดจำนวนมาก ส่วนใหญ่เกษตรกรทำลายวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดโดยการเผาทำลาย เพื่อเตรียมพื้นที่ปลูกใหม่ ซึ่งมีการคาดว่าจะมีชังข้าวโพด 35,000 ton ที่รอการเผาทำลายโดยทางภาคเอกชนสามารถรับซื้อไปทำปุ๋ยประมาณ 10,000 ton (มหาลัยไอลีเดีย, 2554) ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดที่รอการเผาทำลายจึงเป็นปัญหาการเกิดหมอกควันและมลพิษทางอากาศ ที่มีปัญหาที่เกิดขึ้นทุกปี การนำพลังงานทดแทนมาแก้ไขปัญหาระเบิดการเผาวัสดุเหลือทิ้งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำชังข้าวโพดหวานมาใช้ในรูปแบบพลังงานชีวมวลในการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งเพื่อลด

จำนวนวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานที่มีในปัจจุบัน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่มีปัญหาเรื่องการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยการบริหารจัดการเศษวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรนำมาเป็นพลังงานทดแทนแทนการเผาทิ้งทำลาย

ซึ่งจากการศึกษาแผนพัฒนาพลังงานทดแทนกับปัญหาวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวาน พบว่าการผลิตชีวภาพมีบทบาทสำคัญและเป็นประโยชน์มากสำหรับพลังงานทดแทน เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยนำเอาผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ และจากกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่มีการนำสิ่งเหลือใช้มาทำให้มีคุณค่าในการนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้สามารถแก้ไขปัญหาวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานให้อยู่ในรูปของพลังงานชีวภาพ เช่น นำชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม การผลิตกระแสไฟฟ้าให้แสงสว่าง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่ผลิตชีวภาพหมักจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวาน เช่น เปลือกข้าวโพดหวาน ชังข้าวโพดหวาน เมล็ดที่คัดทิ้ง มาผลิตชีวภาพจากการหมักแบบร่วมระหว่างมูลสัตว์ ซึ่งเป็นการหมักแบบแห้งภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ผลงานวิจัยที่เกิดขึ้นจะเป็นแนวทางการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการผลิตชีวภาพ แบบแห้งจากการใช้ชัง เปลือก และเมล็ดข้าวโพดที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในแปลงปลูกข้าวโพดหวาน ร่วมกับมูลสัตว์ ในการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนชีวภาพในระบบการจัดการไร่ข้าวโพดหวาน ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานการเรียนรู้ให้แก่ชาวบ้าน ชุมชน เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดพื้นที่สูงในบริเวณพื้นที่จังหวัดใกล้เคียง หรือในภูมิภาคอื่นๆ พร้อมเป็นการส่งเสริมให้คนในชุมชน และเกษตรกรพื้นที่สูง มีการพึ่งพาตนเอง มีความเข้มแข็ง ดูแลซึ่งกันและกันตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง พร้อมเป็นการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนภาคเหนือในด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยได้เป็นอย่างดี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำชัง เปลือก เมล็ดคัดทิ้งข้าวโพด ของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทนชีวภาพ ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน
2. เพื่อคัดเลือกชนิดของมูลสัตว์หัวเชื้อ อัตราส่วนของหัวเชื้อต่อวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด และอัตราส่วนของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดแต่ละชนิด ในการหมักชีวภาพ
3. เพื่อประเมินศักยภาพของการผลิตชีวภาพในระบบหมักแห้งแบบต่อเนื่องกับระบบแบบกะโดยการย่อยสลายร่วมระหว่างมูลสัตว์กับวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพด

ขอบเขตการศึกษา

การทดลองการเกิดมีเทนที่ได้จากกระบวนการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลสัตว์โดยกระบวนการหมักแบบแห้ง

- การผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานซึ่งประกอบไปด้วย ชังข้าวโพด เปลือกข้าวโพดหวาน และเมล็ดที่คั่วทิ้ง หมักร่วมกับหัวเชื้อที่คัดเลือกภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน
- ปรับสภาพชัง และเปลือกข้าวโพดหวานโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- มูลสัตว์ที่ใช้ในการทดสอบหัวเชื้อได้แก่ มูลสุกร มูลวัว และมูลแพะ
- มูลสัตว์ที่ใช้ในการทดสอบหัวเชื้อไม่จำกัด สายพันธุ์ อายุ ของมูลสัตว์
- ทำการหมักชีวภาพภายใต้ 37 ± 2 °C
- วิเคราะห์เปรียบเทียบการเกิดมีเทนกับคาร์บอนไดออกไซด์ และพารามิเตอร์อื่นๆ ซึ่งมีผลต่อการเกิดชีวภาพของระบบหมักแบบต่อเนื่องกับระบบหมักแบบกะ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่มีต่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม โครงการดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้ ดังนี้

1. ทางด้านวิชาการ
 - ต้นแบบขั้นตอนหรือวิธีการใช้ประโยชน์จากการนำ ชัง เปลือก เมล็ดคั่วทิ้งที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งการเกษตรในแปลงปลูกข้าวโพดหวานเป็นวัตถุดิบในการผลิตชีวภาพแบบแห้ง
 - ได้แนวทางของศักยภาพหัวเชื้อแต่ละชนิดที่สามารถผลิตชีวภาพหมักร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน
 - ได้แนวทางในการดำเนินระบบการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องกับระบบหมักแบบกะให้เหมาะสมในการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวาน
 - ต้นแบบการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนชีวภาพในระบบการจัดการไร่ข้าวโพดหวาน และผลงานวิจัยสามารถใช้เป็นแหล่งเรียนรู้ชุมชนอื่นๆ ในการผลิตชีวภาพ
2. ทางด้านสิ่งแวดล้อม
 - ลดความรุนแรงของปัญหาการเผาวัสดุเหลือทิ้งการเกษตรในแปลงข้าวโพดหวาน ซึ่งนำไปสู่การลดปัญหามลพิษทางอากาศจากหมอกควันของภาคเหนือ
 - ได้แนวทางที่สามารถบูรณาการความรู้ทางด้านวิชาการพลังงานชีวภาพ การจัดการ และใช้ประโยชน์จากของวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. ทางด้านเศรษฐกิจ

- ได้แนวทางการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการผลิตชีวภาพโดยการหมักแบบแห้ง
- ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อหุ้ดัม เนื่องจากมีการนำพลังงานทดแทนชีวภาพมาใช้ทดแทนหุ้ดัมในบางส่วน
- เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพด และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สามารถจำหน่ายผลผลิตให้แก่หน่วยงานเอกชน โรงงานอุตสาหกรรม ที่มีนโยบายซื้อผลผลิตข้าวโพดในพื้นที่ปลอดการเผาวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด

4. ทางด้านสังคม

- ลดปัญหาการเผาวัสดุเหลือทิ้งการเกษตรในแปลงข้าวโพดหวาน รวมถึงเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนในภาคเหนือตระหนักถึงปัญหามลพิษหมอกควันที่เกิดจากการเผา โดยมีการร่วมมือกันในการพัฒนาชุมชนให้เข้มแข็ง พึ่งตนเองได้ และสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีให้แก่ชุมชน



บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

การศึกษาทฤษฎีและการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย 3 หัวข้อหลักในด้านทฤษฎี การผลิตชีวภาพจะกล่าวถึง 1. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน 2. ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตชีวภาพ 3. ศักยภาพการผลิตมีเทน รวมถึงการนำชีวภาพไปใช้ประโยชน์ และในส่วนของ การตรวจเอกสารจะกล่าวถึงงานวิจัยที่ทำการศึกษการผลิตชีวภาพหมักแบบแห้งหมักร่วมกับวัตถุดิบแต่ละชนิด การปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ การผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานหมักร่วมกับมูลสัตว์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย การกำหนดตัวแปร ปัจจัยในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยทฤษฎีและการตรวจเอกสารมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การผลิตชีวภาพ

การผลิตชีวภาพ (Biogas) เป็นวิธีหนึ่งในการผลิตพลังงานทดแทนจากชีวมวลโดยผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ของเชื้อแบคทีเรีย โดยสารอินทรีย์ที่ใช้มาจากส่วนประกอบของขยะมูลฝอย พืชผลผลิตและเศษวัสดุทางการเกษตร และมูลสัตว์ เป็นต้น การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทหลักๆ คือ แบบแห้ง (Dry digestion) และแบบเปียก (Wet digestion) ซึ่งมีการควบคุมการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) เป็นประมาณ 20-40% และน้อยกว่า 20% ตามลำดับ (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553)

การผลิตชีวภาพมีเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยเชื้อจุลินทรีย์สามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มที่ต้องการและไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการเติบโต เชื้อบางกลุ่มสามารถปรับเปลี่ยนเมแทบอลิซึมไปมาได้ขึ้นอยู่กับสภาวะว่ามีหรือไม่มีออกซิเจน กระบวนการที่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้เร็ว และได้ผลผลิตที่มีส่วนประกอบทางเคมีง่ายๆ และถูกออกซิไดส์ได้สูง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ในขณะที่กระบวนการไร้ออกซิเจนจะช้ากว่า 50 เท่า เมื่อเทียบกับกระบวนการใช้ออกซิเจน แต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน ข้อดีและข้อเสียของการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อเสียของการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ	1. เชื้อจุลินทรีย์เติบโตช้า
2. มีการเกิดตะกอนส่วนเกินน้อยมาก	2. การเริ่มต้นระบบใช้เวลานาน
3. ต้องการสารอาหารต่ำเฉพาะ N และ P	3. เสถียรภาพของระบบต่ำ
4. สามารถเก็บเชื้อจุลินทรีย์ไว้ได้นาน	4. กลิ่นและแมลงรบกวน
5. ได้ชีวภาพมาเป็นพลังงาน เพื่อใช้ในเครื่องจักรหรือผลิตกระแสไฟฟ้า	5. สามารถย่อยได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 °C เท่านั้น
6. ไม่ต้องการเติมออกซิเจนให้ระบบ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียอินทรีย์ สามารถย่อยสลายสารประกอบซีโนไบโอติก เช่น สารประกอบอะลิฟาติกที่มีคลอรีน และ ลิกนิน	
7. สามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงๆ ได้	
8. สามารถหมักร่วมกับของเสียอินทรีย์ประเภทอื่นๆ ได้	

ที่มา : นคร ทิพย์าวงศ์ (2553)

สำหรับชีวภาพที่ได้ออกมาที่ 0 °C ความดัน 1 บรรยากาศ มีองค์ประกอบของต่างๆ ดังนี้ มีเทน (CH₄) 50-70% คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 30-50% และอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน (H₂) ออกซิเจน (O₂) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ไนโตรเจน (N₂) และไอน้ำ 1% และค่าความร้อนประมาณ 4.5 MJ/m³ และความหนาแน่น 1.15 kg/m³ จากคุณสมบัติของชีวภาพ สามารถนำชีวภาพปริมาตร 1 m³ มาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชีวภาพ 1 m³ เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น

เชื้อเพลิง	ค่าความร้อนเทียบเท่า
หุงต้ม (LPG)	0.46 kg
น้ำมันเบนซิน	0.67 liter
น้ำมันดีเซล	0.60 liter
น้ำมันเตา	0.55 liter
ไม้ฟืน	1.50 kg

นอกจากนี้สำหรับการประมาณการปริมาณของชีวภาพที่สามารถผลิตได้ ปริมาณสารอินทรีย์ต่อปริมาตรของน้ำเสีย หรือของสารอินทรีย์ที่ใช้ตัวชี้วัดที่ใช้คือ เคมีออกซิเจน (Chemical oxygen demand, COD) การทดสอบค่าซีโอดีจะเป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่สมบูรณ์ระหว่างสารเคมีกับตัวอย่างน้ำเสีย ดังนั้น ค่าซีโอดีจะบอกถึงสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (นคร ทิพย์วงศ์, 2553)

1. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

ก๊าซชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียเช่นจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (Methane-producing bacteria) หรือเมทาโนเจน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (Acidproducing bacteria) มาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศ ในกระบวนการย่อยในสภาวะไร้อากาศเป็นการที่จุลินทรีย์ต่างๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ลงจากสิ่งมีชีวิตซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนลงเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลงเป็นขั้นๆ ไป

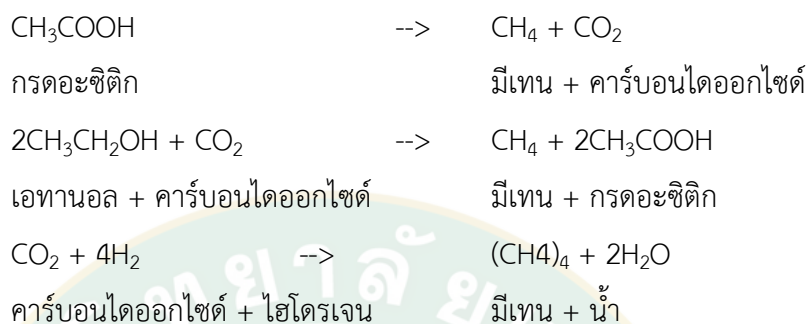
กระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) สารอินทรีย์ประเภทเศษพืชผัก และเนื้อสัตว์ โดยมีองค์ประกอบสำคัญ คือ ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต โดยแบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์เอกซ์ตราเซลลูลาร์ (Extracellular enzyme) มาช่วยละลายโครงสร้างโมเลกุลอันซับซ้อนให้แตกลงเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (Monomer) เช่น การย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน

2. แอซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) การย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (Monomer) เป็นกรดระเหยง่าย (Volatile fatty acid) กรดคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

3. อะซิโดเจเนซิส (Acetogenesis) การเปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน

4. เมทาโนเจเนซิส (Methanogenesis) กรดอะซิติก และอื่นๆ จากชั้น 2 รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนบางส่วนจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยเมทาโนเจน (Methanogen)



กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ หรือไบโอแก๊ส คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ในขณะที่เกิดการย่อยสลายนั้นจะเกิดก๊าซขึ้นกลุ่มหนึ่งส่วนใหญ่คือ ก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 50-70% คาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 30-50% ส่วนไนโตรเจน ไฮโดรเจน และก๊าซอื่นๆ เกิดขึ้นน้อย ก๊าซมีเทน มีคุณสมบัติไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและติดไฟได้ เบากว่าอากาศ แต่ที่มีกลิ่นเหม็นนั้นเกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ “ไข่เน่า” ซึ่งเมื่อจุดไฟแล้วกลิ่นเหม็นจะหมดไป (เอกสารประกอบอบรม, 2554) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ชนิด	ปริมาณ
มีเทน	50-70%
คาร์บอนไดออกไซด์	30-50%
ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน	เล็กน้อย
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไอน้ำ	เล็กน้อย

ที่มา : เอกสารประกอบอบรม (2554)

คุณสมบัติของชีวภาพ

ในการนำชีวภาพมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ค่าพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับสัดส่วน (%) ของมีเทนที่มีอยู่ในส่วนหนึ่งของก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไป แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าพลังงานจากชีวภาพ

คุณสมบัติชีวภาพ	ปริมาณ
ค่าความร้อน (Heating value)	21.5 MJ/m ³ (อ้างอิงที่ CH ₄ 60%)
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 °C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH ₄	600 °C
ค่าความจุความร้อน (Cp)	1.6 kJ/m ³ °C
ความหนาแน่น	kg/m ³

ที่มา : พลกฤษณ์ คุ้มกล้า (2557)

2. ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตชีวภาพ

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating temperature) เมทาโนเจนไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 °C แบคทีเรียจะหยุดทำงาน อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็น 2 ระดับของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิก (Mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) โดยในทางทฤษฎี พบว่าแบคทีเรียเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิก ทำให้ระบบหมักชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิกเสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิที่สูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของระบบเทอร์โมฟิลิก คือการที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า

เมโซฟิลิก อุณหภูมิที่เหมาะสมทำงานได้ดี คือประมาณ 20 °C–45 °C แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือช่วง 37 °C–41 °C โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก

เทอร์โมฟิลิก อุณหภูมิที่ทำงานได้ดีประมาณ 50 °C–52 °C นอกจากนี้สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 °C (พลกฤษณ์ คุ้มกล้า, 2557)

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH value) ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตชีวภาพคือ ระหว่าง 7.0–7.2 ค่า pH ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลดลง ซึ่งถ้าหาก pH ลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะทำให้หยุดกระบวนการย่อย อาจทำให้แบคทีเรียตาย โดยเมทาโนเจนมีความไวต่อความเป็นกรดต่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหาก pH ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นอาจเกิน 8 โดยระบบการหมักมีความเสถียรในช่วงเริ่มต้นที่ pH จะอยู่ระหว่าง 6.8–8 (พลกฤษณ์ คุ่มกล้า, 2557)

2. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตชีวภาพ คือตั้งแต่ 8–30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตชีวภาพคือ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ไนโตรเจนจะถูกเมทาโนเจนนำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้น้อย แต่ถ้าหาก C/N Ratio ต่ำมาก ๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวน Methanogen ลดลงนอกจากนี้หาก C/N ratio อยู่เหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณที่ได้เป็นอื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (พลกฤษณ์ คุ่มกล้า, 2557)

3. ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Loading) ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ปริมาณที่เติมนั้นมากเกินไปส่งผลให้ค่า pH ลดลง (เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการ คือ อซิโตเจเนซิส เป็นการผลิตกรด) จนทำให้ระบบเกิดการไม่เสถียรเนื่องจากเมทาโนเจนไม่เจริญเติบโต ซึ่งหากเกิดขึ้นต้องเริ่มต้นระบบใหม่ แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบในปริมาณที่น้อย ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาณน้อย (พลกฤษณ์ คุ่มกล้า, 2557)

4. การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าตะกอนน้ำ และ สารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่าง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้เกิดก๊าซมีเทนเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอน และตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

5. สารอาหาร (Nutrient) สารอาหารที่ แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโตนอกเหนือไปจากคาร์บอน และไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่ จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซีลีเนียม ทังสเตน และนิกเกิล เป็นต้น (พลกฤษณ์ คุ่มกล้า, 2557)

6. สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and toxic materials) เช่น ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน สารพิษ โลหะหนัก กรดไขมันระเหยได้ สารทำความสะอาดต่างๆ และยาปฏิชีวนะ

สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโต และการผลิตของแบคทีเรียได้ธาตุไอออนในปริมาณน้อย (เช่น โซเดียม, โปแตสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์, แอมโมเนียม) สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรีย แต่ถ้ามีปริมาณที่มากส่งผลเป็นพิษต่อระบบการหมักก๊าซชีวภาพ เช่นแอมโมเนียในปริมาณ 50–200 mg/l จะเป็นผลดี ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 mg/l ก็จะมีผลเสีย ในทางเดียวกัน โลหะหนักบางประเภท (เช่น ทองแดง, นิเกิล, โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว และอื่นๆ) ในปริมาณที่น้อยๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงส่งผลเป็นพิษต่อระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ

7. ปริมาณของแข็ง (Total solid content, TSC) ของสารอินทรีย์ในการผลิตชีวภาพ แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

High-solid (ปริมาณของแข็งสูง) TSC สูงกว่า ~20%

Low-solid (ปริมาณของแข็งต่ำ) TSC ต่ำกว่า ~15%

ปริมาณของแข็งสูงมีลักษณะ คือ มีความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่าถังหมักปริมาณของแข็งต่ำ โดยปริมาณของแข็งต่ำมีน้ำตะกอนใส ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของแบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์ได้ทั่วทั้งระบบ ช่วยให้การย่อยสลายของสารอาหาร และการผลิตก๊าซชีวภาพเร็วกว่าปริมาณของแข็งสูง

8. ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time) ระยะเวลาในการเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นทำให้แบคทีเรียไม่พอต่อการย่อยสลายสารอาหารในการผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้การถ่ายออกของแบคทีเรียในระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่าพีเอชในถังหมักลดลง โดยระยะเวลาการกักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14-60 day เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บ หมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด

9. การเติมอาหารและสารอินทรีย์ (Feed) การเติมสารอาหารหรือสารอินทรีย์เข้าระบบสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 วิธี ได้แก่

- การเติมครั้งเดียว (Batch operation) เป็นการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักเพียงครั้งเดียว จากนั้นจะปล่อยให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในระบบและจะไม่มีป้อนสารอินทรีย์เพิ่มเข้าไปอีก สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายจนหมดโดยสังเกตจากปริมาณที่เกิดขึ้น จึงจะถ่ายตะกอนออกจากระบบและเติมสารอินทรีย์เข้าไปใหม่ ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพไม่ดีนักและการทำงานของระบบจะไม่คงที่ เนื่องจากมีปริมาณที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ

- การเติมกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous operation) เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักในลักษณะเป็นช่วงๆ แต่สม่ำเสมอ จะมีการเติมสารอินทรีย์และถ่ายสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกจากระบบ โดยการเติมอาจเติมวันเว้นวัน ทุกวัน หรือวันเว้นสองวันก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของถังหมักหรือปริมาณวัตถุดิบที่มีอยู่ ระบบการเติมกึ่งต่อเนื่องเหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง ระบบนี้จะมีท่อสำหรับป้อนสารอินทรีย์และขับสารอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วออกจากระบบ ซึ่งระบบนี้จะเกิดผลดีต่อการทำงานของแบคทีเรีย เนื่องจากเกิดสภาวะคงตัวของระบบ เพราะแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในระบบ การเติมลักษณะนี้จะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบอย่างกะทันหัน ส่งผลให้มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบการเติมครั้งเดียว ปริมาณที่ผลิตได้มีความสม่ำเสมอ

- การเติมต่อเนื่อง (Continuous operation) เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์ และขับสารอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วออกจากระบบต่อเนื่องตลอดเวลา ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงที่สุด แต่การเติมสารอินทรีย์ และขับสารอินทรีย์ออกจากระบบนั้นทำได้ยากในระบบขนาดเล็กทั่วไป จึงนิยมใช้ในระบบใหญ่ๆ ที่ต้องการปริมาณชีวภาพสูงๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมหรือฟาร์มปศุสัตว์

10. อัลคาลินิตี (Alkalinity) คือ ค่าความเป็นด่างในระบบที่อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต บ่งบอกถึงความสามารถของน้ำหรือของเหลวในการรับโปรตอน ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ค่าความเป็นด่างนี้จะบ่งบอกถึงบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ที่ดีให้แก่ระบบที่จะควบคุมค่าความเป็นกรด ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าค่าความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนค่าพีเอช ในระบบ มีความสำคัญมากต่อระบบที่มีค่าพีเอชสูง ระบบที่มีความเป็นด่างสูงแสดงถึงความสามารถในการรักษาค่าพีเอชของระบบให้เกิดความคงตัวให้อยู่ได้นาน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชได้ง่าย โดยทั่วไประบบควรมีสภาพด่างทั้งหมดประมาณ 1,000–1,500 mg/L ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (พลาทซ์ คัมเกล้า, 2557)

3. ศักยภาพการผลิตมีเทน

ศักยภาพการผลิตมีเทน (Biochemical methane potential, BMP) คือ กระบวนการเติมวัตถุดิบพร้อมกับเชื้อจุลินทรีย์เพียงครั้งเดียวภายใต้กระบวนการไร้ออกซิเจน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณการเกิดต่อวันต่อปริมาณวัตถุดิบที่เติมและจำนวนวันทั้งหมดที่มีการเกิด จำนวนวันที่วัตถุดิบจะหมักย่อยได้หมด โดยแสดงในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมซีโอดีหรือกรัมของแข็งระเหย จากของวัตถุดิบที่เข้าสู่ระบบหมัก (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, 2554) ค่า BMP ที่ได้จะแสดงถึงศักยภาพการผลิตมีเทนสูงสุด ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ทำให้ทราบถึงปริมาณมีเทนสูงสุดที่สามารถผลิตได้ และประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบหมักชีวภาพจากวัตถุดิบในแต่ละชนิด โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน มีรายละเอียดดังนี้

1. การคำนวณหาปริมาณของแข็งระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลาย

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

ของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด = ของแข็งระเหย_(เข้า) - ของแข็งระเหย_(ออก)

2. การคำนวณหาปริมาณซีโอดี (COD) ที่ถูกย่อยสลาย

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

ซีโอดีที่ถูกกำจัด = ซีโอดี_(เข้า) - ซีโอดี_(ออก)

3. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) (Hassan และคณะ, 2016)

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

เมื่อ COD_{in} และ COD_{out} เป็นค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายของ COD

4. การหาค่าอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ (Specific methane yield, SMY)

$$SMY = \text{ปริมาณมีเทน (L)} / \text{น้ำหนักของซีโอดีที่ถูกย่อยสลาย (kg)}$$

5. การหาศักยภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีเทน (%BMP)

$$\%BMP = (\text{อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์} / \text{ปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี}) \times 100$$

จากทฤษฎีซีโอดี 1 kg เปลี่ยนเป็นมีเทน 350 L

ที่มา : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2554)

เทคโนโลยีการผลิตชีวภาพที่ใช้ในประเทศไทย

ประเภทของชีวภาพ เป็นบ่อหมักที่ออกแบบซึ่งอาศัยกลุ่มของแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยบ่อหมักทำหน้าที่ควบคุมให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดในถังหมักถังเดียว โดยใช้เวลาหมักนานประมาณ 20-50 day จึงเกิดชีวภาพทำให้บ่อหมักมีขนาดใหญ่ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง และบ่อหมักเร็วหรือบ่อกำจัดน้ำเสีย โดยบ่อหมักช้ามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. บ่อหมักช้าแบบถังลอย (Floating drum digester)

บ่อหมักชนิดนี้เป็นรูปแบบที่นำมาจากประเทศอินเดีย ลักษณะส่วนใหญ่ ระบบฝาครอบแช่ในบ่อมูล เพื่อใช้ในการจัดมูลของสัตว์เลี้ยงที่กองอยู่ใต้ถุนบ้าน และแก้ปัญหาด้านสุขอนามัย กำจัดแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค ชีวภาพที่เกิดขึ้นถือว่าเป็นเพียงผลพลอยได้แสดงดังภาพที่ 3

ข้อดี

1. ใช้พื้นที่น้อย
2. มีความทนทาน
3. การจัดการดูแลรักษาง่าย

ข้อเสีย

1. ราคาเริ่มต้นในการสร้างแพงกว่าบ่อขนาดเล็กอื่นๆ
2. มีกลิ่นเหม็นและออกมา



ภาพที่ 3 แบบถังลอย

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2017)

2. บ่อหมักข้าวแบบโดมคงที่ (Fixed dome digester)

บ่อหมักแบบนี้รูปนแบบ และหลักการทำงานมาจากประเทศจีน ลักษณะสร้างก้อนอิฐโอบกปูนฝังอยู่ในดินมีท่อเพื่อเติมมูลสัตว์ และท่อให้มูลสัตว์ไหลออกส่วนเก็บจะสร้างด้วยคอนกรีต หรือก้อนอิฐฉาบปูนติดกับตัวบ่อหมัก ทำให้แรงดันของไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับปริมาตรของภายในบ่อ แสดงดังภาพที่ 4

ข้อดี

1. สามารถชักกากตะกอนออกได้
2. แรงดันก๊าซในระบบมากต่อท่อไปได้ไกล

ข้อเสีย

1. ใช้พื้นที่เก็บก๊าซน้อย และระยะเวลาในการหมักค่อนข้างสั้นประมาณ 30 day



ภาพที่ 4 แบบโดมคงที่

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2017)

3. บ่อหมักข้าวแบบราง (Plug flow digester)

บ่อซึ่งก่อสร้างด้วยคอนกรีต ตัวบ่อมีรูปร่างยาวคล้ายราง หรือคลองส่งน้ำซึ่งมีชื่อเรียกว่า Channel digester ส่วนบนบ่อหมักมีพลาสติกคลุม เพื่อใช้เก็บชีวภาพ ตัวบ่อหมักจะถูกฝังอยู่ใต้พื้นดิน มีท่อเติมมูลสัตว์ และท่อน้ำมูลสัตว์ออกอยู่ทางหัว และท้ายบ่อหมักชีวภาพ เนื่องจากใช้พลาสติกเป็นตัวเก็บชีวภาพ แสดงดังภาพที่ 5

ข้อดี

1. สามารถชักกากตะกอนออกได้

ข้อเสีย

1. ลงทุนสูง และใช้พื้นที่ในการกำจัดน้ำเสียที่ออกจากระบบมาก



ภาพที่ 5 แบบราง

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2017)

4. บ่อแบบโคเวอ์ ลากูน (Covered lagoon)

ระบบนี้ได้นำรูปแบบถุ่ยงกั้บของบ่อแบบ Plug flow มาสร้างครอบไปบนบ่อรวบรวมมูลสัตว์ที่มีอยู่แล้ว ซึ่งอาจเป็นบ่อคองกรีตมีการสะสมของกากตะกอนกันบ่อชีวภาพ แสดงดังภาพที่ 6

ข้อดี

1. ลงทุนต่ำ และกำจัดน้ำเสียได้สมบูรณ์กว่าระบบอื่น



ภาพที่ 6 แบบโคเวอ์ ลากูน

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2017)

ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นกระบวนการผลิตแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปของก๊าซ ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือมีเทนในปริมาณต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะวัตถุดิบที่นำมาผลิตก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทนสามารถติดไฟได้ จึงสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในอนาคต และเมื่อทำการปรับปรุงระบบกำจัดน้ำเสียเพื่อนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในโรงงาน สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในเชิงพาณิชย์เป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้มีประโยชน์ และลดปัญหามลภาวะ ซึ่งการผลิตชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยวิธีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้มีอยู่หลายวิธี ได้แก่

- การใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ แรงดันจากระบบจะดันชีวภาพไปเข้าหัวเผา (burner) ซึ่งต้องออกแบบพิเศษสำหรับใช้ชีวภาพหรือใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น ชีวภาพ 1 m³ สามารถใช้แทนน้ำมันเตาได้ประมาณ 0.6 L ชีวภาพนี้ไม่จำเป็นต้องกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากชีวภาพจากน้ำเสียทั่วไปไม่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณต่ำ การนำชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมโดยทั่วไป เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำและโรงงานโดยทั่วไปต้องการไอน้ำสำหรับการผลิต
- การเผาให้ความร้อนในกระบวนการผลิต ในกระบวนการผลิตหลายอย่างอาจมีความต้องการเชื้อเพลิง หรือไฟฟ้าในการต้มน้ำร้อน ทำให้น้ำมันร้อน เป็นต้น สามารถนำชีวภาพมาใช้ได้โดยตรงและไม่ต้องแยก หรือกำจัดสารที่เจือปนมากับก๊าซชีวภาพก่อนใช้
- การผลิตกระแสไฟฟ้า วิธีการนี้ต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในชีวภาพ เพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าถูกกัดกร่อนได้ โดยทั่วไปเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพรวมประมาณของก๊าซชีวภาพ 1.6–1.9 kW/m³ วิธีการผลิตไฟฟ้าให้ผลตอบแทนต่ำกว่าการนำไปใช้กับหม้อไอน้ำ และราคาเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ามีราคาสูง แต่กรณีที่โรงงานมีความต้องการไอน้ำต่ำ หรือผลิตก๊าซชีวภาพได้มากเกินความต้องการ สามารถนำก๊าซชีวภาพมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้
- การใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ใช้หุงต้มในโรงอาหารของโรงงานและบ้านพัก เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2017)

ตรวจสอบเอกสาร

ในหัวข้อวิจัยนี้การตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อเรื่อง ดังนี้คือ 1. การปรับสภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบ 2. การผลิตชีวภาพจากการหมักร่วม (Co-Digestion) 3. การผลิตชีวภาพจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่มีอัตราส่วนและปริมาณของแข็งทั้งหมดแตกต่างกัน

1. การปรับสภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบ

ระวีวรรณ แก้วกล้า. (2538) ปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 M เป็นเวลา 24 hr และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 90 min เพื่อให้การย่อยสลายเซลลูโลสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเกิดได้ดียิ่งขึ้น

นันทิกา คล้ายชม และคณะ. (2554) โดยทำการทดลองปรับสภาพข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด พบว่า เหมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน 25.42, 58.23 และ 14.95%wt ตามลำดับ หลังทำการปรับสภาพข้าวฟ่างหวานด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10% (w/w) ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 25 min พบว่า มีปริมาณของเหมิเซลลูโลส และลิกนินลดลงเป็น 5.97 และ 3.56%wt ตามลำดับ มีปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็น 90.37 %wt

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และคณะ. (2555) ทำการผลิตชีวภาพจากการหมักร่วมของต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพเบื้องต้นร่วมกับของเสียกลีเซอรอล ปรับสภาพเบื้องต้นด้วยการแช่ด้วยสารละลายต่าง (NaOH2%) เป็นเวลา 48 hr ที่อุณหภูมิห้อง (25-35 °C) โดยใช้ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบกวนสมบูรณ์ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 40 cm ตัวถังหมักทำจากอะคริลิกใส (Acrylic) ซึ่งติดตั้งมอเตอร์และใบพัดกวนอัตราเร็ว 50 r/min ผลการทดลอง พบว่า การใช้ของเสียกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเป็นสารหมักร่วมกับต้นข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2% สามารถผลิตชีวภาพทั้งหมด 0.2 m³/kg VS_{removed} เมื่อเทียบกับต้นข้าวโพดที่ไม่มีการปรับสภาพ สามารถผลิตได้เพียง 0.1 m³/kg VS_{removed}

Watcharee et al. (2013) การศึกษานี้แสดงการปรับสภาพประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยใช้ของเหลวไอออนิก ได้แก่ เปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว ภายหลังจากที่วัสดุผ่านการปรับสภาพไปย่อยด้วยเอนไซม์โดยเอนไซม์ พบว่า สภาวะการปรับสภาพที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวในการช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาลกลูโคส โดยการใช้ของเหลวไอออนิกชนิด EmimOAc ที่อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 2 hr ได้น้ำตาลกลูโคสสูงสุดที่ 68.2% และ 62.8% ตามลำดับ พบว่า การปรับสภาพลดปริมาณลิกนินที่มีอยู่ของเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว 9.2% และ 14.6% ตามลำดับ

Farooq et al. (2001) ทำการปรับสภาพซังข้าวโพดที่นำมาบดให้มีขนาด 0.5-1 mm หลังจากนั้นผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 2% (w/v) โดยใช้ในอัตราส่วน 1:5 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 min พบว่า หลังการปรับสภาพจะได้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น 57% (w/w) นอกจากค่าของเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และอะซิเตท เท่ากับ 23% 5% และ 3% (w/w) ตามลำดับ

Maria et al. (2014) ทำการปรับสภาพฟางข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 % อัตราส่วนของวัตถุดิบ:น้ำ 1:6 เป็นเวลา 80 °C เป็นเวลา 48 hr และมีการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก มีความเข้มข้น 1.5% เป็นเวลา 60 min มีค่าการทำลายลิกนิน เซลลูโลสสูงกว่าการปรับสภาพด้วยกรดเพียงอย่างเดียวมีค่าเฮมิเซลลูโลส กลูโคส ลิกนิน คือ 17±1, 88±1 และ 42±2 ตามลำดับ

2. การผลิตชีวภาพจากการหมักร่วม (Co-Digestion)

จรรยา อินเอก และคณะ. (2553) ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับใบยางพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์มที่อัตราส่วน 15 : 1 kg โดยทำการหมักในถังขนาด 150 L ณ อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ได้ทำการเติมวัสดุหลังจากการหมักไปแล้ว 3 days และได้ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 15 days จากผลการศึกษา พบว่า มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่ 73.12 L และ 91.68 L ตามลำดับ มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีค่าสูงกว่า 60%

ไพศาล วงศ์กระโซ่. (2553) ทำการศึกษากการผลิตชีวภาพโดยใช้ใบยางพาราร่วมกับมูลโคและมูลสุกร โดยทำการหมักในขวดแบบไร้อากาศขนาด 1 L ทั้งนี้มีปริมาณน้ำหมัก 0.8 L ณ อุณหภูมิห้อง ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 12 days และทำการเติมวัตถุดิบครั้งเดียว โดยการทดลองชุดที่ 1 เป็นชุดการหมักระหว่างใบยางพารากับมูลโคที่อัตราส่วนการผสม 1 : 1 และทำการทดลองในชุดที่ 2 โดยใช้มูลสุกรในการหมักร่วมกับใบยางพารา ทำการวัดปริมาตรทุกๆ 2 days พบว่า ชุดการหมักระหว่างใบยางพารากับมูลโค มีปริมาตรก๊าซสะสมสูงกว่าชุดการหมักใบยางพาราร่วมกับมูลสุกรที่ 1,664.33 ml และ 1,322.33 ml ตามลำดับ

จूरिय์ ช่วยชาติ. (ม.ป.ป) ได้ทำการศึกษากการผลิตชีวภาพจากกากตะกอนดีแคแเตอร์โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับมูลสุกร โดยใช้อัตราส่วนของน้ำกากตะกอนดีแคแเตอร์ 0.5 kg : มูลสุกร 10% 20% 30% 40% และ 50% โดยปริมาตร ทั้งนี้ได้ทำการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นระยะเวลา 12 days ณ อุณหภูมิห้อง และได้ทำการวัดค่า pH จากน้ำตัวอย่างและปริมาตรทุกๆ 3 days พบว่า การหมักกากตะกอนดีแคแเตอร์ร่วมกับมูลสุกร ที่อัตราส่วนมูลสุกร 10% จะมีปริมาณชีวภาพต่อวันสูงสุด รองลงมาคือที่ 40% และ 30% ตามลำดับ

ชาญ แซ่ม้า. (ม.ป.ป) ทำการศึกษากการผลิตชีวภาพจากพีชผักร่วมกับส่วนผสมของมูลสุกรและมูลโค โดยทำการผสมระหว่างพีชผักต่อมูลสัตว์ที่ 60 : 40 ทำการศึกษาที่ระยะเวลา 12 days ทั้งนี้ได้ทำ

การเก็บชีวภาพที่ผลิตได้ทุกๆ 3 days จากผลการศึกษาดังกล่าว พบว่าที่อัตราส่วนการผสมของ มูลสุกรต่อมูลโคที่ 70 : 30 เป็นอัตราส่วนการผสมที่สามารถให้ปริมาณสะสมสูงสุดที่ 1,100 ml

รุ่งนภา เนินหาด. (2553) ทำการศึกษาการผลิตชีวภาพจากเศษผักร่วมกับมูลสุกรภายในขวด ขนาด 1 L ระบบแบบกะ ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ณ อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 12 days ทั้งนี้ใช้เศษผัก 200 g ร่วมกับมูลสุกรที่ 10% 20% 30% 40% และ 50% โดยปริมาตร อีกทั้งมีการใช้ลูกโป่งเพื่อทำการเก็บชีวภาพที่ผลิตได้ทุกๆ 3 days จากการศึกษาในข้างต้น พบว่าที่ อัตราส่วนการผสมระหว่างเศษผักร่วมกับมูลสุกรที่ 50% สามารถให้ปริมาณชีวภาพสะสมสูงสุดที่ 1,248 ml

ลาแพน หล้าคำมี. (2553) ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากทะเลลายปาล์มเปล่าโดยใช้มูล สุกรเป็นหัวเชื้อเริ่มต้นแบบกะ และแบบกึ่งกะ โดยการผลิตก๊าซชีวภาพแบบกะ นั้นทำการหมักทะเลลาย ปาล์มเปล่า ใช้น้ำมูลสุกรเป็นหัวเชื้อเริ่มต้นในอัตราส่วนน้ำหนักแห้ง 100 g : น้ำมูลสุกร 400 ml ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 12 days พบว่ามีปริมาณชีวภาพสะสม 937 cm³ และมีปริมาณชีวภาพ เฉลี่ย 78.08 cm³/day ในส่วนของการผลิตชีวภาพแบบกึ่งกะ นั้นได้ทำการหมักทะเลลายปาล์ม 70 g น้ำหนักแห้ง แล้วเติมทะเลลายปาล์มครึ่งละ 10 g ทุกๆ 3 days โดยมีน้ำมูลสุกรเป็นหัวเชื้อ 400 ml และเติมทะเลลายปาล์มให้ครบ 100 g ทำการหมักเป็นเวลา 12 days จากผลการศึกษาในข้างต้น พบว่า การผลิตชีวภาพแบบกึ่งกะ สามารถผลิตได้ดีกว่าแบบกะ โดยจะมีค่าปริมาตรก๊าซสะสมที่ 1,268 cm³ และมีปริมาณชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 105.67 cm³/day

ขจรศักดิ์ นกร่อน. (2553) ทำการศึกษาผลของน้ำยาล้างจานต่อศักยภาพการผลิตชีวภาพจาก เศษอาหารอินทรีย์ โดยนำเศษอาหารมาหมักร่วมกับน้ำยาล้างจานที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ทั้งนี้ใช้ การหมักแบบกะในขวดขนาด 1 L ปริมาตรการหมักที่ใช้จริงคือ 0.5 L ณ อุณหภูมิห้อง โดย ทำการศึกษาที่อัตราส่วนเศษอาหาร 5% + น้ำยาล้างจาน 1% w/w และเศษอาหาร + น้ำยาล้างจาน 2% w/w เติมหัวเชื้อด้วยมูลสุกร 100 ml แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 500 ml ระยะเวลาในการหมัก 10 days จากผลการศึกษาที่เงื่อนไขดังกล่าว พบว่า เศษอาหาร เศษอาหาร+น้ำยาล้างจาน 1% w/w และเศษอาหาร+น้ำยาล้างจาน 2% w/w มีปริมาตรก๊าซสะสมมีค่าเท่ากับ 2,229.50 ml 711.50 ml และ 3,355 ml ตามลำดับ ทั้งนี้ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การหมักเศษอาหารอินทรีย์แบบ ไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับน้ำยาล้างจานที่อัตราส่วน 1% w/w และ 2% w/w ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ การผลิตชีวภาพ

วรรณกร กุลศรี และคณะ. (2552) ได้ทำการศึกษาศักยภาพการผลิตชีวภาพจากการหมักเศษ ผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง ผลิตก๊าซชีวภาพในขวดขนาด 1 L ทั้งนี้ปริมาตรที่ใช้จริง 0.5 L ระยะเวลาหมักแบบเปียก 10 days การหมักแบบแห้งระยะเวลาหมัก 9 days และการหมัก แบบต่อเนื่องระยะเวลาหมัก 7 days จากการศึกษา พบว่าการหมักแบบเปียกของเศษผักผลไม้และ

เปลือกกล้วยเล็บมือนางมีปริมาณชีวภาพสะสมเท่ากับ 1,439 ml และ 1,170 ml ตามลำดับ และมีศักยภาพการผลิตชีวภาพเท่ากับ 57.56 ml/g และ 46.8 ml/g ตามลำดับ จากผลการศึกษาข้างต้น จึงกล่าวได้ว่าเศษผักผลไม้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าเปลือกกล้วยเล็บมือนาง ส่วนการหมักแบบแห้ง พบว่า เปลือกกล้วยเล็บมือนางมีก๊าซสะสมสูงสุดเท่ากับ 2,099 ml และการหมักแบบต่อเนื่องมีชีวภาพสะสมเท่ากับ 1,582 ml

กิตติชัย ปัญญารมย์ และคณะ. (ม.ป.ป) ทำการศึกษาผลของขนาดเศษอาหารอินทรีย์ที่ผ่านการบดและไม่บด มีต่อการผลิตชีวภาพ ทำการเติมวัตถุดิบการหมักแบบครั้งเดียวในขวดขนาด 2 L โดยมีปริมาตรน้ำหมัก 1.4 L ณ อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาในการหมัก 12 days จากผลการศึกษาดังกล่าว พบว่า มีปริมาณก๊าซสะสมเท่ากับ 5,032.50 และ 3,001.50 ml ตามลำดับ และมีศักยภาพในการผลิตชีวภาพจากการหมักเศษอาหารบดและไม่บดเท่ากับ 71.89 ml/g และ 42.87 ml/g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเศษอาหารอินทรีย์ที่ผ่านการบดสามารถผลิตชีวภาพได้มากกว่าเศษอาหารอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการบด

3. การผลิตชีวภาพจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่มีอัตราส่วนและปริมาณของแข็งทั้งหมดแตกต่างกัน

Chen et al. (2010) ศึกษาการย่อยสลายร่วมกับแบบไม่ใช้ออกซิเจนระหว่างต้นข้าวโพดกับมูลไส้เดือน ที่อุณหภูมิ 35 °C โดยเริ่มต้นการเดินระบบที่ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) ตั้งแต่ 1.2%-6.0% ที่สัดส่วนมูลไส้เดือนของของแข็งทั้งหมด ตั้งแต่ 20-80% พบว่าที่ TS เท่ากับ 4.8% ได้ค่าผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 217.60 ml CH₄/gTS_{added} โดยการย่อยสลายร่วมกันระหว่างต้นข้าวโพดกับมูลไส้เดือนจะให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรย่อยสลายต้นข้าวโพดอย่างเดียว

Zhou et al. (2012) ได้ทำการศึกษาการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนของซังข้าวโพดร่วมกับมูลวัว ใช้ซังข้าวโพดขนาด 5 cm ความหนาแน่น 5 kg/m³ โดยมีการปรับซังข้าวโพดปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ TS เท่ากับ 25% ใช้อัตราส่วนของซังข้าวโพด:มูลวัว 50:50 ใส่หัวเชื้อ 20 g ระยะเวลาในการหมัก 60 days พบว่า ซังข้าวโพดที่ได้รับการปรับสภาพ 20 days สามารถผลิตชีวภาพได้มากกว่าการไม่ปรับสภาพสูงสุดถึง 40.7%

Yeqing Li et al. (2014) ได้ทำการศึกษาการผลิตชีวภาพโดยการหมักร่วมของซังข้าวโพดและมูลไก่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยใช้สัดส่วนของซังข้าวโพดต่อมูลไก่ที่ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ที่อุณหภูมิในการหมัก 37 °C ระยะเวลาในการหมัก 30 days ถึงหมักแบบกะ ทำการเขย่าถังหมักทุกวันๆ ละ 2 ครั้ง พบว่าในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อมูลไก่ 75:25 โดยมีปริมาตรการผลิตก๊าซสะสมสูงสุด เท่ากับ 14.2 L

Yun et al. (2015.) ได้ทำการศึกษาการผลิตชีวภาพโดยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของซังข้าวโพดด้วยการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพซังข้าวโพด TS เท่ากับ 17.6% , VS เท่ากับ 22.1-35.9%, C/N เท่ากับ 30 เฮมิเซลลูโลส 19.8-27.2% และเซลลูโลส 22.3-35.4% จากการทดลอง พบว่า หลังจากทำการปรับสภาพซังข้าวโพด 3 days พบว่า มีปริมาณลดลงของลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส 8.1-19.4% สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เพิ่มขึ้น 70.4% เมื่อเทียบกับซังข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 66.3%



บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานและทำการหมักร่วมกับมูลสัตว์ โดยการย่อยสลายไร้อากาศแบบแห้ง พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าของแข็งทั้งหมด (TS), ค่าของแข็งระเหยง่าย (VS), ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (%COD) และศักยภาพการผลิตมีเทน (BMP) ในบทนี้จะกล่าวถึงวัตถุดิบและวิธีการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้งานวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ดังนี้

การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตข้าวโพดหวาน ส่วนที่ 2 มูลสัตว์ และส่วนที่ 3 วัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวาน โดยรายละเอียดต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตข้าวโพดหวาน

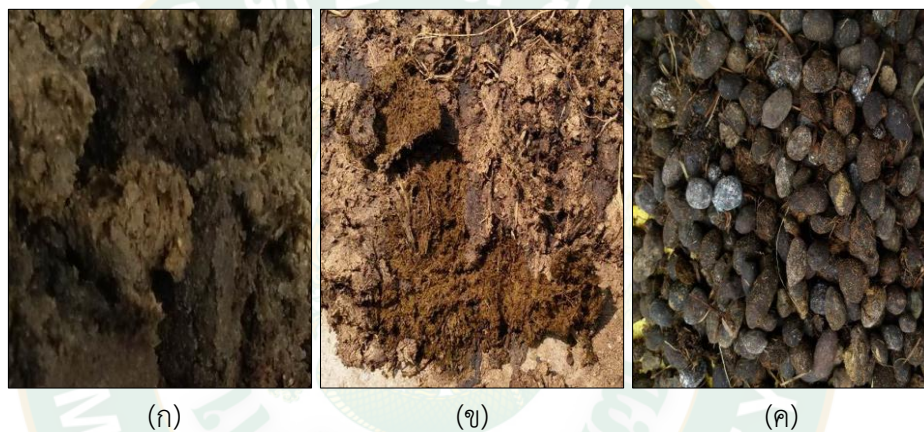
น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานส่งออกข้าวโพดหวาน เป็นน้ำเสียที่ได้จากการกระบวนการผลิตข้าวโพดภายในโรงงานอุตสาหกรรม ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ชันสวีท จำกัด เป็นโรงงานข้าวโพดหวานอัดกระป๋องส่งออก อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ โดยน้ำเสียจะมีลักษณะเข้มข้น มีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเปรี้ยว ภาพตัวอย่างน้ำเสียแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานส่งออกข้าวโพดหวาน

2. มูลสัตว์

มูลสัตว์ที่ใช้สำหรับเป็นหัวเชื้อในงานวิจัยครั้งนี้เป็นมูลสุกร มูลวัว และมูลแพะ โดยแหล่งวัตถุดิบมูลสัตว์มาจากคณะสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ ซึ่งมูลสัตว์จะต้องมีลักษณะสด มูลสัตว์ที่ใช้ในการทดสอบหัวเชื้อไม่จำกัดสายพันธุ์ อายุ ของมูลสัตว์ ซึ่งสุกรและวัวจะมีการเลี้ยงแบบระบบปิด ส่วนแพะเป็นการเลี้ยงโดยวิธีการปล่อยตามทุ่งปศุสัตว์ โดยมูลสัตว์ทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะเปียกชื้น แสดงตัวอย่างมูลสุกรดังภาพที่ 8 (ก) มูลวัวดังภาพที่ 8 (ข) และมูลแพะดังภาพที่ 8 (ค) ทั้งนี้ก่อนทำการป้อนมูลสัตว์เข้าสู่ระบบจะทำการแยกเศษใบไม้ที่ติดมากับมูลสัตว์ออกก่อน และมีการบดมูลสัตว์เพื่อให้มูลสัตว์มีลักษณะละเอียด นำไปสู่การกระจายตัวของจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในมูลสัตว์ได้ดียิ่งขึ้น



ภาพที่ 8 มูลสุกร (ก) มูลวัว (ข) และมูลแพะ (ค)

3. วัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวาน

1. ชังข้าวโพดหวาน

ชังข้าวโพดหวานได้จากกระบวนการบดชังข้าวโพดหวาน มีลักษณะแห้ง สีเหลืองอ่อน ความชื้นต่ำ ขนาด 2-3 cm ตัวอย่างชังข้าวโพดหวานบดแสดงดังภาพที่ 9 (ก) หลักจากนั้นปรับสภาพด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2% โดยในกระบวนการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส จำเป็นต้องมีการปรับสภาพ (Pretreatment) เพื่อเป็นการทำลายโครงสร้างที่แข็งของลิกโนเซลลูโลส ส่งผลให้จุลินทรีย์ สามารถย่อยสลายสารอาหารที่อยู่ในระบบได้มากขึ้น ในขั้นตอนการย่อยของไฮโดรไลซิส ซึ่งเป็นการเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลหรือเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (Pawongrat, 2015) โดยการปรับสภาพต้องปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 hr. ก่อนนำไปหมักแสดงดังภาพที่ 9 (ข)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 9 ชั่งข้าวโพดบด (ก) ชั่งข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพ NaOH 2% (ข)

2. เปลือกข้าวโพดหวาน

เปลือกข้าวโพดได้จากกระบวนการแยกเปลือกกับชั่งและเมล็ดออกจากกัน โดยเปลือกข้าวโพดหวานมีลักษณะเปียก สีเขียวอ่อน ขนาด 10-15 cm ตัวอย่างเปลือกข้าวโพดหวานแสดงดังภาพที่ 10 (ก) โดยเปลือกข้าวโพดต้องผ่านการปรับสภาพทางกลเพื่อลดขนาด 2-3 cm นำเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการลดขนาดมาปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2% ปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 hr ก่อนนำไปหมักแสดงดังภาพที่ 10 (ข)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 10 เปลือกข้าวโพด (ก) เปลือกข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพ NaOH 2% (ข)

3. เมล็ดคั่วทั้งข้าวโพดหวาน

เมล็ดคั่วทั้งทั้งได้จากกระบวนการแยกเมล็ดที่ไม่ได้มาตรฐานโรงงาน โดยเมล็ดข้าวโพดหวานมีลักษณะเมล็ดแตกหัก เมล็ดลีบ และเมล็ดบางส่วนเสียหายจากการถูกแมลงกัด เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 11 (ก) และปรับสภาพด้วยการบดให้เมล็ดแตกละเอียด เพื่อให้มีพื้นที่การย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำงานได้ดีขึ้น แสดงดังภาพที่ 11 (ข)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 11 เมล็ดข้าวโพดหวานคั่วทั้ง (ก) เมล็ดที่ผ่านการบดขนาด (ข)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้น

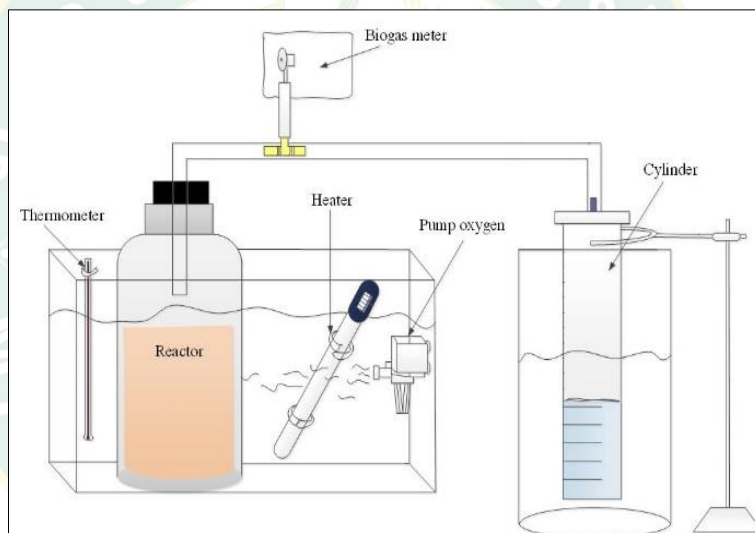
วัตถุดิบที่นำมาผลิตก๊าซชีวภาพต้องทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบก่อนเริ่มระบบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อัตราการผลิตวัตถุดิบเข้าระบบ คือ ค่าซีไอดี, พีเอช, สารระเหยง่าย และ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีการหาค่าความชื้น วิเคราะห์ Ultimate/Proximate และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นในการผลิตชีวภาพหมักแบบแห้ง

พารามิเตอร์	อุปกรณ์/วิธีการ
pH	pH meter
COD (Chemical oxygen demand)	Closed reflux method
C/N Ratio	Kjeldahl method
TS (Total solid)	Gravimetric method
VS (Volatile solid)	Gravimetric method
Moisture	APAC, 1995
Ultimate analysis	ASTM
Proximate analysis	ASTM

การศึกษาผลผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลสัตว์

การออกแบบและการดำเนินการระบบ BMP (Biochemical methane potential) โดยการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานหมักร่วมกับมูลสัตว์นั้น เพื่อประเมินหาค่าประสิทธิภาพและศักยภาพในการย่อยสลายให้มีเทนของวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน ถึงปฏิกรณ์ขนาด 1 L ทำการทดลอง 3 ซ้ำ TS เริ่มต้น 25% และระยะเวลาหมัก 30 days หรือจนกว่าปริมาณเหลือน้อยและเริ่มคงที่ โดยก่อนและหลังทดลองทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน มูลสัตว์ (หัวเชื้อ) และน้ำเสีย ได้แก่ พีเอช (pH), ซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD), ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS), ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile solid, VS), ระหว่างการหมักวัดปริมาณชีวภาพทุกวัน และวัดความเข้มข้นของมีเทน (CH_4) ทุก 5 days



ภาพที่ 12 ไดอะแกรมระบบหมักชีวภาพขนาด 1 L

ระบบหมักชีวภาพขนาด 1 L ประกอบด้วยขวดปฏิกรณ์ขนาด 1 L ปริมาตรใช้จริง 0.7 L ขวดหมักถูกปิดด้วยจุกยางซึ่งต่อเข้ากับสายยาง เพื่อนำชีวภาพไปยังชุดเก็บชีวภาพ ชุดเก็บชีวภาพสร้างจากกระบอกตวงขนาด 500 ml และต่อเข้ากับสายยางนำส่ง ทำการวัดชีวภาพด้วยหลักการแทนที่น้ำ โดยในการหมักแบบไร้ออกซิเจนจะมีการใช้เครื่องทำความร้อน (Heater) ให้ความร้อนแก่น้ำเพื่อให้ได้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 37 ± 2 °C โดยมี Thermometer ตรวจสอบอุณหภูมินี้ และตัวปั๊มน้ำออกซิเจน เพื่อให้มีการไหลเวียนน้ำในระบบให้ความร้อนสม่ำเสมอทั้งภาชนะใส่ขวดหมัก ตัวอย่างไดอะแกรมระบบหมักชีวภาพขนาด 1 L แสดงดังภาพที่ 12 และชุดทดลองระบบผลิตชีวภาพขนาด 1 L แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงชุดทดลองระบบผลิตชีวภาพขนาด 1 L

ตัวอย่างชุดขวดหมักชีวภาพขนาด 1 L แสดงดังภาพที่ 14 (ก) และชุดเก็บชีวภาพแสดงดังภาพที่ 14 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 14 ตัวอย่างชุดขวดหมักชีวภาพขนาด 1 L (ก) และชุดเก็บชีวภาพ (ข)

การประเมินประสิทธิภาพและศักยภาพในการย่อยสลายให้มีเทนของวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานขนาดถึง 1 L การผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานร่วมกับมูลสัตว์ โดยการย่อยสลายไร้อากาศแบบแห้ง ขั้นตอนการทดลองแบ่ง 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานร่วมกับหัวเชื้อ(มูลสุกร มูลวัว และมูลแพะ) เพื่อเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์ที่สามารถให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุด นำไปทดสอบในส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 ต่อไป

ส่วนที่ 2 การคัดเลือกอัตราส่วนของหัวเชื้อกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน ได้แก่ เปลือกข้าวโพดหวาน (CH) กับมูลแพะ (GD) โดยมีอัตราส่วนดังนี้ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 100:0

พิจารณาอัตราส่วนที่สามารถผลิตความเข้มข้นของมีเทนสูงสุด โดยอัตราส่วนที่ผ่านการคัดเลือกนำไปทดสอบในส่วนที่ 3 ต่อไป

ส่วนที่ 3 เพื่อทดสอบอัตราส่วนของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดที่แตกต่างกัน โดยมีทั้งหมด 4 กลุ่ม ดังนี้ ชัง+เมล็ด, ชัง+เปลือก เปลือก+เมล็ด และชัง+เปลือก+เมล็ด ศึกษาศักยภาพในการผลิตความเข้มข้นของก๊าซมีเทน

จากการทดลองของส่วนที่ 1 - 3 มีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ศักยภาพการผลิตมีเทนขนาด 1 L แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ศักยภาพการผลิตมีเทนขนาด 1 L

ลักษณะ	ความถี่ในการวิเคราะห์
pH	ก่อนและหลังการหมัก
Total solids (TS)	ก่อนและหลังการหมัก
Volatile solid	ก่อนและหลังการหมัก
Chemical oxygen demand (COD)	ก่อนและหลังการหมัก
Biogas production	ทุกวัน
Methane Composition	ทุก 4 days

1. การคัดเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์

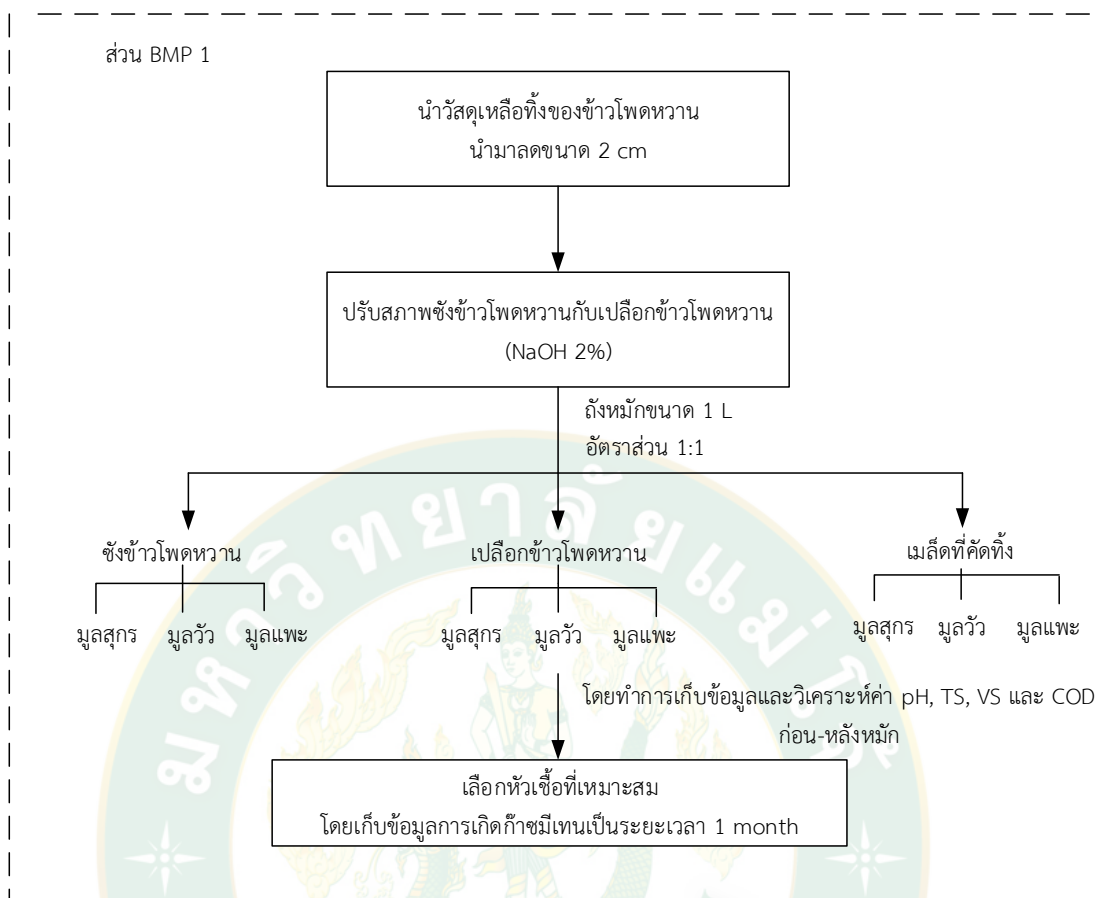
ส่วนที่ 1 คือ การหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานหมักร่วมกับมูลสัตว์ (หัวเชื้อ) เพื่อคัดเลือกหัวเชื้อ โดยการทดลองหาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน มีขั้นตอนรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) คำนวณหาความชื้นที่มีในมูลสัตว์ (มูลสุกร, มูลวัว และมูลแพะ) กับความชื้นที่ได้จากเมล็ดที่คัดทิ้งผ่านการลดขนาดโดยวิธีบดให้มีขนาดเล็ก และชั่งกับเปลือกข้าวโพดหวานที่ผ่านการลดขนาดให้มี 2-3 cm จากนั้นปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นของ 2% เพื่อคำนวณการเติมน้ำเสียและน้ำกลั่นในการหมักโดยมีการปรับค่าของแข็งทั้งหมดเริ่มต้น 25%

2) นำมูลสัตว์ (มูลสุกร, มูลวัว และมูลแพะ) กับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน (เมล็ดที่คัดทิ้ง, ชังข้าวโพด และเปลือกข้าวโพด) ใส่ไว้ภาชนะที่อัตราส่วน 1:1 โดยมีวัสดุเหลือทิ้งเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน : มูลสัตว์ คือ 1 kg : 1 kg

3) ปรับค่าพีเอช (pH) ของตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในกรณีที่มีค่า pH ต่ำกว่า 6.8 หรือเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในกรณีที่มีค่า pH มากกว่า 7.2 เพื่อให้มีค่า 6.8-7.2 ทำการทดลองซ้ำ 3 การทดลอง

- 4) ควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 37 ± 2 °C โดยใช้เครื่องทำความร้อน (Heater) และใช้ปั๊มน้ำออกซิเจนเพื่อไหลเวียนน้ำ ให้น้ำมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันทั่วทุกขวด
- 5) เก็บตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะก่อนการหมักชีวภาพ เพื่อใช้ในการคำนวณหาศักยภาพการผลิตมีเทน
- 6) เขย่าขวดหมักชีวภาพทุกวันๆ วันละ 30 Sec เพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวเชื้อกับสารอาหารภายในขวดหมัก
- 7) วัดปริมาณชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน ซึ่งทำการวิเคราะห์จากความแตกต่างของปริมาตรน้ำที่ดูดไว้ในแต่ละวัน และวัดองค์ประกอบของมีเทนทุกๆ 4 days
- 8) ทำการหมักระยะเวลา 30 days หรือจนกว่าปริมาณชีวภาพคงที่ จากนั้นทำการปิดระบบการผลิตชีวภาพ และเก็บตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของแต่ละตัวอย่าง
- 9) วิเคราะห์ศักยภาพการผลิตมีเทนของการหมักร่วมกันของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิต และมูลสัตว์ เพื่อใช้ในการเลือกมูลสัตว์ (หัวเชื้อ) ในการผลิตก๊าซมีเทนต่อในส่วนที่ 2 ในหัวข้อการเลือกอัตราส่วนของหัวเชื้อต่อวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานต่อไป โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานแสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แผนผังการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 1

2. ศึกษาเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตมีเทน

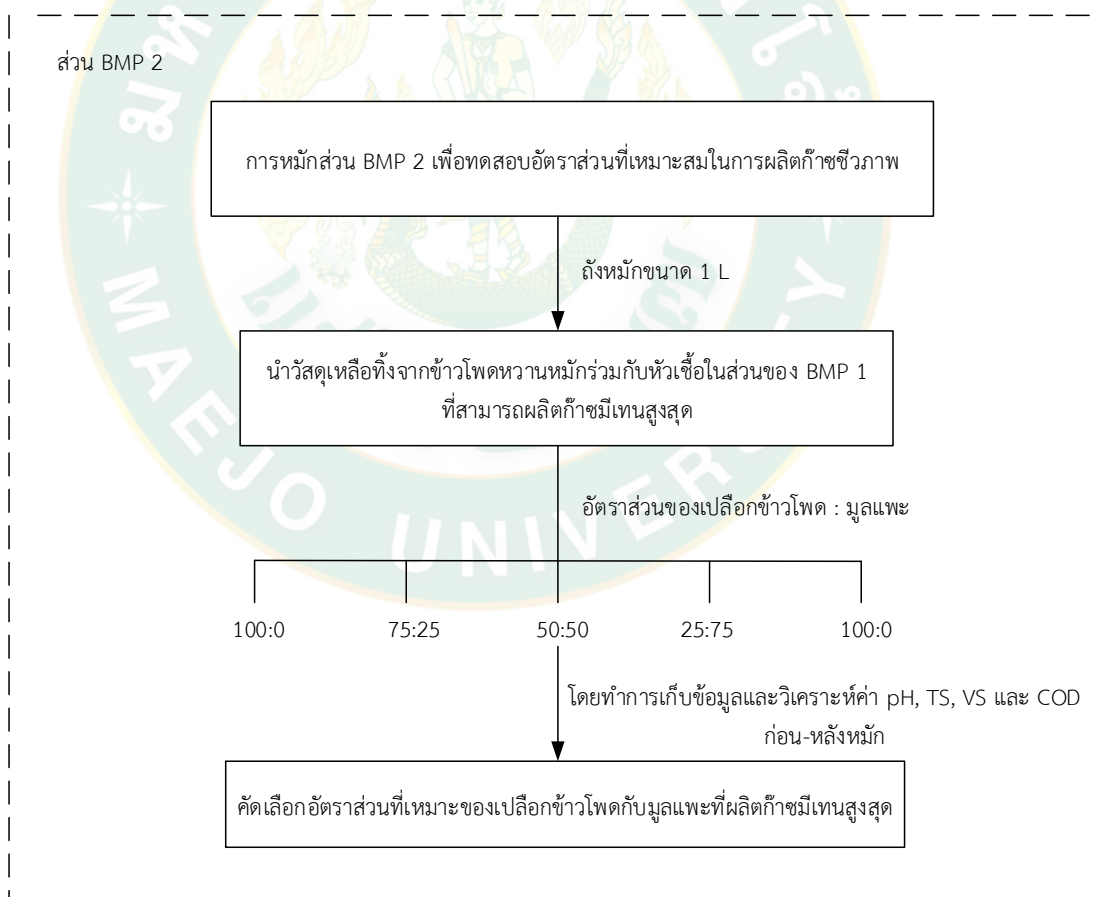
ส่วนที่ 2 คือ การหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานหมักร่วมกับมูลสัตว์ (หัวเชื้อ) เพื่อคัดเลือกอัตราส่วน โดยการทดลองหาค่าคุณภาพการผลิตมีเทน มีขั้นตอนรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) หมักชีวภาพจากมูลแพะกับน้ำเสีย และเปลือกข้าวโพดในขวดหมักขนาด 1 L เพื่อทดสอบอัตราส่วนของวัตถุดิบเหลือทิ้ง คือ เปลือกข้าวโพด (HC) กับหัวเชื้อ คือ มูลแพะ (GD) โดยมีอัตราส่วนดังนี้ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 100:0 และชุดหมักทั้งหมด 5 ชุด ทำการทดลองซ้ำ 3

2) เติมน้ำกลั่นและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตข้าวโพดหวานที่อัตราส่วน 1:1 ซึ่งการทดลองใช้ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) 25% ของการเริ่มต้นการหมัก

3) ปรับค่าพีเอช (pH) ของตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า pH ต่ำกว่า 6.8 หรือเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า pH มากกว่า 7.2 เพื่อให้มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.8 - 7.2

- 4) เก็บตัวอย่างวัตถุดิบที่นำมาหมัก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติลักษณะของแต่ละชุดการทดลอง
- 5) ปิดขวดหมักชีวภาพด้วยจุกยางที่ต่อเข้ากับชุดเก็บชีวภาพ
- 6) วัดปริมาณชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน วัดความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ($\%CH_4$) ทุก 4 days และทำการเขย่าขวดหมักวันละ 1 ครั้งๆ ละ 30 Sec เพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวเชื้อกับสารอาหาร
- 7) หมักชีวภาพ 30 days หรือจนกว่าชีวภาพมีปริมาตรคงที่
- 8) ปิดระบบหมักชีวภาพและเก็บตัวอย่างของแต่ละชุดการทดลอง
- 9) พิจารณาชุดทดลองที่มีอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสม ในการผลิตมีเทนสูงสุดเพื่อนำไปใช้ในอัตราส่วนของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดแต่ละชนิดในระบบส่วนที่ 3 ต่อไป โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานแสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แผนผังการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 2

3. การผลิตมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่อัตราส่วนต่างๆ

ส่วนที่ 3 คือ การหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานหมักร่วมกับมูลสัตว์ (หัวเชื้อ) เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดแต่ละส่วนโดยการทดลองหาศักยภาพการผลิตมีเทน มีขั้นตอนรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) หมักชีวภาพจากมูลแพะกับน้ำเสีย และวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดแต่ละส่วนประกอบไปด้วย เมล็ดข้าวโพดคั่วคั่ว ซึ่งข้าวโพดหวาน และเปลือกข้าวโพด ในขวดหมักขนาด 1 L เพื่อทดสอบอัตราส่วนของวัตถุดิบเหลือทิ้ง คือ เมล็ดคั่วคั่ว (SC), ซึ่งข้าวโพด (CC) และเปลือกข้าวโพด (HC) กับหัวเชื้อ คือ มูลแพะ (GD) โดยวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลแพะมีอัตราส่วน 1:3 โดยการผสมวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดในขวดหมักแต่ละขวด ดังนี้ (SC + CC), (SC + HC), (CC + HC) และ (SC + CC + HC) โดยหมักทั้งหมด 4 ชุด ทำการทดลองซ้ำ 3

2) เติมน้ำกลั่นและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตข้าวโพดหวาน ในขวดหมักที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาณการเติมน้ำคำนวณจากความชื้นที่ได้จากวัตถุดิบที่นำมาหมัก โดยปริมาณของแข็งทั้งหมด 25% ของการหมักเริ่มต้น

3) ปรับค่าพีเอช (pH) ของตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า pH ต่ำกว่า 6.8 หรือเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า pH มากกว่า 7.2 เพื่อให้มีค่า 6.8 - 7.2

4) เก็บตัวอย่างวัตถุดิบที่นำมาหมัก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของแต่ละชุดการทดลอง

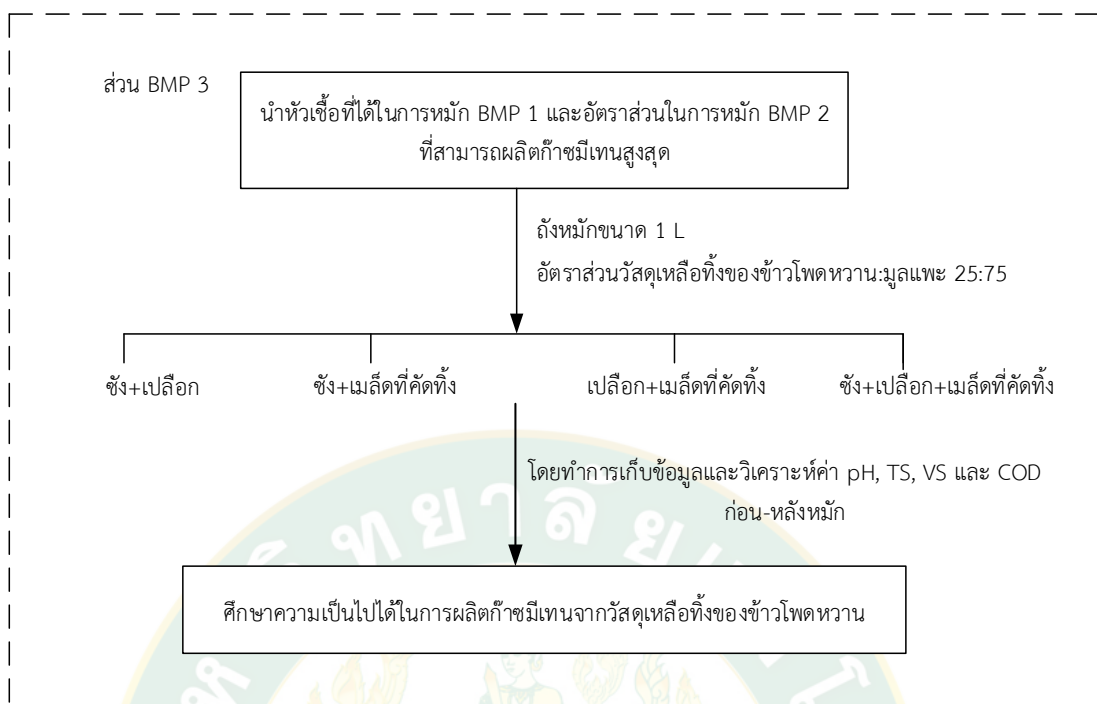
5) ปิดขวดหมักชีวภาพด้วยจุกยางที่ต่อเข้ากับชุดเก็บชีวภาพพันด้วยพาราฟิล์มและกาวซิลิโคนเพื่อป้องกันออกซิเจนเข้าระบบการหมัก

6) การหมักแบบแห้งภายใต้อุณหภูมิ 37 ± 2 °C ในสภาวะไร้ออกซิเจนหมักแบบแห้ง

7) วัดปริมาณชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน วัดความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (%CH₄) ทุก 4 days และทำการเขย่าขวดหมักวันละ 1 ครั้งๆ ละ 30 Sec เพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวเชื้อกับสารอาหาร โดยระยะเวลาเก็บข้อมูลหมักชีวภาพ 40 days หรือจนกว่าชีวภาพมีปริมาตรลดลง

8) ปิดระบบหมักชีวภาพและเก็บตัวอย่างของแต่ละชุดการทดลอง

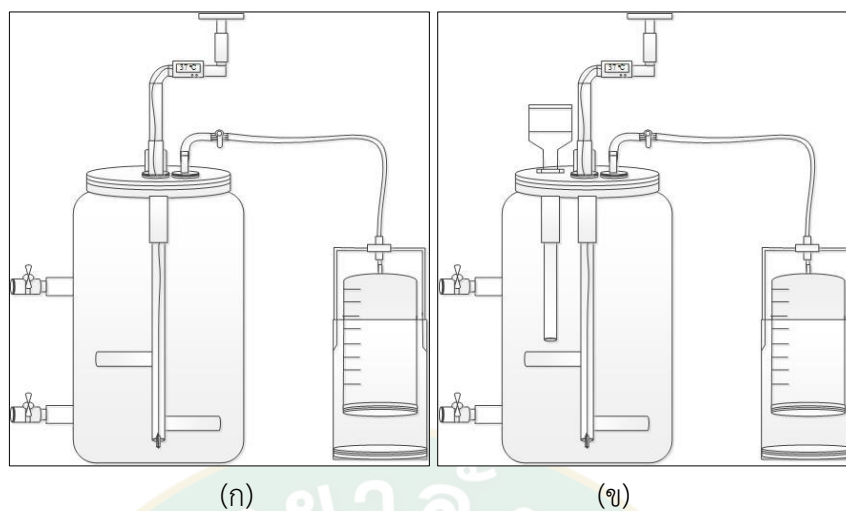
9) พิจารณาชุดทดลองที่มีอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสม ที่ให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุด โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานแสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แผนผังการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 3

การศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับการเติมกึ่งต่อเนื่อง

การออกแบบและการดำเนินการระบบถังหมักขนาด 30 L เพื่อทดสอบศักยภาพของการผลิตชีวภาพในแบบกะกับแบบการเติมกึ่งต่อเนื่อง ซึ่งผลิตชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลแพะกับเปลือกข้าวโพด ในระบบนี้ ดำเนินการการหมักแบบกะหรือการเติมครั้งเดียว (Batch) คือการเติมสารอาหารให้ระบบเพียงรอบเดียว และการเติมกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous operation) เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักทุกๆ 13 days มีการเติมอาหารเข้าสู่ระบบหมักก๊าซชีวภาพทั้งหมด 5 ครั้ง และถ่ายสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายออกจากระบบ ซึ่งถังหมักมีการติดตั้งใบกวนมือสำหรับการกวน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการหมักแห่งนี้ โดยมีการกวนประมาณ 1 min ต่อถังหมักก๊าซชีวภาพ ชุดถังเก็บก๊าซชีวภาพมีขนาด 5 L แสดงดังภาพที่ 18 แสดงไดอะแกรมระบบหมักชีวภาพขนาด 30 L



ภาพที่ 18 แสดงไดอะแกรมระบบหมักชีวภาพขนาด 30 L ระบบเติมครั้งเดียว (ก)
และระบบเติมกึ่งต่อเนื่อง (ข)

ในระบบผลิตชีวภาพขนาด 30 L มีถังหมักชีวภาพ และถังเก็บเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ถังหมักชีวภาพขนาด 30 L เป็นถังหมักพลาสติก PE ติดตั้งแกนใบพัดสำหรับกวนมือ โดยการออกแบบที่คล้ายกัน แตกต่างกันที่มีท่อพีวีซี (PVC) ทำหน้าที่ในส่วนเติมสารอาหารอินทรีย์เข้าระบบเติมกึ่งต่อเนื่อง ติดตั้งบริเวณด้านบนตัวถังมีลักษณะเป็นทรงกรวย ส่วนถังแบบกะจะไม่มีท่อสำหรับเติมสารอาหารอินทรีย์เข้าระบบ โดยทุกๆ ถังหมัก จะมีท่อน้ำล้น และท่อเก็บตัวอย่างทางด้านข้างถังหมัก ต้องติดตั้งบอลวาล์วสำหรับปิด-เปิด เพื่อดึงตัวอย่างมาวิเคราะห์ ภายในถังหมักประกอบด้วยแกนใบพัดกวนซึ่งมีใบพัดกวน จำนวน 2 ใบ ทำจากท่อพีวีซีขนาด 3/4 inch มีเทอร์โมมิเตอร์แบบสายใส่ในแกนใบกวน เพื่อวัดอุณหภูมิภายในถังหมักชีวภาพ ควบคุมสถานะอุณหภูมิอยู่ในช่วง 37 ± 2 °C โดยใช้เครื่องทำความร้อนขนาด 100 W จำนวน 1 อัน ป้อนน้ำออกซิเจนจำนวน 1 ตัว และติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท เพื่อวัดอุณหภูมิภายนอกถังหมักชีวภาพ โดยมีถังผสมปูนเป็นภาชนะในการรองรับถังผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด 4 ถัง แสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ชุดถังชีวภาพขนาด 30 L

- ชุดเก็บชีวภาพขนาด 5 L (Gas collector) ประกอบด้วยถังพลาสติก 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ถังพลาสติกเก็บน้ำขนาด 10 L ใช้บรรจุน้ำ เพื่อเป็นตัวกั้นไม่ให้รั่วออกจากถังเก็บ ส่วนที่ 2 ถังเก็บขนาด 5 L ทำการสร้างสเกล และคว่ำลงไว้ในถัง 10 L เพื่ออ่านปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยใช้เป็นส่วนที่เก็บก๊าซที่เกิดขึ้นไปวิเคราะห์ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ถังเก็บชีวภาพ

1. การศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับการเติมกึ่งต่อเนื่อง

ขั้นตอนการประเมินศักยภาพของการผลิตชีวภาพในระบบผลิตชีวภาพขนาด 30 L จะทำการหมักชีวภาพร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดกับมูลสัตว์ โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้จากส่วนที่ 2 เพื่อทดสอบศักยภาพของการผลิตชีวภาพในระบบแบบกะกับระบบเติมกึ่งต่อเนื่องโดยทำการหมักแบบแห้ง วิธีการหมักมีรายละเอียดดังนี้

1) วัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก ประกอบด้วย น้ำเสีย เปลือกข้าวโพดหวาน และหัวเชื้อ (มูลแพะ) หมักที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid) 25% ในถังหมักชีวภาพขนาด 30 L ใช้หมักชีวภาพจริง 20 L ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

2) เปลือกข้าวโพดหวานลดขนาดและปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2% เป็นเวลา 48 hr แล้วนำมาล้างน้ำให้ pH เป็นกลาง

3) อัตราส่วนการหมักมูลแพะกับเปลือกข้าวโพดที่ 75:25 (วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตชีวภาพมูลแพะ 9 kg เปลือกข้าวโพด 3 kg) หลังจากนั้นปรับ TS เท่ากับ 25% โดยผสมน้ำกลั่นกับน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตในอัตราส่วน 1:1 (น้ำกลั่นและน้ำเสียที่ใช้ในการผลิตชีวภาพคือ 3,170 ml ปริมาตรรวม 6,340 ml)

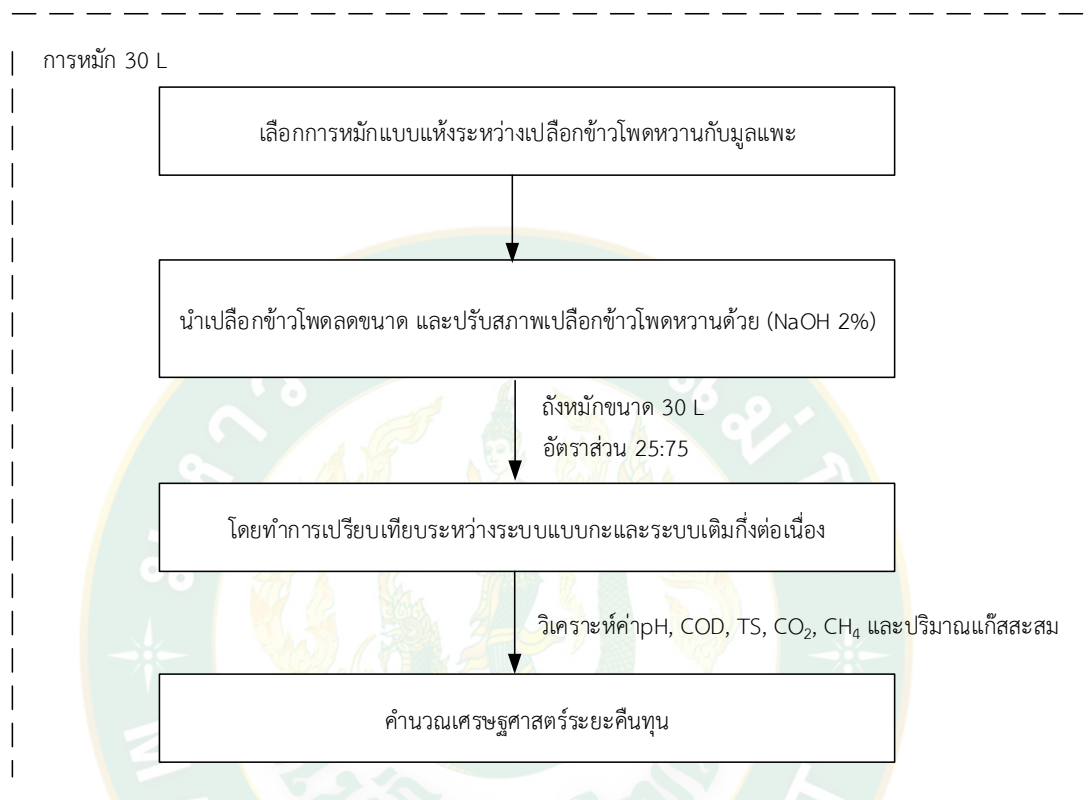
4) ปรับค่า pH ของตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า pH ต่ำกว่า 6.8 หรือเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า pH มากกว่า 7.2 เพื่อให้มีค่า 6.8-7.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทน

5) หมักชีวภาพ 140 days หรือปริมาตรคงที่ โดยระบบการเติมกึ่งต่อเนื่องจะมีการเติมอาหารอินทรีย์ให้กับระบบทุกๆ 13 days ทั้งหมด 5 ครั้ง โดยทุกๆ ถังหมักชีวภาพ มีการกวน 1 min/ครั้ง/day ซึ่งมีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานหมักร่วมกับมูลสัตว์ขนาดถัง 30 L แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ในการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานหมักร่วมกับหัวเชื้อขนาดถัง 30 L

Parameter	Analysis method	Count
The pH	pH meter	daily
Temperature system	Thermometer	daily
Gas accumulation	Gas counter	daily
% Methane	Gas chromatography	daily
Total solids (TS)	Gravimetric method	13 days
VS (Volatile solid)	Gravimetric method	13 days
Chemical oxygen demand, (COD)	Potassium dichromate digestion	13 days

ทั้งนี้มีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการเกิดชีวภาพของระบบแบบกะกับระบบการเติมกึ่งต่อเนื่องภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนหมักแบบแห้ง โดยมีถังหมักขนาด 30 L ที่มีการติดตั้งไบโอฟิลล์สำหรับกวนมือ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพแสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แผนผังการดำเนินงานวิจัย ขนาดถัง 30 L

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงทางเศรษฐศาสตร์จากการนำวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดหวานใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชีวภาพแบบแห้งโดยวิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback period : PB)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนของโครงการ}}$$

ที่มา : Prasit et al., (2011)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการความเป็นไปได้การผลิตชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลสัตว์กับน้ำเสีย และวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน ภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศหมักแบบแห้ง ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 37 ± 2 °C ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) เริ่มต้นการหมัก 25% และค่า pH 6.8-7.2 โดยเปลือกกับซังข้าวโพดหวานผ่านการลดขนาดประมาณ 2-3 cm และมีการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 2% ปิดฝาให้สนิทไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 hr. โดยแบ่งผลการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน โดยศึกษาการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานร่วมกับมูลสัตว์สามารถแบ่งหัวข้อในการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา
2. ผลของการศึกษาผลผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลสัตว์
 - 1) การศึกษาการคัดเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์
 - 2) การศึกษาเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตมีเทน
 - 3) การผลิตมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่อัตราส่วนต่างๆ
3. ผลของการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับแบบการเติมกึ่งต่อเนื่อง
 - 1) การศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับแบบการเติมกึ่งต่อเนื่อง
4. ผลของการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้น

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานและมูลสัตว์

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นของมูลสัตว์ที่ใช้ในการเป็นหัวเชื้อ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตโรงงานส่งออกข้าวโพดหวาน และวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน โดยเปลือกข้าวโพดหวานกับซังข้าวโพดหวานผ่านการลดขนาดประมาณ 2-3 cm และปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 2% ปิดฝาให้สนิทไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 hr (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และคณะ., 2555) โดยผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นของวัตถุดิบ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานและมูลสัตว์

วัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพด	เมล็ด	ชังข้าวโพด	เปลือกข้าวโพด
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/g)	613.08	397.10	187.01
ปริมาณของแข็งระเหย (mg/g)	604.03	306.74	119.91
ความชื้น (%)	38.69	60.29	81.30
ค่าความเป็นกรด-ด่าง pH	4.1	12.3	12.3
มูลสัตว์	มูลสุกร	มูลวัว	มูลแพะ
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/g)	710.87	577.92	657.11
ปริมาณของแข็งระเหย (mg/g)	622.59	551.54	606.82
ความชื้น (%)	28.91	42.21	34.29
ค่าความเป็นกรด-ด่าง pH	5.5	7.3	7.6

จากตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานและมูลสัตว์ โดยเมื่อทำการพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS) และปริมาณของแข็งระเหย (Volatile solids, VS) ของมูลสัตว์และวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยในมูลสัตว์จากมูลสุกร มูลวัว และมูลแพะ มีค่าสูงกว่าวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน เนื่องจากในมูลสัตว์มีค่าความเข้มข้นสูง นอกจากนี้มีการปนเปื้อนของวัชพืชหรือหัวอาหารที่สัตว์ได้ทำการเข้าไปบริโภคไม่ได้ถูกย่อยมากนัก จึงทำให้มีปริมาณของแข็งสูง

ในส่วนของการวิเคราะห์ความชื้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตชีวภาพ พบว่า เมล็ดข้าวโพดคั่วทั้ง ชังข้าวโพด และเปลือกข้าวโพดมีความชื้นเท่ากับ 38.69% 60.29% และ 81.30% ตามลำดับ เนื่องจากชังข้าวโพดถูกบีบอัดด้วยเครื่องบีบกำลังสูง จึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำหรือความชื้นที่เหลืออยู่มีค่าต่ำกว่าในเปลือกข้าวโพด ส่วนความชื้นของมูลสุกร มูลวัว และมูลแพะ มีค่าเท่ากับ 28.91, 42.21 และ 34.29 ตามลำดับ โดยการทดลองครั้งนี้ มีการปรับค่าของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นที่ 25% จากค่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่นำมาผลิตก๊าซชีวภาพ

ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่า Proximate/Ultimate ของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด โดยผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 วิเคราะห์ค่า Proximate/Ultimate ของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด

Proximate analysis	เมล็ด	ซังข้าวโพด	เปลือกข้าวโพด
คาร์บอนคงที่ Fixed carbon %	13.63	12.62	14.18
สารระเหย Volatile matter %	83.05	84.22	81.16
เถ้า Ash %	3.32	3.17	4.66
Ultimate analysis			
คาร์บอน Carbon %	49.51	47.54	45.98
ไฮโดรเจน Hydrogen %	7.16	6.33	6.12
ไนโตรเจน Nitrogen %	2.61	1.32	0.97
ซัลเฟอร์ Sulphur %	0.18	0.08	0.05
ออกซิเจน Oxygen %	37.22	41.56	42.22

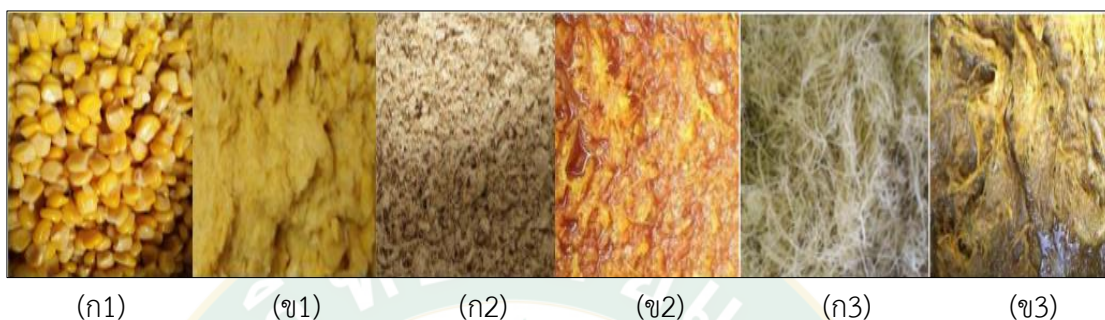
จากตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า Proximate/Ultimate ของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวาน พบว่า ปริมาณของค่าสารระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 81.16 ถึง 84.22% ค่าคาร์บอนคงที่มีค่าอยู่ในช่วง 12.62 ถึง 14.18%. ค่าคาร์บอนและค่าไนโตรเจน โดยอัตราส่วน C/N ของเมล็ด ซัง และเปลือกข้าวโพดหวาน มีค่าเท่ากับ 18.97:1, 36:1 และ 47.4:1 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า วัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานมีอัตราส่วน C/N สูง โดยค่าที่เหมาะสมสำหรับการย่อยอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนเท่ากับ 23:1 (Jianbo et al., 2017). และมีความสำคัญต่อการผลิตชีวภาพ (Mahad et al., 2017)

โดยมีหลักการคำนวณผลผลิตน้ำตาลวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน (g/ 100 g) กำหนดให้เป็นอัตราส่วนน้ำหนักของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ลดลง (g) หลังจากการปรับสภาพ และก่อนที่จะปรับสภาพ (100 g) ประสิทธิภาพ saccharification (%) คือ ทางทฤษฎีเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในวัสดุเหลือทิ้งผ่านการย่อยสลายโดยการปรับสภาพ อัตราส่วนน้ำหนักของโมเลกุลกลูโคสกับเซลลูโลสคือ 1.111 (180/162) ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสเป็น 1.136 (150/132) (Xia et al., 2013) โดยซังข้าวโพดที่มีเซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลสอยู่ 24.95% กับ 12.74% ตามลำดับ

ทฤษฎีกลูโคสและเฮมิเซลลูโลสได้จาก 100 g ของพืช โดยยกตัวอย่างการคำนวณของซังข้าวโพดหวาน คือ 27.72 g ($24.95\% \times 1.111 \times 100$) และ 14.47 g ($12.74\% \times 1.136 \times 100$)

ตามลำดับ ดังนั้นทางทฤษฎีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 42.19 g/100 g ของซึ่งข้าวโพด แสดงดังตารางที่ 10

2. วิเคราะห์ผลของการปรับสภาพต่างต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด



ภาพที่ 22 (ก1) เมล็ดก่อนการปรับสภาพ, (ข1) เมล็ดหลังการปรับสภาพ, (ก2) ชังก่อนปรับสภาพ, (ข2) ชังหลังปรับสภาพ 2% NaOH, (ก3) เปลือกก่อนการปรับสภาพ และ (ข3) เปลือกหลังปรับสภาพ 2% NaOH

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 2%

		เมล็ด	ชัง	เปลือก
ก่อนปรับสภาพ	เซลลูโลส %	7.13	33.7	40.09
	เฮมิ-เซลลูโลส %	29.82	42.97	38.04
	ลิกนิน %	1.03	5.72	2.82
หลังปรับสภาพ	เซลลูโลส %	7.13	24.95	24.52
	เฮมิ-เซลลูโลส %	29.82	12.74	7.17
	ลิกนิน %	1.03	3.25	2.75
Total sugar (g/100g)		41.80	42.19	35.39
Saccharification %		54.73	86.18	67.12

จากผลการศึกษาของการปรับสภาพสารละลายต่างจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) โดยปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นจากการปรับสภาพวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน แสดงดังภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของเมล็ด ชัง และเปลือกข้าวโพดก่อน และหลังการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ปริมาณของน้ำตาลทั้งหมดของเปลือกข้าวโพดและ

ซังข้าวโพด 35.39 g_{sugar}/100 g_{plant} และ 42.12 g_{sugar}/100 g_{plant} ตามลำดับ ในส่วนของซังข้าวโพดมีค่าเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 33.7 เป็น 24.95% และ 42.97 ถึง 12.74% ตามลำดับ

ส่วนเปลือกข้าวโพดที่ปรับสภาพจะมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 40.09% เป็น 24.52% และมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 38.04% เป็น 7.17% ซึ่งการลดลงของปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาล โดยประสิทธิภาพ Saccharification ของวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน พบว่า ซังและเปลือกข้าวโพดหวาน มีปริมาณเซลลูโลสเท่ากับ 24.95% และ 24.52% ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของซัง และเปลือกข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 42.19g/100g และ 35.39g/100g ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพ Saccharification ของเมล็ด ซัง และเปลือกข้าวโพดเท่ากับ 54.73%, 86.18% และ 67.12% ตามลำดับ แสดงตารางที่ 10 ซึ่งความสอดคล้องกับ (Hu ZH, 2008) ที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด

เนื่องจากการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2% (w/v) ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 hr (Dianlong et al., 2015) จะส่งผลให้โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสถูกทำลาย จึงสามารถผลิตน้ำตาลได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพในการ Saccharification สูง โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสที่ถูกย่อยสลายนี้ ทำให้เกิดการย่อยสลายของสารปฏิชีวนะที่มีอยู่ในวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวาน และการย่อยสลายสารอื่นในระหว่างการผลิตชีวภาพ (Saraphirom et al., 2010) สิ่งเหล่านี้นำไปสู่การเพิ่มอัตราการผลิตชีวภาพ และทำให้มีค่าความเข้มข้นของมีเทนในปริมาณสูง งานวิจัยนี้สอดคล้องกับ (Shuxia et al., 2012) ที่ได้ทำการศึกษาการปรับสภาพสำหรับการผลิตชีวภาพ จากการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนของซังข้าวโพดร่วมกับมูลวัว โดยทำการย่อยสลายลิกนิน, เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่มีผลต่อการผลิตชีวภาพ โดยในการหมักใช้ซังข้าวโพดขนาด 5 cm, C/N เท่ากับ 20 และ TS เท่ากับ 25% ใช้ซังข้าวโพด 750 g หมักร่วมกับมูลวัว 750 g ใส่หัวเชื้อ 20 g และมีระยะเวลาในการหมัก 60 days จากการศึกษาพบว่า ซังข้าวโพดที่ได้รับการปรับสภาพปรับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 2% มีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน มีค่าลดลง 5.8%, 16.8% และ 5.7% ตามลำดับ จึงสามารถผลิตชีวภาพได้มากกว่าการไม่ปรับสภาพสูงสุดถึง 40.7%

ผลของการศึกษาผลผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลสัตว์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานร่วมกับมูลสัตว์ โดยการย่อยสลายไร้อากาศแบบหมักแห้ง ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 37 ± 2 °C ค่าเริ่มต้นการหมักของแข็งทั้งหมด (TS) 25% (โดยที่ผสมน้ำกลั่นกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตใสในวัตถุดิบตั้งต้นเท่ากันทุกขวดในอัตราส่วน 50:50 เพื่อปรับ TS 25 % ในการเริ่มต้นการผลิตก๊าซมีเทน) และค่า pH 6.8-7.2 ในขวด

หมักขนาด 1 L ปริมาตรน้ำหมัก 70% โดยทำการคัดเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์ การศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสม รวมถึงได้ศึกษาการผลิตมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่อัตราส่วนต่างๆ โดยศึกษาการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานร่วมกับมูลสัตว์สามารถแบ่งหัวข้อในการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ได้ดังนี้

1. ผลของการศึกษาการคัดเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์
2. ผลของการศึกษาเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม
3. ผลของการผลิตมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่อัตราส่วนต่างๆ

1. ผลของการศึกษาการคัดเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์

จากการศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนของมูลสัตว์ร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน โดยทำการศึกษาเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์ 3 ชนิด ได้แก่หัวเชื้อมูลสุกร มูลวัว และมูลแพะ หมักร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน ประกอบด้วย เมล็ดคัดทิ้ง ชัง และเปลือกข้าวโพดหวาน ระยะเวลาการหมัก 30 days ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 อัตราส่วน C/N ของวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานร่วมกับมูลสัตว์

ตัวอย่าง	C/N	คาร์บอน%	ไนโตรเจน%
มูลสุกร/เมล็ด (PS)	8:1	3.85	0.51
มูลวัว/เมล็ด (CS)	7:1	4.89	0.74
มูลแพะ/เมล็ด (GS)	5:1	2.65	0.54
มูลสุกร/ชัง (PC)	6:1	3.64	0.6
มูลวัว/ชัง (CC)	5:1	3.58	0.74
มูลแพะ/ชัง (GC)	3:1	2.35	0.89
มูลสุกร/เปลือก (PH)	3:1	4.49	1.56
มูลวัว/เปลือก (CH)	10:1	4.47	0.43
มูลแพะ/เปลือก (GH)	4:1	3.06	0.84

จากตารางที่ 11 แสดงผลการศึกษาอัตราส่วน C/N จากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานร่วมกับมูลสัตว์ พบว่า ปริมาณสารอาหารหลักจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในระบบชีวภาพจำเป็นต้องใช้ คาร์บอน, ไนโตรเจน, ออกซิเจน, ฟอสฟอรัส และกำมะถัน สำหรับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานและมูลสัตว์

ผลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ของวัตถุดิบที่นำมาผลิตชีวภาพมีค่า 3-10:1 ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าตามทฤษฎีที่กำหนดให้ C/N Ratio ควรค่าอยู่ระหว่าง 20-30:1 หากค่า C/N Ratio สูงกว่า 30 มีสาเหตุมาจากมีปริมาณไนโตรเจนที่ต่ำ ส่งผลให้การเริ่มต้นของระบบผลิตชีวภาพค่อนข้างช้า (Ahn et al., 2009) เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อการจับกลุ่มของแบคทีเรีย และหากค่า C/N Ratio ต่ำกว่า 30 เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนสูง จะส่งผลให้เกิดการสร้างกรดแอมโมเนียในระบบมากขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียทำให้ชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณที่ต่ำ

ทั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่าง ได้แก่ ค่า TS, VS และ COD แสดงดังตารางที่

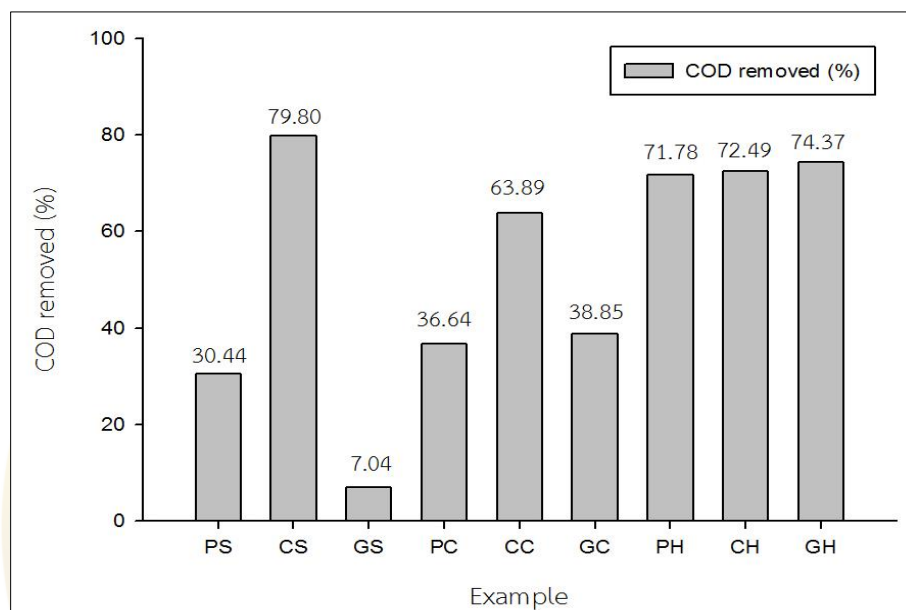
12

ตารางที่ 12 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างค่า TS, VS และ COD

ตัวอย่าง	pH		TS (mg/g)		VS (mg/g)		COD (mg/L)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
PS	7.06	4.70	230.72	214.68	215.02	185.06	55,301	32,379.40
CS	7.12	4.30	250.06	152.42	242.16	206.57	41,968	8,479.60
GS	7.47	5.20	241.18	183.26	177.31	171.98	240,000	223,100.60
PC	7.17	5.90	245.02	223.4	213.74	189.98	259,649	148,387.70
CC	7.22	5.30	211.21	170.56	188.96	148.9	36,254	13,090.90
GC	7.60	6.10	241.33	203.87	207.49	174.74	29,938	18,308.30
PH	7.15	5.90	234.46	200.13	194.6	166.48	95,652	26,988.90
CH	7.30	5.40	246.46	208.86	216.96	183.49	41,968	11,542.80
GH	7.12	7.10	249.99	194.02	210.68	156.67	29,938	7,673.60

จากตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างค่า TS, VS และ COD พบว่าการหมักชีวภาพโดยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนระหว่างมูลแพะ/เปลือกข้าวโพด (GH) เป็นระบบที่ดีที่สุดมีปริมาตรสะสมเท่ากับ 3,974 ml คิดเทียบเท่าอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์เท่ากับ 0.038 ml CH₄/gCOD_{removed} (แสดงดังตารางที่ 13) นอกจากนี้ค่า pH ของระบบจะมีค่าลดลงเล็กน้อยจาก pH 7.12 ถึง 7.10 ในขณะการเปลี่ยนแปลงค่า pH มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการผลิตมีเทน ค่า pH อยู่ในช่วง 6.8 - 7.2 เป็นสภาวะที่เหมาะสม และหากค่า pH มีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าดังกล่าว จะส่งผลให้มีประสิทธิภาพการผลิตชีวภาพลดลง (Zhong et al., 2012)

นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ของการกำจัดซีโอดี ยังชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการย่อยอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนหมักแบบแห้ง (Dry anaerobic digestion) เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีที่ชี้ให้เห็นถึงการกำจัดสารอินทรีย์ในระดับสูง ทำให้อัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ในการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน การกำจัดซีโอดีในระบบของมูลวัว/เมสிட (CS), มูลแพะ/เปลือก (GH) และ มูลวัว/เปลือก (CH) คือ 79.80%, 74.37% และ 72.49% ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบผลิตชีวภาพโดยการหมักร่วมจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานและมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน

นอกจากประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน และมูลสัตว์ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ศักยภาพที่ผลิตมีเทนทางเคมี (% BMP) ของมูลแพะ/เปลือก (GH), มูลสุกร/เมสிட (PS) และมูลแพะ/ซัง (GC) มีค่า 10.79%, 1.61% และ 0.96% ตามลำดับ โดยค่าของศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน เป็นส่วนหนึ่งในการเลือกมูลแพะเป็นหัวเชื้อในการผลิตชีวภาพในส่วนต่อไป แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ศักยภาพการเกิดมีเทนของระบบการผลิตมีเทน

มูลสัตว์+วัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพด	Specific Methane Yield (ml CH ₄ /g COD _{removed})	%BMP
มูลสุกร/เมล็ด (PS)	0.006	1.61
มูลวัว/เมล็ด (CS)	0.001	0.34
มูลสุกร/ซัง (PC)	0.004	0.21
มูลวัว/ซัง (CC)	0.002	0.62
มูลแพะ/ซัง (GC)	0.003	0.96
มูลสุกร/เปลือก (PH)	0.001	0.23
มูลวัว/เปลือก (CH)	0.001	0.18
มูลแพะ/เปลือก (GH)	0.038	10.79

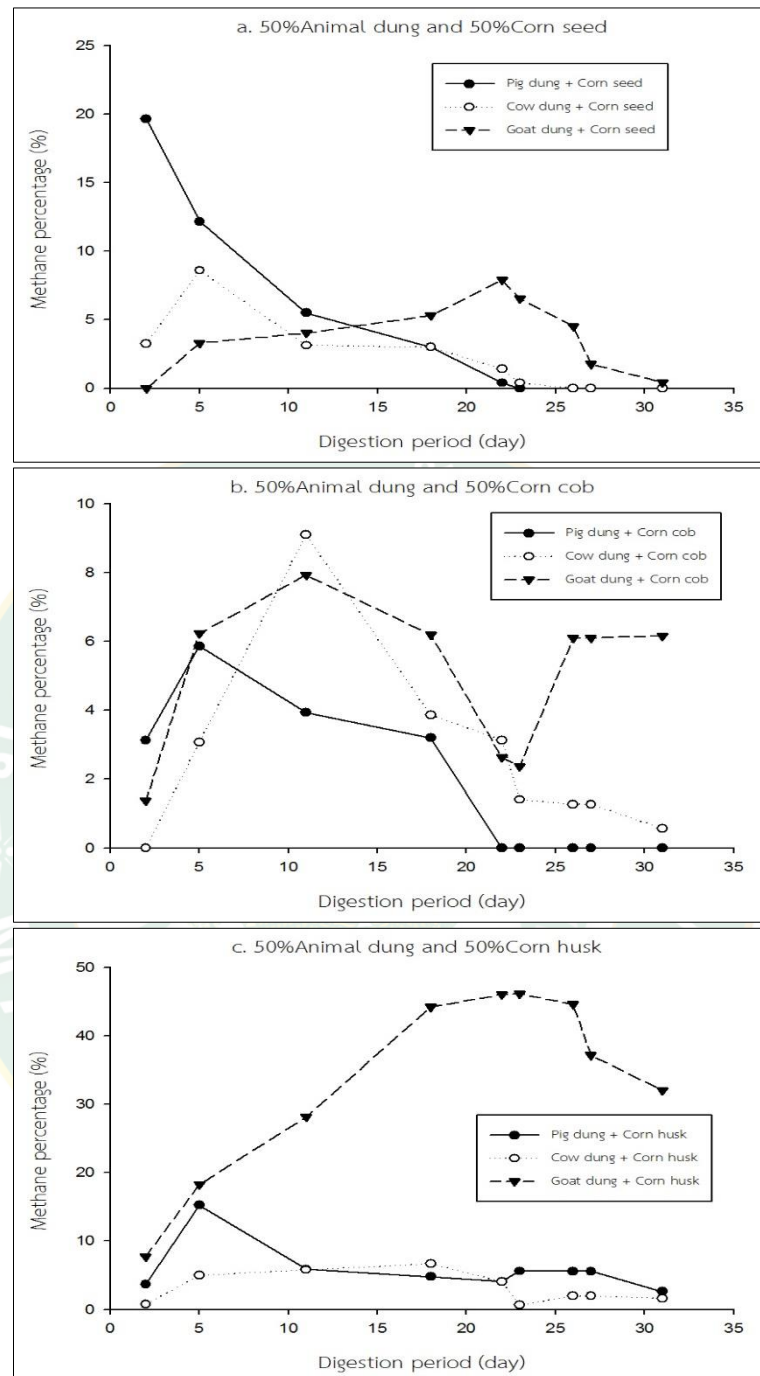
ผลของมูลสัตว์และวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่แตกต่างกันต่อศักยภาพของการผลิตชีวภาพแบบแห้ง ดังแสดงตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ศักยภาพการผลิตชีวภาพจากการหมักวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลสัตว์

มูลสัตว์+วัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพด	H ₂ S _{in} (ppm)	H ₂ S _{out} (ppm)	CO ₂ (vol%)
มูลสุกร/เมล็ด (PS)	8,120.00	56.67	15.53-37.17
มูลวัว/เมล็ด (CS)	646.67	58.33	18.00-28.83
มูลแพะ/เมล็ด (GS)	8,893.33	25.00	16.00-35.33
มูลสุกร/ซัง (PC)	9,000.00	143.33	17.37-46.30
มูลวัว/ซัง (CC)	8,000.00	31.67	15.57-36.97
มูลแพะ/ซัง (GC)	8,893.33	25.00	16.83-35.33
มูลสุกร/เปลือก (PH)	6,136.67	160.00	16.33-35.33
มูลวัว/เปลือก (CH)	3,415.00	36.67	14.13-26.63
มูลแพะ/เปลือก (GH)	1,563.33	16.67	25.47-37.23

การผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งกับมูลสัตว์ พบว่า มูลแพะกับเปลือกข้าวโพดที่อัตราส่วน 1:1 ให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 25.47-37.23% ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เริ่มต้น 1,563.33 ppm และเมื่อวัดครั้งสุดท้ายของการหมักมีปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ที่ 16.67 ppm

โดยความเข้มข้นของมีเทนในแต่ละวันที่สามารถผลิตได้จากหมักร่วมกับเมล็ดข้าวโพดและมูลสัตว์ (ภาพที่ 24 a) ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า โดยใช้มูลหมู มูลวัว และมูลแพะมีเทนมีความเข้มข้นเท่ากับ 19%, 8.60% และ 7.90% ตามลำดับ ในขณะที่การหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบแห้งโดยใช้ซังข้าวโพดร่วมกับมูลสัตว์ พบว่า มูลหมู มูลวัว และมูลแพะหมักร่วมกับซังข้าวโพด ทำให้มีเทนมีความเข้มข้นเท่ากับ 5.87%, 9.10% และ 7.93% ตามลำดับ (ภาพที่ 24 b) อย่างไรก็ตามพบความเข้มข้นของมีเทนมากที่สุด เมื่อมีการหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบแห้งร่วมกับมูลสัตว์และเปลือกข้าวโพด มีความเข้มข้นมีเทนของมูลหมู มูลวัว และมูลแพะ มีค่าเท่ากับ 5.60%, 6.67% และ 46.13% ตามลำดับ (ภาพที่ 24 c) การศึกษา พบว่า หัวเชื้อที่ได้จากมูลสัตว์ที่สามารถผลิตมีเทนร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานได้ดีที่สุดคือ มูลแพะ โดยจากการทดลองของ (G. Chen et al., 2010) ได้ทำการทดสอบการหมักร่วมของก้านข้าวโพดและมูลไส้เดือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตชีวภาพ ทำการหมักในถังหมักแบบแบทช์ ที่อุณหภูมิในการหมัก $35^{\circ}C$ ใช้ ผสมกับมูลไส้เดือน 40% พบว่า สามารถผลิตมีเทนได้ถึง 58.61% ผลิตชีวภาพได้สูงสุดถึง 410.30 ml/gTS_{added} และผลิตมีเทนสูงสุดถึง 259.35 ml/gTS_{added} จากการศึกษาพบว่ามูลไส้เดือนมีประโยชน์สำหรับการผลิตชีวภาพร่วมกับก้านข้าวโพด โดยมูลไส้เดือนสามารถให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่สูงกว่ามูลแพะเมื่อหมักกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มประสิทธิภาพของมีเทนผ่านการออกซิเดชัน และปรับสภาพซังข้าวโพดด้วยสารละลายต่างก่อนนำไปหมัก สารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพซังข้าวโพด H_2O_2 , $Ca(OH)_2$ และ $NaOH$ ได้โดยมีสองระดับของความเข้มข้นแต่ละสาร โดยความดัน ($P < 0.05$) ซึ่งมีความเหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพในการย่อยลิกโนเซลลูโลสและการผลิตชีวภาพ พบว่าอัตราการเกิดมีเทน H_2O_2-1 (ใช้ H_2O_2 15 ml), H_2O_2-2 (ใช้ H_2O_2 25 ml) และ $NaOH-2$ (ใช้ $NaOH$ 7.5 g) ที่ได้รับการปรับสภาพของซังข้าวโพด 293.52, 310.50 และ 279.42 ml/g.VS ซึ่งเป็น 57.18%, 66.27% และ 49.63% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าซังข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ โดย H_2O_2-2 และ $NaOH-2$ ที่ใช้ในการปรับสภาพซังข้าวโพดสามารถย่อยสลายลิกโนเซลลูโลส 45% และ 42% ตามลำดับ (Hassan et al., 2016)



ภาพที่ 24 ความเข้มข้นของมีเทนทุกวันจากการหมักร่วมจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดหวานกับ
 มูลสัตว์ที่แตกต่างกัน (a. Animal dung 50% and corn seeds 50%), (b. Animal dung 50%
 and corn cob 50%) และ (c. Animal dung 50% and corn husk 50%)

การผลิตมีเทนหมักร่วมระหว่างมูลแพะกับเปลือกข้าวโพด มีความเข้มข้นของมีเทนเท่ากับ 46.13% และมีค่าความร้อนสูงที่ 18.39 MJ/m³ (ซึ่งคำนวณค่าความร้อน 66.35% ของมีเทนที่ความเข้มข้นเท่ากับ 26.45 MJ/m³) (Grima et al., 2014) นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลของมูลสัตว์ที่แตกต่างกันในการผลิตชีวภาพ พบว่า มูลแพะกับเปลือกข้าวโพดมีศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดจากการเปรียบเทียบชนิดของมูลสัตว์ (มูลแพะ มูลหมู และมูลวัว) กับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน (เมล็ด ชัง และเปลือกข้าวโพด) ทั้งหมด 9 กลุ่ม มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (F=88.360, Sig= 0.000) เนื่องจากการย่อยสลายมูลแพะโดยไม่ใช้ออกซิเจนสามารถรักษาค่า pH ก่อนและหลังการย่อยได้อย่างคงที่ ทำให้กระบวนการผลิตชีวภาพสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุผลที่ใช้มูลแพะเพื่อเป็นหัวเชื้อในการผลิตมีเทนในกระบวนการหมักในขั้นต่อไป

2. ผลของศึกษาเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตมีเทน

จากการศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทน (Biochemical methane potential, BMP) การหมักร่วมระหว่างของเปลือกข้าวโพดหวานกับมูลแพะ เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนของเปลือกข้าวโพดต่อมูลสัตว์ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ในขวดหมักขนาด 1 L ปริมาตรการหมัก 70%

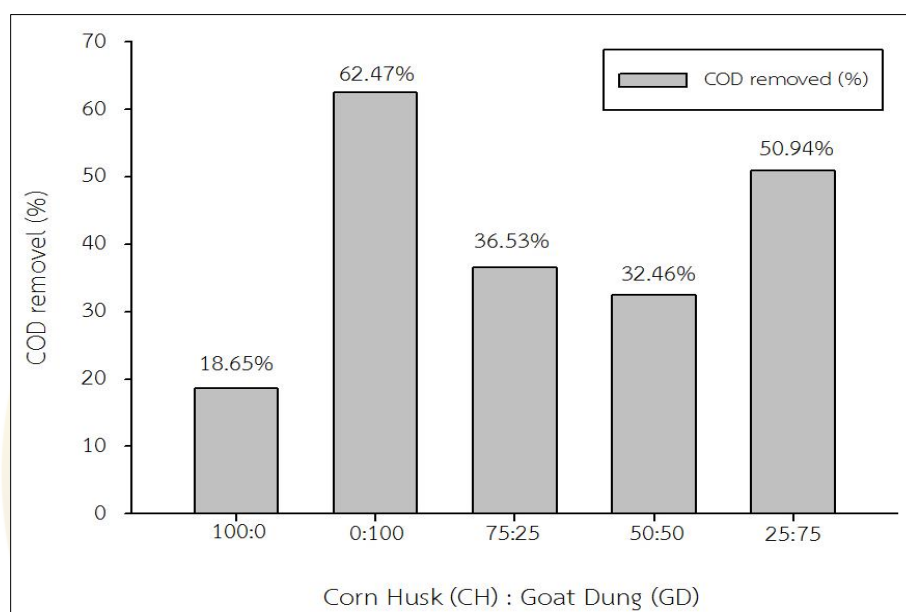
อัตราส่วนของวัตถุดิบที่มีปริมาณต่างกัน ส่งผลให้มีปริมาณของค่าซีไอดี และค่าความเข้มข้นของการเกิดก๊าซมีเทนที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างเปลือกข้าวโพดหวานกับมูลแพะ

ตัวอย่าง	COD (mg/L)		TS (mg/g)		VS (mg/g)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Corn husk 100	96,000	78,095	233.19	151.77	320.12	124.13
Goat dung 100	50,105	18,828	207.17	133.11	171.41	20.26
75:25	88,492	56,364	194.17	107.85	156.98	74.68
50:50	73,846	49,873	202.08	193.24	172.36	160.82
25:75	73,846	36,229	258.01	144.97	220.43	117.28

จากตารางที่ 15 แสดงผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างเปลือกข้าวโพดหวานกับมูลแพะ เมื่อทำการพิจารณาคคุณลักษณะของตัวอย่างก่อนและหลังการหมักทำให้ทราบถึงปริมาณซีไอดี ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหย

อัตราส่วนของการหมักร่วมเปลือกข้าวโพดกับมูลแพะที่ 25:75 โดยเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 30 days มีการกำจัดซีโอดีได้ 37,617 mg/L ทั้งนี้สามารถคิดเป็น 50.94% ของซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง 43.81% จากของแข็งที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งให้เห็นว่าระบบผลิตชีวภาพสามารถเกิดการย่อยสลายสารอาหารได้ดี (Amel et al., 2012) และมีอัตราส่วนที่ความเหมาะสมต่อการย่อยสลายในระบบผลิตชีวภาพ ทั้งนี้การกำจัดซีโอดีของระบบผลิตก๊าซมีเทนโดยการหมักร่วมของเปลือกข้าวโพดหวานและมูลแพะ แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 การกำจัดซีโอดีของระบบผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมของเปลือกข้าวโพดหวานและมูลแพะที่สัดส่วนแตกต่างกัน

จากภาพที่ 25 แสดงผลของการกำจัดซีโอดีของระบบผลิตชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดหวานและมูลแพะ พบว่า อัตราส่วน 0:100 มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดคือ 62.47% ตามด้วย 25:75, 75:25, 50:50 และ 100:0 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 50.94, 36.53, 32.46 และ 18.65% ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 25 เมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราส่วน 0:100 ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดกับที่อัตราส่วน 25:75 พบว่า การกำจัดซีโอดีมีความต่างเท่ากับ 11.53% โดยอัตราส่วน 25:75 มีอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่ดีกว่าอัตราส่วน 75:25 ถึง 14.41% ซึ่งอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์นี้ส่งผลถึงปริมาณชีวภาพที่ผลิตได้ในระบบ หากมีการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในปริมาณที่มากก็จะทำให้ปริมาตรก๊าซสะสมที่ผลิตได้สูงขึ้น เช่นเดียวกับ (กิตติ และคณะ, 2557) การศึกษาปริมาณมีเทน และคุณภาพน้ำจากการหมักน้ำเสียจากฟาร์มร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแบบไร้อากาศในระบบหมักขนาด 500 ml พบว่า การหมักที่เริ่มค่าซีโอดีอยู่ที่ 5,334 mg/L.

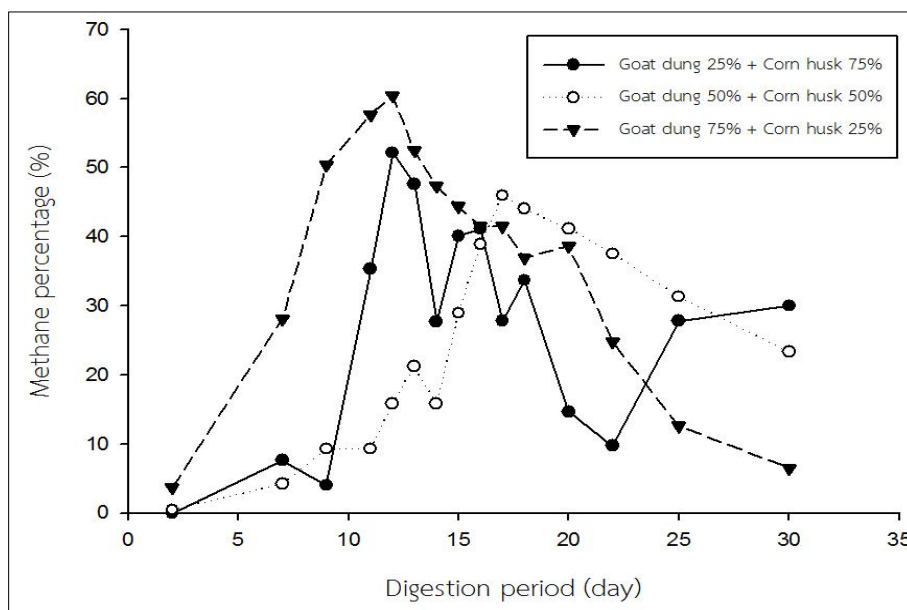
ได้ลดลง เหลือ 2,400 mg/l การทดลองเป็นแบบสองซ้ำขวด (ประกอบด้วยหัวเชื้อ 125 ml และเจือจาง 375 ml) ผลการทดลอง พบว่า การหมักเปลือกกล้วย 7.5% การกำจัดซีโอดี เท่ากับ 55% โดยมีผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด 181 ml เมื่อมีการกำจัดค่าซีโอดีที่ดี ทำให้สามารถผลิตชีวภาพในปริมาณที่มากขึ้น

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างก่อนและหลังการหมัก สามารถทำการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตมีเทนของอัตราส่วนเปลือกข้าวโพดกับมูลแพะที่แตกต่างกัน โดยแสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ศักยภาพการเกิดมีเทนของระบบการผลิตมีเทน

เปลือกข้าวโพด:มูลแพะ	Specific Methane Yield (ml CH ₄ /g COD _{removed})	%BMP
100:0	0.001	0.20
0:100	0.077	21.88
75:25	0.030	8.68
50:50	0.025	7.27
25:75	0.068	19.32

จากตารางที่ 16 แสดงผลการศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนของเปลือกข้าวโพดและมูลแพะในระบบหมักชีวภาพขนาด 1 L ที่อัตราส่วน 100:0, 0:100, 75:25, 50:50 และ 25:75 ระยะเวลาในการหมัก 30 days พบว่า อัตราส่วน 0:100 มีอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.077 ml CH₄/g COD_{removed} ศักยภาพการผลิตมีเทนสูงสุด 21.88% ตามด้วย 25:75, 75:25 และ 50:50 มีอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.068, 0.030 และ 0.025 ml CH₄/g COD_{removed} ตามลำดับ มีศักยภาพการผลิตมีเทนเท่ากับ 19.32%, 8.68% และ 7.27% ตามลำดับ

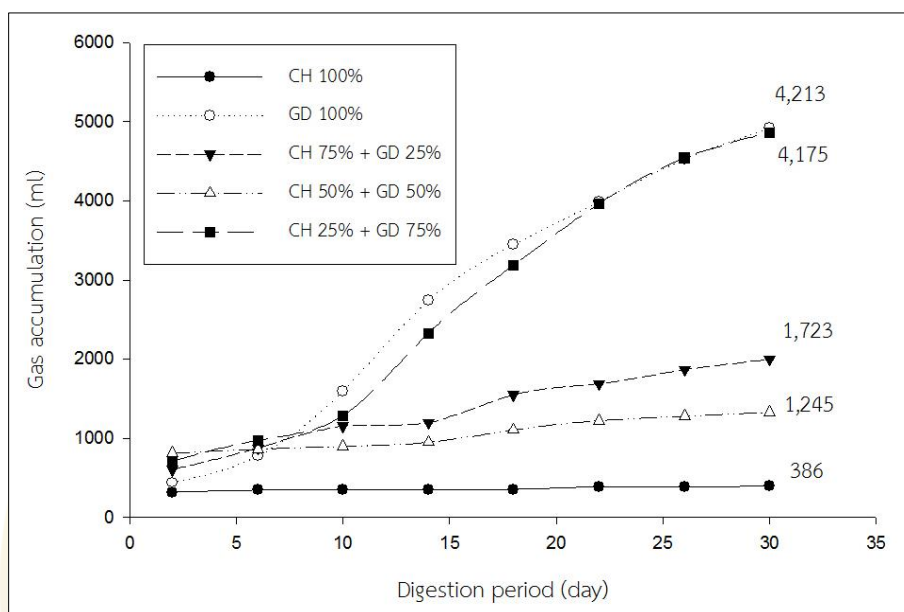


ภาพที่ 26 ความเข้มข้นของมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักร่วมมูลแพะกับเปลือกข้าวโพดหวาน

จากการทดลองการหมักชีวภาพของมูลแพะกับเปลือกข้าวโพดภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ ในระบบหมักขนาด 1 L ที่อุณหภูมิในการหมัก 37 ± 2 °C ระยะเวลาการหมัก 30 days พบว่า อัตราส่วนมูลแพะและเปลือกข้าวโพดที่ 75:25 ปริมาตรก๊าซสะสมได้สูงสุด 4,213 ml ให้ความเข้มข้นของมีเทนเท่ากับ 60.37% และมีค่าความร้อนสูงที่ 24.07 MJ/m³ (ซึ่งคำนวณค่าความร้อน 66.35% ของมีเทนที่ความเข้มข้นเท่ากับ 26.45 MJ/m³) (Grima et al., 2014) โดยมีปริมาณชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันแสดงดังภาพที่ 26

อัตราส่วนมูลแพะกับเปลือกข้าวโพด 25:75 จากความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่า ก๊าซมีเทนเริ่มเกิดขึ้นในวันที่ 2 ซึ่งมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเท่ากับ 52.17% สูงสุดในวันที่ 12 มาจนถึงวันที่ 13 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเริ่มลดลง และอัตราส่วนมูลแพะและเปลือกข้าวโพดที่ 50:50 สามารถให้ปริมาตรก๊าซสะสม 1,245 ml โดยมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทน 45.97% สูงสุดในวันที่ 17 มาจนถึงวันที่ 19 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเริ่มลดลง ความเข้มข้นของมีเทนจากการทดลองจะเกิดขึ้นระยะเวลาสั้น เนื่องจากเป็นการหมักชีวภาพแบบกะ (Nina et al., 2012) ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดจากการย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์ออกมาในรูปของชีวภาพ (Diana et al., 2011) เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปทำให้ปริมาณสารอาหารภายในขวดหมัก มีความเข้มข้นของมีเทนลดลงสอดคล้องกับงานวิจัย (จิตชนก คงแดง, 2554) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสุกรกับใบยางพาราที่อัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยการควบคุมปริมาตรของแข็งทั้งหมดคือ 16% อัตราส่วนมูลสุกรกับใบยางพาราที่ 100:0, 75:25, 50:50 และ 25:75

อัตราส่วนผสมระหว่างมูลสุกรและใบยางพาราที่ 50:50 สามารถผลิตชีวภาพได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1,664.33 ml ในขณะที่อัตราส่วนการหมัก 25:75 ผลิตชีวภาพได้ต่ำสุด พบว่า ใบยางพาราช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนและสารอาหารในวัตถุดิบหมัก แต่ต้องมีปริมาณที่เหมาะสม หากใบยางพารามีปริมาณที่น้อยเกินไปจะไม่สามารถเพิ่มสารอาหารให้ระบบได้



ภาพที่ 27 ปริมาตรก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นในระบบหมักชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด (CH) กับมูลแพะ (GD)

การทดลองปริมาตรก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นในระบบหมักชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดและมูลแพะ แสดงดังภาพที่ 27 พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเริ่มเกิดขึ้นในวันที่ 6 ของการหมัก และมีปริมาตรก๊าซสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่อัตราส่วนการหมัก 25:75 มีปริมาตรก๊าซสะสมสูงสุด คือ 4,213 ml คิดเป็น 140.43 ml/day รองลงมา คือ การหมักมูลแพะอย่างเดียว มีปริมาตรแก๊สสะสมเท่ากับ 4,175 ml คิดเป็น 139.17 ml/day ทั้งนี้อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมก็มีผลต่อปริมาตรก๊าซสะสมที่ผลิตได้ จะเห็นได้จากอัตราส่วน 25:75 มีปริมาณสารอาหารที่มากพอกับการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ก๊าซสะสมที่ผลิตได้มีปริมาณมากกว่าอัตราส่วน 50:50 และ 75:25 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (Sugumaran et al., 2014) การผลิตชีวภาพจากผักตบชวากับมูลวัว สัดส่วนของน้ำ:มูลวัวที่ 2:1 ซึ่งจากการทดลอง พบว่ามูลวัวหมักอย่างเดียวร้อยละเปอร์เซ็นต์มีค่าสูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ โดยอัตราส่วนผักตบชวากับมูลวัว 25:75, 50:50 และ 75:25 ให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุด 24, 21.45 และ 8.25% ตามลำดับ

จากการศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทน (Biochemical methane potential, BMP) ของเปลือกข้าวโพดกับมูลแพะ ที่อัตราส่วน 100:0, 0:100, 75:25, 50:50 และ 25:75

พบว่า การหมักเปลือกข้าวโพดต่อมูลแพะที่อัตราส่วน 25:75 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี คือ 50.94% และมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทน 60.37% ผลิตปริมาณก๊าซสะสมรวม 4,213 ml ตลอดระยะเวลา 30 day ให้อัตราการการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.078 ml CH₄/gCOD_{removed} ที่อัตราส่วนการหมักเปลือกข้าวโพดและมูลแพะที่ 100:0, 0:100, 75:25 และ 50:50 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 18.65%, 62.47%, 36.53% และ 32.46% ตามลำดับ ปริมาณก๊าซสะสมมีค่าเท่ากับ 386, 4,175, 1,723 และ 1,245 ml ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราการการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.001, 0.097, 0.030 และ 0.0254 ml CH₄/gCOD_{removed} ตามลำดับ และให้ศักยภาพการผลิตมีเทน 61.40%, 3.2%, 52.17% และ 45.97% ตามลำดับ การหมักร่วมของเปลือกข้าวโพดกับมูลแพะที่อัตราส่วน 25:75 ให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมากกว่าการหมักมูลแพะอย่างเดียว แต่หากหมักโดยใช้เปลือกข้าวโพดมากเกินไปจะทำให้กระบวนการย่อยสลาย ส่งผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในระบบ เนื่องจากถ้ามีปริมาณสารอินทรีย์ที่เติมให้กับระบบสูงขึ้น เกิดสภาวะสมดุลของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) (Zuhaib et al., 2011) สามารถผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Ramos et al., 2014) โดยกระบวนการหมักแบบแห้ง (Kothari et al., 2014) ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่ควรเกิน 30% (Chen et al., 2015) เนื่องจากมีผลต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบ นอกจากนี้พิจารณาถึงอัตราส่วนการเติมวัตถุดิบที่เหมาะสม (Fdez. et al., 2010) รวมถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตชีวภาพ เช่น ปริมาณสารอาหาร พีเอช อุณหภูมิ เป็นต้น (Zhong et al., 2011)

จากการศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทน (Biochemical methane potential, BMP) ของเปลือกข้าวโพดรวมและมูลแพะ ที่อัตราส่วนต่างกัน 100:0, 0:100, 75:25, 50:50 และ 25:75 พบว่าการหมักเปลือกข้าวโพดต่อมูลแพะที่ 25:75 มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (F=262.32, Sig= 0.000) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมกับระบบหมักแบบกะขนาด 1 L เนื่องจากให้อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ ความเข้มข้นของมีเทน และศักยภาพการผลิตมีเทนสูงสุด ดังนั้นจึงนำอัตราส่วน ไปใช้ในการทดลองส่วนที่ 3 ต่อไป

3. ผลของการผลิตมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่อัตราส่วนต่างๆ

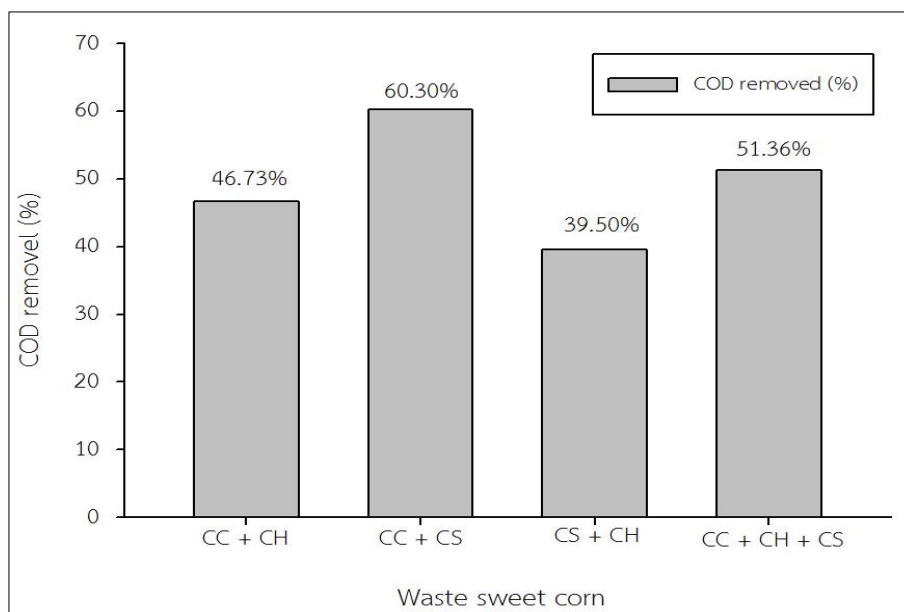
ศึกษาอัตราส่วนวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดทั้งหมด 4 กลุ่ม (ซัง+เปลือก, ซัง+เมล็ด, เปลือก+เมล็ด และ ซัง+เปลือก+เมล็ด) โดยหมักร่วมกับมูลแพะที่อัตราส่วน 25:75 (จากการคัดเลือกอัตราส่วนจากการหาศักยภาพในการเกิดมีเทนในส่วนที่ 2) ระยะเวลาในการหมัก 46 days ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของแต่ละชุดการทดลองก่อนและหลังการหมัก ได้แก่ ค่าพีเอช ซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งระเหย โดยแสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างระบบผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดร่วมกับมูลแพะ

ตัวอย่าง	pH		COD (mg/L)		TS (mg/g)		VS (mg/g)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
CC+CH	7.60	6.07	146,087	77,818	638.41	151.85	599.07	117.10
CC+CS	7.40	6.47	65,517	20,870	314.8	152.42	442.56	152.28
CS+CH	7.57	5.20	84,862	52,947	290.86	166.01	256.64	136.53
CC+CH+CS	7.60	6.87	73,846	35,919	279.36	145.82	244.55	108.42

หมายเหตุ ชั่งข้าวโพด (Corn cob : CC), เปลือกข้าวโพด (Corn husk : CH), เมล็ดคั่วทิ้ง (Corn seed : CS) และมูลแพะ (Goat dung : GD)

จากตารางที่ 17 แสดงผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างก่อนและหลังการหมักของระบบผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานและมูลแพะ อัตราส่วนของวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลแพะที่ 25:75 และมีของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นที่ 25% จากผลการวิเคราะห์ พบว่าปริมาณซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยมีค่าลดลง โดยเฉพาะปริมาณของของแข็งทั้งหมดที่มีปริมาณลดลง 76.21%, 51.58% และ 42.92% ตามลำดับ เห็นได้ว่าระบบผลิตก๊าซมีเทนสามารถเกิดการย่อยสลายสารอาหารได้ดี คือ CS+CC+CH มีการย่อยสลายได้ดีเมื่อหมักร่วมกับมูลแพะ การกำจัดซีโอดีได้ 37,927 mg/L คิดเป็น 51.36% ของซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ โดยเฉพาะปริมาณของของแข็งทั้งหมดที่มีปริมาณลดลง 47.80% จากของแข็งที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และปริมาณของแข็งระเหยลดลง 55.67% แสดงให้เห็นว่าชั่ง เปลือก และเมล็ดข้าวโพดมีการย่อยสลายได้ดี



ภาพที่ 28 การกำจัดซีโอดีของในการศึกษาอัตราส่วนวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหมักร่วมกับมูลแพะ

หมายเหตุ ชั่งข้าวโพด (Corn cob : CC), เปลือกข้าวโพด (Corn husk : CH), เมล็ดคั่วทิ้ง (Corn seed : CS) และมูลแพะ (Goat dung : GD)

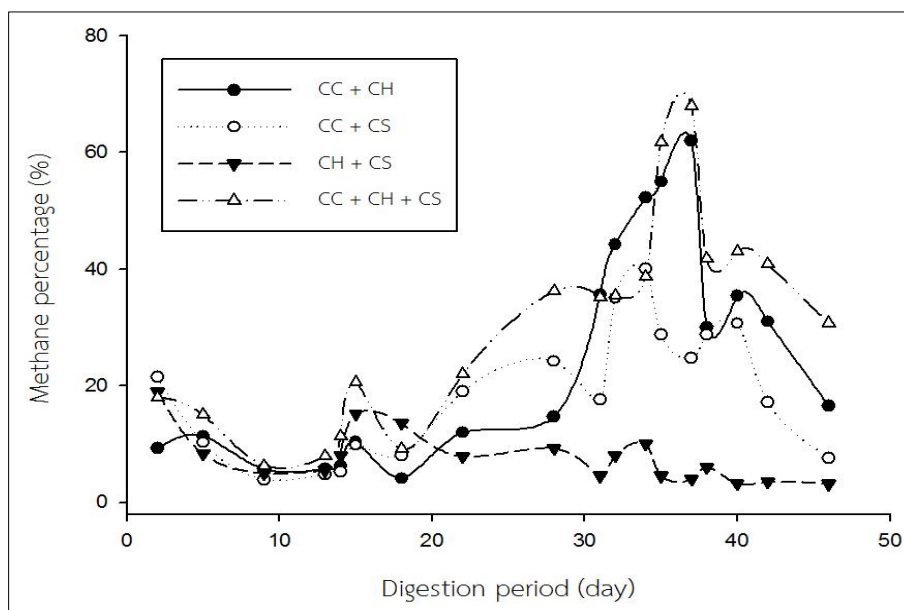
จากภาพที่ 28 แสดงผลการกำจัดซีโอดีของในการศึกษาอัตราส่วนวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหมักร่วมกับมูลแพะ โดยวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดแต่ละส่วนมีผลทำให้ซีโอดีที่เข้าสู่ระบบที่ต่างกัน ซึ่ง CC+CH, CC+CS และ CH+CC มีการย่อยสลายได้ดีกับมูลแพะ คือ 68,269 mg/L, 44,647 mg/L, 31,915 mg/L คิดเป็น 46.73%, 60.30%, และ 39.50% ตามลำดับ เห็นได้ว่าระบบผลิตก๊าซมีเทนสามารถเกิดการย่อยสลายสารอาหารได้ดี คือ CS+CC+CH มีการย่อยสลายได้ดีเมื่อหมักร่วมกับมูลแพะ การกำจัดซีโอดีได้ 37,927 mg/L คิดเป็น 51.36% ของซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งเห็นว่าระบบผลิตชีวภาพสามารถเกิดการย่อยสลายสารอาหารได้ดี โดยจากงานวิจัยของ (สุดารัตน์ และคณะ , 2551) ได้ทำการศึกษาการผลิตชีวภาพจากกากถั่วและน้ำเสียจากโรงงานวันเส้น โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ขนาดถังหมัก 6.5 L และมีระบบกวน โดยมีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 kg_{COD}/m³/day มีปริมาณซีโอดี 65,000 mg/L พบว่า สามารถผลิตมีเทนได้ 0.0043 – 0.0909 L/g_{COD} โดยอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 8 kg_{COD}/m³/day มีอัตราการเกิดชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด โดยสามารถผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 50.64%

ตารางที่ 18 ศักยภาพการเกิดมีเทนของระบบการผลิตมีเทน

ตัวอย่าง	Specific Methane Yield (ml CH ₄ /g COD _{removed})	%BMP
CC+CH	0.031	8.88
CC+CS	0.028	8.07
CH+CS	0.007	2.04
CS+CC+CH	0.084	23.99

หมายเหตุ ซังข้าวโพด (Corn cob : CC), เปลือกข้าวโพด (Corn husk : CH), เมล็ดคั่วคั่ว (Corn seed : CS) และมูลแพะ (Goat dung : GD)

จากตารางที่ 18 แสดงผลของการศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนของการหมักร่วมกันของวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลแพะที่อัตราส่วน 25:75 ในระบบหมักชีวภาพขนาด 1 L ที่การเติมปริมาณของวัตถุดิบจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดที่ต่างกัน คือ CC+CH, CC+CS, CH+CC และ CS+CC+CH ระยะเวลาในการหมัก 46 days พบว่า การหมักมูลแพะกับ CS+CC+CH มีอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ สูงสุด คือ 0.084 ml CH₄/g COD_{removed} ตามด้วย CC+CH, CC+CS และ CH+CS มีอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์เท่ากับ 0.031, 0.028 และ 0.007 ml CH₄/g COD_{removed} ตามลำดับ โดยผลของศักยภาพการผลิตมีเทน พบว่า CS+CC+CH มีศักยภาพการผลิตมีเทนสูงสุด 23.99% ตามด้วย CC+CH, CC+CS และ CH+CS มีศักยภาพการผลิตมีเทนเท่ากับ 8.88, 8.07 และ 2.04% ตามลำดับ จากผลของศักยภาพการผลิตมีเทนที่ได้ จะเห็นว่าตัวอย่างที่มีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดที่แตกต่างกันที่มีปริมาณของแข็งที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป มีผลทำให้การย่อยสลายของจุลินทรีย์ส่งผลให้ศักยภาพการผลิตมีเทนต่ำ เนื่องจากค่าปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบใส่ขวดหมักในแต่ละครั้ง ปริมาณที่เดิมนั้นมากเกินไปก็จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากเกินไป ซึ่งเป็นช่วงแรกของการกระบวนการที่เรียกว่า Acidogenesis คือขั้นตอนการสร้างกรดขึ้นมา จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจาก Methanogen จุลินทรีย์ไม่เจริญเติบโต (Forster et al., 2007)



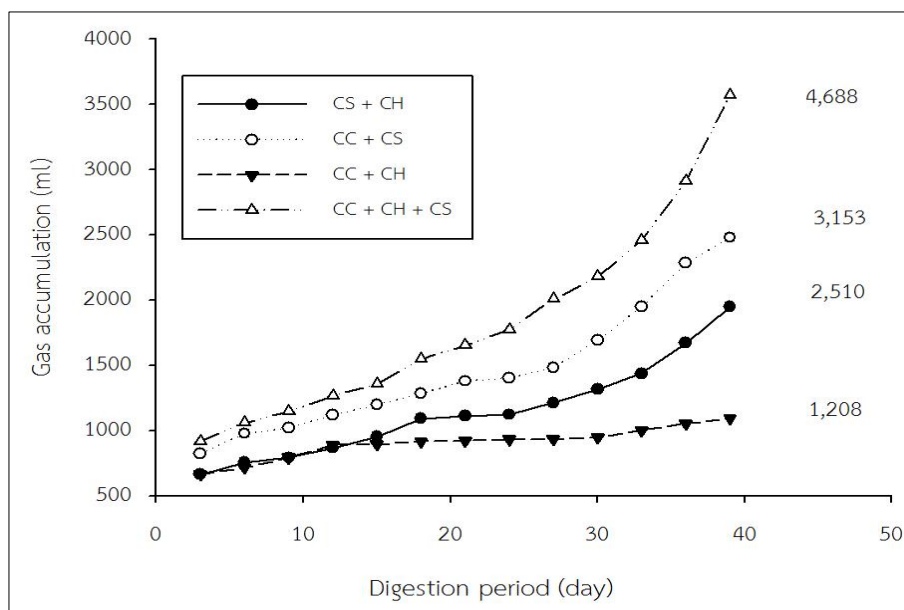
ภาพที่ 29 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นของระบบหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดกับมูลแพะ

หมายเหตุ ชังข้าวโพด (Corn cob : CC), เปลือกข้าวโพด (Corn husk : CH), เมล็ดคัตทิ้ง (Corn seed : CS) และมูลแพะ (Goat dung : GD)

จากภาพที่ 29 แสดงผลของการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซมีเทนของระบบหมักชีวภาพวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดร่วมกับมูลแพะ ในขวดหมักขนาด 1 L พบว่า อัตราส่วนของมูลแพะกับ CS+CC+CH ให้ความเข้มข้นของมีเทนสูงสุดที่ 67.93% ตามด้วย CC+CH, CC+CS และ CH+CS ซึ่งมีความเข้มข้นของมีเทน 62%, 40% และ 18.90% ตามลำดับ โดยหมัก CH+CS มีความเข้มข้นของมีเทนต่ำสุด และมีค่าน้อยกว่า CS+CC+CH ถึง 49.03% เนื่องจากมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่สูงกว่า ความต้องการของจุลินทรีย์ ทำให้ค่าความเข้มข้นของมีเทนที่ผลิตได้มีปริมาณที่ต่ำ และค่า pH ที่วัดได้หลังจากผลิตมีเทน 5.20 ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตชีวภาพคือ ระหว่าง 7.0-7.2 ค่า pH ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมัก เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลดลง ซึ่งถ้าหาก pH ลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะหยุด กระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรืออีกนัย หนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย เนื่องจาก Methanogen นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดต่าง มาก และจะไม่เจริญเติบโตหาก pH ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH เกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียรค่า pH จะอยู่ระหว่าง 6.8-8 (G. Chen et al., 2010) ซึ่งจากการทดลอง หลังการผลิตชีวภาพ พบว่า CS+CC+CH มีค่า pH เท่า 6.87 ซึ่งอยู่ในช่วงความเสถียรของระบบการหมักจึงทำให้สามารถผลิตมีเทนสูงสุด และพบว่า CC+CS และ CH+CS ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการ

ผลิตชีวภาพ จากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดร่วมกับมูลแพะ เนื่องจากให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนต่ำกว่า 50% ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2017)

จากการศึกษาการหมักร่วมกันของวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดร่วมกับมูลแพะ ในอัตราส่วน 1:3 โดยวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดต่างกัน CC+CH, CC+CS, CH+CS และ CS+CC+CH ในสภาวะการหมักแบบไร้อากาศ ในขวดหมักขนาด 1 L พบว่า การหมักร่วมกันของวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดร่วมกับมูลแพะ ที่มูลแพะกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพด CS+CC+CH มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 51.36% มีอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.084 ml CH₄/gCOD_{removed} และมีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน 23.99% ผลิตชีวภาพได้ 4,688 ml ที่มูลแพะกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพด CC+CH, CC+CS และ CH+CS ให้อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.031, 0.028 และ 0.007 ml CH₄/gCOD_{removed} ตามลำดับ ผลิตชีวภาพได้ 2,510, 3,153, และ 1,208 ml ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 30 โดย CS+CC+CH ให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุด การหมักก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานร่วมกับมูลแพะที่อัตราส่วน 25:75 ในการทดลองส่วนที่ 2 จะเห็นได้ว่า การเติมสารอาหารหรือของแข็งที่เป็นเมล็ดคั่วที่ ถูกย่อยสลายเกิดก๊าซมีเทนในช่วงวันแรกของการหมัก และจะเริ่มลดลงในวันที่ 5 ซึ่งหลังจากจากนั้นเป็นการย่อยสลายซังกับเปลือกในวันที่ 34 ของการหมักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และลดลงการผลิตก๊าซมีเทนในวันที่ 39 การทดลองระบบผลิตก๊าซมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดร่วมกับมูลแพะค่อนข้างใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสารอาหารที่เติมเข้าระบบ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น ต้องคำนึงถึงระยะเวลา การผลิตก๊าซมีเทนต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสม ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักชีวภาพ



ภาพที่ 30 แสดงปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นในระบบหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดและมูลแพะ

หมายเหตุ ชังข้าวโพด (Corn cob : CC), เปลือกข้าวโพด (Corn husk : CH), เมล็ดคั่ว (Corn seed : CS) และมูลแพะ (Goat dung : GD)

จากภาพที่ 30 แสดงผลการศึกษ้อัตราส่วนวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานทั้งหมด 4 กลุ่ม CC+CH, CC+CS, CH+CS และ CS+CC+CH หมักร่วมกับมูลแพะ พบว่า ปริมาณก๊าซสะสมเริ่มเกิดขึ้นในวันที่ 5 สิ้นสุดการหมัก 46 day โดยที่ CS+CC+CH ผลิตชีวภาพได้สูงสุด 4,688 ml และมีปริมาณชีวภาพเฉลี่ย 101.91 ml/day เนื่องจากการหมักชีวภาพของระบบนี้เป็นการหมักแบบกะ ซึ่งมีการเติมสารอาหารเข้าระบบเพียงครั้งเดียว เมื่อจุลินทรีย์ทำการย่อยอาหารอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้ปริมาณสารอาหารในระบบลดลง เป็นสาเหตุให้ปริมาณก๊าซสะสมที่ผลิตได้ลดลง (อรทัย และคณะ, 2555) เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานที่แตกต่างกันส่งผลให้ระยะเวลาการย่อยสลาย และช่วงการเกิดก๊าซมีเทนแตกต่างกันไปด้วย ผลของก๊าซสะสมจากการหมักร่วมวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลแพะ พบว่า CS+CC+CH ผลิตก๊าซสะสมสูงสุด 4,688 ml เฉลี่ย 101.91 L/day ให้อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.084 ml CH₄/gCOD_{removed} ตามด้วย CC+CS, CC+CH และ CH+CS ผลิตชีวภาพได้ 3,153, 2,510, และ 1,208 ml ตามลำดับ ให้ปริมาณอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.028, 0.031 และ 0.007 ml CH₄/gCOD_{removed} ตามลำดับ เนื่องจากในระบบนี้มีการเติมวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดที่แตกต่างกัน ซึ่งมีปริมาณของคาร์บอนหรือสารอาหารที่เหมาะสมต่อความต้องการของจุลินทรีย์ (Zuhaib et al., 2011) ส่งผลให้ปริมาณชีวภาพ

โดยผลของศักยภาพการผลิตมีเทนจากการหมักร่วมวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานกับมูลแพะ พบว่า CS+CC+CH มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($F=1015.68$, $Sig= 0.000$) มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเท่ากับ 67.93% และมีค่าความร้อนสูงที่ 27.08 MJ/m^3 (ซึ่งคำนวณค่าความร้อน 66.35% ของก๊าซมีเทนที่ความเข้มข้นเท่ากับ 26.45 MJ/m^3) (Grima et al., 2014)

จากการศึกษาประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนในระบบส่วนที่ 3 มีความเข้มข้นของมีเทนสูงกว่าส่วนที่ 1, 2 เนื่องจากมีการคัดเลือกมูลสัตว์และอัตราส่วนการหมักที่เหมาะสมกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเพื่อผลิตก๊าซมีเทนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

ผลของการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับแบบการเติมกึ่งต่อเนื่อง

1. ผลของการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตชีวภาพจากการหมักแบบกะกับการเติมกึ่งต่อเนื่อง

การผลิตชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดกับมูลแพะ ศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างแบบกะ (Batch operation) กับแบบการเติมกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous operation) ในถังขนาด 30 L จากการหมักร่วมกันของเปลือกข้าวโพดกับมูลแพะ ที่อัตราส่วน 75:25 ทั้งนี้การผลิตชีวภาพแบบกะเป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เพียงครั้งเดียว จากนั้นจะปล่อยให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียในระบบและจะไม่มีการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ ส่วนแบบการเติมกึ่งต่อเนื่อง เป็นลักษณะการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักทุก 13 days จำนวน 5 ครั้ง และทุกๆครั้งจะทำการถ่ายสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกจากระบบ โดยติดตั้งไบกวนด้วยมือของทุกๆ ถังผลิตก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลา 1 min/day ระยะเวลาหมัก 140 days ปริมาณน้ำหมัก 20 L วัดปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นทุกวัน ส่วนแบบเติมกึ่งต่อเนื่อง จะทำการวิเคราะห์ ค่าซีโอดี (COD), ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) และปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) ทุกครั้งที่มีการเติมและการนำสารอินทรีย์ออกจากระบบ แสดงดังตารางที่ 19 และตารางที่ 20

ตารางที่ 19 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของการหมักแบบกะ

วันที่	ตัวอย่าง	ความชื้น	TS	VS
		%	(mg/g)	(mg/g)
0		72.86	271.36	229.50
74		75.46	258.36	214.69
87		75.63	243.73	203.61
100	แบบกะ	83.50	165.02	243.85
113		85.53	144.71	166.83
126		86.06	139.42	101.97
140		87.56	124.39	89.81

ตารางที่ 20 ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะการเติมกิ่งต่อเนื่อง

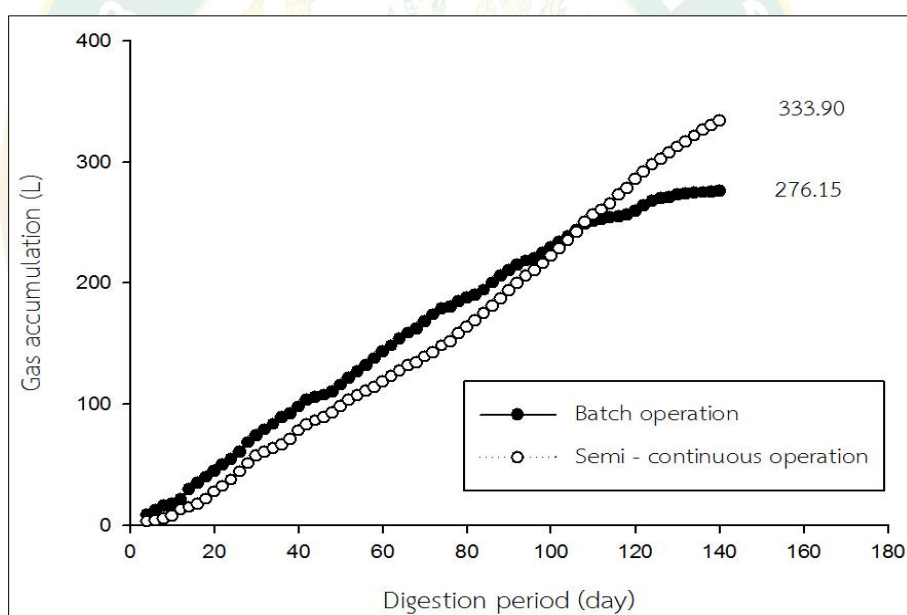
วันที่	ตัวอย่าง	ความชื้น	TS	VS
		%	(mg/g)	(mg/g)
0		72.86	271.36	229.50
74		75.06	249.40	227.69
87		80.24	197.64	163.63
100	การเติมกิ่งต่อเนื่อง	79.99	200.11	159.64
113		76.14	238.61	208.20
126		85.19	148.12	120.75
140		74.92	211.18	249.13

หมายเหตุ การเติมอาหารเข้าสู่ระบบ มูลแพะ 3 kg เปลือกข้าวโพด 1 kg น้ำหนักรวมสุทธิ 5.5 kg (รวมน้ำที่ปรับ TS 25%) ผสมค่าวัตถุดิบ TS = 251.05 mg/g และ VS= 209.15 mg/g

จากผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างก่อนและหลังของการผลิตชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดร่วมกับมูลแพะ โดยการหมักแบบแห้ง พบว่า ระบบแบบกะมีความชื้นสูง ช่วงเดือนสุดท้ายของการหมักจาก 85.53% เพิ่มขึ้นเป็น 87.56% เนื่องจากไม่มีการระบายน้ำเป็นเวลานาน ส่งผลให้น้ำสะสมอยู่ในระบบ และปริมาณน้ำในถังหมักจะเพิ่มขึ้น ส่วนในระบบการเติมกิ่งต่อเนื่อง จะมีการเติมและออกของสารอาหารทุกๆ 13 day จึงมีความชื้นน้อยกว่าแบบกะ

ทั้งนี้จากผลการศึกษามีค่าสอดคล้องใกล้เคียงตามทฤษฎีของการผลิตก๊าซชีวภาพหมักแบบแห้ง มีความชื้นอยู่ที่ 75-85% (C. Chen et al., 2015)

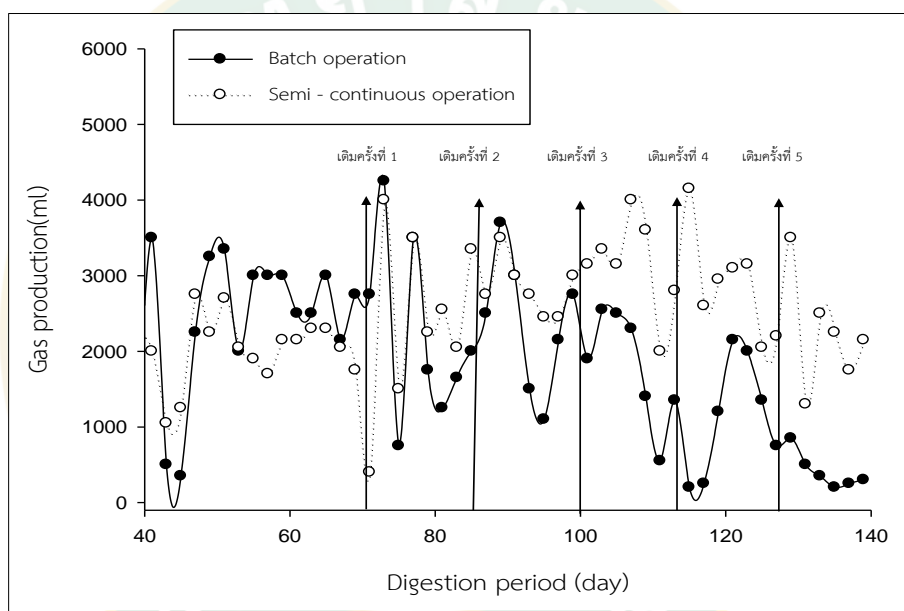
เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย ในระบบแบบกะมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 271.36 กับ 229.50 mg/g เป็น 124.39 กับ 89.81 mg/g คิดเป็น 54.16% กับ 60.87% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบแบบกะเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก ส่วนในระบบแบบเติมกึ่งต่อเนื่อง พบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย มีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกันกับระบบแบบกะในช่วง 74 days หลังจากนั้นเมื่อมีการเติมสารอาหารให้กับระบบกึ่งต่อเนื่องทุกๆ 13 days จำนวน 5 ครั้ง ซึ่งมีการเติมสารอาหารประเมินจากความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ลดลง โดยส่งผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย มีปริมาณไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากช่วงระยะเวลาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในช่วงระยะเวลาที่สั้นเพียง 13 days หลังจากนั้นการทำการเติมสารอาหารเข้าสู่ระบบ แสดงดังตารางที่ 20



ภาพที่ 31 แสดงปริมาตรก๊าซสะสมจากการหมักแบบกะและการเติมกึ่งต่อเนื่อง

จากภาพที่ 31 แสดงผลปริมาตรก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นใน 2 ระบบหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดและมูลแพะ เมื่อทำการหมักชีวภาพเป็นระยะเวลา 140 days พบว่า การหมักแบบกะ ให้ปริมาณชีวภาพ 276.15 L ซึ่งมีค่าเฉลี่ยก๊าซมีเทนต่อวันที่มีค่าเท่ากับ 53.18% ให้อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์เท่ากับ 0.67 ml $\text{CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$

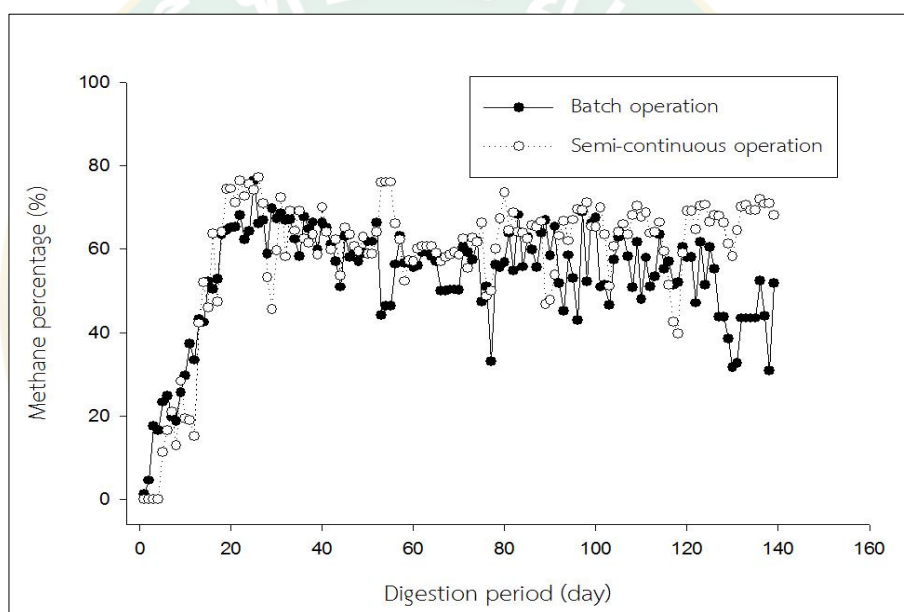
การหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ปริมาตรก๊าซสะสมได้ 333.90 L โดยมีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยต่อวันมีค่าเท่ากับ 58.87% ให้อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ที่ 0.87 ml CH₄/gCOD_{removed} พบว่า ระยะเวลาในการเติมอาหารเข้าสู่ระบบเพิ่มปริมาณการเกิดมีเทนและปริมาณมีเทน ให้ปริมาณชีวภาพสูงขึ้น ซึ่งระยะเวลาในการเติมหาเข้าสู่ระบบควรเติมในช่วงวันที่ 13 เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเริ่มลดลงจำเป็นต้องมีสารอาหารให้พอเหมาะสมกับระบบนั้นๆ โดยการสัมผัสของจุลินทรีย์กับสารอาหารที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และถ้าหากมีการกวน จะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายของสารอาหารที่ป้อนเข้าระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ (Ajay et al., 2011)



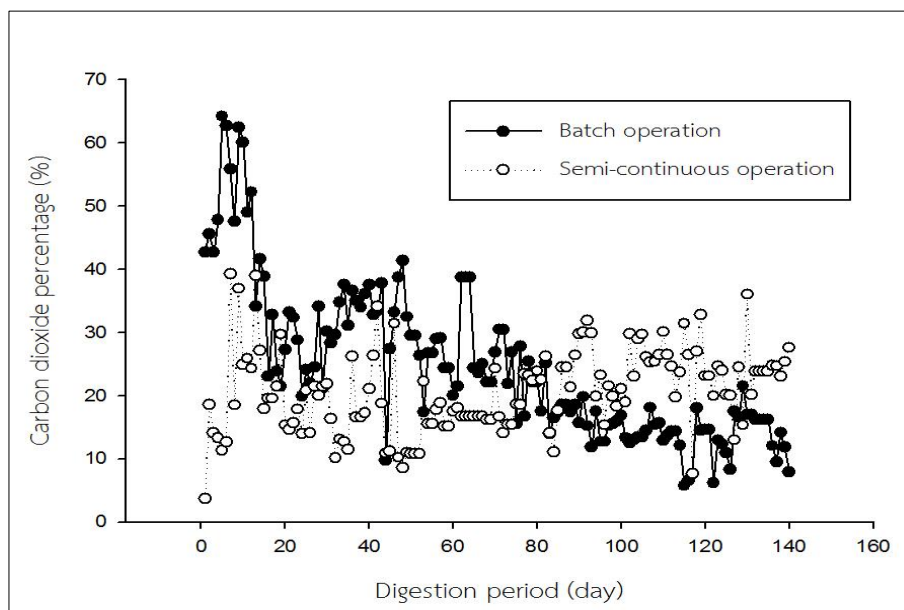
ภาพที่ 32 ผลของการวิเคราะห์ก๊าซสะสมในแต่ละวันจากการหมักแบบกะและการเติมกึ่งต่อเนื่อง

จากภาพที่ 32 แสดงผลของการวิเคราะห์สะสมในแต่ละวันจากการหมักแบบกะและการเติมกึ่งต่อเนื่อง โดยลูกศรที่เป็นเส้นตรงแสดงถึงการเติมอาหารเข้าสู่ระบบ มีการเติมทั้งหมด 5 ครั้ง คือ วันที่ 74 87 100 113 และ 126 ของการหมัก โดยมีการเติมเปลือกข้าวโพดหวาน 1 kg และมูลแพะ 3 kg ทุกๆ 13 days พบว่า มีปริมาตรก๊าซสะสมในการผลิตชีวภาพมีปริมาณใกล้เคียงกันในช่วง 74 วันแรกของการหมัก โดยการเติมกึ่งต่อเนื่องมีการเติมสารอาหารเข้าสู่ระบบ ทำให้ช่วงวันแรกของการเติมมีปริมาตรก๊าซสะสมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากชีวภาพที่ลอยตัวอยู่ในถังหมักถูกดันออกมาสู่ถังเก็บ นอกจากนี้ระบบเติมกึ่งต่อเนื่องมีปริมาตรก๊าซสะสมที่ค่อยข้างสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการเติมอาหารให้กับระบบทุกๆ 13 day โดยปริมาตรก๊าซสะสมที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 3 - 4 L/day

ปริมาณก๊าซสะสมลดลงหลังวันที่ 2 - 3 ของการเติมอาหารเข้าสู่ระบบ ในทางตรงกันข้ามระบบแบบกะ มีปริมาณก๊าซสะสมใกล้เคียงกับแบบเติมกึ่งต่อเนื่องในช่วงแรกของการหมัก และมีปริมาณก๊าซสะสมลดลงเมื่อเข้าสู่วันที่ 93 ของการหมัก มีค่าปริมาณก๊าซสะสมอยู่ในช่วง 1 - 2 L และมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสารอาหารในระบบน้อยลง สอดคล้องกับของแข็งทั้งหมด และสารระเหยง่ายภายในระบบแบบกะเริ่มมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้นการผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตชีวภาพ คือ ระยะเวลาของการหมัก และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดร่วมกับมูลแพะต้องอยู่ในช่วง 37 ± 2 °C หากอุณหภูมิต่ำมากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบช้าลง หรือทำให้จุลินทรีย์ไม่เจริญเติบโต และทำงานไม่เต็มที่ส่งผลต่อปริมาณก๊าซสะสม (Guendouza et al., 2010) แต่ในวันที่อาจจะมีค่าน้อยลง



ภาพที่ 33 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนระหว่างระบบแบบกะกับการเติมกึ่งต่อเนื่อง



ภาพที่ 34 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของระหว่างระบบแบบกะกับการเติมกึ่งต่อเนื่อง

จากภาพที่ 33 และภาพที่ 34 แสดงผลความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของระบบหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดร่วมกับมูลแพะ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจากระบบหมักชีวภาพ ที่มีการติดตั้งไบปัดด้วยมือมีการกวน 1 min/ครั้ง/day ในถังหมักขนาด 30 L โดย 5 วันแรกของการหมัก ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 11-20% เมื่อผ่านไป 14 days มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น เป็น 51-70% จากนั้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 25 days จนถึง 74 days พบว่า ความเข้มข้นของมีเทน มีค่าสูงสุด 77.20% (ในวันที่ 26 ของการหมัก) และมีเทนให้ค่าสม่ำเสมออยู่ในช่วง 55-60% จนถึงวันที่ 74 ของการหมัก

การเติมครั้งที่ 1 พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วงแรกมีค่าเท่ากับ 17-27% ใกล้เคียงกันของทั้ง 2 ระบบ แต่ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนของระบบแบบกะมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนค่อนข้างคงที่ 50-63% ส่วนการเติมกึ่งต่อเนื่องมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนลดลงในช่วงสองวันแรกต่ำสุดอยู่ที่ 48.70% และจะมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นในวันที่สามของการเติมสารอาหาร โดยมีค่าความเข้มข้นก๊าซมีเทนสูงสุดที่ผลิตได้อยู่ที่ 73.60% ของวันที่ห้าของการเติมสารอาหารเข้าสู่ระบบ จากการเติมอาหารเข้าสู่ระบบสามารถผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นอีก 10%

จากนั้นทำการทดลองการเติมอาหารเข้าสู่ระบบรวมทั้งหมด 5 ครั้ง โดยมีการเติมอาหารเข้าสู่ระบบครั้งที่ 2 มีผลคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับการเติมครั้งที่ 1 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุดเกิดขึ้นวันที่ 10 ของการหมัก มีค่า 71.15% ในขณะที่ระบบแบบกะ 52-66%

การเติมครั้งที่ 3 เห็นการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบกะเริ่มมีความเข้มข้นของก๊าซที่น้อยลง 13-18% ต่างจากการเติมกึ่งต่อเนื่องที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มเป็น 20-30%

ปริมาณมีเทนของการเติมครั้งที่ 3-5 ของการเติมแบบกึ่งต่อเนื่องมีค่าอยู่ที่สูงสุด 71-73% เกิดขึ้นในวันที่ 8-10 ของการเติมอาหารเข้าสู่ระบบซึ่งให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่สูงกว่าระบบแบบกะจะมีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 31-52%

นอกจากนี้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบแบบกะอยู่ที่ 3-6 ppm และระบบเติมกึ่งต่อเนื่องอยู่ที่ 4-27 ppm การเกิดมีเทนที่มีความเข้มข้นสูง และมีระยะเวลาที่นาน เนื่องจากเป็นช่วงของกระบวนการเกิดชีวภาพจากกระบวนการที่ 3 ไป 4 คือช่วงของ Acetogenesis ไป Methanogenesis โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติก ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นมีเทน ซึ่งกระบวนการส่งผลให้ปริมาณมีเทนที่ได้ในช่วงระยะเวลานี้มีปริมาณที่สูงขึ้น (Yanfeng et al., 2008) โดยปริมาณความเข้มข้นของมีเทนที่ได้จากระบบทั้ง 2 ระบบมีค่าใกล้เคียงเมื่อเทียบกับการหมักชีวภาพ จากระบบทั่วไป

โดยผลของศักยภาพการผลิตมีเทนที่เกิดขึ้นใน 2 ระบบหมักชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดและมูลแพะที่อัตราส่วน 25:75 พบว่า แบบเติมกึ่งต่อเนื่องให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและมีปริมาตรก๊าซสะสมค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งระบบแบบกะให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันกับระบบแบบเติมกึ่งต่อเนื่อง แต่เมื่อผ่านการวิเคราะห์ทางสถิติ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($t=229.42$, $Sig=0.000$)

ผลของการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบหมักชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเปลือกข้าวโพดและมูลแพะที่อัตราส่วนของแข็งทั้งหมด 25% ในถังหมักชีวภาพที่มีการติดตั้งใบพัดกวนด้วยมือ ในถังหมักขนาด 30 L ที่ระยะเวลาการกวน 1 min/ครั้ง/day โดยจะพิจารณาในส่วนของค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการติดตั้งฮีตเตอร์ และปั๊มออกซิเจนเพื่อให้การไหลเวียนน้ำเพื่อให้มีอุณหภูมิแก่ระบบหมักชีวภาพ ระยะเวลาในการเดินระบบ 140 days ปริมาณก๊าซสะสม 333.90 L โดยชีวภาพเฉลี่ย 2.39 L/day ซึ่งฮีตเตอร์และปั๊มน้ำออกซิเจนใช้ไฟฟ้า 2.4 และ 0.48 kWh/day คิดที่ระยะเวลาการทำงานของฮีตเตอร์และปั๊มน้ำออกซิเจน 300 days/year ราคาไฟฟ้า 4 Baht/kWh (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2558) เฉลี่ยค่าใช้จ่ายไฟฟ้าสำหรับฮีตเตอร์ และปั๊มน้ำออกซิเจน 2,880 และ 576 baht/year โดยมีต้นทุนในการสร้างระบบผลิตชีวภาพขนาด 30 L เท่ากับ 1,033.5 baht รวมค่าไฟฟ้าเป็นเงิน 3,456 baht/year และมีระยะเวลาคืนทุน 3.56 year เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของระบบนี้กับระบบผลิตชีวภาพจากระบบอื่น พบว่า มีระยะเวลาคืนทุนที่ต่ำกว่า

ระบบอื่น เนื่องจากการศึกษาทดลองในระบบนี้ เป็นการเติมสารอาหารเข้าเติมแบบกึ่งต่อเนื่องขนาดเล็กเมื่อเทียบกับการใช้งานจริง ส่งผลให้ปริมาณชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณน้อย เป็นผลโดยตรงต่อระยะเวลาคืนทุนในการสร้างระบบผลิตชีวภาพ

วิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงทางเศรษฐศาสตร์ในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดหวานมาผลิตชีวภาพแบบแห้งโดยวิธีระยะเวลาคืนทุน (payback period : PB) (Prasit et al., 2011)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนของโครงการ}}$$

โดยรายละเอียดการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ แสดงดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแต่ละส่วน			
รายการ	ราคา	หน่วย	
ต้นทุนการสร้างระบบ	- ราคาชุดระบบหมักชีวภาพ ขนาด 30 L	1,033.5	baht
	- ค่าจ้างการเติมอาหารเข้าสู่ระบบ 100 baht/month	1,000	baht/year
	- ราคาวัตถุดิบ(เปลือกข้าวโพด+มูลแพะ)	20.92	baht
	- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	40	baht
	- ฮีตเตอร์ ขนาด 100 W	100	baht
	- ปั๊มน้ำออกซิเจนปลา ขนาด 10 W	120	baht
	- ราคารวมทั้งระบบ	2,314.42	
ต้นทุนค่าไฟฟ้า	- การใช้ไฟฟ้าของฮีตเตอร์ 1 อัน	2.4	kWh/day
	- การใช้ไฟฟ้าของปั๊มน้ำ 1 อัน	0.48	kWh/day
	- ราคาค่าไฟฟ้า 4 Baht/kWh	3,456	baht/year

ตารางที่ 21 (ต่อ)

การวิเคราะห์ความ			
คุ่มค่าทางเศรษฐศาสตร์	รายการ	ราคา	หน่วย
ในแต่ละส่วน			
ต้นทุนรวม		5,770.42	baht/year
กำไรหรือผลการ	-ผลิตชีวภาพได้เฉลี่ย	2.39	L/day
ประหยัด	**เพียงพอต่อการใช้งาน 1 day/ คร้วเรือน	0.096	kg/hr
	- การทำงานต่อปี	300	day/year
	- ผลิตชีวภาพได้ต่อปี	717	kg/year
	- ปุ๋ยหลังการหมักชีวภาพ	100	baht
	1 คร้วเรือนให้ LPG เฉลี่ย 3 month/ 1 ถัง (15kg)	5	kg/month
	ราคา LPG (1 ถัง ,15 kg)	380	baht
	ค่าใช้จ่าย LPG	126.67	baht/month
		1,620	baht/year
ระยะเวลาคืนทุน		3.56	year

นอกจากการวิเคราะห์ความคุ่มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบหมักชีวภาพจากการหมักร่วมกันของมูลแพะและเปลือกข้าวโพดที่อัตราส่วน 25:27 ของแข็งทั้งหมด 25% ในถังหมักขนาด 1 L ในส่วน BMP 2 ได้ทำการวิเคราะห์การลงทุนในระบบโรงงานอุตสาหกรรม โดยอ้างอิงข้อมูลการป้อนน้ำเสียเข้าระบบและระบบหมักชีวภาพจากโรงงานชั้นสวีท จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งใช้ระบบหมักชีวภาพแบบ Cover lagoon ขนาด 1,000 m³ โดยมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบที่ 50 m³/day (โดยเทียบการใช้วัตถุดิบเปลือกข้าวโพด 44.12 ton/day และมูลแพะเป็นหัวเชื้อ 14.71 ton) จากข้อมูลการลงทุนสร้างระบบหมักชีวภาพแบบ Cover lagoon มีต้นทุน 500 baht/m³ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) รวมต้นทุนประมาณ 500,000 baht โดยชีวภาพ 1 m³ ที่มีเทน 52.17% สามารถทดแทนไฟฟ้าได้ 1.22 kWh (เทียบชีวภาพ 1 m³ ที่มีเทน 60% ขึ้นไปสามารถทดแทนไฟฟ้าได้ 1.4 kWh) ระยะเดือนระบบ 300 day/year จากปริมาณชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ย 57.43 m³/day

ทดแทนไฟฟ้าได้ 24,120.60 kWh/year เป็นเงิน 96,482.4 baht/year คิดที่ค่าไฟฟ้า 4 baht/kWh พบว่ามีระยะเวลาคืนทุน 6.6 year รายละเอียดการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์แสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ขนาดโรงงานอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์ เศรษฐศาสตร์	รายการ	ราคา	หน่วย
ต้นทุนการสร้างระบบ	- แร่งงานก่อสร้าง วิศวกรออกแบบ	189,900	baht/m ³
	- ค่ามูลแพะ 900 baht/ton	13,239	baht
	- ราคาระบบหมักชีวภาพ แบบ Cover lagoon	500	baht/m ³
	- ระบบหมักชีวภาพแบบ Cover lagoon ขนาด 1,000 m ³	500,000	baht
	ต้นทุนรวม		703,139
กำไรหรือผลการ ประหยัด	- ค่าปุ๋ยหลังการหมักชีวภาพ	10,000	baht
	- ผลิตชีวภาพได้เฉลี่ย **ที่อัตราการป้อนน้ำเสีย 50 m ³ /day	57.43	m ³ /day
	- การทำงานต่อปี	300	day/year
	- ชีวภาพ 1 m ³ ทดแทนไฟฟ้า	1.22	kWh
	- ทดแทนไฟฟ้า	24,120.60	kWh/year
	- คิดค่าไฟฟ้า	4	baht/kWh
	- เป็นเงิน	96,482.40	baht/year
	กำไร		106,482.4
ระยะเวลาคืนทุน		6.60	year

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานร่วมกับมูลสัตว์ โดยการย่อยสลายในสภาวะไร้แบบอากาศแบบหมักแห้ง ภายใต้อุณหภูมิ 37 ± 2 °C ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 25% และค่า pH 6.8-7.2 โดยงานวิจัยศึกษา (1) ปัจจัยความแตกต่างชนิดของมูลสัตว์ (2) อัตราส่วนระหว่างมูลสัตว์และเปลือกข้าวโพดที่เหมาะสม (3) อัตราส่วนผสมของข้าวโพดหวานที่เหมาะสม ในถังขนาดหมัก 1 L (4) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตชีวภาพแบบกะและแบบกึ่งต่อเนื่องในถังหมักขนาด 30 L (5) การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนสร้างระบบผลิตชีวภาพขนาด 30 L โดยสามารถสรุปผลการศึกษาได้ ดังนี้

1. การผลิตชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลสัตว์ (หัวเชื้อ) กับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน พบว่า มูลแพะ/เปลือก มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีคือ 72.75% ศักยภาพการผลิตมีเทนสูงสุด 10.79%, ปริมาตรก๊าซสะสมรวม 3,974.67 ml ให้อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.038 ml CH₄/gCOD_{removed} การหมักร่วมกันของมูลสัตว์และวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน ให้ปริมาณความเข้มข้นของมีเทนสูงกว่ามูลสัตว์อื่นๆที่หมักร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน โดยการผลิตมีเทนของมูลแพะหมักร่วมกับเปลือกข้าวโพดเท่ากับ 46.13% และมีค่าความร้อนสูงที่ 18.39 MJ/m³ (ซึ่งคำนวณค่าความร้อน 66.35% ของมีเทนที่ความเข้มข้นเท่ากับ 26.45 MJ/m³)

2. การศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทน (Biochemical methane potential, BMP) ของเปลือกข้าวโพดและมูลแพะ ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน พบว่า อัตราส่วน 25:75 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีคือ 50.94% ศักยภาพการผลิตมีเทนสูงสุด 19.32% ปริมาตรก๊าซสะสมรวม 4,213 ml ให้อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.068 ml CH₄/gCOD_{removed} ให้ผลผลิตความเข้มข้นมีเทน 60.37% สูงสุดในวันที่ 12 ของการหมัก และมีค่าความร้อนสูงที่ 24.07 MJ/m³

3. การศึกษาอัตราส่วนผสมของข้าวโพดหวานที่เหมาะสม ที่อัตราส่วน 25:75 โดยมีวัสดุเหลือทิ้งที่แตกต่างกัน ในขวดหมักขนาด 1 L พบว่า การหมักผลิตมีเทนของจากมูลแพะร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวาน (เมล็ดคั่วทิ้ง+ซัง+เปลือก) ปริมาณของแข็งทั้งหมด 25% มีอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.084 ml CH₄/gCOD_{removed} ให้ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน 23.99% ปริมาตรก๊าซสะสมรวม 4,688 ml ให้ปริมาณความเข้มข้นของมีเทน 67.93% และมีค่าความร้อนสูงที่ 27.08 MJ/m³

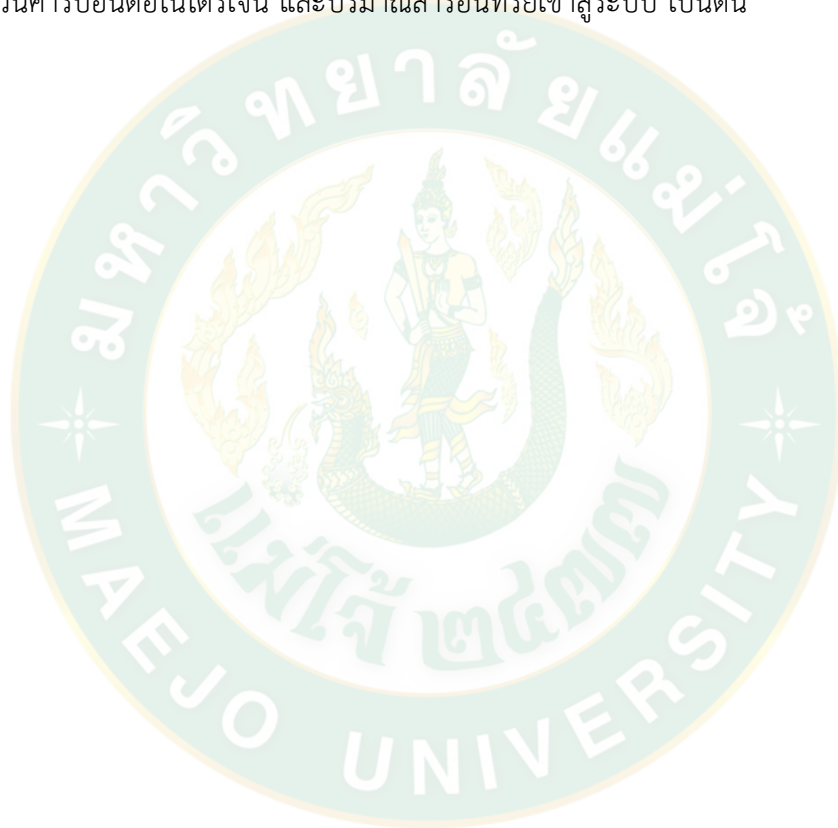
4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตชีวภาพการแบบเติมกึ่งต่อเนื่องและแบบกะ ในอัตราส่วน 25:75 ถึงขนาด 30 L ที่อัตราส่วน อุณหภูมิ 37±2 °C ของแข็งทั้งหมด 25% โดยการเติมสารอาหารเข้าระบบแบบกะและการเติมกึ่งต่อเนื่องมีการเติมเข้าระบบทั้งหมด 5 ครั้ง ที่ระยะเวลาการกวนที่ 1 min 1 ครั้ง/day ระยะเวลา 140 days พบว่า การหมักแบบเติมกึ่งต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบกะ โดยการหมักรวมเปลือกข้าวโพดกับมูลแพะ ให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของมีเทนเท่ากับ 58.87% อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.87 ml CH₄/gCOD_{removed} ความเข้มข้นมีเทนสูงสุดเท่ากับ 77.20% ขณะที่การหมักแบบกะให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของมีเทนเท่ากับ 53.18% อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ 0.67 ml CH₄/gCOD_{removed} ความเข้มข้นมีเทนสูงสุดเท่ากับ 76.35% และการเติมกึ่งต่อเนื่องกับแบบกะมีค่าความร้อนสูง (HHV) ที่ 30.78 MJ/m³ จากการเติมกึ่งต่อเนื่องกับแบบกะสามารถปริมาตรก๊าซสะสม 2.39 กับ 1.97 L/day ตามลำดับ

5. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนสร้างระบบผลิตชีวภาพขนาด 30 L ที่ระยะเวลาการกวนด้วยมือ 1 min/ครั้ง/day โดยมีต้นทุนในการสร้างระบบผลิตชีวภาพขนาด 30 L เท่ากับ 5,770.42 baht พบว่ามีระยะเวลาคืนทุน 3.56 ปี

ดังนั้นวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดในแปลงเกษตรมีศักยภาพในการผลิตมีเทน จากผลงานวิจัยถือเป็นต้นแบบในระบบการจัดการไร่ข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยว และเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตชีวภาพในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. ระบบผลิตชีวภาพขนาด 30 L ควรมีการศึกษาอัตราการกวนที่เหมาะสม เพื่อให้ระบบหมักชีวภาพมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
2. การผลิตชีวภาพควรมีการคัดเลือกของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสมของวัตถุดิบ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตมีเทน
3. การผลิตชีวภาพควรมีการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อระบบการผลิตชีวภาพ เช่น อุณหภูมิ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ เป็นต้น



บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2017. การผลิตชีวภาพจากของเสียฟาร์มปศุสัตว์ และ โรงงานอุตสาหกรรม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www2.dede.go.th/km_ber/Attach/Biogas-present.pdf (2 มกราคม 2558)
- กระทรวงพลังงาน. 2558. แผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา. <http://www.enconfund.go.th/pdf/index/aedp25.pdf> (10 มกราคม 2559)
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2558. โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/PEA.pdf> (14 กันยายน 2560).
- กิตติชัย ปัญญารมย์, ทิพย์สุดา วงศ์กาไสย และธีรวัฒน์ บุรวิศิษฐ์. [ม.ป.ป]. ผลของขนาดอนุภาคต่อการผลิตชีวภาพจากเศษอาหารอินทรีย์. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
- ระวีวรรณ แก้วกล้า. 2538. การผลิตเอทานอลจากฟางข้าว. วิทยานิพนธ์ปรัชญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
- กิตติ แก้วฟ้า, กฤษณา ภาณุมนต์วาที. (2557). การศึกษาปริมาณก๊าซและคุณภาพน้ำจากการหมักน้ำเสียจากฟาร์มร่วมกับเปลือกกล้วยแบบไร้อากาศ
- ชิตชนก คงแดง. 2554. การผลิตชีวภาพจากใบยางพาราโดยการหมักร่วมกับมูลสุกรสำหรับใช้ในครัวเรือน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จรรยา อินเอก, อำไพ กลับทับลังค์ และธีระพันธ์ จุลแก้ว. 2553. การเปรียบเทียบปริมาณชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับใบยางพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์ม.
- จूरีย์ ช่วยชาติ. [ม.ป.ป]. การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนดีแคนเตอร์โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับมูลสุกร. โรงเรียนบ้านคลองโตน อำเภอวังวิเศษ จังหวัดตรัง.
- อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ และชนกพร วงษ์วัน 2555. การผลิตชีวภาพจากการหมักร่วมของต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพเบื้องต้นร่วมกับของเสียกลีเซอรอล การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.
- ชาญ แซ่ม้า [ม.ป.ป]. ผลิตชีวภาพจากพืชผักร่วมกับส่วนผสมของมูลสุกรและมูลโค. โรงเรียนบ้านตาก อ.บ้านตาก จ.ตาก
- ขจรศักดิ์ นกร่อน. (2553). ผลของน้ำยาล้างจานต่อศักยภาพการผลิตชีวภาพจากเศษอาหารอินทรีย์. โรงเรียนศรีบรรพตพิทยาคม อ.ศรีบรรพต จ.พัทลุง เขต 1

- นคร ทิพย์วงศ์. 2553. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- นฤมล เชาวกระโทก. 2556. การผลิตชีวภาพจากตะกอนดีแคเตอร์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ
ร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นันทิกา คล้ายชม, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และอนุสิษฐ์ ธนะพิมพ์เมธา. 2554. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จาก
ขางข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด. วิศวกรรมสาร มก, 24(75), 91-102.
- รุ่งนภา เนินหาด. (2553). การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักร่วมกับมูลสุกร. โรงเรียนดัดดรุณี
อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา
- พลกฤษณ์ คุ่มกล้า. (2557). การผลิตชีวภาพจากฟางข้าว. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/1866/SCI_58_12.pdf?sequence=1 (11 กรกฎาคม 2559).
- พันธะช่อนเร้นในห่วงโซ่อาหาร. 2558. ความจริงเรื่องข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ กับทางออกเพื่อประเทศไทย
[ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา. <http://thaipublica.org/2015/04/maize-crop-cycle-5/>. (4
กรกฎาคม 2560).
- มหาลัยไอเดีย. 2554. มข.เตรียมแปรรูปขังข้าวโพด สู่เชื้อเพลิงอัดเม็ด [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
[http://www2.manager.co.th/CyberBiz/ViewNews.aspx?NewsID=9540000014292&T
abID=3&](http://www2.manager.co.th/CyberBiz/ViewNews.aspx?NewsID=9540000014292&TabID=3&) (18 เมษายน 2560).
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่., สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. 2554. การคำนวณก๊าซชีวภาพ.
[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา. <http://www.erd.cmu.ac.th> (13 กันยายน 2560).
- ไพศาล วงศ์กระโซ่., (2553). การผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ใบยางพาราร่วมกับมูลโคและมูลสุกร.
โรงเรียนหนองสูงสามัคคีวิทยา อ.หนองสูง จ.มุกดาหาร
- วรรณกร กุลศรี, อัจฉรียา นาริวงศ์ และสุธิวัตร วงศ์ใหญ่. (2552). ศักยภาพการผลิตชีวภาพจากการ
หมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. (2554). เอกสารการวิเคราะห์หาค่า BMP. เชียงใหม่:
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. 2556ก. สถานการณ์พลังงาน. [ระบบออนไลน์].
แหล่งที่มา <http://slideplayer.in.th/slide/2178840/> (18 เมษายน 2560).
- _____. 2557ข. สถานการณ์พลังงานไทย. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
<http://slideplayer.in.th/slide/2039354/> (7 กรกฎาคม 2560).
- ลาแพน หล้าคำมี. (2553). การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากทะลายปาล์มเปล่าโดยใช้มูลสุกรเป็น
หัวเชื้อเริ่มต้นแบบกะและแบบกึ่งกะ. โรงเรียนราชประชานุเคราะห์ อ. ร้องกวาง จ.แพร่

- เอกสารประกอบอบรม. 2554. **กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน** [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา <http://www.clinictech.most.go.th> (7 กรกฎาคม 2560).
- นโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8. 2555. **กลยุทธ์การวิจัยที่ 5 พัฒนาอุตสาหกรรมผลิตพลังงานชีวภาพและพลังงานทางเลือกอื่น**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.kmutt.ac.th/rippc/nrct59/14a3.pdf>. (2 มกราคม 2558).
- สรุปสาระสำคัญแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบเอ็ด พ.ศ.2554-2559. 2555. **ยุทธศาสตร์ความเข้มแข็งภาคเกษตร ความมั่นคงของอาหาร และพลังงาน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ddd.go.th/files/FilesFolders/Documents/475ef649_a2a1-4355-a038-106c03f1476a__O.pdf. (2 มกราคม 2558).
- Ahn H, Smith M, Kondrad S, White J. 2009. Evaluation of biogas production potential by dry anaerobic digestion of switchgrass-animal manure mixtures. **Appl.Biochem.Biotechnol.**
- Ajay K. J., Jianzheng Li., Loring N., and Ligu Z. 2011. Research advances in dry anaerobic digestion process of solid organic wastes. **Biotechnology**,10(65), 14242-14253.
- Amel A. G., Doris B., Eric T., Claire D. 2012. Total solids content drives high solid anaerobic digestion via mass transfer limitation. **Bioresource Technology**,111, 55–61.
- Ao Xia , Jun Chenga, Wenlu Song, Cong Yu, Junhu Zhou, Kefa Cen. 2013. Enhancing enzymatic saccharification of water hyacinth through microwave heating with dilute acid pretreatment for biomass energy utilization. **Energy**,61, 158-166.
- Chen, C., Zheng, D., Liu, G. J., Deng, L. W., Long, Y.,Fan Z. H. 2015. Continuous dry fermentation of swine manure for biogas production. **Waste Manag**,38, 436-442.
- Chen, G., Zheng, Z., Yang, S., Fang, C., Zou, X., Luo, Y. 2010. Experimental co-digestion of corn stalk and vermicompost to improve biogas production. **Waste Manag**,30(10), 1834-1840.
- Diana García-Berneta, Pierre Buffièreb, Eric Latrillea, Jean-Philippe Steyera, Renaud Escudiéa. 2011. Water distribution in biowastes and digestates of dry anaerobic digestion technology. **Chemical Engineering Journal**,172, 924– 928.
- Dianlong Wang, Ping Ai, Liang Yu, Zhongxin Tan, Yanlin Zhang. 2015. Comparing the hydrolysis and biogas production performance of alkali and acid pretreatments of rice straw using two-stage anaerobic fermentation. **biosystems engineering**,132,47-55.

- Farooq Latif & Rajoka, M. L. 2001. Production of ethanol and xylitol from corn cobs by yeasts. **Bioresource Technology**,77(1), 57-63.
- Fdez., L.A. 2010. Start-up of thermophilic-dry anaerobic digestion of OFMSW using adapted modified SEBAC inoculum. **Bioresource Technology**,101, 9031–9039.
- Forster C. T., M. Perez., Romero L.I., Sales D. 2007. Dry-thermophilic anaerobic digestion of organic fraction of the municipal solid waste: Focusing on the inoculum sources. **Bioresource Technology**,98, 3195–3203.
- Grima O.C., Ramirez-G., Alcalde-C. R. 2014. Energetic performance of landfill and digester biogas in a domestic cooker. **Applied Energy**,134, 301–308.
- Haddad, Mohamed S. 2011. Capacity choice and water management in hydroelectricity systems. **Energy Economics**,33(2), 168-177.
- Hassan M., Ding W., Bi, J., Mehryar, E., Talha, Z. A. Huang, H. 2016. Methane enhancement through oxidative cleavage and alkali solubilization pre-treatments for corn stover with anaerobic activated sludge. **Bioresour Technol**,200,405-412.
- Hu ZH, Wen ZY. 2008. Enhancing enzymatic digestibility of switchgrass by microwave-assisted alkali pretreatment. **Biochemical Engineering Journal**,38(3), 369-378.
- J. Guendouza, P. Buffière b., J. Cacho a, M. Carrère a, J.-P. Delgenes c. 2010. Dry anaerobic digestion in batch mode: Design and operation of a laboratory-scale, completely mixed reactor. **Waste Management**,30, 1768–1771.
- Jianbo C, Yucheng C, Tengbing H, Renjun L, Renlu L, Man Y, Lei H, Zhimin Y, Tianling F, Xiangying L. 2017. Soil nitrogen leaching decreases as biogas slurry DOC/N ratio increases. **Applied Soil Ecology** 111, 105–113.
- Joselin Herbert, G. M. Unni Krishnan A,. 2016. Quantifying environmental performance of biomass energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**,59, 292-308.
- Khan, Ershad Ullah, Martin, Andrew R. 2016. Review of biogas digester technology in rural Bangladesh. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**,62, 247-259.
- Kothari, Richa, Pandey, A. K., Kumar, S., Tyagi, V.Tyagi, 2014. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**,39, 174-195.
- Mahad B, Al-Mamun A, Hamid O, Al-Amri W. 2017. Ultimate composition analysis of municipal solid waste in Muscat. **Journal of Cleaner Production**,148, 355–362.

- Maria Valderez, Ponte Rocha, Tigressa Helena, Soares Rodrigues, Tiago Lima de Albuquerque, Luciana Rocha B. Gonçalves, Gorete Ribeiro de Macedo. 2014. Evaluation of dilute acid pretreatment on cashew apple bagasse for ethanol and xylitol production. **Chemical Engineering Journal**, 243, 234–243.
- Nina D., Bin D., Bing W., Xiaohu D. 2012. High-solid anaerobic digestion of sewage sludge under mesophilic conditions: Feasibility study. **Bioresource Technology**, 104, 150–156.
- Pawongrat, Ratchapol. 2015. Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes. **Science and Technology**, 1, 143-157.
- Prasit B., Maneechot P., Ladpala S, Vaivudh S. 2011. Optimization and payback period of steam production by biomass combustor for Agro-industry. **Energy Procedia**, 9, 380-390.
- Ramos, I., Fdz-Polanco M. 2014. Microaerobic control of biogas sulphide content during sewage sludge digestion by using biogas production and hydrogen sulphide concentration. **Chemical Engineering Journal**, 250, 303-311.
- Sahoo, Sarat Kumar. 2016. Renewable and sustainable energy reviews solar photovoltaic energy progress in India: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 59, 927-939.
- Saraphirom P, Reungsang A. 2010. Optimization of biohydrogen production from sweet sorghum syrup using statistical methods. **Int J Hydrogen Energy**, 35(24), 13435-13444.
- Shuxia Zhou, Yulin Zhang, Yuping Dong. 2012. Pretreatment for biogas production by anaerobic fermentation of mixed corn stover and cow dung. **Energy**, (46), 644 – 648.
- Sugumaran P., Priya E., Manoharan D., Seshadri S. 2014. Biogas production from water hyacinth blended with cow dung. **Indian Journal of Energy**, 3(1), 134-139.
- Watcharee Katinonkul, Jenjira Phuriragpitikhon. 2013. Pretreatment of corn husk and coconut husk using ionic liquid to enhance glucose recovery. **Bulletin of Applied Science**, 2(2), 26-34.

- Jiuping Xu, Li Zheng. 2016. Wind energy generation technological paradigm diffusion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**,59, 436-449.
- Yanfeng H., Yunzhi P., Yanping L., Xiujin L. and Kuisheng W. 2008. Physicochemical Characterization of Rice Straw Pretreated with Sodium Hydroxide in the Solid State for Enhancing Biogas Production. **Energy & Fuels**,22, 2775–2781.
- Yeqing Li, Ruihong Zhang, Yanfeng He, Chenyu Zhang, Xiaoying Liu, Chang Chen and Guangqing Liu. 2014. Anaerobic co-digestion of chicken manure and corn stover in batch and continuously stirred tank reactor (CSTR). **Bioresource Technology** (156),342–347.
- Yun Hu, Yunzhi Pang, Hairong Yuan, Dexun Zou, Yanping Liu, Baoning Zhu, Wachemo Akiber Chufo, Muhammad Jaffar and Xiujin Li. 2015. Promoting anaerobic biogasification of corn stover through biological pretreatment by liquid fraction of digestate (LFD). **Bioresource Technology** (175),167–173.
- Zhong W., Zhang Z., Luo Y., Qiao W., Zhang M., 2012. Biogas productivity by co-digesting Taihu blue algae with corn straw as an external carbon source. **Bioresour Technol**,114, 281-286.
- Zhong W, Zhang, Z, Luo Y, Sun S, Qiao W, Xiao M, 2011. Effect of biological pretreatments in enhancing corn straw biogas production. **Bioresour Technol**,102(24), 11177-11182.
- Zhou, Shuxia, Zhang, Yulin, Dong, Yuping. 2012. Pretreatment for biogas production by anaerobic fermentation of mixed corn stover and cow dung. **Energy**,46(1), 644-648.
- Optimisation of C:N Ratio for Co-Digested Processed Industrial Food Waste and Sewage Sludge Using the BMP Test, 1-12 (2011).



วิธีการวิเคราะห์

1. ค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD)

ค่าซีโอดี คือ การวัดปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม; ระบบออนไลน์) โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยใช้สารเคมี (Dichromate) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สูง ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ การหาค่าซีโอดีจะมีความจำเป็นอย่างมากในการควบคุมคุณภาพน้ำ ค่าซีโอดีจะมีค่าสูงมากถ้ามีสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียมาก โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าซีโอดีมี 3 วิธี คือ

1. วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open reflux method)
2. วิธีรีฟลักซ์แบบปิด/การไตเตรท (Closed reflux, Titrimetric method)
3. วิธีรีฟลักซ์แบบปิด/เปรียบเทียบสี (Closed reflux, Colorimetric method)

ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการที่ 2 คือ วิธีรีฟลักซ์แบบปิด/การไตเตรท (Closed reflux, Titrimetric method) โดยมีรายละเอียดดังนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดซีโอดี ขนาด 20 x 150 m²
2. ที่ใส่หลอดทดลอง (Test Tube Rack)
3. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
4. ปิเปต ขนาด 10 mm
5. ลูกยางปิเปต
6. บีกเกอร์ ขนาด 100 ml
7. บิวเรต ขนาด 50 ml
8. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.0167 โมลาร์ (Standard potassium dichromate solution) – (Digestion reagent)
2. สารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_2$) 4.913 g อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 2 hr ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปละลายน้ำกลั่นประมาณ 500 ml ค่อยเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 167 ml เติมเมอร์คิวริกซัลเฟต ($HgSO_4$) ลงไป 33.3 g คนให้ละลาย ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 ml

3. กรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต – (H_2SO_4 Reagent)

ละลาย Ag_2SO_4 22 g ใน Conc. H_2SO_4 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4 kg หรือ 2.5 L แล้วตั้งไว้ 1-2 days

4. สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ – (Feroin)

ละลาย Phenanthroline Monohydrate ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\text{H}_2\text{O}$) 1.485 g และ Sulphat heptahydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.695 g ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 ml

5. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ – (FAS) ละลาย $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 39.2 g ในน้ำกลั่น 50 ml เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 20 ml คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็นและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 ml (สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่จะนำมาใช้)

วิธีการ

การหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

1. ปิเปิดน้ำกลั่น 5 ml ลงในขวดรูปชมพู่
2. เติมสารละลาย Digestion reagent 3 ml
3. ค่อยๆ เติม H_2SO_4 Reagent ปริมาตร 7 ml ให้ไหลลงก้นหลอดแก้วเพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ในชั้นของตัวอย่างน้ำ
4. ทิ้งไว้ให้เย็น
5. นำมาไทเทรตกับสารละลาย FAS 0.10 โมลาร์ โดยใช้ Feroin จำนวน 2- 3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์
6. สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียว และเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
7. นำค่าที่ได้ไปคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของ FAS ดังนี้

ความเข้มข้นที่แน่นอนของ FAS (M) = (ปริมาตรของ Digestion reagent x 0.10) / ปริมาตร FAS ที่ใช้ไทเทรต

การหาค่าซีโอดีของตัวอย่าง

1. ล้างหลอดซีโอดี และฝาปิดด้วยกรด H_2SO_4 20% ก่อนใช้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์
2. ปิเปิดตัวอย่างน้ำมา 5 ml ใส่ลงในหลอดซีโอดี แล้วเติม Digestion reagent ลงไป 3 ml
3. ค่อยๆ เติม H_2SO_4 Reagent ลงไป 7 ml ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ในชั้นของน้ำตัวอย่าง และ Digestion reagent

4. ปิดฝาซีโอดีให้แน่น แล้วคว่ำหลอดไปมาหลายๆ ครั้งอย่างทั่วถึงก่อนจะนำตัวอย่างไป Reflux เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ที่ก้นหลอด ซึ่งอาจแตกในขณะที่ทำการ Reflux
5. ทำ Blank ประมาณ 2 หลอด โดยใช้ น้ำกลั่น แทนน้ำตัวอย่าง ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2-4
6. นำหลอดทดลองทั้งหมดรวม Blank วางบนที่ตั้งหลอดทดลอง (Rack) แล้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ $150 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 2 hr เสร็จแล้วนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
7. เทตัวอย่างจากหลอดใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ไทเทรตกับสารละลาย FAS 0.10 โมลาร์ โดยใช้ Ferroin จำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติ โดยสารละลายจะเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียว และเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ อ่านปริมาตร FAS ที่ใช้

การคำนวณ

ซีโอดี (COD), mg/L = $[(A-B) \times M \times 8,000] / \text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ml)}$

เมื่อ A = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต Blank (ml)

B = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง (ml)

M = ความเข้มข้นของ FAS (โมลาร์)

2. ค่าความชื้น (ADAC, 1995)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
2. โถดูดความชื้น
3. ภาชนะอะลูมิเนียม หรือครุซีเบิลสำหรับหาค่าความชื้น
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. อบอุ่นสำหรับหาค่าความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 hr นำออกจากตู้อบ ใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้อง
2. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 3 mg
3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาค่าความชื้น 1-2 g ใส่ลงในภาชนะหาค่าความชื้น นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 5-6 hr นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

4. อดบ้ำจันได้ผลต่างของน้ำหนักที่ซั่งทั้งสองครั้งติดกันไม่เกิด 1 – 3 mg

การค้ำนวน

ปริมาณความซึ้น (%) = $(W_1 - W_2 \text{ (g)} \times 100) / \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}$

$W_1 = \text{น้ำหนักถ้วย} + \text{ตัวอย่างก่อนอบ}$

$W_2 = \text{น้ำหนักถ้วย} + \text{ตัวอย่างหลังอบ}$

3. ปริมาณของแข็งรวม (Total solid, TS)

ปริมาณของแข็งรวม หมายถึง สิ่งเจือปนในน้ำที่เหลืออยู่เมื่อระเหยน้ำออกจนหมด ไม่รวมถึงสารบางอย่างที่ระเหยไปกับน้ำ เช่น กรดอินทรีย์และกรดต่างๆ ที่ละลายในน้ำ สิ่งเจือปนที่เหลือเป็นของแข็งนี้มีทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ซึ่งอาจจะละลายน้ำหรือไม่ก็ได้ การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งในน้ำทำได้โดยการซั่งน้ำหนัก (Gravimetric method) ได้ผลอยู่ในรูปของน้ำหนักสารต่อปริมาตรของน้ำน้ำหนักตัวอย่าง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. โถดูดความซึ้น
2. ถ้วยครุชเชิล
3. เครื่องซั่ง 4 ตำแหน่ง
4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
5. Hot Plate
6. ปากคิ

วิธีการ

1. เตรียมถ้วยครุชเชิลโดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 20 min
2. ทำให้เย็นในโถดูดความซึ้น แล้วซั่งถ้วยครุชเชิล (A)
3. ตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 5–6 g ใส่ลงในถ้วยครุชเชิล
4. นำไประเหยบน Hot Plate
5. นำถ้วยครุชเชิลที่ระเหยแห้งแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C 15 min
6. ทำให้เย็นในโถดูดความซึ้น แล้วซั่งถ้วยครุชเชิล (B)

การค้ำนวน

TS (Total solid), mg/g = $(B-A \text{ (g)} \times 10^6) / \text{ปริมาตรตัวอย่าง (g)}$

4. ปริมาณสารระเหยง่าย (Volatile solid, VS)

ปริมาณสารระเหยง่าย หมายถึงของแข็งที่สลายไปเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 550 °C ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบอินทรีย์กลายเป็น CO₂ และ H₂O ในขณะที่สารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะไม่เกิดการแยกสลายที่อุณหภูมิดังกล่าว ดังนั้น น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของสารอินทรีย์ ส่วนตะกอนที่เหลือคือของแข็งคงตัวที่เป็นสารอนินทรีย์

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. โถดูดความชื้น
2. ถ้วยครุชเชิล
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
5. เตาเผาอุณหภูมิสูง
6. Hot Plate
7. ปากคิบบ

วิธีการ

1. เตรียมถ้วยครุชเชิลโดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 20 min
2. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งถ้วยครุชเชิล (A)
3. ตวงตัวอย่างปริมาตร 5-6 g ใส่ลงในถ้วยครุชเชิล
4. นำไประเหยบน Hot Plate
5. นำถ้วยครุชเชิลที่ระเหยแห้งแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C 15 min
6. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งถ้วยครุชเชิล (B)
7. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 20 min
8. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งถ้วยครุชเชิล (C)

การคำนวณ

VS (Volatile Solid), mg/g = (B-C (g) × 10⁶) / ปริมาตรตัวอย่าง (g)

5. องค์ประกอบของชีวภาพ

การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบของชีวภาพในการศึกษานี้ ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Geotech biogas 5000 ดังภาพผนวกที่ 1 ซึ่งองค์ประกอบชีวภาพที่ได้จากการใช้เครื่องนี้

ประกอบด้วย ค่ำมีเทน (CH_4), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ออกซิเจน (O_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N)



ภาพผนวกที่ 1 เครื่องวัดก๊าซ Geotech biogas 5000





ภาคผนวก ข
วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณการเตรียมวัตถุดิบให้มีค่าของแข็งรวม 25%

การเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการหมักให้มีค่าของแข็งรวม 25%

ตัวอย่างการคำนวณ

วัตถุดิบที่ใช้คือ มูลแพะ ที่ใช้ในการเป็นหัวเชื้อในการผลิตชีวภาพ

มูลแพะ ค่าความชื้นเริ่มต้น 34.29% (65.71%TS)

$$\%TS = 100 - \text{ความชื้น}$$

$$\begin{aligned} \%TS_{\text{มูลแพะ}} &= 100 - 34.29\% \\ &= 65.71\% \end{aligned}$$

ต้องการ (25%TS) ในการผลิตชีวภาพ เมื่อ TS 25 g จะต้องเจือจางด้วยน้ำกลั่น 75 ml

ถ้าต้องการมูลแพะ 1 kg หรือ 1,000 g

$$(X/1,000g) = (65.71 / 100)$$

$$X = 657.1 \text{ มีน้ำในมูลแพะ } 342.9$$

จะต้องเติมน้ำเข้าระบบ

$$TS \ 25 \ g = (657.1 \times 34.29) / 25 = 901.28 \text{ ml}$$

ดังนั้น มูลแพะ 1 kg จะต้องเติมน้ำเพิ่มอีก $901.28 - 342.9 = 558.38 \text{ ml}$

2. การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ (%Removed)

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี} = [(\text{COD}_{\text{in}} (\text{mg/L}) - \text{COD}_{\text{out}} (\text{mg/L})) / \text{COD}_{\text{in}} (\text{mg/L})] \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลศึกษาเพื่อเลือกหัวเชื้อจากมูลสัตว์ (หมักมูลแพะร่วมกับเปลือกข้าวโพด)

$$\text{ซีโอดีที่เข้าระบบ} = 29,938 \text{ mg/L}$$

$$\text{ซีโอดีที่ออกระบบ} = 7,673.60 \text{ mg/L}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ} = [(29,938 - 7,673.60) / 29,938] \times 100$$

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ} = 72.75\%$$

3. การคำนวณค่าอัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ (Specific Methane Yield)

$$\text{อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์} = \text{ปริมาณมีเทน (L)} / \text{COD}_{\text{in}} - \text{COD}_{\text{out}} \text{ (kg)}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณมีเทน} &= 1,931.69 \text{ ml} \\ \text{น้ำหนักของซีโอดีที่ถูกย่อยสลาย} &= 29,938 - 7,673.60 \\ &= 22,264.4 \text{ g} \\ \text{อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์} &= 1,931.69 / 22,264.4 \\ &= 0.087 \text{ ml/g} \\ &= 0.087 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

4. การคำนวณศักยภาพการผลิตมีเทน (%BMP)

$$\% \text{BMP} = (\text{อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์} / \text{ปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี}) \times 100$$

ในทางทฤษฎีปริมาณ COD 1 kg เท่ากับมีเทน 350 L

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{อัตราการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์} &= 0.087 \text{ ml/g} \\ \text{ปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี} &= 350 / 1,000 \text{ L} \\ &= 0.35 \text{ L/g} \\ \% \text{BMP} &= (0.087 / 0.35) \times 100 \\ &= 24.86\% \end{aligned}$$





ERDI-Nakornping
Energy Research and Development Institute-Nakornping,
Chiang Mai University
สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Energy Research and Development Institute-Nakornping, Chiang Mai University

ER-01-001-01 Rev. 06
5/6/2016 (2) 14/2016

ใบรายงานผลการทดสอบ

เลขที่รายงาน ERDI 60/766 : หน้า 1/1

ชื่อผู้รับบริการ : วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ที่อยู่ : 63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290
รายละเอียดตัวอย่าง : มูลแพะ 75 % + เปลือก 25 % NaOH 2 % ถังแบบกะ /
ตัวอย่างวันที่ 17 เมษายน 2560
ลักษณะ/สภาพตัวอย่าง : เก็บใส่ถุงเก็บก๊าซ สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง : 19 เมษายน 2560 (รหัสตัวอย่าง 60/4/19 2083)
วันที่ทดสอบ : 19 - 24 เมษายน 2560
ผลการทดสอบ :

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	วิธีทดสอบ / เทคนิคที่ใช้
1. Methane (CH ₄)	58	% mole	*part 2720 C. **part D 1945
2. Carbon dioxide (CO ₂)	37	% mole	
3. Oxygen (O ₂)	1.4	% mole	
4. Nitrogen (N ₂)	3.1	% mole	

หมายเหตุ : * In house methods based on Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd edition, 2012
** In house methods based on American Society for Testing and Materials (ASTM), Volume 05.06 2015

ลงชื่อ จิรพญา มณีศิริ

(นางจิรพญา มณีศิริ)

ผู้จัดการวิชาการ

ลงชื่อ นางสาวพรสวรรค์ ชติยศ

(นางสาวพรสวรรค์ ชติยศ)

หัวหน้างานห้องปฏิบัติการ

วันที่รายงาน (..... 25 เมษายน 2560.....)

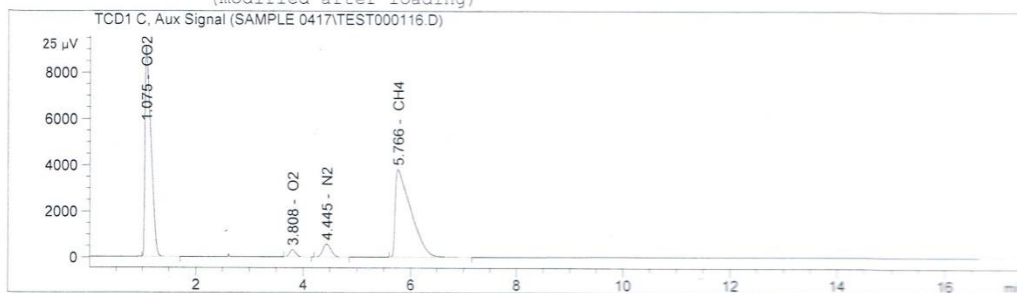
รายงานฉบับนี้เป็นเอกสารที่นำมาทดสอบเท่านั้น รายงานผลการทดสอบต้องไม่ถูกส่งไปยังทางราชการส่วน ยกเว้นที่แจ้งไว้ โดยไม่มีการยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ ม.จ.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ก.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
Energy Research and Development Institute-Nakornping, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Rd., Suthep, Muang, Chiang Mai 50200, Thailand
Tel: 053-942007-9 Fax: 053-903760, 053-903763 http://erdi.cmu.ac.th

Data File C:\CHEM32\1\DATA\SAMPLE 0417\TEST000116.D
 Sample Name: uuuuuuu_60/4/19 2083

```

=====
Acq. Operator   : Viraya
Acq. Instrument : Instrument 1
Injection Date  : 4/19/2017 2:55:41 PM
Location       : Vial 1
Inj Volume     : Manually
Acq. Method    : D:\DATA\DATA 2016\METHOD\MARCH 2017\SPIT 100_3 APIL_BIOGAS 17.M
Last changed   : 4/19/2017 2:48:12 PM by Viraya
Analysis Method : D:\DATA\DATA 2016\METHOD\MARCH 2017\SPIT 100_18 APIL_BIOGAS 17.M
Last changed   : 4/19/2017 4:49:35 PM by Viraya
                (modified after loading)
  
```



External Standard Report

```

=====
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Wednesday, April 19, 2017 4:49:35 PM
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: TCD1 C, Aux Signal

RetTime [min]	Type	Area [25 uV*s]	Amt/Area	Amount [% mole]	Grp	Name
1.075	BB S	7.07670e4	5.28265e-4	37.38375		CO2
3.042		-	-	-		H2
3.808	BB	2531.33252	5.60699e-4	1.41931		O2
4.445	BB	6046.83154	5.16056e-4	3.12050		N2
5.766	BB	7.79913e4	7.45990e-4	58.18079		CH4
7.091		-	-	-		CO

Totals : 100.10436

1 Warnings or Errors :

Warning : Calibrated compound(s) not found

*** End of Report ***



ERDI - Nakornping
Energy Research and Development Institute-Nakornping,
Chiang Mai University
สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Energy Research and Development Institute-Nakornping, Chiang Mai University

ERDI-QA-05-01 Rev. 05
5 มิถุนายน 2561

ใบรายงานผลการทดสอบ

เลขที่รายงาน ERDI 60/765 : หน้า 1/1

ชื่อผู้รับบริการ : วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ที่อยู่ : 63 หมู่ 4 ต. หอนงหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290
รายละเอียดตัวอย่าง : มูลแพะ 75 % + เปลือก 25 % NaOH 2 % ถังแบบเติม /
ตัวอย่างวันที่ 17 เมษายน 2560
ลักษณะ/สภาพตัวอย่าง : เก็บใส่ถุงเก็บก๊าซ สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง : 19 เมษายน 2560 (รหัสตัวอย่าง 60/4/19 2082)
วันที่ทดสอบ : 19 - 24 เมษายน 2560
ผลการทดสอบ :

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	วิธีทดสอบ / เทคนิคที่ใช้
1. Methane (CH ₄)	73	% mole	*part 2720 C. **part D 1945
2. Carbon dioxide (CO ₂)	23	% mole	
3. Oxygen (O ₂)	0.6	% mole	
4. Nitrogen (N ₂)	1.3	% mole	

หมายเหตุ : * In house methods based on Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd edition, 2012
** In house methods based on American Society for Testing and Materials (ASTM), Volume 05.06 2015

ลงชื่อ รุ่งฤทัย มณีศิริ

(นางรุ่งฤทัย มณีศิริ)

ผู้จัดการวิชาการ

ลงชื่อ พวงมาลี ๒๗.

(นางสาวพวงมาลี ๒๗)

หัวหน้างานห้องปฏิบัติการ

วันที่รายงาน (..... 25 เมษายน 2560)

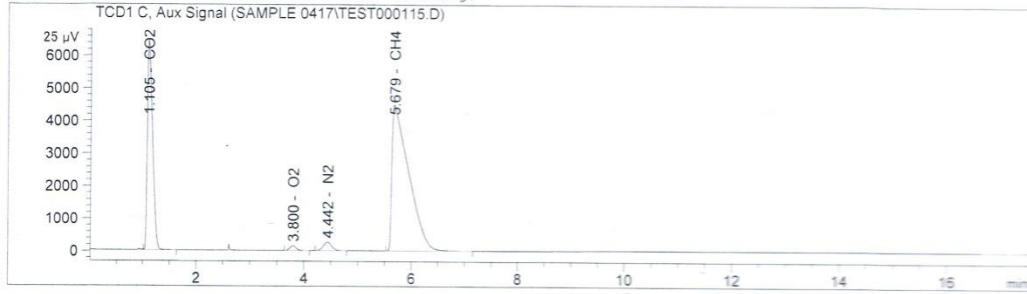
รายงานฉบับนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น รายงานผลการทดสอบจะไม่ถูกต้องถ้าไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขข้างต้น ยกเว้นที่ระบุไว้ โดยไม่มีการรับประกันผลของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบฉบับนี้และไม่มีผลผูกพันทางนิติศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ก.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
Energy Research and Development Institute-Nakornping, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Rd., Suthep, Muang, Chiang Mai 50200, Thailand
Tel: 053-942007-9 Fax: 053-903760, 053-903763 http://erdi.cmu.ac.th

Data File C:\CHEM32\1\DATA\SAMPLE 0417\TEST000115.D
 Sample Name: แอปพลิเคชัน_60/4/19 2082

```

=====
Acq. Operator   : Viraya
Acq. Instrument : Instrument 1
Injection Date  : 4/19/2017 2:30:36 PM
Location       : Vial 1
Inj Volume     : Manually
Acq. Method    : D:\DATA\DATA 2016\METHOD\MARCH 2017\SPIT 100_3 APIL_BIOGAS 17.M
Last changed   : 4/19/2017 2:26:14 PM by Viraya
Analysis Method : D:\DATA\DATA 2016\METHOD\MARCH 2017\SPIT 100_18 APIL_BIOGAS 17.M
Last changed   : 4/19/2017 4:49:35 PM by Viraya
                (modified after loading)
  
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Wednesday, April 19, 2017 4:49:35 PM
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: TCD1 C, Aux Signal

RetTime [min]	Type	Area [25 µV*s]	Amt/Area	Amount [% mole]	Grp	Name
1.105	BB S	4.44896e4	5.20909e-4	23.17503		CO2
3.042		-	-	-		H2
3.800	BB	1134.21045	5.50718e-4	6.24630e-1		O2
4.442	BB	2749.64551	4.65644e-4	1.28036		N2
5.679	BB	9.83996e4	7.45990e-4	73.40515		CH4
7.091		-	-	-		CO

Totals : 98.48517

1 Warnings or Errors :

Warning : Calibrated compound(s) not found

*** End of Report ***



การเผยแพร่งานวิจัย ได้นำเสนอบทความทางวิชาการ จำนวน 1 บทความ รายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

**2017 International Conference
on Alternative Energy in Developing Countries
and Emerging Economies
(2017 AEDCEE)**

Proceeding of Abstracts

25-26 May 2017
Pullman Bangkok King Power Hotel
Bangkok, Thailand

Co-Organized by

- Research and Development Institute, Thaksin University, Thailand
- Research Center in Energy and Environment, Thaksin University, Thailand
- Faculty of Science, Thaksin University, Thailand
- University of Moncton (UdeM), Canada
- James Cook University, Australia
- School of Renewable Energy, Maejo University, Thailand
- Faculty of Industrial Technology, Pitsanakhon Rajabhat University, Thailand
- Waste Incineration Research Center, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Energy Procedia 00 (2017) 000–000

Energy
Procedia
www.elsevier.com/locate/procedia

2017 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies

Methane production potential from anaerobic co-digestions of different animal dungs and sweet corn residuals

Sopee Pan-in, Natthanicha Sukasem

School of Renewable Energy, Maejo University, Thailand

Abstract

The sweet corn planted areas in Thailand are estimated more than 2.8 million acres and they are also likely to increase by an average about 0.9% each year. These lead to increase the amounts of sweet corn residuals such as trees, leaves, cobs and husks, are accumulated into the fields for burning management more than 35,000 tons per year. The renewable energy production by using biogas technology should be instead of burning for treatment of sweet corn residuals. Seeds, corncobs and cornhusks were used as materials for dry anaerobic digestion using co-digestion technology with 3 types of dung: pig dung, cow dung and goat dung. Corncobs and cornhusk were grinded into 2-3 cm of length and pretreated with alkali pretreatment at room temperature for 48 hr. After pretreatment, hemicellulose and lignin were reduced form original plants by using 2%(w/v) of NaOH. The digestions were performed at 1:1 of dung and corn residual ratio, at 37 ± 2 °C, $74\pm 3\%$ humidity, 25% of initial total solid, and C/N ratio at 3-10:1. The results showed that anaerobic co-digestion between pig dung/seed (PS), goat dung/husk (GH) and cow dung/husk (CH) showed the highest efficiency of COD removal at 79.80%, 74.37% and 72.49%, respectively. While GH, goat dung/cob (GC), and PS had maximum biochemical methane potential at 68.20%, 60.58% and 24.11%, respectively. Moreover, GH had highest methane concentration at 46 vol%, and also produced the volume of methane at 5,045.8 ml/gVS. These values were equivalent to heating value at 16.53 MJ/m³. Meanwhile pig dung/seed (PS) and cow dung/cob (CC) had methane concentration at 19 vol% and 9.10 vol%, respectively. However, the amount of H₂S at 30 day of dry digestion using pig dung, cow dung and goat dung were equal to 160 ppm, 58.33 ppm and 25 ppm, respectively.

© 2017 The Authors. Published by Elsevier Ltd.
Peer-review under responsibility of the Organizing Committee of 2017 AEDCEE.

Keywords: Sweet corn residuals, alkali pretreatment, animal dungs, anaerobic co-digestion and biogas

1. Main text

Nomenclature

(PS) = pig dung/seed, (GS) = goat dung/seed, (CS) = cow dung/seed, (PC) = pig dung/cob, (GC) = goat dung/cob, (CC) = cow dung/cob, (PH) = pig dung/husk, (GH) = goat dung/husk, (CH) = cow dung/husk, (AD) = animal dung

2. Introduction

Biogas production is a renewable energy that can produce from various biomass materials. The suitable biomass materials should be the agricultural waste such as bagasse, rice straws and corn straws, to avoid the effect on food security. In the Thailand, at the present, there are more 7.1 million Rai of sweet corn farms and they are also increase about 0.9% by average in each year. These farms can produce 1.4 million Tons of sweet corn [1] and leaves 35 tons of sweet corn wastes in the fill such as corn straws, corn leaves, corn husks and corn crusts [2]. The minority of corn straws is used to produce fertilizers and livestock [3]. All the wastes rest are burned by farmers in the north of Thailand; especially in Mae Cham district, to eliminate the plant wastes and prepare the crop farms for next cultivation. The burning is the main cause of critical air pollution at the north that effects on tourisms, human heaths and life quality. However, the most efficiency of sweet corn waste utilization is the biogas production by biochemical and thermochemical conversion of microorganisms under anaerobic digestion. [4], [5].

Three main types of anaerobic digestion process are distinguished for biogas production. They are wet (less than 10% TS), semi-dry (10–20% TS) and dry process (more than 20% TS) [6]. The advantages of dry anaerobic digestion are that the high amount of solid wastes can be loaded into the system and also produces more biogas products [7]. Moreover, the dry biogas production can be done by co-digestion between agricultural waste and animal dung [8]. Thailand is not only produce high amounts of agricultural wastes but also produces high amounts of dungs and manures [9]. 1.460 Tons/animal/year of pig dungs, 2.920 Tons Tons/animal/year of cow dungs [10] have been accumulated in Thailand. The co-digestion of cow dung and water hyacinth (1:1) produced 24% of methane [11]. While, the pig dungs were used in co-digestion with rice straw (1:1) showed 267.23 L/kg VS and 52.8–55.3 of methane [12]. Now a day, in Thailand, the goats have been raised in agricultural system [13]. These goats can generate 109.5 – 182.5 kg/animal/year [14], which these amounts are high enough for biogas production.

However, on the co-digestion of animal dungs and plants wastes, the plant wastes require pretreatment process to generate sugars or breakdown the chemical bonds before biogas production, especially lignocellulosic plant materials. Sweet corn husk and corn cobs are lignocellulosic material that consists of cellulose and hemicellulose. These polymers can generate high amount of various sugars that suitable for microbial growth. The plant pretreatment can be done by using acid or alkali solution with/without thermal treatment, for examples. Sodium hydroxide is alkali solution that is normally used for pretreatment whereas HCl and H₂SO₄ solution are used for acid solution pretreatment. In the previous researches, the pretreatment of corn stoves with 0.2 % (w/v) of HCl solution at 160 °C for 20 min generated 108.5% of glucose yield and 47.8% of total sugar yield [15].

In this article, the anaerobic co-digestion of animal dungs and sweet corn wastes for biogas production were investigated, including with analysis the effect of different dungs and different sweet corn waste on potential of biogas production.

3. Materials and methods

3.1. Sample collection and pretreatment

Fresh animal dungs, pig dungs, cow dungs and goat dungs were collected from Maejo University's farm, Maejo University, Chiang Mai, Thailand (Fig1). While, sweet corn (*Zea mays* L.) wastes that were corn crust, sweet corn cobs, and corn seeds, were supplied from Sun Sweet Co.,Ltd, Chaimai Thailand (98°50'53.4" E). Corn seed, corn cob and corn husks were grinded until their sizes were about 2 cm long and analyzed their properties on proximate analysis (%wt, dry basis) and ultimate analysis (%wt, dry basis). After that grinded corn crusts and corn husks were

pretreated by soaking in 2%(w/v) NaOH for 48 hr. at room temperature [16],[17] whereas grinded corn seeds were used immediately after grinded without alkali pretreatment. All pretreated plant samples were analyzed in terms of total sugar concentration by phenol-sulfuric acid method, pH, total solids, moisture, volatile solids and COD methods by closed reflux titrimetric method [18].



Fig. 1. Pig dung (a), cow dung (b), and goat dung (c).

3.2. Reactor design and operation

BMP analysis was performed in 1 liter of glass reactor (Fig 2). The top of reactor was tightly closed with black rubber to prevent the oxygen flowed into the reactor. The volume of product gas was kept in 500 ml of plastic cylinder by following water replacement. The temperature of reactor was controlled by heater with water circulation by water pump.

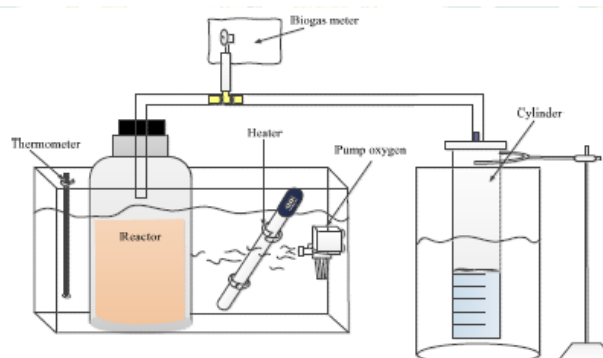


Fig. 2. Biogas reactor design.

3.3 Biogas production

Biogas production was achieved by dry co-digestion production at 1:1 ratio of pretreated corns and animal dungs. The effects of pig dung, cow dung, and goat dung on biogas production were studied by using the pretreated corn husk, corn crust and corn seed. So, thus, the nine conditions were determined with 3 replications. The each dung and each pre-treated corn were mixed well together and adjusted pH at 7.06-7.60. Before digestions, the systems were controlled with starting conditions at pH 7.06-7.60, TS at 25% (w/w), C/N ratio in range of 3-10/1, and temperature at 37 ± 2 °C. During biogas production, the concentration of methane, carbon dioxide, hydrogen sulphide, the gas volume, and the accumulated production gas were kept and measured. While, COD, TS, VS and moisture were determined before and after dry co-digestion.

4. Results and discussion

4.1. Properties of each sweet corn waste and animal dung

The characteristic and proximate analysis of corn seeds, corn cob, and corn husk were shown in table 1 and 2. All sweet corn wastes have the volatile matters in range of 81.16 to 84.22% whereas the typical fixed carbon was 12.62 to 14.18%. The carbon and nitrogen content were shown in Table 2. The ratio of carbon to nitrogen from corn

seeds, corn cob, and corn husk were 18.97:1, 36:1, and 47.4:1, respectively. These ratios were higher than suitable for anaerobic digestion that were 23:1 [19]. Therefore, the reduction of C/N was required in the biogas production system. Thus, the amount of carbon is critical parameter and important for biogas production [20].

Table 1. Properties analysis of all corn samples and all dung before anaerobic digestion.

Sweet corn waste material	Corn seeds	Corn cob	Corn husk
Total solids TS (mg/g)	613.08	397.10	187.01
Volatile solids VS (mg/g)	604.03	306.74	119.91
Moisture (%)	38.69	60.29	81.30
pH	4.1	10.3	10.3
Animal dung	Pig dung	Cow dung	Goat dung
Total solids TS (mg/g)	710.87	577.92	657.11
Volatile solids VS (mg/g)	622.59	551.54	606.82
Moisture (%)	28.91	42.21	34.29
pH	5.5	7.3	7.6

Table 2. The proximate and ultimate analysis of all corn samples.

Proximate analysis (%wt, dry basis)	Corn seeds	Corn cob	Corn husk
Fixed carbon	13.63	12.62	14.18
Volatile matter	83.05	84.22	81.16
Ash	3.32	3.17	4.66
Ultimate analysis (%wt, dry basis)			
Carbon	49.51	47.54	45.98
Hydrogen	7.16	6.33	6.12
Nitrogen	2.61	1.32	0.97
Sulphur	0.18	0.08	0.05
Oxygen	37.22	41.56	42.22

Table 3. The C/N ratios of each mixture of animal dung and corn sample before anaerobic digestion.

Example	Carbon %	Nitrogen %	C/N
pig dung/seed(PS)	3.85	0.51	8:01
cow dung/seed(CS)	4.89	0.74	7:01
goat dung/seed(GS)	2.65	0.54	5:01
pig dung/cob(PC)	3.64	0.6	6:01
cow dung/cob(CC)	3.58	0.74	5:01
goat dung/cob(GC)	2.35	0.89	3:01
pig dung/husk(PH)	4.49	1.56	3:01
cow dung/husk(CH)	4.47	0.43	10:01
goat dung/husk(GH)	3.06	0.84	4:01

In the table 3, C/N ratios of each BMP digestion were shown. The C/N indicated the high amount of principle nutrients from microbial growth. Basically, most microorganisms in biogas system require carbon, nitrogen, oxygen, phosphorus and sulphur for their growths which organisms can derive from substrates; corns and animal dungs. In the biogas system, the cell weight per nitrogen should be 16.13:1 [21]. The lower ratio of cell weight/N content lead to the depression of microbial growth. Therefore, anaerobic digestion system requires this ratio value that is equal or higher 16.13:1.

4.2 The effect of alkali pretreatment on total sugar concentration

The alkali pretreatments were performed to produce sugars by breakdown structure of linocellulosic material (Fig 3). The high amounts of sugar from pretreatment were shown in table 4 that corn husk and corn cob released sugar concentration at $35.39 \text{ g}_{\text{sugar}}/100\text{g}_{\text{plant}}$ and $42.12 \text{ g}_{\text{sugar}}/100 \text{ g}_{\text{plant}}$, respectively. Moreover, after alkali pretreatment, the percentages of cellulose and hemicellulose were reduced from 33.7 to 24.95% and 42.97 to 12.74%, respectively, from pretreated corn cob. While, in corn husk samples, the cellulose was reduced from 40.09% to

24.52% whereas the percentage of hemicellulose also was reduced from 38.04% to 7.17%. The reduction of cellulose and hemicellulose were corresponded to the high amounts of sugar.

However, the percentages of saccharification efficiency of each alkali pretreatment were calculated and defined as the weight percentage of the experimentally determined total reducing sugar yield (g) against the theoretical maximum reducing sugar yield (g) of corn cob and corn husk. Since, corn cobs and corn husk contained 24.95% and 24.52% of cellulose, respectively. The theoretical maximum reducing sugar (glucose and xylose) yield of corn cob and corn husk were 42.19 g/100 g and 35.39 g/100 g, respectively [22]. Thus the saccharification efficiency (%) of corn seeds, corn cobs, and corn husks were equal to 54.73%, 86.18% and 67.12%, respectively, [23] as shown in table 4.

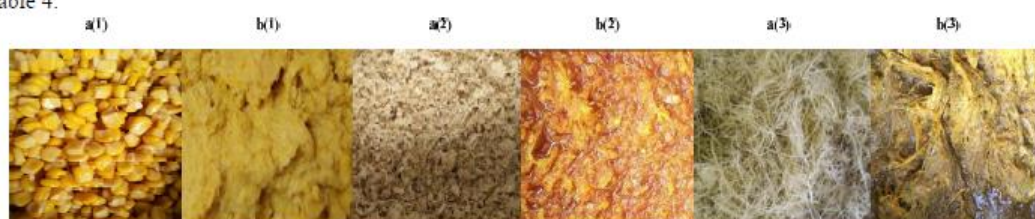


Fig. 3. The physiological changes of corn seeds, corn cobs and corn husks before and after alkali pretreatment. corn seed before a pretreatment a(1), corn seed pretreatment b(1), corn cob before a pretreatment a(2), Corn cob pretreatment 2% NaOH b(2), corn husks before a pretreatment a(3), Corn husks pretreatment 2% NaOH b(3).

Table 4 components of waste corn before and after pretreatment NaOH 2%

samples	Before pretreat			After pretreat				
	Cellulose	Hemi-cellulose	Lignin	Cellulose	Hemi-cellulose	Lignin	Total sugar	Saccharification
	%	%	%	%	%	%	(g/100g)	
Corn seed	7.13	29.82	1.03	-	-	-	41.80	54.73
Corn cob	33.7	42.97	5.72	24.95	12.74	3.25	42.19	86.18
Corn husk	40.09	38.04	2.82	24.52	7.17	2.75	35.39	67.12

Because of the alkali pretreatments by using 2% (w/v) at room temperature for 48, in this research, were not only breakdown of lignocellulose structures but also produced high amount of sugars, which due to high percentages of saccharification efficiency. The broken structure of lignocellulose increased the microbial hydrolysis and digestion of other substances during biogas production [24] [25]. These led to increase the rate of biogas production and gave high amount of methane concentration (table 5) [26]

4.3 The effects of different animal dung and different sweet corn wastes on potential of dry co-biogas production

Table 5. Potential of biogas production from each co-digestion of sweet corn samples and animal dungs.

Example	H ₂ S _{in} (ppm)	H ₂ S _{out} (ppm)	CO ₂ (vol%)	CH ₄ ml/gVS _{day}	CH ₄ ml/gVS _{added}
pig dung/seed(PS)	8,120	56.67	15.53-37.17	15.65	469.47
cow dung/seed(PS)	646.67	58.33	18-28.83	1.61	48.32
goat dung/seed(PS)	8,893.33	25	16-35.33	2.50	75
pig dung/cob(PC)	9,000	143.33	17.37-46.30	3.55	106.6
cow dung/cob(CC)	8,000	31.67	15.57-36.97	2.29	68.62
goat dung/cob(GC)	8,893.33	25	16.83-35.33	2.85	85.61
pig dung/husk(PH)	6,136.67	160	16.33-35.33	2.65	79.57
cow dung/husk(CH)	3,415	36.67	14.13-26.63	0.88	26.51
goat dung/husk(GH)	1,563.33	16.67	25.47-37.23	168.19	5,045.83

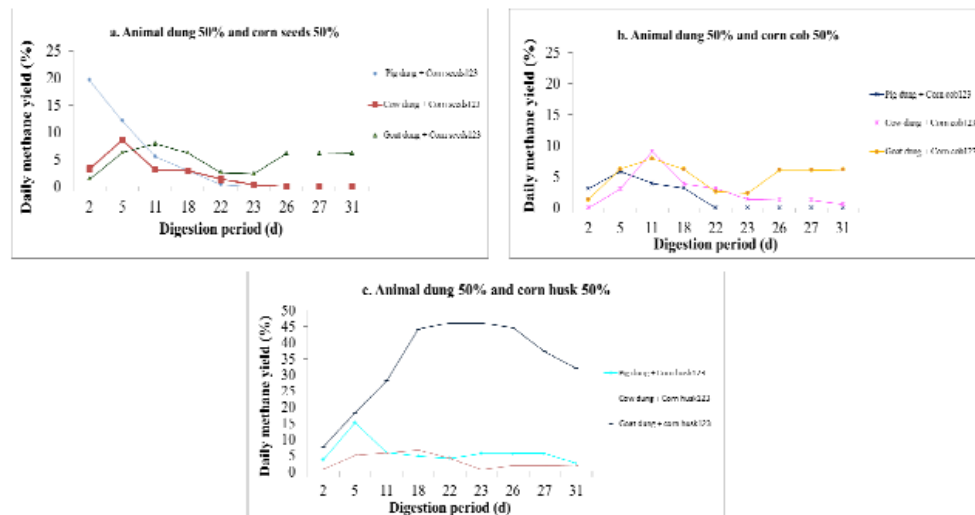


Fig. 4. Daily methane concentration from co-digestions of sweet corn samples and different animal dungs. (a. Animal dung 50% and corn seeds 50%), (b. Animal dung 50% and corn cob 50%) and (c. Animal dung 50% and corn husk 50%)

The methane concentrations in each day were determined from co-digestion of corn seeds and animal dungs (fig 1a). The results showed that the methane concentration were at 19%, 8.60% and 7.90% by using pig dungs, cow dungs, and goat dungs, respectively. The methane concentrations by using cow dung in the digestion were closely to methane concentration of co-digestion at 1:1 of water hyacinth and cow dung. These concentrations were in range of 7-20% of methane. Sugumaran P. et al. (2014) [27]. While, the dry digestion by using corn cobs with pig dungs, cow dungs, and goat dungs produced methane concentration at 5.87%, 9.10% and 7.93%, respectively (fig 1b). However, the highest methane concentration was observed when the co-digestions of corn husks and goat dungs were performed. The methane concentration at 5.60, 6.67, and 46.13% were measured by using pig dungs, cow dungs, and goat dungs, respectively (fig 1c). Because of the high methane concentration were observed from pretreated corn husks, it was possible that high amounts of sugar were released into the pretreated solution. This due to the reduction of cellulose before and after pretreatment from corn husks was higher than the reduction of cellulose from corn cobs. The dry anaerobic digestion of goat dung / husk (GH) showed higher concentration of methane when compared to methane concentration of untreated corn straw which were approximately at 13.06% [28]

Moreover, the effect of different dungs on biogas production were analysed and compared (table 5 and 6). The results told that the goat dungs was the best animal dungs when compared to pig dungs and cow dungs. Because of the anaerobic digestion of goat dung could maintained the pH value and showed the small different of pH value between before and after digestion. The other reason was that the goats were grown in organic farm systems and they were fed with natural foods such as Napier grasses and other grasses. Therefore, the microorganism that produced cellulose enzymes could release from goat by excreting and accumulated in their dungs.

The advantages of co-digestion between goat dung and corn husk (GH) was that this system produced methane concentration at 46.13% and equivalent to the high heating value (HHV) at 16.52 MJ/m³ which based on heating value of the 60% of methane concentration at 21.5 MJ/m³ [29].

4.4 TS, VS, and COD removal on biogas production potential

The principle parameters of biogas production such as pH, TS, VS, COD and COD removal (%) were determined and analysed as shown in table 6. In theory, the 1 kg of COD is equivalent to 418 liter of methane and the COD removal were calculated from equation (1) that was

$$\% \text{COD}_{\text{removal}} = \frac{\text{COD}_i - \text{COD}_f}{\text{COD}_i} \times 100 \quad (1)$$

Where *i* and *f* were the initial and final COD during anaerobic digestion process respectively [30]. Moreover, the biochemical methane potential (%BMP) [31] was calculated from equation (2) that was

$$\% \text{BMP} = \frac{\text{Total volume of methane gas (L)}}{\text{methane content in theoretical(L)}} \times 100 \quad (2)$$

After anaerobic digestion, the goat dung/husk (GH), goat dung/cob (GC), and pig dung/seed (PS) showed biochemical methane potential (BMP) at 68.20%, 60.58% and 24.11%, respectively. In addition, from table 6, the highest COD removal was 79.80% from co-digestion of cow dung/seed (CS) whereas goat dung/husk (GH) and cow dung/husk (CH) showed COD removal at 74.37% and 72.49%, respectively.

Table 6. The characteristics of anaerobic digestion parameters before and after digestion.

Example	pH _{in}	pH _{out}	TS _{in} (mg/g)	TS _{out} (mg/g)	VS _{in} (mg/g)	VS _{out} (mg/g)	COD _{in} (mg/L)	COD _{out} (mg/L)	%COD removal
PS	7.06	4.7	230.72	214.68	215.02	185.06	55,301	32,379.4	30.44
CS	7.12	4.3	250.06	152.42	242.16	206.57	41,968	8,479.6	79.80
GS	7.47	5.2	241.18	183.26	177.31	171.98	240,000	223,100.6	7.04
PC	7.17	5.9	245.02	223.4	213.74	189.98	259,649	148,387.7	36.64
CC	7.22	5.3	211.21	170.56	188.96	148.9	36,254	13,090.9	63.89
GC	7.60	6.1	241.33	203.87	207.49	174.74	29,938	18,308.3	38.85
PH	7.15	5.9	234.46	200.13	194.6	166.48	95,652	26,988.9	71.78
CH	7.30	5.4	246.46	208.86	216.96	183.49	41,968	11,542.8	72.49
GH	7.12	7.1	249.99	194.02	210.68	156.67	29,938	7,673.6	74.37

In finally, the dry co-digestion of corn husks and goat dung was the best system for dry anaerobic co - digestion. This digestion could produce methane yield at 5,045.83 CH₄ml/gVS_{added} (Table 5). Moreover, the pH of system showed slightly decrease from pH 7.12 to 7.10. While, other biogas system, the pH values were quietly changes that led all these digestions produced small amount of methane concentration. The change of pH values were affected on the microbial growth especially in the step of methane production. The pH in range of 6.8 to 7.2 was the optimum condition for biogas production whereas pH values were higher or lower than suitable pH value (6.8 to 7.2), the efficiency of biogas production was dramatically decreased Zhou J.et al. (2016), [32]. In addition, the percentage of COD removal also explained the efficiency of dry anaerobic digestion. The high percentage of COD removal indicated to the elimination of organic substances at high rate led to the increment of microbial growth and biogas production rate [33].

5. Conclusion

In this research, the utilizations of sweet corn wastes and animal dungs on the dry anaerobic co-digestion were established. The sweet corn wastes which were lignocellulosic materials were pretreated with 2% (w/v) of NaOH solution at room temperature for 48h for the breakdown of lignocellulose to produce high amount of sugars. Moreover, the dry co-digestions were achieved at 1:1 ratio of corn wastes and dungs. The digestion temperature was controlled at 37±2 °C and other conditions were also controlled at 74±3% of humidity and 25% of initial total solid. The dry co-digestion with goat dung with corn husks was the best condition that produced 46.13% of methane, 5,045.8 ml/gVS of methane production and 74.37% of COD removal. These dry biogas systems were not showed the high potential of degradation of corn wastes and dungs but they were also showed another ways to eliminate agricultural wastes from the natural environment and also produced green renewable energy.

Acknowledgements

The authors are thankful to Energy Policy and Planning Office Ministry of Energy, School renewable energy at Maejo University for the funding of this research.

References

- [1] Speak the truth. (2015). Round table discussion: discussion of issues of corn-haze-a way out. Chu, a system with flat corn planted area GAP formation on the outside of the system. Retrieved from <http://thaipublica.org/2015/04/maize-crop-cycle-5/> htm
- [2] The university idea. (2011). Prepare corn cob processing into fuel pellets. Retrieved from <http://www.manager.co.th/Campus/ViewNews.aspx>.
- [3] Liu X.L. Gao Z. Liu C.S. Effect of combined application of organic manure and fertilizer on crop yield and solid fertility in a located experiment. *ACTA Pedologica Sinica* 1996; 33:138-147.
- [4] Ajay K, Zhang L, Qiaoying B, Yu J. Comparison between Wet and Dry Anaerobic Digestions of Cow Dung under Mesophilic and Thermophilic Conditions. 2013; 1: 28-38.
- [5] Zihan Y, Yulin D, Zhang X, Tianwei T. Anaerobic co-digestion of food waste and straw for biogas production. *Renewable Energy* 2015; 78:527-530.
- [6] Chen C, Zheng D, Liu G, J, Deng L, W, Long Y, Fan Z, H. Continuous dry fermentation of swine manure for biogas production. *Waste Manag* 2015; 38: 436-42.
- [7] Guendouz AA, Brockmann D, Trably E, Dumas C, Delgenes JP, Steyer JP, Escudie R. Total solids content drives high solid anaerobic digestion via mass transfer limitation. *Bioresour Technol* 2012; 111: 55–61.
- [8] Maritza MC, Zohrab S, Hanson A, Smith G, Funk P, Yu H, Longworth J. Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresour Technol* 2008; 99: 8288–8293.
- [9] Chen X, Yan W, Sheng K, Sanati M. Comparison of high-solids to liquid anaerobic co-digestion of food waste and green waste. *Bioresour Technol* 2014; 154: 215–21.
- [10] Visakah P, White EB. *Technique of biogas production at the household level and the community*. 1st ed. Thailand: 2015.
- [11] Sugumaran P, Priya E, Manoharan D, Seshadri S. Biogas production from water hyacinth blended with cow dung. *Indian Journal of Energy* 2014; 3 (1): 134-139.
- [12] Dong L, Shengchu L, Li M, Zhidong L, Yuexiang Y, Zhiying Y, Xiaofeng L. Effects of feedstock ratio and organic loading rate on the anaerobic mesophilic co-digestion of rice straw and pig manure. *Bioresource Technology* 2015; 187:120–127.
- [13] Kris K. *The History of the Domestication of Goats*. About.com. Accessed August 18; 2008.
- [14] ASTV. eliminate a problem "Goat" to the people of Thung Khru., *Alternative energy*, 2015. <http://www.manager.co.th/Science/viewnews.aspx>.
- [15] Qing Q, Limlin Z, Qi G, Xiaohang G, Zhang Y, Yucai H, Zhang Y. Mild alkaline presoaking and organosolv pretreatment of corn stover and their impacts on corn stover composition, structure and digestibility. *Bioresource Technology* 2017; 233: 284–290.
- [16] Wongvan C, Chavalparit O. Biogas production from co-digestion of pretreated of pretreated corn stalk and glycerol waste," the 9th National Convention on Civil Engineering., Conference of Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Thailand., 6-7 December 2012.
- [17] Dianlong W, Ping A, Liang Y, Zhongxin T, Zhang Y. Comparing the hydrolysis and biogas production performance of alkali and acid pretreatments of rice straw using two-stage anaerobic fermentation. *Biosystems engineering* 2015; 32: 47-55.
- [18] Baboshin M, Golovleva L. Characterization of hydrophobic organic contaminant biodegradation by COD analysis. *International Biodeterioration & Biodegradation* 2011; 65: 883-889.
- [19] Jianbo C, Yucheng C, Tengbing H, Renjun L, Renlu L, Man Y, Lei H, Zhimin Y, Tianling F, Xiangying L. Soil nitrogen leaching decreases as biogas slurry DOC/N ratio increases. *Applied Soil Ecology* 2017; 111: 105–113.
- [20] Mahad B, Al-Mamun A, Hamid O, Al-Amri W. Ultimate composition analysis of municipal solid waste in Muscat. *Journal of Cleaner Production* 2017; 148: 355–362.
- [21] Ahn H, Smith M, Kondrad S, White J. (2009). Evaluation of biogas production potential by dry anaerobic digestion of switchgrass-animal manure mixtures. *Appl. Biochem Biotechnol*. doi:10.1007/s12010-009-8624-x.
- [22] Hu ZH, Wen ZY. Enhancing enzymatic digestibility of switchgrass by microwave-assisted alkali pretreatment. *Biochem Eng J*. 2008; 38(3): 369-78.
- [23] Xia A, Cheng J, Wenlu S, Cong Y, Junhu Z, Kefa C. Enhancing enzymatic saccharification of water hyacinth through microwave heating with dilute acid pretreatment for biomass energy utilization. *Energy*. 2013; 61:158-166.
- [24] Selim A.S.M., Pan J, Takano T, Suzuki T, Koike S, Kobayashi Y, Tanaka K. Effect of ammonia treatment on physical strength of rice straw, distribution of straw particles and poetical-associated bacteria in sheep rumen. *Anim. Feed Sci. Technol* 2004; 115:117-128.
- [25] Han Y.W. and Callihan C.D. Cellulose fermentation effect of substrate pretreatment on microbial growth. *Appl. Microbiol*. 1974; 21: 159-165.
- [26] Saraphirom P, Reungsang A. Optimization of biohydrogen production from sweet sorghum syrup using statistical methods. *Int J Hydrogen Energy* 2010; 35(24): 13435-13444.
- [27] Sugumaran P, Priya E, Manoharan D, Seshadri S. Biogas production from water hyacinth blended with cow dung. *Indian Journal of Energy* 2014; 3(1): 134-139.
- [28] Zhong W, Zhongzhi Z, Yijing L, Shanshan S, Wei Q, Meng X. Effect of biological pretreatments in enhancing corn straw biogas production. *Bioresource Technology*. 2011; 102: 11177–11182.
- [29] Kumklam P. "Biogasification from Rice Straw.", "This Research in Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Fiscal Year 2014.
- [30] Muhammad H, Weimin D, Jinhua B, Esmaeil M, Zahir A, Hongying H. Methane enhancement through oxidative cleavage and alkali

2017 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies
25-26 May 2017 Pullman Bangkok King Power Hotel, Bangkok, Thailand

Sopee Pan-in et al./ Energy Procedia 00 (2017) 000–000

- solubilization pre-treatments for corn stover with anaerobic activated sludge. *Bioresource Technology*. 2016; 200: 405-412.
- [31] Suebsagoon, Y., A. Pruk, P. Patiroop and S. Pitchaya. 2010. Effect of C/N Ratio and Percent Total Solids on Methane Rate from *Pennisetum Purpureum* CV. Pakchong 1 grass. CMU Graduate Research Conference
- [32] Zhou J., Rui Z., Fenwu L., Xiaoyu Y., Xiayuan W., Tao Z., Min J., Honghua J. Biogas production and microbial community shift through neutral pH control during the anaerobic digestion of pig manure. *Bioresource Technology* 2016; 217:44–49.
- [33] Santiago G, Jorge R, Juan M. Control strategy for maximum anaerobic co-digestion performance. *Water Research* 2015; 80: 209–216.



การนำเสนองานชุมชน เรื่อง การผลิตชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานโดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบแห้ง

แบบฟอร์มหนังสือรับรองการนำงานสร้างสรรค์ไปใช้ประโยชน์

ส่วนที่ 1 รายละเอียดผู้นำผลงานไปใช้ประโยชน์

ข้าพเจ้า นายนิมิตร จงัน

ตำแหน่ง ผู้ใหญ่บ้านหมู่บ้านวังบึง ตำบลเมืองแก้ว

สังกัด อำเภอแม้ว จังหวัดเชียงใหม่

ส่วนที่ 2 รายละเอียดงานสร้างสรรค์ที่นำไปใช้ประโยชน์

งานสร้างสรรค์ จากผลงานวิทยานิพนธ์ เรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานโดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบแห้ง ในหัวข้อเกี่ยวกับ การใช้ประโยชน์จากวัสดุข้าวโพดหวาน เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดย นางสาวโสภี พันอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณัฐรัตน์ สุวเกษม วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ส่วนที่ 3 รายละเอียดเกี่ยวกับการนำงานสร้างสรรค์ไปใช้ประโยชน์

3.1 ประเภทของการใช้ประโยชน์จากงานสร้างสรรค์ (โปรดระบุประเภทของการใช้ประโยชน์โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน โดยสามารถตอบได้มากกว่า 1 ประเภท)

3.1.1 การใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ อธิบายลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์

นำองค์ความรู้ที่ได้จากการเผยแพร่ไปนำเสนอต่อกลุ่มชาวบ้านในตำบลเมืองแก้ว และตำบลใกล้เคียงได้รับความรู้และนำไปใช้เป็นตัวแบบผลิตพลังงานทดแทน

3.1.2 การใช้ประโยชน์ในเชิงสาธารณะ อธิบายลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์

นำไปใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือน ขนาด 200 ลิตร จากวัสดุข้าวโพดเหลือทิ้ง หรือวัสดุประเภทอื่น ๆ และร่วมกับมูลสัตว์สด

3.1.3 การใช้ประโยชน์เชิงนโยบายหรือระดับประเทศ _____

3.1.4 การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ _____


3.1.5 อื่น _____

3.2 ช่วงเวลาในการใช้ประโยชน์ เดือนพฤษภาคม 2560 เป็นต้นไป

3.3 กลุ่มเป้าหมาย/ผู้ได้รับประโยชน์จากงานดังกล่าว ได้แก่ ชาวบ้าน ชุมชนหมู่บ้านวังบึง ต. เมืองแก้ว อ. แม้ว จังหวัดเชียงใหม่เพื่อนำไปใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือน

3.4 โปรดระบุถึงหลักฐานการนำไปใช้ประโยชน์ พร้อมแนบหลักฐานประกอบ (ถ้ามี)

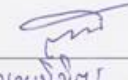
การดำเนินงานการติดตั้ง และการหมักก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือน ชุมชนวังบึง ต. เมืองแก้ว อำเภอแม้ว จังหวัดเชียงใหม่

ลงชื่อ  ผู้ใช้ผลงาน

(นายนิมิตร จงัน)

ตำแหน่ง ผู้ใหญ่บ้าน หมู่ 6

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลงชื่อ  ผู้บังคับบัญชาสูงสุดของหน่วยงาน

(นายนิมิตร จงัน)

ตำแหน่ง ผู้ใหญ่บ้าน หมู่ 6

วันที่ เดือน พ.ศ.

หมายเหตุ โปรดประทับตราหน่วยงานที่นำผลงานไปใช้ประโยชน์

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวโสภี พันอินทร์	
เกิดเมื่อ	วันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ.2535	
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ. 2558	ปริญญาตรีสาขาพลังงานทดแทน วิทยาลัย พลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัด เชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	ปี พ.ศ. 2554	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนโพธาวัฒนาเสนี จังหวัดราชบุรี

